

보안과제() 일반과제(○) / 공개(○) 비공개()

첨단생산기술개발사업 최종보고서

발 간 등 록 번 호

11-1543000-002362-01

u-IT기반 광역통합 RPC모델 개발 최종보고서

농림축산식품 연구개발사업 R&D Report

2018. 8. 13.

주관연구기관 / 한국식품연구원

농 립 축 산 식 품 부
농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “u-IT기반 광역통합 RPC모델 개발”(개발기간 : 2015.8.14.~2018.8.13.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2018. 8. 13.

주관연구기관명 : 한국식품연구원 (인)

참 여 기 업 명 : (주)대주종합기술단 (인)
(주)모람씨앤티 (인)
(주)아이지에스피 (인)
한국토요 (인)
(주)협동엔지니어링 (인)

주관연구책임자 : 김 의 응 (한국식품연구원)
세부연구책임자 : 김 훈 (한국식품연구원)
참 여 연 구 원 : 안 재 환 (한국식품연구원)
참 여 연 구 원 : 김 상 숙 (한국식품연구원)
참 여 연 구 원 : 김 종 훈 (한국식품연구원)
참 여 연 구 원 : 이 효 재 (한국식품연구원)
참 여 연 구 원 : 김 흥 식 (한국식품연구원)
참 여 연 구 원 : 양 수 진 (한국식품연구원)

위탁연구책임자 : 한 재 응 (공주대학교)
위탁연구책임자 : 김 용 선 ((주)대주종합기술단)
위탁연구책임자 : 구 준 서 ((주)모람씨앤티)
위탁연구책임자 : 최 병 준 ((주)아이지에스피)
위탁연구책임자 : 김 진 수 (한국토요)
위탁연구책임자 : 이 종 권 ((주)협동엔지니어링)

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	315036-3	해당단계 연구기간	2015.8.14. ~2018.8.13.	연 차 구 분	총 3년
연구사업명	단위사업	농림축산식품 연구개발사업			
	사업명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대과제명	u-IT기반 광역통합 RPC모델 개발			
	세부과제명	u-IT기반 RPC 광역통합관리시스템 모델 개발			
연구책임자	김 의 용	해당연차 참여연구원 수	총 : 24명 내부 : 10명 외부 : 14명	해당연차 연구개발비	정부 : 400,000천원 민간 : 150,000천원 계 : 550,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총 : 60명 내부 : 30명 외부 : 30명	총 연구 개발비	정부 : 1,200,000천원 민간 : 450,000천원 계 : 1,650,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국식품연구원 전략기술연구본부			참여기업명: (주)대주종합기술단, (주)모람씨앤티, (주)아이지에스피, 한국토요, (주)협동엔지니어링	
위탁연구	연구기관명 :	연구책임자 :			
	공주대학교	한 재 용			
	(주)대주종합기술단,	김 용 선			
	(주)모람씨앤티	구 준 서			
	(주)아이지에스피	최 병 준			
	한국토요	김 진 수			
(주)협동엔지니어링	이 중 권				

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	해당사항 없음
-------------------	---------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시 설장비	기술요 약 정보	소프트 웨어	회합 물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록기 탁 번호	SCI 5건 비SCI 9건	출원 8건 등록 1건	1건	-	-	-	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황(해당사항 없음)

<p>본 연구는 RPC의 경쟁력강화 및 경영효율화를 도모하고 건강, 안전성 및 고품질을 지향하는 소비자 니즈충족을 위하여 규모화·현대화된 광역통합RPC(Mega RPC)모델을 개발하기 위하여 수행되었으며, ① 배아미, 발아현미, 클린라이스, 혼합미 등 특수가공미 생산기술 및 대량제조시스템 개발과, 잡곡류의 제조조건 및 품질기준 정립, ② Mega RPC에 적용가능한 대규모·통합형 친환경집진시스템과, 고압공기의 온도/습도 조절이 가능한 현미/백미이송용 공기이송시스템 개발, ③ 기존 2ndG RPC(53개소)의 시설 및 운영기술 분석을 통한 설계인자 도출, 소요동력·면적·비용, 공정, 시설·성능기준 및 기준도면 설계 등 15~20ton/hr 처리규모의 광역통합RPC 가공공정모델 개발, ④ u-IT기술이 적용된 반입, 재고, 물량, 품질, 생산 및 이력관리가 가능한 u-IT기반 RPC 광역통합관리시스템 개발, ⑤ 광역통합에 따른 객관적인 원료 비 매입체계구축을 위한 식미 및 수율기반의 가격지수(value index)를 개발하였으며, 지적재산권 확보, 기술이전 및 현장 적용시험 등을 통해 실용화가 가능한 상용화 및 보급체계를 구축하였음</p>	보고서 면수 793페이지
--	------------------

[요약 문]

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>본 연구는 국내 쌀 산업 경쟁력강화를 위한 광역통합RPC 가공공정 모델 및 u-IT기반 통합관리시스템을 개발하고, 보급체계를 구축하는데 목적이 있으며, 주요 연구내용은 다음과 같음</p> <p>□ 제 1 세부과제 : 광역통합 RPC모델 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 2ndG RPC공정분석 및 설계인자 도출 ○ 공기이송 및 친환경집진시스템 설계인자 구명 ○ 공기이송 및 친환경집진시스템 개발 ○ 저에너지 친환경 광역통합 RPC 가공공정 모델설계 ○ 특수가공미의 품질 및 제조조건 정립 ○ 제조조건이 특수가공미 품질에 미치는 영향구명 ○ 주요 잡곡류의 건조 및 선별인자구명 ○ 주요 잡곡류의 건조시물레이션모델 개발 ○ 특수가공미 연속식 대량제조공정 설계 ○ 특수가공미 대량제조 핵심시스템개발 및 보완 ○ 시물레이션에 의한 주요 잡곡 건조시스템 기본설계 ○ 현장적용을 통한 모델보완 및 보급체계구축 <p>□ 제 2 세부과제 : u-IT기반 RPC 광역통합관리시스템 모델 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 운영시험을 통한 u-RPC모델 보완 ○ 통신 protocol 및 PLC memory map기준 설계 ○ 통신 protocol 및 PLC memory map기준 보완 ○ u-IT기반 RPC 통합관리시스템 모델 개발 ○ u-IT기반 RPC 통합관리시스템 모델 보완 ○ 수율 및 식미영향인자가 가격에 미치는 영향조사 ○ 성분이 식미에 미치는 영향구명 ○ 식미 및 수율기반 원료가격개발
<p>연구개발성과</p>	<p>□ 제 1 세부과제 : 광역통합 RPC모델 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 배아미, 발아현미, 클린라이스 및 영양강화미 등 특수가공미에 대해 문헌·특허 검색, 국내외 시장 및 업체조사 등을 통해 선행기술을 조사·분석하였고, 실험을 통해 대량생산에 필요한 품질 및 제조조건을 정립하였으며, 이를 바탕으로 광역통합RPC에 설치할 수 있는 연속식 대량제조시스템을 설계·제작한 다음, 현장 실험을 통해 보완 개선하여 상용화체계를 구축하였음 ○ 배아미와 관련된 국내외 논문, 특허 등의 선행연구, 일본의 기준 및 제조시스템 현황, 유통배아미(국내 21점, 국외 10점)의 품질 및 유통현황을 조사·분석하였

고, 제조조건에 따른 품질 및 관능적 식미특성, 배아잔존율에 영향을 미치는 공정특성 등을 구명하여 식미와 외관특성을 고려한 품질 및 제조조건(안)을 정립(백도 34, 배아부착율 80%이상)하였으며, 배아미 품질기준을 만족시키는 2.5ton/hr 규모의 연속식 대량제조시스템 시작품을 설계·제작하고 3차의 현장실험으로 보완 및 개선하여 품질 및 처리능력을 만족하는 상용화 수준의 시스템을 개발하여 기술이전하고 사업화하였음

- 발아현미와 관련된 문헌·특허검색, 국내외 시장 및 업체조사 등을 통해 선행기술을 조사·분석하였고, 산소농도, 발아시간 및 건조 등 제조조건이 품질에 미치는 영향을 구명하여 발아현미 제조기준(썩크기 1mm 내외, 발아율 95% 이상, 함유율 32.5%, 이취 미발생, GABA 15mg/100g 등)을 정립하였으며, 제조기준에 적합한 pilot규모의 연속식 발아현미 대량제조시스템 시작품을 설계·제작하고 2회의 현장실험을 통해 세부 운영방법(침지 6시간, 대기노출 9시간, 산소공급 20~30분, 살균 100℃이하에서 1분 이내, 순환식건조 30~40℃)을 정립하고 시스템을 보완 및 개선하여 상용화수준의 시스템을 개발하여 기술이전을 통해 사업화하였음(현재 상용화수준의 시스템이 RPC에 설치 중에 있음)
- 클린라이스와 관련된 국내외 논문, 특허 등의 선행연구, 일본의 기준 및 제조시스템 및 품질기준과, 국내 유통클린라이스의 품질 및 유통현황을 조사·분석하였고, 국내 품질기준(탁도 16NTU이하, 백미와 동등한 품위 등)에 적합한 세부적인 탁도 측정방법을 실험을 통해 정립하였으며, 선행연구 결과를 바탕으로 2.0ton/hr 규모의 건식 연속식 배아미 대량제조시스템 시작품을 설계·제작하고, 총 34회의 현장실험을 통해 평가 및 보완하여 품질기준 및 처리능력기준을 만족하는 상용화수준의 시스템을 개발하여 기술이전을 통해 사업화하였음
- 영양강화미와 관련된 국내외 논문, 특허 등의 선행연구, 국내(3개소) 및 일본(1개소)의 제조시설과 국내유통 영양강화미(11점)의 품질특성을 조사·분석하고, 비타민 B₁ 및 Ca를 이용하여 농도 등 제조조건에 따른 품질특성을 구명하였음. 또한, 혼합미와 관련 논문 및 특허 등 선행기술은 물론, 잡곡을 처리하는 관련업체 및 RPC에 대한 현장조사(7개소)와, 시중에서 유통되는 제품(24점)의 품질분석을 실시하였으며, 처리능력 4ton/hr의 혼합미 제조시스템이 설계·제작된 2개소 RPC에서 혼합기에 대한 현장실험을 통해 보완하였음
- 친환경집진시스템과 관련하여 관련법규, 논문, 특허 및 운영기술 등 선행기술에 대해 조사·분석하고, 1stG RPC(2개소) 및 2ndG RPC(42개소)의 집진시스템에 대한 현장실험 및 자료분석과, 선행연구에서 개발 보급된 2개소 통합집진기에 대한 현장실험을 실시하였음. 이상의 결과를 바탕으로 Mega RPC 모든 공정의 통합집진이 가능한 reverse crank shaft탈진방식의 친환경집진시스템 시작품을 설계·제작하여 운영실험을 통해 보완하였고, 미세분진(PM₁₀ 및 PM_{2.5} 등)의 집진효율을 향상시키기 위한 적정 여과포 통과공기속도(2.0m/min이하)를 구명하였으며, 보완된 시스템에 설치된 현장실험을 통해 여과포 설치면적 40.7% 향상, 여과포 통과공기속도 1.934m/min, 소요동력 1.7% 감소, 집진효율은 94.1%(기

준 90% 이상) 등 우수한 성능을 확인하였으며, 개발된 시스템은 사업화하였음

- 공기이송시스템에 대한 논문, 특허 등 선행기술 및 일본 현지(3개소)조사와, 국내 RPC(흡인 및 압송식 청소시스템, 반품 공기이송시설 등)의 시설 및 설계자료를 조사·분석하여 설계인자를 구명하고, 목표이송량 1ton/hr(백미기준), 이송비 12.5(중농도), 배관 30m(수직 10m, 수평 20m), 배관직경 40mm규모의 시작품을 설계·제작한 다음, 2회의 현장 성능실험을 실시하여 RPC 현장에 적용할 수 있음을 확인하였음
- 2007년부터 보급된 2ndG RPC 55개소의 설계도서와 기술검토자료 및 현장성능 검사자료를 조사·분석하여 광역통합RPC 가공공정모델 개발에 필요한 기본설계인자의 도출 및 현미부, 백미부, 포장부 및 집진부의 성능 및 설계기준을 개발하였으며, 전술한 특수가공미 및 요소시스템 개발 결과 등을 총합하여 현미부, 백미부, 특수가공미가공부, 포장부, 혼합미가공부 및 부대시설(집진, 자동제어 등) 등으로 구성된 처리능력 15ton/hr 및 20ton/hr(기존대비 2~3배)규모의 광역통합RPC 설계도서를 작성하였으며, 시설구성에 따른 세부내역, 소요동력, 면적, 비용 등을 산출하고, 건축 및 가공실의 구획, 가공시설, 부대설비 및 안전설비 시설 등에 대한 시설기준을 개발하는 등 보급체계를 구축하였음

□ 제 2 세부과제 : u-IT기반 RPC 광역통합관리시스템 모델 개발

- 2ndG RPC에 시범사업(선행연구결과)으로 설치된 u-RPC모델에 대한 현장분석 및 보완을 실시하였으며, 이를 바탕으로 다수의 들녘별경영체 및 건조저장시설(DSC)은 물론 sub RPC와 유기적인 생산·가공·유통연계체계의 구축이 가능하고, 쌀과 특수가공미 및 잡곡 등 다양한 제품의 반입, 재고, 품질, 주문, 생산, 출하 및 이력관리가 가능한 u-IT기반 RPC광역통합관리시스템을 개발하고 현장(16개소 DSC보유한 RPC)에 시범 적용하여 현장실험 및 보완을 통해 상용화체계를 구축하였음
- 1stG 및 2ndG RPC에 적용중인 통신protocol 기준 및 PLC memory map을 조사·분석하고, 관련 기업의 전문가와 협의 하에 u-IT기반 RPC광역통합관리시스템의 효율적인 통신 및 작동에 적합한 네트워크 panel과 PLC 및 중량측정장치 사이에 양방향 통신이 가능한 protocol기준과 PLC memory map기준을 개발하였음
- 광역통합에 따른 객관적인 원료 매입체계구축을 위하여 농협RPC 82개소에 대한 설문조사·분석을 통해 벼 매입관련인자(계약재배여부, 체현율, 정립 및 비정립 비율, 건조비용 등)을 발굴하였으며, 벼 283점(27개 실험구의 저장실험)에 대한 품질인자와 식미간의 상관관계를 구명하여 고미화(aging)의 표현형인자로 발아율을 발굴하고 대사체분석 및 SEM미세구조 등을 통해 검증하였고, 백미 533점에 대한 품질인자와 식미간의 상관관계를 구명한 다음, 독립변수인 현미 발아율과, 백미의 성분, 품위 및 도정도로 구성된 식미수식을 개발하였으며, 식미와 관련된 벼 매입 관련인자(건조지연, 성분, 품위 등)을 선별하였음. 9개 주요 품종

	<p>(10개 시료)에 대한 초기 및 저장(6개월)중 품종과 식미와의 상관관계를 분석한 결과, 수확함수율 및 수확후 처리조건이 동일할 경우 주요 품종간의 식미는 유의적인 차이가 없었으므로 앞의 주요 벼 매입관련인자로 구성된 가격지수(value index)을 개발하였고, 이 가격지수는 모든 RPC에서 벼 매입시 가격을 결정하는데 효율적으로 사용될 것으로 기대되며, 본 연구항목의 특성상 대규모 실험을 위하여 타과제와 공동으로 수행되었음을 밝힘</p>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지적재산권 확보, 기술이전 및 상용화제품의 설계·제작, 현장 설치, 현장적용실험을 통한 보완 등의 전 과정에 주도적으로 참여하여 개발된 주요기술이 상용화·사업화가 가능하도록 활용하며, 지속적인 교육, 홍보 및 정책건의 등을 통해 기술이 확산될 수 있도록 활용할 계획임 ○ 기술 이전하여 사업화중인 배아미, 발아현미 및 클린라이스 등 특수가공미의 연속식 대량생산기술 및 시스템은 광역통합 RPC는 물론 1stG, 2ndG RPC 및 관련 제품 제조업체 등에도 적용이 가능하여 건강을 추구하는 소비자의 needs에 부합하여 쌀 소비촉진에 기여할 것으로 기대됨 ○ 개발된 친환경집진시스템은 기술이전을 추진할 계획으로 현재도 참여기업에서 사업화 중으로서 광역통합 RPC는 물론 1stG, 2ndG RPC 및 잡곡처리시설 등에 적용되어 국가적 환경문제일 뿐만 아니라 RPC에서 가장 많은 민원이 발생하는 분진(미세먼지)에 의한 오염방지와 품질향상에 크게 기여할 것으로 기대됨 ○ 광역통합RPC 가공공정 모델은 규모화를 통한 RPC 경영효율화 및 경쟁력강화를 위해 규모화된 2ndG는 물론 및 광역통합 RPC에 활용이 가능한 모델로서, 향후 통합의 확대시 정책사업의 기준모델로 사용이 가능하여 우리나라 쌀산업 경쟁력 향상에 기여할 것으로 기대됨 ○ 규모화된 2ndG RPC에서 적용실험중인 u-IT기반 광역통합관리시스템은 RPC의 생산·유통연계체계의 구축과, 매입, 반입, 재고, 품질, 생산 및 이력관리가 자동적으로 가능한 u-IT기반 기술로서, 기존 RPC가 안고 있는 제반 애로해결로 기존 RPC는 물론 광역통합RPC에 보급되어 효율적인 운영에 크게 기여할 것이며, 이력추적시스템은 안전성을 추구하는 소비자의 needs 충족에도 크게 기여할 것으로 기대됨 ○ 주요 연구결과는 학술지 게재, 학회발표, 연구인력양성, 정책반영 등을 통해 우리나라 쌀산업의 발전에는 물론 RPC 등 곡물의 수확후 관리기술 분야의 연구 및 기술발전에 활용될 것으로 기대됨 				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>미곡종합처리장 모델</p>	<p>광역통합</p>	<p>유비쿼터스</p>	<p>특수가공미</p>	<p>집진</p>
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>RPC model</p>	<p>Mega</p>	<p>u-IT</p>	<p>specialty rice</p>	<p>Dust collection</p>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	15
2. 연구수행 내용 및 결과	16
제 1장 총론	16
제 1절 RPC의 세대별 보급현황	16
제 2절 광역통합 RPC(Mega RPC) 모델개발의 필요성	29
제 2장 광역통합 RPC 요소기술 개발	35
제 1절 특수가공미 대량제조공정 개발	35
1. 배아미	39
가. 배아미 품질 및 제조조건 조사분석	39
(1) 선행기술 조사	39
(2) 우리나라 유통 배아미 품질특성 구명	50
(3) 국외 유통 배아미의 품질특성	55
나. 배아미 품질 및 제조기준 정립	57
(1) 제조조건이 배아미품질에 미치는 영향 구명	57
(2) 배아미 품질이 관능적 식미에 미치는 영향 구명	74
(3) 배아미 제조후 후속공정이 배아미잔존율에 미치는 영향 구명	78
(4) 배아미 품질 및 제조조건 정립	80
다. 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품 설계 및 제작	82
라. 배아미 연속식 대량제조시스템 현장실험 및 보완	86
마. 연속식 배아선별시스템의 기류선별장치 모델 개발	96
2. 발아현미	106
가. 국내외 발아현미 품질 및 제조조건 조사분석	107
나. 발아현미 품질 및 제조기준 정립	132
(1) 발아현미 제조조건 및 제조시스템 연구방향 설정을 위한 예비실험	132
(2) 제조조건이 발아현미 품질특성에 미치는 영향 구명	134
(3) 산소농도에 따른 발아현미 품질 특성	144
(4) 건조온도가 발아현미 품질에 미치는 영향	148
(5) 발아현미 제조조건에 따른 미생물 변화	165

(6) 발아현미 품질 및 제조조건 정립	167
다. 발아현미 pilot 연속식 대량제조시스템 시작품 설계 및 제작	168
(1) 발아현미 연속식 대량제조시스템 설계	168
(2) 발아현미 연속식 대량제조시스템 시작품 제작	179
라. 발아현미 pilot 연속식 대량제조시스템의 현장실험 및 보완	182
(1) 1차 현장 운영실험 및 보완	182
(2) 2차 현장실험 및 보완	188
마. 발아현미 대사체분석	194
바. 발아현미 연속식 대량제조시스템 보급	200
3. 클린라이스	202
가. 클린라이스 품질 및 제조조건 조사분석	203
나. 클린라이스 품질 및 제조기준 정립	213
다. 클린라이스 연속식 대량제조시스템 개발 및 현장실험	217
4. 영양강화미	227
가. 영양강화미 품질 및 제조조건 조사분석	227
나. 영양강화미 품질 및 제조기준 정립	238
다. 영양강화미 대량제조시스템 개발	243
5. 혼합미	244
가. 혼합미 품질 및 제조조건 조사분석	244
나. 혼합미 대량제조시스템의 개발	258
(1) 설계방향 설정	258
(2) 기본설계	259
(3) 혼합미 대량제조시스템 현장적용	261
제 2절 광역통합 RPC 요소시스템 개발	266
1. 친환경집진시스템 개발	267
가. 선행기술 조사	268
나. RPC 집진시스템 운영현황 조사를 통한 설계인자 구명	290
다. 통합집진기의 성능실험 및 보완	314
라. 친환경집진시스템 개발	333

2. 공기이송시스템 개발	365
가. 공기이송시스템 설계인자 구명	365
나. 현미 및 백미이송용 공기이송시스템 설계	380
다. 공기이송시스템 1차 시작품 설계제작 및 성능평가	393
라. 공기이송시스템 시작품보완 및 2차 성능평가	410
제 3절 잡곡류의 대량제조공정 개발	429
1. 잡곡의 물리적 특성	430
가. 실험방법	430
나. 결과 및 고찰	433
(1) 기하학적 특성	433
(2) 함수율과 기하학적 특성과의 관계	435
(3) 산물밀도, 비중, 종말속도 및 색도	437
(4) 함수율과 산물밀도, 비중, 종말속도 및 색도와의 관계	439
(5) 안식각 및 정지마찰계수	439
(6) 함수율과 안식각 및 정지마찰계수와의 관계	442
2. 평형함수율 및 박층건조모델	451
가. 실험방법	451
나. 결과 및 고찰	454
(1) 평형함수율	454
(2) 박층건조모델	456
3. 건조시물레이션 모델 개발	469
가. 시물레이션 모델링	469
(1) 수확모델	470
(2) 응축과정의 해석	476
(3) 소요에너지	476
(4) 시물레이션 모델링	477
나. 건조시물레이션 결과	480
(1) 수수의 건조시물레이션	480
(2) 콩의 건조시물레이션	485
(3) 조 및 기장의 건조시물레이션	490

4. 건조 시뮬레이션 프로그램 검증	494
제 3장 저에너지 친환경 광역통합 RPC 가공공정 모델 개발	498
제 1절 광역통합 RPC 가공공정 모델 개발	498
1. 2 nd G RPC 시설분석	498
가. 분석방법	498
나. 결과 및 고찰	501
(1) 시설 처리능력 및 소요면적	501
(2) 공정별 소요동력	506
(3) 공정 단위기계별 소요동력	510
(4) 가공시설별 소요동력 분석	521
2. 광역통합 RPC 설계인자 도출	533
가. 분석방법	533
(1) 공정분석 대상사업체(2 nd G RPC)	533
(2) 현장성능평가 방법	535
나. 결과 및 고찰	545
(1) 단위공정의 성능분석	545
(2) 단위공정의 환경분석	557
(3) 공정별 품질변화	559
(4) 시설보완사항	568
3. 광역통합 RPC 모델 설계	574
가. 광역통합 RPC모델 설계방법	574
나. 광역통합 RPC 가공공정 성능기준 설정	576
(1) 2 nd G RPC 가공공정 성능분석	576
(2) 광역통합 RPC 가공공정의 성능기준 설정	581
다. 광역통합 RPC 가공공정 설계기준 개발	588
(1) 기본 설계방향	588
(2) 처리능력	589
(3) 주요공정	590
라. 광역통합 RPC 가공공정 모델 설계	592
(1) 전체 설계도	592
(2) 공정별 설계도	594

(3) 시설구성 및 세부내역	616
(4) 소요동력	629
(5) 소요면적	631
(6) 소요비용	633
다. 광역통합 RPC 가공공장 시설기준 개발	635
(1) 건축 및 가공실의 구획	635
(2) 가공시설	637
(3) 부대설비	642
(4) 안전설비 및 기타 설치운영	645
제 2절 u-IT기반 광역통합관리시스템 모델 설계	648
1. 운영실험을 통한 u-RPC 모델 보완	649
가. 실험방법	649
나. 결과 및 고찰	654
(1) 기존 u-RPC모델의 핵심기술 분석	654
(2) 운영실험을 통한 u-RPC 모델 보완	659
2. u-IT기반 광역통합RPC 통합관리시스템 모델 개발	676
가. 모델구상	676
나. 통합관리시스템 개발	682
3. u-IT기반 광역통합RPC 통합관리시스템모델 보완	703
가. Test-bed의 구축 및 모델보완방법	703
나. 결과 및 고찰	705
(1) Test-bed 구축	705
(2) 운영실험을 통한 모델 보완	711
4. 통신 Protocol 및 PLC memory map기준 개발	719
제 3절 식미 및 수율기반 원료가격지수 개발	739
1. 수율 및 식미영향인자가 가격에 미치는 영향조사	740
가. 조사방법	740
나. 결과 및 고찰	741
(1) 매입가격 영향인자	741

(2) 제현율에 따른 매입가격	742
(3) 단백질함량에 따른 매입가격	744
(4) 건조비용	746
2. 품종 및 성분이 식미에 미치는 영향	747
가. 실험방법	747
(1) 품종 순도	748
(2) 품질 특성	748
(3) 밥의 관능적 특성	749
나. 결과 및 고찰	751
(1) 품종 순도	751
(2) 품질 특성	752
(3) 밥의 관능적 특성	755
3. 식미수식화 및 식미인자의 영향분석	761
가. 실험방법	761
(1) 백미 식미수식화	762
(2) 현미 식미수식화	763
나. 결과 및 고찰	767
(1) 백미 식미수식화	767
(2) 현미 식미수식화	772
(3) 식미수식화 및 식미인자의 영향분석	776
4. 식미 및 수율기반 원료가격지수 개발	778
제 4장 연구개발성과	781
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	787
4. 연구결과의 활용 계획 등	789
붙임. 참고 문헌	791

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

- 본 연구는 국내 쌀 산업 경쟁력 강화를 위한 광역통합 RPC 가공공정 모델 및 u-IT기반 통합관리시스템을 개발하고, 보급체계를 구축하는데 목적이 있음

1-2. 연구개발 내용

□ 제 1 세부과제 : 광역통합 RPC모델 개발

- 2ndG RPC공정분석 및 설계인자 도출
- 공기이송 및 친환경집진시스템 설계인자 구명
- 공기이송 및 친환경집진시스템 개발
- 저에너지 친환경 광역통합 RPC 가공공정 모델설계
- 특수가공미의 품질 및 제조조건 정립
- 제조조건이 특수가공미 품질에 미치는 영향구명
- 주요 잡곡류의 건조 및 선별인자구명
- 주요 잡곡류의 건조시물레이션모델 개발
- 특수가공미 연속식 대량제조공정 설계
- 특수가공미 대량제조 핵심시스템개발 및 보완
- 시물레이션에 의한 주요 잡곡 건조시스템 기본설계
- 현장적용을 통한 모델보완 및 보급체계구축

□ 제 2 세부과제 : u-IT기반 RPC 광역통합관리시스템 모델 개발

- 운영시험을 통한 u-RPC모델 보완
- 통신 protocol 및 PLC memory map기준 설계
- 통신 protocol 및 PLC memory map기준 보완
- u-IT기반 RPC 통합관리시스템 모델 개발
- u-IT기반 RPC 통합관리시스템 모델 보완
- 수율 및 식미영향인자가 가격에 미치는 영향조사
- 성분이 식미에 미치는 영향구명
- 식미 및 수율기반 원료가격지수개발

2. 연구수행 내용 및 결과

제 1장 총론

제 1절 RPC의 세대별 보급현황

1. 제 1세대 RPC(1stG RPC)

- (RPC 및 DSC 정의) RPC(미곡종합처리장, Rice Processing Complex)는 수확한 물벼를 산물(散物, bulk)형태로 입고하여 건조, 저장, 가공 및 포장공정까지 기계적 일관처리가 가능한 기계화·자동화된 시설이며, DSC(건조저장시설, Drying and Storage Center)는 산물 벼를 반입, 건조 및 저장하는 시설로서, RPC 구내 또는 동일 작업권내에 설치하는 증설과, 외부에 설치하는 위성시설이 포함됨
- (1stG RPC 모델 개발) 한국과학기술원(한국식품연구원의 전신)은 1979년 한독기술협정에 의거하여 독일정부의 재정지원으로 국내 최초의 산물건조저장시설인 개량곳간을 보급하여 1981년부터 약 10만동이상을 보급하였으며, 한국식품연구원에서 이 산물건조저장기술을 바탕으로 그동안 연구 개발되었던 개량평창고, 청결미 처리기술 등을 효율적이고 종합적으로 활용할 수 있는 한국형 미곡종합처리장을 연구개발하여 1988년부터 1990년까지 전남 무안군소재 유당농원에서 시험사업을 실시하였음(건조능력 1,200톤/년, 저장능력 600톤/batch, 가공능력 15톤/일, 150평규모)
- (1stG RPC 모델 보급시작) 한국식품연구원의 시험사업결과를 토대로 1991년 국고보조사업으로 충남 당진군 합덕농협 및 경북 의성군 안계농협에서 시범사업(건조 1,000톤, 저장 600톤)을 실시한 다음, 농촌노동력의 노령화 및 부녀화에 따른 노동력 부족현상 해소, WTO체제에서 개방화에 대응하기 위한 생산비용 절감 및 품질경쟁력 향상을 목적으로 1992년 제 7차 경제사회발전 5개년 계획에 의해 농어촌구조개선사업의 일환으로 1992년부터 2001년까지 총 328개소(농협 200개소, 민간 128개소)의 1stG RPC가 보급되었음(표 1-1-1)

표 1-1-1. 연도별 1stG RPC 보급현황

구 분	연도 별 보급수(개소)											합 계
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
농 협	2	30	31	45	22	17	18	25	4	5	1	200
민 간	-	-	17	21	17	18	15	23	7	7	3	128
계	2	30	48	66	39	35	33	48	11	12	4	328

- (DSC 보급) DSC는 1995년 정부양곡의 산물수매 시범사업을 실시하면서 부족한 RPC 건조저장능력을 높이기 위한 목적으로 보급되기 시작하여, 2014년 말 현재 1,334개소가 설치되어 있으며, 2019년까지 전체 벼 유통량대비 저장능력을 60%까지 확대할 예정임

○ (1stG RPC 모델 보급경위) 1993년에는 민간에 대한 지원을 실시하였으며, 1994년에는 건조저장시설 규모를 건조 1,000톤에서 1,800톤, 저장 600톤에서 1,200톤으로 확대하였으며, 1996년에는 농협 RPC에 2.5톤/시간의 가공시설을 지원하였음. 그러나 연차별로 1stG RPC가 보급됨에 따라 국내 도정 능력이 쌀 생산량보다 5배가 넘어가면서 도정시설 과잉에 따른 중복투자 및 투자효율화 문제가 제기 되었으며, 경영여건 불비 및 경영능력의 부족으로 적자 또는 부실 RPC가 늘어남에 따라 신규설치사업을 축소·내실화하되, 건조·저장시설을 대폭 확충하여 산물처리능력을 높이려는 정부정책방향에 따라 2012년부터 RPC신규지원이 중단되었음(표 1-1-2)

표 1-1-2. 제 1세대 RPC 및 DSC시설의 설치경위

년 도	항 목	내 용
1988	시험사업	· 한국식품연구원이 산물 건조저장시설과 가공시설이 조합된 형태의 시험용 RPC를 전남 무안군 소재 유당농원에 설치
1991	시범사업	· 국고보조사업으로 충남 당진군 합덕농협 및 경북 의성군 안계농협에 한국식품연구원의 한국형 RPC 표준모델 설치 - 건조 1,000톤, 저장 600톤 - 사업단가 10억원(보조 5, 용자 3, 자담 2)
1992	보급확대	· 정부는 농어촌구조개선사업의 일환으로 생산자단체인 농협을 중심으로 1997년까지 총 340개소 RPC 설치계획 수립 - 340개소 도입시 국내 쌀생산량('92기준)의 23%처리가능 - 1개소당 1,000ha기준
1993	민간참여	· 기존 도정공장 활용을 위해 민간 도정업자의 RPC사업 참여 허용, 사업비는 농협중심으로 설치하기 위해 차등지원 - 건조 1,000톤, 저장 600톤 - 사업단가 : 4억원(용자 2, 자담 2)
1994	건조저장시설 규모확대	· RPC의 건조 및 저장시설규모 확대 - 건조 1,000톤 → 1,800톤, 저장 600톤 → 1,200톤 - 사업단가 : 10억원→14억원(보조 7, 용자 4.2, 자담 2.8)
1995	산물수매 및 DSC보급	· RPC이용 촉진을 위해 정부 수매버를 RPC를 통해 산물로 수매 · 부족한 건조저장시설인 DSC 보급시작
1996	가공시설 지원	· 농협RPC에 가공시설부분까지 지원하고 사업비 증액 - 사업단가 : 14억원→20억원(민간 4억원→5억원)
2002	정책전환	· 총 328개소 RPC가 설치(농협 200, 민간 128)되어 도정능력 과잉에 따른 중복투자 및 투자효율화 문제제기 · 신규 RPC 설치사업은 중단하고, DSC는 계속적으로 보급

- (1stG RPC의 시설 특징) 1stG RPC 규모(ton/hr, 백미기준, 이하 “규모” 및 “가공능력”을 혼용하여 표기)는 평균 3.0ton/hr(농관원에서 조사한 RPC시설능력을 이용하여 계산, 2003)으로 비교적 소규모로 보급되었으나, 시설특징으로는 ㉠ 산물(散物, bulk)상태로 일관처리, ㉡ PLC(Programmable logic controller)에 의한 자동제어, ㉢ 양질미 생산을 위한 색채선별기 및 청결미기 도입 등을 들 수 있음
- (1stG RPC의 보급효과) 1stG RPC의 보급효과에 대하여 한국RPC연구회(2003) 및 농림부(2005)는 ㉠ 수확후 비용 및 노력 절감, ㉡ 품질향상, ㉢ 유통개선, ㉣ 정부수매기능 보완과 안정적인 판로 제공, ㉤ 관련 산업발전에 기여하는 등 RPC보급목적의 충실한 달성은 물론 농업구조조정사업의 가장 성공적인 사업으로 평가하였음(표 1-1-3)



그림 1-1-1. 일반적인 1stG RPC의 전경 및 가공실

표 1-1-3. RPC 사업의 성과(한국RPC연구회, 2003 ; 농식품부, 2005)

항 목	성 과
수확후 비용 및 노력절감	<ul style="list-style-type: none"> - RPC에서 수확후 건조, 저장, 가공작업의 일관 자동화 · 수확후 처리비용 절감율 : 34%(246,646원/톤→162,281원/톤) · 양곡손실 절감율 : 83%(6%→1%) · 노동투하시간 절감율 : 64%(33.7시간/톤→12.2시간/톤)
품질향상	<ul style="list-style-type: none"> - 산물처리 일관기계화를 통한 쌀 품질향상(일반미 대비 4~11%) - RPC계열화로 계약재배면적 확대 : ('07)농협RPC는 80%
유통개선	<ul style="list-style-type: none"> - 산지시장 점유율 증대로 산지유통의 거점화 · ('95) 7.4%(243천톤) → ('02) 40.0%(1,485천톤) - 농가수취가격, 유통부가가치 제고 : 11,330원/80kg, 2,670원/80kg
정부수매기능 보완과 안정적 판로제공	<ul style="list-style-type: none"> - 수확기 집중출하 흡수 · RPC매입량 : ('95)243천톤 → ('02)1,485천톤 · 정부수매량 : ('95)792천톤 → ('02) 397천톤
관련산업 발전에 기여	<ul style="list-style-type: none"> - RPC플랜트 및 첨단장비 해외수출 : 인도네시아, 인도, 베트남 등 - 첨단장비의 국산화 및 기술개발촉진 : 색채선별기, 곡물냉각기 등

2. 제 2세대 RPC(2ndG RPC)

- **(고품질쌀 생산으로 정책전환)** 구조적인 쌀 공급과잉 기조와 2004년 쌀 재협상을 앞두고 쌀 수급안정과 쌀 산업경쟁력 강화를 위해 2002년을 「“고품질 쌀”생산 원년의 해」로 규정하고, 고품질 쌀 생산체제로 전환을 중심으로 한 중장기 쌀 종합대책을 2002년 4월 18일에 발표하였음
- **(안전한 고품질쌀 생산으로 정책전환)** 쌀 개념이 단순한 「식량」에서 「식품이면서 상품」으로 패러다임이 전환되면서 정부는 2005년에는 농산물품질관리법을 개정하여 재배부분에 대해 생산이력관리 가이드라인을 마련하였으며, 2006년에는 쌀 GAP이력추적시스템 도입을 본격적으로 추진하면서 2002년부터 추진되어왔던 「고품질 쌀 생산」에서 2006년부터는 「안전한 고품질 쌀 생산」으로 전환되었음
- **(고품질쌀 생산정책추진)** 정부에서는 매년 고품질 쌀 생산대책을 발표하였으며, 2003년부터 2010년까지의 정부정책을 분석하면 정책은 크게 ① 고품질 품종육성 및 재배면적의 확대, ② 고품질쌀 재배기술의 강화, ③ RPC를 중심으로 한 수확후 관리시스템의 혁신, ④ 소비자에 신뢰받는 유통체계 확립 등 4가지 방향으로 추진되었음
- **(규모화를 위한 통합RPC 설립지원)** 정부에서는 안전성에 대한 요구가 없는 시대에 설치된 소규모, 노후화된 1stG RPC로는 쌀 관세화유예로 수입되는 외국산 쌀과 경쟁력 확보는 물론, Well-being, LOHAS시대에서 안전한 고품질 쌀을 찾는 소비자 needs의 충족이 불가능하다는 판단으로 RPC규모화(통합법인설립지원)정책을 2004년부터 추진하여 충남연기 등 3개 군을 시작으로 2014년 4월 현재 총 45개소 쌀조합공동사업법인(통합RPC)이 설립되었음(표 1-1-4)

표 1-1-4. 농협쌀조합공동사업법인(통합RPC)의 연도별 설립현황(농협중앙회, 2014)

인가년도	통합법인수	참여조합수			비참여조합수
		RPC조합	비RPC조합	계	
2004	3	8	6	14	3
2005	4	17	17	34	1
2006	1	2	8	10	1
2007	9	17	41	58	16
2008	4	8	20	28	4
2009	12	22	54	76	16
2010	2	2	17	19	0
2011	5	9	13	22	7
2012	2	3	7	10	0
2013	3	6	6	12	1
합 계	45	94	189	283	49

- (1stG RPC의 시설의 노후화) 이와 같은 국내의 환경변화에 따라 우리나라 쌀 산업의 중심이 되고 있는 RPC도 경쟁력 강화에 대한 변화를 요구받아 왔으나, 1991년부터 2001년까지 건설된 328개소 RPC의 거의 모든 가공시설(일부 자체적으로 remodeling 및 신축한 경우는 제외)이 내용연수 8년을 경과하여 노후화하였음
- (1stG RPC의 고품질 쌀 생산의 한계) 1stG RPC는 품질보다는 수율위주인 시기에 설계, 제작 및 설치되어 고품질 쌀 생산에 미흡하였으며, 2005년 한국식품연구원에서는 충남부여 등 통합을 희망하는 5개 지역에 대한 시설 및 가공기술에 대한 현장조사결과, 통합을 추진하는 RPC의 수준이 지나치게 낮아 고품질 쌀 생산이 불가능한 실정으로 전면적인 시설의 보완 내지 교체가 필요하다고 보고하였음(표 1-1-5)

표 1-1-5. RPC의 단위공정 품질관리능력(한국식품연구원, 2005)

점 수	개소수	비율(%)	종합판단
90점 이상	0	0	시설이 우수
80~89점	6	10.4	일부 시설보완 필요
70~79점	31	53.4	전면적 시설보완 필요
70점 이하	21	36.2	전면적 시설교체 필요
계	58	100	

주) ① 측정방법 : 농협중앙회와 한국식품연구원이 공동으로 개발한 단위공정품질관리능력 측정방법 활용
 ② 측정기간 및 측정대상수 : '04년부터 '06년까지 총 58개소 RPC

- (1stG RPC의 규모화 필요성 증가) 1stG RPC는 동일한 자금지원과 획일적인 시설기준이 적용되어 지역특성을 반영하기 어려웠고, 소규모로서 전문경영 및 기술 인력확보가 어려워 효율적인 품질 및 경영 관리가 이루어지지 않았을 뿐 아니라 신기술 도입이 지연되었고, 농협RPC의 경우 동일 원료권인 시·군별로 1~8개의 RPC가 보급되어 원료 확보와 판매에 RPC간 과다경쟁, 계절진폭이 없어짐에 따라 매출이익이 감소하여 기존 물량과 가동률로는 적자 운영이 불가피한 상태 등으로 RPC 통합에 대한 필요성이 급격하게 대두되었음(표 1-1-6, 표 1-1-7)

표 1-1-6. 1stG RPC중 농협RPC의 시·군당 설치현황

구 분	1시군 1RPC	1시군 2개소 RPC 이상							시군 합계
		8개소	7개소	5개소	4개소	3개소	2개소	소계	
시·군수	51	2	1	3	5	15	23	49	100

표 1-1-7. 2002년 당시 1stG RPC중 적자발생 농협 RPC

적자발생 농협 RPC('02년)	농협 RPC 200개소중 129개소(64.5%)
농협 RPC 평균손익('02년)	개소당 △127백만원
'94~'02년 누적손익	총 759억원(개소당 △380백만원)

- (2ndG RPC 모델개발 및 보급) 한국식품연구원에서는 2004년부터 2007년까지 3년간의 연구를 통해 GAP시설기준이 반영되고, 공정이 개선된 2ndG RPC모델을 개발하였으며, 정부에서는 RPC간 통합을 더욱 촉진하고, 쌀시장 개방폭 확대 및 소비자 needs변화에 대응한 품질경쟁력 제고를 위해 소비자가 만족하고 신뢰할 수 있는 시·군단위 대표브랜드 100개를 달성하기 위하여, 2007년부터 농림축산식품사업으로 고품질쌀브랜드육성(가공시설현대화)사업을 추진하여, 2017년 말 현재 59개소의 2ndG RPC가 보급되고 있음(표 1-1-8)
- (2ndG RPC 보급경위) 고품질쌀 브랜드육성(가공시설현대화)사업은 2007~2009년까지는 5톤/시간을 기준으로 개소당 20억원(보조 60%, 자부담 40%)을 지원하였고, 2010년부터는 7.5톤/시간을 기준으로 개소당 30억원 사업규모로 지원규모를 확대하였으며, 2011년부터는 가공능력 5~10톤/시간 이상으로 한국식품연구원에서 매년 제시하는 기준사업비를 기준으로 개소당 40억원 내외의 사업범위로 사업비를 탄력적으로 조정할 수 있도록 사업을 개선하였으며, 또한, 2016년부터는 본 연구결과중 일부를 반영하여 1인 가정의 증가 및 건강을 추구하는 소비자 needs를 반영하여 기존 지원했던 브랜드경영체에 대하여 친환경도정라인과 배아미, 발아현미, 혼합미 및 클린라이스 등 특수가공미 제조라인을 지원토록 하였으며, u-IT기반의 이력추적시스템 및 품질관리시스템을 지원토록 보완하였음(표 1-1-9)



그림 1-1-2. 일반적인 2ndG RPC 전경 및 가공실

표 1-1-8. 연도별 고품질쌀브랜드육성사업(2ndG RPC) 추진현황

추진연도	농 협		민 간	계
	통 합	연합 / 단독		
2007	경기안성, 충북진천, 충남연기, 충남부여, 전북정읍, 전북고창, 전남함평, 전남해남(옥천)			8
2008	충남예산, 전북서김제, 전남보성, 경북의성, 경기이천남부, 전남장흥(정남진)	경북상주(상주)	전북군산제회	8
2009	강원횡성, 전북익산, 전남영암, 경북경주, 경남김해	충남당진(신평), 전북남원(남원), 경남의령(의령), 경북안동(서안동)		9
2010	경기여주, 충북음성, 충남공주, 전남영광, 전남무안	경남함양(함양)	전남나주봉황, 경북김천진양	8
2011	충북청원, 충북충주	충남서산(운산), 경북포항(홍해)	경북의성삼안	5
2012	충남보령, 전북임실, 충남서천	-	충북청원광복	4
2013	인천강화, 경기과주		전북익산명천	3
2014		충남당진(송악)	전북김제새만금	2
2015	경북예천, 경남창녕		전북김제이택 전북부인라이스프라자	4
2016	충북청원 ¹⁾	전북익산(익산), 전북군산(대야)	충북청원광복 ¹⁾	4
2017		강원철원(동송), 전남순천(순천), 경남하동(하동)	전북익산명천 ¹⁾	4
계	34	14	11	59
	48			

¹⁾ 친환경 및 특수가공미도정라인 추가지원

표 1-1-9. 2ndG RPC의 보급경위

년 도	항 목	내 용
2002	정부정책 기조변화	· 쌀 수급안정과 쌀 산업 경쟁력 강화를 위해 정부에서 "고품질 쌀"생산 체 계로 전환을 중심으로 한 중장기 쌀 산업종합대책을 발표 - 2002년을 「고품질 쌀 생산 원년의 해」 로 규정
2003	경영평가제도 도입	· RPC 경영개선 유도를 위해 경영평가 제도를 도입('03년)하여 경영평가 결과에 따라 RPC별 매입자금 차등지원 실시 - RPC 벼 매입자금 지원: ('95)860억원→('03)9,184억원 →('09)10,000억원→('10)12,000억원→('14)12,308억원
2004	RPC통합추진	· 정부에서는 RPC규모화를 위해 2004년부터 RPC통합 지원 - 2004년 충남연기, 전북정읍, 전남보성 등 3개군 통합
2006	2세대 RPC 모델개발	· 한국식품연구원에서 2세대 RPC기본모델개발 - 쌀 산업 경쟁력 강화를 위한 RPC remodeling 모델개발
2007	정부주도 2세대 RPC 보급	· 정부에서 농어촌구조개선특별회계로 규모화된 사업법인형태의 쌀 브랜 드경영체에 대한 고품질쌀브랜드육성사업 추진 - 목표 : ('10)100개소, 지원단가 : 20억원(국고40%, 지방비20%) · APC대상 GAP시설기준을 RPC로 확대 적용
2010	성능위주 보급체계 구축 및 지원강화	· 고품질쌀브랜드육성사업(가공시설현대화)성능위주보급체계 구축 - 29종류의 RPC단위기계 및 장비성능검정체계구축(한국식품연구원) - 127개 항목의 시설구비사항 준용여부 성능검사(한국식품연구원) - 처리능력별 기준금액에 따른 차등지원체계 구축 · 고품질쌀브랜드육성사업(가공시설현대화) 지원단가 상향 - 지원단가 : ('09)20억원 → ('10)30억원
2011	정부지원 비율조정	· 고품질쌀브랜드육성사업(가공시설현대화) 정부지원 비율조정 - 지원비율 : ('10)국고40%, 지방비20%→('11)국고30%, 지방비30% · 연차별 고품질유통활성화사업의 기본모델 개발(한국식품연구원) - 2011~2017년도 대상 모델 및 기준사업비
2012	RPC의 GAP시설기준	· 정부에서 RPC에 대한 별도의 시설기준 제정(농수산물 품질관리법 시행 규칙 [별표 5])
2013	지원대상 완화	· 고품질쌀브랜드육성사업(가공시설현대화) 정부지원 대상완화 - 지원대상 : ('12)연간 원료곡 취급물량 15천톤 이상인 RPC → ('13) 연간 원료곡 취급물량 12천톤 이상인 RPC
2015	지원범위확대	· 소비자의 needs변화에 따라 고품질쌀브랜드육성사업(가공시설현대화) 지원범위확대 - 친환경도정라인 및 흑미 등 특수가공미 가공라인 지원 - u-IT기반 이력추적시스템 및 품질관리시스템지원
2017	RPC보급체계 변경	· 농림축산식품부에서 한국식품연구원을 RPC지원 정책사업에서 배제하고 자율 성능검사체제로 전환 - 목적 : 비용절감 및 시설다양화

- (2ndG RPC 보급모델 보완 및 연차별 모델개발 중단) 한국식품연구원에서는 2007년부터 보급되기 시작한 2ndG RPC의 현장에서 발생하는 문제점을 보완하기 위하여 2009년부터 2012년까지 연구를 통해 2ndG RPC의 보완모델을 개발하여 기준모델에 반영하였으며, 또한, 농림축산식품부의 요청에 의거하여 한국식품연구원에서 2010년부터 차기년도에 사용할 기준모델과, 전년도 실행한 조사결과를 바탕으로 기준사업비를 개발하여 2ndG RPC보급의 기본모델로 사용하였으나, 2017년 농림축산식품부에서 비용절감 및 시설 다양화라는 명분으로 한국식품연구원을 정책지원사업에서 배제함에 따라 중단되었으며, 이로 인해 한국식품연구원에서 실시되었던 단위기계 및 장비의 성능검정은 중단되었으며, 2ndG RPC건설 이후 실시하였던 객관적인 성능검사는 RPC와 소속협회의 자율적인 검사로 변경되었음
- (2ndG RPC 시설특징) 2ndG RPC의 시설특징은 ㉠ 가공능력 7.8ton/hr로 규모화(53개소 평균), ㉡ MMI(Man Machine Interface)에 의한 PC제어, 부산물 공기이송, 로봇적재 및 잔곡방지시설 도입 등 공장자동화 강화, ㉢ 안전성 확보를 위한 GAP시설기준 적용, ㉣ RPC단위기계 및 장비성능검정 제도, 가공시설현대화 성능검사제도 등 객관적인 성능체계구축 등을 들 수 있음
- (객관적인 성능검정체계) 2ndG RPC에 우수한 성능을 가진 단위기계도입을 목적으로 한 “RPC 단위기계 및 장비 성능검정제도(2010)”는 한국식품연구원에서 총 29종 중 20종 단위기계에 대해 실시하여 2016년말 현재 적합율 69.2%(52건 신청, 36건 적합)를 나타내었으며, 설치된 2ndG RPC 공정성능 및 127개항의 설치수준이 정부지원목적에 적합한지 여부를 검사하는 “성능검사제도(2007)”가 도입되어 공정성능은 물론 설치수준이 연차별로 높아지는데 기여하였으나, 2017년 사업부터는 농림축산식품부의 RPC지원사업에서 한국식품연구원이 배제함에 따라 한국식품연구원에서 실시되었던 사업은 중단되었음(표 1-1-10, 표 1-1-11)

표 1-1-10. RPC 단위기계 및 장비성능검정 대상(한국식품연구원, 2016년말)

구 분	1단계(2011년~)	2단계(2013년~)	3단계	소계
건조저장 시설	순환식곡물건조기, 조선키	집진시설	사일로, 호퍼스케일, 냉각장치, 이송시설	7
가공시설	정미시스템(연미기), 색채선별기(현미색채), 이물선별기	현미기, 현미분리기, 입선별기, 현미(백미)석발기, 원료정선기, 진동체선별기, 로터리쉬프트, 완전미선별기, 왕겨풍구, 포장기, 로봇적재기, 집진시설	이송시설 클린라이스 제조기	17
품질분석 장비	함수율측정장치, 품위측정기		성분측정기, 백도계, 제현율측정장치	5
계	7	13	9	29

표 1-1-11. RPC단위기계 및 장비성능검정 적합비율(자료 : 한국식품연구원, 2016년 말 현재)

품목	소계 (건수)	적합관정		부적합관정		비고
		건수	비율(%)	건수	비율(%)	
조선기	10	7	70.0	3	30.0	
순환식건조기	10	6	60.0	4	40.0	
색채선별기	9	6	66.7	3	33.3	
이물선별기	6	5	83.3	1	16.7	
정미기	6	4	66.7	2	33.3	
품위분석기	2	2	100	0	0	
현미석발기	2	1	50.0	1	50.0	
집진기	3	2	66.7	1	33.3	
포장기	4	3	75.0	1	25.0	
계	52	36		16		
비율(%)	100	69.2		30.8		

○ (1stG RPC 및 2ndG RPC 구분) ㉠ 1992년부터 2001년까지 보급된 초기 RPC의 시설특징과, 고품질 쌀브랜드육성사업으로 2007년부터 현재까지 보급되고 있는 RPC 시설특징에는 큰 차이가 있으며, ㉡ 1991~2001년에 보급된 초기 RPC와, 2007년부터 현재까지 보급되는 RPC간에는 시기별로도 차이가 발생함. 따라서 1991~2001년 보급된 RPC를 1stG RPC, 2007~현재 보급되고 있는 RPC를 2ndG라고 구분하고 칭하고 있으며, 시설상의 특징은 다음 표 1-1-12와 같았음

표 1-1-12. 1stG RPC와 2ndG RPC의 차이

항 목	1 st G RPC	2 nd G RPC
규 모	3.0ton/hr ¹⁾	평균 7.8ton/hr ²⁾ (5~10ton/hr, 백미생산기준)
자동화	일관체계(반입, 건조, 저장, 가공, 포장공정)	MMI(Man Machine Interface) PC제어, 로봇적재시스템, 부산물공기이송시스템 등
안전성	-	GAP 농산물우수관리시설기준(청결요구도별 칸막이, STS자재 사용, 잔곡방지시설, 청결외기도입시스템 등) 적용
운영관리	수작업(Excel 등)	YICS(Yield & Inventory Control System, 자동수율재고관리시스템) 등
객관적인 성능검정체계	-	단위기계 및 장비 성능검정, 가공시설현대화 성능검사

주) 1. RPC 1개소당 평균 가공능력 7,105톤을 환산한 능력(농관원 및 시군합동조사 결과, 2003. 1)

2. 본 연구에서 분석한 53개소의 평균치임

○ (2ndG RPC 향후 보급계획) 정부에서는 고품질쌀브랜드육성사업을 통해 소비자가 신뢰하는 생산·유통거점별 대표 브랜드경영체를 2020년 이후까지 75개소 육성할 계획이나, 연차별 사업신청 현황 및 기준사업비 변동, 광역통합RPC 추진 및 농협쌀판매회사 출현 등 여건변화에 따라 최종 완료연도와 최종 목표개소수가 다소 유동적일 것으로 전망됨(표 1-1-13, 표 1-1-14)

표 1-1-13. 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화사업)의 연도별 재정투입계획(단위 : 백만원)

구 분		2012년까지	2013년	2014년	2015년	2016년이후
합 계		778,820	40,650	29,250	38,250	659,750
고품질쌀 브랜드육성	소계	107,070	13,050	9,750	18,750	145,550
	국 고	40,675	3,955	2,925	5,625	43,665
	지방비	24,995	3,875	2,925	5,625	43,745
	자부담	41,380	5,220	3,900	7,500	58,140
벼건조·저장 시설	소계	665,750	24,600	19,500	19,500	472,200
	국 고	261,540	10,740	8,790	9,180	132,420
	용자	101,200	-	-	-	-
	지방비	47,185	2,460	1,950	2,080	47,220
	자부담	255,825	11,400	8,760	9,540	292,560

표 1-1-14. 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화사업)의 기준사업비¹⁾(단위 : 백만원)

구 분		지원 대상년도				
		2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
가공시설 (5ton/hr)	기계	2,242,358	2,248,363	2,157,956	2,770,951	2,809,988
	건축	1,192,590	1,578,977	1,904,726	1,306,223	1,306,223
	계	3,434,948	3,827,340	4,062,681	4,077,175	4,116,211
가공시설 (10ton/hr)	기계	3,024,908	3,341,444	3,645,148	3,502,386	3,666,170
	건축	1,861,238	2,126,670	2,167,992	2,202,419	2,249,906
	계	4,886,146	5,468,114	5,813,140	5,704,805	5,916,076
원료투입 시설	20톤/시간	443,447	479,371	479,371	479,371	479,371
	30톤/시간	519,949	544,233	572,519	572,697	573,046
건조시설	20톤/배치	81,121	81,121	81,121	81,121	81,121
	30톤/배치	91,234	93,926	95,735	96,082	98,051
저장시설	400톤(평)	248,310	260,300	260,300	256,707	254,466
	500톤(평)	291,001	282,751	299,266	295,539	295,949
	300톤(호퍼)	-	213,797	213,797	213,797	213,797
	400톤(호퍼)	214,325	224,522	225,796	225,796	225,796
	500톤(호퍼)	-	225,225	226,224	226,224	226,224

주) ¹⁾ 기준사업비 : 농림축산식품사업(7. 고품질쌀유통활성화사업) 사업비 지원기준이 되는 실 소요금액으로 농림축산식품부(한국식품연구원)에서 매년 전년도 설계가 및 낙찰율을 조사하여 발표하고 있으며, 농림축산식품사업지침서(7. 고품질쌀유통활성화사업)에서 당해연도 기준사업비 확인가능

3. 쌀산업에서 RPC 위치

○ (RPC 시설개소수 및 가공능력) 1stG RPC가 328개소가 보급되었고, 2ndG RPC가 59개소가 보급되었으나 통폐합, 폐업 및 신규진입 등을 통해 2014년말 현재 234개소의 RPC가 운영되고 있으며, 세대별 평균 규모(가공능력)는 1stG RPC가 3.0ton/hr 및 2ndG RPC가 약 7.2ton/hr 수준임을 감안할 때, 2014년 말 우리나라 234개소 RPC의 전체 가공능력은 899.4ton/hr 수준이며, 234개소 RPC의 산술적인 평균 규모(가공능력)은 3.8ton/h 수준으로 추정됨(표 1-1-15)

$$\text{※ RPC 가공능력} = [1^{\text{st}}\text{G RPC}\{3.0\text{ton/hr}\times 187\text{개소}\} + 2^{\text{nd}}\text{G RPC}\{7.2\text{ton/hr}\times 47\text{개소}\}] \div 234\text{개소} = 3.84\text{ton/hr}$$

표 1-1-15. 연도별 RPC 설치현황(농림축산식품부, 2014)

	구분	연도별 RPC 설치수(개소수)							
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
경영자 ¹⁾ 형태별	농협	173	164	161	155	152	152	152	151
	민간	113	109	103	98	83	81	83	83
계		286	273	264	253	235	233	235	234
세대별	1 st G RPC ²⁾	278	257	239	220	197	191	190	187
	2 nd G RPC	8	16	25	33	38	42	45	47

주) 1) 경영자형태별 RPC개소수는 농림축산식품부(2014. 3)자료임

2) 1stG RPC 개소수는 2ndG RPC(고품질쌀브랜드쌀육성사업)의 연차별 보급개소수를 제외한 추정치임

○ (처리물량 및 기능측면에서의 RPC 위치) ㉠ RPC는 연간 약 2,581천톤(2014년 기준)을 처리하여 우리나라 쌀 유통량의 63.6%를 담당하고 있고(표 1-1-16), ㉡ 유통구조 단순화로 유통비용 비중을 약 20%로 절감하였고, ㉢ 시설현대화 및 건조저장시설 등 수확후 품질관리 인프라 구축으로 안전한 고품질 쌀 생산기반이 되고 있으며, ㉣ 2005년 수매제 폐지이후 RPC중심 공공비축제 도입으로 시장자율기능이 강화되는 등 RPC는 우리나라 쌀 민간유통의 중심시설임(농림축산식품부, 2014)

표 1-1-16. 2014년 RPC 및 DSC에서의 벼 매입량 및 시설능력(농림축산식품부, 2015)(단위 : 천톤, %)

구분	생산량 (벼기준)	시중 벼 유통량 (A)	벼 매입량(B)		비율(B/A)		시설능력(C)			비율(C/A)		
			연간	수확기	연간	수확기	건조	저장	가공 (백미)	건조	저장	가공
계	5,638	4,059	2,581	2,078	63.6	51.2	3,699	1,853	2,948	91.1	45.7	100.9
(RPC)			2,406	1,922	59.3	47.4	3,446	1,724	2,843	84.9	42.5	97.3
(DSC)			175	156	4.3	3.8	253	130	105	6.2	3.2	3.6
(농협)			1792	1,543	44.1	38.0	2,926	1,353	2,034	72.1	33.3	69.6
(민간)			789	535	19.4	13.2	773	500	914	19.4	12.3	31.3

제 2절 광역통합 RPC(Mega RPC) 모델개발의 필요성

1. 기 보급중인 RPC의 문제점

- (쌀 관세화) UR협상 타결이후 지난 20년 동안 관세화유예 상태에서 쌀 산업경쟁력강화를 위해 정부에서는 영농규모화, 생산기반정비 및 유통개선 등에 지속적으로 투자하였으나, 의무수입량(MMA)이 40.9만톤(2015년, 소비량의 9% 수준)으로 추가 증가에 따른 우리나라 쌀 산업위축을 방지하기 위하여 정부는 2015년부터 관세화(관세율 513%)로 결정하였음
- (농가소득안정 및 쌀 산업발전대책) 쌀 관세화 전환을 앞두고 발표한 “농가소득안정 및 쌀 산업 발전 대책”의 4개 부분 18항목 주요 추진과제 중에서 본 과제와 관련된 항목은 ② 경쟁력제고 부분 ▶ RPC 통합으로 효율성 제고, ▶ 품질제고(중자보급, DSC 확충 등), ③ 쌀 소비촉진 및 수출확대 부분 ▶ 맛, 건강, 간편 중시 식습관 변화에 따른 맞춤형 접근, ④ 부정유통방지 부분 ▶ 수입 쌀 혼합판매 · 유통금지, ▶ 단속 기관간 협조, 단속기술 고도화 등 총 3개 부분 5개 세부추진과제임

[정부의 쌀 관세화 이후 농가소득안정 및 쌀 산업 발전대책 주요내용, 2014]		
목표	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 쌀 농가 소득안정장치 강화 ◇ 생산·유통의 규모화·조직화를 통한 경쟁력 제고 ◇ 생산기반 유지와 소비촉진을 통한 수급안정 동시 추구 	
부문	여건	추진 과제
① 쌀 농가 소득 안정	<ul style="list-style-type: none"> ○ 풍흉에 따른 쌀값 변동 심화 * 최근 5년간 최저 128천원/80kg, 최고 184 ○ 태풍, 저온피해 등 기상재해 증가 ○ 상대적으로 낮은 벼 재배소득 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 쌀 고정직직불금 인상 ▶ 이모작 활성화 ▶ 수입보장보험 도입 검토 ▶ 영세고령농 복지 강화
② 경쟁력 제고	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1ha미만 재배농가('13) : 54.8% ○ 외국쌀에 비해 높은 경영비·가격 ○ 품종혼합 등 생산·유통과정에서 품질관리체계 불완전 ○ RPC 33%가 가동율 50% 이하('12) ○ 벼 재배면적 감소 * ('08)935천ha → ('10)892 → ('13)832 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 전업농·들녘경영체 육성 ▶ 경영비 절감(신기술 보급, 금리인하, 농기계은행 확대 등) ▶ <u>품질 제고(중자보급, DSC확충 등)</u> ▶ <u>RPC 통합으로 효율성 제고</u> ▶ 우량농지 보전 및 간척지 이용 ▶ 농업생산기반 지속 확충
③ 쌀소비 촉진 및 수출 확대	<ul style="list-style-type: none"> ○ 밥쌀용 쌀 소비 감소 * 1인당 소비량 : ('03)83→('08)76→('13)67 ○ 쌀 가공식품산업 성장 * 매출액 : ('08)1.8조원 → ('13)4.1 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>'맛, 건강, 간편' 중시 식습관 변화에 따른 맞춤형 접근</u> ▶ 미래세대 중심 식생활 교육 ▶ 쌀 가공산업 육성 ▶ 수출업체 지원 확대 ▶ 쌀 자조금 조성 유도 ▶ 기능성쌀, 신소재 개발 및 실용화
④ 부정유통방지	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수입쌀 부정유통 발생 * ('09)35건 → ('11)145 → ('13)317 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ <u>수입쌀 혼합 판매·유통 금지</u> ▶ <u>단속기관간 협조, 단속기술 고도화</u>

- (RPC 시설의 노후화) 2014년 3월 현재 운영중인 234개소 RPC(농협 151개소, 민간83개소)는 세대별로는 1stG RPC가 187개소(79.9%), 2ndG RPC가 47개소(20.1%)이며, 고품질쌀브랜드육성사업을 제외한 시설개선 및 현대화 등은 고려하지 않고 보급시기만으로 판단할 때 연구시작 시점에서 모든 1stG RPC (1991~2001년)와 보급초기 2ndG RPC(2007~현재) 등 약 195개소 RPC(83.3%)는 내용연수(가공시설 8년)를 경과하여 노후화되었을 것으로 추정됨
- (규모화 및 현대화 필요성) 정부에서는 대형유통업체와의 쌀 교섭력 제고 및 경영효율화 도모(표 1-2-1, 표 1-2-2)를 위해 2014년 234개소인 RPC를 2024년까지 120개소로 통합을 목표로 하고 있으나 현재 RPC는 ㉠ RPC 평균은 3.8ton/hr로 소규모(일본 정미공장의 44.7%수준, 표 1-2-3)이고, ㉡ 약 195개소 RPC(83.3%)가 내용연수를 지나 노후화되었고, ㉢ RPC중 33%가 가동율이 50% 이하(2012년, 농림축산식품부)이며, ㉣ 농협RPC중 적자 RPC가 57.4%(2014년)로 절반이상으로서 (표 1-2-4) RPC 규모화와 현대화가 필요함

[“농가소득안정 및 쌀 산업 발전대책” 중 RPC 통합 관련부분]

- RPC 통합으로 거래 교섭력 제고 및 효율화
 - ('14) 234개소 RPC → ('24) 120개소로 통합
 - 통합RPC에는 벼 매입자금 규모·금리우대, 고품질쌀유통활성화사업 우선지원 등 인센티브제공
 - 전국단위 농협쌀회사를 설립하고, 2020년까지 쌀 가공센터를 10여개소 육성

표 1-2-1. 통합 RPC의 경영실적 개선효과(농림축산식품부, 2011)

구 분	통합 전(A)	통합 후(B)	비 고
개소당 평균매출액	74억원	211억원	137억원 증가
개소당 손익액	△137백만원	238백만원	375백만원
RPC 가동율	50%	80% 수준	30% 증가
쌀브랜드 수 감축	282개	58개	224개 감소
대형 거래처 확대	44개RPC 5개	17개RPC 28개	23개 증가
인력절감	280명	220명	60명 감소

표 1-2-2. 통합RPC의 쌀 가공비용 절감효과(농림축산식품부, 2011)

비통합 RPC(농협 174개 평균)					통합 RPC(농협 5개소 평균)					절감율 (A-B)/ A×100
가공 원료곡 (천톤)	가공비용(백만원)			톤당 제조비용 (천원,A)	가공 원료곡 (천톤)	가공비용(백만원)			톤당 제조비용 (천원,B)	
	노무비	제조 경비	계			노무비	제조 경비	계		
1,016	44,149	86,357	130,506	128	100	3,492	7,641	11,133	111	△13.3%

표 1-2-3. 일본의 정미공장 규모(2009, 全國瑞穂食糧検査協會)

구분	공장수	정미기 마력(HP)	처리능력(ton/hr) ¹⁾	평균처리능력(ton/hr)
도매 단독	249	48,420	2905.2	11.7
도매 공동	5	1,045	62.7	12.5
소매 단독	223	19,604	1176.24	5.3
소매 공동	28	2,525	151.5	5.4
도소매 공동	69	8,245	494.7	7.2
정미전업자	43	9,067	544.02	12.7
기타	20	2,573	154.38	7.7
계	637	91,451	5487.1	8.6

주) ¹⁾ 처리능력(ton/hr)은 정미기 1HP을 백미가공능력 60kg/hr로 환산한 값

표 1-2-4. 농협RPC의 백미 판매량 및 손익발생 현황(농협중앙회, 연차별 결산자료, 2014)

구분	판매량(천톤, 백미기준) 및 판매액(억원)				흑자 및 적자 RPC 개소수(개)				손익발생액(백만원)	
	총 판매물량(D)	총 판매액(E)	개소당 평균판매물량(D/B)	개소당 평균매출액(E/B)	흑자 RPC	적자 RPC(A)	소계(B)	적자RPC 비율(A/B)(%)	총손익(C)	개소당 손익(C/B)
2008	1,463	22,323	8.9	135.3	141	24	165	14.6	23,548	142.7
2009	1,467	21,618	9.1	133.4	50	112	162	69.1	△59,000	△364.2
2010	1,660	21,969	10.5	139.0	28	130	158	82.3	△104,100	△658.9
2011	1,632	23,298	10.5	150.3	142	13	155	8.4	42,300	272.9
2012	1,079	24,441	6.9	155.7	96	61	157	38.9	△500	△3.2
2013	1,054	25,496	6.8	163.4	114	42	156	26.9	5,700	36.5
2014	1,112	25,544	7.2	164.8	66	89	155	57.4	△30,500	△96.8

주) 농림축산식품부의 통계자료와 농협중앙회 집계자료간 RPC개소수의 차이는 농림축산식품부(RPC간 통합 인가시점기준)와 농협중앙회(실제 가동중단시점기준)의 시점차이에서 발생함

[일본의 규모화 사례 : 全農 Pearl Rice株式会社]

- 2014년 10월 동일본주식회사 및 서일본주식회사가 전농 Pearl Rice 주식회사로 합병
- 총자본금 : 40억 3,100만엔
- 연간매출액(2013년) : 1,044억엔
- 종업원수 : 456명
- 정미공장 : 新潟精米工場 등 11개 정미공장(1개 공장의 규모 약 20ton/hr 수준)

2. 광역통합 RPC(Mega RPC) 모델개발 필요성

- (광역규모의 통합 필요성) 2024년까지 120개소로 통합되는 RPC 규모와 개소수에 대해서는 추가연구가 필요하지만, 대형유통업체와 교섭력을 위해서는 약 50,000톤 이상 규모를 처리하는 것이 필요하다는 의견(전국통합RPC협의회 등, 2014)이며, 이에 적합한 가공규모는 15~20ton/hr(2ndG RPC 7.2ton/hr의 약 2~3배 수준), 원료권역은 83,000~110,000톤 수준으로서 당진, 김제 등 일부 시·군을 제외할 경우에는 시군단위 광역규모(Mega)통합이 불가피하며, 2020년까지 쌀 가공센터를 10개소 육성하겠다는 전국단위의 농협양곡(2015년 3월 설립)도 광역통합 사례로 판단됨(표 1-2-5)

[가공능력 15~20ton/hr의 원료권 추정]	
○ 연간 벼 원료 필요량 : 50,000~66,000ton	
- 가공능력 15ton/hr : $15\text{ton/hr} \times 8\text{hr/day} \times 300\text{days/year} / 0.724 \approx 50,000\text{ton}$	
- 가공능력 20ton/hr : $20\text{ton/hr} \times 8\text{hr/day} \times 300\text{days/year} / 0.724 \approx 66,000\text{ton}$	
· 정부산정기준(1일 8시간, 1일 300일 가동기준, 도정수율 72.4% 기준)	
○ 원료 권역 : 83,000~110,000ton	
- 가공능력 15ton/hr : $50,000\text{ton} \div 0.6 \approx 83,000\text{톤}$	
- 가공능력 20ton/hr : $66,000\text{ton} \div 0.6 \approx 110,000\text{톤}$	
· 시군 생산 원료중 통합RPC 취급비율 : 60% 수준으로 감안	

표 1-2-5. 전국 상위20개 시군별 벼 재배면적 및 생산량(통계청, 2014)

순 위	시도	시·군	재배면적(ha)	kg/10a	생산량(톤)
1	충청남도	당진시	20,380	795	162,070
2	전라북도	김제시	20,897	733	153,141
3	충청남도	서산시	20,268	739	149,846
4	전라남도	해남군	20,973	635	133,122
5	전라북도	익산시	17,303	729	126,213
6	전라북도	정읍시	14,730	732	107,822
7	전라북도	부안군	13,287	723	96,105
8	전라남도	영암군	15,199	619	94,138
9	경상북도	상주시	12,519	742	92,879
10	전라북도	고창군	12,406	744	92,298
11	전라남도	고흥군	13,602	678	92,176
12	경상북도	경주시	12,719	715	90,899
13	전라북도	군산시	12,474	724	90,253
14	경기도	화성시	13,565	660	89,492
15	충청남도	예산군	11,065	775	85,769
16	전라남도	나주시	13,347	637	84,972
17	충청남도	논산시	12,216	686	83,839
18	충청남도	아산시	10,681	784	83,692
19	강원도	철원군	10,259	800	82,071
20	경기도	평택시	12,957	631	81,726

- (광역통합RPC 모델개발의 필요성) 세계 식품시장의 mega-trends는 well-being 및 LOHAS, 미래 식품시장의 가장 강력한 키워드는 “건강”(Datamonitor, 2012)이며, 쌀에서 정책목표는 안전성의 확보 및 고품질로서, 가공규모 15~20ton/hr 수준으로 규모화되면서 건강, 안전성 및 고품질 생산이 가능한 광역통합RPC(Mega RPC) 모델개발이 필요하며, 새롭게 추가가 필요한 기술로서는 ㉠ 친환경 집진시스템 및 쌀 공기이송시스템 등과, ㉡ 현재 우리나라 쌀 시장도 쌀 소비량의 감소(2005년 80.7kg/인/년→2015년 62.9kg/인/년), 소위 슈퍼곡물의 해외직구 급증, 백미소비감소 및 현미소비증가, 배아미, 발아현미, 클린라이스, 영양강화미(코팅미), 혼합미 등 특수가공미에 대한 관심이 급증(2013.1 ~2015.5월에 특수가공미에 대한 언론보도건수 109건, 포털사이트 조사결과)하는 등 소비자 needs충족을 위한 특수가공미 대량생산시스템의 구축이 필요함
- (연구항목의 도출) 따라서, 본 연구는 ㉠ 특수가공미 대량생산에 필요한 5가지 요소기술, ㉡ 친환경 집진시스템 및 쌀 공기이송시스템 등 2가지 요소시스템과, ㉢ 이들 결과가 총합된 광역통합 RPC가공 공정모델, ㉣ u-IT기반 RPC 광역통합관리시스템, ㉤ 광역통합시 객관적이면서 식미위주의 벼 매입 체계 구축을 위한 가격지수의 개발 등으로 구성하고, 광역통합RPC의 정부정책으로 보급체계(규모, 소요동력, 소요공간, 시설구비사항, 설치비용 및 기준도면 등)를 구축하고자 하였으며, 연구기간(3년)동안 연구개발 요소기술 11가지의 개발을 위하여 각 요소기술에 대해 현재 보유중인 기술수준을 정확하게 파악하고, 전문업체인 위탁/참여기업과의 협의를 거쳐 실용적인 연구개발이 되도록 연구항목을 도출하고 연구를 수행하였음(표 1-2-6)

표 1-2-6. 세부과제별 연구개발 요소기술의 기술확보 현황(○ : 확보, △ : 일부확보, × : 미확보)

구 분	세부과제명	연구개발 요소기술	현재까지 기술보유(확보)상태				
			품질(성능) 기준	설계조건	시스템 제조기술	시스템 운영기술	산업화 기술
제 1세부 과제	광역통합 RPC모델 개발	① 광역통합 RPC가공공정모델	○	△	△	△	△
		② 친환경집진시스템	○	△	△	△	△
		③ 공기이송시스템	○	△	△	△	△
		④ 배아미제조시스템	○	○	△	△	△
		⑤ 발아현미제조시스템	○	△	△	×	×
		⑥ 클린라이스제조시스템	○	○	△	△	△
		⑦ 영양강화미제조시스템	자가기준	△	△	×	×
		⑧ 혼합미제조시스템	자가기준	△	△	×	×
제 2세부 과제	u-IT기반 광역통합 RPC관리 시스템개발	⑨ u-IT기반 광역통합관리 시스템	○	△	△	△	×
		⑩ 통신 프로토콜 및 PLC memory map기준	○	△	△	△	×
		⑪ 원료가격지수	△	△	×	×	×

- (연구팀의 구성) 이를 위해 친환경집진시스템, 공기이송시스템, 특수가공미 대량생산시스템, 정부정책으로 보급체계 등으로 구성된 광역통합 RPC모델개발과, u-IT기반 RPC 광역통합관리시스템개발 등 2개 과제로 구성하고, 한국식품연구원이 주관연구기관이 되고, 공주대학교 등 1개소의 위탁연구기관과, RPC설계부분에 20년 이상의 경험을 보유한 대주종합기술단 및 협동엔지니어링 등 2개 업체, 정미기, 통합집진기 등 단위기체는 물론 RPC시공경험이 풍부한 전문업체인 iGSP, 한국토요 등 2개 업체, GIS/LBS 등 IT 전문업체인 모람씨엔티 등 총 5개소의 위탁/참여기업으로 연구진을 구성하여 연구결과가 바로 실용화가 가능한 연구체계를 구축하고 연구를 수행하였음(그림 1-2-1)



그림 1-2-1. 기획연구과제의 구성

- (최종 보고서의 작성) 본 최종보고서는 앞의 연구계획(표 1-2-6)의 세부과제별 연구개발 요소기술 등을 구분하여 제 2, 3장 등 2장으로 구분하여, 제 2장에는 광역통합RPC 요소기술 개발이라는 제목으로 특수가공미 대량제조공정개발, 광역통합RPC 요소기술개발 및 잡곡류의 대량제조공정 개발 등을 수록하였으며, 제 3장에는 저에너지 친환경 광역통합RPC 가공공정 모델개발이라는 제목으로 광역통합RPC 가공공정 모델설계, u-IT기반 광역통합관리시스템 모델개발, 식미 및 수율기반 원료가격 저수 개발 등의 내용을 수록하였음

제 2장 광역통합 RPC 요소기술 개발

제 1절 특수가공미 대량제조공정 개발

- 2014년 우리나라 쌀 소비량이 65.1kg/인/년으로 전년대비 2.1kg(3.1%)감소하는 등 2005년부터 10년 동안 연평균 2.3% 정도가 감소하였으며, 일본 및 대만의 쌀 소비량 추세를 감안할 때 2024년 51kg로 저하될 전망(농림축산식품부, 2014)으로 식량안보 및 통일대비 생산기반유지, 기후변화에 따른 쌀 생산량 절대감소(농촌경제연구원, 2015)대비를 위한 쌀 소비량 감소저지 대책마련이 시급함

표 2-1-1. 우리나라 연간 1인당 총 양곡소비량(단위 : kg/인/년, % ; 통계청, 2015)

구분	총 양곡			쌀				기타 양곡			
	소비량	증감	증감률	소비량	비율	증감	증감률	소비량	비율	증감	증감률
2009	82.3	-1.6	-1.9	74	89.9	-1.8	-2.4	8.3	10.1	0.2	2.5
2010	81.3	-1.0	-1.2	72.8	89.5	-1.2	-1.6	8.5	10.5	0.2	2.4
2011	78.6	-2.7	-3.3	71.2	90.6	-1.6	-2.2	7.4	9.4	-1.1	-12.9
2012	77.1	-1.5	-1.9	69.8	90.5	-1.4	-2.0	7.3	9.5	-0.1	-1.4
2013	75.3	-1.8	-2.3	67.2	89.2	-2.6	-3.7	8.1	10.8	0.8	11.0
2014	73.8	-1.5	-2.0	65.1	88.2	-2.1	-3.1	8.7	11.8	0.6	7.4
평균	81.3	-1.6	-2.0	73.2	90.0	-1.7	-2.3	8.1	10.0	0.1	1.0

표 2-1-2. 연간 1인당 기타양곡소비량(단위 : kg/인/년, %)(통계청, 2015)

구분	보리쌀		밀가루		잡곡		두류		서류		계
	소비량	증감률	소비량	증감률	소비량	증감률	소비량	증감률	소비량	증감률	
2009	1.2	9.1	1.5	7.1	0.5	0.0	2.3	0.0	2.8	0.0	8.3
2010	1.3	8.3	1.5	0.0	0.7	40.0	2.3	0.0	2.7	-3.6	8.5
2011	1.3	0.0	1.4	-6.7	0.6	-14.3	1.8	-21.7	2.4	-11.1	7.4
2012	1.3	0.0	1.3	-7.1	0.6	0.0	1.9	5.6	2.2	-8.3	7.3
2013	1.3	0.0	1.3	0.0	0.8	33.3	2.1	10.5	2.7	22.7	8.1
2014	1.3	0.0	1.2	-7.7	1.0	25.0	2.5	19.0	2.8	3.7	8.7
평균	1.23	1.01	1.37	-2.22	0.62	9.34	2.35	0.44	2.56	1.89	8.1

- 세계 식품시장의 mega-trends는 well-being 및 LOHAS, 미래 식품시장의 가장 강력한 키워드는 “건강”(Datamonitor, 2012)으로서 퀴노아, 아마란스, 렌틸콩, 병아리콩 등 소위 “슈퍼곡물”의 해외직구가 급증하여 곡물류 수입건수는 2009년보다 9,343%증가(국세청, 2015)하여 쌀 소비감소 및 국내산 잡곡판매 급감(광복농산, 2015)에 큰 영향을 미치고 있음

- 쌀의 소비패턴도 건강중심으로 변화하여 현미가 백미를 상당부분 대체하는 경향(가구당 현미구입량은 8.2kg(2010)에서 9.9kg(2012)으로 20.7%가 상승, 농촌진흥청, 2013)으로서, 2015년 기준 이전 3년간 준공된 2ndG RPC는 모두 현미제품 출하라인을 기본으로 설치(한국식품연구원, 2015)하고 있음. 또한, 우리나라 1인 가구 비율이 약 27.1%(2015년 추계치, 통계청)로 증가추세로서 편리한 클린라이스에 대한 수요가 발생하는 등 쌀에서도 “건강”과 “편리성” 추세가 뚜렷해지고 있음
- 특수미 또는 특수가공미(specialty rice)는 사전에서 찾아보기 어려운 단어로서 RPC업계에서는 일반적인 쌀에 비해 재배방법, 가공방법 및 품종 등이 다른 쌀을 의미하는데, 보다 구체적으로 구분하면 가공방법 및 혼합/첨가방법에 따라 제조된 배아미, 클린라이스, 발아현미, 영양강화미 및 혼합미는 통상 특수가공미라고 칭하고 있으므로 본 연구에서도 이와 같은 관행에 따라 특수미 용어보다는 특수가공미라고 칭함. 일본에서는 거의 동일한 의미로 부가가치미(附加價値米)가 사용되고 있음

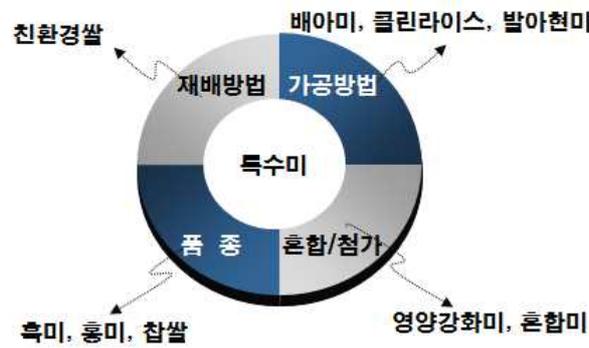


그림 2-1-1. RPC업계에서 일반적으로 통용되는 특수미 구분

- 현미식(잡곡혼합)의 소화·흡수율저하(백미 98%, 현미 90%), 거칠고 딱딱한 식감, 높은 phytic acid 함량(현미 1.03~1.17 wt%)(大海 淳, 2001) 등의 문제를 해소할 수 있는 배아미 및 발아현미는 물론, 1인 가구 증가 등으로 요구되는 편리성이 높은 클린라이스, 특정질병예방 및 치유와 재미를 더하는 영양강화미(코팅미) 등 특수가공미가 최근 언론보도 등을 통해 재조명받고 있음(표 2-1-3)

표 2-1-3. 현미 및 특수가공미 관련 기사보도 현황(2013. 1~2015. 5, Portal site 검색결과)

구 분	언론보도 기간			계
	2013.1~2013.12	2014.1~2014.12	2015.1~2015.5	
현미(발효현미, 가공제품, 기타 포함)	2	18	22	42
배아미	—	5	8	13
발아현미	2	8	6	16
클린라이스	4	7	2	13
영양강화미	2	5	3	10
혼합미(잡곡)	3	3	9	15
계	13	46	50	109

○ 2015년 2월~5월초까지 서울 인근 대형마트 및 인터넷을 통해 특수가공미제품을 수집한 결과, 배아미 18종, 발아현미 8종, 영양강화미 11종, 클린라이스 8종, 혼합미 6종정도로서 미미하였고, 소형마트 등 기타 판매물량을 감안하여도 국내 제조판매제품은 많지 않을 것으로 판단되며, 특수가공미 판매가격은 일반백미의 약 308% 수준(표 2-1-4)으로 매우 높아 RPC입장에서는 시설설치비와 수율을 감안하여도 판매문제만 해결된다면 충분히 부가가치제품으로 생산될 수 있다고 판단됨

표 2-1-4. 시중에 유통 중인 특수가공미와 일반미 가격비교

구분	백미	특수가공미										평균	
		배아미		발아현미		영양강화미		클린라이스		혼합미			
조사대상 제품수(종)	19	21		8		11		8		6			
가격(원/kg) 및 백미대비 비율(%)	단가(A)	단가(B)	B/A ×100	단가(C)	C/A ×100	단가(D)	D/A ×100	단가(E)	E/A ×100	단가(F)	F/A ×100	단가(G)	G/A ×100
	2,866	3,579	125	8,975	313	13,941	469	7,610	247	7,596	265	8,340	308.8

○ 아직까지 우리나라에서 특수가공미와 관련된 통계는 없으나 영양 및 편리성을 갖춘 배아미가 최근 mega-trends에 잘 일치하고 있고, 일본은 부가가치미가 쌀 유통량의 약 15.0% 수준(배아미 2.4%, 발아현미 3.7%, 클린라이스 7.0%, 영양강화미 1.9% 등)에 달하고 있다는 점과, 최근 대형마트 등에서 배아미 등을 판매하기 시작하였고, 대기업에서 GABA쌀(백미)을 출시하는 등 시장수요도 증가하고 있는 점을 감안한다면 향후 특수가공미에 대한 수요는 대단히 증가할 것으로 예측할 수 있음

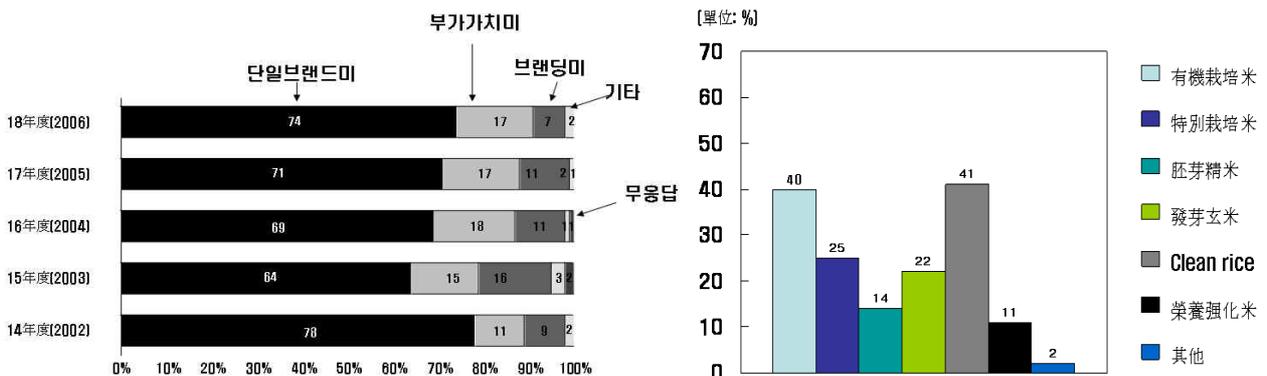


그림 2-1-2. 일본에서 소비자 구입 쌀 종류 및 부가가치미 종류(중복응답 포함)(全国瑞穂食糧検査協会, 2007)

○ 이상과 같이 1인당 쌀 소비량의 감소, 건강중시 소비자의 needs에 따라 현미 및 잡곡의 소비증가, 언론의 특수가공미에 대한 관심이 급증하면서 대형유통업체에서 RPC에 특수가공미의 출하를 요청하는 경향이 높아졌으며, 농식품부에서도 쌀 소비촉진정책의 일환으로 그동안 소규모 시장에서 생산되던 특수가공미의 RPC에서 생산에 깊은 관심을 가졌으며, 그 결과 광역통합RPC에서 대량생산하기 위한 시스템개발항목이 농식품부의 요청에 의해 본 기획과제에도 반영된 것으로 알려져 있음

- 농림축산식품사업으로 추진 중인 잡곡처리시설이 단일품목을 취급함에 따라 연간가동율의 저하는 물론 제조원가 상승으로 경쟁력이 저하하며, 주 활용시기 차이에도 불구하고 RPC 및 DSC와 별개시설로 지원함에 따라 중복시설의 설치로 투자 효율성저하, 대형업체의 다품목 요구해소 한계 등의 문제점이 보고되고 있어, 잡곡도 광역통합RPC에서 일관 관리하는 체계구축에 대해 농식품부에서 일부 검토가 진행되었음
- 주지하는 바와 같이 우리나라에서도 배아미, 클린라이스, 발아현미, 영양강화미 및 혼합미 등 특수가공미는 시장에 보급된지도 오래되었고, 비교적 많은 연구가 진행되었으며, 특허도 일정 이상이 출원된 제품들로서, 본 연구에서는 각 특수가공미 제조기술에 대한 기초연구보다는 대량생산에 필요한 시스템개발과 관련된 실용연구에 중점을 두었음
- 이를 위하여 본 연구는 문헌, 특허검색, 시장조사 및 업체조사 등을 통한 선행기술에 대한 조사를 실시하였으며, 이를 바탕으로 대량생산에 필요한 품질 및 제조조건을 정립하고, 광역통합RPC에 설치할 수 있는 연속식 대량제조공정을 설계하고, 핵심시스템을 개발하여 실험을 통해 보완한 다음, 현장 적용실험을 통해 보급체계를 구축하는데 목적을 두었음
- 특수가공미에 대해 문헌, 특허검색 및 시장조사를 실시하였으며, 약 20개소의 국내외 특수가공미 생산업체의 현황을 방문조사하였고, 배아미, 발아현미, 클린라이스 및 혼합미에 대한 자료를 통한 선행기술을 조사하여 특수가공미의 품질 및 제조조건을 정립하였으며, 품목별로는 제조조건별 품질에 미치는 영향을 조사하였음
- 배아미는 관련된 국내외 선행연구, 일본의 기준 및 유통현황, 국내 유통현황 및 시설 등은 물론, 국내에 유통되고 있는 제품과 일본에서 유통 중인 배아미를 수집하여 품질특성을 조사하였으며, 배아미의 품질 및 제조조건을 구명하고, 배아미의 품질기준(안)을 정립하고, 이 품질기준(안)을 만족시키는 RPC에서 사용가능한 수준의 배아미 연속식 대량제조시스템을 개발하고, 기술이전을 통해 상용화하는 것을 목표로 연구를 추진하였음
- 발아현미는 국내 및 일본에서 유통되고 있는 제품의 품질특성과 생산시설을 조사하였으며, 연속식 대량제조시스템의 설계에 필요한 다양한 제조조건에 따른 품질특성의 구명을 통해 시스템의 설계기준을 정립하였음. 이를 통해 대량제조시스템 시작품의 상세설계 및 제작하였으며, 시작품의 성능실험 및 보완을 하였고, 현장에 보급가능한 상용화모델을 설계하고 기술이전을 통해 RPC에 보급될 수 있도록 하였으며, 현재 명천RPC(익산 소재)에 설치 중으로서 본 과제가 종료되더라도 설치완료 후 현장 성능평가를 추가적으로 실시할 계획임
- 클린라이스는 품질 및 설계기준 설정을 위해 국내 및 일본에서 유통되고 있는 제품의 품질특성을 조사하였으며, 일본의 생산시설 및 시스템을 조사하였고, 연속식 대량제조시스템을 설계 제작하여 현장 실험을 실시하고 이를 통해 보완하였으며, 기술이전을 통해 RPC에 보급될 수 있도록 하였음
- 영양강화미는 국내외에서 유통되고 있는 제품의 유통실태를 조사하였으며, 제조조건에 따른 품질특성을 구명하였음. 혼합미는 국내에서 유통되고 있는 제품의 품질특성을 구명하였고, 설계한 혼합미 대량제조시스템의 현장실험을 실시하였으며, 상세한 연구결과는 다음과 같았음

1. 배아미

- 쌀 영양소 중 약 66%는 쌀눈(배아, embryo, 胚芽), 29%는 쌀겨(과피, 종피, 호분층), 5%는 백미(배유)에 존재(농진청, 2011)하는 것으로 알려져 있는데, 배아미는 쌀 낱알에 배아를 남기기 위하여 특별하게 도정된 백미를 말하며, 배아미에는 GABA(γ -aminobutyric acid), γ -oryzanol, γ -linolenic acid, octacosanol, β -sisterol, α -tocopherol, Vitamin B군(B1, B2, B6), Calcium 및 식이섬유 등이 많아 근육강화, 두뇌발달, 노화방지, 고혈압이나 당뇨 등 성인병 및 비만예방, 피부미용 등에 효능이 있음(베이비타임즈, 2014)

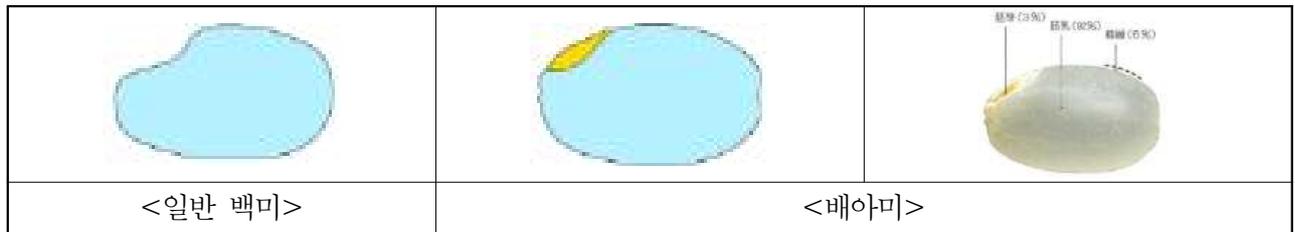


그림 2-1-1-1. 배아미 및 일반미의 구분

- 우리나라에서 배아미는 오랫동안 제조 판매된 것으로 알려져 있으나 배아미 역사에 대해 정리된 자료는 거의 전무한 상태이고, 근래의 세계 식품시장의 mega-trends인 well-being 및 LOHAS 시대의 도래에 따라 건강이 중시되면서 배아미 유통이 증가하고 있으며, RPC를 중심으로 배아미 제조시스템의 설치에 관심이 많으며, 문의도 급증하는 추세이나, 우리나라는 아직까지 제조 또는 품질기준도 없을 뿐 아니라 국내에서 제작된 배아미 제조시스템도 없는 상태임
- 따라서 본 연구에서는 배아미의 품질기준(안)을 구명하고, RPC에서 연속적으로 사용이 가능한 배아미 제조시스템의 개발을 목표로 연구를 추진하였으며, 이를 위해 먼저 배아미의 품질 및 제조조건을 분석하였고, 배아미 품질 및 제조기준 정립하였으며, 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품을 설계 및 제작한 다음, 현장실험 및 보완하였으며, 세부적인 연구결과는 다음과 같았음

가. 배아미 품질 및 제조조건 조사분석

(1) 선행기술 조사

(가) 조사방법

- 배아미의 품질 및 제조조건을 분석하기 위하여 기존의 배아미시스템에 대한 논문 및 특허 등 선행기술은 물론, 일본의 품질기준을 조사하였고, 실제 배아미를 제조하여 유통하는 RPC를 방문하여 제조시스템에 대해서도 조사하였음
- 배아미에 대한 연구현황은 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr, 검색어 : 배아미)를 통해 조사하였고, 배아미에 대한 특허 및 상표는 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스(www.kipris.or.kr, 검색어 : 배아미))를 통해 조사하여 분석하였음

- RPC에 적용되고 있는 배아미제조시스템에 대해 4개 RPC에서 국내 및 외국에서 제조된 소위 배아미 제조시스템의 구성 및 세부기술 등에 대해 조사 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

(나) 결과 및 고찰

① 배아미에 대한 선행연구

- 배아미는 일본에서 비타민 B₁(thiamin)결핍으로 발생하는 질병인 각기병(beriberi, 脚氣病) 예방을 위해 1927년부터 판매되기 시작한 특수가공미로서, 각기병은 '나는 할 수 없어, 나는 할 수 없어(I can't, I can't)'를 의미하는 스리랑카 원주민의 언어로부터 유래한 전형적인 비타민 B₁결핍증으로 주로 주식인 백미인 경우에 나타나며, 식욕저하, 체중감소, 무기력증, 무감각, 단기 기억력 상실, 혼돈, 소화기계 통증, 과민, 말초신경 무감각, 근육약화 등의 증상이 발생함(서울대학교병원)

표 2-1-1-1. 일본의 배아정미 역사

연도	주요 내용	비고
1878	내무성 부립 각기병원설립, 각기병 조사시작	
1904~5	러일전쟁중 육군 사망자 48,000명중 28,000명이 각기병 사망자	
1923	전국 각기병환자 27,000명, 인구 10만명당 사망자 46명	
1924	배아미 상용주창(島蘭교수)	
1927	배아미 시판시작, 육군용으로 채택	
1932	각기병의 원인이 B ₁ 부족임을 임상실험으로 증명(島蘭교수)	
1977	식량청에서 배아미실시요령제정	
1978	배아정미보급협의회 설립	
1993	쌀의 대홍작으로 배아정미 생산 소비량 격감	
1997	배아정미 신규격 제정(배아정미보급협의회, 일본정미공업회)	
2000	배아정미를 포함한 현미 및 정미표시기준제정(농림수산성 고시)	
2002	배아정미협의회 해산	
2004	21배아정미추진협의회 설립	haigaseimai.com

- 우리나라의 배아미 역사에 대해 정리된 자료는 거의 찾아보기 어려운 상태로서, 배아미에 대한 연구 현황을 조사(검색 DB : 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr), 검색어 : 배아미)한 결과, 관련 논문은 30건, 보고서는 11건 검색되었으며, 국내에서 배아미에 관한 연구로는 주로 전남대 및 농진청에서의 주로 진행되었으며, 그 중 대표적인 연구결과는 다음 표 2-1-1-2와 같았음

- 조사한 연구결과를 배아미에서 배아부착율(이하 “배아잔존율”과 혼용)에 영향을 갖는 원료 현미의 함수율, 연삭속도, 도정단계 및 변속 여부, 연삭돌 입도크기, 출구저항, 원료투입량 및 품종 등의 인자로 구분하여 분석한 결과는 다음 표 2-1-1-3과 같았음
- 한편, 배아미에 대한 특허검색(검색 DB : 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스(www.kipris.or.kr), 검색어 : 배아미)결과, 133건이 검색되었고, 대표적인 시스템 관련 특허는 다음과 같았으며, 배아미에 대한 상표등록 검색(특허정보넷 키프리스, www.kipris.or.kr), 검색어 : 배아미)결과, 27건이 검색되었으며, “배아미”, “쌀눈쌀” 등 다양한 브랜드명으로 유통되고 있었으나, 상표등록은 대부분 거절(소멸 또는 일반)된 상태이었음

표 2-1-1-2. 배아미 관련 주요 논문 및 연구보고서

구분	제목	저자	학회지/보고서	
1	논문	연삭마찰식 입형 배아미 생산시스템 개발	임기택, 김장호, 정종훈	산업식품공학, 18(3):242-247(2014)
2	논문	입형정미기를 이용한 청결배아미 제조기 개발	엄천일, 정종훈	바이오시스템공학, 29(2): 121-130(2004)
3	논문	Development of an Automatic Packer Using Vacuum Packaging and its Effects on the Rice Quality	Yan TY, Chung JH, Rhee CO	바이오시스템공학, 29(2): 131-140(2004)
4	논문	일본의 쌀 생산, 유통 및 이용 현황	Inouchi Naoyoshi	식품저장과 가공산업, 1(1): 17-26(2002)
5	학위논문	기능적 가상시작기 기술을 이용한 자동진공포장기의 모델링, 시뮬레이션 및 개발	엄천일	전남대학교 박사학위논문(2005)
6	보고서	벼 도정시 쌀눈잔존율 향상기술 개발	오성환 등	국립식량과학원 (2012)
7	보고서	청결배아미 제조시스템 및 연속식 자동진공포장시스템 개발	정종훈 등	전남대학교(2005)

표 2-1-1-3. 배아미 제조인자에 대한 연구동향

항목	주요 연구내용 요약	비고
함수율	· 함수율 14.5~15.4% 범위에서 배아부착율이 급격히 감소하였으며, 낮은 함수율에서 도정하거나, 높은 함수율에서 배아부착율을 향상시킬 방법이 필요하였음	엄과 정(2004)
연삭속도	· 함수율 13.2%~16.2%까지는 900rpm일 때의 배아부착율이 1,100rpm의 배아부착율보다 2~8% 높게 나타났으며, 16.2% 이상에서는 배아가 거의 부착되지 않았음	엄과 정(2004)
정속/변속	· 정속도정에서는 백도는 서서히 증가하는 반면 배아부착율은 3회전 이후 감소폭이 커졌으며 변속도정에서는 백도는 서서히 증가하고 배아부착율은 서서히 감소하는 경향을 보였음	오 등(2012)
연삭돌입도크기	· 처리량 2.3ton/hr과 최소 출구저항의 조건하에서 각각 함수율 16.2%, 15.3%, 14.3%일 때 50목의 연삭돌을 사용한 경우의 배아부착율이 35목의 연삭돌을 사용할 때보다 각각 약 13.2%, 11.0%, 3.5% 각각 높게 나타났음	정 등(2005)
품종	· 연삭식 도정시 평균 배아부착율은 메벼 71.8%, 중간찰벼 98%, 찰벼는 약 98.5%수준이었으며, 일반도정 10분도미와 연삭식 도정과 배아부착율 차이는 메벼 약 58%, 중간찰 61%, 찰벼는 75%범위로 큰 차이를 보였음	오 등(2012)
포장	· 배아미와 현미를 진공포장한 후 실온에서 보관하면서 14주 동안 2주마다 과산화물가와 산가를 분석하여 산패도를 측정된 결과, 배아미와 현미를 진공포장할 경우 비포장하였을 때보다 산패가 억제되어 10주 정도의 저장기간이 연장되었음	김 등(2003)

표 2-1-1-4. 배아미 관련 특허

	구분	발명의 명칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	특 징
1	등록	건식 무세 배아미 제조장치	김환진, 김현돈 등	101408967	2014.6.11	· 연마날을 1차 다이아몬드, 2차 텅스텐브러쉬 2차 가공 · 가압판 및 테이프론재질의 브러쉬로 쌀표면 미분제거
2	등록	저온 균압 분도조정 쌀눈 쌀 정미기	(주)지에스 바이오텍	101077950	2011.10.24	· 저온균압냉각내 미세가루배출 · 도정분도를 자유롭게 조절
3	등록	쌀눈 쌀을 이용한 무균화 포장밥의 제조방법	씨제이 제일제당(주)	100903488	2009.6.10	· 저속균압방식 백미같은 쌀눈쌀 제조
4	등록	쌀의 저속균압 도정 방법 및 이에 의해 도정된 쌀	씨제이 제일제당(주)	100853819	2008.8.18	· 쌀눈보유 및 백미같은 백도로 현미 가공하는 저속균압도정
5	등록	도정기 및 이를 이용한 배아미 가공장치	주식회사 나노미	100776625	2007.11.8	· 현미의 미강층 및 쌀눈 보호 · 외강층만 제거 배아미 가공
6	등록	원통 양방향 회전 연삭 도정 장치	(주)디미원	100827360	2008.4.28	· 현미 연삭하여 도정하는 원통양방향회전연삭도정장치
7	등록	발아배아미의 제조 방법 및 장치	가부시끼 가이샤 사파께	100904977	2009.6.22	· 발아현미에 온습도(스티밍)처리로 표면 부착수 제거 · 연삭 및 마찰식정미기 제조
8	출원	발효효소를 이용한 배아미의 제조 방법	위원길	102012013 8971	2012.12.3	· 효소 2-10분도 배아미 도정

② 배아미 제조 및 품질기준

- 일본은 정부에서 배아정미에 대해 “멥쌀정미 중에서 배아를 포함한 정미중량비율이 80%이상인 것”으로 품질 최저기준을 정하고 있고, 일본곡물검정협회에서 검정을 실시하고 있음. 한편, 민간에서는 21배아정미협회(女子營養大學, 五明교수)에서 2가지 기준을 제시하고 있는데, 조사결과 현재 일본의 경우 구 기준(배아부착율 80%이상, 정백수율 91.5%, 정미백도 34%이상)에서 신 기준(배아부착율 85%이상, 정백수율 91.0%, 정미백도 38%이상)으로 전이되는 단계로 파악되고 있음
- 일본식품표준성분표(五訂, 科學技術廳資源調査會 編)에서는 배아정미의 정백수율은 91~93%(도정도 7~9%)로 일반백미의 90~92%(도정도 8~10%)에 비해 약 1% 높은 수준으로 제시하고 있으며(국내 농협RPC 도정도 9.5%), 영양 또는 기능성 성분은 현미보다는 다소 낮으나 일반백미보다는 높은 약 50% 정도를 도정한 수준을 칭하고 있는 것으로 조사되었음
- 우리나라의 배아미 제조 또는 품질관련 기준은 없는 상태이며, 관련연구도 매우 미흡한 현실로서 유통되고 있는 배아미는 특별한 기준 없이 자의적으로 생산되고 있는 상태로서(다음 절 참조) 우리나라에서 사용될 수 있는 배아미 제조 및 품질기준 설정이 필요함

표 2-1-1-5. 배아미 관련 상표등록

	구분	명 칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	상 표
1	등록	아빠마음 쌀눈쌀 부심배아미	지에스 바이오텍	401081671	2015.1.15	
2	등록	명인의 밥상 masters table	지에스 바이오텍	450053231	2015.1.9	
3	등록	잃어버린 쌀눈을 찾아서	경기도	400934971	2012.9.20	
4	등록	황금배아미	이정섭	400845822	2010.12.9	
5	등록	원기에스	서울약품 주식회사	400788820	2009.5.14	
6	등록	나노미	주식회사 나노미	400706382	2007.4.13	
7	등록	쌀눈 송이	이춘수	400673965	2006.8.11	
8	등록	미in미 미in미 미인미	이춘수	400673963	2006.8.11	
9	등록	완전배아미쌀눈이8300	윤희선	400653075	2006.2.28	
10	출원	저온균압미 저온균압미	지에스 바이오텍	402014006 7732	2014.10.10	

표 2-1-1-6. 일본의 현미, 정미 및 배아미 정의(소비자청 고시 제 6호)

용 어	정 의	비 고
정미	현미의 미강을 전부 또는 일부를 제거하여 정백한 것	제 2조
참쌀정미	정미중에서 전분에 amylose성분이 포함되지 않는 정미	제 2조
맷쌀정미	참쌀정미 이외의 정미를 말함	제 2조
배아정미	맷쌀정미중에서 배아를 포함한 정미중량비율이 80%이상인 것	제 4조

표 2-1-1-7. 일본 21배아정미추진협회의 배아정미 기준

구 분		기 준	비 고
배아미	구 기준	· 2004년부터 적용 · 배아부착율 80%이상 · 정백수율 91.5% · 정미백도 34%이상	
	신 기준	· 2006년산부터 적용검토 (수준높은 고영양, 고품질, 양호한 식미제품기준) · 배아부착율 85%이상 · 정백수율 91.0% · 정미백도 38%이상	
백 미		· 미강이 완전히 제거 · 정백수율 : 91%	

③ 배아미 제조시스템 관련기술

- 배아미는 배아를 남긴 채 도정한 쌀로서, 배아미 제조시스템 및 관련기술은 도정시스템 및 도정기술 영역에 포함된다고 할 수 있음. 배아미에 대한 기술은 일본 Satake Corp.의 창시자인 佐竹利彦 (1990)의 저서(“近代精米技術に關する研究”)의 보고가 최초로 알려져 있는데, 배아미를 제조하기 위해서는 봉상(棒狀)으로 도정하는 것이 필요하며, 이를 위해 주속도, 금강사 입도 및 압력은 중간수준이 적당하다고 보고하였음
- 우리나라 농협RPC의 일반적인 도정기준은 백도 40, 도정도 9.5%(정백수율 90.5%)로서 백도가 1 증가할 때 통상 수율은 0.5% 감소하며, 백도가 낮아지면 식미가 저하(김 등, 2005)하므로 도정공정에서 도정기준은 수율 및 품질에 큰 영향을 미치는 가장 중요한 품질관리인자가 되고 있으며, 일반 백미에서 배아부착율이 높을 경우 외관품질과 유통성이 저하하므로 배아부착율을 낮게 유지하도록

도정하고 있음

- 선행연구(2006)로 55개소 RPC 정미시스템의 각 단에서 채취한 곡물을 이용하여 도정도별로 배아부착율을 측정한 결과를 분석하였음. RPC 현미의 배아부착율은 99.9%(±0.3)이었고, 최종 쌀에서의 평균적인 배아부착율은 19.1%(6.3~31.7%)로서 도정도와 밀접한 관계(배아부착율 = $-6.8843 \times$ 도정도 + 96.4034, $r^2=0.8477$)가 있으며, 동일 도정도에서 배아부착율은 정미시스템 종류, 도정배분, 품종 및 함수율 등에 따라 차이가 발생하였으며, 일본의 민간 배아미기준에 해당하는 도정도 약 6.5%(백도 34수준) 이상에서 배아부착율 80%이상으로 도정된 경우는 없어 현재 RPC의 정미시스템 수준에서는 일본 민간기준을 충족하는 배아미 제조가 거의 불가능함을 알 수 있었음
- 또한, 김 등(2012)은 시험용도정기를 이용하여 동일 도정도로 가공할 경우 연삭식정미기가 마찰식정미기보다 높은 배아잔존율을 나타내었다고 보고하였음

표 2-1-1-8. 100g당 현미, 백미 및 배아미 성분(일본식품표준성분표, 5訂, 과학기술청자원조사회, 2000)

구 분	현미	50%도정	70%도정	백미	배아정미
		(정백수율 95~96%)	(정백수율 93~94%)	(정백수율 90~92%)	(정백수율 91~93%)
열량(kcal)	350	353	357	356	354
물(g)	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5
단백질(g)	6.8	6.5	6.3	6.1	6.5
지질(g)	2.7	1.8	1.5	0.9	2.0
탄수화물(g)	73.8	75.4	76.1	77.1	75.3
회분(g)	1.2	0.8	0.6	0.4	0.7
미네랄 (mg)	Na	1	1	1	1
	K	230	150	120	88
	Ca	9	7	6	5
	Mg	110	64	45	23
	P	290	210	180	94
비타민 (mg)	E	1.3	0.8	0.5	0.2
	B ₁	0.41	0.30	0.24	0.08
	B ₂	0.04	0.03	0.03	0.02
	Niacin	6.3	3.5	1.7	1.2
	B ₆	0.45	0.28	0.20	0.12
총식이섬유 (g)	3.0	1.4	0.9	0.5	1.3

표 2-1-1-9. 고속계(연삭식)정미기에서 운전조건에 따른 쌀의 형상(Satake, 1990)

저속계	150m/min	마찰식, 삭찰방식	구 분	판상(板狀)	봉상(棒狀)	구상(球狀)
	300m/min		주속도	소	중	대
고속계	600m/min	연삭식	금강사 입도	소	중	대
			압력	대	중	소

주) 주속도(周速度, peripheral velocity)(m/min) = $2\pi r(m/회) \times rpm(회/min)$

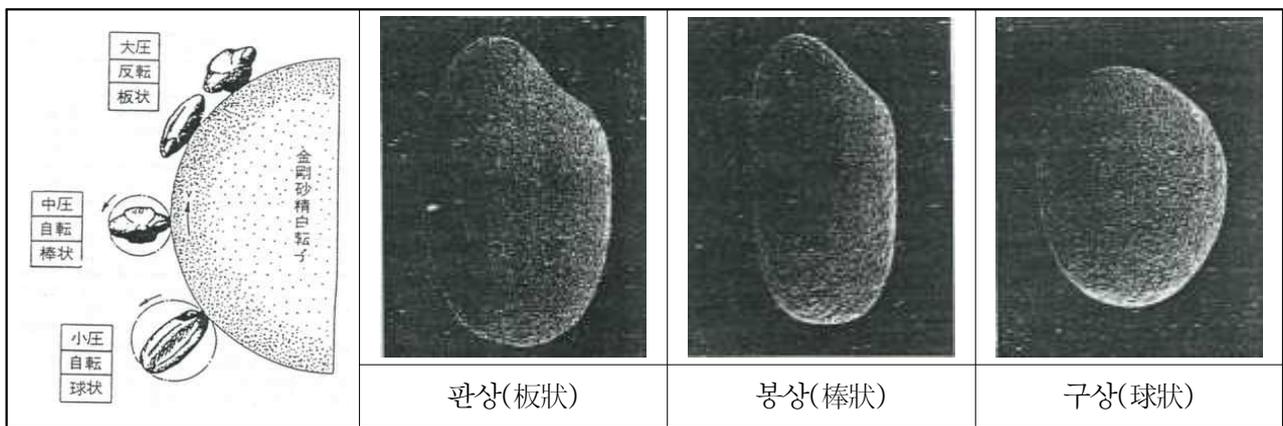


그림 2-1-1-3. 금강사롤러의 회전속도에 따른 곡물의 형상(Satake, 1990)

표 2-1-1-10. RPC의 정미시스템 형태별 최종 쌀에서의 배아잔존율(김 등, 2006)

	RPC 개소수	배아잔존율			
		평균	최대	최소	표준편차
1연삭+1마찰+1연미 ^a	15	19.6	31.5	9.5	6.6
1연삭+2마찰+1연미 ^a	3	15.2	27.7	8.0	10.9
1연삭+3마찰+1연미 ^a	18	17.3	30.6	6.3	6.8
1연삭+4마찰+1연미 ^a	9	17.3	25.0	11.1	3.8
2마찰+1연미 ^b	3	20.2	23.7	17.5	3.2
3마찰이상+1연미 ^b	7	24.7	31.7	17.4	5.3
평균		19.1	28.4	11.6	6.1
계	55				

주) ^{ab} : row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임

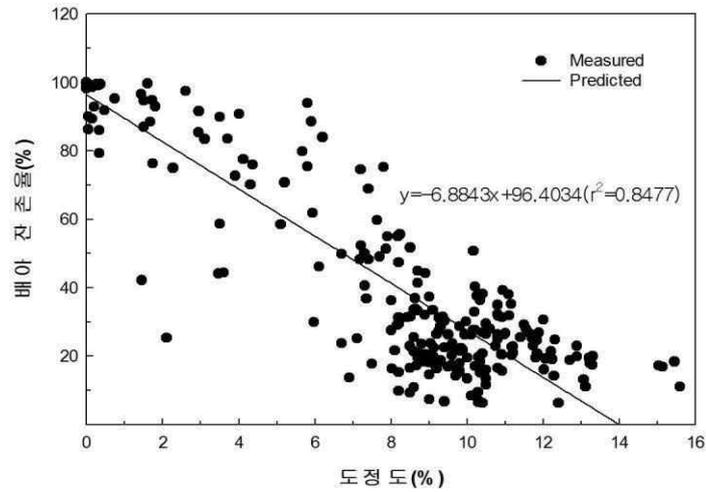


그림 2-1-1-4. 55개소 RPC의 각 도정단계별 곡물의 배아부착율(김 등, 2006)

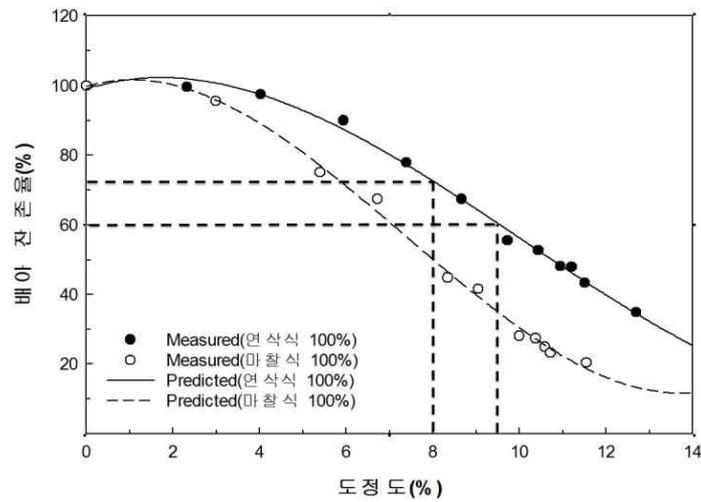


그림 2-1-1-5. 시험용 정미기를 이용한 도정도별 배아부착율(김 등, 2012)

표 2-1-1-11. 일본 Yamamoto사의 배치식 배아미 제조시스템에서 회전수별 주파수

일련번호	인버터 번호	회전수	주파수
1	C-05	0	45
2	C-06	1	45
3	C-07	2	42
4	C-08	3	38
5	C-09	4	38
6	C-10	5	33
7	C-11	6	33
8	C-12	7	28
9	C-13	8	28
10	C-14	9	28
11	C-15	10	28
12	C-16	11	28
13	C-17	12	28

○ 다음 표 2-1-1-12는 RPC에 설치된 일본 Yamamoto사의 배아미제조시스템(한국 판매회사 제공)과 한국토요사의 일반정미기(RPC에서 직접 측정)의 주속도와 정백실 특징을 비교한 것으로서 일반적인 현미정립의 두께 2.05~2.17mm, 폭 2.95~3.13mm 및 길이 4.85~5.27mm를 감안할 경우, 배아미 제조시스템의 정백실 특징에 다소 차이가 발생하는 것을 알 수 있었음



배치타입이 다수 설치



패스별로 rpm조절장치부착



cone type 금망 및 연삭돌

충북관내 RPC에 설치된 배치식 배아미기(일본 배치식 제품)



1세트로 구성된 배아미기



공기역학방식(업체 자체표현)



5톤/시간가공라인에 설치

충북관내 RPC에 설치된 연속식 배아미기(국내산 제품)



일반 도정라인에 설치된 연속식



연미기로서 연삭돌 설치 형태



롤 및 금망

전북소재 RPC에 설치된 연속식 정미겸용 배아미기(국내 한국토요 제품)

그림 2-1-1-7. 우리나라 RPC에 설치되어 있는 배아미제조시스템

⑤ 배아미 대량제조시스템 개발 필요성

○ 우리나라에는 배아미 제조 및 품질기준이 없는 상태로서 현미에 가까운 분도미 수준의 배아미가 주로 생산 판매되고 있어, RPC에서는 일본산 배치타입을 수입하여 반복회수를 줄여 사용하거나, 일반 연삭식정미기를 중복 사용하여 배아미를 제조함에 따라 고가의 설치비는 물론 생산제품의 품질이 균일하지 못한 단점을 가지고 있음

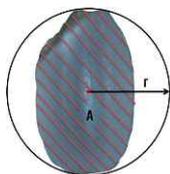
- 분도미수준의 배아미는 과피, 종피 및 일부 호분층만 제거되어 지질 함유량이 많은 호분층이 쉽게 산소에 노출되어 유통기간이 길어질 때 쌀에 포함된 포화지방산(palmitic acid), ω-9(oleic acid) 및 ω-6 불포화지방산(linoleic acid)의 산패로 배탈, 장염 및 식중독의 가능성이 높음
- 전술한 바와 같이 도정도 및 정미기의 종류에 따라 배아부착율에 큰 차이가 발생하였고, 주속도, 금강사 입도 및 압력에 따라 봉상구조의 도정이 가능하는 등 배아미제조시스템과 관련된 선행기술에 대한 조사를 완료하였으며, 우리나라의 배아미 제조 및 품질기준(안)의 제시는 물론, 이 기준에 적합한 배아미를 제조할 수 있는 제조시스템의 개발, 광역통합RPC는 다양한 백미 및 특수가공미는 물론 잡곡까지 취급하는 차세대 RPC로서 모든 공정의 자동화, 대량생산화를 위해서는 연속식 배아미 대량생산시스템 개발이 필요하였음

(2) 우리나라 유통 배아미 품질특성 구명

(가) 실험방법

- 우리나라 시장에 유통중인 배아미의 품질특성을 분석하기 위하여 인터넷 및 서울근교 대형마트를 통해 RPC 및 일반업체에서 생산하여 현재 유통되고 있는 15개사 21개 제품을 수집하여 함수율, 백도, 배아부착율, 원형율, 도정편차 및 표면상처 등 품질특성을 측정하였으며, 이 때 분석에 사용된 실험 방법은 다음과 같았음
- 함수율은 정립 10g을 대상으로 135℃를 유지하는 건조오븐에서 24시간 건조하는 표준건조법으로 3회 반복 측정하였으며, 백도는 정립을 대상으로 백도계(CR300-3, Kett, Japan)를 이용하여 5회 측정 후 최대값과 최소값을 제외한 3회 측정치의 평균값을 사용하였음
- 배아잔존율은 일본정미공업협회의 측정방법에 준하여 정립 5g에서 배아 흔적만 있는 곡립(A₁) 중량과 원형에 가까운 상태로 남아 있는 곡립(A₂) 중량을 전자저울(L110 Satorius, Germany)로 측정하여 다음 식으로 계산하였으며, 원형율은 화상분석기(Image Pre-plus ver 4.5.1.22, Hi-Rox Hi-scop compact micro vision system, KH-2200, MD3)로 장축길이와 면적을 측정하여 다음 식(2-1-1-1)로 계산하였음

$$\text{배아잔존율}(\%) = \frac{A_1 \times \frac{1}{2} + A_2 \times 1}{5(g)} \times 100 \dots\dots\dots (2-1-1-1)$$



$$\text{원형율} = \frac{\pi r^2}{A}$$

여기서, A : 면적(mm²), r : 장축길이 (mm)

- 단립간의 도정정도의 차이인 도정편차(Difference in the degree milling, DDM)는 김 등(2014)의 방법과 동일하게 CBB index 측정장치(SI01, Sensor-eye, Korea)로 시료 60립의 이미지를 획득한 후, 과피 및 종피는 진한 녹색, 호분층은 진한 청색, 그리고 전분층은 노란색 등 가상 색(pseudo color)을 설정하고, 과피(A), 종피(B), 호분층(C) 및 전분층(D)으로 구분된 영역의 면적을 산출한 다음, 과피, 종피 및 호분층의 면적비율을 CBB(Colored Bran Balance) index로 하였으며, CBB index의 최대값과 최소값과의 차이를 도정편차로 하였음

$$CBB\ index = \frac{(A+B)}{(A+B+C)} \times 100 \dots\dots\dots (2-1-1-2)$$

$$DDM = CBB\ index_{max} - CBB\ index_{min} \dots\dots\dots (2-1-1-3)$$

- 표면상처는 김 등(2009)방법과 동일하게 화상측정기(Zoom video microscope, INU, Korea)로 정립 25립의 영상을 각각 획득한 후, 쌀 표면에 상처가 발생한 단립수를 계수화하여 다음의 식과 같이 계산하였음

$$\text{쌀 표면의 상처}(\%) = \frac{\text{상처가 발생한 백미 단립수}}{\text{측정 단립수}} \times 100 \dots\dots\dots (2-1-1-4)$$

(나) 결과 및 고찰

- 우리나라 시중에 유통되는 배아미 생산업체는 기존의 가공시설을 구비하고 있는 RPC 및 영농조합과 식품관련 기업으로 크게 구분되었으며, “쌀눈”, “배아”를 특징하는 브랜드를 주로 유통하고 있었음. 품종은 단일 또는 혼합(일반미) 등 다양하게 조사되었으며, 포장단위는 2~20kg로 소포장까지 매우 다양하였으나 10kg이상의 대포장이 절반이상을 차지하였으며, 배아미 제품 단가는 3,579원/kg으로서 일반미의 2,866원/kg에 비해 평균 125% 수준으로 조사되었음



그림 2-1-1-8. 국내에 유통되고 있는 배아미제품

표 2-1-1-13. 인터넷 및 대형마트에서 수집된 배아미와 일반미의 가격비교

배 아 미						일 반 미					비율 A/B× 100 (%)
제조사	제품명	품종	단위 (kg)	가격 (원)	단가 (원/kg) (A)	제품명	품종	단위 (kg)	가격 (원)	단가 (원/kg) (B)	
1	쌀눈듬뿍	추청	5	18,800	3,760	청원 생명쌀	추청	20	60,000	3,000	
2	쌀눈쌀닷컴 (진천통합RPC)	추청	5	18,900	3,780	생거 진천쌀	추청	20	61,000	3,050	
3	쌀눈이기가막혀	혼합	20	75,000	3,750	새로미	혼합	20	52,000	2,600	
4	7분도 쌀눈쌀	추청	2	10,500	5,250	무농약쌀	추청	10	33,800	3,380	
5	예미향	신동진	10	28,500	2,850	옥토진미	혼합	20	48,000	2,400	
6	영양가득쌀눈쌀	혼합	10	27,580	2,758	옥토진미 골드	신동진	20	52,000	2,600	
7	햇살드리쌀눈쌀	추청	10	35,000	3,500	당진 좋은쌀	혼합	20	51,500	2,575	
8	고시히카리	고시히카리	7	34,800	4,971	자연이 숨쉬는쌀	하이 아미	10	34,000	3,400	
9	우리아이와 함께하는 쌀눈쌀	추청	10	34,800	3,480	옛고을	혼합	10	30,000	3,000	
10	우리아이와 함께하는 쌀눈쌀	추청	4	14,800	3,700	강화섬쌀	혼합	10	33,000	3,300	
11	우리아이튼튼쌀	추청	10	34,800	3,480	지리산쌀	혼합	20	41,700	2,085	
12	유기농 배아미 플러스눈	황금 누리	5	27,000	5,400	물레방아	혼합	20	49,800	2,490	
13	쌀눈쌀	혼합	10	38,000	3,800	물레 방아미	혼합	5	17,500	3,500	
14	쌀눈이83	혼합	10	31,000	3,100	물레방아 고시히카리	고시	10	37,300	3,730	
15	배아미	혼합	5	17,500	3,500	물레방아 골드	칠보	20	54,900	2,745	
16	눈있는쌀	혼합	20	44,800	2,240	김천 금물쌀	칠보	20	56,800	2,840	
17	쌀눈쌀	삼광	5	14,800	2,960	아리찬 장수쌀	혼합	4	10,700	2,675	
18	명인의 밥상 米 쌀눈쌀	-	10	38,000	3,800	아리찬 장수쌀	혼합	10	25,600	2,560	
19	아리찬 장수쌀	혼합	4	12,500	3,125	아리찬 장수쌀	혼합	20	50,600	2,530	
20	아리찬 장수쌀	혼합	10	30,000	3,000						
21	아리찬 장수쌀	혼합	20	59,100	2,955						
평 균					3,579	평 균					2,866 125

- 유통 배아미의 함수율은 14.3~16.5%(w.b.), 백도는 21.9~38.6, 배아잔존율은 77.5~99.2%, 원형율은 1.51~1.79, 도정편차는 2.5~55.4%, 표면상처는 3.6~100% 범위로서, 제조사별로 품질에 큰 차이가 나타나고 있었음
- 배아미 백도는 현미백도인 20수준에 가까운 거의 도정되지 않거나 분도수준이 대부분을 차지하고 있었는데, 배아미를 생산하는 3개사(경북김천, 충북진천, 전북익산소재 RPC)에 의하면 대형유통업체에서 현미에 가까운 배아미를 요구하고 있으며, 이러한 원인은 백미에 가까울수록 소비자가 찾지 않기 때문이라고 하였음
- 배아잔존율은 77.5~99.2%로서 비교적 높게 나타났는데 이는 도정도가 낮기 때문이었으며, 원형율은 1.51~1.79로서 현미 평균 원형율인 1.73(김 등, 2005)에 비해 오히려 구상형태로 도정된 배아미도 많은 것을 알 수 있었으며, 높은 도정편차 및 표면상처는 연삭식정미기에 의한 불균일 도정이 현저하게 발생하는 것이 주요 원인이었음을 알 수 있었음
- 이상의 결과에서 우리나라에 적합한 배아미 제조 및 품질기준의 정립이 필요함을 알 수 있었고, 이 기준 정립에는 배아미의 식미, 포장형태 및 유통기간 등의 연구가 필요하였으며, 제조시스템 및 제조 기술에서도 개선해야 할 사항이 많다는 것을 알 수 있었음

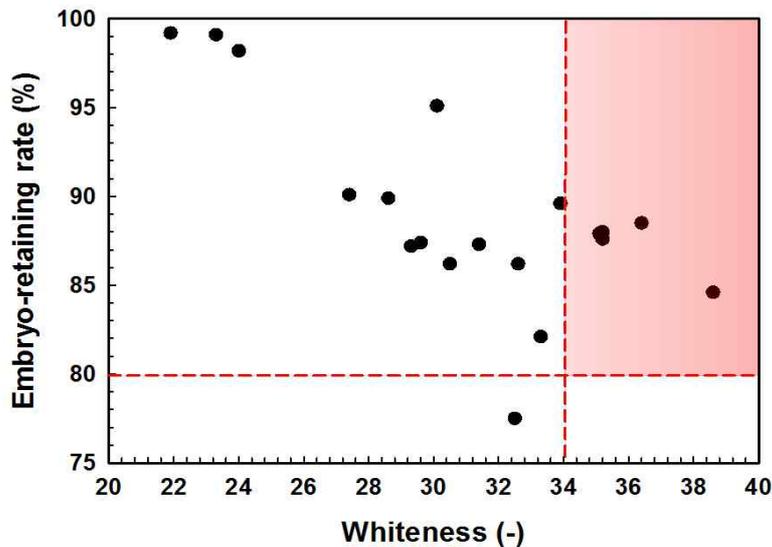


그림 2-1-1-9. 국내에 유통되고 있는 배아미제품의 배아잔존율 및 백도 분포

표 2-1-1-14. 국내산 배아미의 품질특성

제조사	합수율 (%)	백도 (-)	배아잔존율 (%)	원형율 (-)	도정편차 (-)	표면상처 (%)
1	14.7	38.6	84.6	1.56	8.0	100.0
2	15.4	30.5	86.2	1.56	9.6	52.0
3	15.2	32.6	86.2	1.55	7.5	51.7
4	15.1	23.3	99.1	1.53	25.7	12.0
5	16.4	28.6	89.9	1.57	21.2	4.0
6	15.1	36.4	88.5	1.79	8.4	100.0
7	15.7	32.5	77.5	1.58	6.7	3.6
8	14.3	35.1	87.9	1.57	2.5	22.5
	15.2	35.2	88.0	1.58	3.8	84.0
	14.7	35.2	87.6	1.58	3.9	76.9
	15.9	30.1	95.1	1.53	12.5	92.0
9	14.4	29.3	87.2	1.58	12.6	53.9
10	16.5	21.9	99.2	1.53	21.3	8.3
11	16.0	27.4	90.1	1.51	26.1	4.0
12	15.6	31.4	87.3	1.57	15.6	8.0
13	16.1	29.6	87.4	1.57	12.0	53.9
14	15.4	33.3	82.1	1.61	10.0	85.7
15	15.7	33.9	89.6	1.59	11.4	100.0
16	16.1	24.0	98.2	1.58	55.4	18.5
평균	15.5	31.0	89.0	1.58	14.4	49.0

(3) 국외 유통 배아미의 품질특성

(가) 실험방법

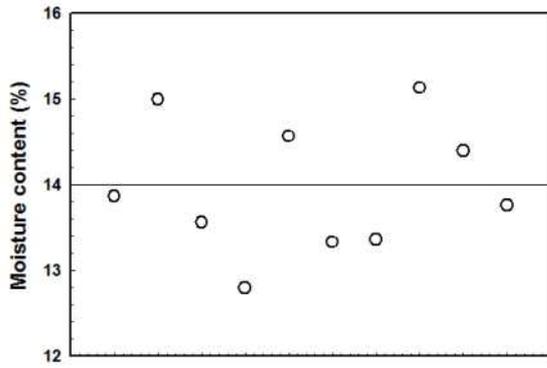
- 일본에서 유통되는 배아미 시료 10종을 일본의 쇼핑몰(아마존, 라쿠텐 등)에서 해외배송을 통해 수집한 다음, 국내 유통 배아미 시료와 동일하게 함수율, 백도 및 배아부착율 등 품질특성을 측정하였음



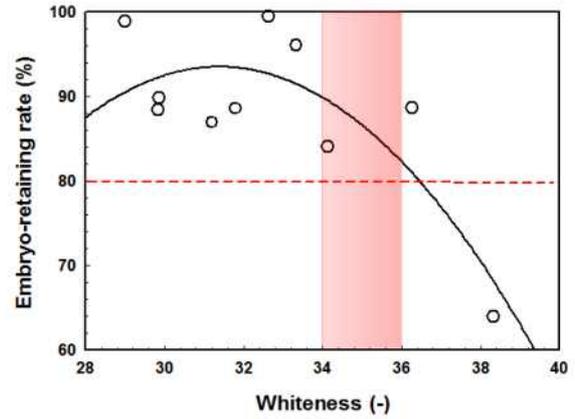
그림 2-1-1-10. 국외 유통 배아미의 품질특성 구명을 위해 수집된 시료

(나) 결과 및 고찰

- 일본에서 유통되는 배아미 시료 10종의 포장단위는 최소 150g부터 최대 2kg정도로서, 우리나라와는 다르게 소포장 위주로 유통되고 있었으며, 유통 배아미의 평균 함수율은 14.0%(12.8~15.1%)로 국내의 일반적인 백미 함수율 기준인 15%와 국내산 유통 배아미 21개 제품의 평균 함수율 15.5%(14.3~16.4%)보다 많이 낮았음
- 현미 함수율이 낮을수록 배아미 제조시 배아잔존율이 높다는 연구결과와, 유통성이 증가한다는 조사 결과를 감안할 때 일본이 우리나라보다 합리적으로 함수율 관리를 실시하고 있는 것을 확인할 수 있었음
- 일본 유통 배아미의 백도는 평균 32.6(29.0~38.3)수준으로서 일본 21배아정미추진위원회의 구기준인 백도 34이상을 만족하는 배아미는 조사대상 배아미 10종 중 3종에 불과하였으며, 우리나라 유통 배아미의 평균 백도 31.0(21.9~38.6)보다도 낮은 배아미도 조사대상 배아미 10종 중 3종이나 있어 일본의 배아미도 품질관리부분에서 기준을 충족하고 있지는 않는 경우가 많은 것으로 조사되었음



(함수율 분포)



(백도에 따른 배아잔존율 변화)

그림 2-1-1-11. 일본에서 유통되는 배아미의 품질특성

표 2-1-1-15. 일본에서 유통되는 배아미의 품질특성

No	상품명	회사	품종	포장 단위	함수율 (%)	백도 (-)	배아 잔존율 (%)
1	胚芽の大きな	株式会社ミシハシ	複数原料米	2kg	13.9	36.3	88.6%
2	白発芽胚芽米	株式会社米夢の郷	コシヒカリ	1kg	15.0	33.3	96.0%
3	白鳥農場の米	株式会社戸塚正商店	ひとめぼれ	450g	13.6	34.1	84.1%
4	NIPPON RICE	株式会社シバサ	ひとめぼれ	150g	12.8	29.8	88.4%
5	NIPPON RICE	株式会社シバサ	あきたこまち	150g	14.6	31.2	86.9%
6	新潟県長産胚芽米	愛知県経済農業協合連合会	コシヒカリ	2kg	13.3	29.9	89.8%
7	胚芽つき白米	株式会社オーワクツヤパン	あきたこまち	2kg	13.4	38.3	64.0%
8	発芽胚芽米	ディーエイチシー-DNH	うるち	1kg	15.1	32.6	99.5%
9	白い発芽胚芽米	農業法人株式会社米月山	はえぬき	1kg	14.4	29.0	98.9%
10	健康毎日無洗米胚芽米	株式会社ヤマタネ	はえぬき	2kg	13.8	31.8	88.6%
	평균				14.0	32.6	88.4%
	최대			150g	15.1	38.3	99.5%
	최소			2kg	12.8	29.0	64.0%

나. 배아미 품질 및 제조기준 정립

(1) 제조조건이 배아미품질에 미치는 영향 구명

(가) 실험방법

- 배아미 제조, 품질기준의 설정 및 연속식 배아미 대량생산시스템개발에 활용하기 위하여 품종, 함수율 및 백도 등 배아미 제조조건이 배아미품질에 미치는 영향을 구명하였으며, 이를 위하여 삼광, 신동진 및 추청 등 3품종의 현미를 대상으로 함수율 4수준(13.5~16.5%,w.b.), 백도 6수준(32~40범위)에서 실험용연삭식정미기(TM-05, Satake, Japan)를 이용하여 배아미를 제조하였음
- 실험에 사용한 시료는 시중에서 유통되고 있는 삼광, 신동진 및 추청 등 3품종의 현미로서 RPC에서 탈부, 선별 후 포장되어 유통되는 2015년산 시료를 구입하여 사용하였으며, 초기함수율은 16.2~16.5%(w.b.)이었음

표 2-1-1-16. 배아미제조시스템 품질 및 제조조건 정립에 사용한 공시재료

품종	생산년도(년)	생산지역	초기함수율(%w.b.)
삼광	2015	충남논산	16.2
신동진	2015	전북김제	16.5
추청	2015	경기화성	16.3

- 구입한 현미는 실험용건조기(HK-DO100F, Hankook, Korea)에서 약 20℃내외의 상온의 공기를 통풍시켜 13.5~16.5%(w.b.)범위에서 4수준으로 함수율을 조정함 다음, 색채선별기(FGS-1000, Satake, Japan)를 이용하여 미숙립, 피해립, 착색립 및 사미 등 불량립을 선별한 후, 정립만을 PE필름으로 밀봉 포장한 후 2℃ 저온저장고에 보관하면서 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 실험에 사용하였음
- 실험용연삭식정미기(TM-05, Satake, Japan)의 회전수 1,450rpm, 입도 #40 조건에서 현미를 백도 32~40범위의 6수준으로 도정하여 배아미를 제조하였음



(실험용연삭식정미기)



(도정모습)

그림 2-1-1-12. 실험용연삭식정미기를 이용한 배아미 제조모습

- 품종 3종, 함수율 4수준 및 백도 6수준에서 제조한 배아미를 이용하여 함수율, 백도, 칼라, 천립중, 도정도, 배아잔존율, 싸라기발생율, 도정편차 및 기하학적특성 등 제조 및 품질인자를 다음과 같은 방법으로 측정하였으며, 함수율, 도정편차, 배아잔존율 및 표면상처는 전항과 동일하여 생략하였음
- 백도는 수작업으로 정립을 선별한 후 백도계(CR300-3, Kett, Japan)를 이용하여 5회 측정 후 최대값과 최소값을 제외한 3회 측정치의 평균값을 사용하였으며, 칼리는 정립을 대상으로 색차계(CM-5, Konica Minolta, Japan)를 이용하여 5회 반복실험 후 최대 및 최소를 제외한 값을 평균값으로 하였음
- 도정도(Milling degree)는 현미에서 제거되는 미강에 대한 중량비로서 전자저울(L110 Satorius, Germany)로 정립 1,000립의 중량(천립중)을 측정하여 다음의 식과 같이 계산(Kawamura, 1990)하였으며, 3회 반복 측정하였음

$$\text{Degree of milling(\%)} = \frac{1000 \text{ kernel of brown rice (g)} - 1000 \text{ kernel of milled rice (g)}}{1000 \text{ kernel of brown rice (g)}} \times 100$$

- 싸라기발생율은 균분한 시료 30g을 품질측정장치(RGQI10B, Satake, Japan)를 이용하여 3회 반복하여 측정하였으며, 기하학적특성은 정립 100립을 화상분석기(Image Pre-plus ver 4.5.1.22, Hi-Rox Hi-scop compact micro vision system, KH-2200, MD3)로 장축길이(length), 단축길이(width), 면적(area) 및 원형율(roundness)을 각각 측정하였음



(도정편차 측정 실험)



(기하학적특성 측정 실험)



(백도 측정 실험)



(칼라 측정 실험)

그림 2-1-1-13. 품질측정 실험모습

(나) 결과 및 고찰

① 함수율 변화

- 3품종 현미로 배아미를 제조할 때 백도에 따른 함수율 변화는 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 초기함수율이 높은 15% 및 16% 영역에서는 백도가 증가할수록 함수율이 감소하는 경향이 있었으며, 함수율이 낮은 13% 및 14% 영역에서는 증가하거나 비슷하게 유지하는 경향이 있었음
- 삼광의 경우 초기함수율 12.6% 및 13.7%는 백도가 증가할수록 함수율이 다소 증가하여 백도 약 32에서 12.8% 및 13.9%이었고, 이후 비슷한 수준을 유지하였으며, 초기함수율 15.0%에서는 백도 증가에 따라 함수율 14.8~15.0%로서 거의 변화가 없었으며, 초기함수율 16.2%는 백도 증가에 따라 함수율이 감소하는 경향으로 백도 36.6일 때 15.7% 수준이었음
- 신동진은 초기함수율 13.2%는 백도증가에 따라 함수율 변화가 거의 없었으며, 초기함수율 13.5%에서는 백도 38.2에서 함수율 13.2%로 감소하는 경향이 있었으며, 초기함수율 14.8% 및 16.5%는 백도가 증가할수록 함수율이 감소하는 경향으로 백도 약 34에서 14.6% 및 15.8%이었고, 이후 완만하게 감소하였음
- 추청은 초기함수율 12.5%는 백도증가에 따라 함수율이 12.6~12.8%로 약간 증가하는 경향이었고, 초기함수율 13.6% 및 14.8%에서는 거의 변화가 없었으며, 16.3%에서는 다소 감소하여 백도 38.0에서 16.0%로 나타났음

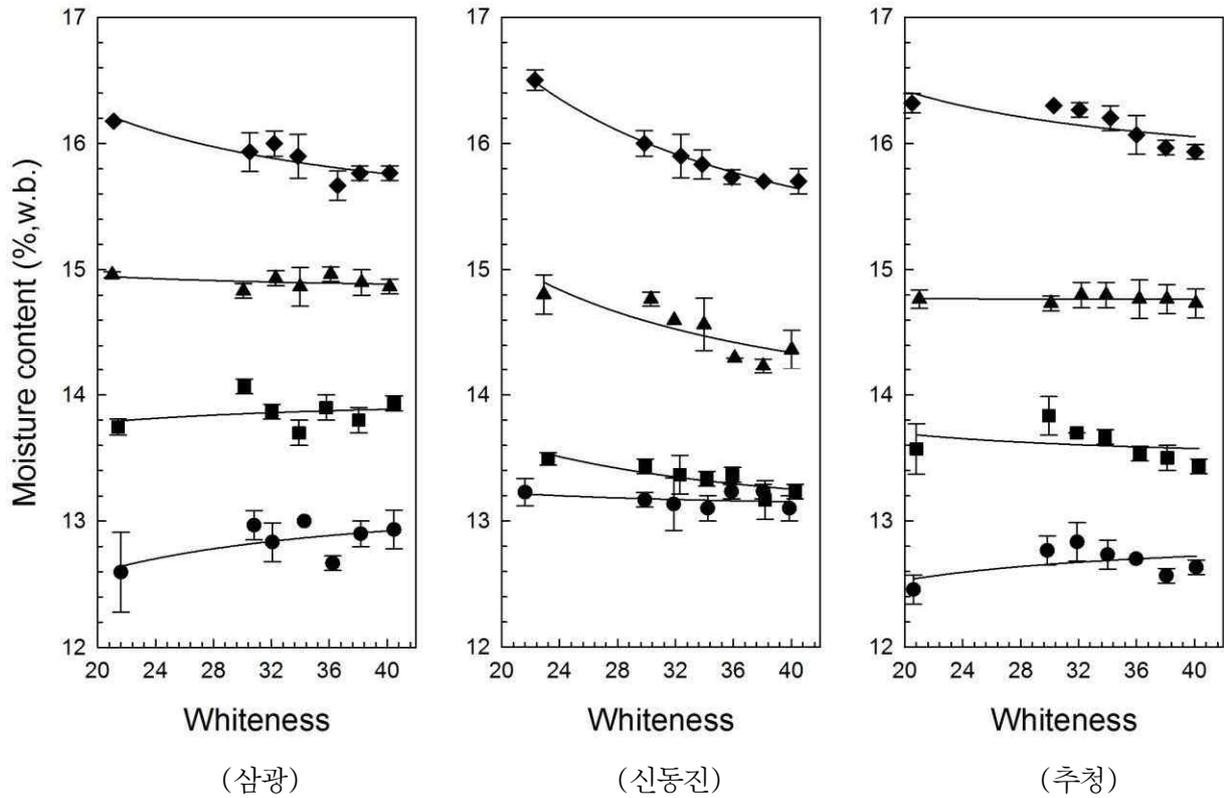


그림 2-1-1-14. 삼광, 신동진 및 추청의 초기함수율 별 백도변화에 따른 함수율 변화

② 기하학적 특성

- 3품종의 초기함수율 및 백도 별 기하학적 특성은 다음의 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 초기 함수율이 낮을수록 면적, 장축 및 단축이 낮게 나타났고, 백도가 증가할수록 면적, 장축, 단축 및 장단축비가 감소하는 경향이었으나, 원형율은 거의 변화가 없었음
- 일반적으로 대립(大粒)으로 알려진 신동진은 삼광과 추청에 비해 장축, 단축 및 면적이 크게 나타났고, 장단축비 및 원형율도 다소 큰 것으로 나타났으며, 삼광도 소립(小粒)으로 알려진 추청보다는 장축, 면적, 장단축비 및 원형율이 큰 것으로 나타났음

표 2-1-1-17. 삼광, 신동진 및 추청의 초기함수율 및 백도 별 기하학적 특성 변화

품종	함수율 (%)	백도	면적	장단축비	원형율	장축	단축
삼광	12.6	30.8	10.60 ±0.53	1.66 ±0.06	1.16 ±0.02	4.63 ±0.14	2.81 ±0.09
		32.1	10.33 ±0.59	1.65 ±0.06	1.16 ±0.02	4.58 ±0.16	2.79 ±0.09
		34.3	10.25 ±0.44	1.65 ±0.06	1.17 ±0.02	4.61 ±0.13	2.79 ±0.09
		36.2	10.19 ±0.50	1.65 ±0.06	1.16 ±0.02	4.58 ±0.14	2.78 ±0.10
		38.2	10.13 ±0.60	1.65 ±0.07	1.16 ±0.02	4.54 ±0.17	2.77 ±0.11
		40.5	10.08 ±0.46	1.64 ±0.06	1.17 ±0.02	4.56 ±0.14	2.78 ±0.09
	13.7	30.1	12.46 ±0.75	1.66 ±0.06	1.16 ±0.02	5.00 ±0.19	3.03 ±0.11
		32.0	12.40 ±0.69	1.66 ±0.07	1.16 ±0.02	5.01 ±0.17	3.04 ±0.11

		33.9	12.30 ±0.63	1.65 ±0.06	1.17 ±0.02	5.02 ±0.16	3.06 ±0.10
		35.8	12.20 ±0.67	1.65 ±0.06	1.16 ±0.02	4.99 ±0.17	3.04 ±0.11
		38.0	12.11 ±0.72	1.64 ±0.07	1.17 ±0.03	4.99 ±0.19	3.04 ±0.12
		40.5	12.09 ±0.58	1.64 ±0.06	1.17 ±0.02	5.00 ±0.14	3.05 ±0.10
	15.0	30.1	13.19 ±0.61	1.66 ±0.07	1.16 ±0.04	5.15 ±0.16	3.13 ±0.13
		32.3	12.81 ±0.73	1.65 ±0.07	1.16 ±0.03	5.10 ±0.17	3.09 ±0.13
		34.0	12.80 ±0.67	1.65 ±0.06	1.16 ±0.02	5.10 ±0.18	3.09 ±0.10
		36.1	12.69 ±0.66	1.65 ±0.06	1.16 ±0.02	5.11 ±0.16	3.09 ±0.11
		38.2	12.43 ±0.71	1.65 ±0.06	1.17 ±0.03	5.07 ±0.18	3.07 ±0.11
		40.2	12.41 ±0.92	1.64 ±0.08	1.17 ±0.03	5.07 ±0.22	3.09 ±0.14
	16.2	30.5	13.28 ±0.72	1.67 ±0.07	1.16 ±0.02	5.19 ±0.16	3.11 ±0.12
		32.2	13.19 ±0.64	1.66 ±0.06	1.16 ±0.02	5.17 ±0.15	3.11 ±0.11
		33.8	13.03 ±0.71	1.66 ±0.06	1.16 ±0.02	5.14 ±0.18	3.10 ±0.10
		36.6	12.87 ±0.70	1.65 ±0.05	1.16 ±0.02	5.14 ±0.15	3.10 ±0.10
		38.1	12.65 ±0.69	1.65 ±0.06	1.17 ±0.02	5.12 ±0.16	3.10 ±0.11
40.2		12.58 ±0.63	1.65 ±0.06	1.17 ±0.02	5.10 ±0.15	3.09 ±0.10	
신동진	13.2	29.9	16.13 ±0.82	1.88 ±0.07	1.21 ±0.02	6.07 ±0.18	3.22 ±0.11
		31.9	15.89 ±0.87	1.88 ±0.06	1.21 ±0.02	6.01 ±0.23	3.19 ±0.09
		34.2	15.98 ±0.82	1.86 ±0.07	1.20 ±0.02	6.01 ±0.21	3.23 ±0.11
		35.9	15.86 ±1.00	1.86 ±0.08	1.20 ±0.02	5.99 ±0.23	3.22 ±0.11
		38.1	15.65 ±0.88	1.86 ±0.07	1.21 ±0.02	5.98 ±0.21	3.20 ±0.11
		39.9	15.56 ±0.89	1.85 ±0.06	1.21 ±0.02	5.96 ±0.20	3.20 ±0.10
	13.5	29.9	16.70 ±0.86	1.88 ±0.06	1.21 ±0.02	6.17 ±0.17	3.28 ±0.11
		32.3	16.20 ±0.78	1.88 ±0.08	1.21 ±0.02	6.06 ±0.20	3.22 ±0.10
		34.2	16.20 ±0.86	1.87 ±0.06	1.21 ±0.02	6.06 ±0.19	3.24 ±0.10
		35.9	16.20 ±0.84	1.87 ±0.06	1.21 ±0.02	6.07 ±0.19	3.25 ±0.11
		38.2	16.03 ±0.86	1.86 ±0.06	1.21 ±0.02	6.03 ±0.19	3.24 ±0.10
		40.3	15.94 ±0.92	1.85 ±0.06	1.20 ±0.02	6.01 ±0.21	3.26 ±0.11
	14.8	30.3	16.20 ±0.97	1.88 ±0.06	1.21 ±0.02	6.15 ±0.22	3.28 ±0.11
		31.9	16.60 ±1.05	1.88 ±0.08	1.21 ±0.02	6.13 ±0.22	3.27 ±0.13
		34.0	16.64 ±0.98	1.88 ±0.06	1.21 ±0.02	6.14 ±0.20	3.27 ±0.11
		36.1	16.42 ±0.91	1.87 ±0.07	1.21 ±0.02	6.11 ±0.19	3.26 ±0.11
		38.1	16.42 ±0.84	1.87 ±0.07	1.20 ±0.02	6.09 ±0.20	3.27 ±0.09
		40.0	16.17 ±1.03	1.87 ±0.71	1.21 ±0.02	6.07 ±0.21	3.25 ±0.11
	16.5	29.8	16.22 ±1.02	1.89 ±0.08	1.21 ±0.02	6.05 ±0.22	3.21 ±0.13
		32.4	16.16 ±0.93	1.89 ±0.06	1.21 ±0.02	6.05 ±0.19	3.21 ±0.11
		33.8	15.99 ±0.96	1.88 ±0.06	1.21 ±0.02	6.00 ±0.21	3.20 ±0.12
		35.9	15.73 ±0.90	1.88 ±0.08	1.21 ±0.02	5.97 ±0.20	3.19 ±0.13
		38.1	15.58 ±1.01	1.88 ±0.07	1.21 ±0.02	5.96 ±0.23	3.17 ±0.13
		40.5	15.52 ±1.01	1.87 ±0.08	1.22 ±0.03	5.95 ±0.24	3.18 ±0.12
추청	12.5	29.8	12.17 ±0.58	1.59 ±0.06	1.14 ±0.02	4.88 ±0.15	3.06 ±0.08
		31.9	12.07 ±0.77	1.59 ±0.05	1.14 ±0.02	4.87 ±0.18	3.06 ±0.12
		34.0	11.89 ±0.67	1.59 ±0.04	1.14 ±0.02	4.85 ±0.15	3.04 ±0.11
		36.0	11.86 ±0.60	1.59 ±0.05	1.14 ±0.02	4.84 ±0.16	3.04 ±0.08
		38.1	11.81 ±0.60	1.58 ±0.05	1.14 ±0.02	4.83 ±0.16	3.05 ±0.11
		40.1	11.60 ±0.65	1.58 ±0.05	1.14 ±0.02	4.81 ±0.17	3.04 ±0.10
	13.6	29.9	12.09 ±0.67	1.60 ±0.05	1.14 ±0.01	4.87 ±0.16	3.05 ±0.10
		31.9	11.98 ±0.69	1.60 ±0.06	1.14 ±0.01	4.84 ±0.17	3.04 ±0.10
		33.8	11.73 ±0.71	1.60 ±0.05	1.14 ±0.02	4.81 ±0.18	3.01 ±0.10
		36.2	11.52 ±0.67	1.59 ±0.06	1.15 ±0.02	4.79 ±0.15	3.00 ±0.11

		38.1	11.53 ±0.66	1.59 ±0.06	1.15 ±0.02	4.80 ±0.17	3.0 ±0.10
		40.3	11.46 ±0.63	1.59 ±0.06	1.15 ±0.01	4.79 ±0.16	3.00 ±0.11
	14.8	30.1	12.78 ±0.71	1.61 ±0.05	1.14 ±0.02	5.00 ±0.16	3.12 ±0.11
		32.2	12.63 ±0.61	1.59 ±0.06	1.14 ±0.02	4.97 ±0.15	3.12 ±0.10
		33.9	12.70 ±0.70	1.59 ±0.05	1.14 ±0.02	4.98 ±0.17	3.14 ±0.10
		36.2	12.39 ±0.72	1.58 ±0.05	1.15 ±0.01	4.94 ±0.15	3.12 ±0.11
		38.1	12.25 ±0.65	1.58 ±0.05	1.15 ±0.02	4.93 ±0.16	3.12 ±0.10
		40.1	12.05 ±0.67	1.58 ±0.05	1.15 ±0.02	4.91 ±0.16	3.11 ±0.11
	16.3	30.3	12.14 ±0.68	1.61 ±0.06	1.14 ±0.02	4.87 ±0.16	3.05 ±0.11
		32.1	12.13 ±0.63	1.59 ±0.06	1.15 ±0.02	4.88 ±0.15	3.07 ±0.10
		34.2	11.98 ±0.68	1.59 ±0.06	1.15 ±0.02	4.85 ±0.18	3.04 ±0.10
		36.0	12.00 ±0.58	1.59 ±0.05	1.15 ±0.02	4.86 ±0.14	3.07 ±0.10
		38.0	11.77 ±0.68	1.59 ±0.05	1.15 ±0.02	4.85 ±0.18	3.06 ±0.10
		40.1	11.94 ±0.46	1.58 ±0.05	1.15 ±0.02	4.90 ±0.13	3.10 ±0.09

③ 배아잔존율 변화

- 배아잔존율은 도정도(백도)가 낮을수록, 초기 함수율이 낮을수록 높은 경향을 나타내었고, 품종별로는 동일제조조건하에서 신동진>삼광>추청 순으로 배아잔존율이 높게 나타나 품종도 배아잔존율에 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 3품종에 대한 결과만으로 볼 때 기하학적으로 대립이 소립보다 배아미 제조에 유리하다는 것을 알 수 있었으며, 보다 세부적으로는 Satake(1990)의 보고결과를 고려할 때 장축 및 원형율이 클수록 봉상에 가까워 배아잔율이 높아졌을 것으로 판단되었음
- 삼광의 백도별 배아잔존율은 백도 32에서 75.7~87.7% 범위이었고, 백도 36에서 55.3~69.5%, 백도 40에서 35.6~54.4% 범위를 나타내었고, 초기함수율 12.6%의 배아잔존율은 백도 32에서 87.7%, 백도 38에서 64.6%로서 초기함수율 16.2%의 75.7% 및 38.6%에 비해 높았으며, 백도가 높아질수록 배아잔존율의 차이는 크게 나타났음
- 신동진의 배아잔존율은 백도 32에서 95.9~99.0%, 백도 38에서도 84.3~93.3%로 삼광 및 추청에 비해 매우 높게 나타났는데, 전술한 바와 같이 신동진의 장축의 길이(5.95~6.17mm)가 삼광(4.54~5.11mm) 및 추청(4.79~5.00mm)에 비해 길었고, 원형율도 차이가 있는 등 기하학적 특성으로 공시한 타 품종에 비해 배아잔존율이 높게 나타난 것으로 판단됨
- 추청의 배아잔존율은 백도 32에서 74.8~91.1%, 백도 36에서 51.4~73.9%, 백도 40에서 28.2~49.4% 범위이었고, 공시한 다른 품종과 동일하게 초기함수율이 높을수록 배아잔존율이 높았으며, 백도가 증가하면서 배아잔존율의 차이도 크게 나타났음
- 3품종의 초기함수율 및 백도 별 이미지를 측정한 결과 백도가 경과할수록 표면의 거칠기가 감소하고, 배아의 크기도 감소하는 것으로 나타났음

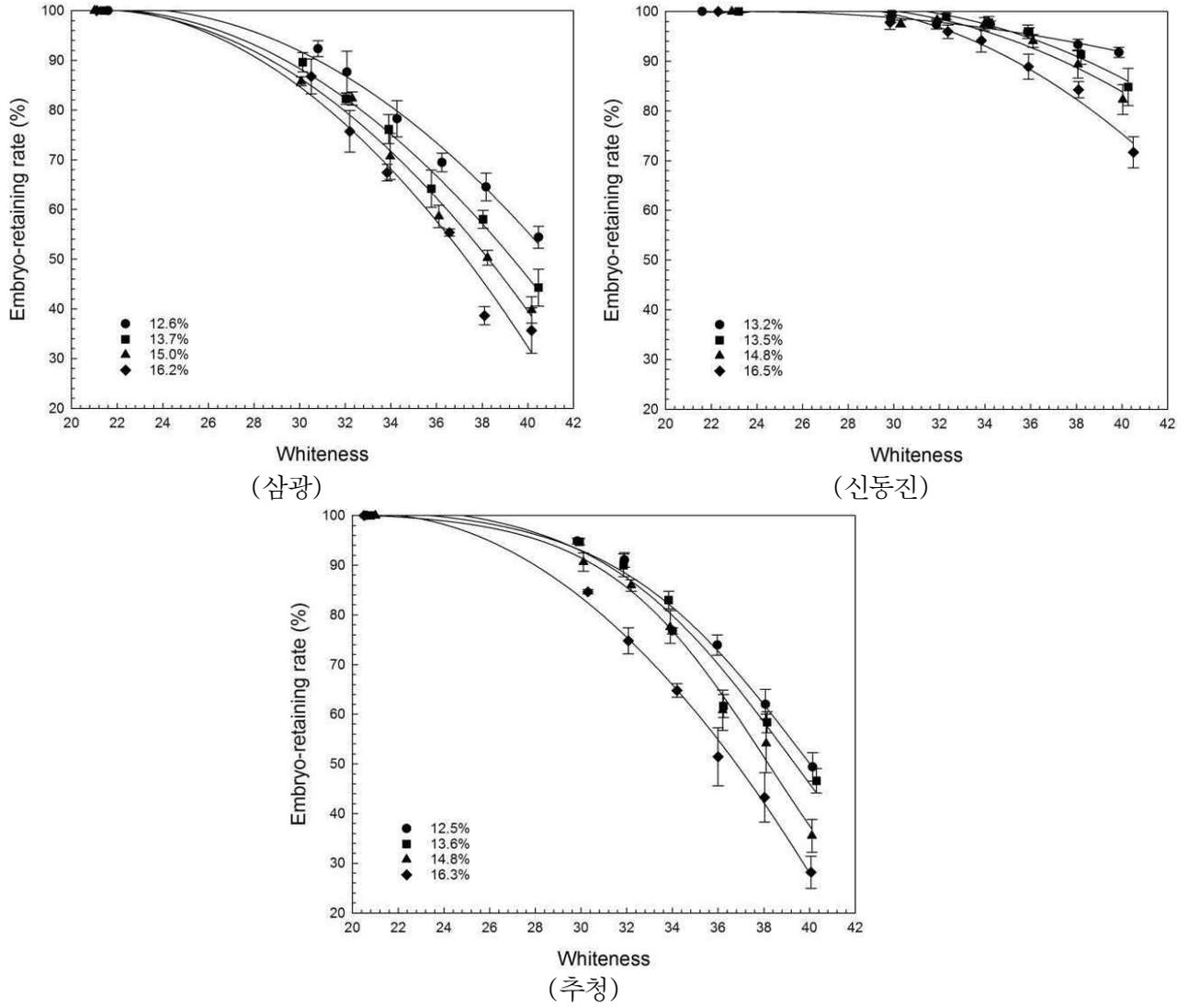


그림 2-1-1-15. 삼광, 신동진 및 추청의 초기함수율 및 백도 별 배아잔존율 변화

표 2-1-1-18. 삼광, 신동진 및 추청의 초기함수율 및 백도 별 배아미 이미지

품종	함수율 (%)	백도					
		30	32	34	36	38	40
삼광	12.6						
	13.7						
	15.0						
	16.2						
신동진	12.6						
	13.7						
	15.0						
	16.2						
추청	12.6						
	13.7						
	15.0						
	16.2						

④ 씨라기발생을 변화

- 씨라기발생은 쌀의 강도와 밀접한 관계가 있어 함수율, 곡은 및 비정립비율이 낮을수록 곡물의 강도도 커지므로 씨라기율도 낮게 나타나고, 도정도가 증가할수록 씨라기율도 증가하는 것으로 보고되고 있는데, 본 연구에서도 동일하게 3품종의 도정도(백도)가 증가할수록 씨라기율도 증가하는 경향을 나타내었음
- 장축, 단축 및 면적이 다른 품종에 비해 큰 신동진의 경우 씨라기율이 삼광 및 추청에 비해 높게 나타났으나, 함수율에 따라서는 일정한 경향을 보이지 않았는데 이는 시험용연삭식정미기의 구조에 따른 도정특성에 기인한 것으로 판단되었음

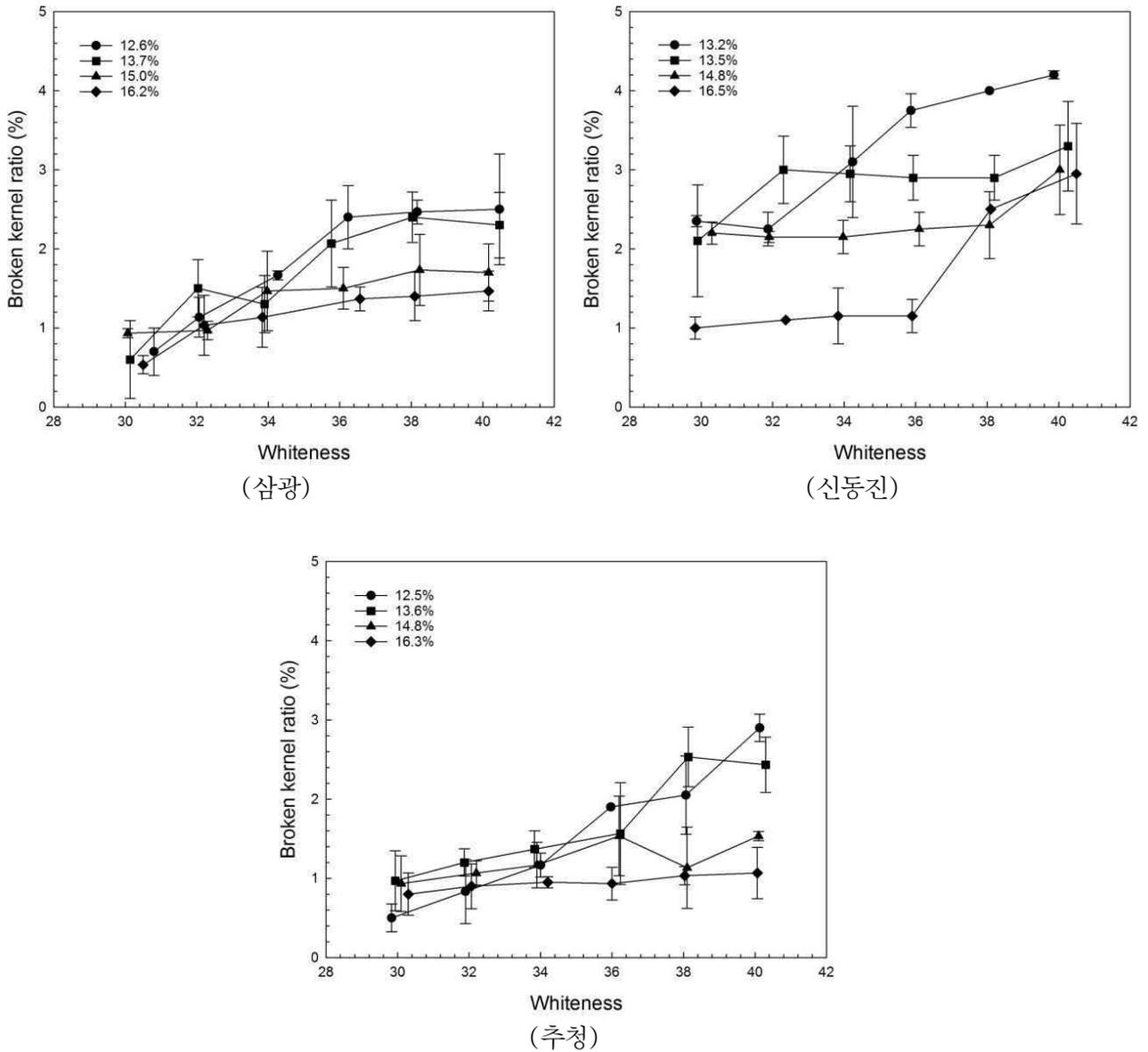
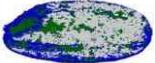
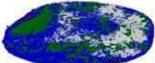
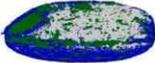
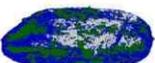
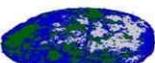


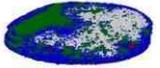
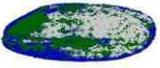
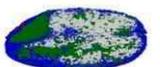
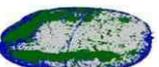
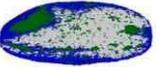
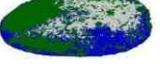
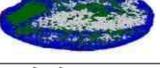
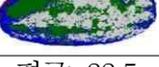
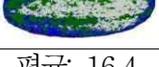
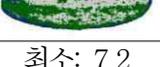
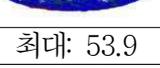
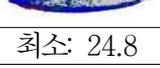
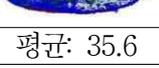
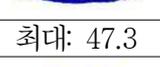
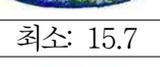
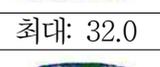
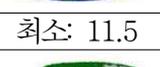
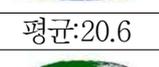
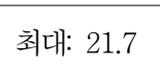
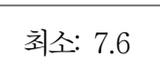
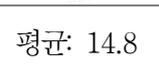
그림 2-1-1-16. 삼광, 신동진 및 추청의 초기함수율 및 백도 별 씨라기율 변화

⑤ 도정편차

- 연삭식 및 마찰식정미기로 구성된 일반적인 정미시스템에서 도정할 때 연삭식정미기에서 발생하는 도정편차는 마찰식정미기를 거치면서 점차 감소하는 경향을 나타내는데, 연삭식인 시험용도정기에서도 동일하게 3품종 모두 백도가 경과할수록 도정편차는 감소하는 경향이었음
- 백도 38수준에 도정편차는 함수율에 따라 삼광은 14.6~22.2, 신동진은 17.5~21.3, 추청은 18.3~24.0으로서 김 등(2000~2007)의 연삭식과 마찰식을 조합한 도정시스템으로 가공되는 유통되는 백미에 대한 측정치보다는 다소 높은 수준으로 나타나, 연삭들의 입도는 물론 연미기의 필요성에 대해 검토할 필요가 있음을 알 수 있었음

표 2-1-1-19. 함수율 및 백도 별 배아미의 CBB index 및 도정편차(품종 : 삼광)

함수율 (%,w.b.)	백도	CBB index			도정편차 (최대-최소)
12.6	30.8				25.9
		최대: 54.0	최소: 28.1	평균: 42.0	
	32.1				24.2
		최대: 47.5	최소: 23.3	평균: 33.4	
	34.3				27.8
		최대: 42.1	최소: 14.3	평균: 27.5	
	36.2				24.2
최대: 33.9		최소: 9.7	평균: 21.9		
38.2				20.3	
	최대: 26.0	최소: 5.7	평균: 14.3		
40.5				19.1	
	최대: 23.8	최소: 4.7	평균: 13.2		
13.7	30.1				31.3
		최대: 52.4	최소: 21.1	평균: 38.8	
	32.0				34.3
		최대: 49.1	최소: 14.8	평균: 31.6	

	33.9				31.0
		최대: 41.6	최소: 10.6	평균: 25.3	
	35.8				20.6
		최대: 30.5	최소: 9.9	평균: 20.1	
	38.0				16.7
		최대: 26.7	최소: 7.3	평균: 16.7	
	40.5				19.7
		최대: 26.1	최소: 6.4	평균: 13.4	
15.0	30.1				25.1
		최대: 41.4	최소: 16.3	평균: 29.9	
	32.3				28.1
		최대: 40.6	최소: 12.5	평균: 26.7	
	34.0				20.2
		최대: 30.7	최소: 10.5	평균: 22.5	
	36.1				20.3
		최대: 29.9	최소: 9.6	평균: 16.4	
38.2				22.2	
	최대: 26.2	최소: 7.2	평균: 14.9		
40.2				13.7	
	최대: 20.4	최소: 6.7	평균: 12.6		
16.2	30.5				19.1
		최대: 53.9	최소: 24.8	평균: 35.6	
	32.2				31.6
		최대: 47.3	최소: 15.7	평균: 30.0	
	33.8				20.5
		최대: 32.0	최소: 11.5	평균: 20.6	
	36.6				14.1
		최대: 21.7	최소: 7.6	평균: 14.8	

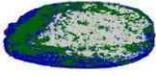
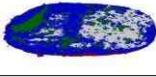
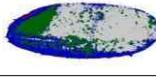
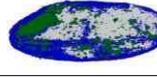
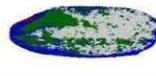
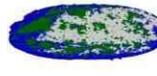
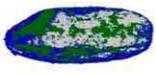
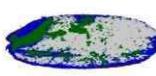
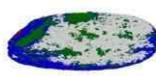
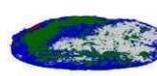
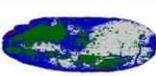
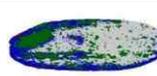
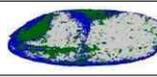
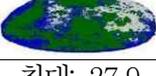
	38.1				14.6
		최대: 20.7	최소: 6.1	평균: 13.1	
	40.2				13.8
		최대: 17.6	최소: 3.8	평균: 10.1	

표 2-1-1-20. 함수율 및 백도 별 배아미의 CBB index 및 도정편차(품종 : 신동진)

함수율 (%,w.b)	백도	CBB index			도정편차 (최대-최소)
12.6	29.9				23.2
		최대: 50.3	최소: 27.1	평균: 38.7	
	31.9				25.6
		최대: 48.4	최소: 22.6	평균: 33.7	
	34.2				25.4
		최대: 45.9	최소: 20.5	평균: 30.1	
	35.9				20.3
		최대: 31.4	최소: 11.1	평균: 19.8	
	38.1				17.5
		최대: 23.9	최소: 6.4	평균: 14.0	
	39.9				16.4
		최대: 20.9	최소: 4.5	평균: 10.5	
13.7	29.9				28.0
		최대: 52.3	최소: 24.3	평균: 37.8	
	32.3				27.0
		최대: 48.2	최소: 21.2	평균: 35.1	
	34.2				22.5
		최대: 37.7	최소: 15.2	평균: 24.4	
	35.9				18.0
		최대: 32.5	최소: 14.5	평균: 22.3	
	38.2				21.3
		최대: 27.9	최소: 6.6	평균: 15.9	

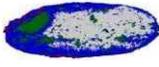
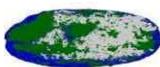
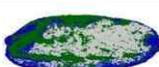
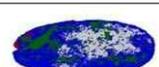
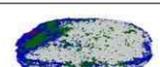
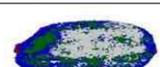
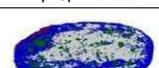
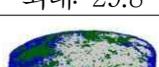
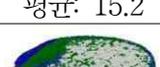
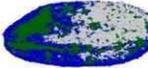
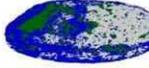
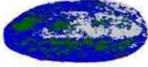
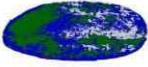
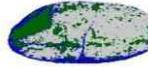
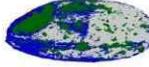
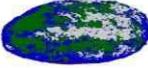
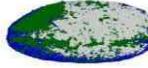
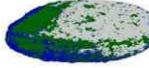
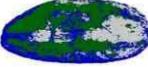
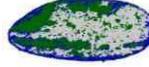
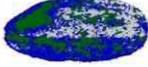
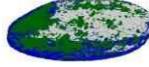
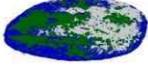
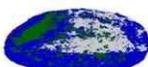
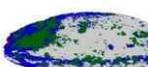
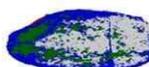
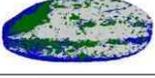
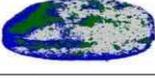
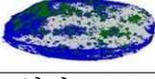
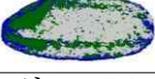
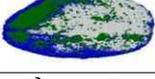
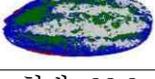
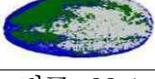
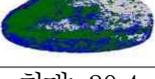
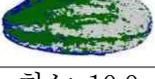
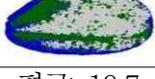
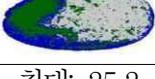
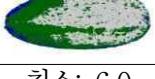
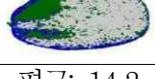
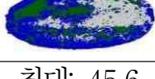
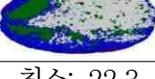
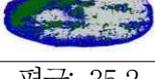
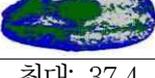
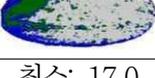
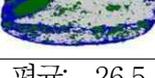
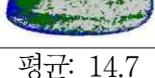
	40.3				19.6
		최대: 23.0	최소: 3.4	평균: 11.9	
15.0	30.3				26.5
		최대: 49.9	최소: 23.4	평균: 35.0	
	31.9				27.3
		최대: 43.3	최소: 16.0	평균: 26.2	
	34.0				18.4
		최대: 30.6	최소: 12.2	평균: 21.9	
	36.1				18.2
		최대: 28.5	최소: 10.3	평균: 18.8	
16.2	38.1				21.1
		최대: 27.9	최소: 6.8	평균: 16.0	
	40.0				18.4
		최대: 21.9	최소: 3.5	평균: 10.3	
	29.8				28.9
		최대: 50.4	최소: 21.5	평균: 35.4	
	32.4				24.8
		최대: 39.9	최소: 15.1	평균: 25.2	
16.2	33.8				19.3
		최대: 29.8	최소: 10.6	평균: 19.2	
	35.9				18.4
		최대: 27.9	최소: 9.5	평균: 17.8	
	38.1				20.5
		최대: 26.6	최소: 6.1	평균: 15.2	
16.2	40.5				17.9
		최대: 23.2	최소: 5.3	평균: 13.0	

표 2-1-1-21. 함수율 및 백도 별 배아미의 CBB index 및 도정편차(품종 : 추청)

함수율 (%,w.b)	백도	CBB index			도정편차 (최대-최소)
12.6	29.8				16.2
		최대: 51.9	최소: 35.7	평균: 43.3	
	31.9				22.5
		최대: 45.2	최소: 22.7	평균: 34.4	
	34.0				24.1
		최대: 39.7	최소: 15.6	평균: 27.2	
	36.0				21.4
		최대: 36.7	최소: 13.8	평균: 23.8	
	38.1				24.0
		최대: 32.6	최소: 8.6	평균: 20.6	
	40.1				24.4
		최대: 27.9	최소: 5.5	평균: 16.2	
13.7	29.9				19.0
		최대: 50.2	최소: 31.2	평균: 40.7	
	31.9				22.6
		최대: 46.1	최소: 23.5	평균: 33.0	
	33.8				24.5
		최대: 43.9	최소: 19.4	평균: 27.8	
	36.2				15.2
		최대: 31.8	최소: 16.6	평균: 22.6	
	38.1				18.3
		최대: 27.9	최소: 9.6	평균: 17.1	
	40.3				18.1
		최대: 22.1	최소: 4.0	평균: 12.2	
15.0	30.1				23.8
		최대: 49.5	최소: 25.7	평균: 35.9	

	32.2				24.0
		최대: 44.8	최소: 20.8	평균: 31.0	
	33.9				25.6
		최대: 40.6	최소: 15.0	평균: 25.4	
	36.2				19.9
		최대: 32.2	최소: 12.3	평균: 22.4	
	38.1				20.4
		최대: 30.4	최소: 10.0	평균: 19.7	
	40.1				19.2
		최대: 25.2	최소: 6.0	평균: 14.2	
16.2	30.3				23.3
		최대: 45.6	최소: 22.3	평균: 35.2	
	32.1				20.4
		최대: 37.4	최소: 17.0	평균: 26.5	
	34.2				22.4
		최대: 35.8	최소: 13.4	평균: 26.1	
	36.0				18.0
		최대: 29.8	최소: 11.8	평균: 20.6	
	38.0				20.8
		최대: 28.3	최소: 7.5	평균: 19.2	
	40.1				17.9
		최대: 24.1	최소: 6.2	평균: 14.7	

⑥ 칼라특성

- 3품종의 초기함수율 및 백도 별 배아미의 Lab값은 다음의 그림과 같이 백도가 경과할수록 L값은 증가하고, a 및 b값은 감소하는 경향을 나타내었고, 초기함수율에 따른 영향은 미비한 것으로 나타났는데, 특히 백도와 밀접한 관계가 있는 b값은 함수율에 따라 품종별로 일정한 경향을 나타내지 않았음
- L값의 경우 삼광은 백도 30 및 38에서 68.7~69.4 및 73.5~74.0이었으며, 신동진은 69.2~69.9 및 73.7~74.1, 추청은 69.4~70.3 및 74.3~74.6 수준이었고, a값의 경우 삼광은 백도 30 및 38에서 1.9~2.2 및 0.7~0.9이었으며, 신동진은 1.9~2.1 및 0.8~0.9, 추청은 2.0~2.4 및 0.8~1.0 수준이

었으며, b값의 경우 삼광은 백도 30 및 38에서 19.0~19.7 및 16.6~16.8이었으며, 신동진은 19.4~20.6 및 16.5~17.3, 추청은 19.3~20.4 및 16.8~17.4 수준이었음

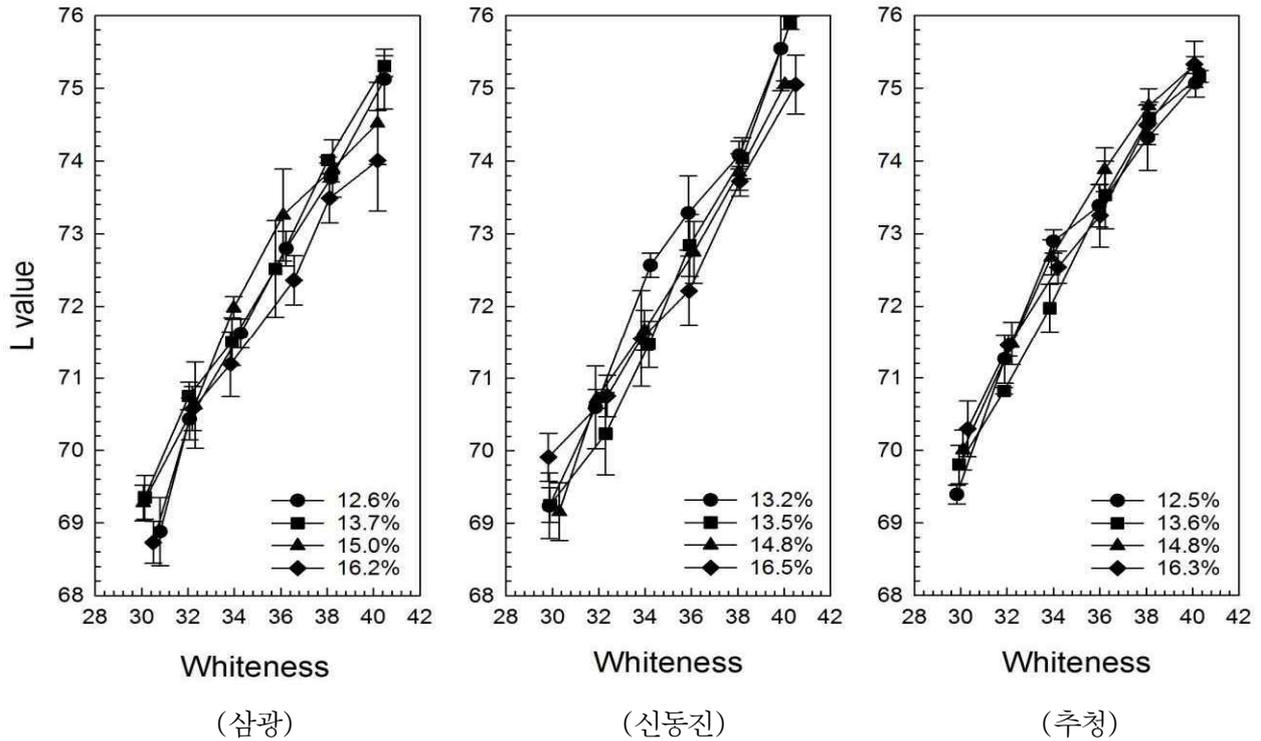


그림 2-1-1-17. 백도 및 초기함수를 별 L값 변화

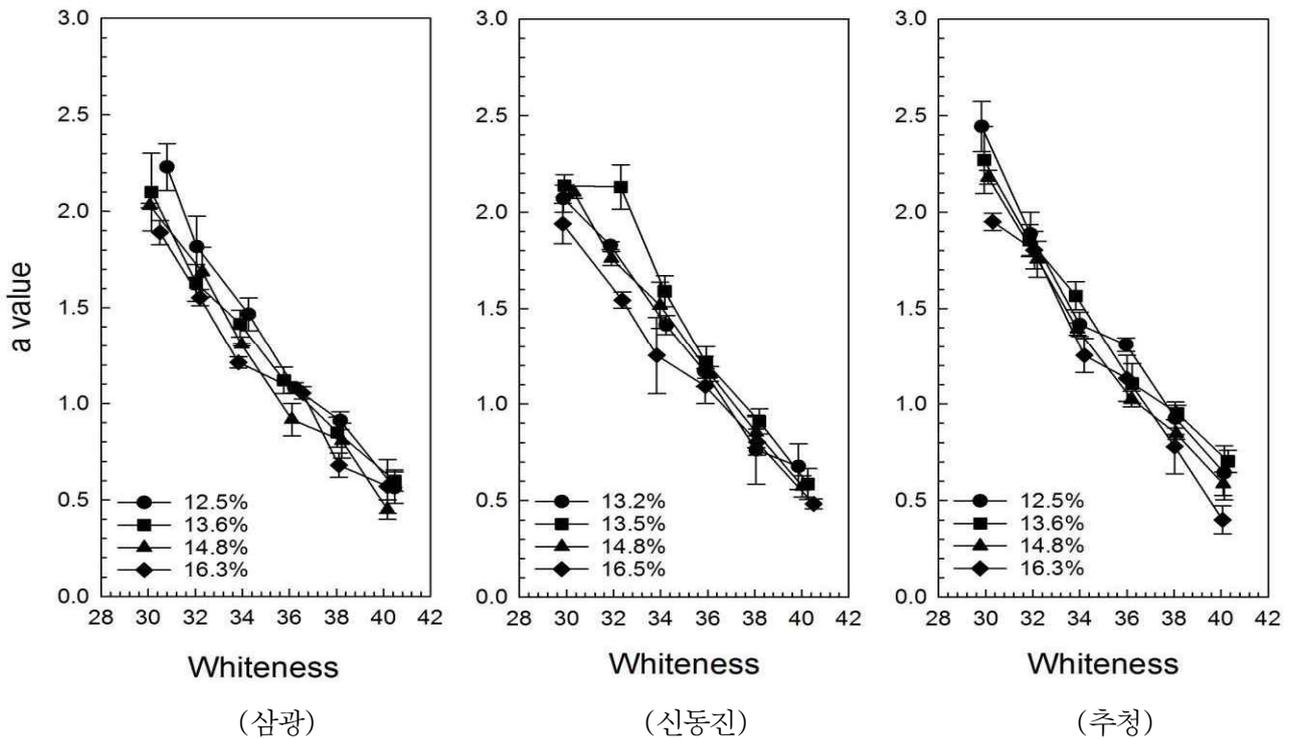
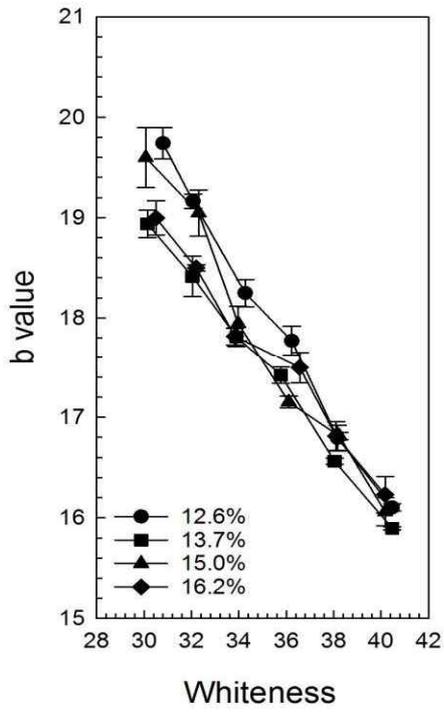
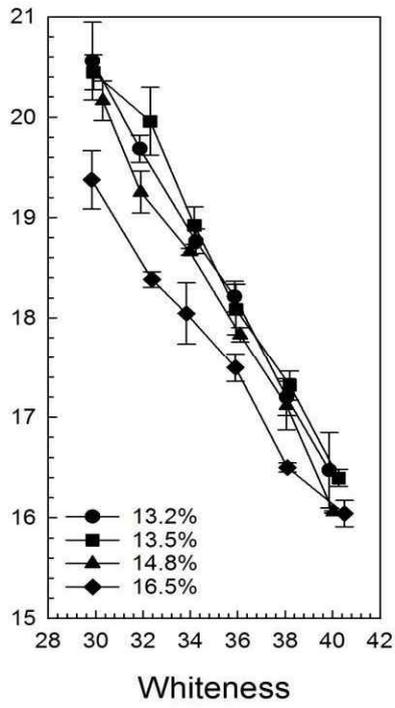


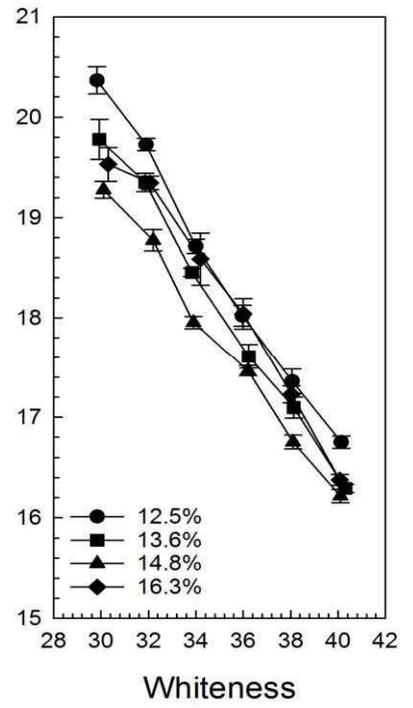
그림 2-1-1-18. 백도 및 초기함수를 별 a값 변화



(삼광)



(신동진)



(추청)

그림 2-1-1-19. 백도 및 초기함수율 별 b값 변화

(2) 배아미 품질이 관능적 식미에 미치는 영향 구명

(가) 실험방법

- 배아미 제조 및 품질기준 설정을 위하여 배아미의 품질 즉, 도정도 및 배아잔존율이 관능적 식미특성에 미치는 영향특성을 구명하기 위하여 현미에서 백도 40수준의 백미까지 6수준으로 도정도별 배아미를 제조하여 전문패널에 의한 관능적 식미평가를 실시하였음
- 실험에 사용한 시료는 2015년 경기화성지역에서 수확한 추청으로 RPC에서 탈부, 선별 후 포장되어 유통되는 현미를 구입하였는데 초기함수율은 15.4%(w.b.)이었으며, 구입된 시료는 색채선별기(FGS-1000, Satake, Japan)를 이용하여 미숙립, 피해립, 착색립 및 사미 등 불량립을 선별한 후 정립만을 공시하였으며, 밀봉후 2℃ 저온저장고에 보관하면서 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 배아미실험에 사용하였음
- 실험용연삭식정미기(TM-05, Satake, Japan)의 회전수 1,450rpm, 입도 #40 조건에서 현미를 백도 5수준으로 1단 도정한 후 실험용마찰식정미기(CBS550BS, Satake, Japan)를 이용하여 백도별로 2단 도정한 후 배아미를 제조하였음



(실험용 연삭식정미기)



(실험용 마찰식정미기)

그림 2-1-1-20. 관능적 식미평가를 위한 배아미 제조모습

- 밥의 관능적 특성은 관능적 품질평가에 대한 훈련을 받은 30명의 전문패널에 의해 김 등(2000)의 방법으로 2회 반복 평가하였음
- 백미 1000g을 수압세미기(PR-7J, Aiho, Co. Ltd., Japan)로 일정하게 수세한 후, 백미 수분함량을 기준으로 하여 1.45배의 가수하여 30분간 침지한 뒤 전기 밥솥(Samsung 850J, Korea)에서 취반하였으며, 취반 후, 보온상태에서 15분간 뜸을 들인 다음, 취반된 밥을 내솥으로부터 옆면 1cm, 바닥 1cm를 제외한 가운데 부분의 밥만을 bowl(지름×높이, 23cm×12cm)에 옮겨 담은 후, 밥알이 손상되지 않도록 주의하여 커다란 포크로 5회 밥을 혼합한 후 5분 냉장시켰음

- 이러한 혼합 및 냉각을 3회 반복한 후 흰색의 사기그릇(지름×높이, 8.5cm×5cm)에 ice cream scoop 을 사용하여 약 50g 정도의 밥을 담아서 뚜껑을 닫은 후 제시하였고, 관능검사시 밥의 온도가 27± 2℃ 정도가 되도록 한 후 실온에서 시료를 제공하였으며, 관능평가지 검사물에 대한 편견을 없애기 위해 무작위 세 자리 숫자로 표기된 시료를 한 점씩 제시하였으며, 시료의 제시순서는 무작위로 하여 위치오류와 대조효과에 의한 오차를 최소화하였음
- 관능적 품질 특성항목으로는 외관, 향, 맛, 조직감 및 전반적인 품질을 평가하였으며, 부수적인 강도 특성으로는 윤기, 색, 밥 이외의 냄새, 밥 특유의 맛 강도 및 조직감에서 낱알 표면의 거칠음성, 경도, 탄력성, 응집성, 부착성을 측정하였으며 따라서 평가항목은 총 14가지였고 평가방법은 9점 항목 척도(1=대단히 낮음, 5=보통정도, 9= 대단히 높음)를 사용하였음
- 시료간 차이검증은 Statistical Analysis System(SAS, 2015)을 이용하여 분산분석을 하였으며, 시료 간 차이가 있는 특성의 경우 SNK(Student Newman Keul's) 다중비교를 수행하여 각 시료의 평균값을 비교하였음



(수세)



(취반)



(시료준비)



(시료제시)



(관능검사)



(관능검사)

그림 2-1-1-21. 배아미의 관능적 식미평가 실험모습

(나) 결과 및 고찰

- 추청 현미를 이용하여 실험용연식식정미기 및 마찰식정미기를 이용하여 6수준으로 제조한 시료의 백도, 배아잔존율 및 함수율 등 품질특성은 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 백도는 20.3~ 40.7, 배아잔존율은 100~24.7% 수준으로서, 백도가 증가할수록 배아잔존율은 감소하였으며, 백도 40.7에서 배아잔존율은 24.7%로서 RPC에서 도정도별 배아잔존율 19.1%(김 등, 2006)보다는 다소 높게 나타났음

표 2-1-1-22. 백도 별 배아잔존율 및 함수율

백도	배아잔존율(%)	함수율(%w.b.)
20.3 ±0.000	100.0 ±0.000	15.4 ±0.021
29.8 ±0.058	88.8 ±0.979	14.9 ±0.100
32.2 ±0.153	76.2 ±1.043	14.6 ±0.115
35.2 ±0.153	57.7 ±1.957	14.6 ±0.153
37.1 ±0.058	43.3 ±2.355	14.6 ±0.058
40.7 ±0.058	24.7 ±1.727	14.7 ±0.058

- 다음 표는 백도(배아잔존율)를 다르게 제조한 배아미로 취반한 밥의 관능적 강도특성을 나타낸 것으로, 표에서 알 수 있듯이 백도(배아잔존율)와 강도특성 중 탄력성은 통계적 유의성이 없었으나 나머지 8개 항목은 p=0.001 수준에서 유의적인 차이가 나타났으며, 윤기의 정도 및 색의 강도 등 외관특성에서 배아잔존율이 가장 낮은 24.7%(백도 40.7)는 다른 배아잔존율과 차이가 있었으며, 향 및 맛 특성에서는 배아잔존율 24.7%는 배아잔존율 43.3(백도 37.1) 및 57.7%(백도 35.2)와 큰 차이는 나타나지 않았음
- 조직감 특성 중 경도 및 부착성은 배아잔존율 24.7~88.8% 범위에서 유사한 식미특성을 보였고, 응집성은 24.7~57.7%, 탄력성은 전체영역에서 유사한 식미특성의 결과를 보였음
- 한편, 밥의 관능적 품질특성도 강도특성과 유사한 경향을 나타내었는데, 백도가 증가할수록 냄새, 외관, 맛, 조직감의 품질은 증가하였으며, 통계적으로는 백도 20.3인 현미는 모든 품질특성에서 백도 29.8이상으로 도정된 시료와 p=0.001수준에서 통계적으로 유의적인 차이를 나타내어 현미보다는 조금이라도 도정된 쌀로 취반한 밥의 품질특성은 높게 나타났음
- 백도 29.8~37.1로 도정된 배아미로 취반한 밥과, 백도 40.7의 백미로 취반한 밥과는 조직감의 품질을 제외하고는 냄새, 외관, 맛 및 전반적인 품질에서 p=0.001수준에서 통계적으로 유의적인 차이를 나타내어 백도 37.1수준까지 제조한 배아미의 품질은 백미보다 높거나 비슷한 수준을 유지하기는 어렵다는 것을 알 수 있었음
- 백도 29.8~37.1로 도정된 배아미 중에서 백도 32.2~37.1%까지는 외관의 품질이외에는 냄새, 맛, 조직감 및 전반적인 품질에서 p=0.001수준에서 통계적으로 유의적인 차이가 없었으며, 이 결과는 향후 배아미의 제조 및 품질기준(안)의 정립에 활용될 수 있을 것으로 기대되었음

표 2-1-1-23. 밥의 관능적 강도 특성¹

백도	배아 잔존율 (%)	향	외관		맛	조직감				
		밥 이외의 냄새 강도***	윤기의 정도**	색의 강도***	밥 특유의 맛 강도**	날알 표면의 거칠음성**	경도***	탄력성	응집성***	부착성***
20.3	100.0	5.85 ^a ±1.97	3.11 ^e ±1.63	8.21 ^a ±0.98	3.89 ^c ±2.12	7.09 ^a ±1.89	7.23 ^a ±1.62	4.68 ±2.40	3.49 ^c ±2.06	3.32 ^b ±1.63
29.8	88.8	4.45 ^b ±1.87	4.72 ^d ±1.54	6.04 ^b ±1.55	5.00 ^b ±1.69	4.38 ^b ±2.03	4.89 ^b ±1.26	4.94 ±1.33	4.83 ^b ±1.45	4.62 ^a ±1.26
32.2	76.2	3.79 ^{bc} ±1.90	5.28 ^{cd} ±1.68	5.34 ^c ±1.62	5.21 ^b ±1.76	3.55 ^c ±1.98	5.02 ^b ±1.21	5.47 ±1.53	5.00 ^b ±1.38	5.02 ^a ±1.07
35.2	57.7	3.62 ^{bcd} ±1.92	5.68 ^{bc} ±1.60	4.72 ^c ±1.83	5.36 ^b ±1.76	3.38 ^c ±1.65	4.72 ^b ±1.16	5.19 ±1.54	5.26 ^{ab} ±1.52	5.21 ^a ±1.40
37.1	43.3	3.30 ^{cd} ±1.82	6.04 ^b ±1.63	3.98 ^d ±1.79	5.74 ^{ab} ±1.66	3.17 ^c ±1.89	4.89 ^b ±1.13	5.26 ±1.58	5.34 ^{ab} ±1.52	5.21 ^a ±1.27
40.7	24.7	2.81 ^d ±1.33	6.74 ^a ±1.34	2.87 ^e ±1.69	6.26 ^a ±1.57	2.94 ^c ±1.72	4.87 ^b ±0.97	5.55 ±1.54	5.85 ^a ±1.44	5.28 ^a ±1.30

¹ 1=없음, 9=대단히 강함
abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임
*, **, *** 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 2-1-1-24. 밥의 관능적 품질 특성¹

백도	배아 잔존율 (%)	냄새의 품질***	외관의 품질***	맛의 품질***	조직감의 품질***	전반적인 품질***
20.3	100.0	4.11 ^d ±1.98	3.15 ^e ±1.64	3.98 ^c ±2.20	3.32 ^d ±1.83	3.19 ^d ±1.88
29.8	88.8	4.94 ^c ±1.49	4.23 ^d ±1.46	5.02 ^b ±1.64	4.89 ^c ±1.56	4.64 ^c ±1.36
32.2	76.2	5.74 ^{bc} ±1.75	4.77 ^{cd} ±1.55	5.45 ^b ±1.60	5.51 ^{bc} ±1.61	5.21 ^{bc} ±1.67
35.2	57.7	5.74 ^{bc} ±1.71	5.02 ^c ±1.65	5.55 ^b ±1.72	5.51 ^{bc} ±1.59	5.30 ^{bc} ±1.60
37.1	43.3	6.04 ^b ±1.67	5.81 ^b ±1.41	5.81 ^b ±1.61	5.81 ^{ab} ±1.45	5.62 ^b ±1.58
40.7	24.7	6.77 ^a ±1.39	6.66 ^a ±1.36	6.57 ^a ±1.49	6.36 ^a ±1.33	6.40 ^a ±1.45

¹ 1=대단히 낮음, 9=대단히 높음.
abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임
*, **, *** 시료가 p=0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

(3) 배아미 제조후 후속공정이 배아잔존율에 미치는 영향 구명

(가) 실험방법

- 본 연구에서 개발한 연속식 배아미 대량제조시스템은 RPC에서 정미시스템 이전에 설치되거나 별도로 설로 설치될 수 있는데, 일반적인 RPC에서 정미시스템 이전에 배아미기를 설치한 다음, 정미시스템의 연미기-짜라기선별기(진동체선별기 또는 rotary sifter)-석발기-색채선별기-이물선별기-연류계-유하식선별기를 공동으로 사용할 경우 배아미 제조후 후속공정에 따라 배아잔존율이 어떻게 변화하는지 확인이 필요하였음
- 따라서 본 연구에서는 실제 RPC에서 제조된 배아미가 기존의 도정라인을 통과할 때 어느 정도 배아잔존율에 영향을 미치는지를 확인하기 위하여 정미기 및 배아미제조겸용시스템(자체적으로 배아미제조시설로 간주)이 설치된 전북익산소재 민간RPC에서 2016년 2월 신동진 품종을 대상으로 원료-배아정미기-연미기-석발기-진동선별기-색채선별기-이물선별기-연류계-유하식선별기 등 각 도정단계별로 배아미를 채취하여 배아미 품질특성을 측정하였음
- 품질특성은 곡온, 함수율, 백도 및 배아잔존율을 측정하였는데, 곡온측정은 Thermocouple(t-type, Omega, USA)을 이용하였으며, 함수율측정은 단립수분계(CTR-500EH, Hansung, Korea)로, 백도는 백도계(CR300-3, Kett, Japan)를 이용하여 측정하였는데 측정방법은 앞 절과 동일하였음



(배아정미기)



(연미기)



(배아정미기 금망)



(시료수집)

그림 2-1-1-22. 전북익산소재 민간RPC의 배아미 제조시설(자체적으로 배아미시설로 간주) 및 현장실험모습

(나) 결과 및 고찰

- 동절기인 2016년 2월에 현장실험을 실시하여 낮은 외기조건으로 인해 원료 현미의 곡온이 1.3℃로 낮았으나, 배아정미기, 연미기를 거치면서 13.6℃까지 상승한 다음, 석발기-진동선별기-색채선별기-이물선별기-연류계-유하식선별기를 거치면서 점차 하강하여 10℃ 내외를 유지하였음
- 원료현미의 초기함수율은 약 15.3%(w.b.) 수준이었으나 표면미강이 제거되면서 함수율이 약간 상승하였다가 석발기-진동선별기-색채선별기-이물선별기-연류계-유하식선별기를 거치면서 접촉하는 외기의 온습도조건에 따라 15.3~15.6%까지 미미한 변화를 나타내었음
- 백도는 원료 상태에서 22.3수준이었으나, 배아정미기에서 28.7, 연미기에서 33.1까지 상승하여 일정 이상 도정도를 유지하였으며, 그 이후 공정에서 백도변화는 거의 없는 것으로 나타났으나 전체적으로는 낮은 백도를 나타내었음. 한편, 배아정미기에서 5.4, 연미기에서 4.4정도의 백도가 상승하여 배아정미기에서 백도상승폭이 연미기와 큰 차이가 없었는데 도정도에 따른 백도변화가 비선형적으로 증가(김 등, 2005)하는 것을 감안하여도 배아정미기와 연미기에서의 도정배분에 대해서는 조정이 필요하였음
- 한편, 현미상태에서 100%이었던 배아잔존율은 배아정미기 이후 84.9%, 연미기 이후 76.1%, 석발기 이후 65.0% 수준이었고, 그 이후 공정에서는 증감이 다소 있었으나 실험오차로 판단되었으며, 배아가 가장 많이 탈락한 부분은 배아정미기에서 15.1%, 연미기에서 8.8%, 석발기에서 11.1% 수준으로서, 배아잔존율을 높게 유지하기 위해서는 배아정미기에서 배아미 제조시의 배아탈락방지를 위한 배아미 제조조건의 구명과 함께, 배아제조전에 현미상태에서 충분하게 석발, 색채선별 및 이물선별 등의 공정을 거치는 방법으로 공정이 구성되어야 하며, 연미기 통과 필요성 및 싸라기선별기 등 진동체에 의한 선별기의 사용여부 및 대체방안의 확립도 중요할 것으로 판단되었음

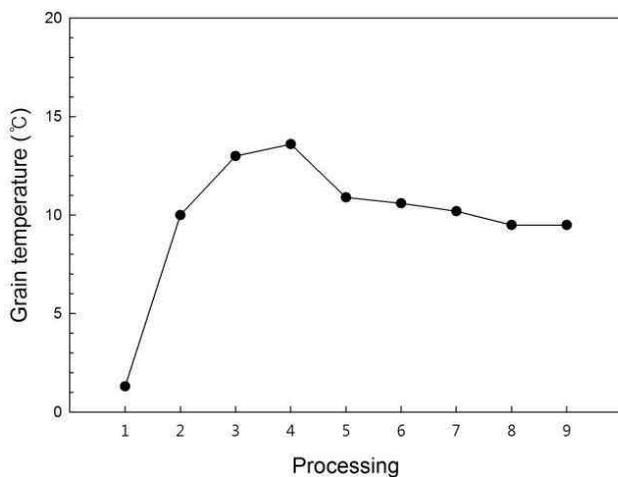


그림 2-1-1-23. 배아미 제조공정에서의 온도변화

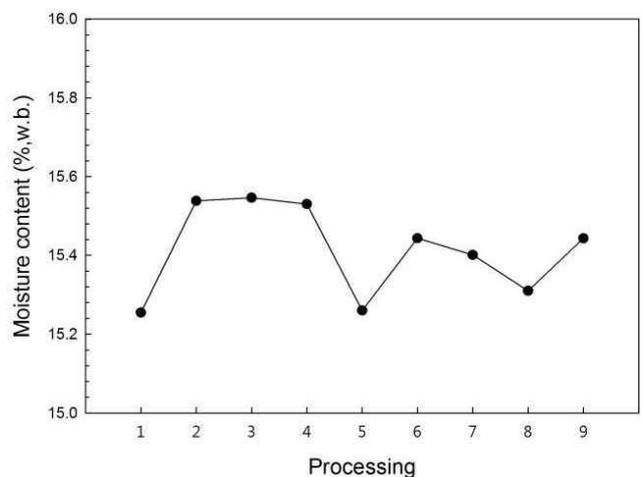


그림 2-1-1-24. 배아미 제조공정에서의 함수율변화

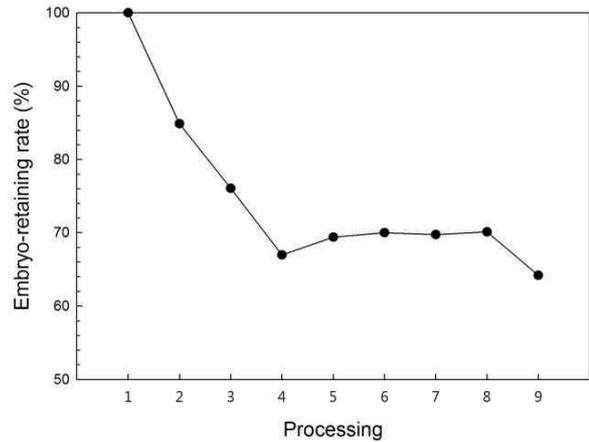
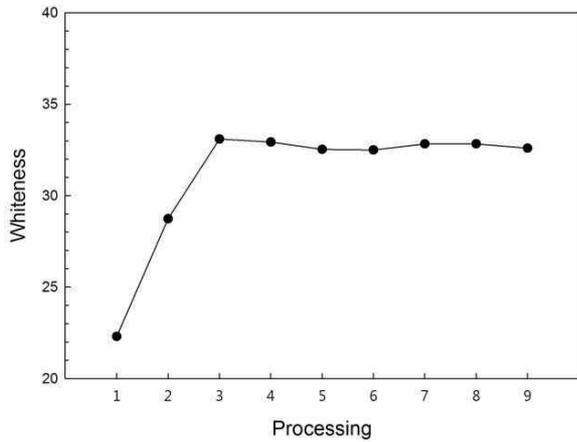


그림 2-1-1-25. 배아미 제조과정에서의 백도변화 그림 2-1-1-26. 배아미 제조과정에서의 배아잔존율 변화
 1. 원료, 2. 배아정미기, 3. 연미기, 4. 석발기, 5. 진동선별기, 6. 색채선별기, 7. 이물선별기, 8. 연류계, 9. 유하식선별기

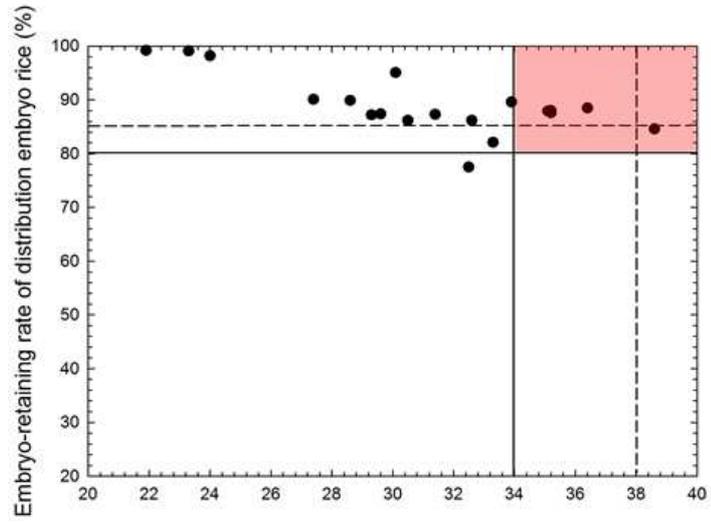
(4) 배아미 품질 및 제조조건 정립

- 본 연구에서는 우리나라 실정에 적합한 배아미의 품질기준(안)을 정립하고, 이 기준(안)을 품질 및 제조조건으로 하여 연속식 배아미 대량제조시스템을 개발하고자 하였으며, 이를 위하여 배아미와 관련된 국내외 선행연구, 일본의 기준 및 유통현황, 국내 유통현황 및 시설조사, 제조조건별 배아미 품질특성, 배아미 관능적 식미평가 등의 연구를 수행하였음
- 조식감 특성 중 경도 및 부착성은 배아잔존율 24.7~88.8% 범위에서 유사한 식미특성을 보였고, 응집성은 24.7~57.7%, 탄력성은 전체영역에서 유사한 식미특성의 결과를 보여 일부 도정만으로도 식미에 큰 차이가 없었고, 수율과 배아부착율의 측면에서는 현미상태로 유지하는 것이 유리하므로 수율, 배아부착율 및 식미측면에서는 현미에 가깝게 도정하여도 큰 문제는 없을 것으로 판단되었음
- 그러나, 일본의 백미를 좋아하는 특유의 식습관을 고려하지 않더라도 배아제거가 부족할수록 지질의 산패에 따른 유통성 및 안전성 저하 등에 대한 충분한 연구결과를 확보하지 못한 상태에서 일본 기준(백도 34, 배아부착율 80%이상)을 개선한 품질기준(안)을 제시하는 것은 현실적으로 불가능하였음. 따라서 본 연구에서도 백도 34 수준, 배아부착율 80%이상을 받아들여 배아미 품질 및 제조조건으로 설정하였으며, 향후 이 부분에 대한 보다 많은 연구결과를 토대로 품질기준(안)이 개발되기를 희망함. 이 때 정백수율은 김 등(2006)의 백도와 도정도와의 관계식에서 추정하면 약 91.0% 수준이었음
- 배아미 기준을 토대로 유통배아미의 백도에 따른 배아잔존율 분포, 도정과정에서의 배아잔존율, 백도에 따른 관능적 식미특성을 다음의 그림과 같이 나타내었음

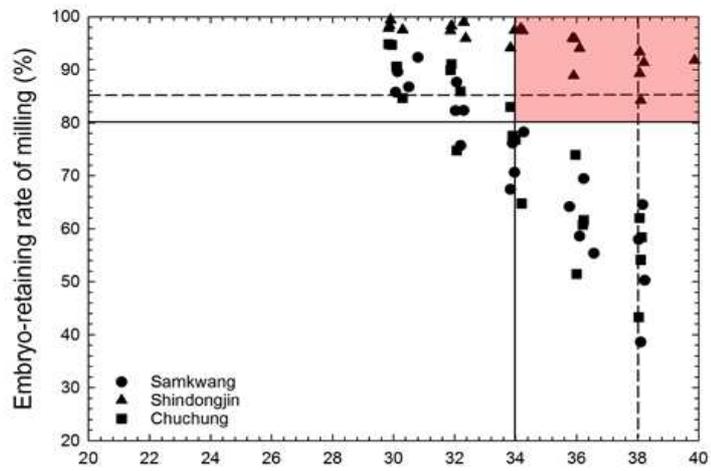
표 2-1-1-25. 배아미 품질 및 제조조건

기준인자	품질 및 제조조건	일본(21배아정미추진협의회)		일반백미
		구 기준	신 기준	
배아부착율	80% 이상	80% 이상	85% 이상	20% 이하
백도	34 이상	34 이상	38 이상	±40

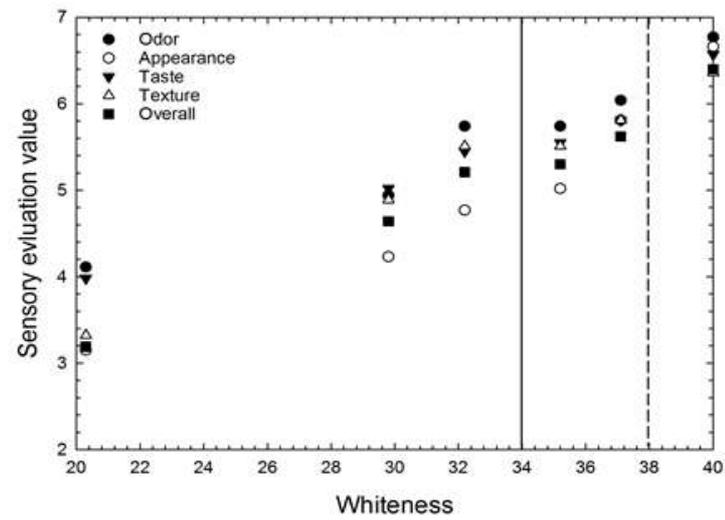
(A)



(B)



(C)



- 국내기준, -- 일본기준, 품질 및 제조기준 충족 범위

그림 2-1-1-27. 배아미의 품질 및 제조조건의 설정

(A : 유통 배아미 조사결과, B : 3품종에 대한 배아미제조실험결과, C : 백도별 관능적 품질 측정결과)

다. 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품 설계 및 제작

(1) 실험방법

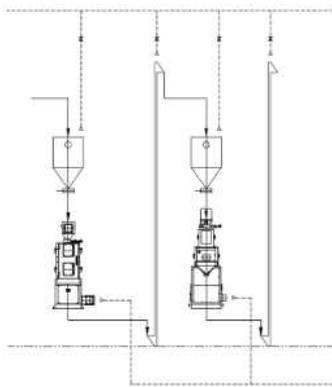
- 선행기술 조사결과, 배아미를 제조하기 위해서는 봉상(棒狀)으로 도정하는 것이 필요하며, 이를 위해 주속도, 금강사 입도 및 압력이 중간수준이 적당(Satake, 1990)하였으며(그림 2-1-3~4 참조), 원료의 함수율은 낮을수록, 도정이 적을수록, 품종별로 차이가 있어 대립이 소립에 비해 높은 배아잔존율(신동진>삼광>추청)을 나타내었음
- 한편, RPC 도정특성 분석결과에 의하면 국내 RPC에서 제조되는 백미(백도 40, 도정도 9.5%수준)의 배아잔존율은 약 25% 수준으로 일본 유통쌀에 비해 다소 높은 편이었는데, 일반 백미에서 높은 배아잔존율로 인한 외관품질의 저하는 물론, 상대적으로 지질함량이 높은 배아부분에서 지질산패로 인한 유통성 저하를 방지하기 위해서는 도정시스템에서 마찰식정미기의 도정배분 증가가 필요하였고, 반면 도정과정중 지나친 곡온상승으로 인한 싸라기 발생을 방지하기 위해서는 마찰식정미기의 도정배분 감소가 필요하므로(김 등, 2014 ; 일본정미공업협회, 2015), 배아미 제조를 위해서는 연삭식정미기중심으로 개발하는 것이 적합할 것으로 판단되었음
- 배아미의 연속식 대량생산시스템의 구성은 처리능력과 연계되어야 하며, 주로 설치될 장소가 RPC이고, 현재 우리나라 RPC에 보급되었거나 보급중인 도정시설의 각 라인별 가공능력은 2.5~5ton/hr임을 감안할 때 생산라인의 자동화를 위해서는 처리능력은 2.5ton/hr 수준의 연속식으로 제조하는 것이 적합한 것으로 판단하였으며, 배아미 제조 후 공정이 길어질수록 배아잔존율이 저하하므로 석발기, 색채선별기 및 이물선별기 등은 배아미 제조 전에 설치하고, 배아미 제조 후에는 싸라기선별기, 금속선별기 등의 설치정도로 최소화하는 것이 바람직할 것으로 판단되었음
- 따라서 본 연구에서는 본 연구의 참여기업인 정미시스템 전문 제조업체인 한국토요와 공동으로 주속도, 금강사입도 및 압력조절이 가능하면서 생산능력 2.5ton/hr 규모인 최초 즉, 1차 배아미 연속식 대량제조시스템을 설계하여 시작품을 제작하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

(나) 결과 및 고찰

- 현재까지 배아미 선행기술의 조사 및 일반적인 도정기술의 조사 등을 모두 고려하여 배아미 제조시스템은 연삭식(고속계로서 이하 혼용)을 중심으로 최종적인 연미기능까지 포함한 다단식 배아미 연속식 대량제조시스템을 참여기업인 한국토요와 공동으로 설계하였음
- 본 1차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품은 총 4단으로서 1~3단은 연삭식, 4단은 연미를 위한 마찰식으로 구성하였으며, 향후 설치의 용이성 및 설치공간 등을 고려하여 2대로 설계하였는데 1번기는 연삭 1, 2단, 2번기는 연삭 3단 및 연미 1단 등으로 구성하였으며, 현장실험기간 주요 제어 대상인 주속도, 금강사 입도 및 압력 등을 조절하기 위한 장치를 설계하였음
- 금강사 입도는 30~60메쉬(mesh, 1 inch²중의 입도, #표시와 혼용)수준에서 약 3가지 형태로 입도

가 다른 연삭돌의 교체가 가능하도록 제작하되 #60을 기준으로 하였고, 각 단에 압력조절장치를 부착하였으며 연미에서 과도한 압력이 가해지지 않는 대신 연미기능이 충분하도록 롤러의 크기를 확대하였으며, 또한 각 단의 주속도 제어를 위해 각 단의 모터용량에 적합 인버터를 설치할 수 있도록 설계하였음

- 각 단의 소요동력은 연삭식은 25HP, 연미는 20HP으로 설계하였고, 집진은 1번기의 1, 2단, 2번기의 3, 4단을 각각 1대의 송풍기로 집진하도록 구성하였는데, 이 때 송풍량 및 정압기준은 1번기 및 2번기 모두 50m³/min, 195mmAq 수준으로 설계하였으며, 배아미 연속식 대량제조시스템의 기본구성, 1, 2번기의 기본설계도면(외형)과, 1, 2번기의 제조장면, 연삭돌, 인버터, 금망 및 롤러의 사진은 다음과 같았음



처리능력(ton/hr)		2.5
설치형태		두 대 직렬설치
구성	1번기	연삭+연삭
	2번기	연삭+연미

그림 2-1-1-28. 연삭식(고속계) 및 연미기능을 가진 배아미 연속식 대량제조시스템 기본구성

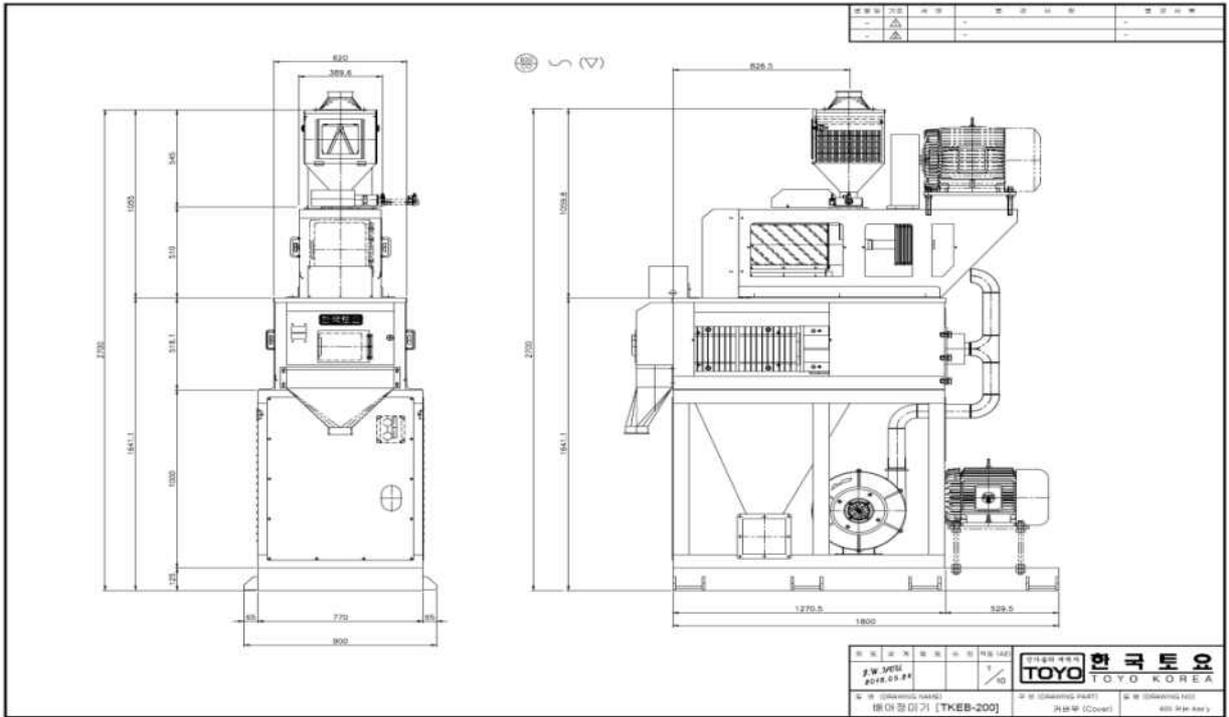


그림 2-1-1-29. 연삭식(고속계) 및 연미기능을 가진 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품 1번기 기본설계도

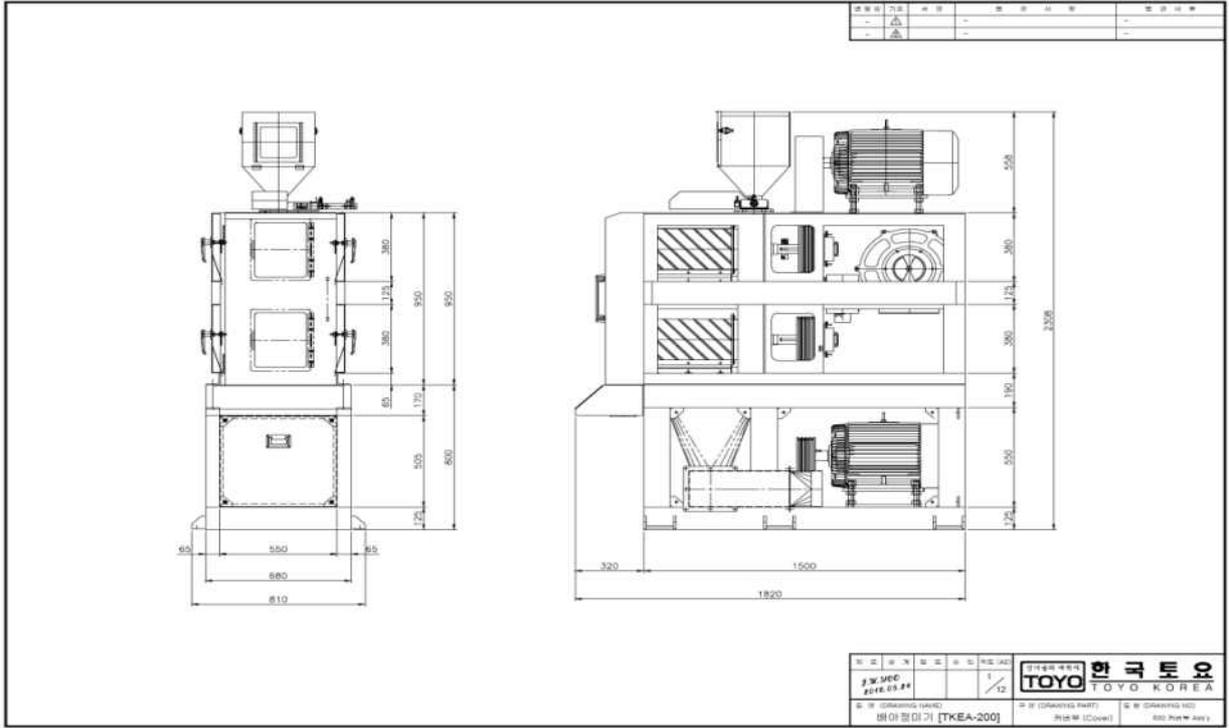


그림 2-1-1-30. 연삭식(고속계) 및 연미기능을 가진 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품 2번기 기본설계도



(1번기(1, 2단))



(2번기(1, 2단))



(1, 2번기)

그림 2-1-1-31. 연삭식(고속계) 및 연미기능을 가진 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품 제작장면



(Invertor)



(연삭기용 연삭돌과 금망)



(배아미기 연미용 및 일반 연미기용의 비교)



(입도별 연삭돌)

그림 2-1-1-32. 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품에 사용된 주요 부품

라. 배아미 연속식 대량제조시스템 현장실험 및 보완

(1) 실험방법

- 설계·제작된 1차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품을 이용한 현장실험은 총 3차에 걸쳐 실시되었으며, 각 현장실험에서 발생하는 문제점을 도출하여 시스템을 보완하였는데, 주요한 현장실험 일정 및 주요 관점은 다음과 같았음
- 제 1차 현장실험은 설계·제작된 최초의 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품을 이용하여 전북 김제소재 민간 RPC에서 2016. 7. 28~9. 27일 까지 10회의 실험을 실시하였는데, 최초 작동조건별 제조된 배아미 특성을 측정하는데 주력하였음



(전북 김제 소재 민간 RPC)



(RPC에 설치한 최초의 배아미 제조시스템시작품)



(배아미 제조시스템의 현장실험)



(배아미 제조시스템의 현장실험(동력측정))

그림 2-1-1-33. 1차 배아미 연속식제조시스템 시작품을 이용한 1차 현장실험 장면

- 제 2차 현장실험은 1차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품의 동력전달부 등이 개선된 2차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품을 충북 청주소재 민간 RPC에 설치한 다음, 2016. 11. 16~12. 7 일 까지 8회에 걸쳐 실시되었음. 실험장소의 이전은 1차실험한 RPC의 도정라인은 1라인으로 본 현장실험을 실시할 때 도정이 어렵다는 점과, 15% 이하의 저수분 원료공급의 한계로 충분한 실험여건의 조성이 어려웠기 때문이었음



(2차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품이 설치된 충북 청주 소재 민간 RPC 및 PLC제어패널)



(개선된 배아미 연속식 대량제조시스템 및 시료 채취)

그림 2-1-1-34. 2차 배아미 연속식제조시스템 시작품을 이용한 2차 현장실험 장면



(3차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품 설치)

(주속도 제어용 인버터)



(개선된 배아미 제조부분)

(배아미 시료채취 장면)

그림 2-1-1-35. 3차 배아미 연속식제조시스템 시작품을 이용한 3차 현장실험 장면

- 제 3차 현장실험은 앞서 진행한 1차, 2차 현장실험에서 발생한 문제점을 해결하기 위하여 개선된 3차 배아미 연속식제조시스템 시작품을 재설계한 후 제작하여 충북 청주소재 민간 RPC에 설치하여 2차 현장실험에 사용한 시스템을 교체한 다음, 2017년 5월 23일에 진행하였으며, 동일 시스템에서 유량 및 압력만을 조정하면서 시료를 채취하여 분석하였음
- 1, 2, 3차 현장실험에 사용된 시료는 각 RPC에서 제공한 시료를 사용하였는데, 1차는 신동진 품종, 2, 3차는 진수 품종이었으며, 세부적인 품질측정항목은 함수율, 백도, 배아잔존율 및 도정편차 등이었으며, 측정방법은 전술한 바와 동일하였음

(2) 결과 및 고찰

(가) 제 1차 현장실험 및 시스템 보완

- 최초로 제작된 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품을 전북 김제소재의 민간 RPC의 가공실에 설치한 다음, 민간 RPC에서 취급하는 주품종인 신동진을 이용한 2016년 7월 28일~29일, 2016년 9월 27일 등 3개월간에 걸쳐 총 10회의 배아미 제조 현장실험을 실시하였음. 실험내용에 비해 실험기간이 길어진 것은 동 RPC의 가공라인이 5ton/hr 규모의 1라인뿐이고, 유통 백미생산으로 배아미 실험을 위한 원료의 투입과 제품의 배출을 수작업으로 진행해야 하고, 적절한 함수율을 가진 원료 버를 확보하는데 애로가 많았기 때문이었음
- 1차 1번째 실험은 2016년 7월 28일~29일에 실시하였으며 연삭돌의 주속도가 500m/min되도록 회전속도를 777rpm으로 고정하고, #60의 연삭돌을 사용하여 함수율 15.8%, 백도 20.3인 신동진 품종 현미를 이용하여 도정압력과, 연삭단계의 증가 등 제반 조건하에 실험을 실시하면서 시료를 채취하여 분석하였으며, 이 때 실험조건과 분석결과는 다음 표와 같았음
- 표에서 알 수 있듯이 1차 1번째의 5회의 실험조건하에서 제조된 배아미의 최종 품질은 평균 백도 32.2, 배아잔존율 58.5%로서 배아미 국내기준(안)의 백도기준 35 및 배아잔존율 기준 80% 이상보다 현저하게 낮아 배아미 연속식 대량제조시스템의 제조가 대단하게 어렵다는 것을 인지하였으며, 참여기업인 한국토요와 협의하여 ① 연삭돌의 입도 조정, ② 1단 압력 및 rpm조정, ③ 함수율이 낮은 원료 사용, ④ 연미 필요성 재검토, ⑤ 각 단사이의 방냉 필요성 검토 등 5가지 보완대책을 수립하였음

표 2-1-1-26. 1차 배아미 연속식제조시스템 시작품을 이용한 1차 1번째 현장실험조건 및 분석결과

SET	실험조건				품질특성				비 고
	단	연삭돌 (mesh)	rpm	압력 (A)	함수율 (%)	백도 (-)	배아잔존율 (%)	싸라기율 (%)	
원료				-	15.8	20.3	100	0.305	
1	1-연삭	60	777	6.5	15.9	21.7	100	1.465	3연삭+1마찰
	2-연삭			7.1	15.6	25.2	93.8	1.765	
	3-연삭			6.5	15.4	28.7	71.6	2.167	
	4-연미			7.1	15.1	33.0	44.06	3.807	
2	1-연삭	60	777	8.94	15.9	21.6	100	0.327	1단 연삭의 압력 조정
	2-연삭			10.2	15.8	25.6	91.4	0.878	
3	1-연삭	60	777	8.6	15.8	21.6	100	0.418	1단 연삭의 압력 조정
	2-연삭			9.9	15.8	24.9	98.34	0.743	
	3-연삭			8.6	15.5	28.9	75.62	0.873	
	4-연미			9.9	15.3	31.3	56.55	1.170	
4	1-연삭	60	777	8.6	15.9	21.5	98.92	0.439	
	2-연삭			9.9	15.8	23.9	98.12	0.505	
	3-연삭			8.6	15.6	25.5	95.44	0.483	
	4-연삭			9.9	15.6	27.7	80.68	0.501	
	5-연삭			8.6	15.3	30.6	79.6	0.586	
	6-연삭			9.9	15.2	32.5	59.88	0.614	
5	1-연삭	60	777	-	15.7	21.9	100	0.352	1,2단 압력증가
	2-연삭			-	15.2	25.0	97.16	0.413	
	3-연삭			-	15.1	28.2	87.82	0.479	
	4-연삭			-	15.0	31.9	73.7	0.489	
평균(최종 배아미)					15.2	32.2	58.5	1.52	

- 1차 2번째 현장실험은 2016년 9월 27일에 민간 RPC에서 실시하였는데, 1차 1번째에서 발생된 문제 점을 보완하기 위하여 연삭돌 입도를 #46 및 #30을 혼용하고, rpm, 도정압력의 조건을 변화시키며, 총 5회에 걸쳐 시료를 채취하여 분석하였는데, 그 결과는 다음 표와 같았음
- 표에서 알 수 있듯이 1차 2번째의 5회의 실험조건하에서 제조된 배아미의 최종 품질은 평균 백도 31.9, 배아잔존율 55.0%로서 1차 1번째 현장실험결과보다도 오히려 좋지 않은 결과를 나타내었음

며, 참여기업인 한국토요와 협의 결과, ① 1단의 도정도 증가, ② 함수율이 낮은 원료 사용, ③ 연미 필요성 재검토 등 3가지 보완대책을 수립하였으며, 이를 위해 시스템의 재설계 및 제작을 실시하기로 합의하였음

표 2-1-1-27. 1차 배아미 연속식제조시스템 시작품을 이용한 1차 2번째 현장실험조건 및 분석결과

SET	실험조건				품질특성				비 고
	단	연삭돌 (mesh)	rpm	도정압 력(A)	함수율 (%)	백도 (-)	배아잔존 율(%)	짜라기 율(%)	
1	1-연삭	46	758	16	15.2	21.2	99.6	0.4	연삭돌 변경
	2-연삭		845	20	15.1	25.8	97.0	-	
	3-연삭		1038	9	14.7	27.8	85.2	-	
	4-연미	844	14	14.7	30.0	63.8	0.1		
2	1-연삭	46	894	18	14.9	21.8	99.5	0.0	회전수 변경
	2-연삭		957	20	14.8	26.3	90.0	0.7	
	3-연삭		950	12	14.8	28.9	72.8	0.6	
	4-1-연미	1092	18	14.8	30.7	59.8	0.2		
	4-2-가수연미	1092	18	14.7	32.3	54.3	0.2		
3	1-연삭	46	894	19	15.2	21.5	99.2	0.2	도정압력 조절
	2-연삭		957	21	14.9	27.4	87.2	0.6	
	3-연삭		950	11	15.0	30.3	72.7	0.9	
	4-가수연미	1092	15	14.9	32.5	54.1	0.2		
4	1-연삭	30	894	20	14.6	22.1	99.7	0.3	1,2단 연삭돌 변경
	2-연삭	957	21	14.8	27.3	90.4	0.3		
	3-연삭	46	950	11	14.9	30.4	77.1	0.9	
5	1-연삭	30	894	23	15.2	22.0	98.7	0.4	1, 2단 연삭돌 변경 및 4단 회전수 조절
	2-연삭		957	20	14.9	27.7	86.0	1.0	
	3-연삭	46	950	11	14.8	30.7	70.1	1.2	
	4-연미	1172	16	14.7	34.1	42.8	1.7		
평균 (최종 배아미)						31.9	55.0		

(나) 제 2차 현장실험 및 시스템 보완

- 전술한바와 같이 1차의 1, 2번 현장실험 결과에서 제조된 배아미품질이 당초 기대했던 배아미 국내 품질기준(안)보다 현저하게 낮아 개선된 시스템을 설치하여 재실험하는 것이 필요하였으나, 동 RPC의 가공라인이 5ton/hr 규모의 1라인뿐으로 유통 백미를 생산해야하므로 배아미 실험을 위한 원료의 투입과 제품의 배출을 수작업으로 진행해야 하고, 적절한 함수율을 가진 원료 벼를 확보하는데 애로가 많아 실험장소를 변경하였음
- 2차 현장실험 장소는 농식품부 고품질쌀브랜드육성사업의 2016년도 사업대상인 충북 청주소재 민간 RPC에서 배아미기 설치를 희망하여, 상호 협의 하에 성능이 배아미 국내 품질기준(안)인 백도기준 34 및 배아잔존율 기준 80% 이상을 만족할 때까지 보완하는 것을 조건으로 설치하였음
- 이에 따라 1차로 전북 김제소재 민간 RPC에서 실험하였던 1차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품의 동력전달부 등을 약 2개월에 걸쳐 새롭게 보완하여 제작한 2차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품을 충북 청주소재 민간 RPC에 설치한 다음, RPC에서 배아미 제조용으로 고려하고 있는 “진수” 품종을 이용하여 2016. 11. 16~12. 7일 까지 8회에 걸쳐 2차 현장실험을 실시하였음
- 충북 청주소재 민간 RPC에 설치된 배아미 제조시스템은 원료탱크로부터 원료를 공급받아 배아미를 제조한 후, 진동체선별기와 색채이물선별기를 거쳐 제품탱크로 이송하도록 구성되어 있으며, PLC panel에 의한 자동운전이 가능하도록 구성하였음
- 함수율 14.3%로 조제된 진수 품종의 원료 현미를 이용하여 연삭들의 입도변경, 각 단의 압력조절, 연미방식의 제외 등 다양한 조건하에서 총 8회에 걸쳐 배아미를 제조하면서 시료를 채취하여 품질을 측정된 결과는 다음 표와 같았음
- 표에서 알 수 있듯이 배아미 국내 품질기준(안)을 만족하지는 않았지만 1차 현장실험결과보다는 개선되었으며, 특히 연삭 초기조건이 강화된 SET 3의 결과는 백도 33.9, 배아잔존율 80.5%로서 배아미 국내 품질기준(안)에 근접하여 일부를 추가 개선할 경우 배아미 연속식 대량제조시스템의 상용화 가능성이 높을 것으로 기대되었음
- 따라서, 연삭 초기조건 강화를 위해서는 2차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품의 설계변경이 불가피하다고 판단하여 재설계를 실시하였으며, 재설계에 따라 3차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품을 제작하여, 기존의 실험한 2차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품과 교체 설치하여 3차 현장실험을 실시하였음

표 2-1-1-28. 2차 배아미 연속식 대량제조시스템을 이용한 2차 현장실험조건 및 분석결과

SET	실험조건				품질특성				비고
	단	연삭돌 (mesh)	rpm	도정 압력(A)	함수율 (%)	백도 (-)	배아 잔존율(%)	곡온 (℃)	
1	1-연삭	30	894			21.7	99.9		
	2-연삭		957			25.7	97.6		
	3-연삭	46	950			30.7	84.8		
	4-연미		1172			34.6	71.6		
2	1-연삭	30	894			21.3	99.2		
	2-연삭		957			25.9	97.5		
	3-연삭	40	950			30.3	87.1		
	4-연미		1172			34.0	74.6		
3	1-연삭	30	894			21.4	99.9	6.2	
	2-연삭		957			25.6	98.3	9.2	
	3-연삭		894			29.7	93.7	9.1	
	4-연삭		957			33.9	80.5	11.7	
	5-연삭	40	950			36.6	62.7	12.0	
	6-연미		1172			37.3	61.5	12.2	
4	1-연삭	30	894			24.3	97.5		
	2-연삭		957			28.5	94.0		
	3-연삭	40	950			34.2	73.6		
	4-연미		1172			35.3	61.3		
5	1-연삭	30	894			24.8	99.4		
	2-연삭		957			29.3	91.9		
	3-연삭	40	950			34.1	71.8		
	4-연미		1172			35.1	61.7		
6	1-연삭	30	894			24.8	99.4		
	2-연삭		957			29.3	91.9		
	3-연삭	40	950			32.2	72.2		
	4-연미		1172			33.4	67.2		
7	1-연삭	30	894			25.5	97.9		
	2-연삭		957			29.6	86.3		
	3-연삭	40	950			33.1	70.9		
	4-연미		1172			34.6	61.9		
8	원료				14.3	20.1	99.7		
	1-연삭	30	894			14.6	23.7	99.3	
	2-연삭		957			14.6	27.8	93.7	
	3-연삭	40	950			14.4	31.9	79.7	
	4-연미		1172			14.4	33.3	72.6	
평균 (최종 배아미)						34.7	66.6		

(다) 제 3차 현장실험 및 시스템 보완

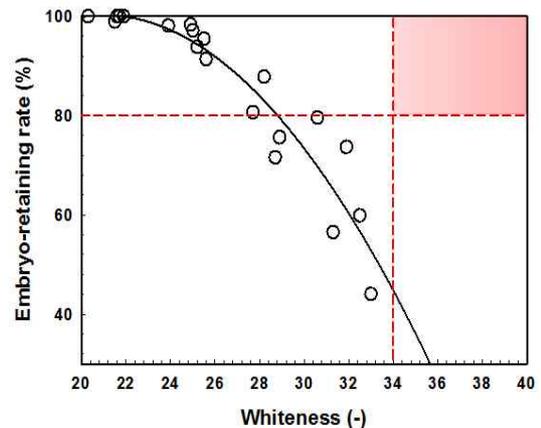
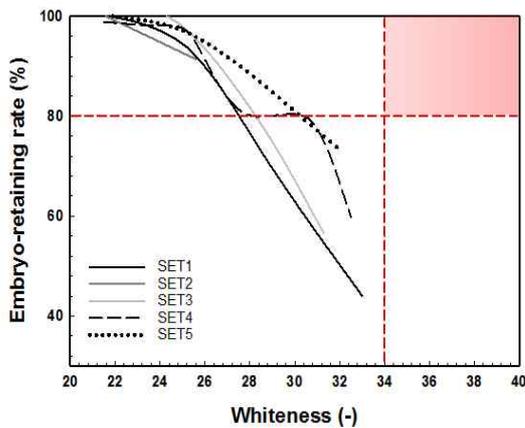
- 2차 현장실험을 통해 제조된 배아미의 품질측정 결과를 이용하여, 약 5개월 걸쳐 재설계 및 재제작한 개선된 3차 배아미 연속식 대량생산시스템 시작품을 충북 청주소재 민간 RPC에 설치된 2차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품과 교체하여 설치한 다음, 2017년 5월 27일에 제 3차 현장실험을 실시하였음
- 실험에 사용한 원료는 충북 청주소재 민간 RPC에서 제공한 함수율 14%, 백도 21.2인 진수 품종으로서, 각 단별 압력, 유량제어 등을 실시하면서 8회에 걸쳐 시료를 채취하여 분석한 결과는 다음 표와 같았으며, 이 때 1, 2, 3, 4단은 모두 연삭식(고속계)로서 회전수인 rpm은 각각 872, 960, 872 및 960 수준이었음
- 표에서도 알 수 있듯이 8회의 평균 백도는 38.0, 배아잔존율은 70.2% 수준으로 1, 2차 현장실험에 비해 대단히 우수한 결과를 나타내었으며, 특히, SET 1, 2, 5, 6 및 8의 3단 조건 등 대부분의 실험회에서 배아미 국내 품질기준(안)인 백도기준 34 및 배아잔존율 기준 80% 이상을 만족하였으며, 이 때 생산능력은 최대 2.8ton/hr로서 당초 설계목표치인 2.5ton/hr도 만족하여 배아미 연속식 대량제조시스템으로 상용화하여도 충분할 것으로 판단되었음

표 2-1-1-29. 3차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품을 이용한 3차 현장실험조건 및 분석결과

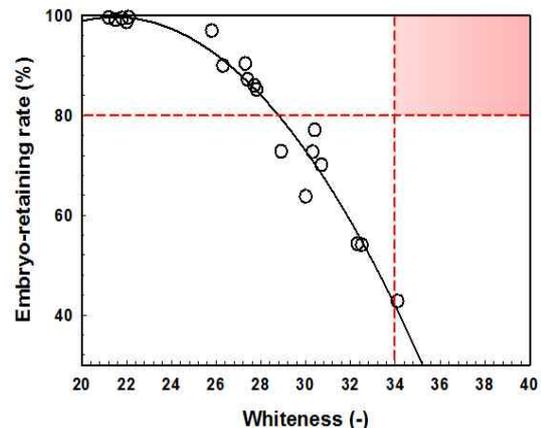
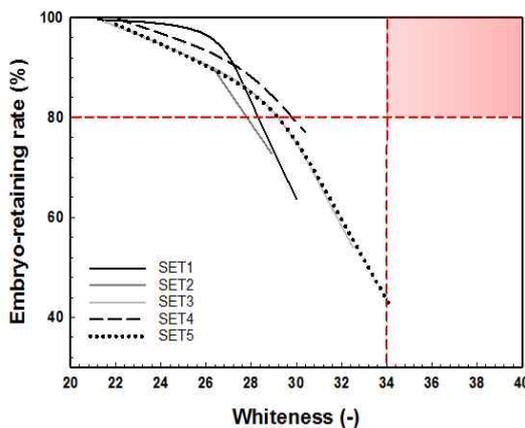
SET	실험조건				품질특성					비 고
	단	유량 (%)	rpm	도정압 력(A)	함수율 (%)	백도 (-)	배아잔 존율(%)	짜라기 율(%)	곡온 (°C)	
원료				-	14.0	21.2	-	-		
1	1-연삭	50	872	7.6	14.2	23.3	99.4	0.1		
	2-연삭		960	8.6	14.1	29.3	93.8	0.6		
	3-연삭		872	9.9	14.1	34.3	87.5	1.1		
	4-연삭		960	7.2	13.9	38.1	74.8	1.3		
2	1-연삭	50	872	8.3	14.1	24.7	98.8	0.4		압력 증가
	2-연삭		960	12.2	13.9	32.7	90.4	0.7		
	3-연삭		872	9.4	13.7	36.2	81.0	0.9		
	4-연삭		960	7.6	13.7	40.2	64.6	1.2		
3	1-연삭	50	872	8.3	14.1	24.7	98.8	0.4		3, 4단의 압력 감소
	2-연삭		960	12.2	13.9	32.7	90.4	0.7		
	3-연삭		872	8.4	13.8	36.2	79.7	0.8		
	4-연삭		960	7.5	13.7	39.7	61.6	1.5		
4	1-연삭	50	872	8.3	14.1	24.7	98.8	0.4		4단 압력감소
	2-연삭		960	12.2	13.9	32.7	90.4	0.7		
	3-연삭		872	8.4	13.8	36.2	79.7	0.8		
	4-연삭		960	7.3	13.8	39.8	71.1	1.2		
5	1-연삭	50	872	8.3	14.1	24.7	98.8	0.4		3,4단의 압력 감소
	2-연삭		960	12.2	13.9	32.7	90.4	0.7		
	3-연삭		872	7.3	13.8	36.5	80.3	0.8		
	4-연삭		960	6.5	13.7	39.5	69.5	1.1		
6	1-연삭	50	872	8.8	14.1	24.0	99.6	0.2		1~4단 압력감소
	2-연삭		960	9.8	14.0	30.4	92.9	0.7		
	3-연삭		872	7.7	13.9	34.4	80.1	0.8		
	4-연삭		960	6.3	13.8	38.0	68.2	1.2		
7	1-연삭	57	872	11.6	14.2	24.0	99.7	0.2		유량 증가
	2-연삭		960	13.2	14.0	30.8	93.6	0.7		
	3-연삭	59	872	9.4	-	-	-	-		
	4-연삭		960	7.6	13.8	38.2	73.5	1.0		
8	1-연삭	67	872	16.5	14.0	24.6	99.5	0.4		유량 증가, 1~4단 압력 증가
	2-연삭		960	16.8	14.0	31.0	92.3	1.1		
	3-연삭	71	872	12.8	13.8	34.6	84.7	1.2		
	4-연삭		960	10.3	13.7	37.9	78.3	1.2		
평균 (최종 배아미)					13.8	38.9	70.2	1.2		

(라) 배아미 연속식 대량제조시스템 상용화

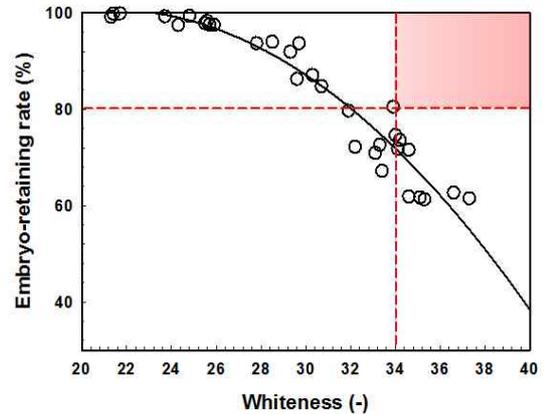
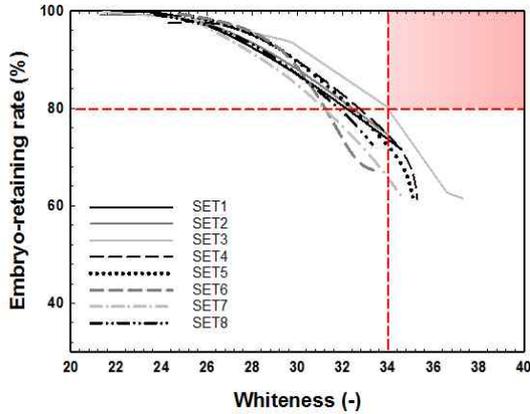
- 전술한바와 같이 RPC에 설치가 가능하도록 처리능력 2.5ton/hr 규모의 연속식으로 대량생산이 가능한 1차 배아미 연속식 대량제조시스템의 시작품을 설계 제작하여 전북 김제소재 민간 RPC에 설치하여 1차 현장실험을 실시하였으며, 발견된 문제점을 개선하여 개선된 2차 배아미 연속식 대량제조시스템을 제작하여 충북 청주소재 민간 RPC에 설치하여 2차 현장실험을 실시하였음
- 1, 2차 현장실험에서 발견된 문제점을 해결하기 위하여 약 5개월에 걸쳐 재설계와 보완 제작한 3차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품을 충북 청주소재 민간 RPC에 설치하여 3차 현장실험을 실시한 결과, 다음의 그림과 같이 배아미 국내 품질기준(안)인 백도기준 34 및 배아잔존율 기준 80% 이상을 만족하고, 처리능력도 최대 2.8ton/hr으로 만족한 수준으로 상용화가 가능할 것으로 판단되었음
- 이에 따라 한국토요에 유상기술이전을 실시(2017년 12월, 이전기술명 : 배아미 대량제조 시스템 및 기술)하였으며, 향후, RPC별로 취급하는 벼 품종 및 함수율이 다르고, 매년 결실율도 다를 뿐 아니라 일반적으로 도정특성은 외기 온습도의 영향도 많이 받으므로 상용화하는 업체에서 각 RPC에 설치한 다음 각 현장여건에 따른 배아미 품질을 데이터화하여 본 연구팀과 지속적으로 운영방법 향상을 도모하기로 하였음



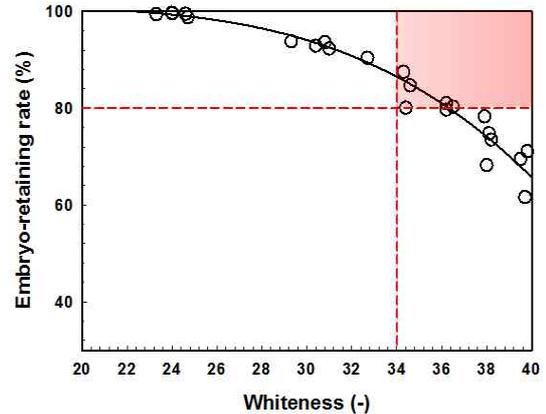
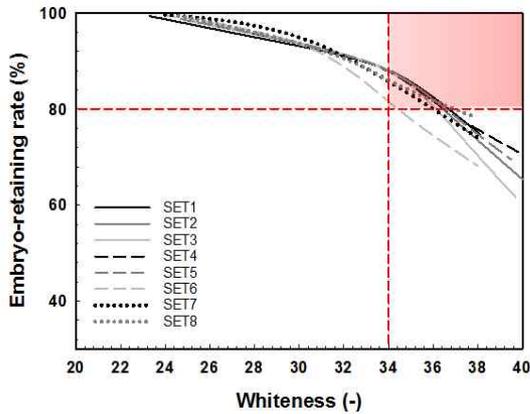
(1차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품에 대한 1차 1번째 현장실험결과)



(1차 배아미 연속식대량제조시스템 시작품에 의한 1차 2번째 현장실험결과(전북 김제소재 민간 RPC))



(2차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품에 의한 2차 현장실험결과(충북 청주소재 민간 RPC))



(3차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품에 의한 3차 현장실험결과(충북 청주소재 민간 RPC))

그림 2-1-1-36. 1, 2, 3차 배아미 연속식 대량제조시스템 시작품을 이용한 1, 2, 3차 현장실험결과

마. 연속식 배아선별시스템의 기류선별장치 모델 개발

- 전술한 김 등(2006)의 연구결과와 같이 우리나라 백미(백도 40, 도정도 9.5%기준)의 배아잔존율은 약 25% 수준으로 75%정도의 배아는 도정과정 중에 탈락하여 로터리쉬프트(rotary sifter) 및 진동 체선별기에서 잔싸라기로 배출되거나, 미강에 혼입되어 배출되고 있음
- 최근 건강지향으로 패러다임이 전환된 이후, 쌀눈(배아, 이하 혼용)에 GABA, 비타민 등 중요 영양소가 많다는 방송보도 등을 통해 배아에 대한 소비증가로 RPC에서 배아선별시스템을 요구하는 경우가 많으며, 특히 배아미 연속식 대량제조시스템을 설치하려는 업체에서의 요구가 증가하고 있음
- 배아는 잔싸라기와 크기가 유사하나 가볍고, 미강과 칼라 및 크기가 유사하여 기류 및 비중선별, 체선별 및 색채선별 등 여러 가지 선별방식과, 다수의 선별단계를 거치는 방법이 일반적으로 사용되고 있으며, 이에 대한 특허(대한민국 공개특허번호 10-1328892 등)가 있으나, 1차 선별장치로 주로 사용되는 기류 및 비중선별장치의 선별율이 낮아, 전체 선별장치 및 선별비용이 적지 않게 소요되고 있어 RPC에서 배아선별에 애로가 많았음. 이러한 필요성에 의하여 당초 계획에는 없었지만 본 연구에서 추가로 일부 관련 연구를 진행하였음

- 따라서 본 연구에서는 배아미 제조시 배아에 대한 제반 측정치와 관련 기술을 이용하여 미강 및 잔 찌라기에 혼입된 배아를 선별율이 높고 간편하게 배아를 선별할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였으며, 본 연구는 경주통합RPC(지상목공장장)의 아이디어에 의해 출발하였고 실험에 많은 도움을 받았다는 점과, 본 과제 결과는 한국식품연구원 식미 관련 과제에도 일부 중복사용하고 있다는 점을 밝혀둠

(1) 실험방법

- 본 연구에서는 선별대상이 되는 배아와 찌라기 및 미강과의 비중(밀도)에 따른 종말속도차이 등을 이용하는 기류선별 방법을 이용하였으며, 비중이 다른 여러 입자들에 대해 일정 속도 이상의 공기를 가했을 때 비중과 형상에 따라 항력(drag, 抗力)이 달라지므로 이 특성을 이용하여 모델을 만들고, 이를 활용하여 선별시스템을 설계하는 방법을 적용하였음
- 이를 위해 경주통합RPC에서 사용하는 방법과 유사하게 풍동시스템을 이용하여 실제 미강으로부터 배아, 찌라기 및 미강으로 선별하면서 이 때 풍동의 제원 및 송풍량을 측정하였고, 선별된 시료를 이용하여 실제 선별율을 측정하여, 이를 통해 설계된 모델이 배아선별에 적합함을 확인하고자 하였으나, 해당 풍동은 투입 미강량의 측정 및 미강량 대비 송풍량의 제어가 어렵고 미강량 대비 선별장치의 크기 선정 등의 문제가 있었음
- 따라서, 모델을 수치적으로 해석하여 이의 결과를 바탕으로 시스템을 설계하기로 하였으며, 모델의 해석을 위해 각 성상의 입자크기 및 종말속도 등을 실측한 다음, 공기이송 중의 항력(FD, 抗力)과 입자의 레이놀즈수(Rep)의 관계식을 이용하여 실제 기류선별기를 제작하는데 필요한 사양을 결정하기 위한 프로그램을 개발하였음
- 또한, 수집한 부산물을 이용하여 배아, 잔찌라기 및 미강으로 선별하여 각각의 입자크기 및 종말속도 등 기본적인 선별인자를 측정하였는데, 먼저 종말속도는 김 등(2005)의 방법 및 한국공업규격(KS A 0612-1992 : 조임기구에 의한 유량 측정방법, KS B 6311 : 송풍기 실험방법)에 근거하여 설계 제작된 풍동을 이용하여 측정하였음. 수직 풍동 내 각 지점에서의 풍속이 일정하도록 정류격자가 설치되어 있는 풍동은 VS motor와 댐퍼로 송풍기(centrifugal type, 2.2kW, 90m³/min)의 송풍량을 조절할 수 있고, 높이가 다른 다수의 아크릴 수지파이프로 수직풍동의 높이를 가변적으로 조절할 수 있도록 하였음
- 배아, 찌라기 및 미강은 형상이 불균일하여 체선별에 한계가 있으므로 잔찌라기와 배아, 배아와 미강이 혼합물을 1차적으로 sieve를 이용하여 체선별 한 후 육안으로 미강을 골라낸 후 각각 성상별로 120립을 화상분석기(Image Pre-plus ver 4.5.1.22, Hi-Rox Hi-scop compact micro vision system, KH-2200, MD3)로 장축길이(length), 단축길이(width), 면적(area) 및 원형율(roundness) 등 기하학적 특성을 측정하였음



그림 2-1-1-37. 배아, 잔싸라기 및 미강의 종말속도 측정을 위해 사용된 풍동

(2) 결과 및 고찰

(가) 기류 선별인자

- 다음 표는 경주통합RPC에서 수집한 부산물에서 선별한 배아, 잔싸라기 및 미강의 기하학적 특성 등 선별인자 측정결과를 나타낸 것임. 다만, 본 자료를 활용할 경우에는 주지하는바와 같이 쌀의 외형적인 크기는 물론, 배아, 잔싸라기 및 미강의 기하학적 크기는 품종, 함수율, 연도, 수집장소 등 여러 가지 여건에 따라 달라지는 점을 감안할 필요가 있음
- 면적, 장축, 단축 등의 부산물의 부피에 관련된 항목에서는 배아가 가장 크고, 싸라기, 미강 순으로 나타났으며, 배아의 종말속도는 약 1.19m/sec로서 잔싸라기 약 2.18m/sec와 미강 약 0.42m/sec의 중간 정도로 나타났으며, 입자 크기 또한 싸라기, 배아, 미강 순으로 나타남에 따라 본 연구의 풍력 선별방법을 이용하면 싸라기가 가장 먼 거리를 이동하면서 선별되게 되고, 그 다음 배아, 미강 순으로 선별될 것으로 판단됨

표 2-1-1-30. 부산물의 기하학적 특성

구 분		배 아	잔싸라기	미강
기하학적 특성에 활용된 시료 수		113	120	85
면적 (mm ²)	평균	1.90	1.34	1.00
	최대	3.34	2.47	2.46
	최소	0.42	0.66	0.53
장축 (mm)	평균	1.94	1.49	1.33
	최대	2.83	2.80	2.47
	최소	0.99	0.93	0.93
단축 (mm)	평균	1.27	1.12	0.94
	최대	2.02	1.74	1.40
	최소	0.62	0.76	0.56
장단축비	평균	1.62	1.36	1.47
	최대	2.97	2.53	2.91
	최소	1.08	1.02	1.03
원형률	평균	1.31	1.19	1.26
	최대	2.27	1.98	2.01
	최소	1.06	1.03	1.06
종말속도 (m/sec)		1.19	2.18	0.42

(나) 기류선별 모델의 기본구상

- 미강을 기류선별할 때 높은 선별능력을 갖기 위해서는 ① 입자들이 충분한 속도를 갖도록 높은 풍속이 필요하고, ② 원활한 선별을 위한 선별부 구조의 확보, ③ 입자간 정확한 선별거리 확보 등이 필요하며, 보다 구체적으로는 높은 풍속을 유지하기 위해서는 덕트가 지나치게 적거나 크면 운영 및 설치가 어려우므로 적정 크기의 확보가 필요하고, 선별의 용이성을 확보하기 위하여 유로가 급격한 방향변화를 갖도록 덕트 설계가 필요하며, 선별 입자 성상간 혼합이 최소화되도록 정확한 선별거리의 파악과 수집부의 정위치가 필요함
- 이를 위해 선별부는 다음의 그림과 같이 구상하였는데, 선별부에서 덕트 내부를 공기와 미강이 함께 고속으로 이동하다가 점선으로 표시된 개구부에 도달하면 싸라기(b), 배아(a), 미강(c)은 종말속도의 차이에 따라, 종말속도가 가장 큰 싸라기는 가장 먼 거리(C)로 토출되고, 종말속도가 싸라기보다

작은 배아는 싸라기보다 가까운 거리(B)로 토출되며, 가장 종말속도가 작은 미강은 후면의 다른 덕트관을 통해 초고속으로 이동해가는 유체흐름(S)에 따라 덕트 하부로 이송되도록 하여 미강을 선별하고, 싸라기 토출거리(D₂)가 배아 토출거리(D₁)보다 길어 선별거리의 차이(D₂-D₁)에 의하여 잔싸라기에서 배아 선별이 가능할 것으로 기대되었음

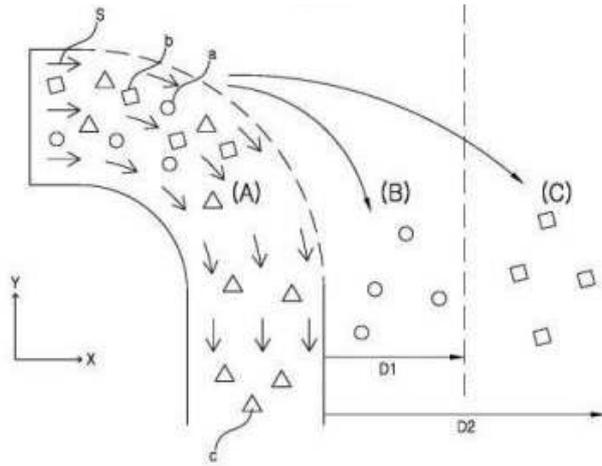
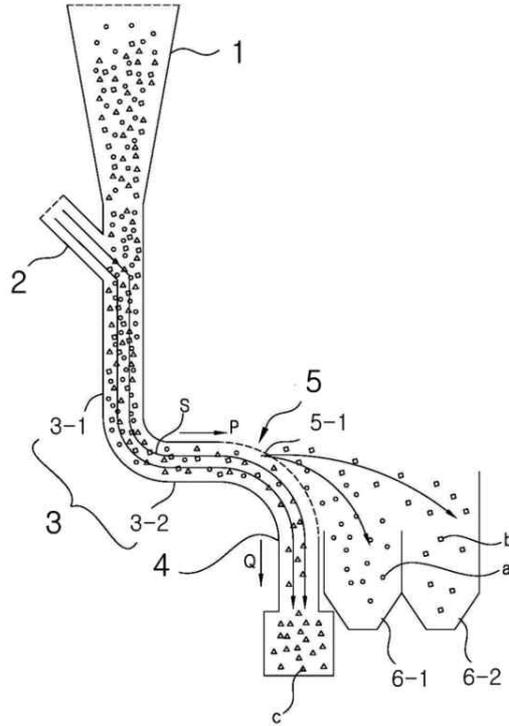


그림 2-1-1-38. 배아, 잔싸라기 및 미강 등 여러 성상 혼합체로부터 배아 선별부 개념도

- 선별부 기본 개념을 바탕으로 배아 기류선별장치 모델을 다음의 그림과 같이 구상하였음. 작동원리는 그림에서 알 수 있듯이 제 1덕트부(3)가 부산물이 타고 이동하는 유체흐름(S)을 일정한 방향으로 유도하여 부산물이 제1방향(P)으로 이동하도록 방향성을 부여함에 따라 부산물은 직진성을 가지게 됨
- 유체흐름(S)과 함께 특정 방향으로 방향성을 가지고 이동하는 부산물 중에서 비중이 상대적으로 큰 배아(a)와 싸라기(b)는 해당 특정 방향으로 계속 이동하려는 관성력을 갖게 되고, 미강 중에서 관성력을 가진 배아(a)와 싸라기(b)는 유체흐름(S)의 방향이 갑자기 변경되면 변경되기 전의 유체흐름(S)의 방향을 유지하려는 성질에 의하여 유체흐름(S)에서 이탈하게 됨
- 유체흐름(S)이 제 1방향(P)에서 제 2방향(Q)으로 갑자기 변경되면 싸라기(b)와 배아(a)는 유체흐름(S)에서 이탈하여 미강선별부(5)에 형성된 토출구(5-1)를 통과하여 외부로 토출되어 이탈하는데, 이탈 속도 및 거리는 입자의 비중 차이에 의하여 달라지게 됨



(1 : 부산물 유입부, 2 : 유체 유입부, 3 : 제 1덕트부, 3-1 : 수직덕트부, 3-2 : 수평덕트부, 4 : 제 2덕트부, 5 : 미강선별부, 5-1 : 토출구, 6-1 : 배아수용부, 6-2 : 싸라기수용부)

그림 2-1-1-39. 배아 선별장치 개념도

○ 덕트 내 풍속이 지나치게 빠르면 싸라기와 배아가 모두 유체흐름(S)에 따라 덕트 하부로 이송될 수 있고, 풍속이 지나치게 느리면 미강이 배아와 함께 토출되거나, 성상간의 선별거리가 지나치게 짧아져 선별이 어려울 수 있으므로 적절한 고풍속 선정과 덕트 성상 설계가 본 연구에서 개발코자하는 모델의 핵심요소로서, 선별장치 모델과 유사 풍동의 대략적인 덕트부 설계변수, 풍속의 측정결과는 다음 표와 같았음

표 2-1-1-31. 풍동 내 배아선별부의 제원 및 풍속 실측치

위 치	측정치	
덕트 높이	0.17m	
덕트 너비	0.21m	
덕트 유입부 풍속	1.875m/s	
덕트 하부 풍속	30m/s	
선별부 외측벽 반지름	0.3m	
선별부 내측벽 반지름	0.13m	

(다) 배아 기류선별시스템 모델개발 및 시뮬레이션

- 배아 기류선별의 모델을 개발하기 위하여 선별부에서 미강이 덕트 내의 공기유동에 따른 압력과 중력 등의 힘에 의해 받는 영향을 분석하기 위해 영역을 각각 A, B, C 영역으로 구분하여 속도를 해석 하였음
- A영역은 화살표 방향으로 덕트 내 공기유동이 형성되고, 공기유동과 중력에 따른 영향을 받으며, 미강이 덕트를 이동하면서 동시에 공기의 유동방향도 변화하기 때문에 각각의 입자 위치에 대해 미강의 속도방향과 공기유동의 영향과 중력에 따른 가속도의 방향에 대해 고려해야하고, B영역은 덕트 내 음압(부압)의 영향에 따라 화살표 방향으로 공기가 덕트 내로 흡입됨에 따라 부산물 입자는 Y축에 대해 공기유동에 따른 압력과 중력의 영향을 받으며 X축에 대해 입자의 속도에 대한 항력이 작용하며, C영역은 X축 방향으로는 입자의 속도에 대한 항력이 작용하고 Y축 방향으로 중력의 영향을 받음

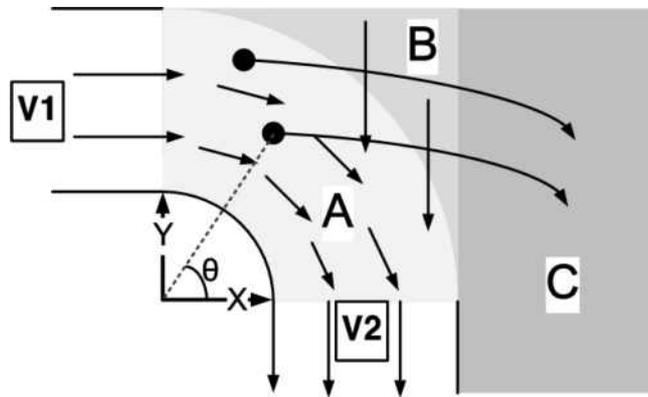


그림 2-1-40. 배아 선별부의 영역 구분

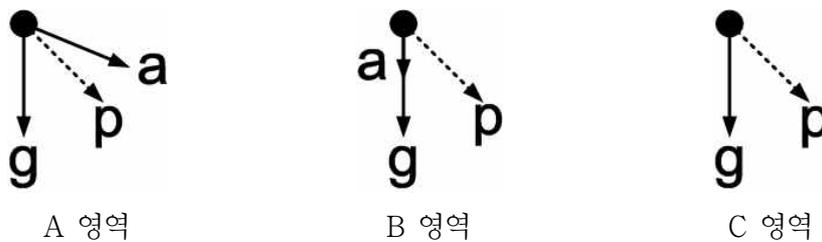


그림 2-1-1-41. 각 영역에서의 입자의 가속도와 중력, 유동에 따른 영향의 벡터 표시

- 공기이송 중의 항력 F_D 과 입자의 레이놀즈수 Re_p 는 아래 식과 같은데, 여기서, m_p 는 입자의 질량, C_D 는 항력계수, d_p 는 입자의 지름, ρ 는 공기의 밀도, ρ_p 는 입자의 밀도, V_{air} 는 공기속도, V_p 는 입자의 속도, μ 는 공기의 점성을 나타냄(G.E. Klinzing, 2010)

$$F_D = \frac{3}{4} m_p \frac{C_D}{d_p} \frac{\rho}{\rho_p - \rho} (V_{air} - V_p)^2 \dots\dots\dots(2-1-1-5)$$

$$Re_p = \frac{(V_{air} - V_p) d_p \rho}{\mu} \dots\dots\dots(2-1-1-6)$$

○ 항력계수 C_D 를 구하기 위해, Re_p 의 값에 따라 항력계수(G.E. Klinzing, 2010)가 달라지며, 아래 식과 같음

$$0.5 < Re_p < 500 \text{ 일 때, } C_D = 18.5 Re_p^{-0.6} \dots\dots\dots(2-1-1-7)$$

$$500 < Re_p < 2 \times 10^5 \text{ 일 때, } C_D \cong 0.44 \dots\dots\dots(2-1-1-8)$$

○ 덕트 내 공기속도는 경주통합RPC에서 측정한 실험 데이터 $V_1=1.875\text{m/sec}$, $V_2=30\text{m/sec}$ 를 이용하면 입자가 선별부로 유입되었을 때인 θ (원점과 X축으로부터의 입자의 기울기)가 0° 일 때는 공기속도는 V_1 과 같으며, 90° 에 가까워질수록 V_2 에 가까워지기 때문에 공기속도를 다음 식과 같이 가정하였음

$$V_{air} = 1.875 + 28.125 \times (1 - \log_{10} \theta) \dots\dots\dots(2-1-1-9)$$

○ 배아선별장치 선별거리 예측을 위해 다음 알고리즘과 A, B, C영역에서의 입자의 가속도와 중력, 유동에 따른 힘의 평형방정식을 이용하여 상용 프로그램을 이용하여 프로그래밍 하였으며, 이 때 입력한 기본 데이터는 아래 표와 같았음

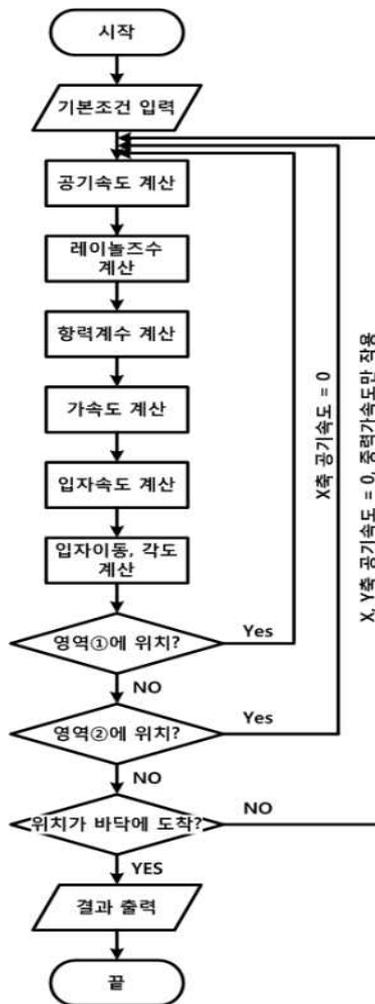
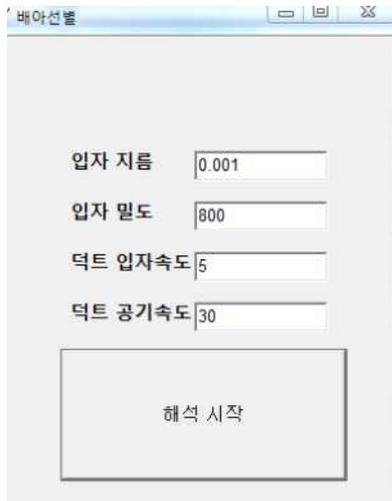


그림 2-1-42. 배아 선별장치의 예측 프로그램의 알고리즘

표 2-1-1-32. 프로그램에 입력한 기본 데이터

구 분	측정값	비 고
공기밀도	1.2kg/m ³	
공기점성	1.81×10 ⁻⁵ Pa·s	
선별부 외측벽 반지름	0.3m	
선별부 내측벽 반지름	0.13m	
중력가속도	9.807m/sec ²	

○ 프로그램의 입력변수는 입자(싸라기, 배아, 미강)의 밀도, 속도, 크기(길이)였으며 입력변수의 범위와 프로그램의 결과는 다음 표와 같았음



(프로그램 GUI)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1	vLocation	vLocation	vLocation	vtheta	VW_in	VW_in_x	VW_in_y	VW_p	VW_p_x	VW_p_y	VRe_p_x	VRe_p_y	vAcc_x	vAcc_y	vDistance	vDistance_1	
2	0	0	0.135	0.135													
3	1	0.025	0.134878	0.137175	90	5	5	-1.4E-19	5.00006	5	0.024481	0	8.99E-18	0	9.79229	0.025	0.000122
4	2	0.050024	0.134609	0.143603	79.49821	8.20452	6.100609	1.130768	5.005094	5.004805	0.053801	72.96854	73.34499	1.921803	11.72799	0.025024	0.000269
5	3	0.075104	0.134139	0.153733	69.61364	7.475313	7.007097	2.604018	5.016787	5.015909	0.093862	132.7486	169.0752	4.441821	16.02434	0.02508	0.000468
6	4	0.100264	0.133392	0.166872	60.75587	8.755939	7.63996	4.277555	5.034345	5.032124	0.149499	173.9702	277.372	4.486101	22.25483	0.025161	0.000717
7	5	0.125521	0.132272	0.181235	53.06958	10.0045	7.997256	6.011152	5.056326	5.051365	0.223936	196.5833	388.6179	7.69634	29.77484	0.025257	0.00112
8	6	0.150879	0.130678	0.199603	46.50012	11.19877	8.123314	7.708704	5.081591	5.071583	0.318758	203.6651	496.2277	8.08274	37.92894	0.025358	0.001594
9	7	0.176335	0.128461	0.218165	40.89629	12.33285	8.074215	9.322348	5.110451	5.091166	0.443556	199.0695	596.9231	7.832951	49.91929	0.025456	0.002218
10	8	0.20188	0.125451	0.237684	36.07348	13.41372	7.8988	10.84181	5.144213	5.108967	0.60184	186.1084	689.387	7.128385	63.31352	0.025545	0.003009
11	9	0.227521	0.122476	0.257923	31.85749	14.45367	7.628823	12.27812	5.185624	5.124316	0.799036	167.1173	774.1179	6.131761	77.27854	0.025622	0.003975
12	10	0.253185	0.119356	0.278642	28.10935	15.47678	7.289829	13.65243	5.237799	5.136708	1.024091	143.5699	852.4242	4.956872	91.62208	0.025684	0.00512
13	11	0.278914	0.109906	0.299788	24.68201	16.45739	6.889011	14.99018	5.305137	5.145822	1.289948	116.1748	925.8286	3.685323	106.5429	0.025753	0.006645
14	12	0.304674	0.101936	0.321274	21.50687	17.53987	6.430341	16.31865	5.392824	5.151886	1.593932	85.15485	996.3767	2.385679	121.5936	0.025759	0.009797
15																	
16																	
17	13	0.330225	0.093885	0.343111		0	0	0	5.357913	5.110188	1.610344	341.5615	105.6751	-16.6792	6.564684	0.025551	0.008052
18	14	0.35557	0.085751	0.365764		0	0	0	5.323563	5.088961	1.626639	338.797	106.7631	-16.4905	6.516063	0.025345	0.008133
19	15	0.380711	0.077317	0.388526		0	0	0	5.289768	5.0282	1.642818	336.0637	107.8435	-16.3046	6.471584	0.025141	0.008214
20	16	0.40585	0.069243	0.411517		0	0	0	5.25652	4.987897	1.658881	333.3613	108.9161	-16.1213	6.425252	0.024939	0.008294
21	17	0.43039	0.060889	0.434873		0	0	0	5.223811	4.948045	1.674829	330.6893	109.9811	-15.9407	6.379071	0.02474	0.008374
22	18	0.454854	0.052415	0.457943		0	0	0	5.191634	4.908638	1.690662	328.0472	111.0384	-15.7627	6.333045	0.024543	0.008453
23	19	0.479282	0.043884	0.481287		0	0	0	5.159983	4.86967	1.706379	325.4346	112.0881	-15.5872	6.287171	0.024348	0.008532
24	20	0.503438	0.035274	0.504672		0	0	0	5.128849	4.831125	1.721983	322.8511	113.1301	-15.4142	6.241471	0.024156	0.008611
25	21	0.527403	0.026588	0.528072		0	0	0	5.098226	4.793025	1.737473	320.2962	114.1646	-15.2437	6.195981	0.023965	0.008697
26	22	0.551179	0.017822	0.551467		0	0	0	5.068107	4.755336	1.752849	317.7696	115.1916	-15.0757	6.150558	0.023777	0.008784
27	23	0.574777	0.008981	0.57484		0	0	0	5.038485	4.718061	1.768113	315.2709	116.2111	-14.91	6.105358	0.02359	0.008871
28	24	0.598176	0.0005	0.598176		0	0	0	5.009253	4.681195	1.783264	312.7997	117.2229	-14.7466	6.060333	0.023406	0.008958
29	25	0.621399	-0.00893	0.621461		0	0	0	4.980705	4.644731	1.798302	310.3555	118.2274	-14.5855	6.015488	0.023224	0.009042
30	26	0.644443	-0.01799	0.644494		0	0	0	4.952533	4.608664	1.813229	307.938	119.2243	-14.4267	5.97082	0.023043	0.009126
31	27	0.667308	-0.02713	0.667359		0	0	0	4.924833	4.572989	1.828045	305.5489	120.2141	-14.2701	5.926337	0.022865	0.00921
32	28	0.689996	-0.03635	0.689951		0	0	0	4.897596	4.5377	1.84275	303.1816	121.1964	-14.1157	5.882041	0.022688	0.009294
33	29	0.71251	-0.04563	0.71197		0	0	0	4.870817	4.502791	1.857345	300.842	122.1713	-13.9634	5.837954	0.022514	

(해석결과값)

그림 2-1-1-43. 프로그램 GUI(graphical user interface) 및 해석결과가 나타난 엑셀자료

표 2-1-1-33. 시물레이션을 위한 주요 인자의 입력범위

구 분	입력범위	비 고
입자 속도	3~5 m/sec	
입자밀도	100~800 kg/m ³	
입자지름	0.4~0.7 mm	

표 2-1-1-34. 입력변수에 따른 시뮬레이션 결과

입력변수				출력변수
공기속도(m/sec)	입자속도(m/s)ec	입자지름(mm)	입자밀도(kg/m ³)	선별거리(m)
30	3	1	800	1.21
30	3	1	700	1.18
30	3	1	600	1.15
30	3	1	500	1.11
30	3	1	400	1.06
30	3	1	300	0.98
30	3	1	200	0.88
30	3	1	100	0.72
30	3	0.7	800	1.09
30	3	0.7	700	1.06
30	3	0.7	600	1.01
30	3	0.7	500	0.97
30	3	0.7	400	0.92
30	3	0.7	300	0.84
30	3	0.7	200	0.74
30	3	0.7	100	0.60
30	3	0.4	800	0.86
30	3	0.4	700	0.83
30	3	0.4	600	0.79
30	3	0.4	500	0.75
30	3	0.4	400	0.70
30	3	0.4	300	0.64
30	3	0.4	200	0.56
30	3	0.4	100	0.44

○ 전술한바와 같이 본 연구는 최근 건강지향으로 패러다임이 전환 후, 배아의 영양적인 부분에 대한 관심집중으로 인한 배아미 연속식 대량제조시스템을 설치 업체에서의 증가된 요구를 충족시키기 위하여 본 연구에서는 배아미 제조시 배아에 대한 제반 측정치와 관련 기술을 이용하여 미강 및 잔사라기에 혼입된 배아를 선별율이 높고 간편하게 배아를 선별할 수 있는 시스템을 개발하고자 하였으며, 이 결과는 특허출원(특허출원번호 0067520, 2017.05.30.)하였음

2. 발아현미

- 발아현미(發芽玄米, germinated brown rice)는 벼의 왕겨를 제거한 현미를 대상으로 일정한 조건의 수분을 공급하여 싹을 1~5mm 정도 틈은 쌀을 의미하는 것으로서, 1993년 독일 Max Planck식품연구소에서 발아현미 및 발아보리 등의 연구결과를 발표하면서 주목받기 시작한 특수가공미(大海 淳, 2001)의 일종으로, 발아과정중 GABA 등 유용성분이 생성되고, 소화가 잘되며, 저분자 당이나 유리 아미노산 증가로 단맛과 감칠맛이 증가하여 식미가 부드러운 특징(김석신, 2001 ; 오용석, 2003)이 있는 것으로 알려져 있음

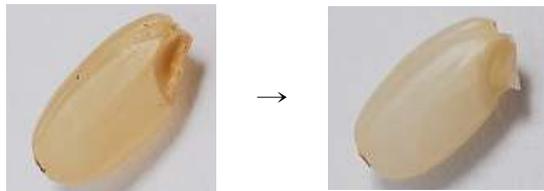


그림 2-1-2-1. 일반현미 및 발아현미

- 우리나라에서 산업적인 발아현미는 “장세순”이 1999년 발아현미 특허가 등록되면서 제품화되었으나, 제조방법 및 제조시스템이 낙후되어 있으며, 비교적 주목받지 못하다 근래의 세계 식품시장의 mega-trends인 well-being 및 LOHAS 시대의 도래에 따라 건강이 중시되면서 RPC에서도 관심이 증가하는 것으로 알려져 있음. 그러나 현재까지 발아현미 역사에 대해 정리된 자료도 찾아보기 어렵고, 발아현미 제조시스템을 갖추고 있는 RPC는 알려져 있지 않은 상태일 정도로 RPC와는 무관하게 제조 및 판매되고 있을 뿐 아니라 우리나라는 아직까지 제조 또는 품질기준도 없는 것으로 알려져 있음
- 따라서 본 연구에서는 발아현미의 품질 및 제조조건을 구명하고, RPC에서 연속적으로 사용이 가능한 발아현미 제조시스템의 개발을 목표로 연구를 추진하였으며, 이를 위해 먼저 기존의 발아현미시스템에 대한 논문 및 특허 등 선행기술은 물론, 국내외 발아현미 품질기준 및 제조시스템의 현황을 조사하였고, 국내외의 발아현미를 수집하여 품질특성을 측정하였음. 또한, 발아현미 제조조건에 정립 및 제조시스템 개발을 위하여 제조조건이 발아현미 품질에 미치는 영향을 구명하고, 산소농도 및 건조온도가 품질에 미치는 영향을 분석하였음
- 또한, RPC에 적용할 수 있는 발아현미 연속식 대량제조시스템 개발을 위하여 pilot규모의 연속식 대량제조시스템을 설계·제작하여 1, 2차에 걸쳐 현장성능을 측정하고 보완하였으며, 지적재산권(2017. 08. 29, 발아 현미의 제조방법, 10-2017-0109594) 및 유상기술이전(2017년 12월, 기술이전명 : 발아현미 대량제조기술)을 통해 상용화를 추진하였고, 현재 상용화규모로 설계하여 전북 익산소재 민간 RPC에 설치하고 있으며, 그 결과들을 정리하면 다음과 같았음

가. 국내의 발아현미 품질 및 제조조건 조사분석

(1) 조사방법

- 발아현미에 대한 연구현황의 조사는 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr, 검색어 : 발아현미)를 이용하여 관련 논문과 보고서를 검색하였으며, 국내외 발아현미 제조시스템은 국내는 실제 발아현미를 제조하는 2개소 업체를 현장 방문하여 조사하였으며, 일본은 Satake사 및 Fancl사를 방문하여 필요한 제반기술 및 운영·품질관리기술에 대해 조사하였으며, 또한, 인터넷 등을 통하여 국내외 발아현미 산업의 전체적인 개황 및 제조시스템에 대해 조사하였으며, 특히 일본의 발아현미 관련단체인 一般社団法人高機能玄米協會(<http://www.mfbr.org>)을 통해 일본의 발아현미 기준 및 제조현황 등을 조사하였음
- 국내외 유통되고 있는 발아현미의 품질특성을 조사하기 위하여 국내는 인터넷 및 서울근교 대형마트 등을 통해 유통되는 발아현미를 조사한 후 온라인 또는 오프라인에서 13종류를 직접 수집하였으며, 일본은 온라인을 통해 5종의 발아현미 제품을 해외배송으로 수집하여 품질분석을 실시하였으며, 품질측정방법은 다음과 같았음
- 국내 발아현미 13종 및 일본 발아현미 5종의 공시재료를 균분기(TS-S, Fuji kinzoku, Japan)로 균분하여 함수율, 동할율, Lab값, 백도, 싹길이 및 발아율 등을 측정하였으며, 함수율은 단립수분계(CRT-500EH, Shizuoka Seiki, Japan)를 이용하였고, 동할율은 동할립측정기(HS-50, Kett, Japan)를 이용하여 육안으로 측정하였으며, 칼라측정은 정립을 대상으로 색차계(CM-5, Konica Minolta, Japan)를 이용하였음
- 또한, 백도는 현미 정립만을 대상으로 백도계(CR600-3, Kett, Japan)를 이용하여 3회 반복 측정하였으며, 발아율은 정립 100립을 대상으로 발아된 현미의 립수를 육안으로 구분 계수하여 3회 반복 측정하였고, 싹길이는 정립 30립을 대상으로 스케일이 표시된 확대경(LUPE 7X, PEAK, Japan)을 이용하여 측정한 후 평균값을 사용하였음



(미발아된 현미)

(발아된 현미)

그림 2-1-2-2. 미발아된 현미 및 발아된 현미의 외형

(2) 결과 및 고찰

(가) 발아현미에 대한 선행연구 분석결과

- 발아현미에 대한 연구현황 조사(검색 DB : 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr), 검색어 : 발아현미)결과, 관련 논문은 216건, 보고서는 60건이 검색되었으며, 국내에서 발아현미에 관한 연구로는 주로 발아조건별 GABA발생량, 발아현미제조 영향인자, 발아현미의 효능 등으로 많은 연구가 진행되었음을 알 수 있었으며, 대표적인 연구는 다음 표 2-1-2-1과 같았음

표 2-1-2-1. 발아현미 관련 논문 및 보고서

구분	제목	저자	학회지/보고서	
1	논문	친환경 발아현미 생산에 적합한 병 저항성 및 생산성이 우수한 벼 품종 선발	오세관, 천금수, 이정희, 이동현	식물병연구, 18(4): 399-401(2012)
2	논문	글루탐산 용액처리에 따른 발아현미 중의 감마-아미노낙산 및 일부 아미노산 함량변화	오석홍, 김수화, 문연정, 최원규	한국생물공학회지, 17(1): 49-53(2002)
3	논문	키토산과 글루탐산의 병용처리에 따른 발아현미 중의 수용성 단백질 및 유리 아미노산 함량변화	오석홍, 이인태, 박기범, 김병주	한국생물공학회지, 17(6): 515-519(2002)
4	논문	키토산처리에 의한 GABA 고함유 우량 발아현미 생산	오석홍, 최원규	한국생물공학회지, 15(6): 615-620(2000)
5	논문	발아현미의 이화학적 특성	오세관, 이정희, 윤미라, 김대중 등	한국식품영양과학회지, 41(7): 963-969(2012)
6	논문	발아시킨 현미의 품질특성	김준석, 최봉규, 이현유, 박중대 등	한국식품저장유통학회지, 11(2): 182-288(2004)
7	논문	발아현미의 싹 길이에 따른 품질변화	오세관, 이정희, 원용재, 이동현 등	한국작물학회지, 59(3): 223-229 (2014)
8	논문	발아에 따른 현미의 품질변화	김대중, 오세관, 이정희, 윤미라 등	한국식품과학회지, 44(3): 300-305 (2012)
9	논문	현미 종류별 발아현미의 발아 전 후 생리활성물질 함량의 변화	정혜영, 이동현, 백흠영, 이영상	한국작물학회지, 53: 37-43 (2008)
10	논문	발아시간과 압출성형온도가 발아현미의 성질에 미치는 영향	김미환, 류기형	한국식품영양과학회지, 36(5): 636-642 (2007)
11	논문	현미의 발아정도에 의한 항산화활성의 변화	강보라, 박미정, 이흠숙	한국식품영양과학회지, 35(4): 389-394 (2006)
12	논문	발아조건 및 건조방법이 발아현미의 이화학적 특성에 미치는 영향	김선림, 손영구, 손종록, 허한순	한국작물학회지, 46(3): 221-228 (2001)
13	논문	품종별 현미 발아 전후의 생리활성물질 변화	김대중, 오세관, 윤미라, 천아름 등	한국식품영양과학회지, 40(6): 781-789 (2011)
14	논문	Chitosan/Glutamic acid 처리가 현미의 발아에 미치는 영향	정규호, 박난영, 장상문, 이주백 등	한국식품저장유통학회지, 11(4): 538-543 (2004)
15	논문	발아현미의 건강 기능성 및 활용 식품	조동화, 정현정, 조홍연, 임승택	식품과학과 산업, 44(1): 76-86 (2011)

16	총설	고품질 발아현미의 대량생산 기술	박문기	식품저널, 111: 86-88 (2006)
17	논문	GABA 함량이 증진된 발아현미의 효능 및 활용	오석홍	식품과학과 산업, 40(3): 41-46 (2007)
18	논문	'눈큰흑찰'의 가바(GABA) 함량 증진을 위한 이화학적 처리 효과	한상익, 나지은, 서경혜, 박지영 등	한국작물학회지, 59(4): 398-405 (2014)
19	논문	초음파 자극이 현미발아 촉진에 미치는 영향	이준, 임기택, 홍지향, 이양봉 등	바이오시스템공학, 31(6): 506-513 (2006)
20	논문	침수 및 대기 발아방식과 키토산 처리가 현미발아에 미치는 영향	이준, 임기택, 홍지향, 이종욱 등	바이오시스템공학, 31(4): 363-368 (2006)
21	논문	전류자극 및 전기장 처리가 현미 발아에 미치는 영향	임기택, 김장호, 선우훈, 홍지향 등	바이오시스템공학, 35(2): 100-107 (2010)
22	논문	간헐 분무와 음이온 방사를 가진 공기노출형 자동 현미발아시스템의 개발	임기택, 김장호, 정종훈	바이오시스템공학, 36(3): 187-194 (2011)
23	논문	발아 특수미의 항산화 활성	강미영, 김설이, 고희중, 진중현 등	한국식품과학회지, 36(4): 624-630 (2004)
24	논문	현미와 흑미의 발아과정 중 amylolytic activity	이향미, 임지순, 박종대, 금준석 등	한국식품과학회지, 45(3): 333-338(2013)
25	학술대회	대기식 현미발아시스템의 개발	임기택, 정종훈, 홍지향	한국농업기계학회 하계학술대회, 11(2) : 169-174 (2006)
26	학술대회	초음파 자극을 이용한 현미 발아촉진 기술 개발	이준, 정종훈, 홍지향	한국농업기계학회 하계학술대회, 10(2) : 185-189 (2005)
27	보고서	기능성 발아현미를 이용한 식품 개발 및 품질관리기준 설정	오세관 등	국립식량과학원 (2013)
28	보고서	키토산과 전기적 처리를 이용한 종자(현미) 발아와 성장 촉진의 생체생리활성 기술 및 바이오시스템 개발	정종훈 등	서울대학교 (2006)
29	보고서	발아 거대배아미의 생리활성 효과 탐색 및 기능성 식품에의 이용성 검정	강미영 등	경북대학교 (2003)
30	보고서	기능성 유색미 및 찰벼 수익모델	최용환 등	국립식량과학원 (2014)

