

(옆면)

(앞면)

118059-2

차세대
푸드테크
구현을
위한
마이크로
디스펜싱
기반
신가공
생산기기
개발
최
종
보
고
서

2019

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

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

고부가가치식품기술개발사업 제2차 연도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003068-01

차세대 푸드테크 구현을 위한 마이크로디스펜싱 기반 신가공 생산기기 개발 최종보고서

2020.03.18

주관연구기관 / 주식회사 링크솔루션
협동연구기관 / 이화여자대학교 산학협력단
호서대학교 산학협력단

농림축산식품부
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “차세대 푸드테크 구현을 위한 마이크로디스펜싱 기반 신가공 생산기기 개발”(개발기간 : 2018. 04. ~ 2019. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 03. 18.

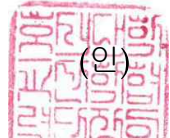
주관연구기관명 : (주)링크솔루션 (대표자) 최근식



협동연구기관명 : 이화여자대학교 (대표자) 이근주



협동연구기관명 : 호서대학교 산학협력단 (대표자) 김병삼



주관연구책임자 : 최근식

협동연구책임자 : 이진규

협동연구책임자 : 임석원

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

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	118059-2	해 당 단 계 연 구 기 간	2018.04.30.~ 2019.12.31. (20개월)	단 계 구 분	2 / 2
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	고부가가치식품기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세 부 과 제 명	차세대 푸드테크 구현을 위한 마이크로디스펜싱 기반 신가공 생산 기기 개발			
연구책임자	최근식	해당단계 참여연구원 수	총: 28명 내부: 26명 외부: 2명	해당단계 연구개발비	정부: 500,000천원 민간: 166,667천원 계: 666,667천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 28명 내부: 26명 외부: 2명	총 연구개발비	정부: 702,000천원 민간: 234,000천원 계: 936,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(주)링크솔루션			참여기업명 이화여자대학교산학협력단 호서대학교산학협력단	
국제공동연구 위 탁 연 구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반
-------------------------	----

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격(모델명)	수량	구입연월일	구입가격(천원)	구입처(전화)	비고(설치장소)	NTIS 등록번호
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)

보고서 면수

- 마이크로디스펜서 방식 식품 제조 장치 시스템 개발(다양한 소재 실험 가능)
 - 4채널 마이크로디스펜서 방식의 압출장치(선별적 토출 시스템)
 - 온도 제어 및 소재 공급 시스템 분석과 적용
- 식품 마이크로 디스펜서 출력 서비스 관련 위생 가이드라인(프로세스) 정립
- 마이크로디스펜싱을 이용한 식품원료의 가공, 소재화 연구 완료
 - 마이크로디스펜싱용 식품 소재 구조적 특성 연구 및 식품으로 활용 시 고려해야 할 요소들 연구
 - 듀얼노즐 마이크로디스펜싱용 다중 소재 적용 및 레이어와 스팟에 따른 식품 디자인 연구
- 마이크로디스펜싱에 적용 가능한 하이드로겔 형성 기작 및 구조 특성 연구 완료
 - 마이크로디스펜싱에 의한 식품제조 공정 연구
 - 마이크로디스펜싱을 통한 식품 구조체 형성을 위한 열반응 형성 하이드로겔 시스템 연구
- 활용실적 : 특허출원(3건), 기술실시(1건), 기술료(4.2백만원), 제품화(2건), 매출액(154백만원), 수출액(30백만원), 고용창출(10명), 논문(SCI 1편 / 비SCI 1편), 학술발표(11건), 교육지도(5건), 인력양성(2명), 홍보전시(14건)
- 사업화 연계를 위한 CGV 식품 시연회 실시

95

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>식자재의 소재화 기술들을 개발하고 이를 활용하여 구조화하는 기술과 디자인한 구조체를 미세하게 생산할 수 있는 기기 장치를 연구개발함으로써, 차세대 푸드테크인 자동 식품 생산 장치와 새로운 식감과 맛을 구현하는 식품 디자인 기술을 개발하고자 함.</p>
<p>연구개발성과</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 마이크로디스펜서 방식 식품 제조 장치 시스템 분석 및 기획을 통한 한천, 카라기난, 하이드로겔 등과 같은 상온에서 고형 물질이면서 가열을 통해 액화하는 소재를 사용함으로써 노즐에 직접적으로 소재를 공급 가능하며, 실제 사용 양만큼만 사용 가능하기에 소재의 낭비 절감 및 재활용이 가능한 시스템 구축 기존 3D프린팅 시스템에 쉽게 접목하여 기술적 난이도를 낮췄으며, 노즐을 두 개로 구성하여 복합적인 소재를 적층할 수 있도록 구성 및 소재를 보관하는 용기와 배관, 노즐 모듈은 전부 최대 80~100℃ 범위에서 가열이 가능하므로, 저온살균 또한 가능(본 장비를 Piezo Jet Dispenser를 Dual로 구성함으로써 두 종류의 재료를 한 공정에서 적층 가능하도록 구성 Piezo Jet 방식의 경우 미세 방울 형태로 토출하는 방법을 사용하여 비접촉으로 층을 쌓을 수 있으며, 보다 정밀하게 적층이 가능. 또한 보다 많은 양의 재료를 사용하기 위해 실린지 타입을 쓰지 않고 외부 재료 탱크에서 재료 이송 방법 사용) 또한 사람에게 제공되는 식품 출력 마이크로 디스펜서이니 만큼 식품의약품 안전처에 위생가이드라인과 피드백을 바탕으로 위생가이드 프로세스 정립(재료 준비 → 출력 → 출력물 제공) 2. 마이크로디스펜싱용 식품소재 탐색과 연구를 통해 다양한 식품원물의 분쇄 조건을 달리하였을 때 생성되는 분말의 물리화학적 특성을 연구하여 다양한 가능성을 가진 원물을 준비 및 각각 동결분쇄 후 유동층혼합건조과립기(Fluid bed granulator, FBG) 처리를 통해 과립화한 후 그 시료의 이화학적 분석을 통한 입도 및 입형의 차이를 확인. 초저온(-196℃) 환경에서 분쇄 가공하여 액체에 분산화된 분말의 물성을 대표할 수 있는 유변학적 특성 중 하나인 분산도를 측정하여 연구 수행. 식품 마이크로디스펜서 제조 장치를 이용하여 제작 가능한 식품 구조와 제품을 개발하고 기존 식품과 비교하여 시장경쟁력이 있는 식감과 맛을 개발 및 표준화하여 프린팅된 제품과 수제품을 비교 평가하고 장치 성능과 효용성 평가 및 하이드로겔 형성을 통한 구조체 형성 공정을 설계하고 구현함. 3. Gum 류를 비롯한 다양한 식품 응용가능 폴리머 들을 이용하여 하이드로겔을 형성하고 구조화할 수 있는 기술에 대한 연구를 진행하였음. 기존 연구들에 대한 문헌 조사를 통해 가능성을 평가하였으며, 이를 기반으로 구현하는 데 필요한 요소분석을 실시. Methyl cellulose, alginate 등의 식품활용 가능한 고분자들이 활용가능성이 상대적으로 높은 것으로 확인되었으며, gelatin과 alginate, MC, gum 류, starch 등 다양한 폴리머를 혼합하여 함수성과 텍스처 특성을 다양화할 수 있는 구조체 제작을 시도 및 추가로 하이드로겔 형성을 통한 구조체 형성 과정에서의 문제점과 구조체의 특성에 대한 연구를 진행하였음. Gum 류의 경우 온도, 수분함량, pH, Shear Stress 등에 의해 thickening 또는 thinning 되는 현상 등이 관찰됨.

	<p>4. 시제품 개발 완료에 따른 사업화 준비를 위해 CGV 식품 마이크로 디스펜서 출력 시연을 진행하였으며, 국내 최초 커스텀 식품 제조 컨텐츠 설치를 통한 차세대 푸드 테크 기술 홍보를 목표로 CGV와 업무협약 체결 또한 기술개발을 통해 다양한 정량적 실적을 달성함.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 특허출원(3건) - 기술실시(이전) (1건) / 기술료(4.2백만원) - 제품화(2건) / 매출액(154백만원) / 수출액(30백만원) - 고용창출(10명) - SCI논문(1건) / 비SCI논문(1건) - 학술발표(11건) / 교육지도(5건) / 인력양성(2명) / 홍보전시(14건) 				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 본 개발장비는 주요 타겟이 카페이며, 전세계 카페에 배치된 커피 머신 옆에 쓰일 장비로 활용 예정 · 해외 카페시장은 2016년 31조원에서 CAGR 4.8%으로 2025년 48조원으로 성장 예측되며, 국내 커피산업은 2016년 5.9조원에서 2018년 약 6.8조원(15% 이상)으로 성장하였으며 특히 커피전문점 시장이 확대되면서 국내 커피 산업에 영향을 끼침 - 이에 맞춤형 제조 기술이 안착하여 연관 산업에 녹아들기 위한 과제 해소 · 식품 컨텐츠 개발, 기존 식품기업과의 연계, 로봇/AI기술 접목 등 - 듀얼노즐 마이크로디스펜싱에 적합한 파라미터 설정, 식품 원료와 같은 연구개발 결과로 자동제조 가능한 디저트 류의 개발을 위한 기본 플랫폼 활용 예정 - 식품 재료 및 가공 조건, 공정 등 장비와 재료 보급이 가능 - 본 과제 수행을 통한 데이터 기반으로 음식 자동화기기 연구 개발과 보급의 활용도 극대화 예상 - 마이크로 또는 서브 마이크로 스케일의 차세대 식품 성형을 위한 기반 기술 확보 - Controlled release를 활용한 식품응용 기술 확보 				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>스낵</p>	<p>마이크로 디스펜싱</p>	<p>소재화 기술</p>	<p>장치화</p>	<p>맞춤형</p>
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>Snack</p>	<p>Micro Dispensing</p>	<p>Materialize</p>	<p>instrumentation</p>	<p>Customized</p>

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
1-1. 연구개발목적	1
1-2. 연구개발의 필요성	1
1-3. 연구개발 범위	10
2. 연구수행 내용 및 결과	11
2-1. 연구개발 추진전략·방법 및 추진체계	11
2-2. 연구 수행 내용 및 결과	14
2-3. 연구개발성과	82
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	86
3-1. 목표	86
3-2. 목표 달성여부	90
4. 연구결과의 활용 계획 등	93
붙임. 참고 문헌	95

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

- 가. 미래 세계 식품 시장 경쟁력 확보를 위해 기대되고 있는 차세대 푸드 테크로 새로운 맛과 식감을 구현하는 신가공 기술들이 주목받고 있음.
- 나. 신가공 식품 기술로는 반도체 생산에 적용되고 있는 기술처럼 장치화한 초미세 분산기술과 미세 구조 적층기술을 이용하여 소재들을 구조화하고 배열을 디자인함으로써 지금까지의 기술로는 구현하지 못하는 식감과 Controlled release에 의해 시간에 따른 순차적 맛의 디자인을 구현하는 기술임.
- 다. 그러나 최근 제약, 소재분야에서 가장 주목받고 있는 이 기술은 식품 산업 적용에 있어서 수많은 식자재들을 분산, 적층기술에 적용 가능하도록 소재화하는 기술과 이를 활용하여 복잡한 구조를 효과적으로 구현할 수 있는 장치 기술, 그리고 기존 식품과의 차별되는 수준의 디자인 등의 기술적 한계로 어려움이 있음.
- 라. 이에 본 연구에서는 식자재의 소재화 기술들을 개발하고 이를 활용하여 구조화하는 기술과 디자인한 구조체를 미세하게 생산할 수 있는 기기 장치를 연구개발함으로써, 차세대 푸드테크인 자동 식품 생산 장치와 새로운 식감과 맛을 구현하는 식품 디자인 기술을 개발하고자 함.

1-2. 연구개발의 필요성

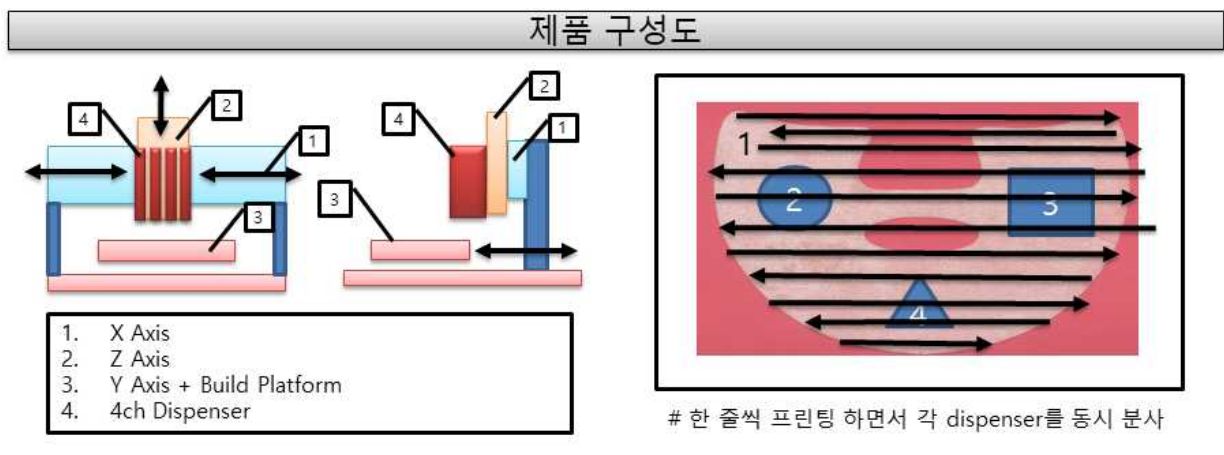
가. 스낵 마이크로디스펜서 제조 장치 개발의 목적과 필요성

- (1) 식품 생산 자동화를 통한 부가가치 증대는 역사적으로 문화발전과 함께 이뤄져 왔으며, 큰 산업적 의미를 나타내었음.
- (2) 식품 자동 생산 장치 시장의 변화
- (3) 지금까지 식품생산 장치화, 자동화 기술 개발은 주로 대량생산, 유통을 위한 것이었으나, 컴퓨터의 발달과 개인적 취향에 따른 기호도 변화 등으로 최근 기술의 개발은 개인 맞춤형 생산 기술로 그 발전 방향이 전환되고 있음.
- (4) 마이크로디스펜서 제조 장치와 같이 개인 맞춤형 생산 제조가 가능한 장치의 연구 개발이 전 세계적 화두임.
- (5) 식품 산업에의 적용도 매우 높은 요구가 있으며, 일부 초콜릿, 커피, 피자 등에 자동화 기기를 적용한 예들이 보고되고, 세계적 이슈가 되고 있음.
- (6) 하지만, 장치와 기계를 이용한 맞춤형 식품의 생산은 소재적 활용성의 한계와 위생 안전 확보와 더불어 기존제품과의 차별성, 혹은 차이점 여부 그리고 기호도에 있어서 메리트 여부등으로 인해 기존 식품 시장에서 경쟁력을 의심받고 있음.
- (7) 다양한 식품 종류 중 개인별 기호도의 차이가 가장 크게 나타나는 것이 스낵류임.

- (8) 경제 발전과 소득 수준 증대로 스낵 시장이 확대일로에 있음. 커피전문점과 더불어 시장 규모는 매우 크게 증대중
- (9) 스낵 류의 경우 식재료의 활용이 매우 광범위하며, 단백질 재료 보다는 탄수화물과 지방 함량이 높은 재료의 사용이 일반적이며, 저장성이 높은 형태의 소재들이 사용되는 경우가 많음.
- (10) 스낵 류의 경우, 제작이 완료된 다음 재료간 결합이나 외력에 의해 모양이 변하거나 상품적 가치를 잃어버릴 확률이 매우 높은 상품군임. 따라서 생산 즉시 소비하거나, 소비를 위해 바로 생산하는 것이 상품적 가치에 크게 영향을 주는 상품군임.
- (11) 스낵 류의 경우, 가공법이 여타 식품류에 비해 매우 다양하며, 그 가공법에 따라 식감과 맛의 변화가 무쌍하며, 평가 또한 크게 달라지는 특성이 있음.
- (12) 식품용 개인 맞춤형 생산 기기 및 장치를 개발한다면 스낵 생산을 위한 장치를 개발하는 것이 현재 시점에서 가장 효과적이며, 시장 창출 가능성이 가장 높은 분야라 판단됨.
- (13) 이를 달성하기 위해 필요한 허들 요소 연구들은 여타 가공 식품류의 차세대 가공 생산 기술 및 다양한 식재료의 소재화 기술 개발에 기반기술이 될 것으로 기대함.

나. 스낵 프린팅 장치 기술 연구개발

- (1) 다양한 소재를 활용하고, 그 제작 방식에 따라 식감과 맛이 다르다는 평가를 받는 스낵 제품류의 프린팅을 위한 스낵 마이크로디스펜서 제조 장치의 장치적 특성은 일반적인 식품 가공 기계와는 차별되는 점들이 있음.



< 마이크로 디스펜서 식품 제조 장치 예상도 >

- (2) 여타 자동화 장치와 달리 새로운 연구 개발이 필요한 이유
- (3) 스낵 상품 디자인 및 생산을 위해 필요한 연구 요소
- (4) 개인별 맞춤형 식품 생산을 위한 차세대 가공공정 및 공정 요소 연구 개발

다. 식자재 소재화 기술 개발 및 맛 구현 기술 개발

- (1) 스낵의 다양한 식감과 맛을 장치를 이용한 가공을 통해 구현하기 위해서는 해당 식자재들을 장치를 통해 가공하기 적합한 상태로 소재화하는 것이 반드시 필요함.
- (2) 다양한 식자재의 소재화는 스낵 마이크로디스펜서 제조 장치의 장치 활용성 향상뿐만 아니라 소재의 저장성과 가공성의 향상과 스낵 생산에서 다양한 식감과 맛을 구현하기 위한 바탕이 되는 매우 중요한 기반 기술임.
- (3) 초미세분쇄, 나노에멀전 시스템, 나노조각 등 과학 기술의 발달로 다양한 유, 무기 소재 기술들이 개발되어 있으며, 현재도 많이 발달하고 있으나, 이를 적절히 활용하는 기술의 예는 매우 찾아보기 힘들.
- (4) 특히 식품 소재에 있어 최신 기술의 적용은 안전성 확보와 보수적인 식품 시장에서 높은 진입장벽으로 인해 현실적으로 적용된 예나 적용 가능한 산업분야를 찾아보기 어려움.
- (5) 하지만 impossible food의 예와 같이 최신 과학기술로 무장한 소재기술을 기반으로 차세대 가공 식품 개발을 통한 새로운 시장 창출에 대한 세계적 요구가 증대되고 있으며, 소비자들 또한 높은 진입 장벽을 넘어 식품 산업의 새시대를 견인할 제품군의 등장을 고대하고 있음.
- (6) 따라서, 본 연구에서는 마이크로디스펜서 제조 장치용 가공 식품 소재의 개발의 범주를 넘어 차세대 가공 식품 개발을 위한 기반 기술 개발로 다양한 식자재의 새로운 또는 향상된 특성을 부여하는 소재화 기술들을 개발하고자 함.

라. 프린트 가능한 스낵 제품 개발 및 장치 개발 효용성 평가

- (1) 장치화로 생산 가능한 스낵 제품의 디자인을 개발하고, 수제품과의 품질 평가를 통해 개발된 스낵 마이크로디스펜서 제조 장치의 효용성과 이를 통해 생산한 제품의 시장 경쟁력을 평가함.
- (2) 스낵 마이크로디스펜서 제조 장치 개발에 있어 필요한 장치적, 기술적 한계 및 새롭게 획득될 수 있는 품질 특성을 이해하기 위해 필요한 요소들을 결합한 prototype의 스낵 류를 디자인하고 개발함.
- (3) 적용된 소재들을 이용한 프린팅된 제품과 수제품의 정량적 품질 특성 분석과 관능적 품질 평가를 통해 장치생산에서의 특성을 이해하고 문제점을 도출함으로써 효율적인 마이크로디스펜서 제조 장치를 설계, 개발함.
- (4) 개발된 스낵 마이크로디스펜서 제조 장치의 성능을 극대화할 수 있는 스낵 제품을 디자인하고 이를 생산하여 평가함으로써 개발된 스낵 마이크로디스펜서 제조 장치 제품의 효용성을 평가함.

마. 식자재 소재화 기술 개발

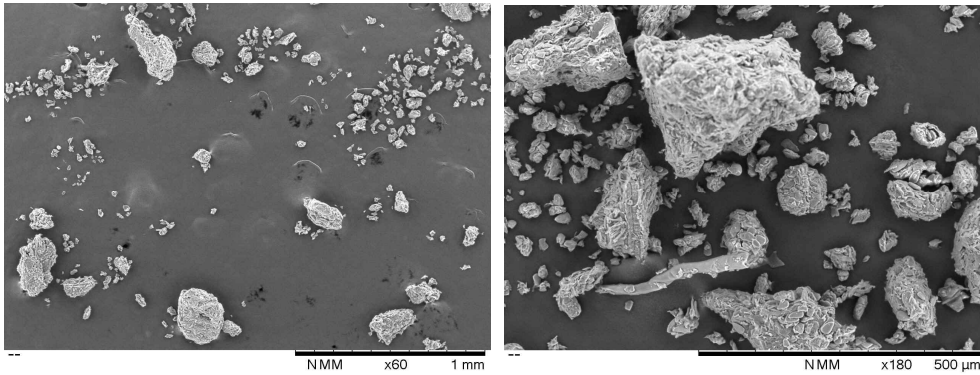
- (1) 분쇄 혹은 초저온미세분쇄에 의한 식품재료의 가공

- 식품의 가공공정은 전처리(정선, 세척), 균일화(교반, 배합, 혼합, 반죽), 분리(추출, 증류, 여과, 농축, 탈기), 분쇄(미립, 균질), 코팅(캡슐화), 가열, 건조, 냉장/동결(냉각, 숙성, 해동) 포장, 보관/유통 등의 과정을 거쳐 진행됨.
- 이 중 분쇄는 고체입자에 힘을 가해 잘게 부수거나 잘라내어 작은 입자로 만드는 가공방법으로 표면적비를 감소하고 개체의 수를 늘리는 목적을 가짐. 고체 식품재료를 잘게 부수어 고체의 표면적을 증가시켜 연소반응 속도를 높이고, 건조나 추출의 속도를 증가시키고, 입도를 작게 하여 고체의 혼합을 용이하게 하거나 분체의 색상을 개선하기 위해 공정에 채택함.
- 분쇄는 고전적인 단위조작으로 기존의 방법들은 고에너지 소비, 저효율, 분쇄물의 마찰열에 의한 품온 상승과 열에 불안정한 성분의 파괴가 일어날 수 있으며 열에 민감한 성분의 연화 또는 용해가 일어날 수 있다는 단점에도 불구하고 저제조단가로 채용 가능한 단위조작법이라는 장점으로 널리 사용됨.
- 단순한 입도를 미세하게 하는 것에 더해 맛, 향기, 색 등의 변질을 줄 수 있는 분쇄열을 저감화하기 위해 액체질소(LN₂, 비점 -196℃)를 이용하여 초저온동결 환경에서 분쇄가공을 적용하기도 함.
- 분쇄는 분쇄입자의 크기에 따라 조쇄, 중쇄, 미분쇄 등으로 나뉨. 특히 식품재료의 가공에 있어 분쇄가공은 1) 흡수성 향상, 2) 식감 향상, 3) 소화 및 흡수 향상, 4) 향기 향상, 그리고 5) 색채 향상과 같은 효과를 얻을 수 있어 다양한 방법의 분쇄법이 적용되고 있음.
- 식품재료의 경우, 주로 미분쇄(입자경 2~1cm의 분쇄 시료를 10 μ m 이하로 분쇄)와 초미세분쇄(입자경 10 μ m의 분쇄 시료를 1 μ m 이하로 분쇄) 가공이 적용됨. 미분쇄의 경우 롤러 밀(roller mill), 제트 밀(jet mill), 볼 밀(ball mill), 진동 밀(vibration mill), 유성 밀(planetary mill) 등이 있으며, 초미세분쇄는 매체교반형 밀(stirred ball mill)이 분류됨.
- 특히, 기류식 분쇄는 제1회전익과 제2회전익의 회전으로 발생하는 선회기류내의 속도차이에서 발생하는 입자간의 마찰로 분쇄하는 방식으로 열변성없이 1000 mesh의 고른 입자로 분쇄하는 기술임. 제2회전익에서 발생하는 역기류에 의해 유동하는 입자와 제1, 2회전익에 의해 선회 유동하는 입자와의 충돌로 분쇄함. 분급 영역에서는 제2회전익의 역기류가 충분히 분쇄되지 못한 입자를 분쇄영역으로 되돌려줌. 입자간 마찰에 의한 분쇄로 입자의 형태가 원형을 이루며, 타 분쇄방식에 비해 같은 입도일 경우 변성이 적고, 분쇄발열이 낮기 때문에 지분이 많은 소재의 연속분쇄가 가능하여 식품소재에 적용이 수월함. 쇠료 입자경이 작아지면 입자경의 3제곱에 역비례하여 입자수가 증가하므로, 나노 입자의 제조를 목적으로 한 초미세분쇄 조작은 단시간에 분쇄 시료입자와 분쇄매체의 충돌횟수를 증가시킬 수 있는 기작이 중요함. 이 과정에서 발생할 수 있는 분쇄열은 식품쇄료에 대해 치명적인 영향을 줄 수 있으므로, 이를 저감화할 수 있는 초저온동결환경이 필수적이며 이런 극환경을 분쇄공정중 유지시킬 수 있는 분쇄 조작이 필요함.
- 식품의 분말화에 대한 연구는 국내외에서 활발하게 진행되고 있음.
- 홍삼의 분말화가 홍삼성분의 추출에 어떠한 영향을 미치는 지를 알아보기 위하여 기존의 홍삼동체로부터 홍삼성분을 추출하는 방법과 홍삼을 분말화하여 추출하는 방법을 비교하는 실험이 있었음.

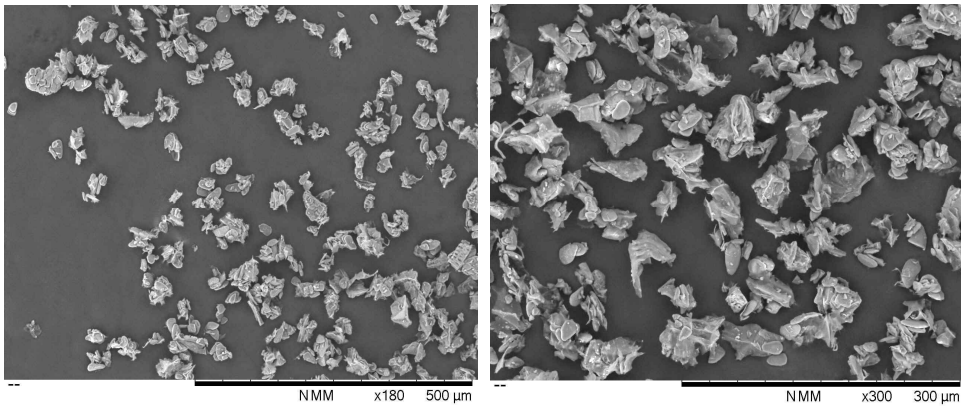
- 홍삼분말 추출물내의 유용성분 분석결과 조사포닌, 총사포닌 모두 10~40 mesh 홍삼분말에서 추출수율이 가장 높은 것을 확인할 수 있었으며, 특히 조사포닌의 경우 10~40 mesh 홍삼분말 추출물의 수율이 2.6%로서 원형삼 추출물의 1.77%보다 약 47% 높은 것을 확인할 수 있었음.
- 홍삼내의 다른 유용성분인 산성다당체의 경우에는 기존 원형홍삼에 비해 분말화된 홍삼들의 추출수율이 높아졌으며 가장 미세 분쇄된 100 mesh 이상의 홍삼분말에서 2.9%의 추출수율을 보여 원형삼 추출액의 1.37%에 비해 2배 이상 높은 추출수율을 나타내었음. 추출공정에 분말화된 홍삼을 이용할 경우 추출시간의 단축 및 홍삼성분의 추출효율을 높일 수 있음을 시사하는 것으로 보고됨.
- 초미세 분말 가공기술을 이용하여 감의 초미세 분말을 제조한 후, 초미세 감의 분쇄정도(400, 600, 80 mesh)에 대한 항산화활성 및 항알레르기 그리고 항아토피 활성을 연구하였음.
- 항산화활성도의 측정을 위해 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH)와 ferric reducing activity of plasma(FRAP)을 측정된 결과, 추출물의 농도에 따른 항산화 활성의 증가는 관찰되었으나, mesh에 의한 차이는 명백히 나오지 않았음. FRAP에서는 600 mesh의 썰시료에서 가장 높은 활성이 보여 입자의 크기가 작을수록 활성이 높게 측정됨. 작은 입자는 접촉면적이 커져서 용해도의 증가로 활성물질이 더욱 쉽게 외부에 노출된다고 추정함.
- 항알레르기 활성은 ConA를 이용하여 자가면역반응이 유도된 마우스 모델에서 자가면역반응기작에 관여하는 사이토카인 중 IL-4의 억제력으로 항아토피 활성은 dinitrofluorobenzene(DNPB)를 이용하여 국부 아토피반응을 유도한 마우스 모델에서 비후(ear thickness)도 저감력을 측정된 결과 모든 썰시료에서 유사한 활성이 관찰되었으나, 80 mesh의 썰시료에서 상대적으로 활성이 오히려 높게 나와 초미세 분쇄가공과 효능간 최적화의 중요성을 보고한 연구결과임.
- 또한 미세분쇄에 의한 감국(*Chrysanthemum indicum* Linne) 추출물로 항산화 활성, 고혈압관련 ACE(Angiotensin converting enzyme) 저해효과, 피부노화의 주요인인 elastase 저해효과, Hyaluronidase(HAase) 활성을 억제하여 sodium-hyaluronic acid(HA)의 고분자 형태를 유지시킴으로써 항염증 효과를 지닌 플라보노이드 화합물(luteolin, apigenin, apigenin 7-O- β -D-glucoside 및 luteolin 7-O- β -D-glucoside 등), sesquiterpene lactone 화합물인 cumambrin A, cumambrin B, arteglinin A 및 angeloyljadin 등의 효능을 분쇄입자의 크기에 따라 분석함.
- 초미세분쇄 추출물이 일반분쇄 추출물에 비해 추출수율이 올라가며, 고혈압과 통풍억제 효과가 확연히 높아짐. 분쇄한 입자의 크기가 작아질수록 지용성 물질에 대한 항산화 물질이 많이 용출되어 항산화력이 높아지는 것으로 보고되어 초미세분쇄를 사용하면 항산화효과, 항염증 효능을 높일 수 있다고 보고됨.



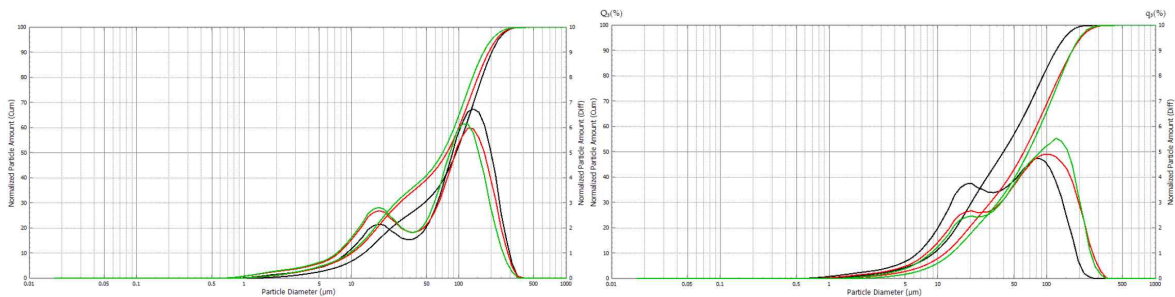
< 초저온미세분쇄기 >



일반 분쇄한 식품소재의 SEM 이미지 x60(좌), x180(우)



동결 분쇄한 식품소재의 SEM 이미지 x60(좌), x180(우)



상온 분쇄 (좌) 및 Cryogenic grinding (우)의 입도분석 결과 비교

- 식품소재의 상온분쇄물과 초저온미세분쇄물 결과는 위의 그림과 같음.
- 일반분쇄물의 3반복 평균 입도는 $176.32\mu\text{m}$ 이고, 상업의 동결분쇄물의 3반복 평균입도는 $29.14\mu\text{m}$ 이고, 초저온미세분쇄물의 미세 분말의 3반복 평균입도는 $5.24\mu\text{m}$ 였음. 입도분포 10%와 90%에서 일반분쇄물은 $62.93\mu\text{m}$, $424.30\mu\text{m}$ 으로 넓은 입도분포를 나타내지만 초저온미세분쇄물은 $5.89\mu\text{m}$, $119.07\mu\text{m}$ 으로 일반분쇄물보다 좁은 입도분포를 나타냄.
- 초저온미세분쇄물의 미세 분말의 입도분포는 10%와 90%에서 $2.14\mu\text{m}$ $11.99\mu\text{m}$ 으로 초저온미세분쇄물의 입도 분포보다 더 좁은 범위의 입도 분포를 나타내고, 입형은 일반분쇄물은 동그란 형태, 각진 형태 및 막대기 형태를 골고루 띠고 있어 전체적으로 형태가 불규칙한 경향을 보이며 입자의 크기 또한 골고루 분포되지 않고 작은 입자와 큰입자가 불규칙적으로 존재함.
- 초저온미세분쇄물의 입형의 경우 구형에 가깝고 입자의 크기 분포 또한 고르게 작은 입자들이 존재함.

바. 식소재 활용기술 개발

(1) 식품 생산 시의 3D 프린팅 기술 활용

- 최근 식품 원료를 활용해 새로운 형태의 식품을 만들어내는 다양한 기법들 중 하나인 3D 프린팅 기술은 식품 산업에서 복잡한 기학적 구조나 정교한 질감, 맞춤형 영양성분을 가진 식품을 제공함으로써 많은 발전을 가져올 것으로 예상하고 있음.
- 3D 프린팅 기술이란 3D 도면을 바탕으로 3차원 물체를 조형하는 기술임.
- 개발 초기에는 대부분 재료로 플라스틱을 사용하였지만 점차 종이, 고무, 콘크리트, 식품에 금속까지 재료의 범위가 점점 확대됨.
- 적층방식을 기본으로 재료의 용융, 소결 혹은 접합방식에 따라 분류됨.
- 도구나 주형의 제작 없이 디지털 작업으로 3차원 입체물 직접생산 가능하다는 점, 추가 비용 없이 생산물의 디자인 변경 및 복잡도(경량화, 열효율성 등) 증대 가능하다는 점, 생산공정 중 고도유연적 변경이 용이하다는 점, 단일공정으로 기능통합적 디자인 생산이 가능하다는 점과 투입 원자료 및 공정 중 발생하는 폐기물 저감화 효과가 있다는 장점이 있음.
- 기존 식품생산과정에서는 형태, 색상, 향, 텍스처, 그리고 영양학적 요소를 고도의 숙련된 조리기술자나 그에 의한 분자요리(molecular gastronomy)를 통해 구현해 왔다면, 3D 프린팅 기술은 전산 제어기술과 통합하여 소량 혹은 산업화 스케일로 주문대응형 제조공정에 이용이 가능함.
- 3D 입체조형 제조법은 크게 두 가지의 방식으로 가루나 액체를 균여가며 한 층씩 쌓는 적층형(additive manufacturing)과 합성수지 덩어리를 깎아가며 모양을 만드는 절삭형(milling)으로 나뉘지만, 식품의 제조를 위한 3D 프린팅에는 주로 적층형이 사용됨.

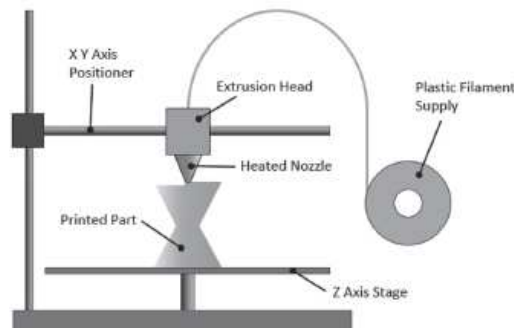
- 압축적층조형(Fused Deposition Modeling, FDM) 방식의 마이크로디스펜서 제조 장치는 현재 가장 대중화되어 개인용 마이크로디스펜서 제조 장치로 널리 보급된 기술임. FDM 방식은 주로 ABS(acrylnitrile, butadiene and styrene)나 PLA(poly-lactic acid)로 이루어진 필라멘트를 노즐을 통해 가열, 적층하여 상온에서 응고시켜 적층하는 방식으로, 식품의 경우 설탕이나 초콜릿을 이용하여 장식용 음식을 조형하는 방법이 시도되었음. CAD(computer aided design) 소프트웨어를 이용하여 원하는 3D 모양으로 디자인하여 원하는 모양으로 자유롭게 디자인할 수 있는 새로운 식품가공 방식으로 쓰이고 있음.
- 미국 Cornell 대학의 Fab@Home은 2006년 ipen innovation project의 일환으로 초콜릿, 쿠키반죽 그리고 치즈를 활용할 수 있는 FDM 방식 마이크로디스펜서 제조 장치 장비의 보급화를 위해 노력한 대표적인 사례임.
- 싱가포르 국립대의 Daniel Peng Zhuo는 이러한 open-source FDM 방식의 마이크로디스펜서 제조 장치에 쿠키도우를 소재로 하여 압출한 결과물을 굽는 방식으로 쿠키를 출력하였으며, 쿠키도우뿐만 아닌 으깬 감자나 초콜릿크림과 같은 압출이 가능한 여러 식재료도 사용할 수 있도록 응용하여 그 성과를 발표하였음.
- 즉 FDM 방식은 비교적 단순한 원리로 압출이 가능하며 서로 달라붙는 식재료라면 3D 출력이 가능하며 노즐의 개수를 늘려 두 가지 이상의 식재료를 함께 사용할 수 있음.
- 현재까지는 각 마이크로디스펜서 제조 장치 방식마다 다른 재료의 적합도 라는 현실적인 제약 조건이 있어, 대부분 시행되는 연구 및 개발성과들은 기존의 식품을 재현하고 고급화하는데 주로 집중하고 있음. 호주를 비롯하여 여러 나라의 경우, 기술장인에 의해 주로 생산되고 있는 주문생산방식의 고부가가치 케이크 시장도 소비자들의 요구를 경제적으로 맞추기 위해 3D 프린팅 기술을 도입한 사례를 소개하고 있음.
- 그러나 마이크로디스펜서 제조 장치를 이용한 식품제조는 단순히 원하는 모양을 조형할 수 있는 이점 뿐만 아니라 형태, 색상, 향, 텍스처, 영양학적 요소 등의 조합을 정밀하게 제어하여 소량주문이나 식품산업 규모의 제조공정에 이용이 가능하다는 장점을 가지고 있음.
- 더 나아가서는 각자의 요구와 상황에 적합한 텍스처의 제공 및 음식물 쓰레기 저감화, 궁극적으로는 미래의 기아문제까지 해결할 수 있는 기술이라고 할 수 있음.

