

316058

발간등록번호

11-1543000-002779-01

소비자 맞춤형 식품 3D-프린팅 기술 및 제품 개발

3D-프린팅

2019

농림축산식품부

고부가가치식품기술개발사업 Report

소비자 맞춤형 식품 3D-프린팅 기술 및 제품 개발 최종보고서

2018. 06. 10.

주관연구기관 / 주식회사 링크솔루션
협동연구기관 / 이화여자대학교 산학협력단
가톨릭대학교 산학협력단
(주) 퀴텀솔루션

농림축산식품부

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “소비자 맞춤형 식품 3D 프린팅 기술 및 제품 개발” (개발기간 : 2016.07.07. ~ 2018.12.31.) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019 . 02. 07.

주관연구기관명 : (주) 링크솔루션 (대표자) 최근식 (인)
협동연구기관명 : 이화여자대학교산학협력단 (대표자) 이진규 (인)
협동연구기관명 : 가톨릭대학교산학협력단 (대표자) 유영선 (인)
참여기관명 : (주) 퀴텀솔루션 (대표자) 장태욱 (인)

주관연구책임자 : 최근식

협동연구책임자 : 이진규, 유영선

참여기관책임자 : 장태욱

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<p>요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 바이오 및 식품 소재 프린팅을 위한 압출장치 및 프린팅 장비 개발 - 식품 소재 출력을 위한 시린지 압출 방식 3D 프린터 장비 개발 - 식품 소재 출력을 위한 스크류 압출 방식 3D 프린터 장비 개발 - 파우더 식품소재 출력을 위한 버블젯 방식 3D 프린터 개발 - 파우더 식품소재 출력을 위한 보급형 피에조젯 방식 3D 프린터 개발 - 산업용듀얼 피에조젯 방식 3D 프린터 개발 - 식품 프린팅 장치 살균 장치 개발 - 식품소재 절단면 조직구조의 3D 데이터화 및 모델링 - 식품소재의 구조학적, 유변학적 파라미터 수집 및 소재선정을 위한 기초연구 - 음식물의 저작과정(입안에서 씹히는 과정)중 텍스처 변화를 수치화하여 연구 - Building Information Modeling을 도입하여 식품소재 유사 microstructure 디자인(조직구조, 유변학적 특성 등) - 각 Microstructure를 미식용 재료를 사용하여 기존 3D 출력 방식에 의해 출력한 미세구조를 실제 식품소재의 특성과 비교 및 검증(물성 분석을 통한 조직감 측정 및 분석) - 개발된 식용 3D 프린터와 식용재료를 사용, microstructure building block을 출력하여 유변학적 특성 및 조직감, 탄성 검증 - 식용 프린터 재료별 mcrostructure의 물성분석과 building block 구현 - 카트리지 최적화를 위한 공정 시험분석 - 활용실적: 특허출원(11건), 특허등록(4건), 논문(SCI 6편/비SCI 3편), 학술발표(11건), 언론홍보실적(21건), 전시회 참가(20건), 교육 및 컨설팅(17건) - 식품 3D 프린팅 조직, 텍스처 사전연구를 위한 고분자 바이오 플라스틱 원료 개발, 바이오 필라멘트 개발 및 식품과 유사한 연질 필라멘트 제작 및 3D 프린팅 - 식품 프린팅을 위한 탄수화물, 증점제, 지질 등 식품 원재료 선정 - 식품원재료 균일화 및 안정성 연구 프린팅 적합성 및 식품 3D 프린팅을 위한 현상 유지 및 소재간 상용성 유지를 위한 연구 - 프린터 출력 시 선정된 원재료의 3D 출력의 용이성을 하드웨어 수정 보완, 소프트웨어 설정값의 변화를 통한 식품 3D 프린팅 조건 설정 완료. - 식품 3D 프린팅 관련 파라미터 DB구축을 통한 데이터 수집 체계 구축 - 식품 3D 프린팅 환경 구축을 통한 DB 운영 환경 마련 - 식품 3D 프린팅 환경 구축을 위한 연동 환경 구성과 이를 위한 제어 장치 개발 - 사용자 환경(GUI)를 이용한 식품 3D 프린팅 및 DB 연동을 통한 제품화. - 본 연구과제 수행으로 소프트웨어 저작권 등록 (2건) 	<p>보고서 면수</p> <p style="text-align: center;">222</p>
--	--

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>본 연구는 식품 소재를 이용한 빌딩 블록 기술 개발과 식품 소재 3D 프린팅 시스템 기술 개발을 통해 식품과 유사한 식감을 가진 제품을 3D 프린팅 과정을 통해 구현하는 기술을 개발을 하고자 함.</p>
<p>연구개발성과</p>	<p>1. 본 연구에서는 식품 소재를 이용한 3D 프린팅 기술을 개발하기 위해 다양한 형태의 식품 소재 특성(파우더, 액상, 젤, 화학적 결합요소, 물리적 특성)을 조사하고, 미세 압출 및 적층하기 위한 3D 프린팅 압출 장치 모듈 개발 및 3D 프린팅 장비를 개발함. 바이오 소재 및 점성 액상 소재를 압출 할 수 있는 모듈 개발을 진행하여, 식품 소재의 외형을 바이오소재를 통해 틀을 만들고, 내부에 액상소재를 동시에 출력하여 적층 형상을 만들 수 있는 장비를 개발하였으며, 또한 시린지 타입으로 압출 가능한 저점도 액상 소재용 3D 프린터와 반죽 또는 겔과 같이 고점도 소재를 압출하기 위한 스크류 타입 압출 모듈을 적용한 3D 프린터를 개발하여, 소재 형태별 적층이 가능한 3D 프린터 장비를 개발하였음. 파우더 소재를 적층하는 방식을 사용하여 텍스처링, 카라기난, 한천등의 소재를 이용한 3D 프린팅 장비를 개발하여, 화학적 결합을 통한 3D 적층 기술에 대한 연구를 진행하였음. 산업용 피에조젯 디스펜서 모듈을 두 개 사용함으로써, 두 개의 액상 소재를 적층 가능한 3D 프린터를 개발했고,, 고점도 재료, 저점도 재료도 미세 압출이 가능하기 때문에 소재 적층 연구, 이중소재 혼합 및 적층 연구, 두 개의 재료의 화학적 반응을 이용한 적층 연구를 진행함.</p> <p>2. 3D 프린팅 식품용 소재개발 평가 및 조직분석 연구를 위해 식품소재 절단면 조직구조의 위상 데이터 수집 및 3D 스캐닝을 통한 3D 데이터화 분석에 의해 미립화된 시료의 이미지화 및 3D 데이터를 수집함. 식품소재의 유변학적 특성, 조직감, 그리고 탄성도의 수치화하였고, 유변학적 데이터에 근거하여 식품 3D 프린팅 접합 식품소재 탐색을 탐색함. 가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구 및 빌딩블록 디자인을 위해 Building Information Modeling을 도입하여 식품소재에 유사한 조직구조와 유변학적 특성을 가진 microstructure를 3가지 패턴에 4가지 밀도를 대입하여 총 12개의 microstructure를 개발하여 구현함. 각 Microstructure를 기존 3D 출력 방식과 비식품 재료를 사용하여 3D 모델 구현 후 실제 식품소재의 특성과 비교 및 검증을 진행함. 유변학적 특성의 연구를 위해 출력된 hex pattern microstructure의 물성 분석 후 유사한 물성을 갖는 식품과의 비교 분석을 위해 개발된 3D 식품 프린터를 식용재료를 이용하여 hex pattern을 출력하고 이의 물성을 비교 분석함. 개발된 식용 3D 프린터와 식용재료를 사용하여 출력한 식품의 유변학적 특성 및 조직감, 탄성 수치화 및 검증 및 시제품의 형상유지 물성 측정을 진행함. 카트리지를 최적화를 위한 공정을 설계하여 분석함.</p> <p>3. 조직, 텍스처 등 사전연구를 위한 바이오 플라스틱 원료 및 바이오 필라멘트 개발을 위하여 식물체, 고분자, 생분해 촉매제 등을 이용하여 바이오 플라스틱 원료 펠릿을 개발하였고, 개발된 펠릿을 이용하여 4종의 바이오 필라멘트 제작 및 물성, 가공성 등 실험을 위하여 다양한 3D 프린팅 제품 제작 실험을 실시하였음. 또한 바이오 필라멘트를 이용한 물성, 생산성이 개선된 3D 프린터용 바이오 필라멘트 제조 기술연구를 추진하였음. 기존 3D 프린터에 적용되는 PLA, ABS 소재 필라멘트의 경우, 너무 딱딱하여 식품의 프린팅후 물성의 사전연구를 위해 적합하지 않은 문제점이 있음. 이에 식품과 유사한 물성을 구현할 수 있는 3D 프린터용 필라멘트를 개발하기 위하여 연질 특성을 부여한 바이오 필라멘트를 개발하여 다양한 3D 프린팅 제품 제작 실험을 실시하였음.</p>

	<p>탄수화물인 밀가루 전분, 지질 기반 소재로 대두유, 버터, 카나우바 왁스, 증점제로서 카파 카라기난, 잔탄검, 아라비아검을 선정하여 식품 원재료 종류, 배합량에 따른 식품소재 특성을 연구하였음. 특히 식품이 프린팅되어 3차원 적층이 중요하기 때문에 증점제를 바인더로 사용하는 연구를 진행하였음. 또한 점성 및 흐름성을 확인하기 위하여 반죽을 효모를 이용하여 발효, 숙성하여 프린팅 적합성 연구를 수행하였음.</p> <p>선정된 다양한 식품 소재의 3D 프린터 적용을 위한 (1) 물성, 특성개발, 가공방법 연구, 원재료의 열변화, 광학적, 점탄성 부여, (3) 분말, 액상의 형상 유지를 위한 경화 기능 부여 연구, (4) 바인더, 경화 기능을 이용한 원재료 자체 특성이 개선된 조건을 얻을 수 있었음.</p> <p>가공 원재료 구성성분 균일화 및 안정성 연구를 위하여 지질성분, 탄수화물, 증점제를 중심으로 식품 원재료별 배합비를 선정하였음. 이들 원재료를 혼합 반죽하여 프린팅 온도, 토출속도, 노즐 직경 변화 등을 통하여 다양한 식품 프린팅 실험을 하여 원재료의 3D 프린팅 적합성 조건을 설정하였음.</p> <p>식품 3D 프린팅을 하면서 발생할 수 있는 형상유지 기능, 소재간 상용성 유지, 다양한 프린팅 조건 변화를 통한 적층 문제 해결을 위하여 탄수화물인 밀가루 전분, 지질 기반의 버터를 기본으로 하였고, 추가로 상용성, 부착성 개선을 위해 알긴산, 잔탄검, 젤라틴, 아라비아검, CMC, 카라기난을 사용하여 물성 개선 및 프린팅에 적합한 소재 및 프린팅 조건을 설정하였음. 또한 사용 식품소재 특성에 따른, 하드웨어 수정 보완, 소프트웨어 설정 값의 다양한 변화를 통하여 식품이 프린팅이 가능하고 적층이 될 수 있는 조건을 설정할 수 있었음.</p> <p>4. 킴솔루션 (작성분)</p> <p>식감 및 식품소재에 대한 Database를 설계하기 위하여 식감을 연구하는 이화여자대학교와 식품 소재를 연구하는 가톨릭대학교와 논의하였으며, 해당 결과에 따라 식감 데이터베이스와 식품 소재 데이터베이스를 설계하고 이에 따라 DB 서버를 구성함. 서버는 Ubuntu 기반으로 작성하였으며, 이는 3D 프린터 인터페이스 HW와의 호환성을 높여 향후 상용화에 쉽게 접근할수 있음.</p> <p>데이터베이스 쿼리 클라이언트를 개발하였으며, 이를 통하여 맞춤형 메타데이터 DB 구축 시 데이터 누적을 통한 추후 통계 및 레시피 데이터로써 활용도를 높일 수 있을 것으로 예상됨.</p> <p>식감 데이터를 취합하여 개인별 맞춤 Database를 구성 하였으며 식감 데이터를 나이별/성별/치아별등의 상태로 구성하여 일정 데이터를 메타 데이터화하여 식품의 식감과 3D 프린터의 프링팅 방식/소재등과 연동성 연구를 수행하였으며 각종 정보를 DB화 하였고 이를 기반으로 UI기획 및 GUI를 개발 하였음.</p> <p>또한 식감 및 메타 데이터를 사용자 맞춤형/선택형을 위하여 사용자 편의 UI를 개발하였으며 사용자의 사용 시나리오에 의해 선택/히스토리/관리/맞춤형등으로 추가 개발을 추진 하였음.</p> <p>식감 데이터의 취합과 3D프린터의 연계성을 위해 데이터 기반의 사용자 시나리오 작성을 추진하였음.</p>
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p>○ 활용계획</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소비자 맞춤형 식품 3D 프린팅 플랫폼의 상용화를 통한 다각적 확장형 신산업 창출 (연령, 에스닉, 체직, 환경, 종교 등) - 3D 프린팅 기술의 식품제조공정 내 일부 도입 및 대체를 위한 공정 기술 및 최적화 공정 설계인력 배출 및 고용창출 - 원격지 내 RTE(Ready to Eat) & RTC(Ready to Cook) 식품제조를 위한 운반/최소 공간차지형 3D프린터 플랫폼 개발 및 카트리지의 유통 및 운용

	<p>○ 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 용융형/분말화 식품소재의 3차원 구조화를 통한 식품물성을 조절하여 고령친화식품 제조를 위한 빌딩블록으로서의 활용이 기대됨. - 현재 걸음마 단계인 대한민국 3D 프린터 및 원료 소재개발을 통한 원천기술 발전에 기여, 3D 프린터 및 관련 소재 개발을 통하여 다품종 소량생산, 고부가가치 식품 기술, 디자인을 접목한 제품 개발 등으로 산업화 추진 - 식용 건더기 스프, 식물성 단백질 이용한 콩 고기 등 유류 대체 시제품, 곤약 등을 이용한 다이어트 식품 등에 접목하여 산업화 추진 				
국문핵심어 (5개 이내)	3D 프린팅	조직감	형상	소비자 맞춤형	3차원 사출
영문핵심어 (5개 이내)	3D Printing	Texture	figuration	customize	3D Injection

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구수행 내용 및 결과	6
가. 연구개발 추진 전략 · 방법 및 추진체계	6
(1) 연구개발 추진 전략	6
(2) 연구개발 추진 체계	7
(3) 추진일정	8
나. 연구 수행 내용 및 결과	11
(1) 식품 소재 응용 FOOD 프린팅 시스템 개발	11
(가) 바이오 소재 3D 프린팅 테스트 및 형상 구현 프린팅 장비 설계	11
(나) 형상 구현 3D 프린터 개발 완료 및 식품 소재 출력 가능한 3D 프린터 설계	28
(다) 식품 소재 멀티 프린팅 Food 3D 프린터 제작 및 공정 연구	40
(2) 식품 3D 프린팅용 소재선정과 제조된 3D 프린팅 식품의 유변학적, 구조적 특성연구	70
(가) 가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구	70
(나) 3D 프린팅된 식품의 특성연구 및 카트리지 최적화	95
(3) 식품 3D 프린팅용 카트리지 개발을 위한 식품 소재 탐색	125
(가) 조직, 텍스처 등 사전 연구를 위한 바이오 플라스틱 원료 및 바이오 필라멘트 개발	125
(나) 탄소중립 형(Carbon neutral) 바이오매스 탐색 및 조성물 탐색과 바이오 필라멘트 개발	125
(다) 3D 프린터용 바이오 필라멘트 시제품 제조	129
(라) 바이오 필라멘트 및 시제품 제작에 대한 고찰 및 개선방안	138
(마) 식품 3D 프린팅이 가능한 식품소재 레시피 개발	138
(바) 식품 프린팅후 형상유지를 위한 부가연구	147
(사) 식품 3D프린팅 연구 고찰과 개선점	162
(4) 식품 3D 프린팅 관련 파라미터 DB 구축 및 인터페이스 소프트웨어 개발	164
(가) 3D 모델링을 위한 파라미터 Database구축 및 식품 3D프린터 연동장치 하드웨어 설계	164
(나) 식품 3D프린터 연동장치 및 Database시스템간 식품 3D프린터 파라미터 통합 인터페이스 정의	170
(다) 3D프린터 외부 연동인터페이스 소프트웨어 설계 및 개발	178
(라) 3D프린터 연동장치 및 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 시스템 연동 및 제품화 개발	180
(마) 3D프린터 연동 장치 하드웨어 개발(2차년도)	188
(바) 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발(3차년도)	191
(사) 식품 3D프린터 연동장치 제품화 및 메타데이터 시스템 연동(3차년도)	193
(아) 메타데이터 시스템 통합 연동 및 레퍼런스 사이트 구축(3차년도)	197
다. 연구 개발 성과	198
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	207
4. 연구결과의 활용 계획 등	213
붙임. 참고 문헌	214

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

<뒷면지>

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치 식품기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치 식품 기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

- (1) 아기의 이유식부터 노인층과 같이 다양한 연령층에서 식사하는 식품의 종류는 각 세대별로 다르고, 영양학적으로 틀리기 때문에 식품 영양분에 대한 기능성과 더불어 1차적 섭취기관인 구강저작운동의 효율화를 위해 식품의 질감, 식감에 대해 연령 등의 상황 고려형 식품의 개발이 필요할 것이라 추정됨에 따라 3D 프린팅 기술을 적용한 맞춤형 식품 제조 관련 기술을 개발함.

나. 연구개발의 필요성

(1) 식품 소재 응용 FOOD 프린팅 시스템 개발

- (가) 식품 소재는 액상, 파우더, 고형 등과 같이 형상에 대한 특성과 각각의 영양분이 다르기 때문에 3D 프린팅에 적합한 소재 레시피 연구 및 빌딩 블록과 같은 식감 관련 연구, 재료 적층을 위한 장비 개발과 같은 연구가 필요함.
- (나) 해외의 경우 다양한 식재료를 이용한 식품 제조 관련 연구 및 산업화가 진행되고 있지만 아직 국내에서는 식품 3D 프린팅 관련 연구 및 사업화 사례가 부족함
- (다) 따라서 본 연구에서 식품의 종류, 형태, 적층 방식 등과 같이 3D 프린팅 공정에 적합한 소재를 기반으로 식품 3D 프린터 장비 개발 진행함으로써 맞춤형 식품 3D 프린팅 기술 확보가 기대됨

(2) 식품 3D 프린팅용 식품소재 개발을 위한 물성 연구 및 유연학적 연구

- (가) 20세기 말까지 예상되는 세계 인구가 1200 억에 이르면 식량 생산 및 공급을 담당하는 현재의 인프라가 이러한 대규모 인구의 수요를 충족시키지 못함. 재래 기술은 제한적인 공급의 효율성만을 제공 할 수 있으며, 이는 인구 증가에 대응하는 적절한 수준의 식량 가격을 유지하는 정책만으로는 충분하지 않음.
- (나) 기후변화, 질병을 비롯한 정치, 사회, 경제적인 급변화와 이로 인해 불확실한 미래에 대한 선제적 대응으로 신식품중간소재 및 제품제조를 위한 극저온미세분말소재화 기술, 미세유제화기술, 그리고 3D 프린팅과 같은 기술을 탐색하고 구현함으로써 식량 부족, 인플레이션, 기아, 기근, 심지어 식량 전쟁에 적극적으로 대비할 수 있음.
- (다) 미세유제화 기술이 이러한 문제를 해결하고 보호된 유제 내 보호된 성분이 섭취 시 기계적, 효소적, 이화학적(온도, pH 등) 변화로 유출시켜 감각적 만족감을 부여할 수 있음. 고령친화식 재료의 선정에 있어 고민이 필요함. 현재까지도 ‘맛보다는 가공의 효율성과 영양학적 구성을 위주로 설계’ 되어 적은 양으로도 많은 영양소를 공급할 수 있는 특수성이 있음. 궁극적으로는 맛에 대해 보완과 우수성이 요구되며, 이를 위해 다양한 식품가공기술을 적용해야 하며, 특히 식감과 관련된 식품구조 및 물성에 관한 연구가 수행되어야 함.

(라) 미래식품분야 기초기술 중 미세조류, 식물과 곤충 유래 단백질을 효율적으로 가공 후 확보하고, 이를 소비자의 기호, 영양, 건강, 체질, 유전자 특성, 환경, 생활패턴을 맞추어 제공할 수 있는 기술의 구현물을 친환경적으로 사회에 제공할 수 있는 연구 역량의 토대를 구축하고자 함.

(3) 식품 3D 프린팅용 식품소재 탐색 및 빌딩블록 제조 알고리즘 연구(가톨릭대학교)

(가) 최근 다품종 소량생산, 맞춤형 제품 개발, 기존 생산공정의 단점을 극복하기 위한 신공정 개발, 우주 산업 관련 극한 환경에서 제품 생산 등으로 3D 프린팅 기술이 주목을 받고 있어, 많은 연구개발, 산화화가 추진이 되고 있음. 다만 3D 프린팅은 급랭이 필요하고, 강도 경도 등 물리적 특성이 약한 단점이 있어 메탈, 탄소섬유 등 강화 재료 개발이 진행이 되고 있음.

(나) 식품의 경우 강도, 경도 등 물성이 강하지 않고 연질 특성이 부여되어야 하고, 영양물질 조절 등이 필요한 특징이 있어, 3D 프린팅 기술은 의료, 생활용품, 건축 토목, 산업용품 등 보다 식품 분야에 가장 빨리 적용될 수 있어 관련 연구개발, 산업화 측면에서 매우 각광을 받고 있음.

(다) 3D프린팅 기술을 이용한 식품분야 적용은 노인식, 영양식, 환자식, 맞춤형 식품 등 다품종 소량 생산에 더욱 적합한 장점이 있음.

(라) 조직, 텍스처 사전연구를 위한 고분자 바이오 플라스틱 원료 개발, 바이오 필라멘트 제작, 가공 및 3D 프린팅 기술

- ① 식품 특성상 조직이 너무 단단하면 섭취 및 소화를 시키기 어려운 단점이 있고,
- ② 조리 및 가공과정에서 다양한 식품 원재료 특성 변화에 의한 물성, 생산성 연구를 위한 빌딩블록 제조 알고리즘 연구를 위해 고분자를 이용한 기초 물성, 가공 조건 확보를 위해 사전 연구가 필요함

(마) 식품 3D 프린팅 원료 선정 및 가공 방법 연구

- ① 다양한 식품 원재료 중 3차원 적층을 위한 바인더, 경화 특성 소재 선정이 필요함

(바) 3D 프린팅 가공 원재료의 구성성분 균일화 연구 및 안정성 연구

- ① 가공 원재료의 상용성, 가공성, 분산 특성을 부여하기 위해 식품재료 조서 변경, 배합비 탐색, 원재료 첨가량 등에 발생할 수 있는 생산성, 가공성 개발 연구에 의해 실제 3D 적층 가공이 가능 여부, 물성 및 원재료 변화, 프린팅 조건 연구가 필요함
- ② 이에 따라 탄수화물, 지방, 단백질 등 식품재료는 3D 프린팅 공정에서 탄화, 팽윤, 건조, 호화 등에 의한 물성 저하, 흐름성 저하 등으로 생산성, 적층 특성이 부여 되지 못하여 3차원 생산이 안되는 경우가 대다수임
- ③ 이에 따라 식품 원재료의 상용성 개선, 흐름성 제어, 증점제를 통한 점성 조절 등 균일화 및 안정성 연구를 통한 식품 3D 생산 기술개발이 절대적으로 필요함.

(사) 프린팅 후 형상 유지를 위한 원재료 부가 연구

- ① 3차원 적층을 위한 Z축 방향으로 적층 가능성이 있어야 3D 프린팅을 할 수 있음.
- ② 이를 위하여 프린팅 원료 소재의 물성, 특성 개선 및 개량, 소재강 상용성, 부착성 개선 연구, 조리과정시 분리 방지 특성을 위한 3D 적층시 형상 유지 안정화 및 가공 특성이 부여된 식품 개발이 필요함.
- ③ 3D 프린팅은 미래사회 대응형 공정 기술로 적용이 크게 기대되고 있음. 그러나 현재 주로 개발된 3D 프린터는 PLA, ABS 등 고분자를 위한 경우가 대부분이고 식품 프린터로 개발 산업화된 제품은 설탕, 초콜릿 등 당류 재료를 이용하고 있음. 탄수화물 등 식품 원재료를 이용하여 식품 3D 프린팅을 보급, 상용화를 위해 하드웨어인 3D 프린터, 소프트웨어를 통한 가공 및 생산조건 확립 및 원료 선정, 원재료 부가 연구가 매우 필요함.

(4) 식품 3D 프린팅 관련 파라미터 DB 구축 및 인터페이스 소프트웨어 개발(퀀텀솔루션)

- (가) 최근 4차 산업혁명의 대두로 맞춤형 생산, 다품종 다량 생산을 위한 3D 프린팅 기술이 다시 주목받고 있음
- (나) 다양한 산업 환경의 요구사항에 따라 산업별 특화된 기능 및 전문 기술 연구개발이 이루어지고 있으며, 산업별 기기의 제어 및 연동 기술이 핵심 기술로 대두됨
- (다) 또한, 맞춤형 생산을 위한 다양한 데이터 수집기술과 이를 통한 연계 기술을 통해 기존에 축적되지 못한 다크데이터의 수집을 위한 파라미터 DB구축 기술과 연계 기술이 주목받고 있음

다. 연구개발 범위

(1) 식품 소재 응용 FOOD 프린팅 시스템 개발 (링크솔루션)

- (가) 바이오 소재 3D 프린팅 테스트 및 형상 구현 프린팅 장비 설계
- (나) 형상 구현 3D 프린터 개발 완료 및 식품 소재 출력 가능한 3D 프린터 설계
- (다) 식품 소재 멀티 프린팅 Food 3D 프린터 제작 및 공정 연구

(2) 식품소재의 구조학적, 유변학적 파라미터 수집 및 소재선정을 위한 기초연구 / 가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구 / 3D 프린팅된 식품의 특성연구 및 카트리지 최적화 (이화여자대학교)

(가) 식품소재의 구조학적, 유변학적 파라미터 수집 및 소재선정을 위한 기초연구 (1차년)

- ① 분쇄된 식품재료의 미세분석 및 데이터화
- ② 식품소재의 유변학적 분석
- ③ 3D 프린팅용 식품소재 탐색 및 선정

(나) 가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구 (2차년)

- ① Building Information Modeling을 도입하여 식품소재에 더욱 가까운 microstructure 디자인 및 구현
- ② Microstructure를 비식용 재료로 출력하여 실제 식품소재의 물성과 유사도 비교 및 검증

(다) 3D 프린팅된 식품의 특성연구 및 카트리지 최적화 (3차년)

- ① 개발된 식용 3D 프린터와 식용재료를 사용, microstructure building block을 출력하여 물성 연구
- ② 식용 프린터 재료별 microstructure의 데이터 항목과 building block pattern 분석
- ③ 3D 프린팅된 식품의 물성연구 및 카트리지 최적화

(3) 식품 3D 프린팅용 카트리지 개발을 위한 식품 소재 탐색(가톨릭대학교)

(가) 식품 3D 프린팅이 가능한 식품소재 레시피 개발 (1차년)

- ① 식품 3D 프린팅 가능한 식자재 소재 탐색
- ㉠ 식용 분말원료, 액상 조성물, 식품 3D 프린팅 가능한 식자재 소재 탐색
- ㉡ 바인더, 경화제 등 탐색

(나) 조직, 텍스처 등 사전 연구를 위한 바이오 플라스틱 원료 개발

- ① 식물체 바이오매스, 전분, 당질, 고분자 수지 등 이용한 적정 배합설계
- ② 수분 재흡수 방지 및 수지 상용성 증대를 위해 지방산 적용
- ③ 물성, 생산성 향상을 위한 분산제, 상용화제 등 첨가제 적용

(다) 3D 프린터용 바이오 필라멘트 가공기술, 조건 연구

- ① 개발된 원료 레시피를 이용 바이오 필라멘트 1차 시제품 제조
- ② 1차 바이오 필라멘트 이용 3D프린터 제품 시험생산 및 이화여대 시험용으로 제공

(4) 3D프린터용 원료로 선정 및 가공방법 연구 (2차년)

(가) 식품 원재료 선정 및 가공방법 연구

① 탄수화물, 증점제, 지질 원료 선정 및 배합비, 원재료 특성 연구

(나) 가공 원재료 구성성분 균일화 및 안정성 연구

① 식품 원재료 종류별 배합비, 혼합, 온도, 토출속도, 노즐 변경 등 프린팅 적합성 연구

(다) 3D 프린팅용 바이오 필라멘트 시제품 제조

① 식품 물성 사전연구를 위한 연질 바이오 필라멘트 개발 및 프린팅 시험

(5) 프린팅후 형상 유지를 위한 원재료 부가연구 (3차년)

(가) 프린팅 원료 소재의 물성, 특성, 개선 및 개량

① 버터 밀가루 설탕 물 소금으로 밀가루반죽의 레시피 변경

(나) 소재간 상용성 부착성 개선 연구, 조리과정 분리방지

① 검류 첨가 및 물 비율 조절로 점도 조절

(다) 원료 안정성 개선

① 믹싱, 반죽 등 균일한 혼합유지+소프트웨어 설정변경으로 출력물 안정성 개선

(라) 식용 건더기 스프, 식물성 단백질을 이용한 콩 고기 등 육류 대체 원료 시제품 개발

① 대두단백, 유청단백을 첨가한 밀가루 반죽 비율 변경

(마) 형상 유지 안정화 및 내부 가공이 부여된 식품 개발

① 당류 초콜릿 한천 등 이용 식품 프린팅 시제품 개발

(6) 식품 3D 프린팅 관련 파라미터 DB 구축 및 인터페이스 소프트웨어 개발 (퀵템솔루션)

(가) 3D모델링을 위한 파라미터 Database 구축 (1차년도)

(나) 식품 3D프린터 연동장치 하드웨어 설계(1차년도)

(다) 식품 3D프린터 연동장치 및 Database시스템간 식품 3D프린터 파라미터 통합 인터페이스 정의(2차년도)

(라) 사용자 맞춤형 및 선택형 UI기반의 디자인 개발 (2차년도)

(마) 3D프린터 연동장치 및 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 시스템 연동 및 제품화 개발(3차년도)

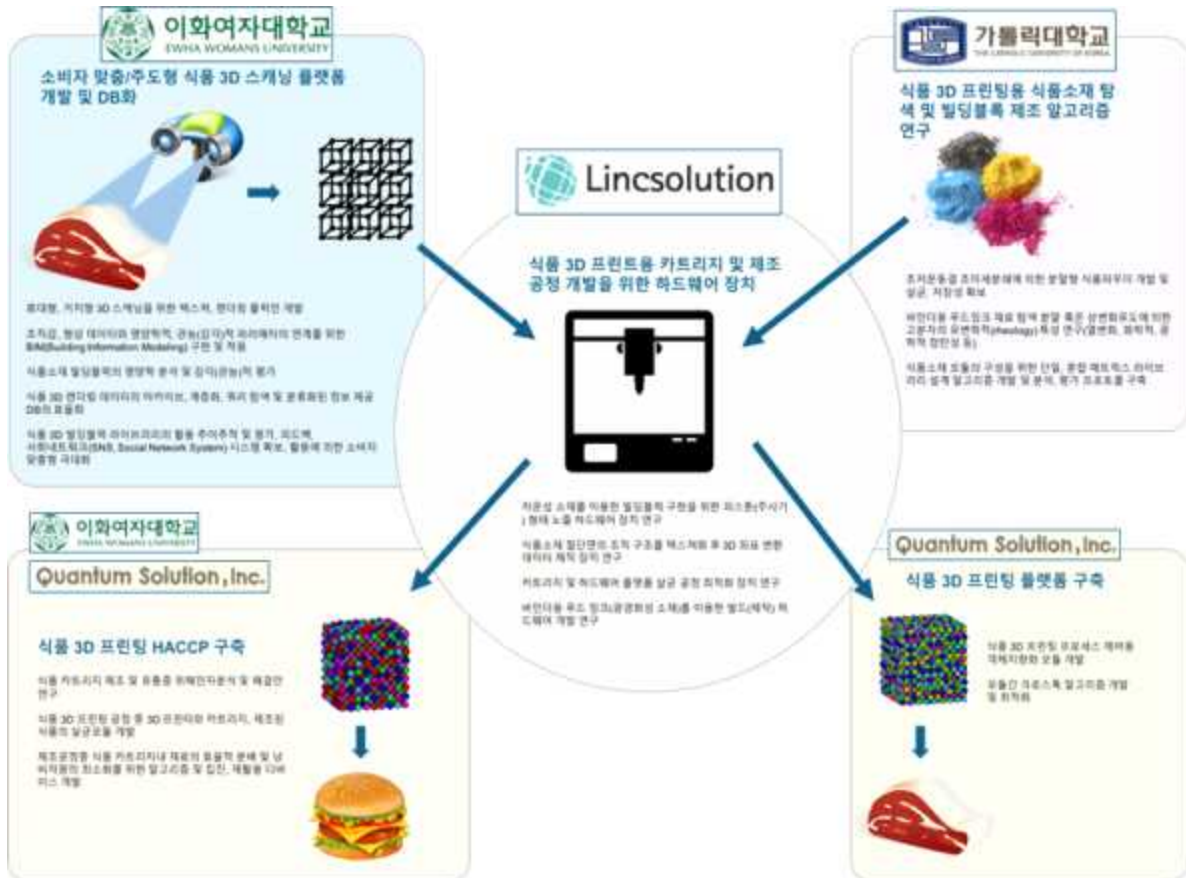
(바) 식품 3D 프린터 연동장치 제품화 및 메타데이터 시스템 연동을 통해 Texture Analyzer로부터 3D 프린터까지의 통합 연동 기능을 구현 (3차년도)

(사) 메타데이터 시스템 통합 연동 및 레퍼런스 사이트 구축으로 전체 결과물의 통합 연동 기능 및 상용화를 위한 프로토타입 연구 수행(3차년도)

2. 연구수행 내용 및 결과

가. 연구개발 추진 전략 · 방법 및 추진체계 (링크솔루션 작성)

(1) 연구개발 추진 전략



(2) 연구개발 추진 체계

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	소비자 맞춤형 식품 3D-프린팅 기술 및 제품 개발	주관연구책임자 (최근식)외 총 20명

기관별 참여 현황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
중견기업		
중소기업	2	10
대 학	2	11
국공립(연)		
기 타		

(주)링크솔루션
소비자 맞춤형 식품 3D-프린팅 기술 및 제품 개발
연구책임자명 (최근식)외 5명
담당기술개발내용
<ul style="list-style-type: none"> - 식품 원료 층적 및 재료별 교체 가능한 카트리지 개발 - 식품 소재를 이용해 형상을 구현하기 위한 3D 프린터 방법 및 플랫폼 개발 - 식감 표현을 위해 빌딩 블록 구조를 출력 가능한 3D 프린터 플랫폼 개발 - 카트리지 노즐 세척 및 살균기능 개발

이화여자대학 산학협력단
소비자 맞춤형 식품 3D-프린팅 기술 및 제품 개발
연구책임자명 (이진규)외 7명
담당기술개발내용
<ul style="list-style-type: none"> - 식품소재의 구조학적, 유변학적 파라미터 수집 및 소재선정을 위한 기초연구 - 가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구 - 3D 프린팅된 식품의 특성연구 및 카트리지 최적화

(주)퀵솔루션
소비자 맞춤형 식품 3D-프린팅 기술 및 제품 개발
연구책임자명 (장태욱)외 3명
담당기술개발내용
<ul style="list-style-type: none"> - 식품 3D 프린팅 관련 파라미터 DB 구축 및 인터페이스 소프트웨어 개발 - 스트러처 프로파일과 식감을 매칭 시키는 레퍼런스 테이블을 DB화 후 소비자 계층에 따른 연계성 연구 - 3D프린터 연동장치 및 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 시스템 연동 및 제품화 개발

가톨릭대학 산학협력단
소비자 맞춤형 식품 3D-프린팅 기술 및 제품 개발
연구책임자명 (유영선)외 2명
담당기술개발내용
<ul style="list-style-type: none"> - 식품 3D 프린팅용 카트리지 개발을 위한 식품소재 탐색(가톨릭대학) - 초저온동결 초미세분쇄에 의한 분말형 식품파우더 개발 및 살균, 저장성 확보방안 개발 - 식품 3D 프린트용 재료 특성 연구 (열변화, 화학적, 광학적 점탄성 등)

(3) 추진 일정

1차년도														
일련 번호	연구내용	월별 추진 일정										연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)	
		7	8	9	10	11	12							
1	메타데이터 DB 설계	■											10,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
2	메타데이터 DB 구축		■	■	■								11,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
3	식품 3D 프린터 연동 장치 HW 설계				■	■	■						11,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
4	식품 3D 프린터 연동 장치 HW 구현							■	■				13,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
5	바이소 소재 프린팅 위한 하드웨어 설계	■	■										9,000	최근식(링크 솔루션)
6	리퀴드 타입 3D Printing을 위한 하드웨어 설계			■	■	■							10,000	최근식(링크 솔루션)
7	펌웨어 및 PCB 설계 및 제작	■	■										11,000	최근식(링크 솔루션)
8	3D프린팅용 식품소재 탐색, 레시피 개발	■	■	■	■								5,000	유영선 (가톨릭대)
9	성상별 식품 소재 선정		■	■	■	■	■						10,000	유영선 (가톨릭대)
8	바인더, 경화제, 분산제, 상용화제 탐색 및 선정				■	■	■						5,000	유영선 (가톨릭대)
8	사전연구용 바이오 플라스티크 원료 개발			■	■	■							4,000	유영선 (가톨릭대)
8	3D프린팅용 바이오 필라멘트 연구					■	■						4,000	유영선 (가톨릭대)
8	식품소재 절단면 조직 구조의 위상 데이터 수집 및 3D 스캐닝을 통한 3D 데이터화												10,200	이진규(이화 여대)
8	동결박편절편기 (freezingmicroto- me)을 이용하여 박편 시료 연구	■	■	■									5,200	이진규(이화 여대)
8	식품소재의 유변학적 특성, 조직감, 그리 고 탄성도의 수치화			■	■	■							4,200	이진규(이화 여대)
8	식품 3D 프린팅 가능 식품소재 탐색			■	■	■							9,200	이진규(이화 여대)

2차년도																
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	식품 3D프린터 연동장치 및 Database 시스템간 식품 3D프린터 파라미터 통합 인터페이스 정의	■													23,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
2	식품 3D프린터 및 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 설계 및 개발		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	23,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
3	식품 3D프린터 연동장치 하드웨어 개발				■	■	■	■							21,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
4	식품 3D프린터 연동장치 및 데이터베이스 서버 연동 테스트						■								22,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
5	소재의 적층과 형상 구현화를 위한 노즐 연구 및 개발	■	■	■				■	■	■	■	■	■	■	66,000	최근식(링크 솔루션)
6	식품 소재 혼합 가능한 카트리지 모듈 연구			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	25,000	최근식(링크 솔루션)
7	멀티소재 투입이 가능한 노즐 개발	■	■	■	■	■									12,000	최근식(링크 솔루션)
8	식품소재를 이용한 원 소재 가공 연구	■	■	■	■	■				■	■	■	■	■	26,000	유영선 (가톨릭대)
9	3D 프린팅용 가공 원재료의 구성성분 균일화 및 안정성 연구		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	11,000	유영선 (가톨릭대)
8	3D프린터용 바이오 필라멘트 시제품 제조 및 개발				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	17,000	유영선 (가톨릭대)
8	선정된 3D 프린팅용 원재료와 3D 프린터 용 바이오 필라멘트 시제품의 가공 후 탄성 및 경도 조직감 연구			■	■	■									40,200	이진규(이화 여대)
8	3D 프린팅용 가공 원재료의 프린터 적용을 카트리지화 적합도 시험				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	14,800	이진규(이화 여대)

3차년도																
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	외부 연동 인터페이스 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발	■													25,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
2	식품 3D프린터 연동장치 제품화 및 메타데이터 시스템 연동		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	22,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
3	메타데이터 시스템 통합 연동 및 레퍼런스 사이트 구축				■	■	■	■							20,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
4	메타데이터 시스템 통합 테스트						■	■							13,000	장태욱(퀀텀 솔루션)
5	2종 이상의 식품 원료 혼합 가능한 카트리지 개발 및 연구	■	■	■			■	■	■	■	■	■	■	■	46,000	최근식(링크 솔루션)
6	형상 적층의 구체화 및 정교성을 위한 노즐 연구 및 개발			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	45,000	최근식(링크 솔루션)
7	식품 안정성 및 살균 소독 장비 개발	■	■	■	■	■	■	■							25,000	최근식(링크 솔루션)
8	상이한 원료 소재의 상용성 부착성 선 연구	■	■	■	■	■				■	■	■	■	■	5,000	유영선 (가톨릭대)
9	원료 소재의 균일화 및 상용화를 통한 안정성 개선		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	26,000	유영선 (가톨릭대)
8	다양한 물성을 첨가 및 반영한 시제품 개발				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	15,000	유영선 (가톨릭대)
8	사전연구용 바이오 플라스티크 원료 개발			■	■	■	■	■							4,000	유영선 (가톨릭대)
8	3D프린팅용 바이오 필라멘트 연구				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	11,000	유영선 (가톨릭대)
8	개발된 식용 3D 프린 터와 식용재료들 사 용하여 출력한 식품 의 유변학적 특성 및 조직감, 탄성 수치화 및 검증 및 시제품의 형상유지 물성 측정			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	40,200	이진규(이화 여대)
8	카트리지 최적화 를 위한 세척, 살균, 재활용 공정 시험분석	■	■	■							■	■	■	■	14,800	이진규(이화 여대)

나. 연구 수행 내용 및 결과

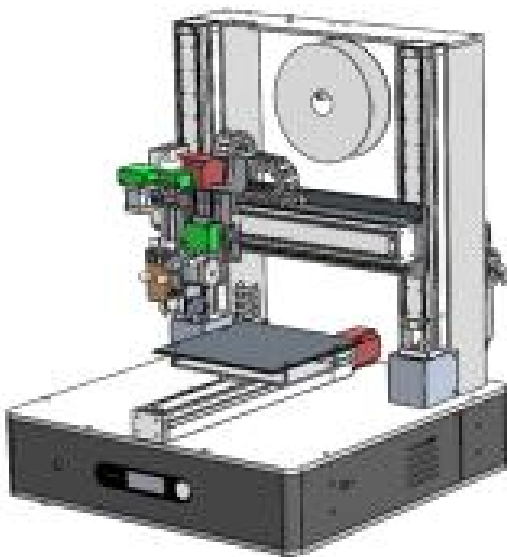
(1) 식품 소재 응용 FOOD 프린팅 시스템 개발 (링크솔루션)

(가) 바이오 소재 3D 프린팅 테스트 및 형상 구현 프린팅 장비 설계

① 바이오 소재 3D 프린팅을 위한 압출 장치 하드웨어 개발

- 바이오 소재를 이용한 3D 프린터 개발을 위해 소재의 형태별 실험 가능한 실험용 3D 프린터용 압출장치 개발을 진행함.

㉞ 3D 프린터 설계 및 제작



SPECIFICATION		
프린터 구조	Mendel Type	
SIZE	600x641x749 (mm)	
WORK SPACE	200x200x200 (mm)	
Nozzle 종류	Cylinder Type	Extruder Type
Nozzle 온도	200 °C (MAX)	250 °C (MAX)
노즐 직경	-	0.4 (mm)
Material	-	ABS, PLA
BED 온도	110 °C (MAX)	
노즐 직경	0.4 (mm)	
입력 전원	AC 220 V	
입력 공압 (bar)	0.7 Mpa	

그림 1-1 바이오 소재 3D 프린터 하드웨어

- 필라멘트 압출기 및 실린더 압출 장치보유
- GANTRY 방식 직교 구동 장치
- 정밀 위치제어 가능한 볼 스크류 기반 단축 로봇 적용 (반복 정밀도 $\pm 0.02\text{mm}$)
- 필라멘트 압출기 및 실린더 압출장치 구성
- 공압장치를 이용한 선별적 압출기 Load / Unload 모듈

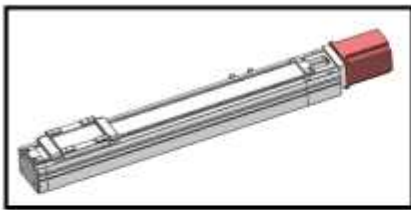
㉔ GANTRY 방식 직교 구동 장치



그림 1-4 단축로봇 설치

- 직교 로봇을 이용한 GANTRY 방식 직교 구동 장치를 구성함으로써 출력 정밀도 구현
- 정밀 위치 제어를 위한 Stepper Motor 적용

Y, Z AXIS ACTUATOR



No.	항목	DATA	UNIT
1	제조사	FFA	-
2	모델명	FE0850CM-1205-ST300-10MM00-N-13R	-
2	STROKE	300	mm
3	SCREW LEAD	10	mm
4	MOTOR TORQUE	15.5	Kgf-cm
5	MOTOR TYPE	STEP MOTOR UNIPOLA	-

X AXIS



No.	항목	DATA	UNIT
1	제조사	FFA	-
2	모델명	FE0850CM-1205-ST300-10MM00-N-13R	-
2	STROKE	300	mm
3	SCREW LEAD	10	mm
4	MOTOR TORQUE	15.5	Kgf-cm
5	MOTOR TYPE	STEP MOTOR UNIPOLA	-

그림 1-5 단축로봇 사양서

㉔ 압출기 모듈 구성도

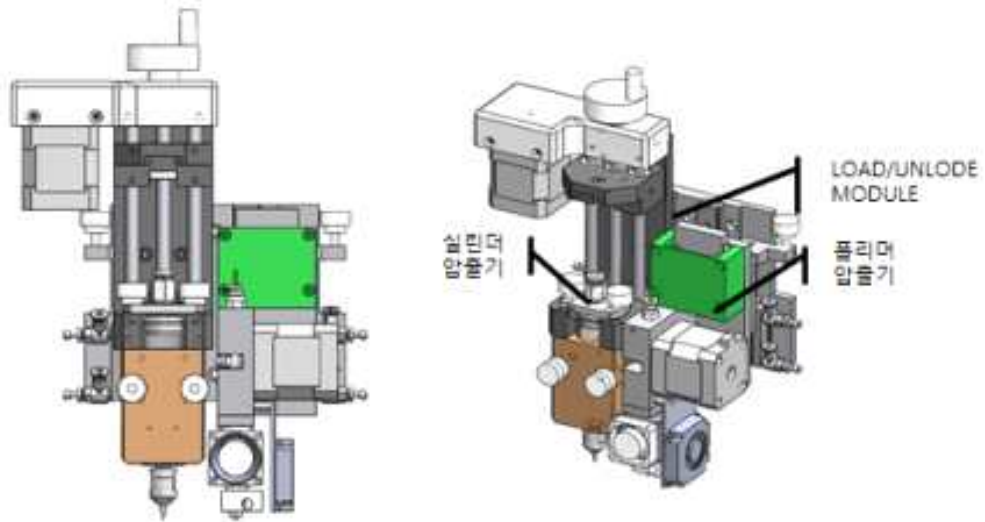


그림 1-6 필라멘트 폴리머 압출기 및 실린더 압출기 모듈

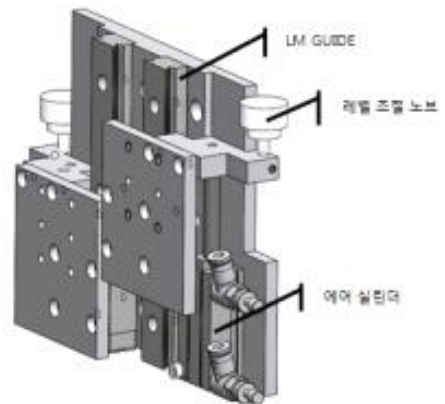
- 필라멘트 형태의 바이오 소재를 출력 가능한 폴리머 압출기 및 펠릿, 액상 형태등과 같은 소재가 출력 가능한 실린더 형태의 압출기를 구성함으로써 다양한 타입의 소재를 실험 할 수 있도록 압출기 모듈을 구성함.