- 쌀은 많은 국가에서 주식으로 이용하는 식량이지만 백미는 전분이 90%로 구성되어있는 비교적 영양적으로 불균형한 식품으로서 비타민 B₁(thiamin)의 결핍증인 각기병(beriberi)은 백미의 영양학적 불균형으로 발생하는 대표적인 질병으로 보고되고 있음
- 현미를 구성하고 있는 미강층(bran)과 배아(embryo)에는 다양한 영양성분과 GABA, Phytosterols, 아미노산, 비타민, 기능성지질 및 섬유질 등의 생리활성물질이 포함되어 있어 백미에 비해 영양성이 높다고 보고되고 있으나(Cho & Lim, 2016), 현미의 우수한 영양성에도 불구하고 백미에 비해 소비량이 적은 가장 큰 이유는 단단한 껍질과 phytic acid 등이 존재하여 거친 식감과 낮은 소화율(Ohtsubo 등, 2005)이 문제가 되고 있음

- 발아현미는 현미를 적당한 온도, 수분 및 산소 조건하에서 발아시킨 것으로서 발아과정중 GABA , 비타민 B₁, B₂, E, 칼슘, 무기질, β-sitosterol, SOD(superoxide dismutase) 및 생리활성물질 등 유용성분이 생성되어 혈압강하, 동맥경화 예방 및 콜레스테롤 저하 등의 성인병 예방, 피로 회복 등의 효능이 있으며, 또한, 피틴산이 인과 이노시톨로 바뀌어 소화가 잘되고, 저분자 당이나 유리아미노산 증가로 단맛과 감칠맛이 증가하여 식미가 부드러운 특징을 갖고 있음(김석신, 2001 ; 오용석, 2003)

표 2-1-2-2. 백미와 발아현미의 영양성분 비교(100g당, 서울대학교, 2006)

구 분	백 미	발아현미(2.5mm)
열량(kcal)	364	372
단백질(%)	7	8
지방(%)	1.1	2.8
비타민B ₁ (mg)	0.06	0.2
식이섬유(%)	0.24	1.28
칼슘(mg)	6.6	12.7

표 2-1-2-3. 발아현미의 영양성분(100g당, 식품의약품안전처 식품영양성분DB)

열량(kcal)	단백질(g)	지방(g)	탄수화물(g)	수분(g)	회분(g)	
371.00	7.00	2.30	79.40	10.30	1.00	
미네랄 (mg)						
나트륨	칼슘	인	철	칼륨		
3.00	8.00	233.00	3.30	128.00		
비타민						
비타민A (RE)	레티놀 (μg)	베타카로틴 (μg)	티아민 (mg)	리보플라빈 (mg)	나이아신 (mg)	비타민C (mg)
0.00	0.00	0.00	0.25	0.06	1.20	0.00

- 한편, 일본에서 GABA함량이 증가한 발아현미를 섭취하였을 때의 효과 및 효능에 대해서는 다음 표와 같았으며, 일반적으로 발아현미의 장점으로 ㉠ 발아시의 효소작용으로 고분자 분해로 단맛 및 아미노산의 증가와, 외피가 부드러워지는 것, ㉡ GABA 및 식이섬유가 풍부하여 고혈압 개선 및 진정 효과, 혈당상승억제, 변비예방 및 콜라겐증가 등의 효과가 보고되고 있으며, ㉢ 발아과정에서 ASG(acylated steryl glucosides) 지질 생성으로 혈당과 인슐린의 관계 개선효과 기대 등(一般社団法人高機能玄米協會)임

표 2-1-2-4. GABA함량이 높은 발아현미 섭취시 효과 및 효능(一般社団法人高機能玄米協會자료 요약 정리)

항 목	주요 효과 및 효능
비만·다이어트	식이섬유가 풍부하여 중성지방의 증가를 억제
고혈압	수축혈압 및 확장기 혈압 강하 효과
고지혈증	혈중 cholesterol 및 중성지방 저하
당뇨병	혈당치의 저하(일반 백미는 혈당치 미변화)
변비	풍부한 식이섬유로 변량 및 변 함수율증가
스트레스	세로토닌(Serotonin, 행복감정 호르몬) 증가로 스트레스 저항성 및 항우울증 효과

- 발아현미에 대한 선행기술(논문 및 보고서)중에서 발아방식별 제조조건을 분석한 결과를 습식(또는 침지식, soaking)과 건식(또는 대기노출식, gaseous treatment)방식에서 각 발아온도 및 시간조건과 이때의 GABA 함량을 요약하면 다음 표 2-1-2-5와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 습식의 경우 발아온도는 15~40℃, 발아시간은 3~96시간 수준이었고, 건식의 경우 발아온도는 28~37℃, 발아시간은 12~72시간까지 다양하였으며, 이때 GABA량은 3.2~509.1mg/100g으로 큰 차이를 나타내었음
- 일반적으로 발아활성을 갖고 있는 벼나 현미와 같은 곡립은 발아에 적합한 온도, 수분 및 산소조건에 노출시켜도 신속하게 발아하지 않는 휴면(休眠, dormancy)상태로서, 곡립이 오랫동안 수분을 흡수하여 발아억제물질인 abscisic acid와 같은 호르몬이 씻겨 내려가고, 비교적 낮은 온도에 노출되면 휴면이 끝나 발아가 시작(조재영, 2013; 佐佐木泰弘, 2016)되게 됨
- 발아는 배아에서 합성된 gibberellin 호르몬의 유도에 따라 배반상피조직(胚盤上皮組織, scutellum epithelial tissue)에서 가수분해효소가 대량으로 생합성되어 호분층을 따라 분비되어 단백질, 지질, 전분 및 셀룰로스 등을 분해하게 되며, 이 때 glutamic acid에 decarboxylase가 작용하여 여러 가지 효과 및 효능이 있는 GABA가 생성되나(大坪研一, 1996; 김 등, 2016), GABA는 수용성으로 제조 조건 등에 따라 큰 차이가 발생(Satake, 2016)하는데, 표에서도 알 수 있듯이 GABA량은 발아온도, 발아시간은 물론 벼의 품종 등 조건에 따라 큰 차이를 나타내었음

표 2-1-2-5. 발아현미 선행기술(논문 및 보고서)에 의한 발아조건별 GABA함량 요약

연구자	연구 년도	발아방법						GABA 함량 (mg/100g)	비고
		습식(침지식)			건식(대기노출식)				
		온도 (°C)	시간 (hr)	기타	온도 (°C)	시간 (hr)	기타		
Moongngarm and Seatung.	2010	28	12	-	28	24	-	68.4	RD-6
		28	48	-	28	48	-	115.0	
Kormatsuzaki et al.	2007	35	3	-	35	21	-	9.3	Koshihikari
		35	3	-	35	21	-	10.9	Nipponbare
		35	3	-	35	21	-	10.9	Yumetsukushi
		35	3	-	35	21	-	21.9	Oou 359 (large germ)
		35	3	-	35	21	-	24.9	Haiminori (large germ)
		35	3	-	-	-	-	10.1	
An et al.	2010	18	20	-	30	24	-	25.8	-
		18	20	-	30	24	-	22.7	green rice
		18	20	-	30	24	-	29.4	red
		18	20	-	30	24	-	25.3	black
Ohtsubo et al.	2005	30	24	-	-	-	-	11.0	Koshihikari
		30	48	-	-	-	-	27.7	
		30	72	-	-	-	-	69.2	
		30	96	-	-	-	-	149.0	
Lee et al.	2007	15	72	-	-	-	-	78.5	Ilpum
		15	72	-	-	-	-	145.8	Goami2
		15	72	-	-	-	-	509.1	Keunnun
		15	72	-	-	-	-	178.6	Heugkwang
Banchuen, Thammarutwas ik, Ooraikul, Wuttijumnong, and Sirivongpaisal.	2009	30	5	-	-	-	-	6.4	Sangyod Muang Phatthalung
		30	5	pH 3.0	-	-	-	8.4	
		30	5	pH 5.0	-	-	-	5.8	
		30	5	pH 7.0	-	-	-	4.6	
		30	5	pH 3.0	30	12	-	9.1	
		30	5	pH 3.0	30	24	-	17.5	
		30	5	pH 3.0	30	36	-	44.5	
		30	5	pH 3.0	30	48	-	39.0	
Oh and Choi.	2000	25	72	-	-	-	-	8.0	-
		25	72	100ppm chitosan	-	-	-	10.7	
		25	72	100ppm lactic acid	-	-	-	7.5	
Oh.	2003	25	72	-	-	-	-	11.7	-
		25	72	50ppm chitosan, 5mM glutamic acid	-	-	-	20.7	
		25	72	50ppm chitosan, 5mM lactic acid	-	-	-	14.0	

		25	72	5mM glutamic acid	-	-	-	14.1	
Choi et al.	2004	40	8	pH 6.0	-	-	-	3.2	-
		40	8	200ppm glutamate	-	-	-	4.1	-
		40	8	200ppm glutamate, pH 6.0	-	-	Anaerobic treatment(2h)	4.9	-
		40	8	200ppm glutamate, pH 6.0	28	24	Anaerobic treatment(2h)	5.9	-
Lu et al.	2010	37	84	D.W.	-	-	-	9.0	Yu Ying 6
		37	84	1% NaClO	-	-	-	7.9	
		37	84	AIEW	-	-	-	10.5	
		37	84	EOW	-	-	-	16.2	
		37	12	-	37	72	-	12.1	
		37	12	1% NaClO	37	72	-	11.3	
		37	12	AIEW	37	72	-	13.0	
		37	12	EOW	37	72	-	19.5	

주) AIEW, alkaline electrolyzed water; DW, distilled water; EOW, electrolyzed oxidizing water; NaClO, sodium hypochlorite

- 한편, 발아현미에 대한 특허검색(검색 DB : 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스, www.kipris.or.kr), 검색어 : 배아미)결과, 750건이 검색되었으며, 검색된 특허에서 시스템과 관련된 주요 특허는 다음과 같았음

표 2-1-2-6. 발아현미 제조시스템 관련 주요 특허

	발명의 명칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	특징
1	가바성분이 강화된 배아현미의 제조방법 및 가바성분이 강화된 발아현미차의 제조	전라남도, 정진호	100558760	2006.3.2	· 현미를 침지해 발아시켜 제조한 현미차의 외관적 품질 우수, 가바성분 강화시키는 제조방법
2	발아현미 제조장치	정연식	100664700	2006.12.27	· 온수 및 세척수의 급배수 수단이 구비된 발아기/발아현미, 건조 후 포장 등 제조공정
3	LED 조사를 이용한 항산화 활성이 증가된 발아현미의 제조	전북대학교 산학협력단	101349615	2014.1.3	· 항산화활성이 증가된 발아현미 · 발아현미가 함유된 식품/음료
4	태교 음악을 이용한 현미 발아장치	(주)자연건강 그 신비를 깨는사람들	100835370	2008.5.29.	· 현미 발아시 음악을 이용하여 성장 발육시켜 촉감 부드럽고 맛 향상시킨 기능성 발아현미
5	발아현미의 제조장치	이윤숙	100398769	2003.9.4	· 전과정 발아수조 내 자동 발아 · 제조비용 및 제조시간 감소, 균질한 양질 발아현미 제조

6	해양심층수를 이용한 미네랄 성분이 강화된 발아현미의 제조방법	경동대학교산학협력단 등	100952107	2010.4.2	· 특정농도의 해양심층수를 발아시킴으로써 이온, 미네랄 성분이 강화된 고품질 발아현미 제조
7	발아현미 제조장치	박승원	100608494	2006.7.27	· 향균, 살균작용은 재질 그물망 발아틀체 사용 · 냄새, 곰팡이 균생성 억제위해 냉풍건조장치 설치
8	가습기 겸용 발아현미 제조기	이재근	100565117	2006.3.22	· 진동소자에 의해 발생하는 증기를 이용하여 발아/병균제거 및 살균, 가습기로도 겸용가능
9	발아 오분도미 제조방법	(주)자연건강 그 신비를 캐는사람들	100970227	2010.7.7	· 백미와 발아현미의 장점 갖춤 · 식미와 취반성 향상을 위한 5분도미 제조
10	가바성분을 함유한 곡물의 발아장치 및 이를 이용한 발아곡물의 제조방법	주식회사 현진기업	101039854	2011.6.1	· 발아조 내부에 순환식으로 물을 연속공급 · 오존과 광촉매를 이용하여 물의 유해물질, 세균 제거
11	대용량발아현미 제조장치	삼서농업협동조합	100608147	2006.7.26	· 발아현미 제조공정을 일시에 대용량으로 처리 가능 장치
12	기능성식품 소재인 감마-아미노노티르산 고함유 발아 현미 생산 방법 및 이를 이용하여 제조한 발아현미	(주) 새롬바이오	100919658	2009.9.23	· 물리적 자극(열충격)을 이용하여 발아현미의 GABA성분을 다량 함유하도록 생산
13	현미를 발아시키는 방법	장세순	100247686	1999.12.14	· 현미를 발아시키는 정도에 따라 식품화
14	현미 발아장치	김성철	100347063	2002.7.19	· 수중모터로 발아용기에 순환공급 · 매시간 물 교체 불필요
15	발아현미 건조 및 포장 방법 및 이에 사용되는 건조장치	이운숙	100398770	2003.9.4	· 발아현미후 건조가 컨베이어벨트에 의해 이동 건조되어 시간단축
16	조직감, 취반성 및 안전성이 우수한 발아 현미의 제조방법 및 이로 부터 얻은 발아현미	씨제이 주식회사	100472988	2005.2.15	· 현미를 가볍게 연마후 약산성 발아수에 침지 제조 · 발아 완료후 고온고압처리
17	발아현미	가부시킴가이 사환케루	101180193	2012.8.30	· 식미가 뛰어나고 취반성이 우수한 발아현미 제공
18	일리시터를 이용한 발아현미의 제조방법	목포대학교산학협력단	100934490	2009.12.21	· 일리시터를 포함하는 발아배지를 이용하여 비만억제효과를 갖는 발아현미
19	현미발아장치	(주)태환 자동화산업	100762348	2007.9.20	· 현미가 발아되는 과정에서도 물과 공기의 최적 상태 유지
20	일리시터를 이용한 발아 현미의 제조 방법 및 상기 방법에 의해제조된 발아현미	바이오테크 주식회사	100905772	2009.6.25	· 일리시터를 포함하는 발아배지를 이용하여 고혈압예방 치료에 유용한 발아현미

21	비만억제용 발아현미 및 그 제조방법	전남대학교산학협력단 등	101245345	2013.3.13	· 두릅나무목, 두릅나무과, 솔잎 오미자, 빵잎, 양파껍질, 감초 및 홍삼추출액 등을 코팅한 비만억제용 발아현미
22	실크 아미노산을 이용한 아미노산 성분이 강화된 발아현미 및 이의 제조방법	강성욱	101336134	2013.11.27	· 실크아미노산이 함유된 침지액 수침처리 후 발아액에 넣어 발아
23	비타민 C와 타우린이 강화된 발아현미 및 이의 제조방법	강성욱	101413672	2014.6.24	· Vit. C, 타우린(0.1~3중량%), 24~48시간 침지
24	발아 현미 제조 장치, 발아 현미의 제조 방법 및 발아 현미	(주)씨나라	101367730	2014.2.20	· 원형현미를 연마가공하여 상기현미로 변화하여 발아과정 · 제조용이, 신속성
25	현미 발아 장치 및 현미 발아 방법	김희우	101461441	2014.11.7	· 현미채반하부와 수조케이싱사이 전극부에서 기포, 이온수 유동기능 공간 및 방전열 이용 이온수온 조절
26	키토산이 함유된 발아 현미의 제조장치 및 방법	농업회사법인 주식회사 그랜드농산	101354054	2014.1.15	· 18~20°C 키토산 희석수 공급 · 23~26°C 발아건조실 · 27~30°C 열풍공급
27	철분이 강화된 발아현미의 제조 방법	전라남도	100608163	2006.7.26	· FeSO ₄ -7H ₂ O 수용액침지

(나) 발아현미의 품질 및 제조기준

- 국내에서 발아현미 품질기준으로 공인된 기준은 찾아볼 수 없으나, 가장 유용한 연구결과로 농진청(2012)이 제안한 다음 표가 있는데, 표에서 알 수 있듯이 주로 발아율조건과, 싹길이 및 잔류농약 등에 관한 품질관리기준이며, 우리나라에서도 유용하게 사용할 수 있는 발아현미 품질기준의 설정이 필요하다고 판단되었음

표 2-1-2-7. 발아현미 품질관리기준(농진청, 2012)

원료곡(현미)		제 품	
현미완전미율	90% 이상	수 분	10~15%
동시발아율	90% 이상	재발아율	90% 이상
싹 길이	0.5~2.0mm	저장기간	~ 6개월
잔류농약	불검출	포장방법	진공포장

* 원료는 국립농산물품질관리원 표준규격 '특' 이상의 현미만 사용

- 한편, 해외에서 발아현미는 주로 일본에서 보급되고 있는데, 일본은 一般社団法人高機能玄米協會 (<http://www.mfbr.org>)의 발아현미 품질기준(自主規格基準)이 제안되어 있음. 이 협회는 2009년 5

월에 日本發芽玄米協會(神奈川縣에 소재)로 설립되어 2014년 12월에 발아현미 이외의 미강유를 포함하여 현재의 一般社團法人高機能玄米協會로 명칭을 변경한 협회로서, 쌀에 관한 영양적 가치와 기능적 가치의 연구를 통해 발아현미 및 미강유 등 쌀을 자원으로 한 식품의 개발, 제조기술 및 품질 향상, 개발보급을 통해 일본 논의 유효활용 및 쌀의 소비확대와 함께 일본 국민의 식생활과 건강향상에 기여한다는 목적으로 23개사(회원사 5사, 찬조회원사 18사) 및 학술회원 2명 등이 회원으로 참여하고 있는 것으로 조사됨

- 一般社團法人高機能玄米協會에서는 발아현미에 대해 영양은 풍부하지만 ㉠ 잔류농약 : 현미자체에 잔류농약이 남을 가능성이 있으므로 저농약이나 무농약재배벼를 사용하는 것이 필요, ㉡ 세균 : 현미 자체에 잡균이 많아 20~30℃에서 1~2일 발아시 세균증식이 활발해져 황색포도구균 등은 물론 식중독 원인의 내열성아포균의 증식가능 등의 문제가 있어, 총 8개항으로 구성된 발아현미 품질기준(자주규격기준)을 2007년에 제정(협회창립일정보다 빠른 것은 현재 협회를 주도하는 교수가 먼저 제안한 내용이 그대로 준용되는 것으로 추정)하였고, 2008년부터 (재)일본곡물검정협회를 통해 주기적으로 품질기준을 준용하고 있는지 여부를 점검하고 있음

표 2-1-2-8. 일본 一般社團法人高機能玄米協會의 發芽玄米 품질기준(自主規格基準)

항 목		기 준
①	외관	현미의 색깔을 띠며, 미립이 양호할 것
②	풍미	현미특유의 풍미를 가지며, 이미, 이취가 없을 것
③	이물	이종곡립, 협잡물이 없을 것
④	일반생균수	1×10 ⁴ 개/g 이하일 것
⑤	내열성 아포균수	300개/g 이하일 것
⑥	대장균군	음성일 것
⑦	황색포도구균	음성일 것
⑧	카드뮴	0.4ppm 미만일 것

(다) 발아현미의 국내 유통현황

- 발아현미의 국내 가격을 살펴보기 위하여 인터넷 및 서울근교 대형마트 등을 통해 발아현미 제품과 비교를 위해 백미의 가격을 조사한 결과는 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 단위중량(kg) 당 발아현미 판매가격은 일반백미의 평균 313% 수준으로 매우 높았음



그림 2-1-2-3. 국내 유통되고 있는 수집된 말아현미제품

표 2-1-2-9. 말아현미와 일반미의 가격비교(인터넷 및 서울근교 대형마트 기준)

말 아 현 미						일 반 미					비교 A/B× 100 (%)
제조사	제품명	원산지	단위 (kg)	가격 (원)	단가 (원/kg)(A)	제품명	품종	단위 (kg)	가격 (원)	단가 (원/kg)(B)	
디시광	말아현미	국내	2.0	20,700	10,350	청원생명쌀	추청	20	60,000	3,000	
강화농산	말아현미	국내	1.0	8,450	8,450	생거진천쌀	추청	20	61,000	3,050	
산들농산	말아현미	국내	1.0	6,800	6,800	새로미	혼합	20	52,000	2,600	
두보식품	말아현미	국내	0.8	3,160	3,950	무농약쌀	추청	10	33,800	3,380	
(주)구상 RPC	발효현미	국내	0.8	10,900	13,625	옥토진미	혼합	20	48,000	2,400	
쌀이조아	말아현미	국내	0.8	3,500	4,375	옥토진미 골드	신동진	20	52,000	2,600	
(주)미력	장세순 말아현미	국내	1.0	5,600	5,600	당진좋은쌀	혼합	20	51,500	2,575	
오뚜기	현미말아	국내	0.8	14,920	18,650	자연이 숨쉬는쌀	하이아 미	10	34,000	3,400	
						옛고을	혼합	10	30,000	3,000	
						강화섬쌀	혼합	10	33,000	3,300	
						지리산쌀	혼합	20	41,700	2,085	
						물레방아	혼합	20	49,800	2,490	
						물레방아미	혼합	5	17,500	3,500	
						물레방아고시하카리	고시	10	37,300	3,730	
						물레방아 골드	칠보	20	54,900	2,745	
						김천 금물쌀	칠보	20	56,800	2,840	
						아리찬 장수쌀	혼합	4	10,700	2,675	
						아리찬 장수쌀	혼합	10	25,600	2,560	
						아리찬 장수쌀	혼합	20	50,600	2,530	
평 균					8,975	평 균				2,866	313

(라) 발아현미 국내 제조업체의 시설 및 기술현황

- 농촌경제연구원(2005) 자료에 의하면 우리나라에서 발아현미 생산업체는 1980년대에 5개 업체로 시작하여 2000년대까지 총 47개 업체가 설립되어 있는 것으로 알려져 있으나, 세부적인 업계 현황 파악을 위하여 현재 가동 중인 발아현미 제조업체 중에서 산업적인 규모로 제조하는 것으로 알려진 2개 회사를 방문 조사하였으며, 인터넷 등을 통하여 유관업체의 시설 및 기술에 대해서도 조사하였음
- 조사결과, 업체에서 추정하는 우리나라의 발아현미의 시장규모는 연간 약 200억원, 물량으로는 약 5,500톤 내외로 추정되었으며, 이 중에서 생산능력 20톤/일 규모의 ㈜미력(米力, 상품명 “장세순발아현미”)이 약 90% 이상을 차지하고 있었으며, 기타 업체는 생산능력이 1~10톤/일 규모로서 강창환 태교음약발아현미, 백의천년 등 다수개가 운영되고 있는 것으로 조사되었으며, 주로 학교급식(백미와의 혼합율 20%), 당뇨 등 건강을 생각하는 소비자가 매입하는 것으로 조사되었음

표 2-1-2-10. 발아현미 업체의 설립년도별 설립현황(농촌경제연구원, 2005)

구 분	업체 수	비 중
1980년대	5	10.6
1990년대	23	48.9
2000년 이후	19	40.5
계	47	100.0

표 2-1-2-11. 발아현미 업체의 사업형태 현황(농촌경제연구원, 2005)

구 분	업체 수	비 중
개인 업체	5	10.6
일반 기업체	34	72.4
농업협동조합	5	10.6
영농조합법인	3	6.4
계	47	100.0

제조회사	공정별 사진		
A			
	원료곡/출하제품 저장	세척	건조트레이에 충전
			
	벌크건조기건조	제품	
B			
	발아침지조	벌크건조기	

그림 2-1-2-4. 발아현미제조회사의 발아현미 제조시스템 현장사진

- 현재까지 현장출장조사 및 인터넷을 통한 조사결과, 우리나라 발아현미 제조업체의 주요 제조공정은 원료현미준비-발아조투입-세척-침지발아-세척-탈수 및 트레이충전-건조-함수율측정-포장출하 등 총 9가지 공정으로 구성되어 있었으며, 각 공정은 대부분 수작업에 의존하고 있었음
- 침지발아는 온수와 냉수로 수온을 조절하여 싹이 약 1~3mm정도가 나오는 48시간(2일간) 침지하였는데, 수온은 감각적으로 유지하되 수온이 높으면 냄새가 발생하므로 적정 수온은 유지하며(수온은 제조회사에서 know-how로 취급하여 조사 불가능), 일반적으로 산소공급은 없었으며, 일부 물을 가수하면서 배출하는 방식을 사용하고 있었음
- 발아된 현미는 세척, 탈수한 후 벌크건조기의 트레이에 수작업으로 충전한 후 주로 건조온도는 50℃, 건조소요시간은 약 2~3시간 건조하는 것으로 조사되었으나, 건조온도 및 건조시간은 업체마다 차이가 있었으며, (주미력의 경우에는 유통성을 고려하여 최종 함수율을 13% 정도까지 건조하는 것으로 조사되었음
- 조사대상의 모든 발아현미제조공장에서 원료는 현미상태로 발아현미 제조직전에 구입하여 사용하는 데, 발아현미는 품종, 재배조건 등에 따라 판매가격에 큰 차이가 없으므로 발아현미 제조업체는 원가 절감을 위해 주로 저가의 현미를 매입하여 사용하며, 발아현미의 발아율 등에 대한 별도관리를 실시하지 않으므로 원료구입시 별도의 발아력검사를 실시하지 않는 것으로 조사되어 이의 개선이 필요하

였음. 주지하는바와 같이 벼 상태로 저장하여도 저장함수율, 저장온도 및 저장기간에 따라 발아율이 저하하므로 연간 균일한 발아율 유지를 위해서는 수확후 반입, 건조 및 저장조건이 충족되는 시설에서 현미를 공급받는 체계구축이 필요하였음

- 업체에 따라 차이가 있겠지만 현재의 수작업제조에서 발아현미 1kg의 제조에 소요되는 작업비는 약 700원 수준으로 제조원가인 약 3,700원/kg의 약 18.9%정도를 차지하고 있어 자동화가 필요하였으며, 자동화방향은 인력과 용수가 최소가 되는 방향이어야 하며, 시스템의 설치비용 및 제조원가절감을 위해서는 2일씩 소요되는 침지발아공정 기간의 단축은 물론, 폐수처리시설의 설치가 불필요한 여건의 구축이 필요할 것으로 조사되었음

		
원료 현미준비	발아조투입	세척
		
침지발아	세척	트레이충진
		
건조	함수율측정	포장 및 출하

그림 2-1-2-5. 일반적인 우리나라의 발아현미 제조공정(사진인용 : <http://www.baraworld.co.kr/>)

(마) 일본 발아현미 제조업체의 시설 및 기술현황

- 해외에서 발아현미는 주로 일본에서 보급되고 있는데, 일본의 보급경위는 1997년경에는 발아현미에 대해 거의 인지하지 못한 상태에서 일부 업체에서 한정수량만 제조해서 판매하였으나, 1998년 信州大學과 민간회사가 공동개발에 착수한 이후 발아현미가 갖는 성분과 각종 효과가 화제가 되어 TV, 신문 및 잡지에 발아현미에 대해 소개되면서 제조업체도 급격하게 증가하여 현재에 이른 것(大海淳, 2001)으로 알려져 있음
- 민간차원에서는 앞에서 서술한바와 같이 2009년 6월 설립된 日本發芽玄米協會(神奈川県에 소재)가 2014년 12월에 발아현미 이외의 미강유를 포함하여 현재의 명칭으로 변경한 一般社團法人高機能玄米協會(<http://www.mfbr.org>) 중심으로 진행되는 것으로 알려져 있으며, 주요 시스템 및 제품 제조 회사는 Satake 및 Fancl로서 2개 회사를 현지 방문하여 조사하였고, 아울러 일본 현지의 시장조사와 인터넷을 통한 관련 산업도 조사하였으며, 이 결과는 발아 및 살균 공정설계, 발아현미의 품질기준 설정, 발아현미의 제조 및 유통계획수립, 위해요소 제거 등 전반적인 발아현미 연속식 대량제조시스템의 설계 및 운영에 활용하였음



(Satake)



(Fancl)

그림 2-1-2-6. 일본 발아현미 시설 및 운영기술 현지조사 대상

① Satake

- Satake는 1896년 창립하였으며, 근대화된 정미시스템을 처음 개발하여 보급한 회사로서 쌀의 재배, 건조, 저장, 가공 및 품질관리 등 분야에서 세계 1위의 기술력을 보유하고 있는 업체로서, 1988년부터 기능성 물질인 GABA가 증진된 발아현미에 대한 연구를 시작하여 1998년부터 시스템 설계 및 제작기술을 확보하였으며, 최근 새로운 GABA쌀 제조기술을 개발하였음
- 발아현미와 GABA쌀의 제조기술 등 발아현미 제조기술을 기반으로 Satake Corp.는 크게 발아현미를 다음 표와 같이 4세대로 구분하고 있었으며, 제 1, 2세대는 침지식 및 미량가수방식으로 발아현미를 제조하는 방식이었고, 제 3, 4세대는 현미 및 벼를 대상으로 GABA쌀을 제조하는 방식으로 구분하고

있었음

- 세대별로 기술 및 제조시스템이 진화한 것은 역시 일본 국민의 needs에 따른 것으로서 주요 관점은 ① GABA가 수용성으로 침지방식으로 제조할 때 기준인 15mg/100g을 충족하기 어려워 이를 해소할 수 있는 방식과, ② 일본 소비자의 백미에 대한 선호도가 대단히 높기 때문에 발아현미를 제조한 후 백미로 가공할 수 있도록 동할이 적고 강도가 있는 발아현미를 제조하는 방식으로 진행되었음
- 제 1, 2세대의 발아현미는 부스러지거나 과도한 싸라기발생으로 일본인의 선호도가 높은 백미의 제조까지는 어려웠고, 현미상태로 GABA를 부화하여 백미로 가공하는 제 3세대 방식은 동할 최소화를 위해 부화에 장시간이 소요되었으며, 벼를 대상으로 부화하는 제 4대는 약 10시간으로 품질저하없이 GABA쌀 제조가 가능한 것을 특징으로 하고 있었음

표 2-1-2-12. Satake Corp.에서 제시한 세대별 발아현미 및 GABA쌀의 특징

구 분	제 1세대	제 2세대	제 3세대	제 4세대
년 도	1995년경~	2000년경~	2008년경~	2013년경~
방 식	침지방식	미량가수방식	습공기 가온가습방식	습공기 가온가습방식
원 료	현미	현미	현미	벼
소요시간	약 30시간	약 30시간	약 20시간	약 10시간
특 징	<ul style="list-style-type: none"> · 장시간 소요 · 식미저하 · 백미제조 불가능 · 폐수처리 필요 · 미생물오염발생 	<ul style="list-style-type: none"> · 장시간소요 · 폐수처리불필요 · 정미제조 가능 · 동할발생 및 식미저하 	<ul style="list-style-type: none"> · 소요시간 단축 · 정미제조 가능 · 품질저하 최소화 	<ul style="list-style-type: none"> · 소요시간 획기적단축 · 정미제조가능 · 품질저하 최소화 · 제조비용 절감

- 현미상태로 GABA를 부화하여 백미로 가공하는 제 3세대 방식은 동할 등의 원인으로 부화에 장시간이 소요되었으며, 벼를 대상으로 부화하는 제 4대는 약 10시간으로 품질저하없이 GABA쌀 제조가 가능한 것을 특징으로 하고 있었음
- 보다 세부적으로는 1세대 발아현미 제조시스템은 원료현미를 40℃의 물에 24시간 침지하여 발아시키는데, 추가적인 산소나 공기공급은 없는 현재 우리나라의 재래식 방식과 유사한 발아방식이었으며, 원료현미의 함수율은 약 15%에서, 발아 후의 함수율은 30%수준이었고, GABA량은 대략 10.0~15.0mg/100g 수준으로 조사되었음
- 현미의 일반생균수는 약 10⁵CFU/g 수준이었으나, 발아 후는 10⁷CFU/g 수준으로 증가함으로써 침지 과정을 거친 현미를 컨베이어로 이송시킨 후 약 100℃ 증기로 약 5~10분 동안 살균하는 공정을 포함하고 있었음
- 살균과정을 거친 현미는 wet type과 dry type으로 나뉘어져 제품으로 출시되는데, wet type에서는 건조를 하지 않고 고수분 상태로 바로 진공포장되어 출시되며, dry type의 경우 순환식건조기를 통

해 15%까지 건조된 후 출시되는데, 순환식건조기는 부식 방지를 위해 STS재질로 제작된 것을 사용하고 있음

- 1세대 발아현미제조시스템은 발아과정은 약 30시간 소요되어 실제 제품이 출시되기까지는 대략 2일 정도 소요되며, 침지과정에 따라 폐수가 발생하고, GABA가 수용성이라 침지 후 폐수를 내보내는 과정에서 원료로부터 물 쪽으로 빠져나가는 단점이 발생하는 것으로 조사되었으며, 침지전 살균할 경우 동할 등의 문제가 발생할 수 있고, 오존살균을 할 경우 냄새로 인해 식미가 저하되는 것으로 조사되었음
 - 또한, 현미 대신 벼를 원료로 할 경우 미생물 증가 및 제현단계에서 동할이 발생할 수 있으므로 현미 원료를 사용하는 것이 효율적이며, 발아된 현미를 살균할 경우 현미 표층부 일부가 호화되어 살균효과는 물론 발아효소 비활성화, 강도증가의 효과를 볼 수 있는 것으로 조사되었음
 - 한편, 2세대 발아현미 제조시스템은 1세대의 침지 방식 대신 미량가수 방식을 통해 침지수의 배수과정이나 폐수발생의 문제를 해결하였으나, 현미탱크로부터 스크루컨베이어로 이송시키면서 가수하는 방식 즉, 발아탱크를 중심으로 순환하는 방식으로, 1회 순환시 함수율은 0.5~1.0%이 증가되고, 약 12번 정도 순환 후 살균, 건조 과정을 거치게 됨
 - 미량가수를 통해 GABA가 침지수로 빠져나가는 것을 감소시켜 GABA량은 15.0~18.0mg/100g 수준으로 1세대보다 향상된 수준을 나타내는 것으로 조사되었으나, 1세대와 공통적인 문제점으로 동할발생과 식미감소의 문제가 존재하고, 제조시간은 대략 2일 정도로 길어지는 것이 문제로 지적되었음
 - 제 3, 4세대 발아현미 제조시스템은 연속식건조기와 유사한 형태를 가진 장치에서 현미(3세대) 및 벼(4세대)를 약 70℃, 90%RH 고온다습한 공기로 5시간 정도를 노출시켜 GABA를 부화시킨 후, 40℃정도의 공기로 건조시킨 후 도정하여 GABA백미를 제조하는 방식으로 벼를 사용할 경우 5시간 정도의 건조로 총 제조시간이 10시간으로 제조할 수 있는 것을 특징하고 있었음
 - 한편, Satake사는 GABA쌀에 대해 “벼를 발아할 수 있는 조건하에서 발아직전까지 유지하여 GABA 등 유용물질을 부화(富化, enrichment)한 후 도정한 백미”로 정의하고 있었으며, 현미 및 잡곡이 혼합된 밥보다는 백미 밥의 선호도가 높은 일본 소비자의 기호도에 착안하여 개발된 제품으로 조사됨
 - GABA쌀의 시도자는 현재 Satake사의 기술부장인 Hidenori(2012)의 박사학위논문(Development of cereal GABA enrichment technology by humidified air heating and humidifying method, 神戸大學)에서 최초로 시도된 것으로 조사되었음
 - 제 4세대 GABA쌀 제조 관련 내용은 국내에도 특허(10-2007-0082875 등)가 출원되어 있는데, GABA가 수용성으로 침지식은 GABA 손실량이 많다는 점과, 일본인은 현미형태보다는 백미형태를 선호하므로 백미가공성이 높도록 제조한다는 점에 착안하여 주요 내용은 벼 표면에 가수한 후, 약 60℃ 이상 조건하에서 tempering하여 호분층 및 배유사이에 주로 존재하는 단백질체(protein body)에서 부화된 수용성 GABA가 수분과 함께 곡립중심부로 확산(diffusion)에 의해 이동하게 하는 것으로서, 이 때 GABA의 발생량과 수분 확산속도와의 balance가 know-how이었음
- 벼(함수율 14%) → 분무가수(함수율 20~30%) → 템퍼링 → 건조 → 제현 및 도정

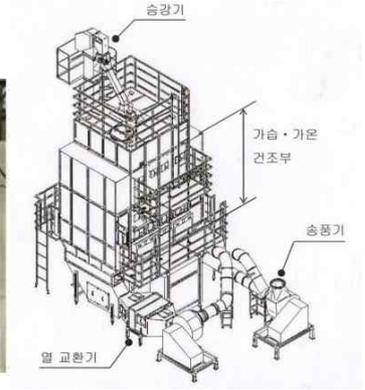


그림 2-1-2-7. 佐竹鐵工株式會社에 설치된 GABA제조시스템(3ton/batch, 백미기준)과 전처리시스템

○ 확산이론에 의거한 Satake사의 제 4세대 GABA쌀 제조원리의 기술적인 검토한 결과, 일반적으로 곡립내부의 확산속도는 다음 식(2-1-2-1)로 표현할 수 있고, 특히, 확산계수는 온도(T)의 함수로서, 벼 표면에 가수한 다음 tempering할 경우 배유외층에서 주로 부화되는 GABA가 내부까지 확산된다는 점은 이론적인 근거가 있지만, ① tempering온도를 60°C로 유지할 경우, 가수 및 템퍼링에 약 10시간이 소요되므로 적산온도가 600°C로서 발아에 필요한 적산온도 기준인 700~800°C(大海 淳, 2001)보다 적어 GABA가 충분하게 발생할 수 있는지 여부, ② 곡립내부로 수분확산이 완료된 이후, 건조시 배유부에 존재하는 수용성 GABA가 역으로 다시 수분확산에 따라 미강층으로 빠져나갈 가능성(Satake사에서는 발생하지 않는다고 주장) 등에 대해서는 확인 또는 검토가 필요하였음

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right) \dots\dots\dots (2-1-2-1)$$

여기서, M : 곡립내부의 함수율(소수, db)

t : 시간(hr)

r : 등가구반경(m)

T : 절대온도(K)

$$D : \text{수분확산계수}(m^2/hr) = A \exp\left(-\frac{B}{T}\right)$$

표 2-1-2-13. Satake사에서 제시한 쌀의 각 부위별 GABA량

쌀의 부위	GABA량(mg/100g)	
	분무가수처리	미처리
미강	1.5	1.3
배아	2.2	0.5
배유	8.6	2.0

- 일본에서 판매되고 있는 GABA쌀의 가격은 약 620엔/kg으로 일반백미의 350엔/kg에 비해 1.8배정도 높았으며, 제조시스템은 현재까지 일본 3대, 미국 1대, 중국 3대 및 한국 1대 등 총 8대 정도가 판매되었고, 우리나라의 경우 오투기에서 금년 2월경부터 설치하여 6월경부터 판매하고 있으며, 처리 능력은 벼 투입량 5ton/batch, GABA쌀 생산량 3ton/batch로서 제조에 10시간이 필요하므로 생산능력은 300kg/hr에 불과하였으며, 설치가격은 10억원 수준이었음
- Satake사에서서는 GABA쌀의 홍보를 위해 GABA쌀로 주먹밥 등을 제조하여 판매하는 매장을 4곳(히로시마현 2, 치바현 1, 하와이 1)을 개장하여 직영하고 있음



그림 2-1-2-8. Satake Corp.에서 GABA쌀 홍보를 위해 직영하는 판매점(<http://omusubigaba.com>)



그림 2-1-2-9. 오투기에서 Satake Corp.의 GABA쌀 제조시스템으로 생산하여 판매하는 가바백미

- Satake사의 제4세대 GABA쌀 제조기술은 확산이론에 근거한 대단히 참신한 아이디어로 평가되었으며, ① 백미로서 국내의 경우 건강식으로 판매하기에는 효과가 다소 미흡할 것으로 예상되었으며, ② 시스템의 생산능력이 300kg/hr인 소규모 배치식으로 광역통합RPC에서 설치할 수준의 용량이 아니므로 기술적인 부분은 발아현미 대량제조시스템의 개발에 참고하였음
- 한편, Satake사에서서는 쌀에 함유되어 있는 GABA량의 측정을 위해 필터링 및 이미지프로세싱을 통한 IMS(Imagery Mass Spectrometry) 영상분석기술을 개발하였으며, 이 기술은 쌀의 특정한 부위에 집중되어 있는 GABA량의 측정이 가능한 기술로 조사되었음

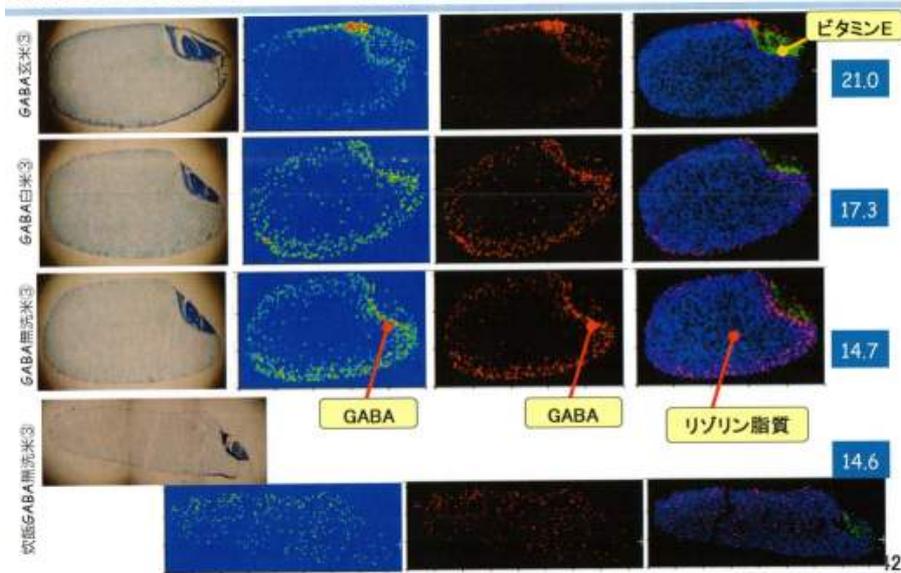


그림 2-1-2-10. Satake사에서 측정한 GABA

- 한편, 일본의 발아현미에 대한 온라인 조사결과, 발아배아미(발아시킨 후 배아를 남기고 백미수준으로 도정한 쌀)가 대단히 많이 판매되고 있었으며, 현장조사는 어려워 홈페이지에서 추출한 개략적인 공정은 다음의 그림과 같았으며, 가격은 약 1,000엔/kg이상으로 대단히 고가이었음

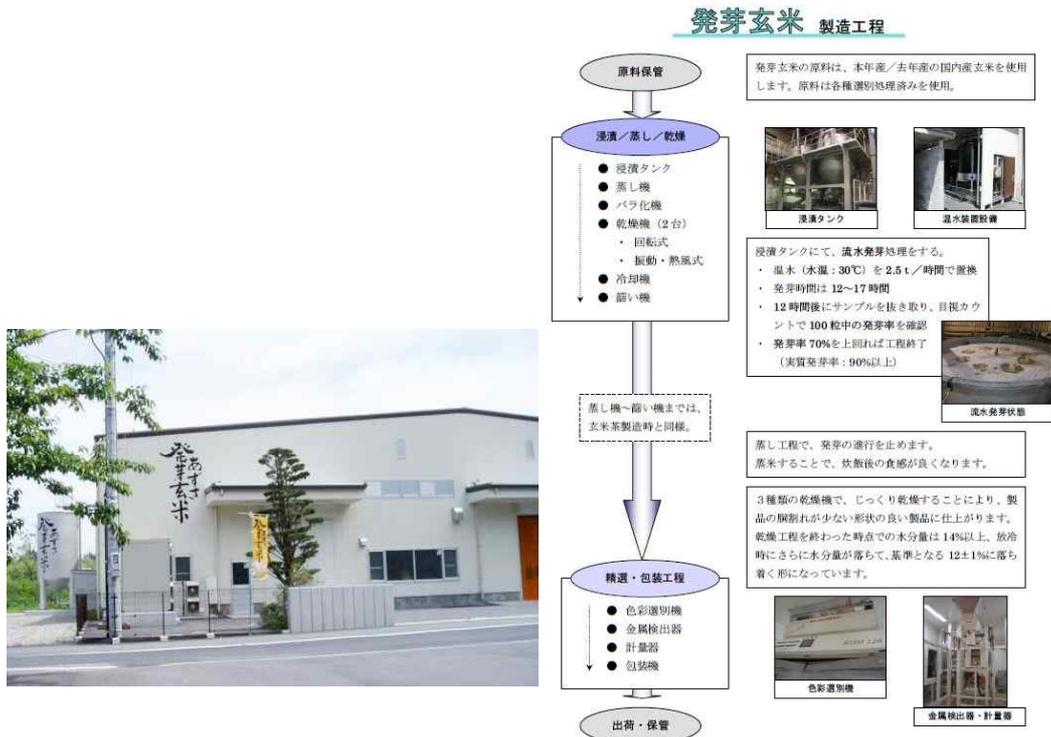


그림 2-1-2-11. 연간 432톤 제조가 가능한 일본의 발아배아미 제조설비(일본 山形縣 芥米月山)

			
현미 투입구	원료정선기	발아탱크	건조시설
			
이물선별기	발아배아정미제조	석탈기	정미탱크

그림 2-1-2-12. 일본의 발아배아미 제조공장 및 제조과정(일본 山形縣 (주)米月山)

		
1,000엔/kg	1,250엔/kg	거대배아미(穂の華)843엔/0.5kg

그림 2-1-2-13. 일본에서 온라인으로 판매되는 발아배아미 가격

② Fancl

- Fancl은 1981년에 창업한 기업으로서, 주요제품은 무첨가 화장품, 기능성식품, 발아쌀 등으로 1999년부터 발아현미사업을 시작하였으며, 나가노에 위치한 발아현미생산공장은 2002년 3월에 준공되어 공장규모는 10,980㎡, 건물높이는 약 8층 규모인 25m이며, 35명의 직원이 종사하고 있고, 생산능력은 20톤/일 규모로서 연간 약 4,000톤 이상을 생산하고 있었음
- Fancl사의 발아현미제조시설의 주요 공정은 원료반입-원료선별-세척-발아-건조-제품선별-포장 등으로 구성되어 있었고, 원료 현미는 1차선별(체선별, aspirator, 금속제거(1,000G))과 2차선별(금속제거(8,000G), 비중선별(돌 제거), 입선별(싸라기 제거), 색채선별(착색립 제거))을 통해 원료를 정선하고 있었으며, 원료나 제품의 이송은 공기 및 기계식 방법을 혼용하고 운영하고 있었음

- 정선된 원료는 세정 후 발아현미의 품질을 좌우하는 가장 중요한 발아공정으로 이송되는데, 발아장치는 20톤(10톤×2기) 규모로서 Fancl사의 발아공정은 현미를 물에 침지하는 기존방식과 달리 현미에 미세한 물을 분사하는 방식(2세대 방식)을 적용하고 있는데, 현미의 균열을 최소화하여 취반시 균열로 인한 식감저하를 방지하고, 세균 번식도 최소화할 수 있는 특징이 있는 것으로 조사되었음
- 또한, 발아과정에서 증가되는 GABA 등의 수용성 영양소가 물과 함께 배출되는 것도 방지할 수 있는 방식으로서, 가수는 2mm이하의 미소기포가 있는 것으로, 공기 및 물의 공급속도를 각각 0.1~1.5m³/m³/h 및 100~2,000L/m³/h로 분사하였는데 100L/m³/h미만의 경우 살균효과가 낮고, 2,000L/m³/h이상인 경우 물 사용량이 지나치게 많아 현미의 유동문제가 발생하고, 영양성분의 유출이 높아지며, 발아탱크 하부에서 공기를 미소기포로 연속적 또는 간헐적으로 공급하여 현미를 공기와 접촉하게 하였음
- 한편, 침지방법도 사용되었는데 침지조건은 발아수의 온도는 20~40℃에서 발아할 때까지 침지하거나, 5시간 정도 침지후 탈수하고 간헐적으로 물을 분사하여 높은 습도조건에서 적정시간으로 발아시키는 방법을 채택하고 있었으며, 예로서, 원료 현미를 30℃의 물에 5시간 침지시킨 후 배수하고 실온(25℃)에서 18시간 발아시키며, 현미를 5시간 침지하는 동안 공기와 물을 공급하고, 이후 98℃에서 5분간 증자하고 80℃의 유동충진조를 20분간 실시하여 발아현미를 제조하는 방식도 사용하였음
- 발아후 건조과정 전에 표면 부착수 제거는 컨베이어를 사용하여 진동 또는 송풍방식을 사용하였고, 교반기능을 가진 회전날개 및 스크루 등이 사용되었으며, 발아과정은 약 24시간이 소요되었고, 건조과정도 약 24시간정도가 소요되는 것으로 조사되었음
- 발아현미 제조후 선별과정에서는 색채선별기를 이용하여 착색립 등을 제거하였고, 체선별, 금속검출(철류 Ø1.5mm, 비철금속 Ø3.0mm) 및 금속제거(10,000G) 등의 공정이 추가되었으며, 선별공정후 발아현미는 계량 및 포장공장을 거쳐 최종검사(포장후 중량검사 및 제품외관검사) 후 출하하였음
- 발아현미 포장은 0.5µm 수준의 미세면지를 거를 수 있는 필터가 설치된 클린룸에서 실시하였으며, 특히 해충방제에 많은 비용을 소요하고 있었고, Fancl사에서 제조한 발아현미는 국제식품안전협회(GFSI)로부터 FSSC 22000(Food Safety System Certification 22000) 인증을 획득하고 있었음
- Fancl은 홈페이지에 제조된 발아현미의 Lot번호로 수확년도, 산지 및 품종 등 이력정보를 확인할 수 있도록 하고 있었으며, 유통 발아현미의 포장단위는 최대 10kg이었고, 포장지내에 탈산소재를 같이 포장하고 있었으며, 유통기간은 9개월로 조사되었음
- 발아현미, 즉석밥 등의 상미기간을 표기하고 있지만, 유통되는 쌀에는 상미기간 표기가 없어지고, 정미기간(도정일자)이 표기되는 것으로 조사되었고, 발아현미의 유통가격은 평균 1,000엔/kg 수준이었고, 통상 일반 쌀과 1:2비율로 취사하는 것으로 조사되었음



(일본 유통쌀 및 특수가공미 매장)



(일본 발아현미 포장지)

그림 2-1-2-14. 발아현미 유통관련 현지조사

(바) 국내의 유통 발아현미의 품질특성

- 국내의 경우 인터넷쇼핑몰(G마켓, 인터파크, 신세계몰 등), 대형마트 및 농협하나로마트 등에서 수집하였으며, 국외는 일본의 쇼핑몰(아마존, 라쿠텐 등)에서 해외배송을 통해 수집하였음. 국내 유통 발아현미는 총 13종이었고, 생산자별로는 농협이 9종, 영농조합 2종, 민간기업 2종이었으며, 수집된 일본의 발아현미는 총 5종이었으며, 현미상태로 유통되는 브랜드가 3종이었고, 2종의 브랜드는 낮은 분도로 도정한 백미이었음
- 한편, 일본의 발아현미 제품은 시장에서 쉽게 구하기 어려워 인터넷쇼핑몰 등을 통해 수집하였는데, 수집된 일본 유통 발아현미는 총 5종에 불과하였으며, 수집된 5종의 발아현미 제품 중 발아현미 브랜드는 3종이었고, 도정한 백미 브랜드는 2종이었으며, 5종으로서 일본 발아현미의 품질을 대표하기에는 다소 시료량이 적다고 판단되었으나 이 결과를 게재함



(일본)



(국내)

그림 2-1-2-15. 국내의 유통 발아현미의 품질특성 구명을 위해 수집된 시료

- 수집된 국내 유통 발아현미 총 13종의 품질특성을 측정한 결과는 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 국내 유통 발아현미의 함수율은 평균 10.5%(7.4~12.7%)로 일반적인 유통현미기준인 15%

보다 많이 낮았고, 동할율은 평균 89.4%(54.8~100%)로 매우 높았는데, 주요 원인은 국내 발아현미 제조업체에서 사용되고 있는 건조기는 벌크건조기로서, tempering없이 건조온도 50℃ 열풍으로 약 2~3시간 건조함으로써 건조시간에 따라 함수율은 급격히 저하하고, 동할율은 급격하게 높아진 것으로 판단되었음

- 국내 유통 발아현미를 육안으로 관찰하여 총 곡립수 중에 발아된 형태가 있는 곡립수 비율로 추정된 발아율은 평균 76.4%(42.0~98.0%)로서 비교적 낮은 상태이었는데, 주요 원인은 우선적으로 발아현미 제조조건과 원료의 낮은 발아율을 고려할 수 있는데, RPC에서 벼의 저장 중 함수율, 저장온도 및 저장기간에 따라 발아율이 급격하게 변화하는데 비해 발아현미 제조회사에서는 발아율 측정없이 RPC 등에서 가격이 적당한 현미를 구입하여 침지-건조 후 제품으로 판매하기 때문으로서, 발아현미 제조를 위해서는 원료인 벼의 발아율이 높도록 철저한 원료관리가 필요하였음
- 실제 발아직후 싹 중에서는 건조 등의 과정을 거쳐 이탈된 부분도 있어 유통제품의 싹길이는 발아직후 싹길이를 정확하게 예측은 현실적으로 불가능하나, 국내 유통 발아현미의 싹길이는 평균 0.93mm(0.69~1.26mm)로서 비교적 적정한 수준으로 판단되었으며, 백도는 평균 21.2(18.5~23.6)로서 일반적인 현미의 백도기준인 20보다는 다소 높은 수준이었고, 최근 일부지역에서 발생된 수발아(水發芽)된 현미의 백도와 유사한 수준을 나타내었음

표 2-1-2-14. 국내에서 유통되는 발아현미의 품질특성

구분	브랜드명	생산자	품종	함수율 (%)	동할율 (%)	L	a	b	싹길이 (mm)	발아율 (%)	백도
1	햇뜰내 발아현미	농협	삼광	10.4	95.2	58.8	5.0	24.7	1.2	79.7	19.9
2	장세순 발아현미	민간	혼합	8.2	98.8	59.9	4.7	23.5	0.8	91.0	20.5
3	청야의 들녘	영농조합	혼합	11.1	100	63.0	4.8	24.6	0.9	95.3	23.6
4	아우내 잡곡	농협	혼합	12.7	85.6	58.7	5.4	25.7	0.9	42.0	18.5
5	하늘가에 우리농산물	농협	혼합	7.4	95.6	59.7	5.5	25.1	0.9	63.3	19.8
6	미이랑	민간	혼합	11.1	82.8	61.2	4.9	25.0	0.9	54.0	21.2
7	그리운 고향잡곡	농협	혼합	10.5	71.6	61.9	4.3	23.2	1.2	90.3	22.4
8	하늘소	농협	혼합	10.3	99.2	59.4	5.0	23.8	0.9	81.3	20.4
9	고수레 발아현미	영농조합	혼합	10.4	54.8	62.5	4.3	23.1	1.3	93.7	23.2
10	흙누리 잡곡	농협	혼합	10.7	82.4	62.4	4.8	23.8	0.8	84.7	22.6
11	미중진미순	농협	추청	12.6	98.0	60.7	4.6	22.7	0.8	98.0	21.1
12	햇살보석 치악산 발아현미	농협	혼합	9.9	100	61.6	4.7	23.9	0.7	68.0	22.2
13	참맛곡식	농협	혼합	10.7	98.4	58.5	4.9	22.5	0.9	51.7	20.1
	평균			10.5	89.4	60.6	4.83	24.0	0.93	76.4	21.2
	최대			12.7	100	63.0	5.50	25.7	1.26	98.0	23.6
	최소			7.4	54.8	58.5	4.30	22.5	0.69	42.0	18.5

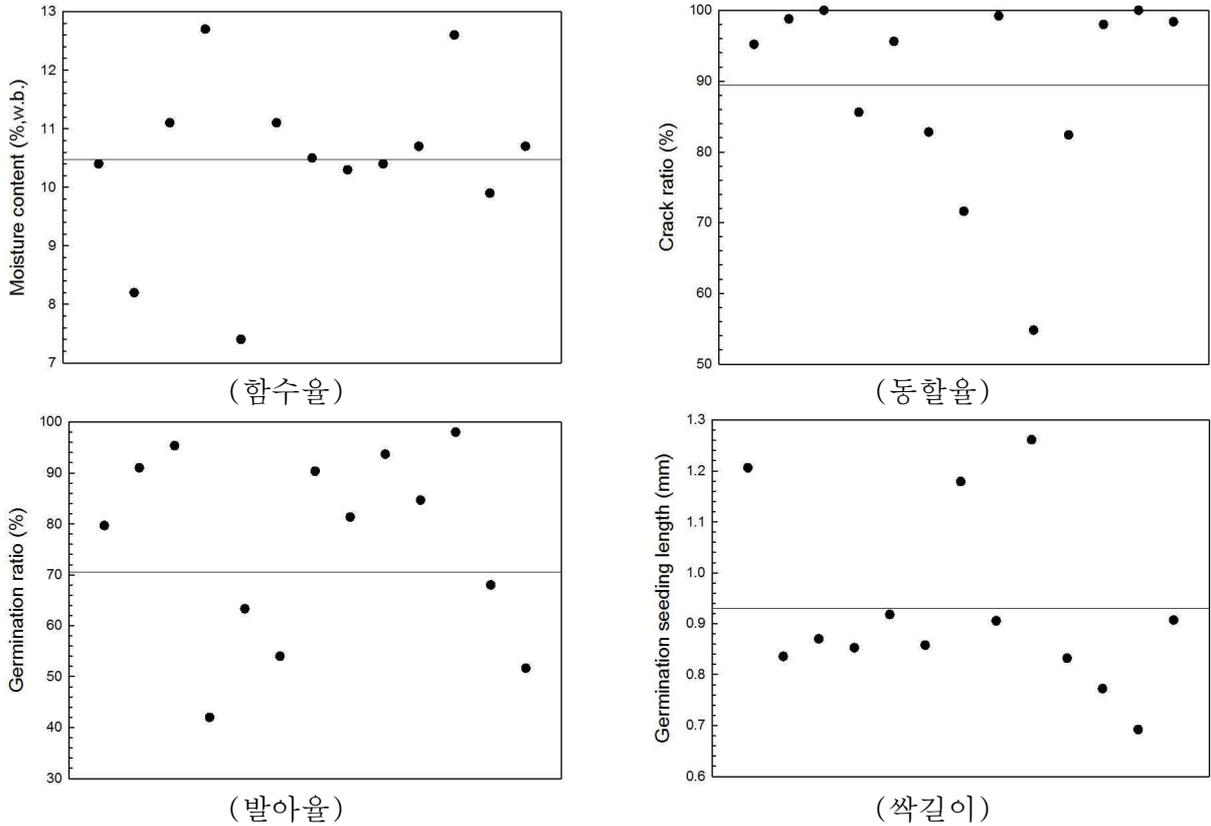


그림 2-1-2-16. 국내에서 유통되는 발아현미의 품질분포

○ 한편, 일본산 발아현미의 동할율이 0.7, 2.0%로 대단히 낮은 제품이 있어 일본에서 주로 사용되는 순환식건조기를 이용한 건조방법의 가능성은 확인하였고, 백미의 백도가 28.5, 31.7로서 배아미의 백도기준인 35보다도 낮아 완전한 도정보다는 일부 도정에 그친 제품도 있는 것을 알 수 있었음

표 2-1-2-15. 일본에서 유통되는 발아현미의 품질특성

브랜드명	생산자	동할율 (%)	발아율 (%)	백도	싹길이 (mm)	함수율 (%)	배아 부착율(%)
発芽玄米	コジアフーズ(주)	0.7	20.3	22.3	0.85	14.7	
金のいぶき	(주)フマソケル	81.3	97.0	20.8	0.95	14.8	
発芽米玄米	(주)フマソケル	2.0		18.7		14.6	
発芽米5分度	(주)フマソケル			28.5		15.5	99.0
胚芽米	(주)神明			31.7		14.3	92.1
평균		28.0	58.7	24.4	0.90	14.8	95.6

나. 발아현미 품질 및 제조기준 정립

(1) 발아현미 제조조건 및 제조시스템 연구방향 설정을 위한 예비실험

(가) 실험방법

- 전술한 바와 같이 본 연구팀은 RPC 관련연구에 주력하여 RPC에서 제조하지 않았던 발아현미에 대한 실제적인 연구경험이 없는 상태로서, 선행기술조사 결과를 바탕으로 발아현미 제조조건 및 제조시스템 연구방향 설정을 위해 기초실험을 실시하였음
- 우선 선행기술 및 국내 업체에서 적용하는 기술 및 시스템에 대한 분석결과, 발아현미 제조방법은 건식(dry type)과 습식(wet type) 등 2가지 방법이 사용되고 있었는데, 제조방법별 각각의 장단점이 있으나 본 연구에서는 광역통합RPC에 적용하기 위한 대량생산시스템을 개발하는 것이 목표로서, 이를 위해서는 인력소요가 최소화되면서 자동화가 가능한 방식을 채택하는 것이 필요하였음

표 2-1-2-16. 발아현미 제조방법별 특징(大海 淳, 2001)

구 분	건 식	습 식
가수방식	침지후 간헐적 가수	침지
침지시간	7~8시간(간헐적 가수시간 제외)	12~24시간
제품특징	· 발아에 장시간 소요 · 단맛 등 식미관련성분의 자체소비, 현미 부착된 미생물 유래 발효취로 풍미손상	· 현미를 온수침지시 곡립에 균열발생 · 균열부분을 통한 단맛과 감칠맛 성분 용출로 식미저하발생

- 따라서, 본 연구에서는 현재까지의 선행기술조사에서 정립한 핵심기술을 확인하고, 향후 연구방향 설정을 위하여 water bath를 이용하여 물의 온도를 25℃로 유지하면서 정지상태, 산소공급 및 진탕(70rpm) 등 3가지와, 물의 온도를 30℃로 유지하면서 정지상태로 유지하는 등 4개의 실험구를 통해 발아가 진행되는지, 이취가 발생하는지를 측정하였음
- 시료는 경기 화성소재 농협RPC에서 매입한 현미(추청)으로서 초기함수율은 15.2% 수준이었으며, 각 실험구마다 약 40g 내외를 사용하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

(나) 결과 및 고찰

- 선행문헌조사에서 확인한 바와 같이 발아기작은 종자의 수분이 30~35%가 되면 성장호르몬인 gibberellin이 분비되고, 이 호르몬의 유도에 따라 배반상피조직의 유전자에서 발아에 필요한 효소가 생합성되어 호분층을 따라 분비되어 배유전분, 단백질, cellulose, 지질 등을 분해하여 배아에서 발아가 진행되며(大坪, 1996), 이 때 신경전달물질인 GABA는 glutamic acid가 decarboxylase에 의해 분해되어 생성되는 것이었음
- 大海 淳(2001)에 의하면 현미의 발아에 미치는 인자는 수분, 온도 및 산소로서, 발아준비 개시가 되

는 함수율은 15% 이상이고, 현미 발아 최적온도는 27~30°C, 발아에 필요한 적산온도는 700~800°C 라고 하였으며, 침지도중에 이취가 발생하지 않도록 산소공급 등이 필요하며, 이 때 온도가 높을수록 종자의 흡수속도가 빨라지며, 산소가 부족한 상태에서도 발아는 가능하나, 종자의 생리·생화학적 반응에 필요한 catalase, cytochrome, oxidase, amylase 등 효소의 활성이 현저하게 저하하여 이상발아 형태가 나타나는 것으로 알려져 있음

- 본 연구에서는 일반적으로 업체에서 실시하는 것과 동일하게 4가지 실험구에서 24시간 동안 침지한 다음, 발아상태와 이취발생여부를 확인한 결과, 4가지 실험구에서 모두 발아되었으나, 정지상태에서는 이취가 발생하였으며, 산소공급없이 정지식일 경우 온도와 무관하게 이취가 발생하였으며, 발아도 지연되었음
- 광역통합RPC는 현미, 백미, 친환경미, 특수가공미 및 잡곡 등을 취급하는 대규모 RPC이면서 자동화된 시스템으로 발아현미의 대량제조시스템도 생산 자동화가 가능한 시설이어야 하며, 인력이 최소화 되고, 초기설치비 및 운영비가 절감되어야 할 뿐 아니라 고장 및 품질 불균일이 발생하지 않는 생산 체계가 구축되어야 함
- 따라서, 대규모이면서 대증량의 침지탱크에서 일정이상의 크기로 shaking을 가하는 것은 기구적으로 어려운 상태로서 본 연구에서는 이취방지를 위한 방안으로 산소공급을 실시하는 것으로 하였으며, 향후 시스템은 GABA가 수용성으로 제조과정 중 손실을 최소화하기 위한 방향으로 설정하기로 하고 이를 향후 연구방향으로 설정하였음

표 2-1-2-17. 발아현미 핵심기술의 확인을 위한 예비실험조건별 결과

구 분		예비실험구			
		A	B	C	D
실험 조건	설정온도(°C)	25	25	25	30
	발아시간(hr)	24	24	24	24
	현미(g)	40	40	40	40
	조건	정지	산소공급	Shaking(70rpm)	정지
실험 결과	전체외관				
	발아형태				
	이취	이취발생	이취없음	이취없음	이취발생

(2) 제조조건이 발아현미 품질특성에 미치는 영향 구명

(가) 실험방법

- 발아현미의 대량제조시스템 개발에 필요한 제조조건의 설정을 위하여 발아현미의 제조조건이 발아현미 품질특성에 미치는 영향을 구명하였음. 이를 위하여 추청 현미를 대상으로 발아온도별, 침지시간별 발아특성을 측정하였으며, 대조구로 산소를 공급하지 않는 방식에 대한 실험도 실시하였음
- 실험에 사용한 시료는 2015년 경기화성지역에서 수확하여 RPC에서 탈부 및 선별 후 포장되어 유통되는 추청 시료로서, 초기함수율은 16.0%(w.b.), 초기발아율은 96.7%(±0.025)이었으며, 색채선별기(FGS-1000, Satake, Japan)를 이용하여 미숙립, 피해립, 착색립 및 사미 등 불량립을 선별한 후 정립만을 밀봉한 후 2°C 저온저장고에 보관하면서 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 실험에 사용하였음
- 발아현미를 제조하기 위한 발아온도는 20, 25, 30 및 35°C 등 4수준으로, 발아시간은 6, 12, 24, 30, 36, 42시간 등 6수준으로 하였으며, 현미를 물에 침지하여 산소를 공급하는 방식과, 대조구로 산소를 공급하지 않는 방식 등 2수준의 방법 등 총 48개 실험구이었음
- 발아실험은 각 실험구당 현미 2kg을 수돗물로 충분히 세척한 후, 다공으로 제작된 스테인리스 재질의 시료트레이에 현미를 2cm로 퇴적하고, 발아온도조건에 적합하도록 온도가 조정된 수도수가 담긴 20L 용기에 침지한 다음, 설정온도가 유지되는 항온챔버(HK20, Hankook, KOR)에서 발아실험을 시작하였으며, 산소공급은 용기하부에 8L/min의 산소공급기(DK-3000, Daekwang Electronics, Korea)와 120cm 산소분배기를 이용하였음
- 대조구인 산소를 공급하지 않는 방식은 동일한 방법으로 시료를 세척한 다음, 비이커에 현미를 3cm로 퇴적하고 발아온도조건에 적합하도록 온도가 조정된 수도수를 시료중량의 약 3배정도가 되도록 첨가하여 현미가 충분히 침지되도록 한 다음, 항온챔버에서 동일하게 발아실험을 시작하였음
- 발아실험이 시작된 이후, 설정된 발아시간 조건별로 시료를 채취한 다음, 체망을 통해 탈수하고 함수율, 발아율, 발아크기(썩크기) 및 미생물 등을 측정하였으며, 건조온도 20°C의 실험용건조기(HK-DO100F, Hankook, Korea)에서 함수율 15%로 건조한 다음, 백도, 칼라, GABA함량, 아미노산함량 및 경도 경도 등 품질을 다음과 같은 방법으로 측정하였음
- 함수율은 정립 10g을 대상으로 135°C를 유지하는 건조오븐에서 24시간 건조법으로 3회 반복 측정하였으며, 측정후 표준측정법인 105°C건조법으로 환산하였고, 발아율은 정립 100립을 대상으로 발아된 현미의 립수를 측정하여 3회 반복 측정치를 사용하였으며, 발아의 크기는 정립 30립을 대상으로 발아된 썩을 버니어캘리퍼스(500-181, Mitutoyo, Japan) 측정하였음
- GABA 함량은 건조된 발아현미를 60mesh로 분쇄한 시료에 methanol을 가하여 70~80°C에서 추출 건고시킨 후, 70mm lanthanum chloride 용액을 가하여 원심분리 한 후 상정액에 0.1M potassium hydroxide 160μl와 혼합한 후, 다시 원심분리하여 상정액을 시료로 사용하여 GABA 표준시약을 이

용하여 표준곡선을 작성한 후, GABA 함량을 산출하였음

- 아미노산 조성 분석은 시료 일정량을 1000 μ l 증류수에 녹인 후 30 μ l씩 분주하여 분석에 사용하였으며, 가수분해를 위해 취한 시료 각각을 완전히 건조시키고, 섭씨 110도에서 24시간 6N HCl로 가수분해하였으며, 가수분해된 아미노산을 phenylisothiocyanate(PITC)로 유도체화시키고, 시료를 완전히 말려 200 μ l의 A solvent로 녹여 원심분리한 후, 상층액만을 0.45 μ m filter로 여과하여 HPLC(HP 1100, HP, USA)로 분석하였음
- 발아현미의 강도(hardness)는 Texture analyzer(TX-RA, Dimension V3.7A, Stable Micro System, England)로 Two-cycle compression, force-versus-time program을 사용하여 pre-test speed 5 mm/s, post-test speed 5 mm/sec, strain 80%, probe diameter 5mm조건으로 정립 30립에 대해 측정하였음
- 발아과정 중 현미에서 발생하는 이취를 측정하기 위하여 1시간 간격으로 2명의 실험자가 현미의 이취를 직접 확인하였음
- 미생물은 총균수, 대장균군 및 포도상구균을 측정하였는데, 발아온도 25 $^{\circ}$ C에서 발아된 현미 10g에 멸균수 100mL을 넣어 homogenizer(HG 400, MAYO, Italy)를 이용하여 10분간 균질화한 다음, 일반총균수는 3M petrifilm(3M, MN, USA), Aerobic count plate를 이용하여 35 $^{\circ}$ C, 48시간 배양하여 계수하였고, 대장균군은 3M petrifilm(3M, MN, USA), Coliform count plate를 이용하여 35 $^{\circ}$ C, 24시간 배양하여 계수하였으며, 포도상구균은 3M petrifilm(3M, MN, USA), Staph express count plate를 이용하여 35 $^{\circ}$ C, 24시간 배양하여 계수하였음



(현미발아에 이용한 항온기)



(산소공급하지 않는 발아방법)



(산소공급 발아방법)



그림 2-1-2-17. 발아현미 제조 모습



(발아율 및 싹길이 측정 실험모습)



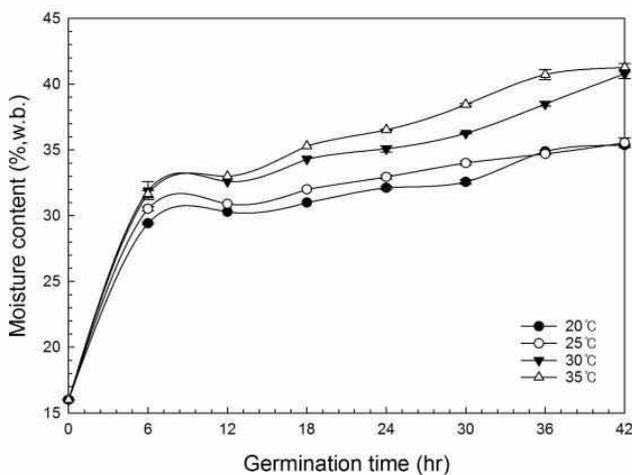
(강도측정 실험모습)

그림 2-1-2-18. 발아현미 품질측정 모습

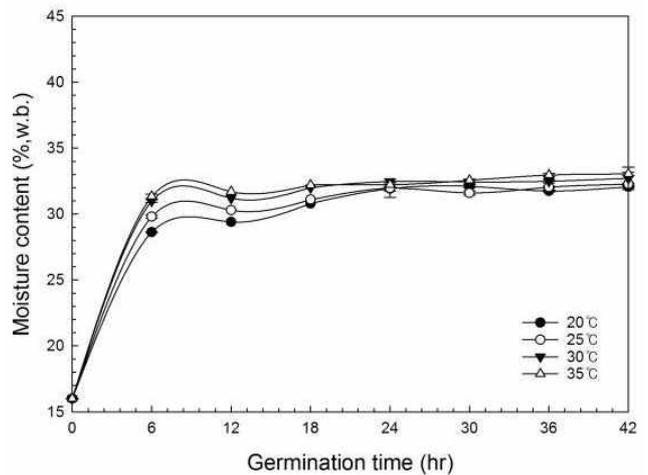
(나) 결과 및 고찰

① 함수율 변화

- 발아방식별 발아시간에 따른 함수율 변화는 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 침지+산소공급방식과, 산소를 공급하지 않는 대조구 공히 발아시작 후 6시간에서의 함수율은 약 30%내외로 비슷하였으나, 6시간 이후부터 42시간까지 대조구는 수분이 거의 증가하지 않는 반면, 침지+산소공급방식은 함수율이 계속 증가하였으나, 증가폭도, 침지온도가 높을수록 크게 나타났음
- 통상적으로 발아가 진행되는 함수율범위가 30~35%이므로 침지온도에 따라 다소 차이는 있지만 침지+산소공급방식의 경우 약 6~18시간 정도가 소요되었으며, 대조구의 경우 18시간 이후 정도가 소요되었음
- 곡립의 건조 또는 확산이론에 의하면 통상 곡립을 침지하거나 건조할 경우, 곡립 함수율은 수증기압이 높은 측에서 낮은 측으로 확산에 의해 곡립의 내외부로 수분이 이동하면서 증가 또는 감소하게 되는데, 이 확산속도는 온도의 함수로서 온도가 높을수록 확산속도가 증가하므로 침지온도가 증가할수록 함수율 증가폭도 증가하게 됨
- 그러나, 동일한 원료 현미 및 침지조건하에 산소공급 여부에 따라 함수율이 증가하는 것에 대한 원인은 선행연구가 없어 명확하게 해명하기는 어려우나, 산소버블로 인한 곡립표면에서의 침지수의 흐름 발생으로 인한 표면수분전달속도의 증가와, 발아과정 중 함수율이 30% 이상이 유지될 경우 gibberellin의 분비에 따른 가수분해효소인 amylase, peptidase, protease, lipase 등의 활성으로 많은 수분이 필요한 부분도 일부 관계가 있을 것으로 판단되었음



(침지+산소공급 발아방식)



(침지 발아방식)

그림 2-1-2-19. 발아방식 별 발아온도 및 발아시간에 따른 함수율 변화

② 발아율 변화

- 발아방식별 발아시간에 따른 발아율 변화는 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 침지+산소공급방식의 경우 대조구에 비해 침지온도와 무관하게 발아율이 급격하게 증가하여 침지온도 30℃ 및 35℃의 경우 발아시작 12시간 만에, 20℃, 25℃의 경우에는 발아시작 24시간 만에 거의 100%에 도달하였으며, 온도가 높을수록 발아에 소요되는 시간이 짧았음
- 반면, 산소를 공급하지 않는 대조구는 모든 침지온도조건하에서 발아시작 48시간(3일)이내에는 약 20% 정도만이 발아되었는데, 이는 일반적으로 사용되는 발아율측정방법인 국립농산물품질관리원 방법(고시 제2000-8, 벼 정립 100립을 선별하여 20℃에서 7일 이내에 발아한 미립수를 발아율)을 고려할 때 3일 이내에 발아되는 곡립수가 대단히 적어 보다 긴 시간이 필요하다는 의미로서 산소공급이 발아시간 단축에 대단히 중요한 인자임을 알 수 있었음

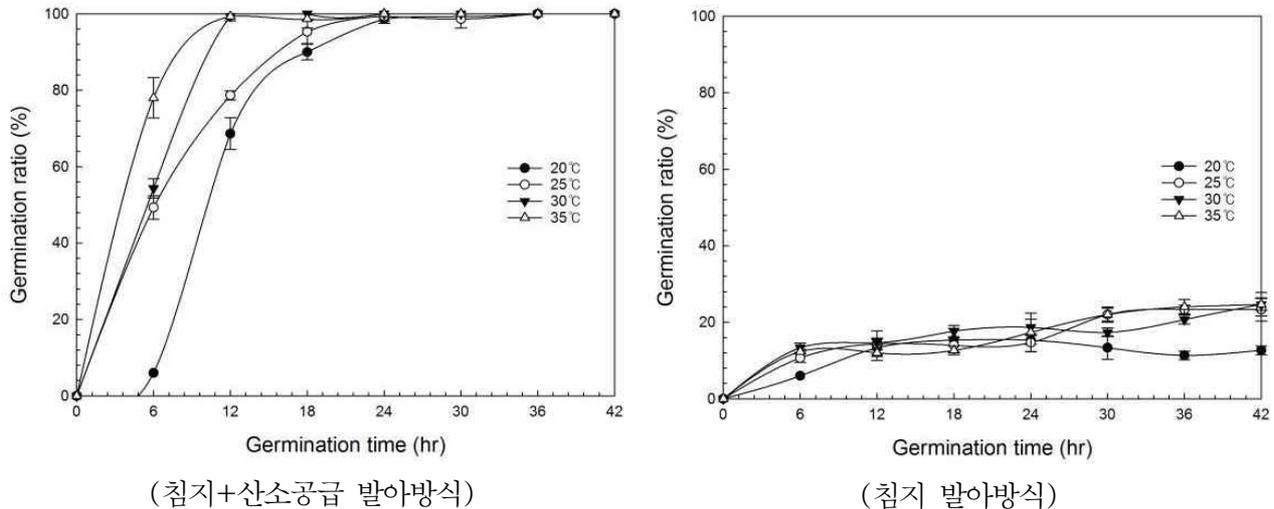


그림 2-1-2-20. 발아방식 별 발아온도 및 발아시간에 따른 발아율 변화

③ 발아(싹) 크기 변화

- 발아(싹)의 크기는 大海 淳(2001)은 약 1~3mm 정도가 적합하다고 하였고, 농진청(2012)은 0.5~2.0mm 정도가 적합하다고 제시하였으나, 일반적으로 발아현미는 발아된 이후 약 13~15% 수준으로 건조되는 과정에서 싹도 건조되어 포장 및 유통과정 중에 흔적만이 남는 경우가 대부분임
- 본 연구에서 발아방식별 발아시간에 따른 발아(싹)크기를 측정한 결과는 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 침지+산소공급방식의 경우 침지시작 6시간 후에 약 0.7mm 정도로 싹이 발생한 이후 경과시간에 따라, 침지온도가 높을수록 싹의 크기가 커졌으며, 침지시간 30℃ 및 35℃의 경우 42시간 침지 후에 싹의 크기가 약 7mm 정도까지 커졌음
- 반면, 산소를 공급하지 않는 대조구는 모든 침지온도조건하에서 발아시작 48시간(3일)이내에는 싹의 크기가 1mm 이상을 벗어나지 못하였으며, 이는 산소가 부족할 경우 발아는 가능하나, 종자의 생리·

생화학적 반응에 필요한 catalase, cytochrome, oxidase, amylase 등 효소의 활성이 현저하게 저하하여 이상발아 형태가 나타난다는 박 등(2000)과 동일한 결과를 나타내었으며, 이상의 결과에서 발아시 산소공급은 발아율의 증가는 물론 발아(싹)의 크기에도 영향을 미친다는 것을 알 수 있었음

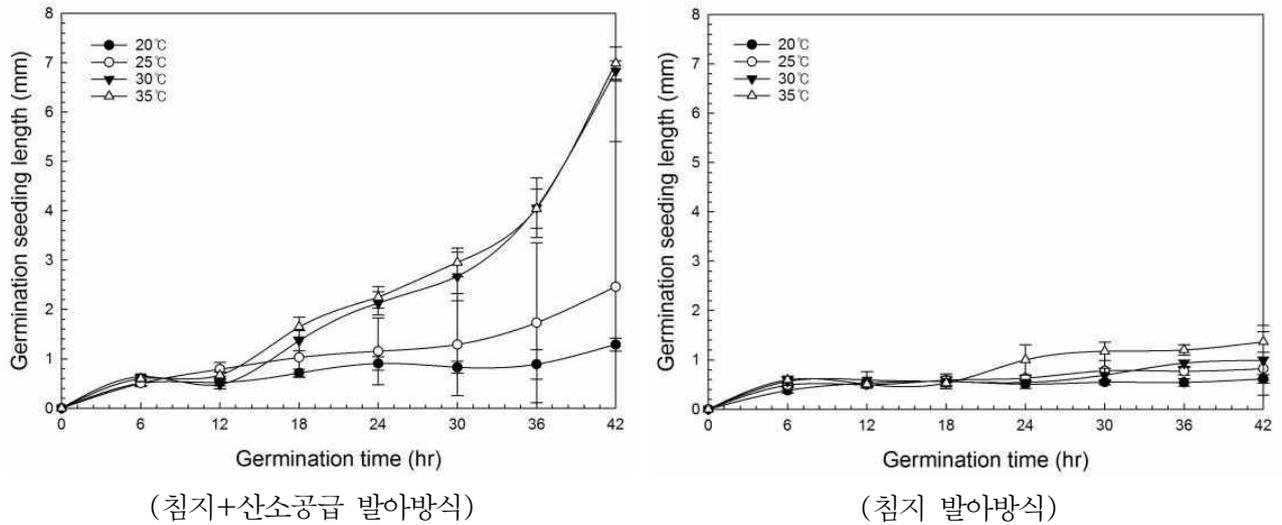


그림 2-1-2-21. 발아방식 별 발아온도 및 발아시간에 따른 발아크기 변화

표 2-1-2-18. 발아방법에 따른 발아시간 및 발아온도별 발아현미의 크기 및 형태

발아 방법	발아시간 (hr)	발아온도(°C)			
		20	25	30	35
산소	6				
	12				
	18				
	24				
	30				
	36				
	42				
무 산소	6				
	12				
	18				
	24				
	30				
	36				
	42				

④ 경도 변화

- 발아후 건조된 발아현미의 경도(hardness)는 취반특성과 관계가 있을 뿐 아니라, 건조후 발아베아미 등 추가 가공시 가공적성과도 관계가 있는 중요한 물리적인 인자임. 본 연구에서 발아방식별 발아시간에 따른 경도를 측정된 결과는 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 전술한 경도측정장치 및 측정조건하에서 원료 현미의 경도는 평균 10,809g/sec($\pm 1,342$)이었으며, 침지+산소공급방식이나 산소를 공급하지 않는 대조구 공히 침지시간이 길어질수록 낮아지는 경향($R^2 = 0.367 \sim 0.443$)을 나타내었음
- 발아에 따른 경도변화에 대해 Oh 등(2014)은 발아과정에서 발아가 진행될수록 가수분해효소의 작용으로 고분자가 저분자로 분해되어 조직이 물러져서 1mm의 발아현미의 경우 경도의 유의적인 차이가 발생하였다고 보고하였는데, 발아조건에 따라서는 동일침지온도에서도 발아율 및 싹의 크기가 커지는 침지+산소공급방식이 대조구에 비해 경과시간에 따라 경도저하가 크게 나타났음
- 전반적인 경도값은 발아상태는 물론, 발아후 건조함수율, 원료 품종 및 결실율 등과도 관계가 있을 것으로 판단되었으나, 발아후 가공을 위해서는 가능한 발아시간을 단축할 필요가 있다는 것을 알 수 있었음

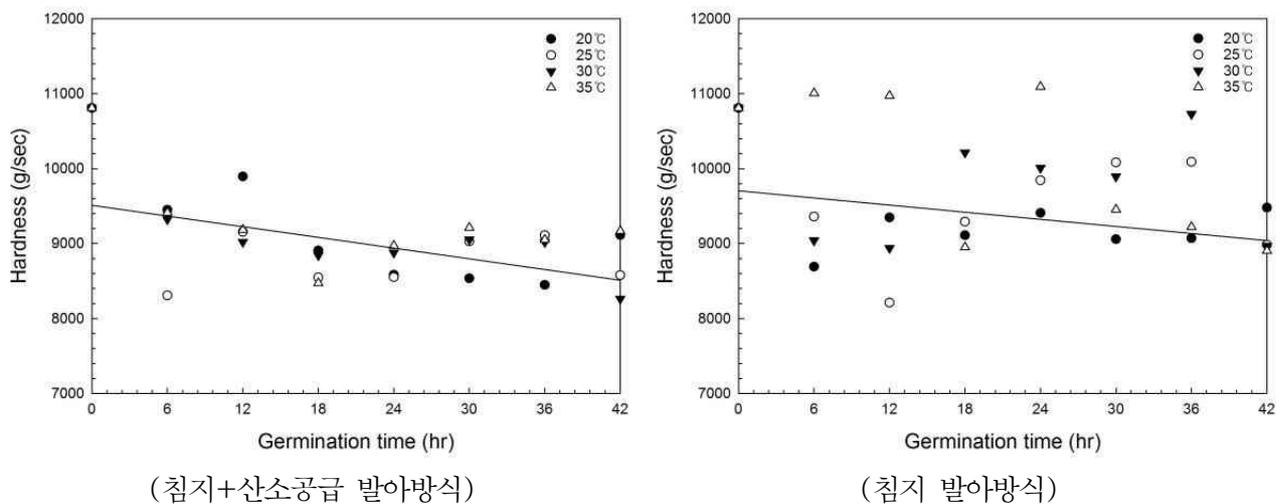


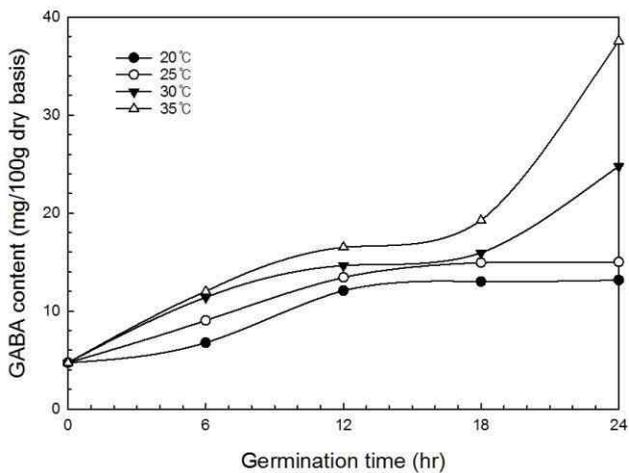
그림 2-1-2-22. 발아방식 별 발아온도 및 발아시간에 따른 경도 변화

⑤ GABA함량 변화

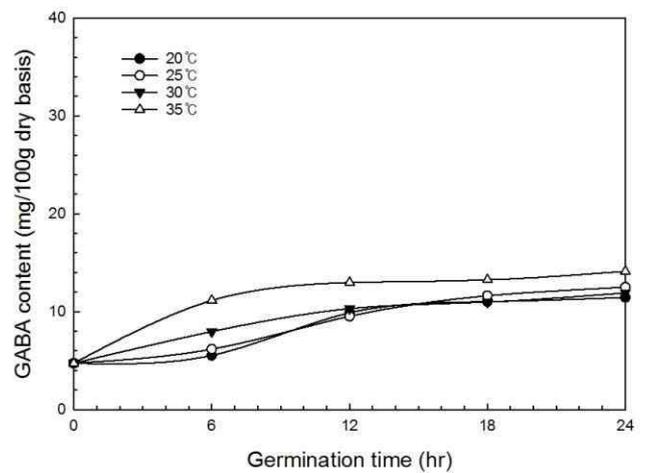
- 중추 신경계의 중요한 억제성 신경전달 물질의 하나인 GABA는 비단백질상태의 아미노산의 일종으로 혈압강하, 중성지방감소, 스트레스완화, 학습기능개선 등 다양한 효과가 확인되어 주목받는 건강기능성 성분의 하나로서(Wu 등, 2016; Chen 등, 2015; Ohtsubo 등, 2004; Cho and Lim, 2016), 발아과정중에 증가한 GABA량으로 1일 섭취부족량 10~20mg을 충분하게 해소가 가능(Satake Corp. 2016)

한 것이 발아현미의 가장 큰 강점임

- GABA는 현미발아중 가수분해효소에 의해 단백질에서 분해된 glutamic acid에 GAD(Glutamic Acid Decarboxylase)의 탈탄산 작용에 의해 생성되는데(Horie et al., 2003), 스트레스가 발단이 되어 세포내 Ca^{2+} 이온 농도가 높아져, Ca^{2+} /CaM가 GAD의 CaMBD(calmodulin binding domain)에 결합하여 그 활성을 유도하여 GABA 함량이 상승함(Kazuhito, 2010)
- 본 연구에서 발아방식별 발아시간에 따른 GABA 함량을 측정한 결과는 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 GABA 함량은 발아시간이 경과할수록, 발아온도가 높을수록 증가하는 경향이었으며, 침지+산소공급 발아방식이 대조구에 비해 높게 나타났음
- 침지+산소공급 발아방식에서 발아온도 25°C에서 GABA 함량은 발아 6시간 후 9.04(mg/100g)이었고, 발아12시간 후에는 13.43(mg/100g), 발아18시간 후에는 14.93(mg/100g), 발아24시간 후에는 15.02(mg/100g)으로 발아시간이 경과할수록 증가하였으며, 발아18시간 후 발아온도 20, 25, 30 및 35°C에서 GABA량은 각각 13.01, 14.93, 15.94 및 19.25(mg/100g)으로 발아온도가 높을수록 높게 나타났음
- 발아온도 25°C에서 발아18시간 후의 GABA 함량은 침지+산소공급 발아방식의 경우 14.93(mg/100g)으로 침지 발아방식의 11.62(mg/100g)에 비해 높게 나타났으며, 발아온도 30°C에서 발아 24시간 후에도 침지+산소공급 발아방식의 경우 24.78(mg/100g)으로 침지 발아방식의 11.92(mg/100g)에 비해 높게 나타났음



(침지+산소공급 발아방식)



(침지 발아방식)

그림 2-1-2-23. 발아방식 별 발아온도 및 발아시간에 따른 GABA 함량 변화

⑥ 이취발생

- 발아과정중 이취에 대해서는 정확하게 발생 원인이 구명되어 있지 않았으며, 이에 따라 발아현미제조업체에서는 미생물 생육, 현미에서 배출되는 이물에 의한 이취라는 등 여러 가지 원인을 추측하는 수준으로 향후 연구를 통해 밝혀져야 할 부분으로 본 연구에서는 발아방식 및 발아온도 별 발아시간에 따라 제조된 발아현미를 실험자 2명이 직접 냄새를 맡아 이취발생여부를 판단하였으며, 그 결과는 다음 표와 같았음
- 표에서 알 수 있듯이 침지+산소공급방식의 경우 발아온도 35℃에서 발아 30시간 후 이취가 발생하였으며, 발아온도 20, 25 및 30℃에서는 이취가 발생하지 않은 반면, 침지방식의 경우 전체 발아온도에서 이취가 발생하였으며, 이취발생시간은 발아온도 20, 25, 30 및 35℃에서 각각 18, 12, 6, 5시간으로 나타났음

표 2-1-2-19. 발아방법 및 발아온도 별 발아시간에 따른 이취발생여부(×: 이취미발생 ○: 이취발생)

발아방법	발아온도(℃)	발아시간(hr)																																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
침지 + 산소공급	20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	25	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	30	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	35	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○
침지	20	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	25	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	30	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	35	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

(3) 산소농도에 따른 발아현미 품질 특성

(가) 실험방법

- 발아온도 20~35℃, 발아 0~48시간 실험조건 하에서 현미를 발아시키기 위해 침지 중에 산소를 공급하는 실험구가 그렇지 않는 실험구에 비해 함수율은 1.8~7.5%, 발아율은 450~575%, 싹길이는 8.4~58.0%, GABA 함량은 41.0% 증가하였고, 이취발생이 방지된다는 연구결과를 도출하였음
- 그러나, 이 때 산소농도에 따른 발아현미의 품질특성을 측정하지 못하였으나, 발아현미의 연속식 대량제조시스템을 설계를 위해서는 발아시 침지하는 침지수의 용존산소농도에 대한 자료가 필요하여 이를 구명하기 위하여 본 실험을 추진하였음
- 실험에 사용한 시료는 2015년 경기 화성지역에서 수확한 추청으로 RPC에서 탈부 및 선별 후 10kg 단위로 포장되어 유통되는 현미를 구입하여 사용하였으며, 초기함수율은 15.8%(w.b.), 초기발아율은 97%(±0.577)이었음
- 색채선별기(FGS-1000, Satake, Japan)를 이용하여 미숙립, 피해립, 착색립 및 사미 등 불량립을 선별한 후 정립만을 대상으로 밀봉한 후 2℃ 저온저장고에 보관하면서 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 실험에 사용하였음
- 현미 2kg을 수도수로 충분히 세척하여 이물질 등을 제거한 후 다공으로 제작된 스테인리스 재질의 시료트레이에 현미를 2cm로 퇴적하고, 발아온도(25℃)조건에 적합하도록 수온이 조정된 수도수(발아수)가 담긴 20L의 발아용기(플라스틱 재질)에 침지한 다음, 설정온도(25℃)가 유지되는 항온기(HK20, Hankook machine, Korea)에서 발아실험을 하였음
- 일반적으로 용존산소(DO, dissolved oxygen)는 물 또는 용액속에 녹아있는 분자상태의 산소를 의미하는 것으로서 20℃, 1atm의 대기하에서 순수(純水)의 DO는 9ppm(mg/L, 이하 단위 혼용)에서 포화상태에 이르는데, 이 값은 온도가 오르면 감소하고, 대기압이 오르면 증가하게 됨(두산백과). 따라서 본 연구에서는 용존산소량이 최대가 되도록 4.4L/min용량의 산소공급기(AU-314, LEECOM, China)와 120cm의 산소분배기를 발아용기 하부에 설치하여 산소가 용기전체에 균일하게 공급되도록 하였으며, 공급되는 산소량은 용존산소량 기준으로 7.3~8.7mg/L 범위에서 4수준으로 하였고, 초기 발아수의 용존산소량은 6.0mg/L이었음
- 현미를 침지하여 발아온도 25℃에서 산소를 연속적으로 공급하는 발아조건하에서 최대 24시간 동안 현미를 발아시켰고, 발아시작 후 6, 12 및 24시간 간격으로 시료를 채취하여 스테인레스 재질의 체를 이용하여 표면수를 1차 자연 제거시킨 후, 수건으로 2차 제거한 후 함수율, 발아율 및 싹길이 등의 품질을 측정하였음
- 함수율은 정립 10g을 대상으로 135℃를 유지하는 건조오븐(HK-DO100F, Hankook, Korea)에서 24시간 건조법으로 3회 반복 측정한 다음, 표준측정법인 105℃건조법으로 환산하여 사용하였고, 발아율은 정립 100립을 대상으로 발아된 현미의 립수를 측정하여 3회 반복 측정치를 사용하였고, 싹길이

는 정립 30립을 대상으로 스케일이 표시된 확대경(SCALE LUPE 7X, PEAK, Japan)을 이용하여 측정하였음

- 발아현미 제조에 사용한 수도수의 용존산소량은 기압계가 내장된 용존산소계(HI98193, HANNA instruments, USA)를 이용하여 측정하였으며, 측정위치는 용기 내부의 상, 하, 좌, 우 및 중앙 등 5 지점이었고, 각 지점별로 1분 동안 연속적으로 측정하여 평균값을 사용하였으며, 발아수의 온도는 열전대(0602 1293, Testo, Germany)와 자료수집장치(635, Testo, Germany)로 수집하였음



(현미발아에 이용한 항온기)



(산소공급기, 분배기 설치)



(현미발아 및 산소공급)



(시료채취)



(발아율 및 싹길이 측정)



(용존산소량 측정)

그림 2-1-2-24. 산소농도에 발아현미 품질특성 실험모습

(나) 결과 및 고찰

- 용존산소량(DO)별 발아시간에 따른 품질특성은 다음 표 및 그림과 같았으며, 표 및 그림에서 알 수 있듯이 먼저, 함수율은 시간이 경과할수록 증가하였고, 용존산소량(DO) 8.0~8.7mg/L에서의 함수율은 24시간 후 약 32.3~32.5%(w.b.)내외로 비슷하였으나, 용존산소량(DO) 7.3mg/L에서의 함수율은 31.8%(w.b)로 다른 실험구에 비해 다소 낮게 나타났음
- 발아시간에 따른 발아현미의 함수율은 통계적으로 용존산소량(DO) 8.0~8.7mg/L에서는 유의적인 차이가 없었던 반면, 용존산소량(DO) 7.3mg/L의 실험구의 경우 $p < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 나타났으나, 발아 24시간 후에 용존산소량(DO) 7.3, 8.0, 8.3 및 8.7mg/L 등 4수준 모두가 통상적으로 발아가 진행되는 함수율 범위로 알려져 있는 30~35%에 도달하였음
- 용존산소량(DO)별 발아시간에 따른 발아율은 용존산소량이 높을수록 높게 나타났는데, 발아현미 제조에 사용한 물의 온도(25°C)를 고려했을 때, 용존산소량(DO) 8.0~8.7mg/L에서 12시간 만에 발아율이 약 83~89%까지 도달하여 산소공급이 발아시간 단축에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었음
- 반면, 용존산소량(DO)이 가장 낮은 7.3mg/L에서 제조한 발아현미는 12시간 후 발아율이 약 65%로써 다른 실험조건에 비해 다소 낮은 경향을 보였으나, 24시간 후 용존산소량(DO) 7.3, 8.0, 8.3 및 8.7mg/L에서 발아율은 각각 95.3, 95.3, 96.7 및 98.0%로 용존산소량 별 4수준 모두 24시간 후에는 95% 이상 발아하였음
- 용존산소량(DO)별 발아시간에 따른 발아현미의 싹길이는 용존산소량(DO) 7.3, 8.0, 8.3 및 8.7mg/L 등 4수준 모두 침지시작 후 12시간까지는 뚜렷한 변화가 나타나지 않았고, 통계적으로도 유의적인 차이가 없었으나, 24시간 후의 발아 싹길이는 용존산소량이 높을수록 커지는 경향이었으며, DO 8.7mg/L의 실험구에서 0.93mm로 가장 크게 측정되었고, 통계적으로도 $p < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이를 나타내어 동일시간에서 발아시킬 경우 용존산소량이 높을수록 싹길이가 증가하는 경향이었음
- 이상과 같이 용존산소량(DO) 별 발아시간에 따른 발아현미의 함수율, 발아율 및 싹길이 등 품질특성을 종합적으로 고려했을 때, 적정 용존산소량(DO)은 8.0~8.5mg/L 수준으로 판단되었는데, 이는 산소공급전 초기 용존산소량(DO)인 6.0mg/L에 비해 약 2.0~2.5mg/L가 높은 수준으로 용존율을 감안하여 산소공급장치의 설계에 활용이 가능할 것으로 판단되었음

표 2-1-2-20. 용존산소량(DO) 및 발아시간 별 발아현미의 함수율, 발아율 및 싹길이

구 분	시간(hr)	Dissolved Oxygen(mg/L)			
		7.3±0.9	8.0±1.1	8.3±0.3	8.7±0.1
함수율 (%,w.b.)	6**	28.5±0.2 ^b	29.3±0.3 ^a	29.6±0.1 ^a	29.5±0.1 ^a
	12**	30.9±0.0 ^b	31.4±0.1 ^a	31.4±0.1 ^a	31.4±0.1 ^a
	24**	31.8±0.0 ^b	32.5±0.0 ^a	32.3±0.2 ^a	32.4±0.2 ^a
발아율 (%)	6***	32.7±1.2 ^c	54.7±1.2 ^b	56.7±5.0 ^{ab}	62.7±4.2 ^a
	12**	64.7±9.5 ^b	82.7±4.6 ^a	86.0±3.5 ^a	88.7±3.1 ^a
	24	95.3±6.4	95.3±1.2	96.7±1.2	98.0±2.0
싹길이 (mm)	6	0.34±0.0	0.31±0.1	0.29±0.0	0.32±0.1
	12	0.38±0.1	0.28±0.1	0.31±0.1	0.40±0.1
	24*	0.70±0.1 ^b	0.79±0.1 ^{ab}	0.83±0.1 ^{ab}	0.93±0.1 ^a

주) 1. *, **, *** : $p < 0.05, 0.01, 0.001$ 수준에서 유의적인 차이가 있음
 2. abc : row내에서 같은 alphabet은 같은 수준임. 3. 초기 용존산소량은 6.0mg/L

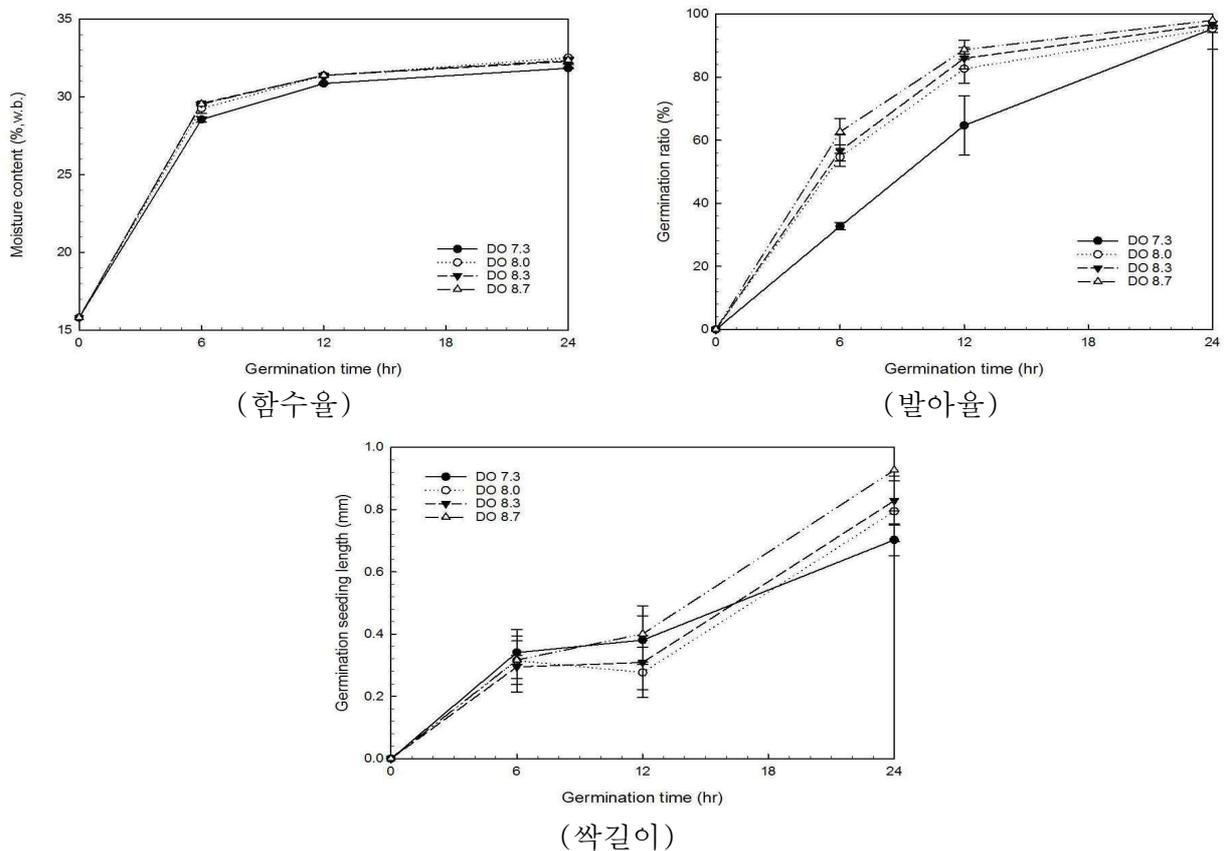


그림 2-1-2-25. 용존산소량(DO) 및 발아시간 별 발아현미의 품질 변화

(4) 건조온도가 발아현미 품질에 미치는 영향

(가) 실험방법

- 국내 유통 발아현미 총 13종의 함수율은 평균 10.5%(7.4~12.7%), 동할율은 평균 89.4%(54.8~100%)로 매우 높았는데, 이는 국내 발아현미제조업체에 대한 현장조사에서 알 수 있듯이 벌크건조기로 tempering없이 50°C 열풍으로 약 2~3시간 건조함에 따라 건조시간에 따라 함수율은 저하하고, 동할율은 급격하게 높아진 것이 주요 원인이었고, 일본의 발아현미의 동할율은 28.0%에 불과하였는데 이는 순환식건조기를 사용함에 따른 결과라고 판단하였음
- 본 연구에서 개발하고자 하는 발아현미 대량제조시스템을 설계를 위해 적정 건조방식을 결정하는데 필요한 적절한 건조방법 및 건조조건의 구명을 위하여 건조온도가 발아현미 품질특성에 미치는 영향을 측정하였음
- 실험에 사용한 시료는 2015년 경기 화성지역에서 수확한 추정으로 RPC에서 탈부 및 선별 후 10kg 단위로 포장되어 유통되는 현미를 구입하여 사용하였으며 초기함수율은 15.5%(w.b.), 초기발아율은 91.0%(±1.0), 초기백도는 22.5이었음
- 색채선별기(FGS-1000, Satake, Japan)를 이용하여 미숙립, 피해립, 착색립 및 사미 등 불량립을 선별한 후 정립만을 대상으로 밀봉한 후 2°C 저온저장고에 보관하면서 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 실험에 사용하였음
- 발아현미를 제조하기 위하여 공시한 현미를 수도수로 세척하여 다공의 STS재질의 시료트레이에 퇴적하여 25°C의 수도수가 담긴 20L 크기의 용기에 침지한 후, 설정온도 25°C의 항온챔버(HK-B1028, Hankook, Korea)에서 4.4L/min의 산소공급기(AU-314, LEECOM, China)와 120cm 산소분배기로 산소를 공급하여 18시간동안 발아하였음



(발아현미 제조)



(발아현미 건조)

그림 2-1-2-26. 발아현미 제조 및 건조 모습

- 발아 후 채취한 시료는 스테인레스 재질의 체로 표면수를 1차 자연 제거시킨 다음 수건으로 2차 제거한 후, 벌크건조기 형태의 실험용건조기(HK-DO100F, Hankook machine, Korea)에서 풍속 0.3m/s(±0.1)수준의 공기를 통풍시키면서 건조온도 20, 25, 30 및 35℃ 등 4수준에서 건조하였으며, 함수율이 14.0~14.5%(w.b.)에 도달할 때 건조를 종료하였음. 건조온도 설정은 RPC에서 벼를 건조하는 순환식건조기의 건감율이 열풍온도 45~50℃에서 0.7~0.8%/hr임을 감안하고, 본 실험에 사용한 벌크건조기는 자체적인 tempering이 없는 점을 감안하여 예비실험을 거쳐 업체에서 사용하고 있는 열풍온도보다 낮게 선정하였음
- 건조한 발아현미는 함수율이 균일해지도록 밀봉 포장한 후 2℃ 저온저장고에 보관하면서, 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후, 백도, 색도, 함수율, 동할, 강도, 발아율 및 싹길이 등의 품질을 측정하였음
- 발아현미의 일부 도정 또는 GABA백미에 대한 소비자의 needs 및 사용용도 등을 고려하여 건조된 발아현미에 대한 도정특성을 측정하기 위하여 건조온도 4수준으로 건조한 발아현미를 대상으로 연삭식정미기, 마찰식정미기 및 연삭+마찰식정미기 등 3가지 도정방법을 이용하여 백도 32, 34 및 36 등 3수준으로 도정하여 총 36개(4건조구×3도정방법×3백도)의 시료를 제조하였으며, 제조한 발아백미의 백도, 색도, 배아잔존율, 함수율, 동할, CBB index 및 싹라기율을 측정하였음



(실험용연삭식정미기)



(실험용마찰식정미기)

그림 2-1-2-27. 실험용 연삭식정미기 및 마찰식정미기 도정 모습

- 백도는 정립을 선별한 후 백도계(CR600-3, Kett, Japan)를 이용하여 5회 측정후 최대값과 최소값을 제외한 3회 측정치의 평균값을 사용하였으며, 칼라측정은 정립을 대상으로 색차계(CM-5, Konica Minolta, Japan)를 이용하여 5회 반복실험후 최대 및 최소를 제외한 값을 평균값으로 하였음
- 배아잔존율은 일본정미공업협회의 측정방법에 준하고 측정하였으며, 정립 5g에서 배아 흔적만 있는 곡립(A_1) 중량과 원형에 가까운 상태로 남아 있는 곡립(A_2) 중량을 전자저울(L110 Satorius, Germany)로 측정하여 다음 식으로 계산하였음

$$\text{배아잔존율(\%)} = \frac{A_1 \times \frac{1}{2} + A_2 \times 1}{5(g)} \times 100 \dots\dots\dots (2-1-2-2)$$



(흔적만 있는 쌀(A_1))



(원형에 가까운 상태로 남아있는 쌀(A_2))

그림 2-1-2-28. 배아잔존율 측정을 위한 배아 흔적만 있는 쌀과 배아가 남아있는 쌀

- 함수율은 정립을 대상으로 단립수분계(CRT-500EH, Shizuoka Seiki, Japan)를 이용하여 3회 반복 측정하여 평균값으로 경시적 변화를 측정하였고, 정립 10g을 대상으로 135℃를 유지하는 건조오븐에서 24시간 건조법으로 3회 반복 측정한 평균값을 표준측정법인 105℃ 건조법으로 환산하여 사용하였음
- 동할은 정립 250립을 동합립측정기(HS-50, Kett, Japan)를 이용하여 동합립수를 측정하여 다음의 식으로 계산하였고, 찌라기율은 균분한 시료 30g을 품질측정장치(RGQI10B, Satake, Japan)를 이용하여 찌라기율을 측정하였으며, 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였음

$$\text{동할율(\%)} = \frac{\text{동할립수}}{250} \times 100 \dots\dots\dots (2-1-2-3)$$

- CBB(Colored bran balance) index는 정립 60립을 대상으로 CBB index 측정장치(SI01, Sensoreye, Korea)를 이용하여 이미지를 획득한 후, 획득한 이미지는 과피 및 종피는 진한 녹색, 호분층은 진한 청색, 그리고 전분층은 노란색의 가상의 색(pseudo color)을 설정한 후, 과피(A), 종피(B), 호분층(C) 및 전분층(D)으로 구분된 영역을 이용하여 면적을 산출하고 과피, 종피 및 호분층의 면적비율을 CBB(Colored Bran Balance) index로 정의하였으며, 다음의 식과 같이 계산하였음(김 등, 2006)

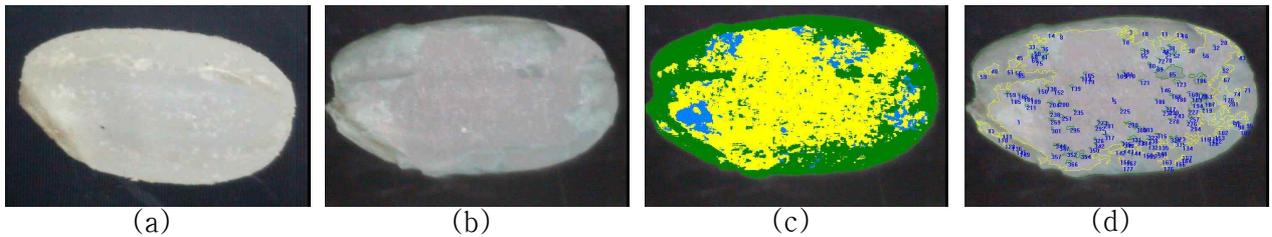


그림 2-1-2-29. CBB index 계산을 위한 이미지프로세스

$$CBB\ index = \frac{(A+B)}{(A+B+C)} \times 100 \dots\dots\dots (2-1-2-4)$$

$$DDM = CBB\ index_{max} - CBB\ index_{min} \dots\dots\dots (2-1-2-5)$$

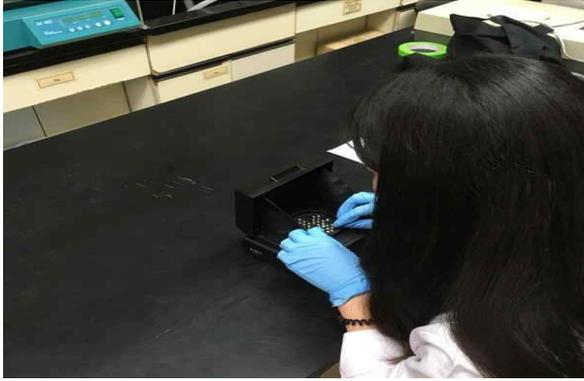
- 강도는 Texture analyzer(TX-RA, Dimension V3.7A, Stable Micro System, England)를 이용하여 정립 30립에 대하여 측정조건은 Two-cycle compression, force-versus-time program을 사용하여 pre-test speed 5 mm/s, post-test speed 5 mm/sec, strain 80%, probe diameter 5 mm으로 측정하였음
- 발아율은 정립 100립을 대상으로 발아된 현미의 립수를 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였으며, 싹길이의 경우 발아된 현미 10립을 대상으로 스케일이 표시된 확대경(SCALE LUPE 7X, PEAK, Japan)을 이용하여 측정하였고, 발아현미의 표면특성은 CBB index 측정장치(SI01, Sensoreye, Korea)를 이용하여 표면 및 발아 싹 부위의 영상을 획득한 후 확대하여 분석하였음



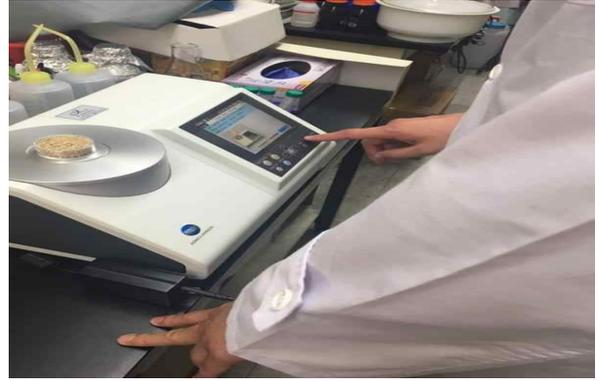
(CBB index 측정)



(백도 측정)



(동할 측정)



(칼라 측정)



(경도 측정)



(싹길이 측정)

그림 2-1-2-30. 품질측정 실험모습

(나) 결과 및 고찰

① 건조온도별 발아현미의 건조 및 품질특성

- 발아현미의 건조 및 품질특성은 최종함수율, 건감율 및 동할율로 판단할 수 있는데, 일반적으로 백미에서 최종함수율이 13%이하가 되면 취반시 수침동할 발생으로 취반된 밥 낱알의 형상이 일그러지고 (김 등, 2006), 건감율이 지나치게 빠르면 곡립 내외부의 수분확산속도 및 건조속도 차이에서 기인한 응력으로 동할이 발생하게 되어 유통 및 추가 가공과정에서 찌라기가 되기 쉬운 반면, 건감율이 지나치게 낮아지면 건조에 장시간이 소요됨
- 발아현미의 건조소요시간은 건조온도 20℃에서 약 22시간(최종함수율 14.7%), 건조온도 25℃에서 약 21시간(최종함수율 14.6%), 건조온도 30℃에서 약 13시간(최종함수율 14.6%), 건조온도 35℃에서 약 12시간(최종함수율 14.1%)이 소요되어 일반적으로 재래식 발아현미제조시설에서 사용되는 건조온도 50℃에서 약 2~3시간 건조보다 장시간이 소요되었음
- 발아현미의 건조온도별 경과시간에 따른 함수율 변화는 선형을 나타내어 일반적으로 지수함수로 감소하는 벼 건조형태와는 매우 다른 특성을 나타내었는데, 주요 원인은 tempering없이 지속적으로 건조됨에 따른 내부에서의 수분확산에 의한 영향으로 추정되었으며, 건조속도(건감율, 이하 혼용함)는 건조온도 20, 25, 30 및 35℃에서 각각 0.63, 0.70, 1.05 및 1.23%/hr로서 건조온도 30, 35℃실험구의 경우 열풍온도를 45~50℃정도로 유지하는 순환식건조기에 의한 벼 건감율 0.7~0.8%/hr보다

높게 나타났는데 주요 원인은 왕겨가 제거되어 표면 수분건조속도가 빠르고, tempering이 없는 것으로 판단됨

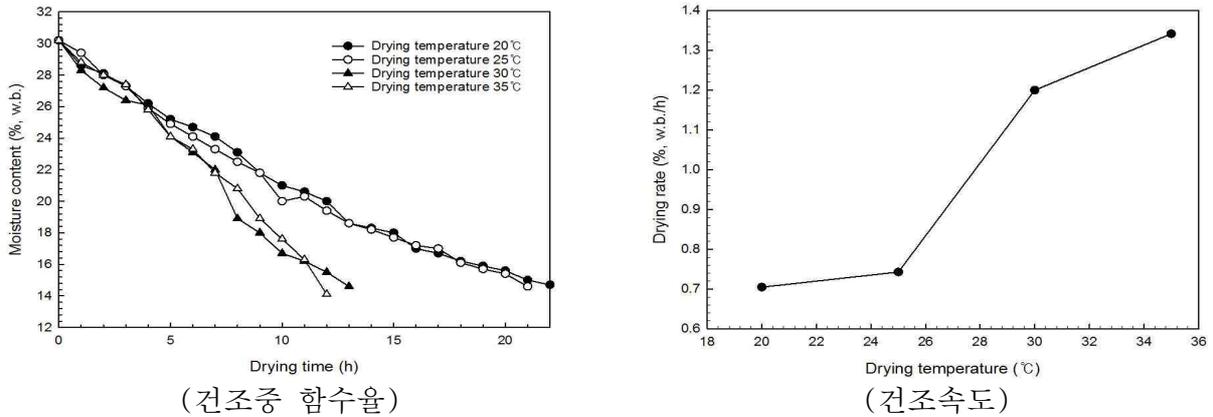


그림 2-1-2-31. 발아현미의 건조온도 및 건조시간별 건조특성

- 한편, 건조온도별 발아현미의 동할율은 건조온도 20°C에서 15.0%, 건조온도 25°C에서 15.7%이었으나, 건조온도 30°C에서 24.4%로 크게 증가하였고, 건조온도 35°C에서 26.1%로 나타나 건조온도 20~25°C 사이에서는 동할율 변화가 적은 반면, 25~30°C 사이에서는 급격하게 증가를 나타내어 별 크건조기에 의한 건조방식에서 동할율 증가를 억제하기 위해서는 건조온도를 25°C 수준 정도로 유지할 필요가 있었으나, 대용량 처리를 위해 건조와 tempering공정이 반복되는 순환식건조기를 사용할 경우에는 열풍온도 상승이 필요하였음
- 발아한 후 건조전의 현미 싹길이가 0.89mm인 발아현미를 건조온도 20~35°C 범위에서 건조온도별로 건조한 후 발아현미의 싹길이를 측정된 결과는 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 건조온도 20~35°C 범위에서 0.59~0.61mm로 건조전에 비해서는 크게 감소하였으나, 건조온도별로는 큰 차이가 없었음

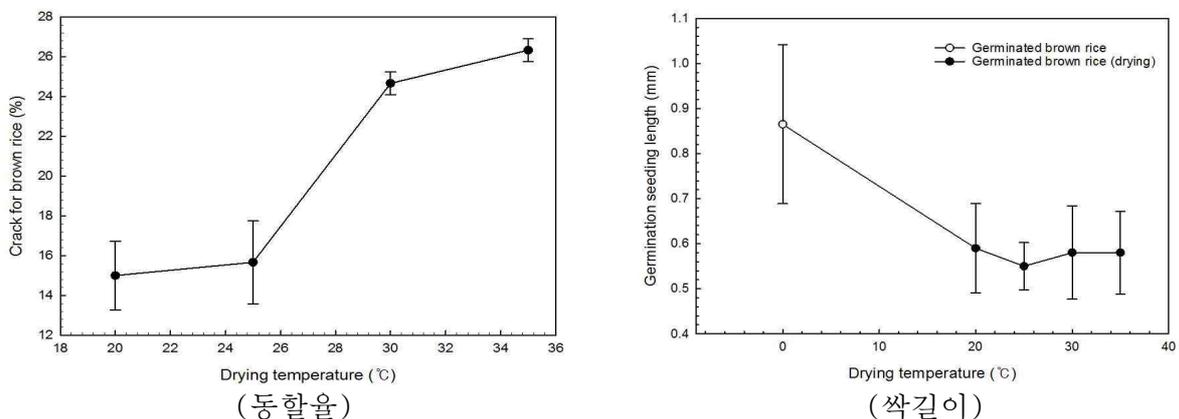
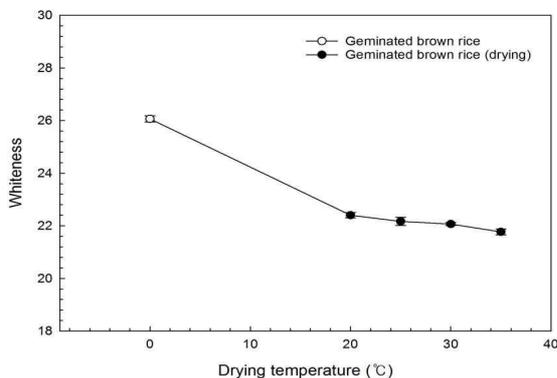
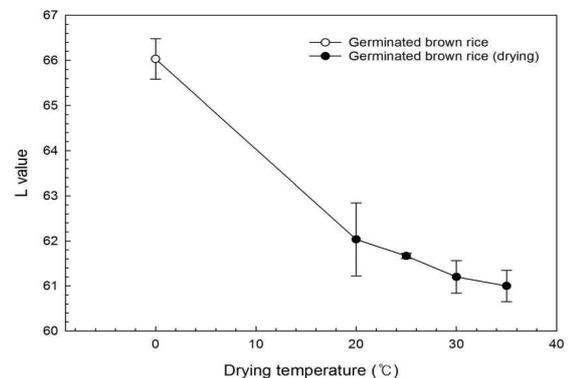


그림 2-1-2-32. 발아현미의 초기 및 건조온도에 따른 동할 및 싹길이 비교

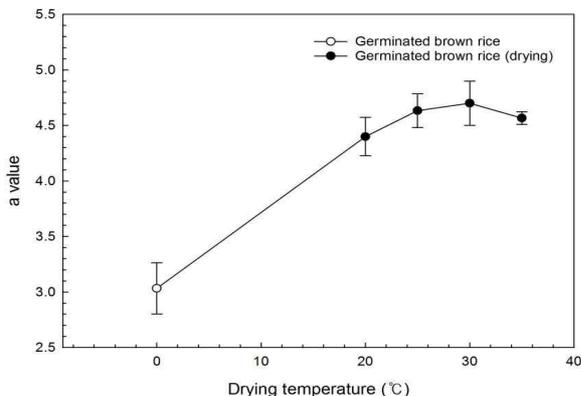
- 초기 백도 22.5인 현미를 발아시킨 후 발아현미의 백도는 26.1로서 발아전 현미에 비해 높았으며, 건조온도 20~35°C에서 21.8~22.4로서 건조온도가 높을수록 다소 낮은 값을 나타내었지만 건조전 현미에 비해 높게 나타났는데, 건조전 발아현미가 건조후 발아현미에 비해 백도가 높은 것은 선행연구결과를 찾을 수 없어 정확한 원인은 확인할 수 없었으나 발아과정 중에 cellulose 등의 분해에 의한 것으로 추정되고 있음
- 발아현미의 L값의 경우 건조전 발아현미보다 감소하였으며, b값의 경우 건조온도 20°C에서는 값이 증가하였으나, 25°C~35°C의 건조온도에서는 감소하는 경향을 나타내었고, a값의 경우 건조온도가 높을수록 증가하였으나, 건조온도 35°C에서 건조온도 30°C에 비하여 소폭 감소하였음



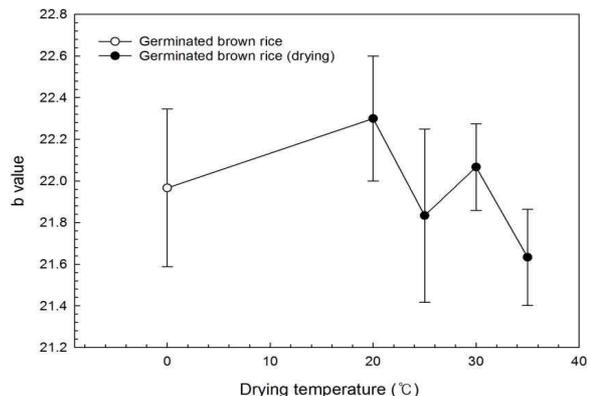
(백도)



(L value)



(a value)



(b value)

그림 2-1-2-33. 발아현미의 초기 및 건조온도에 따른 백도 및 색도 비교

- 발아현미의 표면은 발아 전 현미에 비해 거칠기가 완화되는데 이는 현미가 수분을 흡수하면서 표면 연화(softening) 현상으로 인해 거칠기가 완화되는 것으로 판단되었으며, 수분이 높아진 발아현미를 건조할 경우 표면 경화(hardening) 현상으로 인해 거칠기가 원료 현미보다도 더 많이 발생하였으며, 건조온도에 따른 차이는 나타나지 않았음

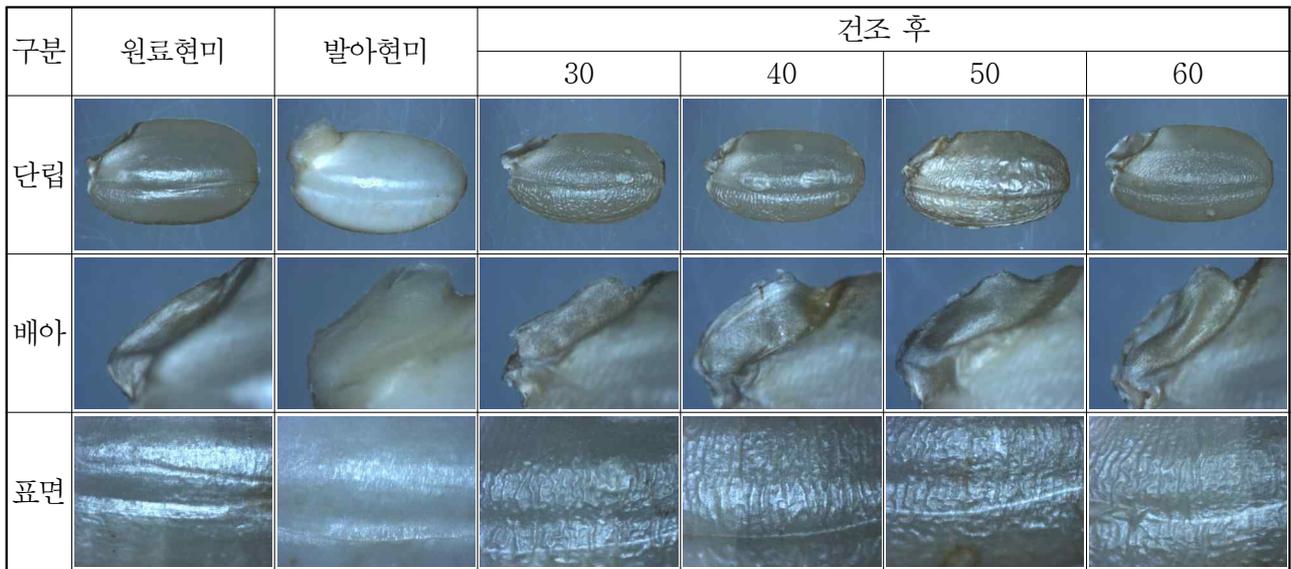
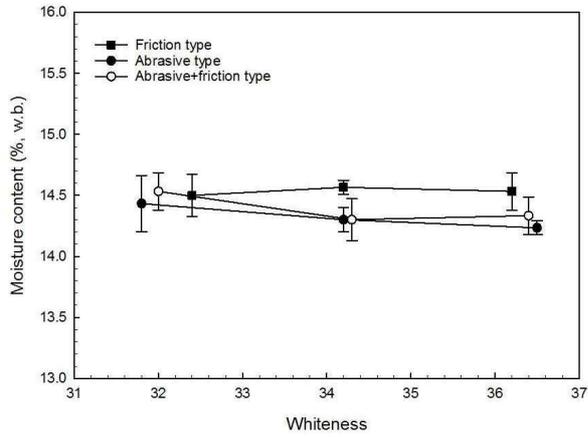


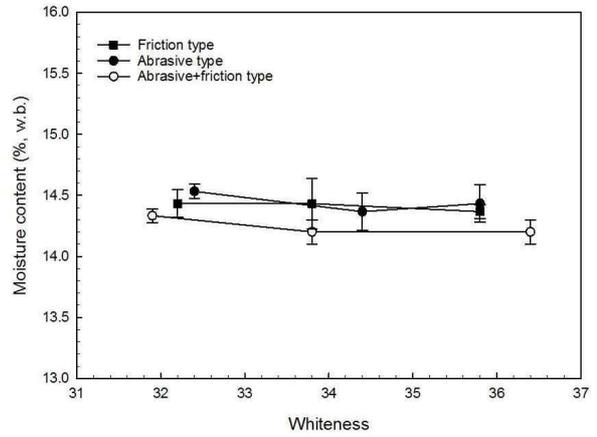
그림 2-1-2-34. 발아현미의 초기 및 건조온도에 따른 표면특성

② 발아현미의 도정특성

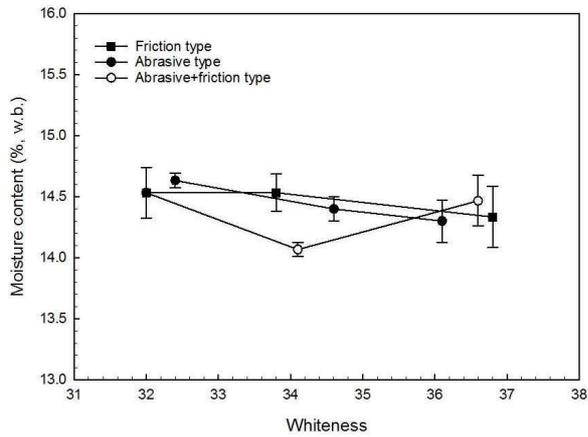
- 일본의 경우, 전술한바와 같이 시장에서 유통되고 있는 일부 브랜드는 발아현미상태로 유통되고 있으나, 도정한 백미와 유사한 발아배아미 형태로 유통하는 경우가 많이 검색되었고, Satake사에서는 GABA백미를 제조할 때 백미(백도기준 40)형태로서 배아부착이 거의 없는 일반 백미와 같은 외관으로 도정하고 있는 반면, 국내에서는 아직까지 발아현미 이외의 다른 제품은 찾아보기 어려우나 건강 지향적인 소비자 needs를 감안할 때 GABA백미 및 발아배아미에 대한 수요가 있을 것으로 예상됨
- 본 연구에서는 총 36개(4건조구×3도정방법×3백도)로 도정하면서 백도, 색도, 배아잔존율, 함수율, 동할, CBB index 및 찌라기율 등 도정특성을 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같았음. 먼저 36개 실험구의 함수율의 변화는 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 처리방법에 무관하게 함수율 변화는 그다지 크지 않았는데, 주요 원인은 초기함수율이 14.5% 내외로 낮았고, 실험용정미기를 사용하여 도정함에 따라 곡온상승도 적었으며, 최종 백도가 36.5(일반백미 백도기준 40.0)로 도정도가 낮아 도정부하가 적은 것이 주요 원인으로 판단되었음



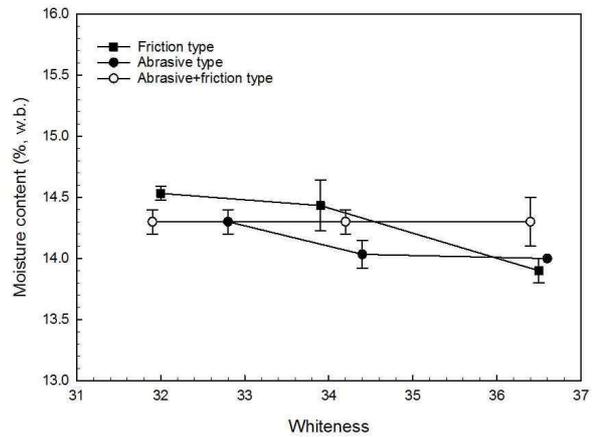
(건조온도 20°C)



(건조온도 25°C)



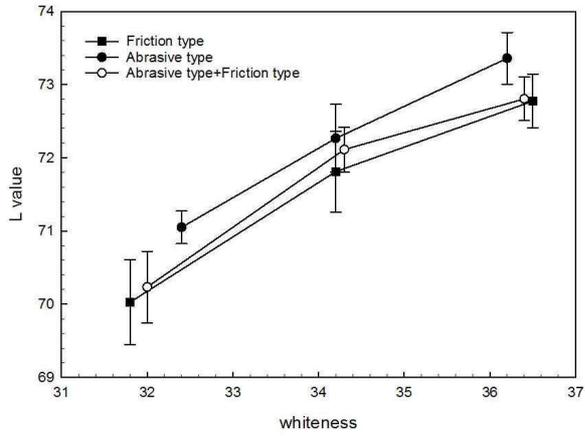
(건조온도 30°C)



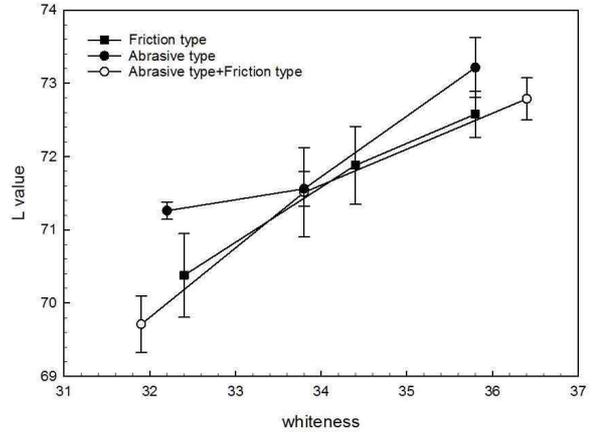
(건조온도 35°C)

그림 2-1-2-35. 건조온도 및 백도에 따른 발아현미의 도정조건 별 함수율 변화

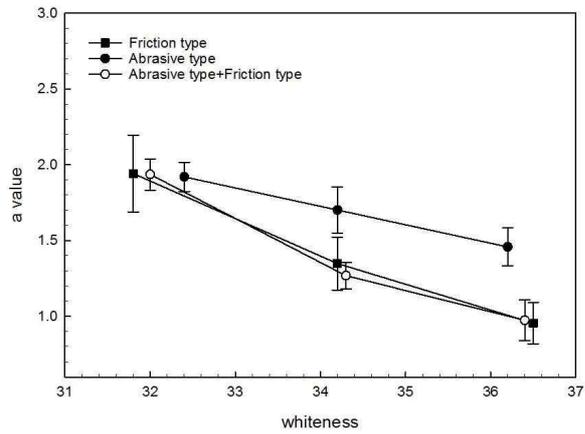
- 발아현미 건조온도 및 백도별 배아미의 Lab값은 모든 건조온도에서 백도 즉, 도정도가 증가할수록 L 값은 증가한 반면, a 및 b 값의 경우 백도가 증가할수록 감소하였으며, L값과 a값에서는 실험용 연삭식정미기로 도정할 때 다소 높은 값을 나타내었으며, 반면 b값은 실험용 연삭식정미기로 도정한 시료가 가장 낮은 값을 나타내었음



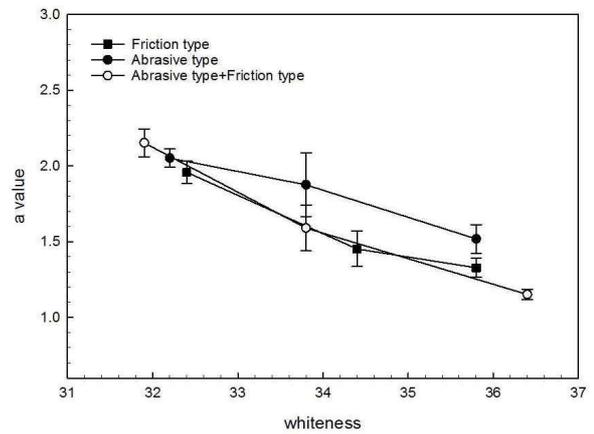
(건조온도 20°C L value)



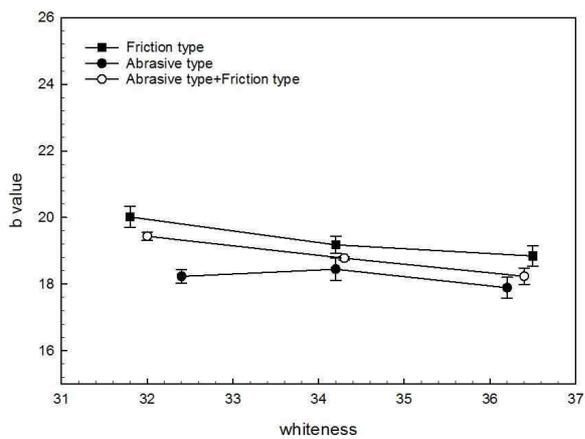
(건조온도 25°C L value)



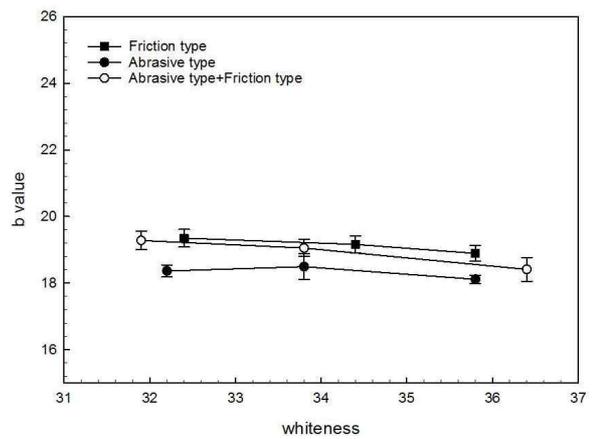
(건조온도 20°C a value)



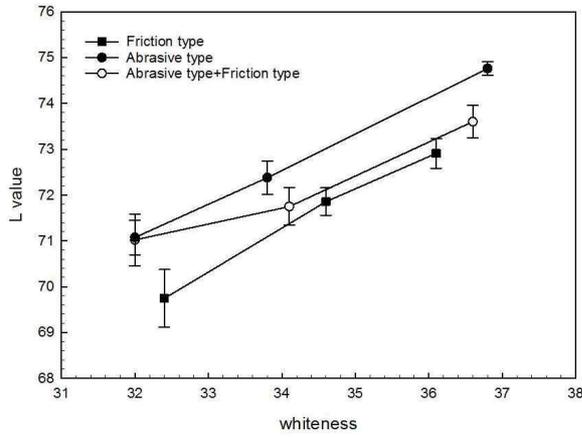
(건조온도 25°C a value)



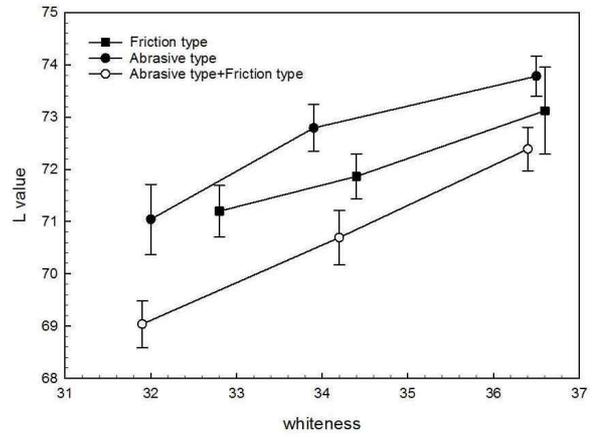
(건조온도 20°C b value)



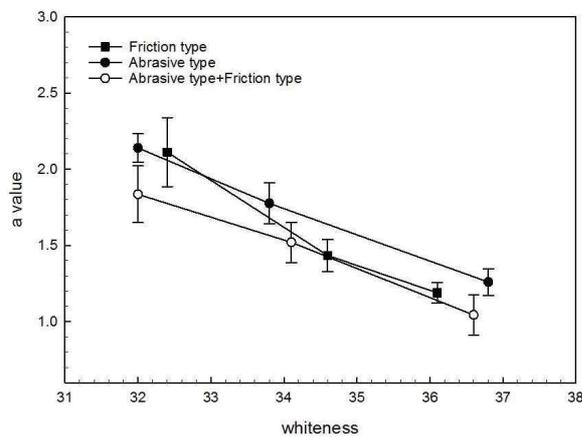
(건조온도 25°C b value)



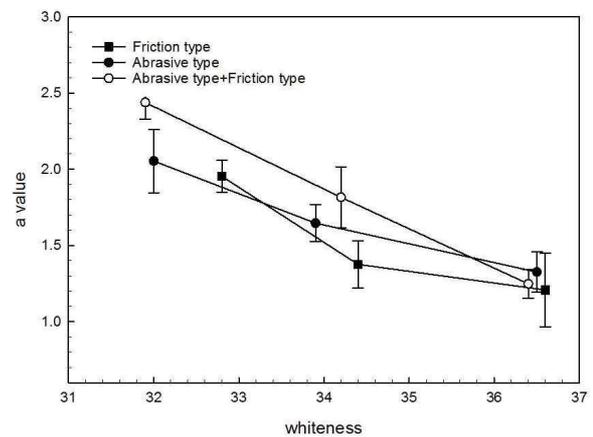
(건조온도 30°C L value)



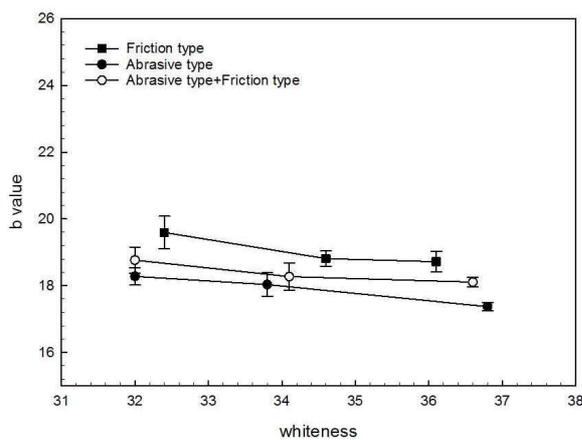
(건조온도 35°C L value)



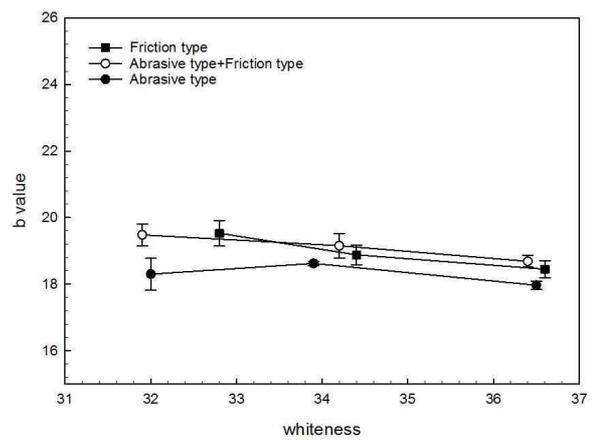
(건조온도 30°C a value)



(건조온도 35°C a value)



(건조온도 30°C b value)



(건조온도 35°C b value)

그림 2-1-2-36. 건조온도 및 백도에 따른 발아현미의 도정조건 별 Lab값 변화

○ 발아현미를 도정할 때 찌라기발생율은 건조온도 및 백도가 높을수록 크게 증가하였고, 일반 백미 및 배아미 도정특성과 동일하게 압력이 가해지는 마찰식과 조합식(연삭+마찰식)에 비해 연삭식에서 크게 낮았는데, 건조온도가 낮은 20 및 25°C는 백도 32내외에서의 찌라기율은 20% 이하이었으나, 백도가 증가할수록 급격히 증가하여 백도 36내외에서는 약 30%까지 증가하였으며, 건조온도 30°C 이상에서는 마찰식 및 조합식의 경우 백도 32내외에서 찌라기율은 이미 40%이상을 나타내었음

- 찌라기발생율은 쌀의 강도 및 도정과정 중 압력과 밀접한 관계가 있어 곡은, 함수율 및 비정립비율이 낮을수록 곡물의 강도도 커지므로 찌라기율도 낮게 나타나는 것으로 보고되고 있는데(김 등, 2015), 발아현미 제조과정 중에 발생된 동할율이 높을수록, 발아현미의 강도가 낮을수록, 마찰식에서의 압력이 증가할수록 찌라기발생율은 증가하므로, 발아백미 및 발아배아미의 제조에는 GABA발생 방식, 건조방식 및 도정방식에 대한 복합적인 고려가 필요함을 알 수 있었음
- 이상의 발아현미 건조 및 도정특성을 측정한 결과에서 발아백미 및 발아배아미 제조시 찌라기발생을 최소화하기 위해서는 건조온도는 25℃ 이하에서 함수율 14.5% 이하로 건조하고, 연삭식도정기만을 사용하여 도정하는 것이 바람직할 것으로 판단되었음

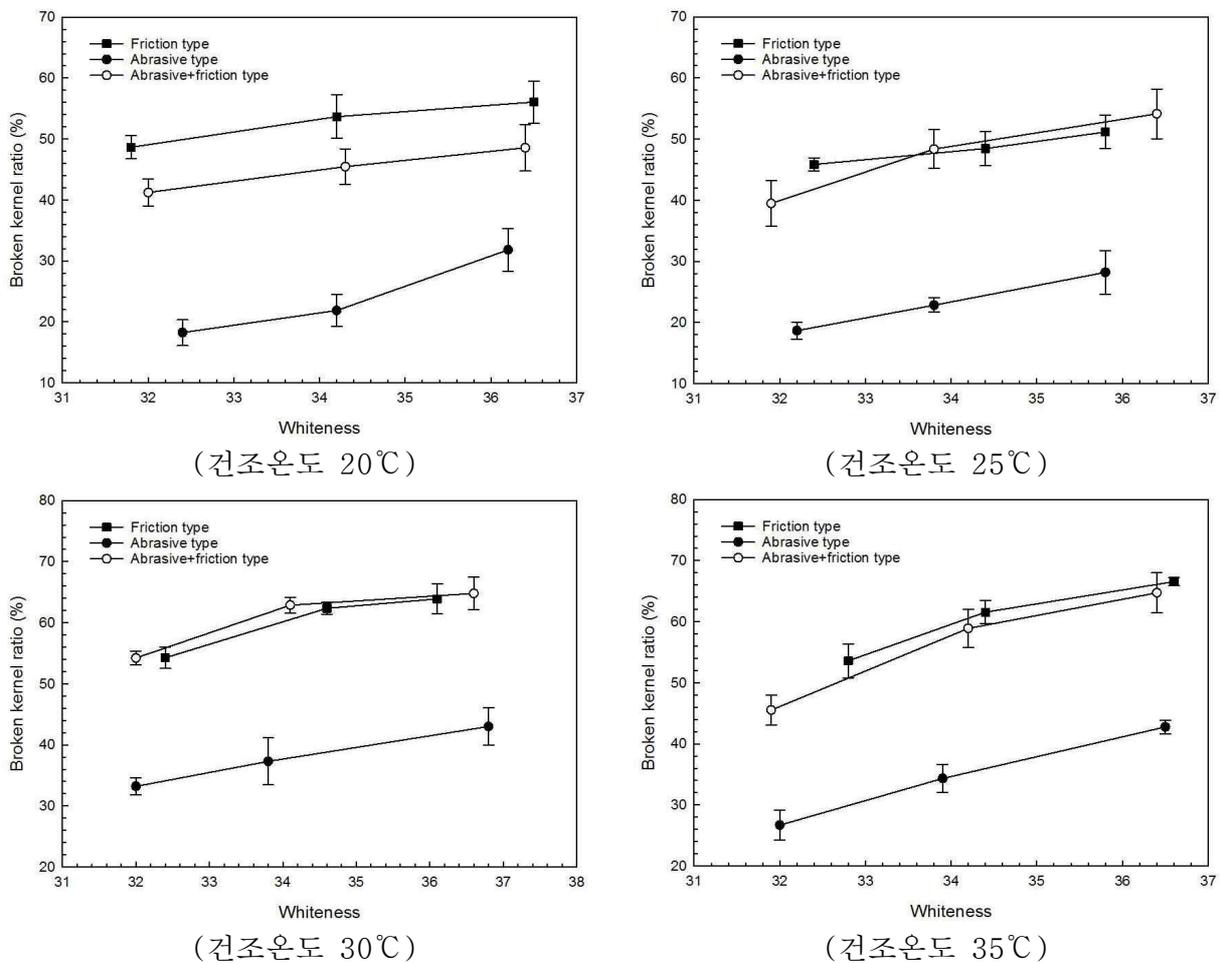
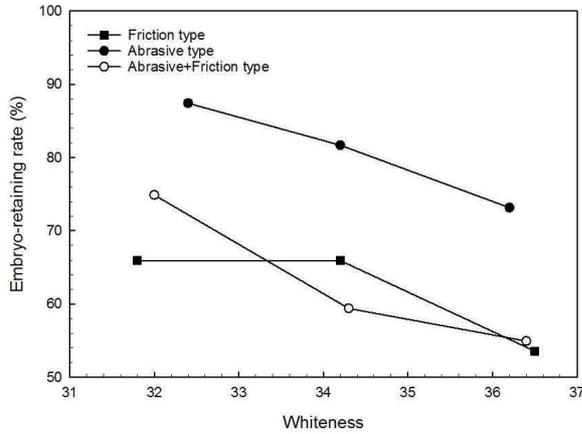
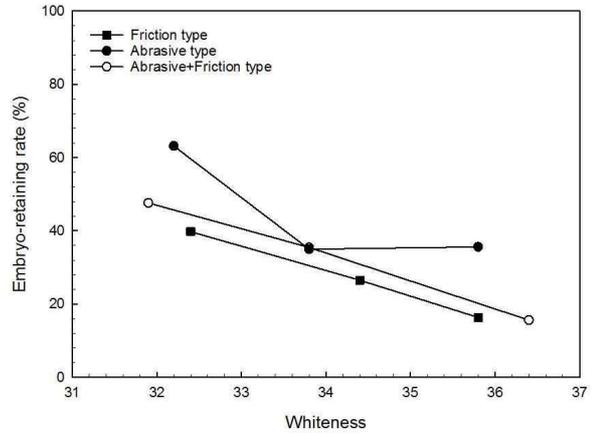


그림 2-1-2-37. 건조온도 및 백도에 따른 발아현미의 도정조건 별 찌라기율 변화

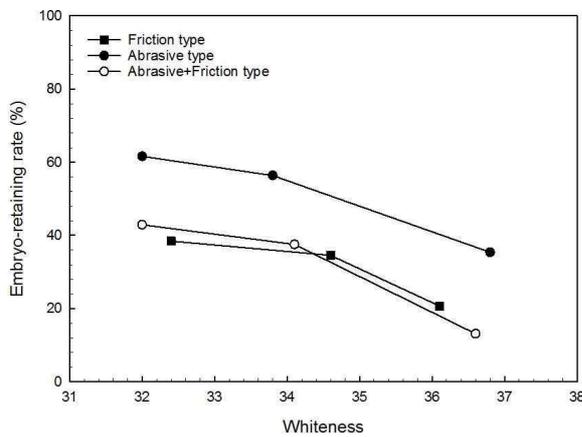
- 배아잔존율은 발아현미 건조온도가 증가할수록 백도가 높을수록 급격히 감소하였고, 연삭식정미기만으로 도정할 경우 다른 도정조건에 비해 높게 나타나 제거되는 원리가 거의 같은 찌라기발생율과 동일한 경향을 나타내었음



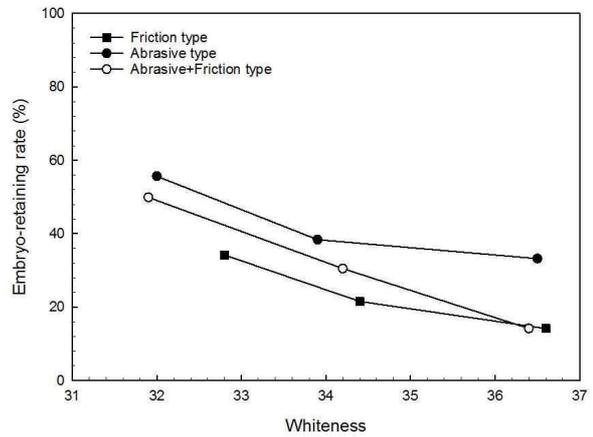
(건조온도 20°C)



(건조온도 25°C)



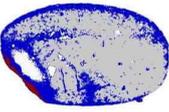
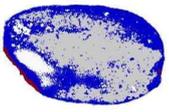
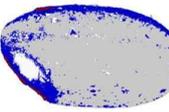
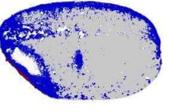
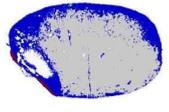
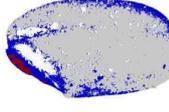
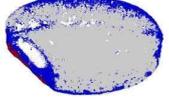
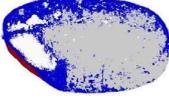
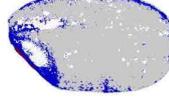
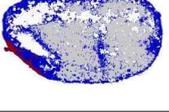
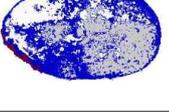
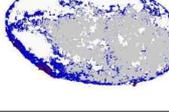
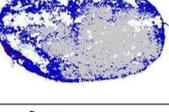
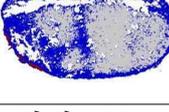
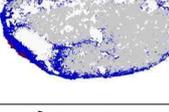
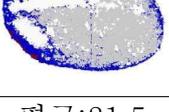
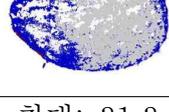
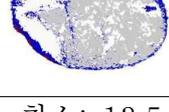
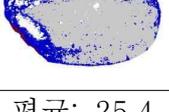
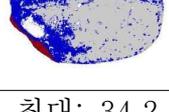
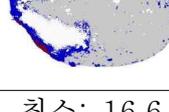
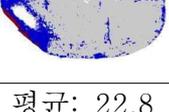
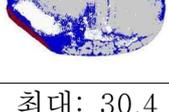
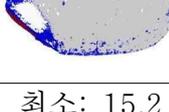
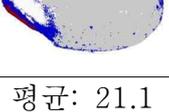
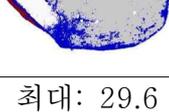
(건조온도 30°C)

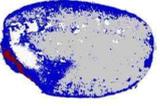
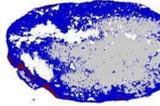
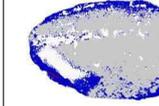
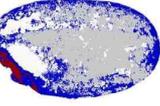
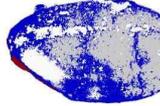
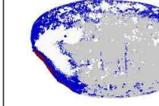
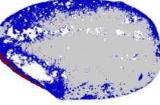
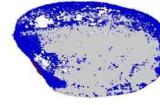
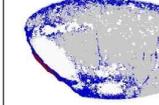
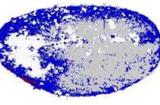
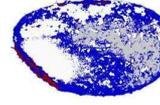
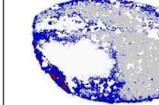
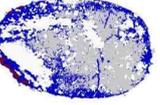
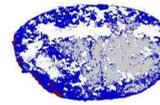
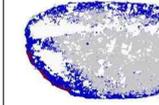
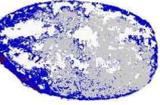
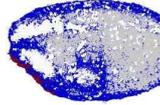
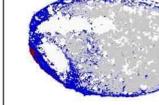
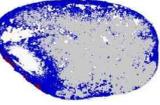
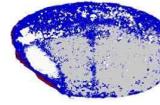
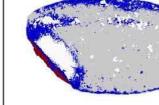
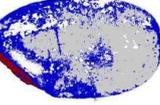
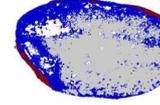
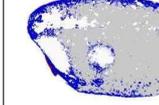
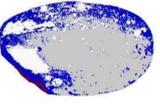
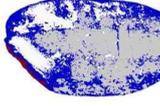
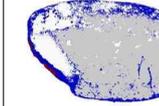


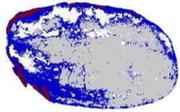
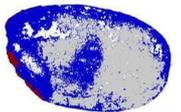
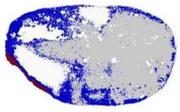
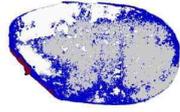
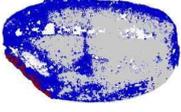
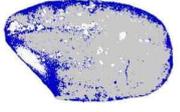
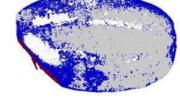
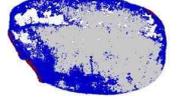
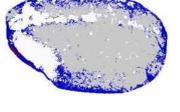
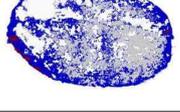
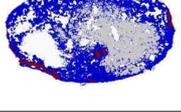
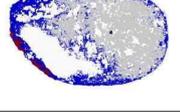
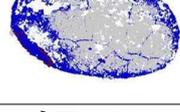
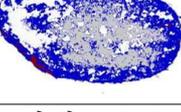
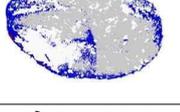
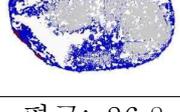
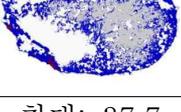
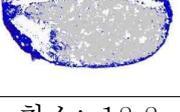
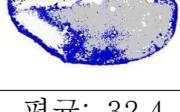
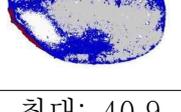
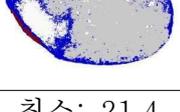
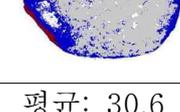
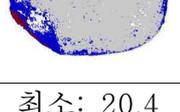
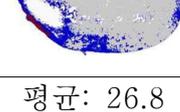
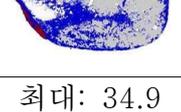
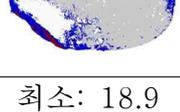
(건조온도 35°C)

그림 2-1-2-38. 건조온도 및 백도에 따른 발아현미의 도정조건 별 배아잔존율 변화

- 도정편차는 쌀 단립표면에 잔존하는 미강비율(CBB index)의 차이로서 도정편차가 클 경우 불균일한 도정이 발생된 것으로 판단할 수 있는데, 특히 연삭식정미기에서 도정편차가 크게 발생하는 것으로 알려져 있으며, 도정편차가 크게 발생할 경우 정백수율도 크게 저하되는 것으로 보고되고 있음(김 등, 2005)
- 건조온도에 따른 도정편차의 차이는 거의 없었으며 도정방식에 따라 차이가 발생하였고, 백도가 증가할수록 도정편차는 감소하였음. 도정편차가 가장 크게 발생하는 도정방식은 연삭만을 이용한 도정 방식이었고, 연삭+마찰을 조합하는 방식에서 가장 낮게 나타났음

건조온도 (°C)	도정방식	백도	CBB index (%)			도정편차 (%)
20	마찰	31.8				24.2
			평균: 30.2	최대: 42.4	최소: 18.0	
		34.2				20.4
			평균: 26.9	최대: 38.3	최소: 17.9	
		36.5				17.4
			평균: 21.3	최대: 31.2	최소: 13.8	
	연삭	32.4				27.3
			평균: 32.3	최대: 46.8	최소: 19.5	
		34.2				21.1
			평균: 28.0	최대: 38.7	최소: 17.6	
		36.2				17.8
			평균: 21.5	최대: 31.3	최소: 13.5	
연삭 + 마찰	32.0				17.6	
		평균: 25.4	최대: 34.2	최소: 16.6		
	34.3				15.2	
		평균: 22.8	최대: 30.4	최소: 15.2		
	36.4				15.1	
		평균: 21.1	최대: 29.6	최소: 14.5		

건조온도 (°C)	도정방식	백도	CBB index (%)			도정편차 (%)
25	마찰	32.4				24.3
			평균: 31.3	최대: 43.2	최소: 18.9	
		34.4				23.6
			평균: 28.7	최대: 41.0	최소: 17.4	
		35.8				18.2
			평균: 26.1	최대: 34.4	최소: 16.2	
	연삭	32.2				23.8
			평균: 34.7	최대: 46.0	최소: 22.2	
		33.8				21.4
			평균: 30.0	최대: 40.5	최소: 19.1	
		35.8				17.5
			평균: 27.1	최대: 35.5	최소: 18.0	
연삭 + 마찰	31.9				20.5	
		평균: 31.1	최대: 39.7	최소: 19.2		
	33.8				20.4	
		평균: 30.7	최대: 37.5	최소: 17.1		
	36.4				15.4	
		평균: 25.0	최대: 32.9	최소: 17.8		

건조온도 (°C)	도정방식	백도	CBB index (%)			도정편차 (%)
30	마찰	32.4				22.6
			평균: 32.6	최대: 43.5	최소: 22.9	
		34.6				21.6
			평균: 30.4	최대: 40.1	최소: 18.5	
		36.1				19.3
			평균: 29.4	최대: 37.1	최소: 17.8	
	연삭	32.0				24.7
			평균: 33.7	최대: 48.5	최소: 23.8	
		33.8				23.8
			평균: 30.9	최대: 43.8	최소: 20.0	
		36.8				18.9
			평균: 26.8	최대: 37.7	최소: 18.8	
	연삭 + 마찰	32.0				19.5
			평균: 32.4	최대: 40.9	최소: 21.4	
		34.1				17.9
			평균: 30.6	최대: 38.3	최소: 20.4	
		36.6				16.0
			평균: 26.8	최대: 34.9	최소: 18.9	

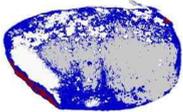
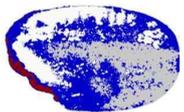
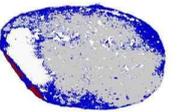
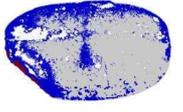
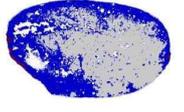
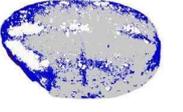
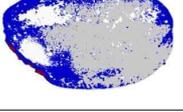
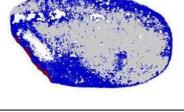
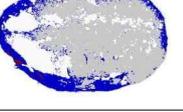
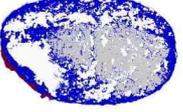
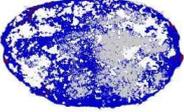
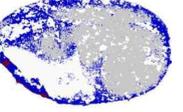
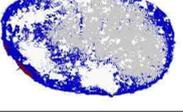
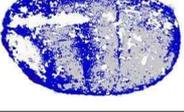
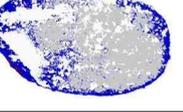
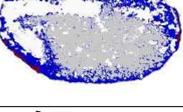
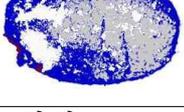
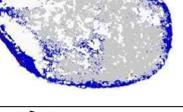
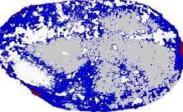
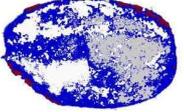
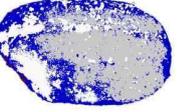
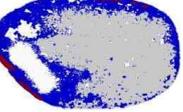
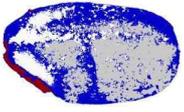
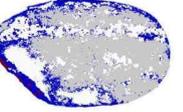
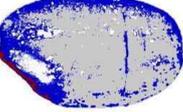
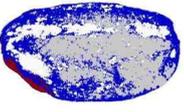
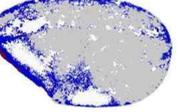
건조온도 (°C)	도정방식	백도	CBB index (%)			도정편차 (%)
35	마찰	32.8				21.1
			평균: 36.0	최대: 44.9	최소: 23.8	
		34.4				21.0
			평균: 31.3	최대: 41.8	최소: 20.8	
		36.6				17.2
			평균: 29.7	최대: 37.9	최소: 20.7	
	연삭	32.0				22.8
			평균: 36.9	최대: 46.4	최소: 23.6	
		33.9				20.4
			평균: 30.0	최대: 40.4	최소: 20.0	
		36.5				17.8
			평균: 28.6	최대: 37.1	최소: 19.3	
연삭 + 마찰	31.9				24.7	
		평균: 35.8	최대: 46.8	최소: 22.1		
	34.2				20.6	
		평균: 33.1	최대: 40.2	최소: 19.6		
36.4				16.0		
	평균: 27.5	최대: 34.5	최소: 18.5			

그림 2-1-2-39. 발아현미의 초기 및 건조온도에 따른 CBB index

(5) 발아현미 제조조건에 따른 미생물 변화

(가) 실험방법

- 2015년산 추청품종의 현미를 발아온도 25℃에서 산소를 공급하는 경우와 그렇지 않는 경우에서 초기, 발아시간 12시간, 24시간 및 48시간 후의 발아현미를 제조 후 채취하여 흐르는 수돗물에 30초 이내로 수세한 경우와 그렇지 않는 경우에 일반생균수, 대장균군 및 황색포도상구균 등 미생물을 측정하였음
- 발아현미 25g에 멸균수 225mL을 넣어 homogenizer(HG 400, MAYO, Italy)를 이용하여 5분간 균질화한 다음, 일반생균수는 3M petrifilm(3M, MN, USA), Aerobic count plate를 이용하여 35℃, 48시간 배양하여 계수하였고, 대장균군은 3M petrifilm(3M, MN, USA), Coliform count plate를 이용하여 35℃, 24시간 배양하여 계수하였으며, 포도상구균은 3M petrifilm (3M, MN, USA), Staph express count plate를 이용하여 35℃, 24시간 배양하여 계수하였음
- 대장균군은 듀람관을 넣은 LB배지(Lactose Broth)에 시료 1mL을 넣어 35℃, 24시간 배양하여 가스 발생 유무에 따라 가스 발생시 양성으로 판정하고 확정시험을 실시하였는데, 확정시험은 듀람관을 넣은 BGLB배지(Brilliant Green Lactose Bile Broth)에 추정시험에서 가스발생이 있는 시료를 넣어 35℃, 24시간 배양하여 가스발생 유무에 따라 가스발생시 양성으로 판정하고 완전시험을 실시하였음

(나) 결과 및 고찰

- 국내에서 발아현미의 품질기준은 없으나, 일본의 경우 一般社団法人高機能玄米協會에서 현미 자체에 잡균이 많아 20~30℃에서 1~2일 발아시 세균증식이 활발해져 황색포도상구균 등은 물론 식중독 원인의 내열성아포균의 증식가능 등의 문제가 된다고 판단하여, 2007년 총 8개항으로 구성된 발아현미 품질기준(자주규격기준)을 제시한바 있음
- 한편, 일본 Satake사에 대한 현지조사 결과, Satake사의 기술부장이면서 GABA쌀과 관련하여 박사학위(논문제목 : Development of cereal GABA enrichment technology by humidified air heating and humidifying method, 神戸大學, 2012)를 취득한 Hidenori와의 기술협약에서 일본의 경우 시장에서 사용되고 있는 기준으로는 발아현미의 GABA 함량 기준 15mg/100g(w.b)가 유일하다고 하였음
- 본 연구에서 개발하고 있는 발아현미의 연속식 대량제조시스템에서 현미는 일정한 온도에서 산소가 지속적으로 공급되는 물속에 비교적 장시간 침지되어 있어 발아현미 제품에 대한 미생물 오염에 대한 우려가 많으므로, 발아현미 제조시 발생하는 미생물량에 대해 측정이 필요하였음
- 다만, 발아현미 제조에 사용되는 원료 현미의 미생물량에 대해서도 원료 벼의 오염정도, 제현공정을 담당하는 RPC의 청결도, 현미의 포장, 이송, 보관 및 투입시의 오염물질과의 접촉여부, 현미 원료의 세척방법에 따라서도 차이가 발생할 수 있으나, 본 연구에서는 실험 중에 채취한 시료만으로 미생물량을 측정한 결과는 다음과 같았음

- 다음 표는 발아온도 25°C 시료를 대상으로 산소를 공급하는 경우와 그렇지 않는 경우에서 초기 및 발아시간 12시간, 24시간 및 48시간의 시료를 채취하여 체에 넣어 흐르는 수돗물에 30초 이내로 수세한 경우와 그렇지 않는 경우에 발아현미의 일반생균수를 측정한 결과를 나타낸 것임
- 표에서도 알 수 있듯이 원료 현미의 일반생균수는 1.64×10^6 CFU/g로서 발아시간에 따라 증가하였고, 산소를 공급한 실험구에서 산소를 공급하지 않은 실험구보다는 생균수가 많았으며, 발아이후 수세한 실험구가 수세하지 않은 실험구보다 생균수가 적게 나타났음. 황색포도상구균은 발아 초기부터 발아 48시간까지 모든 실험구에서 음성을 나타내었으나, 추후 발아현미 대량 제조시스템의 시작품을 이용한 발아실험의 시료를 이용한 추가 실험이 필요하였음
- Satake사에 대한 조사결과, 일본의 일반적인 현미의 일반 생균수는 약 10^5 CFU/g 수준이고, 산소를 공급하지 않는 침지발아 후에는 약 10^7 CFU/g 수준까지 증가하여 살균이 필요하다고 하였는데, 본 연구 결과와 유사하였음

표 2-1-2-21. 발아온도 25°C에서 산소공급 및 발아후 세척방법별로 제조한 발아현미의 일반 생균수

발아시간(hr)	산소 공급		산소 미공급	
	발아현미 제조후 수세	발아현미 제조후 비수세	발아현미 제조후 수세	발아현미 제조후 비수세
원료	1.64×10^6	1.64×10^6	1.64×10^6	1.64×10^6
12	3.61×10^7	6.38×10^7	5.40×10^6	1.51×10^7
24	1.18×10^8	1.43×10^8	2.43×10^7	6.84×10^7
48	5.50×10^8	6.33×10^8	8.35×10^7	9.80×10^7

- 한편, 곡물 종자의 살균처리 공정 관련 연구는 비교적 많이 보고되고 있는 상태로서 주요한 연구결과를 요약하면 다음과 같았음. 먼저, Satake(2002)는 현미에 온도 90~95°C, 습도 25~27%의 조건으로 5분간 스팀처리한 후 살균효과 및 표면부착수 제거의 효과가 있는 것으로 보고하였으며, 안 등(2012)은 고춧가루 살균실험에서 건열(85°C, 60분)처리의 경우 대장균은 완전 사멸되나 일반 세균수는 50% 이상 잔존하였고, 고압증기(110°C, 15분)의 경우 대장균 완전 사멸, 일반 세균은 20% 잔존하는 것으로 보고하였음
- 전염병균은 65°C에서 사멸, 토양이나 하수 중에서 분리한 균종 가운데는 100°C 이상에서도 사멸하지 않고, 특히 내열성이 강한 종은 121°C에서도 10~17분간 내열성을 가지며, 토양에서 분리된 *Bacillus* 같은 균종은 130°C에서도 1분정도 내열성을 가지는 것으로 조사되었으며, 습열처리(Hydrothermally treated)조건으로는 종자살균의 경우 98~180°C 범위에서 3~30분간 처리가 적정하며, 이때 습도는 약 60% 수준이었음
- 한편, 스팀을 이용한 종자살균의 경우 압력 0.1~2.0kg/cm², 온도 98°C 조건에서 10~30분간 처리하거

나 표면만 살균할 경우 89℃에서 2초간으로 조사되었으며, 온탕처리는 60℃에서 15분간 실시하는 것이 일반적인 방법이였음

- 이상과 같은 간단한 실험결과와, 일본 一般社團法人高機能玄米協會의 발아현미의 미생물 기준(일반생균수 1×10^4 개/g 이하, 내열성아포균수 300개/g 이하, 대장균군 및 황색포도구균 음성)을 고려할 때 살균공정은 반드시 포함되어야 하며, 현재까지 실험결과가 비교적 적어 최초의 살균조건은 Satake사의 조사결과를 준용한 후, 발아현미 연속식 대량제조시스템에 대한 현장실험을 통해 보완하는 것이 필요하였음

(6) 발아현미 품질 및 제조조건 정립

- 전술한 바와 같이 우리나라에서 발아현미는 소규모의 영세한 일반업체에서 제조 판매되어 왔던 특수 가공미로서 RPC에서 생산하는 사례가 전무한 실정이며, 건강을 지양하는 소비자의 needs에 따른 수요증가는 물론, 일본 Satake사의 제조장치를 이용한 GABA쌀이 국내에서도 시판(오뚜기 등)되기 시작하여 광역통합RPC에서 사용 가능한 대규모 발아현미 제조장치의 개발이 필요하게 되었으며, 이를 위해 발아현미의 품질 및 제조조건을 정립이 필요하였음
- 본 연구에서는 선행기술조사 결과를 바탕으로 핵심적인 발아현미 제조조건을 확인을 위한 예비실험을 통해 침지에 의해 발아하는 습식과, 이취제거를 위한 방법으로 산소공급을 실시하는 부분에 대한 실효성을 확인하였고, 이를 바탕으로 침지온도별, 산소공급여부별로 침지시간을 달리하여 발아현미를 제조한 다음, 다양한 품질분석 결과를 토대로 발아현미의 품질 및 제조조건을 설정하였음
- 따라서, 발아온도는 30℃, 발아시간은 12시간, 싹크기는 1mm 내외, 발아율은 95% 이상, 발아후 함유수율은 약 32.5%(w.b.)수준으로서, 이 중에서 발아율을 현미의 발아율이 100%에 가까운 현미를 사용하였을 경우로서, 이와 같이 정립된 기준은 pilot scale에서의 제조실험 등을 거쳐 보완하였으며, 최종기준은 다음의 대량제조시스템 개발에서 제시하였음

다. pilot 규모의 발아현미 연속식 대량제조시스템 시작품 설계 및 제작

- 국내외의 발아현미 제조시설과 발아현미 유통제품의 품질에 대한 조사결과, 국내 발아현미 주요 제조공정은 원료현미준비-발아조투입-세척-침지발아-세척-탈수 및 트레이충전-건조-함수율측정-포장출하 등 9가지 공정으로 구성되어 있었으나, 침지조로 투입, 세척, 침지조에서 배출, 탈수, 트레이충전, 트레이배출 등이 모두 수작업에 의존하고 있었으며, 업체에 따라 차이가 있겠지만 현재의 수작업제조에서 발아현미 1kg의 제조에 소요되는 작업비는 약 700원 수준으로 제조원가인 약 3,700원/kg의 약 18.9%정도를 차지하고 있어 자동화가 필요하였음
- 또한, 발아현미 제조용 현미 원료를 발아율 확인 없이 구매하고 있었으며, 침지조에 침지할 때 산소 공급 없이 장시간인 48시간(2일)간 침지하여 이취가 발생하는 경우가 많았으며, tempering기능이 없는 벌크건조기에서 비교적 박층(thin layer)상태로 건조온도 50℃에서 약 2~3시간동안 급속건조함에 따라 동할율이 평균 89.4%로 대단히 높아 현재의 발아현미로는 GABA백미 및 발아배아미의 제조가 불가능한 실정이었음
- 한편, 일본의 경우에는 발아현미와 관련된 협회인 一般社団法人高機能玄米協會(2009년 日本發芽玄米協會 설립후 2014년에 미강유를 포함하여 명칭변경)도 설립되었고, Satake사를 중심으로 다양한 자동화된 대량생산시스템이 개발 보급되고 있었는데, 수용성인 GABA의 용출방지 및 백미로의 가공을 위한 동할발생방지 등 2가지 목표로 침지, 미량가수 및 습공기 가온가습방식 등 발아현미제조방식과, 벼 및 현미 등 사용원료 종류를 변화시켜 왔으며, 이들을 기반으로 1~4세대로 구분하고 있었음
- 본 연구에서는 이와 같은 국내외의 발아현미의 유통형태, 제조형태 등에 대한 조사와, 제조조건이 품질에 미치는 영향 및 제조조건구명을 통해 확립한 설계인자를 기반으로 RPC에 사용가능한 발아현미의 pilot 규모의 연속식 대량제조시스템을 본 연구과제의 참여기업인 (주)아이지에스피(iGSP)와 공동으로 설계하고, 시작품을 제작하여 성능을 측정하고 보완하였으며, 상용화 제품을 현재 RPC(농식품부 고품질쌀유통활성화사업의 2017년 사업대상업체로 선정된 익산명천RPC)에 설치공사 중에 있으며, 설치가 완료된 후 상용화 제품에 대한 현장성능실험을 추가적으로 실시할 예정임

(1) 발아현미 연속식 대량제조시스템 설계

(가) 설계방법

- 전술한 바와 같이 본 연구를 통한 국내외 유통 발아현미 및 제조시설의 조사결과와, 제조조건 구명을 위한 제반 실험결과, 47개소의 2ndG RPC의 공정분석결과, 관련사업인 농식품부의 고품질쌀유통활성화사업(고품질쌀브랜드유통)의 사업지침서 및 시설구비사항 등을 종합적으로 고려하여 기본설계를 실시하였음
- 기본설계는 시스템의 기본방향과, 처리능력 및 공정구성을 확정된 다음 기본설계도면을 제작하고, 본 연구진, 참여기업인 (주)iGSP 및 발아현미 연속식 대량제조시설을 설치하고자 하는 RPC 등이 공동

으로 이들에 대한 종합적인 토론 및 검토를 거쳐 기본설계를 실시하였음

- 기본설계도를 바탕으로 그동안 RPC의 설계, 시공, 성능검사 및 운영에 참여하였던 본 연구진과 발아 현미 연속식 대량제조시설을 설치하고자 하는 RPC 등이 공동으로 경험적인 시뮬레이션을 실시하여 문제점 발생가능여부를 확인한 후, 세부적인 본 설계를 진행하였으며, 그 결과는 다음과 같았음
- 다만, 본 연구에서는 후술하는바와 같이 제반사항을 고려하여 처리능력을 현미 2ton/batch으로 결정 하였으나, 시작품의 제조후 다수회의 실험에 소요되는 시료량 등을 감안하여 발아조 등 자체적으로 제작하는 공정의 단위기계 등은 pilot 규모의 소량으로 설계하였음

(나) 결과 및 고찰

① 기본 설계방향정립

- 국내의 발아현미 시설 및 운영기술 조사, 국내외 유통 발아현미의 품질 조사, 발아현미 제조조건에 따른 품질특성, 발아현미의 적정 제조조건 구명 등의 연구결과를 토대로 다음 표와 같이 RPC에서 연속적으로 대량생산이 가능한 발아현미제조시스템의 설계방향을 설정하였음

표 2-1-2-22. 발아현미제조시스템 기본 설계방향

구 분	설계방향
설계방향	RPC에서 적용가능한 연속식 대량제조시스템
기본공정	투입-세척-발아-살균-탈수-건조
발아방법	침지+대기노출, 산소공급
현미품질	함수율 15.0% 이하, 발아율 95% 이상
발아조건	발아온도 25~30℃, 발아시간 12~18시간, 산소량(DO 기준) 2.0~2.5mg/L 증가
발아품질	짜크기 1mm 내외, 발아율 90% 이상, 발아후 함수율 30% 이상, 건조 후 함수율 15%이하, 이취미발생, GABA함유량 15mg/100g(w.b)
미생물	일반생균수 : 1×10^4 CFU/g 이하일 것 내열성 아포균수 : 300개/g 이하일 것 대장균군 : 음성일 것 황색포도상구균 : 음성일 것

- 공정구성은 원료 현미의 투입에서 최종 발아현미 제품까지 RPC에서 연속적이며, 기계적으로 제조가 가능한 단위기계 및 설비구성으로 공정을 계획하였으며, 가장 중요한 발아방법은 침지방법을 사용하 되 수용성인 GABA의 유출을 최대한 방지하기 위하여 침지와 대기노출을 병행하는 방식을 채택하였

으며, 침지와 대기노출시 산소를 연속 또는 간헐적으로 공급하여 발아지연이 없도록 하였음

- 초기 현미의 발아율이 낮을 경우 당연히 발아현미의 발아율도 낮으므로 발아현미 제조의 가장 기본적이고 핵심적인 사항은 발아율 등 품질이 높은 원료 현미의 확보 및 공급이며, 벼의 발아율에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 건조지연, 저장함수율 및 저장온도(김 등, 2015)로서 함수율조건은 낮을수록 발아율 유지에 유리하나 함수율 13%이하에서는 수침동할이 발생하므로 현미 함수율은 15.5%이하(벼 함수율 15.0%이하)로 유지하되, 발아율이 95%이상인 원료 현미(벼)의 사용이 필요함
- 발아소요시간 목표는 이취발생방지, 전후처리에 소요되는 시간과 작업시간의 편리성 등을 감안하여 12~18시간으로 결정하였으며, 이 때 침지온도 및 용존산소농도는 침지 후 발아온도는 25~30℃, 산소량(DO 기준)은 수도수의 DO 6.0mg/L 기준으로 2.0~2.5mg/L 증가시키는 것으로 결정하였음
- 발아현미의 품질목표는 싹크기 1mm 내외, 발아율 90% 이상, 발아후 함수율 30% 이상, 건조후 함수율은 15%이하 및 이취미발생과, 살균 후 발아현미의 미생물은 일반생균수는 1×10^4 CFU/g 이하, 내열성 아포균수 300개/g 이하, 대장균군과 황색포도상구균은 음성 수준, GABA함유량은 15mg/100g(w.b) 수준으로 결정하였음
- 한편, 원료 현미의 세척, 발아를 위한 침지, 세척, 탈수 및 살균공정에서 발생하는 폐수가 수질오염물질의 배출허용기준(수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 제34조 및 별표 13, 2017.01.19. 개정, 환경부령 제688호)에 비해 어느 수준인지에 대해 향후 상용화 제품에서 발생하는 폐수를 대상으로 측정후, 확인할 예정임

표 2-1-2-23. 발아현미제조시스템에 발생하는 폐수의 배출허용기준 적용

수질오염물질의 배출허용기준 요약
[수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 제34조 및 별표 13, 2017.01.19. 개정, 환경부령 제688호]
1. 지역구분 적용에 대한 공통기준
1) 청정지역 : 「환경정책기본법 시행령」 별표 1 제3호에 따른 수질 및 수생태계 환경기준(이하 "수질 및 수생태계 환경기준"이라 한다) 매우 좋음(Ia)등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
2) 가지역 : 수질 및 수생태계 환경기준 좋음(Ib), 약간 좋음(II)등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
3) 나지역 : 수질 및 수생태계 환경기준 보통(III), 약간 나쁨(IV), 나쁨(V) 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
4) 특례지역 : 환경부장관이 법 제49조제3항에 따른 공동처리구역으로 지정하는 지역 및 시장·군수가 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제8조에 따라 지정하는 농공단지
5) 「자연공원법」 제2조제1호에 따른 자연공원의 공원구역 및 「수도법」 제7조에 따라 지정·공고된 상수원보호구역은 제2호에 따른 항목별 배출허용기준을 적용할 때에는 청정지역으로 본다.
6) 정상가동 중인 공공하수처리시설에 배수설비를 연결하여 처리하고 있는 폐수배출시설에 제2호에

다른 항목별 배출허용기준(같은 호 나목의 항목은 해당 공공하수처리시설에서 처리하는 수질오염 물질 항목만 해당한다)을 적용할 때에는 나지역의 기준을 적용한다.

2. 항목별 배출허용기준

지역구분 \ 항목	1일 폐수배출량 2천 세제곱미터 이상			1일 폐수배출량 2 천세제곱미터 미만		
	생물화학적 산소요구량 (mg/L)	화학적 산소요구량 (mg/L)	부유 물질량 (mg/L)	생물화학적 산소요구량 (mg/L)	화학적 산소요구량 (mg/L)	부유 물질량 (mg/L)
청정지역	30 이하	40 이하	30 이하	40 이하	50 이하	40 이하
가지역	60 이하	70 이하	60 이하	80 이하	90 이하	80 이하
나지역	80 이하	90 이하	80 이하	120 이하	130 이하	120 이하
특례지역	30 이하	40 이하	30 이하	30 이하	40 이하	30 이하

② 처리능력 및 공정구성

- 발아현미제조시스템의 처리능력은 농식품부의 정책지원사업(고품질쌀브랜드육성사업)의 친환경 및 특수미지원 부분의 규모, 설치를 희망하는 2017년 브랜드육성사업 지원대상업체(익산 명천RPC)의 요구사항, 발아현미의 유통규모 및 전망, 발아현미의 연속식 대량제조시설의 구성에 필요한 세척, 탈수 및 건조시설 등의 생산되는 사양 등을 종합적으로 고려하여 현미 2ton/batch을 처리능력으로 산정하였음
- 다만, 본 연구에서 시작품의 제조후 다수회의 투입, 세척, 발아, 살균, 탈수, 건조실험 등을 실시하여야 하므로 자체제작이 어려워 외부 제품을 구매해야 하는 공정의 처리능력은 2ton/hr를 기준으로 하되, 발아조 등 자체적으로 제작하는 공정의 단위기계 등은 향후 다수회의 실험시 시료량 소모량을 고려하여 소량으로 설계하였음
- 발아현미제조시스템의 주요공정 구성은 투입-세척-발아(침지+대기노출)-살균-탈수-건조공정으로 서, 현미를 투입한 후 수도수로 이물질 등을 제거하기 위하여 세척한 후 발아공정으로 이송시킨 후, 현미가 충분히 침지되도록 수온이 조정되면서 micro bubble수준의 미세산소기포로 용존산소농도가 유지된 수도수를 가수한 다음, 침지수를 일부 배수하면서 수온과 용존산소농도가 유지된 신선한 수도수를 가수하여 용존산소농도의 유지, 현미의 수분흡수로 인한 침지수 부족해소, 이취 및 미생물 증가가 최소화되도록 공정을 구성하였음
- 수용성인 GABA의 용출을 최소화하기 위하여 1차 침지에 의한 발아가 종료된 후 발아현미를 제외한 침지수만을 하부로 완전히 배출한 다음, 수온이 조정되면서 용존산소농도가 높은 수도수를 미량 가수하고, 산소농도가 높은 공기를 순환시키면서 2차 대기노출식으로 발아가 이루어지도록 공정을 구성하였음
- 대기노출에 의한 2차 발아과정이 종료되면 발아조를 밀폐한 다음, 살균온도가 100℃가 되도록 발아조 하부에 고온·고압의 스팀을 약 5분간 공급하여 발아현미의 표면에 잔류하고 있는 미생물 등을 설계방향에서 제시한 목표치까지 살균할 수 있도록 공정을 구성하였음

- 살균 후 발아현미를 하루로 배출하며, 수분이 높은 발아현미는 자연배출에 한계가 있을 것으로 판단되어, 자연배출 후 잔곡이 발생할 경우 상부에 설치되어 있는 물 공급노즐을 통해 공급되는 물과 발아현미가 같이 배출되도록 공정을 구성하였음
- 발아현미가 배출된 후 표면에 잔류하고 있는 잔류수의 제거를 통해 유동성과 건조공정의 효율성을 높이기 위하여 탈수공정을 구성하였음. 탈수공정은 발아현미를 1차로 송풍기에 의해 상온의 공기로 표면수를 제거하고, 2차로 상온의 공기를 약 5°C 정도 높여 표면수를 제거할 수 있도록 공정을 구성하였음
- 표면수가 제거된 함수율 약 30% 수준인 발아현미는 유통 또는 도정에 필요한 함수율인 15% 이하로 건조가 되도록 건조공정을 구성하였는데, 건조에는 현재 국내 발아현미제조시설에서 사용하고 있는 벌크건조기는 동할발생이 지나치게 높고, 트레이에 충전할 때 수작업이 불가피하므로 이를 배제하고, 국내에서 곡물건조기에 가장 많이 사용되고 있는 소형 순환식건조기(약 3ton/batch)를 적용하였음
- 건조가 종료된 발아현미는 통상적인 RPC수준에서 품질관리에 사용되고 있는 진동체선별기를 사용하여 건조시 탈락하는 발아부분 등 이물질을 선별한 다음, 계량 및 포장할 수 있는 공정으로 구성하되, 원료 현미에 대한 사전의 제반 선별과정과, 발아현미의 건조공정 이후의 제반 처리공정은 발아현미가 설치되는 RPC의 여건에 따라 임의 조정이 가능하도록 구성하였음

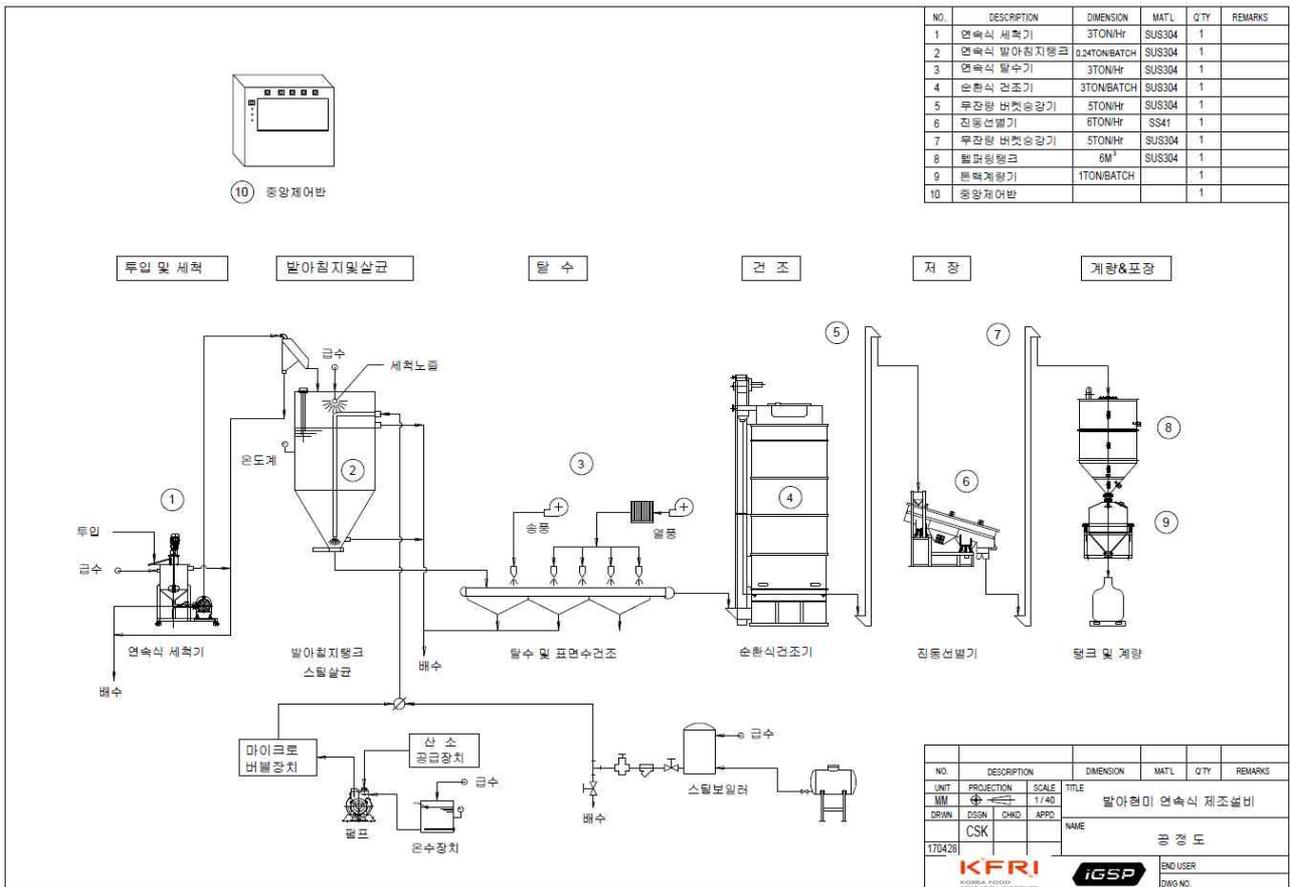


그림 2-1-2-40. 발아현미 연속식 대량제조시스템 기본 공정도

③ 세부공정설계

㉞ 투입 및 세척공정

- 현미 세척공정은 투입-세척-배출 등이 연속적으로 자동화된 형태로 고려하였으며, 처리능력은 후속 공정인 발아공정을 향후 생산필요량까지 증가시킬 수 있고, 투입 및 세척공정에 소요되는 시간이 발아공정보다 짧은 점을 감안하여 최대 현미처리량 2ton/hr 규모가 되도록 설계하였으며, 배출장치에 인버터를 설치하여 처리능력을 조정할 수 있도록 설계하였음
- 세척공정은 투입장치, 세척탱크(Φ470mm, 0.1m³), 교반기(0.4kW, 380RPM), 배출장치 및 현미이송을 위한 모노플렉스 펌프(Mono Flex Pump)로 구성하였으며, 교반기는 오거(auger), 지지대 및 모터로 구성되었음
- 세척탱크 상부로부터 세척수와 같이 투입되는 현미는 교반기에 의해 4면으로 혼합되면서 현미표면에 잔류하고 있는 왕겨조각 등 이물질을 세척하고, 세척된 이물질은 세척탱크 상부로 자연 부상되면서 상부의 배출구에 의해 연속적으로 제거되도록 설계하였음
- 세척된 현미의 이송용으로 적용한 원심력을 이용한 용적식 펌프인 모노플렉스 펌프(DS-R2S, Daesung pump, KOR, 235L/min)는 임펠러로 투입되는 현미+물이 회전(원심력)하면서 배출구에서는 임펠러의 원심력에 의해 현미+물이 배출되는데 이송되는 현미 100kg당 물 135L/min이 혼합되어 4:6의 혼합비를 유지하면서 이송되도록 설계하였으며, 모노플렉스 펌프 흡입구에 볼밸브를 부착하여 흡입량 조절이 가능하고, 모터에 인버터를 설치하여 유량 조절이 가능하도록 설계하였음

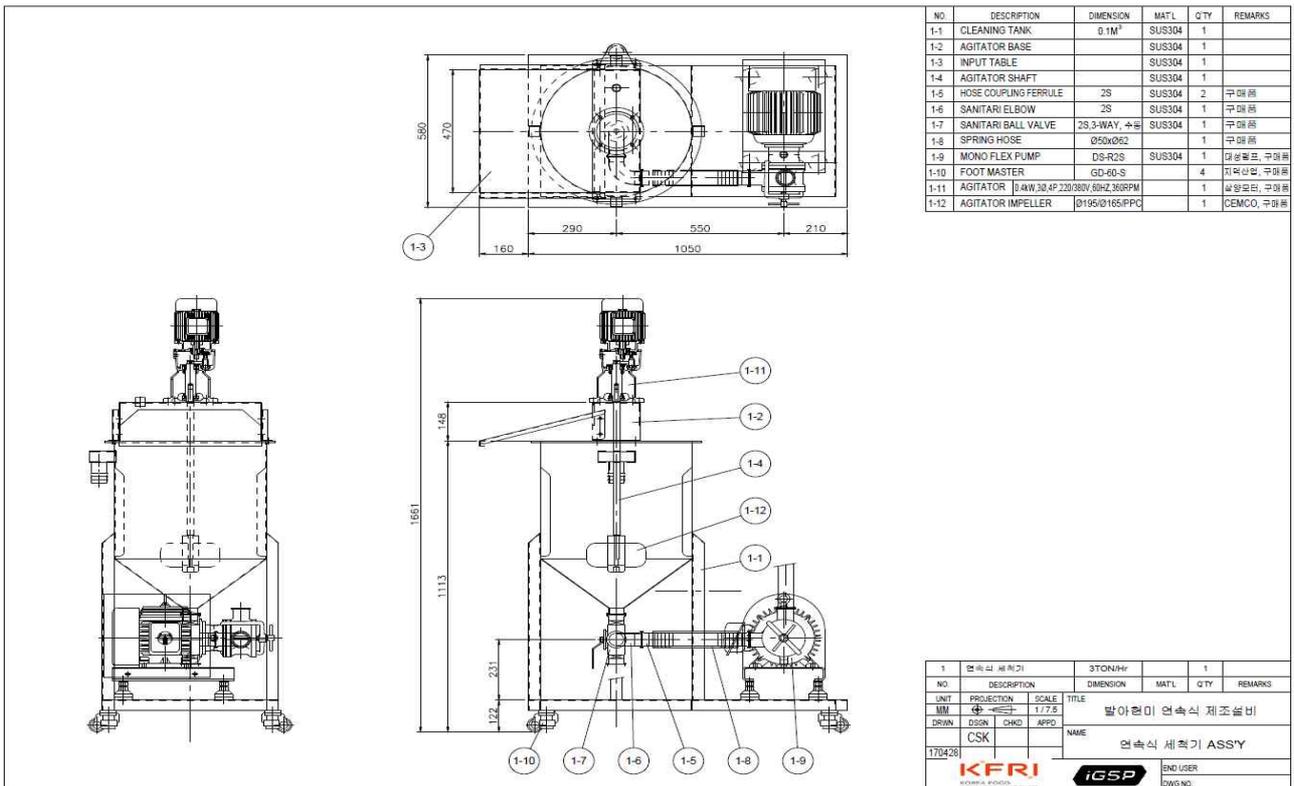


그림 2-1-2-41. 발아현미제조시스템 세척장치 설계도

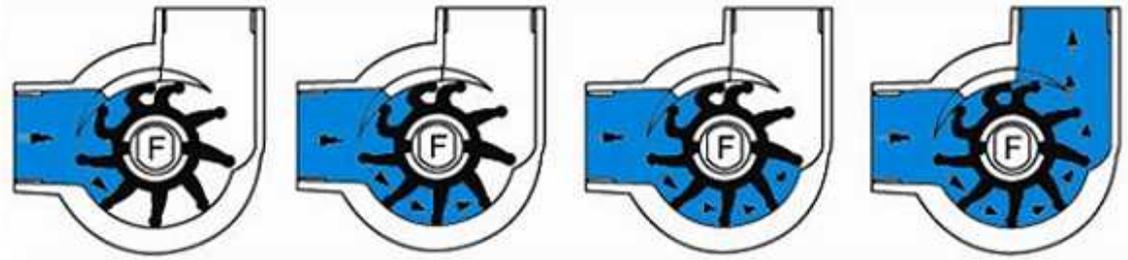


그림 2-1-2-42. 모노플렉스 펌프에 의한 현미+물의 흐름도(그림인용 : 대성펌프)

㉔ 발아 및 살균공정

- 발아공정은 자동으로 현미의 투입-발아-살균-배출 기능이 발아탱크 내에서 가능하도록 현미투입장치, 발아탱크, 배출장치, 산소공급장치, 발아수공급장치 및 세척장치 등을 설계하였으며, 발아탱크는 다수회의 발아실험 등을 고려하여 현미 100kg(발아수 55L, $\Phi 630\text{mm}$, 0.24m^3)을 처리할 수 있도록 Pilot scale로 설계하였으며, 추후 본기 설계에는 2ton/batch 용량을 적용할 계획임
- 세척된 현미는 물과 함께 이송되어 발아탱크 상부의 투입장치로부터 물과 분리되어 현미만 투입되도록 설계하였으며, 발아탱크 상부에는 레벨계(level meter, DE-3H,) 및 온도계(PT100)를 설치하였고, 발아탱크 측면에서부터 하부로 산소 및 물이 공급되는 이송관을 설치하여 발아탱크 하부로부터 산소와 물이 공급되도록 설계하였음
- 산소 및 물이 공급되는 이송관은 2차 발아시 공기와 산소공급용 및 발아후 살균을 위해 고온·고압의 공기이송이 가능한 겸용으로 사용되도록 설계하였으며, 살균을 위해 발아탱크 상부와 하부의 배출장치 등이 기밀이 유지되도록 하였으며, 상부에는 안전장치로 압력밸브를 설치하였음
- 발아 전 현미에 부착된 미생물은 세척에 의해 제거되도록 세척공정을 적용하였으며, 발아가 된 이후에 증식된 미생물은 고온·고압의 steam 살균방식을 채용하였는데, 전술한 살균조건(온도 100℃, 5분)으로 설정하여 실제 실험을 통해 살균방식의 일부 조정을 실시할 예정임
- 발아탱크에 현미가 침지되는 동안 물의 용존산소농도를 높여 공급하기 위해 물과 산소 혼합이 가능한 펌프(25NP, Nikuni, JAP), 모터(1.5kW, Mitsubishi, JAP), 압력조절장치(LF-201, Jooyoung control system, KOR), 산소+물 저류탱크 및 배관(SUS304) 등으로 설계하였음
- 산소의 혼합과 용존산소농도가 높은 물을 압송하기 위해 사용하는 펌프의 최대 처리능력은 42L/min 이고, 이때 산소공급능력은 1.5~6.5NL/min까지 조정이 가능하도록 압력조절장치를 구성하였으며, 물 공급량도 볼밸브(ball valve)에 의해 조정이 가능하도록 설계하였음
- 다음 도면에서도 알 수 있듯이 펌프로 물이 공급되면, 펌프의 임펠러가 회전하면서 부압(negative pressure)이 발생하게 되고, 이 부압(2~4bar)에 의해 공기는 압력조절장치를 통해 펌프로 공급되도록 설계하였으며, 물과 공기의 공급량에 따라 산소입자의 크기는 micro bubble 수준(10~20 μm)까지

공급이 가능하도록 설계하였음

- 펌프에 의해 발생된 micro bubble 수준의 산소는 물과 함께 저류탱크에 저장되었다가 발아탱크로 연속 또는 간헐적으로 공급이 가능하도록 설계하였으며, 압력이 높은 저류탱크의 안전을 고려하여 압력조절장치를 설치하도록 설계하였음

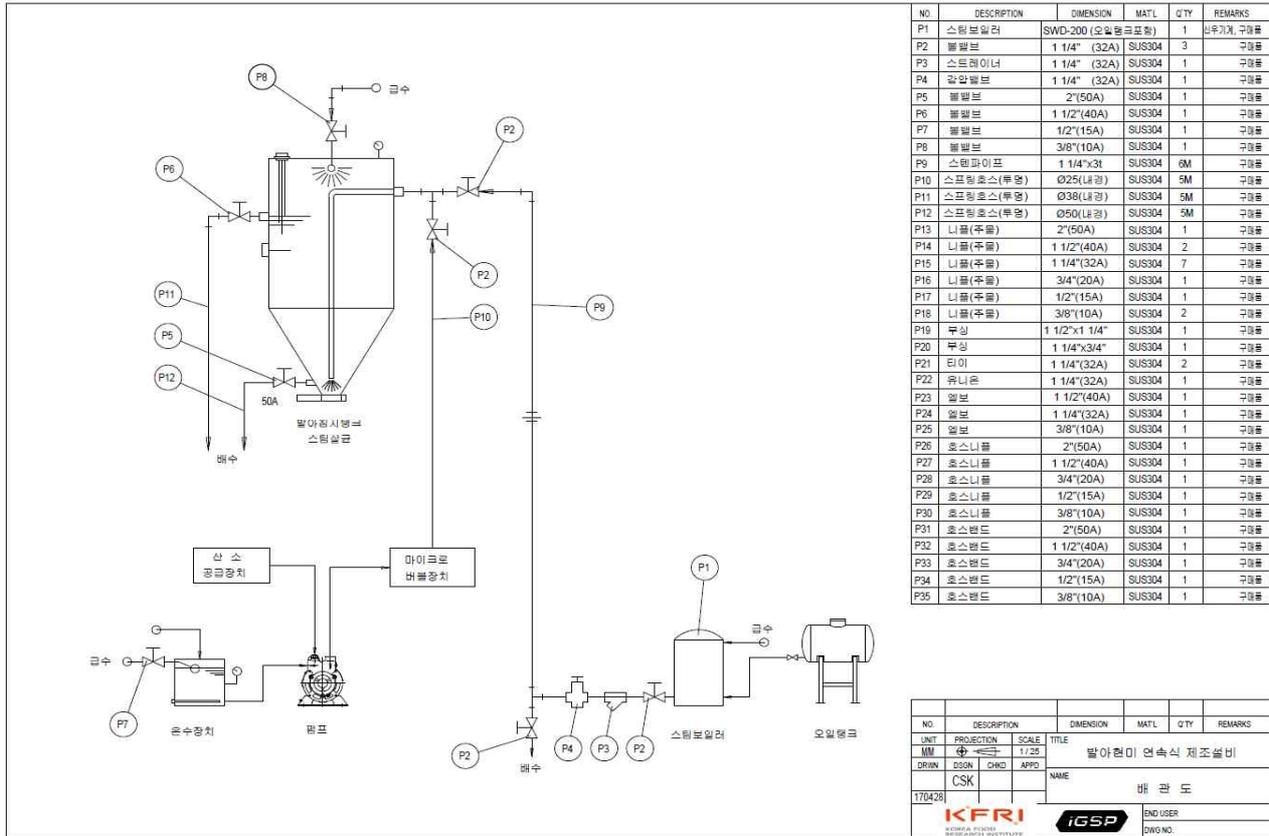


그림 2-1-2-43. 발아현미제조시스템 발아탱크 및 부대시설 설계도

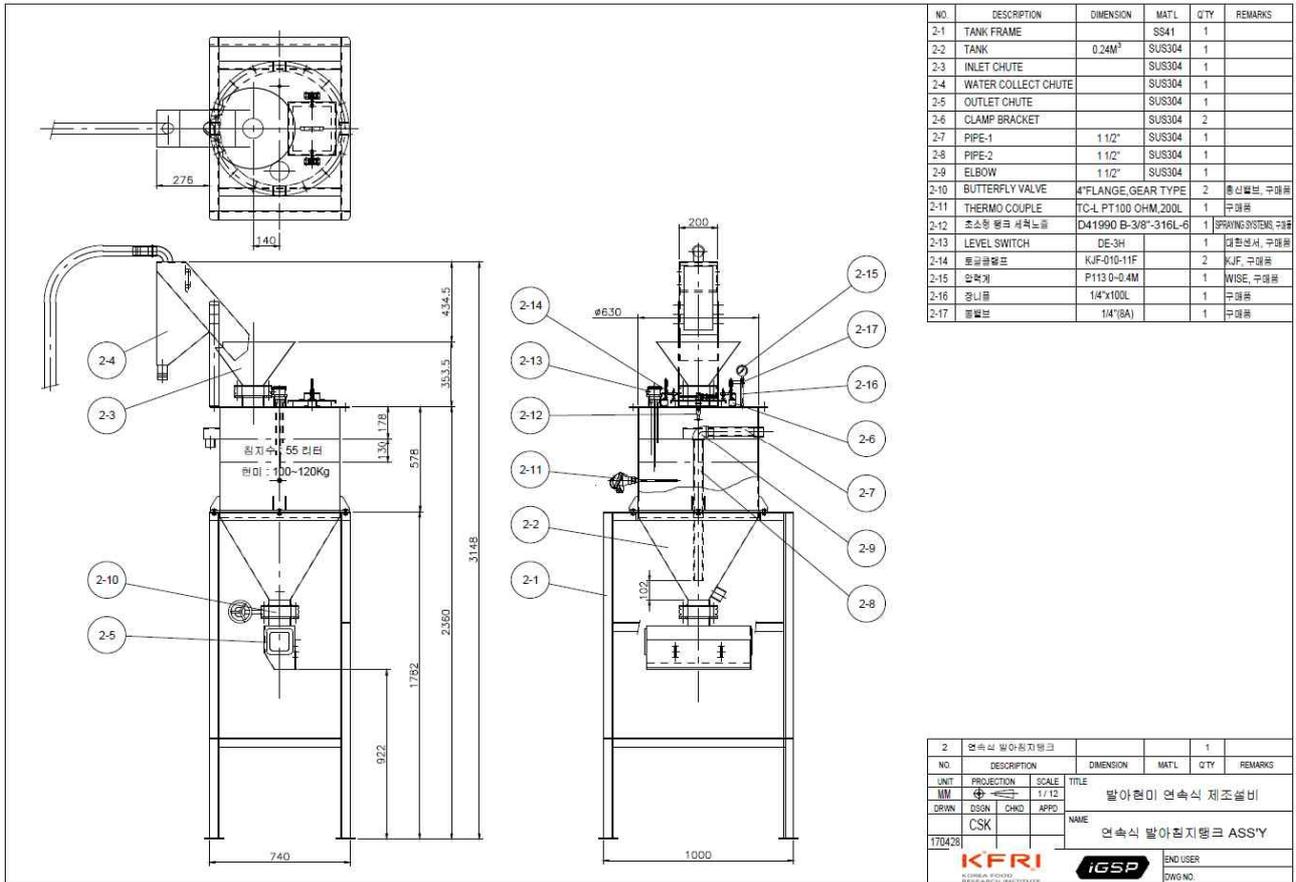


그림 2-1-2-44. 발아현미제조시스템 발아탱크 설계도

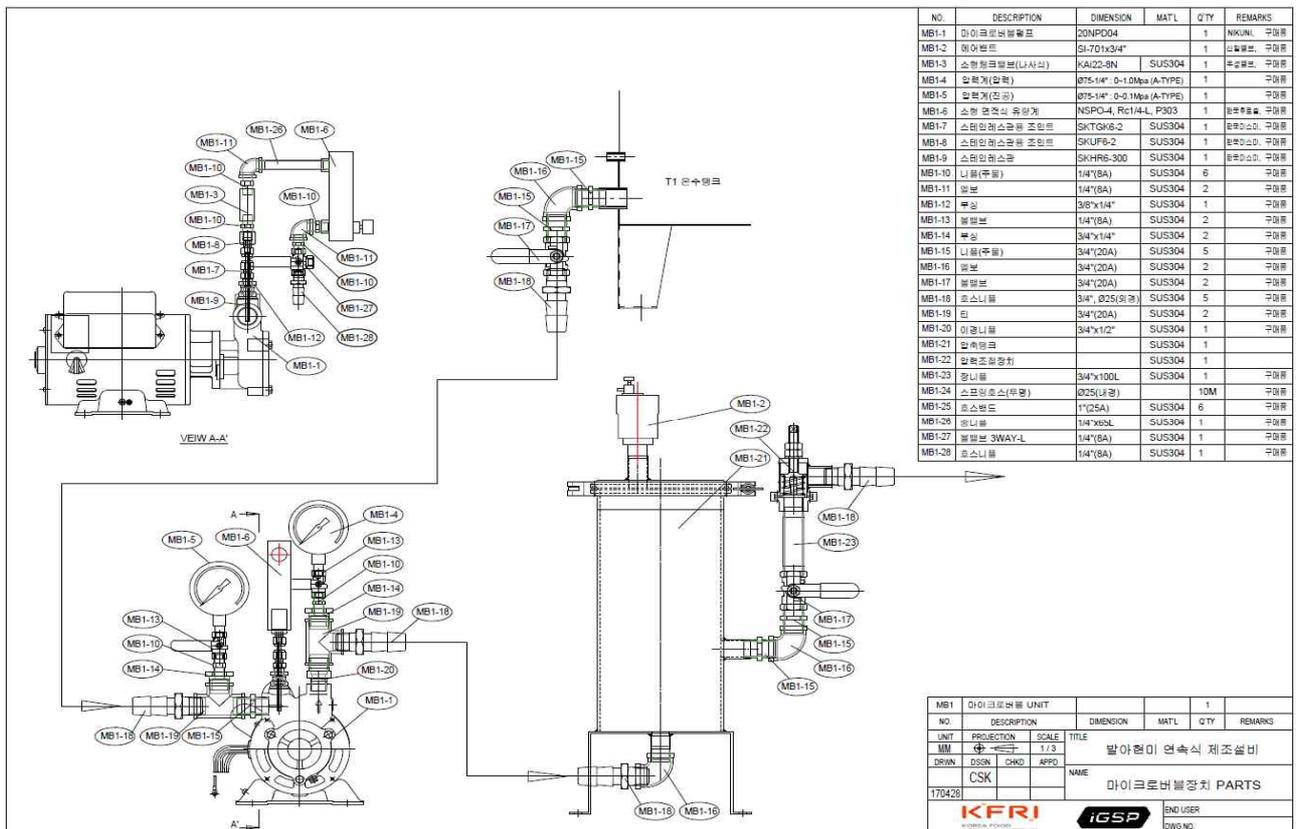


그림 2-1-2-45. 발아현미 연속식 대량제조시스템의 micro bubble 수준의 산소 공급장치 설계도

㉔ 배출공정

- 수분이 높은 현미는 마찰력으로 인해 자연배출에 한계가 있어 발아현미를 자연배출한 후 남아있는 현미를 강제배출시켜 완전배출이 가능하도록 발아탱크 상부에 180°분사가 가능하고, 노즐에서 분사되는 고압 물(9.4~14.7 L/min, 15~60 psi)의 분사거리가 최대 2m까지 가능한 압력용 노즐(D41990, Spraying system, KOR)을 설치하도록 설계하였으며, 동 노즐을 이용하여 발아탱크의 세척도 가능하도록 구성하였음



그림 2-1-2-46. 배출노즐의 제원 및 분사반경(Spraying system co. 제공)

㉕ 탈수공정

- 발아 및 살균 후 발아현미 표면에 잔류하고 있는 수분을 제거하여 이송 및 건조공정에서의 효율성을 높이기 위한 탈수공정에는 표면잔류수의 1차 제거를 위한 고압 송풍기(1.4m³/min×1200mmAq, DHB-100, KOR), 2차 제거를 위한 열풍기(8kW, OH-8, KOR) 및 발아현미 이송을 위한 이송벨트 등으로 설계하였음
- 이송벨트는 탈수된 물이 drain될 수 있도록 mesh type(SUS304, 612×3,500mm(W×L))으로 설계하고, 인버터를 부착하여 이송속도를 조절할 수 있도록 하였고, 이송능력은 배출능력을 고려하여 최대 7.5ton/hr(125kg/min) 규모로서 약 2ton의 발아현미를 이송하기 위해서는 약 16분이 소요되며, 이때의 현미퇴적층은 20mm을 기준으로 하여 설계하였음

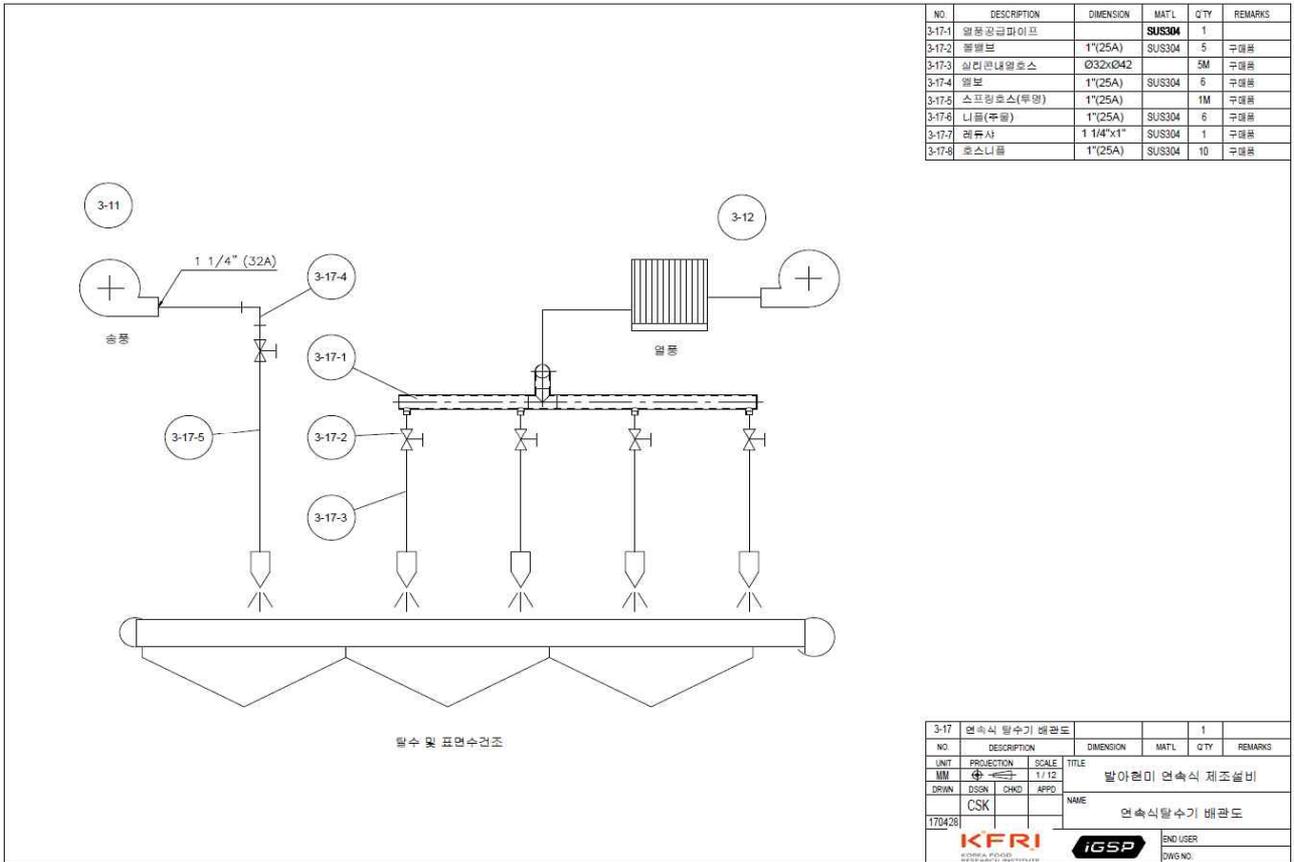


그림 2-1-2-47. 발아현미제조시스템 탈수장치 공정 설계도

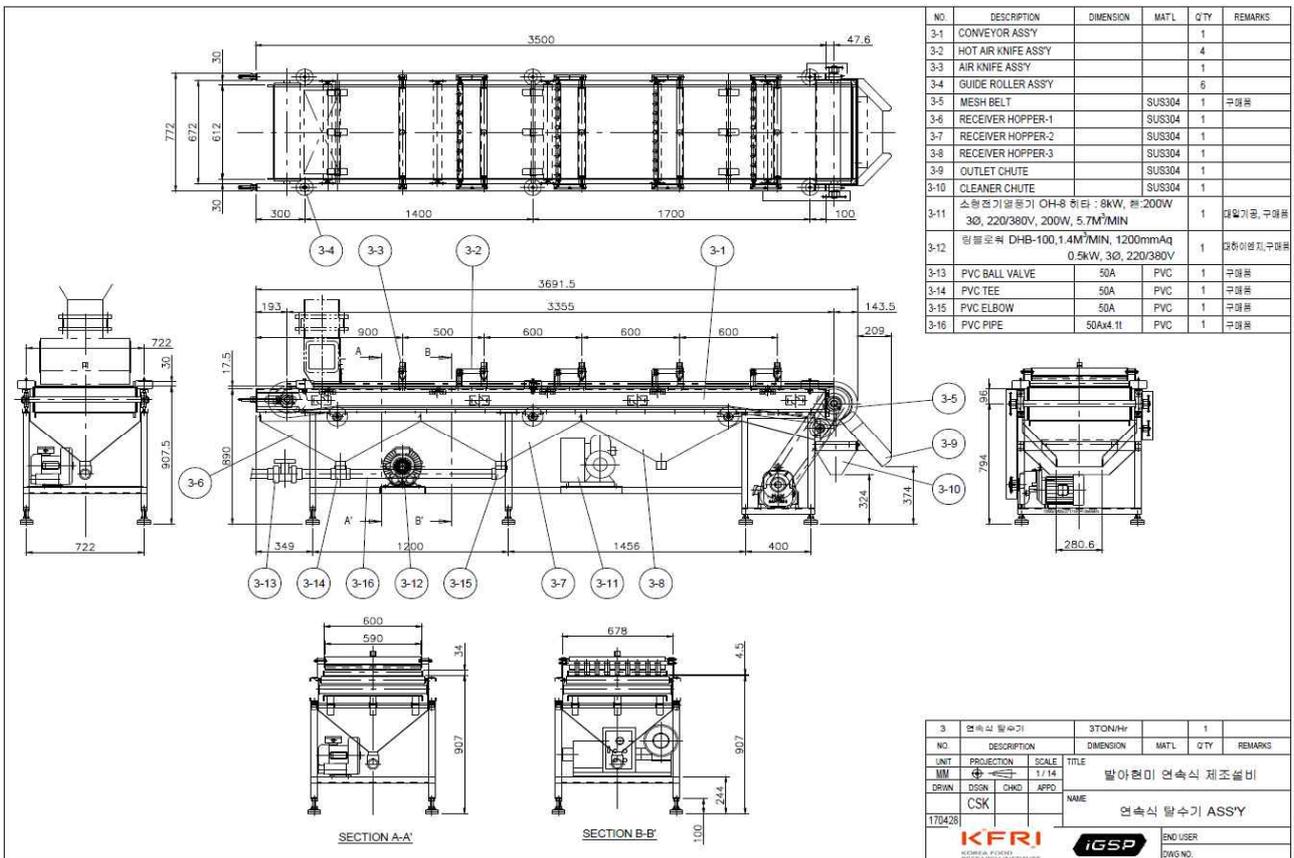


그림 2-1-2-48. 발아현미제조시스템 탈수장치 설계도

㉞ 배치도 및 설치공간

- 이상과 같이 설계한 발아현미 연속식 대량제조시스템 시작품의 배치도는 다음의 그림과 같았고, 발아현미 연속식 대량제조시스템의 전체 크기는 충분한 작업동선의 확보, 단위기계 장비의 운전 및 유지보수 등 시설의 효율적인 운영과, 공간의 효율적인 사용을 고려하여 결정한 결과, 13.8×4.5×9.7m(L×W×H) 수준의 62.1m²(18.8평)이상이 필요하였으며, 세척, 발아 및 탈수공정 등 물을 사용해야 하는 공간은 4.3×3.0×5.1m(L×W×H)수준으로 12.9m²(3.9평)이상이 필요하였음

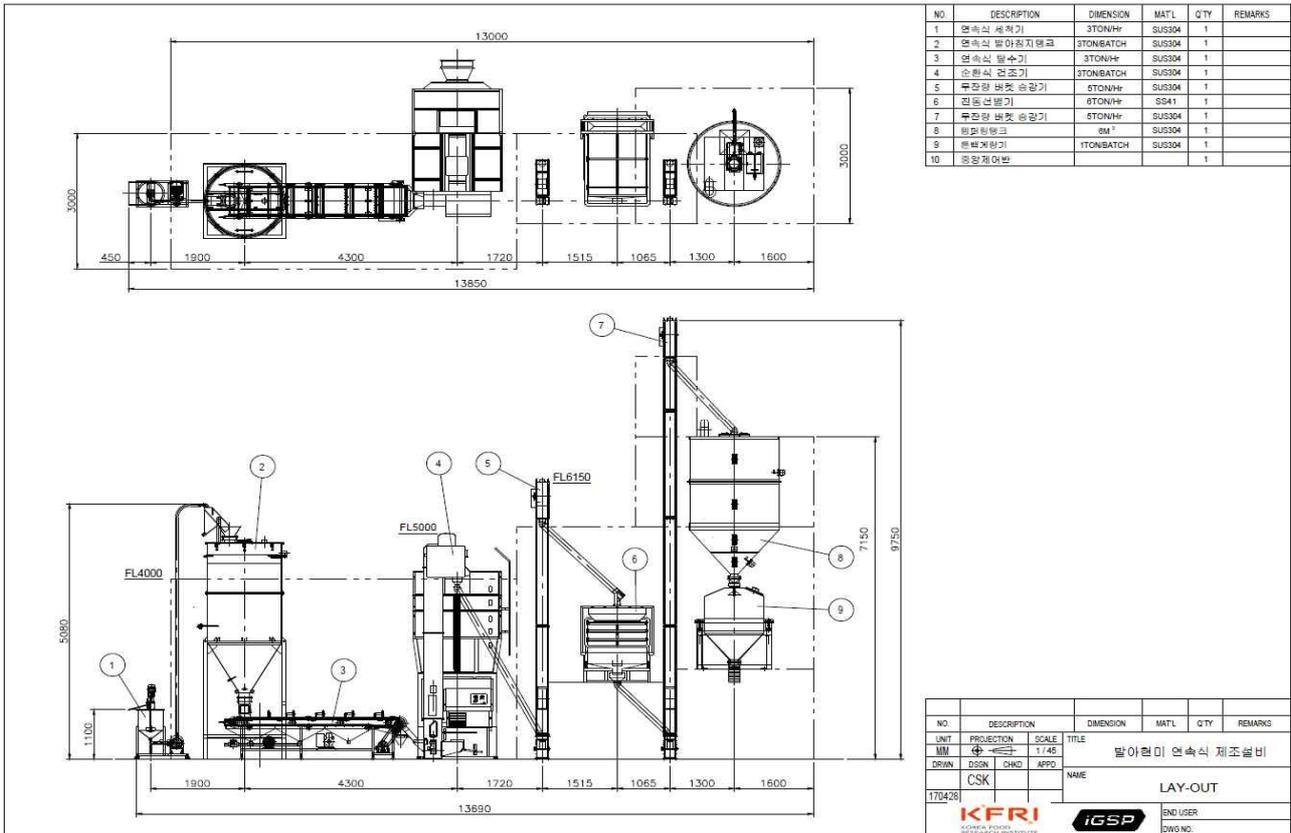


그림 2-1-2-49. 발아현미제조시스템 전체 배치도

(2) 발아현미 연속식 대량제조시스템 시작품 제작

- 위의 기본설계방향 및 설계자료를 바탕으로 Pilot 규모의 발아현미 연속식 대량제조시스템 시작품을 제작하였으며, 본 연구의 위탁연구기관 및 참여기업인 (주)igsp 현장실험동(대구 달서구 현풍산업단지 위치)에 연속식 흐름이 가능하도록 가장 좌측부터 세척장치-발아장치-탈수장치 등의 순으로 주요장치를 설치하였음
- 주요장치의 작동 및 운영이 용이하도록 주변에 산소발생장치, 운수장치, 살균장치, 이송장치 및 컨트롤러 등 부대장치를 설치하였으며, 주요 및 부대장치는 부식방지 및 청결을 고려하여 스테인리스(STS) 및 식품용 플라스틱 소재로 제작하였으며, 물의 이송은 내압용 호스를 이용하였음
- Pilot 규모의 시작품임을 감안하고, 향후 시작품의 성능평가 실험을 위해 세척탱크 상부로 수작업에

의해 현미원료가 투입되도록 하였으나, 실제 RPC 현장에서는 버킷엘리베이터 또는 이송장치와 연계하여 현미투입량과 투입시간 등의 조절이 가능하도록 자동화시설로 구성할 계획임

- 세척 장치로 투입된 현미는 물과 함께 교반기에 의해 회전 및 부유하면서 세척이 이루어지고, 세척 후에는 하부로 물과 함께 배출되어 이송장치에 의해 발아장치로 이송되도록 제작되었으며, 세척장치 내에서 세척 및 배출은 연속적으로 이루어지게 되며, 세척과정에 발생된 부유물질은 상부에 설치된 회수구로 배출되게 하였음
- 세척장치 상부로 현미가 투입될 때, 물이 1차로 자연 배수가 되도록 투입호퍼에 타공으로 제작된 배수구를 설치하였으며, 배수구로 배출되지 않은 나머지 세척수는 현미와 같이 발아장치로 투입되면 하부로 완전 배출되도록 제작하였음
- 이후 물 배출구를 닫고 산소공급 장치에서 생성된 산소와 물을 하부에 설치된 투입구로 공급되게 되며, 투입되는 물은 온수장치에 의해 수온이 조절되도록 하였으며, 산소공급 장치는 연속적으로 산소와 물이 공급되거나 일정 시간별 공급이 가능하도록 제작하였음
- 발아장치 내부에는 온도계 및 level계 등을 설치하여 현미와 발아수의 온도 및 수량을 조절하였고, 컨트롤러와 연계하여 모니터링이 가능하도록 제작하였으며, 장치 상부에는 발아수가 일정 높이에 도달하면 배수가 되도록 회수구를 설치하였고 또한, 외부공기의 노출방지 및 살균공정을 위해 기밀이 유지되도록 제작하였음
- 발아가 완료되면 하부로 발아수가 배출되고, 장치가 기밀 상태를 유지하게 되면 살균을 위해 스팀발생장치에 의해 조절된 고온고압의 공기가 하부에 설치된 투입구로 공급되도록 제작하였으며, 공기의 온도(살균온도)와 발아장치 내에 잔류시간(살균시간)은 컨트롤러에서 제어가 가능하도록 제작하였으며, 안전을 고려하여 상부에 압력밸브를 설치하였음
- 살균이 완료되면 발아장치 하부로 현미가 배출되고, 탈수장치로 이송되어 1차로 상온공기, 2차로 가열공기에 의해 탈수 후 배출되도록 제작하였음. 건조 장치는 RPC에 보급되어 있는 순환식건조기의 사용이 가능하므로 본 Pilot 규모의 시작품에서는 별도로 제작하지 않았음



(전체 설치모습)



(세척장치)



(발아장치)



(발아장치 내부)



(발아장치 상부 투입부)



(온수 및 스팀 공급장치)



(산소발생 및 공급장치)



(컨트롤러)

그림 2-1-2-50. 발아현미 연속식 대량제조시스템 시작품 제작 및 설치 모습

라. Pilot 규모의 발아현미 연속식 대량제조시스템의 현장실험 및 보완

(1) 1차 현장 운영실험 및 보완

(가) 실험방법

- 발아현미 연속식 대량제조시스템 시작품 설치장소인 (주)iGSP 현장실험동(대구 달서구 현풍산업단지 위치)에서 2017. 6. 5일부터 3일간 운영실험을 실시하였음. 운영실험에 사용한 현미는 2016년산 신동진 품종으로 전북 익산소재 민간 RPC에서 구입하였고, RPC의 색채선별기와 입선별기를 이용하여 사미, 이물질 및 분상질립 등을 충분히 선별한 다음 공시하였으며, 초기함수율은 15.2%이었음
- 세척장치의 성능은 시료 40kg을 대상으로 투입-세척-배출을 연속적으로 운영하면서 투입 및 배출 시간을 측정하여 시간당 처리능력으로 산출하였으며, 세척과정에서 발생하는 세척수의 탁도는 상부 지점에서 1분 간격으로 세척수를 채취하여 부유물이 없도록 충분히 교반시킨 후 탁도계(2100N Turbidimeter, HACH, USA)를 이용하여 3회 반복 측정하였음
- 발아장치의 성능은 시료 80kg을 세척공정을 거친 후 발아조에 투입하였고, 산소발생장치를 이용하여 산소(순도 99.9%)와 물(발아수 온도 27.0℃)을 발아조에 10분간 연속적으로 공급하면서 용존산소계(HI98193, HANNA instruments, USA)를 이용하여 용존산소량(DO)측정하였으며, 공급을 중단한 후에 용존산소량의 변화도 측정하였음. 발아는 6시간 동안 진행하였으며, 1시간 간격으로 시료를 채취하여 단립수분계(CTR-500H, Hansung, KOR)로 함수율의 경시적 변화를 측정하였음
- 6시간동안 발아후 발아수를 하루로 배출한 후 스팀발생기를 이용하여 100℃, 5분간 고온 고습의 공기를 발아조에 공급하였으며, 이후 하루 배출부로 발아현미를 배출하여 탈수공정으로 이송하였으며, 발아현미를 탈수장치에서 이송되면서 표면에 1차 상온의 공기로 잔류수를 제거하였고, 혼합과정 후 2차 및 3차로 열풍공기로 나머지 잔류수를 제거하였음
- 본 연구에서 1차 운영실험은 제작 및 설치된 시스템의 보완 및 개선을 주목적으로 주요장치와 부대 시설의 정상적인 작동과 운영의 적절성 등을 위주로 실험을 진행하였고, 발아과정에서의 발아율, 싹 길이, GABA함량 등 물리적 및 이화학적 특성과 미생물 증가량 등에 대한 실험은 시스템을 보완한 후, 정상 운전 상태에서 2차로 실험을 실시하였음

(나) 결과 및 고찰

① 세척공정

- 원료현미를 연속적으로 투입-세척-배출하면서 투입중량과 처리시간을 측정한 결과, 처리능력은 800kg/hr로 측정되어 당초 설계치인 1ton/hr보다 다소 부족하였는데, 이는 배출구 및 이송관의 처리능력이 부족한 것이 원인으로 판단되었으며, 세척과정에서 부유물질을 제거하기 위한 상부 배수구의 크기가 다소 작아 부유물질 제거가 용이하지 않아 보완이 필요하였으며, 세척 및 배출과정에서 현미의 잔곡은 발생하지 않았음

- 세척수의 초기 탁도는 0.14NTU(± 0.003)이었으며, 현미를 세척하면서 세척 1분후 탁도는 12.9NTU(± 0.21)이었고, 세척 2분후 탁도는 31.0NTU(± 0.07)로 급격히 증가하였으며, 세척 3분후 부터는 34.1NTU(± 1.27)를 유지하여 세척과정에서 물과 현미가 충분히 혼합하면서 세척이 이루어 지는 것으로 나타났으며, 세척장치의 운영실험 결과를 토대로 한 시작품 보완사항은 다음과 같았음
 - ㉠ 세척장치 하부에 위치하고 있는 배출구와 이송관의 직경을 당초 100mm에서 150mm로 확장 보완
 - ㉡ Mono plex 펌프의 압력을 당초 2.4kg/cm²에서 2.7kg/cm²으로 보완
 - ㉢ 세척 장치로 투입되는 물의 양을 당초 200L/min에서 400L/min로 보완
 - ㉣ 부산물 회수구의 크기를 당초보다 2배 크기로 보완
 - ㉤ 추후 세척 회전수별 세척실험을 통해 적정 회전수 선정 실험을 진행
 - ㉥ 하부배출구 및 이송관의 직경확대와 Mono plex 펌프의 압력 증대 후 추가 세척 처리능력 실험



(세척초기)



(세척 1분 후, 부유물질 증가)



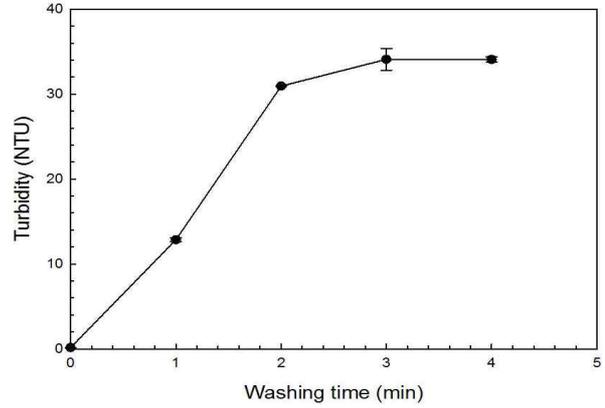
(세척 2분 후, 부유물질 증가)



(세척 완료, 잔곡발생 없음)



(세척 완료 후 이송모습)



(세척시간에 따른 세척수의 탁도 변화)

그림 2-1-2-51. 세척공정의 운영실험 모습 및 결과

② 발아공정

- 세척한 현미를 발아장치에 투입한 후 물과 산소를 10분간 공급하면서 용존산소량(DO)을 측정하였는데, 초기 DO는 6.2mg/L이었다가 4분까지는 약 10mg/L로 완만히 상승하다가, 이후 급격히 상승하여 6분후 15mg/L, 8분후 16.8mg/L이었고 이후로는 비슷한 수준을 유지하였으며, 물과 산소를 10분간 공급한 후 공급을 중단한 상태에서 10분간 DO를 측정한 결과, 2분후 약 16mg/L으로 감소하였으며, 4분후 15.5mg/L으로 감소한 후 비슷한 수준을 유지하였음
- 세척수의 온도를 27°C로 조정하였고, 발아장치내의 온도계로 모니터링하면서 온도가 감소할 때 산소 공급발생장치를 이용하여 산소와 물(온수)을 공급하면서 6시간 침지 발아과정을 진행하였을 때 초기 15.1%(±0.25)이었던 현미 함수율이 발아 2시간후 29.5%(±0.20), 발아 4시간후 29.9%(±0.35) 및 발아 6시간후 31.8%(±0.06)로 증가하였음
- 세척한 현미를 발아장치로 투입할 때 투입장치에는 잔곡이 발생하지 않았고, 현미 배출시 발아조 내부에 잔곡이 발생하였지만, 세척노즐의 작동으로 잔곡이 제거되었음. 발아장치의 운영실험 결과를 토대로 한 시작품의 보완사항은 다음과 같았음
 - ㉠ 발아조 상부로 배수되는 발아수는 발아시간 초기에 부유물질이 혼합되어 있어 외부로 배출이 필요하나, 이후 발아시간이 경과하면서 추가 공급되는 발아수로 인해 발생하는 과잉 발아수는 에너지 절감 등의 관점에서는 재순환할 필요가 있었으나, 발아과정에서 미생물 증가 등을 고려할 때 과잉 발아수중의 미생물 상태 등을 종합적으로 고려하여 시스템 보완방향의 설정이 필요
 - ㉡ 용존산소량(DO)의 설계치는 2.0~2.5mg/L 증가이었으나 micro bubble장치를 사용함에 따라 운영 실험에서는 8~11mg/L 증가하는 것으로 측정되어 높은 DO로 인한 발아품질 및 미생물 생육상태의 점검이 필요하였으며, DO가 과잉으로 판단될 때는 ① 산소공급 장치에 투입되는 산소(순도 99.9%)를 외기공기로 대체하거나, ② 10~20 μ m의 미세산소기포를 발생시키는 산소공급 장치를 일 반산소발생장치로 교체하는 등의 보완방법의 검토가 필요
 - ㉢ 보완사항 ㉡항과 관련하여 micro bubble에 공급되는 산소의 조건(외기 및 순도 99.9%)별 및 공급

장치별(micro bubble 및 일반산소공급)의 DO 증가 및 유지특성에 관한 추가실험을 진행



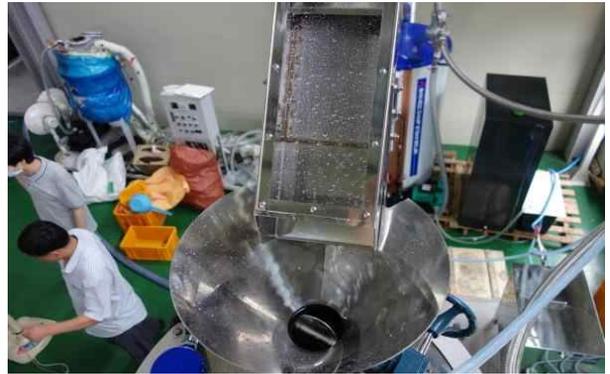
(산소발생)



(용존산소량 측정)



(현미투입 모습)



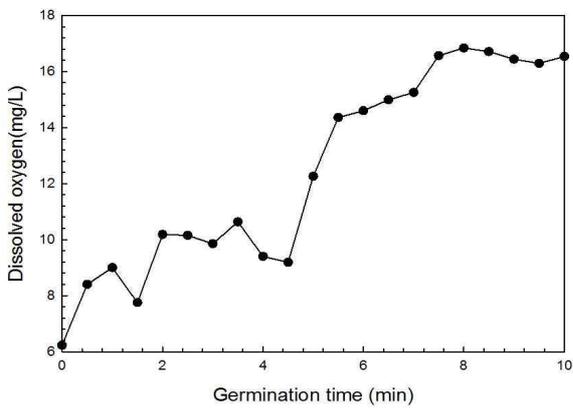
(현미투입 완료 모습)



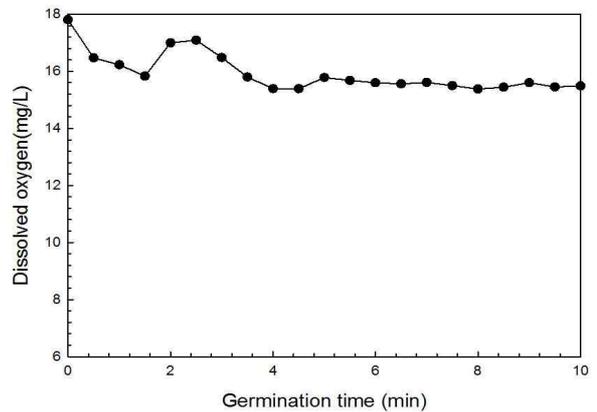
(배출모습)



(배출후 세척노즐 작동후 모습)



(산소공급 중 DO 변화)



(산소공급 중단 후 DO 변화)

그림 2-1-2-52. 발아공정의 운영실험 모습 및 결과

③ 살균공정

- 발아조내에서 발아 6시간 후 발아수를 하루로 배출한 다음, 기밀을 유지하게 한 후 100℃로 조정된 고온고습의 공기를 투입하여 5분간 살균한 결과, 발아조내부의 온도가 100℃까지 상승하는데 소요된 시간은 약 17초로 당초 살균조건 목표를 만족할 수준이었음
- 살균 5분후 발아현미의 곡온은 71℃이었고, 발아현미의 표면은 건조공정에서 표면품질 저하 등을 위해 당초 목표한 호화(糊化)상태가 되었고, 이 때 백도는 24.2이었으며, 이를 상온에서 15%까지 건조하여 측정된 백도는 20.1이었음. 살균공정의 운영실험 결과를 토대로 한 시작품의 보완사항은 다음과 같았음
 - ㉠ 고온고습의 공기를 발아조 내부로 공급될 때 기밀유지가 필요하였으며, 발아조 상부에 압력밸브를 설치를 보완
 - ㉡ 고온고습의 공기를 100℃로 조정하여 5분간 살균한 결과 발아현미 표면이 호화가 되는 현상이 나타나 건조과정에서 동할 억제 및 표면품질저하 방지 등의 효과를 기대할 수 있지만, 호화가 과도할 경우 유동성에 큰 문제가 발생하므로 호화정도에 따른 살균온도 및 살균시간의 조정 보완
 - ㉢ 살균과정에서 발아조 외표면 온도가 크게 상승하므로 안전장치 설치 등 보완
 - ㉣ 향후 살균조건별 미생물 저감 실험 실시



(발아조내부로 스팀공급 및 배출 모습)



(발아조내부의 스팀온도, 100.4℃)



(살균 후 발아현미 표면)



(살균 후 건조 한 발아현미 표면)

그림 2-1-2-53. 살균공정의 운영실험 모습 및 결과

④ 탈수과정

- 살균 후 배출되는 발아현미를 상온의 공기로 1차 표면수를 제거하였으며, 나머지 표면수의 제거는 2차 및 3차에 걸쳐 열풍공기를 이용하였는데, 살균 후 배출되는 발아현미의 초기 곡온은 71℃이었고, 탈수 후 곡온은 51.2℃로 약 20℃ 정도가 낮아졌으며, 배출되는 발아현미의 함수율은 36.5%이었고, 탈수 후 함수율은 31.8%로 측정되었음
- 살균 후 배출되는 발아현미는 70℃ 이상의 높은 곡온을 유지하고 있어 1차 상온의 공기만으로도 냉각효과와 함께 표면에 잔류하고 있는 수분의 제거가 용이하여, 2차 및 3차의 열풍공기 공급은 불필요한 것으로 판단되었으며, 탈수 후 발아현미의 유동성이 비교적 양호하여 후속공정으로의 이송과 건조 등에 큰 문제가 없을 것으로 판단되었으며, 탈수장치의 성능평가를 토대로 한 시작품의 보완사항은 다음과 같았음
 - ㉠ 2차 및 3차의 열풍공기를 발생하는 히터를 제거하고, 상온공기만으로 잔류수 제거하는 방향으로 보완
 - ㉡ 탈수과정에서 발아현미의 혼합시 멍침 현상 등이 발생하여 혼합봉의 간격의 조정 보완
 - ㉢ 시작품으로 탈수장치의 상부가 외기에 노출되어있으나, 본기에서는 덮개 등으로 보완
 - ㉣ 탈수 시 상온공기의 분사 각도 등 조정 보완



(상온의 공기를 이용한 1차 탈수)



(열풍공기를 이용한 2차 탈수 및 혼합)



(탈수 후 배출, 유동성 양호)



(탈수 후 현미)

그림 2-1-2-54. 탈수공정의 운영실험 모습 및 결과

(2) 2차 현장실험 및 보완

(가) 실험방법

- 발아현미제조시스템 시작품은 세척-발아-탈수장치 등 주요공정의 1차 현장실험을 실시하고, 실험결과를 토대로 문제점 보완 후 시작품 설치장소인 (주)iGSP 현장실험동(대구 달서구 현풍산업단지 위치)에서 2017년 7월 26일부터 3일간 2차 현장실험을 실시하였는데, 운영실험에 사용한 현미는 2016년산 신동진 품종으로 전북 익산소재 민간 RPC에서 구입하였고, RPC의 색채선별기와 입선별기를 이용하여 사미, 이물질 및 분상질립 등을 충분히 선별하였으며, 초기함수율은 14.8%이었음
- 세척장치의 성능은 시료 100kg을 대상으로 투입-세척-배출을 연속적으로 운영하면서 투입 및 배출 시간을 측정하여 시간당 처리능력으로 산출하였으며, 세척과정에서 발생하는 세척수의 탁도는 상부 지점에서 1분 간격으로 세척수를 채취하여 부유물이 없도록 충분히 교반시킨 후 탁도계(2100N Turbidimeter, HACH, USA)를 이용하여 3회 반복 측정하였음
- 발아장치의 성능을 측정하기 위하여 시료 100kg을 세척공정을 거친 후 발아조에 투입하였고, 산소발생장치를 이용하여 산소(순도 99.9%)와 물(발아수 온도 27.0℃)을 발아조에 연속 또는 간헐적으로 공급하면서 용존산소계(HI98193, HANNA instruments, USA)를 이용하여 용존산소량(Dissolved oxygen, DO)측정하였으며, 공급을 중단한 후에 용존산소량의 변화도 측정하였음
- 발아는 6시간 침지후 침지수를 배출하고 8시간 외기노출로 진행하였으며, 외기노출과정에서 1시간 간격으로 상부에 설치되어 있는 분사장치를 통해 1분간 물을 공급하였고, 하부에 설치되어 있는 산소발생장치를 통해 1분간 산소를 공급하였음
- 발아진행과정에서 1시간 간격으로 시료를 채취하여 단립수분계(CTR-500H, Hansung, KOR)로 함수율의 경시적 변화를 측정하였고, 발아율, 싹길이, GABA함량 등의 변화를 측정하였음



(세척모습)



(침지과정에서 산소공급 및 측정 모습)



(외기노출 및 물공급 모습)



(발아과정에서 품질측정 모습)

그림 2-1-2-55. 2차 현장실험 모습

(나) 결과 및 고찰

① 처리능력 및 품질특성

- 세척 처리능력은 평균 1.6톤/시간으로 당초 설계목표(2.0톤/시간) 대비 80% 수준이었으며, 세척수 공급, 이송펌프, 투입량 등 조정을 통해 설계목표에 충분히 도달할 수 있을 것으로 판단되었으며, 세척 중 탁도는 초기 18NTU에서 최대 30NTU까지 상승하였고, 단시간임을 고려한다면 세척효과는 효과적인 것으로 판단되었음
- 초기 용존산소량은 약 5mg/L이었고, 침지과정에서 산소(순도 99%)를 약 30분 공급할 경우 용존산소량은 약 15mg/L로 상승하였으며, 산소공급 중단시 시간이 경과할수록 용존산소량은 감소하는 경향을 나타내었으며, 침지과정에서 상온의 공기를 공급할 경우 용존산소량의 증가효과는 매우 미비하여 순도 99% 산소를 공급하는 것이 적정한 것으로 판단되었음

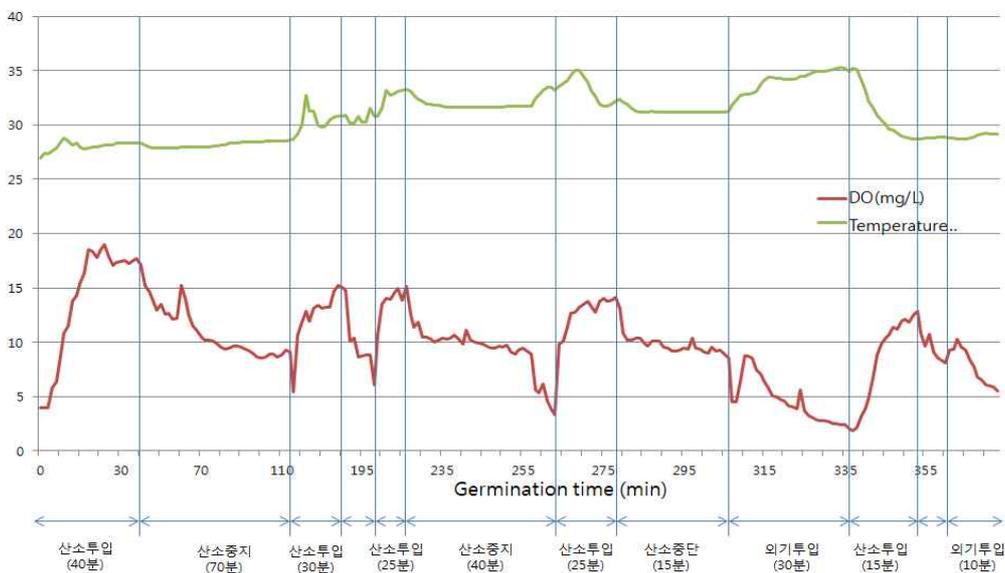
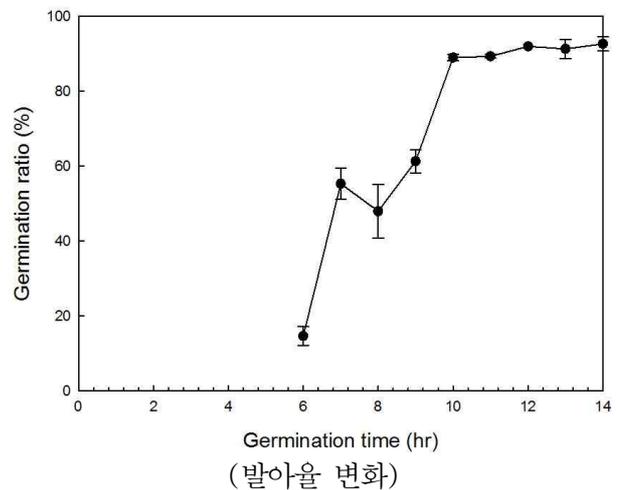
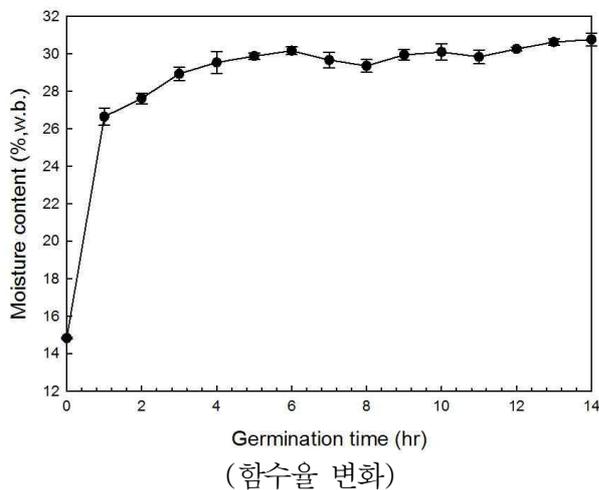


그림 2-1-2-56. 발아과정에서 산소공급에 따른 침지수의 용존산소량 변화

- 초기 현미의 함수율이 14.8%(±0.05)에서 침지 1시간 후 발아현미의 함수율은 26.7%(±0.46)까지 급격히 상승하였고, 그 후 침지과정 중 경과시간에 따라 천천히 증가하는 경향을 나타내었으며, 침지가 종료되는 6시간 후 함수율은 30.2%(±0.21)이었고, 상온노출시 함수율은 29.4~30.8%를 유지하였음
- 발아율은 발아(침지) 6시간 후 14.7%(±2.50)이었으며, 상온노출후 2시간이 경과한 총 8시간 후에는 급격히 상승하여 48.0%(±7.26)을 나타내었으며, 이후 4시간이 경과한 총 10시간 후에는 90%(±0.82)까지 상승하였으며, 그 이후에는 경과시간 총 14시간까지 그다지 증가하지 않았음
- 발아싹의 크기는 침지가 종료된 약 6시간 후에 0.2mm(±0.09)정도를 나타내었고, 총 10시간 후에는 0.6mm(±0.12), 14시간 후에는 0.9mm(±0.14)수준에 도달하였으며, 발아과정에서의 GABA 함량은 초기에 7.93mg/100g이었으며 4시간 후에 8.36mg/100g, 6시간 후에 8.87mg/100g, 14시간 후에 9.37mg/100g로서 증가하는 경향($R^2=0.57$)을 나타내었으나, 전술한 실험실 실험결과보다는 낮게 나타났다음
- 2차 현장실험 결과에서 알 수 있듯이 발아율 및 발아싹의 크기 등은 침지후 노출방식으로 충분히 목표치를 달성할 수 있을 것으로 판단되었으나, GABA 함량에 대해서는 일정한 목표를 달성할 수 있다는 확신이 부족하였음. 이는 앞에서 조사한 연구자별 GABA량에 큰 차이가 발생하였는데 이 같은 차이가 품종(단백질 함량 및 glutamic acid함량) 및 제조조건 이외의 측정방법 등에 의한 차이에 의한 것인지 불명확하기 때문이며, 특히 GABA을 외부에 의뢰함에 따라 세부적인 조건별로 GABA 함량을 측정하기 어려워 판단이 더욱 어려웠음
- 이상의 결과와 같이 pilot 규모로 발아현미 대량제조시스템을 제작하여 1, 2차 현장실험을 실시한 결과, 실용화가 가능할 것으로 판단되어 상용화시스템 설계를 실시하고, 전북 익산소재 민간 RPC에 설치하여 운영조건을 정립하는 것으로 정리하였음



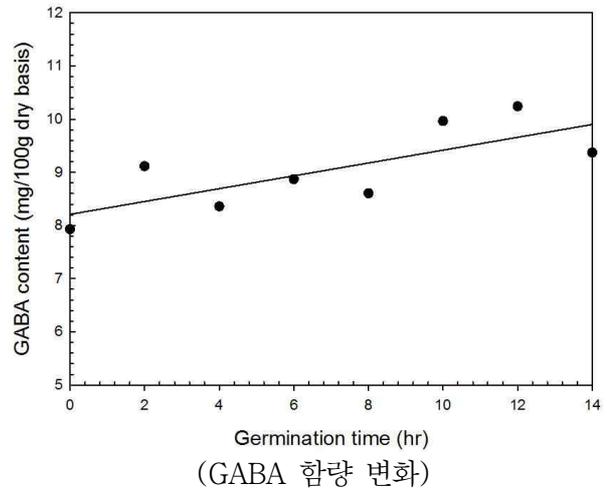
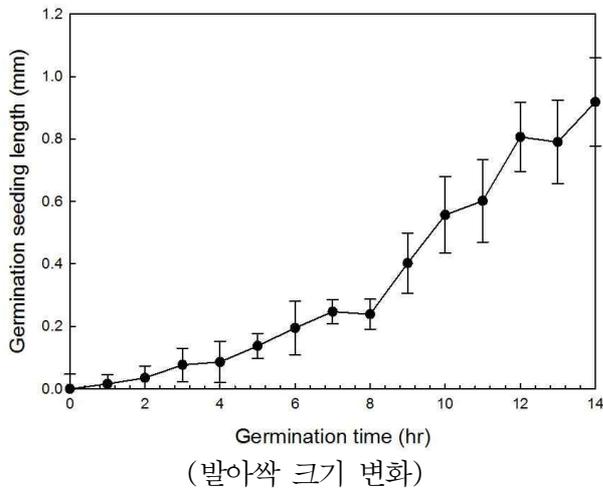
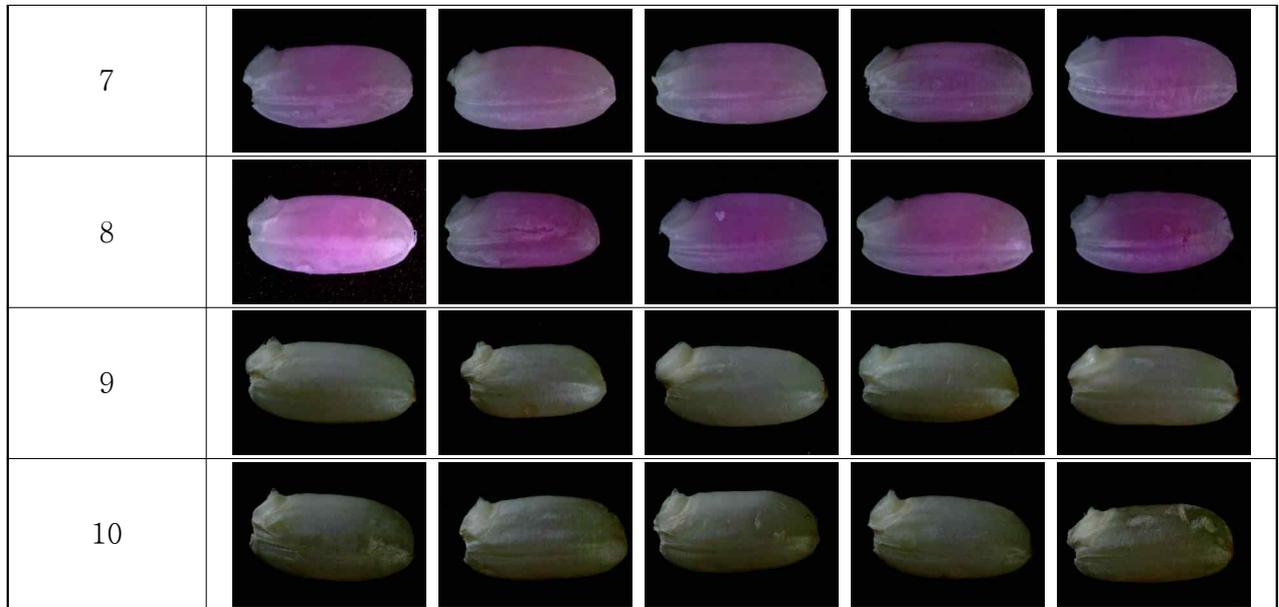


그림 2-1-2-57. 발아과정에서 품질변화(2차 현장 실험)

표 2-1-2-24. 발아시간에 따른 발아현미의 이미지

발아시간(hr)	발아현미 영상				
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					



② 공정 및 운영방법 정립

- 발아현미제조시스템의 주요공정 구성은 투입-세척-발아(침지+대기노출)-살균-탈수-건조공정으로 서, 현미를 투입한 후 수도수로 이물질 등을 제거하기 위하여 세척한 후 발아공정으로 이송시킨 후, 현미가 충분히 침지되도록 수온이 조정되면서 micro bubble수준의 미세산소기포로 용존산소농도가 유지된 수도수를 가수한 다음, 침지수를 일부 배수하면서 수온과 용존산소농도가 유지된 신선한 수 도수를 가수하여 용존산소농도의 유지, 현미의 수분흡수로 인한 침지수 부족해소, 이취 및 미생물 증 가가 최소화되도록 공정 구성이 필요하였으며, 이 때 총 소요시간은 약 16시간 수준이었음

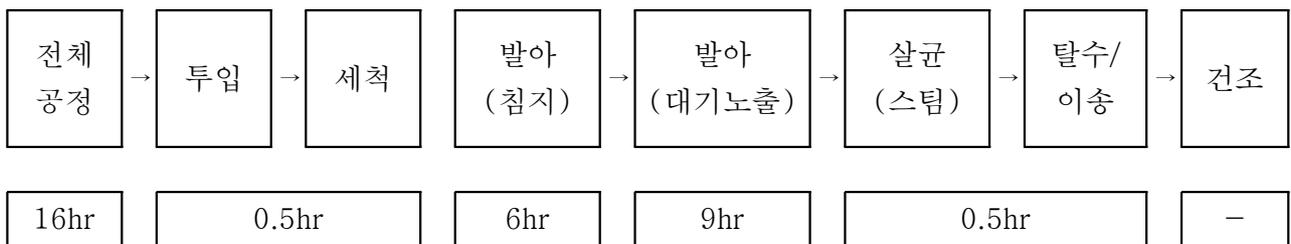


그림 2-1-2-58. 발아현미 연속식 대량제조시스템의 적정 공정 및 처리소요시간

- 수용성인 GABA의 용출을 최소화하기 위하여 1차 침지에 의한 발아가 종료된 후 발아현미를 제외한 침지수만을 하부로 완전히 배출한 다음, 수온이 조정되면서 용존산소농도가 높은 수도수를 미량 가 수하고, 산소농도가 높은 공기를 순환시키면서 2차 대기노출식으로 발아가 이루어지도록 다음 표와 같은 공정이 바람직하였음

표 2-1-2-25. 발아현미 연속식 대량제조시스템의 적정 운영방법

주요공정	운영방법
발아방법	- 표준방법 : 침지(6시간)+대기노출(9시간) - 수정방법 : 침지(8시간)+대기노출(7시간), 현미품질이 낮을 경우
침지중 용존산소공급	- 침지 중 용존산소 공급 : 산소공급 20~30분 + 산소차단 20~30분
대기노출중 용존산소 및 수분공급	- 대기노출과정에서 산소 및 수분공급 : 1시간 간격으로 2분간 공급 - 산소 및 수분공급으로 함수율 유지 및 발아율 촉진 - 이취발생 최소화 효과
발아수 온도	- 외기온도가 22℃ 이상에서는 온도조절 불필요 - 발아수 온도는 22℃ 이상 유지
살균공정	- 100℃이하에서 1분 이내
건조공정	- 순환식건조기 건조온도 30~40℃

- 대기노출에 의한 2차 발아과정이 종료되면 발아조를 밀폐한 다음, 살균온도가 100℃가 되도록 발아조 하부에 고온·고압의 스팀을 약 30초간 공급하여 발아현미의 표면에 잔류하고 있는 미생물 등을 설계방향에서 제시한 목표치까지 살균하도록 공정을 구성하는 것이 필요하였음
- 살균 후 발아현미를 하부로 배출하며, 수분이 높은 발아현미는 자연배출에 한계가 있을 것으로 판단되어, 자연배출 후 잔곡이 발생할 경우 상부에 설치되어 있는 물 공급노즐을 통해 공급되는 물과 발아현미가 같이 배출되도록 공정구성이 필요하였음
- 발아현미가 배출된 후 표면에 잔류하고 있는 잔류수의 제거를 통해 유동성과 건조공정의 효율성을 높이기 위하여 탈수공정이 필요하며, 탈수공정은 발아현미를 1차로 송풍기에 의해 상온의 공기로 표면수를 제거하고, 2차로 상온의 공기를 약 5℃ 정도 높여 표면수를 제거할 수 있도록 공정을 구성하는 것이 필요하였음
- 표면수가 제거된 함수율 약 30% 수준인 발아현미는 유통 또는 도정에 필요한 함수율인 15% 이하로 건조가 되도록 건조공정을 구성하며, 건조기는 순환식건조기(약 3ton/batch)가 적정하였으며, 건조가 종료된 발아현미는 통상적인 RPC수준에서 품질관리에 사용되고 있는 진동체선별기를 사용하여 건조시 탈락하는 발아부분 등 이물질질을 선별한 다음, 계량 및 포장할 수 있는 공정으로 구성하되, 원료현미에 대한 사전의 제반 선별과정과, 발아현미의 건조공정 이후의 제반 처리공정은 발아현미가 설치되는 RPC의 여건에 따라 임의 조정이 가능하도록 구성하는 것이 필요하였음

마. 발아현미 대사체분석

(1) 공시재료

- 실험에 사용한 시료는 2차 운영실험과 동일한 2016년산 신동진 품종으로 초기현미 및 발아과정에서 4, 8, 12, 16, 24, 32, 40 및 48시간 후 시료를 채취하였음
- 초기 및 발아시간 별 시료는 동결건조기에서 72시간 동결건조 후 500 μ m의 cyclone mill(Cyclotec, Foss, Denmark)로 분쇄한 후 -80 $^{\circ}$ C에 보관하면서 실험에 사용하였음

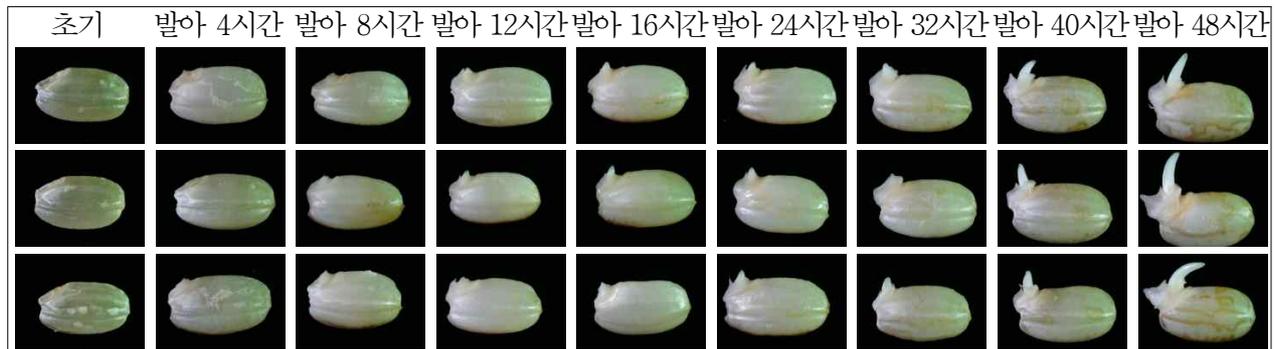


그림 2-1-2-59. 대사체분석에 사용한 발아현미 시료

(2) 실험방법

(가) 시료추출

- 시료에서 대사물질들을 추출하기 위하여 동결 건조한 쌀 시료 powder를 50% methanol로 혼합한 후 bullet blender(Next Advance, NY, USA)로 추출하였음. 원심분리 후 상층액은 by a centrivap concentrator Speedvac(Labconco Co., MO, USA)를 이용하여 완전히 건조하였고, 건조시료는 UPLC-Q-TOF MS(Waters, USA) 분석을 위해 표준물질(terfenadine)이 들어있는 50% methanol로 다시 녹여냈으며 GC/MS 분석을 위해서는 유도체화 시약으로 녹여냈음

(나) LC/MS 분석

- 시료의 대사체 추출물은 Waters Acquity UPLC-Q-TOF(Xevo G2-S, Waters, Milford, USA)를 이용하여 분석하였음. 시료추출물은 Acquity UPLC BEH C18 column(2.1 mm \times 100 mm, 1.7 μ m; Waters)에 주입하였으며 이동상은 0.1% formic acid를 함유하고 있는 물과 0.1% formic acid를 함유하고 있는 ACN으로 flow rate는 0.3 mL/min이며 분석시간은 9분이고 컬럼온도는 40 $^{\circ}$ C 이었음
- 컬럼으로 통과하여 나온 eluents는 positive electrospray ionization(ESI) mode를 갖고 있는 TOF MS로 분석하였으며 TOF MS data의 scan range는 100-1500 m/z, scan time은 0.2 s, capillary와 sampling cone voltages는 3 kV와 40 V, desolvation flow rate는 800 L/h, desolvation 온도는

300°C, source 온도는 100°C 이었음

- Leucine-enkephalin([M+H] = 556.2771)는 lack mass을 위한 reference compound로 사용되었으며 10 s당 분석되었고 모든 시료들을 혼합하여 만들어진 quality control(QC) 시료는 매 10개 분석 후 분석하였음. MS/MS spectra은 collision energy ramp(10 to 45 eV), m/z 50-1500 조건하에서 획득하였고, m/z, retention time, ion intensity를 포함하는 mass spectrometry data 프로세싱은 MakerLynx software(Waters)을 사용하여 진행하였음

(다) GC/MS 분석

- 추출물을 CentriVap vacuum concentrator(LABCONCO Co., Kansas City, MO, USA)을 이용하여 완전히 건조시킨 후, methoxyamine hydrochloride과 N,O-bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide (BSTFA)를 사용한 silylation의 방법을 이용하였음
- Internal standard로 사용한 dicyclohexyl phthalate가 첨가된 pyridine과 methoxyamine hydrochloride을 넣고 70°C에서 90분간 반응시켰으며, 상온으로 냉각 후 BSTFA을 첨가하고 40°C에서 50분간 반응시킨 유도체화된 추출물은 vial에 옮겨 담아 GC/MS로 분석하였음. 유도체 된 시료 1 uL는 DB-5 column (30 m × 0.25 mm id, 0.25 μm film thickness; J & W Scientific, USA)이 연결된 GC로 주입하여 분석을 진행하였음
- Carrier gas로 사용된 helium은 1 mL/min 유속으로 흘러 보냈으며 injector 온도는 200°C로 유지하였으며 초기 oven 온도를 80°C로 2분간 유지시킨 후 10°C min⁻¹ 비율로 320°C까지 증가시키고 동일 온도에서 3분간 유지시켰고, GC column을 통해 분석되어 나오는 물질들은 electron impact(EI) ionization mode (70 eV)로 작동하는 Shimadzu GCMS-TQ 8030(Tokyo, Japan)로 분석하였음
- Ion source와 interface 온도는 각각 230°C와 280°C였으며 GC column을 통해 분석되어 나오는 물질들은 full scan mode(m/z 45-550)로 모니터링 되었으며 scan event time과 scan 속도는 각각 0.3 sec와 2000 u/sec이었고 Detector voltage은 0.1 kV이고 threshold은 100를 사용하였음

(라) 데이터 및 통계처리

- UPLC-Q-TOF MS를 이용하여 얻어진 LC-MS data의 collection, normalization, alignment는 MarkerLynx 프로그램을 이용하여 진행하였음. Peak-to-peak baseline noise, noise elimination, peak-width(5% height of 1 s), intensity threshold(10,000)를 이용하여 peaks을 얻었으며 mass window(0.05 Da)와 retention time window(0.2 min)를 이용하여 metabolite data 을 alignment하였음
- 모든 data는 표준물질을 이용하여 normalization하였으며, 대사물질들은 ChemSpider(www.hemspider.com), human metabolome databases(www.hmdb.ca), METLIN database (metlin.scripps.edu) 및 표준물질들을 사용하여 동정하였음

- GC/MS data는 AnalyzerPro를 이용하여 분석하였으며 분석된 물질의 동정을 위해 GC/MS databases (NIST 11과 Wiley 9 mass spectral libraries)와 n-alkanes를 이용하여 계산된 retention indices (RIs)와 kovalts indices(KIs)를 이용하였음
- IMCA-P+version12.0.1(Umetrics, Umeå, Sweden)는 MarkerLynx와 AnalyzerPro를 통해 프로세싱된 LC/MS data와 GC/MS data의 통계분석을 위해 사용되었음. 특히 Partial least squares discriminant analysis(PLS-DA)는 분석한 결과를 시각화하기 위하여 사용되었음. 분석된 PLS-DA를 평가하기 위하여 R2X, R2Y, Q2, permutation test를 사용하였으며 R2X와 R2Y는 goodness of fit measure, Q2Y는predictive ability, permutation test는 PLS-DA를 교차검증하였음. 또한 대사물질의 relative abundances는 SPSS 17.0(SPSS Inc., Chicago, IL)의 one-way analysis of variance (ANOVA) with Duncan's test ($p < 0.05$)를 이용하여 분석하였음

(3) 실험결과

(가) LC/MS 분석

- 시료를 추출하여 LC/MS 분석한 chromatogram은 그림 2-1-2-60과 같으며, 분석된 데이터를 이용하여 다변량통계분석방법으로 분석한 결과는 그림 2-1-2-61과 같이 발아가 진행되는 시간에 따른 모든 시료들이 유의적으로 분리되는 것을 PLS-DA 상에서 알 수 있었으며, Permutation test(그림 2-1-2-61)를 통하여 이와 같은 PLS-DA 결과가 통계적으로 의미를 가진다는 것을 확인하였음

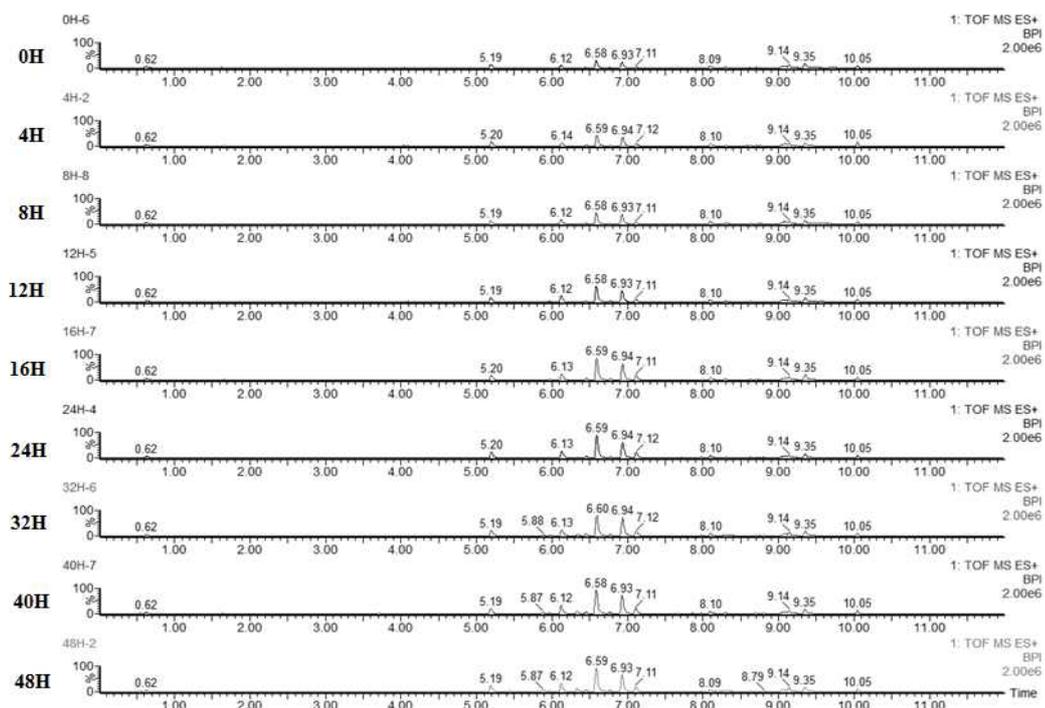


그림 2-1-2-60. LC/MS 분석결과(Chromatogram)

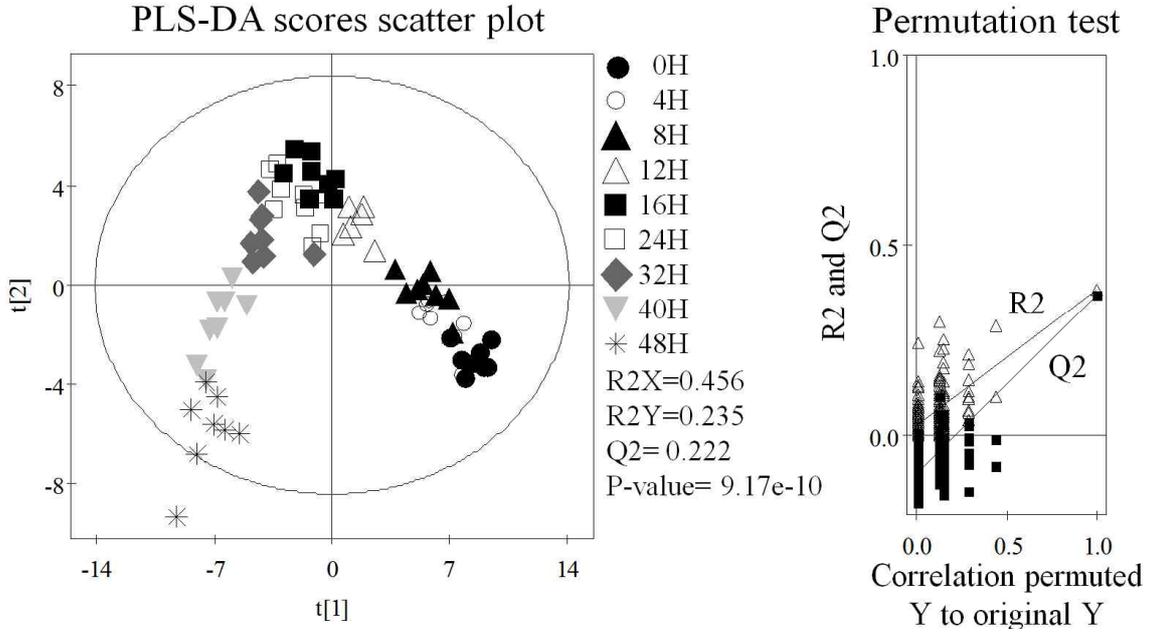
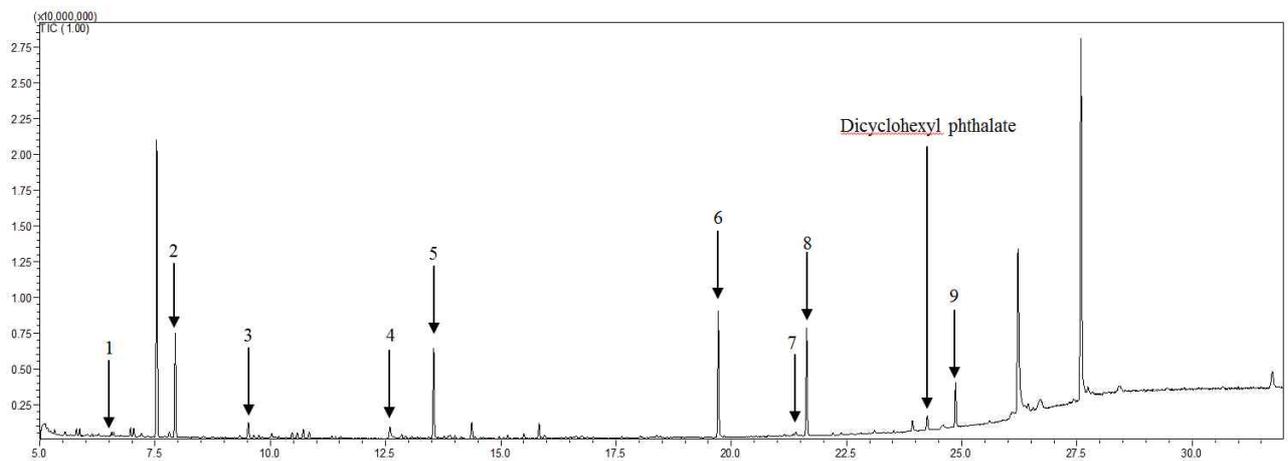


그림 2-1-2-61. LC/MS 분석 데이터를 이용한 PLS-DA 및 Permutation test 결과

(나) GC/MS 분석

○ 시료를 추출하여 GC/MS 분석한 chromatogram은 그림 2-1-2-62와 같으며, 분석된 데이터를 이용하여 다변량통계분석방법으로 분석함 결과는 그림 2-1-2-63과 같이 LC/MS에 비교하였을 때 뚜렷한 분리는 보이지 않았지만, 시간별로 차이는 나타내는 것을 PLS-DA 상에서 알 수 있었으며, Permutation test(그림 2-1-63)를 통하여 이와 같은 PLS-DA 결과가 통계적으로 의미를 가진다는 것을 확인하였음



1, lactic acid 2TMS; 2, oxalic acid TMS; 3, trimethyl dodecane; 4, diacetylbenzene; 5, butylhydroxytoluene; 6, hexadecanoic acid TMS; 7, oleic acid TMS; 8, octadecanoic acid TMS; 9, sucrose

그림 2-1-2-62. GC/MS 분석결과(Chromatogram)

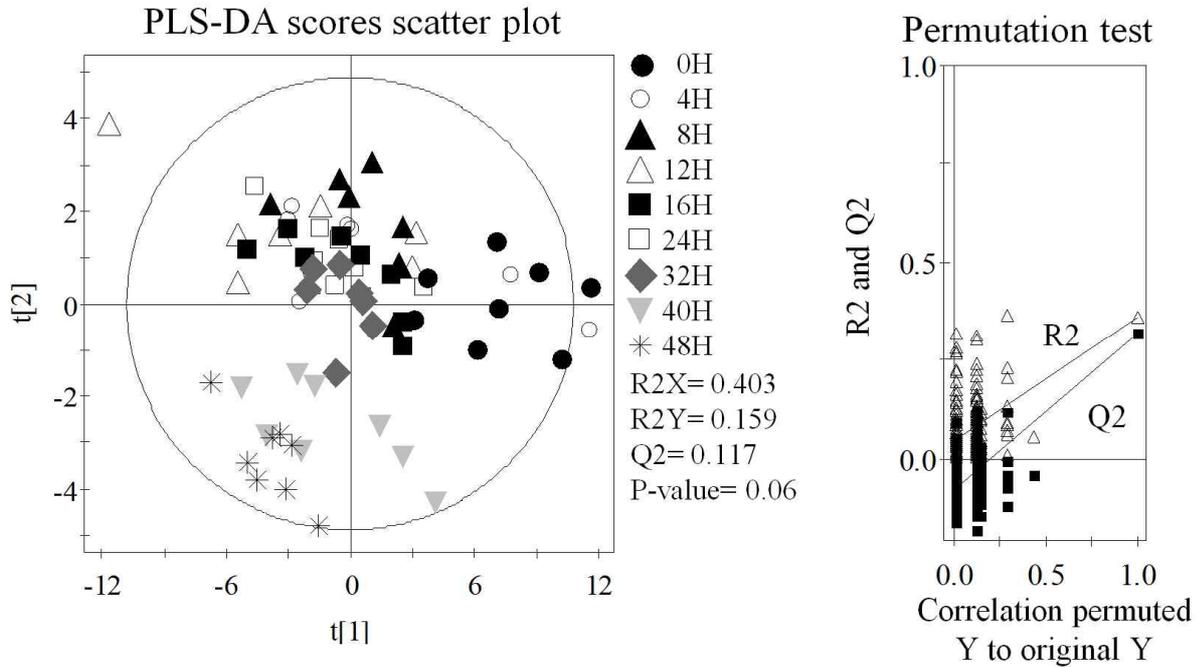


그림 2-1-2-63. GC/MS 분석 데이터를 이용한 PLS-DA 및 Permutation test 결과

○ 그림 2-1-2-63의 PLS-DA 상에서와 같이 시료들 사이의 분리에 관여하는 물질들은 lactic acid, oxalic acid, trimethyldodecane, diacetylbenzene, butylhydroxytoluene, hexadecanoic acid, oleic acid, octadecanoic acid, sucrose로 동정되었으며, 각 물질들의 분석결과는 다음의 표와 같았음

표 2-1-2-26. 발아현미 시료(9점)간의 분리에 관여하는 물질

No.	RT(min)	Compound	RI	VIP	p-value
1	6.6	lacticacid 2TMS	1051	0.90	4.24E-02
2	7.9	oxalic acid TMS	1134	0.68	2.96E-02
3	9.7	trimethyldodecane	1240	0.79	3.49E-02
4	12.6	diacetylbenzene	1437	0.90	1.27E-02
5	13.5	butylhydroxytoluene	1507	1.17	2.24E-07
6	19.7	hexadecanoicacid TMS	2040	2.99	2.38E-29
7	21.4	oleic acid TMS	2207	1.96	3.76E-10
8	21.6	octadecanoicacid TMS	2237	0.84	6.55E-03
9	24.8	sucrose	2613	1.72	1.84E-31

○ 그림 2-1-2-64는 동정된 물질들의 relative abundance를 비교한 그림을 box plot 및 heat map으로 나타낸 결과로서, 각 물질들이 시료간에 함량에 차이가 뚜렷이 있음을 알 수 있었음

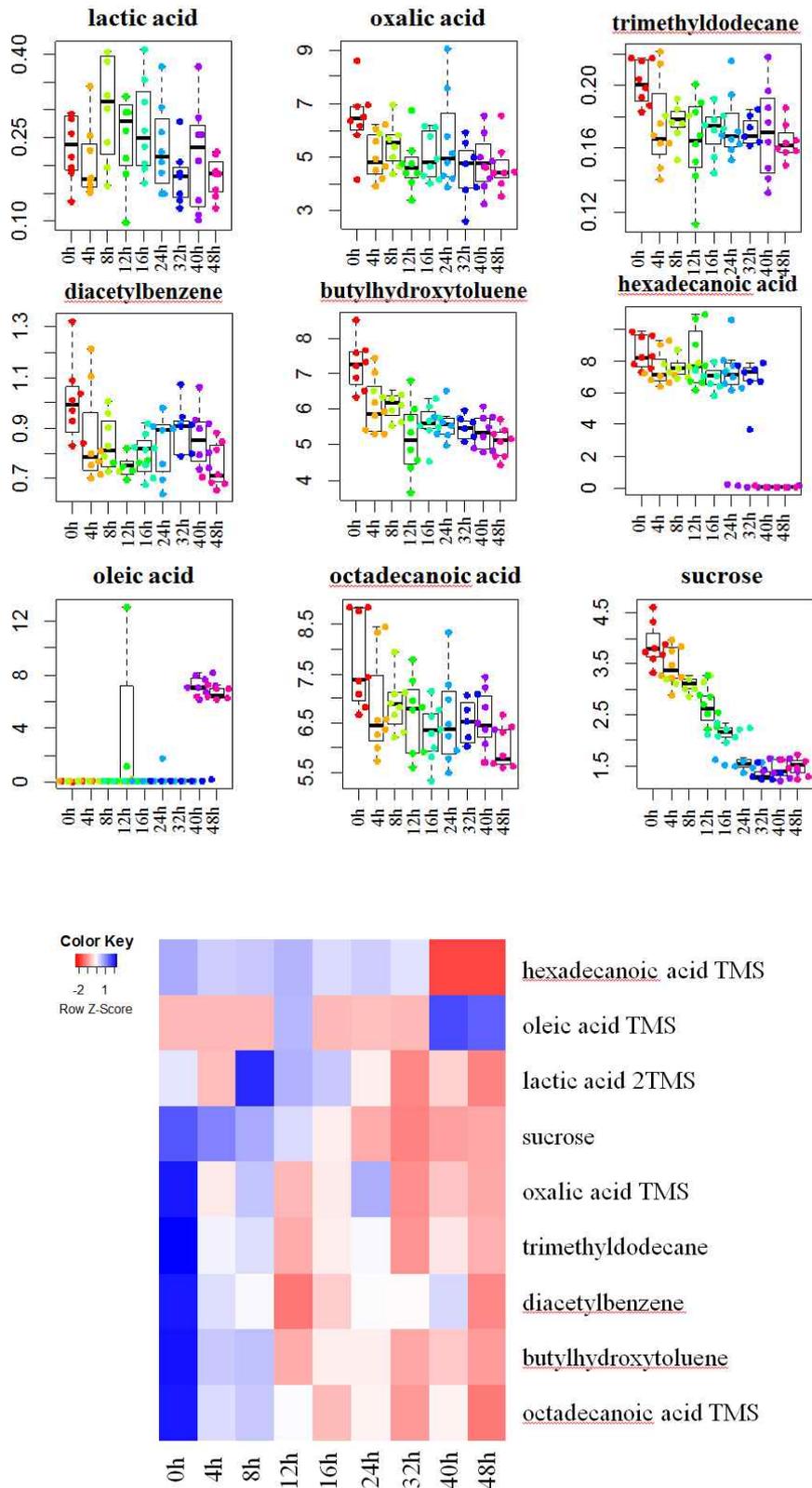


그림 2-1-2-64. GC/MS로 분리한 물질들의 box plot 및 heat map 결과

바. 발아현미 연속식 대량제조시스템 보급

- 본 연구에서는 국내외의 발아현미의 유통형태, 제조형태 등에 대한 조사와, 제조조건이 품질에 미치는 영향 및 제조조건구명을 통해 확립한 설계인자를 기반으로 RPC에 사용가능한 pilot 규모의 발아현미 연속식 대량제조시스템을 본 연구과제의 참여기업인 IGSP와 공동으로 설계하고, 시작품을 제작하여 1, 2차에 걸쳐 현장에서 성능을 측정하고 보완하였으며, 1, 2차 현장실험을 실시한 결과, 실용화가 가능할 것으로 판단되어 상용화시스템 설계를 실시하였음
- 또한, 발아현미 연속식 대량제조시스템의 상용화를 위해 지적재산권(2017.08.29., 발아 현미의 제조방법, 10-2017-0109594)확보 및 유상기술이전(2017년 12월, 기술이전명: 발아현미 대량제조기술)을 실시하였음
- 상용화 제품은 전북 익산소재 민간RPC(농식품부 고품질쌀유통활성화사업의 2017년 사업대상업체로 선정)와, 제조회사 및 본 연구팀이 공동으로 처리능력 등을 설계하였으며, 전술한 현장실험에서 다소 부족한 운영조건은 현장에서 추가적으로 실시하여 가능한 적정 운영조건을 정립하는 것으로 협의하였음
- 상용화 제품의 규모는 본 연구를 통한 국내외 유통 발아현미 및 제조시설의 조사결과와, 제조조건 구명을 위한 제반 실험결과, 연속식 대량제조시스템 시작품 현장성능실험, 47개소의 2ndG RPC의 공정 분석결과, 관련사업인 농식품부의 고품질쌀유통활성화사업(고품질쌀브랜드유통)의 사업지침서 및 시설구비사항 등을 종합적으로 고려하여 발아탱크의 처리능력을 3ton/batch로 하였음
- 상용화 시스템의 세부설계에서 시스템의 공정구성, 설치 공간 및 동력계획 등에 대한 설계(그림 2-1-2-65)는 설계회사인 대주종합기술단이 대상사업체 RPC와 협력하여 시공회사인 (주)IGSP와 실시하였으며, 본 연구진이 자문하였음
- 현재 전북 익산소재 민간 RPC의 현장 상황을 충분히 검토한 후 설치를 위한 상세설계가 반영되어 설치장소에 토목 및 건축공사가 80% 이상 완료되었고, (주)IGSP에서 단위기계 및 설비류를 제작 중에 있음. 2018년 11월부터 설치장소에 기계 및 설비류를 설치할 계획에 있으며, 설치가 완료되면 상용화된 제품을 대상으로 현장실험을 실시하여 성능평가 및 적정 조건을 정립할 예정임

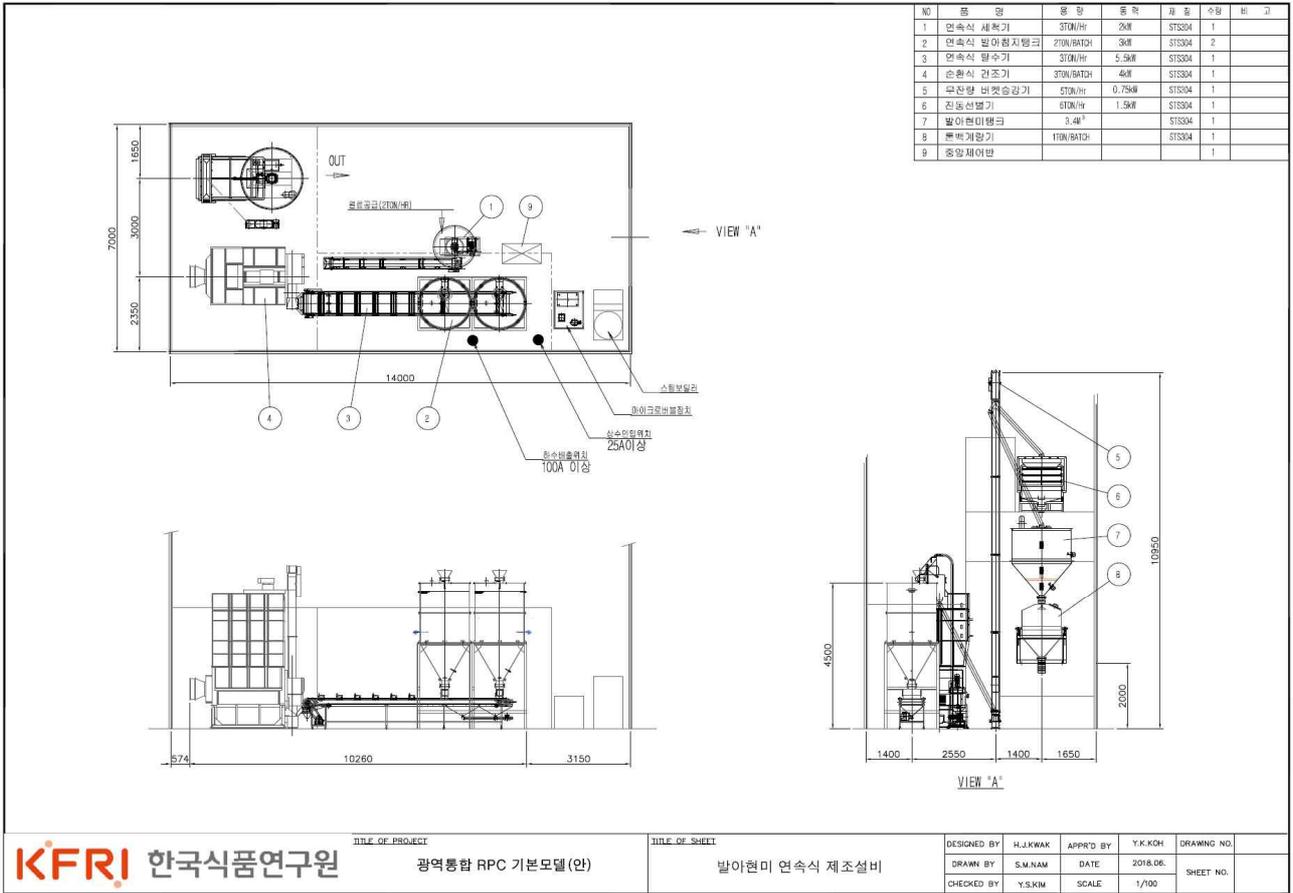


그림 2-1-2-65. 발아현미 연속식 대량제조시스템 상용화 시스템(전북 익산소재 민간 RPC 적용 모델) 기본설계

3. 클린라이스

- 우리나라에서 “무세”(등록번호 4003526710000, 1996. 12. 27, 출원인 옥경호)와 “씻어나온쌀”(등록번호 4005242630000, 2002. 7. 3, 출원인 (주)라이스텍)은 상표등록 되어있고, “무세”의 지정상품 중에 “쌀”이 포함되어 있어 사용에 한계가 있어 김 등(2013)이 “씻지 않고 취반이 가능한 백미”(Yamashita, 1993)개념을 가진 클린라이스(Clean rice)로 칭하자고 제안하였으며, 본 연구에서 클린라이스는 “무세미”, “씻어나온쌀”, “씻은쌀” 등과 유사한 의미임. 클린라이스 즉, 무세미는 일본에서 출발한 특수가공미로서 본 연구에서는 일본의 자료를 인용하는 부분이 많아 무세미와 클린라이스를 혼용함
- 클린라이스에 관하여 본 연구팀도 “클린라이스 품질기준설정 및 제조시스템 개발”(IPET, 연구책임자 김의웅)에 관하여 2007. 7월부터 3년간에 걸쳐 선행연구를 실시한바 있으며, 이 연구를 통해 클린라이스의 품질기준을 설정하였고, 제조기술을 기업(한국토요)에 기술이전하였으나, 상용화 제조시스템은 과제의 연구내용이 아니었음
- 최근 1인당 쌀 소비량의 감소는 물론, 1인가구의 증가로 편리성이 강조되고 있고, 단체급식, 식당 등 대량소비처에서 세미를 생략할 수 있는 클린라이스를 찾는 경우가 증가하고 있으며, 영양강화미 및 혼합미의 제조시 세척된 원료를 사용하게 됨에 따라 RPC에서 클린라이스 대량 제조시스템의 수요가 증가하고 있음
- 따라서 본 연구에서는 RPC에서 사용이 가능한 클린라이스 연속식 대량제조시스템의 개발을 목표로 연구를 추진하였으며, 이를 위해 기존의 클린라이스에 대한 보고서, 논문 및 특허 등 선행기술은 물론, 일본의 품질기준에 대해서도 조사하였고, 실제 클린라이스를 제조하는 RPC를 방문하여 제조시스템에 대해서도 조사하였으며, 연속식 클린라이스 대량제조시스템을 개발하여 현장실험을 실시하고, 현장에서 용이하게 품질을 측정할 수 있는 클린라이스 품질측정방법을 정립하였으며, 연구결과를 토대로 지적재산권(특허출원, 2017.11.01., 특허명 : 클린라이스의 제조 및 판정방법) 및 유상기술이전(2016년 12월, 이전기술명: 클린라이스 생산 및 품질관리 기술)을 하였으며, 그 결과는 다음과 같았음



그림 2-1-3-1. 국내의 1인 가구 비중

가. 클린라이스 품질 및 제조조건 조사분석

(1) 조사방법

- 전술한바와 같이 본 연구팀이 “클린라이스 품질기준설정 및 제조시스템 개발”(IPET, 연구책임자 김 의웅)에 관하여 2007. 7월부터 3년간에 걸쳐 선행연구를 실시한바 있어 대부분의 관련 현황은 조사 분석이 완료되어 있으나, 선행연구가 종료된지 약 7년 이상이 경과되어 추가조사를 실시하였음
- 클린라이스에 대한 연구현황은 과학기술정보통신서비스(NDSL, www.ndsl.kr)를 통해 조사하였으며, 일본의 무세미기준 등은 선행연구 이후에 변동이 있는지를 조사하였음. 또한, 인터넷 및 서울근교 대형마트 등을 통해 클린라이스 제품을 수거하면서 동시에 판매되는 일반미와의 가격을 비교하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

(2) 결과 및 고찰

(가) 클린라이스에 대한 선행연구

- 일본에서 사용하는 ‘무세미(無洗米)’라는 용어는 佐竹利彦(1988)의 “近代精米技術に関する研究”에서 “쌀을 씻지않고 물을 가해서 취반하는 백미를 말한다”로 사용한 것이 최초로 알려져 있으며, 무세미는 일본에서 개발·발전된 기술로서 무세미의 발전과정은 일본 정미기술의 발전과정과 연계되어 있는데, 쌀을 씻는 것을 淘洗라는 표현을 사용하였고(二瓶貞一, 1941), 1955년까지 미곡업계에서는 淘洗가 불필요한 백미를 不淘洗米라는 용어를 사용하였음(桂木優治, 2003)

표 2-1-3-1. 일본의 무세미 발전과정

구 분	내 용
1955년	· 소비자의 쌀에 대한 기호도가 높아졌으나, 기술적 및 유통개선의 문제 제기
1960년	· 고도성장시대, 소형정미에서 대형정미공장으로 근대화된 정미공장 건설
1970년 ~ 1980년	· 쌀품질 추구, 고성능 정미시스템 개발 - 1975년 : “클린라이트(クリーンライト)”보급 - 1977년 : 제 2차 배아정미시대 (습식연미기는 배아정미기로 널리 사용)
1990년	· 1991년 : 사타케사에서 가수정미방식 무세미장치인 JF(ジフライス)개발 · 1993년 : 역사적 대홍작 · 1994년 : 무세미 시장 감소 (약 250만톤의 외국산 쌀 대량 수입) · 1997년 : 무세미제조장치 제작 (무세미 판매 주력)
2000년	· 2001년 : 무세미 판매 급격 신장 · 2003년 : 약 10개사 무세미제조장치 생산 및 약 529개소 설치

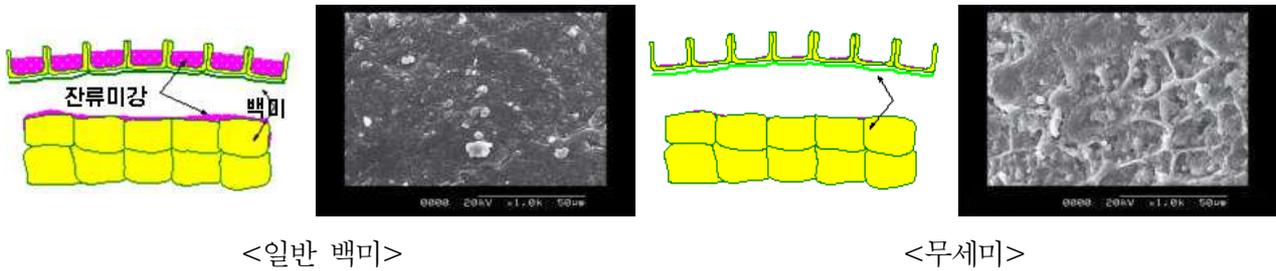


그림 2-1-3-2. 무세미의 개념도

- ‘클린라이스’에 대한 연구현황 조사(검색 DB : 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr), 검색어 : 클린라이스, 무세미, 씻어낸쌀) 결과, 관련 논문은 11건, 보고서는 3건 검색되었으며, 클린라이스 제조방식과 관련하여 시스템은 물론 저장기간 및 품질저하 등에 관한 연구결과가 일부 보고되어 있었음

표 2-1-3-2. 클린라이스 관련 주요 논문 및 보고서

구분	제 목	저 자	학회지/보고서
1	논문	백미 제조방식에 따른 저장특성	김의웅, 김훈, 한재웅, 이효재 한국식품저장유통학회, 21(3): 308-314 (2014)
2	논문	無洗米処理により生じるアリューロン糠中のタンパク質の食品機能特性	Tanimoto Shota, Hode Kazumasa, Kawakami Koji 日本食品科学工学会誌(Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology), 58(11): 531-536 (2011)
3	논문	RPC에서 효율적인 도정을 위한 백도조건 결정	김의웅, 김훈, 김동철, 김상숙 바이오시스템공학, 30(4): 242-248 (2005)
4	논문	분무수세 건조한 무세미와 부산물쇄립의 쌀가루 특성	최소연, 이상효, 이영택 한국식품영양과학회지, 34(7): 1098-1102 (2005)
5	논문	분리막을 이용한 쌀뜨물내 유효성분의 회수	정건용, 박성희 멤브레인, 12(3): 165-170 (2002)
6	논문	씻지 않는 쌀의 가공 공정 개발 (1) - 질량수지 분석 -	장동일, 한우석, 김동철, 이상효 바이오시스템공학, 24(4): 317-324 (1999)
7	학위논문	무세미 가공시스템 개발	최희석 성균관대학교 박사학위논문 (2003)
8	학술대회	무세미 조제시스템 개발	최희석, 박희만, 정성근, 홍성기 등 한국농업기계학회 하계학술대회, pp.253-258 (2003)
9	학술대회	Virtual Prototyping을 이용한 연속식 자동진공포장기 개발 -기구학적 분석	엄천일, 정종훈, 이종욱, 이갑현 한국농업기계학회 동계학술대회, pp.118-124 (2003)
10	학술대회	무세미 조제시스템 개발	최희석, 박희만, 정성근, 홍성기 등 한국식품저장유통학회 국제학술심포지움, pp.174-175 (2003)
11	보고서	벼의 수확후 처리·가공기술개발(씻지않는쌀 제조설비의 국산화 및 실용화기술개발)	김동철, 이상효, 김의웅, 김상숙 등 한국식품연구원(2000)
12	보고서	클린라이스 품질기준설정 및 제조시스템개발	김의웅 등 한국식품연구원 (2010)

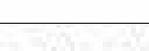
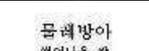
- 우리나라에서 클린라이스와 연관된 실용화 연구는 2건 정도에 불과한데, 최초 연구는 IPET의 기획 과제로 추진된 “벼의 수확후 처리·가공기술 개발”(2000, 총괄연구책임자 김동철)의 세부과제로 진행된 “씻지 않는 쌀 제조설비의 국산화 및 실용화 기술개발”(세부연구책임자 이상효)로서 가수정미 방식의 클린라이스 제조시스템을 개발하여 벤처기업(라이스텍)을 창업하여 현재까지도 제품을 생산하고 있음
- 또한, 2번째 의미 있는 연구로는 IPET 자유공모과제로 한국식품연구원과 농촌진흥청 국립농업과학원이 공동으로 수행한 “클린라이스 품질기준 설정 및 제조시스템 개발”(2010, 연구책임자 김의웅)으로서, 우리나라의 클린라이스 품질 및 제조기준을 설정하여 공청회를 거쳐 정립하였으며, 건식 클린라이스 제조기술을 개발하여 2014년 한국도요에 기술이전한 바 있었으나 RPC에 사용가능한 연속식이 가능한 대량제조시스템으로의 상용화제품은 개발되지 못하였음
- ‘클린라이스’에 대한 특허 검색(검색 DB : 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스, www.kipris.or.kr), 검색어 : 클린라이스, 무세미, 씻어나온쌀) 결과, 51건이 검색되었고, 대표적인 특허는 다음과 같았음

표 2-1-3-3. 클린라이스 관련 주요 특허

	구분	발명의 명칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	특 징
1	등록	무세미의 제조방법 및 그 장치	토요라이스 클리닝머신 컴퍼니리미티드	101105968	2012.1.6	· 정백미를 가열, 고압, 열풍, 압축공기
2	등록	즉석도정 정량보급기	전병현	101087181	2011.11.21	· 미곡투입, 도정, 미강분리, 무세미처리상태로 저장 후 정량보급시 편의성 도모
3	등록	탈지겨를 이용한 청정미의 제조장치 및 제조방법	가부시키가이샤 굿도라이프	100766163	2007.10.4	· 탁도표준치 유지 · 장기보존기능 · 장치규모축소
4	등록	탁도 자동 측정장치	대한민국 (농촌진흥청장)	101211525	2012.12.6	· 쌀, 보리, 옥수수 청결도 추출용매 투입하여 분광측정기에 자동측정
5	등록	세라믹 정미기의 로터 연삭장치	김진수	101102507	2011.12.28	· 저압의 괭박제강방식 (세라믹 또는 그라인더로터 선택적 교환)
6	등록	정미기	나용욱	101483762	2015.1.12	· 무세미를 가공할 수 있는 정미
7	등록	절삭 링 및 이를 구비한 정미기용 절삭 링 조립체	나용욱	101342998	2013.12.12	· 무세미 가공할 수 있는 정미기 · 일정한 두께링, 복수의 절삭통로, 쌀겨 배출 및 냉각

- ‘클린라이스’에 대한 상표등록 검색(검색 DB : 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스, www.kipris.or.kr), 검색어 : 클린라이스, 무세미, 씻어나온쌀) 결과, 무세미 4건, 씻어나온쌀 16건으로 총 20건이 검색되었으며, 대표적인 상표는 다음과 같음

표 2-1-3-4. 클린라이스 관련 대표적인 등록상표

구분	명 칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	상 표
1	등록 건식무세미 시설에서 새롭게 태어났습니다. 옥토진미 살아있는 자존심이 '맛있는 쌀을 만듭니다 www.hoehyeon.co.kr	회현농업 협동조합	401059204	2014.9.18	
2	등록 미 무 건식무세미설비 옥토진미 진짜 맛있는 쌀은 자연이 알아봅니다. 우리땅에서 깨끗하게 자란 100%우리쌀 www.hoehyeon.co.kr	회현농업 협동조합	401059208	2014.9.18	
3	등록 수리청 옥각 무세미	남양농업 협동조합	400628507	2005.8.19	
4	등록 오뚜기 쌀눈이 있는 쌀	주식회사 오뚜기	401093626	2015.3.12	
5	등록 오뚜기 GABA쌀	주식회사 오뚜기	401093631	2015.3.12	
6	등록 오뚜기 눈이 살아있는 쌀	주식회사 오뚜기	401093627	2015.3.12	
7	등록 오뚜기 GABA미	주식회사 오뚜기	401093630	2015.3.12	
8	등록 오뚜기 가바쌀	주식회사 오뚜기	401093629	2015.3.12	
9	등록 오뚜기 가바미	주식회사 오뚜기	401093628	2015.3.12	
10	등록 오뚜기 쌀눈쌀	주식회사 오뚜기	401093625	2015.3.12	
11	등록 오뚜기 물만부어~ 한번에! 씻어나온 맛있는 오뚜기쌀 수정	주식회사 오뚜기	400893008	2011.12.5	
12	등록 물만부어~ 한번에! 오뚜기 씻어나온 맛있는 오뚜기쌀 프리미엄 골드 Premium Gold	주식회사 오뚜기	400892955	2011.12.5	
13	등록 오뚜기 물만부어~ 한번에! 씻어나온 맛있는 오뚜기쌀 골드	주식회사 오뚜기	400892977	2011.12.5	
14	등록 오뚜기 물만부어~ 한번에! 씻어나온 맛있는 오뚜기쌀 명품	주식회사 오뚜기	400724324	2007.9.19	
15	등록 오뚜기 물만부어~ 한번에! 씻어나온 맛있는 오뚜기쌀 진품	주식회사 오뚜기	400724325	2007.9.19	
16	등록 물레방아 씻어나온 쌀	(주)건강미곡 종합처리장	400686647	2006.11.22	
17	등록 오뚜기 씻어나온 맛있는 쌀	주식회사 오뚜기	400616598	2005.5.3	
18	출원 무세미 GABA 라이스	가부사끼가이 샤사따께	402014005 1895	2014.7.31	

(나) 클린라이스 제조 및 품질기준

- 일본의 경우, ‘무세미 제조장치에 의해 도정과정에서 형성된 미립표면의 호화층을 완전하게 제거하고, 쌀 표면에는 배유세포벽과 호화되지 않는 전분립만이 존재하고, 기타 어떤 부착물도 보이지 않는 정백미를 말한다’고 정의함(松田智明, 1990)
- 日本精米工業会, 全国無洗米協會에서 각각 다른 무세미 기준 및 측정방법이 있으며, 아직까지 통일된 기준 및 측정방법이 없으며, 일본곡물검정협회, 전국미곡협회, 일본정미공업회, 주부연합회, 농업협동조합연합회, 전국주식집하협동조합연합회, 전국미곡소매상업조합연합회, 전국미곡판매사업공제협조합 등 8개 단체로 구성된 米穀公正取引推進協議회에서 ‘쌀 품질표시 가이드라인’을 제정하여 제시하였음

표 2-1-3-5. 米穀公正取引推進協議회의 “쌀 품질표시 가이드라인”중 무세미에 대한 품질기준(2003.06)

<p>4. 무세미의 품질기준</p> <p>무세미의 제조에 있어서 다음 사항에 다음 사항을 유의한다.</p> <p>(1) 품질기준</p> <p>무세미(일반백미 또는 찰쌀의 경우 씻지않고 취반할 수 있도록 특별하게 조제된 것)의 제조에 있어서 (2)의 탁도측정방법에 의한 계측치를 40ppm이하로 하며, 일반 백미와 동등의 품질을 확보한다.</p> <p>(2) 탁도측정방법</p> <p>검사시료 5g 및 수온 20℃의 수도수 400ml을 용기에 넣고, 30초간 진탕(진폭 40mm, 1분에 150회)한 후의 용액에 대하여 일본공업규격 K0101(공업용 물시험방법)을 기준으로 하여 투과광측정법 또는 적분구식광전광도법에 의해 측정한다.</p>	
--	--

표 2-1-3-6. 특정비영리법인 全国無洗米協會의 무세미 규격(www.musenmai.com, 2015. 6)

항 목	기 준	비 고
무세미 품질	물 400ml에 쌀 5g을 넣고, 30초간 침투시킨 물의 탁도가 28ppm이하일 것	
	미립에 상처가 없고 맛성분의 손상이 없을 것 무세미의 식미는 원래 쌀에 비해 동등 이상일 것	
무세미의 안전성	어떤 것도 첨가하지 않고 제조된 것일 것	
	제조된 무세미는 작업자의 손과 접촉하지 않고 포장된 것일 것	
	쌀 이외의 이물 제거장치를 거칠 것	

표 2-1-3-7. 일본정미공업협회의 무세미 규격(www.jrma.or.jp, 2016. 6)

항 목	기 준	비 고
품질기준	다음 탁도측정방법으로 측정된 탁도가 40ppm이하일 것	
	일반 정미와 동등한 품질을 확보할 것	
탁도측정방법	쌀 5g을 수온 20℃인 물 400ml에 넣고 30초간 진동(진폭 40mm, 1분당 150회)한 후 용액을 일본공업규격 K0101(공업 용수시험방법)을 기준으로 투과광측정법 또는 적분구식광진광도법에 의해 측정	

- 우리나라에서는 클린라이스의 품질 기준에 대해 한국식품연구원과 농촌진흥청에서 공동으로 제시한 기준(안)이 유일하며, 미강제거적인 측면, 잔류미강 제거방식적인 측면, 수세기 현탁액의 상태적인 측면, RPC 등 실용적인 규모에서 제조적인 측면, 저장성과 식미적인 측면 등의 기술적인 측면을 검토하여 클린라이스 기준(안)을 제시하였음

표 2-1-3-8. 클린라이스의 품질기준 제안(한국식품연구원 및 농촌진흥청, 2010)

<p>[클린라이스 정의(안)] 클린라이스(Clean Rice)는 “씻지 않고 취반이 가능하도록 제조된 백미”를 말한다.</p> <p>[클린라이스 품질기준(안)]</p> <p>① 탁도 16.0NTU(34.5ppm 수준)이하로 한다. 탁도측정은 검사시료 5g에 20℃ 수도수 400ml를 용기에 넣고 30초간 진폭 4cm, 진동수 150회/분으로 진탕한 후의 용액에 대하여 한국공업규격 KS / ISO 7027(수질 - 탁도 측정방법)을 기준으로 측정한다.</p> <p>② 일반 백미와 동등의 품질을 확보한다.</p>

(다) 클린라이스의 국내 유통현황

- 인터넷 및 서울근교 대형마트 등을 통해 클린라이스 제품을 수거한 결과 총 8개 제품이었으며, 동일 매장에서 판매되는 일반미 가격과 비교한 결과, 클린라이스 가격은 일반미에 비해 평균 247% 수준으로 매우 높았음

표 2-1-3-9. 클린라이스와 일반미의 가격비교(인터넷 및 서울근교 대형마트 기준, 2015. 8)

클린라이스						일반미					비교 A/B× 100 (%)
제조사	제품명	원산지	단위 (kg)	가격 (원)	단가 (원/kg)(A)	제품명	품종	단위 (kg)	가격 (원)	단가 (원/kg)(B)	
오뚜기	명품쌀	국내	1	11,510	11,510	청원생명쌀	추청	20	60,000	3,000	
오뚜기	경기 고시히카리	국내	4	30,640	7,660	생거진천쌀	추청	20	61,000	3,050	
오뚜기	참쌀	국내	0.8	11,800	14,750	새로미	혼합	20	52,000	2,600	
오뚜기	가바백미	국내	1	4,950	4,950	무농약쌀	추청	10	33,800	3,380	
오뚜기	진품쌀	국내	1	6,900	6,900	옥토진미	혼합	20	48,000	2,400	
두보식품	엄마처럼 안전한쌀	국내	2	7,320	3,660	옥토진미 골드	신동진	20	52,000	2,600	
라이스텍	씻어나온쌀	국내	1	3,840	3,840	당진 좋은쌀	혼합	20	51,500	2,575	
나노미	누드현미	국내	4	13,400	3,350	자연이 숨쉬는쌀	하이아 미	10	34,000	3,400	
						옛고을	혼합	10	30,000	3,000	
						강희섬쌀	혼합	10	33,000	3,300	
						지리산쌀	혼합	20	41,700	2,085	
						물레방아	혼합	20	49,800	2,490	
						물레 방아미	혼합	5	17,500	3,500	
						물레방아 고시히카리	고시	10	37,300	3,730	
						물레방아 골드	칠보	20	54,900	2,745	
						김천금물쌀	칠보	20	56,800	2,840	
						아리찬 장수쌀	혼합	4	10,700	2,675	
						아리찬 장수쌀	혼합	10	25,600	2,560	
						아리찬 장수쌀	혼합	20	50,600	2,530	
평균					7,610	평균				2,866	247



그림 2-1-3-3. 시판되고 있는 클린라이스제품

(라) 클린라이스 제조시스템 및 RPC적용 실태

- 일본에서 상용화되어 있는 클린라이스 제조시스템은 다음 표와 같이 크게 가수정미방식, 특수가공방식 및 건식 등 3가지 방식이 있음
- 가수정미방식은 물로 씻는 방식으로 폐수처리시설이 필요할 뿐 아니라 제조된 클린라이스는 곡립 표면 균열 및 백화현상에 따라 외관품질이 낮아 주로 대량급식처 위주로 판매되고 있으며, 한국식품연구원(2000)에 개발된 가수정미시스템은 벤처기업(라이스텍)의 창업에 활용되었고, 현재도 이 시스템을 이용한 “씻어 나온쌀” 브랜드가 생산되고 있으며, 일본에서 생산된 가수정미방식제품은 국내에 수입되어 다수 곳에 설치되어 있는 것으로 알려져 있음
- 특수가공방식(접착성물질 사용)은 타피오카 전분을 사용하는 Satake사의 NTWP방식과, 피부미강을 사용하는 Toyo사의 BG bag 방식 등 2가지가 있으나 국내에 도입된 사례는 찾아볼 수 없으며, NTWP방식은 일본의 정미공장(시설비 약 18억원 수준)에 설치되어 있는 반면, BG bag방식은 시스템은 판매되지 않고 자체적으로 무세미를 제조하여 무세미를 판매하거나 임가공에 사용되고 있으며, 2가지 방식으로 제조된 클린라이스는 품질이 양호하여 대량급식처보다는 주로 시판되고 있음
- 한편, 건식은 쌀의 도정도에 따른 미강층 및 배유층의 형상을 이용한 방식으로서, 건식으로 제조된 클린라이스는 한번 씻고 취반할 수 있는 수준이며, 제조시스템으로는 일본 Yamamoto사의 건식무세미(제품명 : 카피카)가 국내에 도입되어 건식연미기 대응으로 사용되고 있으며, 우리나라에서는 일부 업체에서 무세미기로 판매하고 있으나 성능에 대한 제시 및 측정결과가 전혀 보고되지 않고 있음

표 2-1-3-10. 일본의 클린라이스 제조시스템 생산 현황(日本精米工業会, 2001)

방식	제조회사(모델명)	비고
가수정미방식	Satake(JR, SJR), Kuriki(무세미장치)	
특수가공방식	Toyo(BG장치), Satake(NTWP)	BG장치는 미강사용, NTWP은 타피오카 전분사용
건식연미방식	Kubota(리프레), Yamamoto(카피카)	

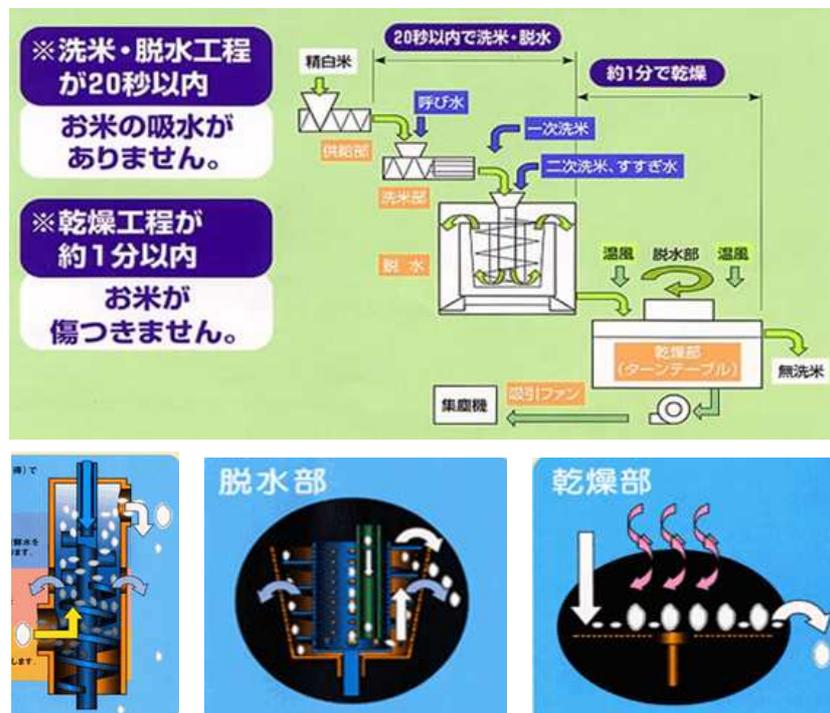


그림 2-1-3-4. 가수정미방식의 주요 클린라이스 제조시스템 및 제조조건



클린라이스제조시스템(가수정미방식)



클린라이스제조시스템의 가수장치



세미부



탈수 및 건조부

그림 2-1-3-5. 경북 김천소재 민간 RPC에 설치되어 있는 가수정미방식

나. 클린라이스 품질 및 제조기준 정립

(1) 실험방법

- 우리나라에서 클린라이스 품질기준은 한국식품연구원과 농촌진흥청에서 공동으로 미강제거적인 측면, 잔류미강 제거방식적인 측면, 수세 시 현탁액의 상태적인 측면, RPC 등 실용적인 규모에서 제조적인 측면, 저장성과 식미적인 측면 등의 기술적인 검토를 기반으로 2010년에 기준(안)을 제시하여 공청회를 통해 이 기준(안)을 확정하였으며, 주요한 품질기준은 탁도이고, 기타 항목은 일반 백미와 동등 수준임

표 2-1-3-11. 우리나라 클린라이스의 품질기준(안)(한국식품연구원 및 농촌진흥청, 2010)

[클린라이스 정의(안)]

클린라이스(Clean Rice)는 “씻지 않고 취반이 가능하도록 제조된 백미”를 말한다.