표. 3D 프린트 방식에 따른 식품 재료 조건

프린트 방식	설명	식품 재료 조건
Fused Deposition Modeling (FDM)	필라멘트 형태의 열가소성 물질을 노즐 안에서 녹여 적층	열을 가했을 때 녹아 노즐을 통해 나올 수 있으며, 상온에서 굳는 재료
Color Jet Printing (CJP)	플라스터 파우더재료 위에 점착제(binder)를 InkJet 방식을 사용, 배합하여 경화 후 적층	파우더 상태의 식용재료 및 파우더와 결합하였을 때 점착성이 있는 액체상태의 식용점착제

Stereolithography (SLA)	액체 UV광경화성수지 표면에 UV laser를 Layer 모양대로 쬐어 경화, 적층	UV에 반응하여 응고가능한 액체상태의 재료
Selective Laser Sintering (SLS)	파우더재료에 laser를 layer 모양대로 쬐어 소결(sintering)하여 적층	Laser로 소결이나 용융이 가능한 파우더 형태의 재료
Digital Light Processing (DLP)	Resin 상태의 재료 위에 UV DLP를 이용하여 layer이미지를 투영하여 경화, 적층	UV에 반응하여 응고 가능한 resin 상태의 재료
Multi Jet Modeling (MJM)	Resin 이나 wax를 piezo printhead를 이용하여 layer 모양대로 분사한 뒤 UV로 경화, 적층	'Resin 상태로 printerhead를 통해 분사가가능하여 UV에 의해 경화되는 재료

- 3D 프린팅 기술에 사용되는 다양한 재료의 경우, 30년 이상 보존되는 organic molecule 단위의 sugars, complex carbohydrates, proteins 등을 파우더 형태로 만들어 더 오래 보관할 수 있을 것임. 이를 통해 식품 원료의 낭비를 줄이며 다가올 인구증가에 따른 식량문제를 해소할 수 있게 되어, 궁극적으로는 농수산업 전반에 걸쳐 큰 전환점을 마련할 것이라고 예상됨.
- 우리나라는 마이크로디스펜서 제조 장치 장비 및 소프트웨어의 개발은 이루어지고 있으나, 소재 분야에 대한 연구개발은 미흡한 상황이며 활용산업은 제조업 및 의료산업 중심임.
- 식품 분야에서 마이크로디스펜서 제조 장치 제조업체는 전무함.
- 마이크로디스펜서 제조 장치 장비와 소재를 연계하여 판매하는 산업구조로 인해 소재는 대부분 해외수입에 의존하고 있는 상황
- 식품산업의 대내외 여건 변화로 인해 고부가가치 식품개발 필요성은 확대되는 추세에 있으며, 이에 식품산업과 3D 프린팅 융합을 통한 가공식품 개발이 필요함.



Fused Deposition Modeling 방식

1-3. 연구개발 범위

가. 1차년도

(1) 마이크로디스펜싱 모듈 기획 및 구상(링크솔루션)

- 마이크로디스펜서 방식 식품 제조 장치 시스템 분석 및 기획(다양한 소재 실험이 가능한 장비)
- 기계 요소 핵심 부품 선정 및 타당성 검토

(2) 마이크로디스펜싱을 이용한 식품원료의 가공, 소재화 연구(이화여자대학교)

- 마이크로디스펜싱용 식품 소재 탐색
- 마이크로디스펜싱용 식품 소재화를 위한 가공적용

(3) 마이크로디스펜싱 적용가능한 하이드로겔 형성 기작 및 구조 특성연구(호서대학교)

- 하이드로겔 형성 Polymer에 따른 생성 구조 연구
- 하이드로겔 형성 과정에 따른 생성 구조 연구

나. 2차년도

(1) 마이크로디스펜싱 모듈과 스페이지 설계 및 시스템 제작(링크솔루션)

- 3D 마이크로디스펜서 제조 장치 기계 요소 시스템 설계 및 제작
- 3D 마이크로디스펜서 제조 장치 제어 요소 시스템 설계
- 3D 마이크로디스펜서 제조 장치 토출 및 경화 시스템 설계 및 제작

(2) 마이크로디스펜싱을 이용한 식품원료의 제조 및 물성연구(이화여자대학교)

- 마이크로디스펜싱에 의한 식품제조 공정 연구
- 이화학적 물성분석

(3) 마이크로디스펜싱 하이드로겔 구조 특성에 따른 관능 특성 평가 파라미터 탐색 및 식품 응용 기술 연구(호서대학교)

- 하이드로겔 형성 구조와 Polymer 종류에 따른 관능적 특성 분석
- 하이드로겔 형성 구조와 Polymer 종류에 따른 관능평가 파라미터 연구
- 하이드로겔 형성 구조와 Polymer 종류에 따른 식품 개발 및 생산 적용 기술 연구

2. 연구수행 내용 및 결과

2-1. 연구개발 추진전략·방법 및 추진체계

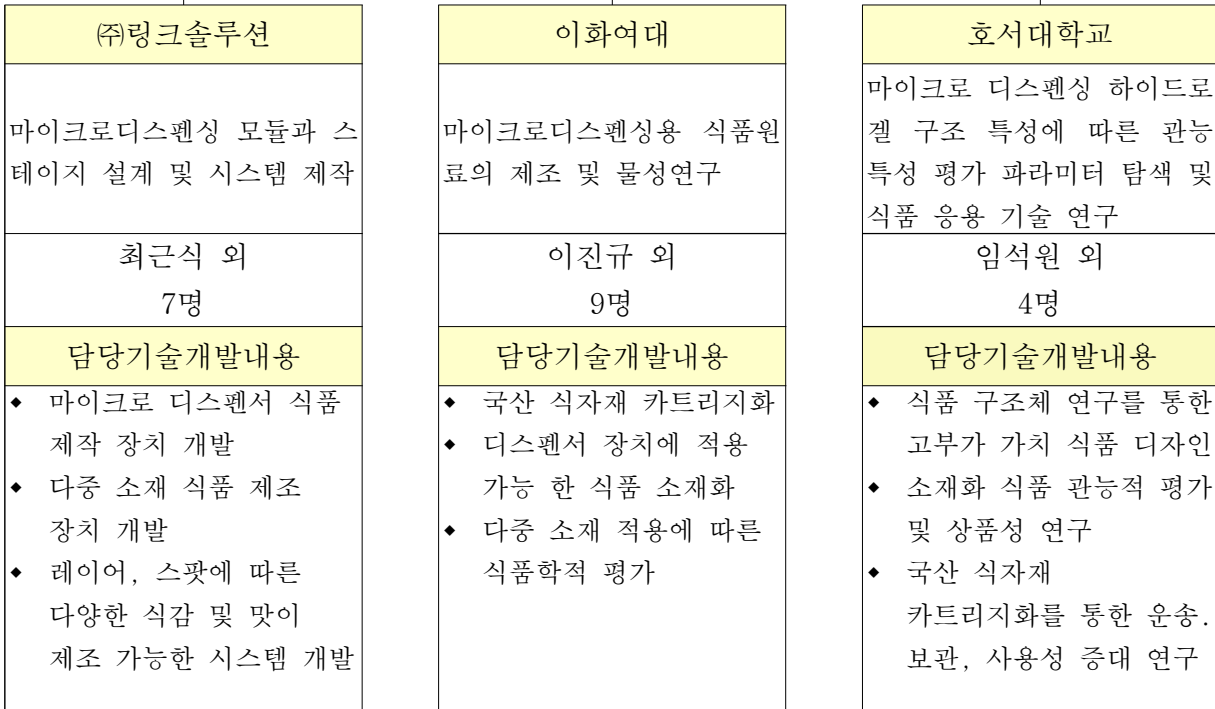
가. 연구개발 추진 전략



나. 연구개발 추진 체계

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	차세대 푸드테크 구현을 위한 마이크로디스펜싱 기반 신가공 생산 기기 개발	주관연구책임자 최근식 외 총 23명

기관별 참여 현황		
구분	연구기관수	참여연구원수
대기업		
중견기업		
중소기업	1	
대학	2	
국공립(연)		
출연(연)		
기타		



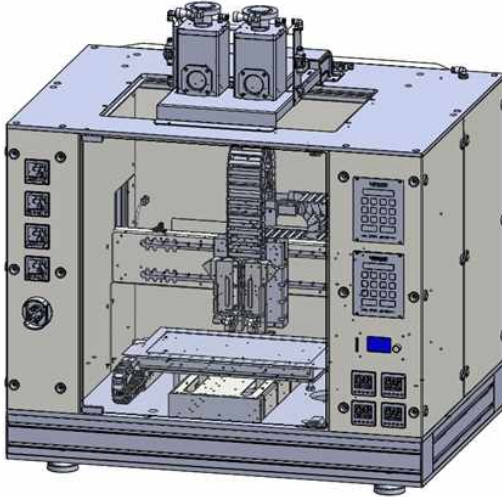
다. 추진일정

1차연도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	계획수립 및 자료조사	■	■	■												최근식/이 진규/임석 원(링크솔 루션/이화 여자대학/ 호서대학교)
2	마이크로디스펜서 방식 식품 제조 장치 분석 및 기획		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			최근식(링 크솔루션)
3	마이크로디스펜싱용 식품 소재 탐색	■	■	■	■	■	■	■	■							이진규(이 화여자대학 교)
4	식품 소재 형성 기작 및 구조 특성 연구						■	■	■	■	■	■	■			이진규/임석 원(이화여자 대학교/호서 대학교)
5	생산 가능 식품 제조 기술 연구			■	■	■	■	■	■							임석원(호 서대학교)
6	연구 정보에 따른 기초 실험	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			임석원(호 서대학교)
2차연도																
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	마이크로디스펜서 기계요소 설계 및 제작	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			최근식(링 크솔루션)
2	디스펜서 장치 제어 요소 시스템 설계													■		최근식(링 크솔루션)
3	토출 및 경화 시스템 제작													■		최근식(링 크솔루션)
4	다중 소재 적용 및 레이어 및 스팟에 따른 식품 디자인 연구	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			이진규(이 화여자대학 교)
5	초저온 미세분쇄화 등 공정 확립													■		이진규(이 화여자대학 교)
6	구조 재설계에 의한 식품 분산도 및 붕해도 측정													■		이진규(이 화여자대학 교)
7	하이드로겔 구조 특성 연구	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			임석원(호 서대학교)
8	하이드로겔 관능 분석 연구													■		임석원(호 서대학교)

2-2. 연구 수행 내용 및 결과

가. 마이크로디스펜싱 모듈 기획 및 구상(링크솔루션) : 1차년도

(1) 마이크로디스펜서 방식 식품 제조 장치 시스템 분석 및 기획



SPECIFICATION		
프린터 구조	XZ - Y Type	
SIZE	840 X 660 X 900 (mm)	
WORK SPACE	260 X 160 X 100 (mm)	
Nozzle 종류	Piezo Dispenser Type	Piezo Dispenser Type
Nozzle 온도	30 ~ 120 °C	30 ~ 120 °C
노즐 직경	300µm	300µm
Material	Hydrogel	Hydrogel
BED 온도	110 °C (MAX)	
사용 가능 노즐 직경	50 ~ 900 (µm)	
입력 전원	AC 220 V	
입력 공압 (air)	0~0.5 Mpa	

< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치 기획 >

(가) 2CH 마이크로디스펜서 방식의 압출 장치 보유

- 타 장비들과 같은 하나의 노즐(토출구)을 공유하는 방식에 대비하여, 각기 다른 노즐을 사용할 경우, 재료의 교차오염, 유동성 변화로 인한 최적값 선정 어려움 등을 해결하는 특징이 있으며, 또한 각기 재료에 따른 토출 온도 및 압력이 다름에 따라 공정 최적화가 간편한 장점 보유

(나) Gentry 방식 직교 구동 장치

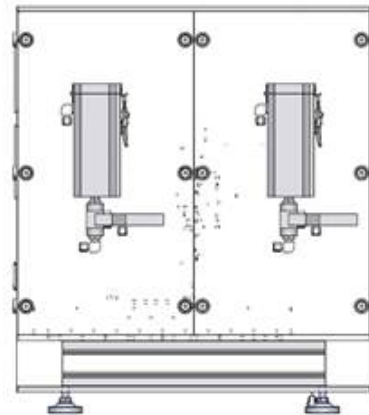
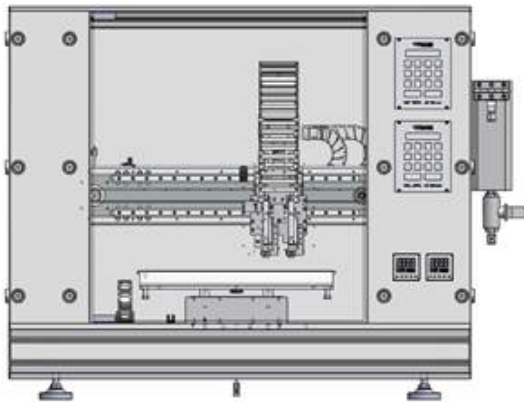
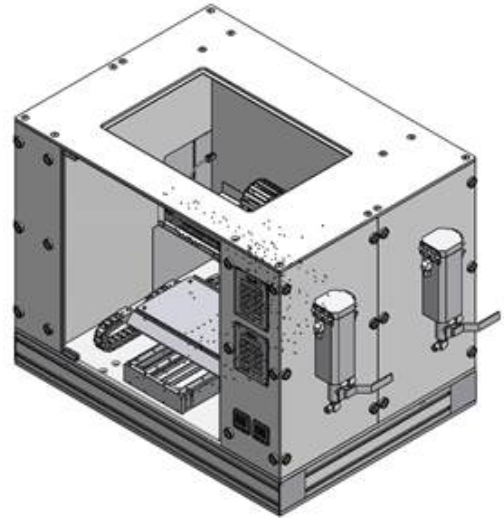
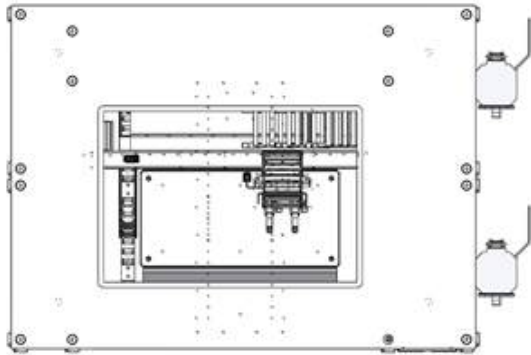
- 산업용 마이크로 디스펜서에서는 델타, 카르테시안, Corexy 등 로봇의 기구학에 따라 방식이 정해지며, Gentry 방식의 경우 상기 타 방식의 로봇과 대비하여 X,Y축을 동시에 고속으로 움직일 수 있는 장점이 있고, Z축의 경우 헤드 전면부에 설치되어, 카르테시안 방식에 비해 장비 간소화가 가능

(다) 정밀 위치 제어가 가능한 볼 스크류 기반 단축 로봇 적용

- 일반적으로 사용되는 벨트 기반의 단축 로봇들은 50µm 반복정밀도를 가지며, 볼스크류의 경우, 백래시를 제외하더라도 등급에 따라 1µm의 반복정밀도까지가는 상위 모델들로 라인업 되어 있어 해당 과제에서는 정밀 위치를 기계적으로 구현함을 위해 볼스크류 기반의 단축 로봇들을 사용하여 스테이지를 구성

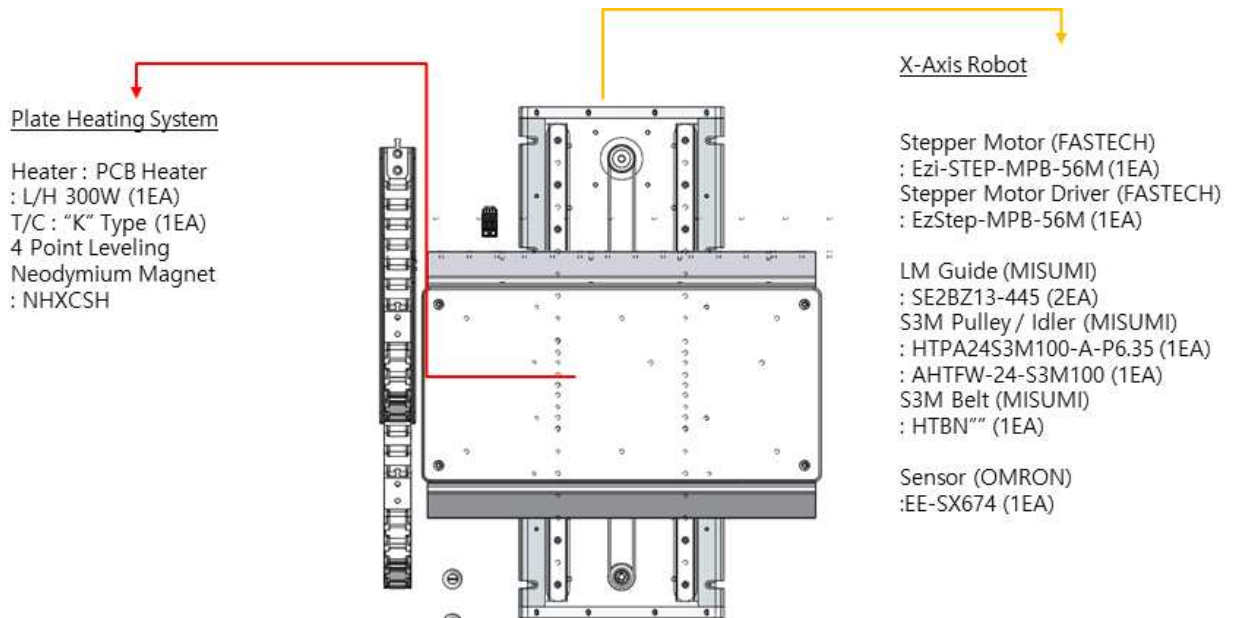
(라) 마이크로디스펜서를 이용한 선별적 토출 시스템

- 디스펜서의 경우 맥동, 토출압 불균일 등의 문제에 따라 토출 불균일 현상이 나타나는데 이를 공압을 토출해내는 디스펜서의 정량 토출 시스템에 관해서 유량 균일화와 토출부 실링 등과 같은 복합적인 문제가 해결되어야 하여 본 과제에서는 이러한 시스템이 구비되어있는 고성능의 버메스社의 마이크로디스펜서를 이용하여 선별적 토출 시스템을 진행



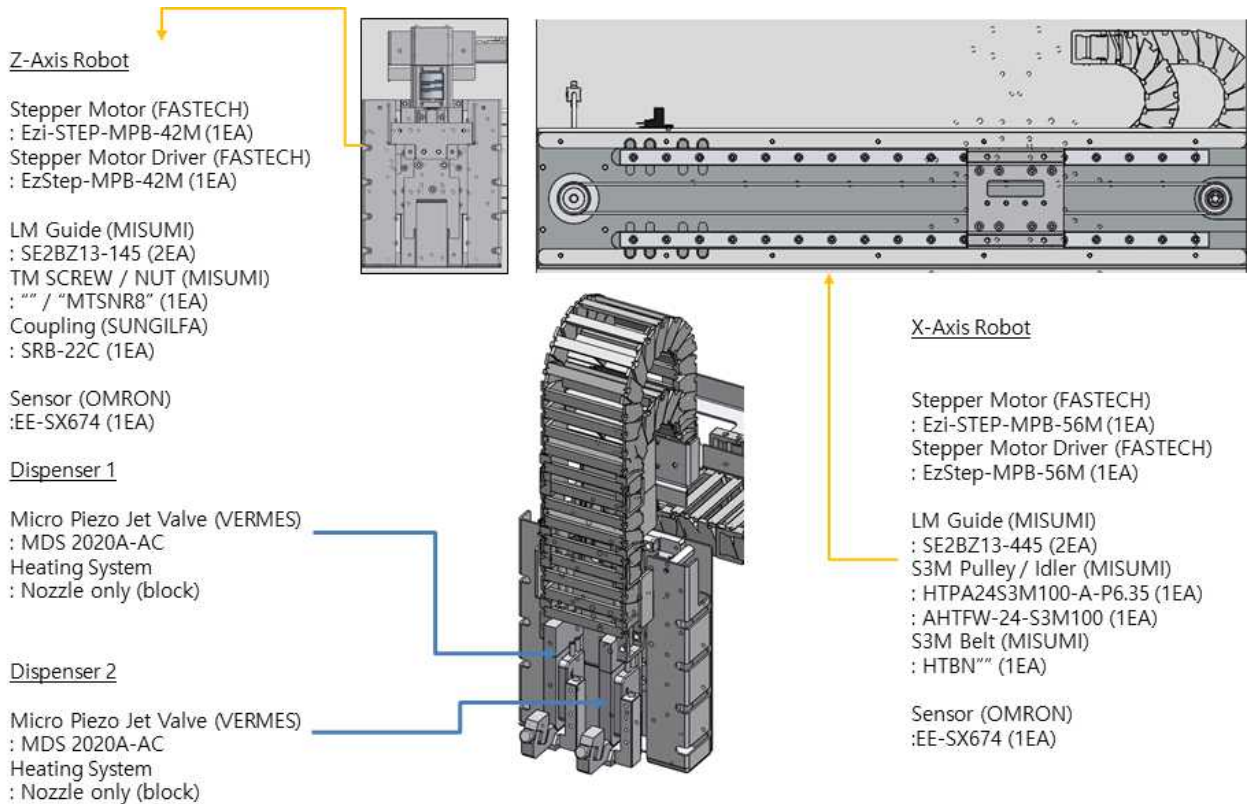
< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치의 3차원 설계시안 >

(2) X,Y,Z 구동 시스템 분석 및 하드웨어 기획(X,Y 축 80mm/s 이상, Z 축 0.016mm이하)



< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치의 X축 기획안 >

- X,Y,Z 구동 시스템에 대해서, FASTECH사의 Stepper Motor와 Ezi Step Driver를 적용. 산업적으로 이용되는 서보 모터 대비하여 저속 구간에서의 정밀한 분해능을 가지며 엔코더를 사용하여 Closed Loop 제어를 진행할 수 있는 장점 보유



< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치의 Y,Z축 >

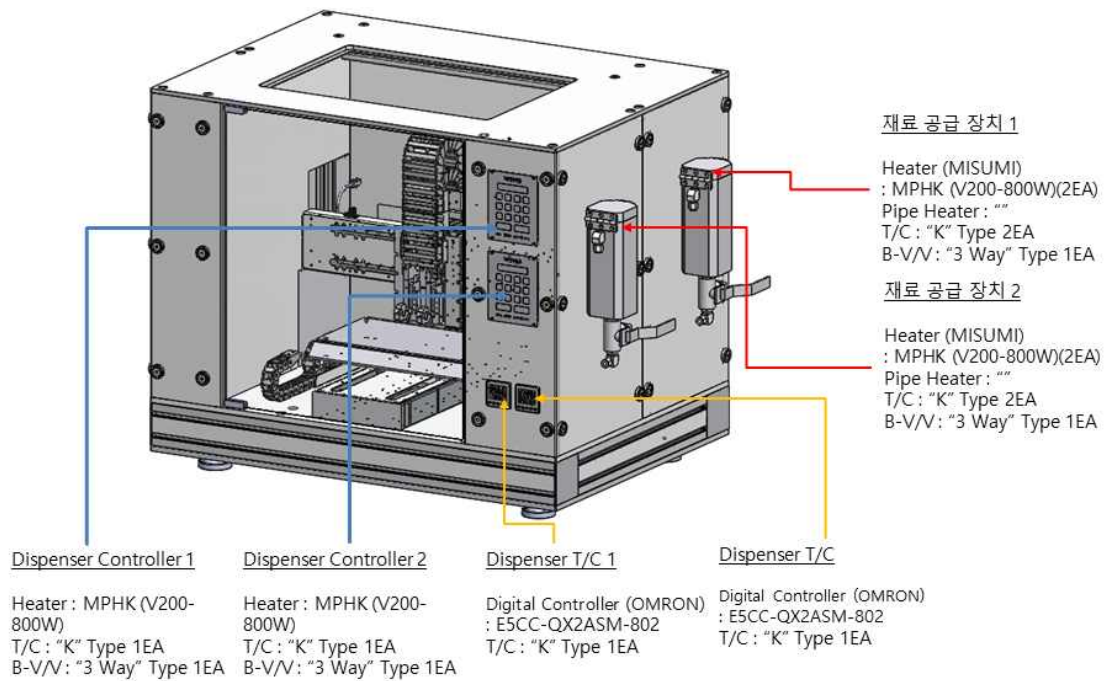
(가) 고속 제어를 위해 Belt Driven Actuator 시스템을 구성함으로써 고속 안정성 확보

- Belt Driven Actuator의 경우, 부하를 받는 표면이 우레탄 계열의 Flexible한 소재로써 모터의 추진 시에 작용하는 힘에 반작용이 적음.
- 따라서 고속운동을 위한 마찰이 발생하더라도 모터의 탈조가 일어나지 않으므로 Ball Screw Actuator에 대비하여 고속운동을 진행할 수 있어 본 과제에서는 Belt Driven Actuator를 선정

(나) 정밀 위치 제어를 위한 클로즈루프 방식의 Ezi STEP 차용

- 종래 일반적인 Stepping 모터의 경우, 엔코더가 없는 Open loop 방식으로 저속에서는 분해능이 높아 정밀하지만 고속으로 갈 경우 토크 부족 및 누적오차에 따른 위치이탈이 문제
- 이러한 기술적인 문제들에 대해서 엔코더를 차용한 Stepping Motor인 Ezi STEP을 차용함으로써 고속 위치이탈에 따른 정밀도 저하 문제를 해결

(3) 온도 제어 시스템 분석 및 하드웨어 기획(소재 공급 라인/디스펜서/Build Platform등)



< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치의 온도 제어 하드웨어 기획 >

(가) 소재 공급라인의 전체적인 온도 제어를 위해 모듈식 설계를 진행하였음.

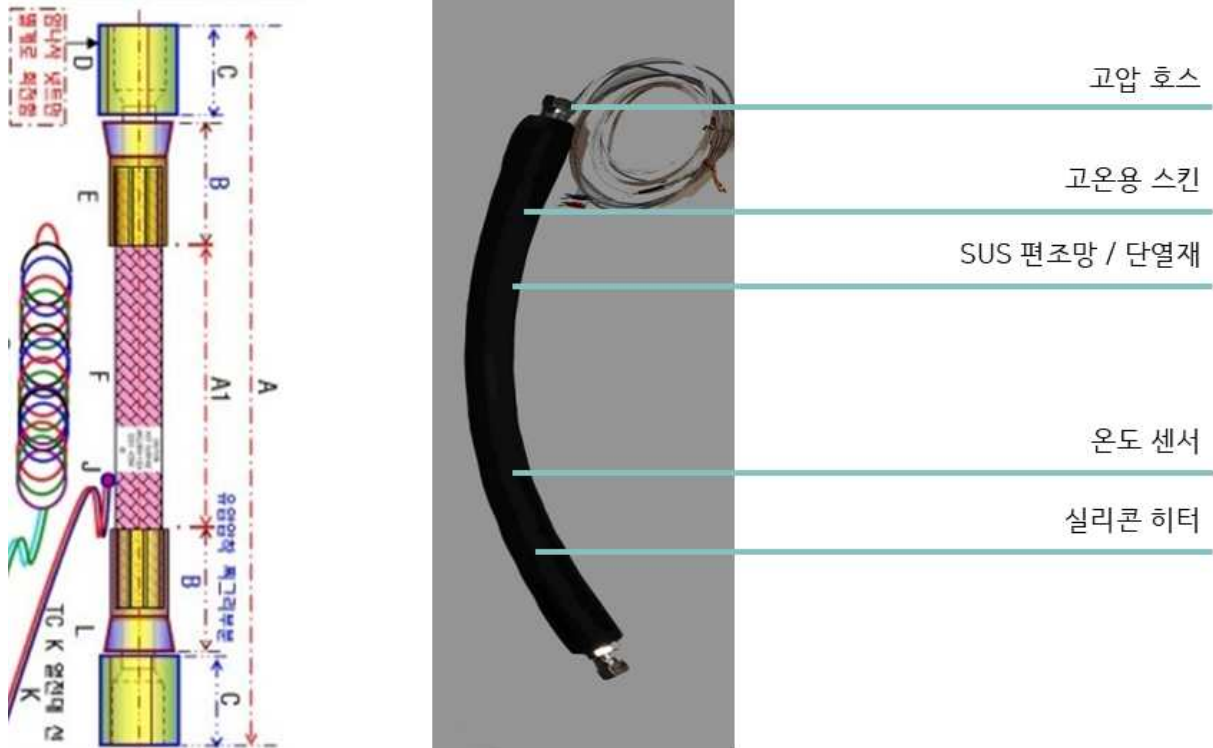
- 사용될 소재의 경우, 대부분 점탄성 유동을 가지는 소재이며, 점탄성 유동은 온도가 상승함에 따라 Viscosity가 낮아져 적은 압력으로도 소재를 공급 및 이송 가능. 따라서 본 과제에서 소재 공급라인의 경우 목표 온도까지 빠른 도달이 가능한 800W급 히터를 사용하고 온도 센서로 K타입의 써모커플을 선정
- 각 토출기 및 공급장치에 개별적인 온도센서를 사용함.

(4) 소재 공급 시스템 분석 및 하드웨어 기획 (Tube Pump system / Air system 등)



< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치의 소재 공급 장치의 교반기 >

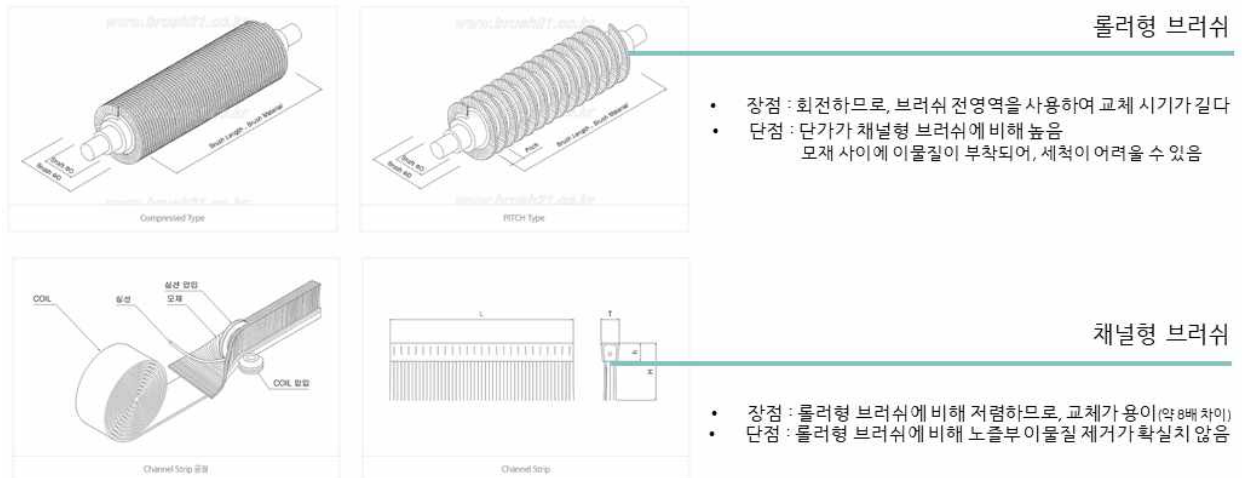
- 소재 탱크에서의 문제점으로 발생할 수 있는 것은 상기 차용한 800W급 밴드히터는 외부에서 탱크를 감싸는 방식으로 외부에서부터 열전도가 진행. 이에 따라 탱크 내부가 순환이 되지 않을 경우, 겉면쪽의 재료와 중앙부의 재료가 온도가 균일하지 않아 토출 불균일 현상을 발생 가능
- 이에 대해 내부에 교반기를 통해 탱크를 전체적으로 순환시켜 줌으로써 온도 불균일 문제를 해소 가능



< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치의 소재 공급용 단열 호스 >

- 원활한 소재공급을 위한 소재 공급 시스템을 제작
- 점탄성을 가진 Hydrogel같은 물체들은 고온에서 가열을 해야 유동성을 확보하기에 외부에 히터를 장착
- 외부 벽면 가열로써 내부 순환을 위한 교반기를 추가적으로 장착
- 재료 이송중 경화를 방지하기위한 고온 호스를 제작
- 고압용호스(5MPa)에 Flexibility가 있는 실리콘 히터를 덧대어 개발
- 소재의 공급 중에서 호스 외부와 접촉하는 면에서 열전달이 일어남에 따라 유동성을 서서히 잃어가며 결과적으로 소재 공급라인이 막힐 수 있는 문제들이 제기.
- 이에 따라 소재 공급 중에서도 온도를 유지하기 위해 실리콘 히터와 외부의 열전달을 최소화하기 위한 SUS 편조망을 이용하여 원활한 소재 공급

(5) 경화면 평탄화 시스템 분석 및 하드웨어 기획 (평탄화 Roller)



< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치의 평탄화 장치 >

- 경화면의 평탄도는 공정 변수중에서 상당히 중요한 부분이며, Layer by Layer한 공정을 가지는 3D프린팅 시스템에서 평탄하지 않을 경우, 추가적으로 쌓일 Layer 또한 불균일하여 결과적으로 전체적으로 형상이 어긋날 수 있음.
- 따라서 해당하는 문제를 해결하고자, 롤러형 브러쉬, 채널형 브러쉬를 고안
- 롤러형 브러쉬의 경우, 회전하여 이물질을 제거하는 방식으로 교체 시기가 채널형에 비해 긴 면이지만 채널형에 비해 비용 소모가 커 이에 대해서 수명-가격 분석을 통하여 롤러형 브러쉬를 선정

(2) 기계 요소 핵심 부품 선정 및 타당성 검토

(가) Piezo Module 부품 선정 및 타당성 검토 (버메스 社 / 마르코스 社)

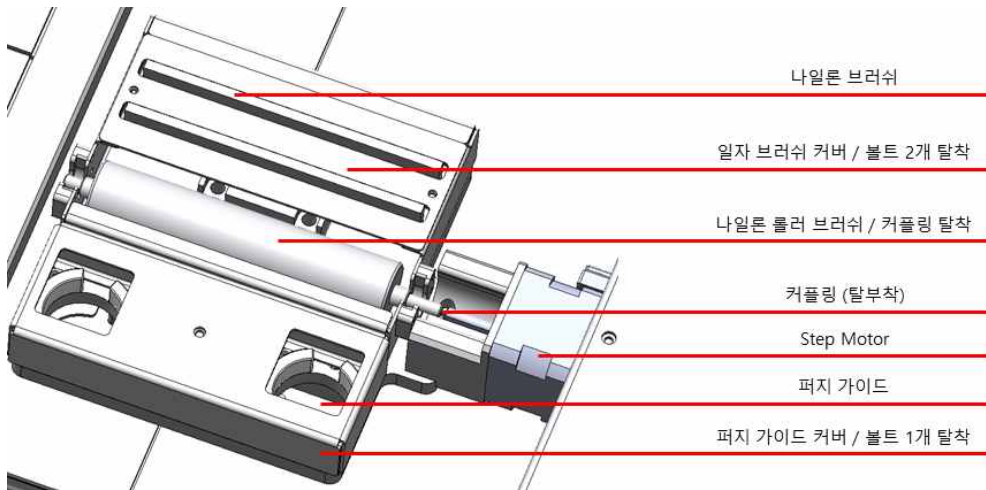
구분	버메스(MDS 3200)	마르코스 (Superior Jet)
최대 연속	1000Hz	1200Hz
압력	10MPa	9MPa

- Piezo Module의 경우, 대표적인 기업으로 버메스社와 마르코스社가 있으며, 두 선정된 모델에 대해서 핵심적인 평가 요소는 최대 연속을 몇 Hz까지 가능한가와 압력을 어느 정도 까지 사용할 수 있는 가임.
- 3D프린팅의 경우 라인을 연속적으로 도포하는 것이 핵심적인 기능으로써 마르코스社의 Superior Jet 모델이 우수한 성적을 보이거나, 압력에 대해서 토출할 수 있는 안정적인 압력대인 10MPa인 버메스의 MDS 3200 모델로 선정

(나) Piezo Driver 부품 선정 및 타당성 검토 (Epson 社 / fujixerox 社 / fujifilm Dimatix社)

- Piezo Driver의 경우 Piezo Module에 얼마나 정밀하고 균일하게 신호를 주는가에 대한 평가가 필요. 내부적으로 Epson을 포함한 3개사에 대해서 실험을 진행한 결과 동등하게 결과가 도출되었으며, 일본계 기업인 Epson, fujixerox와 fujifilm Dimatix를 제외한 버메스 사의 드라이브를 선정

(다) 노즐 분사구 클리닝 시퀀스 연구



< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치의 노즐 분사구 클리닝 장치 >

- 노즐 분사구의 경우, 토출 후 자중을 통해 일정량 더 재료가 토출되거나, 토출 후 노즐에 달라붙는 현상이 문제.
- 이에 대해서 한 라인 출력 후에 브러쉬를 통하여 노즐을 토출해내는 시스템을 개발. 노즐의 경우 대부분 고가성 소재를 사용하기에 안정적으로 사용이 가능한 나일론 롤러를 차용하였으며 퍼지 가이드 또한 구비

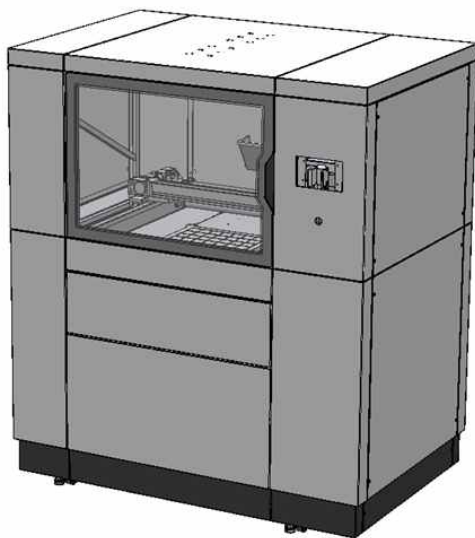
나. 마이크로디스펜싱 모듈과 스테이지 설계 및 시스템 제작(링크솔루션) : 2차년도

(1) 마이크로디스펜서 방식 식품 제조 장치 시스템 분석 및 기획

(가) 3D마이크로디스펜서 제조 장치 기계 요소 시스템 설계 및 제작

- 2차년도에 개발한 마이크로 디스펜싱 모듈이 사용가능한 스테이지 스펙은 아래와 같음

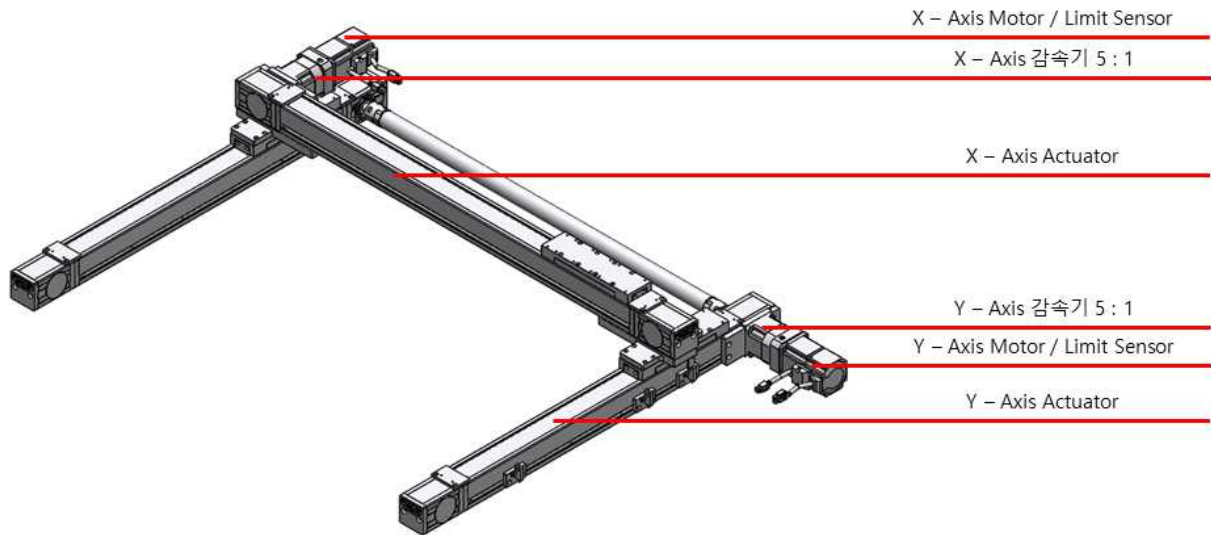
제품 사양



SPECIFICATION	
프린터 구조	XYZ Type
프린터 방식	Piezo Dispenser Type
SIZE	1000X1000(1200변경)X1800 (예정)
WORK SPACE	360X360X90(mm)
사용 가능 Nozzle 직경	300um ~ 900um
Nozzle 온도	상온 ~ 120°C (MAX)
BED 온도	상온 ~ 120°C (MAX)
재료 탱크 온도	상온 ~ 120°C (MAX)
재료 PIPE 온도	상온 ~ 120°C (MAX)
Material	Hydrogel, Carrageenan
Piezo Dispenser 직경	(미정)
입력 전원	(미정)
입력 공압	0 ~ 0.5MPa
입력 진공	- 80 ~ 97kPa
재료 탱크 용량	1L 4SET

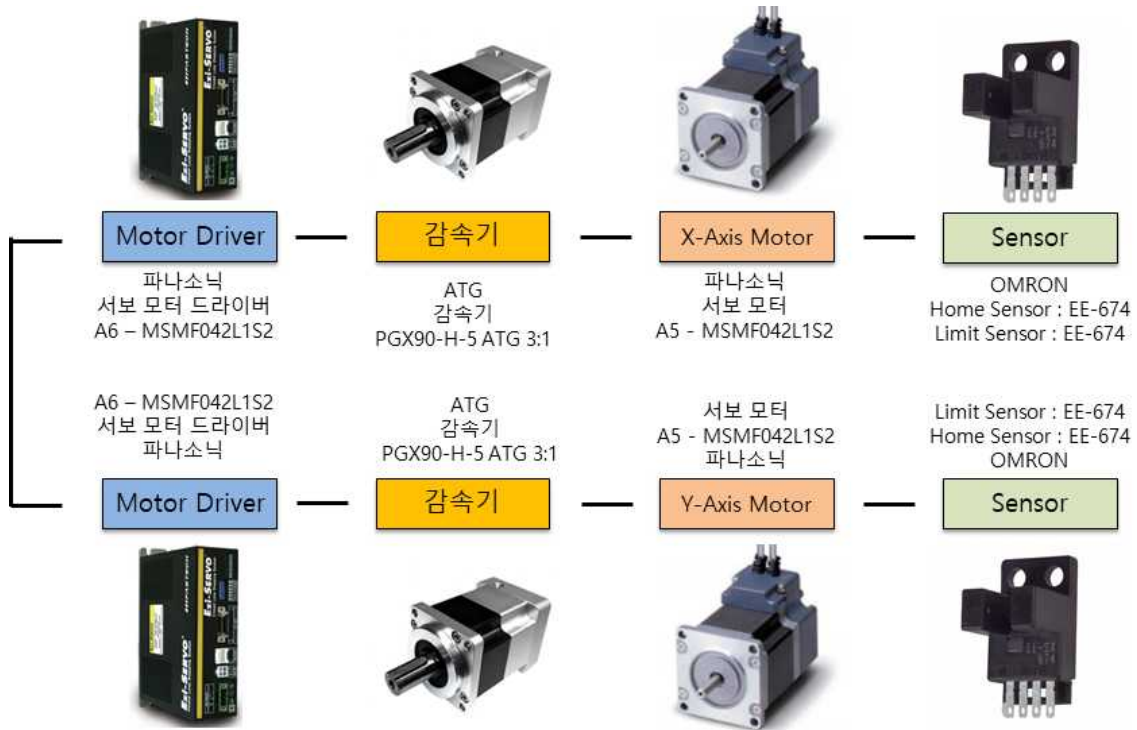
< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치 제품 사양 >

(나) X,Y,Z 메카닉 시스템 설계 및 제작



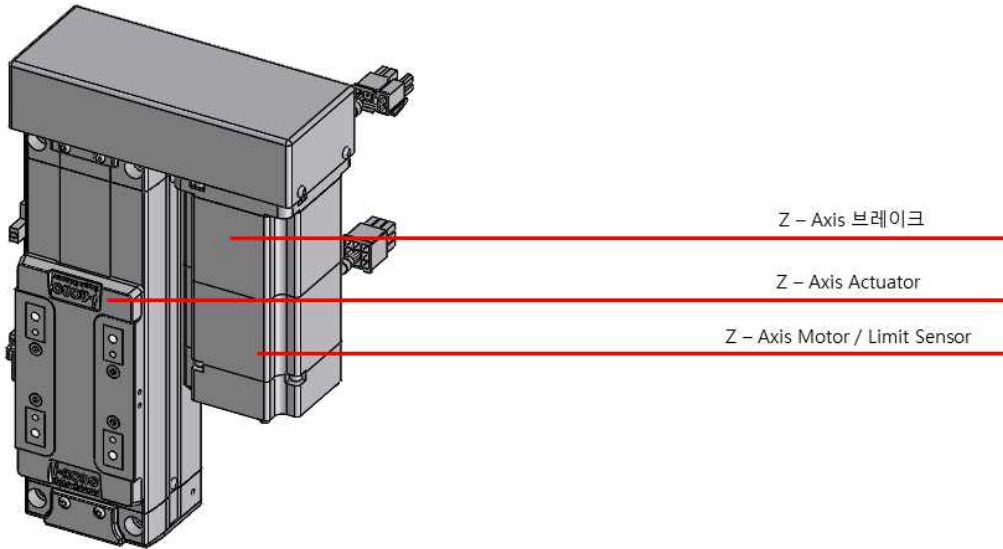
< 마이크로디스펜서 방식 식품제조 장치의 X-Y 메카닉 시스템 설계 >

- 1차년도와 2차년도의 경우, 단순 Stage를 구성하였지만, 2차년도의 경우 X,Y축에 감속기를 장착하여 고출력의 모터를 사용하여 안정성을 높이고자 함.



