

(옆면)

(앞면)

31903-0
3

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
첨단생산기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003990-01

1
베 2
일 5
· kW
랩 급
핑
자
일 주
관 식
작
업 총
기 체
개 버
발 수
확
·
2021

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

125kW급 자주식 총체 버 수확·베일·랩핑 일관작업기 개발

2022. 4. 28

주관연구기관 / (주)라이브맥
협동연구기관 / 경상국립대학교 산학협력단

농 립 축 산 식 품 부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “125kW급 자주식 총체 벼 수확·베일·랩핑 일관작업기 개발”(개발기간 : 2019. 04. 16 ~ 2021. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 4. 28

주관연구기관명 : (주)라이브맥

김 병 관

협동연구기관명 : 경상국립대학교 산학협력단

정 재 우



주관연구책임자 : 지 금 배

협동연구책임자 : 김 삼 철

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	첨단생산기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)				연구개발과제번호		319039-03	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB	50 %	LB08	30 %	LB0801	20%
	농림식품 과학기술분류	RC	50 %	RC02	30 %	RC0299	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명		125kW급 자주식 총체 벼 수확·베일·랩핑 일관작업기 개발					
전체 연구개발기간		2019. 04. 16 - 2021. 12. 31(2년 9개월)					
총 연구개발비		총1,530,100천원 (정부지원연구개발비: 1,100,000천원, 기관부담연구개발비 : 430,100천원, 지방자치단체: 0천원, 그 외 지원금: 0천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[✓] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준(3) 종료시점 목표(5)	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	사료작물로서 지속적으로 재배 면적이 증가하고 있는 총체 벼의 수확, 세절, 교반, 베일성형, 랩핑 등이 가능한 일관 작업기 개발을 통한 총체 벼의 생산성 향상 및 농가 소득 증대					
	전체 내용	<p>○ 총체 벼의 자주식 일관 작업기 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 총체 벼의 수확·세절·교반·베일성형 및 랩핑 작업이 가능한 125kW급 자주식 일관 작업기 동력전달시스템 개발 - 국내 지형에 적합하도록 1,800mm 이상의 작업폭을 갖고, 7km/hr 이상의 연속 작업이 가능한 유압식 자동변속 주행장치 개발 - 수확한 총체 벼의 미세절단이 가능한 수확 및 세절부, 고압 베일 성형부, 콤팩트형 랩핑부 개발 <p>○ 총체 벼의 발효 조건 최적화 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 총체 벼 사일리지의 미생물 첨가제 처리 방법, 함수율, 세절 길이 등의 조건에 따른 최적 발효 인자 구명 - 자주식 총체 벼 일관 작업기의 교반 조건, 베일 압력 등의 조건에 따른 최적 발효 인자 구명 - 자주식 총체 벼 일관 작업기로 수확·제조 된 총체 벼 사일리지의 품질 평가 					

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 종질지(80g/m²)]

<p>연구개발 목표 및 내용</p>	<p>전체 내용</p>		<p>○ 총체 벼의 수확, 세절, 교반, 고압베일 및 랩핑의 일관작업 최적화 시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 일관작업을 위한 수확부, 세절부, 교반부, 베일성형부, 랩핑부의 최적 공정 개발 - 센서 인터페이스를 통한 전체 공정의 모니터링 및 고장진단 기술 개발 - 작업자 편의성 향상을 위한 모니터 등 인터페이스 개발 <p>○ 현장 실증 및 사업화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 현장 실증을 통한 성능 고도화 * <u>총체 벼와 유사한 이탈리아인 라이그라스 등 다양한 작물에 대한 작업성능 확보</u> - 자주식 총체 벼 수확·베일 랩핑 작업기 검·인증 및 제품화 (과제종료 2년 이내)
	<p>목표</p>	<p>1차년도에 총체벼 수확 일관작업기의 각 공정별 부품을 개발하고 기능 및 성능 시험을 진행한 다음 2차년도에는 1차년도의 공정별 부품 시험 결과를 바탕으로 1차 전체 시작품을 제작하여 현장 실증 시험을 자체적으로 진행 1차 시작품의 시험 결과를 종합 분석하여 2차 시작품 제작을 위한 설계 완료</p>	
	<p>1단계 (해당 시 작성)</p> <p>내용</p>	<p>유압식 무단변속 주행장치 개발 유압식 무단변속 주행장치 시험 실증 실험을 위한 교반부 및 베일 성형부 실험장치 개발 일관작업을 위한 전체적인 공정 시스템 개발 총체 벼 사일리지의 미생물 첨가제 처리 방법, 함수율, 세절 길이 등의 조건에 따른 최적 발효 인자 구명 자주식 일관 작업기 동력계측시스템 레이아웃 설계 자주식 일관 작업기 주행 및 작업동력 시뮬레이션 모델 개발 자주식 일관 작업기 주행 및 작업에 따른 소요동력 시뮬레이션 베일러 톨러축 부하 계측 시스템 개발 및 분석 수확 및 세절부, 교반부, 베일 성형부, 랩핑부의 개발 센서 인터페이스를 통한 전체 모니터링 및 고장 진단 기술 개발 주행장치와 공정별 작업부를 조합하여 1차 시작품 제작 1차 시작품 성능 시험 자주식 총체 벼 일관 작업기의 교반 조건, 베일 압력 등의 조건에 따른 최적 발효 인자 구명 센서시스템을 이용한 자주식 일관 작업기 동력계측시스템 개발 필드 성능시험을 통한 자주식 일관 작업기의 소요동력 계측 필드 작업조건별 자주식 일관 작업기 소요동력 분석</p>	

	2단계 (해당 시 작성)	목표	1차 시작품의 성능 시험 결과를 반영하여 2차 시작품을 개발하고 현장 실증 시험을 진행 농업기술실용화재단에 기술검정 시험 진행 상용화를 위한 양산 설계 완료
		내용	1차 성능시험 결과를 반영한 공정 시스템 최적화 및 2차 시작품 제작 2차 시작품 성능 시험 공인기관의 실증 인증 수검 자주식 총체 벼 일관 작업기로 수확·제조 된 총체 벼 사일리지 의 품질 평가 2차 시제품 주행 및 작업동력 시뮬레이션 모델 개발 및 성능평가 2차 시제품을 이용한 필드 작업 성능 평가

연구개발성과	본 연구를 통해 개발된 연구결과물은 총체벼 수확 작업을 능률적으로 수행할 수 있다는 것을 확인하였고, 옥수수, 수단 등 다양한 사료작물의 수확도 가능하다는 것을 확인함. 농업기술실용화재단의 기술검정을 통해 공인기관의 인증을 획득하였으며, 본 연구를 통해 개발된 기술은 향후 자주식 대형 농기계 개발에 적극 활용될 것으로 판단됨.
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	본 연구의 결과물인 총체 벼 일관 작업기는 탁월한 작업능률로 총체 벼의 사료 가치가 가장 높은 기간 내에 일제 수확이 가능하며 최적화된 사일리지의 발효조건 기술을 개발함으로써 질 높은 조사료를 생산할 수 있으므로, 국내산 조사료 자급률을 높여 경종농가의 소득 증가는 물론, 축산 농가의 소득도 높일 수 있는 이점이 있음. 또한 정부에서 추진하고 있는 벼 대체작물 재배 확대 정책에도 부합되는 본 일관 작업기는 현재 고가에 수입되고 있는 외국산 조사료 수확기를 대체할 수 있음. 뿐만 아니라, 본 작업기는 총체 벼 외에도 이탈리아인 라이그라스, 수단그라스 등 다른 조사료 작물의 수확에도 활용이 가능할 것으로 기대 됨.

연구개발성과의
비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기탁 건수	생명자원			신품종								
	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명 정보	생물 자원	화합물	정보	실물
	7	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호
해당사항없음									

국문핵심어 (5개 이내)	총체 벼	조사료	원형베일성형기	랩핑기	자주식
영문핵심어 (5개 이내)	whole crop rice	forage	round baler	wrapping machine	self-propelled

최종보고서							보안등급							
중앙행정기관명 농림축산식품부							일반[<input checked="" type="checkbox"/> , 보안[]]							
전문기관명 (해당 시 작성) 농림식품기술기획평가원			사업명		사업명 첨단생산기술개발사업									
공고번호 농축2019-58호			총괄연구개발 식별번호		연구개발과제번호 319039-03									
기술분류	국가과학기술 표준분류		LB	50%	LB08	30%	LB0801	20%						
	농림식품과학기술분류		RC	50%	RC02	30%	RC0299	20%						
총괄연구개발명 (해당 시 작성)			국문											
연구개발과제명			국문		125kW급 자주식 총체 벼 수확·베일·랩핑 일관작업기 개발									
			영문		Development of 125kW self-propelled harvesters integrated with baling and wrapping for whole crop rice									
주관연구개발기관			기관명		(주)라이브맥		사업자등록번호	213-81-70310						
			주소		(우)54329 전북 김제시 백구면 금백로 1143		법인등록번호	110111-091232 2						
연구책임자			성명		지금배		직위	연구소장						
			연락처		직장전화		063-545-3345		휴대전화	010-5549-2352				
			전자우편		jkb9150@livemac.co.kr		국가연구자번호		11060617					
연구개발기간			전체		2019. 04. 16 - 2021. 12. 31(2년 9개월)									
			단계		1단계		2019. 04. 16 - 2020. 12. 31(1년 9개월)							
			(해당 시 작성)		2단계		2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1년 0개월)							
연구개발비 (단위: 천원)			정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금		합계		연구개발비 외 지원금			
			현금		현금		현금		현금			현금		
총계			1,100,000		275,000		155,100		0		0			
1단계			1년차		300,000		75,000		42,300		0			
			2년차		400,000		100,000		56,400		0		0	
2단계			1년차		400,000		100,000		56,400		0			
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)			기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편			
			경상대학교		김삼철		교수		010-9304-0005		kimsc@gnu.ac.kr		비고 역할 기관유형 공동 대학	
위탁연구개발기관														
연구개발기관 외 기관														
연구개발담당자 실무담당자			성명		조용식		직위		차장					
			연락처		직장전화		063-545-3345		휴대전화		010-4719-4696			
			전자우편		choyongsic@livemac.co.kr		국가연구자번호		11223394					

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022년 4월 28일

연구책임자: 지금배

주관연구개발기관의 장: 김 병 관 (직인)

공동연구개발기관의 장: 정 재 우 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요-----	6
1-1 연구개발의 개요-----	6
1-2 연구개발의 필요성-----	6
1-3 연구개발 대상의 국내외 현황-----	9
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용-----	17
2-1 주요 구성품-----	17
2-2 핵심 기술-----	32
2-3 연구 수행 내용-----	59
2-4 위탁연구기관 연구 내용-----	97
2-5 협동연구기관 연구 내용-----	155
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도-----	179
3-1 공인인증기관 시험-----	179
3-2 목표 달성 수준-----	181
3-3 정량적 연구개발성과-----	181
4. 목표 미달 시 원인분석-----	183
4-1 목표 미달 원인-----	183
4-2 자체 보완활동-----	183
4-3 연구개발 과정의 성실성-----	183
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도-----	184
5-1 연구개발성과의 기대효과-----	184
5-2 상업화 계획-----	184
5-3 서비스 대응 전략-----	186
5-4 보완요구 조치내용-----	193
5-5 최종보고서 보완요구 조치내용-----	195
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획-----	197
6-1 자체평가의견서-----	197
6-2 연구 개발 실적-----	198
6-3 연구성과 활용 계획서-----	200
7. 별첨 자료 (참고 문헌 등)	
7-1 농업기술실용화재단 성능시험 성적서-----	203

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발의 개요

항 목	요 구 조 건	세 부 항 목	달 성 방 안
연구 필요성 및 개발 목표	논 대체 작물 및 조사료 자급률 향상 정책에 따라 지속적으로 재배 면적이 증가하고 있는 총채 벼의 수확 및 사일리지 제조 시 수확, 세절, 교반, 베일 성형, 랩핑 공정이 효율적으로 연결되어 조사료 수확에 있어서 인력적·경제적·시간적 낭비를 최소화하고 작업의 안정성과 신속성을 확보 할 수 있는 최적 공정 시스템 개발을 통한 생산성 향상 및 농가 소득 증대		
주요 연구 내용	일관 작업기 개발	동력전달시스템 개발	(주)라이브맥이 주행부 및 작업 공정별 동력 전달시스템 개발
		유압식 자동변속 주행 장치	(주)라이브맥의 LS엠트론 콤바인 주행장치 개발 기술과 경험을 활용하여 개발
		공정별 작업부 개발	(주)라이브맥의 베일러, 랩핑기, 옥수수수확기 등의 개발 기술과 경험을 활용하여 개발
	발효 최적화 기술 개발	다양한 조건에 따른 최적 발효 조건 구명	경상대학교의 축적된 조사료 발효조건 기술과 경험으로 개발
		발효 최적 교반 조건 및 베일 압력 구명	경상대학교와 (주)라이브맥이 협력하여 개발
		최종 개발품 생산 사일리지의 품질평가	경상대학교의 축적된 조사료 발효조건 기술과 경험으로 개발품의 실증 평가
	최적화 시스템 개발	최적 공정 개발	(주)라이브맥과 충남대학교에서 공동으로 효율적인 공정 최적화 시스템 개발
		고장진단 기술 개발	(주)라이브맥과 충남대학교에서 공동으로 센서 인터페이스를 통한 전체 모니터링 및 고장 진단 기술 개발
		편의성 향상 기술 개발	(주)라이브맥과 충남대학교에서 공동으로 교반부 및 랩핑부에 카메라 설치, 캐빈 내부에 모니터 설치하여 실시간 공정 확인
	현장 실증 및 사업화	현장 실증 시험	2년차: 1차 시작품의 현장 실증 시험 3년차: 2차 시작품의 현장 실증 시험 이탈리안 라이그라스 등 다른 작물에 대한 시험 병행
검·인증 및 사업화		농업기술실용화재단 (주)라이브맥에서 2022년 상용화	
연구팀 구성 요건	주관기관	조사료 생산기술 및 자주식 작업기 상용화 실적	(주)라이브맥: 베일러, 랩핑기 등 조사료 생산기계의 양산과 LS콤바인의 생산 실적 보유
	공인 인증기관	발효조건 최적화 기술 성능 분석	경상대학교: 조사료 발효 조건 기술 보유와 성분 분석이 가능한 국립 연구 기관
	산·학·연 컨소시엄		주관기관: (주)라이브맥 참여기관: 경상대학교 위탁기관: 충남대학교

1-2. 연구개발의 필요성

- 조사료는 건물 중 18%내외의 조섬유가 함유 된 사료로 반추동물의 반추위 기능 및 건강 유지, 번식장애와 각종 대사성 질병 예방을 위한 필수 사료 요소로써 초식가축의 주 영양소 공급원임.

- 현재 연간 국내 유통·수급되는 조사료는 5,770,000톤이며, 국내 조사료 생산기반은 242,000ha로 약 82%의 자급률로 소비되고 있음 (표 1).

<표 1> 국내 조사료 유통·수급 실적 및 자급률

구 분	2014	2015	2016	2017
조사료 수급 (천 t)	5,577	5,526	5,428	5,765
국내 조사료 생산기반 (천 ha)	297	241	272	242
조사료 자급률 (%)	82	81	80	82

(농림축산식품부 주요통계, 2018)

- 정부는 조사료 자급률 85%를 목표로 사료작물 수확장비 지원, 논 이모작 활용 동계 사료작물 재배 장려, 논 타작물 재배 지원을 통한 조사료 자급률 제고 등 다양한 정책을 지원하고 있음.
- 그 중에서도 최근 국내 쌀 소비 감소로 인한 쌀 공급과잉 문제 해결을 위한 사전 조치로 ‘논 타작물 재배 지원 사업’이 18년도부터 시행 되고 있는 상황임.
- 현행 ‘논 타작물 재배 지원 사업’은 두류, 조사료, 일반·꽃거름작물의 3개 품목군으로 구분·지원 중임.
- 품목별 논 타작물 전환 면적은 콩이 5,261ha로 가장 많고, 사료작물이 3,554ha로 두 번째로 많았음.
- 논 타작물 중 사료작물은 총체 벼, 옥수수, 수단그라스, 사료용 피 등이 있음.
- 그중에서도 총체 벼는 다른 논 타작물 후보작물에 비교하여 배수 문제 등에 신경 없이 현재 사용되고 있는 논을 그대로 이용이 가능하기 때문에 작물 생산을 위해 추가 비용부담이 없어 농가들이 비교적 쉽게 작물 전환에 접근 가능.
- 총체 벼란 곡물과 벧짚을 통째로 수확하여 가축 사료로 사용되는 사료용 벼를 말하며, 식용 쌀에 비해 엽, 줄기, 키가 크며 식물체 수량이 높은 것이 특징으로 주로 사일리지를 담가 이용.
- 이렇듯 쌀 농가들이 총체 벼 재배로 작물을 전환함에 따라 최근 총체 벼용 품종 개발, 사료가 치, 사일리지 제조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음.
- 현재 개발·등록 된 국내 육성 총체 벼 품종은 총 7종이며, 품종명과 주요특성은 <표 2>와 같음.

<표 2> 국내 육성 총체 벼 품종과 주요특성

품종명	육성연도	건물수량 (t/ha)	주요특성	적응지역
녹양	2006	17	중만생종, 내도복성, 내탈립성, 후기녹체성, 사료적성 양호	전국 (전남, 경남 제외)
목우	2009	21	만생종, 후기녹체성, 내도복성, 복합내병성	중부 및 남부평야지
목양	2010	18	만생종, 후기녹체성, 내도복성, 내탈립성	중부 및 남부평야지
녹우	2014	16	만생종, 다수성, 저온발아성, 초기신장성	중부 및 남부평야지
영우	2015	30	중만생종, 다수성, 저온발아성, 등숙비율 양호, 사료가치 우수	중부 및 남부평야지
조농	2016	15	조생종, 곡실 및 총체사료용, 줄무늬잎마름병 저항성	중부 및 남부평야지
청우	2016	21	만생종, 다수성, 복합내병충성, 저온발아성	중부 및 남부평야지

(사료작물 재배 기술 매뉴얼, 2017)

○ <표 3>에 나타낸 바와 같이 총체 벼의 사료가치는 수분 32~46%, 조단백질 5~9%, ADF 28~37%, NDF 55~68%, TDN 60~67%로 나타남.

<표 3> 총체 벼의 사료가치 연구 결과

품종	DM ¹⁾ (%)	CP (% DM)	ADF (% DM)	NDF (% DM)	TDN (% DM)	참고문헌
추청벼	32.4	8.5	35.5	63.8	60.8	김 등 (2007)
하마사리	32.0	8.5	36.8	67.6	59.7	
남일벼	41.1	7.9	34.6	56.4	61.5	김 등 (2009)
녹양	44.1	5.0	28.2	61.1	66.5	김 등 (2014)
남일벼(직파)	47.5	6.4	33.8	55.1	62.2	기 등 (2015)
남일벼(이앙)	46.2	6.4	35.7	55.1	60.7	

¹⁾ DM: Dry matter, CP: Crude protein, ADF: Acid Detergent Fiber, NDF: Neutral Detergent Fiber, TDN: Total Digestible Nutrient.

○ 이를 사일리지로 제조 시 영양성분은 수분 약 39%, 조단백질 5~9%, ADF 30~40%, NDF 50~69%, TDN 57~58%로 나타났으며 (표 4), 사일리지 적정 제조 시기는 호숙기~황숙기가 적당한 것으로 보고 (김 등, 2007; 김 등, 2008; 최 등 2011).

<표 4> 총체 벼 사일리지의 사료가치 연구 결과

품종	DM ¹⁾ (%)	CP (% DM)	ADF (% DM)	NDF (% DM)	TDN (% DM)	참고문헌
추청벼	-	8.3	40.1	68.8	57.2	김 등 (2008)
하마사리	-	9.1	40.1	68.1	57.3	
추청벼	39.0	4.8	30.8	49.7	-	최 등 (2011)
추청벼	-	7.5	29.6	63.0	57.9	기 등 (2013)

¹⁾ DM: Dry matter, CP: Crude protein, ADF: Acid Detergent Fiber, NDF: Neutral Detergent Fiber, TDN: Total Digestible Nutrient.

- 이와 같이, 총체 벼는 쌀 수급 안정화 및 조사료 자급률 향상, 경제적인 가축 이용성 등 다방면에서 장점이 있어 관심이 대두되고 있는 실정임.
- 하지만 총체 벼 등 국내 조사료 재배 면적이 증가함에 따라 전용 작업기(조사료 작업기)의 공급이 부족해 질 것으로 예상되며, 국내에 있는 조사료 작업기 대부분을 일본에서 수입하고 있기 때문에 농민들의 가격 부담 및 외환 낭비가 악화 될 것으로 예상 됨.
- 또한 조사료 수확 및 사일리지 제조 공정은 크게 수확, 베일 성형, 랩핑 공정으로 이루어져 있으며 각각의 공정마다 별도의 작업기를 사용해야하기 때문에, 전체 공정이 복잡하고 시간이 많이 소모되며 각각의 작업기 구입 혹은 대여 비용 또한 많이 소요 됨.
- 따라서 수확, 베일 성형, 랩핑 공정이 효율적으로 연결되어 조사료 수확에 있어서 인력적·경제적·시간적 낭비를 최소화하고 작업의 안정성과 신속성을 확보 할 수 있는 최적의 공정 시스템 개발이 필수적인 상황임.

1-3. 연구개발 대상의 국내·외 현황

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 조사료 생산 작업은 수확과 베일 성형 및 랩핑 공정으로 크게 나누어지는데, 각 공정별로 전용 작업기가 별도로 개발 및 이용되고 있고 각각은 트랙터 부착 형태의 작업기가 대부분임 (그림 1).



<수확>



<베일 성형>



<랩핑>

<그림 1> 조사료 생산 작업 (수확-베일 성형-랩핑)

- 현재 이러한 공정을 하나로 할 수 있는 일관작업기가 대형 운반차의 차대에 릴 타입의 수확기를 부착하고, 트랙터 견인식의 베일러와 랩핑기를 운반차의 차대에 탑재 한 시작품 수준으로 개발되고 있음.
- 하지만 공정 작업별로 사용되고 있는 전용기를 단순히 조합해 높은 수준이기 때문에 시스템

적으로 안정화되지 못하여 상용화 되지 못한 상황임 (그림 2).



<조사료 생산용 작업기 모습>



<조사료 생산 시험 모습>

<그림 2> 시작품 수준의 일관작업기 모습

- 한편, 수확 작업과 베일 성형 작업이 동시에 가능한 자주식 조사료 수확기도 개발되어 있는데, 이기계의 경우 랩핑기가 장착되어 있지 않기 때문에 랩핑 작업은 별도로 해야함.
- 또한 엔진 열평형이 안정화되지 못한 상태이고, 유압시스템의 개선이 필요한 상태로 본격적인 상용화에는 시간이 더 필요한 상태임 (그림 3).



<그림 3> 수확 및 베일 성형 동시작업기

- 이외에도 일본에서 상용화 된 자주식 조사료 수확기가 수입되어 국내에 공급되고 있음.
- 대표적인 제품은 다카키타의 WB1040, SMR1020과 스타의 HV2200 등이 있음 (그림 4).
- 일본에서 수입되고 있는 자주식 조사료 수확기는 엔진이 74~89kW급으로 한국의 조사료용 작물의 특성과 지형적인 차이 때문에 작업 능률이 높지 않고, 특히 랩핑 장치가 장착되어 있지 않기 때문에 랩핑 작업은 별도로 해야 하는 단점이 있음.
- 또한 수확기에서 배출된 베일은 지면의 흙이나 이물질에 오염되는 경우가 많고, 또 총체 벼나 옥수수과 같이 세절 된 작물은 베일의 낙하 충격으로 베일이 허물어지는 경우가 많아서 작물

의 손실이 큰 편임 (그림 4).



<다카키타 WB1040>



<다카키타 SMR1020>



<스타 HV2200>



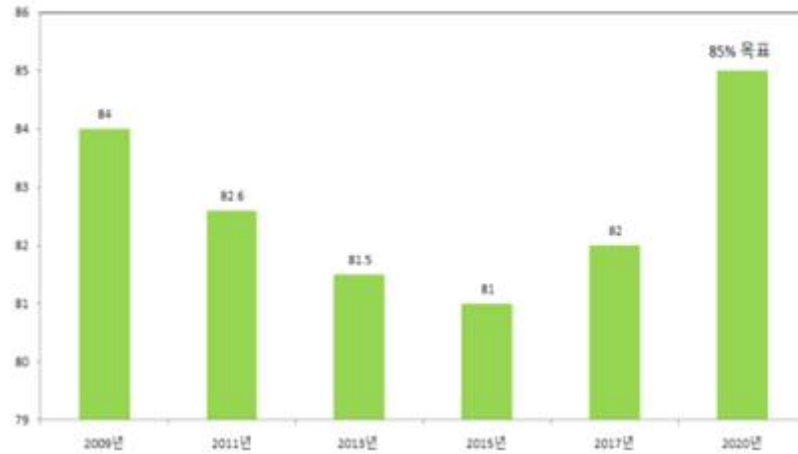
<허물어진 베일>

<그림 4> 일본에서 수입되고 있는 자주식 조사료 수확기

○ 시장현황

- 농림축산식품부는 국내산 조사료 자급률을 현 82%('17년 기준)에서 85%('20년)(그림 5)까지 높이는 것을 목표로 매년 종자구입비, 사일리지 제조비, 기계장비 구입비, 전문단지 구축 및 유통센터 건립 등에 2018년 970억 원을 지원하였으며 2019년도 870억 원을 지원할 예정이고, 앞으로도 국내산 조사료 생산 확대를 위한 제도적 지원도 병행할 계획임 (농림축산식품부 축산정책국, 2018).

조사료 자급률 (%)



(농림축산식품부 축산정책국, 2018)

<그림 5> 조사료 자급률

- 조사료 수확기의 국내 시장 규모는 '16년 기준으로 약 66억 정도로 집계되고 있어 '12년 대비 약 40% 감소하였지만 지방 정부 보조 사업을 합치면 약 250억 원 정도로 예측 됨.
- 한국무역협회의 자료 (그림 6)에 따르면 연간 130억 원의 조사료 수확기가 수입 되고 있으며, 수입 국가는 아일랜드, 프랑스 등 유럽 국가로 부터의 수입이 절대적임.
- 하지만 이는 트랙터 부착식 수확기로서 자주식 조사료 수확기는 대부분 일본에서 수입하고 있는 실정임 (한국농기계공업협동조합, 2017).



(한국농업기계공업협동조합, 2017)

<그림 6> 조사료 수확기의 국내시장 및 수입 현황

- 국내 총체 벼 재배면적을 유추해 보면, 2018년도 총체 벼 종자 보급량이 200톤 정도이고, 1ha에 총체 벼 종자 50kg이 파종되기 때문에 총체 벼 재배면적은 약 4000ha로 추정되며, 2019년도에는 벼 대체작물 재배 면적이 100,000ha 이상이 되고 이 중에 총체 벼 재배 면적은 10,000ha 정도로 2018년 대비 2배 이상 늘어날 전망이다(2019년도 총체 벼 종자 유통량은 500톤 규모가 될 전망)(사단법인 한국조사료연구원, 2018)
- 총체 벼 재배면적이 10,000ha이면 수확 최적 기간을 20일 정도로 산정했을 때, 현재 일본에

서 수입하여 판매되고 있는 자주식 조사료 수확기가 약 380대가 필요함 (표 5).

<표 5> 총체 벼 10,000ha 수확을 위한 자주식 조사료 수확기 필요량

참고 모델	일본 다카키타 SMR1020
작업 능률	16a/시간
단위면적당 작업 능률	37분/10a
1일 작업 면적 (8hr 기준)	1.3ha/일
20일 작업면적	26ha
10,000ha 작업 필요량	384대

- 2018년도 국내에 보급 된 자주식 조사료 수확기는 약 60대 정도이며, 대부분 일본에서 수입 된 장비임(S사, M사).
- 지금까지 보급 된 자주식 조사료 수확기는 모두 합쳐도 100대에 미치지 못할 것으로 생각되며, 2019년도 총체 벼 재배면적이 10,000ha라고 볼 때 수확기계는 절대적으로 부족할 것으로 예상됨.

○ 경쟁기관현황

- 현재 우리나라에서 자주식 조사료 수확기를 공급하고 있는 곳은 S사, M사, J사 등 3곳이 있음.
- S사는 일본 다카키타의 자주식 조사료 수확기 2종(WB1040과 SMR1020)을 공급하고 있음 (그림 7).



<WB1040>



<SMR1020>

<그림 7> 일본 다카키타의 자주식 조사료 수확기 WB1040 및 SMR1020

- 두 모델의 사양은 <표 6>과 같음.

<표 6> 일본 타카키타의 자주식 조사료 수확기 WB1040 및 SMR1020의 사양

모델명	WB1040	SMR1020
크기(mm)	5420x2150x2720	6800x2250x2800
중량(kg)	4550	5450
엔진(kW)	55	77
접지압(kPa)	26.4	26.6
작업속도(m/s)	1.6	1.76
최고주행속도(m/s)	2.61	2.81
수확 폭(cm)	177	180
작업능률(a/h)	-	16

- 이 모델에 사용되고 있는 차대는 일본의 구보다와 얀마의 콤바인용인데, 차대만 별도로 구매하여 수확부와 베일 성형부를 탑재한 것임(WB1040의 차대는 구보다의 콤바인용이고, SMR1020의 차대는 얀마의 콤바인용임).
- 이 제품들에는 랩핑기가 탑재되어 있지 않기 때문에 랩핑 작업은 별도로 진행해야 하며, 베일 배출시 토양에 의한 베일의 오염 가능성이 있음.
- M사에서는 일본 스타에서 생산하고 있는 HV2200을 수입하여 우리나라에 공급하고 있음 (그림 8).



<그림 8> 일본 스타의 자주식 조사료 수확기 HV2200

- 사양은 <표 7>과 같음.

<표 7> 일본 스타의 자주식 조사료 수확기 HV2200의 사양

모델명	HV2200
크기(mm)	6200x1900x2700
중량(kg)	5460
엔진(kW)	88
차륜 거리(mm)	1200
성형방식	벨트식
베일크기	100x86
수확 폭(cm)	180

- HV2200도 일본의 얀마 콤바인 차대를 구매하여 수확부와 베일 성형부를 스타에서 탑재한 것임.
- 이 제품도 역시 랩핑기는 탑재되어 있지 않기 때문에 랩핑 작업은 별도로 진행되어야 하며, 베일 배출 시 토양에 의해 오염될 가능성이 있음.
- 한편, 국내에서 유일하게 조사료 수확기를 제작하여 판매하고 있는 회사가 J사임.
- 모델명은 WC3000L으로, 차대는 일본의 모로오카 운반차를 벤치마킹하여 제작하였고 수확부는 독일의 캠퍼2200을 부착하였으며 베일성형부는 일본의 다카키타 체인바 타입을 참고하여 자체 제작하여 탑재하였음 (그림 9).



<그림 9> J사의 조사료 수확기 WC3000L

- 사양은 <표 8>과 같음.

<표 8> J사의 자주식 조사료 수확기 WC3000L의 사양

모델명	WC3000L
크기(mm)	7500x2200x2750
중량(kg)	6500
엔진(kW)	118
차륜 거리(mm)	1200
성형방식	체인바
베일크기	100x85
수확 폭(cm)	228
작업능률(평/일)	10,000

- 이 모델 역시 랩핑기가 장착되어 있지 않기 때문에 랩핑 작업은 별도로 진행되어야 하며, 베일 배출 시 토양에 의해 베일이 오염될 가능성이 있고, 특히 옥수수과 같이 세절된 베일은 배출 시 낙하 충격에 의해 베일이 허물어지는 경우가 종종 발생함.
- 또한 엔진의 열평형 문제와 유압시스템의 불안정 문제가 잔존하고 있기 때문에 시장에서 좋은 평가를 받지 못하고 있는 상황임.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

2-1 주요 구성품

총체벼 일관작업기는 다음과 같이 구성됨.

- 주행부
- 하베스트부
- 호퍼 및 이송장치
- 베일러
- 랩핑부
- 주행제어부
- 공정자동제어부
- 유압부
- 동력전달
- 전기배선



1) 주행부

주행부는 일관작업기의 이동을 담당하는데, 주행프레임, 주행펌프, 주행모터, 조이스틱, 컨트롤러, 고무궤도, 엔진 등으로 구성됨.





2) 하베스트

하베스트는 총채벼를 컷팅하여 끌어들이고, 세절장치에서 짧게 자른 다음 호퍼로 작물을 이송하는 작업을 담당함. 원형칼날드럼, 작물 유입 롤러, 세절장치, 슈트 등으로 구성됨.



하베스트 전체 모습



작물 유입부



하베스트 구동부



플라이휠



회전 칼날



세절부 프레임



작물 유입 톱니 롤러



작물 유입 고무 롤러



작물 절단 칼날



하베스트 슈트



확산 가이드 조절모터



작물 확산 가이드



메인 입력 장치



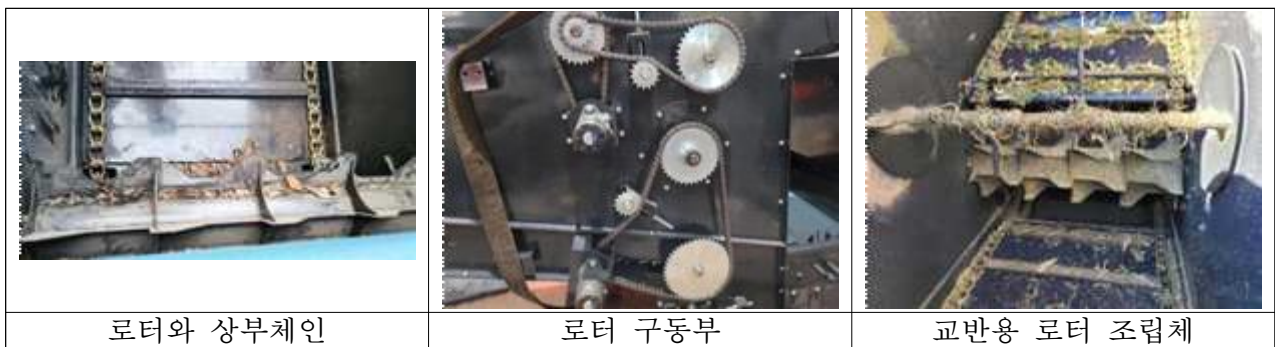
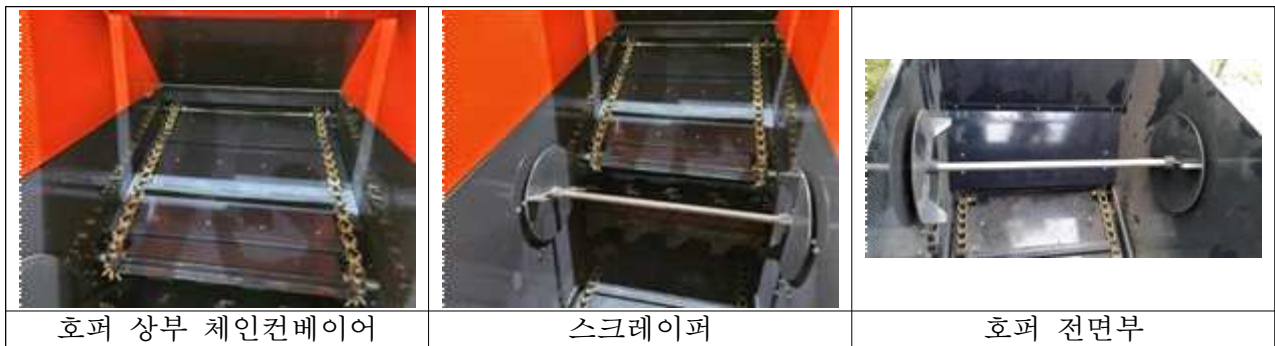
드럼 입력축



유압롤러 구동축

3) 호퍼 및 이송장치

호퍼는 하베스트에서 수확한 작물을 임시 보관하면서 줄기와 잎, 이삭을 섞어주는 역할을 하고, 호퍼 하부 작물 공급 컨베이어는 교반된 작물을 작물 투입 컨베이어로 이송시키는 역할을 함. 호퍼, 교반용 로터, 상부 컨베이어, 하부 컨베이어로 구성됨.



4) 베일러

베일러는 세절된 작물을 회전시키면서 원통형 베일을 성형하는 역할을 함. PTO감속기를 경유한 동력은 베일러로 입력되고, 체인바 형식의 베일 성형 장치를 구동함.

베일러 프레임, 체인 및 체인바, 작물 투입 컨베이어, 뒷문 및 잠금장치, 네트장치로 구성됨.



베일러 좌측면



베일러 후면



베일러 우측면



베일 챔버 프레임



챔버 프레임 좌측



베일 챔버 체인바



뒷문 개방 유압실린더



유압실린더 조립



뒷문 잠금 장치



네트 유입 캠장치



네트 장력 조절장치



네트 커팅 칼날



네트 감지 센서



뒷문 열림 센서



네트 브레이크



베일 압력 센서 조립



베일 압력 센서



뒷문 닫힘 센서



웍기어 감속기



내부 부품



웍

5) 랩핑부

랩핑부는 원통형의 베일 외부에 비닐을 감고 지면으로 배출하는 기능을 담당함.
비닐 회전암, 비닐 커팅 장치, 적재부, 하부롤러, 유압모터 등으로 구성됨.



랩핑부 측면



랩핑부 평면



베일 랩핑 작업



포크 측면



포크 정면



포크 작동 모습



베일 적재부 정면



베일 적재부 측면



베일 적재 센서



하부롤러 구동 모터



하부롤러



하부롤러 구동



회전암 구동 장치 측면



회전암 구동 장치 평면



회전암 랩핑 작업



비닐 커팅 장치



비닐 커팅 칼날



커팅 장치 상승



비닐 거치대



비닐 신장 롤러



비닐 신장용 기어



베일 덤프 장치 정면



베일 덤프 장치 측면



베일 덤프 작업

6) 유압부

유압부는 하베스트의 승하강, 작물 이송 컨베이어 구동, 비닐 회전암 회전, 베일 하부롤러 구동, 적재 및 덤프 역할을 담당하고 있음.



하베스트 유압밸브 평면



하베스트 유압밸브 측면



하베스트 유압 배관



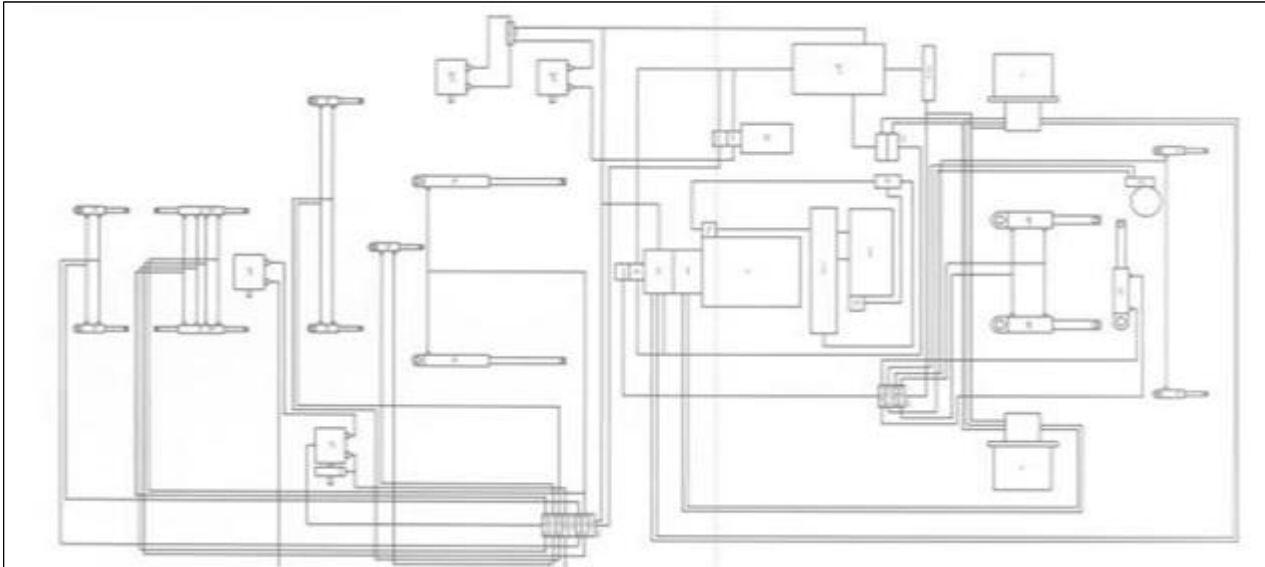
베일러 유압 밸브



베일러 유압 배관



랩핑부 유압 밸브



유압 전체 회로도

7) 주행제어부

주행제어부는 전자식 조이스틱에서 발생한 신호를 컨트롤러가 분석하고 출력신호를 내보내면 주행 펌프에 장착된 솔레노이드에서 스톱의 이동량을 제어하게 되는데, 주행제어는 전후진 변속, 증감속, 좌우 조향 등의 역할을 담당함.



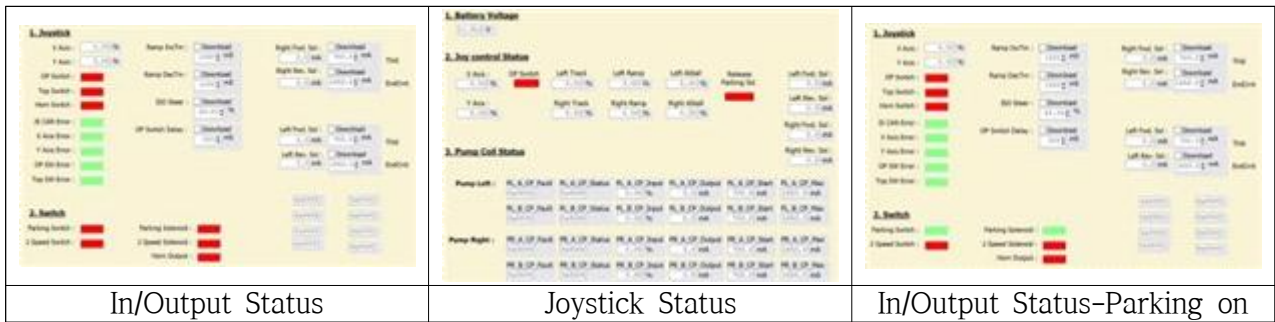
주행용 조이스틱



주행 컨트롤러



조이스틱 버튼



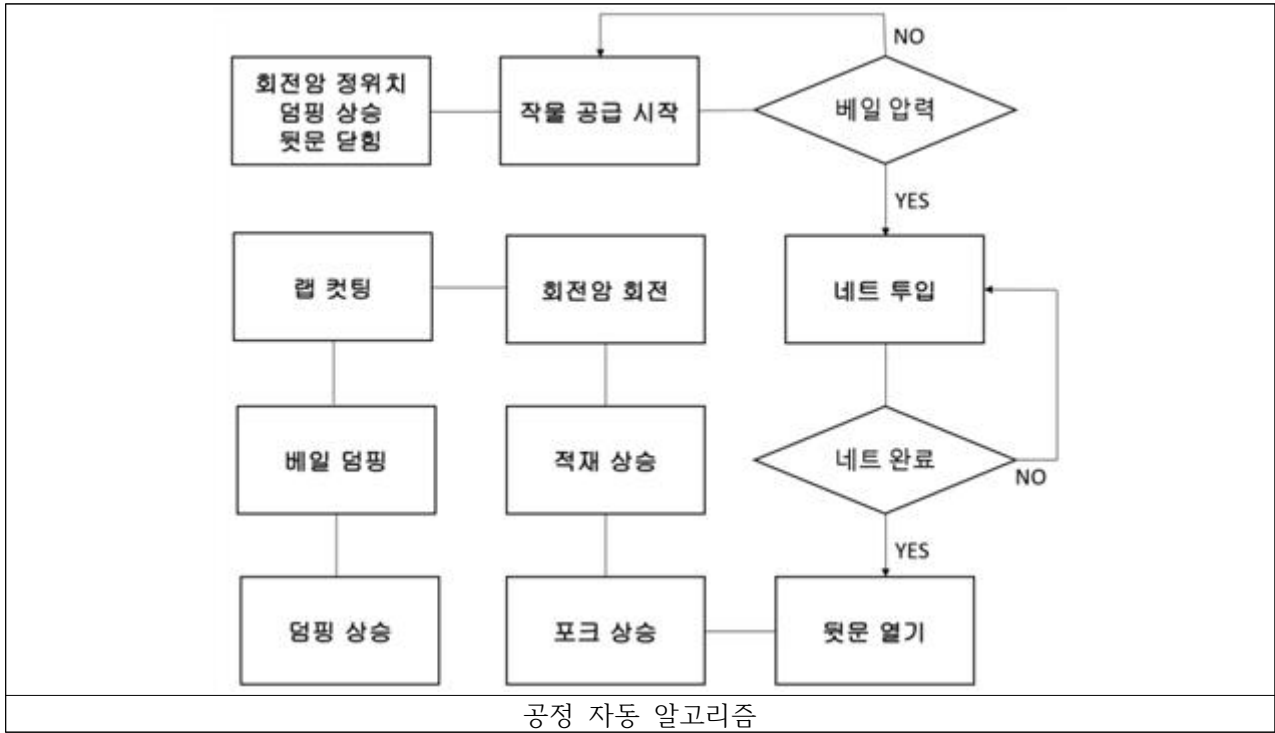
Parameter	unit	Spec	기능
Ramp IncTm	mS	1000	상승 신호 후 출력까지 1000mS 지연
Ramp DecTm	mS	1000	하강 신호 후 출력까지 1000mS 지연
ISO Steer	%	60	60% 이상에서는 Spin Turn 기능 제한
OP Switch Delay	mS	500	OP 스위치 작동 지연 시간
Right Thid	mA	700	Joystick 작동 시작 전류
Right EndCmt	mA	1650	Joystick 작동 종료 전류
Left Thid	mA	700	Joystick 작동 시작 전류
Left EndCmt	mA	1650	Joystick 작동 종료 전류



Version	안전스위치	속도 고정	전후진 선택	후진 시 콤바인화	조이스틱
4	유	무	불가	불가	안전스위치형
7	무	유	가능	불가	디텐트형
8	무	유	가능	가능	전후진선택형

8) 공정 자동 제어부

공정 자동 제어는 일관작업기가 작업 중에 정지할 필요 없이 연속적으로 작업이 가능하도록 제어하는 역할을 담당함. 공정 자동 제어가 되는 부위는 작물 공급 컨베이어, 베일 압력 감지, 네트 유입, 뒷문 열기, 포크 작동, 적재 상승, 회전암 회전, 네트 커팅, 베일 덤핑 공정 등임.

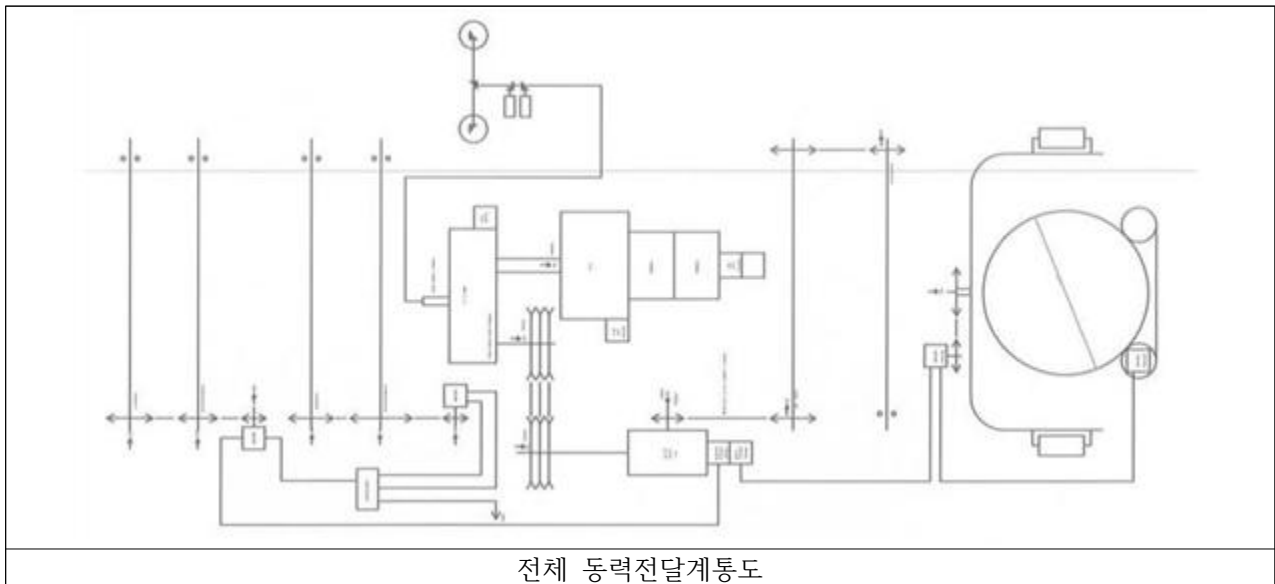


No	센서 명	수집 정보	센서 위치	센서 사양
1	베일 압력 센서	베일 압력 설정치 도달 여부	베일부 뒷문 잠금 장치	A접점
2	뒷문 닫힘 센서	뒷문 닫힘 확인	베일부 뒷문 잠금 장치	A접점
3	뒷문 열림 센서	뒷문 열림 확인	베일부 뒷문 힌지부	A접점
4	네트 캠 센서	네트 강제 유입 시간	네트 모터 회동부	A접점
5	네트 감지 센서	네트 유입 여부	네트 유입 경로	A접점
6	네트 완료 센서	네트 커팅 완료	네트 유입 경로	B접점
7	포크 센서	베일 배출 확인	포크 회동부	A접점
8	적재 센서	베일 적재 확인	하부롤러 중간	근접스위치
9	회전암 위치 센서	회전암 위치	회전암 상단	근접스위치
10	덤핑 센서	덤핑부 복귀 여부	하부롤러 회동부	근접스위치

No	출력신호명	출력부	작동부	작동내용
1	뒷문 열기	언로딩, 뒷문열기	뒷문 실린더	뒷문 열림
2	포크 상승	언로딩, 포크상승	포크 실린더	포크 올라감
3	포크 하강	언로딩, 포크하강	포크 실린더	포크 내려감
4	뒷문 닫기	언로딩, 뒷문닫기	뒷문 실린더	뒷문 닫힘
5	적재 상승	언로딩, 적재상승	적재 실린더	적재 올라감
6	회전암 저속	언로딩, 저속회전	회전암 모터	회전암 저속 회전
7	칼날 상승	언로딩, 칼날상승	칼날 실린더	칼날 올라감
8	칼날 하강	언로딩, 칼날하강	칼날 실린더	칼날 내려감
9	회전암 고속	언로딩, 고속회전	회전암 모터	회전암 고속 회전
10	회전암 저속	언로딩, 저속회전	회전암 모터	회전암 저속 회전
11	회전암 정지	신호 출력 차단	회전암 모터	회전암 회전 정지
12	칼날 상승	언로딩, 칼날상승	칼날 실린더	칼날 올라감
13	칼날 하강	언로딩, 칼날하강	칼날 실린더	칼날 내려감
14	덤핑 하강	언로딩, 덤핑하강	덤핑 실린더	덤핑부 후경사
15	덤핑 상승	언로딩, 덤핑상승	덤핑 실린더	덤핑부 수평 상승

9) 동력 전달 계통

동력은 크게 기계적인 동력과 유압으로 구분할 수 있고, 기계적인 동력이 들어가는 곳은 하베스트 구동, PTO감속기, 베일러 구동이 있고, 유압은 하베스트 승강, 슈트 회전, 컨베이어 구동, 뒷문 열기, 포크 승하강, 적재부 승하강, 비닐 회전암 회전, 비닐 커팅 장치, 베일 덤핑 장치에 들어감.



하베스트 구동 축



하베스트 드럼 구동 축



하베스트 각도조절용 실린더



베일러 구동 축



구동 축 벨트풀리



구동 축 토크센서



작물 공급 컨베이어 구동



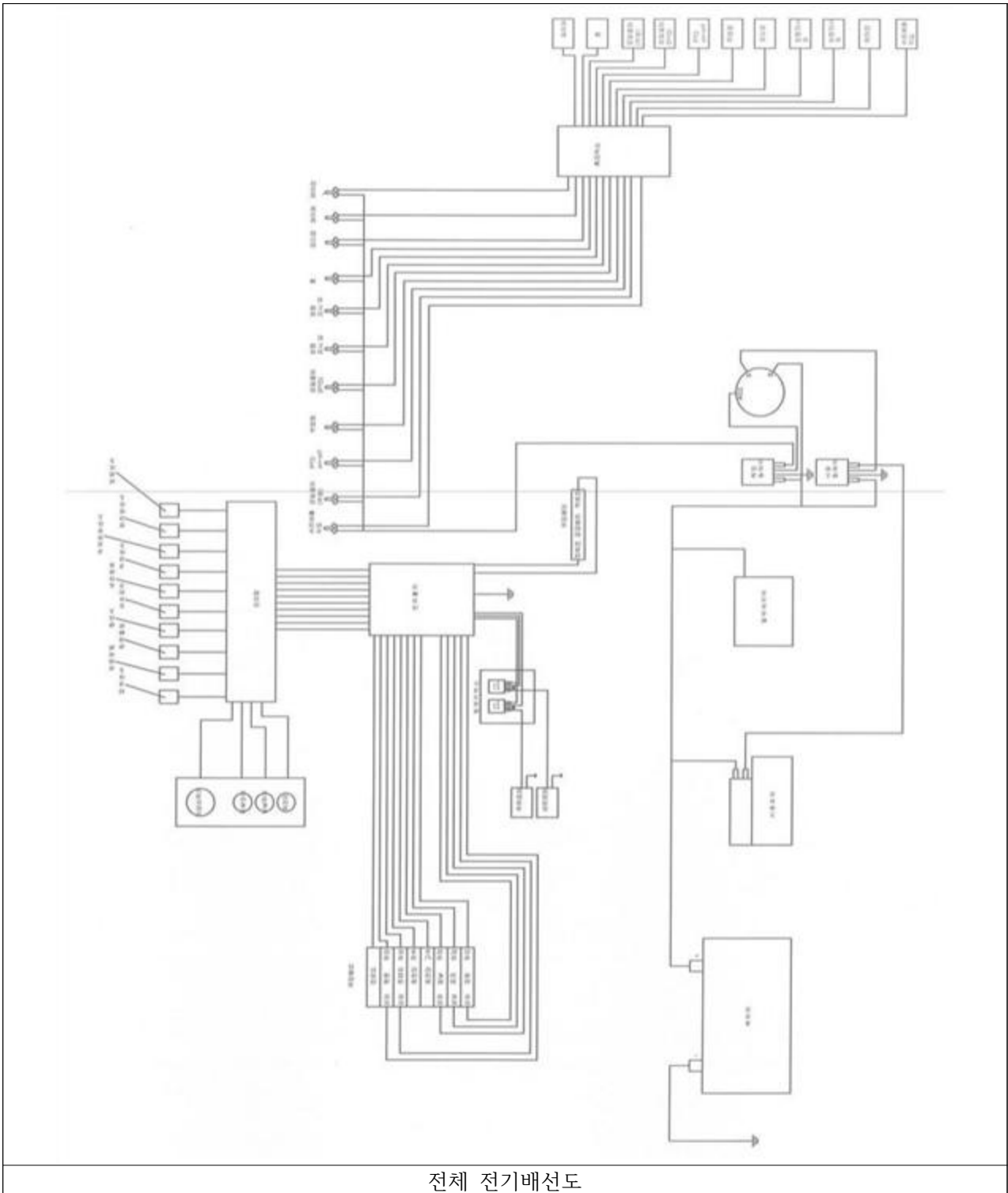
베일러 동력 감속기



베일 챔버 구동

10) 전기 배선

전기배선은 배터리의 전류를 엔진, 컨트롤러, 전기모터, 솔레노이드밸브, 센서류 등으로 보내서 각 작동부를 조작하는 역할을 함. 전기 배선의 굵기는 각 작업부의 소비 전류를 감안하여 결정해야 하고, 릴레이를 사용하여 전선의 굵기를 조절하기도 함.



베일 압력 센서



네트 완료 센서



네트 감지 센서



하베스트 유압 컨트롤러



릴레이 박스



메인 전원 차단 스위치



휴즈 박스



메인 전원 릴레이



덤핑 센서

2-2 핵심 기술

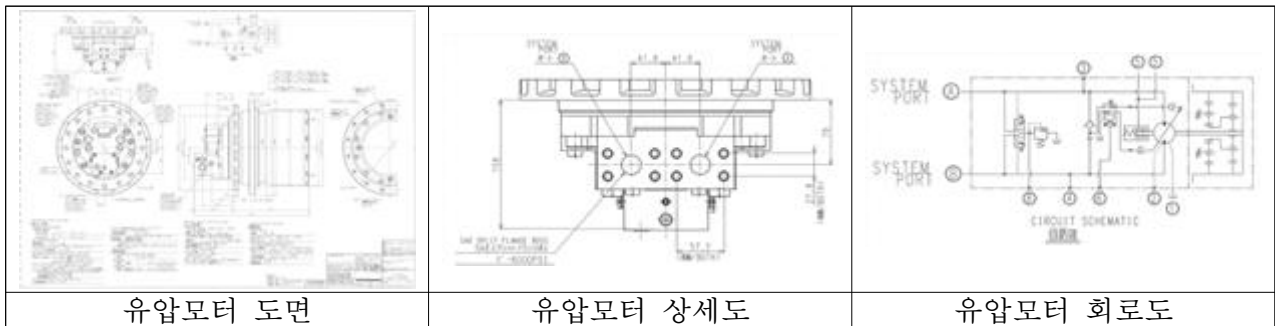
본 연구에서 개발된 핵심 기술은 6가지로 분류할 수 있음.

- 유압식 주행시스템
- 작물 세절식 하베스트
- 작물 교반 및 이송시스템
- 압력 조절식 베일러
- 베일 랩핑 장치
- 공정 자동화 컨트롤러

1) 유압식 주행시스템

유압식 주행시스템은 8,500kg의 일관작업기를 안전하고 편리하게 주행 조작을 할 수 있게 하는 기술임. 380kgf/cm²의 고압력 유압을 사용하고, 썬기어식 감속기(감속비 27배)가 내장된 피스톤식 주행모터, 그리고 2개의 주행펌프가 일체형으로 제작되어 최소한의 공간에 설치가 가능한 콤팩트형 유압펌프가 핵심 부품이며, 주행펌프에 장착된 솔레노이드 밸브를 통해서 사판의 기울기를 조절하여 기계의 속도를 바꿀 수 있는 기술이며, 주행 제어 전용 프로그램이 내장된 컨트롤러와 전자식 조이스틱이 조합을 이루어 전자제어식 유압 주행시스템 기술이 개발됨.

(1) 유압 모터



주행용 유압모터는 총 2개가 장착되고, 배제용적은 55cc/rev, 허용 배압은 최대 418kgf/cm², 감속기의 감속비는 27배, 주차브레이크와 2단 변속 장치가 내장되어 있음. 주차브레이크와 2단 변속은 외부에 별도의 솔레노이드 밸브를 장착하여 제어하는 구조임. 고압 오일을 냉각시켜주기 위해 플러싱 밸브가 내장되어 있는데, 설정압력은 24kgf/cm²임.

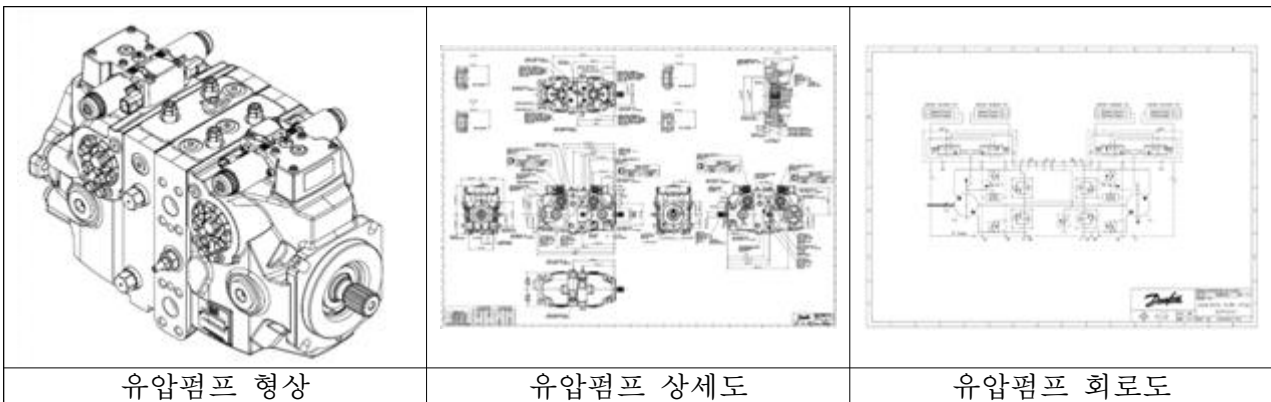


주차브레이크의 마찰토크는 469N·m이고, 해제 압력은 15kgf/cm²임. 총 중량은 162kg임.



주행용 모터는 주행프레임의 좌우 트랙프레임 전방에 장착되고, 각각 고무궤도를 구동시키기 위한 스프로켓이 설치됨. 380kgf/cm²의 고압에도 누유가 발생하지 않도록 피팅부의 조립관리가 중요함.

(2) 유압 펌프



주행용 유압펌프는 피스톤식 레이디얼 펌프이고, 2개의 펌프가 일체형으로 제작됨. 토출량은 각각 53cc/rev이고, 메인릴리프 압력은 380bar로 설정됨. 차징 펌프의 압력은 24bar이고, 솔레노이드에 사용되는 전압은 12V임.



차징 펌프는 주행펌프와 동일한 축 상에 장착되며, 탠덤형의 기어펌프를 사용함. 차징펌프의 토출량은 30cc/rev이고, 나머지 하나의 기어펌프는 20cc/rev이며, 하베스트 작동용으로 사용함.



주행용 유압펌프는 엔진에 직결되며, 엔진과 주행펌프 사이에는 커플링을 삽입하여 펌프 구동에 충격이 전달되지 않도록 하고 있음. 사용하는 유압이 380kgf/cm²로 고압이기 때문에 피팅부에 누유가 발생하지 않도록 세심한 관리가 필요함.

(3) 조이스틱



조이스틱은 기계의 전후진 변속, 기계의 증감속, 좌우 조향을 하나의 레버로 제어가 가능하도록 함. 조이스틱은 안전스위치 장착형, 디텐트형, 전후진 선택스위치 장착형이 있으며, 각각의 특성을 고려하여 최종적으로 상업화용 조이스틱 사양을 선택할 예정임.



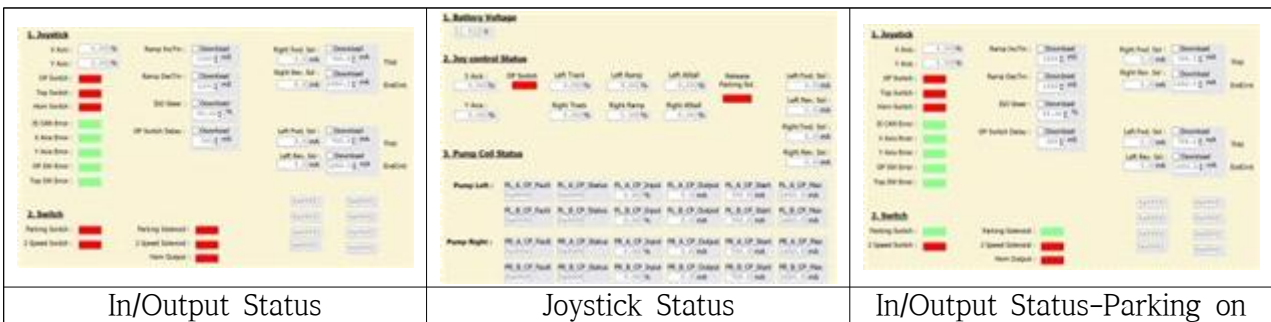
조이스틱은 운전자의 우측 손으로 조작할 수 있도록 설치되어 있으며, 조이스틱에 버튼 및 롤러가 설치되어 있어 필요시 작업부 조작에 활용할 수 있도록 함.

(4) 컨트롤러

주행 전용 컨트롤러는 전후진 변속, 증감속, 좌우 조향에 필요한 신호를 내보내는 기능을 함. 조이스틱의 조작에 의해 신호가 발생하고, 이 신호는 컨트롤러에 입력되어 분석된 다음 해당하는 출력을 내보내게 됨.