그림 1-7 압출기 모듈 제작 및 설치

㉔ Load / Unload 모듈

LOAD/UNLODE MODULE

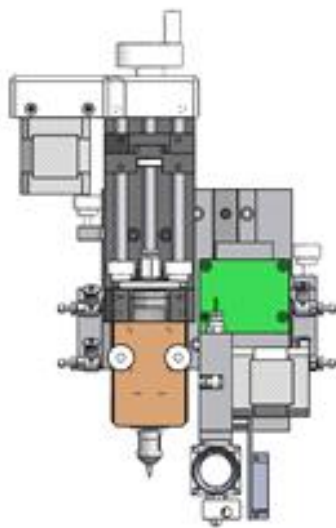


주요 기능

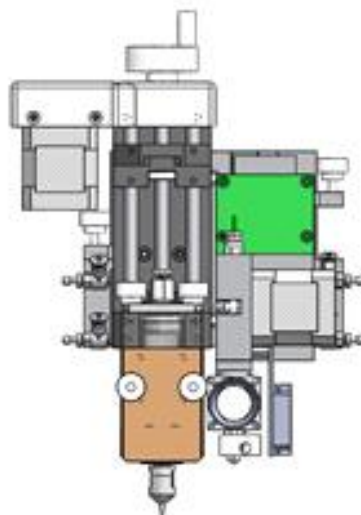
주요부품

그림 1-8 공압실린더를 이용한 압출기 Load / Unload 모듈 구성도

- 각 재료에 따른 압출기 사용 시, 사용하는 압출기를 공압 실린더를 이용해서 Load / Unload 가능한 모듈 구성
- 노즐의 높이가 같을 경우 사용하지 않는 압출기의 노즐 부분이 출력물을 건들어서 무너질 수 있기 때문에 선별적으로 압출기의 높이를 적용할 필요가 있으며, 1차적으로 실린더로 높이를 조정하고 2차적으로 레벨 조절 노브로 미세 조정을 함.



폴리머 압출기 로드



실린더 압출기 로드

그림 1-9 압출기 Load / Unload 기능

㉔ 실린더 압출기 MODULE

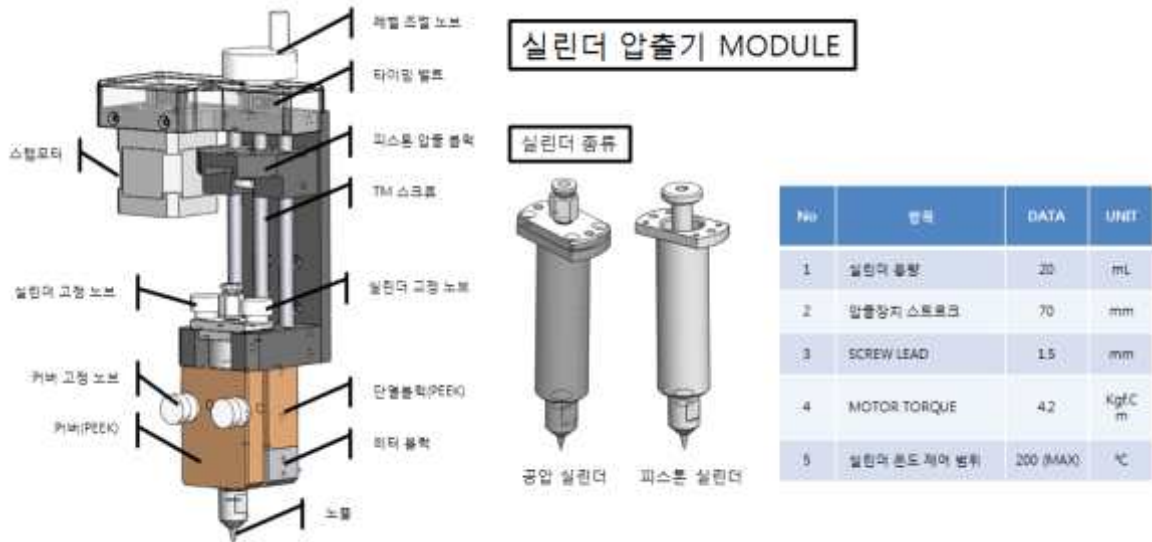


그림 1-10 실린더 압출기 구성도

- 공압 실린더와 피스톤 실린더 공용사용 가능
- 피스톤 높이 조절을 위한 레벨 조절 노브
- 실린더 250°C 까지 제어 가능한 HEATING 시스템
- 노즐은 0.3 mm 노즐 사용했으며, 노즐 부분만 교체 가능



그림 1-11 실린더 블록 (좌) 및 피스톤, 실링블록, 노즐 고정 블록 (우)

㉞ 폴리머 압출기 MODULE

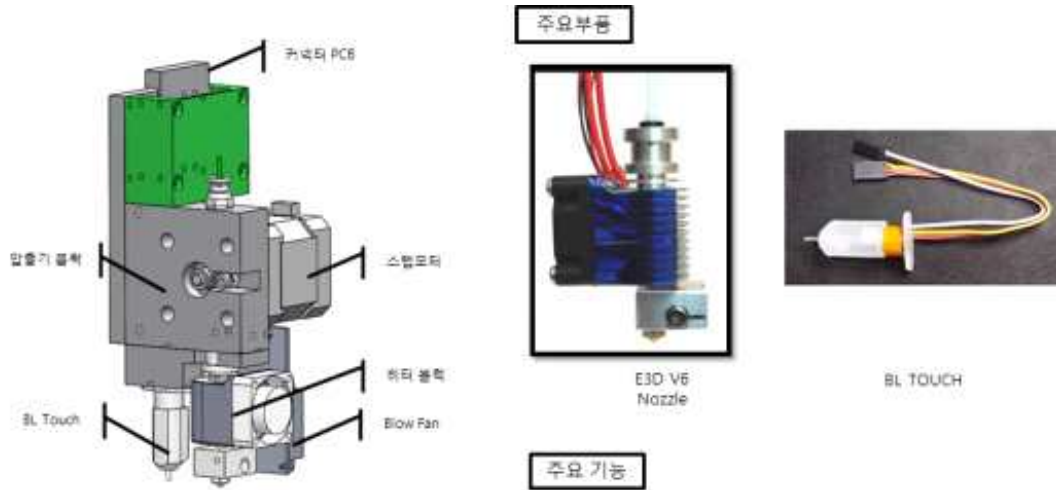


그림 1-12 폴리머 압출기 구성도

- 필라멘트 형태 재질 압출 가능한 압출기 모듈
- 필라멘트 용융을 위한 노즐 모듈 적용
- Auto Leveling을 위한 BL Touch 모듈 적용
- 노즐 직경 0.4mm 사용

㉟ 제어 구성도

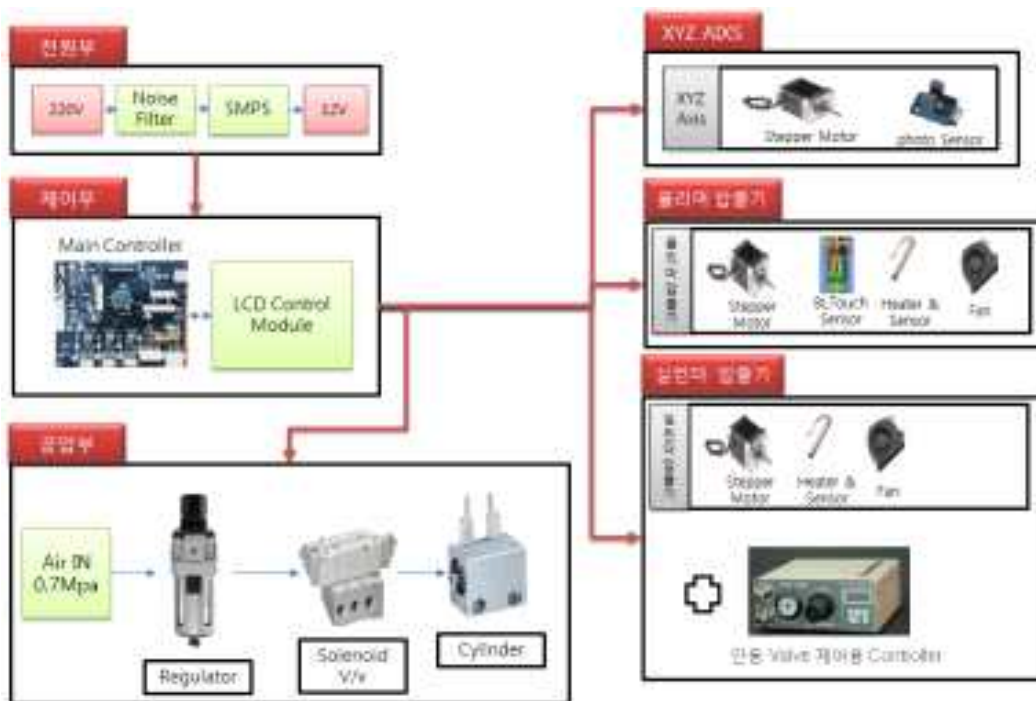


그림 1-13 전자 제어 구성도



그림 1-14 제어부 회로 구성사진

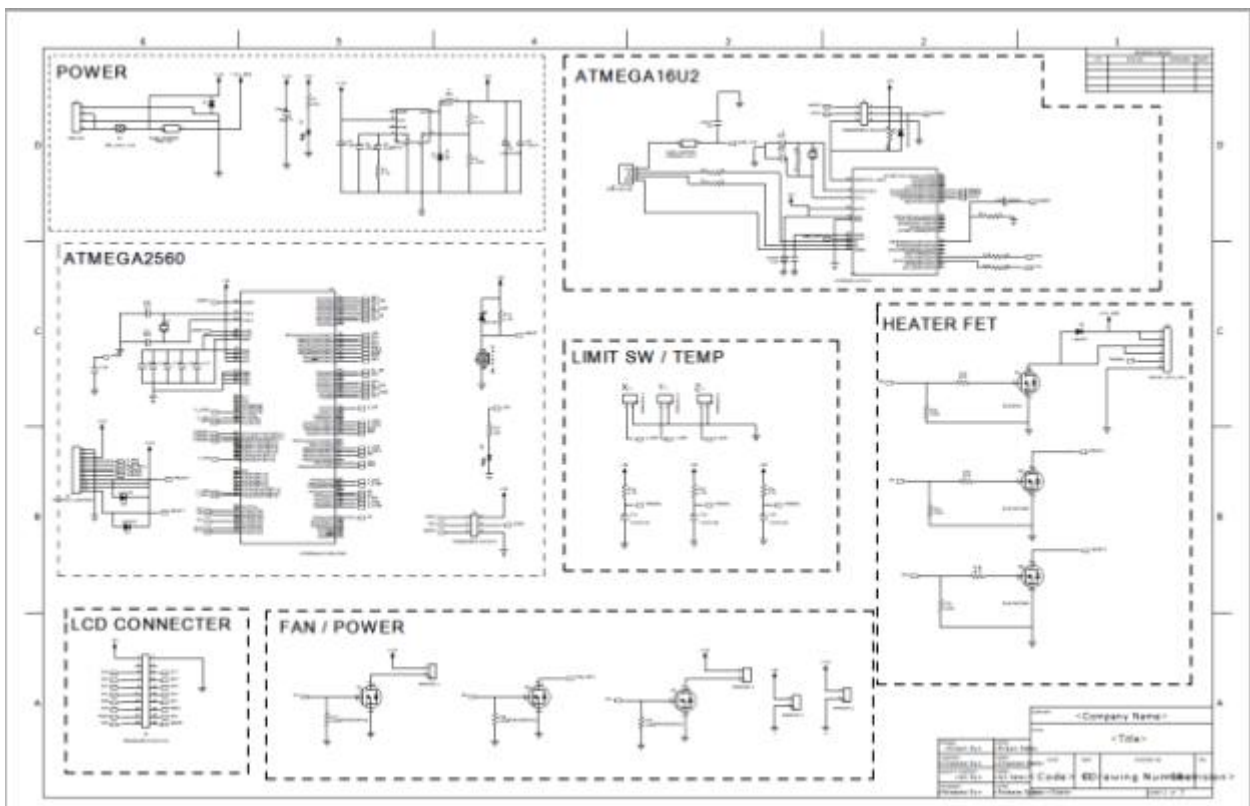


그림 1-15 3D Printer Main Board 회로도

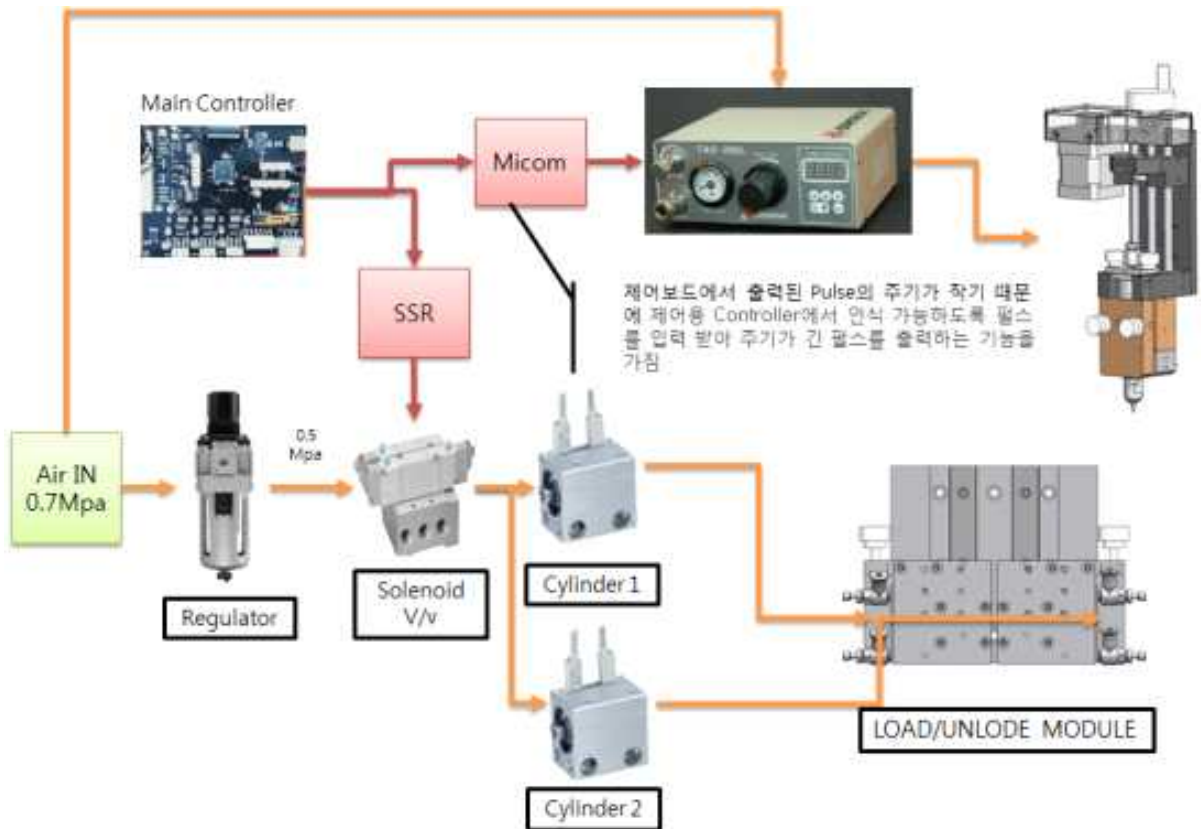


그림 1-16 공압 컨트롤 구성도

- 공압 실린더 사용기 기존 압출기에서 사용하는 모터 제어 신호를 사용해야 하기 때문에 공압 제어기인 TAD - 280L에 맞는 신호로 변환이 필요함. 따라서 신호변환을 위한 제어 장치를 추가로 개발하여 피스톤 방식의 경우 모터 제어신호를 사용하고, 공압 실린더 사용 시, 공압 제어기에 맞는 신호로 변환하여 출력함.
- TAD-280의 전자적 shot신호를 주기 위해서는 기기 후면에 있는 4포트 커넥터의 접점신호를 통해서 입력이 가능하며, 메인컨트롤러에서 신호를 받음. 신호를 주는 과정에서 mega2560의 특성상 10us의 신호가 기준으로 출력되며, TAD-280에서는 최소 1ms의 접점신호를 입력받아야만 접점을 통해 공압 출력을 이루어 낼 수 있음. 메인컨트롤러 (mega2560)의 출력펄스를 TAD-280L에서 받을 수 있도록 duty비를 높여서 pulse의 신호는 길어졌지만 메인컨트롤러에서 제어하는 구동부 모터의 동작이 정상적으로 동작하지 않는 것을 확인하였음. 또한 노이즈가 커서 메인컨트롤러에서 1ms의 접점동작을 위한 펄스를 보내기에는 충분치 않다고 판단되었음. 문제를 해결하기 위해 추가적인 Micro Processor인 Arduino Uno 보드를 이용하여 메인컨트롤러 프린터 노즐2번의 모터 출력 신호 값을 받아 10um의 제어 신호를 1ms의 신호로 변환하여 출력을 주어 TAD-280 제어기에 1ms이상의 입력 펄스 값을 출력함으로 해결하였음.



그림 1-17 TAD-280L 모듈과 연결된 공압실린더 모듈

- Load/ Unload 모듈은 에어실린더와 LM 가이드로 구성되어 있으며, 에어 실린더의 경우 Solenoid V/v와 연결되어 있음. 제어보드에서 출력하는 신호를 통해 각각의 Solenoid V/v를 제어해서 실린더를 제어함.

② 바이오 소재 3D 프린팅을 위한 압출 출력테스트

- 3D 프린터 장비 개발을 통해 바이오 소재를 이용한 노즐부분 속도 제어를 위한 형상물 적층 연구를 진행함

㉠ 필라멘트 형태 출력 기능 실험

- 필라멘트 형태의 바이오 소재인 PLA 소재는 생분해성 플라스틱 소재로써 인체에 무해하다고 알려져 있음.
- 식품소재 출력 시 재료가 무너지는 것을 막거나 틀 역할을 수행 가능함.

항 목	DATA	UNIT
노즐 온도	200	℃
출력 속도	50	mm
출력 소재	PLA	-
배드 온도	50	℃

표 1-1 PLA 3D Printing 출력 설정

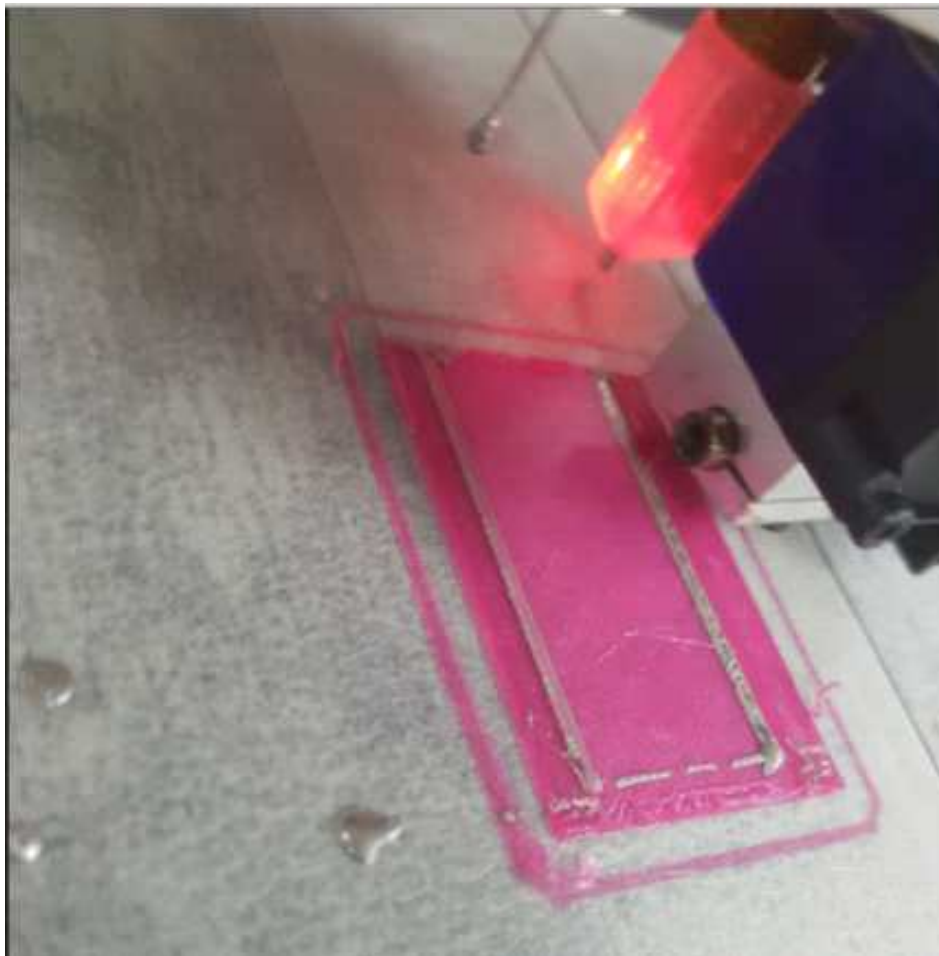
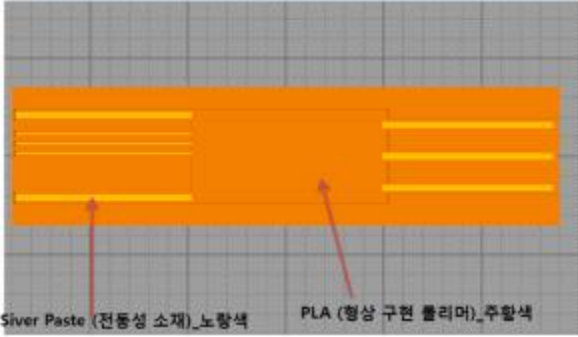



그림 1-18 필라멘트 압출 및 피스톤 실린더 압출 테스트

㉔ 필라멘트 출력 및 액상 형태 재료 융합 출력 기능 실험

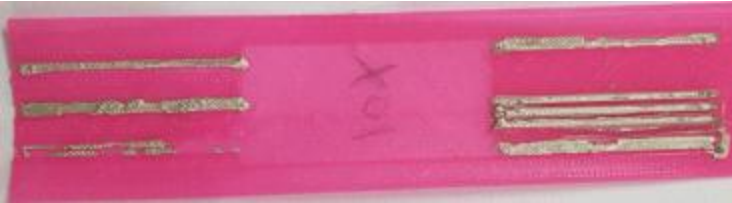
- 피스톤 방식 실린더 압출 테스트를 위해서 실험실에 보유중인 점도가 높은 액상 형태의 실버 페이스트를 필라멘트 압출기와 같이 출력하는 테스트를 진행하였음. 향후 액상형태의 식품 재료를 출력하기 전단계로 테스트를 진행하였음.
- 실험을 위해 필라멘트 압출기로 사각 베이스를 출력한 후, 실버 페이스트를 일정한 형태로 출력하였음. 출력 상태를 조절하기 위한 변수로 출력 속도, 출력 레이어 높이, 출력량, 리트랙션 거리를 변수로 실험하였음.

			
데이터 포맷	STL	슬라이스 소프트웨어	Simplify3D
가로 크기	139.06 (mm)	세로 크기	35 (mm)
높이	5.4 (mm)	출력 시간	1h 33m


Dual Nozzle 3D Printing _ test 1 (노즐 팁 : 금속 팁)			
			
Nozzle Diameter	0.5mm	Layer Height	0.4mm (2L)
Retraction Distance	3mm	Default Printing Speed	30mm/s
Extra Restart Distance	0mm	Tool change distance	5mm
Retraction Speed	20mm/s	flow 2	60%

Dual Nozzle 3D Printing _ test 2 (노즐 팁 : 금속 팁)			
			
Nozzle Diameter	0.5mm	Layer Height	1.4mm (7L)
Retraction Distance	3mm	Default Printing Speed	30mm/s
Extra Restart Distance	0mm	Tool change distance	5mm
Retraction Speed	20mm/s	flow 2	60%

Dual Nozzle 3D Printing _ test 3 (노즐 팁 : 금속 팁)			
			
Nozzle Diameter	0.5mm	Layer Height	1.4mm (7L)
Retraction Distance	3mm	Default Printing Speed	20mm/s
Extra Restart Distance	0mm	Tool change distance	5mm
Retraction Speed	20mm/s	flow 2	70%

Dual Nozzle 3D Printing _ test 4 (노즐 팁 : 플라스틱 팁)			
			
Nozzle Diameter	0.5mm	Layer Height	0.2mm (1L)
Retraction Distance	5mm	Default Printing Speed	5mm/s
Extra Restart Distance	0mm	Tool change distance	5mm
Retraction Speed	20mm/s	flow 2	100%

Dual Nozzle 3D Printing _ test 5 (노즐 팁 : 플라스틱 팁)			
			
Nozzle Diameter	0.5mm	Layer Height	0.2mm (1L)
Retraction Distance	8mm	Default Printing Speed	5mm/s
Extra Restart Distance	0mm	Tool change distance	5mm
Retraction Speed	20mm/s	flow 2	80%

Dual Nozzle 3D Printing _ test 6 (노즐 팁 : 플라스틱 팁)			
			
Nozzle Diameter	0.5mm	Layer Height(layer stair)	0.2mm (1L)
Retraction Distance	3mm	Default Printing Speed	5mm/s
Extra Restart Distance	0mm	Tool change distance	5mm
Retraction Speed	20mm/s	flow 2	70%

- 피스톤 방식 실린더의 경우 0.2mm 레이어 높이로 출력 시, 출력속도 5mm/s, 피스톤 리트렉션 3mm, 압출량 70%에서 안정적인 출력이 되는 것을 알 수 있었음.

㊤ 펠릿 형태 바이오 소재 PCL 출력 테스트



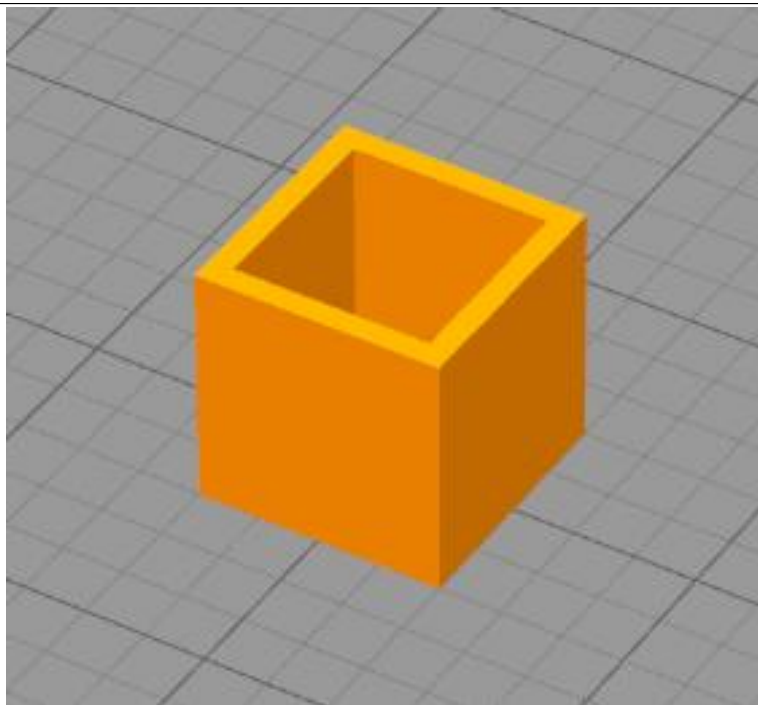
그림 1-19 펠릿 형태의 PCL 소재

- 대부분의 소재는 기본적으로 제조단계에서 펠릿 형태를 많이 사용하고 있음. 필라멘트 형태의 재료를 사용하기 위해서는 펠릿 형태 재료를 추가로 가공해야 하기 때문에 비용이 증가하며, 펠릿 형태 소재가 단일 및 복합으로 사용하기 유리한 측면이 있음.
- 실험에 사용한 소재는 PCL 소재이며, 바이오 플라스틱 소재를 사용하였으며, 다른 물질에 비해 3D 형상 출력실험에 적합하기 때문에 적용하여 실험하였음.
- 압출기는 공압 실린더를 사용했으며, 실린더의 온도를 265℃로 20분 예열 후, 230℃로 출력했음. 출력 시, 접합을 위해 아크릴 판위에 출력하였으며, 공압 압력은 7BAR에서 출력하였음.



그림 1-20 공압 실린더 및 공압 제어장치

○ 테스트 모델링



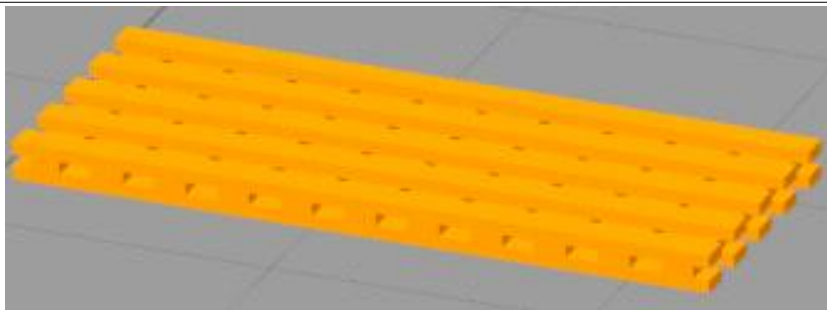
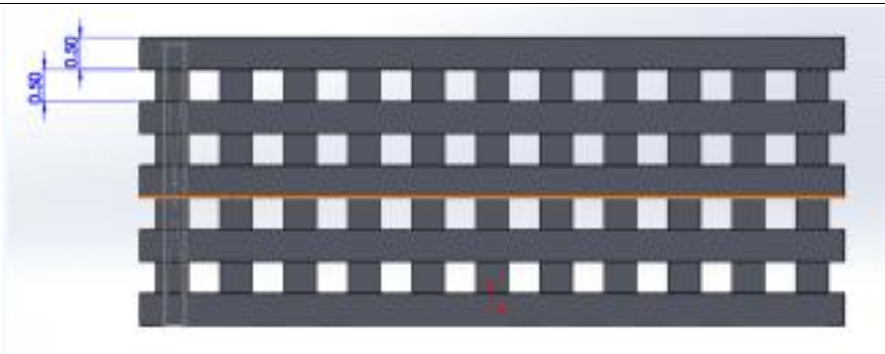
데이터 포맷	STL	슬라이스 소프트웨어	Simplify3D
가로 크기	20 (mm)	세로 크기	20 (mm)
높이	20 (mm)	출력 시간	5h 26m

Dual Nozzle 3D Printing _ test 1



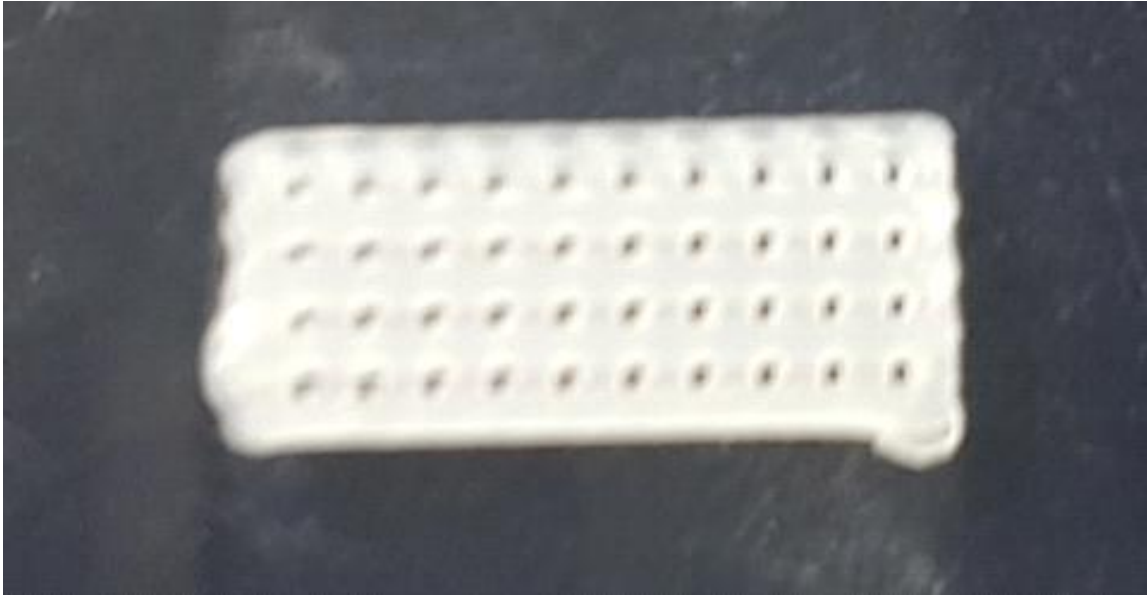
Nozzle Diameter	0.5mm	Layer Height	20mm
Retraction Distance	0mm	Default Printing Speed	1.5mm/s
Extra Restart Distance	0mm	Tool change distance	0mm
Retraction Speed	0mm/s	flow 2	100%

○ 테스트 모델링



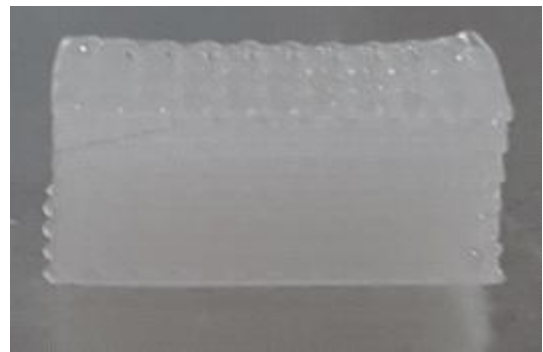
데이터 포맷	STL	슬라이스 소프트웨어	Simplify3D
가로 크기	11 (mm)	세로 크기	4.5 (mm)
높이	0.6 (mm)	출력 시간	3m

Dual Nozzle 3D Printing _ test 2



Nozzle Diameter	0.5mm	Layer Height	0.6mm
Retraction Distance	0mm	Default Printing Speed	2mm/s
Extra Restart Distance	0mm	Tool change distance	0mm
Retraction Speed	0mm/s	flow 2	100%

Dual Nozzle 3D Printing _ test 3



Nozzle Diameter	0.5mm	Layer Height	4.4mm
Retraction Distance	0mm	Default Printing Speed	2mm/s
Extra Restart Distance	0mm	Tool change distance	0mm
Retraction Speed	0mm/s	flow 2	100%

- 공압 테스트 결과 재료의 점성이 매우 높아 출력속도가 2mm/s 로 출력되었지만, 500um 의 빌딩구조 형태를 출력하였음. 향후 다른 재료를 통해 더 세밀한 빌딩블럭 구현을 목표로 연구 진행 예정
- 필라멘트 방식 압출기 및 피스톤 방식 압출기, 공압 방식 압출기 개발을 통해 3D 형상 출력 실험을 했으며, 바이오 소재에서 3D 형상이 형성된 결과를 얻었음.

(나) 형상 구현 3D 프린터 개발 완료 및 식품 소재 출력 가능한 3D 프린터 설계

① 식품소재 출력 가능한 3D 프린터 설계

- 가정/사무실에서 사용 가능한 Desktop 형태 3D 프린터 개발을 목표로 기존 1차년도 개발제품보다 소형화된 형태의 하드웨어 설계를 진행함.
- 동일한 구동 장치에서 다양한 소재를 토출 실험 가능하도록 압출장치를 모듈화 개발

㉞ 식품소재별 압출장치 개발 요소 선정

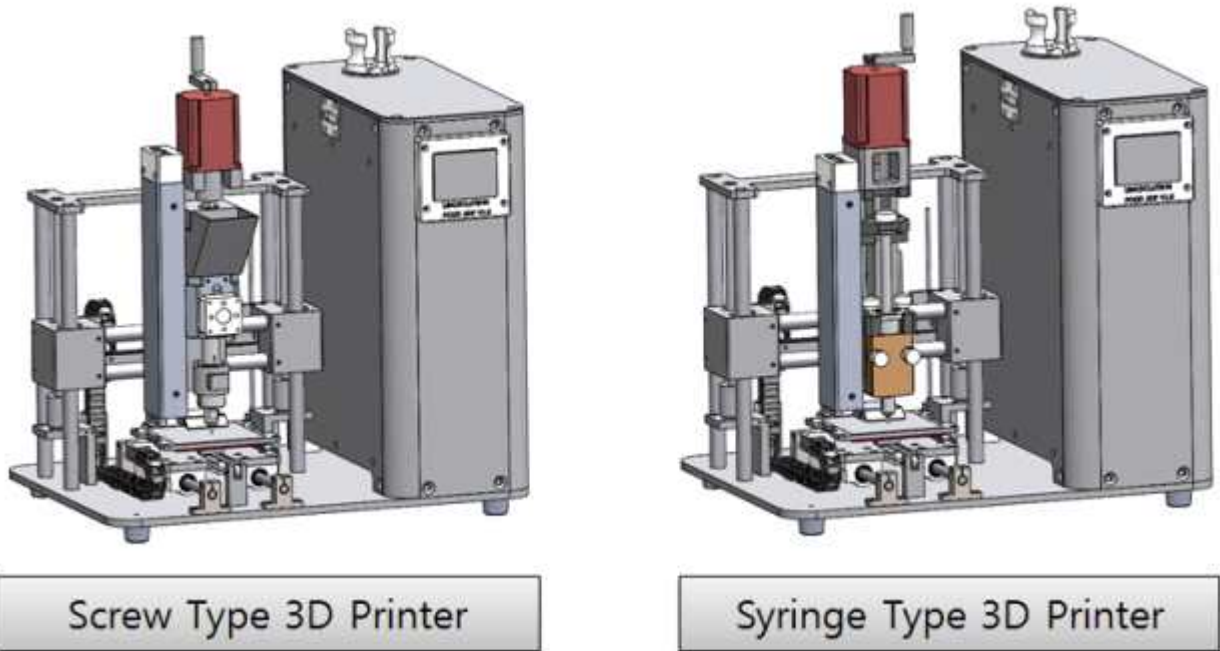


그림 1-21 식품 소재별 압출장치 모듈 개발 및 3D 프린터 Hardware 개발

- Screw Type 3D Printer
 - 멀티 소재 투입구 및 소재 혼합이 가능하고, 형상 구현이 가능한 3D 프린터 노즐 및 구동 장치 개발
 - 재료를 노즐 모듈의 스크류를 통해 가열하면서 퍼지함으로써 살균 문제 해결
- Syringe Type 3D Printer
 - 식품 소재 카트리지가 교체 가능하고, 형상 구현이 가능한 3D 프린터 노즐 및 구동 장치 개발
 - 실린지 형태의 카트리지를 통해 살균 문제 해결



Type	Function
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">SCREW 방식</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • SCREW 압출 방식 재료 압출 • 재료가열 가능 (~150도) • 용융 가능한 재료 또는 액상 재료 사용 • 고점도 재료 압출 가능
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">실린지 방식</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • 실린더 압출 방식으로 재료 압출 • 실린더 가열 가능 (~150도) • 용융 가능한 재료 또는 액상 재료 사용

그림 1-22 모듈별 기능

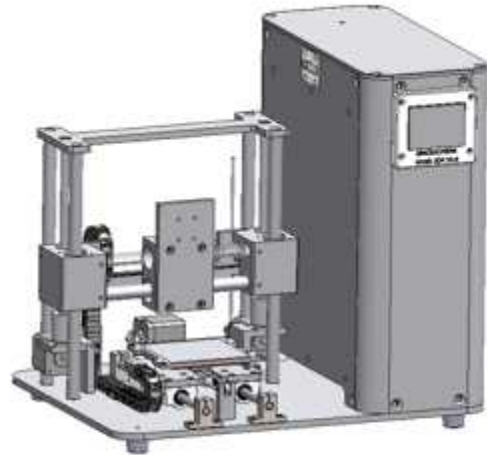
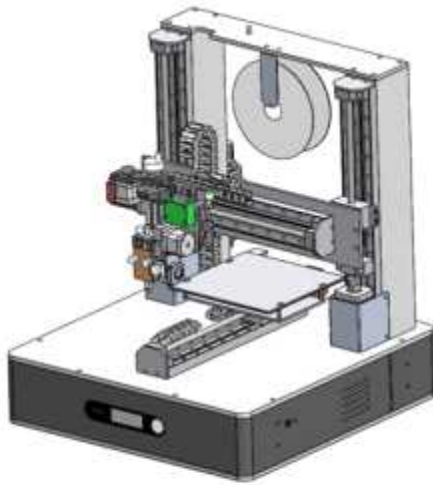
㉔ 3D 프린터 설계 및 제작



SPECIFICATION	
프린터 구조	Mendel Type
SIZE	470x366x433 (mm)
WORK SPACE	100x100x100 (mm)
Nozzle 종류	1. Cylinder Type 2. Screw Type
Nozzle 온도	200 °C
노즐 직경	노즐 팁 직경 (0.3~1.0mm)
BED 온도	110 °C (MAX)
입력 전원	AC 220 V
입력 공압 (air)	0.7 Mpa

그림 1-23 Desktop Type 3D Printer hardware 사양서

- Gentry Type 직교 구동장치 (제품 소형화 및 구조 단순화로 제작비용 절감)
- Timing Belt Type 구조를 통한 출력속도 증가 및 비용 절감
- 독립된 컨트롤박스를 통한 유지보수 간편화 및 사용자편의를 위한 전면컨트롤 패널구성
- 개별 압출 모듈을 공통으로 사용 가능한 구조적용



SPECIFICATION	
프린터 구조	Mendel Type
SIZE	600x600x700 (mm)
WORK SPACE	200x200x200 (mm)

SPECIFICATION	
프린터 구조	Mendel Type
SIZE	470x366x433 (mm)
WORK SPACE	100x100x100 (mm)

그림 1-24 Desktop Type 3D Printer hardware 개발 비교. 1차년도(좌), 2차년도(우)

- 가정용/사무실에서 사용가능하도록 가격경쟁력 및 제품 사이즈 소형화 필요함.
- 기존 시제품에서 사용한 고가, 고 정밀 Ball Screw를 대체하여, 구성이 간단하고, 비용이 저렴한 Timing Belt 구동 시스템을 적용함으로써, 비용 절감 및 제품 사이즈 소형화함.

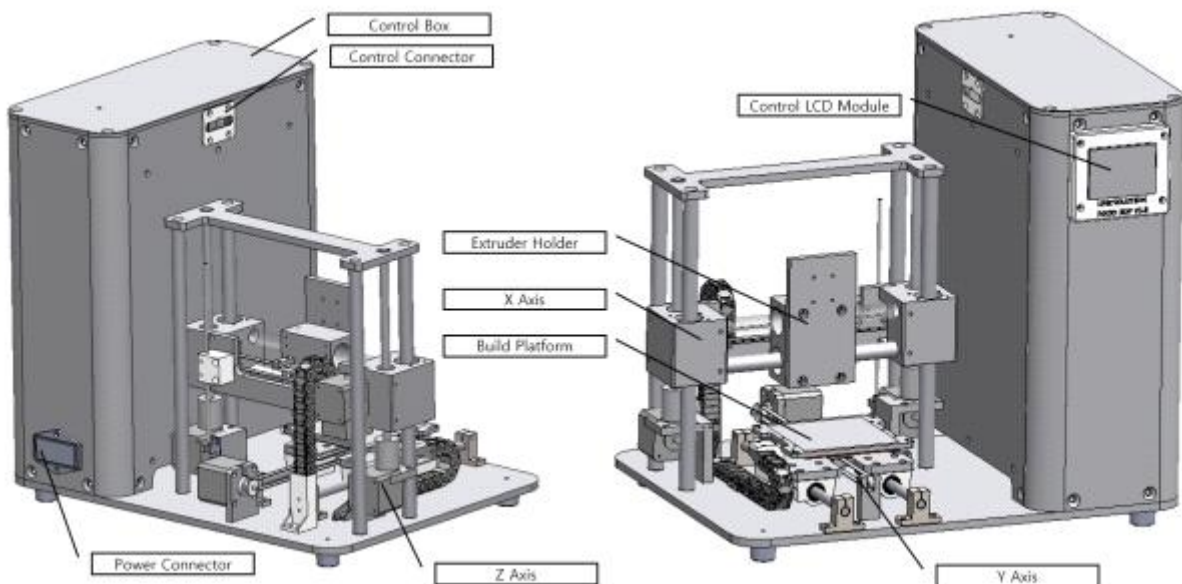


그림 1-25 하드웨어 구성도

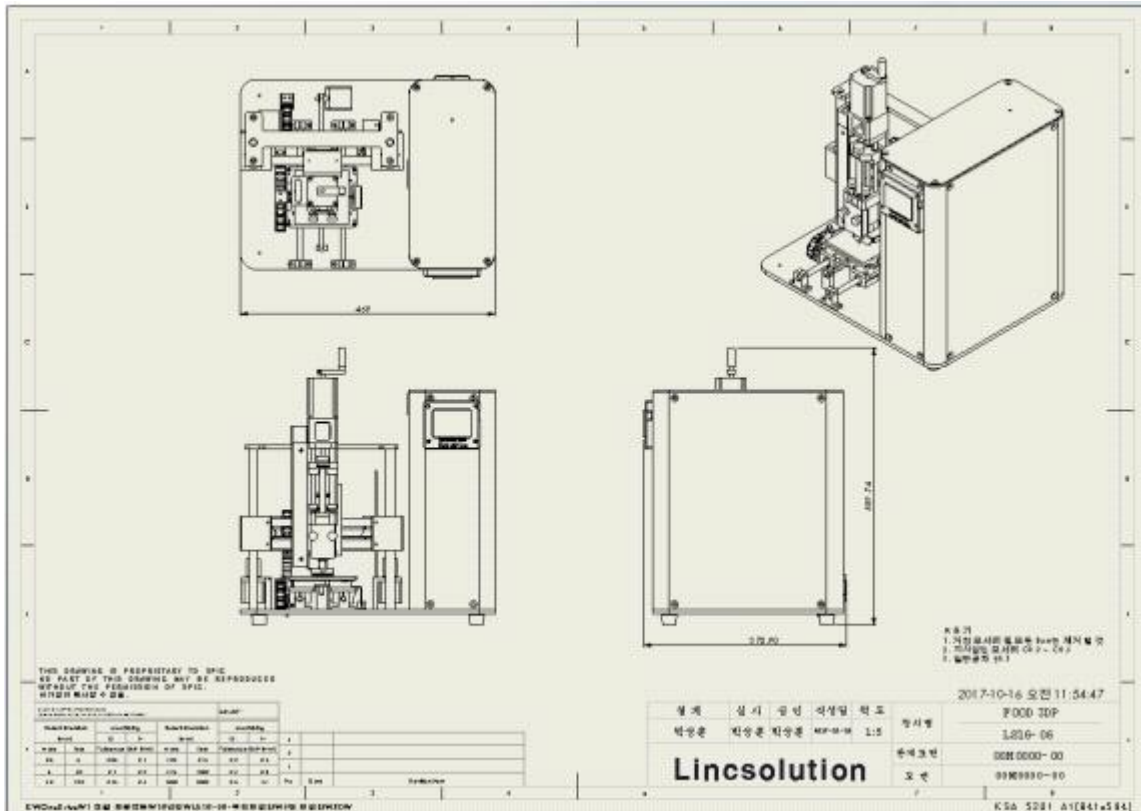


그림 1-26 Desktop Type 3D Printer 도면

㊤ 제어 구성도

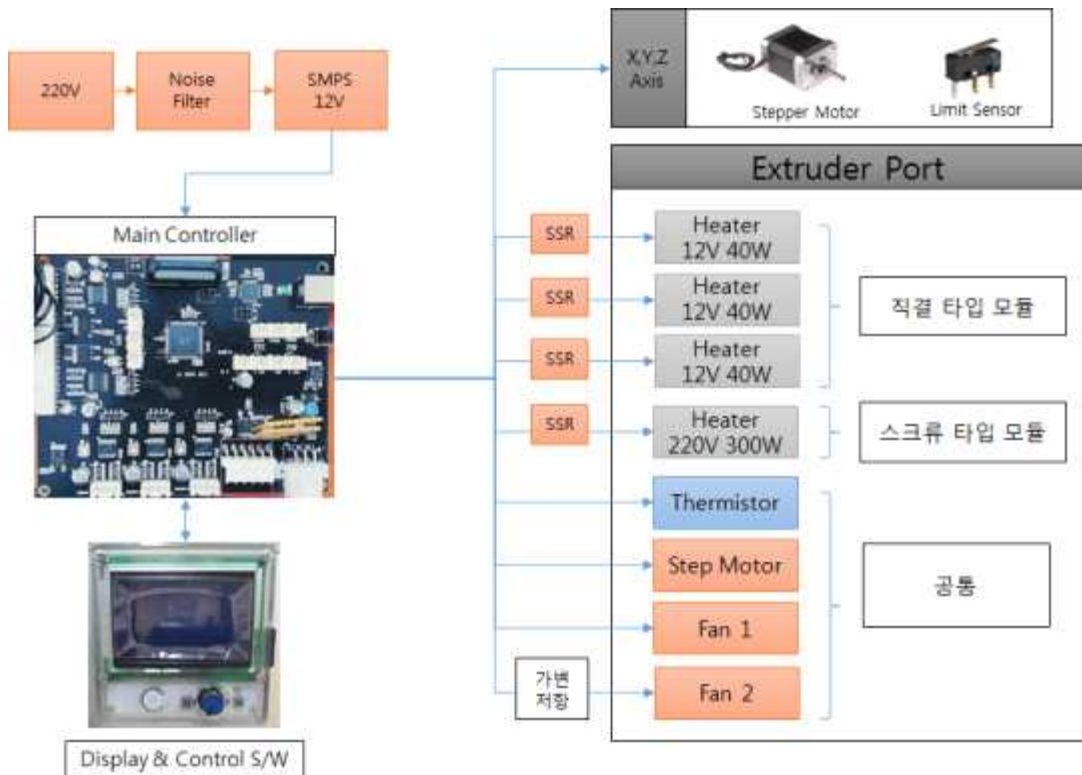


그림 1-27 Desktop Type 3D Printer 제어 구성도

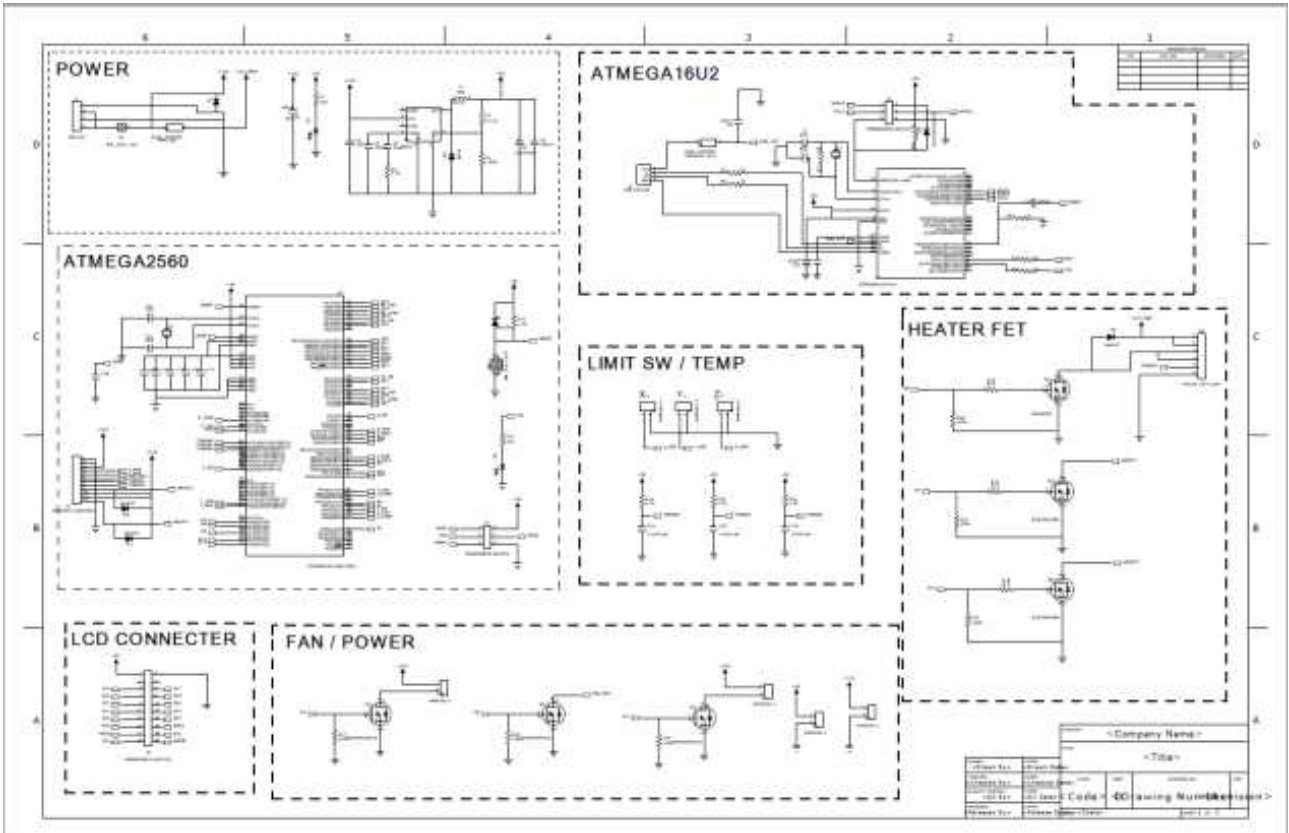


그림 1-28 3D Printer Main Board 회로도

- Syringe 압출 모듈 및 SCREW 압출 모듈을 공통으로 사용하기 위해 두 개의 기능을 같이 사용할 수 있는 커넥터 모듈로 제작 진행함.