[클린라이스 품질기준(안)]

- ① 탁도 16.0NTU(34.5ppm 수준)이하로 한다. 탁도 측정은 검사시료 5g에 20℃ 수도수 400ml를 용기에 넣고 30초간 진폭 4cm, 진동수 150회/분으로 진탕한 후의 용액에 대하여 한국공업규격 KS / ISO 7027(수질 - 탁도 측정방법)을 기준으로 측정한다.
- ② 일반 백미와 동등의 품질을 확보한다.

- 가수정미방식, 건식연미 및 특수가공방식 등 클린라이스 제조방식에 무관하게 클린라이스 품질기준은 탁도 기준이 16.0NTU이나, 가장 중요한 탁도측정 방법에 대해 “검사시료 5g에 20℃ 수도수 400ml를 용기에 넣고 30초간 진폭 4cm, 진동수 150회/분으로 진탕한 후의 용액에 대하여 한국공업규격 KS / ISO 7027(수질-탁도 측정방법)을 기준으로 측정”이외의 세부적인 측정방법이 없어, 김등(2010)은 동일시료에 대해 5명의 측정자별 탁도측정 오차율이 평균 7.63%까지 발생하였다고 보고하였음
- 따라서, 본 연구에서는 새로운 품질기준을 정립하는 것을 지양하고, 탁도측정의 측정오차를 방지하기 위한 세부 측정방법을 개발하는데 주력하였음. 이를 위해 본 연구팀이 보유한 탁도계(2100N Turbidimeter, HACH, USA)와 본 연구의 참여기업이면서 기술이전업체인 한국토요에서 신규로 구입한 탁도계(TL2300N Turbidimeter, HACH, USA)를 이용하여 탁도 측정결과를 비교하면서 세부적인 탁도측정 방법을 정립하였음
- 또한, 선행연구(2010) 및 본 연구의 연구결과를 통해 클린라이스 제조시스템의 성능검정 기준(안)을 정립하였으며, 그 결과는 다음과 같았음



그림 2-1-3-6. (주)한국토요에서 탁도측정방법 정립을 위한 실험

(2) 결과 및 고찰

- 탁도(濁度, Turbidity)의 사전적 의미는 수중의 부유물질 등에 의하여 물이 혼탁한 정도로서, 보통 빛을 입사시켜 부유물질에 의해 산란된 정도로서, 주로 광학적으로 측정되는데, 탁도단위는 NTU(Nephelometric Turbidity Unit)가 사용되며, 현탁액은 콜로이드 입자보다 큰 고체입자(부유물질)가 분산되어 떠 있는 액체를 의미함
- 클린라이스 시료를 증류수가 담긴 용기에 넣고 shaker로 진동하면 클린라이스 표면에 부착된 잔류미강, 이물질 및 일부 수용성 전분 등이 용출되어 증류수가 현탁액이 되며, 이 현탁액을 분리하여 샘플 병에 옮겨 탁도계에서 측정시점까지 각 단계마다 소요되는 시간에 따라 현탁액중의 부유물질이 가라앉아 측정된 탁도값에 차이가 발생하게 됨
- 각 단계에 소요되는 시간이 지나치게 짧아 경과시간별 탁도값을 측정하기에는 한계가 있어 6명(본 연구팀 3명, 참여기업 3명)이 공동으로 차이가 없는 시간을 기준으로 다음과 같이 탁도 측정방법을 정립하였음

□ 현탁액 제조

- ① 탁도 측정용 클린라이스 시료를 분해능이 0.01g수준인 저울로 5g씩 3회분하여 계량해서 용기(예 : 50ml Conical tube)에 넣고 뚜껑을 닫는다.
- ② 증류수 400ml(20℃)가 담긴 용기(예 : 500ml 삼각 플라스크)를 진폭 4cm, 진동수 150회/분으로 맞춘 shaker(예 : Recipro type, SR-2s, TALTEC, Japan)에 고정시킨 후, 준비된 클린라이스 시료 5g을 넣고, 알루미늄 포일로 용기입구를 덮는다.
- ③ Shaker로 진동수 150회/분 상태에서 30초간 진탕시킨다. 이때, 진동수가 150회/분으로 도달하는데 약 9초정도가 소요되나, 이 시간동안 계속 진탕되고 있고, 진탕 완료 후 현탁액을 시료와 분리시간이 소요되는 점 등을 감안하여 별도로 보정하지 않는다.
- ④ 진탕이 완료되면 용기를 shaker에서 빠르게 분리한 후, 현탁액만을 다른 용기(예 : 500ml 비커)로

옮겨 붓는다. 이 때 진탕이 완료된 후 현탁액의 분리까지 소요되는 시간이 길어질수록 쌀 전분이 지속적으로 용출되어 탁도 측정값에 오차가 발생할 수 있으므로 충분한 연습 후에 실시하는 것이 필요하다.

□ 탁도측정

- ① 현탁액 제조 전에 NTU단위로 측정이 가능한 탁도계(예 : 2100N Turbidimeter, HACH, USA)를 준비하고, 표준물질로 calibration한다.
 - ② 비커 등에 옮겨진 현탁액에 가라앉은 부유물이 없도록 시료스폰이나 유리막대를 이용하여 잘 저은 후 탁도계용 샘플병에 옮겨 담고 뚜껑을 잘 닫는다.
 - ③ 샘플병에 담긴 현탁액의 균질화를 위하여 샘플병을 기포가 생기지 않는 범위에서 위아래로 약 10회 흔들어 준 후, 탁도계에 삽입한다.
 - ④ 탁도계에 삽입된 샘플통에 담긴 현탁액 중 고체입자(부유물질)가 침하하지 않으면서 현탁액이 안정화되는데 필요한 시간이 약 25초로서, 탁도계에 샘플통을 삽입한 후 stop watch로 약 25초가 경과한 직후 탁도값을 측정하여 사용한다.
 - ⑤ 동일한 클린라이스 시료를 3회분하여 각각 제조한 현탁액을 동일한 방법으로 각각 측정하여 평균값을 최종적인 탁도값으로 사용한다.
- 본 연구의 선행연구(2007)에서 쌀의 도정도에 따른 백도변화는 다음 식과 같은 관계를 나타내었으며, 백도 40수준의 일반 백미에서 탁도 16NTU 이하의 클린라이스 제품을 얻기 위해서는 도정도 증가가 약 1%수준이며, 도정도가 증가할수록 싸라기율도 증가하다는 결론을 얻었음

$$W = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{(x - x_0)}{b}\right)} \dots\dots\dots (2-1-3-1)$$

여기서, W : 백도(*whiteness*)
 y_0, a, b, x_0 : 실험상수 ($a = 56.3309, b = 5.3048, x_0 : 4.5970$)
 x : 도정도(*degree of milling*)

○ 따라서, 클린라이스 제조시스템의 성능검정 기준에는 탁도, 도정수율(도정도) 및 싸라기발생율 등 3가지 항목이 포함되어야 하며, 선행연구(2007)의 연구결과를 참고로 기준을 결정하고, 중요도에 따라 가중치를 부여하여 다음 표와 같이 탁도 16.0NTU이하, 수율저하 1.0%이하, 싸라기발생율 1.0%이하를 각각의 기준의 '보통' 등급으로 하여 '매우우수', '우수', '보통', '미흡', '매우미흡'의 총 5단계에 대한 기준(안)을 제시하였음

표 2-1-3-12. 클린라이스의 제조시스템 성능검정 기준(안)

성능검정항목	항목별 가중치 (A)	성능검정기준(성능가중치, B)				
		매우우수	우수	보통	미흡	매우미흡
		(1.0)	(0.8)	(0.6)	(0.4)	(0.2)
탁도(NTU)	0.80	15.0이하	15.5이하	16.0이하	16.5이하	16.5초과
수율저하(%)	0.10	0.5이하	0.75이하	1.0이하	1.25이하	1.25초과
짜라기발생율(%)	0.10	0.5이하	0.75이하	1.0이하	1.25이하	1.25초과

다. 클린라이스 연속식 대량제조시스템 개발 및 현장실험

(1) 개발방법

- 클린라이스 제조방식에는 가수정미방식, 건식연미 및 특수가공방식이 있는데, 가수정미방식은 폐수처리시설이 필요하고, 쌀 표면의 균열 및 백화현상으로 품질이 낮아 통상 대량 납품되는 영업용으로 사용되며, 특수가공방식은 일본에서 개발된 방식으로서 피부미강이나 타피오카전분 등을 이용하여 미강을 제거하는 방식으로 가격이 지나치게 비싸거나 제조시스템을 판매하지 않고 있음
- 건식연미방식은 클린라이스를 한번 행귀서 취반해야 하는 불편함과, 행굴 때 현탁액이 일부 배출되어 소비자의 신뢰가 다소 떨어지고, 수율이 다소 낮아지는 단점은 있으나, 제조시스템의 설치가격이 저렴하고, 쌀의 외관품질이 우수하며, 유통성이 높다는 장점이 있음
- 따라서, 본 연구에서는 위탁연구/참여기업인 한국토요와 협의하여 선행연구(2007)을 통해 정립된 know-how를 기술이전(2014년)한 건식연미방식의 연속식 대량제조시스템을 개발하는 것으로 합의하고, 처리능력을 RPC 도정라인의 소형인 2.5ton/hr에서 생산된 백미를 원료로 사용하는 것으로 계획하여 2.0ton/hr로 결정하였고, 설계 및 제조시스템을 개발하여 충북 청주소재 농협 및 민간 RPC에 설치한 다음, 현장실험을 실시하였으며, 현장실험 결과를 토대로 시스템을 보완하였음
- 현장실험은 2016년 12월 9일부터 2017년 10월 25일까지 총 34회에 걸쳐 실시하였으며, 품질은 탁도, 백도, 도정도 및 싸라기발생을 등을 측정하였으며, 탁도는 진탕기(SR-2DS, Taitec, Japan) 및 탁도계(TL2300 Turbidimeter, HACH, USA)를 이용하여 전향에서 정립한 방법대로 측정하였음
- 백도는 수작업으로 정립을 선별한 후 백도계(CR300-3, Kett, Japan)를 이용하여 5회 측정 후 최대값과 최소값을 제외한 3회 측정치의 평균값을 사용하였으며, 도정도(Milling degree)는 현미에서 제거되는 미강에 대한 중량비로서 전자저울((L110 Satorius, Germany)로 정립 1,000립의 중량(천립중)을 측정하여 다음의 식과 같이 계산하였으며, 3회 반복 측정하였음

$$\text{도정도}(\%) = \frac{\text{현미 천립중}(g) - \text{백미 천립중}(g)}{\text{현미 천립중}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (2-1-3-2)$$

- 도정편차는 CBB index(Colored bran balance) 측정장치를 이용하여 비정상적인 수치를 나타내는 정상립을 제외한 정상립 50립의 CBB index의 최대치와 최소치 차이로 하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

$$\text{도정편차} = \text{CBB index 최대치} - \text{CBB index 최소치} \dots\dots\dots (2-1-3-3)$$

(2) 결과 및 고찰

- 건식연미방식의 클린라이스 제조시스템은 2단으로 설치하되, 1단에서는 클린라이스를 제조하고, 2단에서는 최종 제품의 외관품질을 향상시키는 일부 연미기능을 갖도록 설계하였으며, 다음과 같은 사양으로 제작하였음

표 2-1-3-13. 클린라이스 대량제조시스템 소요동력 상세

주요부 명칭	소요동력 상세	비고
정량 공급부	모터 220/380V 1.5kW	
클린라이스 제조부	상단 구동모터 380V 15kW 하단 구동모터 380V 15kW	
분풍용 fan	220/380V 1.5kW	
연미용 물 펌프	220/380V 0.2×2=0.4kW	

- 제조된 연속식 클린라이스 대량제조시스템은 처리능력이 2.0ton/hr로서 제조사인 한국토요 공장에서는 원료의 투입 및 배출 등의 모든 자동화된 공정을 수작업으로 처리하기에 한계가 있어, 한국식품연구원 등의 클린라이스 품질기준을 만족할 때까지 보완하는 조건으로 A RPC(충북 청주소재, 민간 RPC) 및 B RPC(충북 청주소재, 농협RPC)에 설치하여 성능을 측정하였으며, 클린라이스 제품(무세미)을 생산하여 판매중인 C RPC(전북 군산소재, 농협RPC)에서 최종 성능을 측정하였음

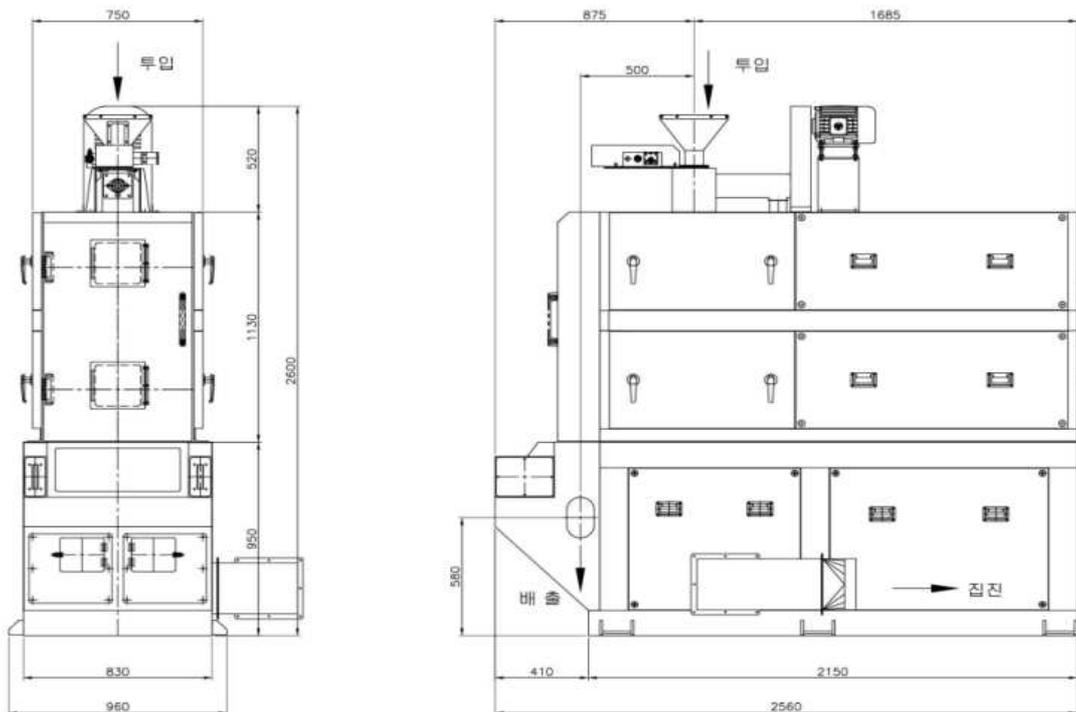


그림 2-1-3-7. 건식 클린라이스 제조시스템 외형도



(클린라이스 대량제조시스템
주요부품 설치 장면)



(클린라이스 제조시스템
주요부품)

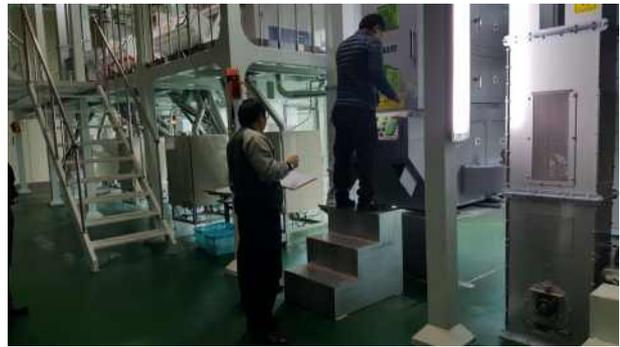


(클린라이스 제조시스템용
연미물)

그림 2-1-3-8. A RPC에서 연속식 클린라이스 대량제조시스템 설치장면



(설치된 연속식 클린라이스 대량제조시스템)



(클린라이스 제조시스템 시료 채취)



(클린라이스 시료의 탁도 측정 모습)

그림 2-1-3-9. B RPC에서 연속식 클린라이스 대량제조시스템의 현장실험

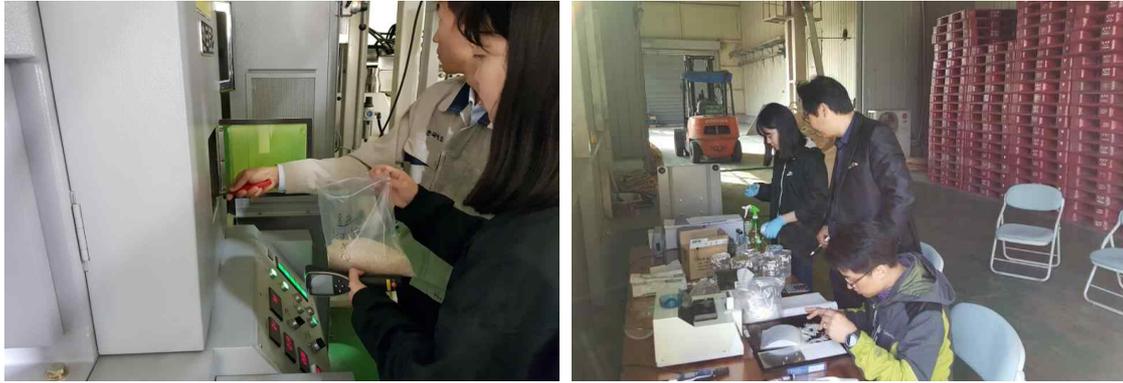


그림 2-1-3-10. C RPC에서 연속식 클린라이스 대량제조시스템의 현장실험

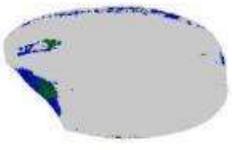
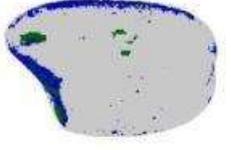
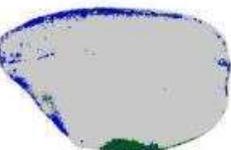
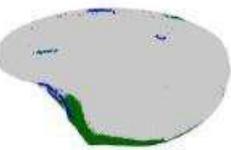
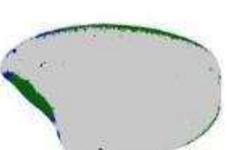
(가) 제 1차 현장실험 및 시스템보완(A RPC)

- 충북 청주소재 민간 RPC인 A RPC에 설치된 연속식 클린라이스 대량제조시스템에 대해 “혼합”품종의 원료를 이용하여 2016년 12월 9일에 현장실험을 실시한 결과, 처리능력은 2.2ton/hr로서 당초 설계치인 2.0ton/hr을 만족하였으며, 원료 백미, 클린라이스 1단, 2단에서 채취한 시료를 이용하여 품질을 측정된 결과는 다음 표와 같았음
- 표에서 알 수 있듯이 탁도는 16.0NTU, 찌라기증가는 0.8%로서 품질기준을 만족하였으나, 도정도가 1.8%로서 수율저하는 기준인 1.0%보다 다소 높게 나타났는데 주요 원인은 원료 백미의 백도가 38.6으로 당초 원료기준인 40보다 낮은데 원인이 있었던 것으로 판단되었음
- 최종 클린라이스의 CBB index는 2.9로서 미강제거가 충분하지 않았고, 도정편차도 4.4로서 다소 높았는데 이는 본 실험에 사용한 시료가 “혼합”품종이고, 특히 2016년 수확한 벼에는 수발아된 곡립이 혼합되어 대체로 도정특성이 불균일하게 나타난 것이 주요 원인으로 판단되었음
- 이상의 현장실험 결과, 본 연구에서 개발한 연속식 클린라이스 대량제조시스템은 처리능력, 탁도 및 찌라기증가율 등의 품질부분에서 비교적 만족할만한 수준을 나타내었으며, 클린라이스 제조시스템의 품질에 원료 현미의 품질이 중요한 영향을 미치므로 원료의 품질관리에 유념할 필요가 있었음

표 2-1-3-14. 클린라이스 대량제조시스템의 1차 현장실험 분석결과

측정항목	공정	클린라이스 원료	클린라이스 1단	클린라이스 2단
	짜라기(%)		1.4	2.0	2.2
(증가량)			0.6	0.2
백도		38.6	40.0	40.5
(증가)			1.4	0.5
탁도(NTU)		22.2	16.6	16.0
도정도(%)			0.2	1.8
천립중(g)		21.16	21.11	20.78
도정배분(%)			12.4	87.6
함수율(%)		15.8	16.3	16.3
(감소)			+0.5	0.0

표 2-1-3-15. 클린라이스 대량제조시스템의 1차 현장실험 CBB index 및 도정편차

구 분	CBB index			도정편차 (최대-최소)
	평균	최대	최소	
클린라이스 원료				6.2
	3.9	7.8	1.6	
클린라이스 1단				4.6
	3.4	5.8	1.3	
클린라이스 2단				4.4
	2.9	5.5	1.1	

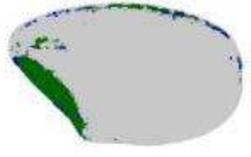
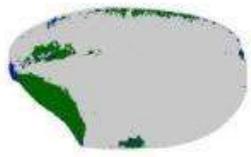
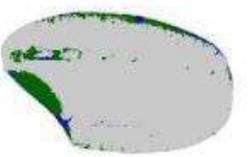
(나) 제 2차 현장실험 및 시스템 보완(B RPC)

- 충북 청주소재 농협 RPC인 B RPC에 설치된 연속식 클린라이스 대량제조시스템에 대해 2016년산 “추청”품종의 원료를 이용하여 2017년 2월 7일에 현장실험을 실시한 결과, 처리능력은 2.0ton/hr로서 당초 설계치인 2.0ton/hr를 만족하였으며, 원료 백미, 클린라이스 1단, 2단에서 채취한 시료를 이용하여 품질을 측정한 결과는 다음 표와 같았음
- 표에서 알 수 있듯이 클린라이스 2단에서의 CBB index가 0.9이고 도정편차도 1.1에 불과하여 충분히 미강이 제거되었음에도 불구하고, 탁도는 17.5NTU, 도정도는 1.5%로서 품질기준을 만족하지 못한 것으로 나타났으며, 주요 원인은 적정 작동조건의 설정이 부족한 것으로 판단되었음

표 2-1-3-16. 클린라이스 대량제조시스템의 2차 현장실험 분석결과

측정항목 \ 공정	클린라이스 원료	클린라이스 1단	클린라이스 2단
싸라기(%)	1.1	1.4	1.5
(증가량)		0.3	0.1
곡온(℃)	16.1	22.4	24.8
(증가)		6.3	2.4
백도	40.6	43.6	45.3
(증가)		3.0	1.7
탁도(NTU)		18.6	17.5
도정도(%)		1.0	1.5
천립중(g)	20.09	19.89	19.78
도정배분(%)		65.2	34.8
함수율(%)	15.4	15.5	15.6
(감소)		+0.1	+0.1

표 2-1-3-17. 클린라이스 대량제조시스템의 2차 현장실험 CBB index 및 도정편차

구 분	CBB index			도정편차 (최대-최소)
	평균	최대	최소	
클린라이스 원료				2.2
	1.6	3.1	0.9	
클린라이스 1단				1.4
	1.2	2.0	0.6	
클린라이스 2단				1.1
	0.9	1.4	0.3	

(다) 제 3차 현장실험 및 시스템 보완(B RPC의 2차 현장실험)

- B RPC에 설치된 연속식 클린라이스 대량제조시스템에 대해 2016년산 “추청”품종의 원료를 이용하여 2017. 3. 3일부터 클린라이스 대량제조시스템의 송풍량(송풍정압, mmAq), 가수량 및 압력(A 표현) 등 작동조건을 조절하면서 8번에 걸쳐 5반복씩 총 40번의 실험을 실시하였으며, 그 결과는 다음 표와 같았음
- 표에서 알 수 있듯이 탁도는 전체 평균 14.8NTU(평균의 범위는 13.1~16.1NTU)로서 품질기준인 16NTU이하를 만족하였으며, 대량제조시스템의 작동조건에 따라 탁도 조절이 가능함도 알 수 있어, 본 연구에서 개발한 연속식 클린라이스 대량제조시스템은 상용화가 가능할 것으로 판단되었음
- 다만, 연속식 클린라이스 대량제조시스템의 RPC로의 설치 및 운영 시 원료 백미의 조건에 따라 클린라이스 품질에 차이가 많이 발생할 수 있으므로 원료 백미의 조건에 유의하여야 하며, 백미 원료의 조건 및 클린라이스 운영조건은 각 RPC에 적합하도록 조정하여 사용하는 것이 필요하였음

표 2-1-3-18. 클린라이스 대량제조시스템의 3차 현장실험 결과

No.	유량 (-)	송풍정압 (mmAq)	클린라이스 단별 작동조건						탁도(NTU)			
			1단			2단			1	2	3	평균
			가수량 (cc)	압력 (A)	백도	가수량 (cc)	압력 (A)	백도				
A-1	52	98	120	21.2	43.5	120	19.8	44.5	18.6	18.8	18.1	18.5
A-2									8.9	9.0	9.0	9.0
A-3									16.2	16.3	16.6	16.4
A-4									14.3	13.3	12.9	13.5
A-5									11.4	12.6	11.7	11.9
평균									13.9	14.0	13.7	13.8
B-1	52	98	100	19.5	43.7	100	18.9	44.8	10.4	10.5	10.2	10.4
B-2									18.8	18.9	20.6	19.4
B-3									17.2	18.1	18.7	18.0
B-4									13.2	14.5	12.9	13.5
B-5									18.0	19.4	20.4	19.3
평균									15.5	16.3	16.6	16.1
C-1	52	80	120	18.9	43.3	120	19.0	44.2	17.0	15.1	15.4	15.8
C-2									15.9	15.0	17.0	16.0
C-3									13.7	14.9	12.3	13.6
C-4									19.0	19.8	19.3	19.4
C-5									15.7	13.9	16.7	15.4
평균									16.3	15.7	16.1	16.0
D-1	52	100	120	20.2	43.6	120	20.4	44.5	13.5	10.6	9.4	11.2
D-2									14.4	14.5	14.6	14.5
D-3									16.6	15.1	16.5	16.1
D-4									9.4	8.7	9.5	9.2
D-5									14.1	14.2	14.9	14.4
평균									13.6	12.6	13.0	13.1

표 2-1-3-19. 클린라이스 대량제조시스템의 3차 현장실험 결과(계속)

No.	유량 (-)	송풍정압 (mmAq)	클린라이스 단별 작동조건						탁도(NTU)			
			1단			2단			1	2	3	평균
			가수량 (cc)	압력 (A)	백도	가수량 (cc)	압력 (A)	백도				
E-1	52	110	120	21.1	43.0	120	21.1	45.0	13.0	12.0	11.9	12.3
E-2									16.9	17.7	18.0	17.5
E-3									14.5	14.2	15.0	14.6
E-4									16.2	17.5	16.6	16.8
E-5									17.7	16.6	17.9	17.4
평균									15.7	15.6	15.9	15.7
F-1	52	120	120	21.5	43.6	120	21.5	44.7	16.2	17.1	16.0	16.4
F-2									15.9	14.9	16.5	15.8
F-3									14.5	14.4	15.8	14.9
F-4									15.4	14.6	14.4	14.8
F-5									17.4	16.4	14.6	16.1
평균									15.9	15.5	15.5	15.6
G-1	52	120	100	21.8	43.8	100	22.2	44.9	17.4	16.6	16.7	16.9
G-2									14.6	15.2	14.7	14.8
G-3									13.7	14.9	14.1	14.2
G-4									13.9	13.6	15.1	14.2
G-5									11.3	11.9	9.7	11.0
평균									14.2	14.4	14.1	14.2
H-1	52	120	80	22.6	43.9	80	22.6	44.6	16.7	16.5	16.5	16.6
H-2									17.0	15.4	15.0	15.8
H-3									11.6	12.0	10.7	11.4
H-4									12.2	12.2	12.5	12.3
H-5									14.6	14.2	14.7	14.5
평균									14.4	14.1	13.9	14.1

(라) 제 4차 상용화제품에 대한 현장실험(C RPC)

- 1, 2, 3차에 걸쳐 현장실험 및 보완을 거쳐 상용화체계를 갖춘 후, 실제 전북 군산소재 농협 RPC인 C RPC에 보급되어 클린라이스제품을 도시락업체에 공급하는 클린라이스 연속식 대량생산시스템에 대한 C RPC 및 기술이전업체(한국토요)와 공동으로 2017년 10월 25일 현장실험을 실시하였으며, 그 결과는 다음의 표와 같았음
- 표에서 알 수 있듯이 클린라이스 제조시스템을 통과한 클린라이스의 탁도는 평균 10.95NTU로서 기준인 16NTU 이하를 만족하였으며, 도시락 제조업체에 납품하는 클린라이스를 채취하여 측정된 클린라이스 품위는 일반백미와 동등이상을 유지하여, 본 연구에서 개발한 클린라이스 연속식 대량제조 시스템이 현장에서 충분히 활용될 수 있음을 확인하였음

표 2-1-3-20. 클린라이스 대량제조시스템의 4차 현장실험 결과

공정 / 측정항목	원료현미	클린라이스 제조 전(정미기 후)	클린라이스 제조 후
곡온(℃)	19.5	30.2	34.1
(증가)		10.6	3.9
백도(-)	21.0	35.9	39.5
(증가)		14.9	3.6
도정도(%)		8.7	9.5
천립중(g)	29.53	26.97	26.71
도정배분(%)		90.9	9.1
싸라기(%)	0.4	1.2	4.3
(증가량)		0.8	3.1
탁도(NTU)		21.05	10.95
(감소)			10.1
함수율(%)	15.6	15.4	15.4
(감소)		0.2	0.0

4. 영양강화미

- 영양강화미(營養強化米, Enriched rice)는 통상 코팅미라고도 하며, 통상적으로 쌀의 주 기능 외에 최근 잘못된 식생활에서 기인한 각종 성인병의 예방 및 치료에 유효한 각종 기능성 물질을 첨가하거나 또는 일부 영양성분을 강화하고, 취반의 간편성을 추구한 새로운 형태의 쌀 제품군을 칭함
- 우리나라에서는 2000~2005년 well-being붐에 따라 다양한 제품의 영양강화미가 생산 판매되었으나, 현재는 일부 업체에서만 제조되어 학교급식 및 행사용으로 판매되고 있을 뿐 활성화되어 있지 않으며, RPC에서 제조 필요성에 대해서도 많은 논란이 있는 특수가공미의 일종임
- 따라서 본 연구에서는 영양강화미의 현재의 제조 및 유통현황, 제조기술에 대해 국내외 현황을 조사하고, RPC로의 도입할 경우에 대비하여 품질 및 제조기술을 정립하고, 대량 제조시스템의 개발에 필요한 설계인자를 구명하였으며, 세부적인 연구결과는 다음과 같았음

가. 영양강화미 품질 및 제조조건 조사분석

(1) 조사방법

- 국내외 영양강화미와 관련된 논문 및 특허 등 선행기술을 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr)를 통해 조사하였고, 실제 영양강화미를 제조하는 국내 3개소 업체를 방문하여 제조 시스템과, 영양강화미의 생산 및 유통현황에 대해서 조사하였으며, 해외의 영양강화미 생산현황 및 기술을 조사하기 위하여 일본 업체 1개소(오키나와현 소재)를 현장방문하여 조사하였음
- 또한, 영양강화미 국내 유통현황을 조사하기 위하여 인터넷 및 서울근교 대형마트 등을 통해 유통되는 영양강화미를 조사하였으며, 온라인 또는 오프라인에서 영양강화미를 직접 구매하여 수집한 다음, 유통되는 발아현미의 포장단위 및 가격을 조사하였음

(2) 결과 및 고찰

(가) 영양강화미에 대한 선행연구

- 영양강화미에 대한 연구현황을 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr)(검색어 : 코팅미, 영양강화미)를 통해 조사한 결과, 관련 논문은 19건, 보고서는 14건이 검색되었으며, 주요 논문 및 보고서는 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 영양강화미에 관한 연구는 주로 영양강화미의 코팅제로 사용되는 물질에 따른 품질 및 효과구명에 관한 부분이 대부분으로서, 제조시스템과 관련된 연구결과는 찾아보기 어려웠음

표 2-1-4-1. 영양강화미 관련 주요 논문 및 보고서

구분	제 목	저 자	학회지/보고서	
1	논문	대나무 추출액을 이용한 코팅쌀 제조 및 품질 특성	정기태, 주인옥, 류정, 최정식	한국식품저장유통학회지, 11(3): 325-330 (2004)
2	논문	알긴산을 이용한 코팅쌀의 개발 및 품질 특성	박인배, 이태훈, 이수영, 정동옥 등	한국식품저장유통학회지, 12(6): 546-551 (2005)
3	논문	한국산 대나무의 향돌연변이 효과 및 대나무 코팅쌀의 간 독성 억제효과	이민자, 김은영, 정근옥, 박건영 등	한국식품영양과학회지, 33(8): 1279-1285 (2004)
4	논문	야콘 뿌리 추출액 코팅 쌀 제조 및 항산화력과 관능적 품질 연구	이애랑	한국식품영양학회지, 23(4): 600-606 (2010)
5	논문	맹종죽(Phyllostachys Pubescens) 추출물 코팅쌀이 Atherogenic 식이를 섭취한 C57BL/6 마우스의 항산화 시스템에 미치는 영향	김은영, 이민자, 송영옥, 문갑순	대한지역사회영양학회지, 9(4): 536-544 (2004)
6	논문	민들레 추출액 농도에 따른 민들레 코팅쌀밥의 품질에 관한 연구	유경미, 이연경, 김세희, 황인경 등	한국조리과학회지, 21(1): 117-123 (2005)
7	논문	Mono Sodium Glutamate 발효로 얻은 GABA 코팅 쌀에 의한 수면유도 효과	김우주, 이정광, 우영민, 최승태 등	공업화학, 24(6): 605-610 (2013)
8	논문	생약추출물을 이용한 키 성장 기능성 식품 개발	라정찬, 박형근, 최미경, 이항영 등	한국식품위생안전성학회지, 19(3): 112-118 (2004)
9	논문	유전자변형 β -carotene 강화 쌀의 생체 이용과 영양기능성 탐색	이영택, 이경원, 성기승, 김성수 등	한국식품과학회지, 46(2): 213-218 (2014)
10	논문	유전자변형 베타-카로틴 강화 쌀의 주요 영양성분 분석	이영택, 김재광, 하선화, 조현석 등	한국식품영양과학회지, 39(1): 105-109 (2010)
11	논문	식이섬유성 쌀의 섭취가 운동선수의 변비, 식품기호도 및 식행동에 미치는 실태조사	이명천, 김영수, 윤성원, 이종각 등	코칭능력개발지, 6(2) : 133-148 (2004)
12	논문	분말 녹차가 쌀밥의 관능적 특성에 미치는 영향	신두호, 이연화	한국식품영양학회지, 17(3) :266-271 (2004)
13	학위 논문	장군차 함유 코팅쌀의 고혈압 및 고지혈증 개선 효과	김명진	인제대학교 석사학위논문 (2009)
14	학위 논문	유전자변형 비타민 A 강화쌀의 영양성분 및 이화학적 특성	김미현	경원대학교 석사학위논문 (2012)
15	보고서	머루 수형·결실관리 및 머루쌀 가공기술 개발	최동근 등	전북대학교 (2005)
16	보고서	미강발효 가바 생산기술을 이용한 쾌면 유도 기능성 쌀 개발	박미연 등	풀앤필바이오 (2013)
17	보고서	감귤기능성 및 부산물이용 고부가가치 가공제품 개발 연구	최형훈 등	국립원예특작과학원 감귤시험장 (2011)
18	보고서	식품용 천연보존제의 정제 및 용도 개발	전병수 등	썬트바이오(주) (2003)
19	보고서	진공합침기술을 이용한 고기능성 영양강화 쌀 개발	박남석 등	충북보건과학대학교 (2013)
20	보고서	인체 모유 단백질 및 영양 성분 강화 고부가가치 기능성 쌀 생산 벼 품종 개발	임성렬 등	한림대학교 (2006)
21	보고서	영양강화 기능성작물 개발	김석신 등	가톨릭대학교 (2002)
22	보고서	친환경 국내산 쌀을 이용한 건강기능성 고부가가치 식사대용품의 개발 및 상품화	이숙영 등	중앙대학교 산학협력단(안성) (2011)

- 영양강화미에 대한 특허를 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스, www.kipris.or.kr)(검색어 : 코팅미, 영양강화미)를 통해 검색한 결과, 등록된 특허는 코팅쌀 41건, 영양강화쌀 5건으로 총 46건이 검색되었으며, 대표적인 특허는 다음 표와 같았음. 표에서 알 수 있듯이 특허도 대부분이 영양강화미 제조성분 및 제조방법에 관한 것으로서, 제조시스템과 관련된 특허는 2건 정도로 거의 찾아보기 어려웠음
- 특허청(2005)의 분석자료에 의하면 영양강화미의 경우, 유용물질을 쌀에 분사하거나, 쌀을 유용물질에 침지한 후 건조하여 제조하므로 기술이 비교적 간단하여 제조조건 및 방법에 관한 특허는 거의 없는 반면, 다양한 유용물질에 관한 특허가 대부분을 차지하고 있었음

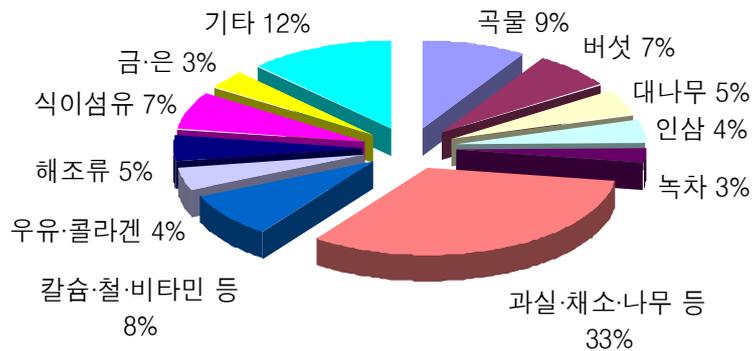


그림 2-1-4-1. 영양강화미에 첨가되는 유용물질별 특허 출원 비율(특허청, 2005)

표 2-1-4-2. 영양강화미 관련 특허

구분	발명의 명칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	특 징
1	등록 소성 해조류를 이용한 칼슘제 제 제조방법, 칼슘강화코팅쌀 및 그 제조방법	(주) 건양 미국 종합 처리장	1005809 35	2006.5.10	· 칼슘제제 코팅, 어린이성장 및 골다공증 예방
2	등록 기능성 코팅쌀 및 그의 제조방 법	한국 식품 연구원	1010169 62	2011.2.16	· 20~30%감자분말, 텍스트 린 · 60% 뽕잎건조분말 또는 홍 삼 건조분말
3	등록 가시오가피 추출물이 코팅된 기능성 쌀	철원군	1005168 90	2005.9.15	· 가시오가피잎, 줄기 에탄올 50~80℃ 추출, 여과, 농축 · 간기능활성, 보존기간연장
4	등록 감귤 플라보노이드가 함유된 코팅쌀의 제조방법 및 감귤 플 라보노이드 코팅쌀	대한민국 (농촌진흥 청장)	1011745 00	2012.8.9	· 기능성 플라보노이드(나린 제닌 및 헤스페레틴)
5	등록 다시마 추출물이 코팅된 기능 성 쌀	강원도 고 성군	1005125 97	2005.8.29	· 간기능활성, 보존기간 연장
6	등록 기능성 코팅쌀의 제조방법	강원도	1006350 83	2006.10.10	· 라이신, 비타민A, 철분, 칼 슘 등 유효성분 분무코팅
7	등록 두충 추출물 코팅쌀의 제조방 법	충청북도, 한국 식품 연구원	1005097 33	2005.8.16	· 0.1~0.5% 두충 추출물 · 기름기제거, 혈압강화효과
8	등록 해양심층수가 코팅된 쌀 및 그 제조방법	토성 농업 협동조합, 한국 해양 연구원 등	1008310 29	2008.5.15	· 건식법 세척, 탈염처리, 해 양심층수 · 미네랄 풍부
9	등록 양파를 이용한 혈당강하 쌀의 제조방법	무안군, 한국 식품 연구원 등	1007268 34	2007.6.4	· 혈당강하쌀
10	등록 가공곡물 및 그의 제조방법	송선진	1008625 62	2008.10.2	· 구아바의 열매, 잎, 나무껍 질, 뿌리 또는 울금(강황) 하나이상 코팅재 코팅된 쌀
11	등록 초임계처리에 의한 쓴메밀씩 유래 루틴쌀 제조방법 및 그 제조방법에 의하여 제조된 루 틴쌀	사단법인 임금님표 이천브랜 드관리본 부	1013307 18	2013.11.12	· 고유 맛, 향, 품질유지 · 액체 이산화탄소 초임계 유 체 상태로 기공내 침투한 기능성 루틴쌀
12	등록 수용성 미네랄이 코팅된 알칼 리 쌀의 제조방법	장정만	1008154 03	2008.3.14	· 고온용융제조 · pH 7~12 미네랄 함유
13	등록 유인균을 이용한 성장촉진 및 뼈와 연골강화를 목적으로 하 는 발효쌀의 제조방법	서범구	1013893 18	2014.4.21	· 유인균(유산균, 효모, 광합 성세균, 납두균, 아세트산 균, 고초균, 방선균 중 1종 이상)
14	등록 항암효과가 있는 쌀 코팅용 생 약 추출물 조성물 및 이러한 조성물로 코팅된 기능성 쌀	합천군	1005386 52	2005.12.19	· 상항버섯 추출물 포함하는 생약 추출물

구분	발명의 명칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	특 징	
15	등록	흑미늘 액으로 코팅된 쌀 및 이의 제조방법	경남도립 남해대학 산학협력단	1011210 87	2012.2.21	· 항균, 항암, 항혈전 활성 등 생리학적 기능 우수
16	등록	반도심층수가 코팅된 쌀 및 그 제조방법	한만수	1011714 95	2012.7.27	· 풍부한 미네랄 및 칼슘
17	등록	곡물 코팅장치	김정호	1014691 41	2014.11.28	· 교반날개에 의한 교반분사 코팅으로 원액손실 및 코팅량 조절 · 원적외선 히터에 의한 건조, 살균, 위생적인 기능성곡물 생산
18	등록	매실 추출물을 함유한 기능성 쌀 및 그 제조방법	동계농업 협동조합	1004119 27	2003.12.8	· 가공시 쌀균열 방지, 변색 방지, 성인병 예방
19	등록	쌀 가공 장치	(주)아이지 에스피	1009880 13	2010.10.8	· 쌀 표면에 기능성 액 코팅 및 가수하는 쌀가공장치
20	등록	프로폴리스의 기능성이 함유된 쌀 및 이의 제조방법	일진 에프앤피, 한국식품 연구원	1009036 89	2009.6.11	· 항균(항박테리아, 항바이러스), 항산화, 면역기능 등 생리활성적 효과
21	등록	영양 강화 곡물의 제조 방법 및 영양 강화 곡물	이동용, 전병국	1014259 92	2014.7.28	· 비타민C, B ₂ , 칼슘, 콜라겐 분말 이용한 영양강화
22	출원	쾌면효과를 갖는 가바 코팅쌀 및 가바 코팅쌀 제조방법	박미연	1020130 069433	2013.6.18	· MSG를 GABA로 전환시킨 후 코팅하여 멜라토닌 및 세라토닌 분비를 도와 쾌면 효과
23	출원	카테킨화합물과 베타글루칸을 함유하는 기능성 쌀 코팅용 조성물	(주) 메디언스	1020090 077343	2009.8.21	· 카테킨 및 차가버섯 추출물 이용 · 항산화, 다이어트, 항암효능
24	출원	영양강화쌀의 제조방법	정용현	1020100 045767	2010.5.17	· 지용성 및 수용성 영양소 함유의 유화시킨 조성물 제조한 영양강화용 코팅제 사용

(나) 영양강화미 품질 및 제조기준

- 현재까지 조사결과에 의하면 영양강화미에 대한 품질 및 제조에 관한 국내기준은 찾아볼 수 없었으며, 일본에서도 전술한 배아미, 클린라이스 및 발아현미와는 다르게 별도 협회나 기준도 없는 것으로 조사되었음
- 한편, 식품영양성분(식품의약품안전처 DB, 2015)에는 영양강화미 중 하나로 볼 수 있는 비타민 B₁, B₂ 강화미의 경우 영양성분은 다음과 같이 정하고 있음

표 2-1-4-3. 비타민 B 강화 백미*의 영양성분(100g당, 식품의약품안전처 식품영양성분DB)

열량 (kcal)	단백질 (g)	지방 (g)	탄수화물 (g)	수분 (g)	회분 (g)	
362.00	7.00	1.30	77.10	14.00	0.60	
미네랄 (mg)					총식이섬유 (g)	
나트륨	칼슘	인	철	칼륨		
2.00	6.00	140.00	0.50	110.00	0.30	
비타민						
비타민A (RE)	레티놀 (μg)	베타카로틴 (μg)	티아민 (mg)	리보플라빈 (mg)	나이아신 (mg)	비타민C (mg)
0.00	0.00	0.00	125.00	5.00	1.50	0.00

(다) 영양강화미의 국내 유통현황

○ 우리나라에 영양강화미 생산에 대한 정확한 통계자료는 찾아볼 수 없는 상태로서, 인터넷 및 서울근교 대형마트 등을 통해 총 11개 제품을 수집할 수 있었으며, 영양강화미 수집당시 동일한 장소 및 온라인에서 조사한 일반백미와의 가격차를 비교한 결과, 영양강화미 가격이 일반미에 비해 평균 469%수준으로 매우 높게 판매되고 있는 것으로 조사되었음

표 2-1-4-4. 영양강화미와 일반미의 가격비교(인터넷 및 서울근교 대형마트 기준)

영양강화미						일반미					A/B×100 (%)
제조사	제품명	원산지	단위 (kg)	가격 (원)	단가 (원/kg)(A)	제품명	품종	단위 (kg)	가격 (원)	단가 (원/kg)(B)	
(주)준바이오	칼슘강화찹쌀 ¹⁾	국내	0.8	16,770	20,963	청원생명쌀	추청	20	60,000	3,000	
뉴트리라이스	홍국쌀 ²⁾	국내	0.6	16,000	26,667	생거진천쌀	추청	20	61,000	3,050	
토성농협	해양심층수코팅쌀 ³⁾	국내	1.0	8,400	8,400	새로미	혼합	20	52,000	2,600	
바비조아	홍국발아현미 ⁴⁾	국내	1.0	13,500	13,500	무농약쌀	추청	10	33,800	3,380	
바비조아	강황미 ⁵⁾	혼합	1.0	9,500	9,500	옥토진미	혼합	20	48,000	2,400	
바비조아	클로렐라미 ⁶⁾	국내	1.0	12,500	12,500	옥토진미골드	신동진	20	52,000	2,600	
바비조아	뽕잎미 ⁷⁾	국내	1.0	10,000	10,000	당진좋은쌀	혼합	20	51,500	2,575	
바비조아	연잎미 ⁸⁾	국내	1.0	10,000	10,000	자연이 숨쉬는쌀	하이아미	10	34,000	3,400	
바비조아	산수유미 ⁹⁾	국내	1.0	12,000	12,000	옛고을	혼합	10	30,000	3,000	
바비조아	블루베리미 ¹⁰⁾	혼합	1.0	12,500	12,500	강화섬쌀	혼합	10	33,000	3,300	

바비조아	쌀눈가바 조야미 ¹¹⁾	국내	1.0	11,900	11,900	지리산쌀	혼합	20	41,700	2,085	
						물레방아	혼합	20	49,800	2,490	
						물레방아 미	혼합	5	17,500	3,500	
						물레방아 고시히까 리	고시	10	37,300	3,730	
						물레방아 골드	칠보	20	54,900	2,745	
						김천금물 쌀	칠보	20	56,800	2,840	
						아리찬 장수쌀	혼합	4	10,700	2,675	
						아리찬 장수쌀	혼합	10	25,600	2,560	
						아리찬 장수쌀	혼합	20	50,600	2,530	
평균					13,941	평균				2,866	469

1) 국산잡쌀 96.75%, 해조칼슘 3.2%, 2) 백미 99.1%, 홍국분말 0.4%, 3) 고성 오대미, 강원 심층수, 4) 발아현미 99.5%, 홍국분말 0.5%, 5) 백미(국산) 99.6%, 강황분말(인도산) 0.4%, 6) 백미 99.5%, 클로렐라분말 0.4%, 7) 백미 99.2%, 뽕잎분말 0.6%, 8) 백미 99.3%, 연잎분말 0.6%, 9) 백미(국산) 99.4%, 블루베리분말(미국산) 0.5%, 흑미분말(국산) 0.2%, 10) 백미(국산) 99.4%, 블루베리분말(미국산) 0.5%, 흑미분말(국산) 0.2%, 11) 백미 98.6%, 쌀눈분말 1.0%



그림 2-1-4-2. 시판되고 있는 영양강화미(코팅미)제품

(라) 영양강화미 국내 제조업체의 시설 및 기술현황

- 영양강화미를 제조하는 3개소의 국내업체(준바이오, 백의천년, 고성토성농협)에 대한 현장조사를 통해 영양강화미 업계의 규모, 향후 전망, 현재의 기술 및 제조시스템 등 전반적인 부분에 대하여 조사하였으며, 그 결과는 다음과 같았음
- 영양강화미의 국내 총 생산량은 연간 약 2,000톤 수준, 매출액은 약 80억 수준으로 추정될 정도로 대단히 소규모이었으며, 제조회사도 대단히 영세한 수준으로 국내 시장점유율 1위로 알려진 제조회사(준바이오)의 생산량도 연간 약 450톤, 매출액이 약 18억원 수준에 불과하며, 약 5개소 내외의 제조회사에서 주 제품으로 제조하는 것으로 조사되었음

- 영양강화미의 주 사용용도는 학교급식이 대부분이고, 행사 및 명절선물 등의 용도로 제조되고, 기타 영양강화미는 제조회사에서 제조후 업자를 통해 판매하거나, 인터넷으로 판매되는 것으로 조사되었으며, 학교급식의 경우 방학에는 주문이 없는 등 대량으로 생산 및 소비되는 것이 아니라 주로 “재미를 더하는 정도”의 소량 생산으로서 산업자체가 틈새시장의 일종으로 판단되었음
- 학교급식용으로 많이 사용되는 코팅재료는 강황, 클로렐라, 홍국, 버섯 및 녹차 등이었으며, 그 중에서 강황코팅미가 가장 인기가 있으며, 보통 쌀 3kg에 강황코팅미 1kg을 혼합하여 취반(총 4kg으로 40인용, 100g/인기준)하며, 코팅미 제조비용은 약 1,000~1,500원/kg 수준으로 조사되었음
- 지역특색을 살려 코팅수로 해양심층수를 사용하는 제조업체에서는 해양심층수 코팅미를 연간 40톤 정도를 생산 판매하는데, 판매가격은 1포대(4kg)당 14,000원 수준으로 원료 백미가격 12,000~13,000원/4kg보다 약 1,000~2,000원/4kg 정도 높게 판매하고 있었음
- 조사대상 제조업체 및 업체 홈페이지(www.babijoa.co.kr) 등을 통해 조사한 결과, 영양강화미 제조회사의 코팅기는 제환기와 유사한 형태의 회전이 가능한 드럼통형식(배치식)으로 원료공급노즐, 회전 또는 믹서기, 열풍건조기 등으로 구성되어 있었음
- 한편, 해양심층수를 코팅하는 제조업체의 경우, 2010년에 약 3.5억원의 시설비로 설치(제조회사는 본 연구 참여기업인 IGSP)하였는데 원료투입부터 포장직전까지는 벌크로 처리되는 연속식(현미투입-연미-원료탱크-코팅-건조-선별-제품저장-포장)으로 생산능력 2.0~2.5ton/hr에 달하였음
- 영양강화미 제조시 농도가 낮으면 코팅후 색의 발현에 한계가 있는 반면 농도가 높으면 청소가 어려움이 많으며, 분무량이 많으면 쌀 표면에 균열이 발생하므로 코팅액의 농도 및 분무량 조절이 제조기술의 핵심으로 조사되었음. 코팅액으로 해양심층수를 사용하는 제조회사에서는 쌀 중량의 약 4% 수준으로 가수하는 것으로 조사되었으며, 설비업체에서는 농도는 6% 이하, 가수량은 20L/hr가 적정하다고 하였으나, 기타 일반업체에서는 코팅액의 농도 및 가수량은 know-how로 공개하기 어렵다고 함
- 코팅후 건조용 건조기는 벌크건조기, 코팅기 자체건조나 연속식건조장치 등이 사용되었으며, 일반적으로 건조온도는 50~55℃ 정도의 열풍온도로 건조하며, 코팅제의 종류 및 가수량에 따라 건조시간은 차이가 있는 것으로 조사되었으며, 건조후 함수율은 15%보다는 낮게 유지한다고 하였음
- 별도의 공인된 품질기준은 없는 상태로서 대부분이 종업원 5인 이내의 대단히 영세한 업체에서 제조함에 따라 자가기준도 찾아보기 어려웠고, 가공품인지 쌀 제품인지에 대해서도 명확하지 않는 상태이었으며, 유통기간의 설정을 위한 연구가 없는 상태에서 업체에서 통상 3개월을 유통기간으로 설정하고 있었음

		
연속작업이 가능한 가공시설	코팅용 해양심층수 제품	코팅수 공급장치
		
코팅장치	코팅후 연속식건조장치	

그림 2-1-4-3. 연속작업이 가능한 해양심층수 코팅미 제조시설

		
코팅미 제조시설(소형)	자체제작한 대형 코팅미기	
대전동구소재 코팅미 제조시설		
		
코팅미기	코팅미기 내부	코팅후 건조용 벌크건조기
경기 안성소재 코팅미 제조시설		
		
홈페이지에 공개된 코팅미제조시설(www.babijoa.co.kr)		

그림 2-1-4-4. 일반적인 코팅미 제조회사의 제조시설

(마) 일본 영양강화미 제조업체의 시설 및 기술현황

- 해외의 영양강화미 제조 및 유통현황을 파악하기 위하여 먼저 Satake사를 통해 제조시스템을 제조하여 판매하는 업체를 탐색했으나, Satake사 이외에는 확인되지 않았음. Satake사도 영양강화미를 조사대상인 오키나와식량(주)에만 판매하였다고 하며, 인터넷 등을 통한 검색에도 확인되지 않아 실제 일본에서 영양강화미를 제조하는 회사는 극히 소수일 것으로 판단되었음
- 본 연구에서는 2015년 9월 현재 영양강화미를 생산하고 있던 일본 오키나와현에 소재한 오키나와식량(주)을 방문하여 시설 및 기술현황을 조사하였음. 조사대상 오키나와식량(주)은 오키나와에 소재하는 4개의 정미공장 중 가장 큰 규모의 공장으로서, 백미가공, 주정용 백미, 영양강화미, 햅반 및 탈지미장유제조를 주업종으로 하는 1950년에 설립된 민간회사이었음
- 일본 본토에서 현미를 구매하여 오키나와 전체의 쌀 소비량의 약 50% 이상 수준인 연간 총 36,000톤의 백미를 생산하여 총 250개 브랜드로 판매하고 있었으며, 영양강화미로는 비타민 E 및 Fe가 코팅된 쌀을 월 약 1ton 정도 생산하고 있었음



그림 2-1-4-5. 오키나와식량(주) 전경 및 영양강화미 제조시스템

- 일본인은 밥의 색깔에 대단히 민감하여 아무리 영양적으로 우수하여도 밥의 색깔이나 냄새가 이상할 경우 매입하지 않으므로 영양강화미는 양파, 버섯 등 각종 농산물 추출액을 사용하는 우리나라와는 다르게 백미특성을 저하시키지 않는 Vitamin 및 Fe만을 사용하여 영양강화미를 제조하며, Ca는 식미저하의 문제로, 당화된 미강은 식미, 색상 및 잔류 기능성성분 등이 모두 낮아 실용화되지 않은 것으로 조사되었음
- 오키나와의 고온다습한 기후조건하에서 영양강화미의 품질저하를 방지하기 위하여 진공포장이 기본이었으며, 유통기간은 상온에서 3개월로 설정하고 있었고, 출하가격은 약 640엔/kg으로 일반쌀의 약 300엔/kg의 2.1배 수준이었으며, 주로 학교, 병원 및 요양소 등에서 소비되는데, 소비량이 적어 월 1톤 정도만 생산한다고 하며, 다른 식품에서 충분히 섭취가 가능한 영양분을 쌀에 코팅해야하는지에 대한 회의적인 질문이 아직도 많다고 함



그림 2-1-4-6. 오키나와식량(주)에서 생산하는 영양강화미

- 오키나와식량(주)의 영양강화미 제조시스템은 Satake사에서 제작한 시스템으로서 처리능력은 1.5ton/hr이며, 시판되는 기능성물질을 물과 혼합하여 균질화하는 기능성용액 조정장치, 분리를 막기 위해 가온하여 교반하는 교반조, screw conveyer을 이용하여 기능성용액을 분부하는 분무장치, 약 15% 이하의 제품으로 건조하기 위한 1차 및 2차 건조장치 등으로 구성되어 있었음
- 오키나와식량(주)의 영양강화미 제조기술 중 가장 중요한 부분은 기능성성분의 결정으로써, 식품첨가물로 사용이 가능하여야 하며, 취반시 코팅제가 물에 녹아 벗겨지지 않을 경우 곡립내부로 수분화산이 늦어 각 위치별로 소화차이가 발생하므로 이점을 유의하여 선정하는 것이 필요한 것으로 조사되었음
- 제조시스템의 가장 중요한 운영인자는 기능성물질의 농도와, 쌀 중량 대비 첨가량으로서 이 부분에 대하여 Satake사의 2차 가공팀장 및 오키나와식량(주)의 담당부장에게 know-how로서 충분한 답변을 듣지 못하였으나, 제품포장지에 기록된 vitamin E와 Fe의 함유량(6mg 및 4mg)으로 추정할 수 있었음

나. 영양강화미 품질 및 제조기준 정립

(1) 실험방법

- 전술한 조사결과에서 영양강화미 제조에서 가장 중요한 설계인자는 코팅액 농도와 분무량이었으며, 종속적인 인자로는 분무노즐 사양 및 분무시간 등이 필요하나, 이러한 제조조건은 영양강화미 제조 시설 및 영양성분의 종류, 추출방법 등에 따라 달라짐
- 따라서 본 연구에서는 주요 설계인자인 코팅액 농도 및 가수량 등 영양강화미 제조조건이 영양강화미 품질에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 다양한 유효물질을 코팅하는 장치를 이용하여 식품첨가물로 허가된 영양성분인 비타민 B₁ 및 Ca을 이용하여 농도별로 코팅액을 조제한 다음, 코팅장치에서 분무 코팅한 다음, 동 코팅기에 부착된 건조시스템을 이용하여 건조하여 영양강화미를 제조한 다음, 품질을 측정하였음
- 실험에 사용한 시료는 2015년산 경기 화성소재 농협 RPC에서 가공하여 유통되는 추청품종의 백미로서, 초기함수율은 14.6%(w.b.)이었으며, 실험용 흡선별기(Satake, Japan)를 이용하여 정립 1/2이하 찌라기를 완전히 선별한 후 정립만을 밀봉한 후, 2°C저온저장고에 보관하면서 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 실험에 사용하였음
- 본 연구에서 사용한 코팅기(GR700A, Garea, Korea)는 코팅장치와 건조장치로 크게 구성되어 있으며, 코팅기는 코팅장치의 각도 및 건조열풍의 온도조절이 가능하였고, 실험에 이용한 장치의 각도는 35°, 회전수는 650rpm이었으며, 건조송풍량은 1.6m³/min, 건조온도는 45°C로 설정하였음



코팅장치	각도	35도
	회전수	650rpm
건조장치	송풍량	1.6cmm
	온도	45°C
	히터용량	2kW

그림 2-1-4-7. 코팅실험에 사용한 코팅장치

- 코팅에 사용한 영양성분은 비타민 B₁ 염산염(Thiamine hydrochloride, DSM nutritional products GMBH, 독일) 및 젖산칼슘(Calcium lactate, (주)삼인케미칼)이었고, 코팅액의 농도는 일본 조사사례 등을 감안하여 0.1%, 0.4%, 0.7% 및 1.0% 등 4가지로 제조하여 사용하였음

- 백미 500g을 코팅장치에 투입한 후 회전시키면서 제조한 코팅액을 0.1L/min로 1분간 분사하였으며, 코팅이 완료된 영양강화미는 건조온도 45°C에서 단립수분계(CTR-500EH, Shizuoka Seiki, Japan)로 함수율을 측정하면서 초기수분과 건조후 수분이 동일할 때까지 건조를 실시하였으며, 건조된 영양강화미는 다음과 같은 측정방법으로 함수율, 백도, 칼라, 싸라기율 및 화상특성 등 품질특성을 측정하였음
- 함수율은 정립 10g을 대상으로 135°C를 유지하는 건조오븐(Korea)에서 24시간 건조법으로 3회 반복 측정한 다음, 표준측정법인 105°C 건조법으로 환산하여 사용하였으며, 백도는 정립을 대상으로 백도계(CR300-3, Kett, Japan)로 5회 측정한 후 최대값과 최소값을 제외한 3회 측정치 평균값을 사용하였으며, 칼라는 정립을 대상으로 색차계(CM-5, Konica Minolta, Japan)를 이용하여 5회 측정하여 최대 및 최소를 제외한 값을 평균값으로 하였음
- 싸라기는 균분한 시료 30g을 품질측정장치(RGQI10B, Satake, Japan)를 이용하여 3회 반복 측정치의 평균치를 사용하였으며, 화상특성은 Microphotograph(EGVM-35B video microscope system, EG-tech Co., Korea)로 160배 확대하여 ITPLUS 5.0 프로그램을 이용하여 각각의 시료를 관찰하였음



그림 2-1-4-8. 화상특성 측정에 이용한 영상처리장치 및 프로그램

(2) 결과 및 고찰

- 백미에 비타민 B₁과 Ca을 농도 0.1~1.0%(백미중량 기준)범위에서 코팅한 후, 건조된 영양강화미의 함수율은 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 영양강화미의 함수율은 초기 백미함수율인 14.6%와 큰 차이가 없었음

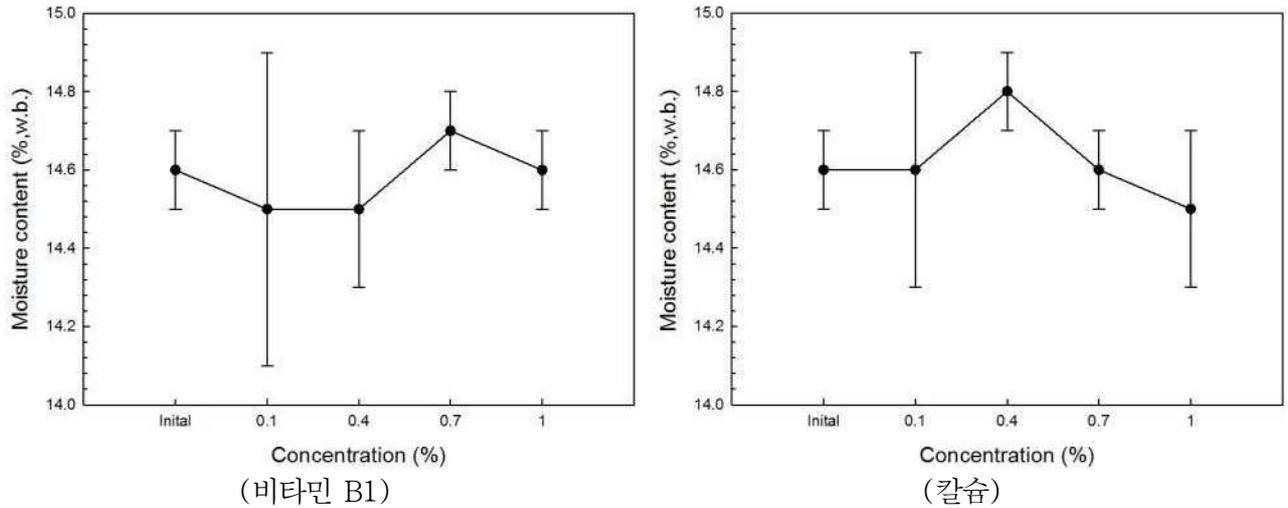


그림 2-1-4-9. 영양강화미의 농도별 함수율 변화

- 농도별로 제조된 영양강화미의 백도는 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 비타민 B₁의 경우 백도는 42.2~44.4, Ca의 경우 42.3~44.3% 범위로서 초기 백도 40.4에 비해 증가하였는데, 이는 건조 후 백화현상에 의한 것으로 판단되었으며, 코팅 농도별로 제조된 영양강화미의 칼라는 다음의 그림과 같이 초기치에 비해 큰 변화는 없었음

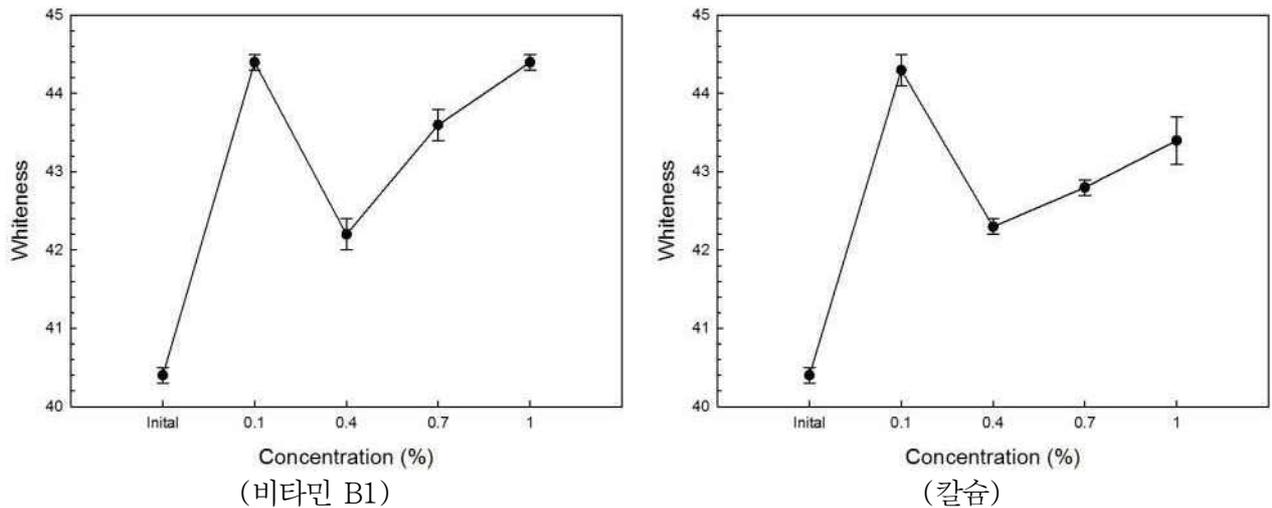
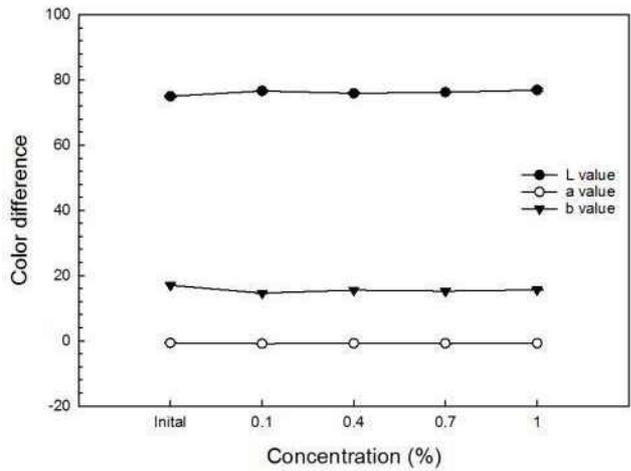
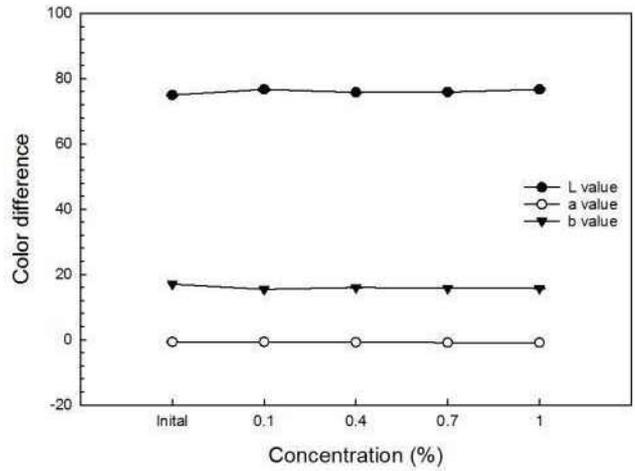


그림 2-1-4-10. 영양강화미의 농도별 백도 변화



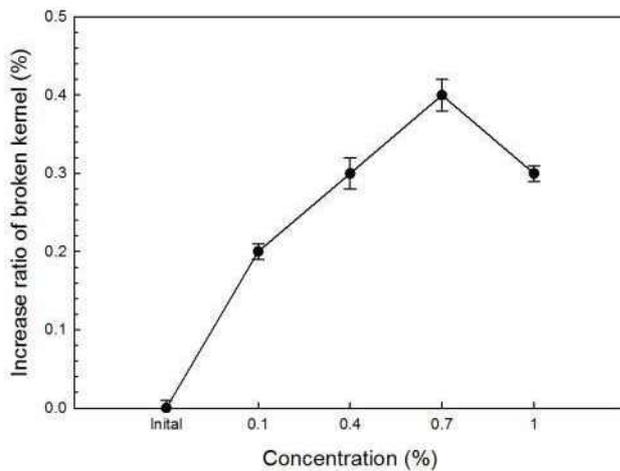
(비타민 B1)



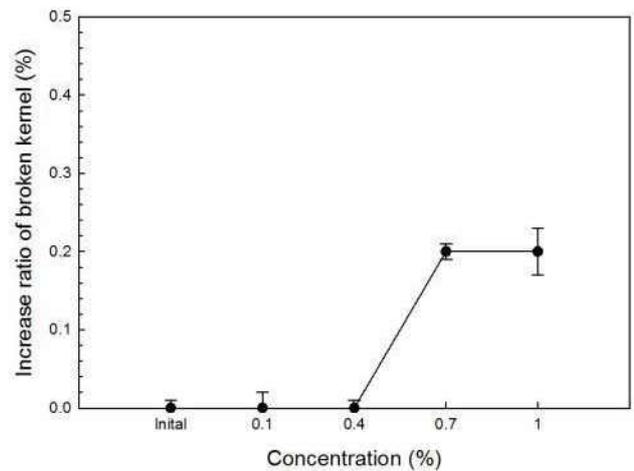
(칼슘)

그림 2-1-4-11. 영양강화미의 농도별 갈라 변화

- 농도별로 제조된 영양강화미의 찌라기증가율은 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 0.1~0.4%정도가 증가하였으나, 이는 코팅에 의한 것인지 회전 중 물리적인 충격에 의한 것인지 명확하지 않았음



(비타민 B1)



(칼슘)

그림 2-1-4-12. 영양강화미의 농도별 찌라기증가율 변화

- 코팅 농도별로 제조된 영양강화미의 화상특성은 다음의 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 원료로 사용된 백미 표면은 균열의 흔적이 없었으나, 코팅액의 종류 및 코팅액의 농도와 무관하게 코팅후에는 표면에 균열 흔적이 뚜렷하게 나타났으며, 이는 코팅액의 가수후 곡립내부로의 확산에 의한 곡립내외의 함수율차이에 의한 것으로 판단되었음

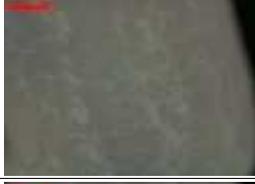
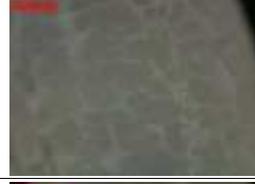
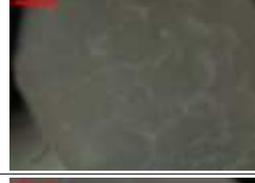
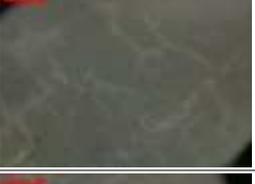
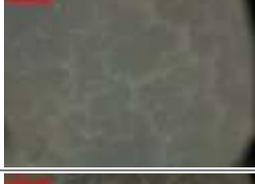
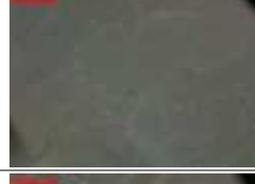
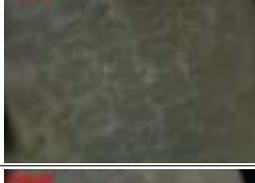
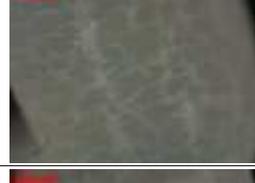
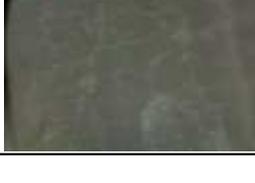
유효성분	농도 (%, 백미중량기준)	표면 특성		
원료 백미	-			
비타민 B ₁	0.1			
	0.4			
	0.7			
	1.0			
칼슘	0.1			
	0.4			
	0.7			
	1.0			

그림 2-1-4-13. 영양강화미의 농도별 화상특성(×160)

다. 영양강화미 대량제조시스템 개발

- 영양강화미에 대한 국내외 선행연구, 유통현황, 영양강화 및 시스템제조회사에 대한 조사 결과, 영양강화미의 제조상 주요인자는, ㉠ 적정 코팅제의 선발 및 코팅액의 농축, ㉡ 분무 및 건조시 쌀 표면의 균열을 방지하면서 코팅액의 색이 발생되고 청소가 용이한 수준의 코팅액 농도 및 분무량, 건조조건의 구명, ㉢ 코팅이전에 최소 수준의 클린라이스 등 원료조건, ㉣ 강황코팅미 등의 취반시 냄새 발생을 막고, 유통기간 중 탈색을 방지해야 하며, 취반을 위해 가수할 때 색깔의 번짐을 막기 위한 2차 코팅기술, ㉤ 품질기준 및 유통기간 설정 등이 기술의 핵심으로 조사되었음
- 영양강화미에 첨가되는 유용물질은 대부분 수용성으로서, 제조된 영양강화미는 씻지 않고 취반함에 따라 통상 클린라이스를 원료로 사용해야 하므로 영양강화미 제조시설을 설치할 경우에는 클린라이스제조시스템과 연계설치가 가능한 광역통합 RPC에 설치하는 것이 효과적일 것으로 판단되었음
- 그러나 과거 일부 RPC에서 영양강화미 제조설비를 설치하였다가 대부분 철수 또는 미사용한 사례가 있을 뿐 아니라, 소규모로 운영하는 영양강화미 제조회사에서는 RPC에서 생산하는데 대해 극히 부정적이며, 경계도 심한 상태로서 현재의 산업규모, 시장유통현황 및 업체현황을 종합적으로 고려하였을 때 RPC로의 도입 필요성 및 대량제조시스템의 개발 필요성이 대단히 낮은 것으로 판단되었음

5. 혼합미

- 혼합미는 쌀 또는 현미에 다른 양곡이나 양곡가공품을 혼합한 곡물로서, 주로 쌀(잡쌀, 현미, 백미, 흑미 등)에 소비자 기호에 따라 잡곡 또는/및 발효잡곡(유산균 등을 발효시켜 영양을 강화하고, 부드럽게 식미를 개선한 잡곡, 한승관 등, 2010)을 혼합하여 제조한 특수가공미의 일종임
- 우리나라에서 혼합미는 주로 RPC와 별개시설에서 약 8~21곡의 쌀 및 잡곡을 혼합하여 제조하는데, 혼합쌀 종류(현미, 백미, 잡쌀, 흑미 등)가 가장 높은 비중을 차지하고 있어, 향후 다양한 종류의 쌀 생산이 가능하면서 잡곡도 취급하는 광역통합RPC에서 대량으로 생산하는 것이 효과적으로 판단됨
- 1stG RPC 및 소형 정미공장에서도 grid scale을 이용한 혼합공정을 설치하여 품질에 차이가 있는 쌀을 혼합하는 브랜딩미를 생산하거나, 멥쌀에 잡쌀이나 잡곡을 혼합하여 원로나 제품으로 납품하는 경우가 증가하고 있으며, 최근 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화사업)으로 혼합미제조시설을 설치하려는 2ndG RPC도 증가하고 있으며, 기반기술도 충분히 축적되어 있는 것으로 알려져 있음
- 한편, 잡곡과 관련하여 농림축산식품사업(발식량작물산업육성사업, 연구당시 관련사업임)으로 잡곡처리시설을 지원하고 있으나, 현재 지원을 위한 모델은 없는 것으로 알려져 있을 뿐 아니라, 체계적인 설계인자 구명없이 RPC 초창기에 사용되었던 소규모, 저성능 단위기계 위주로 주로 설치되고 있어 시스템의 비효율성에 대한 지적과, RPC와의 중복투자에 대한 우려는 물론, 장기적으로 단품을 처리하는 시설의 연간 가동시간, 운영경비 등을 고려할 때 단독 생존 여부에 대한 우려도 있어 이에 대한 조사도 필요하였음
- 따라서 본 연구에서는 기존 혼합미 제조시스템이 광역통합RPC에서 연속적으로 사용이 가능한지 여부에 대한 기술적인 검토를 실시하는 것을 목표로 연구를 추진하였으며, 이를 위해 먼저 기존의 혼합미제조시스템에 대한 논문 및 특허 등 선행기술은 물론, 잡곡을 처리하는 관련업체 및 RPC에 대한 현장조사와, 시중에서 유통되는 제품을 수거하여 유통상황을 분석하였으며, 혼합미 제조시스템을 설계하고, 2개소 RPC에 설치하여 현장실험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

가. 혼합미 품질 및 제조조건 조사분석

(1) 조사방법

- 혼합미에 대한 연구현황의 조사는 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr)을 통해 실시하였으며, 혼합미에 대한 특허는 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스, www.kipris.or.kr)를 통해 실시하였음
- 혼합미 및 잡곡의 국내 유통현황을 조사하기 위하여 인터넷 및 서울근교 대형마트 및 온라인을 통해 혼합미 6개 제품(3개 업체), 잡곡 18개 제품(2개 업체)을 수집하였으며, 수집된 시료는 브랜드명, 원산지, 포장단위, 가격 등을 조사하였고, 혼합미의 경우 혼합되어 있는 잡곡의 종류와 조성비율을 조사하였음

- 또한, 잡곡을 처리하는 7개 업체를 방문하여 잡곡의 제조시스템 및 관련기술을 조사하였으며, 본 연구에 참여중인 2개의 엔지니어링사와, 1개의 관련업체 및 2개소의 RPC를 방문하여 혼합미 제조시스템에 대해서도 조사하였음

(2) 결과 및 고찰

(가) 혼합미에 대한 선행연구

- 혼합미에 대한 연구현황을 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr, 검색어 : 혼합미)를 통해 조사한 결과, 관련 보고서는 20건이 검색된 반면, 관련 논문은 검색되지 않았음. 관련 보고서를 분석한 결과, 검색된 선행기술은 가공제품, 형질개량 및 유통 등에 대한 것으로서, 특히, 제조기술 등 대량제조를 위한 관련 연구는 거의 찾아볼 수 없었음

표 2-1-5-1. 혼합미 관련 주요 선행연구 보고서

구분	제 목	저 자	학회지/보고서
1 보고서	잡곡을 이용한 조리가공식품 과학화 및 상품화	유선미 등	국립농업과학원 (2010)
2 보고서	잡곡의 품질특성 구명 및 잡곡을 이용한 가공식품 개발	유선미 등	국립농업과학원 (2010)
3 보고서	국산콩 차별화를 위한 주요형질 개량	백인열 등	국립식량과학원 (2011)
4 보고서	잡곡의 부가가치 증진을 위한 친환경적 최적관리기술 개발	정기열 등	국립식량과학원 (2013)
5 보고서	고부가가치 기능성 혼합미(곡) 편의식품 개발	신동화 등	등록RPC 영농조합법인 (2010)
6 보고서	잡곡의 안정적 생산과 소비자 지향적인 마케팅 전략 개발	윤석원 등	중앙대학교 (2010)

- 혼합미에 대한 특허는 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스, www.kipris.or.kr, 검색어 : 혼합미)를 이용하여 검색한 결과, 관련 특허는 347건이 검색되었으며, 주요내용은 잡곡의 기능성 향상을 위한 제조기술이 주류를 이루고 있었으나, 잡곡을 혼합하는 대량제조기술에 관한 특허는 찾아볼 수 없었음

표 2-1-5-2. 혼합미 관련 선행특허 조사결과

구분	발명의 명칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	특 징
1 등록	혼합잡곡	농업회사 법인(주) 네오팜	100892082	2009.3.31	· 저당지수 혼합잡곡 · 현미, 흑미, 보리, 압맥, 흑태, 서리태, 약콩, 밤콩, 대두, 강낭콩, 땅콩, 간혹두

2	등록	즉시 취반 가능한 속성 발효 잡곡의 제조방법	연무농업 협동조합, 건양대학교 산학협력단	101505363	2015.3.17	· 찹쌀, 현미찹쌀, 찰흑미, 차 조, 기장, 찰수수, 보리, 녹두, 적두, 백태, 서리태, 흑태, 황 태, 참깨, 들깨, 흑임자, 땅콩
3	등록	발효곡물 및 발효씨앗을 이용한 성형곡물의 제조방법	김기철, 김영옥	101517373	3015.4.28	· 쌀, 콩, 팥, 수수, 기장, 차, 조, 울무, 현미, 찹쌀, 보리, 흑미, 밀, 녹두
4	등록	혼합 곡류의 식미개선을 위한 전처리 방법	(주)다손, 경기대학교 산학협력단	101314481	2013.9.26	· 적외선가열법 · 현미, 흑미, 보리, 밀, 수수 등
5	등록	당뇨병 개선 및 예방을 위한 혼합곡 조성물	등룡알피씨 영농조합 법인	101027413	2011.3.30	· 거대배아미, 거대배아현미, 찰보리(할맥), 흑미멥쌀, 동 부콩, 서목태, 강낭콩
6	등록	곡물에서 분리된 신규한 유산균을 이용한 혼합곡의 발효 방법 및 이의 대량 생산 방법	유종현, (주) 엄마사랑	101424167	2014.7.22	· 복합유산균(락토바실러스 플 렌타럼 외 2) · 현미, 흑미, 보리현미
7	등록	유용미생물이 살아있는 발효잡곡의 제조방법 및 상기방법에 의해 제조된 발효잡곡	한빛영농 조합법인	100851289	2008.8.4	· 유산균, 효모, 고초균, 방선 균 · 찹쌀, 현미찹쌀, 찰흑미, 차 조, 기장, 찰수수, 보리, 찰 보리, 녹두, 적두, 백태, 서 리태, 흑태, 황태, 참깨, 들 깨, 흑임자, 약콩
8	등록	서리태를 원료로 한 기능성 건강식품의 제조방법 및 상기 제조방법에 의해 제조된 기능성건강식품	김형자	100519064	2005.9.27	· 바실러스균 접종 후 발효 · 다이어트, 숙취해소, 골다공 증예방, 콜레스테롤저하, 항 암효과, 동맥경화, 노인성 치매 등 예방
9	등록	발효균이 살아있는 발효곡식의 제조방법 및 상기 방법에 의해 제조된 발효곡식	노영배	101215298	2012.12.18	· 유산균, 효모 배양액 혼합 발 효 · 찰현미, 현미, 찰흑미, 적두, 서리태
10	등록	수수 겨 추출물을 포함하는 항산화제용 약학적 조성물 및 건강 기능성 식품	대한민국 (농진청)	101498075	2015.2.25	· 수수 겨 추출물 포함 및 항 산화 활성을 갖는 조성물
11	등록	검정쌀을 함유하는 기능성 식품 조성물 및 그 제조방법	주식회사 일신웰스	100540876	2005.12.28	· 검정쌀 및 대두에서 추출된 대두다당류 포함된 우수기능 성식품조성물
12	등록	상황보리의 제조방법	제주도, 권도균	100523800	2005.10.18	· 맥주보리 및 보리와 감귤착 즙박을 배지로 하는 상황보 리 제조
13	등록	홍국균을 이용한 GABA	고려대학교 산학협력단	100710497	2007.4.16	· 발아된 통메밀 홍국의 GABA 생산성 향상
14	등록	알칼리 곡물의 제조방법	농업회사 법인(주) 자연에 등	100839794	2008.6.13	· 산도조절을 통한 알칼리화 (pH 8~10)

15	등록	편리취사가 가능하고 생리활성물질의 함유량이 증대된 현미 또는 잡곡 생산 방법	이제혁	101185752	2012.9.13	· Vit B ₁ , B ₂ , SOD(superoxide dismutase) 및 GABA 포함하는 현미 및 잡곡
16	등록	인지능력 증강용 혼합곡 조성물	등룡알피씨 영농조합 법인	100968532	2010.6.30	· GABA, 영양소 함량조성 우수 · 거대배아미엿쌀, 거대배아현미엿쌀, 일반현미발아찹쌀, 엿쌀흑미, 강낭콩, 호두
17	등록	영양 강화 곡물의 제조 방법 및 영양 강화	이동용, 전병국	101425992	2014.7.28	· Vit. C, B ₂ 분말, 칼슘분말, 콜라겐 분말 중 하나 포함 · 현미, 백미, 찹쌀, 보리, 콩, 울무, 조, 수수 중 하나인것

(나) 혼합미 제조 및 품질기준

- 혼합미에 대해 별도로 제시되어있는 품질기준은 찾아볼 수 없었고, 표시사항으로는 농림축산식품부령 제515호(2015.3.11. 일부개정), 양곡관리법 시행규칙 제7조의3(양곡의 표시사항) 등 관련 법규에서 혼합 양곡의 표시사항에 대한 기준은 다음과 같았음

표 2-1-5-3. 양곡의 표시사항 및 표시방법 기준

양곡의 표시사항 및 표시방법(제7조의3 관련)
<p>1. 표시사항</p> <p>가. 의무표시사항</p> <p>1) 품목</p> <p>가) 양곡의 품목 또는 품명을 표시</p> <p>나) 쌀 또는 현미에 다른 양곡이나 양곡가공품을 혼합한 경우에는 혼합된 모든 품목 또는 품명을 표시하되, 혼합된 품목 또는 품명이 다섯 가지를 넘으면 혼합비율 또는 중량이 많이 혼합된 순으로 다섯 가지 이상을 표시</p> <p>다) 여러 가지 양곡 또는 양곡가공품을 혼합한 경우 품목별로 표시된 양과 실제 양과의 과부족 허용오차는 10퍼센트 이하로 함</p>

(다) 혼합미의 국내 유통현황

- 수집된 혼합미는 주로 현미, 보리 및 흑미 등을 기반으로 8~21종의 잡곡이 혼합된 다양한 잡곡류로서, 조사결과는 다음 표와 같았음. 표에서 알 수 있듯이 유통가격은 잡곡의 조성비율과 잡곡의 종류에 따라 차이가 매우 크게 나타났으며, 조성비율에서 가장 많은 비중을 차지한 것은 찹쌀유의 현미 및 찹쌀이었으며, 현미 및 유색미 등도 혼합되었으나 백미가 혼입된 제품은 없었음

표 2-1-5-4. 인터넷 및 서울근교 대형마트에서 수집된 혼합미

제조사	제품명	원산지	단위 (kg)	가격 (원)	단가 (원/kg)	조성비율
아침농산	웰빙혼합 15곡	혼합	0.8	1,900	2,375	국산 : 찰쌀5%, 현미6%, 찰쌀현미2%, 흑미2%, 현미3%, 찰흑미, 압맥, 할맥 미국산 : 완두콩5%, 밀쌀24%, 늘보리10%, 찰기장20%, 찰수수18%, 중국산 : 청차조, 호주산 : 레드렌틸4%
아침농산	혼합 21곡	국내	0.8	3,300	4,125	찰쌀15%, 현미25%, 찰현미2%, 흑미2%, 찰흑미7%, 쌀보리25%, 찰보리15%, 늘보리10%, 통밀7%, 발아현미, 발아흑미, 발아찰쌀현미, 서리태, 백태, 적두, 흑태, 약콩, 옥수수, 강낭콩, 할맥, 압맥
아침농산	검정약쌀 혼합 11곡	혼합	0.8	2,700	3,375	국산 : 흑미8%, 찰흑미4%, 찰쌀10%, 늘보리, 압맥, 찰쌀현미, 쌀보리20%, 현미6%, 찰보리10% 중국산 : 찰기장10%, 찰수수15%
진안농협	혼합 8곡	국내	1.0	4,900	4,900	찰쌀20%, 찰현미20%, 현미25%, 찰흑미5%, 흑미5%, 압맥5%, 보리쌀10%, 찰보리쌀10%
진안농협	혼합 14곡	국내	1.0	8,100	8,100	찰쌀14%, 찰현미15%, 서리태3%, 보리쌀10%, 찰수수5%, 울무3%, 압맥3%, 현미10%, 흑미6%, 찰흑미6%, 기장3%, 차좁쌀5%, 적두3%, 찰보리쌀14%
오뚜기	혼합 15곡	국내	0.8	18,160	22,700	보리쌀18%, 찰쌀14%, 현미15%, 찰현미13%, 찰흑미5%, 흑현미5%, 찰보리쌀, 찰수수쌀, 발아현미, 팥, 서리태, 메밀쌀, 강낭콩, 흑태, 울무쌀



그림 2-1-5-1. 시판되고 있는 혼합미제품

표 2-1-5-5. 수집된 잡곡의 포장단위 및 가격

제조사	제품명	원산지	단위(kg)	가격(원)	단가(원/kg)	비고
아침농산	쌀보리	국내	0.8	2,500	3,125	
아침농산	늘보리	국내	0.8	2,900	3,625	
아침농산	찰보리	국내	0.8	2,300	2,875	
아침농산	찰수수	국내	0.5	3,500	7,000	
아침농산	귀리	캐나다	0.8	1,900	2,375	
아침농산	서리태	국내	0.5	3,800	7,600	
아침농산	백태	국내	0.5	3,000	6,000	
아침농산	강낭콩	국내	0.5	3,500	7,000	
아침농산	레드렌틸콩	호주	1.0	2,900	2,900	
아침농산	브라운렌틸콩	호주	1.0	2,600	2,600	
아침농산	병아리콩	호주	1.0	2,600	2,600	
아침농산	약콩	국내	0.5	3,500	7,000	
아침농산	적두(팔)	국내	0.5	3,500	7,000	
아침농산	청차조	국내	0.3	2,300	7,667	
진안농협	찰기장	국내	0.5	5,700	11,400	
진안농협	차좁쌀	국내	0.5	5,100	10,200	
진안농협	녹두	국내	0.5	9,100	18,200	
진안농협	율무	국내	0.5	9,900	19,800	



그림 2-1-5-2. 시판되고 있는 잡곡제품

(라) 혼합미 및 잡곡 제조회사의 시설 및 기술현황

① 보리 선별가공업체

- 전북 김제시에 소재하는 A농협은 관내의 농가로부터 보리를 연간 약 1,000톤 수준(주로 흰찰쌀보리 및 기타 찰보리계통)을 수매하는데 수매가격은 43,000~50,000원/40kg(14% 기준) 수준이나, 매년 기후여건 및 재배면적에 따라 70,000원/40kg 수준까지 올라가는 등 진폭이 크고 농민의 불만이 많은 것으로 조사되었음
- 보리는 수확시기가 6월 초중반으로서 A농협에서는 6월말~7월초까지 산물수매를 실시하며, 순환식건조기의 용량부족으로 인해 함수율이 높은 보리는 순환식건조기에서 1차 건조한 후, 평타입사일로로 이송하여 상온통풍건조하며, 함수율이 30% 이상인 경우에는 순환식건조기에서 가열하지 않고 통풍하여 건조한 다음 30% 정도부터 정상적으로 건조하되, 14%까지 건조후 에피흙 혼증을 1회 실시한 다음 익년 수확기까지 톤백상태로 저장함(수확시기는 개략적으로 보리 6월초~6월 15일, 밀 6월 10일~6월 15일, 모내기 6월 10일~6월말, 귀리 6월 15~25일경이었음)
- 보리의 산물수매시 건조지수는 적용하지만 이물질에 의한 실중량감소 방지를 위한 정선지수는 기준이 없어 적용하지 않으며, 수분 등의 측정장비는 벼와 동일한 장비를 사용한다고 하였으며, 벼와 보리를 동일 시설에서 취급함에 따라 혼곡문제가 발생하는데, 벼 중에 보리는 색채선별기로 선별하며, 보리품종간의 구분은 육안 확인 및 요오드용액을 이용한 비색법(자색은 찧기가 높은 편, 검정색은 찧기가 낮음)이 사용되며, 바구미발생문제는 바구미가 발생되는데 소요되는 기간이 있어 큰 문제는 없다고 하였음
- 보리 가공수율은 약 75% 수준이며, 보리가공에 사용하는 별도의 품질기준은 없는 상태에서 육안으로 백도를 측정하지만 대형유통업체에서도 추가 도정 등에 대한 요구는 없었다고 하며, 맥분이 가벼워 색채선별기의 가동도 어렵고, bag filter로도 집진에 한계가 있으며, 기계장비내의 바구미발생방지를 위한 청소가 대단히 중요하다고 하였음
- 도정된 보리는 800g~5kg단위로 포장하여 주로 대형유통업체에 납품하는데 출하가격이 2,000원/kg 수준으로서 도정도를 감안한 원료가격이 1,400~1,500원/kg으로서 포장지 및 가공비 등을 제외할 때 순이익은 100~200원/kg 수준으로 이윤창출이 어려우며, 연간 매입량 중 홈플러스에서 처리 못하는 물량은 상인 등을 통해 판매하며, 보리맥강은 수거상인과 계약하여 주로 소 사료용으로 판매되고 있었음
- 도정된 보리를 납품받는 대형유통업체에서는 구매 편의를 위해 보리 이외에도 흑미, 찹쌀 및 두류 등을 함께 구매하고 싶어 하며, 농협에 이들 잡곡류의 선별시설의 설치를 요구하고 있다고 하며, A농협에서는 별도로 잡곡시설을 지원하는 것보다는 통합하여 지원해 줄 것을 정부에 건의한다고 함

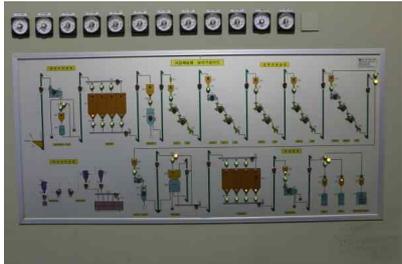
		
A농협 보리가공시설전경	정맥기	포장라인
		
PLC control panel	집진시스템	보리가공제품
A농협 보리도정시설		
		
B사업단 전경	귀리가공공장 flow chart	귀리선별처리시설
전북정읍 B사업단의 귀리 선별가공시설		

그림 2-1-5-3. 보리 및 귀리를 선별가공하는 시설

② 귀리 선별가공시설

- 전북 정읍에 소재하는 B사업단은 약 10년 이상 귀리사업을 하고 있지만 초반에는 사업추진이 대단히 어려웠으나, 귀리가 세계 10대 건강식품에 포함되면서 2013년부터 찾는 수요가 증가하고 있다고 함. 사업단에서 농민과 계약재배하는 물량 및 직접재배하는 물량을 확보하는데 2014년에는 약 600톤, 2015년도에는 약 1,500톤 정도이며, 계절별로는 추파(가을파종)가 약 60%, 춘파(2월파종)가 40%정도이며, 수량은 3.0~3.5톤/ha정도이나, 겨울 날씨에 영향을 많이 받는 것으로 조사되었음
- 매입함수율 기준은 11%이고, 저장함수율은 12%수준이나, 귀리용 수분측정기가 없어 정확하게 수분을 측정하지 못하여 수확적기 및 건조목표 함수율 등을 정확하게 유지하기 어려워 각 공정에서 곰팡이가 발생하고 부패되어 버리는 경우가 많은 것이 가장 큰 문제라고 했으나, 곡물 수분측정기 사용을 시도한 적이 없었다고 하였고, 하절기는 바구미가 발생되어 저온저장고에 저장하는 것이 필요함
- 귀리는 수확하여 탈곡하면 껍질이 부착되어 있는 겉과, 껍질이 제거된 쌀이 혼재하는데 건조기에서

약 38%정도로 수분이 높아 덩어리져 잘 빠지지 않는 등 건조도 어렵다고 하였으며, 매입가는 3,000 원/kg이나 풀씨, 풀대 등이 섞여 들어오고 건조지수 등의 적용도 없으며, 부패 등으로 수율이 약 50%에 불과하여 판매가는 6,900원/kg수준으로 매입가격에 비해 약 2배 이상으로 높은 것으로 조사 되었으며, 귀리는 주로 오토밀과 선식의 원료로 사용되고 있었음

- 귀리의 건조저장시설의 효율적인 운영을 위해서는 ㉠ 수분측정방법의 정립 및 기준수분계 결정, ㉡ 조선기를 통해 풀대, 풀씨 등 이물질의 제거는 물론 정선지수의 적용, ㉢ 미숙립은 건조후에도 수분이 높아 부패의 원인이 되므로 별도 구분처리의 필요, ㉣ 겉과 쌀의 구분을 위한 비중선별기의 설치 (건조-저장-비중선별-겉은 탈피후 다시 비중선별-쌀은 판매)가 필요할 것으로 판단되었음

③ 콩류 선별시설

- 주로 서리태를 수집하여 건조, 저장 및 선별하는 충남 서천소재 C농협에서는 11~12월에 조합원이 생산한 서리태를 반입받아 수확-건조-선별 후 대금을 지급하는데, 통상 반입되는 서리태의 함수율은 약 18% 수준이고, 저장 함수율인 12% 수준까지는 35~40℃ 열풍으로 건조하여 저장하는데, 함수율측정은 주로 깨물어서 확인한다고 함. 겉은 마르고 내부는 건조가 덜 된 상태가 많아 처리과정 중에 반태 발생이 많고, 10% 정도까지 과건될 경우 미세한 충격에도 반태가 되기 쉬워 각 공정 중 반태발생을 방지하는 가장 중요한 것으로 조사되었음
- C농협 관내 생산 물량은 서리태 100톤, 적두 30톤, 흑태 30톤 및 약콩 20톤 등 약 200톤에 불과하여 인근 관외에서 600~700톤을 추가로 매입하여 톤백형태(직판) 또는 소포장형태로 판매하는데, 습식연미기를 사용하여 “씻어나온콩”으로 판매하는 경우도 있으나 탁도 등을 고려할 경우 과장광고의 위험이 높았으며, 신선도 유지를 위해 포장지내부에 탈산소제를 넣어 유통하고 있었음
- 매년 생산량에 따라 5,000~10,000원/kg정도로 매입가격 변동이 심하였으며, 5,000원/kg으로 매입할 경우 감모량 5%, 수율 95%를 고려하여 7,900원/kg정도에서 판매한다고 하는데, 판매처는 통합RPC가 쌀을 주로 거래하는 대형유통업체에 주로 납품하며, 이 시설은 가동기간이 매우 짧은 점이 가장 큰 문제인 것으로 조사되었음
- 한편, 충북 음성소재 D협은 정부의 발작물공동경영체육성사업 대상자로 선정되어 약 30억원의 사업비로 건설되어 서리태 약 500톤을 처리하는 시설로서, 수확기 1개월 정도 가동 후 가동물량의 미확보 등으로 연중 휴무하는 것으로 조사되었으며, 주요 시설은 일본에서 수입하여 설치되어 있었음
- 전북 진안소재 E업체는 콩(백태, 서리태) 및 잡곡(녹두, 기장, 참쌀 등) 등을 단순 선별포장하는 국내 식품대기업의 계열회사로서, 2014년 정부의 발작물간업육성사업 대상자로 선정되어 약 8억원의 사업비로 건설되었음. 연간 처리량이 750톤 정도에 불과하여 가동율이 낮았으며, 선별된 콩은 콩나물공장이나 두부공장으로 납품하며, 온라인을 통한 소포장 판매도 하고 있었음
- 원료확보는 문제가 없으나, 단순 선별포장에 의존함에 따라 판매가격은 중국산에 밀리고, 가동율도 낮은 편으로 김치유산균을 이용한 발효잡곡의 생산을 검토 중에 있으며, 진안지역의 약 200ha에서 생산되는 흑미를 이용한 음료제조도 검토 중이라고 하였음

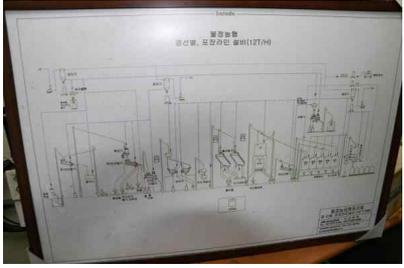
		
C농협 콩 선별시설전경	원료 저온저장시설	가공공장
		
PLC control panel	콩 반태선별기	포장지에 넣는 탈산소제
충남 서천소재 C농협 콩 선별시설		
		
E업체 전경	원료 콩 투입	선별가공시설
전북진안소재 E업체		
		
공정 Flow chart	원료 저장용 저온저장고	원료 선별부
		
부산물 공기이송	선별가공부	
충북 음성소재 D농협 콩 선별가공시설		

그림 2-1-5-4. 우리나라 콩 선별가공시설

④ 잡곡처리시설

- 30년 이상 운영한 국내 최대 잡곡취급업체로 알려져 있는 충북에 소재하는 F업체는 각 품목별 선별 처리시설을 별도로 갖추고 있으며, 이를 이용한 혼합곡물제조시설도 보유하고 있었음. 귀리, 렌틸콩 및 병아리콩의 처리물량은 국내 시장의 약 30%를 점유하였으나, 최근 건강 지향적으로 귀리 등을 취급하는 경쟁사가 등장하면서 취급물량이 감소하고 있으며, 국내산 콩이나 보리 등은 렌틸콩, 귀리 등이 수입되면서 사업이 어려운 것으로 조사되었음
- 주요 판매처는 식자재회사이나, 잡곡가격이 조금만 상승해도 매입을 거부하는 등 단순한 국내산 잡곡의 수집판매 및 잡곡의 수입판매는 수익성에 한계가 있어, 발효잡곡 및 혼합잡곡 등을 제조판매하는데 주력하고 있는 것으로 조사되었음. 특히, 율무현미는 식용이 어렵지만 발효율무는 식용이 가능하고, 통상 발효시킬 경우 부드럽고, 벌레도 발생하지 않는 등 저장성도 좋으며, 녹두, 팥 등은 덩어리가 발생하지 않는다고 함
- F업체는 RPC를 보유하고 있어 향후에 혼합시설 및 무세시설 등을 추가 설치하여 백미+발효잡곡 등 요일별로 적합한 제품을 생산할 계획이나, RPC에서 잡곡을 취급하는 데는 ㉠ 쌀과 잡곡은 시장이 달라 통계가 없으며, 거래처 확보, 정보획득에 한계, ㉡ 해마다 가격이 지나치게 변동이 심하여 계약재배에 한계(F업체의 경우 백태 등 잡곡의 약 30%만 계약재배)가 있는 등 애로가 많아 한계가 있을 것으로 주장하였음

		
원료 투입구	잡곡종류별로 다른 가공시설	혼합시설
		
포장 및 적재시설		
F업체 잡곡 선별가공시설		
		
농협양곡 양재동 잡곡센터전경	원료보관	에피홈 훈증
		
잡곡가공라인	포장라인	제품
농협양곡 양재동(현재는 성수동으로 이전)잡곡 선별가공시설		

그림 2-1-5-5. 다양한 잡곡을 선별가공하는 시설

(마) 혼합미 제조시스템 관련기술

- 본 연구에 참여중인 2개의 엔지니어링사와, 1개의 관련업체 및 2개소의 RPC를 방문하여 혼합미 제조시스템에 대해서도 조사한 결과는 다음과 같았음
- 혼합미제조시스템은 RPC에서 사용되는 브랜딩(blending)과 동일한 원리로서 처리하는 잡곡 숫자와 동일한 탱크하부에 설치된 load cell(2 points)형태의 grid scale로 설정된 비율로 혼합하는 것이 핵심기술로서, grid scale은 국내에서도 중량을 측정하여 포장기를 제조하는 세진테크, IGSP 등 여러 회사에서 제조가 가능한 것으로 조사되었음
- 다만, 기술적으로는 grid scale에서 계량방법에 따른 혼합미의 균일성의 담보하는 것이 중요하였으며, 현재 사용되는 방법은 크게 2가지로서 ㉠ grid scale에서 batch type으로 계량할 경우로서 각 계량된 곡물이 한꺼번에 컨베이어로 배출됨에 따라 혼합비가 균일하지 않게 되므로 이를 방지하기 위해 별도의 혼합기를 사용하는 방법과, ㉡ grid scale에서 연속적으로 정량배출하기 위해서는 배출유량을 제어하는 controller가 필요하나, 현재 국내에서는 제작되지 않아 수입(일본 Kyoji 사 등)에 의존하고 있는 것으로 조사되었음

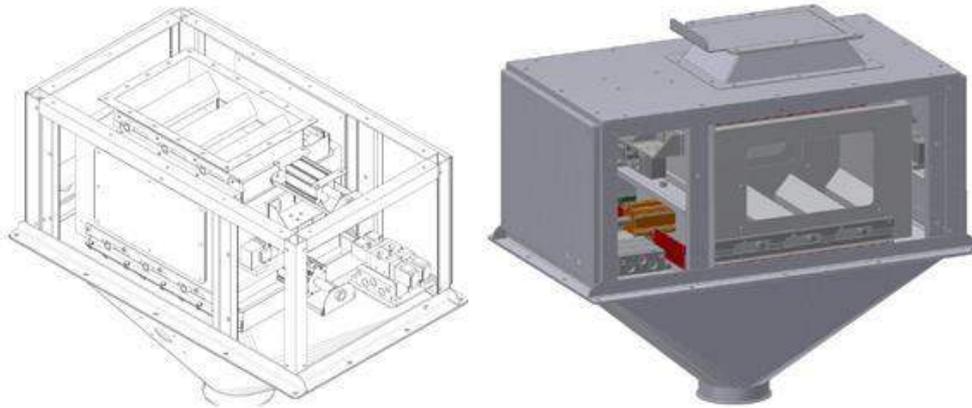


그림 2-1-5-6. 혼합미제조시스템에서 일반적으로 사용중인 grid scale



그림 2-1-5-7. 혼합미제조시스템에서 사용중인 리본믹스 형태의 혼합기



그림 2-1-5-8. 2ndG RPC인 충북 청주소재 민간RPC에 설치된 grid scale로 구성된 혼합미 제조시스템

나. 혼합미 대량제조시스템의 개발

- 전술한바와 같이 혼합미에 대한 시장조사, 잡곡처리시설 및 혼합미제조시스템에 대한 현장조사결과, 혼합미의 제조를 위한 별도의 품질 및 제조기준의 설정 필요성이 낮았으며, 혼합미제조시스템의 경우도 본 연구팀이 수행할 수 없는 정량공급을 위한 유량제어 controller의 개발 이외에는 현실적으로 대량제조시스템에 대한 연구 필요성이 낮았음
- 그러나, 혼합미의 제조에 필요한 잡곡 제조시설은 설계인자의 구명도 없었고, 과거 RPC 초창기에 사용되었던 소규모, 저성능의 단위기계가 조합되어 사용되고 있으며, 보급모델이 없는 상태로서 보급되거나 설치되고 있어 시설의 효율적인 운영에 한계가 발생하는 것을 알 수 있었음. 또한, 투입, 건조 및 저장시설 등은 RPC와 중복투자의 우려가 높으며, 연중가동시간 및 투자비 등을 고려할 때 장기적으로 잡곡처리시설의 독자생존에 한계가 있을 것으로 판단되었음
- 따라서 본 연구에서는 다음 연구항목인 “주요 잡곡류의 건조 및 선별인자구명”항과 연계하여 중요한 잡곡류 처리시설 설계에 필요한 인자를 구명하는데 주력할 예정이며, 본 연구항목에서는 2ndG RPC에서 혼합미제조라인을 설치할 때 기본설계에 참여하고, 현장에 설치된 이후 현장실험을 통해 관련된 기술을 확인하고, 보급에 필요한 보급모델을 정립하는데 목적을 두고 추진하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

(1) 설계방향 설정

- 본 연구의 위탁연구/참여기업인 대주종합기술단 및 협동엔지니어링과 함께 2ndG RPC 설치가능한 규모인 4.0ton/hr 혼합미제조라인의 기본설계를 실시하였으며, 혼합미 제조방향은 쌀(백미, 현미, 찹쌀, 흑미 등)과 특수가공미(클린라이스, 배아미, 발아현미 등)를 소비자 needs에 맞도록 혼합제조하는 것으로 하였으며, 최대 24곡의 곡물이 혼합될 수 있도록 설정하였음

표 2-1-5-6. 혼합미 대량제조시스템 기본설계방향

구분	기본 설계방향
처리능력	4.0ton/hr(혼합기준)
혼합방법	grid scale+blending
잡곡처리수	최대 24종

(2) 기본설계

- 혼합미 대량제조시스템의 기본공정은 다음의 그림과 같이 원료탱크-계량-혼합-제품석발-포장 등이었으며, 잡곡의 종류에 따라 필요시 전처리 및 연마공정을 추가하도록 하였으며, GAP 농산물우수 관리시설에 부합되도록 포장, 제품보관 및 부대시설은 분리되도록 구성하였고, 단위기기 및 이송기기에는 집진시설이 연계되도록 구성하였음
- 원료탱크는 설계방향에 부합되면서 잡곡 24종 처리가 가능하도록 24기의 탱크로 구성하였으며, 높이는 2.44m, 체적은 1.78m³으로 설계하였고, 각 원료탱크 하부에는 계량기를 설치하여, 각 탱크별로 원료가 배출될 때 혼합비에 따른 중량계산프로그램에 의해 사용자가 원하는 혼합량을 조정하여 배출하도록 하였으며, 혼합비에 따라 계량된 잡곡을 혼합하기 위하여 1ton/batch/15min 규모의 혼합기를 설치하여 4ton/hr(1 batch×1톤×4회/시간)의 혼합미 제조가 가능하도록 하였음
- 혼합기에서 배출되는 혼합미는 제품탱크로 이송하게 되고, 돌 등 이물질을 선별하기 위해 석발기를 제품탱크 후단에 설치하도록 설계하였으며, 잡곡의 종류에 따라 미세한 도정이 필요할 경우 연마기를 설치하도록 하였고, 이후 계량 및 포장을 통해 최종제품이 출하되도록 하였음
- 혼합미 대량제조시스템의 설계방향과 기본공정을 토대로 기본설계도면(그림 2-1-5-10)을 작성하였고, 설계된 주요기기의 명세표는 다음의 그림 2-1-5-11과 같았으며, 설계된 혼합미 대량제조시스템은 현장에 적용하였으며, 현장실험 결과는 다음의 다항과 같았음

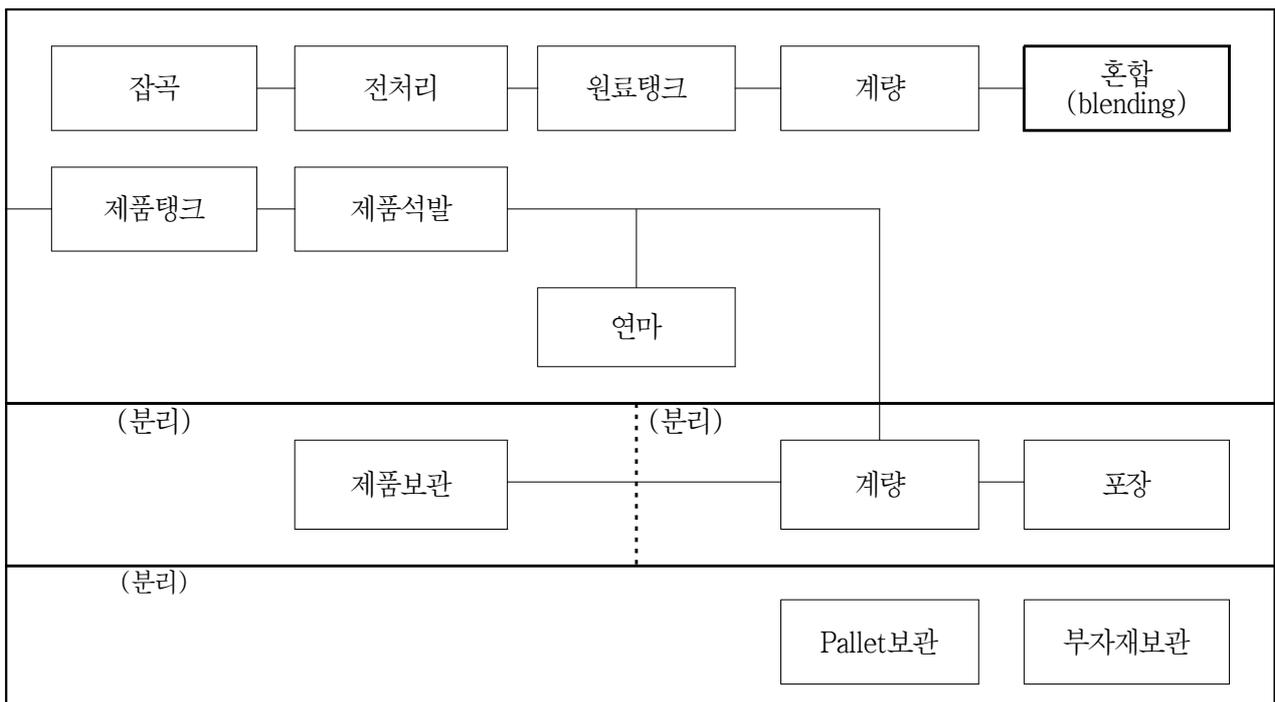


그림 2-1-5-9. 혼합미 대량제조시스템 공정도

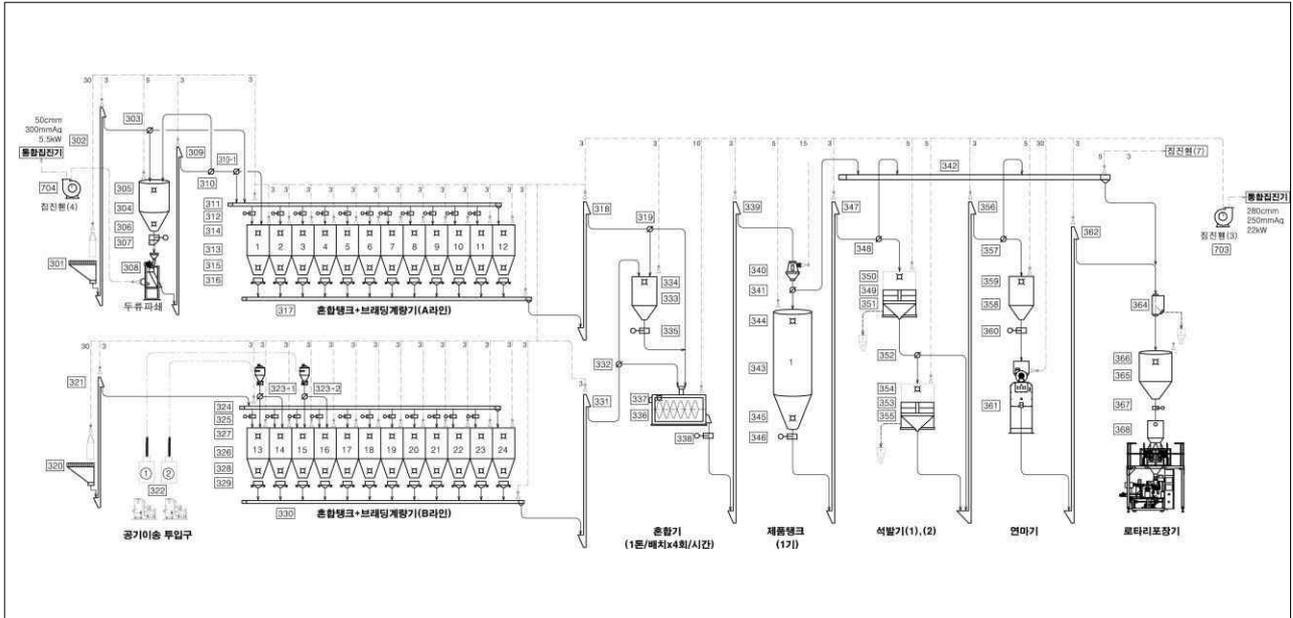


그림 2-1-5-10. 혼합미 대량제조시스템 기본설계도면

번호	품명	규격	용량	수량	동력	비고
225	슬라이드 게이트 (STS)	300 x 300		1		A.C.L.S
226	론백 클럼프			1		A.C
227	론백 배출제인컨베이어	1.3 x 3.0mL		1	1.5kW x 4P	
228	론백 플러컨베이어	1.5 x 1.5mL		1		
3-1. 두류파쇄시설						
301	투입호퍼 (A라인)	1200 x 1200		1		
302	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 11.22mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
303	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
304	두류파쇄 원료탱크 (STS)	Ø1.2x3.0mH	3.4m³	1		
305	상부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
306	하부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
307	슬라이드 게이트 (STS)	200 x 200		1		A.C, 2L.S, 2SOL
308	두류파쇄기		0.4 T/H	1	3.7kW x 4P	G.M
309	완전배출 승강기 (H,T-ST)	5T x 10.3mH	5 T/H	1	0.75kW x 4P	G.M
310	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
310-1	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
3-2. 혼합탑식시설						
311	플라스틱 체인컨베이어 (STS)	10T x 9.97mL	10 T/H	1	1.5kW x 4P	경화수지, G.M
312	슬라이드 게이트 (STS)	160 x 400		11		A.C, 2L.S, 2SOL
313	혼합탱크 (A라인)	1,22x0.6x2.44mH	1.78m³	12		
314	상부레벨	SPS(STD)		12		PADDLE TYPE
315	하부레벨	SPS(STD)		12		PADDLE TYPE
316	브렌딩 계량기 (A라인)	5~15kg/Batch	7 T/H	12	1kW x AC220V x 1C	A.C, Load cell
317	플라스틱 체인컨베이어 (STS)	10T x 9.97mL	10 T/H	1	1.5kW x 4P	경화수지, G.M
318	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 10.61mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
319	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
320	투입호퍼 (B라인)	1200 x 1200		1		
321	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 11.22mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
322	공기이송 투입구	1 T/H	2	7.5kW		
- 사이클론, VORTEX BLOWER+FILTER TANK, SUCTION HEAD						
323	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		2		A.C, 2L.S, 2SOL
324	플라스틱 체인컨베이어 (STS)	10T x 9.97mL	10 T/H	1	1.5kW x 4P	경화수지, G.M
325	슬라이드 게이트 (STS)	160 x 400		11		A.C, 2L.S, 2SOL
326	혼합탱크 (B라인)	1,22x0.6x2.44mH	1.78m³	12		
327	상부레벨	SPS(STD)		12		PADDLE TYPE
328	하부레벨	SPS(STD)		12		PADDLE TYPE
329	브렌딩 계량기 (B라인)	5~15kg/Batch	7 T/H	12	1kW x AC220V x 1C	A.C, Load cell
330	플라스틱 체인컨베이어 (STS)	10T x 9.97mL	10 T/H	1	1.5kW x 4P	경화수지, G.M
331	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 10.61mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
332	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
333	보조탱크 (STS)	Ø1.5x1.5mH	2.65m³	1		
334	상부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
335	슬라이드 게이트 (STS)	300 x 300		1		A.C, 2L.S, 2SOL
336	혼합믹서	2.15x0.95x1.15H	2.1m³	1	11kW x 4P	G.M
337	상부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
338	슬라이드 게이트 (STS)	200 x 200		1		A.C, 2L.S, 2SOL
339	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 10.61mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
340	아스피레이터			1		
341	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
342	플라스틱 체인컨베이어 (STS)	10T x 9.97mL	10 T/H	1	1.5kW x 4P	경화수지, G.M
343	제조탱크 (STS)	Ø1.2x4.0mH	4.5m³	1		
344	상부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
345	하부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
346	슬라이드 게이트 (STS)	200 x 200		1		A.C, 2L.S, 2SOL
347	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 9.39mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
348	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
349	보조탱크 (STS)	1.27x0.88x0.7mH	0.78m³	1		
350	상부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
351	석발기 (1)		5 T/H	1	0.75kW	인버터
352	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
353	보조탱크 (STS)	1.27x0.88x0.7mH	0.78m³	1		
354	상부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
355	석발기 (2)		5 T/H	1	0.75kW	인버터
356	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 9.39mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
357	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
358	보조탱크 (STS)	Ø0.9x0.9mH	0.57m³	1		
359	상부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
360	슬라이드 게이트 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
361	견삭연마기		4 T/H	1	3.7kW, 0.5kW(FAN)	G.M
362	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 10.0mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
363	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 5.12mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
364	급속출기	Ø120		1	220V	
365	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
366	2-방향 분배기 (STS)	150 x 150		1		A.C, 2L.S, 2SOL
367	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 9.09mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
368	원료탱크 (STS)	Ø1.2x2.0mH	2.26m³	1		
369	상부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
370	하부레벨	SPS(STD)		1		PADDLE TYPE
371	슬라이드 게이트 (STS)	200 x 200		1		A.C, 2L.S, 2SOL
372	연류계	40kg/Batch	10 T/H	1		A.C, Load cell
373	완전배출 승강기 (H,T-ST)	10T x 9.09mH	10 T/H	1	1.5kW x 4P	G.M
374	플라스틱 체인컨베이어 (STS)	10T x 6.97mL	10 T/H	1	1.5kW x 4P	경화수지, G.M
375	슬라이드 게이트 (STS)	160 x 400		2		A.C, 2L.S, 2SOL

그림 2-1-5-11. 혼합미 대량제조시스템 주요기기명세표

(3) 혼합미 대량제조시스템 현장적용

① 실험방법

- 본 연구의 참여기업인 협동엔지니어링사가 설계한 정부의 고품질쌀유통활성화사업(고품질쌀브랜드육성)의 2016년도 사업대상자인 충북 청주소재 민간 RPC 및 농협 통합RPC의 혼합미 제조시스템에 대한 설계도서를 본 연구진과 공동으로 검토하였으며, 설치된 이후 혼합미 제조시스템에 대한 기본 성능을 측정하고 보완사항을 도출하였음
- 현장조사 2개소의 RPC에 설치된 혼합미 제조시스템은 각 제품 탱크에서 grid scale에 의한 정량공급으로 이송컨베이어에서 혼합되는 형태가 아닌 혼합기에서 혼합되는 형태로서 설계능력은 4.0ton/hr (1.0ton/batch×4batch/hr)이었으며, 충북 청주소재 민간 RPC는 8가지 곡물을 혼합하도록 구성되었으며, 충북 청주소재 농협 통합RPC는 찰쌀 및 멥쌀 등 2가지 곡물만을 혼합할 수 있는 구조로 설계되었으며, 세부적인 설계도면은 다음의 그림과 같았음

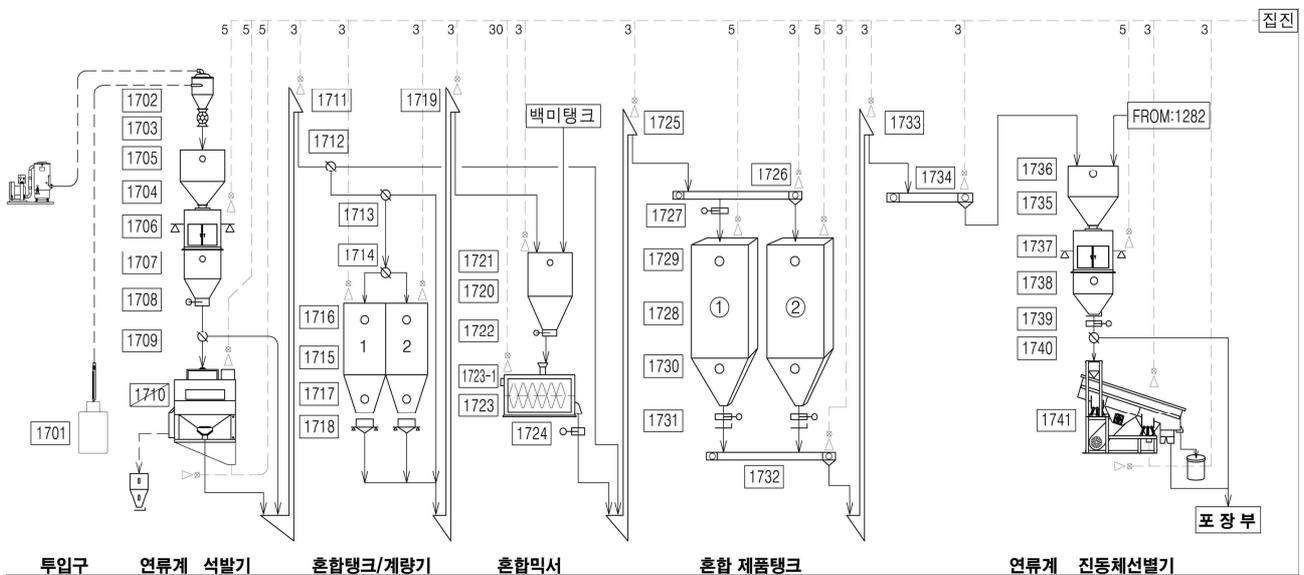


그림 2-1-5-12. 충북 청주소재 농협 통합RPC의 혼합미 제조라인 flow chart

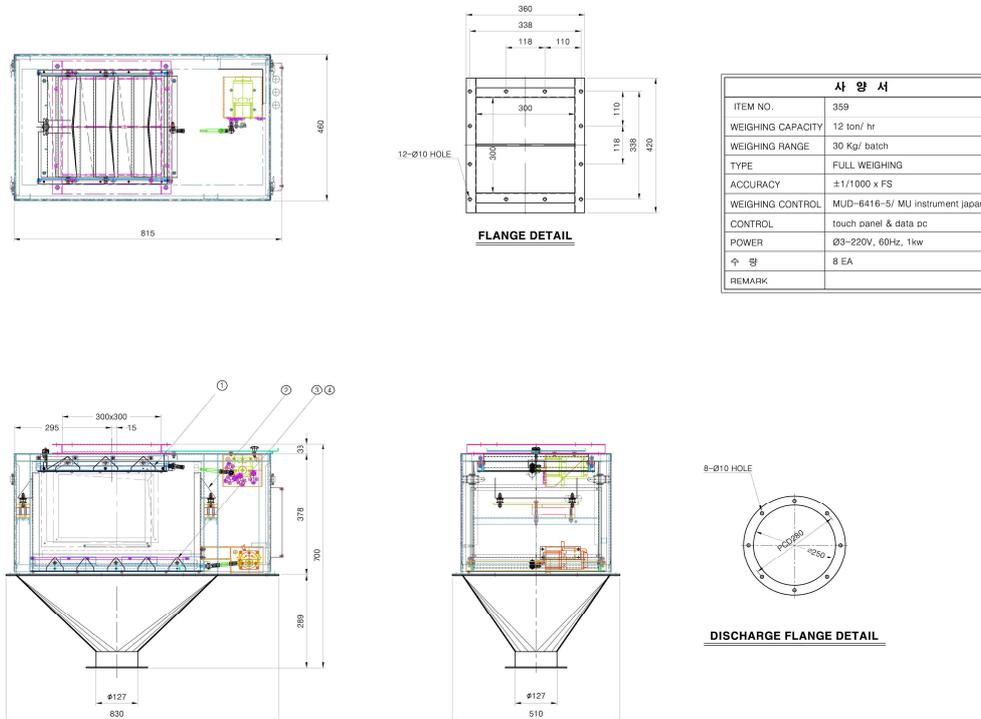


그림 2-1-5-15. blending용 grid scale 도면

○ 혼합미 대량제조시스템에 대한 성능평가는 고품질쌀브랜드육성사업의 성능검사와 병행하여 실시하였으며, 현장평가는 민간 RPC는 2016. 12. 7일부터 3일간, 농협 통합RPC는 2017. 2. 6일부터 3일간 이었고, 혼합은 백미와 찰쌀을 사용하여 혼합하였으며, 각 곡물저장탱크 하부의 grid scale에서 투입되는 곡물량을 측정 후 혼합탱크에서 혼합하여 배출하였으며, 배출되는 혼합미의 시료를 측정하여 다음 식에 의해 혼합오차율을 계산하였음

$$\text{혼합오차율}(\%) = \frac{\text{목표혼합율} - \text{측정혼합율}}{\text{목표혼합율}} \times 100 \dots\dots\dots (2-1-5-1)$$



(혼합미제조시스템에 사용중인 리본믹스 형태 혼합기)



(grid scale로 구성된 혼합미제조시스템)

그림 2-1-5-16. 혼합미 대량제조시스템 현장실험

② 결과 및 고찰

- 충북 청주소재 민간RPC에 설치된 혼합미제조라인에 대해 멥쌀 900kg, 찰쌀 120kg을 각각 혼합기에 넣은 다음, 혼합미를 제조하여 시료를 채취하면서 처리능력과 혼합오차율을 측정한 결과, 실제 처리 능력은 5.4ton/batch수준이었으며, 혼합오차율은 13.78%로 비교적 높았음
- 혼합오차율이 높게 나타난 원인은 혼합시간의 설정치인 10분이 균일한 혼합에 소요되는 시간보다 짧았고, 혼합기 내부의 리본믹서가 형태상 혼합기 바닥의 곡물까지 혼합하지 못해 균일한 혼합이 어려운 점 등의 문제가 발견되었으며, 이 문제 해결이 가능하도록 시스템을 보완토록 하였으며, 추가 실험을 위한 제반 여건상 2차 실험장소는 보완된 타 RPC에서 실시하였음
- 보완된 혼합기를 채용한 농협 통합RPC에서 멥쌀 930kg, 찰쌀 70kg을 혼합기에 공급하여 혼합오차율과 처리능력을 측정한 결과, 혼합오차율이 11.14%로서 리본믹서를 개선하지 않은 최초의 혼합기를 채용한 민간RPC에서 측정한 혼합오차율 13.78%보다 개선되었으며, 처리능력도 5.0ton/hr으로서 만족할만한 결과를 얻었음
- 이상과 같이 리본믹서의 개선 등을 통한 혼합오차율 향상부분은 물론, 전반적인 설계 및 시공에 관련된 부분은 본 연구진 및 참여기업이 공유하여 2ndG RPC의 보급 및 향후 광역통합 RPC의 시설구비 사항에 포함시켜 활용토록 하였음

표 2-1-5-7. 혼합미제조라인의 처리능력 현장실험 결과

구 분	처리능력(ton/hr)		비고
	설계능력	측정능력	
리본믹서 개선전	4.0	5.4	
리본믹서 개선후	4.0	5.0	

표 2-1-5-8. 혼합미제조라인의 혼합오차율

구 분	목표혼합율(%)		측정혼합율(%)		혼합오차율(%)
	멧쌀	찹쌀	멧쌀	찹쌀	
리본믹서 개선전	88.24	11.76	89.86	10.14	13.78
리본믹서 개선후	93.0	7.0	93.78	6.22	11.14

제 2절 광역통합 RPC 요소시스템 개발

- 광역통합 RPC모델은 백미가공능력 15~20ton/hr의 가공라인 이외에 잡곡처리시설 및 특수가공미 시설 등으로 구성된 대규모 RPC모델로서, GAP시설기준에 준하여 청결요구도에 따라 구획하여 배치되고, 각 공정의 원료공급, 가공 및 제조, 제품포장의 통합제어 및 관리의 용이, 원료 및 제품의 최단거리 이송, 인력소요 최소화, 포장부 통합운영 등을 감안하여 공간배치가 효율적이고, 각 공정라인별 연계가 가능한 동선이 되도록 배치되는 구성되는 모델임
- 이러한 광역통합 RPC모델에서 가공라인 배치 및 특수가공미의 대량생산시스템은 전술하거나 후술하는 연구내용과 같이 기존의 시스템을 활용하거나 각 항목에서 신규로 개발하였으며, 본 연구항목에서는 2ndG RPC에서 가장 문제가 되었던 비산먼지에 의한 환경오염의 문제의 해결방안과, 안전성이 높으면서 규모화시설에 적합한 효율적인 이송시스템 등 RPC 요소시스템 등을 광역통합 RPC의 요소기술로 설정하고 연구개발을 실시하였음
- 먼저, 친환경집진시스템은 광역통합 RPC에 적합한 집진시스템을 개발하기 위하여 시도되었으며, 본 연구에서는 선행기술, 관련법규 및 정책을 조사하고, 국내의 RPC 관련 집진현황을 분석하였으며, 본 연구팀에서 기획과제로 추진하였던 선행연구(2011~2013)에서 개발한 친환경집진시스템의 일종인 소위 “통합집진기”(한국식품연구원의 특허, 1245346)의 보급과정중 발생된 보완요구사항에 대 현장 실험을 통해 확인하고, 이들 결과를 취합하여 개선된 통합집진기(이하 “친환경집진시스템”으로 통칭)를 개발한 다음, 운영실험을 통해 운영조건을 구명하고, 현장실험을 통해 보급체계를 구축하였음. 본 연구에서 제시하는 친환경집진시스템은 연구계획서 및 연차보고서 등에서 기 보고한 바와 같이 선행 연구결과를 기반으로 한 것임을 분명히 함
- 공기이송시스템은 2ndG RPC에서 반품의 이송 및 부산물의 공기이송에 사용되었으나, 쌀 반품의 공기이송 중 수분증발, 동할 및 싸라기울 증가(김 등, 2013)의 문제로 백미 이송부분에 대해서는 활용이 중단되었으며, 반면 부산물 공기이송시스템(Pneumatic conveying system)은 당초 흡인식(3,000mmAq, Ring blower)을 적용하였으나 별도의 ring blower를 설치해야 하거나, 이송관이 손상되는 현상이 발생하여 이를 방지하기 위해 압송식(5~7kgf/cm², Air compressor)으로 개선되면서 현재까지 효율적으로 RPC에서 활용되고 있음. 따라서 본 연구에서는 선행기술과, 국내외 곡물의 공기이송현황을 조사 분석한 다음, 광역통합 RPC에 적용할 수 있는 현미 및 백미이송용의 공기이송시스템을 개발하였으며, 상세한 연구내용은 다음과 같았음

1. 친환경집진시스템 개발

- 집진(集塵, dust collection)은 기체 중에 분산되어 있는 액체와 고체의 미립자를 기체에서 분리해 포집하는 조작(환경공학용어사전, 1996)을 의미하나, RPC에서 집진은 부산물 및 이물질의 기류선별, 곡물의 처리공정 및 조작 중 발생하는 분진 포집, 곡물 냉각 등의 목적으로 사용되고 있으며, 집진을 위해 사용되는 집진기(集塵機, dust collector) 또는 집진시스템(dust collection system)은 RPC 각 부분에서 설치비용이 총 공사비에서 가공시설은 약 6.5~8.5%, 건조저장부는 약 20.0%을 차지하는 대단히 중요한 부대시설임
- RPC에는 주로 건조저장부 및 가공부 중 벼를 취급하는 부분에 사용되는 여과집진시설인 백필터(bag filter), 큰 이물질 선별 및 백미부에 사용되는 원심력집진시설인 사이클론(cyclone), 건조기에서 집진에 사용되는 원심력집진시설의 일종인 터보클리너(turbo cleaner) 등의 집진시설이 주로 설치되고 있으나, 과거에는 설치비용의 한계, 기술력 및 인식 등의 부족으로 집진효율이 낮은 중력식 및 원심식집진시설이 주로 설치되었으며, 사각빈 및 평타입사일로 등 대용량 집진이 필요한 곳의 집진기 설치누락, 집진기의 로터리밸브 누락, 청소 및 관리부실 등 집진체계의 문제점에 대해 매년 보고(김 등, 농협RPC의 시설 및 기술컨설팅, 2008~2016)되고 있음
- 정확한 통계는 없으나, 한국식품연구원에서 RPC에 대한 기술지원을 통해 주택 및 공장에 인접한 거의 대부분의 RPC 및 DSC에서 발생하는 비산먼지에 의한 민원이 발생하고 있다는 것을 인지할 수 있었으며, 본 연구진의 선행연구(2013)를 통해 RPC의 비산먼지 중에는 PM₁₀이하는 물론 PM_{2.5}이하의 미세먼지도 포함하고 있어, 최근 미세먼지에 의한 사회적인 문제발생을 감안할 때 향후 RPC의 존폐까지 심각한 위협을 주는 중요한 위해인자가 될 것으로 판단되었음
- 집진시설 개선에는 막대한 비용이 소요되는 반면, 관행적으로 보급되었던 집진시스템으로는 근본적으로 비산먼지에 의한 문제 해결이 불가능하다는 판단으로 선행연구(2011~2013)을 통해 저에너지 친환경적인 통합집진기를 개발하여 업체에 기술이전하여 RPC 등에 보급하여 왔으나, 현장에서 사용 중 여과포를 통과한 미세먼지로 인한 집진실 오염, 타격식 탈진장치로 인한 여과포 면적의 축소 등에 따른 보완요구가 있었으며, 적용대상을 순환식건조기 등으로 확대하기 위한 통합집진기의 확장 필요성이 있었음
- 본 연구에서는 기존에 보급된 통합집진기의 보완요구를 반영하고, 적용범위를 확대하여 규모화된 광역통합 RPC의 주력 집진시설로 사용이 가능한 친환경집진시스템을 개발하기 위하여 수행되었으며, 이를 위해 선행기술, 관련법규 및 정책을 조사하고, 국내의 RPC 관련 집진현황 분석하였으며, 실외형(외관 케이스를 갖춘 별도 설치가 가능한 제품) 및 실내설치형(건축물 내에 집진기 본체만을 설치한 제품)형태의 통합집진기에 대한 현장실험과, 측정 결과를 바탕으로 시스템을 보완한 친환경집진시스템에 대해 성능실험을 실시한 후, 보급체계를 구축하였으며, 세부적인 연구 결과는 다음과 같았음

가. 선행기술 조사

(1) 조사방법

- 광역통합 RPC에 적합한 친환경집진시스템을 개발하기 위하여 기존의 RPC 집진시스템에 대한 관련 법규, 논문, 특허, 기준 등 선행기술을 조사하였으며, 국내와 일본의 집진시스템 현황 등에 대해 조사하였음
- 집진시스템에 대한 연구현황은 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr, 검색어 : 집진, dust)을 통해 조사하였고, 집진시스템에 대한 특허 및 상표는 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스 (www.kipris.or.kr, 검색어 : 집진, dust)을 통해 조사하여 분석하였음
- 관련법규는 법제처 홈페이지를 이용하여 대기환경보전법, 소음·진동관리법 등에 대해 조사하였으며, 정부정책은 환경부 홈페이지를 통해 조사하였으나, 관련법규중 일부는 연구시작 시점과 연구종료 시점사이에도 변화가 있어 가능한 연구종료시점의 법규를 서술하고자 하였음
- 국내의 42개소의 2ndG RPC 설계도면 조사를 통해 RPC에 설치되는 집진시스템의 형태에 대해 검토 하였으며, 본 연구팀의 선행연구에 의해 개발된 통합집진기의 설치사례를 기록하였으며, 일본의 집진 시스템에 대해서는 본 연구의 선행연구(2013)에서 조사한 내용을 기본으로 하여 2017년 1월 17일부터 20일까지 일본의 Satake사와 伊丹産業株式會社(사이타마현 소재) 도정공장을 조사하였으며 그 결과는 다음과 같았음

(2) 결과 및 고찰

(가) 집진 관련 법규

- RPC 및 DSC(이하 “RPC”로 통칭하되 필요한 경우 분리표현)는 곡물(벼)을 반입-건조-저장-가공하는 시설로서, 대기환경보전법상 “비산먼지(Particulate Matter from Production Facilities)” 발생사업인 곡물가공업, 곡물하역업, 운송업 및 보관업에 해당됨. 공정시험기준상 비산먼지는 “대기중에 부유하는 고체 및 액체의 입자상물질로서, 배출허용기준시험방법에서는 글썽을 거치지 않고 외부로 비산되는 먼지”로서, “배출가스 중에 부유하는 고체 또는 액체의 입자상 물질로서 수분을 제거한 것”인 먼지(Particulate Matter in Flue Gas)와는 구분됨
- 입자형태 비산먼지의 일반적인 허용기준은 다음 표와 같은데, RPC는 “그 밖의 배출시설”로서 0.5mg/m³(법규상 비산먼지농도는 mg/Sm³로 표시되나, 본 연구에서는 대기오염공정시험기준의 mg/m³으로 표기)이고, 대기환경보전법에 의거하여 오염방지시설을 설치하여야 하며, 대기오염방지시설(시행규칙 제 6조 관련 별표 4)로 중력집진시설 등 16가지가 제시되고 있음
- 공기 중에 부유하는 먼지를 포집하는 집진시설(集塵施設, Dust collector)에는 5종류가 있으며, 이 중에서 RPC에는 원심력에 의해 중량이 무거운 먼지를 선별하는 원심식집진시설(사이클론, cyclone 등)과, 여과포(bag)를 통해 먼지를 제거하는 여과집진시설(백필터, Bag filter)가 주로 사용되며, 일

본의 경우에는 CE에서는 세정식집진장치가 사용되고 있고, 우리나라 RPC에서도 세정식집진장치의 도입을 검토하였던 사례가 있어 관련된 법규를 정리하면 다음 표와 같음

표 2-2-1-1. 비산먼지 발생 사업(대기환경보전법 시행규칙 제57조 관련 별표 13)

발 생 사 업	신 고 대 상 사 업
1. 시멘트·석회·플라스터(Plaster) 및 시멘트관련 제품의 제조 및 가공업	생략
2. 비금속물질의 채취·제조·가공업	생략
3. 제1차 금속제조업	생략
4. 비료 및 사료 제품의 제조업	가. 화학비료제조업 나. 배합사료제조업 다. 곡물가공업(임가공업을 포함한다)
5. 건 설 업	생략
6. 시멘트·석탄·토사·사료· 곡물·고철의 운송업	시멘트·토사·사료· 곡물·고철의 운송업
7. 운송장비제조업	생략
8. 저탄시설의 설치가 필요한 사업	
9. 고철· 곡물·사료·목재 및 광석의 하역업 또는 보관업	수상화물취급업
10. 금속제품 제조·가공업	생략
11. 폐기물매립시설 설치·운영 사업	생략

표 2-2-1-2. 대기오염물질의 배출허용기준(대기환경보전법 시행규칙 제15조 관련, 별표 8)

대기오염물질	배출시설	배출허용기준
비산먼지 (mg/m ³)	1) 시멘트 제조시설	0.3 이하
	2) 그 밖의 배출시설	0.5 이하

표 2-2-1-3. 대기오염방지시설(시행규칙 제6조 관련, 별표 4)

<ol style="list-style-type: none">1. 중력집진시설2. 관성력집진시설3. 원심력집진시설4. 세정집진시설5. 여과집진시설6. 전기집진시설7. 음파집진시설8. 흡수에 의한 시설9. 흡착에 의한 시설10. 직접연소에 의한 시설11. 촉매반응을 이용하는 시설12. 응축에 의한 시설13. 산화환원에 의한 시설14. 미생물을 이용한 처리시설15. 연소조절에 의한 시설16. 위 제1호부터 제15호까지의 시설과 같은 방지효율 또는 그 이상의 방지효율을 가진 시설로서 환경부장관이 인정하는 시설
<p>비고 : 방지시설에는 대기오염물질을 포집하기 위한 장치(후드), 오염물질이 통과하는 관로(덕트), 오염물질을 이송하기 위한 송풍기 및 각종 펌프 등 방지시설에 딸린 기계기구류 (예비용을 포함한다) 등을 포함한다.</p>

표 2-2-1-4. RPC의 분진농도 관련 법규기준

구 분	관련법규	측정장소 및 대상	기준치	비 고
비산먼지 농도기준	대기환경보전법, 제 16조(비산먼지의 규제), 별표 8	RPC 부지 경계지점	0.5mg/m ³ 이하	RPC 전체 먼지농도를 의미함
대기오염물질 배출시설의 배출허용기준	대기환경보전법, 제 16조(배출허용기준), 별표 8	집진시설(사이클론 및 백필터 등) 출구	50mg/m ³ 이하	집진시설 통과 후 먼지농도의 기준임
작업자의 노출기준 (시간기준 평균노출기준)	산업안전보건법, 노동부 고시 제 2008-26호 (화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 곡물분진)	작업장소	4mg/m ³ 이하	RPC내 작업공간의 먼지농도
폐수처리기준	수질 및 수생태계 보전에 관한 법률, 시행규칙 제6조(폐수배출시설), 별표 4	산업시설의 폐가스, 분진, 세정, 응축시설	분무량 및 응축량 0.01m ³ /hr 이상	세정식집진장치의 폐수처리시설 설치여부

- 법적인 기준이외에 일반적으로 방지시설별 대기오염물질 제거효율 적용은 설계효율을 구할 수 없는 경우에 한하여 적용하도록 되어있으므로, RPC에서 일반적으로 사용하고 있는 사이클론은 원심력 집진시설로서 먼지 제거효율은 60%이상, 백필터는 여과집진시설로서 먼지 제거효율은 90% 이상임(국립환경연구원 고시 제 2004-1 : 배출시설의 대기오염물질 배출계수 고시 제 6조, 부표 4)
- 먼지농도(분진농도)의 공식적인 측정방법은 “대기환경보전법”(환경부)의 측정방법을 규정해 놓은 “대기오염시험방법(대기오염공정시험기준)”으로서, ① 먼지 및 ② 비산먼지를 대상으로 총 6가지가 있으며, RPC에서 발생하는 분진은 비산먼지(자료 : 환경부/법령정책/환경정책/기후대기/대기오염공정시험기준)로서 비산먼지 측정방법에 준하여 측정하는 것이 필요함
- 한편, RPC의 비산먼지와 함께 민원의 대표적인 원인이 되고 있는 소음 및 진동과 관련된 법률은 소음·진동관리법으로 제 7조{(공장 소음·진동배출허용기준) ① 소음·진동 배출시설(이하 "배출시설"이라 한다)을 설치한 공장에서 나오는 소음·진동의 배출허용기준은 환경부령으로 정한다}와, 시행규칙 제 8조의 별표 5과 같이 공장의 소음·진동의 배출허용기준은 다음 표와 같음

표 2-2-1-5. 대기오염 방지시설의 오염물질 제거 효율

방지시설명	대기오염물질 제거효율(%)		
	먼지	황산화물	질소산화물
1. 중력 및 관성력 집진시설	50	-	-
2. 원심력 집진시설	60	-	-
3. 세정집진시설	70	30	10
4. 여과집진시설	90	-	-
5. 전기집진시설	90	-	-
6. 흡수에 의한 시설중 배연탈황시설	-	80	-
7. 흡수-흡착을 이용한 배가스 처리시설	-	50	-
8. Low-NOx 버너 및 배가스 재순환시설(FGR)	-	-	20
9. 선택적 비촉매 환원시설(SNCR)	-	-	60
10. 선택적 촉매 환원시설(SCR)	-	-	70
11. 환경부장관이 인정하는 연소보조장치	40	-	-

표 2-2-1-6. 대기오염시험방법중 먼지 및 비산먼지 측정방법

측정 대상	측정법	측정방법	특 징	목 적
먼지	반자동식 측정법	여과지로 분진포집	먼지농도를 표준상태(0°C, 760mmHg)로 표시	물질의 파쇄, 선별, 퇴적, 이적 기타 기계적처리 또는 연소, 합성분해시 굴뚝에서 배출되는 입자상 물질의 농도 를 측정
	수동식 측정법	여과지로 분진포집	먼지농도를 표준상태(0°C, 760mmHg)로 표시	
	자동식 측정법	여과지로 분진포집	먼지농도를 표준상태(0°C, 760mmHg)로 표시	
비산 먼지	저용량 공기시료채취법	여과지로 분진포집	분진농도가 높을 경우 사용	철강공장, 연탄공장, 석탄야적장, 도정공장 , 골재공장 등 특정 발생원에서 일정한 굴뚝을 거치지 않고 외부로 비산되거나 물질의 파쇄, 선별, 기타 기계적처리에 의하여 비산되는 먼지의 농도 를 측정
	고용량 공기시료채취법	여과지로 분진포집	분진농도가 낮을 경우 사용	
	베타선법	여과지로 분진포집	여과지로 포집하여 베타선을 투과하여 분진의 질량농도를 측정	

표 2-2-1-7. 소음·진동관리법에서 공장소음 배출 허용기준(단위 : dB(A))

대상지역	시간대별		
	낮 (06:00~18:00)	저녁 (18:00~24:00)	밤 (24:00~06:00)
가. 도시지역 중 전용주거지역 및 녹지지역(취락지구·주거개발진흥지구 및 관광·휴양개발진흥지구만 해당한다), 관리지역 중 취락지구·주거개발진흥지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역 중 수산자원보호구역 외의 지역	50 이하	45 이하	40 이하
나. 도시지역 중 일반주거지역 및 준주거지역, 도시지역 중 녹지지역(취락지구·주거개발진흥지구 및 관광·휴양개발진흥지구는 제외한다)	55 이하	50 이하	45 이하
다. 농림지역, 자연환경보전지역 중 수산자원보호구역, 관리지역 중 가목과 리목을 제외한 그 밖의 지역	60 이하	55 이하	50 이하
라. 도시지역 중 상업지역·준공업지역, 관리지역 중 산업개발진흥지구	65 이하	60 이하	55 이하
마. 도시지역 중 일반공업지역 및 전용공업지역	70 이하	65 이하	60 이하

[비교]

1. 소음의 측정 및 평가기준은 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제2호에 해당하는 분야에 대한 환경오염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상 지역의 구분은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른다.
3. 허용 기준치는 해당 공장이 입지한 대상 지역을 기준으로 하여 적용한다. 다만, 도시지역 중 녹지지역(취락지구·주거개발진흥지구 및 관광·휴양개발진흥지구는 제외한다)에 위치한 공장으로서 해당 공장 200m 이내에 위 표 가목의 대상지역이 위치한 경우에는 가목의 허용 기준치를 적용한다.
4. 충격음 성분이 있는 경우 허용 기준치에 -5dB을 보정한다.
5. 관련시간대(낮은 8시간, 저녁은 4시간, 밤은 2시간)에 대한 측정소음발생시간의 백분율이 12.5% 미만인 경우 +15dB, 12.5% 이상 25% 미만인 경우 +10dB, 25% 이상 50% 미만인 경우 +5dB, 50% 이상 75% 미만인 경우 +3dB을 허용 기준치에 보정한다.
6. 위 표의 지역별 기준에도 불구하고 다음 사항에 해당하는 경우에는 배출허용기준을 다음과 같이 적용한다.
 - 가. 「산업입지 및 개발에 관한 법률」에 따른 산업단지에 대하여는 마목의 허용 기준치를 적용한다.
 - 나. 「의료법」에 따른 종합병원, 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따른 학교, 「도서관법」에 따른 공공도서관, 「노인복지법」에 따른 노인전문병원 중 입소규모 100명 이상인 노인전문병원 및 「영유아보육법」에 따른 보육시설 중 입소규모 100명 이상인 보육시설(이하 "정온시설"이라 한다)의 부지경계선으로부터 50미터 이내의 지역에 대하여는 해당 정온시설의 부지경계선에서 측정한 소음도를 기준으로 가목의 허용 기준치를 적용한다.
 - 다. 가목에 따른 산업단지와 나목에 따른 정온시설의 부지경계선으로부터 50미터 이내의 지역이 중복되는 경우에는 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장이 해당 지역에 한정하여 적용되는 배출허용기준을 공장소음 배출허용기준 범위에서 정할 수 있다.

표 2-2-1-8. 소음·진동관리법에서 공장진동 배출 허용기준(단위 : dB(V))

대상 지역	시간대별	
	낮 (06:00~22:00)	밤 (22:00~06:00)
가. 도시지역 중 전용주거지역·녹지지역, 관리지역 중 취락지구·주거개발진흥지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역 중 수산자원보호구역 외의 지역	60 이하	55 이하
나. 도시지역 중 일반주거지역·준주거지역, 농림지역, 자연환경보전지역 중 수산자원보호구역, 관리지역 중 가목과 다목을 제외한 그 밖의 지역	65 이하	60 이하
다. 도시지역 중 상업지역·준공업지역, 관리지역 중 산업개발진흥지구	70 이하	65 이하
라. 도시지역 중 일반공업지역 및 전용공업지역	75 이하	70 이하

[비교]

1. 진동의 측정 및 평가기준은 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조제1항제2호에 해당하는 분야에 대한 환경오염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상 지역의 구분은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따른다.
3. 허용 기준치는 해당 공장이 입지한 대상 지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 관련시간대(낮은 8시간, 밤은 3시간)에 대한 측정진동발생시간의 백분율이 25% 미만인 경우 +10dB, 25% 이상 50% 미만인 경우 +5dB을 허용 기준치에 보정한다.
5. 위 표의 지역별 기준에도 불구하고 다음 사항에 해당하는 경우에는 배출허용기준을 다음과 같이 적용한다.
 - 가. 「산업입지 및 개발에 관한 법률」에 따른 산업단지에 대하여는 라목의 허용 기준치를 적용한다.
 - 나. 정온시설의 부지경계선으로부터 50미터 이내의 지역에 대하여는 해당 정온시설의 부지경계선에서 측정한 진동레벨을 기준으로 가목의 허용 기준치를 적용한다.
 - 다. 가목에 따른 산업단지와 나목에 따른 정온시설의부지경계선으로부터 50미터 이내의 지역이 중복되는 경우에는 특별자치도지사 또는 시장·군수·구청장이 해당 지역에 한정하여 적용되는 배출허용 기준을 공장진동 배출허용기준 범위에서 정할 수 있다.

(나) 미세먼지 관련 정책

- 환경부는 1995년 “환경정책기본법”에 의거 지름 10 μ m 이하 물질(PM₁₀, PM : particulate matter, 대기 중에 떠다니는 고체 또는 액체상태의 미세입자)을 미세먼지(fine particulate matter)로 부르기 시작했고, 2015년 지름이 2.5 μ m 이하 물질(PM_{2.5})에 초미세먼지(ultra fine particulate matter)라는 명칭을 붙였으나, 우리나라와 국제적으로 사용하는 미세먼지에 대한 용어가 달라 혼란스럽다는 지적에 따라 미세먼지(PM₁₀)는 부유먼지(suspended particles), 초미세먼지(PM_{2.5})는 미세먼지로 각각 변경하였으며(2017. 3), 부유먼지와 미세먼지를 함께 아우르는 용어를 흡입성 먼지로 정하고 대기환경보전법, 수도권대기환경개선특별법, 실내공기질관리법 등 관련법을 개정할 계획임

- 우리나라의 미세먼지 환경기준은 WHO에서 건강 위해성을 고려하여 국가별 상황에 맞게 환경기준을 설정할 수 있도록 4단계로 제시한 미세먼지 환경기준 중 세 번째를 채택하여 PM_{2.5} 미세먼지 기준은 일평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 연평균 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이고, PM₁₀이하 부유먼지 기준은 일평균 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하, 연평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하였음(환경부 홈페이지, www.me.go.kr)

표 2-2-1-9. WHO미세먼지 환경기준 비교

구 분	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		적 용
	연평균	일평균	연평균	일평균	
잠정목표 1	35	75	70	150	중국
잠정목표 2	25	50	50	100	한국 기준(舊)
잠정목표 3	15	37.5	30	75	미국, 일본, PM _{2.5} 기준
WHO 권고기준	10	25	20	50	-

- 국내 환경단체 등은 국내 미세먼지(PM_{2.5}) 및 부유먼지(PM₁₀) 환경기준이 WHO 권고치보다 2배 이상 느슨하다고 비판해옴에 따라 환경부는 미세먼지 수치를 미국과 일본 수준으로 강화하기로 하고, ‘환경정책기본법 시행령’, ‘대기오염 예측·발표의 대상지역 및 기준과 내용 등에 관한 고시’ 및 ‘대기환경보전법 시행규칙’ 개정을 통해 미세먼지 환경기준, 미세먼지 예보 등급 및 미세먼지 주의보 발령 기준을 변경하였음
- 대통령령 제28720호(2018. 3. 27)에 의해 ‘환경정책기본법 시행령’의 일부 개정(시행 2018. 3. 27.)된 내용에서는 미세먼지로 인하여 발생하는 건강 피해를 줄이기 위한 보호조치가 제때에 효과적으로 이루어지도록 대기오염경보의 발령 요건이 되는 2.5 μm 이하 크기인 미세먼지에 대한 환경기준을 연평균 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 24시간 평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화하였고, 그에 따라 환경부고시 제2018-46호(2018.3.27.)에 따른 ‘대기오염 예측·발표의 대상지역 및 기준과 내용 등에 관한 고시’의 일부 개정(시행 2018.3.27.)에서 미세먼지 예보도 강화되어, 예보등급 좋음은 ‘0~15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’, 보통은 ‘16~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’, 나쁨은 ‘36~75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’, 매우 나쁨은 ‘76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상’으로 강화하였음

표 2-2-1-10. ‘환경정책기본법 시행령’ [별표 1] 환경기준

항 목	기 준
미세먼지 (PM _{2.5})	연간 평균치 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하 24시간 평균치 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하

표 2-2-1-11. 대기오염 예측·발표의 대상지역 및 기준과 내용 등에 관한 고시' 예측·발표의 등급 기준

물질	단위	농도산정 시간기준	등급			
			좋음	보통	나쁨	매우나쁨
PM ₁₀	μg/m ³	24시간	0~30	31~80	81~150	151 이상
PM _{2.5}	μg/m ³	24시간	0~15	16~35	36~75	76 이상
O ₃	ppb	1시간	0~30	31~90	91~150	151 이상

- 환경부령 제769호(2018. 6. 28.)에 의해 '대기환경보전법 시행규칙'의 일부 개정(시행 2019. 1. 1.)된 내용에서는 미세먼지로 인한 피해를 줄이기 위한 보호조치가 제때에 이루어질 수 있도록 미세먼지 주의보의 발령기준을 시간당 평균농도 90μg/m³ 이상에서 75μg/m³ 이상으로, 미세먼지 경보의 발령기준을 시간당 평균농도 180μg/m³ 이상에서 150μg/m³ 이상으로 변경하였음

표 2-2-1-12. '대기환경보전법 시행규칙' [별표 7] 대기오염경보 단계별 대기오염물질의 농도기준

대상물질	경보단계	발령기준	해제기준
미세먼지 (PM _{2.5})	주의보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 PM _{2.5} 시간당 평균농도가 75μg/m ³ 이상 2시간 이상 지속인 때	주의보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 PM _{2.5} 시간당 평균농도가 35μg/m ³ 미만인 때
	경보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 PM _{2.5} 시간당 평균농도가 150μg/m ³ 이상 2시간 이상 지속인 때	경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 PM _{2.5} 시간당 평균농도가 75μg/m ³ 미만인 때는 주의보로 전환

(다) RPC 집진시스템에 대한 논문 및 특허

- 집진에 대한 연구현황 조사 결과(검색 DB : 과학기술정보통합서비스(NDSL, www.ndsl.kr), 검색어 : 집진, dust), 논문은 718건, 보고서는 446건이 검색되었고, 대표적인 연구결과를 정리하면 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 최근 연구는 곡물의 가공과정 중 발생하는 분진의 입자크기, 농도수준, 종말속도, 물리적 특성, 입자크기 분류, 표면적측정, 밀도, 회분 등 분진의 물리적인 특성을 측정하는 연구와, 가공과정 중 발생한 곡물의 분진에 대해 인체의 위험 및 악영향에 대해 연구가 많았으며, 새로운 집진시스템의 개발부분은 김 등(2013)의 결과를 제외하고는 찾아보기 어려웠음

- RPC와 정부정책에서 관리하는 미세먼지와 관련하여 김 등(2013)은 투입구와 순환식건조기의 집진기에서 포집된 분진크기를 측정한 결과, 투입구 집진기에서 채취한 미세먼지는 평균 직경이 23.86 μm 이었고, 직경 8.35 μm 이하인 입자가 약 10%이내, 20.94 μm 이하인 입자가 약 50%이내이었고, 대부분이 43.07 μm 이하의 크기이었으며, 순환식건조기 집진기에서 채취한 분진의 크기는 평균 42.985 μm 수준이었고, 10.45 μm 이하인 입자가 10%이내, 30.99 μm 인 입자가 50%이내였고, 99.05 μm 의 입자가 90%이내로 분포하여, RPC에서 발생하는 비산먼지 중 일부는 정부에서 관리하는 부유먼지 및 미세먼지에 포함된다고 보고하였음

표 2-2-1-13. 2개소 RPC의 집진기에서 채취한 분진의 입자크기별 중량비율(김 등, 2013)

집진위치	함수율 (%)	Particle Size별 중량비율(%)										
		2000 (μm)	1000	850	500	300	180	150	106	75	45	45↓
순환식건조기 (TC+C)	13.1	0.3	5.2	1.3	8.8	10.5	4.6	1.6	3.6	3.9	21.5	38.8
순환식건조기 (TC+C)	12.2	1.4	4.0	1.7	8.6	8.8	4.1	1.8	4.0	4.5	18.3	42.9
투입구(C)	10.5	0.2	0.2	0.3	0.6	1.0	0.7	0.5	2.1	2.8	38.4	53.2
미강부(C)	14.0	0.0	3.2	2.6	25.5	53.4	14.4	0.7	0.0	0.1	0.0	0.0

※ TC : Turbo cleaner, C : Cyclone, B : Bag filter

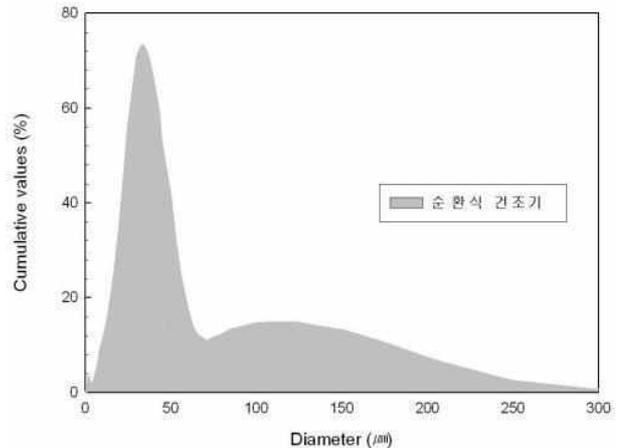
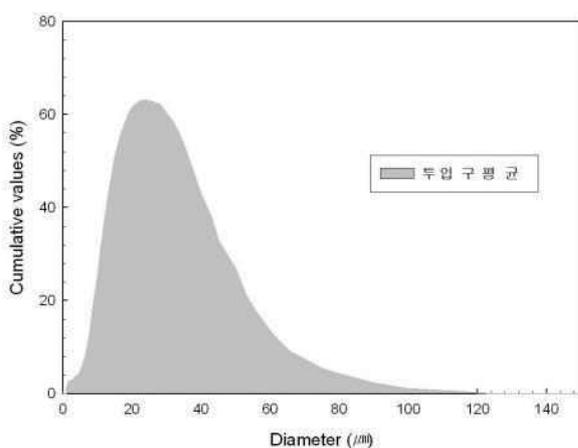


그림 2-2-1-1. 투입구와 순환식건조기 집진기에서 채취한 분진의 입자크기별 누적분포(김 등, 2013)

- 집진시스템에 대한 특허검색(검색 DB : 과학기술정보통합서비스(www.ndsl.kr), 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스, www.kipris.or.kr), 검색어 : 집진)결과, 약 20건이 검색되었으며, 본 연구팀(한국식품연구원)의 특허를 제외하고는 사이클론과 백필터의 2중 구조로 집진효율상승, 탈진펄스 강도증대로 여과포 감소, 여과포를 유닛형태로 제조하여 별개 관리 등에 관한 내용이 주를 이루었음

표 2-2-1-14. 집진시스템 관련 논문 및 보고서

구분	제 목	저 자	학회지/보고서
1	보고서	에너지절감형 RPC 가공공정모델개발	농림수산식품부(2013)
2	논문	Physical properties and concentration of grain dust generated from post-harvest processing of rough rice Lee HJ, Kim H, Kim DC, Chang JH, Kim OW	Transaction of the American Society of Agricultural and Biological Engineers(ASABE) 56(5): 1831-1835 (2013)
3	논문	기하전식 세정집진장치개발에 관한 기초연구	김중호 한국대기환경학회지15(1): 33-39 (1999)
4	논문	Comparison of respiratory variables in grain elevator workers and civic outside workers of Thunder Bay	Broder 외 The american review of respiratory disease 119(2): 193-203 (1979)
5	논문	Size distribution and rate of dust generated during grain elevator handling	Boac 외 Applied Engineering in Agriculture 25(4): 533-541 (2009)
6	논문	Maghirang, M. Casada and E. Haque. 2005. Characterization and modeling of a high-pressure water-fogging system for grain dust control	Brabec 외 American Society of Agricultural Engineers 48(1): 331-339 (2005)
7	논문	Rheological properties of grain dust	Chang 외 Transaction of the ASAE 26(4): 1249-1256 (1983)
8	논문	Bulk density characteristics of grain dust	Chang 외 Transactions of the ASAE 27(3): 898-902 (1984)
9	논문	Composting of grain dust	Chang 외 Transaction of the ASAE 23(3): 709-711 (1980)
10	논문	Chronic bronchitis and decreased forced expiratory flow rates in lifetime nonsmoking grain workers	Dosman 외 American College of Chest Physicians 80(1): 33 (1981)
11	논문	Characterization of grain dust properties	Martin 외 Transactions of the ASABE 24(3): 738-742 (1981)
12	논문	Physical and biological characteristics of grain dust	Martin 외 Transaction of the ASAE 19(4): 720-723 (1976)
13	논문	Broken corn and dust generated during repeated handling	Martin 외 Transactions of the ASABE 20(1): 168-171 (1977)
14	논문	The impact of grain dust on respiratory health	Moira 외 The american review of respiratory disease 145(2): 476-487 (1992)
15	논문	Physical properties of five grain dust	Parnell 외 Environmental health perspectives 66: 183-188 (1986)
16	논문	Grain dust measurement techniques-an evaluation	Rajendran 외 Transaction of the ASAE 28(6): 2030-2036 (1985)
17	논문	Generation of grain dust from rough rice(1). Department of agricultural machinery	Seno, T Iwate University 11-18 (In Japanese) (1985)
18	논문	Generation of grain dust from rough rice(2). Department of agricultural machinery	Seno, T Iwate University 5-10 (In Japanese) (1985)

표 2-2-1-15. 집진시스템 관련 특허

구분	발명의 명칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	특 징
1	등록 집진시스템	한국식품 연구원	101245346	2013.3.13	· 기존 백필터에 비해 표면적이 증가한 다수 백필터배치, 기계식 분진제거 장치 채택 · 백필터 건조장치 부착하여 백필터 수명연장 및 내구성 향상
2	등록 백필터 집진기에 채용된 다기능 배플 댐핑장치	주식회사 포스코	100770181	2007.10.19	· 필터백의 편류에 의한 편마모, 이상마모 방지 · 탈진상태 더스트 재부착방지 · 필터백의 표층부에 더스트가 케이킹화 문제 해소
3	등록 분급기의 사이클론용 정분배출구	라파즈 한라 시멘트 주식회사	100233925	1999.9.15	· 원심로터로부터 낙하되는 정분들의 확산관에 의한 균일 분산배출 · 원심로터로부터 낙하되는 정분들의 확산관에 의한 차단판 마모 간접적 방지
4	등록 여과집진장치의 백필터 탈진용 분사 노즐 및 이를 장착한 여과집진장치	경희 대학교 산학 협력단	100935548	2009.12.29	· 분사된 공기접촉 필터면적의 최대 활용 · 탈진효과로 필터 수명 연장 · 역세척구조 여과장치 적용 · 관련 부품의 제작비용이 설치비 절감
5	등록 집진기용 필터 구조	오근서	100655178	2006.12.1	· 압축공기 여과포 공급시 여과포 팽창, 진동, 떨림현상 극대화로 여과포 하단부 분진 누적 최소화 · 구동모터 등 해당기기 손상방지, 교체최소화로 유지관리비용 절감
6	등록 집진장치	한국기계 연구원	100344756	2002.7.2	· 미세분진의 눈막힘, 압력손실 감소로 탈진회수 감소 및 여과포의 수명 증가 · 여과포에 발생하는 압력손실 감소로 여과속도 3~4배 증가
7	등록 집진기	이창언	100559371	2006.3.3	· 집진효율 향상, 소요되는 부품 수 줄여 제조비용 및 유지보수비용 감소 · 고장요인 감소로 신뢰도 높은 집진기 제공
8	등록 조합형 여과집진 장치	한국에너 지기술연 구원	100592509	2006.6.15	· 분진 부하 및 미세분진입자 침투 부족 감소 · 필터 기공막힘 현상 최소화 · 필터의 분진에 의한 압력부하 감소 · 탈진 효율향상
9	등록 집진기	(주)삼탐 엔지니어 링	100559371	2006.3.3	· 흡기실 구조변경으로 초벌수집 · 분진함유농도 저하로 여과부하 감소 · 백필터 교환주기 극대화시켜 운전비용절감, 환경오염방지

구분	발명의 명칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	특 징
10	등록 화장로 후단설비인 대기오염방지 장치의 여과집진기	(주) 원웅산업	100981454	2010.9.3	· 싸이클론 내부 백필터로 연소가스 잔여 유해물질의 필터링 효율 향상 · 백필터에 포집된 입자상 유해물질 탈리 로 백필터 기능 재생, 필터링 지속 및 활성투입기 부가 · 다이옥신에 의한 대기오염 예방
11	등록 펄스 에어 가속 집진기	(주)삼탑 엔지니어링	100730305	2007.6.13	· 인젝터 펄스에어 분사 가속력 증대로 백필터 외표면 부착 분진제거 · 백필터 길이 연장으로 개수 감소 · 집진기 평면적 및 설치면적 감소
12	등록 집진장치	거화환경 산업(주)	200432138	2006.11.2 2	· 일반 분말분진의 1차 원심력 포집후 백 필터 집진으로 집진효율증대 · 설치면적 감소 에어밸브 케이싱 내부에 설치로 소음감소
13	등록 서랍형 백 필터 집진 장치	진성언	100645845	2006.11.7	· 수직열 서랍부 단위체의 다수배열, 격벽설 치로 개별집진, 혼합공기 정화능력 증가 · 서랍형태로서 백필터 교환 및 청소용이 · 백필터교체시 해당라인만의 가동중지가능
14	등록 개별 분리형 백필터 유닛을 구비하는 집진기	주식회사 포스코	100925601	2009.10.3 0	· 노후손상시 문제 백필터 유닛교체가능 · 필터 낭비 감소로 유지비용 절감
15	소멸 원심 여과형 백필터 집진기	주식회사 명진	100764753	2007.10.1	· 청소시 벤츄리 통하여 싸이클론룸으로 하강함으로써 분진제거 효율증대 · 미세분진의 백필터룸 내부 정체해결
16	소멸 여과 집진기의 탈진주기 조절장치	김성우	200361493	2004.8.31	· 여과포 펄싱주기를 더스트 축적정도에 따라 자동적으로 변경제어 · 최적 에어펄싱 주기의 변경제어
17	소멸 이중집진장치	두산중공업 주식회사	100388888	2003.6.12	· 싸이클론 및 백필터의 2중 집진장치 · 미세분진 농도가 매우 높을때 백필터 포 집부하를 감소로 집진장치의 크기감소

(라) RPC 집진시스템 설계기준

○ 2ndG RPC의 보급사업과 관련하여 한국식품연구원에서 개발한 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화 사업)의 설치기준이 되는 시설구비사항중에서 집진시설과 관련된 항목은 “3.1 집진시스템”항목이며, 여기에는 집진능력, 비산먼지 등 관련법 적용, 효율 및 설치비용 등에 관한 사항이 규정되어 있으며, 동 사업지침서에 의거하여 한국식품연구원에서 2016년까지 실시하였던 단위기계 성능검정제도에 따른 집진시스템의 성능검정기준(KFRI RPC TS 214)에서는 집진효율, 송풍기설계/측정치 차이, 집진기 전후의 송풍량차이 등 3개 항목에 대한 기준을 제시하고 있음

3.1 집진시설

- 3.1.1 분진농도는 대기환경보전법, 산업안전보건법 등 관련법규의 허용범위내이어야 하며, 작업자의 건강과, 설치되는 기계의 성능과 수명에 지장을 초래하지 않는 범위에서 청결하게 유지되어야 함
- 3.1.2 신규 집진시설은 동일 부지내에 설치된 원료투입구, 건조저장시설, 집진시설 등 기존시설에서 발생하는 먼지 상태를 충분히 검토하여 전체시설의 비산먼지농도가 최대한 낮아지면서 비용이 절감될 수 있는 방향으로 설치되어야 함
- 3.1.3 단위기계, 현미부, 백미부, 포장부 및 부산물 집진시설은 과대설계에 의해 곡물이 건조하거나 에너지가 낭비되지 않도록 발생하는 먼지의 집진에 적합한 집진능력으로 설치되어야 함
- 3.1.4 단위기계, 현미부, 백미부, 포장부 및 부산물 집진시설의 종류와 개수는 발생하는 분진의 종류, 운전조건 등을 충분히 감안하여 집진효율이 높으면서 설치비용 및 에너지소요가 최소가 되는 방향으로 결정되어야 함
- 3.1.5 집진시설에서 제거된 분진을 보관하는 보관함은 먼지가 비산되지 않도록 충분히 밀폐되어야 함
- 3.1.6 모든 단위기계 내부는 먼지가 쌓여있지 않는 구조이어야 하고, 분진이 발생하는 모든 단위기계, 이송시설 및 탱크에는 집진배관이 설치되는 것을 원칙으로 하며, 기류를 이용하여 곡물을 선별, 이송 및 냉각하는 단위기계에는 적정 송풍량의 확보를 위해 정압계, 댐퍼 및 by-pass관을 설치하는 것을 원칙으로 함
- 3.1.7 집진배관은 분진의 이동경로와 배관의 연결구조에 대한 정확한 도면이 작성된 다음, 분진의 종류와 양에 따라 집진시설의 송풍기 풍량과 정압이 결정되어야 하며, 집진배관 직경은 배관 내부 풍속기준(18m/sec 수준)범위에서 적합하게 결정되어야 함
- 3.1.8 집진덕트는 쉽게 분해 조립이 가능하도록 플랜지 조립을 원칙으로 하며, 집진덕트에서 주관의 유속변화에 따라 집진물이 합류되는 분기관으로 역류하지 않도록 분기관은 주관의 상부 또는 측면에 연결되어야 함
- 3.1.9 집진덕트의 합류관은 덕트의 직경이 감소되는 부위에 30~45°경사로 부착하여야 하고, 리두셔는 시작점의 덕트 지름의 1.5배 길이로 완만하게 감소되어야 하며, 집진배관용 90°L형 배관은 중심부의 길이가 지름의 1.5배 이상으로 하여 저항을 최소화하여야 함
- 3.1.10 집진덕트의 각 분기관 등에는 집진량의 조절을 위한 댐퍼가 설치되어야하며, 정확한 집진량 조절을 위해 필요한 곳에 by-pass관을 설치할 수 있으며, 집진덕트는 운전시 소음과 진동이 없도록 튼튼히 고정되어야 함
- 3.1.11 집진부 등 비교적 규모가 큰 송풍기의 구동부에는 자동유탄유 공급장치가 부착되는 것을 원칙으로 함

표 2-2-1-17. 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화사업) 시행지침에 따라 실시되는 집진시스템의 성능검정기준 중 관련사항(KFRI RPC TS 214)

(1) 집진시설의 검정결과는 다음 표 2과 같이 3가지 성능검정항목별 성능을 5단계(매우우수, 우수, 보통, 미흡, 매우미흡)로 평가하여 가중치를 “매우우수”일 때 1.0, “우수”일 때 0.8, “보통”일 때 0.6, “미흡”일 때 0.4 및 “매우미흡”일 때 0.2로 부여하고, 다음 식과 같이 집진시설 성능점수를 계산한다.

$$\begin{aligned} \text{집진시설 성능점수} &= \sum\{\text{각 성능검정항목별 점수}\} \\ &= \sum\{\text{각 항목별가중치} \times \text{각 성능가중치}\} \end{aligned}$$

표 2. 집진시설의 성능검정 기준

구분	성능검정항목	항목별 가중치 (A)	성능검정기준(성능가중치, B)					비 고
			매우 우수 (1.0)	우수 (0.8)	기준 (0.6)	미흡 (0.4)	매우 미흡 (0.2)	
백필터	집진효율 (%)	0.7	95.0 이상	92.5 이상	90.0 이상	87.5 이상	87.5 미만	
	송풍기 설계/측정치 차이(%)	0.2	5.0 이하	7.5 이하	10.0 이하	12.5 이하	12.5 초과	
	집진기 전후의 송풍량차이(%)	0.1	1.0 이하	2.0 이하	3.0 이하	4.0 이하	4.0 초과	
사이클론	집진효율 (%)	0.7	70.0 이상	65.0 이상	60.0 이상	55.0 이상	55.0 미만	
	송풍기 설계/측정치 차이(%)	0.2	5.0 이하	7.5 이하	10.0 이하	12.5 이하	12.5 초과	
	집진기 전후의 송풍량차이(%)	0.1	1.0 이하	2.0 이하	3.0 이하	4.0 이하	4.0 초과	

(2) 집진기 성능점수가 0.6이상일 경우 “적합”으로 판정하고, 그 외에는 “부적합”으로 판정한다. 단, 성능검정항목 중 1개 이상이 매우미흡 또는 구조적으로 문제가 있는 경우 “부적합”으로 판정한다.

(마) 국내 RPC집진시스템의 시설 및 기술현황

- 국내 RPC 및 DSC에 설치되고 있는 집진시스템은 다음 표와 같이 이물질선별, 분진집진 및 방냉의 목적으로 사이클론, 터보클리너 및 백필터와 기타 간이식 집진시설 등이 설치되어 있으며, 이 외에도 일반적인 세정식집진시설인 스크루머(scrubber)가 있으나 국내에서는 오염가스의 제거를 위해 주로 사용되고 있을 뿐 폐수처리 등의 문제로 RPC에서 극히 일부 적용되었다가 현재는 활용되지 않음

표 2-2-1-18. RPC에서 용도별 집진기의 종류

용도	부분	단위기계 및 공정	일반적 집진기종류	특이사항
이물질 선별	건조저장부	조선기	사이클론+백필터	
	가공부	왕겨풍구	사이클론+백필터	밀폐식은 집진기 불필요
		종합정선기	백필터	
		현미석발기	백필터	
		정미기	사이클론	
		연미기	사이클론	
분진 집진 (방냉 포함)	건조저장부	투입구	백필터	
		순환식건조기	터보클리너 + 사이클론(또는 백필터)	과거에는 집진실사용
		연속식건조기	터보클리너	
		사각빈	-	공기량 많음
		호퍼사일로	-	공기량 적음
		평사일로	간이식 필터	공기량 많음
	가공부	현미부 연류계 등 기타 단위기계	백필터	
		현미부 보조탱크	백필터	
		현미부 이송시설	백필터	
		백미부 및 포장부 색채선별기, 연류계 등 기타 단위기계	사이클론	방냉포함
		백미부 및 백미부 보조탱크	사이클론	방냉포함
		백미부 및 포장부 이송시설	사이클론	방냉포함

- 2ndG RPC에 대한 성능검사와 성능검정제도가 도입된 2010년을 기점으로 RPC 집진시스템에 대한 객관적인 성능에 대한 관심이 높아졌고, 분진에 의한 민원제기가 급증하면서 국회에서의 관심도 높아져 RPC의 전반적인 집진시스템 개선에 대한 필요성이 급증하였으며, 정부에서는 2015년부터 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화사업)을 통해 RPC의 건조저장시설의 집진부분에 대해서도 일부 별도 지원하기 시작하였으나, 2018년부터는 일반적으로 지원되었던 별도 지원을 중단하는 것으로 정책이 전환되어 향후 분진문제에 대한 대처에 어려움이 예상되고 있어 개선이 필요하였음
- 집진시스템에 대한 관심이 높아지면서 2010년 이후 2ndG RPC에서는 미강과 관련 없는 부분에서는 pulse방식에 따른 저압식(0.4~0.5kgf/cm²)과 고압식(5~6kgf/cm²) 백필터가 설치되기 시작하였으며, 미강과 관련있는 부분에는 테프론(teflon) 코팅된 사이클론이 보급되기 시작하면서 가공시설에서는 분진에 의한 민원이 급격하게 저하되었음
- 일반적으로 20~30ton/hr의 산물벼를 반입 받을 수 있는 건조저장시설의 설계에 적용되고 있는 송풍량은 약 3,530m³/min 수준이고, 벼를 주로 취급함에 따라 집진기의 종류는 주로 백필터가 사용되나, 큰 이물질이 발생하는 조선기에는 사이클론+백필터 2중구조가 사용되며, 순환식건조기의 경우 터보클리너가 사용되고 있으나, 일부에서는 간이집진실을 사용하거나, 터보클리너와 백필터 2중구조를 사용하는 경우도 있는 반면, 평타입사일로의 경우에는 별도의 집진시설을 설치하지 않고 스펀지와 같은 필터를 통과시킨 후 대기에 방출하고 있으며, 주요 설치형태는 다음 그림과 같았음

표 2-2-1-19. DSC 등 건조저장시설에서 일반적으로 적용되는 집진량 및 집진기 종류

순서	구 분	처리능력 (ton/hr)	집진풍량 (m ³ /min)	집진기 종류	비고
1	원료투입구, 이송기기	20~30	330	백필터	
2	풍력선별기, 조선기	20~30	320	사이클론+백필터	
3	평타입 사일로	1,000(500×2기)	1,800	없 음	
4	순환식건조기	30ton/batch×2기	1,080	터보클리너	
	합 계		3,530		

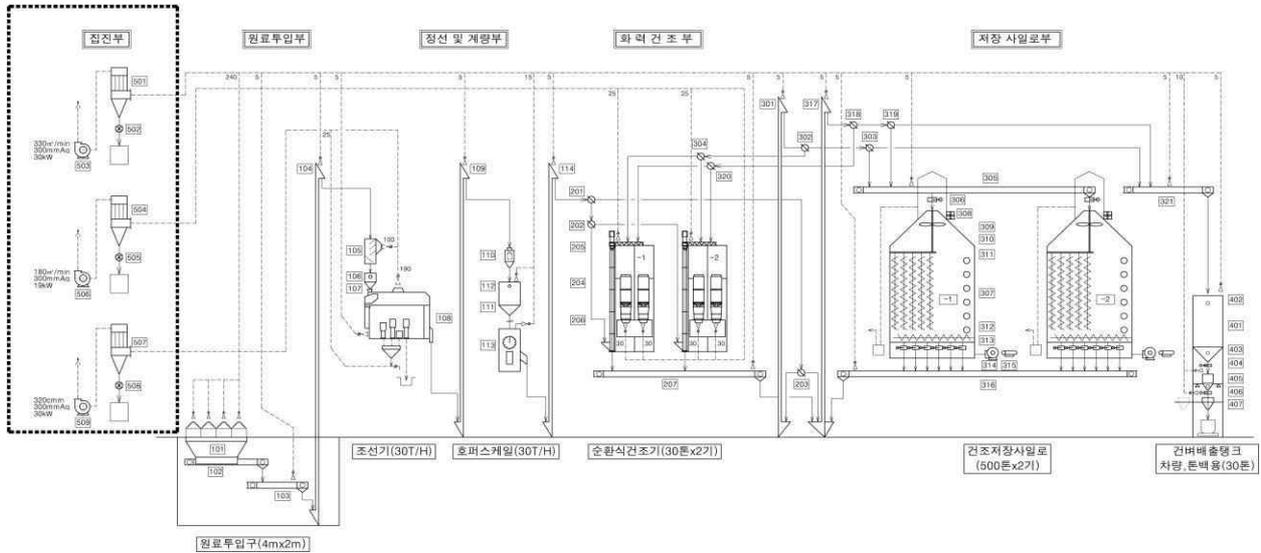


그림 2-2-1-2. DSC 등 건조저장시설에서 일반적으로 적용되는 집진기 설치형태

○ 그러나, 특히 분진발생이 많은 투입구, 평타입사일로 및 순환식건조기 등의 건조저장시설을 중심으로 한 집진량이 과다한 부분에 대해서는 효율적인 집진체계의 구축에 한계가 있었으며, 이에 따라 2013년 한국식품연구원(2013)에서 대용량 집진을 위해 가격이 저렴한 통합집진기를 개발하였으며, Pilot scale의 1, 2차 집진시스템을 이용한 실험에서 집진효율은 91.8~96.0%수준으로 국립환경연구원 고시의 대기오염 방지시설의 오염물질 제거효율 기준인 90%보다는 높게 나타나 적용이 가능하였으나, 개발된 통합집진 시스템은 기존 시스템과의 경제성 비교 분석이 필요하며, 가공용으로 확장되어 개발 및 설치될 필요가 있다고 보고하였음

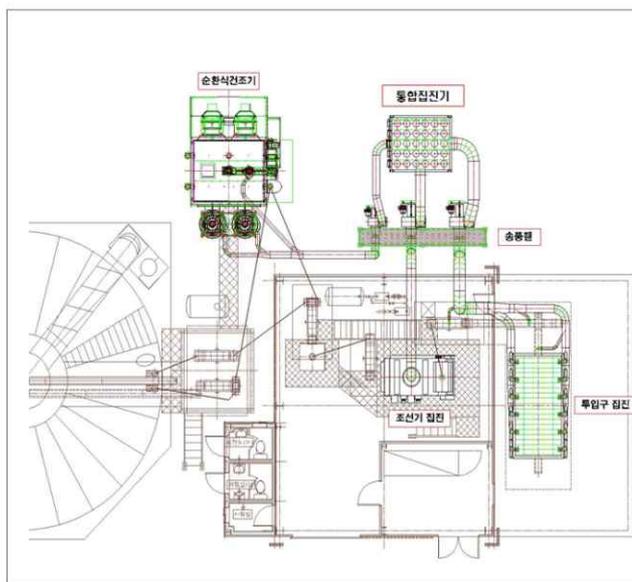


그림 2-2-1-3. 한국식품연구원(2013)에서 개발한 통합집진기 개념도 및 RPC에 설치된 통합집진기

표 2-2-1-21. 일본의 共乾시설의 종류 및 차이점

구 분	투입구	건조	저장	제현	포장	출하	비고
CE(Country Elevator)	○	○	×	○	○	○	
RC(Rice Center)	○	○	○	○	○	○	
DS(Dry store)	CE와 RC에 병설되어 원료의 임시저장 및 예비건조 담당						

- 일본 공건시설(CE 중심으로서 향후 CE로 통칭)에서 사용하는 집진시스템은 물을 분진 함유공기에 살수하는 세정식집진장치로서, 별도의 폐수처리시설 없이 설치하여 사용하여 왔는데, 김 등(2013)에 의하면 세정식집진장치의 일종인 Scrubber의 경우 동일 집진능력의 백필터방식에 비해 설치비용이 약 30~50%절감, 에너지는 약 50%정도 절감이 가능(수평유형의 기본적인 설계치가 공기속도 1~5m/sec, 가수량 1~10, 송풍저항 60~80mmAq 수준)한 것으로 알려져 있음



그림 2-2-1-5. 일본 CE에 설치된 세정식집진시스템(김 등, 2013)

- 일본의 세정식집진장치는 분진으로 인한 민원은 없으나, 최근 이취로 인한 민원이 발생하는 곳이 많아 Satake사에서는 새로운 형태의 집진시스템을 고려하고 있는 것으로 조사되었는데 주된 방식은 국내의 순환식건조기에 주로 사용되고 있는 원심식집진시스템의 일종인 turbo cleaner를 크게 확장한 형태인 “건식집진기” 또는 “로터리(rotary)집진기”이었음
- 로터리집진기는 대용량 집진기로서 통상 순환식건조기 5대(통상 순환식건조기 30ton/batch의 집진량은 600m³/min수준)를 로터리집진기 1대로 집진토록 연결되는데, 현재 보급되는 집진시설의 약 60% 정도를 차지하고 있으며, 설치는 로터리집진기와 백필터를 조합한 형태로서 집진효율은 약 90% 수준으로 추정하고 있었으나, 전술한바와 같이 국내의 원심식 집진효율기준이 60% 수준임을 감안할 때 실제 집진효율의 측정이 필요하였음

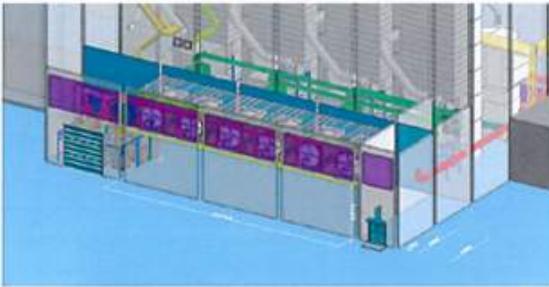
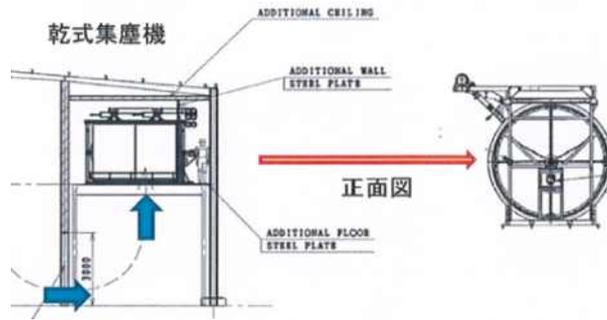


그림 2-2-1-6. 일본 CE에서 사용되고 있는 대용량 집진시스템(로터리집진기)

- 한편, 일본의 대형 정미공장의 건설 및 운영의 주요한 특징중 하나는 단위기계를 생산하고 시공하는 업체에서 설계한 후, 동일 업체의 단위기계중심으로 시공하고, 준공 이후에도 동일업체에서 시설관리를 실시하는 것으로서, 일본 정미공장에 설치된 집진시설에 대해서는 견학은 물론 설치 및 운영현황 파악이 어려웠으나, Satake사의 도움으로 伊丹産業株式会社(사이타마현 소재 민간 정미공장)의 집진시스템에 관한 개략 파악이 가능하였음
- 국내 RPC에서는 현미로부터 백미를 가공한 후, 포장하는 백미부 및 포장부는 백미의 높은 곡온으로 인한 결로로 백(bag)이 막혀 송풍량이 변화하여 도정특성이 변화되는 것을 차단하고, 미강매출이 용이하도록 정미기부터 집진기까지 단열하고, 백필터 대신 집진효율이 다소 낮은 테프론수지로 코팅된 사이클론을 주로 사용하고 있는 반면, 일본 정미공장에서 정미기는 주로 밀폐된 건물안에 설치되므로 단열하지 않는 반면, 집진기로 백필터를 사용하되 단열 및 가열되는 실내에 설치하고, 정압측정장치와 정압변화에 대응하여 송풍량을 조절하는 장치를 사용하고 있었으며, 여과포는 통상 3년 정도 사용이 가능하다고 하였음



그림 2-2-1-7. 일본 정미공장에 설치된 백필터와 집진실 단열 모습

- 전술한바와 같이 일본의 경우, 생산지에 주로 위치하여 벼를 주로 취급하는 공건시설에서는 세정식 집진시설을 사용하다 이취 등의 문제로 로터리집진기로 방향을 전환하고 있는 상태이나 집진효율에 대해서는 측정결과가 없어 확인이 필요하였으며, 소비지에 주로 위치하여 현미를 백미 또는 특수가 공하는 정미공장은 백필터를 주력으로 하고 있었음
- 우리나라의 경우에는 분진에 의한 민원은 주로 벼를 취급하는 DSC와 RPC로서 최근 백필터에 의한 집진으로 급속하게 전환되고 있으나, 외부 노출된 투입구, 대용량 송풍량을 가진 평타입사일로 및 사각빈, 터보클리너에 의존하는 순환식건조기, 노후화된 이송시설, 로터리밸브 등이 누락된 집진기 등 백필터만으로 처리하기 한계가 있어 이에 대한 보완이 절실한 실정이며, 미강을 대상으로 하는 사이클론에 의한 민원은 아직 사례가 보고되지 않았음

나. RPC 집진시스템 운영현황 조사를 통한 설계인자 구명

(1) 실험방법

- 1stG 및 2ndG RPC의 집진시스템 운영현황을 조사했는데, 먼저 1stG RPC는 경남 및 강원소재의 2개 RPC에서 가동 중의 분진농도 및 품질 등을 측정하여 현황을 조사하였으며, 2ndG RPC는 42개 RPC에 대해 집진시스템 운영현황의 측정·분석치를 이용하여 성능 및 문제점 등을 구명하였으며, 42개 2ndG RPC에 대한 집진시스템 측정결과는 한국식품연구원의 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화사업)의 성능검사 결과를 활용하였음
- 집진효율은 집진기 전단 및 후단에 타공한 70mm 홀에 건조제가 들어있는 데시케이터내에서 24시간 건조한 후 항량한 필터를 장착한 Low volume sampler(SIP-32L, SIBATA, Japan)를 부착한 다음, 30L/min속도로 약 10분간 분진을 흡인하여 필터의 무게를 측정한 다음, 다음 식과 같이 집진시설 전후의 분진농도를 계산하고, 집진효율을 계산하였음

$$D.C(mg/m^3) = \frac{(F.W_b - F.W_f) \times 1000}{\left(\frac{t \times A}{1000}\right)} \dots\dots\dots (2-2-1-1)$$

여기서, $D.C$: 분진농도(mg/m^3)
 $F.W_f$: 집진시설 전단에서 측정된 필터무게(g)
 $F.W_b$: 집진시설 후단에서 측정된 필터무게(g)
 t : 측정시간(min)
 A : 유량($30L/min$)

$$D.C_E = \left(1 - \frac{D.C_b}{D.C_f}\right) \times 100 \dots\dots\dots (2-2-1-2)$$

여기서, $D.C_E$: 집진효율(%)
 $D.C_f$: 집진시스템 통과전 분진농도(mg/m^3)
 $D.C_b$: 집진시스템 통과후 분진농도(mg/m^3)

- 송풍기 설계치와 측정치의 차이는 집진시설이 정상적으로 가동할 때 집진시설 송풍기 이전에 타공한 홀에서 풍속측정기(Velocical, TSI 9555-P, USA)를 이용하여 평균 풍속(덕트관경을 감안하여 최소 약 25지점 측정)을 측정하고, 덕트직경을 측정하여 송풍량으로 환산하고, 디지털 정압측정기(Testo 526, Testo, Germany)를 이용하여 송풍기 성능곡선에 의한 설계치와 다음 식과 같이 일반적으로 송풍기의 소요동력을 나타내는 식을 이용하여 측정된 $\Delta P \times V$ 값과 설계치의 $\Delta P \times V$ 값과 차이를 계산하였음

$$P_w = \frac{\Delta P \times V}{1,000 \times \eta \times 60} \dots\dots\dots (2-2-1-3)$$

여기서, P_w : 송풍기의 소요동력(kW)

ΔP : 송풍기의 정압(mmAq)

V : 송풍량(m^3/min)

η : 송풍기의 효율(-)

- 집진기 전후의 송풍량차이는 집진시설이 정상적으로 가동할 때 집진기 전후에 타공한 홀에서 풍속측정기(Velocical, TSI 9555-P, U.S.A)를 이용하여 평균 풍속(덕트관경을 감안하여 최소 약 25지점 측정)을 측정하고, 덕트직경을 측정하여, 송풍량으로 환산한 다음, 다음 식과 같이 집진기 전후의 송풍량 차이를 계산하였음

$$DVD = \left| \left(\frac{V_f - V_b}{V_f} \right) \times 100 \right| \dots\dots\dots (2-2-1-4)$$

여기서, DVD : 집진기 전후의 송풍량 차이(%)

V_b : 집진기 전의 송풍량(m^3/min)

V_f : 집진기 후단의 송풍량(m^3/min)



그림 2-2-1-8. 분진농도 측정에 사용된 Low volume sampler 및 측정모습

(2) 결과 및 고찰

(가) 1stG RPC의 집진시스템 운영현황

- 경남소재 RPC는 인근에 보건소, 학교, 교회, 식당 및 주택 등이 비교적 인접하여 설치되어 있었고, 집진시설의 설치형태 및 운영조건을 조사한 결과, ① 투입구(3개)가 외부설치로 바람에 의한 분진비산, ② 투입시설(조선기, 투입구 및 이송시설 등)에 1대의 cyclone에 의한 복합집진 및 노후화로 인한 분진누설, ③ 순환식건조기는 집진효율이 낮은 turbo cleaner 집진, ④ 평타입사일로 오염공기가

필터없이 배출, ⑤ 사각빈 오염공기가 송풍기로 외부 배출, ⑥ 왕겨실 및 왕겨팽연화시설 등의 밀폐 부족, 청소부족 등으로 인한 민원이 발생 중이었음

표 2-2-1-22. 경남소재 RPC의 집진시설의 설치 및 운영형태

구 분		설치 및 운영형태	비 고
1	투입구	· 외부설치로 외기에 의한 비산먼지발생 · 조선기, 기타 투입시설의 복합집진 · Cyclone만의 집진, bag filter미설치	
2	순환식건조기	· Turbo cleaner만의 집진	
3	평타입사일로	· 필터 미설치	
4	사각빈	· 송풍기에 의한 외부 배출	
5	왕겨실 및 팽연화	· 왕겨실 밀폐부족, 청소부족	



그림 2-2-1-9. 경남소재 RPC의 집진시설 설치 및 운영현황

○ 가공을 위한 건벼투입 및 가공 중 발생하는 비산먼지에 의한 분진농도 및 소음 측정결과는 다음 표와 같이 RPC 경계지점인 C, D지점에서 측정한 분진농도가 대기환경보전법상 상한치인 0.5mg/m³ 이상을 나타내었고, 가공실 내부 현미부는 6.5mg/m³으로 분진농도에 의한 오염이 높게 나타났으며, 동일하게 RPC 경계지점인 A, B, C지점에서 소음이 60dB(A) 이상을 나타내어 소음·진동관리법의 소음 허용기준을 초과하여 실제 민원이 발생되고 있는 분진과 소음이 관련법의 허용배출기준을 초과하여 문제가 되고 있는 것을 알 수 있었음



구분	측정위치	분진농도 (mg/m ³)	소음 (dB(A))
A	RPC 경계부분	0.12	74.36
B	RPC 경계부분	0.20	67.50
C	RPC 경계부분	0.65	60.82
D	RPC 경계부분	1.89	53.82
E	가공실내부 (현미부)	6.50	77.22

그림 2-2-1-10. 경남소재 RPC 경계부분 및 가공실내부(현미부)에서 측정한 분진농도 및 소음



그림 2-2-1-11. 강원소재 RPC의 미가용 집진시설 설치 및 운영현황

표 2-2-1-23. 강원소재 RPC의 집진불량에 따른 도정특성저하

공정	측정항목		정미1단 (연삭)	정미2단 (마찰)	로터리 슈프트	색채 선별기	이물 선별기	진동체 선별기
	현미							
싸라기(%)	0.5		0.9	4.9	3.0	3.1	3.1	3.8
(증가량)	동할율 0.7		0.4	4.0	-1.9	0.1	0.0	0.7
곡온(°C)	18.5		24.9	48.4	42.3	33.4	31.4	28.1
(증가)			6.4	23.5	-6.1	-8.9	-2.0	-3.3
백도(-)	21.8		23.9	40.2				
(증가)			2.1	16.3				
도정도(%)			1.5	9.2				
천립중(g)	24.84		24.46	22.55				
도정배분(%)			16.6	83.4				
함수율(%)	15.8		17.1	15.9	15.8	15.4	15.4	15.4
(감소)	원료벼 15.4		+1.3	1.2	0.1	0.4	0.0	0.0

- 한편, 강원도 소재 RPC의 미강집진시스템은 사이클론의 로터리밸브 및 정미기의 송풍상태 측정용 정압계가 누락된 상태이었으며, 도정특성은 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 정미시스템(연삭+마찰)에서 싸라기 발생율이 4.9%로 대단히 높게 나타났는데, 주요 원인은 집진부족에 따른 곡온 상승이 29.9℃(백미곡온-현미곡온)으로서 일반적인 도정기준 15℃보다 매우 높아 곡물의 강도가 저하하였기 때문으로서, 실제 집진부족이 도정특성 저하에 미치는 영향을 파악할 수 있었음

(나) 2ndG RPC의 집진시스템 운영현황

- 1stG RPC(1991~2001년) 및 2ndG RPC 초기에 설치된 RPC의 집진시스템에 대한 조사결과 다음과 같은 3가지 문제점이 발견되었음
- ㉠ **집진시스템의 역할변경** : 1stG RPC의 집진기는 민원을 고려하지 않고 이물질선별을 주목적으로 설치되었고, 2ndG RPC의 집진기는 민원을 고려하고 있으나, 인가(人家) 및 축사와 이격된 농지에 설치된 1stG RPC는 물론, 1stG RPC 또는 인근 부지에 설치되고 있는 2ndG RPC의 경우에도 RPC 주변이 점차 개발되면서 낮은 분진집진으로 인한 민원제기가 발생하는데, RPC 및 DSC에서는 주로 개별 보상하고 있으나 정확한 내용은 외부로 알리기를 꺼려함



(Rotary valve가 누락된 사이클론)



(노후화가 현저한 집진기)



(집진기가 없는 평타입사일로)



(집진기가 없는 사각빈)

그림 2-2-1-12. 1stG RPC(1991~2001년)의 노후화되고 약식 설치된 집진시설

- ㉠ **집진시스템의 노후화** : 1stG RPC(1991~2001년) 및 초기 2ndG RPC 집진기가 내용연수를 경과하여 노후화되었고, 대부분 사이클론의 설치 및 비용절감을 위한 간이설치(집진기하부로 공기 유출을 방지하면서 이물질만 배출하는 rotary valve 누락 등)로 집진효율이 낮으며, 순환식건조기는 집진효율이 대단히 낮은 집진실로 집진하였음
- ㉡ **집진시스템의 누락** : 분진농도가 낮고 공기량이 많은 사각빈 및 평타입사일로는 과대한 집진비용의 소요로 집진시스템이 누락되어 설치되었으며, 특히 현재 설치되는 평타입사일로의 경우 집진하지 않거나, 간이식 필터만 설치하고 있음
- 2ndG RPC에 설치된 집진시스템 생산업체는 총 7개 업체이며, 백필터는 7개 업체에서 생산하고 있고, 사이클론은 5개 업체에서 생산 중이었음
- 2ndG RPC에서 현미부의 종합석발기, 현미석발기 및 현미부전체 등에는 초기 일부 민간 RPC를 제외하고는 거의 전체가 백필터를 설치하였는데, 각 지점에서 발생되어 백필터로 유입되는 공기의 분진농도는 종합석발기, 현미석발기 및 현미부전체가 14.1mg/m³(4.0~33.3mg/m³), 12.3mg/m³(2.3~27.3mg/m³) 및 23.3mg/m³(4.0~72.7mg/m³) 수준으로서 대기환경보전법상의 대기오염물질 배출시설의 배출허용기준인 100mg/m³이하보다는 낮아 실제적으로 백필터의 집진효율이 낮아도 대기환경보전법상 허용범위 이내로 제재를 받지 않는 수준이었음
- 백필터를 통과한 공기의 분진농도도 각각 3.6mg/m³(0.7~25.3mg/m³), 2.6(0~10.0mg/m³) 및 3.2mg/m³(0~12.3mg/m³)으로 대기환경보전법상의 대기오염물질 배출시설 배출허용기준(100mg/m³이하)로 낮고, 비산먼지 농도기준(0.5mg/m³이하)보다는 높았으나, 백필터에서 배출된 공기가 외기와 혼합되므로 RPC에서 모든 분진발생지점의 집진을 백필터 위주로 설치할 경우 대기환경보전법상 큰 문제는 없을 것으로 판단되었음
- 백필터의 집진효율은 종합석발기, 현미석발기 및 현미부전체 등에서 각각 77.8%(39.9~92.0%), 77.1%(3.0~100.0%), 83.6%(37.8~100.0%) 등으로 집진효율기준인 90%보다는 낮게 나타났는데 주요 원인은 ㉠ 후술하는 송풍량의 설계치와 측정치 차이, ㉡ Rotary valve에서의 공기의 유입 및 유출, ㉢ 탈진부족 및/또는 여과포의 막힘 등으로 판단되었음
- 2ndG RPC에서 백미부의 정미기, 연미기 및 백미부전체 등의 집진시스템으로 초기에는 고효율의 집진을 위해 그동안 사이클론을 사용하였던 관행을 바꿔 백필터가 사용되었으나 이는 집진시스템의 이해부족으로 ㉠ 고온의 미강으로 인한 결로로 여과포의 막힘, ㉡ 여과포 막힘에 따른 정압변화로 도정특성의 경시적 변화, ㉢ 탈진시 정미시스템으로 충격 전파 등의 문제가 발생함으로써 사이클론으로 전환되었으며, 현재는 사이클론 내부에 미강이 잔류하지 않도록 테프론(teflon)으로 코팅된 사이클론이 사용되고 있음
- 한편, 정미기, 연미기 및 백미부전체에서 발생되어 사이클론으로 유입되는 공기의 분진농도는 각각 475.6mg/m³(7.7~4,767.3mg/m³), 87.7mg/m³(3.3~380.7mg/m³) 및 58.4mg/m³(0.7~890.7mg/m³) 수준으로서 대단히 높게 측정되었는데, 이는 정미기 및 연미기의 경우 배출되는 공기에 다량의 미강이

혼입되어 있기 때문으로서, 사이클론을 통과한 공기의 분진농도는 각각 $5.0\text{mg}/\text{m}^3(0.7\sim 18.7\text{mg}/\text{m}^3)$, $3.4(1.0\sim 11.3\text{mg}/\text{m}^3)$ 및 $2.9\text{mg}/\text{m}^3(0.1\sim 13.3\text{mg}/\text{m}^3)$ 로 대기환경보전법상의 대기오염물질 배출시설 배출허용기준($100\text{mg}/\text{m}^3$ 이하)보다 낮았음

- 미강을 집진하는 사이클론의 집진효율이 백필터보다는 다소 높게 나타났는데 주요 원인은 미강의 입자크기가 현미부에서 발생하는 분진에 비해 크기(김 등, 2013) 때문으로 판단되었으며, 사이클론에서 집진되지 않는 미강은 육안으로 확인이 용이하고 물과 접촉하면 주변을 쉽게 오염되는 특징이 있어 사이클론 이후에 백필터로 추가 집진할 필요성이 높아지고 있음
- 사이클론의 집진효율은 정미기, 연미기 및 백미부전체 등에서 각각 $86.0\%(60.0\sim 99.9\%)$, $76.7\%(30.0\sim 99.3\%)$, $73.5\%(12.1\sim 98.5\%)$ 등으로 집진효율기준인 60%보다는 높게 나타났는데 이는 사이클론에 유입되는 공기에 다량의 미강이 혼입되어 대부분이 제거되기 때문으로 RPC에 설치된 사이클론의 독특한 집진효율 특성이라고 할 수 있음
- 집진시스템에 부착된 송풍기의 송풍량은 통상 각 집진개소에서 발생하는 분진을 함유한 공기량이 집진시스템에서 집진이 용이한 걸보기 풍속을 유지할 수준으로 설계되고 있으나, ㉠ 집진덕트 등에 대한 정밀설계 부족으로 송풍저항(정압) 실측치와 설계치와 차이발생, ㉡ 송풍기의 성능이 당초 제시한 성능곡선에 비해 차이발생, ㉢ 단위기계 제조회사에서 제시한 적정 송풍량과 실제 사용 송풍량과의 차이, ㉣ 집진기 및 집진덕트 내부의 막힘 및 집진개소의 적정 송풍량으로 조절 한계, ㉤ 과도한 입찰경쟁으로 낮은 사양의 집진시스템 설치 등의 원인으로 실제 측정된 송풍량과 설치된 송풍량과 차이가 발생하고 있음
- 표에서 알 수 있듯이 종합석발기, 현미석발기 및 현미부전체 등 백필터에 설치된 송풍기의 설계치와 측정치의 차이는 각각 $43.5\%(1.0\sim 156.9\%)$, $20.7\%(7.3\sim 35.3\%)$ 및 $62.1\%(1.6\sim 284.0\%)$ 등으로 높은 수준이었으며, 현미부전체의 설계치와 실측치 차이가 크게 발생한 주요 원인은 보조탱크, aspirator 및 이송시설 등 집진개소수가 대단히 많은 반면 각 집진개소에서 집진량은 정압계도 없이 댐퍼조정밸브 하나만으로 조절되어 각 집진개소수마다 적정 송풍량을 유지하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문이었음
- 백미부의 정미기, 연미기 및 백미부전체 등의 사이클론에 부착된 송풍기의 경우도 마찬가지로 설계치와 측정치의 차이는 각각 $21.1\%(0.7\sim 84.3\%)$, $26.7\%(0.1\sim 81.5\%)$ 및 $32.5\%(0.4\sim 252.8\%)$ 등으로 높은 수준이었으나 백필터보다는 다소 낮게 나타났는데, 이는 정미기와 연미기에는 정압계와 댐퍼가 부착되어 비교적 정확하게 송풍량을 조절하여 사용하기 때문으로 판단되었음
- 한편, 백필터와 사이클론에서 제거된 분진은 기밀되는 rotary valve를 통해 외부로 배출되나, 일부 rotary valve를 통해 공기가 유입 또는 유출(송풍기의 설치위치에 따라 차이, 대부분은 집진시스템 이후에 송풍기가 설치되므로 공기가 유입)됨에 따라 현저하게 집진효율을 저하시키는 경우가 있어 집진시스템의 성능검정인자에서 기준은 3.0%이하로 정하고 있으나, 경험적으로 비교적 저가제품에서 기밀유지가 어려운 것으로 알려져 있음

- 2ndG RPC에 부착된 백필터의 rotary valve로 인한 송풍량차이는 종합석발기, 현미석발기 및 현미부 전체가 각각 10.6%(0.1~54.1%), 12.9%(0.9~37.5%) 및 12.3%(0.0~69.5%)이었고, 백미부의 정미기, 연미기 및 백미부전체가 각각 21.4%(0.9~86.5%), 21.9%(3.0~83.8%) 및 14.6% (0.4~77.9%)로서 송풍량측정방법의 정도를 감안하여도 기준에 비해 대단히 높게 나타났음
- 또한 집진기 종류별로는 사이클론이 백필터보다는 높게 나타났는데, 사이클론이 주로 미강을 집진함에 따라 rotary valve도 테프론 코팅을 실시함에도 불구하고 고온의 미강이 점차적인 부착하기 때문으로 판단되었으며, 이를 해소하기 위하여 rotary valve를 전기히터로 가열하거나, 고압공기를 이용하여 주기적으로 청소하는 등 보완시스템이 적용되고 있었음
- 이상의 결과에서도 알 수 있듯이 가공부 중 현미부에는 백필터, 백미부에는 사이클론이 집진기로서 주로 사용되고 있으나 전반적인 집진효율이 기준치에 비해 낮게 나타났는데 주요 원인은 송풍량에 대한 설계치와 측정치의 차이, rotary valve를 통한 공기유입 등을 들 수 있었음
- RPC 가공시설에 보다 효율적인 집진시스템을 구축하기 위해서는 백미부 사이클론 이후에 백필터 2중 집진, 정밀설계 및 저가의 rotary valve 사용지양 등이 필요하였으며, 집진기의 가격(m³/min당 가격, 백필터 약 145,882원, 사이클론 57,500원, 김 등(2013))을 고려할 때 가공부로도 친환경의 경제적인 집진시스템의 도입이 필요하였으며, 특히, 투입구, 건조기 및 평사일로 등 고품량이 필요한 집진개소에 대한 집진시스템 개선이 필요하였음

표 2-2-1-24. 2ndG RPC 현미부의 백필터 집진효율

	중합석발기 분진농도				현미석발기 분진농도				현미부 전체 분진농도			
	전 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)		전 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)		전 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)	
1	4.44	2.67	39.86		8.00	5.00	37.50		54.70	3.33	93.91	
2	12.00	4.33	63.92		21.30	2.67	87.46		4.00	1.33	66.75	
3	4.67	0.67	85.65		3.33	0.33	90.09		26.70	12.30	53.93	
4	5.33	2.67	49.91						16.30	4.33	73.44	
5	12.70	2.67	78.98						68.00	0.67	99.01	
6	5.33	2.67	50.00						16.33	4.33	73.47	
7	24.00	2.33	90.28						72.67	6.67	90.83	
8	23.22	2.33	89.95		2.78	1.00	64.00					
9	18.50	1.83	90.09									
10	12.67	2.67	78.95		3.33	0.33	90.00		68.00	0.67	99.02	
11	32.67	4.67	85.71						24.67	4.67	81.08	
12	33.33	4.67	86.00						40.00	4.00	90.00	
13					27.11	1.50	94.47		32.67	0.00	100.00	
14	5.67	1.17	79.41		3.67	3.56	3.03					
15	6.67	0.67	89.95						13.67	1.00	92.68	
16									7.67	0.67	91.26	
17					26.00	10.00	61.54		11.33	6.00	47.06	
18					21.33	5.33	75.00		30.00	7.33	75.56	
19									13.67	2.33	82.93	
20									20.67	2.00	90.32	
21									7.38	1.56	78.91	

	중합석발기 분진농도			현미석발기 분진농도			현미부 전체 분진농도		
	진 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)	진 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)	진 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)
22				2.33	0.33	85.72	9.67	1.00	89.66
23				7.33	0.00	100.00	11.33	1.33	88.24
24							7.33	0.00	100.00
25				27.33	3.33	87.82			
26	33.33	2.67	92.00	22.00	5.33	75.76	24.00	6.00	75.00
27							48.00	8.67	81.94
28	13.33	2.67	80.00				12.00	0.00	100.00
29	17.00	10.00	41.18				15.00	9.33	37.78
30							28.00	4.67	83.33
31				4.67	0.33	92.86	4.67	0.67	85.71
32				3.33	0.33	90.00	5.6667	0.6667	88.23
33	11.67	1.11	90.48				15.56	1.67	89.29
34	8.89	1.11	87.51				13.89	1.67	88.00
35	14.37	1.33	90.72				13.40	1.33	90.05
36	7.33	1.33	81.82				25.33	4.00	84.21
37	4.00	0.67	83.33				5.00	0.17	96.60
평균	14.1	2.6	77.5	12.3	2.6	75.7	23.3	3.2	83.6
최대	33.3	10.0	92.0	27.3	10.0	100.0	72.7	12.3	100.0
최소	4.0	0.7	39.9	2.3	0.0	3.0	4.0	0.0	37.8
차이	29.3	9.3	52.1	25.0	10.0	97.0	68.7	12.3	62.2
표준편차	9.6	2.0	16.9	10.3	2.8	25.8	19.2	3.1	14.8

표 2-2-1-25. 2ndG RPC 백미부의 사이클론 집진현황 조사

	정미기 분진농도			연미기 분진농도			백미부 전체 분진농도		
	전 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)	전 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)	전 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)
1							2.00	1.33	33.50
2							6.33	0.67	89.42
3							3.67	1.33	63.76
4							6.33	0.67	89.47
5	42.33	8.33	80.32	13.33	2.33	82.50	22.33	2.33	89.55
6	83.11	1.83	97.79				0.67	0.11	83.36
7				6.83	2.00	70.73	3.17	1.17	63.16
8	1046.00	0.67	99.94				3.67	1.33	63.64
9	33.33	9.33	72.00				30.67	8.67	71.74
10	28.00	10.00	64.29				28.00	9.33	66.67
11	19.33	4.44	77.01				25.11	2.67	89.37
12							3.67	3.22	12.12
13				12.33	1.00	91.89			
14	44.67	2.00	95.52	368.00	2.67	99.28			
15	20.67	4.67	77.42	380.67	3.33	99.12			
16	14.33	5.00	65.12						
17	10.33	4.00	61.29						
18	11.67	4.67	60.00						
19	9.00	3.00	66.67						
20	7.67	2.00	73.91				1.78	0.78	56.25

	정미기 분진농도				연미기 분진농도				백미부 전체 분진농도			
	진 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)	집진효율 (%)	진 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)	집진효율 (%)	진 (mg/m ³)	후 (mg/m ³)	집진효율 (%)	집진효율 (%)
21					3.33	2.33	30.00		2.00	0.67	66.67	
22					9.33	1.33	85.71		2.00	1.33	33.34	
23					10.67	1.33	87.50		4.67	0.67	85.71	
24					16.66	11.33	31.99		22.33	5.66	74.65	
25	4767.33	10.67	99.78						2.67	0.67	75.00	
26	2472.67	18.67	99.25						890.67	13.33	98.50	
27									551.11	8.89	98.39	
28					56.33	6.33	88.76		36.33	5.00	86.24	
29	663.33	6.67	98.99						11.00	2.00	81.82	
30	391.33	4.67	98.81						34.33	2.67	92.23	
31	115.00	0.67	99.42									
32	268.67	0.67	99.75									
33	175.56	8.33	95.25						5.00	1.67	66.67	
34	199.44	6.11	96.94						5.00	2.22	55.56	
35	12.33	4.00	67.57						10.67	3.33	68.75	
36	1761.17	7.17	99.59						17.83	3.67	79.44	
37	33.17	3.33	89.96						2.67	0.33	87.50	
38	27.83	0.33	98.81						7.50	0.67	91.11	
39	107.00	0.67	99.38						7.67	0.67	91.30	
평균	475.6	5.0	86.0		87.7	3.4	76.7		58.4	2.9	73.5	
최대	4767.3	18.7	99.9		380.7	11.3	99.3		890.7	13.3	98.5	
최소	7.7	0.7	60.0		3.3	1.0	30.0		0.7	0.1	12.1	
차이	4759.7	18.0	39.9		377.3	10.3	69.3		890.0	13.2	86.4	
표준편차	1057.0	4.1	15.1		151.8	3.2	25.5		185.8	3.2	20.4	

표 2-2-1-26. 2ndG RPC의 백필터 송풍기의 설계치 및 측정치 차이

	중합석발기						현미석발기						현미부 진체								
	설계치			측정치			차이 (%)	설계치			측정치			차이 (%)	설계치			측정치			차이 (%)
	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	정압 mmAq		송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	정압 mmAq		송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	정압 mmAq	
1	200.0	300.0	300.0	161.2	376.0	376.0	1.0	140.0	300.0	300.0	122.1	319.0	319.0	7.3	220.0	350.0	350.0	298.8	269.0	269.0	4.4
2	400.0	200.0	200.0	330.3	343.0	343.0	41.6	280.0	250.0	250.0	263.0	360.0	360.0	35.3	300.0	300.0	300.0	312.2	367.0	367.0	27.3
3															300.0	300.0	300.0	308.6	371.0	371.0	27.2
4	140.0	300.0	300.0	131.0	402.0	402.0	25.4	140.0	300.0	300.0	108.7	352.3	352.3	8.8	140.0	300.0	300.0	230.1	385.3	385.3	111.1
5															250.0	250.0	250.0	344.4	338.0	338.0	86.3
6	190.0	300.0	300.0	209.5	339.5	339.5	24.8	140.0	250.0	250.0	135.2	347.0	347.0	34.0	300.0	300.0	300.0	258.4	247.5	247.5	28.9
7	380.0	300.0	300.0	302.4	342.0	342.0	9.3								440.0	300.0	300.0	384.2	375.3	375.3	9.2
8	200.0	300.0	300.0	205.7	265.7	265.7	8.9	140.0	300.0	300.0	122.0	274.3	274.3	20.3	350.0	300.0	300.0	362.7	283.0	283.0	2.2
9	190.0	300.0	300.0	192.0	337.0	337.0	13.5	150.0	300.0	300.0	146.0	230.0	230.0	25.4	320.0	300.0	300.0	240.5	193.0	193.0	51.6
10	230.0	300.0	300.0	120.8	385.0	385.0	32.6	140.0	300.0	300.0	121.8	316.0	316.0	8.4	360.0	300.0	300.0	396.2	337.0	337.0	23.6
11	150.0	300.0	300.0	153.5	305.5	305.5	4.2	150.0	300.0	300.0	95.2	350.5	350.5	25.8	300.0	300.0	300.0	256.6	366.5	366.5	4.5
12	200.0	340.0	340.0	167.2	324.7	324.7	20.2														
13															230.0	300.0	300.0	203.3	298.7	298.7	12.0
14															300.0	260.0	260.0	351.2	210.7	210.7	5.1
15	190.0	300.0	300.0	194.4	259.3	259.3	11.6								280.0	300.0	300.0	330.4	258.3	258.3	1.6
16	280.0	300.0	300.0	242.6	311.7	311.7	10.0								280.0	300.0	300.0	306.1	255.0	255.0	7.1
17															340.0	300.0	300.0	260.3	360.7	360.7	8.0

	중합석발기						현미석발기						현미부 진체					
	설계치		추정치		차이 (%)		설계치		추정치		차이 (%)		설계치		추정치		차이 (%)	
																		송풍량 m ³ /min
36	140.0	400.0	206.6	339.0	25.1								260.0	250.0	356.1	329.7	80.6	
37	70.0	400.0	146.5	324.7	69.9								260.0	250.0	332.2	365.3	86.7	
38	140.0	450.0	384.3	351.0	114.1								140.0	300.0	351.7	332.0	178.0	
39	140.0	400.0	182.4	260.7	15.1								300.0	250.0	384.2	246.7	26.4	
40	120.0	400.0	127.1	146.3	61.3								190.0	250.0	278.0	246.7	44.4	
41	110.0	440.0	379.9	239.0	87.6								220.0	250.0	339.7	363.6	124.6	
42	110.0	440.0	368.7	329.6	151.1								200.0	250.0	348.2	357.6	149.0	
평균	167.4	360.0	219.2	308.8	43.5		160.0	287.5	139.3	318.6	20.7		252.5	288.7	311.2	316.8	62.1	
최대	400.0	450.0	384.3	402.0	156.9		280.0	300.0	263.0	360.0	35.3		440.0	450.0	554.3	427.0	284.0	
최소	70.0	200.0	120.8	146.3	1.0		140.0	250.0	95.2	230.0	7.3		100.0	250.0	120.9	193.0	1.6	
차이	330.0	250.0	263.5	255.7	155.9		140.0	50.0	167.8	130.0	28.0		340.0	200.0	433.4	234.0	282.4	
표준편차	81.4	68.9	83.1	52.1	43.5		48.7	23.1	52.3	45.5	11.4		81.6	38.0	73.7	51.9	64.4	

표 2-2-1-27. 2ndG RPC의 사이클론 송풍기의 설계치 및 측정치 차이

	정미기						연미기						백미부 전체					
	설계치		측정치		차이 (%)		설계치		측정치		차이 (%)		설계치		측정치		차이 (%)	
	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq			송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq			송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq		송풍량 m ³ /min	정압 mmAq
1	120	580	71.6	455	53.2	60	580	73.5	473	0.1	140	280	269.9	255	75.6			
2	120	550	132.7	600	20.6	40	600	37.9	513	19.0	150	350	192.3	408	49.4			
3																		
4	260	300	185.5	393	6.5	120	450	29.4	339.3	81.5	200	250	167.5	293	1.8			
5	70	500	66.9	485	7.3	50	500	66.9	481	28.7	200	250	168.2	142	52.2			
6	90	380	45.6	340.6	54.6	40	380	45.6	340.6	2.2	200	270	131.6	280.2	31.7			
7	150	300	123.5	330	9.4	80	400	62.4	346.3	32.5	120	250	114.4	240	8.5			
8	180	300	140.5	289.7	24.6	35	300	47.5	263	19.0	180	300	278.5	304	56.8			
9	150	450	133.6	232	54.1	70	300	62	174	48.6	150	300	184.7	328	34.6			
10	50	300	46.4	252	22.0	100	300	39.3	293	61.6	200	300	223.5	297	10.6			
11	110	450	136.2	350.5	3.6						150	300	158.6	327.5	15.4			
12	50	550	80	433.3	26.1	50	675	77.2	476	8.9	240	200	152.6	222.7	29.2			
13	120	420	151.6	437.7	31.7						120	300	100.5	273	23.8			
14											150	280	257	284	73.8			
15	110	480	170.3	377.3	21.7	120	400	50.8	190	79.9	200	320	113	221.3	60.9			
16	70	400	65.4	383.7	10.4	80	300	65.4	394.3	7.4	110	300	192.3	244.3	42.4			

	정미기						연미기						백미부 전체										
	설계치			측정치			차이 (%)	설계치			측정치			차이 (%)	설계치			측정치			차이 (%)		
	송풍량	정압	mmAq	송풍량	정압	mmAq		송풍량	정압	mmAq	송풍량	정압	mmAq		송풍량	정압	mmAq	송풍량	정압	mmAq			
	m ³ /min			m ³ /min			m ³ /min			m ³ /min			m ³ /min			m ³ /min			m ³ /min				
17																							
18	65	550		82.6	475	9.7																	
19	70	400		48.8	289	49.6																	
20																							
21																							
22	140	350		108.2	425.7	6.0																	
23	140	350		101.4	438.7	9.2																	
24	140	450		172.7	392	7.5																	
25	80	450		100.5	379	5.8		50	450														
26								90	450														
27	150	400		163.8	498.5	36.1																	
28								70	400														
29								70	400														
30	80	400		115.2	512	84.3																	
31	70	400		73.5	385	1.1		70	400														
32	120	450		152.1	391.7	10.3																	
33	120	450		136.4	364	8.1																	

	정미기				연미기				백미부 전체						
	설계치		측정치		차이 (%)	설계치		측정치		차이 (%)	설계치		측정치		
	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq		송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq		송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq
	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	송풍량 m ³ /min	정압 mmAq	
34	100	400	106.1	374.3	0.7										
35	100	400	120.2	342.7	3.0									6.9	
36	140	400	145.4	290.7	24.5	140	400	145.4	290.7	24.5	260	250	263.1	304.7	23.3
37	70	400	70.4	259	34.9										4.5
38	140	450	137.3	526.7	14.8	140	450	137.3	526.7	14.8	140	300	172	348	42.5
39	140	400	149.2	277.7	26.0										5.7
40	120	400	117.7	332.3	18.5										14.1
41	110	440	122.6	364.6	7.6										12.1
42	110	440	128	331.6	12.3										25.9
평균	113.4	421.8	114.8	382.6	21.1	77.6	428.2	69.7	354.6	26.7	185.8	280.8	190.8	278.0	32.5
최대	260.0	580.0	185.5	600.0	84.3	140.0	675.0	145.4	526.7	81.5	330.0	450.0	450.0	477.0	252.8
최소	50.0	300.0	45.6	232.0	0.7	35.0	300.0	29.4	174.0	0.1	100.0	200.0	94.6	142.0	0.4
차이	210.0	280.0	139.9	368.0	83.6	105.0	375.0	116.0	352.7	81.4	230.0	250.0	355.4	335.0	252.4
표준편차	41.7	71.1	38.4	85.0	19.3	32.9	103.6	32.1	102.8	25.2	60.6	47.2	73.6	62.8	43.7

표 2-2-1-28. 2ndG RPC 현미부 백필터 전후 송풍량 차이

	종합석발기			현미석발기			현미부 전체		
	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)
1	136.2	161.2	15.5	109.0	122.1	10.7	368.7	298.8	23.4
2	357.9	330.3	8.4	278.2	263.0	5.8	201.7	312.2	35.4
3							259.1	308.6	16.0
4	133.7	131.0	2.1	114.9	108.7	5.7			
5							352.2	344.4	2.3
6	205.6	209.5	1.9	92.7	135.2	31.4	235.2	258.4	9.0
7	226.3	302.4	25.2				117.0	384.2	69.5
8	200.5	205.7	2.5	98.8	122.0	19.0	318.1	362.7	12.3
9	182.6	192.0	4.9	150.6	146.0	3.2	234.9	240.5	2.3
10	158.8	120.8	31.5	122.9	121.8	0.9	363.6	396.2	8.2
11	157.7	153.5	2.7	93.8	95.2	1.5	290.1	256.6	13.1
12	177.8	167.2	6.3						
13							172.6	203.3	15.1
14	194.2	194.4	0.1				310.3	330.4	6.1
15	111.3	242.6	54.1				205.1	306.1	33.0
16							188.6	260.3	27.5
17							247.0	277.9	11.1

	종합석발기				현미석발기				현미부 전체			
	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)
18	148.8	144.6	2.9				293.1	333.1	12.0			
19							204.4	202.8	0.8			
20							346.4	338.3	2.4			
21							322.6	324.1	0.5			
22							303.8	306.2	0.8			
23							230.2	252.8	8.9			
24							189.5	223.8	15.3			
25	111.3	125.3	11.2									
26	177.7	181.5	2.1	177.5	284.2	37.5	109.5	120.9	9.4			
27	151.3	167.3	9.6				279.4	322.1	13.3			
28	106.4	139.3	23.6				214.2	295.4	27.5			
29							520.4	430.2	21.0			
30	207.9	245.5	15.3				506.6	554.3	8.6			
31	258.4	314.7	17.9				232.7	232.7	0.0			
32	293.8	327.1	10.2				315.6	303.2	4.1			
33	158.4	184.6	14.2				331.3	322.9	2.6			
34	169.6	188.3	9.9				331.9	326.4	1.7			
35	223.1	206.6	8.0				371.4	356.1	4.3			
36	144.2	146.5	1.6				289.0	332.2	13.0			
37	327.9	384.3	14.7				321.0	351.7	8.7			

	중합석발기			현미석발기			현미부 전체		
	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)
38	182.5	182.4	0.1				283.2	384.2	26.3
39	120.0	127.1	5.6				247.7	278.0	10.9
40	408.8	379.9	7.6				349.0	339.7	2.7
41	369.0	368.7	0.1				343.6	348.2	1.3
평균	200.1	214.6	10.6	137.6	155.4	12.9	283.4	309.5	12.3
최대	408.8	384.3	54.1	278.2	284.2	37.5	520.4	554.3	69.5
최소	106.4	120.8	0.1	92.7	95.2	0.9	109.5	120.9	0.0
차이	302.4	263.5	54.0	185.5	189.0	36.6	410.9	433.4	69.5
표준편차	80.7	81.9	12.0	59.7	68.8	13.5	85.3	71.5	13.2

표 2-2-1-29. 2ndG RPC 백미부 사이클론 전후 송풍량 차이

	정미기			연미기			백미부 전체		
	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)
1	47.7	71.6	33.4	61.9	73.5	15.8	190.6	269.9	29.4
2	173.8	132.7	31.0	36.7	37.9	3.2	178.3	192.3	7.3
3	154.8	185.5	16.5	34.8	29.4	18.4	126.4	167.5	24.5
4	96.7	66.9	44.5	90.8	66.9	35.7	153.4	168.2	8.8
5	83.8	45.6	83.8	49.2	45.6	7.9	101.6	131.6	22.8
6	17.0	123.5	86.2	10.1	62.4	83.8	25.3	114.4	77.9
7	144.1	140.5	2.6	39.4	47.5	17.1	214.6	278.5	22.9
8	117.5	133.6	12.1	54.5	62.0	12.1	209.4	184.7	13.4
9	38.1	46.4	17.9	33.6	39.3	14.5	268.1	223.5	20.0
10	137.4	136.2	0.9				165.3	158.6	4.2
11	82.7	80.0	3.4	64.9	77.2	15.9	158.6	152.6	3.9
12	20.4	151.6	86.5				106.1	100.5	5.6
13	22.8	147.7	84.6				117.0	130.8	10.6
14				73.2	92.2	20.6	223.7	257.0	13.0
15	140.4	170.3	17.6	23.7	50.8	53.3	105.7	113.0	6.5

	정미기			연미기			백미부 전체		
	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)
16	50.8	65.4	22.3	54.9	65.4	16.1	188.6	192.3	1.9
17	79.0	82.6	4.4	80.2	89.8	10.7			
18	45.5	48.8	6.8				173.3	303.8	43.0
19							154.3	199.2	22.5
20							451.6	450.0	0.4
21	102.3	108.2	5.5				109.3	117.2	6.7
22	92.5	101.4	8.8				84.8	94.6	10.4
23	171.0	172.7	1.0	160.0	169.1	5.4			
24	80.0	100.5	20.4	37.2	60.5	38.5	101.2	105.4	4.0
25				77.7	123.3	37.0	140.1	144.3	2.9
26	166.9	163.8	1.9				185.9	181.3	2.5
27				45.9	65.0	29.4	123.3	140.1	12.0
28				45.5	65.0	30.0	108.0	113.2	4.6
29	74.2	115.2	35.6				159.7	169.2	5.6
30	70.6	73.5	3.9	66.5	70.8	6.1	310.3	299.4	3.6
31	134.1	152.1	11.8				74.8	202.8	63.1
32	91.0	136.4	33.3				104.6	167.3	37.5

	정미기			연미기			백미부 전체		
	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)	송풍량(전) (m ³ /min)	송풍량(후) (m ³ /min)	전·후의 차이(%)
33	108.9	106.1	2.6						
34	107.1	120.2	10.9				151.7	181.6	16.5
35	141.1	145.4	3.0	141.1	145.4	3.0	257.1	263.1	2.3
36	57.4	70.4	18.5				254.8	263.4	3.3
37	126.8	137.3	7.6	126.8	137.3	7.6	177.7	172.0	3.3
38	123.3	149.2	17.4				314.4	323.0	2.7
39	123.4	117.7	4.8				156.7	170.0	7.8
40	128.5	122.6	4.8				166.2	180.0	7.7
41	130.6	128.0	2.0				166.7	227.0	26.6
평균	99.5	115.7	21.4	64.0	76.2	21.9	170.0	192.2	14.6
최대	173.8	185.5	86.5	160.0	169.1	83.8	451.6	450.0	77.9
최소	17.0	45.6	0.9	10.1	29.4	3.0	25.3	94.6	0.4
차이	156.8	139.9	85.7	149.9	139.7	80.9	426.3	355.4	77.5
표준편차	44.0	38.2	25.9	37.7	36.8	19.1	78.4	74.6	17.2

다. 통합집진기의 성능실험 및 보완

- 전술한바와 같이 선행연구를 통해 본 연구진이 연구개발하여 iGSP에 기술이전한 통합집진기는 투입구, 사각빈, 건조기 및 평타입사일로 등 RPC에서의 고송풍량 집진개소에 대한 저비용 고집진효율의 친환경집진시스템의 일종으로서 대기환경보존법 등 관련 법규준용 및 민원해소를 위해서는 현실적으로 대단히 적합하면서 효과적인 방안으로 보급되고 있었음
- 그러나 통합집진기의 보급과정에서 설치장소 및 형태에 따라서는 ㉠ 기존 백필터에 비해 가격적으로 크게 저렴하지 않다거나, ㉡ 설치여건에 따라 집진효율이 기대치보다 높지 않다거나, ㉢ 여과포에서 빠져나온 미세먼지에 의해 집진실이 과도하게 오염되어 외관상 문제가 있는 등의 보완요구상이 발생되어 통합집진기의 정확한 설치형태 및 발생하는 문제점에 대해 현장 확인과 이를 바탕으로 개선방향을 수립하여 체계계적으로 보완하는 것이 필요하였음
- 따라서 본 연구에서는 기존에 설치된 통합집진기중 경북 의성소재 DSC에 설치된 야외형(여과포를 외부에 노출하지 않도록 casing한 형태)과, 경북 예천소재 RPC에 설치된 실내설치형(집진물 내에 casing없이 집진기 본체만을 설치하여 여과포가 노출된 형태) 등 2가지에 대해 현장실험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

(1) 야외형 통합집진기 성능실험

(가) 실험방법

- 경북 의성소재 DSC에 설치된 야외형 통합집진기(812-814, iGSP)는 송풍량 1,530m³/min, 백필터 총 72개(300×6,000mm, Φ×H), 여과포 통과속도 3.47m/min, 탈진장치용 모터 3.7kW×2대, 이송기기(체인컨베이어) 1.5kW×1대, rotary valve 1.5kW×1대로 구성된 것으로서 각 사이클론에 연결된 송풍기 3개를 포함해 총 4개 송풍기의 설계치는 다음 표와 같았음
- 다음 그림과 같이 통합집진기로 들어오는 공기유입구는 총 4개로서, 그중 각각 조선기#1, 조선기#2, 건조부와 연결된 3개는 사이클론과 송풍기를 지나 통합집진기로 유입되었고, 1개는 기타 여러 분진 발생부(벼 투입부, 호퍼스케일 및 기타 컨베이어 등)의 발생공기로서 하나의 덕트로 송풍기를 거쳐 통합집진기로 유입되는 구성이었음

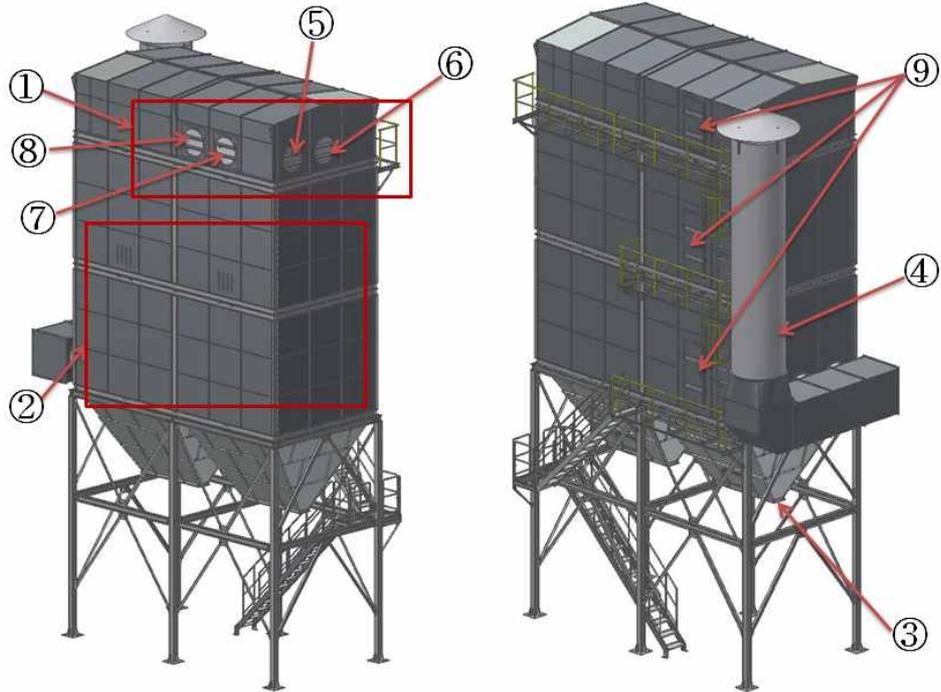
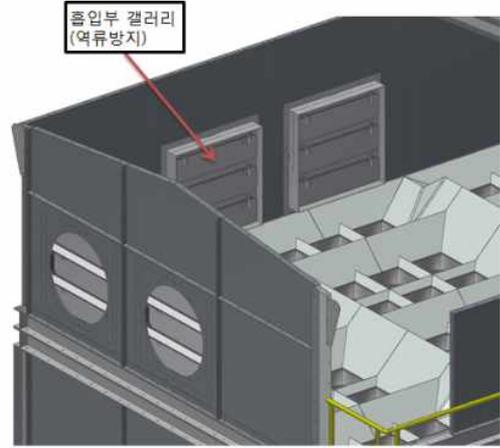


그림 2-2-1-13. 경북 의성소재 DSC에 설치된 야외형 통합집진기의 외형도

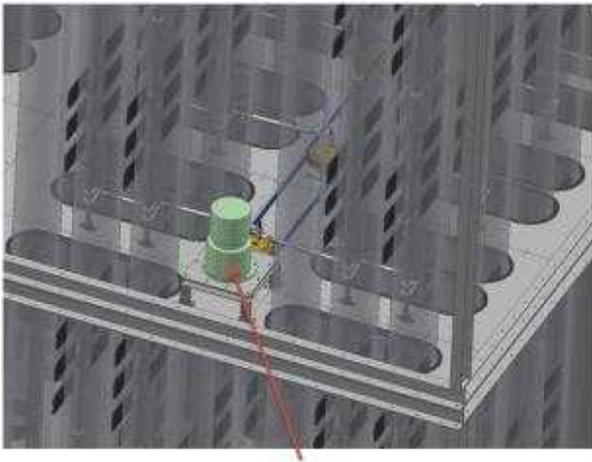
- ① 분진함유 공기유입부, ② 여과포가 설치된 본체, ③ 집진부산물 배출 호퍼, ④ 배풍구, ⑤ 조전기집진용 공기 유입구, ⑥ 건조기집진용 공기유입구, ⑦ 반입부집진용 공기유입부, ⑧ 추후중설용 공기유입부, ⑨ 각종 점검구



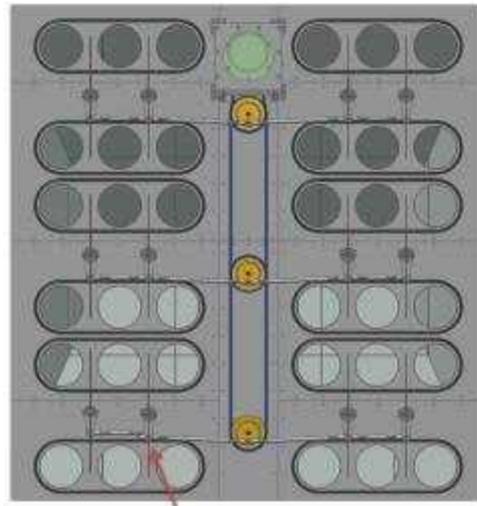
(집진기 전체)



(상부 공기유입구에 설치된 역류방지용 밸브)



(기계적인 탈진장치용 모터)



(여과포 및 탈진장치 설치도)



(실제 설치된 여과포)



(실제 설치된 공기유입부 및 여과포연결부위)

그림 2-2-1-14. 경북 의성소재 DSC에 설치된 야외형 통합집진기의 내부 구성도

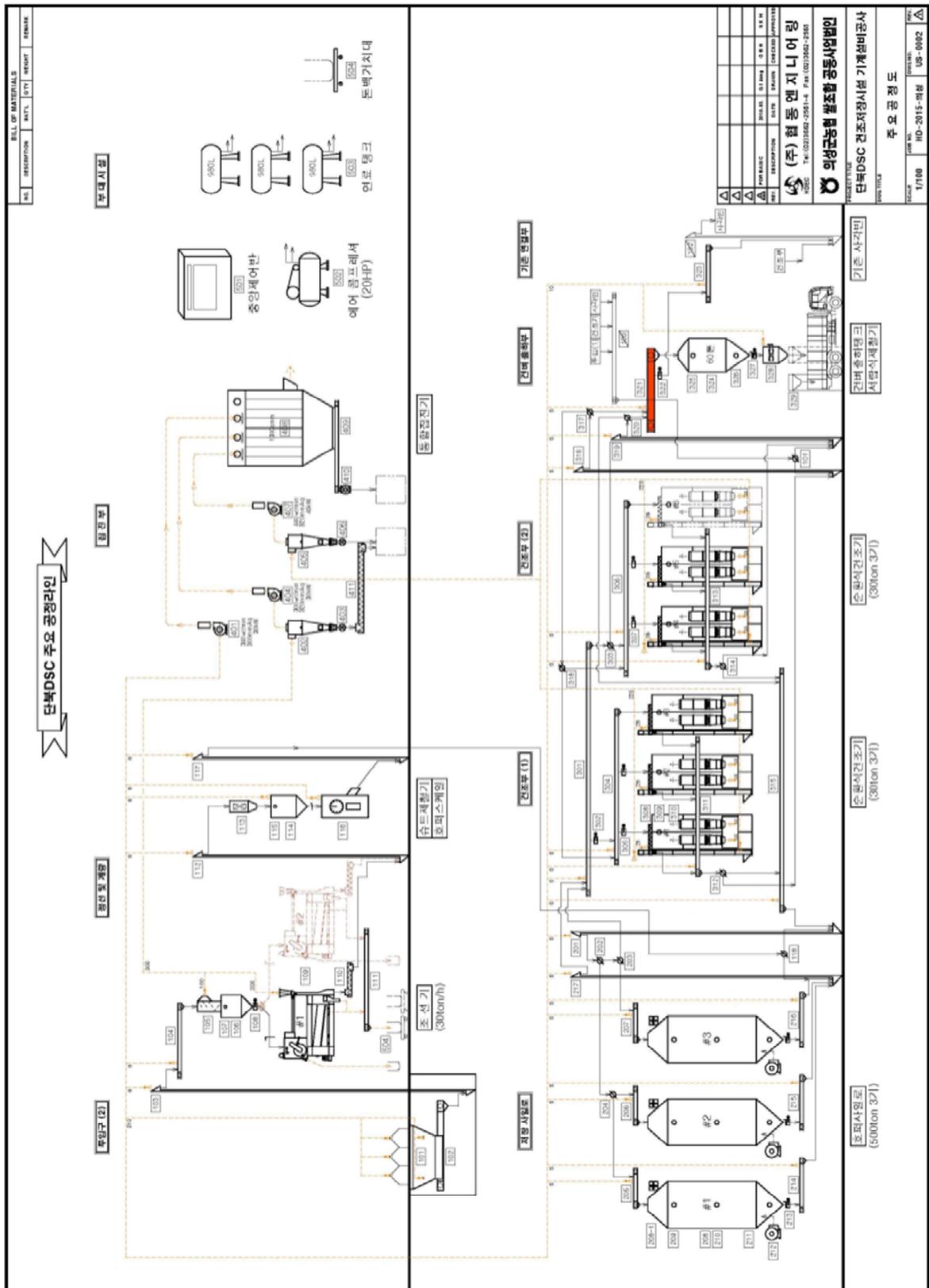


그림 2-2-1-16. 야외형 통합집진기가 설치된 경북 의성소재 DSC 공정도

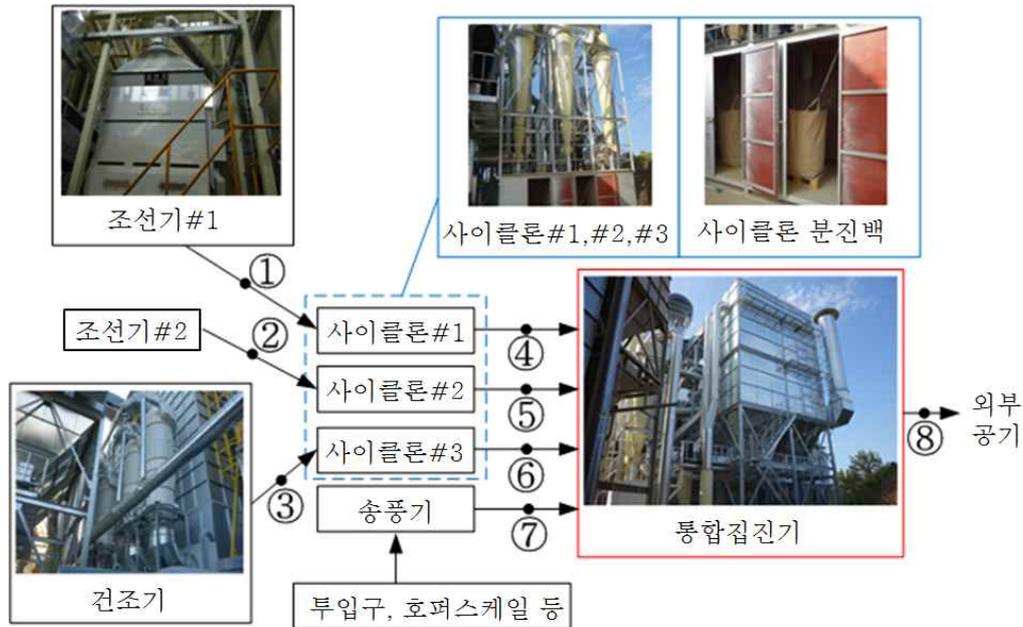


그림 2-2-1-17. 경북 의성소재 DSC에 설치된 야외형 통합집진기의 구성 및 측정위치

표 2-2-1-30. 경북 의성소재 DSC에 설치된 야외형 통합집진기에 연결된 송풍기의 설계치

	설계 풍량 (m ³ /min)	설계 정압 (mmAq)	설계 동력 (kW)
송풍기#1(사이클론#1)	300	320	30
송풍기#2(사이클론#2)	300	320	30
송풍기#3(사이클론#3)	440	320	45
송풍기#4(단독)	340	300	30

- 집진성능의 측정지점은 각 사이클론의 전단(①,②,③), 통합집진기로의 공기유입부이면서 각 사이클론의 후단(④,⑤,⑥), 기타 분진 발생부의 통합집진기 입구부(⑦), 통합집진기 후단(⑧) 등이었고, 송풍량, 정압 및 분진농도 등을 측정하고, 운영상 문제점이 없는지 여부를 확인하였으며, 세부적인 송풍량, 정압 및 분진농도 측정방법은 전항과 동일하게 측정하였으며, 측정기간 중 외기온도는 평균 27.5℃, 외기상대습도는 31.0% 수준이었음



측정위치 ① - 조선기 출구 #1
(사이클론 입구 #1)



측정위치 ② - 조선기 출구 #2
(사이클론 출구 #2)



측정위치 ④, ⑤ - 통합집진기 입구 #1, #2
(사이클론 출구 #1, #2)



측정위치 ⑥ - 통합집진기 입구 #3
(사이클론 출구 #3)



측정위치 ⑦ - 통합집진기 입구 #4
(기타 분진 생성부 측)



측정위치 ⑧
통합집진기 출구

그림 2-2-1-18. 경북 의성소재 DSC에 설치된 야외형 통합집진기의 측정위치 및 측정모습

(나) 결과 및 고찰

- 야외형 통합집진기의 위치별 환경, 풍속, 송풍량 및 정압 측정치는 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 통합집진기로 유입되는 분진함유 공기량은 983.9m³/min, 통합집진기 후단의 배풍덕트에서 측정된 공기량은 764.7m³/min로서 약 22.3%정도가 본체의 케이스나, 이물수집용 호퍼를 통해 외부로 유출되었음을 알 수 있었으며, 이를 최소화하기 위한 보완이 필요하였음
- 통합집진기 유입공기 덕트의 평균정압은 135mmAq인 반면 통합집진기 유출측 평균정압은 35mmAq로서 이는 집진송풍기가 통합집진기 이전에 설치됨에 따라 통합집진기후단에서의 정압은 토출송풍저항을 나타낸 것으로 판단되었음
- 한편, 통합집진기 유입측 분진함유공기의 평균 분진농도는 26.87mg/m³, 유출측 분진농도는 2.33mg/m³으로서 집진효율은 91.3%를 나타내어 전술한 2ndG RPC의 평균치와, 백필터 집진효율기준인 90%보다는 다소 높게 나타나 집진효율은 우수한 상태이었음
- 통합집진기 여과포 상하단의 평균 풍속은 4.5m/min로서 설계치인 3.47m/min보다는 높게 나타났고, 위치별로는 하단이 평균 6.0m/min, 상단이 평균 3.0m/min로서 하단이 높게 나타났는데 이는 상단에서 막힘이 발생하면서 하부에서 풍속이 높아졌기 때문으로 주요 원인은 기본적인 탈진의 부족이었고, rotary valve 및 이송시설을 가동하지 않으면서 탈진을 시작한 것도 원인중 하나로 판단되어 탈진장치의 개선과 프로그램의 개선이 필요하였음

표 2-2-1-31. 통합집진기 측정 위치 환경, 풍속, 송풍량, 정압

	측정지점	환경(mm)	풍속(m/s)	송풍량(m ³ /min)	정압(mmAq)
①	사이클론#1 전단[조선기#1]	600	9.8	166.9	109
④	사이클론#1 후단[조선기#1]	650	9.8	195.0	147
②	사이클론#2 전단[조선기#2]	400	9.4	70.8	81
⑤	사이클론#2 후단[조선기#2]	500	5.7	66.9	194
③	사이클론#3 전단[건조부(1)]	450	15.4	146.7(44.4%)	38
	사이클론#3 전단[건조부(2)]	500	13.7	161.5(48.9%)	49
	사이클론#3 전단[컨베이어]	170	16.2	22.1(6.7%)	45
⑥	사이클론#3 후단	750	17.3	457.4	153
⑦	송풍기(단독) 후단	650	13.3	264.6	55
-	집진기 전단	-	-	983.9	128
⑧	집진기 후단	1300	9.6	764.7	35

표 2-2-1-32. 통합집진기 측정지점 별 분진농도, 집진효율

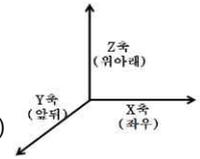
	집진 라인	세부 측정지점		항 목		
				분진농도(mg/m ³)	집진효율(%)	
통합집진기 공기유입측	집진기 입구#1 (사이클론#1)	전단(조선기#1)		24.33	27.4	
		후단		17.67		
	집진기 입구#2 (사이클론#2)	전단(조선기#2)		108.67	80.4	
		후단		21.33		
	집진기 입구#3 (사이클론#3)	전단	건조부(1)	7.67	17.2	-
			건조부(2)	14.33		
			상부컨베이어	101.3		
	후단		31.33			
	집진기 입구#4	기타 분진 생성부 측 송풍기 출구		27.33	-	
	유입측 평균	-		26.87	91.3	
통합집진기 공기유출측	집진기 출구		2.33			

표 2-2-1-33. 통합집진기 내부 상·하단 백 필터 측 풍속

통합집진기 내부 풍속	위치별					평균
	1	2	3	4	5	
하단(평균)(m/min)	4.8	8.4	4.2	5.4	7.8	6.0
상단(평균)(m/min)	1.2	2.4	1.2	7.8	2.4	3.0

○ 다음 표는 통합집진기 측면 계단에서의 진동 측정치를 나타낸 것으로서 일반적인 수준인 60dB에 비해 좌우와 앞뒤로 높은 수준을 나타내었고 상하로는 낮은 수준을 나타내어 타격식 탈진장치의 개선이 필요함을 알 수 있었음

표 2-2-1-34. 통합집진기 측면 계단에서의 진동 측정치 (일반적인 기준 : 60dB(V))

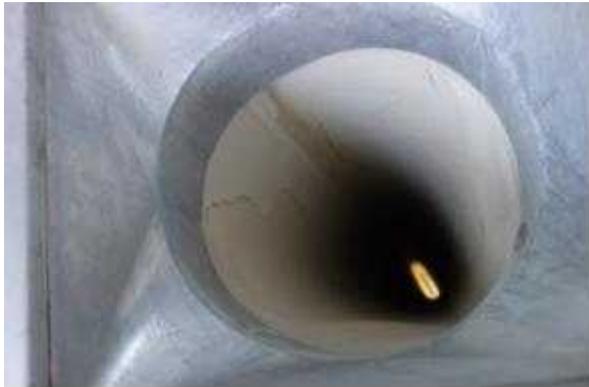


구분	진동		
	X(좌우)	Y(앞뒤)	Z(위아래)
1층	79.4	77.9	21.1
2층	71.1	73.0	11.3
3층	73.9	74.0	4.0

- 통합집진기 운영상태를 지속적으로 관찰한 결과, rotary valve와 이송기기를 가동하지 않는 상태에서 분진함유공기를 유입시켜 가동할 경우에는 하단 호퍼부가 팽창함에 따라 호퍼부의 철관 연결부가 벌어져서 분진과 공기누설이 발생하였는데, 이의 방지를 위해 rotary valve와 이송기기의 가동후 분진함유가 가능토록 프로그램의 조정이 필요하였으며, 일정 정압 이상이 가해질 경우 제어실에 비상벨이 울리도록 정압계의 설치 및 알람체계 구축도 필요하였음
- 여과포 상하간의 여과포 통과속도에 차이가 발생하는 주요 원인은 탈진부족으로서, 탈진장치의 개선 이외에 외기공기 유입전에 충분한 탈진이 먼저 진행되도록 지연시간을 갖는 것과, 투입구, 조전기 및 건조기가 비연속작업으로 진행되므로 비 연속작업중 탈진작업이 진행되도록 프로그램 보완하는 것도 필요하였음
- 통합집진기 외기공기 유입구에서 덕트라인이 한 쪽에 밀집하여 설치되어 일부 백필터로 외기공기 쓸림 현상이 발생하고 있어 이를 방지하기 위해서는 덕트라인이 분산되도록 보완하는 것이 필요하였으며, 조전기 및 건조기는 주로 고수분의 산물벼를 취급하므로 여과포 막힘이 발생하지 않도록 비 작동시간에는 열풍을 가하여 건조 후 탈진한 다음 사용할 수 있는 체계구축이 필요하였음
- 이상의 현장 성능측정 결과, 집진효율은 현재 문제가 없었으나 보다 효율적으로 사용하기 위해 보완이 필요한 사항은 다음 표와 같았으며, 가격과 관련하여 통합집진기를 현재와 같이 야외형으로 설치할 경우 가격상승이 불가피하므로, 외관 케이스를 제거하되, 추후 증설의 필요성이 있을 경우 추가하기 위한 구조물형태로 실내에 설치하는 실내설치가 설치비 측면에서는 유리하다고 판단되었음



(통합집진기 하단 호퍼부 팽창 현상)



(통합집진기 내부 백필터 분진 미제거 현상)

그림 2-2-1-19. 통합집진기 현장실험에서 발생한 문제점

표 2-2-1-35. 야외형 통합집진기의 성능측정후 도출된 보완사항

번호	주요 개선사항	비고
1	· Rotary valve와 이송기기 가동후 분진함유공기가 유입될 수 있도록 프로그램 수정	
2	· 통합집진기 header부분에 일정 정압이상이 부가될 경우 제어실 비상벨 또는 감압이 가능토록 안전장치 설치	
3	· 여과포 상하간의 통과공기속도차이 발생 해소를 위한 탈진장치 개선	
4	· 여과포 탈진효율 향상을 위해 여과포 통과속도 제한	
5	· 통합집진기에 연결되어 있는 투입구, 조전기 및 순환식건조기의 비연속 작업시 임의 탈진작업이 진행되도록 프로그램 수정	
6	· 통합집진기 출구 부근의 케이스에서의 정압강하 및 확장성 부여를 위한 실내형 모델 개발	

(2) 실내설치형 통합집진기 성능실험

(가) 실험방법

- 이상의 야외형 현장실험을 통해 도출된 보완사항이 일부 반영된 실내설치형 통합집진기에 대해 경북 예천소재 RPC에서 성능실험을 실시하였는데, 이 RPC는 신규부지에 가공시설현대화와 함께 건조저장시설을 설치하는 법인이었음
- 실내설치형 통합집진기는 투입구 및 조선키의 사이클론을 통과한 분진함유공기와, 순환식건조기에서 터보클리너를 1차 거친 고농도 분진 함유공기를 대상으로 하였으며, 설치 구성도는 다음 그림과 같았고, 총 집진대상 송풍량은 1,500m³/min 수준이었으며, 전체적인 건조저장시설 flow chart와 통합집진기의 세부 사양은 다음 그림과 같았음

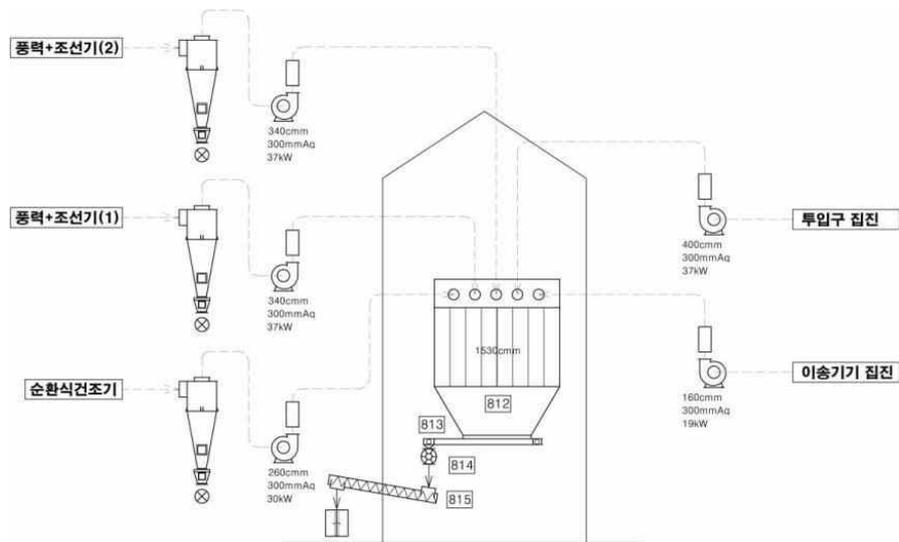


그림 2-2-1-20. 경북 예천소재 RPC에 설치된 실내설치형 통합집진기의 설치 구성도

표 2-2-1-36. 경북 예천소재 RPC에 설치된 실내설치형 통합집진기의 설계 처리능력(송풍량)

구분	풍량(m ³ /min)	송풍기(m ³ /min×mmAq×kW)	비고
투입구 집진	400	400×300×37	
이송기기 집진	160	160×300×19	
풍력+조선키(1)	340	340×300×37	
풍력+조선키(2)	340	340×300×37	
순환식건조기 4기	260	260×300×30	
합 계	1,500		