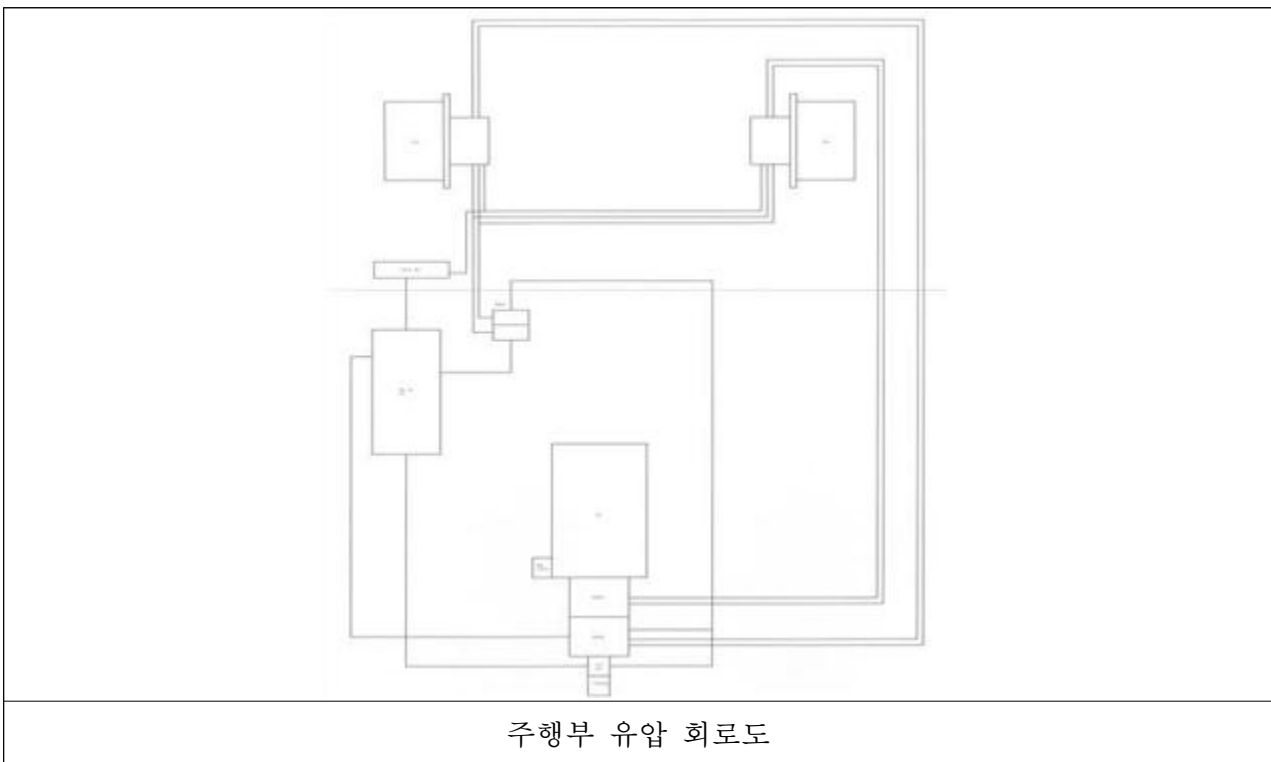
신호 입력용 포트는 총 8개, 신호 출력용 포트는 총 8개임. 주행 컨트롤에 필요한 프로그램은 컨트롤러에 내장되어 있으며, 별도의 프로그램 입력 컨넥터로 수정된 프로그램을 입출력할 수 있음.



프로그램의 파라메타 변경을 통해 기계 조작의 민감도 조정이 가능하고, 딜레이 타임을 주어서 순간적인 오조작에 기계가 움직이지 않도록 할 수 있음.

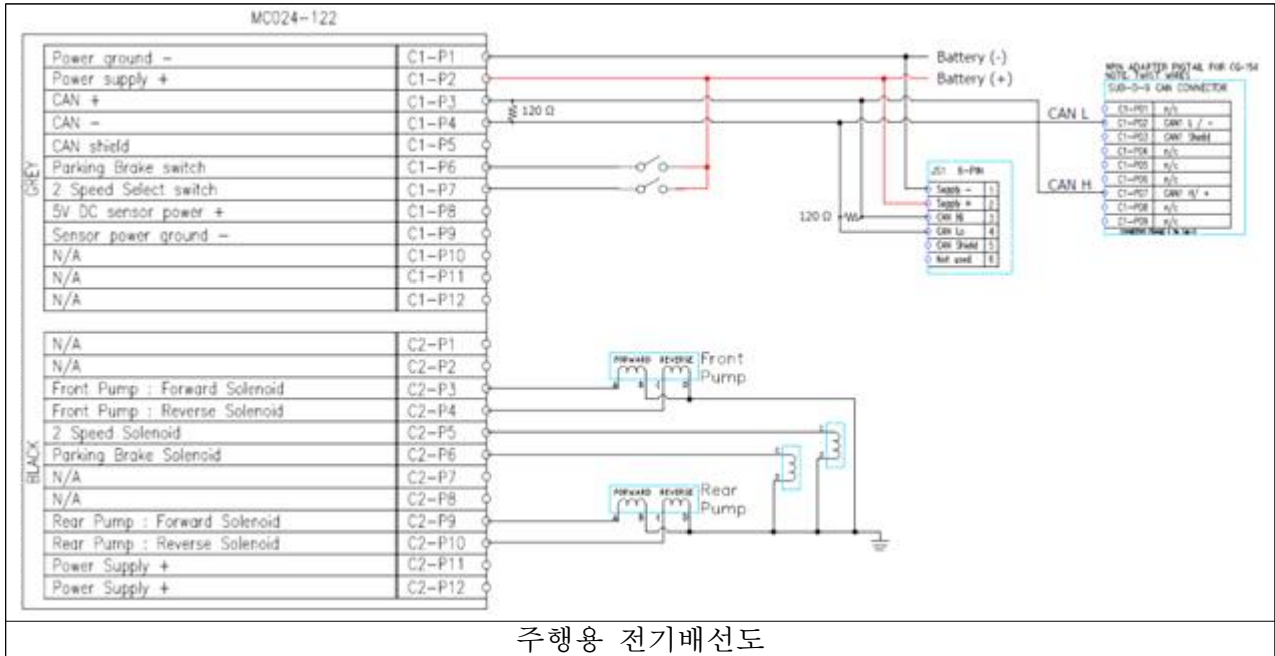
(5) 유압회로도

주행용 유압은 오일탱크-필터-차징펌프-주행펌프-오일차징-주행모터-플러싱밸브-드레인-오일쿨러-오일탱크의 순으로 순환을 함. 주행용 펌프 내부에서 드레인 되는 오일은 별도의 드레인 라인을 설치하여 오일탱크로 리턴될 수 있게 배관을 설치함.



(6) 전기회로도

주행용 전기배선은 조이스틱과 컨트롤러, 그리고 주행용 유압펌프의 솔레노이드 밸브를 연결하고, 주차브레이크와 2단 변속을 위한 밸브와도 배선이 연결되어 있음. 주차브레이크와 2단 변속은 별도의 외부 스위치에 의해 조작되고, 주행 조작은 조이스틱에 의해 수행됨.



주행용 전기배선도

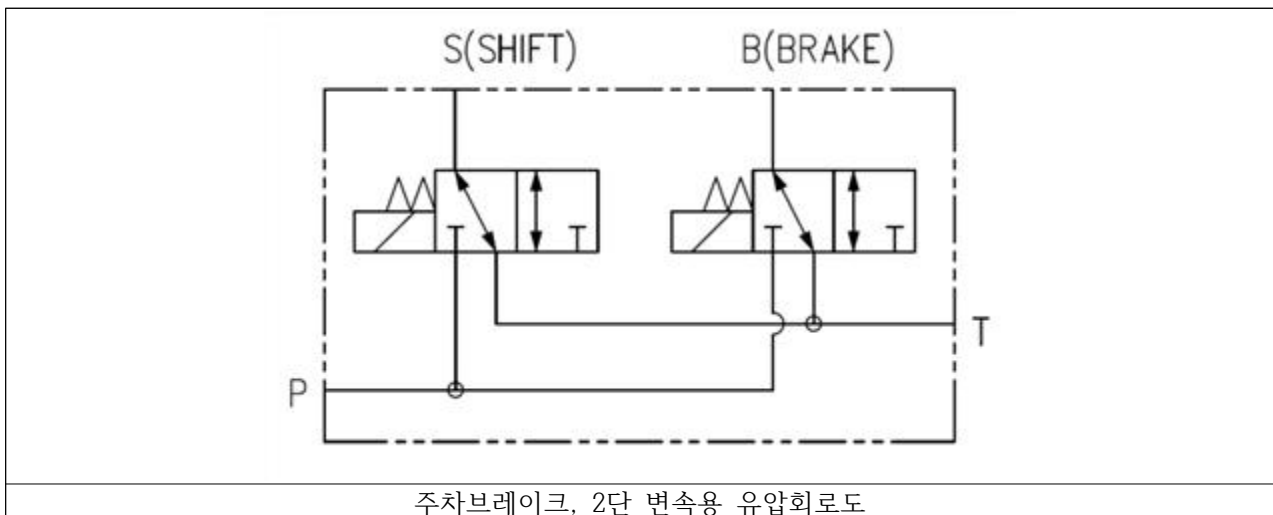
(7) 제어 알고리즘

주행 제어는 전후진 변속, 증감속, 좌우 조향을 수행하게 됨. 조이스틱의 경사 방향과 경사 각도에 의해 신호가 컨트롤러에 입력되고, 그 신호에 해당하는 출력 신호가 주행펌프의 솔레노이드 밸브로 전달되어 스톱을 움직이게 되고, 스톱의 이동 거리에 의해 사판의 기울기가 결정되며, 사판의 기울기는 펌프의 토출량을 결정하며, 펌프에서 토출된 오일이 주행모터에 전달되어 최종적으로 모터의 회전수를 결정하게 됨. 조이스틱의 경사 방향에 따른 기계의 반응 알고리즘은 다음과 같음.

기능명	역할	작동 사진
전후진변속	전진에서 후진, 후진에서 전진으로 변환	
증감속	전진 또는 후진의 속도 조정	
소프트턴	회전반경을 크게 하여 방향 전환	
피벗턴	좌측 또는 우측 궤도는 정지하고 반대측 궤도만 회전하여 방향 전환	
스핀턴	좌우의 궤도의 회전 방향이 서로 반대이며 제자리에서 회전하는 기능	

(8) 보조 유압 밸브

보조유압밸브는 주차브레이크와 2단 변속을 담당함. 별도로 제작된 솔레노이드 밸브로서 차징펌프의 오일을 활용하여 작동함. 솔레노이드에서 사용하는 전압은 12V이고, 필요로 하는 유압은 24bar 임. 1차적으로 주차브레이크를 해제한 다음 그 오일이 2단 변속용 밸브로 들어감. 즉 2단 변속은 반드시 주차브레이크가 해제된 다음에 가능하도록 되어 있음.



보조유압밸브는 카트리지 타입으로 제작되어 있으며, 콤팩트하게 제작되어 설치공간을 최소화하였음.



주차브레이크 유압밸브



주차브레이크 장착

보조유압밸브의 유압회로도 는 다음과 같음. 차징용 기어펌프의 오일이 주행용 펌프로 들어가고 그 동일한 라인에 'T'쇼인트를 연결하여 필요시 오일을 사용할 수 있도록 함. 주차브레이크와 2단 변속은 주행모터 내부로 드레인되지 않기 때문에 주행펌프의 차징용 오일 부족 현상은 발생하지 않음.

(9) 사양 선정 계산식(주행용 펌프 및 모터)

연구결과물이 작업 중에 요구되는 토오크는 아래와 같이 계산됨.

① 총부하중량

무부하 중량과 부하 중량으로 구분하는데, 무부하 중량은 작물과 랩핑을 위한 비닐의 중량이 포함되지 않은 순수한 기계의 중량을 말하고, 부하 중량은 기계의 중량에 작물과 비닐의 중량이 포함된 중량을 말함. 무부하 중량은 7500 kg, 부하 중량은 8500 kg으로 산정함.

② 지면 최대 마찰 계수

지면의 마찰계수가 허용치의 최대이고, 총중량이 부하 중량일 경우 고무궤도가 슬립을 하기 위한 견인력을 말함.

최대 요구 견인력을 계산할 때는,

고무 궤도의 슬립에 의한 T_e

$$T_{e1} = w_1 \times C_s$$

노면조건	Wheel의 종류	
	Rubber Tire	Crawler
Asphalt 또는 Concrete	0.8~1.0	0.5
Clay(Dry)	0.5~0.7	0.9
Sand and Gravel	0.3~0.6	0.4
Soil(Firm)	0.5~0.6	0.9
Soil(Loose)	0.4~0.5	0.6
Snow(Packed)	0.2	-

<노면 조건에 따른 마찰 계수(C_s)>

등판력에 의한 T_e

$$T_{e2} = W \times \sin \theta + W \times C_r \times \cos \theta$$

위의 2가지 경우의 값에서 제일 큰 값을 요구견인력으로 취함.

③ 요구 견인력

$$\begin{aligned} \text{요구견인력}(T_e) &= \text{총부하중량} \times \text{노면마찰계수} \\ &= 8500 \times 0.9 = 7650 \text{ kgf} \end{aligned}$$

④ 요구 토크

$$T_e(\text{요구견인력}) = T_w \times 1000 / L_r \times 2$$

$$T_w = T_e \times L_r / (2 \times 1000)$$

(L_r = 궤도 구동용 스프로킷의 반경 = 240 mm)

$$\begin{aligned} T_w &= 7650 \times 240 / (2 \times 1000) \\ &= 918 \text{ kgf} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

주행모터의 배제용적은 다음과 같이 계산됨.

① 시스템 최대 설정 압력: 380 kgf/cm²

② 토크 계산식

$$T_m = P * Q_m / (200 \pi)$$

T_m: 주행모터의 요구토크(kgf · m)

P: 메인릴리프 설정압력(kgf/cm²)

Q_m: 주행모터의 배제용적(cc/rev)

③ 감속비: 27.68

$$T_m = T_w / 27.68$$

$$= 918 / 27.68$$

$$= 33.16 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

④ 주행모터의 배제용적

$$T_m = P \times Q_m / (200 \pi)$$

$$Q_m = T_m \times 200 \pi / P$$

$$= 33.16 \times 200 \pi / 380$$

$$= 54.8 \text{ cc/rev}$$

주행펌프의 토출량은 다음과 같이 계산됨

① 최대 속도: 7 km/h = 1.94 m/s

② 고무궤도 구동축 회전수

$$V_w = L_r \times 2 \times \pi \times N_w / 60$$

$$1.94 \text{ m/s} = 0.24 \times 2 \times \pi \times N_w / 60$$

$$N_w = 1.94 \times 60 / (0.24 \times 2 \times \pi)$$

$$= 77 \text{ rpm}$$

③ 유압 모터 축의 회전수

$$N_m = N_w \times \text{감속비}$$

$$= 77 \times 27.68$$

$$= 2131 \text{ rpm}$$

④ 유압 펌프 입력 회전수

$$N_p = N_e = 2200 \text{ rpm}$$

⑤ 주행펌프의 토출량(효율 무시)

$$N_p \times Q_p = N_m \times Q_m$$

$$Q_p = N_m \times Q_m / N_p$$

$$= 2131 \times 54.8 / 2200$$

$$= 53 \text{ cc/rev}$$

요구 토오크는 다음과 같이 계산됨

① 토크 계산식 유도

$$T = P \times Q / (200 \pi)$$

T: 유압모터의 토크(kgf · m)

P: 설정압력(kgf/cm²)

Q: 모터의 배제용적(cc/rev = cm³/rev)

$$F = P \times A = P \times (R_v - R_r) \times L$$

$$T = P \times (R_v - R_r) \times L \times (R_v + R_r) / 2$$

$$= P \times L \times (R_v^2 - R_r^2) / 2$$

$$Q = \pi \times (R_v^2 - R_r^2) \times L$$

$$T(\text{kgf} \cdot \text{cm}) = P \times Q / (2 \times \pi)$$

$$T(\text{kgf} \cdot \text{m}) = P \times Q / (200 \times \pi)$$

주행부의 최대 소요 동력은 다음과 같이 계산됨

$$L(\text{ps}) = 2 \times \pi \times n \times T / 75$$

n: rps(초당 회전수)

$$N_w = 1.94 \times 60 / (0.24 \times 2 \times \pi)$$

$$= 77 \text{ rpm}$$

$$n = 77 / 60 = 1.28$$

$$T_w = 7650 \times 240 / (2 \times 1000)$$

$$= 918 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$L(\text{ps}) = 2 \times \pi \times 1.28 \times 918 / 75$$

$$= 98 \text{ ps}$$

○ 유압식 주행시스템에 대한 성능 검증 시험(한국생산기술원)



항 목	결 과	비 고
펌프 토출량(cc/rev)	46	
펌프 최대릴리프압력(kgf/cm ²)	320	요구 토크 부족의 원인
최대 오일 온도(°C)	110	
모터의 최대 토크(kgf · m)	700	요구 성능(918 kgf · m)에 부족

*유압식 주행장치 성능 확인 시험 결과

1. 시험 제목: 유압식 주행장치 성능 확인

2. 시험 항목

- 1) 유압펌프의 릴리프 설정 압력 확인(kgf/cm²)
- 2) 유압모터의 최고 출력 토크(kgf · m)
- 3) 작업부하 연속 가동 시 유압오일의 포화온도(°C)

3. 시험 결과

- 1) 유압펌프 릴리프 설정 압력: 304 kgf/cm²
- 2) 유압모터 최고 출력 토크: 13700 kgf · m
- 3) 작업부하 연속 가동 시 유압오일의 포화온도(°C): 확인 불가
 - * 무부하 상태에서 오일온도 지속상승(40분 가동 시 오일온도 84°C)으로 시험 중단
 - * 오일온도의 비정상적 상승으로 부하 인가 시 오일 포화온도 확인 불가

4. 시험 결과 분석

- 1) 유압모터의 출력 토크 부족
 - (1) 요구 출력: 18000 Nm
 - (2) 실제 출력: 13700 Nm(요구출력의 76% 수준)
- 2) 주행펌프 릴리프압력 낮음
 - (1) 댄포스 주행펌프(신규 구매)의 릴리프압력: 380 kgf/cm²
 - (2) 시험대상 주행펌프의 릴리프압력: 304 kgf/cm²

*주행펌프의 릴리프압력 크기는 출력 토크와 비례함.

* T(토크) = P(압력) x Q(배제용적) / (200 π)

3) 오일 온도 비정상적 상승

- (1) 무부하 시 오일온도의 지속적 상승(40분 후 84℃)
- (2) 주행펌프에 오일온도의 비정상적인 상승요인이 있을 것으로 추정

5. 시험 결과 활용

- 1) 기존 유압식 주행시스템(JH축산 제품)에 대한 성능 평가 기준으로 활용
- 2) 신규 유압식 주행시스템의 최적사양 선정의 참고자료로 활용

6. 시험 데이터

1) 유압펌프의 릴리프 설정 압력

Time	Main Flow	P_Drain Flow	M_Drain Flow	Main Press	P_Drain Press	M_Drain Press	Main Temp.
0.1	0.20997	0.828287	-0.086306	1.582826	-0.125821	-0.115194	15.332592
0.2	0.325905	0.686589	-0.150714	1.3735	-0.127753	-0.113583	15.272209
489.7	97.040735	28.291821	10.309135	100.207364	-0.116804	0.69377	43.229257
489.8	97.182432	28.008426	9.845398	99.901427	-0.113583	0.778788	43.474813
489.9	97.118024	28.214531	10.10303	100.320077	-0.113583	0.655447	43.112518
565.6	95.482066	29.631505	9.574885	150.525957	-0.111329	0.598124	48.212829
565.7	95.404777	29.373873	9.471832	150.30053	-0.114872	0.569463	48.373849
648.6	93.047451	29.927781	9.330134	200.892875	-0.065277	0.575581	53.325221
648.7	92.854228	30.133886	9.523358	201.649667	-0.074617	0.723397	53.530522
721.6	90.599955	30.649149	9.239963	249.536935	-0.085888	0.477037	58.534232
721.7	90.97352	30.236939	9.484713	250.132708	-0.082346	0.636447	58.675125
746.5	89.530785	30.73932	9.884043	268.972039	-0.076227	0.612616	60.607372
746.6	90.020285	30.649149	8.917924	269.632221	-0.081057	0.592327	60.305458
794.8	82.755085	32.246464	8.583002	300.032814	-0.058193	0.458681	64.592634
794.9	82.755085	32.452569	8.016213	300.354855	-0.070752	0.427121	64.749629
849.9	75.747516	34.037003	7.488068	304.332054	0.472529	0.440647	70.642995
850	75.399713	33.843779	7.887397	304.493075	0.48541	0.355628	70.550408
850.1	75.78616	33.573266	7.488068	304.573585	0.499902	0.444189	70.759735
850.2	76.121081	33.586148	7.34637	304.605789	0.484444	0.350798	70.638969

2) 유압모터의 최대 토크

#NAME?	2020-04-28	14:25:33	1							
TEST_DATE	TEST_TIME	THROTTLE	TORQUE	PTO_RPM	PTO_TORQUE	LEFT_RPM	RIGHT_RPM	LEFT_TORQUE	RIGHT_TORQUE	
yyyy/MM/dd	HH:mm:ss	%	Nm	rpm	Nm	rpm	rpm	Nm	Nm	
2020-04-28	14:28:46	0.009	945.5	2200.1	100.3	56.4	56.7	477.3	468.2	
2020-04-28	14:28:47	0.009	928.3	2202	110.6	56.4	56.7	483.8	444.5	
2020-04-28	14:33:13	0.01	2015.2	2199.5	130.4	55.9	56.2	988.9	1026.3	
2020-04-28	14:33:14	0.011	2062.6	2199.8	133.3	55.9	56.2	1017.1	1045.5	
2020-04-28	14:34:49	0.009	5615.5	2201.8	221.6	54.1	54.7	2792.3	2823.2	
2020-04-28	14:34:50	0.011	5665.1	2201	220.6	54	54.7	2827	2838.1	
2020-04-28	14:35:23	0.01	6904.9	2199.5	254.3	53	54	3446.1	3458.8	
2020-04-28	14:35:24	0.011	6957.2	2199.4	241.9	53	54	3462.8	3494.4	
2020-04-28	14:36:09	0.01	8381.7	2200.2	272	52	53	4186.7	4195	
2020-04-28	14:36:10	0.01	8425.5	2199.8	288.9	52	52.9	4208.7	4216.7	
2020-04-28	14:36:59	0.009	10079.7	2199.9	316.5	51	51.9	5046.6	5033.1	
2020-04-28	14:37:00	0.01	10135.9	2199.8	299.8	51	51.9	5081.8	5054.1	
2020-04-28	14:37:41	0.009	11693.4	2203.5	347.6	50	51	5836.3	5857.1	
2020-04-28	14:37:42	0.009	11689.5	2200.3	379.7	50	51	5843.5	5845.9	
2020-04-28	14:38:10	0.009	12789.6	2201.2	395.9	49	49.9	6408.4	6381.2	
2020-04-28	14:38:11	0.009	12840.3	2203.1	398.7	49	49.9	6450.9	6389.5	
2020-04-28	14:38:31	0.011	13316.6	2199.9	421.9	48	48.4	6696.2	6620.4	
2020-04-28	14:38:32	0.009	13353.3	2199.7	421.8	48	48.3	6707.8	6645.5	
2020-04-28	14:38:48	0.009	13518.8	2199.9	425.7	47	45.9	6870.6	6648.3	
2020-04-28	14:38:49	0.01	13523.6	2198.6	443.2	47	45.7	6872.3	6651.2	
2020-04-28	14:39:08	0.009	13545.7	2200.9	442.2	46	43.6	6783.9	6761.7	
2020-04-28	14:39:09	0.009	13610	2204	444.4	45.9	43.5	6829.7	6780.3	
2020-04-28	14:39:16	0.009	13771.3	2199.8	461	45	42.3	6958.9	6812.4	
2020-04-28	14:39:17	0.01	13728.4	2199.7	428.1	44.9	42.1	6955.6	6772.9	
2020-04-28	14:39:18	0.011	13784.3	2199.9	406.8	44.8	42	6991.1	6793.3	
2020-04-28	14:39:32	0.009	13806.8	2199.9	431.9	44.4	40.9	7008.3	6798.4	
2020-04-28	14:39:33	0.009	13772	2199.7	466.4	44.5	40.9	6986.5	6785.5	

3) 오일온도 상승 경향

Time	Main Flow	P_Drain Flow	M_Drain Flow	Main Press	P_Drain Press	M_Drain Press	Main Temp
170.4	98.831272	26.836203	9.265726	49.64722	0.064505	0.636769	38.990407
368.6	98.547877	27.840966	9.871161	46.346318	0.032301	0.55175	48.208803
1202.7	98.934324	27.737913	10.334898	43.093721	-0.006344	0.702143	58.417492
2237.1	98.457706	28.098597	9.78099	41.2903	0.022639	0.389765	68.823457
3312	97.968207	28.704031	8.866397	40.050449	0.107014	0.36529	78.851054
3818.1	97.955326	28.897255	8.673174	39.664002	0.088013	0.064827	84.172819

7. 시험 배경

- 1) 2019년도 적재함형 자주식 옥수수 수확기의 오일온도 고온 상승
- 2) 적재함형 옥수수 수확기의 견인력 부족 현상 확인
- 3) 남원축협 옥수수 수확기의 유압시스템 문제 발생

8. 시험 기관: 한국생산기술원

9. 시험 장비

- 1) 4축 차축 다이내모
- 2) 전기 모터
- 3) 유압 계측기
- 4) 유량 계측기
- 5) 유온 측정기
- 6) 열화상카메라
- 7) 데이터 수집장치

8) 시험장비 컨트롤러

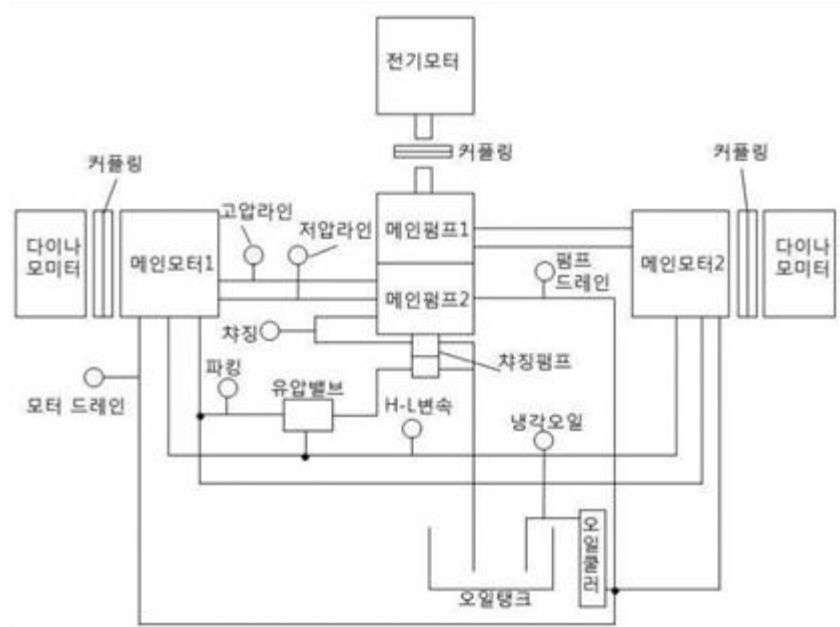
10. 시험 장치

1) 구성부품: 유압펌프, 유압모터, 오일탱크, 유압밸브, 펌프 커플러, 모터 커플러, 유압배관, 사관 조절용 로드, 전기배선 및 스위치, 오일쿨러

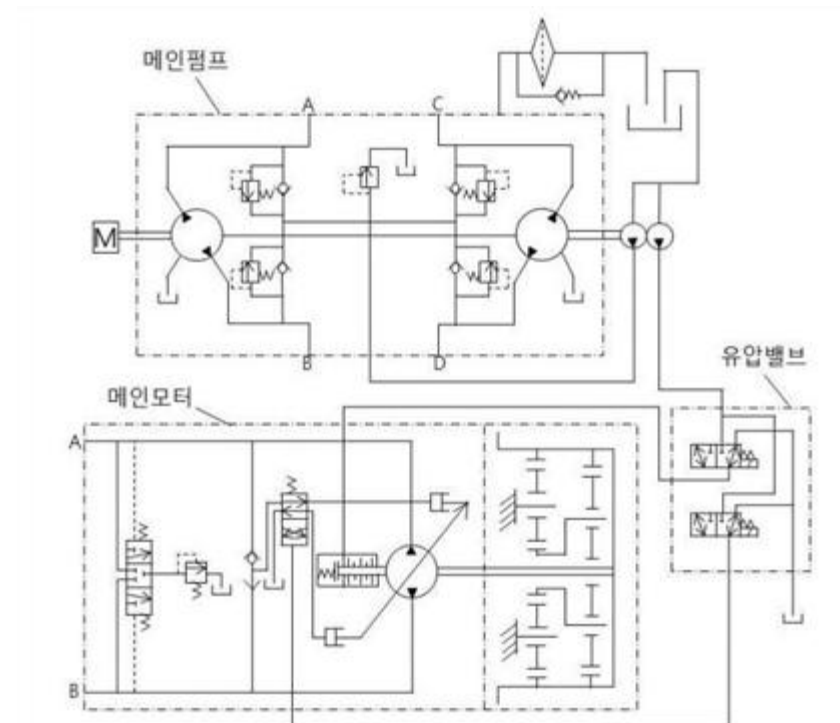
11. 시험 기간: 2020. 4. 27 ~ 2020. 5. 13(32시간)

12. 시험 진행자: 김정길 박사, 박진선 선임기술원

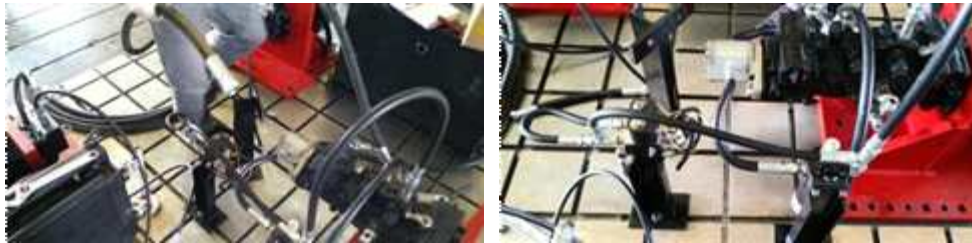
13. 시험장치 구성도



14. 유압회로도



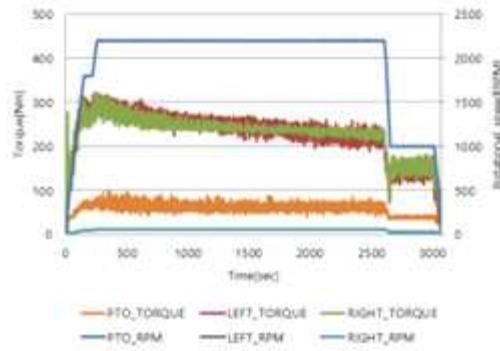
15. 시험 장치 사진



< 정유압형 주행시스템의 성능 시험장비 구성 >

16. 무부하 운전성능 시험 결과

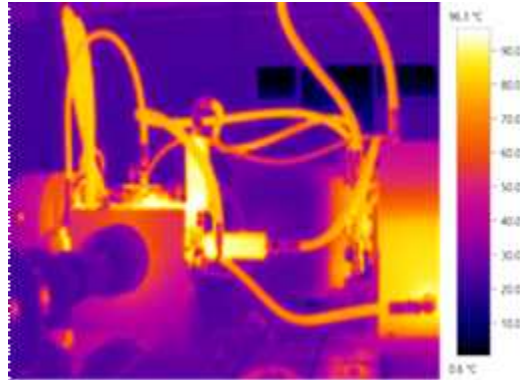
- 배관 변경 전 : 오일 탱크의 온도는 95도까지 확인하였으며, 혐의 하에 장비를 정지함. 아래 그림은 배관 변경 전 쿨러의 냉각 여부를 보여주기 위한 자료로 토크, 회전수, 온도분포를 나타냄. 배관 변경 전 압력, 유량 및 온도 변화 그래프는 배관 변경 전 온도 분포 사진으로 대체함.



<토크 및 회전수 변화>

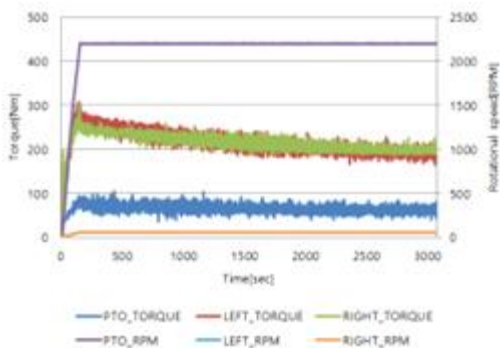


<배관 변경 전 사진>

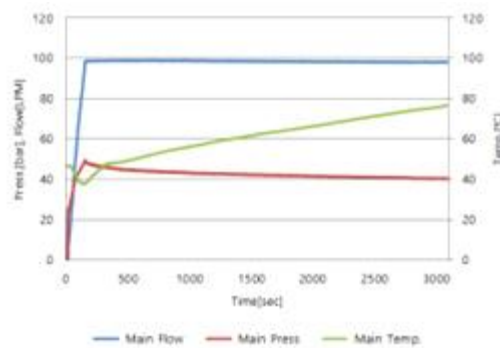


<배관 변경 전 온도 분포>

- 배관 변경 후 : 오일 탱크의 온도는 85도까지 확인하였으며, 배관 변경 후 쿨러의 냉각 성능이 주행시스템의 발열량을 냉각하는데 충분하지 못함을 확인함. 아래 그림은 배관 변경 후 쿨러의 냉각 여부를 보여주기 위한 자료로 토크, 회전수, 압력, 유량, 온도 변화 및 분포를 나타냄.



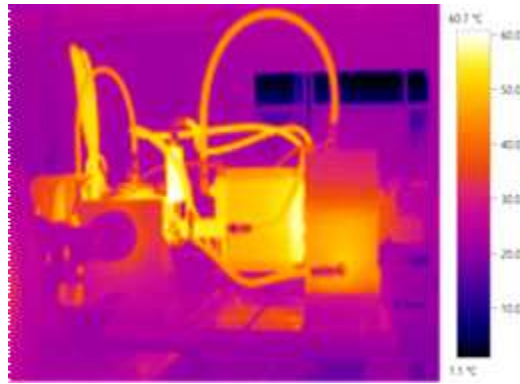
<토크 및 회전수 변화>



<압력, 유량 및 온도 변화>

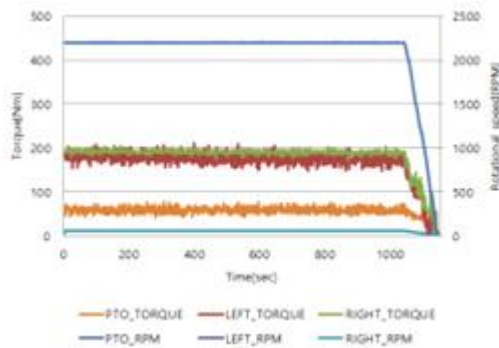


<배관 변경 후 사진>

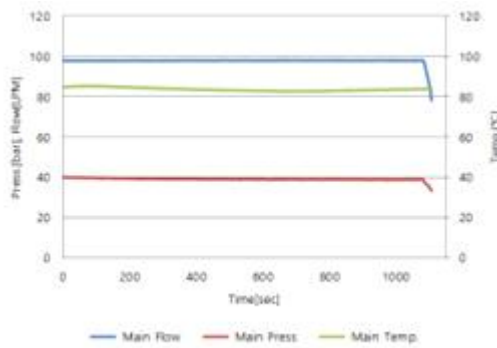


<배관 변경 후 온도 분포>

- 배관 변경 후 외부 냉각팬을 설치 : 오일 탱크의 온도는 85도까지 확인하였으며, 배관 변경 후 외부 냉각팬 설치로 인하여 오일의 온도가 감소하는 경향성을 보인다 다시 증가함. 쿨러 및 외부 냉각팬의 냉각 성능이 주행시스템의 발열량을 냉각하는데 충분하지 못함을 확인함. 아래 그림은 배관 변경 후 외부 냉각팬을 설치하였을 때 토크, 회전수, 압력, 유량, 온도 변화를 나타냄.



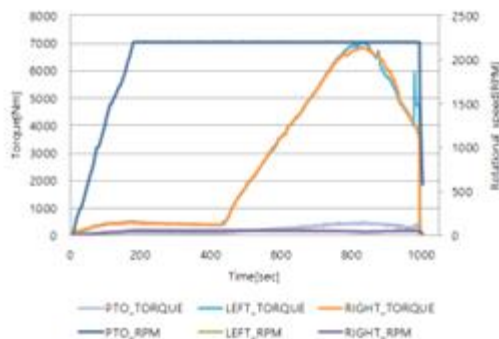
<토크 및 회전수 변화>



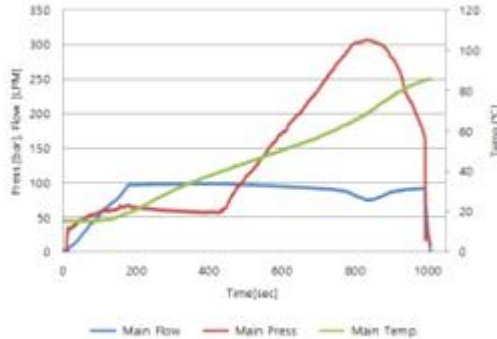
<압력, 유량 및 온도 변화>

17. 효율 시험 결과

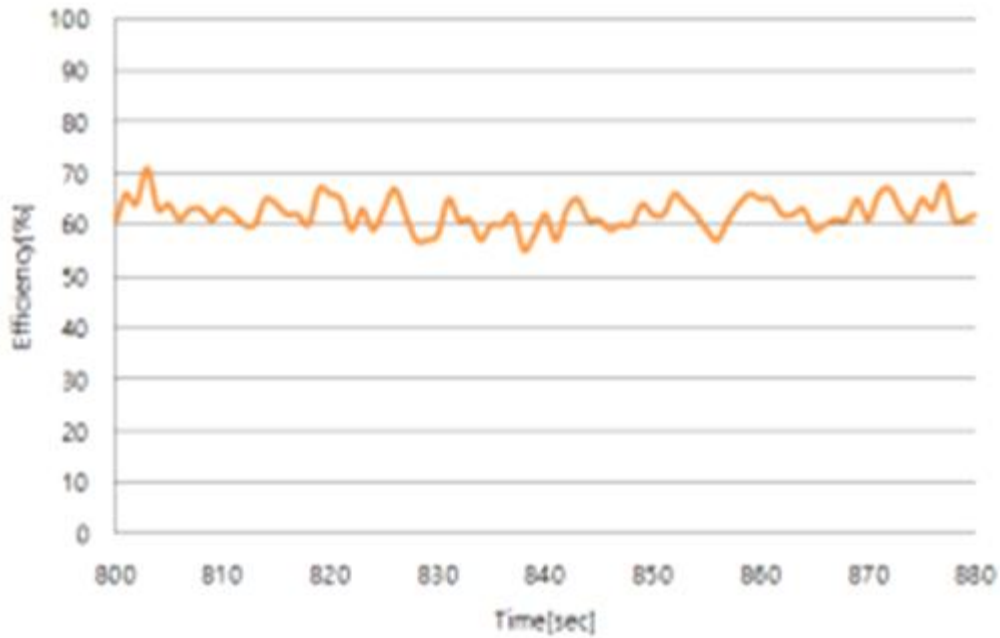
- 릴리프 밸브 작동 시점



<토크 및 회전수 변화>



<압력, 유량 및 온도 변화>

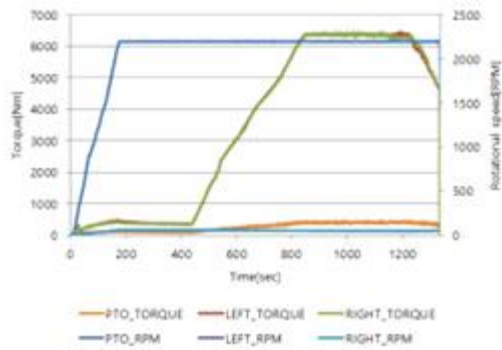


<릴리프 밸브 작동 시점의 효율 변화>

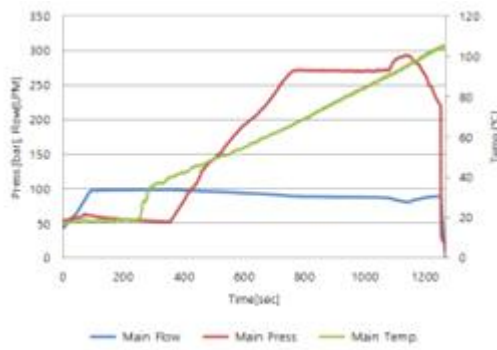
✓ 릴리프 밸브 작동 시점의 입출력 토크, 회전수 및 평균 효율은 아래와 같음.

입력 회전수, rpm	입력 토크, Nm	출력 회전수, rpm	출력 토크, Nm	효율, %
2,200.1	437.1	44.1	13,535.1	62.1

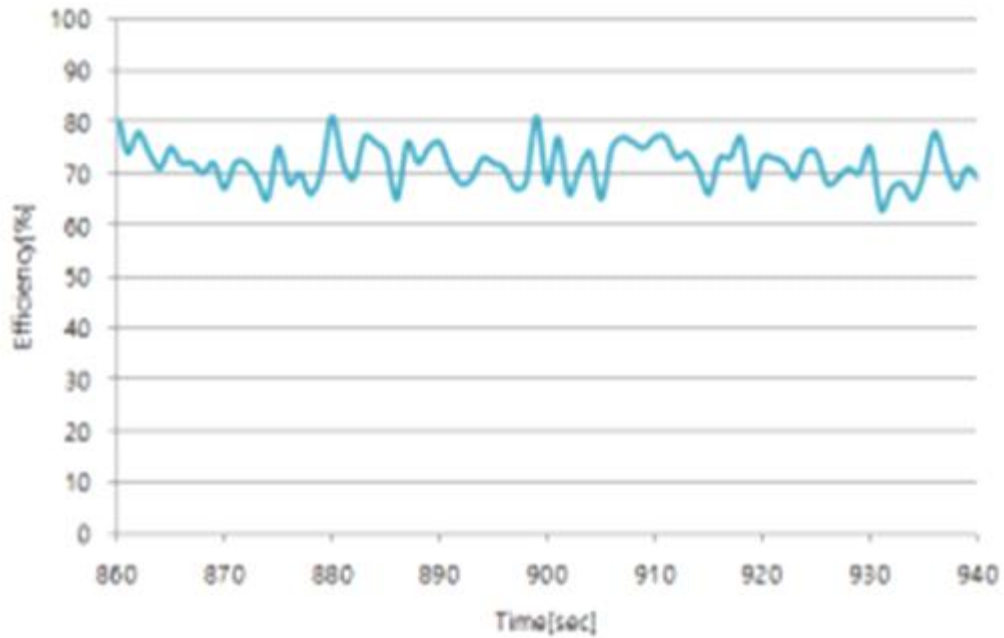
- 릴리프 밸브 작동 압력의 90% 시점



<토크 및 회전수 변화>



<압력, 유량 및 온도 변화>



<릴리프 밸브 작동 압력의 90% 시점의 효율 변화>

✓ 릴리프 밸브 작동 압력의 90% 시점의 입출력 토크, 회전수 및 평균 효율은 아래와 같음.

입력 회전수, rpm	입력 토크, Nm	출력 회전수, rpm	출력 토크, Nm	효율, %
2,200.1	398.3	49.1	12,770.2	71.4

2) 작물 세절식 하베스트

하베스트는 작물을 자르고 안으로 끌어들여서 짧게 자른 다음 호퍼로 보내는 역할을 함. 하베스트는 일관작업기의 전면부에 설치하며 도로 이동과 경사로 진출입 시 하베스트를 상승시켜서 지면과의 충돌을 방지하는 장치를 구비하고 있음.



(1) 세절장치

세절장치는 하베스트의 주요 기능 부위로서 유입된 작물을 설정된 길이로 절단하는 기능을 가지고 있음. 작물을 절단하는 원리는 받침 칼날에 회전 칼날이 스치듯이 지나가면서 그 사이를 지나가는 작물을 절단하는 방식임. 회전 칼날은 사용하면서 계속 무디어지는데, 회전부에 슛돌을 설치하여 회전날을 날카롭게 갈 수 있는 기능도 있음.

		
세절용 플라이휠	세절용 칼날	칼날 조립 상태

세절 길이를 조절하는 방법은 유입롤러의 회전 속도와 회전 칼날의 개수를 조합으로 하여 12가지의 길이로 절단할 수 있음. 이러한 조합을 통해 세절길이를 최소 3mm에서 최대 33mm까지 다양한 길이로 절단할 수 있음. 옥수수과 같이 작물은 가능한 한 세절길이를 짧게 함으로서 사일리지 발효 효과를 극대화할 수 있음.

평가 의견	조치 내용	비고
작업속도, 주행속도, 작업능률이 목표에 비해서 성과가 조금 미흡합니다. 우천 등 운용 환경이 좋지 않더라도 성능을 유지할 수 있는 구체적인 시스템 개선 방안 수립과 수정 보완이 요구됩니다.	우천의 경우에 작업속도와 주행속도, 작업 능률이 저조한 가장 큰 이유는, 빗물이 작물에 많이 부착됨으로서 하베스트 공정에서 작물이 적체되기 때문입니다. 이 문제를 해결하기 위해서 작물이 지나가는 통로 좌우에 작물 가이드(스프링강 사용)를 설치하여 작물이 부드럽게 통과되도록 할 계획입니다. 콤바인의 경우 이러한 가이드가 많이 설치되어 있고, 이를 참고하여 양산 설계를 하면서 하베스트의 작물 통로에 가장 적합한 가이드를 설계하고 테스트를 거쳐 양산에 적용할 계획입니다.	

(2) 작물 이송 장치

세절된 작물은 슈트를 통해 호퍼로 이송되는데, 슈트는 반경 4.5m의 라운드형을 이루고 있고, 내부는 사각 실린더 모양의 통로를 가지고 있음. 세절장치의 회전칼날과 플라이휠은 15m/sec의 속도로 회전하면서 세절된 작물을 밀어내는데, 이러한 속도로 작물은 슈트를 통과하여 호퍼에 배출되게 됨.

		
작물 이송용 슈트	슈트 좌우 회동부	슈트 작물 배출부

(3) 작물 유입 장치

하베스트 안으로 끌어들이는 작물은 유입롤러로 들어가는데, 상하의 롤러가 서로 맞물리듯이 반대방향으로 회전하면서 작물을 강제로 세절장치로 밀어넣음. 작물이 세절되는 동안 유입롤러는 작물을

계속 붙들고 있기 때문에 회전 칼날은 안정적이고 정확하게 작물을 절단하는 것이 가능함.



3) 작물 교반 및 이송시스템

슈트에서 배출된 작물은 호퍼에서 교반용 로터에 의해 줄기와 잎 및 이삭이 균일하게 섞이게 되며, 작물의 자중과 로터의 회전력에 의해 호퍼 하단의 작물 공급 컨베이어로 내려감.



(1) 호퍼

호퍼에서는 작물이 적체되기 쉬운데, 이러한 문제를 해결하기 위하여 호퍼 벽면을 긁어내리는 물레를 설치했으며, 호퍼 상부에 체인컨베이어를 별도로 설치함으로써 작물이 좌우로 균일하게 하강하도록 함.



호퍼의 용량은 베일에 네트 작업을 할 동안 작물이 적체되더라도 넘치지 않을 정도의 공간을 확보해야 함. 그렇지 않으면 네트 작업 중에 기계는 멈추어서 베일이 배출된 다음 호퍼의 작물이 베일러로 투입되기 시작할 때까지 기다려야 하는 문제가 발생함. 이러한 점을 감안하여 호퍼의 용량은 3m³가 되도록 설계하여 연속 작업이 가능하도록 하였음.

(2) 작물 교반 장치

총체버는 줄기와 잎, 이삭으로 구성되어 있는데, 하베스트에서 세절될 때는 각각 별도로 절단되어

호퍼로 이송되게 됨. 이렇게 이송된 작물을 작물 교반용 로터를 통해 이삭과 잎 및 줄기가 균일하게 섞임으로서 사일리지 발효 효과를 극대화할 수 있음.



(3) 작물 이송 장치

호퍼 하단에 설치된 작물 이송용 컨베이어는 베일러에 작물을 투입하는 벨트 컨베이어에 작물을 인계하는 역할을 함. 작물 이송 컨베이어는 5초 단위로 단속적으로 작동이 되는데, 그 목적은 베일의 형상이 좌우 균형을 이루도록 하기 위해서임.



작물 공급 컨베이어의 이동속도는 다음과 같이 계산됨.

펌프의 토출량 11cc/rev,

펌프의 회전수: 1925rpm

펌프의 분당 토출량: $11 \times 1925 / 1000 = 21 \text{LPM}$

모터의 배제용적 390cc/rev

모터의 분당 회전수는 $21000 / 390 = 53 \text{rpm}$

- 체인바 피치: 300 mm

- 작물 공급 속도:

스프로켓 감속비는 $60 / 15 = 4$

체인 스프로켓 회전수는 $53 / 4 = 13 \text{rpm}$

체인 스프로켓의 PCD는 150 mm

따라서 체인컨베이어의 이송속도는,

$0.15 \times 3.14 \times 13 / 60 = 0.10 \text{ m/sec} = 10 \text{ cm/sec}$

4) 압력 조절식 베일러

베일부는 작물 투입 컨베이어에 의해 들어온 작물을 계속 회전시키면서 서서히 원형으로 만드는 공간임. 베일러는 2개의 체인에 연결된 99개의 체인바가 원형 공간을 형성하고, 그 속에 작물을 투입

시켜서 눈사람 만들 듯이 원형 베일을 성형하게 됨.



(1) 베일 챔버 구동 장치

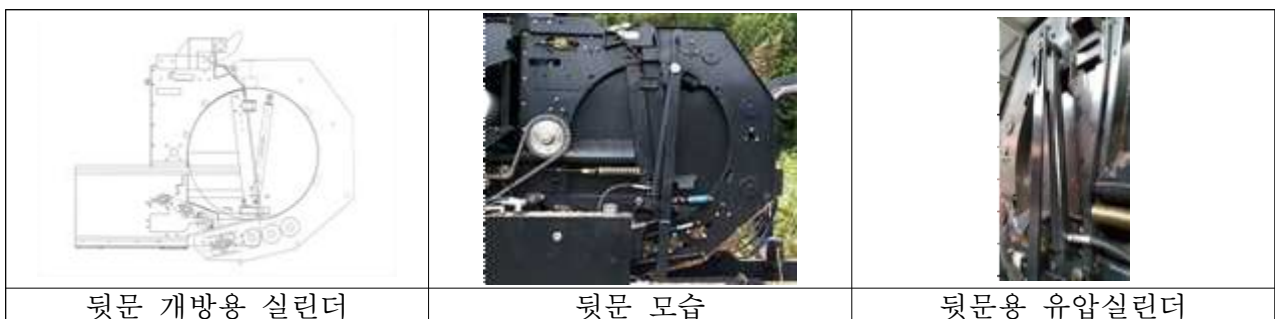
베일의 형상이 완성될 때 베일의 압력이 체인바를 강하게 밀어내게 되는데, 이러한 압력을 견딜 수 있는 체인과 체인바가 되어야 함. 강도와 내구성 및 내충격성도 자기고 있는 재질을 사용해야 함. 베일 체인은 체인 롤러를 통해서 중단없이 계속 이동을 하는데, 체인의 마모를 최소화하기 위해 주기적으로 윤활용 오일을 체인에 공급하는 것이 중요함.



베일은 베일 챔버의 체인바가 회전하면서 베일을 회전시킴. 체인바의 이동 속도는 0.34m/sec임. 10sec에 3.4m 이동함. 원형베일의 원주는 3.4m임. 따라서 베일은 10초에 1회 회전하게 되고, 1분에 6회전 하게됨. 체인바의 회전 속도는 엔진의 회전수와 워기어 감속기의 감속비에 의해 결정됨.

(2) 뒷문 개방 장치

뒷문은 베일을 챔버에서 빼내는 공정임. 유압실린더의 힘으로 뒷문이 열리면 베일의 자중에 의해 베일 인계 가이드로 떨어지는데, 경사진 가이드를 굴러서 적재부로 이동하게 됨. 뒷문은 잠금장치에 의해 베일러 프레임에 고정되어 있는데, 유압실린더에 오일이 들어오면 우선적으로 뒷문 잠금장치 부터 해제한 다음 뒷문을 밀어올리게 되어 있음.



뒷문은 직경 100cm의 베일이 간섭없이 배출될 수 있도록 개방되어야 하는데, 베일의 크기가 때로는 110cm까지 커지는 경우가 있고, 이 때도 베일이 빠져나올 수 있도록 뒷문은 베일 외경에서 50mm 이상 공간을 확보하도록 하고 있음.



(3) 네트 유입 장치

네트는 원형 베일이 형상을 유지하면서 배출되도록 하고, 비닐을 감는 동안 베일이 허물어지지 않도록 하기 위함. 작물을 가축한테 먹이기 위해서는 비닐을 해체해야 하는데, 이 때 비닐 안쪽의 네트를 완전하게 제거해야만 가축한테 해가 없음. 만약 네트를 베일에 감지 않는다면 베일 해체작업이 더 수월해질 수 있음. 본 일관작업기는 네트로 베일을 감아야만 비닐 감기 작업이 가능하기 때문에 네트 유입 장치를 설치하였음.



(4) 베일 압력 감지 장치

베일의 압력은 베일의 외경 부위가 체인바를 밀어내면서 발생하는데, 이러한 힘은 뒷문이 열리는 방향으로 힘이 발생하고, 따라서 뒷문 잠금장치에 힘이 가해짐. 이 때 잠금장치에 설치된 스프링이 압축 되는데, 이러한 스프링 압축량을 센서가 감지하게 되고, 이것이 베일 압력에 해당함.



5) 베일 랩핑 장치

베일 챔버에서 배출된 베일에 비닐을 감기 위해서는 베일을 회전시키는 장치와 동시에 비닐을 베일 외곽으로 돌면서 감는 장치가 필요함. 이러한 장치를 구비한 것이 베일 랩핑 장치임.



(1) 베일 적재 장치

베일 챔버에서 빠져나온 베일을 베일 적재부에 올려주는 장치가 포크이고, 베일 적재부는 수평으로 상승한 다음 하부롤러를 회전시켜서 원형베일을 저속으로 돌려주는 역할을 함.



(2) 비닐 커팅 장치

비닐 감기 작업이 끝나면 비닐을 절단해야 하는데, 관절식으로 된 랩 커팅 장치는 상승과 하강을 하면서 비닐을 절단하게 됨. 비닐을 절단한 다음에는 반드시 비닐을 붙잡아야만 다음 공정으로 연속작업이 가능하기 때문에 비닐 홀딩 장치의 조립 관리가 중요함.



6) 공정 자동화 컨트롤러

공정 자동화에 의해 제어되는 공정은,

베일 압력 - 네트 유입 - 네트 감지 - 네트 절단 - 뒷문 열기 - 포크 상승 - 적재 상승 - 뒷문 닫기 - 포크 내림 - 회전암 저속 회전 - 랩 칼날 비닐 놓기 - 회전암 고속 회전 - 비닐 감기 완료 - 회전암 저속 회전 - 랩 커팅 칼날 상승 - 랩 커팅 칼날 하강 - 덤핑 장치 하강 - 덤핑 장치 상승으로 이어짐.

(1) 전체 작업 공정



(2) 자동화 제어 공정

공정 자동화 과정은 컨트롤러의 화면에 실시간으로 표시되며, 작업자는 화면의 상태를 감시하면서 연속작업이 가능하도록 운전을 해야 함.



공정 자동제어 컨트롤러

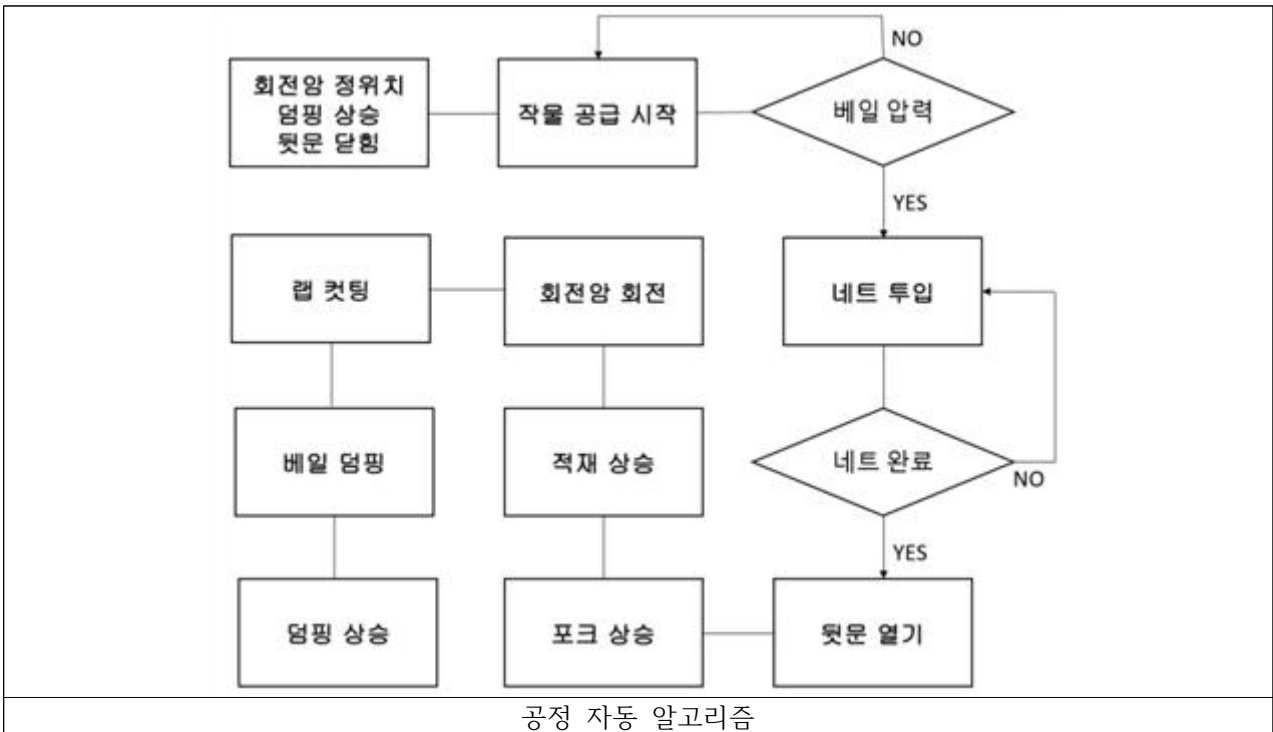


초기 화면



설정 화면

공정 자동화 알고리즘은 아래와 같음.



2-3 연구 수행 내용

1. 유압식 주행 장치

1) 요구 토크

(1) 총부하중량

무부하 중량과 부하 중량으로 구분하는데, 무부하 중량은 작물과 랩핑을 위한 비닐의 중량이 포함되지 않은 순수한 기계의 중량을 말하고, 부하 중량은 기계의 중량에 작물과 비닐의 중량이 포함된 중량을 말함. 무부하 중량은 7500 kg, 부하 중량은 8500 kg으로 산정함.

(2) 지면 최대 마찰 계수

지면의 마찰계수가 허용치의 최대이고, 총중량이 부하 중량일 경우 고무레도가 슬립을 하기 위한 견인력을 말함.

최대 요구 견인력을 계산할 때는,

고무 레도의 슬립에 의한 T_e

$$Te1 = w1 \times Cs$$

노면조건	Wheel의 종류	
	Rubber Tire	Crawler
Asphalt 또는 Concrete	0.8~1.0	0.5
Clay(Dry)	0.5~0.7	0.9
Sand and Gravel	0.3~0.6	0.4
Soil(Firm)	0.5~0.6	0.9
Soil(Loose)	0.4~0.5	0.6
Snow(Packed)	0.2	-

<노면 조건에 따른 마찰 계수(Cs)>

등판력에 의한 T_e

$$Te2 = W \times \sin \theta + W \times Cr \times \cos \theta$$

위의 2가지 경우의 값에서 제일 큰 값을 요구견인력으로 취함.

(3) 요구 견인력

$$\begin{aligned} \text{요구견인력}(Te) &= \text{총부하중량} \times \text{노면마찰계수} \\ &= 8500 \times 0.9 = 7650 \text{ kgf} \end{aligned}$$

(4) 요구 토크

$$\begin{aligned} Te(\text{요구견인력}) &= Tw \times 1000 / Lr \times 2 \\ Tw &= Te \times Lr / (2 \times 1000) \end{aligned}$$

(Lr = 궤도 구동용 스프로킷의 반경 = 240 mm)

$$\begin{aligned} T_w &= 7650 \times 240 / (2 \times 1000) \\ &= 918 \text{ kgf} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

2) 주행모터 배제용적

(1) 시스템 최대 설정 압력: 380 kgf/cm²

(2) 토크 계산식

$$T_m = P * Q_m / (200 \pi)$$

Tm: 주행모터의 요구토크(kgf · m)
P: 메인릴리이프 설정압력(kgf/cm²)
Qm: 주행모터의 배제용적(cc/rev)

(3) 감속비: 27.68

$$\begin{aligned} T_m &= T_w / 27.68 \\ &= 918 / 27.68 \\ &= 33.16 \text{ kgf} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(4) 주행모터의 배제용적

$$\begin{aligned} T_m &= P \times Q_m / (200 \pi) \\ Q_m &= T_m \times 200 \pi / P \\ &= 33.16 \times 200 \pi / 380 \\ &= 54.8 \text{ cc/rev} \end{aligned}$$

3) 주행펌프 토출량

(1) 최대 속도: 7 km/h = 1.94 m/s

(2) 고무궤도 구동축 회전수

$$\begin{aligned} V_w &= L_r \times 2 \times \pi \times N_w / 60 \\ 1.94 \text{ m/s} &= 0.24 \times 2 \times \pi \times N_w / 60 \\ N_w &= 1.94 \times 60 / (0.24 \times 2 \times \pi) \\ &= 77 \text{ rpm} \end{aligned}$$

(3) 유압 모터 축의 회전수

$$\begin{aligned} N_m &= N_w \times \text{감속비} \\ &= 77 \times 27.68 \\ &= 2131 \text{ rpm} \end{aligned}$$

(4) 유압 펌프 입력 회전수

$$N_p = N_e = 2200 \text{ rpm}$$

(5) 주행펌프의 토출량(효율 무시)

$$N_p \times Q_p = N_m \times Q_m$$

$$\begin{aligned}
 Q_p &= N_m \times Q_m / N_p \\
 &= 2131 \times 54.8 / 2200 \\
 &= 53 \text{ cc/rev}
 \end{aligned}$$

4) 토크 계산식

(1) 토크 계산식 유도

$$T = P \times Q / (200 \pi)$$

T: 유압모터의 토크(kgf · m)

P: 설정압력(kgf/cm²)

Q: 모터의 배제용적(cc/rev = cm³/rev)

$$F = P \times A = P \times (R_v - R_r) \times L$$

$$T = P \times (R_v - R_r) \times L \times (R_v + R_r) / 2$$

$$= P \times L \times (R_v^2 - R_r^2) / 2$$

$$Q = \pi \times (R_v^2 - R_r^2) \times L$$

$$T(\text{kgf} \cdot \text{cm}) = P \times Q / (2 \times \pi)$$

$$T(\text{kgf} \cdot \text{m}) = P \times Q / (200 \times \pi)$$

5) 주행부 최대 소요 동력

$$L(\text{ps}) = 2 \times \pi \times n \times T / 75$$



n: rps(초당 회전수)

$$\begin{aligned}
 N_w &= 1.94 \times 60 / (0.24 \times 2 \times \pi) \\
 &= 77 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

$$n = 77 / 60 = 1.28$$

$$\begin{aligned}
 T_w &= 7650 \times 240 / (2 \times 1000) \\
 &= 918 \text{ kgf} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L(\text{ps}) &= 2 \times \pi \times 1.28 \times 918 / 75 \\
 &= 98 \text{ ps}
 \end{aligned}$$

전후진 선택 스위치 (신규 설치)	조이스틱 위치 별 동작	
전진 선택		
후진 선택		

1. 버전4: 현재 양산 사양
 - 1) 안전스위치 기능 삭제
 - 2) 디텐트형 조이스틱 사양

2. 버전7: FNR 적용 사양

- 1) 전진 스위치 선택 시 전진 조향 및 스피턴이 가능하고 후진 조향은 먹통
- 2) 후진 스위치 선택 시 후진 조향만 가능하고 전진 조향 및 스피턴은 먹통
- 3) 스위치 중립 시 모든 기능 먹통
- 4) 조이스틱에 혼(적색) 기능 추가
- 5) 녹색 버튼 기능 추가

3. 버전8: 후진 시 선회방향 콤바인화

- 1) 후진 방향 선택 체크 시 적용됨
- 2) iso stwering % 변경으로 스피턴 적용을 조정가능

예를 들어서 50% 셋팅 시 50% 이상의 속도에서는 마이너스 값으로 가지 않기 때문에 스피턴 작동 안됨

50% 이하의 속도에서는 마이너스 값이 되기 때문에 스피턴 적용됨

4. 버전9: 그린버튼을 오일모터 구동신호(8번)로 사용 가능

- 1) 전후진 선택 스위치를 좌측 조작판에 별도로 설치하여 컨트롤러에 입력할 수 있도록 프로그램 수정함
- 2) 화면에서 fnr switch 체크 시 외부 스위치가 활성화 됨

2. 호퍼 크기 산정

호퍼는 슈트를 통해서 배출되는 작물을 일시 보관하면서 하단의 작물 공급 컨베이어를 통하여 베일 성형실로 작물을 이송하는 역할을 함.