그림 1-29 공통 커넥터 모듈 - 모듈커넥터(좌), 본체 커넥터(중앙), 커넥터배선(우)

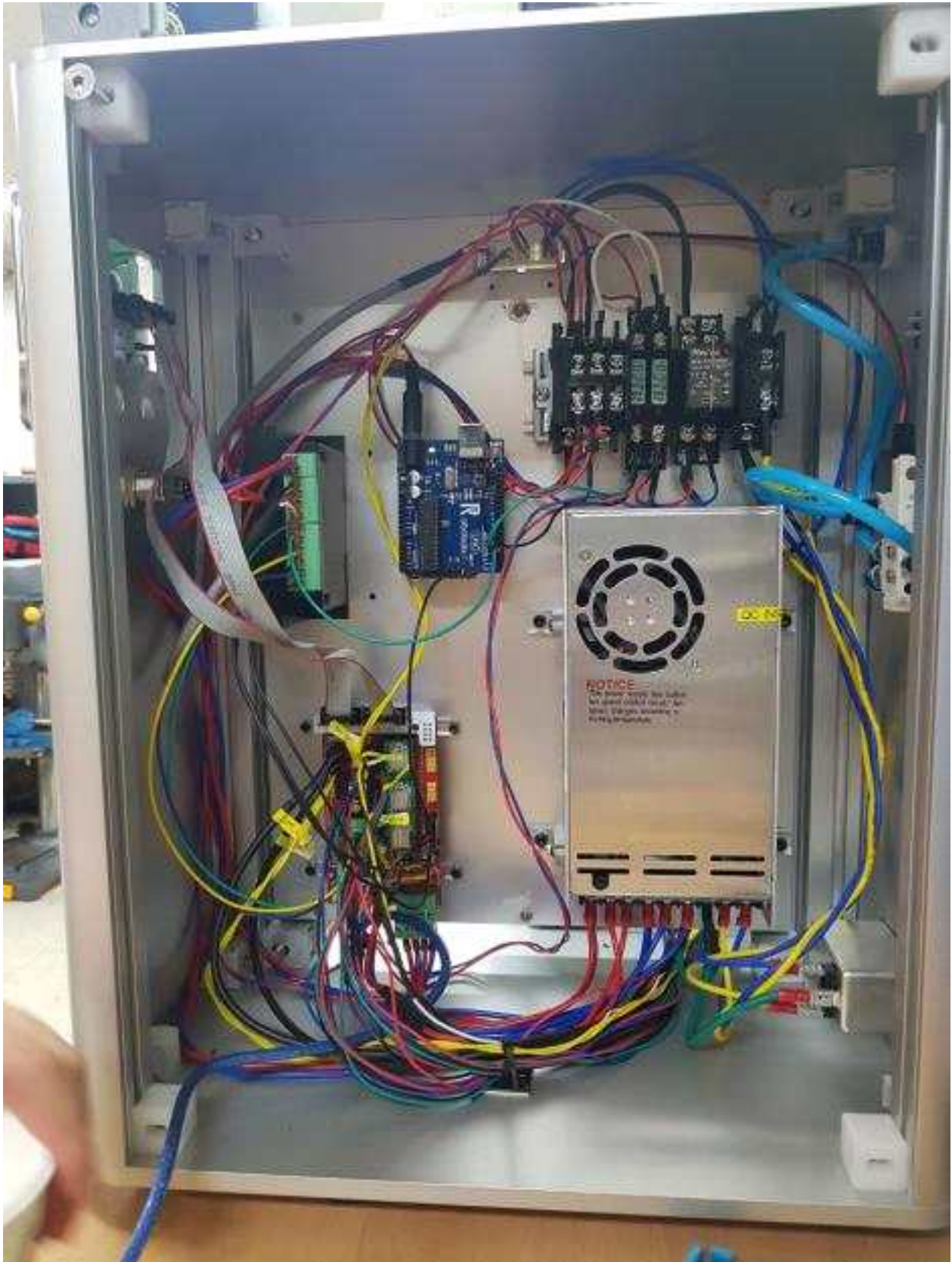


그림 1-30 제어 시스템 제작 구성도

㉔ Screw Type Module 개발

Screw Type 3D Printer

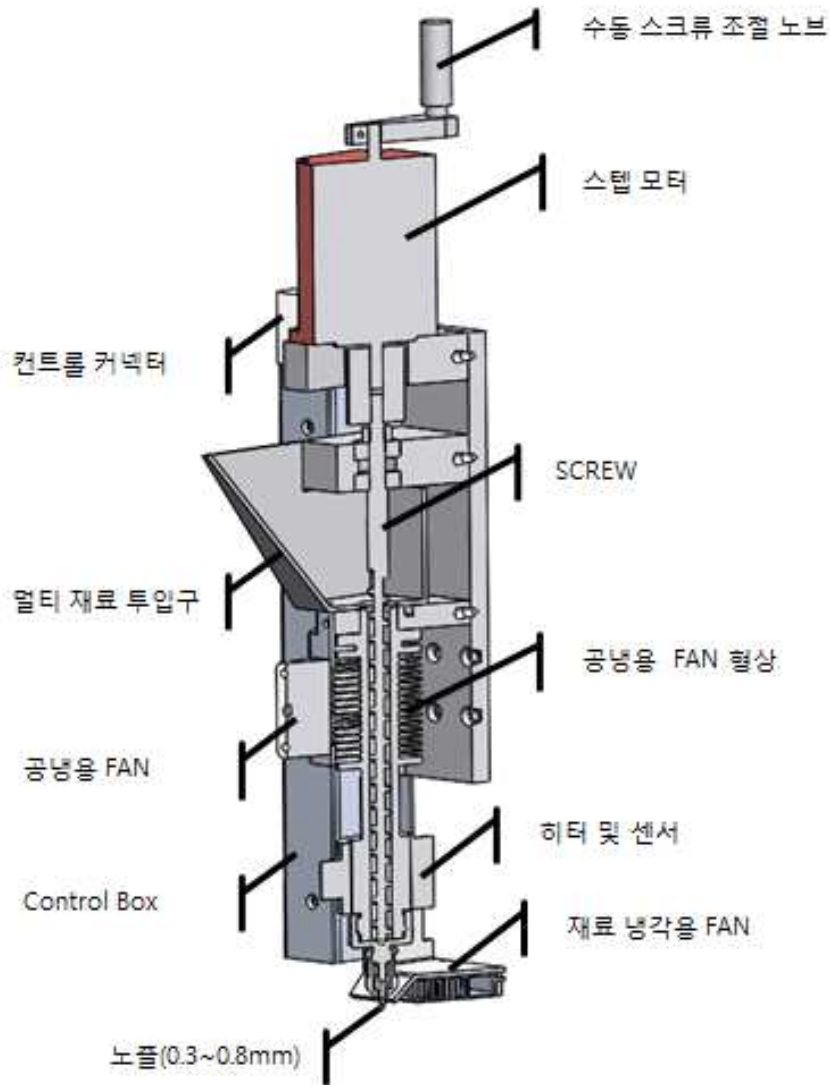


그림 1-31 Screw Type Extruder Module

- 복수의 재료를 혼합 및 압출하기 위한 Screw Type Extruder 개발
- 재료들을 호퍼(멀티 재료 투입구)에 넣게 되면 Screw를 통해 Barrel을 따라 이송되며, 내부에서 섞이면서 균일하게 이송됨.
- 식품 재료를 사용하기 위해 SUS304 재질을 사용하여 제작됨.



그림 1-32 가공된 Screw 부품 (SUS304)

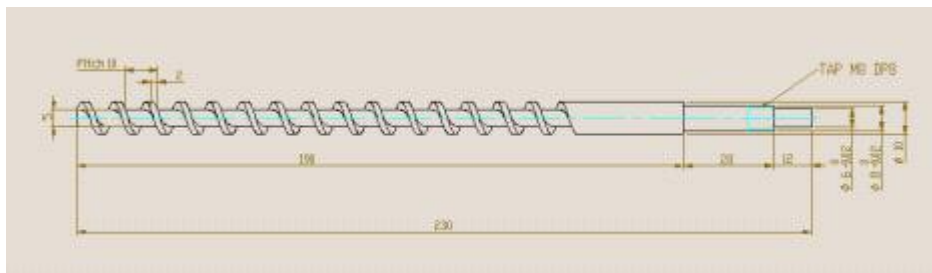


그림 1-33 SCREW 도면

- 재료가 글루텐, 초콜릿 등과 같이 상온 고체이고, 가열하여 용융시키는 재료를 Screw Module에서 사용하기 위해 메인 프레임 블록인 Barrel은 그림과 같이 가열 구간 및 냉각 구간을 나누어 구성하였음.
- 재료를 가열하기 위한 히터의 열이 스크류 상단까지 열이 전달되면 재료를 이송하지 못하기 때문에 열전도를 차단 할 필요가 있음. 따라서 냉각 구간을 통해 열이 전도되지 못하도록 차단함.

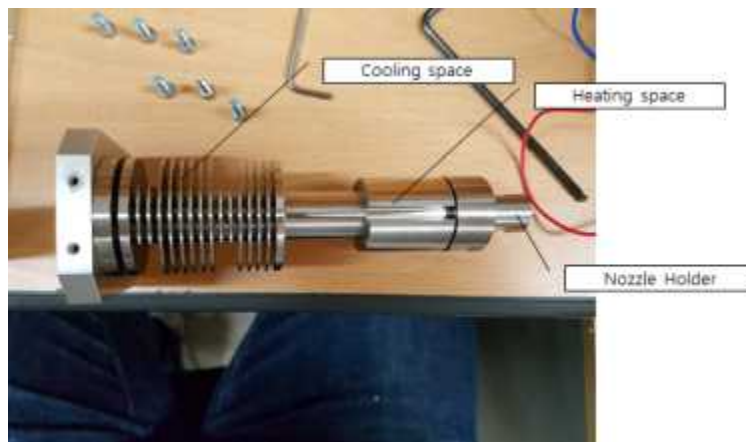


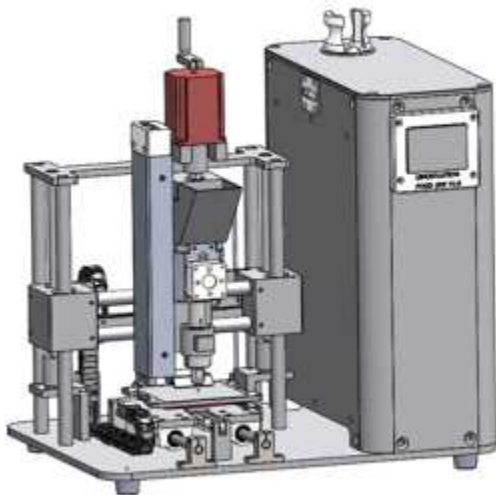
그림 1-34 Barrel Block 구성도



그림 1-35 모듈 조립 사진

- 히터는 밴드히터 (220V 330W)와 서미스터를 사용하여 최대 200도 까지 가열 가능함.
- 재료를 수동으로 압출하기 위해 모터 상단에는 노브를 설치함.

Screw Type 3D Printer



3D 도면 사진



제작 사진

그림 1-36 Screw Type Module 및 3D 프린터 도면 및 사진

㉔ Syringe Type Module 개발

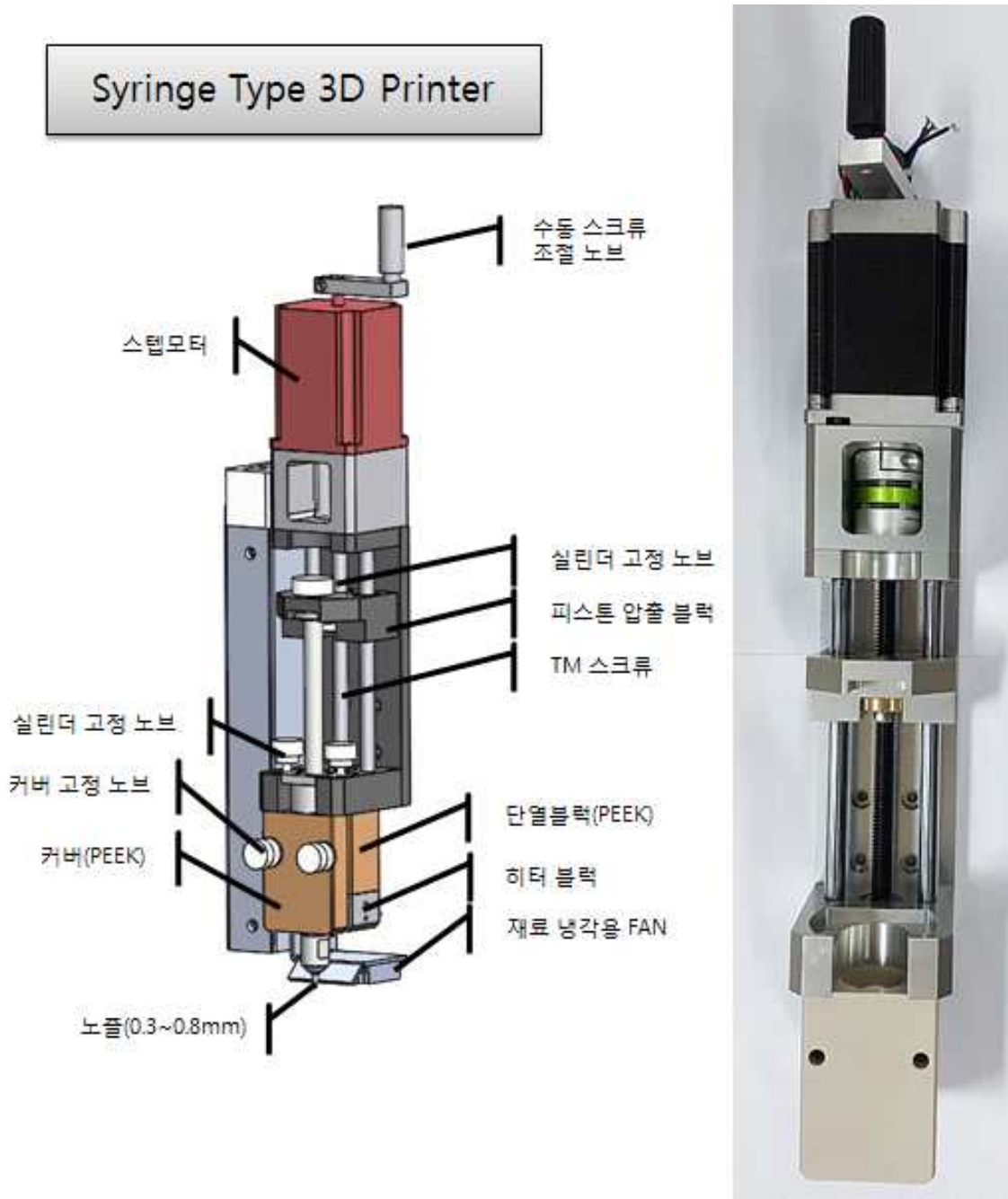


그림 1-37 Syringe Type Extruder Module

- 식품 소재를 카트리지에 담아 압출하는 방식을 사용함으로 다양한 재료를 카트리지 교환을 통해 교체가 가능하고, 탈부착이 용이함.
- 카트리지 및 노즐을 1회용의 플라스틱을 사용하여 교체하거나 금속타입의 노즐을 사용하여, 가열을 통해 살균이 가능함.
- 직접 압출 방식으로 저점도 부터 고점도 재료까지 다양한 점도의 재료압출이 가능함.



피스톤 실린더

No	항목	DATA	UNIT
1	실린더 용량	20	mL
2	압출장치 <u>스트로크</u>	70	mm
3	SCREW LEAD	1.5	mm
4	MOTOR TORQUE	4.2	<u>Kgf.C</u> <u>m</u>
5	실린더 온도 제어 범위	200 (MAX)	°C

그림 1-38 금속 실린지 사양서

- 금속 실린지는 sus 304 재질을 사용하여, 식품재료 사용이 가능하고, 20mL의 재료를 담을 수 있음.
- 플라스틱 실린지는 20ml 규격 제품이 사용 가능하며, 추가 부품을 통해 결합이 가능함.

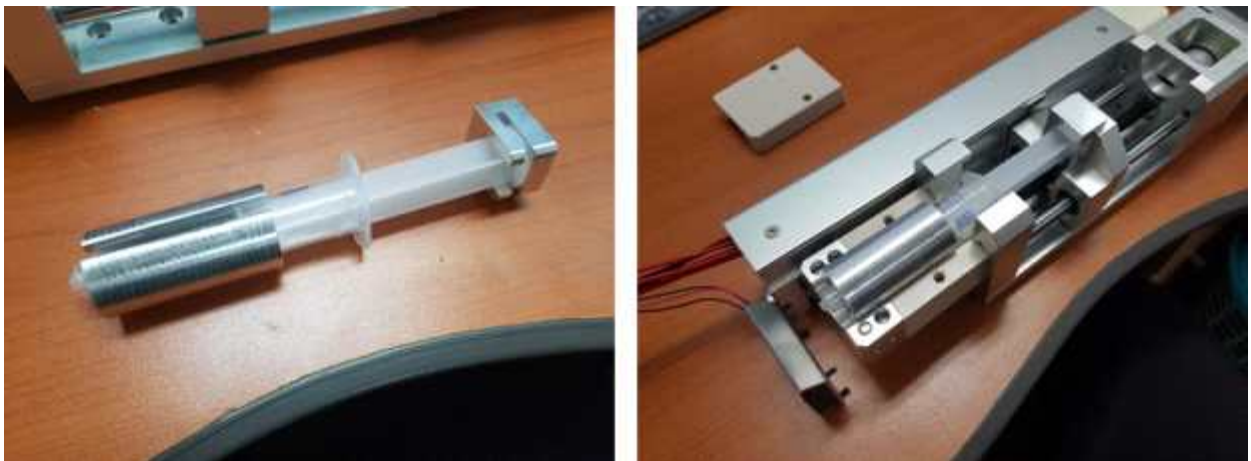


그림 1-39 20ml 플라스틱 실린지 설치

- 플라스틱 실린지 압출 테스트를 위해 고점도 실리콘 재료를 넣어 압출 테스트 진행함
- 원형 형상을 프린팅 테스트를 통해 형상구현 가능성 실현함.

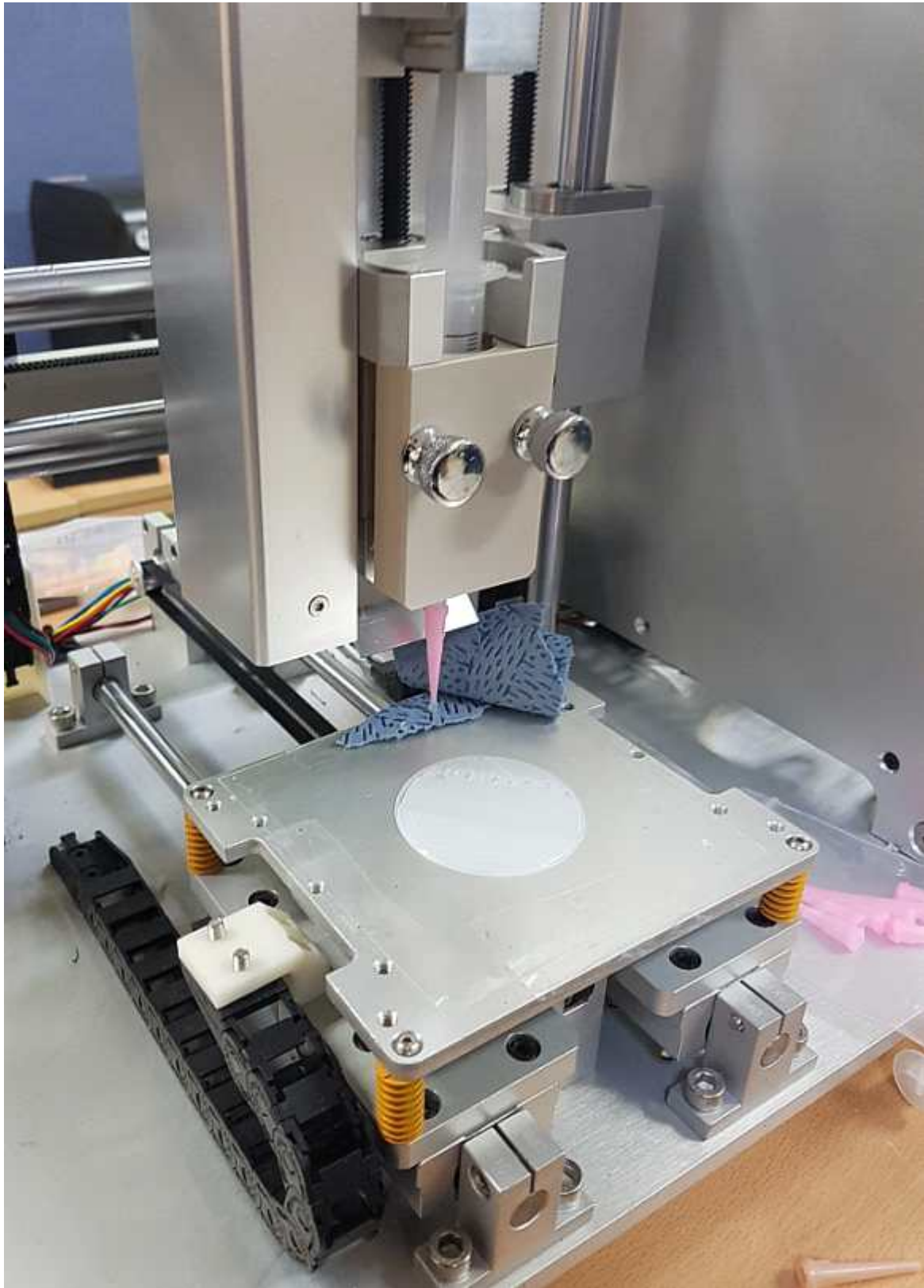


그림 1-40 고점도 실리콘 재료 프린팅 테스트

(다) 식품 소재 멀티 프린팅 Food 3D 프린터 제작 및 공정 연구

① 파우더 형태 식품소재 출력 가능한 3D 프린터 개발

- 기존 식품소재 중, 식품 3D 프린팅에 적합한 파우더 형태의 소재를 선정
- 3D 형상 제작을 위한 식품 파우더 기반 3D 프린터 개발
- 고속으로 바인더 재료를 출력하기 위해 버블젯 방식 및 피에조 방식 노즐 적용한 프린터 개발

② 파우더 방식 3D 프린터 구조 및 동작 방식

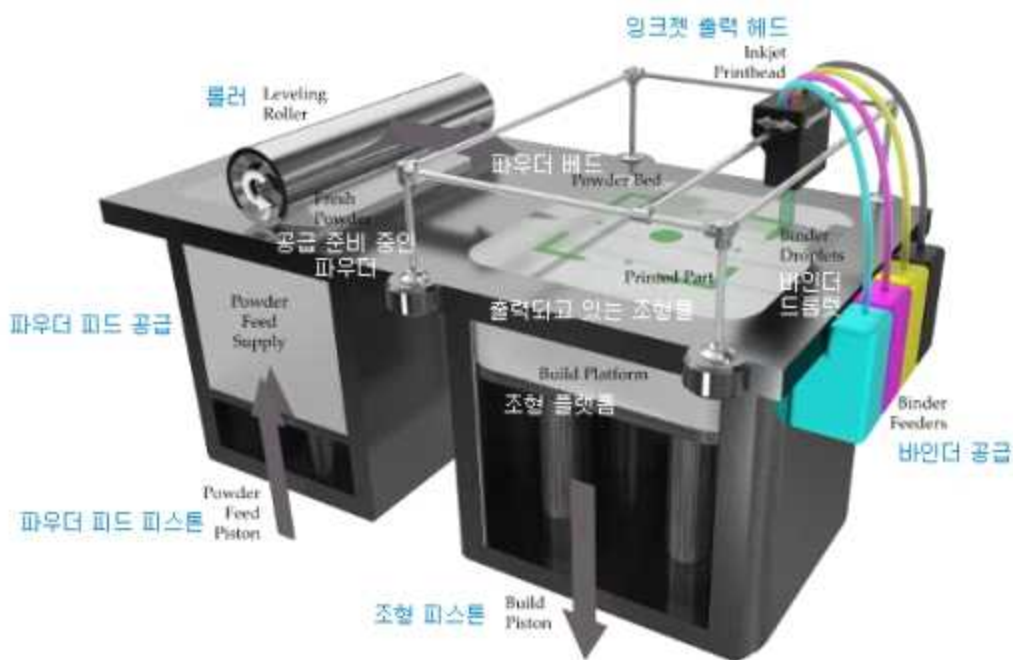


그림 1-41 파우더 방식 3D 프린터 구조도

- 파우더 기반의 3D 프린터는 3D 형상을 만들기 위해 주재료인 파우더 재료와 재료를 굳히는 기능을 가진 액상형태의 바인더 재료를 사용함.
- 프린터는 주 재료를 공급하는 피스톤과 조형플랫폼이 있는 피스톤으로 구성되어 있으며, 프린팅이 진행되는 과정동안 공급피스톤이 상승하면서 올라온 주 재료를 롤러가 이동하며 조형플랫폼이 하강한 후 빈 공간에 얇게 도포하는 과정을 하며 한 레이어에 재료를 공급함.
- 재료 공급이 끝난 후, 카트리지에 보관중인 바인더 재료를 잉크젯 노즐을 통해 표면에 분사하면서 분사된 영역의 주재료를 굳히는 작업을 진행함.
- 각 레이어마다 형상에 맞춰 출력을 진행하면 최종적으로 3D 형상이 제작됨.

㉔ 식품 파우더 및 바인더 소재 선정

- 다양한 형태의 식품 소재 중에서 파우더 형태의 소재는 비교적 취급이 쉽고, 쉽게 구할 수 있으며, 다양한 소재를 사용할 수 있다는 점에서 3D 프린터에 적용하기 적합한 소재 형태임.



그림 1-42 분말형태의 식용 재료

- 3D 프린터에 사용 가능한 파우더 입자는 200um 이하의 사이즈가 적합함.
- 프리팅 과정 중 롤러로 재료 도포 시, 입자가 작아야 출력물 밀림 현상이 없으며, 밀도 높은 제품을 만드는데 유리함.

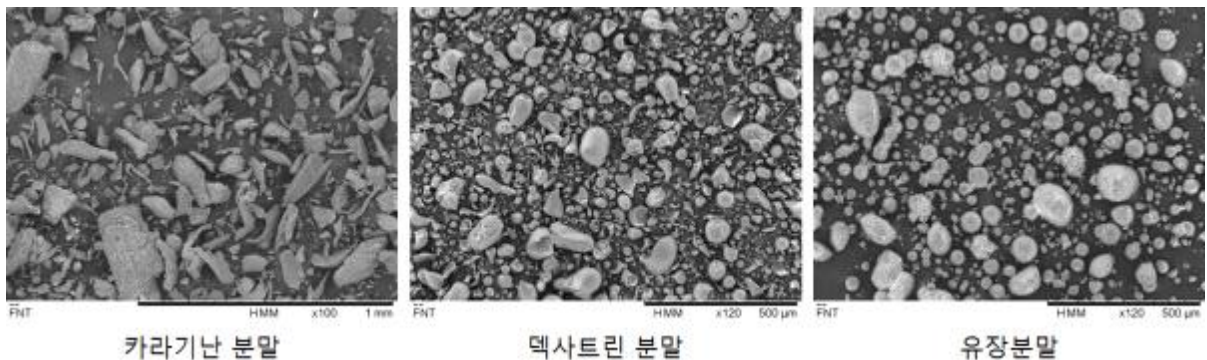


그림 1-43 재료별 분말 입자 형상 및 크기 확대 사진

- 식품 파우더의 바인더로는 주로 초순수를 이용해서 분말 입자를 결합하는 방식을 사용하였으며, 잉크젯 노즐에 적용하기 위해서 바인더의 점도가 10~20 cPs 범위 내에서 사용해야함.

② 버블젯 방식 3D 프린터 개발

㉞ 버블젯 방식 3D 프린터 사양서



그림 1-44 버블젯 방식 3D 프린터 사진 및 사양서

- 파우더 기반 3D 프린터를 개발하기 위해 기본적인 실험장비를 구축할 필요성이 있음. 오픈소스로 공개되어 있는 PLAN B 프로젝트를 기반으로 파우더 방식 3D 프린터를 개발함.

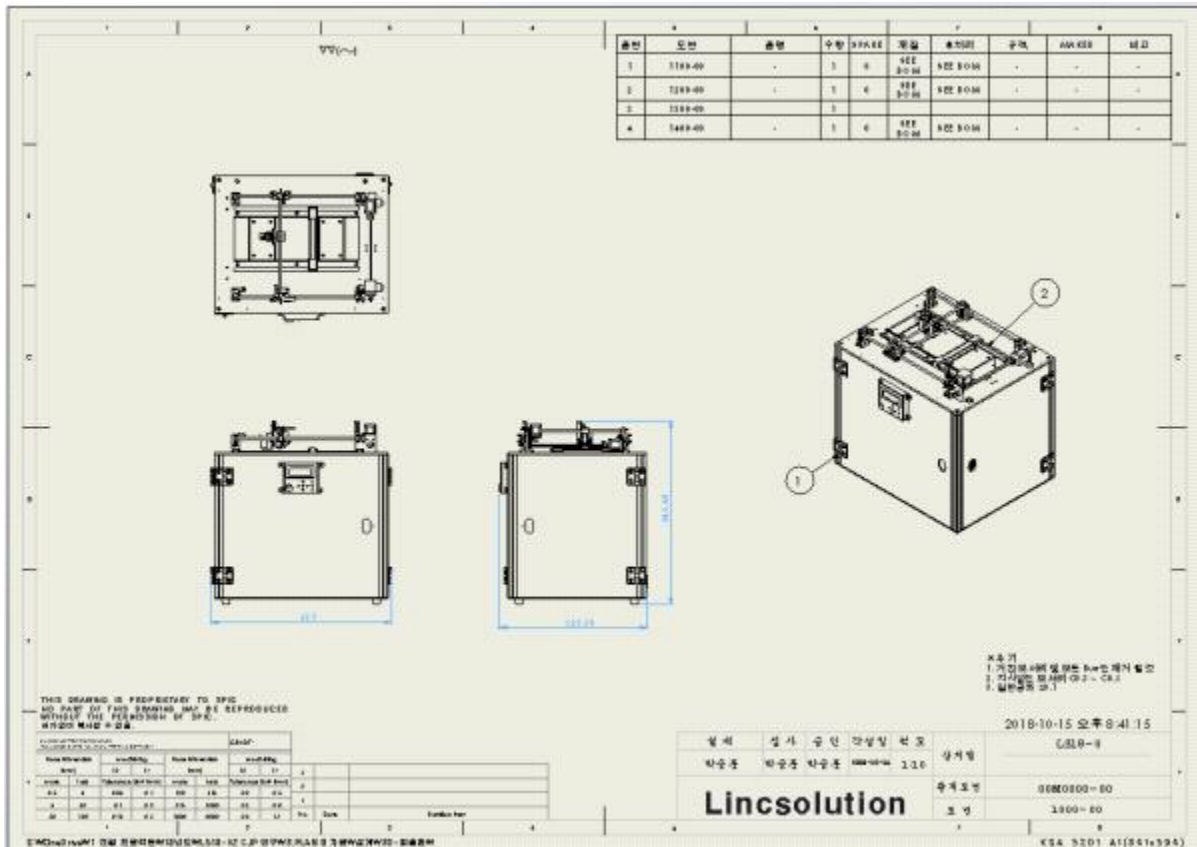


그림 1-45 2D 도면 자료

- 파우더 기반 3D 프린터는 잉크 카트리지를 설치하기 위한 Ink Head 모듈과 노즐을 이동하기 위한 X, Y Axis 모듈, 파우더 재료를 공급하기 위한 Feed Axis, 파우더를 Build Platform에 얇게 코팅하기 위한 Spread 모듈, 형상이 제조되는 Build Axis로 구성됨.

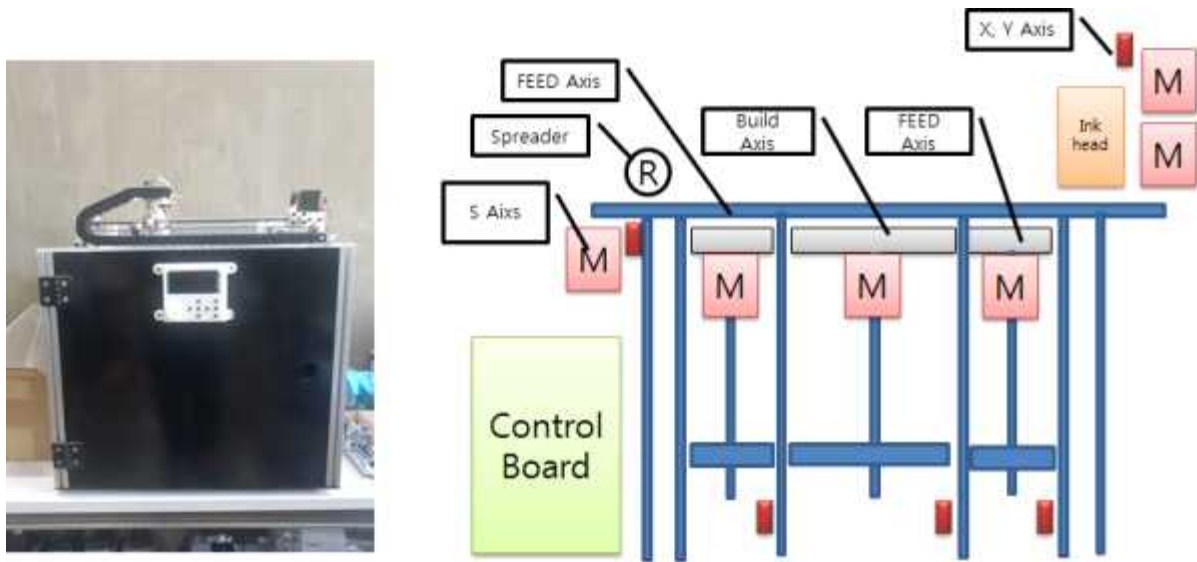


그림 1-46 하드웨어 기본 구성도

- 각각의 구동 모듈은 구동하기 위한 모터와 원점을 측정하기 위한 센서가 설치 되어있음.

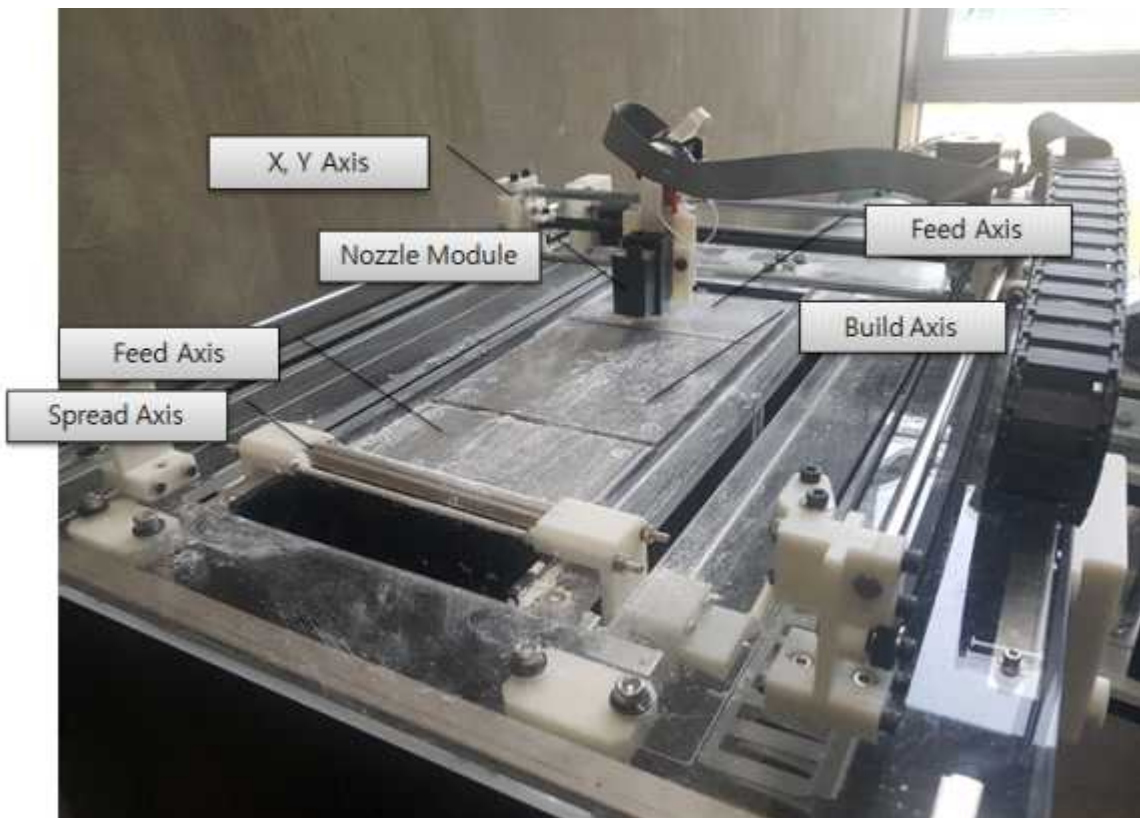


그림 1-47 구동 시스템 구성도

㉔ 버블젯 노즐 구조 및 사양

- 미세 토출을 이용한 식품 프린터 연구를 위해 쉽게 구할 수 있으며, 각각의 노즐을 제어 가능한 HP사의 C6602 모델 카트리지를 선정하였으며, 카트리지 제어를 위해 Ink_Shield 보드를 적용함.

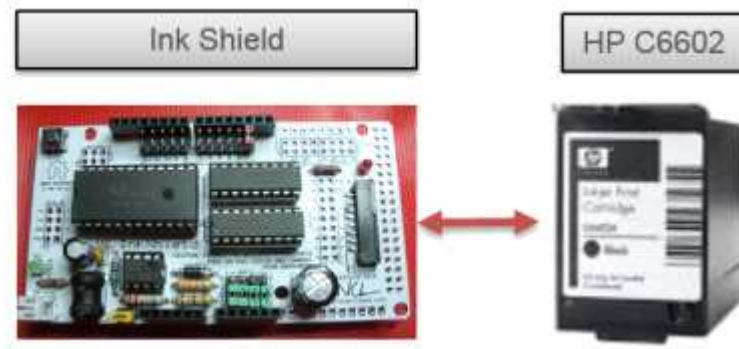


그림 1-48 개발에 적용한 HP 방식 카트리지 노즐

- C6602 카트리지는 버블젯 방식을 사용한 노즐을 사용함으로써 내부 관에 채워진 액체를 순간적으로 가열함으로써 발생하는 기포를 통해 미소량을 토출하는 방식을 사용함. 다른 방식에 비해 제어 방식이 단순하고, 제어방식이 공개되어 있어 쉽게 사용가능한 장점이 있음.



그림 1-49 버블젯 방식 잉크 출력 원리

- Ink Shield와 Arduino Board를 결합하고, C6602 카트리지를 연결하면 간단한 프로그램을 통해 12개의 노즐을 96DPI 해상도로 인쇄가 가능함.



그림 1-50 샘플 인쇄 테스트

- Arduino Board에서 각 노즐과 연결된 Pin에서 5V TTL 신호로 약 6.5us (6us- high, 0.5us low) 주기의 펄스를 발생하게 되면 버스트 회로에서 20V 신호로 펄스를 증폭하게 됨. 펄스 발생 후, 디멀티플렉스의 Pin을 선택적으로 개방하면 선택된 노즐에 펄스가 도달하고, 미소량의 액체 소재를 토출함. 프로그램을 통해 12개의 노즐을 96DPI 해상도로 인쇄가 가능함.

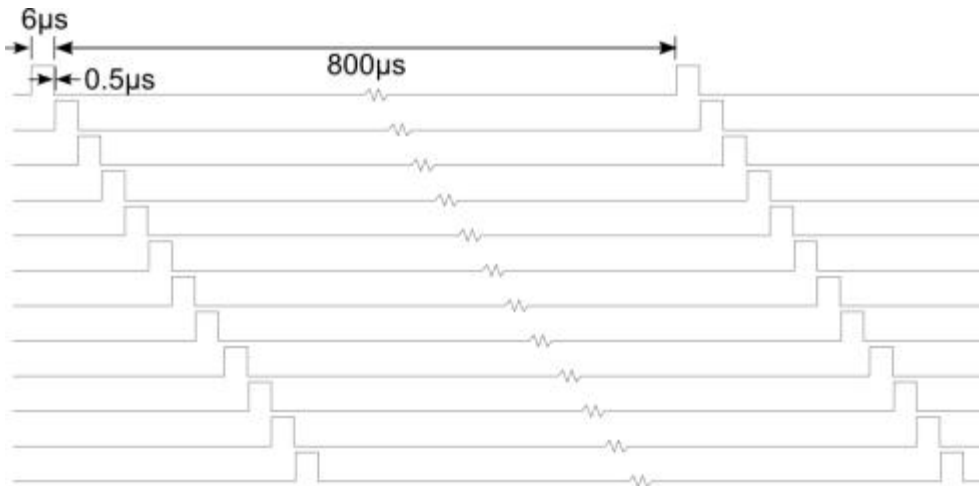


그림 1-51 펄스 파형 그림

- 카트리지 노즐은 노즐 내부의 히터를 가열하여, 수분을 기화시켜 기포를 통해 액을 밀어내는 버블젯 방식이기 때문에 충분한 냉각시간이 필요함. 따라서 펄스를 발생시킨 후, 다음 펄스 발생하기 위한 휴식시간을 800us 이상 가지도록 권장하고 있음.

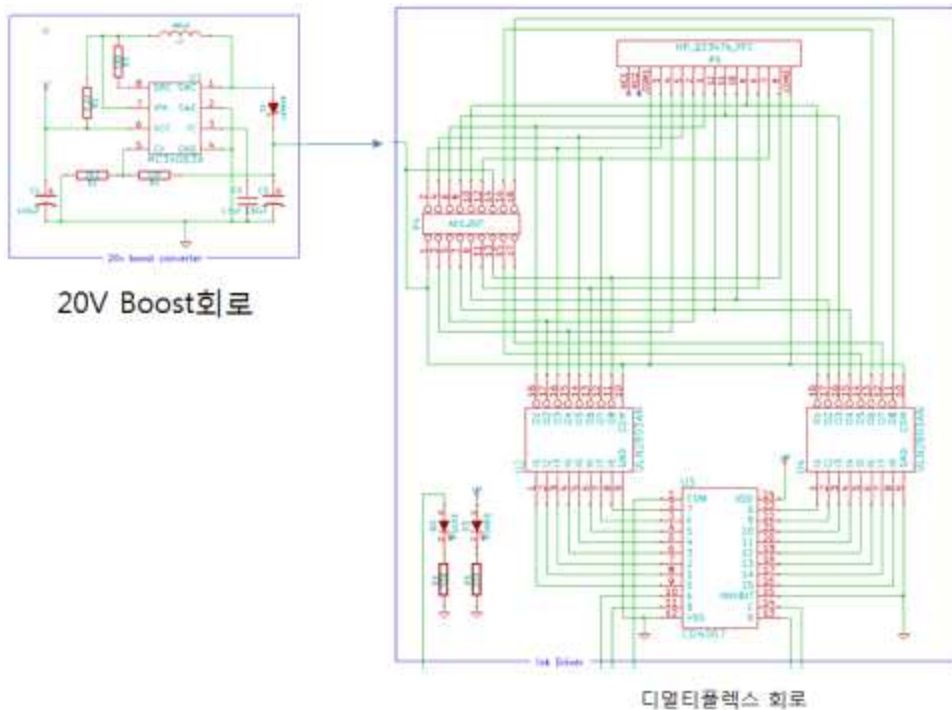


그림 1-52 펄스 발행 회로

㉔ 프린터 제어부 구성도

- 프린터 제어 구성도는 1개의 Ink Shield, 6개의 구동장치, 리밋 센서, LCD모듈, Key Pad, 온도 제어 장치 등으로 구성되어 있음. 구동장치의 경우 위치제어를 위해 Stepping Motor를 사용하였고, A4988 모듈을 통해 모터를 제어함. 리밋센서는 포토센서를 사용해 원점을 측정함.