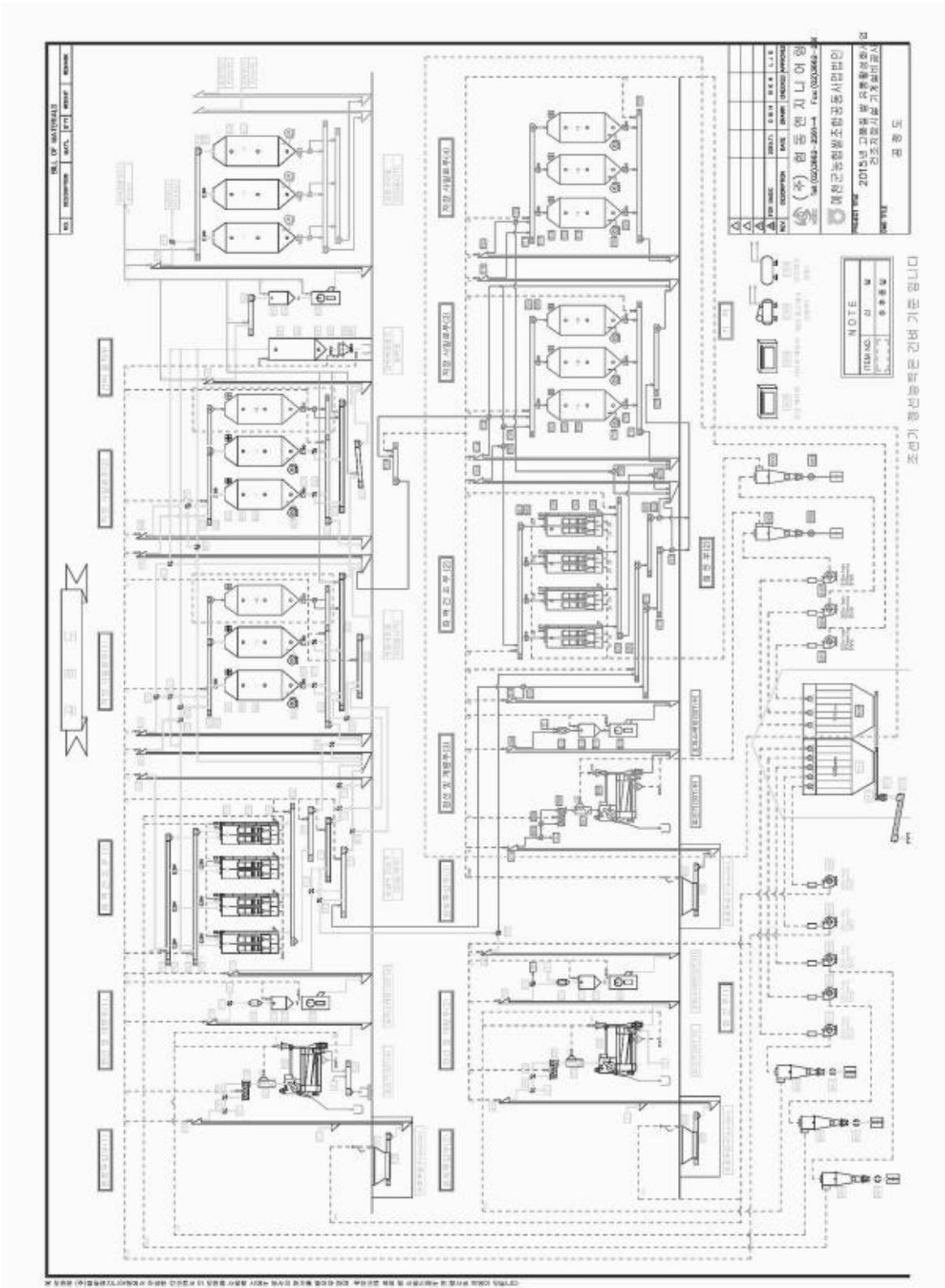


그림 2-2-1-21. 경북 예천소재 RPC의 건조저장시설 flow chart

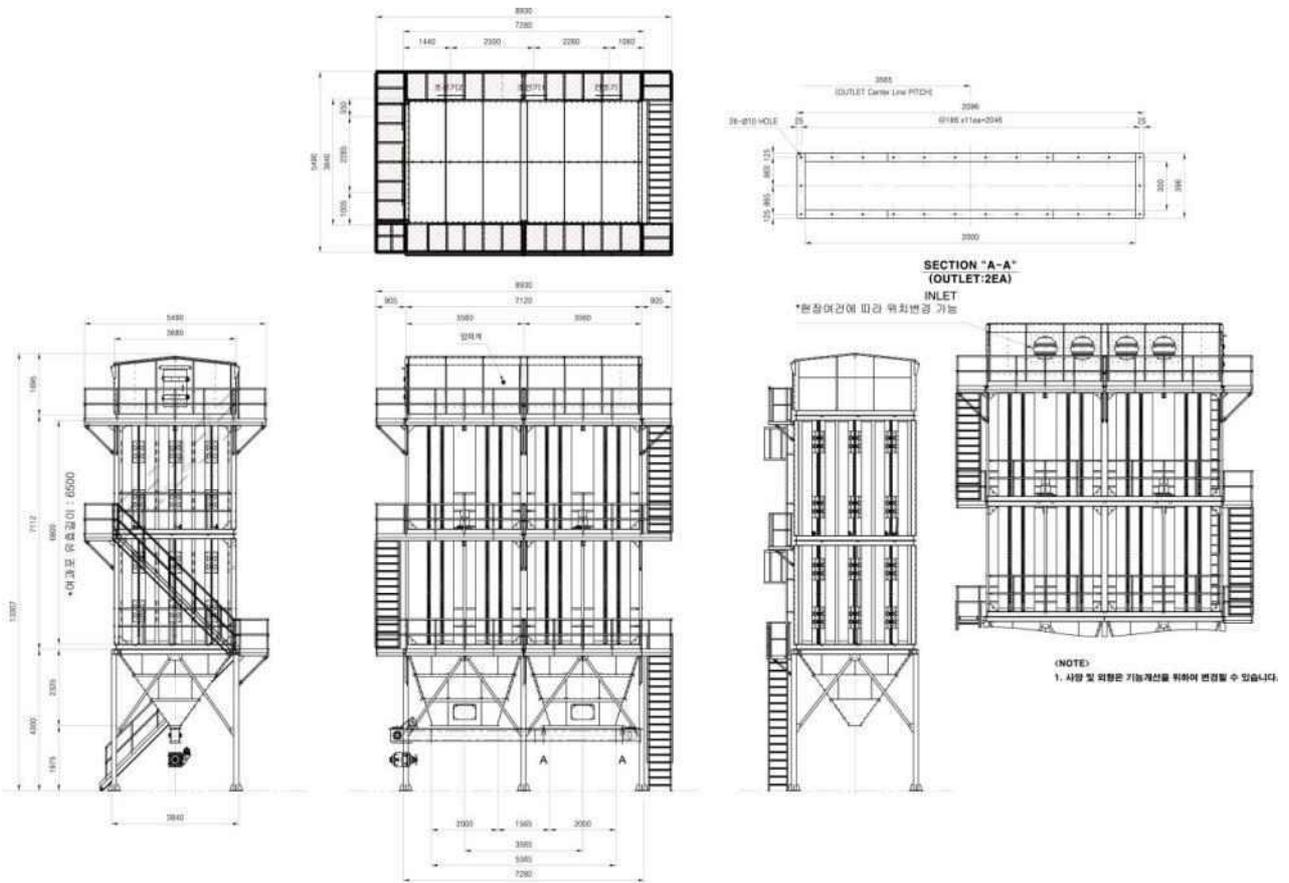


그림 2-2-1-22. 경북 예천소재 RPC에 설치된 실내설치형 통합집진기 세부 사양

- 실내설치형 통합집진기는 다음 그림과 같이 RPC 건축물 실내에 구조물을 설치하고 header, 여과포, 탈진장치 및 이물질배출장치를 설치한 것으로서, 향후 새로운 분진배출원이 설치될 경우 구조물의 확장 등을 통해 확장 가능성이 충분하고, 분진 탈진여부의 육안관찰이 가능한 것이 최대 특징이라고 할 수 있으며, 기타 탈진장치의 작동상황 및 여과포 결로 등에 의한 오염상태 파악이 가능한 장점이 있음
- 설치된 여과포의 개수는 총 72개(300×6,500mm, Φ×H), 백필터의 총 면적은 441.1m²이었고, 통합 집진기로 들어오는 공기유입구는 총 5개로서, 그 중 각각 조선기#1, 조선기#2, 건조부와 연결된 3개 덕트는 사이클론과 송풍기를 지나 통합집진기로 연결되어 있었으며, 다른 2개는 각각 이송부와 투입부를 지나 각각의 송풍기를 거쳐 통합집진기로 연결되는 구성이었음



그림 2-2-1-23. 실내설치형 통합집진기가 설치된 경북 예천소재 RPC 건조저장시설



그림 2-2-1-24. 경북 예천소재 RPC에 설치된 실내설치형 통합집진기 모습

- 설치된 통합집진기에서 성능측정은 유입관에서의 환경, 풍속, 송풍량, 정압 및 분진농도를, 배출관에서는 여과포 통과공기속도 및 분진농도 등을 대상으로 하였고, 측정지점은 다음 표와 같이 총 9개소로 하였으며, 산물벼 수매기간인 2016년 10월 17일부터 19일까지 3일에 걸쳐 성능실험을 실시하였고, 세부적인 측정방법은 전술한 통합집진기의 성능측정과 동일한 방법으로 실시하였음

표 2-2-1-37. 경북 예천소재 RPC에 설치된 통합집진기에서 성능 측정지점 및 측정항목

	측정부	세부 측정지점	측정항목
1	집진기 입구#1 (조선기#1 사이클론)	사이클론 전단	관경, 풍속, 송풍량, 정압, 분진농도
2		사이클론 후단	
3	집진기 입구#2 (조선기#2 사이클론)	사이클론 전단	
4		사이클론 후단	
5	집진기 입구#3 (건조기 사이클론)	사이클론 전단	
6		사이클론 후단	
7	집진기 입구#4	이송부	
8	집진기 입구#5	투입부	
9	통합집진기 후단		여과포 통과속도, 분진농도



(통합집진기 분진농도 측정)



(통합집진기 여과포 통과속도 측정)

그림 2-2-1-25. 경북 예천소재 RPC에 설치된 실내설치형 통합집진기의 분진농도 및 여과포 통과공기속도 측정장면

(나) 결과 및 고찰

- 실내설치형 통합집진기의 각 측정위치에서 측정한 성능치는 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 유입관에서 분진함유 공기량은 1,175.7m³/min로서 설계치인 1,500m³/min의 78.4%수준이었으며, RPC 실내에 설치됨에 따라 여과포를 통과한 공기량의 정확한 측정은 불가능한 상태로서 유출관의 정압은 대기압과 같은 수준으로 고려할 수 있었음
- 실내설치형 통합집진기에 유입되는 분진함유공기의 평균 분진농도는 6.88mg/m³이었고, 통합집진기에서 집진후 유출되는 공기에 함유된 분진농도는 3.67mg/m³으로서 분진농도는 88.0%를 나타내어 경북 의성소재 DSC에 설치된 야외형 통합집진기의 집진효율 91.3%보다 다소 낮게 나타났으며, 대기 오염 방지시설의 오염물질 제거효율인 90%보다도 낮게 나타나 원인 구명과 함께 보완이 필요하였음

표 2-2-1-38. 실내설치형 통합집진기 유입부에서의 각 측정지점별 송풍량 측정치

집진 라인	세부 측정지점	항 목			
		관경 (mm)	풍속 (m/s)	송풍량 (m ³ /min)	정압 (mmAq)
집진기 입구#1 (조선기#1 사이클론)	사이클론 전단	650	9.2	183.2	77.5
	사이클론 후단	650	9.5	189.7	85.5
집진기 입구#2 (조선기#2 사이클론)	사이클론 전단	650	9.6	190.9	166.5
	사이클론 후단	650	9.3	184.9	168
집진기 입구#3 (건조기 사이클론)	사이클론 전단	560	15.0	221.8	40.5
	사이클론 후단	560	14.5	214.8	167.5
집진기 입구#4	이송부	450	17.6	167.6	158.5
집진기 입구#5	투입부	650	20.0	397.3	184.5
합계				1175.7	

표 2-2-1-39. 실내설치형 통합집진기의 각 측정지점별 성능인자 측정치

	집진 라인	세부 측정지점	항 목		
			분진농도(mg/m ³)	송풍량(m ³ /min)	집진효율(%)
통합집진기 유입부	집진기 입구#1 (조선기#1 사이클론)	사이클론 전단	14.17	183.2	55.9
		사이클론 후단	6.25	184.9	
	집진기 입구#2 (조선기#2 사이클론)	사이클론 전단	42.92	190.9	88.5
		사이클론 후단	4.92	189.7	
	집진기 입구#3 (건조기 사이클론)	사이클론 전단	7.00	206.3	-
		사이클론 후단	12.92	214.8	
	집진기 입구#4	이송부	17.08	167.6	-
	집진기 입구#5	투입부	0.5	397.3	-
	통합집진기 유입부 평균(사이클론 전단 제외)	-	6.88	1175.7	88.0
	통합집진기 유출부	집진기 출구	3.67	264.0	

- 통합집진기에서 당초 여과포 통과공기속도를 4.0m/min으로 설계하였으나, 통합집진기에 유입되는 송풍량이 1,175.7m³/min로서 설계치인 1,500m³/min의 78.4%수준에 불과하여 여과포 통과속도가 3.13m/min 수준(계산치)으로 감소하여 집진효율이 보다 높게 나타나야 함에도 불구하고 집진효율이 낮아졌는데, 파악된 주요 원인은 다음과 같았음
- 먼저, 탈진장치의 지나친 가동으로 인한 에너지 소모증가를 방지하기 위하여 5분 간격 5초 탈진하는 간헐적이고 주기적인 탈진을 실시함에 따라 여과포의 탈진이 부족하였으며, 통합집진기는 일반집진기와는 다르게 여과포 내부에 제거된 분진이 남은 형태로서, 집진이 부족하고 여과포 통과공기속도가 클 경우 여과포 내부에서 외부로 공기가 이동하면서 탈진된 분진이 다시 여과포에 들러붙거나 미세한 분진의 경우 여과포를 통과하여 외부로 밀려나오기 때문에 여과포가 오염되고 집진효율이 떨어졌음
- 여과포를 통과하여 외부로 밀려나온 분진으로 인해 집진실이 오염되는 부분에 대해 사용자의 불만이 많았으며, 이는 돌연확대에 따른 풍속이 미세먼지의 종말속도보다 낮아져 미세먼지가 바닥에 쌓이므로 외부로 유출되는 공기는 상대적으로 깨끗하다고 설명했으나 집진실내부의 오염에 대해서는 개선을 요구받았으며, 보완을 강구할 필요가 있었음
- 또한, 기존 통합집진기와 동일하게 투입구, 조전기 및 순환식건조기는 간헐적으로 운전되지만 통합집진기는 계속 운전함에 따라 유입측 공기가 단절없이 지속적으로 유입됨에 따라 탈진된 분진이 하부 배출부로 낙하하기 어려워 프로그램의 수정도 필요하였으나, 건조저장시설의 시공사와 통합집진기의 설치사가 달라 프로그램 수정을 위한 협조체제의 한계가 있어 보완이 필요하였으며, 향후 개선방향으로는 ① 송풍기 ON시 일정시간 탈진 후 송풍기 가동, ② 송풍기 OFF시 송풍기 정지 후 일정시간을 의무적으로 탈진, ③ 탈진주기 없이 계속 탈진되도록 탈진주기를 개선할 필요가 있었음
- 이외에도 탈진장치는 에너지 절감을 위하여 패드타입을 사용하여 각 탈진패드와 연결된 모터를 여과포 사이에 설치함에 따라 여과포 사이에 지나치게 넓은 공간이 필요하여 정해진 실내공간 중에 설치할 수 있는 여과포 개수에 제한이 발생할 뿐 아니라 비용이 높아져 여과포 통과공기속도를 4m/min 이하로 유지하기 위해서는 보다 큰 집진실 면적과 높은 비용이 필요하여 탈진장치의 개선은 반드시 필요한 것으로 판단하였음
- 이상과 같이 여과포 통과속도 및 탈진장치의 개선, 프로그램의 수정이외에도, 실내에 통합집진기를 설치하고 배출부로 갤러리를 설치하는 경우, 대기오염시험방법(대기오염공정시험기준)을 만족하기 위하여 분진농도 측정구를 설치해야 하므로 이 기준에 맞도록 후드타입 등 시설보완도 필요하였음



(여과포 및 탈진장치)



(탈진장치 제어부)



(통합집진기 내부 전경)

그림 2-2-1-26. 경북 예천소재 RPC에 설치된 실내설치형 통합집진기의 탈진장치 및 여과백 오염배출



그림 2-2-1-27. 경북 예천소재RPC에 설치된 실내설치형 통합집진기의 배출부 갠러리창

표 2-2-1-40. 실내설치형 통합집진기에 대한 성능측정 후 도출된 보완사항

번호	주요 개선사항	비고
1	· 집진효율 향상을 위해 여과포 통과공기속도 및 탈진장치 수정	
2	· 5분 간격 5초 탈진하는 간헐적이고 주기적인 탈진주기의 개선	
3	· 송풍기 ON시 일정시간 탈진 후 송풍기 가동, 송풍기 OFF시 송풍기 정지 후 일정시간을 의무적으로 탈진으로 프로그램 수정	
4	· 실내형 통합집진기의 분진농도 측정을 위한 후드타입의 측정구 설치	

라. 친환경집진시스템 개발

(1) 친환경집진시스템의 개발 및 기본 성능측정

(가) 실험방법

- 집진효율의 향상, 제조 및 설치비용, 에너지절감이 가능한 친환경집진시스템을 개발하기 위하여 전술한 바와 같이 국내외 집진시스템의 기술현황, 1stG 및 2ndG의 집진현황을 통한 설계인자의 구명, 본 연구팀의 선행연구결과를 기술이전받아 업체에서 설치한 야외형 및 실내설치형 통합집진기에 대한 현장성능실험 결과 등을 참여기업과 종합적으로 검토하여 기존 통합집진기의 개선방안을 수립하였으며, 이 개선방안을 중심으로 친환경집진시스템을 개발하였음



그림 2-2-1-28. 참여기업((주)iGSP)에서의 친환경집진시스템 개발을 위한 관련 회의 장면

- 개발의 주요 방향은 집진효율의 향상 및 여과포에 부착 또는 외부로 밀려나오는 분진방지로서, 핵심적인 개선방향은 여과포 통과공기속도 설계기준의 변경, 설치비용 및 에너지절감을 위해서는 동일 설치면적에 2배 이상의 여과포를 설치하기 위한 탈진장치의 개선이었으며, 다음과 같은 방식으로 진행하였음

① 탈진장치의 설계 및 제작

- 야외형 및 실내설치형 통합집진기에 사용하였던 탈진장치는 패드타입의 타격방식으로서 여과포 사이의 공간이 많이 필요하므로 여과포 통과속도의 증가가 불가피하여 집진효율의 저하 및 여과포를 통한 미세먼지의 유출이 발생하였으며, 동력소요가 많아 간헐적인 탈진이 불가피하였음
- 따라서 본 연구에서는 여과포 통과공기속도의 설계기준을 4m/min에서 2m/min로 낮추고, 설치비용 및 에너지절감을 위해서는 동일 설치면적에 2배 이상의 여과포를 설치하기 위한 탈진장치를 채택하기 위해 제반 방법을 검토한 결과, 역 크랭크축방식(reverse crank type)의 탈진장치를 채택하였으며, 시스템을 설계, 제작하였음

② 여과포 기공(pore) 특성

- 여과포 통과공기속도의 설계기준을 변경하기 위하여 먼저 집진장치에 사용하는 여과포의 기공(pore) 특성을 분석하기로 하고, 여과포 형상을 먼저 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 촬영하였는데, 통합 집진기에서 사용하였던 제전/발수처리된 부직포 재질의 550g/m²의 여과포를 ion sputter(C1010 Hitachi, Japan)를 이용하여 10~30 nm의 두께로 gold-palladium으로 도금한 후, 도금된 시료를 주사전자현미경(Scanning electron micrographs, SEM, S2380N, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 가속전압 20 kV에서 50~1,000배율로 배율을 변경하며 촬영하였음
- 또한, 개선된 통합집진기용 여과포이면서 일반적으로 bag filter집진기에 사용되는 여과포인 제전발수 처리된 450, 500, 550 및 600g/m²의 4종류를 대상으로, 기공의 일정한 형태를 유지하지 않으므로 각 종류마다 동일 여과포에서 위치별로 3개씩, 두 개의 다른 여과포에서 각각 1개씩 등 1종류마다 5개씩의 총 20개의 여과포 시료를 한국기초과학지원연구원 전주센터에 분석을 의뢰하였음
- 평균기공의 측정은 “ASTM F 316 Standard test method for pore size characteristics of Membrane filters by bubble point and mean flow pore test”에 근거하여 표면장력이 낮은 액체(수은 등)를 여과포 등의 필터에 완전히 적셔 필터의 모든 기공을 막은 상태에서 공기의 압력을 일정하게 증가시키면서 공기유량을 측정한 다음, 압력과 유량과의 관계를 통해 기공의 크기를 계산하는 방식으로서, 분석에 사용한 기기는 Pore size analyzer(AutoPore IV 9500, Micromeritics)으로서 주요 사양은 표와 같았음

표 2-2-1-41. 여과포의 기공측정을 위해 사용된 AutoPore IV 9500의 주요 사양

항 목	측정범위	비 고
압력 범위	0~60,000 psi	
측정 가능 기공 크기	0.003 ~ 360 μm	



그림 2-2-1-29. 여과포의 기공측정을 위해 사용된 AutoPore IV 9500

③ 개선된 역 크랭크축 탈진장치를 부착한 친환경집진시스템 시작품의 제작 및 기본 성능측정

- 개선된 역 크랭크축에 의한 여과포를 흔드는 방식을 적용한 친환경집진시스템 시작품을 설계, 제작하여 참여기업인 (주)iGSP 현장실험동에 설치한 다음, 기본 성능을 측정하였으며, 기본 성능측정은 유입관에서의 관경, 풍속, 송풍량, 정압, 내부정압 및 분진농도를, 배출관에서는 분진농도 등을 측정하였고, 세부적인 측정방법은 전술한 성능측정방법과 동일한 방법을 사용하였으며, 이 때 친환경집진시스템 상단 내부에 압력센서를 설치하여 집진시스템 제어부에서 내부 압력의 확인이 가능하도록 하였으며, 탈진장치의 주기는 1분 주기로 15초 동안으로 설정하였으며, 탈진주기는 가능하도록 하였음

(나) 결과 및 고찰

① 탈진장치의 설계 및 제작

- 역 크랭크축방식의 탈진장치의 개념도는 다음 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 모터에서 체인을 통해 구동부로 전달된 회전운동을 크랭크축을 통해 왕복운동으로 전환하여, 각 여과포에 연결된 지지대를 이용해 여과포가 변형될 수 있는 정도로 흔들어주는 힘을 전달하는 방식임

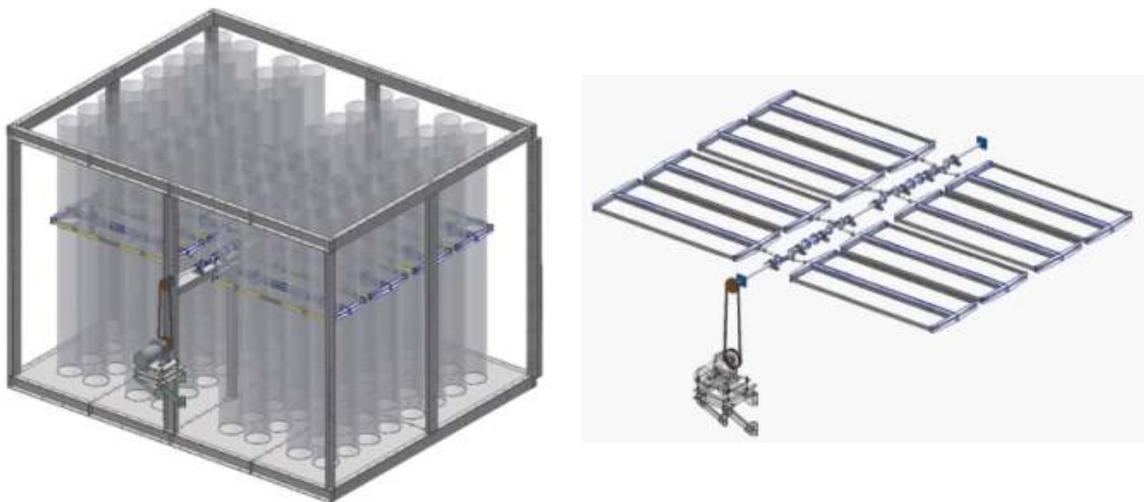
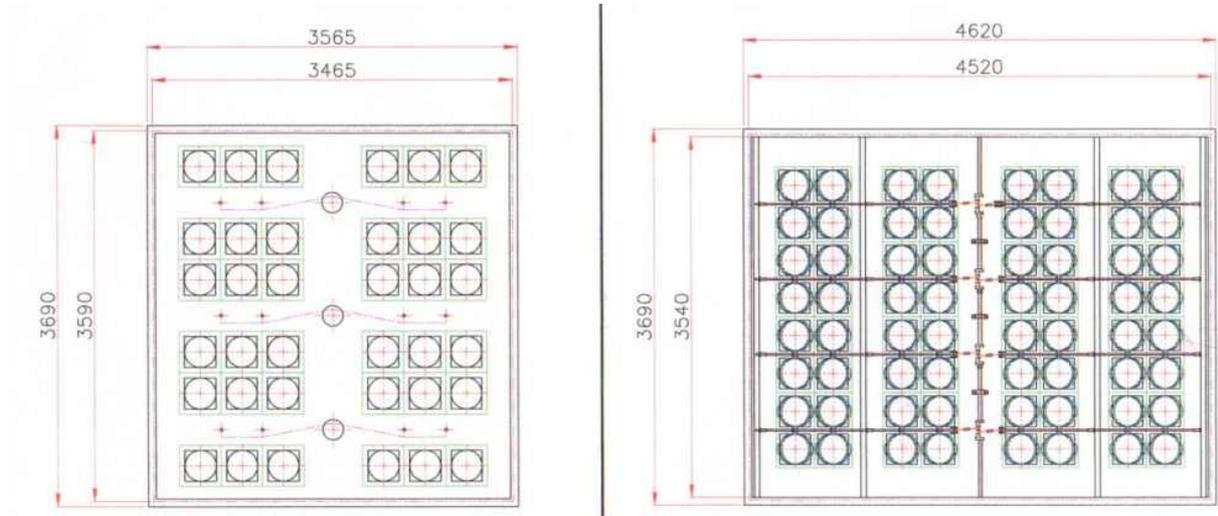


그림 2-2-1-30. 친환경집진시스템의 역 크랭크축 방식의 탈진장치 개념도

- 다음 그림은 기존의 패드에 의한 여과포 타격방식과, 역 크랭크축방식에 의한 여과포 흔드는 방식을 친환경집진시스템에 적용하였을 때 동일 면적에 설치 가능한 여과포 설치개수를 나타낸 것으로서, 기존 패드에 의한 타격방식은 여과포 설치가능개수가 2.7개/m²인데 비해, 역 크랭크축방식은 3.8개/m²로서 동일면적에서 여과포 설치개소수는 약 40.7%정도 향상시킬 수 있었으며, 이로 인해 여과포 통과공기속도도 동일 설치면적일 경우 2.37m/min 수준까지 감소가 가능하였음



(기존 패드에 의한 타격방식)

(개선된 역 크랭크축방식)

그림 2-2-1-31. 친환경집진시스템 탈진장치 종류별 여과포 설치면적 비교

○ 다음 표는 역 크랭크축방식을 적용하면서 구조물의 폭을 약 1.055m 넓혔을 때의 여과면적과, 여과포 통과공기속도를 나타낸 것으로서, 표에서 알 수 있듯이 $\Phi 300\text{mm}$ 의 여과포를 높이 6m로 설치할 때 기존의 패드에 의한 타격방식은 여과면적이 203.6m^2 인데 비해 개선된 역 크랭크축방식은 361.9m^2 로서 여과포 통과공기속도가 $1.934\text{m}/\text{min}$ 수준으로 낮아져 설계개선 목적에 적합하였음

표 2-2-1-42. 친환경집진시스템의 탈진방식 개선시 여과면적의 변화

구 분		기존 패드에 의한 타격방식	개선된 역 크랭크축에 의한 혼드는 방식
여과 면적	여과포 직경	$\Phi 300\text{mm}$	$\Phi 300\text{mm}$
	여과포 길이	6,000mm	6,000mm
	여과포 면적	$5.655\text{m}^2/\text{ea}$	$5.655\text{m}^2/\text{ea}$
	여과포 수량	36ea	64ea
	총 여과면적	203.6m^2	361.9m^2
적용 송풍량		$700\text{m}^3/\text{min}$	$700\text{m}^3/\text{min}$
여과속도		$3.44\text{m}/\text{min}$	$1.934\text{m}/\text{min}$
집진기 외형 SIZE		(W)3565 × (L)3690	(W)4620 × (L)3690 ※ W이 1055mm 증가

- 다음 표는 기존의 패드에 의한 여과포 타격방식과, 새롭게 개선된 역 크랭크축방식에 의한 여과포 탈진방식의 소요동력을 나타낸 것으로서, 역 크랭크축방식은 기존 패드에 의한 타격방식에 탈진 대상 여과포수가 36개에서 64개로 177.8%로 증가하였지만 소요동력은 오히려 1.7% 감소한 수준으로 탈진장치부분이 크게 개선될 수 있음을 알 수 있었음

표 2-2-1-43. 친환경집진시스템의 탈진방식 개선시 동력의 변화

구 분	기존 패드에 의한 타격방식	개선된 역 크랭크축에 의한 방식
탈진장치	1.5kW × 3 = 4.5kW	2.2kW × 2 = 4.4kW
로타리밸브	1.5kW	1.5kW
총 소요동력	6.0kW	5.9kW

② 여과포 기공(pore) 특성

- 친환경집진시스템은 bag filter type의 일종으로서 여과포 내부에서 여과포를 통과하지 않은 이물질 및 분진을 탈진장치를 통해 하부호퍼로 배출한 다음 rotary valve를 통해 외부로 배출하는 방식으로, 여과포 내부에 압력이 가해지므로 여과포의 크기 및 형상에 따라 여과포를 통해 배출되는 미세먼지의 상태가 변화하게 됨
- 따라서 친환경집진시스템에 사용되는 여과포의 기공특성을 파악하는 것은 대단히 중요하나 현재까지 여기에 대한 연구가 거의 없는 상태로서, 여과포의 기공특성을 파악하기 위하여 먼저 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 통합집진기에서 사용하였던 제전/발수처리된 부직포 재질의 550g/m²의 여과포를 50~1,000배율로 촬영한 결과는 다음 그림과 같았음

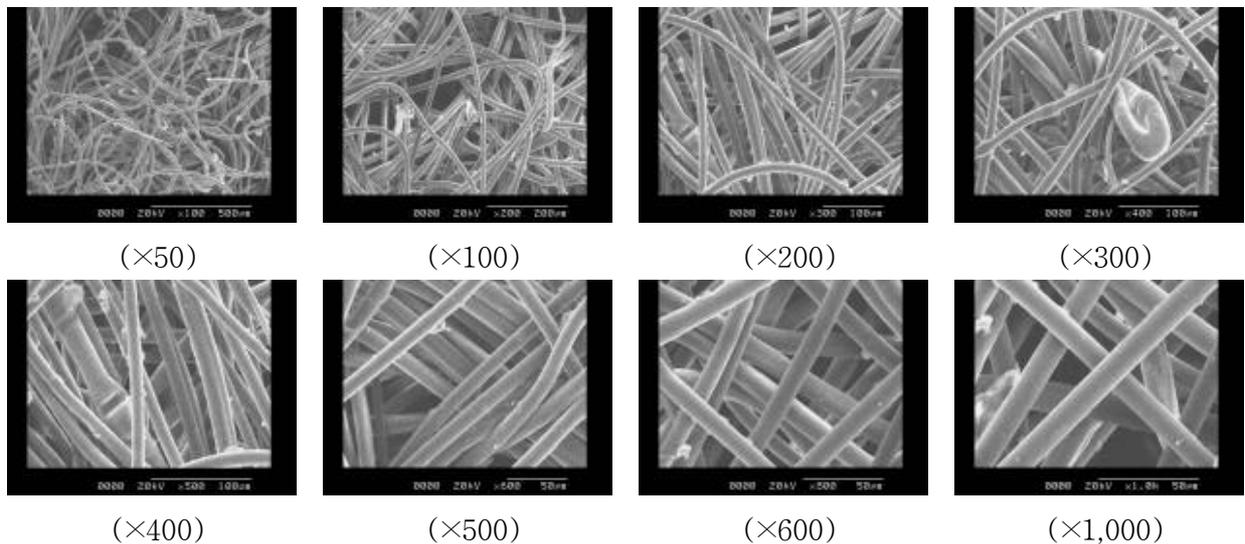


그림 2-2-1-32. 친환경집진시스템에 사용되는 제전/발수처리된 550g/m² 여과포 사진(SEM)

- 그림에서 알 수 있듯이 여과포는 부직포 형태이기 때문에 약 15 μm 수준의 미세한 섬유구조가 겹겹이 층을 이루고 있어 이에 분진이 압력차에 의해 섬유들을 지나가다 섬유 사이에 갇히게 되는 구조로, 섬유의 배치가 일정하지 않음에 따라 기공의 형태도 일정하지 않은 것을 알 수 있었으며, 이 SEM 촬영 사진만으로는 평균적인 기공의 평균직경을 파악하기에는 한계가 있었음
- 따라서 기공의 평균직경과 기공율을 파악하기 위하여 한국기초과학지원연구원 전주센터에 제전발수 처리된 중량 450, 500, 550 및 600 g/m^2 의 여과포 4종류에서 위치별로 3개씩, 다른 여과포에서 각각 2개씩 총 20개에 대한 측정을 의뢰하였으며, 그 결과는 다음과 같았음
- 다음 그림은 여과포의 단위면적당 중량에 따른 평균 기공지름과 기공률의 측정결과를 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 여과포에 기공은 단위면적당 중량에 따라 다소 차이는 있었지만 37~45 μm 수준이었으며, 여과포의 단위면적당 중량이 증가할수록 평균 기공지름과 기공율은 감소하는 경향을 나타내었으나, 측정지점에 따라 다소 큰 차이를 나타내었음
- 이상의 결과는 여과포의 단위면적당 중량이 증가할수록 보다 미세한 분진의 집진에는 유리할 것으로 판단되었으나, 형상이 일정하지 않고 부위별로 차이가 심해 탈진효과의 증가영향은 일정하지 않는 반면, 중량이 큰 여과포의 사용에 따른 가격상승, 탈진의 어려움 및 여과포내 송풍저항증가로 인한 소비전력의 증가가 발생할 수 있음을 알 수 있었으며, 본 연구에서는 변화폭이 비교적 적으면서 일반적으로 사용하는 550 g/m^2 의 여과포를 사용하는 것으로 하였음

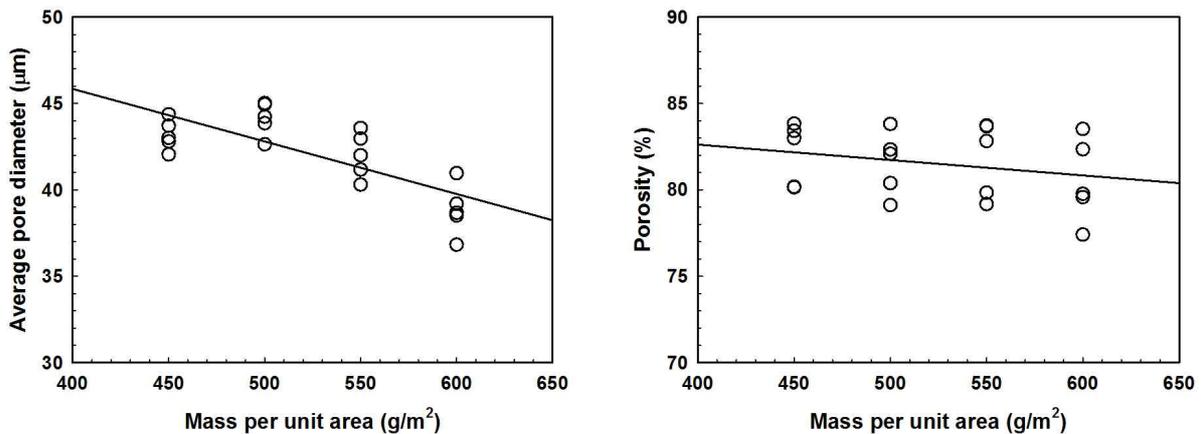


그림 2-2-1-33. 단위면적당 여과포 중량에 따른 여과포의 평균 기공지름 및 기공율 변화

③ 개선된 역 크랭크축 탈진장치를 부착한 친환경집진시스템 시작품의 제작 및 기본 성능측정

- 개선된 역 크랭크축에 의한 여과포를 흔드는 방식을 적용하고, 제전발수처리된 중량 550 g/m^2 의 여과포를 적용하여 설계, 제작한 개선된 친환경집진시스템 시작품의 사양은 다음과 같았으며, 참여기업인 (주)iGSP 현장실험동에 설치한 시작품은 다음 그림과 같았음

표 2-2-1-44. 개선된 역 크랭크축 탈진장치를 부착한 친환경집진시스템의 시작품 사양

구 분		주요 사양	비 고
여과면적	여과포 중량	550g/m ²	
	여과포 직경	Φ 300mm	
	여과포 길이	3,000mm	
	여과포 면적	2.827m ² /ea	
	여과포 수량	16ea	
	총 여과면적	45.23m ²	
적용 송풍량		90m ³ /min	
동력	탈진장치	0.75kW×4P×1/5	
	로터리밸브	1.5kW×4P×1/30	
집진기 외형크기		(W)3650 × (L)7448	



(시작품 전경)



(역 크랭크축에 의한 탈진장치)



(크랭크축 탈진장치에서 여과포로 힘 전달부)



(탈진장치와 여과포 연결부)

그림 2-2-1-34. 개선된 역 크랭크축 탈진방식을 적용한 시험용 친환경집진시스템



(여과포 통과속도 측정)



(집진시스템 유입부 분진농도 측정)



(여과포(집진시스템 토출부) 분진농도 측정)



(집진시스템 제어부)

그림 2-2-1-35. 개선된 역 크랭크축 탈진장치를 부착한 친환경집진시스템 시작품의 기본 성능측정 장면

- 다음 표는 개선된 역 크랭크축 탈진장치를 부착한 친환경집진시스템에 분진이 투입되지 않는 무부하 조건 및 분진을 투입한 부하조건하에서 정압, 송풍량 및 집진효율 등을 측정한 결과로서, 표에서도 알 수 있듯이 분진이 투입되지 않는 무부하 조건에서 유입부 정압은 36.4mmAq, 통합집진기 상단의 내부정압은 26.7mmAq로 나타났고, 분진함유 공기량은 106.5m³/min로서 설계치인 90m³/min의 118.3% 수준을 나타내었음
- 분진 투입 조건에서 유입부의 정압은 51.0mmAq로서 무부하 조건에서의 정압보다 40.1% 상승하였고, 상부정압 또한 47.2% 상승하였으며, 풍속은 15.4m/sec, 송풍량 102.3m³/min으로 3.9% 감소하였으며, 친환경집진시스템에 유입되는 분진함유공기의 평균 분진농도는 38.61mg/m³이었고, 친환경집진시스템에서 집진 후 유출되는 공기에 함유된 분진농도는 9.39mg/m³으로서 집진효율은 94.1%이었으며, 경북 예천소재 RPC에 설치한 실내설치형 통합집진기의 집진효율인 88.0%보다 높게 나타났음
- 친환경집진시스템에 유입되는 송풍량이 106.5m³/min로서, 여과포 통과속도는 2.30m/min수준(계산치)으로서 탈진장치 개선에 따른 여과포 설치개수의 증가로 경북 예천소재 RPC에 설치한 실내설치형 통합집진기의 여과포 통과속도 3.13m/min에 비해 감소하는 것을 확인하였음

표 2-2-1-45. 역 크랭크축 방식의 탈진장치가 적용된 친환경집진시스템 시작품의 기본성능 측정치

구 분		세부 측정지점	측정결과	비 고
무부하		정압	36.4mmAq	
		상단내부 정압	26.7mmAq	
		풍속	16.1m/sec	
		송풍량	106.5m ³ /min	
부하 (분진투입)	유입부	정압	51.0mmAq	
		상부정압	39.3mmAq	
		풍속	15.4m/sec	
		송풍량	102.3m ³ /min	
	유출부	분진농도	9.39mg/m ³	
집진효율			94.1%	

(2) 개발된 친환경집진시스템의 1차 운영실험

(가) 실험방법

① 분진농도별 여과포 통과공기 속도별 성능특성

- 전술한바와 같이 설계·제작한 다음 기본성능을 측정한 개선된 친환경집진시스템을 다양한 환경조건 즉, 여과포 통과속도의 변화, 통합집진기로 유입되는 오염공기의 분진농도 변화 등에 따른 집진효율을 분석 및 비교하기 위해 (주)GSP 현장실험동에서 2017년 7월 25일부터 28일까지 4일에 걸쳐 1차 운영실험을 실시하였음
- 실험에 사용한 분진은 여러 RPC의 건조저장시설 집진기에서 채취한 분진을 이용하였으며, 시험용 분진의 제조는 본 연구의 선행연구에 분석한 다음 표와 같은 특성과 유사하도록 RPC에서 수집한 여러 종류의 분진을 2,000, 1,000, 425, 250 및 150 μ m 크기의 5개 Standard testing sieve를 사용하여 체별한 후, 체별된 각 크기별 시료를 기준에 측정된 중량비율과 유사하도록 균분기를 이용하여 혼합하였음
- 또한, 친환경집진시스템에 유입되는 오염공기의 분진농도는 전술한 2ndG RPC 집진시스템 운영현황 조사결과에서 현미부 분진농도의 최대치는 72.7mg/m³임을 감안하여 본 실험조건에 따른 분진농도는 10, 40, 70mg/m³로 선정하였고, 혼합된 시료를 각각의 조건에 따른 분진투입량에 맞춰 소분하였으며, 소분된 분진 시료를 일정하게 투입하여 경시적으로 분진농도의 변화가 최소가 되도록 진동투입기를 이

용해 일정하게 통합집진기의 입구 덕트로 유입되도록 하였으며, 실험시간도 약 60분간 장시간에 진행하여 평균치를 사용하여 실험오차를 최소화하였음

표 2-2-1-46. 선행연구에서 측정한 RPC 집진기 종류별로 채취한 분진특성(김 등, 2012)

집진 위치	함수율 (%)	Particle size별 중량비율(%)										
		2000 (μm)	1000	850	500	300	180	150	106	75	45	45↓
순환식 건조기 (TC+C)	13.1	0.3	5.2	1.3	8.8	10.5	4.6	1.6	3.6	3.9	21.5	38.8
순환식 건조기 (TC+C)	12.2	1.4	4.0	1.7	8.6	8.8	4.1	1.8	4.0	4.5	18.3	42.9
투입구 (C)	10.5	0.2	0.2	0.3	0.6	1.0	0.7	0.5	2.1	2.8	38.4	53.2
조선키 (C)	14.4	78.7	6.1	0.5	2.0	2.0	0.8	0.3	0.5	0.4	3.1	5.6
조선키 (C+B)	8.9	0.3	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	1.2	2.0	82.1	12.5
평타입 사일로 (S) (건조후 2.1)	20.2	0.6	2.1	0.8	4.7	4.6	1.5	1.2	11.1	12.2	29.0	32.2
평균		13.6	3.0	0.8	4.2	4.6	2.0	1.0	3.8	4.3	32.1	30.9
분진량 (g)		1,445	319	85	446	489	213	106	404	457	3,411	3,284

※ 주) TC : Turbo cleaner, C : Cyclone, B : Bag filter, S : 간이식 집진기

- 여과포 통과속도는 각각 0.5, 2, 3.5, 5 및 6.5m/min이 되도록 풍량을 선정하였고, 시험용 친환경집진시스템의 16개 여과포 중에서 6개만 사용하도록 시스템을 조정하고, 송풍량은 덕트에 댐퍼를 설치하여 조정하였으며, 총 실험구는 다음 표와 같이 15회(여과포통과속도 5 × 분진농도 3)이었으며, 실험오차를 최소화하기 위하여 각 실험 종료시마다 충분히 탈진하여 사용하였음
- 오염공기의 분진농도 및 여과포통과시간별 분진농도, 풍속, 정압 등은 전술한 방법과 동일하게 측정하였으며, 이 때 친환경집진시스템의 출구 측 분진농도는 여과포 상·중·하단에서 각각 위치를 달리한 3개 지점의 평균 분진농도로 하였으며, 정압은 통합집진기 상단의 오염공기 수집부에 압력계를 연결하여 내부 정압을 측정하고, 여과포의 집진에 따른 정압 증가량을 측정하였음

표 2-2-1-47. 친환경집진시스템의 1차 운영실험 조건

번호	여과포통과속도 (m/min)	여과포 개수	풍량 (m ³ /min)	덕트부 속도 (m/sec)	분진농도 (mg/m ³)	60분간 분진 투입량(g)
1	0.5	6	8.5	1.3	70	35.6
2	2	6	33.9	5.1		142.5
3	3.5	6	59.4	9.0		249.4
4	5	6	84.8	12.8		356.3
5	6.5	6	110.3	16.6		463.1
분진량 소계						1246.9
6	0.5	6	8.5	1.3	40	20.4
7	2	6	33.9	5.1		81.4
8	3.5	6	59.4	9.0		142.5
9	5	6	84.8	12.8		203.6
10	6.5	6	110.3	16.6		264.6
분진량 소계						712.5
11	0.5	6	8.5	1.3	10	5.1
12	2	6	33.9	5.1		20.4
13	3.5	6	59.4	9.0		35.6
14	5	6	84.8	12.8		50.9
15	6.5	6	110.3	16.6		66.2
분진량 소계						178.1
분진량 총계						6412.6



RPC에서 집진된 분진



표준 체



분진 투입



체에 의해 걸러진 분진



분진농도 측정



여과포 투과속도 측정

그림 2-2-1-36. 친환경집진시스템의 1차 운영실험 장면

② 여과포에서 제거된 분진의 기하학적 특성분석

- 전술한 15개 실험구에서 각 실험구별로 여과포에서 제거되어 하부 호퍼부로 수집된 분진의 기하학적 특성을 측정하였으며, 이 때 분진의 수집시기는 3가지로서 A. 집진 가동 중 탈진에 의해 하부에 모여있는 분진을 분진투입이 중지된 상태에서 분진을 채취, B. A시료를 채취한 후 송풍팬을 정지하고 탈진장치를 2분 운전 후 분진을 채취, C. B시료 채취한 후 송풍팬을 재가동하며 탈진장치를 2분 운전 후 분진을 채취하여 총 45가지 실험구(실험구 15 × 시료채취시기 3)에 대해 분석하였음
- 채취한 분진의 기하학적 특성은 여과포에서 용이하게 분리되는 큰 분진은 표준체를 통해 1차 선별한 다음, 분진 지름 150 μ m 이하의 분진에 대해서 입도분석기(Laser particle size analyzer, CILAS, France)를 이용하여 입도분포를 측정하였고, 각 조건에서 하위 10%, 50% 및 90%에서의 분진 지름 및 평균 지름과 분진분포도, PM_{2.5} 및 PM₁₀의 분진비율로 나타내었음

③ 여과포의 오염상태 분석

- 전술한바와 같이 친환경집진시스템의 분진농도별 여과포 통과공기 속도별 성능특성을 위하여 15개의 실험구에서 각각 여과포를 사용한 후 새로운 여과포로 교체하면서 실험하였으며, 이 때 각 실험구별로 집진에 사용한 여과포의 오염상태를 분석하기 위하여 15개 실험구의 집진 전 및 집진 후의 여과포를 채취하여 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 오염상태를 촬영하였음
- 측정방법은 전술한바와 같이 ion sputter (C1010 Hitachi, Japan)를 이용하여 10~30 nm의 두께로 gold-palladium으로 도금한 후, 도금된 시료를 주사전자현미경(Scanning electron micrographs, SEM, S2380N, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 가속전압 20 kV에서 50~1,000배율로 배율을 변경하며 촬영하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

(나) 결과 및 고찰

① 분진농도별 여과포 통과공기 속도별 성능특성

- 다음 그림은 친환경집진시스템의 여과포 통과속도 및 오염공기의 분진농도에 따른 정압의 최대값과 최소값의 차이 및 집진효율을 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 여과포 통과속도가 증가할수록 분진농도가 높을수록 정압차는 증가하였음
- 친환경집진시스템은 주기적(15초 탈진 운전 후 1분 정지)으로 탈진장치를 운전하도록 설정함에 따라 탈진장치 운전 직전에는 분진들이 여과포에 달라붙어 공기유동을 방해하여 오염공기 수집부의 정압이 최대가 되며, 탈진장치가 운전을 완료한 직후에는 여과포로부터 분진이 분리되어 오염공기 수집부의 정압이 최소가 됨
- 한편, 집진효율은 분진농도 10, 40 및 70mg/m³ 조건에서 차이가 없었으며, 여과포통과속도에 대해서는 0.5, 2, 3.5, 5 및 6.5m/sec의 실험조건내에서 집진효율의 차이가 없었으며 평균 95.9%를 나타내었음

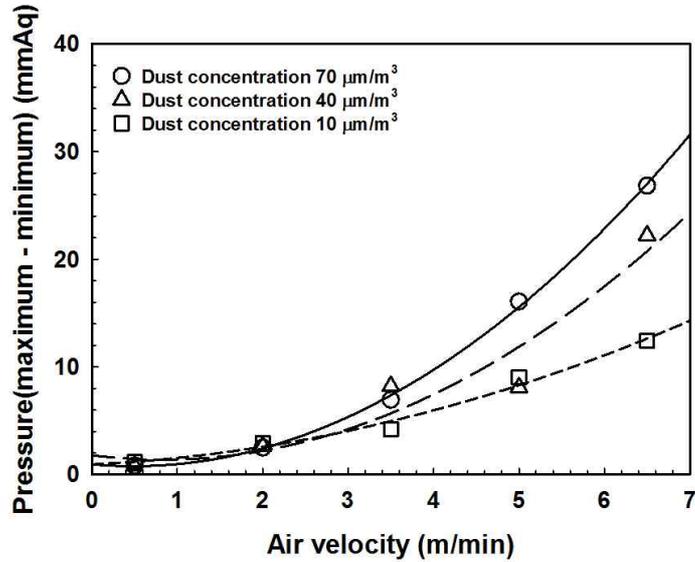


그림 2-2-1-37. 여과포 통과속도에 따른 오염공기 수집부의 최대/최소 정압 차이

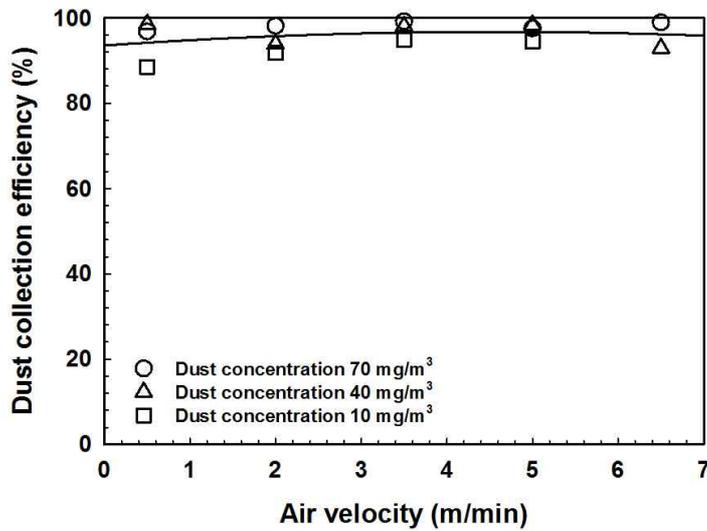


그림 2-2-1-38. 여과포 통과속도에 따른 집진효율

② 여과포에서 제거된 분진의 기하학적 특성분석

- 다음 그림은 분진농도에 따른 분진의 평균 지름 분포를 나타낸 것으로서, 분진농도가 증가함에 따라 평균 지름은 감소하는 경향을 나타내었는데, 분진농도가 증가함에 따라 지름이 작은 분진이 더 많이 집진되었음을 의미함

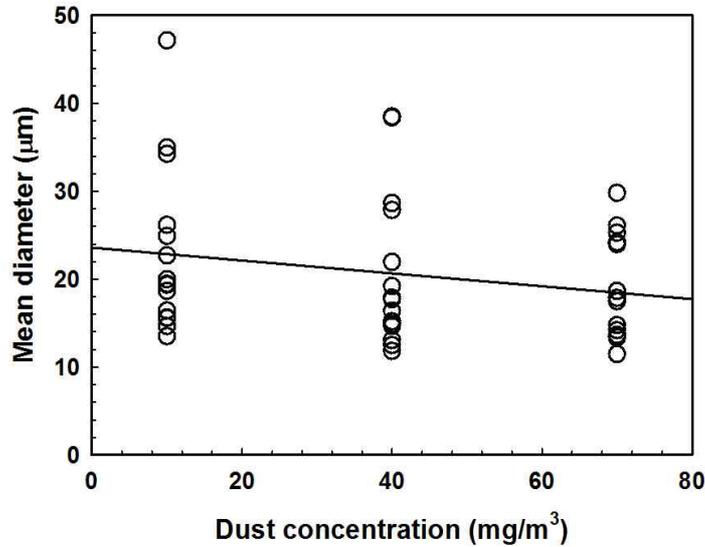


그림 2-2-1-39. 분진농도에 따른 분진의 평균 지름 분포

○ 다음 그림은 PM_{2.5} 이하 비율이 8.4%, PM₁₀ 이하 비율이 59.7%인 분진을 사용하여 농도별로 여과 포 통과속도별로 친환경집진시스템을 통과한 다음, A조건(집진 기간동안 하부 호퍼부에 모여 있는 분진)에서 여과포 통과속도 및 분진농도에 따른 분진의 평균 지름을 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 분진 지름의 산발적인 분포에 따라 실험결과로부터 여과포 통과속도와 분진 지름의 관계는 명확하게 나타나지 않았음

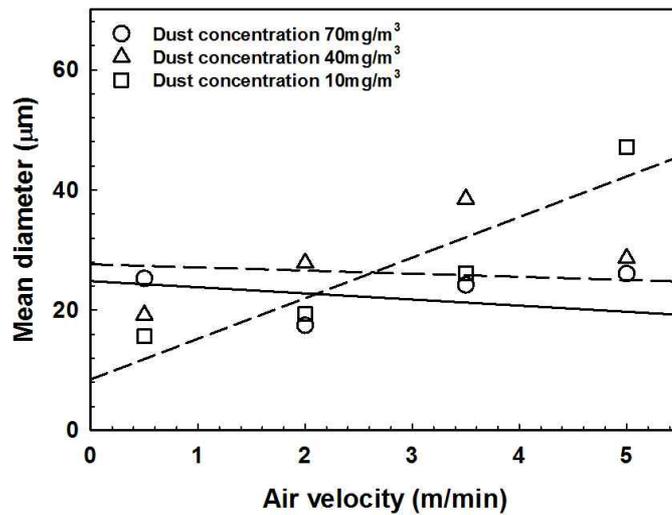


그림 2-2-1-40. 여과포 통과속도 및 분진농도에 따른 평균 분진 지름

○ 다음 그림은 PM_{2.5} 이하 비율이 8.4%, PM₁₀ 이하 비율이 59.7%인 분진을 사용하여 농도별로 여과 포 통과속도별로 친환경집진시스템을 통과한 다음, A조건(집진기간 동안 하부 호퍼부에 모여 있는 분진)에서 여과포 통과속도 및 분진농도에 따른 PM_{2.5} 이하 및 PM₁₀ 이하 미세분진의 비율을 측정하는 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 분진농도에 따라서는 모두 일정한 변화를 나타내지 않았으나, 여과

포 통과속도가 증가할수록 미세먼지의 비율이 낮아 여과포에 부착되었거나 여과포를 통해 외부로 유출되므로 여과포 통과공기속도를 가능한 감소시키는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었음

- PM_{2.5}이하에 대한 모든 실험 데이터값의 평균은 7.1%로서, 원료의 PM_{2.5} 이하 비율인 8.4%보다 낮게 나타나 일부는 여과포에 부착했거나 여과포를 통해 외부로 밀려났을 것으로 판단되었으며, PM₁₀ 이하에 대한 모든 실험 데이터값의 평균은 51.0%로서, 원료의 PM₁₀ 이하 비율인 59.7%보다 낮게 나타나 PM_{2.5}의 경우와 유사한 경향을 나타내었음
- 이상의 실험에서 여과포 기공의 불규칙성 등으로 인해 당초 기대했던 만큼의 유의적인 연구결과는 나타나지 않았으나 여과포 통과공기속도가 증가할수록 여과포를 통과하여 외기로 배출되는 미세먼지가 많으므로 여과포 통과공기속도를 가능한 2m/min이하로 감소시키는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다는 결론을 얻었음

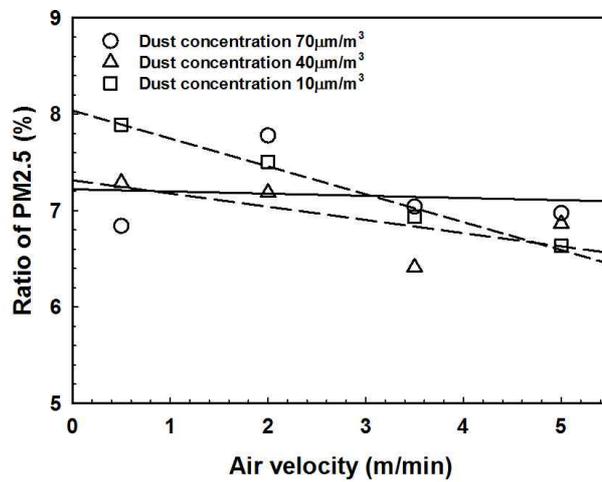


그림 2-2-1-41. 여과포 통과속도 및 분진농도에 따라 분진 PM_{2.5}이하의 비율

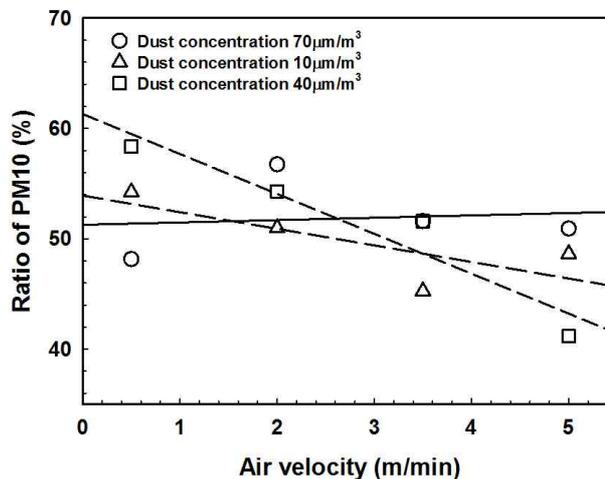
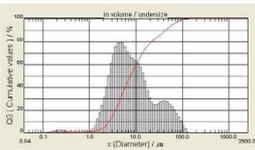
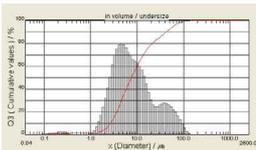
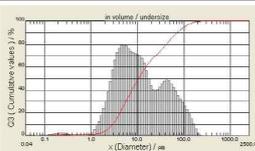
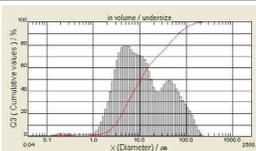
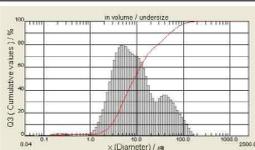
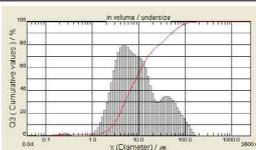
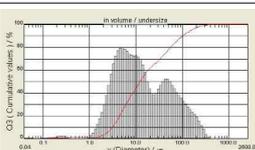
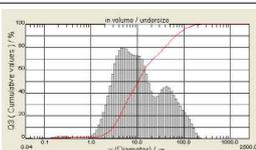
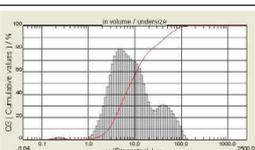
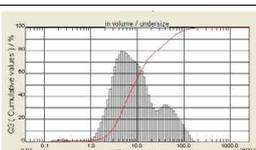
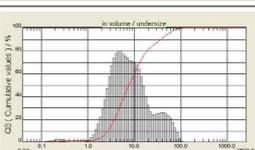
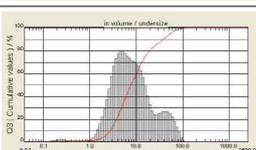
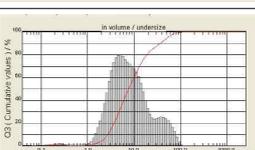
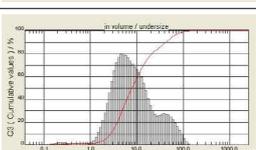
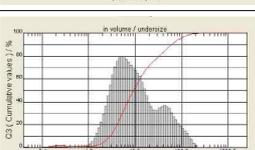
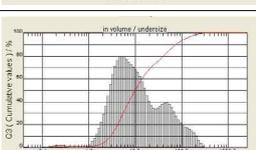
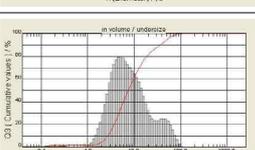
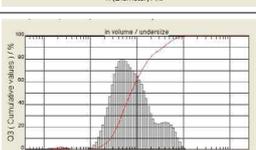
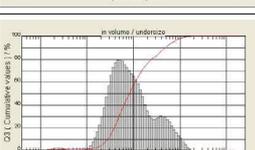
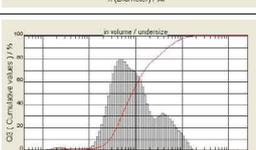
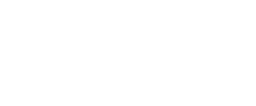


그림 2-2-1-42. 여과포 통과속도 및 분진농도에 따라 분진 PM₁₀이하의 비율

표 2-2-1-48. 분진농도 70mg/m³일 때 분진입자 지름 및 분진분포도

분진 농도	여과포 속도	샘플 측정	Diameter at (μm)			Mean	분진분포도	
			10 %	50 %	90 %			
원료	-	-	2.677	7.635	43.738	15.790		
			2.674	7.553	42.540	15.480		
70	0.5	A	2.960	10.690	70.376	25.420		
			2.926	10.559	69.462	25.150		
		B	2.812	8.754	51.510	18.820		
			2.813	8.689	50.436	18.480		
		C	3.067	12.163	99.856	35.480		
			2.963	10.242	66.457	24.150		
	2	A	2.751	8.157	46.046	16.610		
			2.781	8.426	50.882	18.340		
		B	2.724	7.713	37.224	14.070		
			2.736	7.758	38.450	14.320		
		C	2.719	7.629	36.744	13.960		
			2.764	7.902	41.976	15.580		
3.5	A	2.862	9.185	59.010	21.670			
		2.939	9.885	72.380	26.700			
	B	2.703	7.467	36.107	13.700			
		2.698	7.417	35.514	13.600			
	C	2.770	8.157	48.129	17.590			
		2.770	8.316	49.460	18.120			

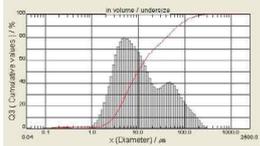
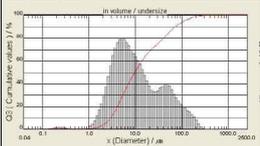
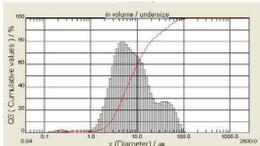
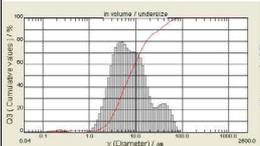
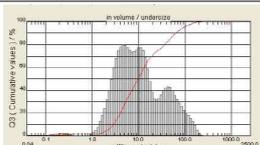
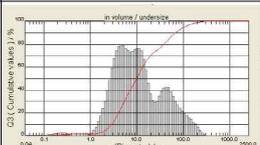
분진 농도	여과포 속도	샘플 측정	Diameter at (μm)			Mean	분진분포도	
			10 %	50 %	90 %			
70	5	A	2.924	9.828	71.192	25.980		
			2.891	9.587	71.565	26.180		
		B	2.709	7.707	37.948	14.230		
			2.683	7.422	31.693	12.530		
		C	2.852	9.819	62.885	22.970		
			2.875	9.869	67.305	24.970		

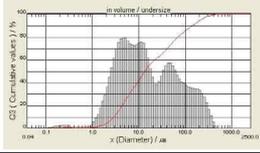
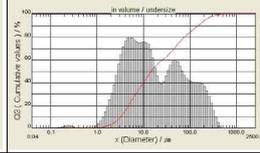
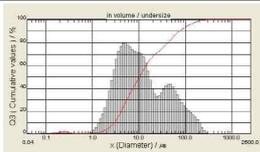
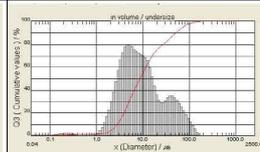
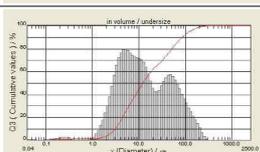
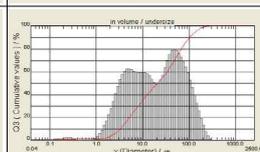
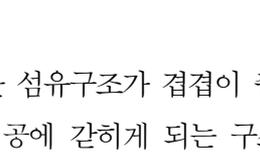
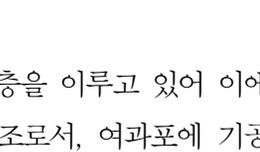
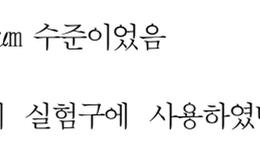
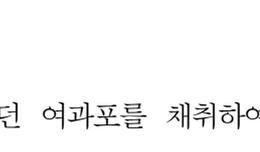
표 2-2-1-49. 분진농도 40mg/m³일 때 분진입자 지름 및 분진분포도

분진 농도	여과포 속도	샘플 측정	Diameter at (μm)			Mean	분진분포도	
			10 %	50 %	90 %			
원료	-	-	2.677	7.635	43.738	15.790		
			2.674	7.553	42.540	15.480		
40	0.5	A	2.852	8.995	54.247	19.580		
			2.827	8.667	51.779	18.850		
		B	2.743	7.970	44.502	16.310		
			2.756	7.989	45.178	16.460		
		C	2.740	7.698	39.576	14.630		
			2.741	7.690	40.026	14.740		
	2	A	2.860	9.775	74.245	28.030		
			2.874	9.633	72.574	27.710		
		B	2.795	8.758	55.033	20.520		
			2.727	7.939	41.083	15.260		
		C	2.735	8.066	39.896	14.710		
			2.755	8.163	42.317	15.700		
3.5	A	2.985	10.838	94.558	33.840			
		3.094	12.725	138.175	43.180			
	B	2.679	7.323	32.896	12.900			
		2.652	7.178	30.011	12.090			
	C	2.809	8.740	53.933	20.000			
		2.846	9.282	63.652	23.910			

분진 농도	여과포 속도	샘플 측정	Diameter at (μm)			Mean	분진분포도	
			10 %	50 %	90 %			
40	5	A	2.908	10.097	69.160	25.910		
			2.979	10.781	86.492	31.390		
		B	2.789	8.512	48.115	17.720		
			2.788	8.474	47.986	17.720		
		C	3.103	13.137	113.493	39.300		
			3.071	12.350	107.740	37.490		

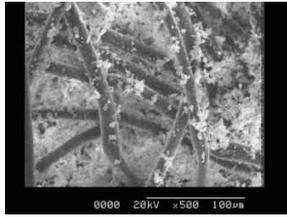
표 2-2-1-50. 분진농도 10mg/m³일 때 분진입자 지름 및 분진분포도

분진 농도	여과포 속도	샘플 측정	Diameter at (μm)			Mean	분진분포도	
			10 %	50 %	90 %			
원료	-	-	2.677	7.635	43.738	15.790		
			2.674	7.553	42.540	15.480		
10	0.5	A	2.733	7.820	39.731	14.660		
			2.755	8.086	45.758	16.610		
		B	2.807	8.539	50.662	18.480		
			2.796	8.549	51.925	18.840		
		C	2.776	8.237	45.797	16.650		
			2.753	8.081	44.625	16.230		
	2	A	2.847	9.372	58.122	21.570		
			2.776	8.425	46.367	17.160		
		B	2.715	7.833	37.869	14.150		
			2.720	7.898	40.751	15.160		
		C	2.785	8.609	49.327	18.060		
			2.830	9.101	57.142	20.890		
3.5	A	2.858	8.963	59.185	21.500			
		2.969	10.156	82.638	30.830			
	B	2.744	8.160	46.425	16.750			
		2.703	7.719	39.014	14.400			
	C	2.896	10.334	76.649	27.640			
		2.833	9.405	61.230	22.180			

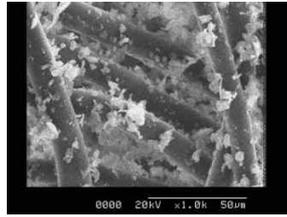
분진 농도	여과포 속도	샘플 측정	Diameter at (μm)			Mean	분진분포도	
			10 %	50 %	90 %			
10	5	A	2.897	13.398	141.234	46.060		
			3.167	14.589	148.001	48.240		
		B	2.926	10.220	73.798	27.000		
			2.812	8.648	50.530	18.390		
		C	3.055	12.149	83.835	30.690		
			3.242	20.732	101.896	39.270		

③ 여과포의 오염상태 분석

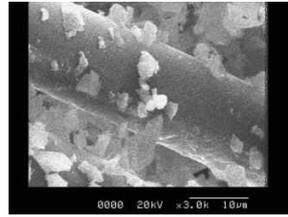
- 전술한바와 같이 여과포는 부직포 형태이기 때문에 미세한 섬유구조가 겹겹이 층을 이루고 있어 이에 분진이 압력차에 의해 섬유들을 지나가다 섬유 사이의 기공에 갇히게 되는 구조로서, 여과포에 기공은 단위면적당 중량에 따라 다소 차이는 있었지만 37~45 μm 수준이었음
- 다음 그림은 분진농도별 및 여과포통과속도별로 15가지 실험구에 사용하였던 여과포를 채취하여 SEM으로 오염상태를 측정된 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 여과포에 갇혀있는 분진도 관찰($\times 1,000$)되지만 많은 분진들은 여과포에 정전기 등으로 붙어있는 약 5 μm 이하 수준($\times 5,000$)이 많이 관찰되며, 분진들간에 상호 정전기 등으로 붙어있는 경우도 관찰됨



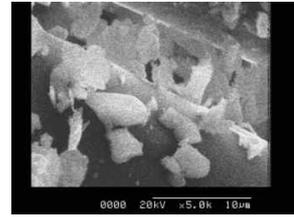
(×500)



(×1,000)

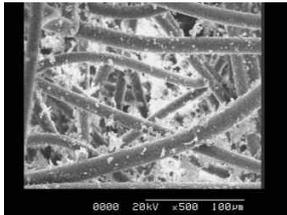


(×3,000)



(×5,000)

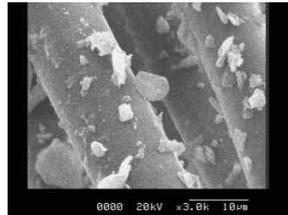
여과포1 (여과포 통과속도 0.5m/min, 분진농도 70mg/m³)



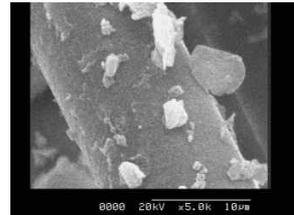
(×500)



(×1,000)

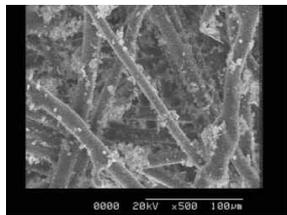


(×3,000)

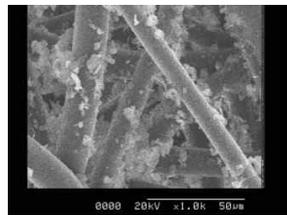


(×5,000)

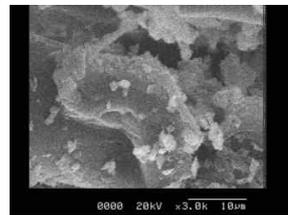
여과포2 (여과포 통과속도 2.5m/min, 분진농도 70mg/m³)



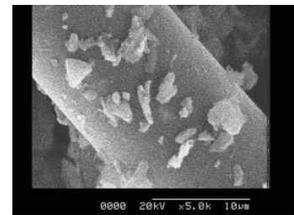
(×500)



(×1,000)

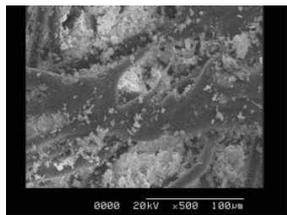


(×3,000)

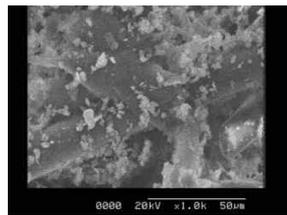


(×5,000)

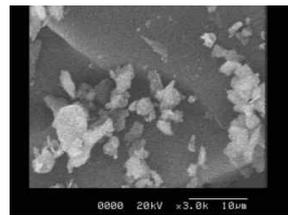
여과포3 (여과포 통과속도 3.5m/min, 분진농도 70mg/m³)



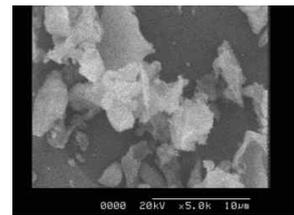
(×500)



(×1,000)

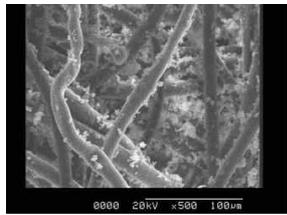


(×3,000)



(×5,000)

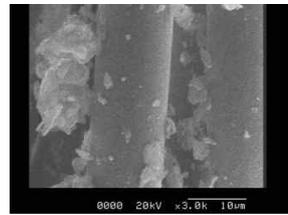
여과포4 (여과포 통과속도 5.0m/min, 분진농도 70mg/m³)



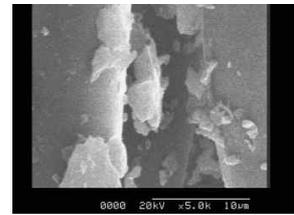
(×500)



(×1,000)



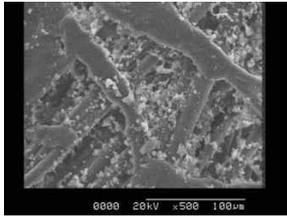
(×3,000)



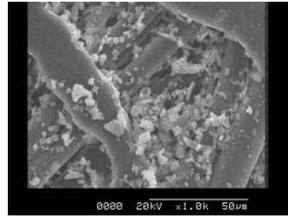
(×5,000)

여과포5 (여과포 통과속도 6.5m/min, 분진농도 10mg/m³)

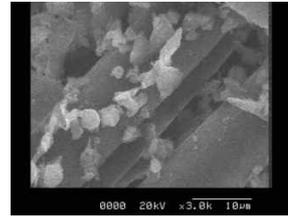
그림 2-2-1-43. 친환경집진시스템의 집진 후 여과포(1~5) 사진(SEM)



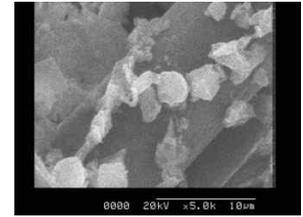
(×500)



(×1,000)

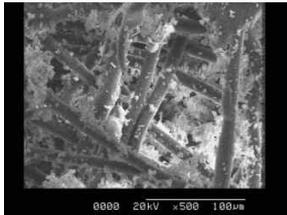


(×3,000)

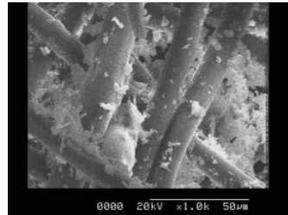


(×5,000)

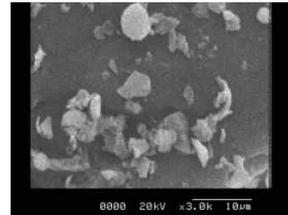
여과포6 (여과포 통과속도 0.5m/min, 분진농도 40mg/m³)



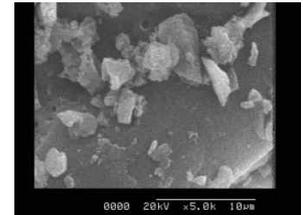
(×500)



(×1,000)

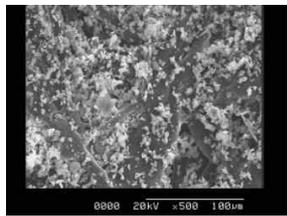


(×3,000)

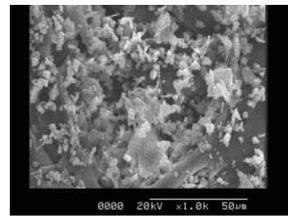


(×5,000)

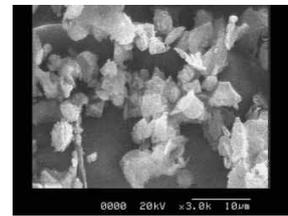
여과포7 (여과포 통과속도 2.0m/min, 분진농도 40mg/m³)



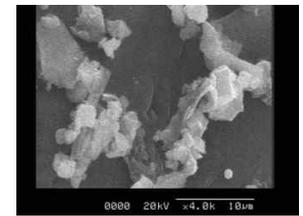
(×500)



(×1,000)

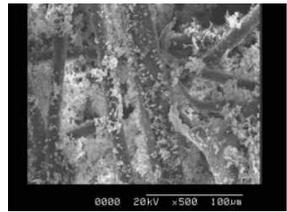


(×3,000)

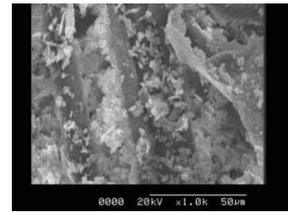


(×5,000)

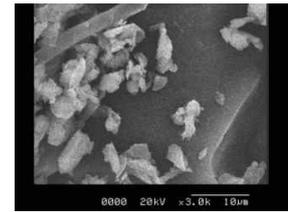
여과포8 (여과포 통과속도 3.5m/min, 분진농도 40mg/m³)



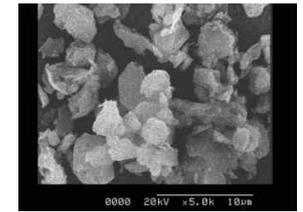
(×500)



(×1,000)

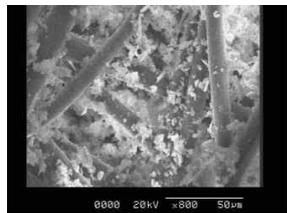


(×3,000)

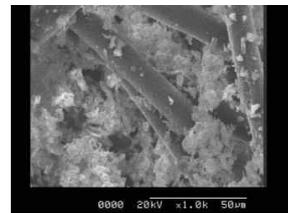


(×5,000)

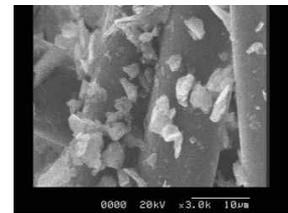
여과포9 (여과포 통과속도 5.0m/min, 분진농도 40mg/m³)



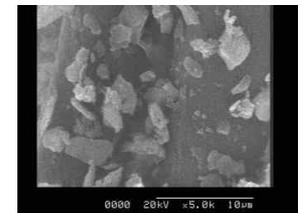
(×500)



(×1,000)



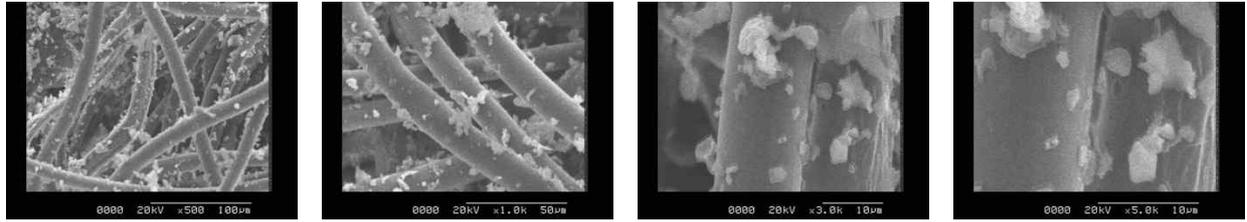
(×3,000)



(×5,000)

여과포10 (여과포 통과속도 6.5m/min, 분진농도 40mg/m³)

그림 2-2-1-44. 친환경집진시스템의 집진 후 여과포(6~10) 사진(SEM)



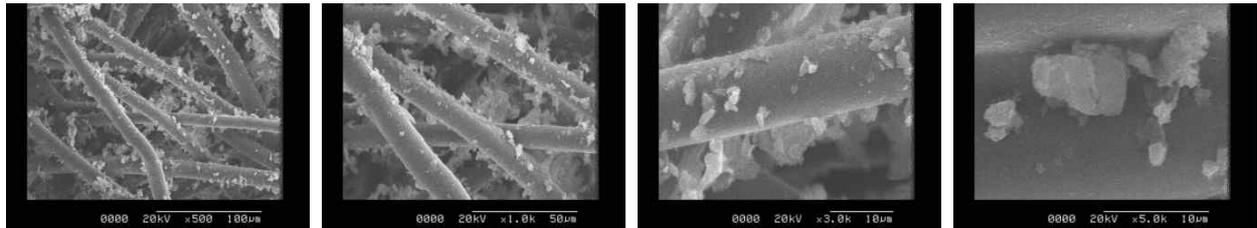
(×500)

(×1,000)

(×3,000)

(×5,000)

여과포11 (여과포 통과속도 0.5m/min, 분진농도 10mg/m³)



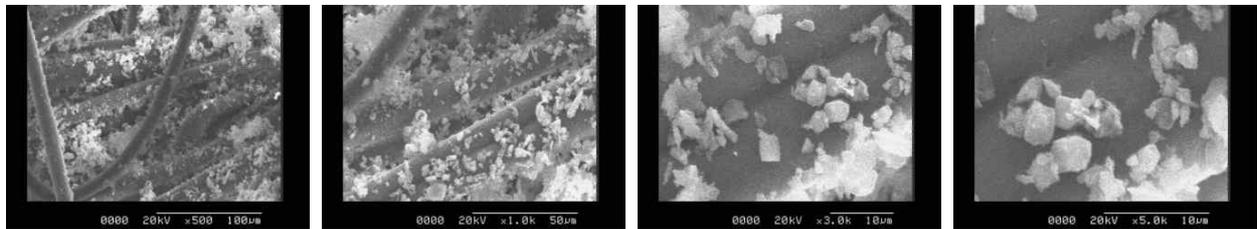
(×500)

(×1,000)

(×3,000)

(×5,000)

여과포12 (여과포 통과속도 2.0m/min, 분진농도 10mg/m³)



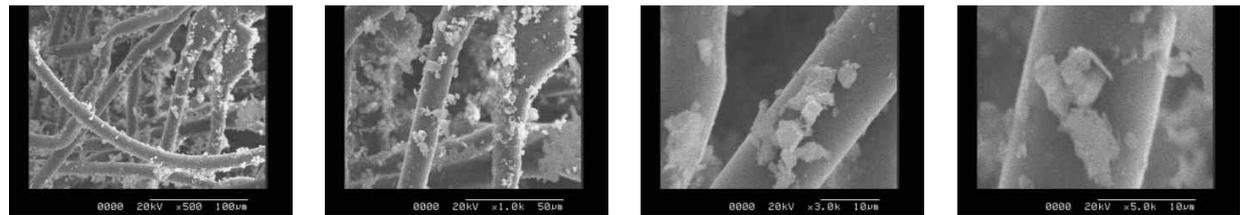
(×500)

(×1,000)

(×3,000)

(×5,000)

여과포13 (여과포 통과속도 3.5m/min, 분진농도 10mg/m³)



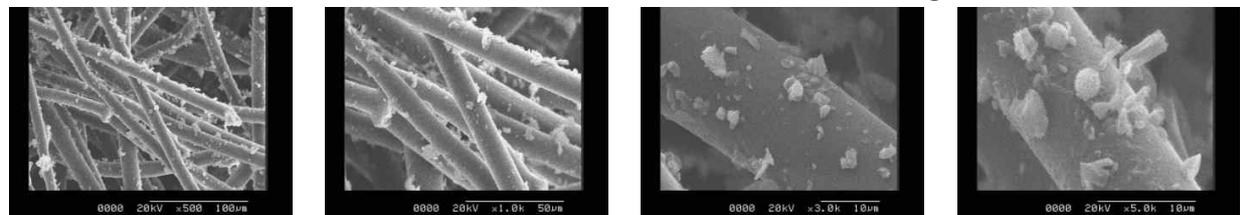
(×500)

(×1,000)

(×3,000)

(×5,000)

여과포14 (여과포 통과속도 5.0m/min, 분진농도 10mg/m³)



(×500)

(×1,000)

(×3,000)

(×5,000)

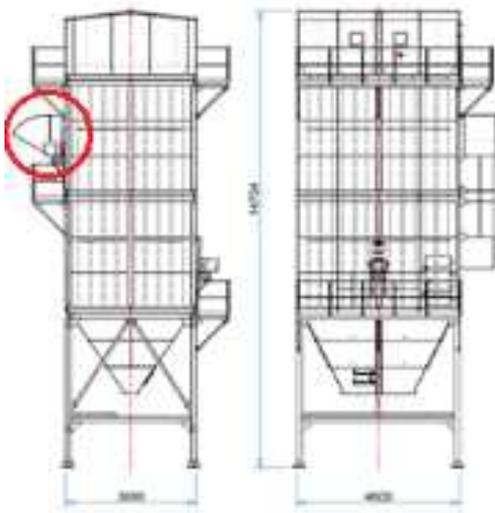
여과포15 (여과포 통과속도 6.5m/min, 분진농도 10mg/m³)

그림 2-2-1-45. 친환경집진시스템의 집진 후 여과포(11~15) 사진(SEM)

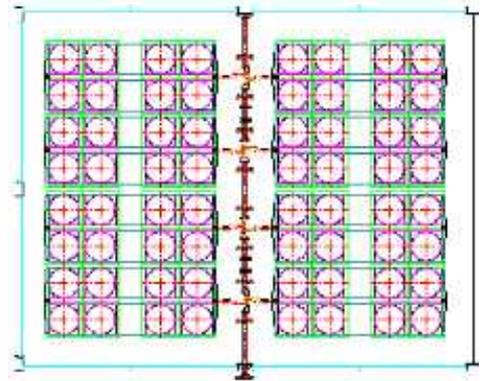
(3) 친환경집진시스템의 현장실험

(가) 실험방법

- 경북 예천소재 RPC에 설치되어 있는 실내설치형 통합집진기의 탈진장치를 개선된 역 크랭크축 탈진 장치로 교체하고, casing을 실시한 다음, 2017년 10월 31일부터 11월 1일까지 2일간 친환경집진시스템의 현장 현장실험을 진행하였음
- 탈진주기는 5분 집진운전 후, 15초 동안 탈진하는 형태이었고, 측정항목은 송풍량, 분진농도 및 정압이었으며 각각의 측정방법은 전술한 내용과 동일하며, 통합집진기의 전단인 입구 측의 두 개소와 후단인 출구 측에서 측정하였으며, 측정 중 평균 온도 및 습도 조건은 각각 22.3℃ 및 20.7%이었음



(친환경집진시스템에 추가된 출구부)



(여과포 설치 구조 및 탈진장치)

그림 2-2-1-46. 경북 예천소재RPC에 설치된 개선된 역 크랭크축 탈진방식의 친환경집진시스템



(집진실 입구)



(집진시스템의 외형)



(집진부 하단의 분진 이송 컨베이어)



(집진시스템 내 역 크랭크 탈진장치)

그림 2-2-1-47. 경북 예천소재RPC에 설치된 친환경집진시스템 현장실험 장면



(통합집진기 입구 측 분진농도 측정)



(통합집진기 출구 측 덕트 측정부)



(통합집진기 공기 출구)

그림 2-2-1-48. 친환경집진시스템의 분진 측정부

(나) 결과 및 고찰

- 친환경집진시스템의 입구 측인 투입부 측과 조선기의 송풍기 후단에서 송풍량을 측정한 결과, 각각 243m³/min, 340m³/min으로 나타났고, 친환경집진시스템으로 유입되는 총 송풍량은 583m³/min이었으며, 이를 여과면적으로 나눈 결과 여과포 통과속도는 1.6m/min 수준으로 나타났음
- 송풍기의 송풍량을 측정했던 전단의 두 개소와 후단에서 정압을 측정한 결과, 전단 투입부 측 정압은 185mmAq, 전단 조선기의 정압은 140mmAq으로 전단 평균 정압은 163mmAq이었으며, 후단 정압은 25mmAq로 전·후단의 정압 차이는 138mmAq로 나타났음
- 송풍기 정압 측정위치와 동일한 지점에서 분진농도를 측정하였는데, 전단 투입부 측 분진농도는 7.9mg/m³, 전단 조선기 측 분진농도는 16.6mg/m³으로서 전단 평균 분진농도는 11.6mg/m³이고, 후단 분진농도는 0.33mg/m³으로 집진효율은 97.1%로 나타났는데, 집진장치 개선 전의 실내설치형 통합집진기의 집진효율인 88.0%보다 우수한 것으로 나타나, 개선된 역 크랭크축 탈진장치를 도입함에 따라 여과포 통과속도의 감소가 집진효율의 증가에 효과적인 영향을 미친 것으로 판단되었음
- 이상의 결과에서 선행연구에서 개발하여 보급하고 있는 통합집진기에 역 크랭크축방식의 탈진장치로 개선하여 동일 면적에 설치되는 여과포수를 증가시켜 여과포통과공기속도를 줄이고, 주변 단위기계의 작동조건과 연계하는 프로그램을 개선한 친환경집진시스템은 RPC에 충분하게 활용될 수 있을 것으로 기대되었음

표 2-2-1-51. 친환경집진시스템의 현장 성능측정 결과

측 정 항 목		측 정 치	비 고
송풍량 (m ³ /min)	투입부 측	243	
	조선기 측	340	
	합계	583	
여과포 통과속도(m/min)		1.6	
정압 (mmAq)	전단	투입부 측	185
		조선기 측	140
		평균	163
	후단	25	
전·후단 정압 차이(mmAq)		138	
분진농도 (mg/m ³)	전단	투입부 측	7.9
		조선기 측	16.6
		평균	11.6
	후단	0.33	
집진효율(%)		97.1	

(4) 친환경집진시스템의 추가 모델개발

(가) 실험방법

- 일반적으로 RPC에서 집진은 사이클론(터보클리너 포함) 및 백필터방식과, 이들을 조합한 방식이 적용되고 있으며, 특히, 조선기, 순환식건조기, 왕겨 및 미강분리 등 이물질의 선별공정이나 비교적 큰 이물질이 혼합된 공정의 집진에 사용되는 집진시설인 경우 이들 방식이 조합된 사이클론(터보클리너)+백필터 방식이 적용되고 있음
- 전술한 RPC 및 DSC에 설치된 야외형 및 실내설치형 통합집진기의 경우에도 통합집진기로 유입되는 분진함유공기 중 조선기와 순환식건조기에서 발생된 분진함유공기는 사이클론(터보클리너)을 거친 것으로서, 본 연구에서 개발한 친환경집진시스템도 사이클론 없이 보급할 때 여과포의 손상 및 집진효율의 감소 등에 대한 불필요한 현장 우려가 있어 이를 불식시킬 필요가 있음
- 또한, 전술한바와 같이 본 연구팀에서는 RPC 및 DSC의 빈 공간을 집진실로 활용하고, 비용 및 에너지절감은 물론 향후 증설 등을 용이하게 실내설치형이 야외용보다 주력이 되는 것이 타당할 것으로 판단하고 있으나, 현장에서는 여과포를 통해 밀려나오는 일부 미세먼지로 인한 집진실 오염문제의 해결을 요구하고 있음
- 따라서 본 연구에서는 앞에서 개발한 역 크랭크축 탈진방식을 채용한 친환경집진시스템의 기본형태를 그대로 사용하되, 이물질의 선별공정이나 비교적 큰 이물질이 혼합된 공정의 집진에 별도의 사이클론 없이 사용하면서 실내설치형으로 설치할 수 있는 방안을 강구하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

(나) 결과 및 고찰

- 새로운 방식의 친환경집진시스템 모델은 기본적으로 이물질의 종류별 종말속도(terminal velocity)차이를 이용한 실내설치 형태와 중력식을 혼합한 형태로써 구성하였으며, 세부적인 구성내용은 다음과 같았음
- 다음 표는 본 연구팀의 선행연구(2013)에서 측정한 RPC 집진기에서 채취한 이물질의 입자크기별 종말속도를 나타낸 것으로서, 표에서 알 수 있듯이 입자크기가 커질수록 종말속도는 증가하였으나, 종말속도는 오염발생 부분에 따라서 다소 차이를 나타내었음
- 본 모델의 핵심적인 집진원리는 실내에 친환경집진시스템을 설치하고 모든 분진함유공기를 실내로 유입시켰을 때, 친환경집진시스템은 여과포 외부로부터 분진함유공기가 여과포를 통과하면서 여과포 외부에 분진이 부착되어 역 크랭크축 방식의 탈진장치를 통해 하부로 떨어져 배출되는 구조로서, 실내에 유입되는 공기 중에 함유된 큰 이물질은 여과포에 도달하기 전 중력에 의해 자연낙하 되도록 구상하였음

표 2-2-1-52. RPC의 집진기 종류별로 채취한 분진의 종말속도(김 등, 2013)

구 분	분진입자의 크기(μm)별 Terminal velocity(m/sec)											
	2000	1000	850	500	300	180	150	106	75	45	45↓	
1	순환식건조기(TC+C)	1.47	1.38	1.28	1.11	1.03	0.24	0.23	0.22	0.2	0.18	0.16
2	순환식건조기(TC+C)	1.01	0.91	1.01	0.89	0.47	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15	0.12
3	투입구(C)	0.96	1.07	1	0.95	0.54	0.2	0.19	0.18	0.17	0.17	0.14
4	조선기(C)	3.31	2.69	2.66	1.04	0.98	0.2	0.19	0.18	0.18	0.16	0.15
5	조선기(C+B)	2.72	0.57	0.56	0.51	0.47	0.47	0.34	0.2	0.16	0.15	0.14
6	평타입사일로(S)	2.67	1.56	1.81	1.62	1.54	0.19	0.22	0.17	0.16	0.16	0.15
7	미강부(C)	-	1.75	1.61	1.35	1.19	0.42	0.41	-	-	-	-
8	투입구+조선기(B)	1.49	3.44	2.58	2.22	1.08	0.34	0.27	0.22	0.18	0.15	0.14
9	평타입사일로(S)	1.33	1.07	0.98	0.93	0.6	0.25	0.22	0.2	0.19	0.17	0.16
10	평타입사일로(S)	3.44	-	-	-	-	-	-	0.18	0.17	0.16	0.15
11	투입구+순환식건조기(B)	4.58	1.29	1.26	1.21	1.05	0.21	0.2	0.19	0.17	0.16	0.15
12	조선기(B)	2.16	2.57	1.18	1.08	0.96	0.2	0.18	0.17	0.15	0.13	0.13
13	연속식건조기(TC)	1.23	1.08	1.02	0.95	0.82	0.21	0.19	0.17	0.16	0.16	0.15
평균		2.2	1.61	1.41	1.15	0.89	0.26	0.24	0.19	0.17	0.16	0.15

- 따라서, 본 모델의 주요 핵심 구상은 개발한 친환경집진시스템 전단에 위치한 사이클론 집진기에서 처리되던 큰 이물질을 자동 낙하시키기 위해 대상 이물질의 선정과, 이 이물질이 여과포에 도달하기 전에 자유낙하가 가능하도록 구성하는 것이며, 이 구성에는 이물질의 종말속도 이하로 풍속을 유지할 수 있는 공간의 확보 등임
- 다음의 그림과 같이 여과포(4)가 차지하는 면적을 제외한 오염공기 수집소(1) 면적, 오염공기 유입량 및 분진 종말속도의 관계에서 오염공기 유입량 대비 적정 오염공기 수집소 면적 및 적정 여과포 개수는 다음과 같이 계산할 수 있는데, 중력으로 제거하고자 하는 큰 이물질 및 그 이하 분진의 종말속도를 각각 V_1 및 V_2 로, 그 중간 수준에서 공기의 상승속도를 V_3 로 하고, 집진실에 유입되는 오염공기량을 Q , 오염공기 수집소의 면적을 A_1 , 여과포 단면적을 A_2 , 여과포 개수를 n , 오염공기 유입부 면적을 A_3 , 여과포 통과 공기속도 V_4 , 여과포의 총 여과면적을 A_4 로 할 때, 각 설계인자의 결정 조건은 다음과 같으며, 이 때 제한조건은 여과포 통과공기속도는 2m/min이하가 되도록 함

$$V_1 < V_3 = \frac{Q}{A_1 - A_2 \times n - A_3} < V_2 \dots\dots\dots (2-2-1-5)$$

$$V_4 = \frac{Q}{A_4 \times n} < 2.0\text{m/min} \dots\dots\dots (2-2-1-6)$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \times D^2 \dots\dots\dots (2-2-1-7)$$

$$A_4 = \pi \times D \times L \dots\dots\dots (2-2-1-8)$$

- 또한, 중력식이 혼합된 친환경집진시스템이 설치된 집진실내로 유입되는 오염공기 중 중력에 의해 낙하한 큰 이물질과, 여과포에 부착되었다가 역 크랭크축방식으로 탈진된 분진은 하단의 호퍼부에서 모아져 screw conveyor로 외부로 이동하되, screw conveyor 끝단에는 rotary valve를 부착하여 분진함유 공기의 누설을 방지하도록 구성되었으며, 이를 위하여 집진실내의 체계적인 구조물 설치가 필요하였음
- 기존 친환경집진시스템에 비해 오염공기 수집소 즉, header(1)를 확장하여 덕트로 유입되는 오염공기 유입부(2) 측의 공기는 돌연확대 되도록 하여 유입 후의 유속을 감소시켜 큰 이물질에 작용하는 공기에 의한 양력을 감소시키며, 오염공기의 상승속도를 분진의 종말속도 이하로 낮추어서 중력에 의해 포집 호퍼부(3)로 낙하되도록 유도함
- 여과포 통과공기의 풍속은 2m/min이하 수준이지만 여과포 내부에서 오염공기 수집소 전까지의 풍속은 2m/min이상으로서 탈진시 여과포에 재부착되어 분진이 하부로 자유낙하가 어려운 반면, 본 모델과 같이 여과포 외부에 분진이 부착되고, 여과포 내부 공기의 풍속이 2m/min이하로서 탈진장치 가동시 용이하게 탈진이 가능할 뿐만 아니라 재부착의 적어 탈진효과가 커질 것으로 기대됨
- 오염공기 유입부(2)의 덕트 입구를 하부로 향하도록 설치하여 큰 이물질이 중력에 의해 낙하가 용이하도록 구성하여 큰 이물질이 직접 여과포(4)에 부착되는 것을 방지할 수 있으며, 오염공기 유입구가 많아 작동주기가 다를 경우 집진실에 유입된 공기가 친환경집진시스템을 통과하지 않고 미작동 오염공기 유입구를 통해 역류하는 것을 막기 위해 역류방지게이트(5)를 설치하도록 구상하였음
- 본 모델의 적용에서 유의할 사항은 ① 오염된 공기를 송풍기로 집진실로 압송함에 따라 집진실이 누설이 없도록 설치되어야 하는 점, ② 역 크랭크축을 이용한 탈진장치의 모터 등이 오염된 집진실에 설치될 경우 오염이 없도록 유의해야 하는 점, ③ 분진이 집진실 내부의 각 턱 등 고정부분에 쌓여 청소에 어려움이 있는 점 등에 대해서는 추가 고려가 필요하였음

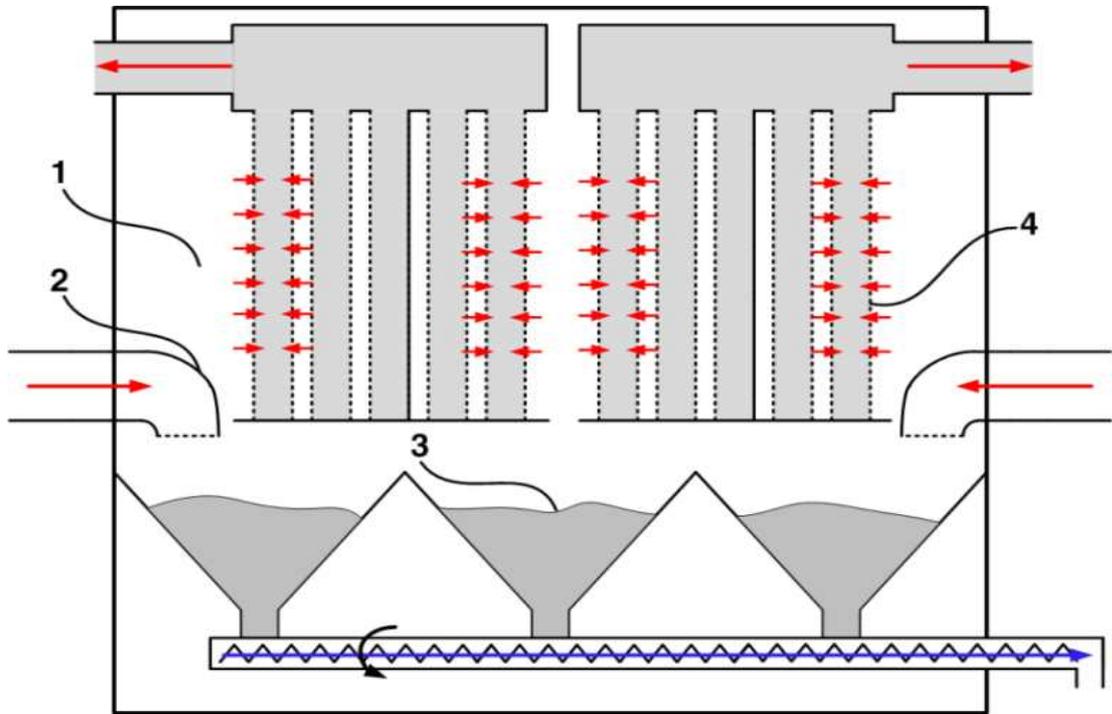
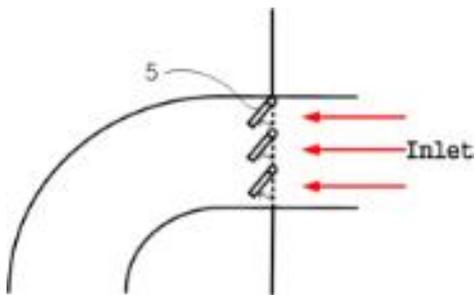
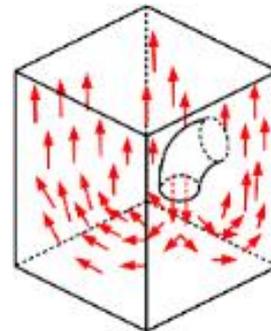


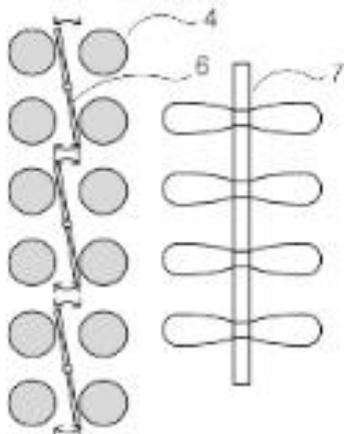
그림 2-2-1-49. 실내설치 및 중력 혼합식 친환경집진시스템의 개념도



(오염공기 유입부의 역류방지 게이트)



(집진시스템 내부의 공기유동 방향)



(탈진장치와 탈진판)

그림 2-2-1-62. 실내설치 및 중력 혼합식 친환경집진시스템의 상세도

2. 공기이송시스템 개발

가. 공기이송시스템 설계인자 구명

(1) 구명방법

- 2ndG RPC에서는 압송식(5~7kgf/cm², Air compressor) 및 흡인식(3,000mmAq, Ring blower) 공기이송시스템(Pneumatic conveying system)이 부산물이송에 일반적으로 활용되었으나, 현미 및 백미이송에는 함수율저하 및 싸라기발생 등 품질저하로 인해 사용되지 않았으며, 일부 RPC에서 현미 및 백미의 반포이송용으로 설치를 계획하였다가 기계식 이송으로 전환한 사례도 보고되고 있음
- 광역통합 RPC는 현미, 백미, 특수가공미 및 잡곡류까지 처리하는 규모화된 3rdG RPC로서, 곡물의 이송과정중 이물질 혼입 및 잔곡방지, 장거리이송작업의 비용절감 및 효율성도모를 위해서는 고압공기의 온도 및 상대습도가 조절되어 품질저하가 없는 공기이송시스템의 도입이 필요하나, 현재 국내에서는 미개발상태로서, 본 연구에서는 고압공기의 온도 및 상대습도가 조절되어 품질저하가 없는 현미 및 백미이송용 공기이송시스템개발을 위하여 수행되었음
- 이를 위해 우선적으로 공기이송시스템의 설계인자를 구명하기 위하여 기존의 공기이송시스템에 대한 논문 및 특허 등 선행기술에 대해 조사하였고, 2ndG RPC에서 사용중인 부산물 공기이송시스템에 대한 설계기준에 대해서도 조사하였으며, RPC에 대한 적용사례는 본 연구진에서 실시한 2ndG RPC의 성능검사결과와, 위탁연구/참여기업으로 2ndG RPC의 설계감리업체인 대주종합기술단과 협동엔지니어링을 통해 실제 적용사례에 대해서도 조사하였음
- 또한, 현미 및 백미의 공기이송시스템의 설계에 활용하기 위하여 실제 현미 및 백미용 공기이송시스템을 제조하여 판매하는 일본의 Satake Corp.를 통해 일본의 정미공장에 설치되는 공기이송시스템의 운영조건 및 시스템사양에 대해 조사하였으며, 이상의 결과를 이용하여 실제 설계에 반영할 설계인자를 구명하였음

(2) 결과 및 고찰

(가) 공기이송시스템에 대한 선행연구

- RPC에서 공기이송시스템은 고압공기를 이용하여 반입, 건조, 저장, 가공 및 포장공정에서 곡물을 이송할 수 있는 시스템으로 버킷엘리베이터, 벨트컨베이어, 체인컨베이어 및 스크루컨베이어 등 기계식 이송장치의 대체 가능성이 높은 이송장치로서, 전 세계적으로 곡물, 시멘트, 플라스틱 및 화학원료 등의 이동 및 적재, 출하 등 다양한 산업용으로 활용되고 있으며, 곡물의 경우 일반적으로 사일로로의 반입, 반출 및 이송목적으로 활용되고 있음
- 공기이송시스템은 기체유동을 통해 미세한 가루부터 알갱이가 큰 물질까지 다양한 산물에 적용이 가능하며, 수직 및 수평 등 다양한 운송라인에 탄력적으로 운용가능하고, 여러 지역의 장치로부터 산물

을 공급받아 다른 여러 지역으로 분배가 가능하며, 비교적 구성이 간단하여 유지보수 및 인력비용이 낮다는 장점이 있는 것으로 알려져 있음

- 반면, 기계식이송시스템에 비해 상대적으로 전력소모가 높고, 장치마모가 빠르며, 운영을 위한 제한 거리가 존재한다는 단점이 있으며, 유체의 복잡한 현상이 발생하므로 설계, 운영 및 유지를 위한 높은 수준의 기술이 요구된다는 특징이 있음
- 공기이송시스템에 대한 연구현황조사 결과는 다음 표와 같았으며, 단행본의 경우 공기이송시스템의 원리 및 이론에 대한 기술이 대부분이며, 관련연구도 이송대상의 공기이송상태 즉, 고밀도 및 저밀도 등에 따른 유량비 및 풍속, 처리능력에 따른 송풍량, 배관의 정압강하 및 수직배관의 중력영향 등 총 정압강하, 송풍량과 정압강하를 위한 blower의 선정이 주된 연구내용이었음
- 공기이송 대상곡물은 주로 옥수수 및 밀 등의 곡물을 대상으로 연구가 이루어졌으며, 쌀에 대하여 가장 유의할만한 연구는 우리나라에서는 김 등(2012)이 RPC에서 발생하는 싸라기 등의 부산물의 흡인식 및 압송식 공기이송방식에 따른 송풍량, 정압 및 소요동력에 관해 연구결과이었으며, Satake Corp.에서는 백미의 공기이송시스템에 대해 개괄적인 시스템기준을 제시하였음

표 2-2-2-1. 공기이송시스템 관련 주요 연구보고서 및 도서

구 분	제 목	저 자	학회지/보고서	
1	보고서	에너지절감형 RPC 가공공정모델개발	김의웅 외	농림수산식품부(2010, 2011, 2012)
2	책자	농협 미곡종합처리장 설계기준	고학균 외	농협중앙회 미곡종합처리장 자문단(2000)
3	도서	농산가공기계학	고학균 외	향문사(1990)
4	도서	미곡종합처리시설 -이론과 실제-	고학균 외	문운당(1995)
5	책자	RPC 시설 및 운영기술 매뉴얼	김동철 외	한국식품연구원(2006)
6	자료	Satake Corp. 에어반송시스템	Satake Corp.	자료(2010)
7	도서	Pneumatic conveying design guide	David Mills	Elsevier(2004)
8	도서	Pneumatic conveying of solids	G.E Klinzing 등	Springer(2010)
9	논문	Solid velocity estimation in vertical pneumatic conveying of agricultural grains	H Raheman 외	Applied Engineering in Agriculture(2001)
10	논문	Drag coefficients of agricultural grains in vertical pneumatic conveying	H Raheman 외	Applied Engineering in Agriculture(2003)

- 한편, 공기이송시스템에 대한 특허검색(검색 DB : 특허정보검색서비스(특허정보넷 키프리스, www.kipris.or.kr), 검색어 : 이송시스템, 공기이송)결과, 다음 표와 같이 총 11건이 검색되었으며, 주요 특허내용은 커피, 사료, 보리 및 벼 등의 곡물에 대하여 blower 및 air compressor을 이용한 다양한 공기이송방법에 관한 내용이 주를 이루었음

표 2-2-2-2. 공기이송시스템 관련 특허

구분	발명의 명칭	출원인	등록번호 /출원번호	등록일자 /출원일자	특 징
1	등록 커피원두로스팅시 스템	(주)태환 자동화산업	10122864	2013.1.25	· 공기 압력차이를 이용한 커피생두 이송 · 커피생두 및 로스팅된 원두의 이송가능
2	등록 입상체진공이송장 치	(주)태환 자동화산업	100821986	2008.4.7	· 기체상부 이젝터로 진공압 형성시 입 상체가 기체저장공간으로 이송 · 여러 종류 곡물에 적용
3	등록 곡물이송장치	(주)태환 자동화산업	101472509	2014.12.8	· 공압을 이용한 곡물이송방법 · 지정위치에 정확하고 용이하게 투입
4	소멸 곡물이송장치	강찬훈	200187941	2000.4.24	· 벼, 보리 등의 곡물의 이송장치
5	등록 사료보충 및 공급을 겸한 사료 살포장치	주식회사 라더시스템	100588476	2006.6.2	· 이송사료의 감속용 벤츄리 감속장치 · 공기발생장치에 의한 사료투입방법
6	출원 공압식 물질 반송 시스템에서의 방법 및 장치	마리캡 오이	102010701 6262	2010.7.20	· 이송 pipe내부 압력차를 이용한 공압 식물질 이송방법
7	소멸 곡물이송장치	고준빈 오병상	101998003 7244	1998.9.10	· 송풍기 흡입력을 이용한 곡물 자동이 송방법
8	소멸 진공식곡물이송장 치	유정열	101995004 7010	1995.12.6	· Turbo blower 진공흡입력에 의한 곡 물흡입 및 이송방법
9	소멸 곡물이송장치	국제정밀 주식회사	202000000 1941	2000.1.24	· 공기분사를 이용한 곡물의 호퍼내 흡 입 및 이물질제거방법
10	소멸 곡물이송장치	주식회사 농공	101992000 8172	1992.5.14	· 송풍기 흡입공기력을 이용한 곡물이송 방법

(나) RPC에서 공기이송시스템 설계기준

- 2ndG RPC의 보급사업과 관련된 농림축산식품사업(7. 고품질쌀유통활성화사업)의 설치기준이 되는 시설구비사항 중 “2.4 이송시설”항목에는 기계식이송시설에 관한 사항으로 한정되어 있어 현재까지 현미 및 백미의 이송은 기계식이송시설에 의존하고 있다는 것을 알 수 있으며, “3.2 부산물처리시설”에서 현미 및 백미부 부산물의 이송에는 공기이송을 원칙으로 하고 있으나 세부적인 설계기준은 제시되지 않고 있음
- 한편, 부산물공기이송시스템의 설계기준을 제시하기 위하여 한국식품연구원(2012)에서는 RPC의 부대설비(반입, 건조, 저장, 가공 및 포장공정을 수행하기 위해 필요한 단위기계 및 이송설비를 제외한 설비)의 하나로 부산물의 공기이송을 위해 흡인식(negative pressure system)과 압송식(positive pressure system)에 대한 연구를 실시하였는데, 수평길이 26,390mm, 수직길이 6,680mm, 연결벤딩 1,900mm, 벤딩부 수량 6개에서, 곡물량 500kg/hr를 관경 30.4mm의 관으로 공기이송할 때의 압송식 및 흡인식의 소요공기량과 전압력손실을 측정된 결과를 다음 표와 같이 보고하였음

3.2 부산물처리시설

- 3.2.1 미강 및 왕겨탱크는 3일 동안 배출되는 물량이상을 보관할 수 있는 용적으로 설치되는 것을 원칙으로 함
- 3.2.2 왕겨탱크에는 외부에서 물량을 감지할 수 있는 투명창이 설치되어야 하고, 왕겨가 가득 찰 경우에는 중앙제어반에서 이를 감지할 수 있어야 하며, 왕겨배출시 왕겨 또는 왕겨에서 발생 되는 먼지가 바람에 비산되지 않는 구조이어야 함
- 3.2.3 왕겨는 금속 등을 쉽게 마모시키므로 가능한 이송거리가 짧도록 직선으로 배관하고, 굴곡부는 내마모성이 높은 재료를 사용하고 마모시 교환이 용이하도록 설치되어야 함
- 3.2.4 결로로 인한 미강닥트 막힘을 방지하기 위하여 정미시스템(정미기, 연미기)이후의 모든 미강닥트는 충분히 단열되어야 하고, 외부에 노출된 단열재가 쉽게 상하지 않도록 충분히 보호되어야 하며, 미강실은 미강이 바람에 비산되지 않는 구조이어야 함
- 3.2.5 현미 및 백미부에서 선별된 비정(상)립은 공기이송시설을 이용하여 부산물처리실에 설치한 비정(상)립 탱크로 이송되는 것을 원칙으로 하며, 비정(상)립 탱크에서 부산물이 배출될 때 배출시간의 조절 및 혼곡방지를 위해 각 탱크에서 톤백형태로 배출되는 것을 원칙으로 함
- 3.2.6 단위기계에서 선별된 비정(상)립은 단위기계 하부에 설치된 수집탱크에서 1차 수집되어 비정(상)립 탱크로 이송될 때, 에너지 절약을 위해 임시수집탱크에는 상한 및 하한레벨게이지 또는 상한레벨게이지 및 타이머 등이 설치되어야 함
- 3.2.7 비정(상)립 탱크의 용량 및 개수는 원료조건, 생산제품 품위에 따른 비정(상)립의 발생량, 비정(상)립 활용 및 판매형태에 따라 최대 1일에 1회 이내의 배출횟수가 되도록 설치되어야 하며, 각 탱크에는 레벨게이지가 설치되어 재고량이 제어실에서 파악될 수 있어야 함
- 3.2.8 현미부의 입선별기 및 현미색채선별부에서 발생하는 비정립을 소형 정미기를 이용하여 싸라기로 가공할 때에는 비정립 탱크에서 톤백 등으로 배출할 수 있는 by-pass라인이 설치되는 것을 원칙으로 하며, 싸라기를 크기별로 선별할 필요가 있는 경우에는 비정상립 탱크상부에 별도의 체 선별기를 설치할 수 있음
- 3.2.9 부산물의 공기이송능력은 원료 및 제품생산계획을 충분히 고려하여 과대 및 과소 설계가 되지 않아야 함
- 3.2.10 가공부의 단위기계에서 선별되는 비정(상)립을 제외한 기타 이물질은 가공실에 방치되지 않도록 공기이송 및 컨베이어 등의 이송시설이나, 수작업으로 가공실 외부로 이송되어야 하며, 이 때 수집탱크 및 이송시설에서 이송과정중 이물질로 인해 가공실이 오염되지 않는 구조이어야 함

표 2-2-2-4. 부산물의 공기이송시스템에서 흡인식과 압송식의 공기이송특성(한국식품연구원, 2012)

구 분		곡물량 (kg/h)	관경 (D, mm)	혼합비 (m _a)	이송속도 (v, m/sec)	소요공기량 (Q _a , m ³ /min)	전압력손실 (mmAq)	이송시스템
흡인식	현미 비정립	500	30.4	8.21	15.85	0.93	2,197.0	Ring blower 1.75kW
	백미 싸라기			8.21	15.85	0.93	1,637.3	Ring blower 1.75kW
압송식	현미 비정립			89.9	2.25	0.085	13,434.1	Air compressor
	백미 싸라기			89.9	2.25	0.085	9,053.6	Air compressor

- 압송식은 ring blower를 사용하는 흡인식에 비해 소요공기량은 약 9.1%내외이나, 전압력손실은 611.5%로서 마찰로 인한 마모로 배관이 어렵고, 먼지가 많은 부산물(입선별기 하부 등)은 공기이송 저항이 커지므로 먼지제거용 aspirator의 설치가 필요한 단점이 있는 반면, 가공시설에 필요한 공기 압축기(air compressor) 용량의 일부 증대로 사용이 가능하고 설치비용의 절감 및 유지관리가 용이한 장점이 있어 압송식을 설계기준(안)으로 제시하였으며, 혼합비는 90, 기타 송풍량과 전압력손실은 현장여건에 맞도록 재계산하여 사용할 것을 권유하였음
- 그러나, 부산물 공기이송시스템 이외에 현미 및 백미이송용 공기이송시스템의 설계기준에 대해서는 현재까지 제시된 사례가 없음

(다) 국내 및 일본의 RPC로의 공기이송시스템 적용현황

① 국내 적용현황

- RPC에서 진공흡인식청소기를 제외한 공기이송시스템이 곡물의 이송에 활용된 역사는 정확하게 파악되지 않으나 강원도소재 A농협 RPC에서 벼 산물저장고에서 배출시 사용한 것이 최초의 사례일 것으로 추정되고 있으며, 2007년부터 시작된 2ndG RPC가 보급되면서 부산물의 공기이송 및 흡인식청소시스템에 널리 사용된 것으로 조사되고 있음

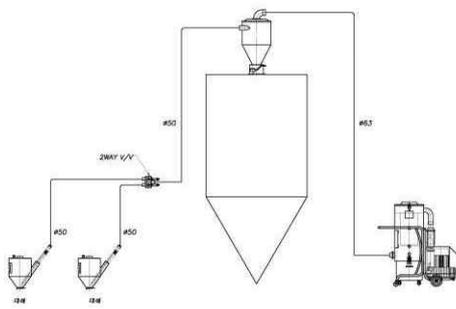


벼 산물저장고

벼 배출용 공기이송시스템

그림 2-2-2-1. A농협의 벼 산물저장고에서 벼 배출에 사용되는 공기이송시스템

- 일반적으로 2ndG RPC에 설치된 이송기기는 평균 55.1개이나 이중에서 공기이송은 부산물이송과 흡인식청소시스템에만 사용되고 있으며(한국식품연구원, 2010), 부산물공기이송장치는 부산물이 발생하는 단위기계(입선별기, 현미색채선별기, 로터리쉬프트, 백미색채선별기, 이물선별기, 완전미선별기 및 진동체선별기 등) 하부에 부산물수집탱크를 설치하고, 공기이송시스템으로 부산물탱크로 부산물을 이송하는 형태로서, 자동화를 위해 부산물수집탱크에는 내부청소용 점검구, 상한 레벨게이지 및 timer가 부착되어 있고, 부산물탱크는 야간작업의 최소화를 위해 약 3일 이상 생산되는 부산물을 저장할 수 있도록 용량으로 설치하고 있음
- 2ndG RPC에서 공기이송시스템은 품질저하의 우려가 없는 현미비정립, 백미 싸라기 및 불량품 등 부산물의 공기이송에만 한정적으로 사용되고 있는 반면, 현미 및 백미 등 공기이송과정 중 품질변화가 발생할 수 있는 곡물은 대상으로 하지 않으며, 공기이송방법도 2ndG RPC 보급초기에는 각 부산물탱크 1개당 1대의 ring blower를 설치해야하는 흡인식이 주로 사용되었으나, 한국식품연구원의 연구결과가 발표되기 시작한 2010년부터는 압송식이 보급되고 있음



개념도



부산물수집탱크

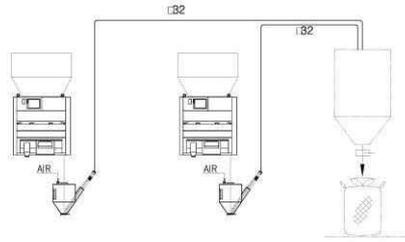


부산물탱크



Ring blower

그림 2-2-2-2. 2ndG RPC 보급초기에 설치된 흡인식 공기이송시스템



개념도



부산물수집탱크



부산물탱크



Air compressor

그림 2-2-2-3. 2010년 이후 2ndG RPC에 설치된 압송식 공기이송시스템

표 2-2-2-5. 2ndG RPC에서 부산물 공기이송방식의 연도별 변화

년도	공기이송시스템 방식별 채용한 2 nd G RPC	
	흡인식	압송식
2007	경기안성, 충북진천, 충남연기, 충남부여, 전북정읍, 전북고창, 전남함평, 전남해남(옥천)	-
2008	충남예산, 전북서김제, 전남보성, 경북의성, 경기이천남부, 전남장흥(정남진), 경북상주(상주), 전북군산제회	
2009	강원횡성, 전북익산, 전남영암, 경북경주, 경남김해, 충남당진(신평), 전북남원(남원), 경남의령(의령), 경북안동(서안동)	
2010		경기여주, 충북음성, 충남공주, 전남영광, 전남무안, 경남함양(함양), 전남나주봉황, 경북김천건양
2011		충북청원, 충북충주, 충남서산(운산), 경북포항(홍해), 경북의성삼안
2012		충남보령, 전북임실, 충남서천, 충북청원광복
2013		인천강화, 경기과주, 전북익산명천
2014		충남당진(송악), 전북김제새만금
2015		경북예천, 경남창녕, 전북김제이택, 전북부안라이스프라자

- 2ndG RPC를 설계하는 본 연구과제의 위탁연구/참여기업인 대주종합기술단 및 협동엔지니어링의 부산물이송시스템 설계 내부 자료에 대해 조사한 결과, 일반적으로 부산물은 미숙립, 큰 싸라기, 작은 싸라기, 색채선별기불량품(분상질립) 및 이물선별기불량품 등으로 구분하고, 처리능력은 가공능력 5ton/hr 1라인 당 약 800~900kg/hr 이송능력을 갖도록 다음과 같이 설계하는 것으로 조사되었으며, 다음은 실제 충북청원 소재 2ndG B RPC에 적용된 사례를 나타낸 것임

표 2-2-2-6. 2ndG RPC의 설계회사에서 부산물 공기이송시스템 설계시 일반적인 적용조건

구 분	압 송 식	흡 입 식
수송방식	고농도 수송방식	저농도 수송방식
고압공기원	Air compressor	Ring blower, Roots blower
공기압력	2.5~7(kg/cm ²)	0.2~0.5(kg/cm ²)
수송속도	2~3m/sec	5~15 m/sec

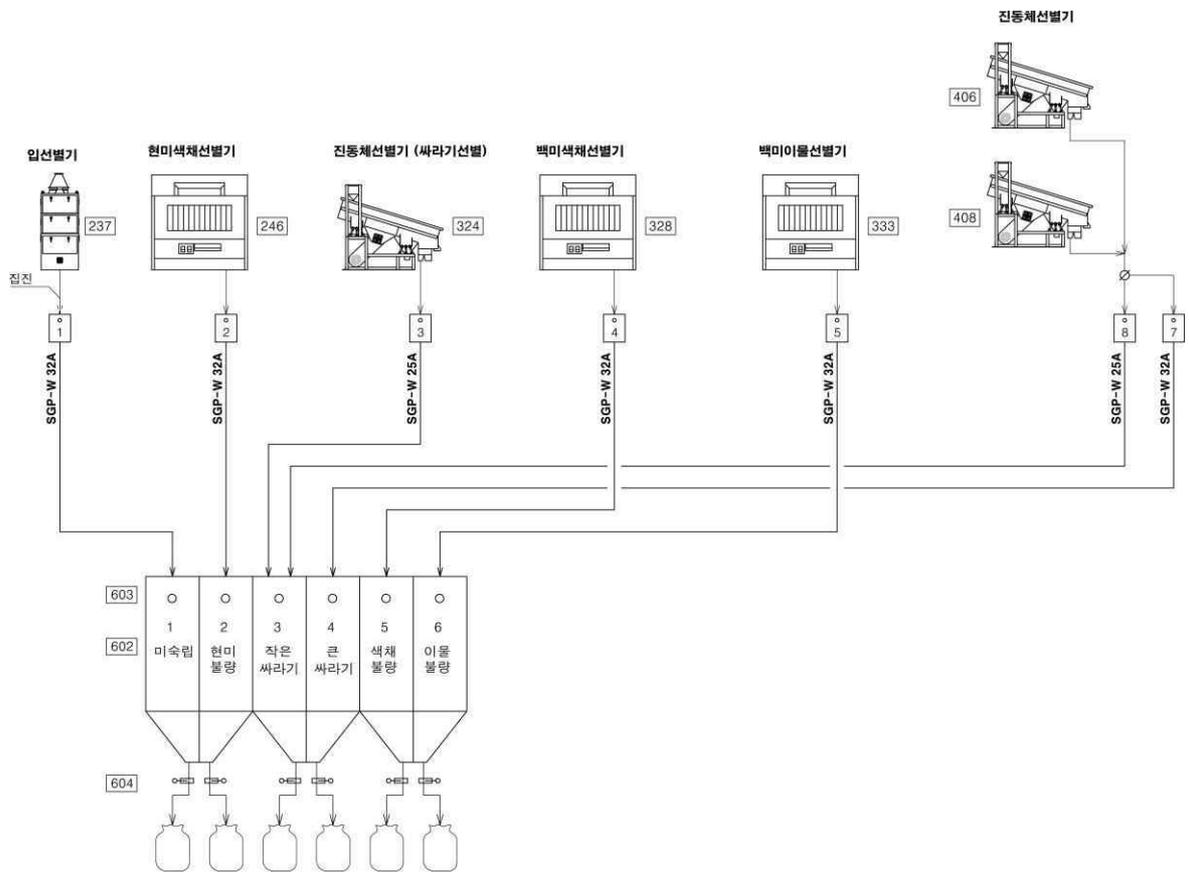


그림 2-2-2-4. 2ndG RPC의 가공능력 5ton/hr에 적용되는 압송식 부산물공기이송라인 공정도

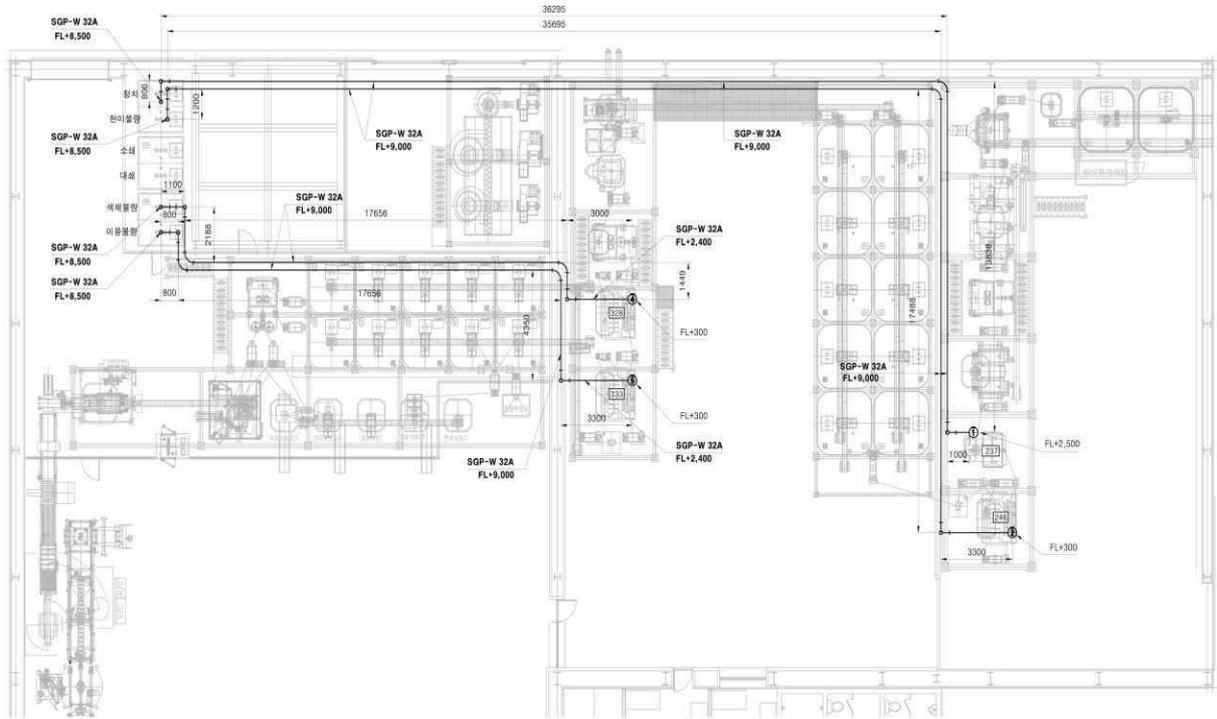


그림 2-2-2-5. 2ndG RPC의 가공능력 5ton/hr에 적용되는 압송식 부산물 공기이송라인 평면도

표 2-2-2-7. 2ndG RPC의 가공능력 5ton/hr에 적용되는 압송식 부산물공기이송시스템의 주요사항

부산물	이송량 (kg/hr)	혼합비 (m)	이송속도 (m/sec)	소요공기량 (m ³ /min)	배관크기	비고
미숙립	600	100	3	0.08	SGP-W 32A	
현미불량	600	100	3	0.08	SGP-W 32A	
작은 싸라기	400	100	3	0.08	SGP-W 25A	
큰 싸라기	600	100	3	0.08	SGP-W 32A	
색채선별기 불량품	600	100	3	0.08	SGP-W 32A	
이물선별기 불량품	600	100	3	0.08	SGP-W 32A	

표 2-2-2-8. 2ndG RPC의 가공능력 5ton/hr에 적용되는 압송식 부산물공기이송시스템 압력손실 계산

라인분류	직경 (m)	덕트면적 (m ²)	이송속도 (m/s)	송풍량 Q(m ³ /min)	속도압 (mmAq)	직관 압력손실 (mmAq/m)	길이 (m)	elbow	압력손실
흡입구	0.033	0.0009	3	0.008	55.65	33.73	1.00		33.73
직관	0.033	0.0009	3	0.008	50.14	121.56	50.00		6077.92
elbow 1	0.100	0.0079	3	0.008	50.14			0.2	10.03
elbow 2	0.100	0.0079	3	0.008	50.14			0.2	10.03
elbow 3	0.100	0.0079	3	0.008	50.14			0.2	10.03
elbow 4	0.100	0.0079	3	0.008	50.14			0.2	10.03
elbow 5	0.100	0.0079	3	0.008	50.14			0.2	10.03
elbow 6	0.100	0.0079	3	0.008	50.14			0.2	10.03
합계									6171.82

- 전술한 바와 같이 2ndG RPC에는 부산물의 이송을 위한 흡인식 및 압송식 공기이송시스템이 적용되어 왔고, 한국식품연구원(2010~2013)의 연구결과를 이용한 설계기준(안)도 제안되어 2010년 이후부터 압송식 공기이송시스템이 부산물의 이송에 사용되고 있으나, 아직까지 현미 및 백미에 공기이송시스템이 성공적으로 적용된 사례는 찾아볼 수 없었음
- 한국식품연구원(2012)에서는 일부 2ndG RPC에서 시도되었던 부산물 이송용 흡인식 공기이송시스템을 이용하여 백미를 이송하였을 때 품질변화를 측정된 결과, 함수율은 약 0.6% 감소하였고, 동할율은 0.8%가 증가하였으며, 찌라기 함량은 1.1%가 증가하였으며, 일부 백화현상까지 발생하는 등 전체적으로 품질저하가 현저하여 백미이송에는 사용이 어려우며, 백미이송을 위해서는 별도의 공기이송시스템 개발이 필요하다고 보고하였음

표 2-2-2-9. 2ndG RPC 부산물용 흡인식 공기이송시스템 백미 이송 품질비교(한국식품연구원, 2012)

구 분	함수율 (%)	동할율 (%)	찌라기율 (%)	백 도	색 도		
					L	a	b
통과전	15.6	7.6	1.6	38.1	69.3	-0.7	12.8
통과후	15.0	8.4	2.7	39.0	70.3	-0.7	12.4
증 감	-0.6	+0.8	+1.1	+0.9	+1.0	0.0	-0.4

② 일본의 적용현황

- 쌀 공기이송시스템을 개발하여 정미공장에 설치하고 있는 Satake사와, 공기이송시스템이 설치되어 있는 정미공장을 본 연구의 참여기업인 대주종합기술단 및 협동엔지니어링 등 RPC설계회사와 공동으로 현지 조사하였고, 조사기간은 2017. 1. 16~ 20(4박 5일)이었으며, 조사대상은 Satake본사 및 산하 佐竹鐵工株式會社(廣島縣 東廣島市 소재)와, 伊丹産業株式會社(사이타마현 鶴ヶ島市 소재) 등이었음



(사이타마현 鶴ヶ島市の 伊丹産業株式會社)



(Satake Corp.와 佐竹鐵工株式會社)

그림 2-2-2-6. 일본 공기이송시스템 운영기술 현지조사

- 일본에서는 2002년부터 쌀에도 안전·안심시스템이 적용되면서 혼곡이 엄격하게 금지되었고, 통상 정미공장(현미를 매입하여 백미로 가공하여 판매)이 고층(高層)구조로서 1층에서 현미를 투입한 다음, 최상층으로 현미를 공기이송한 후 자동낙하에 의해 원료를 공급하면서 가공하는 형태로서, 원료 현미의 이송과, 생산된 백미의 이송에 주로 공기이송이 사용되고 있으며, 정미공장의 세대구분에서 공기이송시스템이 보급되기 시작한 2007년부터를 제 4세대 정미공장으로 구분하고 있음

표 2-2-2-10. 일본 정미공장의 세대별 특징(Satake Corp. 2007)

세대	연도	주요특징	비고
1세대	1961~	대형화(평균 12.6톤/시간)	
2세대	1978~	단위기계(정미기)자동화	
3세대	2002~	안전성(안전안심시스템)	
4세대	2007~	공기이송, 공장생산/운영자동관리	



현미 및 백미공기이송



Roots blower 및 온습도조절



사이클론 리시버

그림 2-2-2-7. 일본 정미공장에 일반적으로 설치되어 있는 공기이송시스템

- 쌀의 공기이송시스템의 설계기술은 일본에서 개발되어 정미공장에 도입되어 있는 기술로서, 백미 이송 방법 중에서 초기 비용 및 운영비용이 제일 적은 것은 승강기와 컨베이어로 구성하는 것이지만 이물 혼입, 다품종소량, lot 전환시간 등에 따른 고객의 요구로 쌀의 공기이송시스템이 일본의 정미공장에는 2006년부터 적용되기 시작하였으며, 현지 수요가 증가하고 있는 추세로 조사되었음
- 2000년에는 벨러, 2004~2005년 경 히타치 엔지니어링에서 한 개의 root blower로 3개의 이송라인으로 공기를 보내는 방식으로 쌀의 공기이송시스템을 개발하였으나, 라인 하나에서 문제가 생기면 이송공기의 불균일한 분배가 발생하여 전체 시스템에서 싸라기 등이 많이 발생하는 문제가 있어 현재 해당 업체에서는 공기이송시스템 사업을 계속하지 않은 상황으로 조사되었음
- 공기이송시스템은 설치공간의 제약으로부터 비교적 자유롭게 설계가 가능하여 자유도가 있는 편이나, 이송배관이 복잡할 경우 쌀의 품질이 저하되는 문제가 있기 때문에 이송배관의 설계는 최대한 단순하게 하여, 쌀이 직선으로 이송되도록 이송배관을 설계하는 것이 중요하였음
- 쌀을 공기로 이송하므로 쌀이 건조해지거나 표면의 균열, 수침 균열이 증가하는 문제를 방지하기 위해 이송공기의 온습도를 조절하여 쌀의 품질 저하를 방지하여야 하며, 공기이송시스템에는 흡인방식과 압송방식이 있는데 대량처리를 위해서는 압송방식이 적합하나 공기의 온도가 올라가기 쉬워 백미의 경우 냉각장치를 설치하고, 겨울철 건조한 공기로 인한 품질 저하를 방지하기 위해 가습장치를 설치하는 것이 필요하였음
- 공기이송용의 배관 연결부에 단차가 있으면 쌀 손상이 심하므로 배관 내부의 흠집이나 단차를 없애는 것이 중요하며, 배관 연결부에서의 용접을 정밀하게 하여야 하고 공기이송 시스템 공사 시에도 치수관리를 철저히 하여 접합부의 단차를 없애는 것이 필요하였음

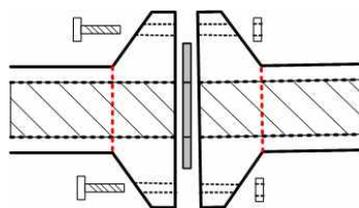


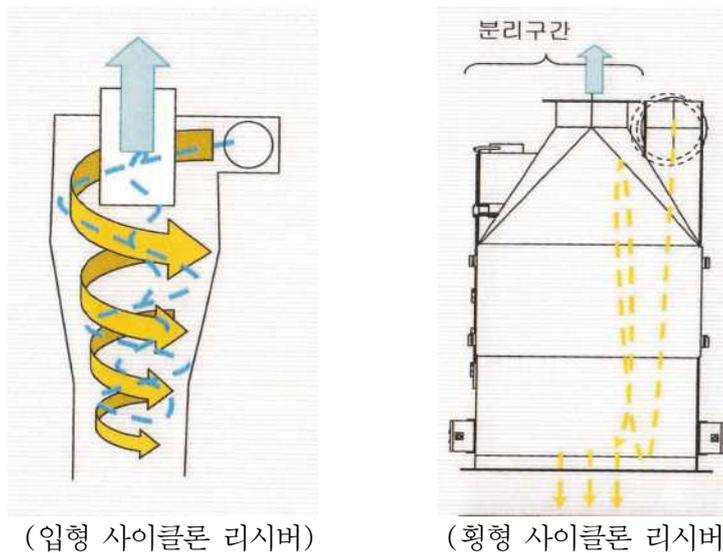
그림 2-2-2-8. 공기이송 배관의 연결 단면도

- 쌀 투입호퍼에는 2개의 레벨센서를 부착하여 원활한 원료공급이 되도록 하고 있는데, 투입호퍼에 원료가 없는 경우 슈트를 통해 원료가 공급되면 미강이 발생하게 되므로 원료량이 적을 경우 원료 공급이 중단되지 않도록 호퍼의 로터리밸브 속도를 인버터로 조정할 수 있도록 구성되어 있었음
- 공기이송 중에는 공기이송 배관 내부 압력이 호퍼 내 압력보다 높아서 배관 내 공기가 로터리밸브를 통해 투입호퍼로 역으로 누설되어 고압 공기에 의해 쌀 손상이 발생하는 것을 방지하기 위하여 누설 공기 이동통로로 호퍼 내 공간을 구획하고, 누설공기는 곡물투입 측 흡입공기와 함께 집진덕트로 흡입되도록 칸막이 틈새를 설치하는 것이 필요하였으며, 이 때 집진 덕트 흡입공기의 양은 4m³/min 수준이었음



그림 2-2-2-9. 공기이송시스템의 투입호퍼

- 공기이송시스템의 최후단에는 고속으로 이송되는 쌀을 손상 없이 탱크로 위치하도록 사이클론 리시버를 설치하는데, 기존에 사용되는 일반적인 입형 사이클론의 경우 싸라기 발생이 많고 미강 부착량이 많은데 비해, Satake Corp.에서 개발한 횡형 사이클론 리시버는 사이클론과 쌀의 접촉시간이 짧아 싸라기 발생율이 적고 측면에서 눈으로 확인이 가능하기 때문에 유지보수가 간단하다고 하였음



(입형 사이클론 리시버)

(횡형 사이클론 리시버)

그림 2-2-2-10. 입형 사이클론 리시버와 횡형 사이클론 리시버

- 백미 공기이송장치의 냉각장치는 기존의 공랭식 열교환 방식과 달리 냉각효과가 높은 수냉식 열교환 방식을 채택하고 있었는데, 물에 적셔진 필터를 공기가 투과하면서 물을 기화하여 가습되는 방식의 기화식 가습장치로서, 가습장치에 공급되는 물은 수돗물이며 필터가 막힐 수 있기 때문에 연수기를 사용하고, 추가적인 살균장치는 없었음
- 공기이송시스템의 중요한 제어변수중 하나는 원료와 공기의 이송비로서, 이송비에 따라 저농도, 중농도, 고농도 이송상태가 결정되며, 이송비가 적절하지 않으면 쌀의 품질이 저하될 수 있으므로 적정 이송비의 선정 및 운영이 대단히 중요함
- Satake Corp.에서는 공기이송시스템을 저농도, 중농도 및 고농도로 구분하고, 현미 및 백미이송에는 중농도가 적합하다고 하였으며, 이 때 고압공기원으로는 roots blower, 공기속도는 20~25m/sec, 혼합비(쌀중량/공기중량, kg/kg)는 10~15, 압력은 0~50kPa(0~8,157mmAq)수준을 제시하였으며, 공기이송시스템으로 이송 후 품질은 기계식 이송시스템으로 이송한 경우에 비해 낮지 않았으나, 운전 경비는 약 7배 정도가 높게 나타났다고 보고하였으나, 이때 고압공기의 온도 및 상대습도조건, reducer 등에 대해서는 know-how로 설계조건이 공개되지 않고 있음

표 2-2-2-11. 이송비에 따른 제어 조건

구 분	저농도 이송	중농도 이송	고농도 이송
공기원	루츠 송풍기 등	루츠 송풍기 등	에어 컴프레서 등
공기속도(m/s)	18 ~ 30	20 ~ 25	1 ~ 6
최대이송비	5 ~ 10	10 ~ 15	100
이송 압력(kPa)	0 ~ 80	0 ~ 58	0 ~ 400

표 2-2-2-12. 일본 Satake Corp.에서 측정한 백미 이송방법에 따른 품질변화

		수분(%)	싸라기(%)	수침균열(%)		곡물온도(℃)
				500립	예비립	
기계식 이송	이송 전	14.30	0.81	0.1	22	34.6
	이송 후	14.31	0.81	0.1	27	33.3
	변화량	0.01	0.00	0.0	5	-1.3
공기 이송	이송 전	14.41	0.73	0.1	21	34.6
	이송 후	14.27	0.75	0.1	20	32.1
	변화량	-0.14	0.02	0.0	-1.0	-2.5

표 2-2-2-13. 공기이송 시스템의 소비동력 비교(Satake, Japan)

구 분	이송능력(ton/hr)	동력(kW)	소비동력(kWh)
기계식 이송	8.0	3.4	2.38
공기이송		16.7	16.59

- 저농도 이송에서는 공기의 속도가 쌀의 속도보다 크게 나타나 산물밀도가 작아서 쌀의 충격이 커지는 문제와, 고농도 이송에서는 균일한 이송이 어렵고, 동력도 많이 소요되므로 공기속도와 쌀의 속도가 비슷하게 나타나 쌀의 충격이 상대적으로 적은 농도 이송비를 채택하고 있다고 하였으며, 고농도는 주로 제분공장에서 많이 사용한다고 함
- 추운 지역(0~5℃)에서 현미를 공기이송한 다음 도정하면 찌라기 발생이 감소하는데 온도가 낮으면 쌀의 강도가 상승하기 때문이라고 하였으며, 백미를 공기이송하면 백도가 0.5~1.0% 상승되므로 당초 도정도를 다소 낮출 수 있는 장점도 있다고 주장하였으며, 백미 공기이송 시 습식연미기 직후에는 백미 표면수분이 다소 높으므로 정미기 후단에 로터리시프트를 통과한 다음 공기이송을 실시하면 찌라기 발생을 줄일 수 있는 것으로 조사되었음
- 조사한 일본의 도정공장은 5층 건물로서 공기이송을 통해 최상층으로 현미가 반입되면 아래층으로 자연낙하에 의해 슈트로 이송되면서 선별, 도정, 및 포장과정을 거치게 설치되어 있었으며, 일반적으로 산업용 공기이송시스템은 다수의 투입부로부터 다수의 토출부로 유동적으로 이송가능하게 설치하지만, 쌀을 대상으로 할 경우에는 미세한 변화도 품질에 영향을 미칠 수 있으므로 하나의 라인에 하나의 시스템만 설치하여 운영하고 있는 것으로 조사되었음



(공기이송 투입 호퍼)



(배관 및 점검장)



(송풍팬)



(냉각장치 및 가습장치)

그림 2-2-2-11. 일본 도정공장 내 공기이송시스템의 세부 장치

나. 현미 및 백미 이송용 공기이송시스템 설계

(1) 설계방법

- 현미 및 백미 이송용 공기이송시스템의 설계에서 설계인자는 고압공기원, 공기속도, 최대혼합비, 송풍량, 배관경, 배관길이, elbow개수, 전정압강하, 고압공기 온도, 고압공기 상대습도 및 냉각/가열/가수시스템 능력 등이며, 이 중에서 ㉠ 처리능력 및 현장여건에 따라 결정되는 것은 배관길이, elbow 개수, 전정압강하, 냉각/가열/가수시스템 능력 등이며, ㉡ 실험을 통해 구명해야 할 인자는 고압공기 온도, 고압공기 상대습도, 공기속도 및 최대혼합비 등이며, ㉢ 이들 측정결과로 최종적으로 구명해야 할 인자로는 공기속도, 배관경, 전정압강하, 송풍량, 고압공기원 및 냉각/가열/가수시스템 능력 등임
- 따라서 본 연구에서는 광역통합 RPC에 사용이 가능한 규모의 현미 및 백미 이송용 공기이송시스템 관련기술 확보를 위해 현재까지의 국내의 기술조사결과를 바탕으로 현미 및 백미 공용 공기이송시스템을 설계하고자 하였으며, 설계 내용을 바탕으로 시작품을 제작하여 실험을 통해 설계인자를 구명하고, 관련기술을 확보하며, 설계기준(안)을 정립하여 보급체계를 구축할 예정임
- 설계규모는 2ndG RPC는 물론, 광역통합 RPC에서 백미가공라인의 1라인별 처리능력 기준이 5ton/hr 임을 감안하여, 공기이송시스템의 목표 이송량은 백미 5ton/hr로 하였고, 한국식품연구원(2013)의 부산물에 대한 선행연구 및 2ndG RPC 조사사례 등을 준용하여 다음 그림과 같이 고압공기원, 고압공기의 온도 및 상대습도 조절부, 송풍량조절부, 호퍼, 사이클론 등으로 구성된 백미 이송용 공기이송시스템의 개요도를 작성하였음
- 이 때 각 세부 설계인자의 구명을 위해 시작품 제작용의 설계에는 수직배관길이는 20m, 수평배관길이는 10m로 하였으며, 혼합비는 Satake Corp.에서는 중농도를 기준으로 하였으나, 본 연구에서는 냉각/가열/가수시스템의 설계기준 도출 및 이송실험의 가변성을 높이기 위하여 저농도 수준인 7.5(kg/kg)을 기준으로 하였으며, 백미투입용 투입호퍼에 부착된 rotary valve에 변속모터를 설치하여 혼합비를 조절할 수 있도록 하였음
- 배출부는 RPC 집진장치에 주로 사용되는 cyclone 형태를 사용하는 것으로 하고, 향후 실험을 통해 보완하였으며, 세부적인 부분은 Klinzing 등(2010) 및 Mills(2003)의 방법에 준하여 설계하였음

표 2-2-2-14. 백미 이송용 공기이송시스템 설계를 위한 기본 설계조건 설정

구 분	기본설계 조건	비 고
백미 이송량(ton/hr)	5	
혼합비(kg/kg)	7.5	
수직배관길이(m)	20	
수평배관길이(m)	10	

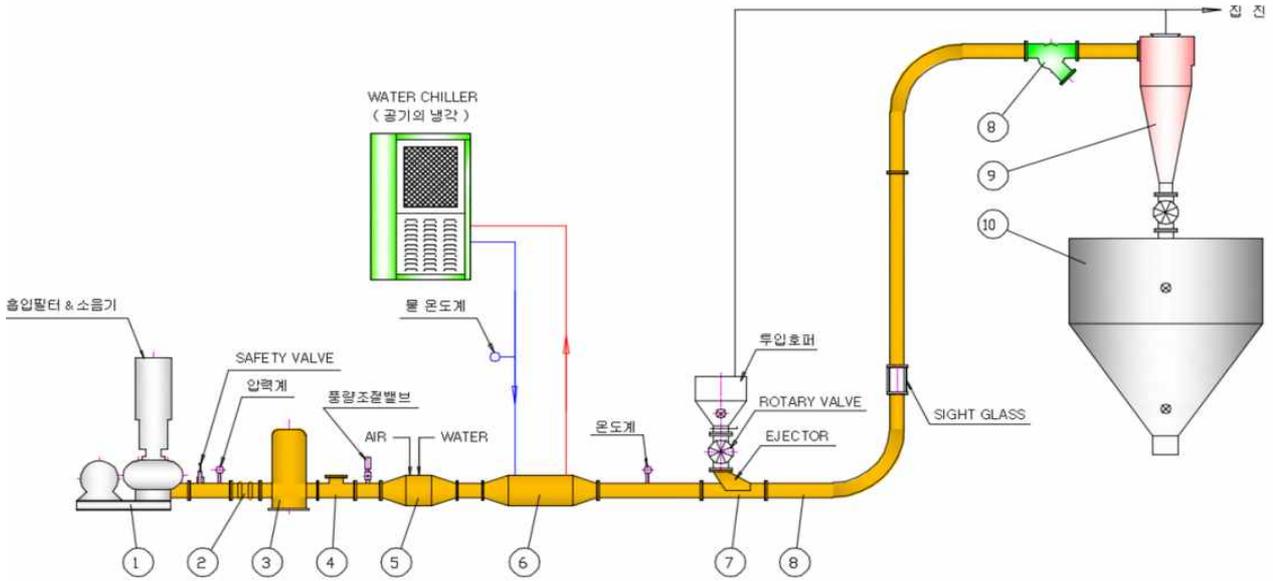


그림 2-2-2-12. 개발하려는 백미이송용 공기이송시스템 개요도

- ① Roots blower unit, ② Flexible joint, ③ Silencer, ④ Check valve, ⑤ 가습장치(기화냉각), ⑥ 냉각장치(공기의 냉각), ⑦ 공급장치, ⑧ 이송 배관, ⑨ Two way valve, ⑩ Cyclon, ⑪ 백미 탱크

(2) 결과 및 고찰

(가) 배관경, 공기속도 및 송풍량

- 공기속도는 혼합비와 백미 이송량 및 배관경과 밀접한 관계가 있는데, 공기속도가 최소이송속도 이하로 내려갈 경우 이송대상이 배관 내에 쌓이기 시작해 배관을 막아버리거나, 최악의 경우 배관의 파열이나 고압공기원의 고장으로 연결될 수 있으므로 공기이송시스템의 설계 및 안정적인 운영을 위해서는 최소이송속도 이상으로 공기속도를 유지하여야 함
- 본 연구에서는 최소공기속도는 혼합비와 프루드 수(Fr, Froude-Number)로 나타나는 다음 식 (2-2-2-1)인 The Rizk equation을 이용하여 구하였는데, 여기서 프루드 수는 무차원계수로서 관 성력과 중력의 비를 의미하며, 현재의 유속에서 중력의 영향정도를 나타냄에 따라, 수평 속도가 빠를 수록 프루드 수는 증가하게 되는데, 쌀의 입자크기 3mm일 때, $\delta = 6.28$, $\chi = 5.8$ 이며, 식 (2-2-2-1)로부터 다음 식(2-2-2-2)와 같이 프루드 수를 구하면, 17.125이 됨

$$\mu = \left(\frac{1}{10^\delta} \right) \left(\frac{v_{a,s}}{\sqrt{gD}} \right)^\chi = \left(\frac{1}{10^\delta} \right) Fr^\chi \quad \dots\dots\dots (2-2-2-1)$$

여기서, μ : 혼합비(kg/kg)

$v_{a,s}$: 최소공기속도(m/sec)

Fr : 프루드 수

g : 중력(9.8m/sec²)

D : 배관경(m)

$$\delta = 1.44d + 1.96$$

$$\chi = 1.1d + 2.5$$

d : 쌀의 입자크기(mm)

$$Fr = (10^\delta \times \mu)^{\frac{1}{\chi}} = (10^{6.28} \times 7.5)^{\frac{1}{5.8}} = 17.125 \dots\dots\dots (2-2-2-2)$$

○ 기본 설계조건에서 백미 이송량은 5ton/hr으로 혼합비와 백미 이송량을 이용하여 식 (2-2-2-3)에서 공기질량유량을 구하면 0.18kg/sec가 되며, 실제공기속도는 공기질량유량과 배관경의 관계로 나타내어질 수 있으며 식 (2-2-2-4)와 같고, 식 (2-2-2-1), (2-2-2-2), (2-2-2-3), (2-2-2-4)로부터 식 (2-2-2-5)와 같이 배관경을 구하면 0.105m이었음

$$m_a = \frac{m_s}{\mu} = \frac{5}{7.5} = 0.667 = 0.18kg/s \dots\dots\dots (2-2-2-3)$$

여기서, m_a : 공기질량유량(kg/sec)

m_s : 백미 이송량(kg/sec, 5ton/hr)

μ : 혼합비(kg/kg, 7.5)

$$V_a = \frac{4m_a}{\rho\pi D^2} \dots\dots\dots (2-2-2-4)$$

여기서, v_a : 실제공기속도(m/sec)

m_a : 공기질량유량(kg/sec)

ρ : 공기밀도(kg/m³)(표준대기압과 온도 20°C 조건)

D : 배관경(m)

$$D = \left(\frac{4m_a}{\pi g^{0.5} Fr \rho} \right)^{0.4} = \left(\frac{0.407s/m^{0.5} \cdot 0.18kg/s}{17.125 \times 1.2kg/m^3} \right)^{0.4} = 0.105m \dots\dots (2-2-2-5)$$

여기서, D : 배관경(m)

$v_{a,s}$: 최소공기속도(m/sec)

m_a : 공기질량유량(kg/sec)

g : 중력(9.8m/sec²)

Fr : 프루드 수

ρ : 공기밀도(kg/m³)

- 실제 사용할 배관경은 제조되는 관경을 고려하여 계산된 배관경 0.105m에 가까운 0.1m를 선택하였으며, $Fr=17.125$, $g=9.81m/s^2$, $D=0.1m$ 일 때, 식(2-2-2-1)을 이용하여 다음 식(2-2-2-6)과 같이 최소공기속도를 구하면 16.96m/sec임

$$v_{a,s} = Fr \sqrt{gD} = 17.125 \sqrt{9.81 \times 0.1} = 16.96m/sec \dots\dots\dots (2-2-2-6)$$

여기서, $v_{a,s}$: 최소공기속도(m/sec)

Fr : 프루드 수

g : 중력($9.8m/sec^2$)

D : 배관경(m)

- 배관경의 계산치 0.105m를 이용하여 식(2-2-2-4)로 구한 공기속도는 19.1m/sec가 되어 식(2-2-2-6)에서 구한 최소공기속도의 16.96m/sec의 약 112%수준으로서, 오차율을 20%라고 가정할 때 안정적인 속도를 위해 최소공기속도의 120%가 되도록 공기속도를 증가시킬 경우 최소공기속도는 20.4m/sec 이상이 되도록 파이프 지름을 다시 설계하거나, 기본설계조건외 이송비를 감소시켜야 함
- 그러나, 공기속도를 20.4m/sec 이상으로 유지하기 위해서는 배관경은 0.96m가 되어 일반적인 치수가 아니므로 기본설계조건외 이송비를 감소하는 쪽으로 재조정하여 지름 0.1m에서 공기속도를 증가시키는 방향으로 설계하면, 공기속도 20.4m/sec일 때 위의 과정을 반복하여 혼합비 $\mu=7.2$, $Fr=17.01$, $V_{a,s}=16.85m/sec$ 를 얻었으며, 공기속도 V_a 는 $V_{a,s}$ 에 비해 121%로 나타나 오차율 20%를 감당할 수 있는 수준으로 나타났으며, 이 때 송풍량 즉, 체적유량은 $9.61m^3/min$ 가 됨

표 2-2-2-15. 백미이송용 공기이송시스템의 초기 설계조건을 이용하여 계산한 설계치

구 분	기본설계 조건	설계치	비 고
백미 이송량(ton/hr)	5	5	
혼합비(kg/kg)	7.5	7.2	
수직배관길이(m)	20	20	
수평배관길이(m)	10	10	
배관경(m)	-	0.1	
공기속도(m/sec)	-	20.4	
송풍량(m ³ /min)	-	9.61	

(나) 총 정압강하량

- 공기이송시스템에서의 발생하는 정압강하는 단일공기 이송시의 직선배관 내 정압강하, 이송배관으로 유입된 쌀을 가속함에 따른 정압강하, 쌀의 충돌·마찰 등에 따른 정압강하, 수직배관에서 중력에 의한 양력(揚力, lift)의 정압강하, 굽힘·입출구에서의 정압강하, 사이클론에서의 정압강하 등이 있으며, 이들 각 정압강하의 합이 다음 식(2-2-2-7)과 같이 총 정압강하량이 되며, 본 연구에서는 사이클론의 정압강하를 1 kPa인 102mmAq로 가정하였음

$$\Delta p = \Delta p_l + \Delta p_a + \Delta p_z + \Delta p_g + \Delta p_b + \Delta p_c \dots\dots\dots (2-2-2-7)$$

여기서, Δp : 총 정압강하량(mmAq)

Δp_l : 단일공기 이송시의 직선배관 내 정압강하(mmAq)

Δp_a : 이송배관으로 유입된 쌀을 가속함에 따른 정압강하(mmAq)

Δp_z : 쌀의 충돌·마찰 등에 따른 정압강하(mmAq)

Δp_g : 수직배관에서 중력에 의한 양(lift)력의 정압강하(mmAq)

Δp_b : 굽힘·입출구에서의 정압강하(mmAq)

Δp_c : 사이클론에서의 정압강하(mmAq)

- 단일공기 이송시의 배관내 정압강하 Δp_l 을 구하기 위해 유동의 상태가 층류인지 난류인지 판단하고, 마찰계수를 구하기 위해 다음 식(2-2-2-8)과 같이 레이놀즈 수(Reynold number)를 구한 결과, 135099로 나타났으며, $Re > 10^5$ 이므로 난류상태로서, 난류일 때 마찰계수(Darcy friction factor f)를 다음 식(2-2-2-9)과 같이 Colebrook equation을 이용하여 구하였음
- ϵ 는 배관의 거칠기(m)로서 공기이송배관 재질을 STS(stainless steel)로 가정할 때, 배관의 표면거칠기는 $0.15 \times 10^{-3}m$ 이며, Colebrook equation는 일반적인 계산방법으로 값을 구할 수 없어 trial and error방식으로 구하거나 프로그램을 이용해서 계산하므로 본 연구에서는 공학용 계산 웹사이트(www.engineeringtoolbox.com)에서 구하였으며, $f=0.0232$ 로 나타났음

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{20.4m/sec \times 0.1m}{15.1 \times 10^{-6}m^2/sec} = 135099 \dots\dots\dots (2-2-2-8)$$

여기서, Re : 레이놀즈 수(-)

V : 공기속도(m/sec)

D : 배관경(m)

ν : 동점성계수(m^2/sec)(표준대기압과 온도 20°C 조건)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7D_h} + \frac{2.5}{Re \sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots (2-2-2-9)$$

여기서, f : 마찰계수(Darcy friction factor)

ε : 배관의 거칠기(m)

D_h : 배관경(m)

Re : 레이놀즈 수(-)

- 수직배관 20m 및 수평배관 10m 등 총 30m에서 압축성 단일공기를 이송할 때 배관내 정압강하 Δp_l 는 다음 식(2-2-2-10)을 이용하며, $Re > 10,000$ 조건에서 마찰계수 λ_L 를 0.02로 가정한다고 하였으며, 이와 같이 계산한 결과 152.9mmAq로 나타났고 배관 1m당 정압강하는 5.1mmAq/m로서 일반적인 집진덕트 직관부에서의 정압강하 0.1mmAq/m보다 대단히 높은 값을 나타내었음

$$\begin{aligned} \Delta p_l &= \frac{\lambda_L \rho L V^2}{2D} \dots\dots\dots (2-2-2-10) \\ &= \frac{0.02 \times 1.2 \times 0.3 \times 20.4^2}{2 \times 0.1} = 1498 Pa = 152.9 mmAq \end{aligned}$$

여기서, Δp_l : 단일공기 이송시의 배관 내 정압강하(mmAq)

λ_L : 마찰계수 ≈ 0.02 ($Re > 10,000$ 일 때)

L : 직선배관길이 = 30m

ρ : 공기밀도(kg/m³) = 1.2

V : 풍속(m/sec)

D : 배관경(m)

- 90° 굽힘(Bend)에서의 정압강하 $\Delta p_{b,90}$ 은 식(2-2-2-11)과 같이 구할 수 있으며, k 값은 다음 그림 2-8로부터 얻을 수 있고, 부드러운 거칠기 배관($f=0.0045$)으로 가정해 k 값이 제일 작은 구간은 D/d 값이 7.5~15일 때이고 되도록 급격한 굽힘이 없도록 15로 가정하면 D=1.5m이고, 굽힘 1개에서의 정압강하가 2.55mmAq이며, 2개이므로 90° 굽힘(Bend)에서의 정압강하량은 5.1mmAq로 나타났음

$$\Delta p_{b,90} = k \frac{\rho V_a^2}{2} = 0.1 \frac{1.2 kg/m^3 (20.4 m/sec)^2}{2} = 25 Pa = 2.55 mmAq \dots\dots\dots (2-2-2-11)$$

여기서, $\Delta p_{b,90}$: 90° 굽힘(Bend)에서의 정압강하 (mmAq)

k : 계수

ρ : 공기밀도(kg/m³)(표준대기압과 온도 20°C 조건)

v_a : 실제공기속도(m/sec)

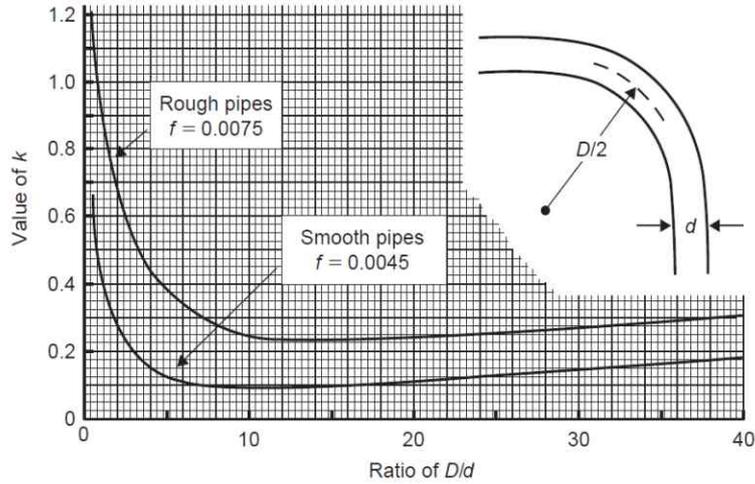


그림 2-2-2-13. 굽힘 배관에서의 정압강하 계수(Mills, 2003)

○ 배관의 입·출구에서의 정압강하 $\Delta p_{b,ie}$ 는 식(2-2-2-12)와 같이 구할 수 있으며, 여기서 k값은 그림 2-2-2-14와 같다고 가정할 때, 입·출구에서의 k의 합은 1.5이므로, 배관의 입·출구에서의 정압강하량은 38.2mmAq 로 나타났음

$$\Delta p_{b,ie} = k \frac{\rho V_a^2}{2} = 1.5 \frac{1.2 \text{ kg/m}^3 (20.4 \text{ m/s})^2}{2} = 375 \text{ Pa} = 38.2 \text{ mmAq} \dots\dots\dots (2-2-2-12)$$

여기서, $\Delta p_{b,ie}$: 배관의 입·출구에서의 정압강하(mmAq)

k : 계수

ρ : 공기밀도(kg/m^3)(표준대기압과 온도 20°C 조건)

v_a : 실제공기속도(m/sec)

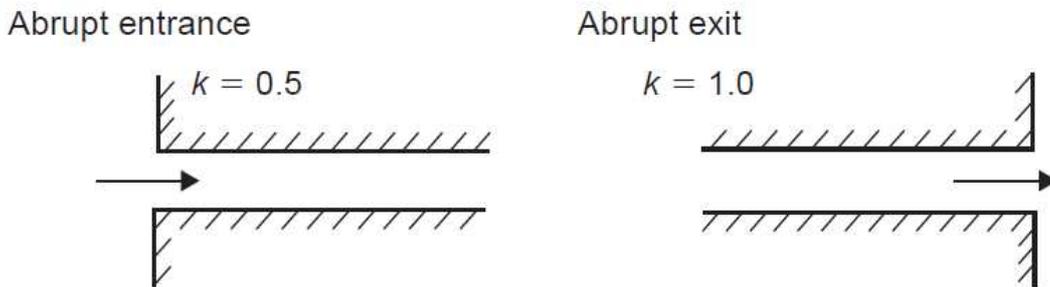


그림 2-2-2-14. 배관 입출구에서의 정압강하 계수(Mills, 2003)

- 직선배관 30m에서 곡물의 충돌·마찰 등에 따른 정압강하 Δp_z 는 식(2-2-2-13)과 같이 구할 수 있으며, 여기서 정압강하 계수 λ_z 는 그림 2-2-2-15를 이용하여 선정하면 0.01이므로 직선배관 30m에서 곡물의 충돌·마찰 등에 따른 정압강하량은 549.9mmAq가 됨

$$\Delta p_z = \mu \lambda_z \frac{\rho}{2} v_a^2 \frac{L}{D} = 7.2 \times 0.01 \frac{1.2 \text{kg/m}^3}{2} (20.4 \text{m/s})^2 \frac{30 \text{m}}{0.1 \text{m}} = 5.393 \text{kPa} = 549.9 \text{mmAq} \quad (2-2-2-13)$$

여기서, Δp_z : 곡물의 충돌·마찰 등에 따른 정압강하 (mmAq)

μ : 혼합비(kg/kg)

λ_z : 정압강하 계수

ρ : 공기밀도(kg/m³)(표준대기압과 온도 20°C 조건)

v_a : 실제공기속도(m/sec)

L : 직선배관길이

D : 배관경(m)

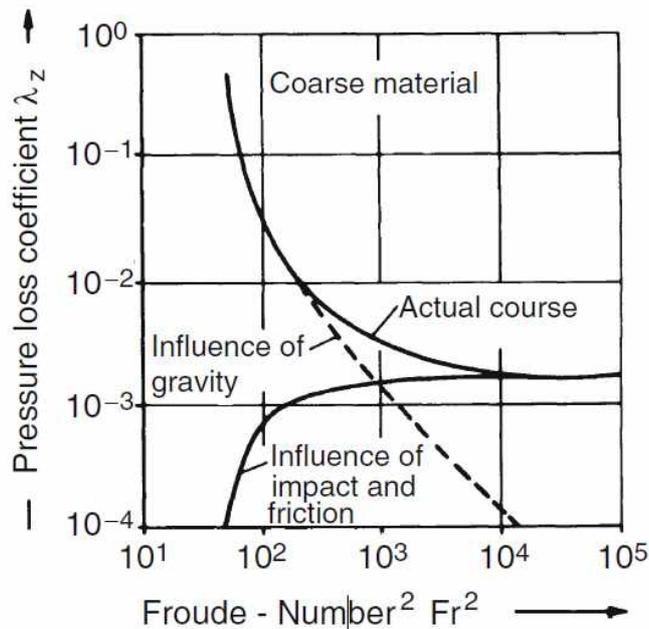


그림 2-2-2-15. 굵힘 배관에서의 정압강하 계수(Klinzing 등, 2010)

- 수직배관에서의 중력에 의한 양력의 정압강하 Δp_g 는 식(2-2-2-14)으로 구할 수 있으며, 이 때 c는 쌀의 속도로서 공기유동 내에서 실제 쌀의 속도가 어떻게 되는지는 실험적으로 구해야하지만 본 연구에서는 유사형상의 물질에서의 c/v 값을 구하여 사용하였으며, 그림 2-2-2-16으로부터 c/v를 구한 결과 0.5수준이었으며, 수직배관에서의 중력에 의한 양력의 정압강하량은 346.1mmAq이었음

$$\rho^* = \frac{\mu\rho}{c/v} = \frac{7.2(1.2\text{kg/m}^3)}{0.5} = 17.3 \dots\dots\dots (2-2-2-14)$$

$$\Delta p_g = \rho^* g \Delta z = (17.3)(9.81)(20) = 3394\text{Pa} = 346.1\text{mmAq} \dots\dots\dots (2-2-2-15)$$

여기서, ρ^* : bulk density(kg/m³)

μ : 혼합비(kg/kg)

ρ : 공기밀도(kg/m³)(표준대기압과 온도 20°C 조건)

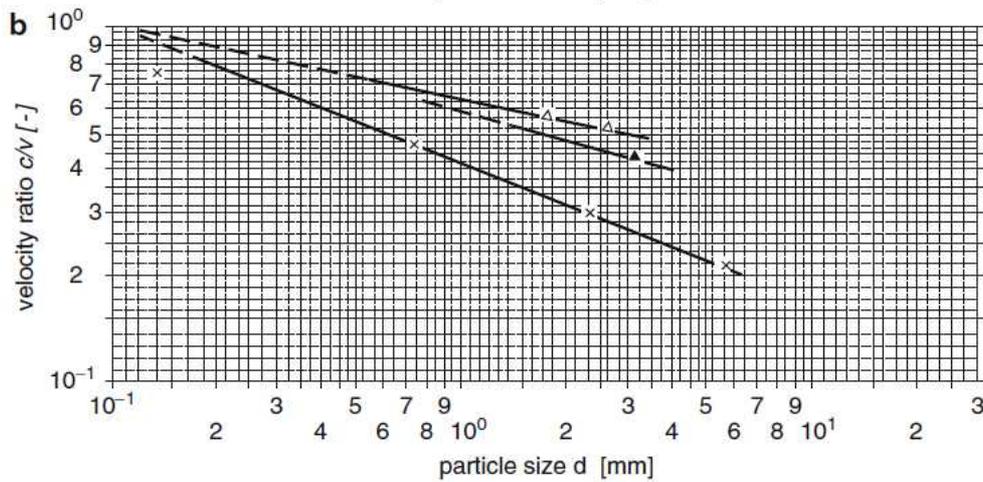
c : 쌀의 속도(m/sec)

v : 실제공기속도(m/sec)

Δp_g : 수직배관에서의 중력에 의한 양력의 정압강하(mmAq)

g : 중력(9.81m/sec²)

Δz : 수직높이(m)



<u>Product :</u>	<u>Density of solids</u>	<u>Particle shape :</u>
△ Polystyrol - 475 K	1050 kg/m ³	oval - cyl
▲ Polystyrol - 168 N	1695 kg/m ³	oval - cyl
× Styropor	1050 kg/m ³	sphere

그림 2-2-2-16. 입자 크기에 따른 속도비(Klinzing 등, 2010)

○ 이송배관으로 유입된 쌀을 가속함에 따른 정압강하량 Δp_a 는 다음 식(2-2-2-16)으로 구할 수 있는데, 이 때 쌀의 속도는 $c/v=0.5$ 에서 공기속도가 20.4m/sec이므로 쌀의 속도 10.2m/sec에서 정압강하량은 183mmAq로 나타났음

$$\Delta p_a = \mu\rho c = 7.2(20.4\text{m/s})(1.2\text{kg/m}^3)(10.2\text{m/s}) = 1798\text{Pa} = 183\text{mmAq} \dots\dots (2-2-2-16)$$

여기서, Δp_a : 곡물 가속에 따른 정압강하(mmAq)

μ : 혼합비(kg/kg)

v : 실제공기속도(m/sec)

ρ : 공기밀도(kg/m³)(표준대기압과 온도 20°C 조건)

c : 찰의 속도(m/sec)

- 따라서 수평길이 10m, 수직길이 20m, 배관경 0.1m, 굽힘 2개의 설계조건하에서 총 정압강하량은 다음 식(2-2-2-17)과 같이 1825.9mmAq로 나타났음

$$\Delta p = 152.9 + 43.3 + 549.9 + 346.1 + 183 + 102 = 1377.2 \text{ mmAq} \dots\dots\dots (2-2-2-17)$$

(다) 고압공기원

- 본 연구에서 5ton/hr의 백미를 30m의 이송관으로 공기이송하는 조건으로 선행연구 결과를 바탕으로 설계인자를 구한 결과, 배관경은 0.1m, 공기속도는 20.4m/sec, 송풍량은 9.61m³/min수준이었으며, 이 때 총 정압강하량은 1825.9mmAq로 나타났으며, 이 조건에 적합한 고압공기원으로 시판되고 있는 루츠브로워(Roots blower)을 선정하였음
- 선정된 roots blower는 정압조건 0.2kgf/cm²(2,000mmAq)에서 모터회전수 1150RPM일 때, 13.22m³/min의 공기유량을 갖는 HP125 모델이었으며, 소요동력은 7.9kW 수준이었음

표 2-2-2-16. 백미 5ton/hr의 공기이송시스템 고압공기원인 root blower 선정(<http://hkblower.co.kr>)

MODEL	DIA	RPM	Suction Air Volume Qa(m ³ /min) & Required Shaft Power La(kw) at Each Discharge Pressure																							
			0.1kgf/cm ²		0.2kgf/cm ²		0.3kgf/cm ²		0.4kgf/cm ²		0.5kgf/cm ²		0.6kgf/cm ²		0.7kgf/cm ²		0.8kgf/cm ²		0.9kgf/cm ²		1.0kgf/cm ²					
			Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La		
HP50	50A	1450	1.88	1.0	1.64	1.4	1.47	1.8	1.30	2.2	1.15	2.6	1.02	3.0	0.89	3.5										
		1750	2.44	1.1	2.20	1.6	2.02	2.1	1.86	2.6	1.70	3.1	1.57	3.6	1.46	4.1										
		2000	2.90	1.3	2.65	1.9	2.48	2.4	2.33	3.0	2.17	3.5	2.04	4.0	1.93	4.6										
HP65	65A	1450	2.39	1.2	2.05	1.7	1.81	2.3	1.59	2.8	1.42	3.4	1.28	4.1	1.17	4.9										
		1750	3.09	1.4	2.74	2.0	2.5	2.6	2.28	3.3	2.11	4.0	1.97	4.8	1.85	5.9										
		2000	3.65	1.5	3.31	2.2	3.07	2.9	2.85	3.7	2.68	4.4	2.54	5.2	2.43	6.1										
HP80	80A	1150	4.04	1.7	3.59	2.5	3.21	3.3	2.90	4.0	2.57	4.8	2.32	5.6	2.11	6.5										
		1450	5.52	1.9	5.08	3.0	4.7	4.0	4.38	5.1	4.07	6.2	3.82	7.3	3.62	8.4										
		1750	7.01	2.3	6.57	3.6	6.19	4.8	5.87	6.1	5.56	7.4	5.30	8.7	5.11	10.0										
HP100	100A	1150	5.44	2.0	4.99	3.1	4.61	4.1	4.28	5.2	3.98	6.3	3.72	7.4	3.49	8.5	3.30	9.6								
		1450	7.28	2.4	6.85	3.8	6.47	5.1	6.13	6.4	5.83	7.8	5.57	9.2	5.32	10.7	5.12	12.2								
		1750	9.13	2.8	8.69	4.5	8.31	6.2	7.98	7.9	7.67	9.5	7.41	11.2	7.20	12.9	6.97	14.6								
HP125	125A	1150	14.05	4.1	13.22	6.6	12.49	9.1	11.86	11.6	11.45	14.1	10.93	16.6	10.51	19.1	10.20	22.0	9.98	25.5						
		1450	18.45	5.0	17.58	8.1	16.93	11.2	16.28	14.4	15.74	17.5	15.30	21.0	14.87	24.0	14.54	27.5	14.32	31.0						
		1750	22.79	6.0	21.92	9.7	21.27	13.4	20.62	17.1	20.08	21.1	19.64	25.1	19.32	29.1	19.0	33.5	18.67	38.0						
HP150	150A	1150	25.6	6.1	22.4	10.1	21.3	14.2	20.5	18.2	19.8	23.0	19.0	27.0	18.5	34.0	17.8	38.0	17.4	43.0	16.9	49.0				
		1450	30.4	7.5	29.2	12.5	28.2	17.6	27.5	23.0	26.7	28.0	26.0	33.0	25.4	40.0	24.7	48.0	24.3	57.0	21.5	67.0				
		1750	37.8	9.8	36.6	16.3	35.6	23.0	34.8	29.0	34.1	35.0	33.3	43.0	32.8	49.0	32.2	54.0	31.7	66.0	31.0	73.0				
HP200S	200S	970	42.6	10.8	41.6	18.2	40.4	26	39.4	33	38.4	41	37.4	48	36.7	55	36.0	63	35.4	75						
		1150	50.6	12.2	49.4	21	47.8	30	46.7	39	45.5	48	44.4	60	43.5	69	42.9	76	42.3	83						
		1450	65.3	15.6	64.1	27	62.6	39	61.4	51	60.3	62	59.3	74	58.4	85	57.7	97	57.1	110						

(라) 냉각/가열/가수시스템 용량 선정

- 백미의 공기이송 중 건조로 인한 수분증발이나, 흡습으로 인한 표면균열발생 및 유통성저하를 방지하기 위하여 root blower에서 발생한 고압공기의 온도 및 상대습도의 제어를 위해 필요한 시스템이 냉각/가열/가수시스템임
- 전술한바와 같이 공기속도는 20.4m/sec이고, 백미의 속도는 10.2m/sec인 상태에서 이송거리가 약 30m정도일 경우 이송에 소요되는 시간은 약 2.94sec에 불과하므로, 이 단시간에 백미에서의 흡습 및 방습의 정도에 대해 정확하게 예측이 어렵고, 공기속도도 20.4m/sec로서 대단히 빠르므로 단시간 내에 고압공기의 냉각 및 가수의 가능성에 대해서도 판단하기가 용이하지 않음
- 따라서 본 연구에서는 충분한 용량의 냉각/가열/가수시스템을 설계하여 현장실험을 통해 보완할 계획을 갖고, RPC에 대한 GAP시설기준을 준용하여 음용수에 해당하는 수도수를 냉각/가열/가수시스템의 가수 및 열원으로 사용하는 것으로 가정하였으며, 설계조건은 이송되는 백미 함수율은 15%, 이송시스템으로 유입된 백미의 곡온은 25℃로 가정하였고, 냉각수 온도를 15℃, 이송공기 온도를 20℃로 하였음
- 곡온 25℃, 함수율 15%인 백미에 대해 공기온도 25℃에서 평형상대습도는 Keum 등(2000)의 방습 평형함수율식인 식(2-2-2-18) 및 식(2-2-2-19)와, 습량기준환산식인 식(2-2-2-20) 및 식(2-2-2-21)를 이용하여 구한 결과, 평형상대습도는 71.9%수준이었음

$$M = 0.01 \left[\frac{\ln(1 - RH)}{-K(T + C)} \right]^{\frac{1}{N}} \dots\dots\dots (2-2-2-18)$$

$$RH = 1 - \exp \left[-K(T + C) \left(\frac{M}{0.01} \right)^N \right] \dots\dots\dots (2-2-2-19)$$

여기서, M : 평형함수율(소수, d.b.)

RH : 상대습도(소수)

T : 온도(℃)

K=0.00007836

C=13.058

N=2.1581

$$\text{습량기준 함수율}(\%, w.b.) = \frac{100 \times \text{건량기준 함수율}(\%, d.b.)}{100 + \text{건량기준 함수율}(\%, d.b.)} \dots\dots\dots (2-2-2-20)$$

$$\text{건량기준 함수율}(\%, d.b.) = \frac{100 \times \text{습량기준 함수율}(\%, w.b.)}{100 - \text{습량기준 함수율}(\%, w.b.)} \dots\dots\dots (2-2-2-21)$$

- 외기 온/습도범위는 전국에서 평균기온이 높은 지역과 낮은 지역인 거제와 철원의 월 별 평균기온, 평균습도를 기준으로 하였으며, 해당 지역에서의 월별 평균기온과 상대습도에서 목표 온/습도 조건으

로 공기이송시스템에 공기를 공급하기 위해서는 동절기에는 공기가열 및 가습, 하절기에는 냉각이 각각 필요하므로 시스템의 설계를 위해 냉각 및 가열부하와 가수량을 계산하였음

- 해당 지역에서의 월별 냉각부하는 풍량(V_{air}), 밀도(d_{air}) 및 엔탈피차이로 다음 식(2-2-2-22)를 이용하여 계산하였으며, 외기 평균기온이 목표온도 20℃보다 높은 월에 한해서 표시하였으며, 가열부하는 질량과 비열 및 온도차이를 이용하여 다음 식(2-2-2-23)로 구했으며, 가수량은 온도와 상대습도의 함수로 나타낼 수 있는 습도비(W) 차이 및 건공기 질량을 이용하여 다음 식(2-2-2-25)을 이용하여 계산하였음

$$Q_c = V_{air} d_{air} (h_{i_n} - h_{out}) \dots\dots\dots (2-2-2-22)$$

$$Q_h = V_{air} d_{air} c_p (T_{out} - T_{i_n}) \dots\dots\dots (2-2-2-23)$$

$$W_{\in} = \frac{m_{water}}{m_{dryair}} \rightarrow m_{dryair} = \frac{m_{water}}{W_{i_n}} \dots\dots\dots (2-2-2-24)$$

$$m_{addwater} = m_{dryair} (W_{out} - W_{i_n}) \dots\dots\dots (2-2-2-25)$$

- 철원지역에서 최대 냉각부하는 8월에 2,461kcal/hr으로 나타났으며, 최대 가열/가수량은 1월에 4,257kcal/hr, 6.14kg/hr이었으며, 거제지역에서 최대 냉각부하는 8월에 3,022kcal/hr, 최대 가열/가수량은 1월에 2926kcal/hr, 5.59kg/hr로 각각 나타났으며, 이러한 냉각 및 가열부하, 가수량에 맞도록 수도수를 이용한 온습도조절장치를 설계하였음

표 2-2-2-17. 철원지역에서 연중 기온에 따른 필요 냉각 및 가열부하, 가수량

구 분	평균기온 (℃)	평균습도 (%)	냉각부하 (kcal/hr)	제습량 (kg/hr)	가열부하량 (kcal/hr)	가수량 (kg/hr)
1월	-5.5	68.9	-	-	4257	6.14
2월	-2.3	64.9	-	-	3725	5.87
3월	3.5	62.6	-	-	2762	5.17
4월	10.4	58.9	-	-	1611	4.09
5월	16.3	65.5	-	-	624.3	2.05
6월	20.8	72.1	376.1	0.40	-	-
7월	23.5	80.7	2358	2.90	-	-
8월	23.8	79.9	2461	2.99	-	-
9월	18.7	76.8	-	-	220.5	0.11
10월	11.5	72.9	-	-	1431	3.02
11월	4.1	71.1	-	-	2664	4.78
12월	-2.8	70.6	-	-	3809	5.81

표 2-2-2-18. 거제지역에서 연중 기온에 따른 필요 냉각 및 가열부하, 가수량

구 분	평균기온 (℃)	평균습도 (%)	냉각부하 (kcal/hr)	제습량 (kg/hr)	가열부하 (kcal/hr)	가수량 (kg/hr)
1월	2.5	53.6	-	-	2926	5.59
2월	4.3	53.4	-	-	2626	5.37
3월	8.2	56.5	-	-	1978	4.64
4월	13.2	59	-	-	1143	3.43
5월	17.5	65.2	-	-	422.3	1.65
6월	21	71.7	442.1	0.45	-	-
7월	24.3	78.1	2592	3.06	-	-
8월	25.6	74.6	3022	3.40	-	-
9월	21.9	70.9	809.2	0.80	-	-
10월	16.6	65.2	-	-	573.8	1.97
11월	10.3	61.2	-	-	1629	3.98
12월	4.7	55.4	-	-	2560	5.25

다. 공기이송시스템 1차 시작품 설계제작 및 성능평가

(1) 실험방법

- 본 연구의 조사결과에 근거하여 기본설계를 실시한 다음, 참여기업인 (주)iGSP와 약 5차례에 걸쳐 설계관련 회의를 실시하여 시작품의 처리능력, root blower 및 냉각장치 등 주요 유니트의 선정, 배관 내경 등을 결정하였음

표 2-2-2-19. 공기이송시스템 관련 (주)iGSP와의 회의 일정 및 내용

일 자	회 의 안 건
2016.09.06	· 공기이송시스템 2차년도 설계 및 제작 일정 협의
2016.11.24	· 공기이송시스템 용량 선정 및 송풍팬, 배관내경 등 주요인자 선정 관련 협의
2017.03.09	· 일본 내 공기이송시스템 기술 관련 협의 · 공기이송시스템 설계 관련 유의사항 논의 및 일정 협의
2017.04.19	· 공기이송시스템 최종 설계안 협의
2017.05.18	· 공기이송시스템 주요 센서 선정 및 설치 관련 협의



그림 2-2-2-17. (주)iGSP 본사에서 공기이송시스템 관련 회의 장면

- 설계에 따라 제작된 공기이송시스템 시작품을 (주)iGSP 현장실험동에 설치한 다음, 2017. 6. 5일부터 7일까지 3일간 공기이송시스템 시작품에 대한 1차 성능측정실험을 실시하였는데, 주요 실험내용은 공기이송시스템 시작품의 설치 이상 여부의 확인, 무부하 상태에서의 root blower의 풍속, 냉각장치의 냉각능력, root blower 통과시의 공기 온도 및 정압변화 등을 측정하였으며, 실제 백미 및 현미를 투입하여 이송능력 및 품질변화를 측정하였음
- 이를 위하여 냉각장치 연결 배관 전후에 센서 설치지점을 타공하여 센서를 배관 내 삽입 설치한 다음, 온/습도 풍속 및 정압을 풍속/정압계(Testo 480, Testo, Germany)를 이용하여 실시간으로 측정하였으며, 풍속측정부의 덕트 내경(54.9mm)과 측정된 풍속을 이용하여 송풍량을 계산하였고, 온/습도 센서(Testo 176H1, Testo, Germany)를 이용하여 냉각장치 전후의 온/습도를 실시간으로 측정하였음



(데이터 적산용 컴퓨터 세팅)



(공기이송시스템 컨트롤 패널 조작)



(실험 완료 후 시료 처리)



(시료 채취 작업)

그림 2-2-2-18. 공기이송시스템 시작품의 성능실험



그림 2-2-2-19. 공기이송시스템 시작품에 온습도, 풍속, 정압 측정센서가 설치된 모습

- 백도는 수작업으로 정립을 선별한 후 백도계(CR300-3, Kett, Japan)를 이용하여 3회 측정 후 평균값을 사용하였으며, 찌라기비율은 이송 전 백미와 이송 후 백미의 찌라기를 수작업으로 선별하고 각각 찌라기의 중량을 측정 후 다음 식으로 찌라기 비율을 계산하였으며, 함수율은 단립수분계(CTR-500EH, Hansung, Korea)를 이용하여 3회 반복 측정하였음

$$\text{찌라기비율}(\%) = \frac{\text{찌라기 중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (2-2-2-26)$$

- 동할율은 이물질을 제외한 정립을 대상으로 하여 총 250립을 동할립측정기(TX-200, Kett, Japan)로 측정하였고, 동할율을 다음 식과 같이 계산하였음

$$\text{동할율(\%)} = \frac{\text{동할립수}}{250} \times 100 \dots\dots\dots (2-2-2-27)$$

- 시료는 전북 익산 소재의 민간 RPC로부터 2017. 6. 1일에 도정한 2016년산 백미와 원료 현미를 구입하여 사용하였음

(2) 결과 및 고찰

① 공기이송시스템 시작품의 설계

- 시작품의 처리능력별 주요 설계인자의 계산결과를 토대로 (주)iGSP 현장실험동의 설치여건을 감안하여 백미기준 1ton/hr, 이송비는 중농도인 12.5 수준, 풍속 14.2m/sec로 하였고, 수직배관은 10m 전후, 수평배관은 20m 전후 등 총 30m전후로 하였으며, 배관경은 40mm 수준으로 결정하고 시작품을 설계하였음

표 2-2-2-20. 공기이송시스템의 처리량 및 이송비 선정

처리량	5ton/hr	2.5ton/hr	2.5ton/hr	1ton/hr	1ton/hr
예상이송비	저농도(7.5)	저농도(7.5)	중농도(12.5)	저농도(7.5)	중농도(12.5)
수직배관(m)	20	10	10	10	10
수평배관(m)	10	20	20	20	20
설계이송비	7.2	6.5	11.9	8	13
배관경(mm)	100	80	60	50	40
공기속도(m/s)	20.4	17.7	17.2	14.7	14.2
송풍량(m³/min)	9.61	5.34	2.92	1.74	1.07
배관 압력강하	153	144	181	159	185
굽힘 및 입출구	427	320	302	222	205
총돌, 마찰	5429	4588	10561	6254	11746
양력	3390	1530	2802	1884	3061
가속	1810	1224	2112	1042	1566
합계(Pa)	12554	9072	17552	10958	18393
합계(mmAq)	1281	926	1791	1118	1877

- 공기이송시스템의 시작품은 root blower, 기화장치, 냉각장치, 쌀 투입부, 이송배관, 사이클론 리시버 및 저장탱크 순으로 구성하고, root blower와 투입부 사이에 풍속 및 온/습도 센서를 설치하고, 수냉식 열교환기를 설치하여 항온수조로부터의 냉각수를 공급하여 공기를 냉각시키며, 실험 용이성을 고려하여 저장탱크와 투입호퍼를 연결하고 two-way valve를 통해 선택적으로 쌀이 투입호퍼로 재투입되거나, 외부로 배출되도록 구성하였음
- 배관의 굽힘부 등을 고려하여 설계된 공기이송시스템의 최대 높이는 7.044m, 수평 크기는 15.642m 이었고, 쌀 투입부부터 사이클론 리시버까지의 총 배관의 길이는 당초 설계치인 약 30m 수준이었으며, 세부 설계사항으로는 다음 표와 같았음

표 2-2-2-21. 공기이송시스템의 시작품의 세부 설계사항

번호	항 목	주요 설계내용	비고
1	처리능력	· 1ton/hr	
2	Root blower	· 압력강하 30kPa, 송풍량 1.1mm ³ /min · 인버터를 이용한 풍량 조절	
3	가습장치	· 기화식, 가습량 1.6kg/h · 연수기를 통과한 물사용 · 급/배수 밸브 및 배관 설치, 펌프에 인버터 등을 통해 유량 제어 가능	
4	냉각장치	· 냉각부하 750kcal/hr · 열교환기 유입 냉각수 측에 유량계 설치	
5	호퍼	· 누설 공기통로 설치 · 시료샘플링 및 시료 투입이 가능 · 유량제어밸브로 조절이 가능	
6	배관	· 관경 2S(2인치) · 설치각도 90° 지양으로 쌀의 충격방지 · 굽힘부는 최대한 곡선형(1000R이상)	
7	센서	· 가습기 전후단, 열교환기 전후단에 온도 및 속도 센서 설치 · 점검창은 시료 투입부 및 사이클론 리시버 전단 등 최소 2개소 이상 설치	

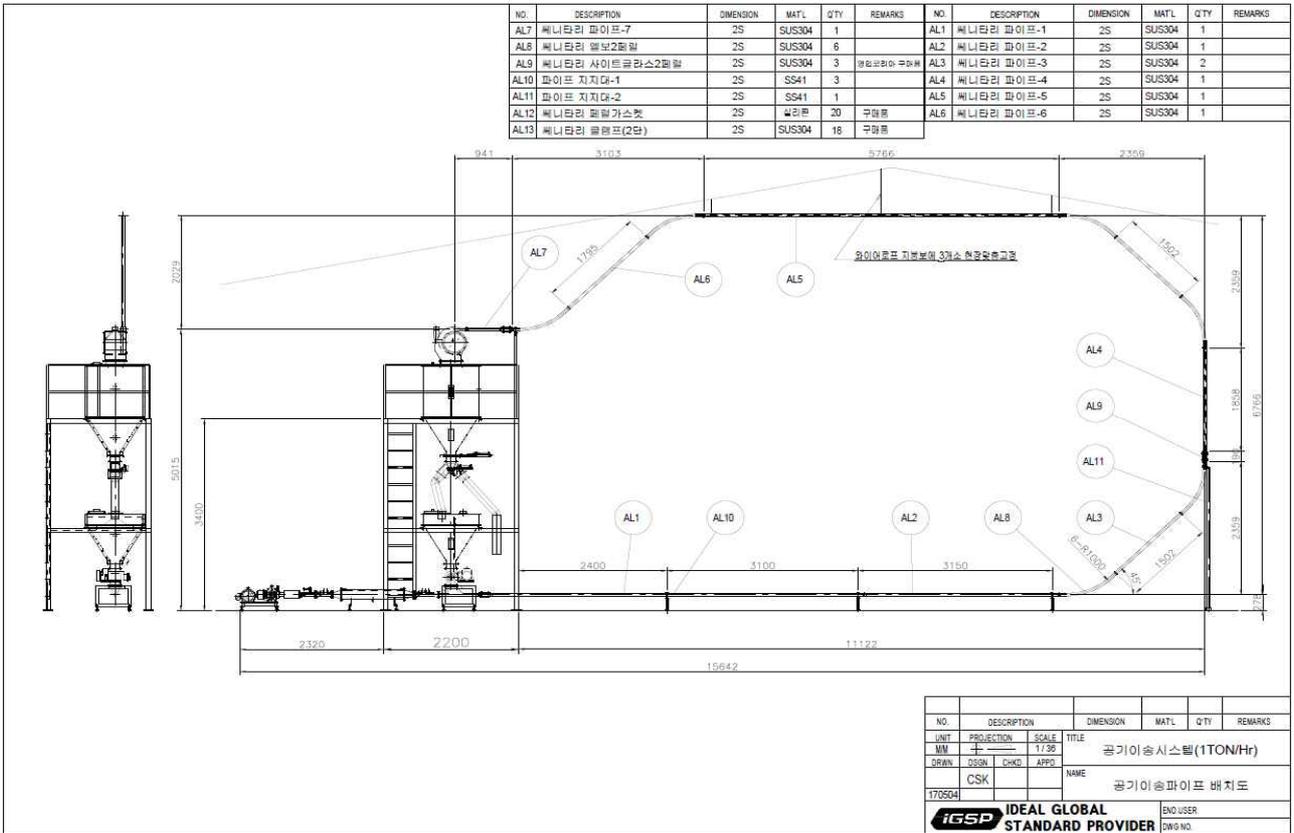


그림 2-2-2-20. 공기이송시스템 시작품 개략도

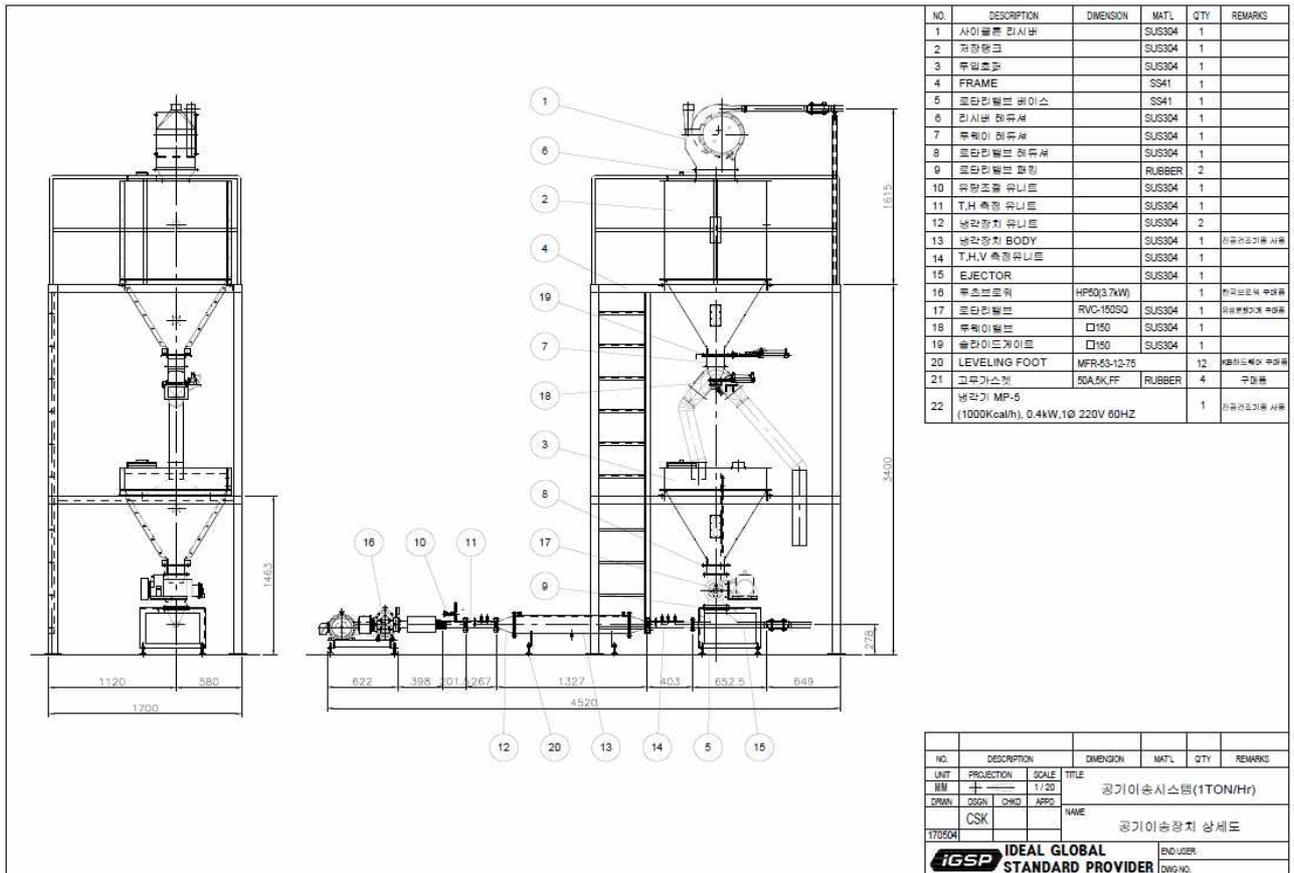


그림 2-2-2-21. 공기이송시스템 시작품 이송부 세부 배치도

② 공기이송시스템 시작품의 제작 설치

- 다음 그림은 (주)iGSP에 설치된 공기이송시스템 시작품으로서, 그림에서 알 수 있듯이 root blower, 냉각장치, 투입호퍼 및 배관 등으로 구성되었으며, (주)iGSP 현장실험동에 설치함에 따라 공간적인 제한이 있어 설치된 시작품은 실험공간에 적합한 규모로 설치하였음
- 일반적으로 RPC의 집진관 등의 설계에는 정압강하를 일반적으로 풍속 18m/sec(아연도강관)일 때 직관부는 0.1mmAq/m를 기준으로 하고, 엘보우 등 기타 지점에서의 정압강하는 경험치를 사용하고 있으며, 흡인식공기이송시스템 및 흡인식청소시스템에서 통상 ring blower수준을 사용하고 있음. 따라서 본 연구에서도 RPC에 통상적으로 사용되고 있는 ring blower의 공기이송시스템으로의 적용성도 검토하기 위하여 root blower이외에 ring blower를 준비하여 교체가 가능하도록 제작하였음
- 한편, 냉각장치는 일종의 대항류 물대공기 이중관 열교환기를 제작하여 설치하였으며, 냉각장치에 유입되는 냉각수 공급은 0.33RT급 소형 chiller(MP-5, 대호냉각기)를 이용하였으며 주요사양은 다음 표와 같았음



그림 2-2-2-22. 공기이송시스템 시작품의 전경 및 투입부



(root blower)



(ring blower)



(냉각장치)



(사이클론 리시버)

그림 2-2-2-23. 공기이송시스템 시작품의 주요장치

표 2-2-2-22. 공기이송시스템 시작품에 사용된 blower 세부사양

항목	Root blower	Ring blower	비 고
제조사	한국블로워	오무전기	
모델명	HP500	OV-15	
정격 회전수(rpm)	1750	3400	
소비전력(kW)	3.7	1.75	
송풍능력(m ³ /min)	1.5	4.4	
정압(mmAq)	4,000	2,050	

표 2-2-2-23. 공기이송시스템 냉각용 항온수조 세부사양

항 목	세부사양	비 고
제조사	대호냉각기	
모델명	MP-5	
전원	1PH 220V 60Hz	
순환 펌프 능력	10L/min	
물탱크 용량	8L	
냉각용량	1,000Kcal/hr	
소비전력	0.4kW	
냉매	R-134a (600g)	

③ Root blower를 적용한 공기이송시스템 시작품의 성능

- 다음 표는 root blower를 부착한 공기이송장치 시작품의 성능검사 결과를 나타낸 것으로서, 표에서 알 수 있듯이 백미를 투입하지 않은 상태인 무부하(無負荷) 조건의 root blower의 인버터주파수 최대 값인 60Hz에서 배관 내 풍속을 측정한 결과는 15.7m/sec로 나타났고, 백미를 투입하면 송풍저항 증가로 풍속이 14.8m/sec로 5.7% 감소하였으며, 인버터주파수 56Hz의 무부하 조건에서 풍속은 14.7m/sec였고, 백미를 투입하면 13.9m/sec로 5.4% 감소하였으며, 백미를 투입하여 풍속 14.8m/sec

일 때 송풍량은 2.1m³/min이었고, 투입호퍼 이후의 배관 내 압력강하 측정치가 370mmAq이었음

- Root blower 능력을 최대한으로 하고 백미를 투입하여 실험할 때, 외기공기의 온습도는 30.5℃, 21%RH이었으나, root blower를 통과한 이후의 공기 온습도는 42.9℃, 14.5%RH로서 온도는 약 12.4℃가 상승하였고, 상대습도는 6.5%RH가 감소하였으며, root blower 이후에 설치된 냉각장치 통과 후 공기 온습도는 27.8℃, 29.1%RH로서 냉각장치에서 온도는 약 15.1℃가 낮아졌고, 상대습도는 14.6%RH가 상승하였음
- 또한, 동일 조건에서 측정한 백미 이송량은 351.9kg/hr로서 목표 이송량 1,000kg/hr의 약 35% 수준이었고, 측정된 풍속은 14.8m/sec로서 설계풍속 14.2m/sec보다 오히려 높음에도 불구하고 이송비는 2.33으로 당초 목표치인 12.5에 비해 매우 낮게 나타났는데, 이는 투입 백미량을 증가시키면 송풍 저항이 증가하여 풍속이 저하하여 배관이 막히는데 원인이 있었으며, 이를 해결하기 위해서는 설계풍속을 증가하는 것이 필요하였으며, 2차 시작품 제작에는 root blower, 냉각 및 가습장치에서의 정압강하를 고려하여 root blower 용량을 증대시키는 것이 필요하였으며, 이를 위해서는 별도의 root blower와 가습장치만을 부착하여 성능실험을 실시하는 것이 필요하였음
- 동일조건에서 백미 이송 후 싸라기율은 1.12%로서 투입 시의 싸라기율 0.92%보다 약 0.2%가 증가하였고, root blower의 작동조건을 56Hz로 낮추어 이송실험을 실시한 결과 백미의 싸라기율은 0.36%가 증가하였는데, 송풍량이 감소하였는데 싸라기율이 증가하여 그 원인에 대해 재검토가 필요하였음

표 2-2-2-24. Root blower를 부착한 공기이송시스템 시작품 성능실험 결과

		이송특성											품질특성	
구분	인버터 주파수 (Hz)	풍속 (m/sec)	풍량 (m ³ /min)	정압 (mmAq)	외부공기		냉각장치 전		냉각장치 후		백미 이송량 (kg/hr)	이송비 (-)	싸라기율 (%)	
					온도 (℃)	습도 (%RH)	온도 (℃)	습도 (%RH)	온도 (℃)	습도 (%RH)				
무부하	1	60	15.7	2.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	56	14.7	2.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	52.6	13.7	1.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
백미이송	원료	-											0.92	
	1	60	15.0	2.13	370	30.4	21	41.3	14.8	26.5	29.8	266.5	1.74	-
	2	60	14.8	2.10	-	30.5	21	42.9	14.5	27.8	29.1	351.9	2.33	1.12
	3	56	13.9	1.97	347.5	30.1	25	41.3	16.8	28.4	30.8	200.9	1.41	1.28

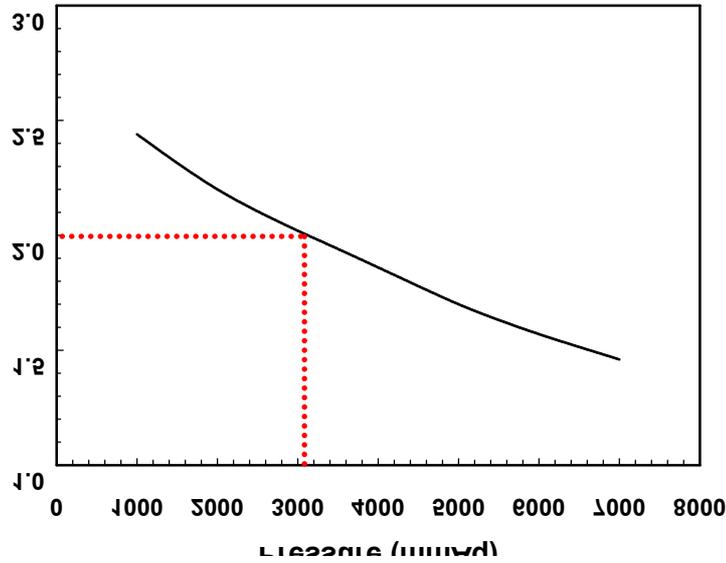


그림 2-2-2-24. 공기이송시스템 시작품 root blower의 성능곡선

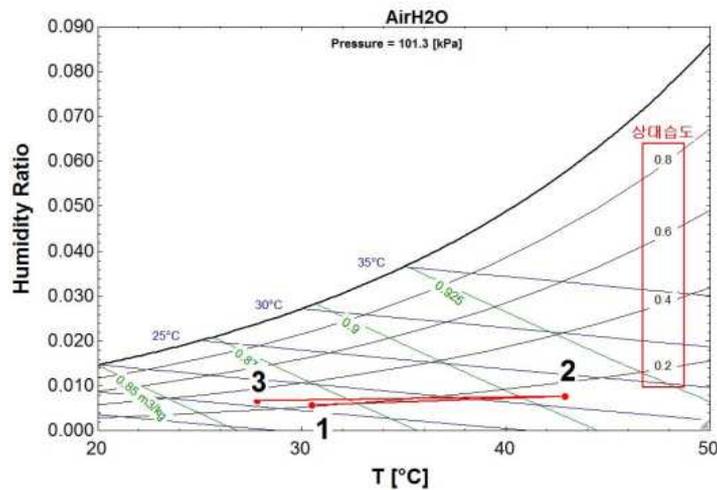


그림 2-2-2-25. 공기이송시스템 시작품의 각 통과지점에서의 온도변화
(1→2 : root blower, 2→3 : 냉각장치)

- 다음 표는 공기이송시스템 시작품의 root blower 능력을 최대로 하여 동일 백미를 5회 반복 이송하면서 품질변화를 측정한 결과로서, 표에서 알 수 있듯이 백미이송량은 328.4kg/hr이었고, 초기 함수율은 15.2%에서 14.7%까지 감소하여 1회 평균 0.1%정도가 감소하였고, 싸라기율은 0.73% 증가하여 1회 평균 0.146%가 증가하는 것으로 나타났으며, 이 때 풍속은 평균 14.9m/sec, 배관부 정압강하는 330mmAq 수준이었음
- 또한, 외부공기 온습도는 29.5°C, 30.0%RH이었고, root blower 통과후 공기온습도는 41.6°C, 18.6% RH로서 root blower에서 온도는 12.1°C상승하였고, 상대습도는 11.4%RH가 낮아졌으며, 냉각장치는 가동하지 않은 상태에서 물만 순환하여도 공기온도는 5.0°C정도 낮아졌고, 상대습도는 5.2%RH가 상승하였음

표 2-2-2-25. Root blower가 부착된 공기이송시스템 시작품을 이용한 반복이송실험 결과

이송특성												품질특성	
반복 회차	인버터 주파수 (Hz)	풍속 (m/sec)	정압 (mmAq)	외부공기		냉각장치 전		냉각장치 후		백미 이송량 (kg/hr)	이송비 (-)	함수율 (%)	싸라기율 (%)
				온도 (°C)	습도 (%RH)	온도 (°C)	습도 (%RH)	온도 (°C)	습도 (%RH)				
원료	-											15.2	0.99
1	60	15.2	331	29.8	29	41.0	18.8	35.0	25.0	292.7	1.88	15.1	1.30
2		15	-	29.6	30	41.6	18.6	36.1	24.3	282.1	1.84	15.0	1.46
3		14.8	-	29.5	30	41.7	18.5	36.9	23.6	359.1	2.37	14.9	1.64
4		14.7	-	29.4	31	41.8	18.5	37.3	23.3	359.1	2.39	14.7	1.68
5		14.8	-	29.4	30	41.9	18.4	37.8	22.7	349.0	2.31	14.7	1.72
평균		14.9		29.5	30.0	41.6	18.6	36.6	23.8	328.4	2.16	-	

④ Ring blower를 적용한 공기이송시스템 시작품 성능평가

- 무부하 상태에서 ring blower의 인버터 주파수를 변화시키면서 배관 길이를 달리하여 풍속과 정압을 측정하였는데 측정조건은 ㉠ 투입호퍼(그림에서 0지점과 1지점 사이 배관 연결), ㉡ 투입호퍼+수평 배관 9.3m(그림에서 0지점과 2지점 사이 배관 연결), ㉢ 투입호퍼+수평배관 9.3m+45°굽힘부(45°굽힘관 2개 및 배관 1.5m) (그림에서 0지점과 3지점 사이 배관 연결), ㉣ 전체 배관 연결 등 4가지 경우이었으며, ring blower에서의 정압강하는 동 모델에 대한 성능곡선의 입수가 불가능하여 측정하지 못하였음
- 측정한 결과는 다음의 표와 그림과 같았으며, b와 a의 차이값은 수평배관의 정압강하, c와 b의 차이는 45°굽힘부(45°굽힘관 2개 및 배관 1.5m)에서의 정압강하를 각각 나타냄에 따라, 풍속 20m/sec에서 45°굽힘부의 정압강하는 약 31mmAq이었으며, 수평배관 9.3m에서 정압강하는 138mmAq로서 1m당 정압강하는 14mmAq 정도를 나타내었음
- 이송량 1ton/hr 및 증농도 이송비(12.5)에서의 설계치인 배관경 40mm 및 풍속 14.2m/sec에서 직선 배관 내 압력강하는 185mmAq였고 m당 압력강하는 6.2mmAq/m였는데, 시작품의 배관경인 45mm와 풍속 20m/sec로 재계산하였을 때 m당 압력강하는 10.9mmAq/m로 나타났으며 측정치인 14mmAq에 비해 작게 나타났으나, 시작품의 직선배관은 배관 사이에 연결부가 존재하여 연결부에서의 추가적인 압력강하가 발생하기 때문으로 판단됨

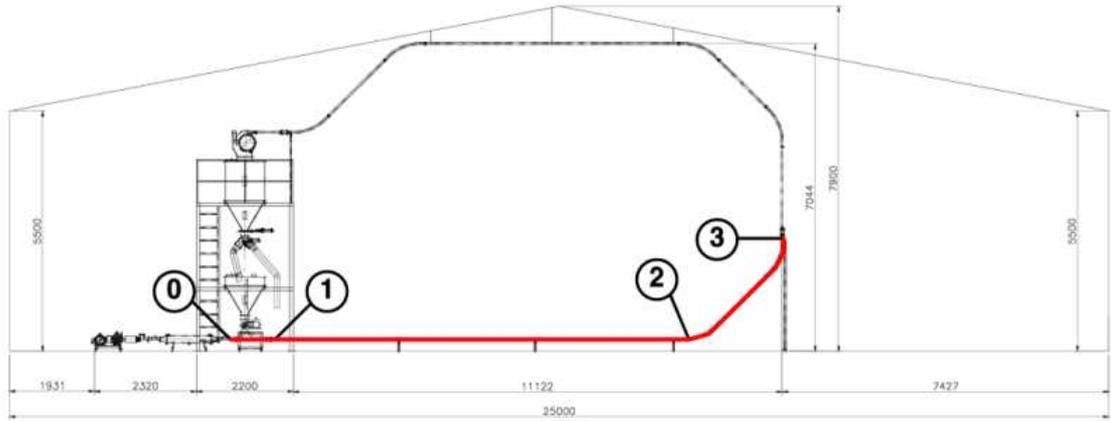


그림 2-2-2-26. Ring blower를 설치한 공기이송시스템 시작품을 이용한 배관에서의 정압강하 실험
(0 : 정압측정부, 1 : 투입호퍼 후단, 2 : 45°굽힘부 전단, 3 : 45°굽힘부 후단)

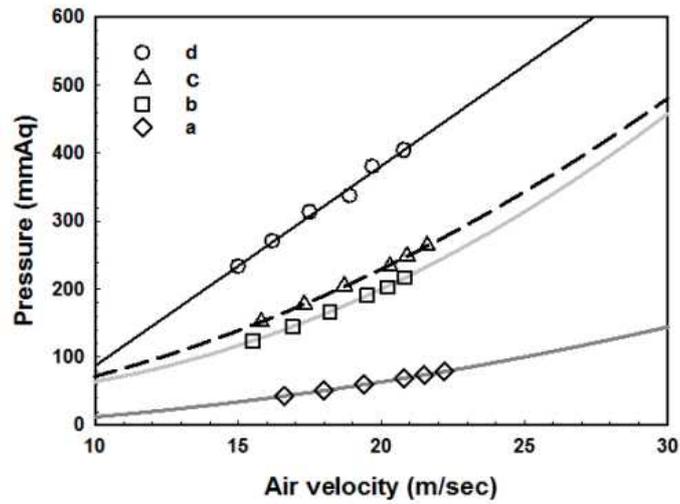


그림 2-2-2-27. Ring blower를 설치한 공기이송시스템 시작품을 이용한 배관에서의 풍속별 정압강하

표 2-2-2-26. Ring blower를 설치한 공기이송시스템 시작품을 이용한 배관 내 정압강하 실험 결과

구분	위치번호	설명	인버터 주파수(Hz)	풍속(m/sec)	정압(mmAq)
a	0~1	투입 호퍼	60	22.2	79
			58	21.5	74
			56	20.8	69
			52	19.4	60
			48	18.0	51
			44	16.6	43
b	0~2	투입 호퍼+ 수평배관 9.3m	60	20.8	217
			58	20.2	203
			56	19.5	191
			52	18.2	167
			48	16.9	145
			44	15.5	124
c	0~3	투입 호퍼+ 수평배관 9.3m +45°굽힘부(45° 굽힘관 2개 및 배관 1.5m)	60	21.6	264
			58	20.9	249
			56	20.3	234
			52	18.7	205
			48	17.3	178
			44	15.8	152
d	-	전체 배관	60	20.8	404
			58	19.7	380
			56	18.9	357
			52	17.5	313
			48	16.2	270
			44	15.0	233

- 다음 표는 ring blower를 부착한 공기이송시스템 시작품에서의 원료 백미를 5회 반복 이송하면서 품질을 측정된 것으로서, 표에서도 알 수 있듯이 풍속은 평균 17.6m/sec로서 root blower에서의 14.8m/sec보다 약 19%정도 높았고, 이로 인해 백미 이송량도 795kg/hr로서 root blower에서의 328.4kg/hr에 비해 142% 증가하였으며, 이송비도 4.4로서 root blower에서의 2.33에 비해 88.8%가 증가하였음
- 원료백미의 백도 42.0에서 반복이송 후 42.9로 0.18/회로 증가하였고, 함수율은 15.0%에서 14.7%까지 0.06%/회로 감소하였으며, 찌라기율은 1.30%가 증가하여 1회당 0.26%씩 증가하는 경향을 나타내어 본 공기이송 실험조건하에서 공기이송으로 백도 및 찌라기율은 증가하며, 함수율은 감소하는 것을 알 수 있었으며, 백미 이송에 따른 쌀 표면의 상처는 뚜렷하게 나타나지 않았음
- 이 때 평균 배관부에서의 정압정하는 878mmAq수준이었고, 외부공기의 온습도는 각각 25.6℃, 34% RH이었고, ring blower에 의한 공기온도는 18.5℃ 상승하여 root blower에서의 12.4℃의 온도상승에 비해 크게 나타났는데 주요 원인은 송풍량이 증가하였기 때문으로 판단되었음

표 2-2-2-27. Ring blower를 부착한 공기이송시스템 시작품의 백미 반복이송실험 결과

		이송특성										품질특성			
반복 회차	인버터 주파수 (Hz)	풍속 (m/sec)	정압 (mmAq)	외부공기		냉각장치 전		냉각장치 후		백미 이송량 (kg/hr)	이송 비(-)	백도 (-)	함수율 (%)	찌라기 율(%)	동할 율(%)
				온도 (℃)	습도 (%RH)	온도 (℃)	습도 (%RH)	온도 (℃)	습도 (%RH)						
백미 5회반복 실험															
원료	백미										42.0	15.0	1.49	0.0	
1	60	18.4	864	25.4	34	42.4	17.4	30.7	30.0	800	4.3	42.2	14.9	1.53	0.0
2		17.4	866	25.6	34	43.3	16.1	32.8	26.7	786	4.4	42.4	14.9	1.61	0.0
3		17.6	856	25.6	34	44.5	15.1	35.2	23.9	780	4.3	42.5	14.8	1.77	0.6
4		17.3	888	25.5	34	45.0	14.8	36.5	22.5	857	4.8	42.6	14.8	2.20	0.6
5		17.4	914	25.5	34	44.7	14.8	37.6	21.3	750	4.2	42.9	14.7	2.79	0.6
평균		17.6	878	25.5	34	44.0	15.6	34.6	24.9	795	4.4	-	-	-	-

반복회차	표면 사진		
원료백미			
1			
2			
3			
4			
5			

그림 2-2-2-28. Ring blower를 부착한 공기이송시스템 시작품의 반복이송에서의 백미의 표면특성

- 다음 표는 동일한 조건에서 현미를 반복이송한 실험결과로서, 표에서 알 수 있듯이 현미 이송량은 684kg/hr로서 백미 795kg/hr보다 14.0%가 감소하였고, 이송비도 3.8로서 백미 4.4에 비해 13.6%나 감소하여 동일조건인 공기이송시스템에서 현미이송능력이 백미이송능력보다 낮다는 것을 알 수 있었음
- 현미의 반복이송으로도 백도 및 함수율은 원료 현미에 비해 큰 변화가 없었고, 찌라기율은 반복이송 후 0.47%가 증가하였으며, 이 때 풍속은 평균 17.7m/sec로 백미와 큰 차이가 없었고, 배관부에서의 평균 정압은 796mmAq, ring blower에 의해 공기온도는 17.8℃가 상승하였고, 상대습도는 20.4% RH 하강하였음

표 2-2-2-28. Ring blower를 부착한 공기이송시스템 시작품의 현미 반복이송실험 결과

이송특성											품질특성				
반복 회차	인버터 주파수 (Hz)	풍속 (m/sec)	정압 (mmAq)	외부공기		냉각장치 전		냉각장치 후		현미 이송량 (kg/hr)	이송 비 (-)	백도 (-)	함수율 (%)	찌라기율 (%)	동할율 (%)
				온도 (℃)	습도 (%RH)	온도 (℃)	습도 (%RH)	온도 (℃)	습도 (%RH)						
현미 5회반복 실험															
원료	현미											22.1	15.7	0.11	1.3
1	60	17.6	830	25.5	37	41.5	19.4	25.8	40.8	649	3.6	22.0	15.7	0.13	1.3
2		17.6	798	25.5	38	43.5	17.4	27.4	37.8	686	3.8	22.0	15.7	0.14	2.0
3		17.6	800	25.4	38	44.1	16.9	27.4	37.9	686	3.8	22.1	15.6	0.58	2.0
4		17.8	780	25.5	38	43.8	17.1	28.3	36.2	696	3.8	21.9	15.6	0.52	2.0
5		17.8	770	25.5	39	43.6	17.2	28.4	35.8	702	3.9	22.2	15.6	0.58	2.0
평균		17.7	796	25.5	38	43.3	17.6	27.5	37.7	684	3.8	-	-	-	-

반복회차	표면 사진		
원료 백미			
1			
2			
3			
4			
5			

그림 2-2-2-29. Ring blower를 부착한 공기이송시스템 시작품의 반복이송에서의 현미의 표면특성

○ 다음 표는 백미와 현미 투입량을 변화시키면서 공기이송특성과 품질특성을 측정한 결과로서, 표에서도 알 수 있듯이 백미 이송량을 348kg/hr에서 795kg/hr로 변화시키면 이송비는 1.7에서 4.4로 나타났으며, 이 때 풍속은 19.7m/sec에서 17.6m/sec로 10.7% 감소하였고, 정압은 595mmAq에서 878mmAq로 47.6% 증가하는 수준을 나타내었으며, 동일하게 현미 이송량을 206kg/hr에서 684kg/hr로 232% 변화시키면 이송비는 1.0에서 3.8로 나타났으며, 이 때 풍속은 19.8m/sec에서 17.7m/sec로 10.6% 감소하였고, 정압은 544mmAq에서 796mmAq로 46.3% 증가하는 수준을 나타내었음

표 2-2-2-29. Ring blower를 부착한 공기이송시스템 시작품의 투입량 변화에 따른 공기이송특성변화

이송특성											
반복 회차	인버터 주파수 (Hz)	풍속 (m/sec)	정압 (mmAq)	외부공기		냉각장치 전		냉각장치 후		이송량 (kg/hr)	이송비 (-)
				온도 (°C)	습도 (%RH)	온도 (°C)	습도 (%RH)	온도 (°C)	습도 (%RH)		
백미량 감소 실험											
-	60	17.6	878	25.5	34	44.0	15.6	34.6	24.9	795	4.4
		18.5	770	25.7	34	40.2	18.8	30.5	29.1	610	3.2
		19.7	595	25.6	34	40.5	17.8	33.2	25.3	348	1.7
현미량 감소 실험											
-	60	17.7	796	25.5	38	43.3	17.6	27.5	37.7	684	3.8
		18.7	658	25.5	39	41.0	19.8	35.7	28.9	427	2.2
		19.8	544	25.5	38	40.3	19.8	28.2	35.9	206	1.0

라. 공기이송시스템 시작품 보완 및 2차 성능평가

(1) 실험방법

(가) Blower 및 가습장치 성능실험

- 전술한바와 같이 공기이송시스템 1차 시작품을 보완하기 위하여 성능에 중요한 영향을 미쳤던 blower와 가습장치에 대하여 별도의 성능실험을 실시하였음. 이를 위해 시작품의 1차 성능평가 결과에 근거하여 root blower를 개선정하여 구입하고, 가습장치를 설계 제작하여 한국식품연구원내 시제동 건물내에 설치한 다음, 가습 등의 문제점이 없는지 확인한 다음, root blower의 풍량 및 정압, 가습장치의 가습능력 및 정압강하량 등 성능실험을 실시하였음
- 가습부에서의 정압강하를 최소화하며 가습효과를 높이기 위한 가습조건을 구명하기 위해 ① 가습장치 없는 실험장치에서 정압에 따른 root blower의 송풍량 변화, ② 비가습조건에서 가습필터 변화에 따른 정압변화, ③ 가습조건에서 필터 개수에 따른 풍속변화, ④ 가습조건에서 필터 개수에 따른 정압변화에 대해 측정하였음

표 2-2-2-30. 한국식품연구원 시제동에서 진행한 root blower 및 가습장치 기본실험 조건

정압(mmAq)	가습필터 개수	root blower 운전주파수(Hz)	비 고
0 ~ 2000	1	11.6	
	2	23.8	
	3	39.0	
	4	51.5	

- 측정지점에 센서를 설치하고 풍속/정압계(Testo 480, Testo, Germany)를 이용하여 실시간으로 온/습도 풍속 및 정압을 측정하였으며, 풍속측정부는 댐퍼를 설치하여 댐퍼를 조절하여 정압을 변화시키면서 덕트 내경(54.9mm)과 측정된 풍속을 이용하여 송풍량을 계산하였고, 온/습도 센서(Testo 176H1, Testo, Germany)를 이용하여 온/습도를 실시간으로 측정하였음

(나) 공기이송시스템 시작품 2차 성능평가

- Root blower와 가습장치의 기본실험 결과를 이용하여 가습장치를 보완한 다음, 참여기업인 ㈜GSP의 현장실험동에 설치된 공기이송시스템 1차 시작품에 새롭게 root blower 및 보완된 가습장치를 연결하여 2차 성능평가를 진행하였음

- 공기이송시스템의 실험은 각각 현미와 백미로 구분하여 진행하였으며, 풍속은 17.5, 19, 20.5 및 22m/sec의 4개 조건, 이송량은 400, 600, 800 및 1,000kg/hr의 4개 조건의 총 16개 조건 중에서 본 장치로 측정이 가능한 현미 총 6개 조건, 백미 총 10개 조건은 다음 표와 같았으며, 현미는 비가습과 가습의 2개 조건, 백미는 비가습/비냉각, 비가습/냉각, 가습/비냉각, 가습/냉각 등으로 조건을 바꿔가면서 성능을 측정하였음

표 2-2-2-31. 공기이송시스템 2차 성능평가 실험(백미)

번호	풍속 (m/sec)	이송량 (kg/hr)	이송비 (-)	50초간 시료량 (kg)	가습여부	냉각여부	시료구분	총 시료량 (kg)
1	17.5	400	2.2	6.7	○ / ×	○ / ×	백미	26.8
2	19		2.1	6.7				26.8
3	20.5		1.9	6.7				26.8
4	22		1.8	6.7				26.8
5	19	600	3.1	10	○ / ×	○ / ×	백미	40
6	20.5		2.9	10				40
7	22		2.7	10				40
8	20.5	800	3.8	13.3	○ / ×	○ / ×	백미	53.2
9	22		3.5	13.3				53.2
10	22	1,000	4.4	16.7	○ / ×	○ / ×	백미	66.8
1회 실험 시료량				150.1	소계			400.4
※ 로타리밸브 속도에 따른 투입량 변화 예비실험								100
※ 풍속별 최대 이송량 측정을 위한 예비실험								
총 시료량								500.4

표 2-2-2-32. 공기이송시스템 2차 성능평가 실험(현미)

번호	풍속 (m/sec)	이송량 (kg/hr)	이송비 (-)	1분간 시료량 (kg)	가습여부	냉각여부	시료구분	총 시료량 (kg)
1	19	400	2.1	6.7	○ / ×	×	현미	13.4
2	20.5		1.9	6.7				13.4
3	22		1.8	6.7				13.4
4	20.5	600	2.9	10	○ / ×	×	현미	20
5	22		2.7	10				20
6	22	800	3.5	13.3	○ / ×	×	현미	26.6
1회 실험 시료량				54.4	소계			106.8
※ 로타리벨브 속도에 따른 투입량 변화 예비실험								100
※ 풍속별 최대 이송량 측정을 위한 예비실험								
총 시료량								206.8

○ 시작품의 2차 성능평가에 사용한 시료는 전북 익산 소재의 민간RPC로부터 구입한 2017년산 신동진 품종으로서, 2018년 6월에 현미와, 이 현미를 도정한 백미를 구입하여 공시하였음



그림 2-2-2-30. 실험에 사용한 시료(백미 및 원료 현미)

- 표면상처를 측정하기 위해서, 쌀의 표면을 부드러운 천으로 충분히 닦아서 잔류미강을 제거한 다음, 화상측정기(1024×768 pixel 수준 또는 이상)를 이용하여 쌀 정립 10립의 영상을 획득한 다음, 표면에 상처가 발생하였는지 여부를 판단한 후, 상처가 발생한 정립수와 총 측정립 수를 이용하여 다음 식과 같이 상처발생율을 계산하였음 (SBR : 표면상처발생율(%), NSBR : 상처발생립수(-), NT : 총 측정립수(-))

$$SBR = \frac{NSBR}{NT} \times 100 \dots\dots\dots (2-2-2-28)$$

- 도정도는 현미와 백미에 포함되어 있는 비정상립을 제외한 정립 1,000립을 수작업으로 선별하여 1,000립 중량인 천립중을 측정하여 다음 식으로 계산하였음 (Kawamura, 1990)

$$\text{도정도}(\%) = \frac{\text{현미천립중}(g) - \text{백미천립중}(g)}{\text{현미천립중}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (2-2-2-29)$$

- 백도를 측정하기 위해서, 시료의 착색립 및 분상질립 등 비정상립을 선별한 후 정상립만을 대상으로 백도계(C600, Kett, Japan)로 5회 측정 후 평균값을 사용하였고, 쌀의 품위특성(완전립, 싸라기, 분상질립, 피해립, 열손립)은 품위판정기(1625 Cervitec Grain Inspector, Foss Tecator, Sweden)로 측정하였으며, 3회 반복 측정하였음

- 동할율은 벼의 경우 수작업으로 왕겨를 탈부한 현미를 대상으로 하고, 현미 및 백미는 이물질을 제외한 정립을 대상으로 동할립측정기(예 : TX-200, Kett, Japan)로 측정하고, 3회반복하여 평균값을 사용하였고, 함수율은 단립수분계(PQ-520, Kett, Japan)를 이용하여 5회 반복 측정하였음

(2) 결과 및 고찰

(가) Blower 및 가습장치 성능평가

- 공기이송시스템 시작품의 1차 성능평가 결과에 근거하여 root blower는 재설계를 통해 1차 시작품에 사용한 모델보다 큰 용량의 root blower(2.74m³/min×2,000mmAq) 모델로 구입하고, 가습장치는 사각 형태의 190mm×205mm 필터를 4개 제작하였으며, 이 때 사용한 필터는 시중에 유통되고 있는 기화식 가정용 가습기의 종이 재질의 필터를 이용하여 20mm 2개, 10mm 1개로 제작하여 필터 개수를 1~4개에서 조절하여 사용이 가능하도록 구성하였음

표 2-2-2-33. 기본실험을 위해 재선정한 blower의 사양(http://hkblower.co.kr)

MODEL	DIA	RPM	Suction Air Volume Qa(m ³ /min) & Required Shaft Power La(kw) at Each Discharge Pressure																							
			0.1kgf/cm ²		0.2kgf/cm ²		0.3kgf/cm ²		0.4kgf/cm ²		0.5kgf/cm ²		0.6kgf/cm ²		0.7kgf/cm ²		0.8kgf/cm ²		0.9kgf/cm ²		1.0kgf/cm ²					
			Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La	Qa	La				
HP50	50A	1450	1.88	1.0	1.64	1.4	1.47	1.8	1.30	2.2	1.15	2.6	1.02	3.0	0.89	3.5										
		1750	2.44	1.1	2.20	1.6	2.02	2.1	1.86	2.6	1.70	3.1	1.57	3.6	1.46	4.1										
		2000	2.90	1.3	2.65	1.9	2.48	2.4	2.33	3.0	2.17	3.5	2.04	4.0	1.93	4.6										
HP65	65A	1450	2.39	1.2	2.05	1.7	1.81	2.3	1.59	2.8	1.42	3.4	1.28	4.1	1.17	4.9										
		1750	3.09	1.4	2.74	2.0	2.5	2.6	2.28	3.3	2.11	4.0	1.97	4.8	1.85	5.9										
		2000	3.65	1.5	3.31	2.2	3.07	2.9	2.85	3.7	2.68	4.4	2.54	5.2	2.43	6.1										
HP80	80A	1150	4.04	1.7	3.59	2.5	3.21	3.3	2.90	4.0	2.57	4.8	2.32	5.6	2.11	6.5										
		1450	5.52	1.9	5.08	3.0	4.7	4.0	4.38	5.1	4.07	6.2	3.82	7.3	3.62	8.4										
		1750	7.01	2.3	6.57	3.6	6.19	4.8	5.87	6.1	5.56	7.4	5.30	8.7	5.11	10.0										
HP100	100A	1150	5.44	2.0	4.99	3.1	4.61	4.1	4.28	5.2	3.98	6.3	3.72	7.4	3.49	8.5	3.30	9.6								
		1450	7.28	2.4	6.85	3.8	6.47	5.1	6.13	6.4	5.83	7.8	5.57	9.2	5.32	10.7	5.12	12.2								
		1750	9.13	2.8	8.69	4.5	8.31	6.2	7.98	7.9	7.67	9.5	7.41	11.2	7.20	12.9	6.97	14.6								
HP125	125A	1150	14.05	4.1	13.22	6.6	12.49	9.1	11.86	11.6	11.45	14.1	10.93	16.6	10.51	19.1	10.20	22.0	9.98	25.5						
		1450	18.45	5.0	17.58	8.1	16.93	11.2	16.28	14.4	15.74	17.5	15.30	21.0	14.87	24.0	14.54	27.5	14.32	31.0						
		1750	22.79	6.0	21.92	9.7	21.27	13.4	20.62	17.1	20.08	21.1	19.64	25.1	19.32	29.1	19.0	33.5	18.67	38.0						
HP150	150A	1150	23.6	6.1	22.4	10.1	21.3	14.2	20.5	18.2	19.8	23.0	19.0	27.0	18.5	34.0	17.8	38.0	17.4	43.0	16.9	49.0				
		1450	30.4	7.5	29.2	12.5	28.2	17.6	27.5	23.0	26.7	28.0	26.0	33.0	25.4	40.0	24.7	48.0	24.3	57.0	21.5	67.0				
		1750	37.8	9.8	36.6	16.3	35.6	23.0	34.8	29.0	34.1	35.0	33.3	43.0	32.8	49.0	32.2	54.0	31.7	66.0	31.0	73.0				
HP200S	200S	970	42.6	10.8	41.6	18.2	40.4	26	39.4	33	38.4	41	37.4	48	36.7	55	36.0	63	35.4	75						
		1150	50.6	12.2	49.4	21	47.8	30	46.7	39	45.5	48	44.4	60	43.5	69	42.9	76	42.3	83						
		1450	65.3	15.6	64.1	27	62.6	39	61.4	51	60.3	62	59.3	74	58.4	85	57.7	97	57.1	110						

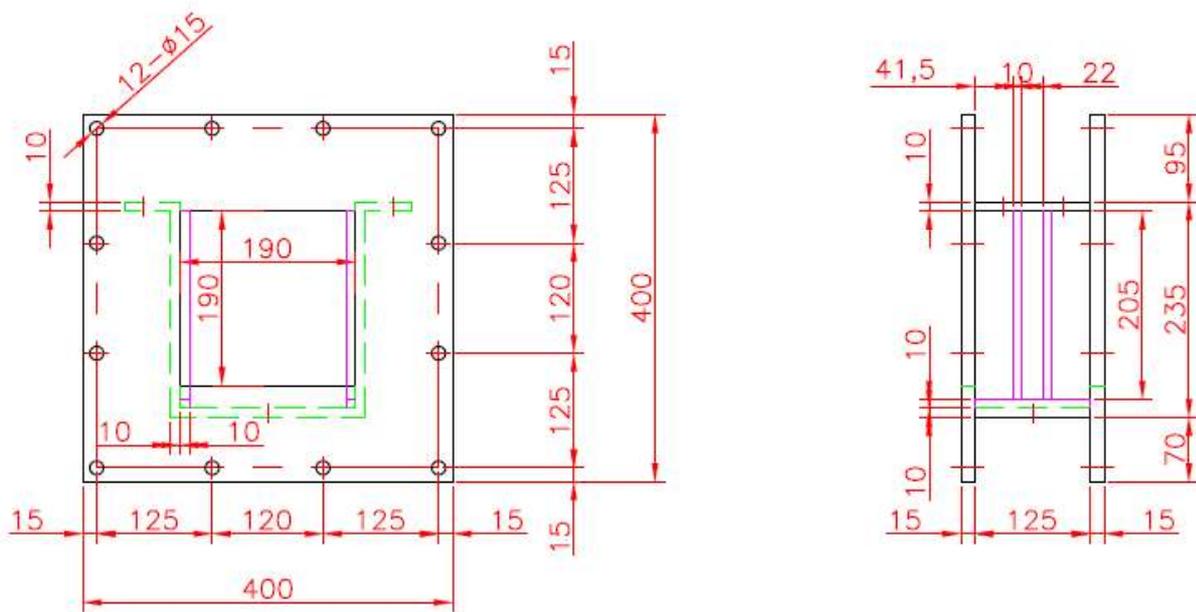


그림 2-2-2-31. 공기이송시스템 내 가습장치의 가습부 덕트 설계 도면

- 또한, 가습장치의 급수배관과 배수배관을 가습장치 하단에 연결하여 물이 하단의 급수부로 공급되면 가습필터가 공급된 물에 의해 적셔지고, 젖은 상태의 가습필터를 공기가 지나가며 습기를 공급받는 형태의 기화식 방식을 적용하여, 가습효율 향상 및 정압강하량 감소를 위해 필터의 면적을 가능한 최대가 되도록 설치하였으며, 필터 개수를 조정하기 위해 가습장치에서의 필터 개수별 정압강하량의 측정이 필요하였음
- 이상과 같이 설치한 blower와 가습장치 성능평가 장치는 다음 그림과 같았으며, 이 시스템을 가동하면서 외관상 용이하게 탐지되는 문제점은 다음 표와 같았으며, 3가지 사항에 대해 보완한 다음 실험을 실시하였음



(실험장치 전면부)



(가습부 측면)



(가습필터 전면)



(root blower)



(센서부)



(필터 설치 후 가습부)



(필터 설치 전 가습부)

그림 2-2-2-32. 한국식품연구원 시제동에 설치한 root blower 및 가습장치

표 2-2-2-34. 공기이송시스템의 가습장치 보완사항

보완사항	
1	필터부와 SUS 배관 연결부에 공기 누설 방지
2	이송공기의 압력이 높을 때 가습수 공급부로의 역류현상 및 가습수 미공급
3	설치 필터가 3개 이상일 때 필터 전·후의 압력차에 의해 공급수가 가습부 공급수 한계벽을 넘어 가습장치 후단의 이송배관으로 넘어감

- 가습장치 내에 가습필터가 설치되어 있지 않은 상태에서 댐퍼를 조절하여 정압을 변화시키면서 풍속을 측정하였으며, 측정된 풍속을 배관 내경을 이용하여 풍량으로 환산계산하였고, 그에 따라 정압에 따른 풍속 및 풍량은 표와 같았으며 최대 3.5m³/min 및 정압 2,000mmAq에서 풍량 2.4m³/min로 나타났으며, 정압이 증가함에 따라 풍량은 감소하는 형태의 일반적인 경향을 나타내었음

표 2-2-2-35. 정압에 따른 송풍량 변화

정압(mmAq)	풍속(m/sec)	풍량(m ³ /min)	비 고
51	24.9	3.5	
390	23.2	3.3	
787	20.8	3.0	
1193	19.5	2.8	
1578	17.1	2.4	
1983	17.0	2.4	

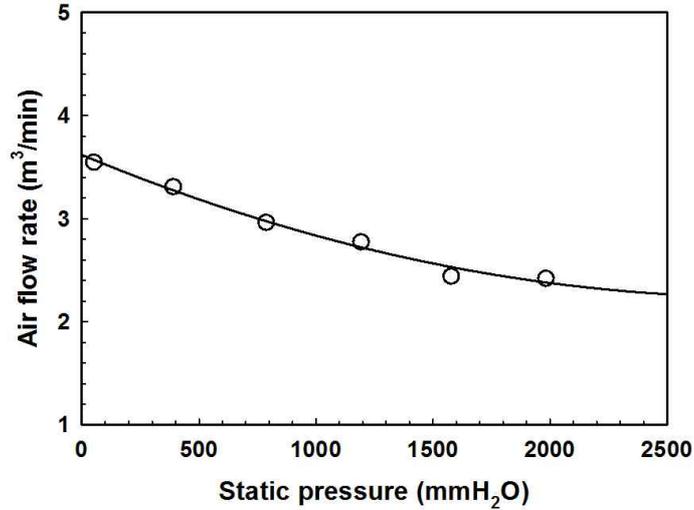


그림 2-2-2-33. 공기이송시스템 root blower에 대한 정압 대비 송풍량 변화

- 필터 개수를 달리하여 비가습 조건에서 댐퍼를 조정하며 정압을 측정하였으며, 정압 위치1(가습장치 전), 2(가습부 전), 3(가습부 후), 4(가습장치 후)에서 각각 측정하였고, 배관의 정압 변화를 위해 댐퍼의 위치를 조정하였는데 댐퍼 조정시 전개(Full open) 상태인 댐퍼 위치1에서 root blower 출구(정압 위치 1)의 정압은 각각 39, 716, 1307 및 1871mmAq였으며, 전개(Full open) 상태인 댐퍼 위치1에서 댐퍼 위치4로 증가시켜 배관의 개도를 감소시키면서 송풍량과 차압(가습장치 전후 정압)을 측정한 결과, 송풍량과 차압 감소하는 경향을 나타내었고, 최대 차압은 59mmAq수준이었음

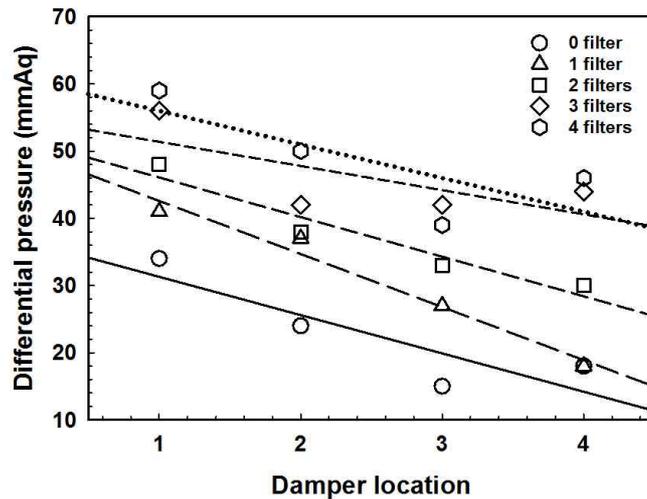


그림 2-2-2-34. 비가습조건에서 정압 및 필터 개수 별 차압 변화

표 2-2-2-36. 비가습조건에서 필터 개수 별 정압 및 차압 변화

필터개수	댐퍼 조정	위치별 정압(mmAq)				차압(mmAq)	
		1	2	3	4	필터	가습장치
0	1	39	-	-	5	-	34
	2	716	-	-	692	-	24
	3	1307	-	-	1292	-	15
	4	1871	-	-	1853	-	18
1 (소)	1	45	44	36	4	8	41
	2	665	664	654	628	10	37
	3	1170	1169	1161	1143	8	27
	4	2061	2060	2057	2043	3	18
2 (소+소)	1	52	52	37	4	15	48
	2	694	694	684	656	10	38
	3	1223	1221	1210	1190	11	33
	4	2021	2021	2000	1991	21	30
3 (소+소+ 대)	1	60	59	37	4	22	56
	2	665	666	646	623	20	42
	3	1244	1244	1223	1202	21	42
	4	1973	1967	1954	1929	13	44
4	1	64	67	37	5	30	59
	2	712	712	688	662	24	50
	3	1208	1214	1195	1169	19	39
	4	2021	2024	1998	1975	26	46

- 가습 조건에서 필터 개수 및 풍속별 가습장치 차압, 가습장치 후단의 온/습도를 측정하였는데, 필터 개수는 2개(필터 두께 20mm+20mm), 3개(필터 두께 20mm+20mm+10mm) 및, 4개(필터 두께 20mm+20mm+10mm+10mm)로 하였으며, 풍속은 root blower 운전주파수를 변화하여 5, 10, 15 및 20m/sec가 되도록 변화시켰음
- 다음 그림은 풍속별 필터 개수별 상대습도 변화를 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 필터 개수 2개와 3개 조건에서 상대습도는 큰 차이를 보이지 않은 반면 필터개수 4개 조건에서는 상대습도가 크게 증가하는 것으로 나타났고, 이 때 외기온/습도인 23.0°C/79%RH에 비해 필터 개수 2, 3개에서는 풍속에 무관하게 상대습도가 외기습도보다 낮게 나타났는데 이는 root blower에서의 공기 가열에 따른 상대습도저하보다는 가습량이 낮은 것이 원인으로 판단되었음
- 한편, 풍속이 증가할수록 상대습도는 당연하게 낮게 나타났는데, 가습효과의 증가를 위해서는 풍속과 가습되는 필터와의 상관관계를 감안하여야 하며, 이를 위해 외기온습도조건과, 풍속별 root blower에서의 온도상승 등과, 필요한 상대습도를 유지하기 위한 가수량 등의 결정이 필요하였음

표 2-2-2-37. 가습조건에서 필터 개수 및 풍속별 가습장치 차압, 가습장치 후단의 온/습도 변화

필터개수	인버터 주파수	풍속 (m/sec)	가습장치 차압 (mmAq)	온도 후 (°C)	습도 후 (%RH)
2	11.6	5	2.7	25.1	69.2
	23.8	10	11	25	68.3
	39.0	15	25	26.1	65.8
	51.5	20	41	28.1	58.2
3	11.6	5	3.2	24.9	67.7
	23.8	10	13.1	24.8	68.5
	39.0	15	28.4	25.9	66
	51.5	20	45.8	27.9	56.3
4	11.6	5	4.2	21.9	80
	23.8	10	21	22.4	78.8
	39.0	15	36	24	72
	51.5	20	50	26.8	61

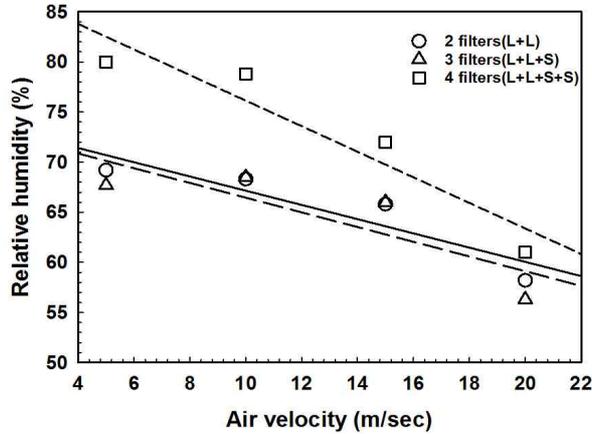


그림 2-2-2-35. 가습조건에서 필터 개수 및 풍속별 가습장치 후단의 상대습도

- 가습 조건에서 필터 개수 및 댐퍼조정에 의한 정압변화별 가습장치 차압, 가습장치 후단의 온/습도를 측정하였는데, 필터 개수는 2개(필터 두께 20mm+20mm), 3개(필터 두께 20mm+20mm+10mm), 4개(필터 두께 20mm+20mm+10mm+10mm)로 하였으며, 댐퍼는 4개의 위치로 하여 정압을 변화시켰음
- 다음 그림 및 표는 댐퍼위치별 필터 개수별 온도 및 상대습도 변화를 나타낸 것으로서, 그림 및 표에서 알 수 있듯이 댐퍼 위치 증가(배관 내 정압 증가)에 따라 가습장치 후단 온도는 증가하였는데 주요 원인은 root blower에서 토출되는 공기가열에 의한 것으로서, 최대 19°C까지 공기온도가 상승하는 것으로 나타났으며, 가습필터에서의 필터 개수가 증가할수록 가습장치 후단의 온도는 감소하였으며, 이 때 외기온/습도인 23.0°C/79% RH이었음
- 댐퍼 위치 증가(배관 내 정압 증가)에 따라 가습장치 후단의 상대습도는 감소하였고, 가습필터 개수가 증가할수록 상대습도는 높게 나타났으며, 이 때 최대 상대습도는 93%로 나타났음. 한편, 댐퍼 조정 위치 4번에서는 정압이 과다하게 증가(약 2,000mmAq 수준)함에 따라 가습장치 내부로 가습수가 공급되지 않아 실험이 불가하였음

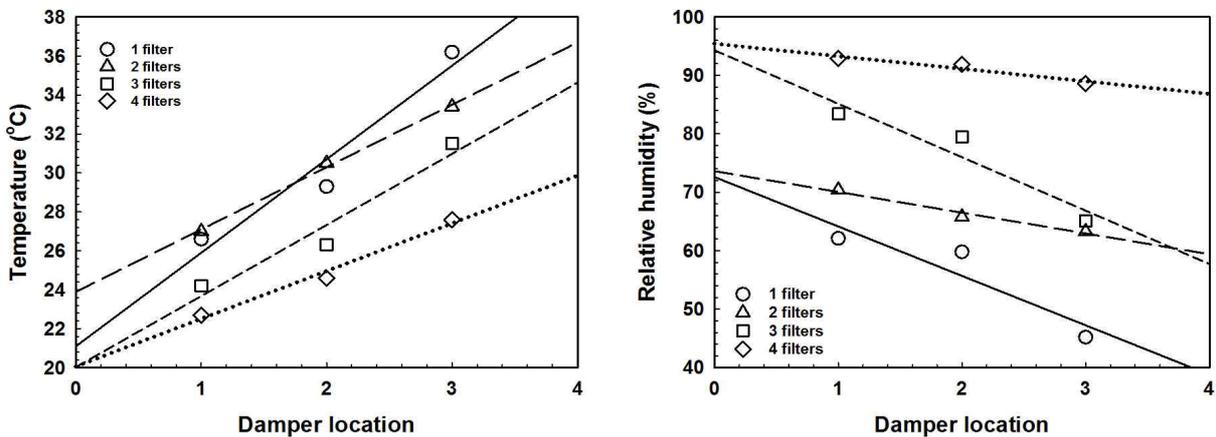


그림 2-2-2-36. 댐퍼 위치 및 필터 개수에 따른 가습장치 후단 온도 및 상대습도

표 2-2-2-38. 댐퍼 위치 및 필터 개수에 따른 차압, 온/습도, 온도 차, 습도 차

필터 개수	댐퍼 조정	위치별 정압(mmAq)				차압(mmAq)		가습장치 전후 온습도(℃, %RH)					
		1	2	3	4	필터	장치	가습장치 전		가습장치 후		차이	
								온도	습도	온도	습도	온도	습도
1 (소)	-	49	48	38	6	10	43	35.9	26.5	26.6	62.1	9.3	35.6
	1	718	720	710	689	10	29	39.3	26.1	29.3	59.8	10	33.7
	2	1343	1345	1334	1308	11	35	49.4	19.7	36.2	45.2	13.2	25.5
	3	실험불가											
2 (소+소)	-	64	59	38	7	21	57	36.5	28.2	27	70.4	9.5	42.2
	1	678	676	661	637	15	41	42.1	22.8	30.5	65.8	11.6	43
	2	1288	1289	1277	1260	12	28	47.7	18.8	33.4	63.3	14.3	44.5
	3	실험불가											
3 (소+소+대)	-	67	67	42	11	25	56	36.9	28.3	24.2	83.4	12.7	55.1
	1	700	700	680	653	20	47	41.4	23.3	26.3	79.5	15.1	56.2
	2	1404	1404	1388	1365	16	39	47.9	18.8	31.5	65.1	16.4	46.3
	3	실험불가											
4	-	73	77	38	7	39	66	38.1	27.1	22.7	92.9	15.4	65.8
	1	715	720	689	665	31	50	42.5	23.8	24.6	91.9	17.9	68.1
	2	1270	1275	1252	1232	23	38	48	20	27.6	88.6	20.4	68.6
	3	실험불가											

(나) 공기이송시스템 시작품 2차 성능평가

- 전술한 blower 및 가습장치의 성능평가 결과를 바탕으로 참여기업인 (주)iGSP와 가습장치 보완사항에 대해 논의하여 가습장치를 보완한 후, 다음 그림과 같이 (주)iGSP 내 현장실험동에 설치된 공기이송시스템 1차 시작품에 root blower와 보완된 가습장치를 연결하여 성능평가를 실시하였음



root blower 및 가습장치



가습장치



가습장치 내 급수부



가습장치 내 가습필터

그림 2-2-2-37. (주)iGSP 현장실험동 공기이송시스템과 연결한 root blower 및 가습장치

- 이 때 성능평가조건은 백미의 경우에는 비가습/비냉각조건, 가습 조건, 냉각조건, 가습+냉각조건에 대해, 현미는 비가습조건, 가습 조건에 대해 각각 풍속 및 이송량을 변화시키며 실험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같았음
- 먼저 백미를 공기이송할 때 비가습 조건에서 공기속도 증가에 따라 root blower에서의 온도 상승으로 인해 상대습도는 최대 17.9%까지 감소하였으며, 가습조건에서는 root blower에서의 공기기열에 의한 온도상승폭을 최대 9.8℃까지 감소시켰으며, 이 때 상대습도는 외부 공기습도에 비해 평균 15.8% 높게 가습이 가능하였음

- 다음 그림은 비가습 및 가습조건에서 풍속변화에 따른 온도 및 상대습도 변화를 나타낸 것으로서 그림에서 알 수 있듯이 목표 이송량인 1,000kg/hr에 적합한 풍속 22m/sec에서 비가습일 때 외기온/습도 조건은 25.5°C/51.2%이었으나 root blower 토출공기 온/습도는 40.0°C/33.3%로서 외기에 비해 온도는 14.5°C가 상승하였고, 상대습도는 17.9%RH가 낮아진 반면, 가습일 때 외기온/습도 조건은 23.5°C/43.8%이었으나 가습장치에 의해 가습된 후의 공기온/습도는 28.3°C/58.3%로서 공기온도는 4.8°C 증가하였고 상대습도는 14.5%RH 증가하였음

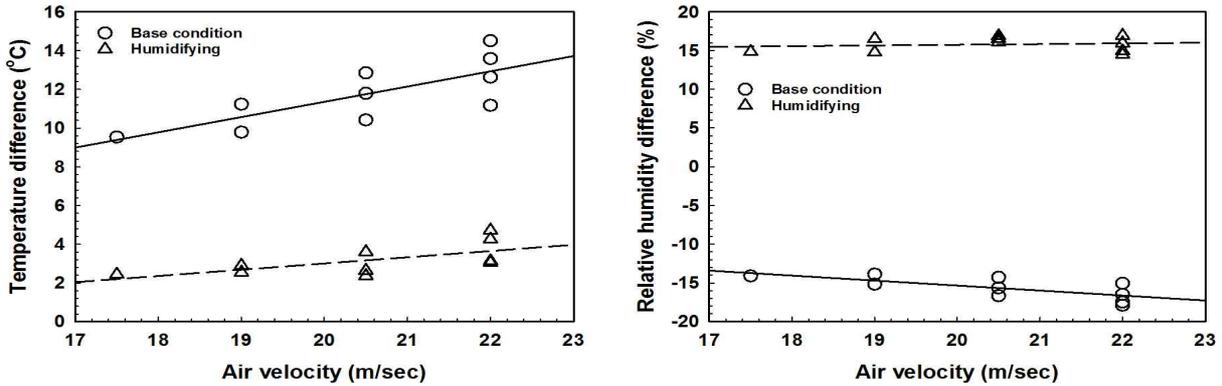


그림 2-2-2-38. 비가습 및 가습조건에서 풍속변화에 따른 온도 및 상대습도 변화

- 다음 그림은 가습필터 4개를 설치하여 가습 및 비가습 조건에서 투입호퍼의 로터리밸브의 속도변화로 백미 이송량을 변화시키면서 이 때 이송된 백미의 함수율 변화를 나타낸 것(왼쪽그림)과, 백미 이송량을 400kg/hr수준으로 고정시킨 다음 가습필터 4개 조건에서 root blower의 주파수변화에 따른 풍속별 백미의 함수율 변화를 나타낸 것(오른쪽그림)을 나타낸 것임
- 그림에서 알 수 있듯이 백미이송량별, 풍속별로 가습 및 비가습시 공기이송된 백미의 함수율에는 거의 차이가 없었는데 주요 원인은 소규모 실험으로 인한 공기이송시간이 짧아 표면에서의 미세한 수분증발이 전체 함수율 변화에 미치는 영향이 적었기 때문으로, 가습은 함수율 조정보다는 root blower에서 상승시키는 공기온도의 조정으로 인하여 백미 표면상태의 변화를 방지하는 의미가 더 큰 것으로 판단되었음

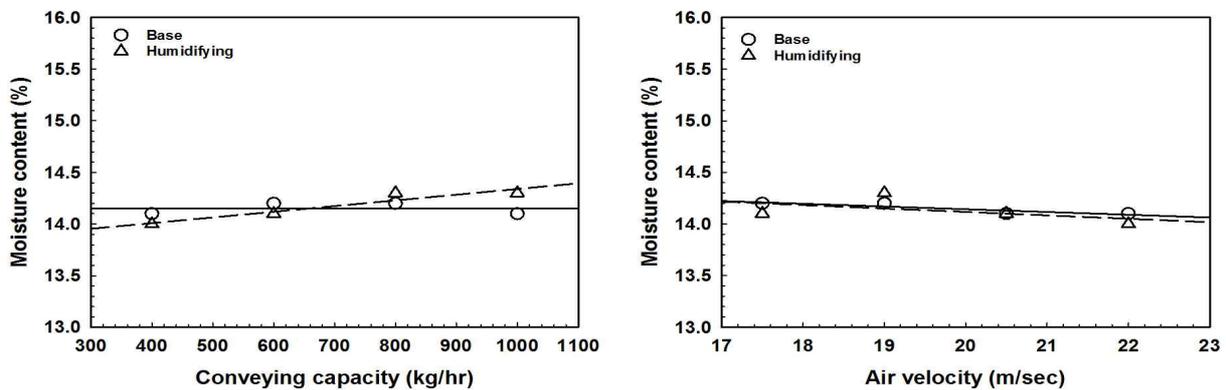


그림 2-2-2-39. 비가습 및 가습조건에서 이송량 및 풍속 변화에 따른 함수율 변화

- 다음 그림은 전체 실험조건에서 백미 이송량과, 풍속에 따른 이송된 백미의 동할율을 나타낸 것으로서 그림에서 알 수 있듯이 이송량이 증가할수록, 이송공기의 풍속이 낮을수록 동할율은 감소하는 경향을 나타내었으며, 이는 이송된 백미가 사이클론 리시버에서 받은 충격과 관련이 있을 것으로 판단되었음

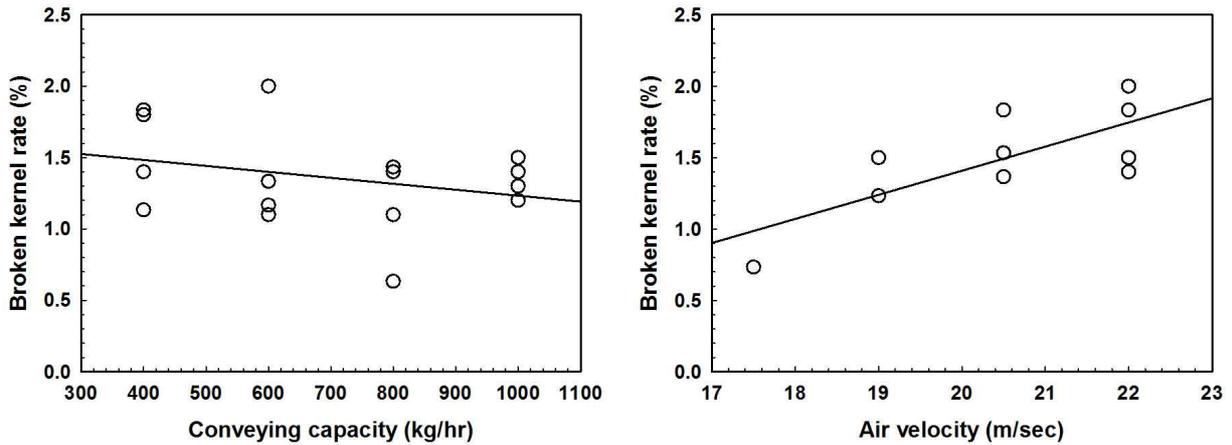


그림 2-2-2-40. 이송량 및 속도 변화에 따른 찌라기율 변화

- 한편, 다음 그림은 앞과 동일하게 가습 및 비가습 조건에 이송된 백미의 찌라기율을 측정된 결과를 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 비가습이 가습에 비해 동할율이 다소 높게 나타났는데, 이는 비가습시 표면의 일부 건조가 찌라기 발생에 영향을 미쳤을 것으로 추정되었음

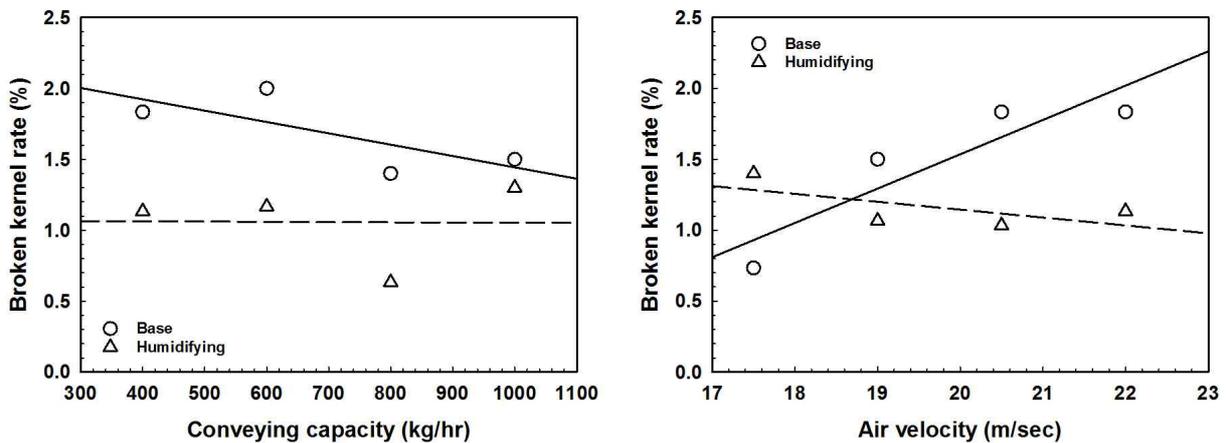


그림 2-2-2-41. 비가습 및 가습조건에서 이송량 및 풍속 변화에 따른 찌라기율 변화

표 2-2-2-39. 백미 이송 시 기본 조건(비가습,비냉각)에서의 측정값

풍속 (m/sec)	이송량 (kg/hr)	천립중 (g)	완전립 (%)	싸라기 (%)	분상질립 (%)	피해립 (%)	열손립 (%)
17.5	400	27.3	99.0	0.7	0.1	0.1	0.0
19		26.9	98.3	1.5	0.1	0.1	0.0
20.5		27.3	97.9	1.8	0.2	0.1	0.0
22		27.3	97.8	1.8	0.3	0.1	0.0
19	600	26.9	98.6	1.2	0.1	0.0	0.0
20.5		27.2	98.1	1.5	0.3	0.1	0.0
22		27.0	97.8	2.0	0.1	0.1	0.0
20.5	800	26.8	98.4	1.4	0.2	0.0	0.0
22		27.2	98.4	1.4	0.2	0.0	0.0
22	1,000	27.2	98.3	1.5	0.2	0.0	0.0
평균		27.1	98.3	1.5	0.2	0.1	0.0

표 2-2-2-40. 백미 이송 시 가습조건에서의 측정값

풍속 (m/sec)	이송량 (kg/hr)	천립중 (g)	완전립 (%)	싸라기 (%)	분상질립 (%)	피해립 (%)	열손립 (%)
17.5	400	27.3	98.3	1.4	0.2	0.0	0.0
19		27.3	98.5	1.1	0.4	0.1	0.0
20.5		26.9	98.8	1.0	0.2	0.0	0.0
22		27.0	98.6	1.1	0.2	0.0	0.0
19	600	27.2	98.6	1.0	0.3	0.1	0.0
20.5		27.3	98.5	1.4	0.1	0.1	0.0
22		27.2	98.7	1.2	0.1	0.1	0.0
20.5	800	27.1	98.3	1.4	0.2	0.0	0.0
22		27.1	99.1	0.6	0.2	0.0	0.0
22	1,000	27.0	98.5	1.3	0.2	0.0	0.0
평균		27.2	98.6	1.2	0.2	0.0	0.0

표 2-2-2-41. 백미 이송 시 냉각조건에서의 측정값

풍속 (m/sec)	이송량 (kg/hr)	천립중 (g)	완전립 (%)	싸라기 (%)	분상질립 (%)	피해립 (%)	열손립 (%)
17.5	400	27.2	96.9	2.7	0.3	0.0	0.0
19		26.9	98.0	1.7	0.3	0.0	0.0
20.5		27.0	98.3	1.5	0.2	0.0	0.0
22		27.2	97.9	1.8	0.2	0.0	0.0
19	600	27.1	98.5	1.2	0.3	0.0	0.0
20.5		27.1	98.0	1.7	0.1	0.1	0.0
22		27.3	98.4	1.3	0.2	0.1	0.0
20.5	800	27.1	98.4	1.5	0.1	0.1	0.0
22		27.1	98.4	1.4	0.1	0.0	0.0
22	1,000	27.3	98.4	1.4	0.2	0.0	0.0
평균		27.1	98.1	1.6	0.2	0.0	0.0

표 2-2-2-42. 백미 이송 시 냉각 및 가습조건에서의 측정값

풍속 (m/sec)	이송량 (kg/hr)	천립중 (g)	완전립 (%)	싸라기 (%)	분상질립 (%)	피해립 (%)	열손립 (%)
17.5	400	27.4	98.2	1.4	0.2	0.0	0.1
19		27.2	98.5	1.2	0.2	0.1	0.0
20.5		27.2	98.9	1.0	0.2	0.0	0.0
22		27.2	98.5	1.4	0.1	0.0	0.0
19	600	27.2	98.8	1.0	0.2	0.0	0.0
20.5		27.1	98.6	1.2	0.2	0.0	0.0
22		27.2	98.6	1.1	0.3	0.0	0.0
20.5	800	27.3	98.7	1.1	0.1	0.1	0.0
22		27.2	98.7	1.1	0.2	0.0	0.0
22	1,000	27.4	98.6	1.2	0.1	0.1	0.0
평균		27.2	98.6	1.2	0.2	0.0	0.0

- 한편, 현미도 백미와 동일하게 비가습과 가습시에 풍속 및 이송량을 변화시키며 성능평가를 실시하였으며, 다음 그림들에서 알 수 있듯이 로터리밸브 등 동일조건일 때 백미의 이송량은 최대 1,000kg/hr수준이었는데 반해 현미의 최대 이송량은 800kg/hr수준에 불과하여, 동일 공기이송시스템에서 현미 이송량은 백미의 약 80%수준일 것으로 판단되었음
- 다음 그림은 필터 4개인 조건에서 현미 이송량을 400kg/hr로 고정한 다음, 외기온습도 조건과 가습장치 후단의 온습도 차이를 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 외기온/습도 조건이 27.7°C/34.8%, 풍속 22m/sec일 때 비가습시 가습장치 이후 공기의 온/습도는 41.4°C/23.8%이었으며, 외기온/습도 조건이 27.2°C/36.1%일 때 가습시 가습장치 후의 공기 온/습도는 31.5°C/48.6%를 나타내어 공기온도 및 상대습도가 외기에 비해 다소 높게 나타났음

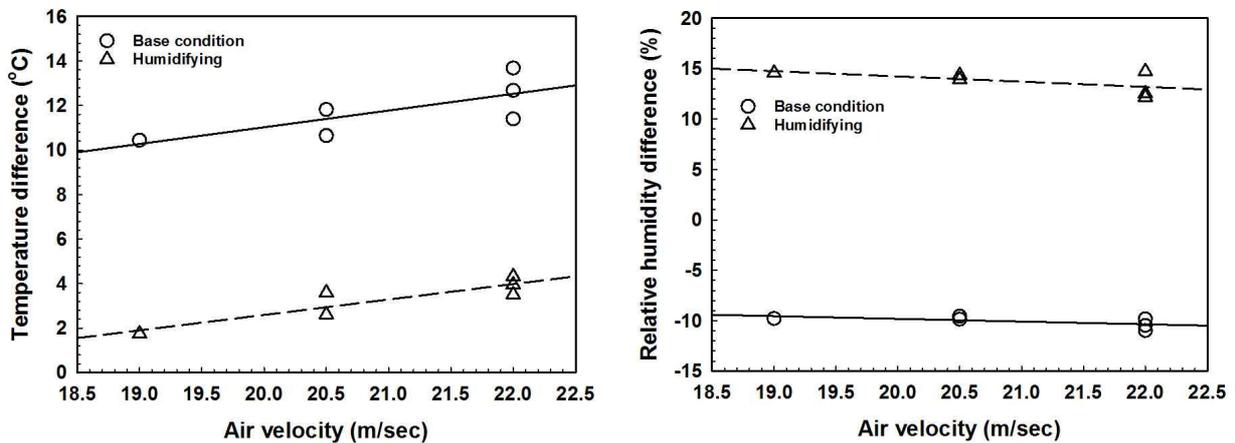


그림 2-2-2-42. 비가습 및 가습조건에서 풍속변화에 따른 온도 및 상대습도 변화

- 다음 그림은 동일한 조건에서 이송된 현미의 함수율 및 동할율을 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 함수율은 가습의 경우가 비가습에 비해 약간 높게 나타났으나 그 차이가 적고 실험량이 적어 영향이 있다라고 판단하기에는 한계가 있었으며, 동할율의 경우에도 가습과 비가습의 차이는 분명하지 않았음

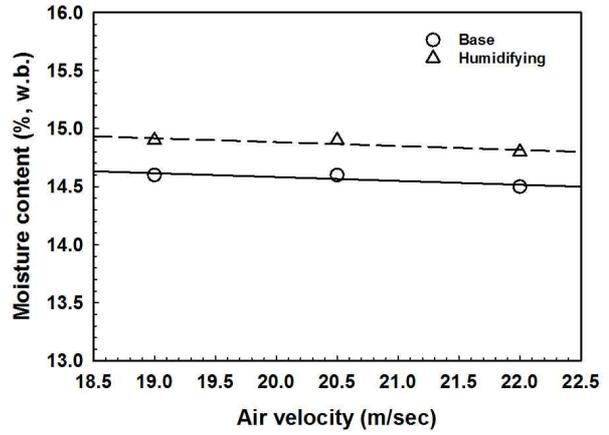
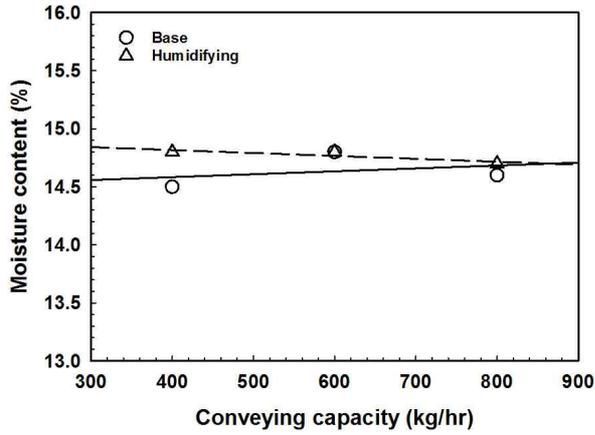


그림 2-2-2-43. 현미 이송 시 이송량 및 풍속 변화에 따른 함수율 변화

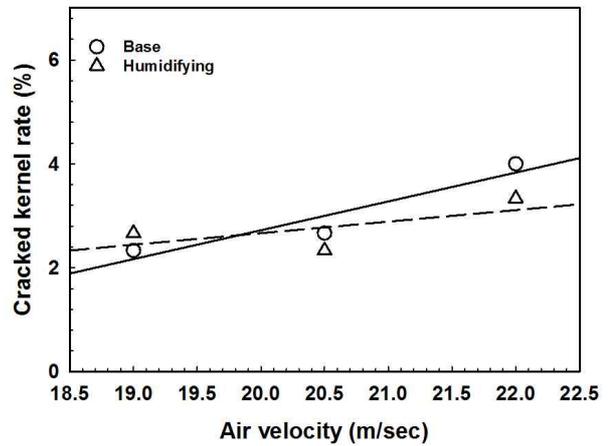
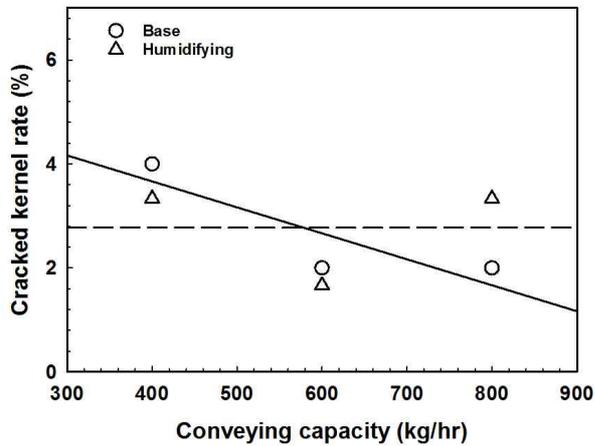


그림 2-2-2-44. 현미 이송 시 이송량 및 풍속 변화에 따른 동할 변화

- 이상과 같이 공기이송시스템 시작품의 2차 성능평가를 실시하였으나, 이송량이 백미 1ton/hr기준으로 소형이고, 설치공간도 참여기업인 (주)IGSP 공장으로 이송관을 충분히 설치할 공간의 확보가 어려워 45°곡관부 6개 포함한 총 배관길이 30m내에서 실시하였으며, 이송 실험시 품질저하에 따른 재사용의 한계로 실험회수가 제한되었음
- 따라서 본 연구는 시작품에 대한 설계와, 설계된 시작품을 이용한 현미 및 백미의 이송실험을 통해, 장치 설계능력의 향상 및 상당부분 know-how는 획득하였으며, 상용화를 위해서는 향후 실제 RPC에서 대량으로 장기간 연속실험이 필요하였음

제 3절 잡곡류의 대량제조공정 개발

- 잡곡은 보리, 밀, 귀리, 조, 기장, 수수, 옥수수 및 메밀 등 쌀 이외의 모든 곡물을 포함하는데, 전술한 항에서 조사결과와 같이 최근 소비자의 기호도에 따라 잡곡 또는 혼합미 형태로 유통량이 증가하는 추세이지만 수입 잡곡이 주를 이루고 있고, 국내에서는 대부분이 잡곡생산량이 정확하게 파악하기 어려울 정도로 소규모 재배로서, 외부요인에 의해 가격이 급락하는 특징이 있을 뿐 아니라 생산시기가 정해져 있어 잡곡처리시설은 대부분 영세하고 비위생적으로 운영되어 왔음
- 정부에서는 정부보조사업(발식량공동경영체육성지원 등)으로 잡곡처리시설을 지원하고 있으나, 잡곡제조시설은 설계인자의 구멍은 물론 보급모델도 없는 상태로서, 건조는 주로 농가단위로 실시되고 있고, 소규모 잡곡처리시설은 과거 RPC초창기에 사용되었던 소규모, 저성능의 단위기계를 조합하여 사용하고 있어 가격상승 및 품질저하를 초래하는 것은 물론 RPC와의 중복투자의 우려, 연중가동시간 및 투자비 등을 고려할 때 장기적으로 독자생존이 어려울 것이라는 우려가 높은 상태임
- 따라서 정부정책의 효율적인 추진을 위해서는 물론, 향후 장기적으로 국내 잡곡 수요량이 증가할 경우 품질향상 및 대량생산을 위해서는 현 농가건조 및 소규모 잡곡제조시설의 체계를 탈피한 RPC대량건조체계로의 전환이 필요하였으며, 특히, 광역통합 RPC에서는 혼합미 대량생산을 위해 필요한 잡곡의 수확후 처리시설의 효율적인 설치 및 운영에 필요한 설계인자의 개발이 필요하였음
- 본 연구(절)는 광역통합 RPC에서 잡곡의 대량처리를 위해 잡곡의 건조 등 수확후 처리시설의 효율적인 설치 및 운영에 필요한 설계인자를 구명하기 위하여 수행되었으며, 국내에서 가장 많이 생산 및 유통되고 있는 5종류의 잡곡 즉, 백태, 서리태, 수수, 조 및 기장 등 대상으로 건조(평형함수율 및 박층건조모델) 및 선별인자(기하학적특성 및 마찰특성 등)를 구명하였음
- 건조인자는 건조특성 중 가장 중요한 요소인 평형함수율과 박층건조방정식을 개발하였고, 횡류형 간헐건조과정을 해석한 기존 건조모델과, 본 연구에서 개발한 잡곡의 박층건조모델 및 평형함수율 모델을 사용하여 순환식 횡류형 건조기에서의 수수, 콩, 조 및 기장 등 잡곡의 건조시물레이션 모델을 개발하였음. 다만, 백태와 서리태 평형함수율 및 박층건조모델에 큰 차이가 없어 콩으로 통합하여 모델을 개발하였음을 밝혀둠
- 선별인자로는 잡곡류의 형상, 크기, 표면적, 체적, 밀도 및 공극률 등 기하학적특성과, 저장빈의 벽체에 작용하는 하중계산, 이송관의 벽면의 마찰 저항계수, 저장빈 및 이송기기의 설계 등에 사용되는 정지마찰계수, 동마찰계수, 구름저항계수, 안식각, 내부마찰각 등 마찰특성을 측정하였으며, 세부적인 측정결과는 다음과 같았음

1. 잡곡의 물리적 특성

가. 실험방법

(1) 공시재료

- 실험에 사용한 잡곡은 백태, 서리태, 수수, 조 및 기장 등 5종으로서, 백태, 서리태 및 수수 등 3종의 잡곡은 2015년산, 조, 기장 등 2종의 잡곡은 2016년산이었음. 백태 및 서리태는 2015년 11월 충북 보은지역에서, 수수는 2015년 10월 강원도 춘천지역에서 수확한 시료를 구입하여 사용하였으며, 초기함수율은 백태는 14.6%,w.b., 서리태는 14.7%,w.b., 수수는 16.3%,w.b.이었음
- 조, 기장 등 2종의 잡곡은 강원도 정선지역에서 2016년에 생산한 시료를 사용하였으며, 이물질을 정선한 후 초기 함수율을 측정결과 조는 19.8%,w.b., 수수는 16.5%,w.b.로 나타났음
- 구입한 시료는 이물질을 육안으로 확인하여 선별한 후 밀봉후 2℃ 저온저장고에 보관하면서 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 실험에 사용하였음



그림 2-3-1. 실험에 사용한 잡곡 5종(백태, 서리태, 수수, 조, 기장)

- 이물질을 정선한 후, 농산물건조기를 이용하여 5수준의 함수율별로 건조한 다음 공시하였으며, 건조 후 함수율은 수수의 경우 7.4, 9.7, 11.9, 14.0 및 16.3%,w.b., 백태의 경우 7.3, 9.0, 10.8, 12.7 및 14.9%,w.b., 서리태의 경우 7.4, 9.2, 10.4, 13.8 및 14.7%,w.b. 조의 경우 6.9, 12.5, 14.4, 17.7 및 19.8%,w.b.이었고, 기장의 경우 6.9, 8.8, 13.5, 15.0 및 16.5%,w.b.이었음
- 건조한 함수율 별 시료는 곡립별 함수율을 균질화하기 위하여 밀봉한 후 2℃ 저온저장고에 1주일간 보관하였으며, 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 실험에 사용하였음

(2) 실험방법

- 기하학적특성은 정립 100립을 화상분석기(Image Pre-plus ver 4.5.1.22, Hi-Rox Hi-scop compact micro vision system, KH-2200, MD3)로 장축길이(length), 단축길이(width), 면적

(area) 및 원형율(roundness)을 각각 측정하였음

- 색도는 정립만을 선별한 후 색차계(CM-5, Konica Minolta, Japan)를 이용하여 5회 측정한 후 최대 및 최소값을 제외한 3회 값을 평균치로 사용하였으며, 기류선별을 위한 종말속도(終末速度, terminal velocity)는 Kim 등(2005)이 쌀과 밀의 종말속도 측정에 이용한 풍동장치를 사용하였고, 풍량을 증가시키면서 곡립이 금망에서 1cm 뜨는 시점에서의 풍속을 5회 반복 측정하여 사용하였음
- 비중은 측정도중 흡습을 방지하기 위하여 톨루엔(60% 용액사용, 15°C에서의 비중 0.839)을 사용하였고, 톨루엔의 온도를 15°C로 유지하면서 전자비중계(Radwag, AS-220/x, Poland)로 측정하였으며, 다음 식(2-3-1)과 같이 계산하였고, 정립 50립의 측정치 평균을 사용하였음

$$p = \frac{A}{A-B} \times p_0 \dots\dots\dots (2-3-1)$$

여기서 p : 비중(-)

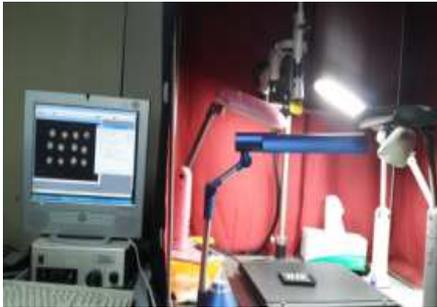
A : 공기중의 무게(g)

B : 물속에서의 무게(g)

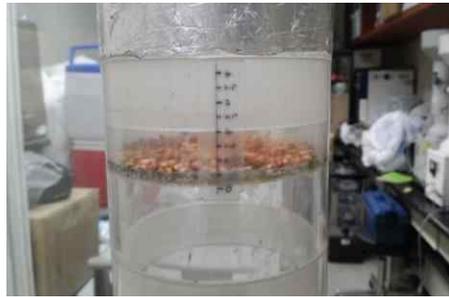
p₀ : 액체의 비중(-)

표 2-3-1. 톨루엔 비중표

온도	60%	70%	80%	90%	100%
20°C	0.834	0.842	0.850	0.858	0.866
19°C	0.835	0.843	0.851	0.859	0.867
18°C	0.836	0.844	0.852	0.860	0.868
17°C	0.837	0.845	0.853	0.861	0.869
16°C	0.838	0.846	0.854	0.862	0.870
15°C	0.839	0.847	0.855	0.863	0.871
14°C	0.840	0.848	0.856	0.864	0.872
13°C	0.841	0.849	0.857	0.865	0.873
12°C	0.842	0.850	0.858	0.866	0.874
11°C	0.843	0.851	0.859	0.867	0.875
10°C	0.844	0.852	0.860	0.868	0.876



(기하학적특성 실험, 영상장치)



(종말속도 측정모습)



(종말속도 측정장치)



(칼라특성 실험, 색차계)



(비중실험 장치)

그림 2-3-2. 기하학적, 종말속도 및 비중 측정

- 산물밀도(散物密度, bulk density)는 Kim 등(2013)에서 사용한 USDA방법을 준용하여 다음 그림 2-3-3과 같은 산물밀도 측정장치(Weight per bushel test apparatus, Seedburo사, USA)로 동일 시료에 대해 3회씩 측정하여 평균값을 사용하였음

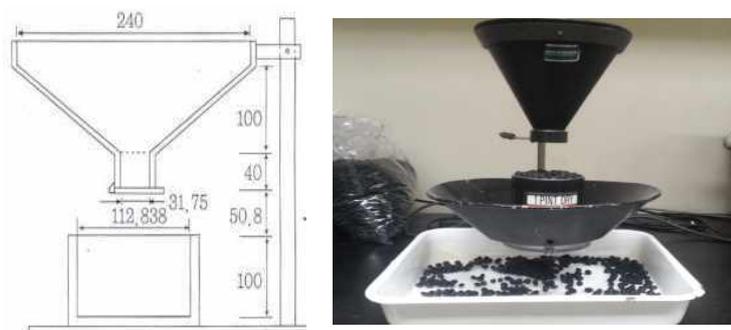


그림 2-3-3. 산물밀도 측정장치의 주요 제원(mm) 및 Seedburo사의 산물밀도 측정장치

- 안식각(安息角, repose angle)은 Kim 등(1998) 및 Tabatabaeefar(2003)와 동일한 방법으로 정안 식각 및 동안식각을 측정하였으며, 정안식각은 쌓여있는 곡물 퇴적층의 자유표면이 수평면과 이루는 각도로, 다시 배출이 발생하기 전에 물질의 퇴적층이 차지하는 최대 경사의 수평과 이루는 각도를

경사각, 배출된 후 자유낙하한 곡물이 바닥에 떨어지면서 산등성 모양의 퇴적층이 차지하는 최대 경사의 수평면과 이루는 각도를 배출각으로 칭하며 이때의 각을 측정하였음

- 동안식각은 측정평판이 수평면과 0°~70° 범위로 조절이 가능한 시료틀(150×150×100mm)에 시료를 충전하고, 경사 조절 레버를 손으로 천천히 돌리면서 시료가 측정평판위에서 약 1/4정도가 미끄러지는 순간의 각을 측정하였음
- 정지마찰계수(coefficient of static friction)는 Hong 등(2008)와 동일한 방법으로 정지마찰계수를 측정하였으며, 측정평판이 수평면과 0~70° 범위로 조절이 가능한 측정 장치의 시료틀(220×220mm)에 시료를 충전하고, 충전된 틀과 시료를 분리시킨 후, 경사 조절 레버를 손으로 천천히 돌리면서 시료가 평판위에서 약 1/2정도가 미끄러지는 순간의 마찰각을 측정하며 함수율별로 3회 반복 측정한 후 평균값을 사용하였으며, 마찰각을 tan 마찰각으로 계산 후 사용하였음



동안식각



정지마찰계수 (STS, 아크릴수지, EGI 아연도금강판)

그림 2-3-4. 동안식각 및 정지마찰계수 측정모습

나. 결과 및 고찰

(1) 기하학적 특성

- 함수율에 따른 수수, 백태, 서리태, 조 및 기장의 기하학적특성(장축길이, 단축길이, 면적, 원형율)을 측정한 결과는 다음 표 2-3-2 및 그림 2-3-5~9와 같았으며, 표 및 그림에서와 같이 함수율별로 건조한 수수의 기하학적 특성의 결과는 장축·단축길이, 면적 및 원형율은 함수율이 낮을수록 감소하였고, $p < 0.01$ 수준에서 함수율의 증가에 따라 기하학적 특성 중 장축길이 및 단축길이는 유의적인 차이를 나타내었고, 면적 및 원형율은 $p < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이를 나타내었음

표 2-3-2. 기하학적특성(장축길이, 단축길이, 면적, 원형율) 측정결과

구 분		기하학적특성			
종류	함수율 (%,w.b.)	장축길이(mm)	단축길이(mm)	면적(mm ²)	원형율(-)
수수	7.4	4.0316 ^{b**} ±0.25	3.6268 ^{b**} ±0.28	11.1097 ^{b*} ±1.40	1.2706 ^{a*} ±0.30
	9.7	4.0408 ^{b**} ±0.27	3.6536 ^{ab**} ±0.31	11.2317 ^{ab*} ±1.65	1.2619 ^{a*} ±0.23
	11.9	4.0445 ^{b**} ±0.22	3.6975 ^{ab**} ±0.26	11.2767 ^{ab*} ±1.38	1.3255 ^{a*} ±0.38
	14.0	4.1096 ^{ab**} ±0.22	3.7379 ^{a**} ±0.27	11.6018 ^{ab*} ±1.31	1.2758 ^{a*} ±0.25
	16.3	4.1285 ^{a**} ±0.24	3.7474 ^{a**} ±0.26	11.7141 ^{a*} ±1.56	1.4123 ^{a*} ±0.70
백태	7.3	7.5936 ^{c***} ±0.26	7.2164 ^{b***} ±0.22	43.8579 ^{c***} ±2.57	1.0553 ^a ±0.03
	9.0	7.7405 ^{b***} ±0.32	7.1301 ^{c***} ±0.28	44.2563 ^{c***} ±3.03	1.0292 ^a ±0.01
	10.8	7.6211 ^{c***} ±0.27	7.2186 ^{b***} ±0.24	44.1342 ^{c***} ±2.79	1.0269 ^a ±0.01
	12.7	7.7127 ^{b***} ±0.27	7.3263 ^{a***} ±0.21	45.3054 ^{b***} ±2.52	1.0256 ^a ±0.01
	14.9	8.0050 ^{a***} ±0.33	7.3519 ^{a***} ±0.27	47.1357 ^{a***} ±3.18	1.0273 ^a ±0.01
서리태	7.4	10.5130 ^{d***} ±0.56	8.7646 ^{d***} ±0.47	73.1260 ^{d***} ±6.05	1.1046 ^{b***} ±0.07
	9.2	10.8914 ^{c***} ±0.60	9.0186 ^{c***} ±0.49	77.9060 ^{c***} ±6.26	1.0988 ^{b***} ±0.07
	10.4	11.0480 ^{bc***} ±0.54	9.2315 ^{b***} ±0.52	80.9415 ^{b***} ±6.23	1.0903 ^{b***} ±0.07
	13.8	11.1046 ^{b***} ±0.56	9.1304 ^{bc***} ±0.48	80.7938 ^{b***} ±6.33	1.0794 ^{b***} ±0.05
	14.7	11.9866 ^{a***} ±0.56	9.6497 ^{a***} ±0.46	89.9713 ^{a***} ±6.22	1.1912 ^{a***} ±0.11
조	6.9	2.0516 ^c ±0.19	1.1573 ±0.07	1.8609 ^b ±0.14	1.4578 ^c ±0.09
	12.5	2.0057 ^c ±0.26	1.1772 ±0.13	1.8292 ^b ±0.24	1.4587 ^c ±0.11
	14.4	2.2553 ^b ±0.21	1.1660 ±0.12	1.9709 ^a ±0.20	1.5546 ^b ±0.09
	17.7	2.2176 ^b ±0.26	1.1871 ±0.14	1.9623 ^a ±0.23	1.5424 ^b ±0.09
	19.8	2.3338 ^a ±0.28	1.1620 ±0.11	1.9748 ^a ±0.25	1.5917 ^a ±0.10
기장	6.4	3.3888 ^a ±0.37	1.1558 ±0.14	2.3373 ^b ±0.17	1.9188 ^b ±0.15
	8.8	3.7784 ^a ±0.19	1.0879 ^b ±0.03	2.4079 ^a ±0.11	2.0565 ^a ±0.08
	13.5	3.7773 ^a ±0.22	1.0847 ^b ±0.04	2.3981 ^a ±0.11	2.0573 ^a ±0.08
	15.0	3.7889 ^a ±0.24	1.0852 ^b ±0.03	2.4195 ^a ±0.17	2.0520 ^a ±0.10
	16.5	3.8007 ^a ±0.30	1.0963 ^b ±0.06	2.4182 ^a ±0.17	2.0584 ^a ±0.10

주 1. *(p<0.05), **(p<0.01), ***(p<0.001)수준에서 유의적인 차이가 있음

주 2. abcde : column내에서 같은 알파벳은 같은 수준임

(2) 함수율과 기하학적 특성과의 관계

- 함수율에 따라 수수, 백태, 서리태, 조 및 기장의 면적, 원형율, 장축 및 단축길이는 다음 식 (2-3-2)와 같이 1차식으로 표현이 가능하였고, 각 모델의 상수 및 결정계수는 다음 표와 같았으며, 이 결과는 함수율과 기하학적 특성에서 기장에 관해 1차식으로 표현이 가능하다고 보고한 Baryeh(2002, 5.0%~22.5%)의 결과와 유사하였으며, 기타 함수율에 따른 기하학적 특성이 1차식으로 표현이 가능하다고 보고된 밀(Majdi A. Al-Mahasneh, 2007), 유채씨(Hong et al., 2008), 백태(Deshpande et al., 1993) 및 벼(B.S. Reddy and A. Chakraverty, 2004) 등의 결과와도 유사한 경향이었음

$$V1 = aM + b \dots\dots\dots (2-3-2)$$

여기서, V1 : 장축길이(mm), 단축길이(mm), 면적(mm²), 원형율(-)

M : 함수율(%w.b.)

a, b : 상수(-)

- 수수는 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하였으며, 이 때 결정계수는 $r^2=0.858$ (장축길이), $r^2=0.966$ (단축길이), $r^2=0.931$ (면적), $r^2=0.569$ (원형율)이었음. 이 결과는 수수에 관해 함수율 13.64~21.95%일 때 기하학적 특성을 1차식으로 표현가능하다고 보고한 G. Mwithiga and M. M. Sifuna(2006)와 유사한 경향을 나타내었고, 기타 곡물에서도 함수율의 1차식으로 표현이 가능하다는 밀(Majdi A. Al-Mahasneh, 2007), 헤이즐넛(Aydin, 2002), 유채씨(Calisir et al., 2005), 백태(Deshpande et al., 1993) 및 벼(B.S. Reddy and A. Chakraverty, 2004) 등의 결과와도 유사한 경향이었음
- 함수율별로 건조한 백태의 장축·단축길이, 면적 및 원형율은 함수율이 낮을수록 감소하였고, 이 가운데 원형율을 제외한 나머지 기하학적 특성은 $p<0.001$ 수준에서 1차식으로 표현이 가능하였으며, 원형율은 $p<0.1$ 수준에서 1차식으로 표현이 가능하였으며, 이 때 결정계수는 $r^2=0.631$ (장축길이), $r^2=0.688$ (단축길이), $r^2=0.835$ (면적), $r^2=0.517$ (원형율)이었음
- 함수율별로 건조한 서리태의 장축·단축길이, 면적 및 원형율은 함수율이 낮을수록 감소하였고, 모든 항목은 $p<0.001$ 수준에서 1차식으로 표현이 가능하였으며, 이 때 결정계수는 $r^2=0.754$ (장축길이), $r^2=0.705$ (단축길이), $r^2=0.776$ (면적), $r^2=0.229$ (원형율)이었음
- 이 결과는 백태 및 서리태에 관해 각각의 함수율범위에서 1차식으로 표현이 가능하다고 보고한 H. Kibar and T. Ozturk(2008, 8.0~16.0%), Refik et., al(2006, 6.7~15.3%), Deshpande S. D. et., al(1993, 8.7~25.0%)의 결과와도 유사하였으며, 기타 곡물에서도 함수율의 1차식으로 표현이 가능하다는 밀(Majdi A. Al-Mahasneh, 2007), 헤이즐넛(Aydin, 2002), 유채씨(Calisir et al., 2005), 백태(Deshpande et al., 1993) 및 벼(B.S. Reddy and A. Chakraverty, 2004) 등의 결과와도 유사한 경향이었음

- 기장의 경우 함수율이 높아질수록 면적, 장축 및 단축길이가 증가하였으나, 원형율의 경우 함수율 6.4%에서 가장 높은 값을 나타내었으나, 함수율 8.8%~16.5% 범위에서는 함수율이 높아질수록 원형율이 증가하였고, $p < 0.001$ 수준에서 함수율이 증가에 따라 면적, 원형율, 장축 및 단축길이는 유의적인 차이를 나타내었음

표 2-3-3. 기하학적특성, 비중 및 종말속도 예측모델의 상수 및 결정계수

구 분		기하학적 특성			
		장축길이(mm)	단축길이(mm)	면적(mm ²)	원형율(-)
수수	a	0.012	0.015	0.071	0.014
	b	3.931	3.518	10.542	1.149
	r ²	0.858	0.966	0.931	0.569
백태	a	0.043	0.025	0.411	-0.003
	b	7.261	6.975	40.442	1.066
	r ²	0.631	0.688	0.835	0.517
서리태	a	0.153	0.088	1.756	0.007
	b	9.414	8.177	61.058	1.036
	r ²	0.754	0.705	0.776	0.229
조	a	1.852	1.156	1.769	1.371
	b	0.022	0.000	0.010	0.010
	r ²	0.807	0.391	0.761	0.869
기장	a	3.317	1.161	2.318	1.900
	b	0.032	-0.004	0.006	0.010
	r ²	0.740	0.662	0.776	0.708

(3) 산물밀도, 비중, 종말속도 및 색도

- 함수율에 따른 수수, 백태, 서리태, 조 및 기장의 산물밀도, 비중, 종말속도 및 색도를 측정한 결과는 다음 표 2-3-4와 그림 2-3-5 ~ 9와 같았으며, 표 및 그림에서와 같이 함수율별로 건조한 수수, 조 및 기장의 산물밀도는 함수율이 증가할수록 증가한 반면, 백태 및 서리태는 감소하는 경향을 나타내었고, 수수 및 백태를 제외한 서리태, 조 및 기장은 $p < 0.01$ 수준에서 함수율의 증가에 따라 유의적인 차이를 나타냈으며, 산물밀도는 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하였으며, 이 때 결정계수는 $r^2 = 0.916$ (수수), $r^2 = 0.977$ (백태) 및 $r^2 = 0.693$ (서리태)이었음
- 이 결과는 백태 및 서리태의 산물밀도는 1차식으로 표현이 가능하다고 보고한 H. Kibar and T. Ozturk(2008, 8.0~16.0%), Refik *et. al*(2006, 6.7~15.3%) 및 Deshpande S. D. *et. al*(1993, 8.7~25.0%)의 결과와도 유사하였음
- 그러나 본 연구에서는 함수율 14.0%인 수수의 산물밀도는 775.1 kg/m^3 로 측정되었으나, 함수율 13.64%인 케냐산 수수의 산물밀도를 품종별로 측정한 결과, 588.5, 686.3 및 757.6 kg/m^3 로 나타났다고 보고한 Mwithiga and Sifuna(2006)의 결과와는 다소 차이가 있었는데, 품종의 상이가 주요 원인으로 판단되었음
- 수수, 백태 및 서리태의 비중은 함수율이 감소할수록 증가하였고, 백태의 비중은 $p < 0.001$ (수수 및 서리태 제외)수준에서 함수율의 증가에 따라 유의적인 차이를 나타내었으며, 비중은 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하였으며, 이 때 결정계수는 $r^2 = 0.822$ (수수), $r^2 = 0.928$ (백태) 및 $r^2 = 0.949$ (서리태)이었음
- 수수, 백태 및 서리태의 종말속도는 함수율이 감소할수록 감소하였고, 수수 및 백태는 $p < 0.001$ 수준에서 함수율의 증가에 따라 종말속도는 유의적인 차이를 나타내었으며, 서리태는 $p < 0.01$ 수준에서 유의적인 차이를 나타냈음. 종말속도는 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하였으며, 이 때 결정계수는 $r^2 = 0.826$ (수수), $r^2 = 0.899$ (백태) 및 $r^2 = 0.792$ (서리태)이었음
- 이 결과는 백태 및 서리태 콩연구에 관해 함수율 6.7~15.3%일 때 종말속도는 7.13~9.24m/sec수준으로 1차식($r^2 = 0.94$)으로 표현이 가능하다고 보고한 Refik *et. al*(2006)와 유사한 경향이었음
- 수수, 백태 및 서리태의 색도(L, b값)는 함수율이 증가할수록 증가하였고, 수수 및 서리태는 $p < 0.05$ 수준에서 함수율 증가에 따라 유의적인 차이를 나타내었고, 백태는 $p < 0.001$ 수준에서 유의적인 차이를 나타냈으며, 색도(L, b값)는 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하였는데, 이 때 수수의 결정계수는 $r^2 = 0.868$ (L값), $r^2 = 0.737$ (b값), 백태 $r^2 = 0.850$ (L값), $r^2 = 0.667$ (b값), 서리태 $r^2 = 0.624$ (L값), $r^2 = 0.018$ (b값)이었음
- 조 및 기장의 비중은 함수율이 높아질수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 함수율의 증가에 따라 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 종말속도는 함수율이 높아질수록 증가하였고, $p < 0.001$ 수준에서 함수율의 증가에 따라 유의적인 차이를 나타내었음
- 조의 색도의 경우 L값과 a값은 함수율이 높아질수록 증가하였으며, $p < 0.001$ 수준에서 함수율의 증

가에 따라 유의적인 차이를 나타내었고, b값은 $p < 0.01$ 수준에서 함수율의 증가에 따라 유의적인 차이를 나타내었으며, 기장의 색도 L값과 b값은 함수율이 높아질수록 증가하였고, 색도 a 값은 함수율이 높아질수록 감소하였고, 색도 L값은 $p < 0.001$ 수준에서 함수율의 증가에 따라 유의적인 차이를 나타내었으며, a값과 b값은 $p < 0.05$ 수준에서 함수율의 증가에 따라 유의적인 차이를 나타내었음

표 2-3-4. 산물밀도, 비중 및 종말속도 측정결과

구 분		산물밀도 (kg/m ³)	비중 (-)	종말속도 (m/sec)	색도 (-)		
종류	함수율 (%,w.b.)				L	a	b
수수	7.4	771.0 ^a ±1.47	1.2860 ^a ±0.04	6.39 ^{d***} ±0.02	41.2 ^{a*} ±0.62	14.8 ^a ±0.77	21.6 ^{b*} ±0.83
	9.7	774.0 ^a ±0.59	1.2844 ^a ±0.04	6.49 ^{c***} ±0.02	41.1 ^{a*} ±1.23	15.1 ^a ±0.08	22.4 ^{ab*} ±0.97
	11.9	774.7 ^a ±4.53	1.2813 ^a ±0.06	6.58 ^{c***} ±0.04	42.0 ^{a*} ±0.13	14.5 ^a ±0.30	22.3 ^{ab*} ±0.42
	14.0	775.1 ^a ±1.87	1.2809 ^a ±0.05	6.68 ^{b***} ±0.06	42.0 ^{a*} ±0.39	14.8 ^a ±0.79	22.3 ^{ab*} ±0.40
	16.3	778.0 ^a ±2.90	1.2811 ^a ±0.04	7.19 ^{a***} ±0.10	42.9 ^{a*} ±0.29	14.5 ^a ±0.43	23.6 ^{a*} ±0.30
백태	7.3	761.9 ^a ±14.65	1.2496 ^{a***} ±0.01	8.43 ^{d***} ±0.10	64.2 ^{a***} ±1.32	5.8 ^a ±0.29	26.6 ^{b***} ±0.75
	9.0	758.6 ^a ±0.33	1.2438 ^{ab***} ±0.02	8.79 ^{c***} ±0.11	63.5 ^{a***} ±0.55	6.2 ^a ±0.32	28.1 ^{b***} ±1.16
	10.8	753.7 ^a ±1.22	1.2435 ^{ab***} ±0.01	9.69 ^{b***} ±0.16	63.6 ^{a***} ±0.68	6.1 ^a ±0.29	28.5 ^{b***} ±1.30
	12.7	750.9 ^a ±4.11	1.2410 ^{b***} ±0.01	9.73 ^{b***} ±0.11	62.2 ^{a***} ±0.28	6.7 ^a ±0.48	27.6 ^{b***} ±0.34
	14.9	743.5 ^a ±1.44	1.2367 ^{a***} ±0.01	10.06 ^{a***} ±0.07	59.6 ^{b***} ±1.14	6.8 ^a ±0.59	31.2 ^{a***} ±1.63
서리태	7.4	732.6 ^{a**} ±2.35	1.2051 ^a ±0.03	19.16 ^{b***} ±0.10	21.46 ^{a***} ±0.62	-0.30 ^{ab*} ±0.06	-0.84 ^a ±0.12
	9.2	729.5 ^{a**} ±3.98	1.2027 ^a ±0.02	19.34 ^{b***} ±0.10	22.53 ^{a***} ±0.55	-0.22 ^{ab*} ±0.01	-0.86 ^a ±0.08
	10.4	728.2 ^{a**} ±1.98	1.1986 ^a ±0.02	19.40 ^{b***} ±0.10	21.39 ^{a***} ±0.85	-0.43 ^{b*} ±0.07	-0.77 ^a ±0.31
	13.8	726.9 ^{a**} ±2.85	1.1947 ^a ±0.03	19.45 ^{b***} ±0.18	20.59 ^{a***} ±1.39	-0.21 ^{ab*} ±0.11	-0.58 ^a ±0.27
	14.7	714.2 ^{b**} ±6.52	1.1948 ^a ±0.03	19.81 ^{a***} ±0.18	17.62 ^{a***} ±0.52	-0.10 ^{a*} ±0.23	-1.12 ^a ±0.27
조	6.9	299.7 ^d ±0.7	1.2067 ^a ±0.14	2.9 ^e ±0.0	52.8 ^a ±0.3	2.7 ^b ±0.0	26.8 ^a ±0.1
	12.5	312.3 ^c ±1.4	1.1844 ^a ±0.07	3.2 ^d ±0.0	52.3 ^{ab} ±0.3	2.9 ^b ±0.0	26.7 ^a ±0.2
	14.4	319.1 ^b ±1.5	1.1785 ^a ±0.18	3.5 ^c ±0.0	52.4 ^{ab} ±0.2	2.9 ^b ±0.0	26.1 ^b ±0.
	17.7	319.9 ^b ±0.3	1.1386 ^a ±0.12	3.6 ^b ±0.0	51.6 ^b ±0.8	3.4 ^a ±0.1	26.6 ^a ±0.1
	19.8	323.3 ^a ±1.9	1.1238 ^a ±0.12	4.0 ^a ±0.0	48.6 ^c ±0.1	3.2 ^a ±0.1	26.7 ^a ±0.2
기장	6.4	338.5 ^e ±2.0	1.1290 ^e ±0.06	2.9 ^e ±0.0	59.4 ^c ±0.2	5.5 ^a ±0.1	24.5 ^b ±0.2
	8.8	349.7 ^d ±1.8	1.1052 ^d ±0.05	3.1 ^d ±0.0	60.5 ^b ±0.0	5.6 ^a ±0.1	25.5 ^{ab} ±0.6
	13.5	356.9 ^c ±2.2	1.0895 ^b ±0.06	3.3 ^c ±0.0	60.6 ^b ±0.1	5.5 ^a ±0.0	26.0 ^a ±0.2
	15.0	362.5 ^b ±0.5	1.0828 ^d ±0.05	3.4 ^b ±0.0	60.8 ^b ±0.3	5.5 ^a ±0.0	25.9 ^a ±0.9
	16.5	367.2 ^a ±1.2	1.0755 ^b ±0.05	3.5 ^a ±0.0	61.5 ^a ±0.5	5.2 ^b ±0.2	25.6 ^{ab} ±0.5

주 1. *($p < 0.05$), **($p < 0.01$), ***($p < 0.001$)수준에서 유의적인 차이가 있음

주 2. abcde : column내에서 같은 알파벳은 같은 수준임

(4) 함수율과 산물밀도, 비중, 종말속도 및 색도와의 관계

○ 함수율에 따라 수수, 백태, 서리태, 조 및 기장의 산물밀도, 비중, 종말속도 및 색도는 다음 식 (2-3-3)과 같이 1차식으로 표현이 가능하였고, 각 모델의 상수 및 결정계수는 다음 표와 같았으며, 이 결과에서 기장의 종말속도는 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하다고 보고한 Baryeh(2002)의 결과와 유사하였으나, 산물밀도의 경우 함수율 10%이상에서 산물밀도가 감소한다고 보고한 Baryeh(2002)의 결과와 다소 차이를 나타냈는데, 이는 품종이 다른 것이 주요 원인으로 판단되었음

$$V1 = aM + b \dots\dots\dots (2-3-3)$$

여기서, V1 : 산물밀도(kg/m³), 비중(-), 종말속도(m/sec), 색도(-)

M : 함수율(%w.b.)

a, b : 상수(-)

표 2-3-5. 산물밀도, 비중, 종말속도 및 색도 예측모델의 상수 및 결정계수

구 분		산물밀도 (kg/m ³)	비중 (-)	종말속도 (m/sec)	색도 (-)	
					L	b
수수	a	0.686	-0.001	0.081	0.195	0.178
	b	766.422	1.290	5.704	39.532	20.333
	r ²	0.916	0.822	0.826	0.868	0.737
백태	a	-2.015	-0.002	0.220	-0.567	0.469
	b	777.618	1.260	6.937	68.820	23.268
	r ²	0.977	0.928	0.899	0.850	0.667
서리태	a	-1.910	-0.002	0.069	-0.477	-0.008
	b	747.482	1.216	18.670	26.016	-0.742
	r ²	0.693	0.949	0.792	0.624	0.018
조	a	289.062	1.260	2.279	55.225	26.812
	b	1.808	-0.006	0.082	-0.2503	-0.015
	r ²	0.966	0.962	0.959	0.777	0.296
기장	a	322.378	1.157	2.504	58.683	24.197
	b	2.685	-0.005	0.058	0.147	0.107
	r ²	0.977	0.970	0.993	0.866	0.778

(5) 안식각 및 정지마찰계수

○ 함수율에 따른 수수, 백태, 서리태, 조 및 기장의 안식각 및 정지마찰계수를 측정한 결과는 다음 표 2-3-6과 그림 2-3-5 ~ 9와 같았으며, 표 및 그림에서와 같이 수수, 백태, 서리태, 조 및 기장의 정안식각(퇴출값, 배출값) 및 동안식각을 측정한 결과는 함수율이 증가할수록 증가하였고, 수수의

정안식각 중 퇴적값과 서리태의 배출값은 $p < 0.05$ 수준에서 함수율 증가에 따라 유의적인 차이를 나타내었으며, 동안식각은 $p < 0.001$ 수준에서 유의적인 차이를 나타냈음

- 수수, 백태 및 서리태의 안식각은 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하였고 이 때 수수의 정안식각(배출값, 퇴적값) 및 동안식각 결정계수는 $r^2 = 0.915$ (배출값), $r^2 = 0.931$ (퇴적값), $r^2 = 0.962$ (동안식각), 백태 $r^2 = 0.889$ (배출값), $r^2 = 0.072$ (퇴적값), $r^2 = 0.961$ (동안식각) 및 서리태 $r^2 = 0.821$ (배출값), $r^2 = 0.857$ (퇴적값), $r^2 = 0.883$ (동안식각)이었음
- 이 결과는 수수에 관해 함수율 13.64~21.95%일 때 동안식각을 1차식으로 표현이 가능하다고 보고한 G. Mwithiga and M. M. Sifuna(2006), 콩은 함수율 범위(8.0~16.0%)일 때 내부마찰각은 1차식으로 표현이 가능하다고 보고한 H. Kibar and T. Ozturk(2008)의 결과와 유사한 경향을 나타내었음
- 또한, 기타곡물에서도 함수율에 따라 동안식각은 1차식으로 표현이 가능하다는 밀(A. Tabatabaeefar, 2003), 벼(김 등, 1998), 녹두(Nimkar and Chattopadyay, 2001), 콩(faba bean, Fraser *et al.*, 1978), 나무콩(완두콩, Sphered abd Bhardwaj, 1986), 퀴노아(Vilche, Gely and Santall, 2003), 및 기장(Baryeh, 2002) 등의 결과와도 유사한 경향이었음
- 함수율별로 건조한 수수의 정지마찰계수(STS, 아크릴수지, EGI강판)을 측정한 결과는 함수율이 증가할수록 증가하였고, $p < 0.001$ 수준에서 함수율의 증가에 따라 정지마찰계수 중 아크릴수지 및 EGI강판은 유의적인 차이를 나타내었고, STS재질은 $p < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이를 나타냈으며, 수수의 정지마찰계수(STS, 아크릴수지, EGI강판)는 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하였고, 이 때 결정계수는 $r^2 = 0.820$ (STS), $r^2 = 0.954$ (아크릴수지), $r^2 = 0.793$ (EGI강판)이었음
- 함수율별로 건조한 백태 및 서리태의 정지마찰계수(STS, 아크릴수지, EGI강판)을 측정한 결과는 함수율이 증가할수록 증가하였고, $p < 0.001$ 수준에서 함수율의 증가에 따라 정지마찰계수는 유의적인 차이를 나타냈음
- 백태 및 서리태의 정지마찰계수는 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하였고, 이 때 결정계수는 백태 $r^2 = 0.613$ (STS), $r^2 = 0.173$ (아크릴수지), $r^2 = 0.634$ (EGI강판) 및 서리태 $r^2 = 0.710$ (STS), $r^2 = 0.877$ (아크릴수지), $r^2 = 0.939$ (EGI강판)이었음
- 이 결과는 콩에 관해 의 정지마찰계수 중 아연도금재질에서 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하다는 H. Kibar and T. Ozturk(2008, 8.0~16.0%) 및 Refik *et. al.*(2006, 6.7~15.3%)의 결과와 유사하였으며, 기타곡물에 대해 측정한 유채씨(홍상진 등, 2008), 기장(Baryeh, 2002), 옥수수(Karababa, 2006), 사탕무씨(Dursuna 등, 2007) 등의 결과와도 유사한 경향이었음
- 조 및 기장의 스테인리스(STS) 및 EGI강판에서의 정지마찰계수는 함수율이 높아질수록 증가하였고, $p < 0.001$ 수준에서 함수율의 증가에 따라 유의적인 차이를 나타내었으나, 아크릴 수지의 경우 함수율이 높아질수록 정지마찰계수는 낮아지는 경향을 나타내었고, $p < 0.001$ 수준에서 함수율이 증가에 따라 유의적인 차이를 나타내었음

표 2-3-6. 안식각 및 정지마찰계수 측정결과

구분		안식각(°)			정지마찰계수(°, tan °)					
종류	함수율 (% wb)	정안식각		동안식각	스테인레스		아크릴수지 (PVC)		EGI (강판)	
		배출값	퇴적값							
수수	7.4	32.2 ^a ±1.13	38.3 ^{b*} ±0.58	43.2 ^{b***} ±0.29	15.2 ^{b*} ±0.58	0.26 ^b	19.8 ^{b***} ±1.04	0.35 ^b	15.2 ^{c***} ±0.29	0.26 ^c
	9.7	32.5 ^a ±1.24	39.3 ^{b*} ±1.73	43.5 ^{b***} ±0.50	15.2 ^{b*} ±0.29	0.26 ^b	20.2 ^{b***} ±1.26	0.35 ^b	15.3 ^{c***} ±0.29	0.27 ^c
	11.9	32.6 ^a ±1.84	40.0 ^{b*} ±1.73	43.7 ^{b***} ±0.29	15.5 ^{b*} ±0.50	0.27 ^b	21.7 ^{b***} ±0.58	0.38 ^b	15.3 ^{c***} ±0.58	0.27 ^c
	14.0	33.0 ^a ±1.26	43.0 ^{ab*} ±2.65	44.3 ^{a***} ±0.29	15.7 ^{b*} ±0.58	0.27 ^b	24.3 ^{a***} ±0.29	0.42 ^a	17.3 ^{b***} ±0.58	0.30 ^b
	16.3	33.7 ^a ±0.55	45.3 ^{a*} ±2.52	44.8 ^{a***} ±0.29	16.8 ^{a*} ±0.76	0.29 ^a	25.7 ^{a***} ±1.15	0.45 ^a	18.5 ^{a***} ±0.50	0.32 ^a
백태	7.3	30.0 ^a ±1.04	36.0 ^a ±1.73	52.3 ^{c***} ±0.58	6.2 ^{c***} ±0.29	0.11 ^c	7.8 ^{b***} ±0.29	0.14 ^b	6.5 ^{bc***} ±0.00	0.11 ^{bc}
	9.0	30.6 ^a ±0.79	35.0 ^a ±0.00	53.8 ^{d***} ±0.29	7.3 ^{b***} ±0.29	0.13 ^b	8.7 ^{b***} ±0.29	0.15 ^b	7.0 ^{b***} ±0.00	0.12 ^b
	10.8	30.9 ^a ±0.41	34.7 ^a ±1.15	54.7 ^{c***} ±0.29	7.2 ^{b***} ±0.58	0.13 ^b	7.5 ^{b***} ±0.87	0.12 ^{bc}	6.2 ^{c***} ±0.29	0.11 ^c
	12.7	32.0 ^a ±1.02	34.7 ^a ±0.58	55.7 ^{b***} ±0.29	6.8 ^{b***} ±0.29	0.12 ^b	7.7 ^{b***} ±0.29	0.13 ^{bc}	6.7 ^{bc***} ±0.58	0.12 ^{bc}
	14.9	31.8 ^a ±1.00	37.0 ^a ±0.00	56.3 ^{a***} ±0.29	9.7 ^{a***} ±0.29	0.17 ^a	10.0 ^{a***} ±0.50	0.18 ^a	8.7 ^{a***} ±0.29	0.15 ^a
서리태	7.4	34.8 ^{b*} ±1.78	34.0 ^{c***} ±1.73	50.7 ^{b**} ±0.76	16.2 ^{b***} ±0.29	0.28 ^b	15.7 ^{c***} ±0.58	0.27 ^c	15.7 ^{b***} ±0.58	0.27 ^b
	9.2	35.3 ^{b*} ±0.54	35.3 ^{c***} ±0.58	51.8 ^{ab**} ±2.47	16.5 ^{b***} ±0.50	0.29 ^b	17.0 ^{b***} ±0.50	0.30 ^b	16.5 ^{b***} ±0.50	0.29 ^b
	10.4	36.6 ^{ab*} ±1.17	37.7 ^{c***} ±0.58	53.8 ^{a**} ±0.29	17.3 ^{b***} ±0.76	0.30 ^b	17.7 ^{ab***} ±0.29	0.31 ^{ab}	16.5 ^{b***} ±0.50	0.29 ^b
	13.8	37.2 ^{ab*} ±1.45	39.7 ^{b***} ±2.52	54.7 ^{a**} ±0.58	17.3 ^{b***} ±0.29	0.30 ^b	18.5 ^{a***} ±0.50	0.32 ^a	17.8 ^{a***} ±0.29	0.31 ^a
	14.7	40.2 ^{a*} ±1.23	45.7 ^{a***} ±2.08	54.7 ^{a**} ±0.58	19.7 ^{a***} ±0.58	0.34 ^a	18.7 ^{a***} ±0.29	0.33 ^a	18.0 ^{a***} ±0.00	0.31 ^a
조	6.9	17.7 ^b ±1.0	31.0 ^b ±2.6	59.0 ^a ±0.1	16.2 ^e ±0.1	0.29 ^e	19.0 ^d ±0.1	0.34 ^d	20.0 ^c ±0.8	0.36 ^c
	12.5	23.5 ^a ±0.3	36.3 ^a ±1.5	60.2 ^a ±0.1	17.7 ^d ±0.0	0.32 ^d	19.0 ^d ±0.0	0.34 ^d	24.2 ^a ±1.2	0.45 ^a
	14.4	22.1 ^a ±1.9	38.0 ^a ±1.0	60.8 ^c ±0.0	19.0 ^c ±0.0	0.34 ^c	19.4 ^c ±0.0	0.35 ^c	24.7 ^a ±1.2	0.46 ^a
	17.7	18.6 ^b ±1.4	31.7 ^b ±0.6	61.3 ^c ±0.1	19.8 ^b ±0.1	0.36 ^b	20.1 ^b ±0.0	0.37 ^b	23.3 ^{ab} ±0.8	0.43 ^{ab}
	19.8	18.4 ^b ±0.4	29.7 ^b ±1.5	62.0 ^c ±0.3	22.4 ^a ±0.1	0.41 ^a	22.0 ^a ±0.1	0.40 ^a	22.3 ^b ±0.3	0.41 ^b
기장	6.4	21.3 ^b ±1.0	34.0 ^a ±2.0	49.9 ^c ±0.1	14.9 ^b ±0.1	0.27 ^b	14.8 ^c ±0.1	0.26 ^c	26.8 ^a ±0.8	0.51 ^a
	8.8	21.5 ^b ±0.6	33.3 ^a ±2.1	49.9 ^c ±0.1	15.0 ^b ±0.0	0.27 ^b	14.5 ^d ±0.0	0.26 ^d	27.3 ^a ±1.2	0.52 ^a
	13.5	24.7 ^a ±1.4	24.0 ^c ±2.6	50.5 ^b ±0.0	15.0 ^b ±0.0	0.27 ^b	14.5 ^d ±0.0	0.26 ^d	26.7 ^a ±1.2	0.50 ^a
	15.0	23.2 ^{ab} ±0.5	27.7 ^b ±0.6	50.6 ^b ±0.1	15.0 ^b ±0.1	0.27 ^b	15.0 ^b ±0.0	0.27 ^b	24.2 ^b ±0.8	0.45 ^b
	16.5	22.5 ^b ±0.9	28.3 ^b ±1.5	51.2 ^a ±0.3	15.5 ^a ±0.1	0.28 ^a	15.1 ^a ±0.1	0.27 ^a	22.8 ^b ±0.3	0.42 ^b

주 1. *(p<0.05), **(p<0.01), ***(p<0.001)수준에서 유의적인 차이가 있음

주 2. ^{abcde} : column내에서 같은 알파벳은 같은 수준임

(6) 함수율과 안식각 및 정지마찰계수와의 관계

○ 함수율에 따라 수수, 백태, 서리태, 조 및 기장의 안식각 및 정지마찰계수는 다음 식(2-3-4)와 같이 1차식으로 표현이 가능하였고, 각 모델의 상수 및 결정계수는 다음 표 2-3-7과 같았으며, 이 결과는 안식각 및 정지마찰계수가 함수율에 따라 1차식으로 표현이 가능하다고 보고한 Baryeh(2002)의 결과와 유사하였으나, 아크릴수지의 경우 함수율이 높을수록 정지마찰계수가 감소하였는데, 이는 아크릴수지면과 시료간의 정전기로 인한 것이 주요 원인으로 정확한 측정이 불가능하였음

$$V1 = aM + b \dots\dots\dots (2-3-4)$$

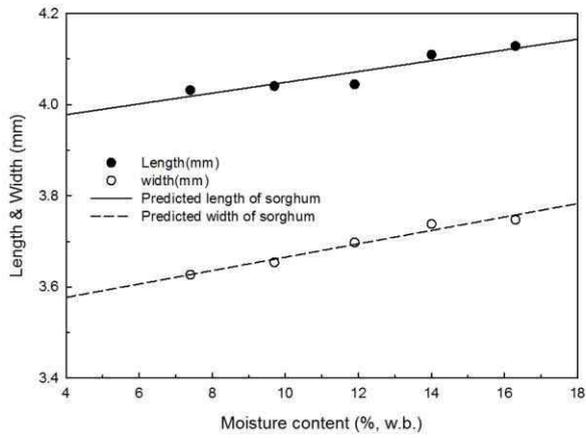
여기서, V1 : 안식각(°), 정지마찰계수(tan °)

M : 함수율(%w.b.)