- 호퍼의 크기

호퍼의 크기는 연속 자동 공정이 가능하도록 하기 위하여 3 m³로 제작함. 베일 성형실에 네트가 유입될 때는 작물이 성형실로 공급되지 않고 호퍼에 저장되어야 하는데, 이 때 적체되는 작물을 보관할 수 있는 호퍼의 용량을 확보하기 위하여 3 m³로 제작함.

		
<p>도면</p>	<p>호퍼 전체 모습</p>	<p>슈트와의 상대 위치</p>

- 공간 확장 구조

호퍼의 용량을 3 m³로 확장하기 위하여 호퍼 상부에 좌우와 후면 가이드 벽을 설치하였음. 도로 이동 시에는 제한 높이 때문에 가이드 벽을 접을 수 있는 방식으로 제작함. 3차년도에는 상하 슬

라이딩 방식으로 하여 도로 이동시에 가이드 벽을 접는 작업이 필요없도록 제작할 계획임.

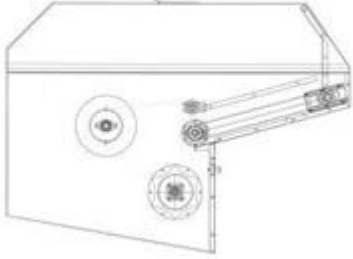


		
확장 전 모습	확정 후 모습	호퍼 상부 컨베이어

- 역할

- 슈트에서 배출된 작물을 교반용 로터 쪽으로 이송
- 호퍼 크기 확장에 따른 공간 활용성 제고
- 작물의 영김을 방지하고 작물이 베일러로 원활하게 공급되도록 하는 역할




- 상부 컨베이어 모습

- 호퍼 상부 컨베이어는 하베스트의 슈트에서 배출된 작물을 교반도 하면서 좌우 균일하게 작물을 내려보내기 위한 목적
- 슈트의 바람이 작물 투입 컨베이어로 직접 들어가지 않도록 하는 역할도 함.

		
상부 컨베이어 도면	상부컨베이어 모습1	상부컨베이어 모습2

3. 작물 교반 장치

작물 교반은 유압모터에 의해 구동되는 로터가 회전하면서 호퍼 내의 작물을 섞어줌. 총체벼의 줄기와 잎, 그리고 이삭을 균일하게 교반시킴으로서 사일리지 발효 효과를 극대화할 수 있음.

		
로터와 상부체인	로터 구동부	교반용 로터 조립체

4. 작물 공급 장치

작물 공급부는 호퍼의 하단에 설치되며, 호퍼에 저장된 작물을 베일 성형실로 보내기 위해 작물 이송용 벨트 컨베이어에 작물을 인계하는 기능을 수행함.

- 작물 공급용 체인 컨베이어

작물 공급용 컨베이어는 체인바 타입으로 구성됨. 유압모터에 의해 구동되며, 컨트롤러에 의해 구동이 조절됨.

		
도면	체인바 컨베이어	구동 스프로킷

- 체인 컨베이어 구동 알고리즘

베일 성형실로 공급되는 작물이 좌우에 균등하게 유입될 수 있도록 하기 위하여 작물 공급 체인 컨베이어의 구동은 5초 간격으로 단속하도록 제어함. 작물 공급을 단속적으로 공급함으로써 베일의 좌우가 균형을 이룰 수 있음.

		
솔레노이드밸브	가동 시간 조절 컨트롤러	수동 스위치

- 동력 전달 구조

작물 공급 컨베이어는 유압모터에 의해 구동되는데, 10cc/rev의 토출량을 가진 유압모터에 의해 오일이 모터로 공급되는데, 펌프와 모터 사이에 솔레노이드밸브를 설치하여 5초 간격으로 모터가 구동되도록 프로그램화 되어 있음.

		
유압펌프	유압모터	체인

- 작물 공급 속도

- 유압모터 회전속도:
- 펌프의 토출량 11cc/rev,
 펌프의 회전수: 1925rpm

펌프의 분당 토출량: $11 \times 1925 / 1000 = 21 \text{LPM}$

모터의 배제용적 390cc/rev

모터의 분당 회전수는 $21000 / 390 = 53 \text{rpm}$

· 체인바 피치: 300 mm

· 작물 공급 속도:

스프로켓 감속비는 $60 / 15 = 4$

체인 스프로켓 회전수는 $53 / 4 = 13 \text{rpm}$

체인 스프로켓의 PCD는 150 mm

따라서 체인컨베이어의 이송속도는,

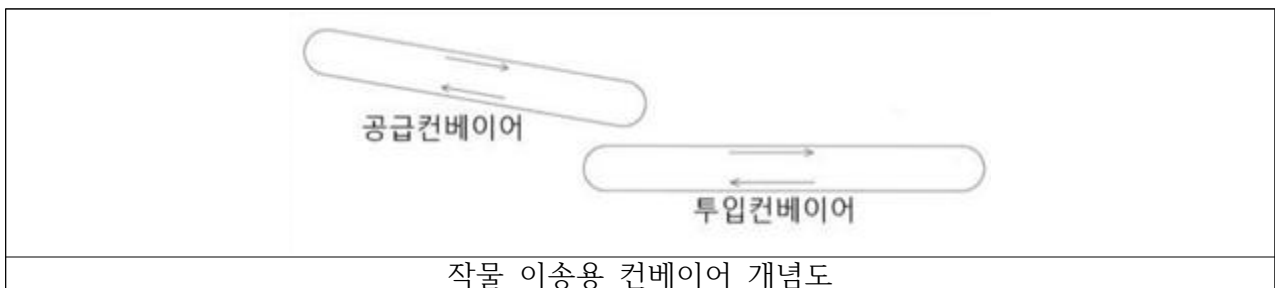
$0.15 \times 3.14 \times 13 / 60 = 0.10 \text{ m/sec} = 10 \text{ cm/sec}$

- 실패 사례: 네트 유입 중 작동

- 프로그램 에러로 인해 네트 유입 중 작물 공급 지속
- 베일 직경 과대로 베일러에서 베일 배출 불가
- 프로그램 수정 후 문제 해결

- 네트 유입 중 슈트에서 작물 배출 시 문제점

- 슈트에서 작물 배출 속도에 의해 네트 유입 중 작물 공급
- 호퍼 내부에 누적된 작물이 적을 경우 발생
- 호퍼 감시 카메라를 보면서 호퍼에 항상 일정량의 작물 유지되도록 관리
- 네트 유입 중에는 기계를 멈추는 방법도 대안으로 제시



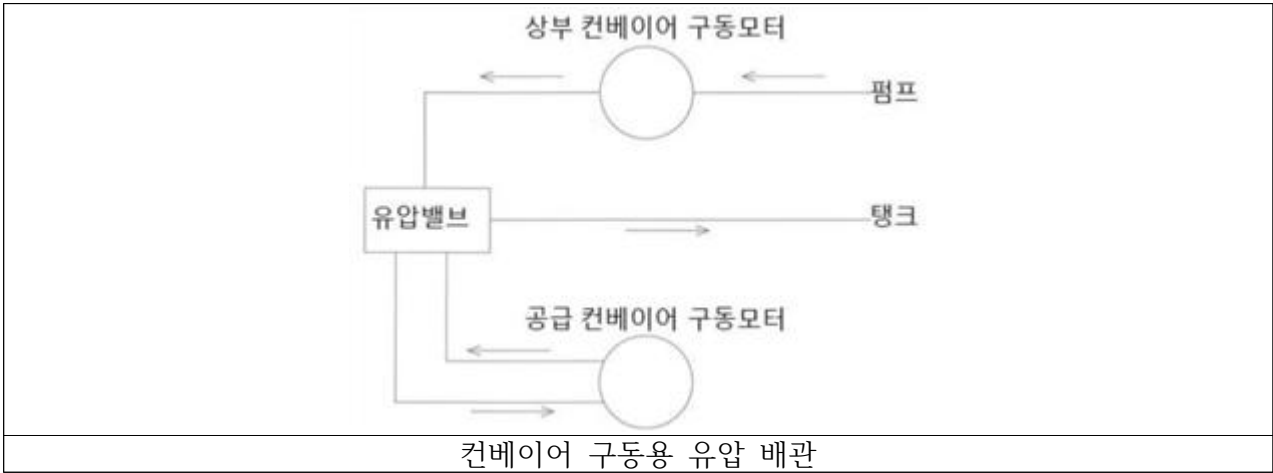
작물 공급 컨베이어는 호퍼 하단에 설치되어 있으며, 체인바 식임. 작물 투입 컨베이어는 베일러 작물 투입구에 설치되어 있으며 벨트식임. 작물 투입 컨베이어는 상시 구동이고, 공급 체인 컨베이어는 5초 단위로 구동과 멈춤을 반복하게 되어 있음. 공급 컨베이어에서 작물을 투입 컨베이어에 인계하면 투입 컨베이어는 작물을 베일러 챔버에 투입시킴. 여기서 중요한 점은 공급 컨베이어와 투입 컨베이어가 서로 일정부분 겹치게 설치되어야 한다는 점임. 그 이유는 베일러에 작물 투입이 완료되면 이어서 네트를 유입시켜야 하는데, 네트 공급 장치는 투입 컨베이어 상단에 설치되어 있으면서 네트 강제 유입 롤러가 작동되면 네트는 자연스럽게 작물 투입 컨베이어에 내려앉게 됨. 계속해서 네트가 풀려 내려오면 작물 투입 컨베이어가 움직임에 따라 네트가 베일러로 빨려 들어감. 베일러에 감기기 시작한 네트는 거물망 형태의 네트가 베일 외부에 부착되면서 네트를 끌어당길 준비가 됨. 이어서 네트 강제 유입 롤러의 구동이 멈추고, 네트 장력 발생용 브레이크가 걸리면서 네트에 장력이 생기기 시작함. 네트는 이미 베일에 감긴 채로 네트를 끌어당기기 때문에 네트 브레이크의 힘을 이기고 네트에 장력을 유지하면서 베일에 네트가 감기게 됨. 네트가 베일러에 투입되는 동안은 작물 공급 컨베이어는 공정 자동 프로그램에 의해서 정지하게 됨. 따라서 작물 공급 컨베이어 상부에 있던 작물은 베일러로 공급되지 않고 그 자리에 머물게 됨. 즉, 네트가 투입될 때는 작물 공급이 중단되는데, 이것은 작물 공급 컨베이어와 작물 투입 컨베이어가 서로 일정 부분 겹치게 설치되어 있기 때문임.

평가 의견	조치 내용	비고
○ 구동부위가 많이 외부에 노출되어 있어 이물질 및 주변 근로자의 옷이 감길수 있는데 최대한 구동부 안전덮개 설치가 필요함.(농업 기계화 촉진법 적용 필요)	현재 모든 구동 부위는 카바를 설치하여 작업자의 옷이 감길 수 있는 가능성은 없다고 판단됩니다. 문제는 정비를 위해서 카바를 열었을 때 구동 부위가 작동되면 위험할 수 있습니다. 이러한 경우 위험, 경고 라베을 해당 부위에 부착하여 작업자가 안전에 유의하도록 하고, 사용설명서에도 정비 안전 지침을 삽입하여 작업자에게 안전의식을 고취시키도록 하였습니다. 향후 안전에 위협이 되는 부분이 발견되면 즉시 보호조치를 하도록 하겠습니다.	

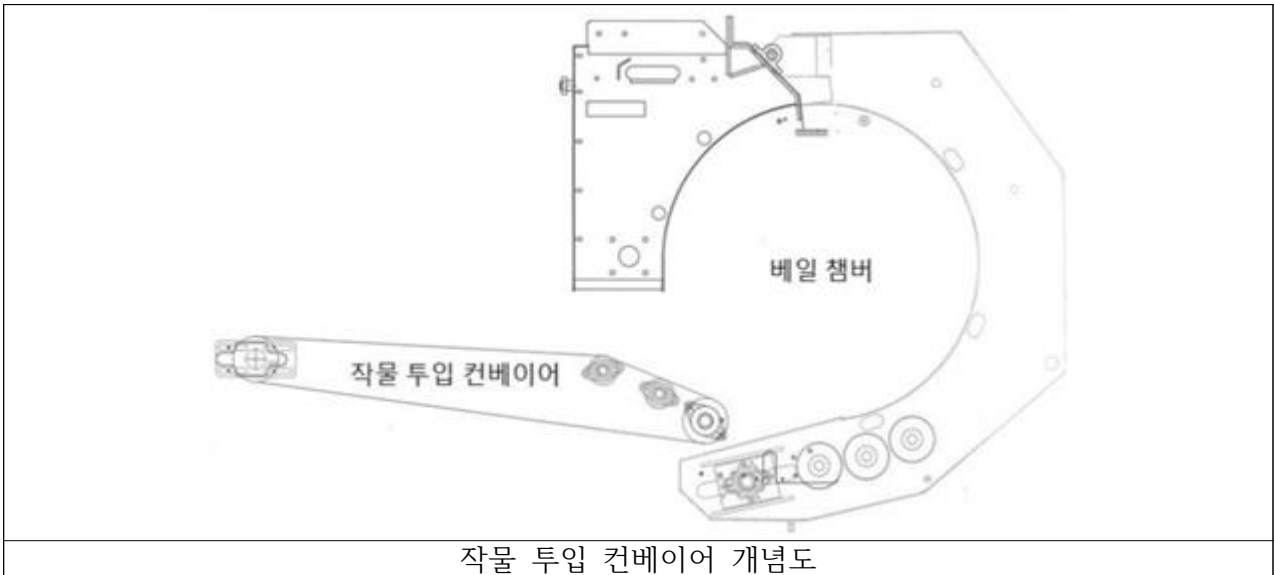


작물 공급 컨베이어는 유압모터에 의해 구동됨. 유압 모터에 공급되는 오일은 솔레노이드 밸브를 경유하게 되는데, 솔레노이드 밸브의 작동 여부에 따라 구동 모터에 유압 오일이 공급되기도 하고, 오일 공급이 중단되기도 함. 솔레노이드 밸브에 보내는 전류를 프로그램에 의해 단속함으로써 구동 모

터의 작동을 제어하게 됨. 현재 프로그램에서는 5초 동안 구동하게 이어서 5초 동안 정지시키도록 되어 있음. 이렇게 구동 모터의 작동을 제어하는 목적은 원형 베일의 좌우 형상을 동일하게 유지하기 위한 것임. 즉, 베일 형성 초기에 베일러에 투입된 작물은 그 양이 적기 때문에 원형을 형성하지 못하고 자유롭게 움직이게 됨. 이 때 일시적으로 작물 투입을 정지시킴으로서 자유롭게 움직이는 작물이 베일러 좌우로 균일하게 분포할 수 있게 되고, 결국 원형 베일의 좌우 형상이 동일하게 되는 것임.



호퍼 상부 컨베이어는 하베스트의 슈트에서 배출되는 작물이 호퍼 내부에 적체되지 않고 작물 교반 장치를 거쳐서 호퍼 하단에 설치된 작물 공급 컨베이어까지 원활하게 이동할 수 있도록 되어 있음. 따라서 호퍼 상부 컨베이어는 수확 작업을 하는 동안은 항상 구동됨. 이와는 다르게 호퍼 하단에 설치된 작물 공급 컨베이어는 네트 투입 시 작물이 같이 투입되는 것을 방지하기 위하여 정지시킬 수 있는 구조로 되어 있음. 그리고 베일의 좌우 형상을 균등하게 하기 위하여 작물 공급 컨베이어를 5초 간격으로 단속적으로 구동되도록 하고 있음. 이러한 기능은 호퍼 상부 컨베이어 구동용 모터와 작물 공급 컨베이어 구동용 모터 사이에 유압밸브를 설치함으로써 가능함. 즉 작물 공급 컨베이어를 구동시킬 때는 유압밸브를 경유하여 작물 공급 구동 모터까지 오일이 공급되도록 하고, 작물 공급 컨베이어를 정지시킬 때는 유압밸브를 작동시켜서 오일이 탱크로 바로 리턴되도록 함. 이러한 제어는 공정 자동 컨트롤러에 의해 모든 과정이 통제됨.



호퍼에서 작물 공급 컨베이어에 의해 작물이 이송되면, 작물 이송 벨트 컨베이어는 베일 성형실로 작물을 공급하는 구조로 되어 있음. 베일 성형이 완료되면 베일 압력 센서가 감지되고 프로그램에 의해 네트가 유입됨.



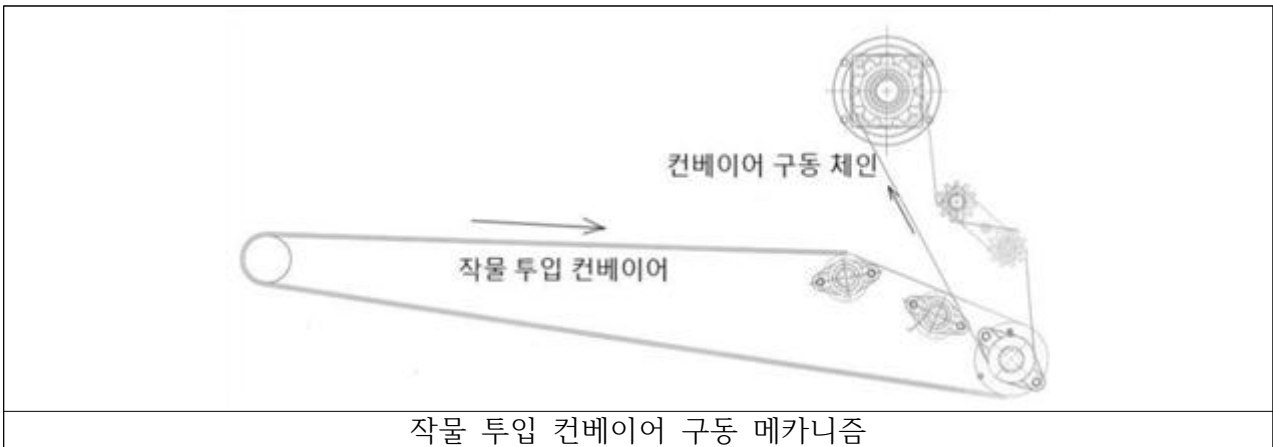
벨트 컨베이어는 베일 구동축에 체인이 연결되어 구동되며, 상시 구동되는 방식임. 벨트는 사용하면서 신장될 수 있기 때문에 벨트 텐션을 조정할 수 있는 타입으로 제작됨.

- 작물 투입용 벨트 컨베이어의 이동 속도
 - 컨베이어 구동 스프로킷의 rpm: 100
 - 벨트 회전축의 직경: 140 mm
 - 벨트의 속도

0.14*3.14*100/60=0.73 m/sec



작물 투입용 컨베이어는 항상 일정한 양의 작물을 베일 챔버에 투입시켜야 함. 체인바식 컨베이어는 체인바 피치 단위로 작물을 이송시키기 때문에 원형 베일의 형상이 불균일해질 가능성이 있음. 따라서 작물 투입용 컨베이어는 벨트식이 적합함. 또한 작물 투입 컨베이어는 네트를 베일 챔버로 투입시키는 역할도 하는데, 거물망 형태의 네트는 컨베이어에 돌출물이 있을 경우 서로 엉킬 가능성 있음. 이러한 이유로 작물 투입용 컨베이어는 체인바식 컨베이어가 아닌 벨트식 컨베이어를 채용하는 것임.



작물 투입 컨베이어의 구동력은 베일 챔버 구동축에서 직접 받음. 엔진에서 나온 동력은 웜기어 감속기를 경유하여 베일 챔버 구동축을 회전시키고, 동일축에 체인을 연결하여 작물 투입 컨베이어를 구동시킴. 따라서 수확작업 중에는 베일 챔버 구동과 함께 작물 투입 컨베이어는 상시구동 상태가 됨. 작물 투입 컨베이어는 작물과 네트를 베일 챔버에 투입시키는 역할을 하는데, 작물 공급 단속은 호퍼 하단에 설치된 작물 공급 컨베이어에 의해 수행되고, 네트 유입은 네트 유입 롤러에 의해 단속

되기 때문에 작물 투입 컨베이어가 상시 구동상태를 유지해도 문제 없음.

네트 강제 유입 롤러의 구동 시간은 6sec임. 실제 네트를 베일 챔버 내로 보내는 기능은 작물 투입 컨베이어가 가지고 있음. 작물 투입 컨베이어의 이동 속도는 0.73m/sec 임. 6sec동안 네트가 투입 될 경우 투입되는 네트의 길이는 $0.73 \times 6 = 4.38\text{m}$ 임. 원형 베일의 원주는 3.14m임. 따라서 네트 강제 유입 시 원형베일에 감기는 네트의 길이는 원주의 1.4배가 됨. 즉 네트의 강제 유입에 의해 원형베일에 1바퀴 이상 감기게 됨. 6sec 이후에는 원형베일이 네트를 당기면서 감게 되는데, 네트 브레이크에 의해 네트에 장력이 발생해도 원형 베일은 네트를 충분히 당길 수 있는 조건이 만들어 지게 됨.

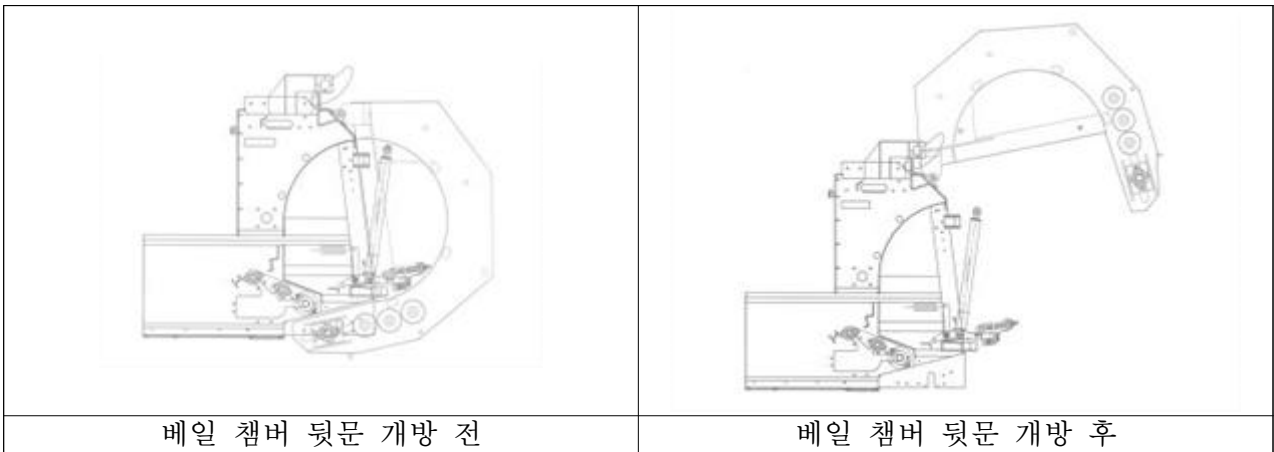
평가 의견	조치 내용	비고
베일 체인 마모 최소화를 위해 주기적으로 윤활용 오일을 체인에 공급하는 것이 중요한 포인트라고 생각하는데 수동 공급 시 공급 주기를 놓칠 수 있어 자동 공급 시스템 반영 필요 합니다. 또한 환경 오염 방지를 위한 윤활용 오일이 외부로 흘러내리지 않는 장치가 필요할 것으로 사료됨.	본 연구결과물에는 체인이 많이 사용되고 있는데, 특히 베일 체인은 부하를 많이 받기 때문에 마모를 최소화하기 위해 주기적으로 윤활용 오일을 공급해 주어야 합니다. 수동으로 오일을 공급할 경우 공급 주기가 일정하지 않고, 또 오일 공급을 망각할 가능성도 있기 때문에 자동 오일 공급 장치를 설치할 필요가 있습니다. 현재 트랙터 견인식 베일러에 일반적으로 설치되어 있는 오일 자동 공급장치는 컨트롤러의 프로그램에 의해 설정된 주기마다 자동으로 오일 공급 펌프를 작동시키고 있습니다. 이와 동일한 오일 자동 공급 시스템을 본 연구결과물에 적용하여 베일 체인 마모를 최소화할 수 있도록 하겠습니다. 또한 환경오염을 방지하기 위해 오일이 공급되는 체인의 하단에는 낙하하는 여분의 오일을 받을 수 있는 오일받이를 설치하고, 그 하단에 오일 저장통을 장착하여 오일이 지면으로 떨어지지 않도록 하겠습니다.	

6. 베일 성형 장치

베일 챔버는 세절된 작물을 원통형으로 성형하는 곳임. 2개의 체인에 총 98개의 체인바를 연결하고 베일 챔버에 설치된 체인 레일을 따라 움직이도록 구성되어 있음. 원형 베일의 지름은 100cm 임. 체인바와 체인바 사이의 틈새는 최소한으로 줄여야 하는데, 체인이 이동하면서 체인바가 서로 부딪히지 않기 위해서는 체인바 사이에 최소한의 간격이 필요함. 현재 틈새는 5mm로 하고 있음.

		
베일 챔버 개념도	베일 챔버 조립체	베일 챔버 뒷문 개방

베일 챔버의 체인바는 상시구동하게 되어 있음. 엔진에서 나온 동력은 워기어 감속기를 경유하여 베일 체인을 구동하는 축에 직접 입력되는 구조임. 베일 챔버의 뒷문을 개방한 상태에서도 체인바는 계속 구동함. 체인은 베일 챔버 프레임에 설치된 체인 레일을 통해서 이동하기 때문에 뒷문 개방 시에도 체인바가 움직이는데 문제가 없음. 또한 뒷문이 개방되면서 내부에 있는 원형베일이 배출되게 되어 있는데, 뒷문이 열리는 중에도 체인바가 원형베일을 계속 회전시켜 줌으로서 베일 배출을 원활하게 하는 목적도 있음.



베일 챔버의 뒷문 개방은 베일 챔버 프레임과 뒷문 사이에 설치된 유압실린더에 의해 작동됨. 뒷문의 힌지점은 베일 챔버 프레임의 상부에 위치하고, 하단에는 뒷문을 고정할 수 있는 잠금장치가 설치되어 있음. 뒷문 개방 시 필요한 유압력은 약 70kgf/cm²임.

베일은 베일 챔버의 체인바가 회전하면서 베일을 회전시킴. 체인바의 이동 속도는 0.34m/sec임. 10sec에 3.4m 이동함. 원형베일의 원주는 3.4m임. 따라서 베일은 10초에 1회 회전하게 되고, 1분에 6회전 하게됨. 체인바의 회전 속도는 엔진의 회전수와 워기어 감속기의 감속비에 의해 결정됨.

7. 베일 압력 감지 장치

베일 챔버에서 베일의 성형이 완성되면 베일 챔버의 뒷문을 개방하려는 힘이 생기는데, 이 때 발생하는 힘은 뒷문 잠금 장치에 설치된 스프링을 압축시키고, 스프링의 압축된 양을 압력 센서가 감지하여 설정된 베일 압력에 도달했는지를 판단하게 됨. 원형 베일에 압력을 가하는 이유는 사일리지의 혐기성 발효 효과를 높이기 위함. 원형 베일 내부에 있던 공기를 최대한 밖으로 배출하는 것이 발효에 효과적이기 때문.



베일 챔버에서 배출된 베링의 압력이 부족하다고 판단될 때는 압력센서의 위치를 조절하여 베일 압력을 조절할 수 있음. 베일 센서의 위치는 총 4단계로 조절이 가능함.



압력 감지 센서는 암의 회전각도에 의해 접점이 발생하는 구조임. 베일의 압력에 의해 뒷문이 힘을 받으면서 베일 챔버 프레임에 고정된 스프링을 밀게 됨. 이 때 스프링에 설치된 브라켓이 이동하면서 압력 센서의 암을 밀게 되고, 암의 회전에 의해 통전이 되는 구조임. 베일 압력 센서는 A접점 (Normal Open type)식이며, 설정된 베일 압력에 도달하면 압력 센서를 통해 전류가 컨트롤러로 입력됨.

8. 네트 유입 장치



네트는 원형 베일의 외곽을 감싸므로써 베일의 형상을 유지시키는 역할을 함. 원형 베일에 네트를 감기 위해서는 베일 성형이 완료된 베일 챔버 내부로 네트를 유입시켜야 함. 네트는 거물 모양의 가벼운 플라스틱 제품으로 매우 가벼워서 바람에 쉽게 휘날림. 따라서 네트 주변으로 바람이 불어오지 않도록 바람막이를 설치하는 것도 중요하고, 또 네트 주변으로 바람이 불어오더라도 네트가 베일 챔버로 원활하게 유입될 수 있도록 할 필요가 있음. 무게가 가벼운 네트를 베일 챔버에 유입시키기 위해서 네트의 끝단을 두 개의 롤러 사이에 끼워 넣고, 두 개의 롤러 중 한 개를 강제로 회전시킴으로써 두 개의 롤러 사이에 끼어 있던 롤러가 하단으로 내려오게 됨. 네트 장치 하단에 설치된 작물 투입 컨베이어에 네트가 내려오면 상시구동 상태인 벨트 컨베이어에 실려 네트가 베일 챔버 내부로 들어가게 됨.



네트 유입 롤러를 회전시키는 동력은 베일 챔버의 체인바를 구동시키는 축으로부터 얻음. 베일 챔버 구동 축과 네트 유입 롤러 축에 각각 고무벨트 풀리를 설치하고 고무벨트를 걸친 후 고무벨트에 텐션을 줌으로서 네트 유입 롤러로 동력을 전달됨. 고무벨트는 텐션이 없는 상태에서 대기하다가 캠을 회전시키는 전기모터의 작동에 의해 캠이 회전하게 되는데, 캠에 연결된 링크에 벨트 텐션 암이 벨트에 텐션을 줌으로서 동력 전달이 가능해짐. 캠을 회전시키는 동력은 전기모터에서 나오는데, 전기모터의 구동은 컨트롤러가 제어하게 됨. 베일 압력이 설정치에 도달하면 컨트롤러는 3초 대기 후 캠 구동용 전기모터에 전류를 보내고, 캠이 작동하게 됨. 캠은 약 6초 간 작동하는데, 캠 회전이 완료되면 캠 완료 스위치가 눌러지면서 전기모터의 동작은 멈추게 되고, 동시에 벨트 텐션이 이완되면서 네트 강제 유입 롤러의 회전도 멈추게 됨. 이 때 베일에 감긴 네트는 베일이 구르는 힘에 의해 네트를 계속 당기게 되는데 이 힘으로 네트 강제 유입롤러는 계속해서 회전하게 되고, 네트의 감김량이 설정치에 도달하면 네트는 네트 커팅장치에 의해 절단되면서 네트 감기 작업이 완료됨.

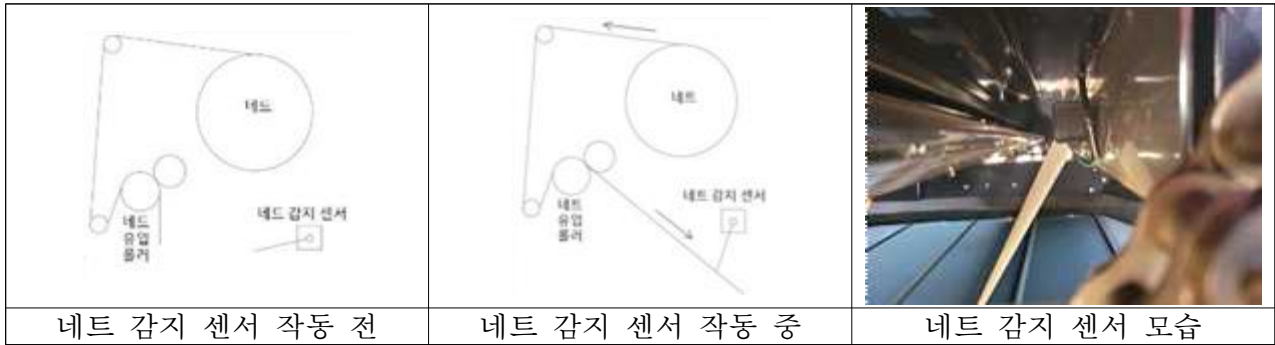
네트 유입 롤러의 작동 시간은 캠의 작동 시간에 의해 결정되는데, 전기 모터에 의해 작동되는 캠은 약 6초 동안 회전한 다음 캠 완료 스위치의 작동에 의해 캠 회전이 멈추게 됨. 캠이 회전하는 동안 고무벨트 텐션이 들어가고 네트는 유입 롤러에 의해 강제로 베일 챔버로 유입되는데, 약 1.4바퀴의 네트가 베일에 감기게 됨. 이후에는 베일 자체가 네트를 당기면서 네트를 감게 됨. 통상 네트는 베일에 6바퀴 정도 감도록 되어 있음.



원형 베일이 베일 챔버에서 배출된 후 형상을 유지하기 위해서는 베일 외부에 감기는 네트의 장력이 필요함. 네트가 초기에 강제 유입될 때는 장력이 없지만, 베일 자체가 네트를 당기면서 감을 때는 네트에 장력을 줄 수 있는 브레이크가 작동되면서 감기기 때문에 베일에 네트가 단단히 감기게 됨. 네트에 장력을 주는 방법은 네트 롤 축에 브레이크 드럼을 설치하고, 그 외부에 브레이크 패드를 밀착시킨 후 스프링을 이용하여 브레이크 패드를 브레이크 드럼에 강한 힘으로 눌러 드럼과 패드 사이에 마찰 저항이 발생하게 함. 이 마찰저항에 의해 네트에 장력이 발생하고 원형베일의 형상을 유지시킬 수 있게 됨. 네트 롤의 직경이 작업량에 늘어나면서 줄어들게 되는데, 이 때는 브레이크 드럼과

패드의 마찰력을 증가시켜야 함. 네트 장치 외부에 패드를 누르는 스프링의 장력을 조절할 수 있는 레버가 있고, 이 레버의 위치를 변경함으로써 스프링의 장력이 달라지고, 패드와 드럼의 마찰력도 변경됨. 네트 롤을 장착한 후 네트를 모두 소모할 때까지 패드 스프링 장력 조절은 통상 2~3회 정도 실시함.

9. 네트 감지 장치



네트 감지 센서는 네트가 베일 챔버로 유입되는 경로 상에 설치함. 네트 감지 센서는 회전암식 A접점(Normal Open Type) 스위치로 유입되는 네트가 센서의 회전암을 회전시키면 접점이 연결되어 전류가 흐르게 되어 있음. 네트가 감지 센서를 작동시키는 시점은 네트가 원형 베일에 감기기 시작하는 시점임. 따라서 네트가 유입되기 시작한 후 네트 감지 센서가 작동될 때까지 2~3초 정도 시간이 소요됨. 어떤 이유로 인해서 네트가 정상적으로 유입되지 못하고, 네트가 네트 감지 센서를 작동시키지 못하는 경우도 발생하는데, 공정 자동 컨트롤러는 네트가 유입되기 시작한 후 10sec간 대기하면서 네트 감지 센서의 작동 상태를 감시하게 됨. 10sec가 될 때까지 네트 감지 센서가 작동되지 않으면 네트가 정상적으로 베일 챔버에 유입되지 않는다고 판단하고 모든 공정을 정지시키게 됨. 이 때 부저가 울리면서 작업자에게 네트 장치를 점검하도록 경고를 주게 됨.



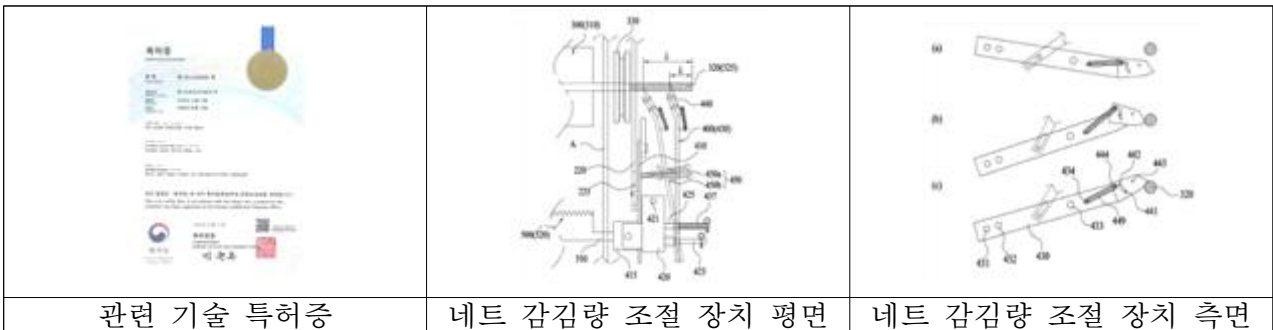
총체벼 수확 작업을 하고 있는 중에는 운전자가 눈으로 네트 유입 여부를 확인하기는 어려움. 네트 감지 센서는 네트가 정상적으로 유입되고 있는지를 확인하기 위한 목적임. 네트는 가볍기 때문에 바람이 흔들리면서 인접한 곳에 접촉하기 쉽고, 또 거물망 형태를 가지고 있기 때문에 움직이는 물체에 쉽게 붙는 경향이 있음. 또 네트 유입 롤러를 통과하면서 정전기가 발생하여 표면에 매끄러운 물체에 달라붙는 경우가 있음. 그 대표적인 예가 네트를 유입시키는 유입 롤러에 네트가 되감기는 것임. 네트를 강제 유입 시키는 중에 네트가 유입 롤러에 감기에 되면 네트는 유입롤러가 회전을 멈출 때까지 계속 감기게 됨. 그렇게 되면 네트 감지 센서는 작동을 하지 못하게 되고, 컨트롤러에 의해 모든 공정이 멈추게 되며, 운전자에게 부저로 경고를 주게 됨. 만약 네트 감지 센서가 없으면 네트가 유입되고 있는지 여부를 알 수 없게 되고, 운전자는 계속해서 수확 작업을 하게 되는데, 하베스트에

서 수확된 작물을 호퍼에 쌓이게 되고, 결국 하베스트 슈트 막힘 문제로까지 이어질 수 있음. 이러한 상황을 방지하기 위하여 네트 감지 센서를 설치하는 것임.

10. 네트 감김량 설정장치



원형 베일에 네트를 감을 때 감는 횟수를 설정할 수 있는데, 나사산에 나 있고, 회전하는 축에 나사산 홈에 삽입되는 칼날을 걸쳐 놓으면 나사산이 회전하면서 칼날이 이동하게 되는데, 이 때 칼날의 이동량을 임의로 설정할 수 있게 함으로서 네트의 감김량을 조절할 수 있음. 칼날이 나사산을 벗어나는 순간 네트 커팅 칼날이 작동하여 네트를 절단함으로써 네트 감김을 멈추게 할 수 있음. 이 기술은 지적재산권으로 특허 등록이 되어 있고 특허권자는 본 연구의 주관연구기관인 라이브맥임.



특허 번호: 제 10-2136345 호

출원 번호: 제 10-2019-0144679 호

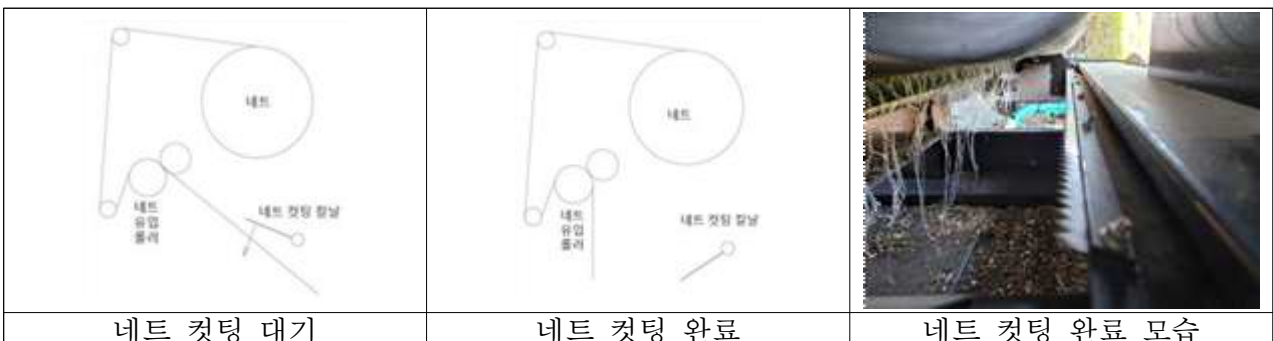
출원일: 2019. 11. 13

등록일: 2020. 7. 15

발명의 명칭: 네트 감김량 조절장치를 구비한 베일러

특허권자: 주식회사 라이브맥

11. 네트 커팅 장치



네트 커팅 장치는 톱니형 칼날과 회전형 칼날 프레임으로 구성됨. 회전형 칼날 프레임이 회전하면서 장력을 받고 있는 네트를 절단하는 방식임. 네트는 거물형 플라스틱 제품으로 신축성이 있으면 네트 감는 작업 중에 장력이 발생하지만 그 장력이 크지 않으며 따라서 이러한 네트를 커팅하는 작업이 쉽지 않음. 가위나 예리한 칼로 자르는 방법도 있지만 기계 장치에 이러한 방식으로 설치하는 것도 어려운 문제임. 회전하는 프레임에 톱니형 칼날을 설치하고, 스프링력을 이용하여 고속으로 회전 프레임을 작동시킴으로서 순간적으로 부드러운 거물형 네트를 절단할 수 있음. 이러한 방식으로 네트를 절단할 때 절단되지 않는 경우는 거의 없었음.

12. 뒷문 개방 장치



베일 챔버의 뒷문은 베일러 프레임과 결합되어 있는데, 상부에 힌지점을 두고 유압실린더에 의해 개방되는 구조임. 베일 성형 작업 중에는 뒷문 잠금장치에 의해 닫혀 있다가 베일 배출 시기가 되면 유압실린더에 고압 오일이 유입되면서 뒷문이 개방됨. 뒷문 개방 각도는 100°임. 뒷문은 베일 성형 시 발생하는 베일 팽창 압력을 견딜 수 있는 견고한 구조로 제작되어야 함.



뒷문 개방에 사용되는 실린더의 사양은 다음과 같음.

실린더 내경: 40mm

스트로크: 490mm

실린더 형태: 단동형(피스톤 수축 시 뒷문 자중에 의해 하강하는 방식)

뒷문 개방 시 소요되는 유압력은 70kgf/cm²

실린더는 좌우 양쪽에 한 개씩 장착되어 있음.

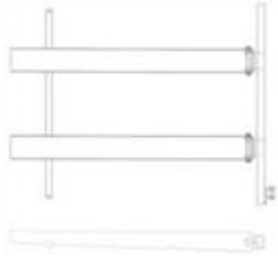


뒷문 개방 시 소요되는 힘을 계산하면 다음과 같음.

실린더 단면적: (2 cm x 2 cm) x π = 12.5 cm²

실린더 1개에서 발생하는 힘: 12.5 cm² x 70 kgf/cm² = 875 kgf

실린더 2개에서 발생하는 힘: $875 \text{ kgf} \times 2 = 1750 \text{ kgf}$
 축 뒷문 개방을 위해 필요로 하는 힘은 1.7 ton임

13. 베일 인계 장치

		
베일 슬라이딩 가이드	가이드의 역할	가이드 형상

베일 챔버에서 베일이 배출되면 베일 슬라이딩 가이드에 떨어지는데, 이 때 베일은 23°로 경사를 가지고 있는 베일 슬라이딩 가이드 위를 굴러서 베일 적재부로 이동하게 됨. 베일 슬라이딩 가이드는 뒷문이 열리면서 링크 구조로 연동되게 되어 있음. 즉 베일 슬라이딩 가이드는 단순한 링크의 작동으로 23°의 경사를 만들기 때문에 별도의 유압이나 전기의 힘을 필요로 하지 않음. 제조 비용 면에서도 유리함. 베일 슬라이딩 가이드가 필요한 이유는, 베일 챔버와 베일 적재부 사이에 1.2m 정도의 거리가 있고, 이 구간을 베일의 형상과 중력을 이용하여 스스로 굴러가도록 구성하였음. 베일 슬라이딩 가이드는 2개의 가이드 프레임과 2개의 링크 및 힌지부로 구성되어 있음. 뒷문이 닫히게 되면 링크가 내려오게 되고, 따라서 슬라이딩 가이드도 자중에 의해 수납되게 됨.

		
포크의 개념도	포크 형상	포크 작동 실린더

포크는 베일 슬라이딩 가이드를 타고 내려온 베일이 적재부에 안착될 수 있도록 보조역할을 하는 부품임. 포크는 베일 슬라이딩 가이드와 같은 힌지점을 가지고 있고, 베일 챔버에서 베일이 배출될 때는 베일 슬라이딩 가이드에 수납된 상태로 대기함. 베일이 베일 슬라이딩 가이드를 타고 내려오면서 포크 센서를 누르게 되는데, 이 신호에 의해 포크를 위로 밀어올리게 됨. 포크는 유압실린더에 의해 작동되는데, 포크 센서의 신호가 컨트롤러에 입력되고, 컨트롤러는 유압밸브에 신호를 출력하여 포크 실린더에 유압오일이 들어가도록 함.

		
포크 센서	포크 작동 상태	포크 연계 적재장치

포크 센서는 회전암식 센서로서 베일에 의해 포크 센서용 브라켓이 눌리지면 그 아래에 장착된 포크 센서의 암이 눌리지고, 전류가 흐르게 됨. 포크 센서는 A접점(Normal Open Type) 타입으로 센서가 눌리졌을 때 전류가 흐르는 방식임. 포크 센서의 전기 신호에 의해 포크 실린더가 작동되면서 포크가 위로 상승하게 됨. 포크의 역할은 베일 슬라이딩 가이드에서 굴러온 베일이 적재부에 정확히 안착이 되도록 추가로 밀어주는 역할을 하면서, 동시에 적재부에 안착된 베일이 다시 역으로 굴러내려오는 경우를 방지하기 위하여 브레이크 역할도 하게 됨. 베일이 베일 챔버에서 배출될 때 적재부는 베일을 수용하기 위하여 전경사를 이루면서 준비자세가 됨. 포크는 적재부가 수평으로 올라간 후 뒷문이 닫히면서 동시에 수납되는 구조임. 즉, 적재부가 수평으로 올라가기 전에 포크가 접하지 않도록 컨트롤러가 제어하는 알고리즘임. 포크 작동에 필요한 유압력은 20~30kgf/cm² 정도임.

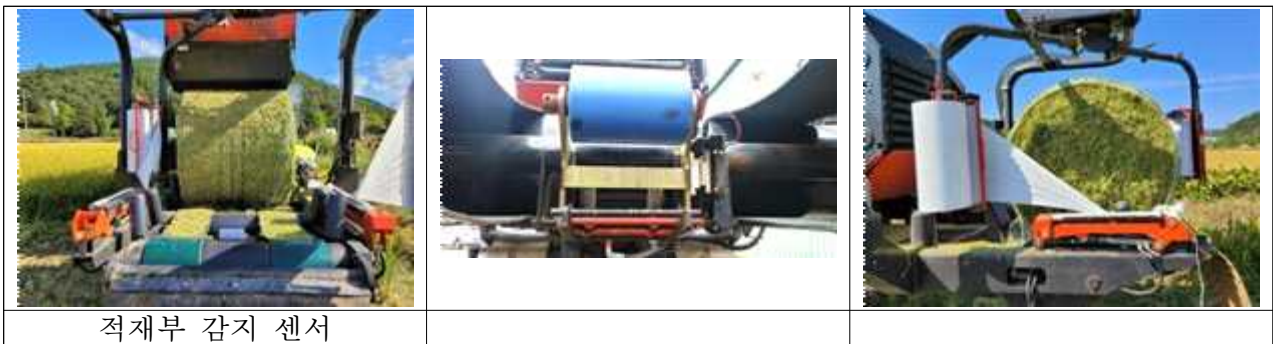
14. 베일 적재 장치

		
베일 적재부 도면	베일 적재부 형상	베일 가이드와 적재부

베일 적재부는 원형 베일에 비닐을 감기 위해 베일을 구동시키는 장치임. 베일 챔버에서 배출된 베일은 베일 인계부를 거쳐서 베일 적재부에 안착이 되는데, 베일 적재를 원활하게 하기 위하여 적재부는 전후로 스윙할 수 있는 구조로 되어 있음. 베일 적재부가 전방으로 경사를 이룰 때는 베일 챔버에서 배출되는 베일을 베일 적재부에 안착시키기 위한 목적이고, 베일 적재부가 후방으로 경사를 이룰 때는 원형 베일에 비닐 감기가 완료된 베일을 지면으로 덤핑하기 위한 목적임. 베일 적재부는 베일 회전을 시키기 위한 하부 롤러 2개가 있고, 베일이 회전할 때 좌우로 치우치지 않도록 하기 위한 베일 측면 가이드롤러 4개가 있음. 그리고 베일 안착 여부를 판별하기 위한 베일 센서가 하부롤러 사이에 장착되어 있음. 하부 롤러 2개는 서로 2개의 벨트로 연결되어 있고, 하부 롤러 중 1대는 구동이고, 다른 1개는 피동인데, 벨트는 피동용 하부 롤러를 구동시키는 역할을 함.



베일 적재부는 베일을 회전시키면서 베일 외부에 비닐을 감을 수 있도록 베일을 붙들어 주는 역할을 함. 랩핑부에는 베일 적재부와 랩 회전암이 있는데, 랩 회전암이 회전하면서 베일에 비닐을 감을 수 있도록 베일의 위치를 유지시켜 주는 역할을 하고, 또 원형 베일 전체에 균일하게 비닐이 감길 수 있도록 베일 자체를 회전시키는 기능을 가지고 있음. 베일을 회전시키는 역할을 하는 하부롤러는 유압모터에 의해 구동됨. 하부 롤러 구동용 유압모터는 랩 회전암을 구동시키는 유압모터와 연동되도록 되어 있음. 왜냐하면 베일이 회전함과 동시에 비닐을 감아야 하고, 베일의 회전속도와 회전암의 회전속도의 비가 항상 일정해야 하기 때문임.



베일 적재부의 동작은 크게 3가지로 구분됨. 베일 적재, 베일 회전, 베일 덤핑인데, 베일 적재 동작은 베일이 베일 챔버에서 배출된 후 포크에 의해 베일이 적재부에 안착된 상태에서 베일 적재부를 수평으로 들어올리는 동작임. 베일 회전은 적재부에 안착한 베일을 회전시키는 동작인데, 이것은 하부롤러를 유압모터로 회전시킴으로서 하부롤러 위에 얹힌 원형베일이 회전을 하게 되는 동작임. 베일 덤핑은, 비닐 감기가 완료된 원형 베일을 지면으로 덤핑하기 위한 뒤쪽으로 적재함을 기울이는 동작임. 모든 동작은 공정 자동 알고리즘에 의해 컨트롤러가 각 동작의 시기를 결정하도록 되어 있음.



베일 적재 센서는 2개의 하부 롤러 사이에 설치되어 있음. 베일이 적재부에 안착되면 원통형으로 된 센서 암을 누르게 되고, 센서 암의 의해 눌려진 센서는 전류가 흐르면서 적재부에 베일이 안착되었음을 컨트롤러에 알림. 베일 적재 센서는 마그네틱 센서 타입을 사용하는데, 수확 작업 중에 이물질이 적재 센서 근처에 쌓일 가능성이 있고, 이로 인해 센서 감지가 불량일 날 가능성을 배제하기 위한 목적임.

적재부에 베일이 수평으로 안착되면 베일 챔버 뒷문이 닫히는데, 뒷문 닫힘 신호는 적재부의 적재 감지 신호가 담당함. 적재부의 수평 감지 센서는 적재부 회동부에 위치하는데, 적재부가 수평이 되면 그 위치를 감지할 수 있도록 설치되어 있음. 적재부의 수평 감지 신호가 들어오면 뒷문과 포크가 수납되기 시작함. 뒷문 닫힘 신호가 감지되면 호퍼 하단의 작물 공급 컨베이어가 회전하기 시작하고, 원형 베일 성형 작업이 시작됨.

15. 랩핑부 하부 롤러 구동 장치

		
하부 롤러 구동 모터	하부 롤러 설치 위치	하부 롤러 구동 모터 모습

하부롤러는 원형 베일에 비닐을 감기 위해 베일을 회전시키는 기능을 수행함. 2개의 하부 롤러 중 한 개에 유압모터가 연결되어 있으며, 유압모터의 회전에 의해 하부롤러가 회전을 하고, 인접한 하부 롤러는 서로 벨트로 연결되어 있어서 벨트의 마찰력에 의해 구동됨. 원형 베일이 하부 롤러에 안착이 되면 베일의 중량이 벨트를 누르게 되고, 벨트와 하부 롤러 사이의 마찰력이 증가하면서 피동 하부 롤러도 최소한의 슬립으로 회전이 가능하게 됨. 작업 중 이물질이 벨트와 하부 롤러 사이에 끼는 경우도 발생하는데, 이 때는 벨트의 슬립률이 증가하여 원형 베일이 원활하게 회전하지 않음. 이러한 현상은 원형 베일에 감기는 비닐의 겹침량을 보고 판단할 수 있음. 즉 하부롤러가 정상적으로 회전할 때는 비닐의 겹침율이 50%인데, 벨트의 슬립율이 증가할 때는 비닐의 겹침율이 증가하여 60~70%까지 변하게 됨. 이러한 현상을 통해서 벨트의 슬립을 인지할 수 있고, 벨트와 하부 롤러 사이의 이물질을 제거한 다음 작업을 계속하게 됨.

		
하부롤러 도면	하부롤러 연결 벨트	하부롤러 위치

베일 회전 롤러의 직경은, 베일의 요구 회전 속도, 유압모터의 용량, 베일의 크기 등을 고려하여 직경 218 mm로 제작됨.

- 회전 롤러의 속도

· 회전 롤러의 rpm

유압모터 배제용적: 390cc/rev

유압펌프 토출량: 16cc/rev(30LPM)

유압모터의 회전수: $30000/390=76\text{rpm}$

스프로켓 잇수: 11T, 29T

회전 롤러의 회전수: $76 \times 11/29=28\text{rpm}$

· 회전 롤러의 선속도

회전 롤러의 직경: 218 mm

선속도: $218 \times 3.14 \times 28/60=319 \text{ mm/sec}=0.3 \text{ m/sec}$

· 베일의 회전 속도

베일의 직경: 1.0 m

베일의 원주: 3.14 m

베일이 1회전 하는데 걸리는 시간: $3.14/0.3=10 \text{ sec}$

베일의 rpm: $60 \text{ sec}/10 \text{ sec}=6\text{rpm}$



하부 롤러에 의해 회전하는 베일의 회전수는 6회전/분 임. 비닐 감기의 겹침율이 50%가 되기 위해서는 비닐 랩 회전암의 회전수는 베일의 회전수에 비례하도록 되어 있는데, 회전암의 회전수는 회전암을 구동시키는 유압모터의 배제용적에 의해 결정됨.

16. 비닐 감기 장치



비닐 랩 거치대라고도 하는데 원형 베일에 비닐을 감기위해 비닐 롤을 올려놓고 비닐이 풀려나올 수 있도록 제조된 기구임. 비닐 거치대는 비닐 롤 장착대, 브레이크 롤러, 널링 롤러, 기어 셋트, 스피링으로 구성됨. 비닐 거치대는 두 개의 회전암에 각각 장착되며 회전암이 1회전 할 때 베일에 비닐을 2회 감음으로서 비닐 회전 시간을 단축시킬 수 있음. 과거에는 회전암이 한 개였으나 현재는

회전암이 3개인 랩핑기계도 출시되고 있음. 비닐의 폭은 현재 50cm와 70cm 가 있으며, 본 연구 결과물에는 비닐 폭이 50cm인 비닐 랩을 사용하도록 되어 있음.



비닐 랩을 원형베일에 감을 때는 비닐에 장력을 주어 베일이 단단하게 형상을 유지할 수 있도록 하고 있음. 또한 비닐에 장력을 줌으로서 비닐과 베일 사이의 공기를 최대한 제거함으로써 사일리지의 혐기성 발효가 잘 되도록 하고 있음. 원형 베일에 감는 비닐은 접착제를 도포해 놓았기 때문에 비닐을 감은 후 서로 견고하게 접착된 상태로 유지되도록 하고 있음. 비닐 거치대에는 브레이크 롤러와 넬링 롤러가 있는데, 두 롤러가 서로 비닐을 잡아 당기면서 비닐을 신장시키는 역할을 함. 비닐을 신장시키는 이유는, 비닐의 접착력 향상, 베일 형태 보전, 공기 차단력 향상, 그리고 비닐의 사용 효율 증대 등의 목적으로 함. 비닐을 신장시키는 원리는 브레이크 롤러와 넬링 롤러의 축에 각각 잇수가 20T, 33T인 기어를 조립하고, 이 두 기어가 서로 맞물리도록 조립한 다음 회전을 시키면 두 개의 롤러의 회전수가 달라지게 됨. 이 두 개의 롤러에 비닐 랩을 지나가게 하면 비닐은 각각의 롤러와 접착력에 의해 고정되게 되고, 따라서 두 롤러의 회전수 차이만큼 비닐이 신장되는 효과를 볼 수 있음.

비닐 감기 작업 중에 비닐이 파손되는 경우가 발생함. 비닐이 파손되는 원인은 비닐 자체의 품질 문제, 날카로운 이물질에 의한 파손, 순간적으로 과도한 신장 등이 있음. 비닐 감기 중에 비닐이 파손되면 회전암은 걸돌게 되고 결국 회전암을 정지시킨 후 비닐을 다시 제대로 장착한 다음 비닐 감기를 계속해야 함. 그런데 랩핑부는 기계의 뒤쪽에 있기 때문에 운전자가 눈으로 확인하기 어려운 점이 있고, 감시 카메라를 설치하여 비닐 감기 상황을 감시할 수 있도록 되어 있지만 운전자가 운전 중에는 모니터 확인을 못하는 경우도 있음. 이럴 경우 비닐을 감지 않으면서 회전암이 계속 회전하는 무작업 상황이 지속되게 됨. 이러한 문제를 해결하는 방법으로, 비닐 거치대의 브레이크 롤러 또는 넬링 롤러 축에 회전을 감지하는 센서를 부착하고, 비닐 감기 시작 시점부터 비닐 감기 완료 시점까지 롤러의 회전을 계속 감시하다가 어느 순간 롤러의 회전이 멈추게 되면 그 신호를 운전자에게 경보함으로써 운전자가 비닐 파손을 바로 인지할 수 있고, 기계를 정지시킨 후 비닐을 재설치할 수 있음. 이러한 장치는 향후 개발해야 할 과제로서 본 연구의 결과물에는 장착되어 있지 않음.

17. 회전암 위치 감지 장치



회전암의 출발 및 정지 위치를 결정하여 위하여 회전암 상단에 근접센서를 설치함. 비닐 감기가 완료되면 비닐 컷팅을 해야 하는데, 비닐 컷팅 장치는 랩핑부 프레임에 고정되어 있기 때문에 비닐 컷팅을 하기에 가장 적당한 위치에 회전암이 멈출 수 있도록 하기 위함.

회전암 센서로 근접센서(Proximity Sensor)를 사용함. A 접점(Normal Open Type)으로 센싱되었을 때 전류가 흐르는 타입임. 회전암 프레임에 근접스위치를 설치하고, 회전암에 센서 감지용 플레이트를 고정하여 회전암이 회전하면서 플레이트가 근접센서를 스치고 지나가도록 배치함. 플레이트와 근접센서의 그리는 5mm 이내로 함. 작업 중에 어떤 이유로 인해 플레이트와 센서의 거리가 설정치보다 멀어지면서 센싱을 못하는 경우가 발생하기도 하는데, 이럴 경우 랩핑 회전수가 달라지고, 랩 비닐 컷팅 위치가 기준위치에서 벗어나기 때문에 비닐 컷팅이 제대로 수행되지 못하는 문제도 생김. 따라서 작업 시작 전에 센서와 플레이트의 상대 위치를 확인할 필요성이 있음.

- 회전암의 회전 속도

- 회전암 구동용 유압 모터의 rpm
- 유압펌프의 토출량: 16cc/rev(30LPM)
- 유압모터의 배제용적: 200cc/rev
- 유압모터의 회전수: $30000/200=150\text{rpm}$
- 스프로켓 잇수: 11T, 39T
- 회전암의 회전수: $150 \times 11/39=42\text{rpm}$
- 감속용 스프로켓
- 모터 측: 11T
- 회전암 측: 39T
- 회전암의 rpm: 42rpm
- 회전암의 선속도
- 회전암의 반경(회전중심에서 랩 거치대 중심까지의 거리): 1038 mm
- 랩 뭉치의 선속도: $(1.038 \times 2) \times 3.14 \times 42/60=4.56 \text{ m/sec}$
- 랩핑 완료 소요 시간
- 베일 1회전에 소요되는 시간: 10 sec
- 회전암의 회전수: 42rpm
- 회전암이 10초간 회전하는 수: 7회전
- 회전암은 투암식이기 때문에 7회전 시 랩은 14회 감기가 됨.
- 베일의 원주는 3.14 m
- 3.14 m를 14등분 하면 22 cm
- 랩의 신장율을 12%하고 하면 랩핑 작업 시 랩 폭은 44 cm

따라서 랩의 겹침량은 50%

즉 10초간 랩핑 작업을 할 경우 랩 겹침량은 2겹.

5겹 감기를 할 경우 소요시간은 $10 \times 5 / 2 = 25 \text{ sec}$

이 때 회전암의 회전 횟수는 $25 / 60 \times 42 = 17.5 \text{ 회전}$



회전암의 회전수는 공정 자동 컨트롤러에 의해 제어됨. 비닐 감는 횟수는 운전자가 임의로 설정할 수 있음. 컨트롤러의 설정 화면으로 들어가서 랩핑회전수 숫자를 변경하면 됨. 비닐 감기 횟수는 통상 5~6겹의 비닐이 감기도록 하고 있음.

18. 비닐 커팅 장치



베일에 비닐감기가 완료되면 비닐을 절단해야 하는데, 랩 커팅장치가 그 역할을 수행함. 랩 커팅장치는 2개로 구성되며, 랩핑부 프레임의 좌우에 각각 설치됨. 랩 커팅부는 커팅부 프레임, 커팅 칼날, 랩 가이드, 비닐 고정봉, 유압실린더로 구성됨. 회전암이 근접센서에 의해 일정한 위치에 멈추면 랩 커팅 암이 상승했다가 하강하면서 비닐을 자르게 되고, 비닐을 자른 후 다음 랩핑 작업을 수행하기 위하여 랩 붙들기를 고정봉이 하게 됨. 비닐 감기를 시작할 때 비닐을 붙들고 있을 필요가 있기 때문에 랩 커팅장치에서 비닐 커팅과 동시에 비닐 붙잡기를 하게 됨.



비닐을 감기 위해서는 비닐의 끝을 어딘가에 고정시켜야 함. 비닐 감기 작업이 끝난 직후 비닐을 컷팅하면서 동시에 비닐을 붙잡는 원리는, 비닐 컷팅 날과 같은 위치에 비닐을 붙잡는 봉을 설치하고, 봉이 밀착하여 비닐을 붙잡을 수 있는 시트가 필요함. 이러한 구조로 비닐 컷팅 장치를 제조함으로써 비닐을 컷팅함과 동시에 비닐을 붙잡을 수 있고, 다음 비닐 작업이 연속적으로 이어질 수 있도록 함. 작업 중에 비닐 붙잡기를 실패하는 경우가 발생하기도 함. 그 원인은 대부분 비닐 감기 작업 중에 비닐이 파손되기 때문인데, 이 때는 작업자가 비닐 끝단을 다시 고정시키는 방법 밖에 없음.

