120056-1

멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기 개발

위생향상과 에너지절감을 위한

2021

농림식품기술기획평가원

농 림 축 산 식 품 부

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( )발간등록번호(O)

농축산자재산업화기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호
11-1543000-003642-01

위생향상과 에너지절감을 위한 멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기 개발

2021.07.30.

주관연구기관 / 제주대학교

협동연구기관 / ㈜삼원이엔지

농 림 축 산 식 품 부

(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 "위생향상과 에너지절감을 위한 멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기 개발"(개발기간 : 2020. 04. 29 ~ 2021. 04. 28)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021. 07. 30.

주관연구기관명 : 제주대학교 산학협력단 (대표자) 도 양 회 (인)
참여기관명 : ㈜삼원이엔지 (대표자) 김 일 동 (인)

주관연구책임자 : 박 윤 철
참여기관책임자 : 김 일 동

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서

보안등급
일반[○], 보안[ ]

중앙행정기관명	농림축산식품부	사업명	사업명	농축산자재산업화기술 개발사업
전문기관명	농림식품기술기획평가원		내역사업명	위생향상과 에너지절감을 위한 멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기 개발
공고번호	농축2020-76호	총괄연구개발 식별번호		
		연구개발과제번호		

기술분류							
국가과학기술 표준분류	LB0801	70%	LB0804	30%		%
농림식품과학기술분류	RC0101	100%		%		%

총괄연구개발명	국문			
	영문			
연구개발과제명	국문	위생향상과 에너지절감을 위한 멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기 개발		
	영문	Development of the membrane-heat pump convergent drying device for agriculture products for hygiene and energy saving		
주관연구개발기관	기관명	제주대학교 산학협력단	사업자등록번호	616-82-16375
	주소	(우)63243	법인등록번호	220171-0003205
연구책임자	성명	박윤철	직위	교수
	연락처 직장전화		휴대전화	
	연락처 전자우편		국가연구자번호	

연구개발기간	전체		2020. 04. 29 - 2021. 04. 28 (12개월)
	단계	1단계	2020. 04. 29 - 2021. 04. 28 (12개월)

연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비외 지원금
					지방자치단체		기타(민간)					
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계		178,000					6,000	54,000	184,000	54,000	238,000	
1단계	1년차	178,000					6,000	54,000	184,000	54,000	238,000	

공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고 역할	비고 기관유형
공동연구개발기관							
위탁연구개발기관							
연구개발기관 외 기관	㈜삼원이엔지	김일동	대표			기타	중소기업

연구개발담당자 실무담당자	성명	장재철	직위	연구원
	연락처 직장전화		휴대전화	
	연락처 전자우편		국가연구자번호	

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

2021년 04월 28일

연구책임자: 박윤철 (인)

주관연구개발기관의 장: 도양회 (직인)

참여기관의 장: 김일동 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요 약 문 >

사업명		농축산자재산업화기술개발사업			총괄연구개발 식별번호		
내역사업명					연구개발과제번호	120056-01	
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0801	70%	LB0804	30%		%
	농림식품 과학기술분류	RC0101	100%		%		%
총괄연구개발명							
연구개발과제명		위생향상과 에너지절감을 위한 멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기 개발					
전체 연구개발기간		2020. 04. 29 - 2021. 04. 28 (12개월)					
총 연구개발비		총 238,000천원 (정부지원연구개발비: 178,000천원, 기관부담연구개발비 : 60,000천)					
연구개발단계		기초[ ] 응용[ ] 개발[√] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]			기술성숙도 (해당 시 기재)	착수시점 기준(1단계) 종료시점 목표(6단계)	
연구개발과제 유형							
연구개발과제 특성							
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	● 멤브레인을 이용한 에너지 절감형 농산물 건조장치 개발					
	전체 내용	● 20%이상 에너지 절감형 농산물 건조용 열펌프 설계, 제작, 성능실험 완료 ● 제습건조용 멤브레인 장치 설계, 제작, 성능실험 완료 ● 농산물 건조장치 통합화 및 패키지화 실시 (전체 부피 약 0.7㎥) ● 에너지 절감량 분석 실시					

연구개발성과	● 특허출원 1건 ● 기술이전 1건(기술료 5,500천원) ● 제품화 1건 ● 기술인증 1건 ● 비SCI 1건(Accepted, 10월 게재예정) ● 학술발표 2건
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	● 각종 학회 등에 신기술을 발표하고, 결과물에 대한 우수성 홍보 ● 제품 성능인증을 통한 특허등록, 신기술인증 추진 ● 개발된 기술 관련 고용창출 및 인력양성 실시
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음

연구개발성과의 등록・기탁 건수	논문	특허	보고서원문	연구시설・장비	기술요약정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명정보	생물자원		정보	실물
	1	1	1									

연구시설・장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설・장비명	규격(모델명)	수량	구입연월일	구입가격(천원)	구입처(전화)	비고(설치장소)	ZEUS 등록번호

국문핵심어 (5개 이내)	건조장치	열펌프	멤브레인	에너지절감	위생
영문핵심어 (5개 이내)	Drying device	Heat pump	Membrane	Energy saving	Hygiene

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 ····· 10

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 ····· 23

4. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 ····· 33

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 ····· 33

별첨 자료 (참고 문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발의 개요

가. 개발 기술 개요

○ 본 개발기술은 열펌프와 멤브레인 기술을 접목한 융합기술로 에너지 절감과 건조식품의 위생성을 크게 향상시킨 건조기 개발에 관한 연구로써,

○ 기존건조기의 건조과정에서 농산품으로부터 건조를 위하여 취득한 습기를 함유한 공기를 건조기 외부로 배출하고 다시 가열하는 비 에너지효율 적인 과정을 배제하여,

○ 에너지 효율을 기존 건조기 대비 약 20%이상 향상시킬 수 있는 건조장치의 개발에 관한 연구임.

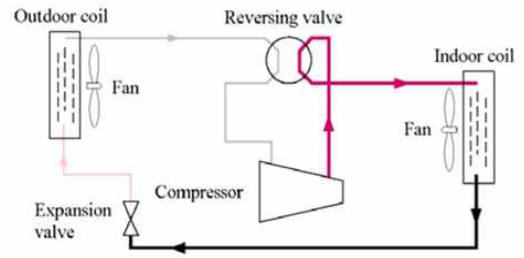
○ 이를 위하여 적용한 기술은 다음 모식도와 같으며, 주요 기술로는 에너지 절감을 위한 열펌프와 습공기의 외부배출을 위한 첨단 멤브레인 기술이 접목된 융합기술의 개발임.

○ 제습으로 포화된 공기를 건조기 외부로 배출하는 멤브레인(습공기 능동배출)은 기존 건조기의 공기배출을 위한 휀 등에 소비되는 에너지가 필요 없음.

○ 또한, 이러한 멤브레인은 대상식품과 외부공기와의 접촉을 방지함으로써, 외부 오염원으로부터 식품이 안전하게 건조될 수 있어 국민의 식품 위생성 향상 측면에서 매우 우수한 기술임.

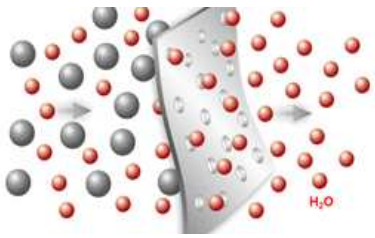
[기술 1] 열펌프 기술

- 농산물 건조기 전용 열펌프 기술
- 범용적 농산물 건조 가능



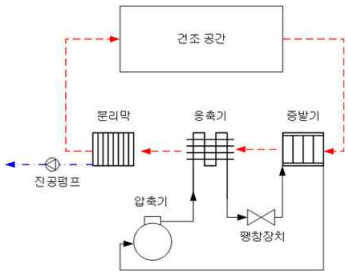
[기술 2] 멤브레인 기술

- 건조공정에서 수분제거(배습과정 생략)
- 수분제거 과정에서 온도변화 없음.
- 연속적 건조 가능



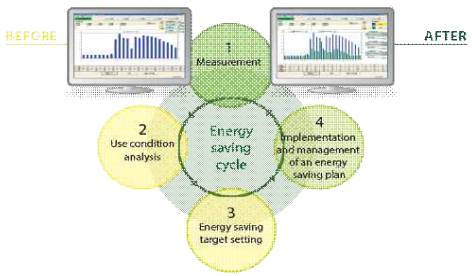
[기술 3] 시스템 통합화

- 열펌프와 멤브레인 통합 시 발생하는 손실 감소 및 시스템 최적화
- 패키지 구성을 통한 시스템 컴팩트화



[기술 4] 에너지 절감량 분석

- 기존 농산물 건조기 대비 에너지 소비량 및 건조시간 분석
- 에너지 절약을 위한 효율적 운전방안 도출



나. 연구배경 및 필요성

○ 농산물의 안정적 재배와 생산, 소비를 위해 가공 산업에 관심이 확대되고 있으며, 농산물 가공을 위해서는 건조공정이 필수적임.
○ 하지만 농산물 가공과정에서 많은 에너지가 소비되고 있으며, 건조시간도 오래 걸림.
○ 농산물 20㎏기준으로 열풍건조기의 경우, 요구되는 건조온도와 건조시간은 <표 1>에 나타낸 바와 같이 농산물에 따라서 다양함.

<표 1> 농산물 품목별 건조온도 및 건조시간

품목	온도 [℃]	시간 [hr]
고추	50 ~ 60	50
버섯	30 ~ 40	40
녹차	35 ~ 50	16
무	30 ~ 60	30
호박	30 ~ 60	6
고사리	50 ~ 60	6
담배	30 ~ 60	46
구기자	50 ~ 60	20
가지	50 ~ 60	20
인삼	30 ~ 60	6

○ 농산물 건조과정에서 많은 건조시간이 소요되는 이유는 건조과정에서 습기를 제거하기 위한 배습과정이 추가되고, 건조시간의 장기화가 초래되므로 건조시간을 줄이기 위한 연구가 필요함.
○ 배습과정에서 건조를 위하여 가열되고 습기를 흡수한 공기가 외부에 배출되어 배출이 끝난 후에 다시 공기를 가열하기 위하여 에너지가 투입되게 되어 배습과정에서는 필연적으로 고온의 에너지가 외부로 손실되는 현상을 동반함.
○ 국내의 경우, 건조작물은 나물, 채소류 위주로 기술개발이 편중되어 있고, 고소득 잘물에 대하여 농작물의 고유 특성유지를 위한 **위생적이고 안전한** 기술개발이 필요하며, 본 기술개발에서는 배습과정 중에 건조대상 농산품이 외부 오염원에 노출되지 않는, 멤브레인을 사용하는 에너지 전달 메커니즘을 이용함.
○ 또한, 업체의 규모에 따라 보유한 건조기술에 차이가 매우 크며, 대기업에서는 상당한 기술력을 기반으로 다양한 제품을 출시 중이나, 소규모 제조농가의 기술력은 부족하여 농어민 들이 쉽게 조작하고, 운용할 수 있는 패키지 제품이 필요함.

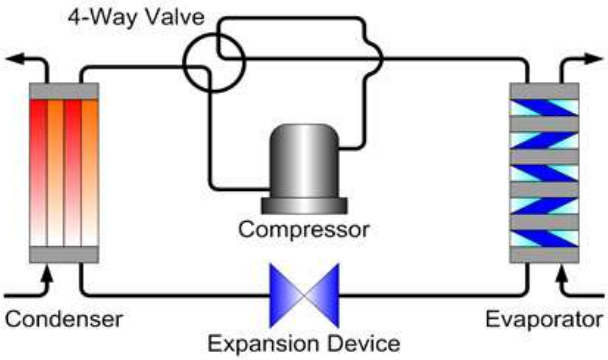
다. 핵심기술

○ **열펌프 기술**

- 열펌프는 [그림 1]과 같이 압축→응축→팽창→증발 과정을 통해 가동되며, 외부에서 에너지를 흡수하고, 소량이 에너지를 소비하여 대량의 고온열을 생산할 수 있는 에너지 절약적인 시스템임.
- 열펌프는 에너지절약에 필수적인 시스템 기기로서, 외부공기로터 무효의 에너지를 가열과정에 이용하므로 현존하는 열원기기 중에 에너지 이용효율이 가장 높은 기술임.
- 최근 농산물의 고품질 건조를 위해 열펌프를 이용한 저온제습건조기를 개발 중이나 열

풍건조방식 대비 가격경쟁력이 낮아 이용률이 낮으며, 50℃이상의 건조온도를 요구하는 농산물 건조에는 이용하기 어려움.

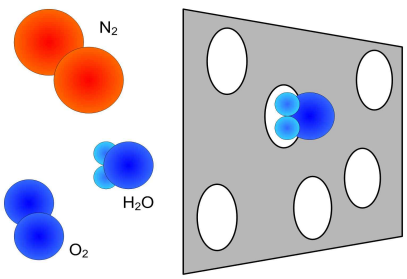
- 본 연구는 범용적인 농산물의 건조를 위해 고온(60℃이상)의 건조온도 확보가 가능한 열펌프 냉매운전 사이클을 개발할 예정임.



