

321041-3

원료육 급속진공해동장치 개발

2024

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)
고부가가치 식품기술 연구개발사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004622-01

원료육 급속 진공 해동 장치 개발

납본일자 2024. 05. 30.

주관연구기관 / (주) 협진

공동연구기관 / 경기과학기술대학교 산학협력단

공동연구기관 / 국립순천대학교 산학협력단

농림축산식품부

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “원료육 급속 진공 해동 장치 개발”

(개발기간 : 2021. 04. 01 ~ 2023. 12. 31.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

납본일자 2024 . 05. 30.

주관연구기관명 : (주) 협진

(대표자) 김 종 서 (인)

공동연구기관명 : 경기과학기술대학교 산학협력단 (대표자) 이 승 호 (인)

공동연구기관명 : 국립순천대학교 산학협력단 (대표자) 여 현 (인)

주관연구책임자 : 강 동 석

공동연구책임자 : 조 창 희

공동연구책임자 : 천 지 연

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

최종보고서							보안등급						
							일반[○], 보안[]						
중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명		고부가가치식품 기술개발사업						
전문기관명 (해당 시 작성)				내역사업명 (해당 시 작성)			차세대 가공기술						
공고번호	제 농축2021-19호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)									
				연구개발과제번호		321041-3							
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0308	60%	LB1602	30%	LB1704	10%						
	농림식품과학기술분류	RC0402	60%	RC0201	20%	PA0103	20%						
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문											
		영문											
연구개발과제명		국문		원료육 급속 진공 해동 장치 개발									
		영문		Development of a rapid defrosting machine for meat									
주관연구개발기관		기관명		(주)협진		사업자등록번호		140-81-01965					
		주소		경기도 시흥시 엠티브이 28로16 사화MTV 1사601		법인등록번호		121111-0063891					
연구책임자		성명		강동석		직위		부설연구소장					
		연락처		직장전화 031-432-9023		휴대전화		■■■■■■■■■■					
				전자우편		국가연구자번호		■■■■■■■■■■					
연구개발기간		전체		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)									
		단계 (해당 시 작성)		1단계		2021. 04. 01 - 2021. 12. 31(0년 9개월)							
				n단계		2022. 01. 01 - 2022. 12. 31(1년 0개월)							
						2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 0개월)							
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()		합계		연구개발비 외 지원금			
		현금		현금		현금		현금		합계			
총계		825,000		40,000 230,000		0 0 0 0		865,000 230,000		1,095,000			
1단계		1년차		225,000 75,000		0 0 0 0		225,000 75,000		300,000			
		2년차		300,000 100,000		0 0 0 0		300,000 100,000		400,000			
		3년차		300,000 40,000 55,000		0 0 0 0		340,000 55,000		395,000			
공동연구개발기관 등		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편		비고 역할 기관유형	
공동연구개발기관		경기과학기술대학교		■■■■■■■■■■		■■■■■■■■■■		■■■■■■■■■■		■■■■■■■■■■		■■■■■■■■■■	
		국립순천대학교		■■■■■■■■■■		■■■■■■■■■■		■■■■■■■■■■		■■■■■■■■■■		■■■■■■■■■■	
위탁연구개발기관													
연구개발담당자 실무담당자		성명		■■■■■■■■■■		직위		■■■■■■■■■■					
		연락처		직장전화 ■■■■■■■■■■		휴대전화		■■■■■■■■■■		■■■■■■■■■■			
				전자우편		■■■■■■■■■■		국가연구자번호		■■■■■■■■■■			

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

2024 년 05 월 30 일

연구책임자: 강 동 석

주관연구개발기관의 장: 김 종 서 (직인)

공동연구개발기관의 장: 이 승 호 (직인)

공동연구개발기관의 장: 여 현 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	고부가가치식품기술개발사업		총괄연구개발 식별번호			
내역사업명 (해당 시 작성)	차세대 가공기술		연구개발과제번호		321041-3	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0308	60%	LB1602	30%	LB1704 10%
	농림식품 과학기술분류	RC0402	60%	RC0201	20%	PA0103 20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)						
연구개발과제명	원료육 급속 진공 해동 장치 개발					
전체 연구개발기간	2021.04.01.~2023.12.31. (2년9개월)					
총 연구개발비	총 1,095,000천원 (정부지원연구개발비: 825,000천원, 기관부담연구개발비: 270,000천원, 지방자치단체지원연구개발비: 천원, 그 외 지원연구개발비: 천원)					
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[○] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]	기술성숙도 (해당 시 작성)		착수시점 기준() 종료시점 목표()		
연구개발과제 유형						
연구개발과제 특성						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	육가공 산업의 주원료인 냉동블럭형태의 돈육 해동 특성 및 품질에 대한 과학적 기초자료 확보를 통하여 해동육 로스를 줄이고 해동 생산성과 효율을 높여 고품질의 육제품을 생산할 수 있는 국산 대용량 해동 텀블러를 개발하여 해외 의존도를 낮추고 국산 기술 자립화에 성공				
	전체 내용	<p>○ 고품질 해동돈육 생산을 위한 해동텀블링 공정 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 텀블링해동 돈육의 품질 특성에 대한 기초 실험 데이터 구축 - 돈육 해동 시 가용성단백질 변성 최소화에 필요한 인자·조건 설정 - 돈육 해동 중 지방산패, 미생물 수 감소에 필요한 인자·조건 설정 - 해동돈육의 드립수 최소화 및 고품질화에 필요한 인자·조건 설정 <p>○ 생산량 증대를 위한 10 Ton 해동텀블링 탱크 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 진공압력 0.6 bar까지 견딜 수 있는 탱크 설계 - 냉동육이 탱크 내부에서 골고루 회전 가능한 임펠러 설계 <p>○ 드립수(drip loss) 최소화하기 위한 시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해동 시 드립수가 생기지 않도록 진공을 잡을 수 있는 밀폐 구조로 설계 - 해동 시 스팀, 텀블링 시에는 냉매가 탱크 자켓에 순환이 가능한 구조로 설계 - 냉동육의 고른 해동이 가능하도록 열 매체가 임펠러까지 순환이 가능한 구조로 설계 <p>○ 작업자 친화적 제어 기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자동 계량 시스템을 개발하여 작업자가 수작업으로 계량하지 않고 원하는 중량을 설정하여 배출 가능한 기술 개발 - 쉽게 제어가 가능한 자동제어 기술 및 핸드폰으로도 조작이 가능한 원격제어 장치 개발 				

○ 제품 품질 향상을 위한 내구성 제품 설계

- 제품별 편차를 줄이기 위해 저속 회전이(1 RPM) 가능한 구동부 설계
- 해동 완료 후 탱크 내부에서 냉장 보관이 가능하도록 탱크 내부 온도 조절이 가능한 시스템 개발/ 별도 냉장 보관이 필요 없음
- 제품 조건별로 탱크 기울기 각도를 셋팅하여 자동운전이 가능한 시스템 개발

○ 대용량 진공해동장치 개발 및 성능 평가

○ 세부 추진 내용 및 목표

핵심기술 및 목표	단위	달성목표
해동 드립 로스율 감소	%	- 드립수에 의한 육의 로스율을 최소화 • 자연해동 : 해동텀블러 = 4-5% : 0.5~1%
해동시간 단축	시간 (h)	- 해동텀블러로 해동시간 단축하여 생산량 증가 • 자연해동 : 해동텀블러 = 24 h 이상 : 4~5 h
해동육 품질 향상	mg/% log CFU/g	- 자연해동 시 육의 품질 변화(변색, 지방 산패, 단백질변성 등)를 방지하며, 균일 해동으로 선별작업 용이 - 식육 품질 향상으로 완제품의 품질 고급화에 기여 • 휘발성염기질소(단백질변성도) 10 mg/% 이하 또는 기준값(자연해동육)+2 mg/% 이하 • 육표면 미생물 성장 - 총균수: (기준값-0.5) log CFU/g 이하 - 대장균군: 불검출
작업환경 개선	%	- 해동텀블러 사용으로 드립수(핏물) 생성량 낮춤 - 드립수 감소로 작업장 환경개선(오염, 이취의 저감) • 드립수 발생량 : 중량의 1% 이하 (v/w)

<핵심성과>

- (사업화지표) 특허출원 3건 및 등록 2건, 특허등록 1건 추진중, 제품화 1건, 기술 실시 1건
- (연구기반지표) 학회 발표 4건, Scopus급 논문 2편 게재, SCI급 논문 투고 예정

<전략성과>

- 신기술 인증 1건, 기기 홍보 전시 2건
- 사업화에 따른 신규 고용창출 3명, 인력양성 7명
- 해당 기술 적용 제품 2건(대용량 진공해동장치 2ton, 6ton)

<성과 유형>

구분	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
성과 (N/Y)	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N

연구개발성과

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현재 국내에는 여러 식품가공기계 전문회사가 있지만 해동텀블러의 제조업체가 전무하여 해외에서 주로 수입을 하고 있는 실정으로 가격이 상당히 비싸서 육가공 산업의 발전과 성장에 부담이 되고 있다. 국산화 기술 개발을 통해 해동텀블러 장비의 가격을 낮추어 보급함으로써 수입대체 효과가 매우 클 것으로 기대 ○ 해동설비 국산화를 통한 생산비 절감으로 제품 품질 및 가격경쟁력 제고 ○ 해동텀블러 장비 국산화 및 보급을 통한 제품수율 향상을 통한 육가공 생산 원가 절감 기여 ○ 해동텀블러 적용으로 고품질 육제품 생산으로 소비자 만족도 제고 ○ 개발 해동텀블러가 해동기계 분야의 BM 대상화하여 국내 식품기계산업 활성화에 기여 ○ 육가공산업에서 주원료로 70~80%를 차지하고 있는 냉동돈육 위주로 연구검토를 했다. 그러나 소고기와 닭고기의 해동에도 확대 적용 가능 ○ 성능에 대해 현장 실험 데이터와 과학적인 자료 확보 및 국내외 발표를 통해 개발된 장비의 우수성을 홍보하여 국내는 물론 해외수출까지 활성화에 기여 ○ 식품기기장비산업 및 육가공식품산업의 동반성장을 통한 새로운 고용창출에 기여 ○ 관련 기술의 특허 출원과 학술지에 게재하여 홍보하고, 국내외 전시회를 통하여 냉동 원료육 급속진공해동기계의 우수성 부각
---------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

연구개발성과의
비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	2	2	1		1							
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	냉동육		진공		급속 해동		해동장치		해동드립			
영문핵심어 (5개 이내)	frozen meat		vacuum		rapid defrosting		defrosting machine		defrosting drip			

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	6
1) 연구개발의 필요성	6
2) 연구개발과제의 목표	14
3) 연구팀의 구성과 추진 체계	15
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	18
■ 1 차년도 연구개발 과제의 수행 과정 및 수행 내용	18
1) 1 차년도 연구목표 및 연구 일정	18
2) 연구수행 과정과 내용: 주관기관 (주협진)	20
3) 연구수행 과정과 내용: 제 1 공동연구기관 경기과학기술대학교	31
4) 연구수행 과정과 내용: 제 2 공동연구기관 국립순천대학교	46
5) 파이롯 장비 시험평가	68
■ 2 차년도 연구개발 과제의 수행 과정 및 수행 내용	72
1) 2 차년도 연구목표 및 연구 일정	72
2) 연구수행 과정과 내용: 주관기관 (주협진)	74
3) 연구수행 과정과 내용: 제 1 공동연구기관 경기과학기술대학교	83
4) 연구수행 과정과 내용: 제 2 공동연구기관 국립순천대학교	98
■ 3 차년도 연구개발 과제의 수행 과정 및 수행 내용	118
1) 3 차년도 연구목표 및 연구 일정	118
2) 연구수행 과정과 내용: 주관기관 (주협진)	119
3) 연구수행 과정과 내용: 제 1 공동연구기관 경기과학기술대학교	125
4) 연구수행 과정과 내용: 제 2 공동연구기관 국립순천대학교	130
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	145
4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	162
5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	163
< 별첨 자료 >	164

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발의 필요성

- 국내·외 식육산업 성장에 따른 고품질 식육 생산설비 필요성 증가
- 고품질-고수율 식육 생산을 위한 가공 최적화 연구의 필요
- 식육 해동기술 개발의 필요성
- 전통 해동방법 개선 기술개발의 필요성
- 전통적 해동방법 및 현장애로 해결을 위한 해동육 대량생산 설비 개발의 필요성
- 냉동육 급속 해동을 위한 해외 기술의 선행 연구와 기술자립화를 위한 요구 기술 도출
- 냉동육 급속해동을 위한 해동 텀블러 수입의존도 및 주관기관의 기술자립 가능성

가. 국내·외 식육산업 성장에 따른 고품질 식육 생산설비 필요성 증가

○ 국내 1인당 축산물 총소비량은 2007년 35.4kg에 비해 2017년 49.4kg으로 급증

- 국내 1인당 국내 1인당 돼지 소비는 2007년에 비해 28% 증가, 닭고기는 55%, 쇠고기는 49% 증가함
- 축산물 소비량(2017년) 중 돼지고기가 24.5kg으로 전체 축산물 소비량의 가장 높은 비중(49.8%)을 차지하고 있으며, 닭고기 13.3kg, 쇠고기 11.3kg의 순으로 소비

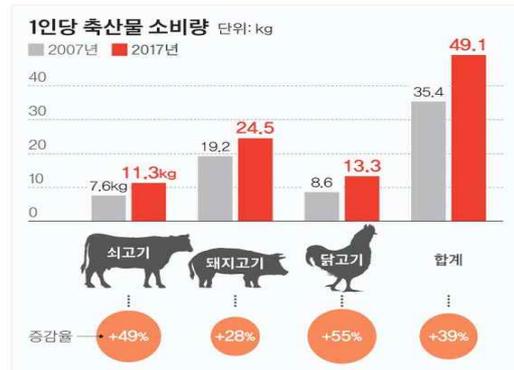


그림1. 1인당 축산물 소비량 (출처:농림축산식품부, 중앙일보)

○ 식육가공품 총 원료 중 국산 원료 사용 비중은 2018년 기준 74.5%였으며(수입산 35.5%), 이 중에서 돼지고기 국산 비중은 75.2%, 닭고기는 87.2%로 자급률이 높으나 쇠고기는 23.1%로 자급률 낮음(2017~2019년 식품산업 원료소비 실태조사, 한국농수산식품유통공사)

- 2016년 대비 2018년 소시지, 베이컨, 양념육류, 분쇄가공육류, 기타 육가공품의 원료 사용량은 증가하고 있으며, 돼지고기를 가장 많이 사용하는 품목은 기타 육가공품 (27.3%), 햄류(15.2%), 즉석 육류식품 (10.1%) 순으로 나타남(2017 식품산업 원료 소비 실태조사)
- 소시지류와 베이컨류의 주요 원료 사용량은 최근 3개년 지속 증가. 소시지류 원료 사용량은 돼지고기, 닭고기, 쇠고기 모두 증가세를 보이고 있으며 특히 베이컨류는 돼지고기 사용량이 큰 폭으로 증가하고 있음

○ 국내 축산물 가공품 생산 규모는 지속적으로 성장으로 2019년 255,500억원에 달하며 이중 식육가공품이 차지하는 규모는 전체 축산물 가공품의 약 19%를 차지하고 있음

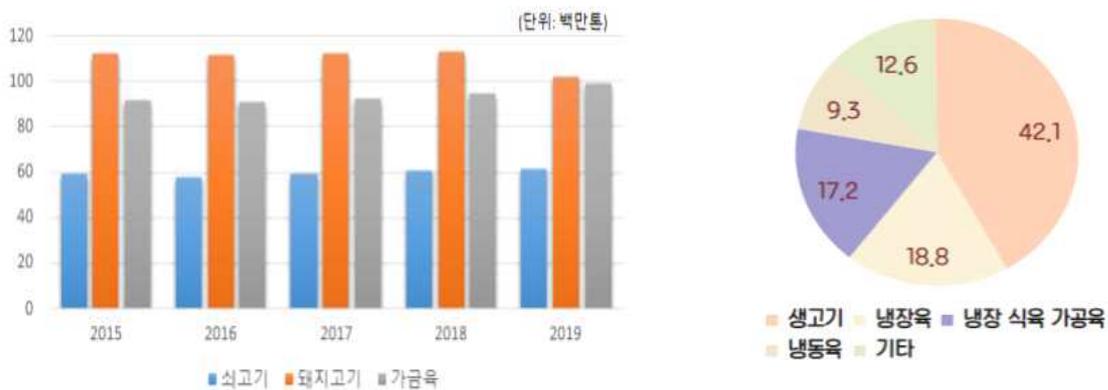
- 국내 축산물 가공품 제조업체는 '19년 기준 9,655개소이며, 그중 식육가공업은 3,397개소로 나타남. 또한, '19년 기준 축산물 가공품 생산실적(매출액)은 30조 998억원이며, 시장규모는 38조 1,062억원으로 나타남
- 향후 지속적인 국내 식육가공산업의 성장을 위해서는 지속적인 제품 품질 개선, 산업 현장에 적용 가능한 공정 효율성 제고 및 단위공정 기계 설비의 국산화가 필요함



그림2. 축산가공품 생산량 (출처: 농림축산식품부, 중앙일보)

[해외 식육 시장의 성장]

- 세계 육류(Meat) 시장은 '18년 기준 9,457억 달러로 그 중 냉동육의 판매 구성비는 9.3%를 차지하며, '23년까지 연평균 3.9%씩 지속적 성장세를 보일 것으로 기대됨
 - 세계인구 증가와 경제성장으로 인한 도시화로 인하여 육류 소비 증가는 지속될 것임
 - 2019년 축산물/축산가공품의 세계시장 생산 규모는 쇠고기 61.68백만 톤, 돼지고기 101.97백만 톤, 가금육 99.04백만 톤으로 추정(식품의약품안전처, 2019 식품 등의 생산실적)
 - 세계 육류시장 규모는 2018년 9,460억달러에서 2023년 11,450억달러로 증가할 것으로 추정. 육류판매 구성비는 생고기 42.1%, 냉장육 18.8%, 냉장 식육 가공육 17.2%, 냉동육 9.3%를 차지하고 있음(글로벌데이터, Opportunities in the global meat sector, 2019.04)



축산물 세계시장 생산규모('15-'19)
(출처: 2019 식품 등의 생산실적, 식품의약품안전처)

2018 육류판매 구성비율 (단위: %)
(출처: 글로벌데이터, Opportunities in the global meat sector, 2019.04)

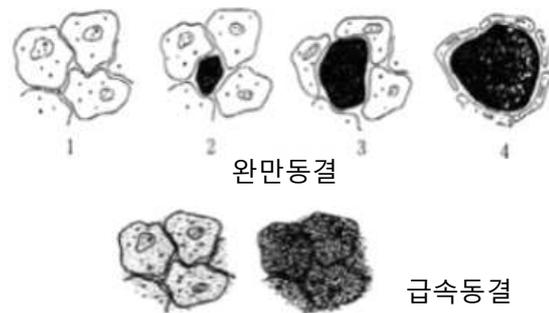
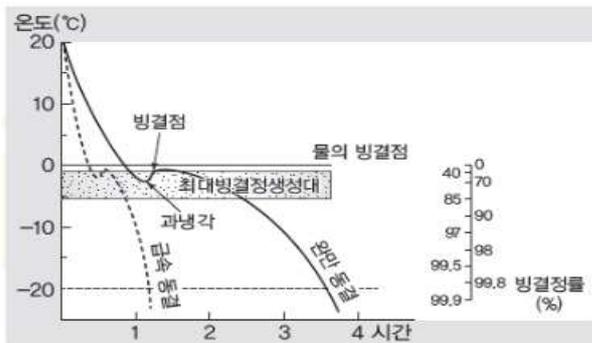
그림3. 축산물 세계시장 생산규모와 육류판매 구성비율

- 대륙별 육류 시장 연평균 성장률('18~'23)은 꾸준한 경제성장으로 육류 소비가 두드러지는 아메리카 지역이 4.6%로 가장 높았으며, 동유럽(4.0%), 중동-아프리카(3.9%), 아시아-태평양(3.6%) 등이 그 뒤를 이음(글로벌데이터, Opportunities in the global meat sector, 2019.04)

✓ 성장하고 있는 해외 식육 시장에서의 경쟁력 제고를 위해서는 고품질 축산가공품 제조 기술 개발 및 생산 장비 국산화 연구를 통한 노하우의 축적은 선결되어야 할 요건임

나. 식육 해동기술 개발의 필요성

- 식육을 -2°C 이하 온도에 저장하면 고기가 얼게 되는데 냉동은 식육을 가장 오래 보관할 수 있는 저장 방법이지만 해동 후 냉장육에 비해 식육 품질이 떨어지는 단점이 있음
- 냉동육의 품질은 특히 동결속도에 따라 형성되는 얼음 결정의 크기와 수에 따라 조직손상의 차이가 발생
 - 급속 동결은 수많은 작은 얼음 입자가 세포 내외에 균일 형성되 육조직 파손 최소화
 - 완만 동결은 소수의 큰 얼음이 세포와 세포사이에 형성되 육조직을 파손하고 수분이 세포 밖으로 이동하여 세포 내 이온강도를 증가시키고 단백질을 변성시켜 해동육의 보수력 감소를 가져옴
- 냉해동 과정은 식육 내 수분이 얼음결정을 형성하면서 식육 물리적 구조조직 및 생화학적 기작을 변화시켜 궁극적으로 품질과 관계된 단백질 변성 및 드립(drip) 발생 초래



식품의 냉동 곡선 (급속동결과 완만동결)

급속 및 완만동결에 의한 근육조직의 세포 빙결정 생성과 탈수 진행 상황

그림4. 식품 동결 방법에 따른 특징

- 일반적으로 해동육에 발생될 수 있는 품질 변화는 육질 저하, 미생물 오염, 수분 증발, 드립 발생, 중량 손실, 색 변화, 조직감 변화, 공기 중 산화, 표면 건조, 영양성분 손실, 근섬유 단백질 변성, 단백질 염용해성 감소, 지질 산패, 가공품 품질 저하 등임

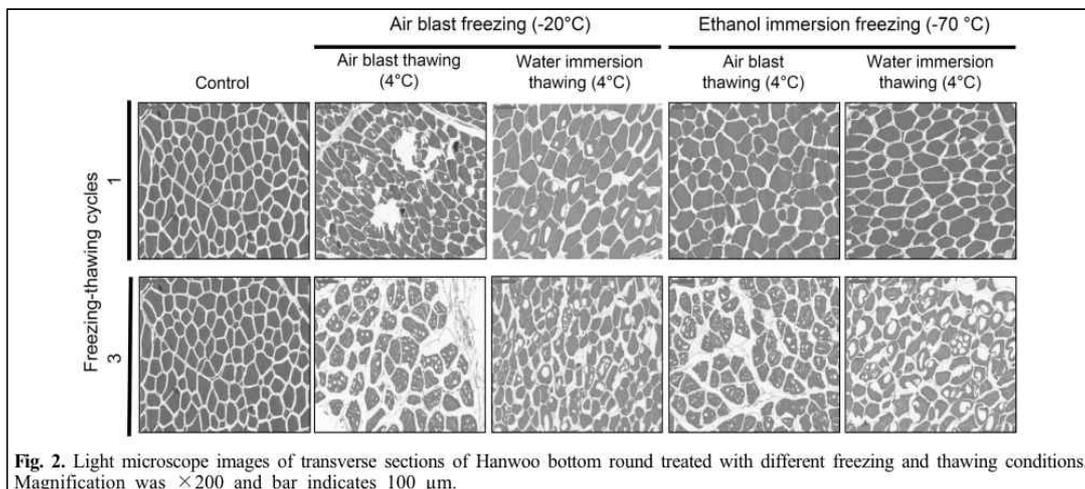


Fig. 2. Light microscope images of transverse sections of Hanwoo bottom round treated with different freezing and thawing conditions. Magnification was $\times 200$ and bar indicates $100\ \mu\text{m}$.

그림5. 광학현미경으로 관찰한 냉동 및 해동 처리된 한우의 미세구조 (출처: 한우육의 냉동 및 해동 조건에 따른 품질 변화, 천호현 등, 2016)

- 특히, **해동육의 드립(drip)** 발생은 냉동육의 빙결정이 녹아서 생성된 수분이 동결 전의 상태로 육질에 흡수되지 못하고 유출되는 액즙으로 동결에 의한 식육 조직의 물리적 손상으로 인해 보수력이 감소되기 때문에 수분이 식육 내 수화되지 못하고 유출되기 때문
- 해동육의 드립 발생은 품질 감소의 절대적 원인으로 ‘드립 발생 최소화 해동기술’은 육 가공산업에서 제품 고품질화 및 경제성 제고에 매우 중요

드립수 문제	<ul style="list-style-type: none"> • 해동 시 드립수는 중량의 약 1~4%로 식육 중량 감소로 경제적 손실 발생 • 건조한 조직감과 풍미성분 유출 감소로 인한 맛과 풍미 저하 • 단백질, 염류, 비타민, 무기질 등 수용성 영양성분의 손실 발생 • 저장 중 미생물 증식, 지질산패, 육색의 갈색화 진행 빠름 • 가용성단백질 손실로 식육 가공 적성 저하 • 드립수로 인한 환경오염 및 폐수 처리비 증가
--------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

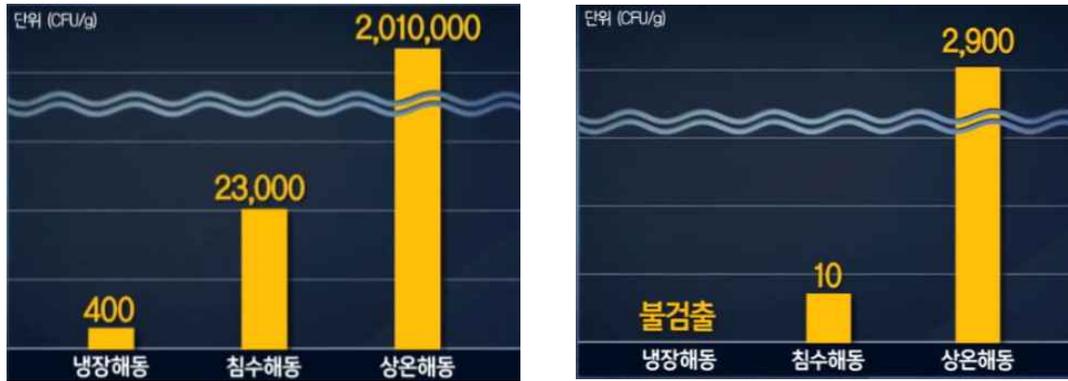
- 따라서, 고품질 해동육 생산을 위해서는 냉동 시 얼음결정 수는 많으나 크기는 작은 빙결정이 형성되는 급속동결법으로 식육 처리하는 것 외에도 해동 시 유출되는 수분을 조직으로 재수화시킬 수 있는 해동기술 개발이 필요

✓ 식육 품질변화는 해동 방법과 조건에 따라 크게 달라지므로 식육의 특성, 해동 시 열전달 특성 및 품질변화에 관한 연구를 기반으로 한 식육해동기술 개발은 가공식육 품질 개선에 매우 중요한 과정임

다. 전통 해동방법 개선 기술개발의 필요성

- 식육의 품질은 사후강직 후 근섬유 단백질의 자기소화 등으로 인해 연도, 보수력, 풍미 등에 의해 관능적 특성이 개선되는데 식육을 냉동시키는 경우 효소적 및 화학적 변화가 정지상태가 되어 숙성이 진행되지 않으나 냉동육 해동 시 이러한 변화가 다시 재개되면서 식육의 품질에 영향을 미치게 됨
 - 냉동육 해동 시 얼음으로 고정된 수분이 물로 상변화 되어 조직 내 화학적, 효소적, 미생물학적 반응에 참여하게 되면서 해동 후 품질 변화가 가속화됨
- 가정 및 산업현장에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 냉동육 해동법에는 상온해동법, 침수해동법, 냉장해동법 및 마이크로파(전자레인지) 해동법이 널리 이용됨
- 공기해동법(실온, 저온, 열풍)은 동결식품 형태와 관계없이 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있지만 물보다 공기의 열전도도가 매우 낮으므로 해동시간이 길어 해동 중 산화, 미생물 생장 및 교차오염이 발생할 수 있음. 또한 해동과정이나 저장 또는 유통 중 발생하는 냉동-해동의 반복으로 변색, 지방산패, 표면건조, drip 유출, 보수력 감소, 수분 증발, 영양성분 손실 및 품질 저하가 발생
 - 상온해동은 해동시간 길고 온도가 비교적 높아 미생물수 증가가 빠름
 - 열풍해동은 열풍온도가 높아지고 해동육 표면 온도 증가될수록 표면 세균수 감소, 해동육의 TBA(지방산패도) 증가(신선육의 4배)하는데 이는 지방 산패를 일으키는 유리철분자와 인지방 함량비가 변하기 때문

- **침수해동**은 열전달 매체인 물이 공기보다 열전도도가 높아 해동 시간이 조금 단축될 수 있음(냉동 삼겹살의 경우 냉장해동 42시간, 상온해동 24시간, 침수해동 7시간이 소요)



삼겹살 각 해동별 일반세균 검사 결과 삼겹살 각 해동별 대장균군 검사결과

그림6. 삼겹살 해동 별 유해물질 포함 정도
(출처: 먹거리 X파일, 검사기관 : 녹색식품안전연구원)

- 이를 극복하기 위해 국내에서는 ohmic 해동, 마이크로웨이브 해동, 라디오파 해동, 초고압 해동 등 급속해동으로 시간을 단축하기 위한 연구들이 진행됐으나 현재 식품산업 현장에서 냉동 원료육 가공을 위한 해동 시 가열의 불균일성, 가압에 의한 근원섬유단백질의 변성, 경제성(시설비 높음) 문제 때문에 여전히 침수해동법과 공기해동법 등 재래식 해동법이 가장 많이 활용되고 있는 실정임

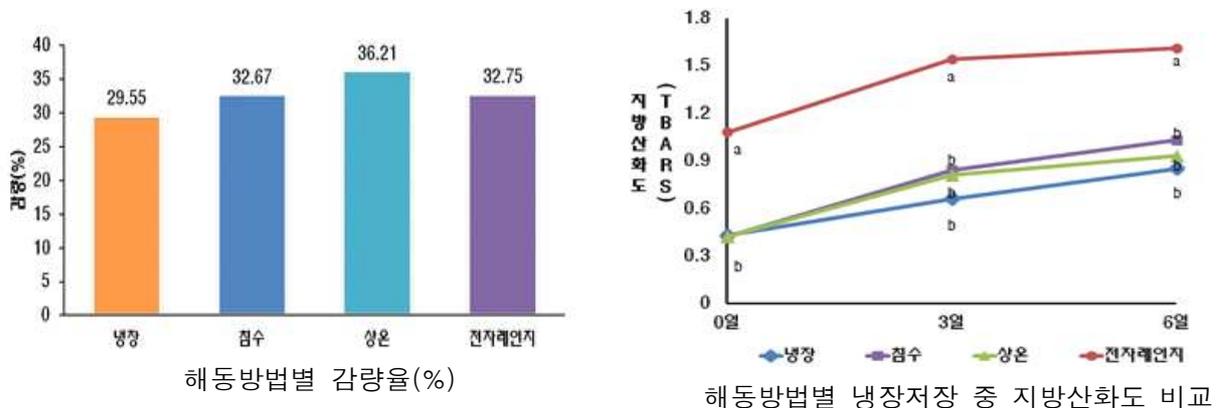


그림7. 해동 방법에 따른 특성 비교

- **고주파해동(마이크로파, 라디오파)**은 해동시간이 짧고 간편하며 드립 손실과 수분 증발에 의한 손실을 줄일 수 있어 품질 저하와 세균번식을 억제할 수 있어 위생적이나 식육의 불균일한 성분과 모양으로 인하여 부분 가온 속도가 다르고 전자파에너지를 많이 흡수해 과도하게 가열되거나 여전히 얼음 존재, 지방산화 가속화(출처: 국립축산과학원)

- 식육의 보수력은 식육 단백질의 특성이 가장 큰 영향을 미치게 되는데 마이크로파 출력이 높을수록 식육의 보수력 감소, 드립을 증가, TBA가 증가, 세균수 감소 경향이 있음
 - 마이크로파 처리는 세균세포 및 포자의 일부 파괴로 세균수 감소 효과가 있음
 - 해동 중 상변화 과정에서 급격한 유전상수 변화가 생기고 식육 내 먼저 녹은 부분이 집중 가열되어 전기에너지 해동은 부분과열에 의한 품질저하, 드립수 발생이 야기됨

✓ 전통적 해동방법은 육제품 품질 저하의 원인으로 이를 개선할 수 있는 해동기술 개발 필요

라. 전통적 해동방법 및 현장애로 해결을 위한 해동육 대량생산 설비 개발의 필요성

○ 국내 육가공 산업체 현장 애로사항은(국내 산업체 현장 방문) 대량처리 기능, 고품질 식육 해동장비, 위생적이고 자동화된 연계 공정 적용 가능성 등이 제시됨

		<ul style="list-style-type: none"> - 식육가공은 대용량 크기 bulk 원료형태로 배송 및 처리 - 냉동원료육이 완전해동시까지 소요되는 시간이 48시간 이상 소요됨 (이물선별을 위하여 완전해동이 필요함) - 외부 수작업시 미생물 오염도 높아짐 - 돈육 부위별 마다 다른 해동특성을 나타냄
		<ul style="list-style-type: none"> - 외부 수작업시 미생물 오염도 높아짐 - 돈육 부위별 마다 다른 해동특성을 나타냄
		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 위생적 대량처리 산업화가 가능한 장비 개발 및 자동화설비 필요 ✓ 식육 냉해동 특성 연구에 기반한 해동기술 개발 필요
		<ul style="list-style-type: none"> - 대량생산용도 침지 방식 유수해동시 해동감량 과다 발생 및 품질 저하 ✓ 단시간내에 대량 냉동육을 고르게 해동할수 있는 해동장비 필요
		<ul style="list-style-type: none"> - 폐수발생 및 환경오염 초래 - 해동 공정 이후 연계 공정 설비의 위생성, 처리 편이성개선 필요 ✓ 스마트팩토리형 연계 공정이 가능한 해동 공정 설비 연구 필요

그림8. 국내 냉해동육 가공 산업체의 가공 현장

○ 기존 육가공 산업화 해동기술 및 장치는 다음과 같은 한계를 나타내어 이들의 장단점을 보완할 수 있는 새로운 해동기술 장치 및 산업화 연구가 필요함

해동법	특징	장점	단점
공기해동	<p>상온해동</p>  <p>- 상온 공기 중 해동하는 방법</p>	- 경제적	<ul style="list-style-type: none"> - 해동속도 느림(2~3일 소요) - 표면 건조 - 변색 및 품질 변질 큼 - 지방산화도 높음 - 상온 및 송풍해동은 미생물 증식: 리스테리아, 대장균 검출
	<p>저온해동 (콜드룸)</p>  <p>- 가장 일반적 해동</p>	- 비교적 경제적	<ul style="list-style-type: none"> - 중심부는 냉동된 상태이나 겉은 녹아서 드립 발생 - 지방산패도 증가 - 표면온도 증가할수록 세균번식
	<p>송풍해동 (열풍)</p> <p>- 다습한 공기(15~20℃)를 순환(2~6 m/sec) 시키는 방법</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 표면 미생물 변화 적음 - 위생적 	
침수해동	 <p>- 액체(정지 침수, 유동 침수 및 염수)에 직접 침수시키는 방법</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 공기보다 열전도도 높음 - 해동시간 단축 (송풍해동보다 1/5 절감) 	<ul style="list-style-type: none"> - 폐수 발생 및 환경 오염 - 수용성 성분 유출 - 세균오염 가능성 높음 - 폐수처리비 발생 - 환경오염 - 드립 발생 큼
증기해동	- 감압(10~15mmHg) 하에서 생성한 수증기(15℃)를 사용	- 공기, 물보다 해동 빠름	- 식육표면 온도관리 필요
접촉해동	- 온수 흐르는 금속판 사이에 해동시료를 끼워 연전달	- 해동시간 짧음	<ul style="list-style-type: none"> - 원료육 형태 따른 편차 큼 - 표면 평평한 시료에 적용 가능
전기적해동 (고주파 이용)	 <p>Microwave(마이크로파) 이용 : 300MHz ~ 30GHz : 915MHz, 2,450MHz</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 드립양 감소 - 단시간 해동(수시간) - 금속용기 제외 포장상태로 해동 가능 - 영하 온도영역에서 고품질 - 발열 효율 높음 - 세균 번식 감소 	<ul style="list-style-type: none"> - 식육 부위 및 크기에 따라 가열 불균일. 대용량 해동에 부적합 - 주파수 높을수록 침투깊이 낮음 - 침투깊이가 성분에 따라 달라 식육내 고른 열전달에 한계 - 0℃ 이상에서 급격한 온도 상승 - 용량이 큰 경우 표면과열현상 - 식육 해동 중 상변화 과정에서 급격한 유전상수 변화 생겨 먼 저 녹은부분이 집중 가열됨 - 장비 설치가격 높음
	<p>라디오파 이용 - 3kHz ~ 300MHz - 13.56, 27.12, 40.68MHz</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 해동시간: 수분~수시간 - 0℃이상-급격온도상승 없음 - Microwave 보다 품질 우수 - 걸속이 동시에 녹아 미생물 증식 방지: 리스테리아, 대장균 불검출 	<ul style="list-style-type: none"> - 0℃~플러스 온도 범위에서 해동 어렵고 마이너스 온도에서 해동 - 장비 설치가격 높음
진공증기해동	- 진공상태에서 물을 수증기로 만들어 해동에 이용	<ul style="list-style-type: none"> - +/- 온도에서 해동 가능 - 해동품질 비교적 우수 	<ul style="list-style-type: none"> - 해동 속도 느림 - 다른 해동 기술의 적용 필요

✓ 현재 국내에서 사용되는 전통적 및 급속해동법의 단점을 보완할 수 있는 새로운 해동 기술의 개발 및 산업화를 위한 대량생산화를 위한 해동 기계장치 개발이 필요함

마. 냉동육 급속 해동을 위한 해외 기술의 선행 연구와 기술자립화를 위한 요구 기술 도출

○ 해동효율 개선 및 기기 국산화를 위한 해외 제품 분석

- 관련 해외 해동관련 설비는 GEA 사의 GEA ColdSteam T, Provisur 사의 Lutetia, Nowicki 사의 Vacuum tumbler 설비를 선정하여 원리 및 기기 구동 방식 분석함
- 특히 GEA 사의 GEA ColdSteam T를 구매하여 작동 방식을 세세히 조사함



그림9. GEA ColdSteam T

- GEA 사의 ColdSteam T는 텀블러 내에 냉동육을 넣고, 뚜껑을 닫은 뒤, 저기압 상태로 만들고 나서 물을 주입함. 저기압에 의해 물의 끓는점은 매우 낮아지기 때문에 물은 스팀이 되어 쉽게 냉동육 표면에 달라붙고 액화되며, 물의 액화열을 통해 냉동육을 해동시킴. 해동이 종료되면 텀블러를 기울여 해동 과정에서 발생한 드립을 배출하고, 이후 텀블러를 더 크게 기울이면서 회전시켜 해동된 고기를 배출시킴
- 본 설비는 텀블러 내부에 날개를 만들어 텀블러가 회전하면서 원료육을 교반할 수 있도록 설계됨. 원료육은 교반 때문에 표면을 골고루 노출되어 균일하게 해동될 뿐만 아니라 충돌로 인해 부드러운 육질을 가짐

✓ 해외 제품의 해동품질 성능도 해동육 제품의 고품질화를 이루기에는 부족함

○ 선행 연구로부터 텀블링 방식의 냉동육 급속 해동 기술 자립화를 이루기 위해서는 다음과 같은 세부기술 개발이 요구됨

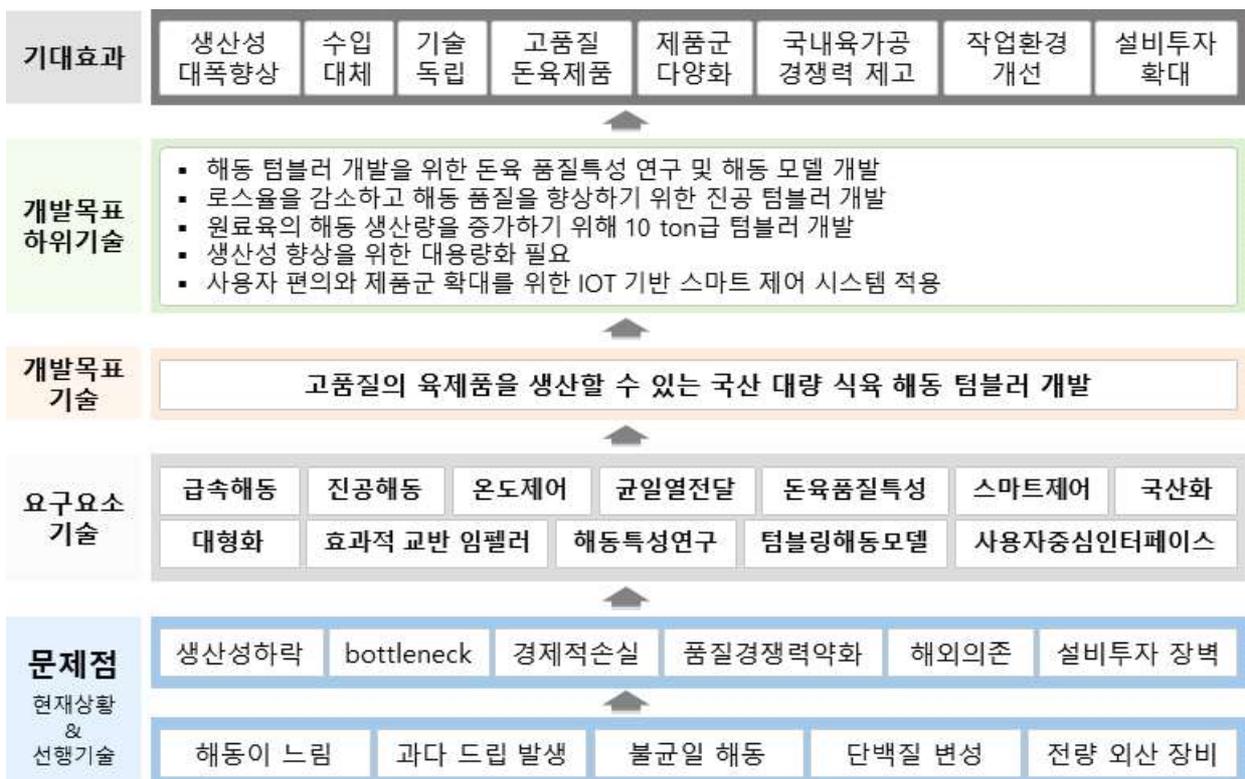
1. 효과적인 원료 교반으로 균일한 열전달을 위한 내부 날개 형상 및 배치 연구 필요
2. 이중 자켓 구조를 통한 온도 조절 기능 연구 필요
3. 해동 효율 개선 및 식육 품질 개선을 위한 진공도 개선 연구 필요
4. 안정적 생산 시스템 구축 및 생산성 향상을 위한 대용량 해동 설비 요구
5. 자동제어 기능 추가 및 연계 공정 자동화 연구 필요

- (1) 효과적인 원료 교반으로 균일한 열전달을 위한 내부 날개 형상 및 배치 연구 필요
 - 텀블러 내의 날개의 형상 및 배치에 따라 원료육의 교반 정도가 달라지며, 균일한 해동에 결정적인 영향을 미침
 - 교반에 의한 원료육 간의 충돌에 따라 해동된 고기를 연화시키는 데 도움을 주어 해동육의 품질을 향상하므로 효율적 교반을 위한 날개의 형상과 배치에 대한 연구 필요
- (2) 이중 자켓 구조를 통한 온도 조절 기능 연구 필요
 - GEA ColdSteam T 의 텀블러는 이중 자켓 구조로, 해동과 텀블링에 상황에 따라 자켓 내에 스팀 또는 냉매를 순환시켜 텀블러 내의 온도를 조절함

- 이러한 구조는 텀블러 전체에 균일한 온도 조절이 가능하여, 내부 원료육의 균일한 해동에 큰 역할을 하는 것으로 판단됨
 - 이중 자켓 구조의 스팀과 냉매의 배관 배치 및 제어 시스템에 관한 연구가 필요
- (3) 해동 효율 개선 및 식육 품질 개선을 위한 진공도 개선 연구 필요
- 해동 중 내부 진공도는 수분과 열전달 특성에 변화를 줄수 있는 요인임
 - 공기의 존재는 식육의 지방산패도를 높이는 결과를 초래하므로 지방산패 요인을 낮추어 해동육 지방산화를 억제하고 색, 맛 및 풍미 등 관능성 개선이 필요
- (4) 안정적 생산 시스템 구축 및 생산성 향상을 위한 대용량 해동 설비 요구
- 해동 공정은 냉동육을 이용한 육가공 공정에서 bottleneck이므로 생산 현장의 입장에서는 해동 생산성은 높이는 것이 매우 중요한 과제
 - 일부 육가공업체에서 고가의 외산설비를 도입하여 텀블링을 이용한 해동기술을 일부 제품에 적용하고 있기 때문에 **대용량 해동육 생산능력의 설비가 필요**
- (5) 자동제어 기능 추가 및 연계 공정 자동화 연구 필요
- 자동계량 시스템, 텀블러 기울기 자동제어시스템, 텀블러 내부 자동세척 시스템 등 사용자의 편의성을 위한 맞춤형 부가 기능을 구현하고 이를 위한 제어 시스템을 구축
 - 원료 투입, 배출, 세척 등의 전후 공정과의 자동화 및 위생적 환경 구축 시스템 구축

2) 연구개발과제의 목표

최종목표	육가공 산업의 주원료인 냉동블럭형태의 돈육의 해동 특성 및 품질에 대한 과학적 기초자료 확보를 통하여 해동육 로스를 줄이고 해동 생산성과 효율을 높여 고품질의 육제품을 생산할 수 있는 국산 대용량 해동 텀블러를 개발하여 수입대체와 기술 자립화에 성공
-------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



○ 주요 연구개발과제 및 주요 연구방법은 다음과 같음

주요 연구개발과제	주요 연구 방법	연구 참여 기관
해동·냉장 기능을 포함하는 진공 텀블러 개발	- 사전연구 벤치마킹 - 정적 구조해석, 열전달 시뮬레이션	협진 경기과학기술대학교
육류 순환용 임펠러 개발	- 동작시뮬레이션 - RSM 등 최적 설계법	경기과학기술대학교
돈육 냉해동 품질변화 kinetic 연구	- 영향인자와 품질 특성 correlation 조사 - 영향인자의 수준별 변화 kinetic 조사	국립순천대학교
해동육 품질 특성 개선 및 평가	- 시제품 기기 작동 성능 평가를 위한 품질 분석 - 기존해동법과의 비교분석	국립순천대학교 협진
해동 텀블러 프레임 및 구동부 개발	- 구조물 정적·modal 해석 - 텀블러 회전 동적 해석	협진 경기과학기술대학교
편의·스마트 제어 시스템 개발	- 기존 기술을 장비에 특화	협진

3) 연구팀의 구성과 추진 체계

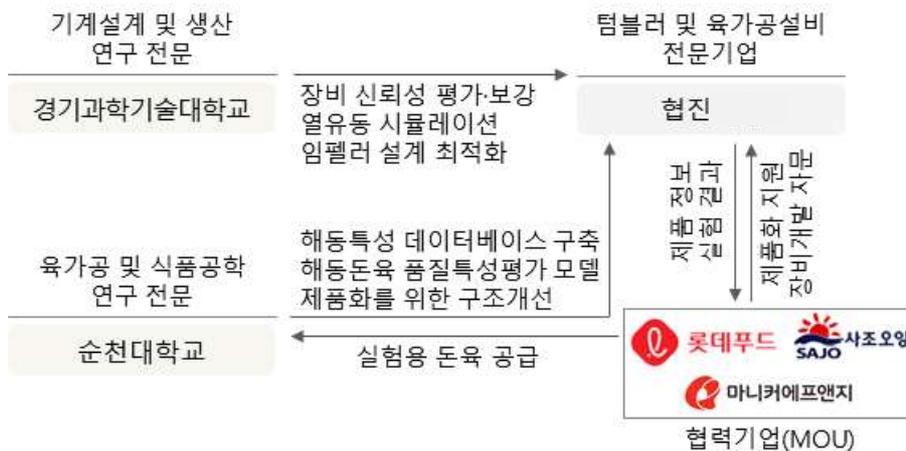


그림10. 연구팀의 구성

- 주관기관(협진)은 국내 최대 육가공 설비 제작 전문기업으로 기업이 현재 보유한 인프라와 주력제품 리스트, 제품개발 이력 등으로 볼 때 본 과제를 성공시킬 수 있는 충분한 역량이 있음
- 본 과제의 RFP에 제시된 모든 조건을 만족하기 위해서는 해동, 냉장, 텀블링의 복합 기능과 함께 IOT 기반 스마트 제어장비까지 개발할 수 있는 역량이 필요하기 때문에

관련 제품의 인프라와 유사제품 개발 이력을 충분히 보유한 텀블러 전문기업이 본 과제를 수행해야 함

- 주관기관은 전국에 다수의 육가공 협력기업을 보유하고 다양한 종류로 교류와 협력 관계를 지속하고 있으며 이 네트워크는 본 과제가 장비개발의 성공에만 그치는 것이 아니라 협력적 제품화 및 품질연구와 사업화에서 실질적인 매출 발생으로 이어질 기반이 이미 구축된 것이기 때문에 고부가가치를 추구하는 본 과제의 성격에 부합 (과제 기획단계에서 이미 납품처 중 3개 기업과 과제 협력을 위한 MOU 체결)



그림11. 주관기관 주요 납품처

- 주관기관의 역량과 함께 기계설계 및 개발 경험으로 신뢰성 평가와 설계 최적화 등의 해당텀블러 장비개발 연구를 협력할 수 있는 경기과학기술대학교와, 돈육의 해당특성 연구로 해당모델개발을 할 수 있는 국립순천대학교가 공동으로 본 연구팀을 구성함

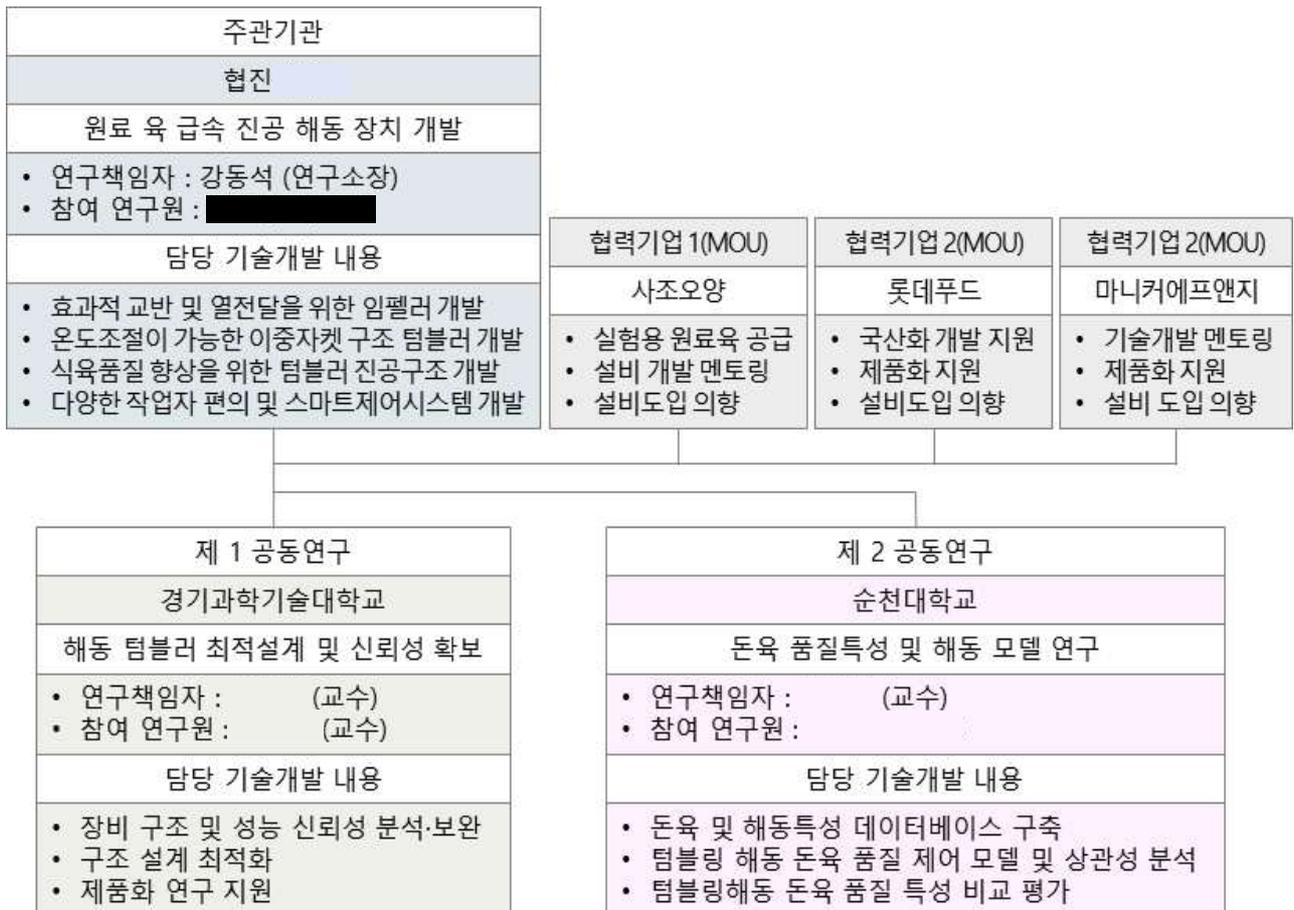


그림12. 연구개발 체계 구성

- 주관기관인 협진은 원료육 급속 진공해동 장치의 개발을 담당하기 위해 연구책임자 1인 외에 5명의 연구원이 본 과제에 참여하며, 1ton급 pilot 장비와 10ton급 본 장비 개발을 위한 이중자켓 구조 진공텀블러, 임펠러, 작업자 편의를 위한 시스템과 IOT 기반 스마트제어 시스템 등을 개발하고 본장비의 제품화 및 사업화를 담당
- 제1 공동연구기관인 경기과학기술대학교는 해동 텀블러 최적설계 및 신뢰성 확보를 위한 연구를 연구책임자 1인 외에 1명의 연구원이 참여해서 연구 및 기술개발을 하고, 부족한 연구 인력을 보강하기 위해 연구 기간 중 FEM을 이용한 시뮬레이션 분야 외부전문가를 활용할 계획
- 제 2 공동연구기관인 국립순천대학교는 연구책임자와 5인의 연구원이 본 과제에 참여하여 돈육 해동특성 데이터베이스 구축과 텀블링 해동돈육 품질특성 평가 및 모델을 개발하여 본 과제의 궁극적 목표인 ‘돈육의 고품질 해동기술 개발’을 달성하도록 지원

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

■ 1차년도 연구개발 과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 1차년도 연구목표 및 연구 일정

가. 연구수행 일정

기관	연구목표	연구 결과
주관기관 (협진)	이중 재킷 구조를 갖는 용량 1ton 텀블러 (원료육 해동 용량 0.5ton) 개발	▶ 2 ton 급 해동텀블러 개발완료 ▶ 텀블러 내부 압력 0.6bar ▶ 이중재킷 스팀 및 냉매 순환기능 ▶ 스팀분사 가능
	1ton 텀블러 지지 프레임 개발	▶ 2ton 텀블러지지 프레임 개발완료 ▶ 텀블러 하중 및 진동 지지구조
	1ton 텀블러 드라이빙 시스템 개발	▶ 2ton 텀블러 드라이빙시스템 개발완료 ▶ 모터 구동 및 1rpm 이하 저속 회전 시스템 및 역회전 방지 모듈
	CIP 시스템 개발	▶ 텀블러 내부 CIP 알고리즘 개발 완료
	가열 및 냉각 열교환기 시스템	▶ 이중재킷을 통한 가열·냉각 순환시스템 개발 완료
	각종 상태 모니터링 및 제어 시스템	▶ 실시간 온도 모니터링 및 제어 시스템 ▶ 모터 구동 및 과부하 보호 ▶ 탱크 내부 압력 모니터링 및 자동-배관 자동제어
제1 공동 (경기과기대)	해동 텀블러 pilot 장비 신뢰성 확보	▶ 2ton 텀블러 내부 압력에 따른 구조해석으로 강성 및 변형 예측, 보강설계 제안 ▶ 텀블러 회전에 따른 동적 특성 평가 및 보강설계 제안
	1ton 텀블러 열전달 신뢰성 확보	▶ 이중 재킷의 스팀 또는 냉매에 의한 텀블러 내부 열 순환 시뮬레이션
	1ton 텀블러 임펠러 설계 최적화	▶ 임펠러 회전에 따른 냉동육 순환 시뮬레이션 구현 ▶ 냉동육 강제 순환을 위한 임펠러 형상 최적 설계
제2 공동 (국립순천대)	돈육(후지, 전지) 원료 특성 조사	▶ 일반성분 분석, 영양성분 분석, 색 및 조직감 분석
	품질 특성에 미치는 요인 조사 및 실험 디자인 설계	▶ 해동품질특성 영향 인자 및 수준 설정 ▶ 냉·해동 모델 실험 및 설계
	자연해동, 마이크로웨이브, 텀블링해동 특성 조사	▶ 해동 조건별 해동 실험 및 품질 변화 조사

나. 연구 변경 사항

- [연구계획서]의 수정 요청사항에 “1차년도 과제기획 단계에서 국내·외 수요기업(식품기업)의 해동공정, 해동공정 설비, 관련 기술에 대한 수요조사와 니즈를 연구한 후 연구개발 방향 및 내용을 추가”에 따라 주관기관과 네트워크가 되어 있는 국내 수요기업을 대상으로 해동공정, 해동공정 설비 등에 대한 모바일 설문조사 실시
- 1차년도 파이롯 장비인 1ton급이 아닌 2ton급에 대하여 수요기업의 요구도가 더 높고, 본 과제 수행을 위해 협력하기로 MOU를 체결한 기업 중 1개 기업이 파이롯 장비 성능 시험평가에 적극 참여하고 과제 종료 후 파이롯 장비를 활용하여 지속적인 현장시험 수행하는 대신 2ton급 파이롯 장비 개발을 요청함에 따라 **1차년도 파이롯 장비의 용량을 기존 1ton에서 2ton으로 상향 조정(정량적 목표 “1ton 이상”은 만족)**

2) 연구수행 과정과 내용: 주관기관 (주)협진

가. 이중 재킷 구조를 갖는 용량 2ton 텀블러 개발

- 내부 부피 2ton(2000L)급 텀블러 제작 완료
 - MOU 협약기업의 요청에 따라 내부 부피 2000L, 1회 최대 해동 용량 800L가 가능한 부피의 텀블러 제작
 - 텀블러 내부 진공압력은 0.6bar까지 견딜 수 있도록 내벽 두께와 연결부 보강 및 기밀성 유지를 위한 용접공법을 적용하여 제작
 - 제1 공동연구기관의 협업연구로 텀블러 진공내압 0.6bar 이하임을 확인



그림13. 2000L급 해동 텀블러



그림14. 2000L급 해동 텀블러 3D 모델 및 주요 파트

- 텀블러 내부온도 분위기 제어를 위해 냉매 또는 온매가 텀블러 외부에 유동하면서 텀블러 내부에서 흡열 또는 발열하기 위한 공간 확보용 이중자켓 구조 개발
 - 텀블러 외부에 하나의 외벽을 추가하여 텀블러가 내벽과 외벽의 이중벽 구조로 설계

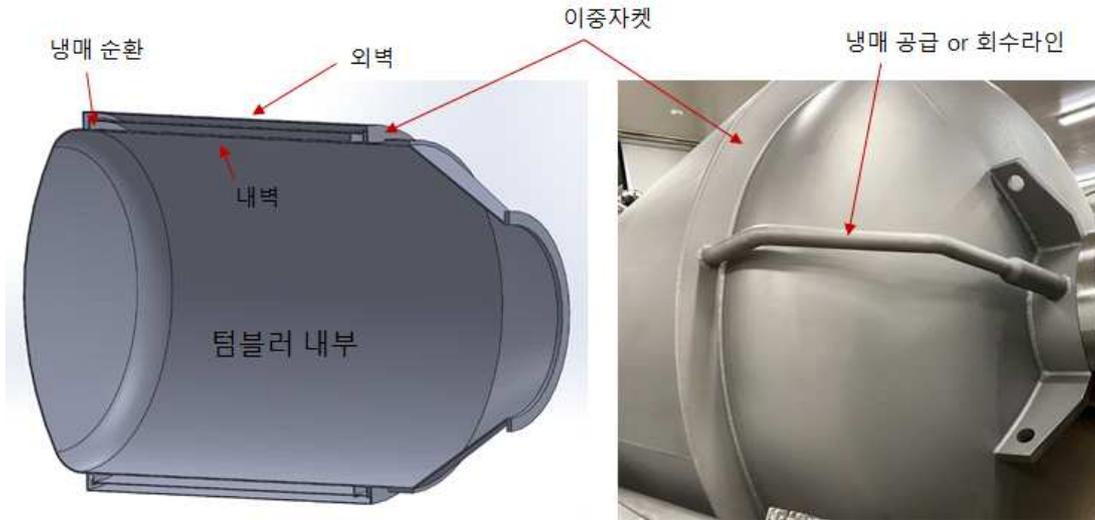


그림15. 텀블러 냉/온매 순환을 위한 이중자켓 구조

- 내벽 안쪽은 텀블러 내부로 냉동육이 해동되는 공간이면서 진공압 0.6bar 이하를 견딜 수 있도록 내벽의 두께 및 취약부분 강성 보완
 - 내벽과 외벽 사이에 공간으로 해동 시에는 온매, 냉장보관 시에는 냉매가 순환되도록 공간을 확보
 - 냉/온매 순환을 위한 공급/회수라인은 이중자켓의 뒷부분에 연결되어 가열 및 냉각 열교환 시스템의 제어를 받음
- 이중자켓 내부는 자유 대류현상에 의해 냉/온매가 순환하기 때문에 신뢰성 평가 결과 완전 균일한 온도제어는 어려운 것으로 판단됨
- 이중자켓 내부에 냉/온매를 정해진 라인을 따라 강제순환 하도록 하면 텀블러 내부 온도분위기 제어에 더 유리할 것으로 예상되지만, 구조가 복잡해지고 별도의 강제유동 모듈이 요구되기 때문에 파이롯 장비에는 적용하지 않음
 - 파이롯 장비의 성능 테스트 결과 텀블러 전반부와 후반부의 온도차 또는 해동육의 해동속도 차이가 발생하는 경우에는 냉/온매를 강제순환 시켜서 온도분위기 제어가 가능하도록 설계를 변경하고 텀블러를 다시 제작할 계획
- 해동텀블러의 입구 도어는 드라이빙 시스템에 포함되지 않고 텀블러 모듈에 포함되어 설계 및 제작
- 도어는 텀블러를 밀폐하면서 텀블러 내부 압력을 견딜 수 있기 위해 두께 및 취약부분에 강성을 보완하여 설계
 - 평판형 도어의 경우 해동 공정에서 텀블러 내부에 진공압이 인가되면 외부 대기압에 의해 변형 될 수 있기 때문에 장비 성능에 영향을 줌
 - 따라서 텀블러 뒤쪽에 곡면벽 구조처럼 도어의 형상도 텀블러 내부로 약간 휘어진 곡면을 갖도록 해서 외부 대기압에 대한 응력방향 강성을 보완하는 구조
 - 도어는 텀블러 내부 압력에 대해 개폐가 자유로워야 하기 때문에 충분한 개폐력을 줄 수 있도록 일반적인 모터 구동방식에 의한 회전개폐가 아닌 실린더를 이용한 3-link-cylinder mechanism을 적용해서 회전개폐 되도록 개발
 - 도어 개폐 모듈은 측면 부착형을 설계되었으나 제작 시 상부 부착형으로 변경
 - 도어에는 해동공정에서 필수인 스팀을 분사할 수 있는 스팀분사모듈을 포함