19. 베일 덤프 장치



비닐 감기가 완료되면 베일을 지면에 내려놓아야 하는데, 이러한 덤프 동작은 적재부를 후방으로 기울임으로서 이루어짐. 적재부를 후방으로 기울이는 동력은 유압실린더인데, 적재부의 중심을 회전축으로 해서 회전할 수 있도록 유압실린더를 배치하고, 공정 자동 컨트롤러에 의해 유압이 조절되면서 덤프작업이 이루어짐. 적재부가 후방으로 기울어지는 각도는 23°임.

베일 덤프 시기는 프로그램에 의해 자동으로 작동되기도 하고, 운전자가 임의의 시기를 결정할 수도 있음. 수확 작업 중에 베일을 어느 위치에 덤프할지를 운전자가 판단하여 베일 정리 작업에 유리하도록 가능하면 한 곳에 베일을 내려놓는 것이 유리함. 그리고, 베일 정리 작업을 하는 트랙터가 원활하게 들어갈 수 있는 곳을 선택하고, 수확 작업에 방해되지 않는 곳에 베일을 덤프할 필요가 있음.

운전자가 베일 덤프 작업을 잊어버리는 경우도 있는데, 공정 자동 제어 프로그램에 의해 자동으로 베일 덤프가 이루어지도록 함. 왜냐하면 베일 챔버에서 베일 배출 준비가 되었는데, 적재부에 베일이 그대로 남아 있게 되면 배출되는 베일과 서로 부딪히는 문제가 발생함. 이러한 문제를 사전에 방지하기 위하여 일정 시점이 되면 자동으로 적재부에서 베일이 덤프되도록 하고 있음. 자동으로 베일이 덤프되는 시점은 베일 챔버에서 네트 감기 작업이 완료된 시기임.

20. 공정 자동화 장치

일관작업기의 작업 공정은 수확 및 세절 공정, 교반 및 이송 공정, 베일 성형 공정, 인계 및 랩핑 공정으로 구분할 수 있음. 수확 및 세절 공정은 작물을 컷팅하여 하베스트로 끌어들이고, 적정 길이로 절단한 다음 호퍼로 보내는 작업임. 교반 및 이송 공정은 하베스트에서 보내진 작물을 균일하게 섞어서 베일 성형실로 보내는 작업임. 베일 성형 공정은 세절된 작물을 회전시키면서 원통형으로 압축하여 베일을 만드는 작업임. 인계 및 랩핑 공정은 베일 챔버에서 배출된 베일을 적재부로 인계하고 비닐을 감은 다음 지면으로 덤프하는 작업임. 이러한 공정들은 공정 자동 프로그램에 의해 제어되며, 모든 공정이 연속적으로 이어질 수 있도록 하고 있음. 여기서 중요한 점은 각각의 공정이 밸런스를 이루면서 연속 작업이 가능하게 해야하는 점임.

3) 베일 압력 감시

베일 압력은 베일 챔버의 뒷문 잠금장치에서 감지함. 베일 성형 작업을 하는 동안 지속적으로 베일 압력을 감시함. 베일 성형이 완료되고, 뒷문이 베일의 압력에 의해 약간 벌어지게 되는데, 뒷문이 벌어질 때 뒷문 잠금장치에 설치된 스프링이 압축됨. 베일 압력 센서는 이 스프링의 압축량을 감지하게 되어 있음. 베일 압력이 설정치에 도달하면 공정 자동 프로그램은 다음 공정으로 이동하게 됨.

4) 네트 투입

베일 압력이 감지되면 공정 제어 컨트롤러는 우선 호퍼 하단의 작물 공급 컨베이어의 작동을 멈추게 하여 작물이 투입 컨베이어에 더 이상 넘어가지 않도록 함. 작물 투입 컨베이어의 작물이 베일 성형실에 모두 투입될 동안 3초를 대기한 후 네트 강제 유입을 위한 전기모터에 전류를 보냄. 네트 캠 모터의 작동에 의해 캠이 회전을 하고, 캠의 회전에 의해 네트 유입 롤러에 동력이 공급됨. 즉, 캠에 연결되어 있는 링크가 벨트 텐션을 당기고, 벨트를 통해 회전동력이 네트 유입롤러에 전달됨. 네트 유입 롤러는 캠 회전이 완료될 때까지 네트를 계속 아래로 내려보냄. 캠 회전이 완료되면 벨트의 텐션이 해제되고, 네트 강제 유입롤러의 강제 구동이 멈춤. 하지만 네트는 이미 베일 성형실로 투입되어 베일에 감겨 있는 상태이고, 베일의 회전력에 의해 네트는 계속해서 당겨지게 됨. 이때부터 네트는 베일의 회전력으로 네트를 당기게 되고 네트 브레이크 장치가 작동되어 네트에 장력이 걸린 상태로 네트 감김 작업이 진행됨.

5) 네트 완료

설정된 네트의 감김량이 완료되면 네트 커팅 칼날이 네트를 절단하게 되면서 네트 감기 작업은 종료됨. 네트 감김량은 네트 유입롤러 축에 설치된 나사산 형태의 봉과 네트 감김량 설정 암에 의해 결정됨. 네트 감김이 진행되면서 네트 감김량 설정 암은 나사산 형태의 봉을 이동하게 되는데, 암이 봉을 이탈함과 동시에 암에 연결되어 있는 네트 커팅 칼날이 움직이게 되고, 네트가 절단되게 됨. 네트 절단이 완료되면 네트 완료 스위치를 누르게 되어 있고, 이 신호에 의해 뒷문 열림 신호가 출력되도록 되어 있음.

6) 뒷문 열기

뒷문 열기는 컨트롤러에서 유압밸브에 전류를 보내면 솔레노이드 밸브가 자동되고, 유압 오일이 뒷문 열기 실린더에 공급되면서 뒷문이 열리게 됨. 뒷문 열기 유압 실린더는 뒷문 잠금 장치와 뒷문의 상단에 각각 연결되어 있고, 실린더의 피스톤이 신장되면서 실린더의 하단이 뒷문 잠금장치를 누름과 동시에 뒷문을 밀어올리게 됨. 우선적으로 뒷문 잠금장치가 먼저 해제되고, 이어서 뒷문이 열리기 시작함. 뒷문을 열 때 걸리는 유압은 약 70kgf/cm² 정도임.

7) 포크 상승

포크 상승은 포크 회동부에 설치된 포크 센서가 감지되면서 작동됨. 베일 챔버에서 베일이 배출되면 베일 슬라이딩 가이드를 타고 굴러내려오게 되어 있는데, 이 때 베일 슬라이딩 가이드와 공일한 위치에 설치된 포크의 센서가 베일에 의해 눌러지면서 센서가 감지되고, 센서 감지에 의해 포크가 상승하게 되어 있음. 포크를 상승시키는 목적은 베일 적재부로 굴러간 베일이 베일 챔버 쪽으로 다시 되굴러오지 못하도록 하기 위한 목적임.

8) 적재 상승

적재부에는 적재 센서가 설치되어 있고, 베일에 의해 적재 센서가 감지되면 적재부가 상승하게 됨. 적재부는 뒷문이 열리면서 동시에 전방으로 경사를 이루게 되는데, 이것은 베일이 베일 챔버에서 배

출되면서 바로 적재부까지 굴러가서 적재부에 안착될 수 있도록 하기 위함. 베일은 자력으로 적재부에 도달하여 적재 센서를 누르는 경우도 있고, 포크의 상승력으로 적재부에 안착되는 경우도 있음. 어느 경우든지 적재 센서가 감지되면 적재부는 상승하여 수평을 이루게 됨. 적재부가 상승하는 힘은 유압실린더에 의해 발생하는데, 공정 자동 컨트롤러에 적재 센서의 신호가 들어가면 적재부 유압실린더를 움직일 수 있는 신호가 컨트롤러에서 출력되고, 적재부는 수평센서가 감지될 때까지 상승하여 수평을 이루게 됨. 적재부가 수평으로 상승하게 되면 비닐 감기 작업 준비가 되는 것임.

9) 회전암 회전

적재부에 베일이 안착되고 수평을 이루게 되면 적재부 힌지부분에 설치된 적재 센서가 감지되고, 이 신호가 컨트롤러에 들어가면 우선 뒷문 닫기 신호가 출력됨. 뒷문 닫기 신호가 출력되면 포크 하강 신호도 동시에 출력되면서 포크 수납이 완료됨. 뒷문 닫기가 완료되어 뒷문 닫기 센서가 감지되면 비닐 감기용 회전암이 작동됨. 회전암은 저속 회전과 고속 회전이 있음. 초기에는 저속 회전하면서 비닐에 지나찬 장력이 발생하여 파손되는 것을 방지하면서 동시에 비닐 컷팅 장치에서 비닐을 놓게 하여 비닐 감기 작업이 원활하게 진행되도록 함. 비닐 컷팅 장치에서 비닐 놓기 작업이 완료되면 바로 이어서 고속으로 회전암이 돌기 시작함. 회전암은 컨트롤러에 의해 설정된 회전수만큼 회전한 다음 다시 저속으로 변속하여 회전하는데, 이것은 비닐 컷팅 작업을 원활하게 하기 위함.

10) 랩 컷팅

회전암이 저속으로 회전하면서 비닐 컷팅 장치가 상승하여 비닐 컷팅 작업 준비가 완료되도록 함. 비닐 컷팅 작업은 비닐 컷팅 장치가 상승한 상태에서 회전암이 180 도 회전하여 비닐이 컷팅 칼날 안으로 삽입되도록 하고, 이어서 비닐 컷팅 장치가 하강하면서 비닐을 절단하게 됨. 비닐 컷팅 장치는 비닐을 절단하면서 동시에 비닐을 붙들게 되는데, 이것은 다음에 비닐 감기 작업을 할 때 비닐 한쪽을 붙잡아주는 역할을 함. 비닐 컷팅 작업은 완벽하게 절단하지 못할 수도 있는데, 베일이 지면으로 덤핑될 때 비닐이 장력을 받으면서 완전하게 절단되게 됨.

11) 베일 덤핑

베일 적재부에서 비닐 감기 작업이 완료되면 베일을 지면으로 내려놓게 되는데, 베일 덤핑 작업은 수동과 자동으로 구분되어 있음. 베일 덤핑 작업은 수동을 우선으로 하고 있는데, 그 이유는 베일을 내려놓는 위치를 작업자가 임의로 결정할 수 있도록 하기 위함임. 설사 작업자가 베일 덤핑 작업을 망각하더라도 공정 자동 프로그램에 의해 베일이 베일 챔버에서 배출되기 직전에 베일을 덤핑하도록 되어 있음.

12) 덤핑부 상승

덤핑 작업이 완료되면 바로 적재부 상승 동작이 진행됨. 덤핑 상승은 덤핑 하강 후 2초 지나면 자동으로 상승하게 되어 있음. 덤핑부 상승을 위한 별도의 센서는 없음. 덤핑부 상승 위치는 덤핑부 힌지 위치에 설치된 센서의 의해 결정됨. 덤핑부가 상승하면 센서가 감지되고, 센서의 신호가 컨트롤러에 입력되어 유압밸브로의 출력을 멈추게 함. 덤핑부 수평 센서는 근접 스위치 타입이고, A 접점 (Normal Open Type)임.



1) 초기 화면

컨트롤러의 초기 화면에는 수동, 자동, 세미오토, 설정 화면으로 전환할 수 있는 버튼이 있음. 이 버튼은 화면 터치 방식으로 되어 있음. 초기 화면 상태에서는 출력 신호가 나가지 않는 상태이고, 수동이나 자동 화면으로 전환되면 출력 신호가 나가기 시작함. 대표적인 출력 신호는 베일 성형부와 랩핑부를 작동시키는 유압밸브로 +전원을 보내는 것임. 또 이 +전원에서 릴레이 박스로 전류가 흐르는데, 릴레이에 의해 작동되는 동작부는 캠 구동 전기모터, 체인 윤회용 오일 모터, 그리고 부저임. 이 작동부는 사용 전류가 5A 이상이 때문에 반드시 릴레이를 통해 전류가 들어가야 함. 솔레노이드 밸브에 들어가는 전류는 3A 정도이고, 전선의 굵기가 1.5SQ이면 가능함.

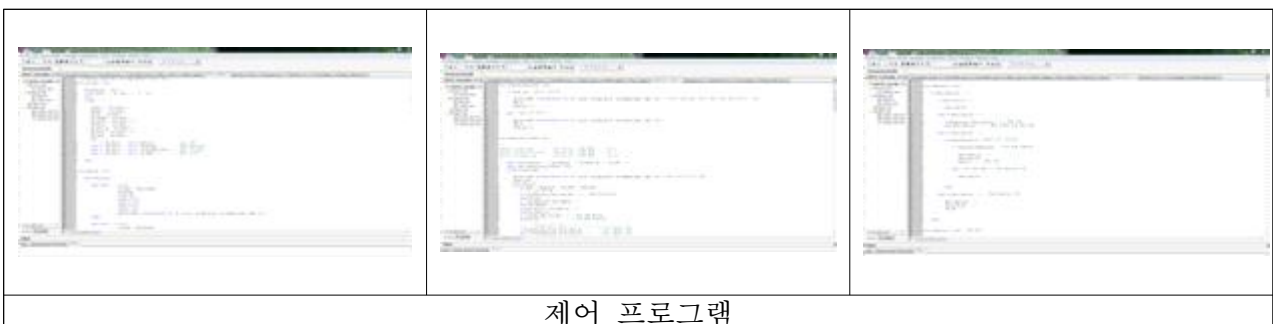
2) 수동 제어 화면

수동 제어 화면에서는 수동으로 각 공정의 작동부를 조작할 수 있음. 각 공정의 동작을 별도로 동작시켜야 할 경우나, 자동 공정 중에 예러가 발생하여 해당 공정만 작동시킬 필요가 있을 때 수용하는 화면임. 수동 화면에서 작동 가능한 부위는, 뒷문 열기, 뒷문 닫기, 적재 올림, 적재 내림, 랩핑부 회전암 정회전 및 역회전, 랩 커팅 칼날 상승 및 하강, 덤핑 올림, 덤핑 내림, 네트 전기 모터 작동, 주유 모터 작동이 있음.

3) 자동 제어 화면

자동 제어 화면에서는 공정 자동 프로그램이 구동되는 상태임. 공정 자동 제어 알고리즘에 의해 만들어진 프로그램에 의해 모든 공정이 자동으로 진행되는 화면임. 자동 제어 화면에는 각 공정에서 진행되고 있는 상태를 실시간으로 표시해 줌. 작물 공급 컨베이어의 작동 여부, 뒷문 열림 여부, 뒷문 닫힘 여부, 네트 감지 여부, 덤핑부 상승 여부를 표시해 줌. 또한 유압밸브 중에 언로딩 밸브가 작동 중인지도 같이 표시해 줌.

공정 자동 제어 프로그램은 아래와 같이 작성되어 있음.

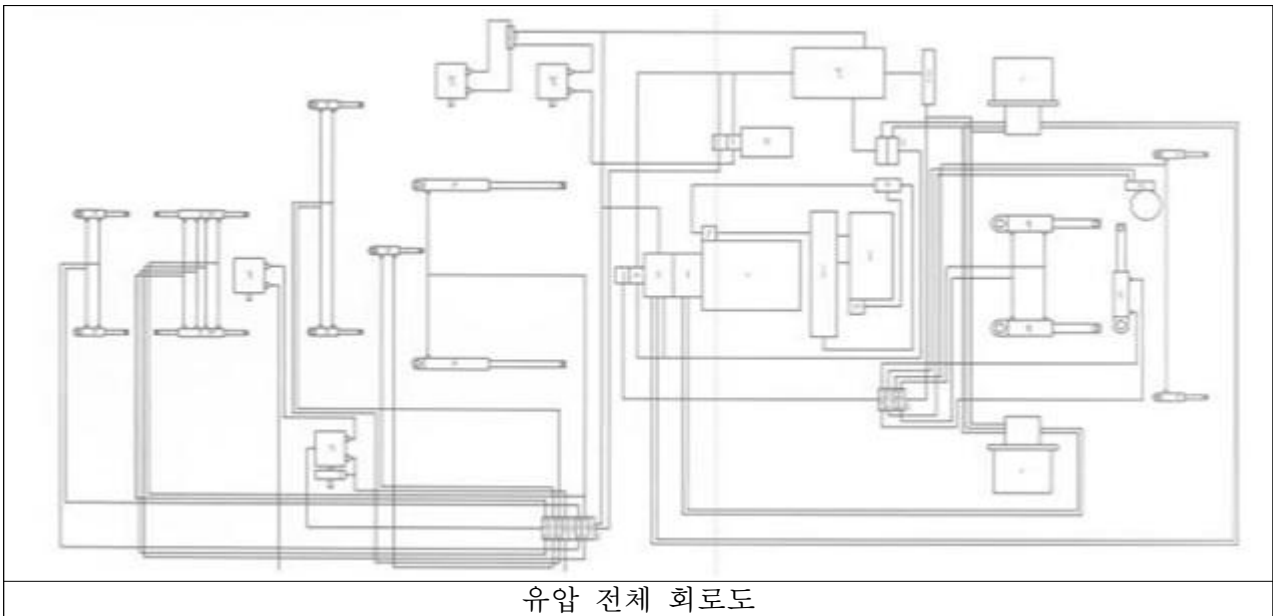




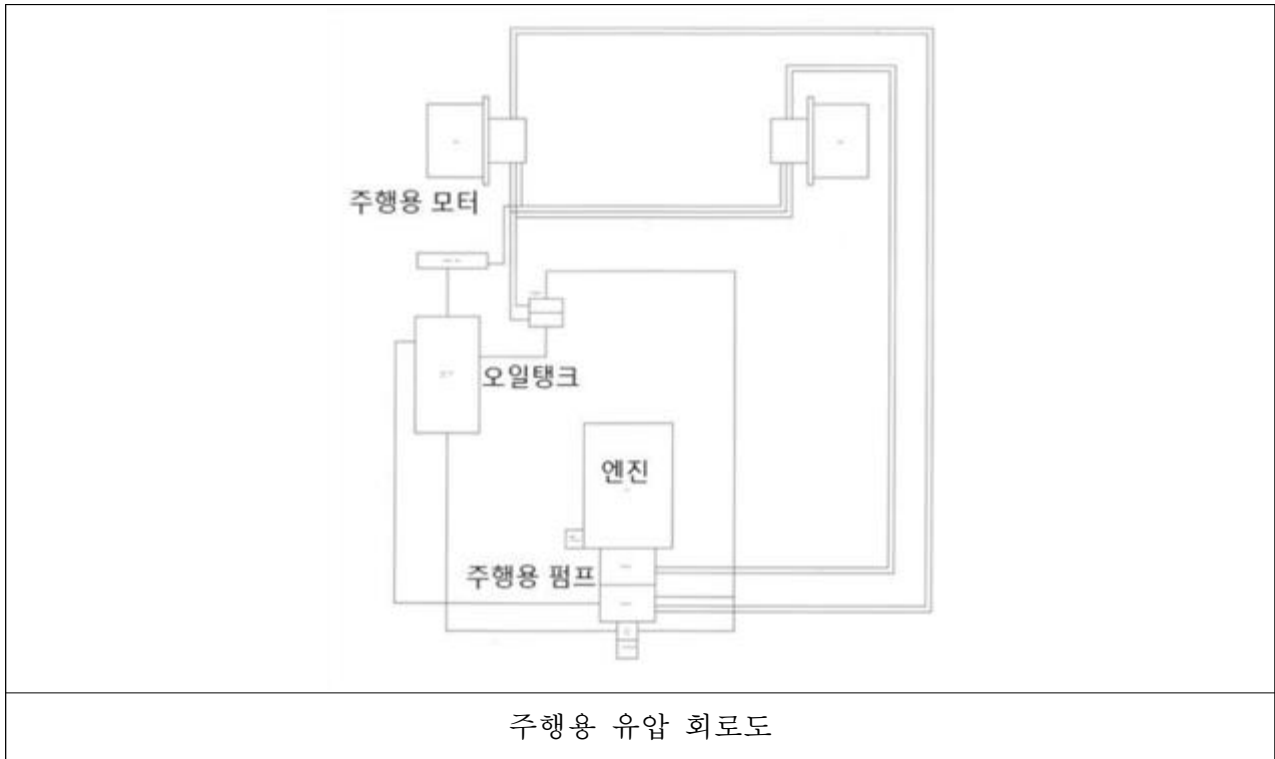
컨트롤러에 입출력 되는 신호는 다음과 같음.

- 1) 전원: 컨트롤러 자체에 필요한 전원과 솔레노이드 밸브로 보낼 전원, 컨트롤러 전원 스위치를 누르면 컨트롤러에 전원이 들어옴.
- 2) 밸브전원: 솔레노이드 밸브로 보낼 전원. 12개의 솔레노이드 밸브가 사용할 전원과 릴레이 박스로 보낼 전류를 내보내는 곳
- 3) 밸브출력: 수동 또는 자동 공정에서 각 작동부를 동작시키는 스위치가 눌러지면 해당하는 솔레노이드 밸브로 출력을 내보내는 곳. 총 12개의 출력선이 있음.
- 4) 신호입력: 공정 자동 제어에 필요한 각 공정별 상태 정보를 컨트롤러에 넣어주는 곳. 베일압력, 뒷문 닫힘, 뒷문 열림, 캠 센서, 넷 완료 센서, 넷 감지 센서, 포크 센서, 적재 센서, 덤핑 센서, 회전암 위치 센서 등이 있음.

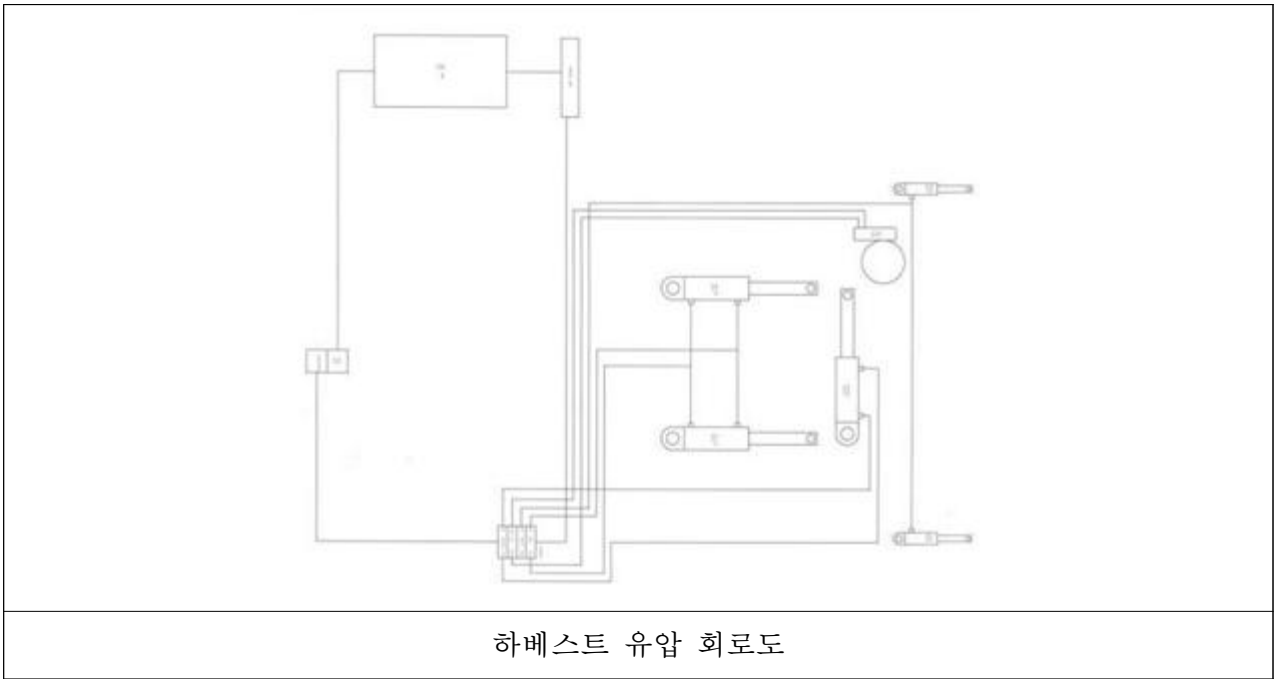
21. 유압 장치



일관작업기의 유압은 크게 3부분으로 나누어짐. 주행부, 하베스트부, 베일 랍핑부로 나눌수 있는데, 주행부는 기계의 전진, 후진, 좌우 조향, 증감속을 담당하고, 하베스트부 유압은 하베스트의 승하강, 원형드럼부 승하강, 슈트의 좌우 회전, 상부링크 전후진에 사용되며, 베일 랍핑부 유압은 호퍼의 교반용 로터 회전, 호퍼 하부 작물 공급 컨베이어 구동, 베일러 뒷문 개폐, 포크 승하강, 적재부 승하강, 덤핑부 승하강, 랍 감기 회전부 구동, 비닐 컷핑용 승하강에 사용됨.

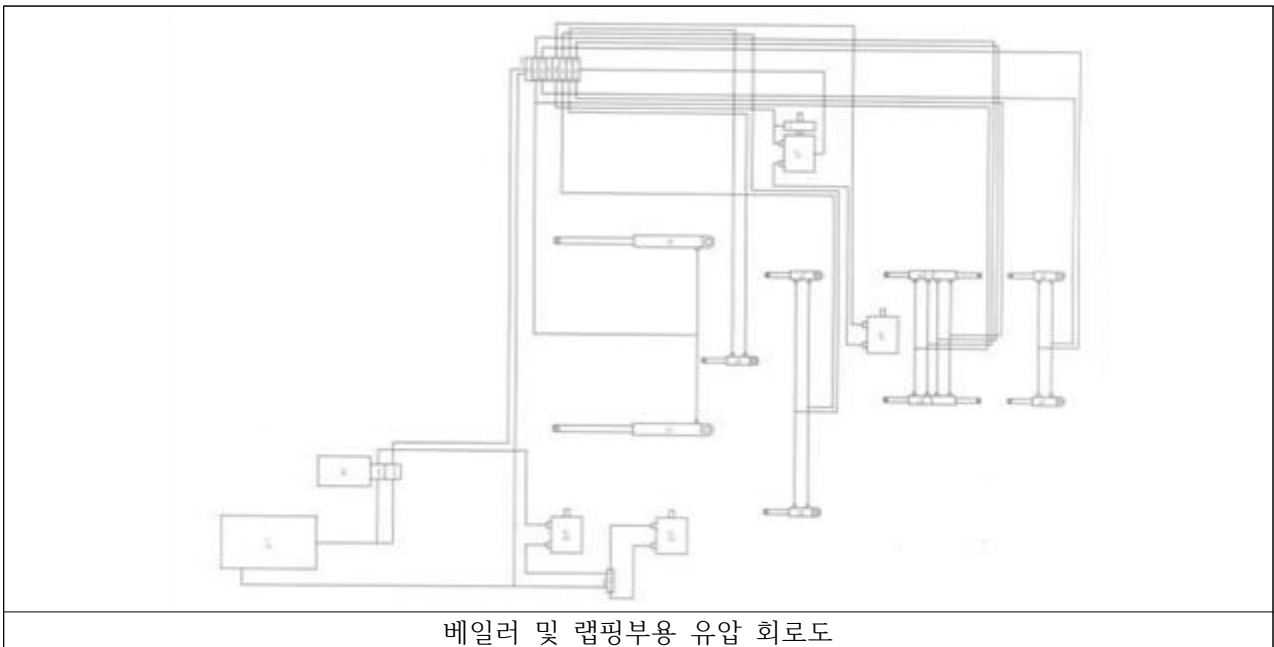


주행용 유압은 릴리이프 압력이 380kgf/cm²이고, 주행펌프의 토출량은 53cc/rev, 주행모터의 배제용적은 55cc/rev임. 조이스틱과 컨트롤러에 의해 제어되는 솔레노이드 밸브에 의해 피스톤식 주행펌프의 사판각을 조절함으로써 토출유량이 조절되고, 토출량에 비례하여 주행모터의 회전수가 결정되면서 주행속도와 좌우 조향 동작이 실행됨. 주행 제어용 프로그램이 개발되었으며, 파라메타의 변경에 따라 주행특성을 다르게 조정할 수 있기 때문에 사용자의 주행요구사항에 맞게 주행방식을 변경할 수도 있음. 예를 들면, 조이스틱에 안전스위치가 장착된 것은 반드시 안전스위치를 누르고 조이스틱을 조작해야만 작동이 되도록 하여 안전사고의 예방에 유리한 방식임. 안전스위치가 없는 조이스틱도 있는데, 조이스틱 조작이 숙달된 사용자에게는 무작업 시간을 줄이고 신속하게 기계를 조작할 수 있는 장점이 있음. 또한 전후진 선택 스위치가 장착된 조이스틱도 있는데, 전진과 후진의 조작 범위를 구분함으로써 위급 상황에서 안전을 보장할 수 있는 운전방식도 있음.




하베스트 유압 회로도

하베스트용 유압은 최고 압력이 160kgf/cm²이고, 유압펌프는 20cc/rev이며, 하베스트를 작동하는데 전용으로 사용함. 하베스트의 승하강, 원형 드럼부의 승하강, 슈트 좌우 회전, 그리고 하베스트의 상승을 최대화 할 수 있는 상부링크 전후진에 사용됨. 상부링크의 조작은 특히 경사각이 큰 포장지 진출입에 유용하게 사용됨.



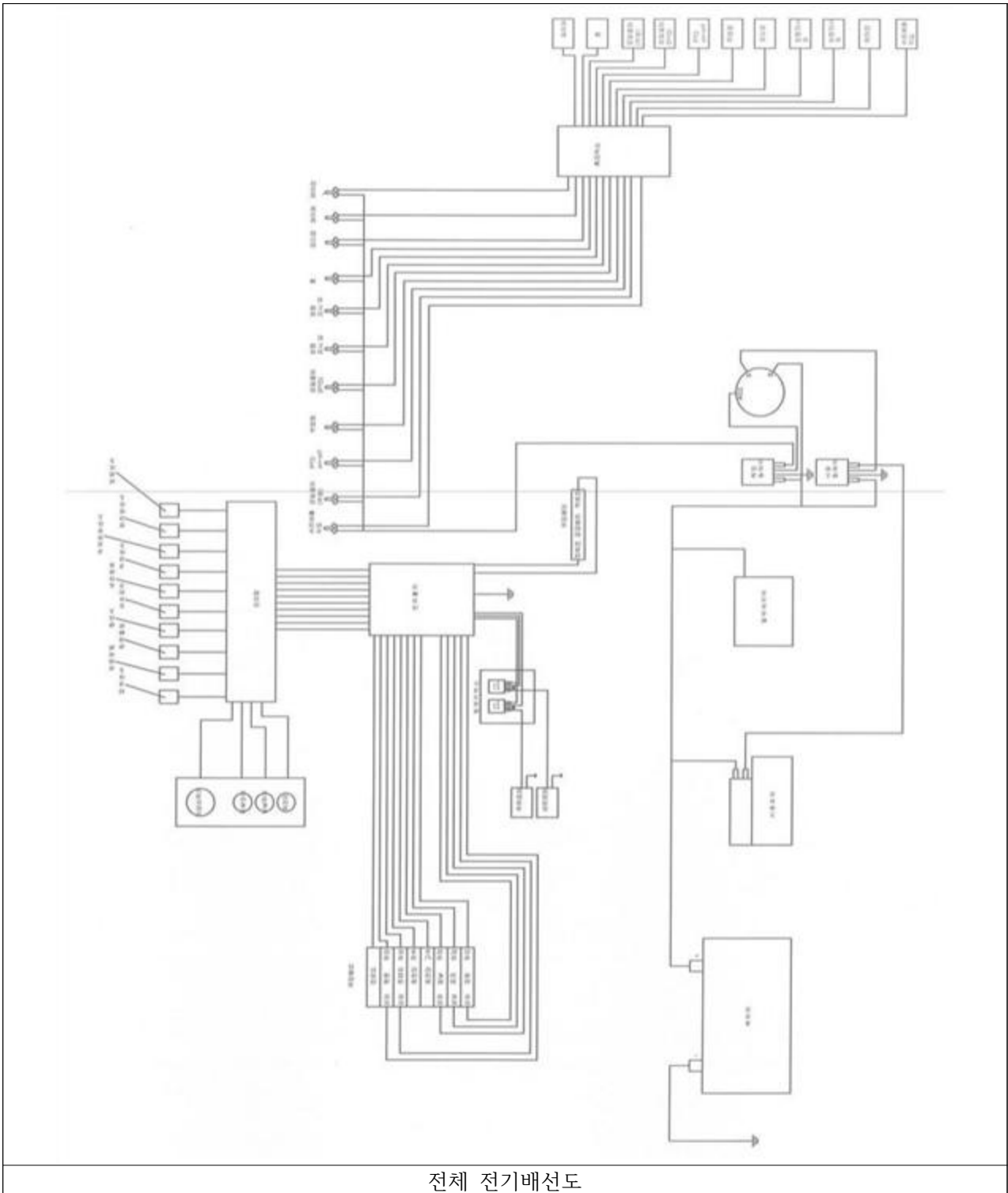
베일러 및 랩핑부용 유압 회로도

베일부와 랩핑부에는 총 21개의 솔레노이드가 사용됨. 베일러부에는 교반용 로터의 구동, 작물 공급 컨베이어의 구동 및 뒷문 개폐에 사용되고, 랩핑부에는 포크 승하강, 적재부 승하강, 회전암 구동, 비닐 커팅 칼날 승하강, 덤핑부 승하강에 사용됨. 사용 유압력은 160kgf/cm²이고, 유압펌프의 토출량은 20cc/rev임. 베일 랩핑부의 유압은 일관작업기의 공정 자동 제어에서 가장 중요한 부분임. 사용되는 유압모터는 총 4개임.

		
유압밸브 전기 배선도	유압 제어용 배선반	유압제어 컨트롤러

유압제어용 컨트롤러는 솔레노이드 밸브와 메인컨트롤러, 그리고 양쪽을 연결하는 배선반으로 구성됨. 배선반은 작동 중 어떤 문제가 발생했을 때 그 원인을 쉽게 찾을 수 있도록 배선을 구분하여 서로 접점을 연결해 놓은 것임.

22. 전기 배선



전체 전기배선도


전기배선은 엔진 배선, 주행용 배선, 사이드판넬 배선, 유압제어배선으로 구분됨. 엔진 배선은 엔진 시동과 알터네이터, 인젝션 펌프, 솔레노이드 밸브, 연료펌프에 연결되어 엔진에 필요한 전류를 보내주는 역할을 함. 주행용 배선은 조이스틱, 컨트롤러, 주행펌프의 솔레노이드 밸브와 연결되어 있으며, 일관작업기의 주행 조작에 필요한 전류를 제공하고 있음. 사이드판넬 배선은 휴즈박스, 오일 쿨러, 주차브레이크, 2단 변속, 하베스트 승하강, 원형 드럼 승하강, 슈트 좌우 회전, 탑링크 전후진, PTO 클러치 on-off, 작업등 on-off에 연결되어 있으면서 작업 중 필요한 동작을 수행하는데 필요한 전류를 공급하는 역할을 함. 유압제어 배선은 베일러 및 랩핑부의 조작에 필요한 솔레노이드 밸브의 전류를 제공하는 역할을 함.

		
베일압력센서	뒷문열림센서	뒷문닫힘센서

베일압력센서는 베일 챔버에서 뒷문 잠금장치에 설치되어 있으며, 베일 성형 시 베일의 압력을 검출하는 역할을 함.

뒷문열림센서는 뒷문의 상부 힌지점에 설치되어 있으며, 뒷문이 완전히 열렸을 때 스위치가 작동되도록 하여 유압을 차단하는 역할을 함.





뒷문 닫힘 센서는 뒷문이 완전히 닫혔을 때 스위치가 작동되도록 뒷문 잠금장치에 설치되어 있으며, 공정 자동 제어를 위한 필요조건에 해당함.

		
베일인계센서	적재완료센서	적재올림센서

베일인계센서는 포크 센서라고도 하는데, 뒷문이 열리면서 베일 챔버에서 원형 베일이 배출되면서 포크 센서를 누르게 되면 포크가 상승하는데 기여하는 센서임. 포크는 베일이 적재부에 안착되도록 보조하는 기능을 함.

적재 완료 센서는 원형 베일이 적재부에 안착되었을 때 베일에 의해 눌러지는 스위치로, 적재부가 상승하기 위한 신호를 제공하고, 뒷문을 닫기 위한 신호 역할도 함.

적재 올리 센서는 적재부의 회동부에 설치된 근접스위치로 적재부가 상승하여 수평을 이루었을 때 신호가 나오고, 랩을 감는 회전암의 회전 신호 역할을 함.

			
캠센서	네트완료센서	네트감지센서	회전암센서

캠센서는 베일러에 네트를 강제유입시킨 후 전기모터를 정지시키기 위한 신호 역할을 함. 캠센서에서 신호가 나오면 전기모터의 구동이 멈추면서 네트는 베일에 김긴채 베일의 회전력으로 네트를 계

속 감게 됨.

네트완료센서는 베일에 네트 감기가 완료된 후 네트를 절단하면서 누르게 되는 스위치임. 이 스위치의 신호는 뒷문을 개방하는 출발 신호 역할을 함.

네트 감지 센서는 네트가 베일러에 유입되고 있을 때 네트가 정상적으로 유입되고 있는지를 감시하는 센서임. 이 센서가 감지되지 않으면 10초간 대기하다가 모든 공정을 정지시키게 됨.

회전암센서는 회전암의 회전을 시작하는 위치이면서 비닐을 컷팅하기 위해 비닐 컷팅 장치가 상승할 수 있는 위치를 결정해 줌. 이 스위치가 없으면 회전암의 정지 위치를 알 수 없고, 비닐 컷팅 장치 상승 시 회전암과 충돌하는 문제가 발생할 수 있음.



메인 전원 스위치는 배터리에서 나오는 전류를 최초로 연결하는 스위치임. 이 스위치를 off하게 되면 기계의 모든 전원이 차단됨. 기계를 장기간 세워둘 때는 이 전원스위치를 off시키면 됨. 또한 기계의 전기 점검을 할 때도 메인 스위치를 차단한 다음 시행할 필요가 있음.

메인 릴레이는 엔진 시동기가 1단 움직였을 때 최초로 작동되는 릴레이로, 이 메인 릴레이를 통해서 기계의 모든 작동부에 전류가 흐르게 됨. 배터리와 메인 스위치 사이는 전선은 50A 이상의 전류가 흐를 수 있는 굵기의 전선을 사용함.

작동부 릴레이는 네트 유입용 전기모터, 체인 윤회용 펌프, 혼 등을 작동시키기 위한 것으로서, 각 작동부는 10A 이상의 전류를 소모하기 때문에 반드시 릴레이를 통해서 전류가 흐르도록 하고 있음.



실험용 배선은 실제 작물 수확작업을 하지 않고도 공정 자동 컨트롤이 가능하도록 하기 위한 것임. 스위치를 통해서 공정 자동 컨트롤러에 입력해야 하는 신호는, 베일 압력 신호, 네트 감지 신호, 네트 완료 신호, 포크 신호, 적재 신호가 있음. 각각의 신호를 별도의 전기 스위치를 연결하고, 공정 자동 흐름에 맞게 신호를 줌으로서 실제 연속 작업을 하는 것과 동일하게 기계를 움직일 수 있음. 이 실험용 배선은 공정 자동 작업에서 개선할 항목을 찾아낼 수 있고, 공정 자동 프로그램의 수정할 부분을 도출하기 위한 목적임. 이것은 실제 작업을 하지 않고 프로그램 수정 포인트를 찾아낼 수 있기 때문에 시간과 비용을 절약할 수 있는 장점이 있음.

2-4 위탁연구기관(충남대학교) 연구 내용

1) 1차년도

□ 연구목표

- 자주식 일관 작업용기 동력계측시스템 레이아웃 설계
- 자주식 일관 작업기 주행 및 작업 동력 시뮬레이션 모델 개발
- 베일러 롤러축 부하 계측 시스템 개발 및 분석
- 자주식 일관 작업기 주행 및 작업에 따른 소요동력 시뮬레이션

□ 연구결과

(1) 자주식 일관 작업기 동력계측시스템 레이아웃 설계

- 자주식 일관 작업기 동력계측시스템 레이아웃을 설계하기 위해 동력전달구조도를 분석하였으며, 자주식 일관 작업기의 동력전달구조도는 다음 그림과 같다.
- 자주식 일관 작업기는 Harvester, 주행부, 성형부, 랩핑부로 크게 4부분으로 나뉜다. 주행부는 HST로 유압을 사용하여 구동되며 랩핑부 역시 유압을 사용한다. 또한 Harvester 및 성형부는 PTO 감속기를 통해 동력을 전달받아 구동된다.
- PTO 감속기는 엔진에서 직접적으로 동력이 전달받으며, 전달받은 동력은 각각 Harvester와 성형부로 나누어져 들어간다.

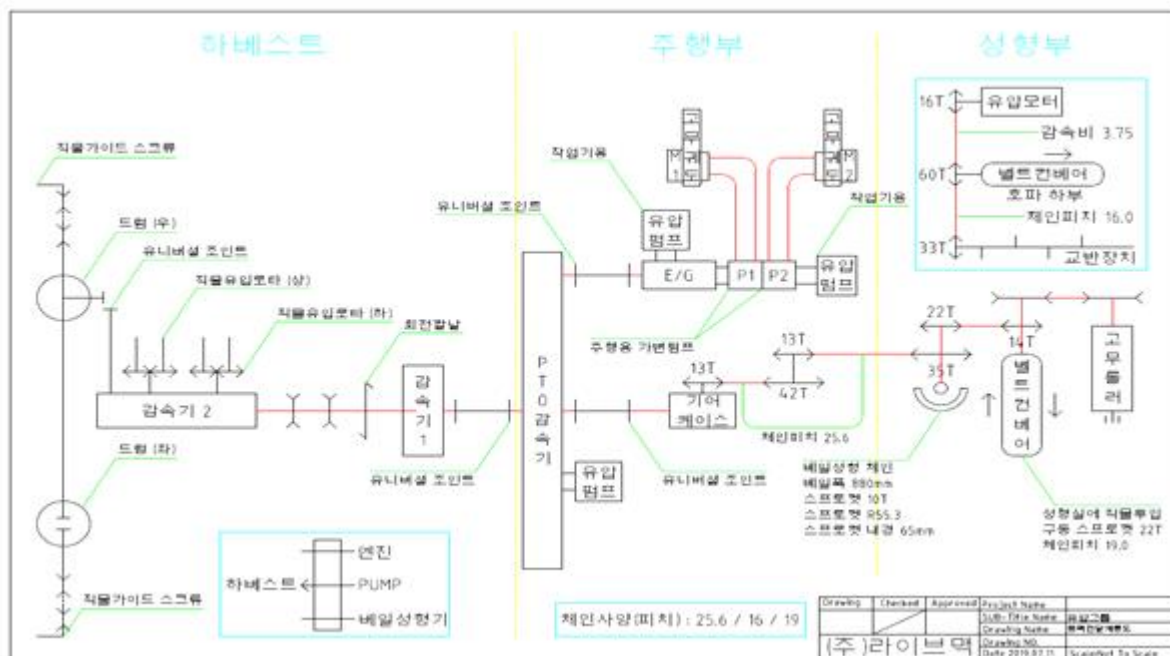


그림. 자주식 일관 작업기 동력전달구조도

- 자주식 일관 작업기의 동력계측시스템을 개발하기 위해 동력전달구조도 분석 및 학술자료 조사를 통해 주요 측정 요소(동력 소모원)를 선정하였다. 주요 동력 소모원은 하베스터, 성형부(베일러), 주행부, 랩핑부로 총 4개이며, 하베스터, 성형부(베일러)는 PTO 동력을 전달받으며, 주행부, 랩핑부는 유압 동력을 전달 받기 때문에 PTO 부하 및 유압 동력을 계측할 계획이다. 계측한 4개의 부하는 데이터 수집장치(DAQ)로 받아 모니터를 통해 실시간으로 부하가 어떻게 발생하는지 볼 수 있도록 구성할 계획이다.

다음 그림은 자주식 일관 작업기 부하계측시스템 Layout을 나타낸다.

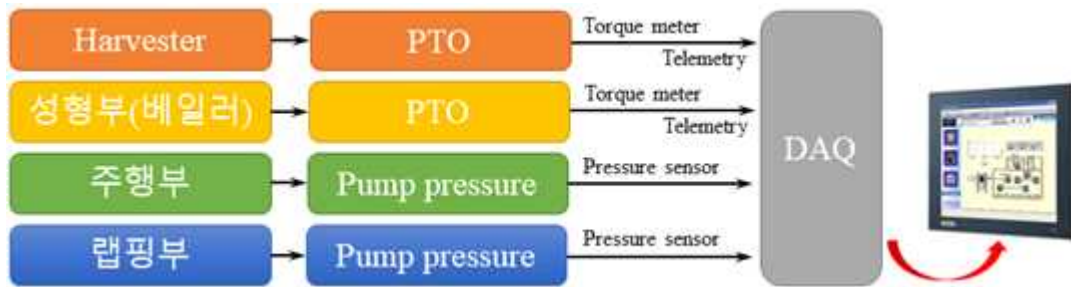


그림. 자주식 일관 작업기 동력계측시스템 Layout

- 하베스터 및 성형부(베일러) 부하를 측정하기 위해서는 PTO 부하를 측정해야 한다. PTO부하는 PTO 토크미터를 통해 계측을 수행할 예정이며, 다음 그림과 같이 독일 MANNER 社의 텔레메트리 (Telemetry) 방식의 모델 (MW B 5 kNm, Manner, Germany)을 사용할 예정이다. PTO 토크 미터는 PTO 토크 및 rpm을 동시에 측정할 수 있다.



그림. PTO 토크미터

- 주행부 및 랩핑부의 부하를 측정하기 위해서는 유압 동력을 측정해야 한다. 유압 동력은 유압 계측 센서를 통해 계측할 예정이며, 다음 그림과 같이 HYDROTECHNIK사의 HySense PR 130 모델을 사용할 예정이다. 유압 동력은 유압계측 센서를 펌프 입출력 배관에 각각 1개씩 설치하여 계측할 예정이다.



그림. 유압 계측 센서

- 토크미터, 유압 센서 등에서 발생하는 부하량 수집 계측을 하기 위해 데이터 수집장치를 설치해야 하며, 다음 그림과 같이 독일 HBM 사의 QuantumX 840B 모델을 사용할 예정이다. 데이터 수집 시의 샘플링 속도는 차축 토크의 경우 엔진의 폭발에 의한 부하 변동이 트랙터 변속기의 전동 라인을 통하여 대부분 상쇄됨에 따라 차축 회전수를 고려하여 100 Hz로 설정할 예정이다.



그림. 데이터 수집 장치(DAQ)

(2) 자주식 일관 작업기 주행 및 작업 동력 시뮬레이션 모델 개발

- 자주식 일관 작업기의 시뮬레이션 모델을 개발하기 위해 동력전달구조도를 기반으로 주요 요소부품을 선정하였다.
- 하베스터 및 성형부(베일러)에 동력을 전달해주는 PTO 감속기는 125 kW급 엔진에서 직접적으로 동력을 전달 받기 때문에 고장 및 파손에 유의해야 한다. 또한 PTO 감속기가 파손이 된다면 구동이 불가능해지므로 자주식 일관 작업기에서 주요 요소 부품이라 할 수 있다.
- 따라서, 본 연구에서는 PTO 감속기를 구성하는 기어의 단품 시뮬레이션 모델을 개발한 뒤, SI(System Integration)를 통해 PTO 기어의 전체 모델을 개발하여 받는 응력, 강도 등에 대해 해석 하였다.
- 본 연구에서 트랙터 변속기 설계 및 해석을 수행하기 위하여 사용된 기어 해석 소프트웨어는 자동차 및 다양한 분야의 기어 해석에 사용되는 KISSsoft (Version 03/2014, KISSsoft AG, Switzerland)를 사용한다. KISSsoft는 기어, 축, 베어링 등 기계요소를 모델(Modeling)하고 설정한 환경에 따라 시뮬레이션이 가능한 소프트웨어로써 ISO, AGMA, DIN 등 다양한 규격을 이용하여 기어를 최적 설계 및 해석 할 수 있는 장점이 있다.

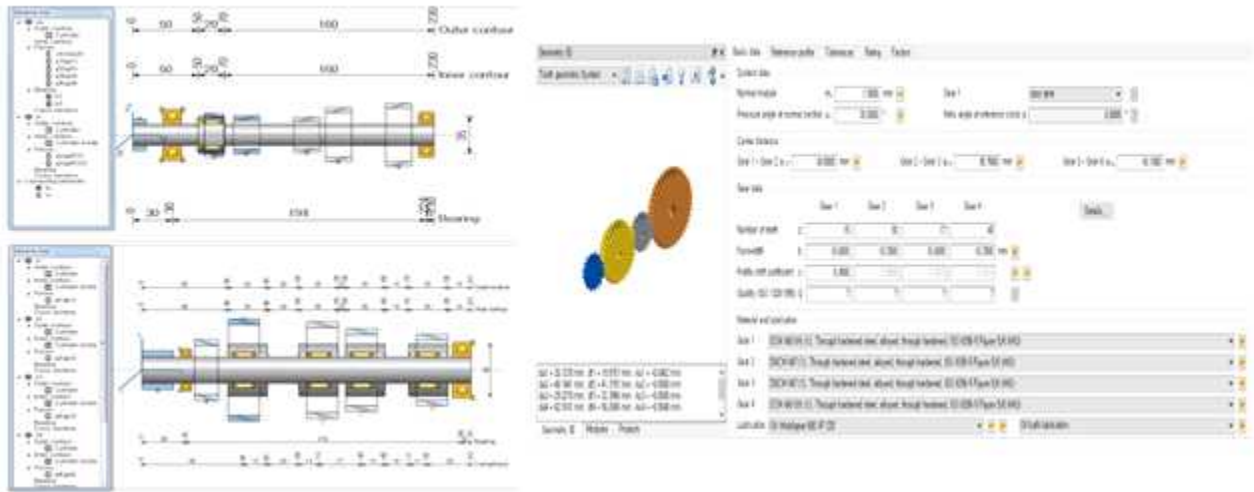


그림. 시뮬레이션 소프트웨어 인터페이스

- PTO 감속기를 구성하는 기어는 총 3개이며, 자세한 제원은 다음 표와 같다. PTO 기어 재질은 기계 구조용 합금강 SCM420을 사용하였지만 KISSsoft에서 제공하는 SCM420 재질은 열처리가 제외되어 있어 시뮬레이션에서는 요구 제원과 유사한 18CrMo4를 사용하였다.

표. PTO 감속기 기어 제원

No.	구분	1단	2단	3단
1	잇수	28	52	32
2	종류	헬리컬 기어	헬리컬 기어	헬리컬 기어
3	모듈	3.5	3.5	3.5
4	압력각	20°	20°	20°
5	비틀림 각도	18°	18°	18°
6	중심 거리	210 mm		220 mm
7	치폭	40 mm	40 mm	40 mm
8	전위 계수	0	-0.0582	-0.1012
9	재질	SCM420		

- 본 연구에서 해석할 PTO 감속기 기어는 129 kW급 엔진에서 직접 동력을 받기 때문에 시뮬레이션 모델의 입력 조건은 엔진의 정격 부하로 설정하였다. 따라서 입력 조건은 엔진의 정격 출력인 125 kW (@ 2,200 rpm)을 입력하여 이에 따른 기어가 받는 응력 및 강도에 대해 분석하였다. 다음 그림은 엔진 성능 곡선 그래프를 나타낸다.

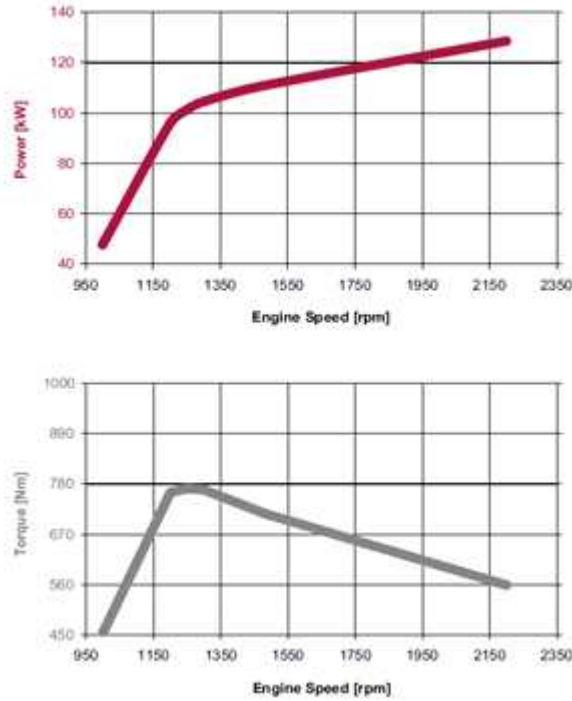


그림. 129 kW급 엔진 성능 곡선 그래프

- 본 연구에서는 자동변속기 기어 시스템의 응력, 강도에 대한 시뮬레이션 해석을 진행하였다. 굽힘 응력 및 접촉 응력은 ISO 6336:2006 Method B 규격에 있는 식을 통하여 계산하였으며 이를 이용하여 안전율을 분석하였다.

◇ 응력 시뮬레이션 결과

- 기어에 작용하는 응력은 이뿌리에서 모멘트로 인해 발생하는 굽힘 응력과 이면에서 면압으로 인해 발생하는 접촉 응력으로 구분할 수 있다. 굽힘 응력의 발생으로 이의 절손, 파손 등이 발생할 수 있으며 접촉 응력의 발생으로 이면 피로 파손인 피팅(pitting)이 발생할 수 있다. 이뿌리에서의 굽힘 응력 및 이면에서의 접촉 응력은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma_F = \sigma_{F_o} K_A K_V K_{F\beta} K_{F\alpha} \dots \dots \dots (1)$$

Where, σ_F = Bending stress

σ_{F_o} = Nominal bending stress

K_A = Application factor

K_V = Dynamic factor

$K_{F\beta}$ = Face load factor

$K_{F\alpha}$ = Transverse load factor

$$\sigma_H = \sigma_{H_o} Z_B \sqrt{K_A K_V K_{F\beta} K_{F\alpha}} \dots \dots \dots (2)$$

Where, σ_H = Contact stress

σ_{Ho} = Nominal contact stress

Z_B = Pinion single pair tooth contact factor

- 주어진 부하 조건에 따른 PTO 감속기 기어의 굽힘 응력과 접촉 응력 시뮬레이션 결과는 다음 그림과 같이 나타났다. 가장 낮은 굽힘 응력은 PTO 기어 2에서 160.4 N/mm^2 으로 나타났으며, 가장 낮은 접촉 응력은 PTO 기어 3에서 728.9 N/mm^2 으로 나타났다. 반면에, 최대 굽힘 응력은 PTO 기어 3에서 530.1 N/mm^2 으로 나타났으며, 최대 접촉 응력은 PTO 기어 2에서 1448.3 N/mm^2 으로 나타났다.

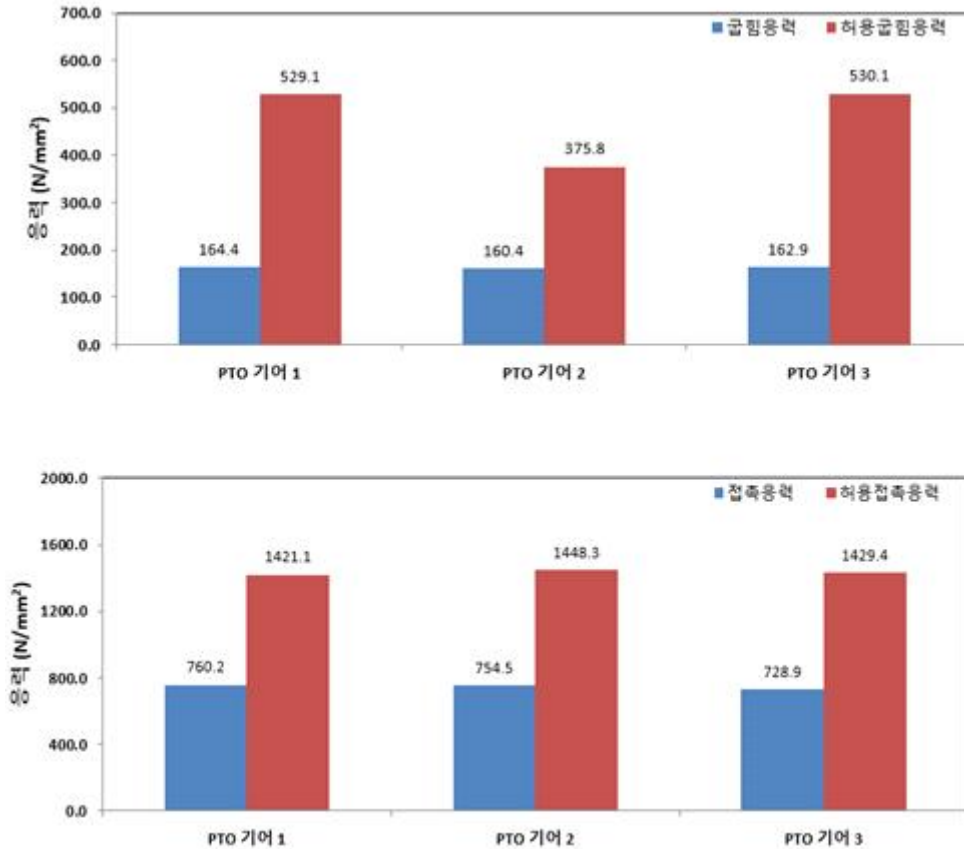


그림. PTO 감속기 기어 굽힘/접촉 응력

◇ 안전율 시뮬레이션 결과

- 안전율은 기어의 강도 해석 시 중요한 지표로써, 기어를 설계할 때 굽힘 응력과 접촉 응력에 대하여 기어가 어느 정도 견딜 수 있는지를 나타낸다. 안전율은 기어에서 발생하는 작용 응력과 한계 응력의 비로 계산된다. 안전율은 사용 목적 등에 따라 요구 안전율이 다르지만 일반적으로 1보다 크게 설정하며, 안전율이 1보다 작을 경우에는 기어의 내구 수명 감소 및 기어 파손 등에 의하여 운전자에게 위험을 가져오게 되므로 안전율을 신중하게 선정하여야 한다. 굽힘 안전율과 접촉 안전율은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$S_F = \sigma_{FG} / \sigma_F \dots \dots \dots (3)$$

Where, S_F = Safety factor for bending stress

σ_{FG} = Limit bending stress

$$S_H = \sigma_{HG} / \sigma_H \dots \dots \dots (4)$$

Where, S_H = Safety factor for contact stress

σ_{HG} = Limit contact stress

- 주어진 부하 조건에 따른 PTO 감속기 기어의 굽힘 응력과 접촉 응력 시뮬레이션 결과는 다음 그림과 같이 나타났다. 가장 낮은 굽힘 안전율은 PTO 기어 2에서 3.206으로 나타났으며, 가장 낮은 접촉 안전율은 PTO 기어 1에서 1.869로 나타났다. 반면에, 최대 굽힘 안전율은 PTO 기어 3에서 4.555로 나타났으며, 최대 접촉 안전율은 같은 기어에서 1.961로 나타났다. 굽힘 안전율과 접촉 안전율 모두 평균적으로 1.0 보다 높게 나타나 PTO 감속기 기어들은 요구 수명 동안 안전할 것으로 판단된다.

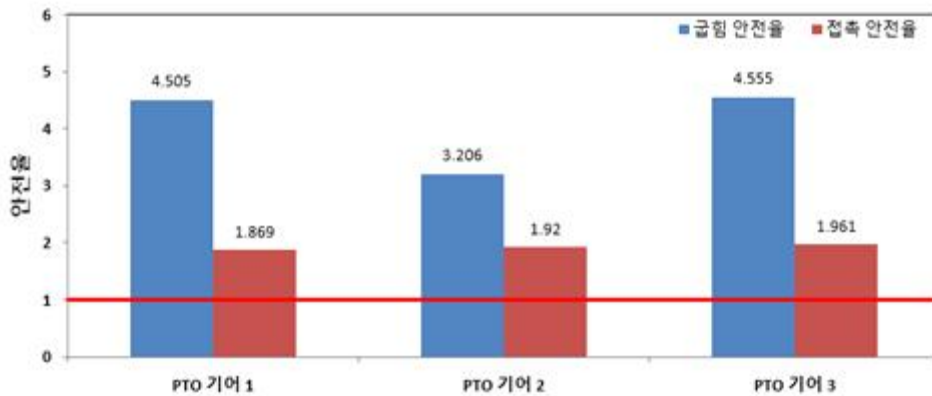


그림. PTO 감속기 기어 굽힘/접촉 안전율

(3) 베일러 롤러축 부하 계측 시스템 개발 및 분석

- 베일러 작업 시 발생하는 부하 및 베일 압력을 계측하기 위해 다음 그림과 같이 부하 계측용 트랙터(S07, TYM, Korea)를 사용하였다.
- 트랙터 크기는 4,225(L) × 2,140(W) × 2,830(H) mm, 공차 중량은 3,985 kg이다. 트랙터 변속기는 유압기계식 변속기가 탑재되어있으며, 전·후진은 파워셔틀(power shuttle)로 구성되어 있다. 주변속은 4단의 동기물림기어식과 파워시프트로(High, Low) 구성되어 있으며, 부변속은 상시물림식의 4단으로 총 전진 32단, 후진 32단의 변속 단수를 갖는다. 트랙터의 자세한 제원은 다음 표와 같다.



그림. 부하 계측용 트랙터(TS07, TYM)

표. 부하 계측용 트랙터 제원

Item		Specifications
Length × Width × Height (mm)		4,225 × 2,140 × 2,830
Weight (kg)		3,985
Engine	Rated power(kW)	78.3 @2300 rpm
	Max. torque(Nm)	430 @1400 rpm
Transmission	32F/32R	2(Power shift) × 4(Speed) × 4(Gear)

- 베일러 작업을 위해 사용된 작업기는 라이브맥에서 개발한 대형 베일러(L325, Livemac, Korea)를 사용하였으며 자세한 제원은 다음 표와 같다. 아래 그림은 부하 계측용 트랙터에 베일러 작업기를 장착한 그림이다.



그림. 부하 계측용 트랙터에 장착한 베일러

표. 부하 계측용 트랙터 제원

Item	Specifications
베일 크기(cm)	Ø125×120
PTO 속도(rpm)	540
적용 트랙터(kW(HP))	67(90) 이상
길이 × 폭 × 높이(cm)	349 × 243 × 240
중량(kg)	3,180
픽업폭(cm)	200
롤러수	18
결속장치	네트방식
컨트롤 방식	유성 리모컨

- 베일러는 PTO 구동으로 작업을 수행하기 때문에 베일러 작업 시 발생하는 부하는 PTO에 발생하는 부하를 측정하였다.
- PTO 부하를 계측하기 위해 PTO 토크미터를 이용하였으며 다음 그림과 같다. PTO 토크미터는 독일 MANNER社の 텔레메트리(Telemetry) 방식의 모델 (PTO Flansch, Serial No. 70246)을 사용하였다. PTO 토크미터는 PTO축의 토크 및 rpm을 측정할 수 있으며, 토크는 0~3,000 Nm, 회전 속도는 0~2,000 rpm 까지 측정 가능하다. PTO 토크미터는 스트레인게이지 타입이며, 작동 온도 범위는 -10~85°C 까지 작동 가능하며 PTO 토크미터에 대한 자세한 제원은 다음 표와 같다. PTO 토크에서 측정된 데이터는 Amplifier에 연결되고, Amplifier의 출력측에서 데이터 수집 장치로 연결된다. PTO 토크미터는 작업기와의 동력취출축 연결 또는 농작업 시 외부 요인에 의한 파손을 방지할 수 있도록 외부 케이스를 설치하였다.