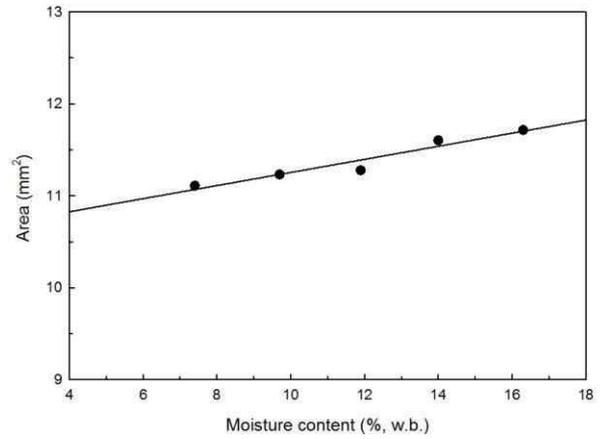
a, b : 상수(-)

표 2-3-7. 안식각 및 정지마찰계수 특성 예측모델의 상수 및 결정계수

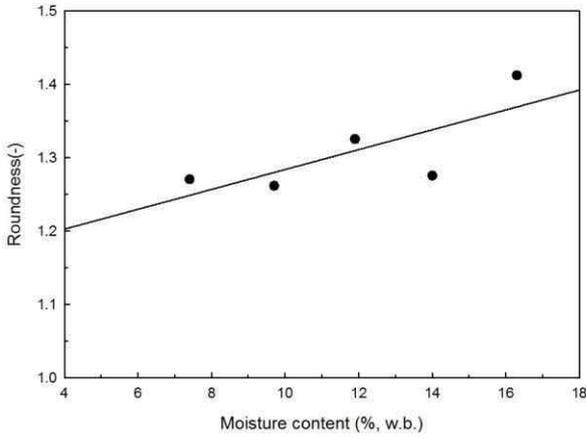
구 분		안식각(°)			정지마찰계수(tan°)		
		정안식각		동안식각	스테인레스	아크릴수지	EGI(강판)
		배출각	퇴적각				
수수	a	0.158	0.799	0.181	0.003	0.014	0.007
	b	30.921	31.701	41.756	0.242	0.241	0.205
	r ²	0.915	0.931	0.962	0.820	0.954	0.793
백태	a	0.225	0.077	0.519	0.006	0.002	0.004
	b	28.387	34.566	48.885	0.067	0.119	0.074
	r ²	0.889	0.072	0.961	0.613	0.173	0.634
서리태	a	0.623	1.379	0.551	0.006	0.007	0.005
	b	29.902	23.175	47.030	0.233	0.228	0.236
	r ²	0.821	0.857	0.883	0.710	0.877	0.939
조	a	19.796	31.656	57.424	12.682	20.369	17.005
	b	0.033	0.196	0.228	0.446	0.177	0.202
	r ²	0.068	0.332	0.994	0.954	0.480	0.815
기장	a	20.016	39.192	48.856	14.641	30.405	14.374
	b	0.215	-0.801	0.129	0.036	-0.398	0.034
	r ²	0.643	0.788	0.953	0.699	0.836	0.501



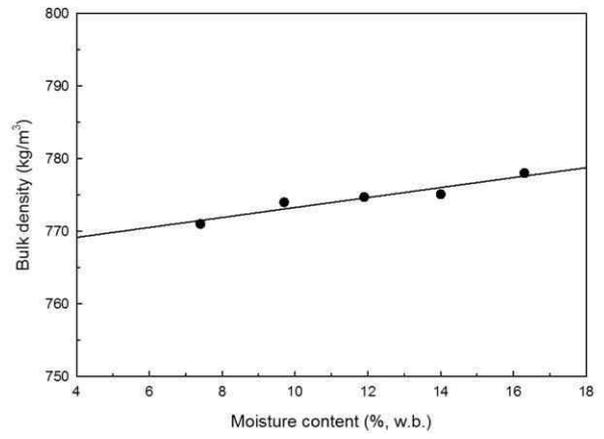
<장축·단축길이>



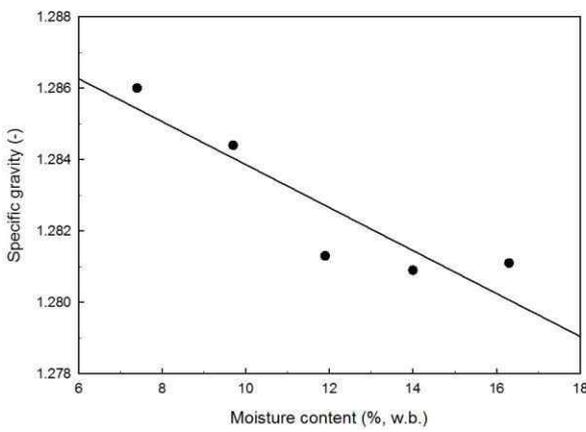
<면적>



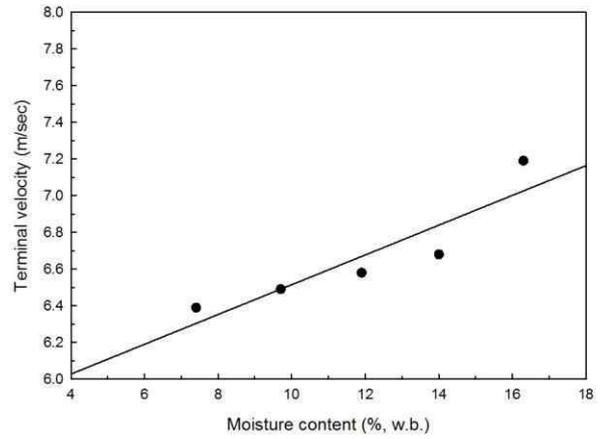
<원형율>



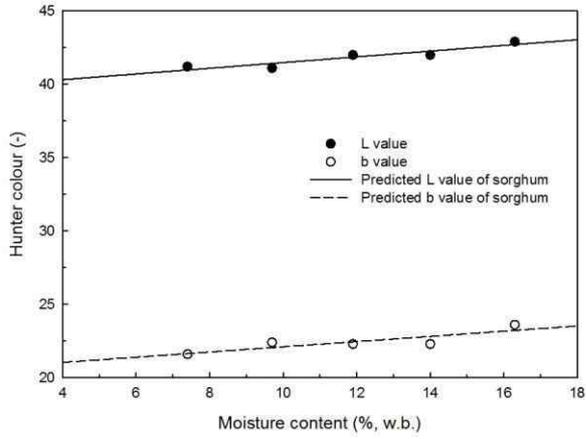
<산물밀도>



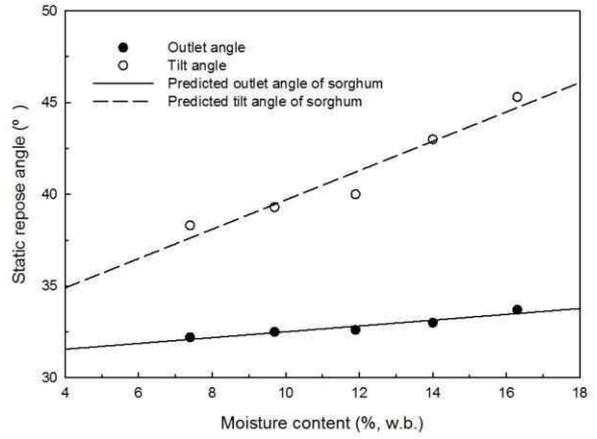
<비중>



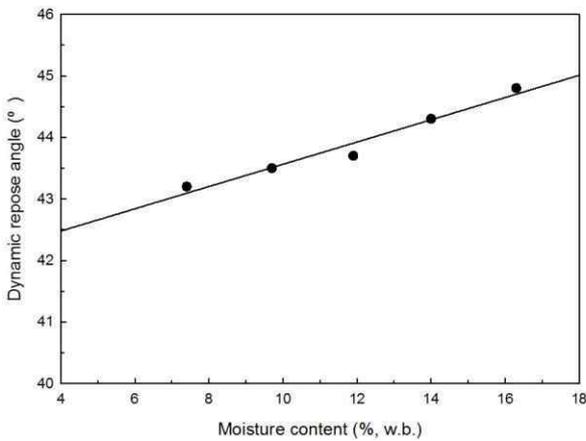
<종말속도>



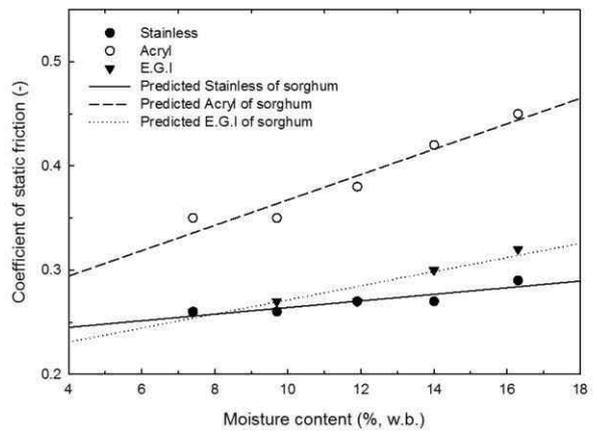
<색도>



<정안식각>

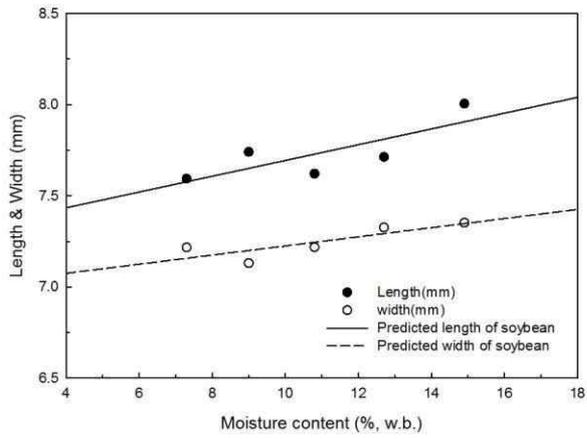


<동안식각>

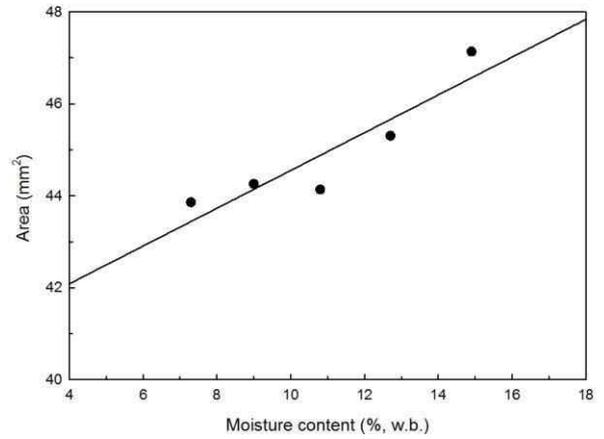


<정지마찰계수>

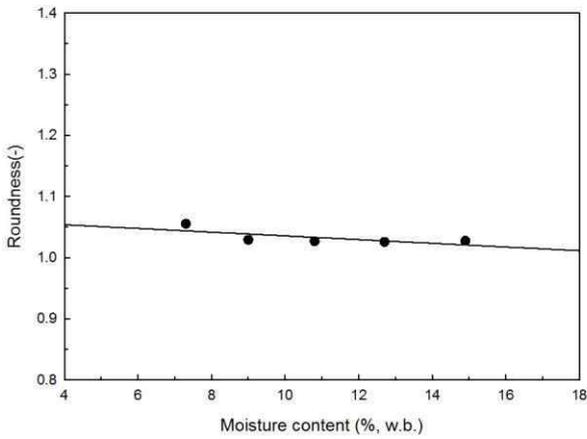
그림 2-3-5. 수수의 함수율이 기하학적 특성, 비중, 종말속도 등에 미치는 영향



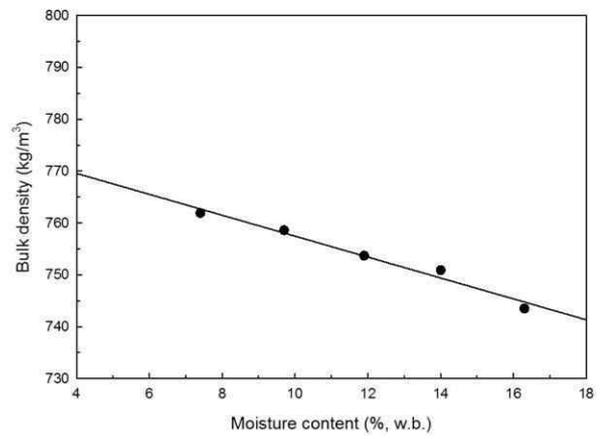
<장축·단축길이>



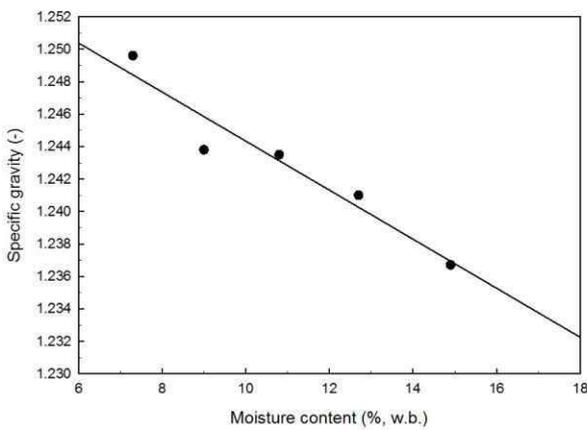
<면적>



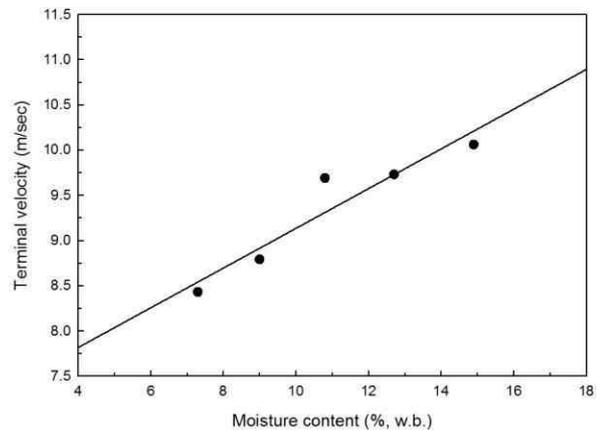
<원형율>



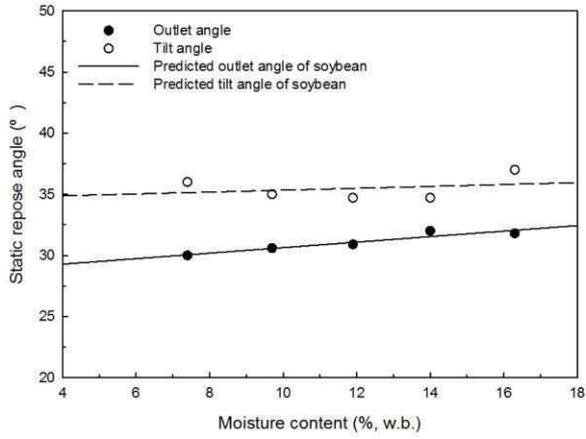
<산물밀도>



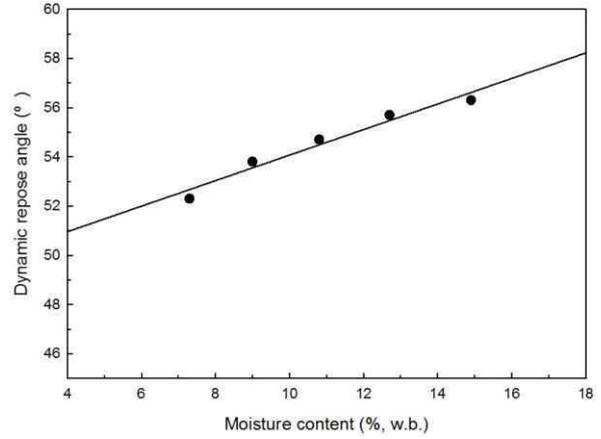
<비중>



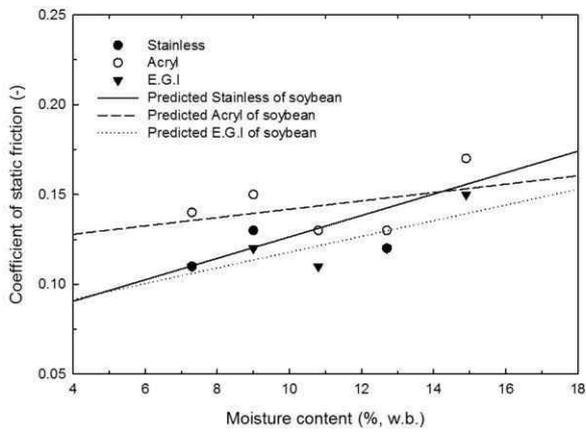
<종말속도>



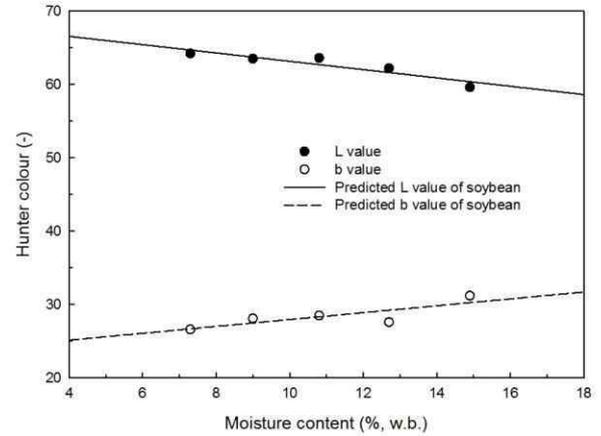
<정안식각>



<동안식각>

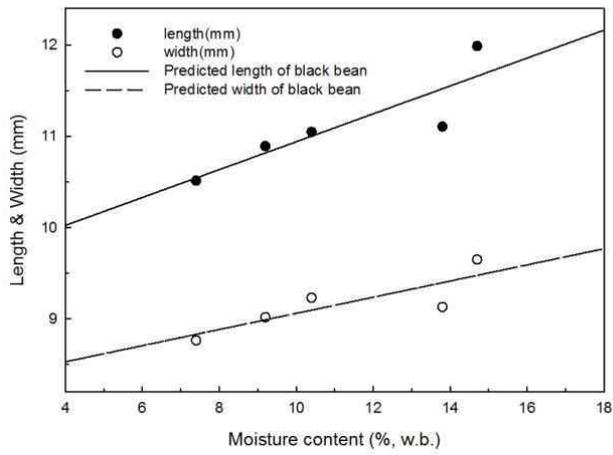


<정지마찰계수>

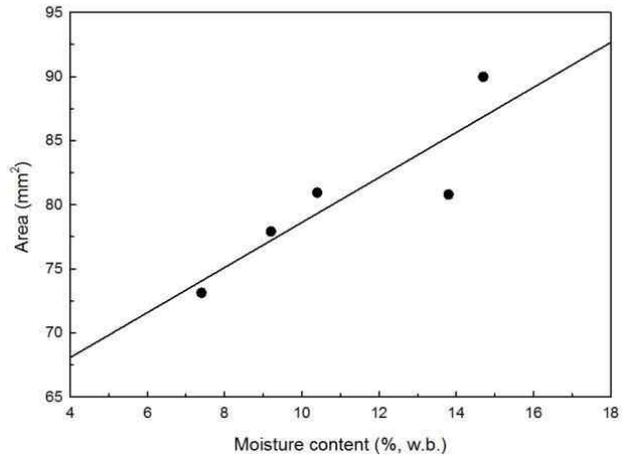


<색도>

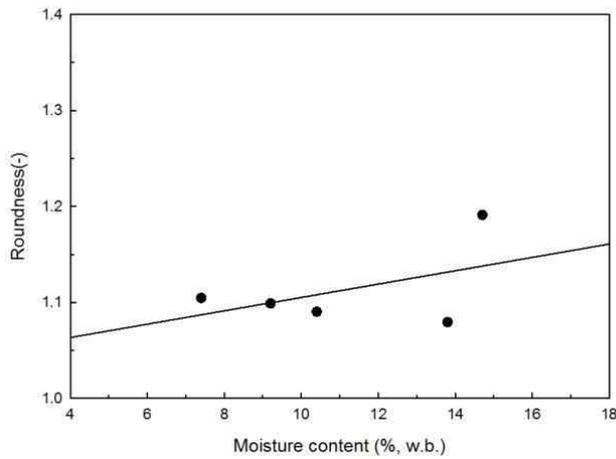
그림 2-3-6. 백태의 함수율이 기하학적 특성, 비중, 종말속도 등에 미치는 영향



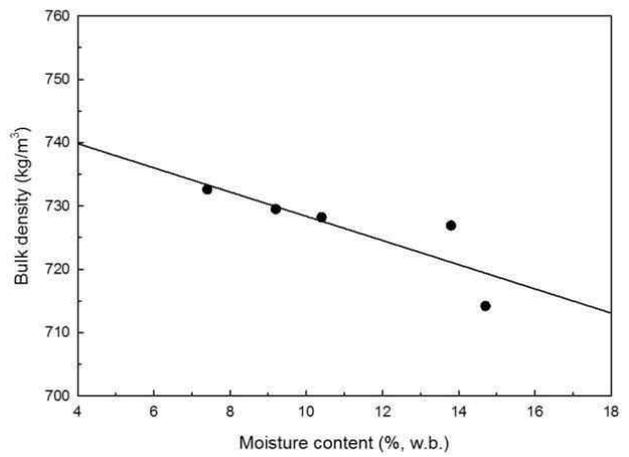
<장축·단축길이>



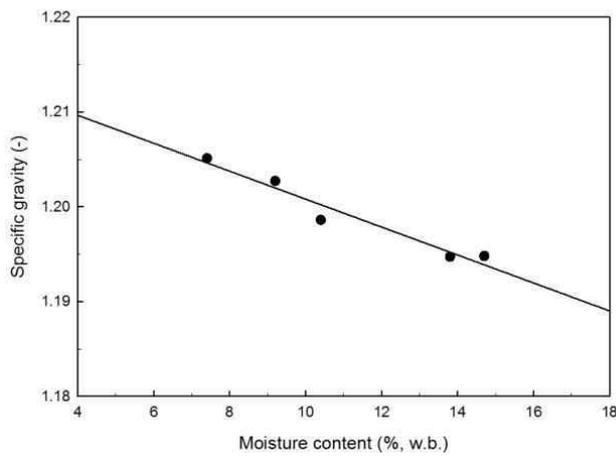
<면적>



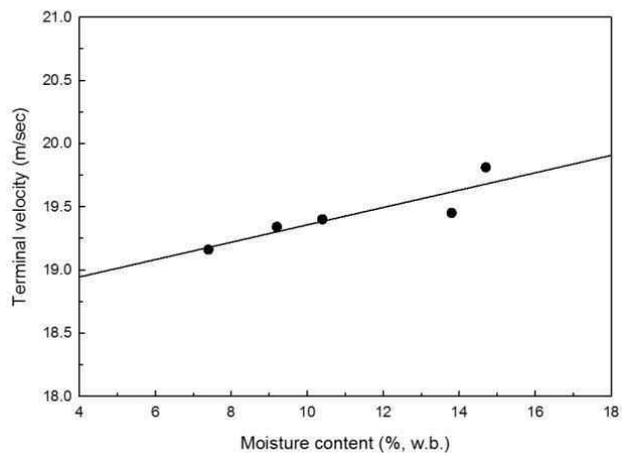
<원형율>



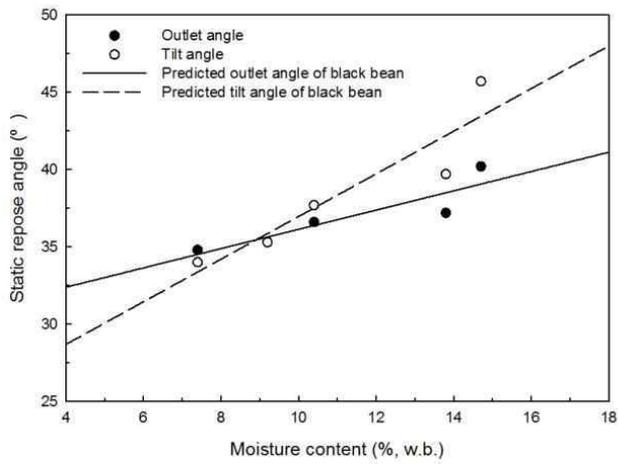
<산물밀도>



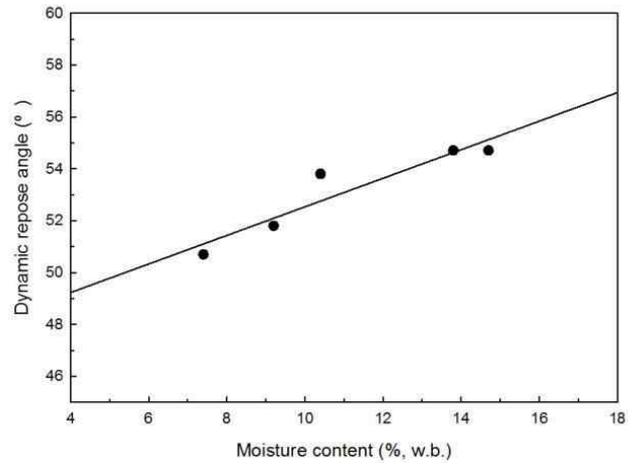
<비중>



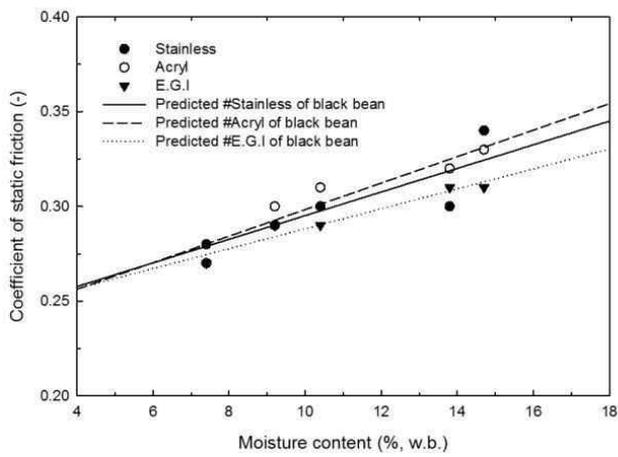
<종말속도>



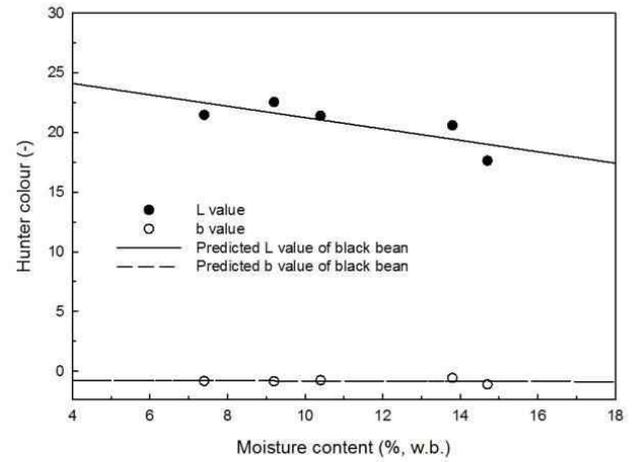
<정안식각>



<동안식각>

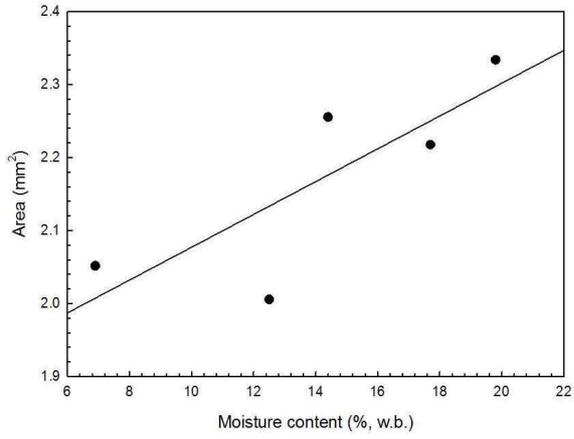


<정지마찰계수>

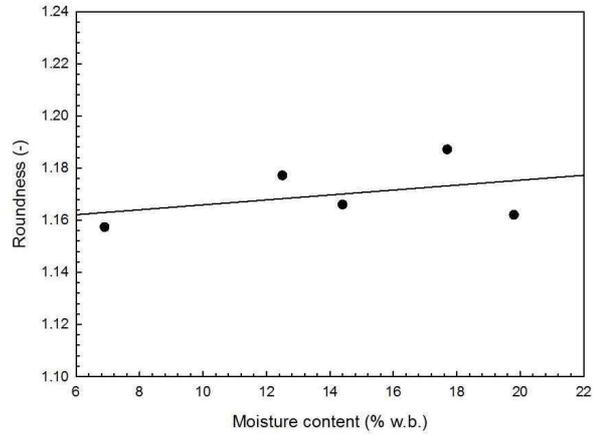


<색도>

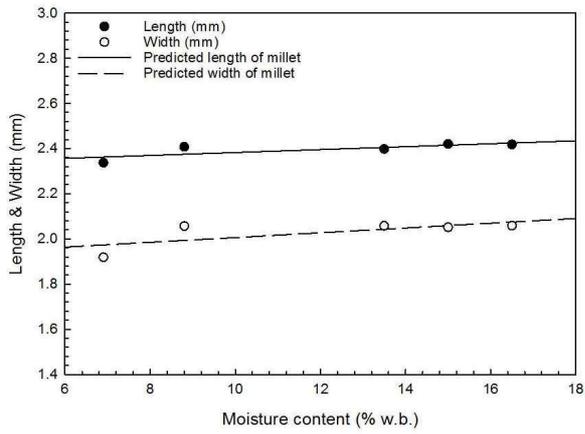
그림 2-3-7. 서리태의 함수율이 기하학적 특성, 비중, 종말속도 등에 미치는 영향



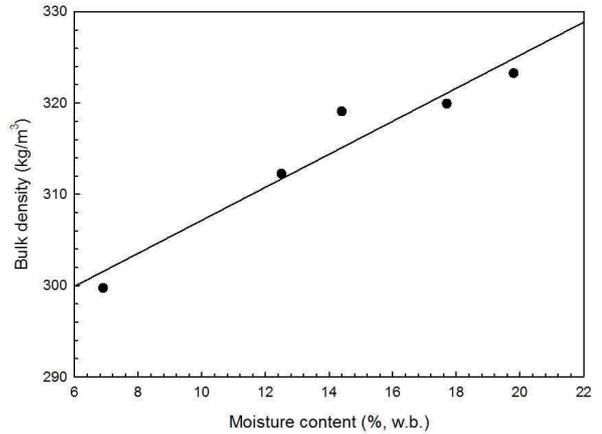
(면적)



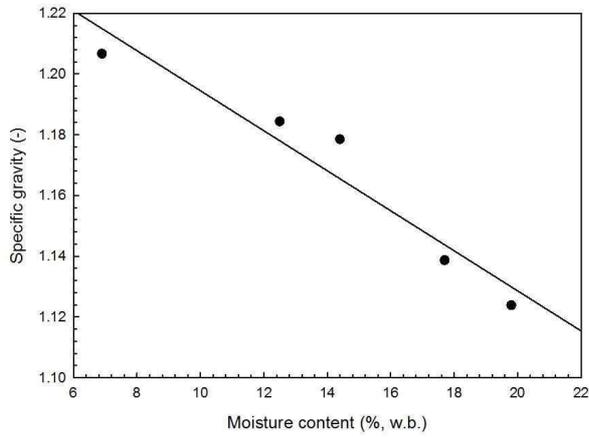
(원형율)



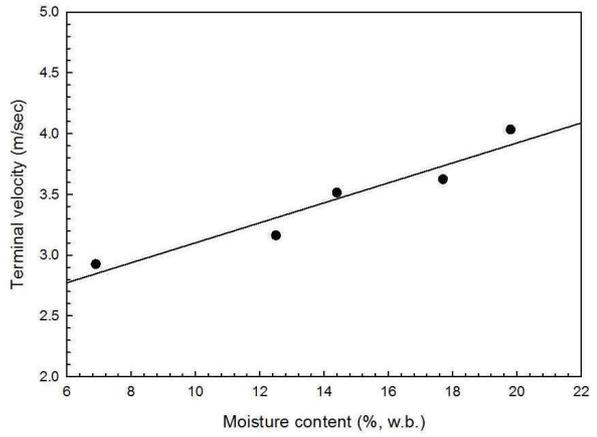
(장단축길이)



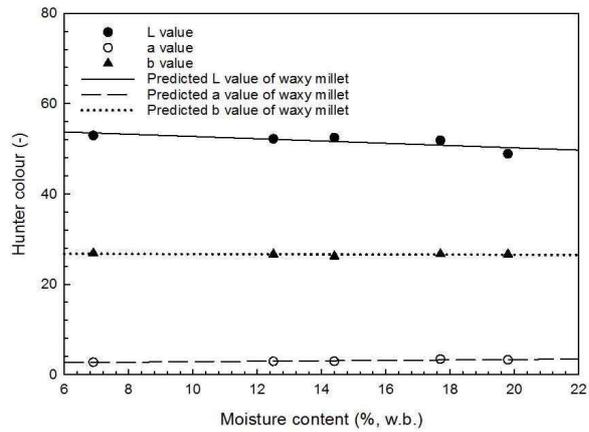
(산물밀도)



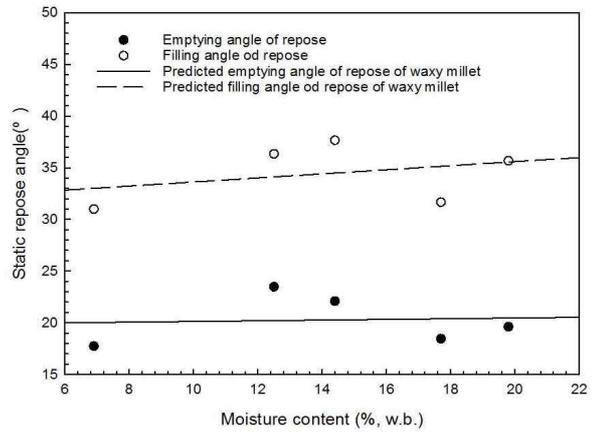
(비중)



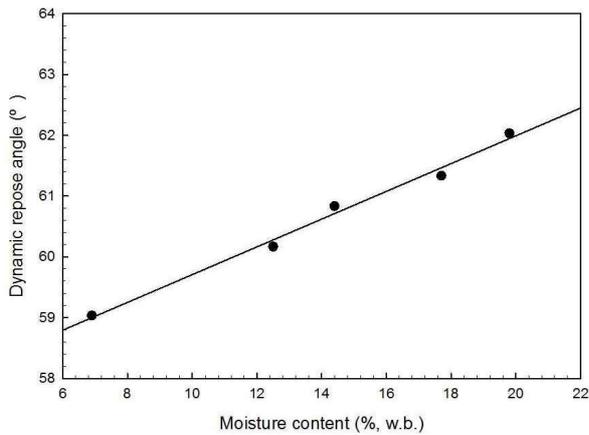
(종말속도)



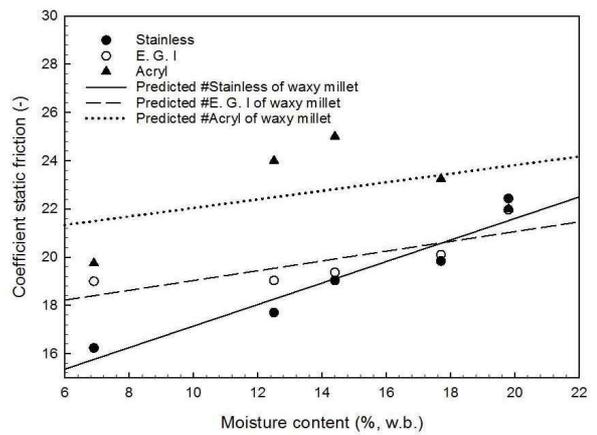
(색도)



(정안식각)



(동안식각)



(정지마찰계수)

그림 2-3-8. 조 함수율이 기하학적 특성, 비중, 종말속도, 안식각, 정지마찰계수 등에 미치는 영향

2. 평형함수율 및 박층건조모델

가. 실험방법

(1) 공시재료

- 수수, 백태, 서리태, 조 및 기장 등 5종의 잡곡을 실험에 사용하였으며 백태 및 서리태는 2015년 11월 충북 보은지역에서, 수수는 2015년 10월 강원도 춘천지역에서 조 및 기장은 강원도 정선지역에서 2016년산으로 수확한 시료를 구입하여 사용하였으며, 초기함수율은 백태는 14.6%,w.b., 서리태는 14.7%,w.b.이었고, 수수는 16.3%,w.b., 조는 19.8%,w.b. 및 기장은 16.5%,w.b.이었음
- 구입한 시료는 이물질을 육안으로 확인하여 선별한 후 밀봉후 2°C 저온저장고에 보관하면서 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 실험에 사용하였음

(2) 실험방법

- 본 연구에서는 국내산 잡곡의 건조인자로 평형함수율(Equilibrium Moisture Content, EMC)과, 박층(thin layer)건조모델을 각 다음과 같은 실험방법으로 개발하였음
- 평형함수율은 곡물을 일정한 조건의 공기 중에 장시간 노출시키면 곡물 중의 수증기압과 주위 공기 중의 수증기 분압이 평형을 이루게 되어 곡물이 일정한 함수율에 도달하게 되는데 이 때의 곡물함수율을 말하며(Brooker 등, 1992), 측정법으로 동적방법과 정적방법이 있음
- 동적방법은 기계적으로 유동시킨 공기 중에 재료를 노출시켜 평형상태에 이르게 하는 방법이므로 측정시간이 짧은 반면 정온정습의 공기를 발생시키는 장치가 복잡한 단점이 있는 반면, 정적방법은 정지된 공기 중에 재료를 노출시켜 평형상태에 이르게 하는 방법으로 평형상태에 도달하는데 수주가 소요되고 고온고습 조건에서 평형상태에 도달하기 전에 시료에 곰팡이가 번식할 우려가 있음
- 본 연구에서는 시료의 평형함수율은 동적평형함수율을 이용하였으며, 온도 20~70°C($\pm 0.3^\circ\text{C}$), 상대습도 30~98%($\pm 2.5\%$)범위의 공기조성이 가능한 공기조화장치(MTH4100, Sanyo, UK)를 사용하였으며, 이 때 함수율은 백태 및 서리태는 103°C-15g-72시간 건조법(ASAE standard, 2004)으로 측정하였으며, 수수는 130°C-10g-18시간 건조법(ASAE standard, 2004), 조 및 기장은 103°C-15g-72시간법(ASAE standard, 2004)으로 측정하였음
- 수수의 평형함수율 측정은 건조온도 40, 50, 60°C 및 상대습도 30, 40, 50%로 총 9수준으로 하였으며, 수준마다 설정온도 및 상대습도를 조성 후 공기조화장치 내에 시료의 무게 변화가 없을 때까지 방치 후 시료의 함수율을 측정 후 평형함수율로 사용하였고 총 3회 반복하여 평균값을 사용하였음
- 백태 및 서리태의 평형함수율 측정은 건조온도 50, 60°C 및 상대습도 30, 40, 50%로 총 9수준으로 하였으며, 콩의 경우 건조온도 40°C의 경우 함수율의 변화가 없어 제외 하였고, 수수의 측정 방법과 동일한 방법으로 하였음

- 조 및 기장의 평형함수율 측정은 건조온도는 30, 40 및 50°C의 3수준, 상대습도 30, 40 및 50% 3수준에 총 9수준으로 하였으며, 수준마다 설정온도 및 상대습도를 조성 후 공기조화장치 내에 시료의 무게 변화가 없을 때까지 방치 후 시료의 함수율을 측정 후 평형함수율로 사용하였고 총 3회 반복하여 평균값을 사용하였음
- 평형함수율 측정은 모든 수준에서 3회 반복 실험하였으며, 2회 실험은 평균으로 건조모델 개발을 위해 사용하였고, 1회는 모델 검증용으로 사용하였음
- 곡물은 건조방법에 따라서 품질이 크게 좌우되므로 건조과정을 해석하고 적정 건조조건을 구명하기 위해서 가장 중요한 것은 후층(deep layer)건조시물레이션 모델 개발의 기본요소가 되는 박층건조방정식으로서 본 연구에서는 잡곡별 박층건조모델을 개발하였음
- 측정 장치는 평형함수율 측정장치와 동일한 공기조화장치(MTH4100, SANYO, UK) 사용하였으며, 조성된 공기는 송풍기에 의해 공기층만실과 건조실로 이송되며, 건조실을 통과한 공기는 다시 공기조화장치로 되돌아가도록 구성하였으며, 건조실은 직경 250mm, 높이 400mm의 원통형으로 하부에 정류격자를 설치하여 공기분포가 일정하도록 하였음(그림 2-3-10)
- 건조실은 직경 250mm, 높이 400mm의 원통형으로 하부에 공기실을 설치하여 공기분포가 일정하도록 하였으며, 건조실 내의 풍속은 5개 지점에 대하여 풍속계(VELCICALC-PLUS, TSI, USA)로 측정하였으며, 0.56m/s(표준편차 0.06)로 설정하였음

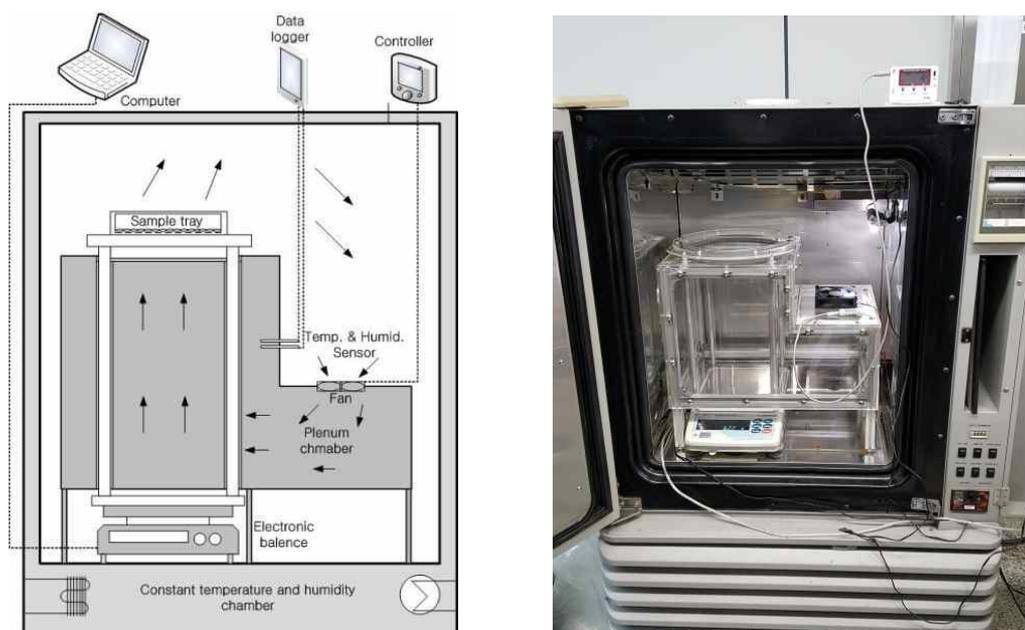


그림 2-3-10. 평형함수율 및 박층건조실험에 사용한 공기조화장치 및 실험 개략도

- 건조실 내부에 설치된 직경 250mm의 타공으로 제작된 시료대에 대상 잡곡을 박층으로 퇴적하였으며, 시료대의 중량은 전자저울(GF-4000, AND, Japan)을 이용하여 10분 간격 중량을 측정하였고

중량 측정할 때 건조 팬은 작동을 중지하였음

- 잡곡의 박층건조방정식을 결정하기 위하여 기존의 곡물 건조방정식 중에서 정확도와 이용 편의성이 우수한 다음 식(2-3-5~8)과 같이 Lewis의 Newton 냉각법칙을 이용한 건조모델, Page의 옥수수 박층건조실험에 적용한 모델, Henderson의 수분확산법칙 해에 기초한 건조 모델, Thompson의 건조모델 등 4개의 건조모델을 선정하였으며, 잡곡의 평형함수율은 실험 중 측정된 최종함수율을 이용하였음

- Lewis (Lewis, 1921) : $MR = \exp(-kt)$ (2-3-5)

- Page (Page, 1949) : $MR = \exp(-P \cdot t_0^Q)$ (2-3-6)

- Thompson (Thompson, 1967) : $t = A (\exp(-kt) + B \ln[(MR)]^2)$ (2-3-7)

- Moisture diffusion (Crank, 1975) : $MR = A \exp(-k_2 \cdot t)$ (2-3-8)

여기서, MR : 함수율비 (dimensionless), $MR = \frac{M(t) - M_e}{M_o - M_e}$

M : 함수율 (% , dry basis)

M_e : 평형함수율(dec,d.b.)

M_o : 초기함수율(dec,d.b.)

t : 건조시간(min 또는 hr)

A, B, P, Q, k, k_2 : 매개변수

- 함수율비(MR)의 실험값을 모델에 적합시켜 SAS(V 9.4)의 비선형 회귀분석 프로그램을 이용하여 매개변수를 결정하였으며, 건조모델의 매개변수 A, B, P, Q, k, k_2 는 건조온도와 상대습도의 함수로 가정하고 식(2-3-9)로 결정하였음

매개변수 = $a_0 + a_1(T_0) + a_2(RH_0) + a_3(T_0)^2 + a_4(T_0 \cdot RH_0)$ (2-3-9)

여기서, a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 : 실험상수

T_0 : 건조온도(°C)

RH_0 : 상대습도(dec.)

- 실험상수들의 조합은 SAS(V 9.4)의 PROC STEPWISE를 이용하여 결정하였으며, 함수율비 실험값과 모델에 의한 예측값 사이의 결정계수(R^2)와 RMSE(Root Mean Square Error)를 모델의 검정에 이용하였음

나. 결과 및 고찰

(1) 평형함수율

- 수수의 온도 3수준, 상대습도 3수준의 공기에 대한 평형함수율은 표 2-3-8과 같았으며, 표에서와 같이 평형함수율은 온도가 높을수록, 상대습도가 낮을수록 낮게 나타났고, 수수의 평형함수율은 온도의 영향이 비교적 크게 나타났음
- 백태의 온도 2수준, 상대습도 3수준의 공기에 대한 평형함수율은 표 2-3-9와 같았으며, 온도 40℃에서는 함수율의 변화가 없었으므로 제외하였고, 백태의 평형함수율은 수수와 같이 온도가 높을수록, 상대습도가 낮을수록 낮게 나타났고 온도의 영향이 큰 것으로 나타났음
- 서리태의 온도 2수준, 상대습도 3수준의 공기에 대한 평형함수율은 표 2-3-10과 같았으며, 온도 40℃에서는 백태와 같은 함수율의 변화가 없었으므로 제외하였고 서리태의 평형함수율은 수수와 같이 온도가 높을수록, 상대습도가 낮을수록 낮게 나타났고, 온도의 영향이 큰 것으로 나타났음
- 온도 3수준, 상대습도 3수준에서의 조의 평형함수율은 다음 표 2-3-11와 같았으며, 온도가 높을수록, 상대습도가 낮을수록 평형함수율은 낮게 나타났고, 온도의 영향이 상대습도의 영향보다 큰 것으로 나타났으며, 기장에 비해 평형함수율이 높게 측정되었는데, 이는 조의 외형특징(두꺼운 껍질)이 주된 원인으로 판단되었음
- 기장의 온도 3수준, 상대습도 3수준의 공기에 대한 평형함수율은 표 2-3-12와 같았으며, 표에서와 같이 평형함수율은 다른 곡물과 같이 온도가 높을수록, 상대습도가 낮을수록 낮게 나타났고 온도의 영향이 상대습도의 영향보다 비교적 크게 나타났음

표 2-3-8. 수수의 평형함수율

온도(℃)	상대습도(%)	평형함수율(% , d.b.)
40	30	6.12
	40	7.27
	50	8.12
50	30	5.23
	40	6.30
	50	7.12
60	30	4.28
	40	5.53
	50	6.68

표 2-3-9. 백태의 평형함수율

온도(°C)	상대습도(%)	평형함수율(% d.b.)
50	30	1.82
	40	2.54
	50	4.04
60	30	4.28
	40	5.53
	50	6.68

표 2-3-10. 서리태의 평형함수율

온도(°C)	상대습도(%)	평형함수율(% d.b.)
50	30	3.38
	40	3.87
	50	5.09
60	30	2.71
	40	3.11
	50	4.40

표 2-3-11. 조의 평형함수율

온도(°C)	상대습도(%)	평형함수율(% d.b.)
40	30	33.02
	40	35.26
	50	35.50
50	30	31.28
	40	32.89
	50	34.83
60	30	30.23
	40	32.36
	50	33.86

표 2-3-12. 기장의 평형함수율

온도(°C)	상대습도(%)	평형함수율(% d.b.)
40	30	11.52
	40	12.32
	50	12.83
50	30	10.65
	40	11.76
	50	12.26
60	30	9.76
	40	10.85
	50	11.12

(2) 박층건조모델

(가) 수수

- 그림 2-3-11은 수수의 상대습도 및 건조온도별 함수율비의 변화를 나타낸 것으로서, 그림에서와 같이 수수의 탈곡이 가능한 함수율이 매우 낮아 건조시간 4시간까지 함수율비가 완만히 감소하였고, 건조속도는 지수함수의 경향으로 감소하는 것으로 나타났으며, 건조속도의 지표가 되는 반건조시간 (MR=0.5에 이르는 시간)은 대부분 건조시간 2시간이 되기 전에 모두 도달하였음
- 다음 그림 2-3-12는 수수의 건조온도 50℃, 상대습도 30%에서의 각 모델의 예측치와 실측치를 비교한 것으로 Thompson 모델이 전체영역에서 비교적 잘 일치하였고, 수분확산모델의 경우 건조 초기에는 오차가 많이 발생하지만 건조 4시간 이후에는 비교적 실험값과 예측값이 일치하는 것을 알 수 있었으며, Lewis 모델 및 Page 모델은 건조초기에는 비교적 비슷하였지만 건조 4시간 이후에는 다소 차이가 발생하였음

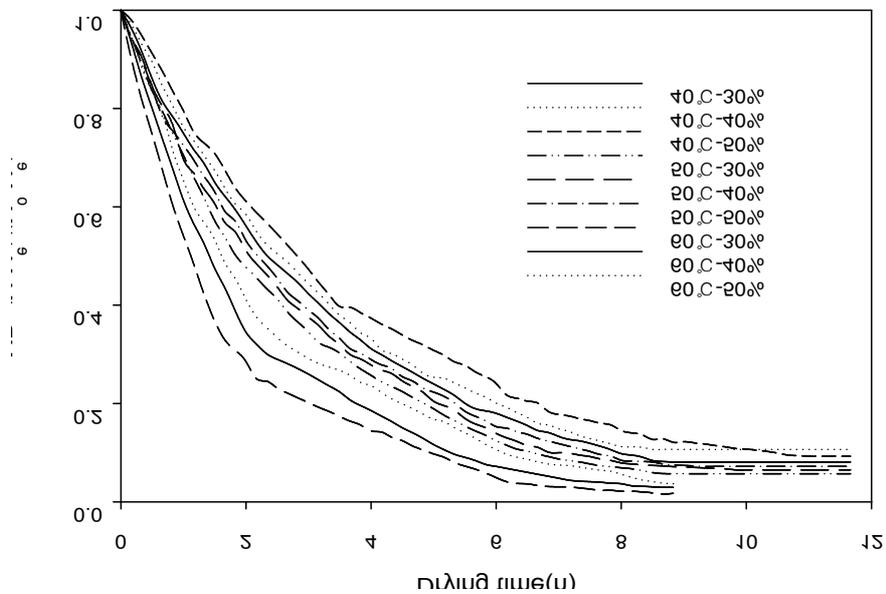


그림 2-3-11. 수수의 상대습도 및 건조온도별 함수율비 변화

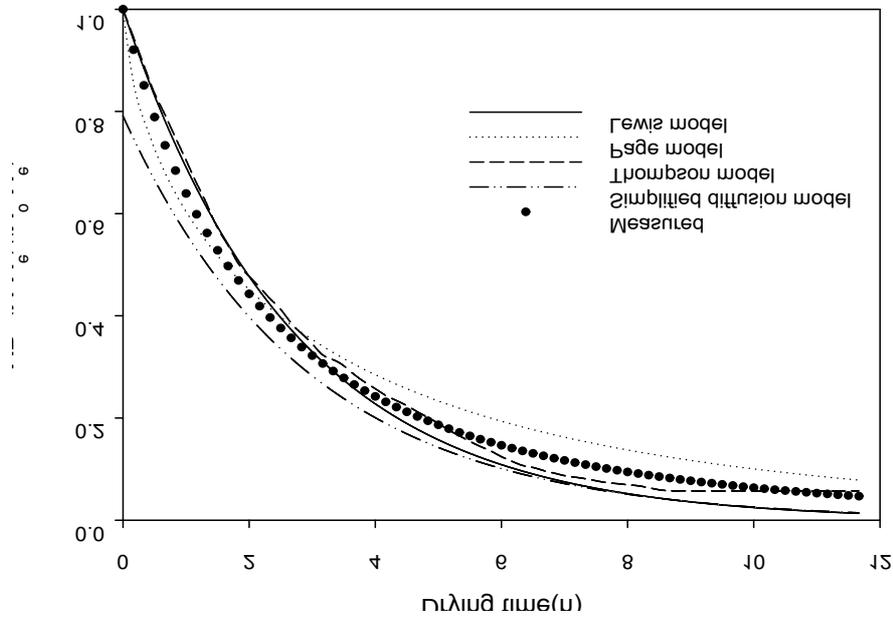


그림 2-3-12. 수수 박층건조모델 별 측정치와 예측치의 비교(건조온도 50°C, 상대습도 30%)

○ 다음 표 2-3-12는 수수에 대한 4가지 건조모델들의 R^2 및 $RMSE$ 를 나타낸 것으로서, 표에서 알 수 있듯이 4개의 모델 중에서 Thompson모델이 결정계수(R^2)의 값이 가장 높았고(0.9723~0.9985) $RMSE$ 의 값이 가장 낮게(0.0752~0.0177) 나타났음

표 2-3-12. 수수 박층건조모델의 온도 및 상대습도별 결정계수(R^2) 및 $RMSE$

Drying condition	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Model	Lewis		Page		Thompson		Moisture diffusion	
40°C-30%	0.9711	0.0791	0.9776	0.1516	0.9723	0.0752	0.0696	0.9938
40°C-40%	0.9854	0.0645	0.9913	0.0699	0.9894	0.0573	0.0525	0.9988
40°C-50%	0.9885	0.0377	0.9906	0.0308	0.9906	0.0378	0.0572	0.9704
50°C-30%	0.9684	0.0550	0.9414	0.5623	0.9699	0.0580	0.0267	0.9598
50°C-40%	0.9899	0.0329	0.9742	0.5107	0.9937	0.0242	0.0682	0.9921
50°C-50%	0.9956	0.0263	0.9573	0.5229	0.9985	0.0177	0.0707	0.9984
60°C-30%	0.9817	0.0464	0.9375	0.2517	0.9818	0.0361	0.1758	0.8776
60°C-40%	0.9828	0.0372	0.9433	0.3172	0.9834	0.0340	0.0420	0.9677
60°C-50%	0.9782	0.0439	0.9599	0.3740	0.9769	0.0432	0.0612	0.9816

- 수수에 대한 본 연구의 건조특성치 측정결과는 ASAE standard(2004)에서의 수수 건조특성치와 유사한 경향이었지만 Thompson모델에서 상수 값은 상이하게 나타났으며, 다음 표 2-3-13는 회귀방정식을 이용하여 Thompson모델에서 온도별 상대습도별 A 및 B의 값을 나타낸 것으로서, 이 때 실험계수들의 측정된 값들은 다음 식(2-3-10) 및 (2-3-11)과 같았음

표 2-3-13. Thompson 모델의 건조온도 및 상대습도 별 매개변수

$t = A (\exp(-kt) + B \ln[(MR)]^2)$			
T (°C)	RH (%)	A	B
40	30	-3.52	-0.010
	40	-3.57	0.109
	60	-3.76	0.220
50	30	-2.62	0.107
	40	-2.79	0.153
	60	-3.10	0.190
60	30	-1.80	0.108
	40	-2.09	0.080
	60	-2.52	0.043

$$A = -10.14877 + 0.16401T + 9.44958RH - 0.000413T^2 - 7.16RH^2 - 0.12217T \cdot RH \quad (R^2 = 0.9949)$$

(2-3-10)

$$B = -2.94293 + 0.08629T + 4.46225RH - 0.000582T^2 - 0.445RH^2 - 0.07387T \cdot RH \quad (R^2 = 0.9864)$$

(2-3-11)

(나) 백태

- 그림 2-3-13은 백태의 상대습도 및 건조온도별 함수율비의 변화를 나타낸 것으로서, 그림에서와 같이 백태는 건조 초기 2시간 전까지는 급격히 감소하다가 반건조시간(MR=0.5에 이르는 시간)이 후에는 완만하게 건조되는 것으로 나타났고, 건조속도는 비선형(지수함수) 경향으로 감소하였으며, 건조 조건으로 건조온도 및 상대습도 모두의 영향이 미치는 것으로 나타났음
- 그림 2-3-14는 백태의 건조온도 50°C 상대습도 40%에서 4가지 박층건조모델의 예측치와 실측치를 비교한 것이며, 상대습도 30%의 경우 그림 2-3-5와 같이 Thompson 모델과 수분확산 모델에서 건조 전체적으로 잘 일치하였음
- 수분확산 모델은 건조초기에는 잘 일치 하지 않는 것으로 나타으며, Page 모델이 건조 초기에는 잘 일치 하였으나 2시간 이후에는 일치하지 않는 것으로 나타났음. Lewis 모델은 건조 전반에 일치하지 않았으며, 축소수분확산 모델의 경우 함수율비 오차는 작지만 건조 경향이 다른 것으로 나타났음

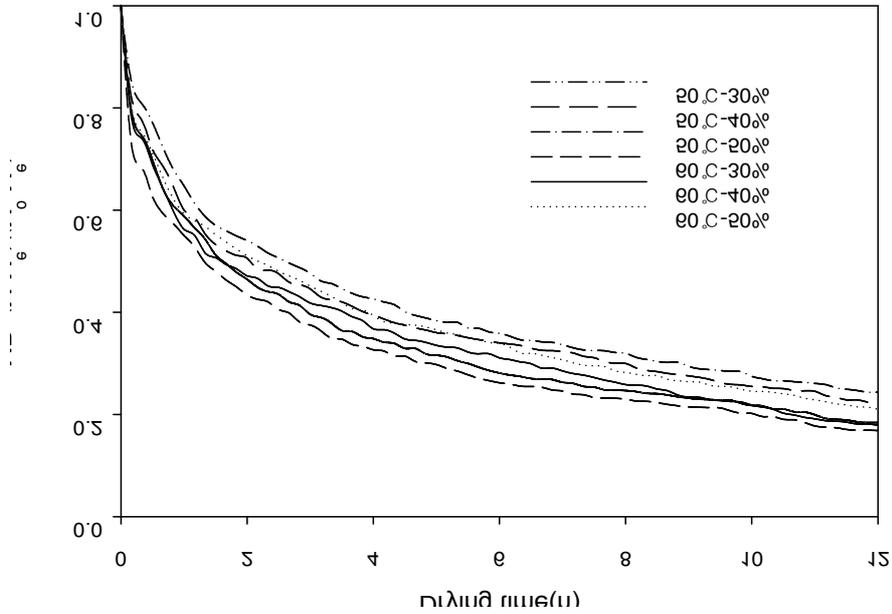


그림 2-3-13. 백태의 상대습도 및 건조온도별 함수율 비 변화

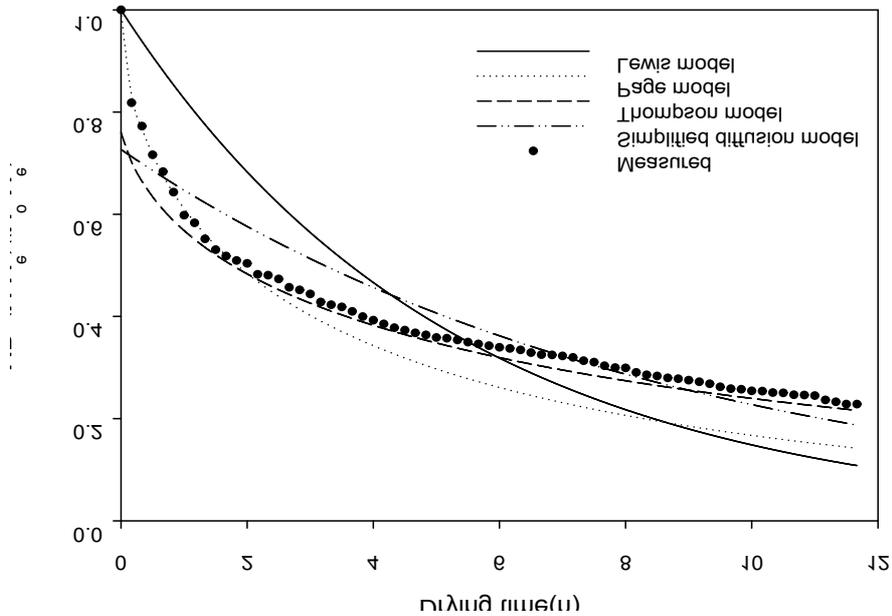


그림 2-3-14. 백태 박층건조모델 별 측정치와 예측치의 비교(건조온도 50°C, 상대습도 40%)

- 표 2-3-14는 각각의 건조모델들의 R^2 및 $RMSE$ 를 나타낸 것으로서, 표에서 알 수 있듯이 4개의 모델 중에서 Thompson모델모델의 경우 R^2 는 0.97이상 $RMSE$ 는 0.0508이하로 나타나 다른 모델에 비하여 결정계수(R^2)는 높고 $RMSE$ 는 낮게 나타났음

표 2-3-14. 백태 박충건조모델의 온도 및 상대습도 별 결정계수(R^2) 및 $RMSE$

Drying condition	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Model	Lewis		Page		Thompson		Moisture diffusion	
50°C-30%	0.9304	0.094	0.9715	0.2067	0.9799	0.0144	0.8819	0.0408
50°C-40%	0.9109	0.1015	0.9595	0.2497	0.9734	0.0176	0.8683	0.0408
50°C-50%	0.9121	0.0992	0.9576	0.2778	0.9827	0.0104	0.8663	0.0389
60°C-30%	0.9296	0.1021	0.9886	0.2067	0.9979	0.0236	0.8688	0.0374
60°C-40%	0.9093	0.1099	0.9564	0.2647	0.993	0.0172	0.8612	0.0432
60°C-50%	0.9139	0.1049	0.9476	0.2922	0.9981	0.0508	0.8629	0.0387

○ $RMSE$ 의 값의 차이가 크지 않아 백태의 박충건조모델은 Thompson 모델이 가장 적합한 것으로 판단되었으며, 다음 표 2-3-15는 회귀방정식을 이용하여 Thompson모델의 온도별 상대습도별 A 및 B의 값을 나타낸 것으로서, 이 때 실험계수들의 측정된 값들은 다음 식(2-3-12) 및 (2-3-13)과 같았음

표 2-3-15. Thompson 모델의 건조온도 및 상대습도 별 매개변수

$t = A (\exp(-kt) + B \ln[(MR)]^2$			
T (°C)	RH (%)	P	Q
50	30	0.5657	0.6118
	40	0.5359	0.5473
	60	0.4903	0.5674
60	30	0.6247	0.5465
	40	0.5791	0.5273
	60	0.5415	0.5148

$$A = -18.78631 - 0.28517T_o - 41.4735RH_o + 28.8RH_o^2 + 0.42686T_o \cdot RH_o \quad (R^2 = 0.9233) \quad \dots (2-3-12)$$

$$B = 15.59923 - 0.26386T_o - 4.0325RH_o + 1.77RH_o^2 + 0.2488T_o \cdot RH_o \quad (R^2 = 0.9426) \quad \dots (2-3-13)$$

(다) 서리태

○ 그림 2-3-15는 서리태의 상대습도 및 건조온도별 함수율비의 변화를 나타낸 것으로서, 그림에서와 같이 건조시작 후 2시간까지 건조속도가 급격히 감소하다가 이후에는 함수율비가 완만히 감소하였

고, 건조속도는 지수함수의 경향으로 감소하는 것으로 나타났으며, 건조속도의 지표가 되는 반건조 시간(MR=0.5에 이르는 시간)은 대부분 건조시간 2시간이 되기 전에 모두 도달하였음

- 그림 2-3-16은 서리태의 건조온도 50°C, 상대습도 50%에서 박층건조모델의 예측치와 실측치를 비교한 것으로 Thompson 모델이 전체영역에서 비교적 잘 일치하였고, 수분확산모델의 경우 건조 초반에는 오차가 많이 발생하지만 건조 2시간 이후에는 비교적 실험값과 예측값이 일치하는 것을 알 수 있으며, 수분확산 모델은 건조후기에는 비교적 비슷하지만 건조 초기에 함수율비의 비교값의 차이가 많은 것으로 나타났음

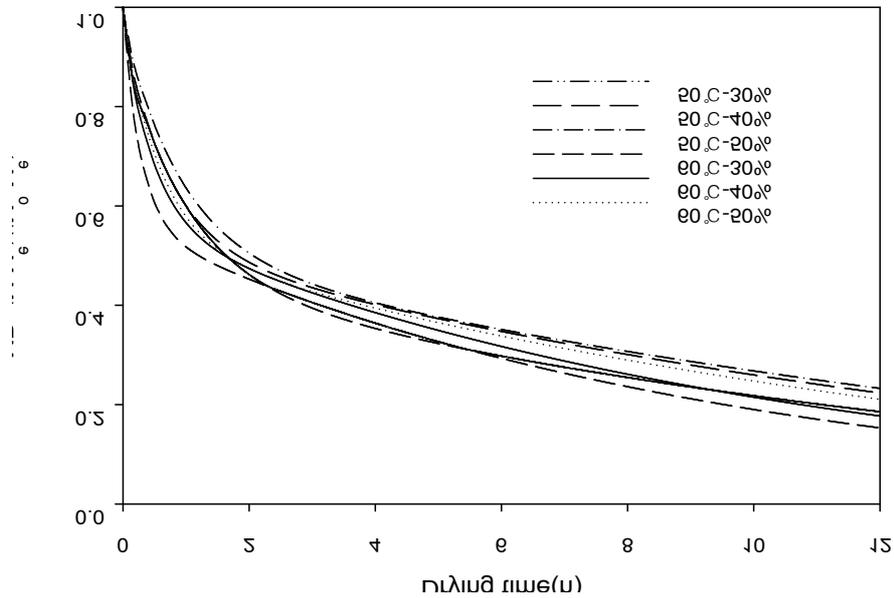


그림 2-3-15. 서리태의 상대습도 및 건조온도별 함수율 비 변화

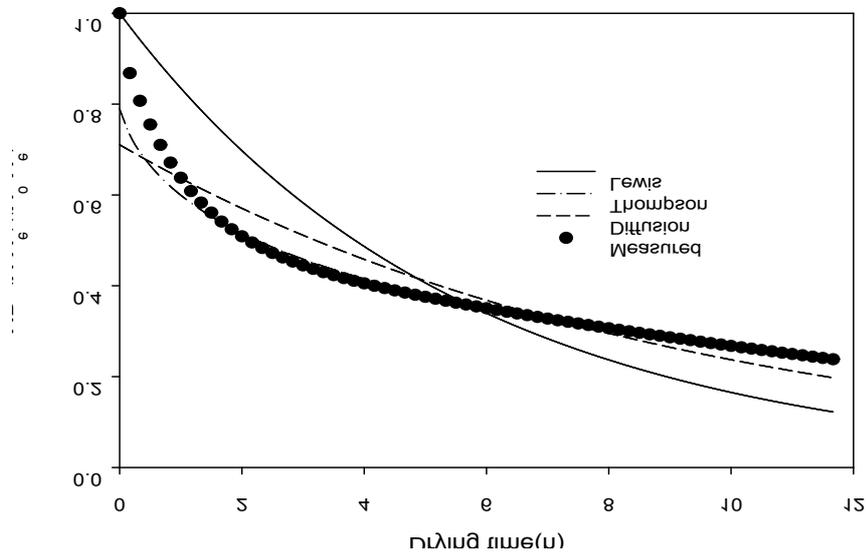


그림 2-3-16. 서리태 박층건조모델 별 측정치와 예측치의 비교(건조온도 50°C, 상대습도 50%)

- 표 2-3-16은 각각의 건조모델들의 R^2 및 $RMSE$ 를 나타낸 것이며, 4개의 모델 중에서 Thompson 모델이 결정계수(R^2)의 값이 가장 높았고(0.9709~0.9924), $RMSE$ 의 값이 가장 낮게 나타났음 (0.0061~0.0308)

표 2-3-16. 서리태 박층건조모델의 온도 및 상대습도 별 결정계수(R^2) 및 $RMSE$

Drying condition	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE
Model	Lewis		Page		Thompson		Moisture diffusion	
50°C-30%	0.9602	0.0961	0.9966	0.0963	0.9829	0.0109	0.8755	0.0391
50°C-40%	0.9164	0.0993	0.9928	0.0741	0.9709	0.0199	0.8725	0.0486
50°C-50%	0.9282	0.0923	0.9972	0.0952	0.9725	0.0062	0.8891	0.0352
60°C-30%	0.9251	0.0981	0.9946	0.0767	0.9924	0.0259	0.8668	0.0367
60°C-40%	0.9289	0.0915	0.9933	0.0682	0.9869	0.0308	0.8901	0.0288
60°C-50%	0.9359	0.0913	0.9973	0.0741	0.9791	0.0208	0.8990	0.0316

- 표 2-3-17은 회귀방정식을 이용하여 Thompson모델에서 온도별 상대습도별 A 및 B 의 값을 나타낸 것으로서, 이 때 실험계수들의 측정된 값들은 다음 식(2-3-14) 및 (2-3-5)과 같았음

표 2-3-17. Thompson 모델의 건조온도 및 상대습도 별 매개변수

$t = A (\exp(-kt) + B \ln[(MR)]^2)$			
T (°C)	RH (%)	A	B
50	30	-6.1515	5.2628
	40	-11.6411	5.9314
	50	-11.6411	6.9925
60	30	-7.9764	4.4276
	40	-11.9409	4.6317
	50	-15.0530	5.2284

$$A = -5.69675 + 0.05556 T_o - 21.863 RH_o + 42.6 RH_o^2 - 0.7935 T_o \cdot RH_o \quad (R^2 = 0.9233) \dots\dots\dots (2-3-14)$$

$$B = -2.822650 - 0.05581 T_o + 16.165 RH_o + 19.6325 RH_o^2 - 0.46445 T_o \cdot RH_o \quad (R^2 = 0.9426) \dots\dots\dots (2-3-15)$$

- 백태와 서리태의 박층건조실험을 통해 박층건조모델 중 4개(Lewis, Page, Thompson 및 축소수분

확산 모델)를 이용하여 적합성을 검증한 결과 백태의 4개의 건조방정식 모델 중 결정계수(R^2)는 0.97 이상, RMSE는 0.0508이하로 Thompson 모델이 가장 적합한 것으로 판단되었고 서리태도 Thompson 모델이 결정계수(R^2)는 0.97 이상, RMSE는 0.0308이하로 Thompson 모델이 가장 적합한 것으로 나타남

- 백태 및 서리태 모두 Thompson 모델을 적용한 건조 예측이 가능하며, 동일한 건조온도 및 상대습도에서의 백태 및 서리태의 실험상수도 큰 차이가 없어 동일한 모델 적용이 가능할 것으로 판단되었음
- 그림 2-3-17은 Overhults(1973)이 건조온도만을 이용한 모델과 개발된 박층건조모델을 이용한 백태와 서리태의 예측값을 비교 것이며, 건조온도 50°C에서 상대습도에 따른 변화는 구분이 가능하였지만 백태 및 서리태의 건조모델을 이용한 건조속도는 동일하게 나타났고 Overhults모델과는 큰 차이가 나타났음
- 건조온도 60°C는 50°C와 비슷한 경향을 나타냈으며, Overhults모델과 상대습도 50%의 경우와 비슷한 경향을 나타냈으나 건조 종료 시점에 도달할수록 오차가 크게 나타났음. 백태 및 서리태의 박층 건조모델을 이용한 건조속도는 차이는 없어 백태 및 서리태의 건조모델을 건조온도 50~60°C 및 상대습도 30~50%영역에서는 콩의 종류와 상관없이 동일한 모델 적용이 가능할 것으로 판단됨

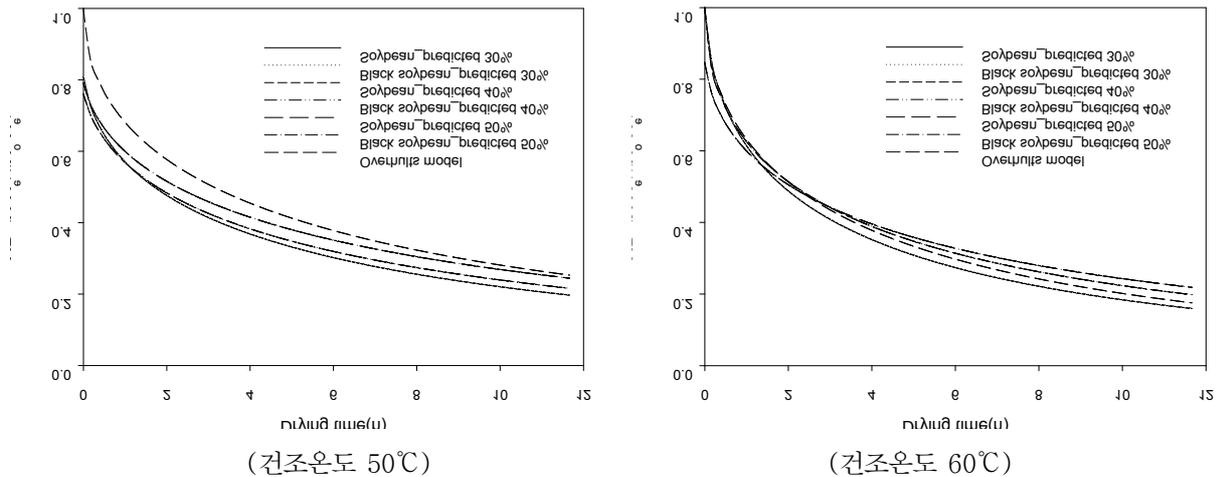


그림 2-3-17. Overhults model과 백태와 서리태의 예측값 비교

(라) 조

- 그림 2-3-18은 조의 상대습도 및 건조온도별 함수율비의 변화를 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 콩과 같이 건조 초기 2시간 전까지는 급격히 감소하다가 반건조시간(MR=0.5에 이르는 시간)이후에는 완만하게 건조되는 것으로 나타났고, 건조속도는 지수함수의 경향으로 감소하는 것으로 나타났으며, 건조 온도와 상대습도 모두 건조속도에 영향을 미치는 것으로 나타났음

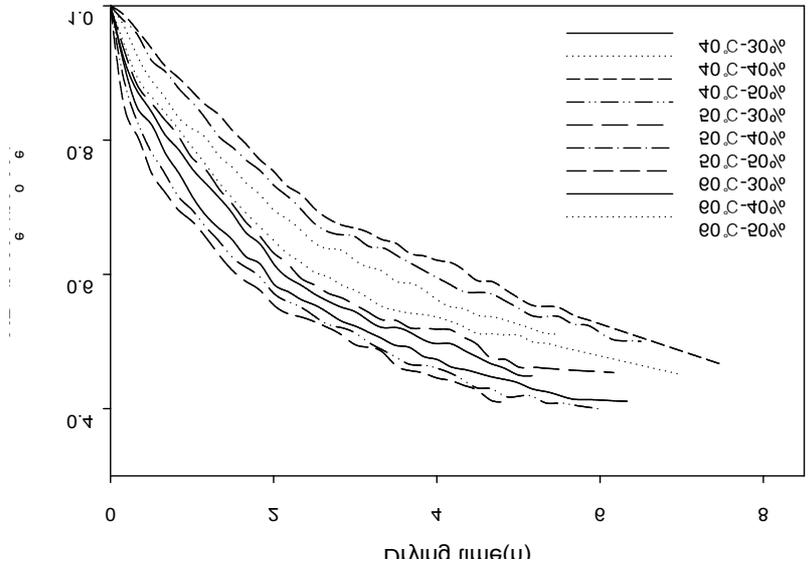


그림 2-3-18. 조의 상대습도 및 건조온도별 함수율비 변화

○ 다음 표는 4가지 건조모델들의 R^2 및 RMSE를 나타낸 것으로서, 표에서 알 수 있듯이 4개의 모델 중에서 Thompson 모델의 결정계수(R^2) 값이 가장 높게(0.9811~0.9992) 나타났으나, RMSE는 수분확산 모델이 가장 낮게(0.0038~0.0218) 나타났음

표 2-3-18. 조 건조모델의 결정계수(R^2) 및 RMSE

Drying condition	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Model	Lewis		Page		Thompson		Moisture diffusion	
40°C-30%	0.9722	0.4347	0.9860	0.0145	0.9868	0.0143	0.9053	0.0406
40°C-40%	0.9617	0.4846	0.9549	0.0428	0.9811	0.0193	0.9081	0.0464
40°C-50%	0.9125	0.5573	0.9716	0.0364	0.9845	0.0218	0.9489	0.0328
50°C-30%	0.9059	0.4611	0.9981	0.0080	0.9968	0.0038	0.9286	0.0248
50°C-40%	0.8639	0.5073	0.9779	0.0386	0.9890	0.0096	0.9494	0.0296
50°C-50%	0.8082	0.5883	0.9788	0.0256	0.9928	0.0155	0.9644	0.0270
60°C-30%	0.8616	0.4849	0.9988	0.0084	0.9992	0.0099	0.9206	0.0798
60°C-40%	0.7822	0.5264	0.9841	0.0427	0.9842	0.0090	0.9588	0.0247
60°C-50%	0.7332	0.5939	0.9864	0.0377	0.9974	0.0054	0.9729	0.0218

표 2-3-19. Thompson 모델의 매개변수

$t = A (\exp(-kt) + B \ln[(MR)]^2$			
T (°C)	RH (%)	A	B
40	30	-0.0309	7.3202
	40	0.047	6.7338
	60	-0.0494	6.0493
50	30	0.0276	10.7441
	40	-0.9341	7.7142
	60	-1.3708	6.148
60	30	-5.4543	5.8974
	40	-4.1406	7.1775
	60	-2.9941	7.2257

○ 다음 표는 회귀방정식을 이용하여 Thompson 모델의 매개변수를 구한 값을 나타낸 것으로서, 온도 및 상대습도 A 및 B 의 값은 아래와 같았으며, 실험계수들의 측정된 값들은 다음 식들과 같았음

$$P = -1.63422 - 0.26107T + 55.65942RH - 134.4617RH^2 + 0.61968T \cdot RH \quad (R^2 = 0.9311) \dots\dots\dots (2-3-16)$$

$$Q = 1.90118 - 0.3579T + 5.2882RH - 146.81RH^2 + 0.6498T \cdot RH \quad (R^2 = 0.5495) \dots\dots\dots (2-3-17)$$

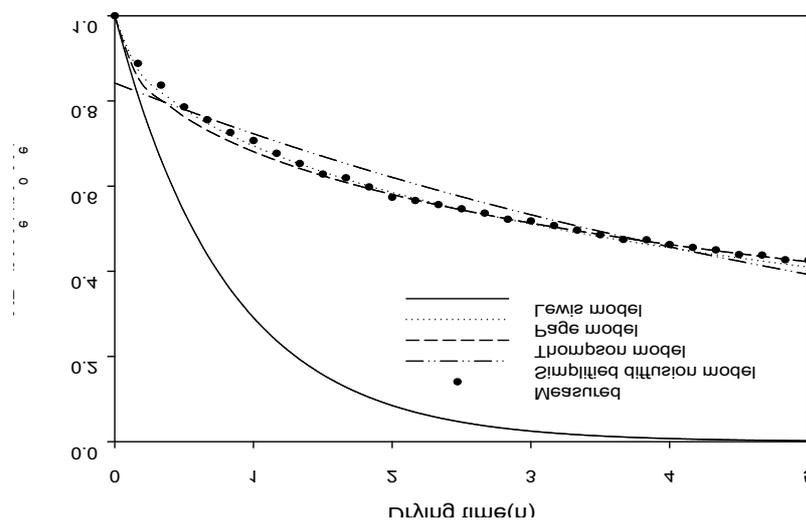


그림 2-3-19. 조의 박층건조 측정치와 예측치의 비교(건조온도 50°C, 상대습도 30%)

- 그림 2-3-19는 건조온도 50°C, 상대습도 30%일 때의 조의 함수율비 측정값과 각 모델들의 예측값을 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 Thompson모델의 예측값이 전체영역에서 측정값과 비교적 잘 일치하였으며, Page 모델의 경우 Thompson 모델에 비하여 오차가 크지만 건조 경향은 비교적 비슷하여 Page모델도 적용이 가능할 것으로 판단되었음
- 수분확산 모델의 예측값은 측정값과 오차가 크지만 건조형태는 비슷한 경향으로서 적용이 가능한 모델로 판단되었으며, Lewis모델은 건조초기부터 측정값과 예측값이 많은 차이가 나타나서 조의 건조 모델로 사용에는 어려운 것으로 나타났음

(마) 기장

- 그림 2-3-20은 기장의 상대습도 및 건조온도별 함수율비의 변화를 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 건조속도는 지수함수의 경향으로 감소하는 것으로 나타났으며, 건조속도의 지표가 되는 반건조시간(MR=0.5에 이르는 시간)은 대부분 건조시간 2시간이 되기 전에 모두 도달하였음
- 4가지 건조모델들의 R^2 및 RMSE는 다음 표와 같았으며, 4개의 모델 중에서 Lewis모델 및 Thompson모델이 결정계수(R^2)의 값(0.9882~0.9974)이 가장 높고 RMSE의 값(0.0093~0.0543)이 가장 낮게 나타났으나, 기장에 대해서는 ASABE(2004) 등 국외에서도 박층건조모델 기준이 정의되어 있지 않아 기존 모델과의 비교가 어려웠음

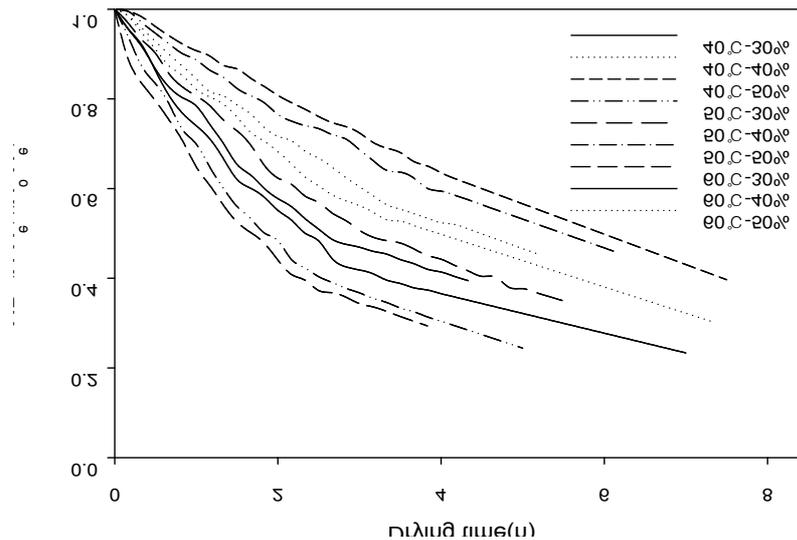


그림 2-3-20. 기장의 상대습도 및 건조온도별 함수율비 변화

표 2-3-20. 기장 건조모델의 결정계수(R^2) 및 RMSE

Drying condition	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE
Model	Lewis		Page		Thompson		Moisture diffusion	
40°C-30%	0.9936	0.0309	0.9931	0.1892	0.9892	0.0262	0.9911	0.0216
40°C-40%	0.9981	0.0117	0.9964	0.0302	0.9962	0.0190	0.9979	0.0140
40°C-50%	0.9942	0.0302	0.9936	0.0441	0.9974	0.0260	0.9938	0.0283
50°C-30%	0.9942	0.0412	0.9960	0.1534	0.9882	0.0239	0.9928	0.0342
50°C-40%	0.9973	0.0358	0.9971	0.0530	0.9951	0.0264	0.9970	0.0344
50°C-50%	0.9967	0.0140	0.9974	0.0300	0.9970	0.0155	0.9965	0.119
60°C-30%	0.9913	0.0474	0.9943	0.0604	0.9906	0.0333	0.9893	0.0383
60°C-40%	0.9975	0.0543	0.9934	0.0164	0.9886	0.0471	0.9972	0.0506
60°C-50%	0.9974	0.0093	0.9972	0.0099	0.9962	0.0155	0.9974	0.0097

- 다음 표는 회귀분석을 통해 Thompson 모델의 매개변수를 구한 값을 나타낸 것이며, 온도 및 상대 습도 A 및 B 의 값은 아래와 같았으며, 실험계수들의 측정된 값들은 다음 식들과 같았음

$$A = 5.71177 - 0.30696T + 6.39408RH + 0.000453T^2 - 0.0103RH^2 + 0.93362T \cdot RH$$

$$(R^2 = 0.9996) \dots\dots\dots (2-3-18)$$

$$B = 6.64014 - 0.3427T + 19.4785RH + 0.0003T^2 - 90.016RH^2 + 0.89461T \cdot RH$$

$$(R^2 = 0.9615) \dots\dots\dots (2-3-19)$$

- 그림 2-3-21은 기장의 건조온도 50°C, 상대습도 30% 조건에서 4가지 모델에 의한 예측치와 실측치를 비교한 것으로서, Lewis 모델 및 Thompson 모델의 경우 건조 대부분에서 측정값과 예측값이 비교적 잘 일치하였음
- 수분확산모델은 건조초기에는 측정값과 예측값이 비교적 일치하였지만 건조 4시간 이후에는 함수율 비 측정값과 예측값의 차이가 많은 것으로 나타났고, Page 모델의 예측값은 측정값과 많은 차이가 나타나 수분확산모델 및 Page 모델은 적용이 적절하지 않은 것으로 나타났음

표 2-3-21. Thompson 모델의 매개변수

$t = A (\exp(-kt) + B \ln[(MR)]^2$			
T (°C)	RH (%)	A	B
40	30	-2.0351	1.8989
	40	-1.8503	1.2164
	60	-1.5747	1.1849
50	30	-4.7393	1.3714
	40	-3.7389	1.3682
	60	-2.6872	1.9199
60	30	-6.7592	1.7308
	40	-7.7266	0.2150
	60	-5.3643	1.1336

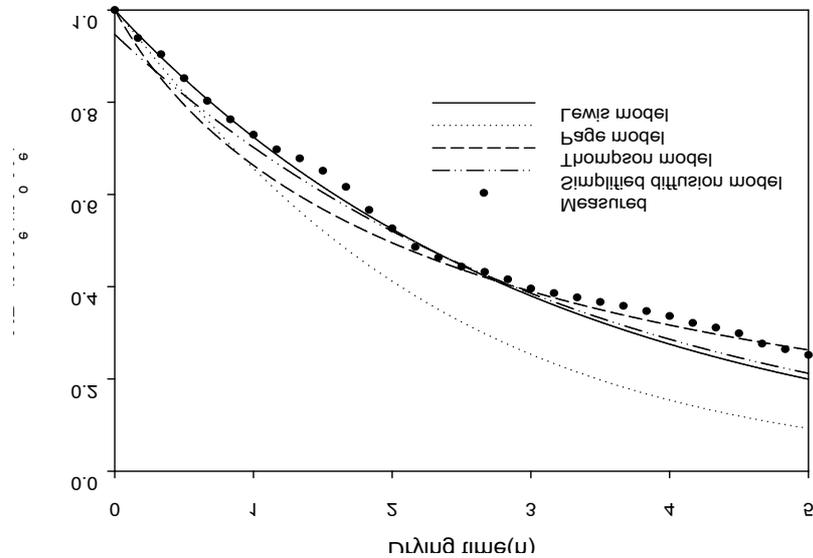


그림 2-3-21. 수수의 박층건조 측정치와 예측치의 비교(건조온도 50°C, 상대습도 30%)

- 조 및 기장의 박층건조모델을 이용한 건조속도는 차이는 없어 조 및 기장의 건조모델을 건조온도 40~60°C 및 상대습도 30~50%영역에서는 두 잡곡의 종류와 상관없이 동일한 Thompson모델 적용이 가능할 것으로 판단됨

3. 건조시뮬레이션 모델 개발

가. 시뮬레이션 모델링

- 곡물의 건조속도를 나타내는 건조모델은 박층건조모델과 후층건조모델로 구분할 수 있으며, 박층건조모델은 얇은 두께의 곡물층의 건조과정을 나타내고, 후층건조모델은 많은 박층으로 이루어진 건조과정을 해석할 수 있는데, 곡물건조는 일정한 퇴적을 이루고 있는 곡물층에 건조공기를 통과시키는 후층건조과정으로 건조기의 성능을 분석하거나 설계를 위해서는 반드시 후층건조과정을 해석해야 함
- 건조공기는 곡물층을 통과하는 동안 곡물로부터 수분을 흡수하여 습도는 높아지고 온도는 하강하는 반면, 곡물은 수분을 잃고 곡온은 상승하게 되므로 후층에서의 함수율, 곡온 및 건조공기의 조건들의 변화를 예측할 수 있어야 하고, 후층건조과정을 해석하기 위해서는 곡물의 평형함수율, 수분증발잠열, 박층건조방정식, 열 및 물리적 성질 및 공기의 상태에 따른 습공기 성질 등의 자료가 필요함
- 국내의 생산되는 곡물건조기는 벼 및 보리 등의 주요 곡종에만 국한되어 있어 잡곡류의 건조가 어려운 실정이며, 기존 곡물건조기에서 잡곡류의 건조 시뮬레이션을 이용하여 건조조건인 건조온도, 송풍량 및 순환속도를 산출하여 잡곡류의 적절한 건조조건을 구명할 수 있음
- 잡곡을 건조하는 동안에는 품질저하가 발생하게 되는데 건조온도가 높을수록 잡곡내부의 수분차에 의한 응력 및 온도 및 함수율의 차이에 의해 열응력이 증대되며, 응력이 과대하게 발생되면 낱알에 금이 가는 동할이 발생하게 되어 품질이 저하됨
- 잡곡의 건조기 기본형식은 다음 그림과 같이 벼와 열풍의 흐름방향에 따라 크게 5가지 형태로 구분할 수 있으며, 잡곡과 열풍의 흐름이 동일한 방향인 병류형(並流型, concurrent flow type), 반대방향인 향류형(向流型, counter flow type), 직각방향인 횡류형(橫流型, cross flow type)과 이들이 혼합된 혼합류형(混合流型, mixed flow)과 잡곡은 정지되어 있고 열풍만 이동하는 고정층형(固定層型, fixed-bed type)이 있음

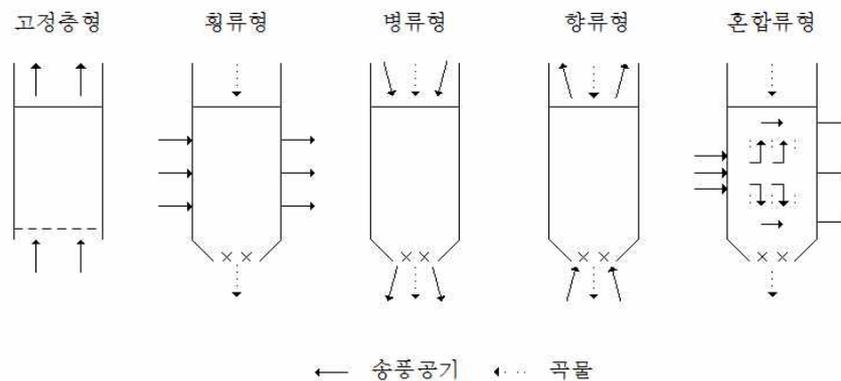


그림 2-3-22. 건조기의 기본형식

- 건조기는 곡물을 취급하는 방법에 따라 일정량의 곡물을 건조기에 투입하여 목표수분까지 건조한 후 배출하는 순환식(Circulating type)과 곡물을 연속적으로 공급받아 건조하는 연속식(Continuous type)으로 구분할 수 있고, 국내에서 널리 사용되고 있는 건조기형식은 순환식 횡류형 건조기가 주로 사용되고 있으며, 건조기의 구조는 건조실(drying chamber), 템퍼링실(tempering chamber), 곡물 순환용 버킷엘리베이터, 곡물 배출장치, 가열기, 가열송풍기, 배진 송풍기 및 조작반으로 구성되어 있음
- 잡곡의 건조 중 품질유지 및 건조효율을 고려하고, 특히 국내 건조기 보급상황을 고려했을 때 순환식 횡류형 건조기의 적용이 필요하다고 판단되어, 본 연구에서는 순환식 횡류형 건조기에서의 잡곡 건조시물레이션 모델을 개발하였으며, 전술한 바와 같이 백태와 서리태는 건조물성에 차이가 없어 통합하여 수수 및 콩의 건조시물레이션 모델을 개발하였으며, 조, 기장 등 2가지 잡곡에 대해서도 건조시물레이션 모델을 개발하였음
- 건조과정은 횡류형 순환식 건조기에서 잡곡이 건조실을 통과할 때 일정한 온도를 가지는 건조공기가 잡곡층을 횡류방향으로 통과하면서 건조가 이루어지고, 건조실을 통과한 잡곡은 스크루컨베이어와 버킷엘리베이터에 의하여 템퍼링실로 이송되어 일정시간 템퍼링 과정 등 건조-순환-템퍼링 과정을 반복되면서 최종 함수율에 도달하므로 건조기에서 잡곡의 건조과정은 건조실 내에서의 건조과정과, 템퍼링실에서의 템퍼링이 일어나는 과정으로 나누어 해석하였음
- 잡곡의 건조 시물레이션은 Keum 등(1987)과 Bakker-Arkema 등(1974)이 횡류형 간헐건조과정을 해석한 건조모델을 이용하였으며, 잡곡의 박층건조모델 및 평형함수율은 실험에서 개발된 모델을 사용되었으며, 수분증발잠열, 박층건조방정식 등은 ASABE Standard의 자료를 이용하였음

(1) 수학모델

- 횡류건조과정을 해석하기 위한 수학모델의 기본개념은 다음의 그림과 같고, 수학모델은 식(2-3-20)~(2-3-22)과 다음과 같으며, 이 때 사용한 기호는 다음 표와 같았으며, 박층건조방정식은 식(2-3-23)~(2-3-25)과 같이 본 연구에 개발된 모델을 사용하였음

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{h_c a}{G_a(G_a + C_v H)}(T - \theta) \dots\dots\dots(2-3-20)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{h_c a}{G_g(C_g + C_w M)}(T - \theta) + \frac{h_{fg} + C_v(T - \theta)}{G_g(C_g + C_w M)} G_a \frac{\partial H}{\partial x} \dots\dots\dots(2-3-21)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = - \frac{G_g}{G_a} \cdot \frac{\partial M}{\partial y} \dots\dots\dots(2-3-22)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \text{박층건조방정식} \dots\dots\dots(2-3-23)$$

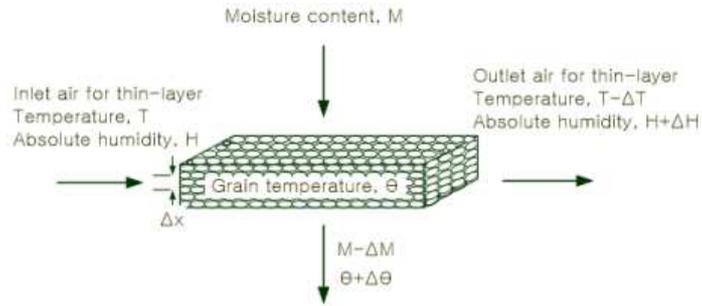


그림 2-3-23. 횡류형 건조 수확모델의 기본개념

표 2-3-22. 잡곡 건조 시뮬레이션에 사용한 기호

기 호	내 용
A_s	잡곡의 비표면적(m^2/m^3)
C_a	공기의 비열($kJ/kg K$)
C_g	잡곡의 비열($kJ/kg K$)
C_v	수증기의 비열($kJ/kg K$)
C_w	물의 비열($kJ/kg K$)
G_a	공기의 유동율($kg/hr m^2$)
G_g	잡곡 순환율($kg/hr m^2$)
g	잡곡의 산물밀도(kg/m^3)
h_c	잡곡의 열전달계수($kJ/m^2 K hr$)
H	공기의 절대습도($kg H_2O/kg dry air$)
h_{fg}	잡곡의 증발잠열($kJ/kg H_2O$)
M	잡곡의 함수율(decimal, d.b.)
q	풍량비($m^3/min \cdot m^3$)
RH	상대습도(decimal)
t	시간(hr)
T	공기온도($^{\circ}C$)
x	송풍공기의 흐름방향의 축(m)
y	잡곡 흐름방향의 축(m)
θ	잡곡의 곡물온도($^{\circ}C$)
ρ_p	공기의 밀도(kg/m^3)

- 수수의 박층건조방정식

$$MR = \frac{M(t) - M_e}{M_o - M_e} = A \exp(-k_2 \cdot t) \quad \dots\dots\dots (2-3-24)$$

$$A = 1.16067 - 0.00757(T_0) + 0.15892(RH_0) - 0.24(RH_0)^2 - 0.00127(T_0 \cdot RH_0)$$

$$k_2 = 0.3112 - 0.017(T_0) + 1.23142(RH_0) + 0.165(RH_0)^2 - 0.0347(T_0 \cdot RH_0)$$

- 쿵, 조 및 기장

$$t = A (\exp(-kt) + B \ln[(MR)]^2)$$

$$MR = \frac{M(t) - M_e}{M_o - M_e} = \exp\left(\frac{-A - \sqrt{A^2 + 4BT}}{2B}\right) \quad \dots\dots\dots (2-3-25)$$

쿵 $A = -18.78631 - 0.28517T_o - 41.4735RH_o + 28.8RH_o^2 + 0.42686T_o \cdot RH_o$

$$B = 15.59923 - 0.26386T_o - 4.0325RH_o + 1.77RH_o^2 + 0.2488T_o \cdot RH_o$$

조 및 기장 $A = 5.71177 - 0.30696T + 6.39408RH + 0.000453T^2 - 0.0103RH^2 + 0.93362T \cdot RH$

$$B = 6.64014 - 0.3427T + 19.4785RH + 0.0003T^2 - 90.016RH^2 + 0.89461T \cdot RH$$

여기서, $MR = \frac{M(t) - M_e}{M_o - M_e}$: 함수율비(무차원)

$M(t)$: 함수율(% , d.b.)

M_e : 평형함수율(dec., d.b.)

M_o : 초기함수율(dec., d.b.)

t : 건조시간(hr)

A, B, k_2 : 실험상수

○ 위 식들의 초기 및 경계조건은 다음 식(2-3-26) 및 (2-3-27)과 같았음

$$T = T_0, \quad x=0, y \geq 0 \quad \dots\dots\dots (2-3-26)$$

$$\theta = \theta_0, \quad x \geq 0, y=0$$

$$H = H_0, \quad x=0, y \geq 0$$

$$M = M_0, \quad x \geq 0, y=0 \quad \dots\dots\dots (2-3-27)$$

○ 건조모델의 수치해석을 위하여 유한차분법(finite difference method)을 적용하였으며, 건조공기의 온

도변화 식(2-3-10)을 임의의 점 $x + \frac{\Delta x}{2}$, $y + \Delta y$ 에 대하여 유한차분식으로 나타내면 다음 식

(2-3-27)과 같았으며, $T_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} \doteq \frac{T_{x+\Delta x, y+\Delta y} + T_{x, y+\Delta y}}{2}$ 라고 간주하면 다음 식(2-3-29)로 표현할 수 있었음

$$\frac{T_{x+\Delta x, y+\Delta y} - T_{x, y+\Delta y}}{\Delta x} = -\frac{h_c a}{G_a \cdot \left(C_a + C_w H_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} \right)} \cdot \left(T_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} - \theta_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} \right) \dots\dots\dots (2-3-28)$$

$$T_{x+\Delta x, y+\Delta y} = 2 \cdot \left(T_{x+\Delta x, y+\Delta y} - T_{x, y+\Delta y} \right) \dots\dots\dots (2-3-29)$$

○ 위의 식(2-3-28)를 식(2-3-29)에 대입하여 정리하면 다음 식(2-3-30)과 같이 표현할 수 있음

$$T_{x+\frac{\Delta x}{2}, y+\Delta y} \left[1 + \frac{h_c a}{2G_a \cdot \left(C_a + C_w H_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} \right)} \cdot \Delta x \right] + \theta_{x+\frac{\Delta x}{2}, y+\Delta y} \left[\frac{-h_c a}{2G_a \cdot \left(C_a + C_w H_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} \right)} \cdot \Delta x \right] = T_{x, y+\Delta y} \dots\dots\dots (2-3-30)$$

○ 식(2-3-24)을 정리하면 다음 식(2-3-31)으로 표현할 수 있었음

$$C_1 T_{x+\frac{\Delta x}{2}, y+\Delta y} + C_2 \theta_{x+\frac{\Delta x}{2}, y+\Delta y} = T_{x, y+\Delta y} \dots\dots\dots (2-3-31)$$

$$\text{여기서, } C_1 = 1 + \frac{h_c a}{2G_a \cdot \left(C_a + C_w H_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} \right)} \cdot \Delta x$$

$$C_2 = \frac{-h_c a}{2G_a \cdot \left(C_a + C_w H_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} \right)} \cdot \Delta x$$

○ 곡물의 온도변화 식(2-3-20)을 $x + \frac{\Delta x}{2}$, $y + \Delta y$ 에 대하여 유한차분식으로 나타내면 다음 식(2-3-31)과 같았으며, 식(2-3-27)을 $\theta_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y}$ 에 관하여 풀면 다음의 식(2-3-33)과 같았음

$$\frac{\theta_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} - \theta_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y}}{\Delta y} = \frac{h_c \cdot \left(T_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y} - \theta_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y} \right)}{G_g \cdot \left(C_g + C_w M_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y} \right)} - \frac{h_{fg} \cdot G_a}{G_g \cdot \left(C_g + C_w M_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y} \right)} \cdot \frac{H_{x+\Delta x, y} - H_{x, y}}{\Delta x} \dots\dots\dots (2-3-32)$$

$$\theta_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} = \theta_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y} + \left[h_c \cdot \Delta y \cdot \left(\frac{T_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y} + T_{x, y}}{2} - \theta_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y} \right) - h_{fg} \cdot \Delta y \cdot G_a \cdot \frac{H_{x+\Delta x, y} - H_{x, y}}{\Delta x} \right] G_g \cdot \left(C_g + C_w \cdot M_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y} \right) \dots\dots\dots (2-3-33)$$

- 공기의 절대습도변화 식(2-3-22)을 $x + \frac{\Delta x}{2}$, $y + \Delta y$ 에 대하여 유한차분식으로 표현하면 다음의 식(2-3-34)과 같으며, $H_{x+\Delta x, y+\Delta y}$ 에 관하여 풀면 다음 식(2-3-35)로 표현할 수 있음

$$\frac{H_{x+\Delta x, y+\Delta y} - H_{x, y+\Delta y}}{\Delta x} = - \frac{G_g}{G_a} \cdot \frac{M_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} - M_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y}}{\Delta y} \dots\dots\dots (2-3-34)$$

$$H_{x+\Delta x, y+\Delta y} = H_{x, y+\Delta y} - \frac{G_g \cdot \Delta x}{G_a \cdot \Delta y} \cdot \left(M_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} - M_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y} \right) \dots\dots\dots (2-3-35)$$

- 박층건조 식(2-3-33)은 다음 식(2-3-36)과 같이 표현할 수 있었으며, 함수율과 평형함수율로부터 주어진 상태의 함수비(MR_t)가 결정되면 건조초기의 함수율로부터 현재의 함수율에 도달하기 위한 시간(t)을 구하여 시간증분(Δt)을 더하고, 시간증분이 합산된 건조시간($t + \Delta t$)과 현재의 공기 온도 및 상대습도로부터 건조시간 후의 함수비 ($MR_{t+\Delta t}$)를 산출하고, 이 함수비를 이용하여 건조시간($t + \Delta t$) 후의 잠곡 함수율($M_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y}$)을 결정하였음

$$M_{x+\frac{1}{2}\Delta x, y+\Delta y} = \exp(-P(t + \Delta t)^Q) \cdot (M_0 - M_e) + M_e \dots\dots\dots (2-3-36)$$

- 잠곡의 평형함수율모델은 정적 평형함수율 실험데이터를 Chung-Pfost 모델에 적용하여 실험상수를 개발한 다음의 식(2-3-37)~(2-3-38)을 이용하였음(ASABE Standard, 2004)

$$EMC = b_4 - b_5 \ln \left[-(T + b_3) \ln(erh) \right] \dots\dots\dots (2-3-37)$$

$$\ln(erh) = - \frac{b_1}{(T + b_3)} \exp(-b_2 EMC) \dots\dots\dots (2-3-38)$$

여기서, EMC : 평형함수율(소수, d.b.)

erh : 평형상대습도(소수)

T : 온도(°C)

b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 : 실험상수(-)

표 2-3-23. 잡곡 평형함수열 실험 상수

	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅
Sorghum	797.33	0.18159	52.238	36.793	5.507
Soybean	33.1	13.73	60.02	0.253	0.073
Millet	433.157	21.581	41.439	0.281	0.046

- 잡곡의 수분증발잠열은 위의 평형상대습도식을 이용하여 Othmer 방법으로 유도한 수수 및 콩의 식(2-3-39)~(2-3-40)을 이용하였으며(ASABE, 2004), 산물밀도는 측정된 모델 및 ASABE(2004) 자료를 사용하여 다음 식(2-3-41)~(2-3-43)를 사용하였음

$$\text{수수} : h_{fg} = (2502.535 - 2.386T)[1 + 1.2 \exp(-19.6 \times M)] \dots\dots\dots (2-3-39)$$

$$\text{콩} : h_{fg} = (2502.535 - 2.386T)[1 + 0.4 \exp(-13.9 \times M)] \dots\dots\dots (2-3-40)$$

여기서, h_{fg} : 수분증발잠열(kJ/kg.water)

$$\text{수수} : D = 829.1 - 643M + 660M^2 \dots\dots\dots (2-3-41)$$

$$\text{콩} : D = 734.5 - 219M + 70M^2 \dots\dots\dots (2-3-42)$$

$$\text{조, 기장} : D = 773.0 - 2311M + 3630M^2 \dots\dots\dots (2-3-43)$$

여기서, D : 산물밀도(kg/m^3)

M : 함수율(% , w.b.)

- 비열 및 공기저항은 Stanislaw(1998)의 자료를 이용하였으며, 비열은 식(2-3-44)~(2-3-46)을 이용하였고, 공기저항은 식(2-3-47)~(2-3-49)을 이용하였음

$$\text{수수} : c = 1.397 + 0.032M \dots\dots\dots (2-3-44)$$

$$\text{콩} : c = 1.637 + 0.019M \dots\dots\dots (2-3-45)$$

$$\text{조, 기장} : c = 0.992 + 0.050M \dots\dots\dots (2-3-46)$$

여기서, c : 비열(kJ/kg·K)

M : 함수율(% , w.b.)

여기서, h_c : 대류열전달계수($kJ/m^2 \cdot K \cdot hr$)

G_a : 건공기 질량유량(kg/hrm^2)

$$\text{수수} : \Delta p = \frac{21200 \times V^2}{\ln(1 + 8.06V)} \dots\dots\dots (2-3-47)$$

$$\text{콩} : \Delta p = \frac{10200 \times V^2}{\ln(1 + 16.0V)} \dots\dots\dots (2-3-48)$$

$$\text{조, 기장 : } \Delta p = \frac{24100 \times V^2}{\ln(1+13.9V)} \dots\dots\dots (2-3-49)$$

(2) 응축과정의 해석

- 건조과정에서 잠곡으로부터 많은 양의 수분을 빼앗은 건조공기가 낮은 온도의 잠곡층을 통과하면 건조공기 중의 수분이 응축되어 함수율을 증가시키고 잠곡층을 통과한 공기의 온도는 더욱 하강하게 되므로 응축현상이 발생하면 각각 얻어진 공기의 온도와 잠곡 함수율이 변화하게 되므로 이를 예측하여야 함
- 응축현상의 발생여부를 판단하기 위하여 공기의 온도와 절대습도로부터 상대습도를 구하였으며, 상대습도가 0.9999보다 클 경우, 그때의 공기를 포화상태로 보아 응축현상이 발생한 것으로 고려하였으며, 응축현상이 발생한 상태의 공기의 포화절대습도 H' 를 구한 다음 응축현상 전후의 공기 중의 수분량과 잠곡 중의 수분량의 합이 같으므로 다음 식(2-3-50)으로 표현할 수 있으며, 응축현상 후의 잠곡 함수율은 다음 식(2-3-51)과 같이 표현이 가능함

$$G_a \cdot \Delta y H + G_g \cdot \Delta x M = G_a \cdot \Delta y H' + G_g \cdot \Delta x M' \dots\dots\dots (2-3-50)$$

$$M' = M + \frac{G_a \cdot \Delta y}{G_g \cdot \Delta x} \cdot (H - H') \dots\dots\dots (2-3-51)$$

- 또한, 에너지평형의 관계로부터 응축현상 전후의 공기와 잠곡의 에너지 합은 같으므로 다음 식(2-3-52)로 표현할 수 있으며, 응축현상 전후의 곡물 온도변화를 무시($\theta = \theta'$)하면 응축현상 후의 공기온도는 다음 식(2-3-53)으로 표현할 수 있음

$$T \cdot G_a \cdot \Delta y \cdot (C_a + C_v \cdot H) + \theta \cdot G_g \cdot \Delta x \cdot (C_g + C_w \cdot M) = \dots\dots\dots (2-3-52)$$

$$T' \cdot G_a \cdot \Delta y \cdot (C_a + C_v \cdot H') + \theta' \cdot G_g \cdot \Delta x \cdot (C_g + C_w \cdot M) + G_a \cdot \Delta y \cdot h_{fg} \cdot (H - H')$$

$$T' = T \cdot \frac{C_a + C_v \cdot H}{C_a + C_v \cdot H'} - h_{fg} \cdot (H - H') \dots\dots\dots (2-3-53)$$

(3) 소요에너지

- 건조기의 작동에 투입되는 에너지는 건조공기를 발생하는데 소요되는 에너지, 잠곡의 순환을 위한 스크루컨베이어와 버킷엘리베이터의 구동에너지로 구분하였으며, 먼저 건조공기를 발생하는데 소요되는 에너지는 건조공기의 유동열에 의해 구할 수 있으며 다음 식(2-3-54)로 표현이 가능하며, 스크루컨베이어와 버킷엘리베이터의 구동에너지는 장치의 효율을 50%로 가정하고 다음 식(2-3-55)와 식(2-3-56)으로 계산하였음

$$P_a = \frac{C_a(V \times q \times \rho_p)(\Delta T)}{COP} \dots\dots\dots (2-3-54)$$

여기서, P_a : 건조공기를 발생하는데 소요되는 에너지(ps)

C_a : 공기의 비열(kJ/kg·K)

V : 체적(m³)

q : 풍량비(m³/min·m³)

ρ_p : 공기의 밀도(kg/m³)

ΔT : 온도차(°C)

$$P_s = \frac{c l Q}{270} \dots\dots\dots (2-3-55)$$

여기서, P_s : 스크루컨베이어의 소요동력(ps)

c : 계수(0.005)

l : 스크루컨베이어의 길이(m)

Q : 반송능력(ton/hr)

$$P_b = \frac{Q H}{270 \eta} \dots\dots\dots (2-3-56)$$

여기서, P_b : 버킷엘리베이터의 소요동력(ps)

Q : 반송능력(ton/hr)

H : 양정(m)

η : 전효율(0.4~0.5)

(4) 시뮬레이션 모델링

- 시뮬레이션 프로그램의 순서도는 다음의 그림 2-3-24와 같았으며, 건조기의 조건, 공기조건 및 곡물의 조건을 입력 받아 횡류형 건조층에 따른 박층건조모델을 이용하여 함수율 예측, 곡온 및 공기 상태를 예측하고 박층을 계속적으로 계산하여 건조 조건이 목표함수율에 도달하면 계산이 종료되고 결과들은 저장되도록 하였음
- 순서도를 바탕으로 Matlab(R2008a)을 이용하여 프로그램을 작성하였으며, 평형함수율을 계산하기 위한 부프로그램 및 5종류의 잡곡의 특성정보 및 습공기의 성질을 계산하기 위한 부프로그램으로 구성하였음
- 시뮬레이션 프로그램은 잡곡의 종류를 고려하여 초기 입력값으로 곡물의 종류(수수, 백태, 서리태, 조, 기장)를 먼저 선택하도록 하였으며, 선택된 곡물의 종류에 따라 잡곡의 물성 및 박층건조조건

등의 건조 조건을 사용할 수 있도록 하였음

- 잡곡의 종류를 선택한 후 건조기의 건조물량, 건조실의 크기 및 곡물의 유하속도 등을 입력하게 되고, 이 후 건조기 제원, 외기공기 조건, 초기함수율, 목표함수율, 초기곡온, 건조공기의 온도, 송풍량 등을 추가적으로 입력할 수 있도록 프로그램을 개발하였음
- 초기 입력값을 이용하여 프로그램이 실행되고 순환횟수, 템퍼링 시간, 건조공기 노출시간, 건조함수율, 건감율, 제수율, 곡물온도 및 소요에너지가 산출되도록 프로그램을 개발하였으며, 시뮬레이션 프로그램의 입력값 및 출력값은 다음의 표와 같았음
- 다음의 그림 2-3-25는 잡곡건조 시뮬레이션 프로그램의 화면을 나타낸 것이며, 초기 입력값에 곡물 수수, 콩 및 조기장의 곡물 종류를 먼저 선택할 수 있도록 하였으며, 곡물의 종류가 선택되면 곡물의 기본정보를 이용하여 건조시뮬레이션 프로그램이 구동하도록 하였음

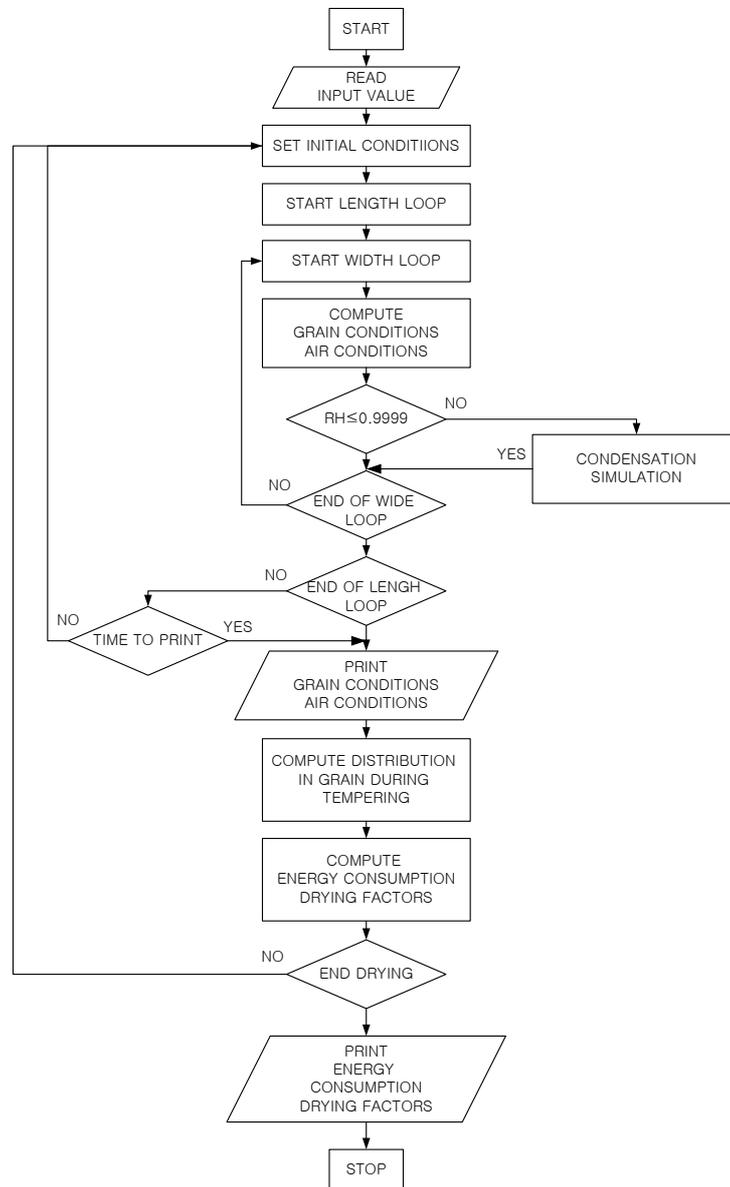


그림 2-3-24. 잡곡 건조시뮬레이션 프로그램 순서도

표 2-3-24. 잠곡 건조시물레이션 프로그램의 입력 및 출력값

Input values	Output values
Kind of grain(Sorghum, Soybean, Millet)	
Dryer specifications	
Height(m)	Circulation time(hr)
Length(m)	Drying time(hr)
Width(m)	Tempering time(hr)
Grain flow rate(kg/hr)	Final Moisture content(%w.b.)
Air conditions	Moisture content during Δt
Drying air temperature(°C), RH(%)	Drying rate(%w.b./hr)
Ambient temperature(°C), RH(%)	Grain temperature(°C)
Grain conditions	Water remove rate(kg)
Initial moisture content(dec, w.b.)	Total energy(kJ/kg.water)
Initial grain temperature(°C)	
Final moisture content(dec, w.b.)	
Grain weight(kg)	

```

function crossflow_dryer_grain
% for grain
% Grain select
grain=input('enter kind of grain, sorghum=1, soybean =2 : ');
% air=5000; %input('enter air flow rate(kg/hr) : ');
% air=5000; %input('enter grain flow rate(kg wet grain/hr) : ');
% k=60; %input('enter drying air temperature(c) : ');
% x=0.13; %input('enter thickness of grain column(c) : ');
% ylang=1.4; %input('enter height of drying chamber(a) : ');
% zlang=2; %input('enter length of drying chamber(a) : ');
% ncolumn=2; %input('enter number of grain column : ');
%
% input=5000; %input('enter wet grain weight to be dried(kg) : ');
% w=0.24; %input('enter initial wetdec,w.b. : ');
% wf=0.13; %input('enter final wetdec,w.b. : ');
% t=60; %input('enter initial grain temperature(c) : ');
% h=0.5; %input('enter initial head grain yield(kg) : ');
%
% rh=60; %input('enter ambient air temp(c) : ');
% rh=60; %input('enter ambient air rh(dec) : ');
%
% iout=2; %input('enter output select number, 1=press,2=detailed : ');
%
% % thermal properties of air(공기의 열적 특성)
% cp=1.005; % specific heat of dry air(kJ/kg)(건공기의 비열)
% cw=4.1868; % specific heat of water vapor(kJ/kg)(수증기의 비열)
%
% % physical and thermal properties of grain(곡물의 물리적 열적 특성)
% if grain==1 % sorghum
% cp=4.45; % specific heat of water in grain(곡물내 수분의 비열)
% cp=1.597+0.032*(smd-100); % specific heat of dry grain(건곡물의 비열)
% sm=1.61;
% sf=0.59+1.843*(smd)+950*(smd)^2;
% dem=(sf);
% dsm=(sf);
% else % soybean
% cp=4.45;
% cp=1.697+0.019*(smd-100); % specific heat of dry grain(건곡물의 비열)
% sm=1.61;
% sf=0.54+5.219*(smd)-70*(smd)^2;
% dem=(sf);
% dsm=(sf);
    
```

(입력화면)

```

New to MATLAB? Watch this video, see Demos, or read Getting Started
enter kind of grain, sorghum=1, soybean =2 : 1
Grain circulation Cross-flow Dryer
Kind of grain : Sorghum
grain column thickness(a) : 0.13
number of grain column : 2
height of grain column(a) : 1.40
length of grain column(a) : 2.00

Air flow rate(air): 50, Grain flow rate(kg/hr): 2000, Air temperature(c): 60, grain column thickness(a): 0.13
Grain circulation time(hr/drypass) : 95.45
Resident time(hr/drypass) : 15.57
Tempering time(hr/drypass) : 79.89
Grain conditions
Initial grain wet(dec) : 0.2400
Initial moisture content(w) : 0.2400
Initial grain temperature(c) : 20.00
Air condition
drying air temperature(c) : 60.00
ambient air temperature(c) : 20.00
ambient air relative humidity : 70.00

** Result of 1 Drying Pass **

y time(hr) area Moisture Distribution(w.b.)
0.0500 0.0000 0.2392 0.2041 0.2400 0.240 0.0500 0.1220
0.1000 0.0000 0.2392 0.1693 0.2400 0.240 0.1000 0.2400
0.1500 0.0500 0.2394 0.1445 0.2400 0.240 0.1500 0.2420
0.2000 0.0500 0.2370 0.0995 0.2400 0.240 0.2000 0.2420
0.2500 0.1000 0.2350 0.0688 0.2380 0.240 0.2500 0.2420
0.3000 0.1500 0.2330 0.0411 0.2300 0.240 0.3000 0.2420
0.3500 0.1500 0.2190 0.0276 0.2300 0.240 0.3500 0.2420
1.0000 0.1800 0.2190 0.0900 0.2221 0.2400 0.240 0.2420
1.0500 0.2100 0.2100 0.0850 0.2111 0.2400 0.240 0.2440
1.2500 0.2400 0.2084 0.0548 0.1974 0.2400 0.240 0.2440

Drying Pass [-W.C.(w.b.) : 0.2384, time(hr) : 1.59
average(hr) : 0.2384
dry/hr rate(kg, hr) : 2.2193
heat remove(kJ/kg water) : 1565.6

** Result of 2 Drying Pass **

y time(hr) area Moisture Distribution(w.b.)
0.0500 1.5970 0.2024 0.2273 0.2466 0.2444 0.1845 0.0500
0.1000 1.5200 0.1970 0.1470 0.2477 0.2468 0.1490 0.0500
    
```

(결과화면)

그림 2-3-25. 잠곡 건조시물레이션 프로그램

나. 건조시물레이션 결과

(1) 수수의 건조시물레이션

- 개발한 건조시물레이션 프로그램을 이용하여 수수의 건조특성을 예측하기 위한 초기조건은 다음의 표와 같았으며, 수수의 생산, 수확조건 등을 고려하여 건조기 용량은 3.0톤으로 하였으며, 초기 함수율은 28.0%,w.b., 초기 곡온은 20.0℃, 평균 외기온도는 20.0℃, 평균 외기상대습도는 70.0%, 건조온도는 50.0℃, 곡물순환속도는 2,200kg/hr 및 송풍량은 200m³/min으로 하였음

표 2-3-25. 수수의 건조시물레이션 프로그램 입력조건

Input values	Sorghum
Input grain weight(ton)	3.0
Initial moisture content(% , w.b.)	28.0
Initial grain temperature(℃)	20.0
Ambient temperature(℃)	20.0
Ambient relative humidity(%)	70.0
Drying air temperature(℃)	50.0
Grain flow rate(kg/hr)	2,200
Airflow rate(m ³ /min)	200

- 다음의 표는 앞의 입력 조건을 이용하여 시물레이션 프로그램의 결과를 나타낸 것으로, 순환 횟수는 총 7회를 하였으며, 건조시간은 9.55시간, 최종함수율 12.83%,w.b., 건감율은 1.5889%,w.b./h 및 제수량은 522.0kg으로 나타나, 벼 전용 횡류형 순환식 곡물건조기와 비교할 경우 건조속도는 벼의 0.8%,w.b./h보다 빠른 것으로 나타났음
- 또한, 에너지 소비율은 9,286kJ/kg.water으로 나타났으며, 벼의 경우 벼 수분 1kg 증발에 소요되는 공기가열 에너지(연료에너지)는 4,500~6,000kJ/kg.water 정도로 수수의 에너지 소비율은 벼보다 매우 높은 것으로 나타났음

표 2-3-26. 수수의 건조시뮬레이션 프로그램 결과

Grain column thickness(m)	0.13
Drying Pass(pass)	7
drying time(hr)	9.55
final mc,w.b.	12.83
drying rate(w.b./hr)	1.5889
water removed(kg)	522
fan static pressure(Pa)	480.58
total energy(kJ/kg.water)	9,286.0
fuel energy(kJ/kg.water)	9,075.1
fan energy(kJ/kg.water)	210.9

○ 다음 그림은 개발된 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 건조 중 함수율 및 곡온 변화를 나타낸 것으로, 그림에서 알 수 있듯이 함수율 변화는 1차 지수함수형태로 감소하였으며, 함수율 18.0%,w.b.이후부터 건조속도가 다소 감소하였고, 곡온은 건조 시작 후 2시간 까지 지속적으로 증가하였으며, 2시간 이후부터 건조 종료 시점까지 45.0~50.0°C 사이의 곡온을 유지하였음

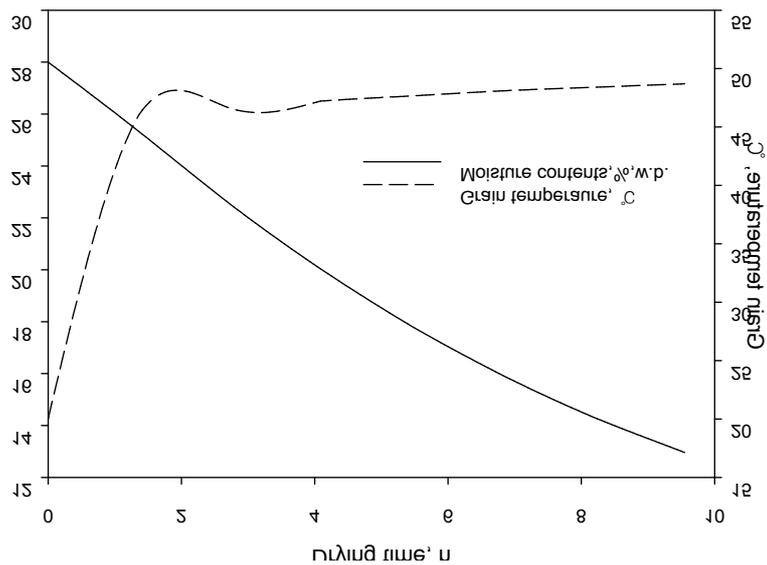


그림 2-3-26. 수수의 건조시뮬레이션에 의한 함수율 및 곡온 예측 결과

- 수수의 횡류형 순환식 곡물건조시물레이션에서 주요 곡물인 벼의 건조 결과와 매우 유사하게 나타났으며, 수수의 물리적 특성으로 인하여 건조에너지는 높게 소요되는 것으로 나타났음
- 수수의 건조시물레이션 프로그램을 이용하여 순환식 횡류형건조기에서 수수를 건조할 때 건조조건별 작동조건을 구명하였는데, 다음의 표 2-3-27은 작동조건 구명을 위한 건조조건을 나타낸 것이며, 건조기 용량은 3,000kg, 초기 곡온 및 외기온도는 20.0℃, 초기 함수율 28.0%,w.b. 및 최종 함수율 13.0%,w.b.로 설정하였음
- 횡류형 순환식건조기의 건조부 높이 및 길이는 1.8m 및 2.5m, 건조부 곡물층 두께는 0.13m, 건조열은 총 2열을 기준으로 하였으며, 건조온도는 40, 45, 50, 55, 및 60℃의 6수준, 곡물 유하속도는 2,000, 2,500, 3,000, 3,500 및 4,000 kg/h범위의 5수준으로 하였으며, 송풍량은 100, 130, 160, 190, 210 및 240cmm 범위의 6수준으로 하였음
- 작동조건 구명을 위한 건조조건별 기준치는 건조온도 50℃, 곡물 유하속도 2,500kg/h 및 송풍량 200cmm으로 설정하여 자료를 분석하였음

표 2-3-27. 횡류형 순환식건조기에서 수수의 작동조건 구명을 건조조건

Capacity of grain dryer(kg)	3,000
Size of drying chamber(m)	1.8×2.5×0.13(H×L×W)
Initial moisture content(% , w.b.)	28.0
Final moisture content(% , w.b.)	13.0
Initial grain temperature(℃)	20.0
Ambient temperature(℃)	20
Drying air temperature(℃)	40, 45, 50, 55, 60
Drying air relative humidity(%)	70.0
Grain flow rate(kg/h)	2,000, 2,500, 3,000, 3,500, 4,000
Airflow rate(cmm)	100, 130, 160, 190, 210, 240

○ 다음 그림 2-3-27은 건조온도에 따른 건감율, 건조시간 및 건조소요에너지를 나타낸 것으로서, 건조온도가 증가할수록 건감율은 증가하고 건조시간은 감소하며, 건조소요에너지는 다소 감소하는 경향을 나타내었으며, 건조온도 50°C이후 건조시간이 저하하게 되고, 에너지 소비율도 낮아져 건조시간 및 품질을 고려할 경우 수수의 건조온도는 50°C이하가 적절한 것으로 판단되었음

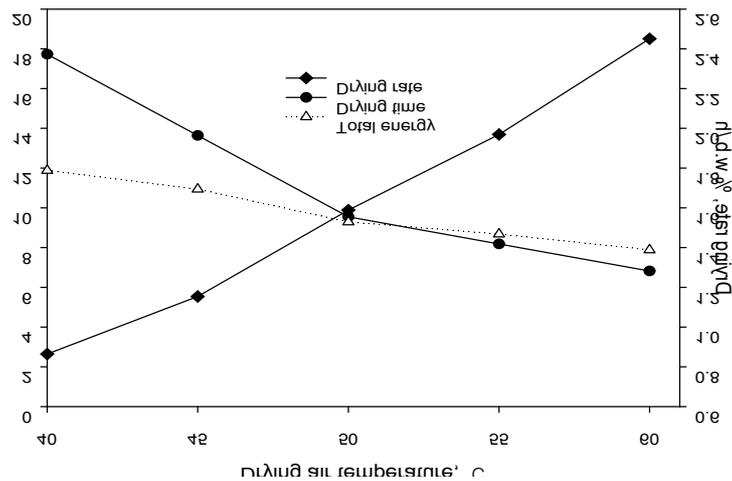


그림 2-3-27. 건조온도별 수수의 건조특성 비교

○ 다음 그림 2-3-28은 송풍량에 따른 건감율, 건조시간, 송풍기동력 및 건조소요에너지를 나타낸 것으로, 송풍량이 증가할수록 건감율, 송풍기동력 및 소요에너지가 증가하였고 건조시간은 감소하는 경향을 나타내었으며, 송풍량이 증가하면 건감율이 빠르게 증가하다가 190cm 이후 송풍량 증가에 비하여 완만한 증가율을 보이고 건조소요에너지도 기울기가 변하는 것으로 나타나 수수 건조의 송풍량은 190cm 이하가 적절한 것으로 판단되었음

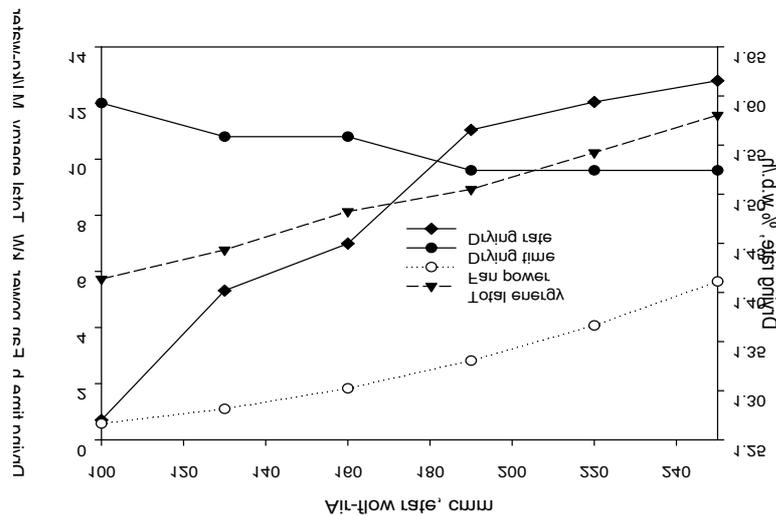


그림 2-3-28. 송풍량별 수수의 건조특성 비교

- 다음 그림 2-3-29는 곡물유하속도에 따른 건감율, 건조시간, 순환횟수 및 건조소요에너지를 나타낸 것으로, 곡물유하속도가 증가할수록 순환횟수가 증가하지만 건조시간 단축으로 인하여 건조시간은 큰 변화가 없었고, 건감율은 곡물유하속도 2,500kg/h까지 계속적으로 증가하다가 감소하는 것으로 나타났으며, 건조소요에너지도 감소에서 증가로 기울기가 변경되어 적정 곡물유하속도는 2,500kg/h이하가 적절한 것으로 판단되었음

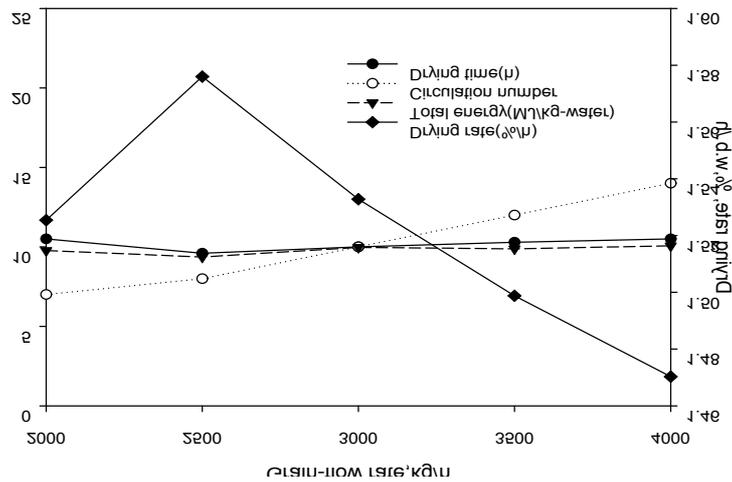


그림 2-3-29. 곡물유하속도별 수수의 건조특성 비교

- 다음의 표 2-3-28은 본 연구에서 개발한 건조시뮬레이션 프로그램을 이용하여 횡류형 순환식건조기에서 수수 건조시 적정 건조조건을 나타낸 것으로 건조온도 50°C에서 건조 순환 횟수는 8회, 건조시간은 9.60시간, 건감율은 1.5655%,w.b./h 및 건조소요에너지는 8,924kJ/kg.water으로 나타났음

표 2-3-28. 수수 건조 시뮬레이션을 최적 건조조건 결과

Capacity of grain dryer(kg)	3,000
Drying air temperature(°C)	50
Grain flow rate(kg/h)	2,500
Airflow rate(cmm)	190
Grain column thickness(m)	0.13
Drying Pass(pass)	8
drying time(hr)	9.60
final mc,w.b.	0.1297
drying rate(w.b./hr)	1.5655
water removed(kg)	518.08
fan static pressure(Pa)	444.72
total energy(kJ/kg.water)	9,824
fuel energy(kJ/kg.water)	8,736
fan energy(kJ/kg.water)	187.9

(2) 콩의 건조시물레이션

- 개발한 건조시물레이션 프로그램을 이용하여 콩의 건조특성을 예측하기 위한 초기조건은 다음의 표와 같았으며, 초기 콩의 중량은 수수와 동일하게 3.0톤으로 하였으며, 초기 곡온은 20.0℃, 평균 외기온도는 20.0℃, 평균 외기상대습도는 70.0%, 건조온도는 50.0℃, 곡물순환속도는 2,000kg/hr, 송풍량은 70m³/min 및 초기 함수율은 20%,w.b., 최종함수율은 10%,w.b.로 설정하였음

표 2-3-29. 콩의 건조시물레이션 프로그램 입력조건

Input values	Soybean
Input grain weight(ton)	3.0
Initial moisture content(% , w.b.)	20.0
Initial grain temperature(℃)	20.0
Ambient temperature(℃)	20.0
Ambient relative humidity(%)	70.0
Drying air temperature(℃)	50.0
Grain flow rate(kg/hr)	2,000
Airflow rate(m ³ /min)	70

- 다음의 표 2-3-30은 표 2-3-29의 입력 조건을 이용하여 시물레이션 프로그램의 결과를 나타낸 것으로, 순환 횟수는 총 3회를 하였으며, 건조시간은 4.5시간, 최종함수율 9.68%,w.b., 건감율은 2.2938%(w.b./h) 및 제수량은 342.8kg으로 나타났고, 에너지소비율은 3,266kJ/kg.water으로 나타나, 벼의 4,500~6,000kJ/kg.water에 비해 매우 낮게 나타났으며, 벼 및 수수의 횡류형 순환식 곡물 건조보다 건조속도는 매우 빠른 것으로 나타났음

표 2-3-30. 콩의 건조시물레이션 프로그램 결과

Grain column thickness(m)	0.13
Drying Pass(pass)	4
drying time(hr)	4.5
final mc,w.b.	9.68
drying rate(w.b./hr)	2.2938
water removed(kg)	342.84
fan static pressure(Pa)	58.02
total energy(kJ/kg.water)	3,266
fuel energy(kJ/kg.water)	3,257
fan energy(kJ/kg.water)	9.1

- 다음 그림 2-3-30은 개발된 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 건조 중 함수율 변화 및 곡온 변화를 나타낸 것으로, 함수율 변화는 건조 전체시간에서 비슷한 수준으로 감소하였고, 함수율 16.0%,w.b.이후부터 건조속도가 낮아졌으며 곡온은 건조 시작 후 2시간 까지 지속적인 증가를 보이다가 2시간 이후부터 건조 종료 시점까지 40.0~45.0℃ 범위를 유지하였음

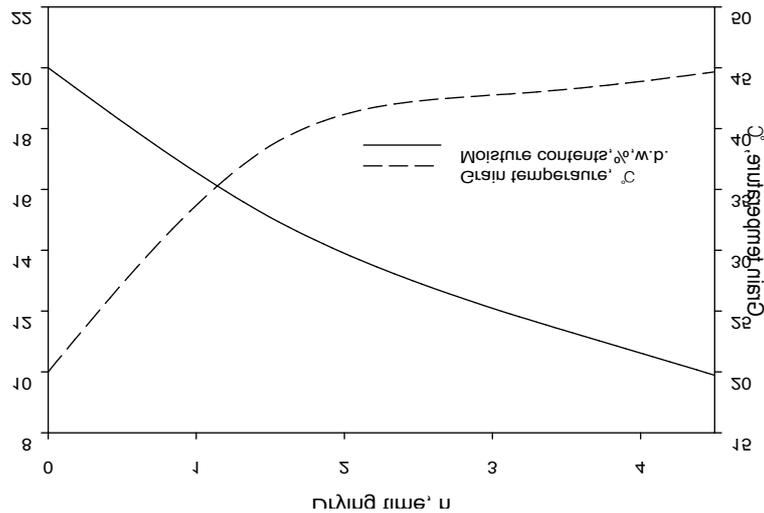


그림 2-3-30. 콩의 건조시뮬레이션에 의한 함수율 및 곡온 예측 결과

- 콩의 횡류형 순환식 건조시뮬레이션은 주요 곡물인 벼의 건조 결과와 매우 유사하며, 콩의 경우 벼 및 수수와 달리 공극률이 크므로 공기저항이 낮아 에너지가 적게 소요되었음
- 콩의 건조시뮬레이션 프로그램을 이용하여 순환식 횡류형건조기에서 콩을 건조할 때 건조조건 별 작동조건을 구명하였음. 다음의 표는 작동조건 구명을 위한 건조조건을 나타낸 것이며, 건조기 용량은 3,000kg, 초기 곡온 및 외기온도는 20.0℃, 초기 함수율은 20.0%,w.b. 및 최종함수율은 10.0%,w.b.로 설정하였음
- 횡류형 순환식건조기의 건조부 높이 및 길이는 1.8m 및 2.5m, 건조부 곡물층 두께는 0.13m, 건조 열은 총 2열을 기준으로 하였으며, 건조온도는 40, 45, 50, 55, 및 60℃의 6수준, 곡물 유하속도는 1,400, 1,700, 2,000, 2,300, 2,600 및 2,900kg/h범위의 5수준으로 하였으며, 송풍량은 50, 70, 90, 110, 130 및 150cmm 범위의 6수준으로 하였음
- 작동조건 구명을 위한 건조조건 별 기준치는 건조온도 50℃, 곡물 유하속도 2,000kg/h 및 송풍량 70 cmm으로 설정하여 자료를 분석하였음

표 2-3-31. 횡류형 순환식건조기에서 콩의 작동조건 구명을 건조조건

Capacity of grain dryer(kg)	3,000
Size of drying chamber(m)	1.8×2.5×0.13(H×L×W)
Initial moisture content(% w.b.)	20.0
Final moisture content(% w.b.)	10.0
Initial grain temperature(°C)	20.0
Ambient temperature(°C)	20.0
Drying air temperature(°C)	40, 45, 50, 55, 60
Drying air relative humidity(%)	70.0
Grain flow rate(kg/h)	1,400, 1,700, 2,000, 2,300, 2,600, 2,900
Airflow rate(cmm)	50, 70, 90, 110, 130, 150

○ 다음 그림은 콩의 건조온도에 따른 건감율, 건조시간 및 건조소요에너지를 나타낸 것으로, 건조온도가 증가할수록 건감율은 증가하였으며 건조시간은 감소하였고 건조소요에너지는 다소 감소하는 경향이였으며, 건조온도 50°C보다 높은 건조온도는 건조시간에 영향이 없고 에너지 소비율도 큰 차이가 없어 콩의 건조 온도는 50°C이하가 적절한 것으로 판단되었음

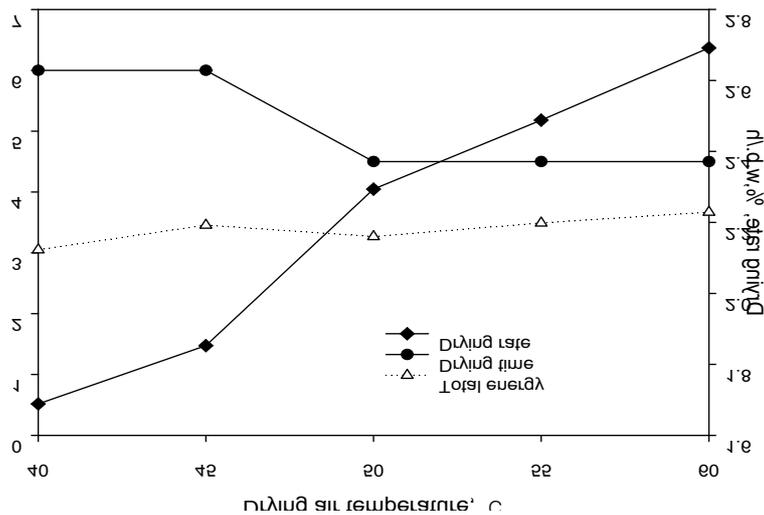


그림 2-3-31. 건조온도 별 콩의 건조특성 비교

- 다음 그림은 송풍량에 따른 건감율, 건조시간, 송풍기동력 및 건조소요에너지를 나타낸 것으로서, 송풍량이 증가할수록 건감율, 송풍기동력 및 소요에너지가 증가하였고 건조시간은 감소하는 경향을 나타내었으며, 송풍량이 증가하면 건감율이 빠르게 증가하다가 90cmm 이후 송풍량 증가에 비하여 완만한 증가율을 보이고 건조소요에너지도 기울기가 변하는 것으로 나타나 콩 건조의 송풍량은 90cmm이하가 적절한 것으로 판단되었음

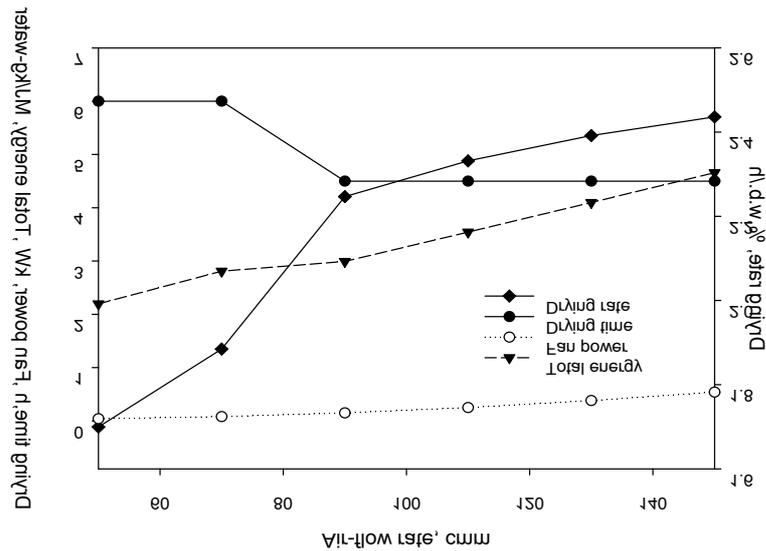


그림 2-3-32. 송풍량 별 콩의 건조특성 비교

- 다음 그림은 곡물유하속도에 따른 건감율, 건조시간, 순환횟수 및 건조소요에너지를 나타낸 것으로서, 곡물유하속도가 증가할수록 건감율 및 건조시간은 증가와 감소를 반복하지만 건감율은 전반적으로 감소하였으며, 건조시간 감소로 인한 건감율의 변화가 나타났음

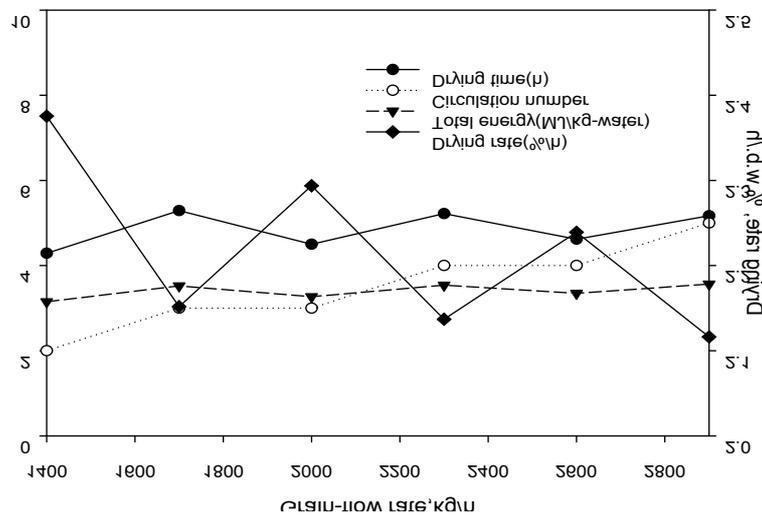


그림 2-3-33. 곡물유하속도 별 콩의 건조특성 비교

- 곡물유하속도가 증가할수록 건조소요에너지가 상승하고 곡물순환횟수가 증가되므로 곡물유하속도 2,000kg/h 수준에서 건감율도 높게 나타났으며, 건조소요에너지도 감소에서 증가로 기울기가 변경되어 적정 곡물유하속도는 2,000kg/h이하가 적절한 것으로 판단되었음
- 다음의 표는 본 연구에서 개발한 건조시뮬레이션 프로그램을 이용하여 횡류형 순환식건조기에서 콩 건조 시 적정 건조조건을 나타낸 것으로 건조온도 50℃에서 조 순환 횟수는 3회, 건조시간은 4.50 시간, 건감율은 2.2467%,w.b./h 및 건조소요에너지는 2,992kJ/kg.water으로 나타났음

표 2-3-32. 콩 건조 시뮬레이션을 최적 건조조건 결과

Capacity of grain dryer(kg)	3,000
Drying air temperature(℃)	50
Grain flow rate(kg/h)	2,000
Airflow rate(cmm)	90
Grain column thickness(m)	0.13
Drying Pass(pass)	3
drying time(hr)	4.5
final mc,w.b.	9.89
drying rate(w.b./hr)	2.2467
water removed(kg)	336.60
fan static pressure(Pa)	49.50
total energy(kJ/kg.water)	2,992
fuel energy(kJ/kg.water)	2,985
fan energy(kJ/kg.water)	7.1

(3) 조 및 기장의 건조시물레이션

- 개발한 건조시물레이션 프로그램을 이용하여 콩의 건조특성을 예측하기 위한 초기조건은 다음의 표와 같았으며, 초기 조 및 기장의 중량은 수수와 동일하게 3.0톤으로 하였으며, 초기설정은 수수 및 콩과 동일한 조건으로 하였음

표 2-3-33. 조 및 기장의 건조시물레이션 프로그램 입력조건

Input values	Soybean
Input grain weight(ton)	3.0
Initial moisture content(% , w.b.)	20.0
Initial grain temperature(°C)	20.0
Ambient temperature(°C)	20.0
Ambient relative humidity(%)	70.0
Drying air temperature(°C)	50.0
Grain flow rate(kg/hr)	2,000
Airflow rate(m ³ /min)	70

- 조 및 기장의 건조시물레이션 프로그램을 이용하여 순환식 횡류형건조기에서 조 및 기장을 건조할 때 건조조건 별 작동조건을 구명하였음. 다음의 표는 작동조건 구명을 위한 건조조건을 나타낸 것이며, 건조기 용량은 3,000kg, 초기 곡온 및 외기온도는 20.0°C, 초기 함수율은 20.0%,w.b. 및 최종함수율은 10.0%,w.b.로 설정하였음
- 횡류형 순환식건조기의 건조부 높이 및 길이는 1.8m 및 2.5m, 건조부 곡물층 두께는 0.13m, 건조열은 총 2열을 기준으로 하였으며, 건조온도는 40, 45, 50, 55, 및 60°C의 6수준, 곡물 유하속도는 1,400, 1,700, 2,000, 2,300, 2,600 및 2,900kg/h범위의 5수준으로 하였으며, 송풍량은 50, 70, 90, 110, 130 및 150cmm 범위의 6수준으로 하였음
- 작동조건 구명을 위한 건조조건 별 기준치는 건조온도 50°C, 곡물 유하속도 2,000kg/h 및 송풍량 70 cmm으로 설정하여 자료를 분석하였음

표 2-3-34. 횡류형 순환식건조기에서 조 및 기장의 작동조건 구명을 건조조건

Capacity of grain dryer(kg)	3,000
Size of drying chamber(m)	1.8×2.5×0.13(H×L×W)
Initial moisture content(% , w.b.)	20.0
Final moisture content(% , w.b.)	10.0
Initial grain temperature(°C)	20.0
Ambient temperature(°C)	20.0
Drying air temperature(°C)	40, 45, 50, 55, 60
Drying air relative humidity(%)	70.0
Grain flow rate(kg/h)	1,400, 1,700, 2,000, 2,300, 2,600, 2,900
Airflow rate(cmm)	50, 70, 90, 110, 130, 150

○ 다음 그림은 조 및 기장의 건조온도에 따른 건감율, 건조시간 및 건조소요에너지를 나타낸 것으로, 건조온도가 증가할수록 건감율은 증가하였으며 건조온도 50°C보다 높은 건조온도는 건조시간에 영향이 없고 에너지 소비율도 큰 차이가 없어 건조 온도는 50°C이하가 적절한 것으로 판단되었음

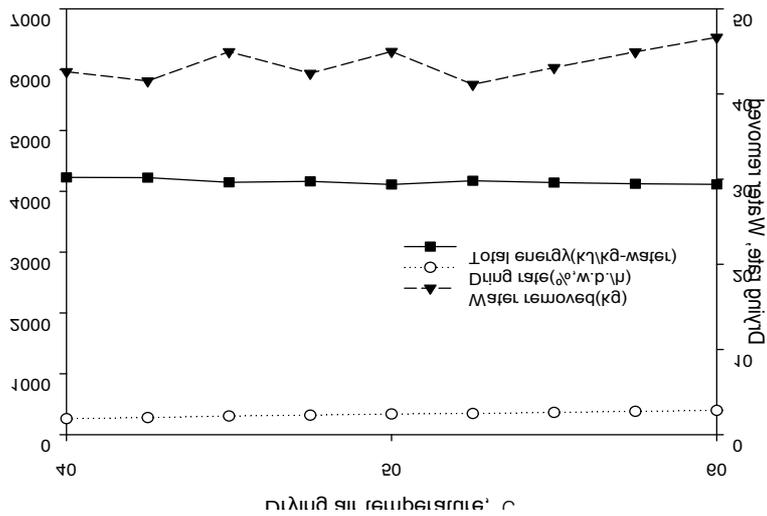


그림 2-3-34. 건조온도 별 조 및 기장의 건조특성 비교

○ 다음 그림은 송풍량에 따른 건감율, 순환횟수, 제수율 및 건조소요에너지를 나타낸 것으로서, 송풍량이 증가할수록 소요에너지가 증가하였고 건조시간의 감소로 인하여 건감율의 변화는 없어 60cmm 이후 송풍량 증가에 비하여 건조소요에너지 및 순환횟수의 변화가 나타나 조 및 기장 건조의 송풍량은 60cmm이하가 적절한 것으로 판단되었음

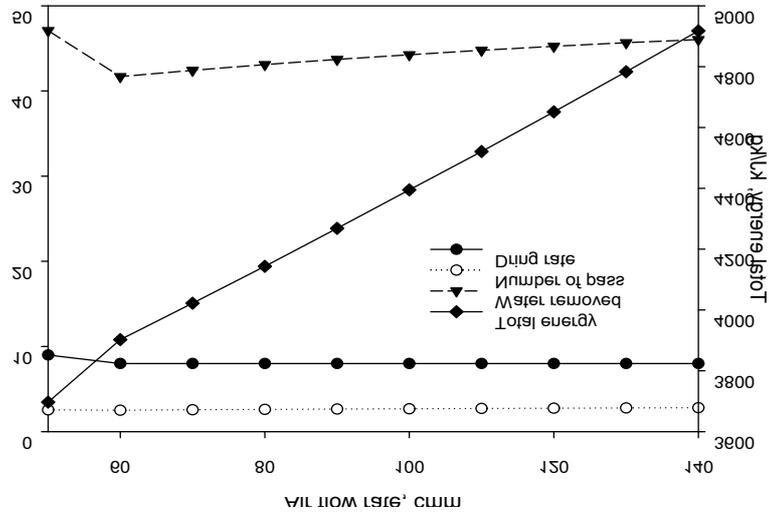


그림 2-3-35. 송풍량 별 조 및 기장의 건조특성 비교

○ 다음 그림은 곡물유하속도에 따른 건감율, 제수율, 순환횟수 및 건조소요에너지를 나타낸 것으로서, 곡물유하속도가 증가할수록 건조소요에너지 감소하지만 순환횟수가 크게 증가하여 품질손상이 우려되었음. 또한 곡물유하속도가 증가할수록 건조소요에너지가 감소하고 순환횟수가 증가되므로 곡물유하속도 2,000kg/h정도가 건감율도 높게 나타났으며, 건조소요에너지도 감소에서 증가로 기울기가 변경되어 적정 곡물유하속도는 2,000kg/h이하가 적절한 것으로 판단되었음

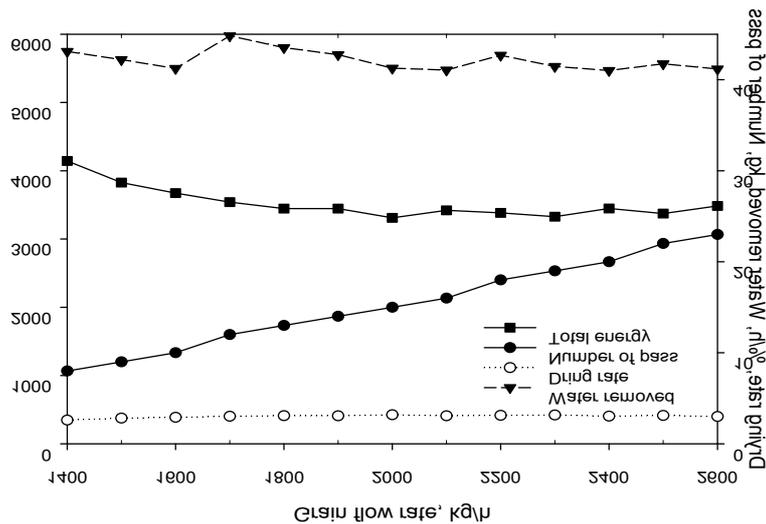


그림 2-3-36. 곡물유하속도 별 조 및 기장의 건조특성 비교

○ 다음의 표는 본 연구에서 개발한 건조시뮬레이션 프로그램을 이용하여 횡류형 순환식건조기에서 조 및 기장 건조 시 적정 건조조건을 나타낸 것으로 건조온도 50℃에서 건조 순환 횟수는 8회, 건조시간은 8.5시간, 건감율은 2.46%,w.b./h 및 건조소요에너지는 4112.89 kJ/kg.water으로 나타났음

표 2-3-35. 조 및 기장 건조 시뮬레이션을 최적 건조조건 결과

Capacity of grain dryer(kg)	3,000
Drying air temperature(℃)	50
Grain flow rate(kg/h)	2,000
Airflow rate(cmm)	60
Grain column thickness(m)	0.13
Drying Pass(pass)	8
drying time(hr)	8.5
final mc,w.b.	9.89
drying rate(w.b./hr)	2.46
water removed(kg)	420.0
fan static pressure(Pa)	49.50
total energy(kJ/kg.water)	4112.89
fuel energy(kJ/kg.water)	4091.12
fan energy(kJ/kg.water)	21.7

4. 건조 시뮬레이션 프로그램 검증

가. 실험 방법

- 건조 시뮬레이션 검증에 사용한 실험에 사용한 백태는 2016년산으로 충북 보은지역에서 수확한 초기함수율은 13.5%,w.b.인 시료를 구입하여 -10℃이하의 냉동고에 실링백으로 외부의 공기를 차단하여 저장하였으며, 실험 시작 24시간 전에 외부에 실링백 상태로 방치하여 외기와 평형을 이루게 한 후 실험에 사용하였음
- 통상 백태의 수확시기는 10월 말~11월 초이지만 자연건조를 통해 콩깍지와 분리된 후 함수율 10%,w.b.미만으로 건조하는데, 자연건조가 불가능할 경우나 장기간 보관용은 열풍건조기를 사용하여 건조하고 있어, 본 연구에서는 국내에서 널리 사용되고 있는 열풍건조기의 일종인 순환식 횡류형 형식의 실험용 곡물건조기를 이용하여 건조실험을 실시하였음
- 실험용 곡물 건조기는 다음 그림 2-3-37과 같이 김 등(2015)이 사용한 용량 70~100kg/batch인 건조기로서, 템퍼링실부터 건조실까지 자연낙하에 의해 유하하면서 건조가 이뤄지도록 구성되어 있었으며, 실험용 건조기는 건조에 미치는 영향이 큰 건조실 및 템퍼링실의 용량, 건조온도, 곡물의 유하속도, 송풍량, 건조실 통과 횟수 등을 조절이 가능하도록 제작되어 있음



그림 2-3-37. 실험용 곡물 건조기

- 템퍼링실(0.375×0.375×0.375m, L×W×H)의 용적은 0.046m³이고 콩으로 환산할 경우 40kg정도 퇴적이 가능하며, 템퍼링실을 통하여 곡물이 하강하여 건조실에서 열풍과 곡물이 수평으로 교차하여 건조가 이뤄지는데, 건조에 사용된 열풍은 배출되고 곡물을 버킷엘리베이터를 통하여 템퍼링실로 상승을 목표함수율 도달할 때까지 반복하여 건조되는 구조임

- 유하속도는 건조실 통과시간 7~12분까지 조절이 가능하고, 송풍량은 풍량비 30m³/min·m²를 기준으로 할 때, 곡물의 건조층 두께 0.45m, 풍속 0.5m/sec에서 송풍저항은 148mmAq, 총 동력효율 60%을 가정하여 0.1kW의 송풍기가 직결로 연결되어 송풍량을 조절하여 사용하도록 구성하였고, 건조온도 조절은 2kW 전기히터가 설치되어 있어 송풍량이 최대일 경우 건조온도 100℃ 이상의 가열이 가능하였으며, 전기를 열원으로 사용함에 따라 안정적인 열풍온도 유지가 가능한 구조이었음
- 실험과정 중 공기 및 곡물온도 측정을 위하여 실험용 건조기에 열전대(T-type, OMEGA, USA)를 설치하였는데, 먼저 공기온도 측정을 위하여 외기, 열풍유입 및 배기지점 등 3지점에, 곡물 온도를 측정하기 위하여 템퍼링실 및 feeder부 등 2지점에 열전대를 설치하였으며, 건조공기의 습도를 측정하기 위하여 열풍유입 및 배출 2지점에서 습도센서(TR-72, Tand-D, Japan)를 설치하였음
- 콩 건조 시뮬레이션 최적 건조조건 결과인 건조온도 50℃, 유하속도 2,000kg/hr, 송풍량 0.7m³/min으로 설정하여 함수율 13.5%,w.b.의 백태의 건조실험을 수행하였고, 건조 시작 후 평형함수율에 도달 할 때까지 건조를 진행하였으며, 열전대와 습도센서를 통해 측정된 온도 및 습도 데이터는 자료 수집장치(7327, DATASCAN, UK)를 이용하여 건조 시작 후 5분 간격으로 PC에 저장하여 분석에 사용하였음
- 백태의 함수율 측정은 상압정온건조법(ASAE S352.2, 2004)을 기준으로 103℃-72hr-10g 조건에서 측정하였으며, 건조 중 함수율의 변화를 측정하기 위하여 시료를 30분 단위로 채취하여 함수율 측정에 사용하였음

나. 결과 및 고찰

- 그림 2-3-38은 건조과정 중 외기온·습도의 변화를 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 건조 중 외기온도는 평균 14.3℃(13.4~18.2℃)이었고, 외기습도는 평균 22.9%,RH(21.0~23.0%,RH)로서, 건조실험중 외기 온습도는 비교적 안정적인 조건이었음

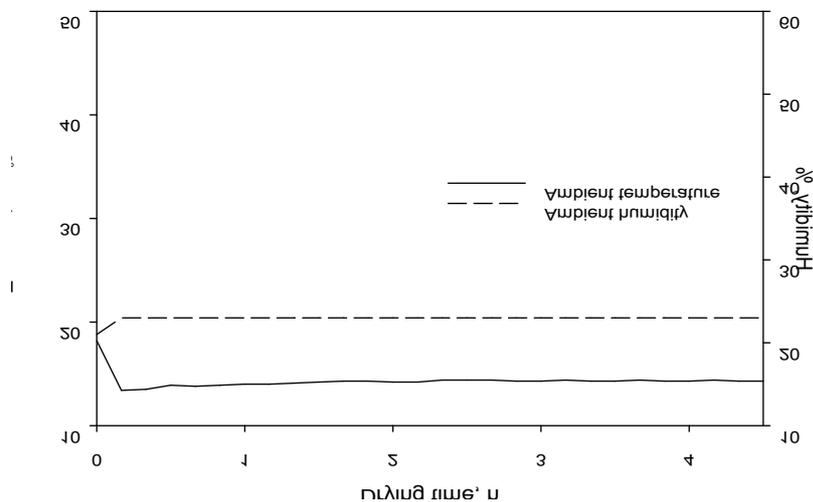


그림 2-3-38. 건조 중 외기 온습도의 변화

- 그림 2-3-39는 초기 곡물온도 12°C의 백태를 이용하여 열풍온도 50°C에서 건조 중 곡물의 온도변화를 나타낸 것으로서, 건조 시작 후 5분만에 곡물온도가 23.8°C로 상승하였으며, 건조과정 중 곡물온도는 평균 35.5°C(25.4~40.2°C)로 건조가 진행할수록 지속적으로 증가하였음

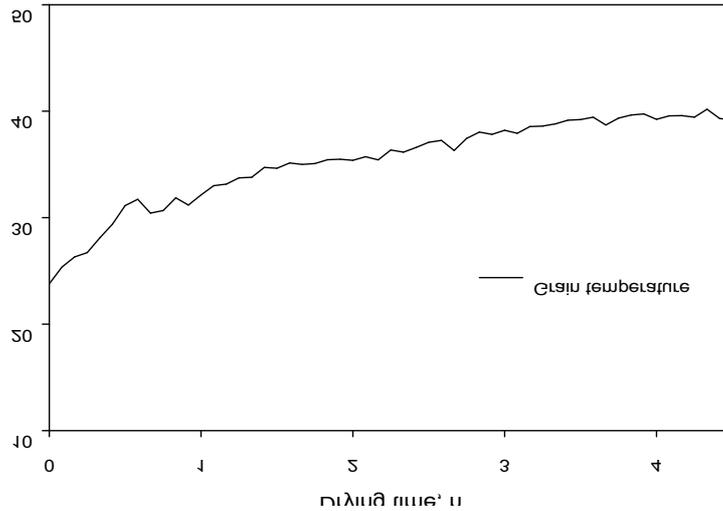


그림 2-3-39. 건조 중 곡물의 온도 변화

- 그림 2-3-40 건조중 배기 온·습도 변화를 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 건조 초기 배기온도는 초기 곡온보다 낮은 11.4°C을 나타내었으나, 건조시작 후 4시간후 부터 배기온도가 급격히 상승하였으며, 건조과정 중 평균 배기온도는 24.6°C(11.4~38.3°C)를 나타내었음
- 한편, 배기습도는 건조초기에 급격히 상승하여 55.0%,RH까지 상승한 후, 건조가 진행될수록 15.0% 까지 계속적으로 감소하였고, 3.5시간 후부터는 거의 변화가 없었으며 건조과정 중 배기습도는 평균은 28.2%,RH 수준이었음

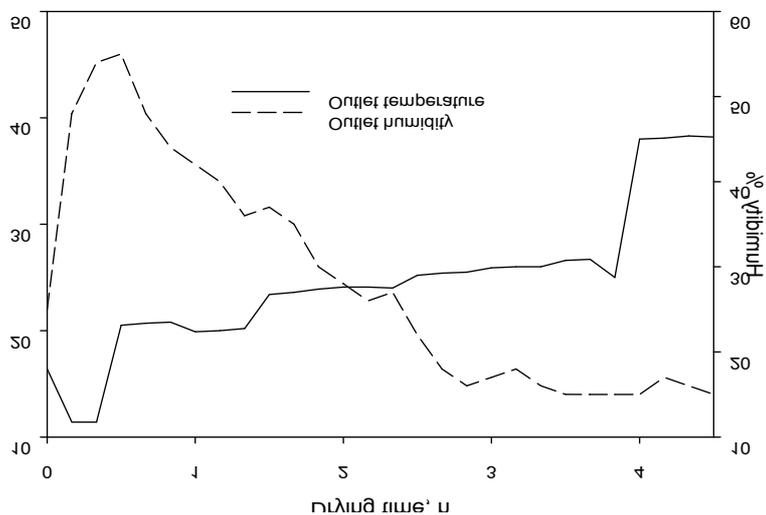


그림 2-3-40. 건조 중 배기 온습도 변화

- 그림 2-3-41은 건조 중 함수율의 변화에 대한 시뮬레이션을 이용한 예측치와 실측치를 나타낸 것으로, 그림에서 알 수 있듯이 실측한 건조속도는 0.79%/hr로서 건조시뮬레이션 프로그램에서의 예측한 건조속도 0.80%/hr와 유사한 수준($R^2=0.9608$, RMSE 0.2687%)으로 나타났고, 평형함수율에 도달하는 건조시간은 4.5시간으로 예측치와 실측치가 일치하였으며, 이때의 건조소요에너지는 5.28kW이었으며, 제수율도 3.23kg으로 예측치와 실측치가 동일하게 나타났음
- 따라서 본 연구에서 개발한 건조 시뮬레이션 프로그램에 의한 건조속도, 건조시간, 소요에너지 및 제수율 등 콩의 건조인자에 대한 예측치와 실측치는 대단히 잘 일치하여, 시뮬레이션 프로그램은 실제 콩류의 건조기 최적화 및 건조예측에 충분하게 활용될 수 있을 것으로 판단되었으며, 동일한 방법으로 조(기장), 수수 및 콩(서리태) 등 잡곡 건조에 필요한 건조기의 최적설계 및 운영에 필요한 건조인자 예측에 충분하게 활용이 가능할 것으로 판단되었음

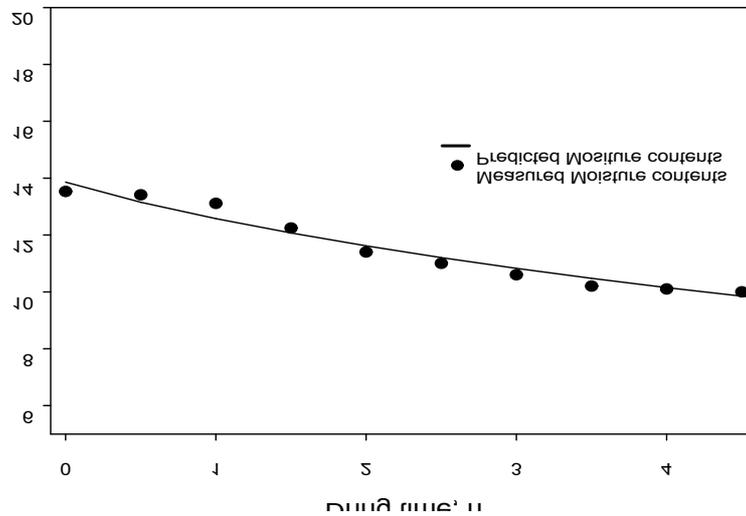


그림 2-3-41. 건조 중 함수율의 시뮬레이션 프로그램에 의한 예측치와 실측치 비교

제 3장 저에너지 친환경 광역통합 RPC 가공공정 모델 개발

제 1절 광역통합 RPC 가공공정 모델 개발

- 정부에서는 2015년부터 관세화로 결정하면서 발표한 “농가소득안정 및 쌀 산업 발전대책”에서 RPC를 2024년까지 120개소로 통합한다는 계획임. 통합되는 RPC 규모와 개소수에 대해서는 추가연구가 필요하나, 대형유통업체와 교섭력을 위해서는 약 50,000톤 이상 규모를 처리하는 것이 필요하다는 의견(전국통합RPC협의회 등, 2014)이며, 이에 적합한 가공규모는 15~20ton/hr(2ndG RPC 7.2ton/hr의 약 2~3배 수준), 원료권역은 83,000~110,000톤 수준으로서 당진, 김제 등 일부 시군을 제외할 경우에는 시군단위 광역규모(Mega)통합이 불가피함
- 본 연구팀이 선행연구를 통해 보급중인 2ndG RPC는 새로운 소비 trends 및 환경변화에 적합해야만 하는 광역통합RPC(Mega RPC)에는 적합하지 않으므로 세계 식품시장의 mega-trends인 well-being 및 LOHAS, 미래 식품시장의 가장 강력한 키워드는 “건강”(Datamonitor, 2012)이고, 쌀에서 정책목표는 안전성의 확보 및 고품질로서, 가공규모 15~20ton/hr 수준으로 규모화되면서 건강, 안전성 및 고품질 생산이 가능한 광역통합RPC를 보급하기 위해서는 새로운 모델개발이 필요함
- 따라서 본 연구에서는 전항에서 연구개발된 요소기술 및 후술하는 u-IT기반 광역통합관리시스템의 적용이 가능한 광역통합RPC모델을 개발하였으며, 이를 위해 기존에 보급사업을 거쳐 운영중인 2ndG RPC의 시설을 분석하였으며, 광역통합RPC 설계인자를 도출한 다음, 광역통합RPC 모델을 설계하였으며, 본 연구의 결과를 토대로 지적재산권(2018.05.10, 10-2018-0053943, 출원명: 미곡종합처리장의 시설 및 관리시스템) 확보와 유상기술이전 2건(2018년 7월, 기술이전명: Mega RPC 모델)을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

1. 2ndG RPC 시설분석

가. 분석방법

- 광역통합RPC의 모델개발을 위하여 필요한 공정구성, 단위공정성능, 소요동력, 부지면적 및 시설설치 구비사항 등의 기초자료를 확보하기 위하여 2007년부터 2017년까지 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화사업)을 통해 보급된 총 55개소 2ndG RPC 중에서 2개소(특수가공미 및 친환경도정라인설치로 1회추가 지원된 2개소)를 제외한 53개소의 설계도면, 기술심의회 제기의견, 시설설치후 성능검사 결과 등을 종합적으로 취합하여 분석하였음
- 설계도면은 설계회사(대주종합기술단, 보람이엔지, 푸른엔지니어링, 협동엔지니어링 등 4개 기업)를 통해 확보하였으며, 기술심의회 제기의견 및 시설설치후 성능검사 결과는 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화사업)시행지침서상 책임기관인 한국식품연구원의 자료를 취합하여 사용하였음

표 3-1-1. 시설분석 대상 2ndG RPC

추진 연도	농 협		민 간	계
	통 합	연합 / 단독		
2007	경기안성, 충북진천, 충남연기, 충남부여, 전북정읍, 전북고창, 전남함평, 전남해남(옥천)			8
2008	충남예산, 전북서김제, 전남보성, 경북의성, 경기이천남부, 전남장흥(정남진)	경북상주(상주)	전북군산제회	8
2009	강원횡성, 전북익산, 전남영암, 경북경주, 경남김해	충남당진(신평), 전북남원(남원), 경남의령(의령), 경북안동(서안동)		9
2010	경기여주, 충북음성, 충남공주, 전남영광, 전남무안	경남함양(함양)	전남나주봉황, 경북김천건양	8
2011	충북청원, 충북충주	충남서산(운산), 경북포항(홍해)	경북의성삼안	5
2012	충남보령, 전북임실, 충남서천	-	충북청원광복	4
2013	인천강화, 경기파주		전북익산명천	3
2014		충남당진(송악)	전북김제새만금	2
2015	경북예천, 경남창녕		전북김제이택, 전북부안라이스프라자	4
2016	충북청원 ¹⁾	전북익산(익산), 전북군산(대야)	충북청원광복 ¹⁾	4
계	34	11	10	55
	45			

주) 1) 1회 추가지원 대상 2ndG RPC

○ 확보한 설계도면 및 성능자료를 토대로 2ndG RPC 별로 현미부, 백미부, 포장부, 집진부 및 부대시설 등의 소요면적, 공정단위기계별 소요동력 및 처리능력별 소요동력 등을 Excel(v.2010)을 이용하여 데이터베이스화 한 후 시설을 분석하였음

표 3-1-2. 53개소 2ndG RPC의 시설분석 대상 단위기계

공정	단위기계	비고
현미부	종합정선기, 현미기, 왕겨풍구, 현미분리기, 입선별기, 현미석발기, 현미색채선별기, 이송기기, 집진설비	9종
백미부	정미기, 연미기, 백미석발기, 로터리쉬프트, 색채선별기, 이물선별기, 진동체선별기, 흙선별기, 이송기기, 집진설비	10종
포장부	로봇적재시스템, 반자동포장기, 자동소포장기, 자동지대포장기, 자동로타리포장기, 전자동진공포장기, 흙선별기, 진동체선별기, 이송기기	9종
부대설비	Pneumatic conveying, Air compressor	2종

나. 결과 및 고찰

(1) 시설 처리능력 및 소요면적

- 시설이 완공된 53개 RPC에 대한 시설 처리능력 및 소요면적을 분석한 결과, 53개소 2ndG RPC의 현미생산능력은 평균 9.2ton/hr(6.0~18.0ton/hr), 백미생산능력은 평균 7.8ton/hr(5.0~20.0ton/hr), 포장부생산능력은 평균 9.3ton/hr(5.0~25.0ton/hr)이었으며(표 3-1-4), 2개소의 현미부는 기존라인을 사용하였음
- 일본 정미공장의 평균 가공능력은 8.6ton/hr(일본은 백미가공을 위해 투입되는 현미 중량기준 적용, 우리나라는 생산된 백미 중량기준적용)으로 정백수율을 92%(백도 40기준)로 가정하여 백미중량기준으로 환산하면 평균 가공능력은 7.9ton/hr(백미기준)으로서, 우리나라 2ndG RPC의 백미 가공능력 7.8ton/hr은 일본의 평균적인 정미공장 생산능력에 많이 근접하였음을 알 수 있었으나, 일본의 대형 정미공장의 평균 가공능력인 12.7ton/hr보다는 아직도 소규모임을 알 수 있었음
- 농림축산식품부(국립농산물품질관리원, 2015) 조사결과에 의하면 2015년 조사시점에서의 우리나라 1stG 및 2ndG RPC 234개소의 평균가공능력은 4.2ton/hr(3.4~5.9ton/hr)으로서, 1stG RPC의 평균가공능력은 3.0ton/hr이었으나, 2ndG RPC의 보급에 따라 우리나라 RPC의 평균적인 가공능력은 크게 증가한 것을 알 수 있었음

표 3-1-3. 일본의 정미공장 규모(2009, 全國瑞穂食糧検査協會)

구 분	공장수	정미기 마력(HP)	처리능력(ton/hr) ¹⁾	평균처리능력(ton/hr)
도매 단독	249	48,420	2905.2	11.7
도매 공동	5	1,045	62.7	12.5
소매 단독	223	19,604	1,176.2	5.3
소매 공동	28	2,525	151.5	5.4
도소매 공동	69	8,245	494.7	7.2
정미전업자	43	9,067	544.0	12.7
기 타	20	2,573	154.3	7.7
계	637	91,451	5,487.1	8.6

주) ¹⁾ 처리능력(ton/hr)는 정미기 1HP을 백미가공능력 60kg/hr로 환산한 값

표 3-1-4. 53개소 2ndG RPC의 소요면적 및 처리능력

구분	사업 년도	준공 년도	소요면적(m ²)					처리능력(ton/hr)		
			현미부	백미부	포장부	부산물	계	현미부	백미부	포장부
1	2007	2008	428.0	280.0	440.0	40.0	1,188.0	12.0	10.0	10.0
2	2007	2008	170.0	255.0	315.0	-	740.0	6.0	5.0	7.0
3	2007	2008	220.0	324.0	414.0	67.5	1,025.5	6.0	5.0	5.0
4	2007	2008	250.8	327.0	297.0	59.6	934.4	12.0	5.0	5.0
5	2007	2008	216.0	235.0	259.0	87.0	797.0	12.0	10.0	10.0
6	2007	2008	155.0	390.0	337.0	168.0	1,050.0	6.0	5.0	5.0
7	2007	2007	-	2,538.0	972.0	737.0	4,247.0	-	20.0	20.0
8	2007	2008	478.4	390.0	276.9	52.0	1,197.3	-	10.0	10.0
9	2008	2009	195.0	230.0	403.0	78.0	906.0	6.0	5.0	5.0
10	2008	2009	218.0	220.0	520.0	154.3	1,112.3	6.0	5.0	5.0
11	2008	2009	182.0	252.0	258.0	50.0	742.0	6.0	5.0	5.0
12	2008	2008	251.0	138.0	276.0	339.0	1,004.0	12.0	10.0	10.0
13	2008	2009	231.0	357.0	630.0	150.0	1,368.0	6.0	5.0	5.0
14	2008	2009	218.0	360.0	429.0	570.0	1,577.0	12.0	10.0	10.0
15	2008	2010	637.0	666.0	666.0	488.0	2,457.0	12.0	10.0	10.0
16	2008	2010	289.0	308.0	1,290.0	370.0	2,257.0	6.0	5.0	10.0
17	2009	2010	288.0	273.0	760.0	282.6	1,603.6	12.0	5.0	5.0
18	2009	2010	140.0	145.0	512.0	137.0	934.0	6.0	5.0	5.0
19	2009	2011	192.0	513.0	438.0	95.0	1,238.0	6.0	5.0	5.0
20	2009	2011	92.3	145.6	320.0	102.5	660.4	6.0	5.0	5.0
21	2009	2011	428.4	575.9	809.3	70.0	1,883.6	6.0	5.0	10.0
22	2009	2011	330.0	356.2	600.3	313.5	1,600.0	12.0	10.0	10.0
23	2009	2011	208.6	298.8	538.5	384.8	1,430.6	6.0	5.0	5.0
24	2009	2011	297.5	303.5	284.2	228.8	1,114.0	12.0	10.0	10.0
25	2009	2011	294.0	432.0	486.0	172.0	1,384.0	6.0	5.0	10.0
26	2010	2012	1,126.0	220.0	887.0	185.0	2,418.0	12.0	10.0	10.0
27	2010	2012	228.0	182.0	713.0	92.0	1,215.0	9.0	7.5	7.5
28	2010	2011	161.4	249.7	760.0	249.9	1,421.0	12.0	10.0	10.0
29	2010	2012	292.0	420.0	729.0	262.0	1,703.0	12.0	10.0	10.0
30	2010	2012	408.8	332.8	908.0	279.9	1,929.5	12.0	10.0	10.0
31	2010	2012	391.5	398.6	966.8	392.5	2,149.4	12.0	10.0	10.0
32	2010	2011	148.0	500.0	910.0	90.0	1,648.0	6.0	10.0	10.0
33	2010	2012	1,188.0	630.0	510.0	130.0	2,458.0	12.0	10.0	10.0
34	2011	2012	510.0	700.0	1,698.0	291.0	3,199.0	18.0	15.0	25.0
35	2011	2012	507.0	200.0	630.0	184.0	1,521.0	6.0	5.0	5.0
36	2011	2012	168.0	480.0	648.0	342.0	1,638.0	6.0	5.0	5.0
37	2011	2012	290.0	412.0	590.0	206.0	1,498.0	6.0	5.0	5.0
38	2011	2013	182.0	198.7	502.0	164.0	1,046.7	6.0	5.0	5.0
39	2012	2013	457.0	353.0	1,168.0	253.0	2,231.0	12.0	10.0	10.0
40	2012	2013	266.5	266.5	778.5	210.0	1,521.5	6.0	5.0	5.0
41	2012	2013	300.0	354.0	877.0	148.7	1,679.7	6.0	5.0	10.0
42	2012	2013	315.0	440.0	1,219.0	147.0	2,121.0	12.0	10.0	20.0
43	2013	2014	344.0	344.0	1,120.0	240.0	2,048.0	12.0	10.0	10.0
44	2013	2014	185.0	232.0	982.0	192.0	1,591.0	6.0	5.0	5.0
45	2013	2014	300.0	300.0	963.0	288.0	1,851.0	8.0	7.5	10.0
46	2014	2016	464.0	478.0	1,017.0	248.0	2,207.0	12.0	10.0	15.0
47	2014	2015	384.0	352.0	1,048.3	529.4	2,313.7	9.0	7.5	10.0
48	2015	2017	325.0	230.0	1,566.4	193.9	2,315.3	12.0	10.0	15.0
49	2015	2016	387.0	333.0	748.5	452.9	1,921.4	12.0	10.0	10.0
50	2015	2017	616.2	676.0	1,360.0	1,185.0	3,837.2	12.0	10.0	15.0
51	2015	2015	154.0	266.0	756.0	130.0	1,306.0	6.0	5.0	10.0
52	2016	2017	320.0	408.0	1,085.0	446.1	2,259.1	12.0	10.0	15.0
53	2016	2017	502.0	400.0	1,188.0	363.0	2,453.0	9.0	7.5	15.0
평균	-	-	333.3	390.0	733.2	251.8	1,697.2	9.2	7.8	9.3
최대	-	-	1,188.0	2,538.0	1,698.0	1,185.0	4,247.0	18.0	20.0	25.0
최소	-	-	92.3	138.0	258.0	40.0	660.4	6.0	5.0	5.0

- 동일 RPC에서 연속작업을 실시한다고 가정할 경우 적절한 현미와 백미의 생산능력을 보유하는 것이 필요한데, 김 등(2013)의 벼의 가공 중 mass balance에 의하면 투입되는 벼를 100%로 할 때 현미중량비 82.4%, 백미중량비 72.8%로서, 2ndG RPC의 평균 현미생산능력 8.8ton/hr과, 평균 백미생산능력은 7.5ton/hr은 비교적 균형적으로 판단되었음
- 2007년부터 보급된 2ndG RPC의 평균 현미 및 백미생산능력은 연도별로 일정한 경향을 나타내지는 않았으며, 포장부는 2007~2013년까지는 7.0~9.5ton/hr 수준이었으나 이후로는 지속적으로 증가하여 2015년 이후로는 약 15ton/hr 규모가 보급되고 있었는데, 취급품목의 증가, 다양한 브랜드 및 포장형태, 품질관리, GAP에 적합한 청결/위생시설도입, 향후 특수가공미 생산공간의 확보 등에 따라 포장부의 규모가 확대되는 것으로 분석되었음(그림 3-1-1~1-3)
- 사업지침서에서 시설능력기준은 2009년까지는 백미가공능력 5ton/hr이상이었으나, 2010년에는 사업비의 증액 등의 환경변화를 감안하여 백미가공능력을 7.5ton/hr로 확대하였으며, 2011년 사업부터는 이 5~10ton/hr에서 브랜드경영체의 원료 조달 및 판매능력에 따라 사업규모를 결정하도록 제도를 개선하여 왔는데, 보급된 2ndG RPC를 처리능력별로 구분하면 현미/백미생산능력이 6/5ton/hr인 경우가 23개소, 9/7.5ton/hr인 경우가 4개소, 12/10ton/hr인 경우가 21개소, 12/5ton/hr인 경우가 2개소, 18/15ton인 경우가 1개소이며, 현미부가 설치되지 않고 백미부만 설치된 경우가 2개소 등이었음

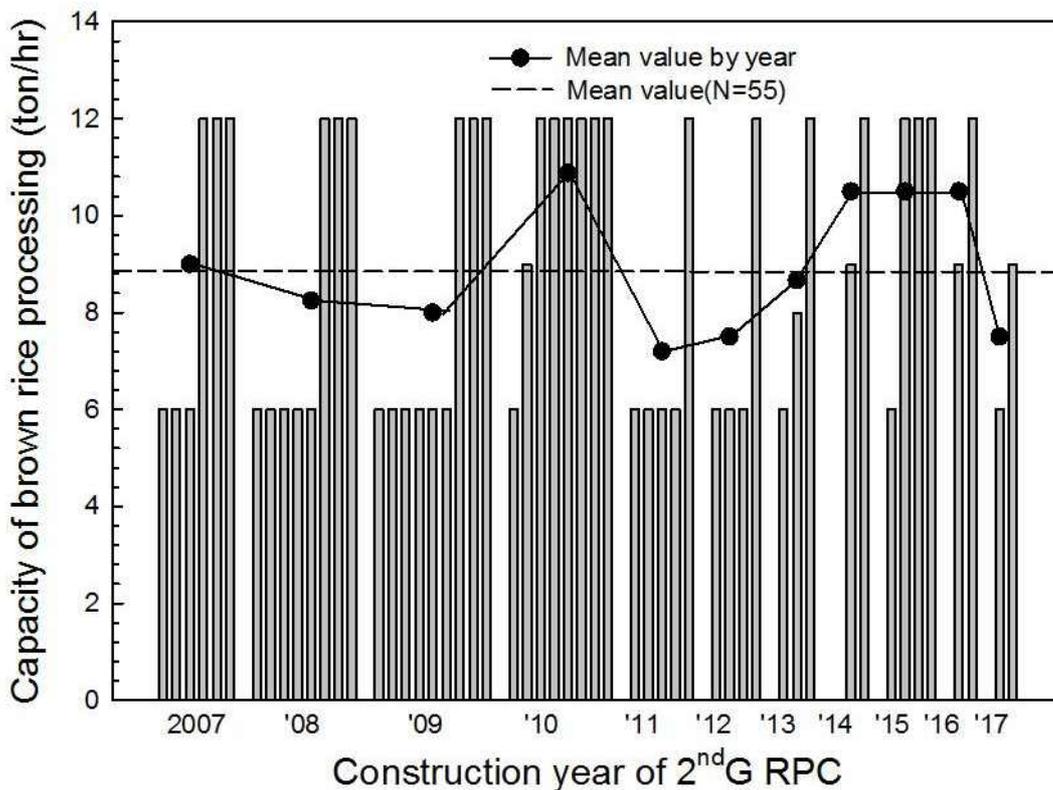


그림 3-1-1. 2ndG RPC의 연도별 현미 처리능력

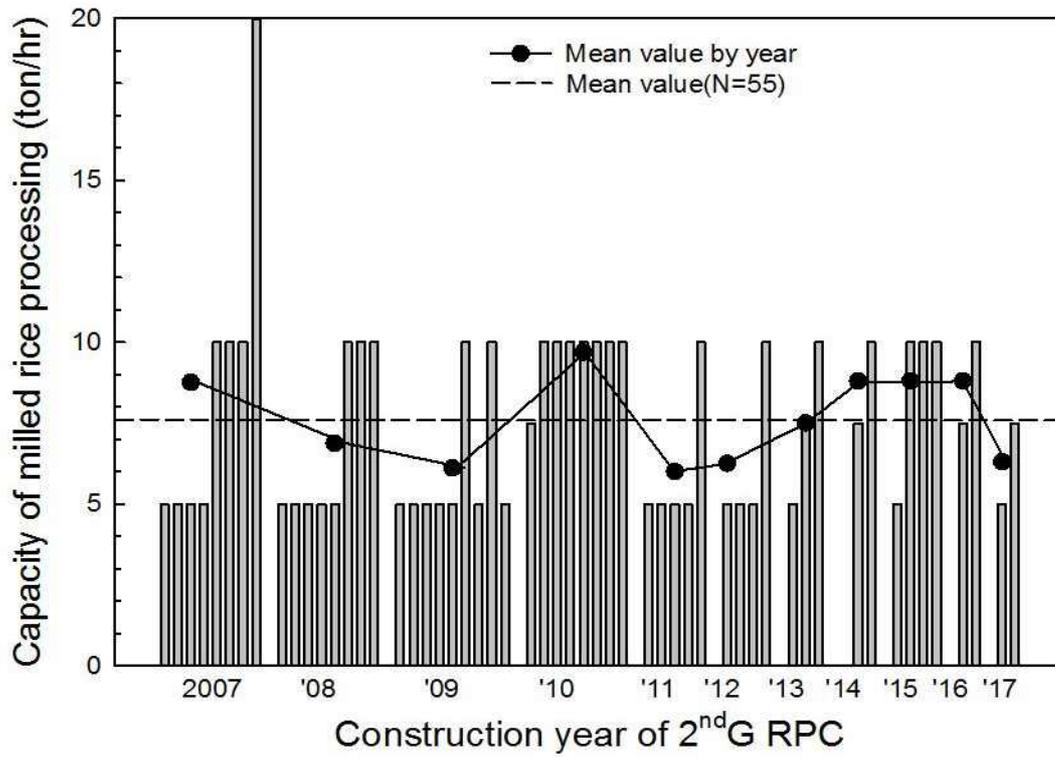


그림 3-1-2. 2ndG RPC의 연도별 백미 처리능력

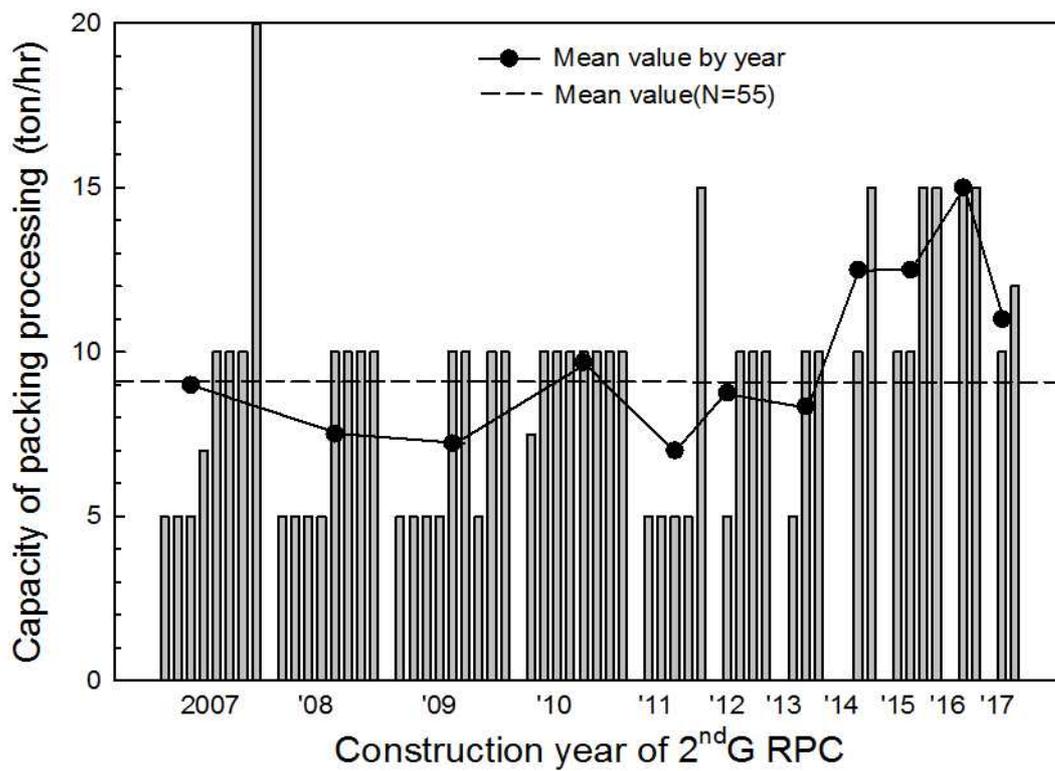


그림 3-1-3. 2ndG RPC의 연도별 포장부 처리능력

- 현미부의 처리능력을 6~8, 9, 12 및 18ton/hr, 백미부의 처리능력을 5, 7.5, 10 및 20ton/hr, 포장부의 처리능력을 5, 7.5, 10, 15, 20 및 25ton/hr, 부산물 등 부대시설의 현미/백미처리능력을 6/5ton/hr, 9/7.5ton/hr, 12/5ton/hr, 12/10 및 18/15ton/hr으로 구분하여 처리능력 별 평균, 최대 및 최소 소요면적을 분석하였음
- 현미부의 경우 처리능력이 증가할수록 평균 소요면적도 증가하였으나 6~8ton/hr 처리능력에서 최대 소요면적은 507.0m²로서 최소 소요면적은 92.3m²에 비해 약 5.5배, 12ton/hr 처리능력에서는 최대가 1,188.0m²로서 최소의 161.4m²에 비해 약 7.5배 컸는데, remodeling과 신축 및 동선계획의 차이, 현미 출하를 위한 현미색채선별기 등 선별시설의 보강, 현미제품 출하설비의 설치 등으로 처리능력별로 최대 및 최소 소요면적의 차이가 크게 발생하는 것으로 판단되었음
- 백미부는 처리능력 5ton/hr의 평균 소요면적이 310.6m²이나 7.5ton/hr은 308.5m²로서 거의 비슷한 수준이었으며, 10ton/hr 처리능력도 소요면적이 380.1m²로서 5ton/hr과 크게 차이가 나타나지 않았으며, 처리능력 5~10ton/hr 범위는 소요면적의 차이가 크게 나타나지 않아 현미부와 유사하게 백미부도 처리능력 별 최대 및 최소 소요면적의 차이는 2.0~5.0배 정도 차이가 나타났는데, remodeling과 신축의 차이, 별도 동선구분하지 않고 주요 단위기계만 2대씩 설치하는 방식 채택여부, 추가동선 및 특수가공미 설치 공간 확보 여부, 완전미제조시설의 설치여부, 선별된 쌀라기의 재활용 여부 등에 따라 소요면적의 차이가 크게 발생하는 것으로 분석되었음
- 포장부는 쌀이 제품으로 최종 포장되어 출하되는 공정으로서, 최근 GAP 도입으로 용도별 구획, 다양한 품목, 브랜드 및 포장단위의 처리를 위한 공간 필요, 제함기 및 in casing용 로봇적재기 등 첨단 설비도입 등으로 인하여 현미부 및 백미부에 비해 상대적으로 많은 공간이 소요되었는데, 처리능력 7.5, 15, 20 및 25ton/hr은 분석 표본수가 1~5개소에 불과하여 소요면적을 분석하기는 어려웠고 처리능력 5.0ton/hr는 평균 531.0m², 10ton/hr는 평균 726.7m²으로 나타났는데, 향후 소포장증가에 따른 in casing 포장시설의 도입, 특수가공미 및 기타 품목의 포장기 설치공간, 대형유통업체와의 거래에 따른 일시출하작업 등을 위해 연차별로 포장부 면적을 확대설치하는 추세임
- 부산물부는 가공과정에서 발생하는 왕겨, 미강 및 이물질 등의 부산물을 처리하는 공정뿐만 아니라, 집진시설과 compressor실 등이 포함되는데 평균 소요면적은 166.6~320.5m² 수준이었으며, 왕겨탱크의 형태 및 설치개소수, 미강실의 암롤 및 폴리콘백 등 배출형태 및 겸용여부, 집진시설의 실내외 설치 여부 및 사이클론과 백필터의 2중구조 여부, air compressor의 동력 및 설치개소수 등에 따라 소요면적이 달라져 처리능력별 최대 및 최소 소요면적의 차이는 다른 공정에 비해 매우 큰 차이를 보였음
- 2ndG RPC의 공정별 소요면적은 처리능력에 비례하여 증가하지는 않고, 처리능력이 증가할수록 오히려 공간의 효율성은 높아지는 것으로 분석되었으며, RPC의 운영 목표 및 방법에 따라 설계방향은 물론 시설 및 단위기계의 구성이나 배치가 달라지는 등 RPC별로 소요면적은 크게 차이가 나타났으며, 특히, 규모화를 추진하면서 기존공간을 활용할 때 공간 부족 등의 사례도 발생하고 있음

표 3-1-5. 2ndG RPC의 공정 및 처리능력 별 소요면적

공정	처리능력	RPC (개소)	소요면적(m ²)		
			평균	최대	최소
현미부	6~8ton/hr	24	229.8	507.0	92.3
	9ton/hr	3	371.3	502.0	228.0
	12ton/hr	23	422.3	1,188.0	161.4
	18ton/hr	1	510.0	510.0	510.0
백미부	5ton/hr	24	310.6	575.9	145.0
	7.5ton/hr	4	308.5	400.0	182.0
	10ton/hr	23	380.1	676.0	138.0
	15ton/hr	1	700.0	700.0	700.0
	20ton/hr	1	2,538.0	2,538.0	2,538.0
포장부	5ton/hr	18	531.0	982.0	258.0
	7.5ton/hr	2	514.0	713.0	315.0
	10ton/hr	25	726.7	1290.0	259.0
	15ton/hr	5	1,243.3	1,566.4	1,017.0
	20ton/hr	2	1,095.5	1,219.0	972.0
	25ton/hr	1	1,698.0	1,698.0	1,698.0
부산물	현미/백미 6/5ton/hr	23	166.6	384.8	50.0
	현미/백미 9/7.5ton/hr	4	318.1	529.4	92.0
	현미/백미 12/5ton/hr	2	171.1	282.6	59.6
	현미/백미 12/10ton/hr	21	320.5	1,185.0	40.0
	현미/백미 18/15ton/hr	1	291.0	291.0	291.0

(2) 공정별 소요동력

- 2ndG RPC별 총 소요동력은 평균 731.0kW(419.6~1,519.3kW)이었으며, 각 공정별 소요동력은 현미 공정은 101.4kW(52.4~235.0kW), 백미공정은 250.2kW(123.8~811.5kW), 포장공정은 54.1kW(23.9~113.3kW), 현미집진공정은 114.0kW(31.5~207.5kW), 백미집진공정은 86.3kW(43.0~441.5kW), 부산물처리 pneumatic conveying은 37.0kW(7.5~85.4kW), 흡입식청소 pneumatic conveying은 16.7kW(7.5~74.0kW), air compressor은 101.4kW(22.0~165.0kW) 수준이었음
- 총 소요동력 대비 각 공정별 동력비율은 백미공정이 33.5%로 가장 높았으며, 현미집진공정 15.6%, air compressor 14.4%, 현미공정 11.4% 순으로 나타났으며, 포장공정은 7.4%, 백미집진공정은 8.47%로 나타났음

표 3-1-6. 53개소 2ndG RPC의 공정별 소요동력

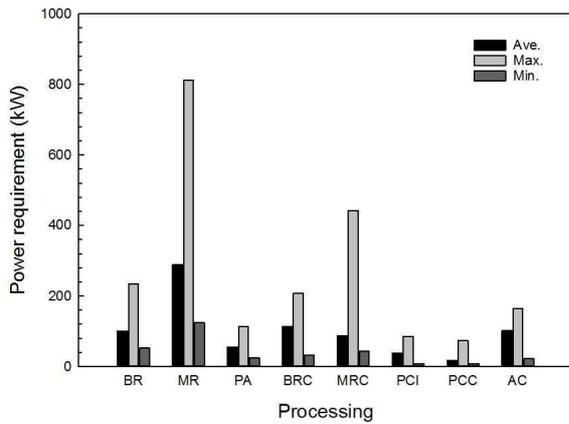
구분	현미공정				백미공정				포장공정			
	처리 능력 (ton/hr)	소요동력 (kW)	동력비 (kW/ ton)	총동력 중비율 (%)	처리 능력 (ton/hr)	소요 동력 (kW)	동력비 (kW/ ton)	총동력 중비율 (%)	처리 능력 (ton/hr)	소요 동력 (kW)	동력비 (kW/ ton)	총동력 중비율 (%)
1	12.0	117.1	9.8	12.8	10.0	302.8	30.3	33.2	10.0	48.8	4.9	5.3
2	6.0	63.7	10.6	13.8	5.0	142.3	28.5	30.7	7.0	23.9	3.4	5.2
3	6.0	67.3	11.2	12.8	5.0	146.1	29.2	27.9	5.0	31.5	6.3	6.0
4	12.0	142.0	11.8	18.8	5.0	274.7	54.9	36.4	5.0	34.2	6.8	4.5
5	12.0	99.1	8.3	12.2	10.0	419.4	41.9	51.7	10.0	40.1	4.0	4.9
6	6.0	83.1	13.9	17.1	5.0	129.9	26.0	26.8	5.0	29.2	5.8	6.0
7	-	-	-	-	20.0	811.5	40.6	53.4	20.0	93.8	4.7	6.2
8	-	-	-	-	10.0	282.5	28.3	54.5	10.0	25.5	2.6	4.9
9	6.0	86.4	14.4	16.7	5.0	140.2	28.0	27.1	5.0	48.0	9.6	9.3
10	6.0	70.0	11.7	11.9	5.0	169.4	33.9	28.8	5.0	36.2	7.2	6.1
11	6.0	88.4	14.7	15.7	5.0	134.0	26.8	23.8	5.0	49.1	9.8	8.7
12	12.0	139.8	11.6	19.7	10.0	258.6	25.9	36.4	10.0	50.1	5.0	7.1
13	6.0	52.4	8.7	9.5	5.0	185.6	37.1	33.5	5.0	41.2	8.2	7.4
14	12.0	135.9	11.3	16.3	10.0	277.7	27.8	33.2	10.0	55.4	5.5	6.6
15	12.0	128.1	10.7	12.5	10.0	349.9	35.0	34.1	10.0	48.0	4.8	4.7
16	6.0	61.4	10.2	8.7	5.0	150.1	30.0	21.3	10.0	49.0	4.9	7.0
17	12.0	140.5	11.7	19.9	5.0	146.1	29.2	20.7	5.0	29.2	5.8	4.1
18	6.0	76.3	12.7	14.4	5.0	179.2	35.8	33.7	5.0	65.3	13.1	12.3
19	6.0	64.6	10.8	12.1	5.0	175.0	35.0	32.8	5.0	35.3	7.1	6.6
20	6.0	70.4	11.7	12.8	5.0	191.6	38.3	34.8	5.0	-	-	-
21	6.0	79.9	13.3	13.5	5.0	140.5	28.1	23.7	10.0	39.5	4.0	6.7
22	12.0	101.4	8.5	14.3	10.0	272.3	27.2	38.4	10.0	58.1	5.8	8.2
23	6.0	72.5	12.1	13.2	5.0	161.4	32.3	29.5	5.0	58.9	11.8	10.7
24	12.0	133.2	11.1	13.0	10.0	354.5	35.5	34.5	10.0	61.1	6.1	5.9
25	6.0	77.8	13.0	15.1	5.0	188.0	37.6	36.6	10.0	31.3	3.1	6.1
26	12.0	136.3	11.4	16.4	10.0	279.2	27.9	33.6	10.0	61.8	6.2	7.4
27	9.0	55.2	6.1	10.1	7.5	224.1	29.9	41.1	7.5	41.6	5.5	7.6
28	12.0	144.4	12.0	15.6	10.0	354.6	35.5	38.4	10.0	65.6	6.6	7.1
29	12.0	87.9	7.3	10.9	10.0	284.4	28.4	35.1	10.0	63.4	6.3	7.8
30	12.0	147.3	12.3	14.7	10.0	319.3	31.9	31.8	10.0	81.0	8.1	8.1
31	12.0	94.4	7.9	10.6	10.0	300.2	30.0	33.8	10.0	76.1	7.6	8.6
32	6.0	59.5	9.9	9.5	10.0	301.9	30.2	48.2	10.0	40.6	4.1	6.5
33	12.0	113.7	9.5	16.4	10.0	297.3	29.7	42.8	10.0	29.2	2.9	4.2
34	18.0	181.5	10.1	15.1	15.0	434.6	29.0	36.1	25.0	113.3	4.5	9.4
35	6.0	71.0	11.8	16.4	5.0	123.8	24.8	28.6	5.0	33.4	6.7	7.7
36	6.0	60.5	10.1	12.5	5.0	146.3	29.3	30.2	5.0	49.1	9.8	10.1
37	6.0	83.1	13.8	13.5	5.0	128.0	25.6	20.8	5.0	58.4	11.7	9.5
38	6.0	72.9	12.1	11.7	5.0	236.6	47.3	37.9	5.0	42.5	8.5	6.8
39	12.0	96.4	8.0	14.0	10.0	200.1	20.0	29.2	10.0	53.4	5.3	7.8
40	6.0	60.3	10.1	11.8	5.0	138.3	27.7	27.1	5.0	58.7	11.7	11.5
41	6.0	65.5	10.9	11.8	5.0	145.0	29.0	26.2	10.0	39.4	3.9	7.1
42	12.0	118.1	9.8	16.7	10.0	265.9	26.6	37.7	20.0	73.3	3.7	10.4
43	12.0	83.9	7.0	10.3	10.0	274.9	27.5	33.8	10.0	62.9	6.3	7.7
44	6.0	53.4	8.9	12.7	5.0	127.0	25.4	30.3	5.0	29.8	6.0	7.1
45	8.0	103.8	13.0	11.4	7.5	291.0	38.8	32.1	10.0	70.4	7.0	7.8
46	12.0	95.9	8.0	11.7	10.0	281.4	28.1	34.4	15.0	62.0	4.1	7.6
47	9.0	109.2	12.1	13.8	7.5	260.6	34.7	33.0	10.0	55.0	5.5	7.0
48	12.0	109.4	9.1	13.0	10.0	303.8	30.4	36.1	15.0	69.4	4.6	8.3
49	12.0	108.4	9.0	12.5	10.0	320.3	32.0	37.1	10.0	55.5	5.5	6.4
50	12.0	215.8	18.0	20.7	10.0	278.3	27.8	26.8	15.0	102.0	6.8	9.8
51	6.0	112.3	18.7	14.7	5.0	231.6	46.3	30.3	10.0	72.7	7.3	9.5
52	12.0	146.4	12.2	14.0	10.0	372.2	37.2	35.6	15.0	73.6	4.9	7.0
53	9.0	235.0	26.1	21.2	7.5	356.2	47.5	32.1	15.0	96.9	6.5	8.7
평균	9.2	101.4	11.4	13.9	7.8	250.2	32.1	33.5	9.3	54.1	6.3	7.4
최대	18.0	235.0	26.1	21.2	20.0	811.5	54.9	54.5	25.0	113.3	13.1	12.3
최소	6.0	52.4	6.1	8.7	5.0	123.8	20.0	20.7	5.0	23.9	2.6	4.1

(표 3-1-6 계속)

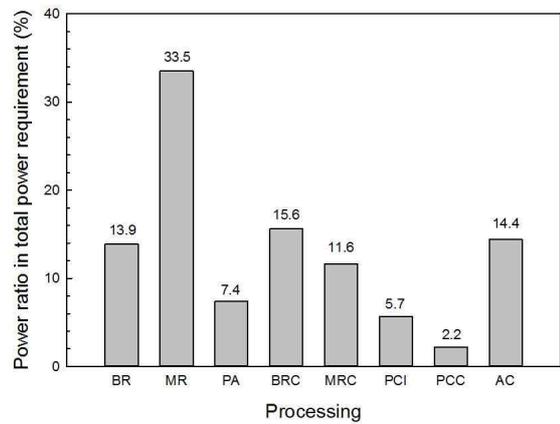
구분	현미 집진공정		백미 집진공정		소계	
	소요동력(kW)	총동력증비율(%)	소요동력(kW)	총동력증비율(%)	소요동력(kW)	총동력증비율(%)
1	190.1	20.8	153.3	16.8	343.4	37.6
2	56.5	12.2	56.8	12.3	113.3	24.5
3	68.7	13.1	81.0	15.5	149.7	28.6
4	95.2	12.6	77.8	10.3	173.0	22.9
5	89.0	11.0	89.3	11.0	178.3	22.0
6	81.7	16.8	53.3	11.0	135.0	27.8
7	-	-	441.5	29.1	441.5	29.1
8	-	-	115.3	22.2	115.3	22.2
9	72.2	14.0	60.5	11.7	132.7	25.7
10	79.2	13.5	73.9	12.6	153.1	26.1
11	71.9	12.8	48.0	8.5	119.9	21.3
12	72.8	10.3	67.5	9.5	140.3	19.8
13	59.1	10.7	47.7	8.6	106.8	19.3
14	127.7	15.3	90.3	10.8	218.0	26.1
15	169.1	16.5	139.2	13.6	308.3	30.1
16	126.5	18.0	84.0	11.9	210.5	29.9
17	180.7	25.6	66.0	9.3	246.7	34.9
18	63.5	12.0	51.0	9.6	114.5	21.6
19	88.7	16.6	58.0	10.9	146.7	27.5
20	115.8	21.0	56.9	10.3	172.7	31.3
21	116.5	19.6	67.1	11.3	183.6	30.9
22	99.3	14.0	57.8	8.1	157.1	22.1
23	66.7	12.2	61.6	11.2	128.3	23.4
24	195.3	19.0	86.2	8.4	281.5	27.4
25	69.5	13.5	43.0	8.4	112.5	21.9
26	157.9	19.0	72.7	8.8	230.6	27.8
27	72.3	13.2	59.0	10.8	131.3	24.0
28	135.6	14.7	71.5	7.7	207.1	22.4
29	126.0	15.6	65.3	8.1	191.3	23.7
30	158.7	15.8	113.5	11.3	272.2	27.1
31	138.3	15.6	97.3	10.9	235.6	26.5
32	31.5	5.0	72.2	11.5	103.7	16.5
33	96.9	13.9	65.8	9.5	162.7	23.4
34	177.9	14.8	130.9	10.9	323.6	156.6
35	77.4	17.9	53.3	12.3	130.7	30.2
36	66.5	13.7	57.7	11.9	124.2	25.6
37	69.3	11.3	116.0	18.9	185.3	30.2
38	83.0	13.3	68.5	11.0	151.5	24.3
39	129.9	18.9	84.1	12.3	214.0	31.2
40	74.1	14.5	63.2	12.4	137.3	26.9
41	83.7	15.1	53.8	9.7	137.5	24.8
42	112.7	16.0	120.5	17.1	249.2	153.6
43	150.9	18.6	79.0	9.7	229.9	28.3
44	74.9	17.9	49.5	11.8	124.4	29.7
45	168.3	18.6	122.2	13.5	290.5	32.1
46	150.8	18.4	78.8	9.6	229.6	28.0
47	166.6	21.1	96.2	12.2	262.8	33.3
48	147.4	17.5	88.8	10.6	236.2	28.1
49	152.5	17.7	77.3	8.9	229.8	26.6
50	207.5	20.0	66.0	6.4	273.5	26.4
51	81.1	10.6	96.1	12.5	177.2	23.1
52	164.3	15.7	136.6	13.1	300.9	28.8
53	204.0	18.4	93.5	8.4	297.5	26.8
평균	114.0	15.6	86.3	11.6	196.7	31.3
최대	207.5	25.6	441.5	29.1	441.5	156.6
최소	31.5	5.0	43.0	6.4	103.7	16.5

(표 3-1-6 계속)

구분	Pneumatic conveying				Air compressor		소계		총 동력 (kW)
	부산물처리		흡입식청소		소요동력 (kW)	총동력중 비율(%)	소요동력 (kW)	총동력중 비율(%)	
	소요동력 (kW)	총동력중 비율(%)	소요동력 (kW)	총동력중 비율(%)					
1	26.3	2.9	-	-	74.0	8.1	100.3	11.0	912.5
2	46.2	10.0	-	-	74.0	16.0	120.2	25.9	463.4
3	33.5	6.4	-	-	96.0	18.3	129.5	24.7	524.1
4	34.7	4.6	74.0	9.8	22.0	2.9	130.7	17.3	754.5
5	-	-	37.0	4.6	37.0	4.6	74.0	9.1	810.9
6	34.3	7.1	-	-	74.0	15.2	108.3	22.3	485.5
7	7.5	0.5	-	-	165.0	10.9	172.5	11.4	1,519.3
8	25.0	4.8	-	-	70.0	13.5	95.0	18.3	518.3
9	36.0	7.0	-	-	74.0	14.3	110.0	21.3	517.3
10	50.0	8.5	-	-	110.0	18.7	160.0	27.2	588.6
11	60.0	10.7	-	-	111.0	19.7	171.0	30.4	562.4
12	25.0	3.5	-	-	96.0	13.5	121.0	17.0	709.7
13	56.9	10.3	-	-	111.0	20.0	167.9	30.3	553.9
14	37.5	4.5	-	-	111.0	13.3	148.5	17.8	835.5
15	35.6	3.5	44.0	4.3	111.0	10.8	190.6	18.6	1,024.8
16	67.2	9.6	-	-	165.0	23.5	232.2	33.0	703.2
17	34.4	4.9	-	-	110.0	15.6	144.4	20.4	706.8
18	43.7	8.2	-	-	52.0	9.8	95.7	18.0	530.9
19	37.5	7.0	-	-	74.0	13.9	111.5	20.9	533.0
20	41.8	7.6	-	-	74.0	13.4	115.8	21.0	550.4
21	27.9	4.7	12.6	2.1	110.0	18.5	150.5	25.3	593.8
22	43.2	6.1	-	-	78.0	11.0	121.2	17.1	709.9
23	52.9	9.7	-	-	74.0	13.5	126.9	23.2	547.9
24	85.4	8.3	-	-	111.0	10.8	196.4	19.1	1,026.6
25	15.3	3.0	15.0	2.9	74.0	14.4	104.3	20.3	513.8
26	-	-	-	-	122.0	14.7	122.0	14.7	829.8
27	-	-	8.6	1.6	85.0	15.6	93.6	17.2	545.7
28	41.8	4.5	-	-	111.0	12.0	152.8	16.5	924.4
29	34.3	4.2	12.6	1.6	135.4	16.7	182.3	22.5	809.2
30	57.0	5.7	15.0	1.5	112.0	11.2	184.0	18.3	1,003.8
31	49.5	5.6	11.0	1.2	121.5	13.7	182.0	20.5	888.2
32	9.0	1.4	15.0	2.4	96.0	15.3	120.0	19.2	625.7
33	-	-	-	-	92.0	13.2	92.0	13.2	694.8
34	-	-	15.0	1.2	150.0	12.5	165.0	13.7	1,203.2
35	-	-	-	-	74.0	17.1	74.0	17.1	432.8
36	30.0	6.2	-	-	74.0	15.3	104.0	21.5	484.1
37	22.5	3.7	22.0	3.6	115.6	18.8	160.1	26.0	614.7
38	37.5	6.0	7.5	1.2	75.0	12.0	120.0	19.3	623.4
39	-	-	11.0	1.6	111.0	16.2	122.0	17.8	685.9
40	19.8	3.9	11.0	2.2	84.8	16.6	115.6	22.7	510.1
41	37.5	6.8	11.0	2.0	117.3	21.2	165.8	30.0	553.0
42	-	-	15.0	2.1	-	-	15.0	2.1	705.5
43	11.8	1.4	12.6	1.6	137.1	16.9	161.5	19.9	812.9
44	-	-	11.0	2.6	74.0	17.6	85.0	20.3	419.6
45	-	-	11.0	1.2	139.8	15.4	150.8	16.6	906.4
46	-	-	12.6	1.5	137.1	16.7	149.7	18.3	818.5
47	-	-	11.0	1.4	92.0	11.6	103.0	13.0	790.5
48	-	-	11.0	1.3	111.0	13.2	122.0	14.5	840.7
49	-	-	12.6	1.5	137.1	15.9	149.7	17.4	863.5
50	-	-	12.6	1.2	157.8	15.2	170.4	16.4	1,040.0
51	30.8	4.0	11.0	1.4	130.0	17.0	171.8	22.4	765.5
52	30.8	2.9	11.0	1.1	110.0	10.5	151.8	14.5	1,044.7
53	-	-	12.6	1.1	110.0	9.9	122.6	11.0	1,108.2
평균	37.0	5.7	16.7	2.2	101.4	14.4	134.1	19.2	731.0
최대	85.4	10.7	74.0	9.8	165.0	23.5	232.2	33.0	1,519.3
최소	7.5	0.5	7.5	1.1	22.0	2.9	15.0	2.1	419.6



(공정별 소요동력)



(공정별 총동력중 동력비율)

BR : 현미공정, MR : 백미공정, PA : 포장공정, BRC : 현미집진공정, MRC : 백미집진공정, PCI : 부산물처리 pneumatic conveying, PCC : 흡입식청소 pneumatic conveying, AC : air compressor

그림 3-1-4. 2ndG RPC의 공정별 소요동력 현황

(3) 공정 단위기계별 소요동력

- 2ndG RPC의 현미, 백미, 포장공정별 소요동력은 다음의 표 3-1-7~9와 같았으며, 현미공정의 단위 기계 중에서는 이송기기 및 기타가 37.2%로 가장 높았고, 현미기가 24.7%, 왕겨풍구 18.7%, 색채 선별기 4.7%, 종합정선기 4.7%, 입선별기 3.9%, 현미분리기 3.4%, 현미석발기 3.0%순이었으며, 단위시간당 벼 및 현미의 처리량이 백미보다 많고, 현미분리기 등에서 되돌림이 있어 벼와 현미를 이송하는 현미부 이송기기의 개수가 비교적 많았으며, 이로 인해 이송기기 및 기타가 차지하는 소요동력이 가장 큰 것으로 분석되었음(그림 3-1-5)
- 백미공정의 단위기계별 소요동력 비중은 정미기가 62.2%로 가장 크게 차지하였고, 연미기 21.6%, 이송기기 및 기타 11.5%, 색채선별기 2.7%, 이물선별기 2.5%, 흙선별기 1.9%, 진동체선별기 1.8% 순으로 나타났으며, 포장부에서는 로봇적재시스템이 49.2%로 가장 컸으며, 자동지대포장기 22.0%, 이송기기 및 기타 22.4%를 차지하였음(그림 3-1-5)
- 기능별로 소요동력을 분류하면 단위기계가 43.9%로 가장 큰 비중이었고, 집진공정이 25.5%, 부대시설이 21.5%, 이송기기 및 기타가 가장 낮은 9.1%이었으며, 단위기계를 제외한 부대시설, 집진 및 이송기기의 소요동력비가 전체의 56.1%로서 대단히 높은 비중을 차지하였음(그림 3-1-5)
- 단위기계의 소요동력중에서 정미기가 차지하는 비율이 47.1%로서 전체 소요동력 대비 20.2% 수준이었으며, 연미기는 14.6%, 로봇적재시스템은 7.2%, 현미기는 7.2%, 왕겨풍구는 5.5% 순으로 나타났다(그림 3-1-5)

표 3-1-7. 53개소 2ndG RPC 현미공정의 주요 단위기계별 소요동력

구분	종합정전기				현미기				왕겨풍구			
	수량 (대)	소요 동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)
1	2.0	6.3	5.3	0.7	3.0	22.8	19.5	2.5	2.0	28.7	24.5	3.1
2	1.0	3.1	4.9	0.7	2.0	15.0	23.5	3.2	1.0	14.4	22.5	3.1
3	1.0	3.2	4.8	0.6	2.0	15.0	22.3	2.9	1.0	13.7	20.3	2.6
4	2.0	6.4	4.5	0.9	4.0	44.8	31.6	5.9	2.0	26.4	18.6	3.5
5	2.0	5.2	5.2	0.6	4.0	30.0	30.3	3.7	4.0	15.2	15.3	1.9
6	1.0	3.1	3.8	0.6	2.0	15.0	18.0	3.1	1.0	14.4	17.3	3.0
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1.0	3.1	3.6	0.6	2.0	15.0	17.4	2.9	1.0	14.4	16.6	2.8
10	1.0	2.7	3.9	0.5	2.0	15.0	21.4	2.5	1.0	13.5	19.2	2.3
11	1.0	2.6	2.9	0.5	2.0	15.0	17.0	2.7	2.0	7.6	8.6	1.4
12	2.0	6.4	4.6	0.9	4.0	44.8	32.0	6.3	2.0	38.0	27.2	5.4
13	1.0	2.6	5.0	0.5	2.0	15.0	28.6	2.7	2.0	7.0	13.4	1.3
14	2.0	5.2	3.8	0.6	4.0	37.0	27.2	4.4	2.0	36.0	26.5	4.3
15	2.0	6.9	5.4	0.7	4.0	30.0	23.4	2.9	2.0	14.4	11.2	1.4
16	1.0	3.1	5.1	0.4	2.0	15.0	24.4	2.1	1.0	14.4	23.4	2.0
17	2.0	6.4	4.6	0.9	4.0	30.0	21.4	4.2	2.0	35.3	25.1	5.0
18	1.0	3.2	4.2	0.6	2.0	22.4	29.4	4.2	1.0	19.0	24.9	3.6
19	1.0	3.4	5.3	0.6	2.0	15.0	23.2	2.8	1.0	14.4	22.2	2.7
20	1.0	1.5	2.1	0.3	2.0	22.4	31.8	4.1	1.0	19.0	27.0	3.5
21	1.0	3.0	3.8	0.5	2.0	22.8	28.5	3.8	1.0	18.0	22.5	3.0
22	2.0	6.0	5.9	0.8	3.0	34.5	34.0	4.9	2.0	26.0	25.6	3.7
23	1.0	2.6	3.6	0.5	2.0	22.0	30.4	4.0	1.0	18.0	24.8	3.3
24	2.0	5.2	3.9	0.5	4.0	30.0	22.5	2.9	2.0	36.0	27.0	3.5
25	1.0	3.4	4.4	0.7	2.0	15.0	19.3	2.9	1.0	17.7	22.7	3.4
26	2.0	6.9	5.0	0.8	4.0	30.0	22.0	3.6	2.0	35.2	25.8	4.2
27	1.0	3.4	6.2	0.6	2.0	15.0	27.2	2.7	2.0	7.4	13.4	1.4
28	2.0	6.0	4.2	0.6	4.0	46.0	31.9	5.0	2.0	38.0	26.3	4.1
29	2.0	6.4	7.3	0.8	4.0	30.0	34.1	3.7	4.0	15.6	17.7	1.9
30	2.0	6.0	4.1	0.6	4.0	44.0	29.9	4.4	2.0	36.0	24.4	3.6
31	2.0	6.0	6.4	0.7	4.0	30.0	31.8	3.4	4.0	14.8	15.7	1.7
32	1.0	3.1	5.3	0.5	2.0	15.0	25.2	2.4	2.0	7.4	12.4	1.2
33	2.0	6.0	5.3	0.9	4.0	30.0	26.4	4.3	4.0	15.2	13.4	2.2
34	3.0	9.7	5.3	0.8	6.0	45.0	24.8	3.7	6	22.2	12.2	1.8
35	1.0	3.1	4.4	0.7	2.0	15.0	21.1	3.5	2.0	7.4	10.4	1.7
36	1.0	2.6	4.3	0.5	2.0	15.0	24.8	2.8	1.0	18.0	29.8	3.3
37	1.0	2.6	3.1	0.4	2.0	22.0	26.5	3.0	1.0	19.0	22.9	2.6
38	1.0	3.2	4.4	0.5	2.0	15.0	20.6	2.2	1.0	13.0	17.8	1.9
39	2.0	6.3	6.5	0.9	4.0	30.0	31.1	4.4	2.0	5.2	5.4	0.8
40	1.0	3.0	5.0	0.6	2.0	15.0	24.9	2.6	2.0	7.4	12.3	1.3
41	1.0	3.0	4.6	0.5	2.0	15.0	22.9	2.5	1.0	13.0	19.9	2.1
42	2.0	6.9	5.8	1.0	4.0	30.0	25.4	4.3	3.0	14.8	12.5	2.1
43	2.0	6.4	7.7	0.8	4.0	30.0	35.8	3.7	2.0	15.0	17.9	1.8
44	1.0	3.4	6.4	0.8	2.0	15.0	28.1	3.6	1.0	2.6	4.9	0.6
45	2.0	6.0	5.8	0.7	3.0	22.5	21.7	2.5	2.0	25.1	24.2	2.8
46	2.0	6.4	6.7	0.8	4.0	30.0	31.3	3.7	2.0	12.1	12.6	1.5
47	2.0	6.0	5.5	0.8	3.0	22.5	20.6	2.8	2.0	25.1	23.0	3.2
48	2.0	3.2	2.9	0.4	2.0	15.0	13.7	1.8	2.0	15.0	13.7	1.8
49	2.0	6.4	5.9	0.7	4.0	30.0	27.7	3.5	2.0	26.4	24.4	3.1
50	2.0	6.4	3.0	0.6	4.0	30.0	13.9	2.9	2.0	35.2	16.3	3.4
51	1.0	3.0	2.7	0.4	2.0	15.0	13.4	2.0	1.0	17.6	15.7	2.3
52	2.0	6.0	4.1	0.6	3.0	22.5	15.4	2.2	2.0	7.4	5.1	0.7
53	2.0	6.7	2.9	0.6	3.0	22.5	9.6	2.0	2.0	35.2	15.0	3.2
평균	1.5	4.7	4.7	0.6	2.9	24.3	24.7	3.3	1.9	19.0	18.7	2.6
최대	3.0	9.7	7.7	1.0	6.0	46.0	35.8	6.3	6.0	38.0	29.8	5.4
최소	1.0	1.5	2.1	0.3	2.0	15.0	9.6	1.8	1.0	2.6	4.9	0.6

(표 3-1-7 계속)

구분	현미분리기				입선별기				현미석발기			
	수량 (대)	소요 동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)
1	1.0	2.2	1.9	0.2	4.0	6.0	5.1	0.7	2.0	6.3	5.3	0.7
2	1.0	2.2	3.5	0.5	2.0	1.7	2.7	0.4	2.0	0.8	1.3	0.2
3	1.0	2.2	3.3	0.4	3.0	2.3	3.3	0.4	1.0	0.8	1.1	0.1
4	2.0	4.4	3.1	0.6	6.0	4.5	3.2	0.6	2.0	6.4	4.5	0.9
5	2.0	4.4	4.4	0.5	4.0	3.0	3.0	0.4	2.0	5.2	5.2	0.6
6	1.0	2.2	2.6	0.5	2.0	15.0	18.0	3.1	1.0	3.1	3.8	0.6
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1.0	2.2	2.5	0.4	4.0	14.8	17.1	2.9	1.0	0.8	0.9	0.1
10	1.0	2.2	3.1	0.4	3.0	2.3	3.2	0.4	1.0	2.7	3.9	0.5
11	1.0	2.6	2.9	0.5	4.0	3.0	3.4	0.5	2.0	5.2	5.9	0.9
12	2.0	4.4	3.1	0.6	3.0	2.3	1.6	0.3	2.0	7.4	5.3	1.0
13	1.0	2.2	4.2	0.4	2.0	1.5	2.9	0.3	1.0	2.6	5.0	0.5
14	2.0	4.4	3.2	0.5	4.0	6.0	4.4	0.7	2.0	5.2	3.8	0.6
15	1.0	3.7	2.9	0.4	2.0	3.0	2.3	0.3	2.0	6.9	5.4	0.7
16	1.0	2.2	3.6	0.3	2.0	3.0	4.9	0.4	1.0	3.1	5.1	0.4
17	2.0	4.4	3.1	0.6	2.0	1.9	1.4	0.3	2.0	6.4	4.6	0.9
18	1.0	2.2	2.9	0.4	2.0	1.5	2.0	0.3	1.0	3.7	4.8	0.7
19	1.0	2.2	3.4	0.4	2.0	3.0	4.6	0.6	1.0	3.4	5.3	0.6
20	1.0	2.2	3.1	0.4	1.0	0.8	1.1	0.1	1.0	1.5	2.1	0.3
21	1.0	2.2	2.8	0.4	6.0	5.7	7.1	1.0	1.0	3.2	4.0	0.5
22	2.0	4.4	4.3	0.6	2.0	1.5	1.5	0.2	2.0	1.5	1.5	0.2
23	1.0	2.2	3.0	0.4	2.0	3.0	4.1	0.5	1.0	0.8	1.0	0.1
24	2.0	4.4	3.3	0.4	4.0	4.4	3.3	0.4	2.0	3.0	2.3	0.3
25	1.0	2.2	2.8	0.4	2.0	1.5	1.9	0.3	1.0	3.4	4.4	0.7
26	2.0	4.4	3.2	0.5	4.0	3.0	2.2	0.4	2.0	6.9	5.0	0.8
27	1.0	2.2	4.0	0.4	2.0	1.5	2.7	0.3	-	-	-	-
28	2.0	4.4	3.0	0.5	4.0	3.0	2.1	0.3	2.0	5.3	3.6	0.6
29	2.0	4.4	5.0	0.5	3.0	4.5	5.1	0.6	2.0	3.0	3.4	0.4
30	2.0	4.4	3.0	0.4	3.0	4.5	3.1	0.4	2.0	6.0	4.1	0.6
31	2.0	4.4	4.7	0.5	3.0	4.5	4.8	0.5	2.0	1.5	1.6	0.2
32	1.0	2.2	3.7	0.4	1.0	1.1	1.8	0.2	1.0	1.5	2.5	0.2
33	2.0	4.4	3.9	0.6	4.0	6.0	5.3	0.9	2.0	6.0	5.3	0.9
34	3.0	6.6	3.6	0.5	6.0	7.4	4.1	0.6	3	3.8	2.1	0.3
35	1.0	2.2	3.1	0.5	2.0	3.0	4.2	0.7	1.0	3.1	4.4	0.7
36	1.0	2.2	3.6	0.4	2.0	2.2	3.6	0.4	1.0	1.5	2.5	0.3
37	1.0	2.2	2.6	0.3	2.0	1.5	1.8	0.2	1.0	2.6	3.1	0.4
38	1.0	2.2	3.0	0.3	1.0	2.2	3.0	0.3	1.0	1.5	2.1	0.2
39	2.0	4.4	4.6	0.6	4.0	3.0	3.1	0.4	2.0	1.5	1.6	0.2
40	1.0	2.2	3.6	0.4	2.0	3.0	5.0	0.5	1.0	0.8	1.2	0.1
41	1.0	2.2	3.4	0.4	2.0	3.0	4.6	0.5	1.0	0.8	1.1	0.1
42	2.0	4.4	3.7	0.6	2.0	3.0	2.5	0.4	2.0	3.0	2.5	0.4
43	2.0	4.4	5.2	0.5	3.0	4.5	5.4	0.6	2.0	3.0	3.6	0.4
44	1.0	2.2	4.1	0.5	2.0	3.0	5.6	0.7	1.0	0.8	1.4	0.2
45	2.0	4.4	4.2	0.5	5.0	3.0	2.9	0.3	2.0	1.5	1.4	0.2
46	2.0	4.4	4.6	0.5	3.0	4.5	4.7	0.5	2.0	3.0	3.1	0.4
47	2.0	4.4	4.0	0.6	5.0	3.0	2.7	0.4	2.0	1.5	1.4	0.2
48	2.0	4.4	4.0	0.5	4.0	3.0	2.7	0.4	2.0	3.1	2.9	0.4
49	2.0	4.4	4.1	0.5	3.0	6.0	5.5	0.7	2.0	1.6	1.5	0.2
50	2.0	4.4	2.0	0.4	3.0	4.5	2.1	0.4	2.0	1.5	0.7	0.1
51	1.0	2.2	2.0	0.3	2.0	3.0	2.7	0.4	1.0	0.8	0.7	0.1
52	2.0	4.0	3.0	0.4	5.0	3.8	2.6	0.4	2.0	1.5	1.0	0.1
53	2.0	4.4	1.9	0.4	4.0	4.5	1.9	0.4	2.0	1.2	0.5	0.1
평균	1.5	3.4	3.4	0.5	3.0	3.7	3.9	0.5	1.6	3.0	3.0	0.4
최대	3.0	6.6	5.2	0.6	6.0	15.0	18.0	3.1	3.0	7.4	5.9	1.0
최소	1.0	2.2	1.9	0.2	1.0	0.8	1.1	0.1	1.0	0.8	0.5	0.1

(표 3-1-7 계속)

구분	현미 색채선별기				이송기기 및 기타				현미공정 총 소요동 력(kW)
	수량 (대)	소요 동력 (kW)	공정동력 증비율 (%)	총동력증 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 증비율 (%)	총동력증 비율(%)	
1	2.0	7.0	6.0	0.8	27.0	37.9	32.4	4.2	117.1
2	1.0	4.1	6.4	0.9	17.0	22.5	35.2	4.8	63.7
3	2.0	3.7	5.5	0.7	22.0	26.6	39.4	5.1	67.3
4	1.0	3.7	2.6	0.5	35.0	45.3	31.9	6.0	142.0
5	-	-	-	-	19.0	36.1	36.4	4.5	99.1
6	1.0	3.5	4.2	0.7	18.0	26.8	32.2	5.5	83.1
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	2.0	5.0	5.8	1.0	22.0	31.2	36.1	6.0	86.4
10	2.0	9.0	12.9	1.5	21.0	22.7	32.4	3.9	70.0
11	2.0	4.0	4.5	0.7	29.0	48.4	54.8	8.6	88.4
12	1.0	2.2	1.6	0.3	17.0	34.3	24.5	4.8	139.8
13	1.0	2.0	3.8	0.4	13.0	19.5	37.2	3.5	52.4
14	2.0	4.0	2.9	0.5	26.0	38.1	28.0	4.6	135.9
15	2.0	7.4	5.8	0.7	37.0	55.9	43.6	5.5	128.1
16	1.0	4.1	6.7	0.6	16.0	16.5	26.9	2.3	61.4
17	2.0	7.0	5.0	1.0	34.0	49.0	34.9	6.9	140.5
18	1.0	4.1	5.4	0.8	15.0	20.2	26.5	3.8	76.3
19	-	-	-	-	18.0	23.2	35.9	4.3	64.6
20	1.0	2.5	3.6	0.5	16.0	20.5	29.1	3.7	70.4
21	2.0	7.0	8.8	1.2	22.0	18.0	22.5	3.0	79.9
22	1.0	3.5	3.5	0.5	21.0	24.0	23.7	3.4	101.4
23	1.0	3.7	5.1	0.7	20.0	20.2	27.9	3.7	72.5
24	2.0	4.4	3.3	0.4	26.0	45.8	34.4	4.5	133.2
25	1.0	4.1	5.3	0.8	22.0	30.5	39.2	5.9	77.8
26	2.0	8.0	5.9	1.0	33.0	42.0	30.8	5.1	136.3
27	1.0	2.5	4.5	0.5	15.0	23.2	42.0	4.2	55.2
28	1.0	4.1	2.8	0.4	32.0	37.7	26.1	4.1	144.4
29	1.0	4.1	4.7	0.5	22.0	19.9	22.6	2.5	87.9
30	1.0	3.7	2.5	0.4	26.0	42.7	29.0	4.3	147.3
31	1.0	4.1	4.3	0.5	34.0	29.1	30.8	3.3	94.4
32	1.0	2.2	3.7	0.4	20.0	27.0	45.4	4.3	59.5
33	1.0	3.5	3.1	0.5	26.0	42.6	37.5	6.1	113.7
34	2.0	8.2	4.5	0.7	59.0	78.7	43.4	6.5	181.5
35	1.0	4.1	5.8	0.9	23.0	33.0	46.5	7.6	71.0
36	-	-	-	-	10.0	19.0	31.4	3.5	60.5
37	1.0	3.0	3.6	0.5	17.0	30.2	36.3	4.1	83.1
38	1.0	4.1	5.6	0.7	16.0	31.7	43.4	4.6	72.9
39	1.0	4.0	4.2	0.6	32.0	42.0	43.6	6.1	96.4
40	1.0	4.1	6.8	0.8	24.0	24.9	41.2	4.3	60.3
41	1.0	4.1	6.3	0.7	12.0	24.4	37.3	4.0	65.5
42	1.0	4.1	3.5	0.6	32.0	52.0	44.0	7.4	118.1
43	1.0	4.1	4.9	0.5	19.0	16.5	19.6	2.0	83.9
44	1.0	4.1	7.7	1.0	17.0	22.4	41.8	5.3	53.4
45	2.0	8.2	7.9	0.9	30.0	33.1	31.9	3.6	103.8
46	1.0	4.1	4.3	0.5	25.0	31.4	32.7	3.8	95.9
47	1.0	4.1	3.8	0.5	28.0	42.6	39.0	5.4	109.2
48	1.0	4.1	3.7	0.5	33.0	61.6	56.3	7.3	109.4
49	1.0	3.0	2.8	0.3	25.0	30.6	28.2	3.5	108.4
50	1.0	4.1	1.9	0.4	32.0	129.7	60.1	12.5	215.8
51	1.0	4.1	3.7	0.5	31.0	66.7	59.3	8.7	112.3
52	1.0	4.1	2.8	0.4	49.0	96.8	66.1	9.3	146.4
53	2.0	8.2	3.5	0.7	43.0	152.4	64.8	13.7	235.0
평균	1.3	4.5	4.7	0.6	25.1	39.2	37.2	5.2	101.4
최대	2.0	9.0	12.9	1.5	59.0	152.4	66.1	13.7	235.0
최소	1.0	2.0	1.6	0.3	10.0	16.5	19.6	2.0	52.4

표 3-1-8. 53개소 2ndG RPC 백미공정의 주요 단위기계별 소요동력

구분	정미기				연미기				백미석탈기			
	수량 (대)	소요 동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)
1	4.0	217.0	71.7	23.8	2.0	44.0	14.5	4.8	1.0	0.4	0.1	0.1
2	1.0	79.0	55.5	17.0	2.0	35.0	24.6	7.6	1.0	0.8	0.5	0.2
3	1.0	79.0	54.1	15.1	2.0	30.0	20.5	5.7	1.0	0.8	0.5	0.1
4	1.0	189.0	68.8	25.1	2.0	60.0	21.8	8.0	1.0	0.8	0.3	0.1
5	2.0	289.0	68.9	35.6	4.0	88.0	21.0	10.9	-	-	-	-
6	1.0	76.5	58.9	15.7	1.0	32.2	24.8	6.6	1.0	0.8	0.6	0.2
7	3.0	400.4	49.3	26.4	9.0	272.2	33.5	17.9	1.0	0.8	0.1	0.1
8	2.0	230.0	81.4	44.4	1.0	15.0	5.3	2.9	3.0	2.4	0.8	0.5
9	1.0	79.0	56.3	15.3	2.0	35.0	25.0	6.8	1.0	0.4	0.3	0.1
10	3.0	109.0	64.4	18.5	2.0	35.0	20.7	5.9	1.0	0.8	0.4	0.1
11	1.0	79.0	59.0	14.0	2.0	35.0	26.1	6.2	-	-	-	-
12	2.0	216.0	83.5	30.4	-	-	-	-	-	-	-	-
13	1.0	163.0	87.8	29.4	-	-	-	-	-	-	-	-
14	2.0	216.4	77.9	25.9	1.0	37.0	13.3	4.4	-	-	-	-
15	2.0	248.0	70.9	24.2	2.0	52.5	15.0	5.1	1.0	0.8	0.2	0.1
16	1.0	112.5	75.0	16.0	-	-	-	-	1.0	0.8	0.5	0.1
17	1.0	68.2	46.7	9.6	2.0	33.0	22.6	4.7	1.0	0.4	0.3	0.1
18	1.0	116.2	64.9	21.9	1.0	37.0	20.7	7.0	1.0	0.8	0.4	0.1
19	1.0	125.5	71.7	23.5	1.0	30.0	17.1	5.6	1.0	0.8	0.4	0.1
20	1.0	126.6	66.1	23.0	2.0	44.0	23.0	8.0	1.0	0.8	0.4	0.1
21	1.0	79.0	56.2	13.3	2.0	30.0	21.4	5.1	1.0	0.8	0.5	0.1
22	1.0	165.0	60.6	23.2	2.0	60.0	22.0	8.5	1.0	0.8	0.3	0.1
23	1.0	79.0	49.0	14.4	2.0	35.0	21.7	6.4	1.0	0.8	0.5	0.1
24	2.0	236.4	66.7	23.0	2.0	44.0	12.4	4.3	2.0	1.5	0.4	0.1
25	2.0	128.0	68.1	24.9	2.0	35.0	18.6	6.8	1.0	0.8	0.4	0.1
26	2.0	236.4	84.7	28.5	-	-	-	-	-	-	-	-
27	2.0	119.1	53.2	21.8	2.0	75.1	33.5	13.8	1.0	0.8	0.3	0.1
28	2.0	236.4	66.7	25.6	2.0	74.0	20.9	8.0	2.0	1.5	0.4	0.2
29	2.0	158.0	55.6	19.5	2.0	69.8	24.5	8.6	1.0	0.4	0.1	0.0
30	2.0	146.0	45.7	14.5	2.0	71.0	22.2	7.1	2.0	1.5	0.5	0.1
31	2.0	158.0	52.6	17.8	2.0	69.8	23.3	7.9	2.0	1.5	0.5	0.2
32	2.0	252.9	83.8	40.4	-	-	-	-	-	-	-	-
33	2.0	250.4	84.2	36.0	-	-	-	-	-	-	-	-
34	3.0	216.1	49.7	18.0	3.0	99.3	22.9	8.3	-	-	-	-
35	1.0	68.2	55.1	15.8	1.0	32.2	26.0	7.4	1.0	0.8	0.6	0.2
36	1.0	79.0	54.0	14.6	1.0	37.5	25.6	6.9	1.0	0.8	0.5	0.2
37	1.0	68.2	53.3	9.3	1.0	32.2	25.2	4.4	1.0	0.8	0.6	0.1
38	1.0	165.0	69.8	23.8	1.0	15.0	6.3	2.2	1.0	0.8	0.3	0.1
39	2.0	126.0	63.0	18.4	2.0	35.0	17.5	5.1	-	-	-	-
40	1.0	79.0	57.1	13.8	1.0	34.9	25.2	6.1	1.0	0.8	0.5	0.1
41	1.0	79.0	54.5	13.0	1.0	34.9	24.1	5.8	1.0	0.8	0.5	0.1
42	2.0	147.9	55.6	21.0	2.0	67.1	25.2	9.5	1.0	1.5	0.6	0.2
43	2.0	158.0	57.5	19.4	2.0	69.8	25.4	8.6	1.0	0.8	0.3	0.1
44	1.0	79.7	62.7	19.0	1.0	34.9	27.5	8.3	1.0	0.8	0.6	0.2
45	3.0	154.6	53.1	17.1	3.0	64.9	22.3	7.2	2.0	1.5	0.5	0.2
46	2.0	158.0	56.2	19.3	2.0	69.8	24.8	8.5	1.0	0.8	0.3	0.1
47	3.0	154.6	59.4	19.6	2.0	49.9	19.2	6.3	2.0	1.5	0.6	0.2
48	2.0	253.0	83.3	30.1	-	-	-	-	-	-	-	-
49	2.0	190.0	59.3	22.0	2.0	89.9	28.1	10.4	1.0	0.7	0.2	0.1
50	2.0	161.3	58.0	15.5	2.0	69.8	25.1	6.7	2.0	1.5	0.5	0.1
51	1.0	125.5	54.2	16.4	1.0	55.7	24.1	7.3	1.0	0.7	0.3	0.1
52	2.0	145.2	39.0	13.9	2.0	52.4	14.1	5.0	2.0	1.5	0.4	0.1
53	2.0	144.7	40.6	13.1	3.0	53.2	14.9	4.8	2.0	1.5	0.4	0.1
평균	1.7	155.0	62.2	21.0	2.0	53.8	21.6	7.0	1.3	1.0	0.4	0.1
최대	4.0	400.4	87.8	44.4	9.0	272.2	33.5	17.9	3.0	2.4	0.8	0.5
최소	1.0	68.2	39.0	9.3	1.0	15.0	5.3	2.2	1.0	0.4	0.1	0.0

(표 3-1-8 계속)

구분	로터리쉬프트				색채선별기				이물선별기			
	수량 (대)	소요 동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)
1	2.0	3.0	1.0	0.3	3.0	6.6	2.2	0.7	2.0	4.0	1.3	0.4
2	1.0	1.5	1.1	0.3	2.0	7.0	4.9	1.5	1.0	4.3	3.0	0.9
3	1.0	1.5	1.0	0.3	2.0	5.0	3.4	1.0	1.0	4.3	2.9	0.8
4	-	-	-	-	1.0	2.5	0.9	0.3	1.0	2.2	0.8	0.3
5	2.0	3.0	0.7	0.4	3.0	5.5	1.3	0.7	-	-	-	-
6	2.0	3.0	2.3	0.6	1.0	3.5	2.7	0.7	1.0	3.5	2.7	0.7
7	4.0	8.8	1.1	0.6	6.0	30.0	3.7	2.0	2.0	20.0	2.5	1.3
8	2.0	3.0	1.1	0.6	2.0	5.0	1.8	1.0	2.0	8.0	2.8	1.5
9	1.0	1.5	1.1	0.3	1.0	3.5	2.5	0.7	1.0	2.0	1.4	0.4
10	-	-	-	-	2.0	12.0	7.1	2.0	-	-	-	-
11	1.0	1.5	1.1	0.3	2.0	4.0	3.0	0.7	-	-	-	-
12	2.0	3.0	1.2	0.4	2.0	8.2	3.2	1.2	2.0	8.2	3.2	1.2
13	1.0	1.5	0.8	0.3	2.0	4.0	2.2	0.7	1.0	4.1	2.2	0.7
14	3.0	4.5	1.6	0.5	3.0	6.0	2.2	0.7	-	-	-	-
15	2.0	3.0	0.9	0.3	2.0	8.2	2.3	0.8	2.0	8.2	2.3	0.8
16	-	-	-	-	1.0	4.1	2.7	0.6	1.0	4.1	2.7	0.6
17	-	-	-	-	1.0	3.0	2.1	0.4	1.0	3.0	2.1	0.4
18	1.0	1.5	0.8	0.3	1.0	4.1	2.3	0.8	1.0	4.1	2.3	0.8
19	1.0	1.5	0.9	0.3	1.0	4.1	2.3	0.8	1.0	4.1	2.3	0.8
20	1.0	1.5	0.8	0.3	1.0	3.0	1.6	0.5	1.0	3.0	1.6	0.5
21	-	-	-	-	1.0	4.1	2.9	0.7	1.0	4.1	2.9	0.7
22	2.0	3.0	1.1	0.4	1.0	4.1	1.5	0.6	1.0	4.1	1.5	0.6
23	-	-	-	-	1.0	3.7	2.3	0.7	1.0	3.7	2.3	0.7
24	2.0	4.4	1.2	0.4	2.0	7.4	2.1	0.7	2.0	7.4	2.1	0.7
25	-	-	-	-	1.0	2.0	1.1	0.4	1.0	2.0	1.1	0.4
26	-	-	-	-	2.0	8.0	2.9	1.0	2.0	8.0	2.9	1.0
27	1.0	2.2	1.0	0.4	1.0	4.5	2.0	0.8	1.0	4.5	2.0	0.8
28	2.0	3.0	0.8	0.3	2.0	8.2	2.3	0.9	2.0	8.2	2.3	0.9
29	-	-	-	-	2.0	8.2	2.9	1.0	2.0	8.2	2.9	1.0
30	-	-	-	-	2.0	7.4	2.3	0.7	2.0	7.4	2.3	0.7
31	-	-	-	-	2.0	10.0	3.3	1.1	2.0	10.0	3.3	1.1
32	2.0	4.4	1.5	0.7	2.0	4.4	1.5	0.7	2.0	4.4	1.5	0.7
33	2.0	3.0	1.0	0.4	2.0	7.2	2.4	1.0	2.0	8.2	2.8	1.2
34	3.0	4.5	1.0	0.4	3.0	12.3	2.8	1.0	3.0	12.3	2.8	1.0
35	1.0	1.5	1.2	0.3	1.0	4.1	3.3	0.9	1.0	4.1	3.3	0.9
36	1.0	2.2	1.5	0.5	1.0	3.7	2.5	0.8	1.0	3.7	2.5	0.7
37	1.0	1.5	1.2	0.2	1.0	3.0	2.3	0.5	1.0	3.0	2.3	0.4
38	1.0	1.5	0.6	0.2	1.0	4.1	1.7	0.7	1.0	4.1	1.7	0.6
39	-	-	-	-	2.0	8.2	4.1	1.2	2.0	8.2	4.1	1.2
40	-	-	-	-	1.0	4.1	3.0	0.8	1.0	4.1	3.0	0.7
41	-	-	-	-	1.0	5.0	3.4	0.9	1.0	5.0	3.4	0.8
42	2.0	2.3	0.8	0.3	2.0	8.2	3.1	1.2	2.0	8.2	3.1	1.2
43	-	-	-	-	2.0	6.6	2.4	0.8	2.0	9.3	3.4	1.1
44	-	-	-	-	1.0	4.1	3.2	1.0	1.0	4.1	3.2	1.0
45	-	-	-	-	3.0	12.3	4.2	1.4	2.0	8.2	2.8	0.9
46	-	-	-	-	2.0	8.2	2.9	1.0	2.0	8.2	2.9	1.0
47	-	-	-	-	2.0	8.2	3.1	1.0	2.0	8.2	3.1	1.0
48	2.0	4.4	1.4	0.5	2.0	8.2	2.7	1.0	2.0	8.2	2.7	1.0
49	-	-	-	-	2.0	8.2	2.6	0.9	2.0	8.2	2.6	0.9
50	-	-	-	-	2.0	8.2	2.9	0.8	2.0	8.2	2.9	0.8
51	1.0	2.2	0.9	0.3	2.0	8.2	3.5	1.1	1.0	4.1	1.8	0.5
52	-	-	-	-	2.0	8.2	2.2	0.8	2.0	8.2	2.2	0.8
53	-	-	-	-	2.0	8.2	2.3	0.7	2.0	8.2	2.3	0.7
평균	1.7	2.8	1.1	0.4	1.8	6.6	2.7	0.9	1.5	6.2	2.5	0.8
최대	4.0	8.8	2.3	0.7	6.0	30.0	7.1	2.0	3.0	20.0	4.1	1.5
최소	1.0	1.5	0.6	0.2	1.0	2.0	0.9	0.3	1.0	2.0	0.8	0.3

(표 3-1-8 계속)

구분	진동체선별기				흡선별기				이송기기 및 기타				백미공정 총 소요동 력(kW)
	수량 (대)	소요동 력 (kW)	공정동 력중비 율(%)	총동력 중비율 (%)	수량 (대)	소요동 력 (kW)	공정동 력중비 율(%)	총동력 중비율 (%)	수량 (대)	소요동 력 (kW)	공정동 력중비 율(%)	총동력중 비율(%)	
1	1.0	1.5	0.5	0.2	-	-	-	-	38.0	26.4	8.7	2.9	302.8
2	2.0	1.6	1.1	0.3	2.0	4.4	3.1	0.9	15.0	8.7	6.1	1.9	142.3
3	4.0	6.0	4.1	1.1	1.0	7.2	4.9	1.4	22.0	12.3	8.4	2.3	146.1
4	4.0	6.0	2.2	0.8	1.0	2.2	0.8	0.3	21.0	12.0	4.4	1.6	274.7
5	2.0	4.4	1.0	0.5	-	-	-	-	23.0	29.5	7.0	3.6	419.4
6	-	-	-	-	1.0	1.5	1.2	0.3	12.0	9.0	6.9	1.9	129.9
7	-	-	-	-	-	-	-	-	84.0	79.3	9.8	5.2	811.5
8	2.0	3.0	1.1	0.6	1.0	4.5	1.6	0.9	26.0	11.6	4.1	2.2	282.5
9	2.0	3.0	2.1	0.6	-	-	-	-	16.0	15.8	11.3	3.1	140.2
10	2.0	3.0	1.8	0.5	-	-	-	-	15.0	9.6	5.7	1.6	169.4
11	-	-	-	-	-	-	-	-	11.0	14.5	10.8	2.6	134.0
12	2.0	4.4	1.7	0.6	1.0	0.8	0.3	0.1	28.0	18.0	7.0	2.5	258.6
13	-	-	-	-	1.0	1.5	0.8	0.3	9.0	11.5	6.2	2.1	185.6
14	-	-	-	-	-	-	-	-	18.0	13.8	5.0	1.7	277.7
15	-	-	-	-	1.0	3.8	1.1	0.4	31.0	25.5	7.3	2.5	349.9
16	3.0	6.6	4.4	0.9	-	-	-	-	24.0	22.0	14.7	3.1	150.1
17	4.0	6.0	4.1	0.8	2.0	7.5	5.1	1.1	23.0	25.0	17.1	3.5	146.1
18	-	-	-	-	-	-	-	-	14.0	15.5	8.7	2.9	179.2
19	-	-	-	-	-	-	-	-	12.0	9.0	5.1	1.7	175.0
20	-	-	-	-	-	-	-	-	15.0	12.8	6.7	2.3	191.6
21	4.0	4.5	3.2	0.8	-	-	-	-	27.0	18.0	12.8	3.0	140.5
22	-	-	-	-	-	-	-	-	29.0	35.3	13.0	5.0	272.3
23	3.0	4.8	2.9	0.9	-	-	-	-	15.0	34.4	21.4	6.3	161.4
24	-	-	-	-	-	-	-	-	24.0	53.4	15.1	5.2	354.5
25	5.0	6.7	3.6	1.3	-	-	-	-	18.0	13.5	7.2	2.6	188.0
26	3.0	4.5	1.6	0.5	-	-	-	-	24.0	22.3	8.0	2.7	279.2
27	-	-	-	-	-	-	-	-	12.0	17.9	8.0	3.3	224.1
28	-	-	-	-	-	-	-	-	29.0	23.2	6.6	2.5	354.6
29	-	-	-	-	1.0	4.5	1.6	0.6	40.0	35.3	12.4	4.4	284.4
30	2.0	3.0	0.9	0.3	-	-	-	-	34.0	83.0	26.0	8.3	319.3
31	2.0	3.0	1.0	0.3	-	-	-	0.9	43.0	39.6	13.2	4.5	300.2
32	-	-	-	-	4.0	4.8	1.6	0.8	25.0	30.9	10.2	4.9	301.9
33	-	-	-	-	-	-	-	-	25.0	28.5	9.6	4.1	297.3
34	1	1.5	0.3	0.1	2.0	2.4	0.6	0.2	62.0	86.2	19.8	7.2	434.6
35	-	-	-	-	2.0	2.4	1.9	0.6	14.0	10.5	8.5	2.4	123.8
36	-	-	-	-	-	-	-	-	16.0	19.5	13.3	3.6	146.3
37	1.0	1.5	1.2	0.2	-	-	-	-	19.0	17.8	13.9	2.4	128.0
38	-	-	-	-	-	-	-	-	28.0	46.1	19.5	6.7	236.6
39	2.0	3.0	1.5	0.4	-	-	-	-	26.0	19.7	9.8	2.9	200.1
40	1.0	0.8	0.5	0.1	-	-	-	-	16.0	14.7	10.6	2.6	138.3
41	1.0	1.5	1.0	0.3	1.0	4.1	2.8	0.7	21.0	14.7	10.1	2.4	145.0
42	-	-	-	-	-	-	-	-	31.0	30.8	11.6	4.4	265.9
43	2.0	3.0	1.1	0.4	-	-	-	-	34.0	27.4	10.0	3.4	274.9
44	1.0	1.5	1.2	0.4	2.0	1.2	0.9	0.3	11.0	0.8	0.6	0.2	127.0
45	3.0	3.8	1.3	0.4	-	-	-	-	44.0	45.7	15.7	5.0	291.0
46	4.0	6.0	2.1	0.7	-	-	-	-	32.0	30.4	10.8	3.7	281.4
47	4.0	5.3	2.0	0.7	-	-	-	-	41.0	32.8	12.6	4.2	260.6
48	-	-	-	-	-	-	-	-	25.0	30.0	9.9	3.6	303.8
49	3.0	2.3	0.7	0.3	-	-	-	-	27.0	21.0	6.6	2.4	320.3
50	5.0	7.5	2.7	0.7	-	-	-	-	27.0	21.8	7.8	2.1	278.3
51	2.0	3.0	1.3	0.4	-	-	-	-	40.0	32.1	13.9	4.2	231.6
52	4.0	6.0	1.6	0.6	-	-	-	-	51.0	150.7	40.5	14.4	372.2
53	4.0	6.0	1.7	0.5	-	-	-	-	34.0	134.4	37.7	12.1	356.2
평균	2.7	3.9	1.8	0.5	1.5	3.5	1.9	0.6	26.4	30.3	11.5	3.7	250.2
최대	5.0	7.5	4.4	1.3	4.0	7.5	5.1	1.4	84.0	150.7	40.5	14.4	811.5
최소	1.0	0.8	0.3	0.1	1.0	0.8	0.3	0.1	9.0	0.8	0.6	0.2	123.8

표 3-1-9. 53개소 2ndG RPC 포장공정의 주요 단위기계별 소요동력

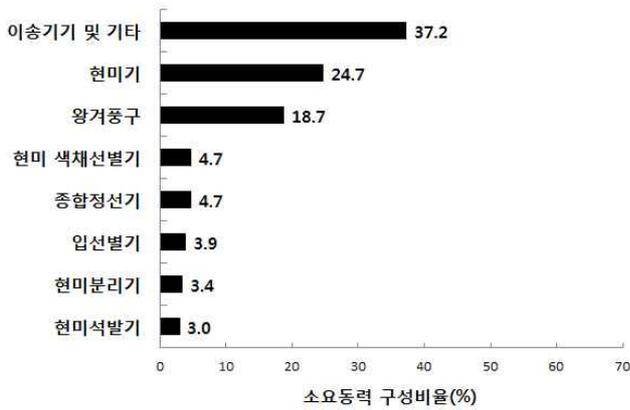
구분	로봇적재시스템				반자동포장기				자동소포장기			
	수량 (대)	소요 동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)
1	1.0	15.0	30.7	1.6	-	-	-	-	1.0	1.0	2.0	0.1
2	1.0	15.0	62.8	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1.0	21.0	66.7	4.0	1.0	0.8	2.4	0.1	1.0	1.5	4.8	0.3
4	1.0	21.0	61.5	2.8	1.0	0.8	2.2	0.1	1.0	0.8	2.2	0.1
5	-	-	-	-	3.0	4.5	11.2	0.6	-	-	-	-
6	1.0	15.0	51.4	3.1	1.0	1.0	3.4	0.2	-	-	-	-
7	2.0	40.0	42.6	2.6	-	-	-	-	2.0	30.0	32.0	2.0
8	1.0	21.0	82.4	4.1	-	-	-	-	1.0	3.8	14.7	0.7
9	1.0	15.0	31.3	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1.0	21.0	58.1	3.6	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	2.0	3.0	6.1	0.5	-	-	-	-
12	1.0	35.0	69.9	4.9	1.0	0.7	1.4	0.1	1.0	0.4	0.8	0.1
13	-	-	-	-	3.0	4.5	10.9	0.8	1.0	1.0	2.4	0.2
14	-	-	-	-	3.0	4.5	8.1	0.5	-	-	-	-
15	1.0	27.0	56.3	2.6	1.0	1.0	2.1	0.1	1.0	1.0	2.1	0.1
16	1.0	27.0	55.1	3.8	2.0	2.0	4.1	0.3	1.0	1.0	2.0	0.1
17	1.0	21.0	72.0	3.0	-	-	-	-	1.0	1.0	3.4	0.1
18	1.0	35.0	53.6	6.6	1.0	0.7	1.1	0.1	1.0	5.0	7.7	0.9
19	1.0	19.4	55.0	3.6	2.0	2.0	5.7	0.4	1.0	1.0	2.8	0.2
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	1.0	17.3	43.7	2.9	2.0	1.5	3.8	0.3	1.0	0.8	1.9	0.1
22	1.0	35.0	60.2	4.9	1.0	0.7	1.2	0.1	2.0	0.8	1.4	0.1
23	1.0	18.0	30.6	3.3	2.0	1.5	2.5	0.3	1.0	0.4	0.7	0.1
24	1.0	20.0	32.8	1.9	-	-	-	-	1.0	0.8	1.2	0.1
25	1.0	15.0	48.0	2.9	2.0	2.0	6.4	0.4	1.0	1.0	3.2	0.2
26	1.0	32.0	51.8	3.9	2.0	2.0	3.2	0.2	-	-	-	-
27	1.0	18.0	43.3	3.3	2.0	2.0	4.8	0.4	1.0	1.0	2.4	0.2
28	1.0	35.0	53.4	3.8	2.0	1.4	2.1	0.2	1.0	0.4	0.6	0.0
29	1.0	30.0	47.4	3.7	2.0	1.5	2.4	0.2	1.0	0.4	0.6	0.0
30	1.0	18.0	22.2	1.8	2.0	1.5	1.9	0.1	1.0	0.8	0.9	0.1
31	2.0	42.0	55.2	4.7	2.0	2.0	2.6	0.2	1.0	0.4	0.5	0.1
32	1.0	15.0	36.9	2.4	-	-	-	-	3.0	6.6	16.3	1.1
33	1.0	19.4	66.6	2.8	1.0	1.0	3.4	0.1	-	-	-	-
34	2.0	82.0	72.4	6.8	4.0	3.4	3.0	0.3	2.0	2.0	1.8	0.2
35	1.0	19.4	58.1	4.5	2.0	2.0	6.0	0.5	1.0	1.0	3.0	0.2
36	1.0	20.0	40.8	3.7	1.0	0.8	1.5	0.1	1.0	1.0	2.0	0.2
37	1.0	35.0	60.0	4.8	1.0	0.7	1.2	0.1	1.0	0.4	0.7	0.1
38	1.0	15.0	35.3	2.2	2.0	0.8	1.9	0.1	1.0	1.0	2.4	0.1
39	1.0	25.0	46.8	3.6	2.0	2.0	3.7	0.3	1.0	1.0	1.9	0.1
40	1.0	23.4	39.9	4.1	2.0	0.8	1.4	0.1	1.0	0.4	0.7	0.1
41	1.0	21.0	53.4	3.5	1.0	0.4	1.0	0.1	1.0	1.0	2.5	0.2
42	2.0	50.0	68.3	7.1	1.0	1.0	1.4	0.1	1.0	1.0	1.4	0.1
43	1.0	21.0	33.4	2.6	1.0	0.4	0.6	0.0	4.0	1.6	2.5	0.2
44	1.0	19.4	65.1	4.6	2.0	1.0	3.4	0.2	1.0	1.0	3.4	0.2
45	1.0	23.4	33.3	2.6	2.0	0.8	1.1	0.1	-	-	-	-
46	1.0	21.0	33.9	2.6	2.0	0.8	1.3	0.1	-	-	-	-
47	1.0	23.4	42.6	3.0	2.0	0.8	1.5	0.1	1.0	0.4	0.7	0.1
48	1.0	32.0	46.1	3.8	1.0	0.4	0.6	0.0	1.0	1.0	1.4	0.1
49	1.0	21.0	37.9	2.4	-	-	-	-	-	-	-	-
50	2.0	44.0	43.1	4.2	2.0	2.0	-	-	-	-	-	-
51	1.0	23.4	32.2	3.1	2.0	-	-	-	2.0	12.0	16.5	1.6
52	1.0	23.4	31.8	2.2	1.0	-	-	-	1.0	6.0	8.2	0.6
53	2.0	42.0	43.3	3.8	2.0	-	-	-	-	-	-	-
평균	1.1	26.0	49.2	3.5	1.8	1.6	3.2	0.2	1.2	2.4	4.1	0.3
최대	2.0	82.0	82.4	7.1	4.0	4.5	11.2	0.8	4.0	30.0	32.0	2.0
최소	1.0	15.0	22.2	1.6	1.0	0.4	0.6	0.0	1.0	0.4	0.5	0.0