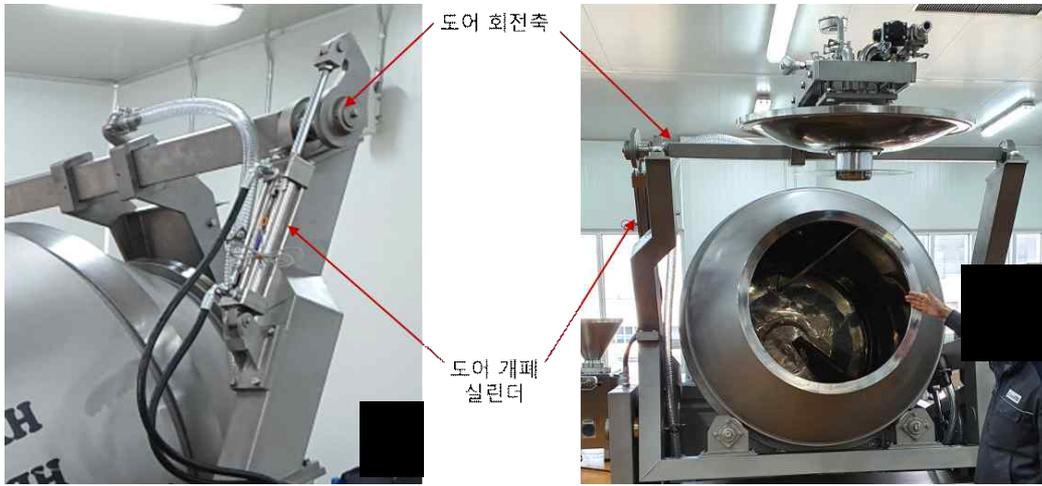


그림16. 도어 개폐 매커니즘

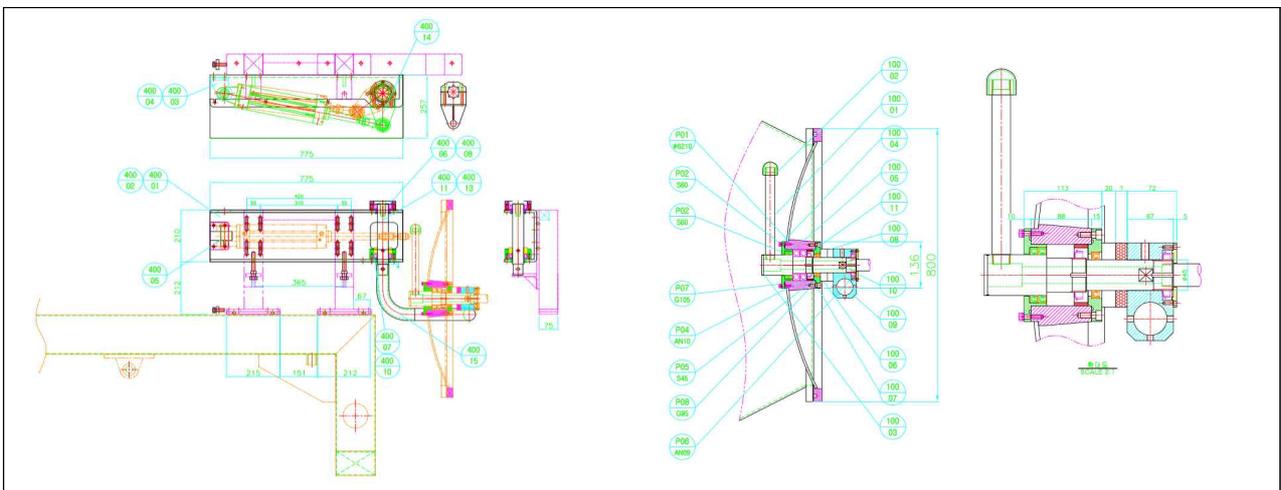


그림17. 도어개폐 매커니즘과 스팀분사 모듈 2D 모델(조립도, 측면부착)

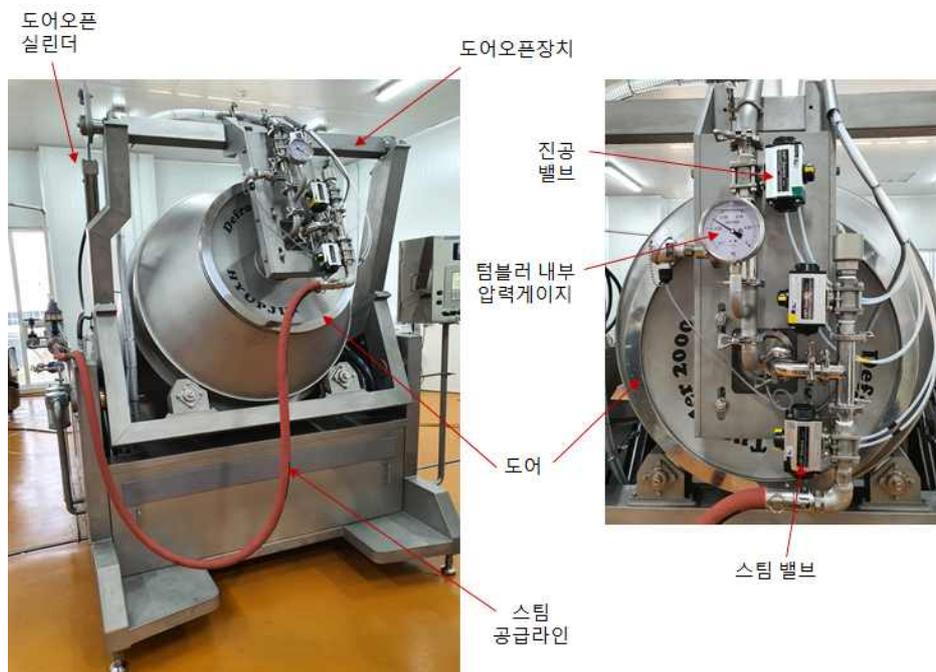


그림18. 도어에 부착된 스팀분사 모듈

- 진공 해동텀블러에는 해동 공정 중에 스팀을 분사해서 스팀의 액화과정에서 발열반응

을 통해 해동에 필요한 열을 공급

- 또한 액화된 미세 미스트는 냉동육 표면에 부착된 후 해동과정에서 삼투압에 의해 육질 내부로 흡수되면서 해동육에 수분을 공급하고 드립수 발생을 억제하는 역할
- 따라서 진공해동 텀블러에서 스팀분사의 양과 시간은 텀블러 내부의 진공압 조건과 함께 해동육의 품질을 결정하는 매우 중요한 요소 중에 하나
- 텀블러 도어에는 스팀을 공급할 수 있는 스팀공급라인과 스팀분사노즐이 포함되어 있고 스팀의 양과 분사 시간 등을 제어하는 스팀밸브를 포함하도록 개발됨
- 또한 텀블러 내부의 진공압을 제어할 수 있는 진공펌프와 진공압을 측정하는 게이지도 같은 모듈 내에 포함 되도록 설계 및 개발 되었기 때문에 해동육의 품질에 가장 민감도 높은 변수들을 하나의 모듈에서 제어할 수 있도록 설계



그림19. 스팀분사 노즐과 스팀 분사



그림20. 텀블러 내부 임펠러 구조

- 해동텀블러는 해동과정에서 지속적으로 냉동육을 순환시켜야 하기 때문에 이를 위한 임펠러 구조를 텀블러 내부에 설치
 - 해동 과정에서 텀블러 내부 온도 분위기 제어는 외부 이중자켓 내부에서 순환하는 냉/온매에 의해서 만들어 지고 텀블러 내부에서는 자율 대류에 의한 열교환이기 때문에 텀블러 벽면의 온도가 텀블러 내부 온도와 다름
 - 이러한 구조적 문제는 해동 과정에서 해동속도의 편차를 만들 수 있고 이에 따라 해동이 된 돈육과 해동이 되지 않은 돈육이 있어서 해동 품질을 저하

- 이런 문제를 해결하기 위해서 해동 과정 중에 지속적으로 도육을 텀블러 상하, 전후로 강제순환 시켜서 균일한 해동이 될 수 있도록 하는 임펠러가 필요
- 임펠러는 제1 공동연구기관에서 입자거동모델을 이용한 최적화 과정을 통해 설계된 모델을 그대로 적용하여 개발함 (자세한 개발 과정은 제1 공동연구기관의 연구내용에 기술)

나. 2ton 텀블러 지지 프레임 개발

- 프레임은 텀블러지지 프레임과 베이스 프레임으로 분류되고 두 프레임은 힌지핀과 공압 실린더로 연결되면서 텀블러지지 프레임을 구동
 - 해동텀블러는 전단부가 텀블러지지 프레임의 텀블러 지지롤러에 의해 지지되면서 해동이나 텀블링 공정 시 회전이 가능하고 후단에 구동축이 구동모터와 연결되어 회전 구동력을 제공받음
 - 텀블러 구동 시 정적/동적 하중은 구동모터와 텀블러 지지롤러를 통해 텀블러 지지프레임에 전달됨
 - 텀블러지지 프레임에 전달된 하중은 다시 힌지핀과 실린더에 의해 베이스 프레임으로 전달되고 베이스프레임의 4점에 있는 레그를 통해 지지되고 있음

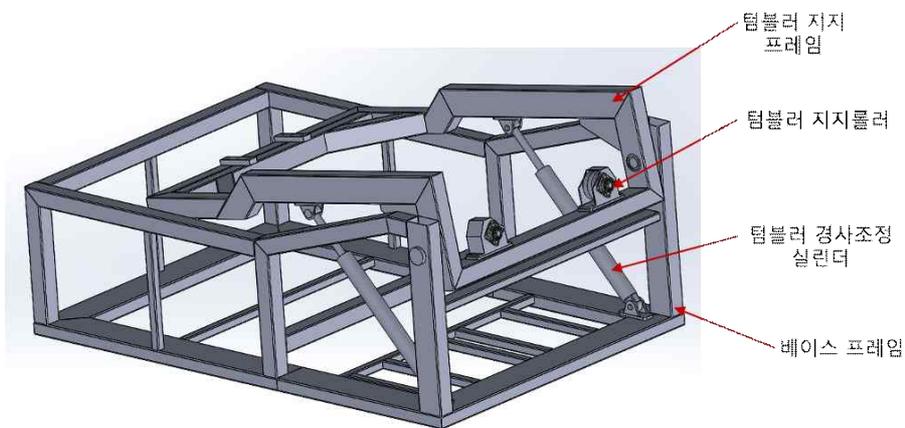


그림21. 텀블러 지지 프레임 3D 모델

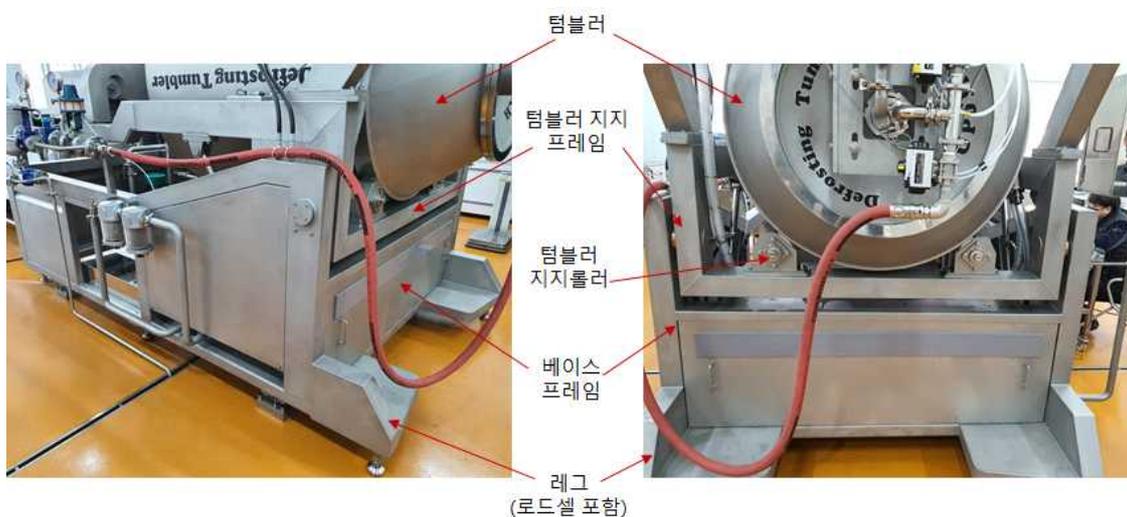


그림22. 텀블러 지지 프레임 (프레임 커버 포함)

- 해동텀블러는 크게 해동공정에서 텀블러 내부에 분사되는 스팀배관, 텀블러 내부 진공 압력을 형성해 주는 진공배관, 텀블러 이중자켓에 냉/온매를 유동시키는 냉/온매 배관으로 총 3종류의 배관이 프레임에 구속되어 설계
 - 해동텀블러는 정회전과 역회전을 반복하기 때문에 배관은 유연성한 라인에 연결되어 해동텀블러로 들어가거나 구동축의 중심을 통과해서 텀블러의 배관에 연결될 수 있도록 설계



그림23. 프레임에 연결된 열매체 배관

- 텀블러지지 프레임 설계에 대한 신뢰성은 제1 공동연구기관의 연구결과를 통해 확보
 - 정적 상태에서 2ton 텀블러에 1ton의 냉동육이 바닥과 벽면 90°위치에 각각 채워진 상태에 대한 응력과 변형량 해석을 통해 신뢰성 파악
 - 고유진동수 시뮬레이션으로 구동조건에 따른 신뢰성 확보
 - 자세한 연구결과는 제1 공동연구기관 연구내용 참고

다. 2ton 텀블러 드라이빙 시스템 개발

- 2ton급 파이롯 해동텀블러는 텀블러 회전, 도어 개폐, 텀블러 경사도 조절의 총 3자유도로 구동되기 때문에 드라이빙 시스템도 3개의 자유도를 각각 구동할 수 있는 시스템이 개발
- 텀블러 회전 자유도 : 모터 구동 시스템
 - 텀블러는 고하중 저속회전하기 때문에 구동축과 구동모터는 체인으로 연결되어 구동되고 구동모터의 사양은 니세이 G2L50N80-MP22TWKTN 2.2 KW, 감속비 1/80을 적용
 - 구동모터는 텀블러 지지프레임에 고정되고 구동축 또한 텀블러 회전 시 변형이나 mis-alignment가 발생하기 때문에 자동조심 베어링에 의해 지지되고 하우스징과 텀블러 지지프레임에 구속
 - 구동축 중심으로는 텀블러 이중자켓으로 흐르는 냉/온매가 이동해야 하기 때문에 중

- 공축을 사용하고 냉/온매 배관과 연결되는 커넥터가 구동축 끝에 조립되도록 설계
- 텀블러는 내부에 최대 1ton의 원료육을 탑재한 상태에서 1rpm 이하의 저속회전이 가능해야 하고 텀블러 회전 시 내부의 원료육이 움직일 것이므로 무게중심이 편심된 상태에서 회전할 가능성이 크기 때문에 이런 하중들을 고려하여 드라이버 시스템의 요소부품들을 선정

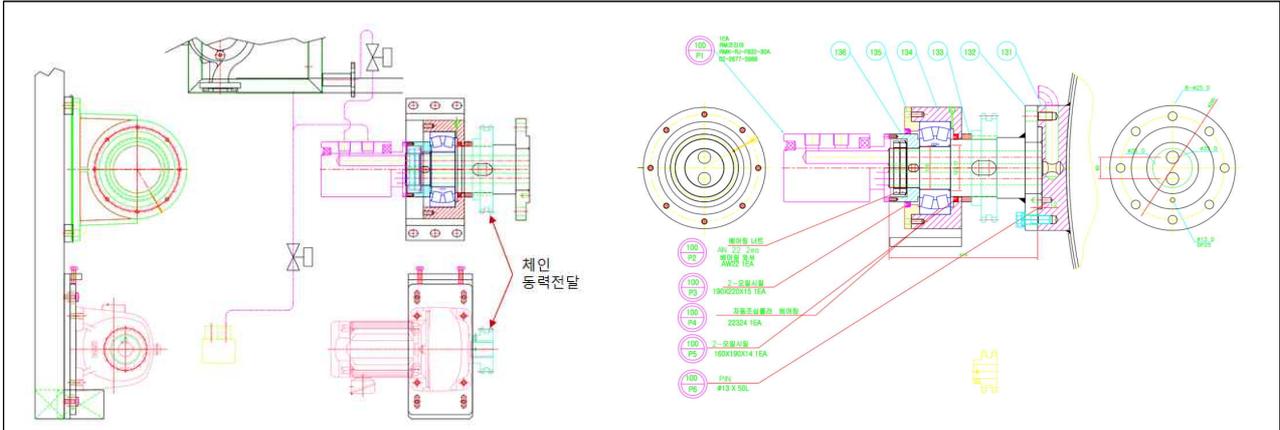


그림24. 텀블러 회전을 위한 모터 구동부 2D 모델(조립도)

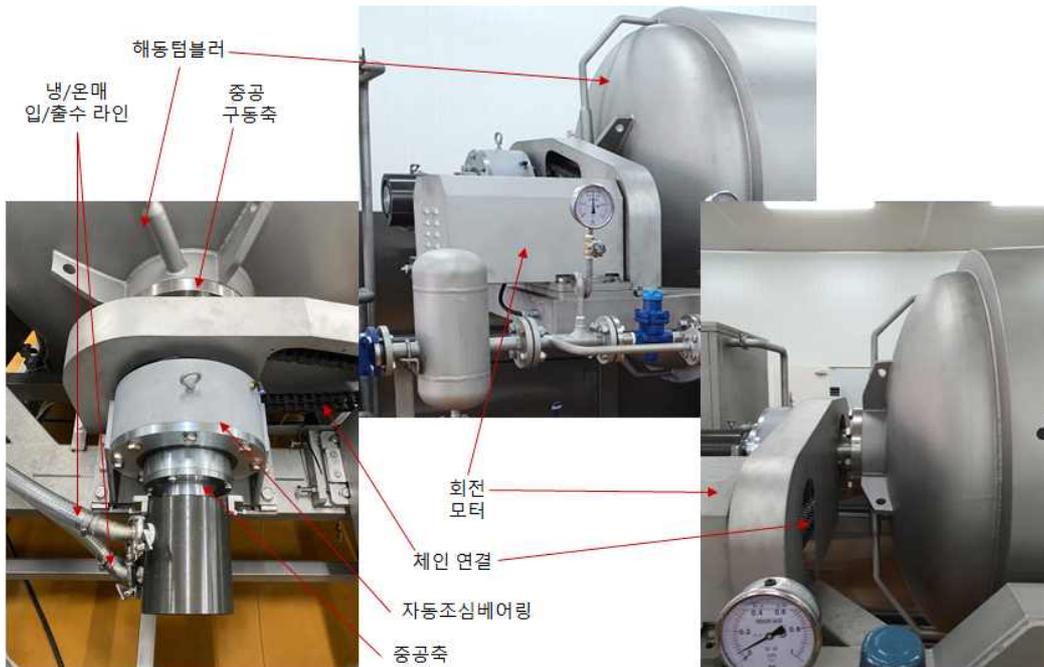


그림25. 텀블러 회전 드라이빙 시스템

- 텀블러 경사도 조정 : 공압 실린더
 - 텀블러는 냉동육 투입시, 해동육 배출시,해동공정, 냉장공정, 청소공정 등의 다양한 공정에서 텀블러의 경사도를 조절해야 함
 - 텀블러의 경사도 조절은 공압실린더에 의해 구동력을 공급하고 공압실린더-텀블러 지지 프레임-베이스프레임으로 연결되는 이중 3-bar sliding mechanism으로 설계
 - 텀블러 경사도는 +25° ~ -24°

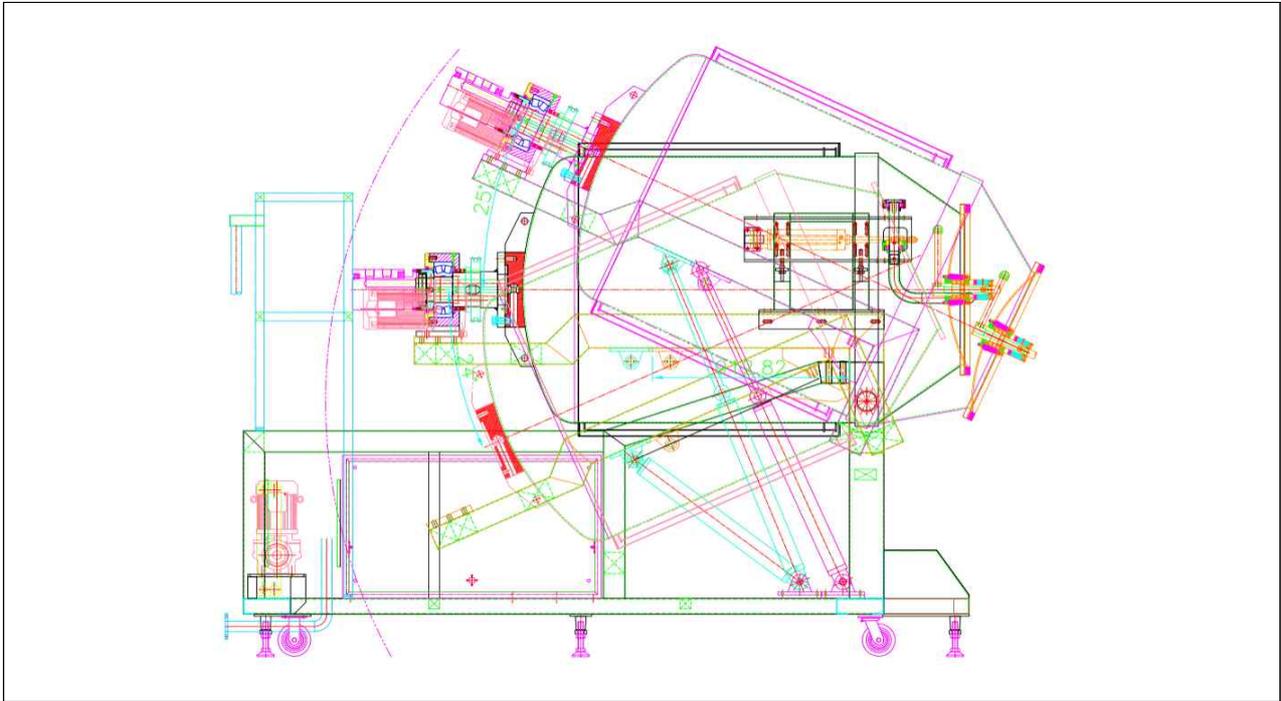


그림26. 텀블러 경사조정 드라이빙 시스템 2D 모델(조립도)

○ 도어 개폐 : 공압 실린더

- 도어 개폐시스템은 설계초기에는 측면에 모터드라이빙 또는 수동 개폐 방식으로 설계되었으나, 높은 진공압과 개폐하중 때문에 도어 상단에서 공압 실린더를 이용한 이중 3-bar mechanism으로 설계를 변경하여 개발

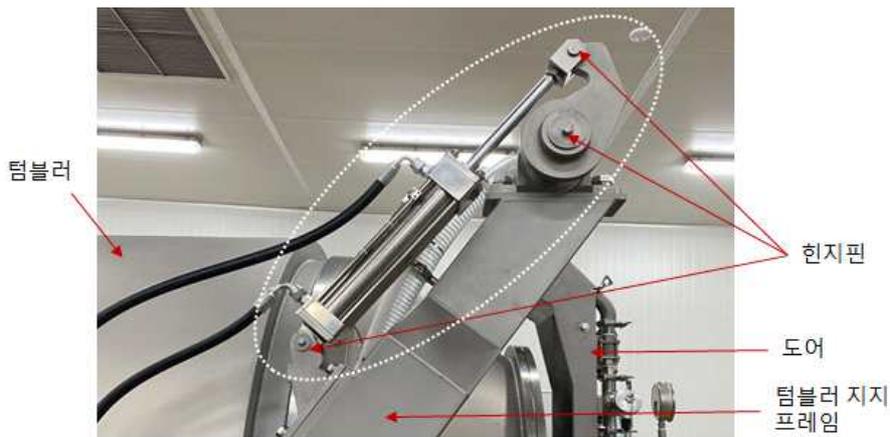


그림27. 도어 개폐 드라이빙 시스템

- 텀블러가 내부의 원료육을 교반할 때 발생하는 충격에 의해 회전하는 방향이 아닌 역방향으로 큰 부하가 가해질 경우, 모터에 문제가 발생할 가능성이 존재하므로 모터 구동 전류 및 텀블러 회전 속도를 지속적으로 감시하고 이상 시 브레이크에 의한 모터 보호 및 모니터링 시스템 개발

라. CIP 시스템 개발

- 본 과제에서 최종 개발목표는 10ton급 대용량 해동텀블러이기 때문에 해동공정 또는 냉장이 끝난 후 텀블러 내부를 세척하는 것에 매우 높은 노동 강도를 요구함

- 따라서 1차년도 파이롯 장비를 개발하면서 자동세척을 위한 시나리오를 개발하고 이를 파이롯 장비에 테스트 해서 검증을 완료
 - 자동세척 공정은 총 3단계로 구성되며 1단계 세척제를 이용한 내부 오염물 제거, 2단계 헹굼, 3단계 2차 헹굼
 - 1단계 : 세척제를 이용한 내부 오염물 제거
 - ▶ 해동 텀블러 용량의 10% 75℃ 이상의 온수
 - ▶ 해동 텀블러 용량의 0.1% 주방용 세척제 (계면활성제 세제)
 - ▶ 고농도의 주방 세척제 희석액으로 텀블러 운전 각도를 조절하여 모든 텀블러 표면에 세척이 진행될 수 있도록 프로그램
 - 2단계 : 1차 헹굼
 - ▶ 해동 텀블러 용량의 10% 75℃이상의 온수
 - 3단계 : 2차 헹굼
 - ▶ 해동 텀블러 용량의 10% 75℃이상의 온수

마. 가열 및 냉각 열교환기 시스템

- 텀블러의 이중자켓에 냉매와 온매를 공급 및 회수해서 텀블러 내부 온도분위기를 제어하기 위한 냉/온매 공급/회수 시스템 개발
 - 해동공정에 필요한 온매와 냉장 및 텀블링 공정에 필요한 냉매는 물을 사용하고, 물을 가열 및 냉각시킬 수 있는 열교환기와 순환시킬 수 있는 펌프 및 컨트롤러로 구성
 - 물을 냉각/가열 할 수 있는 열교환기와 급수/회수 펌프는 장비 후단에 설치되어 있고 급수/회수 및 온도 컨트롤러는 열교환기 아래에 배치



그림28. 냉/온매 공급 배관 및 냉/온매 열교환기

- 해동공정에 필요한 스팀은 작업장 내 별도 스팀 발생장치에서 공급받아서 장비에 설치된 밸브, 펌프, 배관을 통해 텀블러 내부로 공급

- 외부에서 공급되는 스팀은 총괄밸브를 통과해서 게이지에서 유량과 압력을 제어
- 스팀 배관 하단에 스팀 공급펌프(WILO PUMP PIL-42002B, 1.5 KW) 위치
- 해동텀블러는 회전하기 때문에 유연한 라인을 통해 텀블러와 연결



그림29. 냉/온매 순환 펌프와 열교환기 컨트롤러(온도 모니터링 및 제어 시스템)

바. 각종 상태 모니터링 및 제어 시스템

- 장비 전체에 대한 제어는 기본적으로 PLC 제어로 되어 있고 제어시스템을 설계해서 해동텀블러 우측면에 배치
 - 차단기와 텀블러 회전과 경사도, 도어 개폐를 위한 PLC 제어판, 텀블러 회전을 위한 메인 모터 인버터와 변압기가 상단에 위치
 - 유압모터, 냉/온매 순환펌프, 진공압 제어를 위한 진공펌프 제어 모듈과 각동 릴레이류가 중간에 위치
 - Input/Output 릴리이와 각종 단자가 하단에 위치하도록 배치
 - 다양한 제어 시스템을 하나의 공간에 배치해서 효율적인 AS가 가능하도록 함

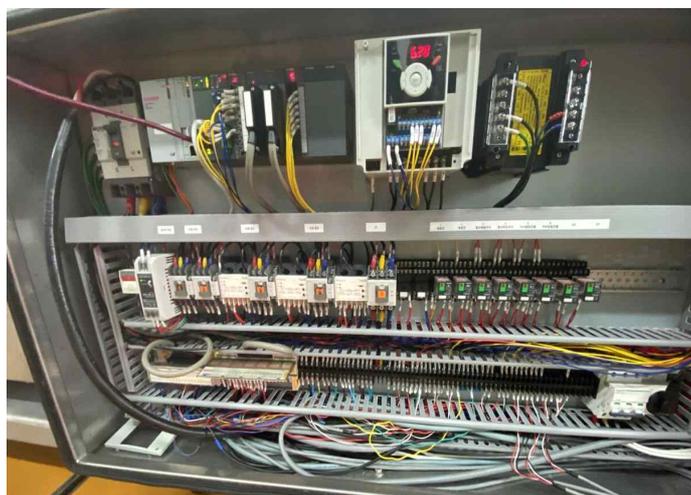


그림30. 모니터링 및 제어 시스템

- 텀블러 내부 냉동육/냉장육의 무게와 스팀분사량을 모니터링 하고 냉장 과정에서 정해진 양의 냉장육을 배출하기 위해서는 텀블러 내부에 있는 육의 무게를 실시간으로 측정해서 모니터링 할 수 있는 제어장치가 필요

- 텀블러 내부 무게를 측정하기 위해 해동텀블러 파이롯 장비 전체의 무게를 측정한 후 calibration으로 내부 무게를 환산
- 파이롯 장비는 지면과 4개의 레그 부분에 지지되고 있기 때문에 레그 부분에 로드셀을 설치해서 전체 하중을 측정하고 모니터링
- 4개의 로드셀에 가해지는 하중의 총합으로 파이롯 장비 하중을 측정하고, 이 하중을 원점으로 해서 추가되는 냉동육의 하중을 모니터에 표시하도록 설정
- 로드셀의 측정값을 통해 장비 설치 시 하중이 집중되지 않도록 바닥 경사 등을 설정하고 운영중에 집중하중을 지속적으로 모니터링



그림31. 텀블러 냉동육 무게 모니터링 및 제어 시스템

- 해동 공정에서 해동 텀블러의 회전방향, 회전속도, 해동시나리오 설정, 진공도, 냉/온매 순환온도, 텀블러 경사도,중량 등을 모니터링 하고 PLC와 연결되어 컨트롤 하거나 모듈을 설정할 수 있는 메인 모니터링 및 제어 시스템을 개발하여 적용

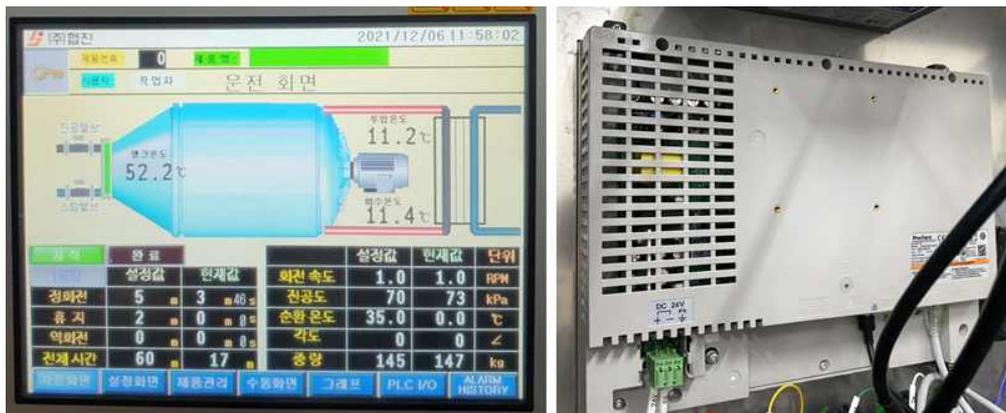


그림32. 메인 모니터링 및 제어 시스템

3) 연구수행 과정과 내용: 제1 공동연구기관 경기과학기술대학교

가. 2ton급 해동텀블러 파이롯 장비 신뢰성 확보

- 2ton급 파이롯 장비의 설계결과를 기반으로 강성에 대한 신뢰성 평가를 실시
 - 파이롯 장비 full model에 대해 신뢰성 평가를 실시하고 문제가 발생하는 부분이 있는 경우 세부 부품에 대한 신뢰성 평가를 실시
 - 신뢰성 평가는 파이롯 장비에 1ton의 냉동육(물로 모델링)이 채워진 상태에서 전체 하중에 대하여 정적 응력과 변형량을 시뮬레이션을 통해 확인
 - 텀블러는 $\pm 24.56^\circ$ 기울어 질 수 있기 때문에 텀블러 경사각에 따라서도 응력과 변형량을 각각 측정하여 강성이 부족한 부분을 보완해서 설계 변경

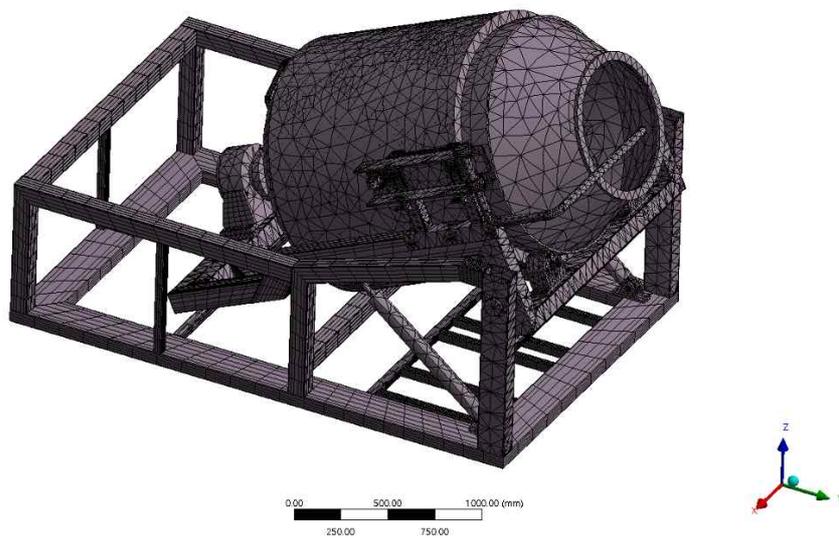


그림33. 파이롯 장비 신뢰성 평가를 위한 FE 모델

- 신뢰성 평가를 위한 FE 모델 정보는 다음과 같음

항목		내용
Material	Material type	SUS304
	Young' s Modulus	210GPa
	Poisson ratio	0.33
FE model	Model type	3D solid model
	Simulation code	ANSYS
	Simulation type	elastic-static
	Number of node	1,515,334
	Number of element	860,176
	Type of element	tetrahedron & hexahedron

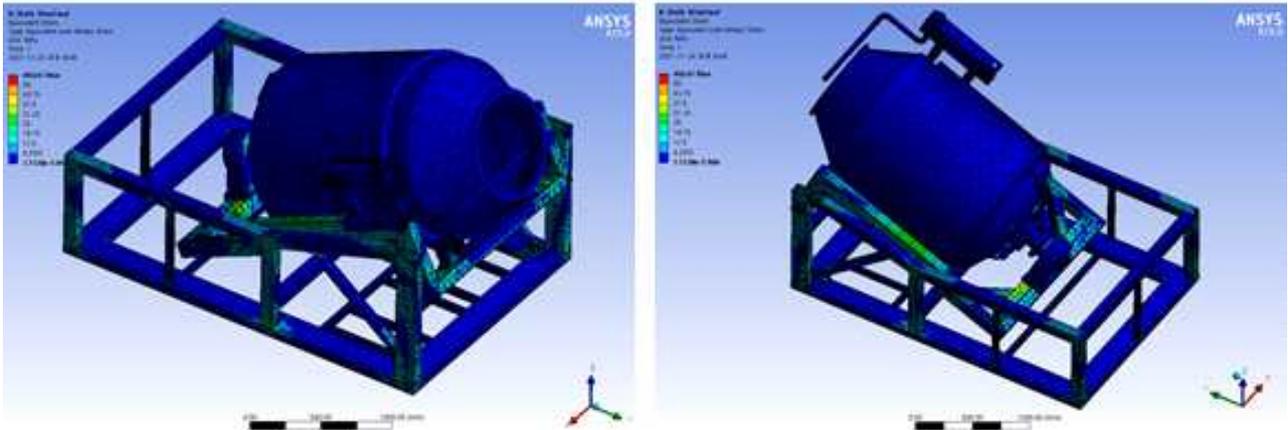
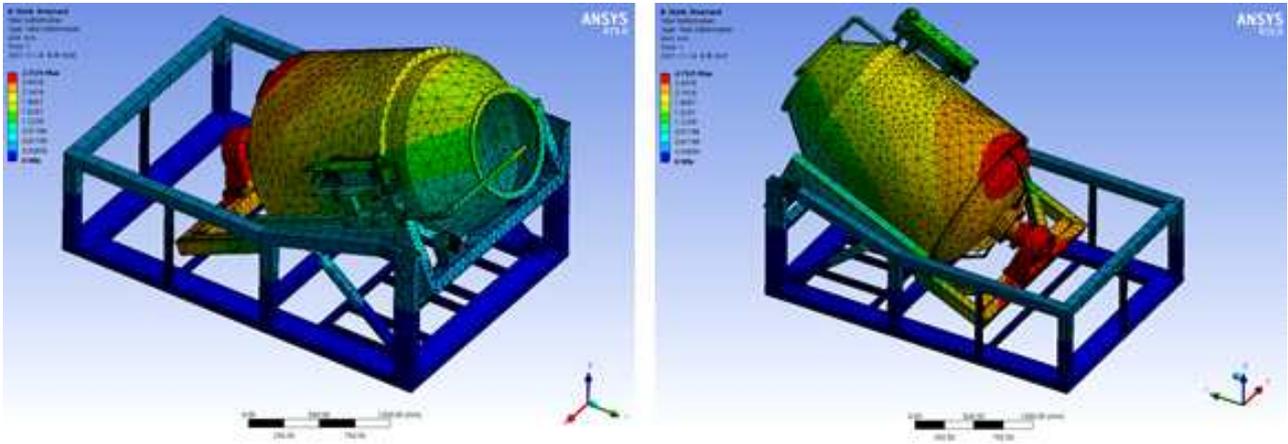


그림34. 텀블러 각도 -24.56° : 최대 변형량 2.7mm, 최대 응력 465MPa

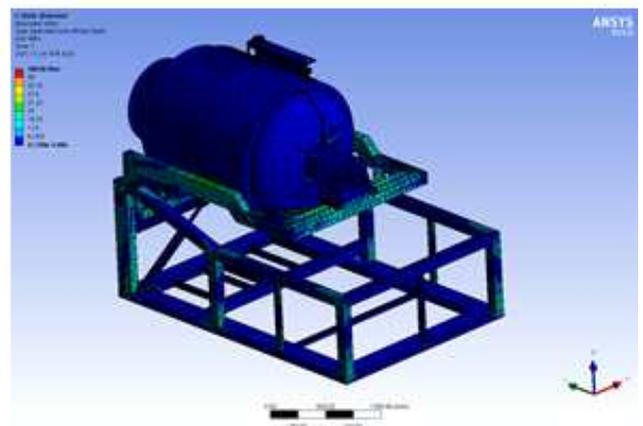
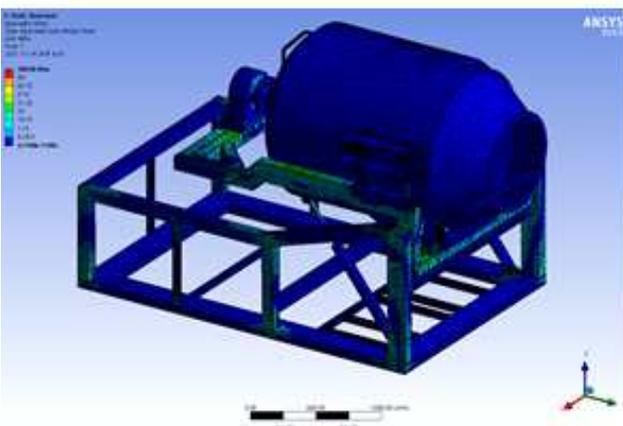
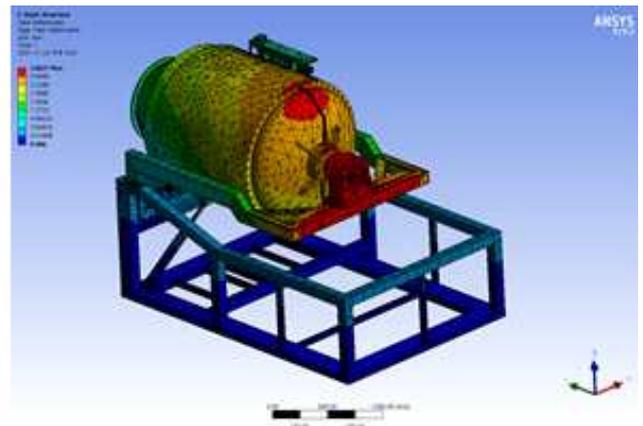
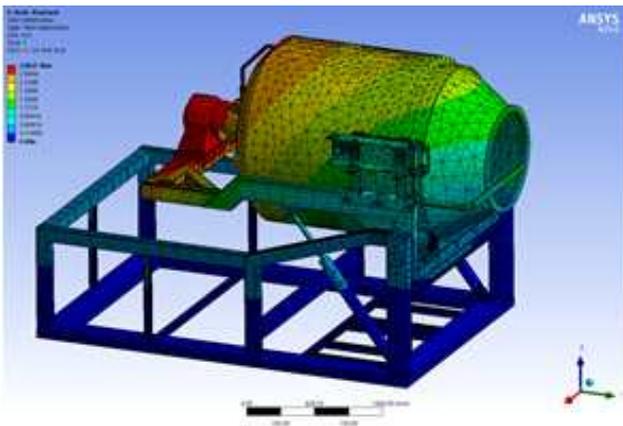


그림35. 텀블러 각도 0° : 최대 변형량 2.8mm, 최대 응력 701MPa

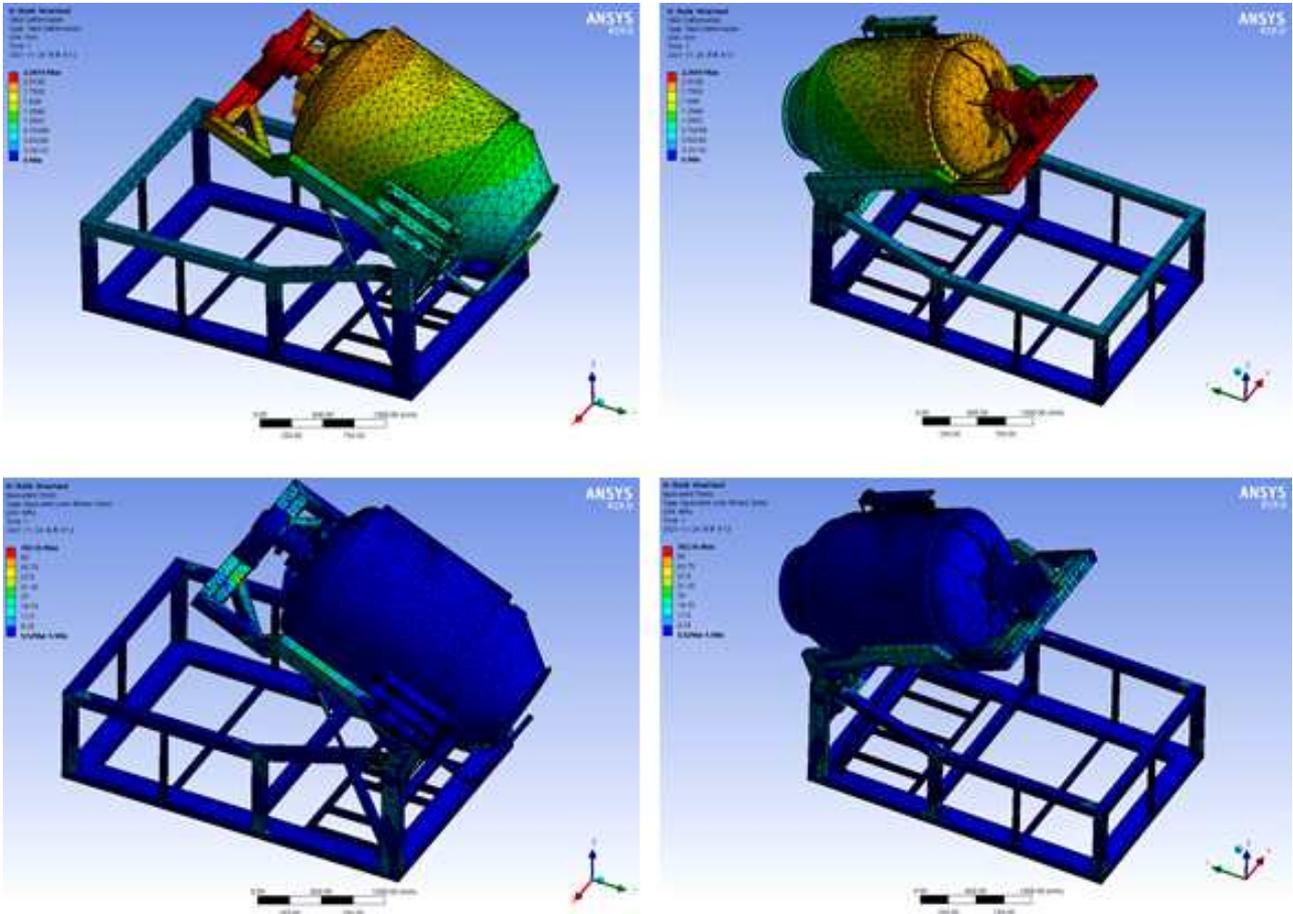


그림36. 텀블러 각도 24.56°: 최대 변형량 2.3mm, 최대 응력 702MPa

- 정적 하중에 대한 시뮬레이션 결과 텀블러의 경사도에 따라 변형량은 크가 달라지지 않으나 최대응력의 편차가 있는 것으로 확인되었고 주요 취약구조는 텀블러 지지프레임
 - 텀블러지지 프레임의 후단에 텀블러 구동축을 지지하는 자동조심베어링 하우스의 하중이 연결된 프레임 부분의 변형량이 텀블러 경사 각도에 따라 2.3~2.7mm 변형
 - 이 부분의 응력도 300MPa 정도로 다소 높은 것으로 시뮬레이션 결과가 도출되었기 때문에 프레임의 강성을 보완하도록 설계를 변경
 - 텀블러지지 프레임 후단부를 단인프레임에서 이중프레임으로 설계를 변경해서 변형이 작아질 수 있는 방향으로 강성 보완
 - 텀블러지지 프레임의 측면부도 응력이 250MPa 정도 수준으로 안전한 정도는 아니기 때문에 프레임의 두께를 더 증가시키는 것으로 설계를 변경
 - 구동축을 지지하는 베어링은 자동조심 롤러 베어링을 사용하기 때문에 이정도 수준의 구동축, 하우스의 변형은 수용이 가능한 것으로 판단됨

- 텀블러를 지지하는 하중지지프레임 전단의 롤러는 정적 하중에 대해서는 문제가 없는 것으로 판단되나, 깊은 홈 볼 베어링을 사용하기 때문에 하중에 따른 수명 예측이 필요

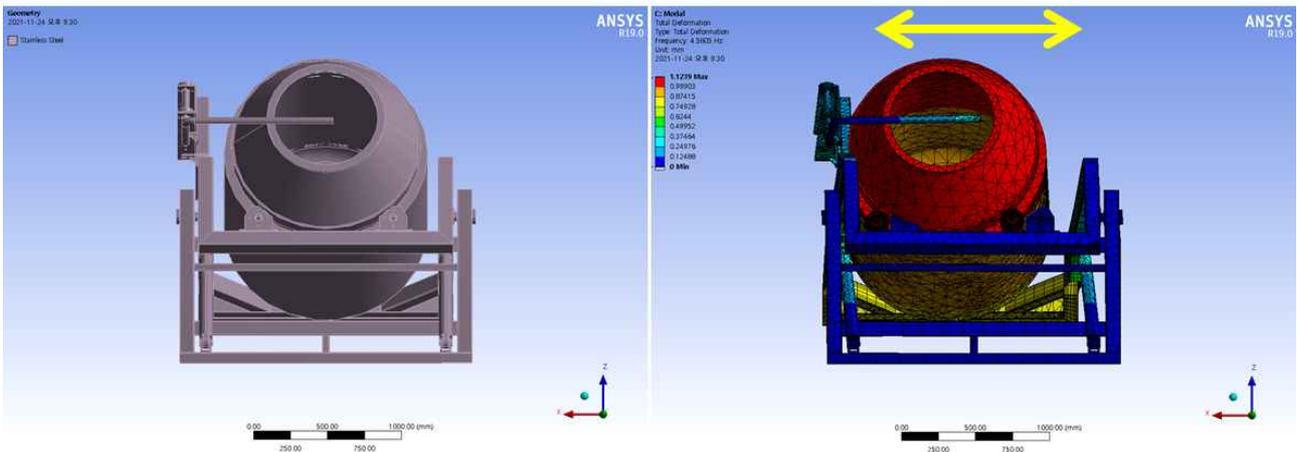
- 정적 하중과 텀블러 경사에 따른 신뢰성 평가결과를 기반으로 일부분의 강성을 보완하여 재설계가 되도록 주관기관과 결과와 대응방안을 공유하였음
 - 정적 시뮬레이션에서 최대응력이 700MPa이 넘게 측정되는 부분이 있으나 대부분이 점접, 필렛이 구현되지 않는 모서리 일부로 실제 장비 전체의 신뢰성과는 관련 없음

○ 파이롯 장비의 고유진동수를 파악해서 장비 구동상황에 고려하도록 함

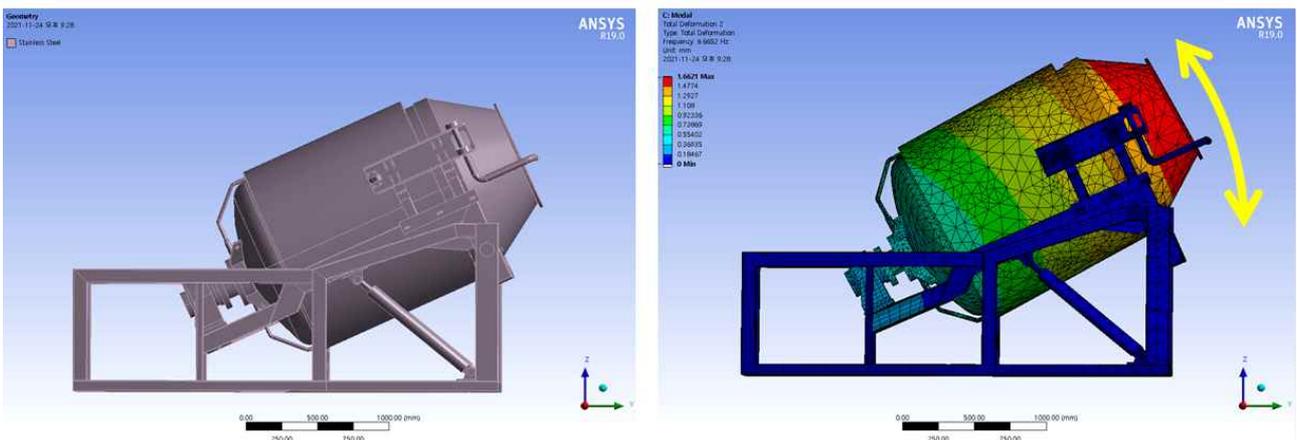
- 진동모드 시뮬레이션을 위한 modal analysis는 정적 시뮬레이션에 사용한 3D 모델을 사용하되 정적 시뮬레이션에 비해 node 나 element가 많이 필요하기 않기 때문에 재료 물성치는 동일하지만 FE 모델은 약간 다름

항목		내용
FE model	Model type	3D solid model
	Simulation code	ANSYS
	Simulation type	elastic-static
	Number of node	315,543
	Number of element	128,736
	Type of element	tetrahedron & hexahedron

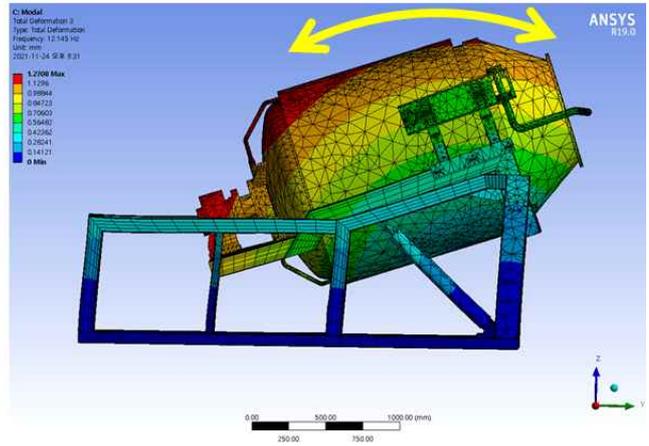
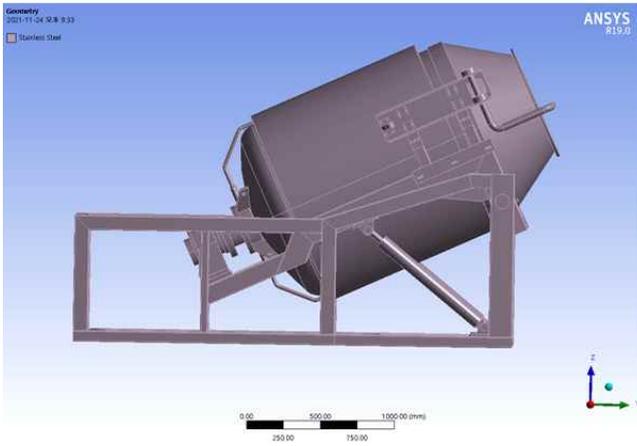
- Modal analysis는 주요 해동공정이 진행되는 때의 텀블러 각도인 -24.56° 에 대해서만 실시



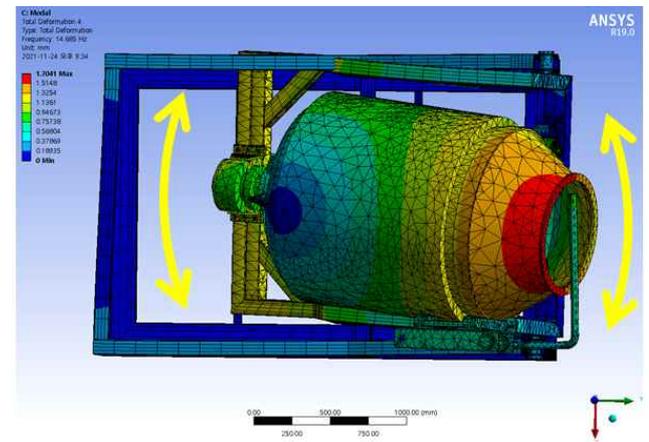
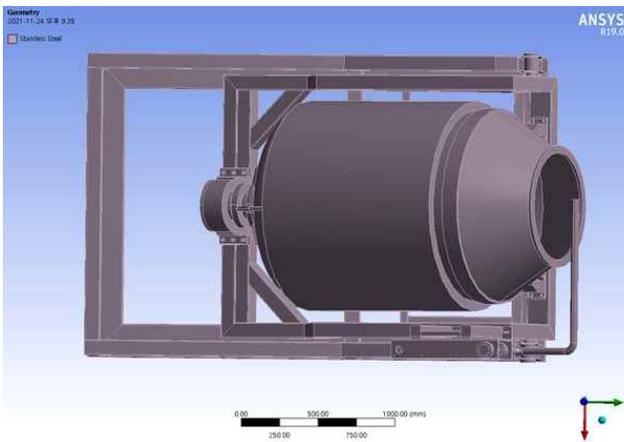
a) 1st mode : 4.58Hz



b) 2nd mode : 6.67Hz



c) 3rd mode : 12.15Hz

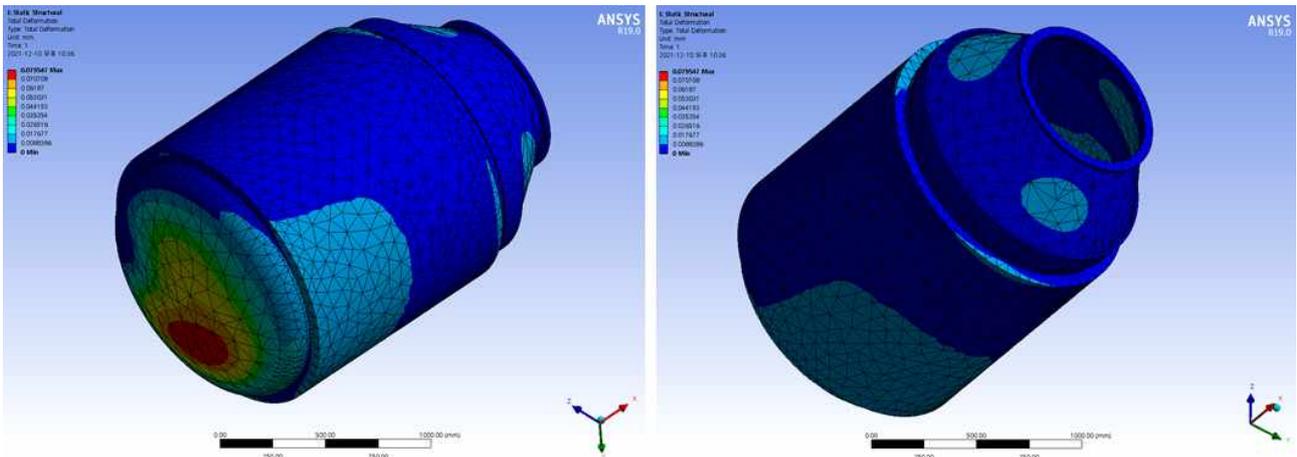


d) 4th mode : 14.69Hz

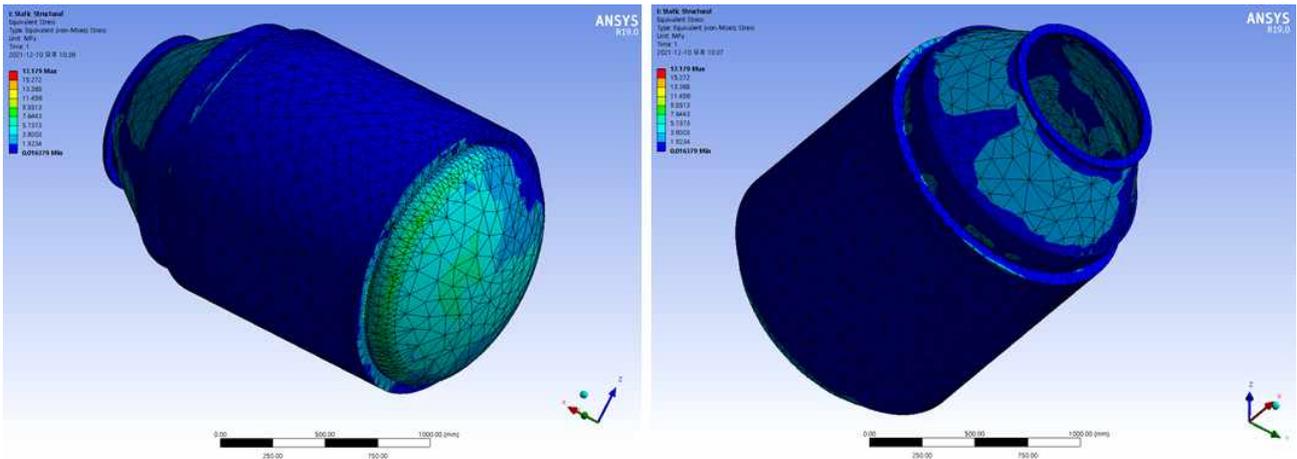
그림37. 텀블러 경사각 -24.56°에 대한 modal analysis 결과

- 파이롯 장비의 1차 고유진동수는 4.58Hz, 2차 고유진동수는 6.67Hz로 이는 텀블러 회전속도가 1rad/s 이하이기 때문에 문제가 되지 않을 수치고, 텀블러 기울기 조절속도 설정시에만 1차 고유진동수 이하로 구동되도록 설정
- 파이롯 장비에서 텀블러의 회전속도가 텀블러 경사 조정 속도가 매우 느리기 때문에 구동 상황에 대한 시뮬레이션을 통해 동적 특성이 장비의 신뢰성에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단되어 1차년도 장비에서는 실시하지 않음
 - 하지만 파이롯 장비에 대한 해동성능 시험평가 시 아직 해동이 덜 된 냉동육이 텀블러 과정에서 텀블러의 높은 곳에서 낙하하면서 낙하 충격에 의해 파이롯 장비 전체가 흔들리는 현상을 발견
 - 따라서 2차년도에는 텀블러 회전의 동적특성에 대한 신뢰성은 제외하고 텀블러 내부에서 10kg의 냉동육 블록이 낙하하는 충격하중이 작용하는 상황에 대하여 시뮬레이션을 실시해서 장비의 강성을 보완 (설계 수정 계획)
- 파이롯 장비의 텀블러는 외부 대기압 1bar에 대해 텀블러 내부는 최대 0.6bar까지 견뎌야 하기 때문에 텀블러에 진공압이 발생하는 경우에 대해 신뢰성을 검증
 - 텀블러는 이중자켓을 포함하도록 모델링이 되고 도어는 개폐가 가능해야 하기 때문에 도어가 없는 상태로 모델링
 - 텀블러 내부 진공압에 대해 신뢰성 평가를 위한 FE 모델은 다음과 같음

항목		내용
Material	Material type	SUS304
	Young' s Modulus	210GPa
	Poisson ratio	0.33
FE model	Model type	3D solid model
	Simulation code	ANSYS
	Simulation type	elastic-static
	Number of node	84,804
	Number of element	43,641
Type of element		tetrahedron & hexahedron



a) 변형량 : max. 0.08 mm



b) 응력 : max. 17MPa

그림38. 진공압에 대한 텀블러의 신뢰성 평가 결과

- 텀블러 내부에 진공압이 0.6bar인 경우에 대해 최대 응력과 최대 변형량이 각각 17MPa, 0.08mm로 무시해되 될 정도 수준
 - 텀블러의 형상이 원통형이기 때문에 구조에 따른 강성이 높아서 응력이나 변형량이 작게 도출된 것으로 보여짐
 - 향후 10ton 모델의 경우 0.5bar까지 진공압이 낮아지기 때문에 구조에 대한 차년도에는 구조에 대한 추가 고민이 필요할 수도 있음

나. 2ton 텀블러 열전달 신뢰성 확보

- 텀블러의 이중자켓에 냉/온매가 순환할 때 온도분포가 균일해야 텀블러내부에서 균일해동이 이루어 질 수 있기 때문에 이중자켓 내에서 냉/온매 순환과 텀블러 벽면의 온도분포를 시뮬레이션을 통해 분석
 - 냉/온매 유동과 온도분포를 파악하기 위해 이중자켓 내부의 공간을 FE 모델로 제작
 - 냉/온매는 물을 사용하고 일반적인 물의 물성치를 라이브러리에서 입력
 - CFD 시뮬레이션을 위한 FE 모델의 정보는 다음과 같음

항목	내용
Material type	Water
Model type	3D solid model
Simulation code	ANSYS
Simulation type	CFD
Number of node	3,163
Number of element	13,321
Type of element	tetrahedron

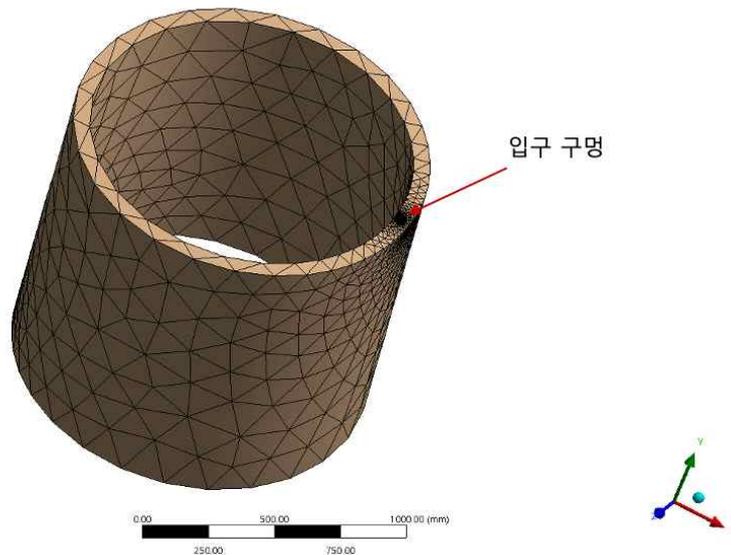


그림39. 이중자켓에 냉수 순환 시뮬레이션을 위한 FE 모델

- CFD 시뮬레이션의 경계조건에서 외부온도는 상온조건, 텀블러는 0.5rad/로 회전하고 냉수는 상단부에 직경 27.2mm 원형구멍으로 3.44m/s의 속도록 투입되어 하단부에 직경 27.2mm 원형 구멍으로 회수됨
- 온수 온도는 40℃로 설정하였을 때, 그림40에서 보는 바와 같이 오른쪽 상단에서 투입된 온수는 텀블러가 회전함에 따라 이중자켓을 순환하여 왼쪽 하단의 출구로 빠져나가는 것을 확인
 - 입구로 투입된 온수는 양쪽으로 퍼지면서 텀블러의 회전에 따라 이중자켓 주변을 회전하면서 출구 쪽으로 이동하여 출수
 - 텀블러가 회전하지 않는 경우 온수는 회전순환하지 않고 바로 출구로 최단거리 이동