그림. PTO 토크미터(좌) 및 Amplifier(우)

표. PTO 토크미터 제원

Term	Value
Nominal load	3 kNm
Maximum load	400%
Maximum breaking load	800%
Pulse rate RPM detection	100 pulses
Sensor	Strain gauge (strain gauge resistor $\geq 350 \Omega$)
Sample rate	6.62 kHz
Resolution	16 Bit with 16 Bit CRC
Maximum speed	2,000 rpm
Temperature	-10 to +85°C

- 베일러 작업을 수행하는 동안 베일 압력에 대해 측정하기 위해 베일러의 후방 챔버 개폐 후크에 로드셀을 설치하였다. 후방 챔버 개폐 후크는 베일의 크기가 커질수록 점점 압력을 받기 시작하며, 베일의 크기가 최대가 되어 배출될 때 작용하던 압력이 사라지기 때문에 배출 직전에 받는 압력을 베일의 압력으로 볼 수 있다. 압력을 측정하기 위해 사용된 로드셀은 FUTEK사의 LCB500_FSH04166 모델을 선정하였으며, 자세한 제원은 다음 표와 같다.



그림. 후방 챔퍼 개폐 후크



그림. 베일 압력 계측 로드셀(LCB500_FSH04166)

표. 베일 압력 계측 로드셀 제원

Term	Value
Capacity	5,000 lb
Rated Output(RO)	1.5 mV/V
Excitation(VDC or VAC)	18 max
Weight	0.39 kg
Safe load	150% of RO
Connection	6 pin BENDIX Receptacle (PT02E)

- 기존의 후방 챔퍼 개폐 후크에 로드셀을 설치하기 위해 3D 모델링을 통해 설계 및 제작하였다. 베일의 크기가 커질수록 후크가 오른쪽은 잡아당겨지면서 접시스프링이 압축이 되며 이에 따라 판에 붙어있는 로드셀에 힘이 들어가 압력이 측정되는 시스템이다. 아래 그림은 로드셀을 설치한 후방 챔퍼 개폐 후크의 3D 모델 및 제작 사진을 나타낸다.

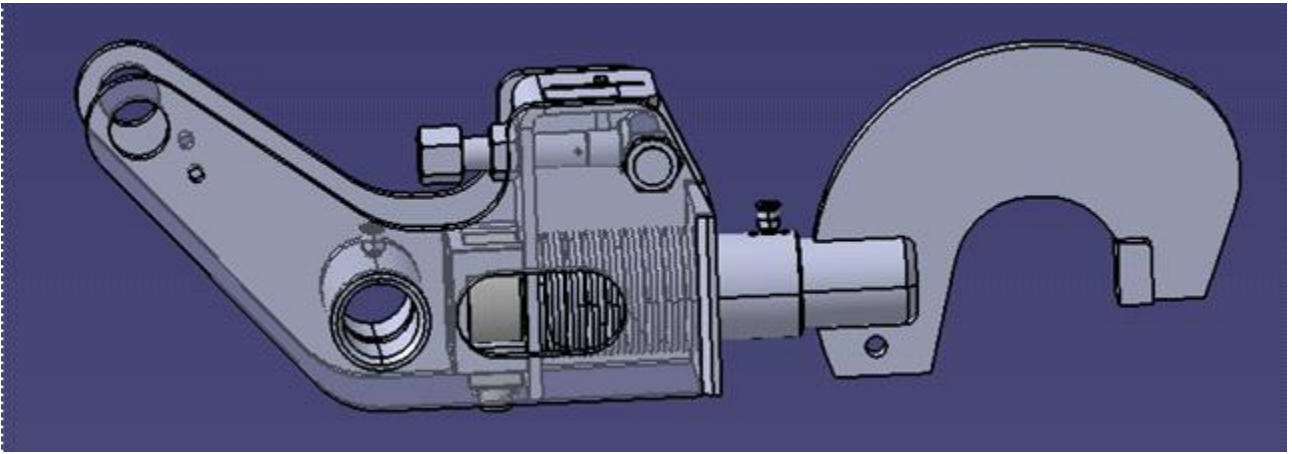


그림. 로드셀을 설치한 후방 챔버 개폐 후크 3D 모델



그림. 로드셀을 설치한 후방 챔버 개폐 후크 제작 사진(좌) 및 베일리에 장착한 사진(우)

- PTO 부하 및 베일 압력의 데이터 측정이 가능하도록 데이터 수집 장치(CRONOS compact CRC-400-11, IMC, Germany)를 이용하여 다음 그림과 같이 구성하였으며, 자세한 제원은 다음 표와 같다.

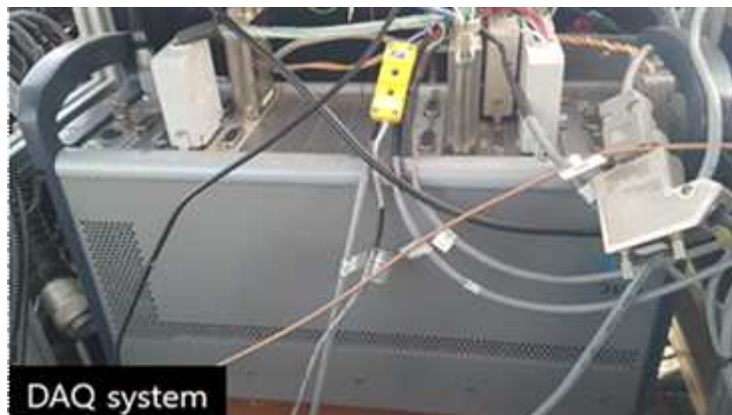


그림. 계측용 트랙터에 설치된 데이터 수집장치

표. 데이터 수집장치 제원

Item	Specification
Width × Height × Depth	353 mm × 155 mm × 264 mm
Max. module slots	11
Max. aggregate sampling rate	400 kS/s
DC power supply	10V to 32 VDC
Operating temperature	-40 to +85°C

- 본 연구에서는 아래 그림과 같이 전주에 위치하고 있는 필드를 수급하여 베일러 필드작업을 실시하였으며, 자세한 필드 시험지 정보는 다음 표와 같다.
- 필드작업은 작업자에 따라 부하 패턴이 다르게 나타나기 때문에, 수집된 데이터의 신뢰성 향상을 위하여 (주)라이브맥의 숙련된 전문가에 의해 진행되었다.



그림. 전주시에 위치한 베일러 필드시험지

표. 베일러 필드시험지 정보

필드시험지	주소	시험지 크기
Field 1	전북 전주시 덕진구 도도동 401-4	730평

- 베일러 필드시험지 시 설정한 작업 단수는 실제 농민이 가장 많이 사용하는 단수에 대하여 실시하였다. 또한, 베일 압력의 수준을 다르게 측정하기 위해 근접센서의 거리를 5, 10 mm로 설정하였으며, 베일러 작업은 아래 표와 같은 단수조건에서 2반복 실시하였다.
- 근접센서의 거리는 본 연구에 사용한 베일러 작업기에서 자체적으로 압력 수준을 설정하기 위해 장착된 센서이며, 근접센서의 거리가 멀어질수록 베일 압력이 더 크게 작용하게 된다.

표. 베일러 포장시험 조건

Field operation	Operation conditions	
	Transmission	Sensor distance (mm)
Baler	M1 Low (3.78 km/h)	5
		10
	M1 High (4.5km/h)	5
		10

- 필드 시험지의 토양 환경 분석은 토성, 수분함량, 관입저항(Cone Index), 전기전도도를 조건으로 실시하였으며, 그 결과는 다음 표와 같다.
- 토성분석은 포장시험지의 임의의 열 곳을 대상으로 시료를 채취하여 Hydrometer Method 및 미 농무성(USDA) 법의 의해 분석하였다.
- 관입저항은 Soil compaction meter(SC900, Spectrum Technology, E Plainfield, USA)를 이용하여 포장 시험지 임의의 30곳을 선정하여 반복 측정하였다.
- 수분 함량 및 전기전도도는 토양환경센서(TDR 350, Spectrum Technology, E Plainfield, USA)를 이용하여 포장 시험지 임의의 곳 10곳을 선정하여 각각의 지점에서 3회 반복 측정하였다.



그림. 포장시험지의 토양 환경 분석 방법

표. 필드시험지의 토양 성분 분석 결과

필드 시험지	토성	평균 수분함수량 (%)	평균 원추관입지수 (kPa)	전기 전도도 (ds/m)
Field 1	Clay loam	36.18	591.5	0.33

- 베일러 작업 이후 베일 압력 수준과 베일 무게에 대해 비교 분석을 하기 위해 무게 측정기 및 로더를 이용하여 베일 무게를 측정하였다.
- 베일 무게는 아래 그림과 같이 줄을 로더 및 베일에 묶어 그 사이에 무게 측정기를 매단 후 로더를 들어올리면 베일 무게가 측정이 가능하도록 세팅하였다.



그림. 베일 무게 측정 방법(좌) 및 무게 측정기(우)

(3.1.1) 김제 Field 1 M1 high_(5mm 압력)에서 베일러 작업 시 부하 데이터

□ 베일러 압력

- 베일러의 압력은 베일 형성 시 40 sec에서 압력이 급격히 증가하기 시작하여 50 sec에서 최대치인 432.5 kgf로 나타났으며, 베일 결속 구간에서는 압력이 점차 감소되었다. 배출 구간인 60 sec에서 챔버 개방으로 인한 급격한 압력 감소가 나타났다.

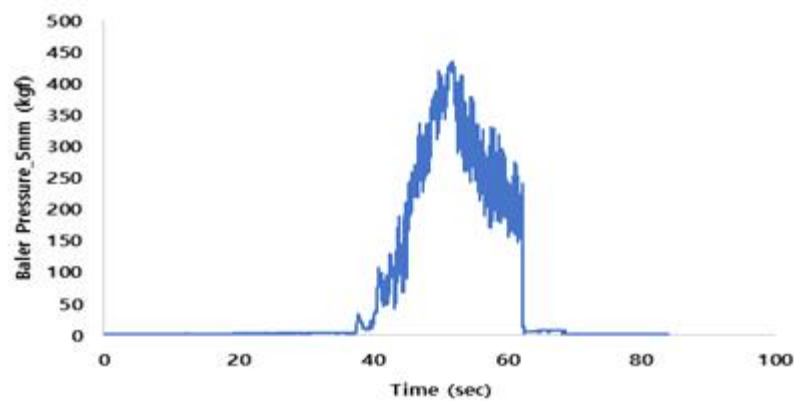


그림. M1 high에서 베일러 작업 시 베일 압력

□ PTO 토크 및 출력

- PTO 입력 토크 및 출력은 베일 형성 시 챔버 내 수확물의 증가에 따라 지속적으로 증가하여 최대 2,300 Nm, 110 kW 이상까지 상승하였으며, 베일 결속 구간에서는 트랙터의 정지와 챔버로 유입되는 수확물의 감소에 따라 토크가 감소되었다. 배출 구간에서는 챔버 개폐 후 베일 배출을 위한 회전력 증가로 순간적으로 PTO 토크가 상승되었으며, 배출 이후 급격히 감소되었다.

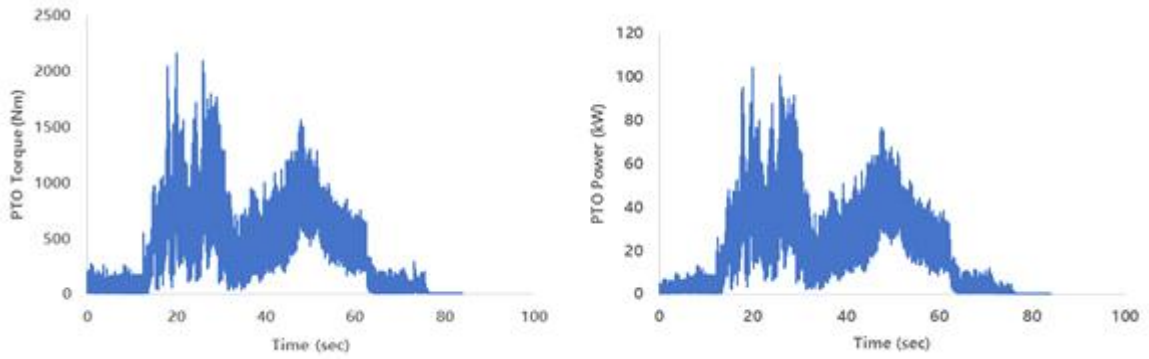


그림. M1 high에서 베일러 작업 시 PTO 토크 및 출력

□ 부하 데이터 통계 분석

- M1 high 5mm 조건에서 베일러 작업 시 베일러 압력, PTO 토크 분석 결과는 아래 표와 같이 나타났다.
- 베일러 압력은 최대, 평균, 표준편차는 각각 432.5, 66.4, 119.92 kgf로 나타났다.
- PTO의 부하 분석 결과 토크의 최대, 평균, 표준편차는 각각 2168.4, 390.81, 376.91 Nm로 나타났으며, 회전속도는 각각 535.37, 435.3, 97.66 rpm으로 나타났다. PTO의 출력은 최대, 평균, 표준편차는 각각 104.31, 19.59, 19.08 kW로 나타났다.

표. M1 high_(5mm 압력) 조건에서 베일러 작업 시 부하 분석 결과

		Maximum	Average	Standard deviation
Baler pressure	Pressure(bar)	432.5	66.4	119.92
PTO	Torque (Nm)	2168.4	390.81	376.91
	Rotational speed (rpm)	535.37	435.3	97.66
	Power (kW)	104.31	19.59	19.08

(3.1.2) 김제 Field 1 M1 high_(10mm 압력)에서 베일러 작업 시 부하 데이터

□ 베일러 압력

- 베일러의 압력은 베일 형성 시 40 sec에서 압력이 급격히 증가하기 시작하여 70 sec에서 최대치인 773.02 kgf로 나타났으며, 베일 결속 구간에서는 압력이 점차 감소되었다. 배출 구간인 80 sec에서 챔버 개방으로 인한 급격한 압력 감소가 나타났다.

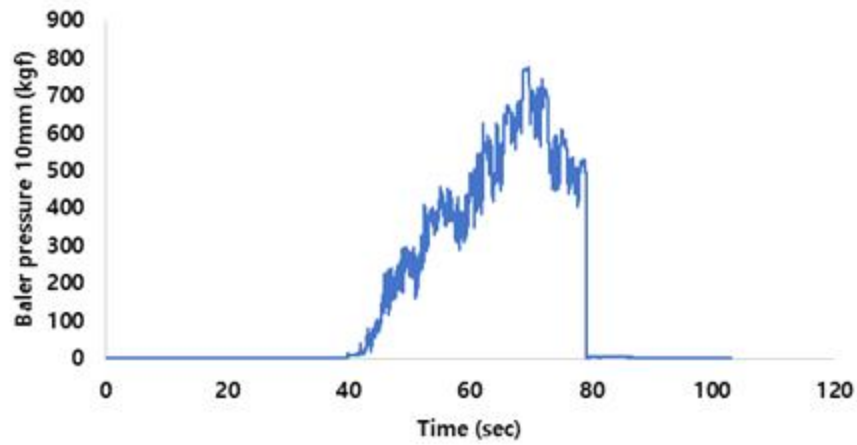


그림. M1 high에서 베일러 작업 시 베일러 압력

□ PTO 토크 및 출력

- PTO 입력 토크 및 출력은 베일 형성 시 챔버 내 수확물의 증가에 따라 지속적으로 증가하여 최대 2,300 Nm, 110 kW 이상까지 상승하였으며, 베일 결속 구간에서는 트랙터의 정지와 챔버로 유입되는 수확물의 감소에 따라 토크가 감소되었다. 배출 구간에서는 챔버 개폐 후 베일 배출을 위한 회전력 증가로 순간적으로 PTO 토크가 상승되었으며, 배출 이후 급격히 감소되었다.

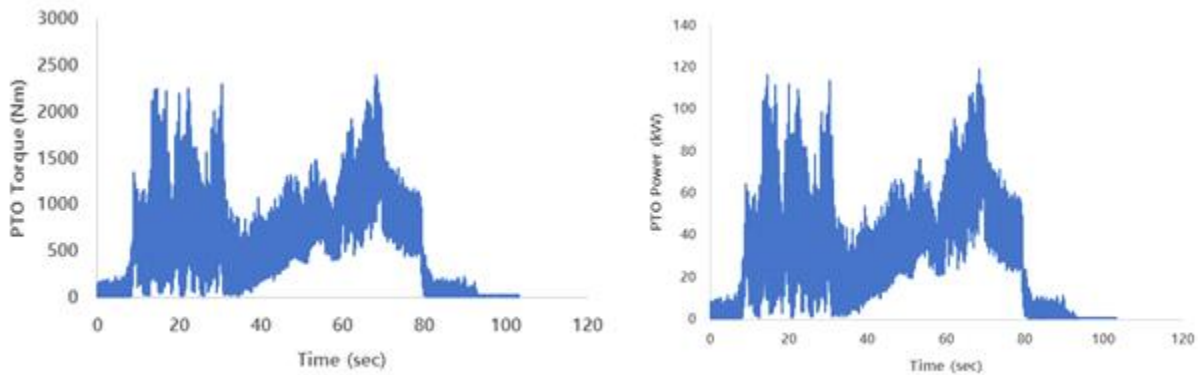


그림. M1 high에서 베일러 작업 시 PTO 토크 및 출력

□ 부하 데이터 통계 분석

- M1 high 10mm 조건에서 베일러 작업 시 베일러 압력, PTO 토크 분석 결과는 아래 표와 같이 나타났다.
- 베일러 압력은 최대, 평균, 표준편차는 각각 773.02, 152.99, 232.28 kgf로 나타났다.
- PTO의 부하 분석 결과 토크의 최대, 평균, 표준편차는 각각 2385.09, 559.70, 472.68 Nm로 나타났으며, 회전속도는 각각 523.17, 455.14, 86.76 rpm으로 나타났다. PTO의 출력은 최대, 평균, 표준편차는 각각 119.19, 28.44, 24.09 kW로 나타났다.

표. M1 high_(10mm 압력) 조건에서 베일러 작업 시 부하 분석 결과

		Maximum	Average	Standard deviation
Baler Pressure	Pressure (kgf)	773.02	152.99	232.28
PTO	Torque (Nm)	2385.09	559.7	472.68
	Rotational speed (rpm)	523.17	455.14	86.76
	Power (kW)	119.19	28.44	24.09

(3.1.3) 김제 Field 1 M1 low_(5mm 압력)에서 베일러 작업 시 부하 데이터

□ 베일러 압력

- 베일러의 압력은 베일 형성 시 50 sec에서 압력이 급격히 증가하기 시작하여 50 sec에서 최대치인 438.49 kgf로 나타났으며, 베일 결속 구간에서는 압력이 점차 감소되었다. 배출 구간인 60 sec에서 챔버 개방으로 인한 급격한 압력 감소가 나타났다.

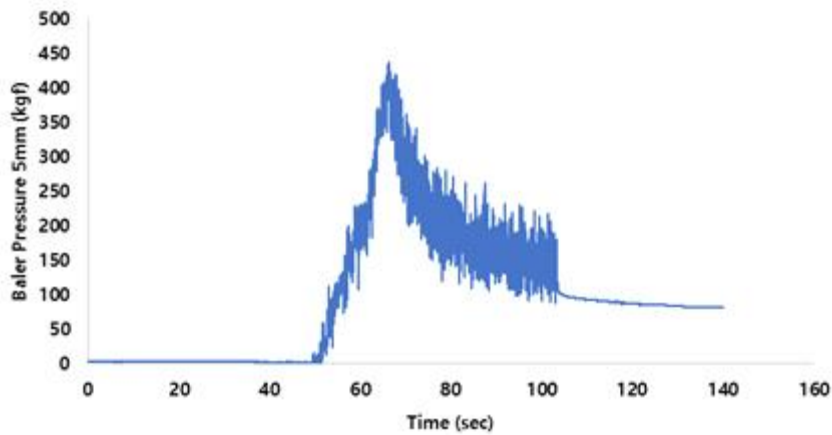


그림. M1 low에서 베일러 작업 시 베일러 압력

□ PTO 토크 및 출력

- PTO 입력 토크 및 출력은 베일 형성 시 챔버 내 수확물의 증가에 따라 지속적으로 증가하여 최대 2,300 Nm, 110 kW 이상까지 상승하였으며, 베일 결속 구간에서는 트랙터의 정지와 챔버로 유입되는 수확물의 감소에 따라 토크가 감소되었다. 배출 구간에서는 챔버 개폐 후 베일 배출을 위한 회전력 증가로 순간적으로 PTO 토크가 상승되었으며, 배출 이후 급격히 감소되었다.

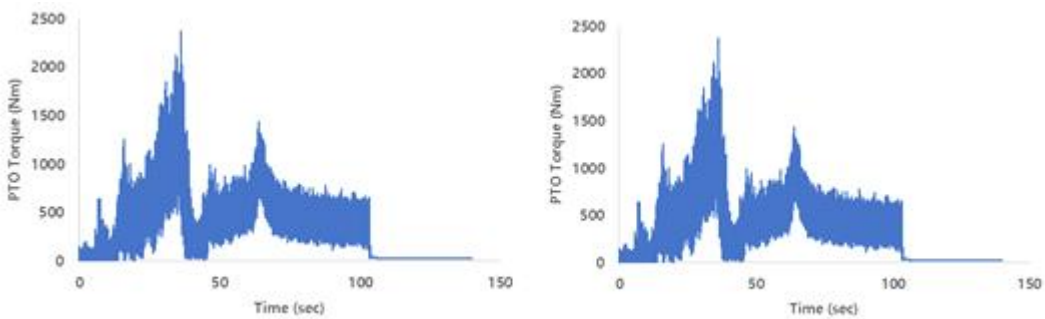


그림. M1 low에서 베일러 작업 시 PTO 토크 및 출력

□ 부하 데이터 통계 분석

- M1 high 5mm 조건에서 베일러 작업 시 베일러 압력, PTO 토크 분석 결과는 아래 표와 같이 나타났다.

- 베일러 압력은 최대, 평균, 표준편차는 각각 438.49, 97.07, 97.86 kgf로 나타났다.
- PTO의 부하 분석 결과 토크의 최대, 평균, 표준편차는 각각 2375.93, 354.42, 333.2 Nm로 나타났으며, 회전속도는 각각 531.73, 426.83, 118.41 rpm으로 나타났다. PTO의 출력은 최대, 평균, 표준편차는 각각 121.76, 18.15, 17.45 kW로 나타났다.

표. M1 low_(5mm 압력) 조건에서 베일러 작업 시 부하 분석 결과

		Maximum	Average	Standard deviation
Baler pressure	Pressure(kgf)	438.49	97.07	97.86
PTO	Torque (Nm)	2375.93	354.42	333.2
	Rotational speed (rpm)	531.73	426.83	118.41
	Power (kW)	121.76	18.15	17.45

(3.1.4) 김제 Field 1 M1 low_(10mm 압력) 에서 베일러 작업 시 부하 데이터

□ 베일러 압력

- 베일러의 압력은 베일 형성 시 50 sec에서 압력이 급격히 증가하기 시작하여 80 sec에서 최대치인 765.75 kgf로 나타났으며, 베일 결속 구간에서는 압력이 점차 감소되었다. 배출 구간인 90 sec에서 챔버 개방으로 인한 급격한 압력 감소가 나타났다.

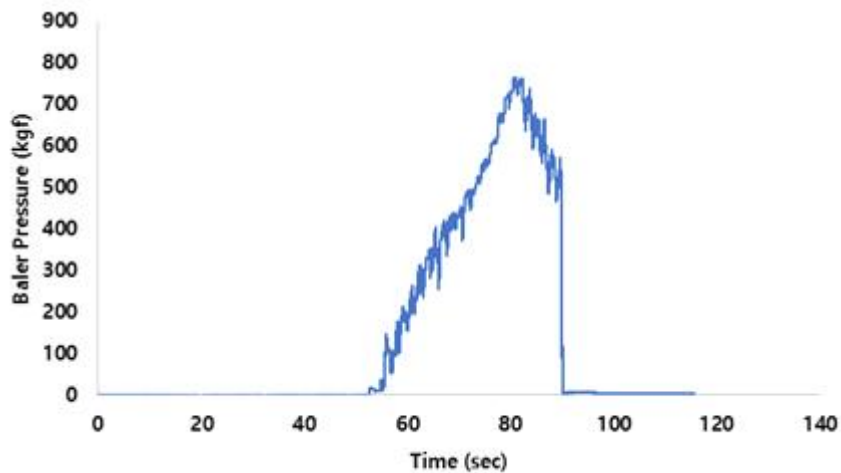


그림. M1 low에서 베일러 작업 시 베일러 압력

□ PTO 토크 및 출력

- PTO 입력 토크 및 출력은 베일 형성 시 챔버 내 수확물의 증가에 따라 지속적으로 증가하여 최대 2,200 Nm, 110 kW 이상까지 상승하였으며, 베일 결속 구간에서는 트랙터의 정지와 챔버로 유입되는 수확물의 감소에 따라 토크가 감소되었다. 배출 구간에서는 챔버 개폐 후 베일 배출을 위한 회전력 증가로 순간적으로 PTO 토크가 상승되었으며, 배출 이후 급격히 감소되었다.

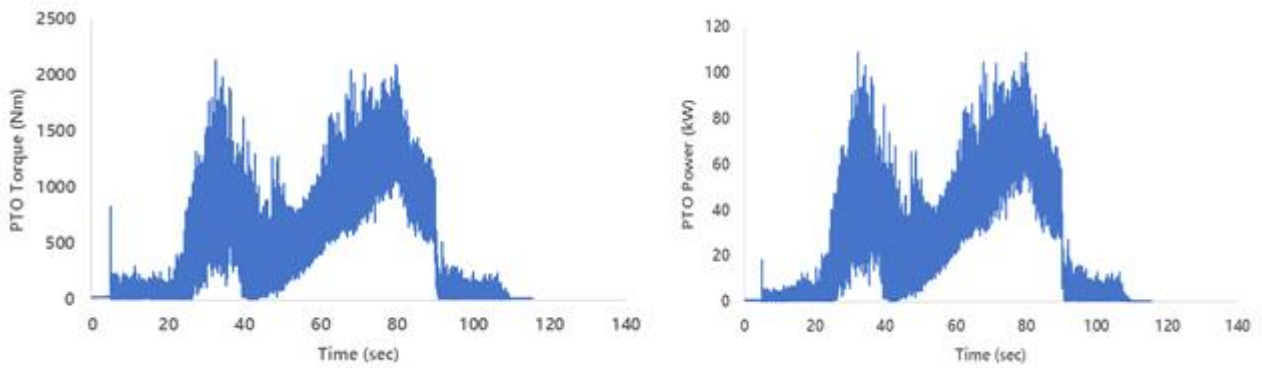


그림. M1 low 조건에서 베일러 작업 시 PTO 토크 및 출력

□ 부하 데이터 통계 분석

- M1 high 조건에서 베일러 작업 시 베일러 압력, PTO 토크 분석 결과는 아래 표와 같이 나타났다.
- 베일러 압력은 최대, 평균, 표준편차는 각각 765.75, 136.27, 236.01 kgf로 나타났다.
- PTO의 부하 분석 결과 토크의 최대, 평균, 표준편차는 각각 2133.30, 479.71, 479.56 Nm로 나타났으며, 회전속도는 각각 538.34, 447, 105.93 rpm으로 나타났다. PTO의 출력은 최대, 평균, 표준편차는 각각 108.98, 24.79, 25.14 kW로 나타났다.

표. M1 low_(10mm 압력) 조건에서 베일러 작업 시 부하 분석 결과

		Maximum	Average	Standard deviation
Baler Pressure	Pressure (kgf)	765.75	136.27	236.01
PTO	Torque (Nm)	2133.30	479.67	479.56
	Rotational speed (rpm)	538.34	447	105.93
	Power (kW)	108.98	24.79	25.14

(3.2) 베일 압력 및 PTO 부하에 대한 관계 분석

- 단수 및 베일 압력 수준에 따른 PTO 토크 및 베일 압력에 대한 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음 표와 같이 나타났다.
- PTO 토크 및 베일 압력을 분석한 결과, 단수에 따라 PTO 토크는 차이가 나타났지만 베일 압력은 거의 차이가 나타나지 않았다. 하지만 베일 압력 수준(5, 10 mm)으로 분석한 결과, 5 mm일 때, 베일 압력은 약 430~440 kgf의 범위를 나타냈으며, 10 mm 일 때는 약 760~775 kgf의 범위를 나타냈다.
- 베일 압력 및 베일 무게를 비교 분석한 결과, 압력 수준이 5 mm일 때, 무게는 약 341~347 kg으로 나타났으며, 10 mm 일 때는 약 388~420 kg으로 나타났다. 따라서 압력 수준이 5 mm 증가하면 베일 압력은 약 330 kg정도 증가한다는 사실을 알 수 있으며 더불어 베일 무게 또한 최소 40에서 최대 60 kg까지 증가한다는 것을 알 수 있다.

표. 포장시험에 따른 소요동력 분석 결과

단수	PTO 토크(Nm)	베일 압력(kgf)	베일 무게(kg)
M1 High P1 (5 mm)	390.8	432.5	341
M1 High P1 (10 mm)	559.7	773.02	420
M1 Low P1 (5 mm)	354.42	438.49	347
M1 Low P1 (10 mm)	479.67	765.75	388

(4) 자주식 일관 작업기 주행 및 작업에 따른 소요동력 시뮬레이션

- 금년도에 수행한 포장시험을 토대로 작업에 따른 소요동력에 대해 분석하였다. 소요동력은 주요 동력 소모원인 PTO 부하를 포함하여 차축 부하 및 유압 동력을 계측하여 소요동력에 대해 분석을 수행하였다.

(4.1) 김제 Field 1 M1 high_(5mm 압력)에서 베일러 작업 시 부하 데이터

□ 차축 토크 및 출력

- 트랙터 차축 토크는 아래 그림과 같이 베일러 작업 시작 후 부착 작업기 견인을 위하여 급격하게 증가하는 개형으로 나타나고 있다. 트랙터 전륜 좌·우측의 토크 및 출력은 1,500~2,200 Nm, 약 2~4 kW의 범위를 보이며, 후륜 좌·우측의 토크는 약 500~2,000 Nm, 약 0.5~2 kW의 범위로 나타났다.

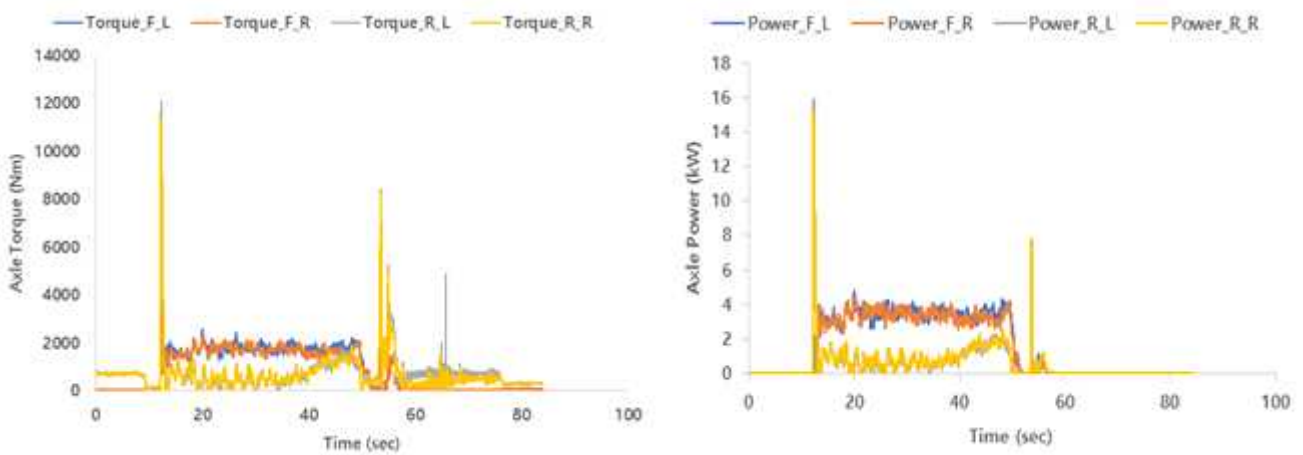


그림. M1 high에서 베일러 작업 시 차축 토크 및 출력

□ 주 유압 및 보조 유압 펌프 압력 및 출력

- 주 유압 펌프의 압력 및 출력은 베일 형성 구간에서는 베일러의 수평유지를 위해 유압회로를 작동시켜 대부분 15 bar, 0.2~1 kW 수준을 유지하였으며 베일 배출 구간에서 베일러 챔버 개폐 시 순간적으로 160 bar, 10 kW 이상 증가하는 구간도 나타났다. 보조 유압 펌프의 압력 및 출력은 베일러 작업 중 수확물이 직선경로에 위치하지 않기 때문에 베일 형성 구간 중 잦은 조향 작업에 의해 20~60 bar, 0.9~2 kW 범위로 나타났으며, 베일 결속 및 배출 구간에서는 별도의 조향이 필요하지 않기 때문에 약 10 bar, 0.3 kW의 낮은 압력 및 출력이 나타났다.

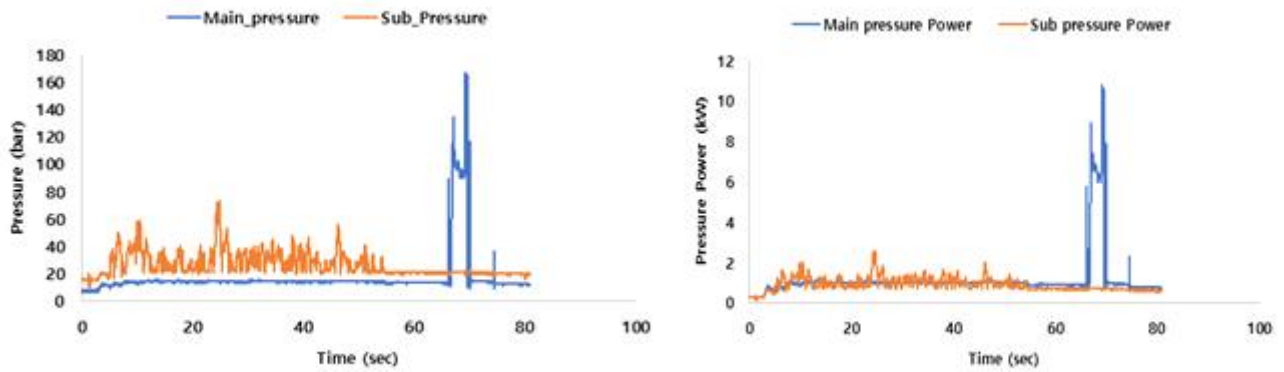


그림. M1 high에서 베일러 작업 시 주/보조 유압 압력 및 출력

(4.2) 김제 Field 1 M1 high_(10mm 압력)에서 베일러 작업 시 부하 데이터

□ 차축 토크 및 출력

- 트랙터 차축 토크는 아래 그림과 같이 베일러 작업 시작 후 부착 작업기 견인을 위하여 급격하게 증가하는 개형으로 나타내고 있다. 트랙터 전륜 좌·우측의 토크 및 출력은 1,500~2,300 Nm, 약 1~4 kW의 범위를 보이며, 후륜 좌·우측의 토크는 약 500~3,000 Nm, 약 2~4 kW의 범위로 나타났다.

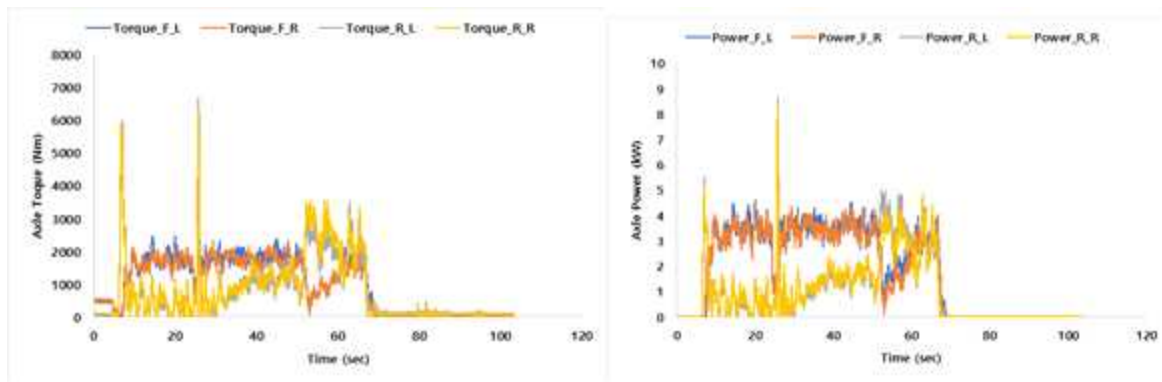


그림. M1 high에서 베일러 작업 시 차축 토크 및 출력

□ 주 유압 및 보조 유압 펌프 압력 및 출력

- 주 유압 펌프의 압력 및 출력은 베일 형성 구간에서는 베일러의 수평유지를 위해 유압회로를 작동시켜 대부분 22 bar, 1 kW 수준을 유지하였으며 베일 배출 구간에서 베일러 챔버 개폐 시 순간적으로 160 bar, 5 kW 이상 증가하는 구간도 나타났다. 보조 유압 펌프의 압력 및 출력은 베일러 작업 중 수확물이 직선경로에 위치하지 않기 때문에 베일 형성 구간 중 잦은 조향 작업에 의해 20~80 bar, 0.9~3 kW 범위로 나타났으며, 베일 결속 및 배출 구간에서는 별도의 조향이 필요하지 않기 때문에 약 25 bar, 0.5 kW의 낮은 압력 및 출력이 나타났다.

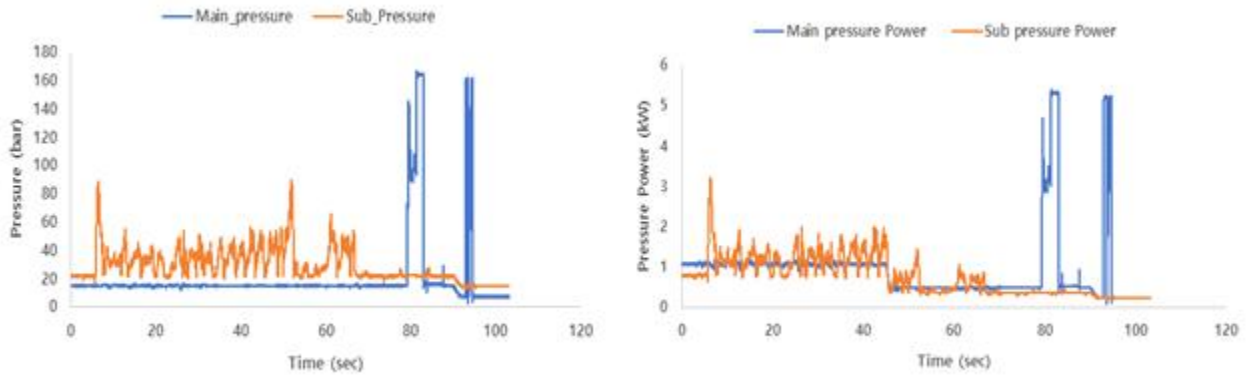


그림. M1 high에서 베일러 작업 시 주/보조 유압 압력 및 출력

(4.3) 김제 Field 1 M1 low_(5mm 압력)에서 베일러 작업 시 부하 데이터

□ 차축 토크 및 출력

- 트랙터 차축 토크는 아래 그림과 같이 베일러 작업 시작 후 부착 작업기 견인을 위하여 급격하게 증가하는 개형으로 나타내고 있다. 트랙터 전륜 좌·우측의 토크 및 출력은 1,500~2,200 Nm, 약 2~4 kW의 범위를 보이며, 후륜 좌·우측의 토크는 약 500~2,000 Nm, 약 0.5~2 kW의 범위로 나타났다.

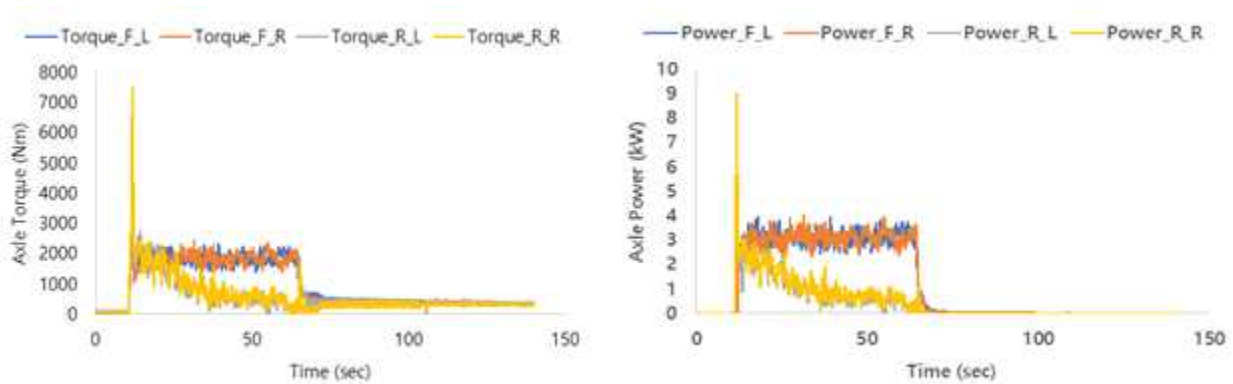


그림. M1 low에서 베일러 작업 시 차축 토크 및 출력

□ 주 유압 및 보조 유압 펌프 압력 및 출력

- 주 유압 펌프의 압력 및 출력은 베일 형성 구간에서는 베일러의 수평유지를 위해 유압회로를 작동시켜 대부분 22 bar, 1 kW 수준을 유지하였으며 베일 배출 구간에서 베일러 챔버 개폐 시 순간적으로 160 bar, 12 kW 이상 증가하는 구간도 나타났다. 보조 유압 펌프의 압력 및 출력은 베일러 작업 중 수확물이 직선경로에 위치하지 않기 때문에 베일 형성 구간 중 잦은 조향 작업에 의해 20~140 bar, 0.9~4 kW 범위로 나타났으며, 베일 결속 및 배출 구간에서는 별도의 조향이 필요하지 않기 때문에 약 25 bar, 0.5 kW의 낮은 압력 및 출력이 나타났다.

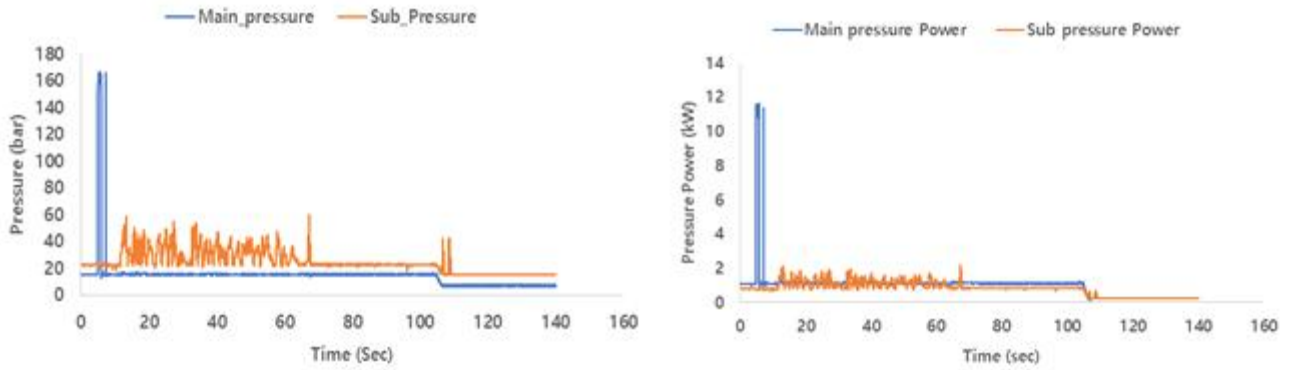


그림. M1 high에서 베일러 작업 시 주/보조 유압 압력 및 출력

(4.4) 김제 Field 1 M1 low_(10mm 압력) 에서 베일러 작업 시 부하 데이터

□ 차축 토크 및 출력

- 트랙터 차축 토크는 아래 그림과 같이 베일러 작업 시작 후 부착 작업기 견인을 위하여 급격하게 증가하는 개형으로 나타내고 있다. 트랙터 전륜 좌·우측의 토크 및 출력은 1,500~2,300 Nm, 약 3~4 kW의 범위를 보이며, 후륜 좌·우측의 토크는 약 500~1,500 Nm, 약 2~4 kW의 범위로 나타났다.

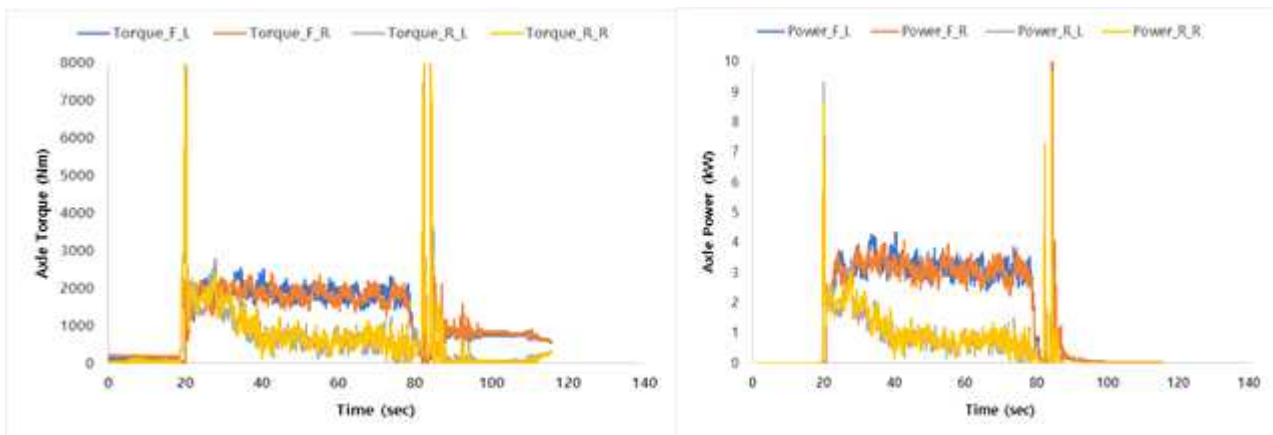


그림. M1 low에서 베일러 작업 시 차축 토크 및 출력

□ 주 유압 및 보조 유압 펌프 압력 및 출력

- 주 유압 펌프의 압력 및 출력은 베일 형성 구간에서는 베일러의 수평유지를 위해 유압회로를 작동시켜 대부분 20 bar, 0.5 kW 수준을 유지하였으며 베일 배출 구간에서 베일러 챔버 개폐 시 순간적으로 160 bar, 10 kW 이상 증가하는 구간도 나타났다. 보조 유압 펌프의 압력 및 출력은 베일러 작업 중 수확물이 직선경로에 위치하지 않기 때문에 베일 형성 구간 중 잦은 조향 작업에 의해 20~50 bar, 0.9~3 kW 범위로 나타났으며, 베일 결속 및 배출 구간에서는 별도의 조향이 필요하지 않기 때문에 약 26 bar, 0.4 kW의 낮은 압력 및 출력이 나타났다.

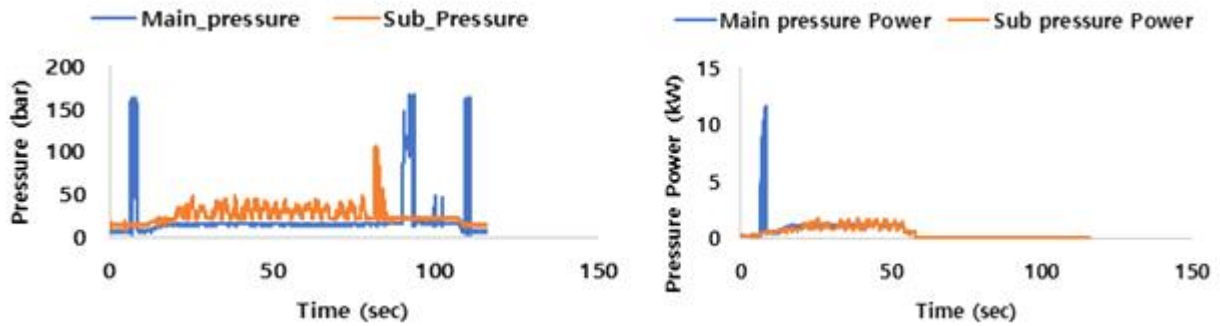


그림. M1 low 조건에서 베일러 작업 시 주/보조 유압 압력 및 출력

◇ 포장시험에 따른 소요동력 분석 결과

- 포장시험을 수행한 결과 대부분의 동력은 베일러 작업을 위해 PTO에서 발생한 것으로 나타났다.
- 모든 작업 조건에서 차축, 주/보조유압은 차이가 크게 나타나지 않았지만, 베일 압력 수준이 증가할수록 PTO 부하는 증가함을 알 수 있었으며, 압력 수준이 10 mm 일 때, 소요동력이 가장 크게 나타났다.
- 따라서 베일러 작업 시 작업 단수에 따라 차축, 주/보조 유압에 영향을 크게 미치지 않지만, 베일 압력 수준이 증가하면 베일러 작업의 수준이 가혹해지기 때문에 PTO 부하가 크게 증가한다는 사실을 알 수 있었다.

표. 포장시험에 따른 소요동력 분석 결과

단수	요소별 소요동력 (kW)								
	차축		PTO		주유압		보조유압		합계
	최대	평균	최대	평균	최대	평균	최대	평균	평균
M1 High P1 (5 mm)	27.13	5.46	104.31	19.59	5.39	0.914	3.2	0.76	26.72
M1 High P1 (10 mm)	24.85	5.6	119.19	28.44	1.11	0.42	5.03	0.58	35.04
M1 Low P1 (5 mm)	30.05	5.91	121.76	18.15	12.72	1.14	2.88	0.82	26.02
M1 Low P1 (10 mm)	55.27	4.56	108.98	24.79	11.65	0.59	1.79	0.43	30.37

2. 2차년도

□ 연구목표

- 센서시스템을 이용한 자주식 일관 작업기 동력계측시스템 개발
- 필드 성능시험을 통한 자주식 일관 작업기의 소요동력 계측
- 필드 작업조건별 자주식 일관 작업기 분석

□ 연구결과

(1) 센서시스템을 이용한 자주식 일관 작업기 동력계측시스템 개발

- 부하 계측 시스템은 1차년도 연구 내용인 부하 계측 시스템 Layout을 이용하여 당해년도 개발한 자주식 일관 작업기에 적용하여 하베스터 및 베일러 PTO(Power take off), 주행부 및 랩핑부 유압, 속도, 베일 압력 등을 측정할 수 있도록 구성하였다. 하베스터는 PTO는 스트레인 게이지 및 텔레메트리 시스템을 이용하여 계측했으며, 베일러 PTO는 토크미터를 이용하여 토크와 회전속도를 측정할 수 있도록 하였다. 주행부 및 랩핑부 유압은 유압 센서를 이용하여 계측하였으며, 속도는 GPS, 베일 압력은 스트레인 게이지를 이용하여 측정할 수 있도록 하였다.

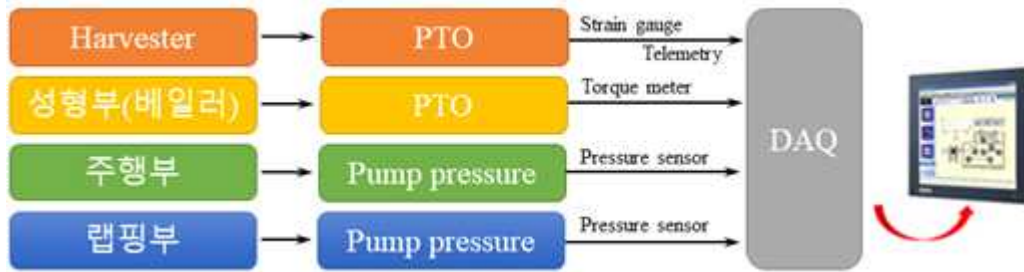


그림. 자주식 일관 작업기 주요 요소의 부하 계측 시스템 layout

(1.1) 하베스터

- 하베스터에 발생하는 토크를 계측하기 위해 하베스터 PTO축에 스트레인 게이지와 더불어 송신기 (WS-TAS1-STG, WS Engineering, Korea) 부착하였다. 텔레메트리 방식의 모델이며 스트레인 게이지와 송신기를 연결하여 게이지에서 계측된 부하를 송신기로 전달이 가능하도록 설치하였다. 하베스터 작업 시 게이지에서 측정된 부하는 송신기를 통해 DAQ에 부착되어 있는 수신기 (WS-TRS1, WS Engineering, Korea)에 전송됨과 동시에 증폭되어 데이터 수집 장치로 전송된다. 게이지에 연결되어 있는 송신기는 약 2시간의 배터리 용량을 가지고 있어 방전을 대비하기 위해 보조 배터리를 같이 부착하여 최대 6시간까지 가동 가능하도록 구성하였다.



그림. 하베스터 PTO축 스트레인 게이지 부착 사진

(1.2) 성형부(베일러)

- 성형부(베일러)의 부하를 계측하기 위해 PTO 토크미터를 사용하였다. PTO 토크미터는 독일 MANNER 社の 모델 (MW B 5 kNm, Manner, Germany)을 사용하였으며, 텔레메트리 방식인 아닌 유선으로 데이터를 전송시킨다. PTO 토크미터는 PTO축의 토크 및 rpm을 측정할 수 있으며, PTO 토크에서 측정된 데이터는 유선으로 Amplifier에 연결되고, Amplifier의 출력측에서 데이터 수집 장치로 연결된다.



그림. 베일러 축 PTO 토크미터 부착 사진(좌), PTO 토크미터 Amplifier(우)

(1.3) 주행부

- 주행부의 부하를 측정하기 위해서는 유압 동력을 측정해야 하며, 이를 위해 본 연구에서는 유압 센서(EPI 8287, TRAFAG, Switzerland)를 사용하였다. 측정 범위는 0 ~ 600 Bar이며, 좌, 우측에 각각 1개씩 설치하였다. 유압 모터에 직접 설치 하지 않고 라인을 주행부 좌우 각각 길게 연결한 다음 라인에 센서를 각각 설치하였으며, 커넥터 케이블을 통해 데이터 수집 장치에 연결하여 데이터를 받을 수 있도록 구성하였다.



그림. 유압 모터에서 라인을 연결한 사진(좌), 주행부 유압센서를 설치한 사진(우)

(1.4) 랩핑부

- 랩핑부 역시 주행부와 마찬가지로 부하를 측정하기 위해서는 유압 동력을 측정해야 하며, 주행부에 사용한 유압 센서보다 측정범위가 작은 모델(ECT 8472, TRAFAG, Switzerland)를 사용하였다. 측정 범위는 0~400 Bar이며, 주행부 유압 센서와 마찬가지로 커넥터 케이블을 통해 데이터 수집 장치에 연결하여 데이터를 받을 수 있도록 구성하였다.



그림. 랩핑부 유압센서를 설치한 사진

(1.5) 베일 압력

- 베일 압력은 1차년도 연구 결과와는 다르게 로드셀이 아닌 스트레인 게이지를 이용하여 측정하였다. 기존에는 베일의 크기가 커질수록 후크가 오른쪽은 잡아당겨지면서 접시스프링이 압축이 되며 이에 따라 판에 붙어있는 로드셀에 힘이 들어가 압력이 측정되는 시스템이었지만 당해연도에는 스프링에 스트레인 게이지를 부착하여 측정하였다. 측정 방법은 기존과 같이 후방 챔버 개폐 후크는 베일의 크기가 커질수록 점점 압력을 받기 시작하며, 베일의 크기가 최대가 되어 배출될 때 작용하던 압력이 사라지기 때문에 배출 직전에 받는 압력을 베일의 압력으로 판단해서 측정하였다.

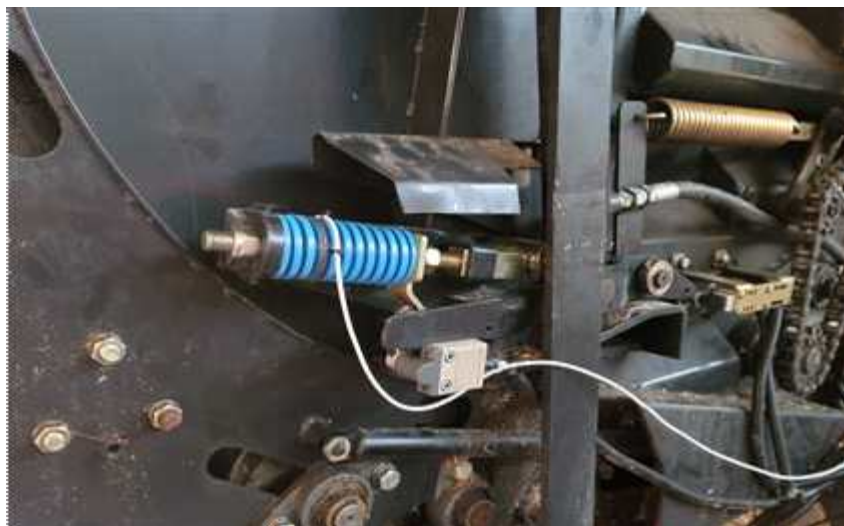


그림. 베일 압력 계측을 위해 스트레인 게이지를 부착한 사진

(1.6) 속도(GPS)

- GPS(18x 5Hz, Garmin, USA) 및 Racelogic VBOX (VB3iSL, Racelogic, United Kingdom)는 다

음 그림과 같이 자주식 일관 작업기의 작업속도를 측정하기 위하여 캐빈(cabin) 위쪽에 설치하였다. GPS는 무게 165 g, 지름 61 mm, 높이 19.5 mm의 외형적 특징을 갖는다. 입력 전압은 4~5.5 V 직류이며, 입력 전류는 5 V 직류일 때 100 mA 이다. GPS의 위치 정확도는 3 m 이내이며, 속도 정확도는 0.182 km/h이다. 샘플링 속도는 5 Hz로 1초에 5개의 데이터를 가져오며, GPS 작동 온도는 -30 ~ +80°C 이다.



그림. 자주식 일관 작업기 캐빈 위에 설치된 GPS

(1.7) 데이터 수집장치(DAQ)

- 토크미터, 스트레인 게이지, 유압 센서 등에서 발생하는 부하량을 계측하기 위해 데이터 수집장치는(QuantumX 840B, HBM, Germany)를 이용하여 다음 그림과 같이 구성하였다. 데이터 수집 시의 샘플링 속도는 100 Hz로 설정하였다. 또한, 트랙터의 작업 시 진동에 의해 파손되지 않도록 별도의 지그(jig)를 제작하여 데이터 수집 장치(Data acquisition, DAQ), 토크미터, Amplifier, PC 등을 장착하였다.

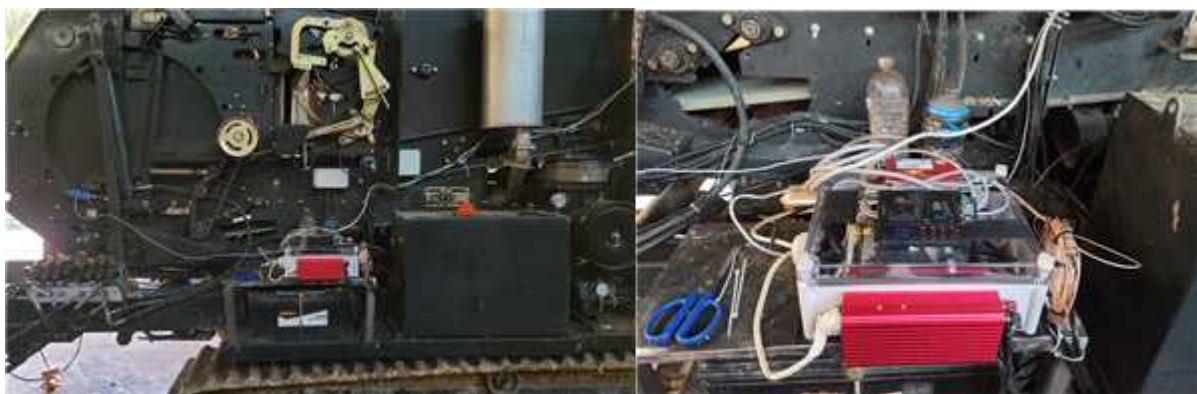


그림. 자주식 일관 작업기에 설치된 데이터 수집 장치(DAQ)

(1.8) 모니터링 시스템

- 자주식 일관 작업기 내부에는 다음 그림과 같이 농작업에 따라 PTO, 유압, 베일 압력 등 각 요소 별로 측정되는 데이터를 확인할 수 있는 소프트웨어가 설치된 컴퓨터와 모니터가 설치되어있으며, 이를 통해 실시간으로 측정되는 데이터의 확인 및 저장이 가능하다.



그림. 자주식 일관 작업기 내부에 설치된 부하 데이터 수집용 컴퓨터 및 모니터

(2) 필드 성능시험을 통한 자주식 일관 작업기의 소요동력 계측

(2.1) 계측용 자주식 일관 작업기

- 본 연구에서는 총체버 자주식 일관 작업기를 개발하기 위해 1차 시제품을 제작하였으며, 필드 성능시험을 통한 주요부 소요 동력계측을 진행하였다. 아래 그림은 당해연도에 개발한 1차 시제품 자주식 일관 작업기이며, 175마력급 Tier 3 엔진이 장착되어있다. 1차 시제품의 필드 테스트를 통해 계측한 동력을 분석하였으며, 이를 통해 자주식 일관 작업기 개발 및 보완하고자 한다.



그림. 동력 계측용 자주식 일관 작업기

(2.2) 필드 성능시험을 위한 필드 시험지 선정

- 본 연구에서는 아래 그림과 같이 자주식 일관 작업기의 작업 성능시험을 위해 경남 진주시 사봉면 사군로 404-64에 위치하고 있는 필드를 수급하여 작업을 수행하였다.
- 필드 테스트는 작업자에 따라 부하 패턴이 다르게 나타나기 때문에 수집된 데이터의 신뢰성 향상을 위하여 ㈜라이브맥의 숙련된 전문가에 의해 진행되었다.



그림. 작업 성능시험 전 필드시험지(전) 작업 성능시험 후 필드시험지(후)

표. 필드시험지 정보

필드시험지	주소	시험지 크기
Field 1	경남 진주시 사봉면 사군로 404-64	1,200평

(2.3) 포장 시험 조건

- 자주식 일관 작업기 필드시험 시 설정한 작업 속도는 실제 농민이 가장 많이 사용하는 속도에 대하여 실시하였다. 또한, 베일 압력의 수준을 다르게 측정하기 위해 근접센서의 거리를 5, 10 mm로 설정하였으며, 베일러 작업은 아래 표와 같은 단수조건에서 2반복 실시하였다.
- 근접 센서의 거리는 본 연구에 사용한 베일러 작업기에서 자체적으로 압력 수준을 설정하기 위해 장착된 센서이며, 1차년도에 구축한 시스템을 보완하여 설치하였다. 근접센서의 거리는 멀어질수록 베일 압력이 더 크게 작용하게 된다.

표. 자주식 일관 작업기 포장시험 조건

Field operation	Operation conditions	
	Traveling speed	Sensor distance (mm)
Self propelled harvester	6 km/h	5
		10
	5 km/h	5
		10

(2.4) 베일 무게 측정

- 베일러 작업 이후 베일 압력 수준과 베일 무게에 대해 비교 분석을 하기 위해 무게 측정기 및 로더를 이용하여 베일 무게를 측정하였다.
- 베일 무게는 아래 그림과 같이 줄을 로더 및 베일에 묶어 그 사이에 무게 측정기를 매단 후 로더를 들어올리면 베일 무게가 측정이 가능하도록 세팅하였다.