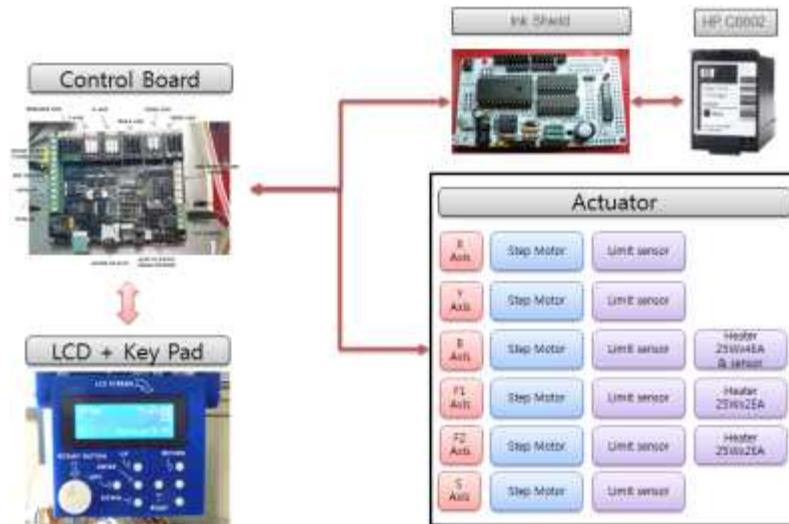


그림 1-53 프린터 제어 구성도

- 제어 보드는 6개 이상의 모터를 제어 하기위해 Megatronics V3.1보드를 선정하였으며, 자체 SD 카드 슬롯을 통해 G-CODE가 입력되면, Ink Shield 및 모터, 히터 등을 제어 하는 기능을 가짐.

Megatronics V3.1 사양서

CONNECTORS

TECHNICAL SPECIFICATION

Microcontroller	Atmega2560-16AU
Operating Voltage Electronics	5V
Operating Voltage High	12-24V (15A heated bed, TA electronics)
DC Current per I/O Pin	40mA
Clock Speed	16MHz

	Atmega2560 Powerful 8-bit AVR microcontroller with 256 KB memory, running at 16MHz.
	Thermocouple On-board support for connecting two thermocouples (see external).
	SD Card Automatic printing from Micro SD card or board or external SD card, using the external SD card PCB module. Now with SD card detection pin.
	Stepper Drivers The board has 6 regular stepper drivers (15A) and 18 stepper drivers (15A) and also includes 12 for the heated bed (18.5V 34.7V) to support many needs.
	Up to 6 stepper drivers Compatible with stepper drivers that are not included. Modifiable to make replacement easy for stepper drivers. Also the new DRV8833 stepper driver is supported.
	Support for many peripherals The board's functions can be easily extended with LCD, keypad etc. See the connections section for more information.

그림 1-54 제어기 사양서

- 제어판은 메인 컨트롤러 파트와 Ink Shield 파트, SMPS 파트, 히터 SSR 파트로 구분되며, 도어에 설치된 LCD 및 Keypad 모듈과 선으로 연결되어 있음. 메인 전원은 220VAC를 SMPS를 통해 12VDC로 변환하여 사용하며, 메인 컨트롤러 및 Ink Shield에 공급됨.

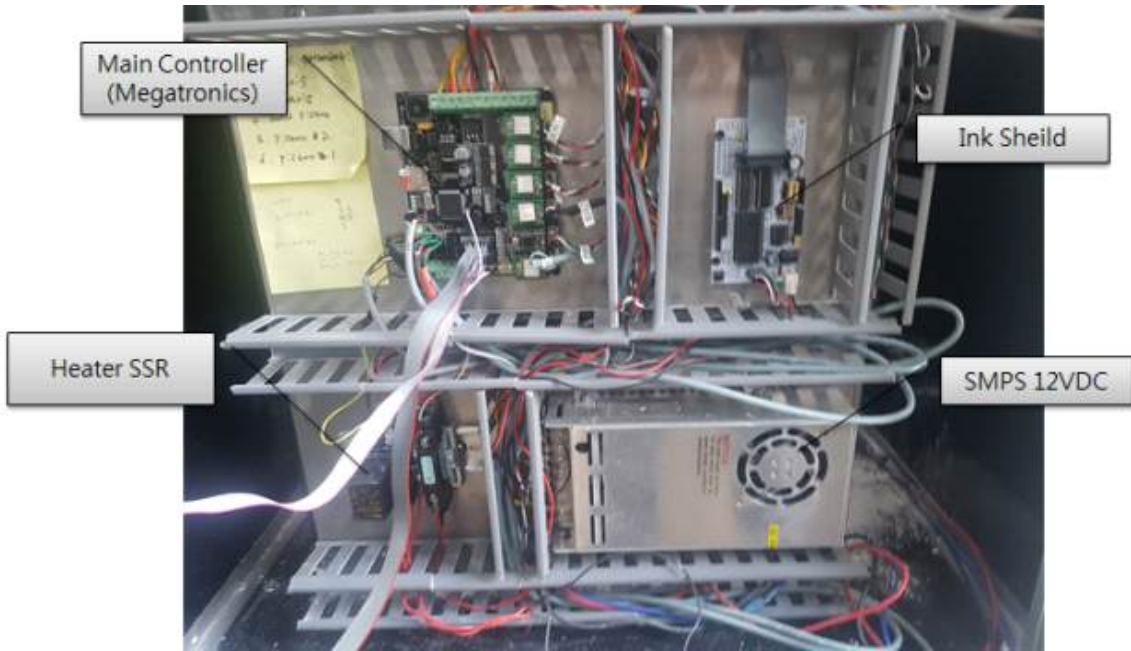


그림 1-55 제어부 구성 사진



그림 1-56 LCD Display 및 Key Pad 모듈

㉔ G-CODE 생성

- 잉크젯 카트리지를 이용해 프린팅 과정을 수행하기 위해서 3D 형상 데이터를 슬라이싱 과정을 통해 각각의 레이어의 단면 형상으로 나누고, 각각의 노즐을 제어하면서 XY 축으로 이동시켜주는 전반적인 동작에 대한 데이터를 생성하는 과정이 필요함.

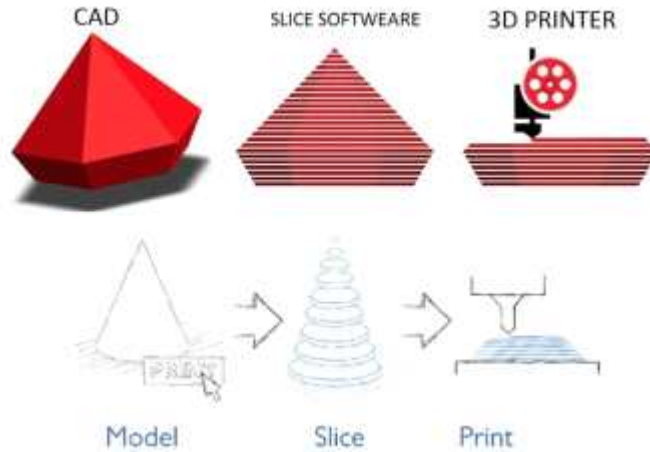


그림 1-57 일반적인 3D 프린터 슬라이싱 처리 방법

- 일반적인 3D 프린터와 비슷한 과정을 수행하지만 잉크젯 방식 프린터의 경우 G-code 처리 방식에 차이가 있음. 일반적인 3D 프린터의 경우 노즐의 경로와 1개의 노즐 압출량만을 데이터로 가지게 되지만, 잉크젯의 경우 노즐이 다수이기 때문에 각각의 노즐을 제어할 필요가 있음.

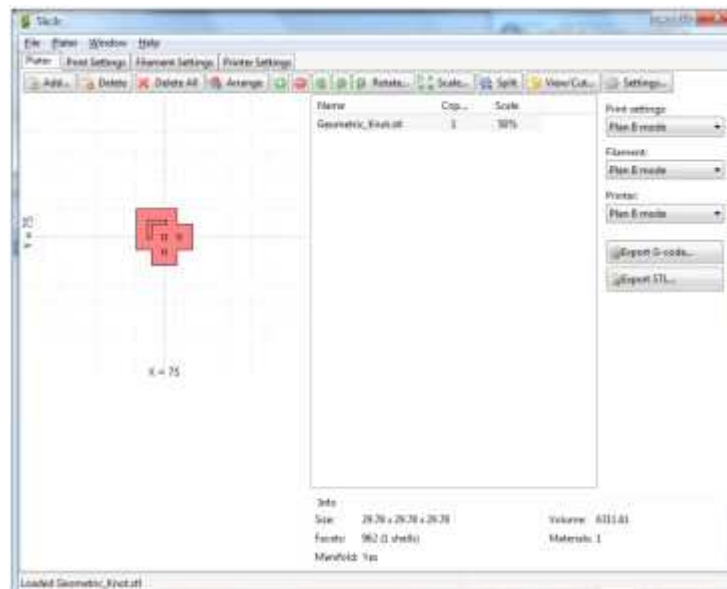


그림 1-58 Slic3r 소프트웨어를 이용한 슬라이싱 수행

- 잉크젯 프린터용 G-code를 만들기 위해 먼저 기존 슬라이서 프로그램인 Slic3r 소프트웨어를 이용해서 G-Code를 생성하였음. 생성된 소프트웨어를 기반으로 잉크젯 프린터용 G-code로 수정 과정을 수행함.

- 기존 G-code의 경우 일반적으로 외벽, 내벽, 내부 채움 순으로 G-code를 생성하지만 잉크젯 헤드를 사용하는 경우에는 인쇄하는 과정과 같이 한 줄씩 인쇄하는 방법을 사용함. 따라서 그림과 같이 한 줄이 시작할 때 ①, 인쇄에 사용되는 노즐을 개방하고, 노즐이 이동하면서 노즐을 개방하거나, 닫을 때 ②, G-code를 이용해서 제어하게 됨. 한 줄이 끝나게 되면 ③, 한칸 내려오면서 반대로 이동하면서 노즐을 출력하는 과정을 수행함 ④.

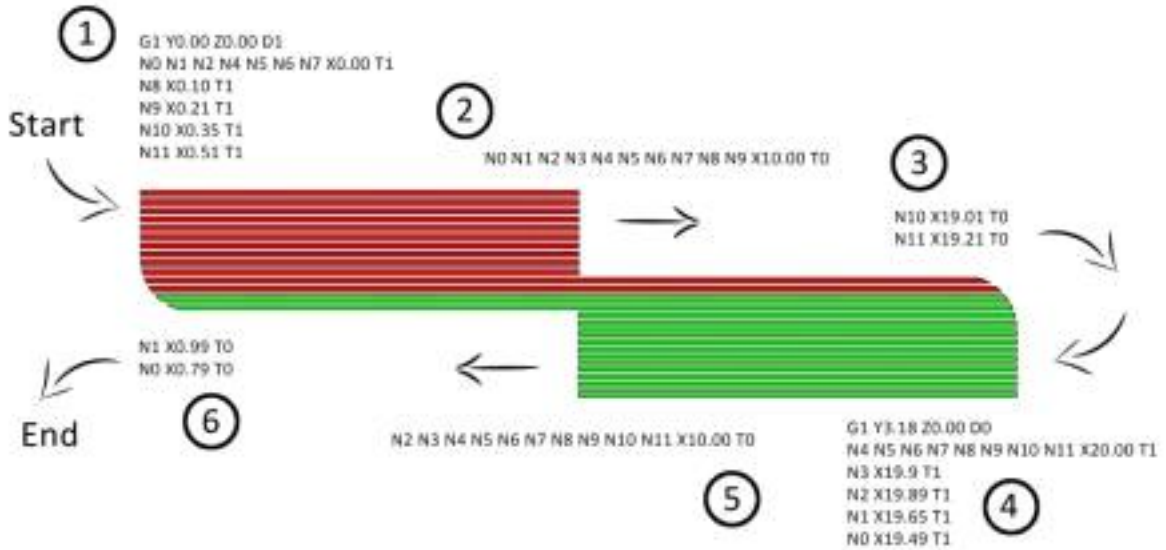


그림 1-59 잉크젯 프린트용 G-code 생성 방법 예제

- G-code를 생성하면 SD 카드에 저장 후, Megatronics Control Board의 Sd card 슬롯에 삽입하고, LCD와 Key Pad를 통해 파일을 선택하고, 프린팅 과정을 시작할 수 있음.

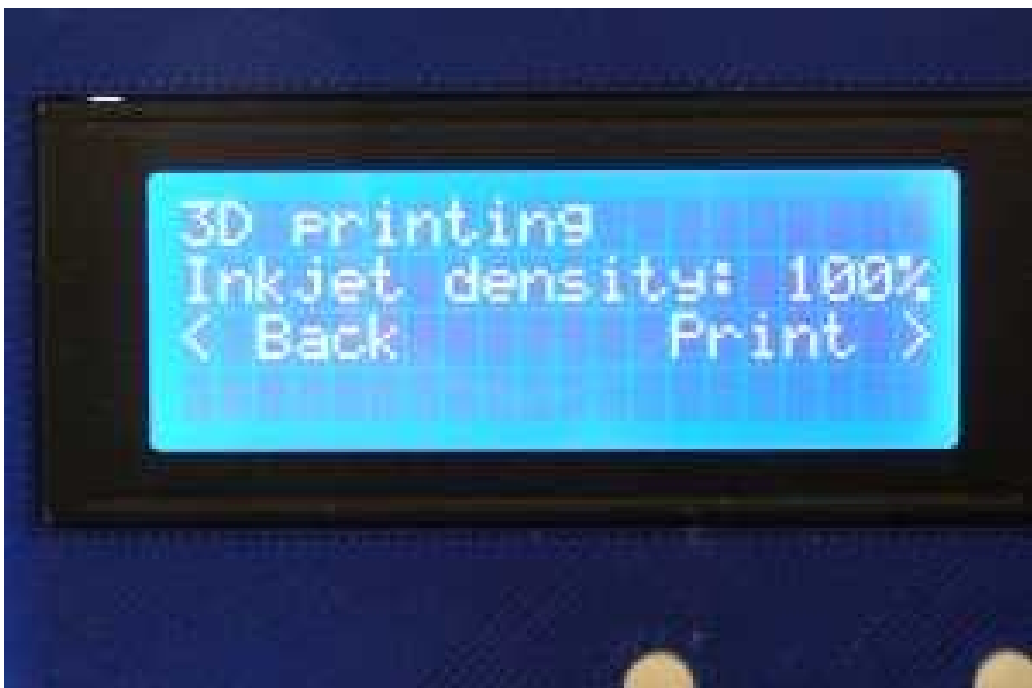


그림 1-60 프린팅 기능 수행

㉔ 프린팅 동작 테스트 진행

- 프린팅 과정을 수행하기 위해 장비를 세팅하는 과정이 필요함. 세팅과정은 카트리지 바인더 재료 공급과 파우더 재료를 공급하기 위한 과정으로 나뉨.
- 바인더에 재료를 공급하기 위해 먼저 카트리지 내부의 잉크를 제거하기 위한 과정이 필요함. 카트리지는 내부는 잉크와 잉크가 스며들어있는 스폰지로 구성되어 있음. 잉크를 제거하기 위해 상부에는 작은 구멍에 주사기를 삽입하여, 내부의 잉크를 제거함.



그림 1-61 주사기로 잉크 제거하는 과정

- 내부의 잔여 잉크를 제거하기 위해 상부 커버를 드라이버 또는 칼을 이용해서 제거함. 내부의 스폰지를 제거하고, 내부 잉크를 물 또는 알코올로 제거함. 스폰지도 세척 후, 다시 내부에 설치함. 다시 커버를 조립 후, 주사기를 위해 바인더 소재를 공급함.

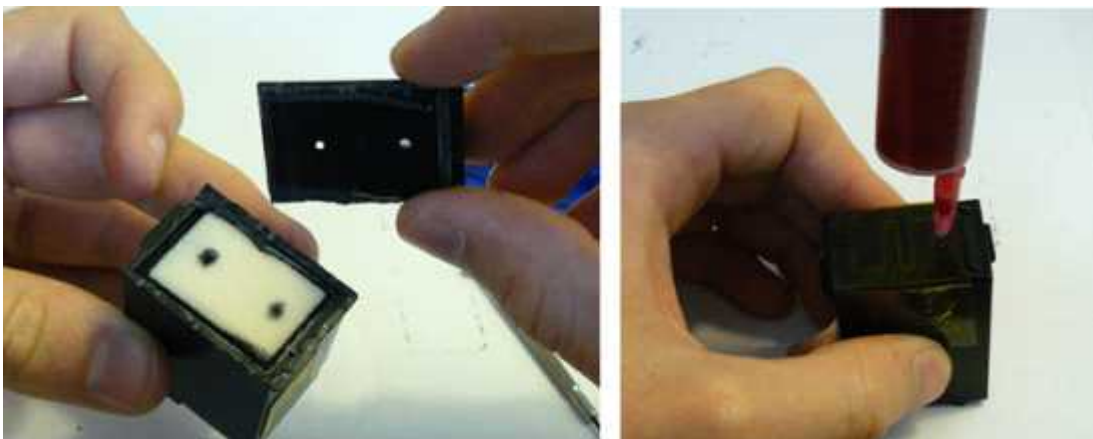


그림 1-62 내부 세척 및 바인더 소재 공급

- 3DP 프린터에서 인쇄를 시작하려면 프린터를 재료로 채워야 하고, 필요한 재료의 양은 부품 높이에 따라 다르기 때문에 충분한 양을 미리 공급해야함. 프린터에 파우더를 공급할 때, 날리는 일부 파우더 때문에 노즐이 막힐 수 있기 때문에 카트리지를 제거 후, 공급해야 함.

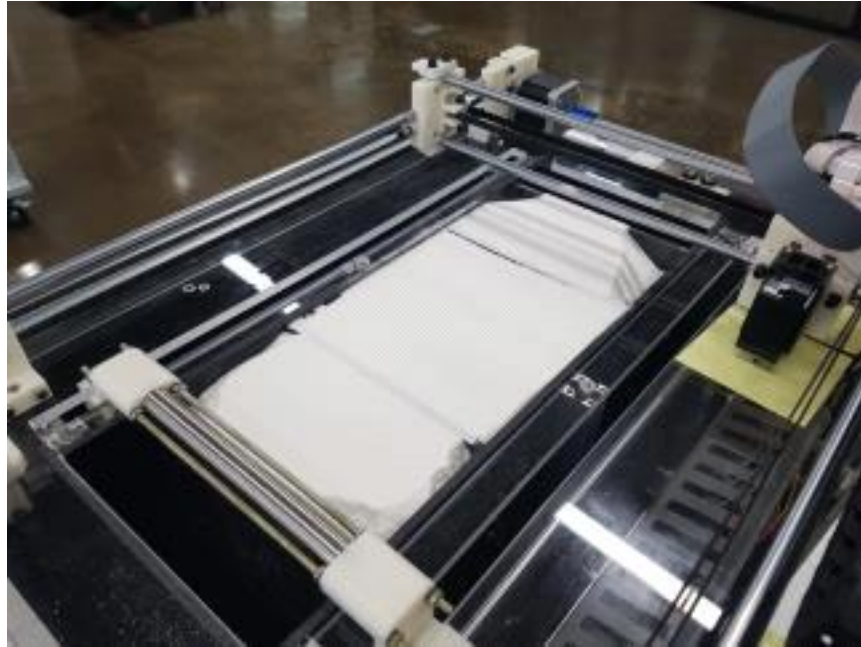


그림 1-63 재료 공급 과정

- 먼저 Feed Axis의 두 피스톤 피스톤을 인쇄 할 부품의 높이보다 낮게 이동시키고, 재료를 채우는 과정을 수행함. 중앙 Build Axis 의 피스톤을 5mm 내리고, 상부 전체에 파우더를 고르게 만드는 과정을 수행해야함. 분말을 평평한 판재를 이용해서 눌러 압축시킴. 양쪽 Feed Axis를 순차적으로 올리고, build 피스톤을 1레이어 낮춘 후, Spread를 좌우로 왕복하면서, 표면이 부드러워 질 때까지 왕복 운동을 진행함. 인쇄하기 직전에 바인더가 있는 카트리지를 넣고, 프린팅을 진행함.

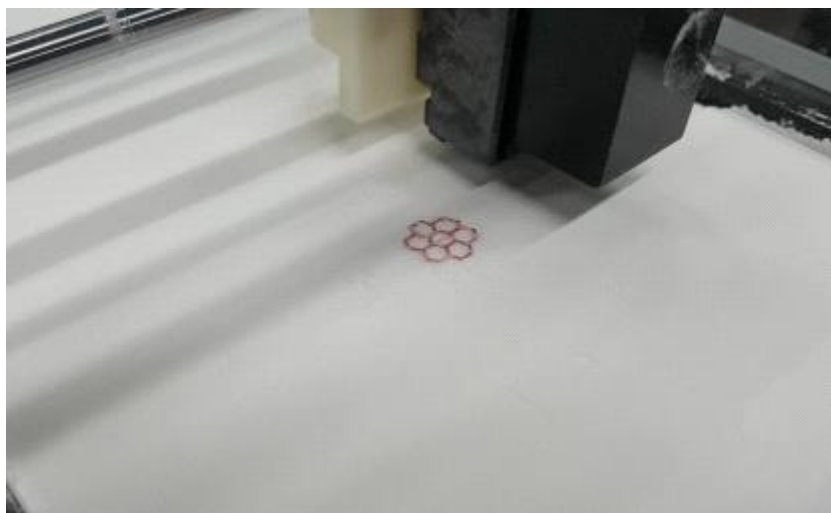


그림 1-64 프린팅 인쇄 수행 사진

③ 보급형 피에조젯 방식 3D 프린터 개발

㉔ 보급형 피에조젯 방식 3D 프린터 사양서

- 기존 버블젯 프린터 개발에서 발생한 여러 가지 문제점을 보완 할 필요성이 있으며, 다음과 같은 사항들이 있음.
 - 1) 프린팅 속도 고속화 : 기존 12노즐의 경우 1회 출력속도에 한계가 있음
 - 2) 카트리지 문제 : 카트리지 내구성 낮음, 비용 고가
 - 3) 재료 공급 문제 : 실험을 위해 바인더를 자주 공급 필요
 - 4) 습도 문제 : 파우더 재료는 습도가 높으면 뭉치는 문제가 발생, 품질에 영향을 미침
- 위 문제들을 해결하기 위해, EPSON 사의 L388 복합기 프린터의 프린트 파트를 적용하여 장비를 개발하였음. 180개의 노즐(BLACK)을 가진 노즐을 보유하고 있으며, 별도의 재료 공급 장치를 보유하고 있기 때문에 충분한 양의 바인더를 보유하고 있으며, 추가적으로 공급이 가능함. 또한 공압을 통해 손쉽게 제거가능하기 때문에 재료 교체에 어려움이 없음.
- 재료 낭비를 막기 위해 Build 영역을 샘플의 사이즈인 20 x 20 x 20mm 보다 더 크게 출력 할 수 있도록 제작 되었으며, 별도의 파우더 재료공급 장치를 제작하여, 실험 시 사용되는 파우더의 양을 최소화하였음. 또한 커버로 밀폐하여, 외부 온습도 영향을 최소화 하였으며, 실리카 겔을 이용해서 내부 습도를 낮게 조절함.

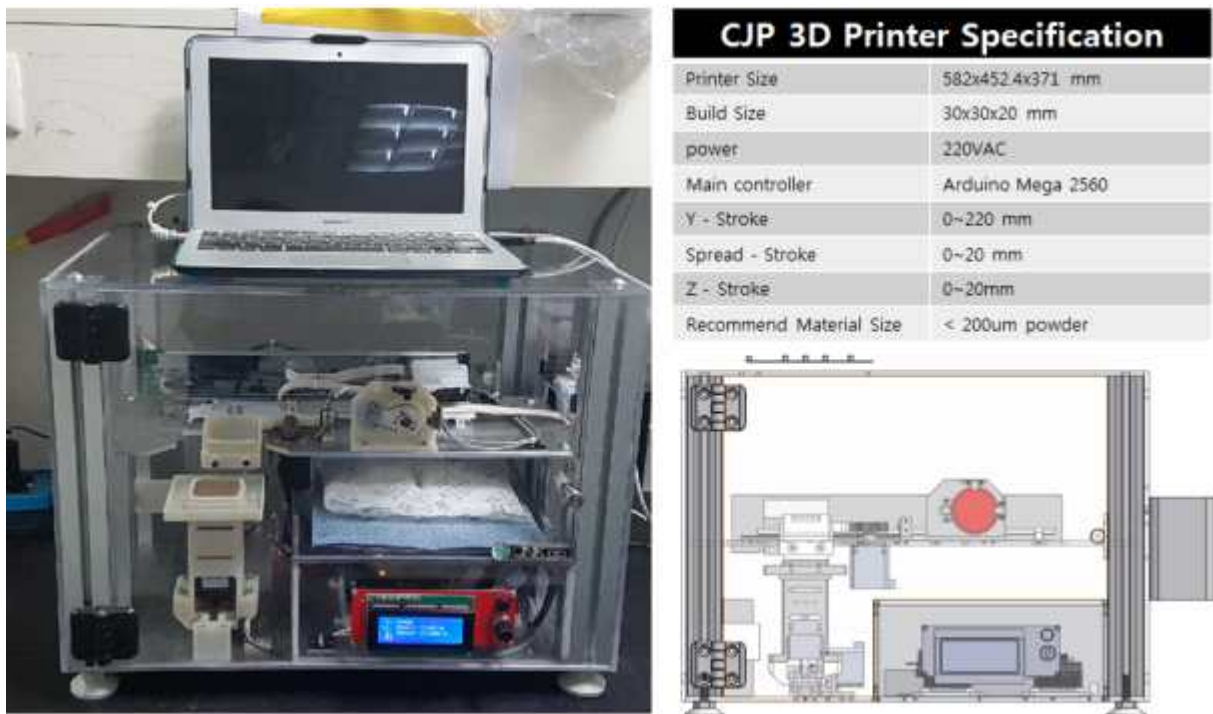


그림 1-65 피에조젯 방식 3D 프린터 제품 사진 및 사양서

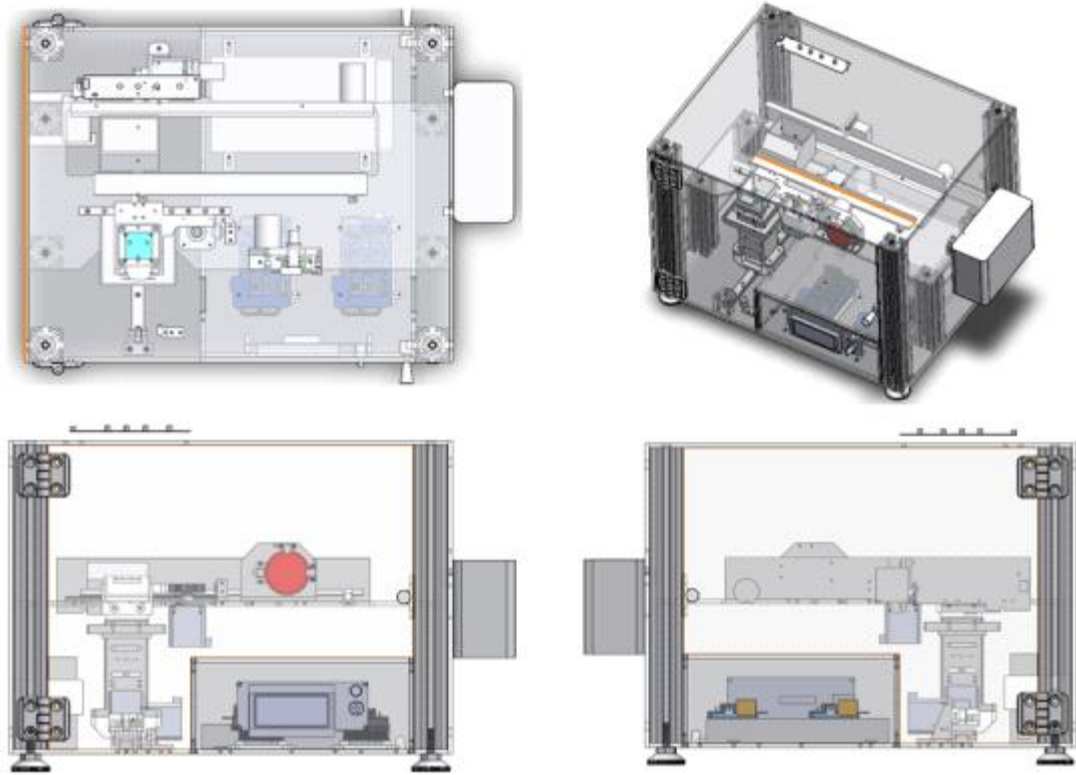


그림 1-66 피에조젯 방식 3D 프린터 장비 외관 도면

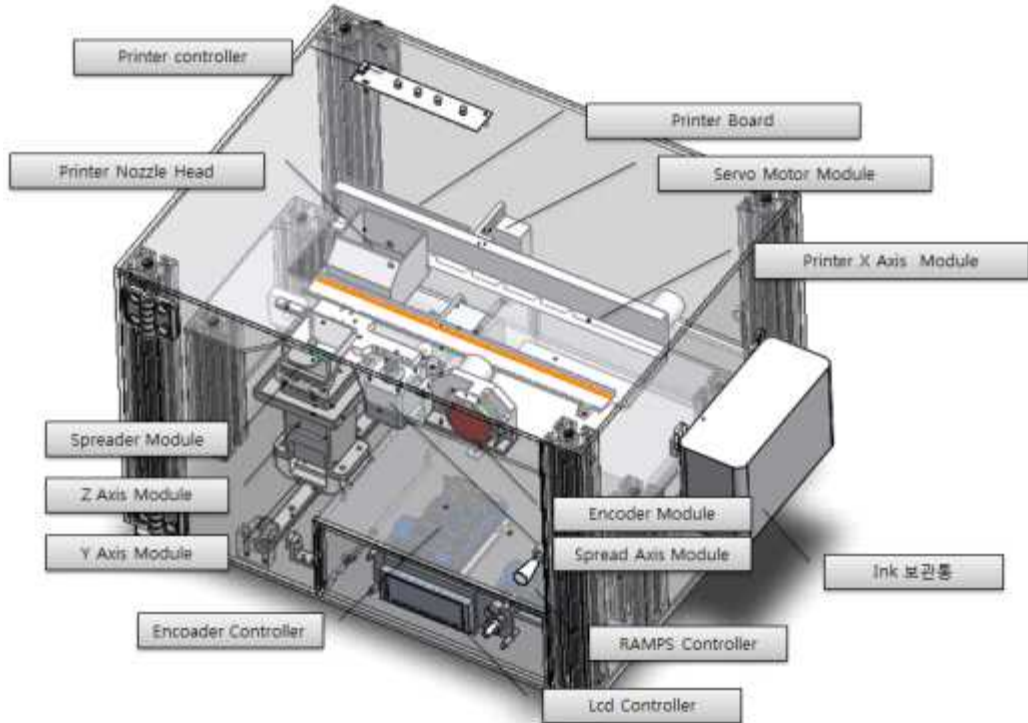


그림 1-67 피에조젯 방식 3D 프린터 장비 구조

- 피에조젯 방식 3D 프린터는 바인더 소재를 공급하고, 노즐을 통해 분사하는 프린터 모듈과 파우더 소재를 공급하고, Build 영역을 리프팅 및 프린팅 영역으로 이송시켜주는 모듈로 구성된 Axis Control 모듈로 구성되어 있음.

Printer Module			Axis control Module		
No	Module	비고	No	Module	비고
1	Printer Head	• 4ch Nozzle (1 Line B, 2 Line C,M,Y)	1	Arduino	• RAMP5 Board (Arduino 2560 Based)
2	Printer X Axis	• Basic frame use, A4 size	2	Lcd Controller	• Reprap Discounted Smart Controller • Menu Select function
3	Printer Board	• Epson L380 Model	3	Z Axis	• Build Platform 30x30x20mm • No Limit Sensor
4	Encoder	• Printing Timing Sensing	4	Spread Axis	• 200um Mesh Spreader • 0 - 20mm Stroke Repetitive Motion • Limit sensor
5	Servo Motor	• Printing Timing Control	5	Y Axis	• 0 - 220mm Stroke Moving • Limit sensor • Z Axis Transfer
6	Encoder - Servo Controller	• Arduino 2560 • Encoder Sensing • Servo control	<ul style="list-style-type: none"> • LCD Controller에서 12개 동작 선택 및 수월 기능 보유 • 3개 축 동작 제어 기능 보유 (Z, Y, Spread) • 위치 제어 기능 보유 (아직 속도 지정 제어가 안됨) • 탐수기반 프로그램으로 기능 추가 및 순서 변경이 용이 		

그림 1-68 모듈별 구성 요소 및 기능

- 프린터 모듈은 프린터 헤드(노즐), X축 이송 모듈, 프린터 제어보드, 엔코더 모듈, 용지 걸림 센서 및 서보모터 모듈, 재료 공급장치로 구성되어 있음. 기존 프린터 헤드 및 제어보드를 사용하기 때문에 프린팅 동작을 수행하기 위해서는 용지 걸림 센서를 무력화할 필요가 있음. 인쇄 신호를 보내면 종이 공급을 위해 엔코더 모듈이 역방향으로 회전하고, 엔코더에 설치된 센서를 통해 역방향 인식이 되면, 즉시 개방된 용지 걸림 센서를 서보모터에 연결된 얇은 블록을 이용해서 감지시키고, 8초 이내로 다시 개방하면 정상적인 프린팅 동작이 수행됨.

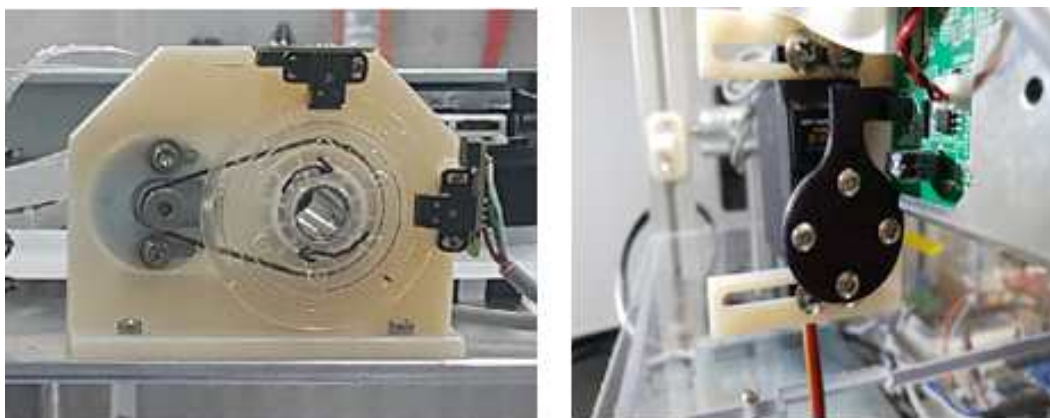


그림 1-69 엔코더 모듈(좌)과 용지걸림 센서 및 서보모터 모듈(우)

- Axis Control 모듈은 파우더 공급(Spreader Module) 및 Build 레이어 높이 조절(Z Axis Module), 프린터 영역으로 이송(Y Axis Module) 등의 모션관련 모듈로 구성되어 있음.

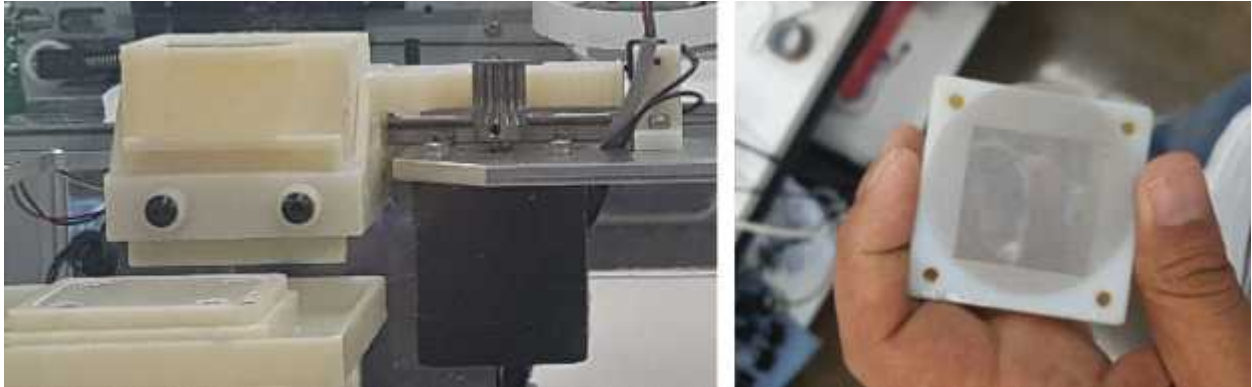


그림 1-70 Spreader Module(좌)과 200um 메쉬망 (우)

- Spreader Module은 파우더 재료를 넣는 재료통과 재료통을 옮길 수 있는 커버블록, 파우더 수평 조절 블록으로 구성되고, 재료통에는 200um 매쉬망이 설치되어, 스트로크가 20mm 간격에서 좌우로 움직이면서 파우더가 원하는 양만큼 Build 영역에 도포되는 기능을 수행함.

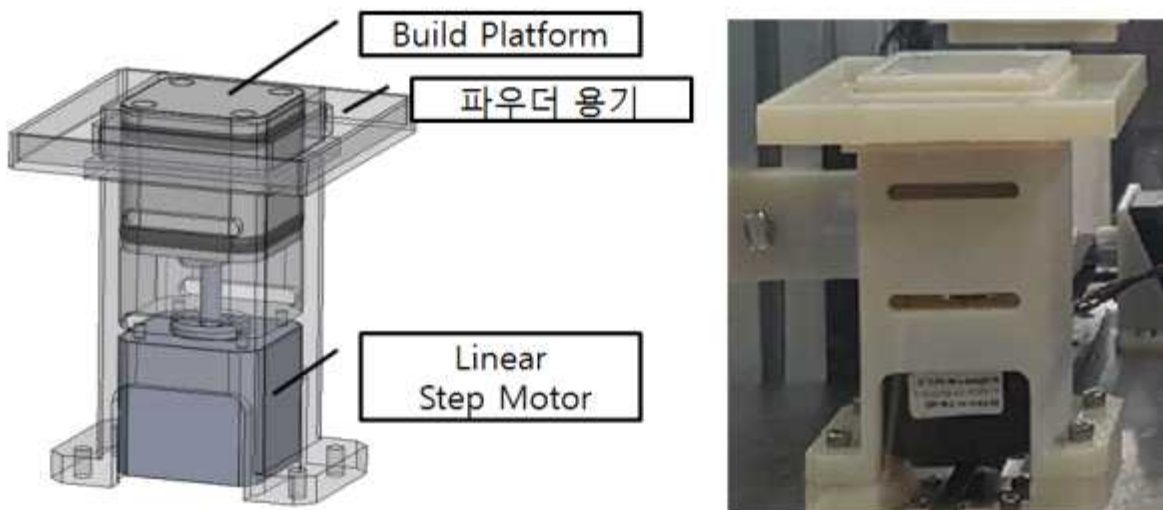


그림 1-71 Z Axis 구성도(좌) 및 제작 사진 (우)

- Z Axis Module은 제품이 제작되는 Build Platform과 Build Platform을 상하로 구동하는 Linear Motor 및 과공급된 파우더를 덜어낼 때 보관하는 파우더 용기가 설치됨. Z Axis의 경우 원점 Limit sensor가 없기 때문에 사용자가 임의로 원점 세팅을 수정할 수 있음. 1 Layer 의 높이는 100um 로 세팅되어 있으며, 펌웨어 상에서 수정 가능함.

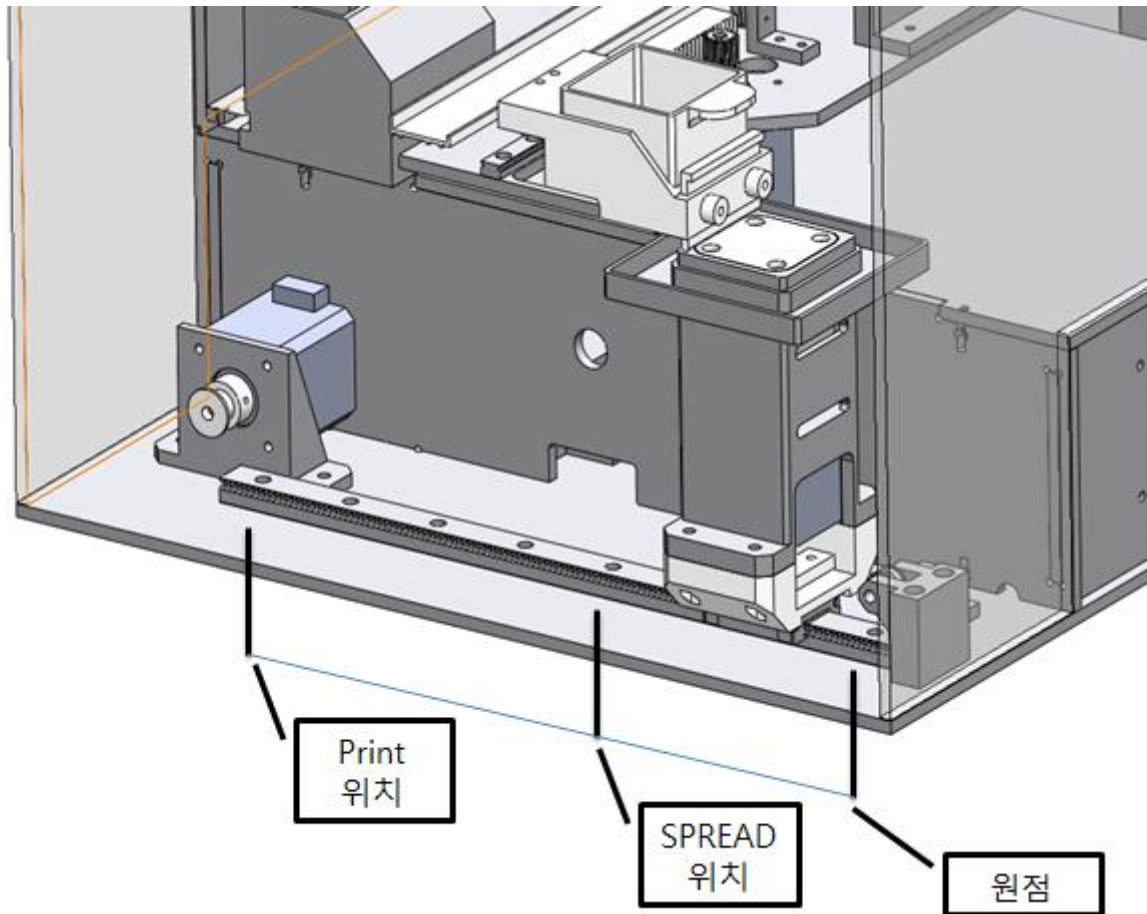


그림 1-72 Y Axis 구성도 및 기능별로 수행되는 위치

- Y Axis Module은 Z Axis Module을 시퀀스 별로 위치를 이동시키는 모듈로써, 1축의 모션에 필요한 모터와 LM Guide, Timing Belt로 구성되어 있음. 장비의 가장 앞부분이 원점 위치로 Limit Sensor가 위치되어 초기에 항상 원점위치로 이동하여, 프로그램상에 원점으로 인식함.
- 이동되는 위치는 원점, Spread 위치, Print 위치 세부부분으로 나뉘는데, Spread 위치는 Z Axis 모듈을 Spread Module 하단부에 이동시켜, 이 부분에 도달하면, Spread Module 은 파우더를 일정량 토출하는 기능을 수행함. 또한 과도한 파우더를 제거하기 위해 Spread Module 앞단의 바(bar)를 이용해 특정 높이에 쌓인 파우더를 밀어내어 Z Axis Module의 파우더 용기에 덜어냄.
- Print 위치에 도달되면 Print Module의 프린팅 기능이 수행되며, 파우더 위에 바인더 소재를 분출함. Printing 과정이 완료되면, 다시 Spread 위치로 이동하여, 반복 작업을 수행함.

㉔ 피에조젯 방식 3D 프린터 제어 시스템 구성도

- 피에조젯 방식 3D 프린터는 Print 기능을 수행하는 제어부와 모션기능을 담당하는 제어부가 독립시스템으로 구성되어 있음.
- Print Module 제어 시스템은 프린터 보드와 엔코더 컨트롤러로 구성되어 있음. 일반적으로 PC에서 인쇄 명령기능이 프린터 보드에 전달되면 프린터는 용지 공급 장치를 역방향으로 회전시키면서 용지 걸림 센서를 기구적으로 열어놓고, 용지가 검출되면 다시 센서를 닫는 방식을 사용함. EPSON 프린터를 개조하였기 때문에 인쇄 기능을 구현하기 위해서 용지 공급 장치와 연결된 엔코더로부터 역방향 회전 신호를 캐치하여, 특정 시간 이내로 서보를 움직여 센서를 감지시키는 방식으로 프린터를 동작시킴.

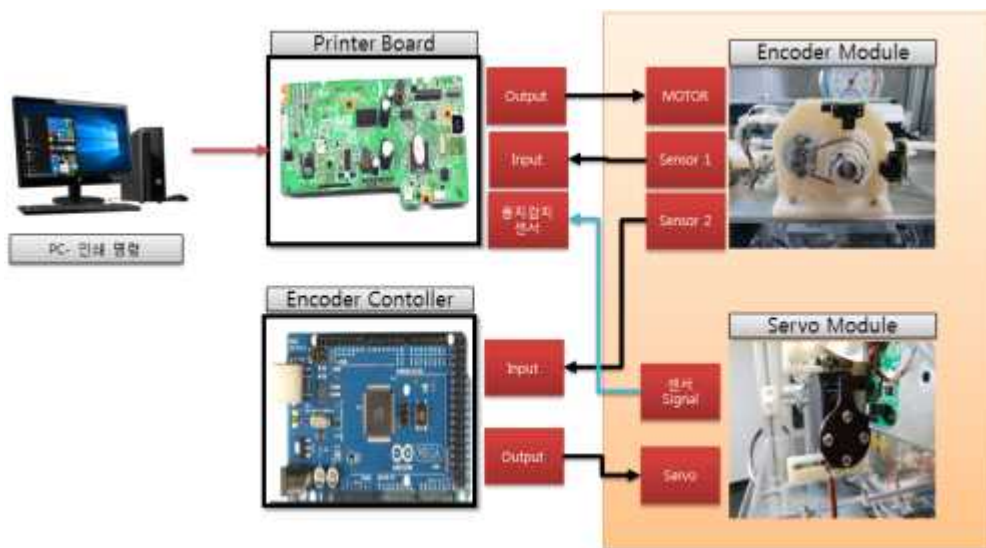


그림 1-73 Print Module 제어 시스템 구성도

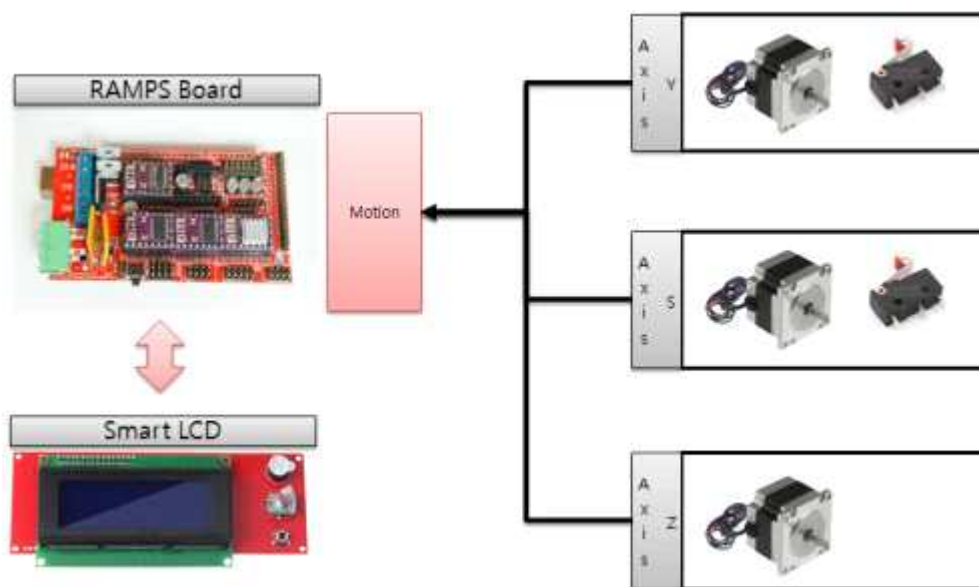


그림 1-74 Axis Control Module 제어 시스템 구성도

- Axis Control Module 제어 시스템은 다양한 모션제어 기능을 필요로 하기 때문에 3D 프린터에서 자주 사용하는 RAMPS V1.4 보드와 Smart LCD 모듈을 같이 사용하였음. 각 축의 구동은 Stepper Motor를 이용해서 위치제어를 수행하며, A4988 드라이버를 사용함. 원점 제어를 사용하는 S, Y Axis의 경우 Limit 센서를 사용함.
- LCD 조작 메뉴는 다음과 같음. LCD 조작 메뉴 1번부터 11번 까지는 프린팅에 사용되는 기본적인 각각의 메뉴들로 구성되어 있음. 12번은 각각의 메뉴들을 보다 쉽게 사용하기 위한 기능으로 프린팅 과정 중, 재료 공급에 대한 부분을 자동으로 수행하도록 프로그램 되어있음.