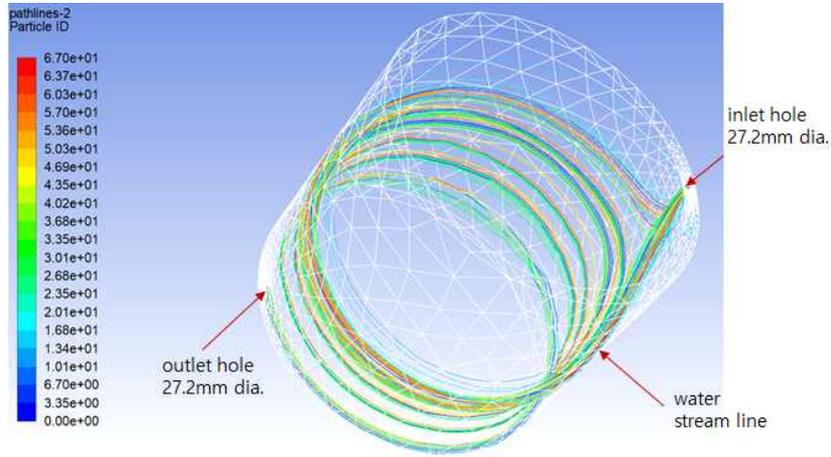


그림40. 이중자켓 내부의 온수 순환 시뮬레이션 결과 : stream line

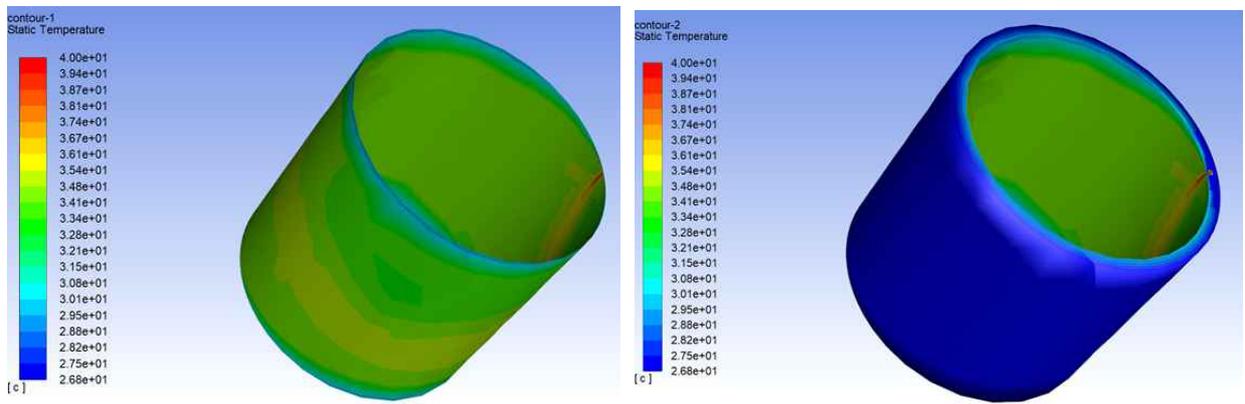


그림41. 이중자켓 내부의 온수 순환 시뮬레이션 결과 : 온도 분포

- 이중자켓의 온수 순환에 따라 이중자켓 내부의 온도 분포는 그림 41과 같이 분석
 - 온수가 들어가는 오른쪽 상단의 온도가 40℃로 가장 높고 벽면을 회전하면서 온도가 점점 낮아지고 있음
 - 텀블러 벽면의 온도분포가 결국 텀블러 내부에 열전달을 하기 때문에 a)의 시뮬레이션 결과를 보면 이중자켓의 온수 순환에 의해 텀블러 벽면의 온도는 약 32℃ ~ 35℃로 균일하게 분포하고 있음을 확인할 수 있음

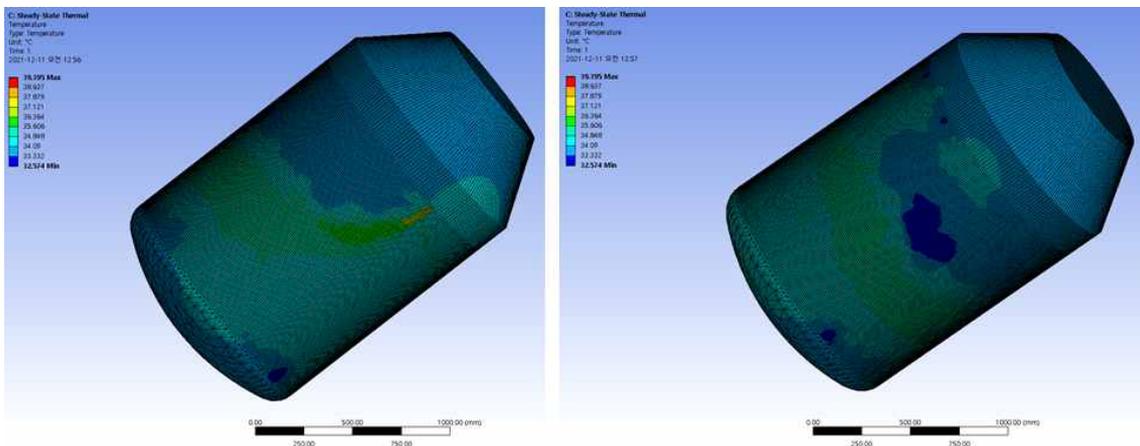


그림42. 텀블러 벽면 온도분포 시뮬레이션 결과

- 텀블러 벽면 온도분포 시뮬레이션 결과 34℃ ~ 37℃ 정도로 온수에 의한 열전달로 균

일한 온도 분포가 되고 있음이 확인됨

- 텀블러 상단보다는 하단이 약간 온도가 더 높은 것으로 확인되며, 조금 더 균일한 온도분포를 위해서는 온수가 출구로 너무 빠르게 이동하지 않도록 이중자켓 내에 약간의 수로를 형성시키 주는 방법으로 해결이 가능

다. 2ton 텀블러 임펠러 설계 최적화

- 해동 공정에서 냉동육은 텀블러 벽면과 내부 스팀으로부터 해동을 위한 열을 공급받기 때문에 해동과정 중에 지속적으로 냉동육의 위치 순환이 발생해야 균일한 해동이 가능
 - 이중자켓에 온수가 유동하면서 벽면으로부터 열을 공급받기 때문에 벽면 근처의 냉동육은 빨리 해동될 수 있지만 벽에서 먼 쪽에 위치한 냉동육은 열을 적게 받음
 - 또한 이중자켓에서도 열 순환이 원활하지 않으면 텀블러 전단부와 후단부에 있는 냉동육에 열전달량의 차이가 발생할 수 있음
 - 스팀에서 발생하는 열은 기본적으로 위쪽에 있는 냉동육에 주로 전달되기 때문에 깊은 곳에 있는 냉동육은 해동을 위한 열공급이 원활하지 않을 수 있음
 - 이러한 열전달량의 불균형은 해동 속도의 차이를 발생시키고 균일한 해동품질을 저해하는 요인이 될 수 있음
- 냉동육이 위치순환을 위해 텀블러 내부에 임펠러 구조가 추가되어야 하고 위치순환의 극대화를 위해 임펠러 설계 최적화에 대한 연구가 필요

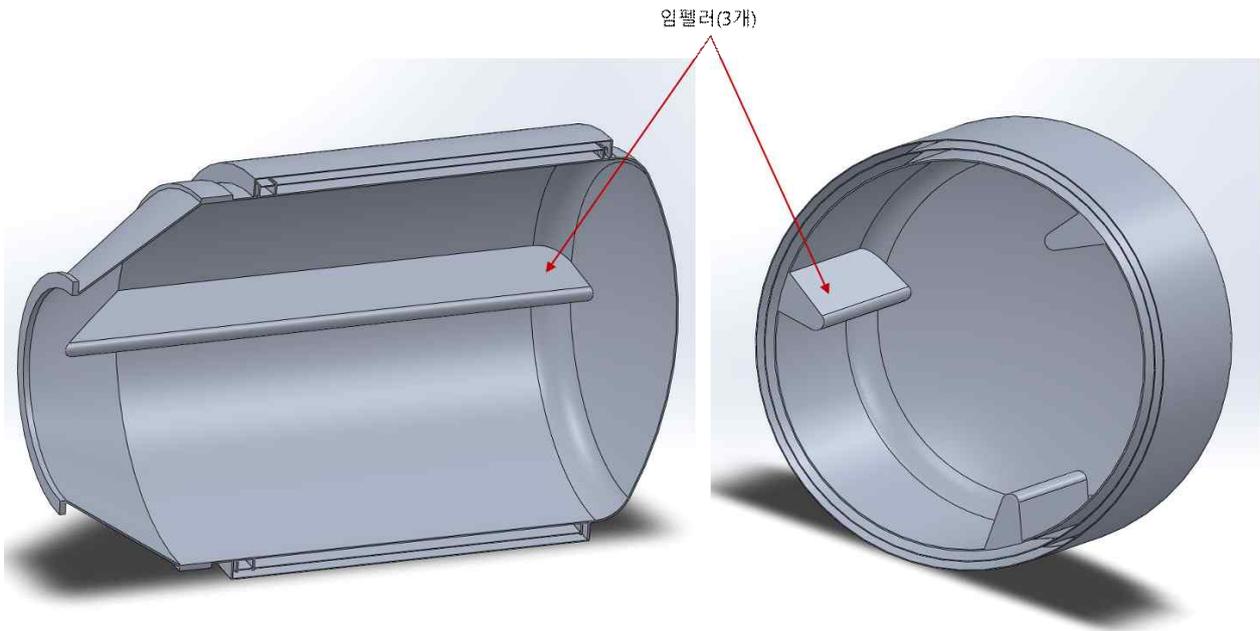
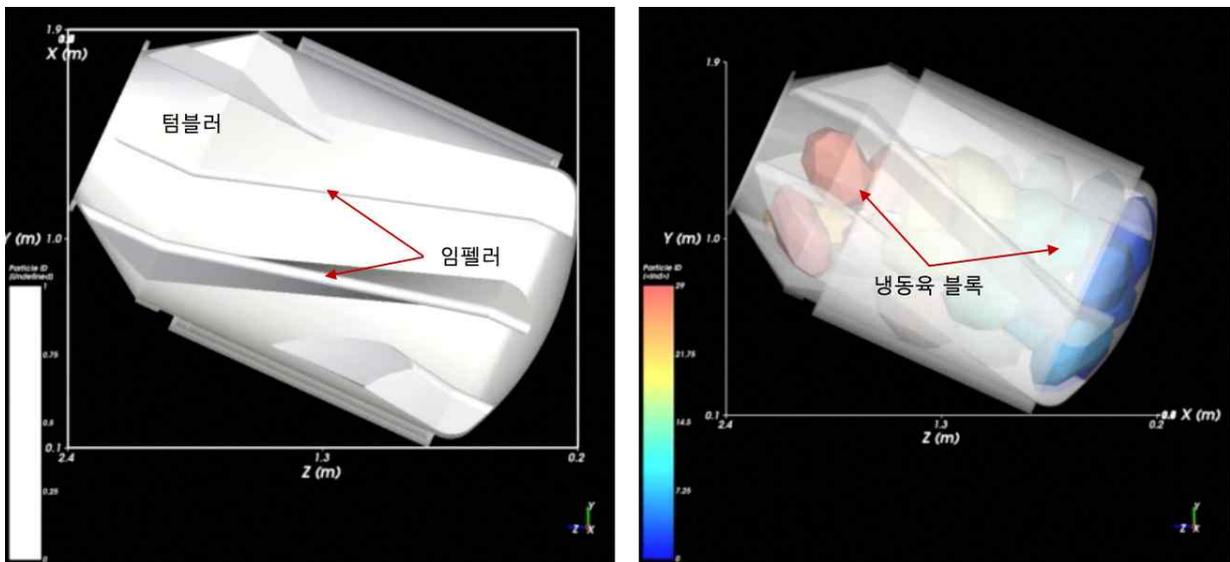


그림43. 냉동육 순환을 위한 임펠러 구조: 텀블러 단면

- 임펠러의 형상은 1차년도이기 때문에 기존의 'GEA사의 GoldSteam T' 모델을 기초로 해서 최적화를 시작
 - 1차년도는 연구기간이 짧기 때문에 초기 상태에서 임펠러를 다시 설계하는 것보다는 기존의 임펠러를 최적화 하는 것으로 연구 방향을 설정하고 2차년도 본장비 개발에서는 임펠러를 다시 설계하는 것으로 함

- 기존 임펠러 구조에 대하여 설계변수를 임펠러의 개수, 임펠러 폭, 임펠러 높이, 임펠러 기울기, 임펠러 경사각의 5개로 설정할 수 있음
- 임펠러 형상 최적화 연구는 텀블러 내에서 임펠러 형상에 따라 냉동육이 순환되는 정도를 시뮬레이션을 통해 확인하고, 설계변수에 따라 목적함수의 값의 변동을 회귀모델로 개발하여 반응표면법을 이용해서 최종 최적설계값을 도출하도록 함
- 임펠러 형상 최적화 연구를 위한 시뮬레이션은 강체 운동역학모델을 이용해서 수행
 - 동역학 시뮬레이션은 전용 프로그램인 'Rocky Dem'을 사용해서 수행
 - 임펠러가 포함된 텀블러에 블록 형태의 냉동육을 투입하고 회전하면서 냉동육의 순환을 관찰
 - 냉동육의 순환 정도를 파악하기 위해 층 별로 블록의 색을 다르게 하고 블록의 크기는 (30x20x20)cm로 설정
 - 블록은 변형이 없고 냉동 상태이기 때문에 블록 간에 마찰도 없다고 가정



a) 텀블러 동역학 모델

b) 냉동육 순환 모델

그림44. 냉동육 순환을 위한 임펠러 구조

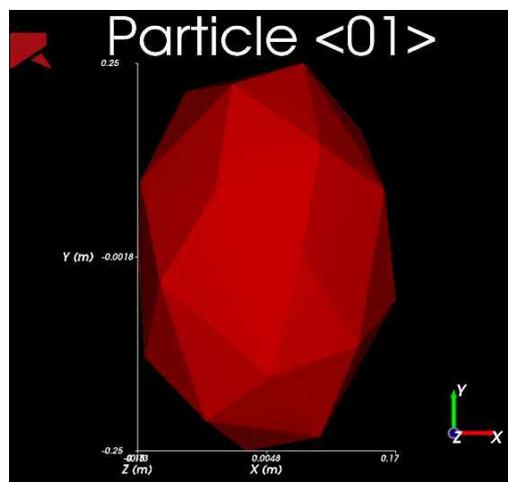
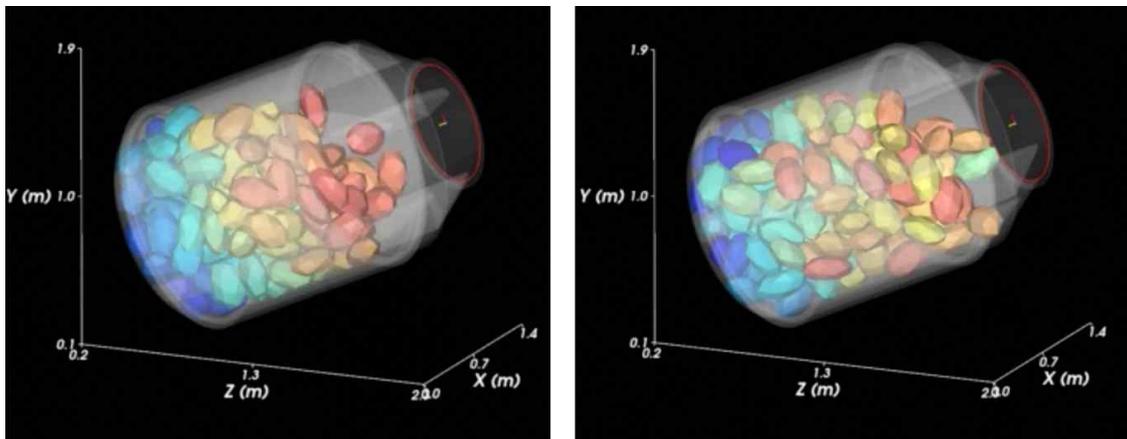


그림45. 냉동육 순환 시뮬레이션에서의 냉동육 동역학 모델(30x20x20)

- 임펠러 형상 최적화는 결국 냉동육이 빠르게 순환하여 행동공정 중에 최대한 많은 횟수를 순환하면서 벽면과의 접촉, 스팀에 노출이 균일하도록 하는 것
 - 임펠러에 의한 순환은 냉동육의 자중과 텀블러의 회전에 의해 거동되기 때문에 텀블러의 회전수를 임펠러에 의한 냉동육의 순환속도로 환산할 수 있음
 - 그림44의 a)는 순환 전의 냉동육 상태이고 b)는 순환 중의 냉동육 상태로 가장 위에 층에 있는 붉은색 냉동육이 바닥에 닿게 되면 절반의 순환이 되었다고 판단할 수 있고, 여기에 도달하는데 소요되는 텀블러 회전수가 작을수록 빨리 순환되는 것(원활하게 순환되는 것)으로 판단할 수 있음
 - 따라서 임펠러 형상 최적화 연구에서 목적함수를 다음과 같이 설정할 수 있고 목적함수가 낮을수록 순환이 잘 되는 것으로 판단

$$F_{object} = N_{N \times \text{revolve until red block moves}}$$



a) 순환 전 냉동육

b) 순환 중 냉동육

그림46. 임펠러에 의한 냉동육 순환 시뮬레이션

- 기존 모델의 임펠러 구조를 기반으로 설계변수 설정

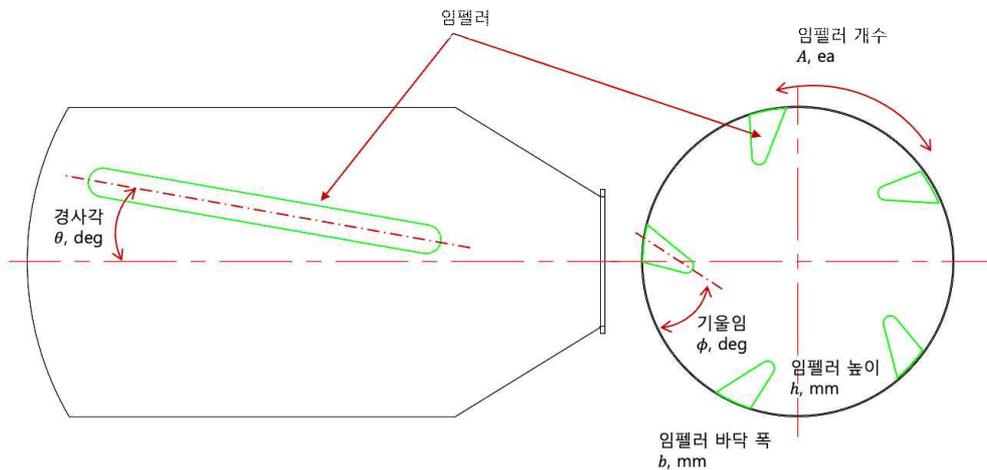


그림47. 임펠러에 의한 냉동육 순환 시뮬레이션

- 경사각, 임펠러 개수, 기울임, 임펠러 폭, 임펠러 높이의 총 5개로 설정
- 설계변수와 설계변수의 민감도를 측정 분석하기 위한 회귀모델의 DOE(design of

experiments)는 아래 표와 같음

parameters	Low level	High level
angle of slope, θ (deg)	5	20
number of impeller, N (ea)	3	5
angle of inclination, ϕ (deg)	10	30
width of impeller, b (mm)	100	200
height of impeller, h (mm)	200	500

- 민감도 분석을 위해 실험계획법을 설계하고 변수조합에 따라 시뮬레이션을 실시해서 목적함수 값을 도출
 - 총 5개의 변수에 대해 “half 2^{k-1} factorial”로 DOE를 설계
 - 설계된 변수조합과 시뮬레이션 결과에 따른 목적함수 값은 다음 표와 같음

RUN	angle of slope, θ (deg)	number of impeller, N (ea)	angle of inclination, ϕ (deg)	width of impeller, b (mm)	height of impeller, h (mm)	F_{object}
1	5	3	10	100	500	31
2	20	3	10	100	200	15
3	5	5	10	100	200	30
4	20	5	10	100	500	26
5	5	3	30	100	200	20
6	20	3	30	100	500	25
7	5	5	30	100	500	30
8	20	5	30	100	200	16
9	5	3	10	200	200	23
10	20	3	10	200	500	25
11	5	5	10	200	500	26
12	20	5	10	200	200	17
13	5	3	30	200	500	25
14	20	3	30	200	200	18
15	5	5	30	200	200	23
16	20	5	30	200	500	25

- 5개의 변수가 목적함수에 기여하는 민감도 분석 결과가 그림48에 도시
 - 그림48-a) 로부터 각 변수들의 목적함수에 대한 기여도 정도를 볼 수 있음
 - 임펠러 날개의 경사도와 임펠러 날개의 높이가 가장 큰 기여도를 나타내고 임펠러 날개의 개수는 기여도가 매우 미비한 것으로 분석됨
 - 임펠러 날개의 기울기나 임펠러 두께도 기도가 있지만 비율을 고려할 때는 임펠러 날개의 경사도와 높이에 비해서는 낮은 수준임
 - 교호작용 분석에서는 5개의 변수 중에서 심각한 교호작용을 보이는 변수조합은 거의 없고 일부 약한 교호작용이 있으나 이는 무시할 수 있음

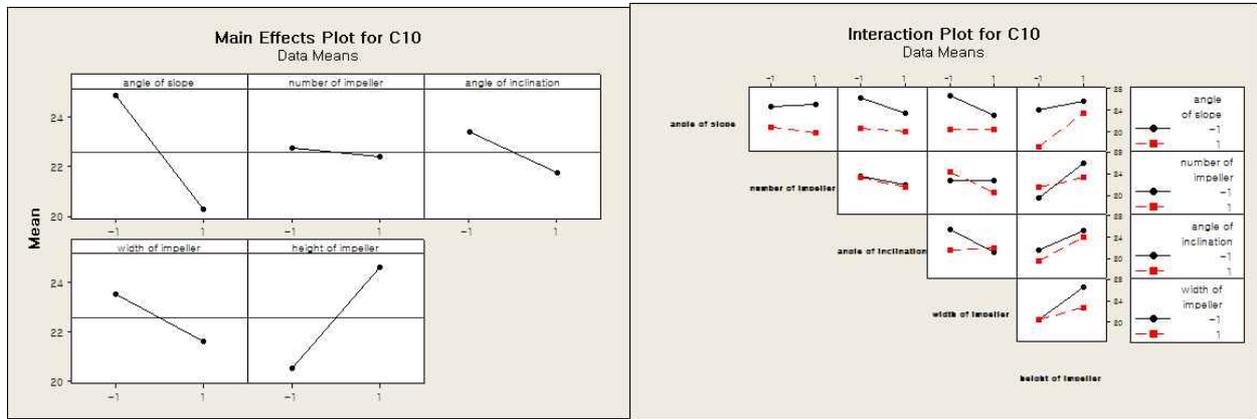


그림48. 실험계획법에 따른 각 변수의 민감도 분석

- 5개 변수의 민감도 분석 결과 angle of slope, θ (deg), height of impeller, h (mm)가 가장 민감도가 높은 변수이기 때문에 이 두 변수에 대해서 최적화 연구를 진행
 - 파이롯 장비의 임펠러 최적화는 GEA사의 GoldSteam T' 모델을 기초로 최적화 하는 것이기 때문에 다양한 변수에 대한 최적화 보다는 중요 변수에 대한 최적화 연구로 진행하고 차년도 연구에서 다양한 변수 조합을 최적화 하는 것으로 연구 계획
 - 임펠러 날개의 개수는 큰 기여도가 없기 때문에 제작이 편리하도록 최소값인 3개로 설계값을 확정
 - 임펠러 날개의 기울기 각도는 목적함수가 최저값이 되는 고수준값인 30° 로 설계값을 설정함
 - 임펠러의 두께 또한 목적함수가 낮은 값이 되는 고수준 값인 200mm로 설정

parameters	Low level	High level
angle of slope, θ (deg)	5	20
height of impeller, h (mm)	200	500

※ number of impeller $N = 3$ ea, angle of inclination $\phi = 30^\circ$, width of impeller $b = 200$ mm

- 최종 선정된 두 변수에 대해 1차 반응표면 모델을 도출하기 위해 새로운 doe를 설정
 - “ 2^k full factorial”로 DOE를 설정
 - 일반적으로 시뮬레이션 기반의 doe에서는 중앙점 측정을 하지 않으나, 본시험은 목적 함수 측정에 시험자의 주관성이 개입될 수 있기 때문에 곡면성, 반복성을 확인하기 위해 중앙점을 5회 반복시험

RUN	angle of slope, θ (deg)	height of impeller, h (mm)	F_{object}
1	5	200	27
2	20	200	18
3	5	500	25
4	20	500	21
5	12.5	350	23
6	12.5	350	21
7	12.5	350	22
8	12.5	350	21
9	12.5	350	19

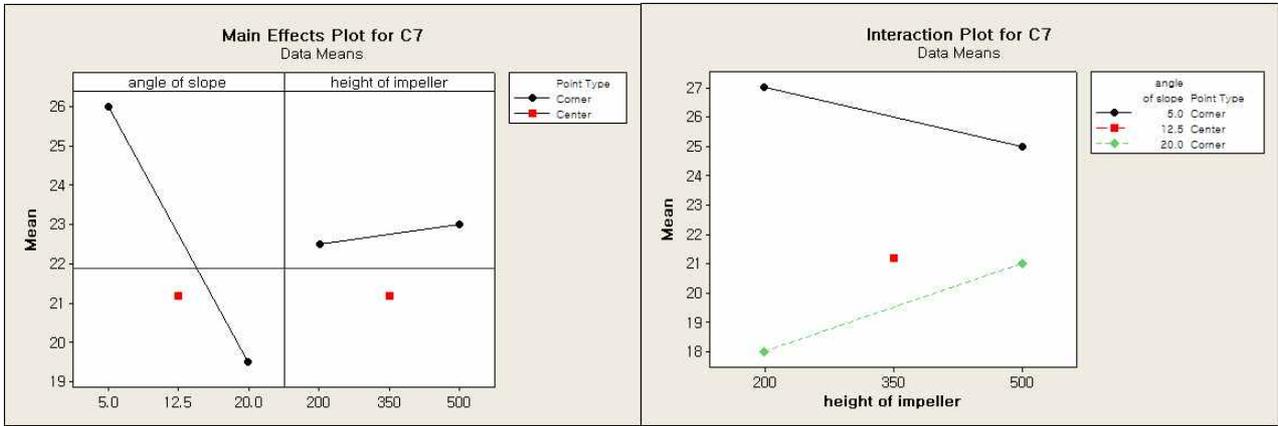


그림49. 실험계획법에 따른 각 변수의 민감도 분석

- 그림 49는 두 변수의 목적함수에 대한 민감도와 교호작용을 분석한 것이고 이에 따른 1차 반응표면 모델이 개발됨
 - 두 변수 중에는 단연 임펠러 경사각의 민감도가 임펠러의 높이보다 더 큰 기여도를 보이는 것을 확인할 수 있고 두 변수 간에 약한 상호작용이 발생하는 것으로 분석됨
 - DOE를 통해 개발된 1차 반응표면 모델은 다음과 같음

$$F_{object} = 32.44 - 0.822\theta - 0.0122h + 0.00111\theta \cdot h$$

- 1차 반응표면 모델의 통계분석 결과 적합성 검증함수 R^2 값이 86%로 적합성을 판단하기에는 본 지수만 가지고는 다소 어려운 정도 수준으로 볼 수 있음
- 이는 두 변수의 수준 간격이 넓고, 특히 임펠러의 높이의 경우 고수준 값이 거의 최대값에 가깝기 때문에 두 변수의 최소와 최대 범위에서 1차 반응표면모델이 도출된 이유로 판단됨
- 판단에 주관적인 의견이 개입될 수도 있겠지만 이 1차 반응표면모델의 변수 범위 내에 곡면성이 있다고 볼 수 있고 2차 반응표면을 분석해야 하는 것으로 볼 수 있음
- 2차 반응표면 모델은 중심합성계획법으로 실험을 재설계 해서 DOE 실시
 - 중심합성계획법에 따라 4개의 추가점을 DOE에 추가 하고 시뮬레이션을 실시 및 목적함수 값을 도출하였음
 - 중심합성법에서 $\alpha = \sqrt{2}$ 로 설정
- 중심합성계획법으로 설계된 DOE에 따라 2차 반응표면 모델을 개발
 - DOE에 따라 도출된 목적함수로부터 2차 반응표면모델을 다음과 같이 표현

$$F_{object} = 39.835 - 0.314\theta - 0.0893h - 0.0173\theta^2 + 0.00112h^2 + 0.00111\theta \cdot h$$

- 코드화 되지 않은 실제 변수로 모델을 표현하였고 2차 항과 교호작용 항이 모두 표현 되도록 도출됨
- 2차 반응표면모델에 대한 ANOVA Table은 다음과 같음
- ANOVA Table로부터 적합성 검증함수 R^2 는 91%로 함수의 적합성이 있다고 판단할 수 있는 정도의 수준

- 개발된 2차 반응표면모델을 활용해서 정상점을 찾고 설계변수의 최적화 수행

○ 2차 반응표면모델로부터 임펠러 설계의 최적값을 도출

- 그림 50은 2차 반응표면모델에 대한 등고선 그래프를 보여줌

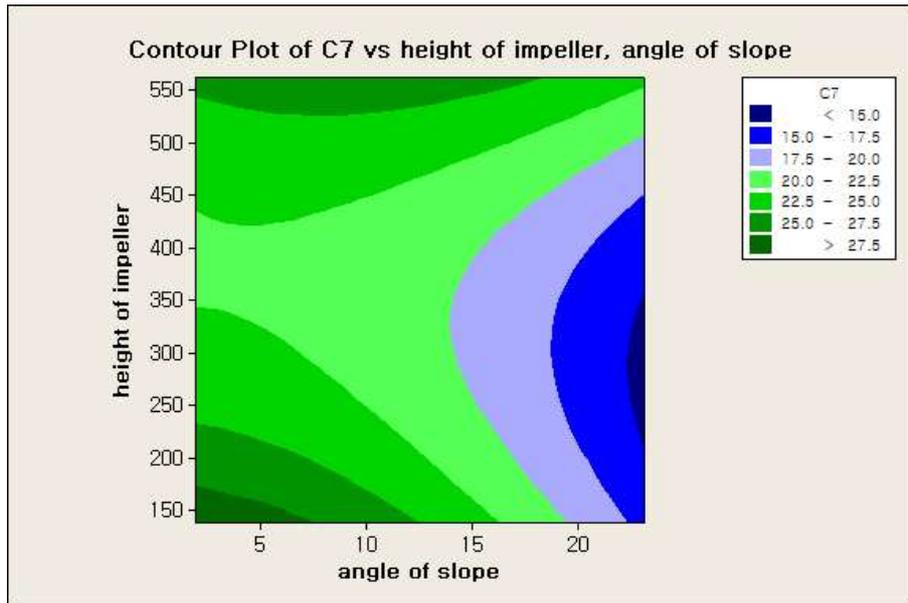


그림50. 2차 반응표면모델에 대한 등고선

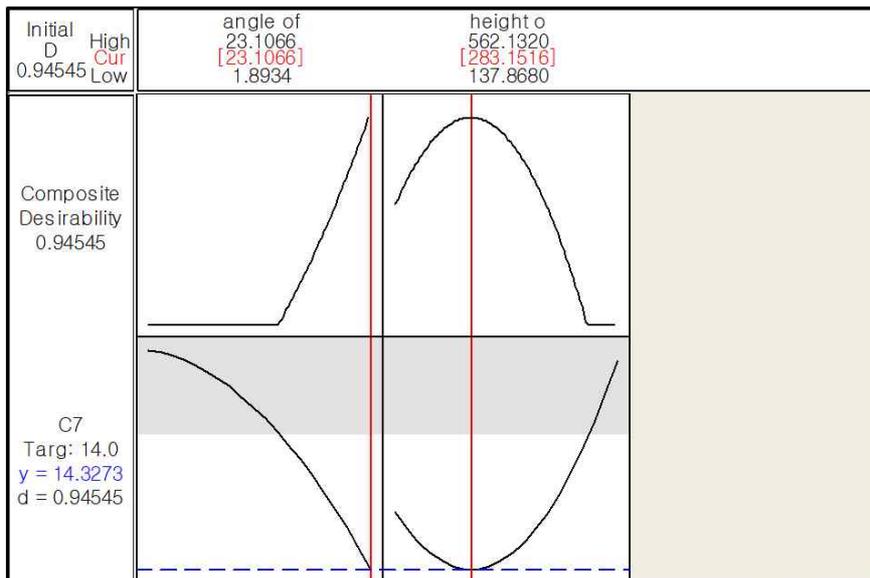


그림51. 두 설계변수의 최적 설계값 조합

- 임펠러 날개의 각도는 클수록 목적함수가 낮아지고 임펠러 날개의 높이는 변수 범위에서 상한값을 갖는 것으로 2차 반응표면모델을 분석

4) 연구수행 과정과 내용: 제2 공동연구기관 국립순천대학교

가. 선행자료 조사

○ 돈육의 특성

- 농림부 고시(제2007-82호) ‘식육의 부위별·등급별 및 종류별 구분방법’에 따라 발골된 돼지의 부위는 총 10부위로 안심살, 등심살, 목심살, 앞사태살, 항정살, 뒷사태살, 흥두개살, 삼겹살, 갈매기살 및 갈비살이며, 부위별 특징은 다음과 같다.

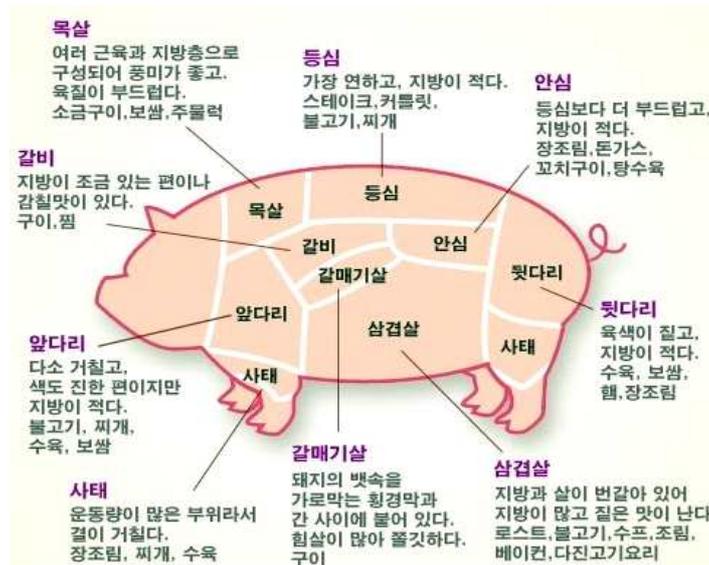


그림52. 돈육 부위별 특징

- 일반적으로 육류에 함유된 지방산은 동물성 지방으로 대부분 포화지방산이라고 알려져 있다. 돈육의 주요 지방산 또한 포화지방산이 약 42%지만 불포화지방산은 약 58%를 차지하고 있으며, 단일불포화지방산의 함량이 다가 불포화지방산의 함량보다 약 4배 이상을 차지하고 있다(Kim 등, 2013). 돈육의 지방 함량은 2.33~34.44%로 부위별로 차이를 보이며, 삼겹살이 가장 높고 안심살이 가장 낮다(Han 등 2003; Jang 등, 2017). 또한 돈육의 주요 지방산 함량은 oleic acid > palmitic acid > linoleic acid > stearic acid의 순서이다(Jang 등, 2017; Enser 등, 1996).
- 돈육의 품질 및 기호성은 도축 전후의 환경이나 취급 방법에 따라 결정된다. 도축 전의 요인으로는 품종(Lan 등, 1993), 사육장소, 급여사료 등의 사육환경(Kim&Lee, 1998; Lee 등, 1998; Witte 등 2000), 유전적 요인(Leanch 등, 1996), 성별 및 연령(Shin 등, 1998), 도축 전 계류 및 도축 방법(Van der Wall 등, 1997) 등이 있고, 도축 후의 요인으로는 발골 온도(Laack&Smulders, 1992), 숙성(Tornberg 등, 1994), 냉동 및 해동방법(Min 등, 2000; Jung 등, 2006; Kang 등, 2008), 포장방법(Kim 등, 1999) 등 다양한 요인이 있으며, 그 외에도 도살 체중(Moon 등, 2003), 부위(Kim 등, 2000; Shin 등, 1998) 등도 돈육의 품질에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

○ 냉동 및 해동시 돈육의 변화

- 돼지고기를 장기간 저장 목적으로 냉동을 하게 되는데, 보통 -20℃ 이하에서 냉동저장 시 화학적 및 효소적 변화를 최소화시키고 미생물의 증식을 억제할 수 있다. 그러

나 냉동저장 중에도 수분의 승화, 단백질의 변성, 지방산패, 세포조직의 파괴 등 물리 화학적 변화들이 계속해서 일어난다. 냉동된 돼지고기가 냉장된 돼지고기와 비교하여 육질에 가장 큰 손상을 받는 것은 고기를 동결할 때 발생하는 근육세포의 파괴이다. 만약 냉동속도가 느리면 고기 내 얼음결정 형성시간이 길어지므로 소수의 커다란 얼음결정이 근섬유 내부보다는 외부에 형성된다. 그 결과 큰 얼음결정에 의한 부피의 증가로 고기는 물리적 손상을 받아 세포조직이 파괴되어 해동시 많은 유리육즙이 발생한다.

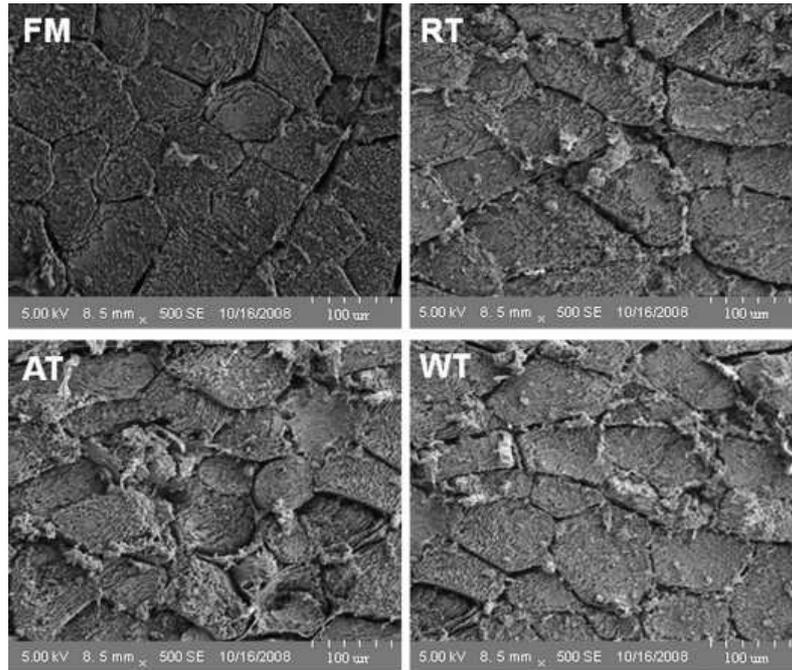


그림53. 해동 시 돈육의 변화

<출처: Influence of different thawing methods on the microstructure of porcine longissimus muscle (Magnification: 500). FM, Fresh meat; RT, refrigerator thawing (4°C); AT, ambient temperature thawing (20°C); WT, water immersion thawing (14°C). Xiufang 등, 2012>

- 따라서 가능한 급속동결을 권장하는데, 동결속도가 빠르면 얼음결정이 작고 많아져 근육세포 주위에 골고루 분포되기 때문에 부피의 변화가 적어 고기세포의 물리적 손상을 줄일 수 있다. 또한 냉동저장 중 온도의 변화가 적으면 고기세포내 얼음결정이 더 이상 커지지 않으므로 해동시 유리육즙의 양도 적어진다. 돼지고기를 냉동하게 되면 단단한 고체상태가 되어 취급이 용이해 지지만, 고기 내 수분 중에 분산하여 콜로이드 상태를 유지하고 있던 단백질, 당질 등의 성분들이 수분의 동결에 따라 그 위치가 고정될 뿐만 아니라, 염류, 당류 등의 수용성 성분들이 분리, 농축되어 한곳으로 편재됨으로 단백질의 변성을 초래하고, 그 결과 돼지고기는 탄력성을 잃게 된다.
- 냉동 방법뿐만 아니라 해동도 냉동육을 식품으로 사용하기 위해서 거쳐야 하는 필수적인 과정으로 식품의 특성에 많은 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다(Kang et al. 2007). 해동 방법은 냉동 방법과 더불어 냉동 식품의 품질에 커다란 영향을 미치며, drip loss, 해동 시간 등 조리 및 경제적인 면에도 직접적인 관계가 있으므로 매우 중요하다. 해동 방법은 4°C 저온 해동, 물 해동, 상온 해동, 열풍 해동 등이 있으나, 대부분 열전도율이 낮기 때문에 해동시간이 길고 미생물 성장 가능성이 있으며, 육 표면의 산화에 의한 변색 현상이 일어나기도 한다(Lee & Park 1999; Kim et al. 1990).

○ 냉해동 기술 동향



그림54. 돈육의 수입 추이

<출처: 칠레산 돈육 아시아 진출 10년 국내시장 공략 박차, 농축유통신문, 170517>

- 돼지고기 수입량이 증가함에 따라 수입 후 해동 조건에 대한 연구의 필요성이 확대되고 있다. 최근 중국 내 소비자들의 수요를 만족시키고자 중국 정부는 꾸준히 호주, 브라질 등 국가로부터 대량의 소고기를 수입하고 있으며 수입량이 대폭 증가함에 따라 각 수입 기업들은 마이크로파를 이용하여 소고기를 신속히 해동하는 것에 어려움을 겪고 있었으며 특히 마이크로파 설비를 제조하는 기업들이 난관에 봉착하는 상황이 발생하였다. 업계관계자는 과거 냉동 소고기 해동에 이미 마이크로파가 사용되고 있었으며 해당 기술은 위생, 민첩성 부분이 뛰어나서 시장 보급률이 꾸준히 상승하고 있다. 하지만 수입산 소고기는 크기가 국산에 비해 크며 절단 후 해동을 진행하더라도 크기가 지나치게 커서 문제점이 존재해왔고 이는 해동 속도뿐만 아니라 고기 품질에도 영향을 주었으며 이러한 기술적 문제 해결과 돌파구를 모색하기 위하여 마이크로 에너지 제조업체들은 꾸준한 연구를 거듭해 왔다.
- 산동 커훙 마이크로파 회사는 KH-GMTN계열의 마이크로파 고기류 해동 설비(KH-GMTN)를 개발하여 최근 소고기 해동에 존재하는 기술적 난관 해결에 돌파구를 찾았다. 이번에 개발된 설비는 해동 속도에 존재하는 문제점을 해결하였을 뿐만 아니라 고기를 골고루 해동시켜 품질에 그대로 유지시켜주는 장점을 발휘하여 최근 호주산 수입 소고기 해동에 해당 기술을 적용한 결과 과거 대비 22배에 달하는 성과를 보이는 등 새로운 기술들이 지속적으로 개발되고 있다.
- 전문가들은 마이크로파를 이용하여 해동 과정에서 품질 특성을 검토한 결과 냉동 소고기의 경우 해동 위치가 높아짐에 따라 조직감의 경도가 높아 젖고 색도는 큰 차이가 없었으나 관능검사 결과는 서로 다른 수치를 나타내고 있었으며 이는 마이크로파의 해동 높이에 따라 품질 특성이 달라지며 식품의 구성 및 크기에 따라 해동 위치가 달라진다는 것을 알 수 있다고 했다.
- 마이크로파의 물리적 작용 하에 극성분자가 진동 중에 주위 분자와의 마찰에서 생기는 열을 이용하여 해동을 진행하는 것이며 마이크로파의 가장 큰 특징은 해동은 되지만 아예 녹아버리지는 않고 별도의 절단과정 없이 해동이 가능하므로 원가절감, 효율

향상, 무균환경 및 점유면적이 작은 장점이 있다. KH-GMTN계열의 마이크로파 고기류 해동 설비는 마이크로파를 이용하여 식품 내부까지 열전달이 되므로 별도의 전달 과정이 필요하지 않아 조작이 간편하며 해당 설비의 915MHZ 마이크로파의 파장이 2450 MHZ 마이크로파의 파장보다 길므로 투과 능력이 뛰어나고 크기가 큰 고기의 해동에도 문제가 없는 것으로 전해졌다. 이번에 개발된 해당 해동 기술은 소고기 뿐만 아니라 기타 육류 해동에도 제공되고 있으므로 향후 기타 분야까지 확장될 것으로 전망된다.

○ 선행연구 및 특허 동향

① 국내 연구 동향

번호	계재 년도	저자	논문명	저널명
1	1987	김영호	동결속도에 따른 닭고기의 냉동 저장중 이화학적 변화	한국가금학회
2	1990	김영호	해동방법에 따른 해동돈육의 품질변화	한국식품과학회
3	1999	이종경	915 MHz Microwave를 이용한 동결 돈육의 급속해동	한국식품과학회
4	2000	민병진	수출용 냉동돈육의 해동저장 중의 품질변화	동물자원연구
5	2004	이치호	Mitochondrial Malate Dehydrogenase 활성을 이용한 냉장계육과 냉동계육의 판별법에 관한 연구	한국축산식품학회
6	2005	탁상범	천연 보존제와 저장 온도가 돈육의 품질과 shelf-life에 미치는 영향	한국식품과학회
7	2006	정진연	돈육 등심의 냉동 및 해동과정이 냉장저장 동안 육색도 산화에 미치는 영향	한국축산식품학회
8	2008	강병선	돈육의 냉해동 조건에 따른 품질 변화에 관한 연구	한국조리학회
9	2013	김영봉	식육의 송풍식 냉동과 전기자장 냉동 중 온도 변화 및 이화학적 품질에 미치는 영향	한국축산식품학회
10	2013	성상현	가공 및 저장 방법이 다른 오리 가슴육의 기계적 판별	한국축산식품학회
11	2015	윤문주	넙치 스테이크 제품의 제조 및 품질특성	수산해양교육연구
12	2015	이해림	해동육과 신선육으로 제조한 훈연 오리 가슴육의 품질 특성	농업과학연구
13	2016	천호현	한우육의 냉동 및 해동 조건에 따른 품질 변화	한국식품영양과학회
14	2017	최은지	과냉각 온도가 급속냉동-해동 처리된 돈육 등심의 저장성에 미치는 영향	한국식품저장유통학회
15	2019	홍근표	미래형 식육 냉동 기술 개발을 위한 초고압 가공 기술의 활용	축산식품과학과 산업

② 해외 연구 동향

번호	계재 년도	저자 (1저자)	논문명	저널명
1	1998	Ahn	Effect of Muscle Type, Packaging, and Irradiation on Lipid Oxidation, Volatile Production, and Color in Raw Pork Patties	Meat Science
2	1998	ZHAO	High Hydrostatic Pressure Effects on Rapid Thawing of Frozen Beef	Journal of Food Science
3	1999	Ngapo	Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork	Meat Science
4	2002	Li	Novel methods for rapid freezing and thawing of foods - a review	Journal of Food Engineering
5	2005	Aksu	Effect of modified atmosphere packaging and temperature on the shelf life of sliced pastirma produced from frozen/thawed meat	Journal of Muscle Foods
6	2007	Boonsumre	Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (<i>Penaeus monodon</i>) frozen by air-blast and cryogenic freezing	Journal of Food Engineering
7	2008	Ersoy	The effect of thawing methods on the quality of eels (<i>Anguilla anguilla</i>)	Food chemistry

8	2010	Hsieh	Effect of thawing and cold storage on frozen chicken thigh meat quality by high-voltage electrostatic field.	Journal of food science
9	2010	Yu	Effects of different freezing rates and thawing rates on the manufacturing properties and structure of pork.	Journal of muscle foods
10	2012	Leygonie	Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review	Meat Science
11	2012	Anese	Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality	Food Research International
12	2013	Gambutean	Comparison of thawing assisted by low-intensity ultrasound on technological properties of pork Longissimus dorsi muscle	Journal of Food Science and Technology
13	2015	Ganjeh	Impact of high voltage electric field thawing on the quality of frozen tuna fish (Thunnus albacares)	Journal of food engineering
14	2016	Min	Pressure Ohmic Thawing: a Feasible Approach for the Rapid Thawing of Frozen Meat and Its Effects on Quality Attributes	Food Bioprocess Technol
15	2016	Aroeira	Freezing, thawing and aging effects on beef tenderness from Bos indicus and Bos taurus cattle	Meat Science
16	2017	Jia	Effects of high-voltage electrostatic field treatment on the thawing rate and post-thawing quality of frozen rabbit meat	Innovative Food Science & Emerging Technologies
17	2020	Cheng	Comparison of beef quality influenced by freeze-thawing among different beef cuts having different muscle fiber characteristics	Meat Science
18	2020	Teuteberg	Effects of duration and temperature of frozen storage on the quality and food safety characteristics of pork after thawing and after storage under modified atmosphere	Meat Science
19	2020	Nakazawa	Effect of long-term storage, ultra-low temperature, and freshness on the quality characteristics of frozen tuna meat	International journal of Refrigeration
20	2020	Qiu	Application of power ultrasound in freezing and thawing Processes: Effecton process efficiency and product quality	Ultrasonics - Sonochemistr
21	2021	Teuteberg	Effects of duration and temperature of frozen storage on the quality and food safety characteristics of pork after thawing and after storage under modified atmosphere	Meat Science

③ 특허 동향

번호	출원-등록번호	지식재산권명	특허권자	비고
1	10-1993-0009371	냉동육류의 가공처리방법 및 그 장치	니혼스이산가부시기가이샤	공개
2	10-1994-0014076	냉동육가공제품 및 그 제조방법	윤두현	공개
3	10-2000-0027409	냉동육의 해동 방법 및 해동고	주식회사 청하기계	공개
4	10-2000-0075048	냉동육 등의 해동방법 및 장치	이한준	공개
5	20-2002-0019578	냉동육 해동고	김영길	등록
6	10-2001-0059104	급속냉동실 및 급속해동실을 갖는 냉장고	엘지전자 주식회사	공개
7	10-2001-0088854	마이크로파 해동장치 및 해동방법	니혼하이콤 가부시기가이샤	등록
8	10-2004-0061220	해동기의 마이크로파 조사 제어 장치	주식회사 디피코 경기도 안산시 단원, 니혼하이콤 가부시기가이샤	등록
9	10-2004-0061223	마이크로파를 이용한 해동 시스템	주식회사 디피코, 니혼하이콤 가부시기가이샤	등록
10	10-2004-0096098	해동고의 보습장치	엘지전자 주식회사	등록
11	10-2004-0061218	해동기의 마이크로파 누설 방지 장치	주식회사 디피코, 니혼하이콤 가부시기가이샤	등록
12	10-2004-0036571	육류 종합 관리 시스템 및 방법	이완섭	등록
13	10-2002-0000373	냉장고용 급속 냉각 및 해동 시스템의 제어 방법 및 제어 시스템	제너럴 일렉트릭 캄파니	등록

14	10-2008-0040339	수중 초음파 해동기	신요산교가부시키가이샤	공개
15	10-2008-0050459	냉동식품 해동 방법	이진희	등록
16	10-2011-0037829	초저온 해동 기계장치	김상욱	등록
17	10-2009-0121659	식품의 해동 보존 방법 및 장치	마르쉐 머시너리 가부시키가이샤, 신종철	공개
18	10-2010-0027289	냉동수산물의 해동건조장치 및 이를 이용한 해동 및 건조방법	이춘화, 김경석	등록
19	10-2011-0026382	초저온 급속냉각기법을 이용한 식육제품의 제조방법	제주대학교기술지주 주식회사	등록
20	10-2012-0009884	해동 기능을 구비한 냉동 장치 및 그 해동 방법	국립순천대학교 산학협력단	등록
21	10-2013-0142232	육류 해동장치 및 이를 이용한 육류 해동방법	김용태	등록
22	10-2014-0016814	미스트 스팀 해동기	주식회사 용성냉동	등록
23	10-2012-0026554	생고기 숙성 및 해동 방법	(주) 헛세드	등록
24	10-2013-0159456	근적외선을 이용한 돈가스 냉동육 해동장치	농업회사법인 주식회사 다인제주	등록
25	10-2015-0129648	히트펌프가 적용되는 폐순환 덕트내의 액적 과분무용 저온 해동장치	박영선	등록
26	10-2015-0028206	해동기	(주)에이치케이막	공개
27	10-2016-0025462	개선된 텀블링 방식을 이용한 식육 고기의 가공방법 및 상기 방법으로 가공된 식육	중부대학교 산학협력단	공개
28	10-2014-0127114	초음파를 이용한 해동장치	경북대학교 산학협력단	등록
29	10-2015-0021079	유통용 냉해동고 및 이를 이용한 유통방법	한국식품연구원	등록
30	10-2016-0142745	해동 및 숙성고	(주)부성	등록
31	10-2017-0002091	육류를 유통하기 위하여 가공 및 냉각하는 방법	박성권	등록
32	10-2018-0014360	냉동육 가공 방법	강태호	등록
33	10-2016-0135911	육즙 손실을 방지하는 육류 해동방법	농업회사법인주식회사산들	등록
34	10-2016-0149979	냉동식품 해동장치 및 이를 이용한 냉동식품 해동방법	(주)인아	등록
35	10-2018-0074092	육류 취급방법	박성휘	등록
36	10-2016-0063782	RF 해동장치	대한민국(농촌진흥청장)	등록
37	10-2017-0056024	냉장, 숙성, 해동 및 냉동보관을 위한 다용도 일체형 식품저장창고	주식회사 창신	등록
38	10-2018-0037913	냉동식품 해동장치	주식회사 평원	등록
39	10-2019-0117762	RF 해동장치 및 이를 이용한 해동방법	대한민국(농촌진흥청장)	등록
40	10-2017-0168138	RF 전자기파 해동 장치용 임피던스 정합 시스템	송명수	등록
41	10-2017-7017956	멀티웰 플레이트용 온도제어 요소와 생물학적 시료의 냉동 및/또는 해동을 위한 방법 및 장치	프라운호퍼-게젤샤프트 추르피르데데어안제반텐포르 슌에파우	등록
42	10-2018-0050217	식재료 처리용 해동 및 숙성 장치	코리아메이드푸드(주), 정홍권	등록
43	10-2015-7005125	생물학적 물질을 해동하기 위한 방법 및 장치	플루리스템 리미티드	등록

○ 해동 시 육질의 품질에 미치는 영향 인자

분류	내용	
공기와 물을 매체로 하는 해동법	공기해동법	- 공기 중에 방치, 팬 등으로 송풍 - 공기 온도가 저온 및 고온
	청수해동법	- 물에 담가두거나 흐르는 물 이용 - 수온 차에 의해 구분
	염수해동법	- 염수해동을 하면 드립(육즙)의 방출량이 적다고 보고되나 실제적인 큰 차이 없음
	쇄빙해동법	- 기온 높을 때 대형 참치 등 저온에서 완만히 해 동하고 싶을 때 주로 이용 - 해동 후 품질은 좋지만 대형일 경우 장시간(2 일) 소요되는 것이 단점

전기를 이용한 해동법	저주파전류해동법 (50~60 Hz)	- 급속해동 가능 - 모양이 일정치 않은 냉동품은 부분적 가열상태를 보일 수 있음
	고주파 유도가열 해동법 (915 및 2450Hz)	- 마이크로파를 사용한 해동법, 전자레인지에 이용한 해동법을 말함 - 빠른 시간 내 해동 가능하나 설비비 많음 - 모양이 일정치 않은 냉동품은 해동상태가 불균일한 것이 단점
가열에 의한 해동법	-	- 동결상태에서 바로 가열 조리하여 조리엔 적합한 온도로 하는 방법 - 열 공기해동, 증기해동, 열탕해동, 기름해동, 철판구이 해동 방법 등
냉장고 내 해동	-	- 냉동상태의 원료육을 사용하기 전 2~3일 전에 냉장고로 옮겨 냉장포장 상태로 자연 해동하는 방법

<출처: 냉장육과 냉동육(2), 한우마당, 190827>

- 국립축산과학원에서 냉동 한우육을 냉장해동, 침수해동, 상온해동 및 전자레인지 해동으로 해동하여 이들의 수용성 영양성분 변화 및 품질 특성을 비교한 결과 냉장 해동한 고기가 가열감량, 미오글로빈 함량 및 비타민 B군 손실량이 가장 적은 반면 침수하여 해동한 고기의 가열감량이 가장 높았고 상온에서 해동한 고기는 비타민 B군 손실량 및 드립감량이 가장 큰 것으로 나타났다. 쇠고기를 4℃에서 랩 포장하여 6일간 저장한 결과 총균수는 냉장고에서 해동시킨 것이 가장 낮았다. 한편, 지방산패도는 전자레인지에서 해동한 쇠고기가 다른 해동 방법 처리구들보다 더 빠르게 진행되었다. 결론적으로 냉동육을 해동하여 사용할 때 해동방법에 따라 수용성 영양성분의 함량 및 품질특성에 영향을 미치므로 적절한 조건의 해동방법을 선택하는 것이 중요하다. 또한 해동육 보관기간이 길어질수록 미생물 증식 및 산패 등으로 인하여 품질이 더 빠르게 저하되므로 일단 해동한 고기는 가급적 바로 조리하여 먹는 것이 좋다.
- 현재 육류에 가장 보편적으로 사용되고 있는 해동법에는 상온해동법, 침수해동법, 냉장해동법 및 전자레인지를 이용한 해동법을 들 수 있다. 상온해동법은 열전달매체가 정지된 공기이므로 해동속도가 매우 느리며, 침수해동은 열전달 매체가 물이며 공기보다 열전도도가 높아 해동시간이 조금 단축될 수 있다. 전자레인지 해동은 해동시간이 단축되고 간편하며 드립 손실과 수분 증발에 의한 손실을 줄일 수 있어 품질 저하를 최소한으로 할 수 있고, 세균의 번식을 억제할 수 있어 위생적이나 고기덩어리의 부분별 불균일한 온도와 식육의 불균일한 성분으로 인하여 온도가 상대적으로 높은 부분은 전자파에너지를 많이 흡수하여 과도하게 가열되는 반면에 다른 부분은 여전히 얼어있는 상태로 존재하는 문제점이 있다. 식품의 열전달 성질은 식품 성분의 조성에 영향을 받는다. 한편, 냉동 저장된 고기는 해동과정 또는 해동 후에도 육류품질에 많은 변화가 일어나게 된다(Fennema, 1973; Kang 등, 2007). 일반적으로 해동시에 따르는 문제점은 육질 저하, 미생물에 의한 오염, 수분증발 및 드립 형성에 의한 중량 손실, 색 변화, 조직감의 변화, 공기중의 산화, 표면의 건조, 영양분의 손실 등이 있어 해동방법의 선택은 육질의 품질을 좌우하는 중요한 요소가 된다.

나. 지방 함량에 따른 냉동 돈육의 해동특성 연구

지방 함량에 따른 냉동 돈육의 해동특성에 대한 과학적 기초 데이터베이스를 구축하여 객관적으로 예측 가능한 냉동 돈육의 해동방법을 개발하고자 하며 향후 지방 함량이 다른 다양한 냉동돈육 부위별로 적용가능한 과학적 토대를 마련하고자 함.

○ 방법

① 지방 함량별 냉동 돈육 구성

- 국내산 냉장 돈육 부위 중에서 지방 함량이 낮은 안심 살코기와 지방 부위(협동고기 백화점, 순천시)를 구매하여 안심의 결체조직을 제거한 후 직사각형 용기(9.8 x 6.7 x 4.7 cm)에 안심과 지방의 비율을 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, 0:100 (w/w)가 되도록 무게 비율로 구성하여 소분하고 용기에 clean bag을 깔고 내부 공간을 다 채워 직육면체 블록이 되도록 구성육을 담았다. 용기 뚜껑을 닫고 지퍼백으로 최종 밀봉한 다음 -70℃ 냉동고에서 동결시켜 보관하였다.

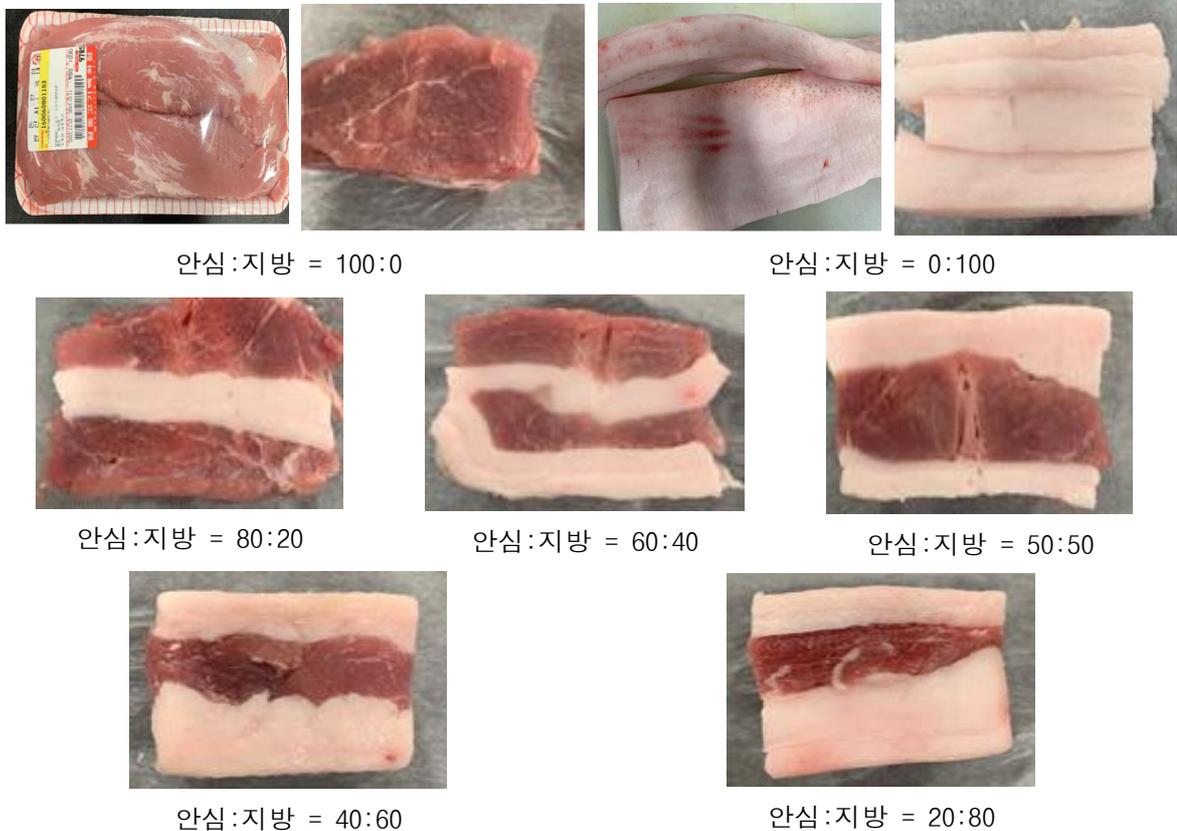


그림55. 안심과 지방을 이용해 지방 함량별로 구성한 돈육, w/w

② 지방함량에 따른 냉동 돈육의 해동 특성 조사

- 지방 함량별로 구성하여 일정 모양의 용기에 담아 -70℃에서 냉동시킨 냉돈육을 -70℃ 냉동고에서 꺼낸 후 실온(20℃)에서 두면서 심부 중심온도가 -6℃에 도달할 때를 해동 시작 시간으로 설정한 후 비닐 포장을 벗기고 해동을 시작하며 냉동육의 심부 중심온도가 -1℃에 도달할 때까지의 온도 변화를 기록하였다(그림56). 총 해동 시간은 심부 중심온도가 -6℃에서 -1℃에 도달할 때까지의 시간으로 측정하였다.