(표 3-1-9 계속)

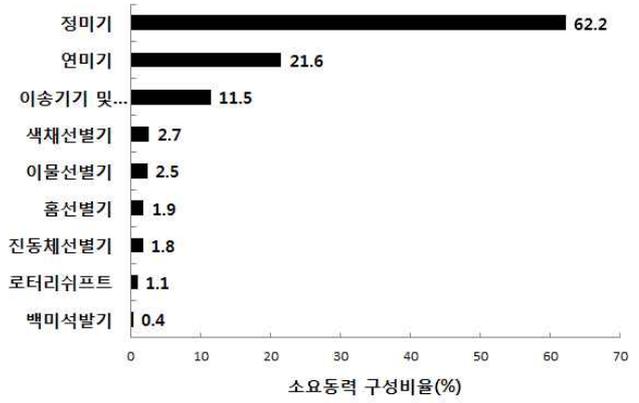
구분	자동지대포장기				자동로타리포장기				전자동진공포장기			
	수량 (대)	소요 동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)	수량 (대)	소요동력 (kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력중 비율(%)
1	1.0	17.0	34.8	1.9	1.0	3.0	6.1	0.3	1.0	1.0	2.0	0.1
2	1.0	6.5	27.2	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	6.0	19.0	1.1
4	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	6.0	17.6	0.8
5	1.0	26.0	64.8	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1.0	6.5	22.3	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1.0	15.0	16.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1.0	21.0	43.8	4.1	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	1.0	3.0	8.3	0.5	-	-	-	-
11	1.0	26.0	53.0	4.6	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	5.0	10.0	0.7
13	1.0	26.0	63.1	4.7	-	-	-	-	-	-	-	-
14	1.0	26.0	46.9	3.1	-	-	-	-	-	-	-	-
15	1.0	10.0	20.9	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1.0	10.0	20.4	1.4	1.0	3.0	6.1	0.4	-	-	-	-
17	1.0	6.0	20.6	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1.0	5.0	7.7	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-
19	1.0	6.5	18.4	1.2	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	1.0	17.0	43.0	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-
22	1.0	5.0	8.6	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
23	1.0	8.0	13.6	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
24	1.0	8.0	13.1	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
25	1.0	6.5	20.8	1.3	-	-	-	-	-	-	-	-
26	2.0	12.0	19.4	1.4	1.0	3.0	4.9	0.4	-	-	-	-
27	1.0	5.0	12.0	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-
28	2.0	10.0	15.3	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
29	1.0	5.0	7.9	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2.0	16.0	19.8	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-
31	2.0	12.0	15.8	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-
32	1.0	6.5	16.0	1.0	1.0	6.5	16.0	1.0	-	-	-	-
33	1.0	6.5	22.3	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-
34	3.0	19.0	16.8	1.6	-	-	-	-	-	-	-	-
35	1.0	6.5	19.5	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
36	1.0	8.0	16.3	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
37	1.0	5.0	8.6	0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
38	1.0	17.0	40.0	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-
39	2.0	13.0	24.3	1.9	-	-	-	-	-	-	-	-
40	1.0	6.0	10.2	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
41	1.0	6.0	15.2	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
42	1.0	6.5	8.9	0.9	1.0	3.0	4.1	0.4	1.0	3.5	4.8	0.5
43	3.0	18.0	28.6	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-
44	1.0	6.5	21.8	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
45	1.0	6.0	8.5	0.7	1.0	3.0	4.3	0.3	-	-	-	-
46	2.0	12.0	19.4	1.5	1.0	3.0	4.8	0.4	-	-	-	-
47	1.0	6.0	10.9	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
48	2.0	12.0	17.3	1.4	1.0	3.0	4.3	0.4	-	-	-	-
49	2.0	12.0	21.6	1.4	1.0	2.0	3.6	0.2	-	-	-	-
50	1.0	10.0	9.8	1.0	1.0	3.0	2.9	0.3	-	-	-	-
51	-	-	-	-	1.0	2.2	-	0.3	-	-	-	-
52	1.0	10.0	13.6	1.0	1.0	3.0	4.1	0.3	1.0	4.5	-	-
53	2.0	12.0	12.4	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
평균	1.3	11.2	22.0	1.6	1.0	3.1	5.8	0.4	1.0	4.3	10.7	0.6
최대	3.0	26.0	64.8	4.7	1.0	6.5	16.0	1.0	1.0	6.0	19.0	1.1
최소	1.0	5.0	7.7	0.6	1.0	2.0	2.9	0.2	1.0	1.0	2.0	0.1

(표 3-1-9 계속)

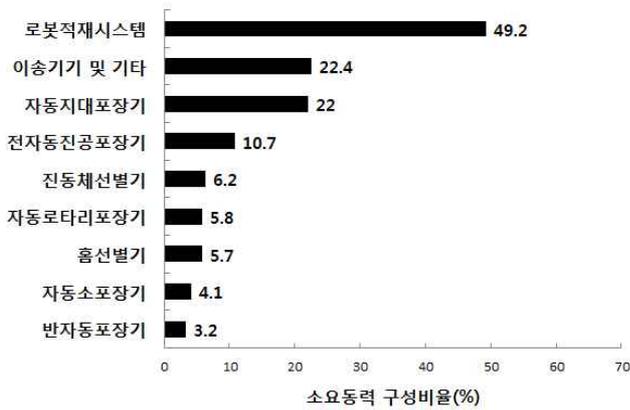
구분	흡선별기				진동채선별기				이송기기 및 기타				포장공정 총 소요동 력(kW)
	수량 (대)	소요 동력 (kW)	공정동 력중비 율(%)	총동력 중비율 (%)	수량 (대)	소요동 력(kW)	공정동력 중비율 (%)	총동력 중비율 (%)	수량 (대)	소요동 력(kW)	공정동 력중비 율(%)	총동력중 비율(%)	
1	-	-	-	-	2.0	3.7	7.6	0.4	13.0	8.1	16.6	0.9	48.8
2	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0	2.4	10.0	0.5	23.9
3	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	2.3	7.1	0.4	31.5
4	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	5.7	16.5	0.7	34.2
5	1.0	1.5	3.7	0.2	-	-	-	-	9.0	8.1	20.2	1.0	40.1
6	-	-	-	-	1.0	2.2	7.5	0.5	3.0	4.5	15.4	0.9	29.2
7	-	-	-	-	4.0	8.8	9.4	0.6	-	-	-	-	93.8
8	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.8	2.9	0.1	25.5
9	-	-	-	-	2.0	3.0	6.3	0.6	6.0	9.0	18.8	1.7	48.0
10	-	-	-	-	2.0	3.0	8.3	0.5	8.0	9.2	25.3	1.6	36.2
11	1.0	1.5	3.1	0.3	3.0	4.5	9.2	0.8	9.0	14.1	28.7	2.5	49.1
12	-	-	-	-	-	-	-	-	6.0	9.0	18.0	1.3	50.1
13	-	-	-	-	2.0	3.0	7.3	0.5	4.0	6.7	16.3	1.2	41.2
14	1.0	2.2	4.0	0.3	3.0	6.6	11.9	0.8	15.0	16.1	29.1	1.9	55.4
15	-	-	-	-	2.0	2.2	4.6	0.2	5.0	6.8	14.1	0.7	48.0
16	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	6.0	12.2	0.9	49.0
17	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	1.2	3.9	0.2	29.2
18	1.0	3.8	5.7	0.7	2.0	0.8	1.2	0.2	13.0	15.0	23.0	2.8	65.3
19	-	-	-	-	1.0	1.1	3.1	0.2	5.0	5.3	14.9	1.0	35.3
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	3.0	7.6	0.5	39.5
22	1.0	1.5	2.6	0.2	3.0	1.2	2.1	0.2	9.0	13.9	23.9	2.0	58.1
23	4.0	8.8	15.0	1.6	1.0	0.8	1.3	0.1	16.0	21.4	36.4	3.9	58.9
24	1.0	3.7	6.1	0.4	3.0	6.6	10.8	0.6	14.0	22.0	36.0	2.1	61.1
25	-	-	-	-	-	-	-	-	7.0	6.8	21.6	1.3	31.3
26	-	-	-	-	-	-	-	-	11.0	12.8	20.7	1.5	61.8
27	1.0	3.8	9.0	0.7	-	-	-	-	7.0	11.9	28.5	2.2	41.6
28	-	-	-	-	5.0	2.0	3.1	0.2	9.0	16.8	25.6	1.8	65.6
29	-	-	-	-	-	-	-	-	8.0	26.5	41.8	3.3	63.4
30	1.0	1.5	1.9	0.1	5.0	11.0	13.6	1.1	19.0	32.2	39.8	3.2	81.0
31	-	-	-	-	4.0	6.0	7.9	0.7	8.0	13.7	17.9	1.5	76.1
32	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	6.0	14.8	1.0	40.6
33	-	-	-	-	1.0	1.5	5.1	0.2	1.0	0.8	2.6	0.1	29.2
34	-	-	-	-	3.0	4.5	4.0	0.4	6.0	2.4	2.1	0.2	113.3
35	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	4.5	13.5	1.0	33.4
36	-	-	-	-	4.0	8.8	17.9	1.8	7.0	10.5	21.4	1.9	49.1
37	-	-	-	-	4.0	3.7	6.3	0.6	8.0	13.6	23.2	1.9	58.4
38	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	8.7	20.4	1.3	42.5
39	-	-	-	-	-	-	-	-	10.0	12.4	23.2	1.8	53.4
40	-	-	-	-	3.0	4.5	7.7	0.9	11.0	23.6	40.2	4.1	58.7
41	-	-	-	-	2.0	0.8	2.0	0.1	7.0	10.2	25.8	1.7	39.4
42	-	-	-	-	2.0	3.0	4.1	0.4	7.0	5.3	7.2	0.7	73.3
43	-	-	-	-	3.0	4.5	7.2	0.6	15.0	17.4	27.6	2.1	62.9
44	-	-	-	-	1.0	0.4	1.3	0.1	8.0	1.5	5.0	0.4	29.8
45	-	-	-	-	3.0	4.5	6.4	0.5	12.0	32.7	46.4	3.6	70.4
46	-	-	-	-	3.0	4.5	7.3	0.5	14.0	20.7	33.4	2.5	62.0
47	-	-	-	-	2.0	3.0	5.5	0.5	12.0	21.4	38.9	2.7	55.0
48	1.0	3.8	5.4	0.4	1.0	1.5	2.2	0.2	13.0	15.8	22.7	1.9	69.4
49	-	-	-	-	3.0	4.5	8.1	0.5	13.0	16.0	28.8	1.8	55.5
50	-	-	-	-	3.0	4.5	4.4	0.4	35.0	38.5	37.7	3.7	102.0
51	-	-	-	-	2.0	3.0	4.1	0.4	26.0	32.1	44.2	4.2	72.7
52	-	-	-	-	2.0	3.0	4.1	0.3	13.0	23.7	32.2	2.3	73.6
53	-	-	-	-	3.0	4.5	4.6	0.4	28.0	38.4	39.6	3.5	96.9
평균	1.3	3.2	5.7	0.5	2.6	3.7	6.2	0.5	9.6	13.1	22.4	1.7	54.1
최대	4.0	8.8	15.0	1.6	5.0	11.0	17.9	1.8	35.0	38.5	46.4	4.2	113.3
최소	1.0	1.5	1.9	0.1	1.0	0.4	1.2	0.1	1.0	0.8	2.1	0.1	23.9



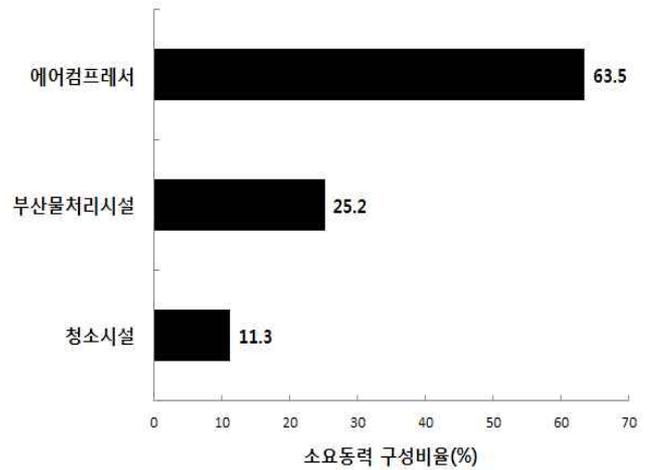
(현미공정의 단위기계 별 소요동력)



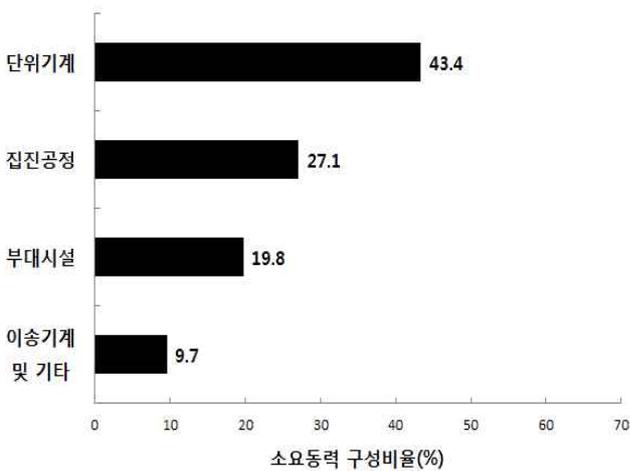
(백미공정의 단위기계 별 소요동력)



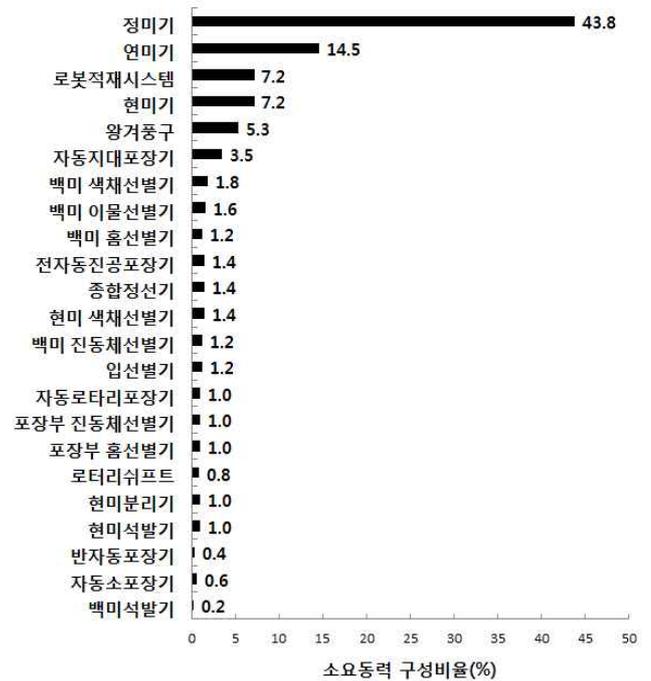
(포장공정의 단위기계 별 소요동력)



(부대시설의 단위기계 별 소요동력)



(기능 별 소요동력)



(전체공정의 단위기계 소요동력)

그림 3-1-5. 2ndG RPC 공정 및 단위기계 별 소요동력 구성비율

(4) 가공시설별 소요동력 분석

- 2ndG RPC 가공공정의 소요동력을 현미부와 백미부의 가공능력별로 평균, 최대 및 최소동력으로 분류한 결과는 다음 표 3-1-9과 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 2ndG RPC의 현장여건 등 상황에 따라 현미/백미생산능력은 6/5ton/hr, 9/7.5ton/hr, 12/10ton/hr, 12/5ton/hr, 12/10ton/hr, 18/15ton/hr 등 다양한 가공능력의 형태로 진행되었음을 알 수 있었음
- 현미/백미생산능력이 6/5ton/hr인 경우, 총 소요동력은 평균 527.4kW(419.6~765.6kW)이었고, 백미 1ton을 생산하기 위하여 필요한 소요동력은 평균 105.5kWh(83.9~153.1kWh)수준이었으며, 현미/백미생산능력이 12/10ton/hr인 경우, 총 소요동력은 평균 882.5kW(685.9~1039.0kW)이었고, 백미 1ton을 생산하기 위하여 필요한 동력은 평균 88.3kWh(68.6~103.9kWh)수준을 나타내었으며, 규모가 클수록 단위 제품생산에 소요되는 동력이 적어지는 것을 알 수 있었음
- 이를 백미 제품 1포대(20kg 기준) 생산하기 위해 필요한 소요동력으로 환산하면 현미/백미생산능력이 6/5ton/hr인 경우 2.1kWh(1.7~3.1kWh), 현미/백미생산능력이 12/10ton/hr인 경우 평균 1.8kWh(1.4~2.1kWh) 수준을 나타내었음
- 현미/백미생산능력 6/5ton/hr, 9/7.5ton/hr, 12/10ton/hr, 12/5ton/hr 및 12/10ton/hr 등 5가지 형태의 다른 생산능력을 가진 2ndG RPC에서 각 생산능력별로 소요전력이 최소가 되는 RPC를 기준으로 할 때 각 생산능력별 최대가 되는 RPC 소요동력은 106.7~201.1%수준이었으며, 특히, 생산능력의 기준이 되는 현미/백미생산능력 6/5ton/hr 및 12/10ton/hr인 RPC의 소요동력은 최소치에 비해 최대치는 각각 201.1%, 149.7%로서 큰 차이가 발생하는 것을 알 수 있었음
- 한편, 다음 표 3-1-10~3-1-15는 각 공정별로 최소 및 최대가 되는 소요동력을 비교한 것으로서, 현미부는 6, 9, 12 및 18ton/hr, 백미부는 5, 7.5, 10, 15 및 20ton/hr, 포장부는 5, 7.5, 10, 15, 20 및 25ton/hr으로 처리능력을 구분하여 비교하였으며, 집진부 및 부대시설은 현미/백미생산능력 6/5ton/hr, 9/7.5ton/hr, 12/5ton/hr, 12/10 및 18/15ton/hr으로 구분하여 처리능력 별 소요동력이 최소 및 최대가 되는 RPC를 표와 같이 비교하였음
- 다음 표 3-1-16은 표 3-1-10을 요약하여 정리한 각 생산능력별로 전체 설계동력에서 최대 및 최소인 2개 2ndG RPC의 각 공정에서의 설계동력 차이를 직접 비교한 것이며, 표 3-1-17은 2ndG RPC에서 각 생산능력별로 각 공정에서 최대 및 최소가 되는 설계동력을 비교한 결과임

표 3-1-10. 53개소 2ndG RPC중 처리능력별 소요동력이 최대·최소인 2개소의 공정별 소요동력 비교

소요동력			현미/백미 6/5ton/hr			현미/백미 9/7.5ton/hr			현미/백미 12/5ton/hr			
			평균	최대 (51 RPC)	최소 (44 RPC)	평균	최대 (53 RPC)	최소 (27 RPC)	평균	최대 (4 RPC)	최소 (17 RPC)	
가공부	현미부	설계동력 (kW)	71.8	112.3	53.4	125.8	235.0	55.2	141.2	142.0	140.5	
		총동력중 비율(%)	12.3	14.7	12.7	13.4	21.2	9.9	17.6	17.1	18.2	
	백미부	설계동력 (kW)	165.7	231.6	127.0	283.0	356.2	224.1	282.2	352.5	212.1	
		총동력중 비율(%)	28.2	30.3	30.3	32.7	32.1	41.1	26.0	33.0	18.9	
	포장부	설계동력 (kW)	43.8	72.7	29.8	66.0	96.9	41.6	31.7	34.2	29.2	
		총동력중 비율(%)	7.5	9.5	6.0	7.4	8.7	7.6	3.9	4.1	3.8	
	소 계	설계동력 (kW)	281.3	416.6	210.2	474.8	688.1	320.9	455.1	528.7	381.8	
		총동력중 비율(%)	48.0	54.5	49.0	53.5	62.0	58.6	47.5	54.2	40.9	
	집진부	현미집진	설계동력 (kW)	77.3	81.1	74.9	152.8	204.0	72.3	138.0	95.2	180.7
			총동력중 비율(%)	13.2	10.6	17.9	16.7	18.4	12.9	17.4	11.4	23.4
백미집진		설계동력 (kW)	64.0	96.1	49.5	92.7	93.5	59.0	71.9	77.8	66.0	
		총동력중 비율(%)	10.8	12.5	11.8	10.5	8.4	10.8	8.9	9.3	8.5	
소 계		설계동력 (kW)	141.3	177.2	124.4	245.5	297.5	131.3	209.9	173.0	246.7	
		총동력중 비율(%)	24	23.1	29.7	27.2	26.8	23.7	26.3	20.7	31.9	
부대 설비부	부산물처리 시설	설계동력 (kW)	37.6	30.8	-	-	-	-	34.6	34.7	34.4	
		총동력중 비율(%)	6.3	4.0	-	-	-	-	4.3	4.2	4.5	
	청소시설	설계동력 (kW)	12.9	11.0	11.0	10.8	12.6	8.6	74.0	74.0	-	
		총동력중 비율(%)	2.1	1.4	2.6	1.3	1.1	1.6	8.9	8.9	-	
	에어컴프레서	설계동력 (kW)	91.9	130.0	74.0	106.7	110.0	85.0	66.0	22.0	110.0	
		총동력중 비율(%)	15.5	17.0	17.6	12.4	9.9	15.6	9.2	2.6	14.2	
	소 계	설계동력 (kW)	104.8	171.8	85.0	117.5	122.6	93.6	174.6	130.7	144.4	
		총동력중 비율(%)	17.6	22.4	20.2	13.7	11.0	17.2	22.4	15.7	18.7	
	총동력(kW)			527.4	765.6	419.6	837.8	1,108.2	545.8	839.6	832.4	772.9

(표 3-1-10 계속)

소요동력			현미/백미 12/10ton			전체		
			평균	최대 (30 RPC)	최소 (39 RPC)	평균	최대	최소
가공부	현미부	설계동력 (kW)	121.6	147.3	96.4	101.4	235.0	52.4
		총동력증비율 (%)	13.8	13.2	14.0	13.3	21.2	8.7
	백미부	설계동력 (kW)	303.2	354.5	200.1	250.2	811.5	123.8
		총동력증비율 (%)	34.3	35.6	29.2	31.8	53.4	17.5
	포장부	설계동력 (kW)	61.4	81.0	53.4	54.1	113.3	23.9
		총동력증비율 (%)	6.9	7.2	7.8	7.0	12.3	3.8
	소 계	설계동력 (kW)	486.2	582.8	349.9	405.7	1,159.8	200.1
		총동력증비율 (%)	55.0	56.0	51.0	52.1	86.9	30.0
집진부	현미집진	설계동력 (kW)	141.5	158.7	129.9	114.0	207.5	31.5
		총동력증비율 (%)	15.8	14.2	14.1	14.8	23.4	5.0
	백미집진	설계동력 (kW)	90.5	113.5	84.1	79.2	441.5	43.0
		총동력증비율 (%)	10.2	10.2	12.3	10.2	29.1	6.4
	소 계	설계동력 (kW)	232.0	272.2	214.0	193.2	649.0	74.5
		총동력증비율 (%)	26.0	24.4	26.4	25.0	52.5	11.4
부대 설비부	부산물처리 시설	설계동력 (kW)	36.8	57.0	-	37.0	85.4	7.5
		총동력증비율 (%)	3.8	5.1	-	5.3	10.7	0.5
	청소시설	설계동력 (kW)	16.8	15.0	11.0	16.7	74.0	7.5
		총동력증비율 (%)	1.8	1.3	1.6	2.3	8.9	1.1
	에어컴프레서	설계동력 (kW)	110.7	112.0	111.0	101.4	165.0	22.0
		총동력증비율 (%)	12.4	10.0	16.2	13.6	23.5	2.6
	소 계	설계동력 (kW)	164.3	184.0	122.0	155.1	324.4	37.0
		총동력증비율 (%)	18	16.4	17.8	21.2	43.1	4.2
총동력(kW)			882.5	1,039.0	685.9	754.0	2,133.2	311.6

표 3-1-11. 53개소 2ndG RPC중 현미부 처리능력별 최대·최소인 RPC의 공정별 소요동력 비교

소요동력		6~8ton/hr			9 ton/hr			12 ton/hr			18 ton/hr			전체		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
현미부	설계동력 (kW)	73.2	112.3	52.4	133.1	235.0	55.2	123.3	215.8	83.9	181.5	181.5	181.5	101.4	235.0	52.4
	총동력중 비율(%)	12.2	17.1	8.7	14.5	21.2	10.1	14.1	20.7	9.4	15.1	15.1	15.1	13.3	21.2	8.7

표 3-1-12. 53개소 2ndG RPC중 백미부 처리능력별 최대·최소인 RPC의 공정별 소요동력 비교

소요동력		5 ton/hr			7.5 ton/hr			10 ton/hr			15 ton/hr			20 ton/hr			전체		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
백미부	설계동력 (kW)	163.7	274.7	123.8	283.0	356.2	224.1	295.0	419.4	115.3	434.6	434.6	434.6	441.5	441.5	441.5	250.2	281.5	123.8
	총동력중 비율(%)	27.1	34.2	17.5	32.7	41.1	28.3	34.2	48.6	18.2	36.1	36.1	36.1	29.1	29.1	29.1	31.8	53.4	17.5

표 3-1-13. 53개소 2ndG RPC중 포장부 처리능력별 최대·최소인 RPC의 공정별 소요동력 비교

소요동력		5 ton/hr			7.5 ton/hr			10 ton/hr			15 ton/hr			20 ton/hr			25 ton/hr			전체		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
포장부	설계동력 (kW)	42.9	65.3	29.2	32.8	41.6	23.9	53.7	81.0	29.2	76.1	102.0	52.4	76.1	102.0	52.4	76.1	102.0	52.4	52.3	102.0	23.9
	총동력중 비율(%)	7.4	12.3	3.8	6.4	7.6	5.2	7.1	14.0	4.2	7.9	9.8	6.8	7.9	9.8	6.8	7.9	9.8	6.8	7.2	14.0	3.8

표 3-1-14. 53개소 2ndG RPC중 집진부 처리능력별 최대·최소인 RPC의 공정별 소요동력 비교

소요동력		현미/백미 6/5ton/hr			현미/백미 9/7.5ton			현미/백미 12/5ton			현미/백미 12/10ton			현미/백미 18/15ton			전체		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
현미 집진	설계동력 (kW)	81.1	168.3	31.5	147.6	204.0	72.3	138.0	180.7	95.2	141.5	207.5	72.8	177.9	177.9	177.9	114.0	207.5	31.5
	총동력중 비율(%)	13.4	18.0	5.0	16.8	18.8	13.2	17.4	23.4	11.4	15.8	20.8	10.3	14.8	14.8	14.8	14.8	23.4	5.0
백미 집진	설계동력 (kW)	66.5	122.2	43.0	82.9	96.2	59.0	71.9	77.8	66.0	90.5	153.3	57.8	130.9	130.9	130.9	79.2	441.5	43.0
	총동력중 비율(%)	10.8	15.9	6.6	10.0	10.8	8.4	8.9	9.3	8.5	10.2	17.1	6.4	10.9	10.9	10.9	10.2	29.1	6.4

표 3-1-15. 53개소 2ndG RPC중 부대시설부 처리능력별 최대·최소인 RPC의 공정별 소요동력 비교

소요동력		현미/백미 6/5ton/hr			현미/백미 9/7.5ton			현미/백미 12/5ton			현미/백미 12/10ton			현미/백미 12/10ton			전체		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소
부산물 처리 시설	설계동력 (kW)	37.6	67.2	9.0	-	-	-	34.6	34.7	34.4	39.8	85.4	11.8	39.8	85.4	11.8	1.5	4.0	1.0
	총동력중 비율(%)	6.3	10.7	1.4	-	-	-	4.3	4.5	4.2	4.2	7.7	1.3	4.2	7.7	1.3	5.7	15.0	1.9
청소 시설	설계동력 (kW)	12.7	22.0	7.5	10.8	12.6	8.6	74.0	74.0	74.0	16.8	44.0	11.0	16.8	44.0	11.0	2.6	5.0	1.0
	총동력중 비율(%)	2.0	3.0	1.1	1.3	1.6	1.1	8.9	8.9	8.9	1.8	4.3	1.1	1.8	4.3	1.1	3.8	11.0	0.4
에어컴 프레서	설계동력 (kW)	93.9	165.0	52.0	106.7	139.8	85.0	66.0	110.0	22.0	112.5	157.8	37.0	110.7	157.8	37.0	101.4	165.0	22.0
	총동력중 비율(%)	15.5	23.5	9.8	12.4	15.6	9.9	8.4	14.2	2.6	12.7	19.5	4.3	12.4	16.2	4.3	13.6	23.5	2.6

- 표 3-1-16에서 알 수 있듯이 2ndG RPC에서 소요동력에 큰 차이를 나타내는 공정을 생산능력별로 구분하여 살펴보면 현미/백미생산능력 6/5ton/hr은 가공부 52.4%, 집진부 34.1%, 부대설비부 13.5% 등이었고, 현미/백미생산능력 9/7.5ton/hr은 가공부 65.3%, 집진부 29.6% 및 부대설비부 5.2% 등이었으며, 현미/백미생산능력 12/5ton/hr은 부대설비부 41.1%, 가공부 34.2%, 집진부 24.7% 등이었고, 현미/백미생산능력 12/10ton/hr은 가공부 66.0%, 부대시설부 17.6% 및 집진부 16.5% 등이었음
- 현미/백미생산능력이 6/5ton/hr인 2ndG RPC 중에서 소요동력에서 최대 및 최소가 되는 2개소 RPC의 각 공정별 소요동력을 비교한 표 3-1-16에서 알 수 있듯이 원료 버를 최종 제품까지 생산하는데 소요동력이 최대 906.5kW, 최소 419.6kW로서 486.9kW의 차이를 나타내었는데, 주요 원인은 표 3-1-18에서와 같이 현미부와 백미부의 집진공정에서 소요동력 차이 166.1W(34.1%), 백미공정에서 소요동력 차이 163.9kW(33.7%), 이송기기 및 기타시설에서 소요동력 차이 65.8kW(13.5%), 현미공정에서 소요동력 차이 50.2kW(10.3%), 현미, 백미 및 포장공정에서 소요동력 차이 40.6kW(8.3%) 등이었음
- 현미/백미생산능력이 12/5ton/hr인 경우, 원료 버를 최종 제품까지 생산하는데 직접 관계되는 백미공정에서의 소요동력 차이는 167.8kW(35.1%), 이송기기 및 기타시설에서 소요동력 차이 162.3kW(33.9%), 현미부와 백미부의 집진공정에서 소요동력 차이 97.3kW(20.3%), 현미공정에서의 소요동력 차이는 33.3kW(7.0%) 등이었음

표 3-1-16. 2ndG RPC 처리능력별 소요동력이 최대 및 최소가 되는 가공공장별 소요동력차이(각 공장별 최대 최소비교)

소요동력(kW)		현미/백미 6/5ton/hr				현미/백미 9/7.5ton/hr			
		최대 (45 RPC)	최소 (44 RPC)	최대-최소 (A)	비율(%) (A/B×100)	최대 (53 RPC)	최소 (27 RPC)	최대-최소 (C)	비율(%) (C/D×100)
가공부	현미부	103.8	53.4	50.4	10.4	235.0	55.2	179.8	32.0
	백미부	291.0	127.0	164.0	33.7	356.2	224.1	132.1	23.5
	포장부	70.4	29.8	40.6	8.3	96.9	41.6	55.3	9.8
	소 계	465.2	210.2	255.0	52.4	688.1	320.9	367.2	65.3
집진부	현미집진	168.3	74.9	93.4	19.2	204.0	72.3	131.7	23.4
	백미집진	122.2	49.5	72.7	14.9	93.5	59.0	34.5	6.1
	소 계	290.5	124.4	166.1	34.1	297.5	131.3	166.2	29.6
부대 설비부	부산물 처리시설	-	-	-	-	-	-	-	-
	청소시설	11.0	11.0	0.0	0.0	12.6	8.6	4.0	0.7
	에어컴프 레서	139.8	74.0	65.8	13.5	110.0	85.0	25.0	4.4
	소 계	150.8	85	65.8	13.5	122.6	93.6	29.0	5.2
총동력(kW)		906.5	419.6	486.9 (B)	100.0	1,108.2	545.8	562.4 (D)	100.0
소요동력(kW)		현미/백미 12/5ton/hr				현미/백미 12/10ton/hr			
		최대 (4 RPC)	최소 (17 RPC)	최대-최소 (E)	비율(%) (E/F×100)	최대 (30 RPC)	최소 (39 RPC)	최대-최소 (G)	비율(%) (G/H×100)
가공부	현미부	142.0	140.5	1.5	0.4	147.3	96.4	50.9	14.4
	백미부	274.7	146.1	128.6	32.6	354.5	200.1	154.4	43.7
	포장부	34.2	29.2	5.0	1.3	81.0	53.4	27.6	7.8
	소 계	450.9	315.8	135.1	34.2	582.8	349.9	232.9	66.0
집진부	현미집진	95.2	180.7	85.5	21.7	158.7	129.9	28.8	8.2
	백미집진	77.8	66.0	11.8	3.0	113.5	84.1	29.4	8.3
	소 계	173.0	246.7	97.3	24.7	272.2	214.0	58.2	16.5
부대 설비부	부산물 처리시설	34.7	34.4	0.3	0.1	57.0	-	57.0	16.1
	청소시설	74.0	-	74.0	18.7	15.0	11.0	4.0	1.1
	에어컴프 레서	22.0	110.0	88.0	22.3	112.0	111.0	1.0	0.3
	소 계	130.7	144.4	162.3	41.1	184.0	122.0	62.0	17.6
총동력(kW)		754.6	706.9	394.7 (F)	100.0	1,039.0	685.9	353.1 (H)	100.0

- 한편, 현미/백미생산능력 6/5ton/hr인 2ndG RPC 중에서 설계동력에 큰 차이를 나타내는 공정은 가공부 41.7%, 집진부 31.4%, 부대설비부 27.0% 등이었고, 현미/백미생산능력 12/10ton/hr인 2ndG RPC 중에서 설계동력에 큰 차이를 나타내는 공정은 부대설비부 41.1%, 가공부 34.2%, 집진부 24.7%이 었음(표 3-1-17)
- 표 3-1-19에서 알 수 있듯이 2ndG RPC의 각 공정별로 최대와 최소가 되는 공정을 비교한 결과, 현미/백미 생산능력 6/5ton/hr의 경우 백미공정이 244.1kW(32.7%), 집진공정이 216.0kW(29.0%), 부대시설이 158.2kW(21.2%), 포장공정이 64.2kW(8.6%), 현미공정 63.6kW(8.5%) 순이었음. 한편, 현미/백미 생산능력 12/10ton/hr의 경우 백미공정이 167.8kW(35.1%)로 가장 컸으며, 부대시설이 162.3kW(33.9%), 집진공정이 97.3kW(20.3%), 현미공정 33.3kW(7.0%) 순이었음
- 이와 같이 2ndG RPC의 처리능력 및 공정별 소요동력을 분석한 결과, 가공부에서의 동력차이가 발생 하는 주요 원인으로는 ① 정미기 등 주요 단위기계간의 구성형태 및 제조사 별 동력차이 발생, ② 선별기의 종류 및 설치대수 차이 등, ③ RPC 단위기계 및 장비 성능검정에서 소요동력은 단순히 참 고자료로 사용될 뿐 적합 및 부적합 판단기준이 아니며, RPC 운영자도 수율이 향상된다면 소요동력 이 다소 증가하여도 크게 문제없다는 인식이 널리 퍼져있는 것도 주요 원인인 것으로 판단됨
- 정미시스템은 구성별(1연삭+1마찰+1연미, 1연삭+2마찰+1연미, 1연삭+4마찰+2연미 등), 형태별 (입형 및 횡형 등) 및 제조회사별로 소요동력 차이가 크게 발생하였는데, RPC 가공공정에 사용되는 대부분의 주요 단위기계도 동일한 경향으로서 등급선별기 및 진동체선별기의 종류 및 설치대수에 따 라 차이가 발생하였고, 진동체선별기 대신 거의 무동력의 유하식선별기를 설치하는 경우에도 큰 차 이를 나타내고 있었음
- 한편, 집진시설에 관해서는 주로 현미부에는 백필터 형태가, 백미부 및 포장부에는 테프론으로 코팅 된 사이클론 형태가 사용되고 있었으며, 동력차이가 발생하는 것은 ① 집진기 제조회사간 소요동력 차이, ② 가공공정 현장여건이 충분히 반영되지 못한 집진라인 설계, ③ 각 단위기계 제조회사에서 정확한 단위기계 집진량 제시 한계, ④ 설계미숙(예 : 개방형 왕겨풍구와 최종 왕겨실에 각각 집진용 송풍기 중복설치) 등이 종합적으로 관여하여 동력에 차이가 발생하는 것으로 판단되었음
- 부대시설의 경우, ① 에어컴프레서는 고장에 대비하기 위해 예비품이 설치되어야 한다는 고정관념, ② 도입초기 설계기준 미정립에 따른 고에너지가 소요되는 공기이송방법(흡입식)의 채택여부, ③ 흡 입식 청소시스템의 설계기준 미정립 등을 들 수 있었으며, 주로 보급초기에 사례가 많았음
- 이상의 결과에서 알 수 있듯이 에너지측면에서 현미, 백미 및 포장공정 중의 단위기계는 물론 집진 시설, 에어컴프레서, 청소시스템, 부산물처리시설 및 이송기기 등에 대한 공정개선 및 설계기준정립 이 필요하였으며, 공정개선은 단위공정 성능차이 발생원인의 해소는 물론 실천 가능한 설계동력 기 준의 제시가 포함되는 것이 필요하였음

표 3-1-17. 2ndG RPC의 처리능력별 각 소요동력이 최대 및 최소가 되는 가공공정별 소요동력차이

소요동력(kW)		현미/백미 6/5ton/hr				현미/백미 9/7.5ton/hr			
		최대	최소	최대-최소 (A)	비율(% (A/B×100))	최대	최소	최대-최소 (C)	비율(% (C/D×100))
가공부	현미부	112.3	52.4	59.9	8.7	235.0	55.2	179.8	29.0
	백미부	301.9	123.8	178.1	25.9	356.2	224.1	132.1	21.3
	포장부	72.7	23.9	48.8	7.1	96.9	41.6	55.3	8.9
	소 계	486.9	200.1	286.8	41.7	688.1	320.9	367.2	59.1
집진부	현미집진	168.3	31.5	136.8	19.9	204.0	72.3	131.7	21.2
	백미집진	122.2	43.0	79.2	11.5	122.2	59.0	63.2	10.2
	소 계	290.5	74.5	216.0	31.4	326.2	131.3	194.9	31.4
부대 설비부	부산물 처리시설	67.2	9.0	58.2	8.5	-	-	-	-
	청소시설	22.0	7.5	14.5	2.1	12.6	8.6	4.0	0.6
	에어 컴프레서	165.0	52.0	113.0	16.4	139.8	85.0	54.8	8.8
	소 계	254.2	68.5	185.7	27.0	152.4	93.6	58.8	9.5
총동력(kW)		1,031.6	343.1	688.5 (B)	100.0	1,166.7	545.8	620.9 (D)	100.0
소요동력(kW)		현미/백미 12/5ton/hr				현미/백미 12/10ton/hr			
		최대	최소	최대-최소 (E)	비율(% (E/F×100))	최대	최소	최대-최소 (G)	비율(% (G/H×100))
가공부	현미부	142.0	140.5	1.5	0.4	215.8	83.9	131.9	15.0
	백미부	274.7	146.1	128.6	32.6	419.4	200.1	219.3	24.9
	포장부	34.2	29.2	5.0	1.3	102.0	29.2	72.8	8.3
	소 계	450.9	315.8	135.1	34.2	737.2	313.2	424.0	48.1
집진부	현미집진	180.7	95.2	85.5	21.7	207.5	72.8	134.7	15.3
	백미집진	77.8	66.0	11.8	3.0	153.3	57.8	95.5	10.8
	소 계	258.5	161.2	97.3	24.7	360.8	130.6	230.2	26.1
부대 설비부	부산물 처리시설	34.7	34.4	0.3	0.1	85.4	11.8	73.6	8.3
	청소시설	74.0	0.0	74.0	18.7	44.0	11.0	33.0	3.7
	에어 컴프레서	110.0	22.0	88.0	22.3	157.8	37.0	120.8	13.7
	소 계	218.7	56.4	162.3	41.1	287.2	59.8	227.4	25.8
총동력(kW)		928.1	533.4	394.7 (F)	100.0	1,385.2	503.6	881.6 (H)	100.0

표 3-1-18. 2ndG RPC의 가공공정별 처리능력별 최대, 최소 소요동력차(2개 RPC직접비교)

공정	단위기계	현미/백미생산능력 6/5ton/hr					현미/백미생산능력 9/7.5ton/hr					
		공정별 최대 소요동력		공정별 최소 소요동력		소요 동력차 (kW) (A-B)	공정별 최대 소요동력		공정별 최소 소요동력		소요 동력차 (kW) (C-D)	
		수량	소요동력 (kW)(A)	수량	소요동력 (kW)(B)		수량	소요동력 (kW)(C)	수량	소요동력 (kW)(D)		
현미 공정	종합정선기	2.0	6.0	1.0	3.4	2.6	2.0	6.7	1.0	3.4	3.3	
	전자동현미기	3.0	22.5	2.0	15.0	7.5	3.0	22.5	2.0	15.0	7.5	
	왕겨풍구	2.0	25.1	1.0	2.6	22.5	2.0	35.2	2.0	7.4	27.8	
	현미분리기	20.0	4.4	1.0	2.2	2.2	2.0	4.4	1.0	2.2	2.2	
	입선별기	5.0	2.9	2.0	3.0	0.1	4.0	4.5	2.0	1.5	3.0	
	현미석발기	2.0	1.5	1.0	0.8	0.7	2.0	1.2	-	-	1.2	
	색채선별기	2.0	8.2	1.0	4.1	4.1	2.0	8.2	1.0	2.5	5.7	
	자동소포장기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	이송기기 및 기타	30.0	33.1	17.0	22.4	10.7	43.0	152.4	15.0	23.2	129.2	
	소 계	66.0	103.7	26.0	53.5	50.2	60.0	235.1	24.0	55.2	179.9	
백미 공정	정미기	3.0	154.6	1.0	79.7	74.9	2.0	144.7	2.0	119.1	25.6	
	로터리쉬프트	-	-	-	-	-	-	-	1.0	2.2	2.2	
	색채선별기	3.0	12.3	1.0	4.1	8.2	2.0	8.2	1.0	4.5	3.7	
	흡선별기	-	-	2.0	1.2	1.2	-	-	-	-	-	
	백미석발기	2.0	1.5	1.0	0.8	0.7	2.0	1.5	1.0	0.8	0.7	
	습식연미기	3.0	64.9	1.0	34.9	30	3.0	53.2	2.0	75.1	21.9	
	이물선별기	2.0	8.2	1.0	4.1	4.1	2.0	8.2	1.0	4.5	3.7	
	진동체선별기	3.0	3.8	1.0	1.5	2.3	4.0	6.0	-	-	6.0	
	이송기기 및 기타	44.0	45.7	11.0	0.8	44.9	34.0	134.4	12.0	17.9	116.5	
	소 계	60.0	291.0	19.0	127.1	163.9	49.0	356.2	20.0	224.1	180.3	
포장 공정	진동체선별기	3.0	4.5	1.0	0.4	4.1	3.0	4.5	-	-	4.5	
	흡선별기	-	-	-	-	-	-	-	1.0	3.8	3.8	
	자동로터리포장기	1.0	3.0	-	-	3.0	-	-	-	-	-	
	자동소포장기	-	-	1.0	1.0	1.0	-	-	1.0	1.0	1.0	
	반자동포장기	2.0	0.8	2.0	1.0	0.2	2.0	-	2.0	2.0	2.0	
	미싱기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	자동지대포장기	1.0	6.0	1.0	6.5	0.5	2.0	12.0	1.0	5.0	7.0	
	로봇적재시스템	1.0	23.4	1.0	19.4	4.0	2.0	42.0	1.0	18.0	24.0	
	전자동진공포장기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	이송기기 및 기타	12.0	32.7	8.0	1.5	31.2	28.0	38.4	7.0	11.9	26.5	
소 계	20.0	70.4	14.0	29.8	40.6	37.0	96.9	13.0	41.7	68.8		
소 계	146.0	465.1	59.0	210.4	254.7	146.0	688.2	57.0	321.0	429.0		
집진 공정	현미부집진	-	168.3	2.0	74.9	93.4	9.0	204.0	2.0	72.3	131.7	
	백미부집진	-	122.15	1.0	49.5	72.7	5.0	93.5	3.0	59.0	34.5	
	소 계	-	290.5	3.0	124.4	166.1	14.0	297.5	5.0	131.3	166.2	
기타 시설	부산물처리시설	1.0	-	-	-	-	1.0	-	-	-	-	
	청소시설	1.0	11.0	1.0	11.0	0.0	1.0	12.6	1.0	8.6	4.0	
	에어컴프레서	3.0	139.8	2.0	74.0	65.8	2.0	110.0	3.0	85.0	25.0	
	소 계	5.0	150.8	3.0	85.0	65.8	4.0	122.6	4.0	93.6	29.0	
합 계		906.5	65.0	419.6	486.9	164.0	1,108.2	66.0	545.8	562.4		

(표 3-1-18 계속)

공정	단위기계	현미/백미생산능력 12/5ton/hr					현미/백미생산능력 12/10ton/hr				
		공정별 최대 소요동력		공정별 최소 소요동력		소요 동력차 (kW) (A-B)	공정별 최대 소요동력		공정별 최소 소요동력		소요 동력차 (kW) (C-D)
		수량	소요동력 (kW)(A)	수량	소요동력 (kW)(B)		수량	소요동력 (kW)(C)	수량	소요동력 (kW)(D)	
현미 공정	종합정전기	2.0	6.4	2.0	6.4	0.0	2.0	6.0	2.0	6.3	0.3
	전자동현미기	4.0	44.8	4.0	30.0	14.8	4.0	44.0	4.0	30.0	14.0
	왕겨풍구	2.0	26.4	2.0	35.3	8.9	2.0	36.0	2.0	5.2	30.8
	현미분리기	2.0	4.4	2.0	4.4	0.0	2.0	4.4	2.0	4.4	0.0
	입선별기	6.0	4.5	2.0	1.9	2.6	3.0	4.5	4.0	3.0	1.5
	현미석발기	2.0	6.4	2.0	6.4	0.0	2.0	6.0	2.0	1.5	4.5
	색채선별기	1.0	3.7	2.0	7.0	3.3	1.0	3.7	1.0	4.0	0.3
	자동소포장기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	이송기기 및 기타	35.0	45.3	34.0	49.0	3.7	26.0	42.7	32.0	42.0	0.7
	소 계	54.0	141.9	50.0	140.4	33.3	42.0	147.3	49.0	96.4	52.1
백미 공정	정미기	1.0	189.0	1.0	68.2	120.8	2.0	146.0	2.0	126.0	20.0
	로터리쉬프트	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	색채선별기	1.0	2.5	1.0	3.0	0.5	2.0	7.4	2.0	8.2	0.8
	흡선별기	1.0	2.2	2.0	7.5	5.3	-	-	-	-	-
	백미석발기	1.0	0.8	1.0	0.4	0.4	2.0	1.5	-	-	1.5
	습식연미기	2.0	60.0	2.0	33.0	27.0	2.0	71.0	2.0	35.0	36.0
	이물선별기	1.0	2.2	1.0	3.0	0.8	2.0	7.4	2.0	8.2	0.8
	진동체선별기	4.0	6.0	4.0	6.0	0.0	2.0	3.0	2.0	3.0	0.0
	이송기기 및 기타	21.0	12.0	23.0	25.0	13.0	34.0	83.0	26.0	19.7	63.3
	소 계	32.0	274.7	35.0	146.1	167.8	46.0	319.3	36.0	200.1	122.4
포장 공정	진동체선별기	-	-	-	-	-	5.0	11.0	-	-	11.0
	흡선별기	-	-	-	-	-	1.0	1.5	-	-	1.5
	자동로터리포장기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	자동소포장기	1.0	0.8	1.0	1.0	0.2	1.0	0.8	1.0	1.0	0.2
	반자동포장기	1.0	0.8	-	-	0.8	2.0	1.5	2.0	2.0	0.5
	미싱기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	자동지대포장기	-	-	1.0	6.0	6.0	2.0	16.0	2.0	13.0	3.0
	로봇적재시스템	1.0	21.0	1.0	21.0	0.0	1.0	18.0	1.0	25.0	7.0
	전자동진공포장기	1.0	6.0	-	-	6.0	-	-	-	-	-
	이송기기 및 기타	5.0	5.7	2.0	1.2	4.5	19.0	32.2	10.0	12.4	19.8
소 계	9.0	34.3	5.0	29.2	17.5	31	81	16	53.4	43	
소 계	95.0	450.9	90.0	315.7	218.6	119.0	547.6	101.0	349.9	217.5	
집진 공정	현미부집진	-	95.2	-	180.7	85.5	-	158.7	4.0	129.9	28.8
	백미부집진	-	77.8	-	66.0	11.8	-	113.5	4.0	84.1	29.4
	소 계	-	173.0	-	246.7	97.3	-	272.2	8.0	214.0	58.2
기타 시설	부산물처리시설	1.0	34.7	1.0	34.4	0.3	7.0	57.0	-	-	57.0
	청소시설	1.0	74.0	-	-	74.0	2.0	15.0	1.0	11.0	4.0
	에어컴프레서	1.0	22.0	1.0	110.0	88.0	2.0	112.0	3.0	111.0	1.0
	소 계	3.0	130.7	2.0	144.4	162.3	11.0	184.0	4.0	122.0	62.0
합 계		754.6	92.0	706.9	394.7	130.0	1,039.0	113.0	685.9	353.1	

표 3-1-19. 2ndG RPC의 가공공정별 처리능력별 최대, 최소 소요동력차(각공정별 최대 최소비교)

공정	단위기계	현미/백미생산능력 6/5ton/hr					현미/백미생산능력 9/7.5ton/hr				
		공정별 최대 소요동력		공정별 최소 소요동력		소요동력차 (kW)(A-B)	공정별 최대 소요동력		공정별 최소 소요동력		소요동력차 (kW)(C-D)
		수량	소요동력 (kW)(A)	수량	소요동력 (kW)(B)		수량	소요동력 (kW)(C)	수량	소요동력 (kW)(D)	
현미 공정	종합정선기	1.0	3.0	1.0	2.6	0.4	2.0	6.7	1.0	3.4	3.3
	전자동현미기	2.0	15.0	2.0	15.0	0	3.0	22.5	2.0	15.0	7.5
	왕겨풍구	1.0	17.6	2.0	7.0	10.6	2.0	35.2	2.0	7.4	27.8
	현미분리기	1.0	2.2	1.0	2.2	0	2.0	4.4	1.0	2.2	2.2
	입선별기	2.0	3.0	2.0	1.5	1.5	4.0	4.5	2.0	1.5	3.0
	현미석발기	1.0	0.8	1.0	2.6	1.8	2.0	1.2	-	-	1.2
	색채선별기	1.0	4.1	1.0	2.0	2.1	2.0	8.2	1.0	2.5	5.7
	자동소포장기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	이송기기 및 기타	31.0	66.7	13.0	19.5	47.2	43.0	152.4	15.0	23.2	129.2
	소 계	40.0	112.4	23.0	52.4	63.6	60.0	235.1	24.0	55.2	179.9
백미 공정	정미기	2.0	253.0	1.0	68.2	184.8	2.0	144.7	2.0	119.1	25.6
	로터리쉬프트	2.0	4.4	1.0	1.5	2.9	-	-	1.0	2.2	2.2
	색채선별기	2.0	4.4	1.0	4.1	0.3	2.0	8.2	1.0	4.5	3.7
	흡선별기	4.0	4.8	2.0	2.4	2.4	-	-	-	-	-
	백미석발기	-	-	1.0	0.8	0.8	2.0	1.5	1.0	0.8	0.7
	습식연미기	-	-	1.0	32.2	32.2	3.0	53.2	2.0	75.1	21.9
	이물선별기	2.0	4.4	1.0	4.1	0.3	2.0	8.2	1.0	4.5	3.7
	진동체선별기	-	-	-	-	-	4.0	6.0	-	-	6.0
	이송기기 및 기타	25.0	30.9	14.0	10.5	20.4	34.0	134.4	12.0	17.9	116.5
소 계	37.0	301.9	22.0	123.8	244.1	49.0	356.2	20.0	224.1	180.3	
포장 공정	진동체선별기	2.0	3.0	-	-	3.0	3.0	4.5	-	-	4.5
	흡선별기	-	-	-	-	-	-	-	1.0	3.8	3.8
	자동로터리포장기	1.0	2.2	-	-	2.2	-	-	-	-	-
	자동소포장기	2.0	12.0	-	-	12.0	-	-	1.0	1.0	1.0
	반자동포장기	2.0	-	-	-	-	2.0	-	2.0	2.0	2.0
	미싱기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	자동지대포장기	-	-	1.0	6.5	6.5	2.0	12.0	1.0	5.0	7.0
	로봇적재시스템	1.0	23.4	1.0	15.0	8.4	2.0	42.0	1.0	18.0	24.0
	전자동진공포장기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	이송기기 및 기타	26.0	32.1	-	-	32.1	28.0	38.4	7.0	11.9	26.5
	소 계	34.0	72.7	2.0	21.5	64.2	37.0	96.9	13.0	41.7	68.8
소 계	111.0	487.0	47.0	197.7	371.9	146.0	688.2	57.0	321.0	429.0	
집진 공정	현미부집진	-	168.3	1.0	31.5	136.8	9.0	204.0	2.0	72.3	131.7
	백미부집진	-	122.15	3.0	43.0	79.2	-	96.2	3.0	59.0	37.2
	소 계	-	290.5	4.0	74.5	216.0	9.0	300.2	5.0	131.3	168.9
기타 시설	부산물처리시설	1.0	67.2	-	-	67.2	1.0	-	-	-	-
	청소시설	-	-	-	-	-	1.0	12.6	1.0	8.6	4.0
	에어컴프레서	1.0	165.0	2.0	74.0	91	2.0	110.0	3.0	85.0	25.0
	소 계	2.0	232.2	2.0	74.0	158.2	4.0	122.6	4.0	93.6	29.0
합 계			1,009.7	53.0	346.2	746.1	164.0	1,108.3	66.0	545.9	624.2

(표 3-1-19 계속)

공정	단위기계	현미/백미생산능력 12/5ton/hr					현미/백미생산능력 12/10ton/hr				
		공정별 최대 소요동력		공정별 최소 소요동력		소요 동력차 (kW) (A-B)	공정별 최대 소요동력		공정별 최소 소요동력		소요 동력차 (kW) (C-D)
		수량	소요동력 (kW)(A)	수량	소요동력 (kW)(B)		수량	소요동력 (kW)(C)	수량	소요동력 (kW)(D)	
현미 공정	종합정선기	2.0	6.4	2.0	6.4	0.0	2.0	6.4	2.0	6.4	0.0
	전자동현미기	4.0	44.8	4.0	30.0	14.8	4.0	30.0	4.0	30.0	0.0
	왕겨풍구	2.0	26.4	2.0	35.3	8.9	2.0	35.2	2.0	15.0	20.2
	현미분리기	2.0	4.4	2.0	4.4	0.0	2.0	4.4	2.0	4.4	0.0
	입선별기	6.0	4.5	2.0	1.9	2.6	3.0	4.5	3.0	4.5	0.0
	현미석발기	2.0	6.4	1.0	6.4	0.0	2.0	1.5	2.0	3.0	1.5
	색채선별기	1.0	3.7	2.0	7.0	3.3	1.0	4.1	1.0	4.1	0.0
	자동소포장기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	이송기기 및 기타	35.0	45.3	13.0	49.0	3.7	32.0	129.7	19.0	16.5	113.2
소 계	54.0	141.9	28.0	140.4	33.3	48.0	215.8	35.0	83.9	134.9	
백미 공정	정미기	1.0	189.0	1.0	68.2	120.8	2.0	289.0	2.0	126.0	163.0
	로터리쉬프트	-	-	-	-	-	2.0	3.0	-	-	3.0
	색채선별기	1.0	2.5	1.0	3.0	0.5	3.0	5.5	2.0	8.2	2.7
	흡선별기	1.0	2.2	2.0	7.5	5.3	-	-	-	-	-
	백미석발기	1.0	0.8	1.0	0.4	0.4	-	-	-	-	-
	습식연미기	2.0	60.0	2.0	33.0	27.0	4.0	88.0	2.0	35.0	53.0
	이물선별기	1.0	2.2	1.0	3.0	0.8	-	-	2.0	8.2	8.2
	진동체선별기	4.0	6.0	4.0	6.0	0.0	2.0	4.4	2.0	3.0	1.4
	이송기기 및 기타	21.0	12.0	23.0	25.0	13.0	23.0	29.5	26.0	19.7	9.8
소 계	32.0	274.7	35.0	146.1	167.8	36.0	419.4	36.0	200.1	241.1	
포장 공정	진동체선별기	-	-	-	-	-	3.0	4.5	1.0	1.5	3.0
	흡선별기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	자동로터리포장기	-	-	-	-	-	1.0	3.0	-	-	3.0
	자동소포장기	1.0	0.8	1.0	1.0	0.2	-	-	-	-	-
	반자동포장기	1.0	0.8	-	-	0.8	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
	미싱기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	자동지대포장기	-	-	1.0	6.0	6.0	1.0	10.0	1.0	6.5	3.5
	로봇적재시스템	1.0	21.0	1.0	21.0	0.0	2.0	44.0	1.0	19.4	24.6
	전자동진공포장기	1.0	6.0	-	-	6.0	-	-	-	-	-
	이송기기 및 기타	5.0	5.7	20.0	1.2	4.5	35.0	38.5	1.0	0.8	37.7
소 계	9.0	34.3	23.0	29.2	17.5	44.0	102.0	5.0	29.2	72.8	
소 계	95.0	450.9	86.0	315.7	218.6	84.0	737.2	76.0	313.2	448.8	
집진 공정	현미부집진	-	180.7	-	95.2	85.5	9.0	207.5	-	72.8	134.7
	백미부집진	-	77.8	-	66.0	11.8	-	153.3	-	57.75	12.8
	소 계	-	258.5	-	161.2	97.3	9.0	360.8	-	130.6	230.3
기타 시설	부산물처리시설	1.0	34.7	1.0	34.4	0.3	8.0	85.4	8.0	0.0	85.4
	청소시설	1.0	74.0	1.0	74.0	0.0	-	-	2.0	15.0	15.0
	에어컴프레서	1.0	110.0	1.0	22.0	88.0	3.0	111.0	-	-	111.0
	소 계	3.0	218.7	3.0	56.4	162.3	11.0	196.4	10.0	15.0	211.4
합 계		928.1	89.0	533.3	478.2	139.0	1,035.6	91.0	357.4	733.0	

2. 광역통합 RPC 설계인자 도출

가. 분석방법

(1) 공정분석 대상사업체(2ndG RPC)

- 2007년부터 정책사업을 통해 보급하기 시작한 2ndG RPC는 현재까지 총 57개소이며, 이중 최근에 사업을 추진한 2개소를 제외한 한국식품연구원에서 현장방문을 통해 성능검사가 완료된 55개소에 대한 성능검사결과자료(한국식품연구원, 2008~2017년)를 수집하여 분석대상으로 하였으며, 2라인 이상이 설치되어 있는 경우는 각각 라인에서 측정된 자료를 그대로 사용하여 전체 분석대상은 55개 이상이며, 측정항목별로 다소 차이가 발생할 수 있음을 밝혀둠
- 수집된 자료는 엑셀(ver. 2010)을 이용하여 데이터베이스화한 후 공정분석을 수행하였으며, 이 때 각 성능검사기간 중 품종, 현미정립비율, 함수율 및 이물질혼입율 등 원료조건의 상이에 따른 성능차이에 대해서는 본 연구에서는 별도로 보정하지 않고, 한국식품연구원의 보정치를 그대로 사용하였음
- 55개소 2ndG RPC에 대한 현장성능검사 기간 중 외기온습도는 평균 15.1℃(-5.1~33.2℃) 및 52.6%(11.4~93.6%), RPC내부 온습도는 평균 15.3℃(-3.8~31.6℃) 및 53.5%(11.0~89.0%)이었으나, 현장검사기간 중 외기온습도조건에 따른 성능차이는 한국식품연구원의 성능검사 방식을 준용하여 별도 보정하지 않고 측정치를 사용하였음

표 3-1-20. 55개소 2ndG RPC 공정분석 대상 브랜드육성사업체

RPC 구분	사업시기	현장 성능검사 일시	외기온습도		RPC내부온습도	
			온도(℃)	습도(%)	온도(℃)	습도(%)
1	2007년 (8개소)	2008.8.13	24.0	72.5	24.7	70.3
2		2008.7.8	33.2	50.0	30.3	62.5
3		2008.8.18	26.6	82.5	26.8	81.5
4		2008.4.10	25.8	56.6	24.5	55.0
5		2008.8.7	32.3	57.5	31.6	61.5
6		2008.5.19	16.9	62.0	17.1	59.0
			24.8	75.0	25.1	72.0
7		2008.5.14	18.3	50.0	17.9	53.0
8	2008.4.22	28.9	58.5	27.2	63.8	
9	2008년 (8개소)	2008.12.18	3.4	46.0	11.6	45.0
10		2009.6.23	25.6	60.5	27.4	57.3
11		2009.6.18	25.7	51.0	26.0	48.0
12		2009.7.13	30.5	70.5	28.9	77.0
13		2010.1.20	4.3	88.0	5.3	88.0

14		2010.12.27	-1.1	43.0	0.8	70.0
15		2010.11.24	12.2	51.5	12.7	52.5
16		2009.7.21	29.2	62.0	27.4	72.3
17	2009년 (9개소)	2011.12.5	1.2	44.8	5.3	33.8
18		2011.3.21	3.7	30.0	9.2	23.7
19		2010.6.17	26.2	66.3	25.3	72.8
20		2011.11.14	13.7	16.0	15.3	11.8
21		2012.2.13	3.7	82.8	4.7	76.0
22		2011.4.26	11.8	79.0	13.2	72.7
23		2011.4.21	17.9	33.5	13.7	41.0
24		2010.9.8	28.1	42.0	25.3	51.0
25		2011.11.16	4.3	71.7	9.2	51.2
26	2010년 (8개소)	2012.9.25	28.6	23.8	26.0	29.0
27		2012.12.11	-4.3	14.5	6.6	14.0
28		2011.11.21	7.5	16.8	6.1	20.0
29		2012.9.20	28.4	22.9	25.5	29.3
30		2012.12.26	-4.1	41.0	-2.5	40.5
31		2012.9.4	29.8	43.5	26.0	59.8
32		2013.1.28	4.8	47.0	5.1	47.0
33	2011.3.24	14.1	27.0	13.1	26.0	
34	2011년 (5개소)	2012.10.24	15.3	50.0	15.7	51.0
35		2012.12.3	1.9	68.7	3.3	61.7
36		2012.11.19	10.0	49.0	12.5	45.0
37		2013.1.30	6.7	51.0	5.4	58.8
38		2013.12.9	5.0	79.3	4.6	73.7
39	2012년 (4개소)	2013.6.5	28.5	41.5	23.2	57.7
40		2013.12.26	4.2	61.3	4.0	69.3
41		2014.1.13	2.8	11.4	2.6	13.4
42		2014.7.9	29.4	64.3	29.0	68.0
43	2013년 (3개소)	2014.9.17	25.9	26.0	24.0	44.0
44		2014.12.9	1.3	69.0	4.3	58.0
45		2014.12.18	-5.1	21.0	-3.8	11.0
46	2014년 (2개소)	2015.10.21	19.8	77.0	16.2	84.0
47		2016.3.16	13.5	32.0	10.7	44.0
48	2015년 (4개소)	2016.12.16	6.1	52.0	6.8	46.0
49		2017.03.30	17.0	36.7	15.0	34.6
50		2016.07.12	28.1	87.0	26.1	89.0
51		2017.07.13	29.5	76.0	29.1	78.8
52	2016년 (4개소)	2017.02.06	5.9	29.7	6.8	31.8
53		2016.12.07	7.2	57.5	7.7	55.0
54		2017.08.29	28.3	78.0	28.3	76.0
55		2017.12.14	-0.9	93.6	4.6	59.1
평균			15.1	52.6	15.3	53.5
최대			33.2	93.6	31.6	89.0
최소			-5.1	11.4	-3.8	11.0
표준편차			11.8	21.3	10.2	20.4

(2) 현장성능평가 방법

- 본 연구에서 조사분석한 한국식품연구원 성능검사에 사용된 2ndG RPC에 대한 현장성능검사 방법을 요약하면 다음과 같음. 대상RPC를 현장방문을 통해 7개 주요 공정 또는 단위기계 전후에서 채취한 시료를 이용하여 정립된 성능검사방법 및 성능평가지표(농림축산식품부·한국식품연구원, 2008~2010)에 의하여 성능을 측정하였음
- 별도의 원료 벼를 준비하거나 기계장치의 이동이 없는 정상 가동상태에서 원료 벼 및 주요단위기계 통과 전후에서 각각 약 1kg 내외의 시료를 채취하고, 채취된 시료는 RPC 현장에서 분석하여 각 공정 및 단위기계 성능을 측정하였음
- RPC 품질 및 단위공정 성능은 고품질 쌀 생산 및 수율 영향이 고려되었을 뿐 아니라, 시기와 무관하게 측정 가능한 특징을 가지고 있는 성능평가지표(표 3-1-21)를 이용하여 측정된 성능검사자료를 토대로 분석하였음
- 14개 항목은 중요도에 따라 단위공정의 성능항목별로 0~1.0까지 가중치를 배분하고, 측정된 성능에 따라 0.2~1.0의 가중치를 부여하도록 하였으며 각 항목별 배분된 점수치×가중치로 계산한 후(예 : 종합정선기 이물질선별율이 57%일 경우 : 1.0점(배분)×0.6(가중치) = 0.6점(기준)), 전체 합으로 평가하여 단위공정의 성능수준을 매우우수, 우수, 기준, 미흡, 매우미흡으로 평가하였음

표 3-1-21. RPC 품질 및 단위공정 성능평가지표

번호	단위공정	성능항목	성능 가중치 (A)	성능평가 기준(성능가중치, B)					
				매우우수	우수	기준	미흡	매우미흡	
				(1.0)	(0.8)	(0.6)	(0.4)	(0.2)	
1	종합정선	이물질정선율(%)	1.0	85.0이상	70.0이상	55.0이상	35.0이상	35.0미만	
2	제현	탈부율(%)	1.0	96.0이상	94.5이상	93.0이상	90.5이상	90.5미만	
3	현미분리	현미분리기 재투입 현미비율(%)	0.5	45.0이하	55.0이하	65.0이하	70.0이하	70.0초과	
		현미기재투입 현미비율(%)	0.5	30.0이하	40.0이하	50.0이하	65.0이하	65.0초과	
4	현미석발	이물질중 현미비율(%)	1.0	10.0이하	20.0이하	30.0이하	45.0이하	45.0초과	
5	입선별	비정립선별율(%)	1.0	80.0이상	75.0이상	70.0이상	62.5이상	62.5미만	
6	현미색채 선별	비정립선별율(%)	0.75	85.0이상	70.0이상	55.0이상	35.0이상	35.0미만	
		불량품중 정품비율(%)	0.25	10.0이하	20.0이하	30.0이하	45.0이하	45.0초과	
7	정미	싸라기율(%)	0.30	2.0이하	2.5이하	3.0이하	3.7이하	3.7초과	
		정백수율(%)	0.40	90.5이상	90.0이상	89.5이상	88.5이상	88.5미만	
		최종 쌀의 도정편차(%)	0.15	1.0이하	2.0이하	3.0이하	4.5이하	4.5초과	
		최종 쌀 표면에서 상처발생(%)	0.15	15.0이하	20.0이하	25.0이하	32.5이하	32.5초과	
8	싸라기 선별	로터리쉬프터 싸라기선별율(%)	1.0	80.0이상	75.0이상	70.0이상	62.5이상	62.5미만	
		진동채선별기 싸라기선별율(%)	1.0	80.0이상	75.0이상	70.0이상	62.5이상	62.5미만	
9	백미석발	이물질중 백미비율(%)	1.0	10.0이하	20.0이하	30.0이하	45.0이하	45.0초과	
10	색채선별	불량품 선별율(%)	0.75	90.0이상	85.0이상	80.0이상	72.5이상	72.5미만	
		불량품 중 정품비율(%)	0.25	10.0이하	15.0이하	20.0이하	27.5이하	27.5초과	
11	이물선별	이물질선별율(%)	0.75	90.0이상	85.0이상	80.0이상	72.5이상	72.5미만	
		불량품 중 정품비율(%)	0.25	10.0이하	15.0이하	20.0이하	27.5이하	27.5초과	
12	완전미 선별	싸라기선별율(%)	0.65	80.0이상	70.0이상	60.0이상	45.0이상	45.0미만	
		싸라기중 정상립비율(%)	0.35	15.0이하	20.0이하	25.0이하	32.5이하	32.5초과	
13	포장부	포장기	과포율(%)	1.0	0.3이하	0.4이하	0.5이하	0.6이하	0.6초과
		로봇 적재기	Pallet 적재중 과포율(%)	1.0	0.0이하	0.05이하	0.10이하	0.15이하	0.15초과
14	집진시설	사이클론	송풍기 설계치와 측정치 차이(%)	0.4	5.0이하	7.5이하	10.0이하	15.0이하	15.0초과
			집진효율 ¹⁾ (%)	0.6	70.0이상	65.0이상	60.0이상	50.0이상	50.0미만
		백필터	송풍기 설계치와 측정치 차이(%)	0.4	5.0이하	7.5이하	10.0이하	15.0이하	15.0초과
			집진효율 ¹⁾ (%)	0.6	95.0이상	92.5이상	90.0이상	85.0이상	85.0미만

주) ¹⁾ 집진효율기준은 표 3-1-22 참조

표 3-1-22. 대기오염 방지시설의 오염물질 제거 효율

방지시설명	대기오염물질 제거효율(%)		
	먼지	황산화물	질소산화물
1. 중력 및 관성력 집진시설	50	-	-
2. 원심력 집진시설	60	-	-
3. 세정집진시설	70	30	10
4. 여과집진시설	90	-	-
5. 전기집진시설	90	-	-
6. 흡수에 의한 시설중 배연탈황시설	-	80	-
7. 흡수흡착을 이용한 배가스 처리시설	-	50	-
8. Low-NOx 버너 및 배가스 재순환시설(FGR)	-	-	20
9. 선택적 비촉매 환원시설(SNCR)	-	-	60
10. 선택적 촉매 환원시설(SCR)	-	-	70
11. 환경부장관이 인정하는 연소보조장치	40	-	-

1. 비고 : 방지시설별 대기오염물질 제거효율 적용은 실제효율을 구할 수 없는 경우에 한하여 적용함
2. 자료출처 : 배출시설의 대기오염물질 배출계수 고시 제 6조 관련 부표 4 기준적용(국립환경연구원 고시 제 2004-1(2004. 1))

(가) 품질측정방법

- ① 백도 : 백미의 착색립 및 분상질립 등 비정상립을 선별한 후 정상립만을 대상으로 백도계(CR 300-3, Kett, Japan)로 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였음
- ② 함수율(%w.b.) : 단립수분계(CTR-500EH, Shizuoka Seiki, Japan)로 3회 측정하여 평균값을 사용하였음
- ③ 동할율 : 벼의 경우 수작업으로 왕겨를 탈부한 현미를 대상으로 하였고, 현미 및 백미는 이물질을 제외한 정립을 대상으로 하여 총 250립을 동할립측정기(TX-200, Kett, Japan)로 측정하였고, 동할율을 다음 식 (3-1-1)과 같이 계산하였음

$$\text{동할율}(\%) = \frac{\text{동할립수}}{250} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-1)$$

- ④ 이물질혼입율 : 시료중 곡물이 아닌 이물질을 육안으로 선별하여 중량을 측정한 후, 이물질혼입율을 다음 식 (3-1-2)와 같이 계산하였음

$$\text{이물질혼입율}(\%) = \frac{\text{이물질중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-2)$$

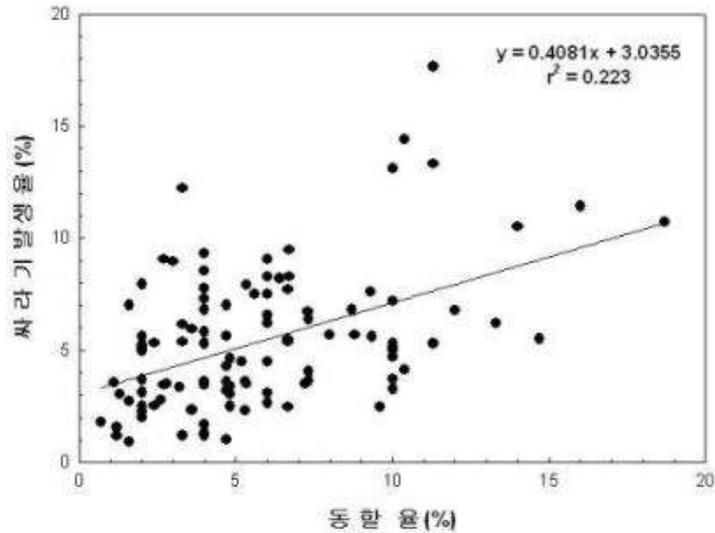


그림 3-1-6. RPC의 동할율과 싸라기발생율 관계

⑤ 현미정립비율 : 현미분리기를 통과한 원료 현미의 정립과 비정립을 구분하여 중량을 측정한 후, 다음 식 (3-1-3)과 같이 구하였으며, 다음 표 3-1-23의 RPC 평균적인 현미정립비율을 참고하여 판단 하였음

$$\text{현미정립비율}(\%) = \frac{\text{정립중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-3)$$

⑥ 백미중 불량품 비율 : 백미 중 정품과 불량품을 구분하여 중량을 측정한 후, 다음 식 (3-1-4)와 같이 계산하였음

$$\text{백미중 불량품 비율}(\%) = \frac{\text{불량품 중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-4)$$

표 3-1-23. 최근 14년간(2004~2017년) RPC 가공원료로 사용된 벼의 현미정립비율

연산	현미정립비율(%)			대상 RPC수	연산	현미정립비율(%)			대상 RPC수
	평균	최 대	최 소			평균	최 대	최 소	
2004	80.6	90.2	62.4	36	2011	87.5	92.9	82.4	10
2005	83.0	91.4	72.3	20	2012	80.3	86.4	70.0	7
2006	88.1	92.5	77.3	7	2013	86.7	76.2	95.4	17
2007	79.1	91.0	65.6	16	2014	90.9	80.8	95.7	12
2008	89.8	95.5	82.4	10	2015	89.3	77.0	97.8	6
2009	93.0	96.6	86.1	7	2016	88.9	82.5	92.2	8
2010	81.6	86.3	78.5	11	2017	84.2	67.5	93.5	10
					평균	85.9	86.2	82.3	177

(나) 단위공정성능 측정방법

- ① 종합정선기 이물질정선율 : 원료 벼와 종합정선기에서 정선된 벼에 혼입된 쭉정이, 지푸라기, 돌 등 이물질을 수작업으로 선별하고, 중량을 측정하여 식 (3-1-2)로 종합정선기 전후 이물질혼입율을 계산하고, 이물질정선율을 다음 식 (3-1-5)와 같이 계산하였음

$$\text{이물질정선율}(\%) = \left(1 - \frac{\text{정선기 통과후 이물질함량}(\%)}{\text{정선기 통과전 이물질함량}(\%)}\right) \times 100 \dots\dots\dots (3-1-5)$$

- ② 현미기 탈부율 : 현미기에서 탈부된 현미의 중량비(현미 탈부율)로 현미기 이후에서 채취한 시료를 수작업으로 벼와 현미로 분리하여 다음 식 (3-1-6)과 같이 계산하였음

$$\text{탈부율}(\%) = \frac{\text{시료중 현미중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-6)$$

- ③ 현미분리기 분리율 : 현미분리기를 통과한 후 현미분리기 및 현미기로 재투입되는 벼 또는 현미의 중량비를 측정하여 다음 식 (3-1-7)과 같이 계산하였음

$$\text{현미분리기와 현미기로 재투입되는 현미}(\%) = \frac{\text{시료중 현미중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-7)$$

- ④ 현미석발기 선별율 : 현미석발기에서 분리·배출된 불량품중 현미와 이물질(돌)의 중량을 측정하여 다음 식 (3-1-8)과 같이 계산하였음

$$\text{현미석발기 이물질 중 현미비율}(\%) = \frac{\text{시료중 현미중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-8)$$

- ⑤ 입선별기 선별율 : 입선별기를 통과하기 전과 통과한 후의 현미에 혼입된 비정립을 입선별기의 체는 크기와 동일(유사)한 체로 선별한 후, 체를 통과한 시료의 중량을 측정하여 다음 식 (3-1-9)와 같이 체를 통과한 시료의 중량비율을 구한 후, 다음 식 (3-1-10)과 같이 선별율을 계산하였음

$$\text{체를 통과한 시료의 중량비율}(\%) = \frac{\text{체통과 시료중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-9)$$

$$\text{입선별기 선별율}(\%) = \left(1 - \frac{\text{선별기후 체통과 시료중량비}(\%)}{\text{선별기전 체통과 시료중량비}(\%)}\right) \times 100 \dots\dots\dots (3-1-10)$$

- ⑥ 현미색채선별기 비정립선별율 : 색채선별기를 통과하기 전과 통과한 현미의 비정립을 수작업으로 선별하여 비정립(단, 곡물과 동일한 색깔의 기형립은 제외) 중량비율을 다음 식(3-1-11)과 같이 구한 후, 다음 식 (3-1-12)와 같이 비정립선별율을 계산하였음

$$\text{현미중 비정립 비율}(\%) = \frac{\text{비정립 중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-11)$$

$$\text{현미색채선별기 비정립선별율}(\%) = \left(1 - \frac{\text{통과후 비정립비율}(\%)}{\text{통과전 비정립비율}(\%)}\right) \times 100 \dots\dots\dots (3-1-12)$$

⑦ 현미색채선별기 불량품중 정품비율 : 현미색채선별기에서 배출된 불량품중 정립의 중량을 측정하여 다음 식 (3-1-13)과 같이 불량품중 정품비율을 계산하였음

$$\text{불량품중 정품비율} = \frac{\text{정립중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-13)$$

⑧ 정미시스템 찌라기발생율 : 백미 30g을 전자저울로 계량한 후 정립 크기의 3/4 이하의 정립 찌라기만을 육안으로 선별하여 찌라기 중량을 측정하고, 3회 반복하여 평균치를 이용하여 찌라기발생율을 구하였고, 이 때 원료 현미의 동할율이 시료의 기본조건인 3%보다 높을 경우, 다음 식 (3-1-14)로 보정된 찌라기발생율을 구하였고, 이 때 현미 동할율에 따른 보정계수는 다음 표 3-1-24를 사용하였음

$$\text{보정된 찌라기발생율}(\%) = \frac{\text{찌라기 중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \times \text{보정계수} \dots\dots\dots (3-1-14)$$

표 3-1-24. 현미 동할율에 따른 찌라기발생율의 보정계수

동할율(%)	보정계수	동할율(%)	보정계수	동할율(%)	보정계수	동할율(%)	보정계수
3.0	1.000	7.5	0.739	12.0	0.587	16.5	0.486
3.5	0.962	8.0	0.719	12.5	0.573	17.0	0.477
4.0	0.927	8.5	0.699	13.0	0.561	17.5	0.468
4.5	0.895	9.0	0.680	13.5	0.549	18.0	0.460
5.0	0.865	9.5	0.663	14.0	0.537	18.5	0.452
5.5	0.836	10.0	0.646	14.5	0.526	19.0	0.444
6.0	0.810	10.5	0.630	15.0	0.516	19.5	0.436
6.5	0.785	11.0	0.615	15.5	0.505	20.0	0.429
7.0	0.762	11.5	0.600	16.0	0.496	21.5	0.408

⑨ 정백수율 : 도정전의 정립 현미와 도정된 백미 정상립의 천립(1,000립)을 수작업으로 선별하고, 전자저울을 이용하여 중량(천립중, 千粒重)을 측정하여 다음 식 (3-1-15)와 같이 도정도(도정중에 제거된 미강의 중량비)를 구하였고, 정백수율은 다음 식 (3-1-16)과 같이 도정도를 이용하여 계산하고 단, 성능검사 기준백도인 40에 비해 백도가 0.2 증감시 정백수율을 0.1%씩 상하향 조정하였음

$$\text{도정도}(\%) = \frac{\text{현미 천립중}(g) - \text{백미 천립중}(g)}{\text{현미 천립중}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-15)$$

$$\text{정백수율}(\%) = 100 - \text{도정도}(\%) \dots\dots\dots (3-1-16)$$

⑩ 도정편차 : CBB index(Colored bran balance) 측정장치를 이용하여 비정상적인 수치를 나타내는 정

상립을 제외한 정상립 50립의 CBB index의 최대치와 최소치 차이로 하였음

$$\text{도정편차} = \text{CBB index 최대치} - \text{CBB index 최소치} \dots\dots\dots (3-1-17)$$

⑪ 쌀 표면의 상처 : 백미 정상립 25립을 부드러운 거즈로 닦아낸 후 화상측정기(예 : Zoom video microscope, INU, Korea)로 각 단립의 영상을 획득하여 한국식품연구원에서 정한 기준에 의거하여 쌀 표면에 상처가 발생한 단립수를 계수화하여 다음 식 (3-1-18)과 같이 계산하였음

$$\text{쌀 표면의 상처(\%)} = \frac{\text{상처가 발생한 백미 단립수}}{\text{측정 단립수}} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-18)$$

⑫ 체선별기(입선별기, 진동체선별기, 로터리쉬프트 등) 및 화상을 이용한 씨라기선별기의 씨라기선별율 : 선별기를 통과하기 전과 통과한 시료에 혼입된 선별물을 해당 체선별기에 부착된 체와 동일(유사) 체눈크기의 체를 사용하여 국립농산물품질관리원의 표준계측방법을 준용하여 체질하고, 다음 식 (3-1-19), (3-1-20)을 이용하여 씨라기 선별율을 계산하였음

$$\text{씨라기 중량비율(\%)} = \frac{\text{씨라기 중량}(g)}{\text{시료 중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-19)$$

$$\text{씨라기선별율(\%)} = \left(1 - \frac{\text{선별기후 씨라기 중량비율(\%)}}{\text{선별기전 씨라기 중량비율(\%)}}\right) \times 100 \dots\dots\dots (3-1-20)$$

농산물 검사검정의 표준계측 및 감정방법

- 국립농산물품질관리원 고시 제정 제 2000-7호('00. 3),
개정 제 2000-8호(2000. 7. 3)
- 수동(보조방법)
 - 1) 자세를 바로 하고 양 팔꿈치를 양 허리에 부착시켜 팔꿈치와 손과 체판을 수평으로 하고 체별한다.
 - 2) 그물체 및 삼각눈의 판체는 정면에서 보아 체눈이 정방형 및 정삼각형이 되도록 잡고 치며, 세로눈의 판체 및 줄체와 등근눈의 판체는 체눈의 방향으로 잡고 치되, 편심원(偏心圓)을 그리며 친다.
 - 3) 체별 횟수 및 시간은 20초 동안에 좌우 30회를 체별한다.

⑬ 백미석발기 선별율 : 백미석발기에서 선별·배출된 불량품중 백미와 이물질(돌)의 중량을 측정하여 다음 식 (3-1-21)과 같이 계산하였음

$$\text{백미석발기 이물질 중 백미비율(\%)} = \frac{\text{시료중 백미 중량}(g)}{\text{시료 중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-21)$$

⑭ 색채선별기 불량품 선별율 : 색채선별기를 통과하기 전과 통과한 백미의 불량품을 수작업으로 선별한 후 불량품(백미와 동일 색깔의 기형립은 제외)의 중량비를 다음 식 (3-1-22)와 같이 구하고, 원료중 불량품비율이 3%이상일 경우, 원료의 불량품비율에 따라 표 3-1-25의 보정계수를 사용한

보정된 식 (3-1-23)으로 계산하였음

$$\text{백미중 불량품 비율}(\%) = \frac{\text{불량품 중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-22)$$

$$\text{보정된 불량품선별율}(\%) = \left(1 - \frac{\text{통과후 불량품비율}(\%)}{\text{통과전 불량품비율}(\%)}\right) \times 100 \times \text{보정계수} \dots\dots\dots (3-1-23)$$

표 3-1-25. 원료의 불량품비율에 따른 불량품선별율의 보정계수

불량품 비율(%)	보정계수	불량품 비율(%)	보정계수	불량품 비율(%)	보정계수	불량품 비율(%)	보정계수
3	1.000	7	1.108	11	1.190	15	1.248
4	1.029	8	1.131	12	1.206	16	1.260
5	1.057	9	1.152	13	1.222	17	1.271
6	1.083	10	1.171	14	1.236	18	1.280

⑮ 색채선별기의 불량품중 정품비율 : 색채선별기에서 배출된 불량품 중 정상립 (단, 정상립과 동일한 색깔의 기형립은 제외)의 중량을 측정하여 불량품중 정품비율을 계산하고, 원료중 불량품비율이 3% 이상일 경우 표 3-1-26의 보정계수를 사용한 식 (3-1-24)으로 계산하였음

$$\text{불량품중 정품비율} = \frac{\text{정상립중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 / \text{보정계수} \dots\dots\dots (3-1-24)$$

표 3-1-26. 원료의 불량품비율에 따른 선별된 불량품중 정품비율의 보정계수

불량품 비율(%)	보정계수	불량품 비율(%)	보정계수	불량품 비율(%)	보정계수	불량품 비율(%)	보정계수
3	1.000	7	1.673	11	1.795	15	1.808
4	1.243	8	1.730	12	1.801	16	1.809
5	1.440	9	1.764	13	1.805	17	1.809
6	1.581	10	1.784	14	1.807	18이상	1.810

⑯ 완전미선별기 싸라기선별율 : 선별기를 통과하기 전과 통과한 백미의 싸라기를 수작업으로 선별하고 싸라기의 중량을 측정한 후, 다음 식 (3-1-25)으로 싸라기 비율을 계산하고, 식 (3-1-26)로 싸라기선별율을 계산하였음

$$\text{싸라기비율}(\%) = \frac{\text{싸라기 중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-25)$$

$$\text{싸라기선별율}(\%) = \left(1 - \frac{\text{통과후 싸라기비율}(\%)}{\text{통과전 싸라기비율}(\%)} \right) \times 100 \dots\dots\dots (3-1-26)$$

⑰ 완전미선별기 싸라기중 정상립비율 : 완전립선별기에서 배출된 싸라기중 정상립의 중량을 측정하여 다음 식 (3-1-27)로 계산

$$\text{배출된 싸라기중 정상립비율}(\%) = \frac{\text{정상립의 중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-27)$$

⑱ 미강중 잔싸라기 함량 : 집진된 미강중에 포함된 잔싸라기를 500 μ m(35mesh) standard sieve로 체질하여 미강을 제거한 후, 수작업으로 배아 등을 제거하여 잔싸라기의 중량을 측정한 다음, 식 (3-1-28)과 같이 구하고, 잔싸라기의 함량의 과다여부는 다음 표 3-1-27과 같이 79개소 RPC를 대상으로 측정한 잔싸라기 중량비율의 측정치로 판단하였음

$$\text{잔싸라기 함량}(\%) = \frac{\text{잔싸라기의 중량}(g)}{\text{시료중량}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3-1-28)$$

표 3-1-27. 79개소 RPC의 미강중 잔싸라기 중량비율 측정치

미강중 잔싸라기 중량비율(%)	개 수	79개소 평균	최 대	최 소
1.0미만	11	4.3	21.7	0.01
1.0~5.0	44			
5.0~10.0	20			
10초과	4			

⑲ 집진시스템의 송풍기의 설계치와 측정치의 차이 : 사이클론 및 백필터와 같은 집진시스템이 정상적으로 가동할 때 집진시스템 송풍기 전후의 직진관에 타공된 Φ 12mm의 측정구에서 정압, 평균 풍속 (덕트관경을 감안하여 최소 5~25지점 측정), 덕트직경 등을 측정하고, 송풍기의 설계치와 측정치의 차이는 일반적으로 송풍기의 소요동력을 나타내는 다음 식 (3-1-29)를 이용하여 측정된 $\Delta P \times V$ 값이 설계치의 $\Delta P \times V$ 값과 차이가 어느 정도인가를 계산하였음

$$P_w = \frac{\Delta P \times V}{1,000 \times \eta \times 60} \dots\dots\dots (3-1-29)$$

여기서, P_w : 송풍기의 소요동력(kW)

V : 송풍량(m^3/min), η : 송풍기의 효율(-)

㉓ 집진시스템의 집진효율 : 집진시스템의 전후의 직진관에 타공된 Φ22mm의 측정구에서 분진농도측정기(예 : Low volume sampler)로 분진농도를 측정한 후, 다음 식 (3-1-30)로 집진효율을 계산하고, 이 때 분진농도는 관련 시험 및 분석방법에 준하여 실시하였음

$$\text{집진효율(\%)} = \left(1 - \frac{\text{집진시스템 통과후 분진농도(mg/m}^3\text{)}}{\text{집진시스템 통과전 분진농도(mg/m}^3\text{)}} \right) \times 100 \dots\dots\dots (3-1-30)$$

(다) 기타 성능 측정방법

- ① 조도 : 조도는 조도계(TESTO 540, TESTO, Germany)로 단일기계 각각 5회 측정하여 평균치를 사용하였으며, 조도기준은 GAP 농산물우수관리시설기준상 220lx이상으로 하였음
- ② 소음 : 소음은 소음계(TESTO 815, TESTO, Germany)로 단일 기계 각각 5회 측정하여 평균치를 사용하였으며, 고용노동부의 고시에 의한 기준인 다음 표 3-1-28과 같이 1일 8시간 이상 가동시를 기준으로 90dB(A)이하로 하였음

표 3-1-28. 소음의 노출기준(충격소음제외)

1일 노출시간(hr)	소음강도 dB(A)	1일 노출시간(hr)	소음강도 dB(A)
8	90	1	105
4	95	1/2	110
2	100	1/4	115

주) 1. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고용노동부 고시 제2011-13호)
 2. 115dB(A)를 초과하는 소음 수준에 노출되어서는 안됨

③ 진동 : 진동계(Vibration level meter VM-53, Rion Co., LTD., Japan)를 사용하여 단일기계 앞, 뒤, 좌, 우 사방에서 측정하였으며, 진동의 일반적인 기준은 60dB(V)을 적용하여 판단하였음

나. 결과 및 고찰

(1) 단위공정의 성능분석

(가) 원료 품질

- 고품질의 쌀을 생산하기 위해서는 가공에 투입되는 원료 벼 품질이 우수하여야하나, 2ndG RPC의 원료 품질 중 함수율은 벼의 경우 15.4%(13.6~17.0%), 현미의 경우 15.6%(14.0~17.0%)로서 RPC에서의 원료 품질기준은 함수율 15.0%, 동할율 2%, 이물질혼입률 0.8%, 현미정립비율 85% 수준(한국식품연구원, 2006)을 만족하는 2ndG RPC는 56.0% 수준이었음
- 동할율은 평균 5.8%(0.0~23.2%), 이물질혼입률은 평균 0.5%(0.0~2.2%), 현미정립비율은 86.2%(65.9~96.7%) 수준으로서, 품질기준에 만족하는 2ndG RPC는 동할율(2% 이하)은 19.0%이었으며, 동할율 최소기준(5% 이하)에 만족하는 RPC는 50.0%이었으며, 이물질혼입률의 경우 품질기준(0.8% 이하)에 만족하는 RPC는 79.2%, 현미정립비율의 경우 품질기준(85% 이상)에 만족하는 RPC는 62.7% 수준이었음

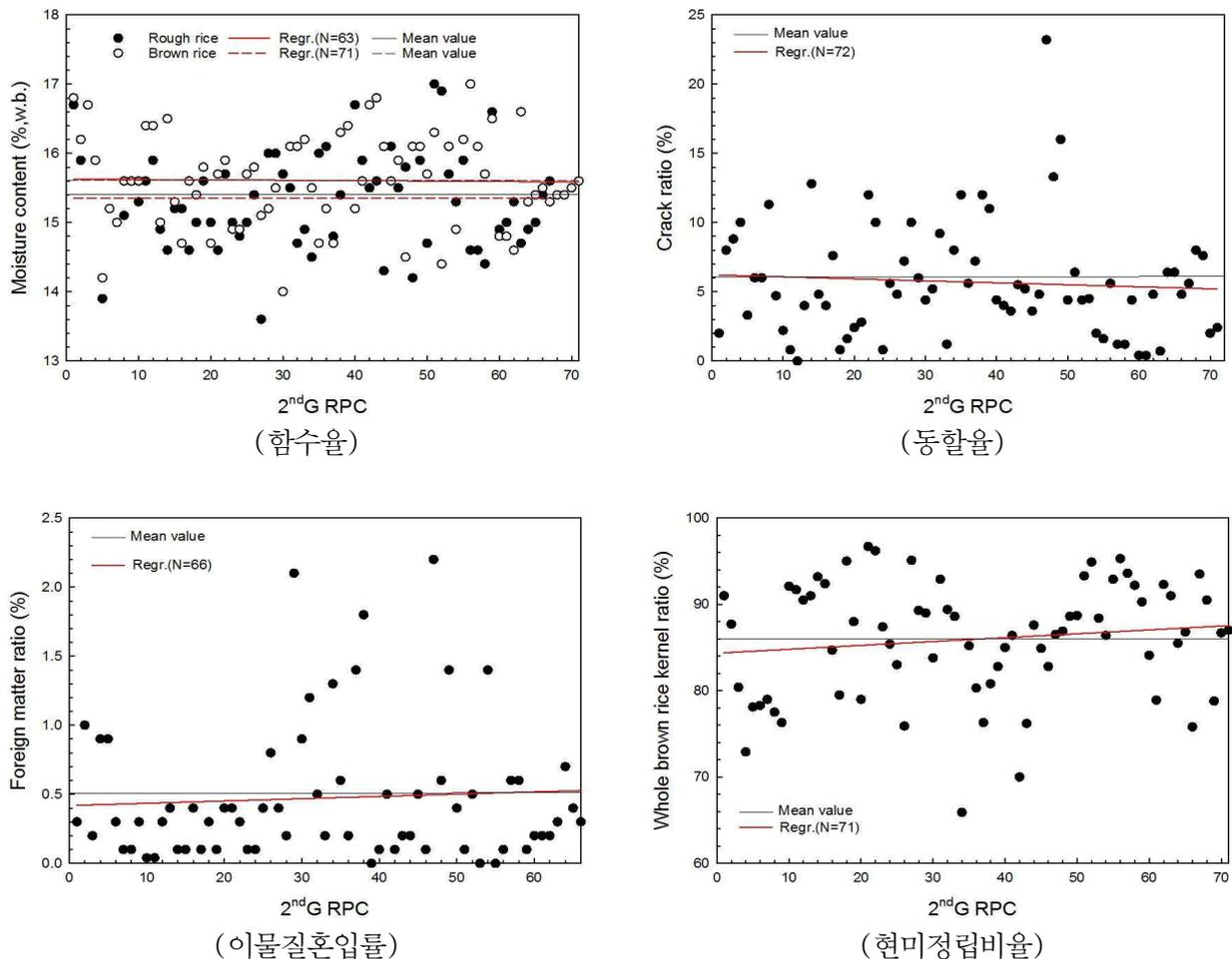


그림 3-1-7. 2ndG RPC 원료의 품질

(나) 현미부 성능

① 원료석발 공정 성능

- 원료석발기 또는 종합정선기를 이용한 원료석발 공정은 벼에 혼입되어 있는 돌, 쪽정이, 지푸라기, 이물 등을 제거하여 후속공정인 현미기나 정미기 등 가공기계에 손상을 주지 않도록 하며, 원료의 품질을 유지하고 전체 시스템의 효율을 향상시키는 공정임
- 성능측정 중 원료 벼에 돌이 혼입될 확률이 매우 낮아 이물질정선율은 2012년 이후에는 성능지표로 활용하지 않고 있는 성능인자로서, 2007년부터 2011년까지의 2ndG RPC 종합정선기의 이물질정선율은 평균 61.4%(4.5~89.4%)이었으며, 현재 종합정선기의 주요 성능지표로 활용하고 있는 정선된 이물질 중 벼정립비율은 평균 16.0%(0.0~95.6%)로서 성능은 향상되고 있지 않는 실정임
- 현재 주로 설치되고 있는 원료석발기 또는 종합정선기는 반진공식으로서 적정 기류확보가 무엇보다 중요하므로 집진시스템의 정확한 설계는 물론, 게이트가 설치된 by-pass관의 설치, 정압계를 통한 정확한 유량제어가 필요하고, 선별관 위에 이물질이 적재되지 않도록 제거방법의 강구도 중요하며, 반입단계에서의 조선기에서의 조선율을 향상하는 것과, 장기저장직전에 실시하는 재정선이 충분히 이루어지도록 공정을 구성하는 것이 필요하였으며, 최근 가공라인 첫번째 단위기계로 간이 조선기를 설치하는 것도 바람직한 방향으로 판단되었음

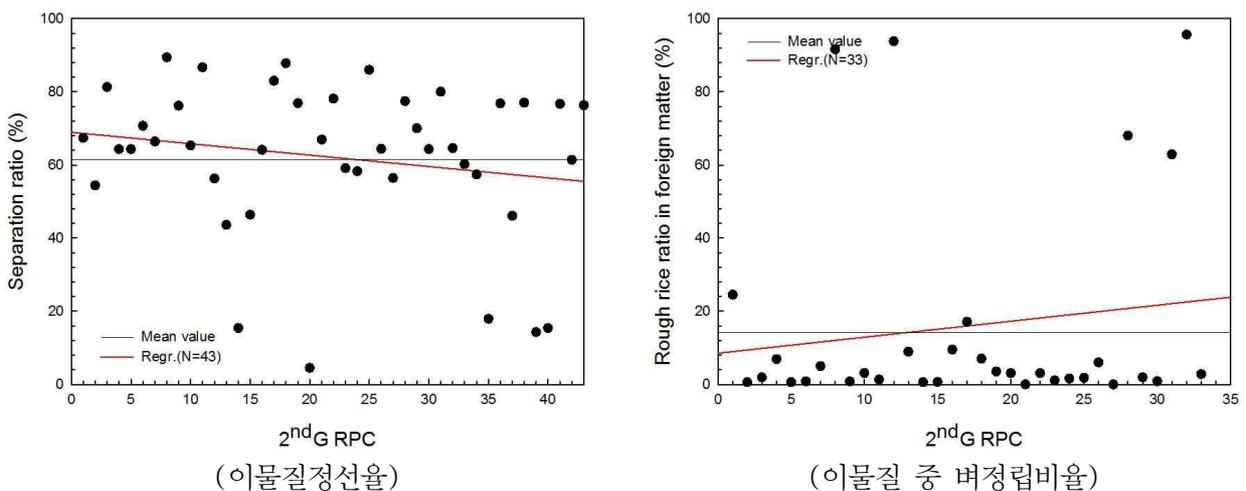


그림 3-1-8. 2ndG RPC 종합정선기 성능

② 제현 공정 성능

- 왕겨를 제거하여 현미를 생산하는 제현공정은 전자동고무롤러 현미기가 이용되고 있으며, 현미기의 주요 성능은 왕겨를 탈부시키는 비율인 탈부율으로서, 2ndG RPC 현미기의 탈부율은 평균 93.1%(73.5~99.1%) 수준으로 년도별 차이보다는 원료 함수율이나 상태에 따른 차이가 큰 것으로

분석되었음

- 탈부율은 원료벼의 함수율이 높을수록 감소하는 경향으로서 2ndG RPC 원료벼의 함수율이 매년 미세하게 증가하는 경향(그림 3-1-7)과 비례하였으며, 특히 최근에서 고무롤리에 벼를 균일하게 공급하기 위해 과거 슈트형에서 vibrating방식으로 전환되고 있으며, 식미가 우수한 함수율범위인 15%이하로 유지해야 한다는 공감대가 형성되고 있어 향후 탈부율은 보다 상승될 수 있을 것으로 판단되었음

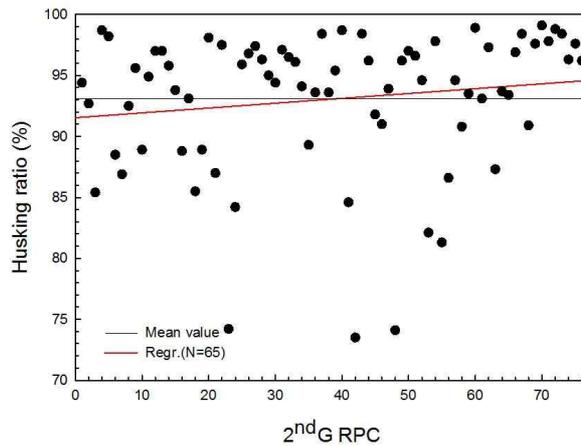
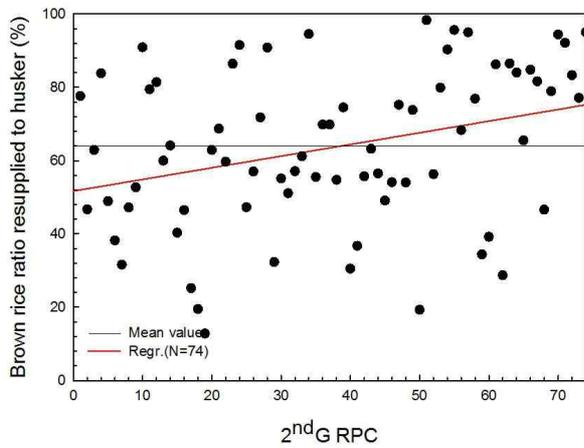


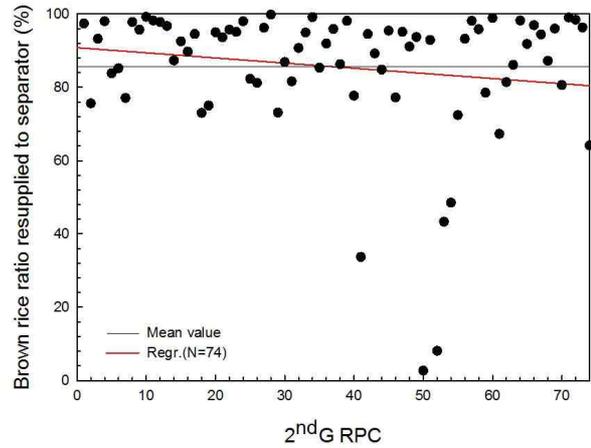
그림 3-1-9. 2ndG RPC 현미기의 성능(탈부율)

③ 현미분리 공정성능

- 현미기에서 탈부되지 않는 벼가 현미와 함께 정미공정으로 투입될 경우 도정능률이 저하되므로 탈부되지 않은 벼는 현미와 분리하는 것이 필요하며, 현미분리는 현미와 탈부되지 않은 벼를 분리하는 공정으로서 국내에서는 요동식 현미분리기가 설치 운영되고 있음
- 현미기에서 탈부되지 않은 벼는 현미분리기로 재투입되어 분리되거나 현미기로 재투입되어 제현공정을 다시 거치게 되는데, 이때 탈부되지 않은 벼에 현미가 포함될 경우 생산효율이 낮아지고, 품질저하의 원인이 될 수 있으며, 2ndG RPC 현미분리기의 현미기로 재투입되는 곡물 중 현미비율은 평균 85.6%(2.7~99.8%)로서 매우 높았으나, 현미분리기로 재투입되는 곡물 중 현미비율은 평균 63.6%(12.8~98.3%)로 매년 감소하는 경향이었음
- 현미기로 재투입되는 벼에 현미비율이 높을 경우 현미기에 다회 통과하게 되어, 동할 및 싸라기 증가 등 품질저하가 발생하게 되므로 가능한 현미기로 재투입되는 현미비율이 낮아야 하나, 벼와 현미가 동일방향으로 이동하면서 선별되는 요동식 현미분리기의 구조상 한계가 있으므로 분리판 최적 각도를 유지하고, 분리판에서 선별되는 공간을 조정하는 등 보완이 필요하였음



(현미기로 재투입되는 현미비율)



(현미분리기로 재투입되는 현미비율)

그림 3-1-10. 2ndG RPC 현미분리기 성능

④ 현미석발 공정성능

- 현미석발 공정은 현미에 혼입되어 있는 돌과 모래 등 이물질을 정선하는 공정으로서 현미석발기가 이용되고 있으며, 주요 성능인자는 이물질선별율과 정선된 이물질 중 현미비율이나, 일반적으로 현미에 포함되어 있는 돌과 모래 등의 이물질 중량비가 매우 적고, 경험적으로 이물질 중 현미비율이 낮을 경우 이물질선별율도 높기 때문에 주로 이물질 중 현미비율이 주요 성능인자로 측정되고 있음
- 2ndG RPC 현미석발기의 이물질 중 현미비율은 43.8%(0.0~99.4%)이었으며, RPC 별로 편차가 매우 컸으나, 매년 이물질 중 현미비율은 크게 감소하고 있어 전반적으로 성능이 현저히 향상되고 있다는 것을 알 수 있었음

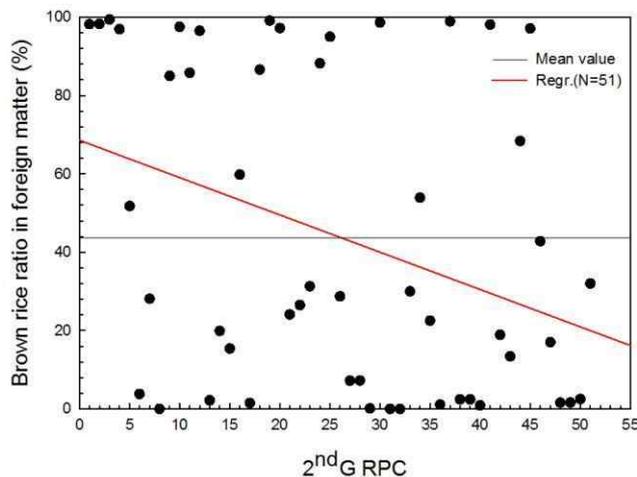


그림 3-1-11. 2ndG RPC 현미석발기 성능(이물질 중 현미비율)

⑤ 입선별 공정성능

- 현미 비정상립 강도는 5.87~7.09kg_f으로서 현미 정상립의 8.48kg_f(김 등, 2007)에 비해 낮아 도정과 정에서 싸라기가 될 가능성이 높으며, 싸라기가 발생하는 동안 정백실의 일정압력 유지가 어려워 동일 도정도로 도정할 경우 도정시간 증대하거나, 도정압력을 증가할 경우 곡온상승 및 소요동력이 증가하는 등 도정능률이 저하되므로 도정전 현미 중 비정립을 1차 선별하는 입선별 공정은 쌀의 품질유지뿐만 아니라 공정효율성을 높이기 위한 중요한 공정임
- 입선별 공정은 현미에 혼입되어 있는 사미 등 비정상립을 제거하는 공정으로서 입선별기가 사용되는데, 2ndG RPC 입선별기의 선별율은 그림에서와 같이 58.3%(2.6~98.3%) 수준이었으며, 매년 크게 증가하여 입선별기 성능이 향상되고 있음을 알 수 있었음
- 입선별기는 주로 크기를 선별인자로 사용하는 단위기계로서, 현미의 종류, 결실율, 현미의 사용용도에 따라 선별체의 크기가 결정되는 것이 필요하고, 효율적인 운영을 위해 체의 크기가 다른 입선별기를 2단으로 설치하여 운영목적에 따라 1대는 by-pass해서 사용하는 방안의 강구와 함께, 입선별기만으로는 모든 비정립의 선별이 불가능하므로 현미색채선별기를 설치하는 방안의 강구가 필요하였음

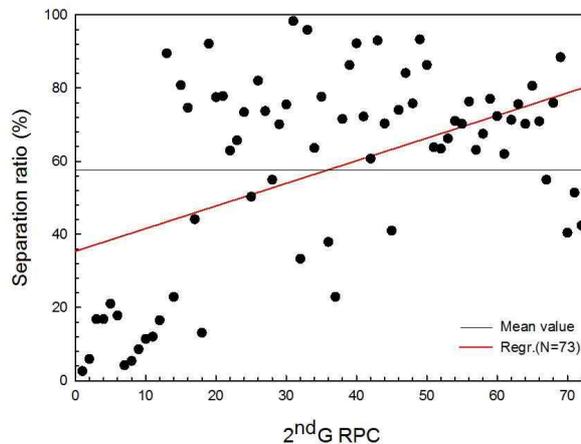


그림 3-1-12. 2ndG RPC 입선별기 성능(선별율)

⑥ 현미색채선별 공정성능

- 현미색채선별 공정은 입선별기에서 제거되지 않는 정립과 두께가 비슷한 비정립을 선별하기 위한 공정으로서 색채선별기가 단위기계로 사용되고 있으며, 비정상립 선별율과, 선별되는 비정상립(이물질)에 포함되어 있는 현미 정상립비율이 주요한 성능인자로서, 2ndG RPC 현미색채선별기의 비정립 선별율은 평균 43.3%(3.4~84.7%), 비정립에 포함되어 있는 현미비율은 평균 19.7%(0.0~80.8%) 수준이었음
- 비정립에 포함되어 있는 현미비율은 매년 비슷한 수준이나, 선별율은 지속적으로 증가하는 경향으로

서 현미색채선별기의 운영기술 및/또는 성능이 매년 향상되고 있었으나, 대상 RPC에서 원료로 사용 중인 현미 중 현미정립비율은 평균 86.0%(그림 3-1-7)로서 백미의 비정상립비율에 비해 현미비정립 비율이 높고, 현미 중에 혼입된 비정립 등 선별대상물의 선별이 백미에 비해 어려우므로 동일 처리능력의 색채선별기를 현미와 백미에 적용할 때 현미를 대상으로 하는 경우가 처리능력이 떨어지므로 현미색채선별기는 백미색채선별기보다 최소 10% 이상 선별채널수를 증대할 필요가 있었음

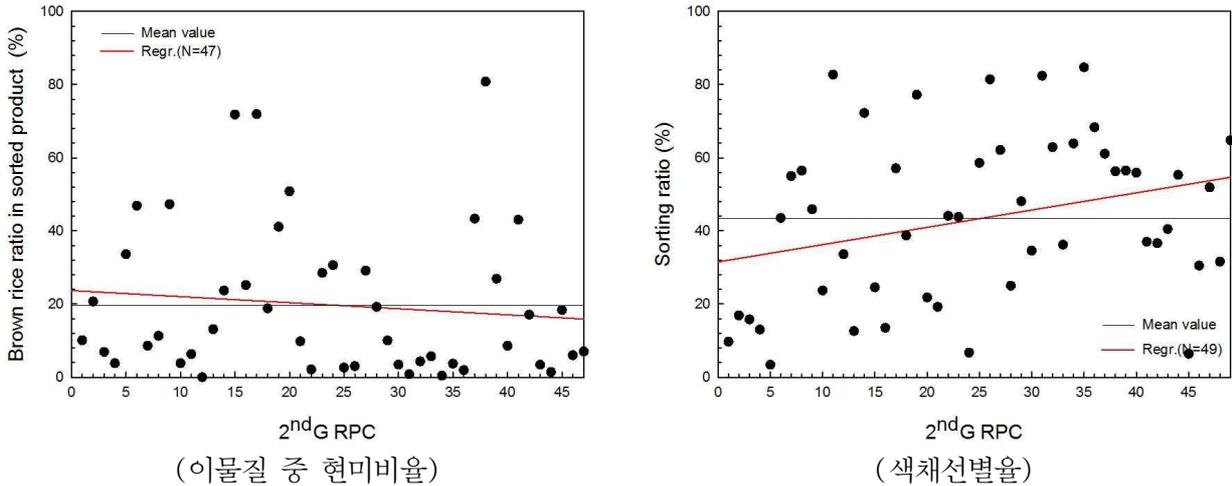


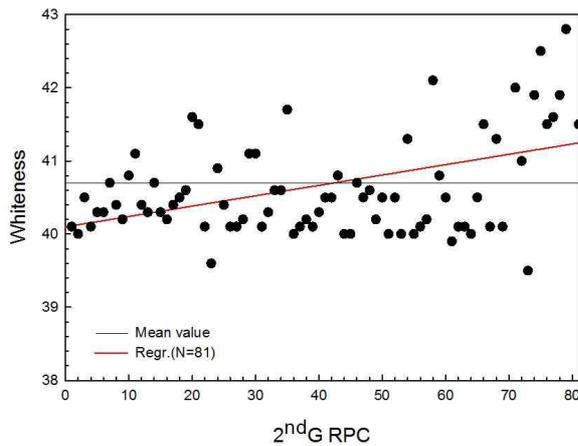
그림 3-1-13. 2ndG RPC 현미색채선별기 성능

(다) 백미부 성능

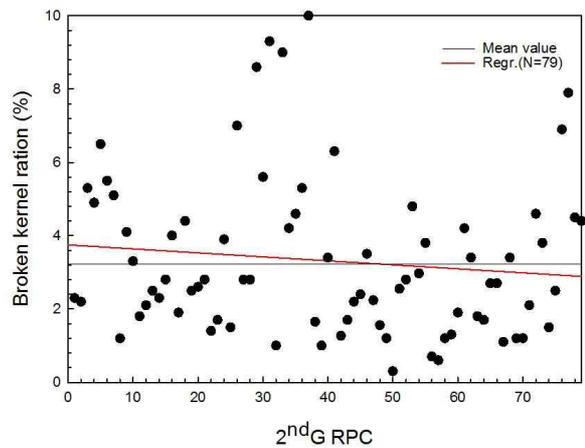
① 정미 공정성능

- 현미의 미강층을 제거하여 백미를 생산하는 공정으로 이에 사용되는 단위기계가 정미시스템으로서, 절삭력을 주로 이용한 연삭식정미기와 마찰력을 이용한 마찰식정미기로 구분할 수 있으며, 2ndG RPC에는 연삭식과 마찰식이 조합된 정미시스템이 사용되고 있음
- 정미기 성능은 수율 및 식미에 영향을 주는 인자인 백도, 찌라기발생율, 정백수율, 도정편차 및 표면 상처 등으로 평가하며, 미강이 제거된 정도를 나타내는 지표일뿐 아니라 품질과 식미에도 큰 영향이 있는 인자인 백도기준은 40(김 등, 2005)으로서 농협중앙회에서 이를 농협RPC기준으로도 적용하고 있는데, 2ndG RPC 백도는 평균 40.7(39.5~43.8)로 RPC별 편차는 ±0.49 수준으로 기준보다는 다소 높았으며, 평균적으로 백도 1증가시 수율이 0.5%정도 감소(김 등, 2005)하므로 과도정에 의해 0.25%정도 수율이 감소하는 것을 알 수 있었음
- 찌라기발생율은 곡온, 함수율, 동할율 및 비정립비율이 높아 곡물의 강도가 낮을수록 증가하는데, 2ndG RPC의 정미공정에서 찌라기발생율은 평균 3.3%(0.3~10.0%)이었고, 찌라기발생율 5%이하가 82.1%를 차지하였음

- 정백수율은 현미중량대비 백미생산량비율로서 현미중량대비 미강이 제거되는 정도를 나타내는 도정도와 반대되는 개념으로서, 정백수율은 과도정, 가공 중 함수율의 과다증발, 도정편차 및 표면상처 발생 등이 주요원인으로서 일반적인 기준은 백도 40일 경우 90.5%이나, 2ndG RPC의 정미기 정백수율은 평균 90.1%(84.4~92.9%)으로서 기준보다 다소 낮은 값을 나타내었으며, 주요 원인은 평균 백도 40.5로 일부 과도정이 발생하였기 때문으로 판단되었음
- 도정편차는 쌀 단립표면에 잔존하는 미강비율(CBB index)의 차이로서 도정편차가 클 경우 불균일한 도정이 발생된 것으로 판단할 수 있는데, 특히, 연삭기를 통과할 때 과도한 도정편차가 발생할 경우 전체적인 정백수율이 현저하게 저하(김 등, 2005)하게 되는데, 그림에서는 2ndG RPC의 정미기를 통과한 쌀의 도정편차로서 평균 2.9%(0.0~15.2%)이었으며, 백미 표면상처는 평균 26.1%(0.0~92.0%) 수준이었음
- 정미시스템은 RPC의 핵심 단위기계로서 제조회사에 따라 입형 및 횡형, 연삭 및 마찰식정미기 대수차이 등 다양한 형식이 보급되고 있고, 설치형태에 따라 서로 다른 운영방법이 요구되고 있으나, 백도 40과 정백수율 90.5%를 유지하기 위해서는 백도계 및 함수율측정기의 설치 및 매시간 측정, 정미시스템 각단에서의 적정 송풍량유지를 위한 정압계 설치 및 점검, by-pass설치, 고온의 미강의 부착으로 인한 송풍량변화를 차단하기 위한 단열 및 테프론 코팅된 사이클론위주의 집진시스템 등의 중요성이 증가하고 있음



(백도)



(짜라기발생율)

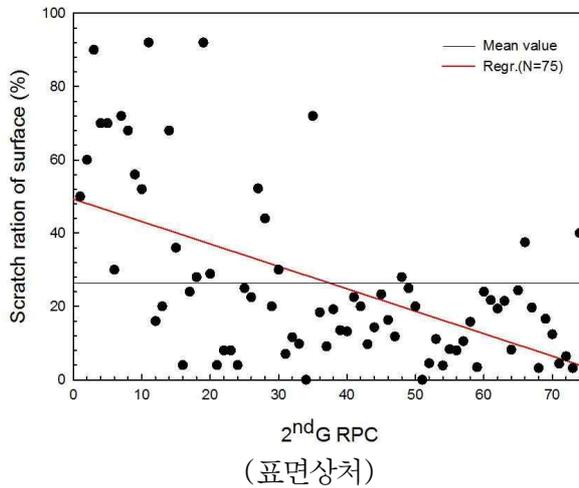
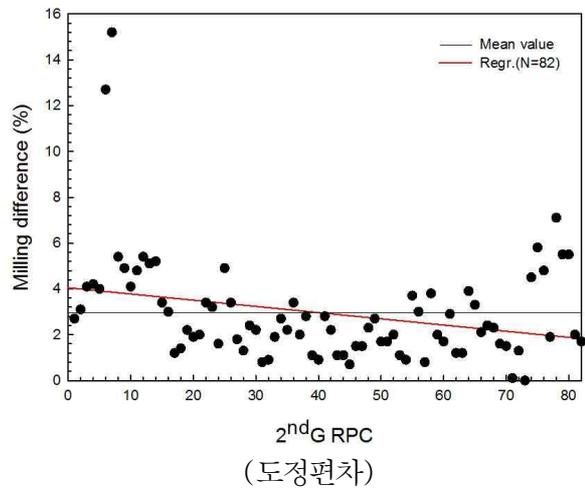
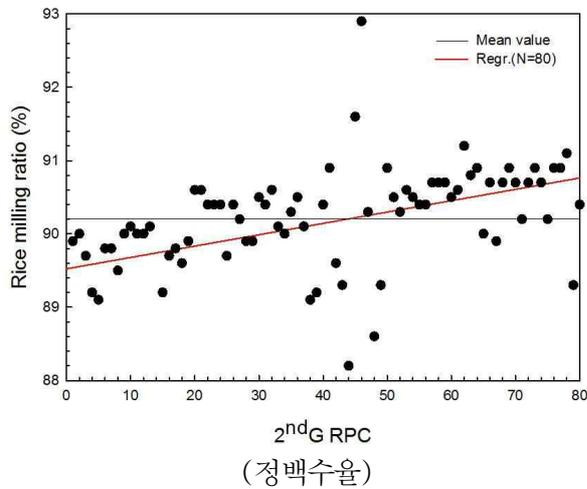


그림 3-1-14. 2ndG RPC 정미기 성능

② 연미 공정성능

- 연미 공정은 정미기에서 생산되는 백미의 표면에 잔류하고 있는 미강을 제거하여 유통성을 향상시키기 위한 공정으로서, 일반적으로 마찰식정미기의 압력을 최소화하여 도정배분을 낮추고 이에 미세한 수분을 첨가하는 습식연미기가 주로 사용되고 있으나, 가수로 인한 식미저하, 유통 중 지방산가 증가로 인한 유통성저하의 문제로 가수하지 않는 건식연미기의 사용이 증가하였으나, 건식은 연미 중 곡온상승으로 하절기 동할증가, 수분증발 등의 이유로 습식연미기에서 가수량을 가공되는 쌀의 함수율과, 유통되는 계절에 따라 총 중량의 0.1~0.5%범위에서 가수량을 조절하는 방법이 주로 활용되고 있음
- 2ndG RPC의 연미기 찌라기발생율은 평균 0.6%(0.0~5.3%) 수준이었으며, 매년 찌라기발생율은 감소하는 경향을 나타내었으나, 정미시스템과 별도로 분리해서 판단하기는 어려운 상태로서 정미시스템의 마지막 단으로 포함하여 전체적인 측면에서의 도정배분에 대해 검토할 필요가 있었음

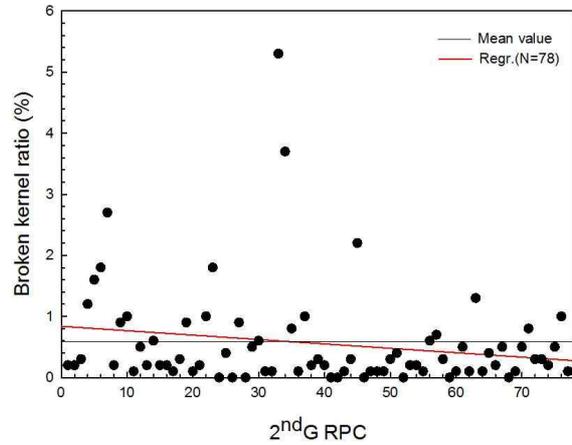


그림 3-1-15. 2ndG RPC 연미기 성능(싸라기발생율)

③ 싸라기선별 공정성능

- 정미공정에서 주로 발생한 싸라기를 선별하는 싸라기선별 공정에는 로터리쉬프트(rotary sifter) 및 진동체선별기가 주로 사용되고 있으며, 로터리쉬프트는 6~8단으로 구성된 선별체의 선회운동으로 싸라기를 선별하는 기계로서 선별원리 및 구조상 1/2이상의 큰싸라기 선별이 어렵고, 청소도 어려워, 2013년 이후로는 진동체선별기의 보급률이 높아지고 있음
- 2ndG RPC에 설치된 진동체선별기의 싸라기선별율은 평균 59.0%(5.0~100.0%)로서 로터리쉬프트의 싸라기선별율인 평균 46.7%(2.5~99.8%)보다 높게 나타났으며, RPC별로는 로터리쉬프트의 싸라기선별율은 매우 큰 차이가 있었으나, 진동체선별기는 비교적 안정적으로 매년 증가하는 경향을 나타내었음
- 로터리쉬프트는 싸라기의 크기별 선별에서는 다소 유리하지만 청소가 어렵고, 특유의 회전으로 인해 쥐 침입이 용이하는 등 안전성의 문제와, 낮은 싸라기선별율로 인해 향후 지속적인 보급의 필요성에 대해서는 검토가 필요함

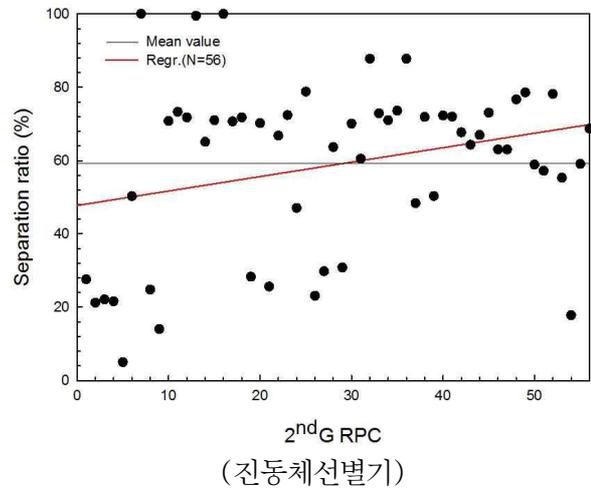
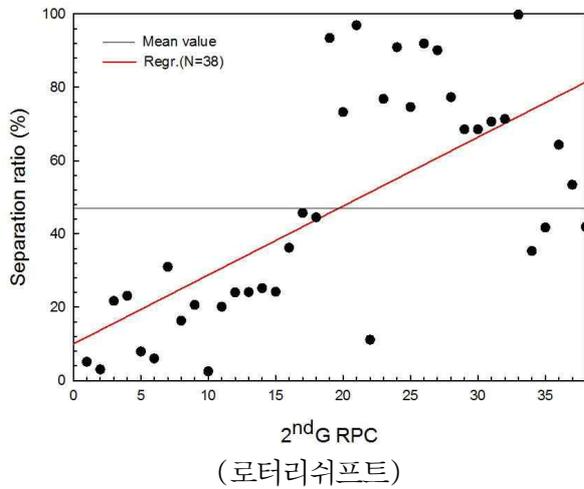


그림 3-1-16. 2ndG RPC 싸라기선별기 성능(싸라기율)

④ 백미석발 공정성능

- 백미석발 공정은 백미속에 포함되어 있는 돌과 모래 등 이물질을 정선하는 공정으로서 백미석발기가 이용되고 있으나, 원료벼 및 현미공정에 설치되는 원료석발기(종합석발기) 및 현미석발기에서 2단계에 걸쳐 석발이 이루어질 뿐 아니라 백미석발기에서의 미강덩어리 등의 오염방지를 위해 반품처리용 이외에 사용하지 않는 경우도 많았음
- 백미석발기의 주요 성능인자는 정선율과 정선된 이물질 중 백미비율이지만 일반적으로 백미에 포함되어 있는 돌과 모래 등의 이물질 중량비가 매우 적어 주로 이물질 중 백미비율이 주요 성능인자로 측정하고 있는데, 2ndG RPC 백미석발기의 이물질 중 백미비율은 49.2%(5.0~99.4%)이었으며, RPC 별로 편차가 매우 크게 나타나고 있었음

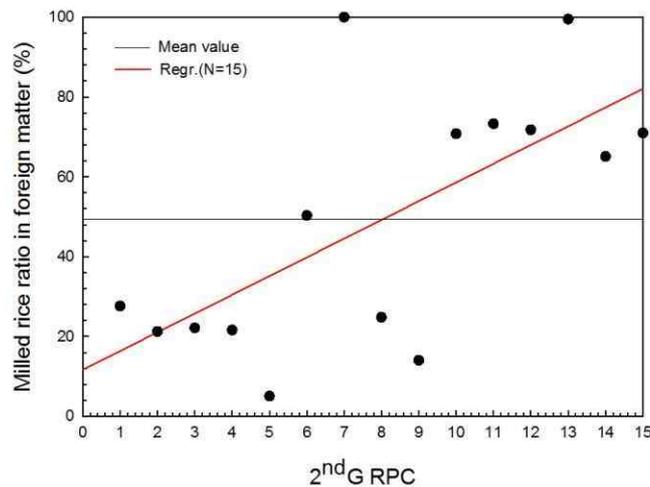


그림 3-1-17. 2ndG RPC 백미석발기 성능(이물질 중 백미비율)

⑤ 색채선별 공정성능

- 백미에 포함되어 있는 분상질립, 착색립 등 불량립을 선별하는 색채선별 공정은 가시광선범위에서 빛의 반사광을 이용하여 photo diode 및 CCD카메라 등의 수광센서로 반사광량을 측정하여 공압배출기(ejector)로 선별하는 색채선별기가 사용되는데, 최근에는 NR센서, 칼라 CCD카메라를 사용하는 경우가 증가하고 있으며, 과거 채널방식에서 면선별방식으로 빠르게 변화하고 있음
- 색채선별기의 주요 성능은 불량립 선별율과, 선별되는 불량립에 포함되어 있는 백미 정상립비율로서, 2ndG RPC 색채선별기의 불량립 중 백미비율은 평균 13.6%(0.5~96.2%), 선별율은 평균 53.3%(1.7~97.7%)이었음
- 그림에서와 같이 연차별로 불량립 중 백미비율은 매년 감소하는 경향이었고, 색채선별율은 RPC별로 비교적 차이가 크게 나타났지만 매년 크게 증가하는 경향으로서 색채선별기의 성능과 운영방법이 매년 개선되고 있음을 알 수 있었음

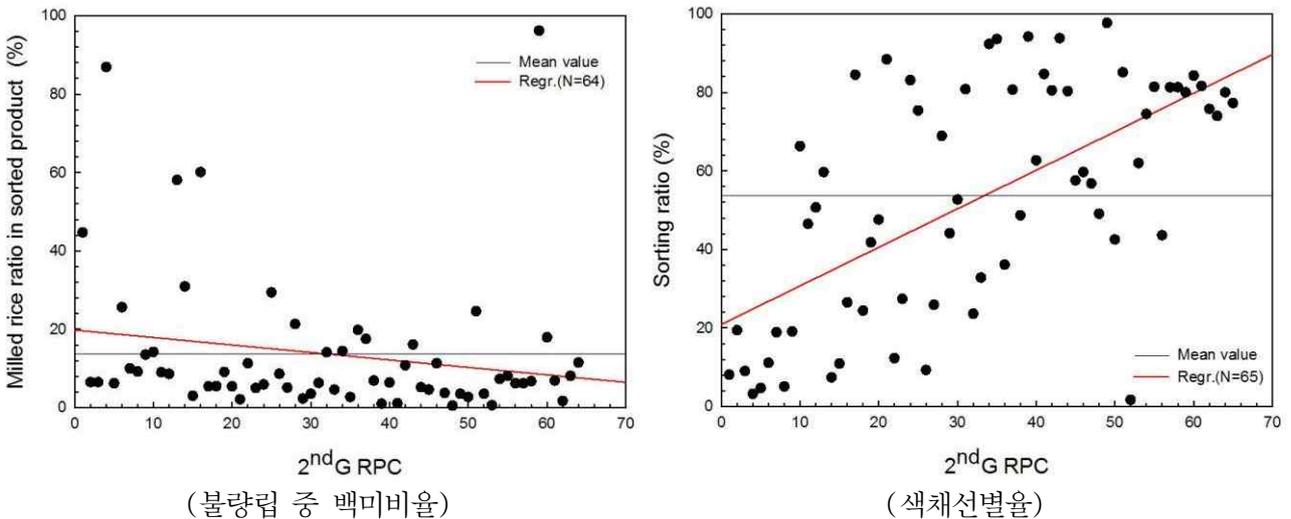


그림 3-1-18. 2ndG RPC 백미색채선별기 성능

⑥ 이물선별 공정성능

- 이물선별 공정은 쌀과 플라스틱 및 유리 등 이물질의 함수율차이를 이용하여 선별하는 장치로서, 대상물질의 성분에 따른 빛의 반사특성을 이용해야 하므로 NIR 파장대의 광원과 NIR센서를 장착한 색채선별기를 사용하고 있으며, 2ndG RPC 모두에서 설치하고 있는 필수 공정으로서, 이물질의 선별은 물론 색채선별기와 동일하게 불량립 선별기능도 동시에 수행하고 있음
- 백미공정을 통과하는 백미에 플라스틱과 유리와 같은 이물질이 혼입될 가능성은 많이 낮아, 별도로 조제된 이물질을 혼입하여 선별한 이물질선별율과, 백미공정에 포함된 이물선별기의 불량립 선별율과 선별되는 불량립에 포함되어 있는 백미비율 등을 종합하여 판단하는데, 2ndG RPC 이물선별기의 불량

립 선별율은 41.8%(0.3~100.0%), 불량립 중 백미비율은 17.2%(0.0~99.5%) 수준이었음

- 이물선별기는 색채선별기와 마찬가지로 그림에서와 같이 이물질 중 백미비율은 매년 감소하는 경향이었고, 이물질선별율은 RPC별로 비교적 차이가 크게 나타났지만 매년 크게 증가하는 경향으로서 이물선별기의 성능과 운영방법이 매년 개선되고 있음을 알 수 있었음

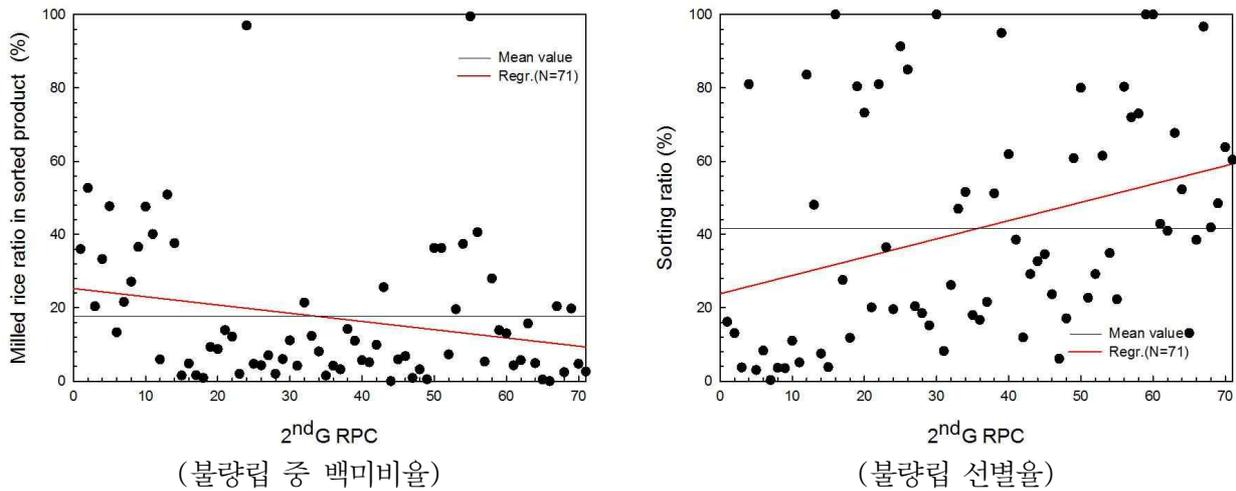


그림 3-1-19. 2ndG RPC 이물선별기 성능

(라) 포장부 성능

- 백미를 제품으로 유통하기 위해 포장하는 공정으로서 다양한 포장기계가 보급되고 있으며, 2ndG RPC에는 주로 전자동지대포장기, 반자동포장기, 로터리포장기 및 톤백계량기 등의 다양한 포장기가 설치되어 있으며, 포장된 제품은 로봇적재기로 pallet에 적재된 후 랩핑(wrapping)기로 마무리한 다음 출하되는 형태가 대부분이나, 최근 소포장 출하를 위한 박스적재기, 대중국 수출이후 급격하게 관심이 증가되고 있는 진공포장기를 설치하는 RPC도 있었음
- 1인당 쌀 소비량의 감소 및 1인가구의 증가 등으로 현재 주력으로 유통되고 있는 10~20kg 포장단위가 적절한지에 대한 논란도 많은 상태이며, 일부 투기성이 있는 지대 포장기의 PE로의 전환에 대한 논의도 많은 상태로서, 포장지의 형태, 포장단위 및 포장기종류 등은 향후 유통회사는 물론 RPC에서도 가장 논란이 많은 부분 중 하나가 될 것으로 예견되고 있음
- 포장부의 포장기와 로봇적재부에서의 성능은 계량의 정확성과, 포장되는 제품의 파포율로서, 이 중에서 중량은 유통 중 감모를 대비하여 표시중량에 비해 가중하기 때문에 크게 문제되지 않아 파포율을 주요 성능인자로 측정하고 있는데, 2ndG RPC 포장기의 파포율은 평균 0.7%(0.0~7.0%), 로봇적재기의 파포율은 0.0% 수준이었으며, 포장기의 파포율은 RPC 별로 차이가 다소 크지만 매년 개선되고 있음을 알 수 있었고, 로봇적재기는 파포율이 발생하고 있지 않았음

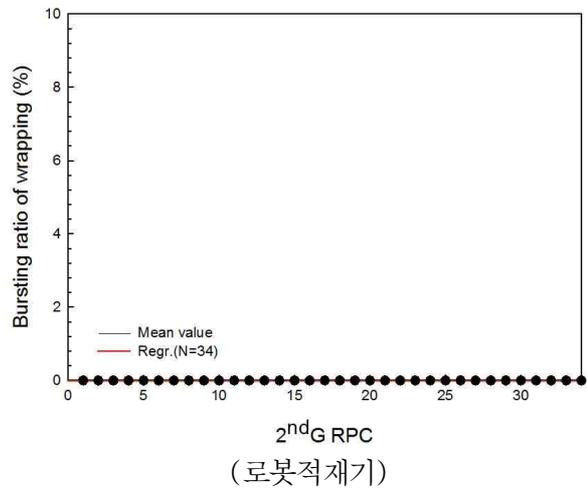
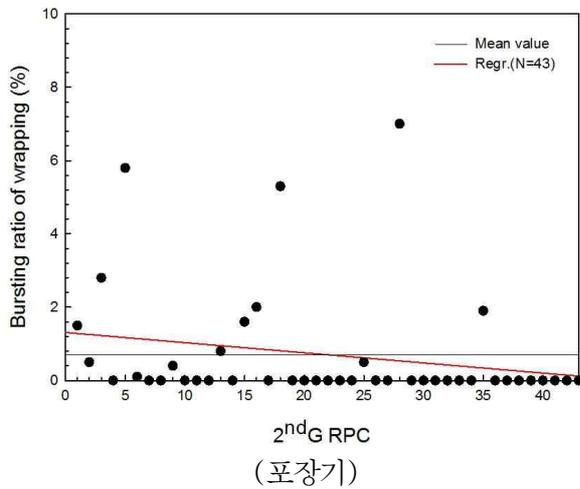
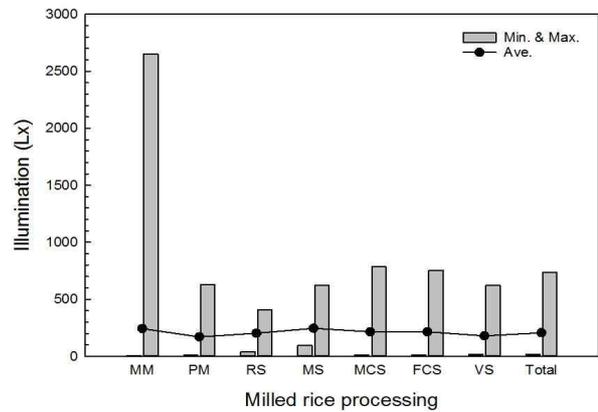
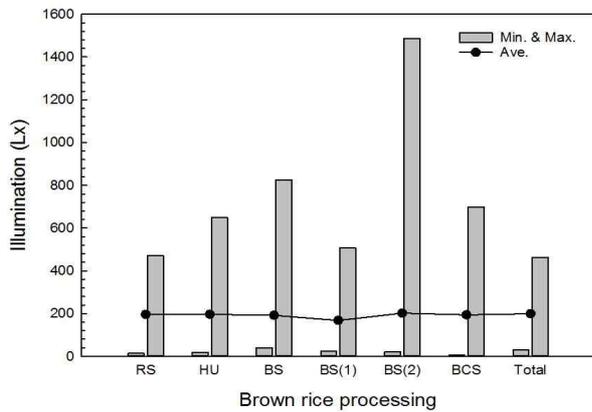


그림 3-1-20. 2ndG RPC 포장기의 성능(파포율)

(2) 단위공정의 환경분석

(가) 조도

- 조도는 어떤 면에 투사되는 광속을 면의 면적으로 나눈 것으로 해당 장소의 밝기를 나타내는데 GAP 시설기준을 적용하여 RPC도 220lx를 기준으로 하고 있는데, 2ndG RPC 평균 조도는 현미공정은 199.5lx(29.8~550.6lx), 백미공정은 206.7lx(16.8~738.4lx)로서 GAP시설기준보다는 다소 낮았으나, 통상 육안으로 곡물을 확인하는 정미기, 색채선별기 등 중요 단위공정에는 집중조명을 설치하고 있음
- 현미공정의 경우 구조물의 2층에 설치되는 현미기, 현미분리, 색채선별 공정에서 조도가 높게 나타났고, 주로 구조물의 3층에 설치되는 현미석발, 입선별 공정에서 조도는 상대적으로 낮게 나타났으며, 백미공정은 육안으로 곡립의 상태확인이 필요한 정미기, 색채선별, 이물선별 공정에서 조도가 높았으며, 로터리쉬프트, 백미석발 공정의 조도는 낮게 나타났음

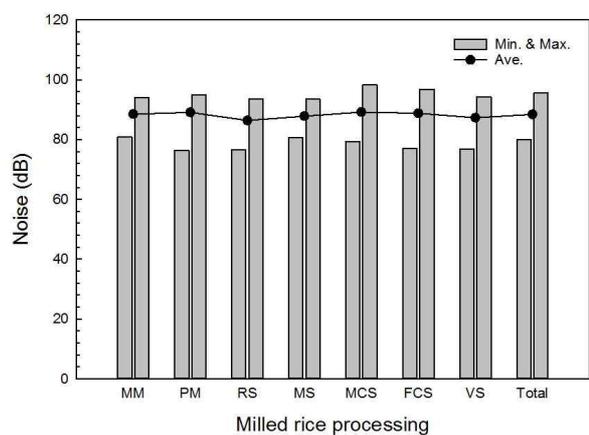
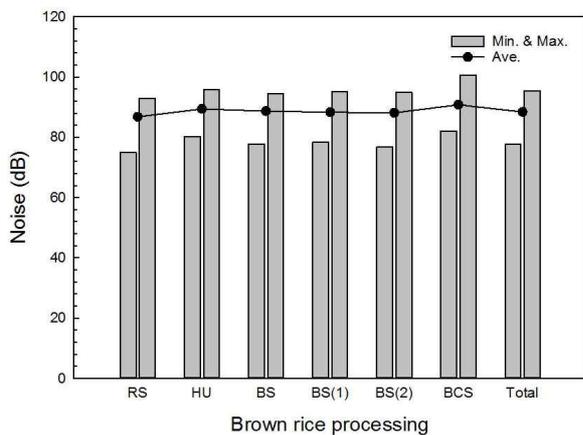


RS : 원료정선, HU : 현미, BS : 현미분리, BS(1) : 현미석발, BS(2) : 입선별, BCS : 현미색채, MM : 정미, PM : 연미, RS : 로터리쉬프트, MS : 백미석발, MCS : 색채선별, FCS : 이물선별, VS : 진동선별

그림 3-1-21. 2ndG RPC 공정 별 조도 분포

(나) 소음

- 공기의 진동을 통하여 전달되는 파동이 귀에 있는 고막을 자극하는 방식으로 작업자는 소음을 느끼게 되며, 기본적으로 오랜 시간 동안 큰 소음에 노출되면 청각 장애가 발생할 수 있으며, 과도하게 발생하는 소음은 RPC로의 민원발생의 원인이 될 수 있음
- 2ndG RPC 가공실 내부의 평균 소음은 현미공정은 88.4dB(77.8~95.4dB), 백미공정은 88.4dB(80.1~95.5dB)으로서, 고용노동부의 고시에 의해 1일 8시간 이상 가동시 90dB(A)이하인 소음기준보다는 낮았으나, 일부 RPC의 경우 기준보다 다소 높게 나타나는 경우도 있었음

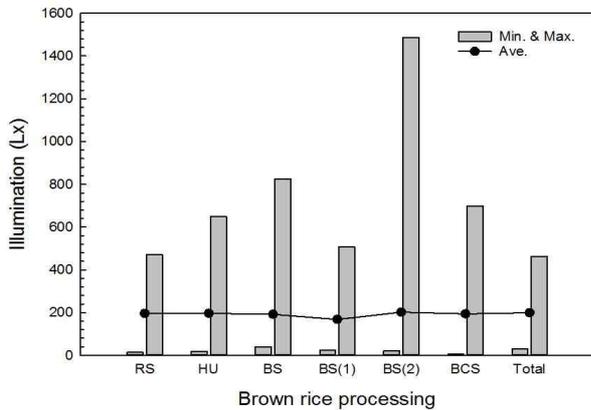


RS : 원료정선, HU : 현미, BS : 현미분리, BS(1) : 현미석발, BS(2) : 입선별, BCS : 현미색채, MM : 정미, PM : 연미, RS : 로터리쉬프트, MS : 백미석발, MCS : 색채선별, FCS : 이물선별, VS : 진동선별

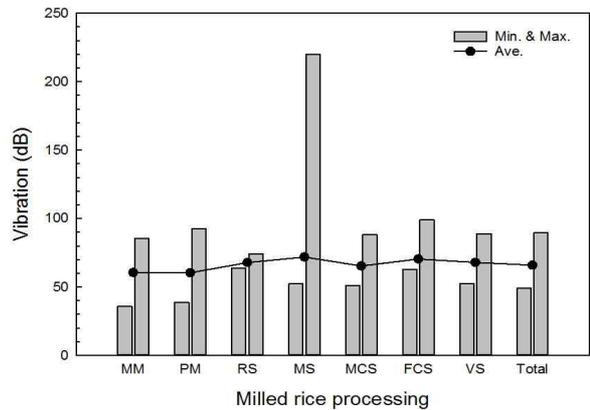
그림 3-1-22. 2ndG RPC 공정 별 소음 분포

(다) 진동

- 진동은 속도, 온도, 압력 등의 값이 시간과 함께 기준치보다 커지거나 작아지는 현상으로서, 진동의 일반적인 기준은 60dB(V)이나, 2ndG RPC 평균 진동은 현미공정의 경우 69.9dB(57.4~80.4dB), 백미공정은 65.9dB(49.3~89.5dB)로 대부분의 공정이 진동기준보다 높게 나타났음
- RPC의 단위기계는 구조적으로 vibrator를 사용하는 진동체선별기를 포함하여 대부분의 단위기계가 모터에 의한 회전작용을 갖고 있는 상태에서 불균일한 곡립을 가공 및 선별하므로 진동의 발생이 많은 편으로서, 단위기계 설치시 방진패드 부착, flexible joint에 의한 진동전파방지, 단위기계자체의 balance유지 등의 방안이 강구되고 있으나, 이를 생략하여 공진까지 발생하여 연류계 등 주요 단위기계의 오작동, 구조물 및 벽체까지 진동이 전파되어 안전성 문제가 되는 경우도 보고되고 있음
- 따라서 진동부분의 문제는 설계와 시공의 문제로서 진동이 심한 단위기계는 별도좌대를 설치하여야 하며, 진동이 있는 단위기계는 모두 방진패드, flexible joint 등의 설치에 필요한 정밀설계와 시공이 필요하였음



(현미공정)



(백미공정)

RS : 원료정선, HU : 현미, BS : 현미분리, BS(1) : 현미석발, BS(2) : 입선별, BCS : 현미색채, MM : 정미, PM : 연미, RS : 로터리쉬프트, MS : 백미석발, MCS : 색채선별, FCS : 이물선별, VS : 진동선별

그림 3-1-23. 2ndG RPC 공정 별 진동 분포

(3) 공정별 품질변화

(가) 공정 체계

- 2001년까지 보급된 1stG RPC(328개소)는 안전한 고품질 쌀 생산이라는 개념이 없는 상태에서 처리 능력위주로 공정이 구성되었으며, 성능에 대한 객관적인 평가체계가 없는 상태로서 RPC별로 비교적 다양한 형태의 단위기계가 보급되었으나, 2ndG RPC는 1stG RPC에 비해 규모화가 이루어졌고, 정부의 고품질쌀 생산정책과 함께 안전성확보, 운영관리의 편리성도모 및 품질위주의 공정으로 구성된 것이 가장 큰 특징이라고 할 수 있음

- 2ndG RPC에는 1stG RPC와는 달리 소비자의 needs의 변화에 따른 GAP시설기준 도입, 도정기술의 정립에 따른 고품질 공정체계도입, 자동화공정체계, 이력추적 및 재고관리를 위한 자동수율 및 재고 관리시스템 도입 등 공정개선이 크게 이루어졌으며, 규모화에 따라 가공라인수도 1~3개 라인까지 다양하게 설치되었음
- 2ndG RPC 53개소(총 55개 중 2개소는 1회 추가지원으로 통합하여 표현) 중 1개 라인(백미부 기준)으로 구성된 RPC는 23개소로서 43.4%이었고, 2개 라인이상으로 구성된 RPC는 30개소로 56.6%이었으며, 주요 백미공정체계는 다음의 표와 같이 연삭-마찰-연미-싸라기선별-석발-색채선별-이물선별-이물질선별 등으로서, RPC별로 차이는 주로 정미시스템, 싸라기선별기, 완전미선별기 등 주요 단위기계의 제조회사에 기인한 부분이 많았으며, 곡온상승으로 인한 문제점에도 불구하고 일부 RPC에서는 색채선별 이후에 연미기를 추가로 설치하는 경우도 있었음

표 3-1-29. 2ndG RPC 53개소의 주요공정 체계

번호	공정수	주요 공정														
		현미	연삭	마찰			연미 1단	싸라기 선별	백미 석발	색채 선별	연미 2단	색채 선별	이물 선별	채선별		흡선 별기
				1단	2단	3단								1단	2단	
1	1	○	○	○			○	○		○			○			
	2	○	○	○			○	○		○			○			
2	1	○	○	○			○	○	○	○			○	○		○
	2	○	○	○				○		○						
3	1	○	○	○				○		○						
	2	○	○	○				○		○						
4	1	○	○	○			○	○	○	○			○			
	2	○	○	○			○	○	○	○			○			
5	1	○	○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	○	○
	2	○	○	○	○	○	○		○	○		○		○	○	○
6	1	○	○	○	○	○	○		○	○		○		○	○	○
	2			○	○	○										
	3		○	○	○	○	○									
7	1	○		○	○		○	○		○		○	○	○		
	1						○									
8	1	○	○	○			○	○		○						
	2	○	○	○			○	○		○						
	3	○	○	○			○	○		○						
9	1	○	○	○			○	○		○		○	○	○		○
	2	○	○	○			○	○		○		○	○	○		
10	1	○	○	○	○		○			○		○		○	○	
	2	○	○				○									
11	1	○	○	○			○	○		○	○		○			
12	1	○	○	○	○		○		○	○		○		○	○	○
	2						○									
13	1	○	○	○			○	○		○			○			
	2	○	○	○			○	○		○						
14	1	○	○	○	○		○	○	○	○	○					
	2	○	○	○	○		○	○		○			○			
15	1	○	○	○	○		○	○		○			○			
	2	○	○	○	○		○	○		○			○			
16	1	○	○	○			○	○		○		○				○
17	1	○	○	○	○		○	○		○		○				
18	1	○	○	○			○		○	○		○		○	○	

	2	○	○	○			○										
19	1	○	○	○			○			○			○	○			
	2						○										
20	1	○	○	○			○	○		○	○		○				
	2										○						
21	1	○	○	○			○	○		○	○		○				
22	1	○	○	○			○	○		○	○	○					
23	1	○	○	○	○		○			○		○		○			
24	1	○	○				○	○		○			○				
25	1	○	○	○	○		○		○	○	○		○	○	○		
26	1	○	○	○			○			○			○	○			
	2	○	○	○			○			○			○	○			
27	1	○	○	○			○	○		○			○				
28	1	○	○	○			○	○	○	○	○		○				
29	1	○	○	○	○		○			○			○	○			
	2	○	○	○	○		○			○			○	○			
30	1	○	○	○	○		○			○			○	○			
31	1	○	○	○	○		○		○	○			○				
	2	○	○	○	○		○		○	○			○	○			
32	1	○	○	○						○			○	○			
33	1	○	○	○			○	○		○			○				
34	1	○	○	○			○	○		○			○				
	2	○	○	○			○	○		○			○				
35	1	○	○	○	○			○		○			○			○	
36	1	○	○	○	○		○	○	○	○			○				
37	1	○	○	○			○	○	○	○			○				
38	2	○	○	○	○		○		○	○			○	○			
39	1	○	○	○	○		○			○			○	○			
	2	○	○	○			○			○			○	○			
40	1	○	○	○			○			○			○	○			
41	1	○	○	○	○		○		○	○			○	○			
42	1	○	○	○			○			○			○	○			
	2	○	○	○	○		○			○			○	○			
43	1	○	○	○	○		○			○			○	○			
	2	○	○	○	○		○			○			○	○			
44	1	○	○	○	○		○			○			○	○			
	2	○	○	○			○			○		○		○			
45	1	○	○	○			○		○	○			○	○			
46	1	○	○	○	○		○		○	○			○	○			
	2	○	○	○			○		○	○			○	○			
47	1	○	○	○	○		○			○			○	○	○		
	2	○	○	○	○		○			○			○	○			
48	1	○	○	○	○		○			○			○	○			
49	1	○	○	○	○			○		○			○				
	2	○	○	○	○			○		○			○				
50	1	○	○	○	○					○			○	○			
51	1	○	○	○	○		○		○	○			○	○			
	2	○	○	○	○		○		○	○			○	○			
52	1	○	○	○	○		○		○	○			○	○			
	2	○	○	○			○		○	○			○	○			
53	1	○	○	○	○		○		○	○			○	○			
	2	○	○	○	○		○		○	○			○	○			
소계	77	77	77	77	39	3	74	36	24	74	9	12	59	44	7	7	

(나) 공정 중 품질변화

① 함수율

- 함수율이 낮아지면 저장성은 좋아지나 중량이 감소하고, 강도가 높아져 도정소비전력이 증가하게 되고, 반대로 함수율이 높을 경우 강도가 낮아져 찌라기발생율이 증가하게 되고, 저장성이 저하되므로 통상 원료 벼의 적정 함수율은 15%수준(김 등, 2015)로 알려져 있으며, 원료를 백미로 가공할 때 곡온상승 및 과도한 집진 등으로 인해 함수율이 낮아져 수율이 저하하는 경우가 많아 가공중 함수율 관리는 도정도 및 찌라기발생율 등과 함께 대단히 중요한 인자가 되고 있음
- 일반적인 함수율 관리는 다수의 컨설팅 및 현장 성능검사에서 경험적으로 인지한 함수율 기준을 사용하는데, 벼의 함수율이 15.0%일 경우, 현미함수율은 15.4%, 백미함수율은 15.0%(김 등, 2014)으로서, 2ndG RPC의 가공에 투입되는 현미의 함수율은 평균 15.7%(14.0~17.0%)이었고, 흙선별기 후의 백미의 최종함수율은 평균 14.5%(14.0~15.2%)로서 약 1.2%정도의 함수율저하가 발생하여 수율이 저하하는 것을 알 수 있었음
- 공정별로는 연삭, 마찰 및 연미 등 도정공정 후 함수율은 평균 0.3% 감소하였으며, 이후 찌라기선별, 색채선별 등의 공정에서 0.9% 감소하여, 도정공정보다는 선별, 이송 등의 공정에서 함수율 감소가 크게 나타나 각종 이송시설, 보조탱크 및 선별기에서의 적정 송풍량유지 여부에 대한 재검토는 물론, 적정 집진량의 유지를 위한 방안강구가 필요하였음

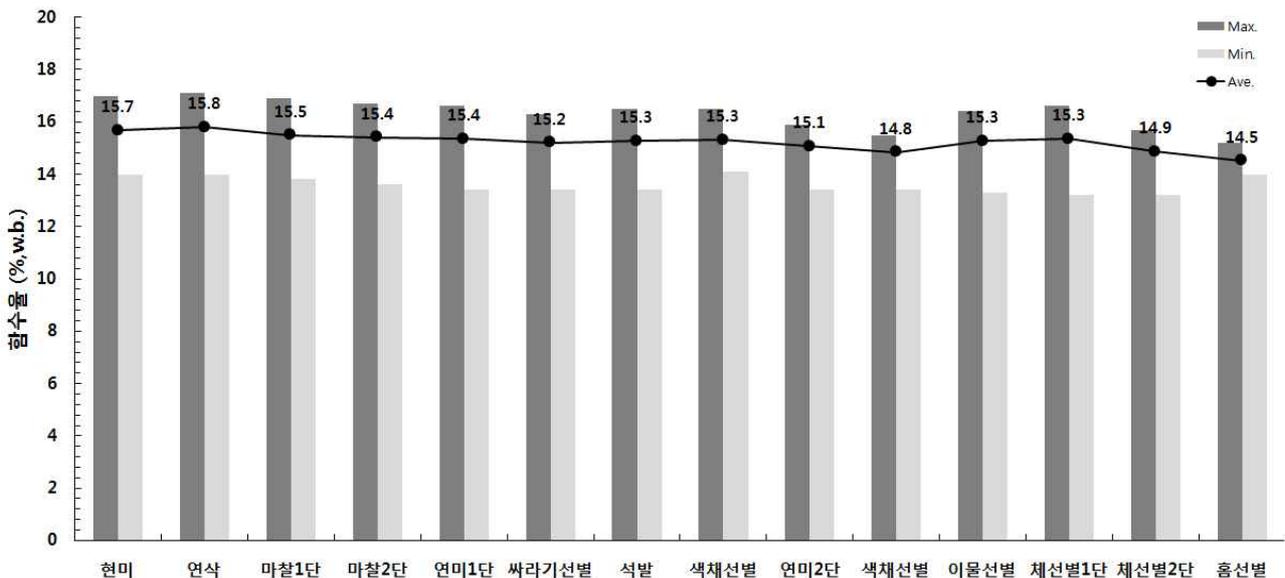


그림 3-1-24. 2ndG RPC 백미가공 공정 별 함수율 변화

② 백도

- 백도(白度, whiteness) 또는 백색도는 표면색의 흰 정도를 1차원적으로 나타낸 수치(KS A 0064:2010)로서, 마그네슘 리본을 태웠을 때 발생하는 백색연기(산화마그네슘의 대단히 미세한 가루)를 부착시킨 면의 하얀정도를 100, 입사광이 없는 암흑상태를 0으로 해서 그 사이를 100등분한 것으로 백도의 표시방법은 1986년 국제조명위원회(CIE)가 권장한 내용에 따라 제정된 한국산업규격(KS A0089)에 규정되어 있음
- 백도는 백도계를 이용하여 측정이 비교적 쉽고, 도정도와도 상관관계가 높아 RPC에서는 2005년부터 백도를 도정도 측정인자로 채택하고(김 등, 2005) 있으며, 미숙립, 착색립 등 불량품을 제외하고 정상립만으로 측정한 백도 40을 도정기준을 채택하고 있고, 통상 백도가 1이 증가할 때 정백수율은 0.5%정도가 감소(김 등, 2005)하는 것으로 알려져 있음
- 2ndG RPC의 투입되는 현미의 백도는 평균 21.0(19.1~23.9)이었으며, 연삭과정에서는 평균 23.7(19.9~31.1), 마찰1단에서는 평균 36.6(29.7~40.4), 마찰2단에서는 평균 39.5(37.3~42.7), 연미과정에서는 평균 40.4로 나타나 비교적 기준에 근접하였으며, 향후 식미 및 수율관리를 위해서는 약 1시간 간격으로 주기적으로 측정 관리할 수 있는 체계구축이 필요하였음

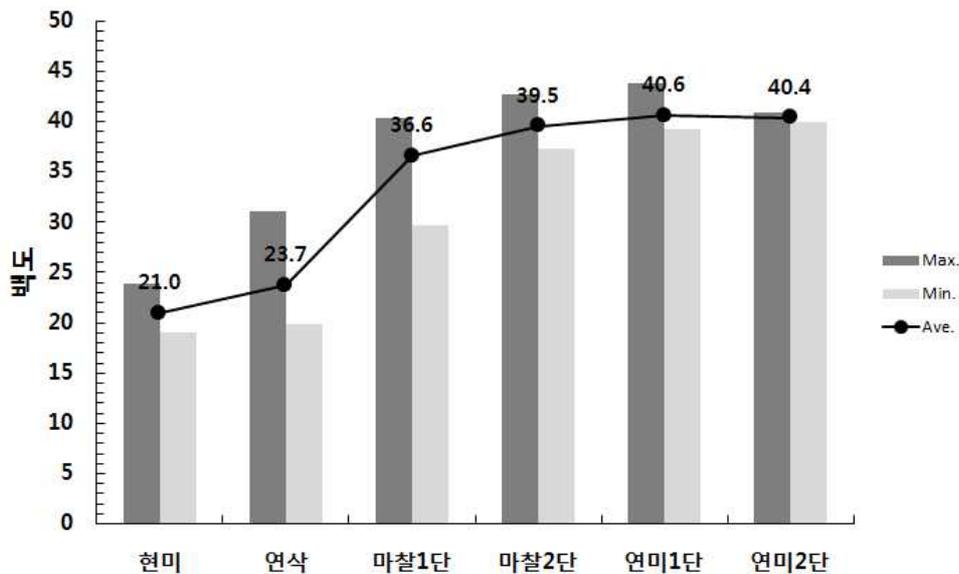


그림 3-1-25. 2ndG RPC 백미가공 공정 별 백도 변화

③ 싸라기율

- 일반적으로 도정이 진행될수록 곡은이 상승하면서 강도가 낮아지게 되고, 곡물의 강도가 도정의 비틀림 압력을 견딜 수 없을 때 싸라기가 되는데, 현미 함수율이 높거나, 동할율이 높거나, 강도가 낮은 비정립의 혼입비율이 높을 때 싸라기발생량이 많아지게 되며, 이송 및 선별과정 중 충격에 의해

발생하기도 함

- 2ndG RPC의 마찰공정에서 싸라기율은 평균 3.7%(1.0~12.8%), 연미1단에서 평균 3.9%(1.0~12.8%)로 증가하며, 이후 싸라기선별 공정을 거쳐 싸라기는 감소하였다가, 체선별 후 평균 4.1%(0.6~15.4%)수준을 나타내었으며, 완전미 생산에 주로 이용되는 홈선별공정 후의 싸라기율은 평균 1.5%(0.0~3.0%) 수준이었으며, 통상, 석발 및 추가 연미기 등을 통과한 다음 싸라기율이 증가하는데 제조회사 및 운영방법에 따라 차이가 있었음

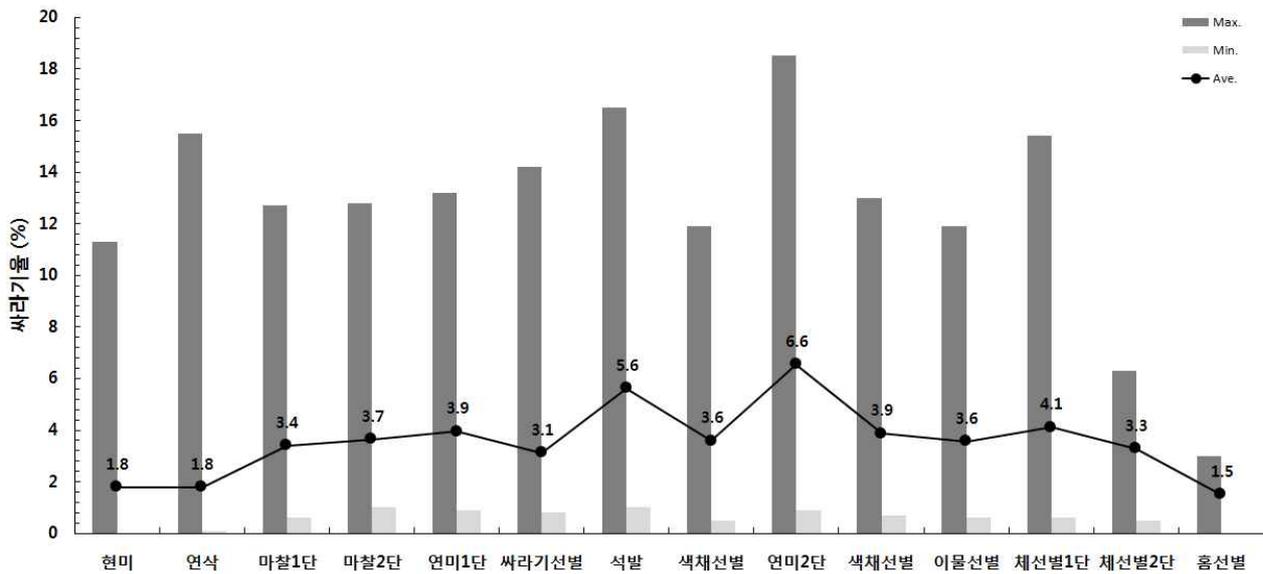


그림 3-1-26. 2ndG RPC 백미가공 공정 별 싸라기 변화

④ 곡물온도

- 도정과정에서 곡온이 지나치게 높아지면 싸라기율의 증가는 물론 식미가 저하하게 되며, 곡물온도가 외기온도와의 차이가 클수록 곡물이 통과하는 가공, 선별, 이송 및 저장시설내부에 결로가 발생할 수 있으므로 적절한 곡온관리가 매우 중요한 운영조건임
- 계절에 따라 곡온차이가 매우 크게 발생하지만 2ndG RPC의 평균 곡온을 정리하면 초기현미에서 15.8℃(-5.7~31.7℃), 연삭공정에서 다소 상승하여 평균 18.8℃(0.7~32.8)이었고, 마찰공정에서 크게 증가하여 평균 29.3℃(14.0~50.4℃)로 상승하여 현미곡온에 비해 약 13.5℃정도가 상승되었음
- 마찰공정 이후부터는 외기의 영향으로 곡온이 감소하는 경향을 나타내었는데, 색채선별 공정에서 평균 26.0℃(2.3~40.5℃), 이물선별 공정에서 평균 24.9℃(10.4~38.6℃)로 나타났으며, 체선별 2단에서는 분석수(N=5)가 적어 곡온치의 분별성이 낮았음

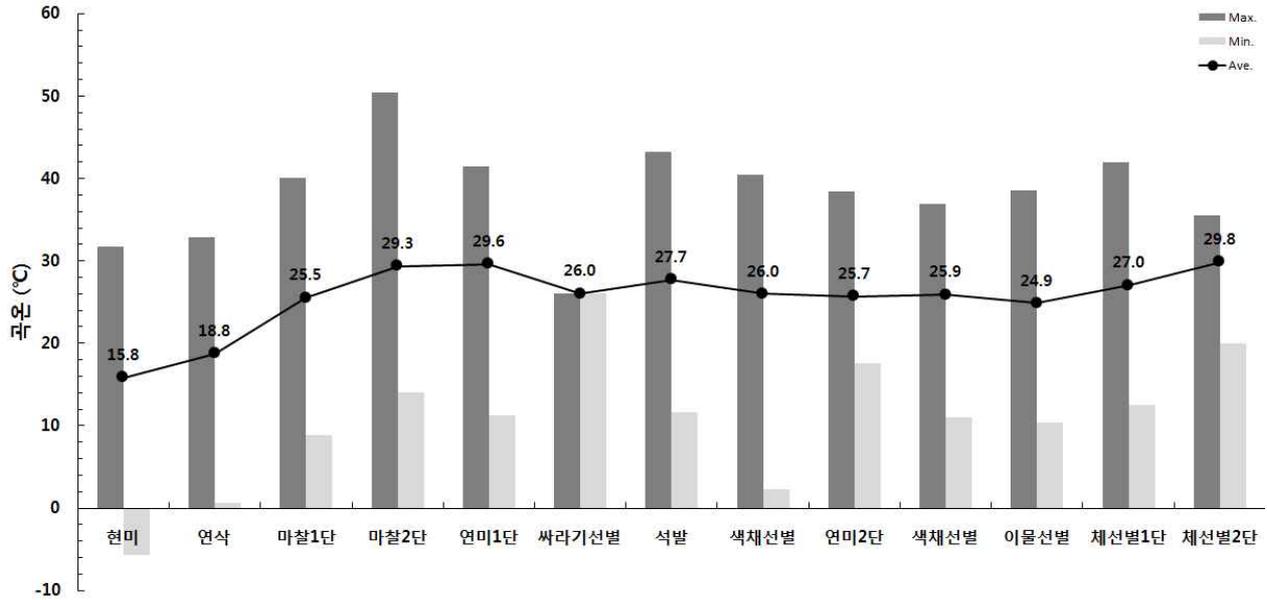


그림 3-1-27. 2ndG RPC 백미가공 공정 별 곡물온도 변화

⑤ 도정도

- 도정도는 현미에서 제거되는 미강에 대한 중량비로서, 도정수율 및 품질 저하에 직접 영향을 미치는 대단히 중요한 관리인자로서, 도정도를 측정하는 방법은 현미와 백미의 중량을 직접 측정하거나 천립중을 이용하는 방법, 백도를 측정하여 환산식에 의해 계산하는 방법, 염색처리를 이용하는 방법 등이 있는데, 본 연구에서는 천립중을 이용하는 방법(Kawamura, 1990)을 이용하였음
- 일반적인 도정도의 기준은 백도 40일 때 9.5%(김 등, 2005)으로서, 도정도에 영향을 미치는 인자는 과도정, 도정과정 중 함수율저하, 도정편차발생, 쌀표면의 상처발생 등으로서, 2ndG RPC의 공정 별 도정도는 연삭공정에서 평균 2.5%(0.3~7.3%), 마찰1단에서 평균 8.2%(4.8~11.9%), 마찰2단에서 평균 8.7%(3.2~9.9%)이었으며, 연미공정에서 도정도는 평균 9.8%(1.8~11.8%)이었음
- 전술한바와 같이 2ndG RPC의 평균적인 백도는 40.4로서, 백도 1증가시 정백수율이 0.5%가 저하한다고 할 때 백도 40.4에서의 적정 도정도는 9.7%정도이어야 하며, 이는 연미공정에서의 도정도 평균 9.8%와 유사하여 2ndG RPC는 전체적으로 도정도 즉, 정백수율이 우수한 것으로 나타났음

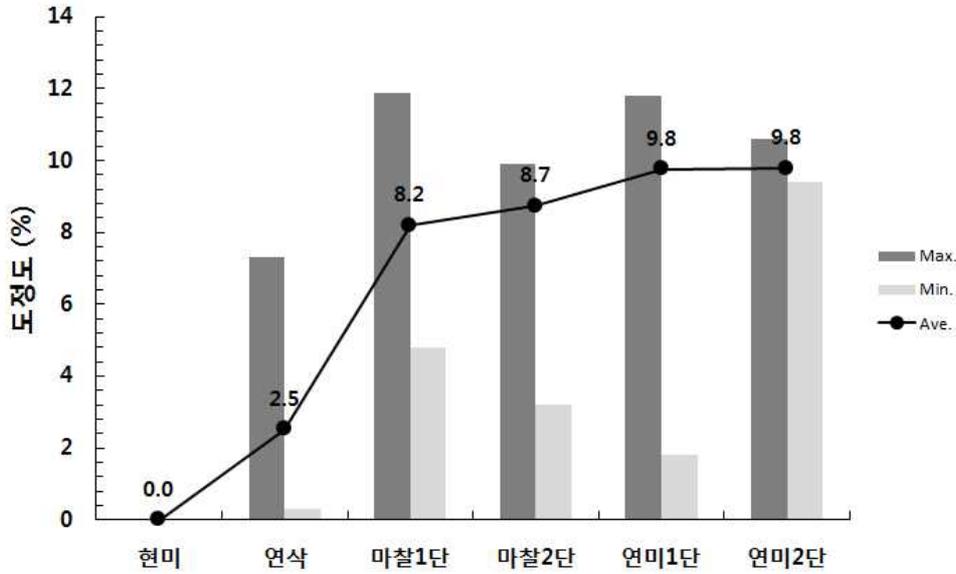


그림 3-1-28. 2ndG RPC 백미가공 공정 별 도정도 변화

⑥ 도정배분

- 도정배분은 정미시스템에서 각 단별로 도정의 정도를 제거되는 중량비율 즉, 총 도정도 중 각 단계의 도정도 비율로 표현한 지표로서, 싸라기 발생을, 곡온상승, 도정편차, 쌀표면의 상처발생 및 전력소모 등 각 부분에 영향을 미치는 인자로서, 일반적으로 경험 많은 도정기사가 갖는 가장 핵심적인 기술 분야라고 할 수 있으며, 김 등(2005)은 연삭 30%이하, 마찰 60%이상, 연미 10%이 품질 및 수율측면에서 유리하다고 하였음
- 2001년까지 328개소가 보급된 1세대 RPC는 최대 6단의 정미시스템을 구성하여 균일한 도정배분으로 도정이 어려워 최종 제품의 품질이 일정하지 않는 경우가 많았으나, 2ndG RPC는 연삭+마찰(+마찰)+연미 등 일반적으로 3~4단으로 정미시스템이 구성되어 있어 비교적 용이하게 도정배분은 유지하고 있는 반면, 불균일 도정을 방지하고, 도정 소요에너지를 최소화 하는 등 도정효율을 최대화하기 위해 필요한 도정배분을 효율적으로 관리할 수 있는 체계구축은 아직 미흡한 편으로서 이의 보완이 필요함
- 도정배분은 정미시스템의 구성에 따라 차이가 발생하는데, 2ndG RPC의 평균 도정배분은 연삭+마찰1단+마찰2단+연미공정에서 24.6%(2.6~68.2%)+56.4%(20.0~79.7%)+14.9%(2.7~35.2%)+6.9%(0.8~15.6%)으로서, 2ndG RPC의 도정배분은 연삭공정에서 20~25%, 마찰공정에서 70%, 연미공정에서 5~10% 수준으로 김 등(2005)의 제안과 유사한 경향이었음

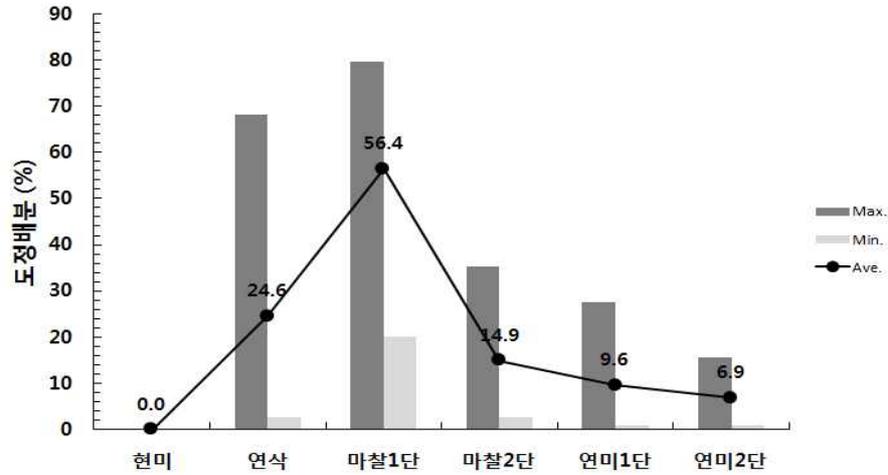


그림 3-1-29. 2ndG RPC 백미가공 공정 별 도정배분 변화

⑦ 도정편차

- 도정편차는 백미 낱알에 잔존하는 미강의 제거 차이로서, 도정이 진행될수록 도정편차는 감소하게 되는데, 특히 정미시스템의 1단인 연삭식정미기에서 도정편차가 크게 나타날수록 정백수율이 감소하여 2ndG RPC에서는 미강제거에 사용되었던 진동이 심한 연삭식정미기의 미사용, 탈진 pulse에 의한 주기적인 진동이 발생하는 bag filter의 정미기 사용제한 등이 이루어졌으며, 최종제품에서 도정편차가 클 경우는 잔류미강으로 인한 식미 및 외관품위의 저하, 유통과정에서 지방산가의 증가 등으로 유통성이 저하됨
- 도정편차는 주로 CBB index차로서 나타내는데, 2ndG RPC의 도정편차는 연삭에서 평균 29.9%(10.1~62.8%)로 가장 높았으며, 이후 감소하여 마찰1단에서 평균 6.7%(10.~24.3%), 연미1단에서 평균 3.1%(0.7~15.2%)이었으며, 마찰2단+연미공정보다 마찰1단+연미공정에서의 도정편차가 더 큰 것으로 분석되었음

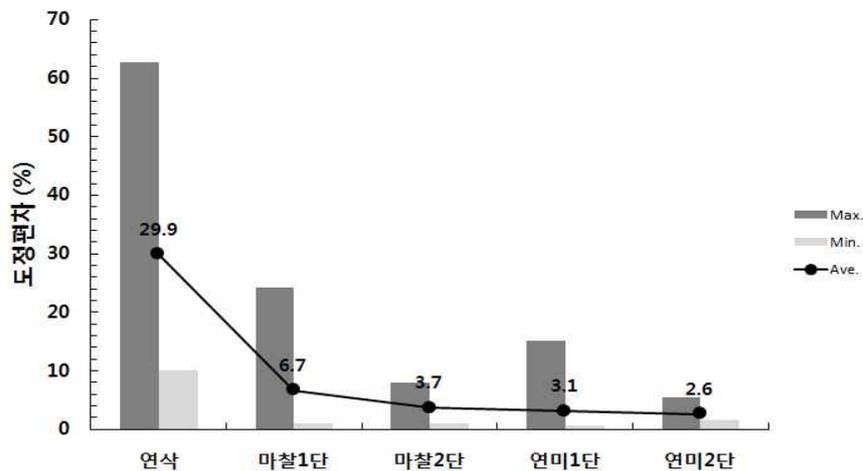


그림 3-1-30. 2ndG RPC 백미가공 공정 별 도정편차 변화

⑧ 표면상처

- 도정과정 중 주로 연삭식정미기에서 곡물 표면에 상처가 발생하게 되고, 마찰식정미기를 거치면서 상처난 부분은 미강 등으로 채워지게 되는데, 상처가 심하게 발생하면 정백수율의 저하는 물론, 유통과정 중 쌀 표면이 건조하면 미강이 탈락하는 소위 백화현상이 발생하게 되어 외관품질이 현저하게 저하하게 되고, 부착미강으로 인해 지방산가도 증가하게 되므로 도정과정 중 표면상처를 최소화하는 것이 필요함
- 2ndG RPC의 표면상처 변화는 연삭과정에서 평균 47.4%(0.0~96.0%)로 가장 높았으며, 마찰1단에서 평균 33.3%(0.0~92.0%), 연미에서 평균 26.2%(0.0~92.0%)이었으며, 특히 RPC별로 표면상처가 매우 큰 차이를 보여 정미시스템의 종류결정 및 도정배분 설정에 유의할 필요가 있었음

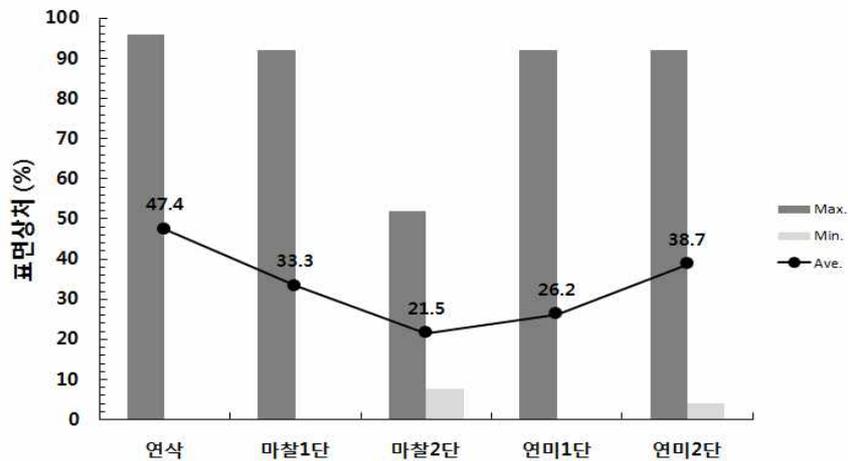


그림 3-1-31. 2ndG RPC 백미가공 공정 별 표면상처 변화

(4) 시설보완사항

- 농림축산식품부의 고품질쌀브랜드육성사업 추진에 필요한 연차별로 보급모델과 사업비기준을 한국식품연구원에서 2010년부터 2016년까지 차기연도용을 개발하였는데, 보급모델에는 반드시 준용하여야 할 시설구비사항을 마련하고, 기술검토 및 현장성능검사시에 준용여부를 확인하여 미비한 사항은 보완토록 하였음
- 본 연구에서는 2007년부터 정책사업으로 보급된 55개소 2ndG RPC의 현장 성능검사에서 시설 및 단위공정의 주요 성능 외에 원료부, 현미부, 백미부, 포장부, 집진부 및 기타시설 등 주요공정에 대한 시설보완사항을 수집하여 분야별로 연차별로 정리한 결과는 다음 표 3-1-29와 같았음
- 보완사항은 주로 시설 및 단위기기의 성능에 영향을 미치거나 운영, 품질, 청결/위생, GAP우수농산물관리기준 등에 영향을 미칠 수 있는 내용으로서, 백미부 27개항, 현미부 23개항, 원료부 11개항, 기타 등 총 98개항으로 구분하여 총 55개 2ndG RPC(2007년 8개소, 2008년 8개소, 2009년 9개소, 2010년 8개소, 2011년 5개소, 2012년 4개소, 2013년 3개소, 2014년 2개소, 2015년 4개소, 2016년

4개소)에 대해 분석한 결과, 총 820건이 시설보완사항으로 조사되었음

표 3-1-30. 55개소 2ndG RPC의 사업년도 별 시설보완 내용 및 건수

구분	단위공정 또는 단위기계	No.	보완사항 내용	사업년도(년)										
				'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	계
원료부	공통	1	방서대책	0	0	0	2	3	1	0	1	0	0	7
		2	by-pass 설치	0	3	1	2	1	1	0	0	0	0	8
		3	정압계 설치	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	3
		4	방진패드 설치	0	2	0	0	1	0	0	0	1	0	4
		5	댐퍼 설치	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	4
	종합정선	6	aspirator 설치	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	6
		7	방서대책	0	0	1	1	2	1	0	0	0	0	5
		8	by-pass 설치	0	2	2	1	1	1	0	0	0	0	7
		9	정압계 설치	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	4
		10	댐퍼 설치	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4
		11	방진패드 설치	0	0	2	2	0	1	0	0	0	1	6
현미부	공통	12	Air duct 댐퍼조정	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	4
		13	제철기 설치	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
		14	집진필터 설치	2	1	5	3	5	0	0	0	0	0	16
		15	CCTV설치	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	제한	16	방서대책	0	0	2	2	2	0	1	2	0	0	9
		17	댐퍼설치	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	현미	18	제철기설치	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	4
		19	방서대책	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
	현미분리	20	방진패드설치	0	1	0	0	2	0	0	2	0	0	5
		21	방서대책	0	0	4	5	4	1	1	1	0	2	18
		22	aspirator 설치	0	5	0	1	0	0	0	0	1	0	7
	현미석발	23	방진패드설치	0	2	1	2	3	2	1	2	2	1	16
		24	방서대책	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	6
		25	by-pass 설치	0	4	2	3	1	0	0	0	0	0	10
		26	정압계설치	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
		27	댐퍼설치	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4
		28	방진패드설치	0	1	0	1	2	1	0	1	1	1	8
	입선별	29	채넌크기 2단이상설치	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3
		30	by-pass 설치	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	5
31		aspirator 설치	0	5	1	2	0	0	0	0	0	0	8	
현미색채선별	32	by-pass 설치	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
	33	국부조명 설치	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	5	
	34	방서대책	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	
	백미	공통	35	Air duct	0	1	0	0	0	0	2	0	1	4

부		댐퍼조정													
	36	집진필터 설치	2	1	2	2	4	1	0	1	0	1	14		
	37	by-pass 설치	0	1	2	3	1	0	0	0	1	0	8		
	38	이물질선별망설치	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	5		
	39	CCTV설치	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2		
	40	제철기설치	0	5	0	3	0	0	0	0	0	0	8		
	41	국부조명 설치	0	1	2	2	3	0	1	0	1	1	11		
	42	정압계 설치	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2		
	43	청소도구함설치	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2		
	정미	44	정압계 설치	0	3	5	1	0	1	0	1	0	0	11	
		45	국부조명 설치	3	2	0	0	0	1	0	1	1	0	8	
		46	국부조명 설치	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	
		47	이물질선별망설치	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	
	연미	48	물탱크히터 및 보안장치 보완	1	3	1	0	0	0	0	0	1	0	6	
		49	이물질선별망설치	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	3	
		50	정압계 설치	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	3	
		51	국부조명 설치	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
		52	by-pass 설치	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
		53	물탱크에 시건장치부착	2	2	2	2	1	2	1	1	0	1	14	
		54	가수량확인 게이지부착	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	5	
	싸라기 선별	56	방진패드 설치	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	3	
		57	방서대책	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	
	백미석발	58	방진패드 설치	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	5	
		59	이물질배출장치 (타이머) 설치	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	4	
	색채선별	60	국부조명	3	2	1	2	0	0	0	1	1	0	10	
		61	완충장치 설치	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
	포장 부	포장	62	포장지 랙설치	0	0	2	3	0	0	0	1	0	0	6
			63	speed door 설치	3	3	1	1	1	1	0	0	0	1	11
64			집진필터 설치	2	1	2	3	3	1	0	0	0	1	13	
65			이물질선별망설치	0	2	1	2	3	0	2	0	0	0	10	
66			제철기설치	2	4	2	2	2	0	2	0	0	0	14	
67			비철금속제거장 치설치	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	4	
68			CCTV설치	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	

		69	청소도구함설치	6	4	0	0	0	1	0	0	0	0	11
집진부	공통	70	댐퍼조절	0	0	2	2	0	0	0	0	1	1	6
		71	정압계설치	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	3
		72	by-pass 설치	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	4
	백필터	73	정압계 위치 교정	0	0	0	1	0	3	2	1	1	0	8
기타	슈트관	74	점검구 설치	0	5	3	1	1	1	0	0	1	1	13
	이송시설	75	잔곡배출장치 설치	1	7	2	6	1	1	0	0	2	4	24
		76	점검구 설치	3	5	3	2	1	1	0	0	1	0	16
		77	외부공기 유입구 설치	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	7
		78	완충장치 설치	2	5	4	0	1	2	0	0	0	0	14
	탱크	79	완충장치 설치	7	7	6	8	5	2	2	0	1	3	41
		80	air vent 설치	1	2	1	4	2	1	0	0	0	0	11
		81	공기유입구 금망 설치	0	1	4	4	3	1	0	0	2	0	15
		82	집진필터 설치	0	1	3	3	0	0	0	0	0	1	8
	보조탱크	83	공기유입구 금망 설치	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	5
		84	환기용 자동셔터설치	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
		85	점검구 설치	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		86	레벨센서설치	0	1	4	2	1	0	0	0	0	2	10
	제품탱크	87	방진 필터설치	2	3	5	4	2	1	1	0	0	0	18
	왕겨탱크	88	레벨게이지부착 (왕겨량확인)	0	1	4	1	0	0	0	0	1	2	9
		89	점검구 설치	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3
	위생관리	90	청소시스템 설치	6	8	9	6	2	1	1	0	0	0	33
		91	안전지대 구획표시	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
		92	유리창문 방충망설치	2	0	1	1	2	1	0	0	0	0	7
	컴프레서 및 배관	93	드레인밸브 설치	0	5	5	8	4	3	0	0	1	1	27
운영관리 매뉴얼	94	명칭, 일련번호 기입명판 부착	4	3	9	5	5	4	3	1	0	1	35	
	95	라인도장 (차선도색)	3	3	9	8	4	0	0	2	4	2	35	
	96	운영매뉴얼제공	2	3	9	8	5	4	1	2	3	2	39	
연류계	97	air vent 설치	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	
	98	air 관 trap설치	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
합 계				77	155	161	148	100	50	21	29	37	42	820
1개소당 건수				9.6	194	179	185	200	125	7.0	145	4	4	55

- 55개소 2ndG RPC의 주요공정 별 시설보완사항은 백미부 145건(17.7%), 현미부 143건(17.4%), 탱크류 124건(15.1%)으로 비교적 많았고, 운영관리 109건(13.3%), 이송시설 74건(9.0%), 포장부 71건(8.7%), 원료부 58건(7.1%) 순으로 나타났으며, 집진부(21건, 2.6%) 및 연류계(6건, 0.7%)는 비교적 낮게 나타났음(그림 3-1-32)
- 사업년도별 시설보완사항은 사업시작년도인 2007년에 77건에서 2008, 2009 및 2010년에 각각 155건, 161건 및 148건으로 최고건수에 도달하였고, 이후 감소하여 2011년에 100건, 2012년에 50건, 2013년에 21건, 2014년에 29건, 2015년에 37건, 2016년에 42건으로 나타났으며, 2007년에는 사업시작년도로서 시설보완사항에 대한 기준 및 방법의 정립이 다소 미흡하여 보완건수가 낮은 것으로 조사되었으며, 사업년도별 총 시설보완사항 건수는 2009년을 정점으로 감소하는 경향이었음(그림 3-1-33)
- 사업년도 별로 대상사업체의 수가 증감을 달리하고 있어 다음의 그림 3-1-34와 같이 사업년도 별로 대상사업체의 개소당 시설보완사항 건수를 분석한 결과, 개소당 시설보완사항은 2007년 9.6건, 2008년에 19.4건이었으며, 이후 비슷한 건수를 보였고 2011년에 20.0건으로 가장 높았다가 이후 감소하는 경향으로 2012년에 12.5건, 2013년에 7.0건으로 가장 낮았고, 2014년에 14.5건으로 다소 증가하였으나, 전체적으로는 다소 완만하게 감소하는 경향으로 시설이 일정한 수준이상으로 설치되고 있다는 것을 알 수 있었음

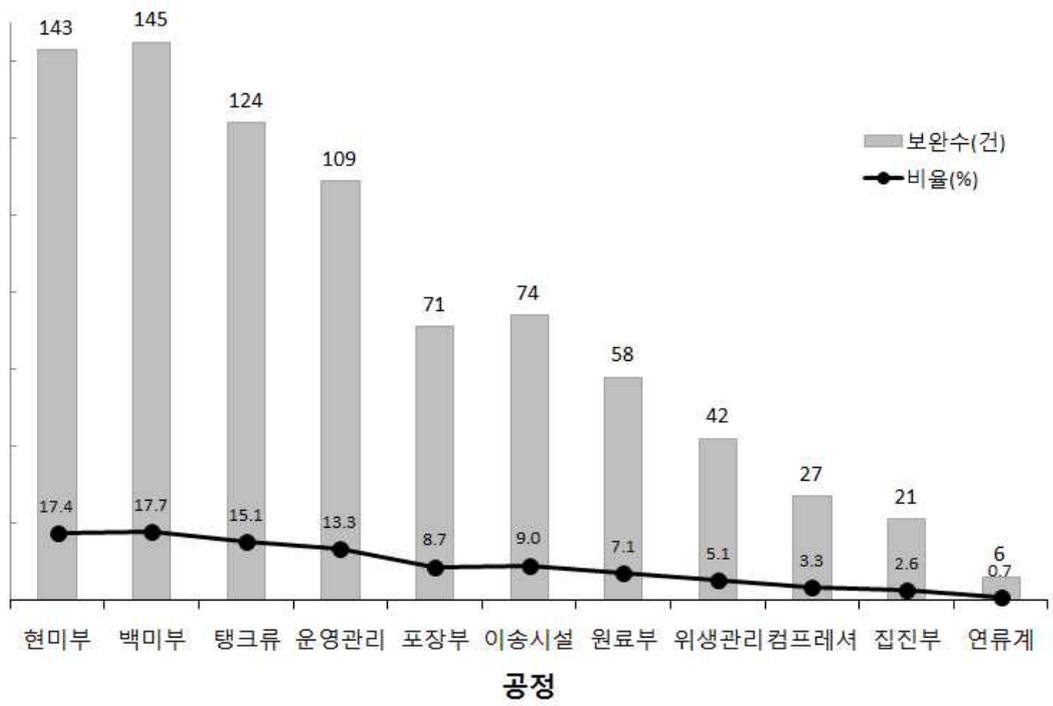


그림 3-1-32. 2ndG RPC의 주요공정 별 보완사항 건수 및 비율

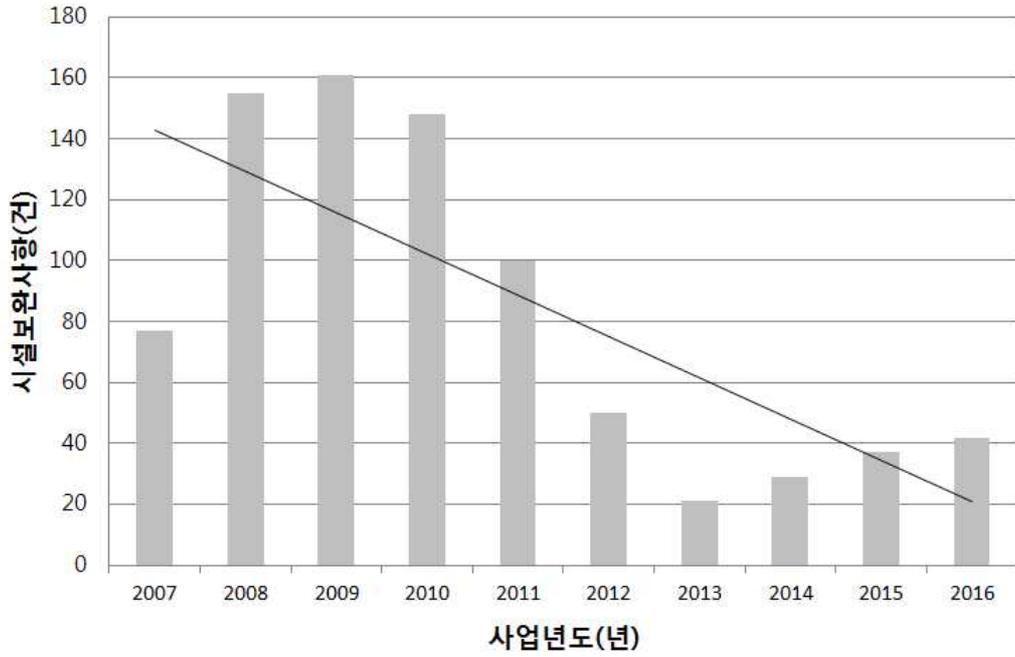


그림 3-1-33. 2ndG RPC의 사업년도 별 시설보완사항 건수

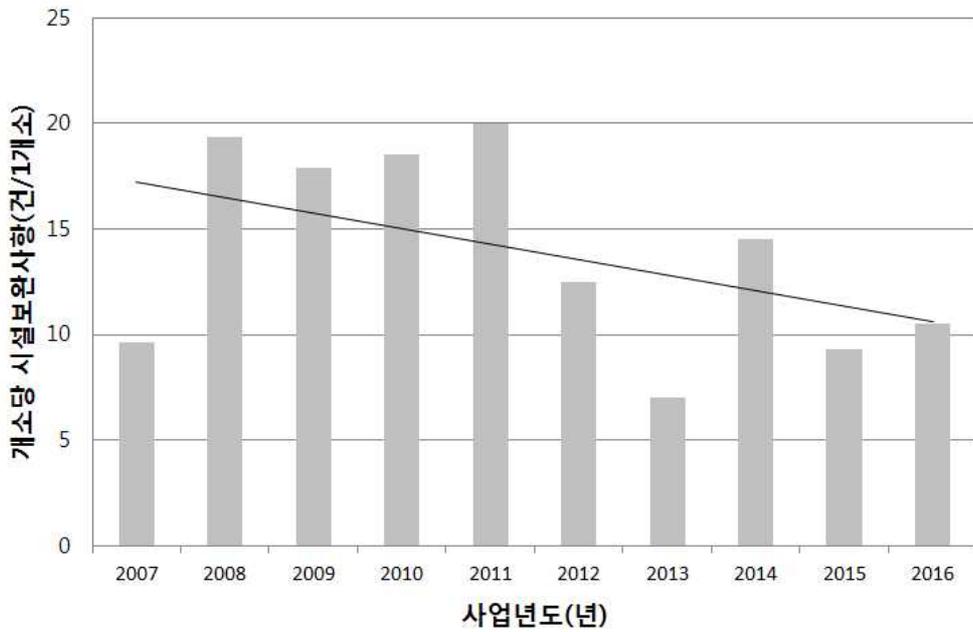


그림 3-1-34. 2ndG RPC의 사업년도 별 개소당 시설보완사항 건수

3. 광역통합 RPC 모델 설계

가. 광역통합 RPC모델 설계방법

- 광역통합RPC모델을 개발하기 위하여 2007년부터 지원된 53개소의 2ndG RPC를 대상으로 시설 처리 능력, 소요면적, 소요동력(공정별, 공정 단위기계별, 가공시설별)과, 단위공정의 품질 및 공정성능을 분석하였으며, 2ndG RPC에 대한 시설 및 운영기술의 조사 및 분석을 실시하였고, 이를 바탕으로 성능기준 및 설계기준을 개발하고, 설계도서를 작성하고, 각 시설의 기준을 작성하였음
- 이를 위해 2ndG RPC 53개소의 설계도면, 기술심의회 제기의견, 시설 설치 후 성능검사 결과 등 제반 자료를 취합하여 분석하였으며, 2007년부터 2017년 5월까지 고품질쌀브랜드육성사업의 가공시설현대화가 완료된 2ndG RPC 55개소(2개소는 동일RPC에서 2회 선정)에서 측정된 성능검사 결과를 활용하였음
- 또한, 저에너지 친환경 광역통합 RPC모델의 설계기준은 국내에 발간된 관련자료 중 ① 미곡종합처리시설(고학균 등, 1996, 향문사), ② 농협미곡종합처리장 설계기준(미곡종합처리장 자문단, 2000, 농협중앙회), ③ RPC 시설 및 운영기술(한국식품연구원, 2006, 농식품부), ④ 에너지절감형 RPC 가공공정모델 개발(한국식품연구원, 2012, 한국식품연구원·농식품부보고서), ⑤ 고품질쌀유통활성화사업 기본모델(한국식품연구원, 2016, 한국식품연구원·농식품부) ⑥ 기타 관련 보고서 및 문헌 등의 자료를 조사·분석하고, 향후 소비자의 needs을 감안하여 정립하였음
- 개발된 광역통합 RPC 가공공정의 품질 및 설계기준을 바탕으로 기본공정을 수립하여 전체배치도, 평면도, 입면도, 공정도, 세부내역, 소요면적 및 소요비용 등의 설계도서를 작성하였고, 건축 및 가공 시설, 부대시설, 안전설비, 위생관리 및 기타 등으로 구성된 시설기준을 개발하였으며, 개발에 활용한 진행절차 및 조사내용은 다음 표와 같았음

표 3-1-31. 광역통합 RPC 모델 설계를 위한 진행절차 및 조사내용

설계진행절차	조사내용	비고
① 2 nd G RPC 시설 및 운영기술 자료수집 및 분석	공정구성, 단위공정성능, 소요동력, 부지면적, 시설설치 구비사항 등	고품질쌀유통활성화사업 추진자료 (2007~현재, 한국식품연구원)
	설계도면	대주종합기술단, 보람이엔지, 푸른엔지니어링, 협동엔지니어링 등 4개사
	기술심의회 제기의견	고품질쌀유통활성화사업 추진자료 (2007~현재, 한국식품연구원)
	시설설치후 성능검사	고품질쌀유통활성화사업 추진자료 (2007~현재, 한국식품연구원)
② 성능기준 개발	2 nd G RPC 성능검사 결과	고품질쌀유통활성화사업 추진자료 (2007~현재, 한국식품연구원)
	1세대 RPC(85개소) 가공공정 품질현황	에너지절감형 RPC 가공공정모델 개발(한국식품연구원, 2012, 한국식품연구원·농식품부보고서)
③ 설계기준 개발	기본방향 설정, 처리능력 산정, 주요공정도 작성, 설계기준	미국종합처리시설(고학균 등, 1996, 향문사)
		농협미국종합처리장 설계기준(미국종합처리장 자문단, 2000, 농협중앙회),
		RPC 시설 및 운영기술(한국식품연구원, 2006, 농식품부),
		에너지절감형 RPC 가공공정모델 개발(한국식품연구원, 2012, 한국식품연구원·농식품부보고서),
		고품질쌀유통활성화사업 기본모델(한국식품연구원, 2016, 한국식품연구원·농식품부)
		국내외 관련보고서 및 논문 12건
④ 설계도서 작성	전체배치도, 평면도, 입면도, 공정도, 세부내역, 소요면적, 소요비용 등	한국식품연구원(주관연구기관), 대주종합기술단, 협동엔지니어링(설계회사, 위탁연구기관)
⑤ 시설기준 개발	건축 및 가공시설, 부대시설, 안전설비, 위생관리, 기타 등	한국식품연구원(주관연구기관), 대주종합기술단, 협동엔지니어링(설계회사, 위탁연구기관)

나. 광역통합 RPC 가공공정 성능기준 설정

(1) 2ndG RPC 가공공정 성능분석

- 현미부의 성능기준 설정을 위한 주요 단위공정은 종합정선-제현-현미분리-석발-크기선별(입선별)-칼라선별(색채선별) 등으로 구성된 다음, 앞절에서 분석한 종합정선은 이물질정선율과 이물질 중 정립비율, 제현은 탈부율, 현미분리는 현미분리기 재투입 현미비율과 현미기 재투입 현미비율, 석발은 이물질중 현미비율, 크기선별은 비정립선별율, 칼라선별은 비정립선별율과 불량품중 정품비율 등 6개 공정과 9개의 성능기준을 조사 요약한 결과는 다음 표와 같았음
- 표에서 알 수 있듯이 종합정선의 이물질정선율은 원료 벼에 들어 혼입되는 비중이 매우 낮아 2012년 이후에는 활용되지 않고 있는 성능기준으로서 평균 62.1%(4.5~89.4%)이었으며, 2012년 이후부터 최근까지 기준으로 사용되고 있는 이물질 중 정립비율은 평균 16.0%(0.0~95.6%)로 조사되었음
- 제현공정의 성능기준인 탈부율은 현미기에서 벼의 왕겨를 제거하는 비율로서, 평균 93.1%(73.5~99.1%)이었고, 현미분리공정의 성능기준인 현미분리기 재투입 현미비율은 평균 85.2%(2.7~99.8%), 현미기 재투입 현미비율은 평균 63.6%(12.8~98.3%)로 조사되었음
- 석발공정에서 성능기준인 이물질 중 현미비율은 평균 43.8%(0.0~99.4%), 현미에 혼입되어 있는 사미 등 비정립을 제거하는 공정인 크기선별공정의 비정립선별율은 평균 58.3%(2.6~98.3%)이었고, 현미부의 최종공정인 칼라선별공정에서의 비정립선별율은 평균 43.3%(3.4~84.7%), 불량품 중 정품비율은 평균 19.7%(0.0~80.8%)로 조사되었음
- 한편, 백미부의 성능기준 설정을 위한 주요 단위공정은 정미-연미-싸라기선별-색채선별-이물선별-완전미선별 등으로 구성된 다음, 앞절에서 분석한 정미는 백도, 싸라기율, 정백수율, 도정편차 및 상처발생여부로 선정하였고, 연미는 싸라기율, 싸라기선별은 로터리쉬프트와 진동체선별기 등 2기종을 대상으로 하였고, 색채선별은 불량품선별율 및 불량품 중 정품비율, 완전미선별은 싸라기선별율 및 싸라기 중 정립비율 등 6개 공정과 13개의 성능의 조사 요약한 결과는 다음 표와 같았음
- 표에서 알 수 있듯이 정미공정의 성능기준인 백도는 평균 40.7(39.5~43.8), 싸라기율은 평균 3.3%(0.3~10.0%), 정백수율은 평균 90.2%(84.4~92.9%), 도정편차는 평균 2.9%(0.0~15.2%), 상처발생여부는 평균 26.1%(0.0~92.0%)로 조사되었고, 연미공정의 성능기준인 싸라기율은 평균 0.6%(0.0~5.3%)로 조사되었음
- 로터리쉬프트의 싸라기선별율은 평균 46.7%(2.5~99.8%), 진동체선별기의 싸라기선별율은 평균 59.0%(5.0~100%)로 조사되었고, 색채선별공정의 성능기준인 불량품선별율은 평균 53.6%(1.7~97.7%)이었고, 불량품중 정품비율은 평균 12.5%(0.1~96.2%)로 조사되었음
- 이물선별공정에서 성능기준인 이물질 중 불량품선별율은 평균 41.8%(0.3~100%), 불량품 중 정품비율은 평균 17.2%(0.0~99.5%)이었고, 완전미 선별공정에서의 성능기준인 싸라기선별율은 평균 55.0%(3.5~99.5%), 싸라기 중 정립비율은 평균 20.2%(0.6~65.3%)로 조사되었음

표 3-1-32. 2ndG RPC 52개소의 현미부 주요 단위공정의 성능

번호	종합정선		제현 탈부율 (%)	현미분리		석발 이물질중 현미비율 (%)	크기선별 (입선별) 비정립 선별율 (%)	칼라선별(색채선별)	
	이물질 정선율 (%)	이물질중 정립비 율 (%)		현미분리기 재투입 비율(%)	현미기 재투입 비율(%)			비정립 선별율 (%)	불량품중 정립비율 (%)
1	67.4		94.4	97.4	77.6	98.2	2.6	9.7	10.1
	54.4		92.7	75.6	46.7	98.3	5.9	16.9	20.7
2	81.3		85.4	93.2	62.9	99.4	16.8	15.8	6.9
3	64.3		98.7	98.0	83.8	96.9	16.8		
	64.3		98.2	83.8	48.9		21.0		
4									
5	70.7		86.9	85.2	38.2	51.8	17.8	13.0	3.8
6	66.4		92.5	77.1	31.6		4.2		
	89.4		95.6	97.8	47.2		5.4		
7	76.2		88.9	95.7	52.7	3.8	8.6	3.4	33.6
8									
9	65.3		97.0	99.2	90.9	28.1	11.4	43.5	46.9
	86.7		97.0	98.2	79.4		12		
10	56.3		95.8	97.8	81.4	0	16.5	55.0	8.6
								56.5	11.3
11	43.6		88.8	96.7	60.0	85.0	89.5	45.9	47.3
12	15.4		93.1	87.3	64.1	97.5	22.9	23.7	3.8
13	46.4		85.5	92.5	40.3	85.8	80.8	82.7	6.3
	64.1		88.9	89.7	46.5	96.5		33.6	0
14	83.0		98.1	94.5	25.2	2.2	74.6	12.6	13.1
15	87.8		87.0	73.0	19.5	19.9	44.1	72.2	23.7
	76.9		97.5	75.0	12.8	15.4			
16	4.5		74.2	95.0	62.9	59.8	13.1	24.5	71.8
17	66.9		84.2	93.6	68.7	1.5	92.1	13.5	25.2
18	78.1		95.9	95.7	59.7	86.6	77.5		
							77.8		
19	59.1		96.8	95.1	86.4	99.1	62.9	57.1	71.9
	58.3		97.4	98.0	91.5	97.2	65.7		
20	86.0		96.3	82.3	47.3	24.1	73.4	38.7	18.8
21	64.4		95.0	81.2	57.0	26.5	50.3	77.2	41.1
22	56.4		94.4	96.2	71.8	31.3	82.0	21.8	50.8
23	77.4		97.1	99.8	90.8	88.2	73.7	19.2	9.8
24	70.0		96.5	73.1	32.3	95.0	54.9	44.1	2.1
25	64.3		96.1	86.9	55.1	28.7	70.1	43.8	28.5
26	80.0		94.1	81.6	51.1	7.2	75.5	6.7	30.6
	64.6		89.3	90.7	57.1	7.2	98.3	58.6	2.6
27		24.5	93.6	94.9	61.2	0.1	33.3	81.4	3.0
28	60.2		98.4	99.1	94.5	98.6	95.9	62.1	29.1
29	57.4		93.6	85.3	55.5	0	63.6		

	17.9		95.4	91.9	69.8	0	77.6	25.0	19.2
30		0.6	98.7	95.9	69.8	30.0	37.9		
31	76.8		84.6	86.3	54.7	53.9	22.9		
	46.1		73.5	98.1	74.5	22.5	71.5		
32		1.9	98.4	77.7	30.5	1.1	86.3		
33	77.0		96.2	33.7	36.7	98.9	92.2	48.1	10.0
34	14.3		91.8	94.5	55.7	2.4	72.2	34.6	3.4
	15.4		91.0	89.2	63.2	2.4	60.7		
35		6.9	93.9	84.8	56.5		93.0		
36		0.6	74.1	95.4	49.1	0.9	70.3		
37		0.8	96.2	77.2	54.1	98.1	41.0	82.4	0.8
38		5.0	97.0	95.1	75.2	18.9	74.0	62.9	4.3
39		91.6	96.6	91.1	54.0	13.4	84.1	36.2	5.7
		0.8	94.6	93.7	73.8	68.4	75.8	63.9	0.4
40		3.1	82.1	2.7	19.3		93.3	84.7	3.7
41		1.3	97.8	92.9	98.3	97.1	86.3	68.3	1.9
42		93.8	81.3	8.1	56.3	42.8	63.8		
		8.9	86.6	43.3	79.9	17	63.4	61.1	43.3
43		0.6	94.6	48.5	90.3	1.6	66.2		
		0.7	90.8	72.4	95.6	1.6	71.0		
44		9.5	93.5	93.2	68.3		70.2		
		17.1	98.9	98.1	95.0		76.3	56.3	80.8
45			93.1	95.8	76.9	2.5	63.1	56.5	26.9
46		7.0	97.3	78.5	34.4	32.0	67.5		
			87.3	98.9	39.2		77.0	55.9	8.6
47		3.5	93.7	67.3	86.2		72.3	37.0	43.0
		3.1	93.4	81.4	28.7		62.0		
48		0	96.9	86.1	86.5		71.3	36.6	17.1
49		3.1	98.4	98.2	84.0		75.6		
		1.1	90.9	91.8	65.5		70.2	40.5	3.4
50	76.7	1.6	97.6	96.9	84.8		80.6	55.3	1.4
51		1.8	99.1	94.4	81.6		70.9	6.4	18.4
		6.0	97.8	87.2	46.6		54.9		
52		0	98.8	96.0	78.9		75.9	30.5	6.0
53	61.4	68.0	98.4	80.6	94.4		88.4		
	76.3	1.9							
54		0.9	97.6	98.4	83.3		40.4		
		62.9	96.2	96.3	77.1		51.4	51.9	7.0
55		95.6	95.3	64.1	95.0		42.4	31.6	
		2.8	96.3	99.0	92.1		28.3	64.8	
평균	62.1	16.0	93.1	85.6	63.6	43.8	58.3	43.3	19.7
최대	89.4	95.6	99.1	99.8	98.3	99.4	98.3	84.7	80.8
최소	4.5	0.0	73.5	2.7	12.8	0.0	2.6	3.4	0.0

주) 현미공정 2라인으로 구성된 RPC는 구분하여 작성하였고, 공란은 시설이 구축되지 않은 공정임

표 3-1-33. 2ndG RPC 52개소의 백미부 주요 단위공정의 성능

번호	정미					연미	싸라기선별		색채선별		이물선별		완전미선별	
	백도	싸라기율 (%)	정백수율 (%)	도정편차	상처발생여부 (%)		싸라기율 (%)	로터리쉬프트 (%)	진동체선별기 (%)	불량품선별율 (%)	불량품중정품비율 (%)	불량품선별율 (%)	불량품중정품비율 (%)	싸라기선별율 (%)	싸라기중립비율 (%)
1	40.1	2.3	89.9	2.7	50.0	0.2	5.1		8.1	44.7	16.2	36.0		
	40.0	2.2	90.0	3.1	60.0	0.2	3.0		19.4	6.5	13.1	52.7		
2	40.5	5.3	89.7	4.1	90.0	0.3	21.7	27.6	9.0	6.5	3.7	20.4	6.0	47.8
3	40.1	4.9	89.2	4.2	70.0	1.2	23.1		3.2	86.9	81.0	33.3		
		6.5	89.1	4.0	70.0	1.6	7.9		4.7					
4	40.3	5.5	89.8	12.7		1.8	6.0		11.1	6.2	3.0	47.7		
	40.3	5.1	89.8	15.2		2.7	31.0		18.9	25.6	8.3	13.3		
5	40.7	1.2	89.5	5.4	30.0	0.2	16.3	21.2	5.1	10.0	0.3	21.6	46.6	13.1
6	40.4	4.1	90.0	4.9		0.9		22.1	19.1	9.2	3.6	27.1	18.4	4.6
				4.1		1.0								
7	40.2	3.3	90.1	4.8		0.1	20.6	21.6	66.3	13.5	3.5	36.6		
8	40.8	1.8	90.0	5.4		0.5	2.5		46.5	14.2				
	41.1	2.1	90.0	5.1		0.2	20.1		50.7	9.0				
	40.4	2.5	90.1	5.2		0.6	24.0		59.7	8.6				
9	40.3	2.3	84.4	3.4	72.0	0.2	24.1	5.0	7.4	58.1	11.0	47.6	31.6	19.1
	40.7	2.8	89.2	3.0	68.0	0.2	25.2	50.3	10.9	30.9	5.1	40.1		
10	40.3	4.0	89.7	1.2	56.0	0.1		100.0	26.5	3.0	83.6	5.9	47.7	15.0
	40.2		89.8	1.4	52.0	0.3		24.8						
11	40.4	1.9	89.6	2.2	92.0	0.9	24.2	14.0	84.5	60.1	48.1	50.9		
12	40.5	4.4	89.9	1.9	16.0	0.1	36.2		24.4	5.4	7.5	37.6	3.5	
	40.6			2.0	20.0	0.2								
13	41.6	2.5	90.6	3.4	68.0	1.0	45.7	70.8	41.8	5.5	3.8	1.5	60.0	13.9
	41.5	2.6	90.6	3.2	36.0	1.8	44.5	73.3	47.6	9.1				
14	40.1	2.8	90.4	1.6	4.0	0.0	93.4	71.8	88.4	5.4	100.0	4.8		
15	39.6	1.4	90.4	4.9	24.0	0.4	73.2		12.3	2.1	27.6	1.6	87.1	2.0
	40.9	1.7	90.4	3.4	28.0	0.0	96.9		27.4	11.3	11.8	0.9		
16	40.4	3.9	89.7	1.8	92.0	0.9	11.1	99.5	83.1	5.0	80.4	9.3	99.5	65.3
17	40.1	1.5	90.4	1.3	28.9	0.0	76.8	65.1	75.4	5.9	73.2	8.7		
18	40.1	7.0	90.2	2.4	4.0	0.5			9.3	29.4	20.1	13.9	67.6	
	40.2			2.2	8.0	0.6								
19	41.1	2.8	89.9	0.8	8.0	0.1		71.0	25.9	8.6	81.0	12.1	38.9	6.2
	41.1	2.8	89.9	0.9	4.0	0.1								
20	40.1	8.6	90.5	1.9	25.0	5.3	90.9	100.0	68.9	5.1	36.5	2.0	85.7	11.0
	40.3	5.6	90.4		22.5	3.7								
21	40.6	9.3	90.6	2.7	52.2	0.8	74.6		44.1	21.3	19.6	97.0	90.8	35.9
22	40.6	1.0	90.1	2.2	44.0	0.1	91.9	70.7	52.7	2.3	91.3	4.7	70.1	58.6
23	41.7	9.0	90.0	3.4	20.0	1.0		71.8	80.8	3.5	85.0	4.3		
24	40.0	4.2	90.3	2.0	30.0	0.2	90.1	28.3	23.6	6.3	20.4	7.0	72.5	16.7
25	40.1	4.6	90.5	2.8	7.0	0.3		70.2	32.8	14.1	18.5	2.0		
26	40.2	5.3	90.1	1.1	11.6	0.2		25.6	92.3	4.6	15.2	6.0		
	40.1	10.0	89.1	0.9	9.8	0.0		66.8	93.6	14.4	100.0	11.1	41.3	
27	40.3	1.7	89.2	2.8	0.0	0.0	77.3		36.1	2.7	8.2	4.2	64.7	15.5
28	40.5	1.0	90.4	2.2	72.0	0.1	68.5	72.4	80.7	19.8	26.2	21.4		
29	40.5	3.4	90.9	1.1	18.4	0.3		47.1	48.7	17.5	47.0	12.3	74.6	0.6
	40.8	6.3	89.6	1.1	9.1	2.2		78.8	94.2	6.9	51.6	8.1		
30	40.0	1.3	89.3	0.7	19.2	0.0		23.1	62.7	1.0	18.0	1.5		
31	40.0	1.7	88.2	1.5	13.5	0.1		29.8	84.7	6.4	16.7	4.2		

	40.7	2.2	91.6	1.5	13.2	0.1		63.7	80.5	1.1	21.6	3.2		
32	40.5	2.4	92.9	2.3	22.5			30.8	93.8	10.8	51.2	14.2		
33	40.6	3.5	90.3	2.7	20.0	0.1			80.3	16.1	95.0	11.0		
34	40.2	2.2	88.6	1.7	9.7	0.3	68.5		57.6	5.2	61.9	5.7		
	40.5	1.6	89.3	1.7	14.3	0.4	70.6		59.7	4.6	38.6	5.1		
35	40.0	1.2	90.9	2.0	23.3		71.3		56.8	11.3	11.9	9.9	28.4	5.9
36	40.5	0.3	90.5	1.1	16.3	0.0	99.8	70.1	49.1	3.7	29.2	25.6		
37	40.0	2.6	90.3	0.9	11.8	0.2	35.3	60.5	97.7	0.5	32.7	0.0		
38	41.3	2.8	90.6	3.7	28.0	0.2		87.8	42.5	3.5	34.6	5.9	48.6	2.9
39	40.0	4.8	90.5	3.0	25.0	0.1		72.9	85.1	2.7	23.7	6.8	47.0	8.2
	40.1	3.0	90.4	0.8	20.0	0.6		71.0	1.7	24.6	6.1	0.9		
40	40.2	3.8	90.4	3.8	0.0	0.7		73.6	62.0	3.5	17.1	3.2	61.1	
41	42.1	0.7	90.7	2.0	4.5	0.3		87.8	74.5	0.6	60.8	0.5		
42	40.8	0.6	90.7	1.7	11.1	0.0		48.4	81.4	7.3	80.0	36.3	46.0	47.2
	40.5	1.2	90.7	2.9	3.9	0.1		71.9	43.6	8.1	22.7	36.3		
43	39.9	1.3	90.5	1.2	8.3	0.5		50.3	81.3	6.2	29.2	7.3		
	40.1	1.9	90.6	1.2	8.0	0.1		72.3	81.3	6.2	61.5	19.6		
44	40.1	4.2	91.2	3.9	10.5	1.3		72.0	80.0	6.7	34.9	37.4	49.7	
	40.0	3.4	90.8	3.3	15.8	0.1		67.7	84.3	96.2	22.3	99.5		
45	40.5	1.8	90.9	2.1	3.4	0.4		64.3	81.6	17.9	80.3	40.6	74.0	14.7
46	41.5	1.7	90.0	2.4	24.0	0.2		67.0	75.8	6.9	72.0	5.3		
	40.1	2.7	90.7	2.3	21.7	0.5		73.1	74.0	1.7	73.0	28.0		
47	41.3	2.7	89.9	1.6	19.4	0.0		63.0	80.0	8.1	100.0	13.9	67.7	
	40.1	1.1	90.7	1.5	21.5	0.1		63.0	77.3	11.5	100.0	13.0		
48	43.8	3.4	90.9	0.1	8.2	0.5		76.7	53.1	8.7	42.9	4.3		
49	42.0	1.2	90.7	1.3	24.4		41.7		65.6	7.5	41.0	5.7		
	41.0	1.2	90.2	0.0	37.5		64.3		82.1	1.8	67.7	15.7		
50	39.5	2.1	90.7	4.5	19.7			78.6	65.2	0.1	52.3	4.9		
51	41.9	4.6	90.9	5.8	3.2	0.8		58.9	52.4	0.4	13.1	0.4		
	42.5	3.8	90.7	4.8	16.6	0.3		57.2	37.0	0.5	38.5	0.0		
52	41.5	1.5	90.2	1.9	12.4	0.3	53.4	78.2	80.0	8.9	96.7	20.4		
53	41.6	2.5	90.9	7.1	4.4	0.2	41.9		76.8	3.6	41.9	2.4		
54	41.9	6.9	90.9	5.5	6.4	0.5		55.3	59.2	18.5	48.5	19.8		
	42.8	7.9	91.1	5.5	3.2	1.0		17.8	20.8	14.2	63.8	4.7		
55	43.1	4.5	89.3	2.0	40.0	0.1		59.1						
	41.5	4.4	90.4	1.7	16.6	0.1		68.7	17.2	2.2	60.4	2.6		
평균	40.7	3.3	90.2	2.9	26.1	0.6	46.7	59.0	53.6	12.5	41.8	17.2	55.0	20.2
최대	43.8	10.0	92.9	15.2	92.0	5.3	99.8	100.0	97.7	96.2	100.0	99.5	99.5	65.3
최소	39.5	0.3	84.4	0.0	0.0	0.0	2.5	5.0	1.7	0.1	0.3	0.0	3.5	0.6

주) 백미공정 2라인으로 구성된 RPC는 구분하여 작성하였고, 공란은 시설이 구축되지 않은 공정임

(2) 광역통합 RPC 가공공정의 성능기준 설정

- 전항의 조사결과에서도 알 수 있듯이 55개의 2ndG RPC 가공시설에서 싸라기율은 0.3~10.0%, 정백 수율은 84.4~92.9%, 도정편차는 0.0~15.2% 등으로 품질에 큰 차이가 발생하고 있었는데, 각 공정에서의 품질변화는 원료상태, 공정의 구성, 단위기계의 종류 및 운전조건, 외기 온습도조건 등 다양한 인자의 영향을 받게 되므로 통상적으로 성능기준의 설정은 다수 측정결과의 평균치를 사용하여 결정함
- 본 연구에서도 2ndG RPC의 현미부, 백미부, 포장부 및 집진부의 16개 주요공정의 성능측정결과를 이용하여 광역통합 RPC 가공공정의 성능기준을 설정하였으며, 평균치를 사용하되, 최소, 최대치 등 유관자료와 단위공정의 단위기계의 성능향상, 향후 공정기술의 개발전망 등을 고려하여 결정하였음

(가) 현미부 성능기준 설정

- 종합정선공정에 적용되는 단위기계는 종합정선기 또는 원료석발기이나 2가지 단위기계는 선별원리가 유사한 반진공식이 주류를 이루고 있고, 성능기준이 되는 인자는 이물질정선율과 이물질 중 정립비율 등 2가지로서, 성능인자에는 기류 적정성, 원료 균일공급 여부 및 선별관 상태 등이 주로 영향을 미치며, 기류선별 설계인자 구멍 등 최근 연구를 통한 성능개선을 감안하여 이물질정선율은 60% 이상, 이물질 중 정립비율은 20% 이하로 설정하였음
- RPC 제현공정에 적용되는 현미기는 고무롤러 형태로서, 성능기준이 되는 인자는 탈부율이고, 탈부율은 원료 균일공급, 원료 함수율 및 고무롤러 상태 등이 영향을 미치는데, 최근 vibrator를 이용한 자동 균일한 원료 공급장치가 적용되고 있고, 안전한 벼 저장과, 식미가 우수한 쌀 생산을 위해 원료의 함수율을 탈부가 용이한 함수율범위인 15% 수준으로 유지하는 RPC가 증가함에 따라 탈부율이 크게 향상되고 있는 점을 감안하여 성능인자인 탈부율 기준을 95% 이상으로 설정하였음
- 현미분리공정에 사용되는 현미분리기는 요동식으로서, 현미분리기에서 선별된 벼는 현미기로, 일부 벼가 섞여있는 현미는 현미분리기로 되돌림 하므로 벼에 혼입된 현미 중량비가 높을수록 현미기에서 동할 및 싸라기 등 품질저하가 발생할 가능성이 높으나, 벼와 현미가 동일한 방향으로 이동하면서 선별되는 요동식의 구조상 한계를 감안하여도 분리관 최적 각도조정과 분리관 선별면적의 적절한 배분 등을 통해 성능향상을 기대할 수 있으므로 현미분리공정의 성능인자인 현미분리 재투입현미비율은 성능기준은 55% 이하, 현미기 재투입현미비율은 40% 이하로 설정하였음
- 현미석발공정에 적용되는 석발기는 주로 2가지 형태로서 종합정선기와 유사한 반진공식과, 소위 Toyo type이라고 하는 요동식으로서, GAP 등 RPC에서도 안전성에 대한 관심이 높아지면서 쌀과 들의 비중차 등에 대한 연구가 진행되면서 석발율도 증가하고 있어 성능기준은 선별된 이물질이 자동 배출되는 반진공식의 석발율은 95% 이상, 이물질중 현미비율은 20% 이하로 설정하였으며, 실린더와 timer에 의한 자동배출형식인 요동식은 석발율 95% 이상으로 하되, timer 설정기준에 따라 달라지는 이물질 중 정립비율은 기준설정에서 제외하였음

○ 크기선별은 주로 입선별기를 적용하고 있으며, 현미 정립과 비정립의 두께차이를 선별망으로 선별하는 방식으로 현미 성상, 결실을 및 현미의 사용용도 등에 따라 선별체의 크기가 결정되며, 최근 현미출하의 증가, 현미원료 상태가 도정특성에 큰 영향을 미친다는 연구보고 등에 따라 선별망의 크기가 다른 입선별기를 2단으로 설치하고 필요에 따라 1, 2단을 선택적으로 사용하는 방식으로 설치 및 운영방법이 개선되고 있으나, 성상별 기하학적 특성 차이를 이용하여 선별되는 입선별기로는 비정립의 완전선별을 불가능하여, 현미색채선별기를 연접하여 설치하는 등 후속공정과 연계하는 방안이 필요하며, 크기선별 자체의 성능기준은 비정립선별을 75% 이상으로 설정하였음

표 3-1-34. 광역통합 RPC 현미부 성능기준

구분	단위공정	제2세대 RPC 측정치 ¹⁾			제1세대 RPC 측정치 ²⁾			현장성능 평가목표치 ³⁾	광역통합 RPC 성능기준
		평균	상위 3개소 평균	하위 3개소 평균	평균	상위 3개소 평균	하위 3개소 평균		
종합 정선	이물질정 선율(%)	62.1	88.0	11.4	34.1	93.7	2.0	55 이상	60 이상
	이물질중 정립비율 (%)	13.2	84.5	0.2	-	-	-	30 이하	20 이하
제현	탈부율 (%)	92.8	98.8	73.9	86.9	98.9	61.4	93 이상	95 이상
현미 분리	현미분리기 채투입현미 비율(%)	85.2	99.4	14.8	90.9	63.7	99.6	65 이하	55 이하
	현미기 채투입현미 비율(%)	62.2	92.1	37.4	68.7	22.1	95.1	50 이하	40 이하
석발	석발율(%)	99.0	100.0	98.3	-	-	-	95 이상	95 이상
	이물질중 현미비율 (%)	43.8	99.1	0.0	59.3	3.9	99.8	30 이하	20 이하 (반진공식에 만 적용)
크기선별	비정립 선별율 (%)	59.2	95.8	4.1	13.1	67.3	0.1	70 이상	75 이상
색채 선별	비정립 선별율 (%)	43.8	83.3	6.6	15.3	-	-	55 이상	80 이상
	불량품중 정품비율 (%)	20.0	74.8	0.4	18.3	-	-	30 이하	20 이하

주) 1. 52개소(2007년~2017년 5월 현재, 한국식품연구원)

2. 85개소(2002년~2015년, 한국식품연구원)

3. 고품질쌀브랜드육성사업 가공시설현대화 성능검사 기준(2016년, 농식품부·한국식품연구원)

- 색채선별공정에 적용되고 있는 색채선별기는 과거 photo diode형태에서 CCD camera방식으로 전환되고 있고, CCD camera 종류도 과거 흑백(monochrome)에서 RGB full color방식으로 바뀌고 있으며, 선별판도 과거 채널방식에서 면방식으로 전환되는 등 이미지프로세싱 및 판별기술의 향상 등 RPC에서는 가장 기술개발이 활발한 단위기계중 하나이나, 현미에서 동할립 등 비정립선별의 어려움 등을 감안할 때 성능기준인 비정립선별율은 80% 이상, 불량품 중 정품비율은 20% 이하로 설정하였음

(나) 백미부 성능기준 설정

- 정미공정은 현미의 미강층을 제거하여 백미를 생산하는 공정으로 정미시스템이 사용되고 있으며, 정미시스템의 형태는 1stG RPC에서는 다단정미기가 많이 사용되었으나, 최근 2ndG RPC에는 균일 도정을 위해 1연삭+1마찰(2마찰)+1연미방식이 주로 보급되고 있고, 정미기 정백통 형태는 횡형과 입형이 모두 사용되고 있으며, 연미기 형태는 과도한 가수시의 품질저하 문제와, 가수량 부족시 발생하는 곡온상승 등의 문제발생에 따른 논란에도 알 수 있듯이 습식연미기와 건식연미기 등이 혼합되어 설치되고 있으며, 배아미와 클린라이스 제조장치 등 정미기와 유사기능을 가진 특수가공미 제조시스템까지 연결되어 복잡한 형태를 유지해가고 있음
- 정미공정의 성능인자로는 백도, 싸라기율, 정백수율, 1단 및 최종쌀의 도정편차, 최종 쌀 표면에서의 상처 등 6가지로서, 먼저, 백도는 도정도와 관계가 있어 백도가 1증가시 도정수율은 0.5%가 감소하므로 본 연구에서도 성능기준으로 백도는 농협중앙회의 도정기준(김 등, 2005)인 40±1을 기준으로 하였으나, 수발아(穗發芽)된 현미를 원료로 사용하는 경우에는 백도 40±1 수준으로 도정할 경우 미강제거가 부족한 경우에 백도기준을 현미백도+20 정도로 사용하는 것으로 설정하였음
- 싸라기율은 부적절한 도정배분에 따른 마찰식에서의 도정압력, 집진상태, 원료 함수율, 동할율 및 곡온에 따라 결정되는데, 마찰식에서의 도정배분이 증가할 경우 싸라기율 증가에 앞서 곡온이 상승하므로 마찰식정미기 출구 곡물의 곡온이 원료 현미곡온보다 여름철 15℃, 겨울철 20℃(일본정미공업협회, 2016)이하로 유지하도록 도정배분을 조정하는 등 운영방법이 개선되고 있으며, 전술한 바와 같이 안전한 고품질 쌀 생산을 위한 저장함수율 15% 수준 유지, 순환식건조기 보급 등으로 원료품질도 향상되고 있는 점 등을 감안하여 싸라기율은 2.5%로 설정하였으며, 한국식품연구원의 성능검사 방법에 준하여 현미 동할율에 따라 발생하는 싸라기율의 보정계수를 적용함
- 정백수율은 실험실 규모에서 백도 40으로 도정할 때 도정도는 9.5%이므로 정백수율은 90.5% 수준이 되나, 정백수율에 영향을 미치는 과도정, 과도한 집진 및 불합리한 도정배분에 따른 수분증발, 도정편차, 쌀 표면의 상처 등의 인자 중에서 RPC와 같은 사용적용 규모에서 집진, 도정배분 및 도정편차 등은 최상의 상태로 유지하기 어려우므로 정미시스템 각 단의 정미기의 작동압력(A로 추정) 및 집진 송풍량(정압계로 추정)을 정상적으로 유지할 수 있다는 전제하에 본 연구에서는 정백수율의 성능기준을 90%이상으로 설정하였음
- 최종쌀의 도정편차 즉, CBB index차이는 주로 연삭식정미기에서 심한 진동, 정미시스템의 처리능력

과 가공량의 차이, 부적절한 도정배분이 원인으로, 1단에서 도정편차가 클 경우 최대 2%까지 수율저하가 발생하는 것으로 예측(김 등, 2005)되고 최종 쌀 제품의 도정편차에도 영향을 미쳐 제품의 외관품질 및 식미를 저하시키므로 성능기준으로 1단의 도정편차 15% 이하, 최종 도정편차 2.0% 이하를 기준으로 설정하였음

- 표면상처는 현미를 도정할 때 연삭식정미기의 진동 및 백필터 집진시 pulse 등에 의해 압력변화가 발생하거나, 절삭식의 채용, 연삭돌의 입도, 연삭돌 변형, 금망 훼손 등에 의해 주로 발생되는데, 연삭에서 상처가 많이 발생한 다음, 마찰, 연미과정을 거치면서 점차 줄어들지만 최종쌀 표면에 발생된 상처가 많을수록 정백수율은 일부 감소하고, 상처부분을 매우고 있는 미강 등이 쌀 표면건조 및 기타 사유로 탈락될 경우 백화현상이 발생하는 등 주요한 정미품질기준이 되고 있어 표면상처는 20% 이하를 기준으로 설정하였음
- 정미공정은 도정수율, 싸라기율 및 식미(도정도 및 품위가 영향)에 결정적 영향을 미치는 RPC의 핵심 단위공정이며, 전술한 성능인자인 싸라기율, 정백수율, 1단 및 최종쌀의 도정편차, 최종 쌀 표면에서의 상처 등은 상호간에 영향을 미쳐 1개 성능인자의 향상만을 도모할 경우 다른 인자의 성능이 저하하게 되는 상호 보완적인 기능을 갖도록 성능인자의 종류 및 성능기준을 설정하였음
- 싸라기선별공정에 주로 사용되는 선별기는 기하학적 선별방식인 로터리쉬프트(Rotary sifter) 및 진동체선별기 등으로서, 과거에는 정미시스템 직후에는 로터리쉬프트가, 포장직전에는 진동체선별기가 주로 사용되었으나, 로터리쉬프트는 6~8단으로 구성되어 있고 형태상 청소 등 유지관리가 어려워, 현재는 유지관리가 용이한 진동체선별기를 선호하는 RPC가 증가하고 있는 추세로서, 성능인자는 싸라기선별율로서 선별체와 곡물 접촉면적, 진동체의 청소상태, 원료 품질 등에 따라 성능이 달라지나 성능기준은 75%이상으로 설정하였음
- 백미석발공정에 적용되는 석발기는 현미석발 방식중 하나인 요동식이 주로 사용되나, 반품 이외에 일반 백미가공용으로 석발기를 사용하지 않는 RPC가 대단히 많은 상태로서, 공정변화가 필요하며, 성능인자 및 기준은 현미석발과 유사하게 석발을 및 이물질 중 백미비율로서, 각각 95% 이상 및 20% 이하로 설정하였음
- 색채선별공정에 사용되는 색채선별기는 2단으로 설치되는데, 1단에서는 machine vision으로 선별이 가능한 분상질립, 열손립 및 이종곡립 등 비정상립을 선별하고, 2단에서는 NIR로 성분(주로 수분함량 차이를 이용)이 다른 유리 및 플라스틱 등을 선별하고 있는데, 최근에는 파장대를 확대하여 machine vision과 NIR을 모두 이용한 색채이물선별기 형태도 출시되고 있으며, 전술한 바와 같이 이미지프로세싱 및 판별기술의 향상으로 성능이 지속적으로 향상되고 있어, 성능기준을 불량품선별율은 85% 이상, 불량품 중 정품비율은 15% 이하로 설정하였으며, 이물선별공정의 성능기준은 불량품선별율, 불량품중 정품비율 및 이물질선별율로 설정하였고, 각각 85% 이상, 15% 이하 및 85% 이상을 기준으로 설정하였음
- 완전미선별기로는 흡선별기, 진동체선별기, 색채선별기와 유사형태의 machine vision과 ejector를 사용하는 선별기 등 3가지 형태가 사용되고 있는데, 흡선별기는 동절기 미강의 흡 부착으로 인한 제품

오염 및 선별을 저하, STS로 제작이 어려운 문제가 있고, 진동체선별기는 기하학적 특성을 이용한 선별방식으로 선별을 향상의 한계가 있으며, 색채선별기와 유사형태는 지속적인 성능향상이 도모되고 있으나 가격이 높은 단점이 있어 3가지 방식에 대한 우열을 판단하기 어려운 상태로서, 성능기준은 찌라기선별을 65% 이상, 찌라기 중 정품비율 20% 이하로 설정하였음

표 3-1-35. 광역통합 RPC 백미부 성능기준

구분	단위공정	제2세대 RPC 측정치 ¹⁾			제1세대 RPC 측정치 ²⁾			현장성능 평가목표치 ³⁾	광역통합 RPC 성능기준
		평균	상위 3개소 평균	하위 3개소 평균	평균	상위 3개소 평균	하위 3개소 평균		
정미	백도	40.6	42.6	39.7	39.9	-	-	40±1	40±1
	찌라기율(%)	3.1	9.4	0.5	5.7	1.1	14.7	3.0 이하	2.5 이하
	정백수율(%)	90.1	91.9	87.2	89.5	92	84.6	89.5 이상	90 이상
	1단의 도정편차(%)	-	-	-	35.3	3.6	67.4	15 이하	15 이하
	최종 쌀의 도정편차(%)	2.8	11.7	4.2	2.8	0.8	6.6	3.0 이하	2.0 이하
	표면상처 발생(%)	27.1	91.3	1.1	33.1	8.0	81.3	25 이하	20 이하
찌라기 선별	로터리쉬프터 찌라기선별율 (%)	46.2	96.7	3.5	20.8	55.6	0.1	70 이상	75 이상
	진동체선별기 찌라기선별율 (%)	59.0	99.8	13.4	14.5	25.7	4.7	70 이상	75 이상
백미 석발	석발율(%)	-	-	-	-	-	-	95 이상	95 이상
	이물질중 백미비율(%)	49.2	90.9	13.4	77.7	-	-	30 이하	20 이하
색채 선별	불량품 선별율(%)	54.8	95.2	3.2	18.6	62.0	0.1	80 이상	85 이상
	불량품 중 정품비율(%)	12.9	81.1	0.4	18.1	1.8	62.5	20 이하	15 이하
완전미 선별	찌라기 선별율(%)	54.0	92.5	9.3	-	-	-	60 이상	65 이상
	찌라기중 정상립비율 (%)	25.0	57.2	1.8	-	-	-	25 이하	20 이하
이물 선별	불량품선별율 (%)	41.6	100.0	2.3				80 이상	85 이상
	불량품 중 정품비율(%)	18.1	83.1	0.5				20 이하	15 이하
	이물질선별율 (%)	95.7	100.0	76.3				80 이상	85 이상

주) 1. 52개소(2007년~2017년 5월 현재, 한국식품연구원)

2. 85개소(2002년~2015년, 한국식품연구원)

3. 고품질쌀브랜드육성사업 가공시설현대화 성능검사 기준(2016년, 농식품부·한국식품연구원)

(다) 포장부 성능기준 설정

- 포장공정에 사용되는 포장기는 생산하는 브랜드의 규격 및 포장조건(진공포장, 탈산소제 충전포장 등)에 의해 결정되는데, 과거에는 전자동지대포장기가 기본이었고, 반자동포장기가 보완적으로 설치되었으나, 최근 쌀 소비량의 감소에 따라 20kg 포장단위(craft paper 활용)의 매출이 감소하는 대신 5kg 이하의 다양한 중량의 소포장제품 출하가 증가하면서 로터리포장기(rotary packing machine)의 설치가 증가하고 있으며, 중국 쌀 수출을 계기로 진공포장기를 설치하는 사례도 증가하고 있으나, 모든 포장기에서 작업시 성능인자는 파포율로서, 본 연구에서는 성능기준으로 파포율 0.0% 이하로 설정하였음
- 로봇적재공정은 주로 포장된 제품을 pallet에 적재하는데 사용되었으나, 최근 소포장 제품의 판매증가에 따라 일부 2ndG RPC에서는 박스에 충전하는 공정에 로봇을 이용하는 경우가 증가하고 있는데, 모든 형태의 로봇적재공정에서 성능인자는 파포율로서, 본 연구에서는 성능기준은 파포율 0.0% 이하로 설정하였음

표 3-1-36. 광역통합 RPC 포장부 성능기준

구분	단위공정	제2세대 RPC 측정치 ¹⁾			제1세대 RPC 측정치 ²⁾			현장성능 평가목표치 ³⁾	광역통합 RPC 성능기준
		평균	상위 3개소 평균	하위 3개소 평균	평균	상위 3개소 평균	하위 3개소 평균		
포장	파포율(%)	0.8	6.0	0.0	-	-	-	0.5 이하	0.0 이하
로봇 적재	파포율(%)	0.0	0.0	0.0	-	-	-	0.1 이하	0.0 이하

1) 52개소(2007년~2017년 5월 현재, 한국식품연구원)

2) 85개소(2002년~2015년, 한국식품연구원)

3) 고품질쌀브랜드육성사업 가공시설현대화 성능검사 기준(2016년, 농식품부·한국식품연구원)

(라) 집진부 성능기준 설정

- 집진공정은 RPC의 반입, 건조, 저장 및 가공 등 RPC의 모든 공정에 설치되어 선별, 비산먼지의 집진 및 방냉 등의 역할을 하는 RPC의 핵심 부대시설이면서 가장 설치비용이 많이 소요되는 부대시설로서, 집진시설의 누락, 불합리한 집진체계 구축 및 집진시설 성능저하는 RPC 성능저하는 물론 비산먼지로 인한 민원의 주요 원인이 되고 있으며, 최근 미세먼지에 의한 사회적 문제로 관심이 더욱 증가하고 있는 공정이나, RPC 분진현황 분석 및 집진시스템 개발을 수행한 한국식품연구원(2010~2012년)의 연구결과 이외에는 다른 연구결과를 찾아보기 어려운 실정으로서 본 연구에서는 후술하는 바와 같이 친환경 대용량 집진시스템을 개발하는 연구를 수행하였음

○ RPC에 사용되는 집진기는 사이클론(cyclone)과 백필터(bag filter) 형태로서, 사이클론에는 순환식건조기 및 연속식건조기에 사용되고 turbo cleaner 등 일부 변형한 형태도 보급되고 있는데 비교적 적은 시설비로 설치가 가능하나 집진효율이 매우 낮고, 백필터는 사이클론에 비해 고가의 시설비가 필요하나 집진효율이 높은 집진기로서, 본 연구에서는 송풍기 설계치와 측정치의 차이는 7.5% 이하로 설정하되, 사이클론과 백필터의 집진효율은 국립환경연구원의 고시(20014-1)에 의거하여 각각 60%, 90% 이상을 준용하는 것으로 설정하였음

표 3-1-37. 광역통합 RPC 집진부 성능기준

구분	단위공정	제2세대 RPC 측정치 ¹⁾			제1세대 RPC 측정치 ²⁾			현장성능 평가목표치 ³⁾	광역통합 RPC 성능기준
		평균	상위 3개소 평균	하위 3개소 평균	평균	상위 3개소 평균	하위 3개소 평균		
사이클론	송풍기 설계치와 측정치 차이(%)	18.8	79.7	0.4	-	-	-	10 이하	7.5 이하
	집진효율(%)	74.3	99.9	0.8	-	-	-	60 이상	60 이상
백필터	송풍기 설계치와 측정치 차이(%)	13.3	71.2	0.6	-	-	-	10 이하	7.5 이하
	집진효율(%)	82.3	99.5	23.4	-	-	-	90 이상	90 이상

1) 52개소(2007년~2017년 5월 현재, 한국식품연구원)

2) 85개소(2002년~2015년, 한국식품연구원)

3) 고품질쌀브랜드육성사업 가공시설현대화 성능검사 기준(2016년, 농식품부·한국식품연구원)

다. 광역통합 RPC 가공공정 설계기준 개발

(1) 기본 설계방향

- RPC는 연간 약 2,581천톤(2014년 기준)을 처리하여 우리나라 쌀 유통량의 63.6%를 담당하고 있고, 유통구조 단순화로 유통비용 비중을 약 20%로 절감하였고, 시설현대화 및 건조저장시설 등 수확후 품질관리 인프라를 구축하여 안전한 고품질 쌀 생산기반이 되고 있으며, 2005년 수매제 폐지이후 RPC중심 공공비축제 도입으로 시장자율기능이 강화되는 등 RPC는 우리나라 쌀 민간유통의 중심시 설임(농림축산식품부, 2014)
- RPC세대별 평균 규모(가공능력)는 1stG RPC가 3.0ton/hr, 2ndG RPC가 7.2ton/hr로서, 우리나라 234 개소 RPC(농협 151개소, 민간83개소)의 전체 가공능력은 899.4ton/hr수준이나, 234개소 RPC의 산 술적인 평균 규모(가공능력)는 3.8ton/hr에 불과하여(일본 정미공장의 44.7%수준) 품질 및 시설의 경쟁력을 위해서는 규모화가 필요함
- 또한, 세대별로는 1stG RPC가 187개소(79.9%), 2ndG RPC가 47개소(20.1%)이며, 고품질쌀브랜드육 성사업을 제외한 시설개선 및 현대화 등은 고려하지 않고 보급시기만으로 판단할 때 모든 1stG RPC(1991~2001년)와 보급초기 2ndG RPC(2007~현재) 등 약 195개소 RPC(83.3%)는 내용연수(가 공시설 8년)를 경과하여 노후화되었을 것으로 추정됨
- RPC는 평균 3.8ton/hr로 소규모이고, 약 195개소 RPC(83.3%)가 내용연수를 지나 노후화되었고, RPC중 33%가 가동율이 50%이하(2012년, 농림축산식품부)로서 농협RPC중 적자RPC가 57.4% (2014년)로 절반이상으로서 RPC 규모화 및 현대화가 필요한 실정으로 정부에서는 대형유통업체와 의 쌀 교섭력 제고 및 경영효율화 도모를 위해 2014년 234개소인 RPC를 2024년까지 120개소로 통합한다는 목표하고 있음
- 건강중심으로 쌀 소비패턴도 현미가 백미를 대체하는 경향(가구당 현미구입량은 8.2kg(2010)에서 9.9kg(2012)으로 20.7%가 상승, 농촌진흥청, 2013)이고, 우리나라 1인 가구 비율이 약 27.1%(2015년 추계치, 통계청)로 증가추세로서 편리한 클린라이스에 대한 수요가 발생하는 등 쌀 에서도 “건강”과 “편리성” 추세가 증가되면서, 특수가공미의 대량생산이 필요한 실정임
- 따라서, 본 연구에서는 이와 같은 쌀산업의 환경변화를 고려하여 설정하였는데, 먼저, 시설규모는 2024년까지 120개소로 통합되는 RPC는 전국통합RPC협의회(2014)의 주장대로 대형유통업체와 교 섭력확보를 위한 약 50,000톤 이상 규모로 설정하였으며, 이에 적합한 가공규모는 15~20ton/hr (2ndG RPC의 약 2~3배 수준)이고, 원료권역은 83,000~110,000톤 수준으로서 광역통합의 범위는 대규모 쌀 생산단지인 경우에는 1개시군, 그렇지 않는 경우에는 몇 개 연접한 시군단위 광역통합으 로 설계방향을 설정하였음
- 또한, 광역통합 RPC에는 최근 “건강”, “안전성”, “고품질”, “편리성” 등의 소비자 needs에 대응하기 위한 배아미, 발아현미, 클린라이스 및 혼합미의 설비 및 혼합미 생산을 위해 필요한 잡곡처리시설의 도입은 물론, 미세먼지에 의한 민원 등 사회적인 문제해결은 물론, 친환경 저에너지로 곡물을 안전하

계 대량처리하기 위해 친환경집진시스템 및 공기이송시스템 등의 반영, 쌀 이력관리 및 대규모 시설의 효율적인 운영관리를 위해 4차 산업혁명을 반영한 새로운 개념의 u-IT기반 통합관리시스템 등을 반영하는 것으로 다음과 같이 설계방향을 수립하였음

표 3-1-38. 광역통합 RPC 기본설계방향에 따른 설계적용내용

설계방향	설계적용내용
① 연간 균일한 품질의 브랜드 쌀 생산이 가능한 시설	· MMI PC제어시스템, 운영관리시스템 · 실시간 품질관리시스템
② 안전한 쌀 생산을 위해 생산이력추적(traceability)이 가능한 시설	· 자동수율 및 재고관리시스템 · 실시간 품질관리시스템
③ 소비자 needs 및 GAP 농산물우수관리 시설기준에 적합한 시설	· GAP우수관리시설기준 적용 · 주요공정의 금속 및 이물질 선별
④ 특수가공미 대량생산이 가능한 시설	· 클린라이스, 배아미, 발아현미 등 특수가공미 생산공정 · 두류, 조, 기장 등 잡곡류 및 혼합미 생산공정
⑤ 품종별, 원료별 구분 작업이 가능한 시설	· 자동수율 및 재고관리시스템 · MMI PC제어시스템, 운영관리시스템
⑥ 도정수율 저하를 최소화할 수 있는 시설	· 실시간 품질관리시스템 · 조명, 집진 등 주변 환경 최적화
⑦ 쌀, 특수가공미 등 다양한 브랜드관리가 가능한 시설	· 포장공정의 로봇시스템 · 원료 및 제품탱크의 다양화
⑧ 작업동선 및 운영관리가 편리한 시설	· MMI PC제어시스템, 운영관리시스템 · 포장공정의 로봇시스템
⑨ 에너지 및 투자비용이 최소화되는 시설	· 부산물 공기이송 적용 · 백미 및 현미 공기이송 적용 · 친환경 저에너지 집진시스템 적용
⑩ 분진, 미세먼지 등의 발생이 최소화되는 친환경 시설	· 친환경 저에너지 집진시스템 설치 · GAP우수관리시설기준 적용

(2) 처리능력

- 광역통합 RPC의 처리능력은 약 50,000톤(백미 기준) 내외가 처리가 가능하도록 15ton/hr 및 20ton/hr(2ndG RPC의 약 2~3배 수준)으로 설계하였으며, 15ton/hr 처리능력에서 연간 원료벼 처리량은 64,400톤이며 백미생산량은 48,000톤이었고, 20ton/hr 처리능력에서는 연간 원료벼 처리량은 85,800톤이며 백미생산량은 64,400톤이었음

표 3-1-39. 광역통합 RPC 가공시설의 처리능력에 따른 1일 및 연간 원료처리 및 제품생산량

처리능력	1일 원료처리 및 제품생산량(ton)			연간 원료처리 및 제품생산량(ton)		
	원료벼	현미	백미	원료벼	현미	백미
15ton/hr	322	265	240	64,400	53,000	48,000
20ton/hr	429	354	320	85,800	70,700	64,000

- 주) 1. 1일 가공시간기준 : 16시간, 연간 200일 가동
 2. 현미부 처리능력 산정기준 : 제현율 82.4% 기준
 3. 백미부 처리능력 산정기준 : 도정도 9.5%(백도 40) 기준(현미의 90.5%)

(3) 주요공정

- 가공공정은 다음 그림 3-1-35와 같이 현미부, 백미부, 포장·특수가공부와 이들을 연결하는 이송시설, 가공공정에 필요한 부산물 및 부자재부, 설비부로 구성하였고, 가공공정을 제어하는 MMI(Man machine interface) PC제어시스템, 운영관리시스템, Ethernet/무선인식기술/데이터베이스기술 등을 활용하여 RPC/DSC로 반입된 원료의 lot별 수율/재고관리가 가능한 YICS(Yield and Inventory Control System, 자동수율 및 재고관리시스템)와, NIR/machine vision을 이용한 품질측정시스템과 소비자에게 품질/이력정보를 제공하는 RTQMS(Real Time Quality Management System, 실시간 품질관리시스템) 등으로 구성하였음
- 현미부는 투입-계량-정선/석발-제현-현미분리-정립선별-석발 공정으로 구성하였고, 현미는 백미부로 이송되어 정립선별-계량-정백-연미-짜라기선별-백미석발-색채선별-이물선별 등의 공정을 통과한 후 포장부로 이송되며, 이력관리를 위해 원료의 중량(또는 함수율)측정이 필요한 공정에는 계량기를 포함하였음
- 현미부를 통과한 현미는 발아현미 공정으로 이송되어 생산 공정을 통해 발아현미로 출하가 가능하고, 배아미는 정백공정 후 백미상태로 배아미로 생산되며, 클린라이스는 색채 및 이물선별이 완료된 후 백미상태로 클린라이스가 생산되도록 공정을 구성하였으며, 반입된 잡곡 등의 원료를 처리한 다음, 현미와 백미 등을 혼합하는 혼합미제조공정이 포함되었음
- GAP시설기준에 부합될 수 있도록 현미부, 백미부, 포장·특수가공부, 부산물 및 부자재부 및 주요 설비부를 구획 또는 분리하였고, pallet와 포장지보관공간의 분리, 비철금속 및 이물질선별공정, 압송식 공기이송(Pneumatic conveying)을 이용한 부산물 이송공정, 흡인식 청소시스템 및 미세먼지 최소화를 위해 통합집진시스템을 적용하여 공정을 구성하였음

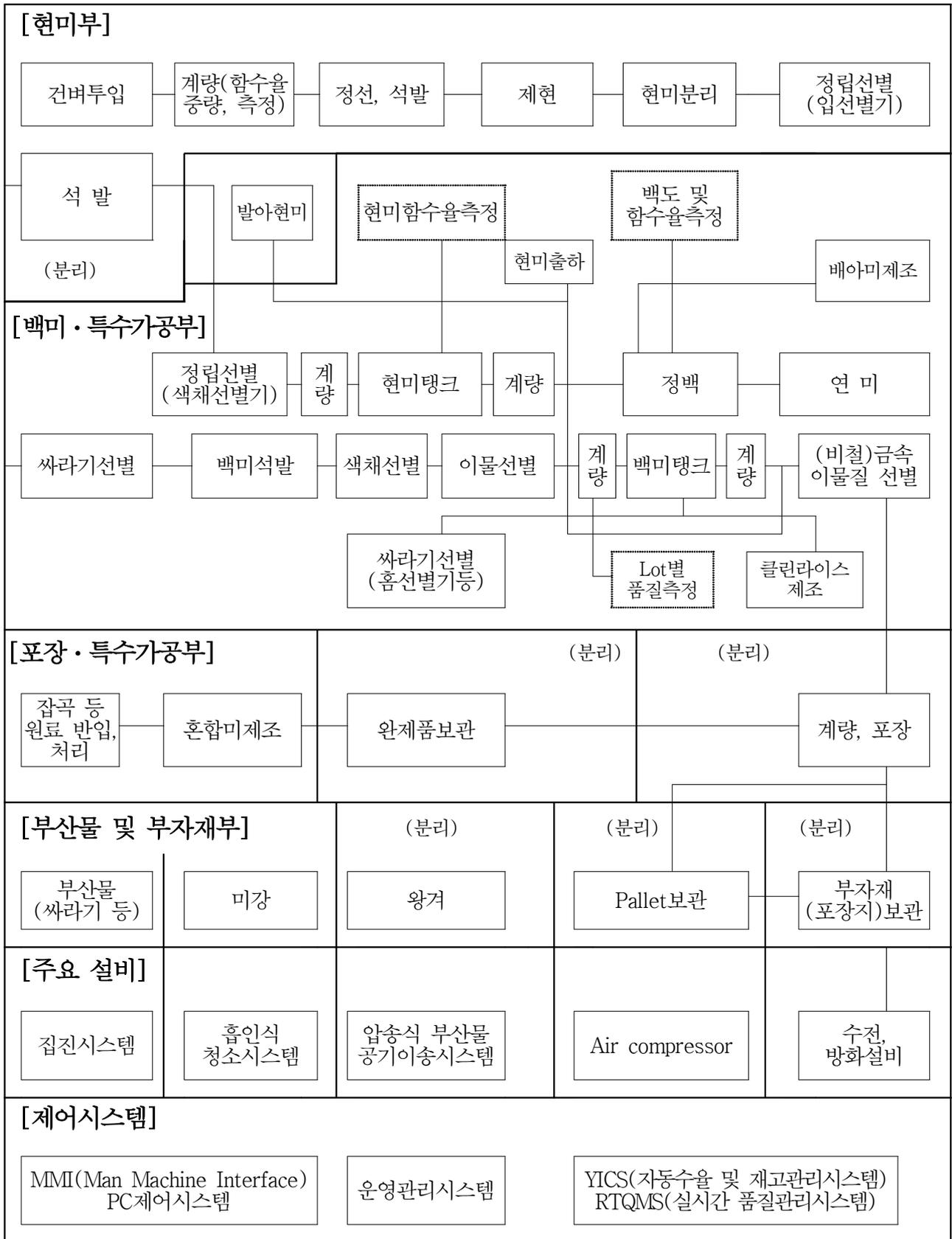


그림 3-1-35. 광역통합 RPC 가공공정 기본 공정도

라. 광역통합 RPC 가공공정 모델 설계

(1) 전체 설계도

- 광역통합 RPC 가공공정의 성능기준, 설계방향, 처리능력 및 기본공정 등을 바탕으로 처리능력별 2종 (15 및 20ton/hr)의 가공공정에 대한 렌더링(rendering) 이미지와, 이 이미지에 의한 모형도 사진은 다음 그림 3-1-36과 같았으며, 현미 및 백미가공부, 특수가공미가공부, 혼합미가공부 등 주요 가공공정의 세부시설에 대한 구성은 다음 표 3-1-40~41과 같았음



그림 3-1-36. Mega RPC모델의 렌더링(rendering) 이미지 및 모형

- 현미가공부는 보급·운영되고 있는 단위기계의 처리능력과 운영 효율성을 고려하고 도정도 86.8%를 기준으로 6.0ton/hr을 기준 라인으로 하여, 처리능력에 따라 15ton/hr은 3라인, 처리능력 20ton/hr은 4라인으로 구성하여 총 18ton/hr 및 24ton/hr의 현미생산이 가능하도록 하였으며, 백미가공부도 현미가공부의 고려기준을 적용하여 5.0ton/hr을 기준 라인으로 하여, 처리능력 15ton/hr은 3라인으로 구성하고, 처리능력 20ton/hr은 4라인으로 구성하여 총 15ton/hr 및 20ton/hr의 백미생산이 가능하도록 설계하였음

- 특수가공미가공부는 배아미, 클린라이스 및 발아현미 가공부로 구성하였으며, 배아미 및 클린라이스 가공부는 처리능력을 2.5ton/hr(1라인)으로 구성하였으며, 발아현미는 세척-발아-살균-탈수 등의 세부공정 및 단위기계의 처리능력을 고려하여 2.0ton/hr(1라인)으로 구성하였음
- 혼합미가공부는 잡곡을 반입하여 선별 등 처리한 후 단독으로 포장하거나, 현미 및 백미와 혼합하여 혼합미로 포장하여 유통하는 공정으로서, 잡곡은 두류, 귀리, 울무, 조, 기장, 깨, 수수, 찹쌀 및 찰흑미 등의 정선/가공부와, 가공된 잡곡을 현미 및 백미 등과 혼합하는 혼합미가공부로 구성하였으며, 국내 단위기계의 생산현황을 고려하여 두류정선부와 혼합미제조부는 2.0ton/hr, 찹쌀 및 찰흑미정선부는 2.5ton/hr, 나머지 잡곡가공부는 1.0ton/hr으로 구성하였음

표 3-1-40. 광역통합 RPC 가공공정의 처리능력 별 세부 공정구성 및 처리능력

공정 구성		공정 처리능력		비고
		처리능력 15ton/hr	처리능력 20ton/hr	
현미 및 백미 가공부	현미 가공부	6.0ton/hr 3라인	6.0ton/hr 4라인	
	백미 가공부	5.0ton/hr 3라인	5.0ton/hr 4라인	
특수가공미 가공부	배아미 가공부	2.5ton/hr 1라인	2.5ton/hr 1라인	흑미 포함
	클린라이스 가공부	2.5ton/hr 1라인	2.5ton/hr 1라인	
	발아현미 가공부	2.0ton/hr 1라인	2.0ton/hr 1라인	
혼합미 가공부	두류 정선부	2.0ton/hr 2라인	2.0ton/hr 2라인	대두/소두
	귀리 가공부	1.0ton/hr 1라인	1.0ton/hr 1라인	
	울무 가공부	1.0ton/hr 1라인	1.0ton/hr 1라인	
	조/기장 가공부	1.0ton/hr 2라인	1.0ton/hr 2라인	
	혼합미 제조부	2.0ton/hr 1라인	2.0ton/hr 1라인	혼합24곡
	깨 정선부	1.0ton/hr 1라인	1.0ton/hr 1라인	
	수수 가공부	1.0ton/hr 1라인	1.0ton/hr 1라인	
	찹쌀/찰흑미 정선부	2.5ton/hr 1라인	2.5ton/hr 1라인	

표 3-1-41. 광역통합 RPC 가공공정 시설구성

번호	내용	번호	내용
①	원료투입시설 4라인	㉑	두류 정선라인
②	원료탱크 100톤 10기	㉒	귀리 가공라인
③	현미가공부 4라인(또는 3라인)	㉓	율무 가공라인
④	백미가공부 4라인(또는 3라인)	㉔	조/기장 가공라인
⑤	클린라이스 현미가공	㉕	혼합미 제조시설(24곡)
⑥	클린라이스 백미가공	㉖	깨 정선라인
⑦	배아미/유색미 현미가공	㉗	수수 가공라인
⑧	배아미/유색미 백미가공	㉘	참쌀/찰흑미 정선라인
⑨	부산물실	㉙	자동소포장라인
⑩	미강실	㉚	박스포장실
⑪	통합집진기(원료부)	㉛	통합집진기(혼합미부)
⑫	통합집진기(현미부)	㉜	부산물처리실
⑬	왕겨처리부	㉝	박스포장실
⑭	제품포장실(백미부)	㉞	Pallet 보관실
⑮	박스포장실	㉟	에어컴프레샤실
⑯	자동로봇적재부	㊱	제어실/품질관리실(혼합미부)
⑰	포장재실(지대포장)	㊲	사무관리동(사무실, 회의실)
⑱	에어컴프레샤실	㊳	제어실/품질관리실(가공부)
⑲	발아현미 가공실(2.0t/hr)	㊴	호퍼사일로 500톤 20기
⑳	영양강화미 가공실(2.0t/hr)	㊵	순환식건조기 30톤/B 10기

(2) 공정별 설계도

- 광역통합 RPC의 현미부(6ton/hr), 백미부(5ton/hr), 특수가공미가공부(배아미/유색미, 클린라이스), 포장부(15ton/hr), 혼합미가공부(귀리, 율무, 참쌀, 찰흑미, 두류, 조, 기장, 수수, 깨), 혼합미제조부 및 부대시설(집진처리시설, 자동제어, 청소시스템 등) 등 공정 설계도는 다음 그림 3-1-37~53과 같았으며, 3D 도면은 그림 3-1-54~57과 같았음

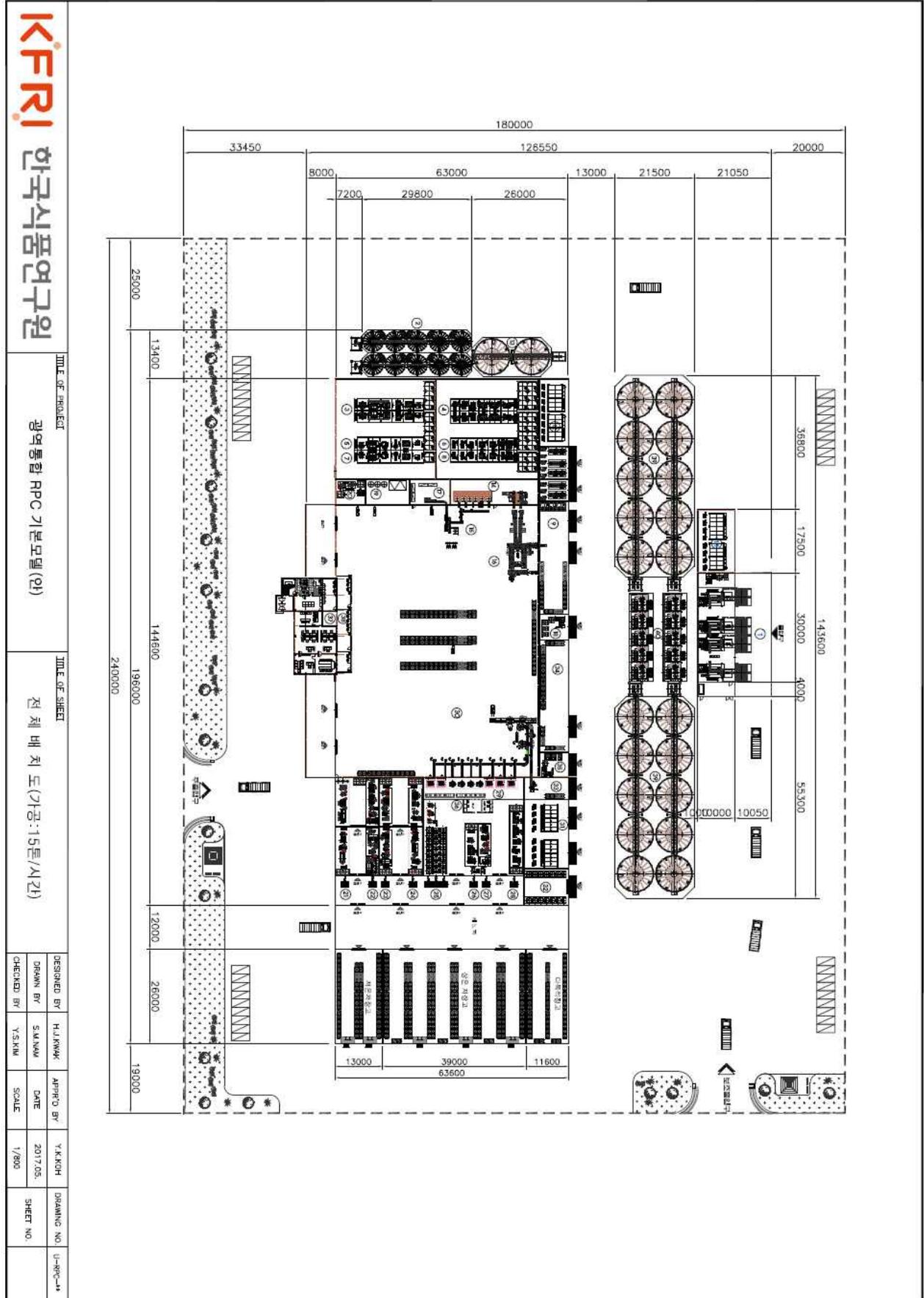


그림 3-1-37. 광역통합 RPC 전체 배치 설계도(처리능력 15ton/hr)

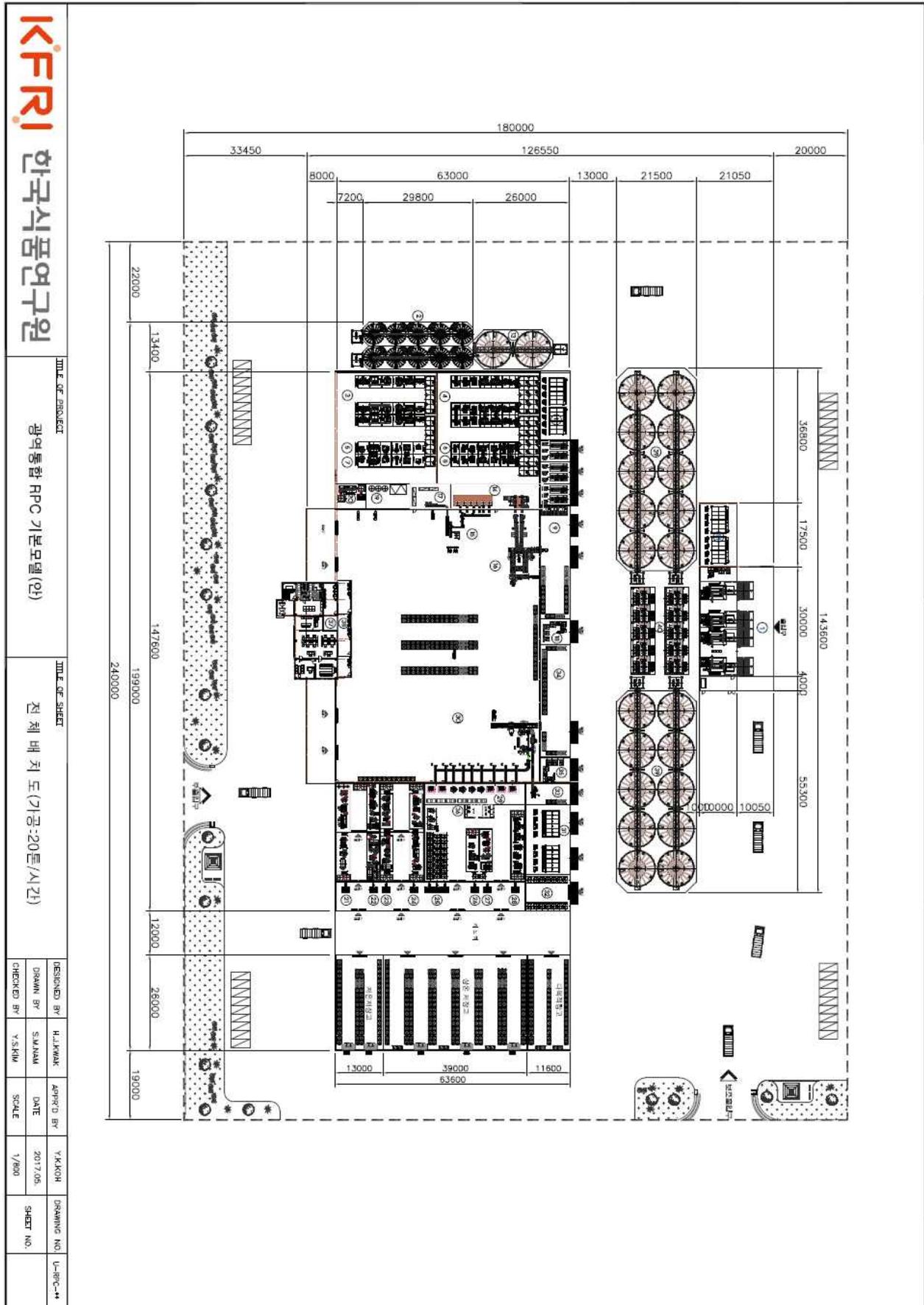
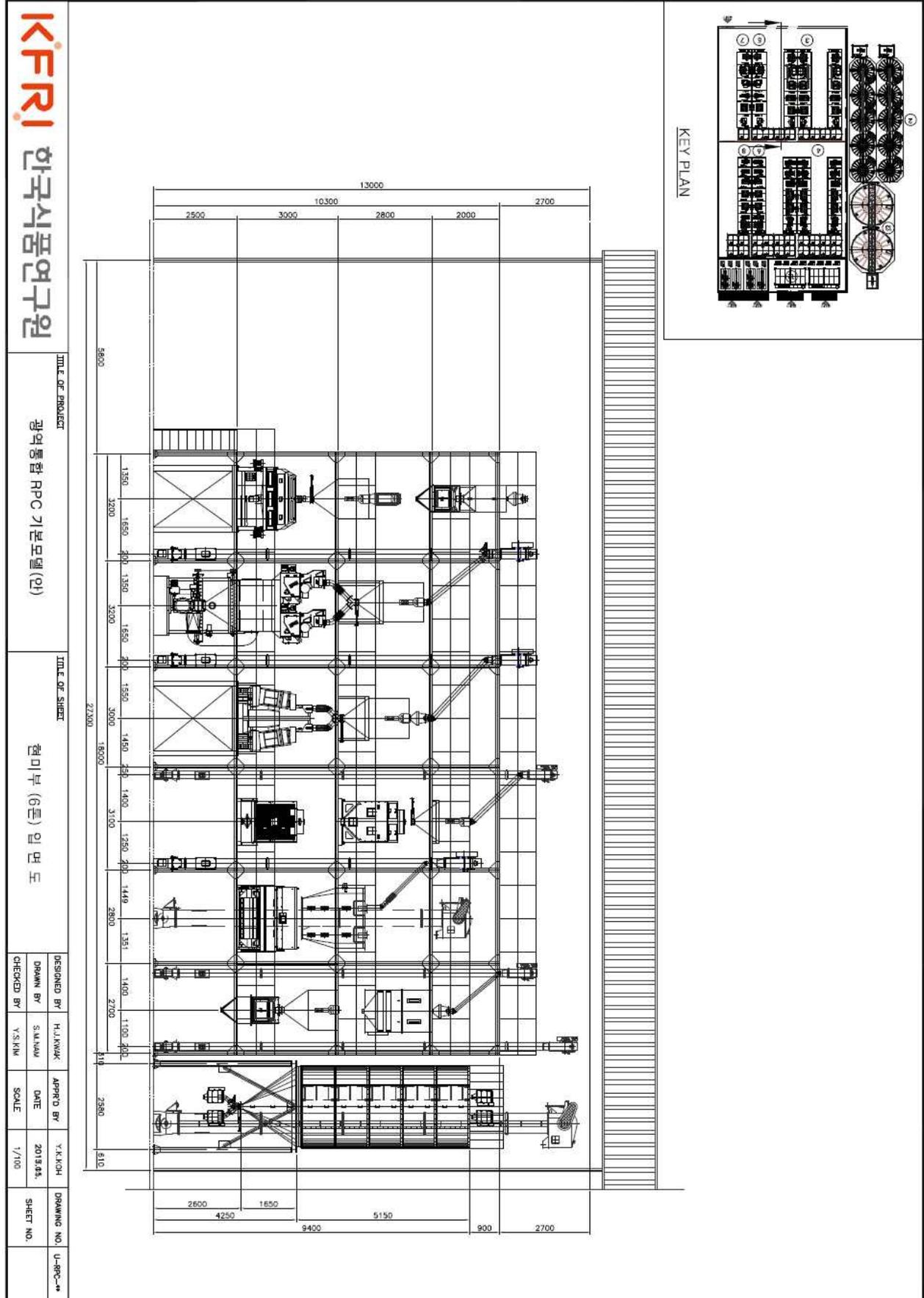


그림 3-1-38. 광역통합 RPC 전체 배치 설계도(처리능력 20ton/hr)



KIFARI 한국식품연구원

TITLE OF PROJECT
광역통합 RPC 기본모델 (안)

TITLE OF SHEET
현미부 (6톤) 안 면 도

DESIGNED BY H.J.KWK
DRAWN BY S.M.NAM
CHECKED BY Y.S.KIM

APPROV BY Y.K.KOH
DATE 2018.03.
SCALE 1/100

DRAWING NO. U-RPC-4
SHEET NO.

그림 3-1-39. 광역통합 RPC 현미부(6ton/hr) 설계도

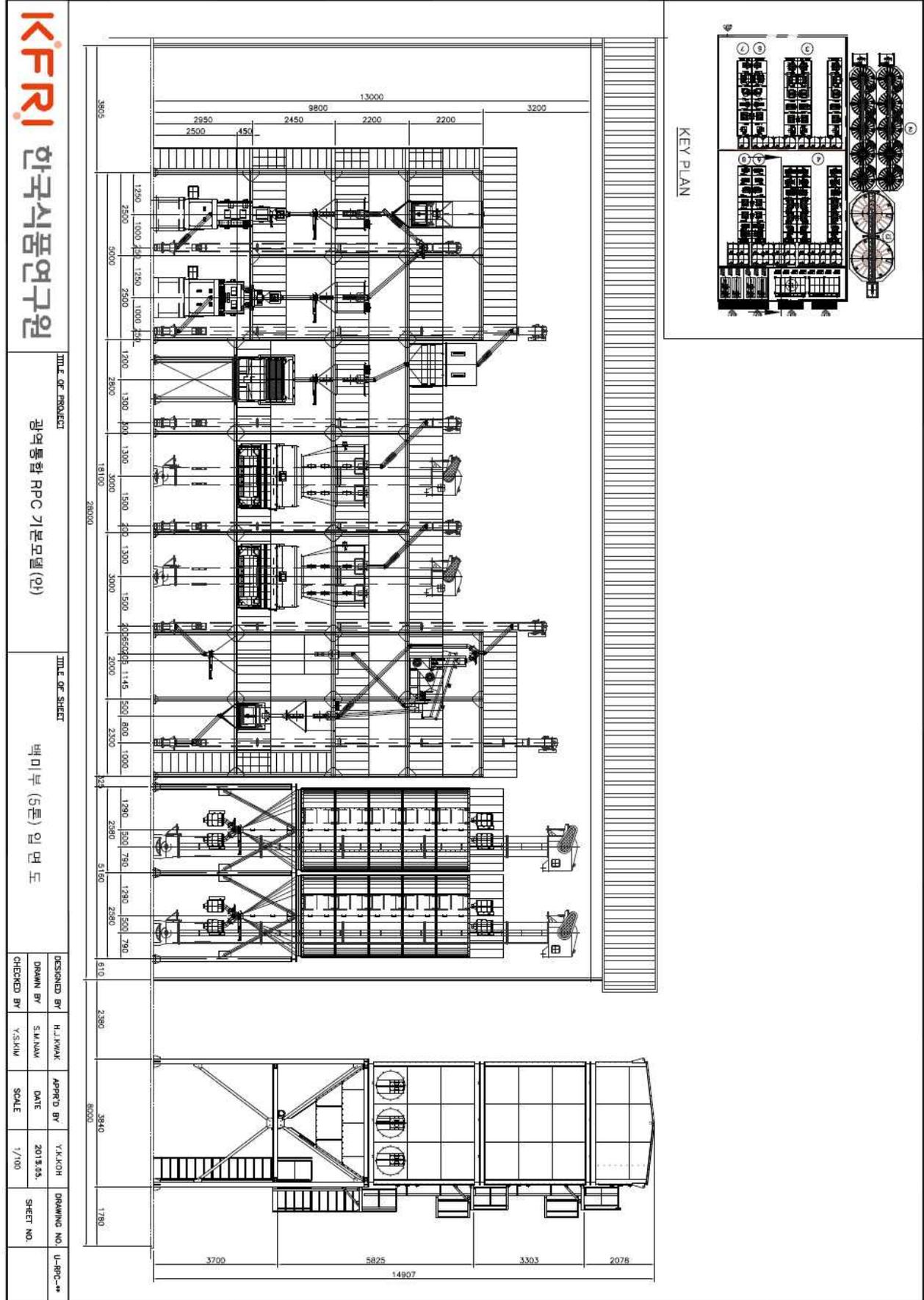


그림 3-1-40. 광역통합 RPC 백미부(5ton/hr) 설계도

DESIGNED BY	H.J.KWK	APPROD BY	Y.K.KCH	DRAWING NO.	U-RPC-44
DRAWN BY	S.M.NAM	DATE	2017.05.		
CHECKED BY	Y.S.KIM	SCALE	1/100	SHEET NO.	

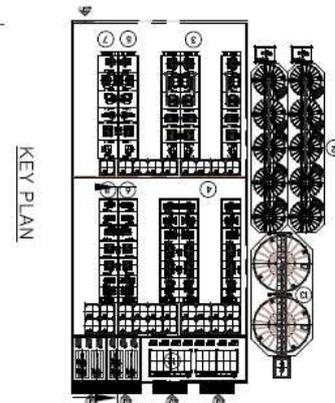
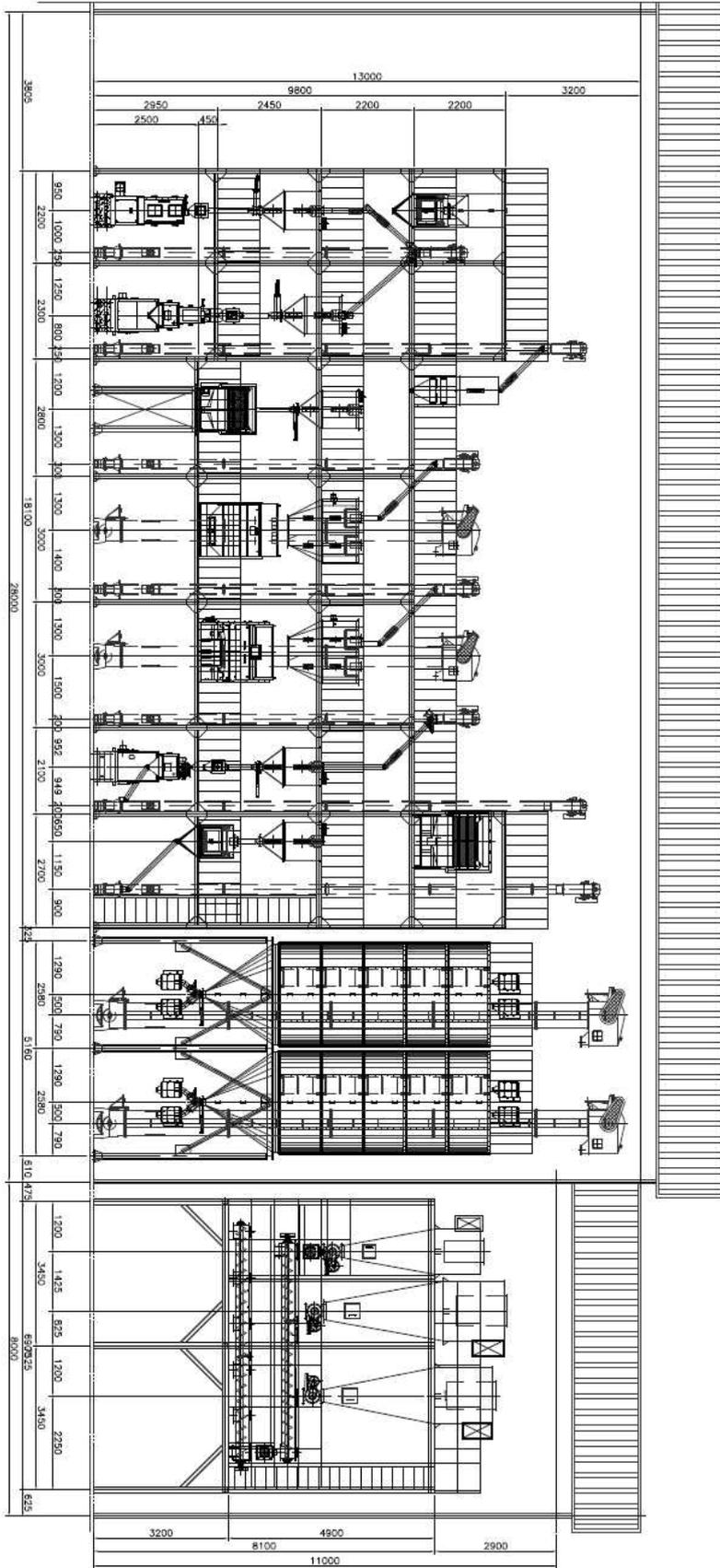


그림 3-1-41. 광역통합 RPC 특수가공부(배아미/유색미, 2.5ton/hr) 설계도

TITLE OF PROJECT
광역통합 RPC 기본모델 (안)

TITLE OF SHEET
친환경 & 클린라이스 배미부 (2.5톤) 입면도

DESIGNED BY	H.LIMAK	APPROD BY	Y.K.KOH	DRAWING NO.	U-RPC-4*
DRAWN BY	S.K.YAM	DATE	2013.05.		
CHECKED BY	V.S.HW	SCALE	1/100	SHEET NO.	

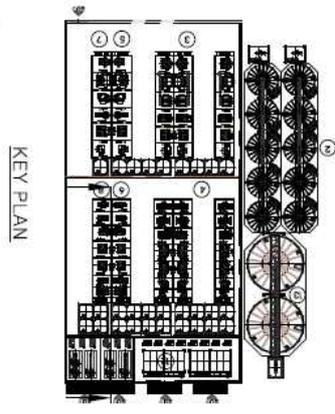
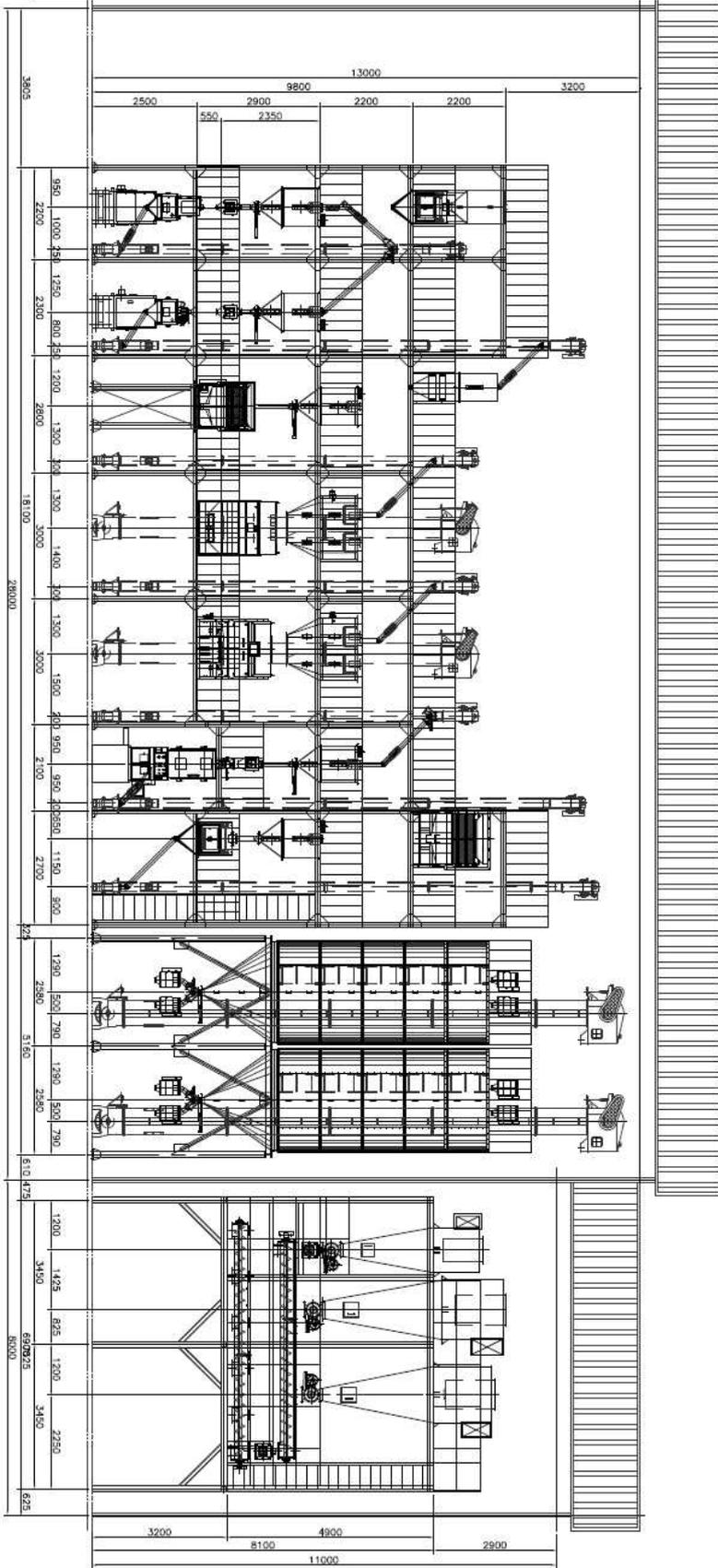
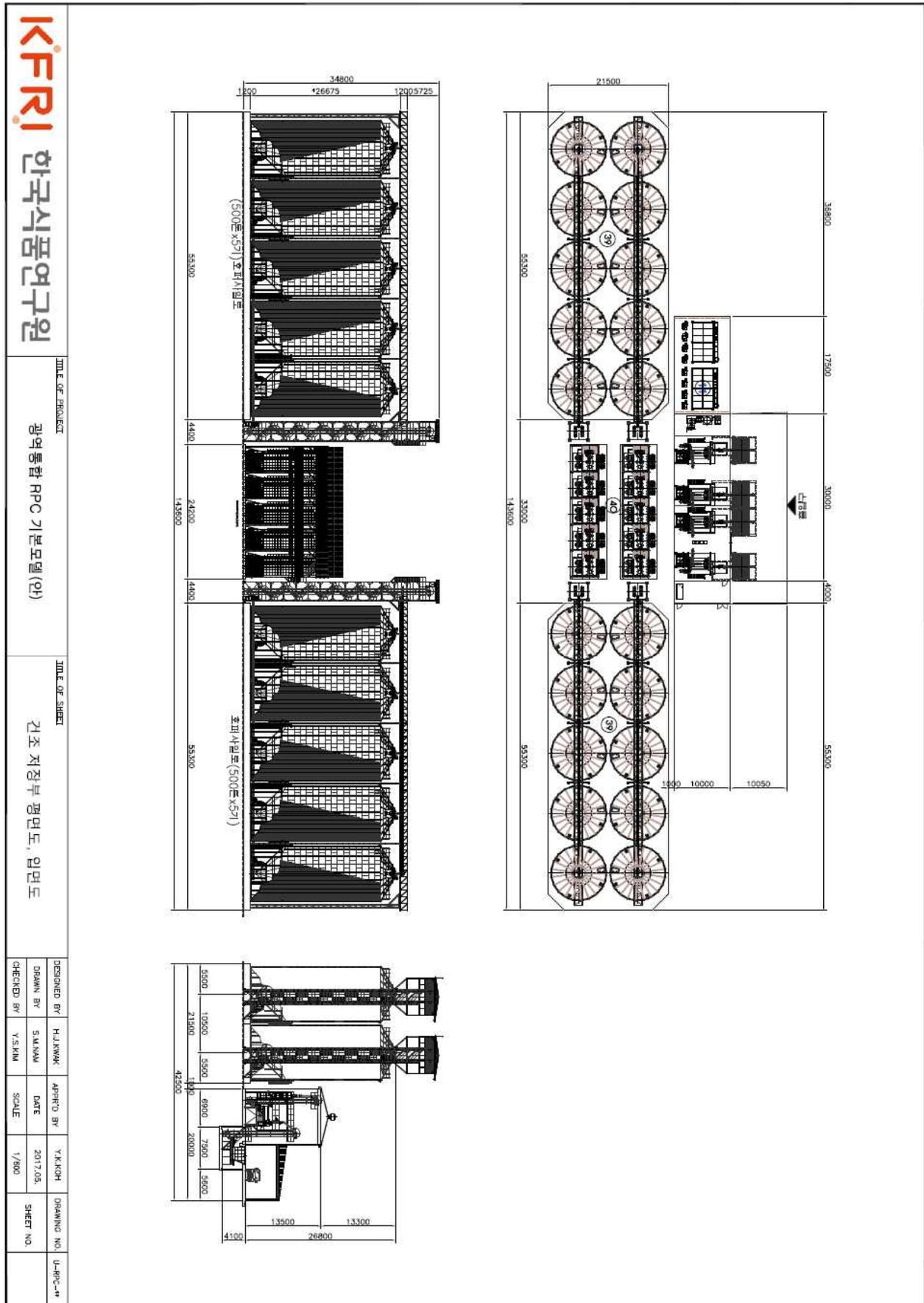


그림 3-1-42. 광역통합 RPC 특수가공부(클린라이스, 2.5ton/hr) 설계도



KIFARI 한국식품연구원

TITLE OF PROJECT

광역통합 RPC 기본모델(안)

TITLE OF SHEET

건조 저장부 평면도, 입면도

DESIGNED BY

APPROV BY

DRAWING NO.

DRAWN BY

DATE

U-RP-C-44

CHECKED BY

SCALE

SHEET NO.

H.J.KWAK

2017.03.

1/800

S.M.KWAK

2017.03.