No	메뉴명	동작 기능
1	Home	S, Y Axis를 원점으로 이동
2	Motor Enable	모든 Step Motor Power On
3	Motor disable	모든 Step Motor Power Off
4	Z HOME	Z Axis 위치를 홈으로 위동
5	Z ZERO SET	현재 Z Axis 위치를 원점으로 세팅
6	Z UP Move	Z Axis 위치를 0.1mm 상승
7	Z DOWN Move	Z Axis 위치를 0.1mm 하강
8	Y Move - Spread	Y 축의 위치를 Spread 위치로 이동
9	Y Move - Print	Y 축의 위치를 Print 위치로 이동
10	Y Move - Home	Y 축의 위치를 Home 위치로 이동
11	Spread	S Axis 좌우로 이동하며, 파우더 배출
12	Print Set	8->7->11->10->9 동작을 순차적으로 수행

- 프린팅을 수행하는 과정은 먼저 Axis Control Module을 이용해 Z Axis에 재료(파우더)를 공급하고, Y Axis를 Print 영역으로 이동함. 그 후, PC에서 프린팅 명령을 Print Module에 전달하면 엔코더 신호를 감지하고, 서보모터가 작동하면서 프린팅 기능을 수행함. Build Platform 상의 파우더 면에 바인더를 출력하고, 위 과정이 계속 반복되면서 3D 프린팅 출력물이 제작됨.



그림 1-75 장비 동작 순서도

㉔ 출력 테스트 결과



그림 1-76 제품 설치 및 테스트 진행

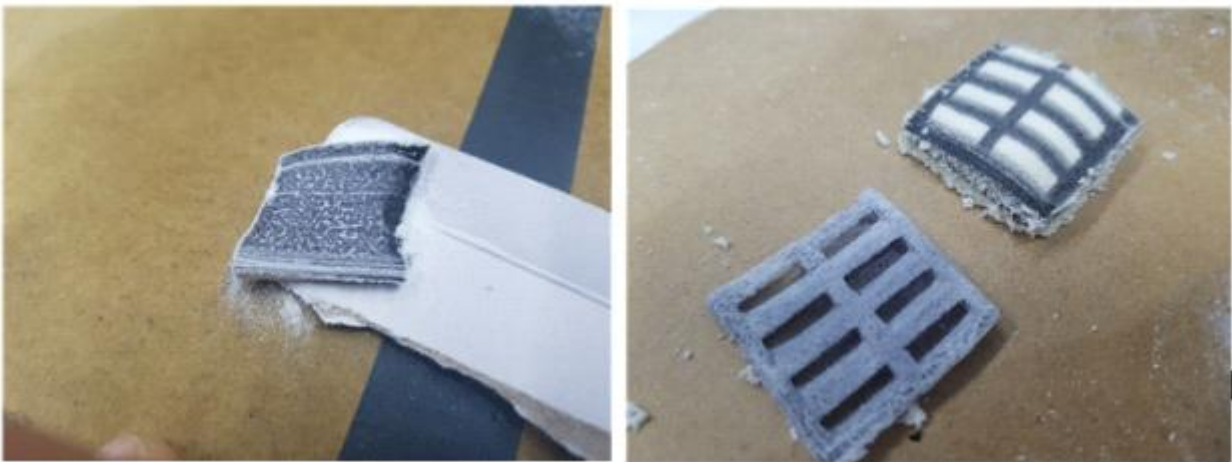


그림 1-77 식품 파우더를 적용한 적층 테스트 결과

- 일부 파우더를 이용해 기능 테스트를 진행한 결과 식품 재료에서 다양한 특성이 나오는 것을 발견하였음. 소재에 따라 껌과 같이 끈적이는 특성을 가진 출력물이 나오기도 하며, 스틱과 같이 단단하면서 바스러지는 특성을 가지는 특성도 나오기도 하였음. 또한 바인더에 닿으면 부풀어 오르는 듯이 파우더와 바인더 특성에 따른 다양한 결과가 나오기 때문에 프린팅에 적합한 소재 연구가 필요하다고 판단됨.

④ 피에조 디스펜스 방식 3D 프린터 공정 연구

㉞ 산업용 듀얼 피에조젯 방식 3D 프린터 사양서

- 파우더 기반 식품 3D 프린터 시제품 개발 및 출력 테스트를 통해 식품 소재 및 바인더에 대한 한계 및 재활용 측면, 기술적 난이도 문제를 발견 하였으며, 이 문제를 해결하기 위해 다른 방식의 시스템을 구현 할 필요성을 발견하였음.

(문제점 분석)

- 1) 소재 문제 : 소재 및 바인더 조합의 종류 한계성, 재활용 어려움,
- 2) 출력 안정성 : 식품 소재 강도 문제, 부풀음, 부스러짐 등 적층의 어려움 문제
- 3) 기술적 난이도 : 보급형 프린터 헤드를 이용한 시스템 구성 한계점

- 위 문제점을 해결하기 위해 소재의 경우 한천, 카라기난, 하이드로겔 등과 같은 상온에서 고형 물질이면서, 가열을 통해 액화하는 소재를 사용함으로써, 노즐에 직접적으로 소재를 공급 가능하며, 실제 사용하는 양만큼만 사용 가능하기 때문에 소재의 낭비를 절감 및 재활용이 가능한 시스템을 구축하였음.

- 또한 산업용 피에조 젯 디스펜서 모듈을 사용함으로써 기존의 3D 프린팅 시스템에 쉽게 접목하여, 기술적 난이도를 낮췄으며, 노즐을 두 개로 구성하여 복합적인 소재를 적층 할 수 있도록 구성하였음. 소재를 보관하는 용기 및 배관, 노즐 모듈은 전부 최대 80~100도 범위에서 가열이 가능하므로, 저온살균이 가능한 장점이 있음.

㉞ 출력 실험 과정 및 결과

- G-code를 생성하기 위해 Simplify 프로그램을 사용하였음. Simplify 소프트웨어는 노즐 수를 조절 가능하기 때문에 차후 보다 많은 노즐을 사용하는 장비 제작 시, 유리한 점이 있어서 선정하였음.

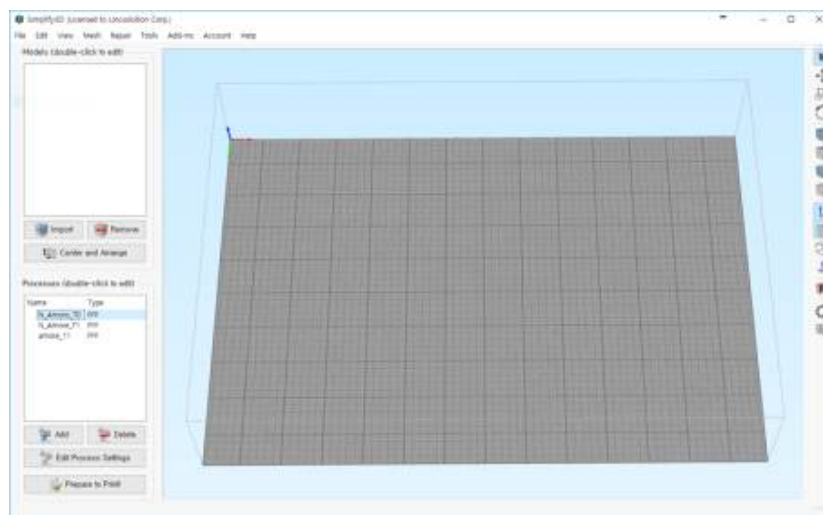


그림 1-92 G-code 생성 프로그램

- 식품소재 적층을 테스트하기 위해 먼저 한 층의 레이어 출력을 테스트 진행함. 하이드로겔 소재를 공급 후, 재료 용기 및 배관, 노즐 모듈을 80℃로 세팅하고 출력을 진행하였음, 출력 테스트를 진행하기 위해 노즐 300um, 출력 스피드는 150mm/s로 세팅했음. 출력 결과 고속으로 프린팅이 가능하였지만 내부 미세 기포가 발생하는 문제가 발생함. 기포는 압력과 노즐 출력 세기와 비례하여, 노즐 파라미터 및 공압을 조절하여 문제를 해결하였음.



그림 1-93 하이드로겔을 이용한 라인 출력 테스트

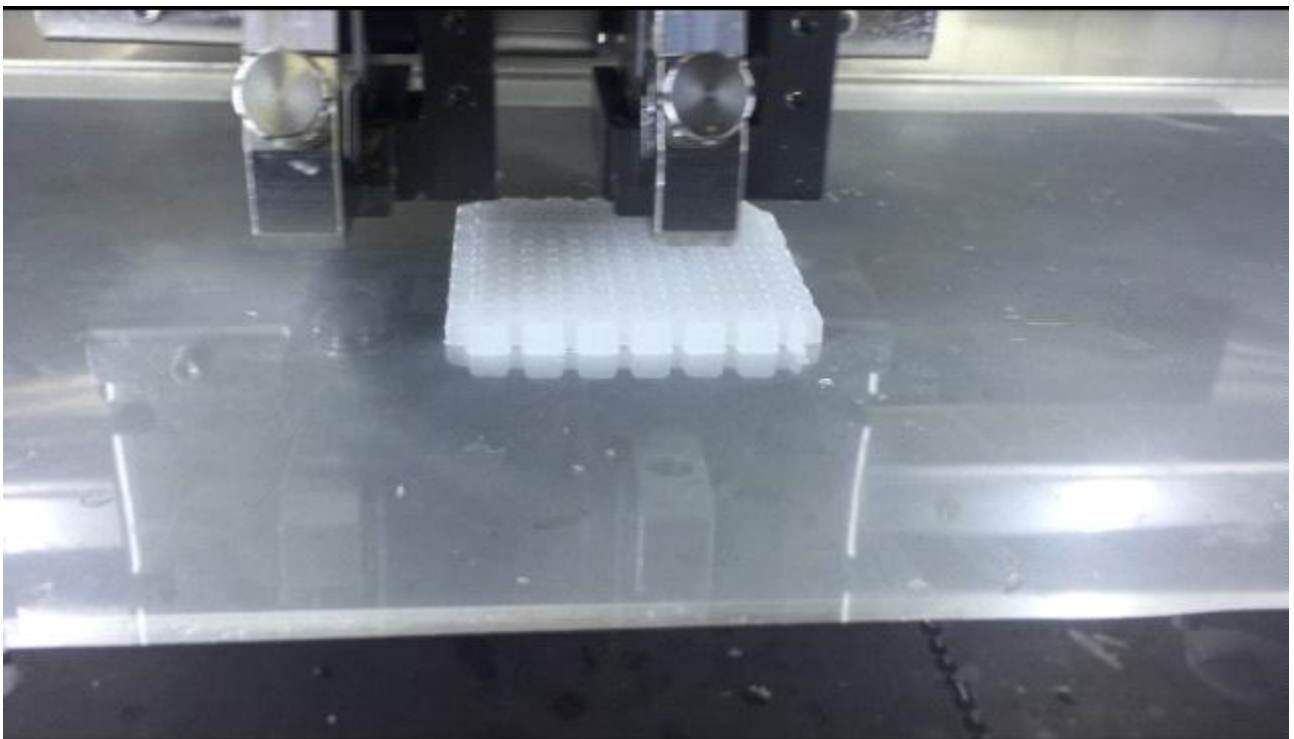


그림 1-94 구조물 적층 테스트 진행

- G-code를 생성하는 슬라이서 프로그램은 각각의 형상을 순차적으로 프린팅하기 때문에 넓은 면적을 출력하는 경우 처음 출력한 형상과 나중에 제작된 형상과의 부착이 안되

는 문제가 발생하였음. 문제를 해결하기 위해 Build Platform을 60°C로 가열하였으며, 프린팅 속도를 150mm/s 이상 출력하여, 낮은 온도에서의 층간 분리가 일어나기 전에 프린팅 공정을 마치는 방법으로 문제를 해결하였음. 각 소재에 따른 공정을 조정할 필요가 있음.



그림 1-99 알긴산 + 염화칼슘 액을 이용한 프린팅 공정 연구 진행사항

- 두 가지 액체의 혼합을 통한 적층 테스트를 통해 생성물의 물성도에 대한 연구를 진행하기 위해 알긴산 용액과 염화칼슘 용액을 본 장비를 이용해 테스트를 진행하였음.

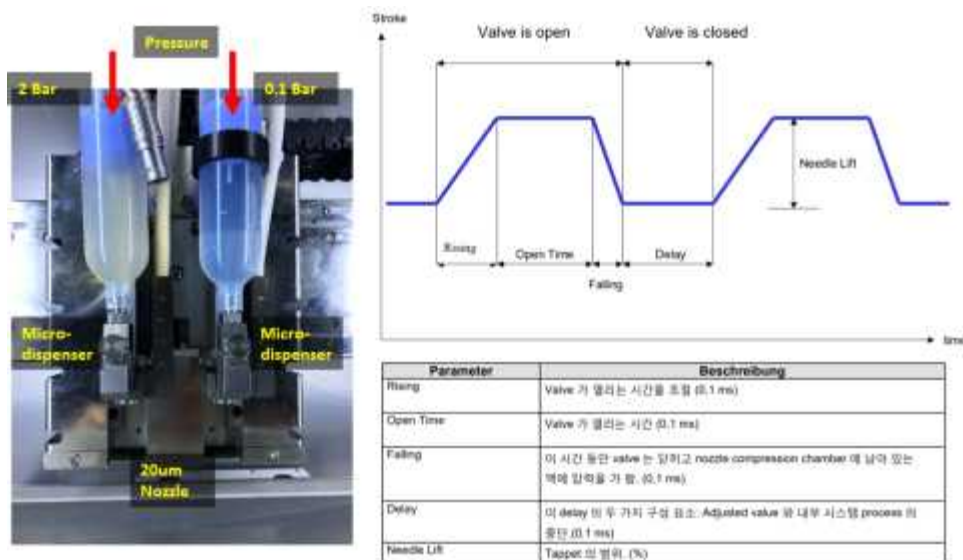


그림 1-100 Piezo Jet 파라미터 세팅

- 알긴산의 경우 점도가 높고, 염화칼슘의 경우 점도가 낮기 때문에 각각 공압을 조절 및 rising time, open time, falling time, delay, needle lift percentage와 같은 parameter를

수정하여 clogging 없는 분사가 될 수 있도록 세팅하였음. Jet 파워가 약하면 재료가 노즐 팁에 멩치는 문제가 발생하고, Jet이 강하면 아래 Layer를 뚫어버리거나 변형을 줌.

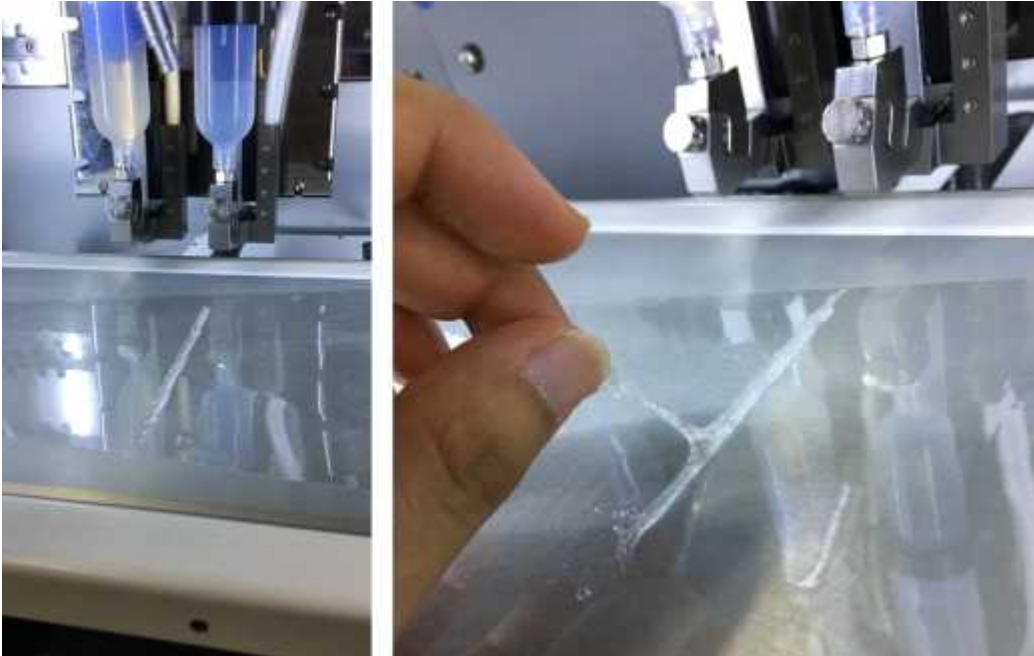


그림 1-101 알긴산 + 염화칼슘 분사 및 적층 가능성 테스트

- 알긴산으로 선을 그리고, 같은 위치에 염화칼슘을 분사한 후, 접착성을 테스트 하였지만 레이어가 쉽게 분리되는 현상이 발생하였음. 알긴산 8%의 경우 노즐이 막히는 경향이 크고, 필요 공압이 너무 높아서 미세 토출이 어렵기 때문에 4% 용액으로 실험을 진행함.



그림 1-102 알긴산 4% 용액 테스트 진행

- 알긴산 4% 용액의 경우 Jet이 잘 나오지만 염화칼슘 분사량이 너무 많을 경우 알긴산 레이어 사이에 염화칼슘 레이어가 생겨 알긴산 레이어간 접착을 방해함. 또한 한번 경화된 알긴산 레이어는 표면의 접착성을 상실하여 두 번째 레이어와 붙지 않음. 또한 격자 교차 부분(overlap)에서 염화칼슘이 고이는 문제가 발생하고, 그 부분의 두께가 두껍게 형성되는 문제가 발생함.

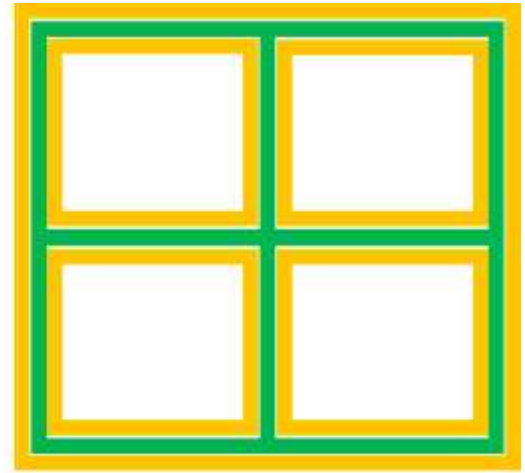


그림 1-103 알긴산 - 염화칼슘 출력 개념도

- 층간 접층 가능성을 실험하기 위해 알긴산 레이어 층에서 격자와 격자 사이에 틈을 만들고 Overlap 구간이 발생 안되도록 구성 염화칼슘 틈 사이에 알긴산을 분사하는 실험을 진행함. 알긴산과 염화칼슘의 비율은 4%와 1%로 진행하였음,

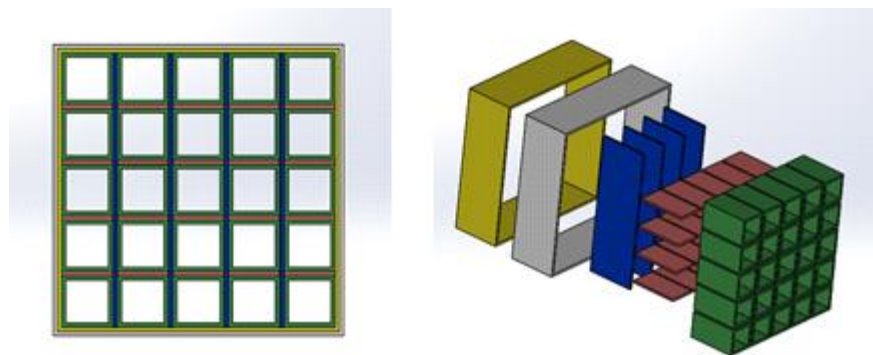


그림 1-104 신규 3D 데이터 구성도

- 오버랩 문제를 제거하기 위해 위 도면과 같이 구역을 세분화 후, 알긴산과 염화칼슘의 Path를 각기 생성함. 첫 레이어의 경우 모델링과 같이 출력되나 적층할수록 경화되지 않은 알긴산이 뭉치는 문제가 발생함. 또한 점성이 낮은 염화칼슘이 무작위로 분사되어 경화되는 형상이 Random하게 구현됨. 또한 톨 패스 상의 가감속 문제로 인해 레이어 높이가 균일하지 못한 문제가 발생하였고, 염화칼슘 용액 컨트롤의 어려움이 발생함.

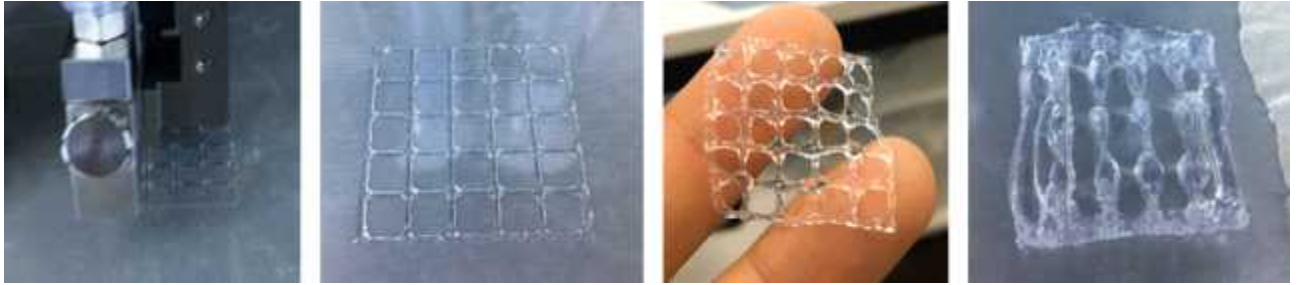


그림 1-105 격자 출력 사진(1), 첫 레이어 사진(2), 다층 출력사진(3), 최종 결과물 (4)

- CaCl₂ 용액의 낮은 점도를 보완하기 위해 CaCl₂ 용액에 NC나 PGA, Agar, 젤란검, 말토덱스트린을 각각 혼합하였으나 녹지 않거나 점도가 오르지 않고, gelatin의 경우는 저온에서 경화됨을 확인 하였으나 상온에서 사용할 수 없어 현 실험에서는 사용하지 않음.
- CaCl₂을 키토산으로 대체도 제안되었으나 경화 반응이 미약하였음. 이미 겔화 된 Nano Cellulose w/v 10% 30ml에 CaCl₂ w/v 20% 5ml를 넣음. 점도가 낮아지고 sludge화 되었으나 프린팅에 적합한 점도로 판단되었으며 사전실험에서 경화성도 확인됨.

⑤ 살균 장치 개발

㉞ 살균 장치 사양서

- 식품 소재를 사용하는 3D 프린터는 공정상에서 미생물 및 이물질에 대한 안전 문제에서 매우 엄격한 기준을 가져야 하기 때문에 소독과 같은 과정이 필요함. 3D 프린터는 공정상에서 외부에 완벽하게 격리되지 않기 때문에 공정 전, 후로 소독 과정이 필요함.
- 주로 오염되기 쉬운 부품들은 외부와 접촉이 되는 부분들로서, 노즐 부품, 재료 용기 커버, 배관, 시린지 등과 같은 부품들이고, 프린터 장비 또한 오염에서 자유롭지 못하기 때문에 프린터도 소독이 필요함.
- 노즐이나 용기 커버와 같은 작은 부품들은 끓는 물에 살균하는 과정을 거쳐 소독이 가능하지만, 3D 프린터 장비 또는 모듈과 같은 큰 부품의 경우 소독이 어려운 점이 있기 때문에 UV램프 등과 같은 광 방식을 이용한 살균 장치를 개발하였음.



제품 도면



제품 사진

Specification		
1	제품 크기	2589 x 1279 x 1760 mm
2	살균 배드 사이즈	1950 x 820 x 650 mm
3	램프	UV 살균 램프
4	입력 전원	220VAC 1.3KW

그림 1-106 살균장치 3D 도면 및 실제 제작 사진, 사양서

㉔ 살균 장치 구성요소

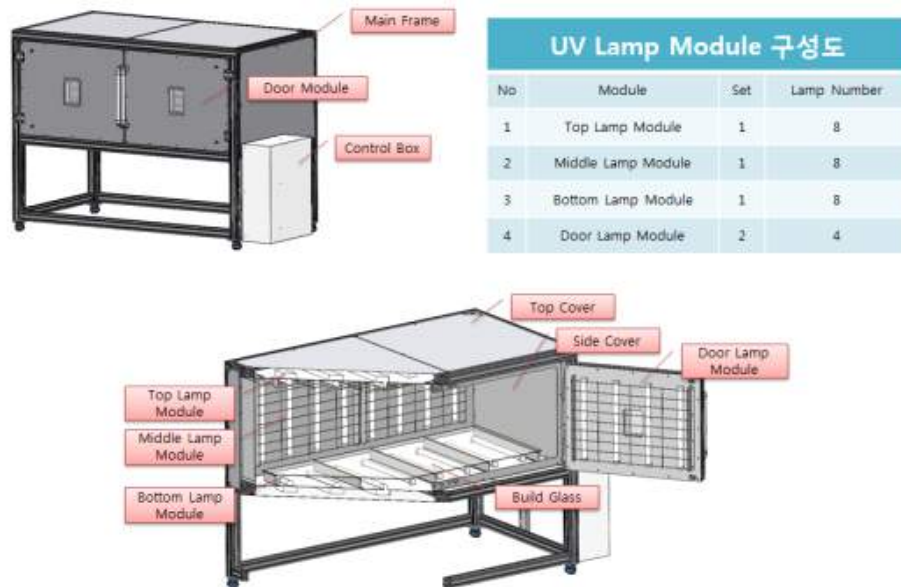


그림 1-107 살균 장치 내부 구성도

- 살균 장치는 메인 프레임에 상부, 하부, 뒷면에 각각 8개, 양 도어에 4개씩 총 32개의 UV 램프가 설치되어 있으며, 중앙에 살균 제품을 올려놓을 강화 유리판이 배치되어 있음. 내부에는 경면 처리된 SUS304 재질을 사용하여, 램프의 빛이 최대한 반사가 되도록 구성됨.



그림 1-108 살균장치 개발품 사진

㉔ 제어 시스템 구성도

- 살균장치 제어 시스템은 전원부와 비상스위치, Push 스위치, 동작 램프로 구성된 스위치 입력부, 동작 시간을 결정하는 타이머 모듈, SSR 모듈과 램프 모듈로 구성되어 있음.

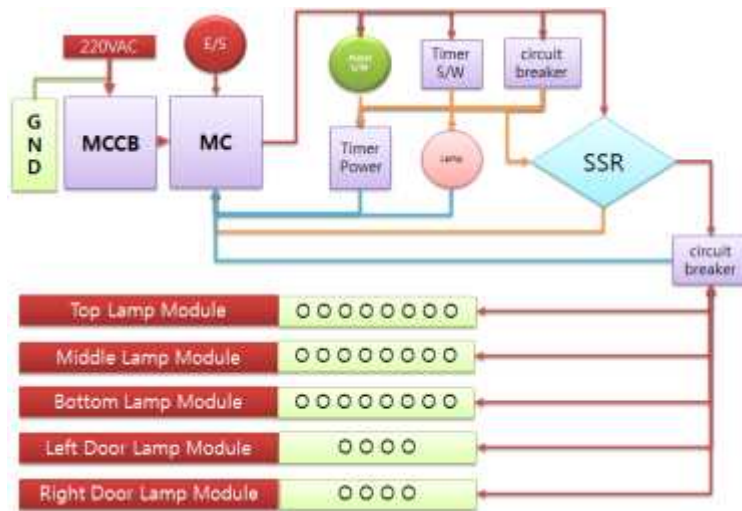


그림 1-109 살균 장치 내부 회로 구성도

- 메인 전원부는 단상 220VAC를 사용하고, 비상스위치가 개방되어 있으면 항상 전원이 인가되어 있고, 비상스위치가 눌리면 전원이 차단됨. Push S/W를 누르면 타이머에 자기 유지 회로가 동작되면서 전원이 공급되고, 입력된 시간만큼 SSR을 전원을 인가시키게 됨. SSR에 전원이 인가될 경우, 램프가 작동하게 되고, 타이머 전원이 꺼지게 되면 자기유지회로가 끊어지면서 타이머, SSR, 램프의 동작이 꺼지게 됨.

제어모듈 동작 순서

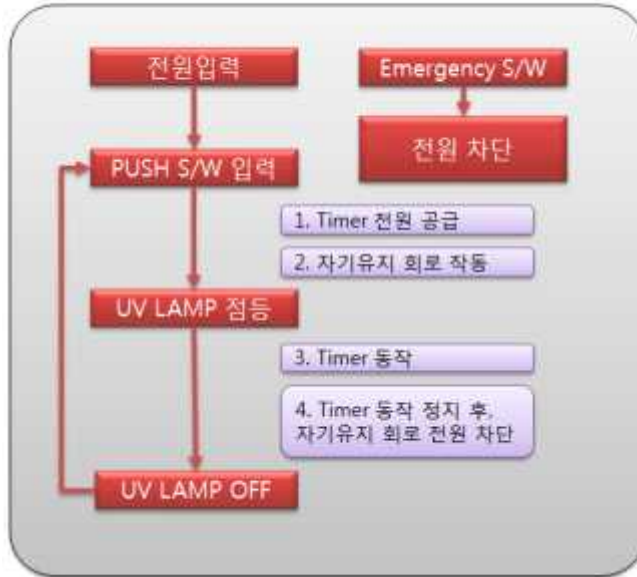


그림 1-110 살균장치 동작 시퀀스



그림 1-111 살균 장치 제어 판넬 구성도



그림 1-102 살균장치 동작사진, 창에 UV 차단필름 설치

(2) 식품 3D 프린팅용 소재선정과 제조된 3D 프린팅 식품의 유연학적, 구조적 특성연구(이화여자대학교)

(가) 가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유연학적, 구조적 연구

① Fused Deposition Modeling(FDM) 방식의 3D printing에 적합한 식품소재의 평가·선정을 위한 유연학적, 구조적 연구

㉞ syringe 타입의 FDM 방식의 프린터에 대한 설명 및 소개

- 연구개발에 사용한 3D 프린터는 (주)링크솔루션에서 제작하여 공급한 스크류 타입 프린터로 모델명은 MKS-TFT28 Ver 1.2, 구동방식은 Extruder 방식이며 FDM 형식으로 작동되는 3D 프린터임.
- 재료를 투입하면 모터에 의해 회전하는 스크류가 원재료를 혼합시키며 끌어당겨 노즐로 이동시킬 수 있고, 토출부에 가열기기가 있어 프린팅 직전 토출부로 내려온 재료가 가열되며 노즐에서 Bed로 토출된 직후 토출부에 달린 냉각팬에 의해 냉각됨.
- 크기는 가로 40cm, 세로 30cm, 높이 30cm 가량이고 냉각팬의 회전 속도는 최대 255rpm, 토출부 최고 가열온도는 180℃이며 외관은 그림 1과 같음.



그림 2-1. 스크류 타입 식품 3D 프린터 MKS-TFT28 Ver 1.2

- 출력할 모델을 스케치업, 3DMAX, 인벤터, 캐드 등등 3D tool을 사용하여 그리고, *.stl 파일로 Export 함 (파일 확장자명 *.stl)

- Cura를 실행하여 출력할 모델(STL파일)을 로드하고, 3D 프린터에 설정값을 입력한 후 G-CODE를 생성(저장)함.
- 생성(저장)된 G-Code를 PrintRun에서 불러와 3D모델을 출력함.

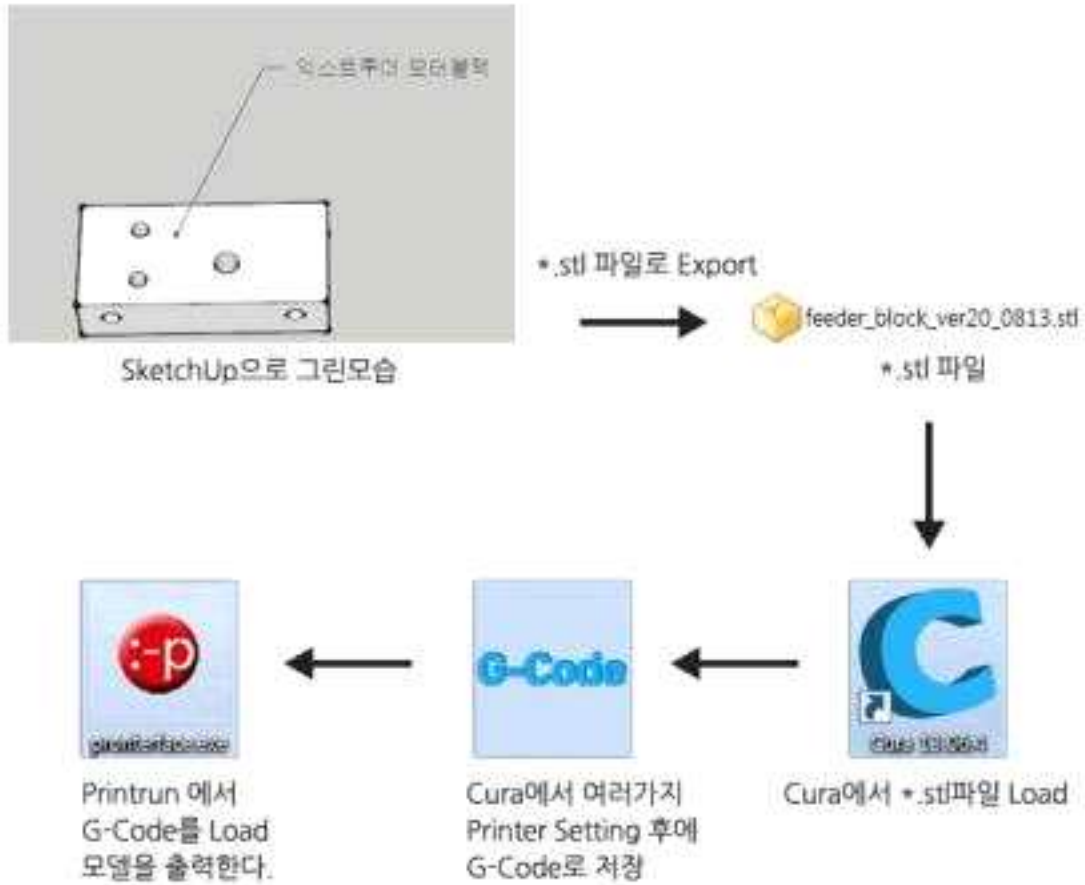


그림 2-2. 3D 프린팅의 순서

㉔ syringe 타입의 FDM 방식의 3D 프린팅 가능한 적합소재 탐색 및 기초 연구

- FDM 기기방식에 알맞은 가열한 후 냉각하면서 gelation이 가능한 소재를 선정해야 함.
- gel화 시 모양이 유지 가능해야 적층할 수 있음.
- 끈적이는 소재는 압력이 너무 강해서 FDM 방식의 3D 프린팅에 적합하지 않음.















1. 끈적이고 실린저로 적층이 불가능함			
Potato starch 15%	Tapioca starch 20%	Sodium alginate	pectin
			
2. 크림형태이며 실린저로 적층이 불가능함			
Arabic gum 44%	Xanthan gum 5%	Locust gum 3%	Guar gum 3%
			
3. 크림형태이며 실린저로 적층이 가능함			
Rice flour 15%		White flour 15%	
			
4. 투명한 쥬의 형태이며 실린저로 적층이 가능함.			
Agar 5%	Gellan gum 3%	K-carrageenan 4%	Gelatin 20%
			

표 2-1 . FDM 방식의 3D 프린팅이 가능한 식품소재 탐색

- 검류는 끈적이는 소재 특성상 단일 소재로는 FDM 방식의 3D 프린팅이 불가능 할 것이라 생각되지만 후에 이를 혼합하여 제조해볼만 함.
- 쌀가루 및 밀가루는 단일 소재로 FDM 방식의 3D 프린팅이 가능할 것이라 생각되지만 후처리 공정이 필요함.

- 하이드로겔은 단일 소재로 FDM 방식의 3D 프린팅이 가능할 것이라 생각되며 이를 여러 방법으로 혼합하면 다양한 물성을 나타내는 소재를 개발할 수 있을 것임.

㉔ 식품소재의 유변학적 분석 및 유변학적 데이터에 근거하여 프린팅용 적합소재 탐색 및 선정

- 교질화된 3D 프린팅 식품원료의 열 등 추가에너지에 의한 가공 후 sol화 혹은 gel화 등 교질화 양상의 추적하기 위해 Rheometer를 이용하여 실험을 진행함.
- sol은 분산매가 액체로 분산질이 고체 또는 액체로 분산된 전체가 액체상태인 것을 말하며 전분액, 한천 및 젤라틴 가열액 등이 있음.
- gel은 친수 sol을 가열, 냉각 시 또는 건조시 반고체로 굳어진 상태를 말하며 젤리, 잼, 도토리묵, 삶은 달걀 등이 있음.
- 유변학적 특성분석은 Anton Paar MCR 502 Rheometer를 이용하여 측정함.
- 이는 상부 플레이트에 토크를 가하면 물질에 회전 전단 응력이 가해지고 결과적인 변형 또는 변형 속도(전단 속도)가 측정되는 원리임.
- 악세사리는 Plate-Plate geometry pp50 with 50 diameter를 사용하여 측정함.
- 측정 온도는 90℃이며 측정 거리는 1mm로 설정하여 측정함.



그림 2-3. Anton Paar MCR 502 Rheometer

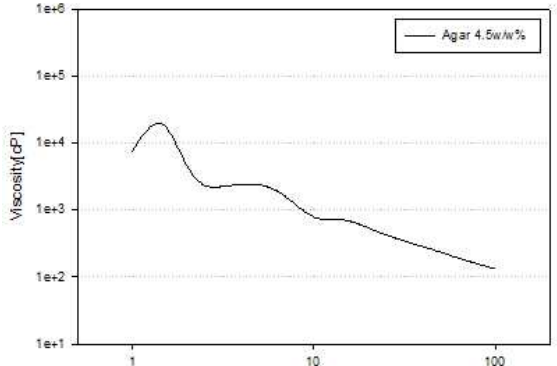
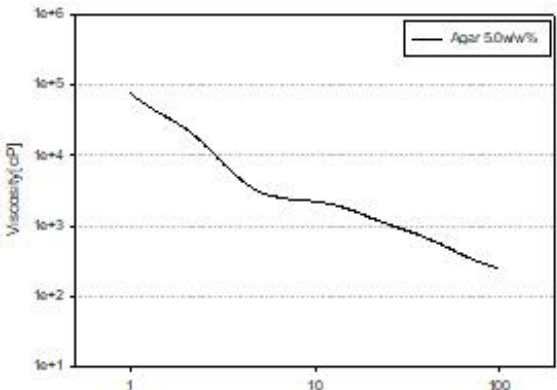
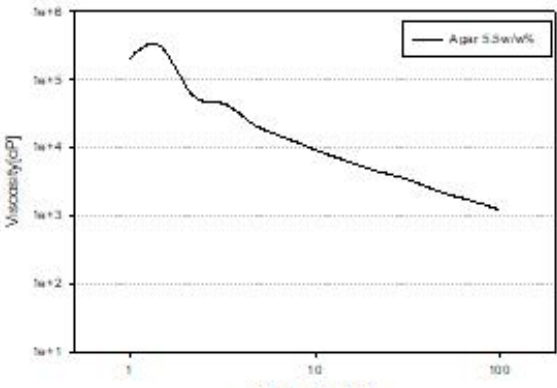
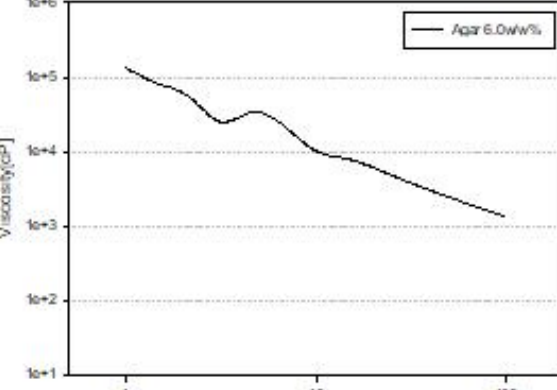
번호	샘플명	결과그래프
1	Agar 4.5w/w%	
2	Agar 5.0w/w%	
3	Agar 5.5w/w%	
4	Agar 6.0w/w%	

표 2-2 . Agar의 Shear Rate(1/s)에 따른 viscosity(cP) 측정 결과

Agar

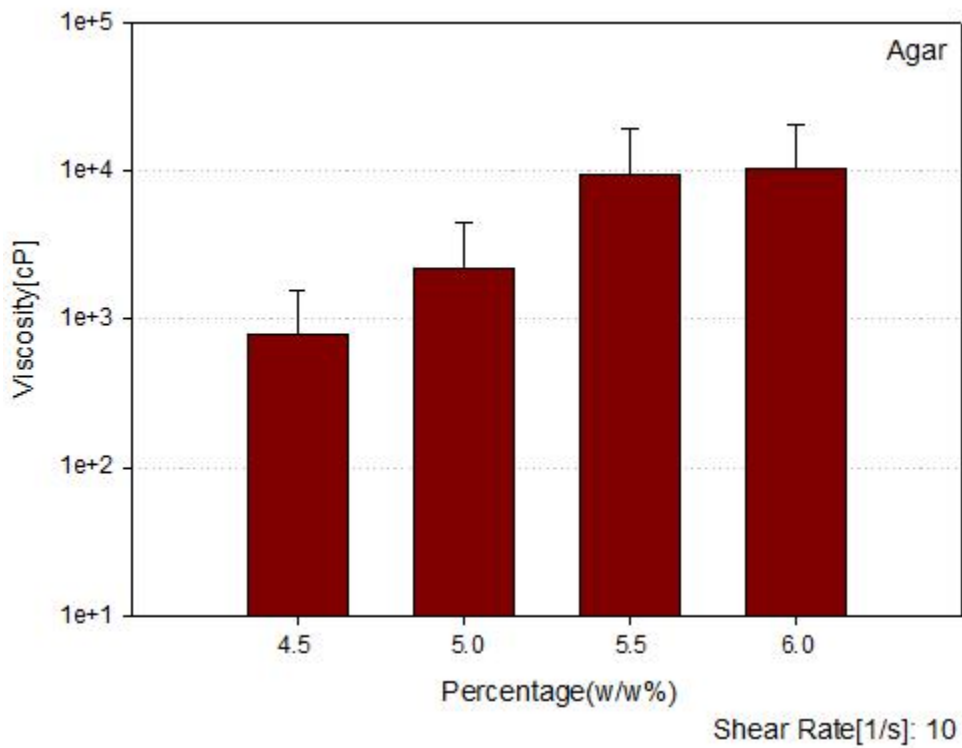
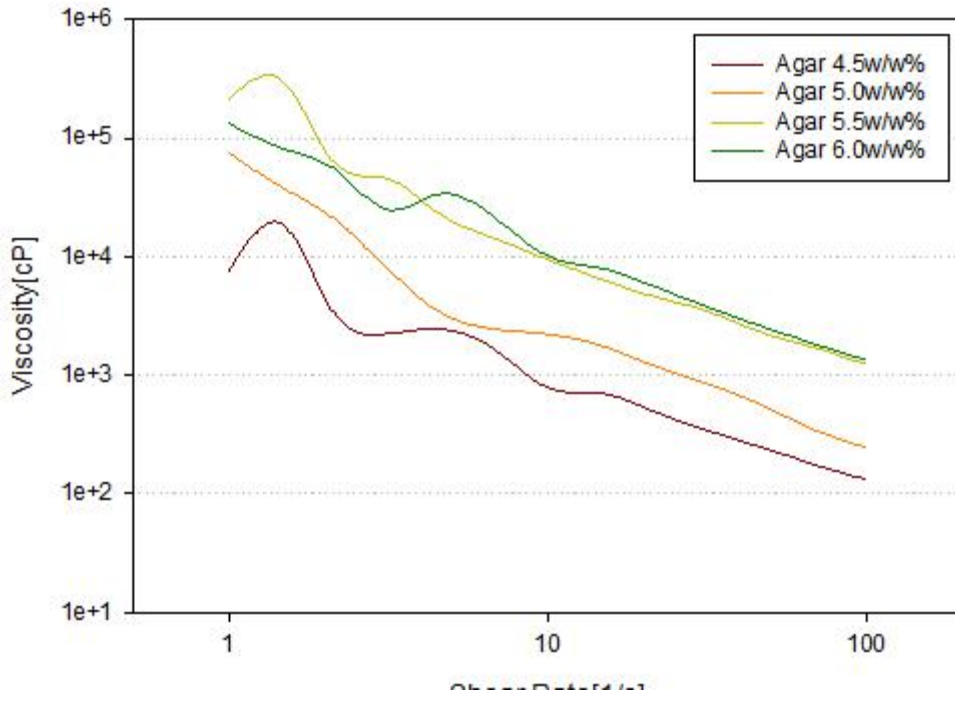
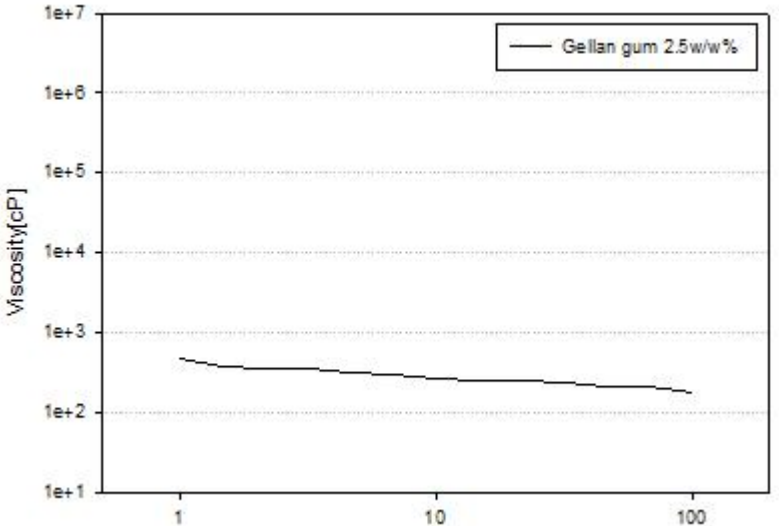
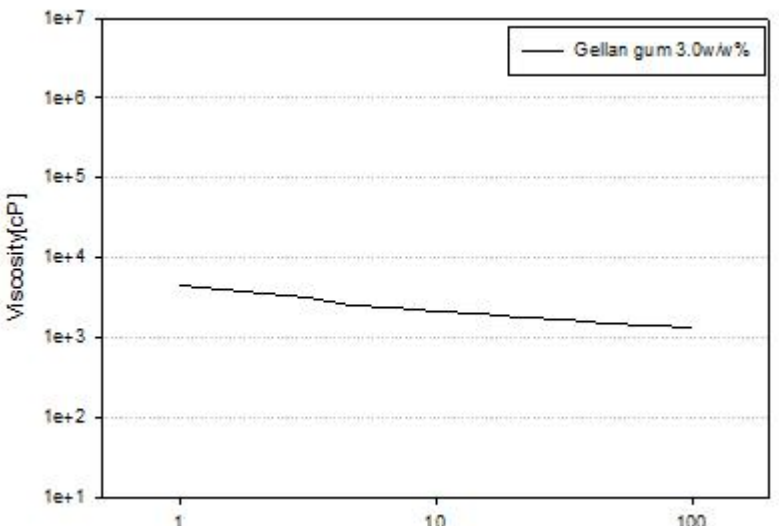
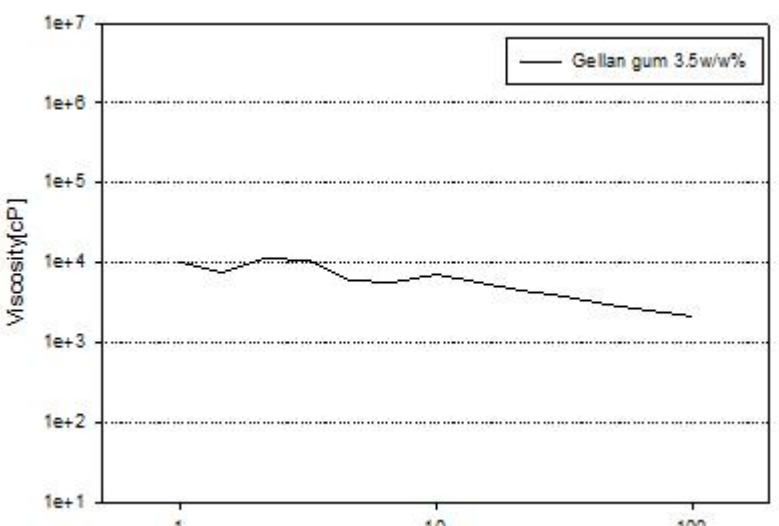