그림56. 지방 함량별 냉동 돈육 상온해동

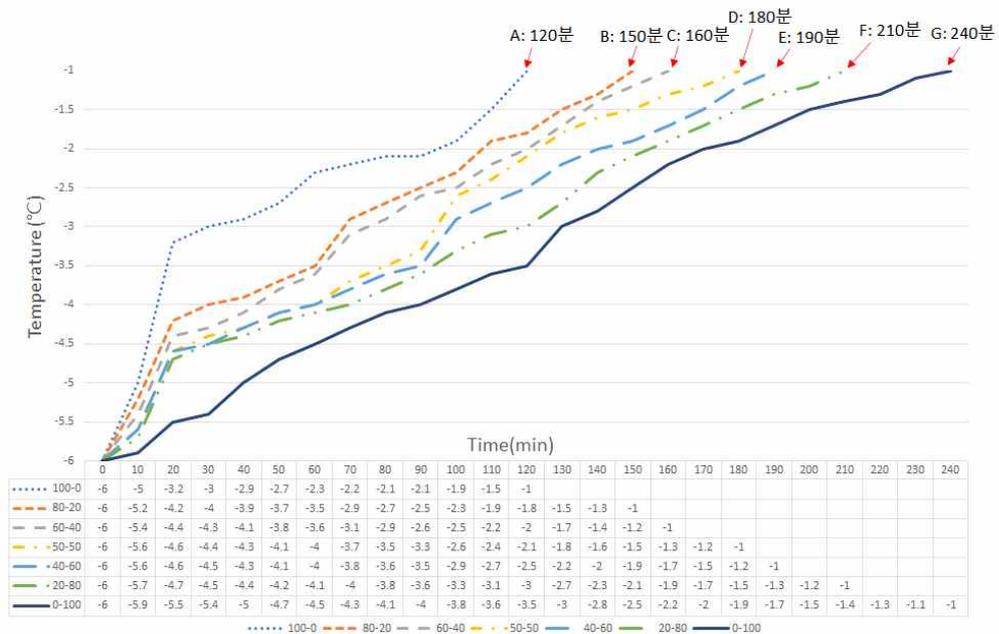


그림57. 돈육의 비율별 해동곡선, A:지방 0%, B: 지방 20%, C: 지방 40%, D:지방 50%, E:지방 60%, F:지방 80%, G:지방 100%

○ 냉동육의 해동 곡선

① 지방함량에 따른 냉동 돈육의 해동곡선

- 지방함량에 따른 냉동돈육의 심부중심온도가 -6°C 에 도달한 시점을 해동 시작시간으로 설정한 후 심부중심온도가 -1°C 에 도달할 때까지 온도 변화를 기록하여 해동곡선으로 나타내었다(그림57).
- 냉동 돈육의 총 해동시간은 지방 0% 120분, 지방 20% 150분, 지방 40% 160분, 지방 50% 180분, 지방 60% 190분, 지방 80% 210분, 지방 100% 240분으로 지방함량이 증가할수록 해동시간도 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 추후 연구의 냉동 돈육 부위별 지방함량에 따라 상온해동의 예상시간을 예측할 수 있을 것으로 생각되었다.

다. 냉동 돈육의 텀블링 해동(small scale) 특성 연구

본 연구 항목은 냉동 돈육의 텀블링 해동기 개발 연구가 기업에 의해 실질적이고 효율적으로 산업화로 진행되어 산업화 가능성이 극대화될 수 있도록 연구 대상 및 공정에 대한 특성을 바탕으로 small-scale 텀블링 해동기를 구성하여 효용성 있는 연구 개발 및 산업화 전략을 수립하고자 함. 또한, 냉동 돈육의 앞다리살에 대한 과학적 기초 데이터베이스를 구축과 함께 해동 방법에 따른 해동특성, 이화학적 및 미생물학적 특성을 분석하여 객관적으로 예측 가능한 냉동 돈육의 최적 해동방법 개발을 꾀하고자 함.

○ 냉동 돈육 시료 준비



그림58. 냉동 돈육

- 본 실험에서 사용한 시료는 국내산 냉장 돈육 전지로 선정하여 팜앰포크 슝포크(충북 청주시)에서 구입하였다. 해동되어 있는 시료는 4x4x3 cm 용량의 사각 틀에 비닐을 깔고 구입한 돈육 전지를 소분하여 용기의 공간을 다 채우도록 시료를 담은 후 뚜껑을 닫고 승화를 막기 위하여 지퍼백으로 최종 밀봉한 다음 -75℃ 냉동고에서 동결시켜 보관하며 사용하였다.

○Small-scale(1 L) 텀블링 해동 장치 고안

- 산업용으로 대용량 해동기를 제작하는데 필요한 과학적 근거자료 확보를 위해 실험용 1 L 용량의 small-scale 텀블링 해동기 기능을 할 수 있도록 장치를 구성하였다(그림 59).
- 텀블링 해동기의 구성은 진공감압을 걸 수 있고, 텀블러의 회전각도(0~30°), 텀블러 회전속도 0~30 rpm, 해동온도 10~20℃를 조절할 수 있도록 하였다. 또한, 대용량 해동기기의 경우 해동 중인 시료가 잘 혼합되면서 충격을 일으킬 수 있도록 텀블러 내부에 임펠러를 두게 되는데 이러한 역할을 할 수 있도록 초차 용기 중에서 내부가 움푹 패어 굴곡이 있는 진탕 삼각플라스크(Duran, DWK Life Science, Hattenbergstr,

Germany)를 사용하였다. 냉동육 시료④를 담은 플라스크 내부에 감압이 될 수 있도록 플라스크 입구에 joint를 끼우고 회전감압농축기(EYELA N-1300, Rikaikai Co., Tokyo, Japan)에 연결하였다. 시료 플라스크는 회전감압농축기의 water bath에 약 1/3 정도 잠기도록 한 후 회전을 시켜 텀블러의 회전 역할을 할 수 있도록 하였으며 water bath의 온도는 20도로 설정하였다.



그림59. 텀블링 해동을 위한 구성 장치(좌)와 진탕 삼각플라스크(우)

○ 냉동육 해동 방법

- 냉동육 시료를 -75°C 냉동고에서 꺼낸 후 실온(20°C)에서 심부중심온도 -6°C 에 도달하도록 한 후 비닐 포장을 벗긴 후 해동을 시작하여 각 해동 방법별로 냉동육의 심부중심온도 $-1\sim 0^{\circ}\text{C}$ 에 도달할 때까지를 총 해동 시간으로 설정하여 해동을 진행하였다.
- 해동 방법은 총 5가지(냉장 해동, 실온 해동, 침수해동, 전자레인지 해동, 감압 텀블링 해동) 방법을 설정하였으며 각 해동 방법은 다음과 같다.

- ① 진공 텀블링 해동 : 회전진공농축기와 굴곡이 있는 진탕 플라스크를 연결하여 텀블링 해동기를 구성한 후 냉동 돈육 시료를 넣고 감압을 걸어주고, 회전각도 30° , 회전속도 30 rpm으로 진탕플라스크를 항온수조 온도 20°C 상에서 회전시키며 냉동돈육의 해동을 진행하였다.
- ② 실온 및 냉장 해동 : - 실온 20°C 와 4°C 의 냉장고에서 각각 해동을 진행하였다.
- ③ 침수해동 : 지퍼백에 냉동육을 밀착하여 포장한 후 18°C 의 항온수조에서 해동하였다.
- ④ 전자레인지 해동 : 전자레인지 해동은 전자레인지(ER-4320B, LG Electronics, Seoul, Korea)를 이용하여 260W로 10분마다 탐침기로 측정하여 해동을 진행하였다.



그림60. 진공 텀블링 해동



실온해동



냉장해동



침수해동



전자레인지 해동

그림61. 냉동 돈육의 조건별 해동방법

○해동돈육 특성 분석법

① 수분 함량 분석

- Water content machine (Ohaus mb45, Schwerzenbach, Switzerland)을 사용하였고, 10분동안 105℃의 설정으로 분석을 하였다.

② 조지방 함량 분석

- 조지방 분석은 식품공전의 일반시험법 뢰제-고트리브(Roese-Gottlieb)법을 이용하여 분석하였다. 먼저 항량된 칭량접시의 무게를 측정한다. 마조니아관에 시료 2 g을 넣고 증류수 9 mL을 넣은 후 ethanol 10 mL을 넣고 가볍게 1분간 흔들어준 후 ‘ㄱ’자 모양으로 놓고 2~3분간 정치한다. 그 후 ether 15 mL+석유 ether 15 mL 넣고 1분간 격렬히 흔들어 탈기 후 2분간 정피 후 분리되면 ether 층을 수기에 따른다. 이 과정을 4번 반복한다. 그리고 수기를 감압농축기와 연결 후 ether 1~2 mL 넣어 섞어서 알루미늄 칭량 접시에 붓는다(2~3번 반복). 98℃의 dryoven에서 1시간 건조 후 데시케이터에 30분간 방냉 후 건조된 칭량접시 무게를 측정한다.

$$\text{조지방 함량(\%)} = (\text{건조 후 칭량접시 중량} - \text{칭량접시 중량}) / \text{시료의 채취량} \times 100$$

③ 비타민 B₁₂ 분석(Immunoaffinity-HPLC/DAD Assay)

- 100 mL 삼각플라스크에 시료를 0.5~5.0 g 칭량하여 1% sodium cyanide 0.5 mL와 0.2 M sodium acetate trihydrate buffer(pH 4.0) 49.5 mL를 가한 후 10분간 초음파 (8893-DTH, Cole-Parmer, Chicago, IL, USA) 처리하고, 100℃ 항온수조 (WB-20M, Jeio Tech Co., Daejeon, Korea)에서 1시간 추출하였다. 추출된 시료는 실온으로 냉각한 후 증류수를 가하여 50 mL로 정용한 다음 여과지(Whatman No.1)로 여과하였다.

- 냉장 보관된 immunoaffinity column(Easi-Extract Vitamin B12, R-Biopharm Rhone Ltd., Glasgow, UK)은 실온 에서 30분 방치한 후 column 내부의 완충액을 제거하고 증류수 3 mL로 column을 활성화했다. 추출액 9 mL를 column에 주입하여 추출액 중의 비타민 B12 를 column에 흡착시킨 후 증류수 9 mL로 불순물을 세척하였다. 공기를 주입하여 column 내 수분을 제거한 후 methanol 3 mL를 column에 주입하여 흡착된 vitamin B 12 를 용출시켰다. 메탄올 추출액은 질소농축기(EYELAMG-2200, Tokyo Rikakikai Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 전량 휘발시키고, water 0.5 mL를 가하여 재용해시켰다. 재용해된 시험액은 0.45 µm membrane filter로 여과하여 갈색 vial에 담은 후 HPLC/ DAD 분석시료로 사용하였다. Vitamin B12 분석은 HPLC Agilent 1260 infinity(Agilent, Santa Clara, CA, USA) 시스템을 이용하였고, column 은 C 18 ACE 3 AQ(3 mm×150 mm, ACE, Scotland, UK)를 사용하여 표1과 같은 이동상의 gradient 조건에서 분석하였으며, 검출조건은 PDA detector를 이용하여 361 nm에서 검출하였다. 이때 이동상 flow rate는 0.25 mL/min, column oven 온도는 35°C, 시료 주입량은 100 µL였다.

표1. Gradient condition of HPLC mobile phases for vitamin B12 analysis

Time (min)	(A) - Water (%)	(B) - Acetonitrile (%)
0	100	0
11	85	15
19	75	25
20	90	10
26	100	0
40	100	0

④ pH

- pH 측정은 세절된 시료를 50 mL conical tube에 1 g을 정확히 취하여 증류수 9 mL 을 가한 후 homogenizer로 균질화하여 pH meter(Metter-Toledo AG 8603, Schwerzenbach, Switzerland)로 측정하였다.

⑤ 색도

- 색도 측정은 Chromometer(CR-200, Molita Co., Osaka, Japan)을 사용하였다.

⑥ 드립감량

- 냉동육의 심부온도가 -1~0°C에 도달할 때까지의 해동시킨 후 발생된 드립의 양을 측정하여 백분율로 계산하였다.

$$\text{해동감량(\%)} = \{(\text{해동 전 무게} - \text{해동 후 무게}) / \text{해동 전 무게}\} \times 100$$

⑦ 총균수

- 시료 1 g에 멸균 생리식염수 9 mL을 가하여 멸균백에 담아 stomacher(Bag mixer W400, Interscience, Saint Nom, France)로 균질화한 후 여과액을 10배 희석법으로 희석하여 사용하였다. 총균수용 건조필름(MC-Media Pad, JNC Co., Tokyo, Japan) 종양에 시료 1 mL을 접종한 뒤 incubator(HB-101, Han baek Science Co., Bucheon, Gyeonggi-do)에서 37°C, 24시간 배양하였다. 총균수 측정결과는 배양 후 액화 현상이 없고 배지당 30~300개 집락을 형성한 평판을 선택하였으며 3반복 측정값의 평균값을 산출하여 log CFU/g으로 나타내었다.

⑧ 대장균군

- 시료 1 g에 멸균 생리식염수 9 mL을 가하여 멸균백에 담아 stomacher(Bag mixer W400, Interscience, Saint Nom, France)로 균질화한 후 여과액을 10배 희석법으로 희석하여 사용하였다. 대장균균용 건조 필름(MC-Media Pad, JNC Co., Tokyo, Japan) 중앙에 시료 1 mL을 접종한 뒤 incubator(HB-101, Han baek Science CO., Bucheon, Gyeonggi-do)에서 37℃, 24시간 배양하였다. 총균수 측정결과는 배양 후 액화현상이 없고 배지당 30~300개 집락을 형성한 평판을 선택하였으며 3반복 측정값의 평균값을 산출하여 log CFU/g으로 나타내었다.

○ 결과

① 냉동육의 수분, 지방 및 비타민 B12 함량

표2. Physicochemical characteristics of pork leg

	Moisture (%)	Fat (%)	Vitamin B ₁₂ (µg/100 g)
Pork leg	38.9±0.2	39.5±0.0	0.28±0.02

- 해동육의 수분함량은 38.9%, 지방함량은 39.5%, 비타민 B12의 함량은 0.28 µg/100 g으로 나타났다. 선행논문에서 수분함량 49%(Jeon 등 2015), 지방함량 13.99%(Seong 등 2009), 비타민 B12의 함량은 0.45 µg/100 g(Moon 등 2017)으로 나타났다. 이는 시료의 앞다리살의 힘줄과 지방의 제거비율에 따라 결과 값이 다를 수 있다. 구매한 시료는 미박(힘줄과 지방을 제거하지 않은) 앞다리살이기 때문에 다른 결과값과 차이가 난다고 볼 수 있다.

② 해동 방법에 따른 냉동 돈육의 해동곡선

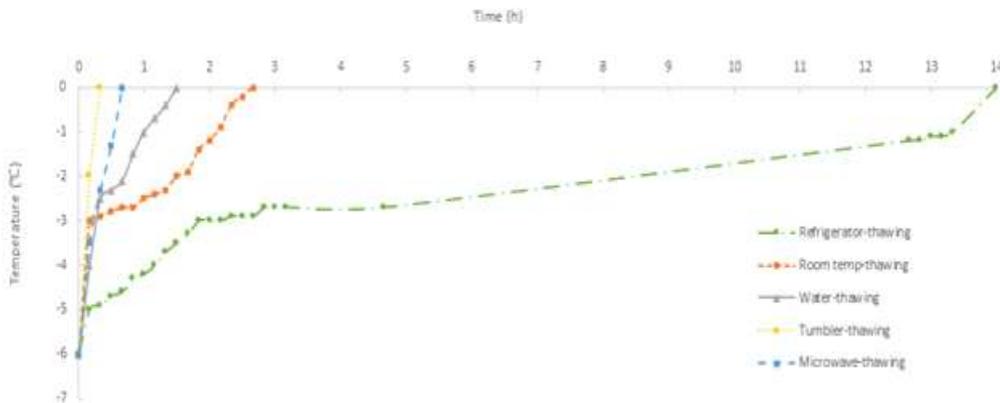


그림62. 해동 방법에 따른 냉동 돈육의 해동곡선

- 냉동돈육의 해동 방법에 따른 총 해동시간은 텀블러 해동이 20분으로 가장 해동 시간이 짧았으며 다음으로 전자레인지 해동 40분, 침수해동 90분, 실온해동 170분, 냉장해동 840분의 순으로 나타났다. Park 등(2012)의 연구에 따르면 해동시간은 전자레인지 해동 8분, 침수해동 120분 실온해동 210분, 냉장해동 1440분의 순으로 나타났다. 본 연구와 해동시간의 순서는 같지만 환경과 조건이 달라 해동시간의 차이가 있는 것으로 나타났다.

③ 해동육의 드립감량

표3. Drip loss of thawed pork leg under different conditions

Samples	Drip loss (%)	
Frozen pork	-	
Thawed pork	Room temp-thawing	0.41±0.32 ^{b1)}
	Refrigerator-thawing	0.24±0.01 ^b
	Water-thawing	1.16±0.14 ^a
	Microwave-thawing	1.04±0.03 ^a
	Thumbler-thawing	0.15±0.06 ^b

¹⁾Means with different superscript letters in the same column (a-b) are significantly different at p=0.05 (a>b).

- 드립감량은 텀블러 해동방식의 경우 0.15±0.06%로 가장 낮은 것으로 나타났고 침수해동의 드립감량은 1.16±0.14%로 가장 높은 값을 나타냈다. Park 등(2012)의 연구에 따르면 드립감량의 값은 침수해동, 냉장해동, 전자레인지해동, 실온해동 순으로 낮은 드립감량을 나타냈다. 본 연구와 비교하면 전자레인지의 드립감량이 차이가 나타났다. 본 연구의 전자레인지는 고주파 출력이 260W인 반해 700W이기에 차이가 나타난 것으로 생각된다.

④ 수분함량

표4. Moisture of thawed pork under different conditions

Samples	Moisture (%)	
Thawed pork	Room temp-thawing	38.91±0.15 ^{b1)}
	Refrigerator-thawing	33.05±1.20 ^c
	Water-thawing	40.71±1.09 ^a
	Microwave-thawing	41.30±1.96 ^a
	Thumbler-thawing	41.71±0.41 ^a

¹⁾Means with different superscript letters in the same column (a-c) are significantly different at p=0.05 (a>b>c).

- 수분함량은 텀블러 해동방식이 41.71±0.41%로 가장 높은 값을 나타냈고, 냉장해동에서 33.05±1.20으로 가장 낮은 값을 나타냈다. 텀블러 해동 시 감압농축을 이용하기 때문에 드립발생량이 적어 텀블러 해동한 해동육의 수분함량이 높은 것으로 나타난 것으로 생각된다.

⑤ pH

표5. pH of thawed pork under different conditions

Samples	pH	
Thawed pork	Room temp-thawing	6.28±0.09 ^{NS1)}
	Refrigerator-thawing	6.24±0.01 ^{NS}
	Water-thawing	6.29±0.06 ^{NS}
	Microwave-thawing	6.19±0.06 ^{NS}
	Thumbler-thawing	6.19±0.08 ^{NS}

¹⁾NS: not significant.

- 본 연구에서 pH는 해동방법에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았지만, Park 등 (2012)의 연구에 따르면 유의적인 차이를 나타내고 있다. 이는 시료의 크기, 양에 따른 영향과 시료의 구입처 차이로 차이를 보인 것으로 생각된다.

⑥ 색도

표6. Chromaticity of thawed pork under different conditions

Samples	Chromaticity			
	L	a	b	
Thawed pork	Room temp-thawing	59.92±0.79 ^{a1)}	13.13±0.08 ^a	8.64±0.22 ^a
	Refrigerator-thawing	54.00±0.41 ^b	10.56±0.24 ^{bc}	6.88±0.10 ^{bc}
	Water-thawing	55.18±2.08 ^b	9.89±0.44 ^c	6.06±0.11 ^c
	Microwave-thawing	58.22±0.40 ^a	9.66±1.89 ^c	7.16±0.09 ^b
	Thumbler-thawing	52.23±0.55 ^b	11.33±0.19 ^b	7.79±0.25 ^{a^b}

¹⁾Means with different superscript letters in the same column (a-c) are significantly different at p=0.05 (a>b>c).

- 색도는 a*(적색도)값 위주로 살펴보면 전자레인지 해동에서 낮은 값을 나타냈고 실온 해동이 높은 값으로 나타났다. Park 등(2012)의 연구에 따르면 a*(적색도)값에서 전자레인지 해동이 낮은 것으로 나타났다. 전자레인지해동 시 돼지고기의 일부분이 익는 현상으로 인해 a*(적색도)값이 낮게 나타났다.

⑦ 총균수 및 대장균군

표7. Total aerobic bacteria counts and coliform counts of thawed pork under different conditions

Samples	Total aerobic bacteria	Coliform	
	(log CFU/g)	(log CFU/g)	
Thawed pork	Room temp-thawing	2.38	1.28
	Refrigerator-thawing	1.84	1.04
	Water-thawing	2.25	1.21
	Microwave-thawing	2.31	0.84
	Thumbler-thawing	1.90	0.78

- 총균수는 실온해동에서 높은 값을 나타냈고, 냉장해동에서 낮은 값을 나타냈다. 대장균군 또한 실온해동에서 높은 값을 나타냈고, 텀블러해동에서는 낮은 값을 나타냈다. Park 등(2012)의 연구에 따르면 실온해동에서 높은 값을 나타냈고, 냉장해동에서 낮은 값을 나타냈다. 그리고 대장균군은 검출 되지 않았다. 본 연구와 총균수의 값 순서가 일치하다. 실온 해동 시 공기 중으로 노출이 되기 때문에 값이 높은 것으로 생각된다. 본 실험에서는 대장균이 검출되었는데 이는 육류에 존재하는 미생물은 도살 처리 과정 중 외부환경, 내장, 혈액, 가죽 등에 의하여 오염되며 저장과 유통 중 교차 오염 및 증식의 기회를 갖기 때문에 시료마다 차이를 보이는 것으로 생각된다.

라. 해동육의 조리 특성 조사

본 연구의 항목은 냉동 돈육의 해동 방법에 따른 조리 특성을 분석하여 객관적으로 예측 가능한 냉동 돈육의 최적 해동방법 개발을 꾀하고자 함.

○ 방법

① 해동돈육의 열처리 시 보수력 측정

- 보수력은 원심분리법을 이용하여 측정하였다. 50 mL conical tube에 세절된 시료 5 g을 정확히 취한 후 70℃ 항온수조에서 30분 가열 후, 실온에서 10분간 방랭 후 원심분리기로(MF-550, Hanil Science Industrial CO., Incheon, Korea) 20℃에서 2,000 ×g로 10분간 원심 분리 후 유리된 육즙량을 측정하여 백분율(%)로 계산하였다.

$$\text{보수력}(\%) = (\text{가열 전 시료무게} - \text{원심분리후 유리된 수분무게}) / \text{가열 전 시료무게} \times 100$$

② 해동 방법에 따른 해동 돈육의 가열감량 측정

- 해동 된 시료를 70℃의 항온수조(WB-20M, Jeio tech, Daejeon, Korea)에서 30분간 가열한 후 냉각시킨 뒤 가열 전 시료 무게에서 가열 후 시료 무게를 백분율로 나누어 계산하였다.

$$\text{가열감량}(\%) = \{(\text{가열 전 무게} - \text{가열 후 무게}) / \text{가열 전 무게}\} \times 100$$

○ 결과

① 해동 방법에 따른 해동 돈육의 보수력

표8. Water holding capacity of pork leg thawed under different conditions

Samples	WHC ¹⁾ (%)	
Room temp-thawing	92.19±2.21 ^{ab}	
Refrigerator-thawing	89.37±0.44 ^b	
Thawed pork	Water-thawing	94.23±2.26 ^a
	Microwave-thawing	87.16±1.51 ^{bc}
	Thumbler-thawing	94.51±0.48 ^a

¹⁾WHC : Water holding capacity.

²⁾Means with different superscript letters in the same column (a-c) are significantly different at p=0.05 (a>b>c).

- 보수력은 텀블러해동에서 94.51±0.48%으로 가장 높은 값을 나타냈고 냉장해동에서 89.37±0.44으로 가장 낮은값을 나타냈다. Chun 등(2016) 연구에 따르면 육류의 보수력은 가열, 분쇄, 압착또는 냉동 등 물리적인 외부의 힘을 작용하였을 때 자체의 수분 또는 첨가된 수분을 보유하는 능력이다. 돈육의 부위별 보수력 차이가 있으며 냉동육은 근원섬유 내에 빙결정이 형성되어 미오신 구조가 파괴되어 단백질 변성이 일어난다한다.

② 해동 방법에 따른 해동 돈육의 가열감량

- 가열감량은 침수해동에서 0.81±0.38%으로 가장 높은 값을 나타냈고 전자레인지 해

동에서 낮은 값을 나타냈다. Yang 등(2010)의 연구에 따르면 가열감량은 고기 덩어리의 크기, 가열방법, 가열온도 그리고 가열시간에 따라 달라진다.

표9. Cooking loss of pork leg thawed under different conditions

Samples	Cooking loss (%)
Room temp-thawing	0.28±0.07 ^{b1)}
Refrigerator-thawing	0.24±0.18 ^b
Thawed pork	
Water-thawing	0.81±0.38 ^a
Microwave-thawing	0.15±0.02 ^{bc}
Thumbler-thawing	0.64±0.16 ^{ab}

¹⁾Means with different superscript letters in the same column (a-c) are significantly different at p=0.05 (a>b>c).

마. Pilot-scale (2 ton) 해동텀블러를 이용한 해동돈육의 품질특성 조사

본 연구 항목은 꼬막 가공 제품 개발 연구가 기업에 의해 실질적이고 효율적으로 산업화로 진행되어 산업화 가능성이 극대화될 수 있도록 용역제안기관인 (주)협진에서 2톤 용량의 pilot 장비를 제작하여 연구를 수행하는 주관 및 공동연구기관이 연구 대상 제품 및 공정에 대한 특성을 상호 검토 하여 효용성 있는 연구 개발 및 산업화 전략을 수립하고자 함.

○ Pilot-scale (2 ton) 해동텀블러를 이용한 냉동 돈육 해동

- 농협 목우촌(Seoul, Korea) 국내산 냉동돈육 앞다리살 140 kg을 pilot 해동 텀블러 안에 넣고 텀블러의 각도는 0°로 맞추어 텀블링 해동을 실시하였다. 스팀의 양은 시료 무게의 5%로 설정하였다. 총 해동시간은 4시간이 걸렸다. 처음 120분은 1.0rpm의 속도로 정회전으로 5분 회전 후 2분 휴지를 반복하였고, 두 번째 60분 구간은 1.0rpm의 속도로 역회전으로 5분 회전 후 2분 휴지를 반복하였고, 세번째 60분 구간은 각도 5°, 1.5rpm의 속도로 역회전으로 5분 회전 후 1분 휴지를 반복하여 최종적으로 해동이 완료되었다.

○ Pilot 장비를 이용한 냉동 돈육의 해동시간 측정



그림63. Pilot-scale 텀블러 해동과정(좌)과 해동 후 심부온도 및 무게 측정(우)

○ Pilot-scale 해동텀블러 해동 돈육의 특성 분석법

- ① 수분함량 : Water content machine (Ohaus mb45, Schwerzenbach, Switzerland)을 사용하였고, 10분 동안 105℃의 설정으로 분석을 하였다.
- ② pH : pH 측정은 세절된 시료를 50 mL conical tube에 1 g을 정확히 취하여 증류수 9 mL을 가한 후 homogenizer로 균질화하여 pH meter(Metter-Toledo AG 8603, Schwerzenbach, Switzerland)로 측정하였다.
- ③ 색도 : 색도 측정은 Chromometer(CR-200, Molita Co., Osaka, Japan)을 사용하였다.
- ④ 총균수 : 시료 1 g에 멸균생리식염수 9 mL을 가하여 멸균백에 담아 stomacher(Bag mixer W400, Interscience, Saint Nom, France)로 균질화한 후 여과액을 10배 희석법으로 희석하여 사용하였다. 총균수용 건조필름(MC-Media Pad, JNC Co., Tokyo, Japan)중앙에 시료 1 mL을 접종한 뒤 incubator(HB-101, Han baek Science CO., Bucheon, Gyeonggi-do)에서 37℃, 24시간 배양하였다. 총균수 측정결과는 배양 후 액화현상이 없고 배지당 30~300개 집락을 형성한 평판을 선택하였으며 3반복 측정값의 평균값을 산출하여 log CFU/g으로 나타내었다.
- ⑤ 대장균군 : 시료 1 g에 멸균생리식염수 9 mL을 가하여 멸균백에 담아 stomacher(Bag mixer W400, Interscience, Saint Nom, France)로 균질화한 후 여과액을 10배 희석법으로 희석하여 사용하였다. 대장균군용 건조필름(MC-Media Pad, JNC Co., Tokyo, Japan) 중앙에 시료 1 mL을 접종한 뒤 incubator(HB-101, Han baek Science CO., Bucheon, Gyeonggi-do)에서 37℃, 24시간 배양하였다. 총균수 측정결과는 배양 후 액화현상이 없고 배지당 30~300개 집락을 형성한 평판을 선택하였으며 3반복 측정값의 평균값을 산출하여 log CFU/g으로 나타내었다.
- ⑥ 보수력: 보수력은 원심분리법을 이용하여 측정하였다. 50 mL conical tube에 세절된 시료 5 g을 정확히 취한 후 70℃ 항온수조에서 30분 가열 후, 실온에서 10분간 방랭 후 원심분리기로(MF-550, Hanil Science Industrial CO., Incheon, Korea) 20℃에서 2,000 ×g로 10분간 원심 분리 후 유리된 육즙량을 측정하여 백분율(%)로 계산하였다.

$$\text{보수력(\%)} = (\text{가열 전 시료무게} - \text{원심분리후 유리된 수분무게}) / \text{가열 전 시료무게} \times 100$$

- ⑦ 가열감량 : 해동 된 시료를 70℃의 항온수조(WB-20M, Jeio tech, Daejeon, Korea)에서 30분간 가열한 후 냉각시킨 뒤 가열 전 시료 무게에서 가열 후 시료 무게를 백분율로 나누어 계산하였다.

$$\text{가열감량(\%)} = \{(\text{가열 전 무게} - \text{가열 후 무게}) / \text{가열 전 무게}\} \times 100$$

○ 분석 결과

① Pilot 장비를 이용한 냉동 돈육의 해동곡선

- Pilot 장비를 이용하여 냉동 돈육을 해동한 결과 해동시간은 총 4시간이 걸렸고 처음 2시간은 해동이 급격하게 이루어져 -6.5℃에서 3℃까지 빠른 해동을 보여주었지만 -3℃에서 -2℃구간에서 정체기를 나타내었다. 정체기가 시작하였을 때 텀블러를 역방향으로 회전하여 임펠러 각도를 이용해 육의 낙차를 크게 하여 해동을 촉진시켰다.

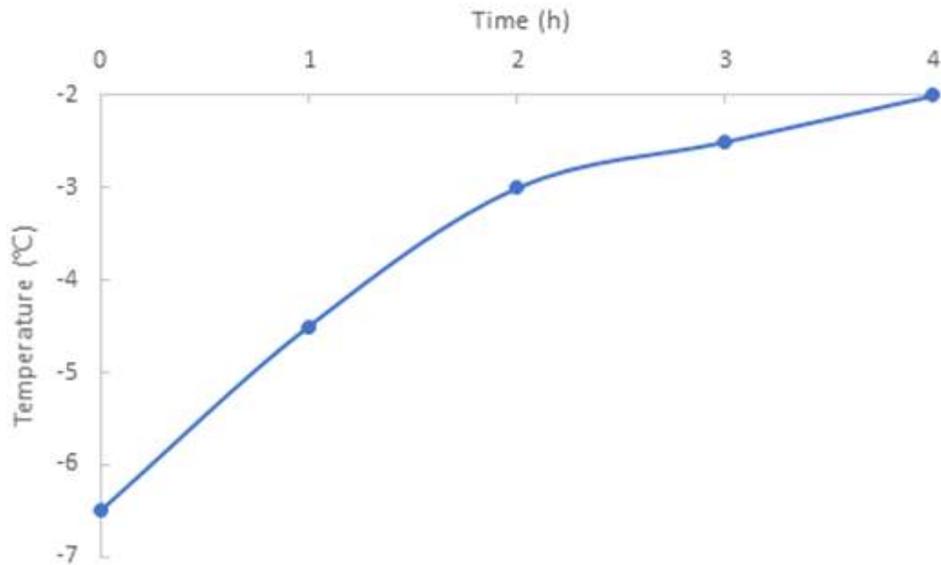


그림64. 돈육 해동 곡선

② Pilot-scale(2 ton) 해동텀블러 해동 돈육의 수분함량, pH, 색도

- Pilot-scale로 제작된 2 ton 용량의 해동텀블러에서 해동된 돈육의 수분함량, pH 및 색도는 표10과 같다.

표10. Moisture content of thawed pork under different conditions

	Moisture(%)	pH	Chromaticity		
			L	a	b
Thawed pork	55.24±0.04	5.86±0.00	44.60±0.14	17.75±0.27	4.65±0.25

- 수분함량은 55.24±0.04%였으며 1L 사이즈의 lab-scale에서 해동된 돈육의 수분함량인 41.71±0.41%보다 훨씬 높은 수준이었다. 이는 pilot-scale의 해동장치는 해동 공정 중에 스팀을 분사시켜 텀블링을 함으로써 식육의 수분이 증가되기 때문으로 보여진다. 이러한 차이는 최종 제품의 색도와 pH에도 영향을 미치는 것으로 보여진다. 표 10에서 제시된 바와 같이 pH 또한 lab-scale-tumbler보다 낮은 값을 나타냈고 색도 또한 a*(redness) 값이 더 높은 값을 나타냈다.

③ Pilot-scale 해동텀블러 해동 돈육의 미생물학적 특성(총균수, 대장균군)

- Pilot-scale(2 ton) 해동텀블러에서 해동된 식육의 총균수는 0.30 log CFU/g와 대장균군은 불검출되어 우수한 값을 나타냈다. 해동 직후 육을 진공 포장하였고 클린벤치 안에서 개봉하고 육을 정형할 때 육의 안쪽 살만을 정형하여 세절한 후 실험하여 우수한 결과를 나타내었다.

표11. Total aerobic bacteria counts of thawed pork under different conditions

Microorganism (log CFU/g)	Total aerobic bacteria	Coliform
Pilot-scale (2ton)	0.30	0

④ Pilot-scale 해동텀블러 해동 돈육의 보수력 및 가열감량

- Pilot-scale(2 ton) 해동텀블러에서 해동된 식육의 보수력은 83.31 ± 0.98 을 나타냈으며 가열감량은 $0.51 \pm 0.18\%$ 로 나타났다. 이는 small-scale 텀블링 해동장치와 비교하였을 때 낮은 보수력을 보였으나 가열감량에서도 pilot 해동장치가 더 낮은 값을 보여 전체적으로 pilot 텀블링 장치를 이용한 냉돈육 해동 효과가 우수한 것으로 확인되었다. 또한 Beattie 등(1999)은 출하 체중이 크면 가열감량 또한 적어진다고 하여 scale up 과정에서 냉동 돈육의 크기 또한 영향을 미쳤을 것으로 보여진다.

표12. Water holding capacity and cooking loss of pork leg thawed under different conditions

	WHC ¹⁾ (%)	Cooking loss (%)
Lab-scale (1L)	94.51 ± 0.48	0.64 ± 0.16
Pilot-scale (2ton)	83.31 ± 0.98	0.51 ± 0.18

¹⁾WHC : Water holding capacity.

바. 결론

- 일반적으로 텀블링 처리는 육가공에서 염지와 같은 공정을 위해 사용되는데 이는 화학적인 처리 이외에 물리적인 마찰과 충격이 이루어기 때문에 화학적인 반응이 더 가속화되어 가공공정에 소요되는 시간을 단축시키고, 연도를 증진시키며, 제품색과 조직감 등 제품 품질을 균일하게 하는 것으로 알려져 있다(Siegel 등, 1978). 텀블링 처리 시 염을 첨가하는 경우 텀블링 처리 중 원료육에 가해지는 기계적 힘과 첨가된 염의 존재로 인하여 염용성 단백질이 추출되고 이것이 가열과정 중 응고되어 응집성을 증가시키는 결합망을 형성하게 된다(Weiss, 1973). 제품 표면과 내부에 형성된 단백질 결합망은 가열하는 동안 수분을 포집하는 역할을 하여 제품 수율을 증가시키고, 제품의 다즙성을 향상시키게 된다고 보고되어 있다(Krause, 1976).
- 이러한 물리적인 마사지 효과를 나타내는 텀블링 공정을 냉동육 해동에 적용하기 위하여 small-scale(1L)과 pilot-scale(2 ton)의 텀블링 해동 장치를 고안하고 이를 이용하여 냉동육을 해동시키며 해동방법에 따른 해동육의 품질 특성을 비교 분석하였다. 실제 해동과정에서는 염지공정과 같은 염류를 첨가하지 않기 때문에 염에 의한 수분 보유력 증가 효과는 기대할 수 없으나 물리적인 충격에 의한 마사지 효과에 의해 해동 속도의 개선, 보수력 개선, 미생물 생육 저하 등 해동육 품질 개선 효과를 예측할 수 있을 것으로 보여지며 이를 실제 장치에서 어떠한 형태로 구현되며 식이육 품질에 미치는 영향에 대한 과학적인 근거 자료를 확보하고자 하였다.
- 총 5가지(냉장 해동, 실온 해동, 침수해동, 전자레인지 해동, 감압 텀블링 해동) 방법으로 냉동 돈육을 해동한 결과, 드립감량은 텀블러 해동이 $0.15 \pm 0.06\%$ 로 가장 낮은 것으로 나타났고 침수해동은 $1.16 \pm 0.14\%$ 로 가장 높은 값을 나타냈다. 수분함량은 텀블러 해동방식이 $41.71 \pm 0.41\%$ 로 가장 높은 값을 나타냈고, 냉장해동에서 33.05 ± 1.20 으로 가장 낮은 값을 나타냈다. pH는 해동방법에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았다. 색도는 적색도에서 실온 해동>텀블러 해동>냉장 해동>침수 해동>전자레인지 해동 순으로 높게 나타났다. 총균수는 실온 해동>전자레인지 해동>침수 해동>텀블러 해동>냉장

해동 순으로 높게 나타났으며, 대장균군은 실온 해동>침수 해동>냉장 해동>전자레인지 해동>텀블러 해동 순으로 높게 나타났다. 위와 같이 이화학적 및 미생물학적 특성을 비교한 결과 냉동 돈육의 해동 방법 중 텀블러 해동이 가장 우수한 결과를 나타내었다.

- Pilot-scale(2 ton) 해동텀블러에서 해동된 식육의 보수력은 83.31 ± 0.98 을 나타냈으며 가열감량은 $0.51 \pm 0.18\%$ 로 나타났다. 이는 small-scale 텀블링 해동장치와 비교하였을 때 낮은 보수력을 보였으나 가열감량에서도 pilot 해동장치가 더 낮은 값을 보여 전체적으로 pilot 텀블링 장치를 이용한 냉돈육 해동 효과가 우수한 것으로 확인되었다. 또한, pilot-scale(2 ton) 해동텀블러에서 해동된 식육의 총균수는 $0.30 \log \text{CFU/g}$ 와 대장균군은 불검출되어 우수한 품질 특성을 나타냈다.

5) 파이롯 장비 시험평가
 가. 최종 파이롯 장비 및 성능평가

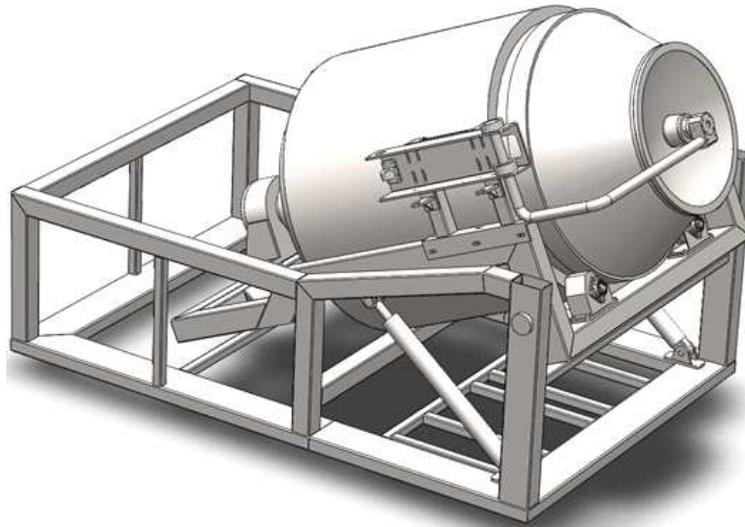


그림65. 2ton급 해동텀블러 파이롯 장비 3D 모델



그림66. 2ton급 해동텀블러 파이롯 장비

나. 파이롯 장비 해동 성능 시험 평가: 드립수에 의한 로스율, 해동시간

- 일시 : 2021년 12월 06일
- 장소 : 주관기관 연구소
- 냉동육 : 돈육 후지 140 kg (텀블러 용량 2ton급은 동시에 최대 1ton까지 해동 가능하지만 최초 성능평가기 때문에 소량 해동)



그림67. 파이롯 장비 해동 성능 시험평가를 위한 돈육 후지 140 kg



그림68. 해동 시작 전; 온도 $-7.5 \sim -6.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$



그림69. 해동 1시간 경과; 온도 $-6.5 \sim -4.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$



그림70. 해동 2시간 경과; 온도 $-4.1 \sim -3.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$



그림71. 해동 3시간 경과; 온도 -2.1 ~ -3.0 °C



그림72. 해동 4시간 경과; 온도 -2.3 ~ -1.4 °C

- 파이롯 장비의 해동성능 시험평가에 대한 추가적인 정보는 다음과 같음
 - 140 kg의 냉동육은 약 10 kg 단위로 블록 형태로 냉동되어 있으며 해동작업 시작 전의 온도는 -7.5°C ~ -6.4°C의 편차를 보이고 있었음
 - 해동공정은 총 4시간 동안 해동하였으며 중간에 1시간 간격으로 해동공정을 중지하고 돈육 심부 온도 측정과 상태관찰을 했음
 - 파이롯 장비의 목표성능에 “냉장기능”이 포함되어 있지 않기 때문에 아직 파이롯 장비에 냉동기가 설치되어 있지 않아서 이중 자켓에 온수순환은 하지 않고, 단순히 실내 공기에 의해서만 텀블러 내부 대류와 온도분위기를 형성하였음
 - 해동 과정 중 텀블러 내부 스팀 분사율은 전체 냉동육 무게의 5 % (7 kg)를 전 과정에서 균일하게 분사함, 따라서 냉동육과 분사된 스팀을 모두 합쳐서 시험 전 총 무게는 147 kg 임
- 시험 과정에서 중 각각의 냉동육에 대한 해동 온도편차는 약 2°C 이내로 어느 수준에서 냉동육이 순환되어 균일해동 되고 있음을 알 수 있음
- 해동공정 초기에는 텀블러 바닥에 수분(분사된 스팀)의 양이 많았으나, 지속적인 텀블링 과정에서 해동육 내부로 수분이 흡수되면서 드립수의 양이 지속적으로 감소하였고 4시간 후에 육안으로 검사 시에는 드립수가 거의 발생하지 않음
- 4시간 해동 후 해동육 전체 무게는 약 146 kg으로 해동공정 전의 (냉동육+스팀) 무게인 147 kg에 비해 약 1 kg이 감소했고 따라서 **드립로스율은 0.5%**로 측정 됨



그림73. 4시간 해동 후 해동육 무게와 온도 측정

- 총 4시간 해동 후 해동육의 온도는 평균 $-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이고 편차는 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이하로 평균온도는 해동 판단기준인 **“6시간 해동으로 $(-1\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 이내”를 만족**

다. 파이롯 장비 정량적 목표 시험평가 결과

- 일시 : 2021년 12월 06일
- 장소 : 주관기관 연구소 (경기도 시흥시 엠티브이28로 16 시화MTV 1사 601)
- 시험평가 기관 : 한국공학대학교 공용장비지원센터 (공인인증 시험기관)
- “파이롯 장비 해동시험 성능평가”와 함께 실시하여 시험평가 조건은 “나” 항과 동일함
- 시험평가에는 주관기관, 제1 공동연구기관, 제2 공동연구기관과 시험평가기관이 모두 참석해서 시험을 진행 및 참관

평가항목	시험 방법	목표치	결과	판정
1. 텀블러 용량	- 텀블러 내부 길이를 ‘줄자’ 로 측정해서 부피를 계산 - 정밀도 $\pm 10\text{L}$ 수준	1 000 L 이상	1 590 L	G0
2. 텀블러 진공압력	- 장비에 부착된 압력계(음압)의 수치로 측정 - 압력계 사진 첨부	0.6 bar 이하 (-0.4bar 이하)	0.24 bar (-0.76 bar) (최대)	G0
3. 해동 시간	- $(-20\text{이상})^{\circ}\text{C}$ 정도의 냉동육을 $(-1\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 까지 해동하는 데 걸리는 시간, 또는 5.5hr 해동 후 해동육의 온도 - 심부온도 측정기로 온도측정	6 hr 이하	4 hr (평균온도 기준)	G0
4. 드립 로스율	- 드립 로스율 (%) = $100 \times (\text{냉동육 무게} - \text{해동육 무게}) / \text{냉동육 무게}$ - 해동 전/후 해동육 무게 측정	2% 이하	0.52 %	G0

※ 텀블러 내부 진공압력은 외부 대기압(1 bar)을 0 bar로 설정하고 진공압(최대 -1 bar)을 측정하여 표시함, 즉 0.6bar는 외부 대기압을 0으로 설정하는 경우 (-) 0.4bar로 계산

■ 2차년도 연구개발 과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 2차년도 연구목표 및 연구 일정

가. 연구수행 일정

기관	연구목표	연구 결과
주관기관 (협진)	이중 재킷 구조를 갖는 용량 10ton 텀블러(원료육 해동 용량 5ton) 개발	▶ 6 ton 급 해동텀블러 개발완료 ▶ 기능은 파이롯 장비와 동일
	10ton 텀블러 지지 프레임 개발	▶ 6ton 텀블러지지 프레임 개발완료 ▶ 자중, 진동지지, 기울기조절시스템 ▶ 텀블러 중량계측 로드셀 부착
	10ton 텀블러 드라이버 시스템 개발	▶ 모터 구동 및 1rpm 이하 저속 회전 시스템 및 역회전 방지 모듈
	CIP 시스템 개발	▶ 탱크 내부 세척 자동화 시스템 ▶ 세제 · 온수 자동투입 및 회수장치
	가열 및 냉각 열교환기 시스템	▶ 이중재킷을 통한 가열 · 냉각 순환시스템 개발 완료
	각종 상태 모니터링 및 제어 시스템	▶ 실시간 온도 모니터링 및 제어 시스템 ▶ 모터 구동 및 과부하 보호 ▶ 탱크 내부 압력 모니터링 및 자동-배관 자동제어
제1 공동 (경기과기대)	해동 텀블러 본 장비 신뢰성 확보	▶ 6ton 텀블러 내부 압력에 따른 구조해석으로 강성 및 변형 예측, 보강설계 제안 ▶ 텀블러 회전에 따른 동적 특성 평가 및 보강설계 제안
	10ton 텀블러 열전달 신뢰성 확보	▶ 이중 재킷의 스팀 또는 냉매에 의한 텀블러 내부 열 순환 시뮬레이션
	10ton 텀블러 임펠러 설계 최적화	▶ 임펠러 회전에 따른 냉동육 순환 시뮬레이션 구현 ▶ 냉동육 강제 순환을 위한 임펠러 형상 최적 설계
제2 공동 (국립순천대)	텀블링 해동돈육 영향 인자 조사 (1ton-scale)	▶ Effect of tumbler structure: 각도, 회전수 ▶ Effects of tumbling conditions: 온도, 시간, 회전수, 시료량 ▶ Effect of steam-assisted treatment: 분사량, 횟수, 온도 등
	해동, 저장 및 가공 품질 특성 평가 및 모델 제시	▶ 변패도: 미생물오염, 휘발성염기질소, TBARS, 색, 드립 등 ▶ 변패요인 분석 : 보수력, 가용성 단백질, 미세구조 등 ▶ 후속 가공 공정에 따른 품질 특성 및 가공 적성 조사

나. 연구 변경 사항

- [연구계획서]의 수정 요청사항에 “1차년도 과제기획 단계에서 국내·외 수요기업(식품기업)의 해동공정, 해동공정 설비, 관련 기술에 대한 수요조사와 니즈를 연구한 후 연구개발 방향 및 내용을 추가”와 관련하여 2차년도에 주관기관과 네트워크가 되어 있는 국내 수요기업을 대상으로 모바일 설문조사를 실시하고 해당 내용을 반영

- 주요 설문조사 결과
 - 협력기업에서 해동 공정에서 가장 어려워하는 부분은 해동시간이 오래 걸리는 것과 해동 품질이 균일하지 않는 문제로 높은 해동품질을 유지하면서도 생산성 문제가 가장 큰 이슈
 - 생산성 이외에는 작업강도와 해동과정에서의 변질 문제가 어려운 문제로 제시 됨
 - 수요기업에서 요구하는 생산성을 고려할 때 4000L나 6000L 급의 수요가 가장 높은 것으로 파악됨

- 주요 수요조사 결과는 과제기획 단계에서 전통적인 해동 공정에 대한 조사와 수요기업에 대한 요구도 조사 결과와 거의 유사한 결과이고, 결국 수요기업에서는 높은 해동 생산성을 요구하면서도 해동육의 품질 또한 보장되기를 원함

- 하지만 수요기업의 공간적 문제 때문에 8000L 이상의 장비는 설치 및 운용에 어려움이 많다고 호소하는 기업이 많이 있었고, 모바일 수요조사 결과에서도 유사한 결론을 내릴 수 있음

- 따라서 본 과제의 최종 목표인 “10ton(10000L) 해동 텀블러 개발”의 목표 용량을 수요기업의 요구에 따라 “6ton(6000L) 해동 텀블러 개발”로 변경하고 관리기관의 확인을 받음

2) 연구수행 과정과 내용: 주관기관 (주)협진

가. 이중 재킷 구조를 갖는 용량 6ton 텀블러 개발

- 내부 부피 6ton(6000L)급 텀블러 제작 완료
 - MOU 협약기업의 요청에 따라 내부 부피 6000L, 1회 최대 해동 용량 3000L가 가능한 부피의 텀블러 제작
 - 텀블러 내부 진공압력은 0.5bar까지 견딜 수 있도록 내벽 두께와 연결부 보강 및 기밀성 유지를 위한 용접공법을 적용하여 제작하였고 제1 공동연구기관의 협업연구로 텀블러 진공내압 0.5bar 이하에도 신뢰성에 문제가 없음을 확인



그림74. 6000L급 해동 텀블러

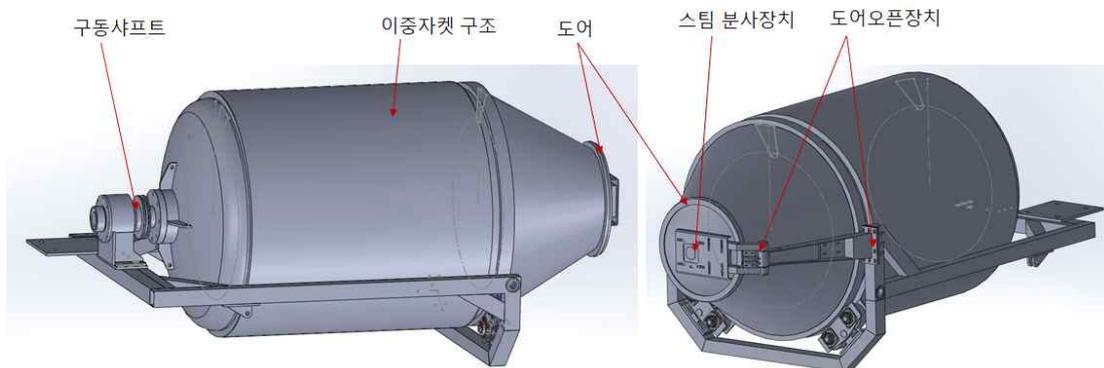


그림75. 6000L급 해동 텀블러 3D 모델 및 주요 파트

- 이중자켓 내부는 자유 대류현상에 의해 냉/온매가 순환하기 때문에 신뢰성 평가 결과 완전 균일한 온도제어는 어려운 것으로 판단되나, 강제유동 모듈을 적용해도 크게 개선되지 않고 구조의 단순성을 고려할 때 기존 자유대류에 의한 순환이 최적인 것으로 판단되었음
- 텀블러 내부온도 분위기 제어를 위해 냉매 또는 온매가 텀블러 외부에 유동하면서 텀블러 내부에서 흡열 또는 발열하기 위한 공간 확보용 이중자켓 구조 개발
 - 텀블러 외부에 하나의 외벽을 추가하여 텀블러가 내벽과 외벽의 이중벽 구조로 설계되어 해동 시에는 온매, 냉장보관 시에는 냉매가 순환되도록 공간을 확보



그림 76. 텀블러 냉/온매 순환을 위한 이중자켓 구조

- 제1 공동연구기관인 경기과학기술대학교와 협업연구를 통해 내벽 안쪽은 텀블러 내부로 냉동육이 해동되는 공간이면서 진공압 0.5bar 이하를 견딜 수 있도록 내벽의 두께 및 취약부분 강성 보완하였고 신뢰성 확인을 완료

- 해동텀블러의 입구 도어는 텀블러를 밀폐하면서 텀블러 내부 압력을 견딜 수 있기 위해 두께 및 취약부분에 강성을 보완하여 설계



그림 77. 도어 및 개폐 매커니즘

- 평판형 도어의 경우 해동 공정에서 텀블러 내부에 진공압이 인가되면 외부 대기압에 의해 변형 될 수 있기 때문에 텀블러 뒤쪽에 곡면벽 구조처럼 도어의 형상도 텀블러 내부로 약간 휘어진 곡면을 갖도록 해서 외부 대기압에 대한 응력방향 강성을 보완
- 도어는 텀블러 내부 압력에 대해 개폐가 자유로워야 하기 때문에 충분한 개폐력을 줄 수 있도록 일반적인 모터 구동방식에 의한 회전개폐가 아닌 실린더를 이용한 3-link-cylinder mechanism을 적용해서 회전개폐 되도록 개발

- 해동텀블러는 해동과정에서 지속적으로 냉동육을 순환시켜야 하기 때문에 이를 위한 임펠러 구조를 텀블러 내부에 설치
 - 해동 과정에서 텀블러 내부 온도 분위기 제어는 외부 이중자켓 내부에서 순환하는 냉

/온매에 의해서 만들어 지고 텀블러 내부에서는 자유투에 의한 열교환이기 때문에 텀블러 벽면의 온도가 텀블러 내부 온도와 다름

- 이러한 구조적 문제는 해동 과정에서 해동속도의 편차를 만들 수 있고 이에 따라 해동이 된 돈육과 해동이 되지 않은 돈육이 있어서 해동 품질을 저하시킴
- 이런 문제를 해결하기 위해서 해동 과정 중에 지속적으로 도육을 텀블러 상하, 전후로 강제순환 시켜서 균일한 해동이 될 수 있도록 하는 임펠러가 필요
- 임펠러는 제1 공동연구기관에서 입자거동모델을 이용한 최적화 과정을 통해 설계된 모델을 그대로 적용하여 개발함 (자세한 개발 과정은 제1 공동연구기관의 연구내용에 기술)



그림78. 텀블러 내부 임펠러 구조

나. 6ton 텀블러 지지 프레임 개발

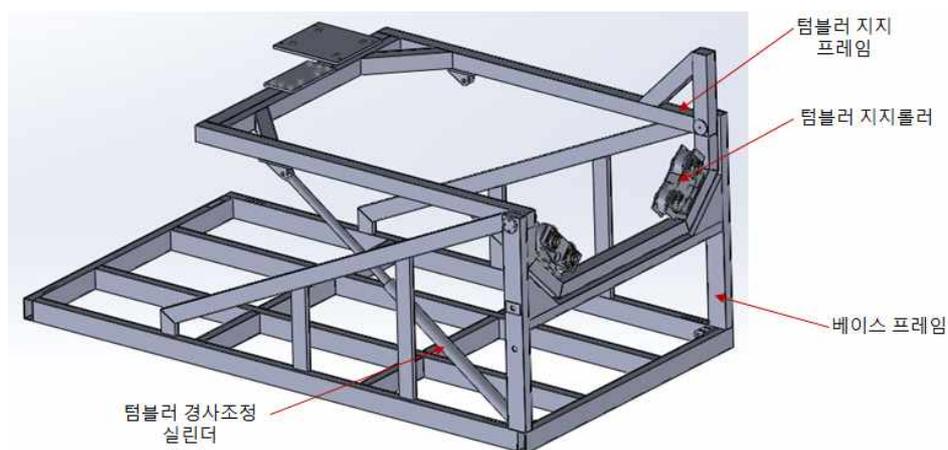


그림79. 텀블러 지지 프레임 3D 모델

- 프레임은 텀블러지지 프레임과 베이스 프레임으로 분류되고 두 프레임은 힌지핀과 공압실린더로 연결되면서 텀블러지지 프레임을 구동
- 해동텀블러는 전단부가 텀블러지지 프레임의 텀블러 지지롤러에 의해 지지되면서 해동이나 텀블링 공정 시 회전이 가능하고 후단에 구동축이 구동모터와 연결되어 회전

구동력을 제공받음

- 텀블러 구동 시 정적/동적 하중은 구동모터와 텀블러 지지롤러를 통해 텀블러 지지프레임에 전달됨
- 텀블러지지 프레임에 전달된 하중은 다시 힌지핀과 실린더에 의해 베이스 프레임으로 전달되고 베이스프레임의 4점에 있는 레그를 통해 지지되고 있음



그림80. 텀블러 지지 프레임 구조

- 텀블러지지 프레임 설계에 대한 신뢰성은 제1 공동연구기관의 연구결과를 통해 확보
 - 정적 상태에서 2ton 텀블러에 1ton의 냉동육이 바닥과 벽면 90°위치에 각각 채워진 상태에 대한 응력과 변형량 해석을 통해 신뢰성 파악

다. 6ton 드라이버 시스템 개발

- 텀블러 회전 자유도를 위한 모터 구동 시스템
 - 텀블러는 고하중 저속회전하기 때문에 구동축과 구동모터는 체인으로 연결되어 구동

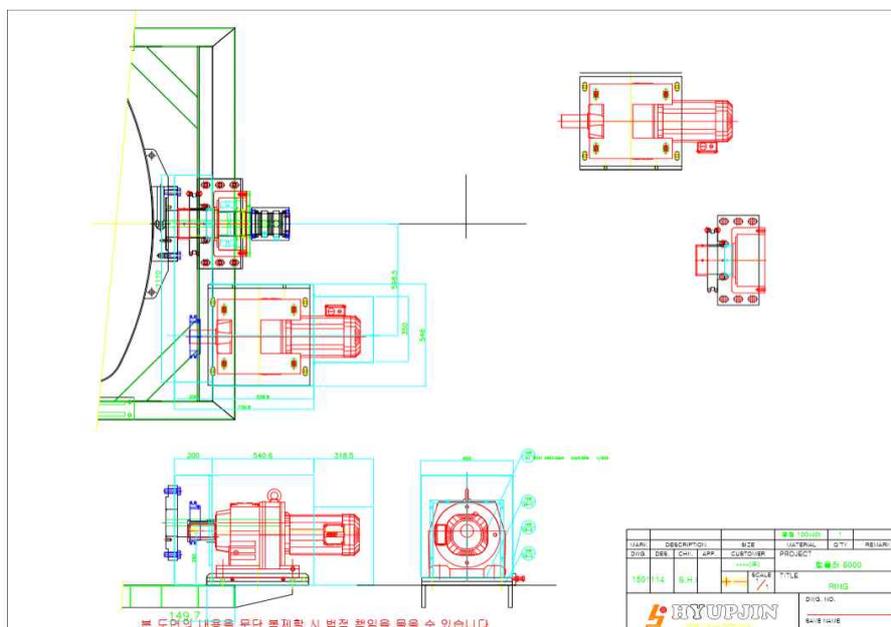


그림81. 텀블러 회전을 위한 모터 구동부 2D 모델(조립도)

- 구동모터는 텀블러 지지프레임에 고정되고 구동축 또한 텀블러 회전 시 변형이나 mis-alignment가 발생하기 때문에 자동조심 베어링에 의해 지지되고 하우징과 텀블러 지지프레임에 구속
- 구동축 중심으로는 텀블러 이중자켓으로 흐르는 냉/온매가 이동해야 하기 때문에 중공축을 사용하고 냉/온매 배관과 연결되는 커넥터가 구동축 끝에 조립되도록 설계
- 텀블러는 내부에 최대 1ton의 원료육을 탑재한 상태에서 1rpm 이하의 저속회전이 가능해야 하고 텀블러 회전 시 내부의 원료육이 움직일 것이므로 무게중심이 편심된 상태에서 회전할 가능성이 크기 때문에 이런 하중들을 고려하여 드라이버 시스템의 요소부품들을 선정



그림82. 텀블러 회전 드라이빙 시스템

○ 텀블러 경사도 조절을 위한 공압 실린더

- 텀블러는 냉동육 투입시, 해동육 배출시, 해동공정, 냉장공정, 청소공정 등의 다양한 공정에서 텀블러의 경사도를 조절해야 함
- 텀블러의 경사도 조절은 공압실린더에 의해 구동력을 공급하고 공압실린더-텀블러 지지 프레임-베이스프레임으로 연결되는 이중 3-bar sliding mechanism으로 설계
- 텀블러 경사도는 $+25^{\circ} \sim -24^{\circ}$

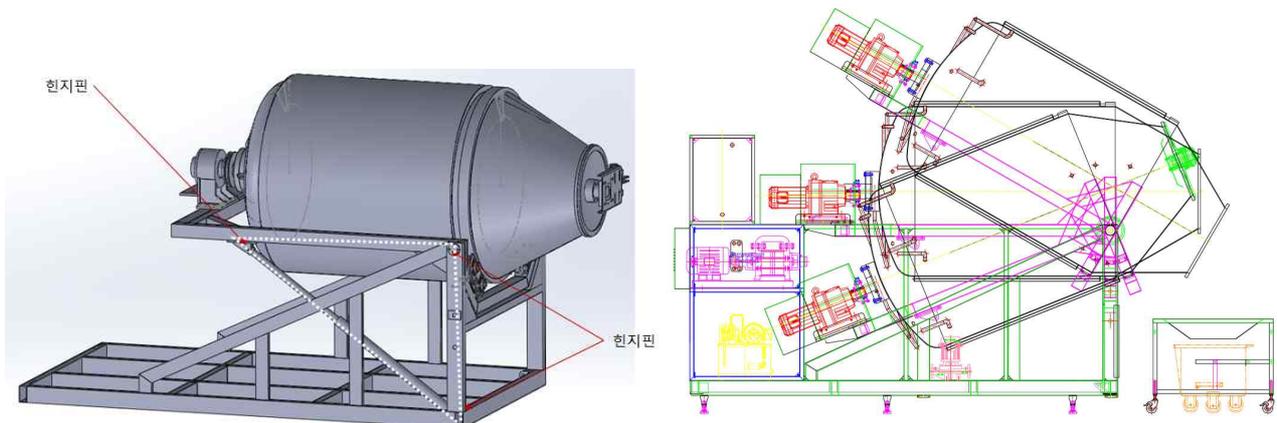


그림83. 텀블러 경사조정 드라이빙 시스템(3-bar sliding mechanism)

- 텀블러가 내부의 원료육을 교반할 때 발생하는 충격에 의해 회전하는 방향이 아닌 역방향으로 큰 부하가 가해질 경우, 모터에 문제가 발생할 가능성이 존재하므로 모터 구동 전류 및 텀블러 회전 속도를 지속적으로 감시하고 이상 시 브레이크에 의한 모터 보호 및 모니터링 시스템 개발

라. CIP 시스템 개발

- 1차년도에 개발된 자동세척을 위한 시나리오를 6000L급 장비에도 용량차이에 따른 일부 사항을 수정하여 적용

- 자동세척 공정은 총 3단계로 구성되며 1단계 세척제를 이용한 내부 오염물 제거, 2단계 헹굼, 3단계 2차 헹굼

- 1단계 : 세척제를 이용한 내부 오염물 제거

- ▶ 해동 텀블러 용량의 10% 75℃ 이상의 온수
- ▶ 해동 텀블러 용량의 0.1% 주방용 세척제 (계면활성제 세제)
- ▶ 고농도의 주방 세척제 희석액으로 텀블러 운전 각도를 조절하여 모든 텀블러 표면에 세척이 진행될 수 있도록 프로그램