그림. 베일 무게 측정 방법(좌) 및 무게 측정기(우)

(3) 필드 작업조건별 자주식 일관 작업기 소요동력 분석

(3.1) 부하 데이터 신뢰성 확보를 위한 이상치 제거 기술 개발

- 포장시험을 통해 수집된 부하 데이터는 엔진의 진동 및 불규칙한 토양환경에 의한 노이즈 등과 같은 이상치(outlier)를 포함하고 있다.
- 이상치란 포장시험을 통해 수집된 부하데이터를 통계 분석을 한 전체 결과에서 현저하게 벗어난 값을 의미한다.
- 이상치는 실제 트랙터에 작용하는 부하 데이터가 아닌, 노이즈 등에 의한 것으로 부하 DB 구축 및 부하모드 개발 시 반드시 제거되어야 한다.
- 본 연구에서는 이상치의 추출 및 제거를 위하여 GlyphWorks 소프트웨어를 사용하였다. GlyphWorks는 이상치 제거를 위하여 Spike 모듈을 사용하고 있으며, 이상치 감지는 Spike Detection glyph를 이용하였고 감지된 이상치의 제거는 Graphical Editor glyph를 이용하였다.
- Spike Detection glyph는 입력한 부하데이터의 기울기를 이용하여 불연속 성질이 높은 점을 Detecting하여 Spike를 탐지한다.
- Graphical Editor glyph는 적출된 스파이크를 제거 및 수정하는 기능을 수행한다.
- 이상치 제거를 위한 Spike Detection은 필드에서 계속한 부하 데이터의 기울기를 이용하여 미분계수(Gradient)를 산출함으로써 수행된다. 이때, 본 과제에서 선정한 Auto Differential 방법은 부하 데이터의 기울기 값인 미분계수 값을 bin size로 자동으로 산출하며, 이때 bin size는 1000개로 구성한다. 전체 크기는 Minimum-Maximum 값의 Range를 기준으로 Bin size로 자동 등분한다. 자동 등분된 Bin size에 사용자가 입력한 비율(Guard Band Percent)이 곱해지며, 계산된 크기보다 낮은 값은 이상치로 보지 않고 계산에서 제외하여 산출한다.
 - : Raw data를 이용하여 미분 -> 미분 데이터를 이용하여 최소-최대 값을 이용하여 전체 범위를 산출하고 Bin size로 나눔 -> Guard Band Percent를 곱함 -> 계산된 크기보다 높으면 이상치로 판별
- 이상치(outlier) 추출 시스템
 - : 이상치(outlier) 추출 시스템은 아래 그림과 같이 TS Input, Spike Detection, Graphical Editor, XY Display, Data Value Display 등 과 같은 파트들로 구성하였다.
 - : TS Input은 포장시험을 통해 수집된 부하 데이터를 입력을 하는 파트이며, Spike Detection파트는 TS Input에 입력된 부하 데이터를 전달받아, AutoDifferential방식으로 Spike를 탐지한다.
 - : 탐지된 데이터는 XY Display를 통해 초록색 선으로 Spike를 표시한다. 탐지된 데이터는 Graphical Editor로 입력되며, 그 결과 Spike가 제거된다.

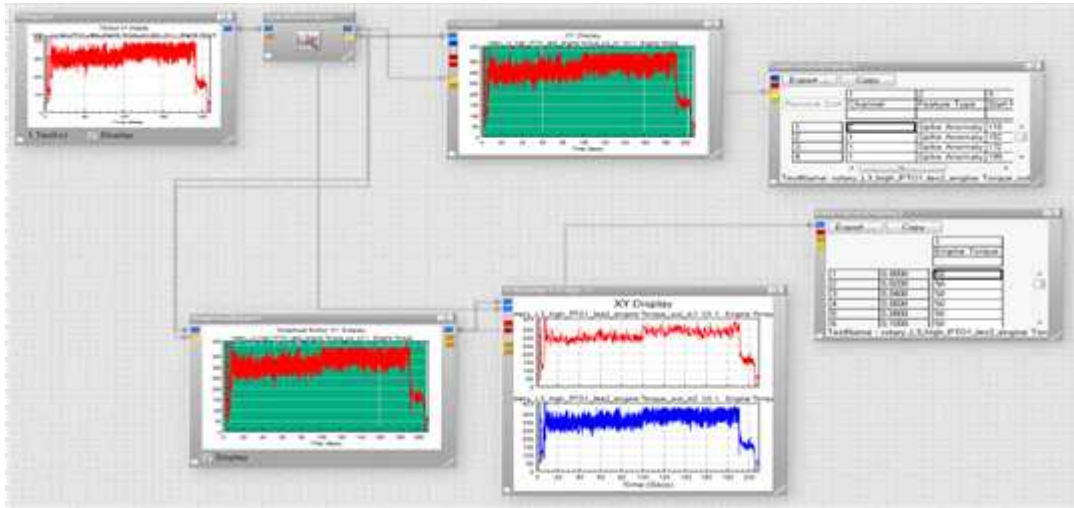


그림. 이상치(outlier) 추출 및 제거 시스템 구성도

(3.2) 자주식 일관 작업기 작업조건에 따른 소요동력 분석

(3.2.1) 베일 1단 압력(작업 속도 : 6 km/h) 작업 시 부하 데이터

□ 베일 압력

- 베일 압력은 베일 형성 시 63 sec에서 압력이 급격히 증가하기 시작하여 78 sec에서 최대치인 467.1 Nm로 나타났으며, 베일 결속 구간에서는 압력이 점차 감소되었다. 배출 구간인 100 sec에서는 챔버 개방으로 인한 압력이 0으로 감소하였다.

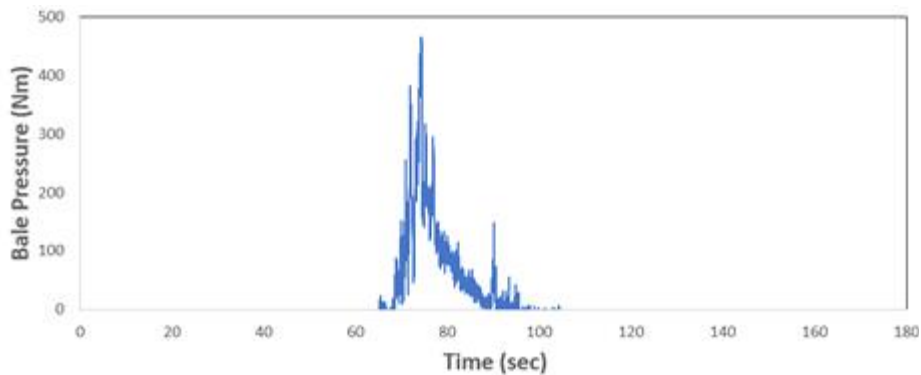


그림. 1단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 베일 압력

□ 하베스터 부하

- 하베스터 출력은 수확 작업이 시작함에 따라 증가하기 시작했으며, 약 60 sec에서 수확 작업이 종료됨에 따라 부하가 급격히 감소하는 개형을 보인다. 하베스터 출력은 작업 구간에서 약 40 ~ 70 kW의 범위를 보이며, 수확 작업이 종료 후 공회전 상태에서 약 10 ~ 20 kW의 범위를 보인다.

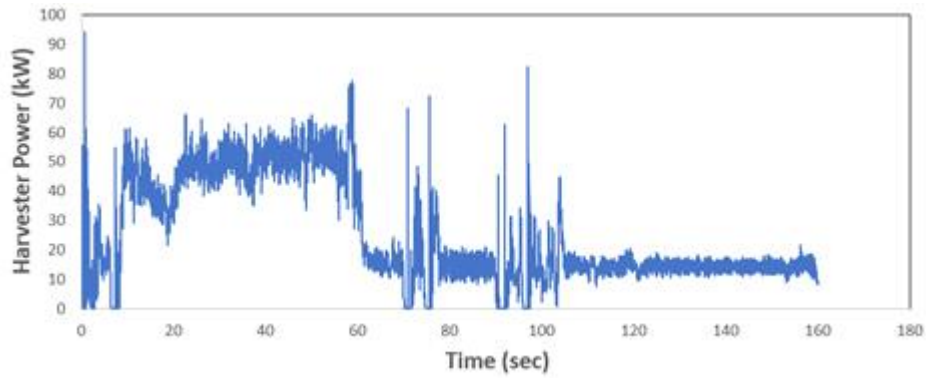


그림. 1단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 하베스터 출력

□ 베일러 부하

- 베일러 출력은 베일 형성 시 챔버 내 수확물의 증가에 따라 지속적으로 증가하여 최대 약 10 kW 이상까지 상승하였으며, 베일 결속 구간에서는 트랙터의 정지와 챔버로 유입되는 수확물의 감소에 따라 출력이 감소되었다. 100 sec에서 베일이 배출된 후 랩핑부로 베일을 옮기기 위해 순간적으로 출력이 상승되었으며, 이후 랩핑 작업으로 인해 약 4 ~ 5 kW의 출력을 유지하였다.

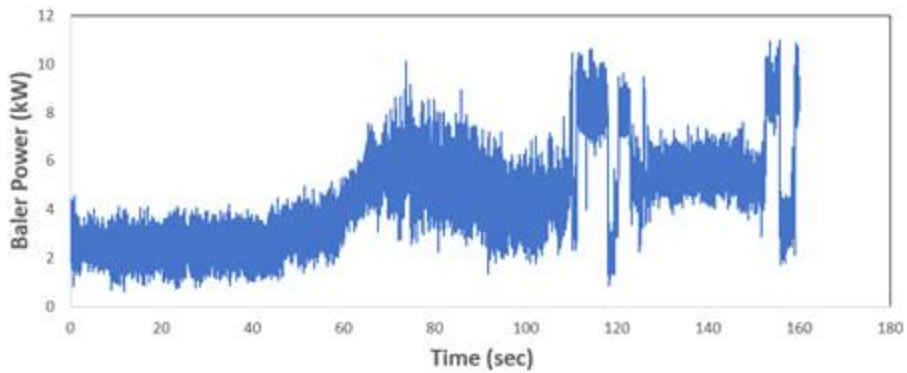


그림. 1단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 베일러 출력

□ 주행부 부하

- 주행부 출력은 수확 작업 구간인 5 ~ 60 sec까지는 직진구간으로 좌측, 우측 각각 약 5 kW의 수준을 유지하였으며, 이후 차량이 좌측으로 회전함으로써 좌측 부하가 급격히 증가하는 경향을 보였다. 100 sec 이후는 베일 랩핑 구간으로 별도의 조향이 필요하지 않기 때문에 일정한 출력을 보이고 있다.

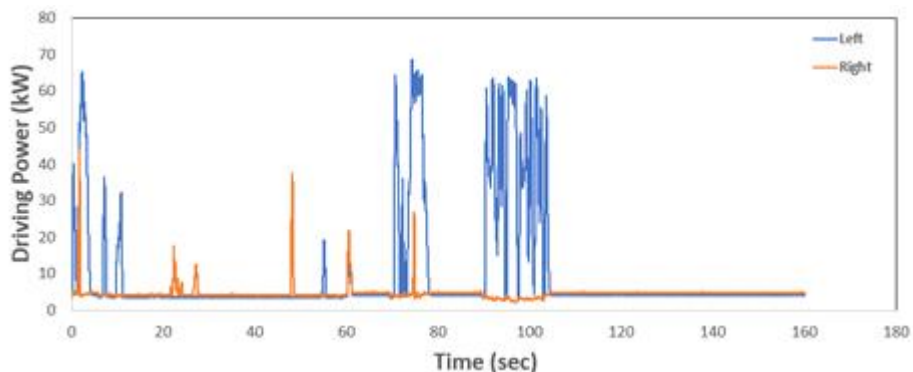


그림. 1단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 주행부 출력

□ 랩핑부 부하

- 랩핑부 출력은 베일이 배출되는 구간인 100 sec까지는 공회전으로 유지가 되다가 100 ~ 125 sec 구간에 형성된 베일이 베일러에서 랩핑부로 이동을 하면서 출력이 약 7 kW까지 발생되었다. 125 sec부터는 랩핑작업이 진행됨에 따라 약 4 kW의 출력을 보였으며, 랩핑 작업이 종료된 후 베일을 최종 배출하기 위해 155 sec에서 출력이 약 7 kW까지 발생되었다.

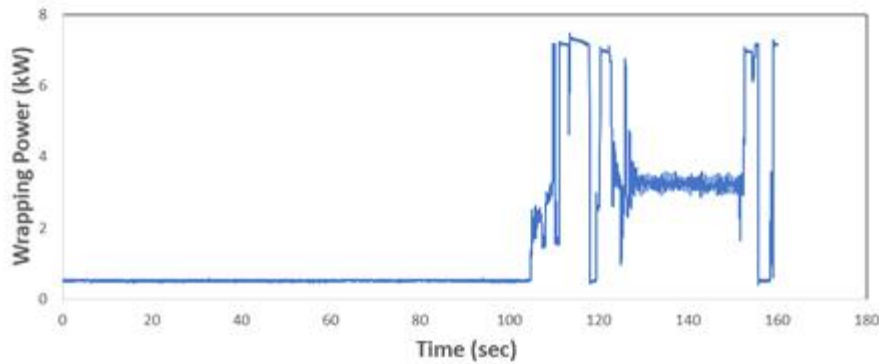


그림. 1단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 랩핑부 출력

□ 부하 데이터 통계 분석

- 1단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서 작업 시 하베스터, 베일러, 주행, 랩핑 동력 및 베일 압력의 분석 결과는 아래 표와 같이 나타났다.
- 베일 압력은 최대 467.1 Nm까지 나타났으며, 하베스터 출력은 최대, 평균, 표준편차 각각 77.4, 48.8, 7.7 kW로 나타났다. 베일러 출력은 최대, 평균, 표준편차 각각 11.0, 4.4, 1.9 kW로 나타났으며, 주행부 출력은 좌우 합쳐서 각각 56.8, 8.4, 2.1 kW, 랩핑 동력은 각각 7.5, 3.6, 1.9 kW로 나타났다.

표. 1단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 부하 분석 결과

Item		Maximum	Average	Standard deviation
Baler Pressure	Pressure (Nm)	467.1	-	-
Harvester	Power (kW)	77.4	48.8	7.7
Baler		11.0	4.4	1.9
Driving		56.8	8.4	2.1
Wrapping		7.5	3.6	1.9

(3.2.2) 베일 1단 압력(작업 속도 : 5 km/h) 작업 시 부하 데이터

□ 베일 압력

- 베일 압력은 베일 형성 시 85 sec에서 압력이 급격히 증가하기 시작하여 95 sec에서 최대치인 315.6 Nm로 나타났으며, 베일 결속 구간에서는 압력이 점차 감소되었다. 배출 구간인 120 sec에서는 챔버 개방으로 인한 압력이 0으로 감소하였다.

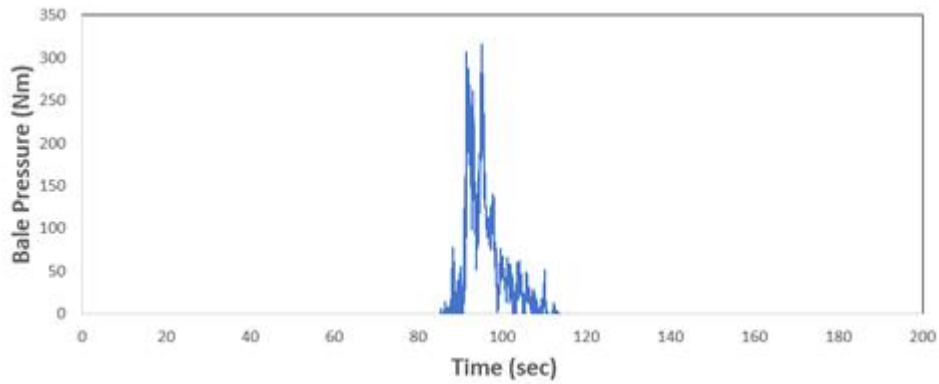


그림. 1단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 베일 압력

□ 하베스터 부하

- 하베스터 출력은 수확 작업이 시작함에 따라 증가하기 시작했으며, 약 95 sec에서 수확 작업이 종료됨에 따라 부하가 급격히 감소하는 개형을 보인다. 하베스터 출력은 작업 구간에서 약 25 ~ 50 kW의 범위를 보이며, 수확 작업이 종료 후 공회전 상태에서 약 10 ~ 20 kW의 범위를 보인다.

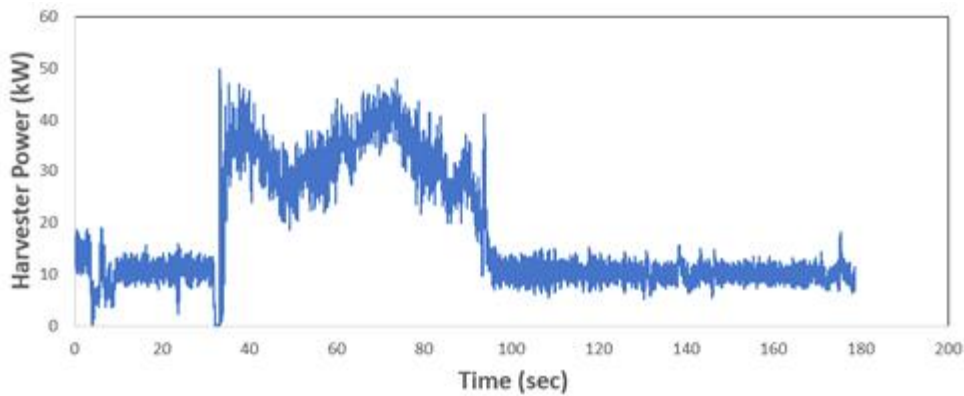


그림. 1단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 하베스터 출력

□ 베일러 부하

- 베일러 출력은 베일 형성 시 챔버 내 수확물의 증가에 따라 지속적으로 증가하여 최대 약 8 kW 이상까지 상승하였으며, 베일 결속 구간에서는 트랙터의 정지와 챔버로 유입되는 수확물의 감소에 따라 출력이 감소되었다. 120 sec에서 베일이 배출된 후 랩핑부로 베일을 옮기기 위해 순간적으로 출력이 상승되었으며, 이후 랩핑 작업으로 인해 약 4 ~ 6 kW의 출력을 유지하였다.

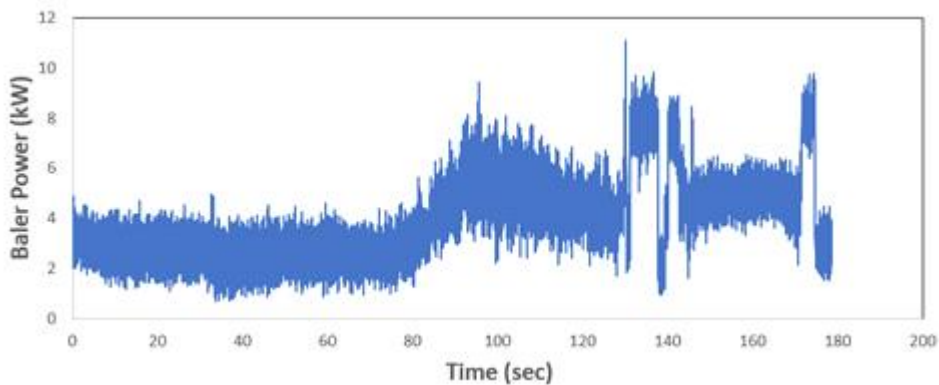


그림. 1단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 베일러 출력

□ 주행부 부하

- 주행부 출력은 수확 작업 구간인 35 ~ 95 sec까지는 직진구간으로 좌측, 우측 각각 약 4 kW의 수준을 유지하였으며, 이후 차량이 좌측으로 회전함으로써 좌측 부하가 급격히 증가하는 경향을 보였다. 95 sec 이후는 베일 랩핑 구간으로 별도의 조향이 필요하지 않기 때문에 일정한 출력을 보이고 있다.

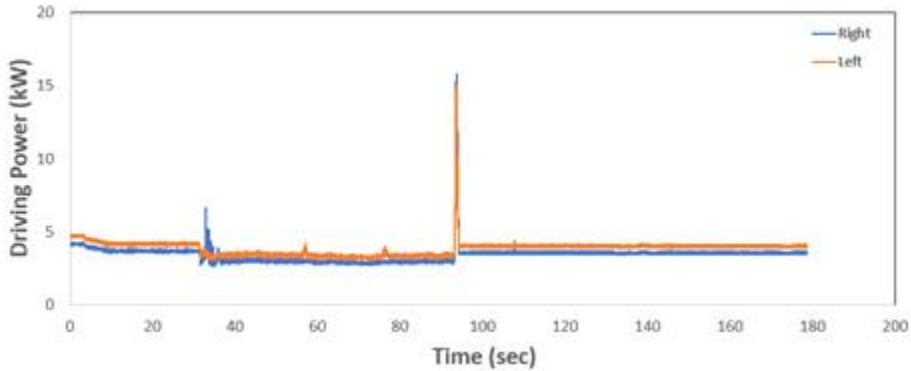


그림. 1단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 주행부 출력

□ 랩핑부 부하

- 랩핑부 출력은 베일이 배출되는 구간인 120 sec까지는 공회전으로 유지가 되다가 120 ~ 140 sec 구간에 형성된 베일이 베일러에서 랩핑부로 이동을 하면서 출력이 약 7 kW까지 발생되었다. 145 sec부터는 랩핑작업이 진행됨에 따라 약 4 kW의 출력을 보였으며, 랩핑 작업이 종료된 후 베일을 최종 배출하기 위해 170 sec에서 출력이 약 7 kW까지 발생되었다.

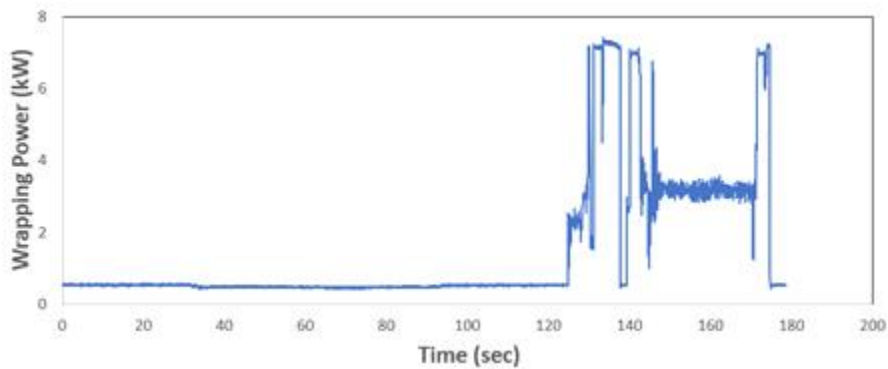


그림. 1단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 랩핑부 출력

□ 부하 데이터 통계 분석

- 1단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서 작업 시 하베스터, 베일러, 주행, 랩핑 동력 및 베일 압력의 분석 결과는 아래 표와 같이 나타났다.
- 베일 압력은 최대 315.6 Nm까지 나타났으며, 하베스터 출력은 최대, 평균, 표준편차 각각 47.8, 32.5, 6.1 kW로 나타났다. 베일러 출력은 최대, 평균, 표준편차 각각 11.1, 4.3, 2.0 kW로 나타났으며, 주행부 출력은 좌우 합쳐서 각각 30.8, 6.5, 1.0 kW, 랩핑 동력은 각각 7.4, 4.2, 1.7 kW로 나타났다.

표. 1단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 부하 분석 결과

Item		Maximum	Average	Standard deviation
Baler Pressure	Pressure (Nm)	315.6	-	-
Harvester	Power (kW)	47.8	32.5	6.1
Baler		11.1	4.3	2.0
Driving		30.8	6.5	1.0
Wrapping		7.4	4.2	1.7

(3.2.3) 베일 2단 압력(작업 속도 : 6 km/h) 작업 시 부하 데이터

□ 베일 압력

- 베일 압력은 베일 형성 시 77 sec에서 압력이 급격히 증가하기 시작하여 95 sec에서 최대치인 772.1 Nm로 나타났으며, 베일 결속 구간에서는 압력이 점차 감소되었다. 배출 구간인 120 sec에서는 챔버 개방으로 인한 압력이 0으로 감소하였다.

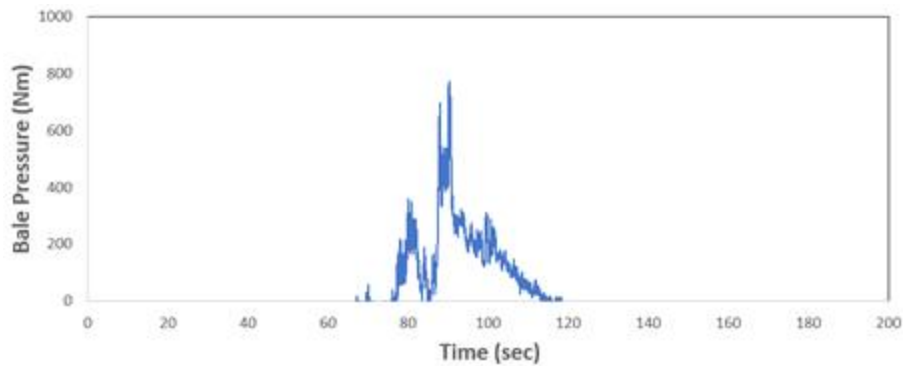


그림. 2단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 베일 압력

□ 하베스터 부하

- 하베스터 출력은 수확 작업이 시작함에 따라 증가하기 시작했으며, 약 77 sec에서 수확 작업이 종료됨에 따라 부하가 급격히 감소하는 개형을 보인다. 하베스터 출력은 작업 구간에서 약 40 ~ 70 kW의 범위를 보이며, 수확 작업이 종료 후 공회전 상태에서 약 10 ~ 20 kW의 범위를 보인다.

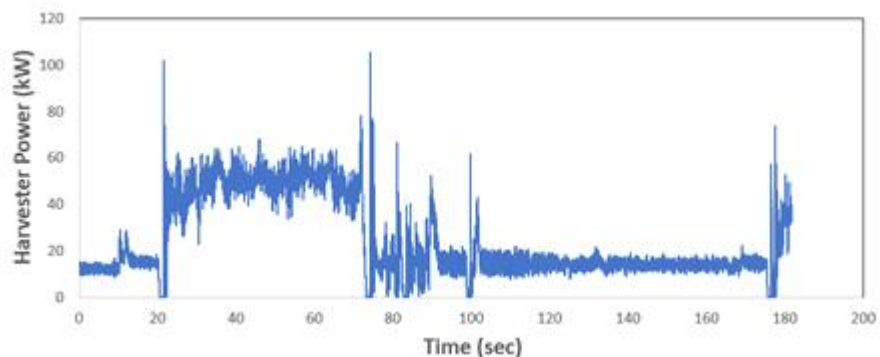


그림. 2단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 하베스터 출력

□ 베일러 부하

- 베일러 출력은 베일 형성 시 챔버 내 수확물의 증가에 따라 지속적으로 증가하여 최대 약 12 kW 이상까지 상승하였으며, 베일 결속 구간에서는 트랙터의 정지와 챔버로 유입되는 수확물의 감소에 따라 출력이 감소되었다. 120 sec에서 베일이 배출된 후 랩핑부로 베일을 옮기기 위해 순간적으로 출력이 상승되었으며, 이후 랩핑 작업으로 인해 약 4 ~ 6 kW의 출력을 유지하였다.

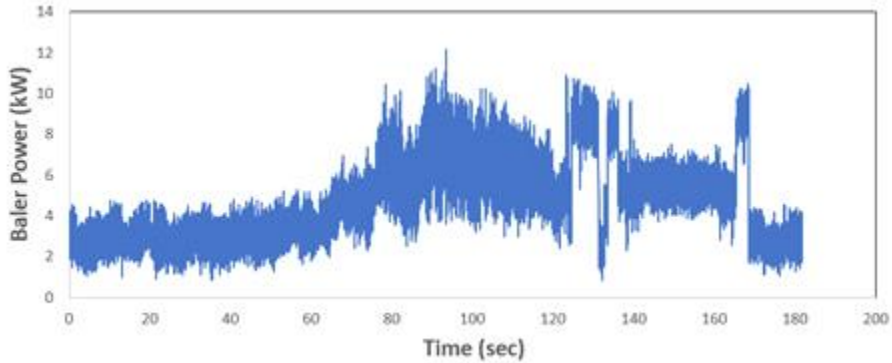


그림. 2단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 베일러 출력

□ 주행부 부하

- 주행부 출력은 수확 작업 구간인 25 ~ 70 sec까지는 직진구간으로 좌측, 우측 각각 약 5 kW의 수준을 유지하였으며, 이후 차량이 선회 구간으로인해 좌우 유압 출력리 급격히 증가하는 경향을 보였다. 120 sec 이후는 베일 랩핑 구간으로 별도의 조향이 필요하지 않기 때문에 일정한 출력을 보이고 있다.

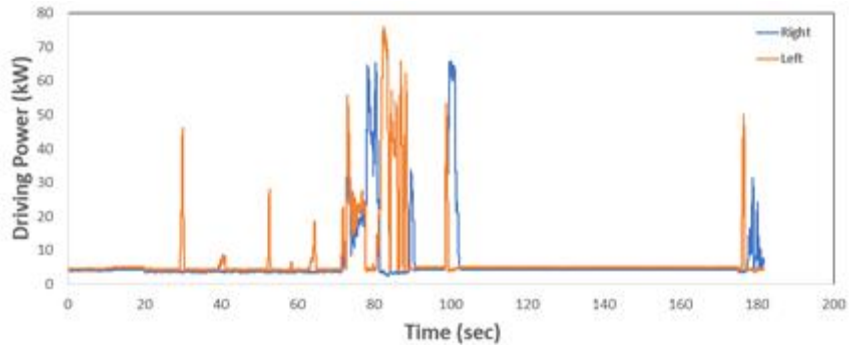


그림. 2단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 주행부 출력

□ 랩핑부 부하

- 랩핑부 출력은 베일이 배출되는 구간인 120 sec까지는 공회전으로 유지가 되다가 120 ~ 135 sec 구간에 형성된 베일이 베일러에서 랩핑부로 이동을 하면서 출력이 약 7 kW까지 발생되었다. 140 sec부터는 랩핑작업이 진행됨에 따라 약 4 kW의 출력을 보였으며, 랩핑 작업이 종료된 후 베일을 최종 배출하기 위해 165 sec에서 출력이 약 7 kW까지 발생되었다.

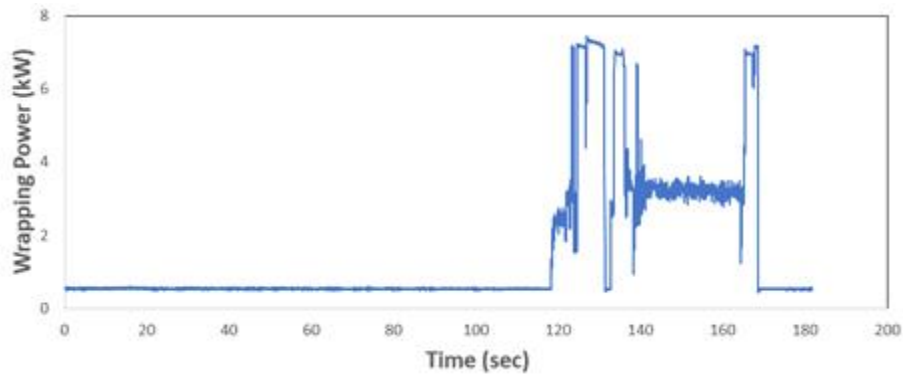


그림. 2단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 랩핑부 출력

□ 부하 데이터 통계 분석

- 2단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서 작업 시 하베스터, 베일러, 주행, 랩핑 동력 및 베일 압력의 분석 결과는 아래 표와 같이 나타났다.
- 베일 압력은 최대 772.1 Nm까지 나타났으며, 하베스터 출력은 최대, 평균, 표준편차 각각 68.2, 49.8, 6.1 kW로 나타났다. 베일러 출력은 최대, 평균, 표준편차 각각 12.2, 5.1, 2.4 kW로 나타났으며, 주행부 출력은 좌우 합쳐서 각각 50.4 8.8, 2.0 kW, 랩핑 동력은 각각 7.5, 4.0, 1.9 kW로 나타났다.

표. 2단 압력(작업 속도 : 6 km/h)에서의 부하 분석 결과

Item		Maximum	Average	Standard deviation
Baler Pressure	Pressure (Nm)	772.1	-	-
Harvester	Power (kW)	68.2	49.8	6.1
Baler		12.2	5.1	2.4
Driving		50.4	8.8	2.0
Wrapping		7.5	4.0	1.9

(3.2.4) 베일 2단 압력(작업 속도 : 5 km/h) 작업 시 부하 데이터

□ 베일 압력

- 베일 압력은 베일 형성 시 50 sec에서 압력이 급격히 증가하기 시작하여 70 sec에서 최대치인 936.4 Nm로 나타났으며, 베일 결속 구간에서는 압력이 점차 감소되었다. 배출 구간인 97 sec에서는 챔버 개방으로 인한 압력이 0으로 감소하였다.

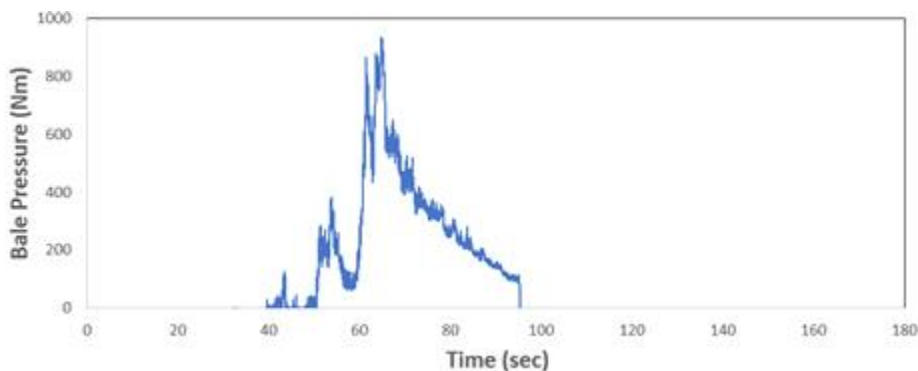


그림. 2단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 베일 압력

□ 하베스터 부하

- 하베스터 출력은 수확 작업이 시작함에 따라 증가하기 시작했으며, 약 65 sec에서 수확 작업이 종료됨에 따라 부하가 급격히 감소하는 개형을 보인다. 하베스터 출력은 작업 구간에서 약 25 ~ 50 kW의 범위를 보이며, 수확 작업이 종료 후 공회전 상태에서 약 10 ~ 20 kW의 범위를 보인다.

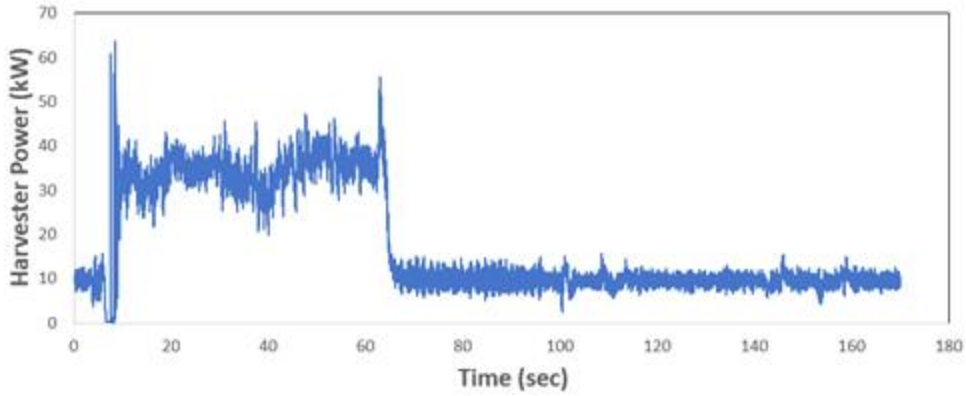


그림. 2단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 하베스터 출력

□ 베일러 부하

- 베일러 출력은 베일 형성 시 챔버 내 수확물의 증가에 따라 지속적으로 증가하여 최대 약 12 kW 이상까지 상승하였으며, 베일 결속 구간에서는 트랙터의 정지와 챔버로 유입되는 수확물의 감소에 따라 출력이 감소되었다. 97 sec에서 베일이 배출된 후 랩핑부로 베일을 옮기기 위해 순간적으로 출력이 상승되었으며, 이후 랩핑 작업으로 인해 약 4 ~ 6 kW의 출력을 유지하였다.

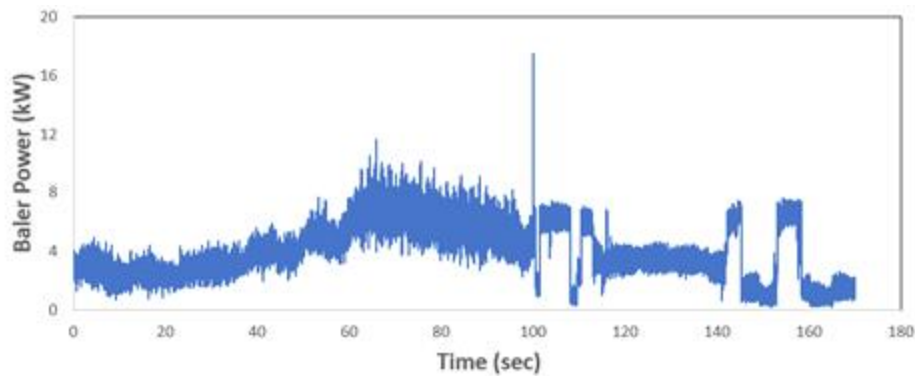


그림. 2단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 베일러 출력

□ 주행부 부하

- 주행부 출력은 수확 작업 구간인 10 ~ 60 sec까지는 직진구간으로 좌측, 우측 각각 약 4 kW의 수준을 유지하였으며, 작업 중간 좌측으로 경로를 이동해야 하는 상황이 있어 좌측 유압 출력이 급격히 증가하는 구간이 나타났다. 이후 차량은 선회 없이 정지했기 때문에 별도의 조향이 필요하지 않는 베일 랩핑 구간까지 일정한 출력을 보이고 있다.

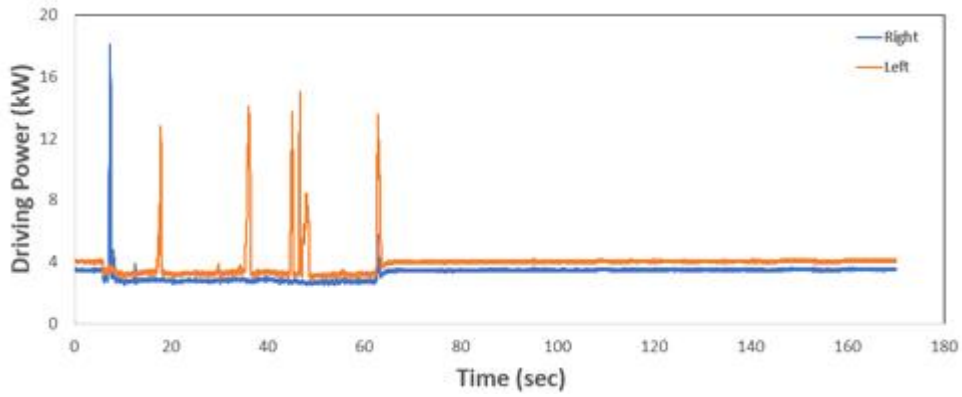


그림. 2단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 주행부 출력

□ 랩핑부 부하

- 랩핑부 출력은 베일이 배출되는 구간인 97 sec까지는 공회전으로 유지가 되다가 97 ~ 115 sec 구간에 형성된 베일이 베일러에서 랩핑부로 이동을 하면서 출력이 약 7 kW까지 발생되었다. 115 sec부터는 랩핑작업이 진행됨에 따라 약 4 kW의 출력을 보였으며, 랩핑 작업이 종료된 후 베일을 최종 배출하기 위해 145 sec에서 출력이 약 7 kW까지 발생되었다.

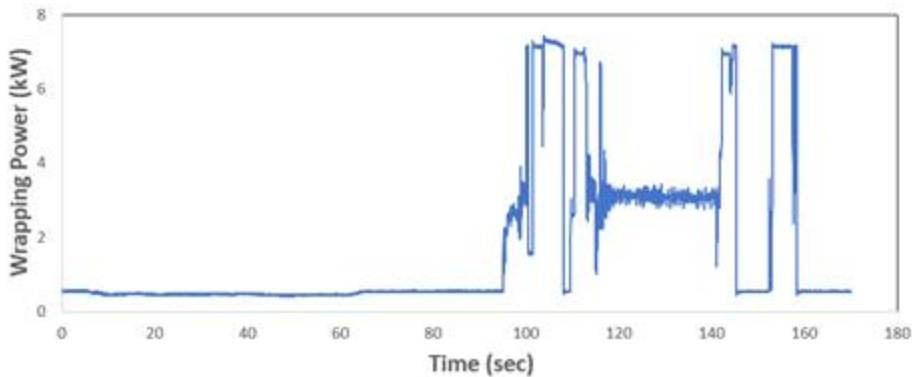


그림. 2단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 랩핑부 출력

□ 부하 데이터 통계 분석

- 2단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서 작업 시 하베스터, 베일러, 주행, 랩핑 동력 및 베일 압력의 분석 결과는 아래 표와 같이 나타났다.
- 베일 압력은 최대 936.4 Nm까지 나타났으며, 하베스터 출력은 최대, 평균, 표준편차 각각 47.1, 34.4, 4.1 kW로 나타났다. 베일러 출력은 최대, 평균, 표준편차 각각 15.1, 4.6, 1.6 kW로 나타났으며, 주행부 출력은 좌우 합쳐서 각각 18.8, 6.3, 0.1 kW, 랩핑 동력은 각각 7.4, 4.6, 2.3 kW로 나타났다.

표. 2단 압력(작업 속도 : 5 km/h)에서의 부하 분석 결과

Item		Maximum	Average	Standard deviation
Baler Pressure	Pressure (Nm)	936.4	-	-
Harvester	Power (kW)	47.1	34.4	4.1
Baler		15.1	4.6	1.6
Driving		18.8	6.3	0.1
Wrapping		7.4	4.6	2.3

◇ 자주식 일관 작업기 베일 압력 및 소요 동력 분석

- 작업 속도 및 베일 압력 수준에 따른 베일 압력 및 베일 무게에 대한 분석을 수행했으며, 그 결과는 다음 표와 같이 나타났다.
- 작업 속도에 따라 베일 압력은 거의 차이가 나타나지 않았다. 베일 압력 수준에 따른 베일 압력은 1단 압력일 때, 315.6 ~ 467.1 Nm의 범위로 나타났으며, 2단 압력일 때, 772.1 ~ 936.4 Nm의 범위로 나타났다.
- 베일 압력 및 베일 무게를 비교 분석한 결과, 1단 압력일 때, 베일 무게는 약 269 ~ 284 kg으로 나타났으며, 2단 압력일 때는 약 328 ~ 337 kg으로 나타나 베일 무게는 최소 40에서 최대 70 kg까지 증가한다는 사실을 알 수 있으며, 1단 압력에서 2단 압력으로 증가하면 베일 압력은 약 450 Nm 증가한다는 것을 알 수 있다.

표. 작업 조건에 따른 베일 압력 분석 결과

작업 속도	베일 압력 조건	베일 압력(Nm)	베일 무게(kg)
6 km/h	1단 압력	467.1	269
	2단 압력	315.6	328
5 km/h	1단 압력	772.1	284
	2단 압력	936.4	337

- 자주식 일관 작업기의 포장시험을 수행한 결과 선정된 4개의 주요 동력소모원 중 하베스터에서 대부분의 동력이 발생한 것으로 나타났다.
- 베일 압력 수준이 증가할수록 베일러 부하가 증가했음을 알 수 있었으며, 그 외 나머지 3개의 주요 동력소모원은 베일 압력 수준과는 관계없이 비슷한 수준으로 나타났다.
- 작업 속도에 따른 부하 분석 결과, 하베스터 및 주행부에서 작업 속도가 증가할수록 부하가 크게 증가했음을 알 수 있었으며, 베일러 및 랩핑부는 작업 속도와는 관계없이 비슷한 부하 수준으로 나타났다.
- 따라서, 베일 압력 수준이 증가하면 베일러 작업이 가혹해지기 때문에 베일러 PTO축의 부하가 증가한다는 사실을 알 수 있었으며, 작업 속도가 증가하면 주행부 뿐만 아니라 작물 수확을 위한 하베스터의 작업이 가혹해지기 때문에 부하가 크게 증가한다는 사실을 알 수 있었다.
- 작업 속도 및 베일 압력 조건과는 관계없이 랩핑부 동력은 항상 일정하게 작용하였으며, 작업 속도가 6 km/h, 베일 압력 조건이 2단 압력일 때, 자주식 일관 작업기의 소요 동력이 가장 크게 나타났다.

표. 작업 조건에 따른 소요동력 분석 결과

작업 속도	베일 압력 조건	요소별 소요동력 (kW)								
		하베스터		베일러		주행부		랩핑부		합계
		최대	평균	최대	평균	최대	평균	최대	평균	평균
6 km/h	1단 압력	77.4	48.8	11.0	3.4	56.8	8.4	7.5	3.6	60.2
	2단 압력	68.2	49.8	12.2	5.1	50.4	8.8	7.5	4.0	62.5
5 km/h	1단 압력	47.8	32.5	11.1	3.3	30.8	6.5	7.4	4.2	42.6
	2단 압력	47.1	34.4	15.1	4.6	18.8	6.3	7.4	4.6	44.8

3) 3차년도

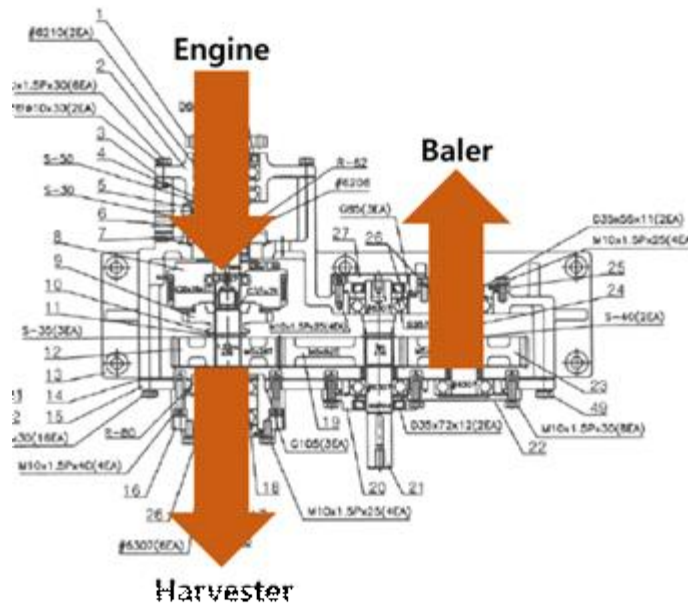
□ 연구목표

- 2차 시제품 주행 및 작업동력 시뮬레이션 모델 개발 및 성능평가
- 2차 시제품을 이용한 필드 작업 성능 평가

□ 연구결과

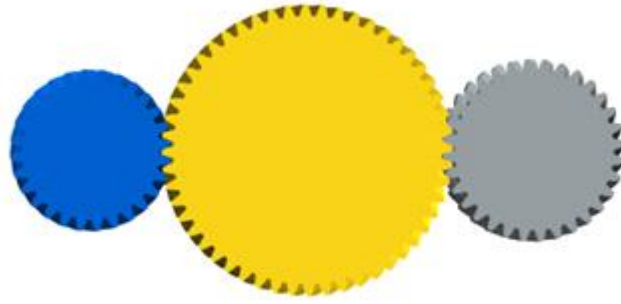
(1) 2차 시제품 주행 및 작업동력 시뮬레이션 모델 개발 및 성능평가

- 자주식 수확 시스템의 동력전달 시스템 시뮬레이션 모델을 개발하기 위하여 상용 기계요소 해석 프로그램인 KISSsoft(KISSsoft, Switzerland, 03/2017)을 사용하였다.
- 개발한 자주식 동력전달 시스템에 대한 분석을 수행하였으며, 별도의 변속 시스템이 탑재되어 있지 않기 때문에 단일 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다.
- 자주식 수확기는 엔진으로부터 동력을 전달받아 베일부 수확부에 각각 동력을 전달하는 구조를 가지고 있다. 작업 간 대부분의 부하가 해당 기어 시스템에서 발생한다.
- 이에따라, 해당 기어 시스템에 대한 시뮬레이션 모델을 개발하고 분석을 수행하였다. 기어시스템의 동력전달 흐름도는 아래 그림과 같이 구성된다.



자주식 수확기의 동력전달 시스템

- 엔진으로부터 동력을 전달받아 수확부 기어, 이후 베일부 기어로 동력을 전달한다.
- 세 개 기어가 한번에 연결되어 엔진으로부터 전달받은 동력을 전달하게 구성되어 있다.
- 엔진, 수확부, 베일부로 연결되어 있는 축들의 기어는 각각 28, 52, 32개의 이를 가지고 있다.
- 시뮬레이션 입력조건은 엔진의 출력 및 회전속도로 선정하였으며, 계측 된 데이터 중 최대 출력조건으로 시뮬레이션을 수행하였다.



감속기 기어 시뮬레이션 모델

- 최대조건에서의 부하를 이용하여 안전율에 대한 평가를 수행하였다. 차량의 안전성 평가를 위해 등가부하가 아닌, 최대 부하조건에서 연속작업을 할 조건에서의 안전율 평가를 수행하였다. 실 작업 조건에서는 더 높은 수준에 안전율이 나올 것으로 예상된다.
- 작업 간 수확부에서는 최대 33 kW(@969 rpm)이 발생하였으며, 베일부에서는 최대 15 kW(@1575 rpm)이 발생하였다. 이들 부하조건을 각각 해당 하는 조건에 부여하여 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션 입력조건 표

	Engine(28T)	Harvester (52T)	Blaer (32T)
Torque (Nm)	254	325	91
Rotation speed (rpm)	1,800	969	1575
Power (kW)	48	33	15

- 구동기어인 28T 기어를 포함, 모든 기어의 재질은 18CrMo4 재질로 선정하여 수행하였다.
- 개발된 차량은 대형 마력대의 트랙터의 작업을 대신한다고 가정하였으며, 이에따라 1년 사용시간은 321시간으로 설정하였다. 내구년수 10년을 보장하기 위해 수명보장 필요 시간은 3,210 시간으로 설정하였다.
- 28T 기어가 구동기어이며, 해당기어는 엔진으로부터 동력을 전달받는다. 기어박스로는 베일 및 수확부에서 발생하는 부하의 합이 전달된다. 이후 각기 수확부 베일부 기어를 지나감에 따라 동력이 배분되는 구조를 가지고 있다.
- 기어박스 시스템에 대한 시뮬레이션 결과, 엔진, 수확부, 베일부 구동축과 연결되어 있는 기어들의 굽힘 안전율은 각각 7.176, 8.831, 13.031로 나타났다. 이는 요구 수명시간인 3,210 시간동안 최대 부하조건으로 작업을 수행하여도 이뿌리 부분에는 파손이 일어나지 않을 것으로 판단이된다.
- 접촉 안전율에 대해서는 각각 2.317, 2.593, 3.191 로 나타났다. 이는 요구 수명시간동안 최대 부하조건에서 작업을 수행하여도 별도의 파손이 일어나지 않을 것으로 판단된다.
- 기어 및 작업특성에 따라 굽힘 안전율이 접촉 안전율에 비해 최소 3배이상 높은 수치를 보이고 있다. 접촉안전율에 경우도 2 이상의 수치들을 보여주고 있으며, 이는 내구수명을 보증할 수 있을 것으로 예상이 된다.

시뮬레이션 결과에 따른 안전율

	Engine(28T)	Harvester (52T)	Blaer (32T)
Root safety	7.176	8.831	13.031
Flank safety	2.317	2.593	3.191

- 이에 따른 굽힘 안전율은 구동, 피동 각각 0.653, 0.623으로 계산되었고, 접촉안전율은 구동, 피동 각각 0.63, 0.761 으로 계산됨. 이는 요구 수명시간인 3,112시간 구동 및 피동 기어의 치뿌리 및 치면에 파손이 일어날 가능성이 내에 파손이 일어날 가능성이 있을 것으로 판단됨.

(2) 2차 시제품을 이용한 필드 작업 성능 평가

- 부하 계측 시험은 2차년도에 개발한 시스템을 사용하였으며, 변형이 발생할 수 있는 하베스터 및 베일러 부하 계측 시스템(PTO 토크미터 및 축가공 센서)은 탈거 후 재교정 작업을 수행하였다. 이후 시험 이전에 재설치하였다.
- 해당 두센서는 이전년도와 동일한 통신 방식을 이용하여 계측(텔레메트리 및 유선)하였다.



설치된 토크미터 및 하베스터 계측 센서

- 부하 계측은 경남 진주(35.164905369, 128.28149893)에 위치한 총체벼 필드시험지에서 수행하였다. 시험조건은 연속작업(수확 - 베일 - 랩핑 동시 수행)으로 수행하였으며, 이는 실 작업 조건을 고려하기 위해 설정한 조건이다.



3차년도 필드시험지(경남 진주시)

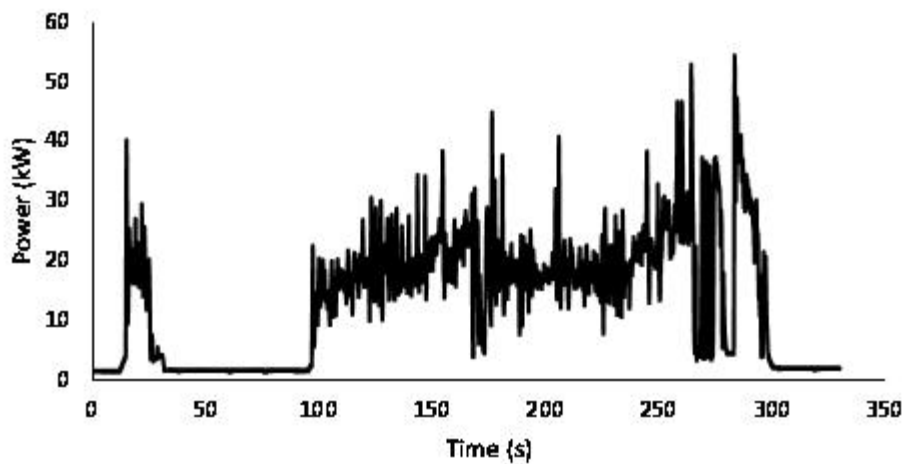
- 연속 작업 데이터는 총 7개로 분류하였으며, 이는 랩핑 작업을 기점으로 1개의 사이클이 완성된

것으로 판단하여 위와 같이 수행하였다. 차량 운전은 해당장비에 대해 경험이 풍부한 농민 및 개발사 직원분이 운전하였으며, 실제 사용조건과 동일한 조건에서 운행되었다.



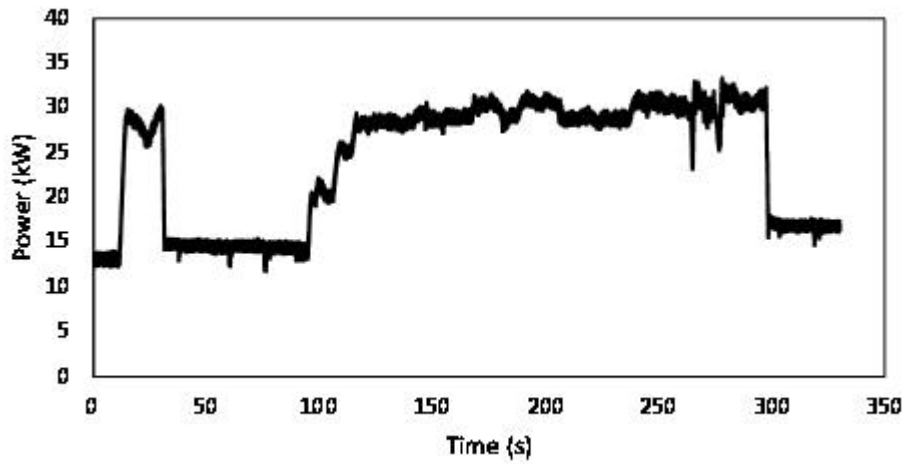
총체벼 수확작업 부하시험

- 첫 번째 부하사이클에서는, 주행부하의 경우 최소 1.38 kW, 평균 13.4 kW, 최대 54.55 kW 이며 분산은 10.37 kW로 나타났다.



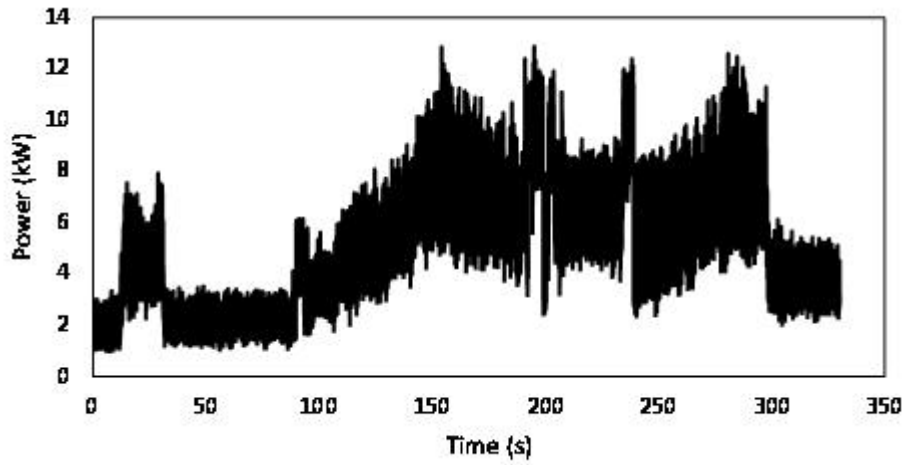
첫 번째 부하사이클 주행출력 데이터

- 수확부 출력의 경우 최소 11.92 kW, 평균 24.32 kW, 최대 33.36 kW 이며 분산은 6.82 kW로 나타났다.



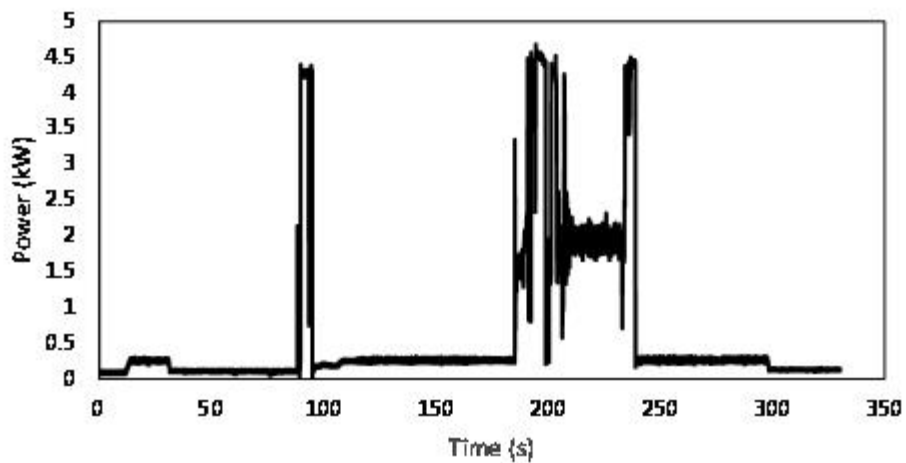
첫 번째 사이클 수확기 출력 데이터

- 베일부 출력의 경우 최소 1.03 kW, 평균 5.17 kW, 최대 12.87 kW 이며 분산은 2.35 kW로 나타났다.



첫 번째 부하사이클 베일부 출력 데이터

- 랩핑 출력의 경우 최소 0.18 kW, 평균 2.08 kW, 최대 4.68 kW 이며 분산은 1.37 kW로 나타났다.



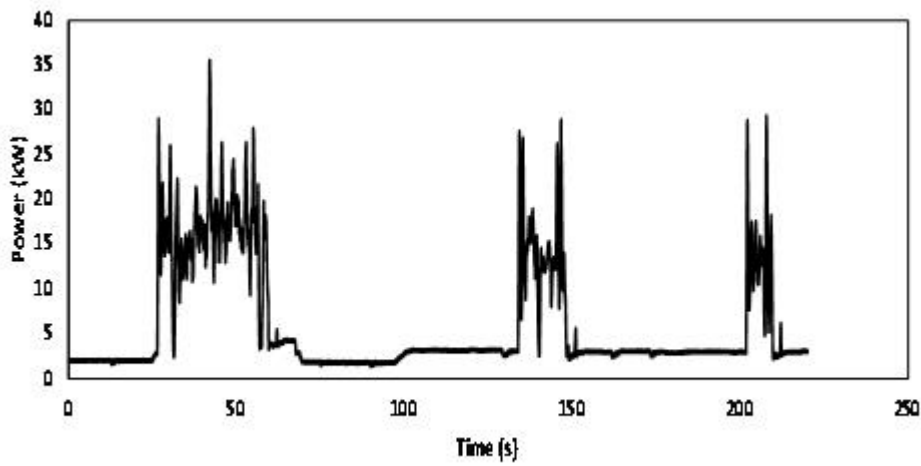
첫 번째 사이클 랩핑 출력 데이터

- 첫 번째 사이클의 수치를 정리하면 아래표와 같이 나타난다.

(단위 : kW)

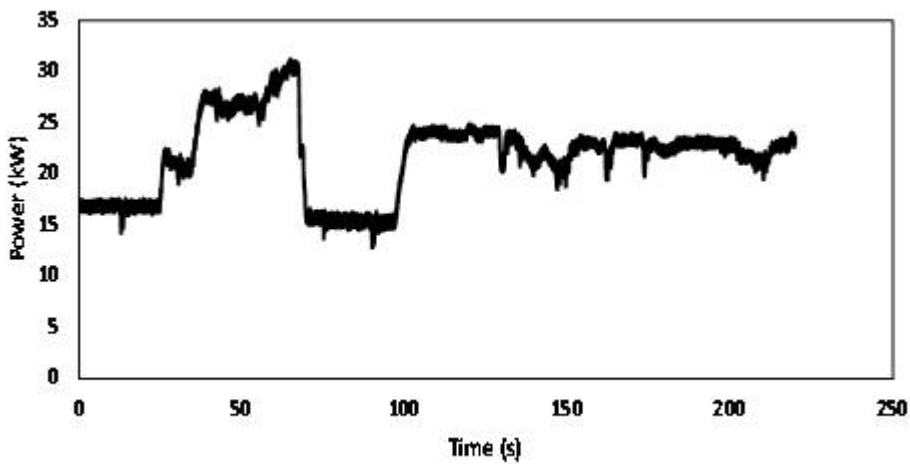
	Min.	Ave.	Max.	Std.
Driving	1.38	13.4	54.55	10.37
Harvester	11.92	24.32	33.36	6.82
Baler	1.03	5.17	12.87	2.35
Wrapping	0.18	2.08	4.68	1.37
Sum	14.51	44.97	105.46	20.91

- 두 번째 부하사이클에서는, 주행부하의 경우 최소 1.5 kW, 평균 5.93 kW, 최대 35.58 kW 이며 분산은 6.05 kW로 나타났다.



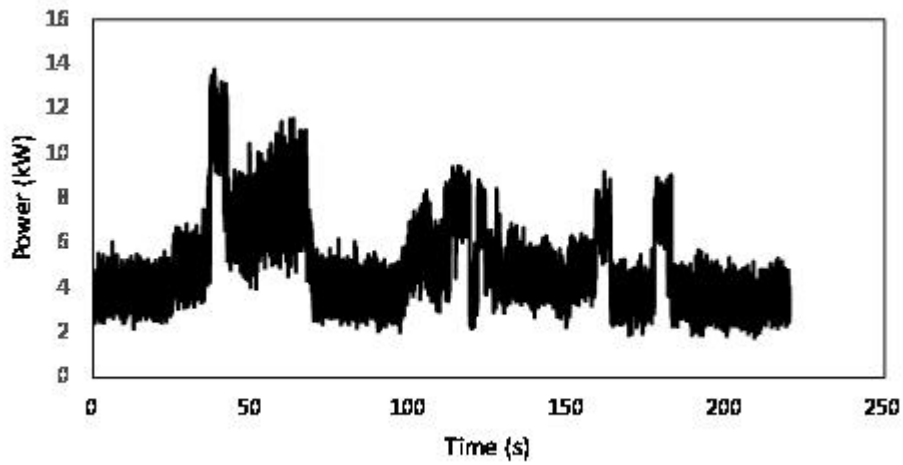
두 번째 부하사이클 주행부하 데이터

- 수확부 출력의 경우 최소 12.89 kW, 평균 25 kW, 최대 27.78 kW 이며 분산은 3.13 kW로 나타났다.



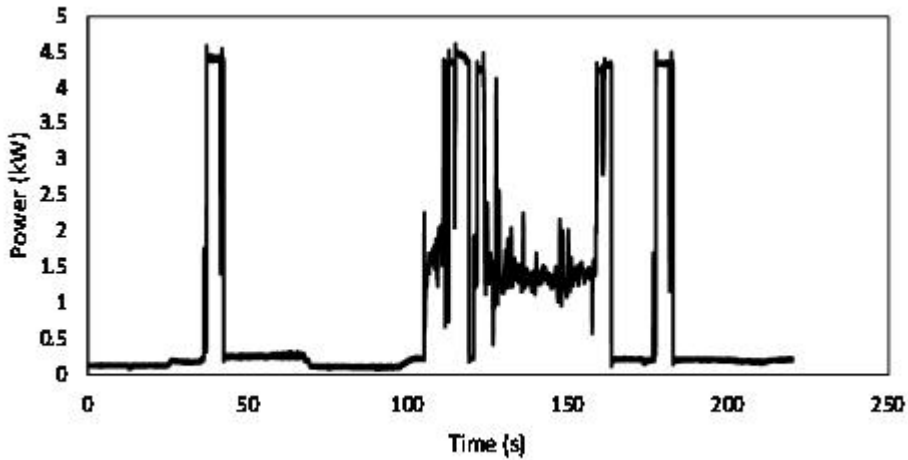
두 번째 부하사이클 수확부 출력 데이터

- 베일부 출력의 경우 최소 1.83 kW, 평균 4.96 kW, 최대 13.78 kW 이며 분산은 1.85 kW로 나타났다.