표 2-4 . Agar의 농도에 따른 viscosity(cP) 비교

번호	샘플명	결과그래프												
1	Gellan gum 2.5w/w%	 <p>Figure 1: Viscosity vs. Shear Rate for Gellan gum 2.5w/w%. The plot shows a shear-thinning behavior with a slight decrease in viscosity as the shear rate increases from 1 to 100 1/s.</p> <table border="1"> <caption>Approximate data points for Gellan gum 2.5w/w%</caption> <thead> <tr> <th>Shear Rate [1/s]</th> <th>Viscosity [cP]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>~400</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>~250</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>~200</td> </tr> </tbody> </table>	Shear Rate [1/s]	Viscosity [cP]	1	~400	10	~250	100	~200				
Shear Rate [1/s]	Viscosity [cP]													
1	~400													
10	~250													
100	~200													
2	Gellan gum 3.0w/w%	 <p>Figure 2: Viscosity vs. Shear Rate for Gellan gum 3.0w/w%. The plot shows a shear-thinning behavior with a decrease in viscosity as the shear rate increases from 1 to 100 1/s.</p> <table border="1"> <caption>Approximate data points for Gellan gum 3.0w/w%</caption> <thead> <tr> <th>Shear Rate [1/s]</th> <th>Viscosity [cP]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>~4,000</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>~2,500</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>~1,500</td> </tr> </tbody> </table>	Shear Rate [1/s]	Viscosity [cP]	1	~4,000	10	~2,500	100	~1,500				
Shear Rate [1/s]	Viscosity [cP]													
1	~4,000													
10	~2,500													
100	~1,500													
3	Gellan gum 3.5w/w%	 <p>Figure 3: Viscosity vs. Shear Rate for Gellan gum 3.5w/w%. The plot shows a complex shear-thinning behavior with a peak in viscosity at low shear rates followed by a decrease as the shear rate increases from 1 to 100 1/s.</p> <table border="1"> <caption>Approximate data points for Gellan gum 3.5w/w%</caption> <thead> <tr> <th>Shear Rate [1/s]</th> <th>Viscosity [cP]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>~10,000</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>~10,000</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>~5,000</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>~7,000</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>~2,000</td> </tr> </tbody> </table>	Shear Rate [1/s]	Viscosity [cP]	1	~10,000	2	~10,000	5	~5,000	10	~7,000	100	~2,000
Shear Rate [1/s]	Viscosity [cP]													
1	~10,000													
2	~10,000													
5	~5,000													
10	~7,000													
100	~2,000													

4	Gellan gum 4.0w/w%	<p>Figure 4: Viscosity vs. Shear Rate for Gellan gum 4.0w/w%. The plot shows a shear-thinning behavior with a slight increase in viscosity between 10 and 30 1/s.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Shear Rate (1/s)</th> <th>Viscosity (cP)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.0e+4</td></tr> <tr><td>2</td><td>2.5e+4</td></tr> <tr><td>5</td><td>1.5e+4</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.0e+4</td></tr> <tr><td>20</td><td>6.0e+3</td></tr> <tr><td>30</td><td>8.0e+3</td></tr> <tr><td>50</td><td>6.0e+3</td></tr> <tr><td>100</td><td>5.0e+3</td></tr> </tbody> </table>	Shear Rate (1/s)	Viscosity (cP)	1	4.0e+4	2	2.5e+4	5	1.5e+4	10	2.0e+4	20	6.0e+3	30	8.0e+3	50	6.0e+3	100	5.0e+3
Shear Rate (1/s)	Viscosity (cP)																			
1	4.0e+4																			
2	2.5e+4																			
5	1.5e+4																			
10	2.0e+4																			
20	6.0e+3																			
30	8.0e+3																			
50	6.0e+3																			
100	5.0e+3																			
5	Gellan gum 4.5w/w%	<p>Figure 5: Viscosity vs. Shear Rate for Gellan gum 4.5w/w%. The plot shows a shear-thinning behavior with a slight increase in viscosity between 2 and 5 1/s.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Shear Rate (1/s)</th> <th>Viscosity (cP)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5.0e+4</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.0e+4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6.0e+4</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.0e+4</td></tr> <tr><td>20</td><td>1.0e+4</td></tr> <tr><td>50</td><td>6.0e+3</td></tr> <tr><td>100</td><td>5.0e+3</td></tr> </tbody> </table>	Shear Rate (1/s)	Viscosity (cP)	1	5.0e+4	2	4.0e+4	5	6.0e+4	10	2.0e+4	20	1.0e+4	50	6.0e+3	100	5.0e+3		
Shear Rate (1/s)	Viscosity (cP)																			
1	5.0e+4																			
2	4.0e+4																			
5	6.0e+4																			
10	2.0e+4																			
20	1.0e+4																			
50	6.0e+3																			
100	5.0e+3																			
6	Gellan gum 5.0w/w%	<p>Figure 6: Viscosity vs. Shear Rate for Gellan gum 5.0w/w%. The plot shows a shear-thinning behavior with a slight increase in viscosity between 5 and 10 1/s.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Shear Rate (1/s)</th> <th>Viscosity (cP)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.0e+5</td></tr> <tr><td>2</td><td>1.0e+5</td></tr> <tr><td>5</td><td>8.0e+4</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.0e+4</td></tr> <tr><td>20</td><td>1.5e+4</td></tr> <tr><td>50</td><td>1.0e+4</td></tr> <tr><td>100</td><td>5.0e+3</td></tr> </tbody> </table>	Shear Rate (1/s)	Viscosity (cP)	1	2.0e+5	2	1.0e+5	5	8.0e+4	10	2.0e+4	20	1.5e+4	50	1.0e+4	100	5.0e+3		
Shear Rate (1/s)	Viscosity (cP)																			
1	2.0e+5																			
2	1.0e+5																			
5	8.0e+4																			
10	2.0e+4																			
20	1.5e+4																			
50	1.0e+4																			
100	5.0e+3																			

표 2-5 . Gellan gum의 Shear Rate(1/s)에 따른 viscosity(cP) 측정 결과

Gellan gum

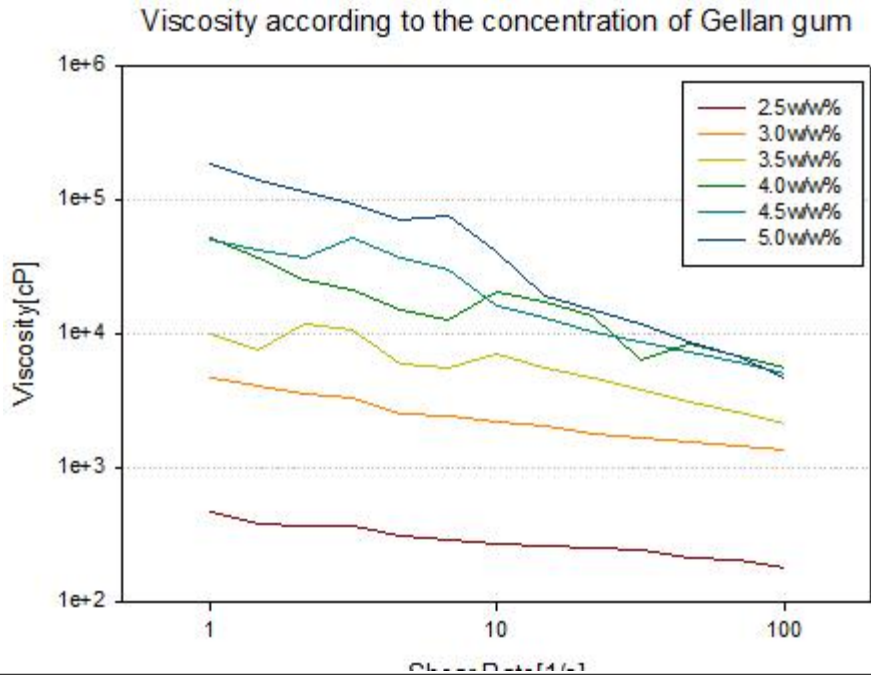


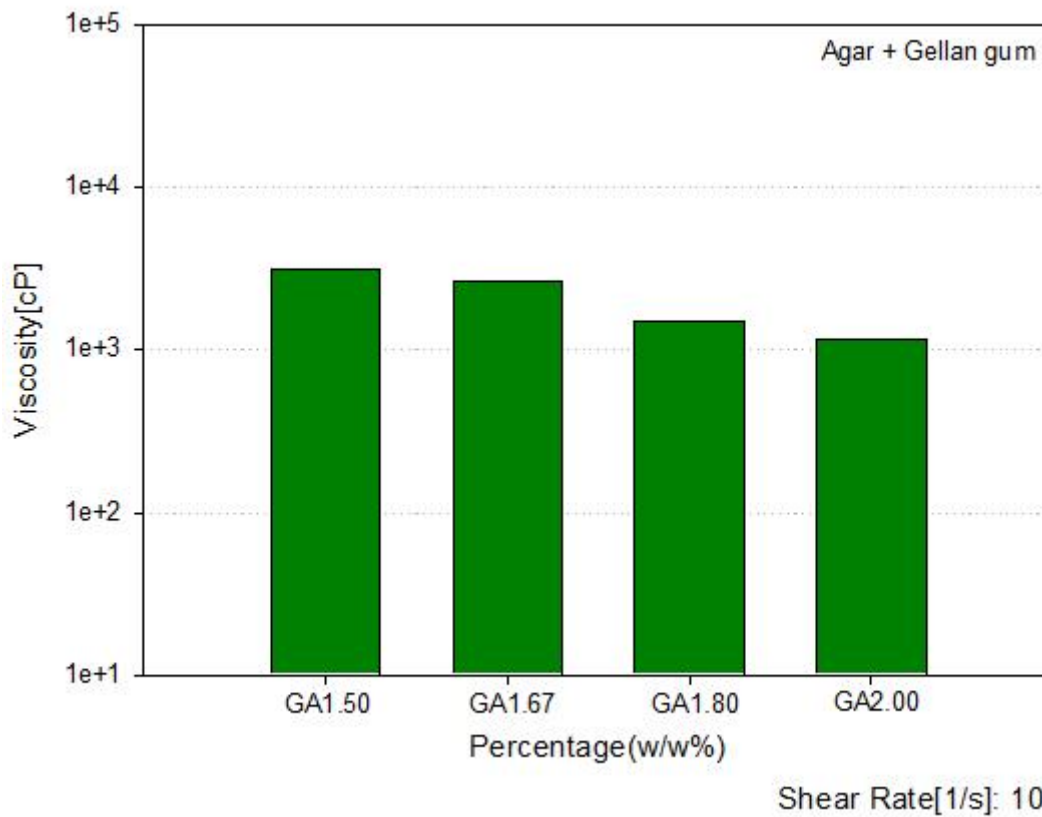
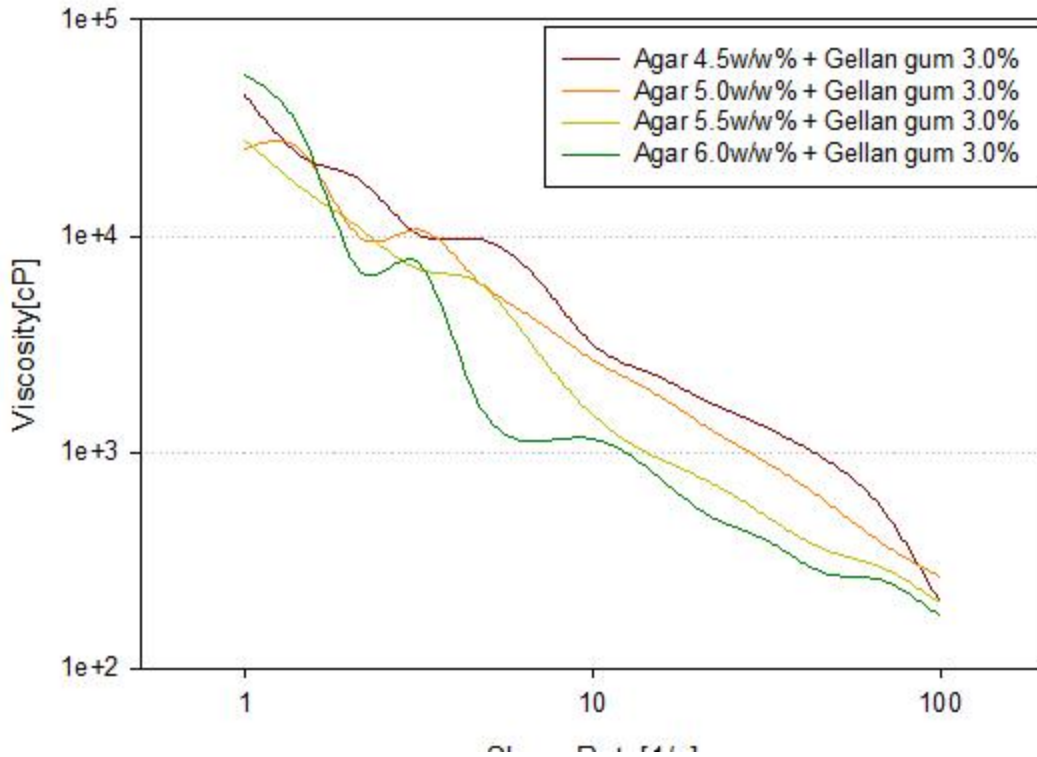
표 2-6 . Gellan gum의 농도에 따른 viscosity(cP) 비교

번호	샘플명		제조 결과
	agar	gellan gum	
1	4.5w/w%	3.0w/w%	

2	5.0w/w%	3.0w/w%	<p>Graph showing Viscosity [cP] versus Shear Rate (s⁻¹) for Agar 5.0w/w% + Gellan gum 3.0%. The y-axis is logarithmic (1e+2 to 1e+5) and the x-axis is logarithmic (1 to 100). The curve shows a decrease in viscosity with increasing shear rate, characteristic of shear-thinning behavior.</p>
3	5.5w/w%	3.0w/w%	<p>Graph showing Viscosity [cP] versus Shear Rate (s⁻¹) for Agar 5.5w/w% + Gellan gum 3.0%. The y-axis is logarithmic (1e+2 to 1e+5) and the x-axis is logarithmic (1 to 100). The curve shows a decrease in viscosity with increasing shear rate, characteristic of shear-thinning behavior.</p>
4	6.0w/w%	3.0w/w%	<p>Graph showing Viscosity [cP] versus Shear Rate (s⁻¹) for Agar 6.0w/w% + Gellan gum 3.0%. The y-axis is logarithmic (1e+2 to 1e+5) and the x-axis is logarithmic (1 to 100). The curve shows a decrease in viscosity with increasing shear rate, characteristic of shear-thinning behavior.</p>

표 2-7 . Agar와 Gellan gum 혼합물의 Shear Rate(1/s)에 따른 viscosity(cP) 측정 결과

Agar + Gellan gum



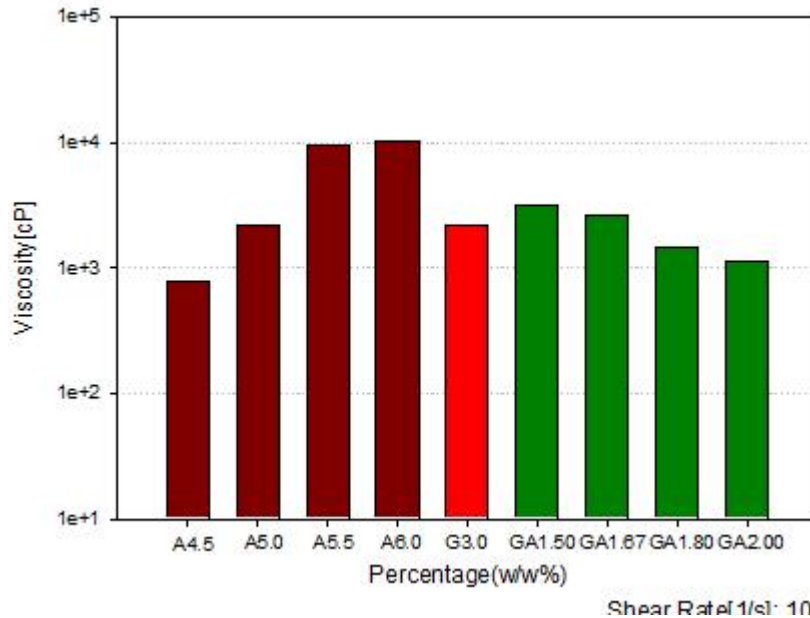


표 2-8 . Agar와 Gellan gum 혼합물의 농도에 따른 viscosity(cP) 비교

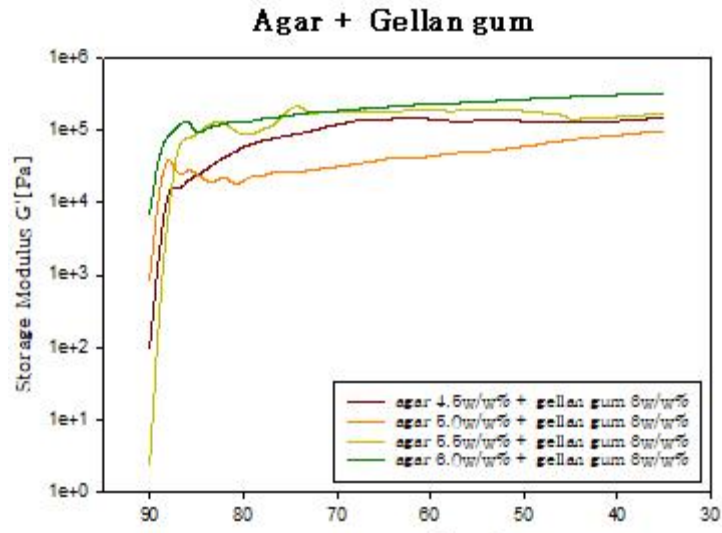
- 한천과 젤란검은 모두 weight percentage로 총 weight이 50g이 되게 하여 제조하였고, 한천은 A농도 젤란검은 G농도로 표기하였음.
- 한천과 젤란검의 혼합물은 각각 한천 sol과 젤란검 sol을 제조한 후 혼합하여 제조하였음.
- 한천과 젤란검의 혼합물 제조 시 젤란검은 모두 3.0%로 제조하였고, 여기서 한천의 농도만 각 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%로 달리하였음.
- 따라서 혼합물 시료의 이름은 젤란검(1) 대비 한천의 양(1.50, 1.67, 1.80, 2.00)으로 하여 각 GA1.50, GA1.67, GA1.80, GA2.00 으로 표기하였음.
- 한천과 젤란검의 shear rate(1/s)에 따른 viscosity(cP)를 측정하기 위해 기기의 온도는 90°C으로 세팅하였음.
- shear rate(1/s)의 범위는 1부터 100까지임.
- 한천과 젤란검 모두 shear rate(1/s)이 커질수록 viscosity(cP)가 낮아져 shear thinning(Pseudoplastic) 유체라는 것을 알 수 있음.
- 한천은 2.5w/w% 이하부터는 viscosity(cP)가 10이하로 내려가 불안정하여 측정이 불가능함.
- 젤란검은 2.0w/w% 이하부터는 viscosity(cP)가 10이하로 내려가 불안정하여 측정이 불가능함.
- 한천의 Shear rate(1/s) 10에서 viscosity(cP)는 4.5, 5.0, 5.5, 6.0%에서 각 785.60 ± 8.16 , 2216.95 ± 1915.48 , 9451.55 ± 10146.38 , 10165.75 ± 9533.57 으로 농도가 높아질수록 viscosity(cP)가 높아짐.
- 젤란검의 Shear rate(1/s) 10에서 viscosity(cP)는 2162.20 ± 595.81 임.
- 한천과 젤란검 혼합물의 Shear rate(1/s) 10에서 viscosity(cP)는 4.5+3.0, 5.0+3.0, 5.5+3.0, 6.0+3.0%에서 각 3145.40, 2666.60, 1478.90, 1152.00으로 농도가 높아질수록 viscosity(cP)가 낮아짐. 이유에 대한 해석이 필요함(한천은 농도가 높아질수록 점도가 증가함).

	그래프
Storage modulus, G'	<p style="text-align: center;">Agar</p>
Loss modulus, G''	<p style="text-align: center;">Agar</p>
Loss factor, $\tan \delta$ (G''/G')	<p style="text-align: center;">Agar</p>

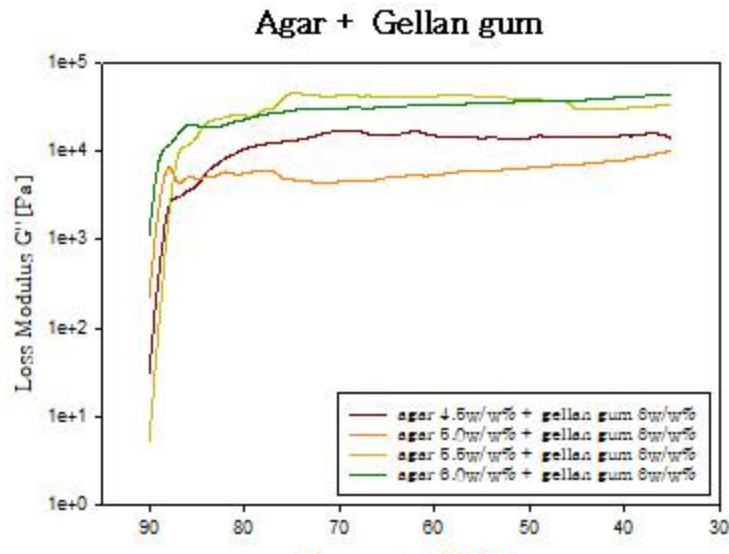
표 2-9 . Agar의 농도별 temperature 변화에 따른 G' , G'' , $\tan \delta$ 측정 결과

결과그래프

Storage modulus, G'



Loss modulus, G''



Loss factor, $\tan \delta$
(G''/G')

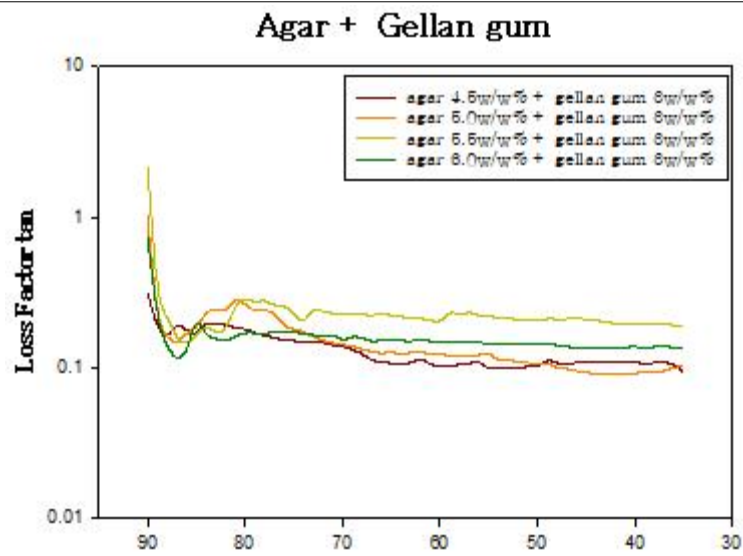
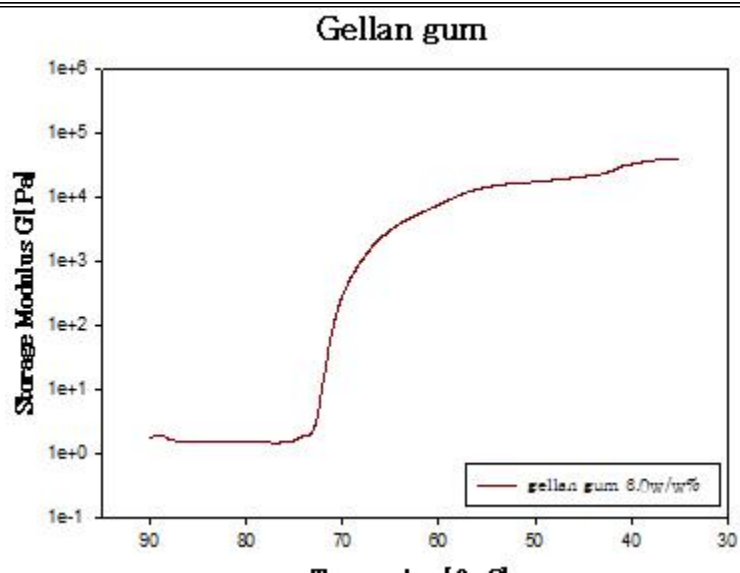


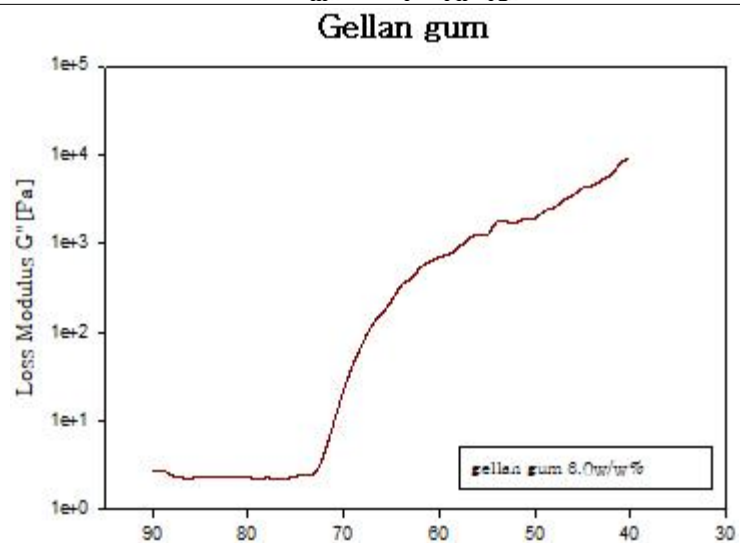
표 2-11 . Agar와 Gellan gum 혼합물의 temperature 변화에 따른 G' , G'' , $\tan \delta$ 측정 결과

그래프

Storage modulus, G'



Loss modulus, G''



Loss factor, $\tan \delta$
(G''/G')

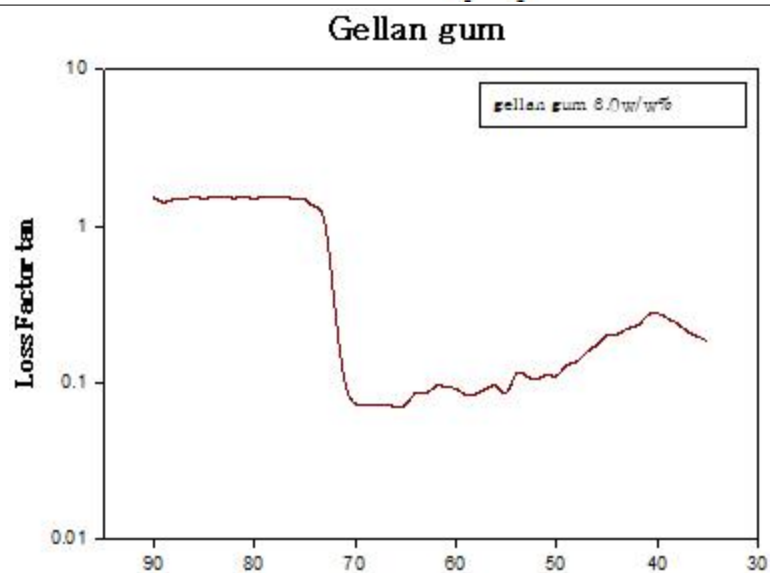


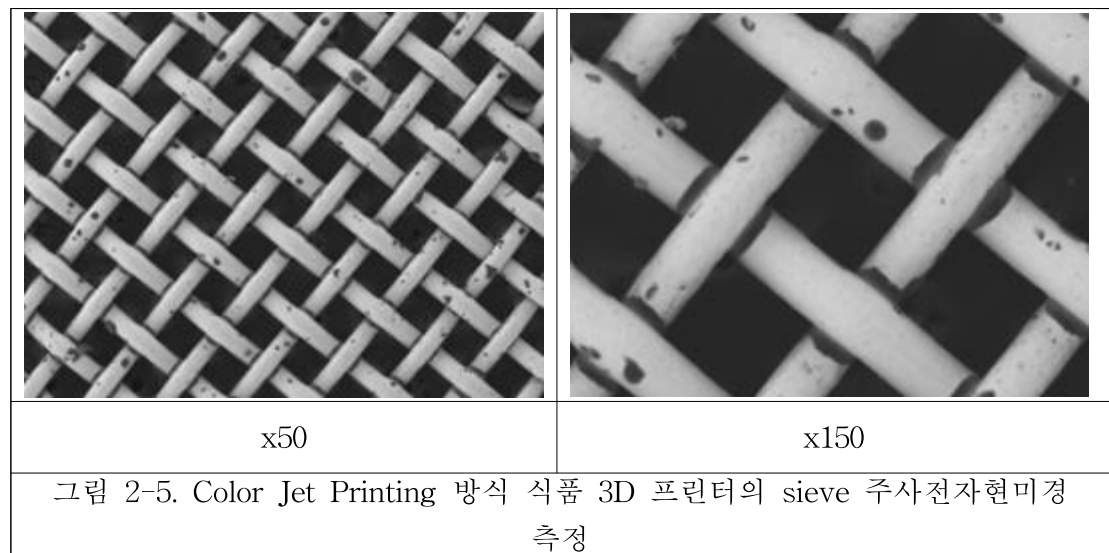
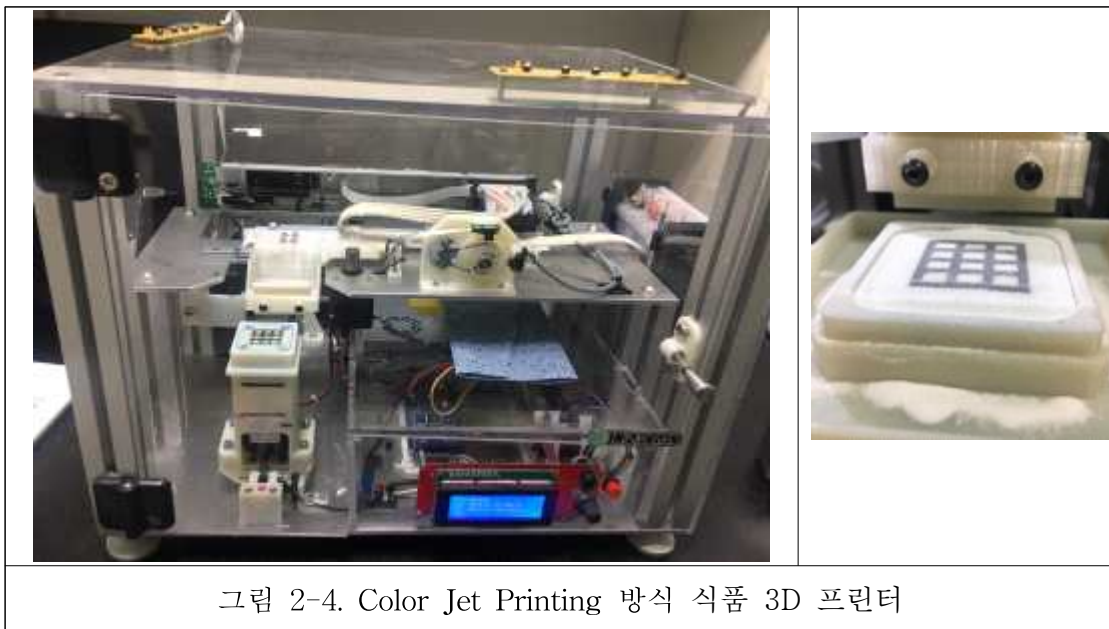
표 2-10 . Gellan gum의 농도별 temperature 변화에 따른 G' , G'' , $\tan \delta$ 측정 결과

- 한천과 젤란검의 온도변화에 따른 Storage modulus(저장 탄성 계수) G' 와 Loss modulus (손실 탄성 계수) G'' 및 Loss factor(손실계수 또는 제동 계수) $\tan \delta (G'' / G')$ 를 측정함.
- 온도는 sol상태인 80°C 부터 gel화되는 온도인 25°C 로 냉각시켜 측정함.
- Storage modulus G' 은 탄성부분을 나타내며 이는 시료의 고체상태 거동을 설명하고, Loss modulus G'' 은 점성부분을 나타내며 이는 시료의 액체상태로 볼 수 있음.
- Loss factor $\tan \delta$ 는 시료에서 상전이가 발생할 때 사용되고 이 계수를 sol/gel 전이점이라고 하며 flow 변화를 알 수 있음.
- 이상적 탄성거동의 경우 $\delta = 0^\circ$ 로 점성부분이 없으므로 $G'' = 0$ 이고 $\tan \delta = G'' / G' = 0$ 임.
- 이상적 점성거동의 경우 $\delta = 90^\circ$ 로 탄성부분이 없으므로 $G' = 0$ 이고 $\tan \delta = G'' / G'$ 은 0으로 나뉘서 무한대에 가까워짐.
- 따라서 이상적인 점성물질이 되려면 $\tan \delta > 1000$, 이상적인 탄성물질이 되려면 $\tan \delta < 0.001$ 이 적용됨.
- 한천의 온도변화에 따른 $\tan \delta$ 값 결과 약 87~90°C 에서 sol/gel 전이 현상이 일어난다고 보임.
- 젤란검의 온도변화에 따른 $\tan \delta$ 값 결과 72~75°C 에서 sol/gel 전이 현상이 일어난다고 보임.
- 한천과 젤란검 혼합물의 온도변화에 따른 $\tan \delta$ 값 결과 약 89~90°C 에서 sol/gel 전이 현상이 일어난다고 보임.

② Color Jet Printing 방식의 3D printing에 적합한 식품소재의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구

㉞ Color Jet Printing 방식의 프린터에 대한 설명 및 소개

- Liquid Binding 방식의 프린터로 Powder를 bed에 깔은 뒤 원하는 모양을 2D 프린터로 liquid를 분사한 뒤 그 위에 다시 Powder 층을 쌓아 3D printing된 식품을 제조하는 방식임.
- Binding되는 노즐은 피에조 방식으로 바인딩 소재인 액체를 정교하게 분사할 수 있음.
- 이는 열을 가하지 않아 용융점이 낮은 (120°C 미만) 식품 재료에 적용이 가능함.

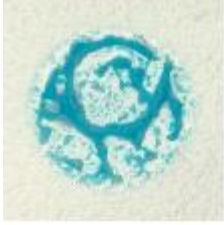





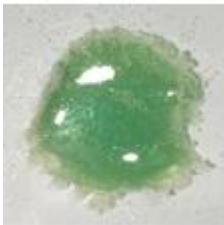
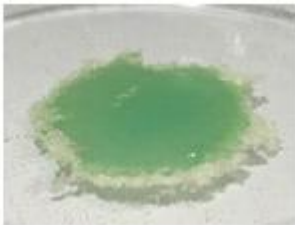
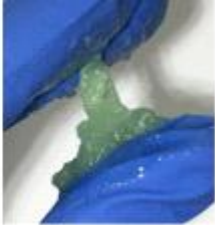


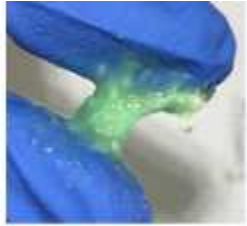
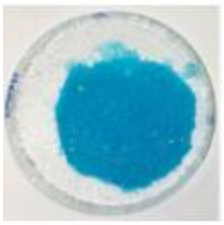
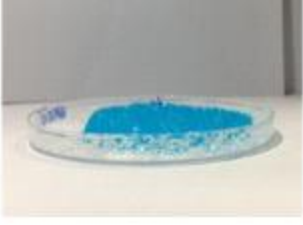
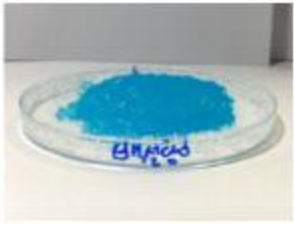


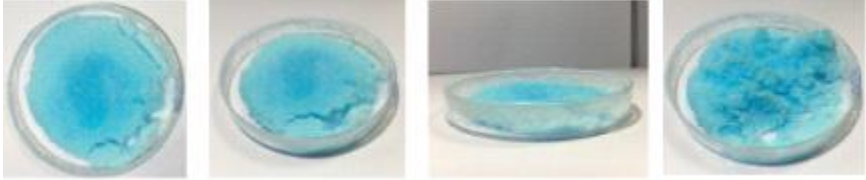
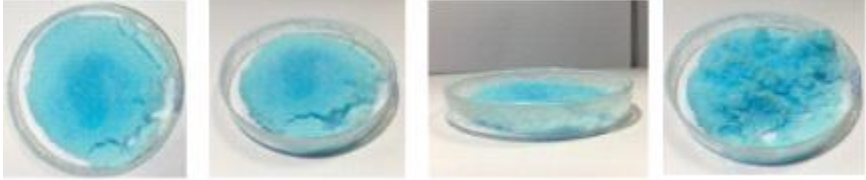
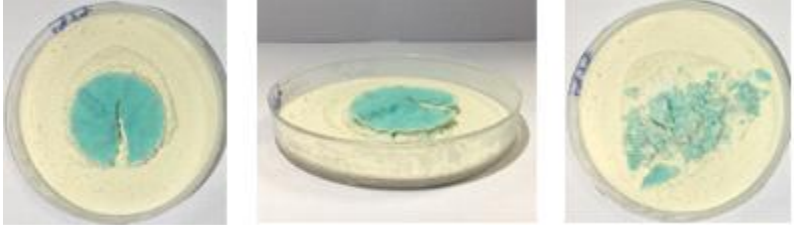

- 체의 크기는 약 200 μ m임.

㉔ Color Jet Printing 방식의 3D printing 가능한 적합소재 탐색 및 기초 연구 및 선정

㉑ 1차 재료 선정





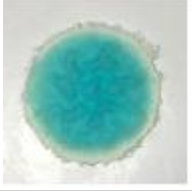

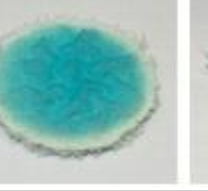
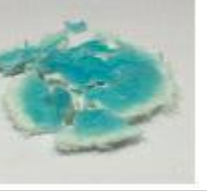
1. 형태유지와 이동이 불가능하고 끈적임.

쌀가루			
PGA (K-form) 2kDa			
슈가 파우더			
PGA (K-form) 10kDa			
아라비아검인스 탄트검BA			
2. 형태유지와 이동이 불가능하고 가루상태임.			
백설탕			
알룰로스			

	
타가토스	
한천	
PGA (acid-form) 2000kDa	

3. 형태유지가 불가능하고 이동은 가능하지만 힘주면 바로 형태가 변형됨.

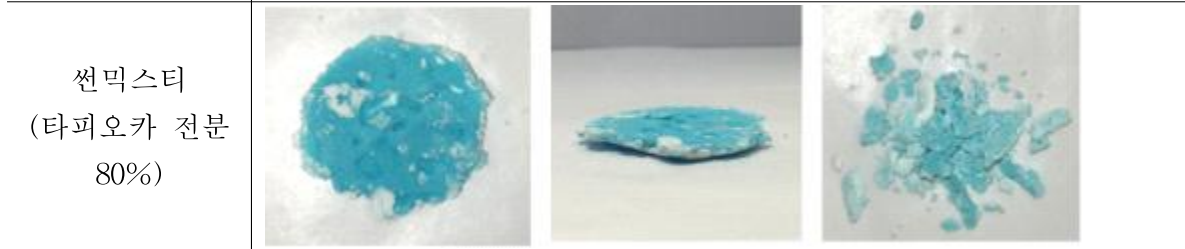
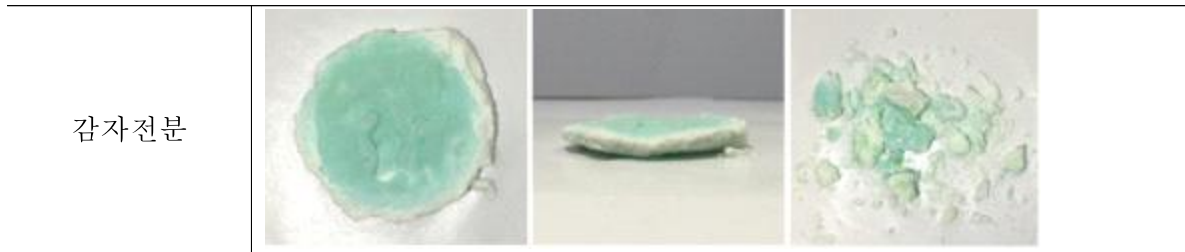
말토 텍스트린	
밀가루	
잔탄검	
낮또가루	

분리대두 단백				
카라기난				

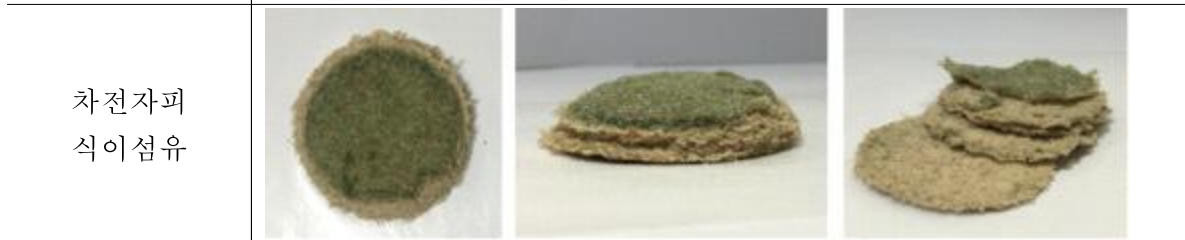
4. 형태유지가 가능하지만 표면이 울퉁불퉁하거나 끝이 말림.

엠비 시즈닝				
카라기난BP				
젤란검				
알긴산 나트륨				
로커스트검				
구아검				

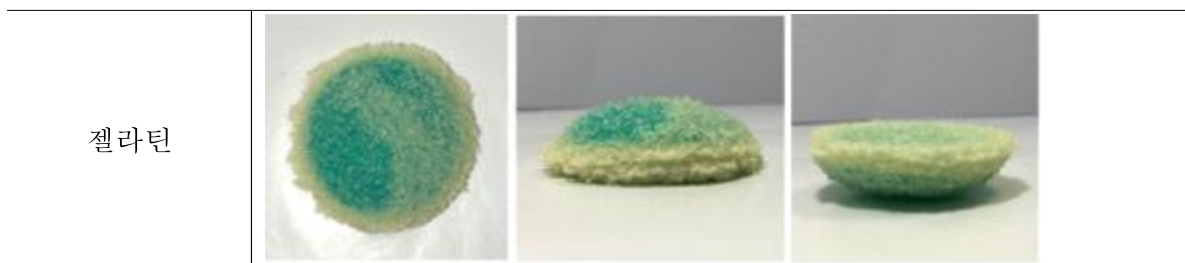
5. 형태유지가 가능하지만 굳는 시간이 필요함.



6. 형태유지가 가능하지만 층분리가 일어남.



7. 형태유지가 가능함.



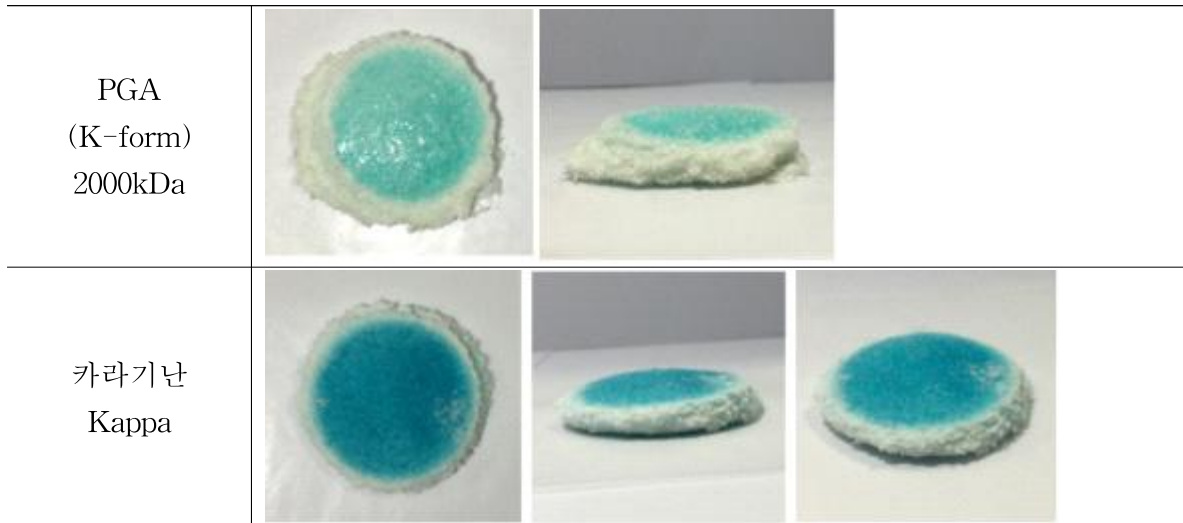


표 2-12 . powder에 물을 분무하여 Color Jet Printing 방식의 3D printing에 적합한 소재 탐색

- 3D 프린팅 기기에 적용할 수 있는 최적의 소재를 찾고자 예비실험을 진행함.
- 실험 방법은 petri dish의 첫 layer를 체를 이용하여 최대한 평평하게 쌓은 뒤 원형의 구멍이 뚫린 mask 뚜껑을 덮은 후 물을 수직으로 최대한 고르고 일정하게 분사하고 이를 반복하여 10mm의 높이가 되게 제조함.
- 이 특성과 비교하여 실제 3D 프린팅 되는 소재와의 차이점을 고려해야 함.
- 이를 통해 각 powder에 물을 분사했을 때의 특성은 파악되었지만 피에조 방식의 Color Jet Printing 방식의 3D printer에 적용될 식품소재를 선택하기에는 한계가 있었음.
- 피에조 방식의 Color Jet Printing 방식의 3D printer는 예비실험에 사용한 방법보다 정교하기 때문에 실제 제조가능 범위는 넓어질 것이라 생각됨.

⑥ 입형 분석(Particle shape analysis)

- 분쇄 방법 별 시료의 입형을 확인하기 위해 주사전자현미경(Tabletop Microscope(TM3030Plus, HITACHI))를 이용하여 각 시료의 입형을 측정함.
- 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope)은 고체 상태에서 작은 크기의 미세 조직과 형상을 관찰할 때 널리 쓰이는 현미경으로서 초점 심도가 깊고 3차원적인 영상의 관찰이 용이해서 복잡한 표면구조나 결정 외형 등의 입체적인 형상을 높은 배율로 관찰할 수 있는 분석 장비임.



그림 2-6. Tabletop Microscope(TM3030Plus,HITACHI)

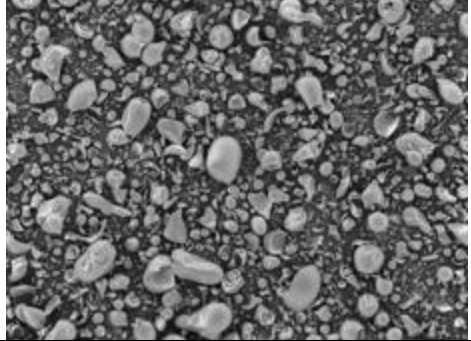
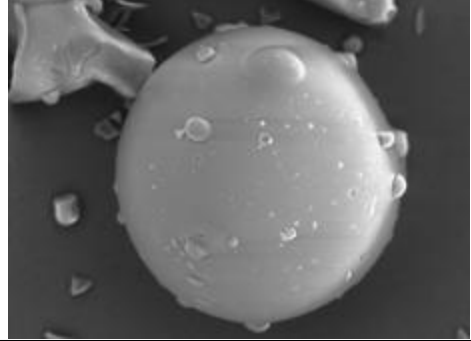
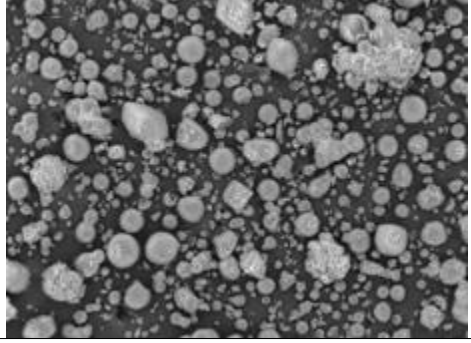
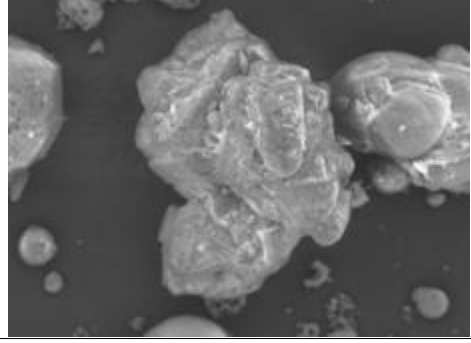
sample	저배율 결과 사진	고배율 결과 사진
Malto dextrin	 <p data-bbox="598 1496 667 1529">x120</p>	 <p data-bbox="1098 1496 1166 1529">x800</p>
Whey protein	 <p data-bbox="598 1904 667 1937">x120</p>	 <p data-bbox="1098 1904 1166 1937">x800</p>

표 2-13 . Malto dextrin, Whey protein powder의 입형 분석

㉔ 입도 분석(Particle size analysis)

- 분쇄 방법 별 시료의 입자크기와 분포를 확인하기 위해 입도분석기(Laser diffraction particle size analyzer, SALD-2300, Shimadzu)를 이용하여 각 시료의 입도를 측정함.
- 액상에 브라운운동으로 확산되어 있는 입자를 동적 광산란 (DLS, Dynamic Light Scattering)으로 입도를 측정
- 광산란은 빛의 산란을 이용하여 고분자 혹은 콜로이드 입자의 분자량, 크기, 모양 등을 분석하는 방법으로, 용액 중에는 용질 브라운 운동에 의하여 굴절률의 변화가 생기며, 입사광은 산란됨. 따라서 빛이 산란되는 정도가 입자가 클수록 심해지는 것을 이용하여 미립자의 크기를 구할 수 있음.
- 시료를 증류수에 희석한 후 분석을 진행하였음.
- 측정된 데이터는 mean(sample의 평균 크기), median(sample의 50% 미만/초과하는 크기), D10(sample부피의 10%가 존재하는 곡선 아래 부분에서의 입경), D90(sample부피의 90%가 존재하는 곡선 아래 부분에서의 입경)로 나타내었음.
- 또한 첨부된 입도 분포도는 입자의 기여(contribution)가 해당 입자의 부피에 관여되는 부피 가중 분포로 주어짐.