단계	공정시간	정회전	휴지	역회전	RPM	각도	진공도
1단계	6 분	3 분	0 분	3 분	4 RPM	20	30
2단계	6 분	3 분	0 분	3 분	4 RPM	0	30
3단계	6 분	3 분	0 분	3 분	4 RPM	-20	30

- ▶ 1단계에서 텀블러 탱크 하부 세척
- ▶ 2단계에서 텀블러 탱크 중앙 세척
- ▶ 3단계에서 텀블러 탱크 입구 세척

- 2단계 : 1차 헹굼

- ▶ 해동 텀블러 용량의 10% 75℃이상의 온수

단계	공정시간	정회전	휴지	역회전	RPM	각도	진공도
1단계	6 분	3 분	0 분	3 분	4 RPM	20	30
2단계	6 분	3 분	0 분	3 분	4 RPM	0	30
3단계	6 분	3 분	0 분	3 분	4 RPM	-20	30

- 3단계 : 2차 헹굼

- ▶ 해동 텀블러 용량의 10% 75℃이상의 온수

단계	공정시간	정회전	휴지	역회전	RPM	각도	진공도
1단계	6 분	3 분	0 분	3 분	4 RPM	20	30
2단계	6 분	3 분	0 분	3 분	4 RPM	0	30
3단계	6 분	3 분	0 분	3 분	4 RPM	-20	30



그림84. 자동세척 시스템 컨트롤화면

마. 가열 및 냉각 모니터링 및 제어 시스템

- 텀블러의 이중자켓에 냉매와 온매를 공급 및 회수해서 텀블러 내부 온도분위기를 제어하기 위한 냉/온매 공급/회수 시스템 개발
 - 해당공정에 필요한 온매와 냉매 및 텀블링 공정에 필요한 냉매는 물을 사용하고, 물을 가열 및 냉각시킬 수 있는 열교환기와 순환시킬 수 있는 펌프 및 컨트롤러로 구성
 - 물을 냉각/가열 할 수 있는 열교환기와 급수/회수 펌프는 장비 후단에 설치되어 있고 급수/회수 및 온도 컨트롤러는 열교환기 아래에 배치



그림85. 텀블러 이중자켓에 연결된 냉/온매 공급 및 회수 라인

- 해당공정에 필요한 스팀은 작업장 내 별도 스팀 발생장치에서 공급받아서 장비에 설치된 밸브, 펌프, 배관을 통해 텀블러 내부로 공급
 - 외부에서 공급되는 스팀은 총괄밸브를 통과해서 게이지에서 유량과 압력을 제어
 - 해당텀블러는 회전하기 때문에 유연한 라인을 통해 텀블러와 연결

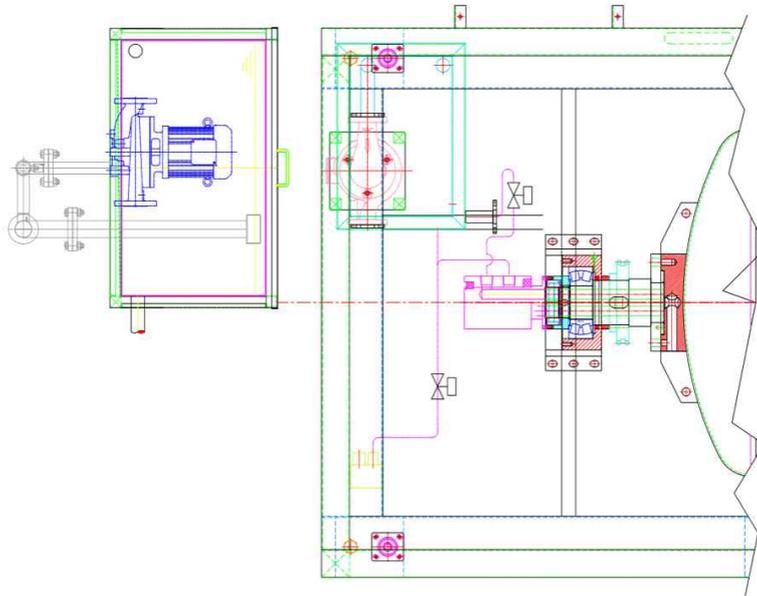


그림86. 냉/온매 배관 및 펌프 2D 모델(조립도)



온매 순환 펌프



스팀 순환 펌프

그림87. 냉/온매 순환 펌프와 열교환기 컨트롤러(온도 모니터링 및 제어 시스템)

바. 각종 상태 모니터링 및 제어 시스템

- 장비 전체에 대한 제어는 기본적으로 PLC 제어로 되어 있고 제어시스템을 설계해서 해당틀블러 우측면에 배치
 - 차단기와 틀블러 회전과 경사도, 도어 개폐를 위한 PLC 제어판, 틀블러 회전을 위한 메인 모터 인버터와 변압기가 상단에 위치
 - 유압모터, 냉/온매 순환펌프, 진공압 제어를 위한 진공펌프 제어 모듈과 각종 릴레이류가 중간에 위치
 - Input/Output 릴리이와 각종 단자가 하단에 위치하도록 배치
 - 다양한 제어 시스템을 하나의 공간에 배치해서 효율적인 AS가 가능하도록 함

- 틀블러 내부 냉동육/냉장육의 무게와 스팀분사량을 모니터링 하고 냉장 과정에서 정해진 양의 냉장육을 배출하기 위해서는 틀블러 내부에 있는 육의 무게를 실시간으로 측정해서 모니터링 할 수 있는 제어장치가 필요

- 텀블러 내부 무게를 측정하기 위해 해동텀블러 파이롯 장비 전체의 무게를 측정한 후 calibration으로 내부 무게를 환산
- 파이롯 장비는 지면과 4개의 레그 부분에 지지되고 있기 때문에 레그 부분에 로드셀을 설치해서 전체 하중을 측정하고 모니터링
- 4개의 로드셀에 가해지는 하중의 총합으로 파이롯 장비 하중을 측정하고, 이 하중을 원점으로 해서 추가되는 냉동육의 하중을 모니터에 표시하도록 설정
- 로드셀의 측정값을 통해 장비 설치 시 하중이 집중되지 않도록 바닥 경사 등을 설정하고 운영중에 집중하중을 지속적으로 모니터링

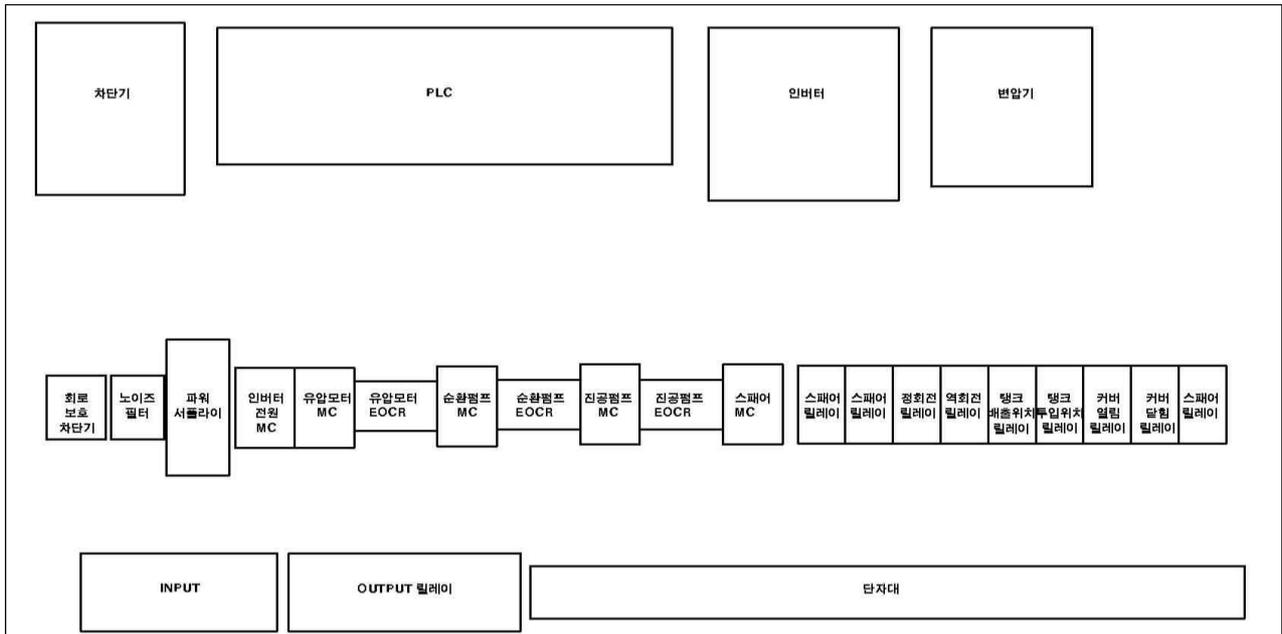


그림88. 제어 시스템 설계도

3) 연구수행 과정과 내용: 제1 공동연구기관 경기과학기술대학교

가. 해동텀블러 본장비 신뢰성 확보

- 6ton급 본 장비의 설계결과를 기반으로 강성에 대한 신뢰성 평가를 실시
 - 본 장비 full model에 대해 신뢰성 평가를 실시하고 문제가 발생하는 부분이 있는 경우 세부 부품에 대한 신뢰성 평가를 실시
 - 신뢰성 평가는 파이롯 장비에 3ton의 냉동육(물로 모델링)이 채워진 상태에서 전체 하중에 대하여 정적 응력과 변형량을 시뮬레이션을 통해 확인
 - 텀블러는 $\pm 24.56^\circ$ 기울어 질 수 있기 때문에 텀블러 경사각에 따라서도 응력과 변형량을 각각 측정하여 강성이 부족한 부분을 보완해서 설계 변경

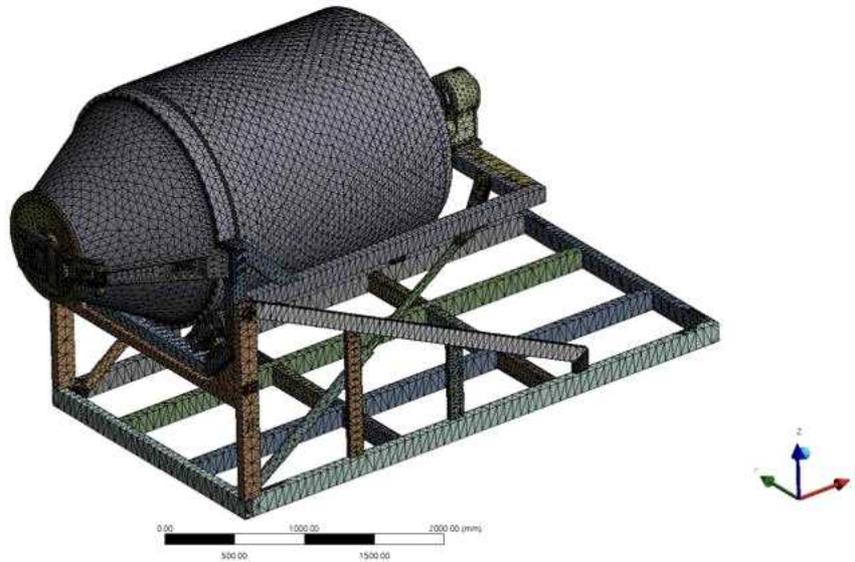
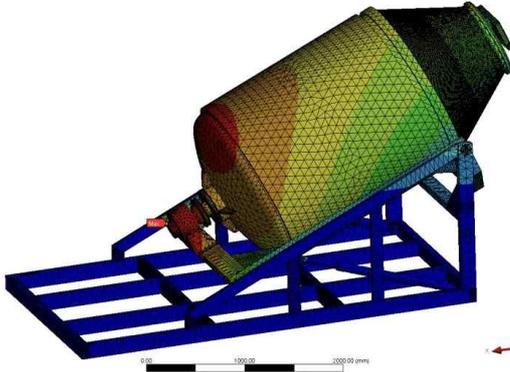


그림89. 파이롯 장비 신뢰성 평가를 위한 FE 모델

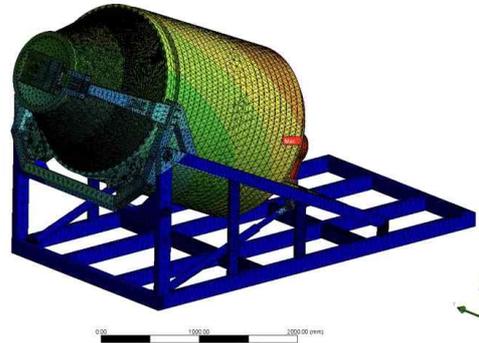
- 신뢰성 평가를 위한 FE 모델 정보는 다음과 같음

항목		내용
Material	Material type	SUS304
	Young' s Modulus	210GPa
	Poisson ratio	0.33
FE model	Model type	3D solid model
	Simulation code	ANSYS
	Simulation type	elastic-static
	Number of node	695,136
	Number of element	348,557
	Type of element	tetrahedron

C: 24.56 vs
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 2022-11-13 08:22:26

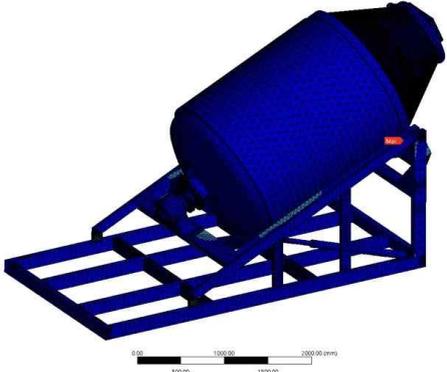


C: 24.56 vs
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 2022-11-13 08:22:26

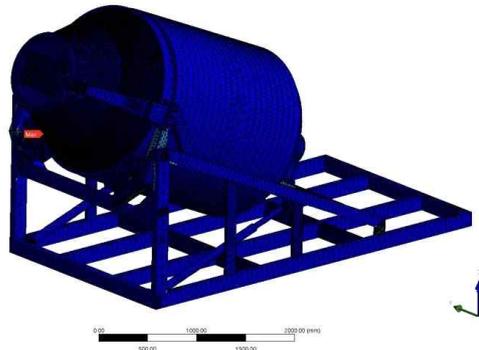


[최대 변형량 2.9mm]

C: 24.56 vs
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1
 2022-11-13 08:22:27

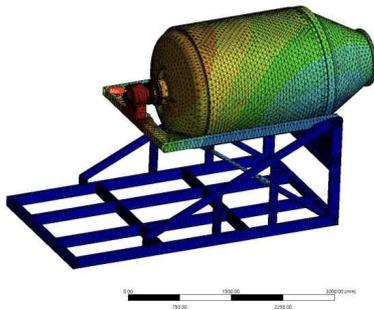


C: 24.56 vs
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1
 2022-11-13 08:22:27

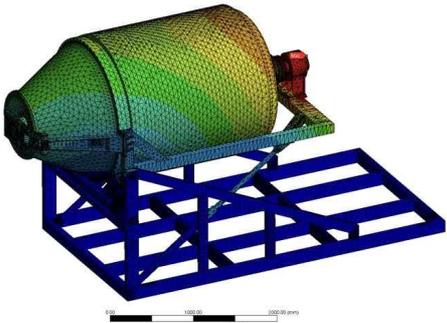


[최대 응력 220MPa]
 그림90. 텀블러 각도 -24.56°

A: 9.96k Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 2022-11-13 08:12:27



A: 9.96k Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 2022-11-13 08:12:27

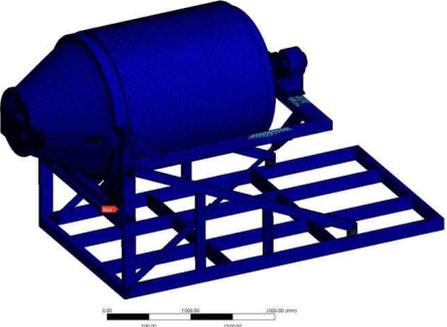


[최대 변형량 1.99mm]

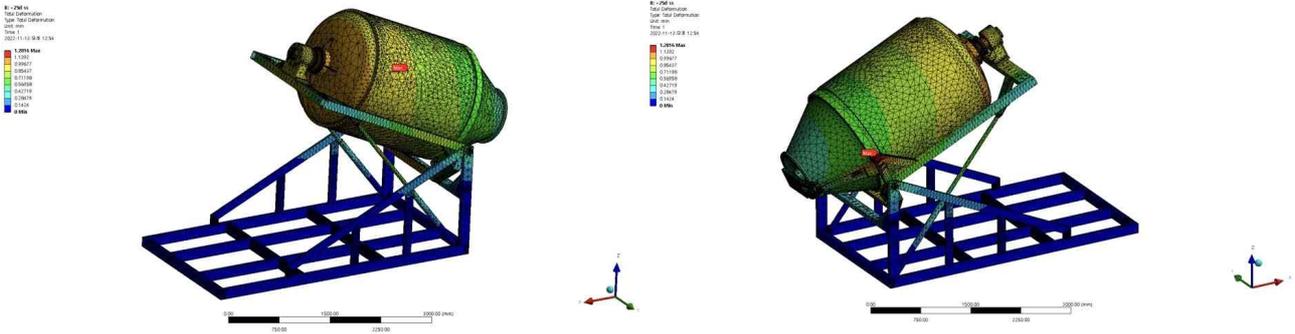
A: 9.96k Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1
 2022-11-13 08:12:28



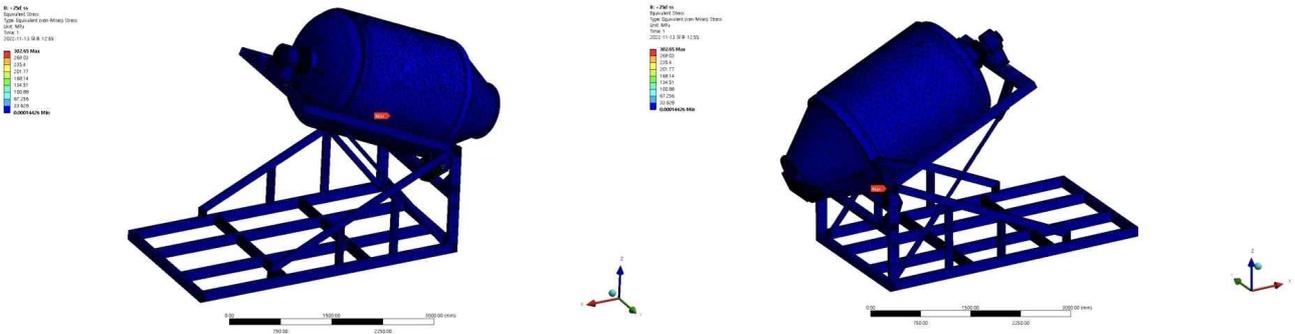
A: 9.96k Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1
 2022-11-13 08:12:28



[최대 응력 169MPa]
 그림91. 텀블러 각도 0°



[최대 변형량 1.28mm]



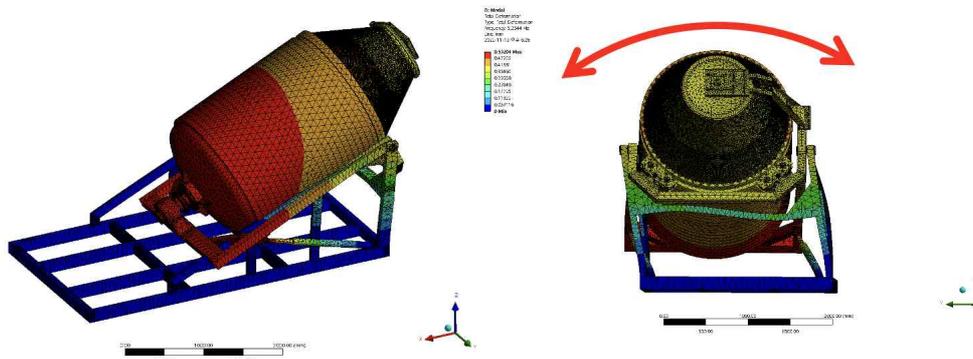
[최대 응력 302MPa]

그림92. 텀블러 각도 24.56°

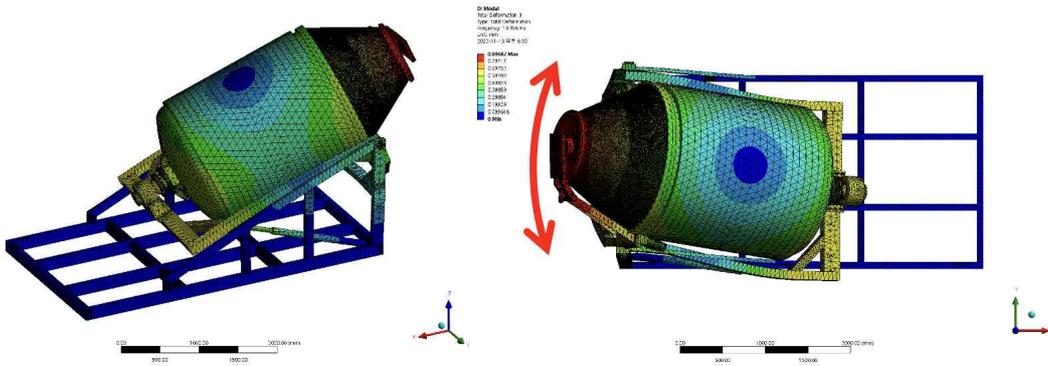
- 정적 하중에 대한 시뮬레이션 결과 텀블러의 경사도에 따라 변형량은 크가 달라지지 않으나 최대응력의 편차가 있는 것으로 확인되었고 주요 취약구조는 텀블러 지지프레임
 - 텀블러지지 프레임의 후단에 텀블러 구동축을 지지하는 자동조심베어링 하우징의 하중이 연결된 프레임 부분의 변형량이 텀블러 경사 각도에 따라 최대 2.9mm 변형
 - 이 부분의 응력도 220MPa 정도로 다소 높은 것으로 시뮬레이션 결과가 도출되었기 때문에 프레임의 강성을 보완하도록 설계를 변경
 - 텀블러지지 프레임 후단부를 단인프레임에서 이중프레임으로 설계를 변경해서 변형이 작아질 수 있는 방향으로 강성 보완
 - 구동축을 지지하는 베어링은 자동조심 롤러 베어링을 사용하기 때문에 이정도 수준의 구동축, 하우징의 변형은 수용이 가능한 것으로 판단됨
- 텀블러를 지지하는 하중지지프레임 전단의 롤러는 정적 하중에 대해서는 문제가 없는 것으로 판단되나, 깊은 홈 볼 베어링을 사용하기 때문에 하중에 따른 수명 예측이 필요
- 정적 하중과 텀블러 경사에 따른 신뢰성 평가결과를 기반으로 일부분의 강성을 보완하여 재설계가 되도록 주관기관과 결과와 대응방안을 공유하였음
- 본 장비의 고유진동수를 파악해서 장비 구동상황에 고려하도록 함
 - 진동모드 시뮬레이션을 위한 modal analysis는 정적 시뮬레이션에 사용한 3D 모델을 사용하되 정적 시뮬레이션에 비해 node 나 element가 많이 필요하기 않기 때문에 재료 물성치는 동일하지만 FE 모델은 약간 다름

항목		내용
FE model	Model type	3D solid model
	Simulation code	ANSYS
	Simulation type	elastic-static
	Number of node	688,575
	Number of element	355,457
	Type of element	tetrahedron

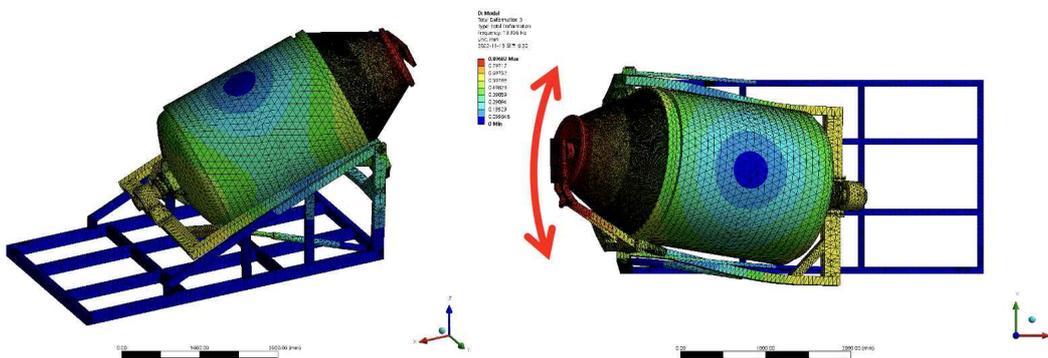
- Modal analysis는 주요 해동공정이 진행되는 때의 텀블러 각도인 -24.56° 에 대해서만 실시



a) 1st mode : 5.25Hz



b) 2nd mode : 9.44Hz

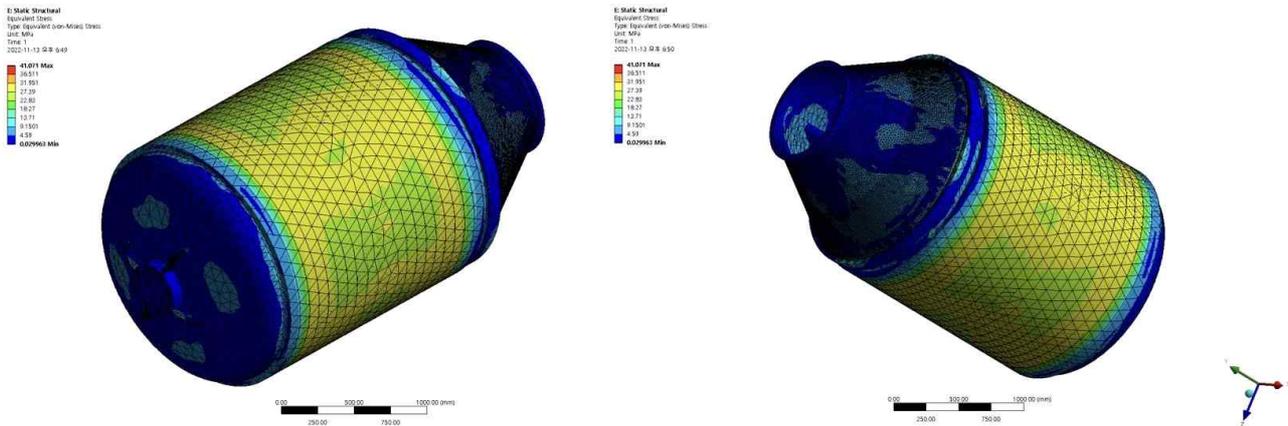


c) 3rd mode : 13.94Hz

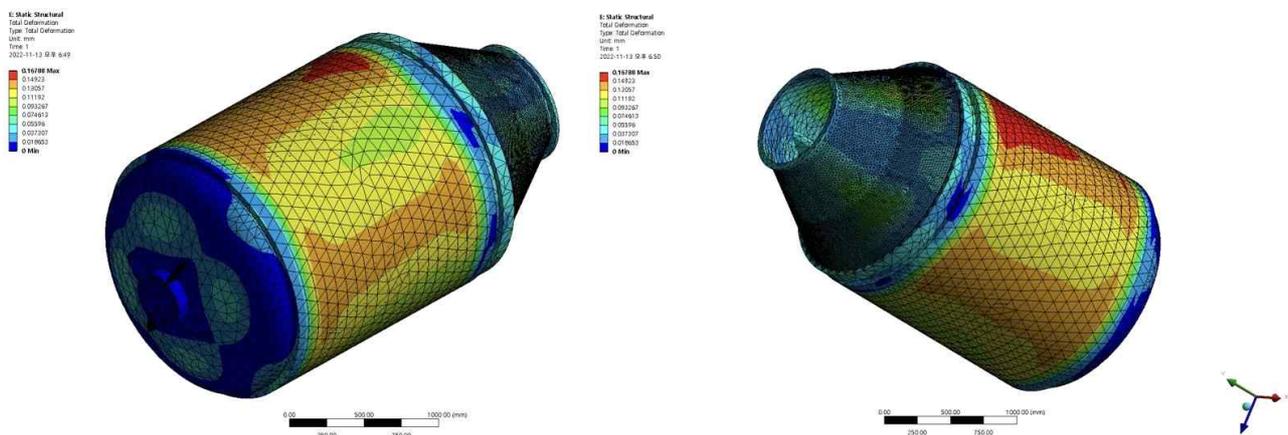
그림93. 텀블러 경사각 -24.56° 에 대한 modal analysis 결과

- 1차 고유진동수는 5.25Hz, 2차 고유진동수는 9.44Hz로 이는 텀블러 회전속도가 1rad/s 이하이기 때문에 문제가 되지 않을 수치고, 텀블러 기울기 조절속도 설정 시에만 1차 고유진동수 이하로 구동되도록 설정
- 텀블러는 외부 대기압 1bar에 대해 텀블러 내부는 최대 0.5bar까지 견뎌야 하기 때문에 텀블러에 진공압이 발생하는 경우에 대해 신뢰성을 검증
 - 경계조건은 텀블러 내부 압력은 0.6bar, 텀블러 외부는 1.013bar

항목		내용
Material	Material type	SUS304
	Young' s Modulus	210GPa
	Poisson ratio	0.33
FE model	Model type	3D solid model
	Simulation code	ANSYS
	Simulation type	elastic-static
	Number of node	148,500
	Number of element	75,745
Type of element		tetrahedron & hexahedron



a) 응력 : max. 41MPa



b) 변형량 : max. 0.17mm

그림94. 진공압에 대한 텀블러의 신뢰성 평가 결과

- 텀블러 내부에 진공압이 0.5bar인 경우에 대해 최대 응력과 최대 변형량이 각각 41MPa, 0.17mm로 무시해되 될 정도 수준

나. 6ton 텀블러 열전달 신뢰성 확보

- 텀블러의 이중자켓에 냉/온매가 순환할 때 온도분포가 균일해야 텀블러내부에서 균일해 동이 이루어 질 수 있기 때문에 이중자켓 내에서 냉/온매 순환과 텀블러 벽면의 온도분포를 시뮬레이션을 통해 분석
 - 냉/온매 유동과 온도분포를 파악하기 위해 이중자켓 내부의 공간을 FE 모델로 제작
 - 냉/온매는 물을 사용하고 일반적인 물의 물성치를 라이브러리에서 입력
 - CFD 시뮬레이션을 위한 FE 모델의 정보는 다음과 같음
 - CFD 시뮬레이션의 경계조건에서 외부온도는 상온조건, 텀블러는 0.5rad/로 회전하고 냉수는 상단부에 직경 27.2mm 원형구멍으로 3.44m/s의 속도록 투입되어 하단부에 직경 27.2mm 원형 구멍으로 회수됨

항목	내용
Material type	Water
Model type	3D solid model
Simulation code	ANSYS
Simulation type	CFD
Number of node	10,986
Number of element	33,877
Type of element	tetrahedron

- 온수는 입구에서 온도는 40℃로 설정하였을 때, 그림95에서 보는 바와 같이 오른쪽 상단에서 투입된 온수는 텀블러가 회전함에 따라 이중자켓을 순환하여 왼쪽 하단의 출구로 빠져나가는 것을 확인

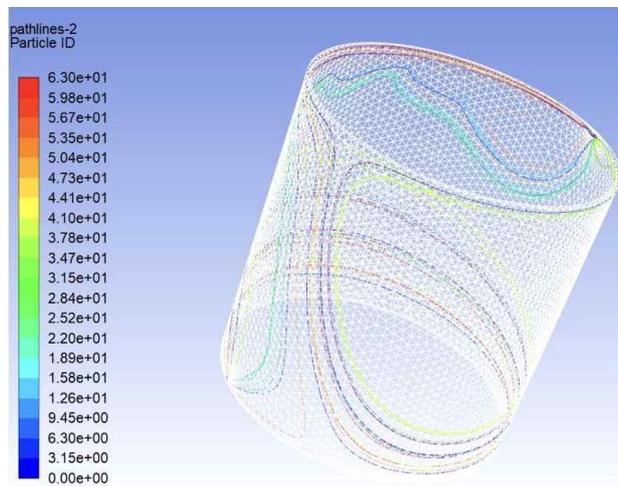
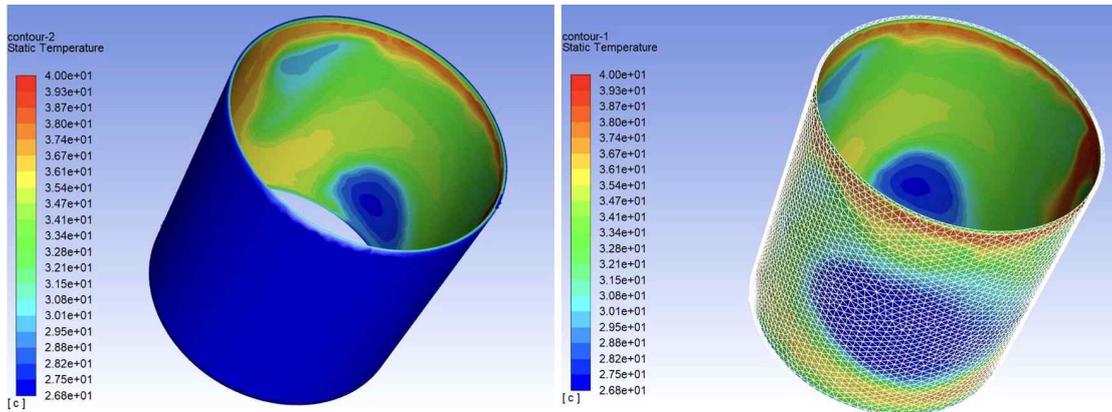


그림95. 이중자켓 내부의 온수 순환 시뮬레이션 결과 : stream line

- 입구로 투입된 온수는 양쪽으로 퍼지면서 텀블러의 회전에 따라 이중자켓 주변을 회전하면서 출구 쪽으로 이동하여 출수
- 텀블러가 회전하지 않는 경우 온수는 회전순환하지 않고 바로 출구로 최단거리 이동



a) 텀블러 벽면 부분 온도 분포

b) 이중자켓 전체 온도 분포

그림96. 이중자켓 내부의 온수 순환 시뮬레이션 결과 : 온도 분포

- 이중자켓의 온수 순환에 따라 이중자켓 내부의 온도 분포는 그림96과 같이 분석
 - 온수가 들어가는 오른쪽 상단의 온도가 40℃로 가장 높고 벽면을 회전하면서 온도가 점점 낮아지고 있음
 - 텀블러 벽면의 온도분포가 결국 텀블러 내부에 열전달을 하기 때문에 a)의 시뮬레이션 결과를 보면 이중자켓의 온수 순환에 의해 텀블러 벽면의 온도는 약 32℃ ~ 35℃로 균일하게 분포하고 있음을 확인할 수 있음
 - b)의 이중자켓 전체로 보면, 이중자켓 바깥쪽 온도는 27℃ 정도로 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있음
- 이중자켓의 온수 순환에 따라 텀블러 벽면의 온도분포를 확인하기 위해 추가적인 시뮬레이션을 실시
 - 텀블러 외부에 그림96-a)와 같은 온도분포가 형성될 때 텀블러의 온도분포가 어떻게 변화하는 지를 시뮬레이션을 통해 확인
 - 시뮬레이션을 위한 텀블러의 FE 모델 정보는 다음과 같음

항목	내용
Material type	SUS304
Model type	3D solid model
Simulation code	ANSYS
Simulation type	heat transfer
Number of node	140,702
Number of element	70,952
Type of element	tetrahedron

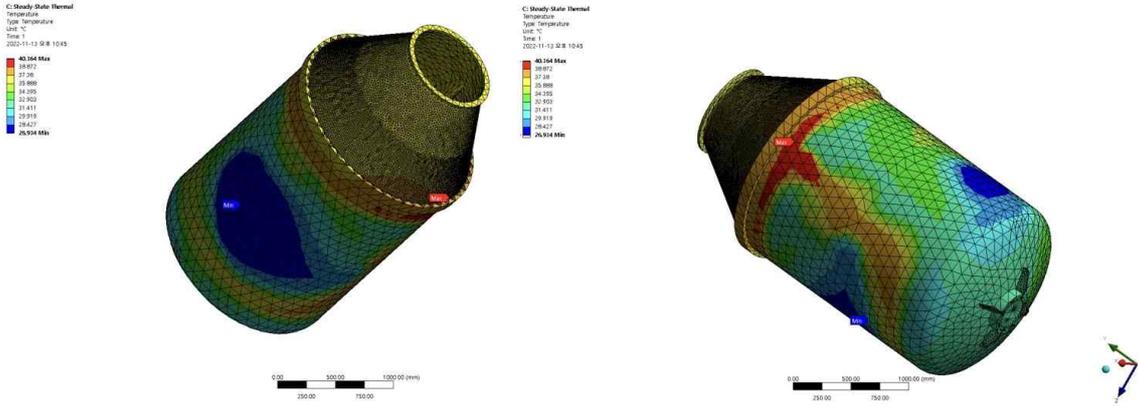


그림97. 텀블러 벽면 온도분포 시뮬레이션 결과

- 텀블러 벽면 온도분포 시뮬레이션 결과 34°C ~ 37°C 정도로 온수에 의한 열전달로 균일한 온도 분포가 되고 있음이 확인됨
 - 이중자켓 벽면의 온수에 대한 온도분포보다 약간 평균온도가 높은 것은 온수의 열이 텀블러로 이동하였기 때문임
 - 텀블러 상단보다는 하단이 약간 온도가 더 높은 것으로 확인되며, 조금 더 균일한 온도분포를 위해서는 온수가 출구로 너무 빠르게 이동하지 않도록 이중자켓 내에 약간의 수로를 형성시켜 주는 방법으로 해결이 가능

다. 6ton 텀블러 임펠러 설계최적화

- 해동 공정에서 냉동육은 텀블러 벽면과 내부 스팀으로부터 해동을 위한 열을 공급받기 때문에 해동과정 중에 지속적으로 냉동육의 위치 순환이 발생해야 균일한 해동이 가능
 - 이중자켓에 온수가 유동하면서 벽면으로부터 열을 공급받기 때문에 벽면 근처의 냉동육은 빨리 해동될 수 있지만 벽에서 먼 쪽에 위치한 냉동육은 열을 적게 받음
 - 또한 이중자켓에서도 열 순환이 원활하지 않으면 텀블러 전단부와 후단부에 있는 냉동육에 열전달량의 차이가 발생할 수 있음
 - 스팀에서 발생하는 열은 기본적으로 위쪽에 있는 냉동육에 주로 전달되기 때문에 깊은 곳에 있는 냉동육은 해동을 위한 열공급이 원활하지 않을 수 있음
 - 이러한 열전달량의 불균형은 해동 속도의 차이를 발생시키고 균일한 해동품질을 저해하는 요인이 될 수 있음
- 냉동육이 위치순환을 위해 텀블러 내부에 임펠러 구조가 추가되어야 하고 위치순환의 극대화를 위해 임펠러 설계 최적화에 대한 연구가 필요
- 임펠러는 1차년도 연구에서도 최적화를 진행했기 때문에 2차년도에는 1차년도 2ton급에서 6ton급으로 사이즈가 커진 상태에서 각 설계변수들의 기여도를 파악하고 최적화를 다시 진행
 - 기존 임펠러 구조에 대하여 설계변수를 임펠러의 개수, 임펠러 폭, 임펠러 높이, 임펠러 기울기, 임펠러 경사각의 5개로 설정할 수 있음
 - 1차년도와 마찬가지로 임펠러 형상 최적화 연구는 텀블러 내에서 임펠러 형상에 따라 냉동육이 순환되는 정도를 시뮬레이션을 통해 확인하고, 설계변수에 따라 목적함수의

값의 변동을 회귀모델로 개발하여 반응표면법을 이용해서 최종 최적설계값을 도출

- 임펠러 형상 최적화 연구를 위한 시뮬레이션은 강체 운동역학모델을 이용해서 수행
 - 동역학 시뮬레이션은 전용 프로그램인 'Rocky Dem'을 사용해서 수행
 - 임펠러가 포함된 텀블러에 블록 형태의 냉동육을 투입하고 회전하면서 냉동육의 순환을 관찰
 - 냉동육의 순환 정도를 파악하기 위해 층 별로 블록의 색을 다르게 하고 블록의 크기는 (30x20x20)cm로 설정
 - 블록은 변형이 없고 냉동 상태이기 때문에 블록 간에 마찰도 없다고 가정

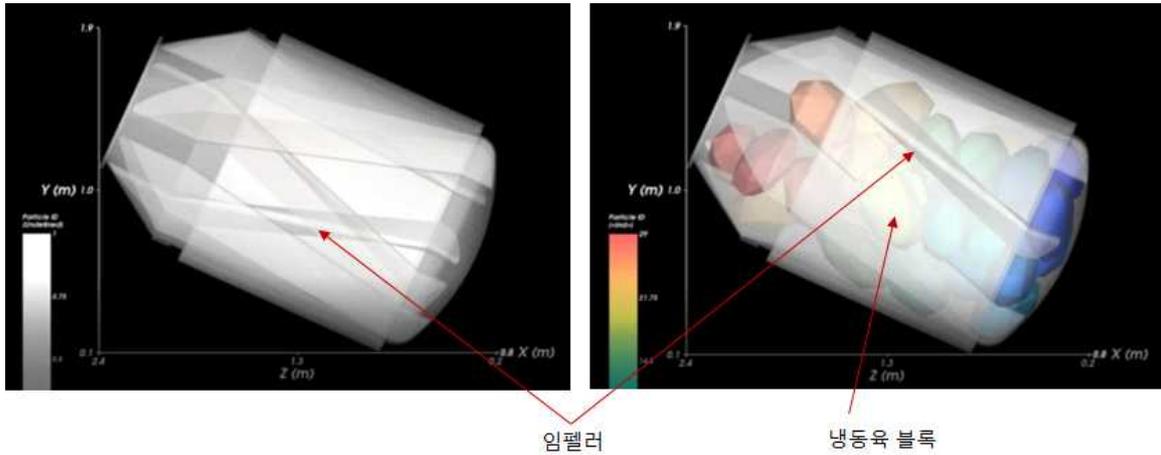


그림98. 냉동육 순환을 위한 임펠러 구조

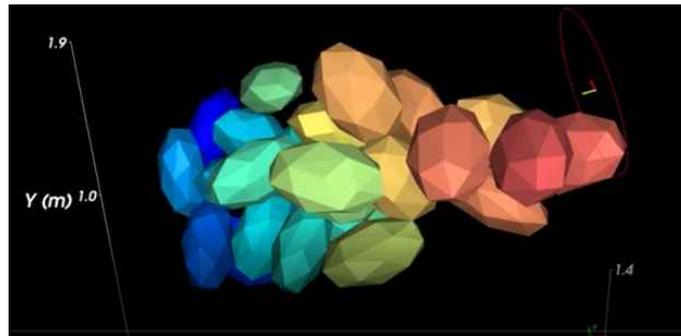
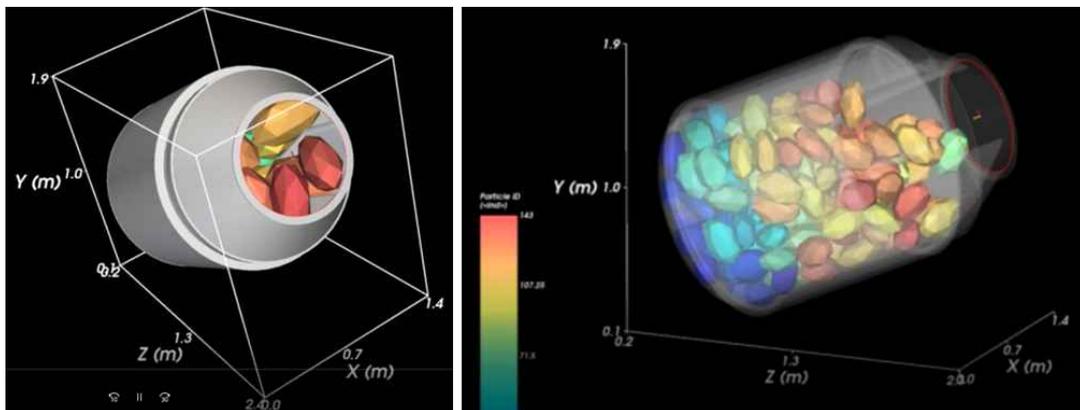


그림99. 냉동육 순환 시뮬레이션에서의 냉동육 동역학 모델(30x20x20)



a) 냉동육 순환(외부)

b) 순환 중 냉동육(투영)

그림100. 임펠러에 의한 냉동육 순환 시뮬레이션

- 임펠러 형상 최적화는 결국 냉동유가 빠르게 순환하여 행동공정 중에 최대한 많은 횟수를 순환하면서 벽면과의 접촉, 스팀에 노출이 균일하도록 하는 것
 - 임펠러에 의한 순환은 냉동유의 자중과 텀블러의 회전에 의해 거동되기 때문에 텀블러의 회전수를 임펠러에 의한 냉동유의 순환속도로 환산할 수 있음
 - 임펠러 형상 최적화 연구에서 목적함수를 다음과 같이 설정할 수 있고 목적함수가 낮을수록 순환이 잘 되는 것으로 판단

$$F_{object} = N_{N \times \text{revolve until red block moves}}$$

- 1차년도 2ton급 모델의 임펠러 구조를 기반으로 설계변수 설정
 - 경사각, 임펠러 개수, 기울임, 임펠러 폭, 임펠러 높이의 총 5개로 설정
 - 설계변수와 설계변수의 민감도를 측정 분석하기 위한 회귀모델의 DOE(design of experiments)는 아래 표와 같음
 - 1차년도 2ton급에 비해 각 변수의 수준차이를 더 크게 해서 더 넓은 범위에서 변수들의 기여도와 최저값을 찾으려 함

parameters	Low level	High level
angle of slope, θ (deg)	5	25
number of impeller, N (ea)	3	5
angle of inclination, ϕ (deg)	5	35
width of impeller, b (mm)	100	300
height of impeller, h (mm)	300	700

- 민감도 분석을 위해 실험계획법을 설계하고 변수조합에 따라 시뮬레이션을 실시해서 목적함수 값을 도출
 - 총 5개의 변수에 대해 “half 2^{k-1} factorial”로 DOE를 설계
 - 설계된 변수조합과 시뮬레이션 결과에 따른 목적함수 값은 다음 표와 같음

RUN	angle of slope, θ (deg)	number of impeller, N (ea)	angle of inclination, ϕ (deg)	width of impeller, b (mm)	height of impeller, h (mm)	F_{object}
1	5	3	5	100	700	37
2	25	3	5	100	300	21
3	5	5	5	100	300	25
4	25	5	5	100	700	19
5	5	3	35	100	300	22
6	25	3	35	100	700	26
7	5	5	35	100	700	33
8	25	5	35	100	300	21
9	5	3	5	300	300	19
10	25	3	5	300	700	24
11	5	5	5	300	700	25
12	25	5	5	300	300	16
13	5	3	35	300	700	29
14	25	3	35	300	300	21
15	5	5	35	300	300	22
16	25	5	35	300	700	31

- 5개의 변수가 목적함수에 기여하는 민감도 분석 결과가 그림 101에 도시
 - 그림 101로부터 각 변수들의 목적함수에 대한 기여도 정도를 볼 수 있음
 - 임펠러 날개의 경사도와 임펠러 날개의 높이가 가장 큰 기여도를 나타고 임펠러 날개의 개수는 기여도가 매우 미비한 것으로 분석됨

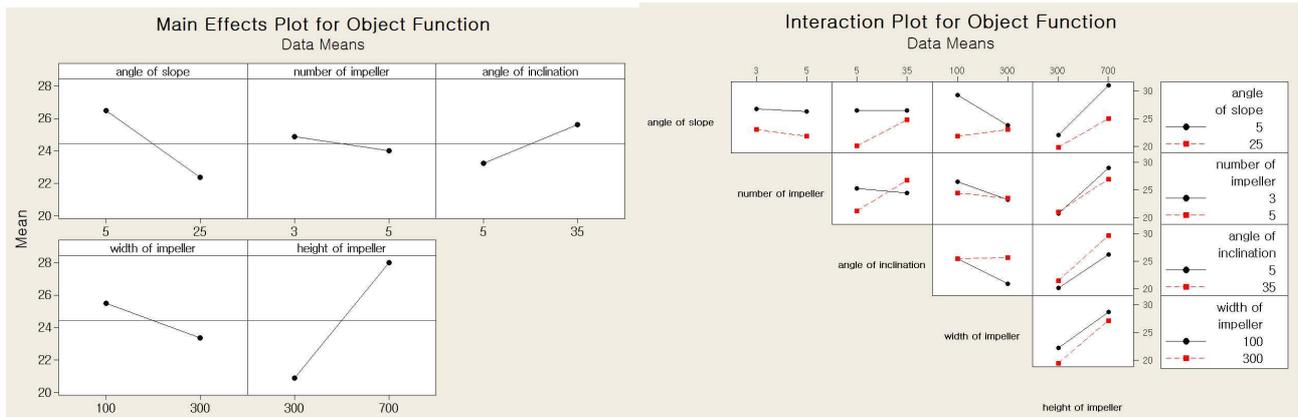


그림101. 실험계획법에 따른 각 변수의 민감도 분석

- 임펠러 날개의 기울기나 임펠러 두께도 기도여가 있지만 비율을 고려할 때는 임펠러 날개의 경사도와 높이에 비해서는 낮은 수준임
- 교호작용 분석에서는 5개의 변수 중에서 심각한 교호작용을 보이는 변수조합은 거의 없고, 임펠러 기울기와 날개 두께가 약한 교호작용을 보이고 있으나 무시할 수 있음
- 5개 변수의 민감도 분석 결과 angle of slope, θ (deg), height of impeller, h (mm)가 가장 민감도가 높은 변수이기 때문에 이 두 변수에 대해서 최적화 연구를 진행
 - 임펠러 날개의 개수는 큰 기여도가 없기 때문에 제작이 편리하도록 최소값인 3개로 설계값을 확정
 - 임펠러 날개의 기울기 각도는 목적함수가 최저값이 되는 고수준값인 35° 로 설계값을 설정함
 - 임펠러의 두께 또한 목적함수가 낮은 값이 되는 고수준 값인 100mm로 설정

parameters	Low level	High level
angle of slope, θ (deg)	5	25
height of impeller, h (mm)	300	700

※ number of impeller $N = 3$ ea, angle of inclination $\phi = 35^\circ$, width of impeller $b = 100$ mm

- 최종 선정된 두 변수에 대해 1차 반응표면 모델을 도출하기 위해 새로운 doe를 설정
 - “ 2^k full factorial”로 DOE를 설정
 - 일반적으로 시뮬레이션 기반의 doe에서는 중앙점 측정을 하지 않으나, 본시험은 목적 함수 측정에 시험자의 주관성이 개입될 수 있기 때문에 곡면성, 반복성을 확인하기 위해 중앙점을 5회 반복시험

RUN	angle of slope, θ (deg)	height of impeller, h (mm)	F_{object}
1	5	300	28
2	25	300	21
3	5	700	35
4	25	700	31
5	15	500	28
6	15	500	26
7	15	500	20
8	15	500	25
9	15	450	28

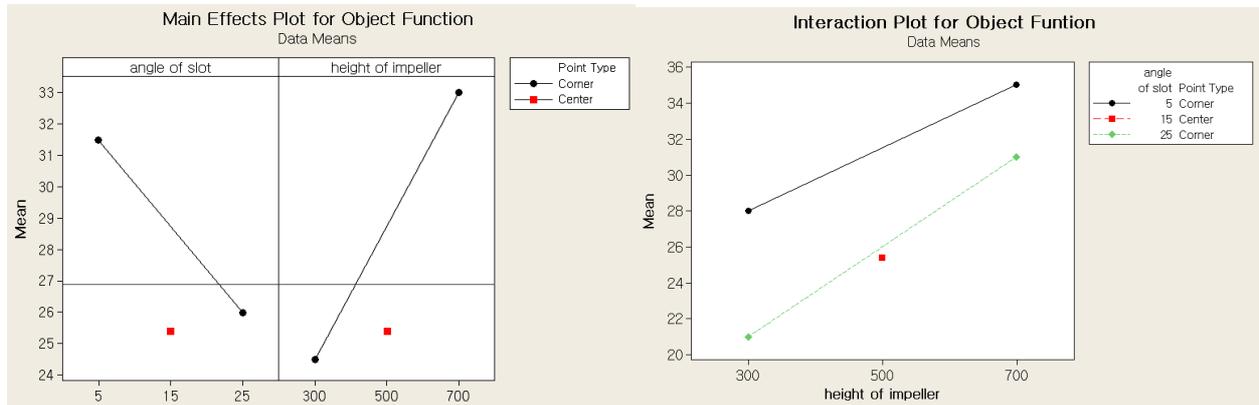


그림102. 실험계획법에 따른 각 변수의 민감도 분석

- 그림 102는 두 변수의 목적함수에 대한 민감도와 교호작용을 분석한 것이고 이에 따른 1차 반응표면 모델이 개발 됨
 - 두 변수 중에는 임펠러 높이의 민감도가 임펠러 경사각보다 더 큰 기여도를 보이는 것을 확인할 수 있고 두 변수 간에는 교호작용이 발생하지 않는 것으로 분석됨
 - 따라서 DOE를 통해 개발된 1차 반응표면 모델은 교호작용 항을 제거하고 다음과 같이 표현할 수 있음

$$F_{object} = 22.25 - 0.275\theta + 0.02125h$$

- 1차 반응표면 모델에 대한 ANOVA table은 아래 표와 같음

Estimated Effects and Coefficients for F (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		28.750	1.507	19.07	0.000	
angle of slot	-5.500	-2.750	1.507	-1.82	0.128	
height of impeller	8.500	4.250	1.507	2.82	0.037	
Ct Pt		-3.350	2.022	-1.66	0.159	
S = 3.01496 PRESS = 103.5						
R-Sq = 73.71% R-Sq(pred) = 40.13% R-Sq(adj) = 57.94%						
Analysis of Variance for F (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P

Main Effects	2	102.500	102.500	51.250	5.64	0.052
angle of slot	1	30.250	30.250	30.250	3.33	0.128
height of impeller	1	72.250	72.250	72.250	7.95	0.037
Curvature	1	24.939	24.939	24.939	2.74	0.159
Residual Error	5	45.450	45.450	9.090		
Lack of Fit	1	2.250	2.250	2.250	0.21	0.672
Pure Error	4	43.200	43.200	10.800		
Total	8	172.889				

Unusual Observations for F

Obs	StdOrder	F	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
7	7	20.0000	25.4000	1.3483	-5.4000	-2.00R

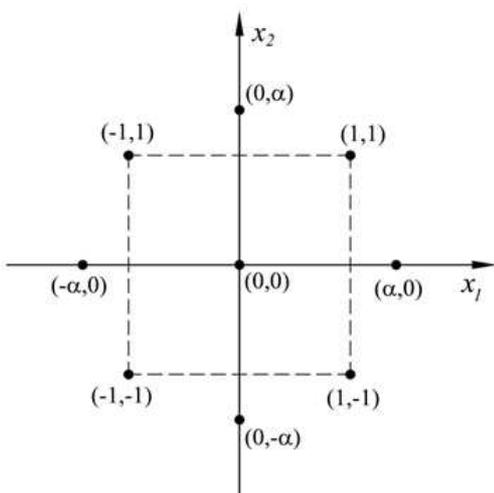
R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for F using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	22.2500
angle of slot	-0.275000
height of impeller	0.0212500
Ct Pt	-3.35000

- 1차 반응표면 모델의 통계분석 결과 적합성 검증함수 R^2 값이 74%로 적합성을 판단하기에는 다소 낮은 값으로 볼 수 있음
- 이는 두 변수의 상하 수준 사이에 곡면성이 존재할 수 있는 확률이 높음을 의미하는데, 현재 두 변수의 상하 수준 차이가 크기 때문에 당연한 결과일 수 있음

- 2차 반응표면 모델은 중심합성계획법으로 실험을 재설계 해서 DOE 실시
 - 중심합성계획법에 따라 4개의 추가점을 DOE에 추가 하고 시뮬레이션을 실시 및 목적함수 값을 도출하였음
 - 중심합성법에서 $\alpha = \sqrt{2}$ 로 설정



RUN	angle of slope, θ (deg)	height of impeller, h (mm)	F_{object}
1	5	300	28
2	25	300	21
3	5	700	35
4	25	700	31
5	15	500	28
6	15	500	26
7	15	500	20
8	15	500	25
9	15	500	28
10	0.9	500	31
11	29	500	20
12	15	217	16
13	15	783	29

- 중심합성계획법으로 설계된 DOE에 따라 2차 반응표면 모델을 개발
 - DOE에 따라 도출된 목적함수로부터 2차 반응표면모델을 다음과 같이 표현

$$F_{object} = 30.997 - 1.247\theta - 0.006634h_0 + 0.02425\theta^2 + 0.000023h^2 + 0.00038\theta \cdot h$$

- 코드화 되지 않은 실제 변수로 모델을 표현하였고 2차 항과 교호작용 항이 모두 표현 되도록 도출됨
- 2차 반응표면모델에 대한 ANOVA Table은 다음 표와 같음
- ANOVA Table로부터 적합성 검증함수 R^2 는 86%로 함수의 적합성이 있다고 판단할 수 있는 정도의 수준
- 개발된 2차 반응표면모델을 활용해서 정상점을 찾고 설계변수의 최적화 수행

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for F

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	23.0250	1.5791	14.581	0.000
Block	2.3750	0.9793	2.425	0.051
angle of slot	-3.3195	0.9793	-3.390	0.015
height of impeller	4.4231	0.9793	4.517	0.004
angle of slot*angle of slot	2.4250	1.1587	2.093	0.081
height of impeller*	0.9250	1.1587	0.798	0.455
height of impeller				
angle of slot*height of impeller	0.7500	1.3850	0.542	0.608

S = 2.76992 PRESS = 112.856

R-Sq = 86.85% R-Sq(pred) = 67.76% R-Sq(adj) = 73.69%

Analysis of Variance for F

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Blocks	1	23.111	45.125	45.125	5.88
Regression	5	280.854	280.854	56.171	7.32
Linear	2	244.665	244.665	122.333	15.94
angle of slot	1	88.155	88.155	88.155	11.49
height of impeller	1	156.510	156.510	156.510	20.40
Square	2	33.939	33.939	16.969	2.21
angle of slot*angle of slot	1	29.050	33.604	33.604	4.38
height of impeller*height of impeller	1	4.889	4.889	4.889	0.64
Interaction	1	2.250	2.250	2.250	0.29
angle of slot*height of impeller	1	2.250	2.250	2.250	0.29
Residual Error	6	46.035	46.035	7.672	
Lack-of-Fit	2	2.835	2.835	1.417	0.13
Pure Error	4	43.200	43.200	10.800	
Total	12	350.000			

Source	P
Blocks	0.051
Regression	0.016
Linear	0.004
angle of slot	0.015
height of impeller	0.004
Square	0.191
angle of slot*angle of slot	0.081

height of impeller*height of impeller	0.455
Interaction	0.608
angle of slot*height of impeller	0.608
Residual Error	
Lack-of-Fit	0.881
Pure Error	
Total	

○ 2차 반응표면모델로부터 임펠러 설계의 최적값을 도출

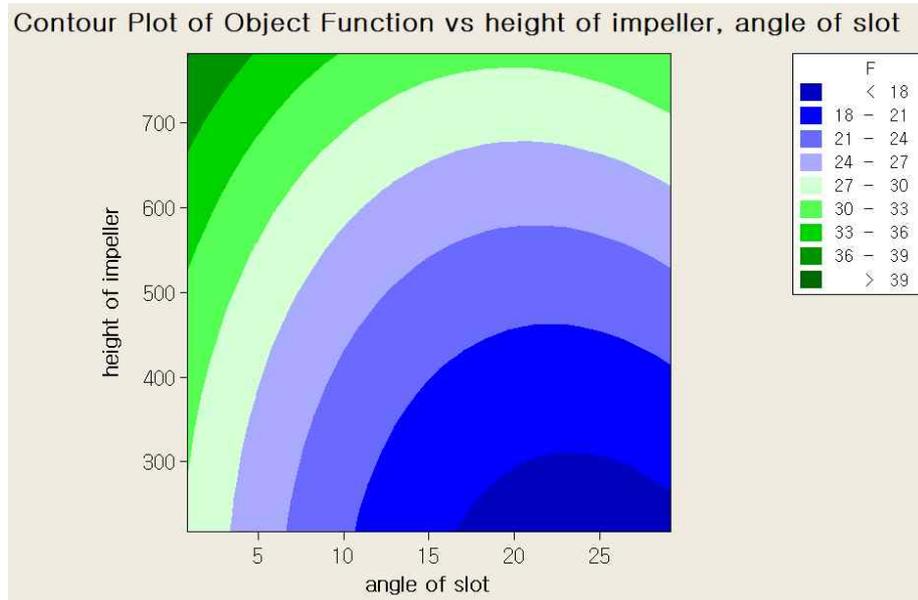


그림103. 2차 반응표면모델에 대한 등고선

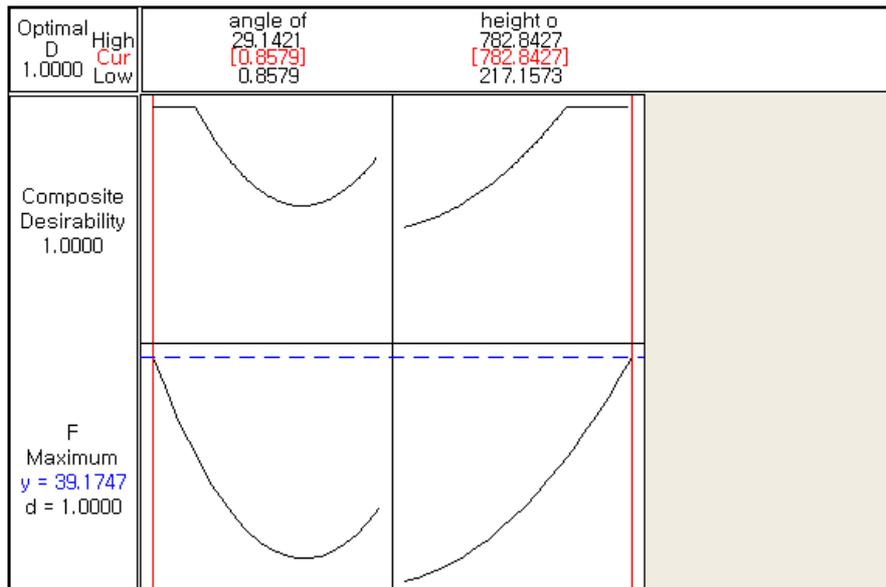


그림104. 두 설계변수의 최적 설계값 조합

- 임펠러 날개의 각도는 클수록 목적함수가 낮아지고 임펠러 날개의 높이는 변수 범위에서 상한값을 갖는 것으로 2차 반응표면모델을 분석한 결과
- 이 최적화 결과를 임펠러 설계에 반영

4) 연구수행 과정과 내용: 제2 공동연구기관 국립순천대학교

가. 선행자료 조사

○ 육가공품의 산업동향

- 2018년 식육가공품의 주요 원료인 육류의 총 사용량은 전년 대비 13.2% 증가한 663,369톤으로 축종별로는 돼지고기 사용량이 43.5%로 가장 많이 사용되고 있으며, 닭고기가 36.2%, 쇠고기가 9.7%의 비중을 차지
- 2018년 돼지고기 원료 사용량은 322,496톤으로 2016년 대비 44.3% 증가하며 증가세이고, 닭고기 사용량은 268,825톤으로 2016년 대비 57.4% 증가함
- 돼지고기 국산 비중은 계속 증가해 2018년 75.2%였고, 닭고기는 87.2%로 높은 자급률 유지한 반면 쇠고기는 23.1%로 자급률이 낮음

○ 식육가공품과 포장육 생산 및 매출현황

- 2021년 기준 식육가공품 및 포장육의 생산량은 4,440,338톤이며, 그 중 돼지 포장육이 1,583,991톤으로 총 생산량의 35.7%의 비율로 가장 많이 차지하고 있음
- 국내 판매량 또한 돼지 포장육이 1,553,848톤으로 전체 판매량 중 1위이며, 수출량은 2,133톤으로 2위임
- 닭 포장육은 생산량이 925,376톤으로 돼지 다음으로 가장 많으며, 수출량은 35,872톤으로 식육가공품 및 포장육중에서 80.7%의 비율로 가장 높은 비중을 차지

표13. 식육가공품과 포장육의 생산 및 매출현황

품목명	생산현황			매출현황			
	생산능력 (T)	생산량 (T)	생산액 (천원)	국내판매 량(T)	국내판매액 (천원)	수출량 (T)	수출액 (\$)
소 계	31,770,295	4,440,338	23,853,167,631	4,358,595	28,215,409,539	44,461	85,746,786
식육가공품	15,141,738	1,382,448	6,715,230,434	1,391,121	8,262,438,030	4,718	24,088,494
햄류	751,057	206,593	1,135,441,938	201,589	1,527,215,055	606	4,310,428
소시지류	538,896	126,094	591,580,824	126,196	750,479,248	58	358,798
베이컨, 건조저장육류	82,073	22,803	284,983,174	21,061	349,097,385	2	99,415
양념육류	3,742,316	614,311	2,968,853,604	630,536	3,544,438,612	838	4,772,108
분쇄가공육제품	5,873,390	253,397	1,131,818,596	255,914	1,408,758,247	69	397,904
갈비가공품	29,690	5,760	61,983,171	7,026	68,794,969	113	401,207
천연케이싱(비살균)	305	124	708,688	11	319,874	113	401,207
식육추출가공품	4,124,316	153,487	540,569,127	148,800	613,654,515	3,034	13,748,633
포장육	16,628,557	3,057,890	17,137,937,197	2,967,474	19,952,971,509	39,743	61,658,292
포장육(소)	6,660,307	429,723	6,676,014,243	439,600	7,465,765,783	77	1,688,685
포장육(말)	300	140	1,170,872	145	1,517,091	-	-
포장육(양)	143,982	9,069	95,205,133	8,258	104,792,041	-	-
포장육(돼지)	6,024,212	1,583,991	7,401,597,009	1,553,848	8,902,906,087	2,133	3,895,354
포장육(닭)	3,068,495	925,376	2,562,756,036	864,377	2,933,237,688	35,872	55,589,479
포장육(오리)	728,871	108,662	395,839,968	100,553	539,088,024	1,661	484,774
포장육(사슴)	1	0	2,365	0	3,363	-	-
포장육(토끼)	70	23	360,096	4	66,423	-	-
포장육(칠면조)	4	4	21,978	4	31,867	-	-
포장육(거위)	0	0	6,402	0	7,683	-	-
포장육(메추리)	4	4	41,068	4	59,549	-	-
포장육(꿩)	24	14	241,150	10	472,779	-	-
포장육(기타)	2,287	884	4,680,877	671	5,023,131	-	-

- 2021년 생산실적(매출액)은 35조 8,155억 원이며, 시장규모는 44조 7,462억 원으로 나타남
- 국내에서 생산한 축산물가공품과 포장육의 국내판매액 비중은 99.2%, 수출액 비중은 0.0%로 국내 판매가 대부분을 차지함
- 국내 판매액 기준 상위 5개 품목 중 3개가 포장육(1위 돼지, 2위 소, 4위 닭)임
- 매출액 기준 포장육 상위 5개 업체는 (주)하림, (주)도드람푸드, 농협경제지주 주식회사, 부경양돈농협, (주)팜스토리이며, 생산량 기준 포장육 상위 5개 업체는 (주)하림, (주)도드람푸드, 농업회사법인 주식회사 다슬, 부경양돈농협, 농협경제지주 주식회사

표14. 식육포장처리업 생산량/매출액 상위 10개 업체

순위	생산량 기준		순위	매출액 기준	
	업체명	생산량(KG)		업체명	매출액(천원)
1	(주)하림	102,103,768	1	(주)하림	454,005,710
2	(주)도드람푸드	56,758,291	2	(주)도드람푸드	285,203,437
3	농업회사법인 주식회사 다슬	50,883,857	3	농협경제지주주식회사	281,635,218
4	부경양돈농협	43,789,478	4	부경양돈농협	278,355,907
5	농협경제지주주식회사	43,593,260	5	(주)팜스토리	258,620,670
6	(주)신우에프에스	42,983,777	6	(주)이마트	250,745,537
7	(주)팜스토리	34,979,659	7	(주)농협 목우촌	227,032,255
8	(주)농협 목우촌	34,039,383	8	(주)롯데슈퍼신갈	214,783,479
9	(주)도드람푸드	29,261,950	9	농업회사법인 주식회사 다슬	208,108,009
10	(주)선진	29,178,683	10	(주)선진	172,952,323

○ 축산물 및 축산가공품 세계시장 생산 규모

- 2021년 축산물/축산가공품의 세계시장 생산 규모는 쇠고기 58.13백만 톤, 돼지고기 107.73백만 톤, 가금육 100.54백만 톤인 것으로 추정됨
- 2020년 대비 2021년의 성장률은 쇠고기 0.69%, 돼지고기 12.49%, 가금육 1.29%, 버터 1.24%, 치즈 2.15%, 우유 0.83%, 탈지분유 -1.71%, 전지분유 -0.66%인 것으로 나타나며, 2017년~2021년 5개년 평균 성장률은 버터(2.19%)와 가금육(2.00%), 치즈(1.99%)에서 비교적 높게 나타남
- 지난 몇 년간 아프리카돼지열병의 발생으로 인해 생산이 감소한 돼지고기의 경우, 중국에서 돼지고기 생산이 점차 회복되면서 2020년 대비 2021년에 크게 상승한 것이 특징적임
- 돼지고기와 쇠고기의 경우 최근 5개년 연평균 성장률이 각각 -0.98%와 -0.46%로 정체 상태에 있는 것으로 나타나, 높은 연평균 성장률을 기록하고 있는 가금육(1.97%)과 대조를 이루고 있음
- 2021년을 기준으로 주요 국가별 쇠고기 생산량 규모를 보면 미국이 12,730천 톤을 차지하여 세계시장 점유율이 21.90%에 이르고 있으며, 다음으로 브라질(9,500천 톤, 세계시장의 16.34%), 중국(6,980천 톤, 세계시장의 12.01%), EU(6,855천 톤, 세계시장의 11.79%)의 생산량이 높은 것으로 집계됨
- 2020년 대비 2021년에 세계 최대 쇠고기 생산국인 브라질과 EU에서는 쇠고기 생산량이 감소한 반면, 미국과 중국에서는 쇠고기 생산량이 증가하는 추세에 있는 것으로 나타남. 지난 5년간 쇠고기 생산량이 가장 빠르게 증가한 국가는 캐나다(연평균

성장률 4.28%), 멕시코(연평균 성장률 2.80%), 중국(연평균 성장률 2.41%), 미국(연평균 성장률 1.61%)인 것으로 나타남.