< 모터, 감속기, X,Y축 모터, 센서 등 선별 >

- 1차년도의 경우, Stepper Motor 및 Ezi-Step을 사용하였지만, 2차년도의 경우 스테이지의 크기가 커짐에 따라 Stepper Motor가 받는 부하가 높아져 Servo Motor로 변경하였으며, 고속에서 Stepping Motor 보다 Torque가 높아짐을 이용하여 3:1 감속기를 사용하여 Stepper 수준의 속도를 High Torque로 얻고자함. 따라서 X,Y 모터는 파나소닉의 A5-MSMF042L1S2를 선정하였으며 3:1 감속기인 PGX90-H-5-ATG를 사용

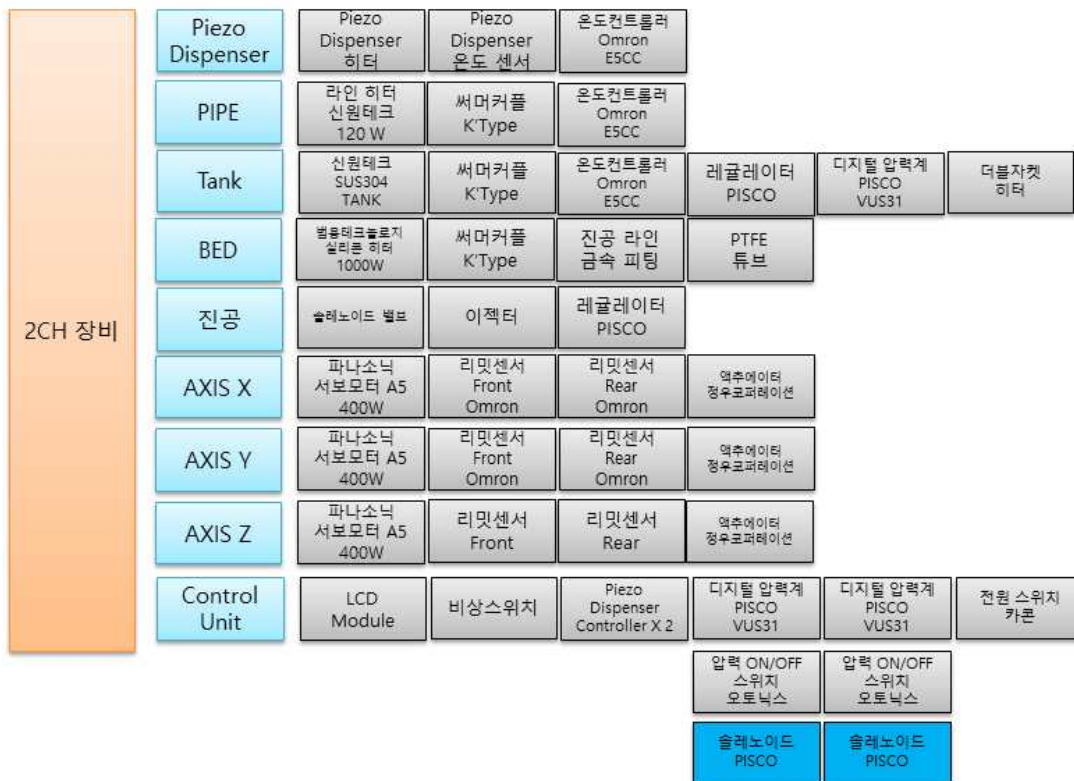


< Z축 모터 관련 세부도면 >

- Z축 모터에 대해서 자중에 의해 Z축 자체가 미끄러져 바닥을 긁거나, 노즐을 손상시키는 문제가 발생되어 옴에 따라 브레이크, 즉 전원 작동 중에서만 모터가 운전이 가능한 브레이크 타입의 모터를 선정하였으며, 부가적으로 Limit Sensor를 부착하여 기계적 안정성을 높임

(다) 3D 마이크로디스펜서 제조 장치 제어 요소 시스템 설계

- 통합 제어 회로 구상 및 설계

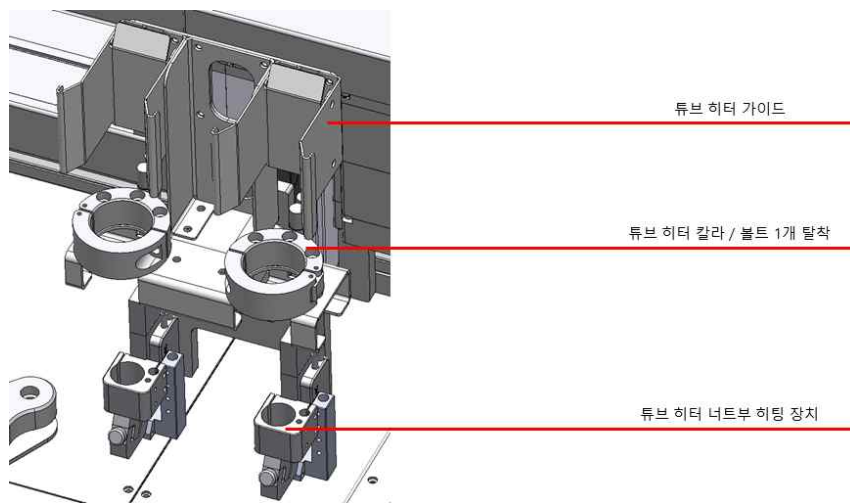


< 통합 제어 회로 구상 및 설계도 >

- 온도 제어 시스템 제어 설계
 - 현재 온도 제어 시스템 제어의 경우 상기 도표와 같이, Piezo Dispenser와 이를 공급해주는 PIPE, Tank에 대해서 각각 히터, 온도센서, 온도컨트롤러가 들어가며, 바닥면에 토출된 재료의 안정화를 위해 BED 또한 1000W급 실리콘 히터를 통해 가열하며, 베드에 사용될 재질로 PEI가 사용되어 지는데, 이를 소모품으로 교환가능하게 진공 시스템 또한 구축
- 모터 제어 시스템 설계
 - 모터의 경우 정우코퍼레이션에서 액추에이터를 선정하였으며, 파나소닉社의 400W급 서보모터와 기계적인 안정을 위한 리미트 센서를 각각 선정

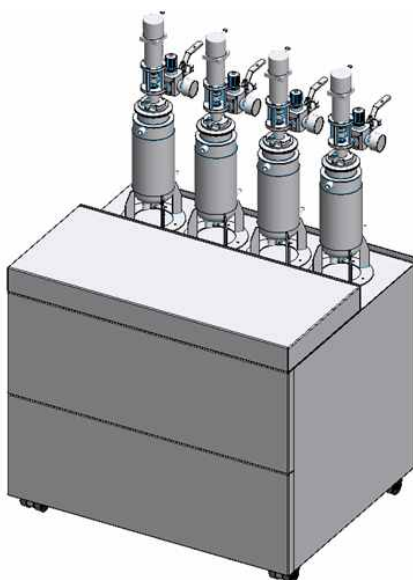
(라) 3D 마이크로디스펜서 제조 장치 토출 및 경화 시스템 설계 및 제작

- 디스펜서 Module 설계 (Heating System)



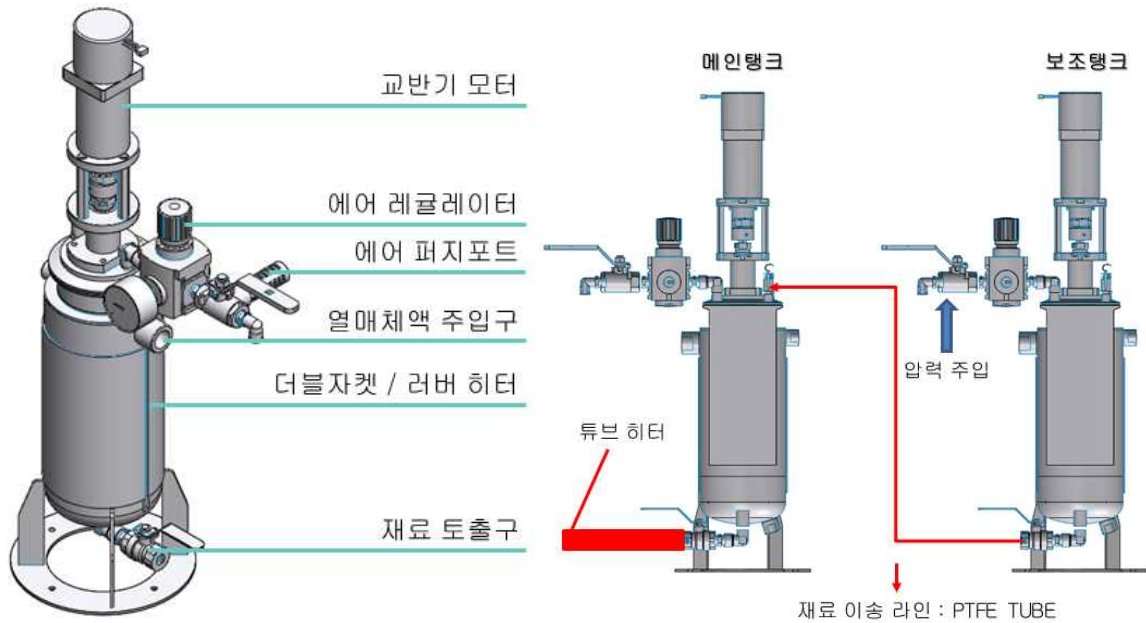
< 디스펜서 모듈 설계 >

- 디스펜서 Module이 경우, 상기 이미지와 같이, 튜브 히터의 고정 측면을 잡아주는 가이드와 튜브 히터가 고정될 수 있게 하는 칼라, 튜브 히터 너트를 가열하기 위한 히팅 장치가 포함



SPECIFICATION	
프린터 구조	XYZ Type
프린터 방식	Piezo Dispenser Type
SIZE (X, Y, Z)	900 X 650 X (미정) mm
WORK SPACE	360X360X90(mm)
재료 탱크 온도	상온 ~ 110°C (MAX)
재료 PIPE 온도	상온 ~ 110°C (MAX)
Material	Hydrogel, Carrageenan
입력 공압	0 ~ 0.5MPa
재료 탱크 용량	1L 4SET
교반기 모터 속도	30RPM 이내 (조절가능)
안전변	제한 압력 5bar
열 매체액	오일
입력 전원	4kW (예정)

- 2차년도에 개선된 소재 탱크로는 2개의 메인 탱크와 2개의 보조 탱크로 이루어지며, 2개의 메인 탱크에서 재료를 토출부 쪽으로 이송시켜 소진 알람이 뜰 경우 보조 탱크에서 메인 탱크로 소재가 이송되어 대형 제품도 연속적으로 토출할 수 있는 장점 보유



< 개선된 소재 탱크 도면 >

- 1차년도와 같이 교반기 모터를 사용하여 진행하였으며, 열매체액 유면계를 통해 재료의 잔량을 체크할 수 있다. 원활한 압력 공급을 위해서 에어 레귤레이터와 에어 퍼지 포트를 선정할 것을 위 이미지에서 볼 수 있음

(2) 식품 마이크로 디스펜서 출력 서비스 프로세스 정립

□ 주관기관은 개발된 장비가 사람에게 제공되는 식품이니 만큼 식품의약품 안전처에 위생가이드라인과 피드백을 바탕으로 아래와 같이 관련 위생가이드 프로세스를 정립함.

(가) 재료 준비 프로세스

구분	유통 전				
	1차 살균	충진	패킹	2차 살균	보관
내용	실린지 살균	원재료 실린지 충전	재료 진공패킹	패킹품 살균	패킹품 냉동 보관

- 재료 준비 프로세스는 유통 전, 후로 나눌 수 있으며 우선 유통 전 프로세스에 대해 살펴보면 실린지 살균, 원재료를 실린지에 충전, 진공 패킹, 살균, 냉동보관순으로 총 5단계로 진행.
- 위생적인 문제 발생을 미연에 방지하고자 30ml 짜리 실린지를 UV 살균기로 30분 살균을 진행, 이때 실린지 뿐만 아니라 프린팅에 사용할 각종 도구 또한 같이 살균 진행.
- 그 후 프린팅에 사용할 재료를 미리 체크해 놓은 살균된 실린지에 종류별로 충전
- 안전한 보관을 위해 진공 패킹 → UV 살균기를 이용해 2차 살균을 진행하여 냉동 보관

음식기 등 관리

■ 살균·소독

- 금속 재질의 식기, 수저, 집게 등은 열탕 소독 (100°C에서 30초이상)하고, 그 외 재질의 음식기는 '기구 등의 살균소독제'를 용법에 맞게 사용



■ 사용방법

- 소독이 완료된 음식기 등은 전용보관함, 진열장에 청결하게 보관
- 사용된 집기류 등은 수시로 교체하고, 집기류 손잡이가 음식물에 닿지 않도록 주의하며 보관



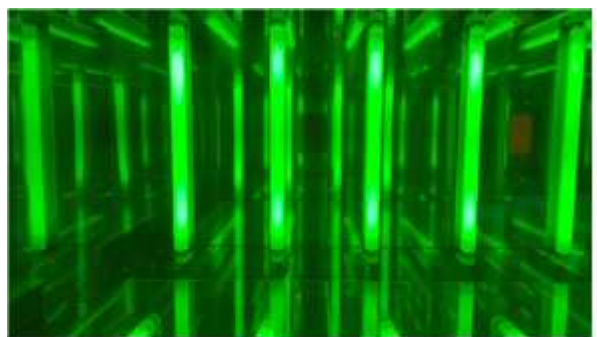
<위생가이드라인 발췌>



<실린지 사진>



<UV 살균기 작동 전>



<UV 살균기 작동 후>

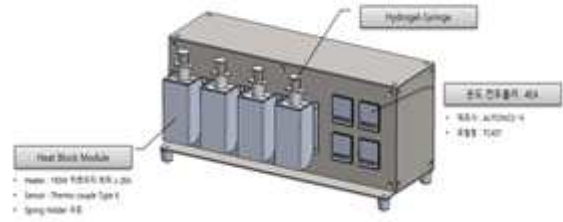
- 이때 냉동 보관일로부터 실제 사용일까지의 기간이 1주일을 넘지 않도록 라벨을 붙여 항상 관리하고 기간이 지난 재료의 경우 바로 폐기하여 위생상 문제가 없도록 조치

구분	유통 후			
	해동	가열	투입	출력
내용	냉동 보관된 실린지 해동	출력을 위한 재료 가열	마이크로디스펜서 재료 투입	프린팅 실시

- 유통 후 프로세스는 냉동 보관된 재료의 프린팅 출력을 위한 해동 → 해동된 재료의 액상으로 만들기 위한 가열 → 이어서 액체화 된 재료를 마이크로 디스펜서에 투입 → 3D프린팅 출력
- 냉동 보관된 실린지를 냉장해동(5°C 이하 냉장)하거나 흐르는 물(4시간 이내) 또는 전자레인지 등을 이용해 해동.
- 해동된 실린지를 핫 자켓으로 가열하여 재료를 실제 프린팅에 사용되는 액체 형태로 생성(1차년도에는 최고온도 110°C까지 가열 가능하며, 30ml 실린더를 하나 장착할 수 있는 1구짜리 핫자켓을 제작했었고, 2차년도에는 생산성 향상을 위해 4구짜리 핫 자켓을 제작)



<1구 핫 자켓>



<4구 핫 자켓>

- 마이크로디스펜더에 투입하여 프린팅을 준비 이때 한 번 해동시킨 재료의 경우 위생상 문제가 없도록 해동시킨 당일 사용을 원칙으로 하며 재사용 금지

음식물 조리

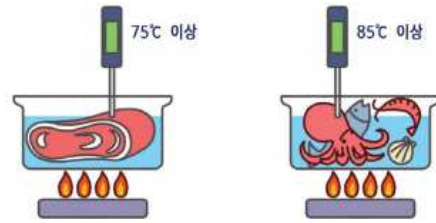
■ 해동

- 냉동재료는 냉장해동(5°C이하 냉장)하거나 흐르는 물(4시간 이내) 또는 전자레인지 등을 이용해 해동(한 번 해동된 식품은 재냉동 금지)



■ 가열

- 육류, 계란, 해산물 등은 반드시 중심부 온도 75°C이상(어패류는 85°C이상)으로 조리하여 제공



<위생가이드라인 발췌>

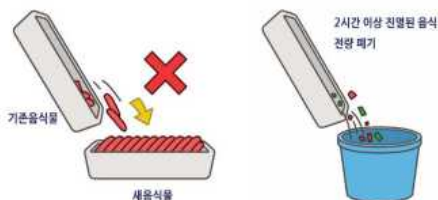
(나) 소비자 서비스 프로세스

- 소비자에게 본 장비 출력물의 디자인과 소재 선택 가능(맞춤형)하게끔 제작
- 디자인 및 문구의 경우 소비자가 직접 태블릿 PC에 디자인 및 문구를 선정하면 규격에 맞춰서 출력이 가능하도록 진행
- 디자인 및 문구 선정 이후 맛(재료)과 색깔을 선택하여 원하는 식감과 색감을 제공하며, 프린팅은 평균 3분 이내로 이루어지며, 디자인 선정부터 제품 수령까지 최대 10분 내외로 진행
- 출력해서 소비자에게 제공할 때까지도 위생가이드라인에 의거 청결하게 관리

음식물 보충

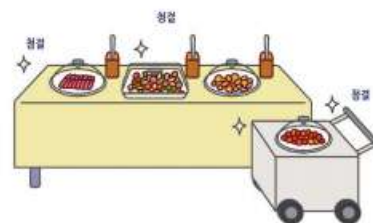
■ 방법

- 음식물이 담긴 진열 용기 채로 공용집계와 함께 교체하고, 2시간이상 진열된 음식은 전량 폐기
- 남은 음식물을 새로 교체하는 음식물에 담아서 같이 제공 금지



■ 위생

- 음식 보충에 사용되는 운반기구, 음식물 진열 용기 주변은 청결하게 관리



<위생가이드라인 발췌>

다. 마이크로디스펜싱을 이용한 식품원료의 가공, 소재화 연구(이화여자대학교) : 1차년도

(1) 마이크로디스펜싱을 이용한 식품원료의 가공, 소재화 연구

(가) 마이크로디스펜싱용 식품 소재 탐색

- 마이크로디스펜싱용 식품 소재의 구조적 특성을 연구하고, 식품으로 활용했을 때, 고려해야할 요소들을 연구
 - 다양한 식품원료의 분쇄 조건을 달리하였을 때 생성되는 분말의 물리화학적 특성을 연구
 - 다양한 기능성을 가진 원료를 준비하여 각각 동결분쇄 후 유동층혼합건조과립기(Fluid bed granulator, FBG) 처리를 통해 과립화한 후 그 시료의 이화학적 분석을 통한 입도 및 입형의 차이 분석
 - 영하 196℃의 초저온 환경에서 분쇄 가공하여 액체에 분산화된 분말의 물성을 대표할 수 있는 유변학적 특성 중 하나인 분산도를 측정하여 연구 수행
- 듀얼노즐 마이크로디스펜싱용 다중 소재 적용 및 레이어 및 스팟에 따른 식품 디자인 연구
 - 듀얼노즐 마이크로디스펜싱 적합 식품소재를 확보하기 위해 멥쌀가루 (rice powder, RP), 감자전분(potato starch, PS), nanocrystals cellulose (CNC) 및 sodium alginate (AS)를 이용
 - 마이크로디스펜싱용 다중 소재를 적용하기 위해 RP와 PS의 혼합물 (RPM)과 CNC, AS 및 PS 혼합물 (CAP)을 이용.
 - 먼저 RPM은 유병승(2010)의 실험방법을 변형하여 사용하였으며, RPM은 RP와 PS 각각을 10:0, 9:1, 7:3, 5:5의 비율로 제조하였으며, 총 고형분을 10%로 하여 RP를 30분간 자석교반기로 교반하여 분산시킨 후, PS를 첨가하여 다시 30분간 분산함. 이들 혼합물은 항온수조에서 유리막대를 이용하여 교반하면서 95℃로 30분간 가열하여 호화시키고, 다중 소재인 CAP는 식이섬유와 비슷한 생리적 특성을 갖고 있어 건강에 도움을 주는 기능성 소재로 주목 받고 있는 저항성 전분을 출력하고자 함.
 - 저항성 전분은 RS1~RS4로 4개의 형태로 분류되며, RS1은 물리적으로 효소와 만나기 어려운 특성을 가지고 RS2는 생전분으로 B형의 결정형으로 감자, 고아밀로오스 옥수수 전분 및 덜 익은 바나나가 이에 해당되며, RS3은 가열에 의해 아밀로스의 노화로 인해 얻어지며, RS4는 화학적 변성전분으로 소화되지 않는 특성을 가짐. RS2는 가열에 의해 호화되면 파괴되는 성질을 지니기 때문에 호화시킨 겔의 특성을 이용하지 못하므로 자체적으로 3D 프린팅이 불가
 - 따라서 식품 3D 구조체를 형성 (Kajsa Markstedt 등, 2015)시키기 위해 11% CNC와 2.5% AS를 이용하였으며, 사전 실험을 통해 CNC:AS=80:20의 혼합 비율을 선정 및 선정된 CNC와 AS의 혼합물 20 g에 PS의 함량 (1, 3, 5 및 10%)을 다르게 첨가 후, 자석 교반기 1,000 rpm으로 15분간 교반하여 분산시킴.
- 레이어 반복 적층에 의한 블록형 식품소재 구성 공정 확립
 - 레이어 반복 적층에 의한 블록형 식품 소재 구성 공정을 확립하기 위해 Simplify 3D

software와 듀얼노즐 마이크로디스펜싱 parameter를 각각 설정.

- RPM은 1 nozzle을 이용하여 출력하였으며, Simplify 3D software와 마이크로디스펜싱 parameter는 Table 1과 Table 2에 각각 나타냄.
- CAP는 소재의 특성에 따라 cross-linking을 위해 2 nozzle을 사용하였으며, Simplify 3D software와 마이크로디스펜싱 parameter는 Table 3과 Table 4에 각각 나타냄.

Table 1. Simplify 3D software parameter of RPM

Parameter	Nozzle
Nozzle diameter (mm)	0.7
Print speed (mm/min)	3000
Layer height (mm)	0.39
Extruder temperature (°C)	25
Nozzle temperature (°C)	25
Bed temperature (°C)	25

Table 2. Dual nozzle microdispenser parameter of RPM

Parameter	Nozzle
pressure (MPa)	0.28
Rising (ms)	1.0
Open Time (ms)	0.0
Falling (ms)	0.5
Delay (ms)	2.5
Needle Lift (%)	infinite

Table 3. Simplify 3D software parameter of CAP

Parameter	T0 Nozzle	T1 Nozzle
Nozzle diameter (mm)	0.4	0.4
Print speed (mm/min)	650.0	650.0
Layer height (mm)	0.32	0.35
Extruder temperature (°C)	25.0	25.0
Nozzle temperature (°C)	25.0	25.0
Bed temperature (°C)	25.0	25.0

Table 4. Dual nozzle microdispenser parameter of CAP

Parameter	T0 Nozzle	T1 Nozzle
pressure (MPa)	0.0	0.05-0.2
Rising (ms)	10.0	0.5
Open Time (ms)	0.3	0.2
Falling (ms)	1.6	0.7
Delay (ms)	40.0	35.0
Needle Lift (%)	100.0	100.0

- 초저온 미세분쇄화, 분무건조화 분말을 이용한 다공성 박막화 공정 확립, 블록형 식품 소재의 수용액 내에서의 분산도 측정 및 구조의 재설계에 의한 분말결착식 마이크로디스펜싱 공정 구축

- 초저온 미세분쇄화, 분무건조화 분말을 이용한 다공성 박막화 공정을 확립, 블록형 식품 소재의 수용액 내에서의 분산도 측정 및 구조의 재설계에 의한 마이크로디스펜싱 공정을 구축하기 위하여 분말결착식 마이크로디스펜싱 방식의 식품가공 기기를 이용
- 분말결착식 마이크로디스펜싱은 liquid binding 방식으로 먼저 powder를 bed에 분사 후, 2D 장치를 이용하여 설정된 디자인에 따라 liquid를 분사하는 방법으로 반복 진행하여 식품 구조체를 형성.
- 실험에 이용된 소재는 쌀가루, PGA (K-form, 2 kDa), PGA (K-form, 10 kDa), 슈가파우더, 아라비아검인스탄트검BA, 백설탕, 알룰로스, 타가토스, 한천, PGA (acid-form, 2,000 kDa), 말토덱스트린, 밀가루, 잔탄검, 낫또가루, 분리대두단백, 카라기난, 엠비시즈닝, 카라기난BP, 젤란검, 알긴산나트륨, 로커스트검, 구아검, 감자전분, 썬믹스티 (타피오카 전분 80%), 펙틴, 세몰라, 차전자피 식이섬유, 젤라틴, PGA (K-form, 2,000 kDa), 카라기난 Kappa임.
- 체를 이용하여 petri dish에 분말 소재를 쌓은 후, 물을 분사하여 10 mm의 높이가 되게 제조하는 방법을 이용하여 분말결착식 마이크로디스펜싱 기기에 적합한 최적 소재를 선정 및 선정된 소재의 입형 및 입도 분석을 통해 소재의 특성을 확인 후, 마이크로디스펜싱 공정을 구축.
- 또한 식품의 3D 구조체를 형성하여 texture analyser (PLUS-UPGRADE, Stable Micro Systems, United kingdom)를 통해 구조체의 물성을 확인 후, 실제 식품과의 물성 특성을 비교하였다. 마이크로디스펜싱 공정을 구축하기 위한 디자인은 Fig. 1과 같음.

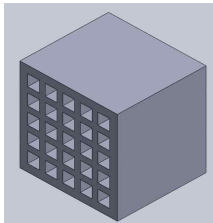
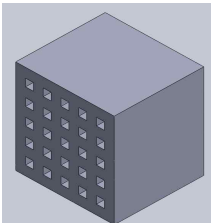
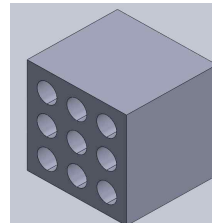
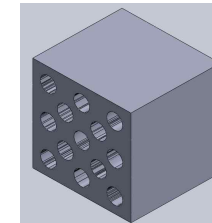
Grid	1	2	3	4
Width × Depth × Height(mm)	22.0x20.0x20.0	22.0x20.0x20.0	22.0x20.0x20.0	22.0x20.0x20.0
Weight(g)	6.20	8.13	6.94	7.14
Volume(m ³)	6197.12	8131.93	6942.66	7143.43
Area(m ²)	7658.26	6092.36	4942.62	5354.31
Design				

Fig. 1. Design of powder-bound microdispensing.

(나) 마이크로디스펜싱용 식품 소재화를 위한 가공적용

- 멍쌀가루와 감자전분 혼합물 (RPM)의 레이어 및 스폿에 따른 식품 디자인 연구

- 레이어 및 스팟에 따른 식품 디자인 연구를 위해 Microdispenser를 이용하여 Table 2의 조건으로 호화시킨 멥쌀가루와 감자전분의 혼합물 (RPM)을 출력하였으며, 그 결과는 Fig. 3과 같음.
- 멥쌀가루와 감자전분을 10:0, 9:1의 비율로 호화시킨 혼합물은 0.28 MPa 미만의 압력에서는 토출되지 않았으며, 0.28 MPa의 압력에서는 출력이 가능하였으나 설정된 모델에 비해 layer 두께가 두껍게 출력되었으며, 구조체를 형성하지는 못함. 7:3과 5:5 비율의 혼합물에서는 해당 압력으로 출력이 불가하였고 압력을 높였을 때도 출력이 불가하였으며, 이는 감자전분의 함량이 높아질수록 탄성적 성질이 증가하여 Microdispenser의 이용 가능한 압력 범위 내에서 출력이 불가한 것으로 판단.
- 따라서 RPM은 Microdispenser를 이용한 3D 프린팅에 적합하지 않은 소재로 판단되어, CNC와 AS를 이용하여 기본 구조체를 형성하고 감자전분을 함량 별로 첨가하여 열처리하지 않은 혼합물의 3D 프린팅 가능성을 확인하고자 함.







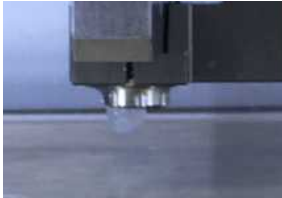
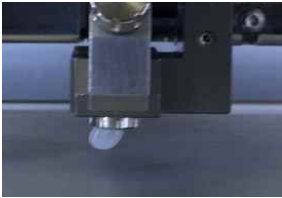
Sample			
R10:P0			
R9:P1			
R7:P3			
R5:P5			

Fig. 3. 3D model of rice flour (R)-potato starch (P) blends at different ratio of R:P printed by microdispenser.

2) Nanocrystals cellulose, sodium alginate 및 감자 전분 혼합물 (CAP)의 레이어 및 스팟에 따른 식품 디자인 연구

- 11% CNC, 2.5% AS 및 PS 혼합물의 특성에 맞게 Microdispenser의 parameter를 설정하였으며, Table 4의 조건으로 PS 함량이 다르게 첨가된 혼합물의 3D 프린팅 결과는

Fig. 4와 같음.

- 0, 1 및 3% PS가 첨가된 혼합물은 0.07 MPa의 압력에서 출력과 구조체 형성이 가능하였고, 설정된 모델 크기에도 유사하게 출력이 되었으며, 5%와 10% PS가 첨가된 혼합물은 0.07 MPa의 압력에서는 출력이 불가하여 소재 특성에 맞게 출력이 가능한 압력을 적용.
- 5%와 10% PS가 첨가된 혼합물은 각각 0.1 MPa와 0.2 MPa의 압력으로 출력이 가능하였으며, 5% PS가 첨가된 혼합물까지는 설정된 모델 크기와 유사하게 출력이 되었으나, 10% PS가 첨가된 혼합물은 출력 중에 노즐에서 뭉침 현상이 발생하여 더 이상의 출력이 불가.
- 이는 Microdispenser를 같은 조건의 parameter에 압력만 변경하는 최소한의 조건으로 출력하였기 때문에 PS 함량이 증가함에 따라 소재의 특성이 변하면서 설정된 Table 4의 조건으로는 출력이 불가능한 것으로 판단되며, 또한 출력물이 설정된 모델과 유사한 정도를 비교하기 위해 버니어 캘리퍼스를 이용하여 출력물을 측정된 결과 (Table 5), width, height 및 line thickness는 PS의 함량이 낮을수록 대부분 설정된 모델의 크기와 유사한 것으로 나타남.


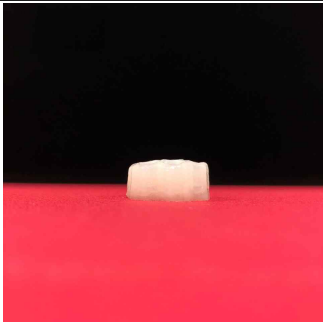
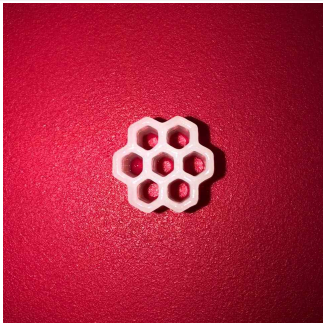
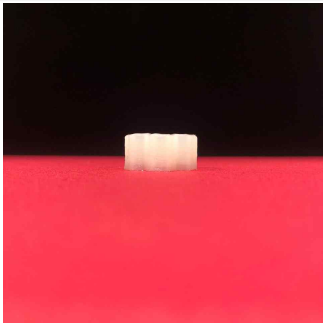
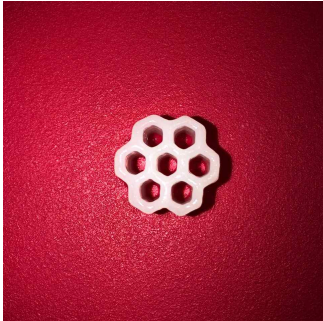
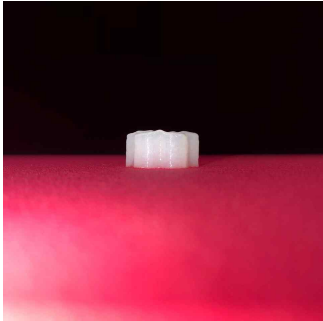
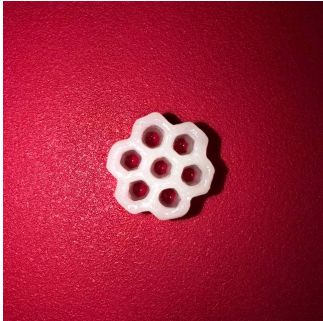
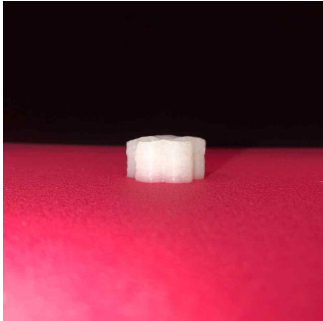

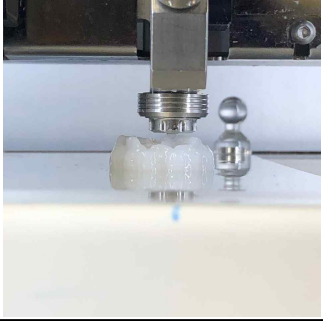

		Sample			
PS 0%					
PS 1%					
PS 3%					
PS 5%					
PS 10%					

Fig. 4. 3D model of potato starch (PS) blends at different ratio printed by dual nozzle microdispenser.
 Table 5. Printed parameters for different potato starch (PS) of 0–5% (w/w) concentrations

Sample*	Width (mm)	Height (mm)	Line thickness (mm)
Control	20.00±0.00 ^d	10.00±0.00 ^b	1.60±0.00 ^b
0%	20.51±0.14 ^{bc}	10.07±0.24 ^b	1.62±0.01 ^b
1%	20.29±0.15 ^c	10.60±0.35 ^a	1.63±0.01 ^b
3%	20.63±0.09 ^{ab}	9.75±0.12 ^b	1.86±0.08 ^a
5%	20.88±0.24 ^a	10.58±0.16 ^a	1.89±0.15 ^a

* Values followed by the different lowercase letter within a column differ significantly ($p < 0.05$).

* Mean ± standard deviation for triplicate measurements (n=3).

- 초저온 미세분쇄화, 분무건조화 분말을 이용한 다공성 박막화 공정 확립, 블록형 식품 소재의 수용액 내에서의 분산도 측정 및 구조의 재설계에 의한 분말결착식 마이크로디스펜싱 공정 구축
- 초저온 미세분쇄화, 분무건조화 분말을 이용한 다공성 박막화 공정을 확립, 블록형 식품 소재의 수용액 내에서의 분산도 측정 및 구조의 재설계에 의한 마이크로디스펜싱 공정을 구축하기 위하여 최적 소재를 먼저 선정하였으며, 선정 결과는 Fig. 5-11과 같으며, 소재의 특징에 따라 결과를 분류.
- 쌀가루, PGA (K-form, 2 kDa), 슈가과우더, PGA (K-form, 10 kDa) 및 아라비아인스 탄트검BA의 경우 (Fig. 5), 분말과 물을 결합 시, 결합은 가능하였으나 구조체 형성이 불가능하고 끈적이는 특성을 나타냄. 백설탕, 알룰로오스, 타가토스, 한천 및 PGA (acid-form, 2,000 kDa)의 경우 (Fig. 6), 분말과 물이 결합되지 않아 구조체 형성이 불가능하였고 분말상태의 결과를 나타냈으며, 말토덱스트린, 밀가루, 잔탄검, 낫또가루, 분리대두단백 및 카라기난의 경우 (Fig. 7), 분말과 물을 결합 시, 구조체 형성이 가능하였고 엠비시즈닝, 카라기난 BP, 젤란검, 알긴산나트륨, 로커스트검 및 구아검의 경우 (Fig. 8), 구조체 형성은 가능하였으나, 분말과 물이 결합 시, 표면이 울퉁불퉁하고 끝이 말리는 결과가 나타남. 감자전분과 80% 타피오카 전분의 경우 (Fig. 9), 구조체 형성이 가능하였으나 굳는데 많은 시간이 요구되었으며, 펙틴, 세몰라 및 차전자피 식이섬유의 경우 (Fig. 10)에도 구조체 형성은 가능하였으나 층 분리 현상이 발생하였고 젤라틴, PGA (K-form, 2,000 kDa) 및 카라기난 Kappa의 경우 (Fig. 11), 구조체 형성이 가능.
- 실험결과, Fig. 7과 11의 소재가 가장 적합하였으며, 물과 결합 시, 다른 소재에 비해 결합력이 가장 좋은 말토덱스트린을 최적 소재로 선정하여 입형 및 입도 분석을 진행.
- 입형 및 입도 분석 결과는 각각 Fig. 12와 Table 6으로 말토덱스트린의 입형은 120, 800 배율로 관찰하였으며, 표면은 매끈하고 막대모양, 타원형 등 다양한 형태로 관찰되었음. 말토덱스트린 입자의 평균 크기는 76.35±12.47 μm , modal D는 93.52±12.30 μm 이었으며, 시료의 10%에 해당하는 값인 D10은 32.92±1.29 μm , 50%에 해당하는 D50은 80.06±2.87 μm , 90%에 해당하는 D90은 160.86±14.81 μm 로 나타남.
- 내부채움 모양과 비율을 다르게 설정한 디자인을 분말결착식 마이크로디스펜싱으로 3D 식품 구조체를 형성한 결과는 Fig. 13과 같고, Grid 1은 layer에 spread 1번, jet 3번, 압착 1번으로 진행하였으며, 구조체 형성이 가능하였으나 일부 찌그러진 형태로 출력.