[그림 1] 열펌프 개략도

○ 멤브레인 기술

- 멤브레인 기술은 1990년대 적용되기 시작하여 보급이 확대되어 가고 있음. 매우 낮은 노점을 요구하는 분야에서는 흡착식이 적용되지만 일반적인 결로 방지의 목적을 갖는 분야에서는 적용이 확대되고 있음.
- 멤브레인 공정의 특징은 막소재 개발, 복합막 개발, 모듈 개발, 시스템 설계 및 제작 기술 개발단계를 거침. 국내에서는 아직 최적 소재 및 코팅기술에 대한 연구 정도만 이루어지고 있음.
- 멤브레인 기술은 다른 방식과 비교하여 효율이 높으며, 에너지의 소비가 적고, 경제적이며, 친환경적이므로 높은 신뢰성이 요구되는 분야에서도 사용할 수 있음.
- 멤브레인은 [그림 2]와 같이 압력차나 농도차 등에 의해 공기 중의 수분만을 제거하는 원리로 이용되며, 본 연구에서는 배습과정을 생략하여 에너지 소비를 줄일 수 있음.
- 또한, 오염원이 존재하는 외부공기와 물리적으로 차단되어 건조식품의 위생적인 생산이 가능한 기술임.



[그림 2] 멤브레인을 이용한 수분제거 원리

1-2. 연구개발 대상의 국내·외 현황

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 농산물의 건조는 주로 간식·부식용으로 채소, 과일, 육류 등을 가공하는데 사용되며, 농가나 소규모 영농단체에서는 단순 열풍건조 중심으로 제품을 생산하고 있음.
- 채소의 경우, 무, 시래기, 호박, 나물 등을 건조시켜 PP필름에 밀봉 포장하여 유통하고 있으며, 과일류의 경우는 기호성과 보존성을 높이기 위해서 감, 사과, 감귤, 대추, 딸기 등을 건조시키고 있고, 육류는 주로 쇠고기, 돼지고기 등을 대상으로 단순 전처리(염지) 과정을 거친 후 열풍 또는 자연건조로 육포를 생산하고 있음.[1)]
- 국내 농산물 건조기술은 영농현장에서의 보편적 활용을 위한 산업화단계로의 진행이 필요한 단계임.
- 건조기계도 다양하게 개발되었으나 농가는 가격이 싼 기계를 선호함에 따라 **열풍건조기**가 가장 많이 보급되어 있으며, 건조열원에 따라 전기식과 등유 버너식으로 나뉘는데, **전기식**이 많이 보급되어 있음.

○ 시장현황

- 농산물 특성에 따른 홍수출하, 생산량 감소, 가격등락 심화 등의 고질적 문제의 해결방안으로 농산물의 저장 및 유통에 가장 유리한 건조기술의 중요성이 대두되고 있음.
- 농산물의 수급불안정 해소, 계절성의 극복, 유통·저장 중 안전성, 편리성 제고 등을 위해 생산차원에서 건조기술 개발수요도 증가하고 있음.
- 건조 농산물과 연관된 기업의 적극적인 기술개발과 수출확대 노력으로 원물간식 수출이 2007년 866톤에서 2016년 3,539톤으로 약 4배 증가하였으며, 같은 기간 동안 수입은 37% 증가에 불과하였음.(수출액 기준으로 2012년부터 2016년 사이에 과채류는 193%, 견과류는 493%, 육포는 607% 증가하였음.)

○ 경쟁기관현황

- 2014년 기준으로 농산물 건조기의 경우, 생산업체는 정부융자지원 대상 농업기계에 등록한 업체 56개사 중에서 조합회원사로 가입된 32개사 중에서 매출액 10~50억 미만인 업체가 62.5%로 가장 많으며, 100억 이상인 업체는 18.8%이나 대부분 곡물 건조기를 생산하는 업체임.
- 2006년 농산물 건조기 업체는 9개사였으며, 해마다 100%이상 증가하여 2013년에는 56개사로 증가하였으며, 공급량 또한 2,000~3,000대 수준에서 15,000대를 상회하는 수준으로 확대되었음.
- ㈜에이티이엔지는 기존 열펌프 기술에 흡착제를 이용한 열펌프데시칸트건조기를 개발하였고, ㈜티원테크에서는 기존 전기식 열풍건조기와 열펌프식을 접목한 하이브리드 건조기를 개발하였으며, 퍼지제어를 이용하였음.
- 귀뚜라미 홈시스, 한일 GNCO 주식회사, 현대에너텍, 대영 E&B, ㈜신일실업 등도 농산물 건조기를 생산하고 있으나 전기식 열풍 건조기술을 적용하고 있음.

○ 지식재산권현황

- 국내특허의 경우, 열풍식 건조기가 대부분이며, 건조기의 응용(열회수 방법) 및 제어방법에 관한 특허가 다수를 차지함.

특허명	등록번호	발명자
히트펌프 시스템을 이용한 연속식 농산물 건조기	1013811950000	한국에너지기술연구원
히트펌프를 이용한 연속식 농산물 건조기의 제어장치	1015258800000	한국에너지기술연구원
농산물 건조기용 제어장치	1016903750000	영남대학교 산학협력단
농산물 건조기의 배풍열 회수장치	1004580050000	대한민국(농촌진흥청장)
농산물 건조기	1018924500000	㈜삼대
농산물 건조기	1013798490000	주식회사 네오하이테크
마이크로파를 이용한 농산물 건조기	1015786870000	엔티씨 주식회사
농산물 건조기 및 이를 이용한 농산물 건조방법	1014521610000	중앙정밀 주식회사
조립식 농산물 건조기	1013006360000	주식회사 신일종합건조기
농산물 건조기	1009750210000	신농(주)
농산물 건조기 및 그 제어방법	1014267160000	신농(주)

○ 표준화현황

- 압축 공기용 건조기 시방 및 시험방법: KS B ISO 7183
- 압축공기용 건조기 성능등급: SPS-KTC-BISO7183-2-6899
- 농산물건조기 시험방법: KS B 7944
- 건조기: SPS-KSIIC0154-0372
- 열풍식건조기: SPS-KSIIC0194-0412

○ 기타현황

- 농촌진흥청에서는 건조기술에 대하여 <표 2>와 같이 품목, 건조방식, 건조단계별 기술개발 로드맵을 세웠으며,
- 품목별 건조농축산물 표준 제조공정기술 개발, 기 확립된 품목별 건조기술 집대성 및 DB 구축, 농가형 건조기계기술 개발, 건조농축산물 표준 매뉴얼 개발 및 지역가공센터 등 보급, 건조 농축산물 GAP 및 HACCP 실천기술 개발, 건조농축산물의 국제식품규격(CODEX) 설정 등을 중점 추진할 계획임.

<표 2> 농촌진흥청 건조기술 연도별 추진계획

구분	2018	2019	2020	2021	2022	성과활용
내부수행	건조 농축산물 표준매뉴얼 개발 →					영농활용,기술보급서 배포, 정책제안 등
		지역가공센터 등 표준 제조기술 보급 →				
	국제 식품규격 설정(곶감, 고구마 말랭이 등) →					
공동연구		농가형 하이브리드 범용 건조기계기술 개발 →				
		건조 농축산물 품목별 표준 제조공정기술 개발 →				
		육포 제조 HACCP 실천기술 개발 →				
		건조 농산물 GAP 실천기술 개발 →				
		현장애로기술해결 →				

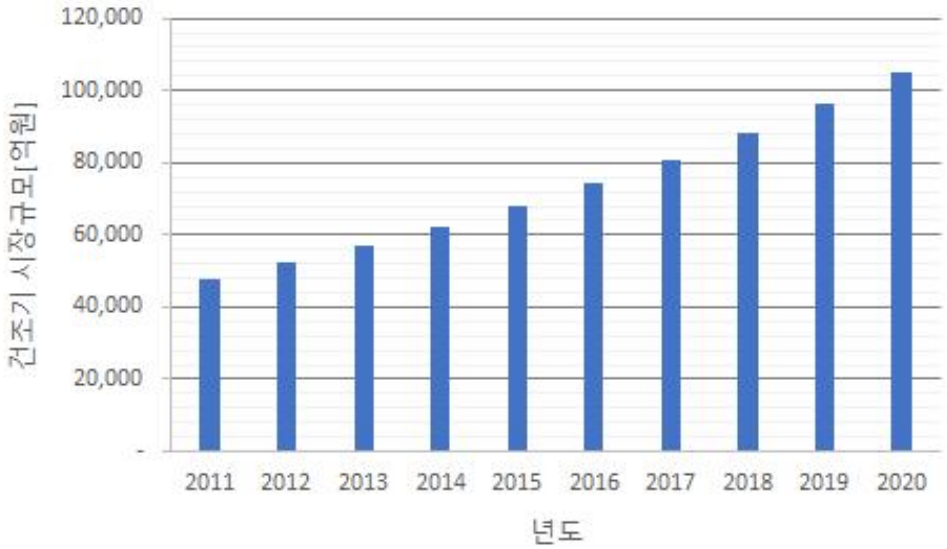
나. 국외 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 우리나라의 농업용 건조기 기술수준을 일본과 비교하면 설계기술은 일본에 비해 약 30% 수준, 제작기술은 약 70%, 핵심요소기술은 약 30% 수준으로 전체적으로 평균 약 32%의 수준으로 평가되고 있음.
- 통기건조기와 회전건조기는 일본의 절반수준 이상이나 분무건조기 및 유동층 건조기는 그나마 약 1/3 수준에도 못 미치는 것으로 평가되고 있으며, 열효율 비교 분석에서는 일본제품과 국산제품을 비교해보면 전반적으로 일본의 약 70~80% 수준임.[2)]

○ 시장현황

- 농기계 시장 조사업체인 Freedonia에 따르면 세계 농기계시장 규모는 2014년 기준으로 약 1,407억 달러로 추정되며, 10년 후인 2024년에는 그 두 배에 가까운 2,560억 달러가 될 것으로 추정하고 있음.[3)]
- [그림 4]와 같이 세계 산업용 건조기(음식물쓰레기 건조기, 농산물 건조기, 전자레인지 등) 시장 규모는 2013년 5조 8,080억원 수준에서 매년 9.1%씩 성장하여 2020년에는 10조가 넘을 것으로 추정됨.[4)]
- 2018년 기준 농산물 건조기 수출액은 855만 달러에 달하며, 2017년 대비 약 19.6% 상승하였음.[5)]



[그림 4] 세계 산업용 건조기 시장규모 추이

<표 3> 2018년 농기계 품목별, 국가별 수출 규모

2018년 품목별 수출액 (단위 : 천 달러,%)				
품목별	2018년		2017년	증감
	금액(a)	구성비	금액(b)	(a/b)
농업용 트랙터	652,487	62.6	545,196	119.7
부분품	114,751	11	102,574	111.9
작업기	89,084	8.5	73,156	121.8
기타농업기계	40,025	3.8	297	13,476.40
가금/양봉기계	29,661	2.8	70,970	41.8
펌프	24,809	2.4	26,864	92.4
수확기	19,257	1.8	10,569	182.2
도정기계	16,833	1.6	18,719	89.9
농용엔진	15,638	1.5	8,282	188.8
축산기계	11,746	1.1	15,443	76.1
농산물건조기	8,558	0.8	7,153	119.6
예취기	6,069	0.6	3,339	181.8
방제기	5,096	0.5	5,675	89.8
이앙(식)기	4,407	0.4	6,438	68.5
선별기	1,981	0.2	4,570	43.3
소농기구	1,705	0.2	1,116	152.8
낙농기계	83	0	188	44.1
합계	1,042,190	100	900,549	115.7

○ 경쟁기관현황

- 일본의 파우더링·재팬은 2단식 건조장치인 멀티스테이지 스프레이드라이어 시스템을 개발하였으며, 리켄(理硏)비타민 치바(千葉)공장에 소량 다품종 제조 타입의 장치를 납품하였음.
- 후지사키(藤崎)전기에서는 원 패스로 싱글미크론의 액체방울을 얻을 수 있는 분무건조장치인 마이크로 미스트 드라이어를 개발하여 미립화를 목적으로 한 건조기술로서 소개하였음.

- 마이크로파 응용 장치의 전문 메이커인 미크로전자는 식품·식료 메이커 등 수요기업과 공동으로 마이크로파 응용 건조기를 개발하여 제품화하고 있음.