- 2021년을 기준으로 주요 국가별 돼지고기 생산량 규모를 보면 중국이 47,500천 톤을 차지하여 세계시장 점유율이 44.09%에 이르고 있으며, 다음으로 EU(23,720천 톤, 세계시장의 22.02%), 미국(12,559천 톤, 세계시장의 11.66%), 브라질(4,365천 톤, 세계시장의 4.05%)의 생산량이 높은 것으로 나타남. 지난 몇 년간 아프리카돼지열병의 발생으로 감소한 중국에서는 돼지고기의 생산량이 회복되어 2020년 대비 2021년에 30.71% 급증함.
- 세계 최대의 돼지고기 생산국인 중국, EU, 미국의 2021년 생산량 합계는 83,779천 톤으로 세계시장의 77.78%를 차지하며, 우리나라의 생산량은 1,407천 톤으로 세계시장 점유율의 1.31%를 차지하는 것으로 나타남. 지난 5년간 돼지고기 생산량이 가장 빠르게 증가한 국가는 러시아(연평균 성장률 5.75%), 브라질(연평균 성장률 4.04%), 멕시코(연평균 성장률 4.03%)인 것으로 집계됨.
- 2021년을 기준으로 주요 국가별 가금육 생산량 규모를 보면 미국이 20,391천 톤을 차지하여 세계시장 점유율이 20.28%에 이르고 있으며, 다음으로 중국(14,700천 톤, 세계시장의 14.62%), 브라질(14,500천 톤, 세계시장의 14.42%), EU(10,830천 톤, 세계시장의 10.77%), 러시아(4,600 천 톤, 세계시장의 4.58%)의 생산량이 높은 것으로 나타남.
- 세계 주요 가금육 생산국인 미국, 중국과 브라질에서는 가금육 생산량이 증가하는 추세인 반면, EU에서는 가금육 생산이 감소한 것으로 나타남(2020/2021 성장률 -1.81%).

표15. 축산물/축산가공품의 세계시장 생산 규모

(단위: 백만톤, %)

구분	2017		2018		2019		2020		2021		17~'21 연평균 성장률 (%)
	규모	성장률 (%)									
쇠고기	59.21	2.02	60.83	2.74	61.52	1.14	60.57	-1.54	58.13	-4.03	-0.46
돼지고기	112.06	0.64	112.94	0.79	102.03	-9.66	96.7	-5.22	107.73	11.41	-0.98
가금육	93.01	2.05	94.52	1.62	99.54	5.31	100.59	1.05	100.54	-0.05	1.97
버터	10.31	1.88	10.59	2.71	10.82	2.20	11.21	3.57	11.27	0.54	2.63
치즈	20.43	3.14	20.74	1.53	20.98	1.16	20.98	0.00	21.86	4.19	1.76
우유	509.01	2.27	519.72	2.10	524.41	0.90	532.25	1.49	544.07	2.22	1.55
탈지분유	4.73	-0.23	4.76	0.57	4.78	0.42	4.94	3.24	4.76	-3.64	0.59
전지분유	4.54	-2.07	4.46	-1.85	4.59	3.01	4.83	5.21	4.55	-5.8	0.22

○ 해동기술 동향

- Wang et al. (2022)의 연구에 따르면 냉동 돈육을 해동할 때 마이크로웨이브 해동보다 진공해동 시 낮은 드립로스(지방 손실)와 조리손실을 나타냈다.
- 진공해동은 낮은 산소 환경으로 지질산화가 잘 일어나지 않아 낮은 TBARS값을 나타냈고 대조군인 신선한 고기와 차이가 없다고 보고하였다. Ghanvimi et al. (1986)은 진공해동은 단백질 추출성을 높여주고 비 진공해동에 비해 높은 수율을 나타냈다고 보고하였다.

- 고압해동은 진공해동보다 압력별로 해동하여 드립로스, 조리손실 및 육의 색도 등을 분석하는 연구가 많이 진행되었다. 고압해동은 압력을 높일수록 드립로스를 방지 할 수 있지만 해동육의 색 변색이 심하다(Zhu et al. 2004).
- Ghavini et al. (1987)의 연구에 따르면 냉동우육을 텀블링 해동 시 회전속도에 따라 드립로스, 조리손실 등 유의적인 차이가 있으며, 너무 속도가 빠를 경우 조직이 파괴 되어 적절한 속도에서 해동을 진행해야한다고 보고하였다.

○ 해동 장치 기술동향



Air Thawing Machine by Samjoo ENG



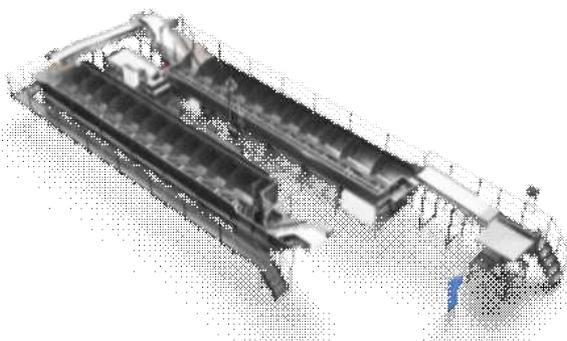
Air Thawing Machine



Microwave thawing machine



Tumbler based thawing machine



Dual Stage Thawing System

그림105. 다양한 해동장비

- Air Thawing Machine by Samjoo ENG : 제품이 원하는 온도에 도달하면 캐비닛이 자동으로 냉장고 모드로 전환하여 내부온도를 5℃로 유지한다. 해동시간을 90%이상 줄일 수 있고 무게 손실을 줄이고 영양 손실을 줄일 수 있다.
- Air Thawing Machine : 해산물, 채소 등과 같은 다양한 유형의 냉동제품의 지속적인 해동을 위해 일정한 컨베이어 벨트 속도로 따뜻한 공기로 해동을 진행한다. 벨트는 공

기흐름을 일정하게 만들어주고 제품의 수분손실 방지를 위해 공기흐름에 물 입자를 주입하여 손실방지를 한다.

- microwave thawing machine : 돼지고기, 양고기, 소고기, 닭 및 해산물 등의 해동에 사용되고 있다. 마이크로파 해동장비는 915 MHz의 주파수를 사용한다. 해동 시 마이크로웨이브가 제품의 내부와 외부를 관통하여 동시에 열을 발생시켜 해동 후 내부와 외부의 온도를 균일하게 한다. 전자레인지 해동의 가장 큰 특징은 얼음이 물에 녹지 않고 해동 시 드립감량이 적다는 점이다. 그것은 바로 해동의 특성 때문에 제품의 보존뿐만 아니라 절단 및 기타 가공에도 도움이 된다. 신선육에 비해 색, 영양, 맛 등이 기본적으로 해동 후에도 변화가 없고 연속생산이 이루어지기 때문에 이 방법으로 해동한 식품은 생산단가가 낮고 효율이 높으며 세균이 번식하지 않고 적은 양의 장점
- Tumbler based thawing machine : 주로 냉동 육류에 사용되고 있으며 회전과 강한 진공을 사용하기 때문에 냉동 채소나 과일해동에는 적합하지 않다. 탱크 내부에 냉동육을 넣어 밀폐시킨 후 진공상태에서 증기를 사용하여 해동하는 장치이다.
- 진공을 통해 드립로스를 방지하고 95% 이상의 진공으로 미생물 성장을 억제할 수 있는 장점이 있다.
- Dual Stage Thawing System : 냉동제품을 일정한 물의 순환으로 움직이는 탱크 해동하는 장치이다. 물과 공기를 측면에서 지속적으로 주입해 열전도율을 크게 향상시켜 빠른 해동을 유도한다. 저온에서 해동이 이루어지기 때문에 미생물 증식을 억제할 수 있고 제품의 품질을 높이면서 해동시간을 최대한 단축할 수 있다.

나. 진공텀블링 해동장치 scale-up 연구 (100L)

1차 년도 실험을 통해 감압텀블러해동이 실온, 냉장, 침수 및 전자레인지해동보다 해동시간이 빠르고 이화학적, 미생물학적으로 뛰어난 것을 확인하여 scale-up하여 개발된 감압텀블러해동장치를 냉동 돈육 해동에 적용 효율성을 평가하고 이를 토대로 대형 감압해동텀블러 개발을 위한 기초자료를 마련하고자 하였다.

○ 100L-scale 진공텀블링 해동장치

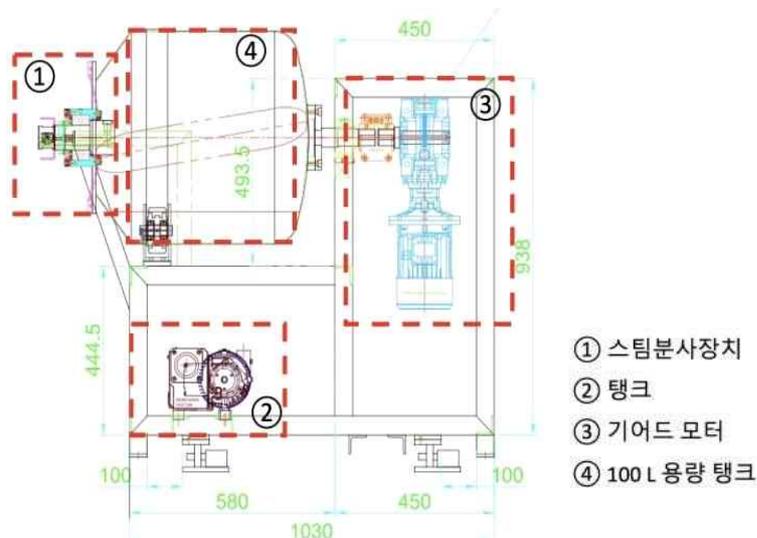


그림106. 100 L-scale 감압텀블링해동장치 설계도면

No.	장치이름	설정값	설정 최소, 최대범위
1	스팀분사장치	스팀량, 온도	1~6% (20~40℃)
2	진공장치	진공	-30~-80 kPa
3	기어드 모터	회전속도	1~4 rpm

○ 텀블러 내부구조 및 역할

- 100 L-scale 텀블링해동장치의 탱크 내부에 3개소로 나누어진 높이 15 cm, 길이 5 m의 날개(임펠러)가 장착되어 있다(그림107). 탱크 내에 설치된 돌출판이나 날개에 의하여 육이 위로 끌어져 올렸다가 중력에 의하여 밑으로 낙하되면서 벽이나 육에 부딪쳐 근섬유가 파괴되고 육 단백질이 추출되며 해동이 촉진된다.

○ 진공텀블링 역할

- 육의 조직이 느슨해지면서 조직이 커져 수분이 빠르면서도 균일하게 분포 될 수 있다. 진공상태에서의 텀블링 작업은 해동 후 색도의 상태도 양호하게 유지시킬 수 있다. 진공도를 -30~-80 kPa 범위로 설정할 수 있도록 설계됨



그림107. 탱크 내 임펠러와 100L-scale 텀블링 해동 장치

○ 스팀장치

- 회전과 마찰, 낙화와 충격으로 연질화된 육은 진공상태에서 수분을 원활하게 흡수하여 드립손실 없이 해동을 진행할 수 있다.
- 탱크 전면에서 스팀을 분사하여 온도를 조절하고 육의 드립손실을 방지해주며 수분함량 및 보수력 유지에도 도움을 준다.
- 스팀량은 1~6% 범위내에서 설정할 수 있으며 온도를 20~40℃ 구간으로 설정 시 자동으로 스팀량이 분할되어 분사되도록 설계됨

○ 감압텀블링 해동공정 설정

- 100 L-scale 텀블링해동장치의 설정화면에서 공정시간, 정회전, 역회전 및 휴지 시간, 회전속도, 진공도, 탱크온도 및 스팀량을 설정할 수 있다. 설정한 공정도를 저장하여 필요 시 사용할 수 있다



그림108. 100 L-scale 텀블링해동장치 설정화면

다. 해동에 미치는 영향인자(Factor)와 수준(Level) 설정을 위한 예비실험

해동텀블러를 2, 6, 8, 및 10 ton 등으로 단계별 scale-up을 위해 Lab-scale 크기의 100 L 사이즈의 해동텀블러를 제작하고 이를 돈육 해동에 적용 시 품질 특성을 평가하였다. 해동 조건 최적화를 위해 해동에 미치는 영향이 큰 요인을 먼저 검토하고 이들의 수준을 단계별 설정하여 반응표면법(Response Surface Methodolgy, RSM)을 이용한 최적화 분석 평가 실험을 디자인하고자 한다.

해동텀블러 조건을 제어할 수 있는 주요 Factor 4가지는 진공도, 회전속도, 온도 및 스팀량으로 요인별로 각각의 최소~최대 범위를 고려하여 실험에 필요한 Level을 설정하였으며, 이를 위한 예비실험을 진행하였다.

○ 진공도

- 100 L-scale 해동텀블러의 진공 최소, 최대범위는 -30~-80kPa이다. 가장 최소의 진공을 설정하면 텀블링해동 중 텀블러 문이 열리는 위험, 가장 최대의 진공을 설정하면 텀블러 내부의 변형이 일어날 수 있는 위험이 있다.
- 각 최소, 최대범위에 ± 5 kPa를 설정하고 중간 값을 넣어 최종적으로 -35, -55, -75 kPa의 3가지 진공 level을 설정하였다.

○ 회전속도

- 100 L-scale 해동텀블러의 회전속도 최소, 최대 범위는 1~4 rpm이다. 회전속도 rpm=1일 경우 1분에 1회전을 한다. 해동이 완전히 이루어지기 전에는 육의 겉 표면과 안쪽이 얼어있는 상태이기 때문에 회전속도를 빠르게 하게 되면 겉 표면과 안쪽까지 파괴될 우려가 있다.
- 예비실험결과 회전속도 1~2 rpm에서는 육의 조직 파괴가 육안으로 확인이 안 되었지만 회전속도를 최대 4 rpm으로 설정하여 실험을 진행하였을 때 그림109와 같이 겉 표면이 매우 찢어지고 파괴된 모습을 볼 수 있었다.
- 이에 따라 최종적으로 1,2,3 rpm 3가지 회전속도 level을 설정하였다.

○ 온도와 스팀량

- 100 L-scale 해동텀블러의 온도 최소~최대범위는 20~40℃이며 스팀 분사량은

1~6%이다. 100 L-scale 해동텀블러의 탱크 전면에서 스팀을 분사로만 온도가 유지가 되는 방식이다.

- 적정온도가 되면 스팀은 멈추는 방식이며 설정한 스팀량이 모두 소비가 되면 분사되지 않는다. 스팀량은 시료무게에 따라 분사하는 방식이며 그림109와 같이 시료량을 적게 하고 스팀량을 높이면 텀블러 내에 물이 고이는 현상이 나타났다.
- 예비실험결과 시료무게는 6~7kg으로 설정하고 스팀량을 1%로 고정하면 탱크 내 물고임 현상이 없는 것을 확인하였다. 최종적으로 스팀량은 1%로 고정하고 20℃, 30℃, 40℃ 3가지 온도 level을 설정하였다.



그림109. 텀블링 회전가속에 따른 육 조직파괴 및 과량의 스팀에 따른 해동 후 텀블러 내 물고임 현상

○ 요인 및 수준 확정

- 최종적으로 100 L-scale 해동텀블러장치를 이용한 냉동 돈육 해동의 품질 특성 조사 및 조건 최적화를 위한 실험 디자인을 위해 Factor 3가지와 Level 3단계를 표 5와 같이 설정하였다.

표16. 100 L-scale 해동텀블러장치를 이용한 냉동돈육 해동조건의 요인과 수준

Factor	Levels		
Pressure (kPa)	-35	-55	-75
Temperature (℃)	20	30	40
Rotation rate (rpm)	1	2	3

라. RSM (Response Surface Methodology)-Box-Behnken Design을 이용한 실험계획

- 해동텀블러에서 텀블러 구조의 효과(회전수), 텀블링 조건의 영향(진공, 온도, 시간, 회전수), 스팀장치의 영향(스팀량, 온도) 예비실험을 통해 해동 Factor와 Level을 설정하고 RSM(response surface methodology, 반응표면분석법)의 방법 중 하나인 Box-Behnken Design법으로 15 set 조건으로 냉동 돈육을 텀블링시키며 해동돈육의 품질에 미치는 영향을 분석 평가하고자 하였다.

○ 실험계획

- 본 실험에서는 냉해동 텀블러의 조건에 따른 냉동 육류 샘플의 해동 후 품질 특성을 모니터링하기 위해서 반응표면분석(Response surface methodology, RSM)을 사용하였으며, 이때 실험계획은 Box-Behnken 실험디자인을 적용하였다.

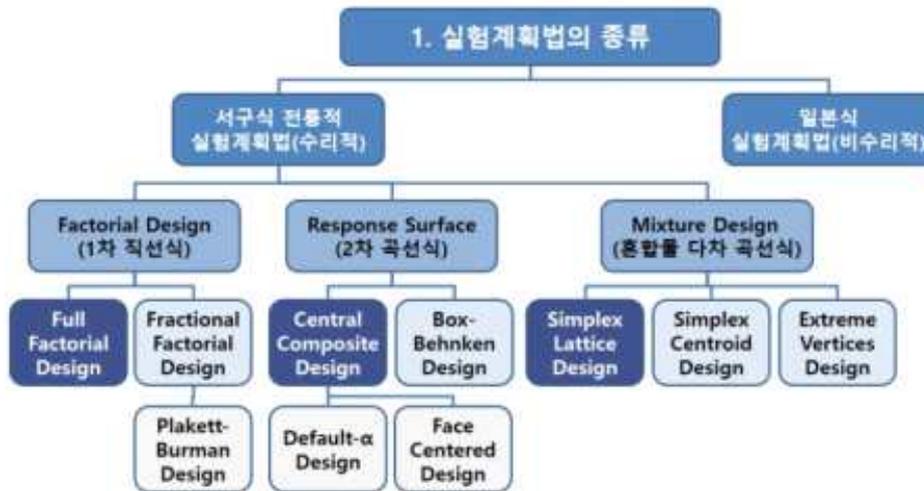


그림110. 실험계획법의 종류

- 독립변수로는 압력(pressure, kPa), 온도(temperature, °C), 회전속도(rotate, rpm)이고, 각각 변수의 수준(Levels)은 표17에 제시되었다. 실험구는 냉해동 조건에 따른 총 15구로 구분하여 진행하였으며, 표18에 제시하였다.
- 이들 요인변수에 의해 영향을 받는 반응변수(y_n)들은 냉동육류를 해동하였을 때 나타날 수 있는 품질특성으로 하여 회귀분석에 사용하였다. 회귀분석에 의한 모델식의 예측에는 SAS program이 사용되었고, 회귀분석 결과 임계점(critical values)이 최대점이나 최소점이 아니고 안장점일 경우에는 능선분석(surface analysis)을 하여 최적점을 구하였다.

표17. Levels of independent variables in the Box-behnken experimental design

X_i	independent variables	Levels		
		-1	0	+1
X_1	pressure(kPa)	-35	-55	-75
X_2	temperature(°C)	20	30	40
X_3	rotation(rpm)	1	2	3

표18. Box-Behnken experimental design of independent variables for frozen-thawed beef samples

Run No. ¹⁾	Coded levels of independent variables		
	X_1 (kPa)	X_2 (°C)	X_3 (rpm)
1	-75(1)	40(1)	2(0)
2	-75(1)	20(-1)	2(0)
3	-35(-1)	40(1)	2(0)
4	-35(-1)	20(-1)	2(0)

5	-75(1)	30(0)	3(1)
6	-75(1)	30(0)	1(-1)
7	-35(-1)	30(0)	3(1)
8	-35(-1)	30(0)	1(-1)
9	-55(0)	40(1)	3(1)
10	-55(0)	40(1)	1(-1)
11	-55(0)	20(-1)	3(1)
12	-55(0)	20(-1)	1(-1)
13	-55(0)	30(0)	2(0)
14	-55(0)	30(0)	2(0)
15	-55(0)	30(0)	2(0)

¹⁾Run numbers of 13, 14, and 15 are the three center points.

마. 진공해동텀블링에 의한 해동 돈육의 품질 특성 평가

다양한 진공텀블링 조건에 따른 해동돈육(100 L-scale)의 해동 및 가공품질 특성을 조사하였다. 미생물오염, 휘발성염기질소, TBARS, 색, 드립, 보수력, 휘발성염기질소, 미생물 등을 해동된 돈육의 품질을 분석하였으며, 후속 가공 공정에 따른 품질 특성 평가를 위해 조리 후 특성을 조사하였다. 모든 요인들에 의한 품질 지표 영향은 반응표면분석(Response Surface Methodology, RSM)을 사용하여 분석 평가하였다.

○ 냉동 돈육 시료 준비

- 본 실험에서 사용한 시료는 국내산 냉동 돈육 전지이며 (주)협진(경기도 시흥시)으로부터 농업회사법인영원한(충남 천안시)의 시료를 제공받았다. 냉동된 돈육 전지를 800~100 g 단위로 절단하여 크린백(clean bag, cleanwrap Co., Seoul, Korea)으로 밀봉한 다음 -75℃ 냉동고에서 동결시켜 분석기간 동안 사용하였다.

○ 냉동 돈육 해동 방법

- 냉동육 0℃에 도달할 때까지의 시간을 총 해동 시간으로 산출하였다. 돈육의 중심온도가 0℃에 도달하는 시점을 각 해동 종료 시점으로 설정하여 해동이 완료된 시료는 냉장 보관하며 가공 품질 특성을 위한 분석시료로 사용하였다.
- 시료를 -75℃ 냉동고에서 꺼낸 후 실온(20℃)에서 심부중심온도 -8℃에 도달하도록 한 후 비닐 포장을 벗긴 후 100 L-scale 텀블링해동장치의 조건에 따라 해동을 시작하였다. 대조군은 실온해동(20℃)을 실시하였다. 탐침온도계(Cas WPT-1, CAS Co., Yangju, Korea)를 이용해 20분마다 심부중심온도를 측정하였다. 해동 후 모든 품질 지표에 대한 시료 분석은 해동 직후 24시간 이내에 수행되었다.



그림111. 냉동돈육 전지시료절단 및 해동과정

○ 결과 : 조건에 따른 냉동 돈육의 해동시간

- 100 L-scale 텀블링해동장치의 조건에 따라 해동되는 냉동 돈육의 해동시간은 그림 112와 같다. 대조군인 실온해동의 해동시간은 220분으로 나타났다. -35 kPa에서 90 분 이상의 해동시간을 보였고 진공, 온도 및 회전속도가 낮을수록 해동시간이 길어지는 것을 나타냈다. -75 kPa에서 대부분 빠른 해동시간을 나타냈고 가장 빠른 해동시간은 30분이다. 진공, 온도 및 회전속도가 높을수록 해동속도가 빠른 것으로 나타났다.

○ 해동돈육 가공 품질 특성 분석법

① 드립감량 측정

- 냉동 돈육의 심부온도가 -6℃에서 0℃에 도달할 때까지 해동한 해동 돈육으로부터 손실된 드립 양을 다음과 같이 계산하여 백분율로 나타내었다.

$$\text{드립 감량(drip loss, \%)} = [(\text{해동 전 무게} - \text{해동 후 무게}) / \text{해동 전 무게}] \times 100$$

② 해동 돈육의 pH 및 색도 측정

- pH 측정은 세절된 시료를 50 mL conical tube에 1 g을 정확히 취하여 증류수 9 mL을 가한 후 homogenizer로 균질화하여 pH meter(Metter-Toledo AG 8603, Schwerzenbach, Switzerland)로 측정하였다. 해동 돈육의 표면의 색 변화는 Minolta 색도계(CR-200, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 L(lightness, 명도), a(redness, 적색도) 및 b(yellowness, 황색도) 값으로 분석하였다. 해동된 돈육 시료의 매끈한 표면을 6회 반복 측정한 후 평균값과 표준편차 값으로 나타냈다. ΔE는 실온해동의 색도를 대조군으로 설정하여 다음과 같은 식으로 계산하였다.

③ 해동 돈육의 총균수와 대장균군 분석

- 시료 1 g에 멸균 생리식염수 9 mL을 가하여 멸균백에 담아 stomacher(Bag mixer W400, Interscience, Saint Nom, France)로 균질화한 후 여과액을 10배 희석법으로 희석하여 사용하였다. 총균수용 건조필름과 대장균군용 건조필름(MC-Media Pad, JNC Co., Tokyo, Japan) 중앙에 시료 1 mL을 접종한 뒤 incubator(HB-101, Han Baek Science Co., Bucheon, Korea)에서 37℃에서 24시간 배양시켰다. 총균수와 대장균군 측정 결과는 배양 후 액화 현상이 없고 배지당 30~300개 집락을 형성한 평판을 선택하여 계수하였으며 모든 결과는 3반복 측정값의 평균값을 산출하고 log CFU/g으로 나타내었다.

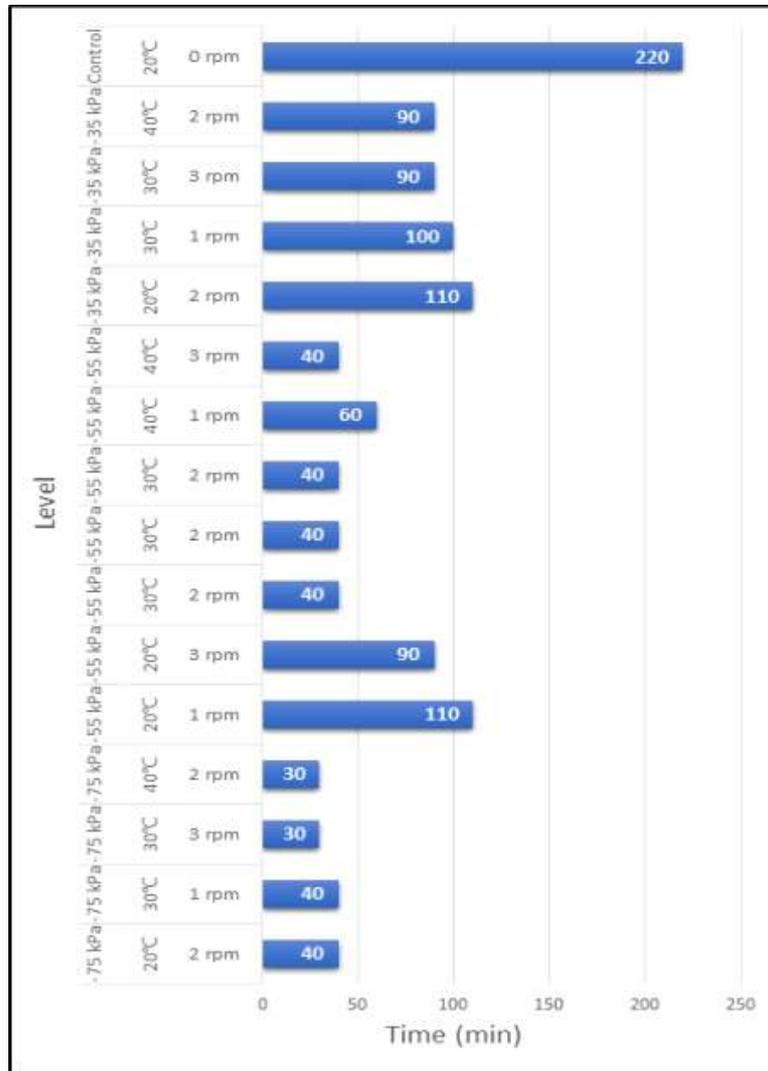


그림112. Control을 포함한 16가지 조건에 따른 냉동 돈육의 해동시간

④ 해동 돈육의 보수력 측정

- Kim et al. (2013)의 방법에 따라 보수력을 측정하였다. 먼저, 50 mL-conical tube에 세질된 시료 5 g을 정확히 취한 후 70°C 항온수조에서 30분 가열 후, 실온에서 10분간 방냉 후 원심분리기(MF-550, Hanil Science Industrial Co., Incheon, Korea)를 이용하여 20°C에서 2,000 ×g, 10분간 원심분리 후 유리된 육즙량을 측정하여 백분율(%)로 계산하였다.

$$\text{보수력(\%)} = \frac{\text{가열 전 시료 무게} - \text{원심분리 후 유리된 수분 무게}}{\text{가열 전 시료 무게}} \times 100$$

⑤ 가열감량

- 해동 된 시료를 70°C의 항온수조(WB-20M, Jeio tech, Daejeon, Korea)에서 30분간 가열한 후 냉각시킨 뒤 가열 전 시료 무게에서 가열 후 시료 무게를 백분율로 나누어 계산하였다.

$$\text{가열감량(\%)} = \frac{\text{가열 전 무게} - \text{가열 후 무게}}{\text{가열 전 무게}} \times 100$$

⑥ 단백질변패도 측정

- 식품공전의 미량확산(conway)법(2019)으로 휘발성 염기질소(VBN)를 측정하였다. 세 절된 시료 10 g에 증류수 50 mL을 가하고 Shaking incubator로 37°C, 100rpm에서 30분간 추출한 뒤 여과한 시료를 시험용액으로 사용하였다. Conway 용기를 기울인 뒤 내실에 0.01N 황산 1 mL을 넣고 외실에 시료 1 mL을 넣은 뒤 덮개에 기밀제를 소량 바른 후 K₂CO₃ 포화용액 1 mL을 외실에 재빨리 넣고 덮개를 덮어 클립으로 고정하였다. 외실의 시험용액과 K₂CO₃ 포화용액을 잘 섞은 뒤 25°C에서 1시간 반응시킨 후 내실에 brunswik 시약 10 µL를 첨가한 뒤 0.01N NaOH용액으로 적정하여 휘발성염기질소 화합물의 양을 측정하였다.

$$\text{휘발성염기질소(mg/ \%)} = 0.14 \times (b-a) \times F \times D / S \times 100$$

a: 0.01N NaOH 적정량(mL)

b: 0.01N NaOH 공시험 적정량(mL)

F: 0.01N NaOH의 역가

D: 희석배수

S: 시료채취량(g)

⑦ 지방산패도 측정(TBARS)

- 시료의 지방산패를 측정하는 thiobarbituric acid reactive substance(TBARS) 함량을 측정하였다(Buege and Aust, 1978; Ahn DU et al., 1998; 남동건 et al., 2017).
- 시료 약 2 g을 칭량 후 0.2% butylated hydroxy toluene(BHT) 0.3 mL과 3.86% perchloric acid 18 mL을 가해 산화반응을 정지시키고 2분간 균질화한 후 여과지(Whatman No. 1)로 여과하였다. 여과액 1 mL에 thiobarbituric acid(TBA) 용액을 1 mL씩 가하여 5분간 혼합한 다음 끓는 물에서 30분간 열처리한 후 냉각하였다. 반응액은 450 ×g에서 20분간 원심분리 후 상층액을 취하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였다. 공시험은 시료대신 증류수를 가하여 위와 같은 방법으로 처리. 시료의 TBARS 값은 1,1,3,3-tetraethoxypropane을 표준물질로 사용하여 다음과 같이 malondialdehyde(MDA) mg/kg로 나타내어 표시하였다.

$$\text{TBARS(MDA mg/kg)} = (A-B) \times \text{희석배수} \times 100/S$$

A : 시료의 532 nm에서의 흡광도

B : 공시험의 532 nm에서의 흡광도

S : 시료 채취량(g)

○ 해동돈육 가공 품질 특성 분석 결과

① 진공텀블링해동(100 L-scale)으로 해동된 돈육의 품질 특성

- 해동돈육의 품질 특성 분석 결과 평가항목의 평균값을 표19와 표20에 제시하였다. 해동돈육의 물리적 품질에 해당하는 드립감량, 보수력 및 가열감량에 있어서 100 L-scale 해동텀블러의 해동 조건에 따라서 품질에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 한편, 해동 후 시료의 pH 값은 pH 6.23~6.24로 일정하게 유지되어 해동조건에 영향을 받지 않았다. 대장균군(E.coli)은 존재하지 않은 것으로 판단되었고, 총균수 또한 매우 미미한 상태로 유해미생물은 모든 조건에서 확인되지 않았다. 해동 육류의 신선도를 판단할 수 있는 휘발성 염기질소(volatile basic nitrogen, VBN) 값은 2.28~9.15

mg/% 범위로 신선육을 판단기준(VBN(mg/%))기준: 신선육 1~10, 신선어육 15~20, 초기부패육 30~40, 부패육 50이상)에 적합하였으나, 100 L-scale 해동텀블러의 조건에 따라서 다소 차이를 보였다. 또한, 저장 중 지방산패도를 측정한 TBARS(Thiobarbituric acid reactive substances) 농도 값도 0.05~0.12 범위로 매우 낮아 해동육류는 신선한 기준에 적합하였다.

표19. Means of response variables of frozen-thawed beef samples from Box-Behnken designs

Run no.	Drip loss	pH	Color			WHC	Heat loss
			L	a	b		
1	2.81	6.24	50.82	10.94	5.51	95.30	0.82
2	0.53	6.24	56.81	11.58	5.26	95.88	0.31
3	3.18	6.23	50.82	10.19	5.26	95.43	1.10
4	1.14	6.23	56.05	11.42	3.77	95.30	0.35
5	1.24	6.23	56.11	11.06	5.38	95.21	0.35
6	0.48	6.23	56.51	11.19	3.76	93.83	0.29
7	3.04	6.23	55.37	11.15	5.79	95.21	1.10
8	0.89	6.23	49.96	11.24	5.26	92.44	0.32
9	3.02	6.24	50.71	10.12	5.76	95.43	0.71
10	1.90	6.24	50.63	10.50	3.22	93.83	0.39
11	1.37	6.23	55.54	11.54	3.72	95.74	0.28
12	0.72	6.23	56.21	11.61	6.30	96.56	0.34
13 ¹⁾	0.73	6.23	56.44	11.20	5.46	96.92	0.40

¹⁾Run number of 13 is the means of 3 center points.

표20. Means of response variables of frozen-thawed beef samples from Box-Behnken designs

Run No.	VBN	TBARS	TAB	E.coli
1	2.2876	0.0543	1.6000	0
2	2.2876	0.0607	1.8167	0
3	9.1504	0.0988	2.1367	0.3010
4	9.1504	0.1040	2.4800	0.3597
5	2.2876	0.0607	1.6833	0
6	2.2876	0.0572	1.7033	0
7	9.1504	0.0901	2.1433	0.1003
8	9.1504	0.0936	2.2967	0.1003
9	2.2876	0.0520	1.7467	0
10	2.2876	0.0572	1.7600	0
11	9.1504	0.0971	1.9167	0
12	9.1504	0.1265	1.9467	0
13 ¹⁾	2.2876	0.0532	1.8256	0

¹⁾Run no. 13 is the means of 3 center points.

② 100 L-scale 텀블링해동장치 활용 해동 돈육 품질 예측을 위한 회귀방정식

- 회귀분석(REREG)을 통해 독립변수인 냉해동텀블러의 압력(kPa), 온도(temp), 회전속도(rpm)의 일차항(linear; X_1, X_2, X_3), 이차항(quadratic; X_{12}, X_{22}, X_{32}), 및 교차항(cross-product; X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3)과 같은 2차 회귀방정식의 계수(estimate coefficient)와 이들의 유의성 검증 결과는 표21~23과 같다.

표21. Estimated coefficients of fitted quadratic polynomial equation for response variables of driploss, pH and WHC based on t-statistic

	Drip loss		pH		WHC	
	Coefficient	p-value	Coefficient	p-value	Coefficient	p-value
Intercept	8.3924	<.0001	6.2468	<.0001	79.8175	<.0001
$X_1^{1)}$	0.1110	<.0001	-0.00004	0.9283	-0.4398	0.0002
$X_2^{2)}$	-0.4076	<.0001	-0.0009	0.3489	-0.0471	0.8315
$X_3^{3)}$	0.1261	0.7516	0	1.0000	5.4388	0.0048
X_1X_1	0.0010	<.0001	0	1.0000	-0.0033	0.0002
X_1X_2	-0.0002	0.3826	0	1.0000	0.0008	0.5635
X_2X_2	0.0076	<.0001	0.00001	0.2439	-0.0011	0.7258
X_1X_3	0.0173	<.0001	0	1.0000	0.0174	0.2645
X_2X_3	0.0118	0.0865	0	1.0000	0.0604	0.0577
X_3X_3	0.2641	0.0006	0	1.0000	-1.4187	<.0001

¹⁾ X_1 (pressure, kPa), ²⁾ X_2 (temperature, °C), ³⁾ X_3 (rotate, rpm)

표22. Estimated coefficients of fitted quadratic polynomial equation for response variables of color parameters(L, a, b) based on t-statistic

	L		a		b	
	Coefficient	p-Value	Coefficient	p-Value	Coefficient	p-Value
Intercept	23.4559	<.0001	11.6733	<.0001	5.6918	0.0480
$X_1^{1)}$	-0.4440	<.0001	0.0235	0.0887	-0.0475	0.3830
$X_2^{2)}$	0.9532	<.0001	0.0347	0.2279	0.0796	0.4861
$X_3^{3)}$	8.5947	<.0001	0.4252	0.0756	-3.1025	0.0020
X_1X_1	-0.0019	0.0098	0.00006	0.5218	-0.0002	0.5264
X_1X_2	0.0009	0.5037	-0.0007	0.0007	0.0015	0.0575
X_2X_2	-0.0201	<.0001	-0.0019	<.0001	-0.0040	0.0198
X_1X_3	0.0726	<.0001	0.0005	0.7860	-0.0135	0.0968
X_2X_3	0.0186	0.5112	-0.0078	0.0558	0.1280	<.0001
X_3X_3	-1.1513	0.0004	-0.0608	0.1489	-0.3045	0.0729

¹⁾ X_1 (pressure, kPa)

²⁾ X_2 (temperature, °C)

³⁾ X_3 (rotate, rpm)

표23. Estimated coefficients of fitted quadratic polynomial equation for response variables of heatloss, VBN and TBARS based on t-statistic

	Heat loss		VBN		TBARS	
	Coefficient	p-value	Coefficient	p-value	Coefficient	p-value
Intercept	0.7199	0.2113	52.1501	<.0001	0.4805	<.0001
X ₁ ¹⁾	0.0256	0.0251	0.6433	<.0001	0.0036	0.0083
X ₂ ²⁾	-0.0297	0.2044	-1.2009	0.0002	-0.0129	<.0001
X ₃ ³⁾	0.5508	0.0062	-6.8628	0.0072	-0.0793	0.0011
X ₁ X ₁	0.0004	<.0001	0.0042	0.0003	0.00002	0.0259
X ₁ X ₂	0.0002	0.0748	0	1.0000	0.000001	0.9371
X ₂ X ₂	0.0008	0.0201	0.0171	0.0003	0.0001	0.0001
X ₁ X ₃	0.0090	<.0001	0	1.0000	-0.00008	0.6523
X ₂ X ₃	0.0095	0.0057	0	1.0000	0.0006	0.1207
X ₃ X ₃	-0.0494	0.1492	1.7157	0.0003	0.0130	0.0024

¹⁾X₁(pressure, kPa)

²⁾X₂(temperature, °C)

³⁾X₃(rotate, rpm)

표24. Estimated coefficients of fitted quadratic polynomial equation for response variables of TAB and E.coli based on t-statistic.

	TAB		E.coli	
	Coefficient	p-value	Coefficient	p-value
Intercept	4.8297	<.0001	1.5410	0.0005
X ₁ ¹⁾	0.0629	<.0001	0.0371	<.0001
X ₂ ²⁾	-0.0415	<.0001	-0.0392	0.0224
X ₃ ³⁾	-0.0618	0.2262	0.2300	0.0970
X ₁ X ₁	0.0003	<.0001	0.0002	<.0001
X ₁ X ₂	-0.0001	0.0007	-0.00007	0.5276
X ₂ X ₂	0.0003	0.0005	0.0005	0.0217
X ₁ X ₃	-0.0016	0.0004	0	1.0000
X ₂ X ₃	0.0004	0.6292	0	1.0000
X ₃ X ₃	-0.0173	0.0592	-0.0575	0.0217

¹⁾X₁(pressure, kPa), ²⁾X₂(temperature, °C), ³⁾X₃(rotate, rpm)

③ 100 L 텀블링해동장치에서의 냉동 돈육 해동조건 최적화(Optimization)

- 냉동 돈육 해동 시, 품질 향상을 위한 100 L 텀블링해동장치의 해동조건 최적화를 위해 품질특성 항목으로는 드립로스(drip loss), 보수력(water holding capacity, WHC) 및 가열감량(heat loss) 변수가 사용되었다. 최적화를 위한 조건으로는 드립로스 및 가열감량은 최소화하고, 보수력은 최대화할 수 있는 목표를 설정하였다.
- 하지만 본 실험에서 해동육류에 유해미생물이(총균수, 대장균군) 미량 검출되었고, 저

장 중 신선도(VBN, TBARS) 분석 결과, 기준치 범위 이내로 신선한 것으로 확인되어서, 100 L 텀블링해동장치의 냉해동의 최적 조건 설정과정에서는 적용되지 않았다. 한편, 색도의 경우 a 및 b 평가항목도 주요인자인 제1차항(linear effect)의 효과가 유의하지 않아서 최적화 조건 설정에는 적용되지 않았고, pH 값은 모든 조건에서 일정한 값을 유지하였기 때문에 최적화 조건 설정에는 적용되지 않았다.

표25. Polynomial models extracted from the regression equation to increase R² value

Responses	Quadratic polynomial models	R ²	Adjusted R ²
Drip loss	$6.6047+0.0979X_1-0.3044X_2-0.4973X_3-0.0008X_1X_2+0.0005X_{12}+0.0052X_{22}+0.2268X_{32}$	0.9467	0.8934
L	$58.5676-0.0503X_1-0.2705X_2+0.5525X_3$	0.6451	0.5483
WHC	$4.3949-0.0046X_1-0.0005X_2+0.0574X_3+9.3874E-06X_1X_2+0.0001X_1X_3+0.0006X_2X_3-0.00003X_{12}-0.00001X_{22}-0.0149X_{32}$	0.8829	0.6722
Heat loss	$10.4664-0.0462X_1-0.2144X_2-1.0398X_3$	0.6993	0.6173

- 도출된 회귀방정식을 이용한 각 변수의 등고선그래프와 반응표면그래프를 제시하였다. 최종적으로 최적범위를 설정하기 위하여 4개의 그래프를 overlapping하였고, 공통적으로 포함되는 조건을 최적범위로 설정하였다.
- Overlapping을 위한 각 변수의 desirable levels는 드립로스 0.5 이하, L값 55이상, 보수력(WHC) 96이상, 가열감량(heat loss) 0.6 이하를 임계점으로 설정하였다.
- 4개 변수의 RSM 그래프를 overlapping 한 공통범위로 확인된 최적 범위는 노란색 영역으로 설정되었다. 한편, 해당되는 최적화 영역에서 임의의 한 점(a)을 추출하여 해당부분의 각 변수값은 driploss=0.5223, L=57.2287, WHC=96.9628, Heatloss=0.2957이었고, 이 한 점에 해당하는 해동조건은 kPa=-66.0664, Temp=20.6903, rpm=1.6854로 최적화영역에 해당하는 것으로 확인되었다.

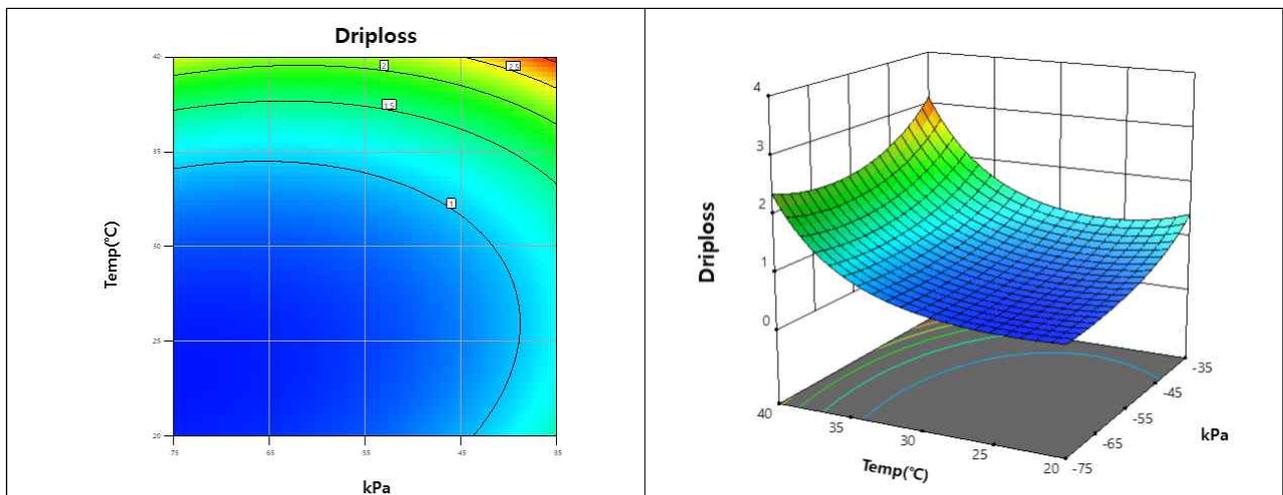


그림113. Contour graph (left) and response surface methodology graph (right) of Drip loss using the derived regression equation.

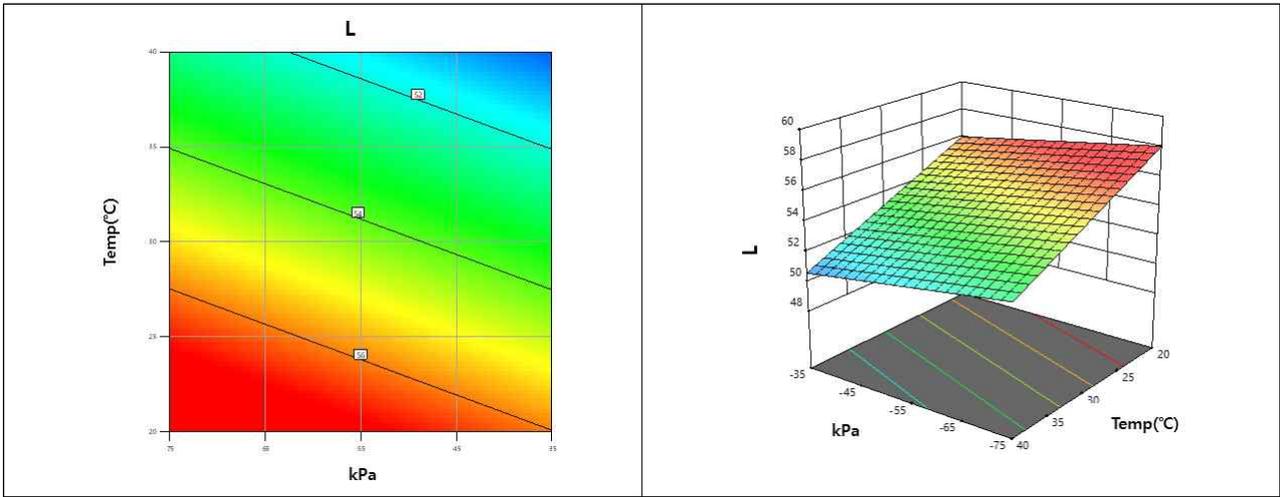


그림114. Contour graph (left) and response surface methodology graph (right) of L value using the derived regression equation.

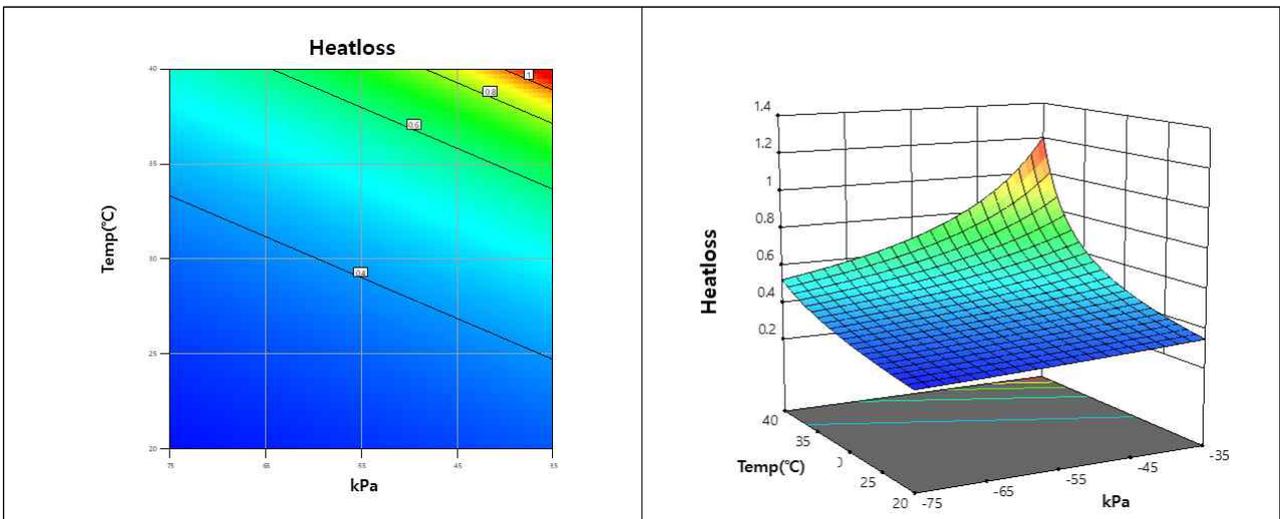


그림115. Contour graph (left) and response surface methodology graph (right) of heat loss using the derived regression equation.

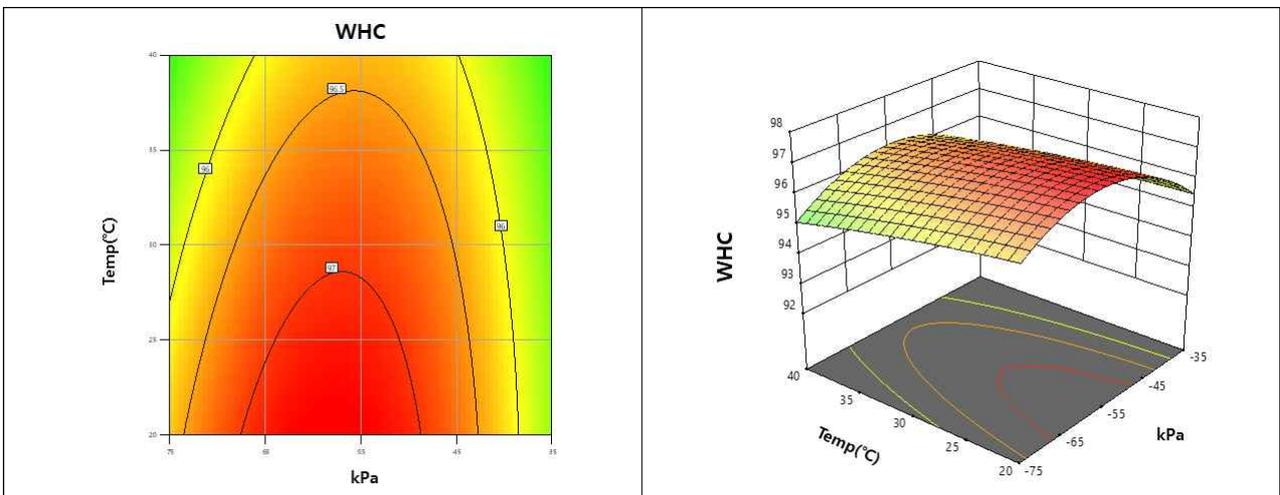


그림116. Contour graph (left) and response surface methodology graph (right) of WHC using the derived regression equation.

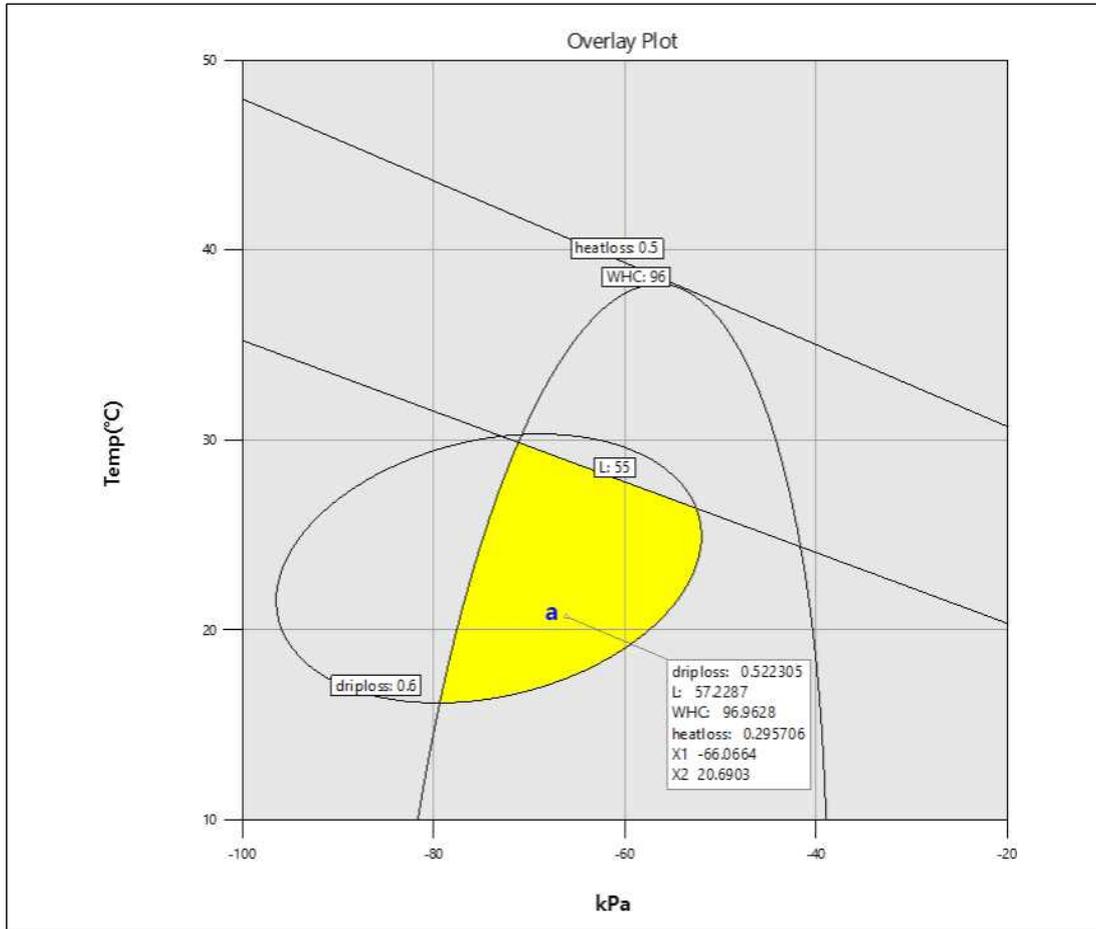


그림117. Common range of optimization by overlapping RSM graph of 4 variables.

바. 결론

- 1차년도에서 여러 가지 해동방법 중 실험실 감압텀블링 모델 방식의 해동이 해동육 품질 유지에 효과적인 것을 확인하였으며 이에 근거하여 2차년도에서는 100 L-scale로 제작된 텀블링장치를 이용하여 진공텀블링장치의 조건을 요인별로 변화시키며 돈육 해동에 적합한 최적 조건 설정 및 해동장치 scale-up을 위한 기초자료를 마련하고자 하였다.
 - 먼저, 해동장치의 진공도, 회전속도, 스팀 및 온도 요인의 범위를 설정하고 각각의 범위 내에서 수준(level)을 설정하여 조건별 해동을 진행하였으며 RSM 통계분석법을 이용하여 평가하였다.
 - 해동 후 해동돈육의 pH는 6.23~6.24로 일정하게 유지되었으며 해동 조건에 따른 영향은 받지 않았다.
 - 해동된 돈육에서 대장균군(E.coli)은 검출되지 않았으며, 총균수 또한 매우 낮은 수준으로 검출되었다.
 - 해동 육류의 신선도를 판단할 수 있는 휘발성 염기질소(VBN)값은 2.28~9.15 mg/% 범위로 신선육 판단기준에 적합하였으나, 100 L-scale 해동텀블러의 조건에 따라서 다소 차이를 보였다.
 - 저장 중 지방산패도를 측정한 TBARS 농도 값도 0.05~0.12 범위로 매우 낮아 해동 육류는 신선한 기준에 적합하였다.

- 본 실험에서 해동육류에 대장균군(E.coli)은 검출되지 않았으며, 총균수 또한 매우 낮은 수준으로 검출되었고, 저장 중 신선도(VBN, TBARS) 분석 결과, 기준치 범위 이내로 신선한 것으로 확인되어, 100 L 텀블링해동장치의 냉해동의 최적 조건 설정과정에서는 적용되지 않았다.
- 한편, 색도의 경우 a 및 b 평가항목도 주요인자인 제1차항(linear effect)의 효과가 유의하지 않아 최적화 조건 설정에는 적용되지 않았고, pH 값은 모든 조건에서 일정한 값을 유지하였기 때문에 최적화 조건 설정에는 고려되지 않았다.
 - 냉동 돈육 해동 시, 품질 향상을 위한 100 L-scale 텀블링해동장치의 해동조건 최적화를 위한 품질특성 항목으로는 드립로스(drip loss), 보수력(water holding capacity, WHC) 및 가열감량(heat loss) 변수가 사용되었다. 최적화를 위한 조건으로는 드립로스 및 가열감량은 최소화하고, 보수력은 최대화할 수 있는 목표를 설정하였다.
- 최종적으로 최적범위를 설정하기 위한 overlapping의 변수로 desirable levels는 드립로스 0.5 이하, L값 55이상, 보수력(WHC) 96이상, 가열감량(heat loss) 0.6 이하를 임계점으로 설정하였다. 해당되는 최적화 영역에서 임의의 한점(a)을 추출한 부분의 각 변수 값은 drip loss=0.5223, L=57.2287, WHC=96.9628, heat loss=0.2957이었다.
 - 위와 같이 100 L-scale 진공텀블링해동장치의 최적조건을 RSM으로 분석하였다. 최적 해동 조건은 kPa=-66.0664, Temp=20.6903, rpm=1.6854로 확인되었다.