- Grid 2의 경우, 분말결착식 마이크로디스펜서로 제조가 불가하였는데, 이는 설정된 디자인의 grid 간격에 대해 resolution이 다소 떨어지기 때문으로 판단되며, Grid 3은 layer에 spread 1번, jet 2번, 압착 1번으로 진행하였으며, 구조체의 크기나 내부채움 모양 등이 깔끔하게 출력되어 설정된 디자인과 가장 유사하게 출력. Grid 4는 layer에 spread 1번, jet 2번으로 진행하였으며, 내부채움 모양이 선명하게 출력이 가능하였으나 모서리 부분에서 일부 무너짐 현상이 발생. 말토덱스트린의 경우, 분말결착식 마이크로디스펜싱으로 구조체를 형성 시, grid 3의 디자인이 가장 적합한 것으로 판단
- 디자인별 말토덱스트린의 출력물과 실제 식품 몇 가지를 선정하여 강도, 바삭함, 흡집성, 탄성 등의 물성을 분석한 결과 (Table 7), grid 1 출력물은 에너지바와 양갱 사이의 물성으로 나타났고, grid 3과 4의 경우 바나나와 초코파이 물성 사이로 나타남.












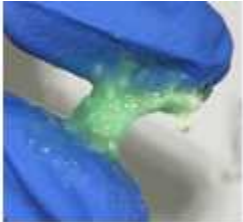
Sample			
Rice powder			
PGA (K-form, 2 kDa)			
Sugar powder			
PGA (K-form, 10 kDa)			
Arabic instantgum BA			

Fig. 5. Results 1 according to material characteristics.


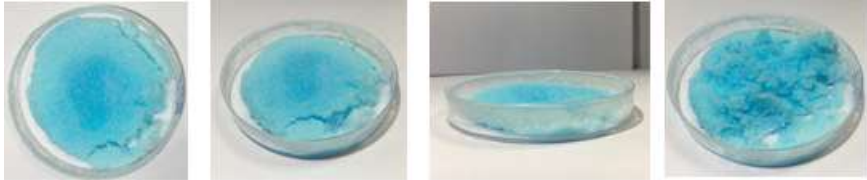



Sample	
White sugar	
Allulose	
Tagatose	
Agar	
PGA (acid-form, 2,000 kDa)	

Fig. 6. Results 2 according to material characteristics.







Sample	
Malto dextrin	
Wheat flour	
Xanthan gum	
Natto powder	
Isolated soy protein	
Carrageenan	

Fig. 7. Results 3 according to material characteristics.

Sample	
MB seasoning	
CarrageenanBP	
Gellan gum	
Sodium alginate	
Locust gum	
Guar gum	

Fig. 8. Results 4 according to material characteristics.



Sample	
Potato starch	
80% tapioca starch	

Fig. 9. Results 5 according to material characteristics.

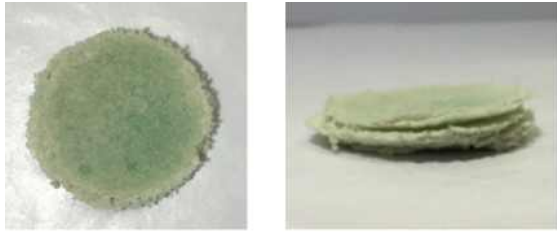


Sample	
Pectin	
Semola	
Psyllium fiber	

Fig. 10. Results 6 according to material characteristics.

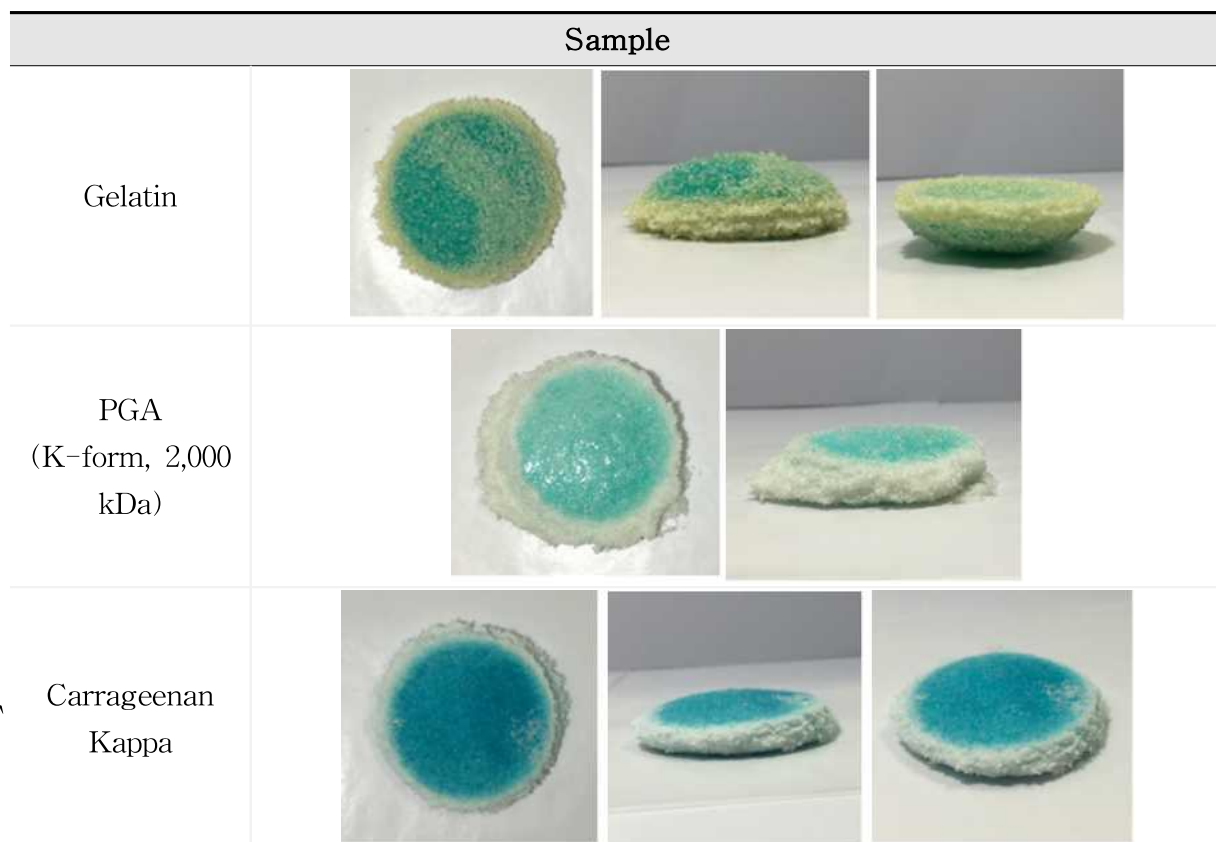


Fig. 11. Results 7 according to material characteristics.

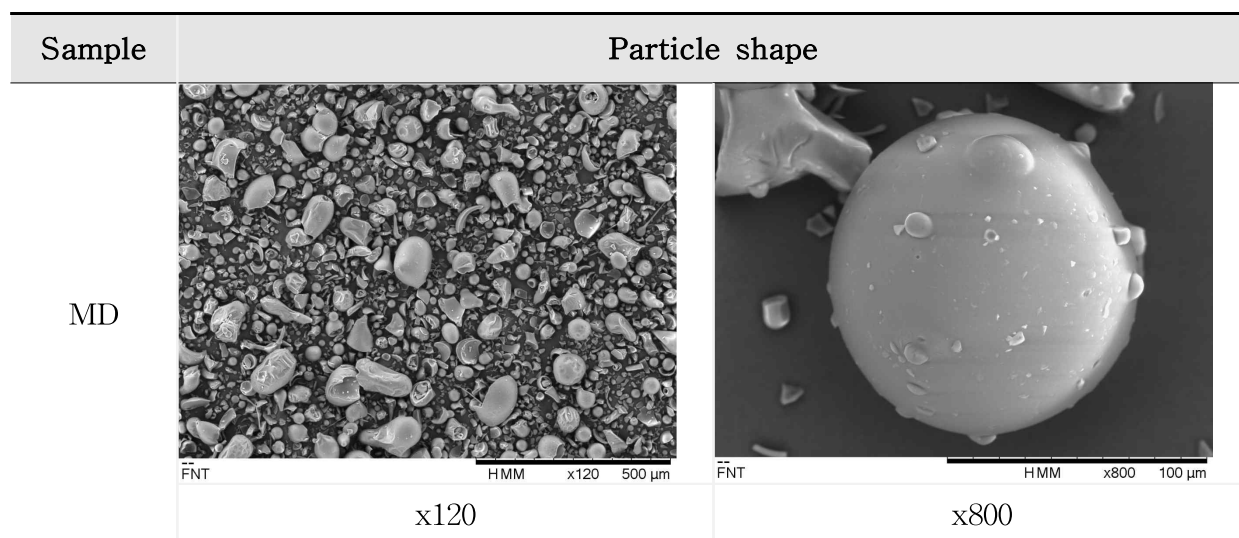


Fig. 12. Scanning electron microscope image of maltodextrin (MD).

Table 6. Particle size of maltodextrin (MD)

Sample*	Mean V (μm)	Modal D (μm)	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)
MD	76.35±12.47	93.52±12.30	32.92±1.29	80.06±2.87	160.86±14.81

* Mean \pm standard deviation for triplicate measurements (n=3).



Fig. 13. 3D model of maltodextrin at different design printed by powder-bound microdispensing.

Table 7. Comparison of physical properties between actual food and 3D model of maltodextrin

Sample	Mean force (g)	Crunch (g·sec)	Leteral strength (g)	Maximum adhesion (g)	Adhesion energy (g·sec)	Cohesion (sec)	Elasticity
Apple	8394.61	25315.24	12328.36	-60.50	-14.02	0.35	1.00
Energy bar	5904.27	17265.00	17180.49	-1977.34	-36.90	0.17	0.88
Grid 1	5358.855	9182.646	7754.26	-5.36	-0.042	0.015	1.00
Yanggang	3373.60	6462.69	5410.09	-779.41	-402.61	1.22	0.86
Chicken breast	2214.03	7812.86	7790.87	-122.79	-11.82	0.17	0.98
Sausage	1674.37	4570.07	4554.37	-26.98	-2.63	0.16	0.99
Banana	1582.11	2621.45	2490.61	-275.18	-13.83	0.06	0.89
Grid3	665.735	9810.442	2518.117	-1.669	0.056	0.06	1.00
Grid4	525.879	3422.097	1394.044	-5.36	-0.057	0.02	1.00
Chocopie	272.51	964.31	918.72	-14.86	-2.28	0.55	0.98
Cookedrice	125.57	534.98	442.90	-65.97	-11.01	0.30	0.85
Bread	35.14	307.26	91.76	-0.95	0.03	0.64	0.99

라. 마이크로디스펜싱을 이용한 식품원료의 제조 및 물성 연구(이화여자대학교) : 2차년도

(1) 마이크로디스펜싱에 의한 식품제조 공정 연구

(가) 듀얼노즐 마이크로디스펜싱에 의한 식품제조 공정 연구

- 카트리지 소재화 및 마이크로디스펜싱에 의한 스낵형 식품 제작 공정을 연구하기 위해 SOLIDWORKS software를 3D tool로 사용하여 출력할 모델 (Fig. 2)을 그린 후 *.stl 형식으로 저장 및 Simplify 3D software에 저장된 파일을 업로드하여 소재에 적합한 parameter를 설정 후 *gcode 형식으로 저장하였으며, Gcode 형식의 파일을 microdispenser에 적용하여 Table 3, 4의 조건으로 호화시킨 혼합물을 출력

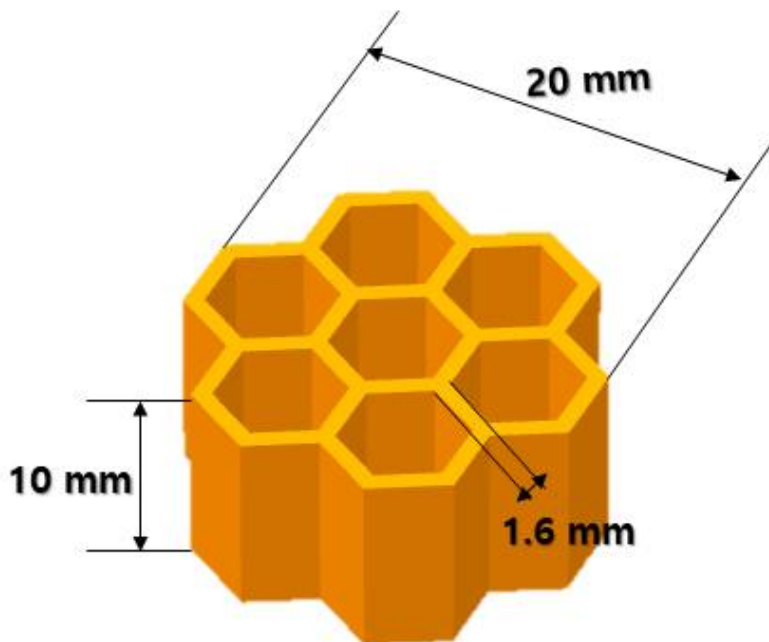


Fig. 2. 3D printing design.

(나) 이화학적 물성 분석

- Particle shape analysis
 - 본 실험에 사용된 시료의 입자형태는 주사전자현미경 (TM3030Plus, HITACHI, Japan) 으로 관찰하였고, 시료 부착용 stub에 이중테이프를 잘라 붙이고 그 위에 시료를 부착시켜 100, 200, 500, 1,000, 1,200 및 1,500배로 관찰
- Particle size analysis
 - SALD-2300 (WingSALDI:Version 3.4.1, Shimadzu, Japan) 레이저 회절식 입도 분포 측정 장치 (Laser diffraction particle size analyzer)를 이용하여 건식 방법으로 초저온 미세분쇄한 멥쌀가루의 입도 크기를 분석
 - 측정 범위는 0.017~2,500 μm , 굴절률 (Refractive Index, RI)은 1.70~0.20 i이며, 분석결과는 부피비 (volume percent, vol. %)에 의해 101개의 입도계급으로 표현되었으며, 입도 분포를 입도크기 (μm)에 따른 % 함량으로 나타냄

(다) Rheology analysis

- 멍쌀가루 (RP)와 감자전분 (PS) 혼합물 (RPM)의 레올로지 특성 분석
 - RPM의 고형분을 10%로 하여 RP를 30분간 자석교반기로 교반하여 분산시킨 후, PS를 첨가하여 다시 30분간 분산하였으며, 이들 혼합물은 항온수조에서 유리막대를 이용하여 교반하면서 95°C로 30분간 가열하여 호화시킨 후, 시료를 상온에서 냉각시켜 rheometer (MCR 102, Anton Paar, Austria) 통해 레올로지 특성을 측정
 - 동적 점탄 특성 측정은 rheometer를 이용하여 측정 온도 25°C, 측정 거리 1 mm로 설정 후 measuring plate pp25로 수행(실험에 앞서 변형력과 변형률 사이의 선형 점탄성 구간을 결정하기 위해 0.63 rad·s⁻¹에서 % strain sweep을 수행)하였으며, 여기서 2%의 strain이 결정
 - 동적 점탄 특성 실험은 0.63~62.8 rad·s⁻¹의 범위 내에서 frequency sweep에 의해 수행되었으며, 저장탄성률 (storage modulus, G'), 손실탄성률 (loss modulus, G''), 손실계수 tanδ (loss factor, G''/G')를 측정. 동적 점탄 특성 측정 데이터는 Anton Paar RheoCompass 1.22에 의해 각각 계산됨.
- Nanocrystals cellulose, sodium alginate 및 감자전분 혼합물 (CAP)의 레올로지 특성 분석
 - CAP의 동적 점탄 특성 측정은 rheometer를 이용하여 측정 온도 25°C, 측정 거리 1 mm로 설정 후, measuring plate pp25로 수행. 실험에 앞서 변형력과 변형률 사이의 선형 점탄성 구간을 결정하기 위해 6.28 rad/s에서 strain sweep을 수행하였으며, 여기서 1%의 strain이 결정.
 - 동적 점탄 특성 실험은 0.01~16 Hz의 범위 내에서 frequency sweep에 의해 수행되었으며, 저장탄성률 (storage modulus, G'), 손실탄성률 (loss modulus, G''), 복소 점도 (complex viscosity, η*) 및 손실계수 tanδ (loss factor, G''/G')를 측정. 동적 점탄 특성 측정 데이터는 Anton Paar RheoCompass 1.22에 의해 각각 계산됨.

(2) 듀얼노즐 마이크로디스펜싱에 의한 식품제조 공정 연구 결과

(가) Particle shape analysis

- 카트리지 소재화 및 듀얼노즐 마이크로디스펜싱에 의한 스낵형 식품 제작 공정 연구에 진행하기 전, 선정된 소재의 이화학적 분석을 진행하였으며, particle shape 분석 결과는 Fig. 14-17와 같음.
- 멍쌀가루 (RP)의 입자는 모양과 크기가 균일하지 않고 표면이 다소 거칠었으며 (Fig. 14), 감자전분 (PS)은 대체적으로 크기가 규칙적이고 매끄러운 표면으로 원형이나 타원형의 형상으로 나타남.(Fig. 15). Nanocrystals cellulose (CNC)는 입자의 크기가 작게 나타났으며, 구형으로 굴곡이 있는 형태로 관찰됨.(Fig. 16) Sodium alginate (AS)는 다른 소재에 비해 입자의 모양과 크기가 균일하지 않은 형태로 관찰됨.(Fig. 17).

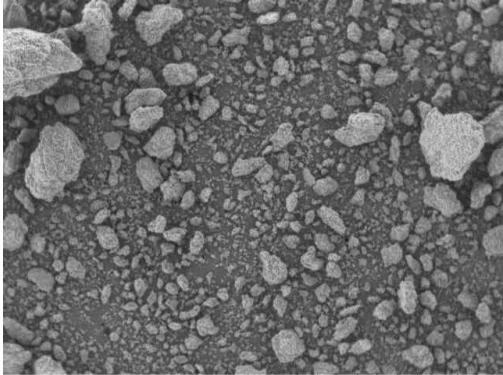
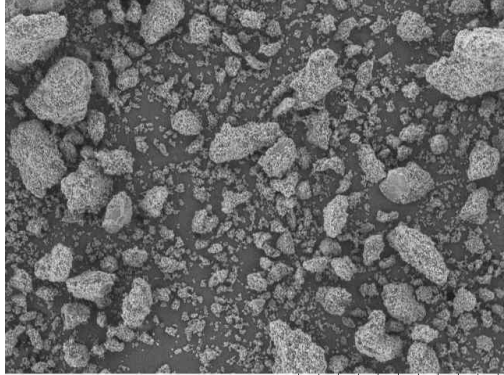
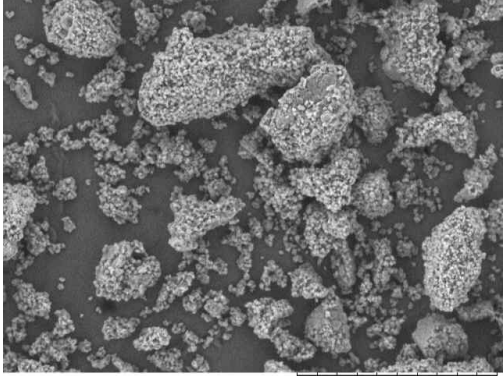
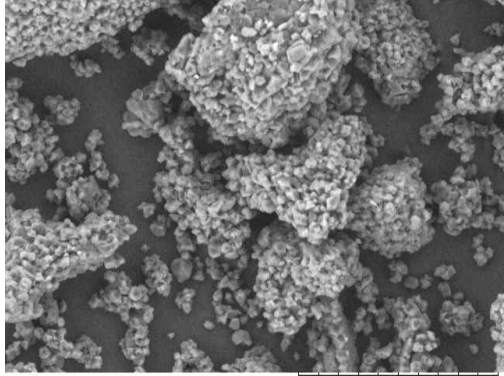
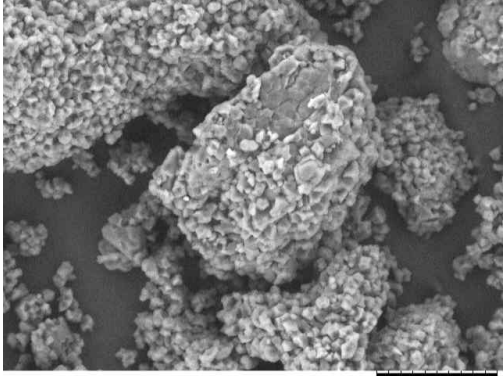
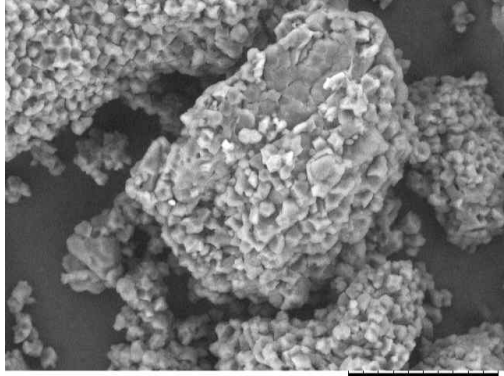
Sample	Particle shape	
RP	 <p data-bbox="331 667 836 696">TM3030Plus 2019/09/17 10:41 NL M x100 1 mm</p>	 <p data-bbox="885 667 1390 696">TM3030Plus 2019/09/17 10:43 NL M x200 500 μm</p>
	x100	x200
	 <p data-bbox="331 1234 836 1263">TM3030Plus 2019/09/17 10:44 NL M x500 200 μm</p>	 <p data-bbox="885 1234 1390 1263">TM3030Plus 2019/09/17 10:46 NL M x1.0k 100 μm</p>
	x500	x1,000
	 <p data-bbox="331 1800 836 1830">TM3030Plus 2019/09/17 10:47 NL M x1.2k 50 μm</p>	 <p data-bbox="885 1800 1390 1830">TM3030Plus 2019/09/17 10:48 NL M x1.5k 50 μm</p>
	x1,200	x1,500

Fig. 14. Scanning electron microscope image of rice powder (RP).

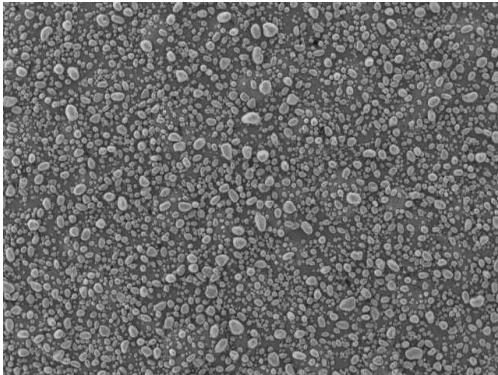
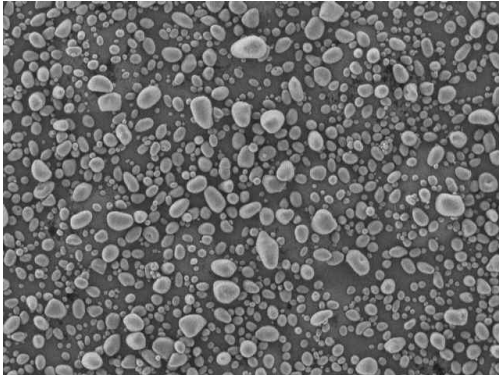
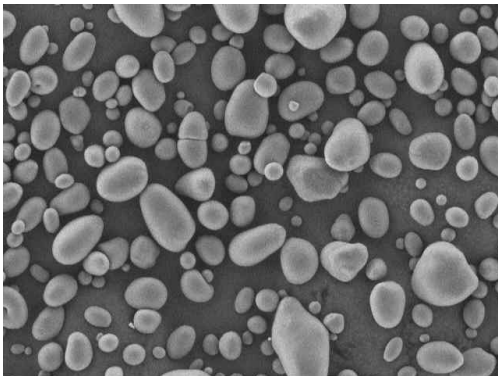
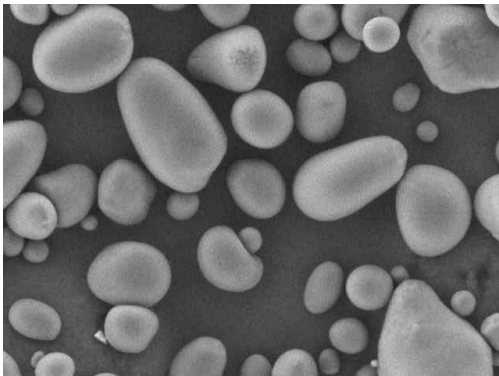
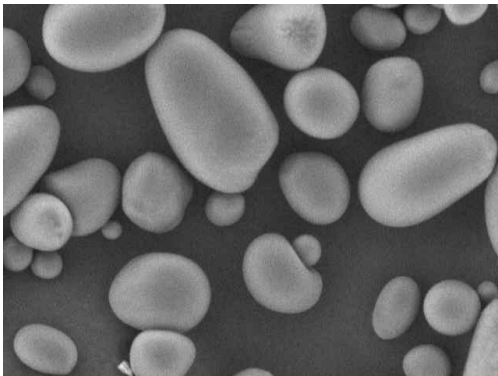
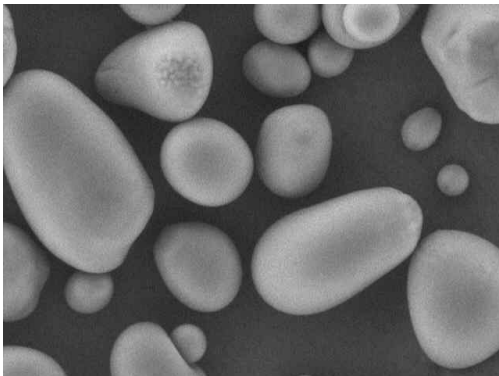
Sample	Particle shape	
PS	 <p data-bbox="359 667 858 689">TM3030Plus 2019/09/17 15:19 NL M x100 1 mm</p>	 <p data-bbox="898 667 1398 689">TM3030Plus 2019/09/17 15:20 NL M x200 500 μm</p>
	x100	x200
	 <p data-bbox="359 1214 858 1236">TM3030Plus 2019/09/17 15:22 NL M x500 200 μm</p>	 <p data-bbox="898 1214 1398 1236">TM3030Plus 2019/09/17 15:25 NL M x1.0k 100 μm</p>
	x500	x1,000
	 <p data-bbox="359 1762 858 1785">TM3030Plus 2019/09/17 15:26 NL M x1.2k 50 μm</p>	 <p data-bbox="898 1762 1398 1785">TM3030Plus 2019/09/17 15:28 NL M x1.5k 50 μm</p>
	x1,200	x1,500

Fig. 15. Scanning electron microscope image of potato starch (PS).

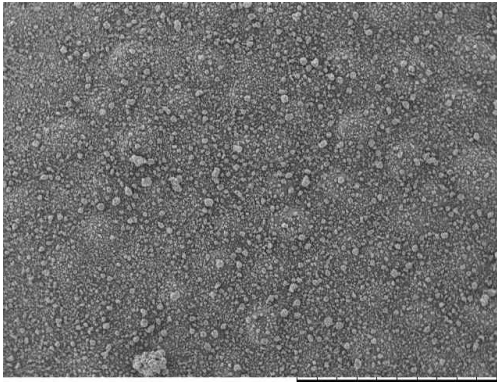
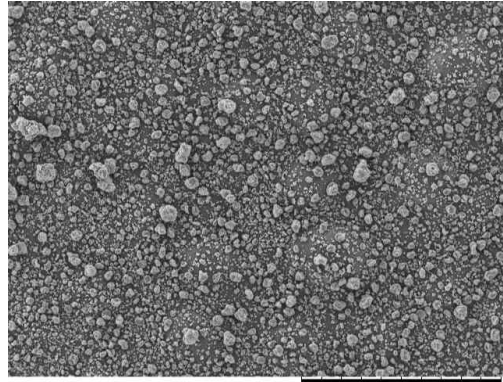
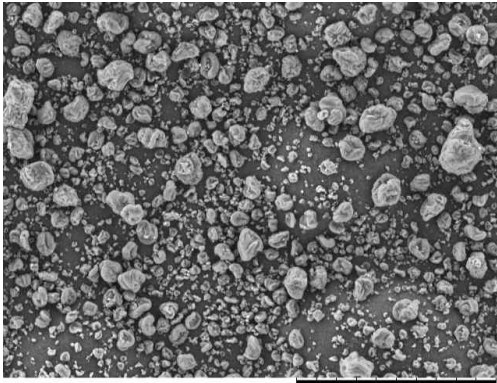
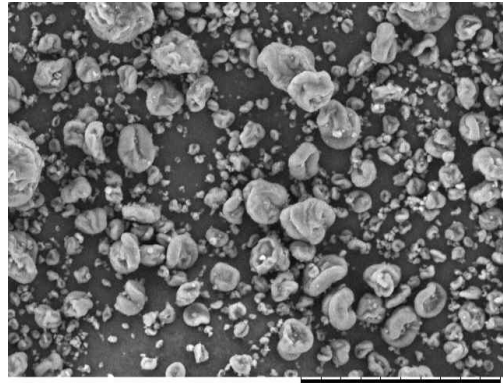
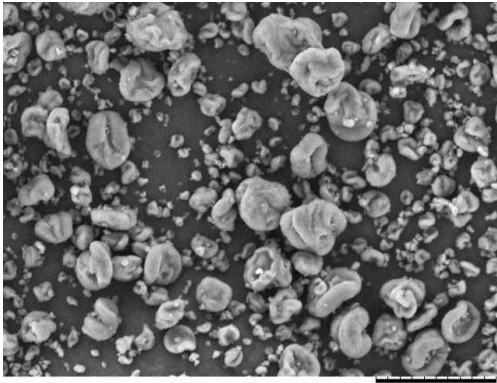
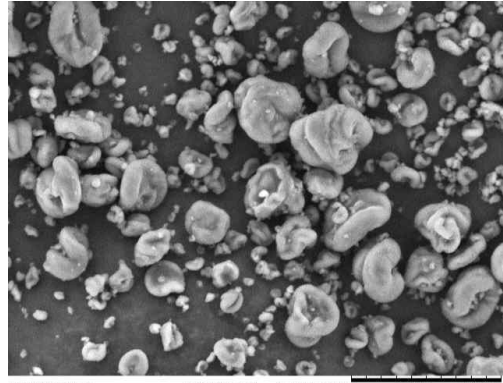
Sample	Particle shape	
CNC	 <p data-bbox="359 667 858 689">TM3030Plus 2019/11/26 14:47 NMM x100 1 mm</p>	 <p data-bbox="901 667 1406 689">TM3030Plus 2019/11/26 14:48 NMM x200 500 μm</p>
	x100	x200
	 <p data-bbox="359 1218 858 1240">TM3030Plus 2019/11/26 14:50 NMM x500 200 μm</p>	 <p data-bbox="901 1218 1406 1240">TM3030Plus 2019/11/26 14:53 NMM x1.0k 100 μm</p>
	x500	x1,000
	 <p data-bbox="359 1769 858 1792">TM3030Plus 2019/11/26 14:53 NMM x1.2k 50 μm</p>	 <p data-bbox="901 1769 1406 1792">TM3030Plus 2019/11/26 14:54 NMM x1.5k 50 μm</p>
	x1,200	x1,500

Fig. 16. Scanning electron microscope image of nanocrystals cellulose (CNC).

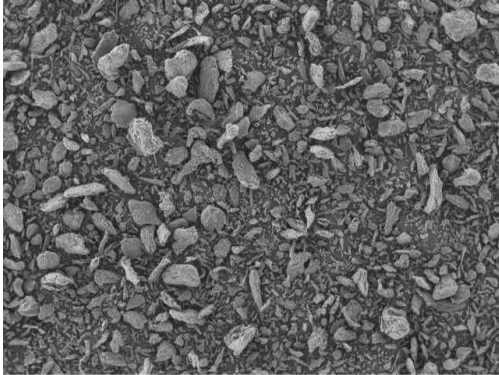
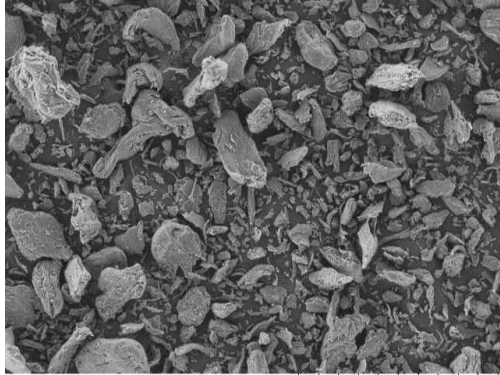
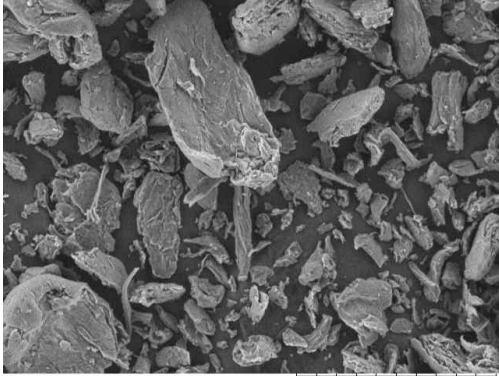
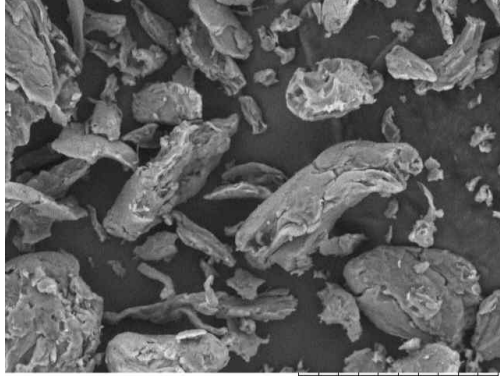
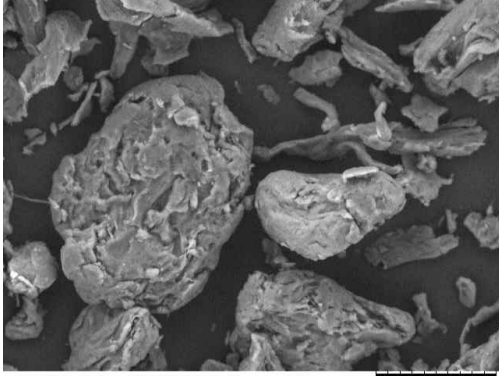
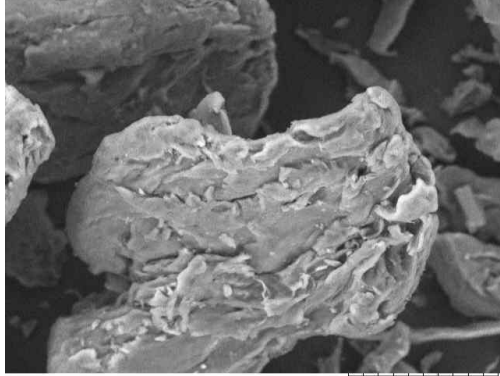
Sample	Particle shape	
AS	 <p data-bbox="359 667 860 696">TM3030Plus 2019/11/26 15:02 NMM x100 1 mm</p>	 <p data-bbox="904 667 1406 696">TM3030Plus 2019/11/26 15:02 NMM x200 500 μm</p>
	x100	x200
	 <p data-bbox="359 1234 860 1263">TM3030Plus 2019/11/26 15:03 NMM x500 200 μm</p>	 <p data-bbox="904 1234 1406 1263">TM3030Plus 2019/11/26 15:05 NMM x1.0k 100 μm</p>
	x500	x1,000
	 <p data-bbox="359 1800 860 1830">TM3030Plus 2019/11/26 15:05 NMM x1.2k 50 μm</p>	 <p data-bbox="904 1800 1406 1830">TM3030Plus 2019/11/26 15:07 NMM x1.5k 50 μm</p>
	x1,200	x1,500

Fig. 17. Scanning electron microscope image of sodium alginate (AS).

(나) Particle size analysis

- 멧쌀가루 (RP), 감자전분 (PS), nanocrystals cellulose (CNC) 및 sodium alginate (AS)의 입도 크기는 레이저 회절식 입도 분포 측정 장치를 이용하여 분석하였으며 분석 결과 (Table 8), RP의 경우, 시료 부피의 10%에 해당하는 크기 (D10)는 $20.950 \pm 0.793 \mu\text{m}$, 50%에 해당하는 크기 (D50)는 $54.823 \pm 0.730 \mu\text{m}$, 90%에 해당하는 크기 (D90)는 $104.658 \pm 3.665 \mu\text{m}$, 평균 크기 (Mean)는 $50.374 \pm 0.380 \mu\text{m}$ 으로 나타남.
- PS의 경우, D10, D50, D90 및 mean은 각각 $21.777 \pm 0.107 \mu\text{m}$, $40.351 \pm 0.556 \mu\text{m}$, $69.633 \pm 1.233 \mu\text{m}$ 및 $39.638 \pm 0.536 \mu\text{m}$ 로 나타났고, CNC의 경우, D10, D50, D90 및 mean은 각각 $5.294 \pm 0.098 \mu\text{m}$, $18.202 \pm 0.343 \mu\text{m}$, $44.712 \pm 3.553 \mu\text{m}$ 및 $16.373 \pm 0.569 \mu\text{m}$ 로 나타남. AS의 경우, D10, D50, D90 및 mean은 각각 $33.335 \pm 2.568 \mu\text{m}$, $94.194 \pm 8.617 \mu\text{m}$, $250.622 \pm 59.942 \mu\text{m}$ 및 $91.933 \pm 10.685 \mu\text{m}$ 로 나타남.

Table 8. Particle size of RP, PS, CNC and AS

Sample*	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)	Mean(μm)
RP	20.950 ± 0.793	54.823 ± 0.730	104.658 ± 3.665	50.374 ± 0.380
PS	21.777 ± 0.107	40.351 ± 0.556	69.633 ± 1.233	39.638 ± 0.536
CNC	5.294 ± 0.098	18.202 ± 0.343	44.712 ± 3.553	16.373 ± 0.569
AS	33.335 ± 2.568	94.194 ± 8.617	250.622 ± 59.942	91.933 ± 10.685

* Mean \pm standard deviation for triplicate measurements (n=3).