○ 지식재산권현황

특허명	출원(등록)번호	발명자
건조장치 및 그 제어방법	PCT/KR2016/015342	경상대학교 산학협력단
AGRICULTURAL DRYER WITH MIXED-FLOW FAN	PCT/US2017/032350	THE GSI GROUP LLC
HIGH PERFORMANCE GRAINS DRYER	PCT/BR2009/000221	PACHECO DA CUNHA, Otalício
Heat pump dryer with desciccant enhanced moisture removal	USA006094835A	University of Central Florida
Dryer apparatus and dryer control system	US20020152634A1	Paul Tedman, Douglas Clark
Microwave dryer and microwave drying method	US20130091722A1	Kwok Fai Lam
AGRICULTURAL PRODUCT DRYER	JP6064893B2	ISEKI & CO LTD
DRYING CONTROL METHOD FOR DRYER, AND DRYER	JP05305449B2	SANSHU SANGYO CO LTD
DRYER FOR AGRICULTURAL PRODUCT	JP05573913B2	ISEKI & CO LTD

○ 표준화현황

- Compressed air dryers: ISO 7183-2:1996
- Compressed air dryers-Specifications and testing: ISO 7183:2007

다. 현황분석을 통한 연구추진계획

1) 특허분석 측면

- 기존 농산물 건조기(또는 건조장치) 특허는 열풍식을 바탕으로 한 응용에 치중되어 있으며, 특히 장치의 제어관련 기술과 폐열 또는 미활용되는 열을 회수하기 위한 기술이 대부분임.
- 본 연구과제에서는 배습(또는 배풍)과정을 생략할 수 있는 연속식의 건조기 구조 및 활용방법에 관한 연구를 수행하여 에너지 절약적 측면에 관점을 두어 특허를 출원할 계획이며, 특히 본 기술팀이 출원한 특허를 제외하고, 멤브레인을 이용한 농산물 건조장치는 국내뿐만 아니라 국외에서도 출원 사례가 없음.

2) 논문분석 측면

- 멤브레인과 관련된 기존 논문은 멤브레인의 성능 향상을 위한 코팅 및 재질 개선에 치중되어 있으며, 국내에서는 제습을 위한 기술만이 발표되었음.
- 하지만 제습과 건조의 메커니즘은 큰 차이가 있으며, 특히 건조기와 관련된 논문은 열풍식 또는 열펌프식에만 초점이 맞추어져 있음.
- 따라서 본 연구과제를 통하여 멤브레인을 이용하였을 때의 메커니즘을 규명하고, 실용

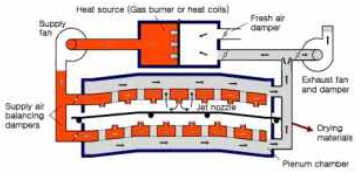
화하였을 때의 차이점과 관련된 실험결과를 바탕으로 논문을 발표할 계획임.

3) 제품 및 시장분석 측면

- 국내 및 국외 건조기 시장 분석결과 열풍식 건조기가 주를 이루고 있으나 전력소비가 크고, 건조시간이 매우 길다는 단점이 있음.
- 특히 안전상의 문제로 건조과정에서 인력이 요구되는 바, 본 연구과제 결과를 통하여 전력소비가 적고, 건조시간이 짧은 기술을 개발하고, 관련기술을 실제 민간업체에 기술이전할 계획임. (기술이전 완료)

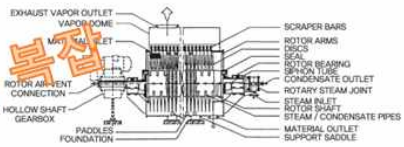
터널식 열풍 건조기

마이크로 빔 건조기



충돌 제트기류 열풍 건조기

복사파 건조기



디스크 건조기

[그림 5] 농림축산물 건조시스템 종류

2. 연구수행 내용 및 결과

2-1. 연구개발 목표

가. 최종목표

○ 멤브레인을 이용한 에너지 절감형 농산물 건조장치 개발

나. 세부목표

○ 컴팩트한 형상의 에너지 절감형 농산물 건조장치 기술 개발(컴팩트)
○ 범용적인 농산물의 건조가 가능한 건조장치 기술 개발(범용성)
○ 고에너지 절감형 농산물 건조장치 기술 개발(에너지절감)
○ 건조시간 단축 기술 개발(건조시간단축)
○ 건조품의 외부오염방지 기술개발(오염방지)

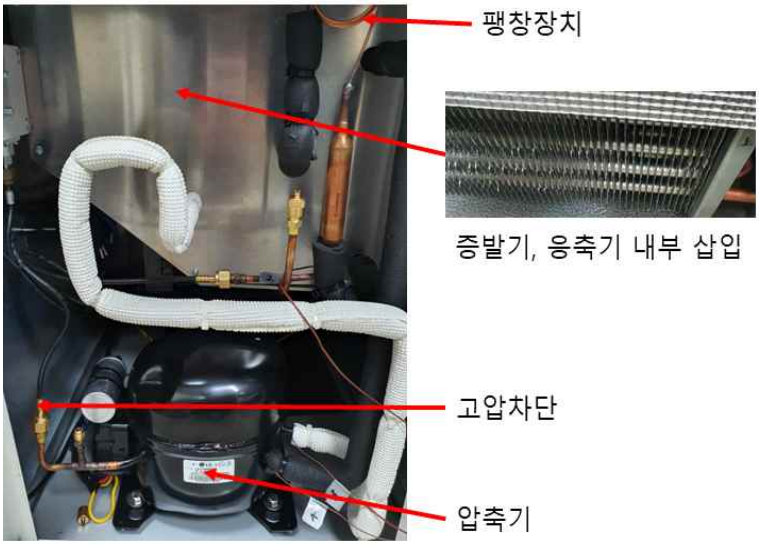
2-2. 연구내용

가. 20%이상 에너지 절감형 농산물 건조용 열펌프 설계, 제작, 성능실험

- 본 연구에서 개발한 멤브레인-열펌프 융합형 건조기의 열펌프에서 응축기는 건조공간의 온도를 상승시키는 역할을 담당하였고, 멤브레인과 증발기는 수분을 제거하는 역할을 담당함.
- 따라서 건조공간의 온도를 60℃이상으로 설계하였으며, 압력상승에 따른 온도유지에 무리가 없도록 하였음. (설계응축온도: 60℃(포화압력 1,682 kPa))
- 증발기의 경우는 건조공간에서 배출된 공기가 수분을 제거할 수 있도록 증발온도를 설계하였으며, 공기의 상대습도를 15%라고 가정하여 설계하였음. 이는 건조물의 수분함량을 고려하여 설계하였으며, 이때의 증발온도는 약 24℃(포화압력 647 kPa)임.
- 열펌프의 제어는 건조공간이 60℃에 도달할 때까지 압축기가 운전되고, ±3℃의 차이로 정지되는 구조로 제어하였으며, 압축기가 정지하였을 때는 멤브레인의 진공펌프가 가동하여 수분을 제거하도록 설계하였음.
- 열펌프에 이용된 냉매는 R-134a이며, 자세한 사양은 <표 4>와 같음.
- 열펌프는 [그림 6]과 같은 구조로 구성하였고, 건조공간을 통과한 공기는 내부 덕트에 삽입된 증발기와 응축기를 거쳐 멤브레인을 지나도록 설계하였음.

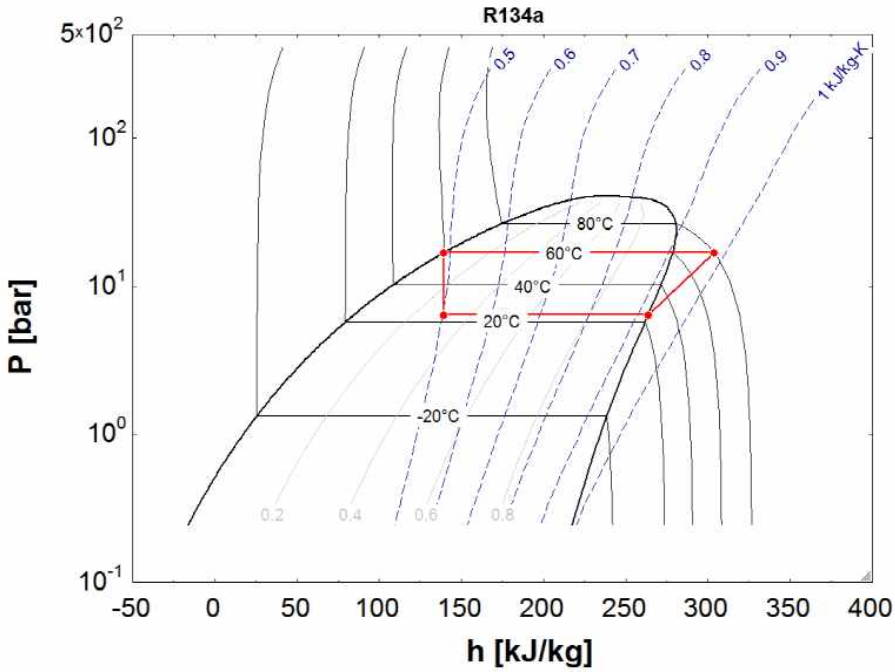
<표 4> 에너지 절감형 농산물 건조용 열펌프 사양

요소부품		사양	단위
압축기	소비전력	540	W
	배기량	11.0	cc/rev.
	작동냉매	R134a	-
열교환기	응축기	1,300	kcal/h
	증발기	1,000	kcal/h

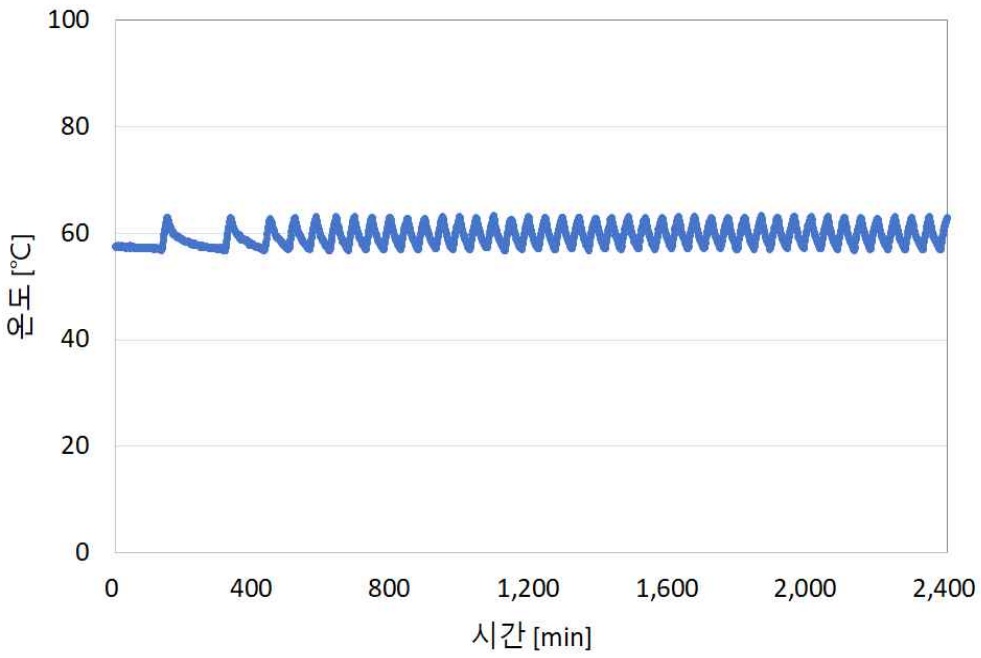


[그림 6] 에너지 절감형 농산물 건조용 열펌프

- 열펌프의 기본 사이클은 [그림 7]과 같이 설계하였으며, 이론적 최대 COP(Coefficient of Performance)는 3.12가 되도록 설계하였음. 이때, 열교환 효율은 0.8로 설계하였음.
- 설계된 열펌프를 이용하여 건조공간의 온도를 유지하는 실험을 실시하였으며, [그림 8]과 같이 건조공간의 내부온도는 평균 59.5℃, 최대 63.3℃, 최저 56.7℃ 범위에서 40시간동안 일정하였음.(시험성적서 제시)
- 40시간 가동 시 소비된 에너지는 31.61 kWh이며, 이는 기존 건조기(사업계획서에 제시하였음.) 대비 20.98% 에너지절감을 기대할 수 있으며, 건조시간 단축에 따른 추가 에너지 절감을 기대할 수 있음.