1/800

Y.S.KIM

2017.03.

1/800

그림 3-1-43. 광역통합 RPC 건조저장부 설계도

DESIGNED BY	H.J.WAK	APPRD. BY	Y.K.KOH	DRAWING NO.	U-RPC-14
DRAWN BY	S.M.KAM	DATE	2017.05.	SHEET NO.	
CHECKED BY	Y.S.KIM	SCALE	NONE		

- (A203) (A207) 전유계 버퍼탱크
- (A213) (A214) 전미기 왕거품구
- (A220) 전미분리기
- (A236) (A228) 인선별기 인선별기
- (A233) 전미색연별기
- (A237) (A239) 전미색별기 전유계

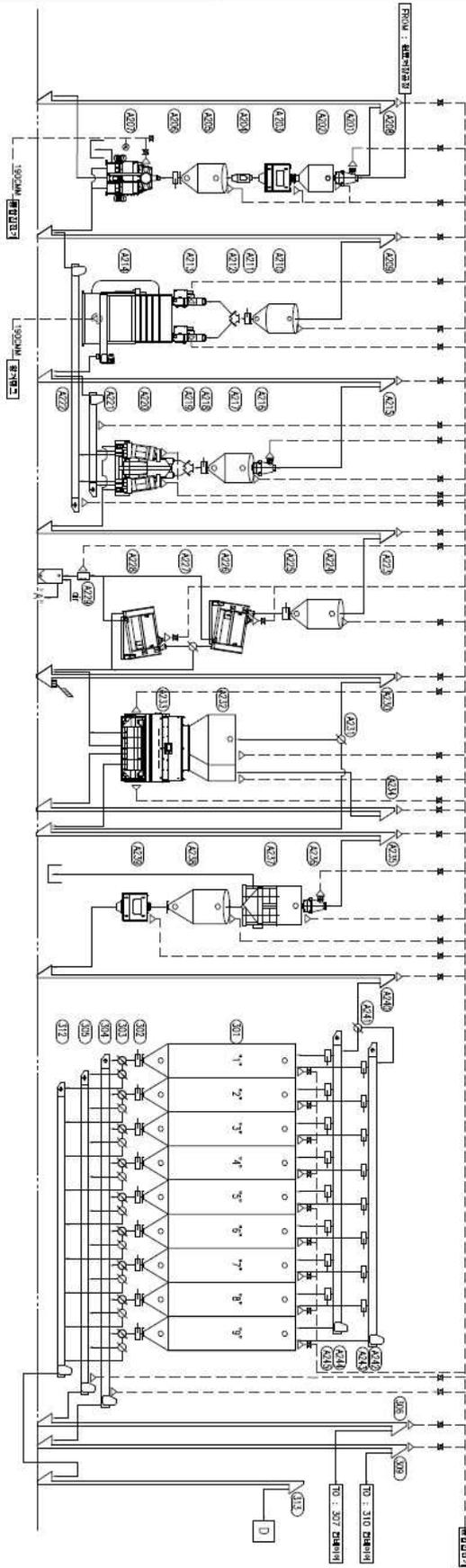


그림 3-1-44. 광역통합 RPC 현미부(6ton/hr) 공정도

DESIGNED BY	H.J.KWK	APPR'D BY	V.K.KOH
DRAWN BY	S.M.KAM	DATE	2017.05
CHECKED BY	V.S.HW	SCALE	NONE
		DRAWING NO.	U-RPC-14
		SHEET NO.	

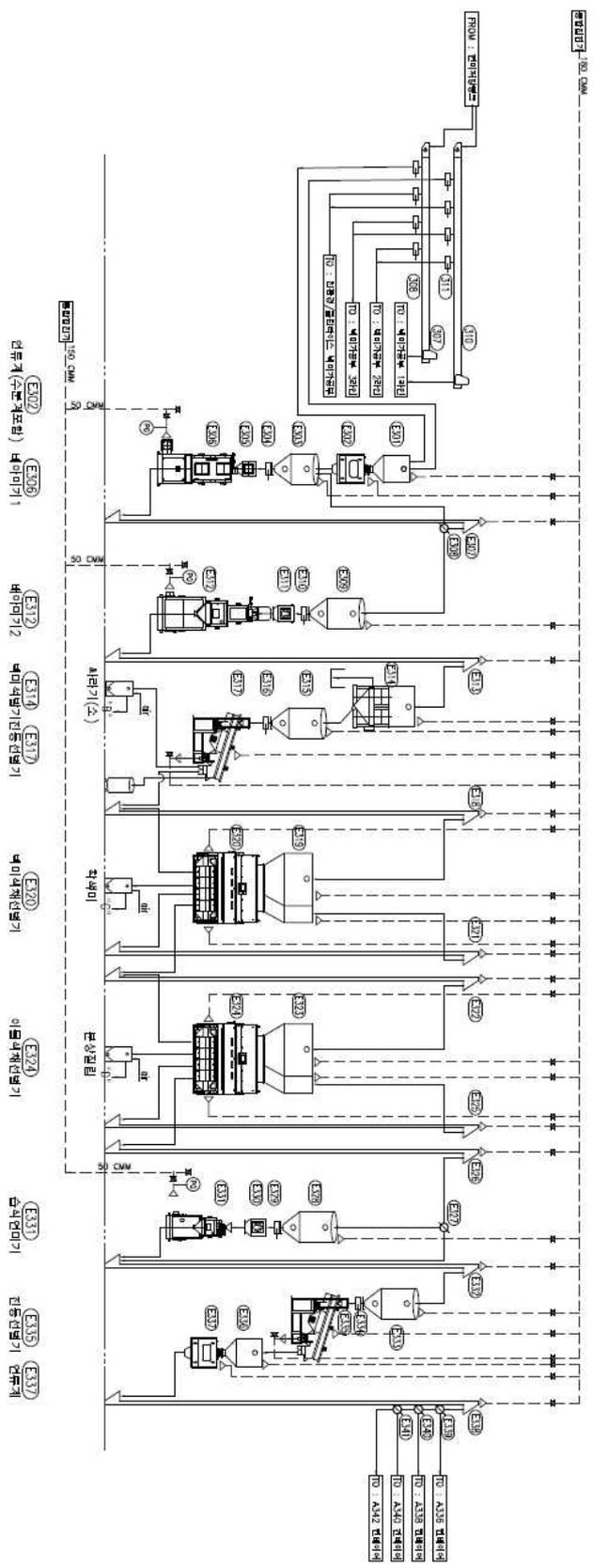


그림 3-1-46. 광역통합 RPC 특수가공부(베아미/유색미, 2.5ton/hr) 공정도

TITLE OF PROJECT		TITLE OF SHEET		DESIGNED BY	APPROD BY	DRAWING NO.
광역통합 RPC 기본모델 (안)		친환경/클린라이스 백미 가공 라인 공정도 (2.5톤 / 시간)		H.JYMWK	V.KJNH	U-RPC-1*
				DRAWN BY	DATE	SHEET NO.
				S.MJNMW	2017.05.	
				CHECKED BY	SCALE	
				V.S.KHW	NONE	

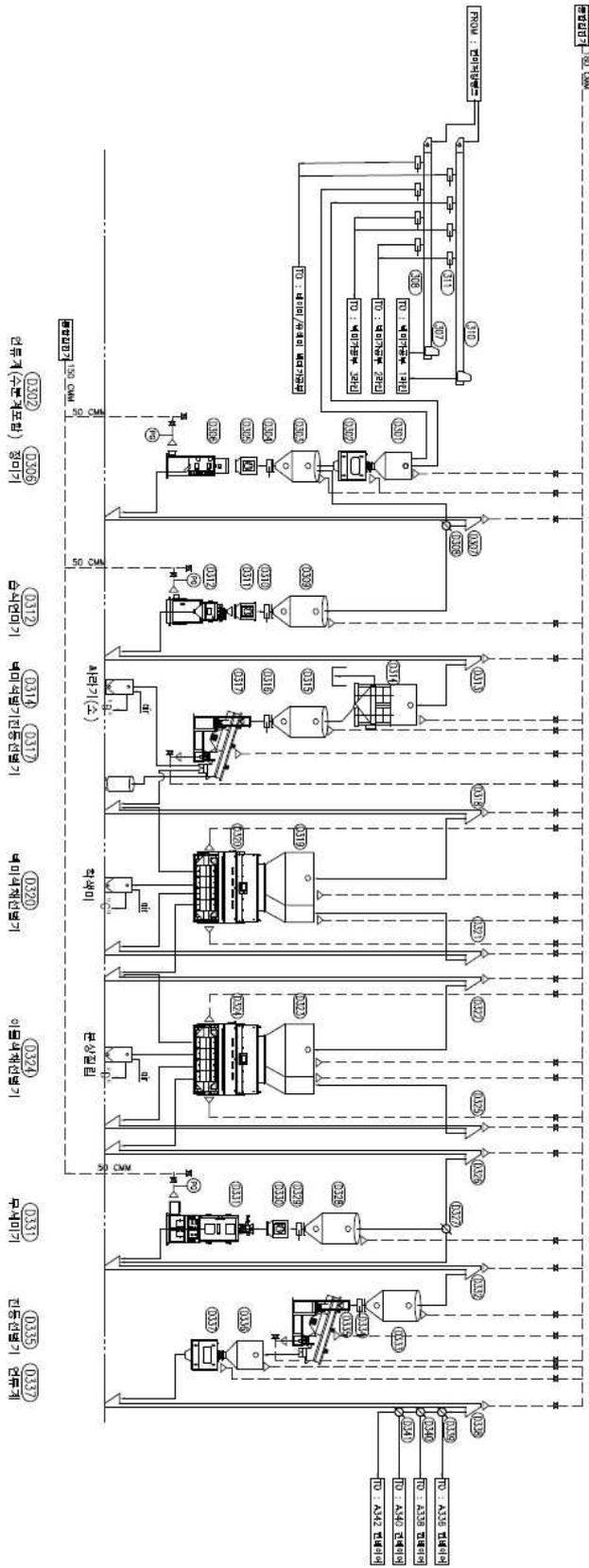


그림 3-1-47. 광역통합 RPC 특수가공부(클린라이스, 2.5ton/hr) 공정도

DESIGNED BY	H.J.KWK	APPRD. BY	V.K.KOH	DRAWING NO.	U-RPC-11
DRAWN BY	S.M.KAM	DATE	2017.05	SHEET NO.	
CHECKED BY	V.S.KW	SCALE	NONE		

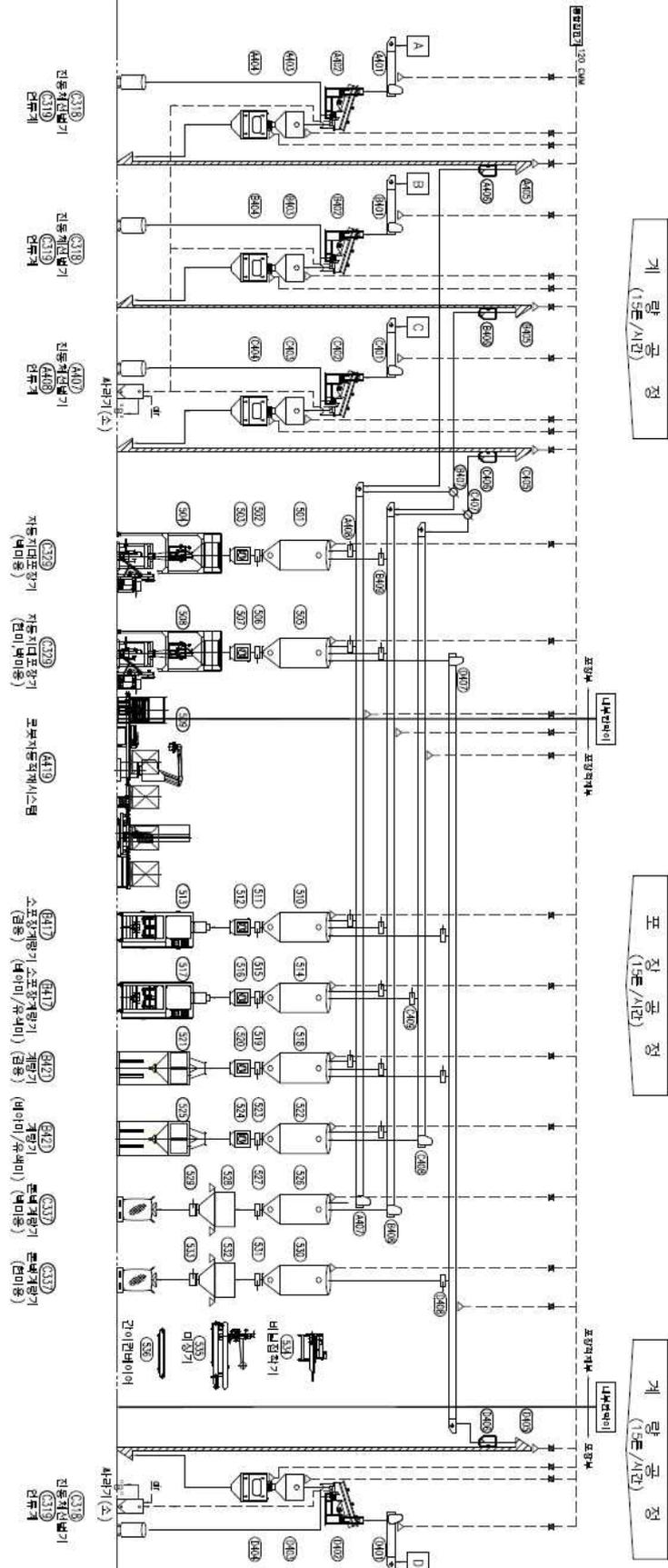


그림 3-1-48. 광역통합 RPC 포장부(15ton/hr) 공정도

DESIGNED BY	H.J.KWAK	APPROD BY	Y.K.KOH	DRAWING NO.	U-RPC-44
DRAWN BY	S.M.KIM	DATE	2017/05	SHEET NO.	
CHECKED BY	Y.S.KIM	SCALE	NONE		

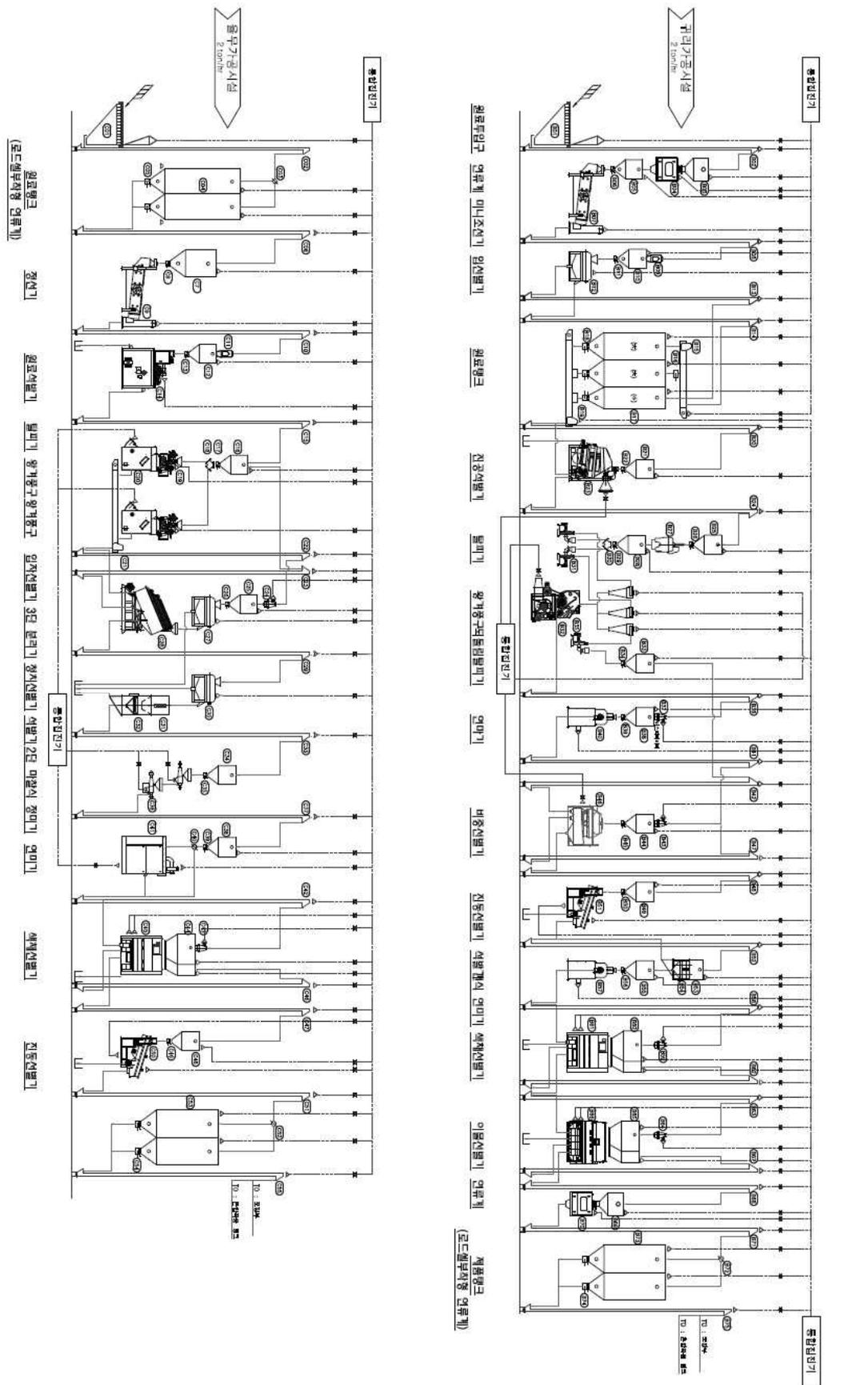


그림 3-1-49. 광역통합 RPC 혼합미가공부(귀리, 울무) 공정도

DESIGNED BY	H.J.KWAK	APPRO'D BY	Y.K.KOH	DRAWING NO.	U-RPC-4*
DRAWN BY	S.M.NAM	DATE	2017.05.	SHEET NO.	
CHECKED BY	Y.S.KIM	SCALE	NONE		

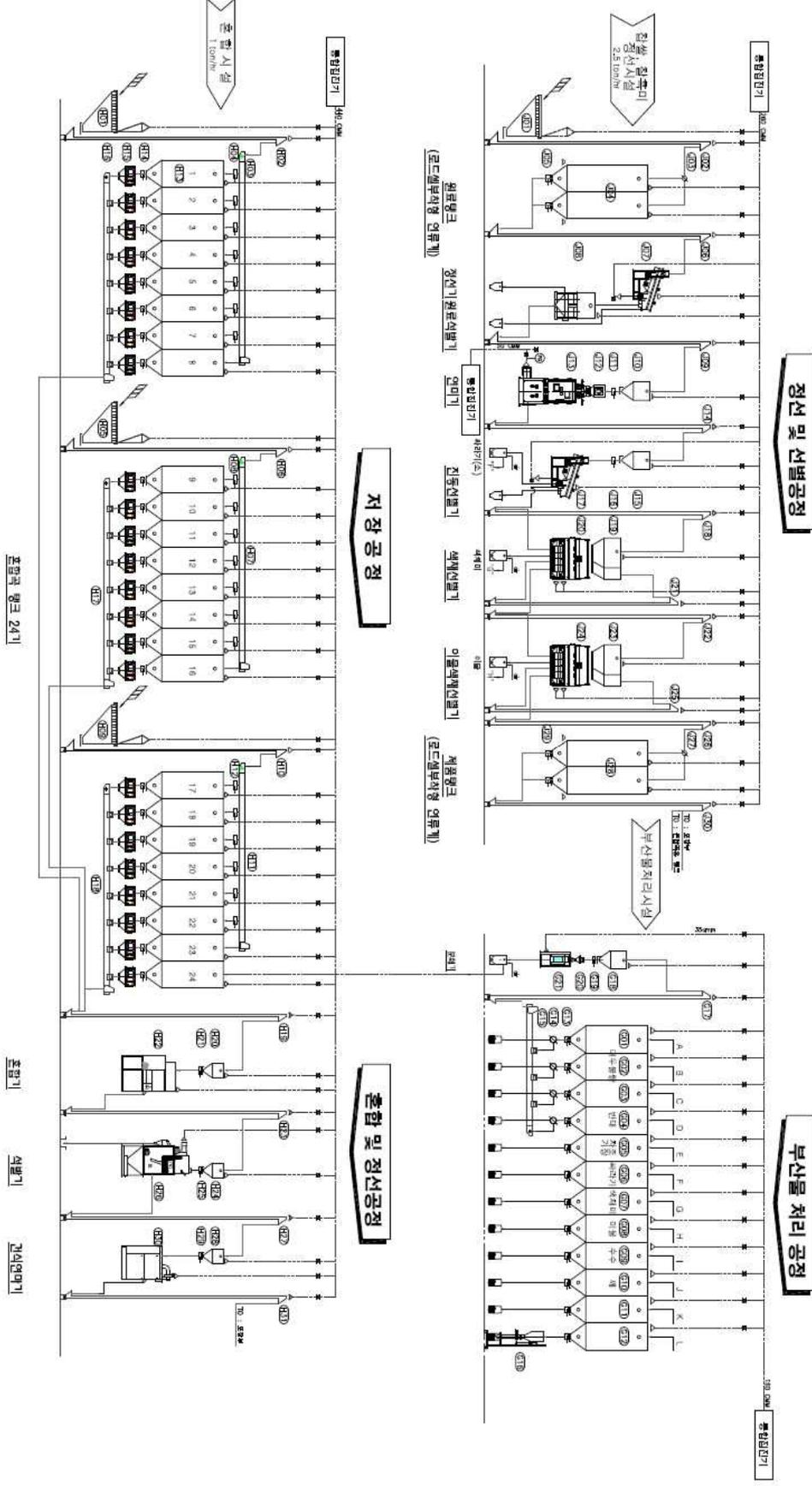


그림 3-1-50. 광역통합 RPC 혼합미가공부(잡쌀, 찰흑미, 혼합) 공정도

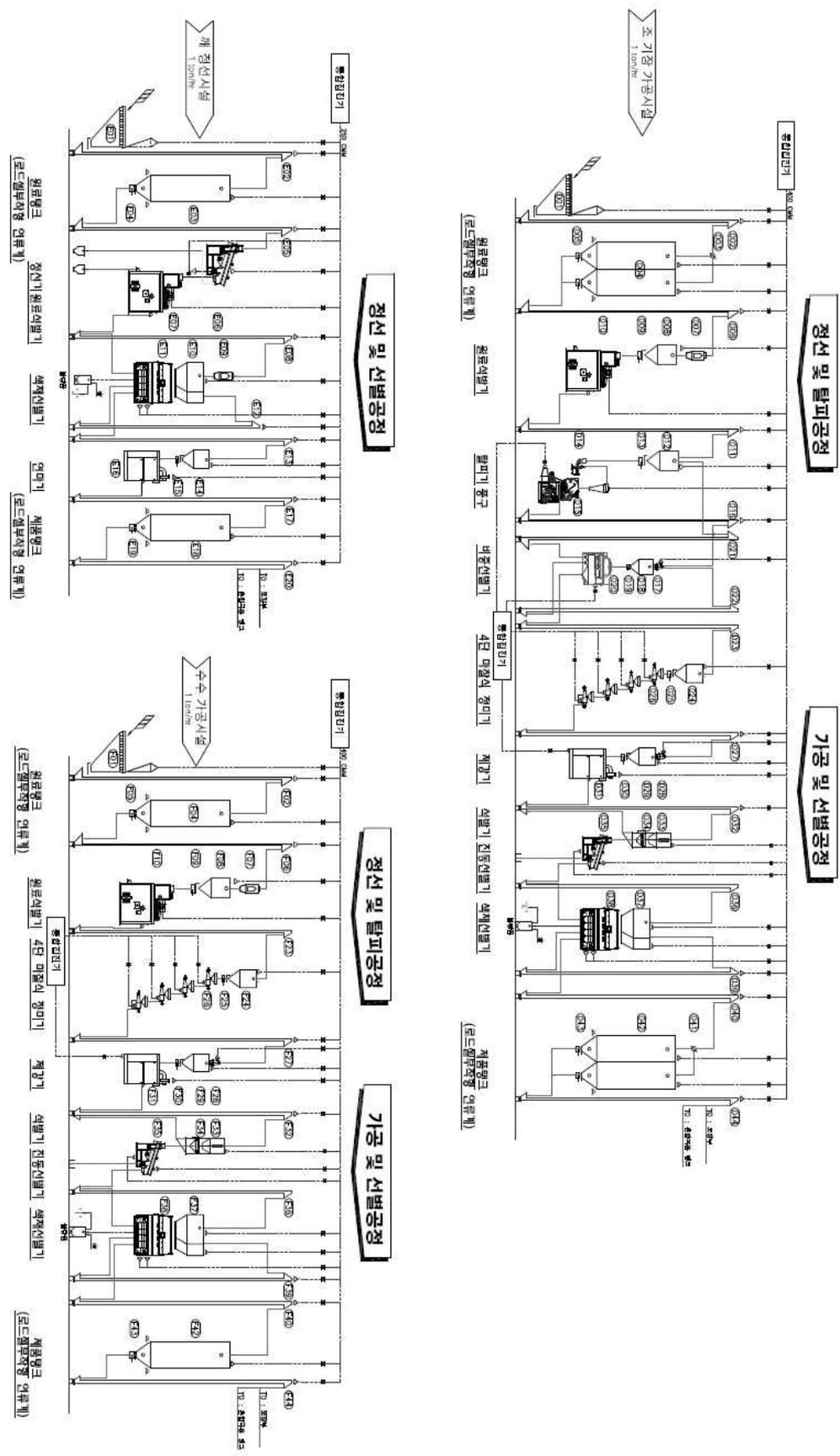


그림 3-1-52. 광역통합 RPC 혼합미가공부(조, 기장, 수수, 깨) 공정도

DESIGNED BY	H.J.KWAK	APPRO'D BY	Y.K.KOH	DRAWING NO.	U-RPC-44
DRAWN BY	BALHWAK	DATE	2017.05.	SHEET NO.	
CHECKED BY	Y.S.KIM	SCALE	NONE		

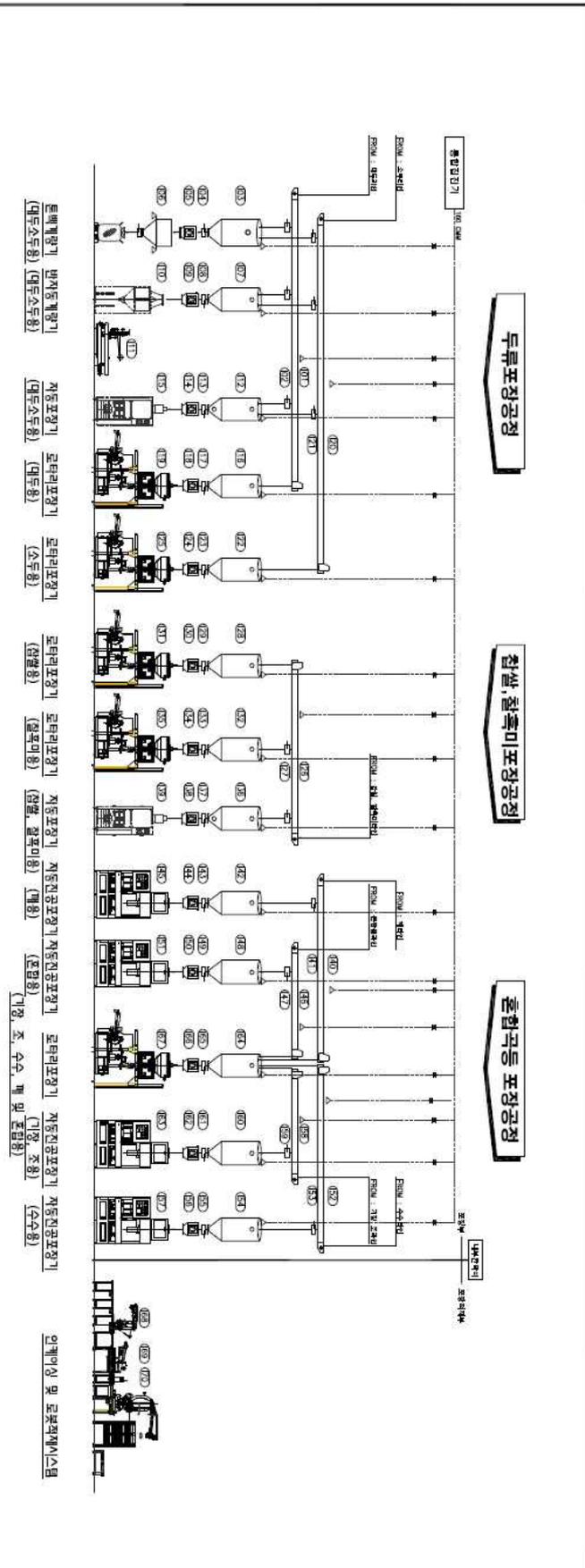
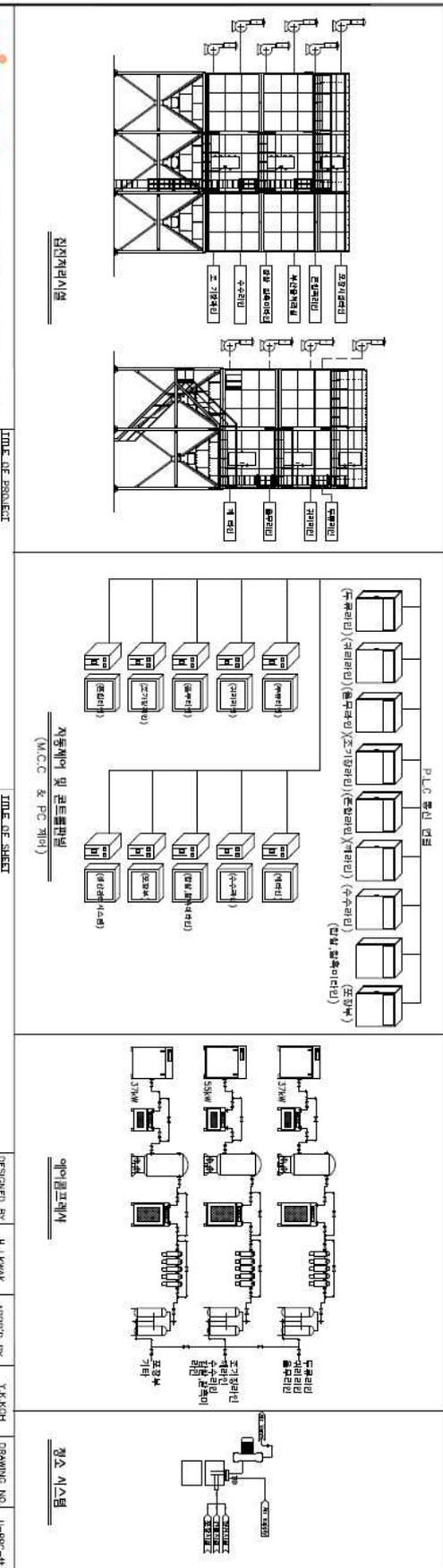


그림 3-1-53. 광역통합 RPC 혼합미 포장부 및 부대시설 공정도

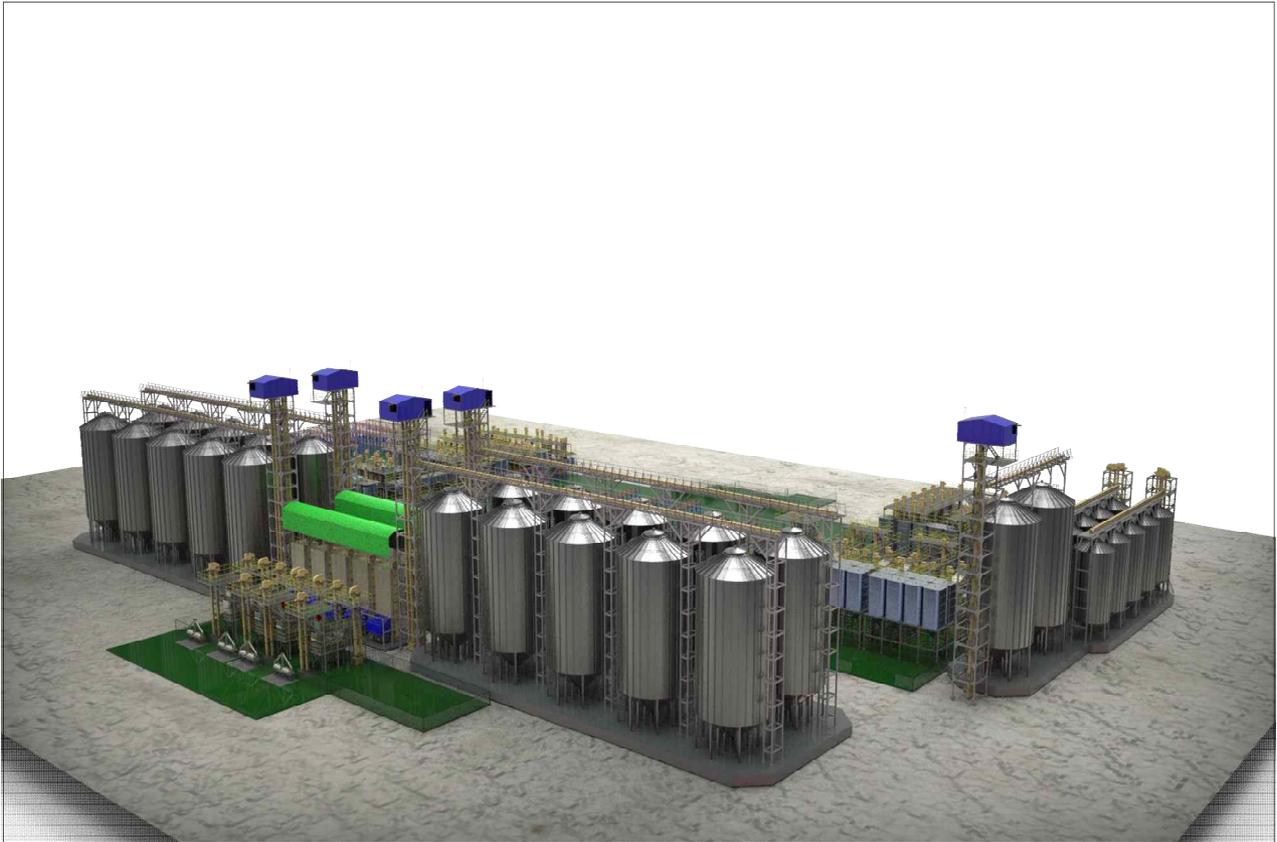


그림 3-1-54. 광역통합 RPC 전체 배치 설계도(3D)

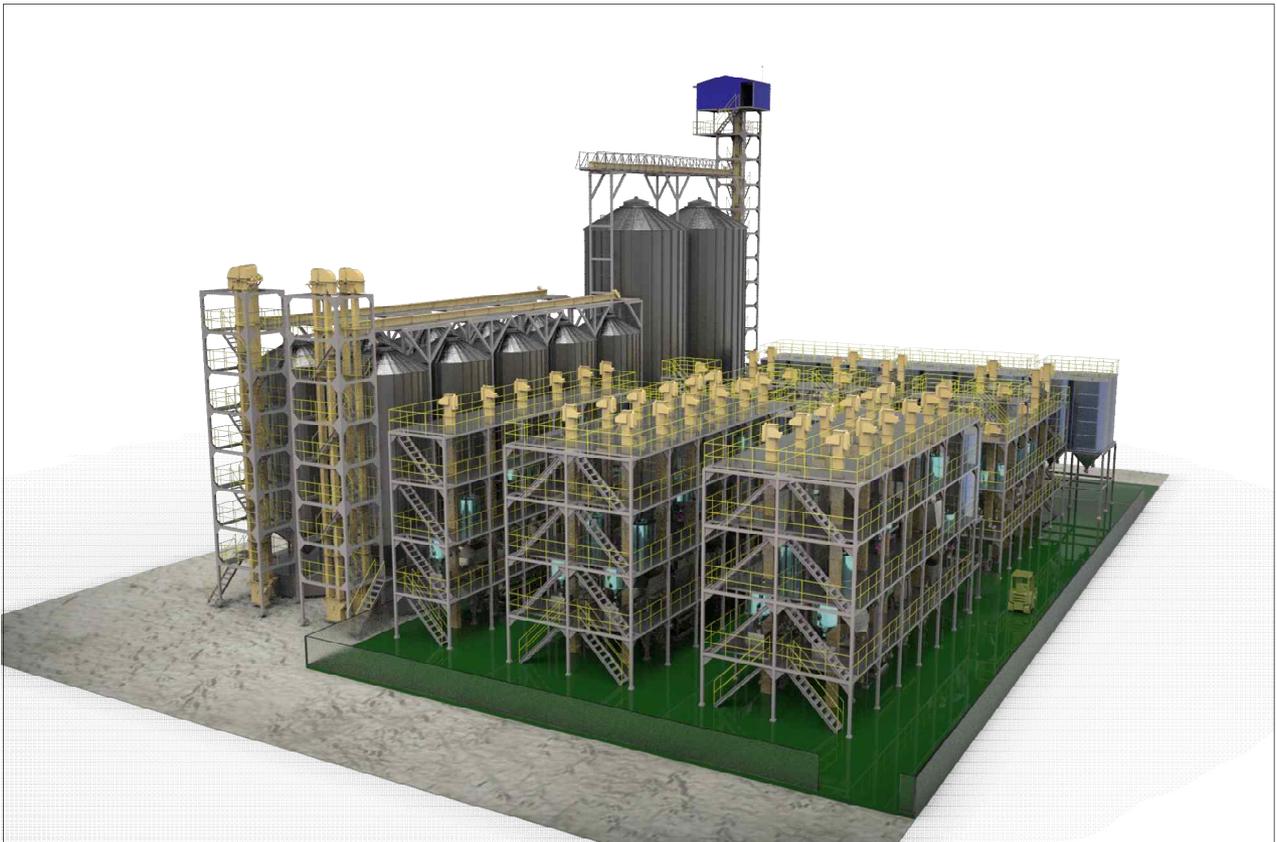
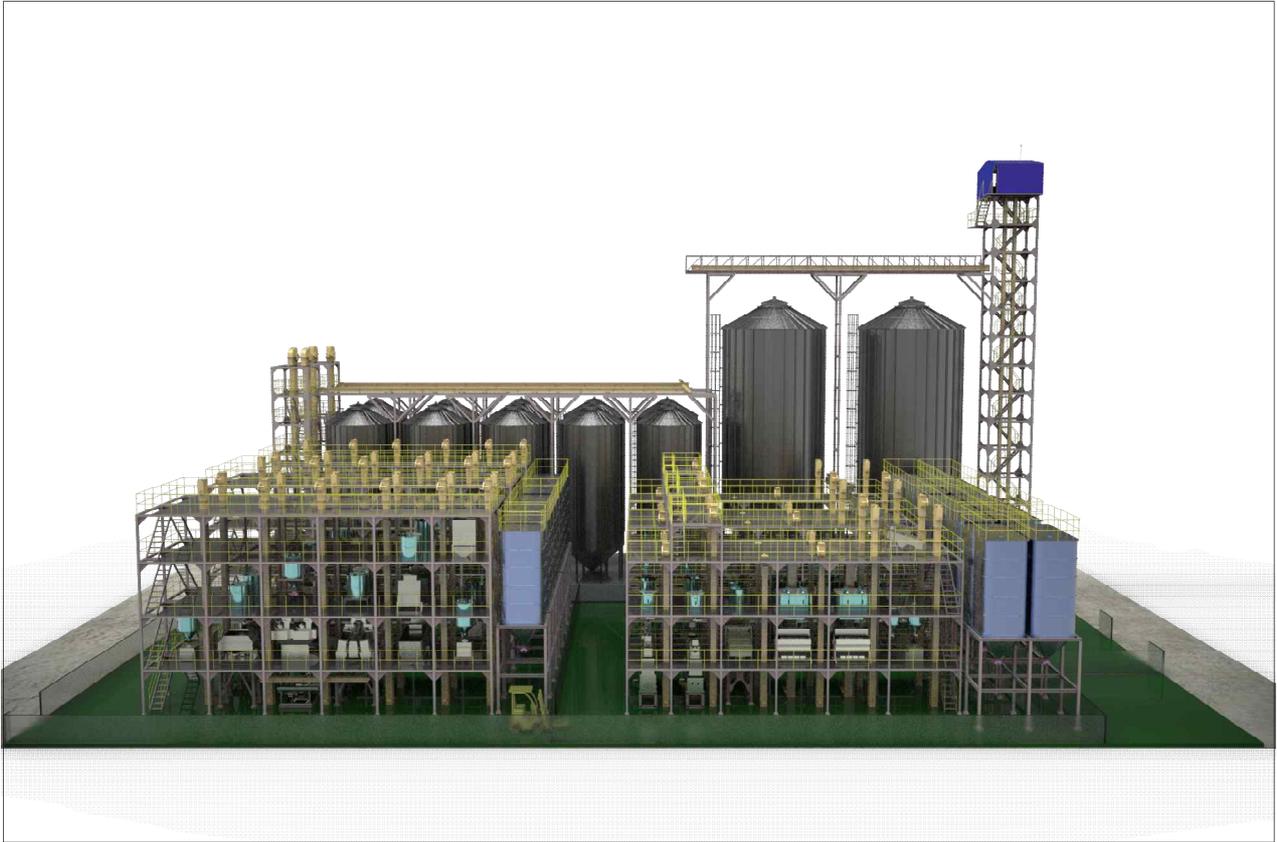


그림 3-1-55. 광역통합 RPC 현미부 설계도(3D)

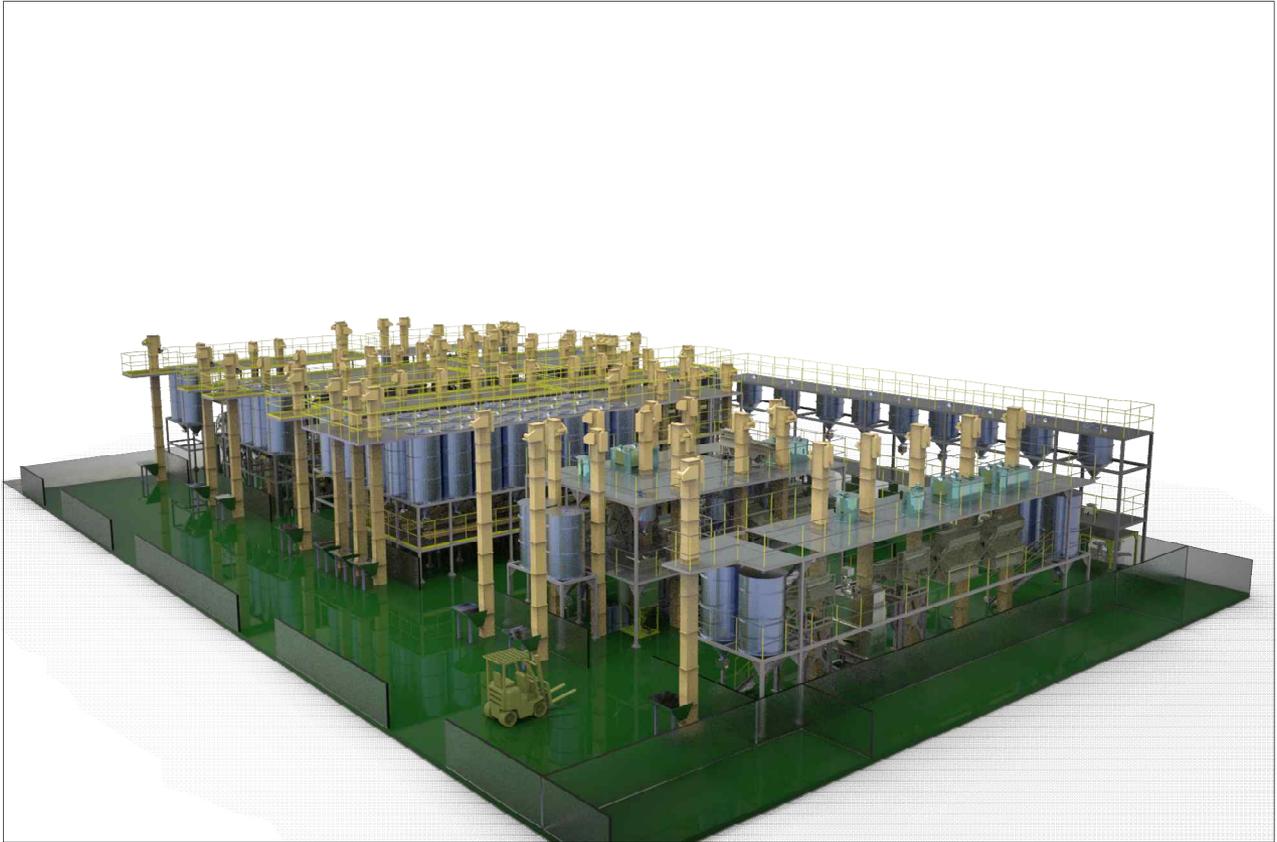


그림 3-1-56. 광역통합 RPC 백미부 설계도(3D)

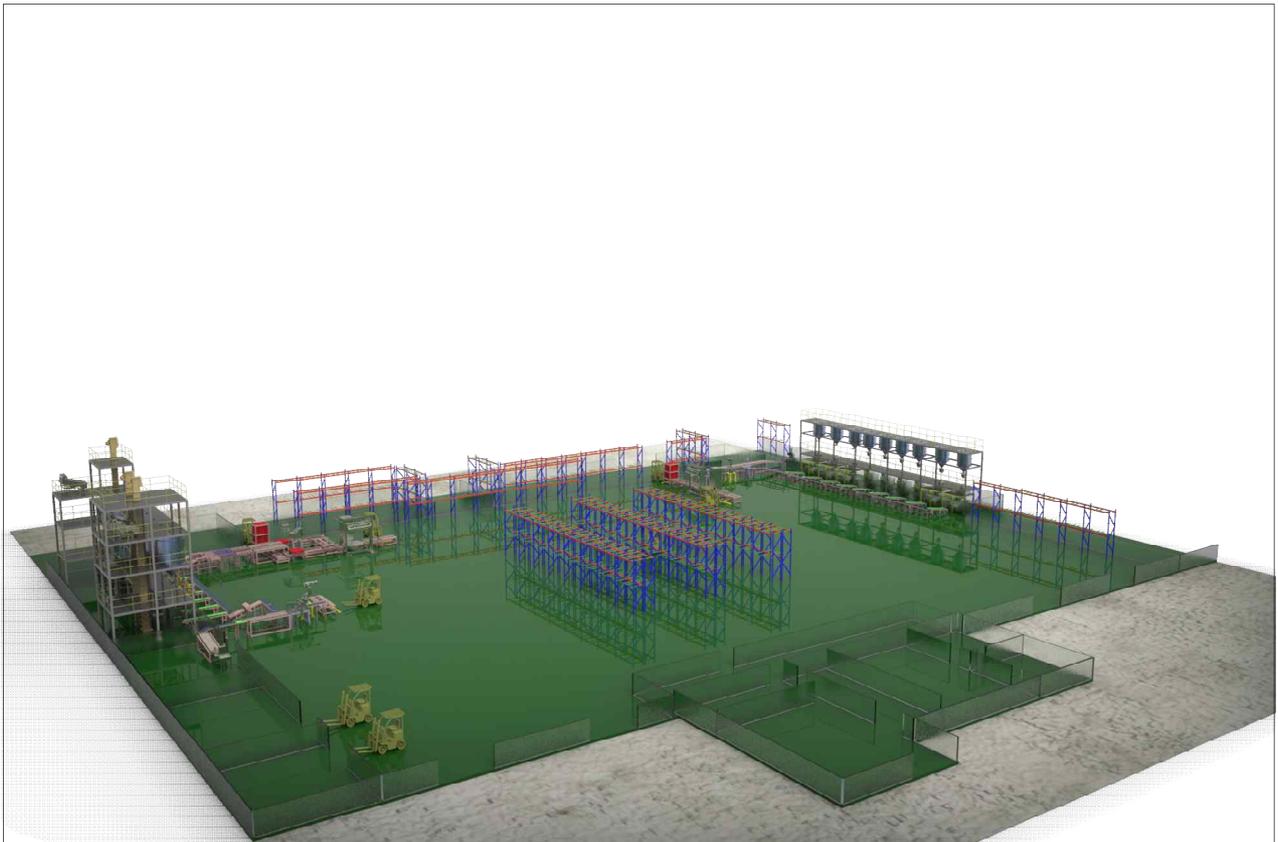


그림 3-1-57. 광역통합 RPC 포장부 설계도(3D)

(3) 시설구성 및 세부내역

- 광역통합 RPC 가공공정 및 혼합미공정의 시설구성 및 세부내역은 다음의 표와 같이 작성하였음. 가공공정의 경우 원료저장, 현미가공, 백미가공, 클린라이스가공, 배아미/유색미가공, 백미저장, 계량 및 포장, 집진, 미강처리, 부산물처리 및 청소시스템 및 공기압축 공정 등에 대하여 단위기계, 부대시설 및 설비에 대한 용량, 수량 및 소요동력 등의 세부내역을 작성하였음
- 혼합미공정의 경우 두류정선, 귀리선별, 율무가공, 조 및 기장가공, 깨정선, 수수가공, 찹쌀정선, 찰흑미정선, 혼합제조, 부산물처리, 계량 및 포장, 집진, 공기압출 공정 등에 대하여 단위기계, 부대시설 및 설비에 대한 용량, 수량 및 소요동력 등의 세부내역을 작성하였음

표 3-1-42. 광역통합 RPC 가공공정의 시설구성 및 세부내역

NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
1. 원료저장공정					A205	제철기		1	
101	2-방향분배기		1		A206	원료 석발기 보조탱크	0.9톤	1	
102	체인컨베어	30	1	3.75kW×4P×1/40	1)	상부레벨지시계		1	5A
103	호퍼스케일 보조탱크	1.5톤	1		2)	하부레벨지시계		1	5A
1)	상부레벨지시계		1	5A	A207	슬라이드게이트		1	
2)	하부레벨지시계		1	5A	A208	원료석발기	8	1	3kW
104	호퍼스케일	30	1	220V	A209	완전배출승강기	10	1	0.75kW×4P×1/20
105	버킷엘리베이터	30	1	5.5kW×4P×1/20	A210	현미기 보조탱크	0.9톤	1	
106	체인컨베어	30	1	3.75kW×4P×1/40	1)	상부레벨지시계		1	5A
107	슬라이드게이트		5		2)	하부레벨지시계		1	5A
108	원료저장탱크	100톤	5		A211	슬라이드게이트		1	
1)	상부레벨지시계		5×4	5A	A212	2-방향균분기		1	
2)	하부레벨지시계		5×4	5A	A213	현미기	4	2	7.5 × 2 = 15kW
109	송풍팬		5	3.75×5=18.75kW	A214	왕겨풍구	8T/H	1	13kW×4P
110	슬라이드게이트		5		A215	완전배출승강기	15	1	1.5kW×4P×1/20
111	2-방향분배기		5		A216	이물질제거기		1	
112	체인컨베어	30	1	3.75kW×4P×1/40	A217	현미분리기 보조탱크	0.9톤	1	
113	체인컨베어	30	1	3.75kW×4P×1/40	1)	상부레벨지시계		1	5A
114	버킷엘리베이터	10	1	3.75kW×4P×1/20	2)	하부레벨지시계		1	5A
115	버킷엘리베이터	10	1	3.75kW×4P×1/20	A218	슬라이드게이트		1	
116	2-방향분배기		1		A219	2-방향균분기		1	
117	체인컨베어	30	1	3.75kW×4P×1/40	A220	현미분리기	6	1	2.2kW
118	호퍼스케일 보조탱크	1.5톤	1		A221	완전배출컨베어	10	1	0.4kW×4P×1/15
1)	상부레벨지시계		1	5A	A222	완전배출컨베어	10	1	0.4kW×4P×1/15
2)	하부레벨지시계		1	5A	A223	완전배출승강기	10	1	0.75kW×4P×1/20
119	호퍼스케일	30	1	220V	A224	입선별기 보조탱크	0.9톤	1	
120	버킷엘리베이터	30	1	5.5kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
121	체인컨베어	30	1	3.75kW×4P×1/40	2)	하부레벨지시계		1	5A
122	슬라이드게이트		5		A225	슬라이드게이트		1	
123	원료저장탱크	100톤	5		A226	입선별기	7	1	1.5kW
1)	상부레벨지시계		5×4	5A	A227	2-방향분배기		1	
2)	하부레벨지시계		5×4	5A	A228	입선별기	7	1	1.5kW
124	송풍팬		5	3.75×5=18.75kW	A229	칭치샤름		1	
125	슬라이드게이트		5		A230	완전배출승강기	10	1	0.75kW×4P×1/20
126	2-방향분배기		5		A231	2-방향분배기		1	
127	체인컨베어	30	1	3.75kW×4P×1/40	A232	색채선별기 보조탱크	1.5톤	1	
128	체인컨베어	30	1	3.75kW×4P×1/40	1)	상부레벨지시계		1	5A
129	버킷엘리베이터	10	1	3.75kW×4P×1/20	2)	하부레벨지시계		1	5A
130	버킷엘리베이터	10	1	3.75kW×4P×1/20	A233	현미색채선별기	5	1	4.1kW
131	체인컨베어	30	1	3.75kW×4P×1/40	A234	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
132	슬라이드게이트		4		A235	완전배출승강기	10	1	0.75kW×4P×1/20
133	체인컨베어	30	1	3.75kW×4P×1/40	A236	이물질제거기		1	
134	슬라이드게이트		4		A237	현미석발기	7	1	0.75kW
소 계					1)	현미석발기 보조탱크	0.9톤	1	
2. 현미 가공 1라인 공정					2)	상부레벨지시계		1	5A
A201	이물질제거기		1		A238	유량계 보조탱크	0.9톤	1	
A202	유량계 보조탱크	1톤	1		1)	상부레벨지시계		1	5A
1)	상부레벨지시계		1	5A	A239	유량계	10	1	220V
A203	유량계	10	1	220V	A240	완전배출승강기	10	1	0.75kW×4P×1/20
A204	완전배출승강기	10	1	0.75kW×4P×1/20	A241	2-방향분배기		1	

NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
A242	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	A319	백미색채선별기 보조탱크	1.5 톤	1	
A243	슬라이드게이트		8		1)	상부레벨지시계		1	5A
A244	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	A320	백미색채선별기	5	1	5.0kW
A245	슬라이드게이트		8		A321	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
	소 계			51.60kW	A322	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
					A323	이물색채선별기 보조탱크	1.5 톤	1	
4. 백미가공 1라인 공정					1)	상부레벨지시계		1	5A
301	현미저장탱크	25 TON	9		A324	이물색채선별기	5	1	5.0kW
1)	상부레벨지시계		9	5A	A325	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
2)	하부레벨지시계		9	5A	A326	완전배출승강기	5	1	0.4kW×4P×1/20
302	슬라이드게이트		9		A327	진동선별기 보조탱크	0.5 톤	1	
303	3-방향분배기		9		1)	상부레벨지시계		1	5A
304	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	2)	하부레벨지시계		1	5A
1)	투입구(가이드 부착형)		9		A328	슬라이드게이트		1	
305	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	A329	진동선별기	5	1	1.5kW
1)	투입구(가이드 부착형)		9		A330	유량계 보조탱크	0.5 톤	1	
306	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
307	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	A331	유량계	5	1	220V
308	슬라이드게이트		4		A332	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
309	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	A333	2-방향분배기		1	
310	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	A334	2-방향분배기		1	
311	슬라이드게이트		4		A335	2-방향분배기		1	
312	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	A336	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15
1)	투입구(가이드 부착형)		9		A337	슬라이드게이트		9	
313	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	A338	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15
A301	유량계 보조탱크	0.5 톤	1		A339	슬라이드게이트		9	
1)	상부레벨지시계		1	5A	A340	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15
A302	유량계	5	1	220V	A341	슬라이드게이트		9	
A303	정미기 보조탱크	0.5 톤	1		A342	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15
1)	상부레벨지시계		1	5A	A343	슬라이드게이트		9	
2)	하부레벨지시계		1	5A		소 계			149.05 kW
A304	슬라이드게이트		1		5. 친환경/클린라이프 현미가공 라인 공정				
A305	마그네트 및 이물선별망		1		D201	이물질 제거기		1	
A306	정미기	5	1	79kW	D202	보조탱크	0.6	1	
A307	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
A308	2-방향분배기		1		D203	연류계	10	1	220V
A309	연미기 보조탱크	0.5 톤	1		D204	제철기		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	D205	보조탱크	0.6	1	
2)	하부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
A310	슬라이드게이트		1		2)	하부레벨지시계		1	5A
A311	마그네트 및 이물선별망		1		D206	슬라이드게이트		1	
A312	습식연미기	5	1	34.9kW	D207	벼삭발기	5	1	3.22kW
A313	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	D208	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
A314	백미삭발기		1	0.75kW	D209	현미기 보조탱크	0.9톤	1	
1)	백미삭발기 보조탱크	0.5 톤	1		1)	상부레벨지시계		1	5A
2)	상부레벨지시계		1	5A	2)	하부레벨지시계		1	5A
A315	진동선별기 보조탱크	0.5 톤	1		D210	슬라이드게이트		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	D212	현미기	4	1	7.5kW
2)	하부레벨지시계		1	5A	D213	왕겨풍구	4T/H	1	13kW×4P
A316	슬라이드게이트		1		D214	완전배출 승강기	10	1	0.75kW×4P×1/20
A317	진동선별기	5	1	1.5kW	D215	이물질 선별기		1	
A318	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	D216	현미분리기 보조탱크	0.9톤	1	

NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
1)	상부레벨지시계		1	5A	D314	백미석발기		1	0.75kW
2)	하부레벨지시계		1	5A	1)	백미석발기 보조탱크	0.5 톤	1	
D217	슬라이드게이트		1		2)	상부레벨지시계		1	5A
D218	현미분리기	3	1	0.75kW	D315	진동선별기 보조탱크	0.5 톤	1	
D219	완전배출 컨베어	5	1	0.4kW×4P×1/30	1)	상부레벨지시계		1	5A
D220	완전배출 컨베어	5	1	0.4kW×4P×1/30	2)	하부레벨지시계		1	5A
D221	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	D316	슬라이드게이트		1	
D222	입선별기 보조탱크	0.9톤	1		D317	진동선별기	3	1	0.75kW
1)	상부레벨지시계		1	5A	D318	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
2)	하부레벨지시계		1	5A	D319	백미색채선별기 보조탱크	1.5 톤	1	
D223	슬라이드게이트		1		1)	상부레벨지시계		1	5A
D224	입선별기	3	1	0.75kW	D320	백미색채선별기	3	1	5.0kW
D225	2 - 방향분배기		1		D321	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
D226	입선별기	3	1	0.75kW	D322	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
D227	청치샤름		1		D323	이물색채선별기 보조탱크	1.5 톤	1	
D228	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
D229	2 - 방향분배기		1		D324	이물색채선별기	3	1	5.0kW
D230	현미색채선별기 보조탱크		1		D325	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
1)	상부레벨지시계		1	5A	D326	완전배출승강기	5	1	0.4kW×4P×1/20
2)	하부레벨지시계		1	5A	D327	2 - 방향분배기		1	
D231	현미색채선별기	3.0	1	4.1kW	D328	무세미 보조탱크	0.5 톤	1	
D232	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
D233	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	2)	하부레벨지시계		1	5A
D234	이물질 선별기		1		D329	슬라이드게이트		1	
D235	현미석발기	3.6	1	0.4kW	D330	마그네트 및 이물선별망		1	
1)	현미석발기 보조탱크		1		D331	무세미기	3	1	34.9kW
2)	상부레벨지시계		1	5A	D332	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
D236	보조탱크	0.6	1		D333	진동선별기 보조탱크	0.5 톤	1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
D237	연류계	5	1	220V	2)	하부레벨지시계		1	5A
D238	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	D334	슬라이드게이트		1	
D239	2 - 방향분배기		1		D335	진동선별기	3	1	0.75kW
	소 계			32.42kW	D336	유량계 보조탱크	0.5 톤	1	
10. 친환경/클린라이스 백미가 공 라인 공정					1)	상부레벨지시계		1	5A
D301	유량계 보조탱크	0.5 톤	1		D337	유량계	5	1	220V
1)	상부레벨지시계		1	5A	D338	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
D302	유량계	5	1	220V	D339	2 - 방향분배기		1	
D303	정미기 보조탱크	0.5 톤	1		D340	2 - 방향분배기		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	D341	2 - 방향분배기		1	
2)	하부레벨지시계		1	5A		소 계			105.55 kW
D304	슬라이드게이트		1		6. 배아미/유색미 현미 가공 라인 공정				
D305	마그네트 및 이물선별망		1		E201	이물질 제거기		1	
D306	정미기	3	1	37kW	E202	보조탱크	0.6	1	
D307	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
D308	2 - 방향분배기		1		E203	연류계	10	1	220V
D309	연미기 보조탱크	0.5 톤	1		E204	제철기		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	E205	보조탱크	0.6	1	
2)	하부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
D310	슬라이드게이트		1		2)	하부레벨지시계		1	5A
D311	마그네트 및 이물선별망		1		E206	슬라이드게이트		1	
D312	습식연미기	3	1	15kW	E207	벼석발기	5	1	3.22kW
D313	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	E208	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20

NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
E209	현미기 보조탱크	0.9톤	1		E307	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
1)	상부레벨지시계		1	5A	E308	2-방향분배기		1	
2)	하부레벨지시계		1	5A	E309	배아미기 보조탱크	0.5톤	1	
E210	슬라이드게이트		1		1)	상부레벨지시계		1	5A
E212	현미기	4	1	7.5kW	2)	하부레벨지시계		1	5A
E213	왕겨풍구	4T/H	1	13kW×4P	E310	슬라이드게이트		1	
E214	완전배출승강기	10	1	0.75kW×4P×1/20	E311	마그네트 및 이물선별망		1	
E215	이물질 선별기		1		E312	배아미기2	3	1	15kW
E216	현미분리기 보조탱크	0.9톤	1		E313	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
1)	상부레벨지시계		1	5A	E314	백미석발기		1	0.75kW
2)	하부레벨지시계		1	5A	1)	백미석발기 보조탱크	0.5톤	1	
E217	슬라이드게이트		1		2)	상부레벨지시계		1	5A
E218	현미분리기	3	1	0.75kW	E315	진동선별기 보조탱크	0.5톤	1	
E219	완전배출 컨베어	5	1	0.4kW×4P×1/30	1)	상부레벨지시계		1	5A
E220	완전배출 컨베어	5	1	0.4kW×4P×1/30	2)	하부레벨지시계		1	5A
E221	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	E316	슬라이드게이트		1	
E222	입선별기 보조탱크	0.9톤	1		E317	진동선별기	3	1	0.75kW
1)	상부레벨지시계		1	5A	E318	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
2)	하부레벨지시계		1	5A	E319	백미색채선별기 보조탱크	1.5톤	1	
E223	슬라이드게이트		1		1)	상부레벨지시계		1	5A
E224	입선별기	3	1	0.75kW	E320	백미색채선별기	3	1	5.0kW
E225	2-방향분배기		1		E321	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
E226	입선별기	3	1	0.75kW	E322	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
E227	청치사름		1		E323	이물색채선별기 보조탱크	1.5톤	1	
E228	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
E229	2-방향분배기		1		E324	이물색채선별기	3	1	5.0kW
E230	현미색채선별기 보조탱크		1		E325	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
1)	상부레벨지시계		1	5A	E326	완전배출승강기	5	1	0.4kW×4P×1/20
2)	하부레벨지시계		1	5A	E327	2-방향분배기		1	
E231	현미색채선별기	3.0	1	4.1kW	E328	연미기 보조탱크	0.5톤	1	
E232	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
E233	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	2)	하부레벨지시계		1	5A
E234	이물질 선별기		1		E329	슬라이드게이트		1	
E235	현미석발기	3.6	1	0.4kW	E330	마그네트 및 이물선별망		1	
1)	현미석발기 보조탱크		1		E331	연미기	3	1	15kW
2)	상부레벨지시계		1	5A	E332	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
E236	보조탱크	0.6	1		E333	진동선별기 보조탱크	0.5톤	1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
E237	연류계	5	1	220V	2)	하부레벨지시계		1	5A
E238	완전배출 승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	E334	슬라이드게이트		1	
E239	2-방향분배기		1		E335	진동선별기	3	1	0.75kW
	소 계			32.42kW	E336	유량계 보조탱크	0.5톤	1	
11. 배아미/유색미 백미 가공 라인 공정					1)	상부레벨지시계		1	5A
E301	유량계 보조탱크	0.5톤	1		E337	유량계	5	1	220V
1)	상부레벨지시계		1	5A	E338	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
E302	유량계	5	1	220V	E339	2-방향분배기		1	
E303	배아미기 보조탱크	0.5톤	1		E340	2-방향분배기		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	E341	2-방향분배기		1	
2)	하부레벨지시계		1	5A		소 계			85.65 kW
E304	슬라이드게이트		1		12. 백미저장공정				
E305	마그네트 및 이물선별망		1		401	백미저장탱크	25 TON	20	
E306	배아미기1	3	1	37kW	1)	상부레벨지시계		20	5A

NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
2)	하부레벨지시계		20	5A	D402	유하식선별기	15	1	0.4kW
401	슬라이드게이트		10		D403	유량계 보조탱크	0.5 톤	1	
403	3-방향분배기		10		1)	상부레벨지시계		1	5A
404	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	D404	유량계	15	1	220V
1)	투입구(가이드 부착형)		9		D405	완전배출승강기	15	1	0.75kW×4P×1/20
405	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	D406	비철금속선별기	15	1	100V
1)	투입구(가이드 부착형)		9		D407	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15
406	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	D408	슬라이드게이트		3	
1)	투입구(가이드 부착형)		9		501	포장기 보조탱크	3.5 톤	1	
407	슬라이드게이트		10		1)	상부레벨지시계		2	5A
408	3-방향분배기		10		2)	하부레벨지시계		2	5A
409	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	502	슬라이드게이트		2	
1)	투입구(가이드 부착형)		9		503	마그네트 및 이물선별망		1	
410	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	504	자동지대포장기		1	6 kW
1)	투입구(가이드 부착형)		9		505	포장기 보조탱크	3.5 톤	1	
411	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	1)	상부레벨지시계		2	5A
1)	투입구(가이드 부착형)		9		2)	하부레벨지시계		2	5A
412	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	506	슬라이드게이트		2	
413	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	507	마그네트 및 이물선별망		1	
414	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20	508	자동지대포장기		1	6 kW
	소계			11.25 kW	509	로봇 자동적재 시스템		1	21kW
13. 계량및포장공정					510	소포장계량기 보조탱크	3.5 톤	1	
A401	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15	1)	상부레벨지시계		2	5A
A402	유하식선별기	15	1	0.4kW	2)	하부레벨지시계		2	5A
A403	유량계 보조탱크	0.5 톤	1		511	슬라이드게이트		2	
1)	상부레벨지시계		1	5A	512	마그네트 및 이물선별망		1	
A404	유량계	15	1	220V	513	소포장 계량기(비닐)		1	1kW
A405	완전배출승강기	15	1	0.75kW×4P×1/20	514	소포장계량기 보조탱크	3.5 톤	1	
A406	비철금속선별기	15	1	100V	1)	상부레벨지시계		2	5A
A407	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15	2)	하부레벨지시계		2	5A
A408	슬라이드게이트		4		515	슬라이드게이트		2	
B401	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15	516	마그네트 및 이물선별망		1	
B402	유하식선별기	15	1	0.4kW	517	소포장 계량기(비닐)		1	1kW
B403	유량계 보조탱크	0.5 톤	1		518	반자동계량기 보조탱크	3.5 톤	1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		2	5A
B404	유량계	15	1	220V	2)	하부레벨지시계		2	5A
B405	완전배출승강기	15	1	0.75kW×4P×1/20	519	슬라이드게이트		2	
B406	비철금속선별기	15	1	100V	520	마그네트 및 이물선별망		1	
B407	2-방향분배기		1		521	반자동소포장 계량기		1	220V
B408	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15	522	반자동계량기 보조탱크	3.5 톤	1	
B409	슬라이드게이트		6		1)	상부레벨지시계		2	5A
C401	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15	2)	하부레벨지시계		2	5A
C402	유하식선별기	15	1	0.4kW	523	슬라이드게이트		2	
C403	유량계 보조탱크	0.5 톤	1		524	마그네트 및 이물선별망		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	525	반자동소포장 계량기		1	220V
C404	유량계	15	1	220V	526	톤백계량기 보조탱크	6.5 톤	1	
C405	완전배출승강기	15	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
C406	비철금속선별기	15	1	100V	2)	하부레벨지시계		1	5A
C407	2-방향분배기		1		527	슬라이드게이트		1	
C408	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15	528	톤백계량기		1	220V
C409	슬라이드게이트		1		529	슬라이드게이트		1	
D401	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15	815	비닐접착기		1	1.5 kW

NO.	품 명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품 명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
816	미 싱 기		1	0.75 kW	C04	부산물공기이송기		4	
817	제품 이송 벨트컨베이어		3	0.75×3=2.25 kW	C05	짜래기(大)탱크	7.5 톤	4	
					1)	상 부 레 벨 지 시 계		4	5A
	소 계			47.85 kW	2)	하 부 레 벨 지 시 계		4	5A
A. 집진 공정					C06	슬 라이 드 게 이 트		4	
A01	통합집진기		1	220V	C07	부산물공기이송기		4	
A02	스크류컨베이어		1	1.5kW×4P×1/30	C08	짜래기(小)탱크	7.5 톤	4	
A03	집진팬	300mmAq	1	18.5kW × 4P	1)	상 부 레 벨 지 시 계		4	5A
A04	집진팬	300mmAq	1	37kW × 4P	2)	하 부 레 벨 지 시 계		4	5A
A05	집진팬	300mmAq	1	18.5kW × 4P	C09	슬 라이 드 게 이 트		4	
A06	집진팬	300mmAq	1	30kW × 4P	C10	부산물공기이송기		4	
A07	집진팬	300mmAq	1	18.5kW × 4P	C11	착색미탱크	7.5 톤	4	
A08	집진팬	300mmAq	1	30kW × 4P	1)	상 부 레 벨 지 시 계		1	5A
A09	집진팬	300mmAq	1	18.5kW × 4P	2)	하 부 레 벨 지 시 계		1	5A
A10	집진팬	300mmAq	1	30kW × 4P	C12	슬 라이 드 게 이 트		1	
A11	집진팬	300mmAq	1	18.5kW × 4P	C13	부산물공기이송기		1	
A12	집진팬	300mmAq	1	30kW × 4P	C14	분상질립탱크	7.5 톤	1	
A13	집진팬	300mmAq	1	18.5kW × 4P	1)	상 부 레 벨 지 시 계		1	5A
A08	사이클론		5		2)	하 부 레 벨 지 시 계		1	5A
A09	로터리 밸브		5	0.75kW×4P×1/30	C15	슬 라이 드 게 이 트		1	
A10	백 필터		5	220V		소 계			0 kW
A11	로터리 밸브		5	0.75kW×4P×1/30	D. 공기 압축 공정				
A12	집진팬	300mmAq	5	18.5kW × 4P					
A13	체인 컨베이어	30	1	2.2kW×4P×1/40	D01	공기압축기(스크류타입)		4	55 kW
A14	버킷 엘리베이터	30	1	5.5kW×4P×1/20	1)	RECIVER TANK	2m ³	4	
A15	체인 컨베이어	30	1	3.75kW×4P×1/40	2)	애프터 쿨러		4	0.4 kW
A16	슬 라이 드 게 이 트		1		3)	에어필터		4	
A17	왕겨 처리 탱크	700m ³	2		4)	에어드라이어		4	2.3 kW
1)	레 벨 지 시 계		2×4	5A	5)	에어필터		4	
	소 계			380.95 kW	6)	에어필터		4	
B. 미강처리 공정					7)	흡작식 드라이어		4	
B01	통합집진기		1	220V	8)	에어필터		4	
B02	스크류컨베이어		1	1.5kW×4P×1/30	9)	에어필터		4	
B03	집진팬	300mmAq	1	15kW × 4P	10)	AUTO DRAIN		4	
B04	집진팬	400mmAq	1	11kW × 4P	11)	공기헤더		4	
B05	집진팬	300mmAq	1	15kW × 4P	12)	공기압축기 배기덕트공사		4	룸배관 공사 포함
B06	집진팬	400mmAq	1	11kW × 4P	D02	공기압축기(스크류타입)		1	37 kW
B07	집진팬	300mmAq	1	15kW × 4P	1)	RECIVER TANK	2m ³	1	
B08	집진팬	400mmAq	1	11kW × 4P	2)	애프터 쿨러		1	0.4 kW
B09	집진팬	300mmAq	1	15kW × 4P	3)	에어필터		1	
B10	집진팬	400mmAq	1	18.5kW × 4P	4)	에어드라이어		1	2.3 kW
B11	집진팬	300mmAq	1	18.5kW × 4P	5)	에어필터		1	
B12	집진팬	400mmAq	1	18.5kW×4P	6)	에어필터		1	
B13	집진팬	300mmAq	1	18.5kW×4P	7)	흡작식 드라이어		1	
B14	집진팬	300mmAq	1	15kW×4P	8)	에어필터		1	
B15	집진팬	300mmAq	1	11kW×4P	9)	에어필터		1	
	소 계			194.5 kW	10)	AUTO DRAIN		1	
C. 부산물처리 및 청소시스템 공정					11)	공기헤더		1	
C01	부산물공기이송기		4		12)	공기압축기 배기덕트공사		1	룸배관 공사 포함
C02	미숙립탱크	15 톤	4		E03	청소(크리닝) 시스템		1식	TOTAL : 11 kW
1)	상 부 레 벨 지 시 계		4	5A	소 계				281.5 kW
2)	하 부 레 벨 지 시 계		4	5A	합 계				1843.54 kW
C03	슬 라이 드 게 이 트		4						

표 3-1-43. 광역통합 RPC 혼합미공정의 시설구성 및 세부내역

NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
1. 두류정선공정					A40	마그네트 및 이물선별망		1	
A01	원료투입구		1		A41	제품탱크(대)		1	
A02	버켓엘리베이터	5	1	1.5kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
A03	2방향분배기		1		2)	하부레벨지시계		1	5A
A04	원료저장탱크		2		A42	슬라이드게이트		1	
1)	상부레벨 지시계		2		A43	마그네트 및 이물선별망		1	
2)	하부레벨 지시계		2		A44	제품탱크(중)		1	
A05	슬라이드게이트		2		1)	상부레벨지시계		1	5A
A06	버켓엘리베이터	5	1	1.5kW×4P×1/20	2)	하부레벨지시계		1	5A
A07	제철기(슈트형)		1		A45	슬라이드게이트		1	
A08	미니조선기 보조탱크		1		A46	마그네트 및 이물선별망		1	
1)	상부레벨 지시계		1	5A	A47	제품탱크(소)		1	
2)	하부레벨 지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
A09	슬라이드게이트		1		2)	하부레벨지시계		1	5A
A10	미니조선기	2	1	3.7kW	A48	슬라이드게이트		1	
A11	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	A49	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
A12	석발기 보조탱크		1		A50	보조탱크		1	
1)	상부레벨 지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
A13	슬라이드게이트		1		A51	슬라이드게이트		1	
A14	석발기	2	1	3.7kW	A52	반태선별기	2	1	0.75kW
A15	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	A53	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
A16	보조탱크		1			소 계			43.5kW
1)	상부레벨 지시계		1	5A	2. 쿼리선별공정				
A17	슬라이드게이트		1		B01	원료투입구		1	
A18	비중선별기	2	1	9.75kW	B02	버켓엘리베이터	5	1	1.5kW×4P×1/20
A19	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	B03	연류계 보조탱크		1	
A20	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨 지시계		1	5A
A21	보조탱크		1		B04	연류계	5	1	220V
1)	상부레벨 지시계		1	5A	B05	미니조선기 보조탱크		1	
A22	슬라이드게이트		1		1)	상부레벨 지시계		1	5A
A23	벨트선별기	2	1	2.2kW	2)	하부레벨 지시계		1	5A
A24	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	B06	슬라이드게이트		1	
A25	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	B07	미니조선기	2	1	3.7kW
A26	색채선별기 보조탱크		1		B08	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
1)	상부레벨 지시계		1	5A	B09	제철기(슈트형)		1	
A27	색채선별기	2	1	4.1kW	B10	입선별기 보조탱크		1	
A28	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨 지시계		1	5A
A29	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	B11	슬라이드게이트		1	
A30	보조탱크		1		B12	입선별기	3	1	1.5kW
1)	상부레벨 지시계		1	5A	B13	버켓엘리베이터	5	1	1.5kW×4P×1/20
A31	슬라이드게이트		1		B14	버켓엘리베이터	5	1	1.5kW×4P×1/20
A32	연마기	2	1	5kW	B15	콘베어	3	1	1.5kW×4P×1/40
A33	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	B16	슬라이드게이트		1	
A34	보조탱크		1		B17	원료탱크	5톤	2	
1)	상부레벨 지시계		1	5A		원료탱크	2톤	1	
A35	슬라이드게이트		1		1)	상부레벨 지시계		3	5A
A36	입자선별기	2	1	0.75kW	2)	하부레벨 지시계		3	5A
A37	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	B18	슬라이드게이트		3	
A38	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	B19	콘베어	5	1	1.5kW×4P×1/40
A39	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	B20	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
B21	석발기 보조탱크		1		B61	색채선별기	5	1	4.1kW

NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
1)	상부레벨지시계		1	5A	B63	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
B22	슬라이드게이트		1		B64	아스피레이타		1	
B23	석발기	2	1	3.7kW	B65	이물선별기 보조탱크		1	
B24	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		1	5A
B25	탈피기 보조탱크		1		2)	하부레벨지시계		1	5A
1)	상부레벨지시계		1	5A	B66	이물선별기	5	1	4.1kW
B26	슬라이드게이트		1		B67	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
B27	탈피기	3	1	4kW	B68	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
B28	탈피기 보조탱크		1		B69	연류계 보조탱크	0.9톤	1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
B29	슬라이드게이트		1		B70	연류계	10	1	220V
B30	2 방향균배기		1		B71	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
B31	탈피기	3	2	7.5×4P×2EA=15kW	B72	2-방향분배기		1	
1)	싸이크론		3		B73	제품탱크		2	
B32	왕겨풍구	3	2	5.5+3.7kW=9.2kW	1)	상부레벨지시계		2	5A
B33	보조탱크		1		2)	하부레벨지시계		2	5A
1)	상부레벨지시계		1	5A	B74	슬라이드게이트		2	
B34	슬라이드게이트		1		B75	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
B35	휀	300mmAq	1	7.5kW × 4P		소 계			93.1 kW
B36	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	3. 율무 가공 시설				
B37	아스피레이타		1		C01	원료투입구		1	
B38	연마기 보조탱크		1		C02	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
1)	상부레벨지시계		1	5A	C03	2-방향분배기		1	
B39	슬라이드게이트		1		C04	원료탱크		2	
B40	연마기	3	1	5.5kW×4P	1)	상부레벨지시계		2	5A
B41	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	2)	하부레벨지시계		2	5A
B42	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	C05	슬라이드게이트		2	
B43	아스피레이타		1		C06	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
B44	보조탱크		1		C07	원료석발기 보조탱크		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
B45	슬라이드게이트		1		C08	슬라이드게이트		1	
B46	비중선별기	1.5	1	7.5kW	C09	정선기	3	1	3.7kW
B47	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	C10	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
B48	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	C11	제철기(슈트형)		1	
B49	진동선별기 보조탱크		1		C12	원료석발기 보조탱크		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
B50	슬라이드게이트		1		C13	슬라이드게이트		1	
B51	진동선별기	3	1	1.5kW×4P	C14	원료석발기	3	1	2.2kW
B52	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	C15	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
B53	석발기 보조탱크		1		C16	탈피기 보조탱크		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
B54	석발기	6	1	0.75kW	C17	슬라이드게이트		1	
B55	연마기 보조탱크		1		C18	2-방향균분기		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	C19	탈피기	1	2	7.5×4P×2=15kW
B56	슬라이드게이트		1		C20	왕겨풍구	1	2	19×2ea = 38kW
B57	연마기	3	1	5.5kW×4P	C21	콘베어	3	1	0.4kW×4P×1/40
B58	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	C22	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
B59	아스피레이타		1		C23	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
B60	색채선별기 보조탱크		1		C24	아스피레이타		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	C25	입자선별기 보조탱크		1	
2)	하부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
B62	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	C26	슬라이드게이트		1	

NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
C27	입자선별기	3	1	1.5kW	D11	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
C28	분리기	1	1	1.5kW	D12	탈피기 보조탱크		1	
C29	버켓엘리베이터	3	1		1)	상부레벨지시계		1	5A
C30	청치선별기	1	1	1.5kW	D13	슬라이드게이트		1	
C31	석발기 보조탱크		1		D14	탈피기	1	1	7.5kW×4P
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	싸이크론		1	5A
C32	석발기	1	1	0.75kW	D15	왕겨풍구	1	1	5.5+3.7=9.2kW
C33	버켓엘리베이터	3	1		D16	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
C34	정미기 보조탱크		1		D17	아스피레이타		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	D18	비중선별기 보조탱크		1	
C35	슬라이드게이트		1		1)	상부레벨지시계		1	5A
C36	2단 마찰식 정미기	1	4	11kW×2=22kW	D19	슬라이드게이트		1	
C37	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	D20	비중선별기	1	1	4.5+0.75=5.25kW
C38	연미기 보조탱크		1		D21	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
1)	상부레벨지시계		1	5A	D22	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
C39	슬라이드게이트		1		D23	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
C40	2-방향분배기		1		D24	정미기 보조탱크		1	
C41	연미기	1	1	5.5kW×4P	1)	상부레벨지시계		1	5A
C42	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	D25	슬라이드게이트		1	
C43	아스피레이타		1		D26	4단 마찰식 정미기	1	4	11kW×4=44kW
C44	색채선별기 보조탱크		1		D27	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
1)	상부레벨지시계		1	5A	D28	아스피레이타		1	
2)	하부레벨지시계		1	5A	D29	제강기 보조탱크		1	
C45	색채선별기	1	1	4.1kW	1)	상부레벨지시계		1	5A
C46	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	D30	슬라이드게이트		1	
C47	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	D31	제강기	1	1	5.5kW×4P
C48	진동선별기 보조탱크		1		D32	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
1)	상부레벨지시계		1	5A	D33	석발기 보조탱크		1	
C49	슬라이드게이트		1		1)	상부레벨지시계		1	5A
C50	진동선별기	1	1	1.5kW×4P	D34	석발기	1	1	0.75kW
C51	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	D35	진동선별기	1	1	1.5kW×4P
C52	2-방향분배기		1		D36	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
C53	제품탱크		2		D37	색채선별기 보조탱크		1	
1)	상부레벨지시계		2	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
2)	하부레벨지시계		2	5A	2)	하부레벨지시계		1	5A
C54	슬라이드게이트		2		D38	색채선별기	1	1	4.1kW
C55	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	D39	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
	소 계			106.65 kW	D40	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
4. 조, 가장가공 공정					D41	2-방향분배기		1	
D01	원료투입구		1		D42	제품탱크		2	
D02	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	1)	상부레벨지시계		2	5A
D03	2-방향분배기		1		2)	하부레벨지시계		2	5A
D04	원료탱크		2		D43	슬라이드게이트		2	
1)	상부레벨지시계		2	5A	D44	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
2)	하부레벨지시계		2	5A		소 계			89.75 kW
D05	슬라이드게이트		2		5. 개정선시설				
D06	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	E01	원료투입구		1	
D07	제철기(슈트형)		1		E02	버켓엘리베이터	5	1	1.5kW×4P×1/20
D08	원료석발기 보조탱크		1		E03	원료탱크		1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
2)	하부레벨지시계		1	5A	2)	하부레벨지시계		1	5A
D09	슬라이드게이트		1		E04	슬라이드게이트		1	
D10	원료석발기	3	1	2.2kW	E05	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20

NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
E06	진동선별기	1	1	1.5kW×4P	1)	상부레벨지시계		1	5A
E07	석발기	1	1	3.7kW	2)	하부레벨지시계		1	5A
E08	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	F25	색채선별기	1	1	4.1kW
E09	제철기(슈트형)		1		F26	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
E10	색채선별기 보조탱크		1		F27	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
1)	상부레벨지시계		1	5A	F28	제품탱크		1	
2)	하부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
E11	색채선별기	1	1	4.1kW	2)	하부레벨지시계		1	5A
E12	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	F29	슬라이드게이트		1	
E13	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	F30	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
E14	연마기 보조탱크		1			소 계			40.55 kW
1)	상부레벨지시계		1	5A	7. 찻살, 찻훅미 정선시설				
E15	슬라이드게이트		1		J01	원료투입구		1	
E16	연마기	3	1	5.5kW×4P	J02	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
E17	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	J03	2-방향분배기		1	
E18	제품탱크		1		J04	원료탱크		2	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		2	5A
2)	하부레벨지시계		1	5A	2)	하부레벨지시계		2	5A
E19	슬라이드게이트		1		J05	슬라이드게이트		2	
E20	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	J06	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20
	소 계			20.8 kW	J07	진동선별기	1	1	1.5kW×4P
6. 수수 가공시설					J08	석발기	1	1	3.7kW
F01	원료투입구		1		J09	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
F02	버켓엘리베이터	5	1	1.5kW×4P×1/20	J10	연마기 보조탱크	0.5 톤	1	
F03	원료탱크		1		1)	상부레벨지시계		1	5A
1)	상부레벨지시계		1	5A	2)	하부레벨지시계		1	5A
2)	하부레벨지시계		1	5A	J11	슬라이드게이트		1	
F04	슬라이드게이트		1		J12	마그네트 및 이물선별망		1	
F05	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	J13	연마기	3	1	15kW
F06	제철기(슈트형)		1		J14	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
F07	원료석발기 보조탱크		1		J15	진동선별기 보조탱크	0.5 톤	1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
2)	하부레벨지시계		1	5A	2)	하부레벨지시계		1	5A
F08	슬라이드게이트		1		J16	슬라이드게이트		1	
F09	원료석발기	3	1	2.2kW	J17	진동선별기	3	1	0.75kW
F10	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	J18	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
F11	연삭기 보조탱크		1		J19	백미색채선별기 보조탱크	1.5 톤	1	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		1	5A
F12	슬라이드게이트		1		J20	백미색채선별기	3	1	5.0kW
F13	1열 4단 연삭기	1	4	19kW	J21	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
F14	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	J22	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
F15	아스피레이타		1		J23	이물색채선별기 보조탱크	1.5 톤	1	
F16	연마기 보조탱크		1		1)	상부레벨지시계		1	5A
1)	상부레벨지시계		1	5A	J24	이물색채선별기	3	1	5.0kW
F17	슬라이드게이트		1		J25	완전배출승강기	5	1	0.75kW×4P×1/20
F18	제강기	1	1	5.5kW×4P	J26	완전배출승강기	5	1	0.4kW×4P×1/20
F19	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	J27	2-방향분배기		1	
F20	석발기 보조탱크		1		J28	제품탱크		2	
1)	상부레벨지시계		1	5A	1)	상부레벨지시계		2	5A
F21	석발기	3	1	0.75kW	2)	하부레벨지시계		2	5A
F22	진동선별기	1	1	1.5kW×4P	J29	슬라이드게이트		2	
F23	버켓엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	J30	버켓엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
F24	색채선별기 보조탱크		1			소 계			38.1 kW

NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
8. 부산물 처리과정					H22	혼합기	2	1	3.7kW
G01	대두부산물 탱크		1		H23	버켓 엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
G02	대두부산물 탱크		1		H24	석발기 보조탱크		1	
G03	대두부산물 탱크		1		1)	상부 레벨지시계		1	5A
G04	반테탱크		1		H25	슬라이드게이트		1	
G05	차조기장탱크		1		H26	석발기	2	1	3.7kW
G06	싸라기 탱크		1		H27	버켓 엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
G07	색채미 탱크		1		H28	보조탱크		1	
G08	분상질립탱크		1		1)	상부 레벨지시계		1	5A
G09	수수 부산물탱크		1		H29	슬라이드게이트		1	
G10	깨 부산물탱크		1		H30	연마기	2	1	5kW
G11	참쌀부산물탱크		1		H31	버켓 엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20
G12	찰쌀 색채미탱크		1			소 계			26.65 kW
1)	상부 레벨지시계		12	5A	10. 계량 및 포장과정				
2)	하부 레벨지시계		12	5A	I01	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15
G13	슬라이드게이트		1		I02	슬라이드게이트		3	
G14	2-방향분배기		1		I03	포장기 보조탱크	3.5 톤	1	
G15	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15	1)	상부 레벨지시계		2	5A
G16	수동 계량기		1		2)	하부 레벨지시계		2	5A
G17	버켓 엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	I04	슬라이드게이트		2	
G18	보조탱크	0.5 톤	1		I05	마그네트 및 이물선별망		1	
1)	상부 레벨지시계		1	5A	I06	톤백계량기		1	220V
G19	슬라이드게이트		1		I07	소포장계량기 보조탱크	3.5 톤	1	
G20	분쇄기		1	15 kW	1)	상부 레벨지시계		2	5A
	소 계			16.5 kW	2)	하부 레벨지시계		2	5A
9. 혼합과정					I08	슬라이드게이트		2	
H01	원료투입구		1		I09	마그네트 및 이물선별망		1	
H02	버켓 엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	I10	소포장 계량기(비닐)		1	1kW
H03	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	I11	비닐 집착기		1	1.5 kW
H04	슬라이드게이트		7		I12	반자동계량기 보조탱크	3.5 톤	1	
H05	원료투입구		1		1)	상부 레벨지시계		2	5A
H06	버켓 엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	2)	하부 레벨지시계		2	5A
H07	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	I13	슬라이드게이트		2	
H08	슬라이드게이트		7		I14	마그네트 및 이물선별망		1	
H09	원료투입구		1		I15	반자동소포장 계량기		1	220V
H10	버켓 엘리베이터	3	1	0.75kW×4P×1/20	I16	반자동계량기 보조탱크	3.5 톤	1	
H11	완전배출컨베어	10	1	1.5kW×4P×1/15	1)	상부 레벨지시계		2	5A
H12	슬라이드게이트		7		2)	하부 레벨지시계		2	5A
H13	원료탱크		24		I17	슬라이드게이트		2	
1)	상부 레벨지시계		24	5A	I18	마그네트 및 이물선별망		1	
2)	하부 레벨지시계		24	5A	I19	반자동소포장 계량기		1	220V
H14	슬라이드게이트		24		I20	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15
H15	혼합용 계량기		24	220V	I21	슬라이드게이트		3	
H16	완전배출컨베어	10	3	1.5kW×4P×1/15	I22	보조탱크	3.5 톤	1	
1)	투입구 (가이드 부착형)		9		1)	상부 레벨지시계		2	5A
H17	완전배출컨베어	10	3	1.5kW×4P×1/15	2)	하부 레벨지시계		2	5A
1)	투입구 (가이드 부착형)		9		I23	슬라이드게이트		2	
H18	완전배출컨베어	10	3	1.5kW×4P×1/15	I24	마그네트 및 이물선별망		1	
1)	투입구 (가이드 부착형)		9		I25	로터리포장기		1	2kW
H19	버켓 엘리베이터	5	1	0.75kW×4P×1/20	I26	완전배출컨베어	15	1	0.75kW×4P×1/15
H20	혼합기 보조탱크		1		I27	슬라이드게이트		2	
1)	상부 레벨지시계		1	5A	I28	보조탱크	3.5 톤	1	
H21	슬라이드게이트		1		1)	상부 레벨지시계		2	5A

NO.	품 명	용량(t/h)	수량	동력(kW)	NO.	품 명	용량(t/h)	수량	동력(kW)
2)	하부 레 벨 지 시 계		2	5A	I67	로터리포장기		1	2kW
I29	슬 라 이 드 게 이 트		2		508	인케이싱		1	6 kW
I30	마그네트 및 이물선별망		1		509	로봇 자동적재 시스템		1	21kW
I31	로터리포장기		1	2kW		소 계			51.75 kW
I32	보조탱크	3.5 톤	1		K. 집진 공정				
1)	상부 레 벨 지 시 계		2	5A	A01	통합집진기		1	220V
2)	하부 레 벨 지 시 계		2	5A	A02	스크류컨베이어		1	1.5kW×4P×1/30
I33	슬 라 이 드 게 이 트		2		A03	집진팬	300mmAq	1	15kW × 4P
I34	마그네트 및 이물선별망		1		A04	집진팬	300mmAq	1	37kW × 4P
I35	로터리포장기		1	2kW	A05	집진팬	300mmAq	1	37kW × 4P
I36	소포장계량기 보조탱크	3.5 톤	1		A06	집진팬	300mmAq	1	37kW × 4P
1)	상부 레 벨 지 시 계		2	5A	A07	집진팬	300mmAq	1	30kW × 4P
2)	하부 레 벨 지 시 계		2	5A	A08	집진팬	300mmAq	1	30kW × 4P
I37	슬 라 이 드 게 이 트		2		A09	집진팬	300mmAq	1	22kW × 4P
I38	마그네트 및 이물선별망		1		A10	통합집진기		1	220V
I39	자동포장기		1	1kW	A11	스크류컨베이어		1	1.5kW×4P×1/30
I40	완 전 배 출 컨 베 어	15	1	0.75kW×4P×1/15	A12	집진팬	300mmAq	1	37kW × 4P
I41	슬 라 이 드 게 이 트		2		A13	집진팬	300mmAq	1	22kW × 4P
I42	보조탱크	3.5 톤	1		A14	집진팬	300mmAq	1	15kW × 4P
1)	상부 레 벨 지 시 계		2	5A	A15	집진팬	300mmAq	1	37kW × 4P
2)	하부 레 벨 지 시 계		2	5A	A16	집진팬	300mmAq	1	15kW × 4P
I43	슬 라 이 드 게 이 트		2			소 계			337 kW
I44	마그네트 및 이물선별망		1		B. 공기 압축 공정				
I45	자동진공포장기		1	2kW	D01	공기압축기(스크류타입)		1	55 kW
I46	완 전 배 출 컨 베 어	15	1	0.75kW×4P×1/15	1)	RECIVER TANK	2m ³	1	
I47	슬 라 이 드 게 이 트		2		2)	애프터 쿨러		1	0.4 kW
I48	보조탱크	3.5 톤	1		3)	에어필터		1	
1)	상부 레 벨 지 시 계		2	5A	4)	에어드라이어		1	2.3 kW
2)	하부 레 벨 지 시 계		2	5A	5)	에어필터		1	
I49	슬 라 이 드 게 이 트		2		6)	에어필터		1	
I50	마그네트 및 이물선별망		1		7)	흡착식 드라이어		1	
I51	자동진공포장기		1	2kW	8)	에어필터		1	
I52	완 전 배 출 컨 베 어	15	1	0.75kW×4P×1/15	9)	에어필터		1	
I53	슬 라 이 드 게 이 트		2		10)	AUTO DRAIN		1	
I54	보조탱크	3.5 톤	1		11)	공기헤더		1	
1)	상부 레 벨 지 시 계		2	5A	12)	공기압축기 배기덕트공사		1	룸배관 공사 포함
2)	하부 레 벨 지 시 계		2	5A	D02	공기압축기(스크류타입)		2	37 kW
I55	슬 라 이 드 게 이 트		2		1)	RECIVER TANK	2m ³	2	
I56	마그네트 및 이물선별망		1		2)	애프터 쿨러		2	0.4 kW
I57	자동진공포장기		1	2kW	3)	에어필터		2	
I58	완 전 배 출 컨 베 어	15	1	0.75kW×4P×1/15	4)	에어드라이어		2	2.3 kW
I59	슬 라 이 드 게 이 트		2		5)	에어필터		2	
I60	보조탱크	3.5 톤	1		6)	에어필터		2	
1)	상부 레 벨 지 시 계		2	5A	7)	흡착식 드라이어		2	
2)	하부 레 벨 지 시 계		2	5A	8)	에어필터		2	
I61	슬 라 이 드 게 이 트		2		9)	에어필터		2	
I62	마그네트 및 이물선별망		1		10)	AUTO DRAIN		2	
I63	자동진공포장기		1	2kW	11)	공기헤더		2	
I64	보조탱크	3.5 톤	1		12)	공기압축기 배기덕트공사		2	룸배관 공사 포함
1)	상부 레 벨 지 시 계		2	5A	E03	청소(크리닝) 시스템		1식	TOTAL : 11 kW
2)	하부 레 벨 지 시 계		2	5A		소 계			148.1 kW
I65	슬 라 이 드 게 이 트		2						
I66	마그네트 및 이물선별망		1		합 계				1012.45 kW

(4) 소요동력

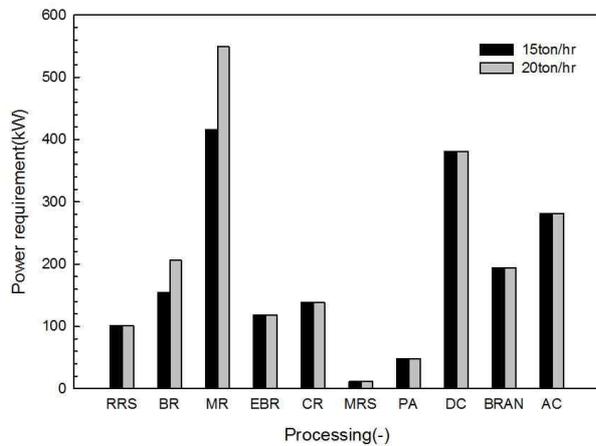
- 광역통합 RPC 가공공정 및 혼합미공정의 소요동력은 15ton/hr 처리능력에서 각각 1,843kW 및 1,012kW로 총 2,855kW로 산출되었고, 20ton/hr 처리능력에서는 각각 2,028kW 및 1,012kW로 총 3,040kW로 산출되어 처리능력 20ton/hr는 15ton/hr에 비해 소요동력이 6.5% 정도 증가하였음

(가) 가공공정

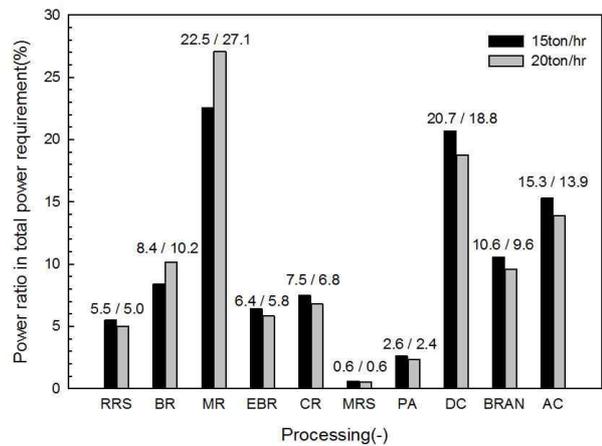
- 광역통합 RPC 가공공정의 공정별 소요동력은 처리능력 15ton/hr 규모에서 백미가공부 22.5%(415kW), 집진부 20.7%(381kW), 공기압축 15.3%(281kW), 미강처리 10.6%(194kW) 순으로 높게 나타났고, 백미저장부 0.6%(11.3kW)와 계량 및 포장부 2.6%(47kW) 소요동력은 낮게 산출되었음
- 20ton/hr 처리능력도 15ton/hr와 비슷한 경향으로서, 백미가공부 27.1%(549kW), 집진부 18.8%(381kW), 공기압축 13.9%(281kW), 미강처리 9.6%(194kW) 순으로 높게 나타났으며, 백미저장부 0.6%(11.3kW)와 계량 및 포장부 2.4%(47kW)로 소요동력이 낮게 산출되었음

표 3-1-44. 광역통합 RPC 가공공정의 처리능력별 소요동력

주요공정	소요동력(kW)			
	처리능력 15ton/hr	비중(%)	처리능력 20ton/hr	비중(%)
원료저장부	101.0	5.5	101.0	5.0
현미가공부	154.8	8.4	206.4	10.2
백미가공부	415.7	22.5	549.0	27.1
클린라이스 가공부	138.0	6.4	138.0	5.8
배아미 가공부	118.1	7.5	118.1	6.8
백미저장부	11.3	0.6	11.3	0.6
계량 및 포장부	47.9	2.6	47.9	2.4
집진부	381.0	20.7	381.0	18.8
미강처리	194.5	10.6	194.5	9.6
공기압축	281.5	15.3	281.5	13.9
합계	1,843.5	100.0	2,028.4	100.0



(소요동력)



(소요동력 비중)

RRS : 원료저장부, BR : 현미가공부, MR : 백미가공부, EBR : 배아미가공부, CR : 클린라이스, MRS : 백미저장부, PA : 계량 및 포장부, DC : 집진부, BRAN : 미강처리부, AC : 공기압축

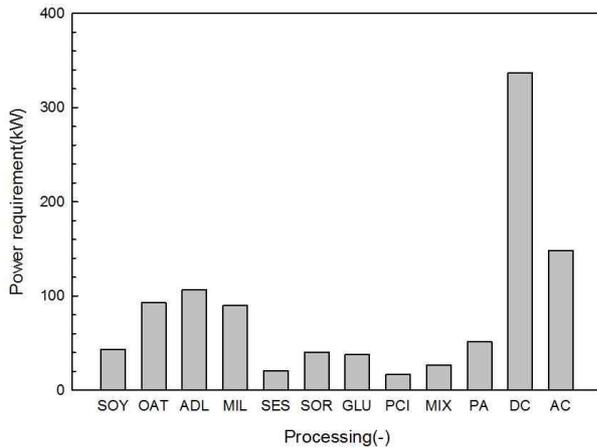
그림 3-1-58. 광역통합 RPC 가공공정의 처리능력별 소요동력 비교

(나) 혼합미공정

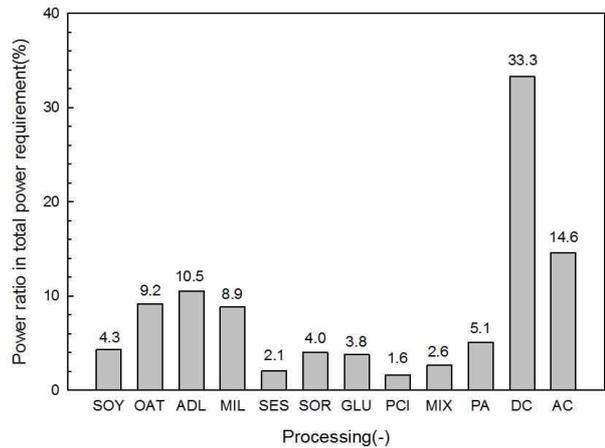
- RPC 혼합미공정의 공정별 소요동력은 집진공정이 33.3%(337kW)로 가장 높게 산출되었으며, 공기압축 14.6%(148kW), 울무가공 10.5%(106kW), 귀리선별 9.2%(93kW)로 높게 나타났으며, 부산물처리 1.6%(16kW)와 깨정선 2.1%(20kW)로 소요동력이 가장 낮게 산출되었음

표 3-1-45. 광역통합 RPC 혼합미공정의 소요동력

주요공정	소요동력(kW)	비중(%)
두류정선공정	43.5	4.3
귀리선별공정	93.1	9.2
울무가공시설	106.6	10.5
조,기장가공공정	89.75	8.9
깨정선	20.8	2.1
수수가공	40.55	4.0
참쌀,찰흑미정선	38.1	3.8
부산물처리공정	16.5	1.6
혼합공정	26.65	2.6
계량및포장공정	51.75	5.1
집진공정	337	33.3
공기압축	148.1	14.6
합계	1,012.45	100



(소요동력)



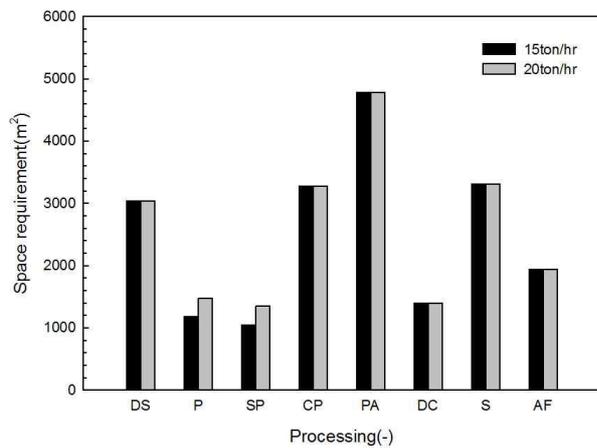
(소요동력 비중)

SOY : 두류정선, OAT : 귀리선별, ADL : 울무가공, MIL : 조기장가공, SES : 깨정선, SOR : 수수가공, GLU : 찹쌀·찰흑미정선, PCI : 부산물처리, MIX : 혼합, PA : 계량 및 포장부, DC : 집진부, AC : 공기압축

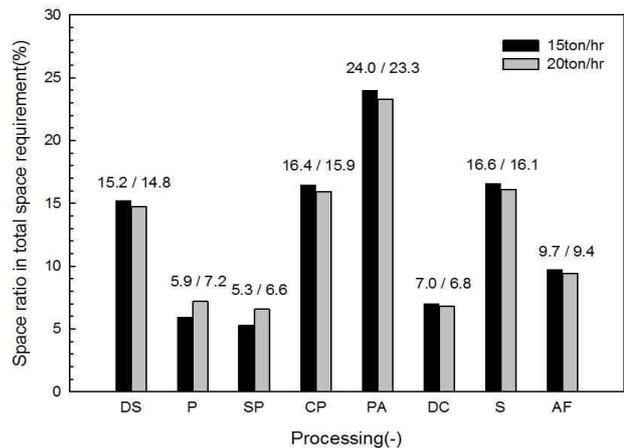
그림 3-1-59. 광역통합 RPC 혼합미공정의 소요동력 비교

(5) 소요면적

- 광역통합 RPC 가공공정의 소요면적은 처리능력 15ton/hr은 건축면적이 19,965m², 20ton/hr은 20,559m²가 필요할 것으로 예상되었으며, 처리능력 15ton/hr에서 소요면적의 비중은 포장부가 24.0%(4,784m²)로 가장 높았으며, 창고 16.6%(3,307m²) 및 혼합미가공 16.4%(3,275m²) 순으로 나타났고, 20ton/hr의 경우도 비슷한 경향이었음



(소요면적)



(소요면적 비중)

DS : 건조저장부, P : 가공부, SP : 특수가공미가공부, CP : 혼합미가공부, PA : 포장부, DC : 집진부, S : 창고, AF : 부대시설

그림 3-1-60. 광역통합 RPC 주요공정별 소요면적 비교

표 3-1-46. 광역통합 RPC 가공공정의 처리능력별 소요면적

주요 공정		소요면적(m ²)				비고
		처리능력 15ton/hr	비중(%)	처리능력 20ton/hr	비중(%)	
건조저장부	반입부	340	1.7	340	1.7	
	건조부	315	1.6	315	1.5	
	저장부	2,378	11.9	2,378	11.6	
	소 계	3,033	15.2	3,033	14.8	
가공부	원료저장부	799	4.0	799	3.9	
	현미부	190	1.0	338	1.6	
	백미부	193	1.0	343	1.7	
	소 계	1,182	5.9	1,479	7.2	
특수가공미가 공부	유색미 가공부	384	1.9	681	3.3	
	배아미 가공부	168	0.8	168	0.8	
	발아현미 가공부	384	1.9	384	1.9	
	클린라이스 가공부	116	0.6	116	0.6	
	소 계	1,051	5.3	1,348	6.6	
혼합미가공부	두류 정선부	420	2.1	420	2.0	
	귀리 가공부	420	2.1	420	2.0	
	율무 가공부	420	2.1	420	2.0	
	조/기장 가공라부	420	2.1	420	2.0	
	혼합미 제조부	399	2.0	399	1.9	
	깨 정선부	399	2.0	399	1.9	
	수수 가공부	399	2.0	399	1.9	
	참쌀/찰흑미 정선부	399	2.0	399	1.9	
	소 계	3,275	16.4	3,275	15.9	
포장부		4,784	24.0	4,784	23.3	
집진부	건조저장	350	1.8	350	1.7	
	현미	298	1.5	298	1.4	
	백미	288	1.4	288	1.4	
	특수가공미 및 혼합미	460	2.3	460	2.2	
	소 계	1,395	7.0	1,395	6.8	
창고	다목적창고	603	3.0	603	2.9	
	상온저장고	2,028	10.2	2,028	9.9	
	저온저장고	676	3.4	676	3.3	
	소 계	3,307	16.6	3,307	16.1	
부대시설	왕겨수집	462	2.3	462	2.2	
	공기압축실	152	0.8	152	0.7	
	부산물수집	496	2.5	496	2.4	
	사무실	826	4.1	826	4.0	
	소 계	1,936	9.7	1,936	9.4	
소 계		19,965	100.0	20,559	100	건축면적
기타 대지		66,435		65,841		
합 계		86,400		86,400		

(6) 소요비용

- 정부의 농림식품사업(고품질유통활성화사업)으로 추진중인 고품질쌀브랜드육성(가공시설현대화사업)의 지원방향과 규모를 결정하기 위하여 농림식품부의 조사사업비로 한국식품연구원(농협중앙회 및 설계사 지원)에서 과년도 사업에 소요되는 공사비용을 조사하여 2010~2016년까지 차기연도용으로 매년 기준사업비를 제시하고 있음
- 본 연구에서는 이 기준사업비를 참조하여 개발되는 광역통합 RPC 가공공정의 처리능력별 기계공사의 설계가격을 산출하였고, 건축공사의 경우 공정별로 단위면적당 단가를 적용하여 소요비용을 산출하였음
- 처리능력별로 추정한 소요비용은 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 처리능력 15ton/hr인 경우는 총 소요비용이 311억원이었으며, 이 중에서 기계공사비용 152억원, 건축공사비용 149억, 1차수전 설치비용 4억원, 설계감리비용은 5.5억원 정도가 소요될 것으로 추정되었음
- 한편, 처리능력 20ton/hr인 경우는 총 소요비용이 326억원으로 15ton/hr에 비해 약 15억 증가하였는데, 세부적으로는 기계공사비용 163억원, 건축공사비용 152억원, 1차수전 설치비용 4.5억원, 설계감리비용 5.6억원이 소요될 것으로 추정되었음

표 3-1-47. 광역통합 RPC 가공공정의 처리능력별 소요비용

구 분		소요비용(천원)	
		처리능력 15ton/hr	처리능력 20ton/hr
총 액		31,167,740	32,649,340
기계공사	합 계	15,275,500	16,394,500
	가공부	6,201,000	7,320,000
	클린라이스가공부	1,442,000	1,442,000
	배아미/유색미가공부	1,502,000	1,502,000
	두류 정선부	792,700	792,700
	귀리 가공부	825,000	825,000
	울무 가공부	628,700	628,700
	조 기장 가공부	602,700	602,700
	깨 정선부	333,700	333,700
	수수 가공부	424,700	424,700
	참쌀, 찰흑미 정선부	70,000	70,000
	부산물처리부	581,000	581,000
	혼합제조부	256,000	256,000
	포장부	1,616,000	1,616,000

건축공사	합 계	14,940,000	15,240,000
	가공부	380,000	680,000
	특수가공미가공부	1,050,000	1,050,000
	혼합미가공부	3,300,000	3,300,000
	포장부	4,800,000	4,800,000
	집진부	1,000,000	1,000,000
	다목적창고	360,000	360,000
	상온저장고	1,600,000	1,600,000
	저온저장고	660,000	660,000
	부대시설	1,160,000	1,160,000
	원료저장탱크기초	400,000	400,000
	왕겨탱크기초	230,000	230,000
1차수전		400,000	450,000
설계감리비		552,240	564,840

마. 광역통합 RPC 가공공장 시설기준 개발

- 본 연구에서는 앞에서 정립한 주요공정의 성능기준과 설계방향을 달성하기 위하여 조사 및 분석한 자료를 바탕으로 건축 및 가공실의 구획, 가공시설, 부대설비 및 안전설비의 시설 등으로 구분되는 시설기준을 다음과 같이 제시하였으며, 동 시설기준은 전술한 정부의 농림식품사업(고품질유통활성화사업)으로 추진중인 고품질쌀브랜드육성사업(가공시설현대화사업)과 관련하여 한국식품연구원에서 2010~2016년까지 차기연도용으로 매년 제시하였던 모델의 시설구비사항을 참조하고, 본 연구의 주요결과를 반영하여 시설기준을 개발하였음

(1) 건축 및 가공실의 구획

(가) 가공실 구획

- 건축은 기계설비를 위한 것이므로 기본설계단계부터 기계설계사와 반드시 기술협의를 실시한 후 진행하여야 하고, 건축물의 구조와 재료는 기본적으로 건축법시행령에 따라 설계하고 선정되어야 하며, GAP 농산물우수관리시설기준에 적합하여야 함
- 원료 벼를 현미 및 백미로 가공하여 포장하는 가공실, 특수가공미가공실 및 잡곡처리시설과 부대시설은 지형·주위 환경·외관·안전성·공해발생·편리성 등을 종합적으로 고려하여 아름답고 효율적으로 설치되어야 하며, 전체적인 배치는 향후 추가로 설치될 관련시설 계획, 차량동선 등을 종합적으로 고려하여 결정되어야 함
- 벼 및 잡곡의 수확후 처리시설 및 완제품 보관시설이 설치된 건축물의 위치는 축산폐수·화학물질 기타 오염물질의 발생시설로부터 제품에 나쁜 영향을 주지 않도록 이격, 격리되어 있어야 함
- 가공실 건축물의 층고 및 면적은 시설의 설치·운영·유지관리·보수에 지장이 없는 규모이어야 하며, 향후 새로운 시설설치에 필요한 공간은 충분하게 확보되어야 하나, 불필요한 면적 및 공간이 없어야 함
- 가공실은 반입·건조·저장·부산물시설 및 기타 외부에서 발생하는 분진에 오염되지 않도록 격리되거나 칸막이 등으로 구획되어야 하며, 현미부, 정미부, 포장부, 완제품보관실, 발아현미제조실, 잡곡처리시설, 부자재보관실, pallet보관실, 부산물실 및 기타 공간은 각각 구획 또는 분리되어야 함
- 현미부, 정미부 및 포장부, 특수가공미제조부 및 잡곡처리부에는 부산물, 완제품, 포장재, 반품 및 잡품(공구, 청소도구 등)이 방치되지 않아야 하며, 이를 위해 잡품을 보관할 수 있는 별도의 수납공간이 확보되어야 함
- 품질검사실에는 수분계, 외관품위측정기, 백도계 등 품질검사장비가 설치되어 원료 벼 및 잡곡의 품질, 현미, 백미, 잡곡, 특수가공미의 가공중 및 최종제품의 품질을 측정할 수 있어야 하며, 품질검사실은 시료를 용이하게 채취하고 가공기계를 조정할 수 있는 곳에 위치하여야 함
- MMI, 자동재고 및 수율관리시스템 등이 설치되는 중앙제어실은 주요 기계설비의 운전상황을 직접 감시·조정할 수 있고, 분진과 배기가 유입되지 않는 곳에 위치하여야 함

(나) 위생구역 및 기타 공간구획

- 가장 청결을 요하는 포장실을 출입하는 작업자는 에어샤워기를 통해서 출입할 수 있도록 에어샤워기는 포장실 출구에 설치되는 것을 권장하며, 작업자의 위생관리를 위한 세척 및 탈의실 등 위생구역이 설치되어야 함
- 화장실은 가공실과 분리하여 설치되어야 하고, 청결하게 관리되어야 하며, 수세식으로 손 세척시설 및 손 건조시설(페이퍼 타월 등 1회용 티슈)이 설치되어 있어야 하며, 환기가 가능하여야 함
- 생산자, 소비자 등 견학자를 위한 가공실 견학로는 사고발생 및 견학자에 의한 제품 오염을 방지하기 위하여 가공실 외부에 설치되어야 함
- 입출고 관리 등을 위한 사무실이 설치되어야 함

(다) 가공실 벽체 및 출입문

- 가공실의 내벽과 천장은 곡물에 나쁜 영향을 주지 않는 기자재가 사용되어야 하며, 먼지 등이 쌓이거나 미생물 등이 번식하지 않게 청소가 가능한 구조로 설치되어야 함
- 가공실의 출입문은 견고하고 밀폐가 가능하여야 하며, 지게차 출입이 잦은 출입문은 2중문으로서 외문은 견고하고 밀폐가 가능하여야 하고, 내문은 신속하게 개폐가 가능하고 분진유입 등을 방지할 수 있는 구조로 설치되어야 함
- 지게차 출입이 빈번하지 않는 기타 출입문, 지게차의 출입이 비교적 잦아도 외부로부터 먼지유입에 크게 영향을 받지 않는 출입문 및 기타 출입문은 사용하는 목적에 맞는 문의 형태와 시건장치를 갖추어야 함
- 가공실의 바닥은 하중과 충격에 잘 견디는 견고한 재질이어야 하며, 파여 있거나 심하게 갈라진 틈이나 구멍이 없어야 함

(라) 가공실의 환기시설

- 현미부, 백미부, 특수가공미가공부, 잡곡처리부, 포장부 등 가공실에는 집진을 위한 외기도입구가 설치되어야 하고, 외기도입구에는 먼지, 이물질 등이 유입되지 않도록 필터가 설치되어야 하며, 외기도입구는 비 등이 침입할 수 없는 구조인 후드형을 기본으로 함
- 외기도입구는 현미부, 백미부, 특수가공미가공부, 잡곡처리부 및 포장부 등 집진이 실시되는 공간에 각각 별도로 설치하는 것을 원칙으로 하되, 외기도입구를 1개소만 설치한 후 포장부, 가공부, 완제품 보관실 등 청결요구 정도가 낮은 방향으로 흐르도록 송풍기를 설치할 수 있으나, 이 경우에는 원곡을 처리가공하는 가공부는 별도로 외기공기 도입구를 설치하여 원곡처리가공부에서 발생하는 먼지에 의해 다른 가공부가 오염되지 않도록 하여야 함

- 외기도입부는 외기공기의 도입시 정압손실이 최소가 될 수 있는 크기이어야 하며, 필터청소 및 교체가 용이한 위치에 설치되어야 하며, 설계기준은 통과공기속도를 1m/sec이하, 유효면적비를 50%이하로 함
- 필터 등이 없거나 청소가 어려운 통풍구(ventilator) 등 기타 환기시설은 설치되지 않아야 하고, 가공실 창문은 밀폐가 가능하여야 하며, 방충망이 설치되어야 함
- 가공실 내 고온 고습공기 등의 배출을 위한 배기 팬을 설치하여야 하며, 배기 팬은 미가동 시에는 외기공기가 유입되지 않도록 셔터가 설치되어야 함

(2) 가공시설

(가) 현미부

- 가공계획에 따라 약 1주일 이상을 가공하는데 사용할 수 있는 원료를 저장할 수 있는 저장시설이 필요하며, 저장시설의 종류 및 형태는 원료형태 및 가공계획에 적합하여야 함
- 저장시설과는 별도로 현미부로 원활하게 원료를 공급하기 위해 원료탱크는 원료가 혼곡되지 않는 용량과 개수로 설치하는 것을 원칙으로 하되, 저장시설이 원료탱크와 동일한 역할을 충분히 감당할 수 있는 경우에는 생략할 수 있음
- 도정특성 및 제품의 외관품위를 향상시키기 위하여 현미부에는 큰 이물질을 선별할 수 있는 조선기 형태의 선별기와, 비정립을 충분히 선별할 수 있는 능력을 가진 입선별기 및 현미색채선별기를 설치하는 것을 원칙으로 함
- 현미기에는 원료벼가 고무롤러 전체에 균일하게 공급될 수 있도록 vibrator type 이상의 공급능력을 가진 공급장치가 부착되어야 하며, 현미기를 통과할 때 싸라기발생율이 최소가 되도록 운전조건이 개선되어야 하며, 왕겨풍구는 쥐 침입방지, 에너지절약 및 청결유지 등을 위하여 밀폐식을 권장함
- 입선별기는 제품 생산계획에 적합하도록 비정립 선별특성에 따라 체눈 크기를 다르게 하여 2단 이상으로 설치하여야 하며, by-pass라인이 설치되어 각단 입선별기의 단독 또는 연동작업이 가능하여야 하며, 선별망에는 용이하게 교체가 가능한 청소용 브러시가 설치되어야 함
- 입선별기 이후에 설치되는 현미색채선별기는 비정립선별에 충분한 용량이어야 하며, 현미부와 구분된 정미부에 설치되는 것을 원칙으로 함
- 금속 등 이물질에 의해 주요 단위기계가 손상되는 것을 방지하기 위하여 현미기 등 현미부의 주요 단위기계 상부에는 제철기가 설치되어야 함
- 현미부에서 분진으로 인한 오염이 심하게 발생할 수 있는 종합정선기, 현미분리기, 현미색채선별기 상부에는 충분한 집진이 가능한 구조의 풍력선별기(aspirator)가 설치되어야 함
- 현미제품과 접촉하는 부분은 STS로 시공되어야 하고, 현미제품탱크는 백미제품과 함께 일관적으로

계량포장될 수 있도록 백미제품탱크와 동일한 포장실에 설치되는 것을 원칙으로 하며, 포장 직전에 이물질선별망과 제철기가 설치되어야 함

- 원료탱크 이전 및 이후, 현미탱크 이전 및 이후 등 중량변화가 발생할 수 있는 지점에는 호퍼스케일(연류계)이 설치되어 중량 등이 측정될 수 있어야 하며, 현미탱크 이후에 현미 수분측정이 가능하도록 구성하는 것을 원칙으로 함

(나) 정미부

- 도정도가 도정기준(백도 40 ± 1)에 적합한 최종제품을 설계능력 이상으로 생산할 수 있는 처리능력을 갖추고 있어야 하며, 연삭 및 연미공정이 중복되지 않는 정미시스템이 설치되는 것을 원칙으로 함
- 정미시스템의 각 단에서의 도정도 및 도정특성을 측정하기 위해 필요한 시료를 용이하게 채취할 수 있는 구조이어야 하며, 정미시스템의 단수는 전체 도정배분을 용이하게 조절할 수 있는 범위이내이어야 함
- 정미시스템에는 각 단의 작동상태를 정확하게 인지하고 제어할 수 있는 전류, 정백실내의 압력계(또는 압력을 나타낼 수 있는 보조장치) 등 필요한 게이지가 부착되어 있어야 하며, 각 단의 집진량을 정확하게 측정 또는 추정하고 제어할 수 있도록 송풍량 측정계(또는 정압계), 댐퍼 등이 부착되어 있어야 함
- 정미시스템에서 가공된 쌀에는 미강가루가 육안으로 확인되지 않도록 정미시스템에서 미강가루가 충분히 제거되어야 하며, 과도한 미강집진으로 인해 쌀이 건조하거나 미강에 잔사라기 함유율이 높지 않아야 함
- 습식연미기에는 가수량을 확인할 수 있는 게이지가 부착되어 있어야 하며, 가수라인은 동파방지를 위해 보온시공되어야 하며, 물탱크에는 동파방지를 위한 히터와 시건장치가 부착되어 있어야 함
- 이물질에 의한 주요 단위기계의 손상을 방지하기 위하여 정미시스템 및 연미기(백미반품 처리용으로 사용될 경우) 등 주요 단위기계 상부에는 이물질선별망과 제철기가 설치되어야 함
- 제품생산계획에 적합한 품위의 제품을 생산하고, 투명한 플라스틱과 같은 이물질을 충분히 제거하기 위해서 유색불량품, 백색불량품 및 투명한 플라스틱 등을 충분히 선별할 수 있는 능력을 갖는 색채선별기가 설치되어야 함
- 제품생산계획에 적합한 품위의 제품을 생산하기 위하여 충분한 선별능력을 갖춘 싸라기선별기(체선별기, 흡선별기, 화상특성을 이용한 싸라기선별기 등)가 설치되어야 하며, 동일 목적의 선별기가 연달아서 설치되지 않아야 함
- 백미탱크 이전 및 이후 등 중량변화가 발생할 수 있는 지점에는 호퍼스케일(연류계)이 설치되어 중량 등을 측정할 수 있어야 함

(다) 특수가공미부 및 잡곡처리부

- 배아미대량제조시설은 연속식으로 정미기 전단에 설치하고, 배아부착율을 최대한 높게 유지하도록 현미단계에서 충분하게 이물질 및 비정립을 선별하여, 제조 후 비철금속선별 등 간단한 공정만을 거치고 포장될 수 있도록 공정이 구성되어야 함
- 가수정미방식의 클린라이스제조설비는 백미를 원료로 공급받기 용이하고 별도 구획된 공간내에 설치하되 법규에 저촉되지 않도록 폐수처리시설 등을 설치하여야 하며, 제조된 클린라이스제품의 선별 및 포장이 가능하도록 라인이 구축되어야 함
- 건식 클린라이스제조설비는 정미시스템 후단 또는 백미탱크에 연결하여 원료공급이 가능하도록 백미부 또는 포장부에 설치하고, 제조된 클린라이스제품의 선별 및 포장이 가능하도록 라인이 구축되어야 함
- 발아현미제조시설은 현미원료 공급이 용한 위치에 별도로 구획된 공간에 설치하되, 법규에 저촉되지 않도록 폐수를 처리할 수 있도록 설치하여야 하며, 제조된 발아현미제품의 선별 및 포장이 가능하도록 라인이 구축되어야 함
- 잡곡처리부는 해충 등이 쌀 가공시설에 영향이 없도록 쌀 가공부와 격리된 공간에 설치하고, 설치되는 공정은 각 잡곡별 특성에 적합하도록 구축되어야 함
- 혼합미제조시설은 백미부, 포장 및 잡곡처리부의 격리된 공간 중 원활한 원료 공급이 가능한 위치에 설치하여야 하며, grid scale이나 계량기 및 혼합기 등을 설치하여 목적하는 배합비율에 적당하도록 시설이 설치되어야 하며, 원료공급 및 제조된 혼합미의 포장공정은 산물상태로 처리가 가능하도록 구축되어야 함

(라) 계량 및 포장부

- 포장기는 관찰이 가능한 창(투명 아크릴 등)이 설치된 칸막이(고정식, 이동식) 등으로 완제품보관실과 구획 또는 분리된 포장실내에 설치되어야 하며, 톤백계량기는 포장실내의 지게차의 출입으로 인한 오염을 방지하기 위하여 완제품보관실에 설치되는 것을 원칙으로 함
- 자동지대포장기에서 포장된 제품에서 발생하는 파포를 신속하게 처리하기 위한 작업자 출입구가 별도로 설치되어야 함
- 포장실은 작업자가 원활하게 작업할 수 있도록 충분한 공간이 확보되어야 하며, 포장부에서 포장된 제품은 완제품보관실에서 pallet 등에 적재될 수 있도록 이송시설을 통해 완제품보관실로 이송될 수 있는 구조이어야 함
- 제품생산계획에 적합한 종류와 처리능력의 포장기가 설치되어야 하며, 포장기는 포장지 공급, 포장된 제품의 출하가 용이한 구조와 방향으로 설치되어야 함

- 포장실은 포장지보관실에서 포장지를 입고할 때 외부로부터 먼지에 오염되지 않는 구조이어야 하며, 효율적인 포장작업을 위하여 포장실내부에 당일 작업에 필요한 포장지를 임시로 저장할 수 있는 저장시설을 설치할 수 있음
- 설치된 포장기들이 잦은 ON/OFF 없이 연속적으로 동시작업이 가능하도록 백미, 특수가공미 및 잡곡 제품탱크 이후부터 최종 포장기까지 충분한 구조와 용량의 이송시설과 보조탱크가 설치되어야 하며, 별도의 완전미생산시설을 설치할 경우에도 완전미생산시설의 용량 및 구조가 포장작업에 지장이 없어야 함
- 최종 제품의 제조에 곡온이 상승하는 곡물의 제품탱크 이후에는 곡물에 혼입되어 있는 미강덩어리 등 이물질을 충분히 선별하기 위한 체선별기와, 포장직전에 이물질선별망과 체철기가 설치되어야 하며, 포장전에 비철금속 제거장치의 설치 또는/및 포장이후 비철금속 탐지장치가 설치되어야 함
- 1일 2교대에 따른 야간 포장작업의 효율화는 물론 인력절감을 위해 다양한 중량의 포장단위 제품을 생산할 수 있는 충분한 포장기와, 자동 박스포장 관련시설, pallet에 적재할 수 있는 로봇적재기, 자동 pallet 랩핑기가 설치되는 것을 원칙으로 함
- 완전미탱크 이전 및 이후 등 중량변화가 발생할 수 있는 지점에는 호퍼스케일(연류계)이 설치되어 중량 등이 측정될 수 있어야 함

(마) 이송시설

- 이송시설은 설계능력에 부족하지 않는 충분한 능력이어야 하며, 곡물이 이송과정에서 손상되지 않도록 적정 이송속도를 준수하고, 내부는 이송과정에서 곡물이 충격이나 마찰로 손상되지 않는 구조이어야 함
- 이송시설은 잔곡이 남지 않는 구조이어야 하고, 이송시설에 설치된 벨트, 스크레이퍼, 클리너, 기타 이송도구 등을 고정한 부분에서 볼트 및 너트 등의 풀림이 발생되지 않는 구조이어야 함
- 이송시설은 Pit내에 설치되지 않아야 하고, 이송되는 곡물이 정확한 방향으로 공급되도록 설치되어야 하며, 연류계 하부 등 공급되는 곡물량의 변동이 심한 곳에는 이송시설 이전 슈트관에 점검창과 수동게이트가 설치되어야 함
- 버킷엘리베이터에 잔곡청소를 위한 공기청소기가 부착되는 경우, 각 버킷엘리베이터에 공기량 조절을 위한 수동밸브와 solenoid valve가 각각 부착되어야 함
- 이송시설에는 곡물의 이송상태, 잔곡발생여부를 확인할 수 있도록 작업자가 용이하게 관찰할 수 있는 위치에 점검창이 설치되어야 하며, 작업자가 용이하게 보수점검이 가능한 구조이어야 함
- 이송시설은 내부에서 발생하는 먼지를 효과적으로 집진할 수 있는 구조이어야 하며, 집진에 필요한 외기도입구는 효과적인 집진이 가능하면서 외부로부터 오염이 방지될 수 있는 위치에 설치되어야 함
- 버킷엘리베이터 상부에는 점검구를 설치하여야 하며, 청소와 보수 점검을 위하여 발판과 같은 작업

대를 설치하되, 버킷엘리베이터가 다른 기계설비 및 점검대 등과 함께 고정되지 않아야 함

- 이송시설에서 도정된 곡물 등 제품과 직접 접촉하는 부분은 스테인리스 강 등과 같이 매끄럽고 내부 식성이어야 하고, 구멍이나 균열이 없어야 하며, 곡물과 직접 접촉하지 않는 부분중 이송시설 내부는 이물질이 곡물에 섞이지 않도록 도색이 불필요한 재질을 사용하여야 함

(바) 슈트 및 게이트

- 도정된 곡물 등 제품과 직접 접촉하는 슈트(이송관)는 스테인리스 강 등과 같이 매끄럽고 내부식성이어야 하며, 구멍이나 균열이 없어야 함
- 곡물의 이송슈트는 중간 지점에 정전기 발생이 최소화되는 재질의 투시창을 설치하여 곡물의 흐름을 관찰할 수 있어야 하며, 이 때 투시창이 설치된 슈트내부에는 돌출부나 홈이 없어야 함
- 슈트관경은 곡물량에 적합한 크기이어야 하고, 경사각은 안식각 이상으로 하며, 굴곡부에는 곡물로부터의 충격과 마모에 견딜 수 있는 구조이어야 함
- 슈트길이가 5m을 초과하거나, 유속이 빨라 곡물이 손상될 우려가 있는 경우에는 완충장치를 설치하여야 하며, 용이하게 청소할 수 있는 구조이어야 함
- 슬라이드 게이트는 개폐시 이송되는 곡물에 손상을 주지 않고 완전 차단이 가능한 구조이어야 하고, 가능한 개폐 정도를 임의로 조정할 수 있는 실린더를 사용하며, 별도로 게이트 상단에 유량을 조절할 수 있는 수동 게이트가 설치되어야 함

(사) 탱크류

- 원료, 현미 및 백미탱크는 반입되는 원료수와 생산되는 브랜드수를 감안하여 곡물이 혼곡되지 않는 개수로 설치되어야 하며, 용량은 야간작업, 포장작업은 물론 출하계획에 지장이 없는 수준이어야 함
- 단위기계로 균일하게 원료를 공급하고, 고장시에 곡물의 임시저장에 사용되도록 단위기계 사이에는 호퍼형 보조탱크가 설치되는 것을 원칙으로 하며, 용량은 단위기계 처리능력에 적합하여야 함
- 저장탱크와 보조탱크는 곡물이 잔류하지 않는 호퍼형이어야 하고, 잔곡발생여부를 확인하기 위하여 점검창이 설치되어야 하며, 곡물이 충격으로 손상되지 않도록 완충장치가 부착되어야 함
- 모든 탱크에는 집진을 위하여 집진덕트와 동일 이상 면적의 공기유입구(air vent)가 설치되어야 하며, 일반적으로 공기유입구는 엘보형을 원칙으로 하되, 공기유입구에는 용이하게 분리하여 청소할 수 있는 금망(mesh)이 설치되어 외부로부터 먼지유입이 최소가 되도록 하여야 함
- 도정된 곡물 등 제품에 근접한 곡물과 관계되는 모든 탱크는 인체에 무해한 STS로 시공되어야 하며, 제품탱크상부의 공기유입구에는 외기에 의해 제품이 오염되지 않도록 부직포 등 별도의 방진대책이 수립되어야 함

- 제품탱크에는 집진기가 작동하지 않는 야간 등에 결로발생을 대비하여 환기용 송풍기가 설치되어야 하며, 환기용 송풍기에는 자동셔터가 설치되어 사용하지 않는 시간에 외기에 의해 영향을 받지 않도록 하여야 함
- 모든 탱크의 내부 상단과 하단에는 레벨센서를 설치하는 것을 원칙으로 하며, 하단의 배출 게이트는 레벨 센서와 연계하여 자동 또는 수동제어가 가능한 구조이어야 함

(3) 부대설비

(가) 집진시설

- 비산먼지의 분진농도는 대기환경보전법, 산업안전보건법 등 관련법규의 허용범위이내이어야 하며, 작업자의 건강과, 설치되는 기계의 성능과 수명에 지장을 초래하지 않는 범위에서 청결하게 유지되어야 함
- 신규 집진시설은 동일 부지내에 설치된 원료투입구, 건조저장시설, 집진시설 등 기존시설에서 발생하는 먼지 상태를 충분하게 검토하여 전체시설의 비산먼지농도가 최대한 낮아지면서 비용이 절감될 수 있는 방향으로 설치되어야 함
- 단위기계, 각 구획된 공간 및 부산물 집진시설은 과대설계에 의해 곡물이 건조하거나 에너지가 낭비되지 않도록 발생하는 먼지의 집진에 적합한 집진능력으로 설치되어야 함
- 단위기계, 각 구획된 공간 및 부산물 집진시설의 종류와 개수는 발생하는 분진의 종류, 운전조건 등을 충분하게 감안하여 집진효율이 높으면서 설치비용 및 에너지소요가 최소가 되는 방향으로 결정되어야 함
- 집진시설에서 제거된 분진을 보관하는 보관함은 먼지가 비산되지 않도록 충분히 밀폐되어야 함
- 모든 단위기계 내부는 먼지가 쌓여있지 않는 구조이어야 하고, 분진이 발생하는 모든 단위기계, 이송시설 및 탱크에는 집진배관이 설치되는 것을 원칙으로 하며, 기류를 이용하여 곡물을 선별, 이송 및 냉각하는 단위기계에는 적정 송풍량의 확보를 위해 정압계, 댐퍼 및 by-pass관을 설치하는 것을 원칙으로 함
- 집진배관은 분진의 이동경로와 배관의 연결구조에 대한 정확한 도면이 작성된 다음, 분진의 종류와 양에 따라 집진시설의 송풍기 풍량과 정압이 결정되어야 하며, 집진배관 직경은 배관내부 풍속기준(18m/sec 수준)범위에서 적합하게 결정되어야 함
- 집진덕트는 쉽게 분해 조립이 가능하도록 플랜지 조립을 원칙으로 하며, 집진덕트에서 주관의 유속 변화에 따라 집진물이 합류되는 분기관으로 역류하지 않도록 분기관은 주관의 상부 또는 측면에 연결되어야 함
- 집진덕트의 합류관은 덕트의 직경이 감소되는 부위에 30~45°경사로 부착하여야 하고, 리듀서는 시

작점의 덕트 지름의 1.5배 길이로 완만하게 감소되어야 하며, 집진배관용 90°형 배관은 중심부의 길이가 지름의 1.5배 이상으로 하여 저항을 최소화하여야 함

- 집진덕트의 각 분기관 등에는 집진량의 조절을 위한 댐퍼가 설치되어야하며, 정확한 집진량 조절을 위해 필요한 곳에 by-pass관을 설치할 수 있으며, 집진덕트는 운전시 소음과 진동이 없도록 튼튼히 고정되어야 함
- 비교적 규모가 큰 송풍기의 구동부에는 자동윤활유 공급장치가 부착되는 것을 원칙으로 함

(나) 부산물처리시설

- 미강 및 왕겨탱크 등 부산물처리시설은 3일 동안 배출되는 물량이상을 보관할 수 있는 용적으로 설치되는 것을 원칙으로 함
- 부산물탱크에는 외부에서 물량을 감지할 수 있는 투명창이 설치되어야 하고, 부산물이 가득 찰 경우에는 중앙제어반에서 이를 감지할 수 있어야 하며, 부산물배출시 발생하는 비산먼지가 바람에 비산되지 않는 구조이어야 함
- 왕겨 등 금속 등을 쉽게 마모시키는 부산물은 가능한 이송거리가 짧도록 직선으로 배관하고, 굴곡부는 내마모성이 높은 재료를 사용하고 마모시 교환이 용이하도록 설치되어야 함
- 결로로 인한 미강덕트 막힘을 방지하기 위하여 곡물가공시 발열로 곡온이 상승되는 정미공정 등 모든 공정이후의 모든 부산물 이송덕트는 충분히 단열되어야 하고, 외부에 노출된 단열재가 쉽게 상하지 않도록 충분히 보호되어야 함
- 곡물 처리과정중 선별된 선별물 등은 공기이송시설을 이용하여 별도로 설치된 선별물 탱크로 이송되는 것을 원칙으로 하며, 이 탱크에서 선별물이 배출될 때 배출시간의 조절 및 혼곡방지를 위해 각 탱크에서 톤백형태로 배출되는 것을 원칙으로 함
- 단위기계에서 선별된 선별물은 단위기계 하부에 설치된 수집탱크에서 1차 수집되어 선별물 탱크로 이송될 때, 에너지 절약을 위해 임시수집탱크에는 상한 및 하한레벨게이지 또는 상한레벨게이지 및 타이머 등이 설치되어야 함
- 선별물 탱크의 용량 및 개수는 원료조건, 생산제품 품위에 따른 선별물의 발생량, 선별물 활용 및 판매형태에 따라 최대 1일에 1회 이내의 배출횟수가 되도록 설치되어야 하며, 각 탱크에는 레벨게이지가 설치되어 재고량이 제어실에서 파악될 수 있어야 함
- 현미부의 입선별기 및 현미색채선별부에서 발생하는 비정립을 소형 정미기를 이용하여 싸라기로 가공할 때에는 비정립 탱크에서 톤백 등으로 배출할 수 있는 by-pass라인이 설치되는 것을 원칙으로 하며, 싸라기를 크기별로 선별할 필요가 있는 경우에는 비정상립 탱크상부에 별도의 체선별기를 설치할 수 있음
- 부산물의 공기이송능력은 원료 및 제품생산계획을 충분히 고려하여 과대 및 과소 설계가 되지 않아야 함

- 가공부의 단위기계에서 선별되는 선별물을 제외한 기타 이물질은 가공실에 방치되지 않도록 공기가 송 및 컨베이어 등의 이송시설이나, 수작업으로 가공실 외부로 이송되어야 하며, 이 때 수집탱크 및 이송시설에서 이송과정중 이물질로 인해 가공실이 오염되지 않는 구조이어야 함

(다) 공기압축기 및 배관

- 공기압축기는 압축공기를 필요로 하는 단위기계, 이송시설 및 게이트 등의 압축공기 소요량을 정확하게 파악하여 과대 또는 과소가 되지 않도록 적정한 용량이 설치되어야 하며, 소요 공기압력이 다른 곳에는 감압변이 설치되어야 함
- 공기압축기 이후에는 목적에 맞도록 공기청정기 · 오일분리장치 · 물분리장치 · 압력조정밸브 등이 설치되어야 하며, 공기압축기는 분진이 적은 곳에 설치하되 압축기의 고장을 고려하여 대형압축기 1대 보다는 적합한 용량으로 2대 이상을 설치하는 것을 원칙으로 함
- 공기압축기에는 온도조절 장치가 부착되어야 하고, 기계의 이상시 주 전동기가 자동으로 멈추게 하여야 하며, 공랭식압축기의 냉각과정에서 발생하는 고온공기는 공간의 난방에 사용되도록 구성하는 것을 원칙으로 함
- 공기배관은 기계의 진동으로 변형되지 않도록 고정대 또는 받침대를 설치하여야 하며, 가장 낮은 곳에 위치한 공기배관에는 응축수의 배출을 위한 드레인밸브가 설치되어야 함

(라) 제어시설 및 u-IT기반 관리시스템

- 가공시설의 전공정은 MMI(Man machine interface) PC에 의한 집중제어를 원칙으로 하고, 노이즈에 의한 오동작을 방지할 수 있도록 전원의 별도 분리공급 등의 방안이 강구되어야 함
- 제어설비나 기계설비의 작동불량과 같은 이상이 발생할 때는 경보와 동시에 순차적으로 작동이 중단 되도록 제어 시스템이 구축되고, 수동으로 조작될 수 있어야 함
- 재고 및 물량관리는 곡물의 반입, 배출 및 처리과정중 등 중량이 변화하는 곳에 설치된 호퍼스케일(연류계)과, 각종 게이트와 이송시설의 작동신호를 이용하여 관리하되, 각 공정에서 품종별, 제품별로 구분되는 곡물이 혼곡되지 않도록 관리 및 이력추적이 가능하여야 하며, 각 탱크에 남아있는 곡물도 자동으로 재고량이 계산되어야 함
- 이력관리는 입고, 배출 및 가공처리 날짜를 기준으로 lot별 처리일시, 처리물량, 잔고량, 출하일자 등의 이력이 생성 및 확인되어야 하고, 재고 및 물량관리시스템과 연동되어야 하며, 법규에 따라 이력번호의 생성, 표기 및 확인이 가능하여야 함
- 품질관리는 분석실 또는 on-line 측정장치로 lot별로 측정된 함수율, 백도, 품위, 단백질함량, 식미치 등 다양한 품질의 측정결과를 입력하고 물량 및 이력과 연동하여 관리가 가능하여야 함

- 수율 및 감모관리는 투입 및 배출, 이송, 가공처리 중 lot별로 원료중량, 최종생산제품중량 및 부산물량을 자동으로 계량하여 관리하고, 원료중량과 기타 계량중량과의 차이는 lot별 감모로 관리하고, 발생하는 감모가 기준 이상일 때 경보발령 등 이상상태를 표기할 수 있어야 함
- 포장재 및 pallet관리는 종류별 입고, 사용량 및 재고량이 자동으로 파악되어야 하며, 사용량은 각 포장기 및 로봇적재기의 포장종류별 측정개소수와 연동하되, 파포 등은 수작업 또는 포장기와 로봇적재기의 측정개수차로 자동입력되어야 함
- 각 관리시스템은 중앙제어실은 물론 사무실에서 동일한 정보를 on-line으로 활용할 수 있는 체계를 구축하는 것을 원칙으로 하며, RPC에서 필요로 하는 일일, 주간, 월간, 분기, 연말보고 서식의 자동출력이 가능하여야 함

(마) 조명

- 적절한 조도(220Lux이상)를 유지하여야 하고, 조명기구는 청결하게 유지하여야 하며, 오염을 방지하기 위하여 커버나 덮개 등 보호 장치가 설치되어야 함
- 곡물상태를 육안으로 확인하고 단위기계를 작동해야 하는 정미시스템 등 주요 단위기계 상부에는 별도 집중조명이 설치되어야 함

(4) 안전설비 및 기타 설치운영

(가) 구조물 및 단위기계 설치

- 용접 등 현장시공이 최소화될 수 있도록 구조물, 각종 배관, 슈트 및 공기덕트 등은 조립식으로 설계, 시공되는 것을 원칙으로 하며, 모든 단위기계는 일관 관찰이 가능하도록 전면을 향하도록 설치하는 것을 원칙으로 함
- 각 처리가공부에 설치된 구조물의 각단은 운영관리, 이동통로로 인한 공간낭비 등을 방지하기 위하여 동일 높이로 설치하는 것을 원칙으로 함
- 조작중 각종 기계설비의 감시, 조작과 유지관리를 효과적이고 안전하게 할 수 있도록 작업동선을 고려한 작업통로가 확보되어야 하며, 모든 기계설비는 접근이 용이하고 수리에 필요한 공간이 확보되어야 함
- 모든 단위기계에서 소음 및 진동이 최소화되고, 최적의 상태에서 운전되기 위하여 정확하게 밸런스가 유지되도록 설치되어야 함
- 진동이 발생하는 단위기계에는 다른 기계설비나 바닥으로 진동이 전파되지 않도록 별도 구조물 및 방진패드의 설치 등 방진조치가 실시되어야 하며, 진동이 건축에 전달되지 않는 구조이어야 함
- 진동이 심한 단위기계와 슈트와의 연결부위는 반드시 신축성이 큰 재질로 연결하고 조인트는 강철퍀드로 묶는 등 충분한 방진대책이 강구되어야 함

- 가공실의 분진 및 낙곡발생을 방지하기 위해 공정별 연결부분, 집진배관 시설 및 탱크 하부에 있는 이송시설 등은 밀폐되어야 하며, 시료채취시 낙곡이 발생되지 않는 형태의 시료채취구가 설치되어야 함
- 1개의 보조탱크에 2대 이상의 단위기계가 연결되는 경우, 각 단위기계에 원료가 균일하게 공급될 수 있도록 점검창 및 수동게이트 설치 등 보완대책이 강구되어야 함

(나) 안전설비

- 모든 기계설비는 자중·적재하중·작용력·진동·충격 등에 대하여 안전한 구조이어야 하며, 큰 하중이나 외력이 작용하는 기계설비는 기초를 독립적으로 설계하는 것을 원칙으로 함
- 건물에서 외부로 노출되는 기계설비는 녹슬거나 부식되는 것을 방지하기 위한 조치가 취해져야 하며, 특히 송풍기는 덮개를 설치하여 빗물이 유입되지 않게 해야 함
- 운전자의 안전은 물론 작업의 효율성을 높이기 위해 시설 내외부의 작업장으로 용이하게 이동할 수 있는 작업통로가 설치되어야 하며, 통로는 작업자의 안전을 보장할 수 있는 수준의 시설, 채광과 조명, 안전 난간이 설치되어야 함
- 기계설비의 조작 및 점검부위가 작업자의 키보다 높게 설치될 경우에는 적당한 높이의 발판이 설치되어야 하며, 기계설비의 높이가 1.5m 이상인 곳에서는 작업자가 안전하게 오르내릴 수 있는 설비가 설치되어야 함
- 각각 기계설비마다 작업자가 신속히 작동을 정지시킬 수 있는 위치에 정지 또는 동력차단 장치가 설치되고, 정지 또는 동력차단 장치는 조작이 간단하고 확실하여야 하며, 일단 정지된 이후에는 작업자의 재조작 경우를 제외하고는 스스로 작동되어서는 안되는 구조이어야 함
- 송풍기 등 소음이 많은 기계 또는 설비는 작업자와 인근 주민의 건강을 해치지 않도록 소음방지 관계 법령에서 정하는 기준치 이하로 소음이 경감, 또는 차단될 수 있어야 함
- 작업자가 휴식이나 야간에 수면을 취할 필요가 있을 경우를 대비하여 적절한 휴게실을 마련하고 침구를 구비하여야 하며, 탈의실, 세면 및 샤워 시설을 구비하는 것을 원칙으로 함

(다) 위생관리

- 단위기계는 잔곡이 완전히 배출될 수 있도록 상부투입, 하부배출 구조를 원칙으로 하며, 모든 단위기계에는 잔곡의 발생여부를 확인할 수 있는 점검창이 부착되도록 하는 것을 기본으로 함
- 제품형태의 곡물과 접촉하는 공정에 사용되는 탱크류 및 슈트류와, 체선별기, 홈선별기 등 단위기계와 이송장치 및 2-way valve 등에서 벨트 및 버킷을 제외한 곡물과 접촉하는 부분은 내부식성으로 시공되어야 하며, 구멍이나 균열이 없어야 함

- 버킷엘리베이터, 수평이송컨베이어 등에 사용하는 벨트, 버킷 등은 인체에 유해하지 않는 식품용이 사용되어야 함
- 모든 선별기는 청소가 용이한 구조이어야 하며, 특히 체선별기는 선별망에 곡물이 끼어있는지 여부를 용이하게 파악하고 청소할 수 있는 구조이어야 함
- 매연 등으로부터 오염을 방지하기 위하여 가공실에서는 전동차만 운행되어야 함
- 습식연미기 등에 수돗물, 오존수 등을 사용하지 않고 지하수를 사용하는 경우 취수원은 오염원으로부터 20m이상 떨어져야 하며, 1년에 1회 이상 분석하여 음용수 기준에 적합하여야 함
- 가공실을 깨끗하고 위생적으로 관리하기 위한 흡인식 청소시스템이 구비되어야 함
- 가공시설에는 쥐 등이 내부로 침입하지 못하도록 침입방지시설이 설치되어야 함

(라) 기타

- 에너지 투입을 최소화할 수 있도록 정밀한 적정설계가 이루어져야 하며, 각종 시설이 유효하게 제어되어 에너지 낭비가 없도록 제어 및 효율적인 운전이 가능하여야 함
- 가공시설현대화에 사용되는 모든 자재와 부품은 KS 규격, 또는 그 이상의 품질규격 제품을 사용하여야 하며, 명시되지 않는 제작, 설치 및 운영에 관련된 사항은 관련법, 농협미곡종합처리장설계기준에 준함

제 2절 u-IT기반 광역통합관리시스템 모델 설계

- 2007년부터 현재까지 보급되고 있는 2ndG RPC는 규모화, 위생위주 안정성, 공장자동화 등의 측면에서 1stG RPC에 비해 획기적인 발전을 이루었지만, RPC의 운영 및 관리시스템 부분에서는 MMI(Man Machine Interface)에 의한 PC제어와, 본 연구의 선행연구의 일부분이 반영된 연류계의 중량 측정치를 이용한 간단한 수율 및 재고관리시스템(YICS, Yield & Inventory Control System)이 도입된 것이 전부로서 ① 들녘별경영체 및 RPC와의 생산·유통연계체계, ② 외국산 쌀과의 차별화를 위한 쌀 이력추적시스템, ③ 수입쌀의 혼합판매 등 부정유통방지체계, ④ 규모화에 따른 RPC의 효율적 관리체계 등에 대한 해결 필요성이 증대하였음
- 한국식품연구원(u-Food system기반구축연구사업(2000.1~2014.12, R14-E0142053305-48)의 3세부과제 -지능형 식품생산, 유통환경제어시스템 개발)에서는 5년간에 걸쳐 소비자에게 쌀의 이력 및 품질정보를 제공하고, 2ndG RPC의 효율적인 관리를 위해 GIS/LBS 등 IT, Fuzzy theory 및 Spectrometry 등의 관련기술이 융합된 총 16가지 세부기술을 선정하고 ㉠ ICT기반 들녘별경영체와의 생산·유통연계시스템인 u-생산이력/반입관리시스템(u-TIMSP), ㉡ RPC에서의 이력 및 재고관리시스템인 확장형 자동수율/재고관리시스템(E-YICS), ㉢ 실시간품질관리시스템(RTQMS), ㉣ 소비자의 쌀 이력을 확인을 위한 쌀 이력추적시스템(TSR) 등 4개 시스템(10가지 세부기술)으로 구성된 u-RPC모델을 개발하였음
- 개발된 u-RPC모델은 2015년 1월부터 농림축산식품부 사업비 지원으로 2ndG RPC인 민간RPC(전북 익산소재 명천RPC)에서 시범사업으로 설치하였으나, 참여기업 중 E-YICS 담당업체 문제, 각 시스템의 RPC 적용과정 중 보완사항 발생, 개발된 u-RPC모델과 RPC설비와의 유기적인 작동을 위한 보완사항 발생 등 향후 RPC로의 보급을 위해서는 보완이 필요하였음
- 또한, 광역통합관리시스템은 2ndG RPC보다도 다수의 들녘별경영체 및 건조저장시설(DSC)과의 유기적인 생산·유통연계체계의 구축은 물론, 취급 및 생산품목도 벼와 쌀 이외의 특수가공미 및 잡곡 등으로 확대되어 광역통합 RPC내부에서의 다양한 제품의 자동재고, 품질, 생산 및 이력관리가 가능하여야 하며, 최근 쌀에서의 비소기준 제정과 관련된 논란 등 더욱 중요해지는 안전성 대처, 정부의 쌀 관측시스템 효율적 운영을 위한 데이터 수집체계 전환 필요성 등 RPC를 둘러싼 여건변화에 효율적으로 대처하기 위해 u-IT기반의 RPC 광역통합관리시스템이 필요함
- 따라서 본 연구에서는 u-IT기반의 RPC 광역통합관리시스템 개발을 위하여 2ndG RPC에 시범사업으로 설치된 u-RPC모델의 분석 및 문제점 도출과, 도출된 문제점을 해결하고, 이를 기반으로 광역통합 RPC에 적합한 u-IT기반의 RPC 광역통합관리시스템을 개발하고자 하였으며, 이를 위하여 u-RPC 모델에 대한 운영실험을 통한 보완하여 광역통합관리시스템을 개발하였고, u-RPC의 각 시스템과 RPC 설비와의 유기적인 작동을 위해 통신 protocol 및 PLC memory map기준을 설계하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

1. 운영실험을 통한 u-RPC 모델 보완

가. 실험방법

- u-RPC 모델의 핵심기술을 파악한 다음, u-RPC가 설치된 민간RPC와 본 연구의 위탁/참여업체인 모람씨엔티 및 iGSP와 함께 u-RPC 각 시스템에 대한 보완사항을 도출하고, 보완을 실시하였으며, 이를 위해 현장 등에서 약 30회에 걸친 협의회 및 운영실험을 수행하였으며, 주된 보완방향은 ① 들녘별경영체 등과 RPC와의 생산-유통연계체계, ② 소비자의 안전성 needs에 따른 쌀 이력추적시스템, ③ 수입쌀의 혼합판매 등 부정유통방지체계, ④ 규모화에 따른 RPC의 효율적 관리체계 등과 관련된 사항이었음
- 2015년 4월에 실시된 쌀 비소관련기준설정회의 등 안전성과 관련된 여건변화, RPC 운영자의 수준을 감안한 user중심 여부, u-IT는 물론 AI 등 유용한 tool을 충분히 활용하여 장기적이며, 광역통합과 같은 대규모에서 사용이 가능한 방향으로 보완을 실시하였으며, 운영실험을 통해 보완하는 사항이 주로 software적으로 표현되어 본 연구결과에서 표현에 한계가 있는 부분이 많았으며, 이 부분에 대한 양지가 필요함

표 3-2-1. u-RPC모델 보완을 위한 협의회 및 운영실험

일자	협의회 및 운영실험 내용	장소	참석자
2015. 9.22	· u-IT기반 RPC 광역통합관리시스템 모델 개발 Kick-off meeting - 세부과제(2개) 및 위탁과제(6개)별 효율적인 연구추진 체계구축, 연구내용, 연구방법, 추진계획 및 일정 등 발표 및 토론 - RPC 정책방향과 본 연구 연관 관련 특강(농식품부 RPC담당사무관)	공주대학교 회의실	연구진 전체
2015. 10.13	· u-RPC모델중 E-YICS에 iGSP참여 확인의사확인 - E-YICS개발 참여기업(세화C&M)의 사업철수 의사에 따라 iGSP와의 E-YICS핵심부분 점검 및 참여의사 확인	명천RPC	iGSP
2015. 11.23	· E-YICS 참여기업 변경을 위한 현재 개발상태 점검 - 참여기업 변경을 위한 E-YICS 현재 개발상태 점검 - 서울시의 공무원 및 방문단 대상 u-RPC의 개념 설명	명천RPC	iGSP, 세화C&M
2015. 12.7	· E-YICS 신규 참여 희망업체와의 현재 개발상태 확인 - iGSP위탁업체(줌인시스템)과 현재 E-YICS 현재 개발상태 확인	명천RPC	iGSP(줌인시스템)
2015. 12.14	· u-RPC 관련업체와의 보완사항 점검회의 - u-TIMSP 들녘별평가방법, E-YICS 디버깅, RTQMS의 calibration, 이력번호 및 QR code인쇄(3D) 시스템 연동 등 보완방향협의	명천RPC	명천RPC, 모람, iGSP, 센서아이
2015. 12.11	· E-YICS에 수율 및 감모부분 추가를 위한 기술회의 - RPC 평균수율 및 감모조사결과 설명, E-YICS 추가협의	명천RPC	iGSP
2016. 1.12	· E-YICS main menu결정 - E-YICS의 main menu결정	명천RPC	iGSP

2016. 1.18	· u-RPC모델의 세부 모델별 interface방향협의 및 u-TIMSP보완확인 - E-YICS 및 u-TIMSP, RTQMS, TSR간의 연계방향 협의 - u-TIMSP의 들녘별경영체 평가부분 보완 확인	한국식품 연구원	모람, iGSP, 센서아이
2016. 1.20	· TSR를 위한 이력추적 및 관리방법 결정 - 이력번호 7자리수를 2진수로 변환하여 사용하는 방법으로 결정	명천RPC	iGSP
2016. 1.28	· E-YICS 메인 작동 process결정 - 주문확인-1일작업 스케줄링-재고확인-가공라인결정-MMI확인 등 일련의 main process결정	명천RPC	iGSP
2016. 2.3	· u-RPC 모델보완 향후 일정협의 - iGSP 대표자와의 E-YICS 모델보완 일정 및 방법협의	명천RPC	iGSP, 대주 종합기술단
2016. 2.24	· E-YICS 메인 작동 process 알고리즘 확인, QR code인쇄확인 - 주문확인-1일작업 스케줄링-재고확인-가공라인결정-MMI확인 등 일련의 main process 알고리즘 확인 - RTQMS의 QR code 3D인쇄기능 해결 확인	명천RPC	iGSP, 대주 종합기술단, 센서아이
2016. 3.10	· E-YICS의 user중심 체계전환 협의 - Main 화면구성 및 menu간 연계체계를 user중심으로 전환협의	명천RPC	iGSP
2016. 3.17	· MMI 및 E-YICS연계, 타 RPC로의 적용가능성검토 - E-YICS지시 및 MMI반응방법, 포토샵 이용 Main화면 구성변경 - 2 nd G RPC인 해나루쌀조합공동사업법인으로의 적용가능성 검토	해나루쌀 조합공동 사업법인	iGSP, 대주 종합기술단
2016. 3.30	· E-YICS 도정상태확인, 감모, 수율, 포장지 등의 예측알고리즘 협의 - 무인자동화지향 : 정미기의 mA 표시로 도정상태확인 방법협의 - AI기반 RPC별 감모 및 수율기준, 포장지재고추정 알고리즘협의	한국토요 전북 사무실	한국토요, iGSP, 대주 종합기술단
2016. 4.7	· u-RPC의 Headquarter기능부여 방법협의 - DSC와의 MMI, YICS연계시 투입 및 출하를 위한 작동, RPC로의 반입허가 등 승인절차 및 권한부여 방법 협의	명천RPC	iGSP, 명천RPC
2016. 4.11	· u-RPC모델의 추가 현장적응실험 협의 - 2 nd G 청원통합RPC에서 정책사업으로 지원받은 약 9억원으로 u-RPC구축추진, 본 연구팀의 참여방법에 대한 협의	연구원	청원통합RPC
2016. 4.14	· u-RPC모델의 현장적응실험을 위한 연석회의 - 개선된 u-TIMSP 및 E-YICS의 설치, RPC 각 시스템과의 연계	명천RPC	iGSP, 모람
2016. 4.28	· E-YICS의 세부 메뉴검토 및 hardware와의 연계검토 - E-YICS의 설치시 hardware와의 연계부분 발생예상문제 검토	iGSP	iGSP, 줌인시스템
2016. 5.4	· u-RPC모델 시뮬레이션 - 개선된 u-RPC모델의 1차 simulation실시 및 문제점 도출	명천RPC	iGSP, 모람
2016. 7.5	· E-YICS의 보안체계 점검 및 인자기와의 연계체계 보완 - 보안체계 작동상황의 점검 실시 - 인자기와 유기적인 연계체계 보완	명천RPC	iGSP (줌인시스템)
2016. 7.26	· u-RPC의 품질 및 수율관리 점검 및 보완 - RTQMS에서 측정되는 품질정보 보완 협의 - E-YICS의 감모예측 알고리즘 보완 협의	명천RPC	iGSP (줌인시스템)

2016. 8.17	<ul style="list-style-type: none"> · E-YICS의 보완사항 점검 및 보안협의 - Pallet 용 QR/bar 코드 프린터기 및 리더기 작동확인 - 포장부 모니터링화면 화면설치 확인 - YICS 메뉴항목 보완 	명천RPC	iGSP (줌인시스템)
2016. 8.23	<ul style="list-style-type: none"> · E-YICS 프로그램 보완 - 감모부분(반입, 건조, 저장, 가공부분)에 대한 예측 알고리즘 분석 및 시뮬레이션 실시 · E-YICSM의 설계반영내용 협의 - 청원통합RPC 설치시스템 관련 업체 의견청취 - 프로토콜 및 통합관리시스템 협의 	명천RPC	iGSP (줌인시스템)
2016. 8.31	<ul style="list-style-type: none"> · Mega-RPC 통합관리시스템 설계 협의 - 관련기관 및 참여기관과의 의견 청취 - 각 세부 시스템별 개발 시작 	청원RPC	iGSP(줌인시스템), 대주 종합기술단
2016. 9.27	<ul style="list-style-type: none"> · E-YICSM으로의 보완사항 점검 - Main program 메뉴 재구성 협의 - 이력추적시스템의 보완방향 협의 - Lot 번호에 따른 DB 설계 및 인쇄시스템 통신제어확인 	명천RPC	iGSP (줌인시스템) , 센서아이
2016. 10.13	<ul style="list-style-type: none"> · u-TIMSPM으로의 확대를 위한 현장실험 - u-TIMSP의 수확시기 반입관리에 대한 현장실험 - RFID의 향후 활용 촉진방법에 대한 협의 - DSC와의 물량관리, 반입실태확인 등 연계보완 사항 도출 	명천RPC	명천RPC, 모람, iGSP (줌인시스템) , 센서아이
2016. 12.06	<ul style="list-style-type: none"> · E-YICSM으로 확대를 위한 보완실험 - E-YICS의 PLC I/O확인, 포장부 QR/bar 코드인쇄시스템 실험 - E-YICSM의 개발 일정 협의(iGSP, 줌인) · u-TIMSPM, E-YICSM의 청원RPC 설치계획 협의 	명천RPC	iGSP (줌인시스템)
2016. 12.22	<ul style="list-style-type: none"> · E-YICSM으로 확대를 위한 전반적인 시스템 점검 - DSC MMI, 백미부 MMI, 포장부 MMI, 원료재고관리/이력관리, 주문관리 	명천RPC	iGSP (줌인시스템)
2017. 2.16	<ul style="list-style-type: none"> · u-IT기반 광역통합관리시스템 설치를 위한 현장점검 및 협의 - u-TIMSPM, E-YICSM, TSRM의 설치를 위한 현장점검 - Test-bed 구축일정에 대해 논의 	청원RPC	모람, iGSP (줌인시스템) , 센서아이
2017. 5.11	<ul style="list-style-type: none"> · E-YICSM의 개발내용 점검 및 협의 - E-YICSM 내부계산 프로그램 확인 - DSC용 통신 memory map 설계 확인 - 이력추적 코드체계 개선방법 협의(16진수와 10진수 인텍싱) 	익산	iGSP (줌인시스템)
2017. 5.25	<ul style="list-style-type: none"> · u-IT기반 광역 통합관리시스템 test-bed최종점검 - Test-bed 시뮬레이션 결과 주문관리, 생산관리, 생산계획, 공정관리 화면구성 완료 - 감모 및 수율관리 화면 미완료로 보완예정 	익산	iGSP (줌인시스템)





그림 3-2-1. u-RPC모델 보안을 위한 협의회 및 운영실험 모습

나. 결과 및 고찰

(1) 기존 u-RPC모델의 핵심기술 분석

- 본 연구의 주관기관인 한국식품연구원에서는 2007년부터 2016년까지 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화사업)에 참여하여 2ndG RPC의 연차별 보급모델 및 기준사업비 개발, 55개 2ndG RPC에 대한 기본설계도서검토, 공사 중 기술지원 및 준공 후 성능검사는 물론 동 사업으로 RPC에 설치되는 단위기계 및 장비의 성능검정을 실시하면서, 2ndG RPC가 규모화, 위생위주 안정성 및 공장자동화 등의 측면에서는 1stG RPC에 비해 획기적인 발전을 이루었지만, RPC의 운영 및 관리시스템 부분의 한계 해결 필요성을 절감하여 2010년 u-RPC 개발을 시작하였음
- 소비자의 needs, 정부정책 및 기술환경 변화를 감안하여 2ndG RPC의 운영관리측면에서의 문제점을 도출한 다음, 이를 해결할 수 있는 방안으로 GIS/LBS 등 IT, Fuzzy theory 및 Spectrometry 등의 관련기술이 융합된 총 16가지 세부기술로 구성된 u-RPC 세부기술모형을 수립한 후, 유관업체와 공동으로 총 10가지로 구성된 4개의 모델을 개발하였으며, 관련특허를 8건 등록하였음

표 3-2-2. 2ndG RPC의 운영관리상 문제점

구분	항 목	문제점
1	들녘별경영체 등 생산조직과 RPC와의 생산·유통연계체계	<ul style="list-style-type: none"> · 지적도 및 엑셀에 의한 계약재배관리로 생산조직과 RPC간 재배이력 및 물량관리 미연계 · 반입예약제 미실시 또는 제한실시, 계약재배관리체계 미흡으로 벼의 구분처리 한계 · 필지별 영농지도 및 단지별 평가 등의 한계로 계약재배 내실화 및 고품질 쌀 생산기반 취약
2	소비자 안전성 needs 따른 쌀 이력추적시스템	<ul style="list-style-type: none"> · RPC반입이후 물량, 재고 및 이력관리시스템 미구축으로 소비자의 claim발생시 신속 recall한계 <ul style="list-style-type: none"> - 최근 비소기준 정립으로 중금속 오염문제발생시 RPC에서 대처가 불가능 · RPC생산 쌀에 이력번호 미부착으로 소비자가 쌀에 대한 정보획득에 한계(일본은 100% 표기)
3	수입쌀의 혼합판매 등 부정 유통방지체계	<ul style="list-style-type: none"> · 수작업에 의한 재고관리로 객관적·체계적 물량이동 기록 시스템 미구축 · 물량이동에 대한 자동기록 미보유로 심증 단속 등에 대한 RPC의 체계적인 대응 불가능
4	통합 등 규모화에 따른 RPC의 효율적 관리체계	<ul style="list-style-type: none"> · 다수 관리대상시설의 재고, 품질 및 작동상태 감시 등 체계적인 운영관리시스템 미구축 · 감모 및 품종순도 등 관리 한계 · 주문, 제품생산 및 출하관리 등 자동운영관리 한계



표 3-2-3. u-RPC와 관련된 한국식품연구원의 특허 현황

관련부분	특허명칭	출원인	특허등록번호 및 일자	특징
생산유통연계 시스템	벼의 수확시기 예측 방법 및 장치	한국식품연구원	101328487 (2013.11.06)	Spectrometry기반, 벼 잎 color측정으로 함수율을 추정하여, 벼 최적 수확시기를 예측시스템
	수확시기 예측정보를 이용한 자동반입 시스템 및 방법	한국식품연구원	101423646 (2014.07.21)	VI(value index)가 최대가 되는 자동반입시스템화 알고리즘(벼 color측정, 서버전송, VI계산, 최적수확시기 산출, 예상수확시기 전송)
RPC이력관리 시스템	종합미곡유통관리 시스템	한국식품연구원	101198846 (2012.11.01)	연류계측정치 및 DB정보로 RPC내부 이력 및 물량을 관리하는 등 가공공정중 쌀 이력추적시스템
	곡물 이력추적정보 생성 장치 및 방법	한국식품연구원	101719311 (2017.03.17)	미곡종합처리장내의 원료 관리를 위한 이력추적정보를 생성하고, 단일 번호체계를 제공하는 효율적인 이력추적정보 생성 시스템
실시간 품질관리 시스템 (RTQMS)	미곡종합처리장 및 미곡유통관리시스템	한국식품연구원	101507400 (2015.03.25)	도정된 쌀의 품질측정 장치(RTQMS)를 포함하는 미곡종합처리장 및 미곡 유통관리시스템
	도정편차측정방법 및 장치	한국식품연구원	101309265 (2013.09.10)	NMG 시약 처리를 하지 않고, 쌀 시료의 CBB index로 도정편차를 측정하는 시스템
	실시간 분광분석장치 및 분광분석법	한국식품연구원	101278683 (2013.06.19)	Spectrometry 기반의 반사광량 조절기 및 분광센서, 복수의 분광분석모듈을 포함하는 품질측정장치
	시료측정장치	한국식품연구원	101493816 (2015.02.10)	NIR 및 Machine vision을 활용하여 쌀의 도정편차, 단백질, 수분 등을 측정하는 시스템

- u-RPC모델을 ㉠ ICT기반 들녘별경영체와의 생산-유통연계시스템인 u-생산이력/반입관리시스템 (u-TIMSP, ubiquitous-Traceability & Intake Management System of Paddy, ㉡ RPC에서의 이력 및 재고관리시스템인 확장형 자동수율/재고관리시스템(E-YICS, Extended-Yield & Inventory Control System), ㉢ 실시간품질관리시스템(RTQMS, Real-Time Quality Management System), ㉣ 소비자의 쌀 이력을 확인을 위한 쌀 이력추적시스템(TSR, Traceability System for Rice) 등 4개 모델로 구분하였음
- u-TIMSP의 핵심기술은 ㉠ 전자지적도(V-World) 및 GIS/LBS 기반 mobile application/web program을 이용한 농지 및 재배관리기술, ㉡ QI(Quality Index) 및 분광분석법(spectrometry)기반 휴대용 품질측정 장치를 이용한 수확적기 예측기술과, ㉢ QI 및 MCA(Max Coverage Algorithm)기반 적기반입 scheduling algorithm 및 프로그램, ㉣ RF card에 의한 RPC 자동반입 및 mobile application을 이용한 예비품질검사기술 등임
- E-YICS의 핵심기술은 ㉠ DSC 등 관리대상시설의 ethernet(TCP/IP방식)에 의한 물량 및 재고관리 기술, ㉡ MMI와 연계하여 Fuzzy이론 기반 RPC의 가공공정의 수율 및 재고상태의 모니터링 및 관리, ㉢ u-TIMSP 및 RTQMS와 연계된 lot별 이력추적관리 등임
- RTQMS의 핵심기술은 ㉠ NIR 및 machine vision기반 쌀 품질(백도, 성분, 등급, 도정도 등)측정기술과, ㉡ on-line으로 실시간 품질측정에 필요한 시료채취 및 분석, E-YICS와의 연계시스템, ㉢ Machine vision을 이용한 포장지에서의 이력번호 및 QR/Bar code의 인식기술 등임
- TSR의 핵심기술은 ㉠ 소비자가 이력번호로 재배, 생산, 가공 및 유통이력확인 가능한 mobile application 및 homepage program, ㉡ RPC 관리자가 원격으로 재고, 주문, 가공현황 등을 파악하고 지시할 수 있는 mobile application 등임



그림 3-2-2. u-TIMSP 개념도

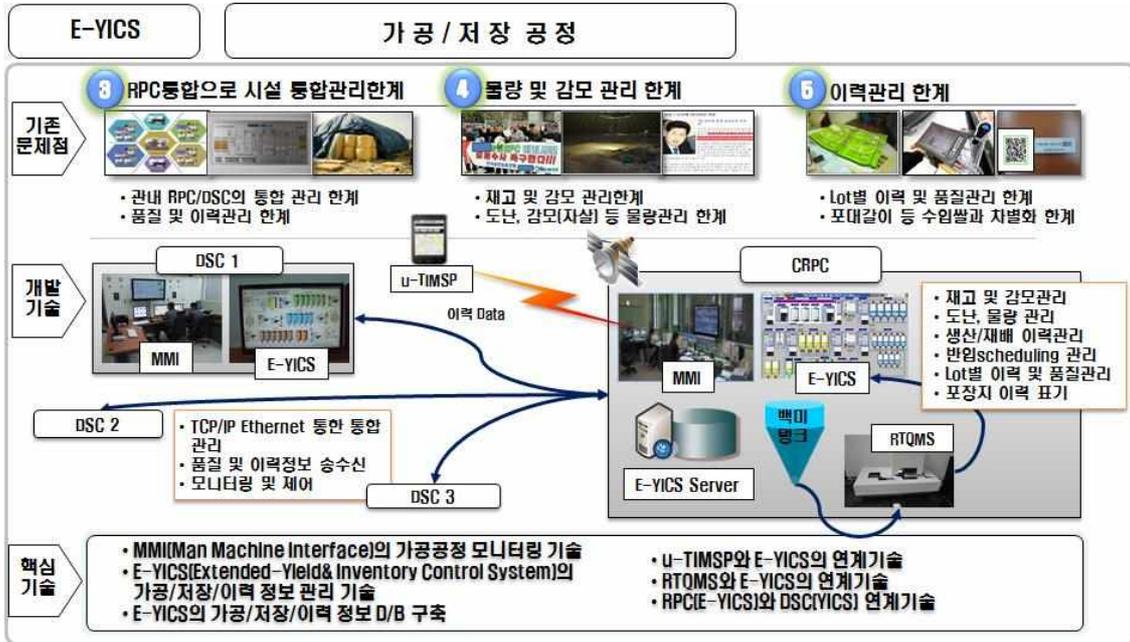


그림 3-2-3. E-YICS 개념도

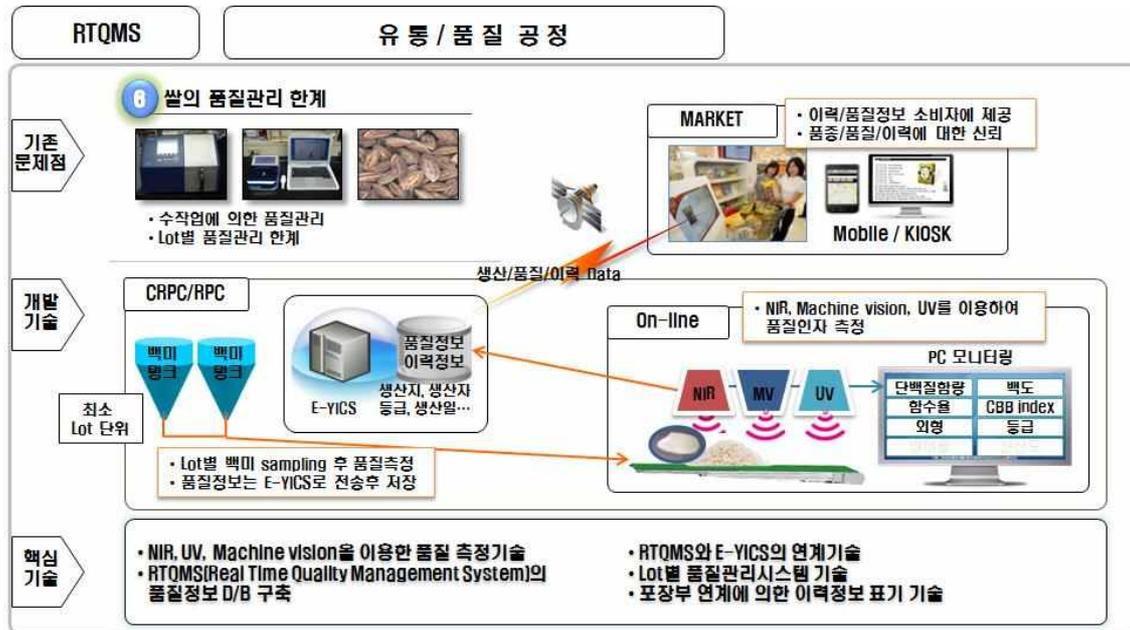


그림 3-2-4. RTQMS 개념도

○ 한국식품연구원에서 개발된 u-RPC는 전북 익산소재 민간RPC에 설치되어 있으며, 설치된 모습은 다음 그림과 같음

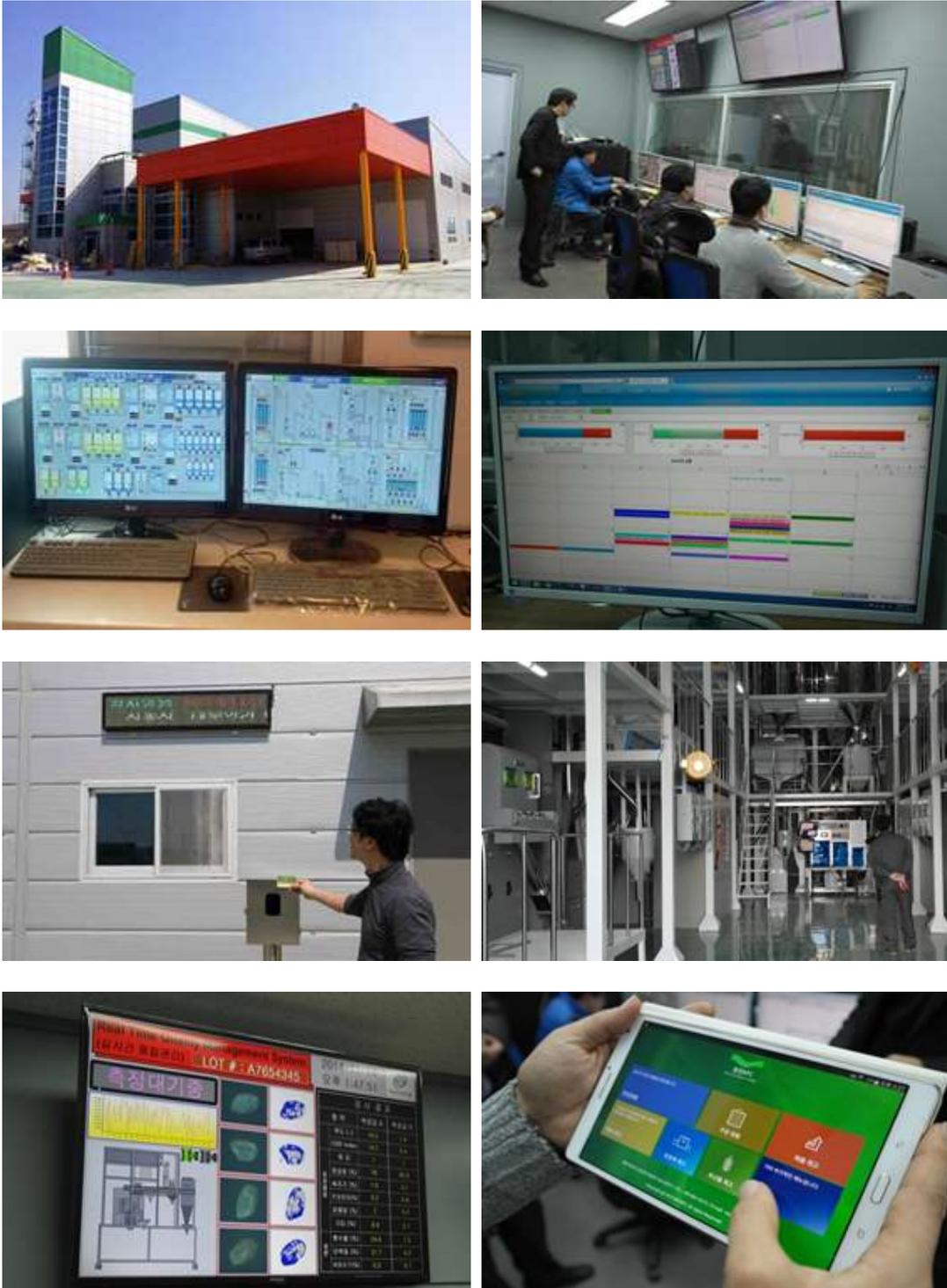


그림 3-2-5. 민간 RPC에 설치된 u-RPC 모델

(2) 운영실험을 통한 u-RPC 모델 보완

(가) u-TIMSP

- u-TIMSP는 ICT기반의 들녘별경영체와 같은 생산조직과 RPC간의 생산·유통연계시스템으로서 주요 기능은 ㉠ Field에서 RPC까지의 쌀 재배이력관리, ㉡ 수확적기 및 반입관리, ㉢ 예비품질정보관리 등이며, u-TIMSP를 활용하면서 생성되는 data는 영농지도에 활용할 수 있도록 E-YICS로 연계하는 체계를 갖추고 있음

표 3-2-4. 기존 u-TIMSP의 기술 및 개발 Tool

기술명	개발 Tool	활용 Tool
① 농지/재배 관리기술	전자지적도(V-world), GIS/LBS	Mobile/web device
② 수확적기 예측기술	QI(Quality Index), 분광분석법(spectrometry)	Portable measurement device
③ 반입 scheduling 기술	QI(Quality Index), MCA(Max Coverage Algorithm)	Mobile/web device
④ 반입관리 기술	RF card/reader, Mobile app.	Mobile device
⑤ 예비품질정보관리	Mobile app.	Mobile device
⑥ 생산/재배이력정보관리	Mobile app., web program	Mobile/web device, DB Sever

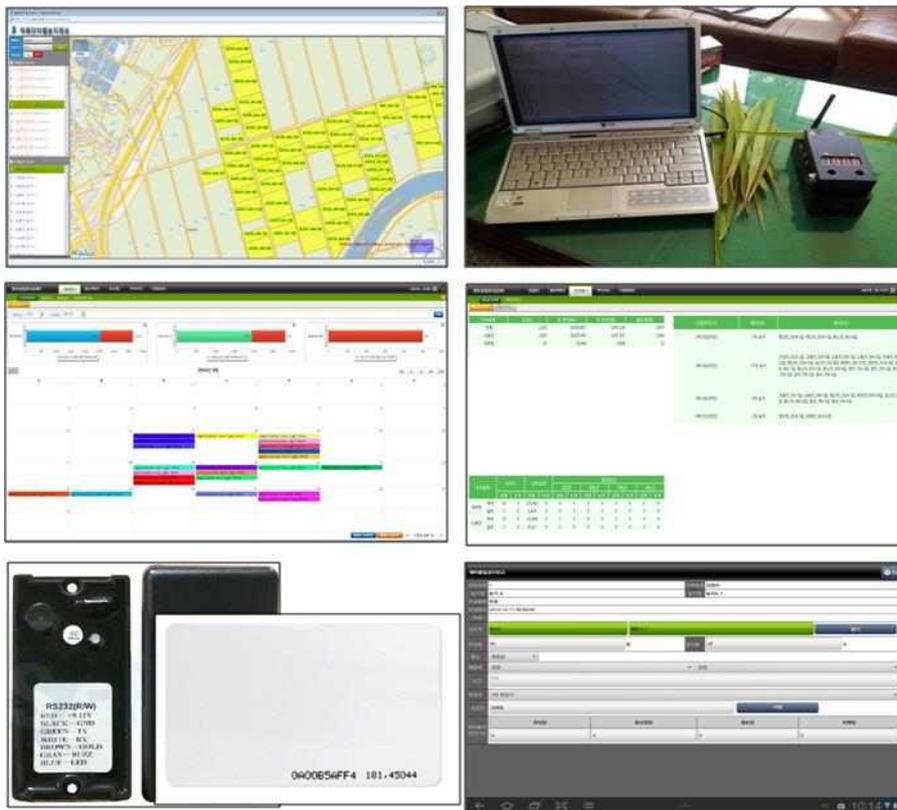


그림 3-2-6. 기존 u-TIMSP 모델 적용기술

- 그러나 최근 안전성 문제로 대두되고 있는 쌀 비소기준 제정시 예상되는 문제점을 해소하기 위한 방안이 필요하며, 주요방안으로는 ㉠ RPC로의 비소 검출되는 원료 벼의 반입 제한(각 필드별 비소 검출여부 확인, RPC에서 예비품질검사시 확인 등), ㉡ RPC에서 출하 제품의 비소 검출여부 체크, ㉢ 유통 중인 쌀에서 비소 검출시 신속회수 처리방법 강구 등이 있음
- 또한, 양적인 생산기능만이 강조되던 RPC에서의 생산관리/반입관리/품질관리가 소홀하였으며, 관리 시스템의 부재로 인한 영농지도의 한계로 고품질쌀 생산에 어려움을 가지고 있어, ㉠ 생산/반입/품질 관리 정보관리의 전산화, ㉡ IT기반의 user 중심의 interface를 적용한 편리하고 효율적인 시스템이 필요함

표 3-2-5. u-TIMSP모델 보완내용

구분	세부기능	비고
생산단지 평가용 mobile/web 시스템	<ul style="list-style-type: none"> · 벗짚환원 현장실사 후 평가시스템 입력 · 이품종, 도복여부, 잡초제거상태, 병충해여부 현장실사 후 전송 · 심사항목 및 심사단계 관리 · 연도별 기준정보 생성 및 관리 · 농지별 평가후 등급처리 및 결과 조회 	
영농지도용 mobile/web 시스템	<ul style="list-style-type: none"> · 재배이력 조회 및 영농지도 내용 등록 · 단지/농지/농가별 재배이력, 농지 현장평가 결과, 반입 후 품질검사 결과 조회 및 활용 	

표 3-2-6. 국내외 비소관련 history

일 자	주 관	내 용
2012. 9	농식품부	· 미국 쌀 비소 검출발표로 미국 쌀 잠정 판매입찰중단조치
2012. 12	농식품부	· 국내 쌀 1,720건에 대한 비소 모니터링 실시
2013, 2014	국정감사	· 미국 쌀 비소검출논란으로 쌀 비소기준 설정 필요성 제기
2014	식약처	· 약 600건에 대해 비소 모니터링 실시
2014. 7	식약처	· 국내 유통 쌀 300건에 대한 비소 유해성 평가 (7%가 0.1mg/kg이상)
2014. 7	농식품부	· 쌀 비소관련 관계부처 회의(농식품부, 식약처)
2014. 9. 15	식약처	· 쌀 중의 무기비소 하계 전문가회의
2014. 10. 1	식약처	· 쌀 기준 및 규격에 비소기준 신설안(공고 2014-298호) - 0.2mg/kg(Codex와 동일), 반대
2014. 10, 2015. 1	국회	· 쌀 비소관련 국회 토론회
2015. 4	식약처	· 쌀 비소관련 기준 설정 유보(식품위생심의위원회)
2016. 9	식약처	· 쌀 비소관련 기준 설정(0.2mg/kg)

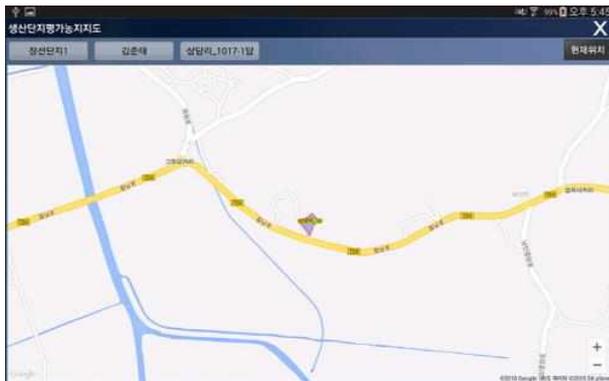
- 비소검출 문제, 벗짚환원 등 생산단지의 품질에 대한 평가 시스템을 mobile/web기반으로 개발하였으며, 주요기능으로는 ㉠ 벗짚환원 현장실사 후 평가시스템 입력, ㉡ 이품중/도복여부/잡초제거상태/병충해여부 현장실사 후 평가시스템 전송, ㉢ 심사항목 및 심사단계 관리 ㉣ 연도별 기준정보 생성 및 관리, ㉤ 농지별 평가 후 등급처리 및 결과 조회 등의 기능을 추가하였음
- 생산단지평가 시스템은 mobile과 web용 등 두 가지로 구성되며, mobile용 시스템의 경우 주요공정은 ㉠ 생산단지평가화면에서, ㉡ 생산단지 목록을 선택한 후, ㉢ 농지지도로 활성화 하여, ㉣ 대상 농지를 검색(반경검색)하고, ㉤ 생산단지평가를 수행한 다음, ㉥ 평가처리와 사진촬영을 수행하도록 구성하였음



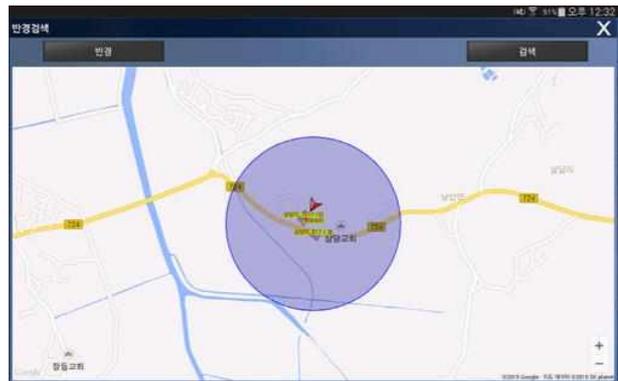
생산단지평가 메인화면



생산단지 목록



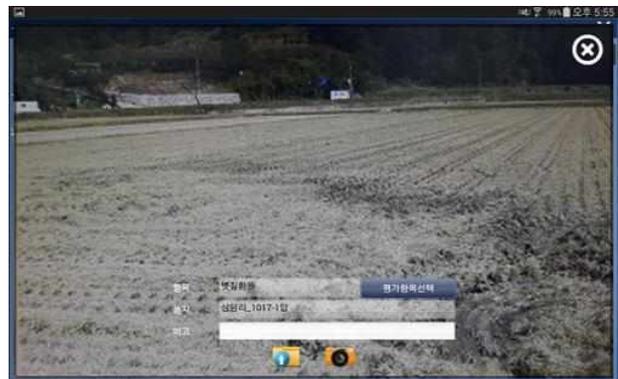
생산단지평가 농지지도



생산단지지도 반경검색



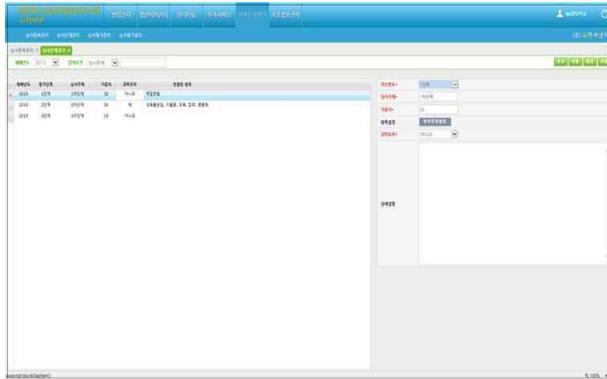
생산단지 평가처리



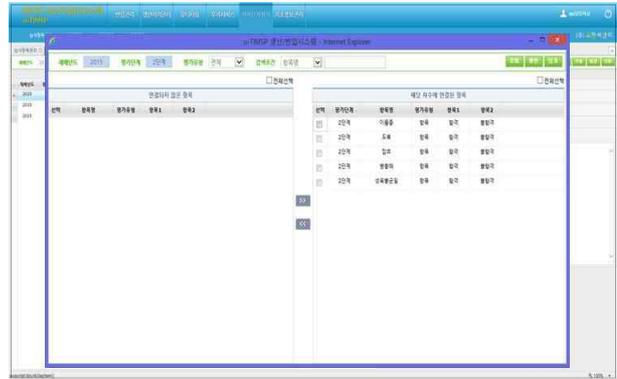
생산단지 평가처리 사진촬영

그림 3-2-7. 생산단지 평가용 mobile 시스템 화면구성

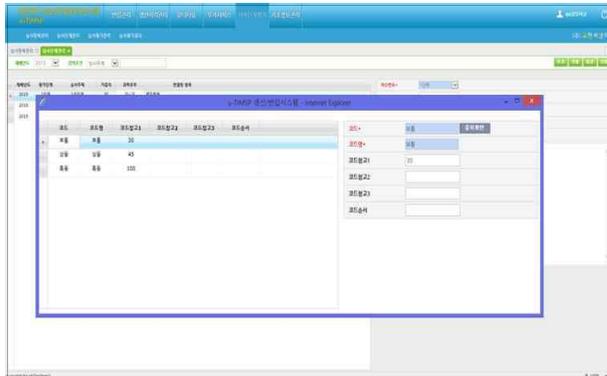
- Web용 생산단지평가 시스템의 주요공정은 ㉠ 심사항목 관리 메뉴에서 ㉡ 심사단계를 관리화면에서 ㉢ 항목연결 화면과 ㉣ 품질등급설정 화면과 연계하여 ㉤ 심사완료된 농지목록의 심사평가 관리를 수행하고, ㉥ 완료된 단지들의 순위 및 등급을 확인하는 등 심사평가결과를 조회 및 활용하도록 구성하였음



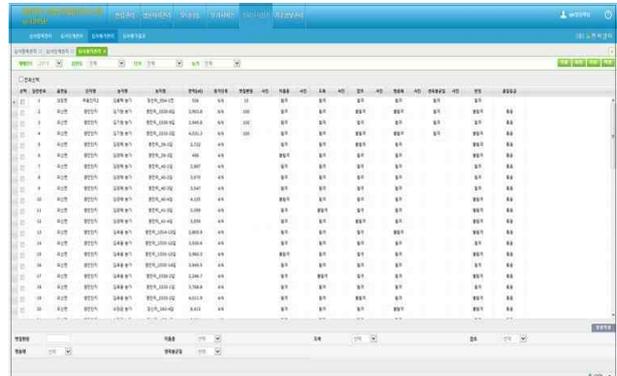
심사항목관리



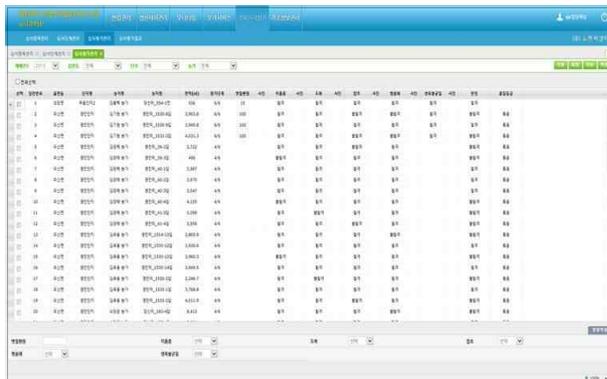
심사단계관리



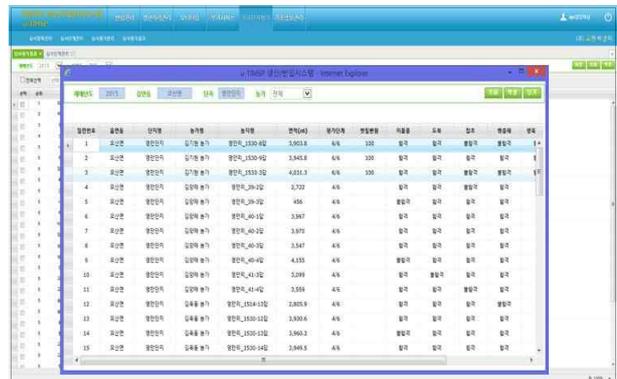
심사단계관리(항목연결)



심사단계관리(품질등급)



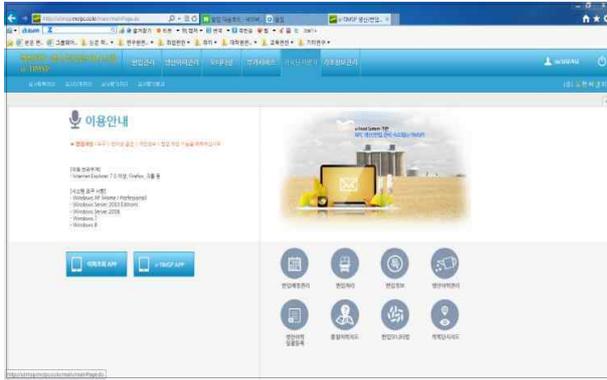
심사평가관리



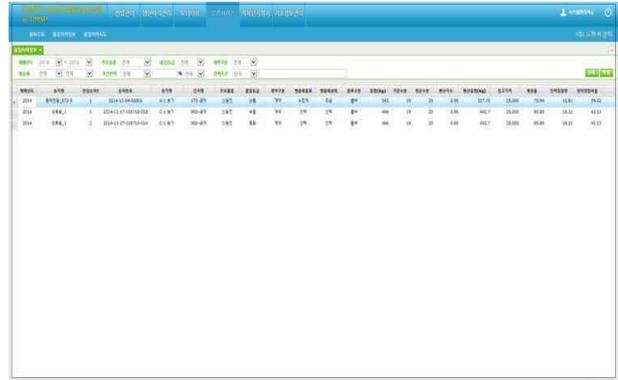
심사평가결과(단지별평가결과)

그림 3-2-8. 생산단지 평가용 web 시스템 화면구성

- 영농지도용 시스템은 작목단지, 농가 및 농지등록이 완료되고, 반입처리가 완료된 후, ㉠ 영농지도 data 목록 관리는 리스트형 조회화면을 사용하며, ㉡ 지도형 조회화면에서는 선택된 작목단지에 속한 농지의 품질이력지도로 확인할 수 있고, ㉢ 최종 원부조회를 통해서 계약된 농지들의 목록별 정보를 출력하도록 개발하였음



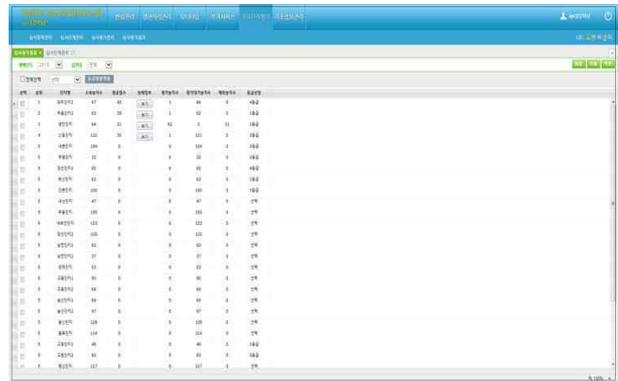
Web시스템 메인화면



품질이력정보



품질이력지도



원부조회

그림 3-2-9. Web용 영농지도 시스템 화면 구성

- 본 시스템을 개발하기 위해서, 국가 표준 개발방법론을 기반으로 하는 소프트웨어 개발 방법론에 따라 추진하였으며, 개발환경을 고려하여 적절히 조정된 방법론을 적용하였고, 철저한 일정관리를 통해 개발지연을 방지하였고, 방법론에 포함된 위험관리(Risk Management) 및 변화관리(Change Management)를 통해 개발하였음

표 3-2-7. 개발된 Mobile/web 프로그램 개발Tool

구 분	Mobile App.	Web program
OS	Windows7, Windows8, Mac OS X	Windows7, Windows8
프레임워크	전자정부 프레임워크	전자정부 프레임워크
Tool	Eclipse, JDK, Android SDK(2.3이상)	Visual Studio 2007, Eclipse, JDK
개발언어	Java	C/C++, c#, Java

(나) E-YICS

- E-YICS는 MMI(Man Machine Interface)와 자동수율 및 재고관리 시스템(YICS, Yield & Inventory Control System)이 연계되어, 각 가공공정을 원격으로 제어할 수 있으며, 각종 센서와 중량측정장치를 이용하여 각 저장시설의 재고와 가공공정 전·후의 수율 등을 확인할 수 있는 기능을 보유하고 있음

표 3-2-8. 기존 E-YICS의 기술 및 개발Tool

기술명	개발Tool	활용 Tool
① 자동수율 및 재고관리기술	MMI, PLC	PC
② DSC 원격관리기술	TCP/IP Ethernet 통신	PC
③ 이력추적기술	Fuzzy, QR/Bar code 시스템	PC
④ 이력/재고정보관리기술	Mobile app., web program	Mobile/web device

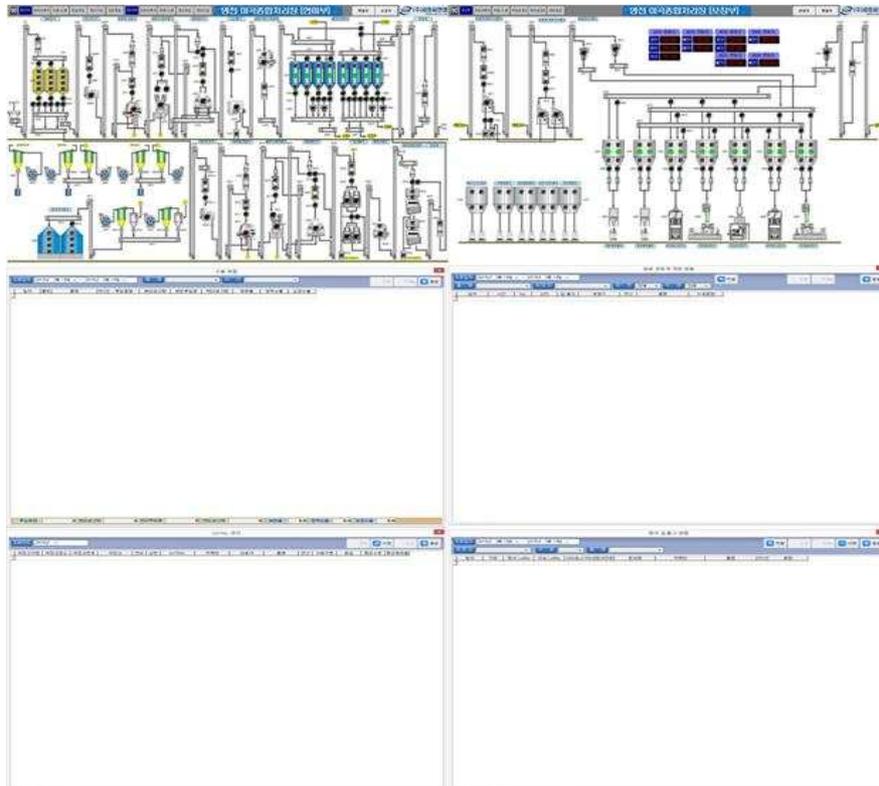


그림 3-2-10. 기존 E-YICS 화면 구성

- 그러나 일반적으로 RPC에서는 주문현황을 수기로 전달받으며, RPC 운영자는 주문에 따르는 생산계획을 경험을 바탕으로 수립하기 때문에, 해당 RPC 가공시설의 생산 및 처리능력에 맞는 최적 계획 수립이 불가능하여 이를 보완하여 효율적인 생산관리를 수행하는 것이 필요함

- 또한, 수작업에 의한 원료/재고관리로 객관적이고 체계적인 물량·이동·이력정보관리 시스템이 미구축되어 있어서, 수입쌀의 혼합판매 등 부정유통방지가 어려운 실정이고, 자동기록시스템의 미보유로 인해 심증 단속 등에 대한 RPC의 체계적인 대응이 불가능함
- RPC 및 DSC는 반입/반출관리가 인력에 의해 확인되고 있어서, 객관적이고 정확한 관리가 어렵기 때문에, 소비자의 claim 발생시 신속한 recall과 사고를 방지하기 위해서는 IT기반의 반입/반출관리와 이력번호부여에 의한 관리시스템이 필요함
- 기존의 E-YICS 모델의 이력관리시스템은 RPC에서 생산되는 쌀의 재배/생산/품질/출하 이력정보를 조회하는 경우 상·하위 이력번호 조회가 불가능하였기 때문에, 추적시 시간과 노동력이 소요되어 이력추적에 한계가 있으므로 통합조회가 가능한 시스템이 필요함
- 감모와 수율관리는 RPC의 수익과 밀접하여 가장 민감한 문제이면서도, 관리시스템의 부재로 인력에 의해 관리되어서 정확하고 객관적인 관리가 어렵기 때문에, 매년 감모/수율저하 문제에 대해 사고사례(자살, 부도 등)가 나타나고 있음. 따라서 감모/수율을 자동측정할 수 있는 시스템이 필요하고, 부산물을 처리하는 시기가 각각 달라서 현재의 감모를 측정하기 어려워 예측값을 나타낼 수 있는 알고리즘의 적용이 필요함

표 3-2-9. E-YICS 모델 보완내용

구 분	세부기능
메인화면(Home)	· 총재고량, 저장시설별 재고현황, 금일 주문현황, 생산작업 진행상황, 수동투입 관리, 부산물 추정 재고량, 포장지 추정 재고량
생산관리	· 총 작업내역, 규격별 작업계획, 품종별 작업량 산정
원료/재고관리	· 저장시설별 저장현황, 품종별 저장현황
이력관리	· 작업이력 조회, 이력정보 직접조회, 출하이력/생산이력/재배이력/품질정보 조회, 이력추적조회 등
주문관리	· 조회일자별/주문고객별/주문상품별/주문품종별 주문조회
수율관리	· 조회일자별/품종별/DSC별/Silo별 조회 및 출력
감모관리	· 반입/건조감모, 저장감모, 가공(이송)감모 조회 · 조회일자별/품종별/DSC별/Silo별 조회 및 출력
반입/반출 관리	· 조회일자별/작업구분별/작업제품별 조회 및 출력

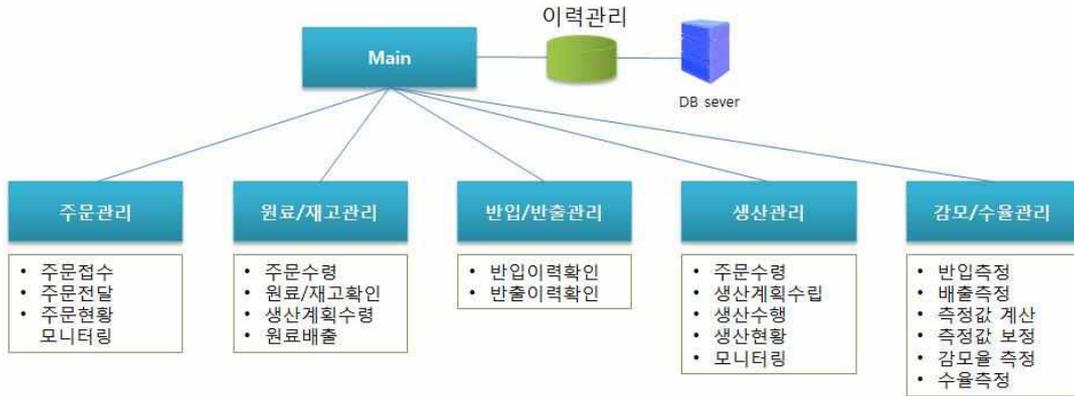


그림 3-2-11. E-YICS 보완모델 기본구성

- 주문/생산관리 시스템은 발주처로부터 주문을 받아 사무실에서 주문내역을 입력하고 입력된 주문내역은 생산관리 프로그램에서 조회되며, 생산현황 및 RPC 생산라인의 처리능력을 고려하여 생산계획을 수립하고 이에 따라 납기일에 맞춰 생산하도록 개발하였음
- 저장시설의 원료 및 재고 측정센서와 E-YICS가 TCP/IP Ethernet 통신 시스템을 이용하여 실시간으로 현황을 모니터링 및 자동 기록하여, 도난에 의한 손실이나 수입쌀의 혼합판매 등 부정유통을 방지할 수 있도록 개발하였음
- RF card 및 QR/Bar code를 이용하여 반입/반출기록을 자동화하였으며, 이는 D/B sever에 이력번호와 매칭되어 기록되기 때문에, 소비자의 claim이 발생할 때는 신속하게 해당제품과 관련제품을 조회하여 recall을 수행할 수 있도록 개발하였음

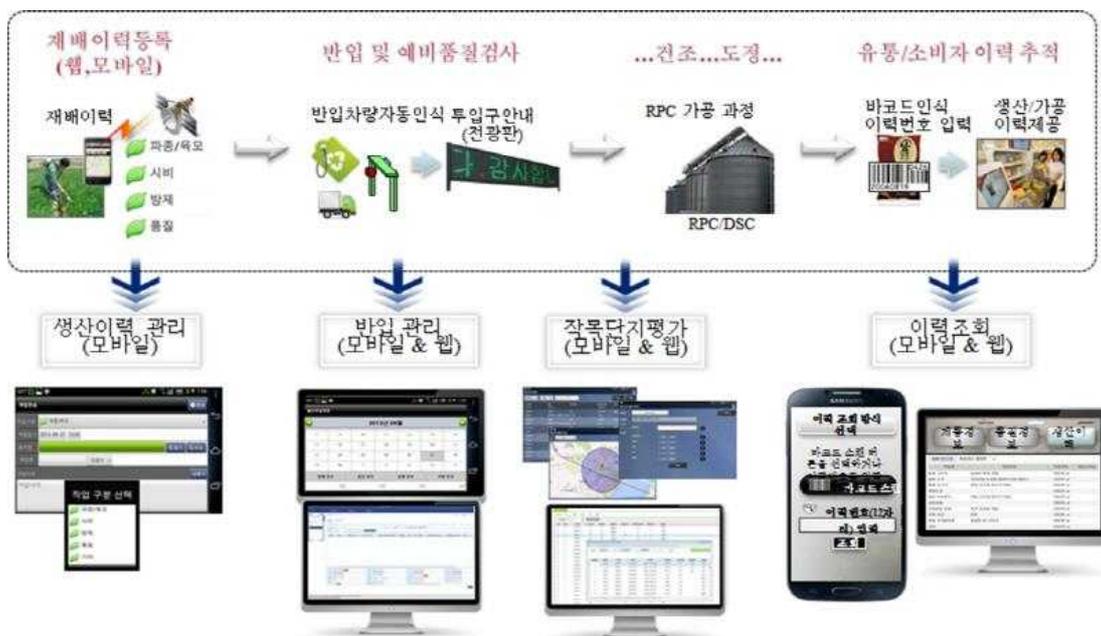


그림 3-2-12. Mobile/web 및 RF card/Bar(QR) code 기반 반입/반출관리 시스템 구성

- 재배이력과 품질정보의 경우에는 해당 이력번호가 원료의 재배이력정보는 u-TIMPS에서, 품질정보는 RTQMS에서 측정 후 저장되어 있는 정보를 DB sever에서 조회하여 표시하도록 연계시스템을 구성하였고, 조회된 이력번호와 연관되는 상·하위의 모든 이력번호를 표시하도록 하여, 이력추적기능을 강화하도록 개발하였음
- 감모/수율관리시스템은 본 연구팀이 수행했던 선행연구에서(벼의 산물처리에 따른 감모기술 및 재고량예측기술개발, I01910-13028) 도출된 감모산출 모델식과 예측 알고리즘을 적용한 예측값과 실측값을 모두 표시하여 사용자에게 편의를 제공하도록 설계하였음

표 3-2-10. 감모관리 자료분석 process 및 처리내용

구 분	처리내용	비고
1. 재고량입력	· 탱크별 재고량 입력	
2. 보정구간 산정	· 지속적인 업데이트를 자동으로 진행하여 보정구간 세분화, 정밀화 - 탱크가 비워지는 경우 - 관리자의 보정작업이 진행되는 경우	
3. 보정값 산정	· 산정된 보정구간별 데이터의 분석 및 분류 데이터를 근거로 결정 - 데이터 유효성 분석을 위한 유효구간 결정 : BAND-PASS-FILTER - 유효 구간내의 데이터의 연관성 분석기법 : Kalman filtering	
4. 보정값 적용	· 보정값의 적용 비율 결정을 위해 AUTO-TUNING 형식의 PID (Proportional integral derivative control) 제어기법 적용 · 확보된 보정값의 적용 후 결과를 분석하여 그 적용비율을 미세 조정	
5. 패턴분석	· 보정값의 유효성 확보 · 보정구간을 연속적으로 나열한 후 연계성 및 유효성을 확인 · 구간별 연속성이 유지되지 않는 경우, 구간별 재보정	
6. 구간판별	· 현재 진행되는 작업에 대해 보정 필요유무/패턴 개수 확인 · 한 개 이상의 패턴이 존재할 경우 최선의 패턴 선택 · 구간 패턴 판별, 패턴별 적용결과 분석 후 최선 패턴의 보정값 적용 · 현재물량 예측 및 예상감모 계산시 판단근거로 AI 알고리즘의 기본이 되는 ‘트리구조를 이용한 최적데이터 판별’ 방식적용 · 각 하부트리의 적용 후 결과 비교 · 시스템 부하 등을 고려하여 규모산정	

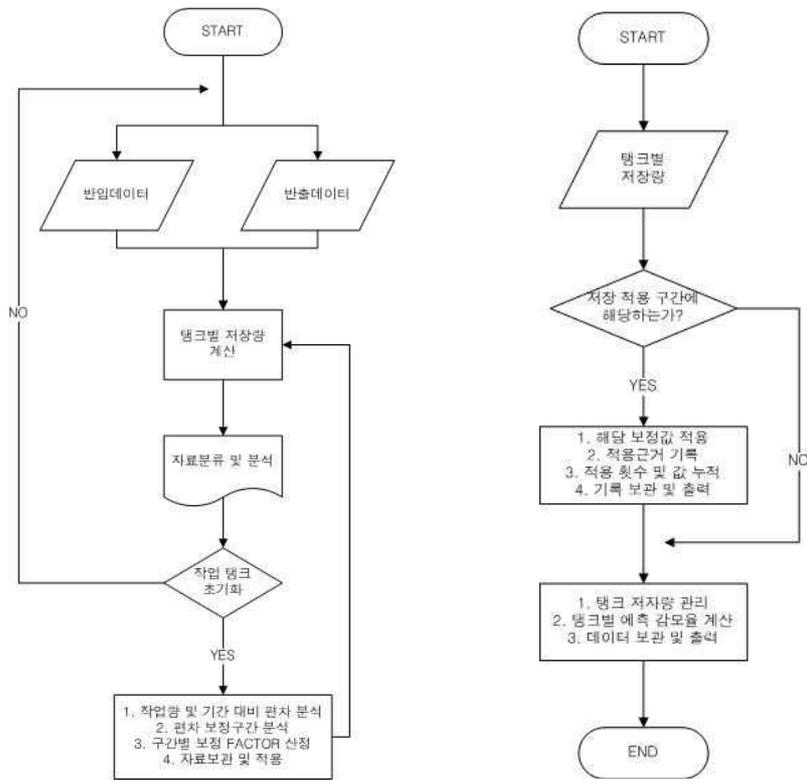
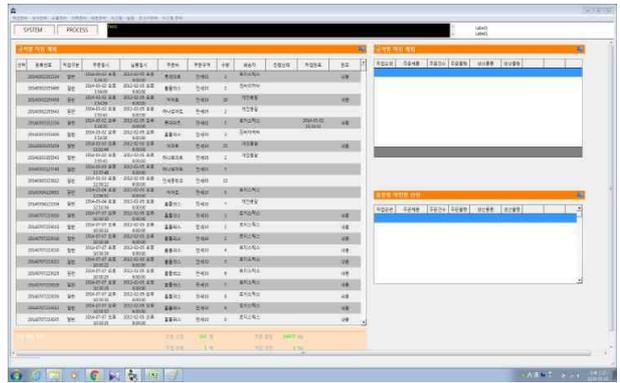


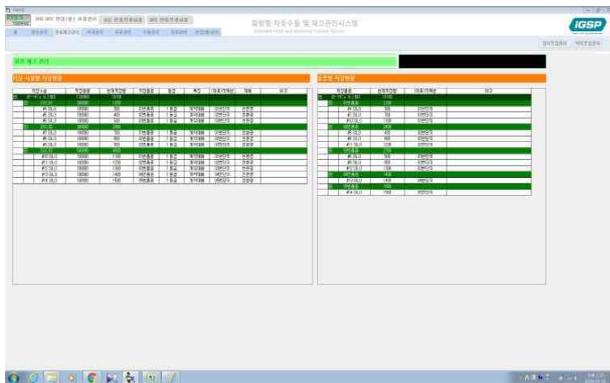
그림 3-2-13. 감모관리 process flow(좌) 및 자료분석 알고리즘(우)



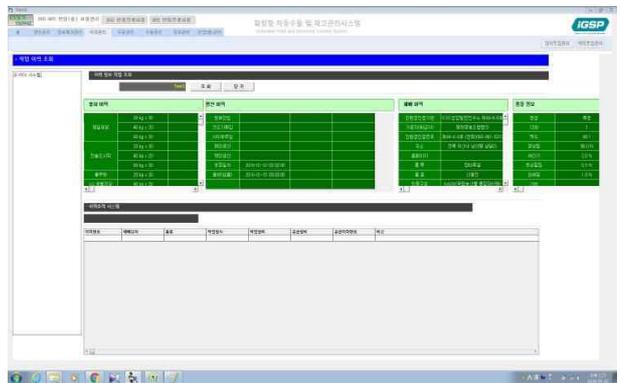
메인화면



생산관리화면



원료/재고관리화면



이력관리화면



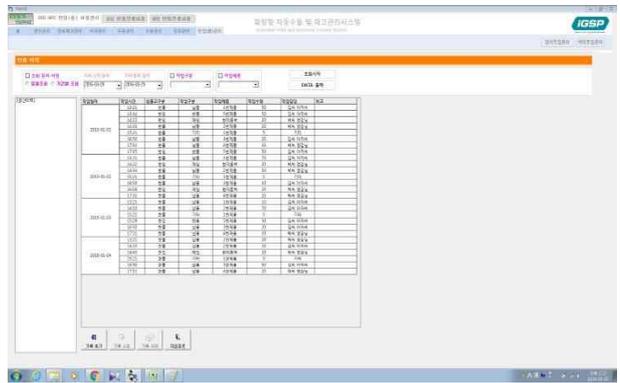
주문관리화면



수출관리화면



감모관리화면



반입/반출관리화면

그림 3-2-14. E-YICS 보안 시스템 화면구성

(다) RTQMS

- 쌀의 품질정보를 측정하기 위하여 NIR, Machine vision을 이용한 비파괴측정시스템을 개발하였으며, RPC의 백미탱크에서 시료를 sampling하여 자동으로 측정할 수 있는 실시간품질관리시스템을 구성하였으며, 주요측정항목 중 성분측정항목으로는 함수율, 백도, 단백질, 아밀로스가 있으며, 외형특성항목으로는 CBB index, 등급 등을 측정하도록 개발되었음

표 3-2-11. 기존 RTQMS 구성

구 분	성분측정부	단립측정부
측정샘플형태	Bulk	Single kernel
측정 항목	함수율, 단백질, 백도	외형, CBB index
측정 시스템	VIS-NIR spectroscopy(400~1100nm)	CCD camera
Light source	Halogen lamp, reflectance 측정렌즈	LED back light
이송시스템	Servo motor system 연계	
정보송신방법	품질데이터 24개(240bytes), RS485통신 protocol, 전송간격 1회/초	

- 기존 RTQMS 개발 당시 샘플 품종은 추청, 새누리 등의 품종을 이용하여 모델을 개발하였으나, 시범사업수행 RPC의 주 생산 품종은 신동진으로서, 모델의 최적화를 위한 보완실험이 필요하였음

표 3-2-12. RTQMS 보완실험 측정항목

측정장치	측정항목	비고
성분측정시스템	· Protein(%), Moisture content(%), Whiteness, amylose(%)	NIR
외관측정시스템	· CBB index	Machine vision

- 기존 RTQMS의 lot번호 인쇄시스템에서는 bar code를 인쇄하도록 개발되었으며, 이력정보를 2줄로 인쇄하는 인쇄기를 적용하여 인쇄가능정보의 한계가 있었으며, 포장지와 인쇄잉크가 부합하지 않는 문제로 인쇄내용 부정확하게 인쇄되어 확인이 어려운경우가 발생하여 이에 대한 보완이 필요하였음
- Lot번호 인쇄시스템을 교체하여 4줄 인쇄가 가능하고, bar code에서 QR code로 인쇄하도록 보완하였으며, 인쇄기와 PC와 통신방식은 RS232, RS422, RS485중 1개를 선택할 수 있도록 구성하였음. 또한 운영실험을 통해서 QR code 인식률을 확인하였으며, 현장에 설치하여 사용 중임



인쇄 시스템



인쇄확인 시스템



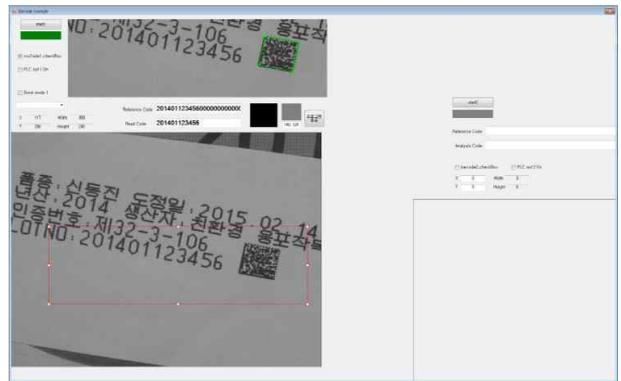
인쇄 확인부



인쇄 확인용 camera



인쇄 확인용 모니터



인쇄 확인 프로그램

그림 3-2-15. Lot번호 인쇄 및 확인 시스템

(라) TSR

- RPC는 원료가 다단계로 가공되어 물량의 변환이 다른 농림축산식품과 다르기 때문에 이력추적시스템의 이력번호는 각 공정별로 생성되도록 구성되어야하며, 이러한 특징을 기반으로 12자리(생산연도+저장고번호+시리얼번호)의 이력번호를 생성하도록 개발하였고, mobile/web기반의 u-TIMSP와 E-YICS가 연계되어 물량의 이력정보를 관리하는 시스템임

표 3-2-13. 쌀과 타품목과의 이력추적시스템 특징 비교

구분	소비자의 lot번호 확인 포장단위	생산 농가 (농지)	처리 시설	가공 형태	처리시설에서 물량이동 형태	농가~최종제품까지 물량변환 형태	농가당 구분 처리 가능성	이력 연결	위변조 가능성
쌀	1포대	다수 농가	DSC, RPC	다단계 가공	산물	합-합-분할-분할	불가능	자동 기록	낮음
쇠고기	1포장 단위	1두	도축장, 정육점	절단	개체, 지육	분할	용이	수동 기록	높음
과일 야채	1상자	1농가	APC	선별, 포장	상자 (pallet)	분할	용이	반자동	낮음



그림 3-2-16. Mobile(상) 및 web(하) 기반 이력조회시스템 화면

- 대한민국 정부에서 고시하고 있는 농산물 이력추적관리번호는 00000-0000000으로써 총 12자리로 구성되며, 앞의 5자리는 국립농산물품질관리원의 등록번호로서 고유번호이고, 뒤의 7자리는 이력추적 등록자가 부여하는 유동번호이며, 각 미곡종합처리장에서 사용가능한 번호는 뒤의 7자리 숫자임. 따라서 기존의 생성되는 이력번호는 7자리와의 매칭이 필요함

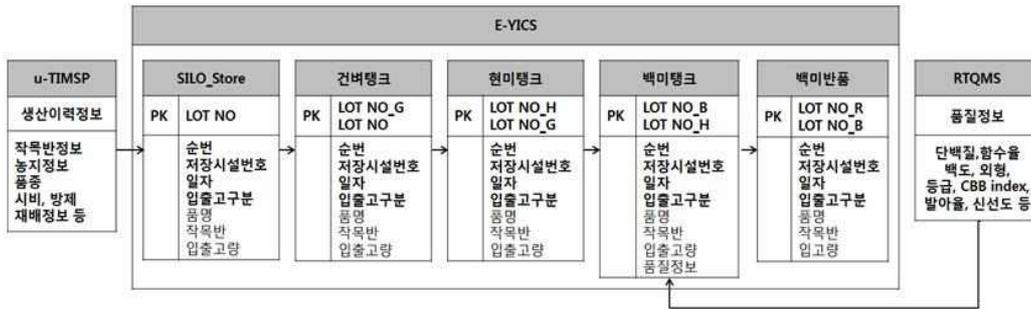


그림 3-2-17. 기존 이력추적번호 생성방법

- 농림축산식품은 농산물이력추적관리기준 고시에 의하여 각 관리단계별 기록, 관리하여야할 정보가 아래표와 같이 정의하고 있으나, 쌀의 경우에는 양곡관리법의 양곡표시사항 및 표시방법에 의해 포장지에 표기되는 내용이 대부분이었음. u-RPC모델에서 mobile/web기반의 이력추적시스템을 개발하여 재배/생산/품질 정보를 제공하고 있으나, 이는 소비자를 대상으로 하는 시스템으로, RPC 운영자를 대상으로 Big Data를 활용한 정보의 제공으로 각 공정별 개선방안 도출이 가능할 것으로 판단됨

표 3-2-14. 농산물이력추적관리기준 고시에서 각 관리단계별 기록, 관리하여야할 정보의 내용

관리단계	정보구분	기록관리해야 할 정보	비고
생산자	(1)생산정보	(가) 생산자 성명 또는 단체명칭, (나) 주소(전화번호 포함) (다) 품목, (라) 재배지 소재지 및 면적, (마) 농약 등 농산물의 안전성에 위해가 될 수 있는 물질의 사용내역	
	(2)출하정보	(가) 날짜, (나) 품목, (다) 물량, (라) 출하하는 유통업체명 (또는 수확 후 관리시설명), (마) 출하하는 유통업체(또는 수확 후 관리시설) 전화번호, (바) 이력추적관리번호	
유통자	(1)입고정보	(가) 날짜, (나) 품목, (다) 물량, (라) 생산자 성명(또는 유통자 성명), (마) 생산자(또는 유통자) 전화번호, (바) 이력추적관리번호	
	(2)출고정보	(가) 날짜, (나) 품목, (다) 물량, (라) 판매처 명칭, (마) 판매처 전화번호, (바) 이력추적관리번호(이력추적관리품의 입고·출고 간의 연관관계를 알 수 있도록 하여야 한다.)	
판매자	(1) 입고 날짜, (2) 품목, (3) 물량, (4) 구입처 명칭, (5) 구입처 전화번호, (6) 이력추적관리번호		

- 본 연구에서는 12자리 번호를 이용하여 RPC마다의 시설 특성에 맞는 이력번호를 부여하기 위하여 2진수로 변환 후 16진수로 변환하고 다시 10진수의 7자리로 변환하여 사용하는 방법을 고안하여 특허등록(2017.03.23, 곡물 이력추적정보 생성 장치 및 방법, 10-1719311)을 완료하였음



그림 3-2-18. 이력추적번호 변환 후 생성

- 개발된 쌀 이력추적관리시스템의 번호체계의 활용예를 살펴보면, 2015년산, 쌀, 품종2번, 작목반, 32번 작목반, 백미배출, 백미 3번 탱크로 가정하였을 경우 2진수 수는 0010 1000 0100 0111 1101 0010가 되고 이는 16진수로 2814D2, 10진수로는 2639826이 되어 이 번호를 이력추적번호로 활용이 가능함

표 3-2-15. 항목별 번호부여 상세내용

자리수	항목	세부내용				경우의 수
		2015	2016	2017	2018	
0	년산	2015	2016	2017	2018	16가지 0000~1111(2)
1		...	...	...	...
2		...	...	...	...
3		...	...	...	...
4	품목	쌀		보리		4가지 00~11(2)
5		조		수수		
6	품종	추청		동진		8가지 000~111(2)
7		...		...
8		...		...
9	구분	작목반		개인		2가지 [0, 1(2)]
10	코드 구분	작목반 코드		개인코드		128가지 0000000~1111111(2)
11		0~124		0~124		
12						
13						
14						
15						
16						
17	배출형태	현미		백미		4가지 00~11(2)
18		톤백		포장기		
19	배출 탱크번호	배출 탱크번호		소포장		16가지 0000~1111(2)
20		1~16번		대포장		
21				박스포장 등		
22						

표 3-2-16. 쌀 이력추적관리 번호생성 활용예

항목	값	(BIN)
2015년산	5	0101
쌀	0	00
품종2번	1	001
작목반	0	00
32번 작목반	31	0011111
백미배출	1	01
백미3번탱크	2	0010
2진수 합산	0010 1000 0100 0111 1101 0010	
	(HEX)	2814D2
	(DEC)	2,639,826

○ Big Data를 이용한 쌀이력추적관리시스템의 주요항목에 대한 설계는 아래 표와 같이 완료되었으며, u-TIMSP에서 수집되는 재배/반입정보와 E-YICS에서 수집되는 건조/저장/가공 정보, RTQMS에서 수집되는 품질정보를 종합하는 시스템으로 설계하였음

표 3-2-17. Big Data활용을 위한 공정별 주요항목

번호	공정	주 활용용도	주 표현항목	선택항목	비 고
1	재배/반입	필드 활용여부판단	비소오염여부(추후)	작목반, 필지별	
2		지력, 품종 및 재배지도	노린재피해발생여부, 사미비율, 단백질함량, 아밀로스함량, 아밀로펙틴함량(함수율 15%기준시), Yield(수확량/10a), 잔류농약	품종, 작목반, 반입일자, 반입함수율, 시비종류 및 시비량	성분은 RTQMS 자료
3		수확시기 지도	Yield(수확량/10a), 반입량, 등급, 반입함수율, 제현율, 정립비율, 동할율(시험용)	품종, 작목반, 반입일자, DSC별	
4	건조/저장	건조방법 개선	동할율, 건조종료 함수율, 감모	건조기종류, DSC, 품종별	
5		저장방법 개선	저장곡온변화, 함수율, 발아율	저장시설, DSC, 품종, 저장기간별	
6	가공	수율개선	수율(백미, 찌라기, 왕겨, 미강, 현미 비정립, 백미비정립, 감모 등), 백도, 함수율	도정기간, 품종, DSC, 사일로, 백도, 함수율별	
7		도정특성개선	찌라기발생율(현미동할율), CBB index, 함수율차이(벼-현미-백미)	도정기간, 품종, DSC, 사일로, 백도, 함수율별	
8	운영/판매/유통	감모 개선	감모량(건조, 저장, 이송, 가공)	도정기간, 품종, DSC, 사일로, 백도, 함수율별	
9		반품개선	반품원인 및 반품량(회수)	유통기간, 품종, 백도, 함수율, DSC, 사일로, 주문회사, 포장단위별	
10		포장개선	포장단위별 생산량(개수 및 중량비율), 1회주문량	브랜드, 품종, 포장단위, 매입회사, 가공기간별	
11		생산계획개선	가공량, 1회주문량(주문단위, 개수, 포장단위), 품종, 기타특징	요일, 주간, 월, 품종, 포장단위별	

2. u-IT기반 광역통합RPC 통합관리시스템 모델 개발

- 본 연구팀이 기 개발하여 농식품부의 시범사업비 지원으로 2015년 1월부터 u-TIMSP 등 4개 시스템(10가지 세부기술)으로 구성된 u-RPC모델이 설치된 2ndG RPC(전북 익산소재 민간RPC)에서 u-RPC에 대한 운영실험을 통해 쌀에 대한 소비자 needs, 정부정책 및 기술환경 변화와, 2ndG RPC의 운영관리측면의 개선방향 등을 고려하여 문제점을 도출하였으며, 모델을 보완하였음
- 보완된 u-RPC모델을 기반으로 u-TIMSPM(Mega RPC용 생산이력/반입관리시스템, ubiquitous-Traceability & Intake Management System of Paddy for Mega RPC), E-YICSM(Extended-Yield & Inventory Control System for Mega RPC, Mega RPC용 확장형 자동수율/재고관리시스템), TSRM(Traceability System for Rice for Mega RPC, Mega RPC용 쌀 이력추적시스템) 등 3가지 시스템으로 구성된 Mega RPC용 u-IT기반 광역통합관리시스템용 세부기술을 개발하였음
- 이를 위하여 ① Big data를 처리할 수 있는 DB의 구축, ② Mega RPC와 외부에 위치한 DSC와의 통신방식(P2P 및 VPN) 및 DB 연계모듈 개발, ③ u-TIMSPM의 web 프로그램 개발, ④ E-YICSM 모델 개발, ⑤ E-YICSM의 감모예측 알고리즘 개발, ⑥ DSC용 YICSM 개발, ⑦ TSRM 모델 개발 등을 수행하였음

가. 모델구상

(1) 개발방법

- RPC간의 통합은 정부의 2003년 10월 RPC구조조정을 통한 경영혁신을 위해 통합RPC에 대한 건조 저장시설 및 운영자금 등에 대한 우대지원 추진계획을 발표하였고, 2005년 7월 조합공동사업법인 설립과 관련된 농협법이 개정된 이후에 2004년 12월 RPC통합 시범사업으로 충남연기 등 3개군이 지정되었고, 2006년 1월 조합공동사업법인 세제지원 관련 법령이 시행된 이후 2014년 4월 현재 94개소의 RPC조합과, 189개소의 비RPC조합 등 총 283개 조합이 참여하여 총 45개소의 조합공동사업 법인이 설립되었음
- 농림식품사업(농업자금 이차보전사업)에서 현재 인정하고 있는 RPC간의 통합형태는 3가지로서 ① 통합RPC간의 광역통합, ② 일반RPC간의 광역통합, ③ 통합-일반RPC간의 광역통합 등이며, 광역통합은 동일 도내 또는 연접 시·군(2개도 이상 행정구역을 달리하나 시·군이 연접되어 있는 경우도 포함)에 소재한 RPC간 통합만 인정하되, 2개 이상의 통합 및 일반RPC가 상호연합하여 법인에 출자·운영하는 경우에는 광역통합으로 인정하고 있음
- 또한, 광역통합의 경우 통합이후 타 시군의 DSC(Drying & Storage Center)시설을 폐쇄하고 한 시군에서만 운영할 경우에는 미통합RPC 기준으로 정책자금 지원하고 있고, 일반 통합에서도 본소 도정시설의 가동율이 80%미만임에도 부가공시설을 운영하는 경우는 시설통합 미이행으로 간주하고 있

으나, 현실적인 통합여건을 감안하여 시설부분에서의 통합모델의 개발이 필요함

- 한국식품연구원에서는 농협RPC간의 통합의 촉진, 고품질쌀유통활성화사업을 통한 가공시설의 현대화 등을 위해 약 10여년 이상 농협RPC에 대한 시설 및 기술 분석, 향후 시설의 발전방향 등에 대한 컨설팅을 실시하여 왔음
- 따라서 본 연구에서는 농림식품사업(농업자금 이차보전사업)에서 현재 인정하고 있는 RPC간의 광역통합형태와, 그동안 한국식품연구원에서 발간된 통합 컨설팅 결과보고서에서의 RPC의 통합관련 요구사항, 현재까지 진행된 통합형태 및 농협양곡 등 새로운 통합형태의 출현 등을 분석하여 시설부분에서의 가능한 3가지 광역통합 모델을 구상하였으며, 이 모델에 적합한 u-IT기반 광역통합관리시스템의 기본모델을 구상하였음

(2) 결과 및 고찰

- 2014년 말 우리나라 RPC 평균 가공능력은 3.8ton/hr로 소규모(일본 정미공장의 44.7%수준)이고, 약 195개소 RPC(83.3%)가 내용연수를 지나 노후화되었고, RPC중 33%가 가동율이 50%이하(2012년, 농식품부)이고, 농협RPC중 적자RPC가 57.4%(2014년)로 절반이상으로서 RPC 규모화와 현대화가 필요하였으며, 정부에서는 대형유통업체와의 쌀 교섭력 제고 및 경영효율화 도모를 위해 2014년 234개소인 RPC를 2024년까지 120개소로 통합한다는 목표로 추진하고 있음
- 본 연구에서 광역통합RPC(Mega RPC)의 의미는 정부정책 방향과 동일하게 규모적인 것으로서 최적 규모에 대해서는 경제성 등까지 감안한 추가연구가 필요하나, 전국통합RPC협의회(2014)의 추정에 따르면 대형유통업체와 교섭력을 위해서는 약 50,000톤 이상 규모를 처리하는 것이 필요하며, 이에 적합한 가공규모는 15~20ton/hr(2ndG RPC 7.2ton/hr의 약 2~3배 수준), 원료권역은 83,000~110,000톤 수준이 되므로, 당진, 김제 등 일부 시군은 동일 시군의 통합만으로 가능하고, 기타 소규모 시군에서는 연접한 시군과의 광역통합이 필요함

표 3-2-18. 전국 상위20개 시군별 벼 재배면적 및 생산량(통계청, 2016)

순 위	시도	시 군	재배면적(ha)	kg/10a	생산량(톤)
1	전라북도	김제시	19,996	759	151,789
2	전라남도	해남군	19,910	685	136,327
3	충청남도	서산시	19,145	735	140,755
4	충청남도	당진시	18,975	801	152,021
5	전라북도	익산시	16,965	765	129,792
6	전라남도	영암군	16,065	656	105,371
7	전라북도	정읍시	13,885	799	110,955
8	전라북도	부안군	13,702	771	105,608
9	경기도	화성시	13,541	697	94,340
10	전라남도	고흥군	13,395	693	92,875
11	전라남도	나주시	13,039	680	88,641
12	전라북도	군산시	12,717	746	94,868
13	전라북도	고창군	12,545	792	99,413
14	경상북도	경주시	12,485	739	92,219
15	경상북도	상주시	12,320	779	96,032
16	경기도	평택시	12,299	679	83,544
17	충청남도	논산시	11,356	743	84,427
18	충청남도	예산군	11,281	797	89,877
19	충청남도	부여군	10,842	750	81,367
20	인천광역시	인천광역시	10,686	678	72,470

- 가공능력 규모(벼) : 정부산정기준(1일 8시간, 1일 300일 가동기준, 도정수율 72.4%기준)적용
 - 가공능력 15ton/hr : $15\text{ton/hr} \times 8\text{hr/day} \times 300\text{days/year} / 0.724 \approx 50,000\text{ton}$
 - 가공능력 20ton/hr : $20\text{ton/hr} \times 8\text{hr/day} \times 300\text{days/year} / 0.724 \approx 66,000\text{ton}$
- 원료 권역 : 시군 생산 원료중 통합RPC 취급비율을 60% 기준적용
 - 가공능력 15ton/hr : $50,000\text{ton} \div 0.6 \approx 83,000\text{톤}$
 - 가공능력 20ton/hr : $66,000\text{ton} \div 0.6 \approx 110,000\text{톤}$

- 따라서 본 연구에서는 ① 동일시군내의 통합, ② 연접한 인근 시군과의 광역통합, ③ 2020년까지 전국에 쌀 가공센터를 10개소 육성하겠다는 농협양곡(2015. 3월 설립)과 같은 전국통합 등과 같이 3가지 경우에 적용이 가능한 시설부분의 3가지 통합모형을 구상하였고, 이 통합모형에 적합한 통합관리시스템모형을 구상하였으며, 그 결과는 다음과 같았음
- 첫 번째 모델(A type)은 1개의 Mega RPC(대규모 가공공장 및 자체 건조저장시설이 동일부지에 설치)와 다수의 DSC(Drying & Storage Center, 건조저장시설)로 구성된 모델로서, Mega RPC와 DSC 간의 이송거리가 비교적 짧은 쌀 주산단지에 적합한 모델로, 대표적으로는 청원군생명쌀조합공동사업법인(이하 청원통합RPC로 약칭)으로서, 가공공장과 일부 건조저장시설은 Mega RPC에 있으며, 대부분의 원료 반입, 건조 및 저장은 16개의 DSC에서 취급하고 있음
- 이 모델에서 u-IT기반 광역통합관리시스템은 Mega RPC에 소재하면서, Mega RPC에서는 전체적인 주문관리, 재고관리, 생산관리, 이력 및 수율관리를 실시하고, 각 DSC에 지시하여 각 DSC의 재고 및 품질을 실시간으로 모니터링하며, 각 DSC에서는 농가와의 반입체계 구축, 자체적인 건조 및 저장 중 물량 및 운영관리를 실시할 수 있는 모델임

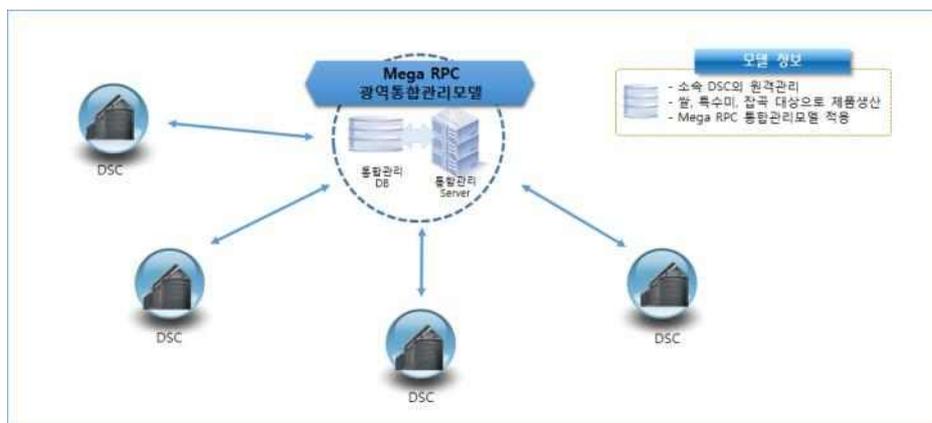


그림 3-2-19. u-IT기반 광역통합RPC 기본모델(A type)

- 두 번째 모델(B type)은 1개의 Mega RPC(대규모 가공공장 및 자체 건조저장시설이 동일부지에 설치)와 1개 또는 몇 개의 sub RPC와 다수의 DSC(건조저장시설)로 구성된 모델로서, Mega RPC와 DSC간의 이송거리가 비교적 멀리 떨어진 시군의 통합에 적합한 모델로서, 쌀 주산단지를 제외한 대부분의 광역통합에 적합한 모델로서, 현재 농림사업시행지침에서 이 모델의 sub RPC(부가공시설)를 유지하기 위해서는 Mega RPC(본소) 도정시설의 가동율이 80%이상이어야만 되는 제한이 있음

표 3-2-19. 본 연구에서 설정한 Mega RPC와 sub RPC 특징 비교

구분	Mega RPC	Sub RPC
규모	대규모 처리(20ton/hr 이상)	소/중규모 처리(5~10ton/hr)
생산제품	쌀, 특수가공미, 잡곡 등	쌀
운영시스템	광역통합관리시스템	u-RPC모델

- 이 모델에서 u-IT기반 광역통합관리시스템은 Mega RPC에 소재하면서, 전체적인 주문관리, 재고관리, 생산관리, 이력 및 수율관리를 실시하고, sub RPC에 지시하여 각 sub RPC에서 생산관리, 이력 및 수율관리, 재고 및 품질관리를 실시하며, 각 sub RPC에서는 소속된 각 DSC에 지시하여 재고 및 품질을 실시간으로 모니터링하며, 각 DSC에서는 농가와의 반입체계 구축, 자체적인 건조 및 저장 중 물량 및 운영 관리할 수 있는 모델임

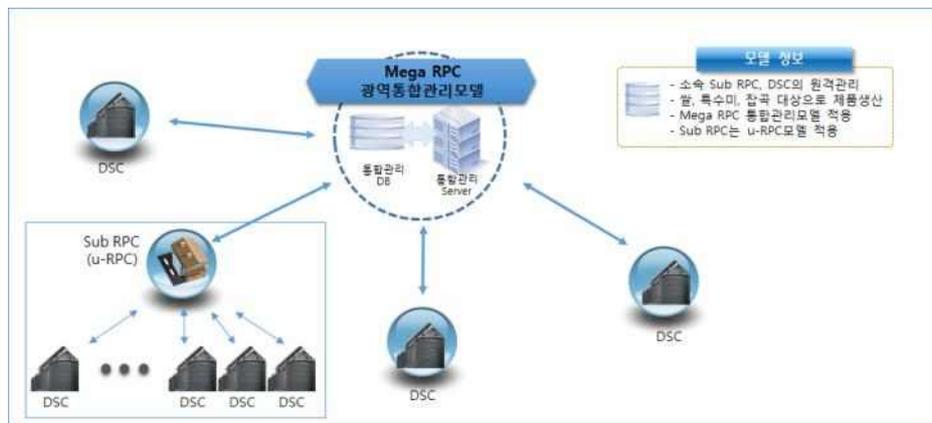


그림 3-2-20. u-IT기반 광역통합RPC 기본모델(B type)

- 세 번째 모델(C type)은 전체 관리시설을 별도로 두고, 생산시설은 Mega RPC(대규모 가공공장 및 자체 건조저장시설이 동일부지에 설치) 없이 몇 개의 sub RPC와 다수의 DSC(건조저장시설)로 구성된 모델로서, 농협경제지주(주)의 속해있는 농협양곡과 같이 전국적인 규모에 적합한 모델임
- 이 모델에서 u-IT기반 광역통합관리시스템은 전체 관리시설에서 전체적인 주문관리, 재고관리, 생산관리, 이력 및 수율관리를 실시하면서, sub RPC로의 지시를 통해 각 sub RPC에서는 생산관리, 이력 및 수율관리, 재고 및 품질관리를 실시하고, sub RPC에 소속된 각 DSC의 재고 및 품질을 실시간으로 모니터링하며, 각 DSC에서는 농가와의 반입체계 구축, 자체적인 건조 및 저장 중 물량 및 운영관리를 실시할 수 있는 모델임

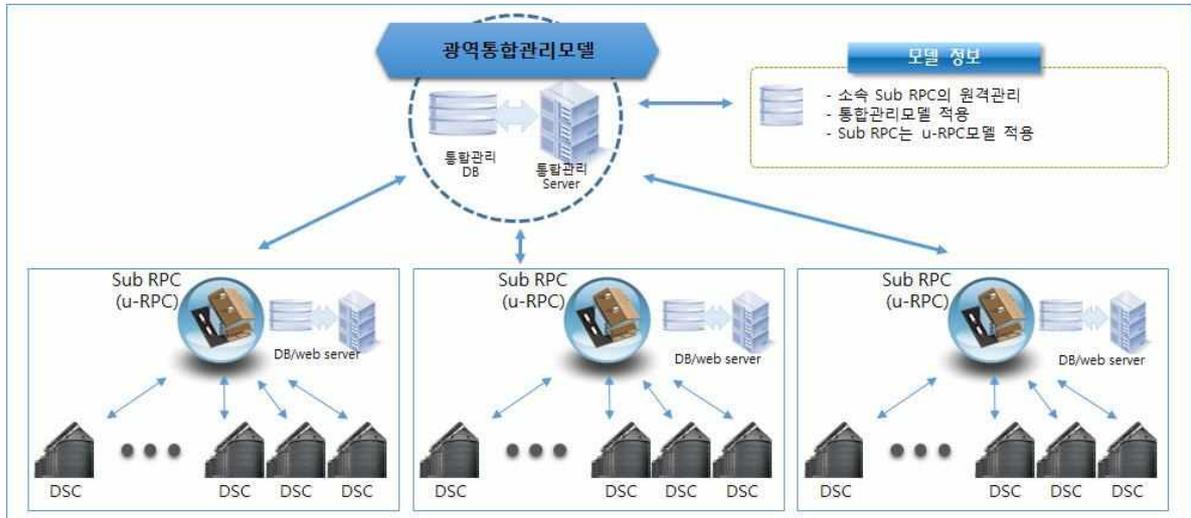


그림 3-2-21. u-IT기반 광역통합RPC 기본모델(C type)

○ 이상의 3가지 Mega RPC 시설모델에 적용이 가능한 u-TIMSPM, E-YICSM 및 TSRM 등 세부시스템이 적용된 u-IT기반 광역통합관리시스템은 다음 그림과 같이 구성할 수 있는데, 그림에서 알 수 있듯이 Mega RPC, sub RPC 및 DSC를 모두 보유하고 있는 B type과 다소 유사하게 인식될 수 있지만, 다수 sub RPC의 고려 또는 sub RPC의 제외 등의 경우 3가지 시설모델에 적용이 가능하며, 모든 DSC를 관리할 수 있는 u-IT기반 광역통합관리시스템임

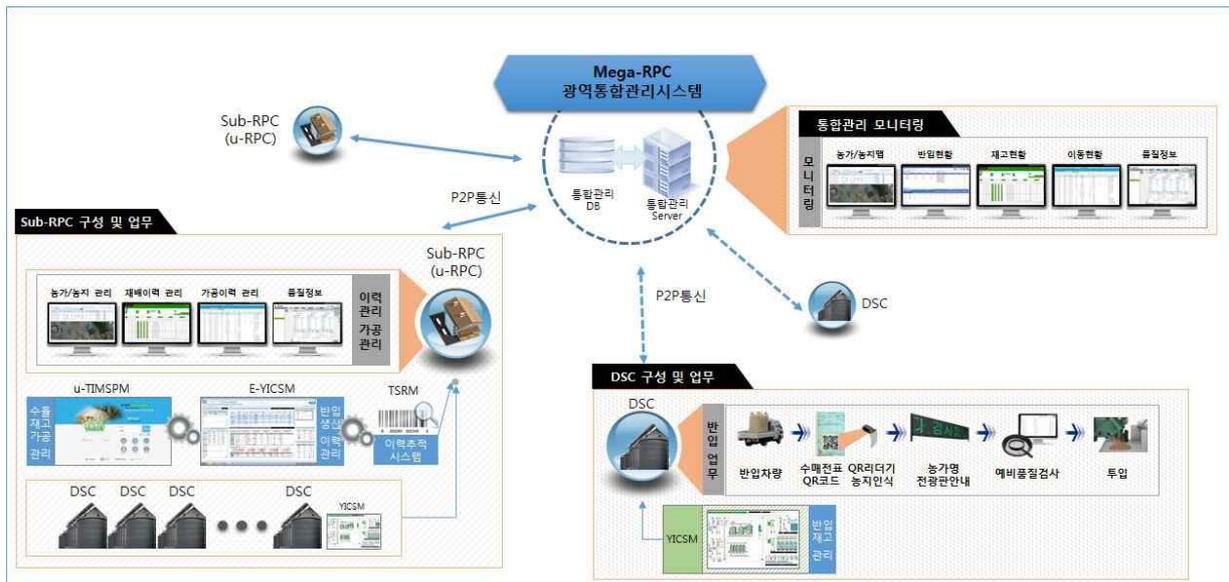


그림 3-2-22. u-IT기반 광역통합관리시스템 모델

나. 통합관리시스템 개발

(1) 개발방법

(가) Big data기반 DB설계

- 광역통합용 u-TIMSPM 및 E-YICSM에 사용되는 DB는 기존의 쌀뿐만 아니라 잡곡 등 곡물의 종류가 많고, Mega RPC와 다수의 sub RPC 및 DSC 시설과 연계되어 있어, 이 시설에서 생산되는 농가/농지정보, 반입계획 수립, 반입, 예비품질검사, 본 검사, 가공, 포장, 출하 등 모든 공정에서 발생하는 대량 데이터(Big Data)를 통합적으로 관리할 수 있도록 DB를 설계하였음



그림 3-2-23. u-IT기반 광역통합관리시스템 u-TIMSPM 데이터 연계 및 통합관리시스템 구성 개념도

- 주요 설계항목으로는 매입정보, 가공정보, 재고정보, 유통/소비자 이력정보 등으로서, 각 DSC의 정보를 취합하여 통합관리시스템에서 보안등급에 따라 다른 정보를 제공할 수 있도록 각 데이터를 정의하고 각 공정 및 단계별 데이터의 연계를 위한 논리적(Logical) 및 물리적(Physical) 모델설계를 통해 데이터간의 관계 및 흐름을 설계하였으며, Erwin 프로그램을 이용하였음

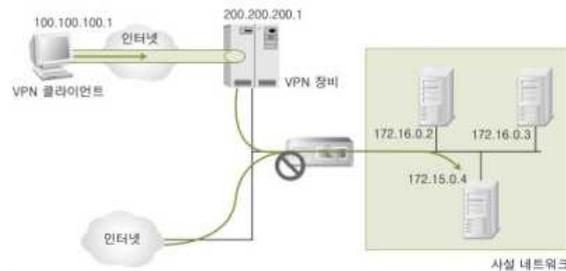
(나) Data 송수신 모듈개발

- Mega RPC와 DSC간의 정보공유는 기본적으로 동일 u-TIMSPM상에서 이루어지므로 DSC 생산정보는 자동으로 Mega RPC DB server에 저장되므로 별도 data 송수신 모듈은 필요하지 않으나, sub RPC에는 별도 DB server가 필요하므로 sub RPC 생산 data와 Mega RPC의 server와의 송수신을 위한 방화벽 등의 보안문제 해결을 위해 data 송수신 모듈을 Java 언어를 사용하여 전용개발 툴인 JDK(Java Development Kit, 자바 개발 도구)를 활용하여 개발하였음
- 연계모듈간 정보공유 프로세스는 각 sub RPC에서 XML형태로 데이터를 생성하고 송/수신모듈을 통해서 연계 interface server로 송신되고, 송신되어 저장된 정보는 Mega RPC의 광역통합모델의 interface에서 조회가 가능한 형태로 재구성되어 표출되도록 개발하였음



그림 3-2-24. 연계모듈간 정보공유 개요도

- DSC와 Mega RPC와의 통신 네트워크를 구성할 때 DSC에서 Mega RPC로 접속하는 경로에 대해서는 보안 관리를 위해 보안 솔루션의 일종인 VPN(Virtual Private Network)터널을 거치도록 구성하였으며, 인증된 관리자 및 운영자만 접속하여 Mega RPC와 DSC의 정보를 조회 및 활용할 수 있도록 개발하였음
- Mega RPC 및 DSC내에서의 연류계/호퍼스케일, 포장부, PLC와 DB/web server간 연계모듈의 통신 방식은 TCP/IP Ethernet를 사용하는 양방향 통신방식을 사용하였으며, 또한, 사무실 및 상황실 모니터링 PC에도 동일한 통신방식을 적용하였음



[그림 10-15] VPN을 이용한 외부에서의 접근

그림 3-2-25. VPN 구성도(네이버 지식백과)

(다) u-TIMSPM 모델의 web프로그램 개발

- 광역통합 RPC용 u-TIMSPM모델의 web프로그램은 기존 단일 RPC에 적용되었던 u-TIMSP모델과는 다르게 다수 DSC에서 반입, 건조 및 저장되었다가 Mega RPC에서 가공되었던 제품의 제반정보인 매입량, 재고량, 월별 매출량 및 수출 등을 통합 관리하는 기능에 대한 interface 설계와 software를 개발하였음

- 또한, 각 DSC 정보를 취합한 내용을 통합관리시스템에서 보안레벨별, 사용자별로 정보제공 여부를 결정할 수 있는 보안 관리기능을 추가하였으며, 이 때 사용자는 생산자, 단위 관리자, 통합관리자 및 소비자 등으로 구분하여 보안정도를 다르게 하였고, 프로그램 개발에는 웹기반 프로그램개발 언어인 Java를 사용하고, 전용개발 툴인 JDK(Java Development Kit, 자바 개발 도구)를 활용하였음

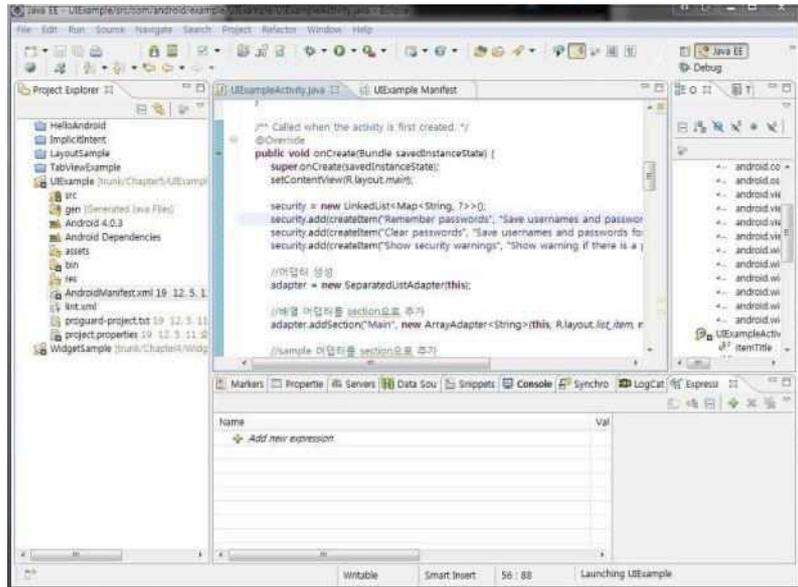


그림 3-2-26. u-IT기반 광역통합관리시스템 u-TIMSPM모델 web용 프로그램 개발화면

(라) Mega RPC용 E-YICSM모델 개발

- Mega RPC용 E-YICSM은 단독 RPC를 대상으로 하는 u-RPC모델과는 다르게 다수의 sub RPC 및 DSC와 연계되어 있을 뿐 아니라, 현미, 백미, 특수가공미, 잡곡 및 혼합미 등 다양한 원료 및 제품종류와, 다양한 브랜드 제품을 생산하므로 u-RPC의 E-YICS를 대규모로 확장하면서 보완한 모델임
- 광역통합관리시스템 E-YICSM모델은 다음 표와 같이 ① 보완된 자동수출 및 재고관리기술, ② DSC 원격관리기술, ③ 확장형 이력추적기술 등이 도입되어 있으며, 자동수출 및 재고관리기술은 MMI 및 PLC와의 연계모듈을 개발하여 보완하였고, DSC 원격관리기술에는 P2P방식 및 TCP/IP Ethernet 통신방식을 채택하였으며, 이력추적을 위해서 Fuzzy, QR/Bar code 시스템을 적용하여 확장하였으며, Visual Basic 프로그램을 이용하여 화면을 구성하였음

표 3-2-20. u-IT기반 광역통합관리시스템 E-YICSM모델 개발 tool

기술명	개발 tool	활용 tool
① 자동수출 및 재고관리기술	MMI, PLC	PC
② DSC 원격관리기술	TCP/IP Ethernet 통신	PC
③ 이력추적기술	Fuzzy, QR/Bar code 시스템	PC

표 3-2-21. u-IT기반 광역통합관리시스템 E-YICSM모델 메뉴별 세부내용

구분	세부기능
메인화면(Home)	· 위성 DSC의 사일로 재고현황 표시 등 · 생산현황 라인관리 등
생산관리	· 금일작업계획 수립 등 · 가공라인별 금일 작업계획 수립 등 · 라인 생산계획 관리 등
원료/재고관리	· 저장시설별 저장현황, 품종별 저장현황조회 등
이력관리	· 작업이력 조회, 이력정보 직접조회, 출하이력/생산이력/재배이력/품질정보 조회, 이력추적조회 등
주문관리	· 일별/기간별 조회기능, 조회일자 설정기능, 주문고객/주문상품/주문품종지정 등 · 감모율 계산, 엑셀 출력, 신규주문등록, 고객관리 등
수출관리	· 조회일자별/품종별/DSC별/Silo별 조회 및 출력
감모관리	· 반입/건조감모, 저장감모, 가공(이송)감모 조회 · 조회일자별/품종별/DSC별/Silo별 조회 및 출력
반입/반출 관리	· 조회일자별/작업구분별/작업제품별 조회 및 출력

- Mega RPC E-YICSM의 운영시스템에는 다음 표와 같이 다양한 세부기능이 포함되도록 개발하였는데, 표에서 알 수 있듯이 u-RPC용 E-YICS에 추가된 세부기능의 주요 내용은 ㉠ 위성 DSC의 재고 현황 관리(메인화면), ㉡ 금일 작업계획 수립 및 가공라인별 작업계획 수립(생산관리), ㉢ 일별/기간별 주문조회 및 감모율 계산 기능 등이었음

(마) E-YICSM의 감모예측 알고리즘 개발

- RPC에서 각 공정별로 발생하는 감모의 종류 및 인정감모량은 농협중앙회의 연구용역에 의해 한국식품연구원(2013)에서 개발한 인정 감모량 기준이 사용되고 있으나, 실제 각 RPC에서 발생하는 감모량은 시설별, 운영조건별, 원료조건별, 연도별 및 계절별 등의 제반조건에 따라 달라지므로 각 RPC에서는 발생하는 감모량을 계속 모니터링하여 자체적인 감모기준을 정립하여야 하며, RPC 운영 중 추정/측정된 감모량이 감모기준보다 높을 경우 시설점검 및 운영조건의 개선을 검토하여야 함
- RPC에서 감모량을 추정하기 위해서는 반입되는 원료 중량과, 가공과정 중에 발생하는 부산물량은 물론 최종제품의 중량을 정확하게 계량하여야 하나, 왕겨, 비정립, 불량품, 싸라기 및 미강 등 부산물 배출시점이 일정하지 않아 각 lot별로 정확한 감모측정이 현실적으로 불가능하므로 일간, 주간, 월간, 분기간 및 연간 등 일정기간동안의 감모측정량을 lot별로 적용하기 위해서는 별도 방안이 강구되어야 함
- 일정기간 감모의 경시적인 추적을 위해 AI 알고리즘 중 하나인 “트리구조를 이용한 최적데이터 판별” 방식과, 데이터의 유효성 분석을 위한 Band-Pass-Filter(입력신호를 보정하는 필터링 기법으로 감모예측에는 계량되어 입력된 정보를 보정하는데 활용) 및 Kalman filtering 알고리즘(대포 및 미사일 발사 후 외부 환경변화에 따른 탄착위치 예측용으로 사용되는 알고리즘으로 감모예측에는 입력된 계량정보로 감모량을 예측하는 데 사용)에 대해 검토하였음
- 알고리즘을 이용하여 경시적인 감모예측방법을 개발하여, 감모관리 메뉴를 E-YICSM에 탑재하였고, 이 때 건조공정, 저장공정, 이송 및 가공공정에서 감모량의 가장 기본적인 계산방법은 다음과 같았으며, 크게 3가지 항목에 대해 감모량을 계산하여 적용하였는데, 함수율의 변화까지 고려한 세부적인 감모계산은 다음 식을 이용하였음

$$\Delta W_{process} = W_{t2} - W_{t1} \times \frac{100 - M_1}{100 - M_2} \dots\dots\dots (3-2-1)$$

여기서, $\Delta W_{process}$: 각 공정에서 중량 손실량(kg)

W_{t1}, W_{t2} : 공정 전·후의 곡물 중량(kg)

M_1, M_2 : 공정 전·후의 곡물 함수율(%)

- 이 때 가공공정중 감모량은 가공 중 호흡에 의한 건물중량손실과, 이물질배출에 의한 감모량, 15%이하의 과건에 의한 중량감모가 있으므로 저장 전·후의 벼의 중량 및 함수율을 측정하여 앞 식과 같이 계산할 수 있으나, 사일로(RPC에서 최대 500ton 규모)에 벼를 투입할 경우에 순환식건조기(RPC에서 최대 30ton/batch) 등에서 건조된 벼가 수습회에 걸쳐 투입되고, 가공을 위해 저장된 벼가 배출될 때도 일시에 모두 배출되지 않으므로 투입 및 배출 이력과 중량측정치, 잔곡배출량 등을 종합적으로 이용하여 감모량을 추정하였음

(바) DSC용 E-YICSM모델 개발

- DSC는 관내 지역 농가에서 수확한 벼를 반입하여 건조 및 저장하는 시설로서, 원료 벼를 반입하는 투입구, 조전기, 호퍼스케일, 건조기, 원료벼 저장사일로(평타입, 호퍼타입 등) 등으로 구성되어 있으며, Mega RPC의 지시에 의해 저장중인 벼를 배출하여 이송하는 기능까지 담당하고 있음
- 대부분 DSC는 농가의 편리성을 위하여 벼 생산지에 위치하므로 RPC의 처리물량이 많을수록 다수의 DSC를 보유하게 되는데, 반입 및 건조는 약 1개월 이내의 수확기에 완료되는 반면, 저장된 벼의 배출은 거의 연간동안 진행되므로 DSC의 관리는 거의 RPC직원의 순회점검이 대부분으로 도난 및 변질 등의 사고 대처에 애로가 많음
- 이러한 문제점 보완을 위해서 Mega RPC의 E-YICSM에서 DSC의 물량관리 및 이력관리를 자동으로 할 수 있도록 DSC 정보를 자동 송수신할 수 있는 DSC용 YICSM를 개발하였으며, DSC용 YICSM와 PLC, PLC와 단위기계는 양방향 통신방식인 TCP/IP Ethernet방식을 주된 방식으로 하되, 기 설치된 시스템 개선에 소요되는 비용을 고려하여 PLC와 단위기계간의 통신에서는 단방향 통신방식(RS-232)도 적용이 가능하도록 Visual Basic을 이용하여 개발하였음
- DSC용 YICSM의 주요 기능은 ① 원격 DSC의 현장 PLC를 모니터링 및 제어, ② 원료 구매에 따른 작업관리 및 관련자료 생성 및 보관, ③ 관련 자료의 E-YICSM 서버의 실시간 공유, ④ 보관중인 원료 반입 및 반출 작업 관리(작업허용 및 금지) 등으로 구성하였음
- 최근 발생하고 있는 인터넷 보안과 관련한 각종 사고에 대비하기 위해 전술한 것과 동일하게 DSC와 Mega RPC와의 통신 네트워크를 구성할 때 DSC에서 Mega RPC로 접속하는 경로에 대해서는 보안 솔루션의 일종인 VPN(Virtual Private Network)터널을 거치도록 구성하여 외부에서 유동 IP로 접속할 경우 패킷(packet, 네트워크를 통해 전송하기 쉽도록 자른 데이터의 전송단위)의 스니핑(sniffing, 도청)을 방지하도록 설계하였음
- DSC 원격관리기술에는 P2P방식 및 TCP/IP Ethernet 통신방식을 채택하였는데, P2P 통신방식은 PC와 PC를 직접 연결하여 서버 없이도 인터넷 등을 통해 각자의 PC 내부에 있는 자료 및 문서를 공유할 수 있도록 하는 방식이며, 네트워크에 연결된 모든 PC로부터 수평적으로 정보를 제공받고 검색 및 다운하는 방식으로 u-RPC에는 적용하지 않았던 기술로서 E-YICSM에 새롭게 적용하였음

(사) TSRM모델 개발

- 12자리 번호로 구성된 이력추적번호를 각 RPC의 시설특성에 맞도록 활용하기 위하여 2진수로 변환 후 16진수로 변환하고, 다시 10진수의 7자리로 변환하는 이력관리코드를 생성방법을 개발하여 특허 등록(2017.03.23., 곡물 이력추적정보 생성 장치 및 방법, 10-1719311)을 완료하였음
- 그러나, 이러한 이력관리코드체계로는 광역통합RPC에서의 보다 많은 종류의 원료, 부대시설, 다양한 브랜드제품의 정보를 모두 관리하는 것은 사실상 불가능하여 Mega RPC에 적합한 새로운 이력관리

코드체계의 개발이 필요하였음

- 따라서, Mega RPC에 속하는 sub RPC 및 DSC의 고유번호, DSC에 속한 필지별 이력번호, 사일로 lot번호 등으로 13자리(16진수) 이력코드를 생성하고, 1자리(16진수)의 연도와 결합하여 총 14자리(16진수)의 이력코드를 생성한 후, 7자리(10진수)의 이력관리번호와의 인덱싱(indexing)을 통해 이력번호 7자리로 매칭(matching)하는 방법으로 개발하였음



그림 3-2-27. u-RPC모델에서의 이력관리코드체계

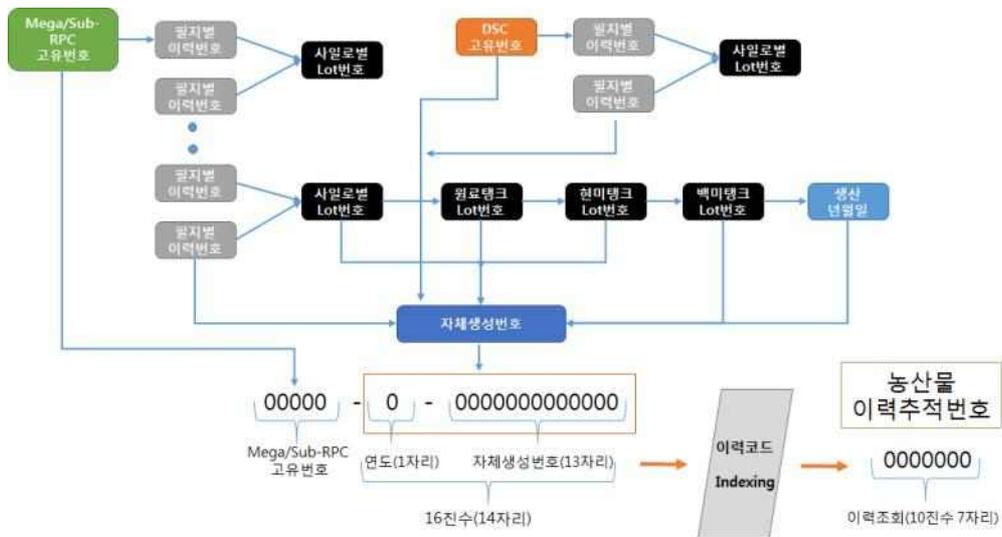


그림 3-2-28. 개선된 Mega RPC모델에서의 이력관리코드체계

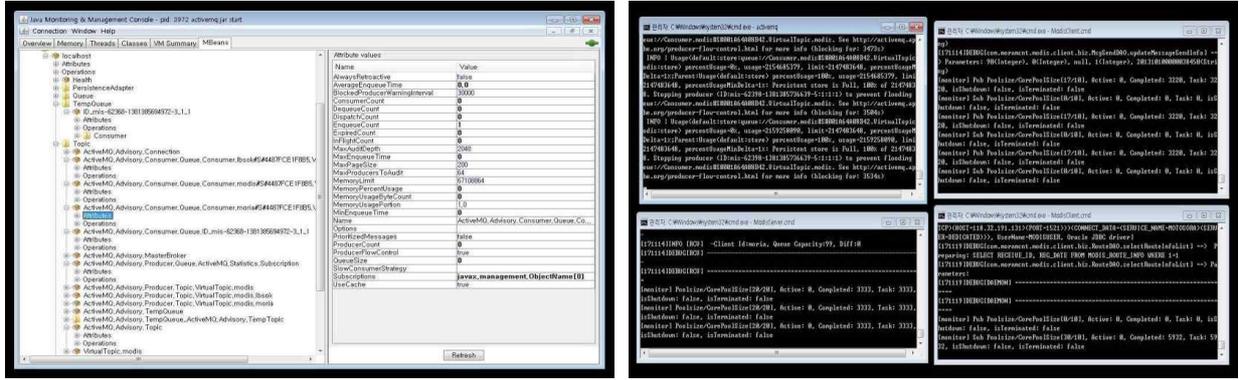


그림 3-2-30. 개발된 연계모듈간 데이터 처리화면

- u-TIMSPM와 E-YICSM 및 TSRM 등 u-IT 광역통합관리시스템에서 Mega RPC와 DSC간의 통신 방식은 다음 장에서 기술한 통신 protocol기준과 memory map의 기준을 적용하였고, 이 기준은 web 및 mobile용 프로그램에도 모두 적용하여 사용자가 수신된 정보를 별도의 변환처리 없이 바로 확인할 수 있도록 하였음

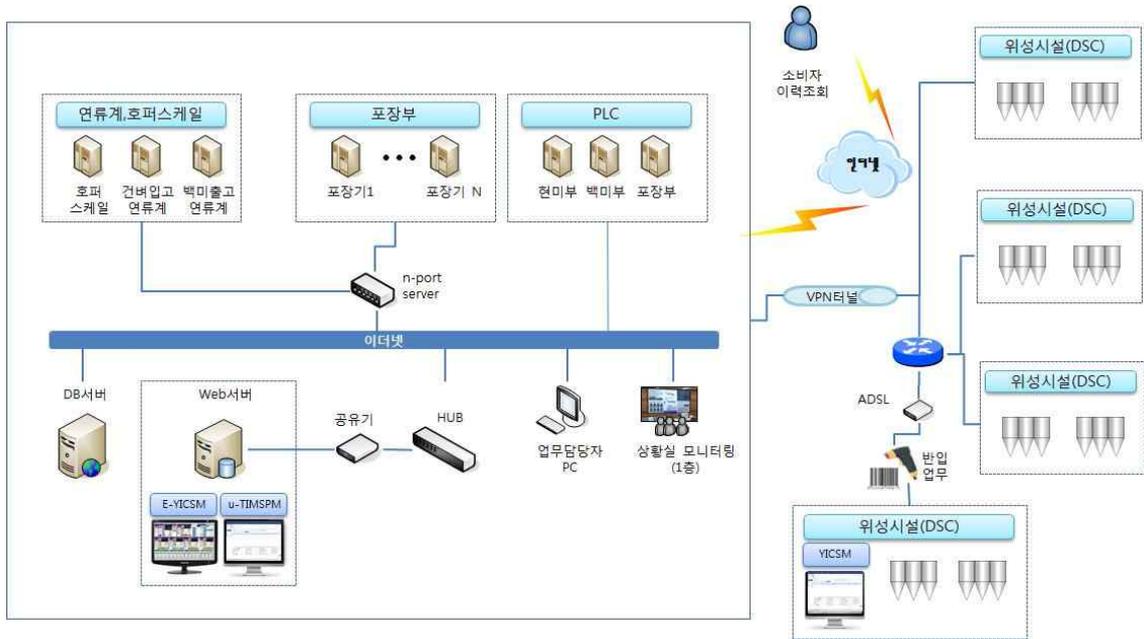


그림 3-2-31. u-TIMSPM 네트워크 및 시스템 구성도

(다) u-TIMSPM 모델의 web프로그램 개발

- u-TIMSPM의 web 프로그램은 개발된 u-TIMSP와 다르게 다수의 sub RPC 및 DSC를 관리하는 기능이 추가되었으며, 주요기능으로는 ㉠ sub RPC의 기본정보 등록, ㉡ 다수의 sub RPC 및 DSC의 단지관리, ㉢ 다수의 sub RPC 및 DSC를 구별하기 위한 공통코드 관리, ㉣ 각 sub RPC 및 DSC 구성

에 따른 메뉴구성 변경, ㉔ 각 sub RPC 및 DSC의 반입현황의 실시간 모니터링 등이었음

○ 주요메뉴는 메인화면, 생산관리, 원료/재고관리, 이력관리, 주문관리, 수출관리, 감모관리, 반입/반출관리 등으로 구성하였고, 각 주요메뉴별 세부메뉴의 종류와 기능은 다음과 같았으며, 개발된 각 메뉴별 화면은 아래 그림과 같았음

① **로그인 화면 및 메인화면** : u-TIMSPM의 web프로그램 메인화면에서는 반입처리, 반입정보, 생산이력관리, 반입모니터링, 작목단지지도 및 품질이력지도 등의 메뉴를 선택할 수 있으며, 메인메뉴로는 반입관리, 생산이력관리, 작목단지평가, 발주관리, 모니터링, 부가서비스 및 기초정보관리 등을 상단에 위치하여 사용자가 쉽게 조회할 수 있음

② **Sub RPC관리** : Mega RPC에서 sub RPC 및 DSC를 관리하기 위해서 sub RPC 관리화면의 주요기능은 ㉑ sub RPC 기본정보 등록 및 관리, ㉒ sub RPC 내 장비 및 시설물 등록 및 관리 등이 있음

③ **사용자관리** : 사용자관리 메뉴는 Mega RPC에서 sub RPC의 정보를 안전하게 조회 및 관리하기 위한 것으로서, 주요기능은 ㉑ 사용자별 기본정보 등록 및 관리기능, ㉒ 사용자 분류/권한/사용여부 관리기능 등이 있음

④ **단지관리** : u-RPC모델의 1개소 RPC의 단지관리 메뉴를 개선하여 Mega RPC에서 다수의 sub RPC 및 DSC의 단지정보를 관리하는 기능을 추가하였으며, 주요기능은 ㉑ 계약 단지 기본정보 등록 및 관리기능, ㉒ 등록된 단지의 사용여부 선택 기능 등이 있음

⑤ **농가관리** : sub RPC 소속의 농가관리를 위해 개발하였으며, 주요기능으로는 ㉑ 계약 단지 소속농가 정보의 등록 및 관리기능, ㉒ 소속농가의 위치정보 GIS맵을 통한 등록기능 등이 있음

⑥ **농지관리** : sub RPC 소속의 단지에 소속된 농지관리를 위한 것으로서, 전자지도의 활용으로 전국에 sub RPC 관리도 가능하며, 주요기능으로는 ㉑ 계약단지 소속 농지정보의 등록 및 관리기능, ㉒ 소속 농지의 위치정보를 GIS기반 전자지도를 통해 등록하는 기능 등이 있음

⑦ **재배년도관리** : 농지 및 농가 등의 기초정보는 매년 계약내용에 따라 달라지는데, 재배년도 관리화면을 통해 전년도의 확정된 계약내용을 차년도로 복사하여 활용할 수 있으며, 이는 전체 기초정보를 매년 갱신하지 않아도 되기 때문에 효율적으로 데이터를 생성 및 관리할 수 있는 기능임

⑧ **공통코드관리** : 다수의 sub RPC의 관리항목을 Mega RPC에서 효율적으로 관리하기 위해 모든 관리항목을 공통코드화 하였으며, 주요기능으로는 ㉑ 코드별 관리항목의 등록 및 관리기능, ㉒ 코드별 세부항목의 등록 및 관리기능 등이 있음

⑨ **권한관리** : 사용자 관리기능에서 설정되는 사용자별 권한설정을 구별하기 위한 메뉴로써 주요기능으로는 ㉑ 사용자 권한종류 등록 및 관리기능, ㉒ 기본권한 레벨 설정 기능 등이 있음

⑩ **사용자별 메뉴관리** : 권한관리메뉴에서 설정되는 사용자별 권한 중 메뉴사용권한을 구별하기 위해 메뉴권한 관리메뉴를 개발하였으며, 주요기능으로는 ㉑ 전체메뉴 중 시스템에서 사용 가능한 메뉴선택 기능, ㉒ 전체메뉴 중 사용자별 사용 가능한 메뉴 선택 기능 등이 있음

- ⑪ **관리자 전체메뉴관리** : 관리자가 메뉴의 category 및 메뉴명 수정 및 메뉴의 위치를 변경할 수 있는 기능을 개발하였으며, 이는 각 sub RPC의 운영조건별 메뉴의 인터페이스를 수정할 수 있는 범용기능임
- ⑫ **반입처리** : Mega RPC 및 DSC로 원료가 반입 시 QR/bar code reader로 인식된 원료정보가 자동으로 입력되고, 이전에 입력된 계약정보와 반입이력을 확인할 수 있는 기능임
- ⑬ **반입정보 및 미반입 내역** : 반입 처리된 원료의 반입정보를 조회하는 화면으로써, 계약정보, 반입이력, 생산이력, 품질정보를 모두 확인할 수 있으며, 관리자의 효율적 관리를 위해 엑셀로 출력이 가능하고, 미반입 내역을 따로 관리할 수 있는 메뉴를 추가하여 사용자의 편의성을 높였음
- ⑭ **생산이력관리** : 소비자에게 제공하기 위한 벼의 재배/생산이력정보를 등록하는 기능이며, 재배/생산작업의 종류와 작업량 단위를 미리 설정하여 빠르고 쉽게 입력하도록 개발하였고, mobile장치를 이용하여 작업자가 입력한 이력정보는 DB server에 저장되어 Mega RPC에서 조회할 수 있음
- ⑮ **생산이력일괄등록** : 벼의 재배/생산이력정보를 농가단위로 입력하는 불편함을 줄이기 위해 영농회관리자, 단지관리자, RPC관리자 등이 각 단체별로 생산이력을 입력할 수 있는 기능을 추가하였음
- ⑯ **심사항목관리** : 관리자가 벼의 재배/생산 현장점검 후 평가결과를 기록하기 위한 기능으로써 심사항목을 생성하고, 심사항목별 점수부여 방식과 합격·불합격 여부를 포함하는 항목을 생성할 수 있음
- ⑰ **심사단계관리** : 심사항목관리메뉴에서 생성된 항목들을 현장점검의 순서에 맞게 단계별로 정렬하는 기능이며, 항목별 가중치를 다르게 부여할 수 있고, 과락유무를 설정할 수 있는 기능임
- ⑱ **심사평가관리** : 현장점검 후 평가결과를 입력하는 메뉴로써, 주요평가 항목은 이종/도복/병충해/벗짚 환원/잡초 유무 등이며, 각 항목별 합격·불합격 여부를 입력하도록 하였음
- ⑲ **심사평가결과** : 심사평가 관리메뉴에서 입력된 평가결과를 조회하고, 항목별 평가점수에 따라 최종등급 및 합격·불합격을 결정하는 기능이며, 최종 평가결과에 따른 부적합보고서 인쇄 가능한 기능임
- ⑳ **발주요청** : Mega RPC에서 u-TIMSPM를 이용한 발주관리를 위한 것으로서, 주문번호별로 발주요청 업체정보와 물량정보를 확인할 수 있도록 구성하였음
- ㉑ **발주현황** : 발주요청 내용을 조회하는 메뉴로써, 발주요청 내역 중 발주현황/진행사항/처리이력 등을 조회가능하며, 발주 요청자는 회원으로 등록하여 사용하도록 하여 보안기능을 추가하였음
- ㉒ **반입실시간현황** : Mega RPC에서 각 sub RPC 및 DSC에 반입되는 원료현황을 모니터링할 수 있는 기능이며, 주요항목으로는 수매구분, 주요품종, 농가수, 총면적(Ha), 예상량(톤), 반입량(톤), 미반입량(톤) 등이고, 실시간으로 update할 수 있음
- ㉓ **농지보기** : 전자지도를 이용한 계약농가의 농지를 관리할 수 있는 기능으로, 작목단지 및 영농회별 농가를 조회할 수 있으며, 농지정보(농가명, 농지명, 면적, 주요품종, 생산량), 기준년도 평가결과(상세평가내역), 재배정보(날짜별 작업종류) 등을 함께 조회할 수 있음
- ㉔ **계약원부조회** : 계약원부내역을 u-TIMSPM에서 직접 관리할 수 있으며, 주요기능은 계약재배신청서/계약재배확인서/출하통지서/부적합보고서 등의 문서를 자동생성 및 출력하는 것임

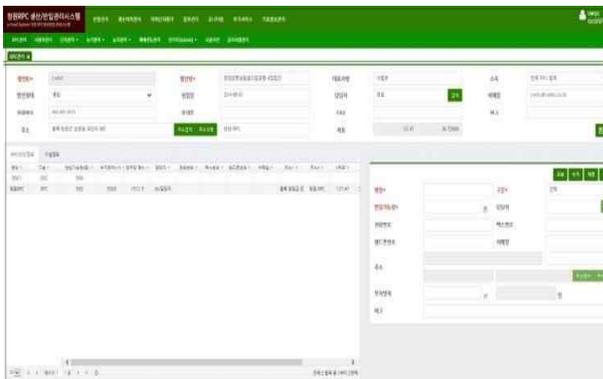
㉔ **계약현황조회** : 예년대비 계약현황을 조회하는 기능으로서, 매년 전년도의 계약정보를 신규계약의 기초자료로 활용하여 해당년도의 계약내용을 확정하도록 구성하였으며, 단지별/영농회별/농가별/농지별로 작년현황과 신규현황을 비교하는 기능을 추가하여 업무편의성을 증대하였고, 작년대비 신규현황을 쉽게 파악하여 계약변동을 효율적으로 관리할 수 있도록 하였음



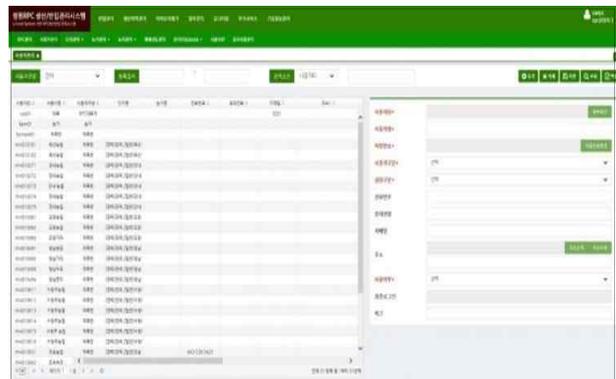
로그인 화면



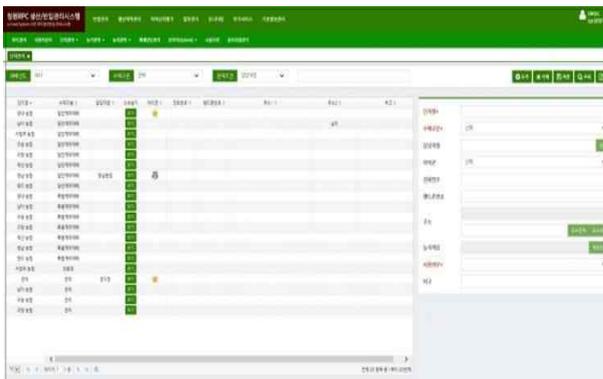
메인화면



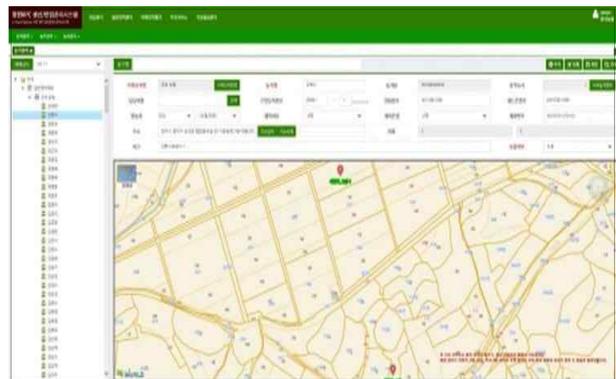
sub RPC 관리화면



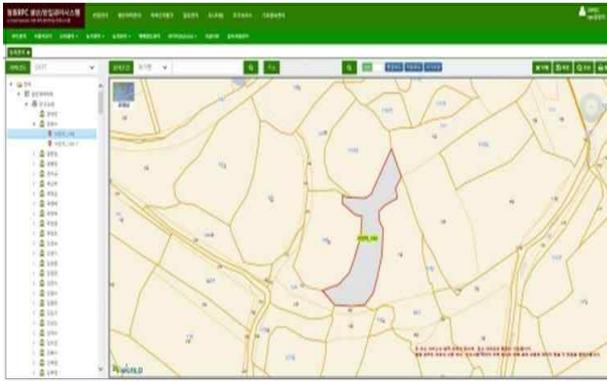
사용자 관리화면



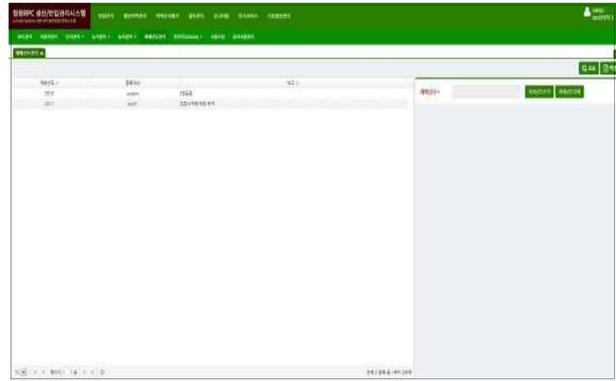
단지관리화면



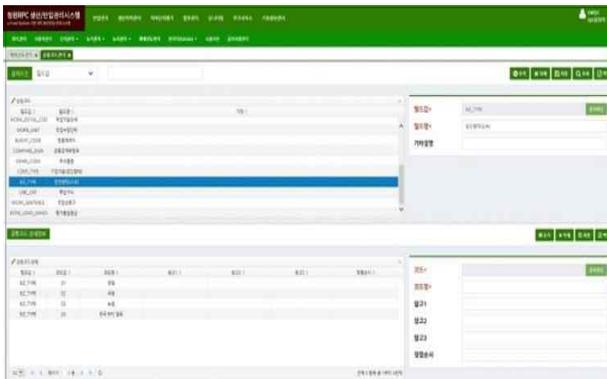
농가관리화면



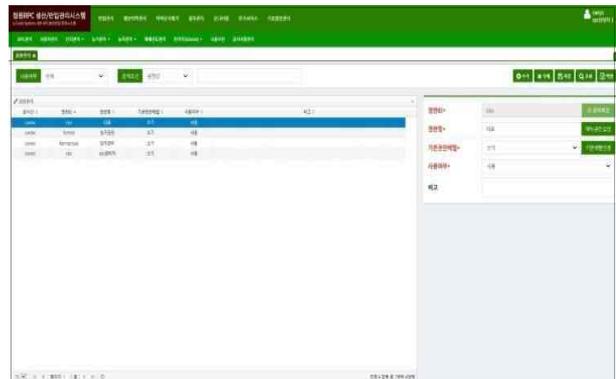
농지관리화면



재배년도 관리화면



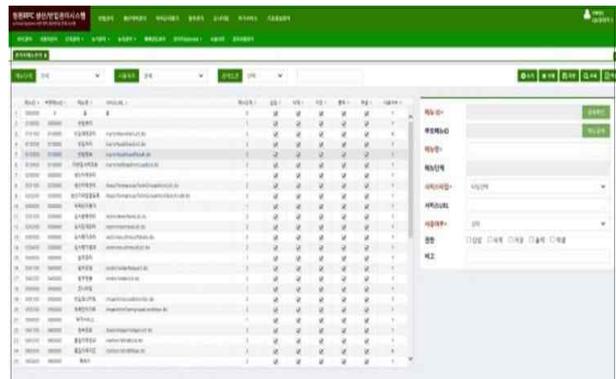
공동코드 관리화면



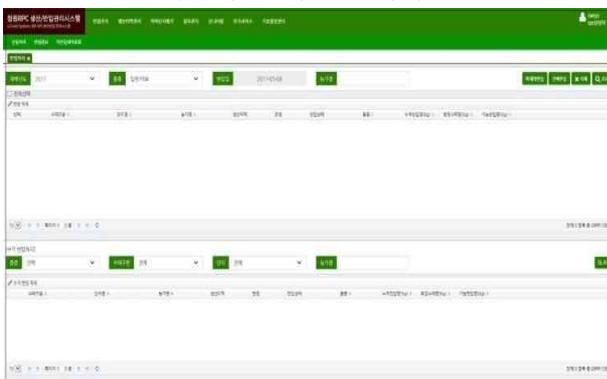
권한 관리화면



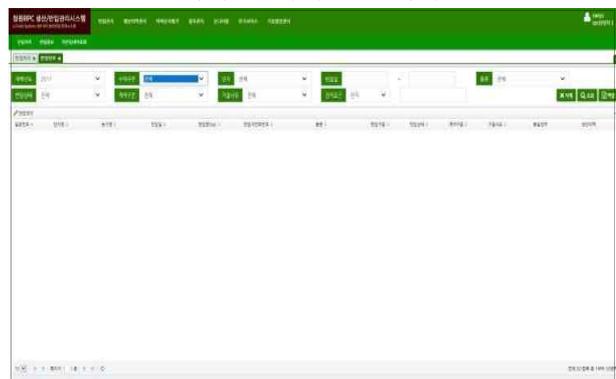
사용자별 메뉴 관리화면



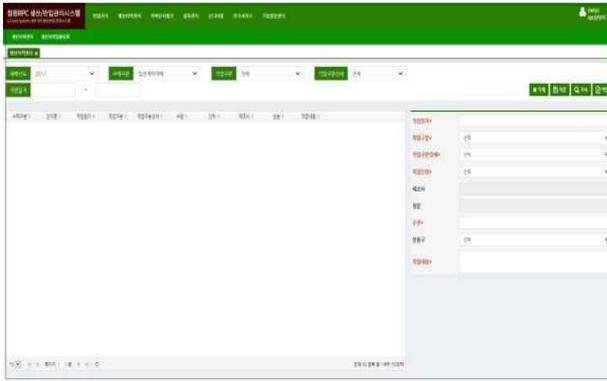
관리자 전체메뉴 관리화면



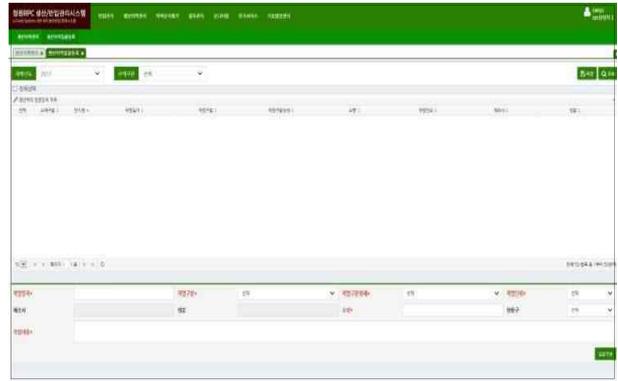
반입처리화면



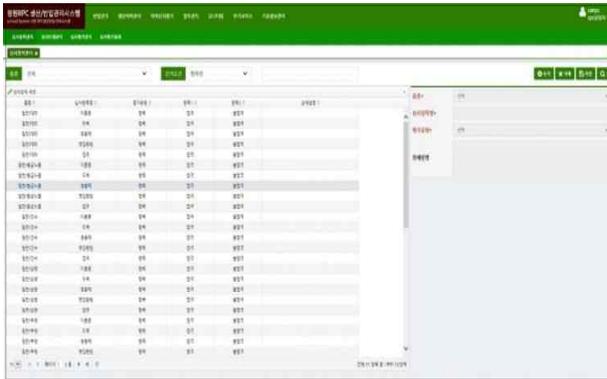
반입정보화면



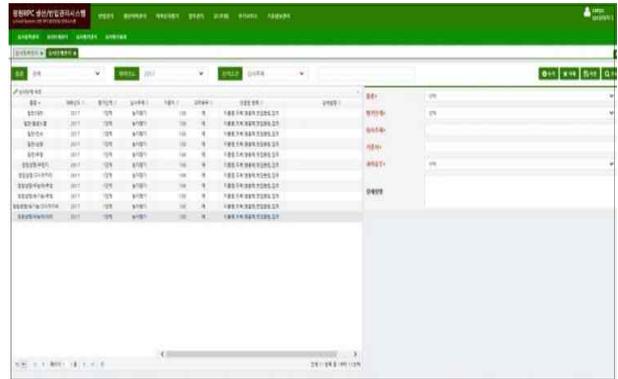
생산이력관리



생산이력일괄등록



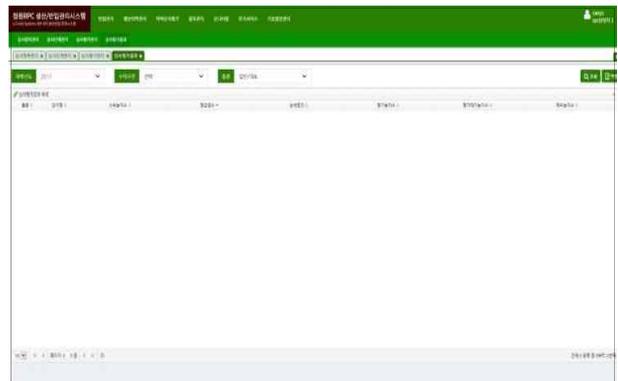
심사항목관리



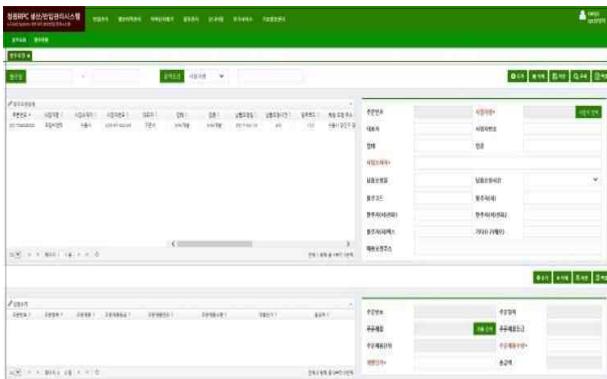
심사단계관리



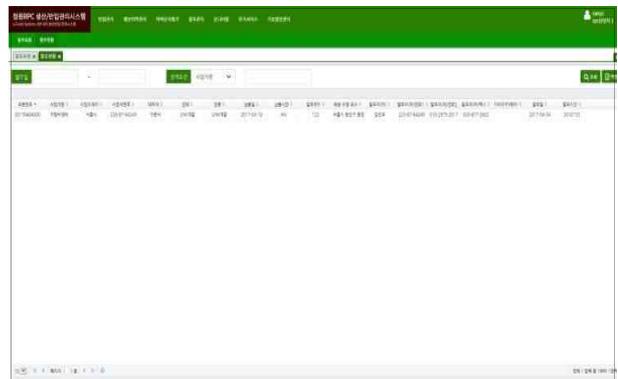
심사평가관리



심사평가결과



발주요청화면



발주현황화면

면구성은 다음과 같았음

- ① **메인화면** : 각 DSC의 사일로별로 재고현황(품종, 특징, 재고량 등)을 표시하는 기능을 추가하였고, RPC내에서 라인별 생산현황을 관리할 수 있는 화면을 추가하여 생산중인 제품정보(주문처, 품종, 브랜드, 포장규격, 등급, 수량, 진행상황 등)를 확인할 수 있도록 구성하였음
- ② **생산관리** : 가공라인별 금일작업계획 수립기능을 추가하여 사용자의 편의성을 높였으며, 가공라인별 금일작업계획을 수립하면 수립된 작업계획에 따라 가공공정이 수행되는 기능을 추가하였고, 작업계획에 따라 생산계획을 관리할 수 있도록 구성하였음
- ③ **원료/재고관리** : Mega RPC와 DSC의 원료재고현황과 품종별 현황을 표시하는 기능을 추가하였고, 표시내용은 저장시설구분, 저장용량, 현재저장량, 저장품종, 등급, 특징, 대표작목반, 재배, 품질, 함수율, 발아율 등으로 구성하였음
- ④ **이력관리** : 이력정보를 직접조회하기 위한 sorting 기능을 추가하여, 조회조건을 설정하여 DB에 저장된 Big Data를 조회할 수 있도록 하였으며, 조회항목은 조회일자 설정, 일별/기간별 조회구분, 주문처, 품종, 저장시설, 가공라인, 이력번호 등이었음
- ⑤ **주문관리** : DB에 저장된 주문정보를 조회하기 위한 sorting 기능을 추가하였으며, 조회조건은 일별/기간별, 조회시작/종료일자, 주문고객, 주문상품, 주문품종으로 설정하였고, 조회내용은 주문일시, 납품일시, 잔여일자, 주문처, 주문규격, 품종, 등급, 수량, 단위, 진행상태, 납품정보 등이었고, 주문고객 정보(사업자번호, 상호, 대표자, 주소, 업종, 업태, 담당자, 전화, 팩스 등)를 입력하는 기능을 추가하여 사용자가 DB를 직접 관리할 수 있도록 하였으며, 저장된 고객정보를 일괄관리 할 수 있는 기능도 추가하였음
- ⑥ **수출관리** : DSC 저장시설의 수출을 조회할 수 있는 sorting 기능을 추가하여, Mega RPC로 이송된 원료의 중량정보와 이력정보를 추적하여 수출정보를 조회 및 관리할 수 있도록 개선하였음
- ⑦ **감모관리** : 반입/건조/저장/가공/이송감모를 관리할 수 있으며, 감모조회 sorting 기능을 추가하여, 반입/건조감모(작목반별, 품종별, DSC별, Silo별), 저장감모(품종별, DSC별, Silo별), 가공감모(품종별, DSC별, Silo별)를 조건별로 조회할 수 있도록 하였음
- ⑧ **반입관리** : Mega RPC로 반입되는 원료의 반입정보를 조회할 수 있는 sorting 기능을 추가하였으며, 조회조건은 조회일자별(일별/기간별), 조회시작/종료일자, 작업구분, 작업제품 등으로 설정하였고, 조회된 반입 이력정보는 엑셀로 출력이 가능하도록 구성하였음
- ⑨ **반출관리** : DSC에 저장중인 원료의 Mega RPC로의 반출정보를 조회하기 위해 sorting 기능을 추가하였으며, 조회조건은 반입관리 조회조건과 동일하게 구성하였음
- ⑩ **출하관리** : 출하정보를 조회할 수 있는 sorting 기능을 추가하였고, 조회조건은 반입/반출관리 조건과 동일하게 설정하였으며, 조회내용은 작업일자, 작업시간, 입출고구분, 작업구분, 작업제품, 작업수량, 작업담당 등으로 구성하였음