(다) Rheology analysis

- 멧쌀가루와 감자전분 혼합물 (RPM)의 레올로지 특성 분석
 - 호화시킨 전분의 혼합물은 생고분자 물질의 아밀로오스에 분산되어 팽창하는 아밀로펙틴으로 구성된 복합물질로 간주되므로 레올로지 특징들은 연속상과 분산상, 그리고 이들 두 상 간의 상호작용에 의해 점탄 특성이 결정됨.
 - 혼합물의 Angular frequency에 따른 동적 점탄 특성의 측정 결과는 Fig. 18, 19와 같음. Angular frequency가 증가함에 따라 탄성적 성질을 나타내는 저장탄성률 (storage modulus, G')과 점성적 성질을 나타내는 손실탄성률 (loss modulus, G'')이 증가하였으며, G' 와 G'' 의 경우 감자 전분의 비율이 증가할수록 탄성과 점성 모두 증가하는 경향을 보였으나, 쌀가루와 감자전분을 5:5로 호화시킨 혼합물에서 감소하는 결과를 보임.
 - 이는 쌀가루의 입자와 아밀로오스 사슬 간의 상호결합이 작용하면서 감자전분의 입자 강도가 상승했기 때문으로 판단되며, Shear strain에 따른 혼합물의 레올로지 특성은 Fig. 20, 21과 같음. Shear strain이 1% 이상인 경우, G' 은 10:0, 7:3, 5:5에서 점차 감소하였으며, 9:1에서는 급격히 감소하는 결과가 나타남. G'' 은 10:0, 7:3, 5:5에서 점차 증가하였으며, 9:1에서는 급격히 증가하는 결과가 나타남. Shear strain이 1% 이상일 때, 탄성적 성질은 감소하고 점성적 성질은 증가하는 하는 것을 확인

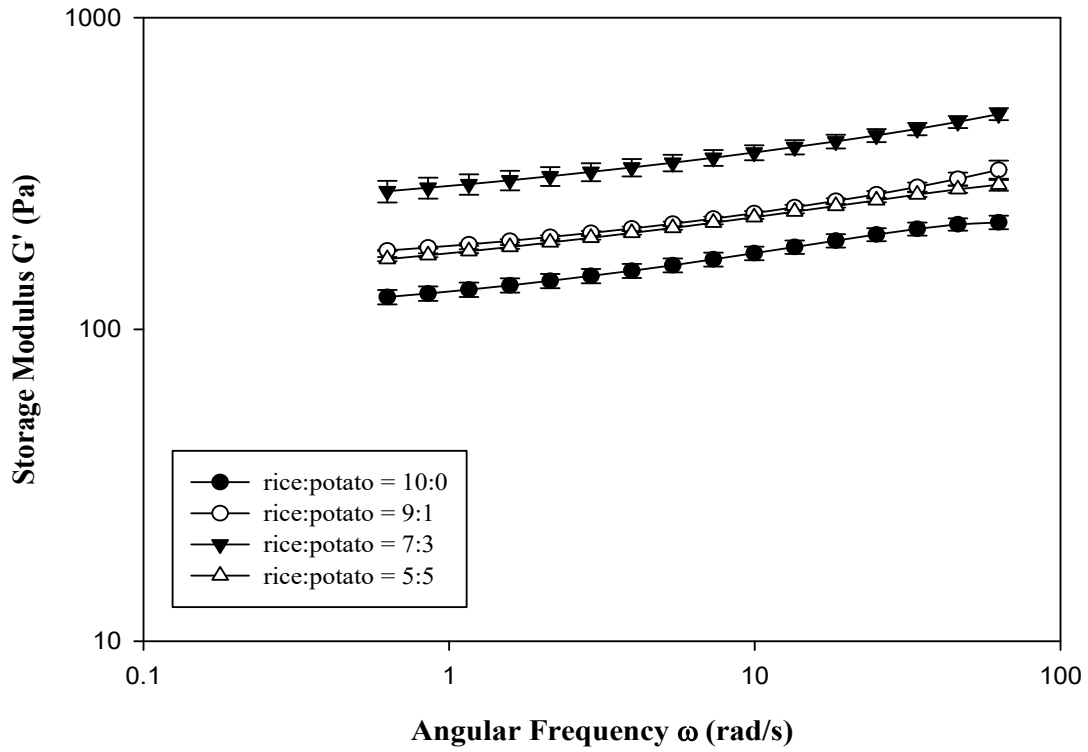


Fig. 18. Storage Modulus G' according to angular frequency.

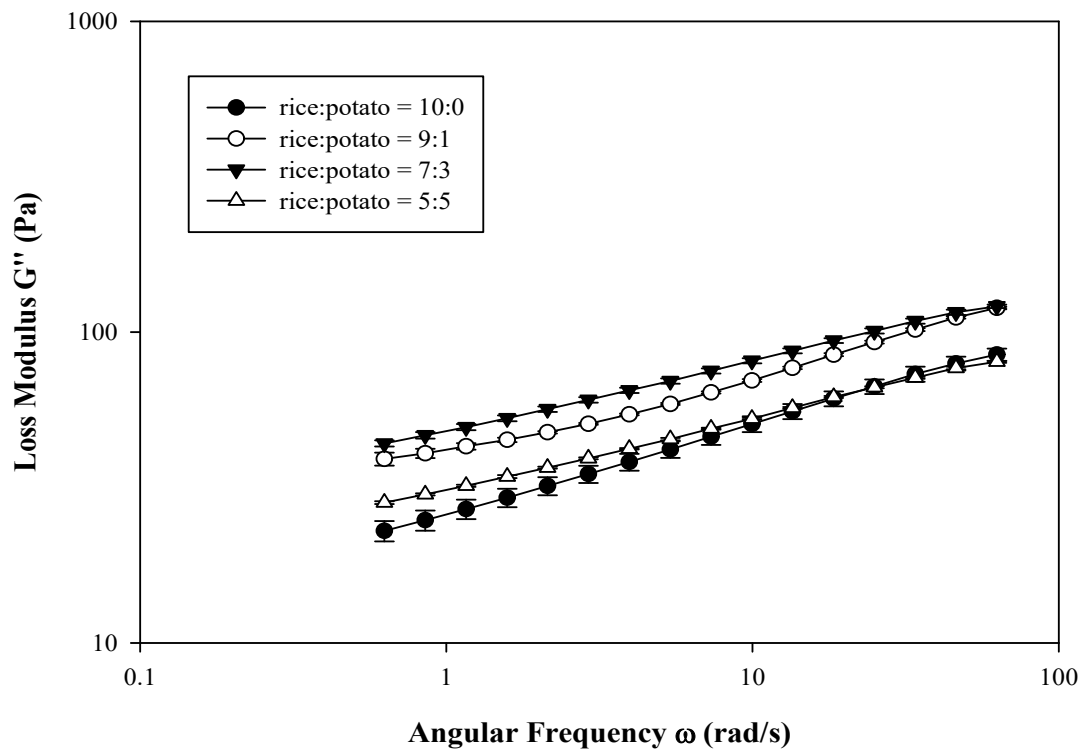


Fig. 19. Loss modulus G'' according to angular frequency.

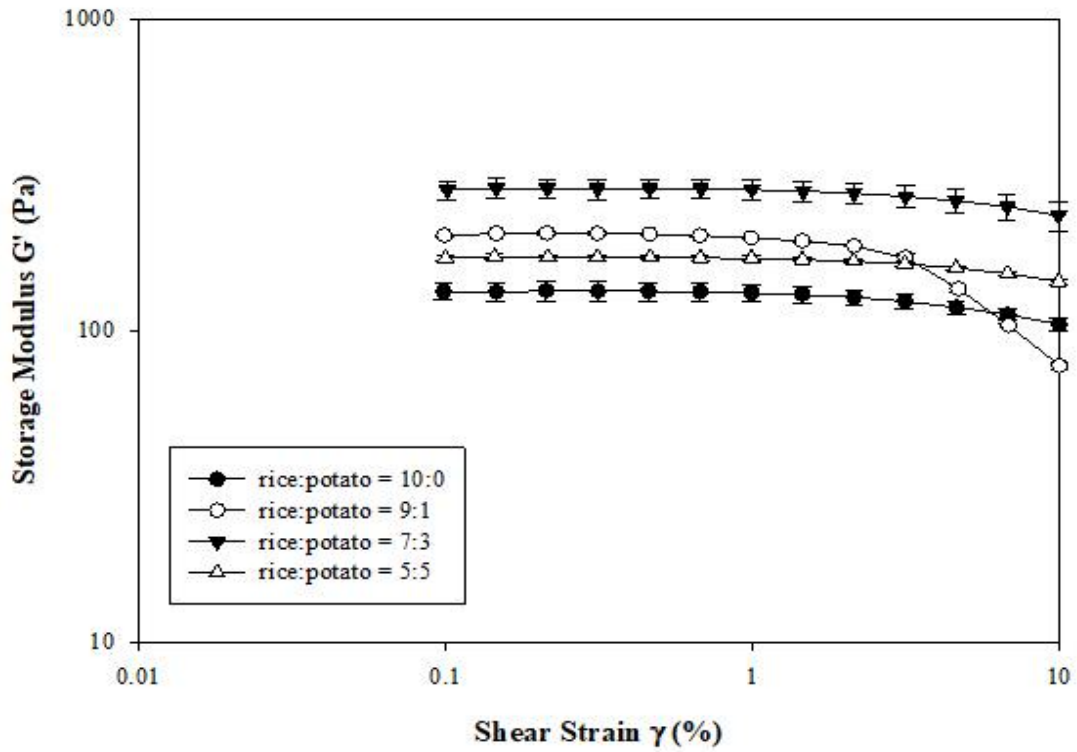


Fig. 20. Storage Modulus G' according to shear strain.

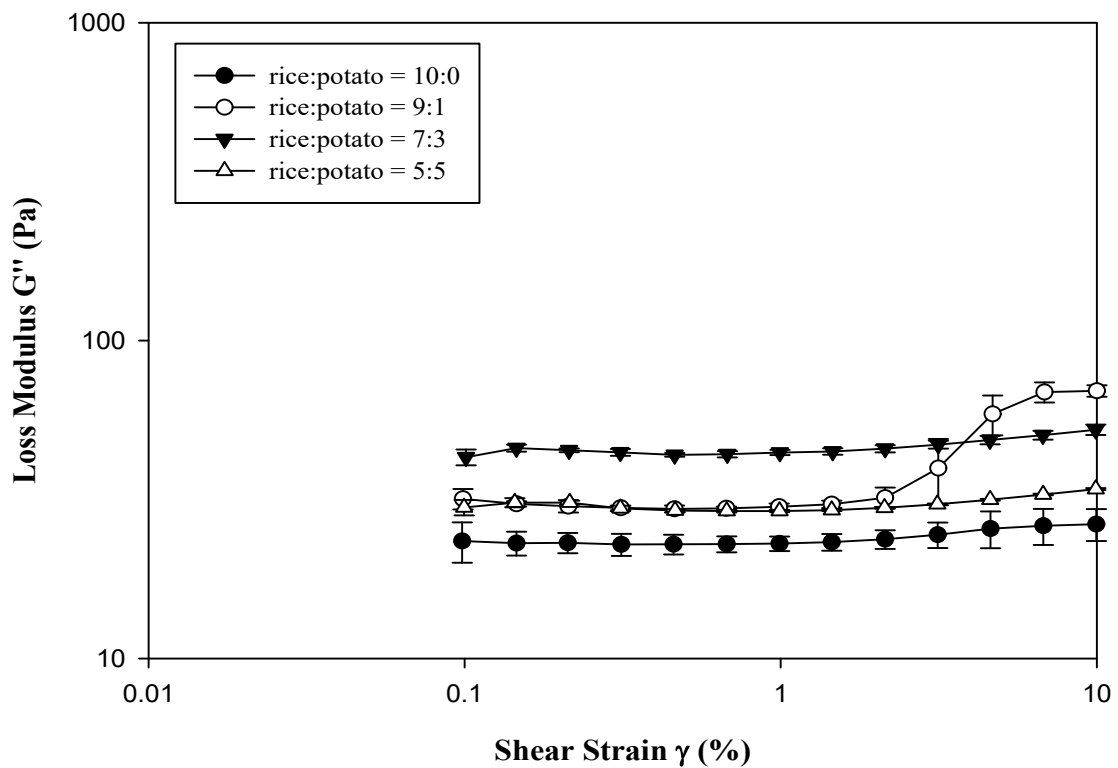


Fig. 21. Loss modulus G'' according to shear strain.

- Nanocrystals cellulose, sodium alginate 및 감자 전분 혼합물 (CAP)의 레올로지 특성 분석
 - 11% Nanocrystals cellulose (CNC)와 2.5% Sodium alginate (AS)의 혼합물에 감자 저항 전분 (potato resistant starch, PRS) 함량을 다르게 첨가하였을 때, frequency sweep에 따른 저장 탄성률 (storage modulus, G'), 손실 탄성률 (loss modulus, G''), 복소 점도 (complex viscosity, η^*) 및 $\tan\delta$ (G''/G')를 측정된 결과는 Fig. 22-25이며, G' , G'' , η^* 및 $\tan\delta$ 모두 PS 함량이 증가함에 따라 불규칙적인 양상을 보임.
 - G' 수치가 G'' 수치보다 높은 수치로 나타나 점성적 성질 (액체적 성질)에 비해 탄성적 성질 (고체적 성질)이 강하게 나타나는 것을 확인하였으며, 복소점도는 frequency가 증가함에 따라 감소하고 있어 혼합물들이 shear-thinning 거동을 나타냄을 알 수 있음.
 - Table 9는 6.28 rad/s에서 혼합물의 G' , G'' , η^* 및 $\tan\delta$ 수치를 나타내고 있다. PS가 첨가되지 않은 혼합물과 비교하여 PS가 첨가된 혼합물에서 G'' 의 경우, PS의 함량이 높아질수록 유의적으로 증가하였으며, G' 와 복소점도의 경우, 1%와 10%는 PS가 첨가되지 않은 혼합물보다 값이 유의적으로 높았으며, 3%와 5%는 유의적인 차이를 보이지 않음. $\tan\delta$ 는 G' 에 대한 G'' 의 비율로, 시료의 점탄성을 평가하는 측정치로 사용되며, 1보다 작으면 탄성적 거동이 크고, 1을 초과하면 점성적 거동이 크다는 것을 의미. 모든 시료의 $\tan\delta$ 값은 0.070~0.107 ($\tan\delta < 1$)의 범위로, 점성적 성질보다 탄성적 성질이 우세하였으나, PS의 함량이 증가할수록 탄성적 성질이 다소 떨어짐을 알 수 있음.

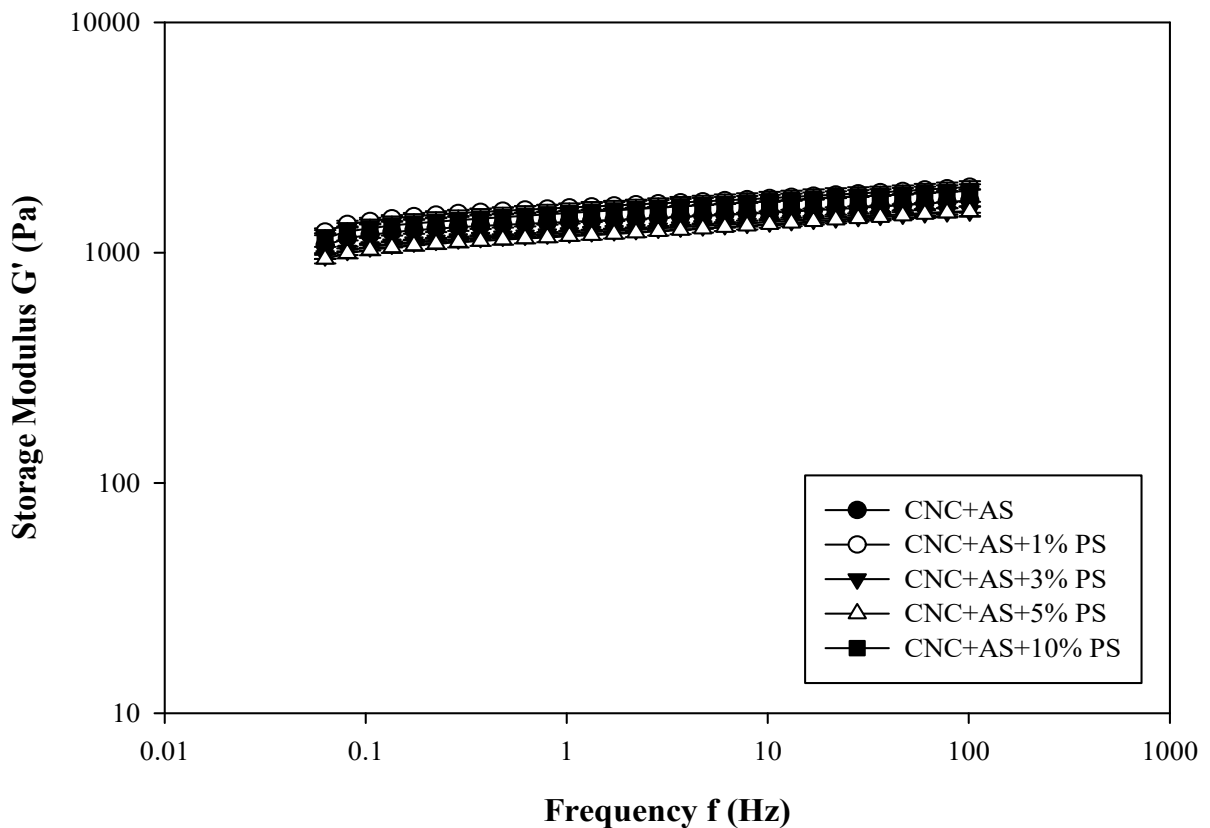


Fig. 22. Storage modulus G' versus frequency profiles of CNC and AS with addition of different proportions of PS.

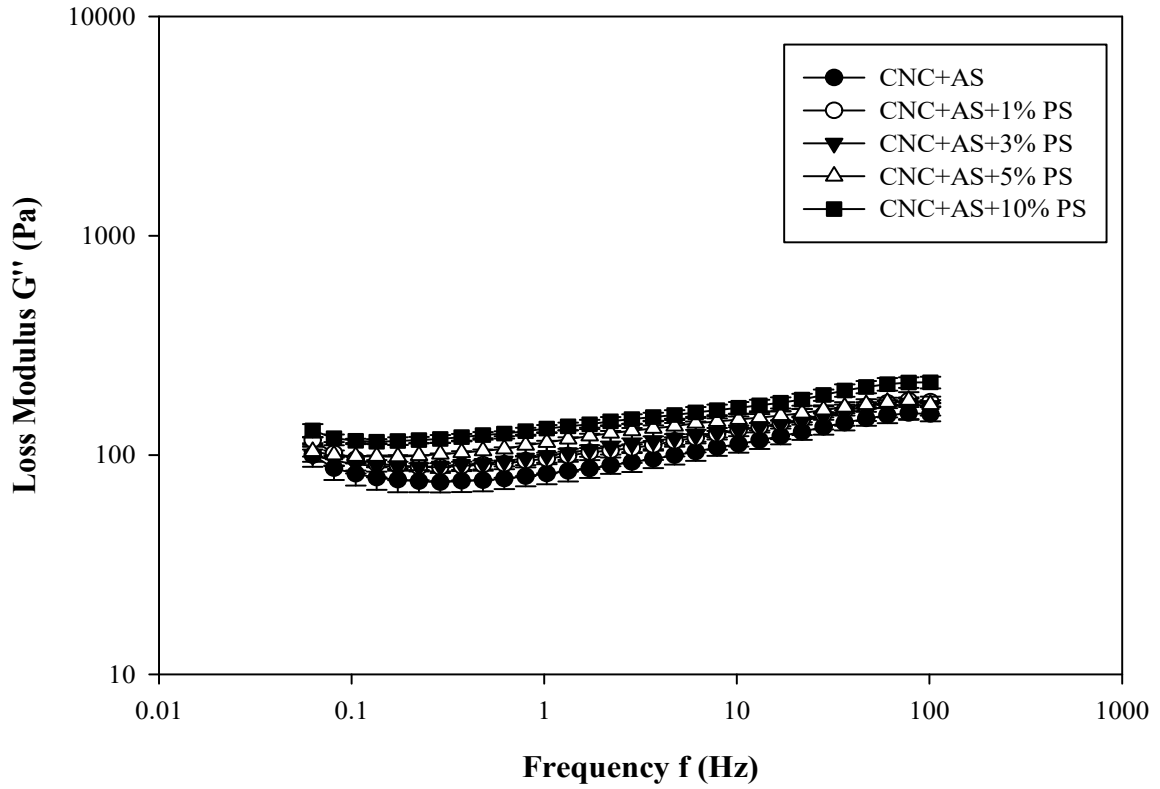


Fig. 23. Loss modulus G'' versus frequency profiles of CNC and AS with addition of different proportions of PS.

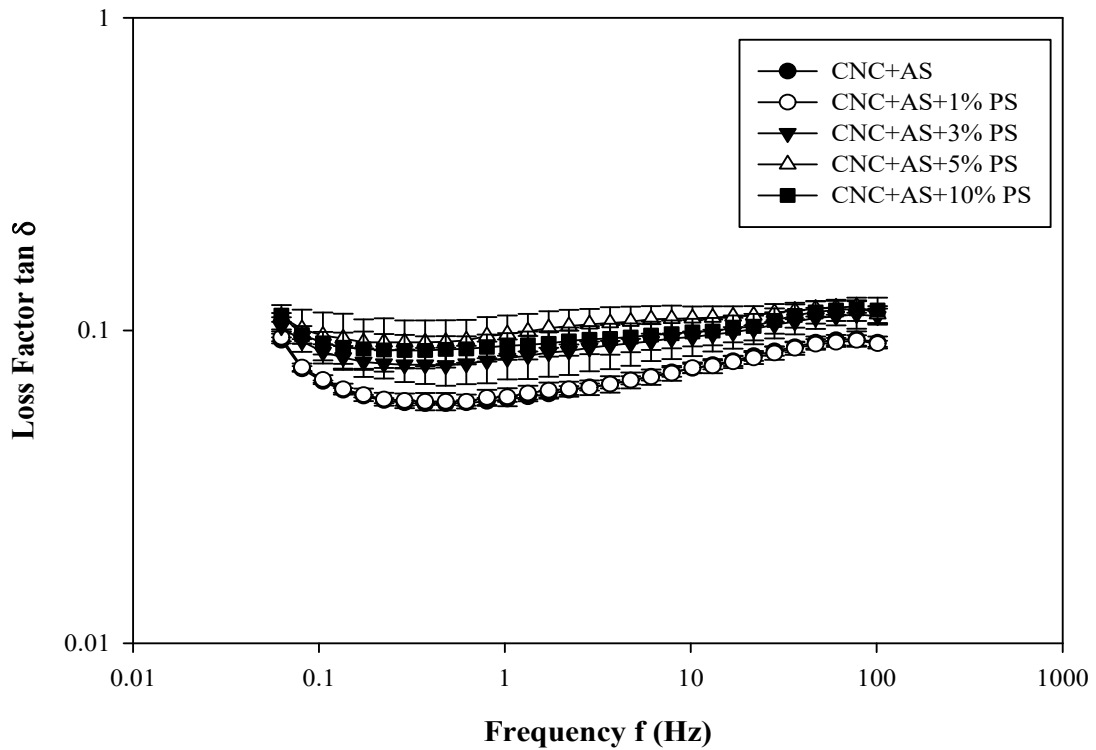


Fig. 24. Loss factor $\tan \delta$ versus frequency profiles of CNC and AS with addition of different proportions of PS.

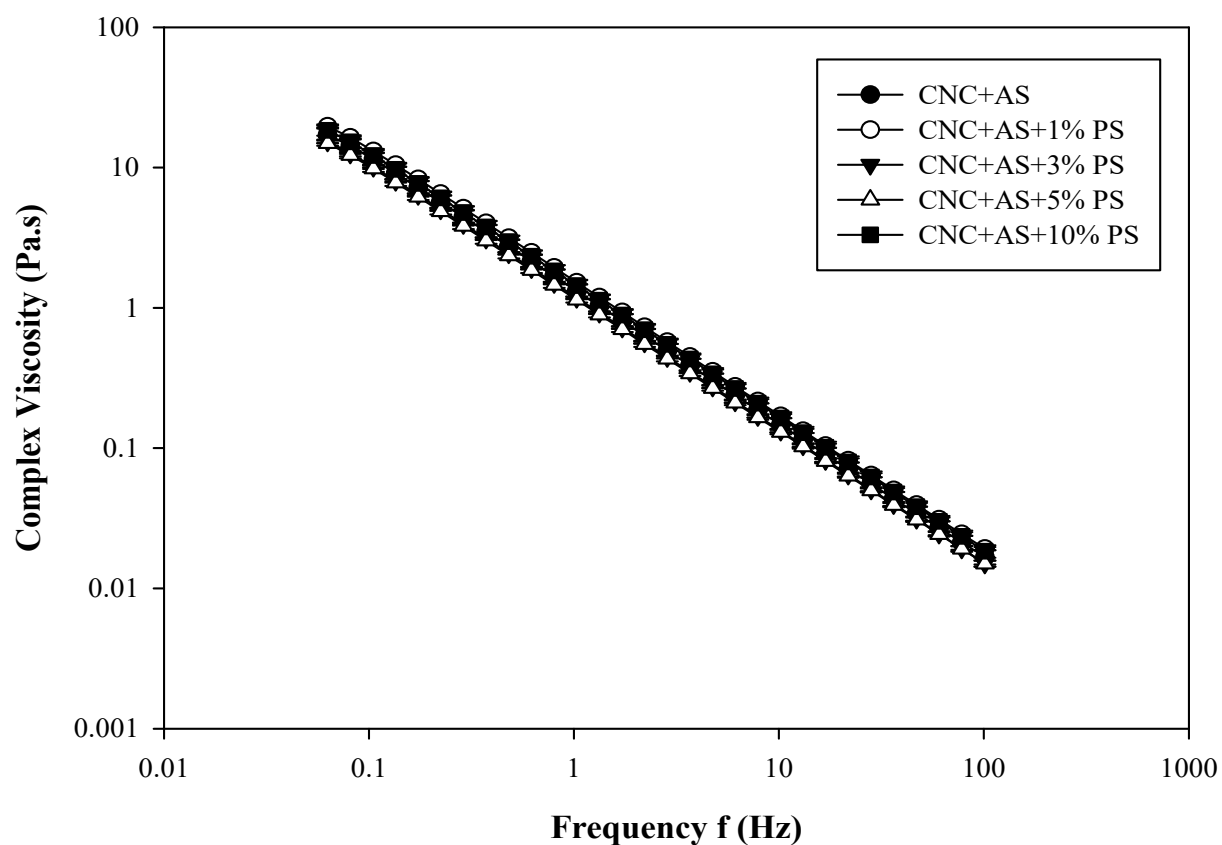


Fig. 25. Complex viscosity versus frequency profiles of CNC and AS with addition of different proportions of PS.

Table 9. Storage modulus (G'), loss modulus (G''), complex viscosity (η^*) and $\tan \delta$ at 6.28 rad/s for CNC and AS supplemented with different concentration of PS

Sample*	Storage modulus G' (Pa)	Loss modulus G'' (Pa)	Complex viscosity (η^*)	Tan δ
0% PS	1318.673±286.147 ^b	106.183±9.309 ^c	0.233±0.031 ^{ab}	0.070±0.000 ^b
1% PS	1693.160±56.672 ^a	122.923±4.481 ^{bc}	0.270±0.010 ^a	0.073±0.006 ^b
3% PS	1326.267±40.049 ^b	124.130±19.110 ^{bc}	0.210±0.010 ^b	0.093±0.012 ^a
5% PS	1296.590±52.956 ^b	137.540±9.198 ^b	0.207±0.012 ^b	0.107±0.012 ^a
10% PS	1623.700±158.307 ^a	160.003±8.272 ^a	0.260±0.026 ^a	0.100±0.010 ^a

* Mean ± standard deviation for triplicate measurements (n=3).

* Values followed by the different lowercase letter within a column differ significantly ($p < 0.05$).

마. 마이크로디스펜싱에 적용 가능한 하이드로겔 형성 기작 및 구조 특성 연구(호서대학교)

(1) 마이크로디스펜싱에 의한 식품제조 공정 연구

- Hydrogel을 응용한 마이크로디스펜싱용 구조체를 개발하고, 구조에 따른 식품과의 물성적, 관능적 차이점과 활용방법을 연구하고자 했던 기존연구 계획에 앞서 마이크로디스펜싱에 활용할 수 있는 식품 하이드로겔 시스템을 개발하고자 함.
- 본 연구의 기존 계획은 이미 많은 부분 연구가 진행되었다고 판단되었으며 널리 알려진 3D프린팅 기술과 소재 연구들을 기반으로 마이크로디스펜싱으로 제작한 마이크로 스케일 하이드로겔 구조체를 제작하고 그 구조에 따른 물성적, 관능적 특성을 연구함으로써 새로운 식품 구조체와 상품 개발의 기반 기술을 연구하고자 함.
- 그러나 기존 연구결과들을 수집하고 연구 분석한 결과, 마이크로디스펜싱을 이용한 식품 구조체를 제작하기 위해서는 기존의 방법이나 식품소재로는 응용 및 구현이 어려우며, 현재 식품에 활용 가능한 기술이 없으며, 따라서 마이크로디스펜싱에 적합한 새로운 식품 소재 응용 시스템의 선행 연구 및 개발이 반드시 필요하다는 것을 알게됨.
- 그 이유는 디스펜싱을 통해 생산 가능한 식품의 경우, 기존의 방법으로 충분히 생산가능하고, 이를 마이크로 스케일로 가공했을 경우, 수분함량이 높고 물성이 빠르게 변하지 않는 식품의 특성상 퍼지는 현상으로 인해 마이크로 스케일의 식품 구현이 불가능하기 때문.
- 또한 기존의 소재와 식품생산 방식을 마이크로디스펜싱에 응용할 경우, 활용 가능한 소재가 극히 제한적이며, 다른 식품 소재들이나 제품들과의 혼합 응용활용이 불가능.
- 이에 마이크로 스케일 까지 구현되지 않더라도 세밀한 식품 구조 제작 생산을 가능케할 수 있는 식품으로 활용 가능한 구조체 형성 시스템의 개발이 식품 3D 프린팅을 비롯한 식품가공 기술연구의 핵심으로 세계적으로 인식되고 있으며, 아직 성공적인 연구결과 또한 알려진 바가 없음.
- 따라서, 본 연구에서는 기존의 마이크로디스펜싱을 통해 생산 가능한 구조체의 구조에 따른 물성 및 관능특성연구보다는 마이크로디스펜싱을 통한 식품 생산을 가능케 할 수 있는 식품 소재 시스템을 연구하는 것이 본 연구 목적에 더 부합하다 판단되어 이에 대한 연구를 진행.

(가) 마이크로디스펜싱을 통한 식품 구조체 형성을 위한 열반응 형성 하이드로겔 시스템 연구

- 현재까지 알려진 3D printing을 비롯한 대부분의 구조체 성형을 위한 선행연구에서는 온도에 따른 물성 변화를 응용한 heat-extrusion을 통한 구조체 형성 유도를 기반으로 하고 있으나 스낵 등의 탄수화물 기반 식품의 경우, 구조체 성형 이후 post-processing으로 추가적인 높은 온도의 열 조작이 가해지므로 구조가 변환 발생이 일반적이므로 식품류 성형에는 적합하지 않다. 따라서 열조작에 의해서 구조가 변하지 않도록 토출 후 비가역적으로 구조체를 형성하여 높은 열에서도 견딜 수 있는 물질을 사용한 구조 성형방법을 연구 개발 필요

- 따라서 본 과제에서는 열에 의해 안정성의 변화가 발생하는 소재를 이용한 emulsion system과 고분자 물질을 혼합하고, 열에 의해 불안정해진 emulsion으로부터 방출된 응집 유도 소재가 고분자물질에 노출됨으로 인해 비가역적 성형이 발생하는 구조 성형 system을 설계하고 그 효율성을 연구하고자 함.

① Ca-alginate hydrogel

- 갈조류에서 추출되는 alginate는 식품소재로 사용이 가능하며 Ca^{2+} , Mg^{2+} 등의 2가 양이온과 당 잔기 내의 COO^- ion-mediated 결합으로 hydrogel을 형성함 생성된 hydrogel은 산에 의한 ion의 탈락으로 붕괴될 수 있으나 열에는 안정함.

② Alginate hydrogel을 사용한 구조적층

- Alginate hydrogel를 응용하여 식품 구조체를 생성하는 선행연구들이 존재하나 이는 대부분 bio 분야의 세포배양에 집중되어 있음. 2가 ion과 alginate 잔기의 결합은 즉각적인 반응이고, 이미 겔이 형성된 구조체들 간에는 점착력이 존재하지 않기 때문에 단순히 gel을 dispensing하는 방법으로는 불가능, 따라서 extrusion 방식으로 3D 구조체를 만들기 위해서는 Ca^{2+} ion을 특정한 조건에 맞추어 방출시키는 조작이 필요함.

③ Gelatin을 사용한 thermo-responsive Ca^{2+} ion 방출 조절

- Gelatin은 Type A 와 B 로 나뉘는데 이는 Gelatin을 얻어내는 공정에 따라 구분. (A는 산 가수분해, B는 염기 가수분해) Gelatin은 온도에 따라 가역적인 gel 구조를 형성하며, $35^{\circ}C$ 에서 녹고 $4^{\circ}C$ 에서 가장 구조가 강한 겔을 형성함. 식품, 제약 분야에서 다양하게 이용됨

④ Butterfat을 사용한 thermo-responsive Ca^{2+} ion 방출 조절

- 버터에서 수분을 제거한 지질을 지칭하는 것으로 $35^{\circ}C$ 이하의 농도부터 녹기 시작하며 자체적으로 수용성 물질을 포함하여 W/O 에멀전 형성하고, 낮은 온도에서 그 상을 유지하려는 경향이 강하기 때문에 본 연구목적에 적합한 소재일 것으로 판단함.

◦ 실험 방법(Materials and methods)

- 실험에 사용된 구조적층 소재 중 Gelatin type B는 Sigma Aldrich(St. Louis, Missouri, US)에서 구매하여 사용하였으며 O/W emulsion 제조에 사용된 콩기름과 Butterfat particle 제조에 사용된 버터는 시중 소매점에서 판매되는 것을 사용하였음. Encapsulation 과정에서 사용한 심물질인 $CaCl_2$, 유화제인 Tween 20, Span 20, 분산상으로 사용된 Sodium alginate와 glycerin은 모두 대정화학에서(Siheung-city, Gyeonggi-do, Korea)구매하여 사용하였음. Ca^{2+} ion의 방출을 측정하는 Arsenazo iii 시약은 Sigma Aldrich(St. Louis, Missouri, US)에서 구매하여 사용하였음.

① 비가역적방법을 사용한 구조적층 소재

- 염화칼슘($CaCl_2$)을 포함하는 젤라틴 큐브
 - $40^{\circ}C$ 로 가열한 0.5M $CaCl_2$ solution과 Type B Gelatin를 혼합하여 40% Gelatin 용액을 교반하여 제조한 뒤, 정사각형 얼음 틀에 분주 한 후 $18^{\circ}C$ 냉장고에서 1일간 굳힘.

- 제조된 Gelatin cube(육면체 2.2cm X 2.2cm X 3.6cm)은 1% alginate 용액 50g에 첨가해 65°C로 가열하면서 변화를 관찰하였음.
- 소수성 물질을 사용한 Ca²⁺방출의 조절
 - 콩기름 60mL에 농도(0.1M, 0.2M, 1M)의 CaCl₂ solution 3 mL, 6 mL(각각 콩기름의 5%, 10%)을 각각 첨가한 뒤 span20을 2.4g, 3.6g (CaCl₂solution의 20, 30%)을 첨가한 후, Homogenizer(HG-15D, Daihan, Korea)를 사용하여 8,000과 10,000 RPM 순서대로 각각 1 분간 Pre-emulsification 처리하였음.
 - 그 후 Ultra-sonicator(VC750, vibra-cell, newtown, CT, USA)를 사용하여 10 분간 Sonication 하였으며 Sonication 조건은 750 W, 20 KHz, 20% amplification, 20 mm Tip을 사용하여 pulse on 1 s, pulse off 1 s 조건으로 진행, sonication을 처리하는 동안 항온순환수조(CW3-05P, JeioTech, Billerica, MA, USA)를 사용하여 시료의 온도가 25°C 이하로 유지되도록 하였음.
 - 위와 같은 방법으로 제조한 emulsion 2mL, 10 mL (각각 총 용액의 6.25% 와 25%)을 40°C로 가열된 40% Gelatin B 용액에 넣고 교반한 뒤 정사각형 얼음 틀에 분주한 후 18°C 냉장고에서 굳힘. 제조된 Gelatin gel 큐브(육면체 형태 2.2cm X 2.2cm X 3.6cm)은 1% alginate 용액 50g에 첨가해 65°C로 가열하여 가열에 의한 Ca-alginate hydrogel 형성 여부를 관찰함.
- Butterfat
 - 60°C로 가열하여 녹인 butterfat 20g에 CaCl₂ solution을 각각의 농도와 부피별 (0.5, 2M CaCl₂ solution 1, 2, 3, 6mL)로 넣어 Ultra-sonicator(VC750, vibra-cell, newtown, CT, USA)를 사용하여 10 분간 Sonication 하였다. Sonication 조건은 750 W, 20 KHz, 30% amplification, 20 mm Tip을 사용하여 pulse on 1 s, pulse off 1 s 조건으로 진행하였고, sonication 시간동안 항온순환수조(CW3-05P, JeioTech, Billerica, MA, USA)를 사용하여 시료의 온도가 45°C로 유지되도록 함.
 - 이와 같은 방법으로 Sonication 처리된 butterfat은 18°C의 금속판에 흘러주어 굳게 만든 뒤 18°C에서 20분간 정치시켜 샘플을 완성하였음.

② Ca²⁺방출의 조절

- Thermal effects on CaCl₂ release
 - 열에 의한 butterfat particle 에서의 Ca²⁺ion방출
모든 조건에서 butterfat particles 내부의 Ca²⁺ion의 방출을 가열 전, 후로 나누어 확인하였음. 2g의 시료를 20 ml의 증류수에 넣고 25 °C에서 10분간 교반하여 Ca²⁺방출량을 정량하였으며 그 후 진탕항온수조(BS-21, JeioTech, Billerica, MA, USA)에서 70°C, 150RPM 조건으로 30분간 가열하여 Ca²⁺방출을 유도하였으며 18000xg에서 5분간 원심분리기(Supre22K, Hanil Scientific, Gimpo, Korea)를 사용하여 원심분리한 후 직경 0.45 μ syringe 필터를 사용하여 0.2mM Arsenazo iii 시약과 반응하여 분광광도계(Multiskan @GO, Thermo Fisher Scientific, Oulu, Finland)를 사용하여 650nm에서 흡광도를 측정하여 검량선에 대입시켜 Ca²⁺ion을 정량하였음.

· 열에 의한 butterfat particle 에서의 Ca²⁺ion 방출 속도

제조된 Butterfat 시료 1.25g을 distilled water(D.W) 10mL에 첨가한 후, 60°C, 150rpm 으로 설정된 진탕항온수조(BS-21, JELO TECH, Deajeon, Korea)에서 가열하며 5, 10, 20, 30, 50분 간격으로 시료의 상등액을 채취. 시료를 넣은 순간을 0분으로 하여 3분 간격으로 50분 간 tube 내부의 온도변화를 기록. 채취한 상등액은 0.22um syringe filter(Millipore Millex-GV, Hydrophilic PVDF 0.22um)를 진행하였으며 필터한 상등액은 arsenazo iii를 사용하여 Ca²⁺ 의 방출량을 정량하기 위하여 HEPES buffer를 (pH 6.8) 사용하여 희석한 후 arsenazo iii 시약 990uL에 시료 10uL를 혼합한 뒤 200uL씩 96well plate에 분주하여 분광광도계(FI-01320, Thermo Fisher SCIENTIFIC, Vantaa, Finland)를 사용하여 650nm에서 흡광도를 측정 후 standard curve에 대입하여 각 시간 별로 방출된 Ca²⁺ ion의 양을 계산함.