■ 3차년도 연구개발 과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 3차년도 연구목표 및 연구 일정

가. 연구수행 일정

기관	연구목표	연구 결과
주관기관 (협진)	IoT 기반 스마트 제어 시스템	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 자동계량 및 자동 원료육 배출 시스템 구축 ▶ 사용자 편의성을 고려한 인터페이스 적용 ▶ 원료육 해동 상황(중량, 온도, 상태, 구동 상황 등)을 실시간 모니터링 ▶ PC, 모바일 기반 원격제어 시스템
	6ton급 해동 텀블러 제품화	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 텀블러 내부 0.5bar 가능하도록 보완 ▶ 시험평가 결과에 따른 피드백 완료 ▶ 해동육 품질평가 결과를 반영한 구조개선 및 구동 조건 최적화
	6ton급 해동 텀블러 사업화	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 성능 평가 학회 발표 ▶ 제품 홍보를 위한 전시회 출품 ▶ 신기술 인증 신청 준비 ▶ 협력사를 중심으로 제품공급 협의
제1 공동 (경기과기대)	6ton급 텀블러 제품화 지원	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 성능 평가 및 결과 분석 ▶ 제품화를 위한 구조개선 지원 ▶ 신기술 인증 신청 준비 지원 ▶ 임펠러 구조 최적화 연구 결과 정리
제2 공동 (국립순천대)	Scale-up(6ton) 해동텀블러 최적화 지원 및 품질평가	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 대용량 텀블러 시제품 구조개선 지원을 위한 제품 평가
	본장비 최종 제품 품질평가 지원	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 대용량 타사 해동기 제품 품질 특성 비교 ▶ 육제품 품질평가: VBN, TBARS, 색도, 미세구조, 보수력 등

2) 연구수행 과정과 내용: 주관기관 (주)협진

가. IOT 기반 스마트 제어 시스템

- 6ton급 진공해동텀블러의 IOT 기반 스마트 제어 시스템을 구현하기 위해 스마트팩토리 개념 중 진공해동텀블러에 적용할 수 있는 기술들을 분류
 - 일반적으로 스마트공장은 제품의 기획부터 판매까지 모든 생산과정을 ICT(정보통신) 기술로 통합해 최소 비용과 시간으로 고객 맞춤형 제품을 생산하는 사람 중심의 첨단 지능형 공장
 - 스마트공장은 제품 기획·개발부터 양산까지, 주문에서부터 완제품 출하까지 제조 관련 모든 과정으로 응용 시스템뿐 아니라 현장 자동화와 제어 자동화 영역까지 공장 운영의 모든 부분을 포함
 - KOSMO 스마트공장 사업관리시스템의 기준으로 스마트공장은 크게 4단계로 분류할 수 있음

구분	현장 자동화	공장운영	기업자원관리	제품개발	공급사슬 관리
고도	IoT / IoS 기반의 CPS 화				인터넷 공간상의 비즈니스 CPS 네트워크 협업
	IoT / IoS 화	IoT / IoS (모듈) 화 빅데이터 기반의 진단 및 운영			
중간2	설비제어 자동화	설비제어 자동화	실시간 공정제어	시뮬레이션과 일괄 프로세스 자동화	다품종 개발 협업
중간1	설비데이터 자동집계	설비데이터 자동집계	실시간 의사결정	기술 정보 생성 자동화와 협업	다품종 생산 협업
기초	실적집계 자동화	실적집계 자동화	공정 물류 관리(POP)	서버를 통한 기술/납기 관리	단일 모기업 의존
ICT 미적용	수작업	수작업	수작업	전화와 이메일	협업

- 본 과제의 진공해동텀블러는 hyperSCADA를 이용하여 ‘중간1’ 수준의 스마트팩토리를 지원하도록 개발

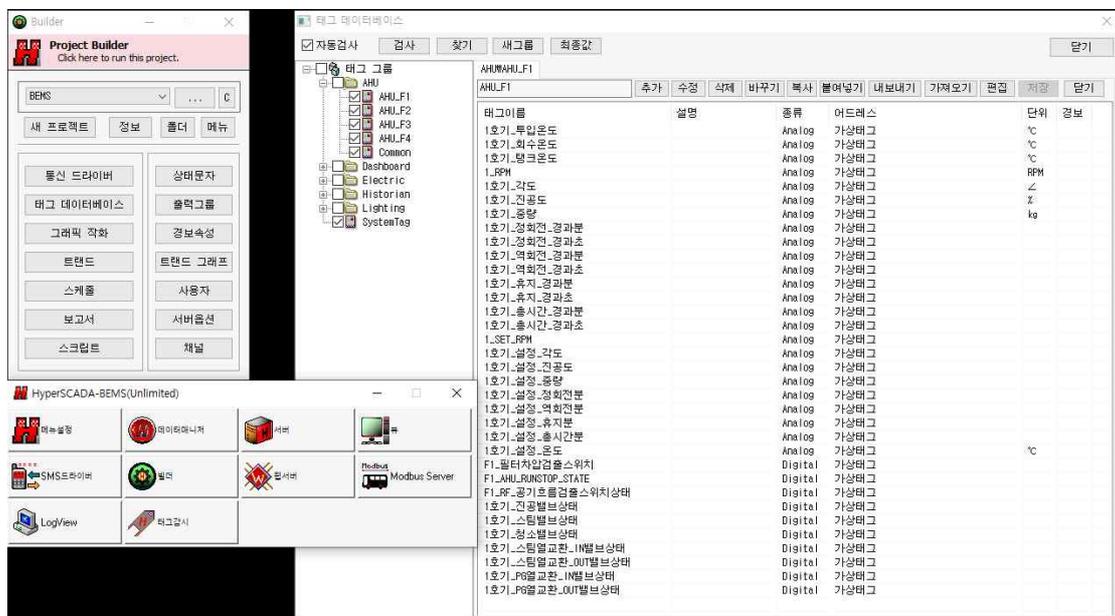


그림118. hyperSCADA를 이용한 컨트롤



그림120. 원격제어와 자동알람 (제품카타로그 발췌)

나. 6 ton 해동텀블러 제품화

○ 제품화를 위한 제품개발 완성품 검증 발표회 실시

- 2023년 7월 12일에 (주)협진 본사에서 대용량 진공해동텀블러 제품 완성 검증 및 발표회를 실시하고 각 연구기관이 모여서 완성품을 검수하고 성능평가 과정을 참관



그림121. 대용량 진공해동텀블러 제품 완성품 검증 발표회

○ 국내·외 전시회 및 학회 참여를 통한 진공해동텀블러 홍보

- 국내 전시회 2회, 해외학회 1회 발표를 통해 대용량 진공해동텀블러의 기술적 우수성, 해동육류의 품질 우수성을 적극 홍보



그림122. 2023 서울국제식품산업대전 참여

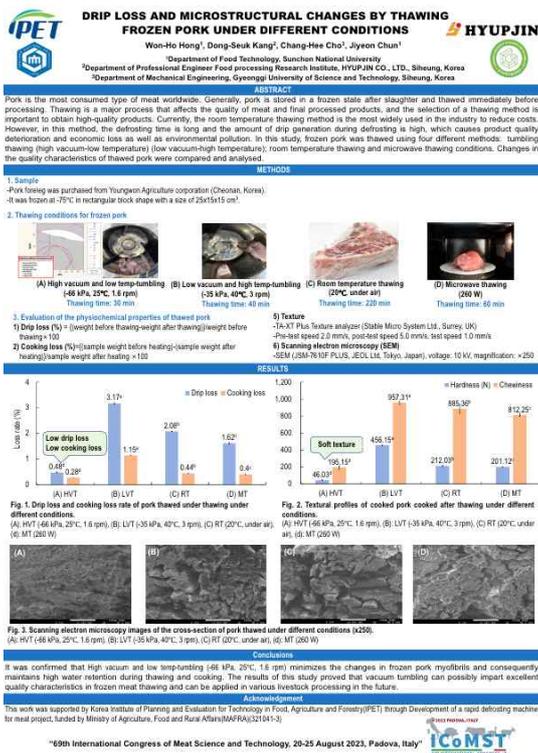


그림123. 2023년 ICoMST 참가

○ 연구팀 자체 세미나를 통해 제품화와 사업화 단계를 점검하고 사업화 성공을 위한 연구 팀 전체가 해야 할 일들에 대해 논의

- 2023년 11월 소노캠 진도에서 3개 연구기관이 공동으로 세미나 실시

- 사업화 성공을 위한 주관기관과 경기과학기술대학교의 제품 성능검증 마무리 및 국립 순천대학교의 타장비와 해동육 품질평가를 통한 기술적 우위 증명을 추후 과제로 선정

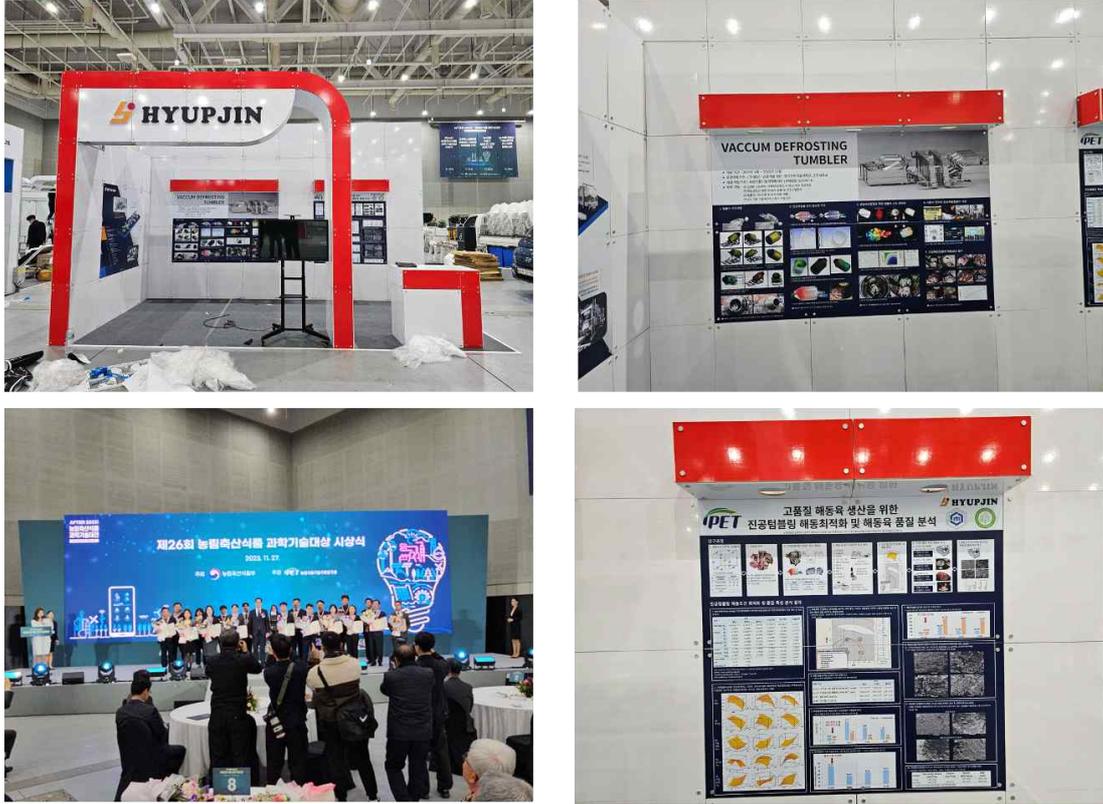


그림124. 2023년 농림축산식품 과학기술대전 참가



그림125. 원료육 금속 진공 해동 장치 개발 자체 세미나

다. 6 ton 해동텀블러 제품화

- 1차년도에 개발 완료한 2000L급 해동 텀블러를 2022년 9월에 협력기관에 납품 계약을 완료하고 2023년에 납품 완료 및 최초 매출 발생

<첨부4>

농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

과제명	원료육 급속 진공 해동 장치 개발			
주관연구기관	(주)업진	협력기관	경기과학기술대학교, 순천대학교	
연구책임자	강동석	연구기간	21년 04월 - 23년 12월(총 3년)	
기업 정보	기업 매출 총액 : 200,000,000원			
관련 실적	특허(V), 표준(), 소프트웨어(), 디자인(), 상표(), 기타(상표)			
	명칭(번호) : 냉동육 해동장치 (특허출원 10-2021-0178556)			
	기술실시 명칭 : 냉동육 해동장치			
해당제품의 매출 실적				
제품명	제품사진	매출액(원)	해당 과제의 매출액 기여율(%)	
해동 진공텀블러 2000L		국내	200,000,000원	70%
		국외		
<p>* 첨부 : 당해연도 매출액을 확인할 수 있는 자료(매출전표, 세금계산서, 매출원장, 수출계약 등) 상기와 같이 R&D 기술을 사업화하여 발생한 매출액을 보고합니다.</p>				



2022년 09월 30일
 연구책임자 : 강동석 (서명생략)

그림126. 2 ton 진공해동텀블러 사업화 성공

3) 연구수행 과정과 내용: 제1 공동연구기관 경기과학기술대학교

가. 6ton급 해동텀블러 제품화 지원

- 6ton 진공해동텀블러 최종 성능 시험평가 지원 (용량, 진공압, 로스율, 해동시간)
 - 일시 : 2023년 07월 12일
 - 장소 : 주관기관 연구소
 - 냉동육 : 돈육 후지 300kg (해동텀블러 용량은 최대 3ton까지 해동 가능하지만 해동육 처리의 현실적 문제로 인해 소량 해동)



그림127. 6ton급 해동텀블러 파이롯 장비



그림128. 6ton급 해동텀블러 용량 검수

- 6ton 해동텀블러 용량측정을 텀블러의 길이 측정 결과를 기반으로 도면으로부터 부피를 계산해서 도출했고 그 결과 6,423L로 기준인 6000L(6ton)을 만족하는 것으로 판단됨
- 텀블러 진공압은 텀블러에 설치된 압력계를 통해 측정했고 최대 -0.83bar 로 진공압으로 계산하면 0.17bar 까지 감압이 가능한 것으로 확인

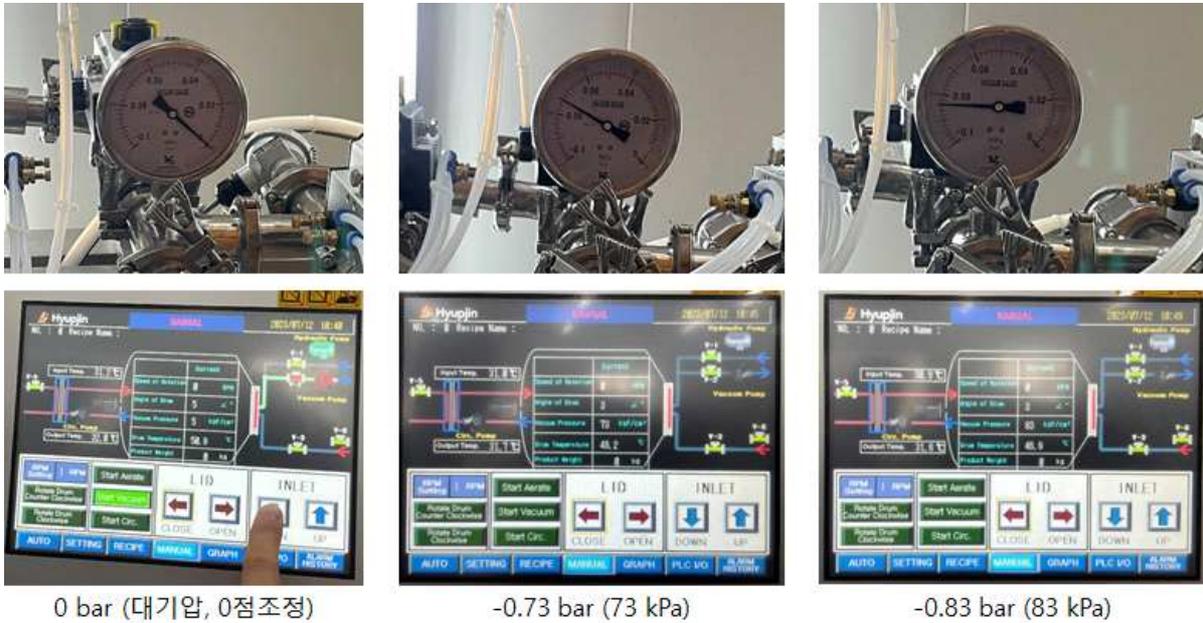


그림129. 텀블러 진공압력 측정

○ 텀블러 해동성능 테스트를 위해 돈육 약 300kg의 해동 전 무게와 온도를 측정



그림130. 파이롯 장비 해동 성능 시험평가를 위한 돈육 후지 303 kg

- 300 kg의 냉동육은 약 10 kg 단위로 블록 형태로 냉동되어 있으며 해동작업 시작 전의 온도는 $-7.5^{\circ}\text{C} \sim -6.4^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 보이고 있었음
 - 해동공정은 총 4시간 동안 해동하였으며 중간에 1시간 간격으로 해동공정을 중지하고 돈육 심부 온도 측정과 상태관찰을 했음
 - 파이롯 장비의 목표성능에 “냉장기능”이 포함되어 있지 않기 때문에 아직 파이롯 장비에 냉동기가 설치되어 있지 않아서 이중 자켓에 온수순환은 하지 않고, 단순히 실 내 공기에 의해서만 텀블러 내부 대류와 온도분위기를 형성하였음
 - 해동 과정 중 텀블러 내부 스팀 분사율은 전체 냉동육 무게의 5 % (7 kg)를 전 과정에서 균일하게 분사함, 따라서 냉동육과 분사된 스팀을 모두 합쳐서 시험 전 총 무게는 147 kg 임
- 시험 과정에서 중 각각의 냉동육에 대한 해동 온도편차는 약 2°C 이내로 어느 수준에서 냉동육이 순환되어 균일해동 되고 있음을 알 수 있음

- 해동과정 초기에는 텀블러 바닥에 수분(분사된 스팀)의 양이 많았으나, 지속적인 텀블링 과정에서 해동육 내부로 수분이 흡수되면서 드립수의 양이 지속적으로 감소하였고 2시간 후에 육안으로 검사 시에는 드립수가 거의 발생하지 않음
- 외부 온도가 높은 영향으로 파이롯 장비에 비해 다소 빠르게 해동이 되는 것으로 파악되므로 외부 온도의 영향을 받는다는 점을 인지할 필요가 있음
- 해동육의 온도는 심부온도를 측정하는 것으로 함
- 해동 과정 중 각각의 냉동육에 대한 온도편차는 2℃ 이내로 해동과정에서 냉동육 순환이 되고 있음을 확인



-6℃ 이상 냉동육 : 7월12일 11시14분



해동시작 : 7월12일 12시02분



해동완료 : 7월12일 14시42분



-1.1℃ 해동완료 : 7월12일 14시46분

그림131. 해동테스트 과정

- 최종 해동 시간은 2시간 44분으로 파악됨
- 최초 냉동육의 무게는 303.36kg, 진공해동 과정 중 스팀 분사량은 냉동육 무게의 5%인 15.17kg으로 냉동육과 스팀의 총 무게는 318.53kg이고, 최종 해동 완료 후 해동육 무게는 총 315.82kg이므로 드립 로스율은 0.85%
- 시험평가 기관은 한국공학대학교 공용장비지원센터(공인인증 시험기관)에서 참관시험으로 실시했고 해동시험 평가조건은 최초 사업제안서의 평가조건과 동일하게 설정해서 시험을 실시
- 시험평가에는 주관기관, 제1 공동연구기관, 제2 공동연구기관과 공인시험 평가기관이 모두 참석해서 시험을 진행 및 참관

○ 최종 시험 결과는 다음과 같음

평가항목	시험 방법	목표치	결과	판정
1. 텀블러 용량	- 텀블러 내부 길이를 '줄자' 로 측정해서 부피를 계산 - 정밀도 ±10L 수준	6 000 L 이상	6 423 L	G0
2. 텀블러 진공압력	- 장비에 부착된 압력계(음압)의 수치로 측정 - 압력계 사진 첨부	0.5 bar 이하 (-0.5bar 이하)	0.17 bar (-0.83 bar) (최대)	G0
3. 해동 시간	- (-20이상)℃ 정도의 냉동육을 (-1±1)℃ 까지 해동하는 데 걸리는 시간, 또는 5.5hr 해동 후 해동육의 온도 - 심부온도 측정기로 온도측정	6 hr 이하	2 hr 44 min (평균온도 기준)	G0
4. 드립 로스율	- 드립 로스율 (%) = 100*(냉동육 무게 - 해동육 무게)/냉동육 무게 - 해동 전/후 해동육 무게 측정	2% 이하	0.85 %	G0

※ 텀블러 내부 진공압력은 외부 대기압(1 bar)을 0 bar로 설정하고 진공압(최대 -1 bar)을 측정하여 표시함, 즉 0.5bar는 외부 대기압을 0으로 설정하는 경우 (-) 0.5bar로 계산

○ 임펠러 수정을 위한 각도 별 동적모델 검증

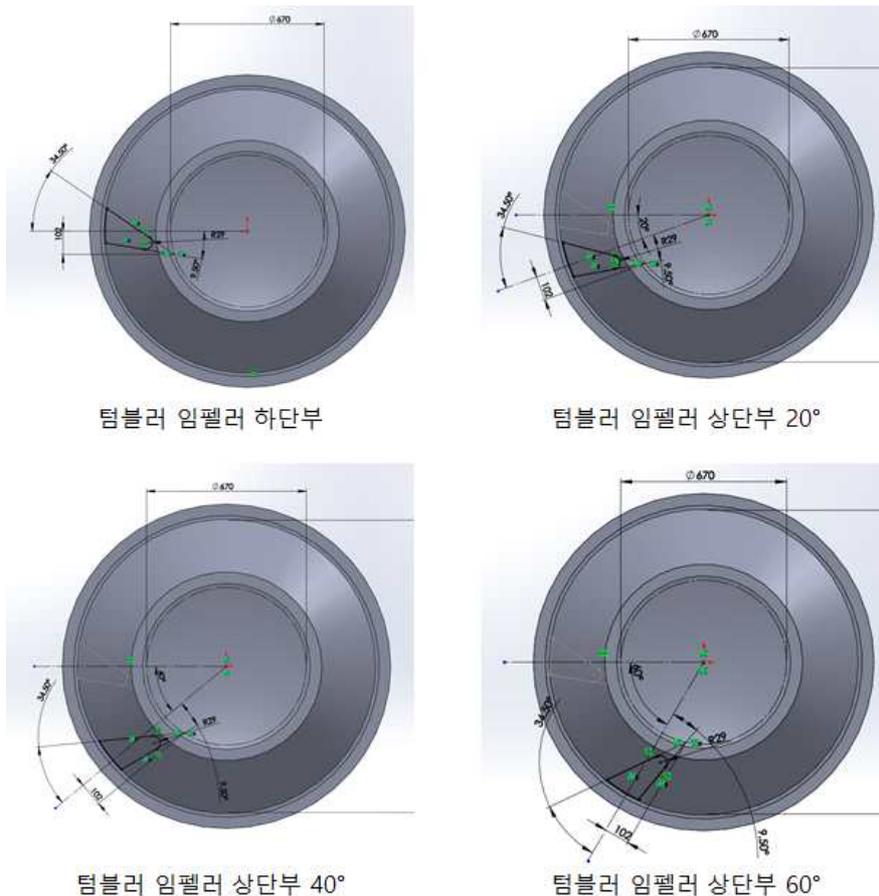
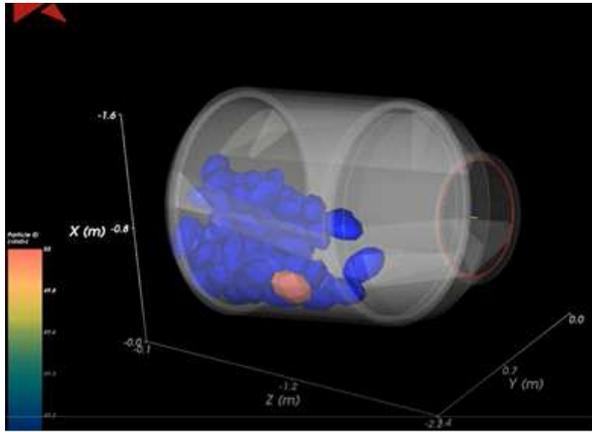
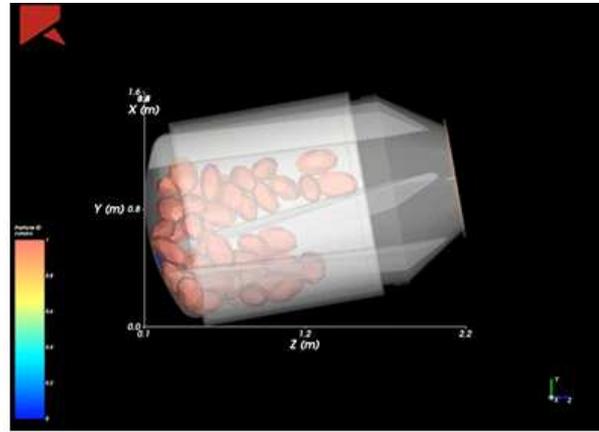


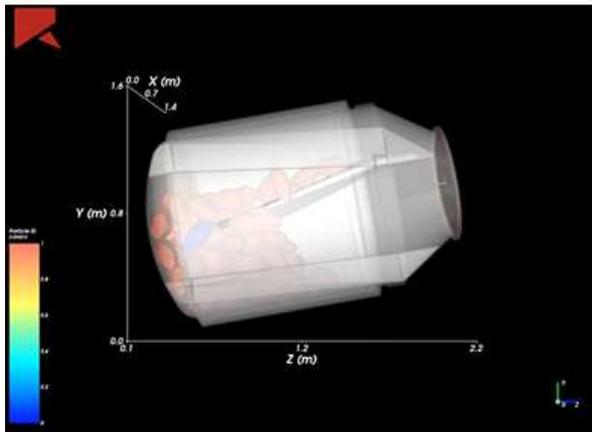
그림132. 임펠러 각도에 따른 변수 설정



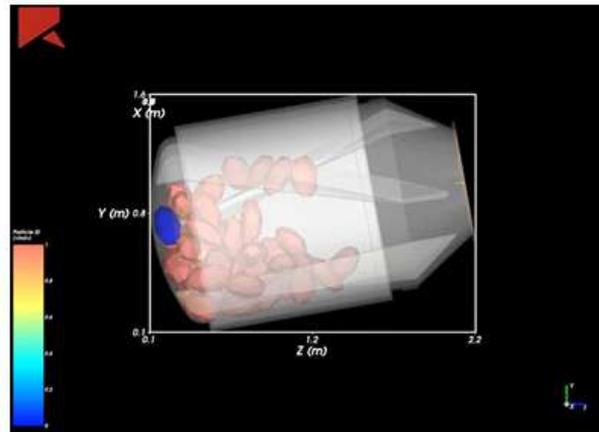
텀블러 임펠러 하단부



텀블러 임펠러 상단부 20°



텀블러 임펠러 상단부 40°



텀블러 임펠러 상단부 60°

그림133. 임펠러 각도에 따른 시뮬레이션

- 동적모델 검증 결과와 2차년도 연구 결과를 기반으로 정량성과 도출을 위한 논문 개발

4) 연구수행 과정과 내용: 제2 공동연구기관 국립순천대학교

3차년도 연구목표는 1차년도와 2차년도의 연구 결과를 기반으로 냉동육 해동을 위한 진공 텀블링 조건을 6ton 규모로 scale-up하여 적용 시 해동육의 품질 특성을 분석하고 수입산 장비의 효능과 비교 분석하여 본 연구과제에서 개발하는 국산 대용량 6ton scale-해동텀블러의 효능에 대한 과학적 근거자료를 확보하는 것임.

가. 세부 연구내용

(1) Lab-scale 진공텀블러의 해동 최적화 효율성 비교 분석

- 0.1 ton 규모의 진공텀블러를 이용한 냉동 돈육 해동 최적조건에서의 해동 특성과 재래식 방법으로 해동한 돈육의 품질 특성 비교

(2) Scale-up(6ton) 해동텀블러 최적화 지원 및 품질평가

- 해동텀블러 scale-up(6ton)을 위한 요인 및 조건 분석
- 대용량 텀블러 시제품 구조개선 지원을 위한 제품 평가

(3) 대용량 진공텀블러 개발 장비의 최종 제품 품질 평가 지원

- 대용량 타사 해동기 제품 품질 특성 비교
- 육제품 품질평가: VBN, TBARS, 색도, 미세구조, 보수력 등

(4) 연구결과 발표 및 홍보

- 연구성과 학술대회 및 논문 발표
- 개발 장비 전시 및 성능의 우수성에 대한 홍보 및 마케팅 지원

나. 연구 결과

(1) Lab-scale 진공텀블러(0.1ton) 해동과 재래식 해동 돈육의 품질 특성 비교

진공해동텀블러의 우수성을 확인하기 위하여 실온해동, 1차년도 선행연구에서 우수한 결과를 보인 전자레인지 해동, 2차년도 선행연구를 바탕으로 선정된 100 L-scale 진공해동 텀블러의 최적조건 및 비최적조건에서의 이화학적 특성 및 조직감 차이를 분석하였다.

▶ 해동 최적화 효율성 비교 분석 방법

① 시료 준비

- 국내산 냉동 돈육 전지 (주협진(경기도 시흥시)으로부터 농업회사법인영원한(충남 천안시)의 시료를 제공받아 시료로 사용하였다. 냉동된 돈육 전지를 800~1,000 g 단위로 절단하여 크린백(clean bag, cleanwrap Co., Seoul, Korea)으로 밀봉한 다음 -75℃ 냉동고에서 동결시켜 분석 기간 동안 사용하였다.

② 냉동육 해동

- 냉동 돈육 시료를 -75℃ 냉동고에서 꺼낸 후 실온(20℃)에서 심부중심온도 -8℃에 도달하도록 한 후 비닐 포장을 벗기고 실온, 마이크로파, 진공텀블링 해동의 조건에 따라 해동하였다. 해동시간은 냉동 돈육의 중심온도가 0℃에 도달하는 시점을 각 해동 종료 시점으로 설정하여 해동곡선을 작성하였으며 해동이 완료된 시료는 즉시 냉장 보관하며 품질 특성을 위한 분석시료로 사용하였다.
- 100 L-scale 진공텀블링해동장치의 최적조건(고압 저온 텀블링; -66 kPa, 25℃, 1.6

rpm)과 비최적조건(저압 고온 텀블링; -35 kPa, 40°C, 3 rpm)으로 나누어 수행하고 각 해동 조건에서 완료된 시료를 샘플링하였다.

- 실온해동은 20°C에서, 전자레인지 해동은 전자레인지(ER-4320B, LG Electronics, Seoul, Korea)를 이용하여 260W에서 냉동 돈육을 해동하였다.
- 모든 시료는 탐침온도계(Cas WPT-1, CAS Co., Yangju, Korea)를 이용해 20분마다 심부 중심온도를 측정하였다. 해동이 완료된 시료는 냉장보관하며 해동 직후 24시간 이내에 모든 품질 지표에 대한 분석을 수행하였다.

③ 품질 분석

◦ 드립감량 측정

- 냉동 돈육의 심부온도가 -6°C에서 0°C에 도달할 때까지 해동한 해동 돈육으로부터 손실된 드립 양을 다음과 같이 계산하여 백분율로 나타내었다.

$$\text{드립 감량(drip loss, \%)} = [(\text{해동 전 무게} - \text{해동 후 무게}) / \text{해동 전 무게}] \times 100$$

◦ 가열감량 측정

- 가열감량은 해동 된 시료를 70°C의 항온수조(WB-20M, Jeio tech, Daejeon, Korea)에서 30분간 가열한 후 실온에서 10분간 방냉시킨 뒤 가열 전 시료 무게에서 가열 후 시료 무게를 백분율로 나누어 계산하였다.

$$\text{가열감량(\%)} = \{(\text{가열 전 무게} - \text{가열 후 무게}) / \text{가열 전 무게}\} \times 100$$

◦ 해동 돈육의 색도 측정

- 해동 돈육의 표면의 색 변화는 Minolta 색도계(CR-200, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 L(lightness, 명도), a(redness, 적색도) 및 b(yellowness, 황색도) 값으로 분석하였다. 해동된 돈육 시료의 매끈한 표면을 6회 반복 측정한 후 평균값과 표준편차 값으로 나타냈다. ΔE 는 실온해동의 색도를 대조군으로 설정하여 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

L_1, a_1, b_1 : 실험군(전자레인지해동, 진공텀블러해동)의 색도

L_2, a_2, b_2 : 대조군(실온해동)의 색도

◦ 보수력 측정

- 보수력은 Kim et al. (2013)의 방법에 따라 측정하였다. 50 mL-conical tube에 해동된 시료 5 g을 정확히 취한 후 70°C 항온수조에서 30분 가열 후, 실온에서 10분간 방냉 후 원심분리기(MF-550, Hanil Science Industrial Co., Incheon, Korea)를 이용하여 20°C에서 2,000 ×g, 10분간 원심분리 후 유리된 육즙량을 측정하여 백분율(%)로 계산하였다.

$$\text{보수력(\%)} =$$

$$(\text{가열 전 시료 무게} - \text{원심분리 후 유리된 수분 무게}) / \text{가열 전 시료 무게} \times 100$$

◦ 조직감 분석

- 조직감은 Gan 등(2022)의 방법에 따라 분석하였다. TA-25 probe(5 cm diameter, 10 mm height)가 장착된 TA-XT Plus Texture analyzer (Stable Micro System Ltd., Surrey, UK)를 사용하였다. 해동 후 조리된 돼지고기를 1×1×1 cm³의 크기로 정형하

여 2회 압축(7 mm 거리) 분석을 수행하였다. 조직감 분석은 각 시료마다 5회 수행하였으며, 경도(hardness, N)와 저작성(chewiness)을 구하였다. 분석조건은 pre-test speed 2.0 mm/s, post-test speed 5.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s로 하였다.

◦ 미세구조 분석(SEM)

- SEM 분석은 Hu 등(2023)의 방법에 따라 분석하였다. 해동된 시료와 조리 후 시료를 각각 0.2 M glutaraldehyde에 12시간 고정하고 sodium phosphate buffer(pH 7.2)로 15분동안 3회 용출시켰다. 그다음 잔류 버퍼 용액을 방지하기 위해 3차 증류수로 1 시간동안 용출시켰다. 시료는 30%, 50%, 70%, 80%, 90% 그리고 95% ethanol로 각각 15분씩 용출시킨 후 absolute ethanol로 20분 동안 2회 용출시켰다. 마지막으로 시료를 동결건조하고 ion sputter(E-1010, Hitachi, Tokyo, Japan)를 사용하여 진공 하에서 Au 코팅(10 mA, 120 s)으로 각 시료를 처리하고 전압 10 kV, 배율 ×250의 조건하에 SEM(JSM-7610F PLUS, JEOL Ltd., Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

▷ 해동 돈육의 품질 특성 비교 결과

① 진공텀블러 해동과 재래식 해동 돈육의 색도

- 해동 돈육의 색은 L, a, b값 모두 해동 조건에 따라 유의적인 차이를 나타내어 (p<0.05) 전체적인 색도에서도 차이(ΔE)를 나타내었다. L, a, b값 모두 최적조건 텀블러해동(HVT)에서 가장 높은 값을 나타냈고, 비최적조건 텀블러해동(LVT)에서 가장 낮은 값을 나타냈다(표26).

표26. Color values of pork thawed under different conditions

Sample ¹⁾	Color			
	L	a	b	ΔE
HVT	57.23±0.01	10.94±0.02	7.12±0.01	1.11
LVT	54.00±0.12	8.84±0.05	6.58±0.08	3.15
MT	55.18±0.08	8.92±0.01	6.71±0.04	1.94
RT	56.87±0.11	9.86±0.15	6.87±0.03	-

¹⁾ HVT: high vacuum and low temperature tumbling thawing (optimized thawing conditions, -66 kPa, 25°C, 1.6 rpm), LVT: low vacuum and higt temperature tumbling thawing (-35 kPa, 40°C, 3 rpm), MT: microwave thawing (260 W), RT: room temperature thawing (20°C)

② 드립감량 및 가열감량

- 해동 방법별 드립감량과 가열감량은 최적조건 텀블러해동(HVT)이 각각 0.48%, 0.28%로 가장 낮은 값을 나타냈다. 이는 재래식 해동 방법보다 진공텀블러 해동이 드립감량과 가열감량과 같은 수분 손실을 최소화할 수 있는 해동법이 될 수 있을 것으로 보인다(표27).

표27. Drip loss and cooking loss of pork thawed under different conditions

Sample ¹⁾	Drip loss (%)	Cooking loss (%)
HVT	0.48	0.28
LVT	3.17	1.15
MT	1.62	0.40
RT	2.08	0.44

¹⁾ HVT: high vacuum and low temperature tumbling thawing (optimized thawing conditions, -66 kPa, 25°C, 1.6 rpm), LVT: low vacuum and higt temperature tumbling thawing (-35 kPa, 40°C, 3 rpm), MT: microwave thawing (260 W), RT: room temperature thawing (20°C)

③ 미세구조

- 해동방법별 해동육의 미세구조를 관찰한 SEM의 결과는 그림134와 같다. 최적조건 텀블러해동(그림134. 1-A)은 근원섬유의 깔끔한 배열과 간격의 사이가 촘촘하였으나, 이를 제외한 나머지 조건(그림134. 1-B, C, D)에서는 근원섬유가 구부러지거나 얽혀져있고 끊어져 있었으며 근원섬유 사이의 간격이 넓었다. 이상의 결과를 통해 과도한 드립 감량과 고르지 않은 해동이 해동 돈육의 근원섬유 손상과 관련이 있는 것으로 보인다.

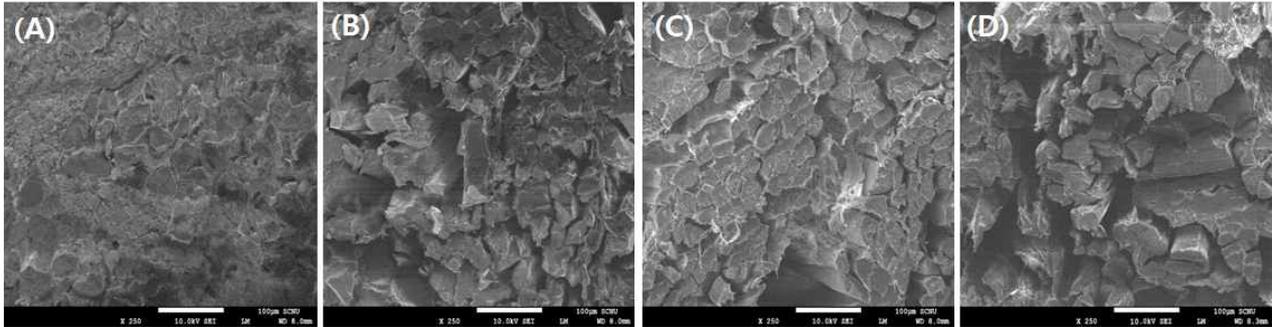


그림134. Scanning electron microscopy images of the cross-sections of pork thawed under different conditions (×250).

(A): high vacuum and low temperature tumbling thawing (optimized thawing conditions, -66 kPa, 25°C, 1.6 rpm), (B): low vacuum and higt temperature tumbling thawing (-35 kPa, 40°C, 3 rpm), (C): microwave thawing (260 W), (D): room temperature thawing (20°C).

④ 해동 돈육의 가열 후 품질특성 비교

- 보수력은 최적조건 텀블러해동(HVT)이 97.14%로 가장 높은 값을 보였다. 이는 물리적인 충돌로 인한 마사지 효과와 감압에 의한 얼음 결정의 신속한 해동이 총 해동시간을 단축시키는 것뿐만 아니라 근육 조직의 파괴를 최소화하여 본래 식육이 가지고 있던 보수력을 높은 수준으로 유지하는 것으로 사료된다.
- 조직감을 나타내는 경도와 씹힘성은 최적조건 텀블러해동(HVT)에서 각각 46.03과 195.15로 가장 낮은 값을 나타내었으며, 이는 보수력과 반비례하여 식육 내 수분이 빠져나갈수록 단백질 변성으로 인해 경도와 씹힘성이 높아지는 것으로 보인다.

표28. Water holding capacity (WHC) and texture profiles of cooked pork after thawing under different conditions

Sample ¹⁾	WHC ²⁾ (%)	Texture	
		Hardness (N)	Chewiness
HVT	97.14	46.03	195.15
LVT	94.43	456.15	957.31
MT	95.72	201.12	812.25
RT	95.24	212.03	885.36

¹⁾ HVT: high vacuum and low temperature tumbling thawing (optimized thawing conditions, -66 kPa, 25°C, 1.6 rpm), LVT: low vacuum and higt temperature tumbling thawing (-35 kPa, 40°C, 3 rpm), MT: microwave thawing (260 W), RT: room temperature thawing (20°C)

²⁾ WHC: water holding capacity

(2) 개발된 대용량 진공해동텀블러(6ton)와 타사 해동기의 성능 비교

1~2차년도 선행연구를 통해 개발된 본장비(6ton-scale)를 이용한 돈육과 타사 해동기를 이용한 돈육의 해동 및 가공품질 특성을 비교분석하였다. 미생물오염, 휘발성염기질소, TBARS, 색, 드립, 보수력 등 해동된 돈육의 품질을 분석하였으며, 후속 가공 공정에 따른 품질 특성 평가를 위해 조리 후 특성을 조사하였다.

▷ 해동육의 품질 특성 분석 방법

① 시료 준비

- 국내산 냉동 돈육 전지를 (주)협진(경기도 시흥시)과 (주)두리식품(경기도 화성시)으로부터 제공받아 시료로 사용하였다. 냉동된 돈육 전지는 -75°C 냉동고에서 보관하며 분석하는 동안 사용하였다.
- 본 연구과제를 통해 개발한 6 ton 규모의 진공텀블링해동장비와 해동능력 및 품질특성을 비교하기 위하여 S사(충북 음성군) 공장에 설치된 수입산 진공해동텀블러(6 ton, Lutetia, 프랑스)를 이용하여 해동한 돈육 전지를 샘플링하여 품질 특성을 분석 비교하기 위한 대조군 시료로 사용하였다. 해동 후 모든 품질 지표에 대한 시료 분석은 해동 직후 24시간 이내에 수행되었다.

② 냉동 돈육의 해동

- 대용량 진공해동텀블러(6 ton)의 성능 검증 및 타사 해동기 비교를 위해 (주)협진(HYUPJIN Co., LTD., Siheung, Korea)으로부터 (주)두리식품(경기도 화성시)의 국내산 전지를 시료로 제공받았다. 냉동된 돈육 전지는 13.7 kg씩 포장되어 -75°C 냉동고에서 동결시켜 분석하는 동안 사용하였다.
- 냉동 돈육 시료를 꺼낸 후 실온(20°C)에서 심부 중심온도가 $-6\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에 도달하도록 한 후 비닐 포장을 벗긴 후 본 연구에서 개발 및 제작한 6 ton-scale 진공해동텀블러에서 해동을 시작하였다. 해동조건은 Lab-scale에서 최적화한 조건을 기반으로 scale-up에 맞게 조정하여 최적조건(진공압력 -60 kPa , 재킷 순환 온도 35°C , 회전 속도 1 rpm, 텀블러 각도 10°)에서 해동하였다.



본장비(대용량 진공해동텀블러)



타사 진공해동텀블러

그림135. 본 연구 개발 장비(6 ton)와 유사 규모의 타사 진공해동텀블러의 해동특성 비교 실험

- 탐침온도계(Cas WPT-1, CAS Co., Yangju, Korea)를 이용해 20분마다 심부중심온도를 측정하여 해동곡선을 작성하였으며, 냉동 돈육의 중심온도가 $-1\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에 도달할 때까지의 시간을 총 해동 시간으로 산출하였다.
- 해동이 완료된 시료는 냉장 보관하였으며 품질 지표에 대한 시료 분석은 해동 직후 24시간 이내에 수행하여 대조군인 실온해동(20°C)과 비교하였다.

③ 해동육의 품질 특성 분석

◦ 드립감량 측정

- 냉동 돈육의 심부온도가 -6°C 에서 0°C 에 도달할 때까지 해동한 해동 돈육으로부터 손실된 드립 양을 다음과 같이 계산하여 백분율로 나타내었다.

$$\text{드립 감량(drip loss, \%)} = [(\text{해동 전 무게} - \text{해동 후 무게}) / \text{해동 전 무게}] \times 100$$

◦ 가열감량 측정

- 가열감량은 해동 된 시료를 70°C 의 항온수조(WB-20M, Jeio tech, Daejeon, Korea)에서 30분간 가열한 후 실온에서 10분간 방냉시킨 뒤 가열 전 시료 무게에서 가열 후 시료 무게를 백분율로 나누어 계산하였다.

$$\text{가열감량(\%)} = \{(\text{가열 전 무게} - \text{가열 후 무게}) / \text{가열 전 무게}\} \times 100$$

◦ 해동 돈육의 pH 및 색도 측정

- pH 측정은 세절된 시료를 50 mL conical tube에 1 g을 정확히 취하여 증류수 9 mL을 가한 후 homogenizer로 균질화하여 pH meter(Metter-Toledo AG 8603, Schwerzenbach, Switzerland)로 측정하였다. 해동 돈육의 표면의 색 변화는 Minolta 색도계(CR-200, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 L(lightness, 명도), a(redness, 적색도) 및 b(yellowness, 황색도) 값으로 분석하였다. 해동된 돈육 시료의 매끈한 표면을 6회 반복 측정한 후 평균값과 표준편차 값으로 나타냈다. ΔE 는 실온해동의 색도를 대조군으로 설정하여 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

L_1, a_1, b_1 : 실험군(전자레인지해동, 진공텀블러해동)의 색도

L_2, a_2, b_2 : 대조군(실온해동)의 색도

◦ 해동 돈육의 총균수와 대장균군 분석

- 시료 1 g에 멸균 생리식염수 9 mL을 가하여 멸균백에 담아 stomacher(Bag mixer W400, Interscience, Saint Nom, France)로 균질화한 후 여과액을 10배 희석법으로 희석하여 사용하였다. 총균수용 건조필름과 대장균군용 건조필름(MC-Media Pad, JNC Co., Tokyo, Japan) 중앙에 시료 1 mL을 접종한 뒤 incubator(HB-101, Han Baek Science Co., Bucheon, Korea)에서 37°C 에서 24시간 배양시켰다. 총균수와 대장균군 측정 결과는 배양 후 액화 현상이 없고 배지당 30~300개 집락을 형성한 평판을 선택하여 계수하였으며 모든 결과는 3반복 측정값의 평균값을 산출하고 log CFU/g으로 나타내었다.

◦ 지방산패도 측정

- 시료의 지방산패를 측정하는 thiobarbituric acid reactive substance(TBARS) 함량을 측정하였다(Buege and Aust, 1978; Ahn DU et al., 1998; 남동건 et al., 2017).
- 시료 약 2 g을 칭량 후 0.2% butylated hydroxy toluene(BHT) 0.3 mL과 3.86% perchloric acid 18 mL을 가해 산화반응을 정지시키고 2분간 균질화한 후 여과지(Whatman No. 1)로 여과하였다. 여과액 1 mL에 thiobarbituric acid(TBA) 용액을 1 mL씩 가하여 5분간 혼합한 다음 끓는 물에서 30분간 열처리한 후 냉각하였다. 반응액은 450 ×g에서 20분간 원심분리 후 상층액을 취하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였다. 공시험은 시료대신 증류수를 가하여 위와 같은 방법으로 처리. 시료의 TBARS 값은 1,1,3,3-tetraethoxypropane을 표준물질로 사용하여 다음과 같이 malondialdehyde(MDA) mg/kg로 나타내어 표시하였다.

$$TBARS(MDA \text{ mg/kg})=(A-B)\times\text{희석배수}\times 100/S$$

A : 시료의 532 nm에서의 흡광도

B : 공시험의 532 nm에서의 흡광도

S : 시료 채취량(g)

◦ 단백질변패도 측정

- 식품공전의 미량확산(conway)법(2019)으로 휘발성 염기질소(VBN)를 측정하였다. 세절된 시료 10 g에 증류수 50 mL을 가하고 Shaking incubator로 37℃, 100rpm에서 30분간 추출한 뒤 여과한 시료를 시험용액으로 사용하였다. Conway 용기를 기울인 뒤 내실에 0.01N 황산 1 mL을 넣고 외실에 시료 1 mL을 넣은 뒤 덮개에 기밀제를 소량 바른 후 K₂CO₃ 포화용액 1 mL을 외실에 재빨리 넣고 덮개를 덮어 클립으로 고정하였다. 외실의 시험용액과 K₂CO₃ 포화용액을 잘 섞은 뒤 25℃에서 1시간 반응시킨 후 내실에 brunswik 시약 10 μL를 첨가한 뒤 0.01N NaOH용액으로 적정하여 휘발성염기질소 화합물의 양을 측정하였다.

$$\text{휘발성염기질소(mg\%)} = 0.14 \times (b-a) \times F \times D / S \times 100$$

a: 0.01N NaOH 적정량(mL)

b: 0.01N NaOH 공시험 적정량(mL)

F: 0.01N NaOH의 역가

D: 희석배수

S: 시료채취량(g)

◦ 보수력 측정

- 보수력은 Kim et al. (2013)의 방법에 따라 측정하였다. 50 mL-conical tube에 해동된 시료 5 g을 정확히 취한 후 70℃ 항온수조에서 30분 가열 후, 실온에서 10분간 방냉 후 원심분리기(MF-550, Hanil Science Industrial Co., Incheon, Korea)를 이용하여 20℃에서 2,000 ×g, 10분간 원심분리 후 유리된 육즙량을 측정하여 백분율(%)로 계산하였다.

$$\text{보수력(\%)}=$$

$$(\text{가열 전 시료 무게}-\text{원심분리 후 유리된 수분 무게})/\text{가열 전 시료 무게}\times 100$$

◦ 조직감 분석

- 조직감은 Gan 등(2022)의 방법에 따라 분석하였다. TA-25 probe(5 cm diameter, 10 mm height)가 장착된 TA-XT Plus Texture analyzer (Stable Micro System Ltd., Surrey, UK)를 사용하였다. 해동 후 조리된 돼지고기를 1×1×1 cm³의 크기로 정형하여 2회 압축(7 mm 거리) 분석을 수행하였다. 조직감 분석은 각 시료마다 5회 수행하였으며, 경도(hardness, N)와 저작성(chewiness)을 구하였다. 분석조건은 pre-test speed 2.0 mm/s, post-test speed 5.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s로 하였다.

◦ 미세구조 분석(SEM)

- SEM 분석은 Hu 등(2023)의 방법에 따라 분석하였다. 해동된 시료와 조리 후 시료를 각각 0.2 M glutaraldehyde에 12시간 고정하고 sodium phosphate buffer(pH 7.2)로 15분동안 3회 용출시켰다. 그다음 잔류 버퍼 용액을 방지하기 위해 3차 증류수로 1 시간동안 용출시켰다. 시료는 30%, 50%, 70%, 80%, 90% 그리고 95% ethanol로 각각 15분씩 용출시킨 후 absolute ethanol로 20분 동안 2회 용출시켰다. 마지막으로 시료를 동결건조하고 ion sputter(E-1010, Hitachi, Tokyo, Japan)를 사용하여 진공하에서 Au 코팅(10 mA, 120 s)으로 각 시료를 처리하고 전압 10 kV, 배율 ×250의 조건하에 SEM(JSM-7610F PLUS, JEOL Ltd., Tokyo, Japan)으로 관찰하였다.

▷ 대용량 진공해동텀블러(6ton) 및 타사 해동기 품질 특성 분석 결과

① 해동돈육의 해동시간, 드립감량 및 가열감량 특성

- 본장비의 조건에 따른 냉동 돈육의 해동시간은 165분이었으며, 대조군인 실온해동은 4,200분으로 나타나 해동시간을 2배 가까이 단축시켰다. 타사의 해동장치를 이용한 ST의 경우 해동된 육을 제공받아 사용하였으므로 알 수 없었다.
- 드립감량은 타사의 해동장치를 이용한 ST의 경우 해동된 육을 제공받아 사용하였으므로 알 수 없으며, 본장비(HT)는 0.85%로 실온해동에 비해 매우 낮은 값을 나타냈다. 가열감량은 모든 진공텀블러해동이 0.02~0.03%로 실온해동에 비해 매우 낮은 값을 나타냈다(표29).

표29. Drip loss and cooking loss of pork thawed under different conditions

Sample ¹⁾	Thawing time (min)	Drip loss (%)	Cooking loss (%)
HT	165	0.85	0.02±0.01
ST	-	-	0.03±0.01
RT	4,200	2.08	0.44±0.05

¹⁾ HT: Hyupjin company vacuum tumbler thawing, ST: S company vacuum tumbler thawing, RT: room temperature thawing

② 해동 돈육의 색 변화

- 해동 돈육의 색은 적색도를 나타내는 a값이 실온해동(RT)에 비해 모든 진공텀블러해동(HT, ST)에서 높은 값을 나타냈으며, pH는 HT, RT, ST순으로 높은 값을 나타냈다(표30).

표30. Color values of pork thawed under different conditions

Sample ¹⁾	Color			
	L	a	b	△E
HT	57.15±0.03	13.51±0.08	7.56±0.02	3.72±0.08
ST	48.86±0.11	15.55±0.13	2.99±0.07	10.57±0.13
RT	56.87±0.02	9.86±0.00	6.88±0.01	-

¹⁾ HT: Hyupjin company vacuum tumbler thawing, ST: S company vacuum tumbler thawing, RT: room temperature thawing

③ 해동 돈육의 총균수와 대장균군

- 총균수의 경우, 실온해동에서 2.96 log CFU/g으로 가장 높았으며, S사 진공텀블러해동에서 1.19 log CFU/g으로 가장 낮은 수준을 나타냈다. 모든 진공텀블러해동은 실온해동에 비해 1.0 log CFU/g 이상 낮게 나타났는데, 이는 냉동육이 감압 상태의 텀블러 안에서 해동이 진행되므로 실온 해동보다는 공기 중의 노출이 적기 때문에 총균수가 낮게 나타난 것으로 보인다. 대장균은 실온해동에서만 0.10 log CFU/g이 검출되었으며 모든 진공텀블러를 이용한 해동에서는 검출되지 않았다.

표31. Total aerobic bacteria and coliform of pork thawed under different conditions

Sample ¹⁾	Total aerobic bacteria (log CFU/g)	Coliform (log CFU/g)
HT	1.96±0.02	-
ST	1.19±0.02	-
RT	2.96±0.01	0.10±0.17

¹⁾ HT: Hyupjin company vacuum tumbler thawing, ST: S company vacuum tumbler thawing, RT: room temperature thawing

④ 해동 돈육의 지방산패도 및 단백질변패도

- 지방산패도는 모든 진공텀블러해동이 실온해동에 비해 0.1 MDA mg/kg 이상 낮게 나왔다. 단백질변패도 또한 모든 진공텀블러해동이 실온해동에 비해 2.28 mg% 이상 낮게 나왔으며, 모든 시료가 10 mg% 이하의 값을 나타내 육의 신선함을 확인했다.

표32. TBARS and VBN of pork thawed under different conditions

Sample ¹⁾	TBARS ²⁾ (MDA mg/kg)	VBN ³⁾ (mg%)
HT	0.31±0.01	5.67±1.98
ST	0.31±0.01	4.57±1.97
RT	0.42±0.01	6.86±0.00

¹⁾ HT: Hyupjin company vacuum tumbler thawing, LST: S company vacuum tumbler thawing, RT: room temperature thawing

²⁾ TBARS: thiobarbituric acid reactive substance

³⁾ VBN: volatile basic nitrogen

⑤ 해동돈육의 미세구조 분석(SEM)

- 해동돈육의 미세구조를 관찰한 SEM의 결과는 그림136과 같다. 실온해동(RT)은 근원섬유가 구부러지고 엷했으며, 근원섬유 사이의 간격이 넓은 반면, 감압텀블러해동(HT, ST)은 근원섬유의 깔끔한 배열과 간격의 사이가 촘촘한 것을 확인하였다.

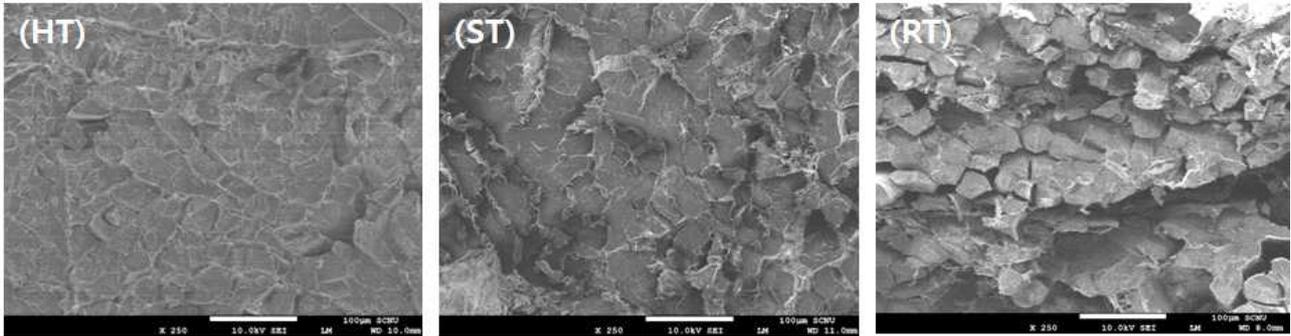


그림136. Scanning electron microscopy images of the cross-sections of pork thawed under different conditions (×250).

(HT): Hyupjin company vacuum tumbler thawing, (ST): S company vacuum tumbler thawing, (RT): room temperature thawing.

⑥ 해동 돈육의 가열 후 품질특성 비교

- 보수력은 HT, ST, RT 순으로 높은 값을 나타냈다. 조직감을 나타내는 경도와 씹힘성은 모든 진공텀블러해동이 실온해동에 비해 각각 6배, 5배 이상 낮게 나와 진공텀블러해동이 가열 후에도 부드러운 육질을 가진다는 것을 확인하였다.

표33. Water holding capacity (WHC) and texture profiles of cooked pork after thawing under different conditions

Sample ¹⁾	WHC ²⁾ (%)	Texture	
		Hardness (N)	Chewiness
HT	97.50±0.90	34.59±0.46	188.21±0.17
ST	96.27±2.30	34.53±0.22	180.06±0.93
RT	95.24±0.03	212.03±0.02	885.36±0.80

¹⁾ HT: Hyupjin company vacuum tumbler thawing, ST: S company vacuum tumbler thawing, RT: room temperature thawing

²⁾ WHC: water holding capacity

⑦ 해동 후 가열돈육의 미세구조 분석

- 해동육의 조리 후 미세구조를 관찰한 SEM의 결과는 그림137과 같다. 해동육을 조리 후에는 근원섬유가 열에 의해 수축되어 모든 시료에서 깔끔한 배열과 간격의 사이가 촘촘한 것을 확인하였다.

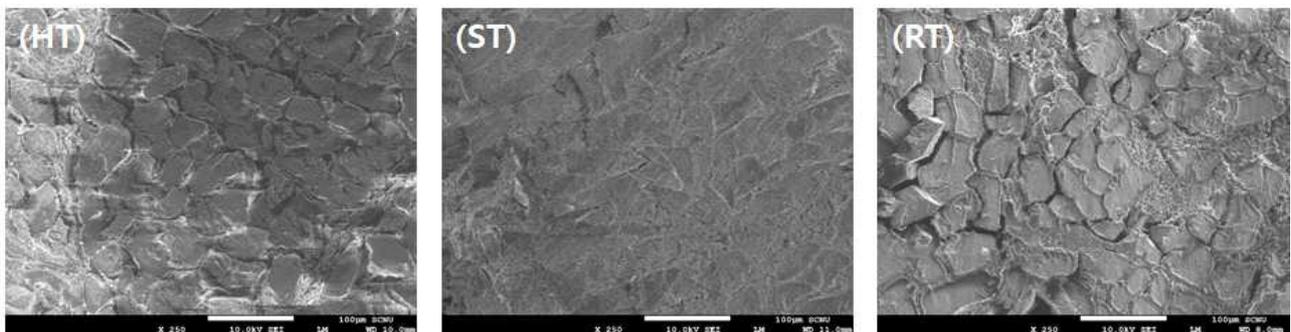


그림137. Scanning electron microscopy images of the cross-sections of pork thawed under different conditions (×250).

(HT): Hyupjin company vacuum tumbler thawing, (ST): S company vacuum tumbler thawing, (RT): room temperature thawing.

(3) 대용량 해동텀블러(6ton)의 성능 홍보 및 시장조사

본 연구에서 개발된 진공텀블러의 성능을 과학적으로 입증한 결과를 국내외 학술대회, 기기 전시회에 참여하여 발표하고 관련 기기 및 연구 자료를 수집하였음.