그림 2-7. Tabletop Microscope(TM3030Plus,HITACHI)

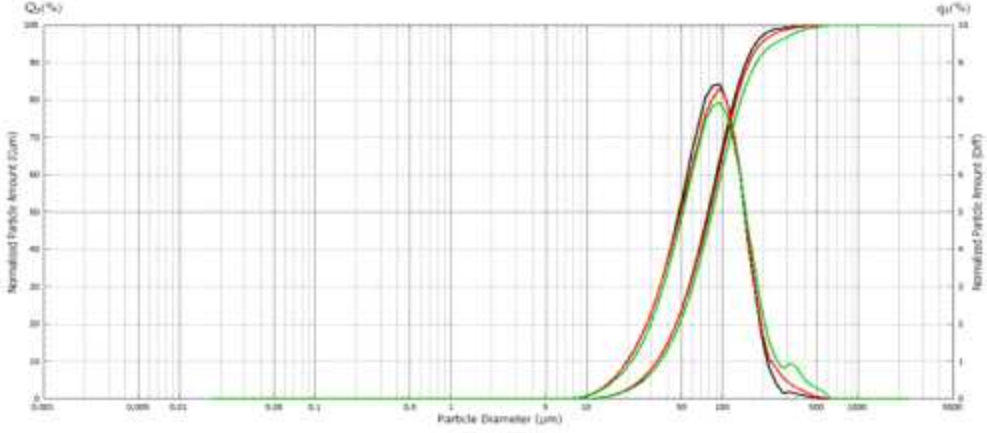
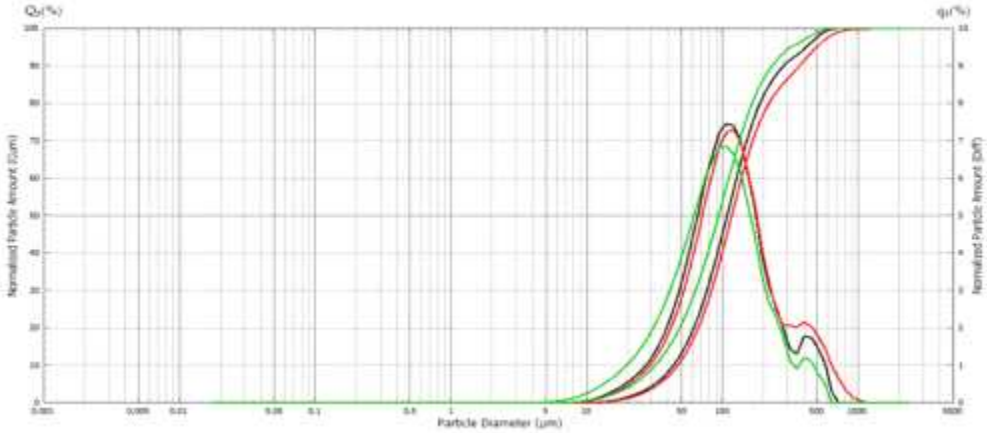
sample	결과										
Malto dextrin	 <table border="1" data-bbox="384 792 1375 981"> <thead> <tr> <th>Median D (μm)</th> <th>Modal D (μm)</th> <th>Mean V (μm)</th> <th>Q3(%)10</th> <th>Q3(%)90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>80.06 ± 2.87</td> <td>93.52 ± 12.30</td> <td>76.35 ± 12.47</td> <td>32.92 ± 1.29</td> <td>160.86 ± 14.81</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="619 981 1369 1016">p<0.05, N=3, mean±SE, Duncan's multiple range test</p>	Median D (μm)	Modal D (μm)	Mean V (μm)	Q3(%)10	Q3(%)90	80.06 ± 2.87	93.52 ± 12.30	76.35 ± 12.47	32.92 ± 1.29	160.86 ± 14.81
Median D (μm)	Modal D (μm)	Mean V (μm)	Q3(%)10	Q3(%)90							
80.06 ± 2.87	93.52 ± 12.30	76.35 ± 12.47	32.92 ± 1.29	160.86 ± 14.81							
Whey protein	 <table border="1" data-bbox="384 1568 1375 1733"> <thead> <tr> <th>Median D (μm)</th> <th>Modal D (μm)</th> <th>Mean V (μm)</th> <th>Q3(%)10</th> <th>Q3(%)90</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>105.32 ± 11.78</td> <td>109.64 ± 15.61</td> <td>105.05 ± 14.25</td> <td>40.07 ± 7.76</td> <td>291.69 ± 68.38</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="826 1733 1369 1769">p<0.05, N=3, mean±SE, Duncan's multiple range test</p>	Median D (μm)	Modal D (μm)	Mean V (μm)	Q3(%)10	Q3(%)90	105.32 ± 11.78	109.64 ± 15.61	105.05 ± 14.25	40.07 ± 7.76	291.69 ± 68.38
Median D (μm)	Modal D (μm)	Mean V (μm)	Q3(%)10	Q3(%)90							
105.32 ± 11.78	109.64 ± 15.61	105.05 ± 14.25	40.07 ± 7.76	291.69 ± 68.38							

표 2-14 . Malto dextrin, Whey protein powder의 입도 분석

- Malto dextrin의 3반복 평균입도는 약 76 μm이고, 중간 입도는 약 80 μm임.
- Whey protein의 3반복 평균입도는 약 105 μm이고, 중간 입도는 약 105 μm임.

(나) 3D 프린팅된 식품의 특성연구 및 카트리리지 최적화

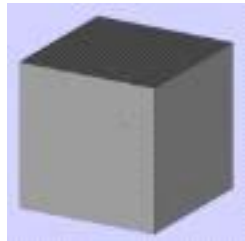
① Fused Deposition Modeling(FDM) 방식의 3D printing에 의해 프린팅된 식품의 특성 연구

㉞ 식품소재의 모사화를 위한 미세구조 디자인 및 비식용 식품을 이용한 3D printing된 소재 제조와 유변학적 특성 연구

㉟ 식품소재의 모사화를 위한 microstructure(미세구조) 디자인

- 미세 구조물이 갖는 고유한 패턴과 그 패턴의 밀도를 조절하여 다양하게 파생되는 미세 구조물을 만들 수 있음. 이러한 미세 구조물들과 서로 다른 특성의 식품재료가 결합 하였을 때 다양한 자작감을 갖는 구조물로 사용될 수 있다고 판단됨.
- 일반적으로 경도가 낮고 탄성이 좋은 재료를 사용하였을 때, 미세구조물의 밀도가 높아 질수록 부드러운 식감이 예상되며, 경도가 높으며 밀도가 낮을 경우에는 brittleness 가 높을 것으로 예상되고, 또 경도와 탄성 모두 높을 경우 질긴 식감이 예상됨.
- 이러한 미세구조물의 특성을 확인하기 위해 아래와 같은 lattice 방식과 밀도 조절을 사용하여 미세구조물을 생성하였음.

1. 구조물이 될 3D 형상을 준비함.

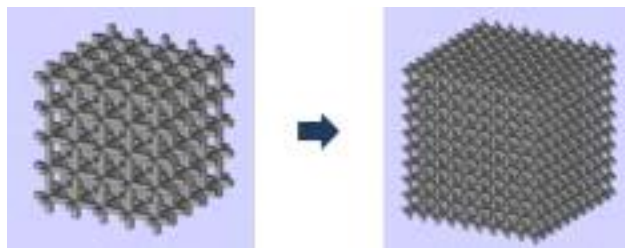


2. Lattice 기능을 통하여 미세 패턴 구조물의 크기를 정하여 대입



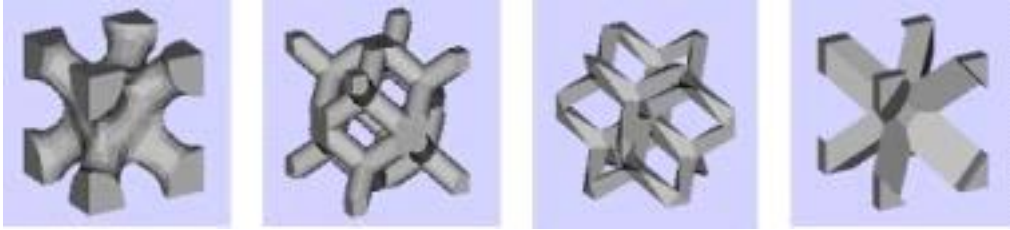
3. 패턴 구조물의 크기에 따라 구조물의 형태를 변화

- 결과물의 점탄성 변화 예상



4. 패턴 구조물 크기 변화 외, 다른 종류의 lattice 패턴을 사용

- 결과물의 점탄성 변화 예상



5. 각 lattice 패턴과 구조물 크기 변화로 다양한 종류의 microstructure를 디자인

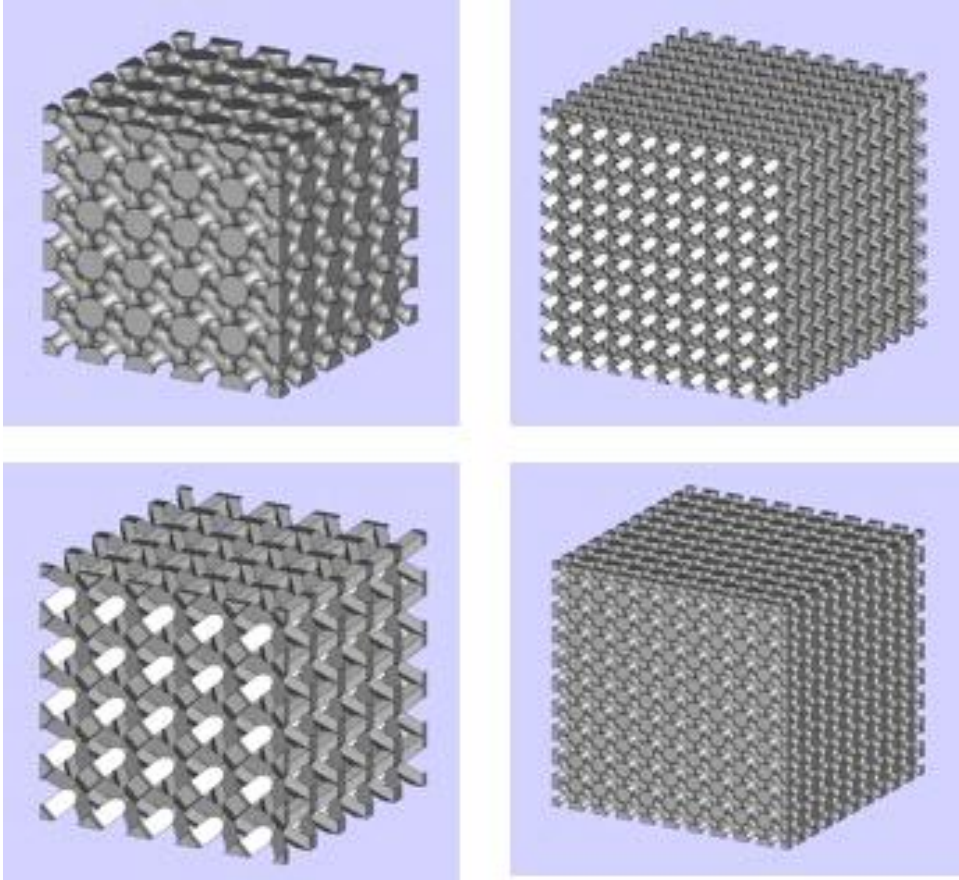


표 2-15 . Lattice 패턴을 이용한 미세구조물 3D 디자인 개요도

⑥ Building Information Modeling을 도입하여 식품소재에 더욱 가까운 조직구조를 가지며 유변학적 특성 및 조직감을 포함한 microstructure 디자인

- Pattern 형상과 밀도차이에 따른 다양한 microstructure library 구성
- 3가지 패턴에 4가지 밀도를 대입하여 총 12개의 microstructure를 개발함

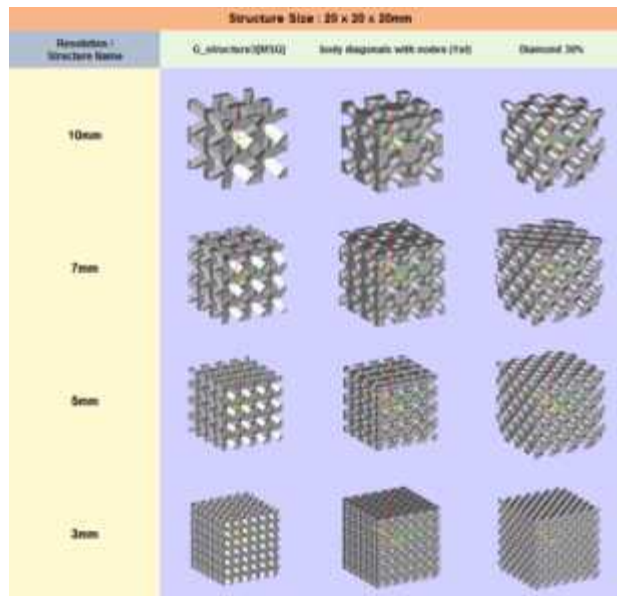


표 2-16. 3가지 패턴에 4가지 밀도를 대입하여 총 12개의 microstructure 디자인

- 개발된 12개의 microstructure는 출력가능한 형태의 stl로 변환되어 주관기업 및 다른 협동기관에 공유되어 각 연구하는 프린트 모듈별 연구를 시작하였음
- 개발된 microstructure의 출력에 앞서, 최초에 개발되었던 Hex 디자인 역시 출력되어 공유됨.



그림 2-8. 초기 microstructure 디자인 이었던 Hex모델

© 비식용 재료를 사용하여 각 Microstructure를 기존 3D 출력 방식 (SLA/DLP, 20 micrometer under급)으로 3D printing 제조

- 기존에 개발된 3D 프린터 방식과 비식용 재료를 사용하여 개발된 microstructure를 출력 하였음
- 사용된 재료는 아크릴계 플라스틱과 엘라스토머를 혼합하여 경도와 탄성이 각기 다른 두 가지 이상의 재료를 사용 되어 서로 다른 재료로 같은 microstructure를 출력하였을 때의 물성 비교도 가능하게 구성하였음.
- 각기 다른 성질의 재료를 사용하여 12개의 microstructure 샘플 셋을 출력함

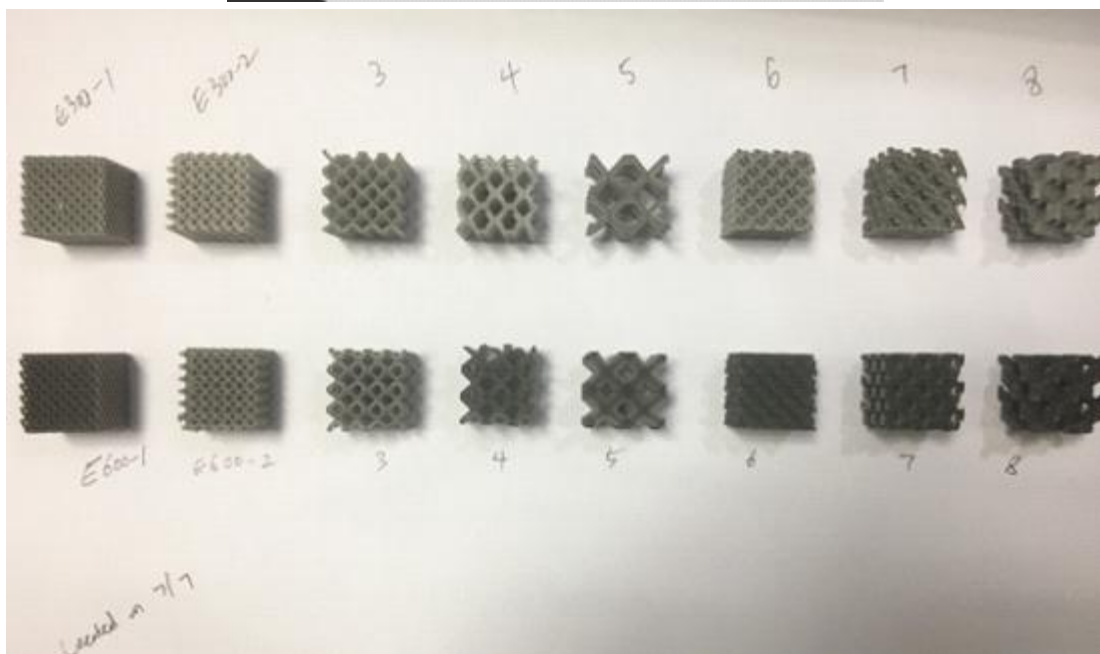
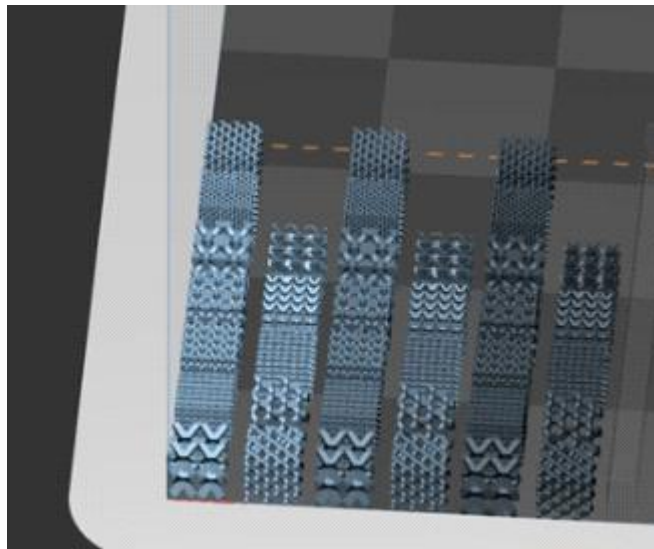


그림 2-9. 실제 출력된 microstructure 36개중 자작 실험에 적합한 16개를 선정함



그림 2-10. 실제 출력된 샘플의 예


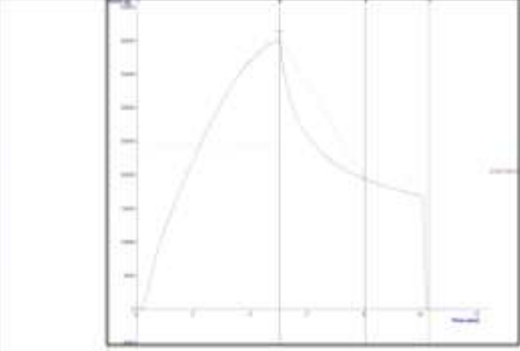

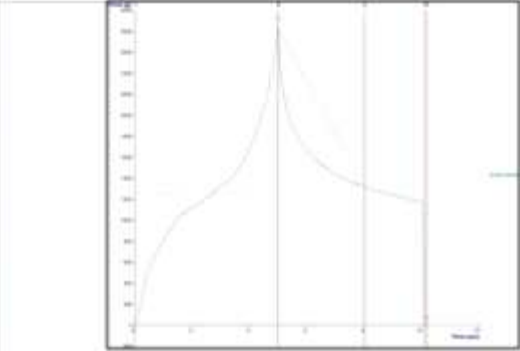

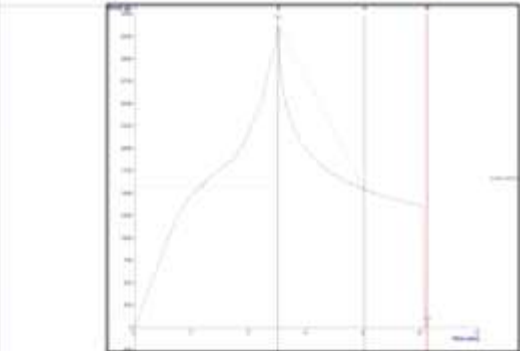

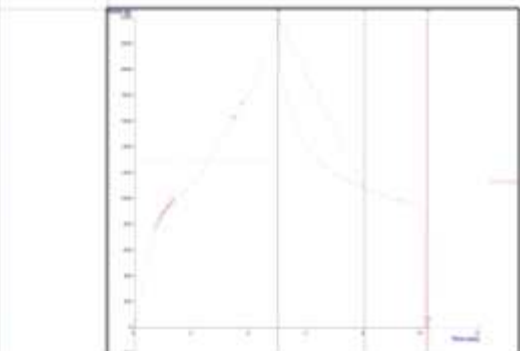
- 출력된 샘플은 support인 왁스가 채워져 있는 형태로 후처리 작업을 통하여 준비하였고, 플라스틱성분으로만 이루어진 샘플은 탄성이 없기 때문에 본 실험에서는 제외하였음.


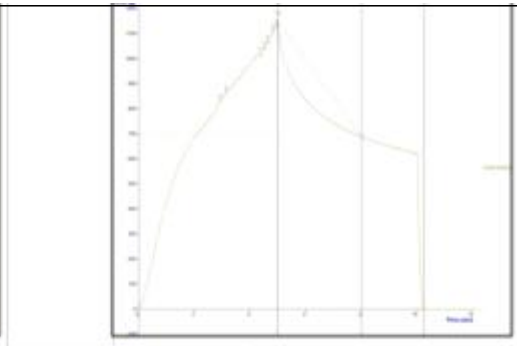
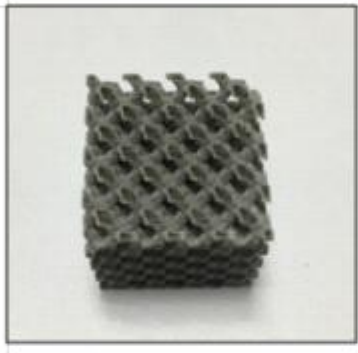
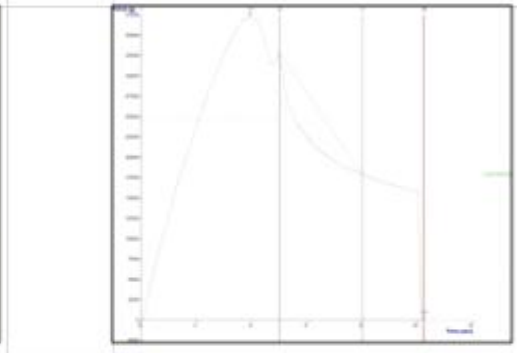
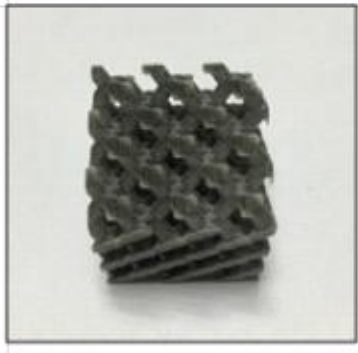
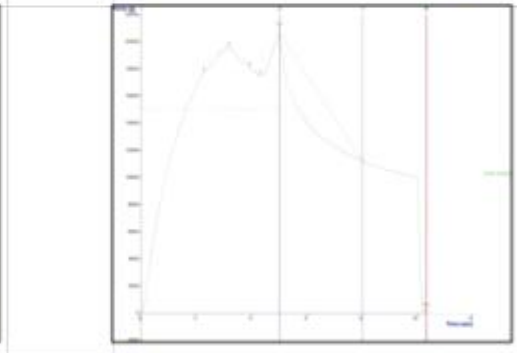
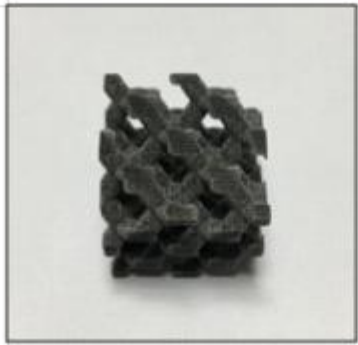
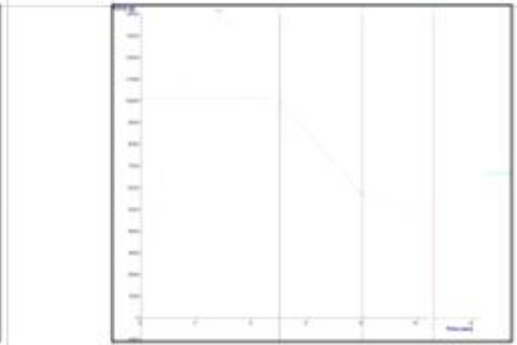
㉔ 비식용 재료로 3D 프린팅된 식품을 Texture analyzer를 이용하여 유변학적 특성 연구


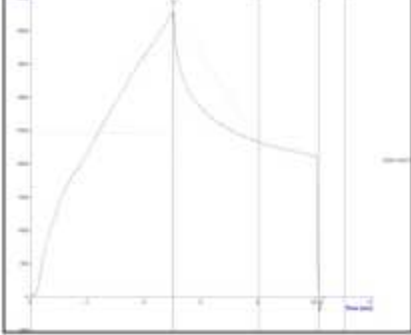
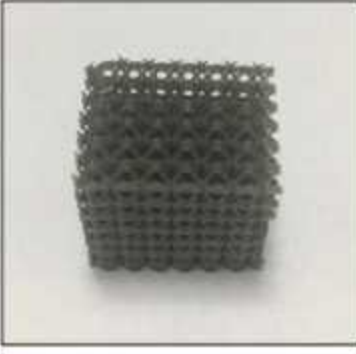
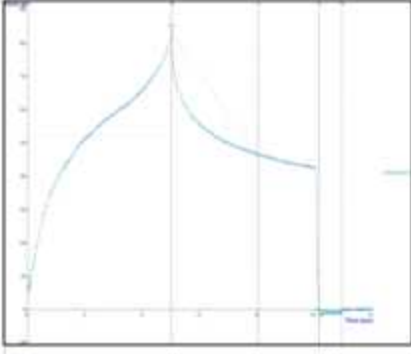

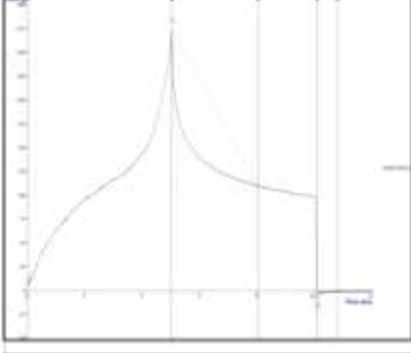

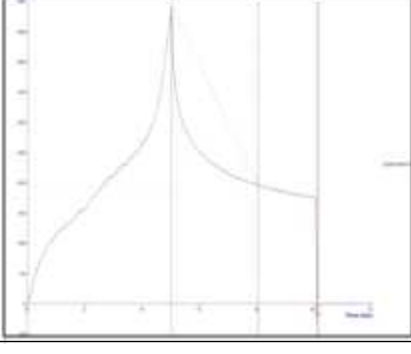


그림 2-11. Stable Microsystems texture analyser

- Texture 는 Stable Microsystems의 texture analyser Plus로 측정함.
- 측정 probe는 20mm*20mm size의 직사각형 probed임.
- 측정 조건: Hold until time test, pre-test speed(mm/sec) = 2.00, test speed(mm/sec) = 2.00, Distance(mm) = 10.00, Hold time(sec) = 5.00, sample size(mmxmmxmm) = 20x20x20
- 앞서 설명한 texture analyzer를 이용한 자작 실험 및 인장강도 실험을 선정된 16개의 샘플에 대하여 진행하였으며 결과는 아래와 같음.

번호	샘플명	샘플사진	결과그래프
1	E300-1		
2	E300-2		
3	E300-3		
4	E300-4		

5	E300-5		
6	E300-6		
7	E300-7		
8	E300-8		

9	E600-1		
10	E600-2		
11	E600-3		
12	E600-4		


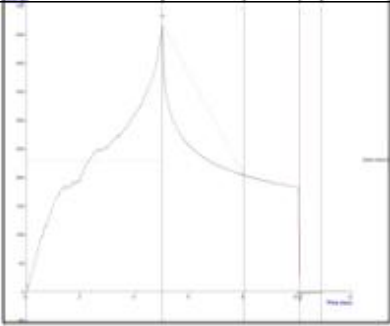
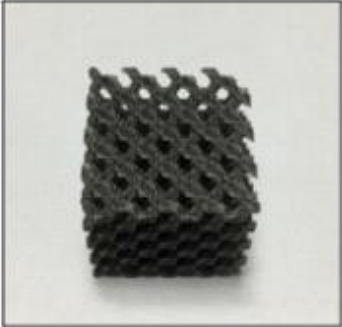
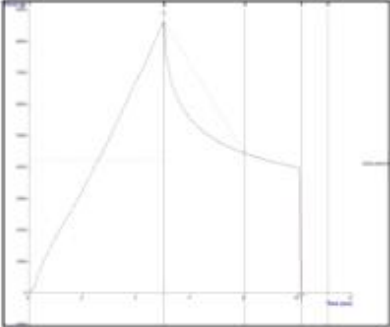

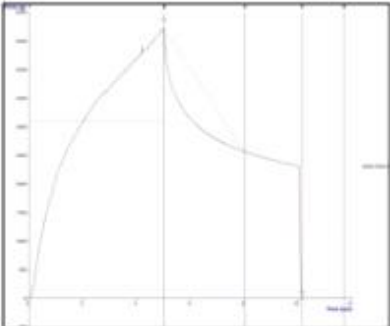

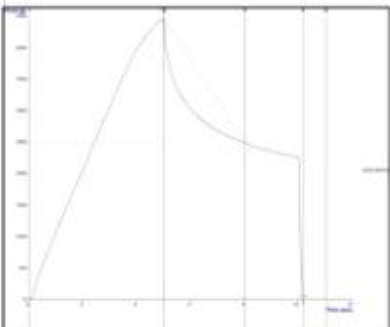
13	E600-5		
14	E600-6		
15	E600-7		
16	E600-8		



표 2-17

- 엘라스토머 성분이 더 많이 사용된 E600계열의 샘플들과 플라스틱 성분이 더 많이 사용된 E300은 같은 모형이라도 평균강도와 최대강도에서 큰 차이를 보였음.
- 평균강도가 가장높은 모델은 E300-6 이었으며 같은 모형이나 다른 소재가 사용된 E600-6 역시 E600 계열의 샘플군 중 가장 강도가 높았으며, 최대 강도 순서를 보았을 때 같은 계열끼리는 비슷한 순서를 가지고 있음이 확인됨.
- 이로서 구조물의 형태는 평균강도와 상관성이 있는 것으로 확인됨.
- E600-1의 경우 점착성이 가장 높다고 확인이 되는데 이는 샘플이 probe에 닿는 면적이 가장 많아서 생기는 현상으로 추측됨.

㉔ 실제 식품소재의 선정 및 Texture analyser를 이용하여 유변학적 특성 연구

㉔ 식품 선정 및 제조

- 각 출력된 Microstructure에 대한 실험을 실제 식품과 비교하기 위해 9가지의 식품 비교군 샘플을 아래와 같이 선정하였음.
- 비교군의 다양성을 위해 더욱 다양한 식품샘플을 선정하여 실험 진행 예정임.


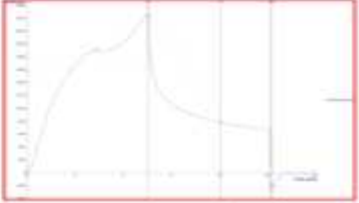





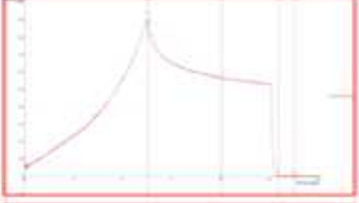




	이름	식품	샘플
1	바나나 (단품)		
2	사과 (단품)		
3	닭가슴살 (I'm Dak 통후추맛)		
4	식빵 (삼립 우유식빵)		

5	<p>소세지 (I'm Dak 닭가슴살 소시지)</p>		
6	<p>밥 (CJ 햇반)</p>		
7	<p>초코파이 (오리온 초코파이)</p>		
8	<p>칼로리바란스 (해태 칼로리바란스)</p>		
9	<p>양갱 (박찬회 연양갱)</p>		
10	<p>에너지바 (켈로그 크런치넛)</p>		

표 2-18

⑥ Texture analyser를 이용하여 실제식품의 유변학적 특성 연구

- 선정된 음식샘플은 20x20x20mm 정육각면 크기로 잘라 microstructure에 사용된 실험조건과 동일한 조건으로 실험을 진행 하였음.
- 강도가 overload되어 예외로 판단되는 칼로리바란스 제품은 실험결과에서 제외하였음.

	이름	샘플	Texture Analysis Result
1	바나나 (단품)		
2	사과 (단품)		
3	닭가슴살 (I'm Dak 등후추맛)		
4	식빵 (삼립 우유식빵)		
5	소세지 (I'm Dak 닭가슴살 소시지)		
6	밥 (C) 햇반)		


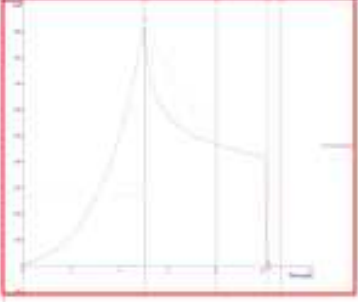


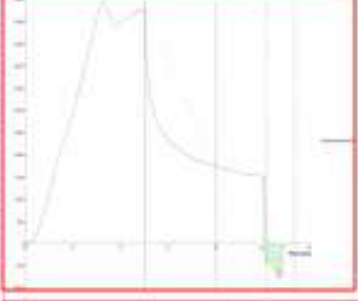


7	<p>초코파이 (오리온 초코파이)</p>		
8	<p>칼로리바란스 (해태 칼로리바란스)</p>		<p>Void</p>
9	<p>양갱 (박찬회 연양갱)</p>		
10	<p>에너지바 (켈로그 크런치넛)</p>		

표 2-19

- 압력을 이용한 Hold Test의 경우 일반적으로 Probe가 최저점에 도달할 때까지의 저항력 (강도)은 지속적으로 증가를 함.
- 지속적으로 증가하나 순간적으로 저항력이 낮아졌다 높아졌다를 반복하는 파형은 샘플에 바삭함 (brittleness)의 존재함을 의미함.
- 최저점에 도달하여 5초간 정지하고 있을 때 저항력은 줄어들음. 이때 줄어드는 속도는 탄성을 나타낼수 있음.
- 선정된 식품 샘플에서는 사과가 가장 평균강도와 바삭함이 높은 샘플로 나타났으며 식빵 샘플의 경우 가장 낮은 강도와 바삭함을 가지고 있는 것으로 확인됨.
- 양갱의 경우 가장 높은 점착력을 가장 식품샘플로 확인되며 이는 예상되는 결과로 보임.

㉔ 비식용 소재를 이용한 각 Microstructure의 기존 3D 출력 방식 (SLA/DLP, 20 micrometer under급)과 실제 식품소재와의 특성과 비교 및 검증

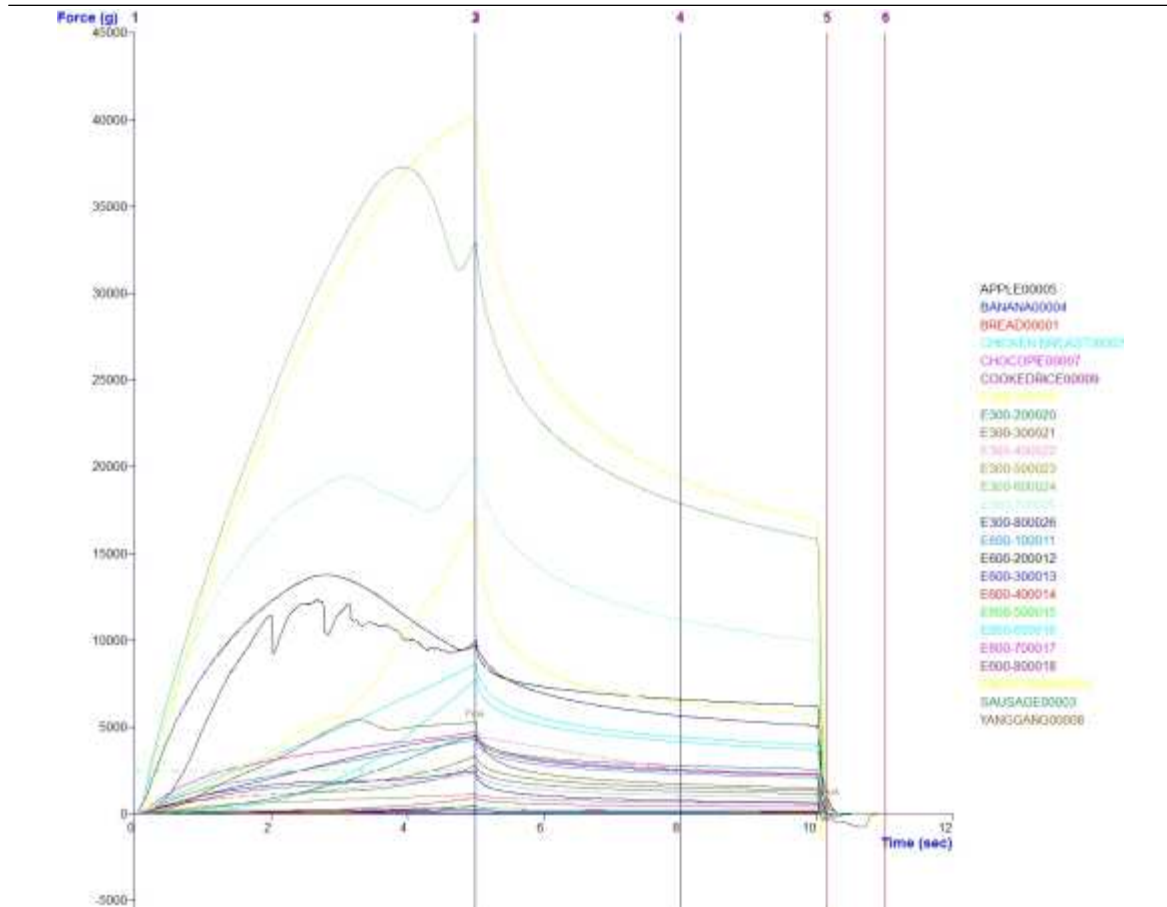


표 2-20 . Texture analyzer를 이용한 전체 샘플의 인장강도 실험 결과 그래프

표 2-21. Texture analyzer를 이용한 전체 샘플의 인장강도 실험 결과 비교

sample	평균강도 (g)	바삭함 (g.sec)	최대강도 (g)	최대점착 력 (g)	점착 에너지 총량 (g.sec)	응집성 (sec)	탄성
E300-6	24714.189	44828.368	37283.192	-0.951	0.000	0.035	0.9999
E300-1	24619.734	40077.274	40056.348	-0.357	2.264	2.685	0.9999
E300-7	15083.186	25019.499	20699.532	-0.832	0.005	0.045	0.9999
E300-8	10122.826	18723.264	13785.899	-0.713	0.771	1.970	0.9999
APPLE	8394.610	25315.245	12328.358	-60.503	-14.022	0.350	0.9950
ENERGY BAR	5904.266	17265.005	17180.489	-1977.344	-36.900	0.175	0.8849
E600-6	4209.804	8647.302	8647.657	-324.387	-6.966	0.990	0.9624
YANGGANG	3373.603	6462.693	5410.090	-779.408	-402.607	1.215	0.8559
E600-7	3110.253	4791.761	4729.936	-35.184	-3.813	1.570	0.9925
E600-8	2488.138	4494.114	4470.688	-84.990	-3.384	0.850	0.9809
E600-1	2464.888	4315.220	4298.094	-218.952	-14.525	0.900	0.9490
CHICKEN BREAST	2214.030	7812.863	7790.867	-122.789	-11.815	0.175	0.9842
SAUSAGE	1674.370	4570.070	4554.370	-26.983	-2.626	0.165	0.9940
BANANA	1582.108	2621.449	2490.610	-275.176	-13.835	0.065	0.8895
E300-3	1580.085	3374.046	3372.124	-2.021	-0.018	0.015	0.9994
E300-4	1292.669	2582.635	2398.369	-2.021	-0.044	0.045	0.9991
E300-2	1257.823	2842.587	2840.315	-3.447	-0.108	0.045	0.9987
E300-5	699.180	1411.724	1150.271	-0.951	0.084	2.435	0.9991
CHOCOPIE	272.505	964.306	918.719	-14.858	-2.278	0.550	0.9838
E600-5	229.223	556.883	468.334	-16.047	-1.590	0.800	0.9657
E600-4	196.832	554.474	492.226	-30.668	-0.523	0.050	0.9376
COOKED RICE	125.575	534.984	442.897	-65.971	-11.012	0.300	0.8510
E600-3	109.096	386.847	275.176	-25.081	-1.584	0.710	0.9088
E600-2	52.164	289.703	82.612	-2.853	-0.903	0.810	0.9654
BREAD	35.145	307.260	91.765	-0.951	0.028	0.640	0.9896

- E300-8의 경우 사과와 평균강도와 바삭함이 비슷하며 비슷한 식감을 갖을 거라 예상되며 양갱의 경우 E600-7과 평균강도는 비슷하나 비식용샘플은 점착성 떨어져서 서로 상이할 것으로 예상됨.
- 그러나 E600-2와 식빵샘플의 경우 평균강도, 바삭함, 점착력, 응집성에서 모두 비슷한 성질을 지녀 식감적으로 매우 유사할 것으로 예상되며 실제로 촉감테스트를 하였을 때 비슷한 느낌을 주는 것으로 확인됨.

㉔ 식용재료를 사용하여 3D 프린터를 이용한 프린팅 식품 제조와 유변학적 특성 연구

㉔ 식용재료를 사용하여 3D 프린터를 이용한 프린팅 식품 제조













번호	샘플명	제조 결과		
1	Agar 4.5w/w%			
2	Agar 5.0w/w%			
3	Agar 5.5w/w%			
4	Agar 6.0w/w%			

표 2-22 . Agar의 농도별 3D 프린팅 식품 제조

- 한천으로 3D printing 제조 결과 8% 이상부터는 제조는 가능하나 농도가 높아 실린지로 흡입하기 힘들어 제조하기 어려움.
- 젤란검으로 3D printing 제조 결과 2.5w/w%에서는 농도가 낮아 적층 후 퍼져서 적층이 불가능하고, 3w/w%는 제조는 되나 젤란검 소재 특성상 중간에 노즐에 얇은 막이 생겨 막힘.
- 따라서 젤란검 단독으로는 3D printing 제조가 불가능할 것이라 판단되어 한천과 혼합하여 제조함.