- Ca²⁺ion방출 정량

- 가열조건에 의한 외부로의 Ca²⁺ion방출을 Ca²⁺ion에 정량적으로 반응하는 Arsenazo iii (2,2'-(1,8-Dihydroxy-3,6-disulfonaphthylene-2,7-bisazo)bisbenzenearsonicacid, 2,7-Bis(2-arsenophenylazo)chromotropic acid)시약으로 정량하여 분석.
- Arsenazo iii 시약은 약산성에서 반응하여 650nm에서 검출될 수 있는 생성물을 발생시킨다. 본 과제에서는 분광광도계(UV-2600, SHIMADZU, Kyoto, Kyoto Prefecture, Japan)를 사용하여 흡광도를 측정하여 [85 μ M to 10 mM] 농도조건에서 Standard curve(R²=9969)를 측정하여 실험에 사용

Calcium Standard Curve
[Arsenazo iii]

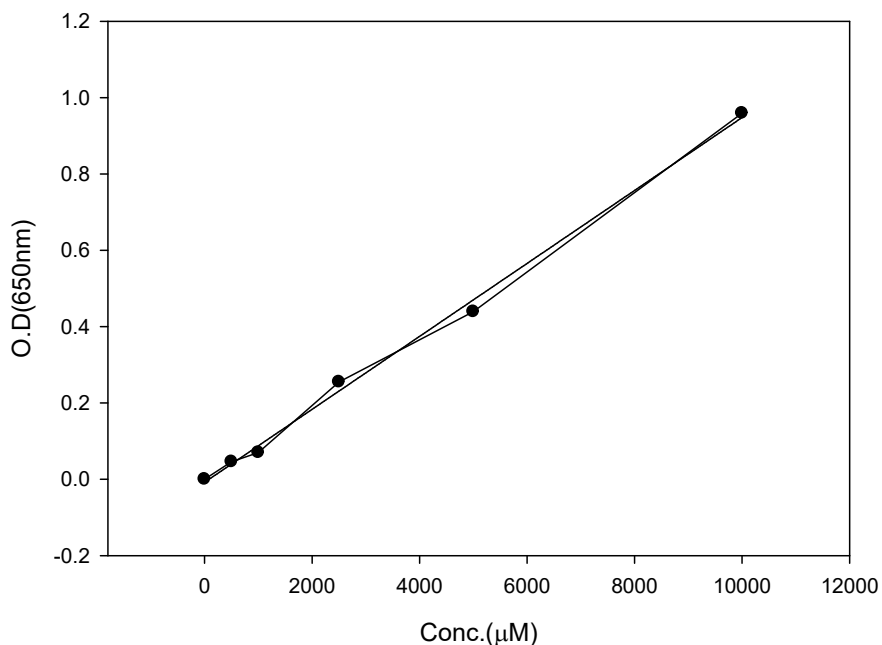


Figure 1. Calcium농도에 따른 Arsenazo iii 시약 검량선

◦ 실험 결과

1) 비가역적방법을사용한3D 구조적층 소재

① 염화칼슘(CaCl_2)을 포함하는 젤라틴 큐브

- 젤라틴은 수용성 폴리머로서 가열 후 냉각에 의해 단백질 잔기들이 서로 상호작용을 하며 겔을 형성하는 것으로 알려져 있다. 이번 실험에서는 Ca^{2+} ion을 특정한 폴리머에 포집하기 위하여 gelatin B용액을 사용하였으며 높은 온도에서 가열할 시에 gelatin cube가 녹으면서 Ca^{2+} ion을 방출하고 이로인하여 Ca-alginate hydrogel 구조체를 생성할 수 있을 것이라 예상하였다.
- 실험 결과, 65°C 로 가열한 Gelatin cube는 열에 의해 녹으며 Ca^{2+} ion의 방출로 alginate와 Ca-alginate hydrogel 구조체를 형성하여 구조체 내부에 Ca^{2+} ion을 성공적으로 포집하는 것을 볼 수 있었으나 열을 가하지 않은 대조군에서도 Ca^{2+} ion의 방출이 일어나는 것으로 확인되었다.
- 만들어진 Gelatin cube의 gelatin 구조체는 부분적으로 고체의 상을 이루고 있긴 하지만 구조체의 구성 밀도가 낮고 친수성을 나타내기 때문에 낮은 온도에서 방치되어 있어 녹지 않은 상태에서도 표면을 통해 Ca^{2+} ion이 이동하는 현상이 발생하고, 이로 인하여 alginate 용액과 상호작용하며 gelatin cube의 표면에서부터 Ca-alginate 생성되는 것으로 생각된다. 위 시스템을 3D 프린팅에 적용하기 위해서는 Ca^{2+} ion의 포집을 이용한 분산상 형성과 특정 조건에서 방출되는 특성이 모두 필요하기 때문에 Gelatin cube의 용해 시에만 Ca^{2+} ion이 방출되어 Ca-alginate hydrogel 구조체를 생성할 수 있도록 하는 조작이 필요하다고 판단된다.
- 이를 극복하기 위하여 위에서 제조한 Gelatin cube를 콩기름으로 코팅하여 동일한 실험을 진행하였으나 소수성 물질을 코팅하는 것으로는 기존의 문제를 해결할 수 없다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 polymer인 alginate가 코팅에 사용된 소수성물질에 대한 유화제로 작용하기 때문에 gelatin matrix와 alginate solution을 효율적으로 차단하지 못하는 것으로 생각된다. 그러나 이러한 작용이 일어나기 전에는 Ca^{2+} ion의 이동을 효과적으로 차단하는 것으로 관측되어 gelatin을 사용한 Ca^{2+} ion의 방출에 응용할 가능성이 충분하다고 판단된다.

② 소수성물질을 사용한 Ca^{2+} 방출의 조절

- 위 실험에서 나타난 단점을 보완하기 위하여 다른 공정에서 소수성 물질을 이용하여 gelatin cube를 제조하고, 낮은 온도에서의 Ca^{2+} ion방출을 차단하기 위한 실험을 진행하였다. 이번 실험에서는 CaCl_2 용액을 분산상으로, 콩기름을 분산매로 하는 oil in water(O/W) emulsion을 제조하고 이를 gelatin에 혼합하여 굳혀 Gelatin cube를 넣어 새로운 gelatin cube를 제조하였다. O/W emulsion은 CaCl_2 용액을 소수성물질인 콩기름으로 감싸 gelatin cube를 제조했을 시에도 Ca^{2+} ion방출이 발생되지 않도록 물리적으로 차단할 수 있다.

- 실험 결과 제조된 gelatin cube는 alginate 수용액에서 방치되는 동안 12시간이 경과 후에도 표면의 응고가 전혀 일어나지 않은 것을 확인할 수 있었다(Image 1). 이는 제조한 oil in water(O/W) emulsion이 Ca²⁺ion방출을 효과적으로 차단한 것으로 볼 수 있다. 가열 중 gelatin cube는 빠르게 녹아 붕괴되며 emulsion을 방출하는 것을 확인하였는데 Ca²⁺ion방출에 의한 Ca-alginate hydrogel의 형성은 즉각적으로 일어나지 않고 수 시간에 걸쳐 천천히 일어나는 것을 확인할 수 있었다(Image 1). 이러한 결과는 사용된 gelatin이 가열에 의해 녹아 붕괴되는 속도와 emulsion으로부터 Ca²⁺ion이 방출되어 나오는 속도에 큰 차이가 있기 때문으로 생각되며 emulsion의 높은 안정도로 인하여 가열 후에도 emulsion의 구조가 긴 시간 동안 유지되어 이러한 차이를 발생시킨 것으로 해석된다.

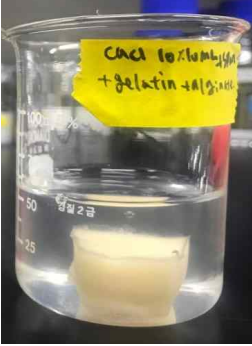
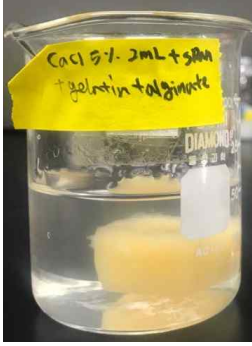
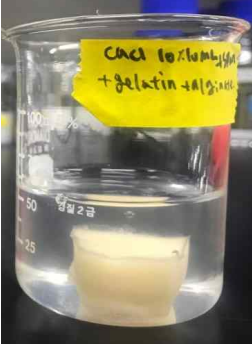
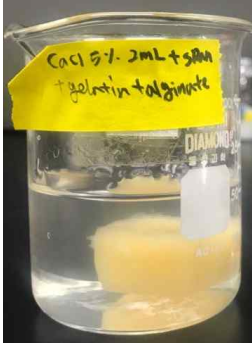
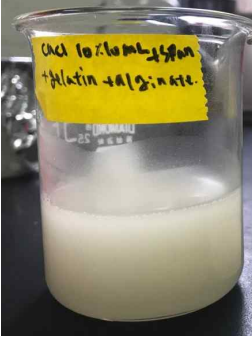
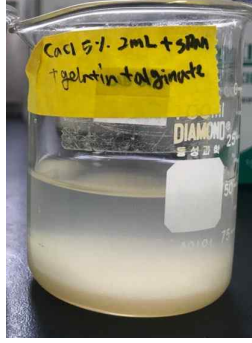
10% CaCl ₂ , emulsion 10 ml 1시간 후	10% CaCl ₂ , emulsion 2 ml 1시간 후
	
10% CaCl ₂ , emulsion 10 ml 12시간 후	10% CaCl ₂ , emulsion 2 ml 1시간 후
	
10% CaCl ₂ , emulsion 10ml 가열 후 교반	10% CaCl ₂ , emulsion 2 ml 가열 후
	

Image 1 CaCl₂ emulsion을 포함하는 Gelatin cube (100 mM CaCl₂)와 alginate 혼합액

- Gelatin cube에 대한 emulsion의 양 또한 응고 양상에 영향을 미쳤는데 10ml 시료에서는 가열한 후 Gelatin cube의 형태가 열에 녹아 형태가 무너진 후에 전체 alginate 용액이 hydrogel이 형성되면서 응고되었으나 2ml시료에서는 가열 후 교반된 시료에서는 hydrogel이 형성되지 않았고, 정치한 시료에서는 emulsion과 alginate 용액의 경계면에 얇은 hydrogel 영역이 형성되는 것을 확인할 수 있었다(Image 1). 이를 통하여 가열에 의해 방출된 Ca^{2+} ion의 총 양은 gelatin cube를 제조할 때 투입한 emulsion의 양에 의해 결정되는 것을 확인할 수 있었으며 전체 alginate 용액을 hydrogel로 전환시키는데 전체 용액의 25% 이상의 emulsion이 필요한 것을 확인할 수 있었다. 또한 교반 후 hydrogel 형성이 일어나기 전까지 emulsion 안정적으로 분산되어 존재하면서 Ca^{2+} ion이 alginate 용액에 균일하게 방출되어 균일한 구조의 Ca-alginate hydrogel을 형성하는 것을 확인할 수 있었다.
- 위 실험을 통하여 Ca^{2+} ion을 포함하는 gelatin cube는 소수성 물질을 사용하여 gelatin 구조체와 alginate 사이의 Ca^{2+} ion의 이동을 차단하여 선택적으로 Ca^{2+} ion의 방출이 시작되도록 설계할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 방출의 속도는 목적하는 값에 부합하지 않아 추가적인 실험을 진행하였다.
- emulsion으로 부터의 Ca^{2+} ion의 방출은 emulsion의 안정도와 emulsion과 계에서의 Ca^{2+} ion농도차이로부터 발생하는 삼투압에 의해 결정된다. Emulsion의 stability는 계의 온도, 계와 emulsion 입자 사이의 정전기적 상호작용, ostwald ripening에 의해 급격하게 변화할 수 있다. 본 실험에서는 emulsion을 생성하는데 사용되는 emulsifier의 비율을 조절하여 emulsion stability를 조절하고 Ca^{2+} ion의 농도를 변화시켜 그 방출양상을 알아보았다.
- 100mM 시료를 사용한 실험과 마찬가지로 농도를 200mM로 증가하여 제조한 gelatin cube 시료 또한 투입 직후부터 12시간 이후까지 변화가 없이 형태가 그대로 유지되었으며 200mM 농도가 100mM의 용액보다 더 뿌옇게 나타났고 불투명한 흰색이 층이 더 많이 나타났으며 이것을 시약 스푼으로 섞었을 때 정치했을 때보다 점도가 훨씬 높아지는 것을 볼 수 있었다. 이는 gelatin과 alginate solution 경계면에서 방출된 Ca^{2+} ion이 Ca-alginate hydrogel을 형성한 후에 형성된 hydrogel 구조체가 Ca^{2+} ion의 확산을 저해하여 gelatin이 녹아있는 층에 Ca^{2+} ion의 축적이 일어나고 있었던 것으로 생각된다. 가열 후 교반한 시료의 경우에는 200mM을 넣은 용액이 100mM보다 확실히 높은 점도를 나타내는 것을 확인하였으나 가열 후에 Ca-alginate hydrogel이 형성되는데 마찬가지로 수 시간이 걸리는 것을 확인할 수 있었다(Image 2). 따라서 목적하는 값보다는 아직 emulsion이 안정하다고 생각되며 좀 더 높은 농도의 Ca^{2+} ion조건에서 실험을 진행하고 유화제의 양을 줄여 제조함으로써 더 불안정한 emulsion을 제조하여 실험하여야 할 것으로 생각된다.

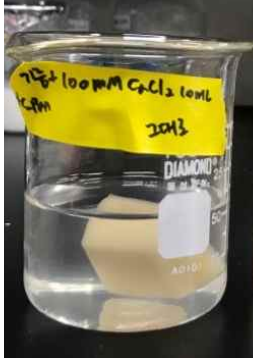
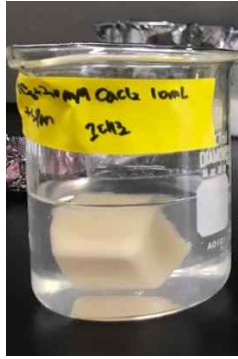
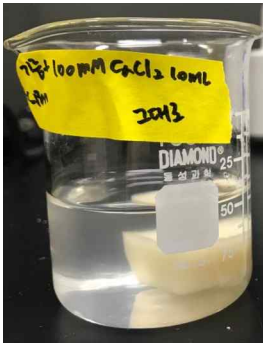

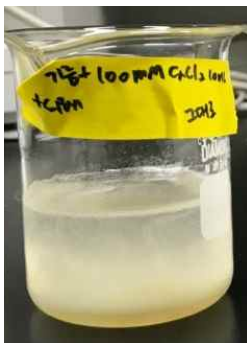
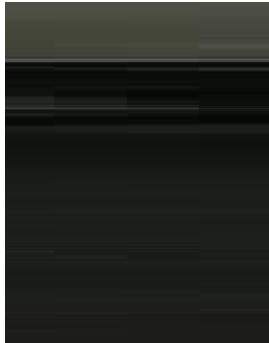
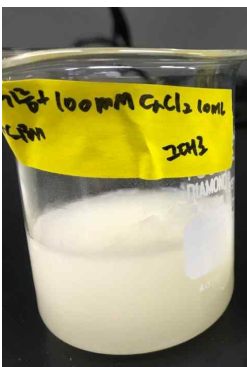



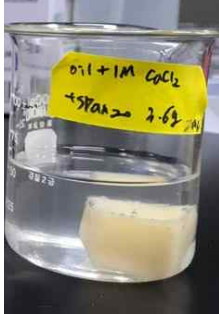

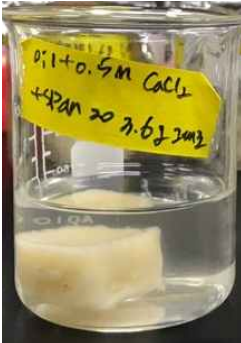
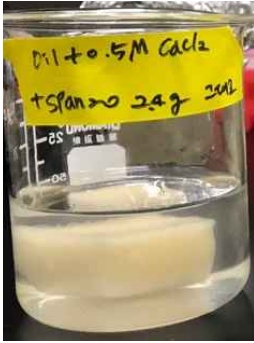
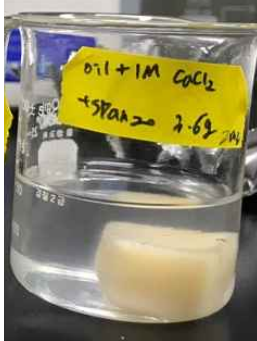

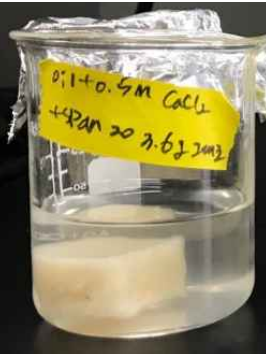







100 Mm CaCl ₂ 1시간 후	200Mm CaCl ₂ 1시간 후
	
100Mm CaCl ₂ 2시간 후	200Mm CaCl ₂ 2시간 후
	
100Mm CaCl ₂ 가열 후 정치	200Mm CaCl ₂ 가열 후 정치
	
100Mm CaCl ₂ 가열 후 교반	200Mm CaCl ₂ 가열 후 교반
	

Image 2 CaCl₂ emulsion을 포함하는 Gelatin cube (100, 200mM CaCl₂)

- 500mM 과 1M CaCl₂농도와 S0 0.3와 0.2로 유화제의 비율을 조절하여 진행한 실험에서는 제조한 gelatin cube를 생성하고 6시간 경과 후 CaCl₂ 1M시료의 경우 표면이 얇게 응고가 일어났고 0.5M의 경우도 아주 얇게 응고가 일어났다(Image 3).

500mM CaCl ₂ S00.30시간	500mM CaCl ₂ S00.20시간	1M CaCl ₂ S00.30시간	1M CaCl ₂ S00.20시간
			
500mM CaCl ₂ S00.36시간 후	500mM CaCl ₂ S00.26시간 후	1M CaCl ₂ S00.36시간 후	1M CaCl ₂ S00.26시간 후
			
500mM CaCl ₂ S00.324시간 후	500mM CaCl ₂ S00.224시간 후	1M CaCl ₂ S00.324시간 후	1M CaCl ₂ S00.224시간 후
			
			

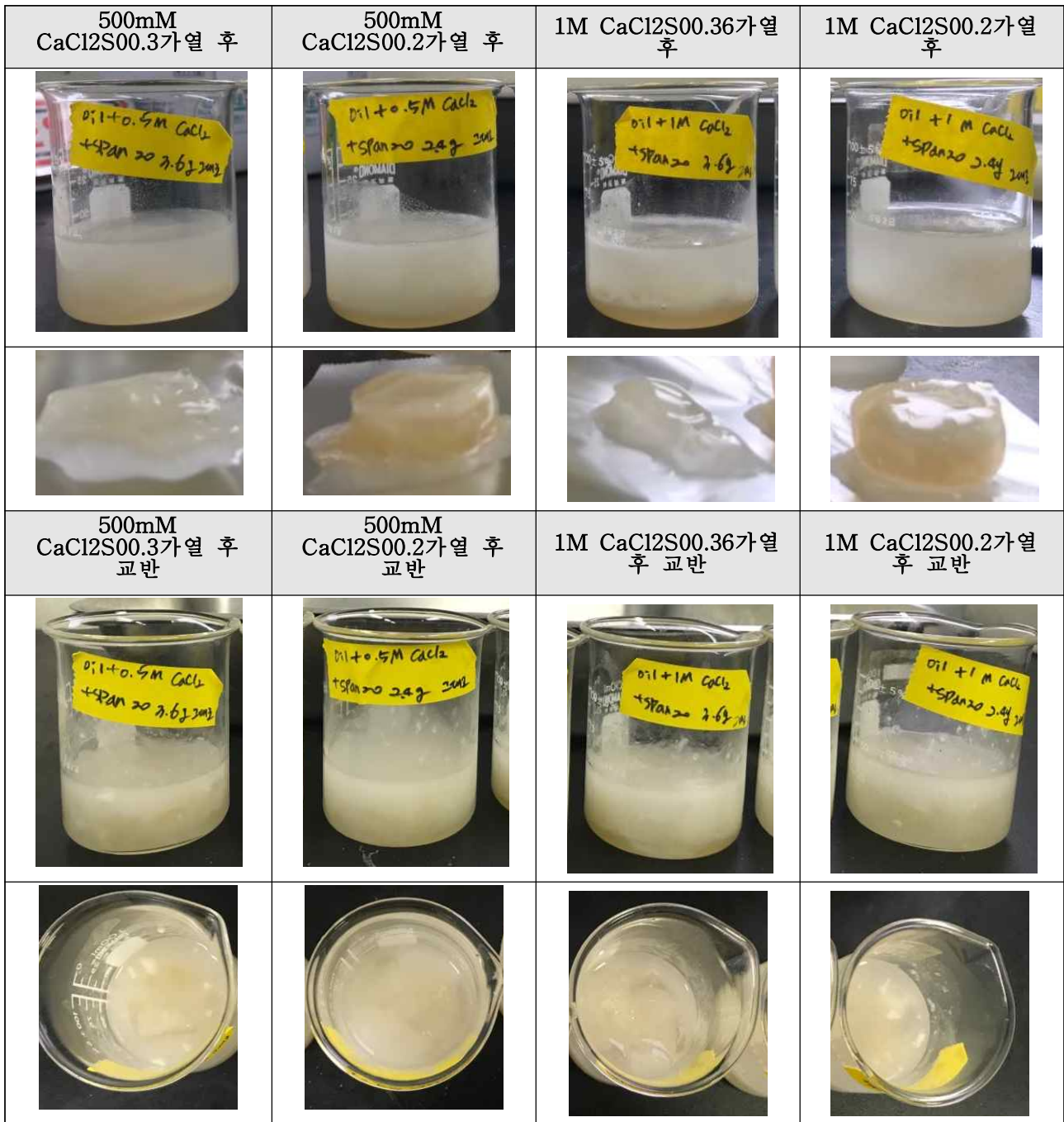


Image 3 CaCl₂ emulsion을 포함하는 Gelatin cube (500mM, 1M CaCl₂)

- 이는 Ca²⁺ion농도가 앞서 진행된 실험의 조건보다 5~10배 증가하였기 때문으로 생각되며 큰 농도구배로 인하여 Ca²⁺ion의 삼투현상이 emulsion과 gelatin에서 Ca²⁺ion의 확산을 저해하는 정도보다 크게 작용하여 방출이 시작된 것으로 해석할 수 있다. 또한 1M과 500mM 두 농도에서 S00.3시료에서 보다 S00.2시료에서 Gelatin형태 표면의 Ca-alginate hydrogel 형성이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. Emulsifier는 섞이지 않는 두 유체의 계면 사이의 장력을 감소시켜 emulsion이 더 안정되고 작은 입자로 구성된 분산상으로 존재할 수 있도록 하는 역할을 한다. 따라서 유화제 농도가 높은 S00.3

시료에서는 상대적으로 높은 emulsion stability를 나타냄에 따라 Ca^{2+} -ion의 확산이 저해되어 Ca-alginate hydrogel 형성이 줄어드는 것으로 보인다. 1M 시료에서는 Ca^{2+} -ion 방출에 따른 gelatin cube 모형의 변형과 Ca-alginate hydrogel 형성이 상당히 발생하여 초기의 각진 사각 형태에서 둥근 형태로 변화되는 것을 관측하였다. 이에 따라 emulsifier 양에 의해 달라진 emulsion의 stability와 Ca^{2+} -ion농도가 직접적으로 Ca-alginate hydrogel 생성에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었으며 이 결과를 바탕으로 500mM 이하의 CaCl_2 농도에서 실험을 진행하는 것이 적합하다고 판단하였다.

- 정치하여 가열한 후 500mM 시료의 Gelatin cube는 표면에 응고가 많이 일어났고 Gelatin형태 밖의 alginate 용액의 점도가 높아진 것을 확인하였으나 완전히 응고가 일어나지 않아 액체 상태로 관찰되었다. 이는 Gelatin cube 표면에서 Ca-alginate hydrogel이 생성되고, 생성된 hydrogel 때문에 Ca^{2+} -ion이 방출되지 못해 alginate와 반응하지 못했다고 생각된다. 이러한 경향은 S00.3시료보다 S00.2시료에서 더 두드러지게 발생하였는데 이는 유화제의 비율에 따라 emulsion의 안정도가 달라져 가열 시 Ca^{2+} -ion의 방출속도가 달라지고, 이로 인하여 가열 초기 gelatin cube 표면에서의 Ca-alginate hydrogel 형성 정도가 달라지기 때문인 것으로 판단된다.
- 가열 후 교반 하며 방치한 경우 3시간 후에 모든 조건의 시료의 하층부에서 Ca-alginate hydrogel가 형성되었으며 상층부의 alginate는 hydrogel 형성에 참여하지 않은 것을 알 수 있었다. 그러나 500mM보다 1M 시료에서 더 응고가 많이 일어나 응고되지 않은 상층부의 alginate용액이 적은 것을 확인할 수 있었다. 두 농도에서 S00.3 시료보다 S00.2시료에서 alginate의 응고가 덜 되어 흐르는 액체상태의 alginate 용액 양이 더 많았는데, 정치 24시간 후에는 모든 조건의 시료에서 Ca-alginate hydrogel의 형성을 관찰할 수 있었다.
- Gelatin을 사용한 실험에서 목적하는 Ca^{2+} -ion의 방출을 이루기 위하여 상기 실험을 진행한 결과 열에 의한 Ca^{2+} -ion의 방출을 통해 Ca-alginate hydrogel을 형성하기 위해서는 여러 추가 조작들이 필요한 것을 확인할 수 있었다. 첫째로, gelatin이 강한 친수성을 띠는 polymer이기 때문에 구조체가 붕괴되지 않은 조건에서도 Ca^{2+} -ion의 방출이 일어나는 단점을 보완하기 위해 CaCl_2 수용액을 포함하는 O/W emulsion을 제조하는 등 소수성 물질을 사용하여 목적하는 조건이 아닌 경우에 일어날 수 있는 Ca^{2+} -ion의 방출을 차단할 필요가 있다. 둘째로, 이러한 조작을 통해 원하지 않는 조건에서의 Ca^{2+} -ion방출을 차단하게 되었으나 원하는 조건에서 gelatin이 붕괴됨과 동시에 Ca^{2+} -ion의 방출이 원활하게 일어나도록 차단의 안정도를 적절히 조절해낼 수 있는 기법이 필요하다는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 이러한 시스템을 갖추더라도 Ca^{2+} -ion의 방출로 인하여 형성될 수 있는 Ca-alginate hydrogel는 방출되는 위치로부터 매우 짧은 거리에 불과하므로 이를 3D 프린팅에 사용될 잉크로 사용하기 위해서는 이러한 단점을 상쇄시키기 위해 Ca^{2+} -ion의 방출이 진행되었을 때 전체 solution이 균일하게 Ca-alginate hydrogel을 형성하여 구조체를 만들도록 Ca^{2+} -ion을 포함하는 미세한 particle 형태로 만들어 분산상을 이루도록 만들어야 할 필요가 있다고 생각된다.

③ Butterfat

- Ca²⁺방출의 조절

- Butterfat은 우유에서 수용성 whey와 protein 성분들을 제거한 지방질 부분을 의미한다. 이들 중 대부분은 3개의 지방산이 glycerol와 결합한 triglyceride로 이루어져 있으며 친수성 물질들이 모두 분리된 상태이기 때문에 강한 소수성 성질을 보이며 32~35°C에서 녹아 액체상태로 변화한다. Gelatin과 비교했을 때 이러한 성질은 Ca²⁺ion의 이동을 차단하는데 매우 효과적일 것으로 생각된다. 따라서 이번 실험에서는 butterfat을 사용하여 Ca²⁺ion을 포함하는 butterfat 구조체를 만들고, 포집된 Ca²⁺ion의 열 반응성 방출을 확인하는 실험을 진행하였다.
- 만들어진 Butterfat 구조체에서 방출된 Ca²⁺ion을 측정하여 이론적으로 투입한 butterfat 내의 함유된 Ca²⁺ion의 총량과 비교한 결과, 방출량은 butterfat 시료 내의 Ca²⁺ion투입량에 비례하여 선형으로 증가하지 않는 것을 확인할 수 있었으며, 상대적인 방출량의 감소는 2M 농도 시료의 높은 볼륨에서부터 확인할 수 있었다(4, 6ml 각각 87.91, 61.28%, FFigure 2. 우). 또한 같은 조건에서 방출된 Ca²⁺ion의 절대량 또한 감소하는 것을 확인할 수 있었다(4, 6ml 각각 0.2826, 0.2738mM/g FFigure 2. 좌).

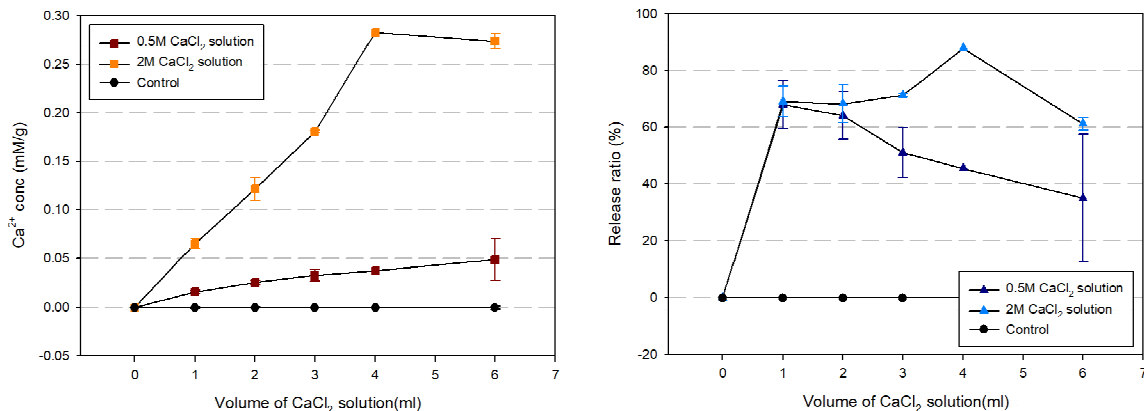


Figure 2. 가열 조건에서 CaCl₂부피에 따른 butterfat에서의 Ca²⁺ion방출. 좌: gram당 Ca²⁺ion의 몰 수, 우: butterfat Ca²⁺ion의 이론치에 대한 실제 Ca²⁺ion방출의 비율

- Butterfat은 emulsion 형성 후 낮은 온도에서는 비교적 견고한 고체구조를 이루기 때문에 내부에 생성된 W/O emulsion 입자들이 Ostwald ripening이나 coalescence 등의 변화에 저항하여 안정적으로 입자를 포집할 수 있다. 그러나 alginate solution 혹은 다른 친수성을 띠는 극성 용매에 투입되었을 때 표면의 emulsion 입자는 상대적으로 극성 용매 분자들과 크게 상호작용 하게되고 결국 포집된 Ca²⁺ion의 방출을 야기한다.
- 이번 실험에서 또한 시료의 Ca²⁺ion농도가 높아질수록, 투입된 CaCl₂용액의 부피가 증가할수록 가열 전 외부로의 Ca²⁺ion용출이 더 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 이는 release ratio의 저하와 효율성 저하로 나타났다. 이러한 결과는 butterfat 내부에 포집될 수 있는 CaCl₂용액의 양이 정량적으로 정해져 있으며 비가열 조건에서의 Ca²⁺ion용출을 막고 효과적으로 Ca-alginate hydrogel을 형성하기 위해서는 butterfat 내부에 포집시킬 CaCl₂용액의 양을 조절하여야 할 것으로 판단된다.

- 이와 같은 현상으로 인하여 반대로 가열 전 용출된 Ca²⁺ion의 양은 butterfat을 제조할 때 첨가된 CaCl₂용액의 부피가 증가함에 따라 유의하게 증가하는 것을 확인할 수 있었는데 이러한 경향은 오히려 낮은 농도(0.5M CaCl₂시료)에서 더 두드러지게 나타나는 것을 확인할 수 있었다(Figure 4). 이는 동일한 경향의 결과를 Ca²⁺ion의 농도를 증가시켰을 경우에도 확인할 수 있었는데 release ratio의 감소와 농도에 대해 방출량이 비례하지 않는 결과를 농도에 따른 가열에 의한 Ca²⁺ion의 방출을 정량하여 확인할 수 있었다(Figure 3).

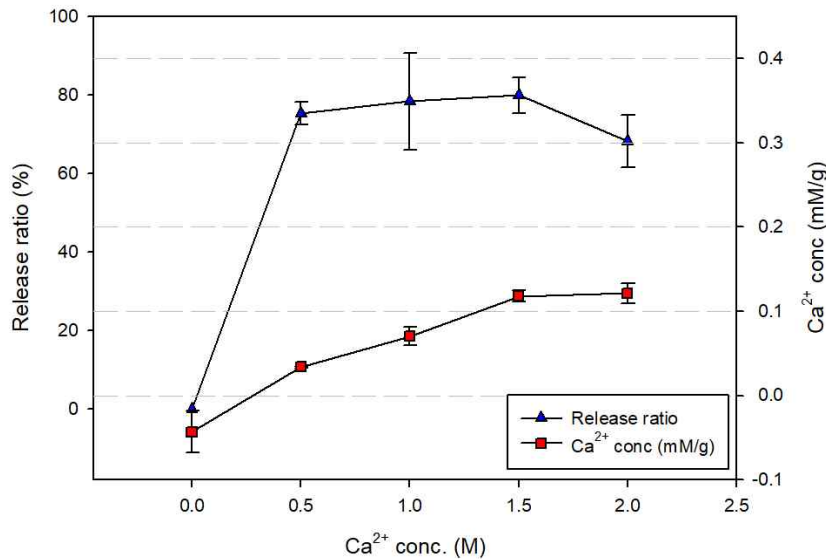


Figure 3. CaCl₂농도에 따른 가열에 의한 Ca²⁺ion의 방출

- Ca²⁺ion의 농도는 생성된 butterfat 내부의 emulsion 구조의 안정성에는 직접적으로 영향을 미치지 않는 것으로 생각되나 Ca²⁺ion농도차에 의한 삼투압을 증가시켜 butterfat 표면으로부터의 용출이 더욱 빠른 속도로 일어나게 된다고 생각된다. 실험 결과에 따르면 CaCl₂용액의 농도를 1.5에서 2.0M로 증가시켰을 때 시료의 Ca²⁺ion release ratio와 방출량은 각각 79.95 to 68.27% 와 0.1180 to 0.1217 mM/g로 유의하게 감소하는 것을 확인할 수 있었다(Figure 3). 그러나 2M의 CaCl₂농도는 221g/L로, 실제 3D 프린팅에 적용하기에 매우 높은 값이므로 CaCl₂용액의 농도는 고려하지 않아도 될 것이라고 판단된다.

④ 열에 의한 Ca²⁺ion방출

- 열에 의해 녹는 butterfat emulsion으로부터 방출되는 Ca²⁺ ion 량과 비율은 포함된 Ca²⁺ 이온 용액의 농도와 량에 비례하였다 (Figure 4). 2M 농도의 CaCl₂ 경우, 용액의 양의 증가에 따라 방출되는 CaCl₂의 양도 증가하였다 (0.0651 to 0.28266 mM/g, Figure 1.Left). 반면, 0.5 M 농도의 경우, 2M의 경우에 비해 매우 적은 양이 방출되는 것을 확인할 수 있었으며, 용액의 양이 증가할수록 방출 비율이 줄어든 것을 관찰할 수 있었다 (2 to 6 ml, 64.07 to 35.02% Figure 1. Right), 반면 2M CaCl₂ sample의 경우에는 방출비율에 큰 차이가 관찰되지 않았다 (2 to 6 ml, 68.27 to 62.28% Figure 1. Right).

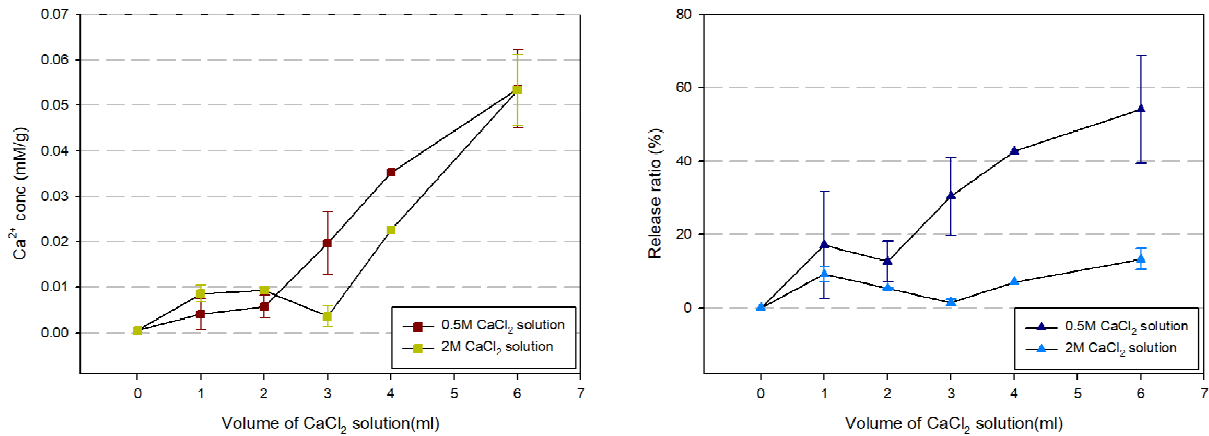


Figure 4. 비가열 조건에서 CaCl₂부피에 따른 가열 시 butterfat에서의 Ca²⁺ion 방출량 및 비율. 좌: gram당 Ca²⁺ion의 몰 수, 우: butterfat Ca²⁺ion의 이론치에 대한 실제 Ca²⁺ion방출의 비율

2) 구조성형 소재 분산상 제조

① 젤라틴 micro-particle

- 본 실험에서는 앞서 실험에서 열에 반응하여 Ca²⁺ion을 방출하도록 조절된 공기름 W/O emulsion을 포함하는 gelatin cube를 alginate 용액에 적절히 분산하여 sol 형태의 분산상을 펄 수 있도록 하기 위한 실험을 진행하였다. 이를 위하여 동결분쇄공정을 사용하였다. 동결분쇄란, 액체 질소를 이용하여 만든 극저온 상태에서 고무 타이어, 플라스틱 따위의 탄성을 띤 물체를 잘게 부수는 공정으로, 물리적으로 강한 힘을 가하는 과정임에도 열이 가해지지 않아 본 실험의 표본 처리에 적합하다. 본 실험에서는 파쇄된 gelatin cube를 직경 300μm 이하의 작은 particle로 제조하여 alginate 용액에 분산시키고, particle의 투입량에 따라 alginate-gelatin particle sol의 특성이 어떻게 변화하고, 열에 의한 Ca²⁺ion의 방출특성이 나타나는지 확인하였다.
- 실험 결과 2x2 cm²크기의 정육면체형 gelatin cube가 만들어졌으며 (Image 4A) 이를 동결건조 시킨 결과 대부분의 수분이 날아가 표면으로부터 강한 수축현상이 발생하여 경도가 증가하고 크게 수축되었다(Image 4B). 전처리한 시료를 동결 분쇄한 결과 사진 (Image 4C)과 같이 미세한 입자를 얻을 수 있었다. 분쇄된 미세분말은 동결건조 직후에는 매우 고운 입자형태를 띄고 있었으나 시료를 회수하는 과정에서 주위의 수분을 빠르게 흡수하여 응결되는 현상이 일어나는 것을 볼 수 있었다. 이는 미세분말 입자의 작은 크기 때문에 표면적이 크게 증가하여 일어나는 현상으로 생각되며 추후에 이를 보완할 수 있는 공정상의 보완이 필요할 것으로 판단된다.
- Alginate와 pectin과 같이 카복실기(COOH)를 포함하는 다당류의 경우 Ca²⁺,Mg²⁺등 2가 양이온의 존재 하에 즉각적으로 ion매개 hydrogel을 형성하며 구조가 증가한다고 알려져 있다. 가열조건에 의한 Ca²⁺ion의 방출을 확인하기 위하여, 제조된 gelatin micro-particle은 1% alginate 수용액에 투입하여 균질기를 사용하여 분산상을 형성하고, 형성된 alginate-gelatin 분산상을 65℃로 가열하며 가열로 인한 Ca²⁺ion의 방출로 인한 solution의 점도 변화를 가열 중, 가열 전과 후를 시간에 따라 측정하여 그래프로 나타냈다.