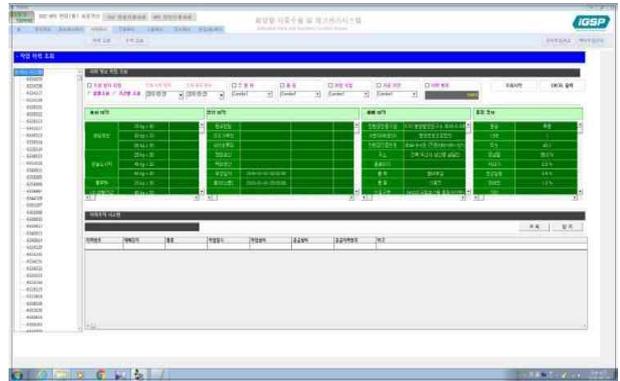
메인화면



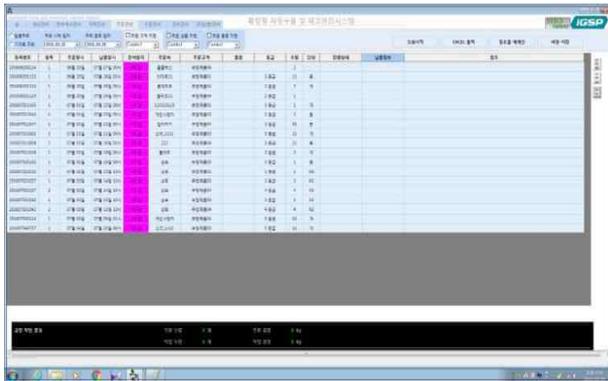
생산관리



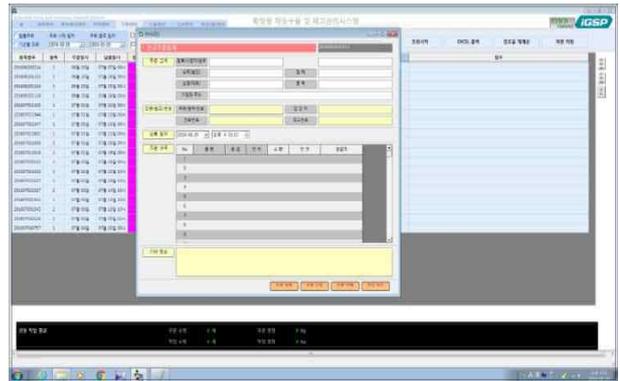
원료/재고관리



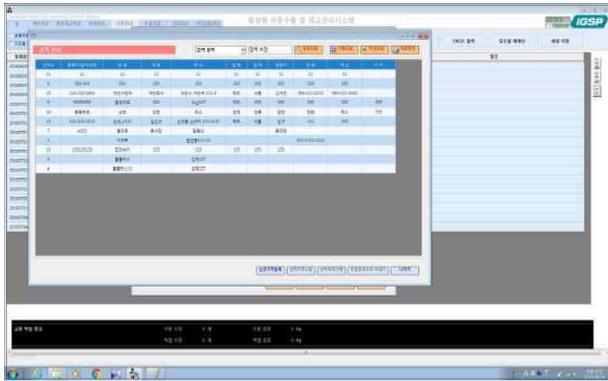
이력관리



주문관리 1



주문관리 2



주문관리 3



수출관리



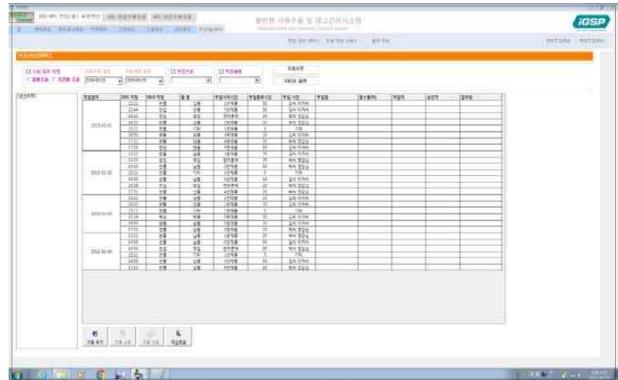
감모관리(반입/건조)



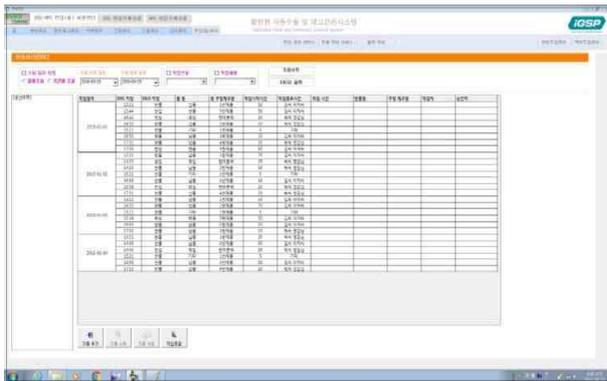
감모관리(가공)



감모관리(저장)



반입관리



반출관리



출하관리

그림 3-2-33. E-YICSM모델 프로그램 화면

(마) E-YICSM의 감모예측 알고리즘 개발

- 감모예측 알고리즘은 ㉠ 인정 감모량을 기준으로 누적배출량에 대한 누적감모량을 산출하고(a), ㉡ 이후 E-YICSM에서 측정되는 감모량을 반복적으로 측정하며(b), ㉢ 누적 감모량의 평균값을 연결하여 제 1감모선을 생성하고(c), ㉣ 실측기간에 따르는 실측 감모량의 평균값을 연결한 제 3감모선을 생성(d)하도록 개발하였음

- ㉔ 단계에서 초기의 누적 감모량의 평균값(제 1평균값)과 이후에 추가적으로 측정되는 감모량과 비교하여 일치하는 경우에는 제 1평균값을 사용하고, 다른 경우에는 제 1평균값과 추가로 측정된 감모량과의 평균값을 산출하여 제 2평균값으로 선택하도록 구성하였음
- 이때, Band-pass filter를 적용하여 복수의 추가로 측정된 감모량 중에서 최대 및 최소값을 제외한 나머지의 평균을 제 2평균값으로 선택하여 오차를 최소화하도록 하였으며, Kalman filtering 알고리즘을 적용하여 제 1평균값, 제 2평균값 또는 다른 지점의 누적 기준 평균값 등을 연결하는 제 2감모선을 생성하고, 이러한 과정을 반복하여 최종적으로 제 3감모선을 생성하도록 개발하였음

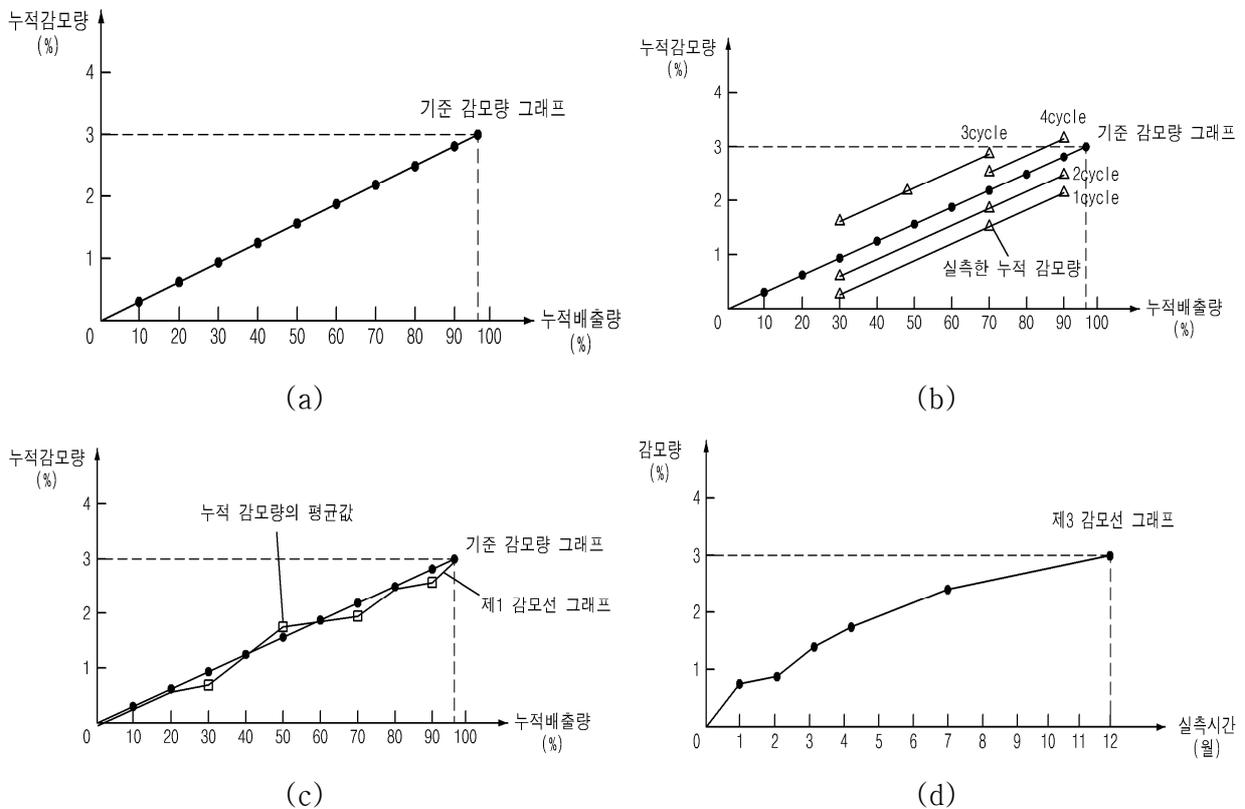


그림 3-2-34. 기준감모량(a), 실측감모량(b), 및 제1 감모선(c) 제3 감모선(d) 그래프

(바) DSC용 YICSM모델 개발

- DSC용 YICSM모델의 주요기능은 ㉑ 원료벼의 투입공정 모니터링, ㉒ 원료벼의 건조공정 중 함수율 및 중량정보 표시, ㉓ 원료벼의 저장공정 중 저장 및 배출관련 모니터링 등이었으며, 세부내용 및 YICSM의 화면구성은 아래 그림과 같았음
- ① 투입공정 : DSC의 투입구로 반입되는 원료벼가 조선기를 통해 정선되는 공정을 신호로 모니터링 할 수 있으며, 이후 호퍼스케일을 통과하여 측정되는 함수율 및 중량정보를 표시하도록 설치하였음

- ② **건조공정** : 호퍼스케일을 통과한 원료벼는 함수율별 건조여부를 결정하게 되며, 건조가 필요한 경우 건조기로 이송되어 투입하고, 목표함수율에 도달할 때까지 건조공정을 수행하며 이를 모니터링할 수 있도록 구성하였음
- ③ **저장공정** : 건조된 원료벼는 지정된 저장시설(평타입, 호퍼타입 등)에 투입하게 되며, 저장시설에 설치되어 있는 레벨센서를 통해 투입된 원료벼의 중량을 확인할 수 있으며, 각종 게이트 센서의 신호를 받아 모니터에 표시하도록 구성하였음

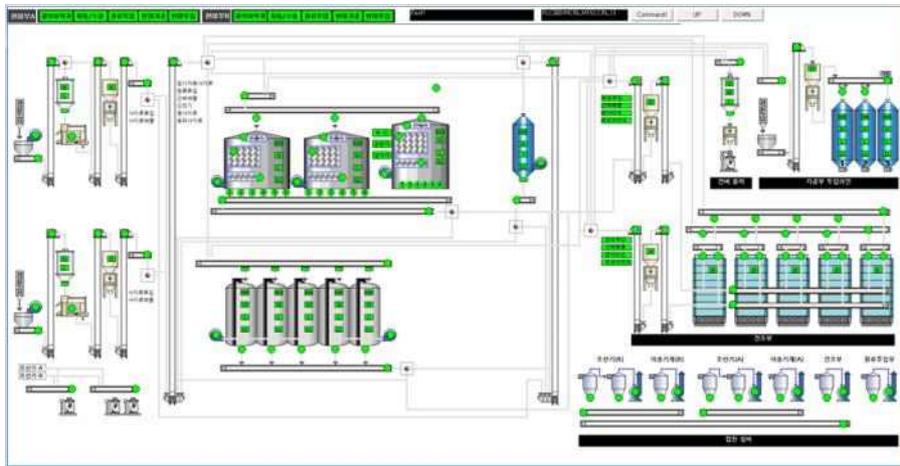


그림 3-2-35. DSC용 YICS 화면

- Mega RPC의 E-YICS와 DSC의 YICS의 통신을 위해 P2P방식의 원격통신 솔루션을 개발하여 설치하였는데, 이는 Mega RPC와 각 DSC를 1대1로 직접 연결하는 통신방식으로서 외부에서 침투하지 못하도록 하는 보안효과를 동시에 갖도록 하였으며, 시스템의 개념도는 아래와 같았음

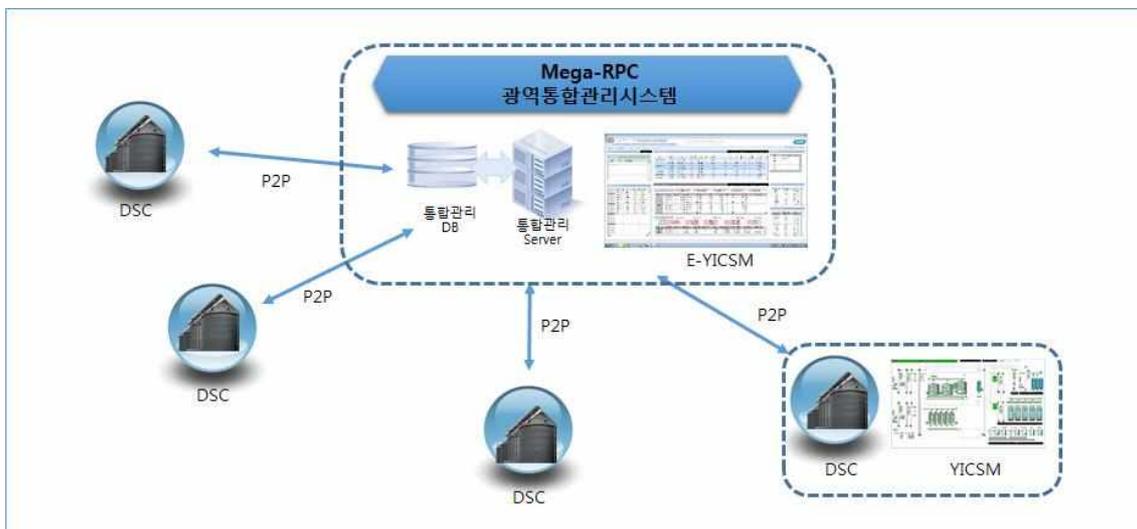


그림 3-2-36. Mega RPC와 위성 DSC간의 P2P 통신방식 개념도

(사) TSRM모델 개발

- TSRM모델은 총 14자리(16진수)의 이력코드가 7자리(10진수)와 인덱싱(indexing)을 통해 매칭(matching)되도록 하였는데, 순차적으로 생성되는 이력코드 14자리는 각각 고유의 의미를 부여받아 생성되지만, 연속적인 숫자가 아니므로 인덱싱을 통해서 7자리(10진수) 이력번호의 9,999,999까지 경우의 수로 처리가 가능함
- TSRM모델의 항목별 번호부여의 상세내용을 아래 표와 같이 설정되며, 각 항목은 년산(1자리), DSC 구분(2자리), 품목(2자리), 품종(2자리), 구분(1자리), 코드구분(3자리), 배출형태(1자리), 배출탱크 번호(2자리) 등으로 총 14자리이며, 인덱싱을 통해서 매칭하여 7자리(10진수)의 자체생산번호와 5 자리의 고유번호를 결합하여 농산물이력추적번호가 사용되도록 하였음

표 3-2-22. 항목별 번호부여 상세내용

자리수	항목	세부내용										경우의 수	
		2015	2016	2017	2018								
0	년산	2015	2016	2017	2018								16가지 0~F(16)
									
									
									
1~2	DSC구분	DSC1											255가지 00~FF(16)
		DSC2											
3~4	품목	쌀											255가지 00~FF(16)
		특수가공미											
		잡곡											
		기타											
5~6	품종	쌀											255가지 00~FF(16)
		특수가공미											
		잡곡											
		기타											
7	구분	작목반	개인									16가지 0~F(16)	
8~10	코드 구분	작목반 코드										4095가지 000~FFF(16)	
		개인코드											
		영농회 코드											
11	배출형태	현미		백미							16가지 0~F(16)		
		통백		포장기									
12~13	배출 탱크번호	배출 탱크번호		소포장							255가지 00~FF(16)		
		1~16번		대포장									
		박스포장 등											

3. u-IT기반 광역통합RPC 통합관리시스템 모델 보완

가. Test-bed의 구축 및 모델보완방법

- 개발된 u-TIMSPM, E-YICSM 및 TSRM 등 u-IT기반 광역통합관리시스템을 농림축산식품사업(고품질쌀유통활성화사업)의 일환으로 u-RPC구축사업을 실시하고 있는 Mega RPC의 기본모델 중 A형 태를 갖추고 있는 청원생명쌀조합공동사업법인RPC(총 8개소 농협RPC가 통합, DSC 총 16개소 보유)에 설치하고, 운영실험을 통해 보완하였으며, 청원생명쌀조합공동사업법인RPC와 협의하에 test-bed로 활용하였음



그림 3-2-37. u-IT기반 광역통합관리시스템의 현장운영실험중인 청원생명쌀조합공동사업법인RPC 전경

- 본 시스템이 본격적으로 사용되기 이전에 운영실험을 통한 시스템 보완을 위해 test-bed의 시뮬레이션을 실시하였는데, Mega RPC와 3개소의 DSC(석우, 신평, 일신)를 네트워크화하여 실시하였고, 이를 위해 시뮬레이션 프로그램을 Visual Basic과 Visual C++를 이용하여 개발하였으며, 시뮬레이션 프로세스는 DSC의 사일로에 초기 원료의 저장량정보를 입력하고, 건조, 가공 및 포장 등의 공정을 진행하는 동안 발생하는 중량 변화 값을 표시하도록 구성하였으며, 중량의 변화에 따르는 재고량, 수율 및 감모량 등을 확인할 수 있도록 개발하였음
- 시뮬레이션 프로세스는 실제 E-YICSM의 화면구성과 동일한 순서로 진행되었으며, 먼저 ㉠ 주문관리 메뉴에서 주문내역을 등록하고, ㉡ 생산계획 메뉴에서 라인별 작업계획을 수립하고, ㉢ 생산관리 메뉴에서 생산계획된 작업시작을 요청하고, ㉣ 공정화면에서 작업진행 현황을 확인하며, ㉤ 감모, 수율, 이력관리화면에서 정보를 확인하는 순서로 구성하였음
- 시뮬레이션 수행 후 가상으로 입력된 원료의 투입량과 투입될 원료의 재고를 확인할 수 있는 화면을 구성하였으며, 연류계를 이용하여 공정별로 측정되는 중량측정결과를 확인하는 화면과 원료부, 현미부, 백미부 및 포장부에 설치되는 각 탱크류에 저장된 원료의 이력정보를 확인할 수 있는 화면을 구성하였음

- 청원생명쌀조합공동사업법인RPC에 설치된 u-IT기반 광역통합관리시스템의 보안을 위해, 시뮬레이션 결과를 이용하여 각 시스템별 모니터링 정보와 내부 알고리즘에 의하여 도출되는 계산 값의 정확도 등을 확인할 수 있는 시뮬레이션을 수행하여 발생하는 문제점을 보완하고 있고, 청원생명쌀조합공동사업법인RPC의 요구사항을 반영하여 시스템의 내용을 보완하고 있으며, 세부적인 연구내용은 다음과 같음

No	기타시설 방문순서	명칭	구 주소	신 주소(도보영주소)
1		오장본점RPC	청원군 오장읍 괴장리 805번지	청원구 오장읍 가곡길 6
2		덕촌DSC	청원군 옥산면 덕촌리 363번지	충북 홍덕구 옥산면 오송가락로 674
3		청남DSC	청원군 남일면 고촌리 474번지	충주시 상당구 남일면 단재로723-11
4		동림DSC	청원군 옥산면 동림리 217-2번지	충북 홍덕구 옥산면 국사오산로 284-17
5		소호DSC	청원군 옥산면 소호리 752번지	충주시 홍덕구 옥산면 소호리 752 (축기 서이대 유지)
6		서평DSC	청원군 관외면 서평리 350번지	충주시 홍덕구 오송읍 서평리 350
7		태성DSC	청원군 감내면 태성리 128-6번지	충북 홍덕구 감내면 태성탑일로 74
8		신성DSC	충주시 홍덕구 신성동 162-1번지	충주시 홍덕구 신성로 148-18
9		원평DSC	충주시 홍덕구 원평동 130번지	충주시 홍덕구 원평동 130
10		원암DSC	충주시 홍덕구 원암동 92-3번지	충주시 홍덕구 원암로 204
11	1	홍두DSC	청원군 오장읍 홍두리 112-1번지	청원구 오장읍 홍두리 111-1
12	6	석우DSC	청원군 오장읍 석우리 374번지	충주시 청원구 오장읍 석우리374
13	5	신평DSC	청원군 오장읍 신평리 790번지	청원구 오장읍 각리가곡길 182 (제이비피유대관용)
14		일신DSC	청원군 오장읍 일신리 339번지	청원구 오장읍 일신리 339
15	4	상대DSC	청원군 가덕면 상대리 331-2번지	충주시 상당구 가덕면 상대리331-2(고은두산로 371)
16		갈원DSC	청원군 남이면 갈원리 190번지	충주시 서원구 남이면 갈원리 190
17		원도DSC	청원군 원도면 죽천리 198-1번지	충주시 서원구 원도면 죽천리198-1(죽천2길 33-36)



그림 3-2-38. 개발된 u-IT기반 광역통합관리시스템 운영실험중인 청원생명쌀조합공동사업법인RPC와 위성 DSC 위치

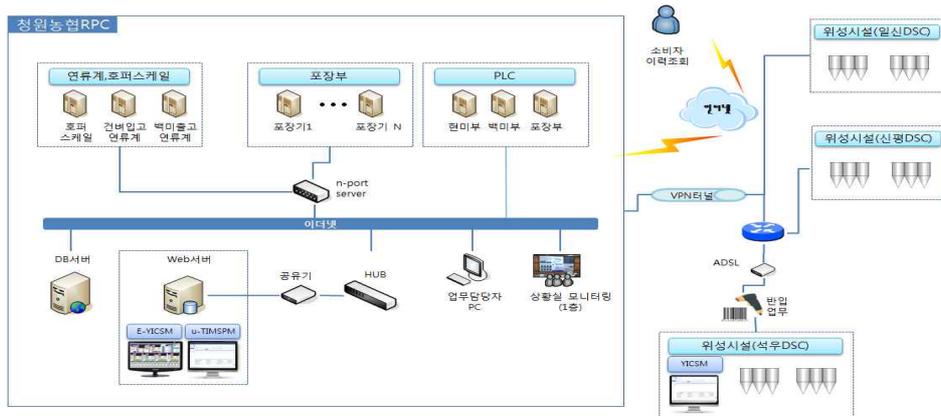


그림 3-2-39. 청원생명쌀조합공동사업법인RPC에 설치한 u-IT기반 광역통합관리시스템 네트워크 구성도

나. 결과 및 고찰

(1) Test-bed 구축

- 개발된 u-IT기반 광역통합관리시스템을 청원생명쌀조합공동사업법인RPC에 설치하였으며, 시스템별로는 제어실에 MMI와 PLC기반의 제어시스템과 연동되는 E-YICSM, Big Data를 처리하는 DB server와 web server가 탑재된 server rack을 설치하였으며, 계약원부조회 및 계약현황조회기능과 계약재배신청서, 계약재배확인서 및 출하통지서를 출력하는 기능을 추가한 u-TIMSPM모델은 사무실과 연계하여 설치하였으며, 상황실에는 u-IT기반 광역통합관리시스템을 실시간으로 모니터링이 가능하도록 통합모니터링 시스템을 설치하였으며, 설치된 모습은 다음 그림과 같았음

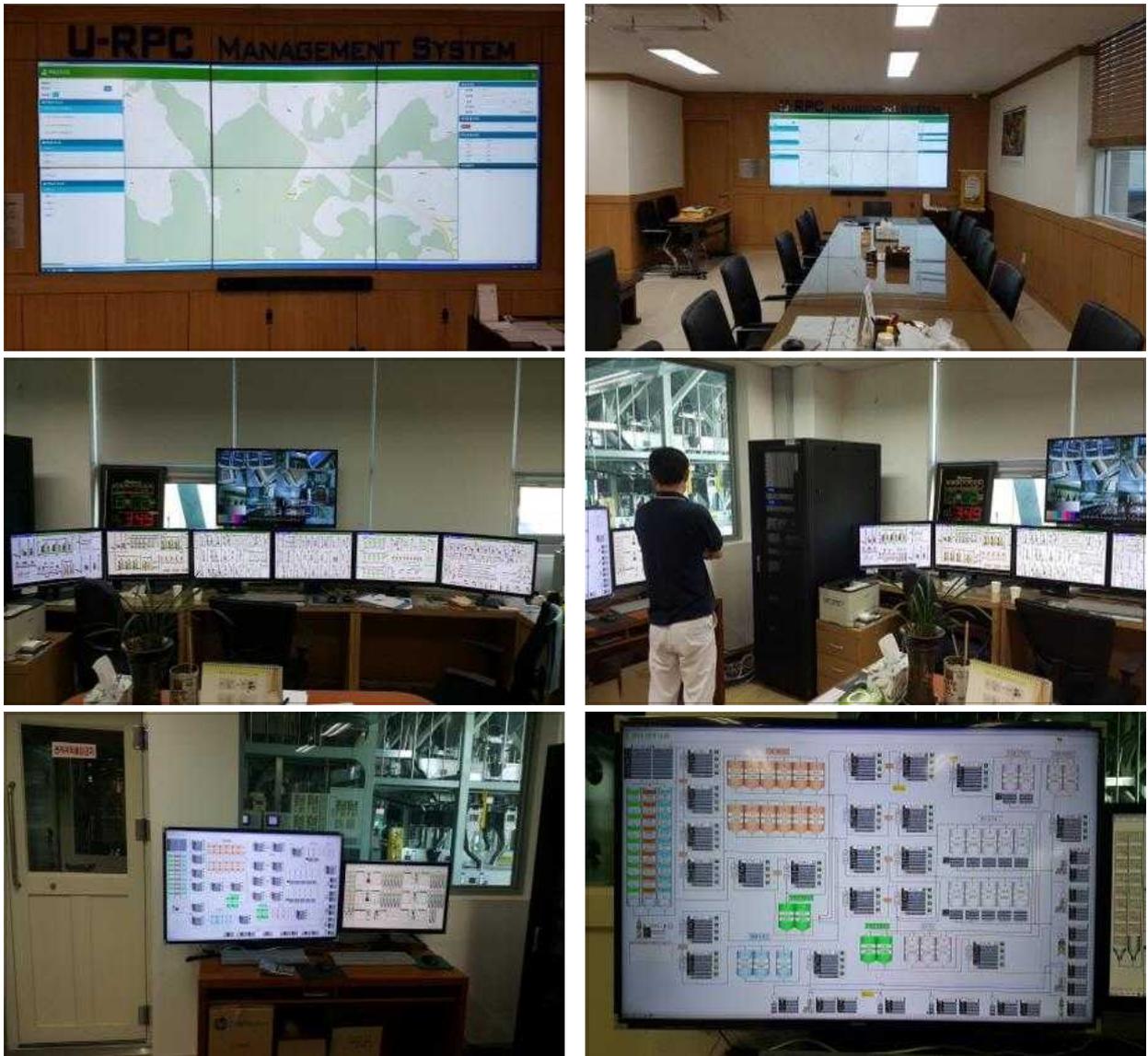


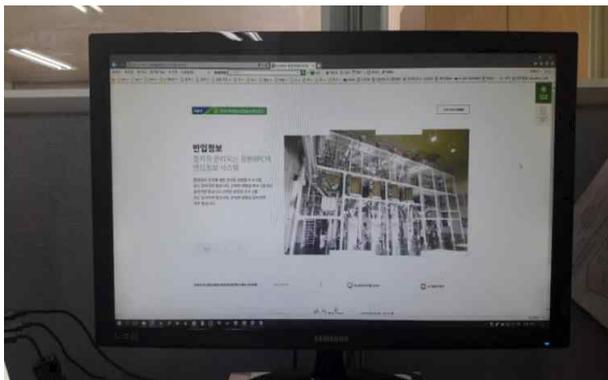
그림 3-2-40. 청원생명쌀조합공동사업법인RPC에 설치된 u-IT기반 광역통합관리시스템



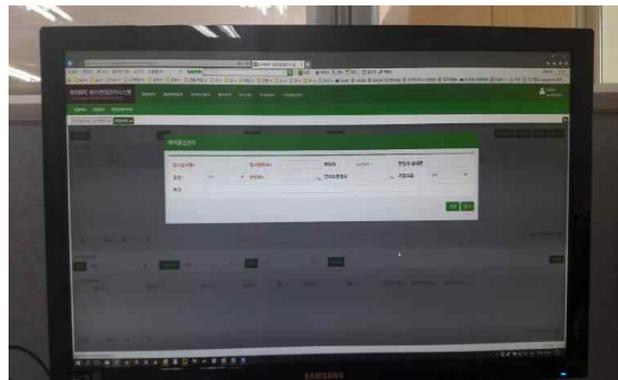
그림 3-2-41. 청원생명쌀조합공동사업법인RPC에 설치된 u-IT기반 광역통합관리시스템의 Web/DB server rack

표 3-2-23. 설치된 Web/DB server 및 장치 사양

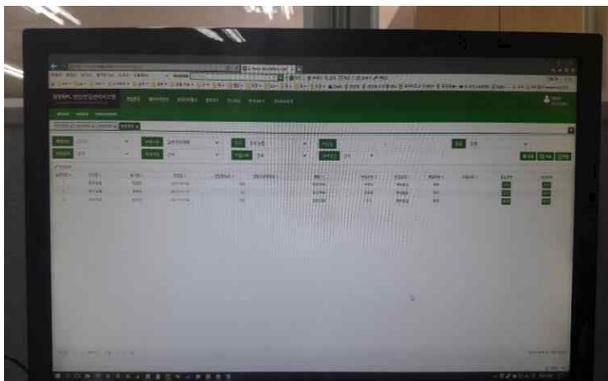
구분	세부정보	비고
DB server	DL160 Gen9[2.4GHz, 1P/6C, 16GB Memory, 1TBx4ea HDD]	u-TIMSPM/ E-YICSM/ TSRM
Web server	DL160 Gen9[2.4GHz, 1P/6C, 16GB Memory, 1TBx4ea HDD]	
Rack/PDU	Rack (37U) / PDU(2EA)	
UPS	1상-1상 3KVA(랙마운트형)	



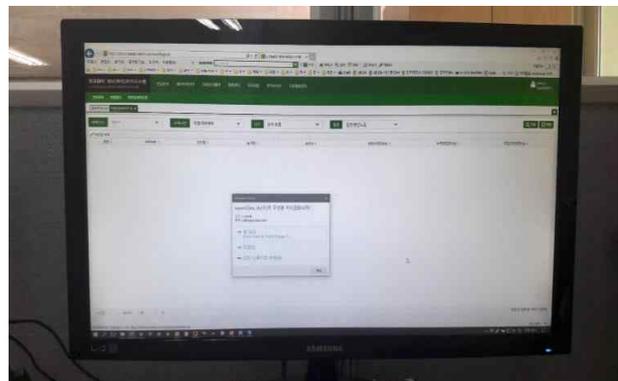
로그인 화면



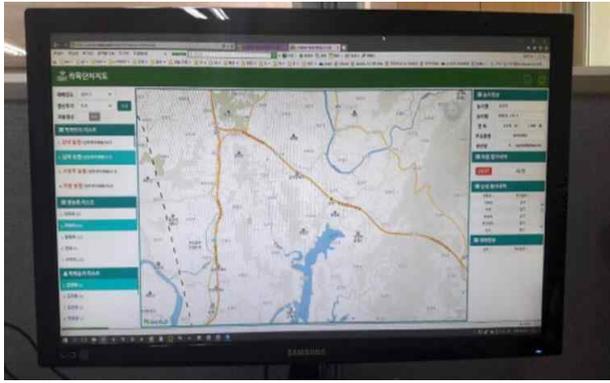
반입(예비품질검사) 화면



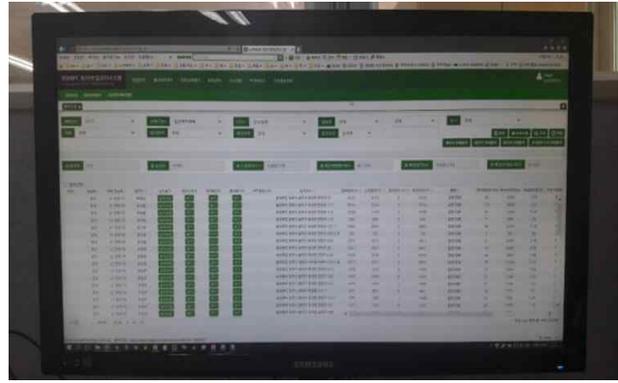
반입정보 화면



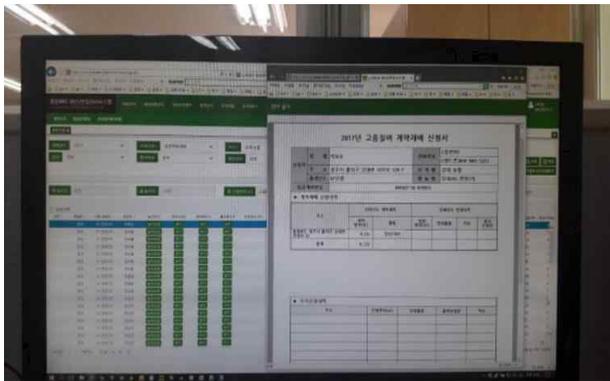
모니터링-반입현황 화면



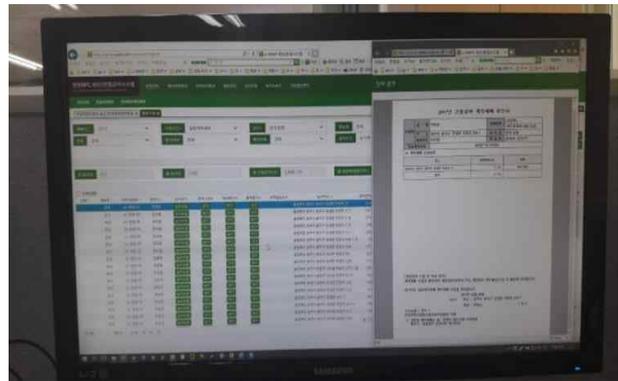
모니터링-단지지도 화면



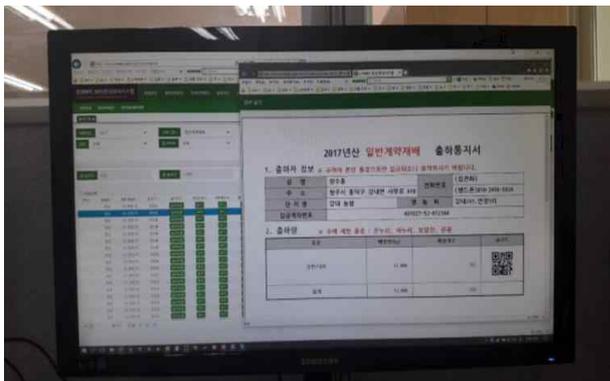
원부조회 화면



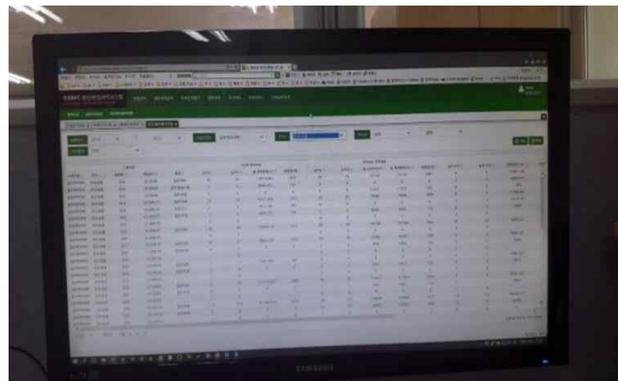
계약재배신청서 출력 화면



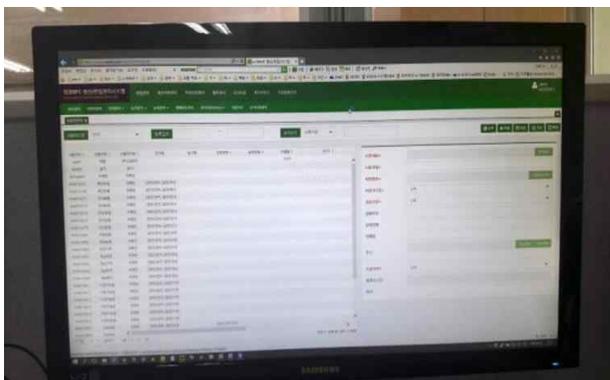
계약재배신청확인서 출력 화면



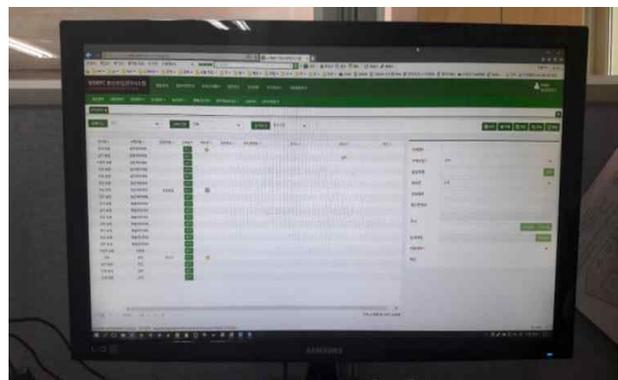
출하통지서 화면



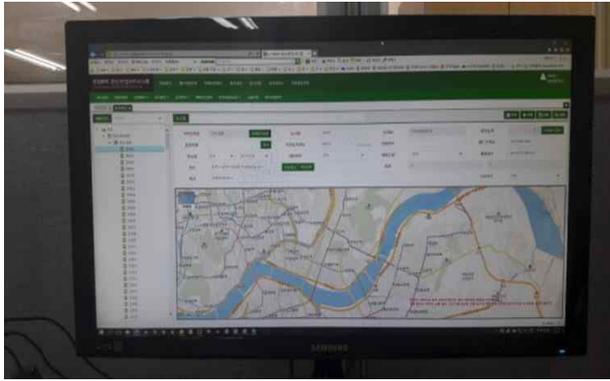
전년대비계약현황 화면



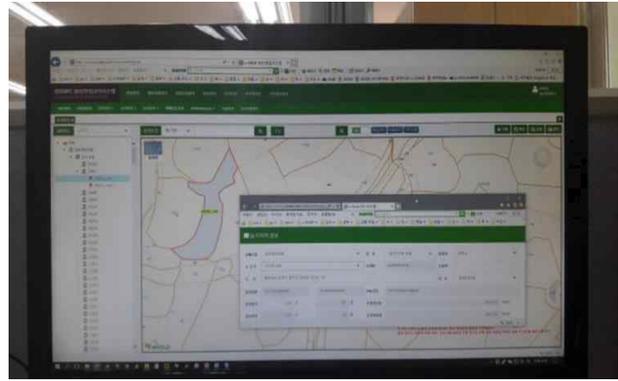
사용자관리 화면



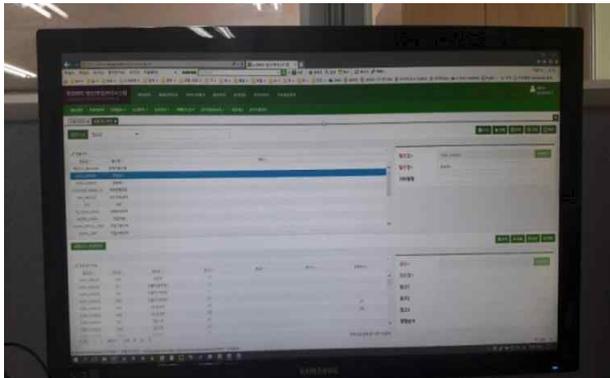
단지관리 화면



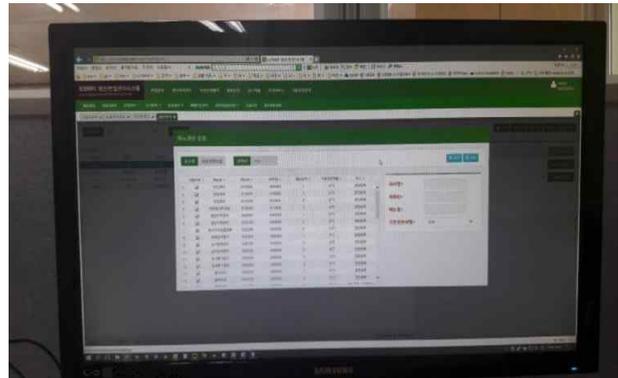
농가관리 화면



농지관리 화면



(관리자)공통코드관리 화면



(관리자)권한관리 화면

그림 3-2-42. 청원생명쌀조합공동사업법인RPC 사무실에 설치된 u-TIMSPM 모니터링 화면

- 3개소의 DSC에는 YICSM을 설치하였고, 아래 그림과 같이 반입정보를 표시하는 전광판을 설치하였으며, 사무실에는 PLC와 MMI가 연동된 YICSM이 탑재된 모니터링 PC를 설치하였음



전광판 설치모습



YICSM 설치모습

그림 3-2-43. 석우DSC에 설치된 반입관리용 전광판 및 YICSM 설치모습

- E-YICSM은 기존의 u-RPC모델과는 달리 Mega RPC를 대상으로 개발된 것으로 ㉠ 다양한 생산제품에 대한 주문기능, ㉡ 생산관리기능, ㉢ 소속 DSC의 관리기능, ㉣ 새로 추가된 감모예측 알고리즘이 탑재되었으며, 이는 청원생명쌀조합공동사업법인RPC의 server에 접속할 수 있도록 구성하였음

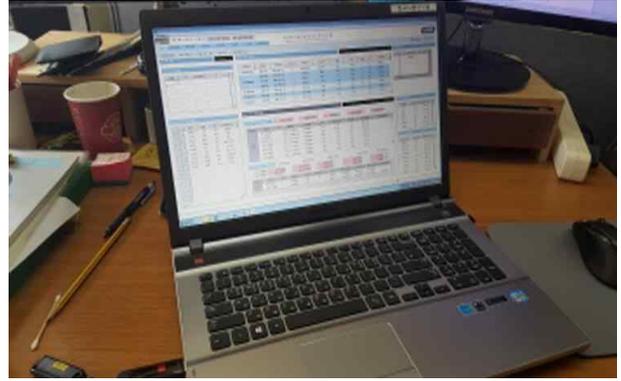
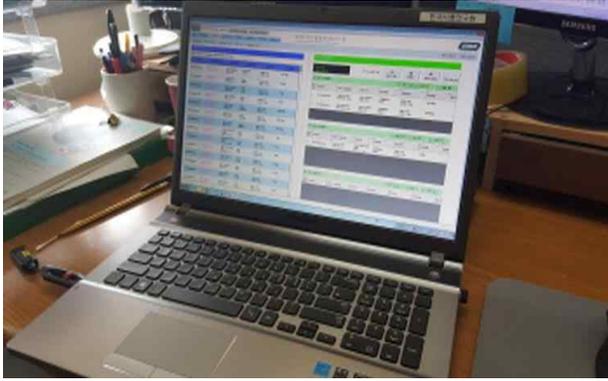
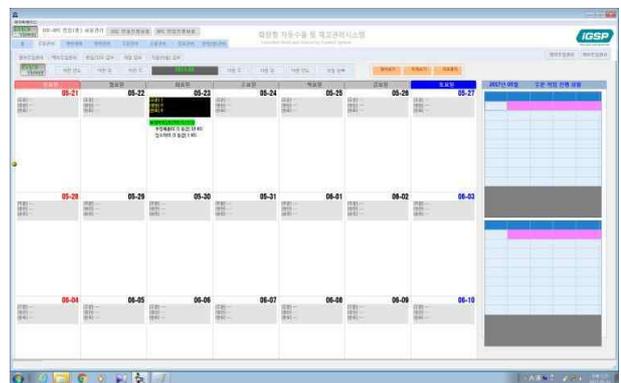


그림 3-2-44. Test-bed에 대한 시뮬레이션 프로그램이 설치된 모습

- ① **주문관리** : Test-bed의 시뮬레이션을 수행하기 위해서 주문관리 메뉴에서 날짜별로 주문내용을 입력하며, 입력정보는 주문처, 주문제품, 수량 등을 입력하도록 구성하였으며, 입력된 주문내역을 일자별, 주별, 월별, 연도별로 조회가 가능하도록 하였음
- ② **생산계획** : DSC에서 Mega RPC로 투입된 원료를 대상으로 생산계획을 수립하는 경우, 미 분류된 주문내역을 선택하여 생산라인별로 생산계획 목록을 추가하도록 하였으며, 생산계획에 추가된 목록에 따라 생산공정이 실시됨
- ③ **생산관리** : 수립된 생산계획을 조회하여 생산라인별로 주문내역, 작업내역, 작업경로, 진행상태를 확인할 수 있는 메뉴이며, 주문내역으로는 주문번호, 주문 및 납품일자, 주문고객, 주문내역 등으로 구분되고, 작업내역은 작업내역 및 작업물량으로 구분되고, 작업경로는 원료저장, 원료반입, 현미탱크, 백미탱크 및 포장탱크를 확인할 수 있도록 구분하였으며, 진행상태는 완료, 취소, 대기 및 일시정지 등으로 나타내도록 하였음
- ④ **운전화면** : DSC에서 Mega RPC로 반입된 원료는 주문관리에 따라 생산계획이 수립되고, 생산계획에 따른 라인별 생산공정이 수행되어 제품이 생산되는 공정은 운전화면의 각 저장시설에 표시되는 중량정보를 통해서 확인이 가능하며, 중량변화에 따라 수율, 감모, 재고량 등을 확인할 수 있으며, 감모예측 알고리즘을 통한 감모량을 확인할 수 있도록 하였음



주문관리 초기화면



주문정보 확인화면



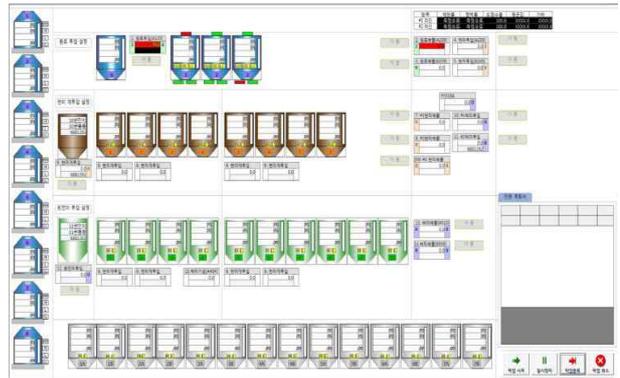
생산계획 화면



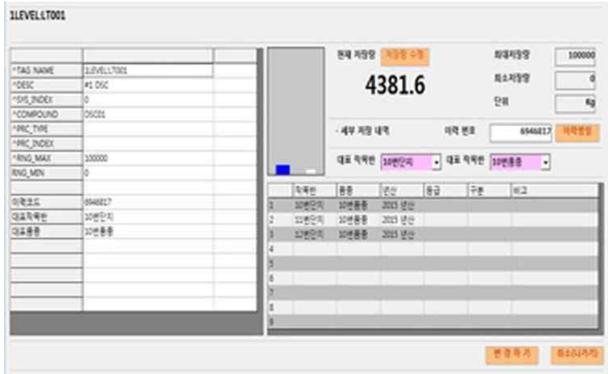
생산관리 화면



초기화면



시뮬레이션 운전화면



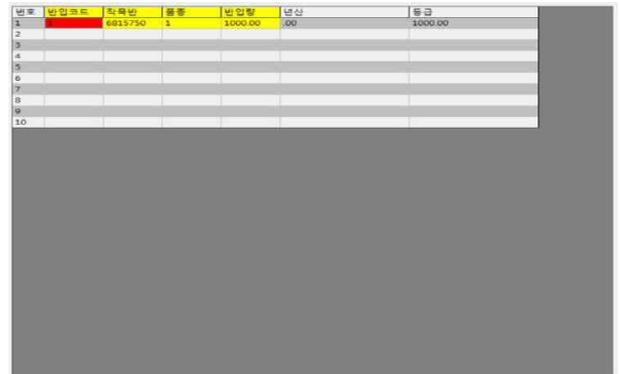
투입원료의 중량정보



저장시설별 원료재고현황



각 연류계별 중량추정결과



탱크별 원료의 이력정보

그림 3-2-45. E-YICSM의 test-bed 시뮬레이션 화면

(2) 운영실험을 통한 모델 보완

(가) 바이러스 침투 문제보완

- u-IT기반 광역통합관리시스템의 test-bed에 총 2회의 서버 접속불가를 확인하여 원인을 파악한 결과, 랜섬웨어(ransomware) 바이러스가 침투하여 로그인 및 DB접속이 불가능한 것을 확인하였으며, 보안 솔루션의 설치 등 보완조치를 실시하였음

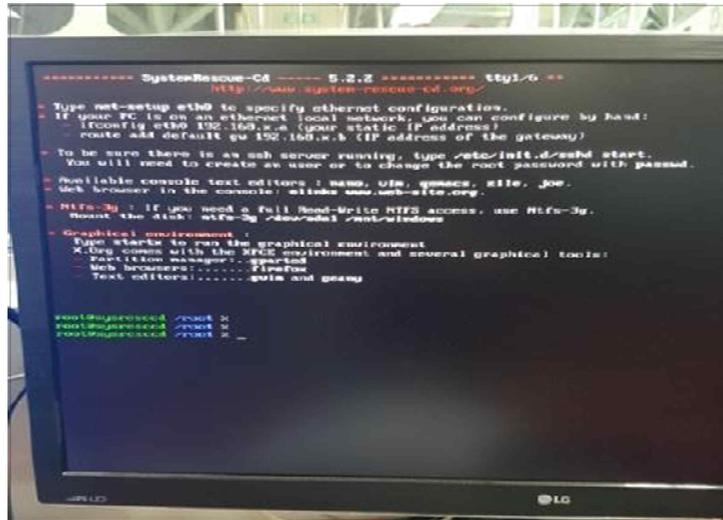


그림 3-2-46. 청원RPC u-TIMPSM에 바이러스 침투의 확인 화면

- 1차 랜섬웨어 바이러스 침입은 2018년 2월 26일로서 랜섬웨어 암호 해독 프로그램 구동하였으나 복구가 되지 않았으며, 사이버 보안업체 및 바이러스 관리업체의 업무지원을 받았지만 변종 랜섬웨어로 복구 불가 결정통보를 받았고, DB서버 OS 재설치 및 DBMS 설치하는 것으로 보완하였음
- 2차 랜섬웨어 바이러스 침입은 2018년 5월 8일로서 ILO(HP 원격접속 서비스)로 DB서버 OS를 재설치하고, OS 보안/취약점의 업데이트로 프로그램을 보완하는 패치(patch)작업을 실시한 후, DBMS 설치를 완료하고 백업 데이터를 복구한 다음, 침입방지 솔루션을 설치한 다음, 패스워드 변경 및 매일 DB를 백업하는 등 보완대책을 수립하였으며, 향후 본 시스템의 보완시 보안부분에 대한 세밀한 설계가 필요하였음

(나) 통합관리시스템 DB 보완

- 기 개발한 광역통합관리시스템모델의 DB는 청원통합RPC의 시스템 구성 및 관리항목 등과 차이가 있어 청원생명쌀조합공동사업법인RPC의 요청을 반영하여 DB를 보완하였는데, 주요 항목은 기초정보인 RPC정보, 사용자정보, 관리자 및 메뉴정보, 게시관관리정보, 원료/재고/반입정보, 시스템 관리정보 등이었으며, 세부내용으로는 반입관리, 계약재재관리, 주문관리, 생산관리업무 등이었음

- 반입관리업무의 작업 process는 품질측정(QI), 반입스케줄링, 수확/반입확인, 예비품질검사, 투입구지정 등으로 구성하였고, 원료재고관리업무의 작업 process는 원료반입, 건조/저장, 저장관리, 반출승인, 원료반출 등으로 설계하였음. 또한, 주문관리업무의 작업 process는 주문발주, 주문접수, 재품재고확인, 생산계획, 원료재고확인 등이었고, 생산관리업무의 작업 process는 원료반입, 생산/가공, 품질측정, 포장/인쇄, 출하 단계로 하였음
- 계약재배관리업무의 생성이력정보는 계약필지, 평가정보이며, 저장될 DB내용은 필지정보, 재배이력정보, 품질이력정보로 구분하였음. 반입관리업무의 생성이력정보는 수확량, 품질정보이며, DB내용은 사용자 로그, 품질정보, 반입/출 정보 등이었고, 원료재고관리업무의 생성이력정보는 감모, 원료재고량이었으며, DB내용은 건조품질, 저장품질, 반입/출하 정보로 설계하였음
- 주문관리업무의 생성이력정보는 통계, 판매량으로 구성하였고, DB내용은 주문정보, 포장재재고, 생산이력정보 등으로 설계하였음. 또한 생산관리업무의 생성이력정보는 수율 및 감모이었으며, DB내용은 품위/등급, 식미/품질, 부산물 등이었고, 구성도는 아래 그림과 같았으며, 논리DB와 물리DB구성은 아래 그림과 같았음



그림 3-2-47. 통합관리시스템의 업무별 작업 process별 생성정보 및 DB정보

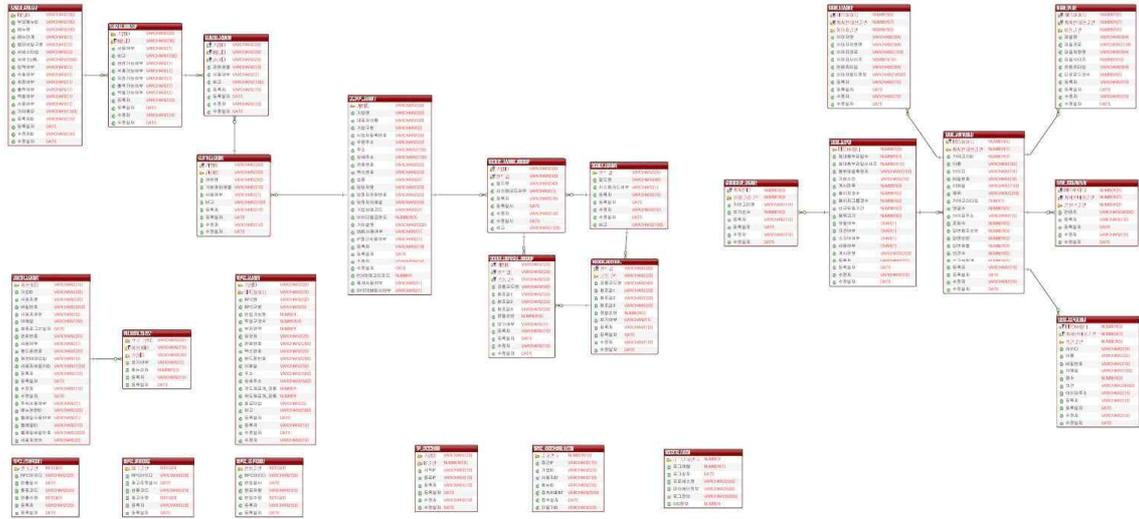


그림 3-2-48. 통합관리시스템의 논리DB 관계도



그림 3-2-49. 통합관리시스템의 물리DB 관계도

○ 각 단계별로 수집항목과 분석활용항목을 u-RPC에서 개발한 내용을 다음 표와 같이 보완한 다음, 사용자가 DB에 축적된 Big Data를 이용하여 RPC의 운영방법 개선에 활용할 수 있도록 다양한 표현방법으로 구현이 가능하도록 지속적인 연구가 필요하였음

표 3-2-24. 각 단계별 주요수집항목 및 분석활용 항목

단계	구분	항목	세부내용
계약재배	주요	필지정보	필지수, 필지위치, 필지구모
	수집항목	재배이력정보	품종, 시비량, 방제량, 출수일, 함수율, 잎 색도 등

	분석활용 항목	품질이력정보	수율, 노린제 피해, 품종, 정상립/미숙립 비율 등
		영농지도(필드)	토지지력 향상방안
		영농지도(재배)	품종추천, 기후 및 토양별 재배법
		반입계획(RPC)	등급별 구분수매, 시설확충, 계약재배강화
		경영계획수립(RPC)	품질향상방향, 등급별 생산계획
반입관리	주요 수집항목	품질측정(QI)	잎 색도, 함수율, 수확량 예측, QI(Quality Index)
		예비품질검사	품종, 반입량, 품질, 함수율, 병충해유무 등
		반입/출 정보	중량정보, 사용자 로그, 보안관련 정보
	분석활용 항목	영농지도(필드)	최적 수확시기 결정
		영농지도(재배)	품종추천, 기후 및 토양별 재배법
		반입계획(RPC)	반입스케줄링, 홍수반입 방지, 고른 고품질 유지
		원료보안(RPC)	승인절차 후 반입수행
원료재고 관리	주요 수집항목	중량정보	호퍼스케일 및 연류계를 이용한 중량 모니터링
		감모정보	이송, 건조, 저장 감모량 산출
		반입/반출 로그	반입/반출 사용자 로그 저장
	분석활용 항목	재고관리	주문관리 및 생산계획 수립시 활용
		감모분석 및 개선	감모발생 원인 분석 및 개선
		반입/반출 관리	반입/반출시 보안유지
주문관리	주요 수집항목	주문정보	주문처, 주문량, 주문일자 등
		생산이력정보	제품명, 품종, 생산일자, 생산라인 등
		포장재재고	포장재 종류, 포장재 재고현황 등
	분석활용 항목	주문통계	주문처/기간/품종별 주문통계현황 조회
		생산통계	제품/품종/생산라인별 생산현황 및 수율 조회
		포장재관리	포장재 사용현황, 파포율 등 고려 포장재 개선계획
생산관리	주요 수집항목	수율/감모	가공수율 및 가공감모 산출
		품위/등급	제현율, 도정수율, mass balance, CBB index 등
		식미/품질	Protein, amylose, 식미, 품위 등
		부산물	청치, 싸라기, 피해립 등
	분석활용 항목	수율/감모관리	수율 및 감모 개선
		품질관리	가공 품질 개선
		부산물관리	부산물 활용계획 등
		운영관리	연간 가공계획, 수율계획, 등급별 판매량계획 등

(다) 통합관리시스템 Web/mobile 프로그램 알고리즘 및 화면보완

- 광역통합관리시스템의 test-bed에 대한 시뮬레이션 및 운영실험 과정 중에 알고리즘의 보완이 필요한 항목과, 이에 따른 화면구성을 보완하였으며, 그 결과는 다음과 같았음

- 계약재배관리단계에서는 Web 프로그램 화면에서는 작목단지지도에서 단지별 농가를 선택하고, 선택된 농가의 농가명, 농지명, 면적, 주요품종, 생산량 등의 생산/재배이력정보를 확인하고, 구역별 화면 표시 단위는 시군구단위, 읍면동단위, 동 단위로 확인할 수 있도록 보완하였음



그림 3-2-50. 통합관리시스템 계약관리단계의 수정된 web 화면

- 원료재고관리단계에서는 사일로에서의 원료의 이동이 자체 또는 타 사일로와의 로테이션, 톤백배출, 사일로 건조후 취합 등 목적별로 구분이 가능하도록 RPC에서의 요구사항과 배출 gate의 작동신호로 판단할 수 있도록 알고리즘을 수정하였음

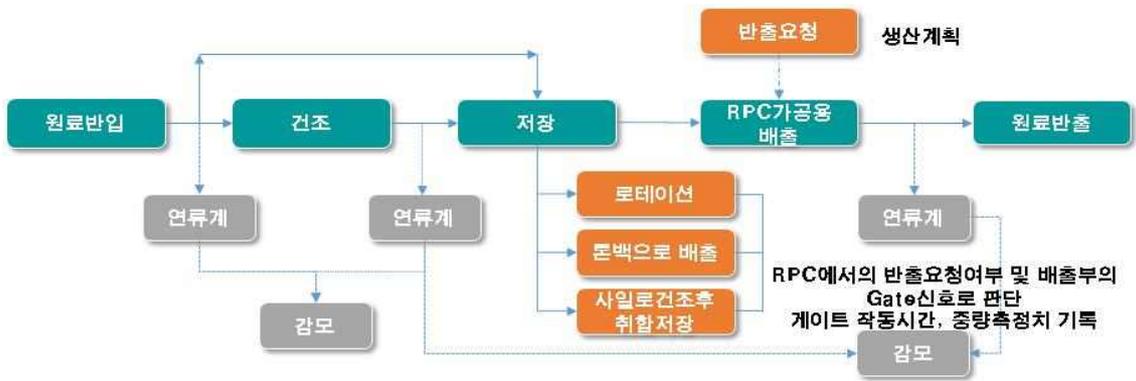


그림 3-2-51. 보완된 원료재고관리 프로세스 알고리즘

- DSC 원료의 반입 및 반출관리단계에서는 RPC에서 요청되는 반출지시에 따라 사용자의 승인요청과 반출승인 단계를 추가하였으며, DSC 사용자는 로그인 없이 silo 배출 gate가 미작동 되도록 알고리즘을 개선하였음

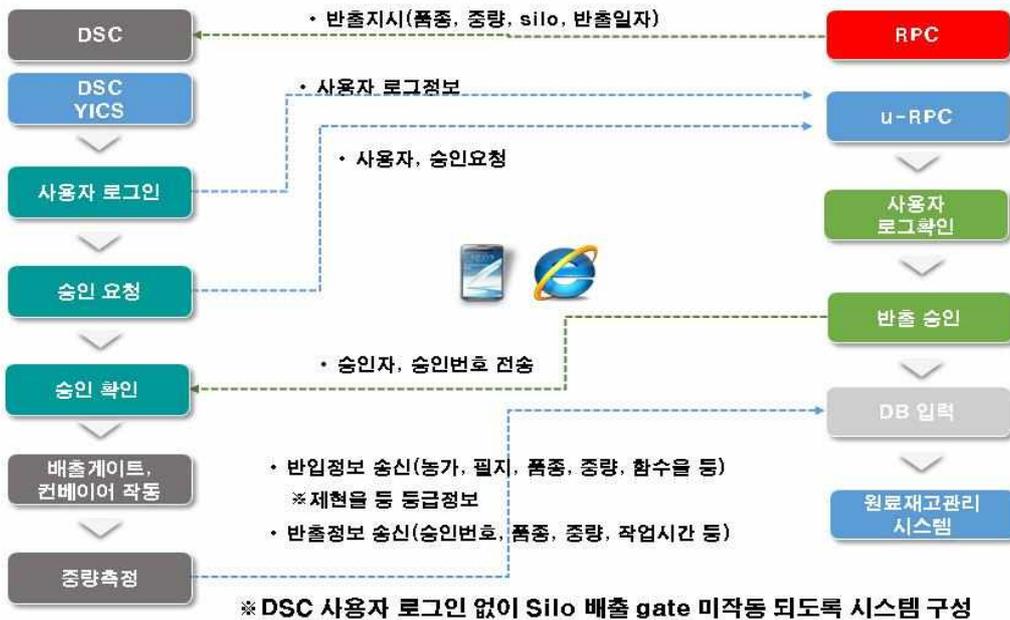


그림 3-2-52. 보완된 DSC 원료 반입/반출관리 프로세스 알고리즘

- 주문에 따른 원료준비단계에서는 on-line, off-line으로 주문을 접수받고, 재고확인 후 생산계획을 수립하도록 구성하였고, 이에 따라 생산량 대비 원료의 반출요청을 DSC로 요청하도록 절차를 세분하여 알고리즘을 보완하였음
- 주문관리를 위해 발주요청 및 발주현황관리 화면을 개발하고, 발주요청화면에서는 주문이 요청된 내용을 입력하는 기능과 발주요청업체 정보(주문번호, 사업자명, 사업소재지, 사업자번호, 대표자, 업태, 업종, 납품요청일, 납품요청시간 등)를 확인하는 기능을 포함하고, 각 정보별 조화가 가능한 sorting 기능을 탑재하였음
- 또한, 발주현황관리화면을 추가하여 발주요청화면에서 입력된 발주내용을 발주일별, 검색조건별로 조화가 가능하도록 하였고, 엑셀 프로그램과 연동하여 인쇄하여, RPC 운영 및 관리자의 편리성을 높이도록 보완하였음

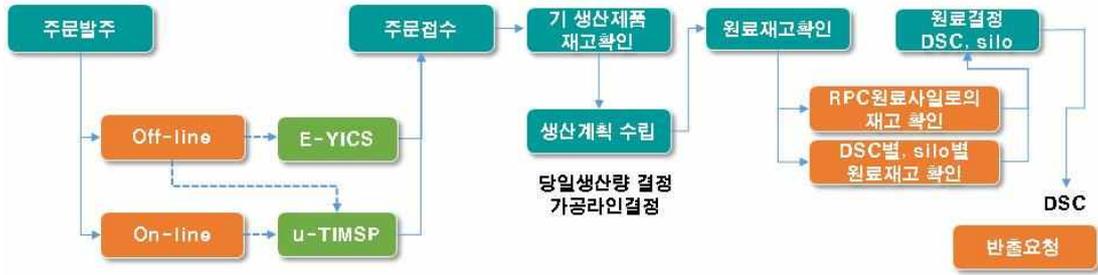


그림 3-2-53. 보완된 주문관리/원료준비 프로세스 알고리즘

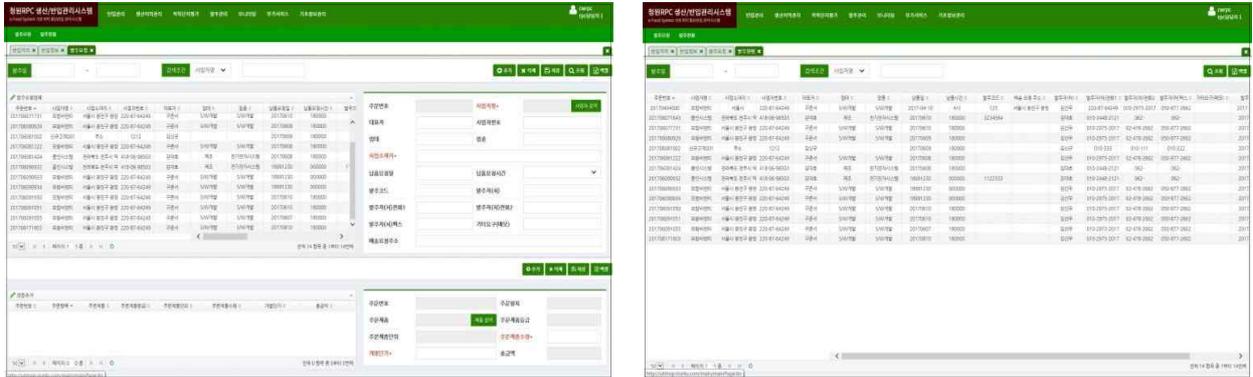


그림 3-2-54. 보완된 발주요청 및 방주현황관리 Web 프로그램 화면

- 생산관리단계에서는 원료가 반입되고, 생산(가공)공정을 거친 다음, 생산된 제품의 품질을 측정하고, 제품탱크별로 포장지시하여 포장 및 인쇄공정을 통해서 제품의 출하를 요청 및 확인하도록 보완하였고, 또한 CEO용 mobile application에서는 생산시 고려가 필요한 제품재고, 원료재고, 포장지재고, 부산물재고를 확인할 수 있도록 보완하였음

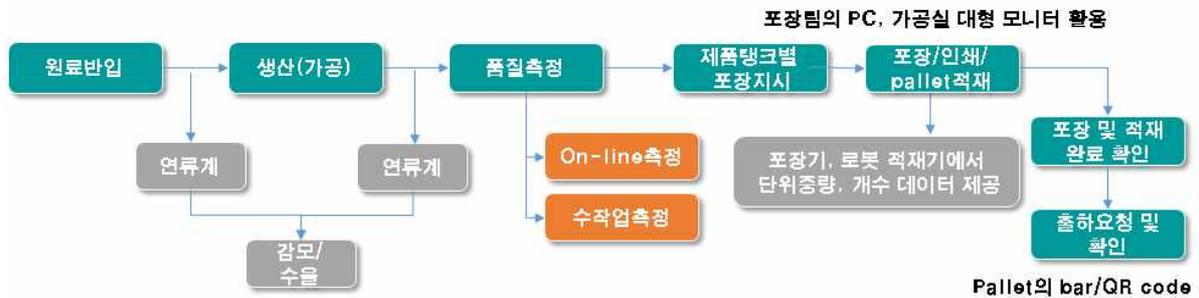


그림 3-2-55. 보완된 생산관리 프로세스 알고리즘

(라) 통합관리시스템 이력추적번호 체계 보완

- 당초 이력번호 체계는 Mega RPC에 속하는 sub RPC 및 DSC의 고유번호, DSC에 속한 필지별 이력번호, 사일로 lot번호 등으로 13자리(16진수) 이력코드를 생성하고, 1자리(16진수)의 연도와 결합하여 총 14자리(16진수)의 이력코드를 생성한 후, 7자리(10진수)의 이력관리번호와의 인덱싱(indexing)을 통해 이력번호 7자리로 매칭(matching)하는 방법으로 개발하였음
- 그러나, 이 방법은 DB와 연동시 제품이 가공공정을 통해 생산되는 과정에서 생성되는 lot 번호와 이력정보의 양이 증가함에 따라 증가하는 경우의 수 처리로 시스템 성능저하 즉, 속도가 늦어지는 원인이 될 수 있어 새로운 이력추적번호체계를 적용하였는데, 연도 2자리와, 각 처리방법별로 생성되는 이력번호를 나머지 5자리로 생산순서에 따르는 일련번호로 매칭하는 방법으로 개선하였으며, 생성된 이력번호 및 bar-code등을 직접 입력하거나 스캔하여 제품의 생산, 품질, 재배이력정보를 web/mobile 프로그램화면(http://utimsp.rice4u.com/)에서 확인할 수 있도록 하였음

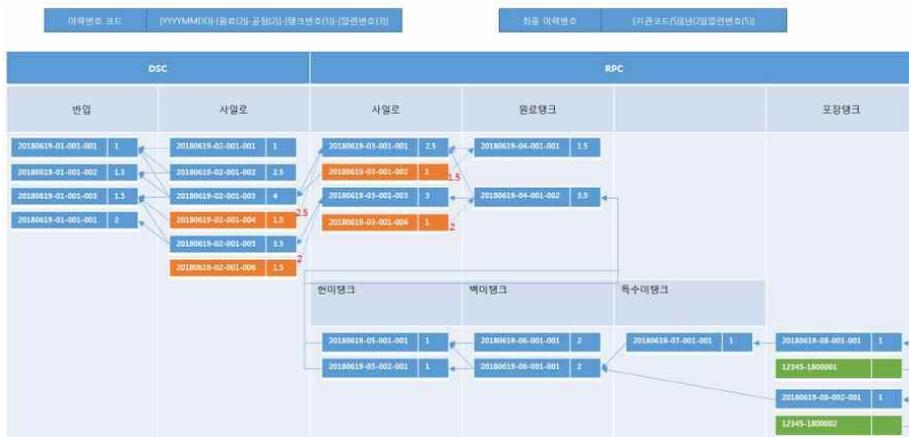


그림 3-2-56. 개선된 내부 이력추적번호 구성 및 lot 번호와의 매칭방법



그림 3-2-57. Mobile 프로그램 화면(제품이력정보)

4. 통신 Protocol 및 PLC memory map기준 개발

가. 개발방법

- Protocol은 컴퓨터와 단말기 사이 등에서 정보교환이 필요한 경우, 정보의 송수신을 정확하게 수행하기 위해 정한 여러 가지 통신규칙과 방법에 대한 약속 즉, 통신 규약을 의미하며, TCP/IP는 패킷 통신 방식의 인터넷 프로토콜인 IP(Internet Protocol)와 전송조절 프로토콜인 TCP(Transmission Control Protocol)로 이루어짐(한빛아카데미(주))
- IP는 패킷 전달여부를 보증하지 않고, 패킷을 보낸 순서와 받는 순서가 다를 수 있으며, TCP는 IP위에서 동작하는 프로토콜로, 데이터의 전달을 보증하고 보낸 순서대로 받게 해주고, HTTP, FTP, SMTP 등 IP를 기반으로 한 많은 수의 어플리케이션 프로토콜이 TCP위에서 동작하기 때문에 TCP/IP라 통칭함(Naver 지식백과)

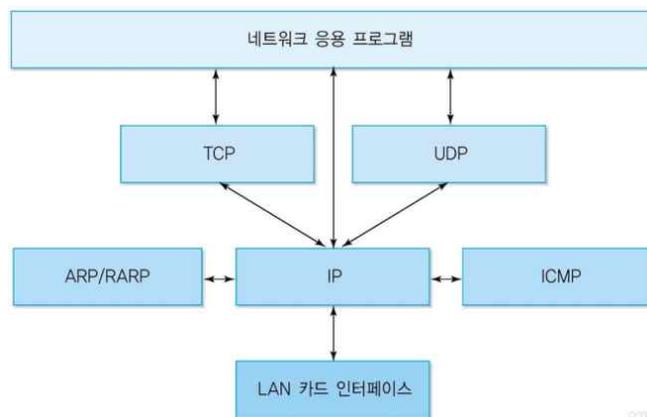


그림 3-2-58. TCP/IP 계층구조(한빛아카데미(주))

- RPC에서 사용하고 있는 통신규격(protocol)은 1stG RPC가 보급되기 시작한 1992년 농협중앙회가 주도하여 정립한 단방향방식의 RS-232방식을 적용하였으며, 2ndG RPC가 보급되는 과정에서 본 연구팀이 개발하였던 u-RPC모델의 일환으로 1:다수방식으로 확장성이 뛰어난 TCP/IP(Ethernet)방식으로 protocol로 전환하자는 주장과, 이 때 제시한 memory map기준이 일부 적용되었으나, 정밀하지 못한 기준제시로 다소 혼란이 많았음
- 광역통합관리시스템의 경우 u-RPC와는 달리 가공시설이외에 다수의 건조저장시설 등이 연결되어 있고, 각 연결부위별 연결해야하는 단위기계의 수가 대단히 많으며, 제조회사별 단위기계 수준도 커서 보다 정밀한 protocol 및 memory 기준의 제시가 필요함
- 따라서 본 연구에서는 u-RPC에서 제안되었던 protocol과 memory map기준을 가공용과 DSC으로 구분하고 보다 세밀하게 개발하기 위하여 수행되었으며, 이를 위해 참여기업과 공동으로 기존 통신 protocol에 대한 기준과, RPC에서 실제 사용중인 PLC memory map을 조사하여 협의를 거쳐 광역통합관리시스템에 적합하면서 타 시공사에서도 용이하게 적용시킬 수 있는 기준을 제안하였으며, 세부적인 연구내용은 다음과 같았음

나. 결과 및 고찰

(1) RPC용 통신 Protocol 및 PLC memory map기준 개발

① 통신 protocol 기준(안)

○ 현재까지 RPC에서 사용되는 통신 프로토콜(protocol)은 RPC보급초기(1992)에 농협중앙회에서 정한 RS-232가 기준방식으로서 당시에는 반입시설에 부착된 호퍼스케일만이 유일하게 통신이 필요한 장비로서 단방향 통신만이 필요하였음

- 기존 통신 protocol : RS-232, Baud-rate 300bps~9600bps, 단방향(Stream), Code ASCII

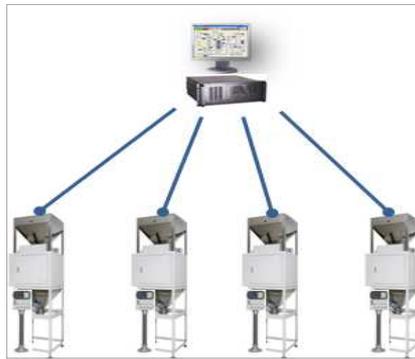


그림 3-2-59. 1991년부터 RPC에 사용된 통신 protocol 기준(RS-232, 단방향 통신방식)

표 3-2-25. 1991년부터 RPC에 사용된 기존 통신 protocol의 Data format

순번	칼럼	구분명	자리수	비고
1	01-06	날짜	6	130101(YMMMDD)
2	07-08	계량장치구분	2	01 : 호퍼 장치번호 장치 고정
3	09-13	전문일련번호	5	개인별 계량횟수 연번
4	14-19	조합원번호	6	조합원 개인별 코드
5	20-22	일일입고연번	3	일일 총계량 조합원수
6	23-31	현재중량	9	소수점 포함 자리수
7	32-41	누계중량	10	소수점 포함 자리수
8	42-46	현재수분	5	소수점 포함 자리수
9	47-52	평균수분	6	소수점 포함 자리수
10	53-53	전문구분	1	1. 첫번째, 0 : 중간, 9 : 마지막
11	54-57	품종구분	4	품번
12	58-58	수송구분	1	1. 조합원직송, 2. 농협, 3. 대행업체, 4. 기타
13	59-59	입고구분	1	1. 매취, 2. 보관, 3. 가공수탁, 4. 기타
14	60-60	공란	1	공란

- 그러나 2ndG RPC의 보급과 함께 중량이 변하는 지점에 설치한 연류계는 물론, 지대포장기, 반자동포장기, 로터리포장기 등 다양한 포장기의 설치 등으로 전체 및 상호간 통신 및 제어를 위한 양방향 통신방식의 도입이 필요하게 되었음
- 또한, 단위기계의 다양화, 시스템 성능향상과 함께 신속한 통신방식이 필요하며, RPC에서 단위기계의 교체, 설치업체의 부도로 인한 A/S 불가능, 타 회사 단위기계의 추가 등의 경우 통일된 기준이 없는 실정으로 신속한 작업이 불가능하고, 시설의 유지보수가 어려운 실정으로 통일된 통신 protocol 기준이 필요함
- 따라서, 본 연구에서는 양방향 통신방식을 적용하기 위해서 TCP/IP Ethernet 통신방식을 적용하되, protocol기준에 대한 제안은 특별한 예외 사항이 아닌 경우를 제외하고는 해당 PLC에서 제공하는 protocol을 따르는 것을 기본으로 하며, 예외의 경우 공용기준은 MODIBUS TCP를 사용하도록 제안 하였고, 상세한 내용은 아래 표와 같음

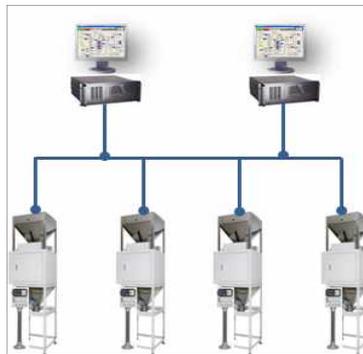


그림 3-2-60. 개선된 통신 protocol (양방향 통신방식)

표 3-2-26. 개선된 통신 protocol 기준(안)

번호	세부내용
1	기본적인 통신방식은 Ethernet TCP/IP방식을 사용함
2	기타 디바이스가 필요하지 않는 경우에 한하여 PLC 제작사에서 제공하는 전용 protocol 사용을 허용함
3	기타 디바이스가 필요한 경우 디바이스 안정성을 확인하고 허용함
4	예외의 경우 MODBUS TCP를 사용함
5	이외의 경우 협의를 통해 진행함
6	E-YICSM과 PLC는 각각의 개별 통신을 권장함
7	단, 복수개 PLC를 E-YICSM과 통신하는 경우 통신속도와 안정성을 보장하여야함
8	기본 사용 메모리 크기 : 999워드
9	기본 사용 메모리 위치 : MW1001~%MW1999
10	시작번지의 이동은 가능하나 전체 구성은 유지함
11	DSC 및 현미, 백미, 포장부 PLC 모두 공통으로 적용됨

② PLC Memory map 기준(안)

- Memory map은 주기억장치의 주소를 기호적으로 표현한 것이며(컴퓨터인터넷IT용어대사전), RPC의 경우 각종 단위기계의 동작명령을 전달하기 위한 번지의 배치를 보여주는 도표나 기호 맵이라 할 수 있는데, RPC에 따라서도 구성형태, 단위기계의 종류, 수량 및 형태가 다르고, 처리능력도 일정하지 않아 memory map을 작업자의 편의대로 지정하여 사용하고 있으며, 작업이 완료된 이후에도 memory map을 RPC에 제공하지 않아 개보수는 물론 고장진단에도 대단히 어려움을 겪고 있음. 또한, 주소할당이 세분화되지 못하여, 단위기계가 추가되어 시설의 규모가 증가하는 경우 memory map의 수정이 불가피하여 보완이 필요하였음
- 본 연구에서는 RPC에서 사용되는 PLC의 memory map을 분석하고, 위탁연구/참여기업과의 협의를 거쳐 memory map준과 현장적용시 제안사항을 아래 표와 같이 제시하였고, 기능 및 제어방식에 따라 메모리를 분류하고, 대상 장비별로 메모리를 할당한 테이블 예제를 아래와 같이 제시하였으며, 또한 보완된 memory map의 table예제를 구동부에 따라 구별하여 제시하였음

표 3-2-27. 개선된 memory map 기준(안)

번호	세부내용
1	E-YICSM와 연계를 위한 memory 이동이 가능하며, 이 경우 100word 단위로 이동
2	기본 memory 설정은 1001번지를 시작으로 2000번지까지 E-YICS를 위한 메모리로 사용
3	②의 경우가 불가능한 경우 1201번지부터 2200번지로 변경 가능. 단, 테이블 순서 유지
4	이외의 경우 1501번지부터 2500번지, 1601번지부터 2600번로 변경 가능
5	이후의 설명은 1001번부터 100word를 사용하는 경우로 함

표 3-2-28. 개선된 Memory map(현장적용시 제안내용)

구분	제안내용
E-YICSM 연계를 위한 모드설정	· 게이트 및 밸브류는 반드시 적용, 구동부(모터, 송풍기, 이송장치 및 승강기)는 선택적으로 적용하나 향후 작업이 원활히 진행되도록 설계
	· E-YICSM에서 전송되는 Manual/Auto의 상태에 따라 E-YICSM/PLC 모드 설정 필요
	· E-YICSM 작동모드로 설정된 경우 장비들은 현장조작이 금지되며, PLC 작동모드로 설정된 경우에만 조작이 가능
게이트 및 밸브류	· 현장신호가 full open과 full close가 구분된 경우 각각의 신호를 사용하며, full open 신호만 사용하며 메모리는 비워둠
	· 현장 신호중 Fault 신호가 있는 경우는 사용하며, 신호가 없는 경우는 해당 메모리를 사용하지 않음
	· 게이트(밸브)의 명령신호는 열기/닫기를 구분사용이 원칙이나, 기존 현장과의 연계성을 고려하여 변경을 허용함
	· 현행되는 open명령의 접수를 기준으로 열림/닫힘을 반복 진행하는 방식의 프로그램에서는 close 명령 미사용
	· Reset 명령은 적용된 경우에만 사용
모터 및 이송장치	· 현장 신호중 fault 신호가 있는 경우는 사용하며, 신호가 없는 경우는 해당 메모리를 사용하지 않음
	· 구동명령 신호는 동작/정지를 구분하여 사용하는 것을 원칙으로 하나, 기존현장과 연계성을 고려하여 변경을 허용함
	· 현행되는 RUN 명령의 접수를 기준으로 열림/닫힘을 반복 진행하는 방식의 프로그램에서는 STOP명령 미사용
	· Reset 명령은 적용된 경우에만 사용
센서신호	· 1 = 신호발생, 0 = 신호해제를 기준으로 사용하며, 역전된 경우에는 반드시 명기(통보)함
ANALOG	· SINGED INTEGER를 기준으로 사용하며, 그 외의 경우 그 내용을 명기(통보)함

표 3-2-29. 개선된 memory map(기능 및 제어방식에 따른 메모리 분류)

구분	규칙	Memory 주소
DISCRETE	PLC → E-YICSM	%MW1101~1300
	E-YICSM → PLC	%MW1501~1800
ANALOG	PLC → E-YICSM	%MW1301~1400
	E-YICSM → PLC	%MW1801~1900
시스템 및 기타	PLC → E-YICSM	%MW1401~1500
	E-YICSM → PLC	%MW1901~1999

표 3-2-30. 개선된 memory map(대상장비별 메모리 할당)

구분	PLC → E-YICSM	E-YICSM → PLC
VALVE 기준	%MW1001~1100	%MW1501~1600
MOTOR 기준	%MW1101~1200	%MW1601~1700
센서류 및 기타신호	%MW1201~1300	%MW1701~1800
ANALOG 신호	%MW1301~1400	%MW1801~1900
E-YICS 영역	%MW1401~1500	%MW1901~1999

표 3-2-31. 개선된 Memory table 예제(계측기 및 아날로그 A)

A. PLC → E-YICSM

TAG	DESCRIPTION		PLC I/O	PNT NO	Location
LT101_MV	현미부 탱크 1번 측정레벨	HIGH_HIGH	%MW1301		현미부
LT102_MV	현미부 탱크 2번 측정레벨	HIGH	%MW1302		현미부
LT103_MV	현미부 탱크 3번 측정레벨	LOW	%MW1303		현미부
LT104_MV	현미부 탱크 4번 측정레벨	LOW_LOW	%MW1304		현미부
TT101_MV	현미부 탱크 1번 측정온도	HIGH_HIGH	%MW1305		현미부
TT102_MV	현미부 탱크 2번 측정온도	HIGH	%MW1306		현미부
TT103_MV	현미부 탱크 3번 측정온도	LOW	%MW1307		현미부
TT104_MV	현미부 탱크 4번 측정온도	LOW_LOW	%MW1308		현미부

표 3-2-32. 개선된 Memory table 예제(계측기 및 아날로그 B)

B. E-YICSM → PLC

TAG	DESCRIPTION		PLC I/O	PNT NO	Location
LT101_SP	현미부 탱크 1번 설정레벨	HIGH_HIGH	%MW1801		현미부
LT102_SP	현미부 탱크 2번 설정레벨	HIGH	%MW1802		현미부
LT103_SP	현미부 탱크 3번 설정레벨	LOW	%MW1803		현미부
LT104_SP	현미부 탱크 4번 설정레벨	LOW_LOW	%MW1804		현미부
TT101_SP	현미부 탱크 1번 설정온도	HIGH_HIGH	%MW1805		현미부
TT102_SP	현미부 탱크 2번 설정온도	HIGH	%MW1806		현미부
TT103_SP	현미부 탱크 3번 설정온도	LOW	%MW1807		현미부
TT104_SP	현미부 탱크 4번 설정온도	LOW_LOW	%MW1808		현미부

표 3-2-33. 개선된 Memory table 예제(게이트 및 밸브류 A)

A. PLC → E-YICSM

TAG	DESCRIPTION	PLC I/O	PNT NO	Location	
MV101_LR	현미부 탱크 1번 투입게이트	E-YICSM/PLC	%MW1001	0	현미부
MV101_OP		완전열림	%MW1001	1	현미부
MV101_CL		완전닫힘	%MW1001	2	현미부
MV101_FLT		이상발생	%MW1001	3	현미부
MV102_LR	현미부 탱크 2번 투입게이트	E-YICSM/PLC	%MW1001	4	현미부
MV102_OP		완전열림	%MW1001	5	현미부
MV102_CL		완전닫힘	%MW1001	6	현미부
MV102_FLT		이상발생	%MW1001	7	현미부
MV103_LR	현미부 탱크 3번 투입게이트	E-YICSM/PLC	%MW1001	8	현미부
MV103_OP		완전열림	%MW1001	9	현미부
MV103_CL		완전닫힘	%MW1001	10	현미부
MV103_FLT		이상발생	%MW1001	11	현미부
MV104_LR	현미부 탱크 4번 투입게이트	E-YICSM/PLC	%MW1001	12	현미부
MV104_OP		완전열림	%MW1001	13	현미부
MV104_CL		완전닫힘	%MW1001	14	현미부
MV104_FLT		이상발생	%MW1001	15	현미부
MV201_LR	현미부 탱크 5번 투입게이트	E-YICSM/PLC	%MW1001	0	현미부
MV201_OP		완전열림	%MW1002	1	현미부
MV201_CL		완전닫힘	%MW1002	2	현미부
MV201_FLT		이상발생	%MW1002	3	현미부
MV202_LR	현미부 탱크 6번 투입게이트	E-YICSM/PLC	%MW1002	4	현미부
MV202_OP		완전열림	%MW1002	5	현미부
MV202_CL		완전닫힘	%MW1002	6	현미부
MV202_FLT		이상발생	%MW1002	7	현미부
MV203_LR	현미부 탱크 7번 투입게이트	E-YICSM/PLC	%MW1002	8	현미부
MV203_OP		완전열림	%MW1002	9	현미부
MV203_CL		완전닫힘	%MW1002	10	현미부
MV203_FLT		이상발생	%MW1002	11	현미부
MV204_LR	현미부 탱크 8번 투입게이트	E-YICSM/PLC	%MW1002	12	현미부
MV204_OP		완전열림	%MW1002	13	현미부
MV204_CL		완전닫힘	%MW1002	14	현미부
MV204_FLT		이상발생	%MW1002	15	현미부

표 3-2-34. 개선된 Memory table 예제(게이트 및 밸브류 B)

B. E-YICSM→ PLC

TAG	DESCRIPTION	PLC I/O	PNT NO	Location	
MV101_MA	현미부 탱크 1번 투입게이트	자동/수동	%MW1501	0	현미부
MV101_CO1		열기명령	%MW1501	1	현미부
MV101_CO2		닫기명령	%MW1501	2	현미부
MV101_RST		이상해제	%MW1501	3	현미부
MV102_MA	현미부 탱크 2번 투입게이트	자동/수동	%MW1501	4	현미부
MV102_CO1		열기명령	%MW1501	5	현미부
MV102_CO2		닫기명령	%MW1501	6	현미부
MV102_RST		이상해제	%MW1501	7	현미부
MV103_MA	현미부 탱크 3번 투입게이트	자동/수동	%MW1501	8	현미부
MV103_CO1		열기명령	%MW1501	9	현미부
MV103_CO2		닫기명령	%MW1501	10	현미부
MV103_RST		이상해제	%MW1501	11	현미부
MV104_MA	현미부 탱크 4번 투입게이트	자동/수동	%MW1501	12	현미부
MV104_CO1		열기명령	%MW1501	13	현미부
MV104_CO2		닫기명령	%MW1501	14	현미부
MV104_RST		이상해제	%MW1501	15	현미부
MV201_MA	현미부 탱크 5번 투입게이트	자동/수동	%MW1501	0	현미부
MV201_CO1		열기명령	%MW1502	1	현미부
MV201_CO2		닫기명령	%MW1502	2	현미부
MV201_RST		이상해제	%MW1502	3	현미부
MV202_MA	현미부 탱크 6번 투입게이트	자동/수동	%MW1502	4	현미부
MV202_CO1		열기명령	%MW1502	5	현미부
MV202_CO2		닫기명령	%MW1502	6	현미부
MV202_RST		이상해제	%MW1502	7	현미부
MV203_MA	현미부 탱크 7번 투입게이트	자동/수동	%MW1502	8	현미부
MV203_CO1		열기명령	%MW1502	9	현미부
MV203_CO2		닫기명령	%MW1502	10	현미부
MV203_RST		이상해제	%MW1502	11	현미부
MV204_MA	현미부 탱크 8번 투입게이트	자동/수동	%MW1502	12	현미부
MV204_CO1		열기명령	%MW1502	13	현미부
MV204_CO2		닫기명령	%MW1502	14	현미부
MV204_RST		이상해제	%MW1502	15	현미부

표 3-2-35. 개선된 Memory table 예제(모듈류 A)

A. PLC → E-YICSM

TAG	DESCRIPTION	PLC I/O	PNT NO	Location	
MP101_LR	현미부 탱크 1번 버킷승강기	E-YICSM/PLC	%MW1101	0	현미부
MP101_FBK		가동/정지	%MW1101	1	현미부
MP101_FLT		이상발생	%MW1101	2	현미부
			%MW1101	3	현미부
MP102_LR	현미부 탱크 2번 버킷승강기	E-YICSM/PLC	%MW1101	4	현미부
MP102_FBK		가동/정지	%MW1101	5	현미부
MP102_FLT		이상발생	%MW1101	6	현미부
			%MW1101	7	현미부
MP103_LR	현미부 탱크 1번 투입 컨베어	E-YICSM/PLC	%MW1101	8	현미부
MP103_FBK		가동/정지	%MW1101	9	현미부
MP103_FLT		이상발생	%MW1101	10	현미부
			%MW1101	11	현미부
MP104_LR	현미부 탱크 1번 투입 컨베어	E-YICSM/PLC	%MW1101	12	현미부
MP104_FBK		가동/정지	%MW1101	13	현미부
MP104_FLT		이상발생	%MW1101	14	현미부
			%MW1101	15	현미부
MP201_LR	현미부 탱크 3번 버킷승강기	E-YICSM/PLC	%MW1101	0	현미부
MP201_FBK		가동/정지	%MW1102	1	현미부
MP201_FLT		이상발생	%MW1102	2	현미부
			%MW1102	3	현미부
MP202_LR	현미부 탱크 4번 버킷승강기	E-YICSM/PLC	%MW1102	4	현미부
MP202_FBK		가동/정지	%MW1102	5	현미부
MP202_FLT		이상발생	%MW1102	6	현미부
			%MW1102	7	현미부
MP203_LR	현미부 탱크 3번 투입 컨베어	E-YICSM/PLC	%MW1102	8	현미부
MP203_FBK		가동/정지	%MW1102	9	현미부
MP203_FLT		이상발생	%MW1102	10	현미부
			%MW1102	11	현미부
MP204_LR	현미부 탱크 4번 투입 컨베어	E-YICSM/PLC	%MW1102	12	현미부
MP204_FBK		가동/정지	%MW1102	13	현미부
MP204_FLT		이상발생	%MW1102	14	현미부
			%MW1102	15	현미부

표 3-2-36. 개선된 Memory table 예제(모터류 B)

B. E-YICSM → PLC

TAG	DESCRIPTION	PLC I/O	PNT NO	Location	
MP101_MA	현미부 탱크 1번 버킷승강기	자동/수동	%MW1601	0	현미부
MP101_CO1		가동(/정지)	%MW1601	1	현미부
MP101_CO0		정지	%MW1601	2	현미부
MP101_RST		이상발생	%MW1601	3	현미부
MP102_MA	현미부 탱크 2번 버킷승강기	자동/수동	%MW1601	4	현미부
MP102_CO1		가동(/정지)	%MW1601	5	현미부
MP102_CO0		정지	%MW1601	6	현미부
MP102_RST		이상발생	%MW1601	7	현미부
MP103_MA	현미부 탱크 1번 투입 컨베어	자동/수동	%MW1601	8	현미부
MP103_CO1		가동(/정지)	%MW1601	9	현미부
MP103_CO0		정지	%MW1601	10	현미부
MP103_RST		이상발생	%MW1601	11	현미부
MP104_MA	현미부 탱크 1번 투입 컨베어	자동/수동	%MW1601	12	현미부
MP104_CO1		가동(/정지)	%MW1601	13	현미부
MP104_CO0		정지	%MW1601	14	현미부
MP104_RST		이상발생	%MW1601	15	현미부
MP201_MA	현미부 탱크 3번 버킷승강기	자동/수동	%MW1601	0	현미부
MP201_CO1		가동(/정지)	%MW1602	1	현미부
MP201_CO0		정지	%MW1602	2	현미부
MP201_RST		이상발생	%MW1602	3	현미부
MP202_MA	현미부 탱크 4번 버킷승강기	자동/수동	%MW1602	4	현미부
MP202_CO1		가동(/정지)	%MW1602	5	현미부
MP202_CO0		정지	%MW1602	6	현미부
MP202_RST		이상발생	%MW1602	7	현미부
MP203_MA	현미부 탱크 3번 투입 컨베어	자동/수동	%MW1602	8	현미부
MP203_CO1		가동(/정지)	%MW1602	9	현미부
MP203_CO0		정지	%MW1602	10	현미부
MP203_RST		이상발생	%MW1602	11	현미부
MP204_MA	현미부 탱크 4번 투입 컨베어	자동/수동	%MW1602	12	현미부
MP204_CO1		가동(/정지)	%MW1602	13	현미부
MP204_CO0		정지	%MW1602	14	현미부
MP204_RST		이상발생	%MW1602	15	현미부

표 3-2-37. 개선된 Memory table 예제(센서류 A)

A. PLC → E-YICSM

TAG	DESCRIPTION	PLC I/O	PNTNO	Location	
LS101_HH	현미부 탱크 1번 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1201	0	현미부
LS101_HI		HIGH	%MW1201	1	현미부
LS101_LI		LOW	%MW1201	2	현미부
LS101_LL		LOW_LOW	%MW1201	3	현미부
LS102_HH	현미부 탱크 2번 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1201	4	현미부
LS102_HI		HIGH	%MW1201	5	현미부
LS102_LI		LOW	%MW1201	6	현미부
LS102_LL		LOW_LOW	%MW1201	7	현미부
LS103_HH	현미부 탱크 1번 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1201	8	현미부
LS103_HI		HIGH	%MW1201	9	현미부
LS103_LI		LOW	%MW1201	10	현미부
LS103_LL		LOW_LOW	%MW1201	11	현미부
LS104_HH	현미부 탱크 1번 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1201	12	현미부
LS104_HI		HIGH	%MW1201	13	현미부
LS104_LI		LOW	%MW1201	14	현미부
LS104_LL		LOW_LOW	%MW1201	15	현미부
LS201_HH	현미부 탱크 5번 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1201	0	현미부
LS201_HI		HIGH	%MW1202	1	현미부
LS201_LI		LOW	%MW1202	2	현미부
LS201_LL		LOW_LOW	%MW1202	3	현미부
LS202_HH	현미부 탱크 6번 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1202	4	현미부
LS202_HI		HIGH	%MW1202	5	현미부
LS202_LI		LOW	%MW1202	6	현미부
LS202_LL		LOW_LOW	%MW1202	7	현미부
LS203_HH	현미부 탱크 7번 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1202	8	현미부
LS203_HI		HIGH	%MW1202	9	현미부
LS203_LI		LOW	%MW1202	10	현미부
LS203_LL		LOW_LOW	%MW1202	11	현미부
LS204_HH	현미부 탱크 8번 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1202	12	현미부
LS204_HI		HIGH	%MW1202	13	현미부
LS204_LI		LOW	%MW1202	14	현미부
LS204_LL		LOW_LOW	%MW1202	15	현미부

(2) DSC용 통신 Protocol 및 PLC memory map기준 개발

① 통신 Protocol 기준(안)

- DSC의 제어시스템은 단위기계를 제어하는 YICSM(PC), 단위기계와 연결되는 PLC, 네트워크 패널, 단위기계, 연류계 등의 중량측정장치로 구성되며, PC와 PLC 사이에 네트워크 패널이 설치되고, 이 패널에 중량측정장치가 연결되도록 구성되어 있음
- 각 단위기계의 제어는 PC에서 네트워크 패널을 통해 PLC로 신호를 보내며, PLC에서 각 단위기계로 제어신호를 송수신하여 이루어져야 하며, 또한, 중량측정장치의 실시간으로 측정된 중량정보는 네트워크 패널을 통해서 PC로 전송되어 모니터링 할 수 있어야 함
- 또한, 1개사에서 최초 설치 후 타 회사에서 보완 및 추가공사시 혼란을 최소화하기 위해서는 각 PLC의 memory map이 일정하여야 하므로 본 연구에서는 네트워크 패널과 PLC 및 중량측정장치 사이에는 양방향 통신이 가능한 protocol기준과 PLC memory map기준을 개발하였음

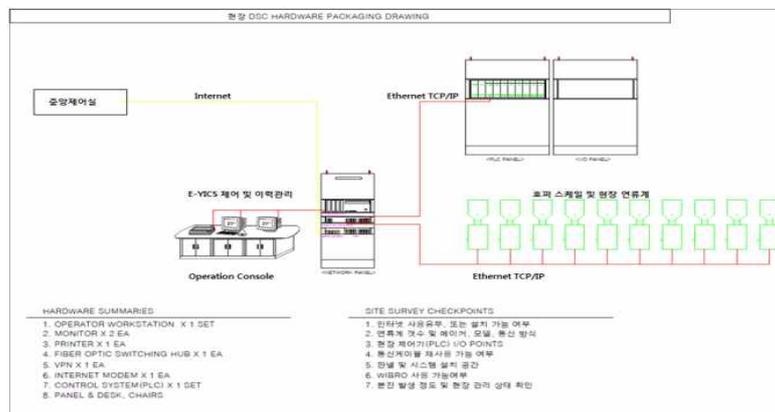


그림 3-2-61. DSC내의 하드웨어 통신 구성도

- DSC용 통신 protocol기준(안)은 전술한 양방향 통신방식인 RPC용 통신 protocol기준(안)을 준용하여 TCP/IP Ethernet 통신방식을 적용하되, 특별한 예외사항이 아닌 경우를 제외하고는 해당 PLC에서 제공하는 protocol을 따르는 것을 기본으로 하며, 예외의 경우 공용기준은 MODIBUS TCP를 사용하도록 제안하였음

② DSC용 PLC memory map 기준(안)

- DSC의 구성 및 제어 포인트에 대한 분석과, 기 설치된 DSC용 PLC memory map을 분석한 다음, 광역통합관리시스템의 u-TIMSPM, E-YICSM 및 TSRM과 연계가 가능한 DSC용 YICSM으로의 전환이 용이하도록 기본구상을 실시한 다음, 위탁연구/참여기관과의 협의를 거쳐 현장에서의 제안사항을 감안하여 memory map기준을 아래와 같이 제시하였으며, 기능 및 제어방식에 따라 메모리를 분류하고, 대상 장비별로 메모리를 할당한 테이블 예제를 아래와 같이 제시하였음

표 3-2-38. 기능 및 제어방식에 따른 메모리 분류

구분	규칙	Memory 주소
DISCRETE	PLC → YICSM	%MW1101~1300
	YICSM → PLC	%MW1501~1800
ANALOG	PLC → YICSM	%MW1301~1400
	YICSM → PLC	%MW1801~1900
시스템 및 기타	PLC → YICSM	%MW1401~1500
	YICSM → PLC	%MW1901~1999

표 3-2-39. 대상장비별 메모리 할당

구분	PLC → YICSM	YICSM → PLC
VALVE 기준	%MW1001~1100	%MW1501~1600
MOTORR 기준	%MW1101~1200	%MW1601~1700
센서류 및 기타신호	%MW1201~1300	%MW1701~1800
ANANLOG 신호	%MW1301~1400	%MW1801~1900
E-YICS 영역	%MW1401~1500	%MW1901~1999

표 3-2-40. Memory map 현장 제안내용

구분	제안내용
YICSM 연계를 위한 모드설정	· 게이트 및 밸브류는 반드시 적용, 구동부(모터, 송풍기, 이송장치 및 승강기)는 선택적으로 적용하나 향후 작업이 원활히 진행 필요
	· YICSM에서 전송되는 MA의 상태에 따라 YICSM/PLC 모드 설정 필요
	· YICSM모드로 설정된 경우 장비들은 현장조작이 금지되며, PLC모드로 설정된 경우에만 조작이 가능
게이트 및 밸브류	· 현장신호가 Full open과 Full close가 구분된 경우 각각의 신호를 사용하며, Full open신호만 사용하며 메모리는 비워둠
	· 현장 신호중 Fault 신호가 있는 경우는 사용하며, 없는 경우는 해당 메모리를 사용하지 않음
	· 게이트(밸브)의 명령신호는 열기/닫기를 구분사용이 원칙이나, 기존현장과의 연계성을 고려하여 변경을 허용함
	· 현행되는 open명령의 접수를 기준으로 열림/닫힘을 반복 진행하는 방식의 프로그램에서는 close 명령 미사용
	· Reset 명령은 적용된 경우에만 사용
모터 및 이송장치	· 현장 신호중 Fault 신호가 있는 경우는 사용하며, 없는 경우는 해당 메모리를 사용하지 않음
	· 구동명령 신호는 동작/정지를 구분하여 사용하는 것을 원칙으로 하나, 기존현장과 연계성을 고려하여 변경을 허용함
	· 현행되는 RUN 명령의 접수를 기준으로 열림/닫힘을 반복 진행하는 방식의 프로그램에서는 STOP명령 미사용
	· Reset 명령은 적용된 경우에만 사용
센서신호	· 1 = 신호발생, 0 = 신호해제를 기준으로 사용하며, 역전된 경우에는 반드시 명기(통보)함
ANALOG	· SINGED INTEGER를 기준으로 사용하며, 그 외의 경우 그 내용을 명기(통보)함

표 3-2-41. Memory table 예제(게이트 및 밸브류 A)

A. PLC → E-YICSM

TAG	DESCRIPTION	PLC I/O	PNT NO	Location	
MV402A_LR	조선기 로타리밸브1	E-YICSM/PLC	%MW1001	0	DSC
MV402A_OP		완전열림	%MW1001	1	DSC
MV402A_CL		완전단힘	%MW1001	2	DSC
MV402A_FLT		이상발생	%MW1001	3	DSC
MV404A_LR	조선기 로타리밸브2	E-YICSM/PLC	%MW1001	4	DSC
MV404A_OP		완전열림	%MW1001	5	DSC
MV404A_CL		완전단힘	%MW1001	6	DSC
MV404A_FLT		이상발생	%MW1001	7	DSC
MV402B_LR	조선기 로타리밸브1	E-YICSM/PLC	%MW1001	8	DSC
MV402B_OP		완전열림	%MW1001	9	DSC
MV402B_CL		완전단힘	%MW1001	10	DSC
MV402B_FLT		이상발생	%MW1001	11	DSC
MV404B_LR	조선기 로타리밸브2	E-YICSM/PLC	%MW1001	12	DSC
MV404B_OP		완전열림	%MW1001	13	DSC
MV404B_CL		완전단힘	%MW1001	14	DSC
MV404B_FLT		이상발생	%MW1001	15	DSC
MV407A_LR	이송기계 로타리밸브	E-YICSM/PLC	%MW1001	0	DSC
MV407A_OP		완전열림	%MW1002	1	DSC
MV407A_CL		완전단힘	%MW1002	2	DSC
MV407A_FLT		이상발생	%MW1002	3	DSC
MV407B_LR	이송기계 로타리밸브	E-YICSM/PLC	%MW1002	4	DSC
MV407B_OP		완전열림	%MW1002	5	DSC
MV407B_CL		완전단힘	%MW1002	6	DSC
MV407B_FLT		이상발생	%MW1002	7	DSC
MV4011_LR	건조부 로타리밸브	E-YICSM/PLC	%MW1002	8	DSC
MV4011_OP		완전열림	%MW1002	9	DSC
MV4011_CL		완전단힘	%MW1002	10	DSC
MV4011_FLT		이상발생	%MW1002	11	DSC
	N/A	E-YICSM/PLC	%MW1002	12	DSC
		완전열림	%MW1002	13	DSC
		완전단힘	%MW1002	14	DSC
		이상발생	%MW1002	15	DSC

표 3-2-42. Memory table 예제(게이트 및 밸브류 B)

B. YICSM → PLC

TAG	DESCRIPTION	PLC I/O	PNT NO	Location	
MV402A_MA	조선기 로타리밸브1	자동/수동	%MW1501	0	DSC
MV402A_CO1		열기명령	%MW1501	1	DSC
MV402A_CO2		닫기명령	%MW1501	2	DSC
MV402A_RST		이상해제	%MW1501	3	DSC
MV404A_MA	조선기 로타리밸브2	자동/수동	%MW1501	4	DSC
MV404A_CO1		열기명령	%MW1501	5	DSC
MV404A_CO2		닫기명령	%MW1501	6	DSC
MV404A_RST		이상해제	%MW1501	7	DSC
MV402B_MA	조선기 로타리밸브1	자동/수동	%MW1501	8	DSC
MV402B_CO1		열기명령	%MW1501	9	DSC
MV402B_CO2		닫기명령	%MW1501	10	DSC
MV402B_RST		이상해제	%MW1501	11	DSC
MV404B_MA	조선기 로타리밸브2	자동/수동	%MW1501	12	DSC
MV404B_CO1		열기명령	%MW1501	13	DSC
MV404B_CO2		닫기명령	%MW1501	14	DSC
MV404B_RST		이상해제	%MW1501	15	DSC
MV407A_MA	이송기계 로타리밸브	자동/수동	%MW1501	0	DSC
MV407A_CO1		열기명령	%MW1502	1	DSC
MV407A_CO2		닫기명령	%MW1502	2	DSC
MV407A_RST		이상해제	%MW1502	3	DSC
MV407B_MA	이송기계 로타리밸브	자동/수동	%MW1502	4	DSC
MV407B_CO1		열기명령	%MW1502	5	DSC
MV407B_CO2		닫기명령	%MW1502	6	DSC
MV407B_RST		이상해제	%MW1502	7	DSC
MV4011_MA	건조부 로타리밸브	자동/수동	%MW1502	8	DSC
MV4011_CO1		열기명령	%MW1502	9	DSC
MV4011_CO2		닫기명령	%MW1502	10	DSC
MV4011_RST		이상해제	%MW1502	11	DSC
	N/A	자동/수동	%MW1502	12	DSC
		열기명령	%MW1502	13	DSC
		닫기명령	%MW1502	14	DSC
		이상해제	%MW1502	15	DSC

표 3-2-43. Memory table 예제(모터류 A)

A. PLC → YICSM

TAG	DESCRIPTION		PLC I/O	PNT NO	Location
MP101A_LR	볼텍스 후드	E-YICSM/PLC	%MW1101	0	DSC
MP101A_FBK		가동/정지	%MW1101	1	DSC
MP101A_FLT		이상발생	%MW1101	2	DSC
			%MW1101	3	DSC
MM102A_LR	원료투입 콘베어	E-YICSM/PLC	%MW1101	4	DSC
MM102A_FBK		가동/정지	%MW1101	5	DSC
MM102A_FLT		이상발생	%MW1101	6	DSC
			%MW1101	7	DSC
MM103A_LR	원료투입승강기	E-YICSM/PLC	%MW1101	8	DSC
MM103A_FBK		가동/정지	%MW1101	9	DSC
MM103A_FLT		이상발생	%MW1101	10	DSC
			%MW1101	11	DSC
MM107A_LR	조선기	E-YICSM/PLC	%MW1101	12	DSC
MM107A_FBK		가동/정지	%MW1101	13	DSC
MM107A_FLT		이상발생	%MW1101	14	DSC
			%MW1101	15	DSC
MM108A_LR	조선기배출승강기	E-YICSM/PLC	%MW1101	0	DSC
MM108A_FBK		가동/정지	%MW1102	1	DSC
MM108A_FLT		이상발생	%MW1102	2	DSC
			%MW1102	3	DSC
MM112A_LR	호퍼스케일배출승강기	E-YICSM/PLC	%MW1102	4	DSC
MM112A_FBK		가동/정지	%MW1102	5	DSC
MM112A_FLT		이상발생	%MW1102	6	DSC
			%MW1102	7	DSC
MM113A_LR	저장이송콘베어	E-YICSM/PLC	%MW1102	8	DSC
MM113A_FBK		가동/정지	%MW1102	9	DSC
MM113A_FLT		이상발생	%MW1102	10	DSC
			%MW1102	11	DSC
MM116A_LR	정선부산물이송콘베어	E-YICSM/PLC	%MW1102	12	DSC
MM116A_FBK		가동/정지	%MW1102	13	DSC
MM116A_FLT		이상발생	%MW1102	14	DSC
			%MW1102	15	DSC

표 3-2-44. Memory table 예제(모터류 B)

B. YICSM → PLC

TAG	DESCRIPTION	PLC I/O	PNTNO	Location	
MP101A_MA	볼텍스 후드	자동/수동	%MW1601	0	DSC
MP101A_CO1		가동(/정지)	%MW1601	1	DSC
MP101A_CO0		정지	%MW1601	2	DSC
MP101A_RST		이상발생	%MW1601	3	DSC
MP102A_MA	원료투입 콘베어	자동/수동	%MW1601	4	DSC
MP102A_CO1		가동(/정지)	%MW1601	5	DSC
MP102A_CO0		정지	%MW1601	6	DSC
MP102A_RST		이상발생	%MW1601	7	DSC
MP103A_MA	원료투입승강기	자동/수동	%MW1601	8	DSC
MP103A_CO1		가동(/정지)	%MW1601	9	DSC
MP103A_CO0		정지	%MW1601	10	DSC
MP103A_RST		이상발생	%MW1601	11	DSC
MP107A_MA	조선기	자동/수동	%MW1601	12	DSC
MP107A_CO1		가동(/정지)	%MW1601	13	DSC
MP107A_CO0		정지	%MW1601	14	DSC
MP107A_RST		이상발생	%MW1601	15	DSC
MP108A_MA	조선기배출승강기	자동/수동	%MW1601	0	DSC
MP108A_CO1		가동(/정지)	%MW1602	1	DSC
MP108A_CO0		정지	%MW1602	2	DSC
MP108A_RST		이상발생	%MW1602	3	DSC
MP112A_MA	호퍼스케일배출승강기	자동/수동	%MW1602	4	DSC
MP112A_CO1		가동(/정지)	%MW1602	5	DSC
MP112A_CO0		정지	%MW1602	6	DSC
MP112A_RST		이상발생	%MW1602	7	DSC
MP113A_MA	저장이송콘베어	자동/수동	%MW1602	8	DSC
MP113A_CO1		가동(/정지)	%MW1602	9	DSC
MP113A_CO0		정지	%MW1602	10	DSC
MP113A_RST		이상발생	%MW1602	11	DSC
MP116A_MA	정선부산물이송콘베어	자동/수동	%MW1602	12	DSC
MP116A_CO1		가동(/정지)	%MW1602	13	DSC
MP116A_CO0		정지	%MW1602	14	DSC
MP116A_RST		이상발생	%MW1602	15	DSC

표 3-2-45. Memory table 예제(센서류 A)

A. PLC → YICSM

TAG	DESCRIPTION	PLC I/O	PNT NO	Location	
LS209A3A1_HH	조선기 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1201	0	DSC
LS209A3A1_HI		HIGH	%MW1201	1	DSC
LS209A3A1_LI		LOW	%MW1201	2	DSC
LS209A3A1_LL		LOW_LOW	%MW1201	3	DSC
LS110A1_HH	호퍼스케일 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1201	4	DSC
LS110A1_HI		HIGH	%MW1201	5	DSC
LS110A1_LI		LOW	%MW1201	6	DSC
LS110A1_LL		LOW_LOW	%MW1201	7	DSC
LS110B1_HH	조선기 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1201	8	DSC
LS110B1_HI		HIGH	%MW1201	9	DSC
LS110B1_LI		LOW	%MW1201	10	DSC
LS110B1_LL		LOW_LOW	%MW1201	11	DSC
LS209A3_HH	호퍼스케일 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1201	12	DSC
LS209A3_HI		HIGH	%MW1201	13	DSC
LS209A3_LI		LOW	%MW1201	14	DSC
LS209A3_LL		LOW_LOW	%MW1201	15	DSC
LS209A3_HH	호퍼스케일 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1201	0	DSC
LS209A3_HI		HIGH	%MW1202	1	DSC
LS209A3_LI		LOW	%MW1202	2	DSC
LS209A3_LL		LOW_LOW	%MW1202	3	DSC
LS209A4_HH	호퍼사일로 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1202	4	DSC
LS209A4_HI		HIGH	%MW1202	5	DSC
LS209A4_LI		LOW	%MW1202	6	DSC
LS209A4_LL		LOW_LOW	%MW1202	7	DSC
LS301A1_HH	순환식건조기 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1202	8	DSC
LS301A1_HI		HIGH	%MW1202	9	DSC
LS301A1_LI		LOW	%MW1202	10	DSC
LS301A1_LL		LOW_LOW	%MW1202	11	DSC
LS301B1_HH	순환식건조기 레벨센서	HIGH_HIGH	%MW1202	12	DSC
LS301B1_HI		HIGH	%MW1202	13	DSC
LS301B1_LI		LOW	%MW1202	14	DSC
LS301B1_LL		LOW_LOW	%MW1202	15	DSC

표 3-2-46. Memory table 예제(계측기 및 아나로그 A)

A. PLC → YICSM

TAG	DESCRIPTION		PLC I/O	PNT NO	Location
LT101_MV	1번 사일로 측정레벨	HIGH_HIGH	%MW1301		DSC
LT102_MV	2번 사일로 측정레벨	HIGH	%MW1302		DSC
LT103_MV	3번 사일로 측정레벨	LOW	%MW1303		DSC
LT104_MV	4번 사일로 측정레벨	LOW_LOW	%MW1304		DSC
TT101_MV	1번 사일로 측정온도	HIGH_HIGH	%MW1305		DSC
TT102_MV	2번 사일로 측정온도	HIGH	%MW1306		DSC
TT103_MV	3번 사일로 측정온도	LOW	%MW1307		DSC
TT104_MV	4번 사일로 측정온도	LOW_LOW	%MW1308		DSC

표 3-2-47. Memory table 예제(계측기 및 아나로그 B)

B. E-YICSM → PLC

TAG	DESCRIPTION		PLC I/O	PNT NO	Location
LT101_SP	1번 사일로 설정레벨	HIGH_HIGH	%MW1801		DSC
LT102_SP	2번 사일로 설정레벨	HIGH	%MW1802		DSC
LT103_SP	3번 사일로 설정레벨	LOW	%MW1803		DSC
LT104_SP	4번 사일로 설정레벨	LOW_LOW	%MW1804		DSC
TT101_SP	1번 사일로 설정온도	HIGH_HIGH	%MW1805		DSC
TT102_SP	2번 사일로 설정온도	HIGH	%MW1806		DSC
TT103_SP	3번 사일로 설정온도	LOW	%MW1807		DSC
TT104_SP	4번 사일로 설정온도	LOW_LOW	%MW1808		DSC

제 3절 식미 및 수율기반 원료가격지수 개발

- 2004년부터 RPC 통합이 진행되면서 통합지연 또는 통합추진단계에서 취소된 사례가 많았으나, 원인에 대한 정확한 조사결과는 찾아보기 어려움. 김 등(2004~2015)은 농협RPC통합을 위한 시설 및 기술컨설팅보고서에서 동일시군에서도 단지가 간척지 등 비교적 고품질 쌀 생산지역으로 알려진 읍면과, 단지가 주로 산간지역인 읍면간의 벼 매입가격의 요구정도가 다른 점이 중요한 통합지연의 원인이 되었다고 보고하였음
- 현재 대부분 RPC의 벼 매입가격은 해당지역의 조합장, 이사, 농민대표 및 읍면 또는 시군의 협의에 의해 결정되는 구조로서, 지역적으로 차이는 있지만 읍면 또는 시군 등 지자체에서는 품종선정, 계약재배, 시설자금지원, 대표브랜드육성 및 포장재지원 등 다양한 부분에서 행정적인 지원 및 보조금을 지원하고 있음
- 현재의 RPC들이 장기적으로 광역통합RPC로 규모화되었을 때 참여하는 단위농협 및/또는 RPC 숫자가 기존의 통합RPC에 비해 현저하게 증가하게 되며, 특히 여러 시군이 참여하게 되는 경우, 예상되는 가장 큰 문제 중에 하나는 지역적으로 벼 매입가격에 대한 불만이 현재보다는 현저하게 증가할 것으로 예상되어, 광역통합에 참여하는 각 단위농협 및 조합원이 만족할 수 있는 벼 매입체계의 구축이 필요함
- 따라서 본 연구는 광역통합으로 규모화되었을 때 각 단위농협 및 조합원의 동의가 가능한 벼 매입가격체계를 구축하기 위해 수행되었으며, 이를 위해 수율 및 식미영향인자가 가격에 미치는 영향조사, 품종 및 성분이 식미에 미치는 영향조사, 식미수식화 및 식미인자의 영향분석 등의 연구를 수행하였으며, 이들 결과를 바탕으로 식미 및 수율기반 원료가격지수를 개발하였음
- 수율 및 식미영향인자가 가격에 미치는 영향조사를 위하여 제현율 및 단백질함량에 따른 매입가격 및 건조비용 등에 대해 농협중앙회의 협조를 받아 농협RPC에 대해 조사하였으며, 본 지면을 빌려 농협중앙회 양곡부 및 조사에 협조해준 농협RPC에 심심한 사의를 표함
- 품종 및 성분이 식미에 미치는 영향조사, 식미수식화 및 식미인자의 영향분석 등의 연구항목은 본 과제의 세부항목으로 단독수행하기에는 지나치게 대규모실험이 필요하여 당초 연구계획서 및 과제발표를 통해 보고했듯이 타 과제(①농산물의 품질저하 메카니즘 구명 및 지능형 품질계측기술개발-제2세부과제 : 식미수식 및 식미측정시스템개발, 한국식품연구원 R17-E0152300-03-210, 2018. 1, 연구책임자 김의웅, ②농산물의 데이터기반 지능정보화 기술개발-제2세부과제 : 곡류의 데이터기반 지능정보화 기술개발, 한국식품연구원, E0152780, 2018~2011, 연구책임자 김훈)와 공동으로 연구를 수행하였고, 본 연구 목적을 달성하는데 필요한 결과의 일부만을 본 연구에 사용하였으며, 향후 연구결과를 같이 활용할 계획임을 밝혀두며, 세부적인 연구내용은 전술한 보고서를 참조하는 것이 필요함

1. 수출 및 식미영향인자가 가격에 미치는 영향조사

가. 조사방법

- RPC에서 벼 매입과정 중에 매입가격을 결정하는데 사용되는 수출 및 식미 영향인자의 종류와, 이들 인자가 가격에 미치는 정도를 조사하기 위하여 2015년 산물매입기간에 약 20여개의 RPC를 직접 방문하여 현장조사한 결과, 조사대상의 모든 RPC는 매입가격을 산물수매가 종료된 이후 결정하되, 결정한 시점이 일정하지 않은 것으로 조사되었음
- 현장방문조사에 한계가 있는 점을 인지하고, 산물수매가 종료된 이후 설문조사를 통해 조사하는 것으로 전환한 다음, ① 매입과정에서 매입가격을 결정하는 수출 및 식미영향인자(제현율, 단백질함량, 품종 등), ② 향후 매입과정에서 고려할 품질인자, ③ 반입되는 물벼의 건조료 현황(건조초기함수율, 건조후함수율, 건조료 등), ④ 매입과정에서 품종 및 매입조건(계약재배, 일반매입, 친환경재배 등) 별 제현율 또는 단백질과 매입가격조사 등으로 조사항목을 결정하여 설문지를 작성하였음
- 작성된 설문조사서는 농협중앙회 양곡부 협조로 농협RPC 153개소를 대상으로 설문지를 발송하였으며, 설문지가 수집된 82개소(통합RPC 32개소, 일반RPC 50개소)를 대상으로 수출 및 식미영향인자가 가격에 미치는 영향에 대해 조사분석하였으며, 이 때 수집율은 54%이었음(표 3-3-1)

표 3-3-1. 조사대상 농협RPC

구분	설문지 발송 RPC(개소수)	설문지 수집된 RPC(개소수)			수집비율 (%)
		통합	일반	소계	
경기	21	6	8	14	67
강원	10	1	4	5	50
충북	12	4	3	7	58
충남	24	5	9	14	58
전북	22	3	7	10	46
전남	28	5	8	13	46
경북	15	3	6	9	60
경남	15	4	5	9	60
광역시	6	1	0	1	17
합계	153	32	50	82	54

나. 결과 및 고찰

(1) 매입가격 영향인자

- 84개소 농협RPC에 대해 벼 매입과정 중 매입가격에 영향을 미치는 주요 인자 및 적용비율을 조사한 결과는 다음 표와 같았음. 표에서 알 수 있듯이 가격에 반영하는 인자로는 제현율과 품종이 각각 86.6% 및 80.5%로 가장 높았으며, 논란은 있지만 양곡관리법의 표기사항 중에 식미와 상관관계가 높다고 명기된 단백질은 14.6%, 도정수율과 상관관계가 높은 현미품위는 1.2% 수준이었음
- 제현율은 현미 중에서 1.6mm체를 통과하지 않고 남아있는 곡립의 중량비율로서, 미숙립, 착색립 및 피해립 등 비정립의 일부도 중량에 반영되는데, 김 등(2007)의 제안과 같이 현미 비정립은 가공후에도 정상립으로 가공이 불가능하므로 실중량거래를 위해서는 제현율에 현미정립비율을 고려할 필요가 있으나, 현재 조사된 RPC 중에서 매입과정 중에 외관(육안검사)을 고려하는 비율이 4.9%, 현미정립비율을 고려하는 비율이 1.2% 정도에 불과하였음
- 식미와 관련하여 RPC에서 고려하는 품질인자로는 품종 및 단백질함량 등이었으며, 품종은 브랜드와도 관련되므로 실제적으로 가격에 반영되는 인자는 단백질함량으로서, 이 비율도 조사대상 RPC중에서 14.6%에 불과하였으며, 향후 계획하고 있는 품질인자도 이 수율 및 식미영향인자 범위이었음

표 3-3-2. 현재 매입과정에서 가격에 영향을 미치는 품질인자

구 분	응답수(개소)	비율(%)
제현율	71	86.6
품 종	66	80.5
단백질	12	14.6
외관(육안)	4	4.9
현미품위	1	1.2
기 타	1	1.2

N=82개소, 중복응답

표 3-3-3. 향후 가격결정에 고려하고자 계획하고 있는 품질인자

구 분	응답수(개소)	비율(%)
무응답	53	64.6
제현율	10	12.2
품 종	10	12.2
단백질	8	9.8
기 타	7	8.5

N=82개소, 중복응답

- 일부 RPC에 단백질함량을 식미인자로 사용하는 이유는 양곡관리법의 양곡표시사항 및 표시방법에서 “단백질함량이 낮을수록 밥맛이 우수”하다고 권장 표기하고 있으며, 쌀의 단백질함량이 높은 것은 질소비료 시비량이 높기 때문으로 도복 등의 원인인 될 수 있어 고품질쌀 생산을 위해서는 질소비료 시비량을 감축하라는 지도내용을 반영한 것 등으로 나타났음

표 3-3-4. 양곡관리법의 양곡표시사항 및 표시방법(시행규칙 제7조의 3항 관련 별표 4)

품 목	쌀	중량	10kg
품 종	00	단백질함량(임의표시)	수, 우, 미
등 급	특, 상, 보통, 등외	단백질함량이 낮을수록 밥맛이 우수	
생산연도	0000	도정연월일	0000. 00. 00
생산자(가공자 또는판매원)	주 소	00도 00군 00로 00	
	상호명(성명)	00미곡종합처리장	
	전 화 번 호	000)000-0000	

(2) 제현율에 따른 매입가격

- RPC의 매입등급 별 제현율 기준은 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 계약재배의 경우 평균적으로 특 82.0%, 1등급 80.2%, 2등급 78.0% 및 3등급 75.9%이었고, 일반매입시 등급별 제현율 기준은 계약재배매입보다 다소 낮게 책정하여 사용하고 있었으나, RPC에서의 제현율기준은 공공비축미 품위검사 기준보다는 다소 엄격하였음
- RPC의 매입등급별 평균 매입가격은 계약재배의 경우 특등급 52,233원/40kg, 1등급 49,881원/kg, 2등급 48,330원/40kg, 3등급 47,263원/40kg으로 등급간 차이는 특등급과 1등급이 2,342원/40kg, 1등급과 2등급이 1,551원/40kg, 2등급과 3등급이 1,067원/40kg으로 등급이 높아질수록 상대적으로 높은 가격으로 매입하는 것을 알 수 있었으며, 특등급을 기준으로 할 때 벼 1톤의 가격은 약 1,305,825원 정도이었음
- 재배방법별로는 일반매입에 비해 계약재배매입이 제현율기준도 다소 높았고, 동일한 등급에서도 매입가격이 높게 나타났으며(표 3-3-5), 친환경재배의 경우 제현율 기준은 일반매입과 비슷한 기준을 적용하였으나, 매입가격은 다른 수매방법보다 매우 높았음. 계약재배방법별로 특등급의 톤당가격은 계약재배가 1,305,825원, 친환경재배가 1,557,150원, 일반재배가 1,175,800원이었으며, 계약재배 기준일 때 특등급 벼 매입가격은 친환경재배방식은 119.2%, 일반재배는 90.0%수준이었음

표 3-3-5. 매입등급별 제현율 기준

매입구분	매입등급	제현율(%)			빈도수(N)
		평균	최대	최소	
계약재배	특	82.0	83.0	80.0	49
	1	80.2	82.5	78.0	83
	2	78.0	82.0	74.0	78
	3	75.9	81.5	65.0	52
친환경재배	특	82.1	83.0	81.0	19
	1	79.7	82.0	77.0	36
	2	77.6	81.0	74.0	25
	3	75.1	80.5	66.3	12
일반매입	특	81.9	83.0	78.0	31
	1	79.7	82.5	74.0	72
	2	76.9	82.0	67.7	65
	3	73.7	81.5	65.0	34
전체	특	82.0	83.0	78.0	99
	1	79.9	82.5	74.0	191
	2	77.5	82.0	67.7	168
	3	74.9	81.5	65.0	98

표 3-3-6. 공공비축미 품위 검사 기준

구 분	수분(%)	최저한도(%) 제현율	최고한도(%)				비고
			피해립·착색립		이중곡립	이물	
			계	착색립			
특 등	13.0~15.0	82.0	1.0	0.0	0.2	0.2	
1등급	13.0~15.0	78.0	4.0	0.0	0.5	0.5	
2등급	13.0~15.0	74.0	7.0	0.1	1.0	1.0	
3등급	13.0~15.0	65.0	10.0	0.5	2.0	2.0	

표 3-3-7. 제현을 기준의 매입등급 별 매입가격

매입구분	매입등급	매입가격(원/40kg)			빈도수(N)
		평균	최대	최소	
계약재배	특	52,223	64,000	44,000	53
	1	49,881	63,500	42,000	90
	2	48,330	63,000	39,000	81
	3	47,263	62,500	36,000	48
친환경재배	특	63,086	76,000	46,000	22
	1	57,339	74,000	44,000	38
	2	56,627	72,000	45,000	26
	3	57,263	70,000	42,500	12
일반매입	특	47,032	57,000	41,000	31
	1	45,234	56,500	40,000	74
	2	43,618	56,000	38,000	67
	3	42,238	55,500	35,000	35
전체	특	52,344	76,000	41,000	106
	1	50,818	74,000	40,000	202
	2	49,525	72,000	38,000	174
	3	48,921	70,000	35,000	95

(3) 단백질함량에 따른 매입가격

○ RPC의 매입등급 별 단백질함량 평균은 계약재배의 경우 특에서 6.1%, 1등급에서 6.5%, 2등급에서 6.8%로 등급이 높을수록 단백질함량 기준도 낮게 나타났고, 매입가격은 특에서 52,800원/40kg, 1등급에서 49,955원/kg, 2등급에서 49,000원/40kg으로 조사되었음. 단백질함량의 경우 빈도수가 적어 매입구분 별 차이를 정확히 판단할 수는 없었지만, 대체적으로 계약재배와 친환경재배에 비해 일반매입이 단백질 기준은 높았고, 가격은 다소 낮은 것으로 판단되었음(표 3-3-8, 표 3-3-9)

표 3-3-8. 매입등급 별 단백질함량 기준

매입구분	매입등급	단백질함량(%)			빈도수(N)
		평균	최대	최소	
계약재배	특	6.1	6.5	5.9	5
	1	6.5	7.0	6.0	9
	2	6.8	7.0	6.0	5
	3				
친환경재배	특				
	1	6.6	7.7	6.0	5
	2	7.4	8.3	7.0	3
	3				
일반매입	특	6.5	7.1	5.9	2
	1	6.9	7.7	6.5	4
	2	7.4	8.3	7.0	3
	3				
전체	특	6.3	7.1	5.9	7
	1	6.7	8.3	6.0	18
	2	7.2	8.3	7.0	11
	3				

표 3-3-9. 단백질함량 기준의 매입등급 별 매입가격

매입구분	매입등급	매입가격(원/40kg)			빈도수(N)
		평균	최대	최소	
계약재배	특	52,800	64,000	44,500	5
	1	49,955	62,000	42,000	9
	2	49,000	54,000	45,000	5
	3				
친환경재배	특				
	1	54,440	68,200	48,000	5
	2	50,000	51,500	47,000	3
	3				
일반매입	특	45,250	47,000	43,500	2
	1	44,125	45,000	42,500	4
	2	43,667	44,000	43,000	3
	3				
전체	특	49,025	64,000	43,500	7
	1	49,507	68,200	42,000	18
	2	47,556	54,000	43,000	11
	3				

(4) 건조비용

- RPC에서 매입과정에서 물벼의 경우 화력건조에 의하여 적정한 함수율로 건조를 수행하고 이때 일정한 건조비용을 산출하게 되는데, 다음 표는 RPC에서 건조료 산출시 건조후 함수율 기준을 조사한 것으로서 표에서 알 수 있듯이 건조후 함수율 15.0%가 62.0%, 건조후 함수율 15.5%가 17.7%, 건조후 함수율 16.0%는 13.9%이었으며, 16.5% 이상도 6.3%로 조사되었음

표 3-3-10. 건조비용 산출을 위한 건조후 함수율

건조후 함수율(%)	응답수(개소)	비율(%)
15.0	49	62.0
15.5	14	17.7
16.0	11	13.9
16.5이상	5	6.3

N=79개소, 중복응답

- RPC에서 물벼 매입시 부과하는 건조비용은 건조전 함수율 24%, 건조후 함수율 15% 범위에서 1톤 당 1% 건조시 건조비용은 평균 4,597원(2,222~9,777원)으로서 RPC간에는 4.4배정도의 차이가 발생하는 것으로 조사되었으며, 건조비용이 낮은 RPC는 농민에 대한 복지차원에서, 건조비용이 높은 RPC는 경영적인 측면 및 징벌적인 경향이 있을 것으로 추정되었음(그림 3-3-1)

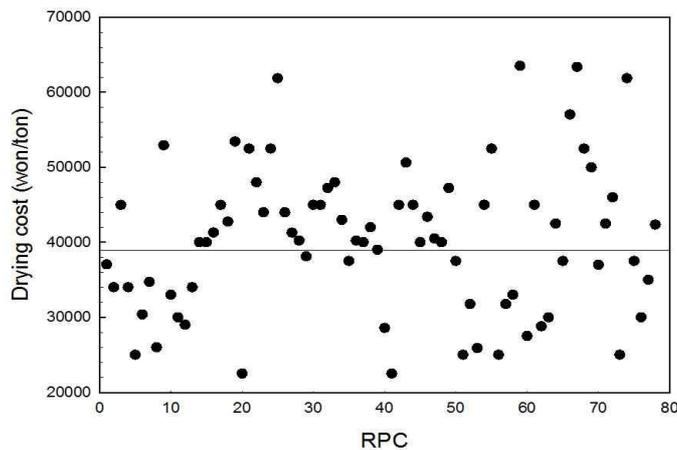


그림 3-3-1. RPC의 건조비용(함수율 24%→15% 기준, N=78)

2. 품종 및 성분이 식미에 미치는 영향

가. 실험방법

- 본 연구에서는 광역통합시 여러 시군에서 벼를 매입할 때 쌀의 품종 및 성분이 식미에 미치는 영향을 어느 정도 고려해야 할지를 판단하기 위하여 수행되었으며, 품종 및 재배조건이 수율 및 품위에 미치는 인자는 고려하지 않았음을 밝혀둠
- 실험에 사용한 시료는 2016년 화성, 음성, 의성, 김포, 익산, 당진, 서천, 부안 및 창녕 등 주요산지에서 농협RPC와 계약재배된 추청, 대보, 일품, 고시히카리, 신동진, 새일미, 삼광, 새누리 및 운광 등 9개 품종으로서, 고시히카리 2종을 포함한 총 10개의 시료이었음
- 농협RPC의 협조로 산지에서 수확직후 약 22%전후의 신선한 원료 벼를 구입한 다음, 건조지연에 따른 품질저하를 최소화하기 위하여 구입한 원료 벼는 신속하게 한국식품연구원을 이송한 다음, 수확 후 6시간 이내에 배치식건조기(HK-DO100F, Hankook, Korea)에서 건조온도 30℃ 조건으로 건조를 실시하였고, 목표함수율 15.0%(w.b.) 내외로 건조한 후, 초기품질 및 식미를 측정하였음
- 또한, 품종 및 초기 성분이 저장 중 식미에 미치는 영향을 살펴보기 위하여, 15%(w.b.)내외로 건조된 벼 10kg씩 함수율변화를 최소화하기 위하여 polyethylene film에 넣어 밀봉한 다음, 25℃ 저장고에 저장하면서 초기, 저장 2개월 간격으로 시료를 채취하여 24시간 정도 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 품질 및 관능적 식미평가를 측정하였음

표 3-3-11. 실험에 사용한 벼 품종 별 수확시기 및 초기함수율

품종	산지	수확시기	초기함수율(%w.b.)
추청	경기 화성	2016.10.14	22.4
대보	충북 음성	2016.10.12	22.1
일품	경북 의성	2016.10.12	23.5
고시히카리	경기 김포	2016.9.26	21.8
고시히카리	경기 화성	2016.10.7	22.9
신동진	전북 익산	2016.10.17	22.1
새일미	충남 당진	2016.10.6	22.8
삼광	충남 서천	2016.10.13	22.8
새누리	전북 부안	2016.10.13	21.6
운광	경남 창녕	2016.10.21	21.7

(1) 품종 순도

- 실험에 사용한 시료의 품종 순도는 시료 24립을 대상으로 하는 유전자 SNP분석법(국립농산물품질관리원시험연구소, 2016)에 의하여 DNA추출(TANBead Rice DNA Auto Plate) 방식을 사용하였으며, 측정결과의 신뢰성을 높이기 위해 검정(Kett사 의뢰)하였으며, 그 방법은 다음과 같았음
- Rice DNA Auto Plate에 벼를 한립씩 넣고, 400 μ L의 lysis buffer1과 20 μ L의 proteinase K를 분주하고, 자동핵산추출장비(SLA-32, Taiwan advanced nanotech Inc, Taiwan)에 Rice DNA Auto Plate, conducting plate, 8-channel strip을 장착하여 장비의 온도가 65 $^{\circ}$ C로 올라가면 New Rice Auto 프로그램을 실행하였음
- Cell Lysis 및 incubation이 완료된 후 Rice DNA Auto Plate에서 핵산 추출을 완료하고, magnetic base에서 DNA 추출액을 1.5mL tube로 분리한 후 SLA-32에 장착되어 있던 8-channel strip을 빼서 버리고 UV lamp를 10분간 실행하고, 추출된 DNA는 10,000rpm에서 5분간 원심분리한 후 상층액을 사용하며 DNA 추출액 2 μ L, 증류수 7.5 μ L, 2X multiplex PCR smart mix 12.5 μ L, Rice primer mix 3 μ L를 PCR tube에 넣고 PCR을 실행하였음
- PCR이 끝나면 샘플을 각각 3% agarose gel에 4 μ L씩 loading하여 205V 전압으로 20분간 전기영동한 후 gel doc로 촬영하여 분석하였음

(2) 품질 특성

- 임펠러타입 실험용현미기(THU, Satake, Japan)로 왕겨를 제거하여 현미를 제조하였고, 실험용마찰식정미기(CBS550BS, Satake, Japan)로 백도 40 기준으로 도정하여 색채선별기(FGS-1000, Satake, Japan)를 이용하여 미숙립, 피해립, 착색립 및 사미 등 불량립을 선별 후 정립만을 공시하였음
- 마그네슘(Mg)과 칼륨(K)함량을 분석하기 위하여 백미 2g을 도가니에 담아 열판(PC-320, Corning, USA)에서 예비 탄화하고 550 $^{\circ}$ C의 전기회화로(550-126, Fisher scientific, USA)에서 5시간동안 회화하여 실온에서 방냉 후 증류수 10방울을 가하여 용해시킨 후, 묽은 HNO₃ 용액 3mL을 가하여 열판에서 증발 건조시킨 후 다시 550 $^{\circ}$ C의 전기 회화로에서 1시간동안 회화 후 실온에서 방냉하였으며, 도가니에 묽은 HCl 용액 10mL을 넣어 용해하여 3시간 방치 후 3차 증류수를 이용하여 50mL로 정용하고 무회분 여과지로 여과하여 분석시료로 이용하였음
- 마그네슘(Mg)과 칼륨(K)함량은 고처리다과장분석기(Gallery, Thermo fisher scientific, Finland)를 이용하여 분석하였으며, 분석에 사용된 reagent는 Magnesium(REF 984360, Thermo fisher scientific, Finland), Potassium(REF 984307, Thermo fisher scientific, Finland)이고, 표준물질은 Magnesium standard(Sigma-Aldrich, USA)와 Potassium chloride(Merck, Germany)를 사용하였음
- 표준물질은 각각 Magnesium standard 500mg/L, Potassium chloride 1,000mg/L 용액을 제조하여 각각의 rack에 표준용액, reagent, 3차 증류수를 넣고 calibration curve를 구하였으며, 전처리한 시

료를 시료컵에 1mL 이상 담아 시료rack에 넣어 장착하고, 분석항목을 magnesium, potassium으로 3회 반복 분석하여 표준곡선에 의해 계산된 결과를 사용하였음

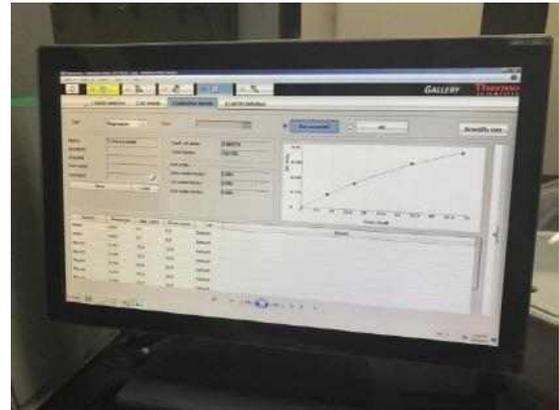


그림 3-3-2. 고처리다량분석기(Gallery, Thermo fisher scientific, FIN)를 이용한 Mg 및 K 측정모습

- 발아율은 벼 정립 100립을 선별하여 25°C의 인큐베이터(HK-B1028, 한국종합기기제작소, Korea)에 넣고 14일 이내 발아한 미립수를 육안으로 측정하여 발아율을 계산하였으며, 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였음
- 아밀로스 및 단백질은 시료 300g을 대상으로 성분분석기(Infratec 1241, Foss Tecator, Hogenas, Sweden)를 사용하여 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였음

(3) 밥의 관능적 특성

- 밥의 관능적 특성은 백미 800g을 수압세미기(PR-7J, Aiho, Co. Ltd., Japan)로 1회 세척(물 4L를 세미기에 붓고, 쌀 800g을 투입한 후, 물 10L를 40초간 추가하면서 강제순환 수세)한 후, 물과 쌀을 채반에 배출(소요시간 30초 정도)하고, 세미기에서 배출되지 않고 남은 쌀에 물 4L를 20초 이내에 붓고 재 배출하였음
- 백미 수분함량을 기준으로 하여 중량비 1.4배로 가수(백미 함수율 14%일 때 물 가수량 1,120g기준, 백미 함수율에 따라 가수량을 다소 조정)하고, 일반 전기밥솥(850J, Samsung, Korea)을 사용할 경우 30분간 침지하되, 유도가열방식(IH, Induction heating) 전기밥솥(RZ-JP18J, Hitachi, Japan)을 사용할 경우에는 침지하지 않고 바로 취반하였음
- 이 때 가수량은 밥 함수율을 약 65% 전후, 취반시 수분증발량을 가수량의 약 3.49%, 쌀 함수율을 15%로 하여 총 가수량은 다음 식에 의해 쌀 중량의 1.4배 수준으로 하였음

$$- \text{가수량(kg)} = \frac{\text{쌀중량(kg)}}{100} \times \left[\frac{\text{밥함수율}(\%) \times [100 - \text{쌀함수율}(\%)]}{[100 - \text{밥함수율}(\%)]} - \text{쌀함수율}(\%) \right] \dots (3-3-1)$$

- 침지수 1.4배 이외에 별도로 가수하지 않고 전기밥솥(RZ-JP18J, Hitachi, Japan)에서 취반 후 보온 상태에서 15분간 뜸을 들이고, 이후 밥을 내솥으로부터 옆면 1cm, 바닥 1cm를 제외한 가운데 부분의

밥만을 bowl(지름×높이, 23cm×12cm)에 옮겨 담은 후, 밥알이 손상되지 않도록 주의하여 커다란 포크로 5회 밥을 혼합한 후 5분 냉각시켰으며, 이러한 혼합 및 냉각을 3회 반복하였음

- 흰색의 사기그릇(지름×높이, 8.5cm×5cm)에 ice cream scoop을 사용하여 약 50g 정도의 밥을 담아 뚜껑을 닫은 후, 관능검사시 밥의 온도가 $27\pm 2^{\circ}\text{C}$ 정도가 되도록 한 후 실온에서 시료를 제공함. 관능평가지, 검사물에 대한 편견을 없애기 위해 무작위 세 자리 숫자로 표기된 시료를 한 점씩 제시하였으며, 시료의 제시순서는 무작위로 하여 위치오류와 대조효과에 의한 오차를 최소화하였음
- 관능적 품질 특성항목으로는 외관, 향, 맛, 조직감 및 전반적인 품질을 평가하며, 부수적인 강도특성으로는 윤기, 색, 밥 이외의 냄새, 밥 특유의 맛 강도 및 조직감에서 낱알 표면의 거칠음성, 경도, 탄력성, 응집성, 부착성을 측정하므로 평가항목은 총 14가지이고, 평가방법은 9점 항목척도(1=대단히 낮음, 5=보통정도, 9= 대단히 높음)를 사용하였고, 밥의 관능적 특성은 관능적 품질평가에 대한 훈련을 받은 30명의 패널(panel)에 의해 2회 반복 평가하였음
- 밥의 texture 특성은 밥 12g을 원통용 용기에 담아 Texture analyser(model TA-XT2, Stable Micro System Ltd., Haslemere, England)를 이용하여 Bourne 등(1978)에 의해 기술된 2 bite compression에 의해 springiness(탄력성), cohesiveness(응집성), adhesiveness(부착성), hardness(경도), chewiness(씹힘성)를 측정하였으며, 측정조건은 plunger (diameter 50mm)를 이용하여 crosshead speed 10mm/sec. 시료를 2번 40% compression 하였음
- 통계처리는 Statistical Analysis System program(ver. 9.0, SAS Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석을 실시(p-value)하였고, 시료간 차이가 있는 특성의 경우 SNK(Student Newman Keul's) 다중비교를 수행하여 각 시료 평균값을 비교하였음



(수세)



(취반)



(시료준비)



(시료제시)



(관능검사)



(관능검사)

그림 3-3-3. 한국식품연구원 관능검사실에서 수행한 관능적 식미평가 실험모습

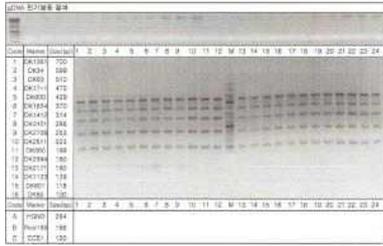
나. 결과 및 고찰

(1) 품종 순도

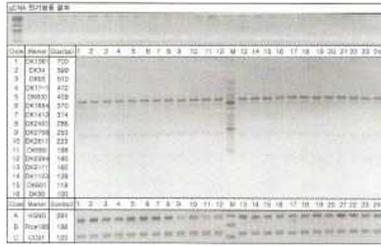
- 본 실험에 사용한 9개 품종의 10점 시료에 대한 품종 순도 측정결과는 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 추청, 대보, 일품, 고시히카리(경기 김포), 새일미, 삼광, 새누리 및 운광 등 8개 시료의 품종 순도는 100%로 나타났고, 그 외의 품종인 고시히카리(경기 화성)는 91.7%, 신동진은 95.8%로 나타났으며, 본 연구에 사용한 품종별 시료는 모두 관련법의 품종혼입 허용범위(20% 미만)에 적합하였음. 이 결과에서 현재 RPC에서 계약재배되는 물량의 품종관리는 상당한 수준을 유지하고 있는 것으로 판단되었음

표 3-3-12. RPC에서 9개 품종 10개 시료의 품종 순도 측정결과

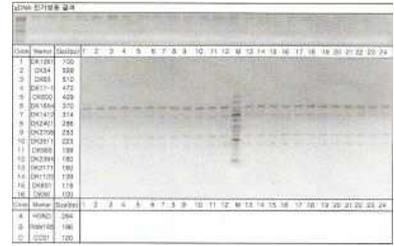
품 종	산 지	품종 검정 결과
추청	경기 화성	추청 100%
대보	충북 음성	대보 100%
일품	경북 의성	일품 100%
고시히카리	경기 김포	고시히카리 100%
고시히카리	경기 화성	고시히카리 91.7%, 진상 8.3%
신동진	전북 익산	신동진 95.8%, 말그미 4.2%
새일미	충남 당진	새일미 100%
삼광	충남 서천	삼광 100%
새누리	전북 부안	새누리 100%
운광	경남 창녕	운광 100%



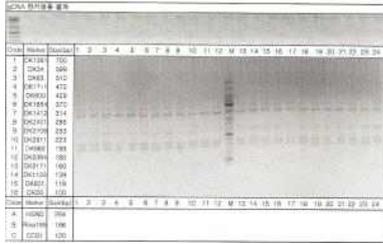
추청



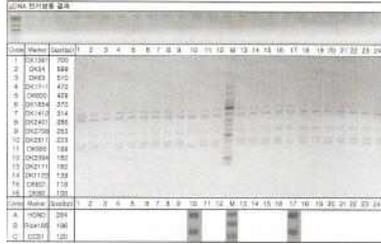
대보



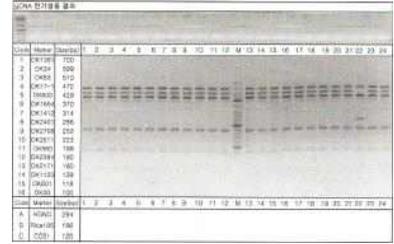
일품



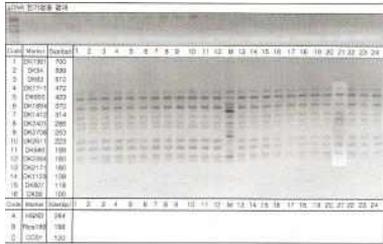
고시히카리(경기 김포)



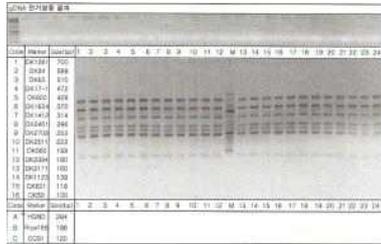
고시히카리(경기 화성)



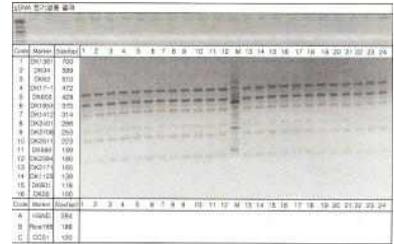
신동진



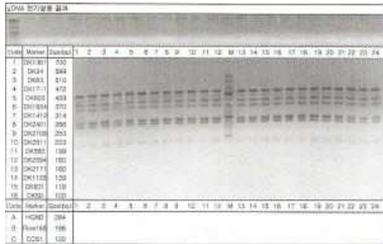
새일미



삼광



새누리



운광

그림 3-3-4. 9개 품종 10개 시료의 DNA 추출결과

(2) 품질 특성

○ 9개 품종의 10개 시료의 초기 및 저장기간 중 발아율 및 함수율을 변화는 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 건조 후 초기 발아율은 전북 부안에서 수집한 새누리 품종이 87.0%로 가장 낮았고, 경남 창녕에서 수집한 조생종인 운광 품종은 93.3%이었고, 그 외 8점의 발아율은 95.0% 이상으로 측정되었으며, 함수율은 14.5~15.4%(w.b.)범위이었으며, 발아율 및 함수율은 저장기간이 경과하면서 감소하는 경향이있음

표 3-3-13. 9개 품종의 저장 기간에 따른 발아율 변화

품종	산지	발아율(%)			
		초기	2개월	4개월	6개월
추청	경기 화성	98.0±2.0	97.0±2.6	97.3±0.6	91.7±3.2
대보	충북 음성	95.0±1.7	98.0±1.0	89.3±2.5	76.7±2.1
일품	경북 의성	99.0±1.0	99.3±0.6	99.0±1.0	92.3±4.9
고시히카리	경기 김포	95.0±2.6	99.7±0.6	100.0±0.0	99.0±1.0
고시히카리	경기 화성	95.3±2.1	95.7±1.5	93.3±2.5	89.7±3.8
신동진	전북 익산	97.0±2.6	97.3±3.1	91.3±0.6	66.0±2.6
새일미	충남 당진	95.0±1.7	96.3±2.3	90.0±5.3	35.3±5.8
삼광	충남 서천	98.0±0.0	96.7±0.6	93.3±0.6	83.7±2.5
새누리	전북 부안	87.0±3.6	89.3±4.9	78.3±2.1	63.3±3.8
운광	경남 창녕	93.3±2.9	97.0±1.7	91.7±2.3	71.3±3.2

표 3-3-14. 9개 품종의 저장 기간에 따른 함수율 변화

품종	산지	함수율(% w.b.)			
		초기	2개월	4개월	6개월
추청	경기 화성	15.1±0.1	14.5±0.1	14.2±0.1	14.2
대보	충북 음성	14.5±0.1	14.2±0.1	13.6±0.1	14.0
일품	경북 의성	15.4±0.1	15.4±0.1	15.1±0.1	14.9
고시히카리	경기 김포	15.0±0.1	14.8±0.1	14.2±0.2	14.5
고시히카리	경기 화성	15.2±0.1	14.4±0.1	14.0±0.1	13.8
신동진	전북 익산	14.8±0.2	14.9±0.1	14.9±0.0	14.7
새일미	충남 당진	15.4±0.4	15.2±0.1	14.9±0.1	14.8
삼광	충남 서천	15.2±0.1	15.1±0.1	14.5±0.1	14.3
새누리	전북 부안	14.6±0.0	14.6±0.0	14.3±0.1	14.2
운광	경남 창녕	15.4±0.1	15.4±0.1	14.8±0.1	14.9

- 9개 품종의 10개 시료의 식미와 관계가 있는 것으로 알려져 있는 주요성분인 백미의 아밀로스, 단백질 및 무기질(K, Mg)의 함량은 다음 표와 같았으며, 표에서 알 수 있듯이 아밀로스 함량은 경기 김포 및 화성에서 수확한 2개의 고시히카리가 각각 14.5% 및 15.0%로 가장 낮게 나타났고, 충남 당진에서 수확한 새일미 품종은 16.8%로 가장 높게 나타났음
- 단백질의 경우는 경기 김포에서 수확한 고시히카리와 충남 서천에서 수확한 삼광이 6.0%로 가장 낮았으며, 전북 부안에서 수확한 새누리 품종이 7.5%로 가장 높게 나타났으며, 무기질 중에서 Mg은 29.97~45.71mg범위에서 새일미 품종에서 29.97mg으로 가장 낮았고 경기 김포에서 수집한 고시히

카리가 가장 높게 나타났으며, K는 470~1,328mg 범위에서 경남 창녕의 운광 품종이 470mg으로 다른 품종의 1/3 수준으로 매우 적었고, 전북 익산에서 수확한 신동진 품종이 1,328mg으로 가장 높게 나타났으며, Mg/K는 0.023~0.087 범위로 나타내었음

- Horino 등(1992)은 K함량이 낮을수록, Mg함량이 높을수록 식미가 우수하고, Mg/K가 $R^2=0.755$ 수준에서 식미와 영향이 높은 인자로 보고하였으나, 현재까지 무기질이 식미에 영향이 있다는 보고는 Horino 이외는 찾아보기 어렵고, 본 실험의 결과도 후술하는 식미까지 고려할 경우 Horino 등(1992)의 결과와 다소 다른 경향을 나타내었음

표 3-3-15. 9개 품종의 식미와 관련이 있는 것으로 알려진 백미의 주요 성분

품종	산지	amylose(%)	protein(%)	Mg(mg/100g,d.b.)	K(mg/100g,d.b.)	Mg/K
추청	경기 화성	16.5±0.1	7.2±0.1	37.87±0.03	1,157.78±44.12	0.033
대보	충북 음성	16.0±0.1	7.4±0.1	39.91±0.04	1,127.35±43.89	0.035
일품	경북 의성	16.3±0.1	6.3±0.1	42.32±0.05	1,212.07±32.04	0.035
고시히카리	경기 김포	14.5±0.2	6.0±0.1	45.71±0.05	1,159.76±38.69	0.039
고시히카리	경기 화성	15.0±0.1	6.4±0.1	40.70±0.12	1,221.29±101.26	0.033
신동진	전북 익산	17.7±0.2	6.4±0.1	35.18±0.11	1,328.40±101.39	0.026
새일미	충남 당진	16.8±0.1	6.8±0.1	29.97±0.02	1,298.20±110.52	0.023
삼광	충남 서천	15.6±0.0	6.0±0.1	34.76±0.12	1,228.15±63.62	0.028
새누리	전북 부안	16.5±0.1	7.5±0.1	36.38±0.06	1,213.88±63.02	0.030
운광	경남 창녕	15.6±0.2	6.1±0.1	40.85±0.05	470.29±26.32	0.087

(3) 밥의 관능적 특성

- 9개 품종의 10개 시료에 대한 수확후 초기 밥의 관능적 식미평가 결과는 다음 표들과 같았음. 표에서 알 수 있듯이 건조 후 초기시료로 취반한 밥의 강도특성은 조직감 중 탄력성이 $p < 0.01$ 수준에서 고시히카리(경기 화성) 시료가 6.58로 가장 높았고, 일품, 고시히카리(경기 김포) 및 운광 시료가 각각 5.53, 5.55 및 5.38로 낮게 나타났음
- 저장초기 품질특성은 외관품질에서 신동진이 다른 품종에 비해 높게 나타났고($p < 0.05$), 조직감 품질은 새일미(6.96), 운광(5.98) 품종을 제외하고 유의적으로 차이를 보이지 않았으며($p < 0.05$), 전반적인 품질은 조생종인 운광을 제외하고는 8개 품종 9개 시료가 $p < 0.01$ 에서 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났음
- 국내산 새일미, 신동진 및 일품 등은 고시히카리 품종에 비해 아밀로스 및 단백질함량이 적었으나, 전반적인 품질의 수치는 오히려 새일미(7.13), 신동진(7.05) 및 일품(6.93) 품종이 일본인이 가장 선호하는 고시히카리 품종(6.53~6.67)보다 높게 나타났는데, 주요원인이 우리나라 국민과 일본인이 선호하는 식미차이가 있는 것인지, 단백질 및 아밀로스함량이 식미에 미치는 영향이 극히 적은 것인지에 대해서는 명확하지 않음

표 3-3-16. 9개 품종의 밥 관능적 강도 특성(초기)¹

품종	산지	향	외관		맛	조직감				
		밥 이외 냄새 강도	윤기의 정도	색의 강도	밥 특유의 맛 강도	날알 표면의 거칠음성	경도	탄력성**	응집성	부착성
추청	경기 화성	2.45 ±1.38	6.67 ±1.51	3.10 ±1.83	6.57 ±1.43	2.88 ±1.73	5.26 ±0.96	6.07 ^{ab} ±1.44	5.83 ±1.21	5.17 ±1.01
대보	충북 음성	2.43 ±1.53	7.45 ±1.24	2.35 ±1.69	7.08 ±1.37	2.55 ±1.52	5.10 ±1.10	6.15 ^{ab} ±1.48	6.18 ±1.34	5.50 ±1.22
일품	경북 의성	2.23 ±1.25	7.21 ±1.25	2.86 ±2.01	6.65 ±1.38	2.81 ±1.84	4.74 ±1.20	5.53 ^b ±1.45	5.93 ±1.33	5.51 ±1.22
고시히카리	경기 김포	2.48 ±1.44	7.31 ±1.14	3.00 ±1.93	7.00 ±1.33	2.50 ±1.61	4.50 ±1.37	5.55 ^b ±1.71	6.12 ±1.15	5.50 ±1.27
고시히카리	경기 화성	2.51 ±1.36	7.38 ±1.23	2.76 ±2.05	7.11 ±1.37	2.27 ±1.21	5.24 ±0.96	6.58 ^a ±1.25	6.18 ±1.39	5.64 ±1.42
신동진	전북 익산	2.23 ±1.38	7.44 ±1.18	2.84 ±2.08	6.95 ±1.40	2.63 ±1.70	4.63 ±0.98	5.84 ^{ab} ±1.59	5.91 ±1.31	5.21 ±1.12
새일미	충남 당진	2.43 ±1.32	6.83 ±1.13	2.80 ±1.71	6.83 ±1.22	2.80 ±1.76	4.93 ±1.21	5.75 ^{ab} ±1.30	5.93 ±1.14	5.38 ±1.29
삼광	충남 서천	2.13 ±1.25	7.20 ±1.18	2.82 ±2.15	6.73 ±1.29	2.51 ±1.60	4.89 ±0.96	5.93 ^{ab} ±1.59	5.87 ±1.32	5.51 ±1.29
새누리	전북 부안	2.38 ±1.44	7.38 ±1.15	2.70 ±1.90	6.83 ±1.30	2.65 ±1.51	4.80 ±1.07	6.05 ^{ab} ±1.40	5.98 ±1.23	5.60 ±1.19
운광	경남 창원	2.78 ±1.51	6.82 ±1.56	3.27 ±2.06	6.51 ±1.49	2.84 ±1.72	4.67 ±1.26	5.38 ^b ±1.34	5.71 ±1.42	5.51 ±1.34

¹ 1=없음, 9=대단히 강함
abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임
*, **, *** 시료가 $p < 0.05, 0.01, 0.001$ 수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-3-17. 9개 품종의 밥 관능적 품질 특성(초기)¹

품종	산지	냄새의 품질	외관의 품질*	맛의 품질	조직감의 품질*	전반적인 품질**
추청	경기 화성	7.25±1.15	7.30 ^{ab} ±1.22	7.03±1.21	6.63 ^{ab} ±1.37	6.78 ^{ab} ±1.19
대보	충북 음성	7.18±1.34	6.83 ^{ab} ±1.34	6.98±1.21	6.43 ^{ab} ±1.36	6.63 ^{ab} ±1.21
일품	경북 의성	7.58±1.12	7.35 ^{ab} ±1.23	7.09±1.31	6.77 ^{ab} ±1.38	6.93 ^a ±1.32
고시히카리	경기 김포	7.17±1.21	7.19 ^{ab} ±1.17	7.19±1.23	6.38 ^{ab} ±1.29	6.67 ^{ab} ±1.12
고시히카리	경기 화성	7.23±1.27	7.16 ^{ab} ±1.21	6.88±1.31	6.26 ^{ab} ±1.47	6.53 ^{ab} ±1.39
신동진	전북 익산	7.28±1.34	7.53 ^a ±1.11	7.20±1.36	6.93 ^{ab} ±1.44	7.05 ^a ±1.43
새일미	충남 당진	7.24±1.21	7.31 ^{ab} ±1.22	7.29±1.29	6.96 ^a ±1.28	7.13 ^a ±1.18
삼광	충남 서천	7.40±1.37	7.27 ^{ab} ±1.25	6.89±1.35	6.47 ^{ab} ±1.71	6.69 ^{ab} ±1.47
새누리	전북 부안	7.02±1.42	6.76 ^{ab} ±1.34	6.76±1.45	6.52 ^{ab} ±1.33	6.40 ^{ab} ±1.41
운광	경남 창녕	6.80±1.27	6.62 ^{ab} ±1.48	6.47±1.61	5.98 ^b ±1.45	6.00 ^b ±1.37

¹ 1=없음, 9=대단히 강함
abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임
*, **, *** 시료가 p<0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

- 9개 품종의 10개 시료에 대한 저장 2개월, 저장 4개월 및 저장 6개월 후의 밥의 관능적 식미평가 결과는 다음 표들과 같았음. 표에서 알 수 있듯이 저장 2개월 후 밥의 강도특성 중 밥 이외의 냄새 강도는 운광(3.54)이 가장 높게 나타났고, 추청(2.42), 고시히카리(김포, 2.28) 및 새일미(2.46) 품종이 유의적으로 낮게 나타났으며(p<0.05), 밥 특유의 맛 강도와 경도 특성에서 운광 품종이 유의적으로 낮게 나타남(p<0.05, p<0.001)
- 저장 2개월 후 밥의 품질 특성은 냄새, 외관, 맛 및 전반적인 품질에서 유의적인 차이를 보였으며 (p<0.05), 삼광 시료는 냄새, 외관, 맛 및 전반적인 품질 모든 항목에서 유의적으로 높게 나타났고, 운광 시료는 모든 항목에서 유의적으로 낮게 나타남
- 저장 4개월 후 밥의 강도특성은 밥 이외 냄새강도(p<0.01), 색의 강도(P<0.05), 경도(p<0.01), 탄력성(P<.01) 항목에서 품종간에 유의적으로 차이를 보였으며, 고시히카리(경기 김포) 시료의 경우 밥 이외 냄새와 색의 강도는 가장 높고, 경도와 탄력성은 가장 낮게 나타남
- 저장 4개월 후 밥의 품질 특성은 전반적인 품질에서 신동진이 6.13으로 가장 높게 나타났고, 고시히카리(경기 김포) 시료가 5.00으로 가장 낮게 나타났고(p<0.05), 저장 6개월 후에는 새일미가 6.65로 가장 높게 나타났고, 운광이 5.23으로 가장 낮게 나타났음(p<0.01)

표 3-3-18. 9개 품종의 밥 관능적 강도 특성(저장 2개월)¹

품종	산지	향	외관		맛	조직감				
		밥 이외 냄새 강도*	윤기의 정도	색의 강도	밥 특유의 맛 강도*	날알 표면의 거칠음성	경도***	탄력성	응집성	부착성
추청	경기 화성	2.42 ^b ±1.23	6.39 ±1.32	2.75 ±1.61	6.00 ^{ab} ±1.31	2.89 ±1.70	4.78 ^b ±1.15	5.25 ±1.61	5.36 ±1.38	4.81 ±1.19
대보	충북 음성	2.66 ^{ab} ±1.47	6.31 ±1.37	3.20 ±1.73	6.11 ^{ab} ±1.21	3.40 ±2.02	5.00 ^{ab} ±1.03	5.23 ±1.46	5.00 ±1.24	4.89 ±1.11
일품	경북 의성	2.56 ^{ab} ±1.42	6.91 ±1.29	2.88 ±1.89	6.56 ^a ±1.37	2.29 ±1.34	4.65 ^b ±0.77	5.35 ±1.30	5.62 ±1.21	5.29 ±1.03
고시히카리	경기 김포	2.28 ^b ±1.26	6.56 ±1.36	3.25 ±1.79	5.97 ^{ab} ±1.40	2.83 ±1.56	4.58 ^b ±0.73	5.17 ±1.25	5.33 ±1.20	5.22 ±1.15
고시히카리	경기 화성	2.91 ^{ab} ±1.87	6.43 ±1.36	3.11 ±1.88	6.09 ^{ab} ±1.52	3.09 ±1.84	4.51 ^b ±0.66	5.03 ±1.29	5.14 ±1.33	4.94 ±1.00
신동진	전북 익산	2.66 ^{ab} ±1.49	6.80 ±1.21	2.80 ±1.71	6.03 ^{ab} ±1.46	2.83 ±1.67	5.00 ^{ab} ±1.00	5.54 ±1.36	5.11 ±1.21	4.94 ±1.14
새일미	충남 당진	2.46 ^b ±1.24	6.43 ±1.50	2.73 ±1.71	6.11 ^{ab} ±1.37	2.89 ±1.71	4.97 ^{ab} ±1.01	5.54 ±1.50	5.05 ±1.31	5.00 ±0.94
삼광	충남 서천	2.53 ^{ab} ±1.35	6.62 ±1.21	2.65 ±1.52	6.41 ^a ±1.10	2.71 ±1.61	4.76 ^b ±0.99	5.50 ±1.19	5.47 ±1.33	5.15 ±0.86
새누리	전북 부안	2.58 ^{ab} ±1.32	6.25 ±1.38	2.92 ±1.54	5.86 ^{ab} ±1.38	3.00 ±1.71	5.42 ^a ±1.08	5.50 ±1.42	5.00 ±1.26	4.83 ±1.00
운광	경남 창녕	3.54 ^a ±1.71	6.05 ±1.39	3.62 ±1.78	5.30 ^b ±1.45	3.00 ±1.62	4.38 ^b ±0.92	4.76 ±1.34	4.89 ±1.22	4.73 ±1.02

¹ 1=없음, 9=대단히 강함
abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임
*, **, *** 시료가 p<0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-3-19. 9개 품종의 밥 관능적 품질 특성(저장 2개월)¹

품종	산지	냄새의 품질*	외관의 품질*	맛의 품질*	조직감의 품질	전반적인 품질*
추청	경기 화성	6.92 ^a ±1.30	6.64 ^{ab} ±1.22	6.08 ^{ab} ±1.18	6.06±1.35	6.06 ^{ab} ±1.17
대보	충북 음성	6.83 ^{ab} ±1.20	6.51 ^{ab} ±1.17	6.20 ^{ab} ±1.18	6.20±1.37	6.06 ^{ab} ±1.30
일품	경북 의성	7.09 ^a ±1.19	6.79 ^{ab} ±1.45	6.71 ^a ±1.38	6.44±1.37	6.62 ^a ±1.39
고시히카리	경기 김포	7.06 ^a ±1.33	6.61 ^{ab} ±1.29	6.25 ^{ab} ±1.30	6.17±1.32	6.17 ^{ab} ±1.40
고시히카리	경기 화성	6.34 ^{ab} ±1.91	6.49 ^{ab} ±1.38	6.17 ^{ab} ±1.44	5.97±1.38	6.00 ^{ab} ±1.37
신동진	전북 익산	6.80 ^{ab} ±1.32	6.86 ^a ±1.17	6.37 ^{ab} ±1.55	6.34±1.45	6.40 ^a ±1.52
새일미	충남 당진	6.84 ^{ab} ±1.30	6.89 ^a ±1.17	6.41 ^{ab} ±1.38	6.27±1.28	6.32 ^{ab} ±1.36
삼광	충남 서천	6.97 ^a ±1.29	6.94 ^a ±1.01	6.65 ^a ±0.98	6.59±1.05	6.56 ^a ±0.99
새누리	전북 부안	6.72 ^{ab} ±1.43	6.50 ^{ab} ±1.06	6.00 ^{ab} ±1.31	5.81±1.35	5.92 ^{ab} ±1.30
운광	경남 창녕	5.92 ^b ±1.59	5.95 ^b ±1.47	5.49 ^b ±1.48	5.84±1.28	5.43 ^b ±1.42

¹ 1=없음, 9=대단히 강함
abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임
*, **, *** 시료가 p<0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-3-20. 9개 품종의 밥 관능적 강도 특성(저장 4개월)¹

품종	산지	향	외관		맛	조직감				
		밥 이외 냄새 강도**	윤기의 정도	색의 강도*	밥 특유의 맛 강도	날알 표면의 거칠음성	경도**	탄력성**	응집성	부착성
추청	경기 화성	2.59 ^b ±1.38	6.02 ±1.74	2.95 ^b ±1.92	5.76 ±1.61	3.17 ±1.98	5.00 ^{ab} ±1.22	5.00 ^a ±1.63	5.17 ±1.41	4.85 ±0.99
대보	충북 음성	2.80 ^{ab} ±1.52	5.78 ±1.82	3.54 ^{ab} ±2.09	5.80 ±1.55	3.34 ±2.08	4.88 ^{ab} ±0.95	4.93 ^a ±1.27	4.90 ±1.43	4.83 ±1.14
일품	경북 의성	2.87 ^{ab} ±1.61	6.03 ±1.56	3.41 ^{ab} ±2.01	5.95 ±1.47	2.90 ±1.48	5.15 ^a ±1.25	5.15 ^a ±1.46	5.05 ±1.43	4.77 ±1.09
고시히카리	경기 김포	3.78 ^a ±1.79	5.70 ±1.26	4.35 ^a ±1.89	5.35 ±1.41	2.85 ±1.42	4.33 ^b ±1.40	4.13 ^b ±1.57	4.95 ±1.55	5.08 ±1.33
고시히카리	경기 화성	3.69 ^a ±1.79	5.51 ±1.67	3.44 ^{ab} ±2.01	5.33 ±1.78	2.90 ±1.60	4.87 ^{ab} ±0.98	5.13 ^a ±1.20	4.85 ±1.31	4.54 ±1.05
신동진	전북 익산	2.73 ^{ab} ±1.60	6.30 ±1.56	2.90 ^b ±2.00	6.13 ±1.62	2.78 ±1.64	5.30 ^a ±1.02	5.55 ^a ±1.38	5.10 ±1.35	4.88 ±0.94
새일미	충남 당진	2.73 ^{ab} ±1.30	5.90 ±1.74	2.98 ^b ±1.89	6.08 ±1.40	2.90 ±1.74	5.10 ^a ±0.98	5.30 ^a ±1.29	5.00 ±1.45	4.53 ±0.88
삼광	충남 서천	2.90 ^{ab} ±1.60	5.98 ±1.44	3.38 ^{ab} ±2.11	5.93 ±1.54	2.95 ±1.62	5.30 ^a ±1.16	5.23 ^a ±1.33	5.05 ±1.32	4.85 ±1.14
새누리	전북 부안	2.78 ^{ab} ±1.44	5.66 ±1.56	3.02 ^b ±1.88	5.63 ±1.48	3.15 ±1.88	5.32 ^a ±1.01	4.98 ^a ±1.39	4.73 ±1.43	4.51 ±1.10
운광	경남 창녕	3.03 ^{ab} ±1.46	5.79 ±1.51	3.33 ^{ab} ±1.58	5.56 ±1.45	2.90 ±1.50	4.72 ^{ab} ±1.12	4.90 ^a ±1.47	4.97 ±1.33	4.85 ±1.06

¹ 1=없음, 9=대단히 강함
abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임
*, **, *** 시료가 p<0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-3-21. 9개 품종의 밥 관능적 품질 특성(저장 4개월)¹

품종	산지	냄새의 품질	외관의 품질	맛의 품질	조직감의 품질	전반적인 품질*
추청	경기 화성	6.44±1.69	6.29±1.81	6.02 ±1.52	5.51±1.93	5.78 ^{ab} ±1.67
대보	충북 음성	6.15±1.65	5.98±1.89	5.83 ±1.67	5.49±1.75	5.54 ^{ab} ±1.72
일품	경북 의성	6.13±1.67	6.31±1.47	5.85 ±1.42	5.72±1.79	5.77 ^{ab} ±1.58
고시히카리	경기 김포	5.65±1.59	5.48±1.57	5.33 ±1.44	4.93±1.61	5.00 ^b ±1.54
고시히카리	경기 화성	5.33±1.83	5.90±1.59	5.26 ±1.58	5.51±1.52	5.26 ^{ab} ±1.57
신동진	전북 익산	6.28±1.66	6.68±1.37	6.18 ±1.60	6.03±1.64	6.13 ^a ±1.52
새일미	충남 당진	6.05±1.57	6.28±1.60	6.28 ±1.28	5.70±1.38	5.98 ^{ab} ±1.35
삼광	충남 서천	6.15±1.72	6.15±1.53	6.05 ±1.50	5.75±1.66	5.93 ^{ab} ±1.53
새누리	전북 부안	6.20±1.57	5.95±1.67	5.83 ±1.48	5.24±1.55	5.54 ^{ab} ±1.53
운광	경남 창녕	5.87±1.32	5.92±1.51	5.67 ±1.34	5.49±1.47	5.56 ^{ab} ±1.35

¹ 1=없음, 9=대단히 강함
abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임
*, **, *** 시료가 p<0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-3-22. 9개 품종의 밥 관능적 강도 특성(저장 6개월)¹

품종	산지	향	외관		맛	조직감				
		밥 이외 냄새 강도**	윤기의 정도	색의 강도*	밥 특유의 맛 강도	날알 표면의 거칠음성	경도**	탄력성	응집성	부착성
추청	경기 화성	2.35 ^b ±1.11	6.83 ±1.59	2.35 ^b ±0.98	6.39 ±1.44	2.87 ±1.94	5.09 ^{abc} ±0.79	5.65 ±1.37	5.57 ±1.47	5.04 ±1.07
대보	충북 음성	2.58 ^{ab} ±1.30	6.65 ±1.67	2.81 ^{ab} ±1.30	5.85 ±1.67	3.35 ±2.02	5.31 ^{abc} ±1.29	5.58 ±1.47	5.54 ±1.33	4.96 ±1.11
일품	경북 의성	2.42 ^b ±1.27	6.69 ±1.64	2.81 ^{ab} ±1.67	6.31 ±1.69	2.88 ±1.68	4.85 ^{abc} ±0.83	5.81 ±1.67	5.35 ±1.52	5.23 ±0.99
고시히카리	경기 김포	2.21 ^b ±1.25	6.83 ±1.61	2.42 ^{ab} ±1.10	6.58 ±1.50	2.63 ±1.50	4.71 ^{bc} ±1.00	5.58 ±1.35	5.71 ±1.23	5.29 ±1.00
고시히카리	경기 화성	3.04 ^{ab} ±1.51	6.19 ±1.77	2.81 ^{ab} ±1.52	5.73 ±1.66	2.81 ±1.58	4.96 ^{abc} ±0.77	5.54 ±1.45	5.42 ±1.55	5.08 ±0.84
신동진	전북 익산	2.26 ^b ±1.01	6.87 ±1.77	2.22 ^b ±1.00	6.26 ±1.84	2.65 ±1.75	5.35 ^{ab} ±1.07	6.30 ±1.66	6.13 ±1.58	5.00 ±1.21
새일미	충남 당진	2.35 ^b ±1.27	6.70 ±1.58	2.30 ^b ±1.11	6.65 ±1.34	2.57 ±1.67	5.22 ^{abc} ±0.90	6.22 ±1.31	5.87 ±1.77	5.13 ±0.92
삼광	충남 서천	2.36 ^b ±1.22	6.36 ±1.85	2.44 ^{ab} ±1.19	6.64 ±1.55	2.88 ±1.69	4.88 ^{abc} ±0.73	5.76 ±1.67	5.92 ±1.61	5.24 ±0.97
새누리	전북 부안	2.91 ^{ab} ±1.35	5.96 ±1.92	2.96 ^{ab} ±1.52	5.39 ±1.90	3.61 ±2.41	5.70 ^a ±1.29	5.70 ±1.72	5.04 ±1.61	4.70 ±1.11
운광	경남 창녕	3.50 ^a ±1.66	6.15 ±1.62	3.50 ^a ±1.30	5.50 ±1.68	3.23 ±1.77	4.42 ^c ±1.27	5.08 ±1.60	5.42 ±1.47	5.04 ±0.96

¹ 1=없음, 9=대단히 강함
abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임
*, **, *** 시료가 p<0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

표 3-3-23. 9개 품종의 밥 관능적 품질 특성(저장 6개월)¹

품종	산지	냄새의 품질**	외관의 품질	맛의 품질	조직감의 품질	전반적인 품질**
추청	경기 화성	7.13 ^a ±1.25	6.96±1.40	6.61±1.27	6.17±1.23	6.30 ^{ab} ±1.22
대보	충북 음성	6.92 ^a ±1.47	6.58±1.53	6.19±1.63	5.81±1.44	5.96 ^{ab} ±1.51
일품	경북 의성	7.12 ^a ±1.28	6.77±1.63	6.65±1.60	6.35±1.52	6.35 ^{ab} ±1.47
고시히카리	경기 김포	7.13 ^a ±1.23	7.04±1.30	6.79±1.47	6.38±1.35	6.58 ^a ±1.21
고시히카리	경기 화성	6.35 ^{ab} ±1.67	6.58±1.42	6.04±1.68	5.96±1.54	5.88 ^{ab} ±1.53
신동진	전북 익산	7.26 ^a ±1.36	7.22±1.41	6.57±1.78	6.39±1.56	6.43 ^{ab} ±1.70
새일미	충남 당진	7.22 ^a ±1.38	7.30±1.11	6.87±1.25	6.48±1.44	6.65 ^a ±1.30
삼광	충남 서천	7.08 ^a ±1.26	6.80±1.61	6.68±1.46	6.52±1.53	6.56 ^a ±1.50
새누리	전북 부안	6.57 ^{ab} ±1.56	6.09±1.90	5.57±1.95	5.39±1.85	5.48 ^{ab} ±1.70
운광	경남 창녕	5.88 ^b ±1.37	5.96±1.34	5.54±1.61	5.31±1.67	5.23 ^b ±1.61

¹ 1=없음, 9=대단히 강함
abc column내에서 같은 alphabet은 같은 수준임
*, **, *** 시료가 p<0.05, 0.01, 0.001수준에서 유의적인 차이가 있음

- 이상과 같이 9개 품종의 10개 시료를 건조 후, 저장 2개월, 저장 4개월 및 저장 6개월 후 품종별 관능적 특성 등을 측정하였으나, 건조 직후에는 $p < 0.01$ 수준에서 조생종인 운광을 제외한 중만생종인 8개 품종 9점의 전반적인 식미에서 통계적으로 유의적인 차이가 없었으며, 저장 중 전반적인 식미에서 다소간의 변화는 있었으나, 품종별로 초기 측정치와는 큰 변화는 없었던 것으로 판단되었음
- 품종 및 재배방법이 포함된 수확직후의 관능적 특성과, 저장 2, 4, 6개월 후의 관능적 특성의 측정결과만으로는 광역통합RPC에 여러 시군에서 동일한 방법으로 계약재배된 벼 간의 식미차이를 수매가격에 반영하는 것은 한계가 있는 것으로 판단되며, 수매가격 결정을 위해서는 품종 및 재배방법 이외의 식미에 영향을 주는 인자와, 실중량 및 등급에 영향을 미치는 제현율 및 외관품위 등에 대해 복합적으로 고려가 필요할 것으로 판단되었음

3. 식미수식화 및 식미인자의 영향분석

가. 실험방법

- 각 인자가 밥의 식미에 미치는 영향에 대한 연구는 비교적 많은 편이나, 각 인자별로 식미로의 영향 정도에 대해 포괄적으로 연구된 유의할만한 연구는 찾아보기 어려움. 다음 표는 인자별로 식미는 영향에 대한 연구결과를 요약한 것으로서, 표에서 알 수 있듯이 현재까지 연구에서 식미저하에 영향을 미치는 인자는 단백질 및 아밀로스와 같은 성분과, 가수분해 및 산화, 도정도 등을 들 수 있었음

표 3-3-24. 쌀의 식미저하 원인별 식미저하 형태에 대한 국내외 주요 연구결과 요약

Amylose	<ul style="list-style-type: none"> · 함량이 높으면 취반시흡수량이 많아 식미 저하(Juliano, 1965) · 밥 경도가 높고, 찰기저하, 전분노화 용이(堀内, 1969; 益重, 1994; 田中, 1995) · 고시히카리 품종은 적정 함량(15%)식미높음(石門, 1974)
Protein	<ul style="list-style-type: none"> · 함량이 높으면 경도가 높고 점도는 저하하여 식미저하(山下, 1974; 石門, 1974) · Protein body형태로 취반 후에도 남아 소화저해(柳瀨, 1984) · 함량이 높으면 백도 저하(柳瀨, 1984)
Mineral	<ul style="list-style-type: none"> · Mg/K가 높은 쌀 식미가 좋음(Horino, 1992)
Hydrolysis Oxidation	<ul style="list-style-type: none"> · Amyolysis : 밥이 부슬부슬하고 찰기저하(田中, 1995) · Proteolysis : amino-carbonyl, amino-reducing sugar로 갈변(柳瀨, 1984) · Lipolysis : free fat acid가 amylose의 helix구조 결합하여 팽윤 및 호화저해(高野, 1989) · Lipid oxidation : 카보닐화합물에 의한 고미취 발생(Yasumatsu, 1966)
Degree of milling	<ul style="list-style-type: none"> · 도정편차 및 도정도 : 잔류미강으로 인한 식미저하(김 등, 2010)

- 품종 및 재배방법과 주로 관계되는 성분을 제외하고, Moritake and Yasumatsu(1972)는 저장 중 식미저하 즉, aging(古米化)의 주요원인으로 hydrolysis와 oxidation을 들고 그 mechanism을 다음 그림으로 표현할 수 있다고 보고하였으나, 기계적으로 용이하게 측정이 가능한 고미화 정도를 표현할 수 인자(phenotype factor)에 관한 유용한 연구결과는 제한적임

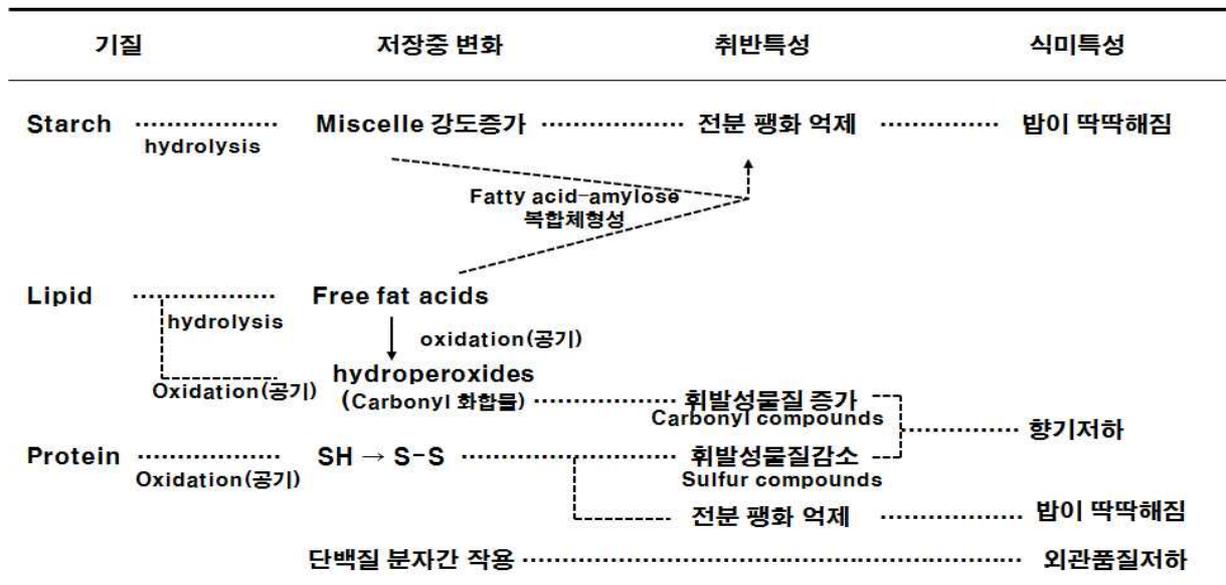


그림 3-3-5. 쌀 저장중 aging(古米化)의 mechanism(Moritake and Yasumatsu, 1972)

- 이에 따라 현재 시판되고 있는 식미측정시스템은 주로 Spectrometry 의한 성분측정이 대부분으로서, Kawamura(1996)는 일본의 4개사에서 제조되어 시판중인 식미계와 관능적 식미평가를 비교한 결과, 상관계수가 $r=0.31\sim 0.45$ 로 대단히 낮아 식미측정기 용도로 사용하기에는 정도가 낮고, 식미별 grouping 용도 정도로 사용 가능한 수준으로 평가하였으며, 김상숙 등(1998)도 일본 3개사에서 제작된 식미계와 관능적 식미평가 결과 $r=0.30, 0.39, 0.52$ 으로서 Kawamura(1996)과 유사한 결과가 나타났다고 보고하였음
- 따라서 본 연구에서는 식미영향인자와 영향정도를 나타내기 위한 식미수식을 개발하고, RPC측면에서 벼 매입시 식미와 연관된 인자를 구명하고, 이들 중 광역통합시에 매입가격과 연계할 수 있는 인자를 발굴하고자 하였으며, 전술한바와 같이 타과제와 공동으로 실시되었음을 밝혀둠
- 이를 위하여 김 등(2007)이 제안한 우리나라 RPC의 원료관리인자인 함수율, 동할율, 발아율 및 지방산가 중에서 발아율과 지방산가는 일반적으로 측정하는 백미품질과 무관함에 착안하여 현미와 백미에 대해 각각 식미영향인자를 구명하고, 통합하여 식미수식을 수립하였으며, 세부적인 실험방법은 다음과 같았음

(1) 백미 식미수식화

- 백미의 품질인자 중 관능적 식미치를 잘 표현할 수 있는 표현인자를 도출하고, 이를 이용한 식미수식을 개발하기 위하여 백미 및 취반 밥의 품질인자와 관능적 식미치의 상관관계를 분석하였음. 상관관계 분석에는 한국식품연구원 관능검사실에서 5년(2011~2015년)간 관능적 식미평가를 수행한 김상숙 등의 533점의 쌀 시료에 대한 관능적 식미평가치와 백미와 밥의 품질측정치를 이용하였음
- 이 측정치에는 백미의 품질인자로는 성분인 수분, 백도, 단백질 및 아밀로스함량과, 외관품질(등급)d

와 관련된 완전립비율, 찌라기비율, 분상질립, 피해립 및 열손립 비율 등을, 도정도와 관련된 백도 등이 포함되어 있었으며, 밥의 품질인자로는 칼라인자인 L, a, b값, TPA parameters인 경도, 부착성, 탄력성, 응집성, 씹힘성 등에 대한 측정값이 포함되어 있었음

- 따라서 본 연구에서는 533점의 쌀 시료에 대한 관능적 식미평가치와 백미와 밥의 품질측정치의 상관관계를 분석하고, 식미수식을 개발하였으며, 품질인자와 관능적 식미치와의 상관관계 및 예측모델은 SAS(ver. 9.0, SAS Inc., USA)의 PROC REG/STEPWISE를 이용하였음

(2) 현미 식미수식화

- 현미의 품질인자 중 관능적 식미치를 잘 표현할 수 있는 표현인자를 도출하고, 이를 이용한 식미수식을 개발하기 위하여 고수분 벼를 매입하여 실험조건에 맞도록 시료를 조제한 다음, 저장실험을 실시하였으며, 저장 중 품질특성과, 관능적 품질특성을 이용하여 식미수식을 개발하였음
- 실험에 사용한 벼 시료는 고품질 품종으로 보급되고 있는 정부보급품종(32품종) 중의 하나이며, 국내 벼 재배면적(799,000 ha)의 18.7%(국립종자원, 2014년)을 차지하고 있는 중만생종인 새누리품종으로 수확후 초기함수율은 26%(w.b.)이었으며, 수확후 대동RPC(충남예산소재)로 반입하였고, 조선키(IDS-30C, IGSP, Korea)를 이용하여 쪽정미, 지푸라기 및 이물 등을 선별한 후 공시하였음
- 벼의 품질과 식미와의 상관관계를 확인하기 위하여 동일품종의 벼를 시료로 식미 및 품질차이가 최대가 되도록 수확후 처리조건을 달리하면서 저장실험을 실시하였으며, 수확후 처리조건은 식미에 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 건조지연(수확 직후부터 건조 전까지의 소요기간), 건조함수율(저장함수율) 및 저장온도 등 3가지로 설정하였음
- 건조지연은 벼 1,000kg씩 폴리콘백에 담아 0일(수확후 바로 건조), 7일(건조지연 7일) 및 14일(건조지연 14일) 등 3수준의 실험구로 하였고, 건조지연 중 일사량과 비 등에 의한 영향을 배제하기 위하여 폴리콘백은 창고내에 보관하였으며, 건조지연 중 창고내온도 및 상대습도는 평균 18.7℃ 및 54.0%이었음
- 건조지연 3수준(건조지연 0일, 7일 및 14일)된 시료는 순환식곡물건조기(2ton/batch, Hansung Industry, Korea)로 건조온도 40~50℃ 조건에서 함수율이 12.0~17.0%(w.b.)범위에서 3수준이 되도록 건조시간을 조정하면서 건조하였음
- 건조지연 3수준(건조지연 0일, 7일 및 14일) 및 건조함수율 3수준(12.0~17.0%범위)으로 조제된 시료를 저장 중 함수율변화를 최소화하기 위하여 PE film에 약 10kg씩 충전한 다음, 밀봉하여 저장온도 3수준(10, 20, 및 30℃)의 저장고에 저장하면서 경시적인 식미 및 품질저하를 측정하였음
- 총 27개 실험구(건조지연 3수준×건조후 함수율 3수준×저장온도 3수준)에 대하여 총 12개월간 저장실험을 실시하였고, 저장중 품질변화는 1개월, 식미 관능검사는 2개월에 1회 측정하였고, 벼의 품질은 벼 상태의 물리적 특성, 현미상태에서의 물리적 특성, 성분특성 및 품질특성을 각각 측정하였음

며, 도정한 다음 백미상태에서의 성분 및 물리적 특성, 취반 후 식미 및 물리적 특성을 각각 측정하였음

- 벼를 고무롤러타입의 실험용 현미기(THU, Satake, Japan)로 왕겨를 제거하여 현미를 제조하여 현미 시료로 하였으며, 현미를 실험용 마찰식정미기(VP-31T, Yamamoto, Japan)를 사용하여 백도 40 수준으로 백미로 도정한 다음, 백미시료로 하였음
- 관능적 식미평가를 위해 백미 800g을 수압세미기(PR-7J, Aiho, Co. Ltd., Japan)로 일정하게 수세한 후, 백미 수분함량을 기준으로 1.4배 가수하고 전기밥솥(RZ-JP18J, HITACHI, Japan)에서 취반하여 밥 시료로 하여 공시하였으며, 상세한 품질 및 식미측정방법은 다음과 같았음
- ① 천립중 : 국립농산물품질관리원(고시 제2000-8)과 동일하게 비정상립을 제외한 정립 1,000립을 수작업으로 선별하여 전자저울로 측정하였으며, 3회 반복 측정하였음
- ② 체현율 : 국립농산물품질관리원(고시 제2000-8)과 동일하게 시료 200g을 균분기로 50g으로 축분한 다음, 시험용 고무롤러 현미기로 완전 탈부하고, 1.6mm 줄체로 20초 동안 약 30회 체별한 후 체위에 남은 현미립의 무게를 측정하여 중량을 측정하였으며, 3회 반복 측정하였음
- ③ 도정도 : 현미와 백미에 포함되어 있는 비정상립을 제외한 정립 1,000립을 수작업으로 선별하여 1,000립 중량인 천립중을 측정하여 환산하였음
- ④ 백도 및 Lab 값 : 백도계(CR 300-3, Kett, Japan) 및 색차계(CM-2500d, Konica Minolta Sensing, INC., Japan)를 이용하여 정상립에 대하여 5회 반복 측정 후 최대 및 최소값을 제외한 3회의 평균치를 사용하였음
- ⑤ 함수율 : 한국농기계협회(2005) 및 山下律也(1975)방법에 의해 함수율은 10g-135℃-24시간 건조법으로 측정한 후 표준측정법인 105℃ 건조법으로 환산하였으며, 3회 반복 측정하였음
- ⑥ 아밀로그래프 : AACCC(Method 76-21, 2000)방법에 의해 Rapid visco analyzer(RVA Super 4, Newport Scientific, Sydney, Australia)를 이용하여 peak viscosity, through, breakdown, consistency, setback, peak time 등의 결과를 Thermocline window software로 분석하였음
- ⑦ 단백질, 아밀로스 : 시료 300g을 대상으로 성분분석기(Infratec 1241, Foss Tecator, Hogenas, Sweden)를 사용하여 3회 반복 측정하였음
- ⑧ 지방산가 : AACCC방법(Method 02-01A)에 의해 시료 10g을 원통여지에 담은 후 탈지면으로 가볍게 충전하고, soxhlet 추출장치에서 용매 petroleum ether를 이용하여 16시간 동안 추출한 후 회전감압농축기를 이용하여 지방성분만 취한 후 0.02% BAP(Benzene Alcohol Phenolphthalein)용액 50 ml로 재용해시킨 후 표준색인 분홍색이 될 때까지 0.0178N KOH로 적정한 다음, 얻어진 결과 값은 다음 식에 의해 지방산가로 환산하며, 3회 측정 후 평균값을 사용하였음
- ⑨ 발아율 : 국립농산물품질관리원(고시 제2000-8)과 같이 벼 정립 100립을 선별하여 20℃의 인큐베이터(HK-B1028, 한국종합기기제작소, Korea)에 넣고 7일 이내에 발아한 미립수를 발아율로 하였

으며, 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였음

- ⑩ TTC : 국립종자원(2013)방법에 의하여 TTC(2,3,5-tri phenyltetrazolium chloride(tetrazolium))를 정립종자 100립에 6시간동안 흡습시킨 후, 배유길이의 3/4만큼 잘라 TZ(tetrazolium)용액에 30℃, 2시간 침지하여 배 착색형태와 착색정도에 따라 발아여부를 판단하였음
- ⑪ 구아야콜 정색반응 : 국립농산물품질관리원(고시 제2000-8)의 방법에 의하여 시료 4g을 시험관에 넣고 1% 구아야콜 용액 4mL 가한 후, 3% 과산화수소 0.2mL를 넣고 2분간 정치후, 착색된 액을 분리하여 UV Spectrophotometer(Jasco V-600 series, Tokyo, Japan) color 모드를 이용하여 3회 반복 측정하여 평균값을 사용하였음
- ⑫ Peroxidase 활성도 : Moon 등(2010) 및 Chen 등(2003)의 방법에 의하여 시료와 3% NaCl 용액을 2:3(W/V)의 비율로 균질화한 다음, 거즈에 걸러 13,000rpm, 4℃, 30분 동안 원심분리기(LaboGene 1730R, Labogene, Korea)로 상층액을 분리후 효소액으로 사용하였고, 0.05M potassium phosphate buffer(pH 6.5) 2.4mL에 추출한 효소액 0.15mL, 150mM guaiacol 0.3mL, 100mM H₂O₂를 넣어 혼합한 후 Spectrophotometer(Jasco V-600 series, Tokyo, Japan)를 이용하여 470nm에서 흡광도를 3회 반복 측정하였고, peroxidase 활성은 1분당 흡광도 1.0을 증가시키는 활력으로 계산하였음
- ⑬ 환원당 : Miller(1959)에 의하여 DNS방법으로 측정하였으며, 현미시료를 분쇄 후 1% NaCl 용액에 넣고 shaking incubator(KSI-200L, G&S, Korea)에서 150rpm, 30℃, 3시간 동안 정치 후 filter paper(Advantec no.1, Japan)에 걸러 시료액으로 사용하였음. 시료액 1mL에 DNS용액 3mL을 넣어 Heating bath(bW-10G, Jeiotech, Korea)에서 65℃, 5분간 반응후 찬물에 식혀 증류수로 25mL로 정량후 UV Spectrophotometer(SpectraMax i3, Molecular Devices, LLC., USA)로 흡광도 550nm에서 3회 반복 측정하였음. 표준용액은 glucose 용액으로 표준곡선을 구하여 얻어진 식을 이용하여 계산하였음
- ⑭ 관능적 식미평가 : 관능적 식미평가에 사용한 백미는 실험용마찰식정미기(CBS550BS, Satake, Japan)로 백도 40을 기준으로 도정하여 색채선별기(FGS-1000, Satake, Japan)를 이용하여 미숙립, 피해립, 착색립 및 사미 등 불량립을 선별한 후 정립만을 공시하였으며, 밀봉후 2℃ 저온저장고에 보관하면서 실험시작 24시간 전에 상온에 방치하여 외기온도와 평형을 이루게 한 후 관능평가에 사용하였음. 백미 800g을 수압세미기(PR-7J, Aiho, Co. Ltd., Japan)로 1회 세척(물 4L를 세미기에 붓고, 쌀 800g을 투입한 후, 물 10L를 40초간 추가하면서 강제순환 수세)한 후, 물과 쌀을 채반에 배출(소요시간 30초 정도)하고, 세미기에서 배출되지 않고 남은 쌀에 물 4L를 20초 이내에 붓고 재 배출하였음. 백미 수분함량을 기준으로 하여 중량비 1.4배로 가수(백미 함유율 14%일 때 물 가수량 1,120g기준, 백미 함유율에 따라 가수량을 다소 조정)하고, 일반 전기밥솥(850J, Samsung, Korea)을 사용할 경우 30분간 침지하되, 유도가열방식(IH, Induction heating) 전기밥솥(RZ-JP18J, Hitachi, Japan)을 사용할 경우에는 침지하지 않고 바로 취반하였음. 가수량은 밥 함유율을 약 65% 전후, 취반시 수분증발량을 가수량의 약 3.49%, 쌀 함유율을 15%로 가정할 경우 총 가수량은 쌀 중량의 14.8배 수준이 되도록 하였음. 침지수 1.4배 이외에 별도로 가수하지 않고 전기밥솥

(RZ-JP18J, Hitachi, Japan)에서 취반 후 보온상태에서 15분간 뜸을 들이고, 취반된 밥을 내솥으로부터 옆면 1cm, 바닥 1cm를 제외한 가운데 부분의 밥만을 bowl(지름×높이, 23cm×12cm)에 옮겨 담은 후, 밥알이 손상되지 않도록 주의하여 커다란 포크로 5회 밥을 혼합한 후 5분 냉각시켰으며, 이러한 혼합 및 냉각을 3회 반복하였음. 흰색의 사기그릇(지름×높이, 8.5cm×5cm)에 ice cream scoop을 사용하여 약 50g 정도의 밥을 담아서 뚜껑을 닫은 후, 관능검사시 밥의 온도가 $27\pm 2^{\circ}\text{C}$ 정도가 되도록 한 후 실온에서 시료를 제공하였음. 관능평가지, 검사물에 대한 편견을 없애기 위해 무작위 세 자리 숫자로 표기된 시료를 한 점씩 제시하였으며, 시료의 제시순서는 무작위로 하여 위치오류와 대조효과에 의한 오차를 최소화하였음. 관능적 품질 특성항목으로는 외관, 향, 맛, 조직감 및 전반적인 품질을 평가하며, 부수적인 강도특성으로는 윤기, 색, 밥 이외의 냄새, 밥 특유의 맛 강도 및 조직감에서 낱알 표면의 거칠음성, 경도, 탄력성, 응집성, 부착성을 측정하므로 평가항목은 총 14가지이고, 평가방법은 9점 항목척도(1=대단히 낮음, 5=보통정도, 9=대단히 높음)를 사용하였음. 밥의 관능적 특성은 관능적 품질평가에 대한 훈련을 받은 30명의 패널(panel)에 의해 2회 반복 평가하였음. 2회 반복한 관능적 식미평가치를 이용하여 각 분석 항목에서 시료 간 차이검증은 Statistical Analysis System(ver. 9.0, SAS Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석을 하였으며, 시료 간 차이가 있는 특성의 경우 SNK(Student Newman Keul's) 다중비교를 수행하여 각 시료의 평균값을 비교하였음

- ⑮ 밥의 texture 특성 : 밥의 texture 특성은 밥 12g을 원통용 용기에 담아 Texture analyser(model TA-XT2, Stable Micro System Ltd., Haslemere, England)를 이용하여 Bourne 등(1978)에 의해 기술된 2 bite compression에 의해 springiness(탄력성), cohesiveness(응집성), adhesiveness(부착성), hardness(경도), chewiness(씹힘성)를 측정하였으며, 측정조건은 plunger (diameter 50mm)를 이용하여 crosshead speed 10mm/sec. 시료를 2번 40% compression 하였음

나. 결과 및 고찰

(1) 백미 식미수식화

- 533점의 백미와 백미로 취반한 밥의 품질특성과 관능적 식미치와의 상관관계를 이용한 식미예측모델은 다음 표와 같았음. 표에서 알 수 있듯이 백미에서 측정이 가능한 품질인자인 성분, 외관품위 및 도정도 등 품질인자를 이용한 식미예측모델의 결정계수(R^2)는 0.3313으로 비교적 낮았고, 취반 밥의 성분, 외관 칼라인자 및 TPA parameters를 이용한 식미예측모델의 결정계수(R^2)는 0.5497로 비교적 높게 나타났으며, 백미와 취반 밥의 모든 품질인자를 이용한 식미예측모델의 결정계수(R^2)는 0.6520수준을 나타내었음

표 3-2-25. 백미 및 취반 밥의 품질인자를 이용한 식미예측 모델식

구분	모델식(N=533점)	R^2
백미	2.04632+0.14784백미수분+0.0202백미백도+0.04166백미 단백질-0.04019 백미 아밀로스+0.01991백미 완전립+0.0001118백미 짜라기+0.01987백미 분상질립-0.46667백미 피해립+0.17319백미 열손립	0.3313
취반 밥	11.29608 - 0.11376밥의 수분 + 0.04837밥의 L값 - 0.55057밥의 a값 - 0.25210밥의 b값 - 0.00094247밥의 경도 - 0.00046515밥의 부착성 + 0.73935밥의 탄력성 - 3.29845밥의 응집성 + 0.00153밥의 씹힘성	0.5497
백미+취반 밥	8.59027 + 0.12383백미의 수분 + 0.02299백미의 백도 - 0.02409백미의 단백질 + 0.01367백미의 아밀로오스 + 0.00946백미의 완전립 - 0.00303백미의 짜라기 - 0.00381백미의 분상질립 - 0.19203백미의 피해립 - 0.43389백미의 열손립 - 0.08453밥의 수분 + 0.02183밥의 L값 - 0.39299밥의 a값 - 0.14221밥의 b값 - 0.00107밥의 경도 - 0.00041598밥의 부착성 - 0.09589밥의 탄력성 - 3.74354밥의 응집성 + 0.00193밥의 씹힘성	0.6520

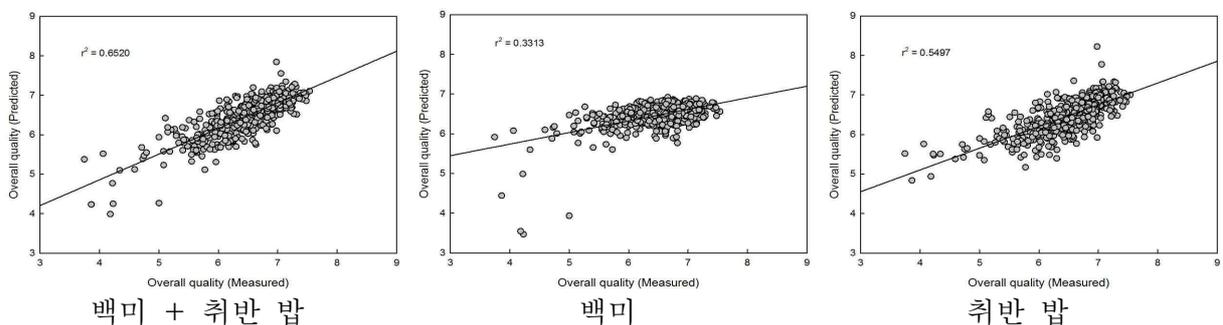
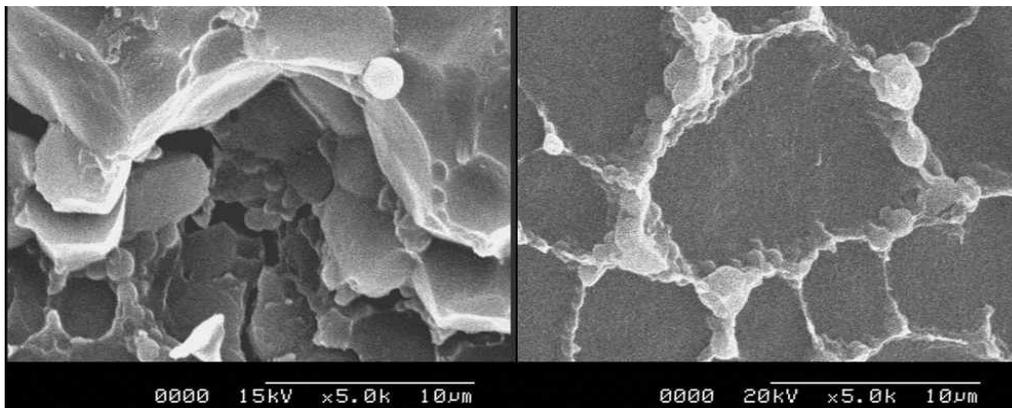
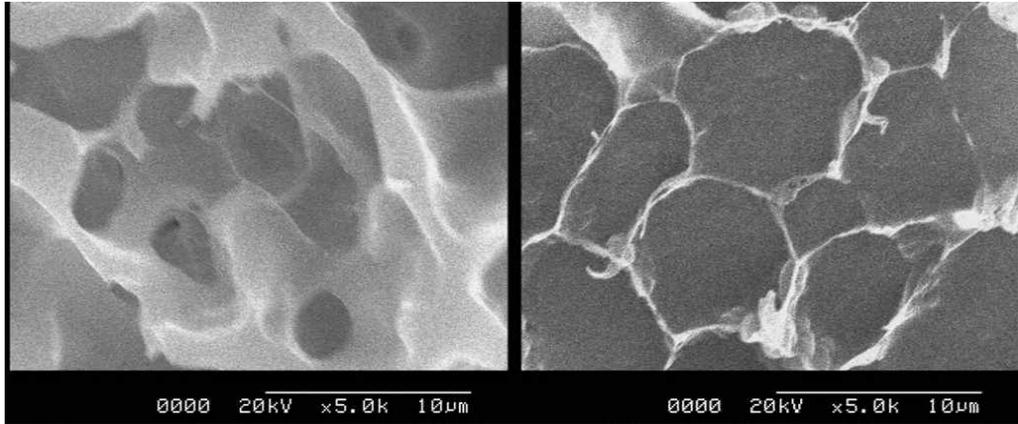


그림 3-3-6. 백미 및 취반 밥의 품질인자를 이용한 식미예측모델의 실측치와 예측치 비교

- 백미+취반 밥 모델의 결정계수(R^2)가 0.6520, 취반 밥 모델의 결정계수(R^2)는 0.5497로서, 백미만을 이용한 모델의 결정계수(R^2) 0.3313에 비해 높았으나, 취반 밥의 성분, 외관칼라인자 및 TPA parameters는 원료 벼(현미)의 발아율, 백미 성분, 외관품위 및 도정도와 관계가 있어 독립변수가 될 수 없으며, 취반 밥의 품질인자를 측정하기 위해서는 취반과정이 필요하여 신속하고 비파괴적인 측정방법을 사용하기 어려운 단점이 있음
- 따라서 기계적인 측정방법을 고려한다면 백미 및 취반 밥에서의 관능적 식미치는 백미만을 고려하여 나타내는 것이 유용할 것으로 판단하며, 백미에서의 표현인자로는 현미의 발아율 및 지방산가 등과 관계가 없는 성분, 외관품위 및 도정도 등의 품질인자가 적합할 것으로 판단되었음
- 한편, 앞의 표에서 백미만을 이용한 모델($R^2=0.3313$)을 수립하기 위해 사용된 백미의 품질인자인 수분, 백도, 단백질, 아밀로스, 완전립, 싸라기, 분상질립, 피해립, 열손립 비율, 도정도(백도)의 측정된 범위와 식미와의 상관관계는 다음 표 및 그림과 같았음. 표 및 그림에서 알 수 있듯이 그동안 쌀 포장지에 식미대신 표기해온 단백질 함량과 식미와의 상관관계(r)는 0.020수준으로 측정된 4.90~7.74% 범위에서는 식미에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났음
- 그러나 단백질량과 식미관계에 대해 일반적으로 단백질함량이 높으면 취반시 흡수성이 낮아 관능검사에서 취반 후에 딱딱해지고 점도가 저하(田中, 2007)하고, 저장단백질(protein body)의 비율 즉, 저장단백질의 약 20~25%정도를 차지하며 소화효소가 침입하기 어려운 구조를 가져 인체 흡수율이 낮은 Prolamin인 PB-I와, 저장단백질의 약 60~65%정도를 차지하며 소화되기 쉬워 인체에 흡수되는 Glutelin인 PB-II의 비율에 따라 달라지는데, 단백질의 식미 영향에 관한 상세한 메커니즘은 아직 구명되지 않았으며(松江, 2018), 본 연구에서 확인한 결과, 취반후 저장단백질은 현미의 발아여부별로 도정했는지 여부에 따라 크게 차이가 있으므로 단백질함량을 매입가격 결정인자로 사용하는 것은 한계가 있을 것으로 판단되었음



(백미의 저장단백질 형태) (미발아립으로 취반한 밥에서 저장단백질 형태)



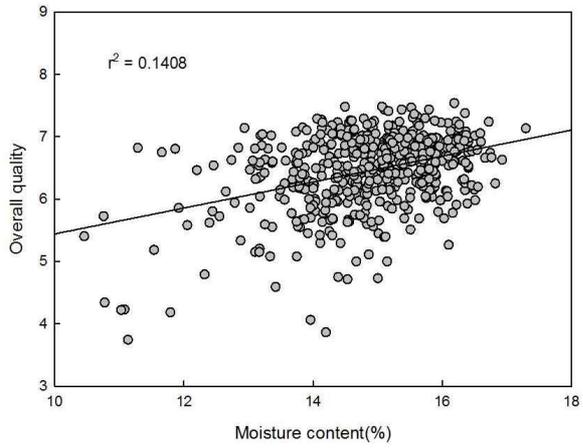
(발아립으로 취반한 밥에서 저장단백질의 형태)

그림 3-3-7. 발아 및 미발아 현미립을 백미로 도정한 후 취반한 밥에서의 저장단백질의 변화

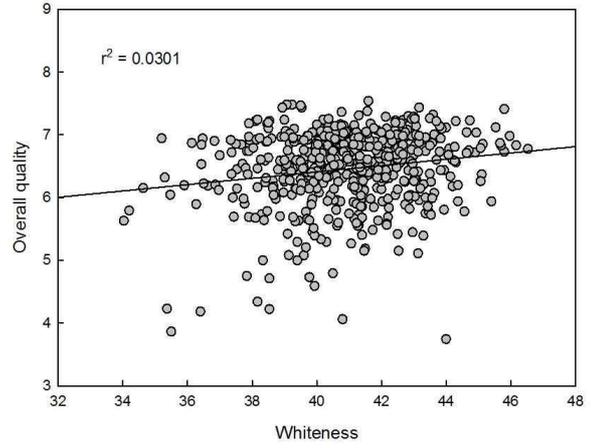
- 반면, 성분 중에서는 함수율이 비교적 관능적 식미치와 상관관계가 높았으나 수확시기에서 함수율은 식미와 관계가 없으며(김 등, 2014), 쌀 수분은 취반시 가수량의 조절로 식미영향을 배제할 수 있으므로(김 등, 2018) 함수율에 의한 영향보다는 함수율이 높아지면 아밀로스 및 단백질 등 타 성분이 줄어들기 때문으로 판단되었음
- 외관 품위 중에서는 피해립의 상관계수가 비교적 높게 나타났으며, 도정도의 상관계수는 0.174로 비교적 낮게 나타났고, 쌀의 성분, 품위 및 도정도로 구분된 인자들의 식미예측모델로의 기여정도는 각각 8.90%, 22.35% 및 1.89% 수준을 나타내었음

표 3-2-26. 백미지표 측정범위 및 모델로의 기여정도

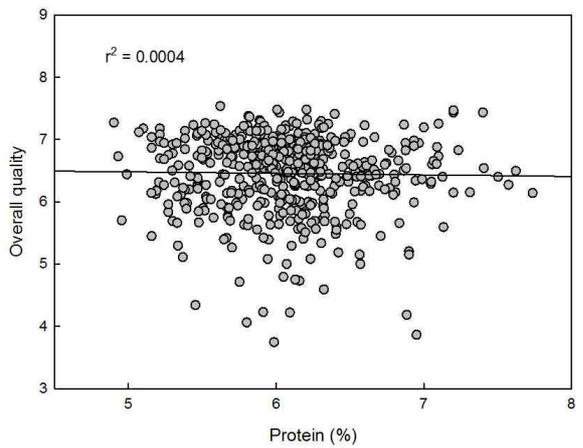
구분	품질인자	백미품질 측정치			r	기여정도 (%)
		최소치	최대치	평균치		
성분	수분	10.46	17.29	14.87	0.376	8.90
	단백질	4.90	7.74	6.06	-0.020	
	아밀로스	13.93	20.10	17.02	-0.031	
품위	완전립	64.93	99.67	93.95	0.227	22.35
	싸라기	0.17	31.60	3.85	-0.205	
	분상질립	0.00	19.27	1.97	-0.055	
	피해립	0.000	5.333	0.227	-0.446	
	열손립	0.000	0.533	0.009	-0.251	
도정도	백도	34.30	46.53	40.87	0.174	1.89
소계						33.13



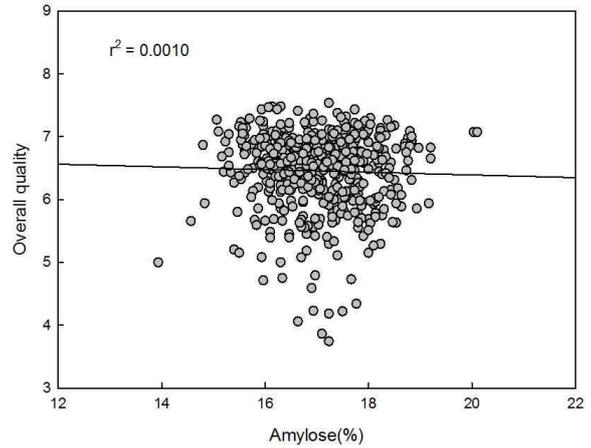
(a) 함수율



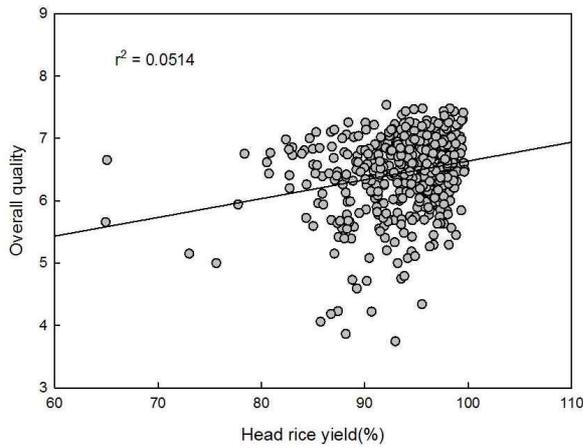
(b) 백도



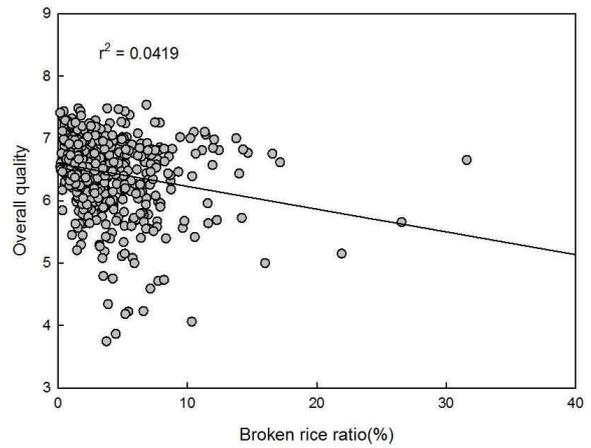
(c) 단백질



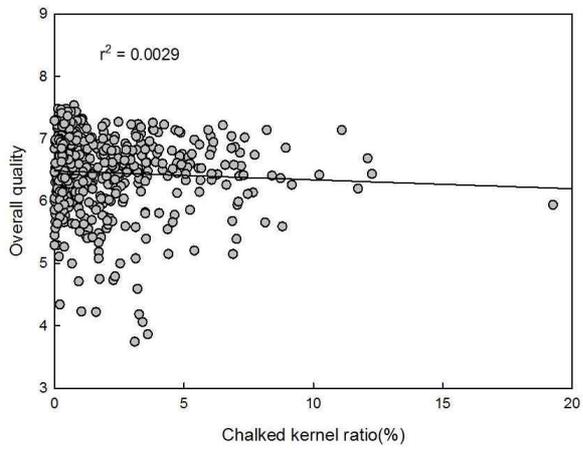
(d) 아밀로스



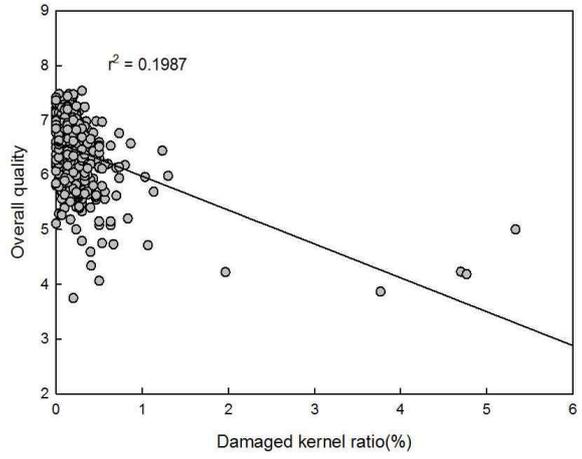
(e) 완전미율



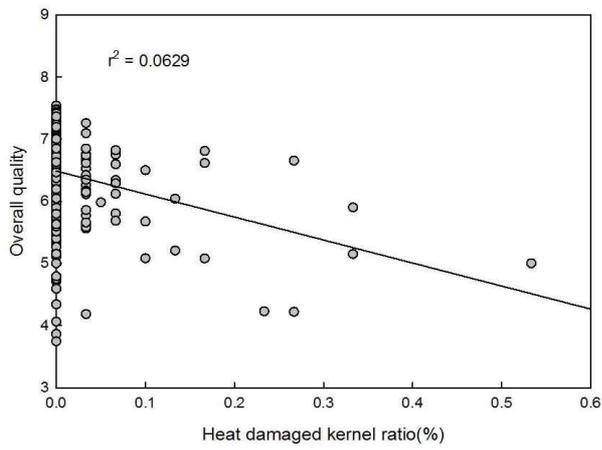
(f) 찌라기율



(g) 분상질립



(h) 피해립



(i) 열손립

그림 3-3-8. 백미의 식미관련 주요 품질인자와 식미와의 상관관계

(2) 현미 식미수식화

- 건조지연, 건조함수율 및 저장온도별 27실험구의 시료에 대해 저장기간별로 벼, 현미, 백미 및 밥을 대상으로 물리적특성, 성분특성, 품질특성, 식미특성을 측정하였고, 283점의 현미와 이 현미로 가공한 백미로 취반한 밥의 품질특성과 관능적 식미치와 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같았음
- 먼저, 수확후 공정조건 즉, 건조지연, 건조함수율 및 저장온도별 저장기간 중 식미변화는 다음 그림과 같았으며, 그림에서 알 수 있듯이 수확후 공정조건 및 저장기간에 따라 관능적 식미치는 크게 변화하여 수확후 공정조건이 식미에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었으며, 수확후 공정변화에 따른 품질변화를 식미와 연계하여 상관관계를 분석할 수 있다는 것도 알 수 있었음

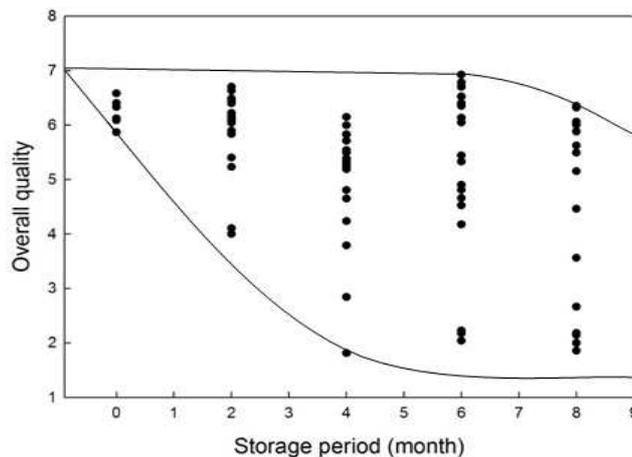


그림 3-3-9. 수확후 공정조건과 저장기간에 따른 식미변화

- 수확후 공정조건의 변화에 따른 품질변화 실험 측정치와 관능적 식미평가치간의 상관관계는 다음의 표 및 그림과 같았음. 표 및 그림에 알 수 있듯이 상관계수(r)가 가장 높게 나타난 품질인자는 발아율($r=0.8289$), 발아율 측정방법의 일종인 TTC($r=0.6132$) 및 지방산가($r=-0.5580$) 등으로서 원료의 신선도(freshness)와 관계가 있는 품질인자의 상관계수가 가장 높게 나타났고, RVA특성 및 현미 칼라인자 a 등도 비교적 높게 나타났는데, 현미 칼라인자인 a값이 높게 나타난 것은 고함수율 및 고온에서 장기 저장된 현미의 외관품질이 지나치게 저하한 저장구의 영향으로 판단되었음

표 3-2-27. 수확후 공정조건에 따른 품질인자와 관능적 식미와의 상관관계

구분	품질	품질인자	r
벼	물리적 특성	함수율(% , w.b.)	-0.0316
		천립중(g)	0.0757
현미	물리적 특성	함수율(% , w.b.)	-0.0221

		천립중(g)		-0.2845	
		제현율(%)		-0.1282	
		칼라 인자	L value		0.1366
			a value		-0.5243
			b value		-0.3767
			백도		0.3818
		RVA	Break down(RVU)		-0.5342
			Consistency(RVU)		-0.4984
	성분 특성	단백질 (%)		0.2385	
		아밀로스(%)		0.0204	
	품질 특성	지방산가(mg KOH/100g drymatter)		-0.5580	
		발아율(%)		0.8289	
		TTC(%)		0.6132	
		구아야콜정색반응(a value)		0.1752	
Peroxidase활성도 (dAbs/min)		0.2769			
환원당(mg/L)		0.3981			
백미	물리적 특성	함수율 (% , w.b.)		0.376	
		칼라 인자	L value		-0.197
			a value		-0.376
			b value		-0.226
	백도 (-)		0.174		
	성분 특성	단백질 (%)		-0.020	
		아밀로스(%)		-0.031	
	품질 특성	완전립(%)		0.227	
		싸라기 (%)		-0.205	
		분상질립(%)		-0.055	
피해립(%)		-0.446			
열손립(%)		-0.251			
밥	물리적 특성	함수율(% , w.b.)		-0.024	
		칼라 인자	L value		-0.045
			a value		-0.441
			b value		-0.244
		TPA	경도 (g)		-0.444
			부착성(g · sec)		-0.111
			탄력성 (%)		0.016
			응집성(%)		-0.383
			씹힘성(-)		-0.369

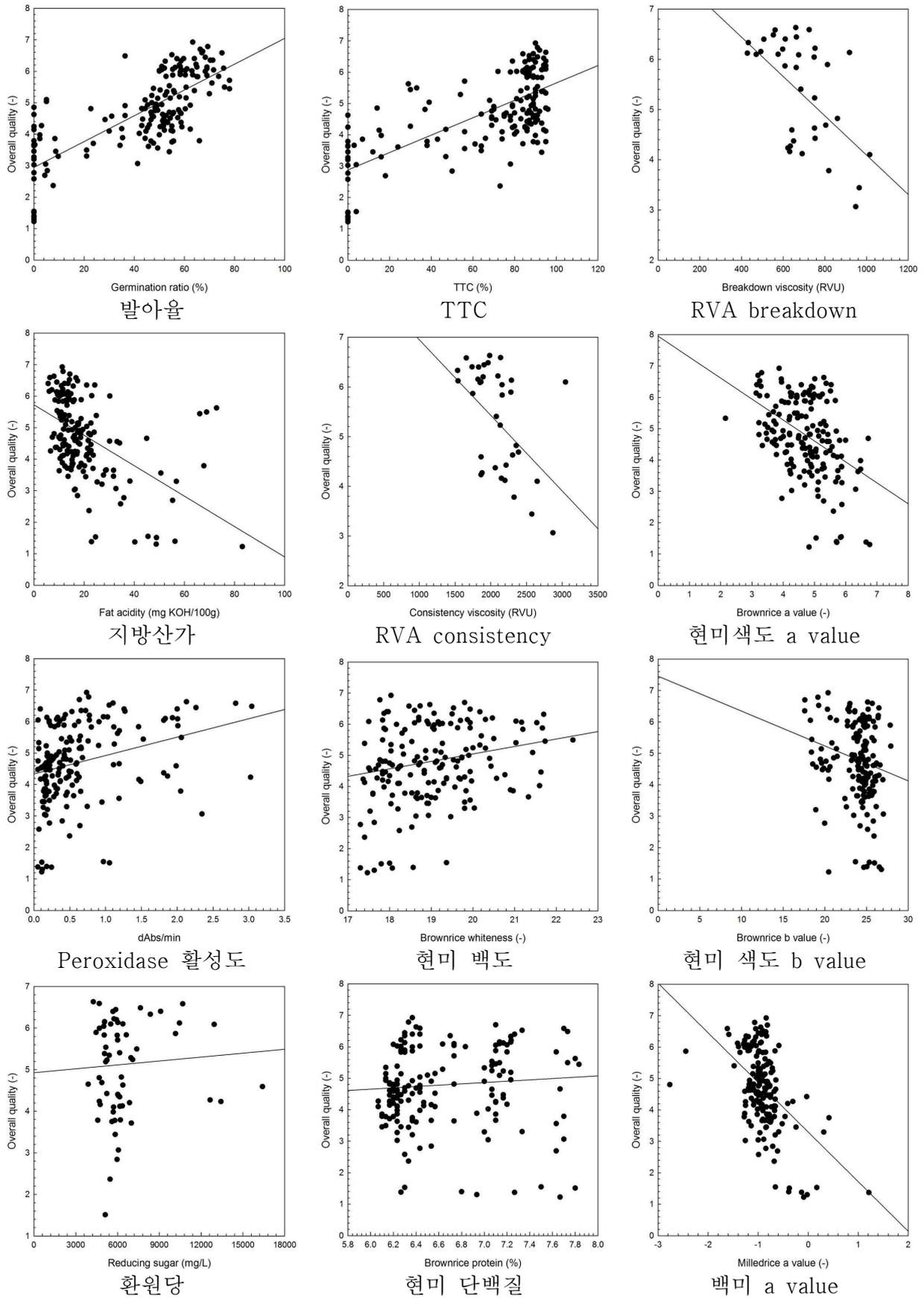


그림 3-3-10. 수확후 처리조건에 따른 주요 품질인자와 관능적 식미와의 상관관계

- 벼, 현미, 백미 및 취반 밥의 품질인자 중 관능적 식미치와 가장 높은 상관관계를 가진 발아율과 식미와의 저장기간에 따른 상관관계는 다음 그림과 같았으며, 그림에서 볼 수 있듯이 저장기간에 따른 식미변화와 발아율변화는 다소 유사한 경향으로 나타났음

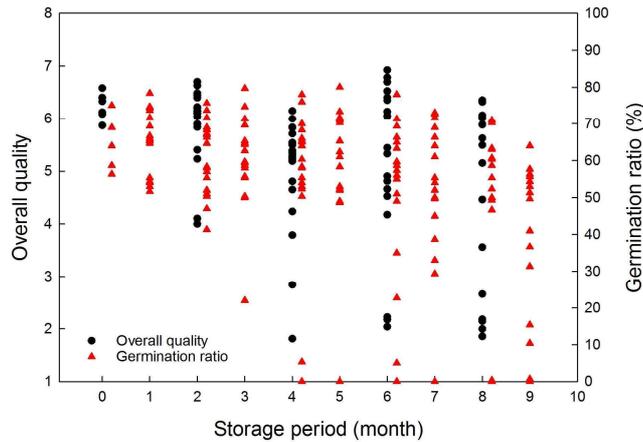


그림 3-3-11. 발아율과 관능적 식미평가치와의 저장기간 중 변화

- 이상의 결과를 이용하여 발아율과 관능적 식미와의 상관관계를 나타내면 다음 표 및 그림과 같았으며, 표 및 그림에서 알 수 있듯이 발아율에 의한 식미예측치와 측정치와의 결정계수(r^2)는 0.6878 수준으로 단일 인자에 의한 영향이 매우 높게 나타났음
- 한편, 발아율과 관능적 식미치와 높은 상관관계를 가진 지방산가를 포함한 식미수식의 결정계수(R^2)는 0.7104 수준으로 발아율만을 사용하였을 때보다 다소 높아졌으나 쌀에서의 지방은 spherosome 형태로 축적되었다가 고온처리 및 장기저장과 같은 외부환경에 따라 막구조에 손상이 발생하면 lipase 및 lipoxygenase 등에 의해 순차적으로 가수분해 및 산화 등의 과정을 거치면서 유리지방산은 전분의 helix구조에 결합하여 호화를 방해하고, carbonyl화합물은 고미취의 원인(大坪, 1996)이 되므로 신선도의 한 인자인, 지방산가를 발아율과 구분된 독립적인 변수로 취급하기 어렵고, 측정오차가 많은 등으로 원료 벼(현미)의 식미저하 표현인자로는 발아율이 가장 유용한 것으로 판단되었음

표 3-2-28. 수확후 공정조건에 따른 원료 벼(현미)의 유용한 품질인자를 이용한 식미예측식

품질인자	식미예측식	식미예측식과 실측치 정도		
		r(R)	$r^2(R^2)$	SE
발아율(x_1)	$2.1282+0.0551x_1$	0.8289	0.6878	0.7244
지방산가(x_2)	$6.0040-0.0530x_2$	0.5580	0.3113	1.0185
발아율(x_1)+지방산가(x_2)	$3.13392+0.04496x_1-0.04200x_2+0.00015916x_1^2+0.00039045x_2^2-0.00051972x_1x_2$	0.8428	0.7104	0.5538

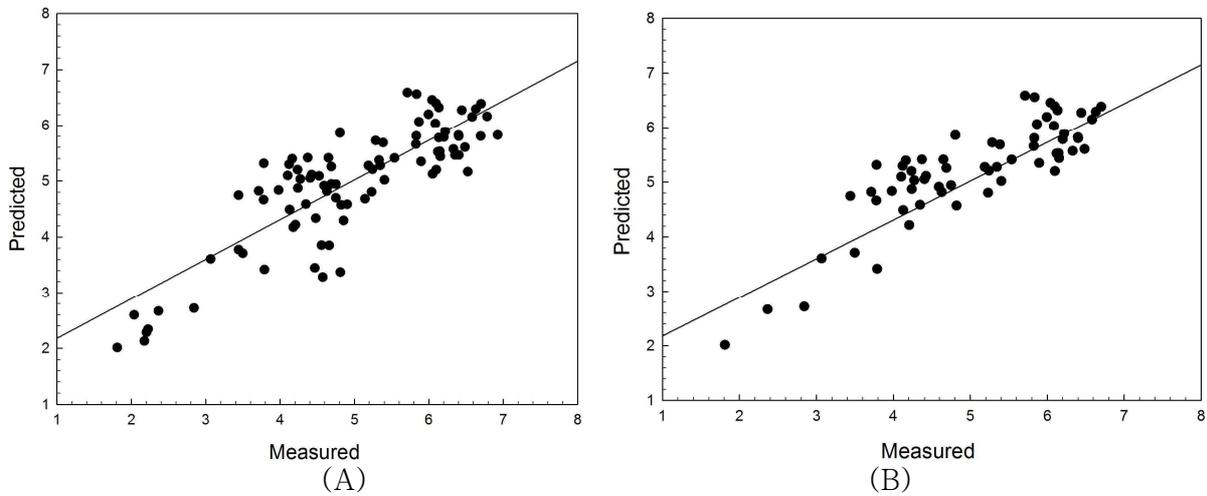


그림 3-3-12. 발아율(A) 및 발아율+지방산가(B)를 변수로 한 식미 예측치와 실측치의 비교

(3) 식미수식화 및 식미인자의 영향분석

- 결정계수(coefficient of determination)는 X, Y 두 변인간의 관계에 있어서 어느 한 변인이 다른 변인의 변량을 설명해주는 정도를 비율로 나타낸 것으로서, 예를 들어 결정계수 $r^2=0.81$ 이면 Y변량의 81%가 X의 변량에 의해서 예언되거나 설명될 수 있으므로(교육학용어사전) 다음과 같은 식미모델의 상수값으로 결정계수를 사용할 수 있음

$$\text{쌀의 식미} = \alpha \times f(\text{현미지표}) + \beta \times f(\text{백미지표}) + \gamma \dots\dots\dots (3-3-2)$$

여기서, α, β : 상수(가중치, 결정계수)

γ : 오차

- 현미에서의 발아율과 백미에서의 성분, 외관품위 및 도정도는 상호 영향이 없는 독립변수이고, 본 연구에서 측정한 현미에서의 발아율과 백미에서의 성분, 외관품위 및 도정도의 값은 RPC 및 유통시장에서 발생할 수 있는 범위이내이며, 비과괴적 측정시스템구축이 가능한 지표인자이므로 전술한 현미 및 백미식미수식의 결정계수를 사용하면 다음과 같이 나타낼 수 있음

$$\text{쌀 식미} = 0.62 \times f(\text{현미발아율}) + 0.33 \times f(\text{백미 성분, 품위, 백도}) + \gamma(\text{기타}) \dots\dots\dots (3-3-3)$$

$$\text{여기서, } f(\text{현미발아율}) = 0.0345 \text{발아율} + 3.0908 \quad (r^2 = 0.6229)$$

$$f(\text{백미 성분, 품위, 백도}) = 2.04632 + 0.14784 \text{백미 수분} + 0.0202 \text{백미 백도} + 0.04166$$

$$\text{백미 단백질} - 0.04019 \text{백미 아밀로스} + 0.01991 \text{백미 완전립} + 0.0001118 \text{백미}$$

$$\text{싸라기} + 0.01987 \text{백미 분상질립} - 0.46667 \text{백미 피해립} + 0.17319 \text{백미 열손립}$$

$$(R^2 = 0.3313)$$

- 전항에서도 알 수 있듯이 현미에서의 발아율, 백미에서의 성분(합수율, 단백질, 아밀로스함량), 외관 품위 및 도정도(백도) 이외에도 식미에 미치는 영향인자로 쌀의 칼라(L, a, b)과 무기질 등을 고려할 수 있으나, 현미의 칼라는 백미의 도정도와 상관관계가 발생할 수 있으며, Horino 등(1992)은 성

분 중 mineral이 식미와 상관관계가 있다고 보고한바 있으나 비과괴적인 측정에 한계가 있어 이들은 오차항에 포함하는 것이 타당할 것으로 판단되었음

- 상기 식미모델에서 수확전의 품종 및 재배방법과 관련이 있는 영향인자는 백미 외관품위로서, 백미의 외관품위가 수확후 건조, 저장 및 도정과정 중 일정부분 영향을 받지만 백미 품위에 가장 영향을 미치는 인자는 원료의 품위임을 감안하고, 수율과도 관계가 있으므로 원료 품위는 반입시 가격결정에 반드시 포함되어야 하는 중요한 인자가 될 수 있음
- 한편, 수확후 공정조건으로 선정한 건조지연, 저장함수율 및 저장온도가 식미저하에 미치는 영향정도를 분석하기 위하여 건조지연 0일, 저장함수율 15%, 저장온도 20℃를 기본조건으로 하고, 건조지연 (7일 및 14일), 저장함수율(14% 및 16%), 저장온도(10℃ 및 30℃) 등에 대하여 회귀식을 구한 다음, 이 회귀식을 이용하여 저장기간에 따른 식미비율(초기 식미치를 100%로 하였을 때의 비율)을 추정한 결과, 새누리품종을 대상으로 저장함수율 1%가 증가할 때 식미치는 6.7%/월이 감소하였으며, 다른 모든 변수를 제외하고 단순하게 본 연구에서의 품종, 수확후처리조건, 분석방법만으로 추정할 때 저장함수율이 15%에서 1%증가할 때 식미저하는 건조지연은 약 4.3일, 저장온도는 약 4.4℃ 증가한 것과 동등한 것 즉, 등가성(等價性, equivalence)을 가진 것으로 나타났음
- 이 중에서 벼의 반입시 가격과 연관되어 적용이 가능한 식미인자는 건조지연으로서, 건조지연은 농가에서 수확후 자체 보관 등을 통해 RPC에 반입이 지연되는 경우, 반입예약제의 미시행으로 RPC의 반입량에 비해 건조능력이 부족한 경우 등을 들 수 있으며, 농가의 자체보관 및 반입예약제의 미준용 등은 가격에 반영될 수 있는 식미인자로 판단되었음

표 3-2-29. 건조지연에 따른 저장기간 중 식미 변화율 및 차이

저장기간 (month)	건조지연조건별 식미 변화율(%)			건조지연 0일 기준 식미차이	
	0일(A)	7일(B)	14일(C)	B-A	C-A
0	100.0	100.0	71.1	0.0	0.0
1	99.2	94.6	70.8	-4.6	-28.5
2	98.3	90.8	68.9	-7.5	-29.4
3	97.7	86.2	68.0	-11.5	-29.7
4	96.2	83.4	67.5	-12.8	-28.6
5	95.4	80.8	65.4	-14.6	-30.0
6	94.6	79.7	64.5	-14.9	-30.2
7	93.8	77.2	62.9	-16.6	-30.9
8	91.5	76.6	61.2	-14.9	-30.3
평균	96.3	85.5	66.7	-10.8	-26.4

4. 식미 및 수율기반 원료가격지수 개발

가. 개발방법

- 광역통합RPC로 규모화되었을 때 참여하는 단위농협 및/또는 RPC 숫자가 기존의 통합RPC에 비해 현저하게 많아지고, 특히 여러 시군이 참여할 경우, 지역적으로 벼 매입가격에 대한 불만이 현재보다는 현저하게 증가할 것이 우려되고 있어, 광역통합에 참여하는 각 단위농협 및 조합원이 만족할 수 있는 벼 매입체계의 구축이 필요하며, 본 연구는 광역통합으로 규모화되었을 때의 벼 매입가격체계를 구축하기 위해 수행되었음
- 벼 매입가격은 기본적으로 수율과 식미에 기반으로 결정되어야 하나, RPC에서 브랜드 관리, 구분처리 등을 위한 품종 및 재배방법, 반입되는 함수율 및 목표함수율 차이에 의한 건조비용 등이 추가로 고려되는 것이 바람직하며, 이를 위해 본 연구에서 조사한 RPC 가격체계는 물론, 품종 및 성분이 식미에 미치는 영향조사, 식미수식화 및 식미인자의 영향분석 등의 연구결과를 바탕으로 식미 및 수율기반 원료가격지수를 개발하였음

나. 결과 및 고찰

- 수율에 가장 영향을 미치는 인지는 제현율로서 김 등(2018)은 우리나라 RPC 177개소에서 2004년부터 2017년간 측정된 제현율은 평균 85.9%이지만 62.4~97.8% 범위로서 연도별, 지역별, 품종별로는 최대 36.3%의 차이가 발생하였으며, 동 기간 중 RPC 평균 싸라기율 4.6%와 RPC의 평균 정백수율 73.6%를 감안할 때 완전미수율은 58.5% 정도에 불과하다고 하였음
- 평균 완전미수율 = 73.5%(정백수율)×85.9%(현미정립비율)-4.6%(싸라기율) = 58.5%(추정)

표 3-3-30. RPC에서 측정한 연도별 현미정립비율(김 등, 2018)

연산	현미정립비율(%)			대상 RPC수	연산	현미정립비율(%)			대상 RPC수
	평균	최대	최소			평균	최대	최소	
2004	80.6	90.2	62.4	36	2011	87.5	92.9	82.4	10
2005	83.0	91.4	72.3	20	2012	80.3	86.4	70.0	7
2006	88.1	92.5	77.3	7	2013	86.7	95.4	76.2	17
2007	79.1	91.0	65.6	16	2014	90.9	95.7	80.8	12
2008	89.8	95.5	82.4	10	2015	89.3	97.8	77.0	6
2009	93.0	96.6	86.1	7	2016	88.9	92.2	82.5	8
2010	81.6	86.3	78.5	11	2017	84.2	93.5	67.5	10
					평균	85.9	92.6	75.7	177

자료) 식품연의 컨설팅 및 성능검사 과정에서 측정한 결과를 정리한 것임

- 제현율은 수율을 결정하는 가장 중요한 인자로서 농협RPC의 86.6%가 적용하고 있고, 비축미 매입에서도 가장 중요한 기준으로서 가격결정 인자로 당연히 반영되어야 하나, 제현율은 1.6mm체위에 남은 현미의 중량비로서 가공시 백미 정상립이 될 수 없고 식미저하의 중요한 원인이 되는 비정립이 포함되어 있으므로 제현율과 함께 현미품위도 가격결정 인자로 포함되어야 함
- 농산물표준규격의 수분기준이 16%로서 일부 지역에서는 벼 매입함수율기준을 15.5%, 16%로 유지하는 경우가 있으나, 앞의 연구결과에서 함수율이 1% 증가하면 식미치는 6.7%/월 저하하므로 고품질을 유지하기 위해 RPC에서 저장함수율을 15% 이하로 유지하는 것이 필요하며, 환산중량은 15%를 기준으로 하고, 반입된 벼를 15%까지 건조하는데 필요한 건조비용을 가격결정에 반영하는 것이 필요함

표 3-3-31. 농산물표준규격의 쌀 등급 기준

등급 \ 항목	최 고 한 도 (%)					
	수분	싸라기	분상질립	피해립	열손립	기타이물
특	16.0	3.0	2.0	1.0	0.0	0.1
상		7.0	6.0	2.0	0.0	0.3
보통		20.0	10.0	4.0	0.1	0.6

- 식미에 결정적인 영향을 미치는 발아율 중에서 농가의 협력이 필요한 인자는 건조지연으로서 수확후 농가에서 일시적으로 저장하지 않도록 신속하게 RPC에 반입하는 체계가 구축되어야하며, 이를 위해 반입예약제에 적극적으로 참여하는 여부, 곡은 등을 측정하여 이를 가격결정 인자로 반영하는 것이 필요함
- 백미의 성분과 관계되는 품종 및 재배방법에 대해서는 동일품종에 대해 동일한 방법으로 재배할 경우 식미에 미치는 영향이 미흡하므로 계약재배, 친환경재배 및 일반재배 여부 등에 따른 가중치를 가격결정 인자로 사용하는 것이 필요함
- 따라서 이상의 인자를 감안하여 RPC에서 벼 매입시 가격을 결정하는데 필요한 원료 가격지수(value index) 또는 동일한 의미의 품질지수(quality index)는 다음과 같음

$$VI = v \times [\{ BRR \times (a \times NK + b \times ANK) \} - DC] \times DD \dots\dots\dots(3-3-4)$$

여기서, VI : 가격지수(-)

v : 품종 및 재배방법별 가중치(-)

BRR : 제현율(소수)

a : 현미정립 단가(원/kg)

NK : 현미정립비율(소수)

b : 현미비정립 단가(원/kg)

ANK : 현미 비정립비율(소수)

DC : 15%까지의 건조비용(원/kg)

DD : 건조지연지수(-)

- 품종 및 재배방법별 가중치는 전술한 RPC 조사결과 계약재배방법별로 특등급의 톤당 가격이 계약재배가 1,305,825원, 친환경재배가 1,557,150원, 일반재배가 1,175,800원이었고, 계약재배기준일 때 특등급 벼 매입가격은 친환경재배방식은 119.2%, 일반재배는 90.0% 수준이었음을 감안하여 RPC에서 결정하는 것이 필요함
- 건조비용과 관련해서는 전술한 RPC 조사결과, 1톤 당 1% 건조시 건조비용은 평균 4,597원(2,222~9,777원)으로서 RPC간에는 4.4배정도의 차이가 발생하였으나 아직까지 비용분석을 통한 건조비용의 산출에 관한 연구가 없는 상태임. 건조비용이 낮은 RPC는 농민에 대한 복지차원에서, 건조비용이 높은 RPC는 경영적인 측면 및 징벌적인 경향이 있을 것으로 추정되었으므로 이 비용 또한 RPC자체적으로 결정하는 것이 필요함
- 건조지연지수는 반입예약제에 참여여부 또는 반입되는 벼의 곡온을 측정하여 반영하는 것이 필요하며, 이를 위해서는 김 등(2007)의 자료를 기반으로 자체적인 시험을 거쳐 결정하는 것이 필요함
- 농민이 RPC에 벼를 반입하였을 경우, 15%로의 환산중량으로 계산한 다음, 가격지수를 곱하면 실제 농민에게 지급하는 금액산출이 가능하며, 상기 인자 이외에 각 RPC에서 중점적으로 추진하는 사업이 있을 경우 관련 항목으로 계수화하여 적용하는 것이 필요함

제 4장 연구개발성과

1. 총괄

- 정량적인 목표는 다음의 표와 같이 특허출원, 기술이전건수, 기술료, 사업화, 논문, 학술발표, 교육지도, 인력양성 및 정책활용 등이며, 대부분 지표에서 초과달성하였음
- 다만, 특허등록은 당초 목표 2건에 비해 1건을 달성하였는데, 출원한 특허가 당초 목표인 3건보다 많은 8건으로서 이중 2건은 특허등록을 위해 현재 특허청과 기술범위 등에 대해 의견제진 중으로 2018년 말까지는 등록이 완료될 예정으로 목표를 달성할 것으로 판단되며, 최근 특허출원 건수 증가 및 심사강화 등에 따라 특허등록에 장기간이 소요되는 경향임을 양지해 주시기 바람

성과 목표	사업화지표											연구기반지표							
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술이전 건수	학술성과		교육지도	인력양성	정책·활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)	
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료 (백만원)	제품화	매출액 (백만원)	수출액	고용창출	투자유치		논문				학술발표	정 책 활 용		홍 보 전 시
											SCI	비 SCI							
1차 년도	목표												1	2	0	0			
	실적	1											2	2	2	3	1	1	
2차 년도	목표	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	0		
	실적	4	1		1	16.5	2	2,754					3	5	6	3	1		
3차 년도	목표	1	1		2	0	0						1	2	2	5		1	
	실적	3	0		4	69.3	2	1,754					0	2	2	5		1	
소 계	목표	3	2		2	0	0	0					2	4	5	10	0	1	
	실적	8	1		5	85.8	4	3,754					5	9	10	11	2	2	

2. 세부성과

가. 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

No	지식재산권 명칭 (건별 각각 기재)	국 명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	미곡종합처리장의 시설 및 관리시스템	한국	한국식품 연구원	2018. 05.10	0053943				100%
2	클린라이스의 제조 및 관정 방법	한국	한국식품 연구원	2017. 11.01	0144869				100%
3	발아 현미의 제조 방법	한국	한국식품 연구원	2017. 08.29	0109594				100%
4	곡물 이력추적정보 생성 장치 및 방법	한국	한국식품 연구원	2015. 12.09	0174846	한국식품 연구원	2017. 03.17	1719311	100%
5	쌀눈의 정밀 선별이 가능한 쌀눈 선별장치 및 그 선별방법	한국	한국식품 연구원	2017. 05.31	0067520				50%
6	대용량 저농도 분진용 집진시스템	한국	한국식품 연구원	2017. 05.31	0067521				100%
7	미곡 감모량 추정 방법 및 그 장치	한국	한국식품 연구원	2017. 05.30	0066884				70%
8	쌀의 식미평가방법	한국	한국식품 연구원	2017. 05.30	0067124				30%

나. 기술거래(이전) 등

No	기술이전 유형	기술실시계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술료 (당해연도 발생액)	누적 징수현황
1	유상기술이전	Mega RPC 모델	대주종합기 술단	2018.07.04	13,200,000원	13,200,000원
2	유상기술이전	Mega RPC 모델	협동엔지니 어링	2018.06.19	13,200,000원	13,200,000원
3	유상기술이전	발아현미 제조 시스템 및 기술	아이디알시 스템	2017.12.04	16,500,000원	16,500,000원
4	유상기술이전	배아미 대량제조 시스템 및 기술	한국토요	2017.12.05	26,400,000원	26,400,000원
5	유상기술이전	클린라이스 생산 및 품질 관리기술	한국토요	2016.12.20	16,500,000원	16,500,000원

다. 사업화 현황

No	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내 용	업체명	매출액(백만원) ⁴⁾		매출 발생년도	기술 수명
							국내	국외		
1	기술 이전	상품화	국내	클린라이스기	판매후 설치 (10개소 12set)	한국 토요	1,980		2016~	성숙기
2	기술 이전	상품화	국내	배아미기	판매후 설치 (2개소 2set)	한국 토요	330		2016~	성숙기
3 ¹⁾	기술 이전	시스템	국내	발아현미제조 시스템	계약후 설치중 (전북익산소재 민간RPC)	아이디 알시스 템	193		2018	성숙기
4 ²⁾	기술 이전 예정	시스템	국내	통합집진기	판매후 설치 (5개소)	iGSP	563		2016~	성숙기
5 ³⁾	기술 이전 예정	시스템	국내	광역통합용 u-RPC	계약후 설치중 (충북청주소재 통합RPC)	모람, iGSP 등	688		2017	성숙기
소계							3,754			

- 주) 1. 발아현미제조시스템은 설치계약까지 완료하고, 설치중임
 2. 통합집진기는 본 연구와 관련하여 개선된 통합집진기(2016. 11이후)에 대한 사업화 현황임
 3. 광역통합용 u-RPC는 현재 설치사업 완료후 기술이전을 실시할 예정임
 4. 업체에서 받은 자료로서 VAT포함이며, 실 계약금액에는 다소 차이 발생이 가능함

라. 국내의 논문 게재

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부	게재일	등록번호
1	Prediction model of rice eating quality using physicochemical	Journal of sensory studies	김 훈	e12 273	미국	Wiley-blackwell	SCI	2017. 07.03	ISSN 0887-8250
2	Predictive Thin Layer Drying Model for White and Black Beans	Journal of biosystems engineering	김 훈	42 (3)	한국	바이오 시스템 공학회	비SCI	2017. 09.01	ISSN 1738-1266
3	수확 후 쌀의 식미인자	한국식품 저장유통 학회지	김 훈	16 (2)	한국	한국식품 저장유통 학회	비SCI	2017. 12.30	ISSN 1738-7248
4	Optimal harvest timing for maximizing grain yield and whole kernel ratio of short-grain rice	Transactions of the ASABE	이효재	59 (2)	미국	ASABE	SCI	2016. 03.31	ISSN 2151-0032
5	Effects of clamping force on the water transport and performance of a PEM fuel cell with relative humidity and current density	Energy	안재환	93 (2)	네덜란드	ELSEVIER	SCI	2015. 12.15	ISSN 0360-5442
6	RPC 시설 및 기술 현황	식품과학과 산업	김의웅	16 (3)	한국	한국식품 과학회	비SCI	2016. 03.30	ISSN 0257-2397
7	Determination of Optimal Harvest Time of Chuchung Variety Green Rice(Oryza sativa L.) with High Contents of GABA, γ -Oryzanol, and α -Tocopherol	Preventive Nutrition and Food Science	김 훈	21 (2)	한국	Korean Soc. of Food Sci. and Nutr	비SCI	2016. 06.30	ISSN 2287-1098
8	클린라이스 제조방식에 따른 백미의 품질 특성	한국식품 저장유통 학회지	김의웅	23 (4)	한국	한국식품 저장유통 학회	비SCI	2016. 08.31	ISSN 1738-7248
9	Thin-layer Drying Characteristics of Rapeseed	바이오 시스템 공학회지	이효재	41 (3)	한국	바이오 시스템 공학회	비SCI	2016. 09.30	ISSN 1738-1266
10	함수율에 따른 우리밀과 이물의 중말속도에 미치는 영향	한국식품 저장유통 학회지	김 훈	23 (5)	한국	한국식품 저장유통 학회	비SCI	2016. 10.31	ISSN 1738-7248
11	Performance improvement of a dehumidifying heat pump using an additional waste heat source in electric vehicles with low occupancy	Energy	안재환	115 (1)	영국	Energy	SCI	2016. 11.15	ISSN 0360-5442
12	Thin Layer Drying Model of Sorghum	바이오 시스템 공학회지	김홍식	41 (4)	한국	바이오 시스템 공학회	비SCI	2016. 12.30	ISSN 2234-1862
13	쌀 산업 경쟁력 강화를 위한 수확 후 관리기술	식품산업과 영양	김의웅	21 (2)	한국	한국식품 영양 과학회	비SCI	2016. 12.30	ISSN 1226-3338
14	Flow patterns and heat transfer characteristics of flat plate pulsating heat pipes with various asymmetric and aspect ratios of the channels	Applied thermal engineering	안재환	114 (5)	영국	Applied thermal engineering	SCI	2017. 05.05	ISSN 1359-4311

마. 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	한국식품저장유통학회 학술대회	김 훈	2017.10.27	경북대학교	한국
2	한국농업기계학회 추계공동학술대회	김의용	2017.10.26	김대중컨벤션센터	한국
3	(사)한국식품저장유통학회 학술대회	김의용	2015.10.22	제주대학교	한국
4	한국농업기계학회 2016년 춘계 학술대회	한재용	2016.04.28	국립농업과학원	한국
5	2016 Kosfost International symposium and annual meeting	김 훈	2016.08.17	EXCO, 대구	한국
6	2016 Kosfost International symposium and annual meeting	김 훈	2016.08.17	EXCO, 대구	한국
7	37차 한국식품저장유통학회 정기총회 및 학술대회	김홍식	2016.10.20	동아대학교	한국
8	37차 한국식품저장유통학회 정기총회 및 학술대회	양수진	2016.10.20	동아대학교	한국
9	한국농업기계학회/한국정밀농업학회 2016년 추계공동학술대회	한재용	2016.11.02	천안상록리조트	한국
10	한국농업기계학회/발농업기계개발연 구센터 2017년 춘계공동학술대회	이승기	2017.04.06	경북대학교	한국

바. 교육지도(교육 및 컨설팅)

No	교육 및 컨설팅 명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	농산물우수관리(GAP)실무과정	김의용	2018.06.18	농식품공무원교육원(나주)	한국
2	GAP인증심사원 우수관리시설과정	김의용	2018.05.02	KT인재개발원(대전)	한국
3	u-RPC 모델 구축 및 관련기술 컨설팅	김의용	2018.04.17	청원생명쌀조합공동사업법인 회의실	한국
4	u-IT기반 광역통합 RPC모델 개발을 위한 기술컨설팅	김의용	2018.01.15	한국식품연구원 회의실	한국
5	농축산 4차산업혁명 자체특화사업	김 훈	2018.11.23	공주대학교	한국
6	한국식품저장유통학회 학술대회	김 훈	2015.10.22	제주대학교	한국
7	RPC 시설 및 품질관리 실무교육	김의용	2015.12.11	청원생명쌀조합공동사업법인	한국
8	2016년 농협RPC 클린경영 전진대회 개최 강의	김의용	2016.02.23	수안보수련원	한국
9	RPC 농산물우수관리시설기준	김의용	2016.10.06	문막농협RPC	한국
10	쌀 이력추적시스템구축 기술컨설팅	김의용	2016.11.01	청원생명쌀조합공동사업법인	한국
11	RPC 기술 동향 및 전망	김 훈	2017.06.14	공주대학교	한국

사. 전문연구 인력양성

No	분류	기준 년도	현 황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	대학원	2015		○				○		○			
2	대학원	2016		○			○			○			

아. 정책활용

No	구분	내용	제안자	일시	장소
1	정책시행	고품질쌀유통활성화사업	김의웅	2015.12.01	농림축산식품부
2	정책건의	고품질쌀 생산 및 유통을 위한 대책(주제·발표)	김의웅	2018.03.16	농림축산식품부

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

- 본 연구의 최종목표는 국내 쌀 산업 경쟁력 강화를 위한 광역통합 RPC 가공공정 모델 및 u-IT기반 통합관리시스템을 개발하고, 보급체계를 구축하는데 목적이 있음
- 따라서, 본 연구의 세부목표는 ㉠ 특수가공미 대량생산에 필요한 기술 및 연속식 대량생산시스템, ㉡ 친환경집진시스템 및 쌀 공기이송시스템 등 요소기술과, ㉢ 광역통합 RPC가공공정모델, ㉣ u-IT기반 RPC 광역통합관리시스템의 요소기술 등을 개발하고, ㉤ 광역통합RPC의 보급체계를 구축하는데 있음

3-2. 목표 달성여부

- 정성적인 목표는 다음의 표와 같이 5개의 세부목표를 100% 달성하였음

세부목표	주요내용	가중치 (%)	달성도 (%)
특수가공미 대량생산에 필요한 요소기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 배아미, 발아현미, 클린라이스 등 3종의 특수가공미 대량제조기술 및 대량생산시스템은 개발후 현장실험까지 실시한 다음, 기업에 기술이전하여 사업화되었음 ○ 영양강화미는 연차보고서 등에서 보고한 바와 같이 RPC에 적합하지 않은 품목으로 품질특성을 구명하였으며, 혼합미는 대량생산시스템을 설계·제작하여 현장실험 완료하였음 	20	100
친환경집진시스템 및 쌀 공기이송시스템 등 요소기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 친환경집진시스템 관련 기술 및 시스템은 개발후 현장실험까지 실시한 다음, 현재 업체에서 사업화중으로서 기술이전을 실시할 예정임 ○ 공기이송시스템은 고압공기의 온도/습도 조절이 가능한 시작품을 설계·제작하여 2회의 성능실험까지 실시하였음 	20	100
광역통합 RPC가공공정모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광역통합 RPC가공공정모델은 각 부분별 성능 및 설계기준의 개발, 15ton/hr 및 20ton/hr 처리규모 가공공정을 개발하였으며, 설계도서를 작성하고, 세부내역, 소요동력, 면적, 비용 등의 보급체계를 구축하였으며, 기술 이진하였음 	30	100
u-IT기반 RPC 광역통합관리시스템의 요소기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ u-IT기반의 RPC 광역통합관리시스템을 개발하여 현장(통합RPC 1개소)에서 적용 시험중이며, 통신 protocol과 memory map기준을 개발하였으며, 기술이전을 통해 사업화할 것임 ○ 광역통합시 원료매입기준 설정을 위해 설문조사, 식미영향 인자의 구명 및 식미수식화, 품종과 식미와의 상관관계 분석 등을 통해 벼 매입시 가격을 결정하는 가격지수(value index)을 국내 최초로 개발하였음 	20	100

광역통합RPC의 보급체계를 구축	○ 정부정책으로 반영하기 위해 농림축산식품사업에 1건을 반영하였으며, 향후 정책방향설정에 필요한 정책건의(주제발표) 1건을 실시하였음	10	100
계		100	100

3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(해당사항 없음)

4. 연구결과의 활용 계획 등

- 지적재산권 확보, 기술이전 및 상용화제품의 설계·제작, 현장 설치, 현장실험을 통한 보완 등의 전 과정에 주도적으로 참여하여 개발된 주요기술이 상용화·사업화가 가능하도록 할 것이며, 지속적인 교육, 홍보 및 정책건의 등을 통해 기술이 확산될 수 있도록 노력할 것임

가. 배아미, 발아현미 및 클린라이스 등 특수가공미 : 건강을 추구하는 소비자의 needs에 부합하여 쌀 소비촉진에 기여할 수 있어 광역통합 RPC는 물론 1stG, 2ndG RPC 및 관련 제품 제조업체 등에도 적용이 가능하여 상용화기술로 보급이 활성화되도록 할 것임

- ① 특허출원 : 발아 현미의 제조방법, 10-0109594, 2017.08.29
- ② 특허출원 : 클린라이스의 제조 및 판정 방법, 10-0144869, 2017.11.01.
- ③ 특허출원 : 쌀눈의 정밀 선별이 가능한 쌀눈 선별장치, 2017-0067520, 2017.05.31
- ④ 기술이전 : 클린라이스 생산 및 품질 관리기술, 2016.12, 한국토요
- ⑤ 기술이전 : 발아현미 제조 시스템 및 기술, 2017.12, 아이디알시스템
- ⑥ 기술이전 : 배아미 대량제조 시스템 및 기술, 2017.12, 한국토요

나. 친환경집진시스템 및 공기이송시스템 등 요소기술 : 친환경집진시스템은 RPC에서 가장 민원이 많이 발생하는 먼지에 의한 오염방지 및 품질향상을 위한 기술로서 광역통합 RPC는 물론 1stG, 2ndG RPC 및 잡곡처리시설 등에 적용이 가능하여 상용화기술로 보급이 활성화되도록 할 것하며, 공기이송 시스템은 RPC에 대한 적용실험을 거쳐 상용화를 추진하겠음

- ① 특허출원 : 대용량 저농도 분진용 집진시스템, 10-0067521, 2017.05.31

다. 광역통합 RPC 가공공정 모델 : 규모화를 통한 RPC 경영효율화 및 경쟁력강화를 위해 규모화된 2ndG는 물론 및 광역통합 RPC에 활용이 가능한 모델로서, 정책사업의 기준모델로 활용토록 추진할 것임

- ① 특허출원 : 미곡종합처리장의 시설 및 관리시스템, 10-0053943, 2018.05.10
- ② 기술이전 : Mega RPC 모델, 2018.07, 대주종합기술단
- ③ 기술이전 : Mega RPC 모델, 2018.07, 협동엔지니어링

라. u-IT기반 광역통합관리시스템 : RPC의 생산·유통연계체계의 구축과 제품의 반입, 재고, 품질, 생산 및 이력관리가 자동적으로 가능한 u-IT기반 기술로서, 기존 RPC는 물론 광역통합RPC에 보급 가능하여 상용화를 추진하고, 4차 산업혁명과 연계할 수 있는 정부정책사업의 기준모델로도 활용

가능하도록 추진하겠습니다

① 특허등록 : 곡물 이력추적정보 생성 장치 및 방법, 10-1719311, 2017.03.23

② 특허출원 : 미곡 감모량 추정방법 및 그 장치, 10-0066884.2017.05.30

○ 주요 연구결과는 학술지 게재, 학회발표, 연구인력양성 등을 통해 RPC 등 곡물의 수확후관리기술분야의 연구 및 기술발전에 활용토록 하겠습니다

① 논문게재 : 14건(SCI 5건, 비SCI 9건)

② 논문발표 : 10건

③ 연구인력양성 : 2명(석사)

○ 개발된 기술의 확산 및 활용도를 높이고 농식품부의 정책에 반영될 수 있도록 노력하겠습니다

① 정책건의 : 2건

붙임. 참고문헌

1. 고훈균, 금동혁, 김동철 등. 1995. 미곡종합처리시설 -이론과 실제-. 문운당
2. 고훈균, 금동혁, 김동철, 박호석, 한충수. 2000. 농협 미곡종합처리장 설계기준. 농협중앙회 미곡종합처리장 자문
3. 고훈균, 금동혁, 김동철, 김명환, 노재선, 박호석. 2003. 쌀 산업 경쟁력 제고를 위한 RPC 종합 발전 방안. 한국 RPC연구회
4. 고훈균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일. 1990. 농산가공기계학. 향문사
5. 김동철, 김의웅, 김훈. 2006. RPC 시설 및 운영기술 매뉴얼. 농림부·한국식품연구원
6. 김동철, 김의웅, 김훈 등 2010. 고품질쌀 브랜드육성사업. 가공시설 현대화사업 성능검사방향. 한국식품연구원 연구보고서
7. 김동철, 김의웅, 김훈. 2006. RPC 시설 및 운영기술 매뉴얼. 농림부·한국식품연구원
8. 김동철, 김의웅, 김훈, 이세은 등. 2005. RPC 가공시설 개선연구. 한국식품연구원 연구보고서. G01515-05079
9. 김동철, 김의웅, 김훈, 이세은 등. 2005. RPC의 건조저장 시설 및 운영기술 현황 조사분석 연구사업. 한국식품연구원 연구보고서. GA01503-05043
10. 김동철, 김의웅, 김훈, 이세은, 김상숙 등. 2004. 농협 쌀 품질개선을 위한 RPC 프로세스 개발. 한국식품연구원 연구보고서. I01633-0450
11. 김동철, 김의웅, 김훈, 이세은, 김상숙 등. 2005. RPC 수확후 품질개선에 관한 연구. 한국식품연구원보고서. I01671-05027
12. 김동철, 김의웅, 김훈, 이세은, 김상숙 등. 2005. RPC의 건조저장시설 및 운영기술현황조사 분석 연구사업. 한국식품연구원 연구보고서(농림부). G01503-05043
13. 김동철, 김의웅, 김훈, 이세은, 김상숙 등. 2005-2015. 통합RPC 시설 및 기술 컨설팅(I-VII). 한국식품연구원 연구보고서
14. 김동철, 김의웅, 김훈 등 2015. 고품질쌀 브랜드육성사업. 가공시설 현대화사업 성능검사방향. 한국식품연구원 연구보고서
15. 김동철, 김의웅, 이세은 등. 1998. 벼의 조전기 및 연속식건조기 운영시험. 한국식품연구원 연구보고서. I1279-0925
16. 김동철, 김의웅, 이세은 등. 1998. 중저온 건조저장기법을 활용한 고품위 쌀 생산기술 개발. 한국식품연구원 연구보고서. GA0062-0984
17. 김동철, 김의웅, 이세은, 김상숙 등. 2000. 벼 및 보리의 산물저장에 따른 감모량 예측기술 개발. 한국식품연구원 연구보고서. I1404-0022
18. 김유호, 조영길, 한충수. 1998. 벼의 기하학적·기계적 성질 측정. 1998년 동계 학술대회 논문집 3권 1호 261-268
19. 김의웅, 김상숙, 김동철, 김훈, 이세은 등. 2005. 산물벼의 실중량 거래를 위한 정선지수 측정시스템 개발. GA0574-05072.

20. 김의용, 김동철, 김훈 등. 2010. 클린라이스 품질기준설정 및 제조시스템개발. 농림수산물부. 107015-3
21. 김의용, 김동철, 김훈 등. 2012. 에너지절감형 RPC 가공공정모델. 한국식품연구원 보고서(농림수산물부)
22. 김의용, 김동철, 김훈, 이세은, 김상숙 등. 2009. RPC의 수율관리 및 이력추적시스템 모델 개발. 한국식품연구원 연구보고서. I01819
23. 김의용, 김동철, 김훈, 이세은, 김상숙. 2006. PN Rice의 RPC통합을 위한 시설 및 기술컨설팅. 한국식품연구원 연구보고서. I01756-06065
24. 김의용, 김동철, 김훈. 2006. RPC의 우수농산물시설기준(안). 농림부소비안전과제출
25. 김의용, 김동철, 이세은 등. 1999. 색채선별기운영시험. 한국식품연구원연구보고서. I1390-9930
26. 김의용, 김동철, 이세은, 김상숙, 김훈, 박종대. 2003. 고품질 쌀 생산 및 유통을 위한 균일도정기술 개발(1/3). 한국식품연구원 연구보고서. E036004-0279
27. 김의용, 김동철, 이세은, 김상숙, 김훈, 박종대. 2004. 고품질 쌀 생산 및 유통을 위한 균일도정기술 개발(2/3). 한국식품연구원 연구보고서. E043003-0342
28. 김의용, 김동철, 이세은, 김상숙, 김훈, 박종대. 2005. 고품질 쌀 생산 및 유통을 위한 균일도정기술 개발. 한국식품연구원 연구보고서. E052002-05120
29. 김의용, 김동철, 이세은, 김상숙, 김훈. 2003. 연속식건조기 운영실험. 한국식품연구원 보고서. I01565
30. 김의용, 김동철, 이세은, 김상숙, 김훈. 2007. 쌀 산업 경쟁력 강화를 위한 RPC remodeling 기술 개발. 한국식품연구원 보고서. GA0679-07020
31. 김의용, 김훈, 안재환, 이효재 등. 2017. 농산물의 품질저하 메카니즘 구명 및 지능형 품질계측기술 개발-2세부: 농산물의 품질계측시스템 개발-. 한국식품연구원 보고서. R17-E0152300-03-210
32. 김종호. 1999. 기하전식 세정집진장치개발에 관한 기초연구. 한국대기환경학회지 15(1): 33-39
33. 여상영, 김숙래, 정성훈. 2005. Polytetrafluoroethylene 코팅 처리된 백필터 여재의 여과성능과 물리적 특성. 한국섬유공학회지 42(5): 329-335
34. 한국식품연구원. 2012. 집진기 성능검정 방법 및 기준(KFRI RPC TS 214)
35. 하유신, 최병준, 권기영, 송대빈. 2013. 입경·비중 검용 발작물 곡물 선별기의 설계 요인 분석. 농업생명과학연구, 47(6), 293-302
36. 홍상진, Le Anh Duc, 한재웅, 김훈, 김유호, 금동혁. 2006. 유채 종자의 물리적 특성(II). 바이오시스템공학, 33(3), 173-178
37. AACC International. 2010. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 11 ed. AACC International, ST. Paul, MN. USA
38. A. Tabatabaefar. 2003. Moisture-dependent physical properties of wheat. Int. Agrophysics, 17, 207-211
39. AOAC. 2002. Official Methods of Analysis, 15th ed. The Association of Official Analytical

Chemists, Washington D.C.

40. ASABE Standards. 2011. Standards Engineering Practices Data. American Society of Agricultural and Biological Engineers 779–781
41. ASTM. 2011. F 316 Standard test methods for pore size characteristics of Membrane filters by bubble point and mean flow pore test
42. Aydin C. 2002. Physical properties of hazel nuts, PH–postharvest technology. *Biosyst Eng*, 82, 297–303
43. Baryeh EA. 2002. Physical properties of millet. *Journal of Food Engineering*, 51, 39–46
44. Boac JM, Maghirang RG, Casada ME, Wilson JD, Jung YS. 2009. Size Distribution and Rate of Dust Generated during Grain Elevator Handling. *Applied Engineering in Agriculture* 25(4) : 533–541
45. Brabec, D., R. Maghirang, M. Casada and E. Haque. 2005. Characterization and modeling of a high–pressure water–fogging system for grain dust control. *American Society of Agricultural Engineers* ISSN 0001–2351 48(1) : 331–339
46. Broder, I., Hutcheon, P. Corey, F. Silverman, G. Davies, A. Leznoff, L. Peress and P. Thomas. 1979. Comparison of respiratory variables in grain elevator workers and civic outside workers of Thunder Bay, Canada. *The American Review of Respiratory Disease* 119(2) : 193–203
47. Calisar S, Ozcan M, Hacaseferogullan H, Yildiz MU. 2005. A study on some physico–chemical properties of Turkey okra (*Hibiscus esculenta* L.) seeds. *J Food Eng*, 68, 73–78
48. Chen T. F. and C. L. Chen. 2003. Analysing the freshness of intact rice grains by colour determination of peroxidase activity. *Food Agric* 83 : 1214–1218
49. Chrastil J. 1990. Influence of storage on enzymes in rice grains. *Food chem.* 38 : 1198–1202
50. Cho, D.H., S.T. Lim. 2016. Germinated brown rice and its bio–functional compounds. *Food Chemistry*. 196: 259–271
51. Chang, C. S. and C. R. Martin. 1983. Rheological properties of grain dust. *Transaction of the ASAE* 26(4) : 1249–1256
52. Chang, C. S. and C. R. Martin. 1984. Bulk density characteristics of grain dust. *Transactions of the ASAE* 27(3) : 898–902
53. Chang, C. S., F. S. Lai and B. S. Miller. 1980. Composting of grain dust. *Transaction of the ASAE* 23(3) : 709–711
54. David Mills. 2003. *Pneumatic conveying design guide*. Elsevier
55. Deshpande SD, Bal S, Ojha TP. 1993. Physical properties of soyabean. *J Agr Eng Res*, 56.
56. Chen T. F. and C. L. Chen. 2003. Analysing the freshness of intact rice grains by colour determination of peroxidase activity. *Food Agric* 83 : 1214–1218
57. Chrastil J. 1990. Influence of storage on enzymes in rice grains. *Food chem.* 38 : 1198–1202

58. Dosman, J. D. Cotton, and B. Graham. 1981. Chronic bronchitis and decreased forced expiratory flow rates in lifetime nonsmoking grain workers. *American College of Chest Physicians* 80(1) : 33
59. Dursuna LK, Tugrul M and Dursuna E. 2007. Some physical properties of sugarbeet seed. *Journal of Stored Products of Research*, 43, 149–155
60. Fraser BM, Verma SS, Muir WE. 1978. Some physical properties of faba beans. *J Agric Eng Res*, 23, 53–57
61. G. Mwithiga, M.M. Sifuna. 2006. Effect of moisture content on the physical properties of three varieties of sorghum seeds. *Journal of Food Engineering* 75 : 480–486
62. Hyo Jai Lee, Hoon Kim, Dong Chul Kim, Oui Woong Kim, Ji Hong Chang. 2013. Physical properties and concentration of grain dust generated from post-harvest processing of rough rice. *Transaction of the American Society of Agricultural and Biological Engineers(ASABE)* 56(5) : 1831
63. Horino T. 1992. Relationship between nitrogen and mineral contents in rice grain and its palatability after cooking. *Bulletin of the chugoku national agricultural experiment station* 1: 112–120
64. Kawamura, S. 1990. Rice milling, and quality and taste of milled rice(part 2), Milling characteristics. *Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ.* 17:25–49
65. Kawamura S, Natsuga M, Kouno S, Itoh K. 1996. Instrument analysis and sensory test for rice taste evaluation. *J of the JSAM* 58: 95–104
66. Karababa E. 2006. Physical properties of popcorn kernels. *Journal of Food Engineering*, 72, 100–107
67. Kasugai O. 1998. Standardization for rice eating quality evaluation system. *J of the JSAM* 60: 133–139
68. Keum, D. H., H. Kim and Y. K. Cho. 2000. Desorption equilibrium moisture content of rough rice, brown rice, white rice and rice hull. *Journal of Biosystems Engineering* 25(1):47–54.
69. Kibar H and Ozturk. 2008. Physical and mechanical properties of soybean. *Int. Agrophysics*, 22 p 239–244
70. Kim, C. J., H. J. Lee, O. W. Kim, D. H. Keum and H. Kim. 2007. Effects of abnormal kernels in brown rice on milling characteristics. *Journal of Biosystems Engineering* 32(1):1–5. (In Korean)
71. KFRI Final Report. 2012. Development of energy efficient processing and engineering model for Rice Processing Complex. MAFRA 11–1541000–001417–01
72. KFRI Final Report. 2014. Establishment of platform for u-Food system. KFRI R14–E0142053305–48: 665–777

73. KFRI Final Report. 2010. Development of the quality standard and related system for clean rice. MAFRA 11-1541000-000512-01
74. Kim, H., D. C. Kim, S. E. Lee and O. W. Kim. 2009. Milling characteristics of milled rice according to milling ratio of friction and abrasive milling. *Journal of Biosystems Engineering* 34(6):439-445
75. Kim, H., H. J. Lee, O. W. Kim, S. E. Lee and D. H. Yoon. 2009. Effect of non-uniform milling on quality of milled rice during storage. *Korean Journal of Food Preservation* 13(6):675-680
76. Kim, H. and J. W. Han. 2009. Low temperature drying simulation of rough rice. *Journal of Biosystems Engineering* 34(5):351-357
77. Kim, O. W., H. Kim and S. E. Lee. 2005. Color modeling of milled rice by milling degree. *Korea J. Food Preserv.* 12(2):141-145. (In Korean)
78. Kim, O. W., H. Kim, D. C. Kim and S. S. Kim. 2005. Determination of whiteness condition for efficient milling in rice processing complex. *Journal of Biosystems Engineering* 30(4):242-248. (In Korean)
79. Kim, C. J., H. J. Lee, O. W. Kim, D. H. Keum and H. Kim. 2007. Effects of abnormal kernels in brown rice on milling characteristics. *Journal of Biosystems Engineering* 32(1):1-5. (In Korean)
80. Kim, O. W., H. Kim, D. C. Kim and S. S. Kim. 2005. Determination of whiteness condition for efficient milling in rice processing complex. *Journal of Biosystems Engineering* 30(4):241-248. (In Korean)
81. Kim, O. W., H. Kim, H. J. Lee. 2014. Impact of moisture content on milling characteristics of short-grain rice. *Applied engineering in agriculture.* 30(6): 89-98
82. Kim, O. W., H. Kim, H. J. Lee and J. H. Ahn. 2016. Quality characteristics of clean rice with the processing system. *Korean J. Food Preserv.* 23(4) 522-529
83. Kim, S.S., Lee, S.E., Kim, O.W. and Kim, D.C. 2000. Physical characteristics of chalky kernels and their effects on sensory quality of cooked rice. *Cereal Chem* 77(3) : 376-379.
84. Klinzing GE, Rizk F, Marcus R, Leung LS. 2010. *Pneumatic conveying of solids.* Springer
85. Koyachi, E., K. kojima, X. Qiu, T. Satake and H. Suzuki. 2013. Electrochemical microdevice for on-site determination of ricefreshness. *Biosensors & Bioelectronics* 42 : 640-645
86. Martin, C. R. 1981. Characterization of grain dust properties. *Transactions of the ASABE* 24(3) : 738-742
87. Martin, C. R. and D. B. Sauer. 1976. Physical and biological characteristics of grain dust. *Transaction of the ASAE* 19(4) : 720-723
88. Martin, C. R. and L. E. Stephens. 1977. Broken corn and dust generated during repeated

handling. Transactions of the ASABE 20(1) : 168–171

89. Majdi A. Al–Mahasneh, Taha M. Rababah. 2007. Effect of moisture content on some physical properties of green wheat, Journal of Food Engineering 79 : 1467–147
90. Miller G. L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal Chem. 31(3): 420–428
91. Nimkar PM, Chattopadyay PK. 2001. Some physical properties of green gram. J Agric Eng Res, 80, 183–189
92. Ohtsubo, K., K. Suzuki., Y. Yasui., K. Kasumi. 2005. Bio–functional components in the processed pre–germinated brown rice by a twin–screw extruder. J. of Food Comosition and Analysis. 18: 303–316
93. Parnell, Jr., C. B., D. D. Jones, R. D. Rutherford and K. J. Goforth. 1986. Physical properties of five grain dust. Environmental health perspectives 66 : 183–188
94. Raheman H, Jindal VK. 2001. Solid velocity estimation in vertical pneumatic conveying of agricultural grains. Applied Engineering in Agriculture 17(2) : 209
95. Raheman H, Jindal VK. 2003. Drag coefficients of agricultural grains in vertical pneumatic conveying. Applied Engineering in Agriculture 19(2) : 197
96. Rajendran, N and J. D. Stockham. 1985. Grain dust measurement techniques—an evaluation. Transaction of the ASAE 28(6) : 2030–2036
97. Reddy BS, Chakraverty A. 2004. Physical properties of raw and parboiled paddy. Biosyst Eng, 88, 461–466
98. Refik P, Umran A, and Cevdet S. 2006. Some physical and aerodynamic properties of soybean. Journal of Agronomy 5(1) p 74–78
99. SAS. 2008. SAS User's Guide: Statistics ver 9.2, SAS institute Inc., Cary, NC
100. Shepherd H, Bhardwaj RK. 1986. Moisture dependent physical properties of pigeon pea. J Agric Eng Res, 35, 227–234
101. Seno, T. 1985. Generation of grain dust from rough rice(1). Department of agricultural machinery. Iwate University 11–18 (In Japanese)
102. Seno, T. 1986. Generation of grain dust from rough rice(2). Department of agricultural machinery. Iwate University 5–10 (In Japanese)
103. The Food Agency of Japan(1995) : Rice post–harvest technology.
104. Vilche C. Gely M. and Santalla E. 2003. Physical properties of quinoa seeds. Biosystems Engineering, 86(1) p 59–65
105. Yanase, H. and K. Ohstubo. 1985. Relation between rice milling methods and palatability of cooked rice(part 1). Rept. Natl. Food Res. Inst. 46, 148–161.
106. Yoon, D. H., O. W. Kim., H. Kim. 2006. Modeling of milling degree for milled rice using

NMG dyeing and image processing. J. Biosys. Eng., 31(6): 524-528

107. 山下律也. 1975. 穀物の含水率測定方法基準についての提案. 日本農業機械學會誌, 37, 445-451
108. 谷達雄, 柴野正彰, 佐藤博志. 1979. 胚芽精米の加工. 日本農業機械學會誌, 40, 598-602
109. 多重回帰分析による米の食味の判定式の設定. 1985. J. Jpn. Soc. Starch Sci. 32(1): 51-60
110. 日本農林水産技術情報協會. 1991. 米の美味しさの科學. 第2卷
111. 日本全農施設資材部. 1973. カントリーエレベーターのでびき. 東京