[그림 7] 열펌프의 기본 사이클 설계

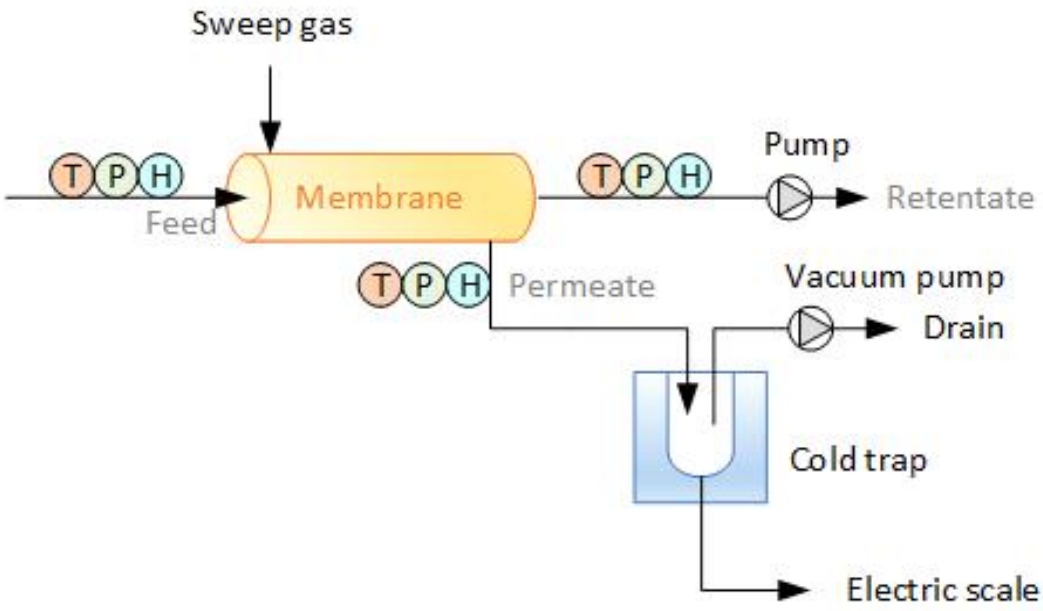


[그림 8] 건조공간 내부온도 변화

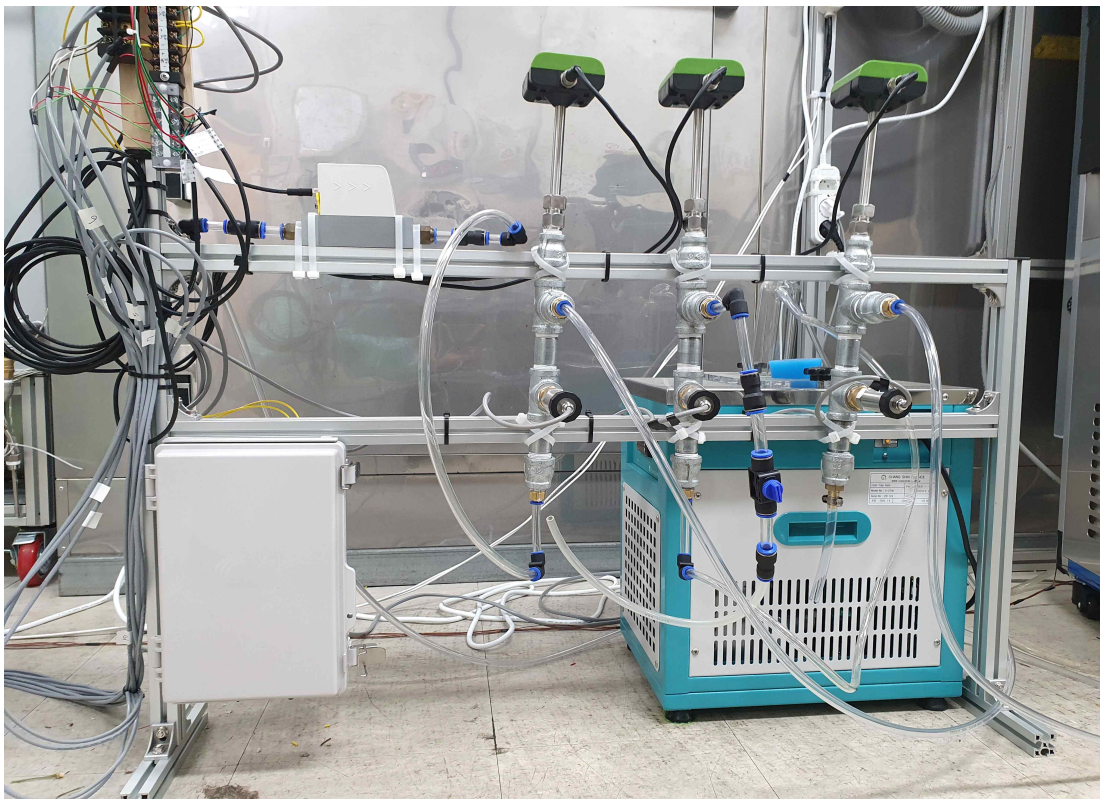
나. 제습건조용 멤브레인 장치 설계, 제작, 성능실험

- 본 연구에서 사용된 멤브레인 지지체의 재질은 Poly ether sulfone이며, 가용면적은 0.2376㎡임.
- 멤브레인은 [그림 9]와 같이 원통형 케이스 내부에 배치하여 스윕가스는 원통의 곡면 측에서 들어가서 배출되는 구조이며, Feed 측의 공기는 원형면에서 들어가서 배출되는 구조로 설계하였음.
- 제작된 멤브레인은 건조기의 후면에 배치하여 열펌프의 증발기와 응축기를 통과한 공기가 멤브레인으로 유입되도록 설계하였음.
- 또한, 멤브레인의 성능을 시험하기 위해 [그림 10] 및 [그림 11]과 같은 구조의 테스트 장비를 구현하였고, 시험결과 본 연구에서 사용한 멤브레인의 시간당 수분플럭스는 1.1 kg/㎡h이며, 시간당 수분제거량은 약 0.8 kg/h로 도출되었음.

[그림 9] 멤브레인 내부(左) 및 배치(右)



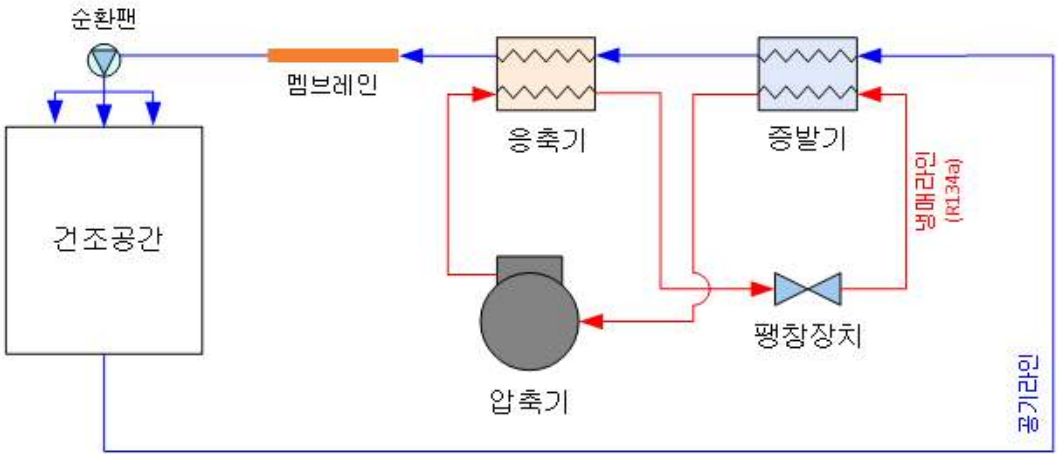
[그림 10] 멤브레인 성능시험 장치 개략도



[그림 11] 멤브레인 성능시험 장치

다. 농산물 건조장치 통합화 및 패키지화

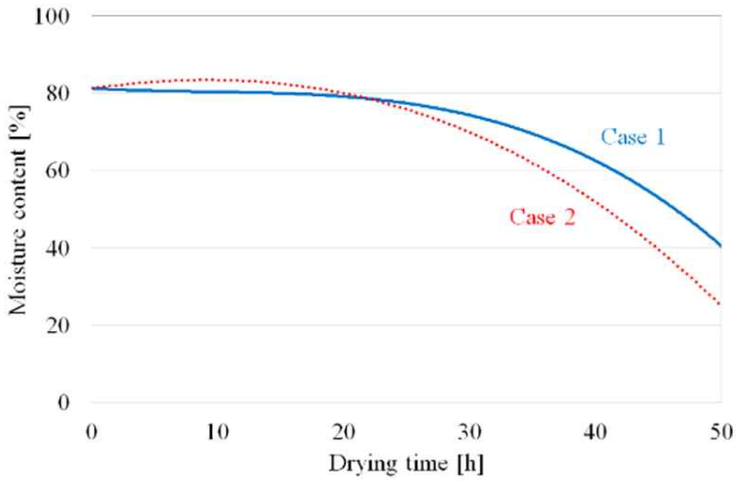
- 멤브레인과 열펌프를 융합한 건조장치는 [그림 12]와 같은 형상이며, 열펌프의 증발기를 통과한 공기의 수분을 1차적으로 제거하고, 응축기를 거쳐 공기의 온도를 상승시켜 멤브레인으로 유입되도록 구성하였음. 이는 일반적으로 멤브레인이 수분을 제거하기 위해서는 활성화 에너지를 증가시켜야하기 때문이며, 온도가 높을수록 활성화 에너지가 상승하는 효과를 이용하기 위함임.
- 멤브레인을 통과한 공기는 2차적으로 수분이 제거되고, 수분이 제거된 공기는 건조공간으로 유입되어 순환하는 구조임. 따라서 외부에서 유입되는 공기가 없으므로 오염물질의 유입도 최소화할 수 있는 구조임.
- 제작된 멤브레인-열펌프 융합형 건조기는 [그림 13]과 같은 형상이며, 하부에는 열펌프와 진공펌프 및 배전반이 위치하고, 중부에는 건조공간이 배치되어 있으며, 상부에는 열펌프와 멤브레인을 통과한 건조공기가 분배되는 공간으로 설계하였음.
- 멤브레인 장치와 열펌프 장치를 통합한 “멤브레인-열펌프 융합형 건조기”의 전체사이즈는 770mm×500mm×1,850mm (약 0.7 ㎥)임.
- 건조공간에서 수분을 포함한 공기는 열펌프의 증발기를 거치며 1차적으로 수분이 제거되고, 열펌프의 응축기를 거쳐 공기의 온도를 상승시킴. 온도가 상승된 공기는 활성화에너지가 높기 때문에 멤브레인에서 높은 효율을 나타낼 수 있으며, 2차적으로 멤브레인에서 수분을 취득하여 외부로 배출하기 위해 진공펌프를 이용하였음.
- 이러한 과정에서 열펌프의 압축기와 멤브레인의 진공펌프가 동시적으로 작동하면 수분제거시간은 감소하지만 에너지가 과대하게 소모됨.
- 따라서 본 연구에서는 열펌프의 압축기가 가동하여 증발기에서 수분을 제거하고, 응축기를 거친 공기가 건조공간에 투입되어 건조공간의 온도를 상승시키는 과정에서는 멤브레인의 진공펌프가 정지하고, 건조공간이 설정온도(60℃)에 도달하여 압축기가 정지하는 과정에서는 진공펌프를 작동하는 제어방식을 이용하였음.



[그림 12] 멤브레인-열펌프 융합형 건조기 개략도

[그림 13] 멤브레인-열펌프 융합형 건조기 형상

- 제어방법에 따른 수분제거 효율은 농작물(고추)의 함수율 변화로 관찰하였으며, Case 1(진공펌프를 일정한 시간동안 작동)의 경우와 Case 2(압축기와 진공펌프의 교차 운전)의 경우를 비교한 결과는 [그림 14]와 같음.
- [그림 14]에서처럼 건조시간이 약 20시간이 경과하였을 때부터 농작물의 함수율이 Case 2의 경우가 약 3.6% 낮게 나타났음.[6)]

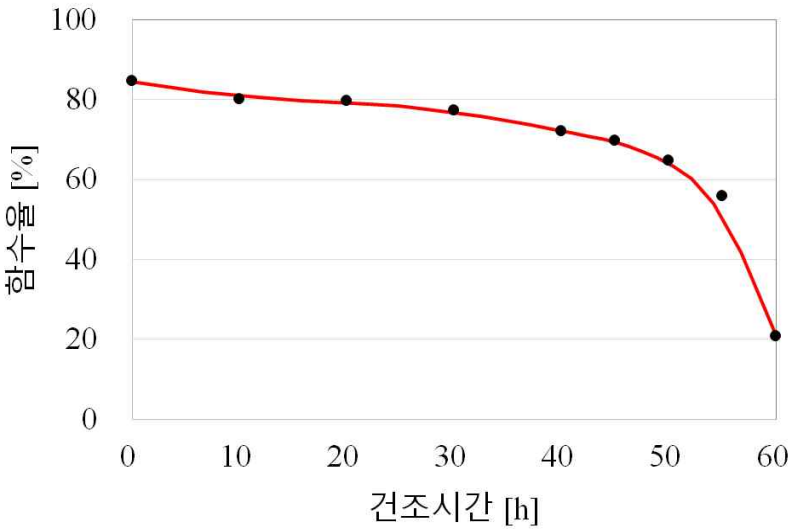


[그림 14] 제어방법(Case 1, Case 2)에 따른 고추의 함수율 변화

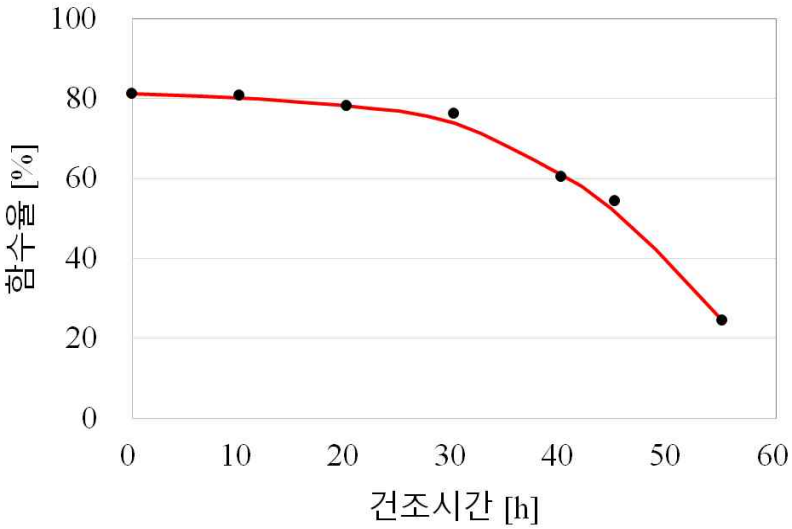
라. 농산물(고추, 무) 함수율 변화

- 본 연구에서 이용한 고추의 품종은 청양 홍고추이며, 20kg을 대상으로 건조시간에 따른 함수율 변화를 관찰하였음.