- 서울국제식품산업대전 참석, 1~2차년도 선행연구를 통해 개발된 대용량 진공해동텀블러 장비(6ton-scale)를 홍보하는 부스 설치, 연구성과 발표 및 기기 전시
- 식품기기 및 식품산업 동향 파악
- 국제학술대회에서 3차년도 연구 결과 발표 및 관련 산업화 자료조사 실시

▷ 6ton-scale 진공해동텀블러 홍보

- 식품산업 동향 및 식품기기 시장현황을 파악하고 (주)협진에서 6ton-scale 해동텀블러를 홍보하는 부스에 방문하기 위해 5월 30일~6월 2일 일산 KINTEX에서 개최된 'SEOUL FOOD 2023'에 참석함
- 1~2차년도 선행연구를 통해 개발된 본장비의 개발과정 및 연구결과를 함께 전시하여 성능의 우수함을 함께 홍보함
- 개발 장비를 이용하여 해동한 돈육의 품질특성에 대한 과학적인 분석 결과를 포스터로 전시하여 기기의 우수성을 입증함

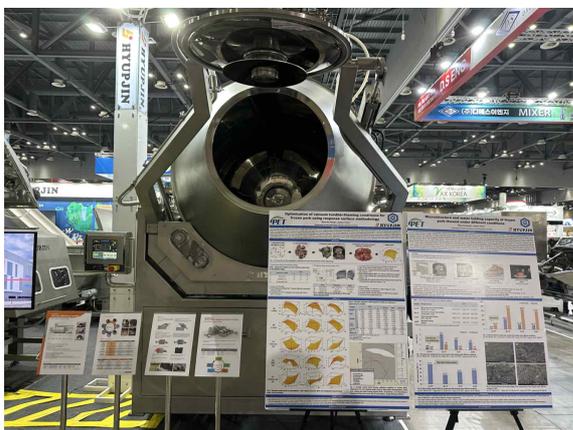


그림138. 본장비 진공 해동 텀블러 홍보부스

▷ 국제학술대회 발표 및 산업화 자료 수집

- ① 2023 ISFRS(International symposium of Food Rheology and Structure) 학회 참석
- 6월 11~15일 네덜란드 Wageningen Berg에서 열린 ‘International Symposium of Food Rheology and Structure 2023’ 학회에 참석하여 ‘Textural and microstructural properties of thawed pork by tumbling under vacuum’의 주제로 연구 결과를 발표
 - ISFRS 학회는 유럽과 미주 지역을 중심으로 다양한 식품 가공에서의 물리적 성질의 변화를 화학적, 영양학적, 열역학적, 구조적 관점 등에서 다양한 분석 기술을 통해 측정하고 이들의 변화를 관찰하여 개발하고자 하는 제품의 물성을 개선하는 Food-Tech 관련 연구들을 종합적으로 토론하는 국제학회임
 - 학회에 참석한 관계 전문가들은 Food science-based research에 관여하는 전문가들로 토론 및 자문을 통한 methodology의 기술적 변화와 진보, 접근 기술, 적용 등에 관한 정보를 수집함
 - 이를 통하여 다국적 학계, 정부기관, 산업체 전문가들과의 네트워킹을 통해 현재 진행되는 연구와 산업 트렌드에 관한 정보를 수집함

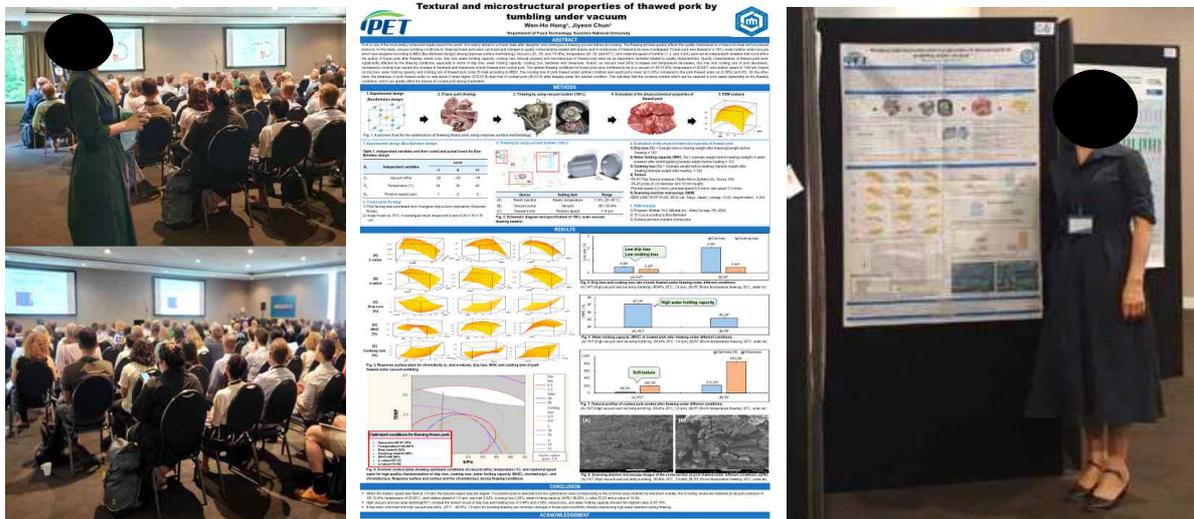


그림139. 2023 ISFRS학회 참석 및 포스터 발표

- ② 69th ICoMST(International Congress of Meat Science and Technology) 학회 참석
- 8월 20~25일 이탈리아 Padova에서 열린 ‘69th International Congress of Meat Science and Technology’ 학회에 참석하여 ‘Drip loss and microstructural changes by thawing frozen pork under different conditions’의 주제로 연구 결과를 발표
 - ICoMST 학회는 유럽과 미주 지역 뿐만 아니라 아시아권을 포함하여 전세계적으로 Meat Science에 관한 다양한 분야에서의 연구와 최신 산업적 기술 동향을 교류하는 장으로 SCI 우수 저널지 발표 연구자들 뿐만 아니라 산학연 전문가들이 참여하여 학술 교류와 네트워킹을 하는 국제학술대회임
 - 본 학회의 참석 목적은 축산가공에서 필수적인 공정인 냉해동 기술의 개선 및 이어지는 가공기술 동향을 수집하는 것이었는데 세션 강연과 포스터 발표 자료를 통해 다양한 연구 동향 자료를 수집하였고, 이를 향후 연구 주제 설정 및 산업적 기술개발로의 활용 방법에 적용함
 - 학회의 많은 연사들이 건강을 위해서는 식육 섭취는 지속되어야 하며 이를 위해서는 육가공 산업에서 환경적이고 지속 가능한 기술개발이 필요함을 강조하고 있었고, 진공텀블링 원리 및 설비를 이용한 식육의 냉해동 품질 개선 및 환경개선이 가능해졌음이 소개됨

- 또한, 펄스전자기장 및 마이크로웨이브 등을 이용한 가공 기술의 지속가능성 기여 효과에 관해 소개되었으며, 도축 전후에 비파괴적으로 육질의 품질특성을 분석할 수 있는 기술 및 적용 검증 결과가 소개되어 산업화로 적용을 검토 중임을 확인함
- 특히 축산식품의 중요성, 다양한 최신 가공 및 품질개선 기술, 이에 따른 육질의 이화학적 특성 비교, 다양한 비파괴 분석 기술 적용 및 신속 품질예측 기술, 지속가능한 가공기술 개발, 에너지절감형 탄소중립 기술 및 산업적 적용성 검토, 건강 피라미드의 새로운 시각 등 다양한 분야의 유명 전문가들의 발표 자료를 수집함
- 최신 가공기술, 분석 및 진단 기술에 관한 연구는 주로 신속성, 정확성, 에너지절감을 통한 지속가능성, 품질 등을 개선하는 방향으로 디자인되어 연구되었으며, 효율적인 연구 결과의 경우 산업적 적용 및 실효성에 대한 경제성 분석이 함께 이루어져 점차 실험실에서의 연구가 산업적인 활용과 밀접하게 연계되어 과학적인 연구를 토대로 빠르게 기술이 진보하고 산업화되고 있음을 확인함

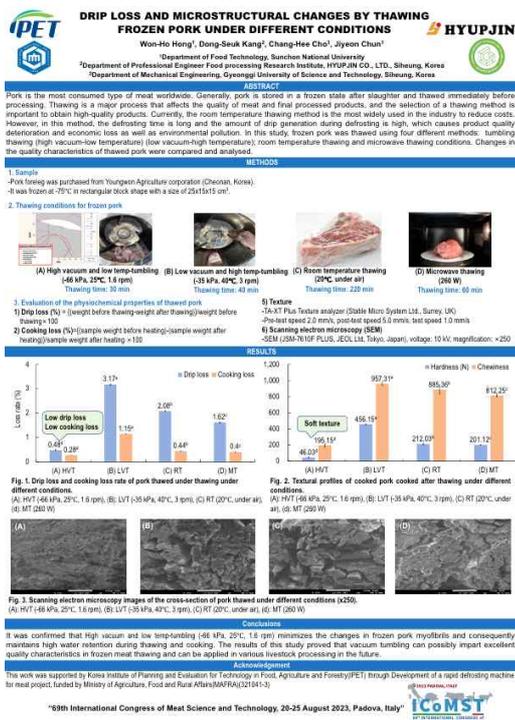


그림140. 69th ICoMST 학회 참석 및 포스터 발표

▷ 식품기기 및 식품산업 동향 조사

① 'SEOUL FOOD 2023' 참석 및 조사

- 서울국제식품산업대전의 주관기관에서 홍보하고 있는 부스 이외에 현재 식품산업에서 새로 출시되거나 사용되고 있는 국내외 식품기기 및 제품들의 동향을 파악함
- '식품기기전', '포장기기전', '호텔·레스토랑기기전', '안전기기전'에서는 생산비와 인건비를 절감하는 식품기기들과 식품의 위생과 유통기한을 늘리고 유통비용은 절감하는

포장 및 안전기기 등을 확입함

- 홍보부스에서 본 연구기기와 같은 해동기기는 해외제품인 L사의 진공 해동 텀블러가 있었다. 동일한 성능으로는 진공조건과 스팀분사기능, 텀블링 기능이었으며, 차이점으로는 텀블러의 경사 조절 유무, 텀블러 내부의 임펠러 형태임

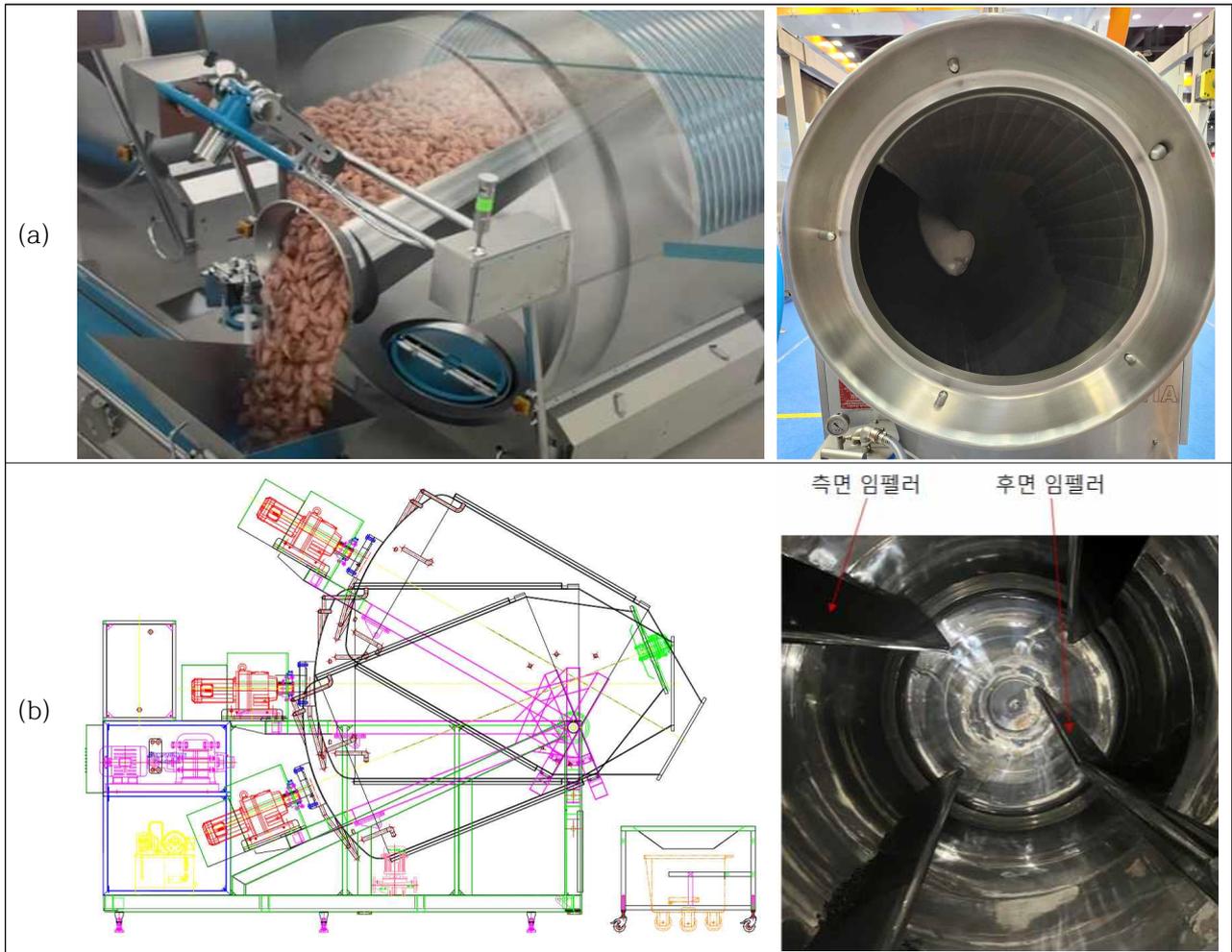


그림141. 타사 진공 해동 텀블러(a), 본장비 해동 텀블러(b)

- ‘식품전 국내관’에서는 국내에서 생산되는 가공식품, 식품첨가물, 건강기능식품, 유기농식품, 밀키트, 음료, 차, 주류, 디저트 등이 전시되어있었으며, 각 지자체에서 지역 특산물을 홍보하는 부스도 마련되어있었다. 각 제품들은 취향과 생활양식의 변화에 따라 다양한 형태로 가공했을 뿐만 아니라 포장 디자인이 꾸준히 개선되고 있는 것을 확인할 수 있었으며, K-Food가 인기인만큼 해외시장을 겨냥한 제품도 많이 출시되고 있음
- ‘식품전 국제관’에서는 태국, 베트남, 필리핀, 대만, 중국, 인도, 말레이시아, 호주, 뉴질랜드, 터키 등 아시아와 캐나다, 페루, 브라질 등 아메리카, 그리고 오스트리아, 벨기에, 아일랜드 등 유럽까지 다양한나라의 제품을 홍보하고 있음

② 유럽 식문화 및 식품생산 현장 조사

- 네덜란드 와게닝겐 대학, 벨기에 루벤 대학, 유럽의 축산 가공시설, 로컬 가공시설 탐방을 통하여 유럽의 축산업과 낙농산업, 이를 이용한 식육제품 가공 및 소비 문화를 조사함

- 특히, 전세계적으로 탄소중립 실현을 위해 동물성 식단을 식물성으로 전환하려는 식품산업적 흐름속에서 동물성 자원을 이용한 식단의 영양학적 의미, 건강 기능성, 탄소중립 측면에서의 기여도 및 개선 방안 등을 조사함
- 생물종다양성 측면에서 현재의 축산식품 소비 감소의 이슈로 인해 품종이 소멸해 간다면 향후 다양한 질병과 여러 식량 문제를 해결하는데 어려움이 발생할 수 있다. 따라서 생물종다양성 보존, 지속가능성, 축산 품종 개발과 식육가공산업을 다각적으로 고려하는 것이 필요할 것으로 판단됨
- 세계적으로 인기를 끄는 전통 고다치즈(Gouda cheese) 생산지인 네덜란드 로테르담 고다마을을 방문, 역사와 제조 과정을 확인하였으며, 네덜란드 잔세스칸스의 치즈박물관 방문하여 제조공정을 살펴보고, 다양한 종류의 치즈의 품질을 조사함



그림142. 유럽 축산 관련 연구 기관 및 산업화 현장 조사

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

(1) 정성적 연구개발성과

기관	년차	주요 연구목표	달성률 (%)
주관기관 (주)협진	1차 년도	▶ 이중 재킷 구조를 갖는 용량 1ton 텀블러(원료육 해동 용량 0.5ton) 개발	100
		▶ 2ton 텀블러 지지 프레임 개발	100
		▶ 2ton 텀블러 드라이빙 시스템 개발	100
		▶ CIP 시스템 개발	100
		▶ 가열 및 냉각 열교환기 시스템	100
		▶ 각종 상태 모니터링 및 제어 시스템	100
	2차 년도	▶ 이중 재킷 구조를 갖는 용량 6ton 텀블러(원료육 해동 용량 3ton) 개발	100
		▶ 6ton 텀블러 지지 프레임 개발	100
		▶ 6ton 텀블러 드라이빙 시스템 개발	100
		▶ CIP 시스템 개발	100
		▶ 가열 및 냉각 열교환기 시스템	100
		▶ 각종 상태 모니터링 및 제어 시스템	100
	3차 년도	▶ IOT 기반 스마트 제어 시스템	100
		▶ 10ton급 해동 텀블러 제품화	100
		▶ 10ton급 해동 텀블러 사업화	100
제1 공동연구 경기과학기술 대학교	1차 년도	▶ 해동 텀블러 pilot 장비 신뢰성 확보	100
		▶ 2ton 텀블러 열전달 신뢰성 확보	100
		▶ 2ton 텀블러 임펠러 설계 최적화	100
	2차 년도	▶ 해동 텀블러 본장비 신뢰성 확보	100
		▶ 6ton 텀블러 열전달 신뢰성 확보	100
		▶ 6ton 텀블러 임펠러 설계 최적화	100
3차 년도	▶ 6ton급 텀블러 제품화 지원	100	
제2 공동연구 국립순천대학 교	1차 년도	▶ 돈육(후지, 전지) 원료 특성 조사	100
		▶ 품질 특성에 미치는 요인 조사 및 실험 디자인 설계	100
		▶ 자연해동, 마이크로웨이브, 텀블링해동 특성 조사	100
	2차 년도	▶ 텀블링 해동돈육 영향 인자 조사(1ton-scale)	100
		▶ 해동, 저장 및 가공 품질 특성 평가 및 모델 제시	100
	3차 년도	▶ Scale-up(6ton) 해동텀블러 최적화 지원 및 품질평가	100
▶ 본장비 최종 제품 품질평가 지원		100	

- 주관기관은 이중재킷 구조를 갖는 용량 진공해동 텀블러 개발 완료
 - 1차 년도에 2ton 급 해동텀블러 파이롯 장비를 개발하고 협력사에 납품완료로 첫 매출 발생
 - 1차 년도에 개발된 해동 텀블러는 프레임 지지구조, 드라이빙 시스템, 가열 및 냉각 열교환기 시스템, 모니터링 및 제어 시스템을 모두 포함하고 있고 CIP 시나리오 개발과 모의시험을 완료
 - 2차년도에 6ton 급 해동텀블러 본 장비의 개발을 완료하고 제품화에 성공
 - 최종 개발된 6ton 급 해동 텀블러는 3차년도에 IOT 기반 인터페이스 개발을 완료하고 성능검증발표를 마칩
 - 공인시험기관의 해동성능 시험평가를 통해 장비가 목표 이상의 성능을 갖고 있음을 확인 완료

- 제1 공동연구기관은 장비 신뢰성 평가와 최적화 연구로 주관기관의 연구를 지원
 - 1차 년도 2ton 급 해동텀블러에 대한 진공압 안정성, 구조 안정성, 동적 안정성, 텀블러 내부 온도 균일성과 냉·온매 순환에 대한 신뢰성 평가를 완료하고 평가 결과를 설계에 반영
 - 2차 년도에도 6ton 급 해동텀블러에 대한 진공압 안정성, 구조 안정성, 동적 안정성, 텀블러 내부 온도 균일성과 냉·온매 순환에 대한 신뢰성 평가를 완료하고 평가 결과를 설계에 반영
 - 2ton과 6ton 해동텀블러의 임펠러 설계변수에 대한 민감도를 분석하고 반응표면모델을 개발하여 임펠러 설계를 위한 기초자료로 활용
 - 장비의 성능 검증을 위한 시험평가를 지원

- 제2 공동연구기관은 돈육 해동특성에 대한 연구로 차년도 고품질 해동조건 도출에 기반을 마련
 - 선행연구 조사와 돈육함량에 따른 해동특성, 텀블링 해동특성, 해동육 조리특성을 연구하고 파이롯 장비에 의한 해동 돈육의 품질특성을 분석해서 2차 년도 연구에 활용
 - 1차 년도 연구 결과를 기반으로 0.1ton급의 모의시험용 해동텀블러를 이용하여 텀블링으로 해동된 돈육에 대해 텀블링 조건들에 따라 영향인자들의 결과를 평가하고 새로운 평가모델을 제시
 - 해동, 저장 및 가공품질 특성을 평가하고 평가 결과를 기반으로 최적화 모델을 제시
 - 최종 해동텀블러에 의한 해동육의 특성을 평가하여 장비의 우수성을 입증하고 타사 장비에 대한 비교 테스트 진행
 - 본 연구결과는 국산 대용량 해동 텀블러 효능의 우수성을 과학적 자료를 기반으로 입증함으로써 장비 생산의 수입대체와 기술 자립화에 활용될 것임
 - 또한, 연구성과는 학술대회 및 논문으로 발표되어 국내 및 해외 관련 산업에서 본 연구에서 개발된 국산 장비의 우수성을 홍보함으로써 개발 장비에 대한 국내 및 해외 시장 개척 및 마케팅에 기여하게 될 것임.

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계 최고수준 보유국/보유 기관	연구개발 전 국내 수준	연구개발 목표치			최종 평가 결과
			성능수준	성능수준	1년차 (2021)	2년차 (2021)	3년차 (2021)	
1. 텀블러 용량	ton	20	네델란드/GEA 10	-	2	6	6	6.4
2. 텀블러 진공압력	bar	15	네델란드/GEA 0.6	-	0.6	0.6	0.5	0.18
3. 해동 시간	hr	15	네델란드/GEA 6	24	6	6	5	3 미만 (2h 44m)
4. 드립 로스율	%	20	네델란드/GEA 2	4	2	1	1	0.85
5. 휘발성 염기질소 ^{a)}	mg/%	10	-	-	-	10 이하 또는 기준값(자연 해동육) + 2 이하		5.67
6. 총균수 ^{a)}	log CFU/g	10	-	-	-	(자연해동육-0.5) 이하		1.96 (자연해동 2.96)
7. 대장균군 ^{a)}	+/-	10	-	-	-	불검출		불검출

순번	평가항목 (성능지표)	평가방법	평가환경
1	텀블러 용량	- 제작된 텀블러 탱크 내부의 총 부피 - 길이계측으로 부피 산출	일반환경
2	텀블러 진공압력	- 텀블링 해동 시 텀블러 내부 최소 압력 - 텀블러 내부 설치된 압력계의 수치로 산출	일반환경
3	해동 시간	- 냉동육(10kg/block)이 해동되는 데 걸리는 시간 (전체 해동육 온도가 -1℃(+/-1℃)에 도달에 걸리는 시간)	일반환경
4	드립 로스율	드립 로스율 (%) = 100*(냉동육 무게 - 해동육 무게)/냉동육 무게	일반환경
5	휘발성염기질소	10 이하 또는 기준값(자연해동육)+2 이하	실험환경
6	총균수	(자연해동육-0.5) log CFU/g 이하	실험환경
7	대장균군	불검출	실험환경

- 대용량 진공해동텀블러 장비는 과제에서 계획한 모든 정량적 목표를 만족함
 - 공인 시험기관의 시험성적서를 첨부
 - 연구개발 목표치 중 “텀블러 진공압력”의 목표치 설정값은 대기압을 1bar, 완전진공을 0bar로 하여 설정한 것이고 시험성적서의 진공압력은 대기압을 0bar, 완전진공을 -1bar로 측정한 것이기 때문에 해동텀블러의 진공압력 측정값 최저 -0.82bar는 대기압을 1bar로 정할 경우 0.18bar에 해당

■ 대용량 진공해동텀블러 성능지표 증빙

① 텀블러 용량 : 6.4 ton

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

시험 성적서

한국공학대학교 산학협력단 공용장비지원센터
주소: 경기도 시흥시 영등포로287 산학협력관 106호
전화: 031-8041-0814
팩스: 031-8041-0919
http://cec.tukorea.ac.kr

성적서번호: CEC-FIT-2023-0153

1. 의뢰자
· 기관명: ㈜원진
· 주소: 경기도 시흥시 영등포로287 11시흥MTV 11801
· 의뢰일자: 2023. 6. 22.

2. 시료설명
· 6,000 L 진공해동텀블러 용량 확인

3. 시험기간: 2023. 7. 12.

4. 시험장소: □ 고정시험실 □ 현장시험
(주소: 경기도 시흥시 영등포로287 11시흥MTV 11801)

5. 시험방법: 산정자가 제시한 시험방법

6. 시험결과: 별첨결과 참조

본 성적서의 시험결과에 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.
본 성적서는 한국공학대학교 공용장비지원센터의 KS Q ISO/IEC 17025와 KOLAS 인증과 관련 있는 성적서입니다.
본 성적서 전위확인이 필요한 경우, Tel. 031-8041-0821으로 연락주시면 확인하여 드립니다.

확인: 이태영 (서명) 책임자: 김경민 (서명)

한국공학대학교 산학협력단 공용장비지원센터에 의하여 분석 시험한 결과를 위와 같이 통지합니다.

2023. 11. 16.

한국공학대학교 산학협력단 공용장비지원센터장 (인)

TUCEC-TP-15-08(00) 페이지 (1) / (총 5)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

성적서번호: CEC-FIT-2023-0153

현장 시험 결과

1. 텀블러 용량
1-1. 의뢰시간(용비): 6,000L 진공해동텀블러



[시험 장비]

1-2. 시험장비
- 일반 출자를 사용

1-3. 시험방법 및 평가기준
1-3-1. 시험방법
a. 6,000L 진공해동텀블러 용량의 용량은 텀블러 내부 치수를 측정하여 계산
b. 원통 외 원추모양의 함부로 이루어진 텀블러 내부 길이를 줄자로 측정해서 부피를 계산
c. 원통 직경 및 원추 큰 원 직경 (D), 원통 길이 (L), 원추 작은 원 직경 (d), 원추 길이 (h)로 측정
d. 정밀도 ± 10 L 수준으로 측정
e. 계산 결과에서 소수점 아래는 반올림 처리

TUCEC-TP-15-03(00) 페이지 (2) / (총 5)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

성적서번호: CEC-FIT-2023-0153

1-3-2. 평가기준
a. 텀블러 용량: ≥ 6,000 L
b. 텀블러 용량 계산식: 원통부피 + 원추부피
- 원통부피 계산식: $V = \frac{D^2}{4} L = \frac{\pi}{4} D^2 L$
- 원추부피 계산식: $V = \frac{\pi}{3} h \left[\frac{D^2}{4} + \frac{D}{2} \left(\frac{d}{2} + \frac{d}{2} \right) + \frac{d^2}{4} \right] = \frac{\pi}{3} h \left[\frac{D^2}{4} + \frac{D \cdot d}{4} + \frac{d^2}{4} \right]$

1-4. 측정 결과
1-4-1. 측정 결과:

항목	기준치	측정점 Point	측정값 (mm)	원통부피 (cm³)	원추부피 (cm³)	총 텀블러 용량 (L)	판정
1	≥ 6,000 L	D	169	5,383,622	1,039,250	6,422,872	PASS
		d	78				
		L	240				
		h	83				

측정: L=240mm, h=83mm

원통부피: $V = \frac{\pi}{4} D^2 L = \frac{\pi}{4} \times 169^2 \times 240 = 5,383,622 \text{ cm}^3$

원추부피: $V = \frac{\pi}{3} h \left[\frac{D^2}{4} + \frac{D \cdot d}{4} + \frac{d^2}{4} \right] = \frac{\pi}{3} \times 83 \times \left[\frac{169^2}{4} + \frac{169 \times 78}{4} + \frac{78^2}{4} \right] = 1,039,250 \text{ cm}^3$

[텀블러 부피 계산 모식도]

TUCEC-TP-15-03(00) 페이지 (3) / (총 5)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

성적서번호: CEC-FIT-2023-0153

1-3-2. 샘플 측정 사진



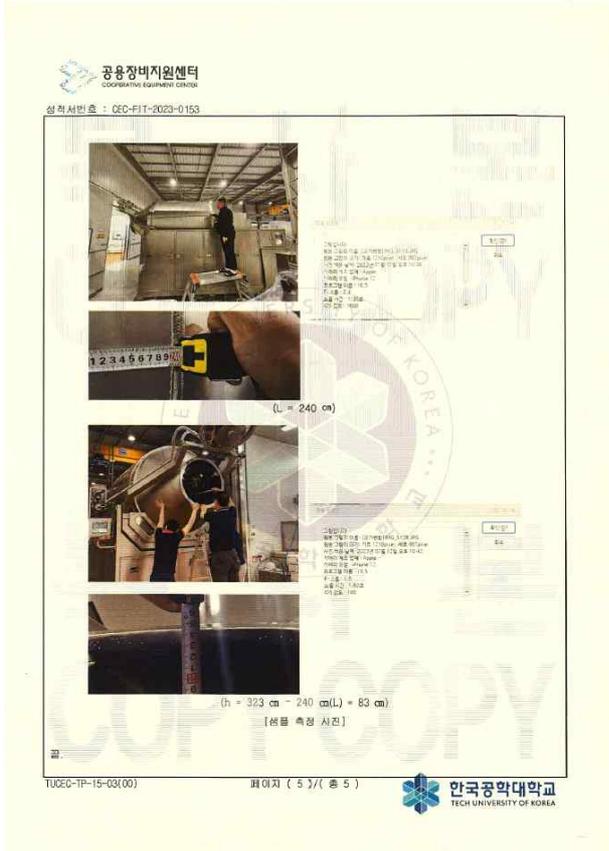
(D = 169 cm)

(d = 78 cm)

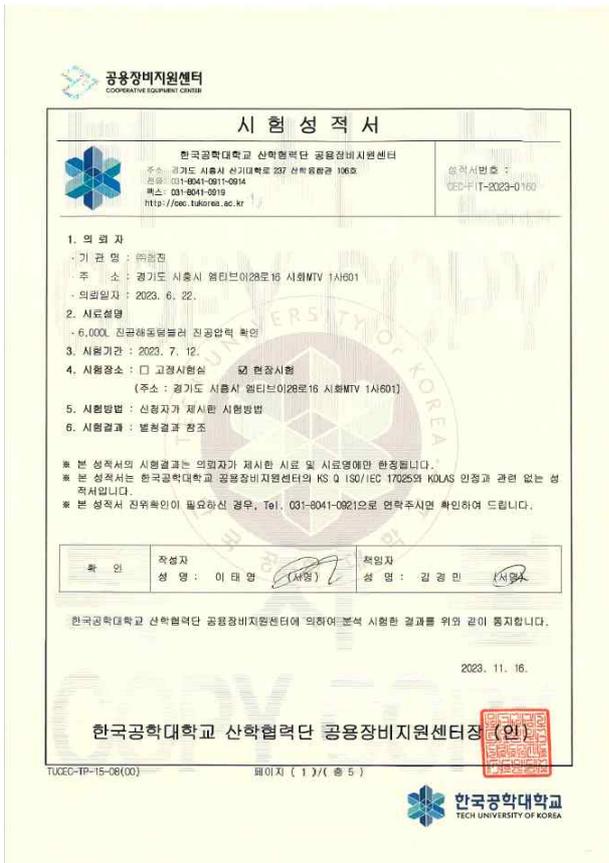
[샘플 측정 사진]

TUCEC-TP-15-03(00) 페이지 (4) / (총 5)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA



② 텀블러 압력 : -0.82 bar



1-3 시험방법 및 평가기준

1-3-1 시험방법

- a. 진공여동통틀(공비의 진공 압력을 의식계를 사용하여 측정
- b. 샘플의 내부 거미지 압력을 사용
- c. 장비에 부착된 압력계의 수지로 측정
- d. 대기압에서 0알 조절 후에 진공 압력 측정
- e. Vacuum pressure 73, 83 kgf/cm²로 설정후 압력계의 수지로 측정

1-3-1 평가기준

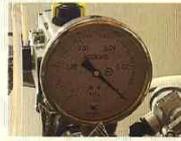
- a. 열병의 진공압력 (bar) : ≤ - 0.5

1-4 측정 결과

1-4-1 측정 결과 :

항목	기준값	73 kgf/cm ² 설정시 압력 측정값	83 kgf/cm ² 설정시 압력 측정값	판정
1	≤ - 0.5 bar	- 0.73 bar (- 73 kPa)	- 0.83 bar (- 83 kPa)	PASS

1-3-2 샘플 측정 사진



(Vacuum pressure 73 kgf/cm² 설정후 압력 측정 결과 = - 0.73 bar (- 73 kPa)

[샘플 측정 사진]

1-3-2 샘플 측정 사진



(vacuum pressure 83 kgf/cm² 설정후 압력 측정 결과 = - 0.83 bar (- 83 kPa)

[샘플 측정 사진]

③ 해동 시간 : 2hr 44min

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

시험 성적서

한국공학대학교 산학협력단 공용장비지원센터
주소: 경기도 시흥시 신기대학로 237 산학협력관 1069
전화: 031-8041-0914
팩스: 031-8041-0919
http://cec.tukorea.ac.kr

시험서번호 : CEC-FIT-2023-0161

1. 의뢰자
· 기관명 : ㈜합진
· 주소 : 경기도 시흥시 염타브이(28도16 시외MTV 1사601)
· 의뢰일자 : 2023. 6. 22.

2. 시료설명
· 6,000L 진공냉동냉동기 해동시간 확인

3. 시험기간 : 2023. 7. 12.

4. 시험장소 : □ 고정시험실 현장시험
(주소: 경기도 시흥시 염타브이(28도16 시외MTV 1사601))

5. 시험방법 : 신청자가 제시한 시험방법

6. 시험결과 : 별첨결과 참조

※ 본 성적서의 시험결과는 의뢰자가 제시한 사항 및 시료명에만 한정됩니다.
※ 본 성적서는 한국공학대학교 공용장비지원센터의 KS Q ISO/IEC 17025와 KOLAS 인정과 관련 없는 성격입니다.
※ 본 성적서 진위확인이 필요하신 경우, Tel. 031-8041-0921으로 연락주시며 확인하여 드립니다.

확인	작성자 성명 : 이태영 (서명)	책임자 성명 : 김경민 (서명)
----	----------------------	----------------------

한국공학대학교 산학협력단 공용장비지원센터에 의하여 분석 시험한 결과를 위와 같이 통지합니다.

2023. 11. 16.

한국공학대학교 산학협력단 공용장비지원센터장 (인)

TUC2C-TP-15-08(00) 페이지 (1) / (총 4)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

시험서번호 : CEC-FIT-2023-0161

현장 시험 결과

1. 샘플러 진공압력
1-1. 의뢰사항(장비) : 6,000L 진공냉동냉동기



[시험 장비]

1-2 시험장비
1-2-1 냉동류
1-2-2 심부온도 측정기(DT400, SUMMIT)

a. 측정범위 : -20 ~ 200 ℃
b. 분해능 : 0.1 ℃



[측정 장비] (심부 온도계, DT400)

TUC2C-TP-15-08(00) 페이지 (2) / (총 4)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

시험서번호 : CEC-FIT-2023-0161

1-3 시험방법 및 평가기준
1-3-1 시험방법
a. 6000L 진공냉동냉동기를 사용하여 냉동육이 해동되는 시간을 측정
b. 샘플러 측정된 냉동육 온도에서 해동 되는 냉동육 온도까지의 시간을 측정
c. 냉동육 내부 온도가 -1 ± 1 ℃ 까지 해동 온도도 측정 함
d. 심부온도 측정기로 온도 측정

1-3-1 평가기준
a. 샘플러 해동시간 : 5시간 이하

1-4 측정 결과
1-4-1 측정 결과 :

행	기준값	해동시작 시간 (냉동육 온도: -6℃)	해동완료 시간 (냉동육 온도: -1℃)	해동시간	판정
1	5시간 이하	2023.07.12 12시 01분	2023.07.12 14시 46분	2시간 45분	PASS

TUC2C-TP-15-08(00) 페이지 (3) / (총 4)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

시험서번호 : CEC-FIT-2023-0161

1-3-2 샘플 측정 사진



[해동전 냉동육 온도 측정 시간 : 7월 12일 11시 12분, 냉동육 온도 -6.6℃]



[해동시작 시간 : 7월 12일 12시 01분]



[해동완료 시간 : 7월 12일 14시 46분]



[해동완료후 냉동육 측정시간 : 7월 12일 14시 46분, 냉동육 온도 : -1.1℃]

[샘플 측정 사진]

TUC2C-TP-15-08(00) 페이지 (4) / (총 4)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

④ 드립 로스율 : 0.85%

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

시험 성적서

한국공학대학교 산학협력단 공용장비지원센터
주소: 경기도 시흥시 신기대학교로 237 산학협력단 108호
전화: 031-8041-0914-0914
팩스: 031-8041-0919
http://cec.tukorea.ac.kr

성적서번호: CEC-FIT-2023-0162

1. 의뢰자
- 기관명: 所형진
- 주소: 경기도 시흥시 염타(비)28로16 시흥MTV 1A(601)
- 의뢰일자: 2023. 6. 22.

2. 시료설명
- 6,000L 진공해동원블러 드립로스율 평가

3. 시험기간: 2023. 7. 12.

4. 시험장소: □ 고적시험실 □ 현장시험
(주소: 경기도 시흥시 염타(비)28로16 시흥MTV 1A(601))

5. 시험방법: 신청자가 제시한 시험방법

6. 시험결과: 별첨결과 참조

※ 본 성적서의 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.
※ 본 성적서는 한국공학대학교 공용장비지원센터의 KS Q ISO/IEC 17025와 KOLAS 인증과 관련 없는 증명서입니다.
※ 본 성적서 진위확인이 필요한 경우, Tel. 031-8041-0921으로 연락주시면 확인해 드립니다.

확인자: 이태영 (서명)
책임자: 김경민 (서명)

한국공학대학교 산학협력단 공용장비지원센터에 의뢰하여 분석 시험한 결과를 위와 같이 증명합니다.

2023. 11

한국공학대학교 산학협력단 공용장비지원센터장 (인)

TUCEC-TP-15-06(00) 페이지 (1) / (총 5)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

성적서번호: CEC-FIT-2023-0162

현장 시험 결과

1. 원블러 진공인력
1-1. 의뢰시료(장비) : 6,000L 진공해동원블러



[시험 장비]

1-2 시험장비
1-2-1 냉동축
1-2-2 전자 저울 (DB-1(150A), CAS)
1-2-3 심부온도 측정기(DT400, SUMMIT)
a. 측정방법: -20 ~ 200 ℃
b. 분해능: 0.1 ℃





(냉동축) (심부 온도계, DT400) (전자 저울, DB-1)
[측정 장비]

TUCEC-TP-15-03(00) 페이지 (2) / (총 5)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

성적서번호: CEC-FIT-2023-0162

1-3 시험방법 및 평가기준
1-3-1 시험방법
a. 해당 과정(소분) 과정에서 추출되어 버려지는 추출수의 양을 측정
b. 총 22개의 냉동축의 해동 전/후 무게 측정
c. 스틱 분사량은 냉동축 무게의 5%로 드립로스율 계산식 적용
d. 드립로스율 계산식:

$$\text{드립로스율 (\%)} = \frac{[(\text{냉동축중량 (kg)} + \text{스티크 분사량 (kg)}) - \text{해동축중량 (kg)}]}{(\text{냉동축중량 (kg)} + \text{스티크분사량 (kg)})} \times 100(\%)$$

해동중정중스티크분사량(kg) = 냉동축중량의 5%

1-3-1 평가기준
a. 드립로스율: 1% 이하

1-4 측정 결과
1-4-1 측정 결과:

항목	기준값	냉동축 22개 총 중량 (Kg)	해동축 22개 총 중량 (Kg)	스티크 분사량 (kg)	드립로스율 (%)	판정
1	1% 이하	303.36	315.82	15.17	0.85	PASS

1-4-2 계산 결과:
해동중정중스티크분사량(kg) = 303.36 × 0.05 = 15.17 kg

$$\text{드립로스율 (\%)} = \frac{(303.36(\text{kg}) + 15.17(\text{kg})) - 315.82(\text{kg})}{(303.36(\text{kg}) + 15.17(\text{kg}))} \times 100(\%) = 0.85\%$$

TUCEC-TP-15-03(00) 페이지 (3) / (총 5)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

공용장비지원센터
COOPERATIVE EQUIPMENT CENTER

성적서번호: CEC-FIT-2023-0162

1-3-2 샘플 측정 사진




(냉동축 내부온도 및 무게측정 사진) (해동시각 사진)




(해동완료 사진) (해동축 내부온도 및 무게측정 사진)

[샘플 측정 사진]

TUCEC-TP-15-03(00) 페이지 (4) / (총 5)

한국공학대학교
TECH UNIVERSITY OF KOREA

1-3-2 세부 시험 결과

a. 해동 전 내부 온도 및 무게측정 결과

no.	측정 무게 (kg)	평균온도 (℃)	no.	측정 무게 (kg)	평균온도 (℃)
1	13.72	-6.5	12	14.03	-5.8
2	13.66	-6.8	13	13.97	-6.0
3	13.18	-5.9	14	14.39	-6.3
4	13.53	-6.4	15	13.93	-6.5
5	13.41	-5.3	16	14.13	-6.1
6	13.95	-5.9	17	13.21	-6.1
7	14.51	-5.6	18	13.95	-6.3
8	14.01	-6.6	19	13.76	-5.4
9	13.36	-6.3	20	13.54	-5.3
10	13.59	-5.4	21	14.12	-5.8
11	14.13	-5.6	22	13.36	-6.1
Total			303.96		

b. 해동 후 내부 온도 및 무게측정 결과

no.	측정 무게 (kg)	평균온도 (℃)	no.	측정 무게 (kg)	평균온도 (℃)
1	14.32	-1.1	12	13.93	-2.8
2	14.48	-1.5	13	14.55	-0.8
3	14.72	-1.3	14	14.81	-1.3
4	14.19	-2.1	15	14.03	-1.9
5	14.51	-1.6	16	14.59	-0.8
6	13.94	-2.1	17	14.13	-1.6
7	14.23	-1.2	18	14.73	-2.3
8	13.89	-1.9	19	14.33	-2.0
9	14.81	-0.9	20	14.09	-1.8
10	14.53	-1.6	21	14.53	-2.1
11	14.36	-2.3	22	14.31	-1.2
Total			315.82		

끝.

⑤ 휘발성 연기질소, 총균수, 대장균군



국가참조표준 국가식품성분데이터센터

순천대학교 식품소재가공실험실

시험성적서

수신처 (주)협진	시 료 명 6ton 진공해동텀블러 등 2종
의뢰자 ㈜협진	접 수 일 자 2023.07.12
주 소 경기도 시흥시 엠티브이28로 16	시험완료일자 2023.07.13

시험 결과

시료명	휘발성 연기질소 (VBN, mg/%)	총균수 (log CFU/g)	대장균군 (log CFU/g)
6ton 진공해동텀블러	5.67±1.98	1.96±0.02	불검출
실온	6.86±0.00	2.96±0.01	0.10±0.17

분석항목	분석방법	활용기자재
휘발성 연기질소	미량확산법	Conway dish
총균수	건조필름법	AC Plus 일반세균필름 (MC-Media Pad 010726)
대장균군	건조필름법	CC 대장균군필름 (MC-Media Pad 010728)

소속: 순천대학교 식품공학과

성명: 천지연

2023년 07월 13일

순천대학교 식품소재가공실험실

산업통상자원부 국가참조표준데이터센터 국가식품성분데이터센터 제47호

○ 정량적 연구개발 성과를 정리하면 다음과 같음

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과목표	사업화지표										연구기반지표										
	지식재산권				기술실시(이전)		사업화				기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책활용·홍보		기타(타연구활용등)	
	특허출원	특허등록	품종등록	SMART	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출		투자유치	논문		논문 평균 IF			학술 발표	정책 활용		홍보 전시
													SCI	비 SCI							
단위	건	건	건	평균 건수	건	백 만원	건	백 만원	백 만원	명	백 만원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	10	10			15		30	10		10		0			5			10			
과제기간 내 목표	3	2			1		1	250		3			2		2		3	1			
달성 결과	3	2			1		1	200		3			2		4		7	2			
과제 종료 후 5년 목표		1						7100	3700	5		1	1		2.0			3			
최종 목표	3	3			1		1	7100	3700	8		1	1	2	2.0		3	4			

- 대부분의 정량적 연구개발성과를 초과 달성하였음
- 특허는 출원된 특허 3건 중 2건이 등록되었고 다른 1건이 특허출원된 상태이며 과제종료 후에라도 달성 가능
- 국제학술대회 발표 4건, 비SCI(Scopus) 논문 1건 게재 완료, 비SCI(Scopus) 논문 1건 게재 확정(6월 게재 예정)
- 2024년도 사업화 매출액 12억 발생 예정

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	감압 텀블링 해동이 돈육의 품질 특성에 미치는 영향	한국식품저장유통학회지	홍원호, 천지연	30(1)	대한민국	한국식품저장유통학회	비SCIE	2023.3	1738-7248	100
2	진공 텀블링을 이용한 해동 돈육의 이화학적 및 조직학적 특성	한국식품저장유통학회지	박수진, 홍원호, 오승민, 조창희, 천지연	31(3)	대한민국	한국식품저장유통학회	비SCIE	2024.6	1738-7248	100

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	42nd International Symposium and Annual Meeting	홍원호 외 6명	2021.08.25.-27	무주	대한민국
2	43rd International Symposium and Annual Meeting	홍원호 외 1명	2022.08.16.-18	경주	대한민국
3	International Symposium on Food Rheology and Structure 2023	홍원호 외 1명	2023.06.11.-15	Wageningen	네델란드
4	69th International Congress of Meat Science and Technology	홍원호 외 3명	2023.08.20.-25	Padova	이탈리아

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	냉동육 해동장치	대한민국	김중서	2021.12.14	10-2021-0178556	10-2476649	김중서	2022.02.07	10-2476649	100	활용
2	진공 해동장치를 이용한 냉동육 해동과 염지 그리고 숙성 방법	대한민국	김중서	2022.11.30	10-2022-0163817	10-2602131	김중서	2023.11.09	10-2602131	100	활용
3	진공 텀블러를 이용한 냉동육의 해동 방법	대한민국	천지연	2023.11.28	10-2023-0167544					100	등록 심사중

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1	√									

[경제적 성과]

시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	급속진공해동장치	2021.12	(주)협진	대경푸드빌	냉동육해동	9개월		
2	급속진공해동장치	2023.07	(주)협진	(주)협진	해동특성연구	12개월		

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	신제품개발	국내	해동텀블러	육가공	(주)협진	200,000	0	2022	

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
2000L 진공해동텀블러	2022	200,000		200,000	납품계약가
합계		200,000		200,000	

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)
(23쪽 중 9쪽)]

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과		진공해동텀블러 사업화 수익 발생			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	1			
	소요예산(천원)	0			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		1,245,000	5,000,000	10,000,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
국외					
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2021년	2022년	2023년	
1	원료육급속진공해동 장치개발	(주)협진	1	1	1	3
합계			1	1	1	3

□ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	10
		생산인력	23
	개발 후	연구인력	10
		생산인력	35

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도	냉동육해동장치			1,450,000		3	
기대 목표	냉동육해동장치	3,700,000	3,700,000	7,350,000		8	

[사회적 성과]

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1	인력양성	2024.2		4	3		3	4				7		

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	전시회 참가	2023 서울국제식품산업대전	원료육급속진공해동장치	2023.05.30.-06.02
2	전시회 참가	2023년 농림축산식품 과학기술대전	원료육급속진공해동장치	2023.11.27.-11.29

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	수상	한국식품저장유통학회 장려상	캡스톤디자인경진대회	홍원호 외 6명	2021.08.27	한국식품저장유통학회
2	포상	제26회 농림축산식품과학기술대상	장관 표창	회장 김장호	2023.11.27.	농림축산식품부

■ 정량적 연구개발 성과 증빙

① 지식 재산권 : 특허 출원3건, 등록 2건



관인생략

출원번호통지서

출원일자 2023.11.28
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(PA230206)
 출원번호 10-2023-0167544 (접수번호 1-1-2023-1328031-29)
 (DAS접근코드E59B)
 출원인명칭 순천대학교 산학협력단(2-2004-012754-5)
 대리인성명 정성준(9-2006-000773-3)
 발명자성명 천지연 홍원호 박수진
 발명의명칭 진공 텀블러를 이용한 냉동육의 해동 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허포털사이트(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 등록된 납입명수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 (특허고객번호 정보변경(경장), 정정신고서)를 제출하여 출원 이력이 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
 ※ 심사제도 안내 : https://www.kipo.go.kr-지식재산제도

② 매출액 : 2억 달성

<첨부>

농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

원료육 급속 진공 해동 장치 개발			
주관연구기관	(협) 진	참여기관	경기과학기술대학교, 순천대학교
연구책임자	강 동 석	연구기간	21년 04월 ~ 23년 12월(총 3년)
기업 정보	기업 매출 총액 : 200,000,000원		
관련 실적	특허(V), 품종(), 소프트웨어(), 디자인(), 상표(), 기타(상세)		
	명칭(번호) : 냉동육 해동장치 (특허출원 10-2021-0178556)		
	기술실시 명칭 : 냉동육 해동장치		
해당제품의 매출 실적			
제품명	제품사진	매출액(원)	해당 과제의 매출액 기여율(%)
해동 진공덤블러 2000L		200,000,000원	70%

* 첨부 : 당해연도 매출액을 확인할 수 있는 자료(매출전표, 세금계산서, 매출원장, 수출계약 등)
상기와 같이 R&D 기술을 사업화하여 발생한 매출액을 보고합니다.

공사 계약서

롯데푸드(주) 대표이사 이상범 (이하 "도급인" 이하 함) 외(차) 주지회사원 최현 대표 김중서 (이하 "수급인" 이하 함) 은(는) 다음과 같이 공사계약을 체결한다.

- 다음 -

제1조 (공 사 명) : (갑천공정)육가공 통합관리원 원료진별장 CAPA UP 해동덤프를 제작 설치공사

제2조 (공사금액) : 1,045,000,000(천원)정액에 변동도 한다.

제3조 (공사기간)
2023.10.04 ~ 2024.06.01

제4조 (대금지불)

가. "도급인"은 "수급인"에게 계약서 계약금으로 공사금액의 10%액을 이월 30일 이내 현금으로 지급한다.

"수급인"은 계약금에 대한 보증으로 신용금보통회계통입출 "도급인"에게 예치시킨다.

나. "도급인"은 "수급인"에게 공사금으로 다음 기준에 의거 공사금액의 40% 액을 이월 30일 이내 현금으로 지급한다.

(기준 : 계약완료 및 일고시정 생산본부장 확인 보고서 근거)

다. 잔금 20% 는 공사완료 검사완료후 권역 이월 30일 이내 현금으로 지급한다.

"수급인"은 공사완료일 기준하여 하자이동준준을 "도급인"에게 예치시킨다.

라. 공사가 종료 종료되는 경우에 공사 대금지불은 순해당상을 제외하고 변동 사면 협의에 의한다.

제5조 (개 요)

가. 본 공사에 소요되는 기자재 일체는 KS규격, 국내규격, 해외유명규격(CE, UL, ASTM, JIS등) 인증을 받은 규격품을 사용해야 하며, 해당 기자재에 인증규격이 없을 시 시중 최상품으로 "도급인"의 감독자의 감사를 받아야 하며 모든 기자재는 중과 아닌 신제품을 사용해야 한다.

나. "수급인"은 계약기간 및 보증기간 중, "수급인"이 제공한 기자재의 설계상, 제조상 결고 및 표시상의 결함으로 인한 사고 발생으로 "도급인"의 재산이나 "도급인" 또는 "수급인"의 종업원이나 제3자의 재산, 생명, 신체에 대하여 "수급인"의 귀책 사유로 인해 손해가 발생 하였을 경우 "수급인"이 손해 배상 하여야 한다.

다. "수급인"은 장비의 설계도면부터 "Fail safe"와 "POO1 proof"를 고려하여, 사전에 안전장치를 반영하고 산업 안전보건법 등 관련 법령을 준수한다.

※주식

- Fail safe : 기계가 고장났을 경우, 그대로 작동해서 사고, 재해로 연결되는 일이 없이 안전을 확보하는 기구
- POO1 proof : 표준작업법, 기계의 위험성 등을 이해하지 못한 사람이라도 조작을 실수하지 않도록 하는 장치(특수버튼, 안전커버, 인터락 등)

제6조 (공사변경 및 조정)

가. 공사 중이라도 "도급인"이 필요하다고 인정시 사장의 일부를 변경할 수 있으며 이에 따른 공사기간 연장 및 공사금액의 증감이 필요한 경우 "도급인" "수급인" 쌍방 합의하여 결정한다. 이 때 변경 및 조정에 따라 발생하는 추가 비용 등은 사전 협의에 의하여 별도 정산한다.

공사의뢰 중 "수급인"측에서 야기되는 일체의 사항변경에 대하여는 "도급인"의 감독자의 사전 동의를 득한 후 공사한다.

2022년 09월 30일

연구책임자 : 강동석 (서명)

2023-10-04 09:20:31/임인부/김현학/192.168.0.112

③ 비SCI 논문 : 1편 게재, 1편 게재 확정

Korean J Food Preserv. 30(1), 88-97 (2023)
https://doi.org/10.11002/kjfp.2023.30.1.88
pISSN: 1738-7246, eISSN: 2287-7428

Korean Journal of Food Preservation
한국식품저장유통학회지

Research Article

Influence of low-pressure tumbling on the quality characteristics of thawed pork

갑압 덤프링 해동이 돈육의 품질 특성에 미치는 영향

Woo-Ho Hong, Jeong Kim, Yu-Jeong Gwak, Jiyeon Chm*

홍원호 · 김정 · 권유정 · 천지연*

Department of Food Science and Technology, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

순천대학교 식품공학부

Abstract As livestock consumption in Korea has been gradually increasing, the quality of the final products has been improved to meet this increased demand. In particular, maintaining the water holding capacity (WHC) and minimizing the drip loss during the thawing of frozen meat are of utmost importance. This study investigated the physicochemical properties of frozen pork subjected to thawing under different conditions: at room temperature (20°C), under air, at a low temperature (4°C refrigerator, under air), under water (20°C), under water in a vacuum bag), under microwave (microwave-thawing, 260 W) and under low-pressure tumbling (20°C, 0.015 bar, tumbling). The shortest thawing time for frozen pork was recorded upon low-pressure tumbling thus indicating a fast heat transfer. The lowest drip loss (0.2%) and highest WHC (94.5%) were also recorded under this condition. A significantly higher drip loss was observed upon microwave- (1.0%) and water-thawing (1.2%), which resulted in the lowest WHC in microwave thawing (87.2%). The highest total count of aerobic bacteria and coliform group were observed upon room temp thawing while the low pressure tumbling and thawing resulted in the lowest aerobic bacteria (1.90 log CFU/g) and coliform (0.78 log CFU/g) count. Consequently, thawing by low pressure tumbling afforded the best food quality.

Keywords thawing, frozen pork, tumbling, drip loss, quality

1. 서론

한국인의 1인당 1일 육류섭취량은 10년간(2010-2020년) 약 36.5% 증가한 것으로 알려져 있다(Korea Disease Control and Prevention Agency, 2020). 식육가공품 생산규모는 2015년 이후 꾸준히 증가하고 있으며, 2018년 생산량은 전년 대비 8.9% 증가한 1,260천 톤에 달하였다(Food Information Statistics System, 2020). 특히, 코로나19 이전과 비교할 때 식육가공품 수요량이 약 30%가량 증가하였는데, 1인 가구를 대상으로 하는 배달 및 안주용 제품으로 소포장 육가공 제품이 인기를 끌고 있으며, 여여 프라이어를 이용한 간편 조리 가정대체 식품(home meal replacement, HMR) 출시가 증가하고 있는 추세이다(Food Information

OPEN ACCESS

Citation: Hong WH, Kim J, Gwak YJ, Chun J. Influence of low-pressure tumbling on the quality characteristics of thawed pork. Korean J Food Preserv. 30(1), 88-97 (2023).

Received: November 13, 2022
Revised: February 06, 2023
Accepted: February 08, 2023

*Corresponding author
Jiyeon Chun
Tel: +82-61-750-3256
E-mail: cdfal@snu.ac.kr

Copyright © 2023 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

88

https://doi.org/10.11002/kjfp.2023.30.1.88

TITLE PAGE TEMPLATE (Food Science and Preservation, ESP)

Upload the completed form along with your manuscript to the E-submission system

ARTICLE INFORMATION	Fill in information in each box below
Article Type (원고 유형)	Research article
Article Title (영문) - 학명, 고유명사, 품명명 등은 이탤릭체	Physicochemical and textural properties of thawed pork by vacuum tumbling
Article Title (한글)	진공 덤프링을 이용한 해동 돼지고기의 이학적 및 조직학적 특성
Running Title (영문) - 50 characters or less including spaces	
Author Name (영문) - (Co-)first author*, (Co-)corresponding author*	Woo-Ho Hong* (1st author), Jeong Kim, Yu-Jeong Gwak, Jiyeon Chun* (corresponding author)
Author Name (한글) - (공통)1차저자 *표기, (공통)교신저자 *표기	박우호 · 김정 · 권유정 · 천지연*
Affiliations (영문) - 소문자 주, 이탤릭체 - ≡(provincial) 필명이 아니고 시(city) 필명	*Department of Food Science and Technology, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea Department of Mechanical Engineering, Gyeongsang University of Science and Technology, Silwang
Affiliations (한글) - 소문자 주, 이탤릭체	*순천대학교 식품공학부 상기과학기술대학원 기계공학과
Funding (가급적 영문으로 작성) - 연구비 또는 논문게재료 재원 표기	This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Development of a rapid defrosting machine for meat project, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (221041-3)
Acknowledgements (가급적 영문으로 작성) - 연구비 제공, 의뢰, 기술적, 논문 작성 및 시료 제공 등의 감사 내용 작성	We are grateful to Hyujin Co., Ltd for providing frozen-pork for this research works.
Conflicts of Interests (영문)	The authors declare no potential conflicts of interest.
Author Contributions (영문) - 저자들의 연구 진행 및 논문 작성에 기여한 내용 작성	Conceptualization: Chun J, Cho CH, Park SJ. Methodology: Park SJ, Hong WH. Formal analysis: Hong WH, Oh SM. Validation: Park SJ, Hong WH. Writing - original draft: Park SJ. Writing - review & editing: Park SJ, Chun J, Cho CH.
Ethics Approval (영문) - 관습질서, 임상연구 및 동물실험은 소속기관의 IRB or IACUC 승인 내역 기록	This article does not require IRB/IACUC approval because there is no human or animal participants
ORCID (영문) - 모든 저자의 ORCID IDs를 작성	Su-Jin Park (https://orcid.org/0000-0002-9111-5643) Woo-Ho Hong (https://orcid.org/0000-0001-1287-8211) Seung-Min Oh (https://orcid.org/0000-0009-0128-2143) Chang-Rae Cho (https://orcid.org/0000-0001-137-1501) Jiyeon Chun (https://orcid.org/0000-0002-0091-0201)

⑤ 홍보 전시 : 2회 전시



⑥ 수상실적 : 2회 수상

한국식품저장유통학회
The Korean Society of Food Preservation

한식저유 : 2021-26

상 장

장려상

성 명 : Won-Ho Hong*, Yusen Guan, Jun Hee Park,
Kang Hee Lee, Seung Min Oh,
Jun Ho Choi, Jiyeon Chun

소 속 : Department of Food Science and Technology,
Sunchon National University

논 문 명 : Heat Transfer and Quality Characteristics of Frozen
Pork Affected by Thawing Methods

위의 사람은 2021년도 한국식품저장유통학회 제42차 학술대회 캡스톤디자인 경진대회에서 두서의 성적으로 입상하였으므로 이에 상장을 수여합니다.

2021년 8월 27일

사단법인 한국식품저장유통학회
회장 정문철

제 26회 농림축산식품과학기술대전 수상작

김장호 회장

공 적 명 : 냉동육 해동 특성 DB 구축 및 친환경 대응용 금속해동틀러 개발 국산화를 통한 국내 식품기공 품질 및 시장 경쟁력 제고

소 속 : 주식회사 협진

훈 격 : 장관 표창

기술분야 : 현정(식품업)

장관 표창
농림축산식품
과학기술발전
유공

기술 개요

- * 육가공 산업의 주력인 냉동육의 형태의 특성의 해동 특성에 대한 과학적 기초 자료 확보를 통해 해동속도 감소, 생산성 개선 및 고품질 제품을 생산할 수 있는 국산 대응용 금속해동틀러 개발 및 적용기술 확보

주요 성과

- * 민영화분석을 통한 냉동육 해동 최적화 및 해동속도 품질특성 DB 구축
- * 고품질 해동육을 대량생산할 수 있는 대응용 친환경 금속 해동틀러 개발
- * 금속 진공해동틀러 기술 기술 100% 국산화 및 대용량 저온 저장
- * 0.5mm 진공압으로 드림로스율 1%이하로, 냉수건서 해동특성은 유지 가능
- * IoT 스마트 제어 시스템을 통한 다양한 조건의 해동, 보관, 유통할 가능함에 따라 대상 육류 종류와 가공방법 다양화가 가능하고 고계 맞춤형 제품 생산이 가능함에 따라 시장 경쟁력 강화

기대 효과

- * 대응용 해동기 국산화 기술 개발을 통해 친환경 금속진공해동틀러 장비의 가격을 낮추어 보급함으로써 식품기공 설비의 국산화 경쟁력 강화 및 국내 식품산업 발전에 기여

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 개발된 세부기술 성과에 따른 관련분야 기여도는 다음과 같음

세부기술	관련 분야 기여도
이중 자켓 구조로 온도 조절 기능	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 자연해동보다 해동 시간을 5배 이상 단축해 가공육 기업의 생산성을 크게 향상하고 매출증대에 기여 ▶ 텀블링과 냉장 보관으로 가공육의 탄력과 식감 향상
효율적 교반을 위한 임펠러 및 진공 텀블러	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 과다 드립으로 인한 육의 변색, 지방 산패, 이취 등을 방지하고 균일한 해동으로 선별작업 용이 ▶ 육의 탄력과 식감 향상 등 가공육 기업 제품의 품질경쟁력 제고
IOT 스마트제어 시스템과 사용자 인터페이스	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 다양한 조건의 해동, 보관, 텀블링이 가능하므로 육류의 종류와 가공방법의 다양화 가능(기업의 제품군이 넓어짐) ▶ 고객 맞춤형 제품 생산으로 가공육 기업은 고객의 니즈에 즉각적이고 적극적인 대응 가능
돈육 품질특성 연구 및 해동 모델 개발	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 향후 돈육 이외의 육류에 대한 급속 텀블링 해동기술 개발 시 기반기술로 활용 ▶ 냉동육으로부터 고품질의 가공육 제품을 생산할 수 있는 기술로 기업의 고부가가치 제품 생산을 실현

○ 파급효과에 따라 냉동육 해동 공정 및 설비 운영이 다음과 같이 변화될 것으로 기대

As is	To be
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 자연해동 드립에 의한 로스를 4~5%로 해동 품질 저하 및 정밀한 선별작업 필요 ▶ 냉동육 자연해동 시 24시간 이상 시간 필요하므로 가공육 생산에 병목현상 ▶ 해동육의 품질관리 어려움은 가공육의 품질 저하로 연결되어 육가공 기업의 제품 경쟁력 저하 원인 ▶ 작업장 오염, 고중량 육류 수작업 이동, 수동조작 등 높은 작업 강도를 요구하면서 많은 작업자가 필요 ▶ 해동 텀블러 전량을 수입에 의존하기 때문에 가공육 생산기업이 설비투자에 부담을 느낌 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 해동 텀블러 해동 로스를 0.5~1%로 해동 품질이 높으면서도 균일하고 별도 선별작업이 용이 ▶ 냉동육 해동 텀블러에서 해동 시 4~5시간 필요하므로 가공육 생산성 향상 ▶ 해동육의 품질이 향상되어 완제품의 식감과 제품탄력 등 품질완성도가 높아지며, 제품 경쟁력 향상은 수출 활성화로도 연계될 것으로 기대 ▶ IOT 기반 스마트팩토리 개념의 자동생산 시스템과 사용자 중심 인터페이스로 설비운영이 쉽고 추가설비투자 연계 가능 ▶ 국산화로 수입대체효과와 함께 가공육 생산기업의 설비투자가 확대될 수 있고 관련 산업 활성화 및 관련 시장·고용 상승 기대

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

구분	활용계획
<p>제품화 (신기술 인증)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 6ton급 해동 텀블러는 냉동육을 진공에서 급속 해동하는 장비이지만 실제 현장에서는 생산설비로 취급되기 때문에 고객사의 생산현장 상황과 육류의 종류에 따라 조정되어야 하는 부분이 많음 ▶ 6ton급 장비개발이 완료되고 기본적인 성능과 기능이 검증되면 향후 설비 납품(사업화 매출 발생) 가능성이 있는 기업과 협력협약(MOU)을 맺고 협력 기업의 현장 상황에 맞게 세부 기능과 사용자 인터페이스를 조정한 후 일정 기간 현장화 테스트 진행(기간은 협력기업과 협의) ▶ 제품화 단계에서 해동육 품질향상에 관한 연구는 국내 수요가 매우 높은 돈육 전·후지를 선정하여 개발되는 장비의 국내 활용도와 사업화 가능성을 높임
<p>지식재산권 추가 확보</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 개발기술 및 장비에 대한 특허는 외부 전문기관에 의뢰한 특허 동향분석을 활용하여 특허등록 가능성을 제고 ▶ 주관기관은 기술가치 평가 및 특허 지원 컨설팅을 활용하여 주관기관 및 공동 연구기관의 특허출원 컨설팅 지원 ▶ 개발기술 및 장비에 대한 기술마케팅이 가능하도록 지식재산권 우선 출원
<p>지속 사업화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 제품화를 위한 협력기업을 최초 사업화 매출실적으로 목표 ▶ 현재 해동 텀블러는 전량 수입제품이기 때문에 국내 협력사를 대상으로 해당 제품의 국산화에 성공했음을 적극적으로 홍보하고 가격경쟁력과 지속적인 관찰과 AS를 강점으로 홍보 ▶ 특히 초기 제품화(현장적용)를 위한 협약기업에는 비용의 혜택을 주어 더 많은 기업이 제품화 연구에 참여하도록 유도하면 더 높은 연구성과와 함께 초기매출도 증대될 것으로 기대 ▶ 최초 제품은 국내 수요가 많은 돼지고기 전·후지의 해동 품질에 최적화를 맞춰서 설비도입이 가능한 기업 후보군을 확대
<p>연구성과 확산 방안</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 주관기관은 다양한 국내·외 전시회 참가해서 기술성과 공유 ▶ 공동연구기관은 다양한 연구성과를 학술지와 학술대회에 발표하여 연구성과를 공유하고 연구결과를 현재 진행 중인 유사연구에 적용하여 추가 성과 도출
	
<p>기대 활용성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 국산화 성공과 특허기술 확보로 국내 해동 텀블러 설비를 선도할 수 있고 기업 성장의 동력 확보 ▶ 공동연구기관의 장비 개발 및 해동 품질 관련 연구역량 강화 ▶ 국내 육가공 기업의 해동 생산성 제고와 육류 제품 품질향상에 기여

< 연구개발성과 활용계획표(예시) >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내	
국외논문	SCIE	1	
	비SCIE	0	
	계	1	
국내논문	SCIE	0	
	비SCIE	0	
	계	0	
특허출원	국내	0	
	국외	0	
	계	0	
특허등록	국내	1	
	국외	0	
	계	1	
인력양성	학사	0	
	석사	1	
	박사	0	
	계	1	
사업화	상품출시	0	
	기술이전	0	
	공정개발	0	
제품개발	시제품개발	0	
비임상시험 실시		0	
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상	0
		2상	0
		3상	0
	의료기기	0	
진료지침개발		0	
신의료기술개발		0	
성과홍보		3	
포상 및 수상실적		0	
정성적 성과 주요 내용		-	

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1. 공통 요구자료	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
	3) 연구부정행위 예방 확인서

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치식품 기술개발사업 원료육 급속 진공해동 장치 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.