두 번째 부하사이클 베일부 출력 데이터

- 랩핑 출력의 경우 최소 0.08 kW, 평균 0.88 kW, 최대 4.62 kW 이며 분산은 1.29 kW로 나타났다.



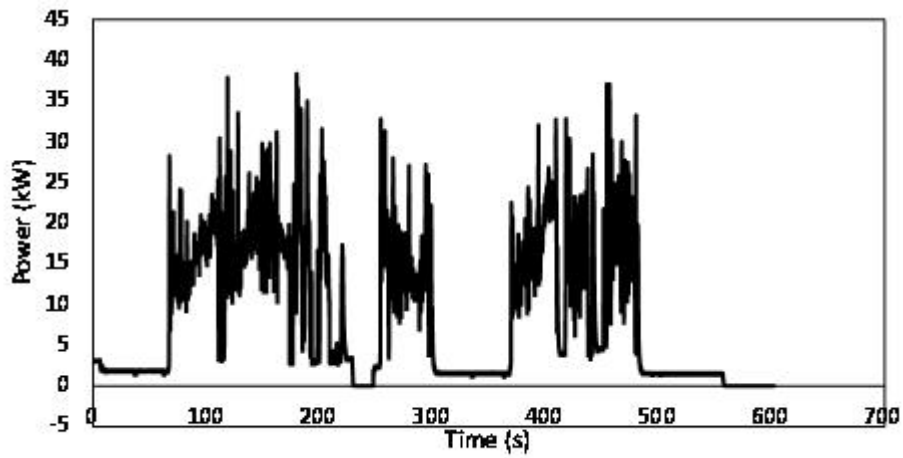
두 번째 부하사이클 랩핑 출력 데이터

- 두 번째 사이클의 수치를 정리하면 아래표와 같이 나타난다.

(단위 : kW)

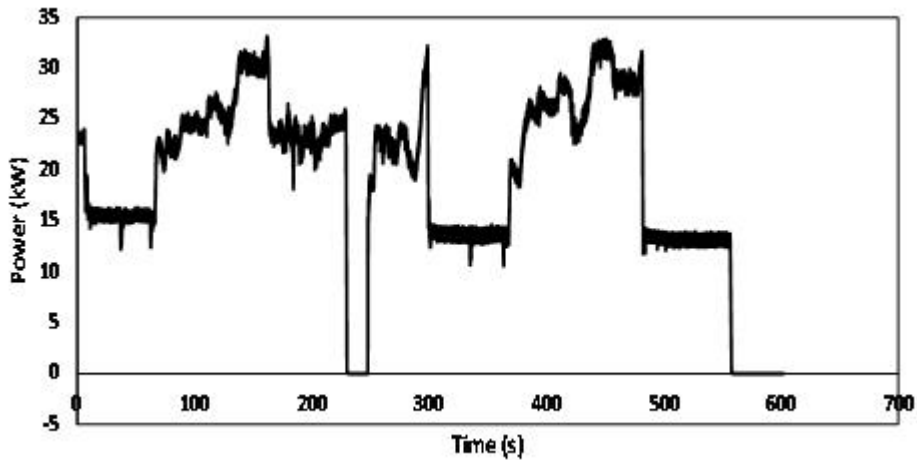
	Min	Average	Max	Stdev
Driving	1.5	5.93	35.58	6.05
Harvester	12.89	21.77	31.25	3.82
Baler	1.83	4.96	13.78	1.85
Wrapping	0.08	0.88	4.62	1.29
Sum	16.3	33.54	85.23	13.01

- 세 번째 부하사이클에서는, 주행부하의 경우 최소 2.84 kW, 평균 8.71 kW, 최대 38.37 kW 이며 분산은 8.42 kW로 나타났다.



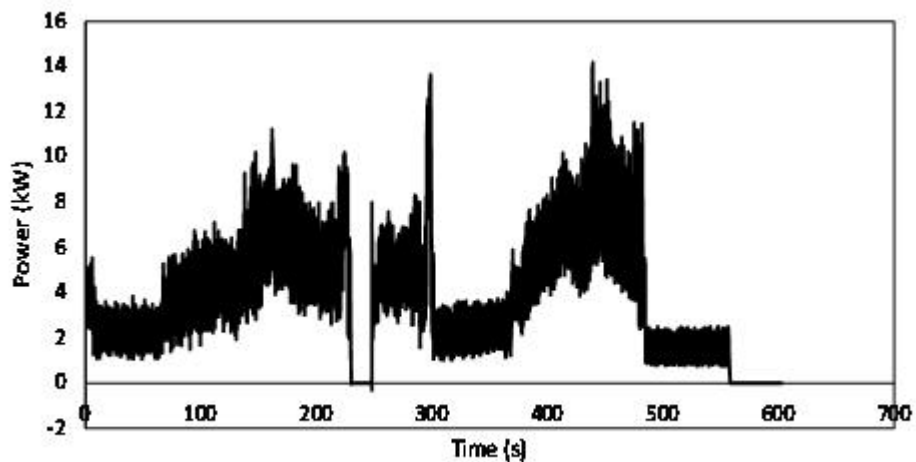
세 번째 부하사이클 주행부하 데이터

- 수확부 출력의 경우 최소 0 kW, 평균 18.86 kW, 최대 33.14 kW 이며 분산은 8.66 kW로 나타났다.



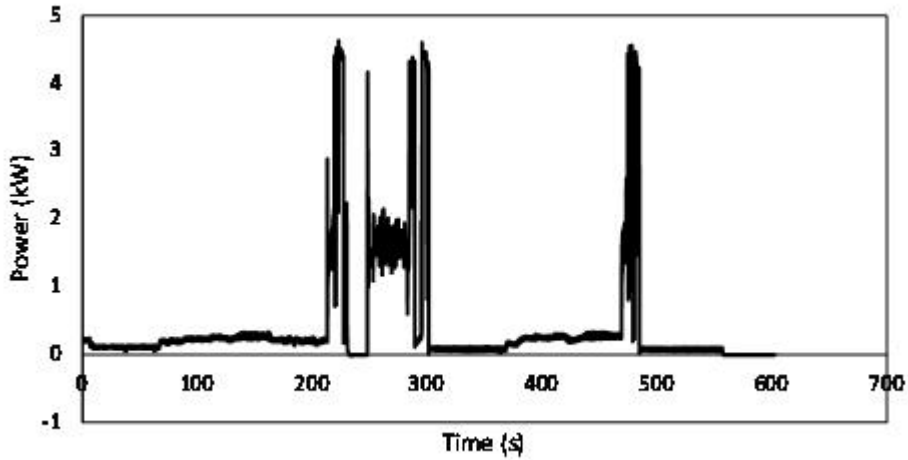
세 번째 부하사이클 수확부 출력 데이터

- 베일부 출력의 경우 최소 1.92 kW, 평균 3.82 kW, 최대 14.19 kW 이며 분산은 2.52 kW로 나타났다.



세 번째 부하사이클 베일부 출력 데이터

- 랩핑 출력의 경우 최소 0 kW, 평균 1.35 kW, 최대 4.63 kW 이며 분산은 1.42 kW로 나타났다.



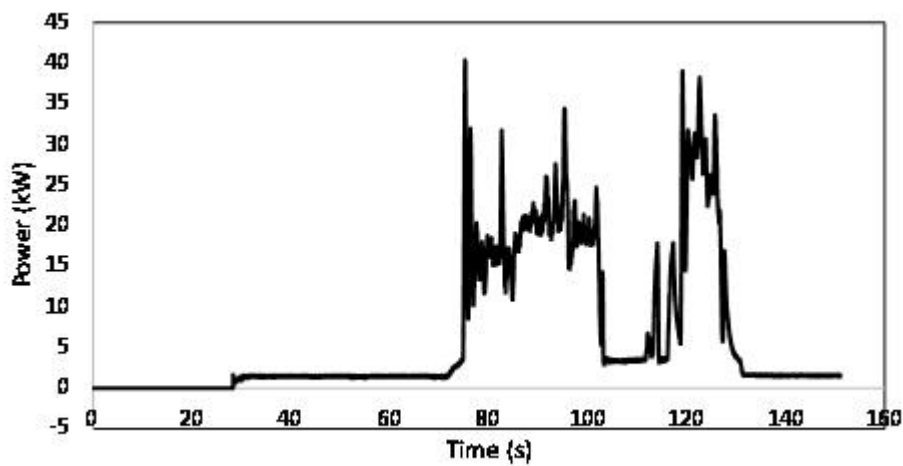
세 번째 부하사이클 랩핑 출력 데이터

- 세 번째 사이클의 수치를 정리하면 아래표와 같이 나타난다.

(단위 : kW)

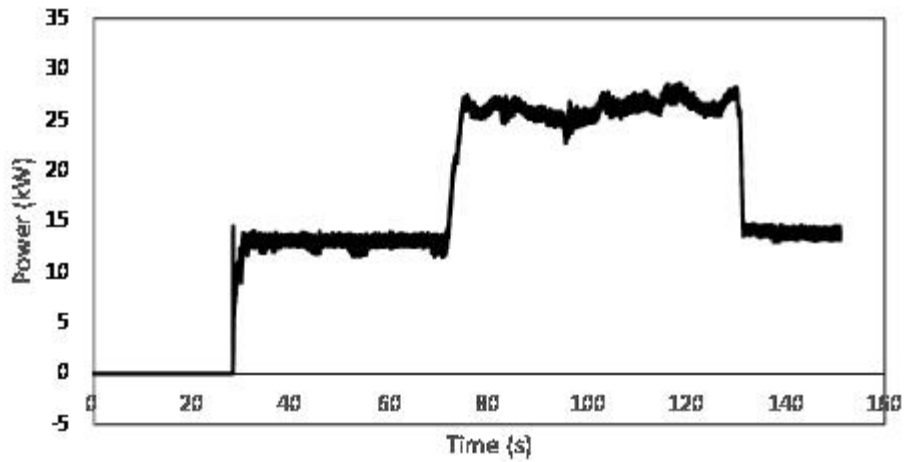
	Min.	Ave.	Max.	Std.
Driving	2.84	8.71	38.37	8.42
Harvester	0	18.86	33.14	8.66
Baler	1.92	3.82	14.19	2.52
Wrapping	0	1.35	4.63	1.42
Sum	4.76	32.74	90.33	21.02

- 네 번째 부하사이클에서는, 주행부하의 경우 최소 3 kW, 평균 15.78 kW, 최대 39.09 kW 이며 분산은 9 kW로 나타났다.



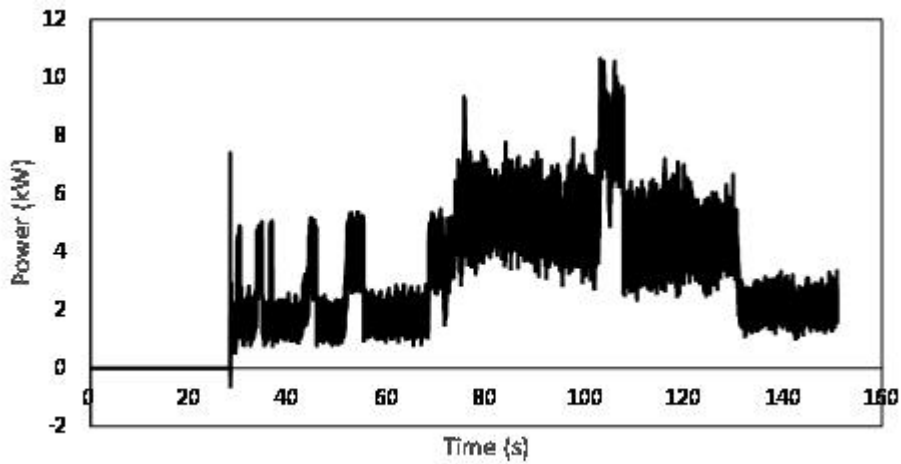
네 번째 부하사이클 주행부하 데이터

- 수확부 출력의 경우 최소 11.6 kW, 평균 25 kW, 최대 27.78 kW 이며 분산은 3.13 kW로 나타났다.



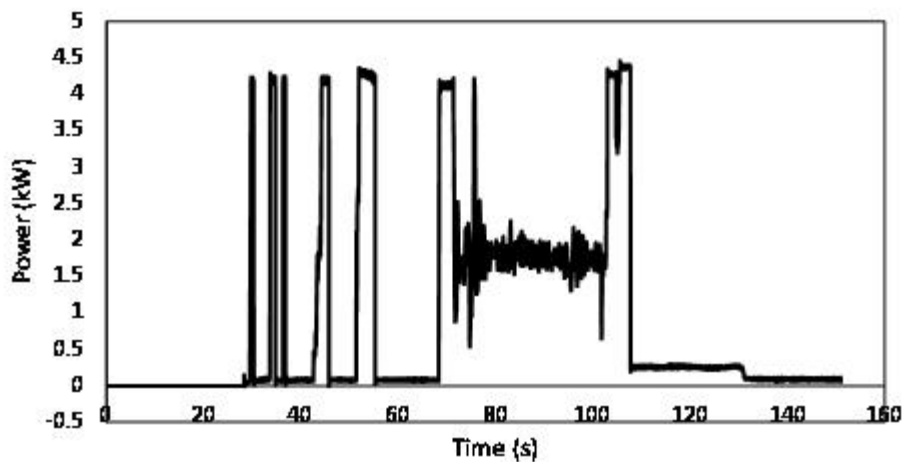
네 번째 부하사이클 수확부 출력 데이터

- 베일부 출력의 경우 최소 1.52 kW, 평균 5.38 kW, 최대 10.64 kW 이며 분산은 1.36 kW로 나타났다.



네 번째 부하사이클 베일부 출력 데이터

- 랩핑 출력의 경우 최소 0.66 kW, 평균 1.96 kW, 최대 4.35 kW 이며 분산은 0.67 kW로 나타났다.



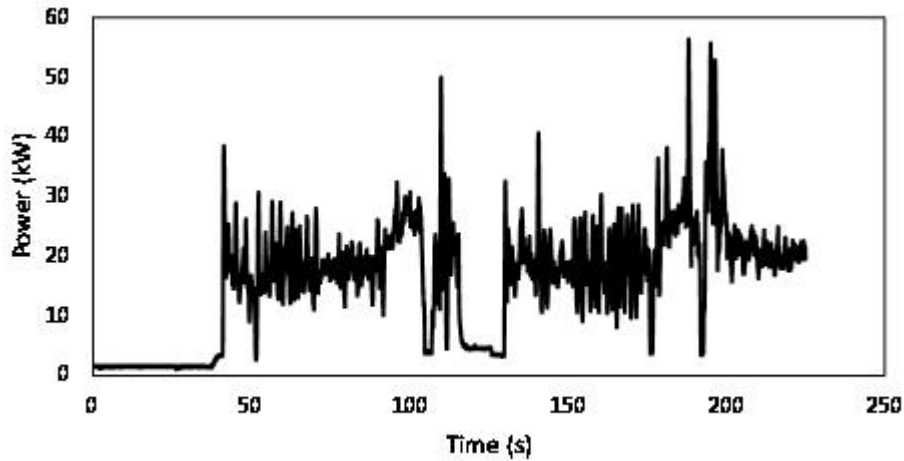
네 번째 부하사이클 랩핑 출력 데이터

- 네 번째 사이클의 수치를 정리하면 아래표와 같이 나타난다.

(단위 : kW)

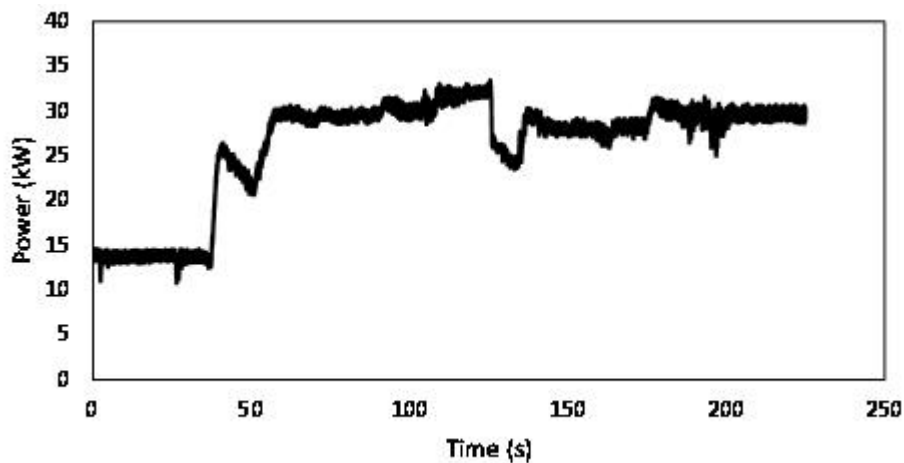
	Min	Average	Max	Stdev
Driving	3	15.78	39.09	9
Harvester	11.6	25	27.78	3.13
Baler	1.52	5.38	10.64	3.36
Wrapping	0.66	1.96	4.35	0.67
Sum	16.78	48.12	81.86	16.16

- 다섯 번째 부하사이클에서는, 주행부하의 경우 최소 1.44 kW, 평균 17.58 kW, 최대 56.4 kW 이며 분산은 8.76 kW로 나타났다.



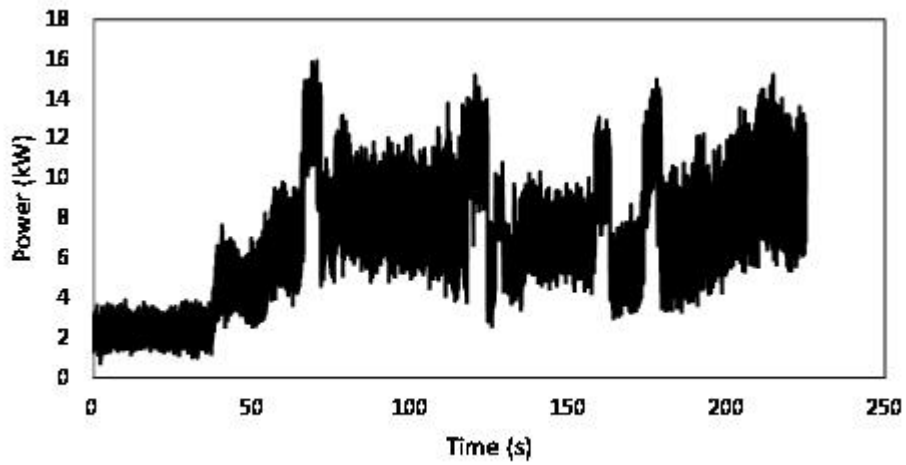
네 번째 부하사이클 주행부하 데이터

- 수확부 출력의 경우 최소 14.27 kW, 평균 21.9 kW, 최대 29.53 kW 이며 분산은 10.79 kW로 나타났다.



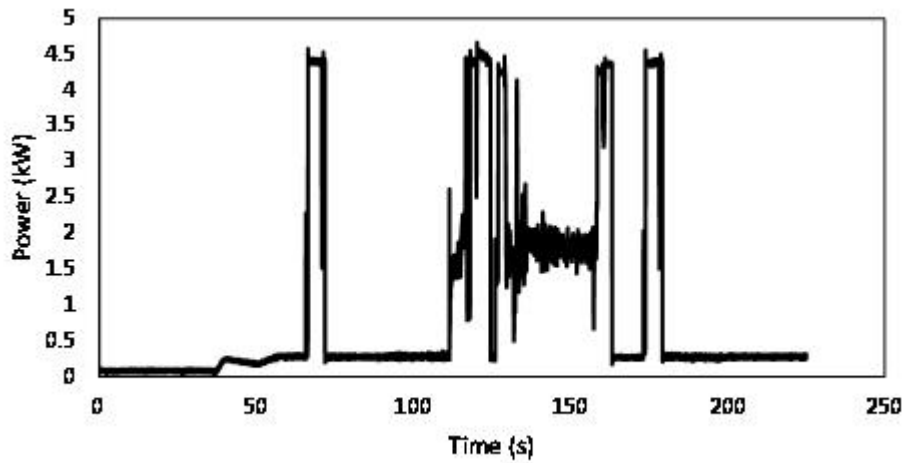
다섯 번째 부하사이클 수확부 출력 데이터

- 베일부 출력의 경우 최소 0.79 kW, 평균 6.87 kW, 최대 15.93 kW 이며 분산은 2.93 kW로 나타났다.



다섯 번째 부하사이클 베일부 출력 데이터

- 랩핑 출력의 겨우 최소 0.19 kW, 평균 1.42 kW, 최대 4.67 kW 이며 분산은 1.51 kW로 나타났다.



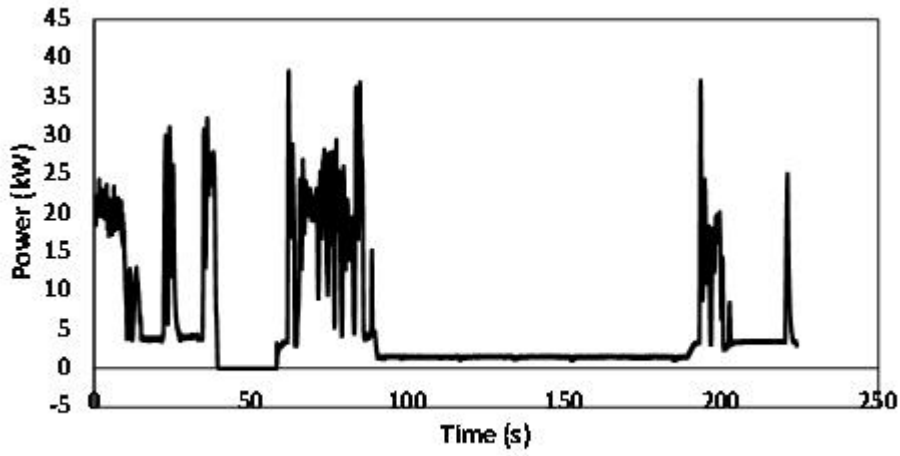
다섯 번째 부하사이클 랩핑 출력 데이터

- 다섯 번째 사이클의 수치를 정리하면 아래표와 같이 나타난다.

(단위 : kW)

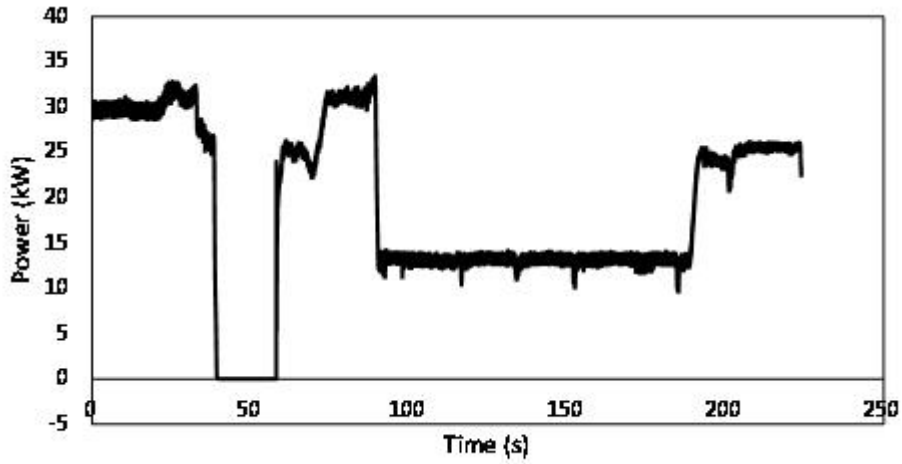
	Min.	Ave.	Max.	Std.
Driving	1.44	17.58	56.4	8.76
Harvester	14.27	21.9	29.53	10.79
Baler	0.79	6.87	15.93	2.93
Wrapping	0.19	1.42	4.67	1.51
Sum	16.69	47.77	106.53	23.99

- 여섯 번째 부하사이클에서는, 주행부하의 경우 최소 0 kW, 평균 6.01 kW, 최대 38.37 kW 이며 분산은 7.80 kW로 나타났다.



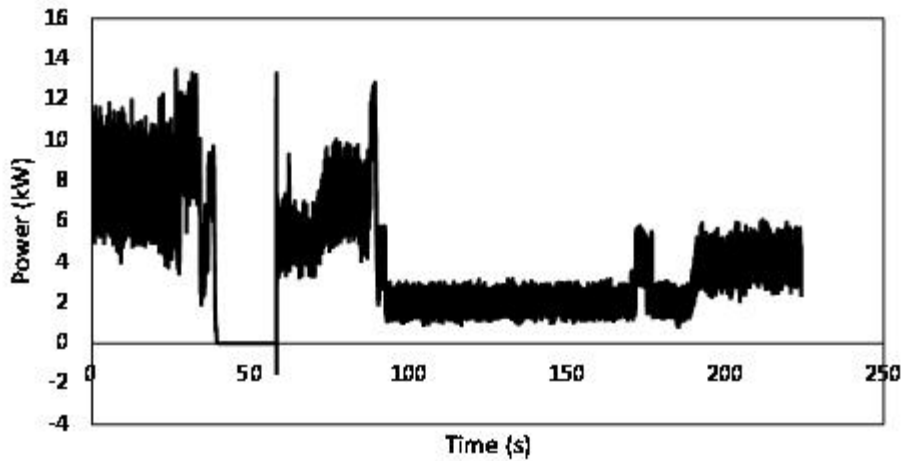
여섯 번째 부하사이클 주행부하 데이터

- 수확부 출력의 경우 최소 0 kW, 평균 18.79 kW, 최대 33.47 kW 이며 분산은 9.25 kW로 나타났다.



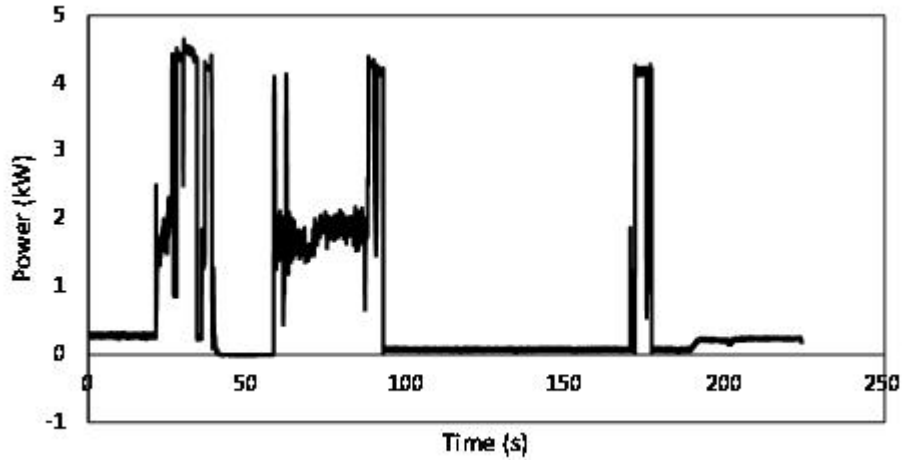
여섯 번째 부하사이클 수확부 출력 데이터

- 베일부 출력의 경우 최소 -1.41 kW, 평균 3.77 kW, 최대 13.47 kW 이며 분산은 2.69 kW로 나타났다.



여섯 번째 부하사이클 베일부 출력 데이터

- 랩핑 출력의 경우 최소 0 kW, 평균 1.34 kW, 최대 4.65 kW 이며 분산은 1.41 kW로 나타났다.



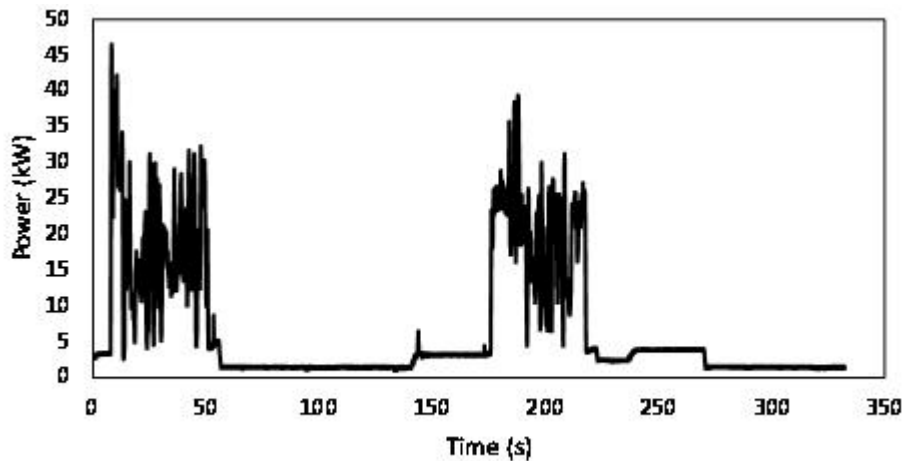
여섯 번째 부하사이클 랩핑 출력 데이터

- 여섯 번째 사이클의 수치를 정리하면 아래표와 같이 나타난다.

(단위 : kW)

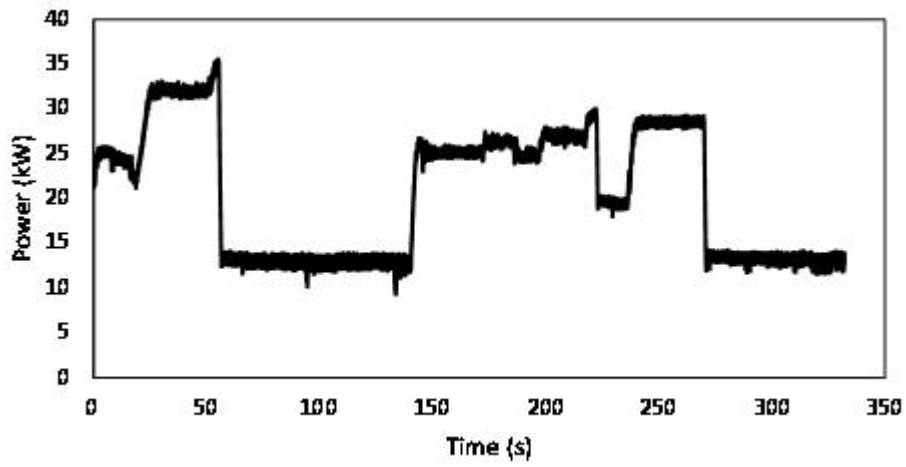
	Min.	Ave.	Max.	Std.
Driving	0	6.01	38.37	7.80
Harvester	0	18.79	33.47	9.25
Baler	-1.41	3.77	13.47	2.69
Wrapping	0	1.34	4.65	1.41
Sum	-1.41	29.91	89.96	21.15

- 일곱 번째 부하사이클에서는, 주행부하의 경우 최소 1.06 kW, 평균 6.80 kW, 최대 46.57 kW 이며 분산은 8.53 kW로 나타났다.



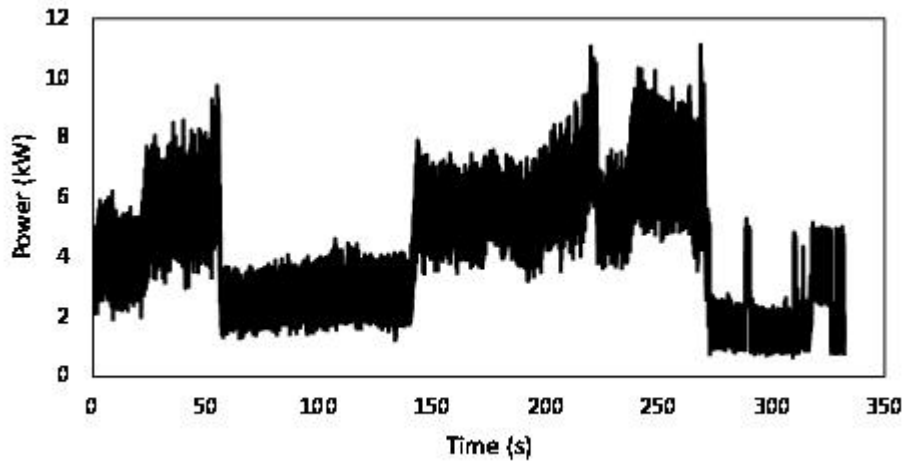
일곱 번째 부하사이클 주행부하 데이터

- 수확부 출력의 경우 최소 9.46 kW, 평균 20.76 kW, 최대 35.58 kW 이며 분산은 7.31 kW로 나타났다.



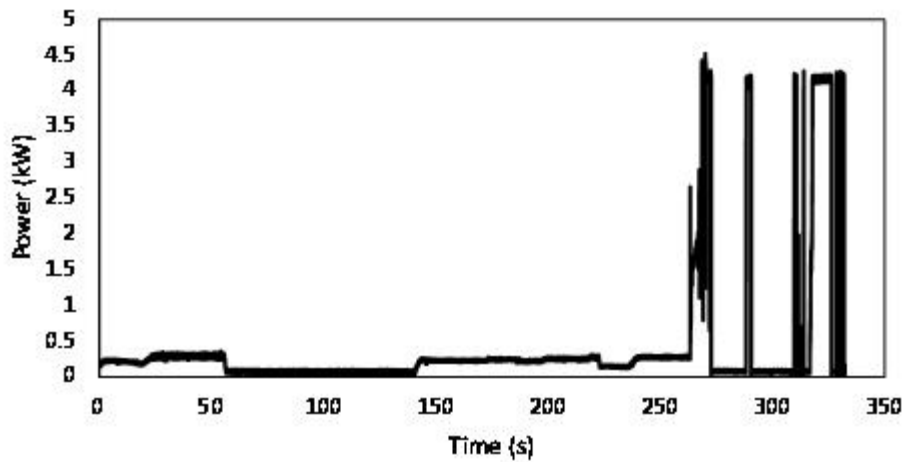
일곱 번째 부하사이클 수확부 출력 데이터

- 베일부 출력의 경우 최소 0.68 kW, 평균 4.26 kW, 최대 11.12 kW 이며 분산은 2 kW로 나타났다.



일곱 번째 부하사이클 베일부 출력 데이터

- 랩핑 출력의 경우 최소 0.01 kW, 평균 1.16 kW, 최대 4.52 kW 이며 분산은 1.66 kW로 나타났다.



일곱 번째 부하사이클 랩핑 출력 데이터

- 일곱 번째 사이클의 수치를 정리하면 아래표와 같이 나타난다.

(단위 : kW)

	Min.	Ave.	Max.	Std.
Driving	1.06	6.80	46.57	8.53
Harvester	9.46	20.76	35.58	7.31
Baler	0.68	4.26	11.12	2
Wrapping	0.01	1.16	4.52	1.66
Sum	11.21	32.98	97.79	19.5

2-5 협동연구기관(경상국립대학교)의 연구 내용

제1협동: 총체벼 사일리지 최적 발효를 위한 조제 기술 개발

<1차년도: 총체벼 사일리지의 미생물 첨가제 처리 방법, 함수율, 세절 길이 등의 조건에 따른 최적 발효 인자 구명>

[실험1] 수분함량(예건시간)과 미생물 첨가제에 의한 총체벼 사일리지 품질평가

1) 연구개발 목표

- 총체벼 사일리지의 미생물 첨가제 처리 방법, 함수율, 세절 길이 등의 조건에 따른 최적 발효 인자 구명

2) 연구수행 내용

- 재료 및 방법
 - 조사료 생산: 경남 진주시 소재 시험포장지에서 재배한 총체벼(영우 국내품종)을 약 200 kg을 수확하여 3~5 cm 길이로 절단한 후 사일리지 제조
 - 시험구와 미생물: 함수율을 달리한 사일리지를 제조하기 위해 예건 시간을 0, 1 및 2시간으로 달리한 총체벼를 이용하여, 예건 시간을 달리한 총체벼에 사일리지용 미생물 (*Lactobacillus brevis* + *Lactobacillus buchneri*)를 첨가하지 않은 시험구와 첨가한 시험구를 설정. 즉, 3(예건 시간) x 2(미생물 첨가제) factorial design으로 배치
 - 사일리지 제조: 총체벼 사일리지 제조 시 6개의 시험구별로 약 20 kg씩 분리하여 예건 0, 1 및 2시간에 미생물을 접종한 후 20 L mini silo에 시험구 당 4반복으로 총 24개의 사일리지 제조



○ 조사항목 및 분석방법

- 영양소 함량: 발효가 완료된 사일리지 300 g을 65°C 건조기에서 48시간 동안 건조시킨 후 분쇄기를 이용하여 입자도가 1 mm가 되게 분쇄한 후 AOAC 법 (1990)에 준하여 dry

- matter(DM), crude protein(CP), ether extract(EE), crude ash(CA) 함량을 분석하고, Van Soest 분석법(1991)에 준하여 Ankom²⁰⁰ Fiber Analyzer를 이용하여 neutral detergent fiber(NDF)와 acid detergent fiber(ADF) 함량을 분석
- 소화율: *In vitro* DM(IVDMD) 및 NDF(IVNDFD) 소화율은 캐놀라가 설치된 한우에서 채취한 반추위액과 분쇄된 사일리지를 포함한 Ankom bag을 Ankom Daisy II Incubators에서 48시간 분해시켜서 측정
 - 발효 특성: 사일리지 20 g과 증류수 200 mL을 혼합하여 균질화시킨 후 사일리지 추출물을 수거하였으며, 이것을 이용하여 사일리지의 pH, ammonia-N, 휘발성지방산(volatile fatty acid) 함량을 분석
 - 미생물: 사일리지 추출물을 MRS agar와 PDA agar에 분주하여 배양한 후 lactic acid bacteria(LAB)와 yeast와 mold를 분석하였으며, 배양조건으로 LAB는 anaerobic incubator에서 39°C에서 24시간 배양하고, yeast와 mold는 aerobic incubator를 이용하여 39°C에서 24시간 배양
 - 저장성: wire type의 온도계가 연결된 data logger를 이용하여 측정

3) 연구개발 결과

○ 총체벼 사일리지 발효 전 영양소 함량

- 예건 시간 및 미생물 첨가제에 따른 총체벼 사일리지 발효 전 영양소 함량은 표 2-1과 같음
- 예건 시간이 늘어날수록 증가하였고 건물 함량이 증가하였고($P < 0.001$), 조지방 함량은 감소하였음($P < 0.001$)
- 예건 시간에 따라서 조단백질, 조회분, NDF, ADF 및 hemicellulose 함량은 모든 시험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않음($P > 0.05$)
- 미생물을 첨가에 따라서 모든 일반성분 함량은 유의적인 차이가 나타나지 않음($P > 0.05$)

○ 총체벼 사일리지 발효 후 영양소 함량

- 예건 시간 및 미생물 첨가제에 따른 총체벼 사일리지 발효 후 영양소 함량은 표 2-2와 같음
- 예건 시간이 늘어날수록 증가하였고 건물 함량은 ($P < 0.001$), 조지방 함량은 감소하였음 ($P = 0.001$)
- 조단백질, 조회분, NDF, ADF 및 hemicellulose 함량은 모든 시험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않음($P > 0.05$)
- 미생물을 첨가에 따라서 모든 일반성분 함량은 유의적인 차이가 나타나지 않음($P > 0.05$)

표 2-1. 총체벼 사일리지 제조 전 일반성분 (% , 건물기준)

	미처리구 ¹			미생물처리구			SEM
	미예건 ²	적정 예건	장시간 예건	미예건	적정 예건	장시간 예건	
건물	35.1	43.6	51.5	35.7	43.7	51.6	0.587
조단백질	8.83	8.94	8.87	8.80	8.89	8.61	0.307
조지방	2.66	2.56	2.36	2.66	2.57	2.38	0.143
조회분	7.73	7.60	7.91	7.68	7.90	7.38	0.627
중성세제불용성섬유(NDF)	50.0	49.9	49.8	50.3	49.9	50.4	0.616
산성세제불용성섬유(ADF)	28.4	27.8	27.5	27.9	27.9	28.2	0.665
헤미셀룰로오스	21.5	22.1	22.3	22.4	22.0	22.2	0.879

Contrast	건물	조단백질	조지방	조회분	NDF	ADF	헤미셀룰로오스
첨가제	0.300	0.441	0.769	0.737	0.305	0.593	0.572
예건	<.001	0.672	<.001	0.990	0.731	0.715	0.739

¹미처리구, 첨가제 미처리구; 미생물처리구, *L. brevis* 5M2와 *L. buchneri* 6M1를 1:1 비율 첨가제 처리구.

²미예건, 예건 미실시; 적정 예건, 적정 건물함량 수준 예건; 장시간 예건, 높은 건물함량 수준 예건.

표 2-2. 총체버 사일리지의 일반성분에 대한 첨가제와 수분함량(예건 시간)의 효과(% , 건물기준)

	미처리구 ¹			미생물처리구			SEM
	미예건 ²	적정 예건	장시간 예건	미예건	적정 예건	장시간 예건	
건물	32.3	39.8	49.3	32.5	39.3	49.0	1.751
조단백질	8.97	8.96	9.09	9.12	8.97	9.03	0.186
조지방	3.28	3.29	3.01	3.28	3.22	3.03	0.095
조회분	8.97	8.72	8.99	9.13	8.59	9.03	0.552
중성세제불용성섬유(NDF)	55.0	56.1	55.5	54.6	54.8	53.8	1.396
산성세제불용성섬유(ADF)	32.0	31.8	31.4	32.0	31.8	31.0	1.562
헤미셀룰로오스	22.9	24.3	24.3	22.6	23.0	22.8	0.891

Contrast	건물	조단백질	조지방	조회분	NDF	ADF	헤미셀룰로오스
첨가제	0.855	0.656	0.859	0.942	0.622	0.844	0.204
예건	<.001	0.745	0.001	0.459	0.608	0.667	0.433

¹미처리구, 첨가제 미처리구; 미생물처리구, *L. brevis* 5M2와 *L. buchneri* 6M1를 1:1 비율 첨가제 처리구.

²미예건, 예건 미실시; 적정 예건, 적정 건물함량 수준 예건; 장시간 예건, 높은 건물함량 수준 예건.

○ 총체벼 사일리지 발효 후 발효 특성

- 예건 시간 및 미생물 첨가제에 따른 총체벼 사일리지 발효 후 발효 특성은 표 2-3과 같음
- 미생물을 첨가하였을 때 pH($P=0.26$), 초산($P<0.001$) 및 프로피온산($P<0.001$) 증가하였고, 젖산($P<0.001$)과 낙산($P=0.022$)은 감소함
- 예건 시간이 늘어날수록 pH는 증가하였고($P=0.005$), 암모니아태 질소($P<0.001$), 젖산($P=0.012$), 초산($P<0.001$), 프로피온산($P=0.017$) 및 낙산($P<0.001$)은 감소함

○ 총체벼 사일리지 발효 후 미생물 총 균수

- 예건 시간 및 미생물 첨가제에 따른 총체벼 사일리지 발효 후 미생물 성상은 표 2-4와 같음
- 미생물을 첨가하였을 때 유산균 수는 증가하였고, 곰팡이는 감소함($P<0.001$)
- 예건 시간이 늘어날수록 곰팡이 수는 감소하였으며($P<0.001$), 미생물 첨가한 모든 시험구에서는 곰팡이가 나타나지 않음
- 예건 시간에 따라서, 유산균과 효모균은 모든 시험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않음 ($P>0.05$)

표 2-3. 총체벼 사일리지의 발효 특성에 대한 첨가제와 수분함량(예건 시간)의 효과

	미처리구 ¹			미생물처리구			SEM
	미예건 ²	적정 예건	장시간 예건	미예건	적정 예건	장시간 예건	
pH	4.55	4.68	4.73	4.73	4.75	4.84	0.054
암모니아태 질소, % 건물	0.14	0.08	0.06	0.12	0.07	0.06	0.014
젖산, % 건물	5.69	5.38	4.31	3.84	3.70	2.71	0.635
초산, % 건물	4.88	2.70	2.01	8.77	6.66	6.14	0.618
프로피온산, % 건물	0.00	0.00	0.00	0.50	0.52	0.41	0.054
낙산, % 건물	1.24	0.37	0.01	0.51	0.02	0.00	0.182
젖산:초산 비율	1.17	1.99	2.14	0.44	0.56	0.44	0.469

Contrast	pH	암모니아태 질소	젖산	초산	프로피온산	낙산	젖산:초산 비율
첨가제	0.025	0.102	<.001	<.001	<.001	0.022	<.001
예건	0.005	<.001	0.012	<.001	0.017	<.001	0.079

¹미처리구, 첨가제 미처리구; 미생물처리구, *L. brevis* 5M2와 *L. buchneri* 6M1를 1:1 비율 첨가제 처리구.

²미예건, 예건 미실시; 적정 예건, 적정 건물함량 수준 예건; 장시간 예건, 높은 건물함량 수준 예건.

표 2-4. 총체버 사일리지의 미생물 수에 대한 첨가제와 수분함량(예건 시간)의 효과

	미처리구 ¹			미생물처리구			SEM
	미예건 ²	적정 예건	장시간 예건	미예건	적정 예건	장시간 예건	
유산균, log10 cfu/g	7.26	7.29	7.13	8.24	7.86	7.85	0.197
효모균, log10 cfu/g	8.00	7.97	7.87	8.01	7.97	7.83	0.143
곰팡이, log10 cfu/g	3.25	3.05	ND	ND	ND	ND	0.043
Contrast	유산균		효모균	곰팡이			
첨가제	<.001		0.708	<.001			
예건	0.053		0.157	<.001			

¹미처리구, 첨가제 미처리구; 미생물처리구, *L. brevis* 5M2와 *L. buchneri* 6M1를 1:1 비율 첨가제 처리구.

²미예건, 예건 미실시; 적정 예건, 적정 건물함량 수준 예건; 장시간 예건, 높은 건물함량 수준 예건. ND, < 4.0 log10 cfu/g.

○ 총체벼 사일리지 발효 후 반추위 분해율

- 예건 시간 및 미생물 첨가제에 따른 총체벼 사일리지 발효 후 미생물 성상은 표 2-5와 같음
- 미생물을 첨가하였을 때 섬유소 소화($P=0.001$)와 총 소화($P<0.001$)는 증가하였으며, 전분 소화($P=0.032$)와 소화 속도($P=0.11$)는 감소함
- 예건 시간이 늘어날수록 섬유소 소화($P=0.004$)와 총 소화($P<0.001$)는 감소하였으며, 정체기는 예건 시간이 늘어날수록 증가함($P<0.001$)
- 예건 시간에 따라서, 전분 소화와 소화 속도는 모든 시험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않음($P>0.05$)

○ 총체벼 사일리지 발효 후 반추위 발효 특성

- 예건 시간 및 미생물 첨가제에 따른 총체벼 사일리지 발효 후 미생물 성상은 표 2-6과 같음
- 미생물을 첨가하였을 때 초산($P=0.007$) 함량은 증가하였으며, 프로피온산 함량은 감소함($P<0.001$)
- 예건 시간이 늘어날수록 총 VFA($P=0.005$) 함량과 프로피온산($P=0.044$) 함량은 증가함
- pH, 암모니아태 질소, 아이소 뷰티르산, 낙산, 아이소 발레르산, 발레르산 함량 및 초산: 프로피온산은 모든 시험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않음($P>0.05$)

표 2-5. 총체버 사일리지의 반추위 내 소화에 대한 첨가제와 수분함량(예건 시간)의 효과

Item	미처리구 ¹			미생물처리구			SEM
	미예건 ²	적정 예건	장시간 예건	미예건	적정 예건	장시간 예건	
신속 소화, mL/g 건물	0.72	0.82	0.83	0.65	0.64	0.71	0.077
잠재적 소화, mL/g 건물	3.75	3.60	3.48	3.97	3.93	3.71	0.087
총 소화, mL/g 건물	4.47	4.42	4.31	4.62	4.57	4.42	0.025
소화속도, %/시간	0.08	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.007
정지기, 시간	1.41	1.42	2.78	1.16	1.08	2.85	0.258

Contrast	전분 소화	섬유소 소화	총 소화	소화속도	정체기
첨가제	0.032	0.001	<.001	0.011	0.293
예건	0.359	0.004	<.001	0.147	<.001

¹미처리구, 첨가제 미처리구; 미생물처리구, *L. brevis* 5M2와 *L. buchneri* 6M1를 1:1 비율 첨가제 처리구.

²미예건, 예건 미실시; 적정 예건, 적정 건물함량 수준 예건; 장시간 예건, 높은 건물함량 수준 예건.

표 2-6. 총체버 사일리지의 반추 발효 특성에 대한 첨가제와 수분함량(예건 시간)의 효과

	미처리구 ¹			미생물처리구			SEM
	미예건 ²	적정 예건	장시간 예건	미예건	적정 예건	장시간 예건	
pH	6.43	6.40	6.44	6.41	6.40	6.43	0.027
암모니아태 질소, mg/dL	31.2	27.5	30.1	30.3	29.1	29.1	2.112
총 VFA, mM/dL	231.7	231.0	225.4	235.6	233.0	226.5	2.088
초산, % molar	67.4	67.9	68.0	68.2	68.1	69.0	0.412
프로피온산, % molar	15.9	16.2	16.0	15.5	15.7	14.9	0.205
아이소뷰티르산, % molar	1.40	1.34	1.33	1.40	1.41	1.28	0.069
낙산, % molar	12.0	11.5	11.7	11.7	11.6	11.9	0.191
아이소발레르산, % molar	2.40	2.23	2.21	2.24	2.28	2.25	0.077
발레르산, % molar	0.98	0.82	0.73	0.88	0.93	0.74	0.100
초산: 프로피온산 비율	4.26	4.20	4.26	4.04	4.35	4.65	0.247

Contrast	pH	암모니아태 질소	총 VFA	초산	프로피온산	아이소 뷰티르산	낙산	아이소 발레르산	발레르산	초산:프로피온산
첨가제	0.318	0.958	0.097	0.007	<.001	0.857	0.621	0.719	0.761	0.299
예건	0.170	0.228	0.005	0.056	0.044	0.098	0.280	0.268	0.025	0.134

¹미처리구, 첨가제 미처리구; 미생물처리구, *L. brevis* 5M2와 *L. buchneri* 6M1를 1:1 비율 첨가제 처리구.

²미예건, 예건 미실시; 적정 예건, 적정 건물함량 수준 예건; 장시간 예건, 높은 건물함량 수준 예건.

<2차년도: 자주식 총채벼 일괄 작업기의 교반 조건, 베일 압력 등의 조건에 따른 최적 발효인자 구명

[실험 2] 압력, 교반 및 미생물 첨가제에 의한 총채벼 사일리지 품질 평가

1) 연구개발 목표

- 교반 조건 및 베일 압력에 따른 총채벼 사일리지의 최적 발효 조건 규명

2) 연구수행 내용

- 재료 및 방법
 - 조사료 생산: 경남 진주시 소재 시험포장지에서 재배한 총채벼(영우 국내품종)을 약 10,000 kg을 이용하여 1차 일괄 작업기(시작품)를 이용하여 곤포 사일리지 제조
 - 시험구: 교반, 압력(1단계, 2단계) 및 총채벼 사일리지용 미생물(*Lactobacillus brevis* + *Lactobacillus buchneri*)을 첨가한 시험구와 첨가하지 않은 첨가하지 않은 시험구를 설정. 즉, 2(교반) x 2(압력) x 2(미생물 첨가제) factorial design으로 배치
 - 사일리지 제조: 1차 일괄 작업기(시작품)를 이용하여 8개의 시험구별로 약 300 kg 곤포사일리지를 시험구당 3반복으로 24개의 사일리지 제조



○ 조사항목 및 분석 방법

- 영양소 함량, 소화율, 발효 특성, 미생물 및 저장성 분석은 실험 1과 동일함

3) 연구개발 결과

○ 총체벼 사일리지 제조직전 영양소 함량

- 사일리지 제조직전 총체벼의 영양소 함량을 조사한 결과는 표 2-7과 같음
- 건물, 조단백질 및 NDF 함량은 각각 49.7, 9.58 및 39.7%를 나타냄

표 2-7. 사일리지 제조 전 총체벼 일반성분 (% , 건물기준)

	평균값	표준편차
건물	49.7	0.750
조단백질	9.59	0.030
조지방	2.85	0.632
조회분	6.74	0.236
중성세제불용성섬유(NDF)	39.7	0.590
산성세제불용성섬유(ADF)	21.9	0.672
헤미셀룰로오스	17.8	0.492

○ 총체벼 사일리지 발효 후 영양소 함량

- 미생물 첨가제, 압력 및 교반 조건을 달리하여 제조한 총체벼 사일리지의 영양소 함량을 조사한 결과는 표 2-8과 같음
- 미생물 첨가제, 압력 및 교반에 따라서, 총체벼 사일리지 영양소 함량에 영향을 미치지 않았음

○ 총체벼 사일리지 발효 후 발효 특성

- 미생물 첨가제, 압력 및 교반 조건을 달리하여 제조한 총체벼 사일리지의 발효특성을 조사한 결과는 2-9과 같음
- 미생물 처리구에서 젖산과 암모니아태 질소 함량은 낮게 나타났고, pH와 프로피온산 함량은 높게 나타남($P < 0.05$)
- 고압력 처리구에서 pH는 낮았으며, 젖산과 프로피온산 함량은 높았음($P > 0.05$)
- 교반 처리구에서 프로피온산 함량이 높았음($P < 0.05$)

표 2-8. 총체버 사일리지의 일반성분에 대한 첨가제, 압력 및 교반의 효과 (% , 건물기준)

	미처리구 ¹				미생물처리구				SEM	P-값
	저압력		고압력		저압력		고압력			
	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반		
건물	42.8	39.8	43.0	40.3	41.9	41.6	41.9	42.4	1.733	0.341
조단백질	9.21	9.63	9.11	9.42	9.59	9.28	9.52	9.11	0.382	0.686
조지방	3.40	3.23	2.97	3.23	3.05	3.10	3.15	3.00	0.407	0.918
조회분	7.49	7.30	7.18	7.11	7.41	7.64	6.36	7.01	0.547	0.426
중성세제불용성섬유(NDF)	43.3	38.9	40.6	40.3	41.3	40.6	35.9	38.8	3.263	0.449
산성세제불용성섬유(ADF)	25.4	22.5	23.6	24.2	23.7	23.8	21.0	23.1	1.887	0.408
헤미셀룰로오스	17.9	16.4	17.0	16.1	17.6	16.8	14.9	15.7	1.469	0.469

Contrast ²	건물	조단백질	조지방	조회분	NDF	ADF	헤미셀룰로오스
첨가제	0.580	0.360	0.487	0.511	0.301	0.246	0.418
압력	0.648	0.686	0.489	0.070	0.234	0.404	0.125
교반	0.110	0.615	0.957	0.702	0.519	0.755	0.313

¹미처리구, 첨가제 미처리구; 미생물처리구, *L. brevis* 5M2와 *L. buchneri* 6M1를 1:1 비율 첨가제 처리구; 저압력, 낮은 사일리지 압축력; 고압력, 높은 사일리지 압축력; 미교반, 교반 미적용; 교반, 교반 적용. ²첨가제, 첨가제 적용 효과; 압력, 사일리지 압축 효과; 교반, 사일리지 교반 효과.

표 2-9. 총체버 사일리지의 발효 특성에 대한 첨가제, 압력 및 교반의 효과

	미처리구				미생물처리구				SEM
	저압력		고압력		저압력		고압력		
	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	
pH	4.71	4.45	4.76	4.62	4.71	4.74	4.83	4.89	0.130
암모니아태 질소, % 건물	0.08	0.09	0.11	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.023
젖산, % 건물	0.77 ^{ab}	1.06 ^a	0.68 ^{bc}	0.72 ^{abc}	0.51 ^{bcd}	0.39 ^{cd}	0.26 ^d	0.37 ^d	0.086
초산, % 건물	0.34	0.35	0.28	0.28	0.38	0.34	0.36	0.29	0.009
프로피온산, % 건물	ND ^c	ND ^c	ND ^c	ND ^c	0.13 ^a	0.10 ^b	0.11 ^{ab}	0.09 ^b	0.007
낙산, % 건물	0.08	0.08	0.10	0.06	0.06	0.06	0.08	0.04	0.028
젖산:초산 비율	2.30 ^{abc}	3.00 ^a	2.42 ^{ab}	2.62 ^a	1.35 ^{bc}	1.21 ^c	1.06 ^c	1.25 ^c	0.300
Contrast	pH	암모니아태질소	젖산	초산	프로피온산	낙산	젖산:초산 비율		
첨가제	0.023	0.012	<0.001	0.476	<0.001	0.164	<0.001		
압력	0.041	0.661	0.004	0.270	0.036	0.931	0.437		
교반	0.157	0.484	0.102	0.620	0.003	0.122	0.155		

¹미처리구, 첨가제 미처리구; 미생물처리구, *L. brevis* 5M2와 *L. buchneri* 6M1를 1:1 비율 첨가제 처리구; 저압력, 낮은 사일리지 압축력; 고압력, 높은 사일리지 압축력; 미교반, 교반 미적용; 교반, 교반 적용. ²첨가제, 첨가제 적용 효과; 압력, 사일리지 압축 효과; 교반, 사일리지 교반 효과. ND, < 0.01% 건물. ^{a-c}같은 행에 각 위첨자가 있는 평균은 유의적인 차이가 있음 ($p < 0.05$).

○ 총체벼 사일리지 발효 후 미생물 총 균수

- 미생물 첨가제, 압력 및 교반을 달리하여 제조한 총체벼 사일리지의 미생물 성장과 호기적 안정성을 조사한 결과는 표 2-10과 같음
- 미생물 처리구에서 유산균 수는 감소하였으나, 효모균 수와 호기적 안정성은 증가하였음 ($P < 0.05$)
- 압력과 교반에 따른 효과는 나타나지 않았음

○ 총체벼 사일리지 기호성

- 미생물 첨가제, 압력 및 교반을 달리하여 제조한 총체벼 사일리지의 한우에 대한 사료섭취량을 조사한 결과는 표 2-11와 같음
- 모든 미생물 처리구에서 총체벼 사일리지 섭취량이 개선되었음 ($P < 0.001$)
- 교반 처리구에서 사료 섭취량이 개선되었음 ($P < 0.001$)

표 2-10. 총체버 사일리지의 미생물 수와 호기적안정성에 대한 첨가제, 압력 및 교반의 효과

	미처리구				미생물처리구				SEM
	저압력		고압력		저압력		고압력		
	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	
유산균, log10 cfu/g	8.31	8.21	8.17	8.27	7.86	7.86	7.99	7.99	0.192
효모균, log10 cfu/g	8.24 ^b	8.24 ^b	8.20 ^b	8.29 ^b	9.16 ^a	9.29 ^a	9.28 ^a	9.11 ^a	0.113
곰팡이, log10 cfu/g	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	N/A
호기적안정성, 시간	90.8 ^b	78.8 ^b	75.3 ^b	105.3 ^b	>240 ^a	>240 ^a	>240 ^a	>240 ^a	21.78

Contrast	유산균	효모균	곰팡이	호기적안정성
첨가제	0.004	<0.001	N/A	<0.001
압력	0.751	0.901	N/A	0.350
교반	0.982	0.693	N/A	0.858

¹미처리구, 첨가제 미처리구; 미생물처리구, *L. brevis* 5M2와 *L. buchneri* 6M1를 1:1 비율 첨가제 처리구; 저압력, 낮은 사일리지 압축력; 고압력, 높은 사일리지 압축력; 미교반, 교반 미적용; 교반, 교반 적용. ²첨가제, 첨가제 적용 효과; 압력, 사일리지 압축 효과; 교반, 사일리지 교반 효과. ND, < 4.0 log10 cfu/g; N/A, 해당 없음. ^{a, b}같은 행에 각 위첨자가 있는 평균은 유의적인 차이가 있음 ($p < 0.05$).

Table 2-11. 한우의 총체버 사일리지 섭취량에 대한 첨가제, 압력 및 교반의 효과(건물기준)

	미처리구				미생물처리구				SEM
	저압력		고압력		저압력		고압력		
	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	
사료섭취량, kg/두	0.75 ^d	1.20 ^{ab}	0.86 ^c	1.11 ^{bc}	1.31 ^{ab}	1.21 ^{ab}	1.25 ^{ab}	1.43 ^a	0.164

Contrast	첨가제	압력	교반
사료섭취량	<0.001	0.197	<0.001

¹미처리구, 첨가제 미처리구; 미생물처리구, *L. brevis* 5M2와 *L. buchneri* 6M1를 1:1 비율 첨가제 처리구; 저압력, 낮은 사일리지 압축력; 고압력, 높은 사일리지 압축력; 미교반, 교반 미적용; 교반, 교반 적용. ²첨가제, 첨가제 적용 효과; 압력, 사일리지 압축 효과; 교반, 사일리지 교반 효과. ^{a~d}같은 행에 각 위첨자가 있는 평균은 유의적인 차이가 있음 ($p < 0.05$).

[실험 3] 세절 길이에 따른 총채벼 사일리지 품질 평가

1) 연구개발 목표

- 세절 길이에 따른 총채벼 사일리지의 최적 발효 조건 규명

2) 연구수행 내용

- 조사료 생산: 경남 진주시 소재 시험포장지에서 재배한 총채벼(영우 국내품종)을 약 100 kg을 수확하여 절단 길이를 달리하여 사일리지 제조
- 시험구: 절단 길이를 달리한 사일리지를 제조하기 위해 절단 길이를 5, 10, 20 cm 및 절단하지 않은 시험구를 설정함
- 사일리지 제조: 총채벼 사일리지 제조 시 4개의 시험구별로 20 L mini silo에 시험구 당 4반복으로 총 16개의 사일리지 제조

	
<p><총채벼 수확></p>	<p><총채벼 절단></p>
	
<p><사일리지 제조></p>	<p><발효 전 mini-silo></p>

○ 조사항목 및 분석방법

- 영양소 함량, 소화율, 발효 특성, 미생물 및 저장성 분석은 실험 1과 동일함

3) 연구개발 결과

- 총체벼 사일리지 제조직전 영양소 함량
 - 사일리지 제조직전 총체벼의 영양소 함량을 조사한 결과는 표 2-12와 같음
 - 건물, 조단백질 및 NDF 함량은 각각 43.7, 6.39 및 46.6%를 나타냄

표 2-12. 총체벼 사일리지 제조 전 일반성분 (% , 건물기준)

사일리지 제조 전 총체벼	
건물	43.7 ± 0.60
조단백질	6.39 ± 0.18
조지방	2.32 ± 0.02
조회분	10.0 ± 0.34
중성세제불용성섬유(NDF)	46.6 ± 0.79
산성세제불용성섬유(ADF)	27.6 ± 0.23
헤미셀룰로오스	19.0 ± 0.94

- 총체벼 사일리지 발효 후 발효 특성
 - 세절 길이에 따른 총체벼 사일리지의 발효특성을 조사한 결과는 표 2-13과 같음
 - 총체벼의 세절 길이는 사일리지의 영양소 함량에는 영향을 미치지 않았음

표 2-13. 총체벼 사일리지 일반성분에 대한 세절 길이의 효과 (% , 건물기준)

	세절 길이 ¹				SEM	Contrast		
	05	10	20	60		L	Q	C
건물	45.4	46.1	44.9	45.4	2.18	0.891	0.723	0.495
조단백질	8.33	8.45	8.10	8.69	0.32	0.093	0.118	0.278
조지방	2.65	2.70	2.67	2.53	0.12	0.071	0.566	0.613
조회분	8.52	8.45	8.42	8.10	0.28	0.073	0.947	0.398
중성세제불용성섬유(NDF)	48.7	49.8	49.5	46.2	3.41	0.161	0.511	0.716
산성세제불용성섬유(ADF)	28.4	29.8	29.2	27.1	2.00	0.132	0.383	0.414
헤미셀룰로오스	20.3	20.0	20.2	19.1	1.42	0.219	0.734	0.769
간접건물소화율	59.8	58.6	57.2	58.7	1.83	0.752	0.062	0.932
간접NDF소화율	31.6	31.2	33.3	33.1	2.44	0.483	0.614	0.647

¹길이05, 길이10, 길이20 및 길이60는 총체벼 세절 길이 5, 10, 20 cm, 및 미절단을 나타냄; L, 세절 길이 일차선형 효과; Q, 세절 길이 이차선형 효과; C, 세절 길이 삼차선형 효과.