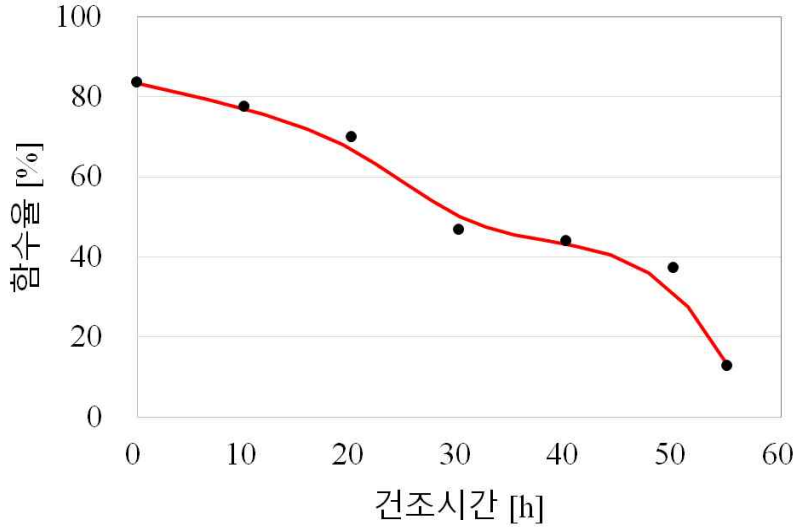
- 함수율 측정은 O社의 MB23 수분측정기를 이용하였으며, 항률건조구간에서는 10시간 단위로 함수율을 측정하였고, 감율건조구간에서는 5시간 단위로 함수율을 측정하였음.
- [그림 15]는 내부순환 풍량이 49.7 CMH일 때의 건조시간에 따른 함수율의 변화를 나타내고 있으며, [그림 16]은 61.2 CMH, [그림 17]은 91.8 CMH일 때의 건조시간에 따른 함수율의 변화를 나타내고 있음.
- 실험 결과와 같이 건조시간이 30시간이상일 때부터 풍량이 증가할수록 함수율이 적어짐을 알 수 있음.(건조성능이 증가함.)



[그림 15] 고추의 건조시간에 따른 함수율 변화(내부순환 풍량: 49.7 CMH)

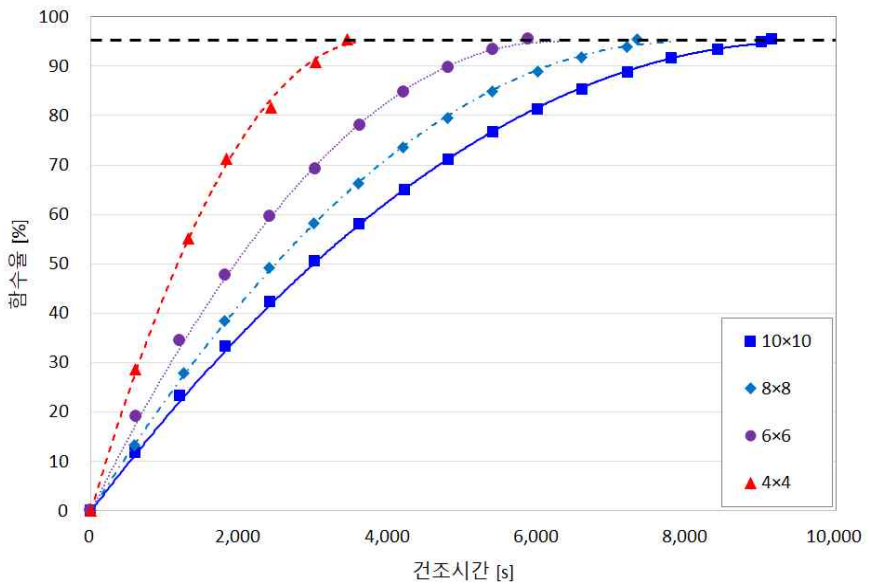


[그림 16] 고추의 건조시간에 따른 함수율 변화(내부순환 풍량: 61.2 CMH)



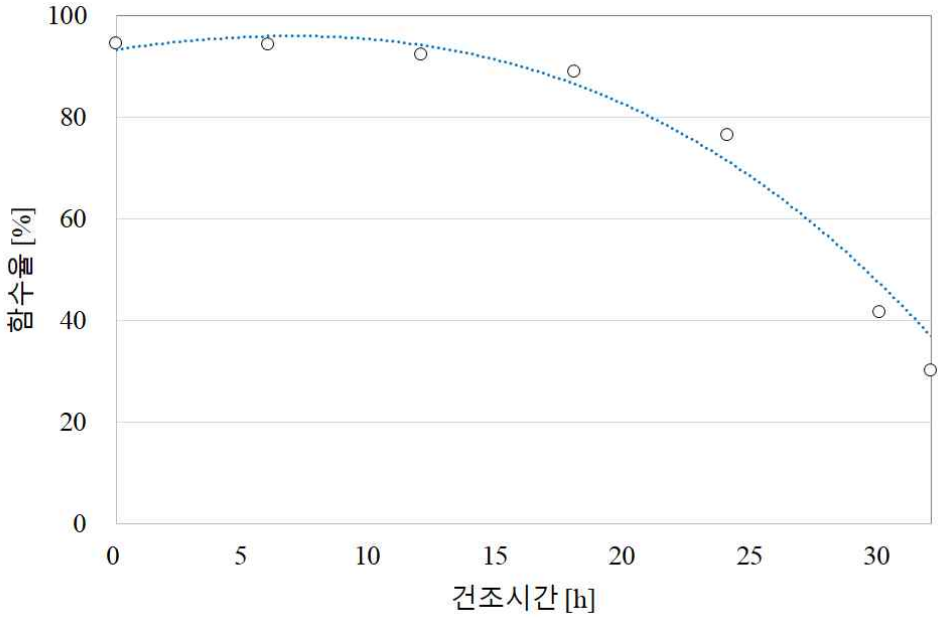
[그림 17] 고추의 건조시간에 따른 함수율 변화(내부순환 풍량: 91.8 CMH)

- 또한, 무(Raphanus sativus var. hortensis for. acanthiformis MAKINO)의 경우는 주로 무말랭이용으로 건조기를 이용하고 있으며, 지역별, 시기별 등 건조 전 사이즈가 차이가 있음.(일반적으로 1~1.5cm 굵기에 5~10cm길이임.)
- 따라서 본 연구에서는 무의 사이즈를 정량적으로 나타내기 위해 사이즈별 건조시간에 따른 함수율변화를 관찰하였고, 사이즈는 RMS(Root Mean Square) 법을 이용하여 수치화하였으며, 임의의 시료 10개 중에서 최대, 최소값을 제외한 나머지 8개의 시료를 평균하였음.(기초연구에서는 O社의 MB23 수분측정기를 이용하였음.)
- 사이즈별 건조시간에 따른 함수율 변화는 [그림 18]과 같으며, 사이즈가 작을수록 건조시간이 빨랐음.



[그림 18] 무의 사이즈별 건조시간에 따른 함수율 변화

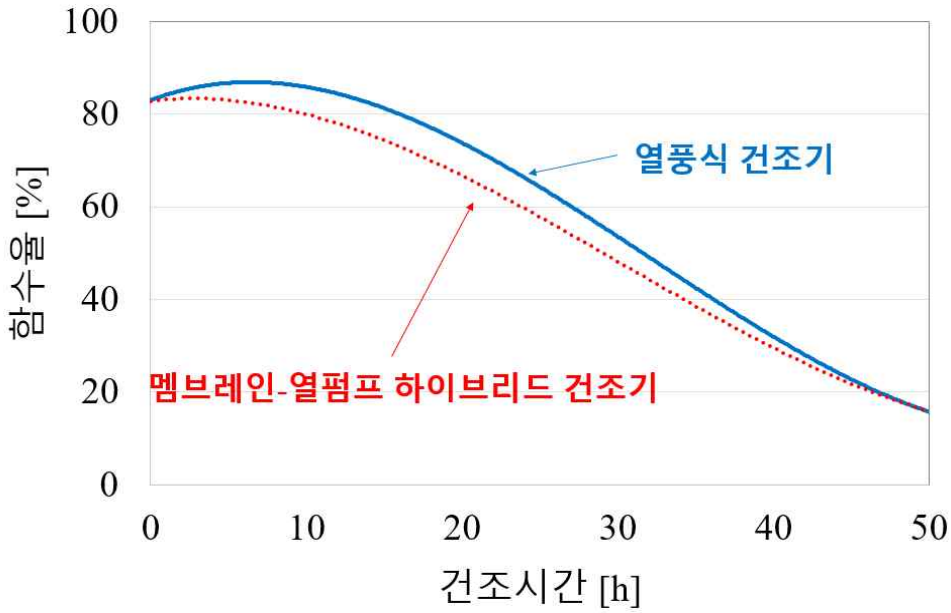
- 기초연구(사이즈별 건조시간에 따른 함수율 변화)를 토대로 멤브레인-열펌프 융합형 건조기를 이용하여 건조시간에 따른 함수율 변화를 관찰하였음. 실험결과는 [그림 19]와 같으며, 2/3이상(94.5%→30.2%)의 수분이 제거되는데 32시간정도가 소요되었음.



[그림 19] 무의 건조시간에 따른 함수율 변화(내부순환 풍량: 91.8 CMH)

마. 건조시간 분석

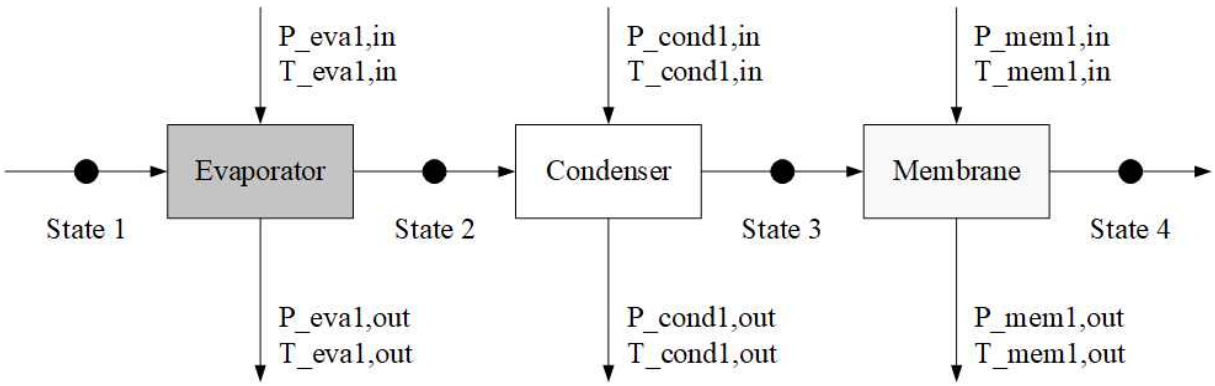
- 본 연구에서 기존 열풍방식의 건조기와 멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기의 건조성능을 비교하였음.
- 건조 대상물은 20 kg의 청양 홍고추를 대상으로 하였고, 건조시간은 50시간으로 설정하였음.
- 각 건조기에는 동일한 사이즈의 채반을 이용하였으며, 수분측정은 Ohaus 社의 함수량 측정기를 이용하여 10시간 간격으로 측정하였음.
- 실험결과는 [그림 20]와 같으며, 건조기의 건조성능이 우수할수록 건조물의 함수량은 빠르게 감소하며, 결국 건조시간 단축 효과가 발생하고, 건조에 이용되는 에너지가 적게 소비됨을 확인함.(함수율 20%이상의 범위에서 열풍건조기에 비해 함수율이 6.6% 낮음을 확인)



[그림 20] 열풍식 건조기와 멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기를 이용한 20kg 고추의 건조시간에 따른 함수율 변화

바. 엑서지 및 에너지 분석

- 엑서지 산출은 [그림 21]과 같이 State 1인 건조공간에서 증발기와 응축기를 거친 공기가 멤브레인을 통과하여 State 4로 순환되는 구조로 산출하였음.
- 압력(P_eva1,in, P_eva1,out, P_cond1,in, P_cond1,out)과 온도(T_eva1,in, T_eva1,out, T_cond1,in, T_cond1,out)는 냉매측이며, 압력(P_mem1,in, P_mem1,out)과 온도(T_mem1,in, T_mem1,out)는 스윕가스 측임.
- State1에서 State4는 건조공간에서 나온 공기측 유체임.