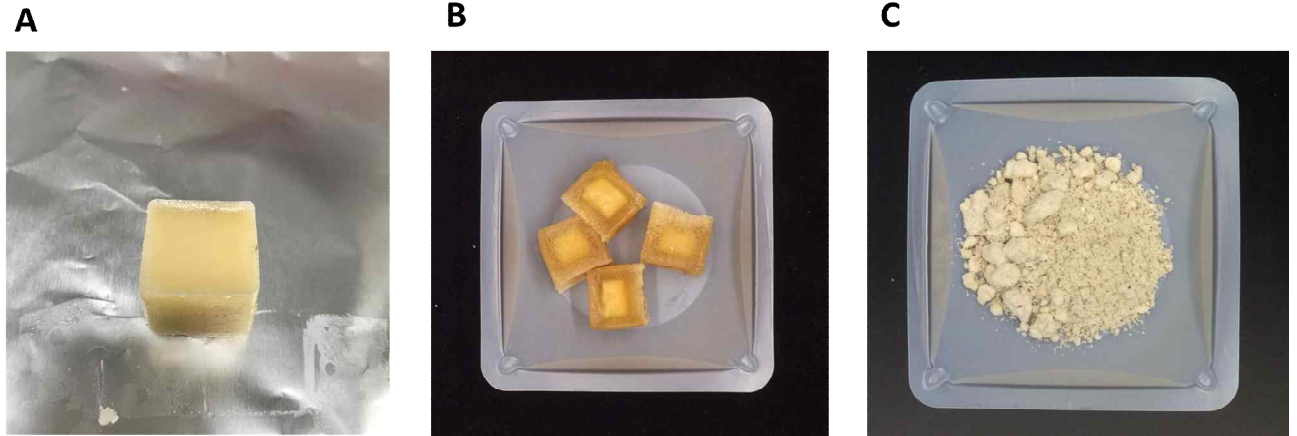


Image 4 A: 만들어진 Gelatin cube, B: 동결건조 된 Gelatin cube, C: 동결분쇄된 Gelatin 미세입자.

- 가열 전 균질화된 시료에서 gelatin micro-particle의 함량이 높아질수록 점도가 높아지는 것을 확인하였는데 (6.25, 12.5, 25, 50, 100 mg/mL일 경우 각각 235.267, 256.6, 276.4, 311.83, 390.53, 742.26 cP), 이는 gelatin micro-particle이 본래 점착성이 존재하는 점과 수분이 증발되면서 생성된 다공성 구조가 alginate-gelatin 분산상의 수분을 흡수하면서 생기는 현상으로 생각되며 농도가 증가함에 따라 두가지 영향이 합쳐져서 점도에 영향을 주어 매우 높은 점도가 형성된 것으로 판단된다 (Figure 5).

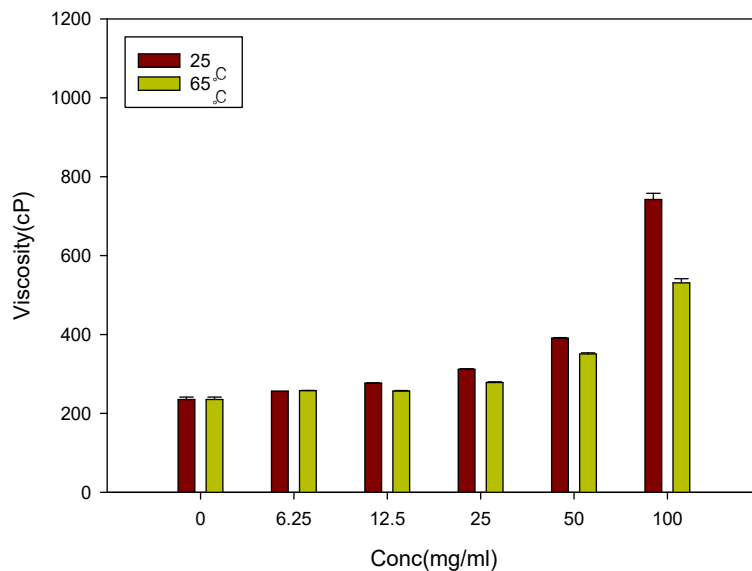


Figure 5 가열 전과 후의 alginate-gelatin 분산상의 점도 비교

- 그러나 농도조건에 따른 점도의 증가폭은 낮은 농도에서는 control 시료(235.267cP)와 유사한 20% 미만으로 관찰되어 분산상이 분주하기 용이한 물성을 가진 액체로 유지될 수 있다고 판단하였다. 가열 중 온도가 상승함에 따라 모든 시료에서 점도의 감소가 관측되었으며 감소폭은 6.25, 12.5, 25, 50, 100 mg/mL 일 때, 각각 114.7667, 123.4, 120.5, 153.0333, 214.7333, 508.3667 cP로 나타나 gelatin micro-particle을 많이 첨가한 시료일수록 그 감소폭이 큰 것을 확인할 수 있었다(Figure 6).

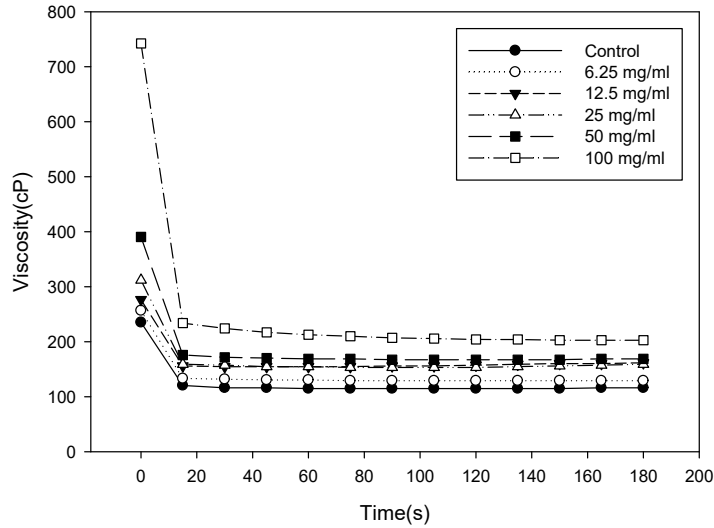


Figure 6 가열 시 alginate-gelatin 분산상의 점도변화

- 유체는 온도가 상승함에 따라 분자의 운동에너지가 증가함에 따라 전체계에서 분자간 인력이 차지하는 비중은 점차 작아져 점도가 대체로 점도가 감소하는 성질이 있고 gelatin 또한 실험 조건 상에서 가열하면 녹아 액체로 상변화하기 때문에 큰 폭의 점도 감소가 일어날 수 있다. 다만 열에 의하여 방출될 것으로 기대된 Ca^{2+} ion의 방출에 의한 점도 상승은 짧은 시간 내의 실험조건(3분)에서는 관찰되지 않아 위 시스템을 실제 성형에 적용하기 위해서는 빠른 시간 내에 반응할 수 있도록 유도하는 조건을 탐색해야 할 필요가 있다고 판단된다.
- 가열로 인해 발생한 Ca^{2+} ion의 방출이 긴 시간동안 분산상의 점도에 미치는 영향을 확인하기 위하여 가열한 샘플을 상온에서 방치하고 시간에 따른 점도의 변화를 확인한 결과 Ca^{2+} ion의 방출은 24시간동안 서서히 진행되어 분산상의 점도가 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 가열 후 4일이 경과된 후에 측정된 점도값이 오히려 24시간보다 점도가 감소한 것을 확인할 수 있었는데 이는 생성된 hydrogel과 gelatin이 안정되어 서로 고르게 섞였기 때문으로 판단된다. 100mg/ml의 시료에서는 hydrogel이 형성된 모습을 육안으로 관측할 수 있었다(Figure 7).

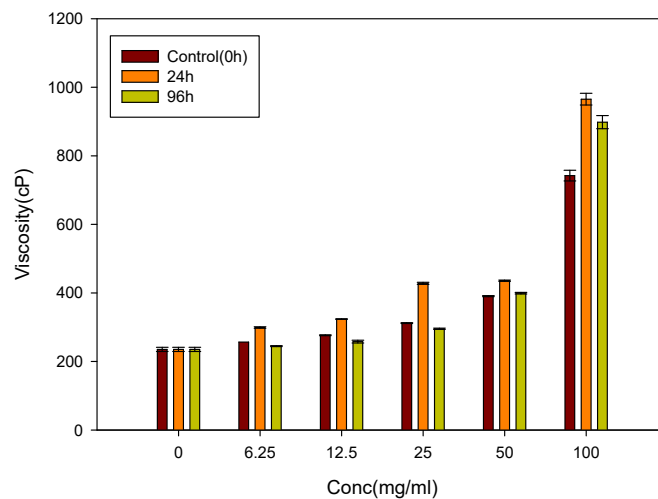


Figure 7 가열 후 시간에 따른 alginate-gelatin 분산상의 점도 변화

- 위 결과들을 확인했을 때, gelatin micro-particle을 사용, 분산상을 제조하여 목표하는 시스템의 구현에는 성공적이었으나 Ca²⁺ion의 방출속도가 목적하는 값보다 낮아 이를 극복하기 위한 후속 연구가 필요하다고 생각된다.

② Butterfat-alginate 분산상 제조

- Gelatin cube를 이용한 실험과 같이, 설계된 Ca²⁺ion을 방출하는 시스템은 필연적으로 alginate 수용액에 분산되어야만 효과적으로 Ca-alginate hydrogel 구조를 형성할 수 있다. 따라서 제조한 butterfat을 3D 프린팅에 응용할 수 있도록 alginate 수용액에 분산시키고 분산매의 종류에 따라 제조한 butterfat 입자들이 얼마나 오랜 시간동안 분산상을 유지하는지 확인하는 실험을 진행하였다.
- Butterfat 입자들은 1% alginate 용액과 glycerin 용액에 분산시켜 제조한 분산상과 시간에 따른 그 변화를 사진으로 나타냈다(image 5). Butterfat 입자들은 alginate 시료에는 잘 분산되지 않는 특성을 보였으며 glycerin에는 굉장히 잘 분산되어 안정적인 분산상을 형성하는 것을 확인할 수 있었다. Butterfat은 gelatin과 달리 소수성이 강한 성분이기 때문에 alginate 용액에 분산시켰을 때 polymer인 alginate에 의해 particle 입자간의 전기적 반발력이 감소되어 안정적인 분산상을 형성할 것으로 예상하였으나 균질화를 통해 분산상을 생성하는 초기부터 butterfat 입자들 간의 응집을 관측할 수 있었으며 60시간이 경과한 후에는 대부분의 butterfat 입자들이 분산매인 alginate 용액으로부터 분리되어 상층부에 응집된 것을 확인할 수 있었다.

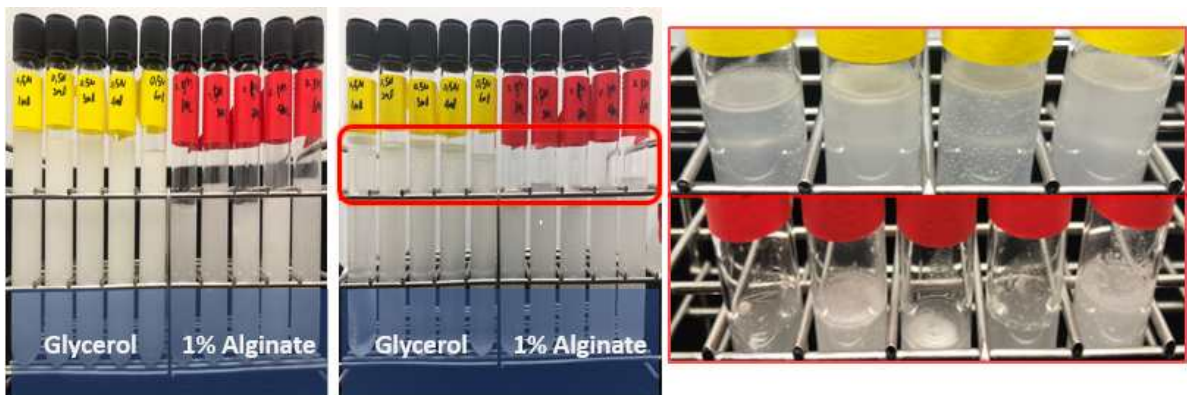


image 5 시간에 따른 butterfat 분산상에서의 상분리현상.

좌: 분산상 형성 직후의 glycerol과 1% alginate butterfat 분산상 우: 60시간 경과 후의 직후의 glycerol과 1% alginate butterfat

- 이와는 다르게 glycerin에 분산시켜 분산상을 형성한 시료의 경우 butterfat 입자들이 매우 고르게 분산되어 효과적으로 분산상을 형성한 것을 확인할 수 있었으며 상당시간 동안 안정적인 분산상을 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 60시간 이후에는 상분리현상이 발생하여 상층부에 미세한 butterfat 입자들이 응집되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 차이는 분산매가 얼마나 효과적으로 butterfat 입자들을 감싸서 입자 사이의 인력을 차단하고 분산되도록 하는지에 의해 나타난다고 판단되며 비극성 물에 비해 극성이 작은 glycerin이 비슷한 점도에서도 훨씬 효과적으로 안정적인 분산상을 형성한다는 것을 확인할 수 있었다.

(나) 결론

- 본 과제에서는 dispensing 기술을 다양한 식품 생산에 응용하기 위하여 기존의 Heat-extrusion 방식의 단점을 보완하기 위한 방식으로 Ca-alginate hydrogel의 비가역적 구조체를 생성을 이용하는 실험을 진행하여 식품의 성형에 대한 Ca-alginate hydrogel의 응용 가능성을 확인하였다.
- 이를 위하여 Alginate 용액을 extrusion 하고, extrusion 후 Ca^{2+} ion의 방출을 통하여 gelation을 유도하는 과정이 필요하여 선택적으로 Ca^{2+} ion의 방출을 유도할 수 있는 방법으로 Gelatin과 butterfat의 온도 감응성을 이용하여 Ca^{2+} ion의 방출을 조절하는 방식을 선택하였다.
- 실험 결과 gelatin을 사용한 시스템의 경우 친수성을 띠는 gelatin의 특성 상 alginate 용액 사이에 Ca^{2+} ion의 이동을 차단해줄 추가적인 조작용이 필요함을 알게 되었으며 이를 위해 소수성 물질을 사용한 O/W emulsion을 제조하여 열조작용이 가해지지 않는 과정에서의 Ca^{2+} ion의 이동을 차단할 수 있음을 확인하였다. 그러나 이러한 조작용은 emulsion또한 열에 불안정하여야 하는 필요조건이 추가됨에 따라 효과적으로 Ca^{2+} ion의 방출을 유도하기 어려웠다.
- 이를 극복하기 위해선 다양한 방법으로 emulsion의 안정도를 변화시키고 gelatin 구조체와의 상호작용을 관측하여 최적화하는 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다. 소수성 물질인 Butterfat의 경우 추가적인 조작용 없이도 gelatin에 비해 구조체 내부에 Ca^{2+} ion을 높은 효율로 포집하고 가열에 의해 방출하는 것을 확인하여 좀 더 강점을 가진다고 판단된다. 하지만 butterfat은 gelatin에 비해 물성이 다루기 어렵고 건조나 분쇄로 가공하거나 긴 시간동안 저장하는 것이 제한적이기 때문에 이러한 단점은 추후 보완이 필요하다고 생각된다.
- 이러한 시스템을 실제 식품 미세 성형에 적용될 수 있도록 하기 위하여 만들어진 Gelatin cube를 동결분쇄 기술을 사용하여 미세입자화 하고 alginate 용액에 분산시켜 분산상을 만들었다. 이를 가열했을 때 Ca^{2+} ion의 방출은 일어나고 있었지만 강한 구조체를 만들 만큼의 즉각적인 Ca^{2+} ion의 방출은 일어나지 않았고 긴 시간에 걸쳐 일어났으며 이는 gelatin particle의 붕괴되는 속도와 emulsion의 붕괴속도의 차이로 인한 것으로 판단된다.
- Butterfat을 이용한 시스템의 경우 Ca^{2+} ion의 방출은 즉각적이었으나 alginate용액에 분산상을 형성하는 것이 제한적이기 때문에 실제로 분산상을 형성하여 Ca-alginate hydrogel을 형성시키기 위해서는 butterfat 입자들을 alginate 수요액에 효과적으로 분산시킬 수 있는 연구가 먼저 선행되어야 할 것이라고 판단된다.
- 본 과제에서 수행된 연구결과를 통해 다양한 식품미세성형에 효과적으로 응용될 가능성이 있는 소재 및 응용 시스템을 제시하였으나 선택적으로 Ca^{2+} ion을 방출시키고 즉각적으로 Ca-alginate hydrogel을 형성하는 시스템을 구현하기 위해서는 추가적인 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

바. 마이크로디스펜싱 식품 제조 공정 연구기반 푸드 잉크 개발

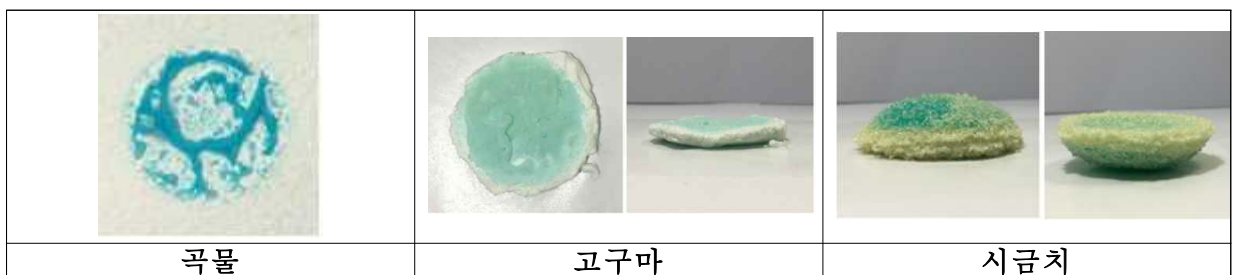
(1) 마이크로디스펜싱 제조장치에 쓰일 푸드 잉크(Food Ink)



- 마이크로디스펜싱용 식품 소재 탐색 및 가공 적용에 대한 연구개발을 통해 Food Ink에 쓰일 5가지의 소재 분류



- 체를 이용한 petri dish에 분말 소재 쌓은 후 물을 분사하여 10mm 높이가 되게 제조하는 방법을 이용하여 분말결착식 마이크로디스펜싱 기기에 적합한 최적 소재 선정
- 선정된 소재 입형 및 입도 분석을 통한 소재 특성 확인 후 마이크로 디스펜싱 공정 구축과 이를 통한 소재 테스트



- 개발하는 장비는 압출적층조형으로 재료에 열을 가해 유동성 액체로 녹여 압력을 가하여 적층하는 방식이기에 고체 형태로 패키징에 보관하게끔 구성



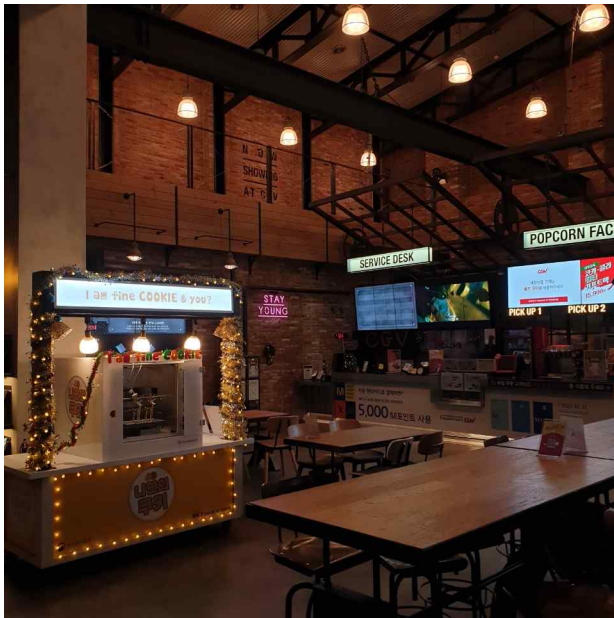
- 최종 개발된 재료별 Food Ink



사. 시제품 개발에 따른 사업화 준비

(1) CGV 식품 마이크로 디스펜서 출력 시연

- 국내 최초 커스텀 식품 제조 콘텐츠 설치를 통한 차세대 푸드 테크 기술 홍보를 위해 CGV와 업무 협약(대기업과 중소기업 간 상생효과)
- 행사명 : For Your Cookie 런칭 행사
- 행사기간 : 2019.12.23.~2020.01.19
- 홍보대상 : 2~30대 젊은 층 / 푸드 테크 관련 기업 / 언론사
- 행사장소 : CGV 건대 입구점 3층(매포소 앞)



<진열대 모습>

부스 운영 계약서

세제이제브이(이하 "갑")은 ㈜원크음푸드(이하 "을")가 아래 표시한 공간에서 "을"이 **인덱트 부스**를 운영하는 것과 관련하여 다음과 같이 계약을 체결한다.

소재지	경기도 시흥시 마곡로 276 3층 ㈜원크음푸드
상호명	원크음푸드
입찰 및 용도	3차원 프린터 등 기타 주변기기 제조업체
사용면적	CGV 건대입구 3층 보미 칸
	사용 면적:180cm(가로) * 120cm(세로)

***부스 위치(내장)**

제 1조 목적
본 계약은 "갑"이 운영하는 CGV 건대입구 영화관 칸 3층 보미 공간 일부분에서 "을"이 부스를 설치하여 푸드테크 기술을 이용한 커스텀 쿠키 식품 제조 서비스를 홍보하기 위하여 필요한 제반 사항을 정하는데 목적이 있다.

제 2조 계약 기간
본 계약에 의한 부스 운영은 2019. 12. 23. ~ 2020. 1. 19 동안 (12/24,12/25,12/27,12/28,1/3,1/4,1/10,1/11,1/17,1/18 총 10일간) 한시적으로 진행하기로 한다.

제 3조 사용료
① "을"이 "갑"에게 지급해야하는 사용료는 일백만원(₩ 1,000,000/AT 별도)으로 한다.
② "갑"은 제 1항의 금 일백만원 을 12월말 내 법인카드로 영수 진행하기로 한다.

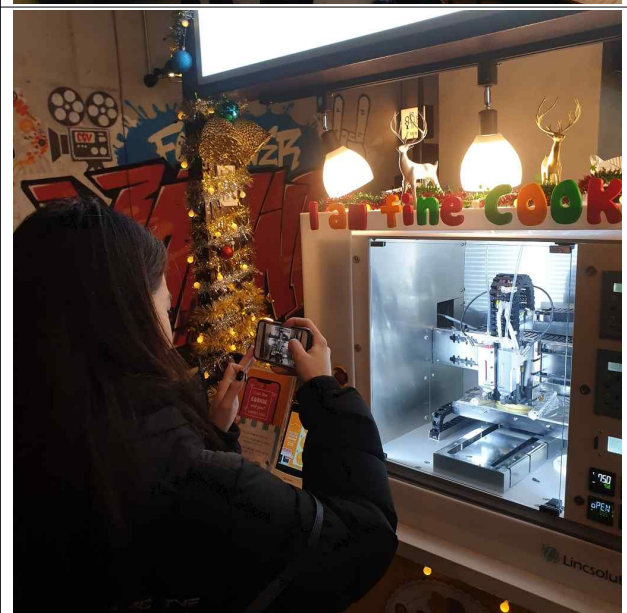
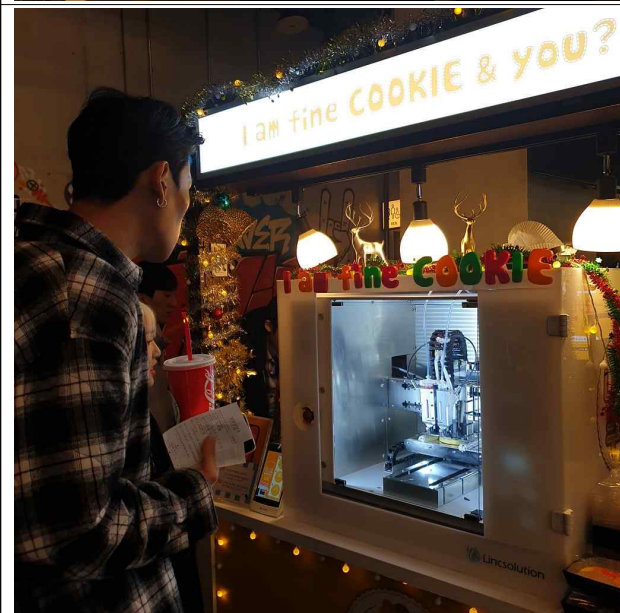
제 4조 "갑"의 권리 및 의무

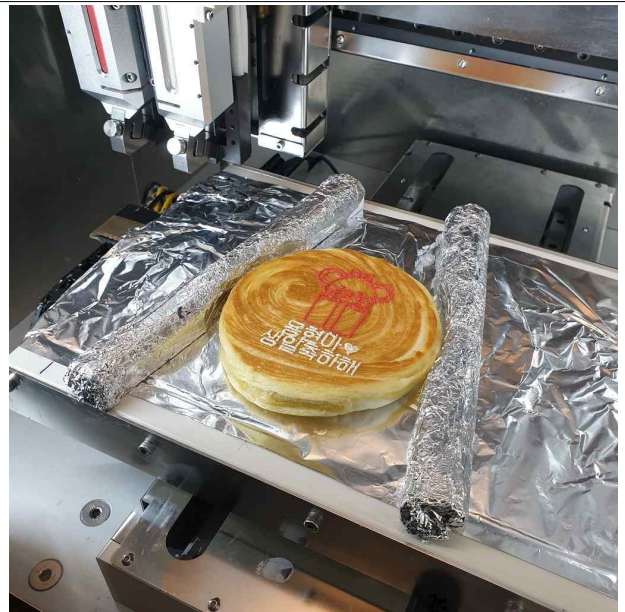
- 1 -

<운영 계약서>

- 시연사진(행사장)



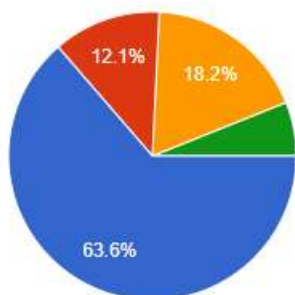




- 설문조사(피드백)

1-1. 시식하기 전 쿠키 맛이 기대되셨나요?

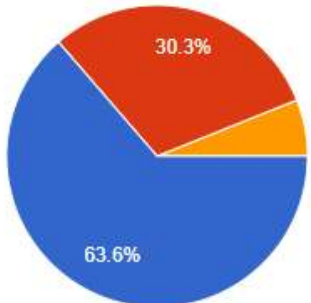
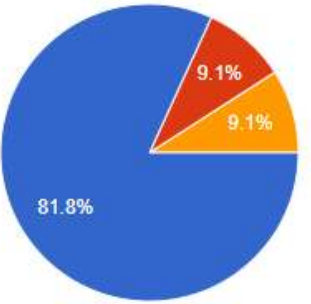
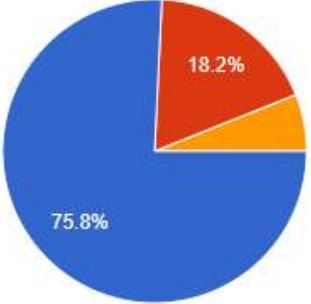
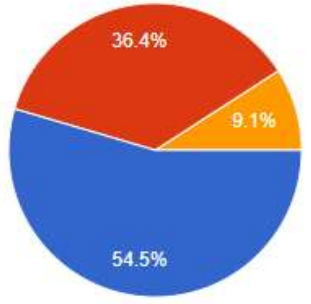
응답 33개



- 매우그렇다
- 다소그렇다
- 보통이다
- 그렇지않다
- 매우그렇지 않다

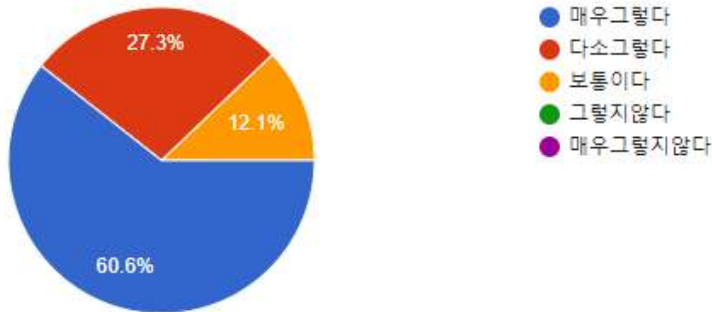
매우 그렇다(63.6%)
다소 그렇다(12.1%)
보통이다(18.2%)

긍정적인 반응이
과반수 이상 차지

<p>1-2. 시식하신 쿠키 맛은 어떠셨나요? 응답 33개</p>  <p>● 매우그렇다 ● 다소그렇다 ● 보통이다 ● 그렇지않다 ● 매우그렇지 않다</p>	<p>매우 그렇다(63.6%) 다소 그렇다(30.3%)</p> <p>쿠키 맛과 관련하여 대다수의 인원이 긍정적 반응</p>
<p>2-1. 내가 선택한 맛과 문구로 쿠키를 만드는 과정은 재밌나요? 응답 33개</p>  <p>● 매우그렇다 ● 다소그렇다 ● 보통이다 ● 그렇지않다 ● 매우그렇지 않다</p>	<p>매우 그렇다(81.8%)</p> <p>출력 서비스를 지켜보는 과정에서 대체적으로 만족</p>
<p>2-2. 출력 그림과 문구 퀄리티는 만족하셨나요? 응답 33개</p>  <p>● 매우그렇다 ● 다소그렇다 ● 보통이다 ● 그렇지않다 ● 매우그렇지 않다</p>	<p>매우 그렇다(75.8%) 다소 그렇다(18.2%)</p> <p>출력 서비스에 대한 내용 및 퀄리티에 대해 대체적으로 만족하는 반응</p>
<p>2-3. 식품을 기다리는 시간은 만족스럽나요? 응답 33개</p>  <p>● 매우그렇다 ● 다소그렇다 ● 보통이다 ● 그렇지않다 ● 매우그렇지 않다</p>	<p>매우 그렇다(54.5%) 다소 그렇다(36.4%)</p> <p>출력 서비스 시간과 관련해서 약간 긍정적인 반응 (출력시간에 대한 조율이 필요)</p>

3. 3D프린터로 출력한 식품을 구매해 드실 의향이 있나요?

응답 33개

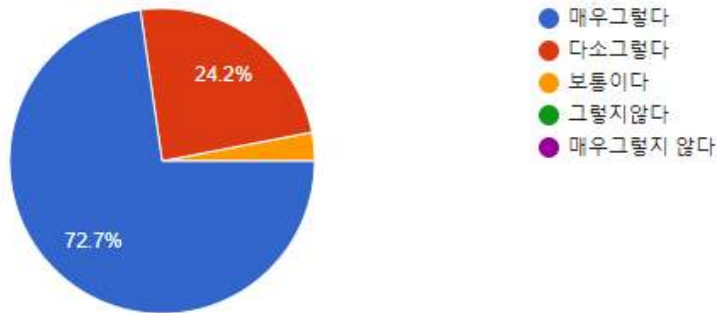


매우 그렇다(60.6%)
다소 그렇다(27.3%)

푸드테크 마이크로 디스펜서 제품에 대한 구매의사가 대체적으로 긍정적임

4-1. 이벤트로 3D프린터로 나만의 쿠키 만든다면 참여 하실건가요?

응답 33개

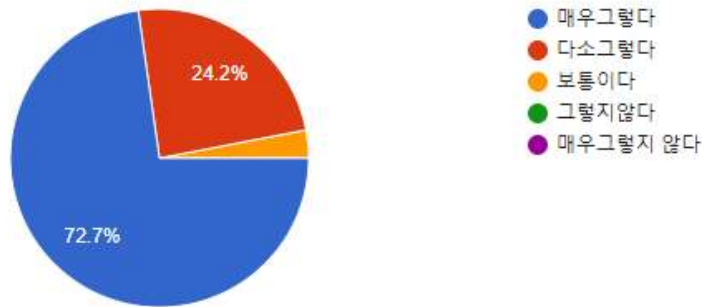


매우 그렇다(72.7%)
다소 그렇다(24.2%)

향후 지속적인 푸드테크 관련 시연 참여의사에 대해 긍정적 반응

4-2. 원하는 캐릭터로 쿠키가 나온다면 구매할 의사가 있으신가요?

응답 33개



매우 그렇다(72.7%)
다소 그렇다(24.2%)

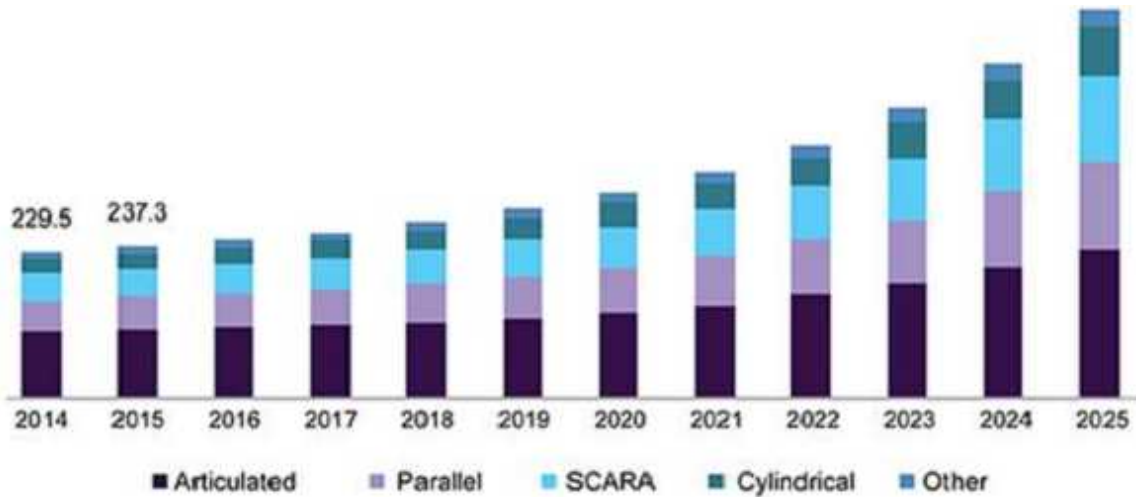
향후 푸드테크 마이크로 디스펜서가 구현됐을 때의 반응은 대체적으로 긍정적임

- 다음에도 좋은 자리가 있었으면 좋겠다
- 맛있었습니다.
- 3D 프린터를 직접적으로 체험해본게 처음이어서 신기했다
- 꼭 출시됐으면 좋겠습니다!
- 3D 프린터로 만든 쿠키를 무료로 먹었지만 향후에 CGV에서 나온다면 3000원 이상 구매할 의사가 있다
- 생각보다 식품이 빨리 나와서 신기했다
- 3D 프린팅을 해서 나만의 쿠키를 만들어준다는 것이 너무 신기합니다. 꼭 출시했으면 좋겠습니다!
- 다음에도 이런 이벤트가 있었으면 좋겠습니다.
- 운영진들의 노력이 많이 보였습니다. 즐겁게 참여했습니다.

(기타 의견수렴)

아. 푸드테크 마이크로 디스펜서 관련 사업성 분석

(1) 푸드테크 시장 전망



- (국외) 전세계 푸드테크 시장은 2018년 \$3.6억 달러(한화 4천억원)에서 **연평균 성장률 12%로 2025년에는 \$1,456억 달러(한화 173조 8천억원)가 될 것으로 예측**하여 시장성이 우수함
- 미국의 3대 경제 전문 인터넷 매체 중 하나인 ‘비즈니스 인사이더’에 따르면 창업한 지 5년 이내인 미국 신생 스타트업 중에서 기업 가치가 10억 달러 이상인 상위 10개 회사 중 2개 기업이 푸드테크 업체인 것으로 조사되었으며, 푸드테크 기업에 대한 투자금은 2012년 2억 7,000만 달러에서 2015년 57억 달러로 폭증. 또한 글로벌 시장조사기관인 ‘유로모니터’는 2017년도 테이크아웃 시장이 141억 1,257만 달러 규모로 늘어날 것이며 대부분 온라인 주문 형식으로 매출이 이뤄질 것으로 예측.
- (국내) 국내의 경우도 160조에 달하는 국내 외식업 시장과 110조에 달하는 식재료 유통 시장이 푸드테크와 결합해서 **최대 200조원에 달하는 새로운 산업생태계로 발전한 것으로 전문가들은 평가**





(2) 푸드테크 3D프린팅 기술 현황

- 국내외 다양한 기업들이 푸드테크 3D프린팅 관련 기술 개발(식품을 활용한 3D프린팅 원천기술 확보와 기술계량을 위한 다양한 시도 및 개발 기술에 특화된 소재 개발 등)을 진행 중에 있으며 주요 현황은 아래와 같음

제품명	기업(국가)	내용
스파이스 바이트	TNO (네덜란드)	레이저 소결방식 이용 밀가루, 설탕 및 유지를 기본으로 다양한 맛과 모양의 식품
셰프젯 (Chefjet)	3DSystems (미국)	다양한 색감의 출력물에 초콜릿, 바닐라, 박하, 체리 맛 등 여러 가지 향료가 추가된 웨딩소품
푸드니 (Foodini)	네추럴머신스 (스페인)	케이터링 서비스 가능한 제품으로 음식재료를 스테인리스로 된 캡슐에 투입하는 방식
보쿠시니 (Bocusini)	프라이징 (독일)	기존 상용화된 마이크로 디스펜서 카트리지 헤드부분을 교체하면 바로 3D 식품 프린터로 변경가능

	
<p>스파이스바이트 - TNO</p>	<p>세프젯 - 3DSystems</p>
	
<p>푸디니 - 네추럴머신스</p>	<p>보쿠시니 - 프라이징</p>

- (이탈리아, 네덜란드) 네덜란드 TNO에서는 이탈리아 파스타 제조업체인 Barilla 社와 함께 개인 맞춤형 3D 파스타 프린터 개발 및 운영 중
 - 네덜란드 아인트호벤의 레스토랑에서는 고객이 원하는 디자인을 USB에 담아 레스토랑으로 가져오면 3D 프린팅으로 출력되는 음식 서비스 운영 중
 - (미국) NASA, 3D Systems社 등은 식품 가공용 3D 프린팅 기술 연구개발 진행하고, 소비자 중심의 다양한 서비스를 제공
 - 美 항공우주국(NASA)은 3D프린터로 생산할 수 있는 식품 개발을 위해 시스템 엔드 머티리얼 리서치 社(SMRC)에 \$125,000 연구비 지원
 - 3D Systems社는 세프젯을 개발하여 설탕원료로 색상 표현이 가능케 했으며, 초콜릿 제조사 허쉬와 협력하여 코코젯 프린터(FDM방식) 개발
 - (스페인) 내추럴머신 社의 푸디니(Foodini)는 반죽, 페이스트 등 음식의 재료를 프린터 안의 캡슐에 넣어 파스타와 빵을 제조하는 방식으로 개발
- (3) 푸드테크 3D프린팅 가격 경쟁력
- 상기 언급한 국내외 푸드테크 3D프린팅 관련 각 기업에서 판매중인 유통가는 하기와 같이 조사됨.

			
스파이스바이트 - TNO	미정	세프젯 - 3DSystems	\$10,000 (한화 1,100만원)
			
푸드이니 - 네추럴머신스	\$1,300 (한화 143만원)	보쿠시니 - 프라이징	€2,500 (한화 338만원)

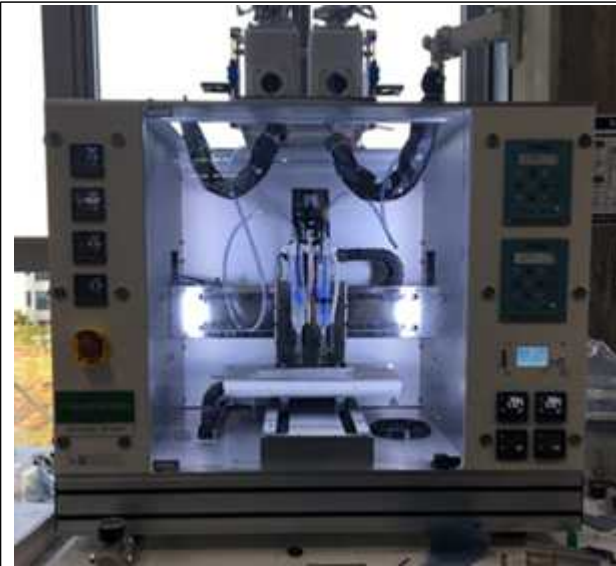
- 기존 가정용에서 쓰이는 보급형 푸드 3D프린터는 150~350만원 수준이며, 고급형의 경우 최소 1,000만원 이상으로 가격 책정 되어있음. 이에 주관기관에서 개발 중인 장비는 첫 번째 타겟으로 카페시장을 통한 수익 창출(B2B)이므로 기존 유통 중인 장비 가격 대 보다 조금 더 저렴한 8~900만원 선(10~20% 저렴)으로 사업화 예정

(4) 푸드테크 3D프린팅 전망

- 3D 식품 프린팅 기술은 식품산업에 많은 변화를 몰고 올 것이 분명하며, 특히 요즘과 같이 대량생산으로 똑같은 식품을 쏟아내는 시대에서 3D 식품 프린팅은 개인 맞춤형 식품산업을 활성화 시킬 수 있을 것으로 예상
- 단순히 식품의 맛과 외형뿐만 아니라, 영양학적 요구와 신체 능력에 부흥하는 궁극적인 의미의 맞춤형 식품을 디자인 할 수 있는 것이 핵심 요인
- 또한 3D 식품 프린팅은 식품의 고유한 본질 때문에 변화되기 힘들었던 식품의 형태와 물성을 소비자의 신체능력에 따라 자유롭게 조절할 수 있으며, 이와 같은 장점을 이용하여 음식을 씹거나 삼키기 어려운 연하장애 환자나 저작이 어려운 영유아 및 고령층을 위한 영양식품을 개발하는 등 다양한 산업분야에 활용될 수 있을 것
- 하지만 아직 3D 식품 프린팅 기술이 안착하여 연관 산업에 녹아들기 위해선 해결되어야 할 과제들이 많으며, 음식을 3D프린팅 하는데 있어 가장 큰 한계는 음식 재료 자체에 있음. 페이스트로 만들 수 있는 식품에 대해 매우 제한적인 부분과 추가적인 가공기

술에 대한 연구, 소비자가 일상적으로 사용하기 위한 준비과정 등의 번거로움이 주요 문제로 초기단계에 있는 3D 식품 프린팅의 명확한 기술개발이 필요.