○ 총체벼 사일리지 미생물 총 균수

- 세절 길이가 총체벼 사일리지의 미생물 성장과 호기적 안정성에 미치는 영향을 조사한 결과는 표 2-14와 같음
- 세절 길이가 증가할수록 유산균 수는 linear하게 감소하였음(P=0.017)
- 세절 길이가 20 cm에서 효모 수와 호기적 안정성이 가장 높았음

표 2-14. 총체벼 사일리지 미생물 수와 호기적 안정성에 대한 세절 길이의 효과

	세절 길이 ¹				SEM	Contrast		
	05	10	20	60		L	Q	C
유산균, log10 cfu/g	7.23	7.34	7.20	6.68	0.36	0.017	0.613	0.647
효모균, log10 cfu/g	7.12 ^{ab}	7.19 ^{ab}	7.31 ^a	6.51 ^b	0.36	0.134	0.009	0.929
곰팡이, log10 cfu/g	1.51	2.26	3.59	3.24	1.58	0.438	0.342	0.961
호기적안정성, h	128.0 ^{ab}	144.5 ^{ab}	178.5 ^a	90.9 ^b	26.2	0.008	<.001	0.150

¹길이05, 길이10, 길이20 및 길이60는 총체벼 세절 길이 5, 10, 20 cm, 및 미절단을 나타냄; L, 세절 길이 일차선형 효과; Q, 세절 길이 이차선형 효과; C, 세절 길이 삼차선형 효과.

^{a, b}같은 행에 각 위첨자가 있는 평균은 유의적인 차이가 있음 ($p < 0.05$).

<3차년도: 자주식 총채벼 일괄 작업기로 수확·제조된 총채벼 사일리지의 품질 평가>
 [실험 3] 최적화된 조건에 의한 총채벼 사일리지 품질 평가

1) 연구개발 목표

- 교반 조건 및 베일 압력에 따른 총채벼 사일리지의 최적 발효 조건 규명

2) 연구수행 내용

- 재료 및 방법
 - 조사료 생산: 경남 진주시 소재 시험포장지에서 재배한 총채벼(영우 국내품종)을 약 10,000 kg을 이용하여 2차 일괄 작업기(완제품)를 이용하여 곤포 사일리지 제조
 - 시험구: 세절(세절, 미세절), 압력(1단계, 2단계) 및 교반(교반, 미교반)에 따른 시험구를 설정. 즉, 2(세절) x 2(압력) x 2(교반) factorial design으로 배치
 - 사일리지 제조: 2차 일괄 작업기(완제품)를 이용하여 8개의 시험구별로 약 300 kg 곤포사일리지를 시험구당 2반복으로 16개의 사일리지 제조



○ 조사항목 및 분석 방법

- 영양소 함량, 소화율, 발효 특성, 미생물 및 저장성 분석은 실험 1과 동일함

3) 연구개발 결과

○ 총체벼 사일리지 제조직전 영양소 함량

- 사일리지 제조직전 총체벼의 영양소 함량을 조사한 결과는 표 2-15와 같음
- 건물, 조단백질 및 NDF 함량은 각각 48.4, 9.70 및 41.2%를 나타냄

표 2-15. 사일리지 제조 전 총체벼 일반성분 (% , 건물기준)

	평균	표준편차
건물	48.4	1.127
조단백질	9.70	0.518
조지방	6.11	0.040
조회분	0.57	0.013
중성세제불용성섬유(NDF)	41.2	1.197
산성세제불용성섬유(ADF)	23.5	0.704
헤미셀룰로오스	17.8	0.493

○ 총체벼 사일리지 발효 후 영양소 함량

- 세절, 압력 및 교반 조건을 달리하여 제조한 총체벼 사일리지의 영양소 함량을 조사한 결과는 표 2-16과 같음
- 세절, 압력 및 교반에 따라서, 총체벼 사일리지 영양소 함량에 영향을 미치지 않았음

○ 총체벼 사일리지 발효 후 발효 특성

- 세절, 압력 및 교반 조건을 달리하여 제조한 총체벼 사일리지의 발효특성은 조사한 결과는 2-17과 같음
- 세절 길이에 따라서 젖산:초산 비율의 영향을 미쳤음($P < 0.012$)
- 세절, 압력 및 교반에 따라서, 총체벼 사일리지의 다른 발효 특성에 영향을 미치지 않았음

○ 총체벼 사일리지 발효 후 미생물 총 균수

- 세절, 압력 및 교반 조건을 달리하여 제조한 총체벼 사일리지의 미생물 성장과 호기적 안정성을 조사한 결과는 표 2-18과 같음
- 세절, 압력 및 교반에 따라서 총체벼 사일리지 미생물 성장과 호기적 안정성에 영향을 미치지 않았음

표 2-16. 총체버 사일리지의 일반성분에 대한 세절, 압력 및 교반의 효과 (% , 건물기준)

	비세절				세절				SEM
	저압력		고압력		저압력		고압력		
	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	
건물	32.3	31.2	30.3	31.0	29.5	30.5	30.5	30.0	1.935
조단백질	8.04	7.74	7.20	7.98	8.07	6.61	6.85	7.99	0.438
조지방	8.14	8.28	8.65	8.73	8.07	8.08	8.42	8.77	0.429
조회분	2.94	2.80	2.85	2.64	2.81	2.57	2.58	2.70	0.153
중성세제불용성섬유(NDF)	42.5	43.2	42.6	41.3	46.1	37.9	42.8	40.6	3.044
산성세제불용성섬유(ADF)	25.1	25.8	25.5	24.6	27.4	22.5	25.9	26.3	1.774
헤미셀룰로오스	17.4	17.4	17.1	16.7	18.7	15.4	16.9	14.4	1.344

Contrast ²	건물	조단백질	조지방	조회분	NDF	ADF	헤미셀룰로오스
세절	0.999	0.872	0.484	0.175	0.111	0.223	0.203
압력	0.659	0.627	0.042	0.284	0.704	0.696	0.632
교반	0.309	0.137	0.557	0.096	0.721	0.766	0.760

¹비세절, 세절하지 않은 처리구; 세절, 세절한 처리구; 저압력, 낮은 사일리지 압축력; 고압력, 높은 사일리지 압축력; 미교반, 교반 미적용; 교반, 교반 적용. ²세절, 세절 적용 효과; 압력, 사일리지 압축 효과; 교반, 사일리지 교반 효과.

표 2-17. 총체버 사일리지의 발효 특성에 대한 세절, 압력 및 교반의 효과

	비세절				세절				SEM
	저압력		고압력		저압력		고압력		
	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	
pH	4.09	4.51	4.49	4.42	4.15	4.46	4.45	4.63	0.193
암모니아태 질소, % 건물	0.11	0.07	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.09	0.012
젖산, % 건물	0.99	0.87	0.77	0.58	0.52	0.53	0.52	0.51	0.186
초산, % 건물	0.11	0.12	0.34	0.16	0.22	0.16	0.20	0.34	0.125
프로피온산, % 건물	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	N/A
낙산, % 건물	0.42	0.31	0.23	0.30	0.36	0.29	0.30	0.57	0.128
젖산:초산 비율	9.32	7.59	3.49	5.54	2.53	3.24	3.99	1.56	3.024

Contrast	pH	암모니아태질소	젖산	초산	프로피온산	낙산	젖산:초산 비율
세절	0.061	0.102	0.158	0.765	N/A	0.188	0.012
압력	0.078	0.610	0.491	0.322	N/A	0.124	0.138
교반	0.654	0.237	0.328	0.585	N/A	0.890	0.504

¹비세절, 세절하지 않은 처리구; 세절, 세절한 처리구; 저압력, 낮은 사일리지 압축력; 고압력, 높은 사일리지 압축력; 미교반, 교반 미적용; 교반, 교반 적용. ²세절, 세절 적용 효과; 압력, 사일리지 압축 효과; 교반, 사일리지 교반 효과. ND, < 0.01% 건물, N/A, 해당 없음.

표 2-18. 총체벼 사일리지의 미생물 수와 호기적 안정성에 대한 세절, 압력 및 교반의 효과

	비세절				세절				SEM
	저압력		고압력		저압력		고압력		
	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	미교반	교반	
유산균, log10 cfu/g	8.05	7.60	7.79	7.80	8.11	7.71	8.07	7.91	0.357
효모균, log10 cfu/g	7.81	7.06	7.80	7.75	7.95	7.44	7.10	7.80	0.459
곰팡이, log10 cfu/g	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	N/A
호기적안정성, 시간	87.5	90.0	92.0	87.5	87.5	87.0	87.0	91.0	4.850
Contrast	유산균		효모균		곰팡이		호기적안정성		
세절	0.448		0.887		N/A		0.496		
압력	0.881		0.844		N/A		0.765		
교반	0.195		0.529		N/A		0.765		

¹비세절, 세절하지 않은 처리구; 세절, 세절한 처리구; 저압력, 낮은 사일리지 압축력; 고압력, 높은 사일리지 압축력; 미교반, 교반 미적용; 교반, 교반 적용. ²세절, 세절 적용 효과, 사일리지 압축 효과; 교반, 사일리지 교반 효과. ND, < 4.0 log10 cfu/g; N/A, 해당 없음.

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

3-1 공인인증기관 시험

사료 작물을 수확하고 베일링 및 랩핑 작업까지 하나의 기계에서 수행이 가능한 자주식 총채벼 수확 일관작업기에 대한 성능 검증을 농업기술실용화재단에 의뢰하여 진행하였음.

성능 검증은 실제 총채벼를 수확하면서 각 검증항목별로 측정을 하였음.

1. 성능 검정 개요

1) 농업기술실용화재단의 검정 종류

(1) 안전 검정: 베일러, 집초기, 랩핑기 등 트랙터로부터 동력을 받으면서 트랙터에 부착하여 작업이 이루어지는 기계에 대한 안전성 검정으로 실제 작업은 하지 않고 구조검사 위주로 하는 검정

(2) 종합 검정: 자체 동력으로 움직이면서 운전자가 기계에 탑승하여 작업을 하는 기계에 대하여 실제 작업을 하면서 성능을 검정하고 구조검사를 통한 안전성 검정까지 종합적으로 진행되는 검정

(3) 기술 검정: 어떤 기계에 대해 신규 개발된 기술에 대하여 목표로 하는 수준의 성능이 나오는지 확인하는 것으로 실제 기계로 작업을 하면서 성능을 검정하는 것.

2) 일관작업기에 대한 검정 종류: 기술 검정

연 연구의 결과물에 대해 기술검정을 선택한 이유는, 일관작업기가 아직 최종적으로 고객에게 판매할 수준으로 제작된 기계가 아니고, 연구 개발의 최종 단계로서 성능에 대한 공인기관의 공식적인 검정이 필요하기 때문에 기술 검정으로 수검함.

3) 기술 검정 개요

- (1) 공시기: 총채벼 수확 일관작업기 시작품
- (2) 공시작물: 총채벼
- (3) 검정 기관: 농업기술실용화재단
- (4) 검정 일 및 장소: 2021. 10. 01 경상남도 진주시 일반성면
- (5) 날씨: 비(9/29, 9/30)
- (6) 작업 중 고무레도 침하 깊이: 50cm
- (7) 공시작물의 수분: 우천으로 총채벼가 비에 젖어 있는 상태

4) 검정 준비

- (1) 포장지: 가로 20m, 세로 50m로 총채벼 구획작업
- (2) 측정 도구: 실용화재단에서 준비(줄자, 초시계 등)

2. 성능 확인 방법

검증 항목	측정 방법
작업 속도	20m x 50m로 구획된 총채벼 포장지에서 50m 방향으로 수확작업을 하면서 직선구간의 10m를 통과하는데 걸리는 시간을 측정하여 환산함.
주행 속도	동일한 포장지에서 수확 작업은 하지 않고 최고 속도로 주행하면서 10m 구간을 통과하는데 걸리는 시간을 측정하여 환산함.

작업 능률	20m x 50m로 구획된 총체벼 포장지의 전체 총체벼를 수확 완료하는데 소요되는 시간을 측정
최소 선회 반경	동일한 포장지에서 제자리 회전을 한 다음 고무레도이 스키드마크 반경을 측정
베일 밀도	배출된 베일의 중량을 측정한 다음 1m ³ 단위로 환산
세절 길이	세절된 작물 샘플을 5곳에서 채취하여 세절 길이를 측정한 다음 평균치
작업폭	하베스트의 좌측 디바이더와 우측 디바이더 사이의 거리를 측정

3. 성능 검정 결과 분석

1) 작업 환경

(1) 날씨: 이틀(9월 28일, 29일) 연속 비가 내림(성능 시험일: 10/01)

19일	20일	21일	22일	23일	24일	25일
평균기온:21.4℃ 최고기온:28.2℃ 최저기온:15.3℃ 평균운량:2.5 일강수량:-	평균기온:21.8℃ 최고기온:27.1℃ 최저기온:15.1℃ 평균운량:5.8 일강수량:0.0mm	평균기온:23.3℃ 최고기온:26.1℃ 최저기온:20.0℃ 평균운량:5.6 일강수량:8.0mm	평균기온:21.9℃ 최고기온:27.1℃ 최저기온:17.2℃ 평균운량:3.1 일강수량:1.8mm	평균기온:20.4℃ 최고기온:28.1℃ 최저기온:14.4℃ 평균운량:2.6 일강수량:-	평균기온:19.9℃ 최고기온:27.3℃ 최저기온:13.6℃ 평균운량:5.3 일강수량:-	평균기온:20.6℃ 최고기온:26.7℃ 최저기온:15.5℃ 평균운량:6.8 일강수량:0.0mm
26일	27일	28일	29일	30일		
평균기온:21.5℃ 최고기온:26.0℃ 최저기온:18.1℃ 평균운량:9.0 일강수량:-	평균기온:21.6℃ 최고기온:26.1℃ 최저기온:18.2℃ 평균운량:8.6 일강수량:-	평균기온:21.7℃ 최고기온:25.2℃ 최저기온:18.7℃ 평균운량:7.3 일강수량:0.2mm	평균기온:22.2℃ 최고기온:26.1℃ 최저기온:20.6℃ 평균운량:9.4 일강수량:51.4mm	평균기온:21.7℃ 최고기온:27.4℃ 최저기온:16.9℃ 평균운량:3.1 일강수량:29.9mm		

기상청 정보-성능 시험 포장지 날씨(9/29~9/30)

(2) 시험 강행 이유: 시험 일정 조율이 어려웠고, 악조건에서 성능 발휘 확인 시도

2) 성능 시험 현장 모습(2021년 10월 1일)



3) 2020년도 총체벼 수확 시험 모습(2020년 10월 7일)



3-2 목표 달성 수준

검증 항목	단위	목표치	실적치	달성수준
작업 속도	km/h	5.4	3.5	65%
주행 속도	km/h	10.0	8.9	89%
작업 능률	min/10a	20	33.6	59%
최소 선회 반경	m	4.0	1.9	200%
베일 밀도	kg/m ³	450	478.26	106%
세질 길이	cm	50	33	150%
작업폭	mm	1800	2000	111%

3-3 정량적 연구개발성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기 타 (타 연 구 활 용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표	정 책 활 용			홍 보 전 시		
												SC I	비 SC I						논 문 평 균 IF	
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	10%	10%	-	10%	-	20%	-	-	10%	-	15%			5%	5%	5%	5%	2%	3%	-
최종목표	3	3	-	1	110	1	45,000	10,800	2	-	1	2	3	2	7	3	2	2	2	-
1 차 년 도	목 표	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-
	실 적	3	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-
2 차 년 도	목 표	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-
	실 적	1	3						0			1	0	1	3	4				1
3 차 년	목 표		1	-	1	-	1	-	-	-	1	1	1	1	1	2	1	1	1	-
	실 적	1	1		1		1				1	1	2	1	3		3	0	1	

도	적																				
소 계	목 표	2	2	-	1	-	1	-	-	2	-	1	2	3	2	3	2	1	1	1	-
	실 적	5	4	-	1	-	1	-	-	1	-	1	2	3	2	7	4	3	0	1	1
종료 1차년도		1	-	-	-	110	-	3,000	0	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-
종료 2차년도		-	1	-	-	-	-	6,000	300	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
종료 3차년도		-	-	-	-	-	-	9,000	1,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
종료 4차년도		-	-	-	-	-	-	12,000	3,000	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
종료 5차년도		-	-	-	-	-	-	15,000	6,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
소 계		1	1	-	-	110	-	45,000	10,800	-	-	-	-	-	-	4	1	1	1	1	-
합 계		6	5	-	1	110	1	45,000	10,800	1	-	1	2	3	2	11	5	4	1	2	1

4. 목표 미달 시 원인분석

4-1 목표 미달 원인

검증 항목	검정 결과	달성율	결과 분석(목표 달성율 미달 원인)
작업 속도	5.4→3.5 km/h	65%	<ul style="list-style-type: none"> · 우천으로 인해 작물 수분 과다-하베스트 막힘 · 포장지 궤도 침하량 50cm로 선회 시간 과다 ※2020년 총체벼 수확시험 시 설정 목표 달성함.
주행 속도	10.9→8.9 km/h	89%	
작업 능률	20→33.6분	59%	
최소 선회 반경	4.0→1.9m	200%	<ul style="list-style-type: none"> · 설정 목표 달성함
베일 밀도	450→478.26 kg/m ³	106%	
세절 길이	50→33	150%	
작업폭	1800→2000 mm	111%	

4-2 자체 보완활동

- 성능 검정 항목 7개 중 3개 항목에서 목표 미달함.(작업속도, 주행속도, 작업능률)
- 성능 시험 직전 우천으로 인한 작물의 수분 함량 과다로 작업 속도 미달
- 일반적으로 작물의 수분 함량이 적은 상태에서 수확 작업 진행
- 2차년도 자체 성능 시험 시 수분 함량이 적당했고, 목표 성능 항목을 모두 만족함.
- 향후 작물의 수분 함량이 통상의 작업 조건보다 일부 높은 경우에도 수확 작업이 가능하도록 기계의 구조 재검토 예정
- 작물의 수분 함량이 작업 성능에 가장 영향이 높은 곳은 하베스트임.
- 하베스트에서 작물 절단 후 세절부까지 이동하는 과정에서 수분에 의한 작물 간의 부착력에 의해 막힘 현상 다발
- 이러한 문제를 해결할 수 있는 하베스트의 작물 이동 통로의 구조 재검토 예정
- 하베스트의 작물 이동 통로 개선안은 향후 상용화 시 양산에 적용할 예정임.

4-3 연구개발 과정의 성실성

- (1) 연구 단계별로 다양한 조건에서 기능 및 성능 시험 수행
- (2) 유압식 주행부 제작 후 다양한 토양 조건에서 주행 및 조향 성능 시험 진행
- (3) 1차 시작품에 대해 갈대, 수단, 옥수수 등에 대한 수확 성능 시험 진행
- (4) 총체벼에 대한 수확 시험은 2차년도와 3차년도에 각각 진행
- (5) 3차년도 총체벼 수확 시험은 포장지의 최악 조건에서 성능 시험 진행
- (6) 일관작업기의 각 공정별 소요 동력 측정과 분석 진행(위탁연구)
- (7) 총체벼 수확 시험 시 작물의 세절 길이, 작물의 교반, 베일 압력, 미생물 투입 등 다양한 기계적 조건에서 작업 후 사일리지 발효에 미치는 영향 분석(협동연구)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

5-1 연구개발성과의 기대효과

1) 사료작물 생산비 절감(트랙터+베일러+랩핑기+인력3 → 자주식 총체벼 수확기+인력1)

구 분	관 행	자주식
소요 장비	트랙터 3대 하베스트 1대 베일러 1대 랩핑기 2대	자주식 1대
소요 인력	4명	1명
특이사항		습지 작업 가능 경사지 작업 가능

2) 사료작물 사일리지 품질 향상(발효 효과 향상, 진흙 오염 방지)

- (1) 호퍼의 작물 교반 장치로 작물의 줄기, 잎, 이삭의 균일 혼합 가능-발효 효과 극대화
- (2) 비닐 작업 후 지면에 덩핑하기 때문에 베일에 진흙 부착 배제(랩핑기 일체형의 장점)

3) 총체벼 수확 용이로 벼 대체작물 재배 확대

- (1) 수확 작업 난해로 인한 벼 대체작물 재배 기피 현상 해소
- (2) 총체벼, 옥수수, 수단 등 다양한 사료작물 수확 가능

4) 조사료 국산화율 증가로 건조 수입량 감소

- (1) 국내 조사료 생산성 향상으로 해외 조사료 수입외화 절감
- (2) 조사료 생산성 향상으로 사료비 절감
- (3) 고품질의 국내 조사료 급이로 체증량 향상

5) 고가의 일본 제품 수입 대체 효과

- (1) 일본제: 엔진 120마력, 작업속도 1.0m/s, 3.5억원, 유지관리비 3천만원/년
- (2) 자주식: 엔진 175마력, 작업속도 1.5m/s, 3.5억원, 가성비 높음, 유지관리비 저렴

6) 대형 주행 플랫폼을 이용한 파생 모델 제작(산악 목재 운반차, 목재 파쇄기, 퇴비살포기)

7) 중소기업 기술력 향상 및 매출 증대

8) 관련 기업 동반 성장

5-2 상업화 계획

1) 일정 및 판매 계획

년도	2022	2023	2024	2025	2026
판매 댓수(국내)	2	5	10	12	15
¹ 매출액(백만원)	700	1,750	3,500	4,200	5,250
² 시장 점유율(%)	6	16	33	40	50

¹ 매출액(백만원): 대당 가격을 3억 5천만 원으로 산정

² 시장 점유율(%): 전체 시장은 30대로 가정

2) 시연 및 홍보 계획

홍보 자료	<ul style="list-style-type: none"> - 동영상 제작(드론 활용) - 다양한 작물 수확 시범(총채벌레, 옥수수, 수단, 피마자) - 기계의 특성 및 사용방법 교육자료 - 일본 제품과의 비교 자료 - 기계의 경제성 분석 자료
홍보 방법	<ul style="list-style-type: none"> - 유튜브에 동영상 게재 - 관심 고객에 동영상 배포 - 연시 및 전시회 참가 - 기계에 대한 교육자료 제작 및 비대면 교육 실시 - 기술센터 방문 대면 교육 실시 - 잠재 고객 초빙 교육 및 시운전 - 모니터링용 기계로 전국 순회 연전시
고객	<ul style="list-style-type: none"> - 농업기술센터 - 영농단 - 대단위 축산농가 - 축협 - 퇴비공장

3) 성능 개량 및 원가 절감 계획

성능 개량 항목	<ul style="list-style-type: none"> - 하베스트 작물 막힘 최소화 방안 - 하베스트 슈트 막힘 신속 대처 방안 - 작물 균일 배출을 위한 슈트 좌우 이동 반복 기능 - 호퍼 내 작물 적체량 감지 센서 - 작물 공급 체인 구동부 작물 낀 감지 센서 - 작물 투입 벨트 컨베이어 작동 여부 감지 센서 - 작물 투입 벨트 이동속도 2단화 - 네트 유입부 감시 카메라 설치 - 네트 유입롤러 정전기 발생 최소화 감안 - 네트 펄럭임 방지 장치 - 베일러 구동부 안전핀 파손 감지 센서 - 비닐 파손 감지 센서 - 베일 덩핑 시 지면 충격 감소 방안
원가 절감 항목	<ul style="list-style-type: none"> - 유압밸브 공용화로 밸브 수량 감소 - 주행프레임 강도 최적화로 중량 감소 - 고무밴드 경량화 - 오일쿨러 성능 제고로 오일량 감소 - 소요동력 최적화로 엔진 마력 축소 - PTO감속기 콤팩트화

4) 생산 설비 투자 계획

년도	생산 설비 투자 내용
----	-------------

2022	주행프레임 뒤집기 지그
2023	주행프레임 리프팅 설치
2024	유압 시스템 테스트 벤치
2025	전기 배선 테스트 벤치
2026	공정 자동화 테스트 벤치

5) 인원 충원 계획

년도	충원 인원수	담당 역할
2022	0	
2023	2	개발, 서비스
2024	2	생산, 서비스
2025	1	개발
2026	1	생산

5-3 서비스 대응 전략

1) 주행부

(1) 엔진 과열

엔진의 과열을 막기 위해 라디에타를 통해 냉각수를 식히는데, 작업 중 라디에타 전면에서 작물의 검불이 부착되고, 이로 인해 바람 통과량이 줄어들면서 엔진의 냉각효과가 떨어지는 문제. 라디에타 후면에는 석션팬이 돌기 때문에 바람이 라디에타 전면에서 후면으로 흐르는데, 바람에 날리기 쉬운 검불들이 바람을 타고 가다가 라디에타 전면에서 부착되는 현상. 이러한 문제를 해결하는 방법으로, 라디에타 전면부에 별도의 망을 설치하고, 망에 스크레이퍼를 설치하여 검불을 제어하는 방법(농업용 콤바인에서 활용 중), 바람의 유입로를 별도로 설치하여 검불의 유입을 최소화하는 방법, 석션팬을 주기적으로 역회전 시켜서 검불을 불어내는 방법 등이 있을 수 있음. 상용화 제품 제작 시에는 위의 해결책들을 복합적으로 검토하여 제품에 적용할 예정이다.



(2) 유압오일 과열

주행용 유압은 최고 380kgf/cm²까지 상승하기 때문에 오일이 과열될 가능성이 높음. 유압 오일의 온도를 적정하게 유지시키기 위해 대용량의 오일탱크와 오일 쿨러를 설치하여 냉각을 함. 오일의 온도는 외부 환경의 영향도 많이 받는데, 한 여름 뜨거운 기온 하에서 작업을 할 경우 오일 온도가 과도하게 올라가는 경우가 있음. 오일 쿨러의 방열량을 키우는 방법도 있겠지만, 설치 공간, 비용 등의 문제가 있기 때문에 적정 용량의 오일 쿨러를 사용하고, 외부 환경에 의한 부득이한 오일

온도 상승은 작업 중에 휴식 시간을 추가하여 오일 온도를 내릴 수 있도록 운전 지도가 필요하기도 함.



(3) 하부롤러 파손

주행롤러는 고무밴드를 지지하면서 8,500kg의 차체 하중을 받는 부품으로, 진흙에서 구동하는 등 사용 환경도 열악함. 플로팅셀을 사용하여 베어링 내부로 물이나 흙이 유입되지 않도록 하고 있지만, 조립 불량이나 과도한 하중 또는 지속적인 악조건에서의 사용 등으로 하부롤러가 파손 또는 마모되는 경우가 발생함. 이러한 경우에 문제점을 조기에 발견하여 정비작업을 최소화하는 것이 최선임. 수확작업이 끝나면 하부롤러의 상태를 점검하는 습관이 중요함.



2) 하베스트

(1) 슈트 막힘

슈트에 작물이 적체되어 막히는 문제의 원인은, 하베스트의 회전수가 1500rpm 이하로 떨어지거나, 슈트의 작물 출구 쪽에 작물이 누적되어 배출이 안 될 때 등이 있음. 하베스트는 작업 중에 항상 최소 1500rpm 이상을 유지해야 하고, 슈트 출구 측에 작물이 적체되지 않는지를 감시 카메라를 통해서 확인해야 함. 부득이 슈트가 막히면 기계를 세우고 슈트 내부의 작물을 꺼내야 함. 통상 이럴 경우 30분 정도 시간이 필요함.



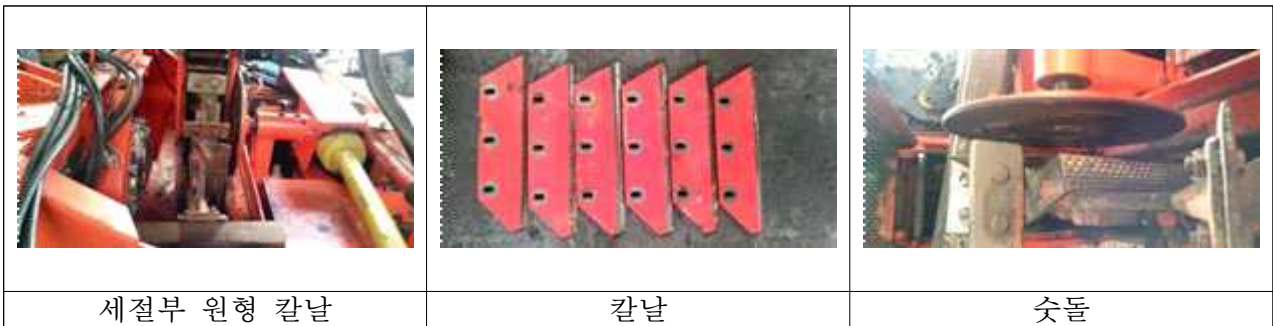
(2) 유니버설조인트 클러치 마모

하베스트의 원형 칼날 드럼을 구동하는 유니버설조인트에는 클러치가 장착되어 있고, 드럼에 과도한 부하가 걸리면 동력 전달 계통의 보호를 위해 클러치가 작동되도록 되어 있음. 작물이 드럼의 하부에 끼어서 돌아가지 않고 클러치가 넘을 경우 운전자가 신속하게 기계를 멈추고 클러치가 더 이상 작동되지 않도록 하는게 중요함. 클러치가 작동되는 동안 클러치는 마모가 진행되기 때문에 마모가 심하여 클러치 역할을 하지 못하게 되면 유니버설조인트를 교체해야 함.



(3) 세절 불량(세절 칼날 마모)

세절부는 회전 칼날과 고정 칼날에 의해 작물이 절단되는데, 절단 작업이 반복되면서 칼날이 무디어짐. 무디어진 칼날을 신속히 갈기 위해 숫돌을 설치하고, 하베스트의 회전 동력을 이용해 칼날을 날을 세울 수 있도록 함. 작업량이 많을 경우 2~3일에 1회 정도 칼날을 갈아줄 필요가 있고, 칼날의 마모가 심해지만 고정 칼날과의 간격이 멀어져서 작물 절단 불량도 날 수도 있기 때문에 이 때는 칼날의 위치를 조정해 주어야 함.



3) 호퍼

(1) 호퍼 내 작물 적체

호퍼 내부에 작물이 적체되면 작물끼리 엉켜서 호퍼 하단으로 내려가지 않는 경우가 발생함. 이러한 문제를 해결하기 위해 호퍼 상단 컨베이어를 설치하여 작물을 호퍼 하단으로 끌어내리도록 하고, 또 회전하는 물레를 호퍼 내부 양 측면에 설치하여 작물이 벽면에 부착되지 않도록 함. 물기가 많은 작물의 경우 적체가 심한데, 이 때 감시카메라를 통해 상황을 판단하고, 필요 시 인력으로 작물을 호퍼 하단으로 밀어내릴 필요도 있음.



(2) 작물 공급 체인 구동부 작물 낄

호퍼 하단의 체인 컨베이어가 회전하면서 세절된 작물의 일부를 끌고 다니는데, 좁은 틈새에서 작물이 적체되고, 누적되어 결국 체인 컨베이어의 구동을 멈추게 하는 경우가 있음. 작물이 체인 구동부 틈새로 들어가지 않도록 카바를 설치하고 있지만 100% 막는 것은 어렵기 때문에 수수로 점검하고 낄 작물을 빼주어야 함. 10일에 1회 정도 청소를 해주면 됨.



(3) 작물 투입부 작물 압착(안전핀 파손 시)

베일 체인을 구동하는 스프로킷이 안전핀이 설치되어 있는데, 베일러의 과도한 부하로 안전핀이 절단되는 경우가 발생하고, 이 때는 기계를 멈추고 안전핀을 다시 설치해야 하는데, 운전자가 이것을 인지하지 못하고 계속 작업을 하는 경우 호퍼 하단에서 작물 압착이 발생하게 됨. 이 때는 기계적인 파손 뿐만 아니라 압착된 작물을 제거하는데도 상당한 시간이 걸림. 이러한 문제를 사전에 방지하기 위하여 안전핀 파손을 감시할 수 있는 센서를 장착하여 운전자가 신속히 상황을 인식할 수 있도록 할 필요가 있는데, 상용화 제품 제작시에는 이러한 센서를 장착할 예정임.



4) 베일러

(1) 네트 유입 불량

네트가 베일러에 유입되지 못하고 유입 롤러에 감기는 문제가 발생함. 이것은 바람이 쉽게 날리는 네트가 정상적으로 내려오지 못하고 롤러에 감기는 경우가 있는데, 네트가 유입되지 않고 있는 상

황은 네트 감지 센서에 의해 인지됨. 네트 감지 센서가 10sec 동안 작동하지 않으면 컨트롤러에 의해 공정 자동이 멈추도록 되어 있음. 네트 쪽으로 가는 바람은 엔진 팬 바람과 슈트 바람, 그리고 외부에서 들어오는 자연 바람이 있음. 바람이 네트쪽으로 들어가지 않도록 통로를 막아 놓았지만 그래도 네트가 롤러에 감기는 경우가 있는데, 이 때는 운전자가 롤러에 감긴 네트를 제거하고 다시 네트를 유입롤러에 설치해야 함.



(2) 뒷문 개폐 불량

베일 챔버의 뒷문은 유압으로 개방되는데, 솔레노이드 밸브 내부에 이물질이 유입되어 스펀의 작동을 방해하는 경우가 발생함. 이 때는 정상적인 유압이 발생하지 않기 때문에 뒷문 개방이 안되는 경우가 발생함. 이럴 경우에는 솔레노이드 밸브의 수동 버튼을 눌러서 이물질을 제거하는 방법이 있고, 그렇게 해도 문제가 해결되지 않을 때는 밸브를 분해 후 세척하는 방법이 있음. 원천적으로 문제 발생을 막기 위해서는 이물질이 밸브로 유입되지 않도록 하는 것인데, 초기 조립 시 청정도 관리가 중요하고, 유압필터를 정기적으로 교환하는 방법이 있음.



(3) 베일챔버 구동부 작물 낚

베일 챔버 구동부에 작물이 끼는 경우가 있는데, 이 때 체인이 스프로킷을 넘으면서 체인바가 구동되지 않게 됨. 따라서 베일이 구르지 않게 되고, 작물 투입 컨베이어에 작물 적체 현상이 발생하게 됨. 뒷문 끝단부의 베일 챔버 청소구를 열어서 낚 작물을 제거해 주어야 함. 세절된 작물이 베일러 내부에서 계속 움직이기 때문에 작물 낚 현상은 불가피하고, 따라서 2~3일에 1회 청소구를 열어서 작물을 제거할 필요성이 있음.

		
<p>베일 챔버 구동부</p>	<p>작물 낚 부위</p>	<p>작물 제거</p>

5) 랩핑부

(1) 랩 파손

비닐을 베일에 감을 때 비닐이 절단되는 경우가 발생함. 이 원인은 순간적으로 비닐에 높은 장력이 가해지는 경우, 날카로운 이물질에 의해 찢어지는 경우, 비닐 자체의 품질 저하 등이 있는데, 비닐을 감는 중에 파손되면 회전암은 걸들게 되고, 결국 기계를 멈추고 랩을 다시 설치한 다음 감아야 함. 랩이 파손된 상황을 운전자가 인지하지 못하는 경우도 있는데, 그렇게 되면 비닐을 감지 않고 베일을 덩핑하게 될 수도 있음. 따라서 비닐이 파손되면 운전자가 즉시 인지할 필요가 있는데, 랩핑부에 설치된 감시카메라를 통해서 알 수도 있고, 랩 거치대에 센서를 설치하여 비닐 롤의 회전 여부를 감지하는 방법이 있음. 랩 거치대에 센서를 설치하는 것은 추후 양산용 기계를 제작할 때 설치하여 시험을 할 예정임.

		
<p>회전암과 랩 거치대</p>	<p>비닐 감기 작업 모습</p>	<p>랩 파손 후 조치 모습</p>

(2) 적재 불량

베일 적재 불량은 베일이 적재부에 안착되지 않은 상태인데, 베일이 배출되면서 좌우 한쪽으로 쏠리거나, 프로그램 에러에 의해 공정 제어가 잘못 되었을 때 나타남. 이러한 경우는 드문 경우이긴 하지만 문제가 발생하면 처리하는데 많은 시간이 걸림. 베일 형상이 좌우 균형을 이루도록 관리가 되어야 하고, 프로그램의 에러의 원인을 규명하여 처리할 필요가 있음.

		
<p>적재 불량 개념도</p>	<p>베일 적재 불량</p>	<p>베일 적재 정상</p>

6) 프로그램

(1) 공정 자동 프로그램 오류

공정 자동 프로그램은 11개소에서 정보를 수집한 다음 그에 따른 적절한 출력을 내보내는데, 이때 정보를 제공하는 센서의 오류, 배선이 오류, 기계적인 오류 등으로 프로그램이 오판을 하는 경우가 있음. 어떤 문제가 발생했을 때 현상을 정확히 파악하고 그에 따른 원인 분석을 명확하게 해야만 해결책을 찾을 수 있기 때문에 문제의 인과관계 규명이 관건임. 또한 성능의 개선이 필요한 부분이 발견되는 경우도 있기 때문에 프로그램의 개량은 지속적으로 진행되어야 함.



7) 전기

(1) 배선 단락

전기 배선의 단락이나 합선의 문제는 항상 발생할 수 있는 문제이고, 문제의 현상을 정확히 파악한 다음 원인이 되는 배선을 찾아내는 것이 중요함. 전기 테스트기나 자체 진단용 배선을 활용하여 단선이나 쇼트의 위치를 찾아내고, 조치를 해야 함.

8) 기타

(1) 캐빈 에어컨 가스 누설

냉매 호스의 연결부위나 콘덴서의 핀 등에서 가스가 누설되는 경우가 있음. 우선 가스 누설 지점을 정확히 찾아내고, 누설되지 않도록 조치한 다음 가스를 다시 주입해야 함.

5-4 보완요구 조치내용

보완요구사항	3차년도 조치내용	비고
<p>○ 연구과제의 유사·중복성 검토 의견</p> <ul style="list-style-type: none"> - 연구개발계획서 대비 연구 실적은 정상적으로 달성된 것으로 보이나 기술목표 달성에 대한 평가를 모두 자체평가 방식으로 진행되었다는 점이 다소 아쉬움. - 자체평가의 특별한 사유도 기재되어 있지 않음. - 결과물의 산업적 파급효과는 매우 크다고 판단됨. - 125kW급 자주식 총체벼 수확·베일·랩핑 일관작업기 개발 사업을 검토한 결과 유사 중복성이 없는 것으로 판단됨 	<p>○ 공인인증 기관인 농업기술실용화재단을 통해 기술 성능 검증을 받았음.</p>	
<p>○ 계속수행시 연구수행에 꼭 필요한 사항</p> <ul style="list-style-type: none"> - 모든 작업기를 포함하는 일체형 자주식 작업기인데, 전체 중량, 크기 이에 따른 도로 주행성(이동방법), 무한궤도의 내구성, 각 시스템의 작업성(고장 정도)에 대한 내용이 추가될 필요가 있음. - 최종 결과보고 때에는 자체평가가 아닌 공인인증이 필요하다고 판단됨. 	<p>○ 전체 중량 8,500 kg, 길이 8.1 m, 폭 2.4 m, 높이 2.9 m</p> <p>○ 고무궤도의 재질은 농업용 콤바인 고무궤도와 동일한 재질이고, 고무궤도의 두께가 콤바인에 비해 2배 이상 두꺼운 사양을 채택함. 연중 작업 예상 시간과 도로 주행 시간은 콤바인과 거의 동일하고, 전체 중량은 8,500kg, 일관작업기의 기대 수명을 7~8년으로 고려할 때 고무궤도는 교체 없이 사용이 가능할 것으로 판단됨.</p> <p>○ 예상되는 고장은, 엔진부 과열, 하베스트 슈트 막힘, 작물 공급 체인 구동부 작물 낚, 베일러 안전핀 파손, 베일 챔버 구동부 작물 낚, 뒷문 열림 불량, 비닐 랩 파손, 공정 프로그램 오류, 배선 단락 등이 있으며, 이러한 예상 문제를 고려하여 상용화 제품 제조가 필요하며, 다양한 작업 환경 여건 상 불가피하게 발생하는 고장에 대해서는 서비스 대응 요령을 교육하여 기계 사용에 문제가 없도록 할 예정임.</p> <p>○ 공인인증 기관인 농업기술실용화재단을 통해 기술 성능 검증을 받았음.</p>	

보완 사항	수정·보완 내용	비고
<ul style="list-style-type: none"> - 신규인력 채용에 노력해야 하며, 사업화성과 도출을 위해 많은 노력이 필요함. 많은 성과목표 달성을 위해 연구진이 3차년도 수행 시작부터 주기적인 모임을 통해 계획적인 연구수행이 필요할 것으로 판단되며, 주관기관의 사업화를 위해 사업비 변경요구가 있으면 변경도 필요하다고 판단됨. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3차년도에 신규인력 채용은 하지 못했고, 상용화 제품 제작 시 채용 예정. ○ 성과목표 달성을 위해 분기별 1회 연구진 회의를 비대면으로 실시하였고, 의견을 수렴하여 소기의 성과목표를 달성하였음. 	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 조기완료, 중단시 그 이유 - 본 과제는 125kW급 자주식 총체벼 수확·베일·랩핑 일관작업기 개발에 관한 것으로 2차년도에 계획된 달성도를 100% 달성하였으며, 3차년도 실증에 대한 연구는 점진적으로 수행하여도 무방하다 판단되어 조기 완료함이 타당함. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3차년도에는 성능 개선 위주로 연구개발을 진행하였고, 10월 1일 총체벼 수확 성능 시험을 농업기술실용화재단의 주관하에 실시하였음. 3차년도의 연구 개발 결과를 반영하여 양산 설계를 완료하고 2022년도에 상용화 제품 출시를 목표로 하고 있음. 	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 연구수행의 성실성 - 계획대로 적정하게 추진되고 있음 - 연구 계획서상 연구가 제대로 이행되고 있다고 판단됨 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해당사항 없음 	

5-4 최종보고서 보완 요구 사항 조치내용

평가 의견	조치 내용	비고
<p>작업속도, 주행속도, 작업능률이 목표에 비해서 성과가 조금 미흡합니다. 우천 등 운용 환경이 좋지 않더라도 성능을 유지할 수 있는 구체적인 시스템 개선 방안 수립과 수정 보완이 요구됩니다.</p>	<p>우천의 경우에 작업속도와 주행속도, 작업 능률이 저조한 가장 큰 이유는, 빗물이 작물에 많이 부착됨으로서 하베스트 공정에서 작물이 적체되기 때문입니다. 이 문제를 해결하기 위해서 작물이 지나가는 통로 좌우에 작물 가이드(스프링강 사용)를 설치하여 작물이 부드럽게 통과되도록 할 계획입니다. 콤바인의 경우 이러한 가이드가 많이 설치되어 있고, 이를 참고하여 양산 설계를 하면서 하베스트의 작물 통로에 가장 적합한 가이드를 설계하고 테스트를 거쳐 양산에 적용할 계획입니다. (최종보고서 51쪽에 제시함)</p>	
<p>베일 체인 마모 최소화를 위해 주기적으로 윤활용 오일을 체인에 공급하는 것이 중요한 포인트라고 생각하는데 수동 공급 시 공급 주기를 놓칠 수 있어 자동 공급 시스템 반영 필요 합니다. 또한 환경 오염 방지를 위한 윤활용 오일이 외부로 흘러내리지 않는 장치가 필요할 것으로 사료됨.</p>	<p>본 연구결과물에는 체인이 많이 사용되고 있는데, 특히 베일 체인은 부하를 많이 받기 때문에 마모를 최소화하기 위해 주기적으로 윤활용 오일을 공급해 주어야 합니다. 수동으로 오일을 공급할 경우 공급 주기가 일정하지 않고, 또 오일 공급을 망각할 가능성도 있기 때문에 자동 오일 공급 장치를 설치할 필요가 있습니다. 현재 트랙터 견인식 베일러에 일반적으로 설치되어 있는 오일 자동 공급장치는 컨트롤러의 프로그램에 의해 설정된 주기마다 자동으로 오일 공급 펌프를 작동시키고 있습니다. 이와 동일한 오일 자동 공급 시스템을 본 연구결과물에 적용하여 베일 체인 마모를 최소화할 수 있도록 하겠습니다. 또한 환경오염을 방지하기 위해 오일이 공급되는 체인의 하단에는 낙하하는 여분의 오일을 받을 수 있는 오일받이를 설치하고, 그 하단에 오일 저장통을 장착하여 오일이 지면으로 떨어지지 않도록 하겠습니다. (최종보고서 70쪽에 제시함)</p>	
<p>○ 구동부위가 많이 외부에 노출되어 있어 이물질 및 주변 근로자의 옷이 감길수 있는데 최대한 구동부 안전덮개 설치가 필요함.(농업 기계화 촉진법 적용 필요)</p>	<p>현재 모든 구동 부위는 카바를 설치하여 작업자의 옷이 감길 수 있는 가능성은 없다고 판단됩니다. 문제는 정비를 위해서 카바를 열었을 때 구동 부위가 작동되면 위험할 수 있습니다. 이러한 경우 위험, 경고 라베을 해당 부위에 부착하여 작업자가 안전에 유의하도록 하고, 사용설명서에도 정비 안전 지침을 삽입하여 작업자에게 안전의식을 고취시키도록 하겠습니다. 향후 안전에 위협이 되는 부분이 발견되면 즉시 보호조치를 하도록 하겠습니다. (최종보고서 66쪽에 제시함)</p>	

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

1. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

우리나라 농업이 점차 규모화, 대형화 추세에 있는 상황에서 사료작물인 총채 벼를 수확하고 원형 베일을 성형하며 비닐 감기 작업까지 하나의 기계에서 수행이 가능한 기계 개발은 세계 최초이며, 수입 건초를 대량으로 수입하고 있는 우리나라 저조한 조사료 자급률을 더한층 높일 수 있는 획기적인 개발품이라고 판단되고, 현재 일본에서 수입되고 있는 조사료 수확기를 대체할 수 있으며, 보다 능률적으로 작업이 가능한 개발품이라고 판단됨.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

본 연구의 기술적 성과는 대형 자주식 농작업기 뿐만 아니라 삼림용 작업기, 건설용 작업기 등 다양한 파생상품을 개발하는데 역할을 줄 것으로 판단되며 여타 산업에로의 파급효과가 클 것으로 판단됨.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

본 연구를 통해서 개발된 핵심기술로는, 유압식 주행 시스템 기술, 공정 자동화 기술, 공정별 동력 분배 최적화 기술 등이 있는데 이러한 기술은 향후 활발히 전개될 대형 자주식 농작업기 개발에 있어서 그 활용도가 높을 것으로 기대됨.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

연구 개발 단계별로 다양한 조건에서 반복적인 성능 시험을 거쳤으며, 또한 다양한 작물을 대상으로 수확 작업 시험을 수행하여 보완함으로써 모든 종류의 사료 작물 수확이 가능한 범용 수확기로서의 성능을 확보한 일관 작업기를 개발하였음.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

본 연구를 수행하면서 총 5편의 논문을 게재하였고, 총 9개의 특허 출원 및 등록을 마쳤으며, 학술 발표를 7회 하였음. 특히 논문 발표에서 발표 우수 수상을 2회 하였음.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
작업 속도 (5.4km/h)	15	65%	·우천으로 인해 작물 수분 과다-하베스트 막힘 ·포장지 궤도 침하량 50cm로 선회 시간 과다 ※2020년 총체벼 수확시험 시 설정 목표 달성함.
주행 속도 (10.9km/h)	10	89%	
작업 능률 (20분/10a)	20	59%	
최소 선회 반경 (2.0m)	10	200%	·설정 목표 달성함
베일 밀도 (450kg/m ³)	10	106%	
세절 길이 (50mm)	5	150%	
작업폭 (1800mm)	10	111%	
사일리지 발효품질 (70%)	20	100%	
합계	100점		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

우리나라에서 중요한 사료작물인 총체 벼를 수확하고 원형 베일로 성형하며 비닐 감기 작업까지 하나의 기계에서 가능한 일관 작업기 개발로 우리나라의 조사료 자급률을 높이는데 기여할 것으로 기대되고, 일본제 자주식 조사료 수확기의 수입을 대체할 수 있을 것으로 판단됨. 충남대학교와 경상국립대학교가 연구에 공동 참여하여 기술개발에 협력하였으며, 본 연구의 기술 성과물은 향후 대형 자주식 농작업기 개발에 그 활용도가 높을 것으로 기대됨.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

본 연구의 기술적 성과는 향후 대형 자주식 농작업기 개발에 그 활용도가 지대할 것으로 판단되고, 향후 새로운 대형 농기계의 연구개발에 있어서 본 연구의 기술을 적극 활용할 수 있기를 기대함.

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	319039-03		
사업구분	첨단생산기술개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	첨단생산기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	125kW급 자주식 총채 버 수확·베일·랩핑 일관 작업기 개발			과제유형	(개발)
연구개발기관	㈜라이브맥			연구책임자	지금배
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	'19.04.16~'19.1 2.31	300,000	117,300	417,300
	2차년도	'20.01.01~'20.1 2.31	400,000	156,400	556,400
	3차년도	'21.01.01~'21.1 2.31	400,000	156,400	556,400
	계		1,100,000	430,100	1,530,100
참여기업	경상국립대학교 산학협력단, 충남대학교 산학협력단				
상대국	상대국연구개발기관				

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2022. 2. 11

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
㈜라이브맥	연구소장	지금배

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	---

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	첨단생산기술개발사업	
연구과제명	125kW급 자주식 총체 벼 수확·베일·랩핑 일관작업기 개발			
주관연구개발기관	(주)라이브맥		주관연구책임자	지 금 배
연구개발비 (천원)	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	1,100,000	430,100	0	1,530,100
연구개발기간	2019. 4. 16 ~ 2021. 12. 31(2년 9개월)			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(자체 사업화) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 총체 벼 수확·베일·랩핑 일관작업기 개발	개발 완료함
② 작업 공정 자동화 프로그램 개발	개발 완료함
③ 작업 능률: 20분/10a	33분/10a

*연구결과에 대한 의견

검증 항목	검정 결과	달성율	결과 분석(목표 달성율 미달 원인)
작업 속도	5.4→3.5 km/h	65%	·우천으로 인해 작물 수분 과다-하베스트 막힘 ·포장지 궤도 침하량 50cm로 선회 시간 과다 ※2020년 총체벼 수확시험 시 설정 목표 달성함.
주행 속도	10.9→8.9 km/h	89%	
작업 능률	20→33.6분	59%	

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문 SC I	비 SC I	논문 평균 IF	학술발표			정책 활용	홍보 전시	
단위	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	명	건	건		
가중치	10%	10%	-	10%	-	20%	-	-	10%	-	15%			5%	5%	5%	5%	2%	3%	-

최종목표	3	3	-	1	110	1	45,000	10,800	2	-	1	2	3	2	7	3	2	2	2	-
1차년도	목표	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-
	실적	3	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-
2차년도	목표	1	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-
	실적	1	3						0			1	0	1	3	4				1
3차년도	목표		1	-	1	-	1	-	-	-	1	1	1	1	1	2	1	1	1	-
	실적	1	1		1		1				1	1	2	1	3	0	3	0	1	
소계	목표	2	2	-	1	-	1	-	2	-	1	2	3	2	3	2	1	1	1	-
	실적	5	4	-	1	-	1	-	1	-	1	2	3	2	7	4	3	0	1	1

*기타(타연구활동등): 논문 발표 수상 실적

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	유압식 주행 제어 시스템 기술
②	수확·베일·랩핑 공정 자동화 기술
③	공정별 동력 분배 최적화 기술

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술				v			v			
②의 기술	v						v			
③의 기술		v					v			
•										
•										

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	유압식 주행 시스템 기술은 별도의 밧션 없이 차속 제어와 전후진 변속, 좌우 조향이 가능한 기술로 구조가 간단하면서 고효율을 전달할 수 있는 기술임. 우리나라 농업이 점차 규모화 및 대형화 추세에 있기 때문에 본 기술을 이용한 자주식 대형 농기계의 핵심기술로 활용할 수 있을 것으로 기대.
②의 기술	총체 버 수확에 있어서 수확·베일·랩핑의 공정별 자동화 기술은 세계 최초로 개발한 것으로 향후 연속 작업이 가능한 농작업 기계 개발에 있어서 공정 자동화 기술 개발에 응용할 수 있을 것으로 기대.
③의 기술	작업 공정별 동력 분배의 최적화 기술은 각 공정별로 소요되는 동력을 측정하고, 전체적인 동력 분배가 최적화될 수 있는 시뮬레이션을 통해 개발된 기술로서 향후 복합 기능이 조합된 작업기의 개발 시 효율적인 동력 분배 설계에 활용할 수 있을 것으로 기대.

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용비)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		논 문 평 균 I F	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												S C I	비 S C I	정 책 활 용			홍 보 전 시				
단위	건	건	건	평 균 건 수	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건		건	명	건	건			
가중치	10%	10%	-	10%	-	20%	-	-	10%	-	15%			5%	5%	5%	5%	2%	3%	-	
최종목표	3	3	-	1	110	1	45,000	10,800	2	-	1	2	3	2	7	3	2	2	2	-	
연구기간내 달성실적	5	4	-	1	-	1	-	-	1	-	1	2	3	2	7	4	3	0	1	1	
연구종료후 성과창출 계획	1	1	-	-	110	-	45,000	10,800	-	-	-	-	-	-	4	1	1	1	1	-	

7. 별첨 자료

7-1 농업기술실용화재단 성능시험 성적서

일자리가 성장이고 복지입니다



농업기술실용화재단

수신 (주)라이브맥 대표이사 김병관 귀하
(경유)

제목 농업용베일러 성능시험 결과 알림

'21. 9. 15.자로 귀사에서 성능시험 신청한 다음 농업기계의 성능시험 결과를 붙임과 같이 알려드립니다.

기종명	형식명	형식	시험번호
농업용베일러	LH-175C	승용자주형 원통·래퍼식	21-FACTMP-324
			21-FACTMP-325
			21-FACTMP-326

붙임 농업기계 성능시험 성적서 각 1부, 끝.

농업기술실용화재단이사장



선임연구원 유재철 농기계검정팀 전담 2021. 10. 12.
장 한태호

협조자 연구원 조재근

시행 농기계검정팀-703 (2021. 10. 12.) 접수

우 54667 전라북도 익산시 평동로 457, 농업기술실용화재단 (송학동) / www.fact.or.kr

전화번호 063-919-1737 팩스번호 063-919-1589 / feelingto@efact.or.kr / 비공개(5)

농가소득 향상 · 국민행복 창출

농업기계 성능시험 성적서

1. 신청인

- 가. 성명 : 김병관
- 나. 사업자등록번호 : 213-81-70310
- 다. 주소 : 전라북도 김제시 백구면 금백로 1143
- 라. 상호 : (주)라이브맥

2. 시험 용도의 제품

- 가. 기종명 : 농업용베일러
- 나. 형식명 : LH-175C
- 다. 형식 및 규격 : 승용자주형 원통·래퍼식, 베일크기 (Ø100 × 85) cm

3. 시험번호 : 21-FACTMP-324

4. 시험성적 : 불임

「농업기술실용화재단 분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제4조제2항에 따라 시험신청한
기대에 대한 성능시험 성적입니다.

2021년 10월 12일

농업기술실용화재단 이사장



검정성적

1. 기종명: 농업용베일러
2. 시험번호: 21-FACTMP-324
3. 형식명: LH-175C
4. 형식: 승용자주형 원통·래퍼식
5. 규격: 베일크기 (Ø100 × 85) cm
6. 시험성적



6.1. 구조

6.1.1 기체의 크기

· 길이	8 900 mm
· 폭	2 400 mm
· 높이	2 980 mm
· 중량	8 500 kg

6.1.2 최저지상고

· 최저지상고	360 mm
---------	--------

6.1.3 동력전달장치

· 클러치 형식	없는 구조임
· 변속방식	HST(유압식)
· 변속단수	(전·후진) 무단

6.1.4 조향장치

· 조향형식	유압식
· 조향방식	조향레버식

6.1.5 주행장치

· 차륜의 종류	무한궤도
· 무한궤도의 규격(폭×피치, 피치수)	(500 × 100) mm, 74 개
· 무한궤도 중심간 거리	1 650 mm

6.1.6 제동장치

· 정차제동장치 형식	없는 구조임
----------------	--------

· 주차제동장치

형식	습식원판식
작동방식	스위치(유압식)
6.1.7 예취장치	
· 형식	드럼회전톱날식
· 작업폭	2 000 mm
· 예취날 수	2 개
· 예취날 높이 조절방식	유압식
6.1.8 세단장치	
· 형식	칼날회전식
· 날의 개수	12 개
· 절단길이 조절범위	(4.3 ~ 33) mm
· 칼날회전속도	1 000 r/min
6.1.9 취상장치	
· 회전각 조절방식	유압식
· 회전각 조절범위	270 °
· 배출관 지상고	3.7 m
6.1.10 베일성형장치	
· 베일성형방식	체인바식
· 베일형상	원통형
6.1.11 결속장치	
· 결속방식	회전결속식
· 결속강도 조절방식	스프링장력식
6.1.12 탑재엔진	
· 형식명	N67MNT
· 형식	직립형수냉6기통4행정디젤기관
· 최대출력	129.0 kW(2 200 r/min)
· 제조사	FPT사(이탈리아)

6.2 성능시험

6.2.1 최고주행속도

시험조건



· 차륜종류	무한궤도
시험결과	
· 최고주행속도	8.9 km/h

7. 시험제품 개요

본 기대는 승용자주형 원통·래퍼식 농업용베일러로 베일크기는 (Ø100 × 85) cm 이며 최고주행속도 8.9 km/h 임

8. 시험결과

본 시험성적은 농업기술실용화재단 「분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제5조제2항의 규정에 따라 의뢰자가 요구한 시험방법을 적용하여 실시된 성능시험 성적임

선임연구원
유재철

유재철

연구원
조재근

조재근



농업기계 성능시험 성적서

1. 신청인

- 가. 성명 : 김병관
- 나. 사업자등록번호 : 213-81-70310
- 다. 주소 : 전라북도 김제시 백구면 금백로 1143
- 라. 상호 : (주)라이브맥

2. 시험 용도의 제품

- 가. 기종명 : 농업용베일러
- 나. 형식명 : LH-175C
- 다. 형식 및 규격 : 승용자주형 원통·래퍼식, 베일크기 (Ø100 × 85) cm

3. 시험번호 : 21-FACTMP-325

4. 시험성적 : 불임

「농업기술실용화재단 분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제4조 제2항에 따라 시험신청한 기대에 대한 성능시험 성적입니다.

2021년 10월 12일

농업기술실용화재단 이사장



검정 성적

1. 기종명: 농업용베일러
2. 시험번호: 21-FACTMP-325
3. 형식명: LH-175C
4. 형식: 승용자주형 원통·래퍼식
5. 규격: 베일크기 (Ø100 × 85) cm
6. 시험성적



6.1. 구조

6.1.1 기체의 크기

· 길이	8 900 mm
· 폭	2 400 mm
· 높이	2 980 mm
· 중량	8 500 kg

6.1.2 최저지상고

· 최저지상고	360 mm
---------	--------

6.1.3 동력전달장치

· 클러치 형식	없는 구조임
· 변속방식	HST(유압식)
· 변속단수	(전·후진) 무단

6.1.4 조향장치

· 조향형식	유압식
· 조향방식	조향레버식

6.1.5 주행장치

· 차륜의 종류	무한궤도
· 무한궤도의 규격(폭×피치, 피치수)	(500 × 100) mm, 74 개
· 무한궤도 중심간 거리	1 650 mm

6.1.6 제동장치

· 정차제동장치 형식	없는 구조임
· 주차제동장치	

형식	습식원판식
작동방식	스위치(유압식)
6.1.7 예취장치	
· 형식	드럼회전톱날식
· 작업폭	2 000 mm
· 예취날 수	2 개
· 예취날 높이 조절방식	유압식
6.1.8 세단장치	
· 형식	칼날회전식
· 날의 개수	12 개
· 절단길이 조절범위	(4.3 ~ 33) mm
· 칼날회전속도	1 000 r/min
6.1.9 취상장치	
· 회전각 조절방식	유압식
· 회전각 조절범위	270 °
· 배출관 지상고	3.7 m
6.1.10 베일성형장치	
· 베일성형방식	체인바식
· 베일형상	원통형
6.1.11 결속장치	
· 결속방식	회전결속식
· 결속강도 조절방식	스프링장력식
6.1.12 탑재엔진	
· 형식명	N67MNT
· 형식	직립형수냉6기통4행정디젤기관
· 최대출력	129.0 kW(2 200 r/min)
· 제조사	FPT사(이탈리아)

6.2 성능시험

6.2.1 선회반경시험

시험조건



· 차륜종류	무한궤도
· 선회반경 측정속도	1.0 km/h
시험결과	
· 최소선회반경	(좌) 1.9 m (우) 1.9 m

7. 시험제품 개요

본 기대는 승용자주형 원통·래퍼식 농업용베일러로 베일크기는 (Ø100 × 85) cm 이며 좌·우 최소선회반경은 1.9 m 임

8. 시험결과

본 시험성적은 농업기술실용화재단 「분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제5조제2항의 규정에 따라 의뢰자가 요구한 시험방법을 적용하여 실시된 성능시험 성적임

선임연구원
유재철

유재철

연구원
조재근

조재근



농업기계 성능시험 성적서

1. 신청인

- 가. 성명 : 김병관
- 나. 사업자등록번호 : 213-81-70310
- 다. 주소 : 전라북도 김제시 백구면 금백로 1143
- 라. 상호 : (주)라이브맥

2. 시험 용도의 제품

- 가. 기종명 : 농업용베일러
- 나. 형식명 : LH-175C
- 다. 형식 및 규격 : 승용자주형 원통·레퍼식, 베일크기 (Ø100 × 85) cm

3. 시험번호 : 21-FACTMP-326

4. 시험성적 : 불임

「농업기술실용화재단 분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제4조제2항에 따라 시험신청한
기대에 대한 성능시험 성적입니다.

2021년 10월 12일

농업기술실용화재단 이사장



검정 성적

1. 기종명: 농업용베일러
2. 시험번호: 21-FACTMP-326
3. 형식명: LH-175C
4. 형식: 승용자주행 원통·래퍼식
5. 규격: 베일크기 (Ø100 × 85) cm
6. 시험성적



6.1. 구조

6.1.1 기체의 크기

· 길이	8 900 mm
· 폭	2 400 mm
· 높이	2 980 mm
· 중량	8 500 kg

6.1.2 최저지상고

· 최저지상고	360 mm
---------	--------

6.1.3 동력전달장치

· 클러치 형식	없는 구조임
· 변속방식	HST(유압식)
· 변속단수	(전·후진) 무단

6.1.4 조향장치

· 조향형식	유압식
· 조향방식	조향레버식

6.1.5 주행장치

· 차륜의 종류	무한궤도
· 무한궤도의 규격(폭×피치, 피치수)	(500 × 100) mm, 74 개
· 무한궤도 중심간 거리	1 650 mm

6.1.6 제동장치

· 정차제동장치 형식	없는 구조임
----------------	--------

· 주차제동장치

형식	습식원판식
작동방식	스위치(유압식)
6.1.7 예취장치	
· 형식	드럼회전톱날식
· 작업폭	2 000 mm
· 예취날 수	2 개
· 예취날 높이 조절방식	유압식
6.1.8 세단장치	
· 형식	칼날회전식
· 날의 개수	12 개
· 절단길이 조절범위	(4.3 - 33) mm
· 칼날회전속도	1 000 r/min
6.1.9 취상장치	
· 회전각 조절방식	유압식
· 회전각 조절범위	270°
· 배출관 지상고	3.7 m
6.1.10 베일성형장치	
· 베일성형방식	체인바식
· 베일형상	원통형
6.1.11 결속장치	
· 결속방식	회전결속식
· 결속강도 조절방식	스프링장력식
6.1.12 탑재엔진	
· 형식명	N67MNT
· 형식	직립형수냉6기통4행정디젤기관
· 최대출력	129.0 kW(2 200 r/min)
· 제조사	FPT사(이탈리아)

6.2 성능시험

6.2.1 작업능률시험

시험조건



· 공시작물	총 채벼
· 공시작물 길이	평균 850 mm
· 작업면적	10 a (20 × 50) m
· 작업속도	3.5 km/h
· 작업방법	왕복순차경법
· 예취폭	2 000 mm
· 예취날 회전속도	1 000 r/min
시험결과	
· 작업시간	0.56 h/10 a
· 포장작업능률	4376.5 kg/h
· 베일의 개수, 체적 및 중량	8 개, 0.644 m ³ /톨, 308 kg/톨
· 베일결속강도	478.26 kg/m ²
· 작물 세철 길이	평균 33 mm

7. 시험제품 개요

본 기대는 승용자주형 원통·래퍼식 농업용베일러로 베일크기는 (Ø100 × 85) cm 이며 포장작업능률은 4376.5 kg/h 임

8. 시험결과

본 시험성적은 농업기술실용화재단 「분석시험 의뢰 및 처리규칙」 제5조제2항의 규정에 따라 의뢰자가 요구한 시험방법을 적용하여 실시된 성능시험 성적임

선임연구원
유재철

유재철

연구원
조재근

조재근



주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.