[그림 21] 엑서지 산출을 위한 시스템 개념도

- 엑서지와 에너지 분석에 이용된 기준온도는 20℃(293.15K)이며, 엑서지 분석에 이용된 기준압력은 100 kPa임. 엑서지 산출은 식 (1)을 이용하였음.

$$e_X = h_{[1.2,3]} - h_0 - T_0(s_{[1,2,3]} - s_0) \quad (1)$$

- 여기서, e_X는 비엑서지(kJ/kg), $h_{[1.2,3]}$는 State 1에서 3까지의 비엔트로피(kJ/kg), T는

온도(K), $s_{[1,2,3]}$는 State 1에서 3까지의 비엔탈피(kJ/kg·K), 하첨자 0은 기준점을 나타내며, 산출된 비엑서지 값에 공기의 풍량(49.7 CMH)과 건조시간을 곱해주어 최종 산출하였음. 계산은 EES(Engineering Equation Solver) 프로그램을 이용하였음.

- 엑서지 분석에 이용된 상태값은 <표 5>와 같으며, 산출된 결과는 <표 6>과 같음.

<표 5> 엑서지 분석을 위한 상태값

	변수명	값	단위
State 1	압력	100	kPa
	온도	333.15	K
State 2	압력	100	kPa
	온도	273.22	K
State 3	압력	100	kPa
	온도	273.22	K
State 4	압력	100	kPa
	온도	332.31	K
P_eva1,in		450	kPa
T_eva1,in		316.35	K
P_eva1,out		450	kPa
T_eva1,out		318.75	K
P_cond1,in		1,850	kPa
T_cond1,in		387.35	K
P_cond1,out		1,850	kPa
T_cond1,out		316.35	K
P_mem1,in		100	kPa
T_mem1,in		293.15	K
P_mem1,out		67	kPa
T_mem1,out		332.31	K

<표 6> 고추 건조 시 엑서지 분석 결과

분석구간	값	단위
State 1 ~ State 2	-1.19	kWh
State 2 ~ State 3	1.24	kWh
State 3 ~ State 4	-0.05	kWh

- 고추를 건조하는데 이용되는 에너지는 열역학적 단열을 가정하여 식 (2)와 같이 계산하였고, 온도는 열전대(T-type)를 이용하여 측정하였으며, 압력은 D社의 DPC모델을 이용하여 측정하였음. 또한 산출된 값은 파워메터(Y社의 WT1030 모델)를 이용하여 비교하

였음.[7)]

$$\dot{W} = \dot{m}(h_{c,out} - h_{c,in}) \quad (2)$$

- 여기서, $\dot{W}$은 건조에 이용되는 총에너지(kWh)이며, $\dot{m}$은 유량(kg/s)이고, $h_{c,out}$는 압축기 출구 측 엔탈피(kJ/kg), $h_{c,in}$은 압축기 입구 측 엔탈피(kJ/kg)임. 여기서, 유량은 응축기를 기준으로 열손실 30%로 열량을 역산하여 산출된 결과이며, 식 (2)를 이용하여 산출된 건조시간(40시간)동안 에너지 이용량은 28.78 kWh임. 실제 파워메터를 이용하여 측정된 에너지 이용량은 31.61 kWh로 8.9% 차이를 보임.
- 제시된 방법을 이용하여 증발기와 응축기의 1차 측(냉매 측)과 2차 측(공기 측)의 에너지 이용률을 분석한 결과는 <표 7>과 같으며, 응축기에서 생산되는 열에너지 이용률이 증발기에 비해 상대적으로 낮음을 알 수 있었음. 이는 R-134a 냉매를 이용하여 고온을 생산하기 위해 압축기 출구 측 온도가 비교적 높게 도출되는 과정에서 압축기 효율이 감소하고, 이로 인해 응축기의 입구온도가 무리하게 높게 도출되었기 때문임.

<표 7> 에너지 이용률 산출 결과

	값	단위
증발기	76.4	%
응축기	6.9	%

사. 농산물(고추) 성분 분석

- 멤브레인-열펌프 융합형 건조장치를 이용하여 농산물(고추)의 건조 전·후의 성분을 분석하기 위해 한국식품연구원에 의뢰하여 성분분석을 실시하였음.
- 건조 전 시료와 건조 후 시료는 꼭지를 제거하고, 각 200g을 대상으로 성분분석을 실시하였음.
- 과당, 포도당, 유당, 자당, 맥아당의 시험방법은 식품의 기준 및 규격 당질 시험법에 근거하였고, 베타카로틴은 건강식품의 기준 및 규격 베타카로틴 시험법에 따랐고, 캡사이신, 디하이드로캡사이신은 액체크로마토그래피법으로 실시하였으며, 루테인은 건강기능식품의 기준 및 규격 루테인 시험법에 근거하여 시행되었음.
- 색도 분석은 제주대학교 생명과학기술혁신센터에서 L*a*b* 시험을 실시하였으며, 적색(Red)성분은 건조 전 시료에 비해 32%정도 감소하였으나 전체적으로 붉은 색을 유지하였음(a: +15.92).

<표 8> 고추의 건조 전·후 성분(특성)분석 결과

분석항목	건조 전 고추	건조 후 고추	단위
과당	2.8	11.7	g/100g
포도당	1.9	7.3	g/100g
유당	0.0	0.0	g/100g
자당	0.2	1.2	g/100g
맥아당	0.0	0.0	g/100g
베타카로틴	13.3	43.2	mg/100g
캡사이신	11.2	22.8	mg/kg
디하이드로캡사이신	7.8	15.6	mg/kg
루테인	0.0	0.0	mg/100g
색도	L: 16.54 a: +23.33 b: +28.42	L: 22.71 a: +15.92 b: +38.96	-

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	자체평가
컴팩트한 형상의 에너지 절감형 농산물 건조장치 기술 개발	본 연구에서 개발된 건조기는 20kg의 농작물 건조 시 전체 부피가 약 0.7㎥에 불과함.
범용적인 농산물의 건조가 가능한 건조장치 기술 개발	개발된 건조기는 고추 뿐만 아니라 수분을 다량 함유하고 있는 무까지 건조가 가능함.
고에너지 절감형 농산물 건조장치 기술 개발	개발된 멤브레인-열펌프 융합형 건조기는 에너지를 20%이상 절감할 수 있음.
건조시간 단축 기술 개발	기존 건조기 대비 건조시간을 약 20% 절감할 수 있음.
건조품의 외부오염방지 기술개발	건조공기의 내부순환 구조로 건조과정에서 외부에서 침입하는 공기가 없으므로 외부오염물질을 차단할 수 있음.

(2) 정량적 연구개발성과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 농산물 용량 20kg급	농산물 용량 20kg 이상(달성도 100%)
② 에너지 사용량 1.6 kWh/kg 이하	에너지 사용량 1.534 kWh/kg(달성도 100%)
③ 건조시간 40시간 이하	건조시간 40시간(달성도 100%)

* 시험성적서에 제시된 수치에 근거함.

(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	홍고추 건조 시 건조기의 건조 에너지에 관한 연구	설비공학 논문집	김부철	2021.10. (예정)	대한민국	대한설비공학회	비SCIE	2021년 10월10일	1229-6422	100%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기 이용 고추 건조성능 비교 연구	김부철, 장재철, 이임경, 고광수, 박윤철	2021.05.28.	제주 KAL 호텔	대한민국
2	멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기의 최적 제어방안 연구	이임경, 장재철, 김부철, 고광수, 박윤철	2021.05.28.	제주 KAL 호텔	대한민국

□ 기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

□ 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 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	멤브레인 히트펌프 하이브리드 건조기 및 그 제어방법	대한민국	박윤철, 김부철, 장재철, 고광수	2021.03.30.	10-2021-0041256					100%	

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관	인증일
1	멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기	2020.06.12./ 2020.05.02		제주대학교 공과대학 내	농산물 건조	12개월		

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	전용실시권	멤브레인-히트펌프 하이브리드 건조기 및 그 제어방법	(주)삼원이엔지	2021.04.08	₩5,500,000	

[국내 논문 게재 증빙]

* 2021년 10월 예정(논문심사 및 수정 등의 게재와 관련한 제반사항 완료)

논 문 게 재 예 정 증 명 서

논문제목 : 홍고추 건조 시 건조기의 건조 에너지에 관한 연구

저 자 : 김부철*, 장재철**, 이임경* 박윤철***

소 속 : *제주대학교 기계공학과 석사과정

**제주대학교 선임연구원

***제주대학교 기계시스템공학부 교수

상기 논문은 설비공학논문집 제33권 제10호(2021년 10월 10일 발행)에 게재될 예정임을 증명합니다.

2021. 6. 15.

사단법인 대 한 설 비 공 학 회
편 집 위 원 회

[국내 학술발표1 증빙]

대한기계학회 열공학부문 2021년 춘계학술대회 초록집 p. 236 21TE-Fr05P180

멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기 이용 고추 건조성능 비교 연구

김부철*† · 장재철** · 이임경* · 고광수** · 박윤철***
*제주대학교 기계공학전공, **제주대학교 산학협력단, ***제주대학교 기계공학과

Comparative Study on Drying Performance of Pepper using Membrane-Heat Pump Hybrid Dryer

Bu Chul Kim*†, Jeachul Jang**, Imkyeong Lee*, Gwang Soo Ko** and Youn Cheol Park***
* Major of Mechanical Engineering, Jeju Nat'l Univ.,
**Industry-Academic Cooperation Foundation, Jeju Nat'l Univ.,
*** Department of Mechanical Engineering, Jeju Nat'l Univ.

1. 서 론

건조기의 경우 일반적으로 열풍건조 방식과 최근 이용되고 있는 단순 열펌프식이 많이 이용되고 있다.[1,2] 하지만 열풍건조 방식의 경우는 히터를 이용하므로 전력이 과다하게 소비되며, 열펌프식의 경우는 히터방식에 비해 에너지를 절약할 수 있으나 경제적 측면에서 부담이 존재한다. 또한 건조과정에서 과다하게 건조가 이루어질 경우 건조품의 변형을 유발할 수도 있으므로 이러한 단점을 보완하고자 본 논문에서는 멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기를 이용하였으며, 고추를 대상으로 기존 방식과 건조성능을 비교하였다.

2. 연구방법 및 결과

2.1 연구방법

본 논문에서는 기존 열풍방식의 건조기와 멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기의 건조성능을 비교하였다. 건조 대상물은 20 kg 의 고추를 대상으로 하였고, 건조시간은 50 시간으로 설정하였다. 각 건조기에는 동일한 사이즈의 쟁반을 이용하였다. 수분측정은 Ohaus 社의 함수량측정기를 이용하여 10 시간 간격으로 측정하였다.

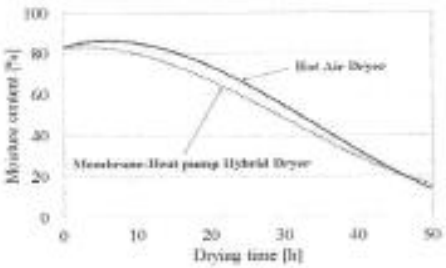


Figure 1 Comparisons of moisture content according to drying time

† Presenting Author, kimbu@jejunu.ac.kr

2.2 연구결과

건조기의 건조성능이 우수할수록 건조대상물의 함수량은 빠르게 감소하며, 결국 건조시간 단축 효과가 발생하고, 건조에 이용되는 에너지가 적게 소비된다. Figure 1 은 열풍건조기와 멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기를 이용하여 건조시간에 따른 고추의 함수량 변화를 나타낸 그래프이다.

그림에서 나타난 바와 같이 멤브레인-열펌프 하이브리드 방식의 건조기가 열풍방식의 건조기에 비해 건조성능이 우수함을 알 수 있었다.

3. 결 론

열풍건조기의 경우, 히터가 건조물을 포함한 건조공간을 가열하고, 건조물에서 추출된 수분은 대습과정을 통해 외부로 방출된다. 반면, 멤브레인-열펌프 건조기는 멤브레인과 열펌프가 동시에 수분을 제거하므로 Figure 1 에서 나타난 바와 같이 함수율 20%이상의 범위에서 열풍건조기에 비해 건조성능이 우수한 것으로 나타났다. 추후 에너지 소비량 비교를 통해 멤브레인-열펌프 건조기의 경제성 확보 연구를 추가할 예정이다.

후 기

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농축산자재산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호: 120056-01).

참고문헌

(1) Lim, Y., Kyung, Y., Jeong, H. S., Kim, H. Y., Hwang, I. G., Yoo, S. M. and Lee, J., 2012, "Effects of Drying Methods on Quality of Red Pepper Powder, " *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, Vol. 41, No. 9, pp. 1315~1319.

(2) Lee, K. H. and Kim, O. J., 2007, "Drying Performance Simulation for the Basic Design of a Heat Pump Dryer, " *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 31, No. 10, pp. 860~867.