- 이에 본 연구과제 주관기관인 (주)링크솔루션은 상기 제시된 문제들에 대한 해결책을 위해 수행기간 동안 정밀 분석을 동반한 기획과 자료 등을 근거로 제품 개발을 수행하였으며, 단순 적층 가공이 아닌 기존 식품이 갖고 있는 특성과 영양 등을 유지하면서 3D 프린팅에 적합하게 소재화하는 기술 확보 등으로 사업성 강화를 통해 글로벌 기업으로 성장하고자 개발에 박차를 가하고 있음.



<1차 시제품>



<2차 시제품>

2-3. 연구개발성과

가. 특허성과

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국 명	출원			등 록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	섬유 제조장치	PCT	이화여자 대학교 산학협력단	2018.07.13	PCT/KR201 8/004698	-	-	-	10
2	음파 부양을 이용한 프린터 장치	PCT	이화여자 대학교 산학협력단	2018.10.18	PCT/KR201 8/12342	-	-	-	10
3	마이크로파를 활용한 마이크로 디스펜서 노즐 장치	대한민국	링크 솔루션	2019.11.21	10-2019-015 0538	-	-	-	50

나. 기술거래(이전) 등

No	기술이전 유형	기술실시계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술료 (당해연도 발생액)	누적 징수현황
1	노하우	차세대 푸드테크 구현을 위한 마이크로디스펜 싱 기반 신가공 생산 기기 개발	(주)링크 솔루션	19.12.30	4,200,000원	-

다. 사업화성과 및 매출실적

(1) 사업화 성과

항목	세부항목		성 과	
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	1.5억원
			향후 3년간 매출	25억원(예정)
		관련제품	개발후 현재까지	3억원
			향후 3년간 매출	50억원(예정)
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 1 % 국외 : 0.5 %
			향후 3년간 매출	국내 : 20 % 국외 : 10 %
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : 5 % 국외 : 1 %
			향후 3년간 매출	국내 : 30 % 국외 : 15 %
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		10위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		3위

(2) 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세부 항목	성 과			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2			
	소요예산(백만원)	500			
	예상 매출규모 (억원)	현재까지	3년후	5년후	
		1.5	25	100	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	1	20	40
국외		0.5	10	20	
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획	다양한 식감과 소재를 활용한 6CH이상의 마이크로 디스펜서 장치 개발			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	0.5	5	15	
	수 출	0.3	5	15	

라. 고용창출

고용 기업	성명	소속	직위	학 위	입사일
링크솔루션	강성민	개발팀	팀장	학사	2018.07.01
링크솔루션	조예찬	개발팀	연구원	학사	2018.07.01
링크솔루션	제정현	오퍼레이터팀	연구원	학사	2018.08.06
링크솔루션	윤영건	개발팀	연구원	학사	2018.09.03
링크솔루션	이범수	경영지원	과장	학사	2019.05.01
링크솔루션	권혁배	개발팀	연구원	학사	2019.07.01
링크솔루션	김남혁	경영지원	대리	학사	2019.09.01
링크솔루션	김민정	경영지원	연구원	학사	2019.09.01
링크솔루션	길준호	개발팀	연구원	학사	2019.09.01
링크솔루션	임전택	개발팀	연구원	석사	2019.12.03

마. 국내외 논문 게재

게재 년도	논문명	학술지명	저자명	Vol. (No)	국내외 구분	SCI여부 (SCI/비SCI)	등록번호
2019	Non-enzymatic softening of Calendula officinalis L. petals and its anti-skin aging effect for food materialization	한국식품과학회지	임석원, 최성빈, 이범주, 변상균	51(3)	국내	비SCI	
2019	Effect of Differential Thermal Drying Conditions on the Immunomodulatory Function of Ginger	J. Microbiol. Biotechnol.	이지수, 임석원, 변상균	29(7)	국내	SCI	

바. 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	2018년 한국식생활문화학회 하계 워크숍(3D 프린팅 기술과 미래식품산업(3D 음식 프린팅 기술의 이해 / 3D 음식 프린팅 시연))	이진규	2018.8.8	서울대학교 생활과학대학 최병오홀	대한민국
2	2018 세종대학교 탄수화물소재연구소 정기 학술심포지엄 (3D Printing Technology for Developing Age-Friendly Food)	이진규	2018.9.7	세종대학교 광개토태관	대한민국
3	KoSFoST Beyond 50 years: Renew the New in Food Science (Micro grinding and 3D printing techniques for establishing ready-to-disperse brick-type constructs of food materials)	이진규	2018.6.27	부산 벅스코	대한민국
4	KMB 2018 45th Annual Meeting & International Symposium (Micro Grinding and 3D Printing Techniques for Establishing "Dispersion-Ready" Brick-Type Constructs of Food Materials)	이진규	2018.6.27	여수 엑스포 컨벤션센터	대한민국
5	2019 Kosfost international symposium and annual meeting	이자현	2019.06.27	인천 송도	대한민국
6	2019 Kosfost international symposium and annual meeting	이진규	2019.06.27	인천 송도	대한민국
7	2019 소재 R&D Conference 3D 프린팅기반 스마트푸드팩토리 구축(식품카트리지 및 미세 구조 생성 플랫폼)	이진규	2019.3.25	대상(주)	대한민국
8	2019 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting Characterization of food manufactured by blending of texture-mimicking 3D microstructure	이진규	2019.3.25	인천 송도 컨벤시아	대한민국
9	식량작물 활용 3D 프린팅 국제심포지엄 Customizable food microstructure by 3D-printing technology	이진규	2019.10.22	더케이호텔	대한민국
10	2019년도 국제심포지엄, 정기학술대회 및 정기총회(한국식품영양과학회) Characterization of Food Microstructure Produced with 마이크로 디스펜서	이진규	2019.10.24	제주도 ICC	대한민국
11	2019 푸드테크 트렌드 세미나 3D 프린팅 기반 푸드 스마트팩토리 플랫폼	이진규	2019.10.25	코엑스	대한민국

사. 전문연구 인력양성

No	분류	기준 년도	현 황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1		2019		2				2	2					

아. 산업기술 인력양성

No	프로그램명	프로그램 내용	교육기관	교육 개최회수	총 교육시간	총 교육인원
1	2018 맞춤형기술교육 컨설팅 1차	마이크로 디스펜서 기능 및 작동원리 전문기술교육	(주)링크솔루션	10회	60시간	60명
2	2018 맞춤형기술교육 컨설팅 2차	마이크로 디스펜서, CNC 및 레이저커팅기 기술교육	(주)링크솔루션	15회	45시간	54명
3	메이커스튜디오	드론과 무드등 비누제작을 통한 마이크로 디스펜서 이해	(주)링크솔루션	15회	30시간	60명
4	마이크로 디스펜서 전문가 양성교육	마이크로 디스펜서 기술기반 체험 프로그램	(주)링크솔루션	10회	30시간	20명
5	다름의 가치를 담은 고교 만들기	마이크로 디스펜서를 이용한 비누몰드	(주)링크솔루션	10회	30시간	90명

자. 홍보전시

- 대학저널 2018. 06. 19. : 이화여대 이진규 교수팀, 마이크로 디스펜서로 맞춤형 음식 만든다 마이크로 디스펜서 음식 미세구조 생성 플랫폼 개발
- 머니투데이 2018. 06. 19 : 梨大 이진규 교수팀, 마이크로 디스펜서로 맞춤형 음식 만든다! 식품공학전공 이진규 교수팀, 마이크로 디스펜서 음식 미세구조 생성 플랫폼 개발
- 교수신문 2018. 08. 13. : 마이크로 디스펜서라는 무대의 연출가
- 월간인물 2018. 08. 17. : 인류 식생활에 커다란 변화 일으킬 3D 프린팅 기술
- 머니투데이방송 2018. 11. 13. : [특이한 기자들] 마이크로 디스펜서로 맛과 식감 구현... '푸드테크'가 뜬다
- 베리타스알파 2019. 1. 16. : 이화여대, 이화 테크 비즈 페스티벌 개최
- 서울대학교신문 2019. 3. 10. : 뽑아 먹는 '맛있는 한 끼, 3D 푸드 프린팅을 만나다
- 산기평(유튜브) 2019. 8. 14. : [SHOW ME THE Ktech] 마이크로 디스펜서로 음식을 만든다고요? 이화여대 이진규 교수를 만나다
- 식품저널 2019. 10. 16. : 식량작물 활용 3D 프린팅 국제 심포지엄 22일
- 식품저널 2019. 10. 18. : 2019 대한민국식품대전' 23일 개막
- 식품음료신문 2019. 10. 23. : '3D 프린팅' 식량난 해결·맞춤형 식품 등 적합
- 식품외식경제 2019. 11. 1. : "세계 식품시장, 지속가능성·대체식품 성장할 것"
- 대한민국정책브리핑 2019. 11. 5. : 기술이 바꾸는 식품산업의 미래
- 고대신문 2019. 11. 24. : 먹거리와 과학의 결합, 미래 밥상의 풍경
- 식품저널 2019. 12. 17. : 이진규 이대 식품과 교수, 정보통신산업진흥원장 표창

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용	연구결과
1차 년도 (2018)	마이크로디스펜싱 모듈 기획 및 구상	마이크로디스펜서 방식 식품 제조 장치 시스템 분석 및 기획	X,Y,Z 구동 시스템 분석 및 하드웨어 기획 온도 제어 시스템 분석 및 하드웨어 기획 소재 공급 시스템 분석 및 하드웨어 기획 경화면 평탄화 시스템 분석 및 하드웨어 기획	<ul style="list-style-type: none"> 한천, 카라기난, 하이드로겔 등과 같은 상온에서 고형 물질이면서, 가열을 통해 액화하는 소재를 사용함으로써, 노즐에 직접적으로 소재를 공급 가능하며, 실제 사용 양만큼만 사용 가능하기에 소재의 낭비 절감 및 재활용이 가능한 시스템을 구축 기존 3D 프린팅 시스템에 쉽게 접목하여, 기술적 난이도를 낮췄으며, 노즐을 두 개로 구성하여 복합적인 소재를 적층할 수 있도록 구성하였음. 소재를 보관하는 용기 및 배관, 노즐 모듈은 전부 최대 80~100도 범위에서 가열이 가능하므로, 저온살균이 가능함
		기계 요소 핵심 부품 선정 및 타당성 검토	Piezo Module 부품 선정 및 타당성 검토 Piezo Driver 부품 선정 및 타당성 검토 X,Y,Z 액추에이터 및 모터 선정 및 타당성 검토 노즐 분사구 클리닝 시퀀스 연구	<ul style="list-style-type: none"> 본 장비는 Piezo Jet Dispenser를 Dual로 구성함으로써 두 종류의 재료를 한 공정에서 적층 가능하도록 구성 Piezo jet 방식의 경우 미세 방울 형태로 토출하는 방법을 사용함으로써 비접촉으로 Layer를 쌓을 수 있으며, 보다 정밀하게 적층 가능함. 또한 보다 많은 양의 재료를 사용하기 위해 시린지 타입을 쓰지 않고, 외부 재료 탱크에서 재료를 이송하는 방법을 사용
	마이크로디스펜싱용 식품 소재 탐색	마이크로디스펜싱용 식품 소재의 구조적 특성을 연구하고, 식품으로 활용했을 때, 고려해야할 요소들을 연구함.	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 식품원물의 분쇄 조건을 달리하였을 때 생성되는 분말의 물리화학적 특성을 연구함. 다양한 기능성을 가진 원물을 준비하여 각각 동결분쇄 후 유동층혼합건조과립기(Fluid bed granulator, FBG) 처리를 통해 과립화한 후 그 시료의 이화학적 분석을 통해 입도 및 입형의 차이를 살펴보았음. -196℃의 초저온 환경에서 분쇄 가공하여 액체에 분산화된 분말의 물성을 대표할 수 있는 유변학적 특성 중 하나인 분산도를 측정하여 연구를 수행함. 	
	마이크로디스펜싱용 식품 원료의 제조 및 물성연구	식품 소재 형성 기작 및 구조 특성 연구	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 식품소재들을 이용하여 구조체를 형성하는 과정에서 그 방법에 따라 생성되는 구조의 물리화학적 특성을 분석하고, 마이크로디스펜싱으로 구현할 수 있는 구조체 형성 공정 설계를 시도하여 이를 차세대 식품생산의 기반기술로 활용함 식품 마이크로디스펜서 제조 장치를 이용하여 제작가능한 식품 구조와 제품을 개발하고, 기존 식품과 비교하여 시장경쟁력이 있는 식감과 맛을 개발, 표준화함으로써, 프린팅된 제품과 수제품을 비교 평가하고 장치성과 효용성을 평가하고자 함. 하이드로겔 형성을 통한 구조체 형성 공정을 설계하고 구현함. Alginate를 이용한 구조체 형성과정과 그 특성에 대한 연구에서 Ca²⁺ 이온과의 결합을 통한 gel 형성을 구현해본 결과, 구조체를 형성할 수 있는 공정을 시도함. Nano-methylcellulose와 함께 구조체를 형성하는 공정에 이용되었으며, 구조형성 조절을 위한 환경변수나 조절 요소들을 마이크로디스펜싱에서 일부 구현함. 	

	<p>마이크로디스펜싱 적용 가능한 하이드로겔 형성 기작 및 구조 특성 연구</p>	<p>하이드로겔 형성 polymer에 따른 생성 구조 연구</p>	<p>하이드로겔을 형성하는 다양한 polymer들에 따라 생성되는 하이드로겔의 구조적 특성을 연구하고, 식품으로 활용했을 때, 고려해야 할 요소들을 연구함.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 검류를 비롯한 다양한 식품 응용가능 polymer 들을 이용하여 hydrogel을 형성하고, 구조화 할 수 있는 기술에 대한 연구를 진행하였음. • 기존 연구들에 대한 문헌 조사를 통해 가능성을 평가하였으며, 이를 기반으로 구현하는데 필요한 요소분석을 실시하였음. • Methyl cellulose, alginate 등의 식품활용 가능한 고분자들이 활용가능성이 상대적으로 높은 것으로 확인되었음. • gelatin과 alginate, MC, gum 류, starch등 다양한 polymer를 혼합하여 함수성과 texture 특성을 다양화 할 수 있는 구조체 제작을 시도하였으나, 기대했던 결과를 확보하지 못했음.
	<p>마이크로디스펜싱 적용 가능한 하이드로겔 형성 기작 및 구조 특성 연구</p>	<p>하이드로겔 형성 과정에 따른 생성 구조 연구</p>	<p>다양한 polymer들을 이용하여 하이드로겔을 형성하는 과정에서 그 방법에 따라 생성되는 구조의 물리화학적 특성을 분석하고, 그 구조에 영향을 주는 요소들을 연구함. 수분함량, 급속성이온의 존재와 량, 온도, 습도, pH, 형성시간 등 하이드로겔 형성에 대한 환경변수, 인자들을 연구하고, 그 영향에 의한 하이드로겔 구조 변화, 특성을 연구함. 이를 통해 마이크로디스펜싱으로 구현할 수 있는 하이드로겔 구조의 다양성과 특성을 연구하고 이를 차세대 식품생산의 기반기술로 활용함</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 하이드로겔 형성을 통한 구조체 형성 과정에서의 문제점과 구조체의 특성에 대한 연구를 진행하였음. • Alginate를 이용한 구조체 형성과정과 그 특성에 대한 연구에서 Ca+2 이온과의 결합을 통한 gel 형성을 구현해본 결과, 구조형성에는 성공했으나, 그 특성 변화나 구조형성이 계획한 형태로 형성되는 데는 성공하지 못했음. • Alginate의 경우 온도나, 수분함량이 구조체 형성에 큰 영향을 끼치지 않았으나, pH에는 영향을 받았음. • Gum 류의 경우, 구조체 형성에 대부분 실패했음. 원인은 지지에 필요한 충분한 건조 또는 구조형성에 많은 시간이 걸리고, 천천히 옆으로 퍼지면서 구조가 부서지는 현상이 관찰되었음. • Gum류의 경우, 온도, 수분함량, pH, shear stress 등에 의해 thickening 또는 thinning 되는 현상 등이 관찰되었음. • Methylcellulose의 경우 구조체 형성은 어렵지 않게 성공하였으나 구조형성 조절을 위한 환경변수나 조절 요소들을 찾지 못하였다. • gelatin과 alginate, MC, gum 류, starch 등을 혼합하여 식품에 적합한 구조체 형성을 유도한 결과 조절 요소들과 현상에 대한 관찰이 더 많이 필요함을 느꼈음.
<p>2차년도 (2019)</p>	<p>마이크로디스펜싱 모듈과 스테이지 설계 및 시스템 제작</p>	<p>3D마이크로 디스펜서 제조장치 기계 요소 시스템 설계 및 제작</p>	<p>X,Y,Z 메카닉 시스템 설계 및 제작 경화면 평탄화 시스템 분석 및 하드웨어 설계 및 제작 UV 경화 시스템 분석 및 하드웨어 설계 및 제작</p>	<ul style="list-style-type: none"> • X,Y축에 감속기를 장착하여 고출력의 모터를 사용 및 안정성 보완 • 기존 대비 시제품 규모 확장에 따른 모터 구성내용 변경
		<p>3D마이크로 디스펜서 제조장치 제어 요소 시스템 설계</p>	<p>통합 제어 회로 구상 및 설계 온도 제어 시스템 제어 설계</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Piezo Dispenser와 이를 공급해주는 파이프 및 탱크에 대해 각각 히터, 온도센서, 온도컨트롤러 구성 후 바닥면에 토출된 재료 안정화를 위한 BED 또한 1,000W급 실리콘 히터를 통해 가열 등의 시스템 구축

		<p>3D마이크로 디스펜서 제조 장치 토출 및 경화 시스템 설계 및 제작</p>	<p>디스펜서 Module 설계(Heating System / UV Lamp 제어 / 평탄 Roller 제어) 디스펜서 제어 Driver 적용 및 기초 토출 테스트 장치 설계 및 제작 레이저 / 스캔헤드 기반 미세 구조 제작 장비 연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 디스펜서 모듈(Heating System) 설계를 통해 튜브 히터의 고정 측면 잡아주는 가이드와 튜브 히터가 고정될 수 있게 하는 칼라, 튜브 히터 너트 가열 위한 히팅 장치 구성 • 개선된 소재 탱크로 2개의 메인탱크와 2개의 보조 탱크로 구성하여 대형 제품의 경우에도 연속적으로 토출 할 수 있는 장점 보유
		<p>마이크로 디스펜싱에 의한 식품제조 공정연구</p>	<p>출력할 모델을 스케치업, 3DMAX, 인벤터, 캐드 등등 3D tool을 사용하여 그리고 *.stl 파일로 Export함 Cura를 실행하여 출력할 모델(STL파일)을 로드하고, 마이크로디스펜서에 설정값을 입력한 후 G-CODE를 생성함 생성(저장)된 G-Code를 PrintRun에서 적재하여 식품을 제조함</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 20 mm × 10 mm × 1.6 mm 크기의 honeycomb 디자인을 설정하여 식품소재를 출력하였으며, 소재에 따라 마이크로디스펜서 설정값을 설정함. 멥쌀과 감자전분 이용 혼합물을 소재로 한 경우, pressure 0.28 MPa, rising 1.0 ms, open time 0.0 ms, falling 0.5 ms, delay 2.5 ms, needle lift infinite로 설정함. • 감자생전분을 이용한 혼합물을 소재로 한 경우, 2개의 nozzle을 이용하였으며, T0 nozzle의 pressure 0.0 MPa, rising 10.0 ms, open time 0.3 ms, falling 1.6 ms, delay 40.0 ms, needle lift 100%, T1 nozzle의 pressure 0.05-0.2 MPa, rising 0.5 ms, open time 0.2 ms, falling 0.7 ms, delay 35.0 ms, needle lift 100%로 설정함
<p>마이크로 디스펜싱용 식품원료의 제조 및 물성연구 (이화여대)</p>		<p>이화학적 물성분석</p>	<p>마이크로 디스펜싱에 적합한 식품원료의 탐색 및 물성의 확보를 위해 이화학적 분석을 수행함</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 마이크로 디스펜싱에 적합한 식품원료의 탐색 및 물성의 확보를 위해 입도, 입형, 레올로지 및 texture analysis를 실시하였음. • Particle shape analysis <ul style="list-style-type: none"> - 멥쌀가루, 감자전분, CNC 및 AS를 소재로하여 분석하였으며, 멥쌀가루의 경우 모양과 크기가 균일하지 않고 표면이 다소 거칠었음. 감자전분은 매끄러운 표면으로 원형이나 타원형의 형상이었으며, CNC는 입자의 크기가 작게 나타남. AS는 모양과 크기가 균일하지 않았음. • Particle size analysis <ul style="list-style-type: none"> - 멥쌀가루, 감자전분, CNC 및 AS의 평균 입자 크기는 각각 50.374±0.380 μm, 39.638±0.536 μm, 16.373±0.569 μm 및 91.933±10.685 μm임. • Rheology analysis <ul style="list-style-type: none"> - 멥쌀가루 및 감자전분 이용 혼합물의 경우, angular frequency가 증가함에 따라 G'과 G''이 증가함. - CNC, AS 및 감자전분 이용 혼합물의 경우, G' 수치가 G'' 수치보다 높게 나타나 점성적 성질에 비해 탄성적 성질이 강하게 나타남. • Texture analysis <ul style="list-style-type: none"> - 말토덱스트린을 소재로 하여 3D 프린팅한 구조체를 실제 식품의 강도, 바삭함, 응집성 등을 비교 시, grid 디자인에 따라 에너지바와 양갱사이, 바나나와 초코파이 사이의 물성으로 나타남.

<p>마이크로 디스펜싱 하이드로겔 구조 특성에 따른 관능 특성 평가 파라미터 탐색 및 식품 응용 기술 연구 (호서대)</p>	<p>하이드로겔 형성구조와 polymer 종류에 따른 관능적 특성분석</p>	<p>형성된 하이드로겔을 식품에 적용했을 때 구조체와 polymer의 물리화학적 특성에 따라 나타나는 다양한 관능적 특성에 영향을 주는 하이드로겔의 두께, 수분함량, 건조특성, 염분 존재등 인자들에 대한 연구를 진행함.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 하이드로겔을 이용하여 식품 구조체를 형성을 유도하는데 실패함. ◆ 하이드로겔을 분사하고 이것이 구조체를 형성하는 과정 중에 문헌조사를 통해 효과적일 것으로 기대했던 식품용 폴리머를 이용한 하이드로겔의 지지력이 구조체를 형성하기에 충분치 않으며, 또한 식품적 특성을 비교분석할 수 있는 구조체를 형성하지 못하였음. ◆ 따라서 구분할 수 있는 식품적 특성을 나타낼수 있는 마이크로 디스펜스용 하이드로겔 시스템을 연구 개발하는 것이 우선된다는 것을 알게 됨.
	<p>하이드로겔 형성 구조와 Polymer 종류에 따른 관능평가 파라미터 연구</p>	<p>하이드로겔 형성 구조와 polymer 종류에 따른 관능평가를 세밀하게 구분하여 정량화 할 수 있는 다양한 파라미터에 대한 선행연구를 진행함. Polymer에 따른 구조변화와 Polymer 고유 특성에 의해 관능적 평가, 식감의 변화가 예상되는 바, 이를 정량적으로 분석할 수 있는 평가방법과 파라미터를 연구함.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 앞서 기술한 바와 같이 식품용 폴리머 기반 하이드로겔을 이용한 구조체 형성에 실패하였으며, 이는 여러 식품용 탄수화물, 단백질 폴리머들 대부분을 적용하여 실험해본 결과임. ◆ 이러한 문제가 발생한 원인을 분석해본 결과, 첫째 하이드로겔 폴리머들의 결합력에 의한 구조 형성능이 마이크로 스케일 구조형성에 적합한 수준에 도달하지 못하고, 둘째, 식품 폴리머의 특성상 수분함유량이 매우 높아 구조체를 형성하며 물성이 변하는데 매우 오랜시간이 걸리기 때문임을 알게 되었음. ◆ 이를 폴리머의 종류와 수분과의 비율, 온도, pH 조절을 통한 개선 방법을 연구하였으나, 마이크로디스펜싱에 적합한 수준에 도달하지 못하였음.
	<p>하이드로겔 형성 구조와 Polymer 종류에 따른 식품 개발 및 생산 적용 기술 연구</p>	<p>하이드로겔의 표면을 건조시키거나 수분함량의 변화를 유도하는 등 polymer의 구조에 따라 형성되는 구조를 적절히 활용하여 효과적인 식품 개발과 생산에 적용하는 기술을 연구함. 그에 따라 식품 모양이나 색 등 다양한 형상, 구조, 식감의 식품을 개발하고 이를 생산할 수 있는 기반 기술들을 연구함.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 상기 문제들은 현재 3D 프린팅을 비롯하여 hydrogel 기반 식품구조체 성형 분야 연구에서 공통적으로 제기되는 문제임을 확인한 바, 본 연구에서는 이를 해결할 수 있는 하이드로겔 시스템을 연구하고자 하였음. ◆ 이를 위해 가장 우수한 물리적 성형 특성을 제공하는 것으로 알려진 Ca²⁺ 이온에 의한 alginate hydrogel을 형성을 이용한 성형 system을 만들고자 하였음. ◆ 온도에 감응형 식품 hydrogel인 gelatin을 이용하여 Ca²⁺ 방출을 유도한 system을 개발하여 응용 가능성과 특성을 연구하였음. ◆ 온도에 따라 특성이 변해 포집 성분의 release 특성을 나타내는 liposome을 이용하는 system을 도입하고자 했으나, system 제작 과정에서 다양한 문제점들이 발생하여 시간내 성공적인 결과를 얻는데 실패하였다. ◆ 가장 성공적인 결과를 얻어낸 것은 butterfat을 이용한 solid lipid를 이용한 release system 설계였음. 그러나 바로 구조체 성형에 응용하기에는 해결해야 할 문제들이 있음을 알게 되었음.

3-2. 목표 달성여부

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도	연구개발 수행내용
1차 년도 (2018)	마이크로디스펜싱 모듈 기획 및 구상	마이크로디스펜서 방식 식품 제조 장치 시스템 분석 및 기획	100%	<ul style="list-style-type: none"> · X,Y,Z 구동 시스템 분석 및 하드웨어 기획 · 온도 제어 시스템 분석 및 하드웨어 기획 · 소재 공급 시스템 분석 및 하드웨어 기획 · 경화면 평탄화 시스템 분석 및 하드웨어 기획
		기계 요소 핵심 부품 선정 및 타당성 검토	100%	<ul style="list-style-type: none"> · Piezo Module 부품 선정 및 타당성 검토 · Piezo Driver 부품 선정 및 타당성 검토 · X,Y,Z 액추에이터 및 모터 선정 및 타당성 검토 · 노즐 분사구 클리닝 시퀀스 연구
	마이크로디스펜싱용 식품 원료의 제조 및 물성연구	마이크로디스펜싱용 식품 소재 탐색	100%	<ul style="list-style-type: none"> · 마이크로디스펜싱용 식품소재의 구조적 특성을 연구하고, 식품으로 활용했을 때, 고려해야할 요소들을 연구함.
		식품 소재 형성 기작 및 구조 특성 연구	100%	<ul style="list-style-type: none"> · 다양한 식품소재들을 이용하여 구조체를 형성하는 과정에서 그 방법에 따라 생성되는 구조의 물리화학적 특성을 분석하고, 마이크로디스펜싱으로 구현할 수 있는 구조체 형성 공정설계를 시도하여 이를 차세대 식품생산의 기반기술로 활용함
	마이크로디스펜싱 적용가 능한 하이드로젤 형성 기 작 및 구조 특성 연구	하이드로젤 형성 polymer에 따른 생성 구조 연구	100%	<ul style="list-style-type: none"> · 하이드로젤을 형성하는 다양한 polymer들에 따라 생성되는 하이드로젤의 구조적 특성을 연구하고, 식품으로 활용했을 때, 고려해야할 요소들을 연구함.
		하이드로젤 형성 과정에 따른 생성 구조 연 구	100%	<ul style="list-style-type: none"> · 다양한 polymer들을 이용하여 하이드로젤을 형성하는 과정에서 그 방법에 따라 생성되는 구조의 물리화학적 특성을 분석하고, 그 구조에 영향을 주는 요소들을 연구함. 수분함량, 금속성이온의 존재와 량, 온도, 습도, pH, 형성시간 등 하이드로젤 형성에 대한 환경변수, 인자들을 연구하고, 그 영향에 의한 하이드로젤 구조 변화, 특성을 연구함. 이를 통해 마이크로디스펜싱으로 구현할 수 있는 하이드로젤 구조의 다양성과 특성을 연구하고 이를 차세대 식품생산의 기반기술로 활용함

2차 년도 (2019)	마이크로디스펜싱 모듈과 스테이지 설계 및 시스템 제작	3D 마이크로 디스펜서 제조장치 기계 요소 시스템 설계 및 제작	100%	<ul style="list-style-type: none"> · X,Y,Z 메카닉 시스템 설계 및 제작 · 경화면 평탄화 시스템 분석 및 하드웨어 설계 및 제작 · UV 경화 시스템 분석 및 하드웨어 설계 및 제작
		3D 마이크로 디스펜서 제조 장치 제어 요소 시스템 설계	100%	<ul style="list-style-type: none"> · 통합 제어 회로 구상 및 설계 · 온도 제어 시스템 제어 설계
		3D 마이크로 디스펜서 제조 장치 토출 및 경화 시스템 설계 및 제작	100%	<ul style="list-style-type: none"> · 디스펜서 Module 설계(Heating System / UV Lamp 제어 / 평탄 Roller 제어) · 디스펜서 제어 Driver 적용 및 기초 토출 테스트 장치 설계 및 제작 · 레이저 / 스캔헤드 기반 미세 구조 제작 장비 연구
	마이크로 디스펜싱용 식품원료의 제조 및 물성연구 (이화여대)	마이크로 디스펜싱에 의한 식품제조 공정연구	100%	<p>출력할 모델을 스케치업, 3DMAX, 인벤터, 캐드 등등 3D tool을 사용하여 그리고 *.stl 파일로 Export함</p> <p>Cura를 실행하여 출력할 모델(STL파일)을 로드하고, 마이크로 디스펜서에 설정값을 입력한 후 G-CODE를 생성함</p> <p>생성(저장)된 G-Code를 PrintRun에서 적재하여 식품을 제조함</p>
		이화학적 물성분석	100%	마이크로 디스펜싱에 적합한 식품원료의 탐색 및 물성의 확보를 위해 이화학적 분석을 수행함

<p>마이크로 디스펜싱 하이드로겔 구조 특성에 따른 관능 특성 평가 파라미터 탐색 및 식품 응용 기술 연구 (호서대)</p>	<p>하이드로겔 형성구조와 polymer 종류에 따른 관능적 특성분석</p>	<p>100%</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 형성된 하이드로겔을 식품에 적용했을 때 구조체와 polymer의 물리화학적 특성에 따라 나타나는 다양한 관능적 특성에 영향을 주는 하이드로겔의 두께, 수분함량, 건조특성, 염분 존재등 인자들에 대한 연구를 진행함.
	<p>하이드로겔 형성 구조와 Polymer 종류에 따른 관능평가 파라미터 연구</p>	<p>100%</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 하이드로겔 형성 구조와 polymer 종류에 따른 관능평가를 세밀하게 구분하여 정량화할 수 있는 다양한 파라미터에 대한 선행연구를 진행함. Polymer에 따른 구조변화와 Polymer 고유 특성에 의해 관능적 평가, 식감의 변화가 예상되는 바, 이를 정량적으로 분석할 수 있는 평가방법과 파라미터를 연구함.
	<p>하이드로겔 형성 구조와 Polymer 종류에 따른 식품 개발 및 생산 적용 기술 연구</p>	<p>100%</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 하이드로겔의 표면을 건조시키거나 수분함량의 변화를 유도하는 등 polymer의 구조에 따라 형성되는 구조를 적절히 활용하여 효과적인 식품 개발과 생산에 적용하는 기술을 연구함. 그에 따라 식품 모양이나 색 등 다양한 형상, 구조, 식감의 식품을 개발하고 이를 생산할 수 있는 기반 기술들을 연구함.

4. 연구결과의 활용 계획 등

<주관기관> 링크솔루션

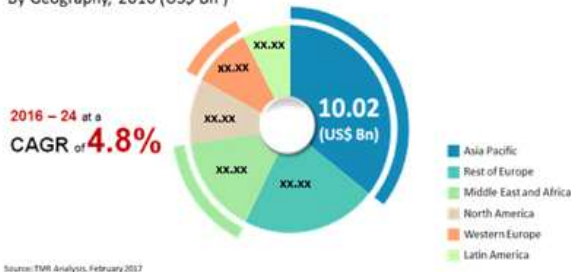
■ 본 개발장비는 주요 타겟이 카페이며, 전세계 카페에 배치된 커피 머신 옆에 쓰일 장비로 활용 예정



○ 국내외 카페시장 규모

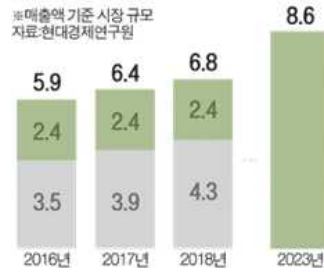
- 해외 카페시장은 2016년 286억 달러(31조원)에서 **CAGR 4.8%**으로 2025년 440억 달러 (48조원) 성장 예측

Global Instant Coffee Market Revenue
By Geography, 2016 (US\$ Bn)



<해외 커피시장 규모>

국내 커피산업 성장전망 (단위:조원)

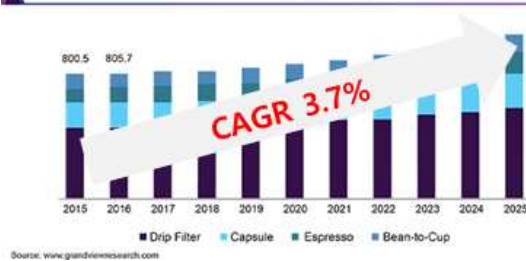


<국내 커피시장 규모>

- 국내 커피시장의 규모는 2018년 기준 약 7조원으로 추정되며, 2023년까지 약 9조원 수준으로 확대 될 것으로 전망(한국은 세계 6위 수준 커피 소비 국가)
- 국내 커피 산업은 2016년 약 5.9조원에서 2018년 약 6.8조원(15% 이상)까지 성장
- 특히 커피전문점 시장이 2016년 약 3.5조원에서 2018년 약 4.3조원(23%)까지 확대되었으며, 향후 커피전문점 중심 외형 확장으로 국내 커피 산업은 2023년 약 8.6조원 규모로 성장 예상

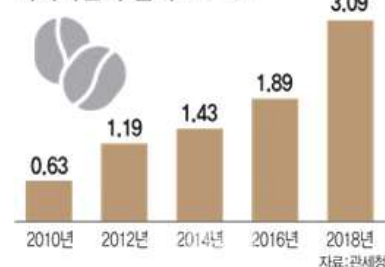
○ 국내외 커피머신 시장 규모

U.S. coffee machine market size, by product, 2015 - 2025 (USD Million)



<해외 커피머신 시장 규모>

커피머신 수입액 단위:억달러



<커피 머신 수입액 현황>

- 전 세계 커피 머신 시장 규모는 2018년 58억 달러(6.4조)에서 CAGR 3.7%으로 2025년 76억 달러(8.3조) 성장 예측

○ 국내외 베이커리 시장 규모



<해외 베이커리 시장 규모>



<국내 베이커리 시장 규모>

- 전 세계 베이커리 시장 규모는 2017년도부터 CAGR 4.0%으로 2022년 기준 970억 달러 (106조) 성장 예측
- 국내 베이커리 시장 규모는 2012년 4.3조에서 2016년 6.4조원으로 50% 가까이 증가
- 식생활 서구화에 따른 빵 + 커피 메뉴 조합의 수요 증대를 활용하여 **제품의 시장성 시너지 효과 강화** 예상

■ 맞춤형 제조 기술이 정착하여 연관 산업에 녹아 들기 위한 과제 해소



<식품 콘텐츠 개발>

<기존 식품기업과 연계>

<로봇, AI기술 접목>

<협동연구기관> 이화여자대학교

- 듀얼노즐 마이크로디스펜싱에 적합한 parameter 설정, 식품 원료와 같은 연구개발 결과로 자동제조 가능한 디저트류의 개발을 위한 기본 플랫폼으로 활용 가능
- 식품 재료 및 가공 조건, 공정 등 장비와 재료 보급이 가능
- 본 과제 수행을 통한 데이터 기반으로 음식 자동화기기 연구 개발과 보급의 활용도 극대화 예상

<협동연구기관> 호서대학교

- 마이크로 또는 서브 마이크로 스케일의 차세대 식품 성형을 위한 기반 기술 확보
- Controlled release를 활용한 식품응용 기술 확보

붙임. 참고문헌

- Markstedt, K., Mantas, A., Tournier, I., Martínez Añón, H. c., Hagg, D., & Gatenholm, P. (2015). 3D bioprinting human chondrocytes with nanocellulose - alginate bioink for cartilage tissue engineering applications. *Biomacromolecules*, *16*(5), 1489-1496.
- Avery, M. P., Klein, S., Richardson, R., Bartlett, P., Adams, G., Dickin, F., & Simske, S. (2014). The rheology of dense colloidal pastes used in 3D-printing. *NIP & Digital Fabrication Conference* (Vol. 2014, pp. 140-145): Society for Imaging Science and Technology.
- Gomes, A. M., da Silva, C. E. M., Ricardo, N. M., Sasaki, J. M., & Germani, R. (2004). Impact of annealing on the physicochemical properties of unfermented cassava starch (“Polvilho Doce”). *Starch Stärke*, *56*(9), 419-423.
- Kim, H. W., Bae, H., & Park, H. J. (2017). Classification of the printability of selected food for 3D printing: Development of an assessment method using hydrocolloids as reference material. *Journal of food engineering*, *215*, 23-32.
- Ashogbon, A. O. (2018). Current Research Addressing Physical Modification of Starch from Various Botanical Sources. *of*, *7*, 2.
- Chen, H., Xie, F., Chen, L., & Zheng, B. (2019). Effect of rheological properties of potato, rice and corn starches on their hot-extrusion 3D printing behaviors. *Journal of food engineering*, *244*, 150-158.
- Huang, C. Y. (2018). Extrusion-based 3D printing and characterization of Edible materials. University of Waterloo.
- Ramírez, C., Millon, C., Nuñez, H., Pinto, M., Valencia, P., Acevedo, C., & Simpson, R. (2015). Study of effect of sodium alginate on potato starch digestibility during in vitro digestion. *Food hydrocolloids*, *44*, 328-332.
- Sultan, S., & Mathew, A. P. (2018). 3D printed scaffolds with gradient porosity based on a cellulose nanocrystal hydrogel. *Nanoscale*, *10*(9), 4421-4431.
- 유명승. (2010). 쌀가루-전분 블렌드 겔의 구조 안정성 연구. 율촌재단 식품관련 기초연구과제총서 1*2 (pp. 217-239). 서울: 율촌재단.

주의

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