[국내 학술발표2 증빙]

대한기계학회 열공학부문 2021년 춘계학술대회 초록집 p. 237 21TE-Fr05P181

멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기의 최적 제어방안 연구

이임경*† · 장재철** · 김부철* · 고광수** · 박윤철***
*제주대학교 기계공학전공, **제주대학교 산학협력단, ***제주대학교 기계공학과

Comparative Study on Drying Performance of Pepper using Membrane-Heat Pump Hybrid Dryer

Imkyeong Lee*†, Jeachul Jang**, Bu Chul Kim*, Gwang Soo Ko** and Youn Cheol Park***
* Major of Mechanical Engineering, Jeju Nat'l Univ.,
**Industry-Academic Cooperation Foundation, Jeju Nat'l Univ.,
*** Department of Mechanical Engineering, Jeju Nat'l Univ.

Graphical Abstract Control method of membrane-heat pump dryer

1. 서 론

열풍 건조기의 경우 외부에서 공기가 유입되어 배습과정으로 인해 내부 공기가 배출되는 구조를 가진다.(1) 이때 배습과정에서 내부의 에너지가 배출되는 현상으로 인해 에너지 손실이 발생하고, 유입되는 공기에서도 필터링 작업을 추가로 실시하지 않는다면 내부 건조물의 오염을 유발할 가능성이 존재한다. 이러한 단점을 극복하고자 본 논문에서는 멤브레인-열펌프 하이브리 건조기를 제안하였다.

2. 연구방법

멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기에서 열펌프는 건조공간(건조물 포함)의 온도를 상승시키는 역할을 담당하고, 열펌프의 증발기는 추가적으로 수분을 제거하는 역할을 한다. 반면 멤브레인은 수분을 포함한 공기에서 수분(Water vapor)를 선택적으로 제거하므로 결국 증발기와 멤브레인에서 수분을 동시에 제거하는 효과가 발생한다.

이때, 열펌프의 압축기와 멤브레인에서 Driving force 를 발생시키는 진공펌프가 동시에 가동하게 되면 에너지 낭비를 초래하므로 본 논문에서는 열펌프와 멤브레인이 선택적으로 가동되도록 설계하였다. 따라서 Case 1 은 진공펌프를 1 시간 간격으로 가동하게 하였고, Case 2 는 압축기가 가동시에는 진공펌프가 정지하고, 압축기가 정지하는 구간에서는 진공펌프가 작동하도록 제어방법을 변경하여 실험하였다.

† Presenting Author, iyk0820@jejunu.ac.kr

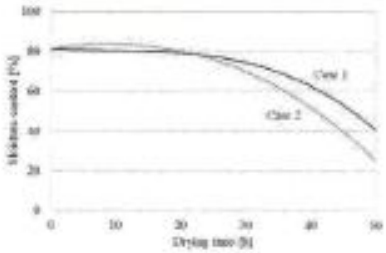


Figure 1 Comparisons of moisture content according to control method

3. 결 론

고추 20kg 을 대상으로 멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기를 이용하여 제어방법에 따른 함수율 변화를 관찰한 결과는 Figure 1 과 같이 압축기가 정지하였을 때만 진공펌프가 가동되게 설정한 Case 2 가 20 시간 이후부터 수분제거 효과가 높음을 알 수 있었다. 이는 열펌프와 멤브레인에서의 수분제거 중복구간에서 기기별 효율저하가 발생하는 현상으로 사료된다.

후 기

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농축산자재산업화기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(과제번호: 120056-01).

참고문헌

(1) Lee, K. H. and Kim, O. J., 2007, "Drying Performance Simulation for the Basic Design of a Heat Pump Dryer," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 31, No. 10, pp. 860–867.

[특허출원 증빙]

관인생략

출원번호통지서

출원일자	2021.03.30
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(DP20210069)
출원번호	10-2021-0041256 (접수번호 1-1-2021-0373908-07) (DAS접근코드1D95)
출원인 명칭	제주대학교 산학협력단(2-2004-016727-0)
대리인 성명	김진동(9-2007-001204-4)
발명자 성명	박윤철 김부철 장재철 고광수
발명의 명칭	멤브레인 히트펌프 하이브리드 건조기 및 그 제어방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 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(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 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 : http://www.kipo.go.kr-지식재산제도

[기술이전 증빙]

기술이전계약서

■ 계약기술: 멤브레인-히트펌프 하이브리드 건조기 및 그 제어방법
(특허 출원번호 제10-2021-0041256호, 출원일: 2021.03.30.)

2021년 4월 8일

계약당사자

'기술제공자'
주소: 제주특별자치도 제주시 제주대학로 102
기관: 제주대학교 산학협력단
대표: 단장 도 양 회 (인)
사업자등록번호: 616-82-16375

'기술수요자'
주소: 인천광역시 서구 보듬4로 12
상호: 주식회사 삼원인엔지
대표: 김 일 동 (인)
사업자등록번호: 137-81-92266

'기술발명책임자'
주소: 제주특별자치도 제주시 제주대학로 102
소속: 제주대학교 공과대학
성명: 박 윤 철 (인)

[기술인증 증빙]

KITECH 한국생산기술연구원
충청남도 천안시 서북구 입장면 양대기로길 89
Tel: 041-589-8114 | Fax : 041-589-8120 | www.kitech.re.kr

시 험 성 적 서
(Test Report)

1. 성적서 번호 : C20N530070-01-01-(00-00)
2. 의 뢰 자 : 제주대학교 산학협력단
   제주 제주시 제주대학로 102 (아라일동)
3. 시 험 기 간 : 2020-12-01 ~ 2020-12-02
4. 용 도 : 과제 제출용
5. 품목/시료명 : 멤브레인-열펌프 융합형 농산물 20kg급 건조기 (J2021-0001)
   * 시험의뢰자가 제공한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.
6. 시 험 방 법 : 의뢰자 제시조건
7. 시 험 결 과 : 다음 페이지 참조
8. 시 험 장 소 : 충청남도 천안시 서북구 양대기로길 한국생산기술연구원 89 (입장면) PP1동

	시험자	기술책임자
확인	성 명 : 고지운 (인)	성 명 : 전동순
	연락처 : jiwoonko@kitech.re.kr	연락처 : geengeen@kitech.re.kr

2020년 12월 17일

한국생산기술연구원장

비고 :1. 본 성적서는 고객이 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과에 한하며, 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 본 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금지합니다.
3. 본 성적서의 진위 확인은 QR코드로 확인가능합니다.

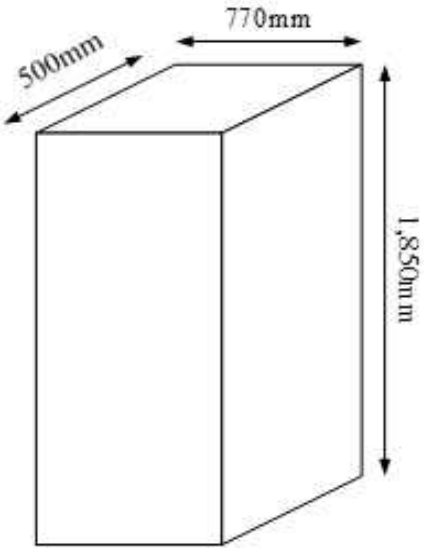
page: 1 of 5

[QP-17-03A]
C20N530070-01-01-(00-00)

[제품화 증빙]

멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기
제품번호
J2021-0001
건조용량
20.0 kg
건조온도
60 ℃
본 제품은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농축산자재산업화기술개발사업의 지원을 받아 제작되었음(과제번호:120056-01)
제주대학교
(주)삼원이엔지

사이즈


500mm
770mm
1,850mm

2) 목표 달성 수준

기술/성능 목표	단위	개발목표치		평가방법	달성도
		1차년도	달성치		
농산물 용량	kg	20	20.6*	시험성적서	초과달성 (103%)
에너지 사용량	kWh/kg	≤1.6	1.534*	시험성적서	초과달성 (104%)
건조시간	h	≤40	40	자체평가	100%

* 외부 전문 시험기관의 시험성적서에 근거한 수치임.

- <u>최종목표 및 세부목표 달성</u>
  - 개발된 건조기는 20kg의 농작물 건조 시 전체 부피가 약 0.7㎥임.
  - 개발된 건조기는 고추와 수분을 다량 함유하고 있는 무까지 건조가 가능함.
  - 개발된 멤브레인-열펌프 융합형 건조기는 에너지를 20%이상 절감할 수 있음.
  - 기존(열풍식) 건조기 대비 건조시간을 약 20% 절감할 수 있음.
  - 건조공기의 내부순환 구조로 건조과정에서 외부에서 침입하는 공기가 없으므로 외부오염물질을 차단할 수 있음.
- 연구목표 100%이상 달성 (시험성적서 근거)
  - 농산물 용량 20.6 kg
  - 에너지사용량 1.534 kWh/kg
  - 건조시간 40시간

- 성과목표 100% 달성
  - 특허출원 1건 (멤브레인 히트펌프 하이브리드 건조기 및 그 제어방법, 출원번호: 10-2021-0041256, 출원일: 2021.03.30.)
  - 기술이전 1건 (멤브레인 히트펌프 하이브리드 건조기 및 그 제어방법, 기술수요자: 주식회사 삼원이엔지)
  - 기술료 5,500천원
  - 제품화 1건 (제품명: 멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기, 제품번호: J2021-0001)
  - 기술인증 1건 (성적서 번호: C20N530070-01-01-(00-00), 품목: 멤브레인-열펌프 융합형 농산물 20kg급 건조기, 시험기관: 한국생산기술연구원)
  - 비SCI 1건 (논문명: 홍고추 건조 시 건조기의 건조 에너지에 관한 연구, 대한설비공학회, 2021년 10월 게재예정)
  - 학술발표 2건 (발표명: 멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기 이용 고추 건조성능 비교 연구, 멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기의 최적 제어방안 연구, 대한기계학회 열공학부문 2021년 춘계학술대회)

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

위생향상 및 건조기 효율증가를 위한 과제를 진행함에 따라 기존 전기를 이용한 건조기 대비 건조효율 증가를 확인하였으며, 히트펌프와 멤브레인 기술을 접목하는 요소기술에 대한 기술 및 시스템화를 통해 새로운 형태의 농산물건조기술을 개발함에 따라 관련분야의 기술 증진에 많은 도움을 줄 수 있을것이라 판단되어짐.

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

각종 학회 등에 신기술을 발표하고, 결과물에 대한 우수성 홍보

제품 성능인증을 통한 특허등록, 신기술인증 추진

개발된 기술 관련 고용창출 및 인력양성 실시

*연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구활용 등)
												논문		논문평균 IF	학술발표					
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		SCI	비SCI					정책활용	홍보전시	
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건		건		명			
가중치		20					10		20							20	20	5	5	
최종목표		1					8		1				1			3	1	1	1	
연구기간 내 달성실적																				
연구종료 후 성과창출 계획		1					8		1				1			3	1	1	1	

붙임. 참고문헌

1) 성제훈, 농산물 건조기술의 현재와 미래, 농축산기계신문, 2018.
2) 이종수, 감압 열분사에 의한 에너지 절감형 농산물 건조기 개발, 농림수산식품부 연구과제 보고서, 2011.
3) 남규철, 농업기계 산업현황 및 표준화 동향, KATS 기술보고서 Vol. 110, 2018.
4) 이왕상 외3인, 건조장치 및 그 제어방법, PCT/KR2016/015342
5) 곽인철, 대한민국 농기계 산업의 해외시장 진출, 해외농업저널, 2019.
6) 김부철 외4인, 멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기 이용 고추 건조성능 비교 연구. 대한기계학회 열공학부문 2021년 춘계학술대회, 2021.
7) 이임경 외4인, 멤브레인-열펌프 하이브리드 건조기의 최적 제어방안 연구. 대한기계학회 열공학부문 2021년 춘계학술대회, 2021.
8) 강석호 외5인, Analysis of drying efficiency of boiler dryer, Precision Agriculture Science and Technology, 2020.

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
	3) 평가의견 종합결과 반영표

[별첨 1]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		120056-01	
사업구분	농축산자재산업화기술개발사업				
연구분야	에너지절감			과제구분	단위
사 업 명	농축산자재산업화기술개발사업				주관
총괄과제				총괄책임자	
과 제 명	위생향상과 에너지절감을 위한 멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기 개발			과제유형	개발
연구기관	제주대학교 산학협력단			연구책임자	박윤철
연구기간 연 구 비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2020.04.29. ~ 2021.04.28.	178,000	60,000	238,000
	2차연도				
	3차연도				
	4차연도				
	5차연도				
	계	2020.04.29. ~ 2021.04.28.	178,000	60,000	238,000
참여기업	㈜삼원이엔지				
상 대 국		상대국연구기관			

2. 평가일 : 2021년 04월 28일

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
제주대학교 기계공학과	교수	박윤철

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

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

확 약	박윤철

Ⅰ. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수)

- 본 연구는 열펌프와 멤브레인을 접목한 융합기술에 관한 연구로써, 기존의 건조기가 건조물의 가열을 통하여 수분을 획득 후, 고온고습의 공기를 외부에 방출하고 저습의 공기를 다시 유입시켜 건조 사이클을 구성하는 조합에서,

  고온고습의 공기를 외부에 방출하기 않고 멤브레인을 통하여 수분을 흡수하여 외부로 방출 시킴으로써, 공기와 외부오염원과 접촉을 차단하여 위생적이 측면에서 우수한 건조기를 개발하였음.
- 본 연구에서는 건조시스템을 통합설계하여 간략한 구조를 가지며(컴팩트화), 모든 농산물에 적용가능한 범용성, 고온의 공기를 외부방출하지 않고 재사용하는 에너지절약 및 건조시간의 단축의 성과를 획득하였음.
- 본 연구에서는 열펌프, 제습건조용 멤브레인 및 건조성능 측정장치 등을 개발하였음.
- 본 연구에서는 위와 같이 사업계획서에 제시하였던 연구내용을 모두 수행하여 연구개발 성과는 아주우수함

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수)

- 본 연구는 최근의 감염병 사태와 같이 위생적인 측면에서 건조기의 위생성을 확보한 기술로써 건조대상 상품의 요구품질을 달성함과 더불어 식품으로서의 위생성을 크게 향상시킨 기술임.
- 기술개발을 통하여 획득한 멤브레인 설계기술과 성능향상 기술 등을 이용하여 현재 Gel상태(감귤부산물 등)의 농산물에 대한 건조기에 이용가능한 기술로써 멤브레인 응용기술은 타 기술분야에 적용가능성이 매우 높음.
- 본 건조기의 경우에 에너지 절감을 고온공기의 재순환을 이용함과 동시에 열펌프를 이용한 가열기술을 접목하여 대폭적인 에너지 절약을 구현하였으며, 본 연구의 시스템 제어기술을 이용하여 두가지 이상의 기술이 접목된 분야의 제어로직의 구성 및 제어방법에 대한 연구개발에 이용할 수 있음.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수)

- 본 기술개발에서 도출된 해석기술 및 성능실험장치 개발 기술은 연구 개발참여 연구원들의 학문적인 자양분으로 양성되어 졸업 후 산업체에서 가장 짧은 기간 안에 전문가의 수준으로 기술력이 향상될 수 있음
- 본 건조기의 건조성능은 고추와 무 등 2개의 작물에 대하여 성능실험을 수행하였으며, 고추의 경우에는 고추를 절단하지 않은 상태의 성능실험을 수행하여 건조고추의 품질까지 확보한 기술이며, 무의 경우에는 무의 절단 크기별로 건조성능을 평가하여 다양한 작물에 대한 건조기로 활용 가능함을 제시하였음.
- 개발 건조기는 현 상태에서도 다양한 대상물의 건조기로서 실제 상품건조에 활용가능한 수준의 시제품으로 개발되었음.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수)

- 연구목표와 연구내용을 충실히 수행하였으며, 계획된 다수의 연구내용에 대하여 모든 연구내용을 충실하게 수행하여 결과를 도출하여 최종보고서에 제시하였음
- 연구개발비를 본 연구의 기초 인프라 구축에 활용하여 정부지원금을 성실히 연구개발비용으로 집행하였음
- 정부지원금을 이용하여 지방대학의 실험장비 구축을 달성하여 향후 관련연구를 활발히 진행할 수 있는 토대를 마련하였으며, 이를 바탕으로 신규인력이 계속적으로 진학하여 연구팀의 연구개발의욕과 공동연구의 기틀을 마련함

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (우수)

- 연구기간이 짧음에도 불구하고, 연구결과를 학술대회에 2개의 논문을 발표하였으며, 홍고추 건조기에 관련된 논문이 설비공학회에서 논문심사가 완료되어 게재예정임
- 기술개발과정에서 도출된 "멤브레인 히트펌프 하이브리드 건조기 및 그 제어방법" 기술에 대하여 특허출원을 완료하였음.
- 기술개발결과를 기업과의 기술거래를 통하여 전용실시에 관하여 기술이전을 완료하였음.
- 또한 공인기관으로부터의 기술개발결과에 대하여 인증을 받았으며, 멤브레인-열펌프 융합형 농산물건조기 제품화에 성공하였음

Ⅱ. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 식품건조에 있어서 가온가열된 공기를 외부에 배출하고 새로운 공기를 건조기에 유입시키는 기존의 건조방식을 개선하여, 식품에서 토출된 수분을 멤브레인을 통하여 회수하여 배출함으로써 외부공기가 빈번하게 식품과 접촉하는 것을 차단하여 식품의 위생성을 향상시킨 건조기를 개발하였음.
- 멤브레인과 열펌프가 조합되어 외부공기 배출을 막고 열펌프의 효율적인 운전을 통하여 에너지 효율을 향상시켰음
- 본 연구의 정량적 목표 및 정성적 목표를 100%로 달성하였으며 공인기관의 공인성적을 취득하였음

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 본 연구를 통하여 지방대학으로써 부족한 연구개발 인프라가 체계적으로 완비되었으며, 관련 연구를 꾸준히 지속할 것임
- 연구기간이 1년으로 단기간의 과제이나 논문게재와 특허출원 등의 연구개발 목표를 성실히 달성하였음

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 본 연구결과는 현재 본 연구팀이 개발하고있는 Gel상태의 건조대상물인 감귤박 건조기 개발에 응용할 예정임
- 향후 본 연구기간 동안 개발된 멤브레인 기술을 바탕으로 타 산업분야에 멤브레인 이용기술개발에 응용하며, 본 연구과제를 통하여 구축된 기초해석기술을 제품개발의 응용기술로 발전시키고 있음

[별첨 2]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	■자유응모과제 □지정공모과제		분 야	에너지절감
연 구 과 제 명	위생향상과 에너지절감을 위한 멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기 개발			
주관연구기관	제주대학교 산학협력단		주관연구책임자	박윤철
연 구 개 발 비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	178,000	6,000		238,000
연구개발기간	2020. 04. 29. ~ 2021. 04. 28. (12개월)			
주요활용유형	■산업체이전 □교육 및 지도 □정책자료 □기타( ) □미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 농산물 용량 20kg급	농산물 용량 20kg 이상(달성도 100%)
② 에너지 사용량 1.6 kWh/kg 이하	에너지 사용량 1.534 kWh/kg(달성도 100%)
③ 건조시간 40시간 이하	건조시간 40시간(달성도 100%)

* 시험성적서에 제시된 수치에 근거함.

3. 연구목표 대비 성과

성과목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식재산권			기술실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책활용홍보		기타(타연구활용등)
												논문		논문평균IF	학술발표					
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		SCI	비SCI					정책활용	홍보전시	
단위	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건		건		명	건	건	
가중치	20			20	30	10					10				10					
최종목표	1			1	5.5	1					1		1		2					
연구기관내 달성실적	1			1	5.5	1					1		1		2					
달성율(%)	100			100	100	100					100		100		100					

4. 핵심기술

구분	핵 심 기 술 명
①	멤브레인-열펌프 융합형 농산물 건조기술
②	멤브레인 열펌프 융합형 건조기 제어기술

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계최초	국내최초	외국기술복제	외국기술소화흡수	외국기술개선개량	특허출원	산업체이전(상품화)	현장애로해결	정책자료	기타
①의 기술	v	v								
②의 기술	v	v				v	v			

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	개발된 건조기술을 이용한 농작물 건조시간절감 및 식품의 위생향상
②의 기술	개발된 건조기술을 이용한 효율적 에너지 사용 기대

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표											연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과				교육지도	인력양성	정책 활용홍보		기타 (타연구활용등)
												논문		논문평균IF	학술발표					
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		SCI	비SCI					정책활용	홍보전시	
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건		건		명			
가중치		20					10		20							20	20	5	5	
최종목표		1					8		1				1			3	1	1	1	
연구기간내 달성실적																				
연구종료 후 성과창출 계획		1					8		1				1			3	1	1	1	

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명	멤브레인 히트펌프 하이브리드 건조기 및 그 제어방법		
이전형태	□무상 ■유상	기술료 예정액	5,500천원
이전방식	□소유권이전 ■전용실시권 □통상실시권 □협의결정 □기타( )		
이전소요기간	기술이전 완료(2021.04.08.)	실용화예상시기	2022년 이후
기술이전시 선행조건	없음(개발 참여기관으로 참여하여 개발을 진행함)		

[별첨 3]

평가의견에 대한 조치 및 개인정보 삭제 확인서

□ 평가의견에 대한 조치

평가의견	조치내용	비고
○본 연구는 건조기의 위생성을 확보한 기술로써 건조대상 상품의 요구품질을 달성함과 더불어 식품으로서의 위생성은 인정되나 판매를 위한 안전인증 검토가요구됨.	• 본 과제는 건조기의 위생향상 및 건조효율을 증가시킬 목적으로 개발에 중점을 둔 과제로써, 과제 기간이 1년의 단기간으로 건조기 효율향상에 중점을 두어 연구를 진행함. • 위생향상 및 건조효율의 증대에 대한 기초 데이터를 확인하였으며, 참여기업인 ㈜삼원이엔지와 협의하에 농산물 건조기의 안전인증에 대한 검토를 진행할 예정임.	
○정량적 목표들은 대부분 달성했으나, 건조시간 단축이라는 정성적 목표 결과는 미흡하다고 판단됨. 최종보고서에서 기존 대비 건조시간 단축에 대한 데이터 결과를 보완하여야 할 것이라 사료됨. 또한, 건조 후 농산물의 상품성 검토하는 부분을 보완할 필요가 있다고 사료됨.	• 최종보고서 18페이지에 건조시간 단축에 대한 데이터를 결과로 제시함.	
○기존 비교 제품 대비 에너지효율 20% 향상 이외에 수치로 표시된 경쟁력이 없으므로 제품가격, 유지보수 비용등 개선 사항에 대한 구체적 비교 수치 제공 필요함.	• 본 과제는 제품화 까지가 아닌 시제품까지의 목표를 가지고 연구를 진행된 과제로써, 실용화를 위한 시제품 제작 및 실증데이터를 확보하였으며, 본 과제를 통하여 차후 제품화 진행 시 제품가격 및 유지보수에 대한 경제성 분석이 이루어 질 것으로 사료됨.	
○기존의 다단, 미스트화, 마이크로웨이브 방식에 대비하여 컴팩트화, 범용성, 에너지절감, 건조시간단축, 건조품의 오염방지 등의 목표로 농산물 건조장치 개발하였으나, 멤브레인 방식이 고객가치 측면에서 고객들에게 장점이 많지 않아보여 기술보완 필요해보임.	• 건조시간 실증, 에너지 분석 등 으로 경제성을 확보하였으며 외부공기 배출을 막아 위생성 향상도 이루어진 점에도 고객 가치가 충분하다 판단됨.	
○건조용 공기를 외부유입이 아닌 내부순환으로 진행하여 에너지 효율이 20% 절감되는 효과를 달성한 측면은 사업성에 큰 장점으로 보기는 곤란한 측면이 있고, 대량생산에 따른 단가저하도 경쟁력으로 보기 어려워보이며, 운전상황에 대하여 사용자가 자율판단 가능하도록 함수율 측정모듈 내장에 대하여 장기적으로 기술보완 필요해보임.	• 시제품의 경우 초기모델이며 추가적인 연구 시 더 나은 결과를 도출할 수 있다 판단 됨. • 내부 건조품의 무게 변화를 실시간 확인 할 수 있는 방식의 건조기도 고려중임.	
○ 참여기관 존재에도 최종발표에 참여하지 않아 사업화에 대한 노력은 주관기관의 가격경쟁이라는 요소 이외에는 확인되지 않고 있으나, 개발 시제품과 관련된 기술들이 고전적 기술중의 하나이므로 출원특허 등록도 여유롭지 않아보이고, 또한 '공기 내부순환'이라는 요소 이외에 고객편의적 '함수율 정보' 등의 또다른 경쟁적 요소 확보에 많은 노력 필요해보임.	• 참여기업인 ㈜삼원이엔지는 이젝터 및 열교환기를 주력으로 제조 및 판매를 하는 업체이며 본과제를 통해서 건조기의 제품화를 진행하고자 본 과제에 단순 참여하였으며, 본과제를 통해 개발된 시제품을 통해 시장상황을 고려하여 건조기 제품의 판매를 진행할 예정임. • “멤브레인 히트펌프 하이브리드 건조기 및 그 제어방법“에 대해 특허를 이미 출원하였으며 국내특허의 경우, 열풍식 건조기에 관한 특허가 대부분임. 과제 기간이 짧아 등록은 하지 못하였으나 등록에도 큰 무리가 없을 것으로 판단됨. • 고객편의와 관련하여 추후 참여기업과 충분한 논의를 거칠 수 있음.	

□ 개인정보 삭제 확인

본인은 연구과제 최종보고서의 개인정보(주민등록번호 등)를 삭제하여 제출함을 확인합니다.

2021 . 07 . 30 .

주관연구책임자 : 박 윤 철 (인)

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농축산자재산업화기술개발사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농축산자재산업화기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.