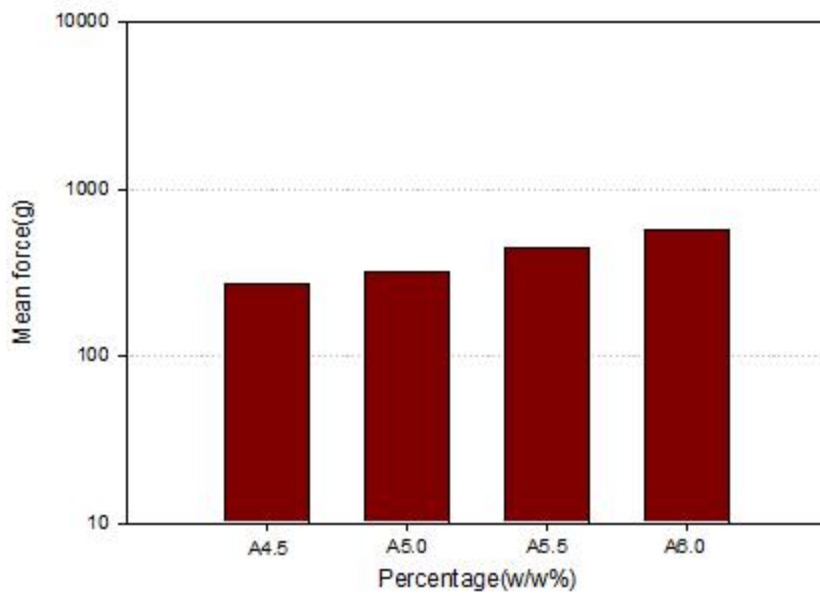
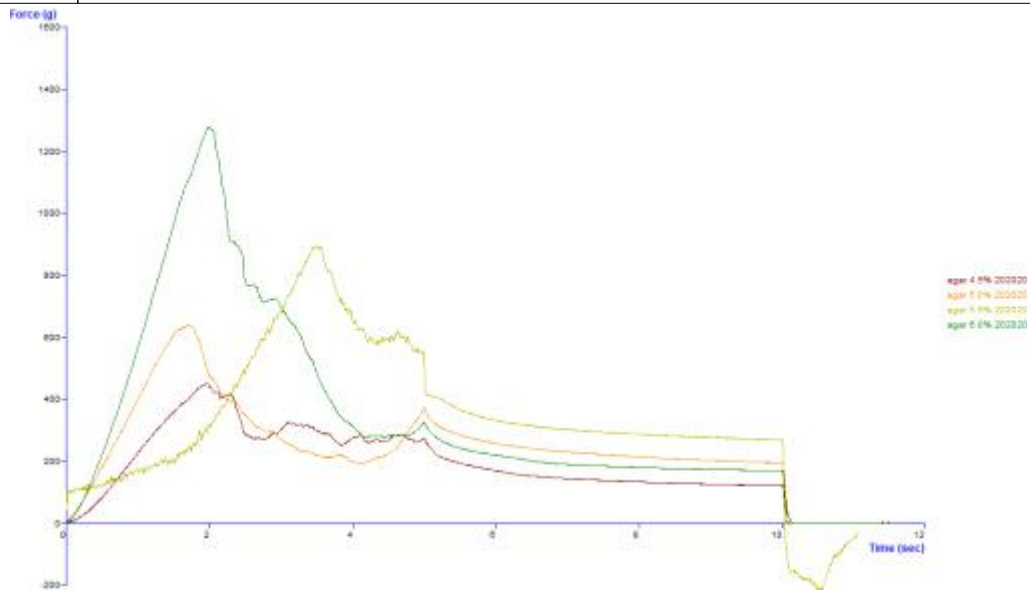
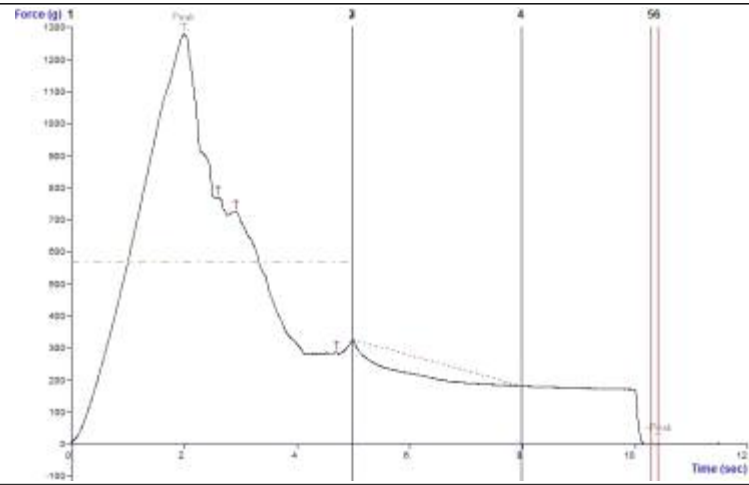
번호	샘플 명		제조 결과		
	agar	gellan gum			
1	4.5w/w %	3.0w/w%			
2	5.0w/w %	3.0w/w%			
3	5.5w/w %	3.0w/w%			
4	6.0w/w %	3.0w/w%			

표 2-23. Agar와 Gellan gum의 혼합 비율별 3D 프린팅된 식품 제조

㉞ Texture analyzer를 이용한 3D 프린팅된 식품의 유변학적 특성 연구

Sample (w/w%)	결과그래프
A 4.5	
A 5.0	
A 5.5	

A 6.0



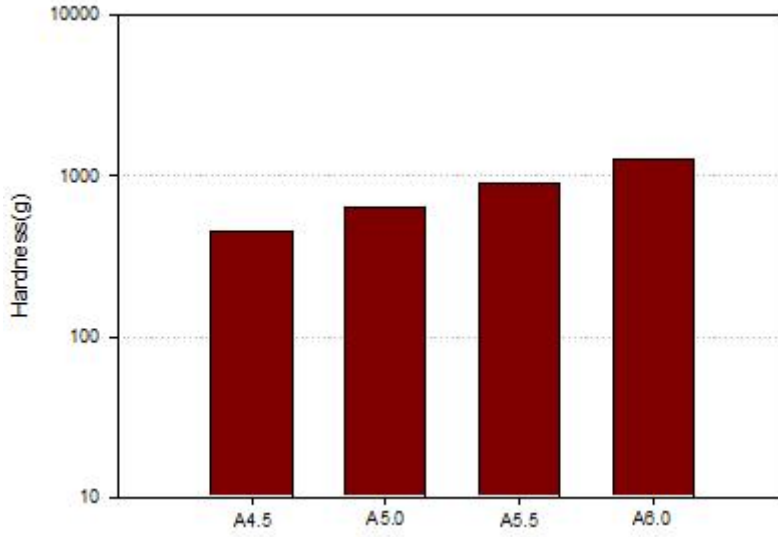
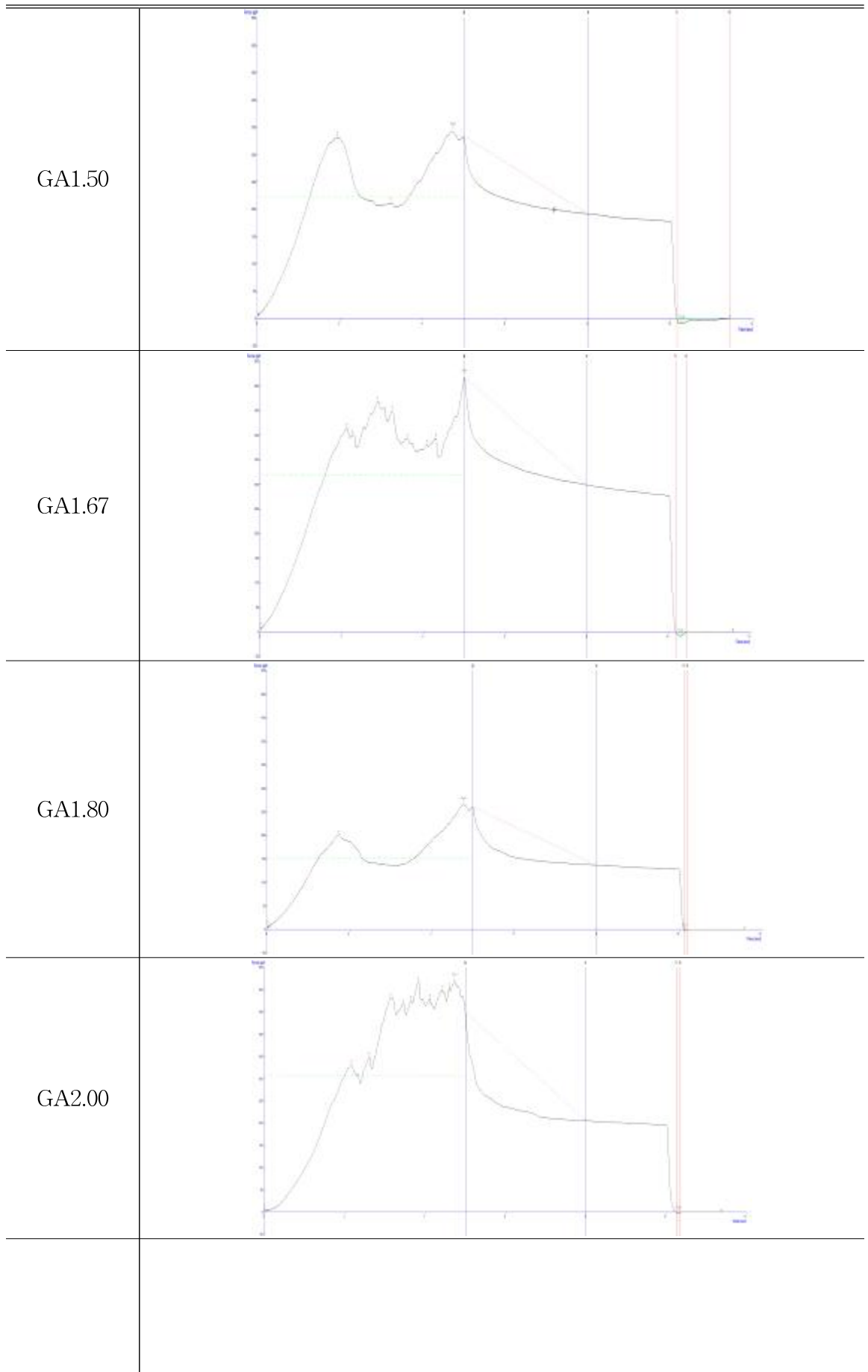


표 2-24. Agar의 농도별 3D 프린팅 된 식품의 물성 비교

sample	평균강도 (g)	바삭함 (g.sec)	최대강도 (g)	최대점착력 (g)	점착 에너지 총량 (g.sec)	응집성 (sec)	탄성
A 4.5	271.775	1028.792	451.967	-5.364	-0.114	0.060	0.9881
A 5.0	315.804	1331.989	641.955	-1.073	-0.018	0.675	0.9983
A 5.5	446.212	3150.565	897.231	-216.882	-85.354	0.510	0.7582
A 6.0	571.058	2421.069	1280.524	-0.834	0.029	0.125	0.9993

표 2-25 . Agar의 농도별 3D 프린팅된 식품의 물성 비교

샘플명	결과그래프
-----	-------



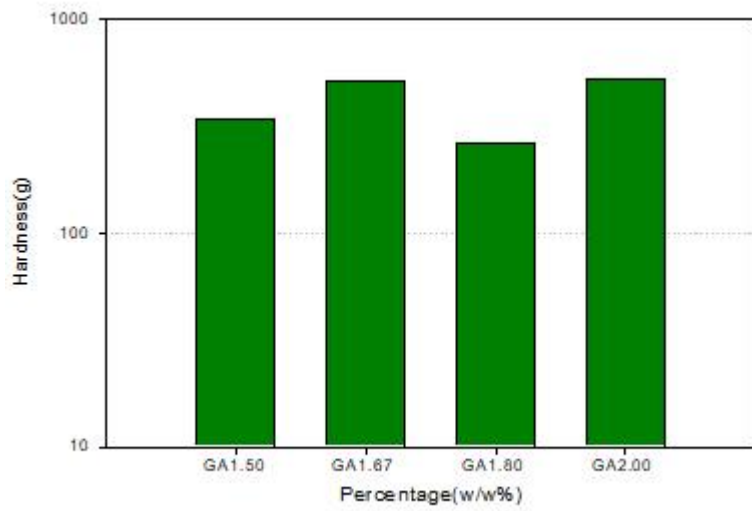
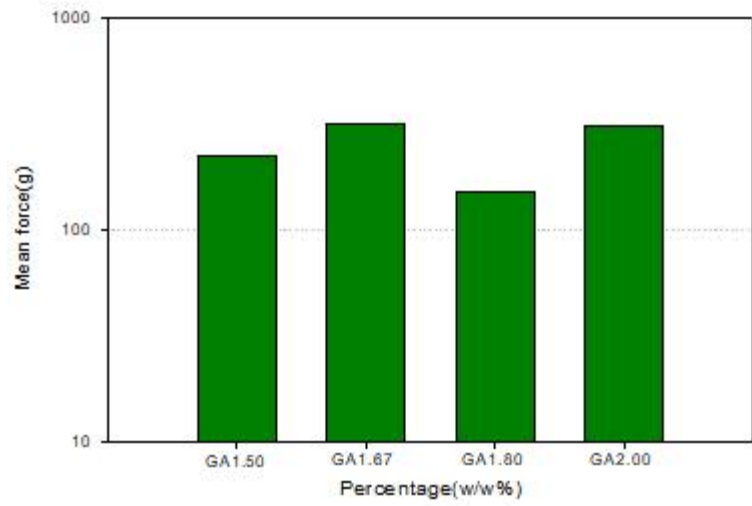
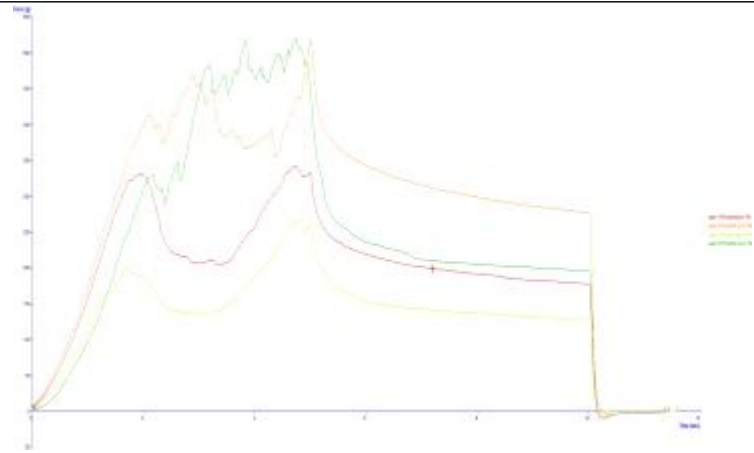


표 2-26. Agar와 Gellan gum의 혼합 비율별 3D 프린팅된 식품의 물성 비교

sample	평균강도 (g)	바삭함 (g.sec)	최대강도 (g)	최대점착 력 (g)	점착 에너지 총량 (g.sec)	응집성 (sec)	탄성
GA1.50	222.69	674.54	343.42	-10.60	-5.05	1.28	0.97
GA1.67	319.77	1048.79	518.76	-9.77	-1.52	0.26	0.98
GA1.80	151.25	489.74	266.27	-3.81	-0.14	0.09	0.99
GA2.00	307.10	1104.49	521.50	-2.86	-0.20	0.11	0.99

표 2-27. Agar와 Gellan gum의 혼합 비율별 3D 프린팅된 식품의 물성 비교

- 압력을 이용한 Hold Test의 경우 일반적으로 Probe가 최저점에 도달할 때까지의 저항력 (강도)은 지속적으로 증가를 함.
- 지속적으로 증가하나 순간적으로 저항력이 낮아졌다 높아졌다를 반복하는 파형은 샘플에 바삭함 (brittleness)의 존재함을 의미함.
- 최저점에 도달하여 5초간 정지하고 있을 때 저항력은 줄어듦. 이때 줄어드는 속도는 탄성을 나타낼수 있음.
- 위와 같은 결론은 한천과 젤란검의 혼합물은 단일소재가 아니고 그 소재의 구성성분이 다르기 때문에(여러 종류의 단당류) 가교를 형성할 때 농도에 의존하지 않는 것으로 보임.
- 아니면 3D product 제조 중에 발생하는 환경적 요인, 기계적 요인으로 인해 변수가 생겼기 때문이라 생각됨.

㉔ 식용재료로 3D 프린팅된 식품과 실제 식품소재와의 특성과 비교 및 검증

sample	평균강도 (g)	바삭함 (g.sec)	최대강도 (g)	최대접착력 (g)	점착 에너지 총량 (g.sec)	응집성 (sec)	탄성
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
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
A 6.0	571.06	1291.01	1280.52	-0.83	0.03	0.13	1.00
A 5.5	446.21	2226.84	897.23	-216.88	-85.35	0.51	0.76
GA 1.67	319.77	1048.79	518.76	-9.77	-1.52	0.26	0.98
A 5.0	315.80	658.76	641.96	-1.07	-0.02	0.68	1.00
GA 2.00	307.10	1104.49	521.50	-2.86	-0.20	0.11	0.99
CHOCOPIE	272.51	964.31	918.72	-14.86	-2.28	0.55	0.98
A 4.5	271.78	479.16	451.97	-5.36	-0.11	0.06	0.99
GA 1.50	222.69	674.54	343.42	-10.60	-5.05	1.28	0.97
GA 1.80	151.25	489.74	266.27	-3.81	-0.14	0.09	0.99
COOKED RICE	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

- 사과, 양갱, 닭가슴살, 소세지, 바나나는 3D 프린팅된 샘플보다 평균강도 및 최대강도가 높음.
- 쿠키다스와 빵은 D 프린팅된 샘플보다 평균강도 및 최대강도가 낮음.
- 초코파이는 D 프린팅된 샘플보다 평균강도 및 최대강도가 비슷함.
- 3D 프린팅된 샘플에서는 GA(한천과 젤란검 혼합물)가 A(한천)에 비해 응집성, 점착력 등이 높음.
- 3D 프린팅된 샘플에서는 A(한천)이 GA(한천과 젤란검 혼합물)에 비해 평균강도 및 최대강도 등이 높음.
- agar 4.5%의 경우 식용 샘플인 초코파이와 평균강도와 바삭함이 비슷하나 최대강도, 점착력, 응집성이 낮아서 서로 상이한 식감을 가질 것으로 예상됨.

② Color Jet Printing 방식의 3D printing에 의해 프린팅 된 식품의 특성 연구

㉞ Color Jet Printing 방식의 3D 프린팅을 위한 4가지 디자인

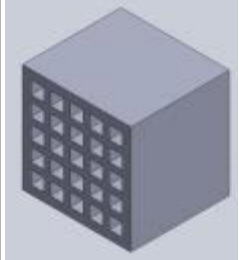
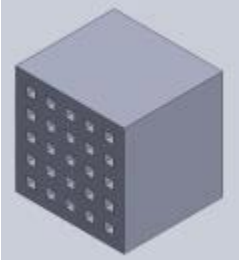

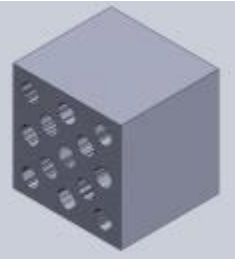




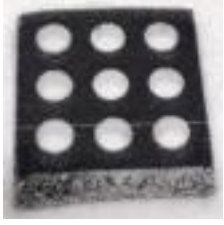

Grid	1	2	3	4
Width xDepth x Height(mm)	22.0x20.0x20.0	22.0x20.0x20.0	22.0x20.0x20.0	22.0x20.0x20.0
Weight(g)	6.20	8.13	6.94	7.14
Volume(mm ³)	6197.12	8131.93	6942.66	7143.43
Area(mm ²)	7658.26	6092.36	4942.62	5354.31
Design				

표 2-28. Color Jet Printing 방식의 3D 프린팅을 위한 4가지 디자인

㉟ 3D 프린터를 이용한 프린팅 식품 제조

sample	옆면	윗면	45°
Malto dextrin grid 1			
Malto dextrin grid 3			




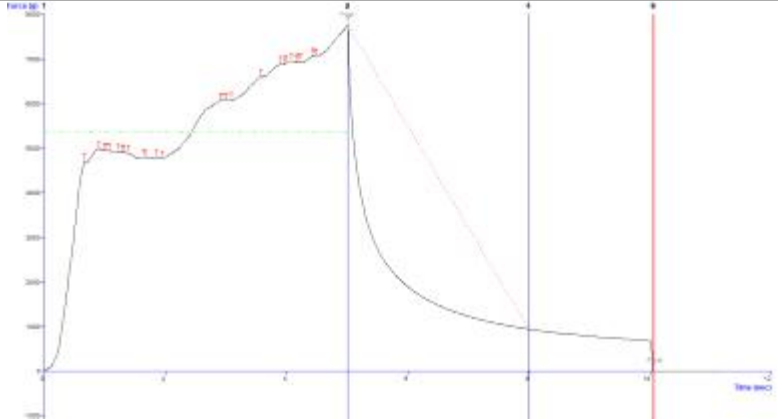
<p>Malto dextrin grid 4</p>			
---------------------------------	---	---	---

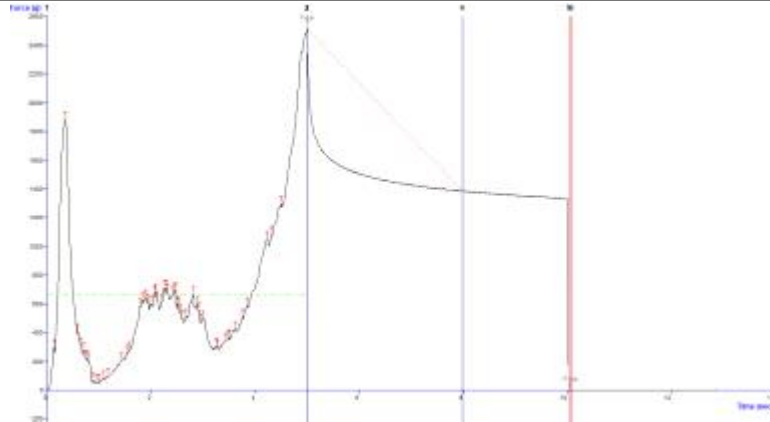
표 2-29. maltodextrin의 grid별 3D 프린팅 식품 제조

- whey protein으로 3D printing 제조 결과 grid가 생기지 않고 powder가 차있어서 제조가 불가능함.
- CJP 기기의 최적 조건을 잡기 위해 기기 조작을 다르게 하여 grid2, 3, 4를 제조함.
- grid1은 한 layer에 spread 1번, jet 3번, 압착 1번 씩 하여 제조함.
- grid3은 한 layer에 spread 1번, jet 2번, 압착 1번 씩 하여 제조함.
- grid4은 한 layer에 spread 1번, jet 2번 씩 하여 제조함.

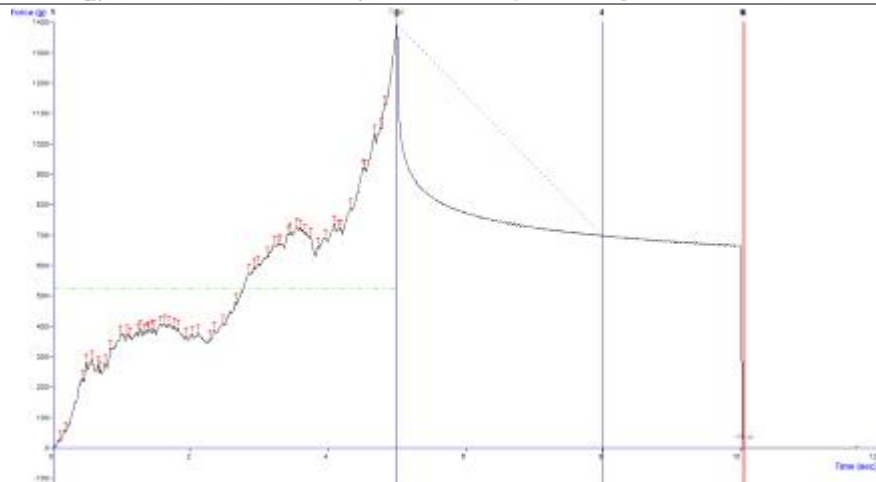
㊦ Texture analyzer를 이용한 3D 프린팅된 식품의 유변학적 특성 연구

샘플명	결과그래프
<p>Malto dextrin grid 1</p>	
<p>Malto dextrin grid 2</p>	

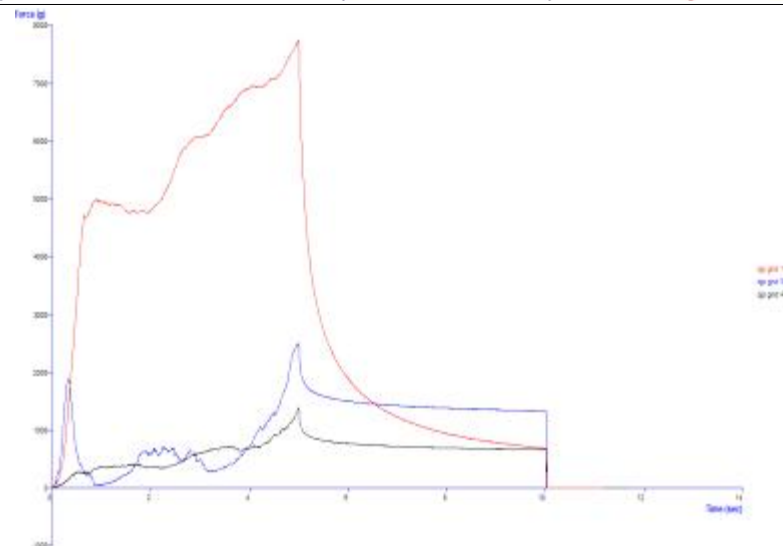
Malto dextrin
grid 3



Malto dextrin
grid 4



전체 그래프



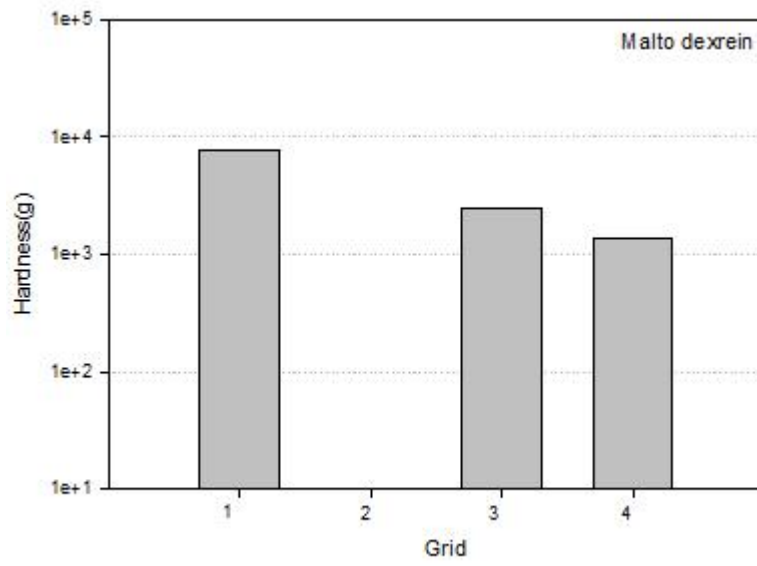
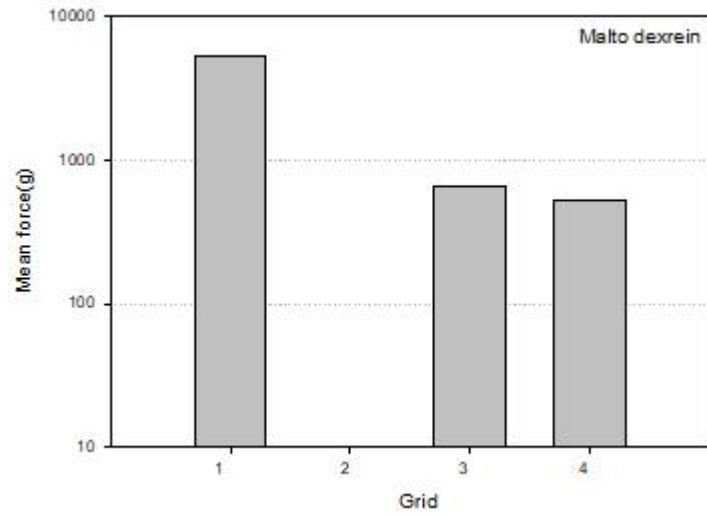


그림 . maltodextrin의 grid별 3D 프린팅된 식품의 물성 비교

표 2-30. maltodextrin의 grid별 3D 프린팅된 식품의 물성 비교

sample (w/w%)	평균강 도 (g)	바삭함 (g.sec)	최대강도 (g)	최대점착 력 (g)	점착 에너지 총량 (g.sec)	응집성 (sec)	탄성
Malto dextrin grid 1	5358.855	9182.646	7754.26	-5.36	-0.042	0.015	1.00
Malto dextrin grid 3	665.735	9810.442	2518.117	-1.669	0.056	0.06	1.00
Malto dextrin grid 4	525.879	3422.097	1394.044	-5.36	-0.057	0.02	1.00

- 실험결과 3D product 제조 중에 발생하는 기계적 조작 조건(jet, 압착 횟수)으로 인한 변수로 인해 오차가 클 것이라 생각됨.

㉔ 3D 프린팅된 식품과 실제 식품과의 물성 특성 비교

sample (w/w%)	평균강도 (g)	바삭함 (g.sec)	최대강도 (g)	최대점착력 (g)	점착 에너지 총량 (g.sec)	응집성 (sec)	탄성
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
cjp 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
cjp grid3	665.735	9810.442	2518.117	-1.669	0.056	0.06	1.00
cjp 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
COOKED RICE	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

- 사과, 에너지바는 3D 프린팅된 샘플보다 평균강도 및 최대강도가 높음.
- 양갱, 닭가슴살, 소세지, 바나나는 3D 프린팅된 샘플과 평균강도 및 최대강도가 비슷함.
- 초코파이, 쿠키다스, 빵은 3D 프린팅된 샘플보다 평균강도 및 최대강도가 낮음.
- 3D 프린팅된 샘플에서는 grid1(jet 3번)이 grid3,4(jet 2번)에 비해 평균강도 및 최대강도 등이 높았는데 이는 제조 시 물의 양이 많아져 같은 높이를 제조해도 들어가는 가루양과 단단함이 증가했기 때문이라 생각됨.

(3) 식품 3D 프린팅용 카트리지 개발을 위한 식품 소재 탐색 (가톨릭대학교)

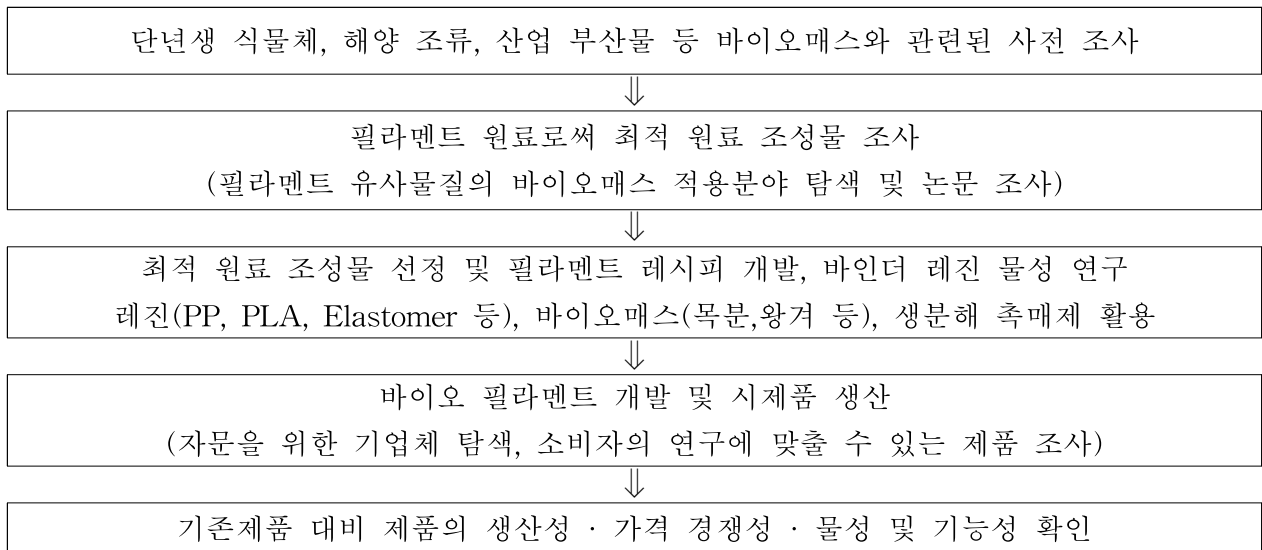
(가) 조직, 텍스처 등 사전 연구를 위한 바이오 플라스틱 원료 및 바이오 필라멘트 개발

- 분말 액상 등을 SLS(Selctive laser sintering) 방식 등에 적용한 식품의 물성을 예측하기 위한 사전연구의 일환으로 식물성 바이오매스, 고분자 등을 이용하여 바이오 필라멘트를 이용한 물성을 알아보기 위하여 FDM(Fused deposition modeling)으로 사전 시험을 추진하였음.

(나) 탄소중립 형(Carbon neutral) 바이오매스 탐색 및 조성물 탐색과 바이오 필라멘트 개발

- 식물, 미생물 등의 바이오매스는 대기 중의 CO₂ 를 흡수해 자라기 때문에, 폐기 후에 화학 분해되어도 지구 대기 중의 이산화탄소 총량은 변하지 않는다는 것을 활용하여 3D프린터 필라멘트 제작을 위한 소재 탐색을 시작하였다. 이외에 바이오 필라멘트 범주에 포함되는 생분해성, 산화생분해 필라멘트 제작도 함께 진행되었음.

표 3-1. 바이오 필라멘트 개발 진행과정



① 바이오 필라멘트 제조용 산화생분해 바이오 펠릿 개발

- 바이오 필라멘트의 재료로 PLA, Wood, Elastomer, PP, 산화생분해 바이오 펠릿(TGR), 식물체 바이오매스(왕겨, 목분, 숯 등), 필러 등을 선정하였음.
- 선정된 원료인 Inorganic filler(CaCO₃), 생분해 촉매제인 Fe²⁺, 이중결합을 가진 자동산화제로 불포화지방산(Soybean oil), 왁스, 그리고 금속이온 활성화제로 유기산(Citric acid) 및 바인더 레진(LLDPE)을 믹서에 투입한 다음, 500 rpm으로 100±10℃에 도달할 때 까지 혼합 및 수분건조를 수행하여 제조했다. 압출성형기를 이용하여 배럴 온도 170℃, 스크류 회전속도 800 rpm으로 스트랜드를 제조하였고, 수분 재흡수 문제 방지를 위해 공랭식으로 냉각한 다음, 이를 2-3 mm 크기로 커팅 하여 산화생분해(Oxo-biodegradable, Oxo-bio) 바이오 펠릿(TGR)을 제조하였고 그 성분비는 표 3-2와 같다.

표 3-2. 산화생분해 바이오 펠릿 성분비

Function	Recipes (%)	Materials
Inorganic filler	20	CaCO ₃ , talc
생분해 촉매제	1.0	Metal salt : Al, Fe, Ni
바인더 레진	75	Linear low density polyethylene (LLDPE)
자동 산화제	1.5	Unsaturated fatty acid
윤화제	3.0	Waxes
산화 촉매제	1.0	Organic acids (malic acid, citric acid etc)

② 바이오 필라멘트 제작

- 제조된 바이오 펠릿, PLA, PP, ABS, 식물체 바이오매스 등 급냉이 가능한 소재 등을 이용하여 필라멘트 제작 업체에 의뢰하여 개질 PLA 필라멘트, 산화생분해 ABS 필라멘트, 연질의 플렉시블 필라멘트, 우드 플라스틱 4종을 제작하였음. 바이오 필라멘트 제작을 의뢰한 원료 레시피는 아래 표 3-3.와 같음

표 3-3. 바이오 필라멘트 원료 레시피

(1) PLA filament (생분해 필라멘트)

구분	합량(%)	비고
개질 PLA	89	열안정성과 물성 강화 PLA
탄산칼슘	10	
왁스	1	
합계	100	

(2) Bio ABS filament (바이오 ABS 필라멘트)

구분	합량(%)	비고
ABS	88	
TGR	1	산화생분해 바이오 펠릿
탄산칼슘	10	
왁스	1	
합계	100	

(3) Bio Flexible filament (바이오 연질 필라멘트)

구분	합량(%)	비고
Elastomer	88	SK Soulmer 875
TGR	1	산화생분해 바이오 펠릿
탄산칼슘	10	
왁스	1	
합계	100	

(4) Wood filament (우드 필라멘트)

구분	합량(%)	비고
Wood	30	목분
Homo PP	58	Homo HCPP HX3300H
TGR	1	산화생분해 바이오 펠릿
탄산칼슘	10	
왁스	1	
합계	100	

상기 레시피로 제작한 3D 프린팅용 바이오 필라멘트는 아래 그림 3-1.과 같음

	
<p>PLA filament</p>	<p>Bio ABS filament</p>
	
<p>Bio Flexible filament</p>	<p>Wood filament</p>

그림 3-1. 3D프린팅용 바이오 필라멘트

③ 시제품 제작 실험

- 바이오 필라멘트 생산을 완료 후, 3D 프린팅 시제품 제작 실험을 추진하였고, 추가로 협동기관인 이화여대에서 조직감 등 연구를 별도 추진하였음.
- 바이오 필라멘트를 이용한 다양한 3D 프린팅 제품 제작 실험을 하였고, 관련 시제품은 아래 그림 3-2.와 같음.

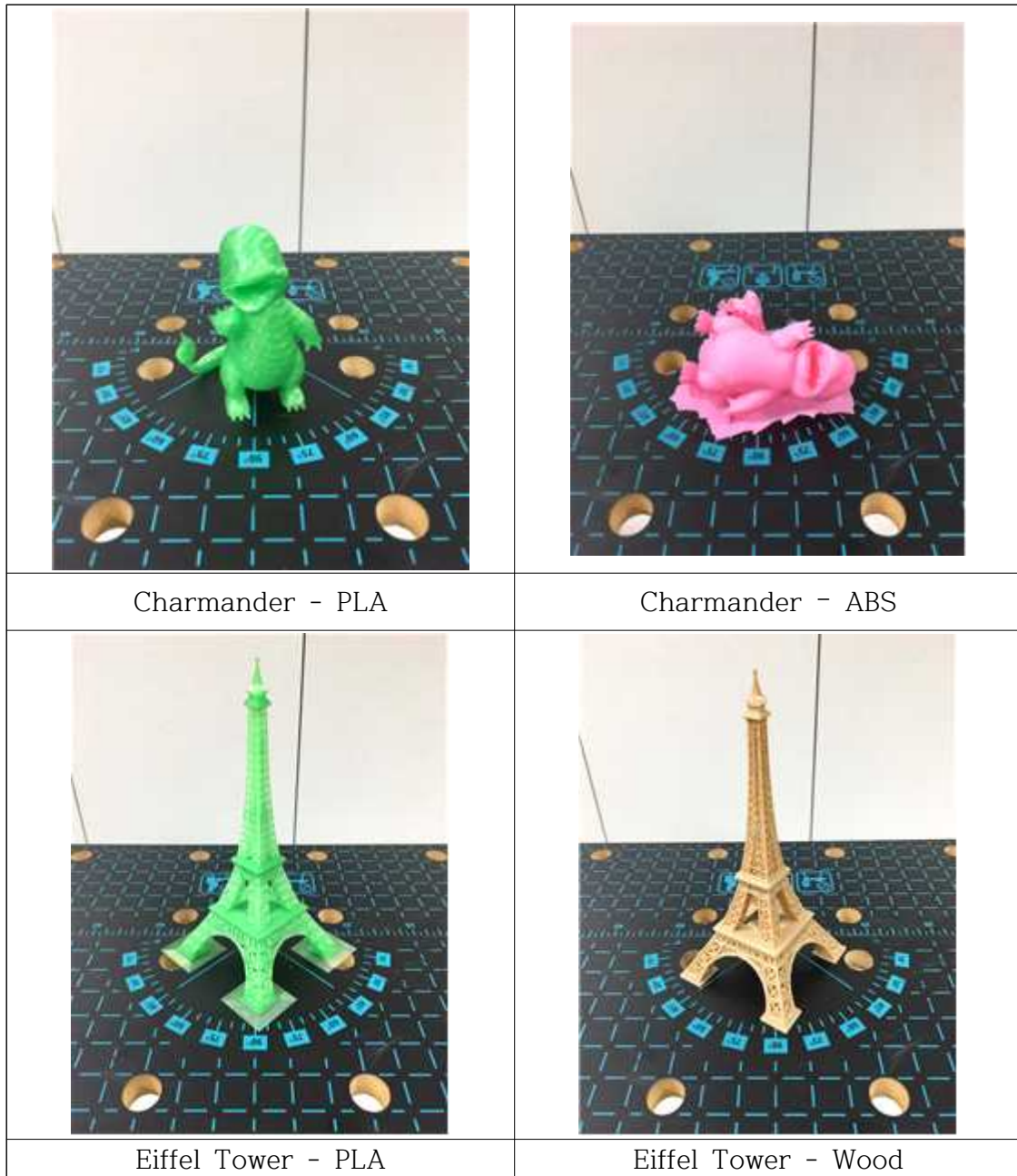


그림 3-2. 바이오필라멘트를 이용한 시제품 출력물

- PLA 필라멘트는 열린 프린터 시스템에서도 경화가 효율적으로 되었고, 바이오 ABS 필라멘트는 외기 온도 변화의 수축율에 큰 변화가 있었음. PLA 필라멘트는 에펠탑 난간부분이 선명하게 적층되지 않았고 PLA 필라멘트에 비해 Wood 필라멘트는 노즐에서 압출량이 적당하여 제작에 효율적이었음.

- 제작된 바이오 필라멘트중 엘리스토머인 Bio Flexible filament 필라멘트는 사용한 3D 프린터로는 제작이 불가능하였음. 익스트루더에서 나오기까지 노즐의 거리가 멀어 나오는 도중 굳어버려 노즐이 막히는 현상이 발생하였음, 이에 따라 엘라스토머의 낮은 녹는점 및 초급냉 특성을 개선할 필요가 있었음.
- 반면에 PLA filament, Bio ABS filament, Wood filament의 경우 제품을 생산할 수 있었음. 다만 Bio ABS filament의 경우 ABS 이 특성상 수축성이 심해 출력 조건을 다양하게 한다면 출력을 할 수 있을 것으로 생각됨.
- Eiffel Tower의 경우 가장 난이도가 높았음에도 PLA, Wood filament로 문제없이 생산되었음. 그렇지만 Bio ABS filament로는 생산은 가능하지만 다른 문제점을 고려하여 생산을 중지했는데 이는 ABS 소재의 단점인 열을 가했을 때 냄새가 나는 점 때문에 작업실 환경상 환기를 시켜야 하였고, 이때 외부에 낮은 온도의 공기가 들어와 ABS 필라멘트의 수축성이 더욱 심해져 제품 생산 도중 수축으로 인해 원활한 출력이 되지 않기 때문이었지만, 이런 문제 또한 작업실 환경과 3D 프린트 장비를 사용하여 생산이 가능할 것으로 판단됨.
- Pencil Vase 제품의 경우 PLA filament, Bio ABS filament, Wood filament 세 가지 바이오 필라멘트 모두로 큰 문제없이 생산할 수 있었다. Wood의 경우 슬라이싱이 고르게 쌓이지 못했지만 이는 큐라 설정의 문제로 제품을 생산하는 것에는 문제가 없었음.

(다) 3D 프린터용 바이오 필라멘트 시제품 제조

- 1차 년도에 개발한 딱딱한 소재인 PLA, ABS, Wood와 달리 실제 식품과 유사한 물성을 표현하기 위해 연질 바이오 필라멘트의 개발이 필요할 것으로 사료되어, 연질 기능을 부여할 수 있는 소재를 필라멘트에 첨가하여 바이오 필라멘트 개발을 하였음.
- 3D 프린터용 바이오 필라멘트를 제조하기 위해 바인더 레진으로 고분자 소재이며 연질 소재인 TPR(Thermo Plastic Rubber), 경질소재인 PP(Poly Propylene)와 PETG(Polyethylene Terephthalate Glycol)를 사용하였고, 산화생분해성을 유지하기 위해 1차 년도에서 개발한 산화생분해(Oxo-biodegradable, Oxo-bio) 바이오 펠릿(TGR)을 블렌딩하여 필라멘트를 개발하였음.

① 프린팅에 적합한 바이오 연질 필라멘트 개발

- 바인더레진으로 사용한 고분자 소재 PP, PETG, TPR 및 TGR을 이용하여 바이오 필라멘트를 제조하였음. TPR의 경우 러버 함유량에 따라 연질특성이 변화하는데 연질도에 따라 연질 특성이 매우 우수한 TPR 20, 연질도가 중간인 TPR 50, 연질도가 낮은 TPR 70을 사용하여 연질도가 다른 3종의 필라멘트를 제조하였음. 제조에 사용한 설비는 (주)포던테크의 소형 익스트루더 필리봇(모델명: FILIBOT, 사이즈: 440(D)*195(H)*270(W), 중량: 12kg)을 사용하였음.
- 바이오 연질 필라멘트 개발을 위한 소형 필리봇의 설정 값은 스크류의 회전속도 단계별로 1~10, 노즐 온도는 최대 230℃로 조절이 가능하였고, 1차 실험결과 회전속도는 5, 온도는 200℃로 설정했을 때 가장 적합하였음. 사용한 노즐 팁의 직경은 1.9mm이고, 공랭식으로 생각하여 직경 $1.75 \pm 0.2\text{mm}$ 의 필라멘트를 제조하였고, 각 필라멘트의 배합비는 아래 표 3-4와 같음.

표 3-4. 연질도 조절 바이오 연질 필라멘트 배합비

(단위: w/w%)

구분	바이오 연질 필라멘트 1	바이오 연질 필라멘트 2	바이오 연질 필라멘트 3	비고
TPR 20	99	-	-	
TPR 50	-	99	-	
TPR 70	-	-	99	
TGR	1	1	1	생분해 촉매제
합계	100	100	100	

- 제조된 연질도를 조절한 바이오 연질 필라멘트를 (주)링크솔루션의 FDM 방식 3D 프린터인 Link Pro+를 이용해 프린팅을 진행하였음. 수차례 사전 프린팅 실험을 통하여 결정된 프린팅 조건은 노즐온도 210℃, 베드온도 50℃, 프린팅속도 10mm/s 이었으나, 프린팅 도중 필라멘트의 연질도가 너무 높아 3D 프린터의 필라멘트 공급 기능을 수행하는 익스트루더의 내부 톱니 사이에 계속해서 끼이는 현상이 발생하였음. 프린팅속도를 10mm/s이하로 진행하여도 개선되지 않음, 이는 현재 FDM 방식 프린터의 한계점으로, 연질 필라멘트 전용 프린터가 출시되기 이전엔 사용이 어려워 보여 개발을 중단하였음. 이러한 필라멘트 공급문제를 개선하기 위해 경도 보강 물질을 첨가하여 필라멘트를 제조할 필요가 있었음.
- 경질 소재인 PP, PETG와 연질 소재인 TPR을 혼합하여 필리봇을 통해 필라멘트 제조 실험을 진행하였는데, TPR 20과 TPR 50이 함유된 경우 상용성이 부족하여 필라멘트의 표면이 거칠고 직경이 일정하지 않게 형성되는 단점이 있었음. TPR 70의 경우 필라멘트 표면이 매끄럽고 직경도 일정하게 유지되었음. 따라서 필라멘트 제조에는 TPR 70이 적합한 것으로 사료되어 향후 필라멘트 제조에 첨가되는 연질 소재를 TPR 70으로 선정하여 수행하였음.
- 또한 추가적으로 원가 절감을 위해 광물질을 첨가하여 다음 표 3-5.과 같은 필라멘트를 개발하였음.

표 3-5. 광물질 바이오 필라멘트 배합비

(단위: w/w%)

구분	광물질 바이오 필라멘트 1	광물질 바이오 필라멘트 2	비고
PP	48	-	
PETG	-	48	
TPR 70	48	48	
광물질	3	3	탈크(Talc)
TGR	1	1	생분해 촉매제
합계	100	100	

- 연질도 조절 바이오 필라멘트와 마찬가지로 동일 기기인 필리봇을 이용하여 필라멘트를 제조하였음. PP와 PETG는 서로 녹는점이 다르기 때문에 필리봇의 노즐 온도를 변경할 필요가 있었는데, 바이오 필라멘트 1의 경우는 회전속도를 6, 노즐온도를 200℃로 설정하였고, 바이오 필라멘트 2의 경우에는 회전속도를 6, 노즐온도를 180℃ 설정한 뒤, 두 필라멘트 모두 공랭식으로 냉각하여 제조하여 Link Pro+를 사용하여 2종의 필라멘트를 프린팅 하였음.

- PP가 함유된 바이오 필라멘트 1의 경우에는 노즐온도를 210℃, 베드온도를 100℃, 프린팅 속도를 40mm/s로 설정하여 프린팅을 진행하였음. PETG가 함유된 바이오 필라멘트 2의 경우에는 노즐온도를 190℃, 베드온도를 50℃로 설정하고 속도는 동일하게 40mm/s로 설정하여 프린팅을 진행하였음.
- 실험 결과 두 종류의 필라멘트 모두 노즐 막힘에 의해 프린팅이 불가능하였는데, 이는 광물질인 탈크의 영향으로 보임. 탈크의 특성 상 부착성이 좋고 열팽창 계수가 높기 때문에 노즐 안에서 부풀어 올라 막힘 현상을 유발하는 것으로 추측되고 실제로 노즐을 떼어냈을 때 안쪽에 끈적거리는 물질이 묻어나왔기 때문에 추가적인 소재 적용 시 열팽창률이 낮고, 점착성이 낮은 물질을 선택하여 개발할 필요가 있었음.
- 분말 형태의 소재를 사용하여 프린팅하는 SLS(Selective Laser sintering) 방식의 3D 프린터라면 정상적인 출력물을 완성할 수 있을 것이라 사료되나, 이번 연구는 FDM에 사용되는 바이오 필라멘트를 개발하는 것이기 때문에 탈크 첨가를 중단하고,

다음 표 3-6.와 같은 경도 보강 바이오 필라멘트를 제조하였음.

표 3-6. 경도 보강 바이오 필라멘트 배합비

(단위: w/w%)

구분	경도 보강 바이오 필라멘트 1	경도 보강 바이오 필라멘트 2	경도 보강 바이오 필라멘트 3	경도 보강 바이오 필라멘트 4	비고
PP	49.5	69.3	-	-	
PETG	-	-	49.5	69.3	
TPR 70	49.5	29.7	49.5	29.7	
TGR	1	1	1	1	생분해 촉매제
합계	100	100	100	100	

- 다양한 경도를 가진 필라멘트 제조를 위해 TPR 70의 비율을 조정하였음. TPR 70의 비율이 낮을수록 경도가 강해지고 연질도가 낮아졌음.
- 마찬가지로 필리봇을 사용하였고, 경도 보강 바이오 필라멘트 1, 2는 회전속도 6, 노즐온도 200℃로 설정한 후, 공랭식으로 냉각하여 제조하였고, 경도 보강 바이오 필라멘트 3, 4는 회전속도 6, 노즐온도 180℃로 설정한 후, 공랭식으로 냉각하여 제조하였음.
- 바이오 필라멘트 1, 2는 Link Pro+의 노즐온도를 210℃, 베드온도를 100℃, 프린팅속도를 40mm/s로 설정하여 프린팅 하였고, PETG가 함유된 경도 보강 바이오 필라멘트 3, 4는 노즐온도를 190℃, 베드온도를 50℃, 프린팅속도를 40mm/s로 설정하여 프린팅 하였음.
- 프린팅 결과 연질도 조절 바이오 필라멘트, 광물질 바이오 필라멘트와 달리 필라멘트 끼임 현상과 노즐 막힘 없이 원활하게 프린팅이 진행되었음.
- 프린팅은 원활하게 진행되나 출력물이 3D 프린터의 베드에 안착이 어려워 프린팅 도중 출력물 전체가 노즐이 움직이는 방향으로 이동하거나, 비틀림 현상에 의해 출력물 형상 구현이 어려워 추가적인 베드 안착실험을 진행하였음.

② 경도 보강 바이오 필라멘트의 안착실험

- PP, PETG, TPR은 기본적으로 고분자 물질이기 때문에 베드 안착을 위한 보조물질 또한 고분자 물질로 이루어져야 출력물과 보조물질과의 결합에 의한 안착이 안정적으로 일어나 출력물의 이동을 방지할 수 있음.
- 다음 표 3-7.는 베드 안착을 위해 사용한 보조물질과 그 성분임.

표 3-7. 사용한 보조물질의 성분 및 안착도

구분	코팅 성분	베드 안착
마스킹 테이프	Paper	불가
OPP 테이프	Oriented Polypropylene	불가
청 테이프	PE(Polyethylene)+Cloth	우수
PS 테이프	Polyester	보통
캡톤 테이프	Polyimide	불가

- 마스킹 테이프는 구성성분이 종이이기 때문에 기본적으로 경도 보강 바이오 필라멘트와 결합하지 않아 안착에 실패하였고, OPP테이프의 경우 경도 보강 바이오 필라멘트 성분 중 PP가 포함되어 있기 때문에 잘 부착될 것으로 예상했으나 안착에 실패하였음. 이는 테이프 표면이 너무 매끄러워서 일어난 현상으로 추측됨.
- 청 테이프의 경우 PE가 포함되어 있는데 PE도 고분자 물질이며 PP와 특성이 유사하고 표면이 거칠기 때문에 안착이 잘 된 것으로 생각됨.
- PS 테이프의 경우 어느 정도 안착이 되나 표면의 매끈함 때문에 프린팅 중간에 틀어지는 현상이 일어났고, 캡톤 테이프의 경우 안착에 실패하였음.
- 따라서 경도 보강 바이오 필라멘트를 통한 3D 프린팅은 청 테이프 코팅을 통해 진행되었음. 베드 안착 실험 후 각 필라멘트 별 출력물을 아래의 그림 3-3.에 나타내었음.

	
경도 보강 바이오 필라멘트 1	경도 보강 바이오 필라멘트 2
	
경도 보강 바이오 필라멘트 3	경도 보강 바이오 필라멘트 4

그림 3-3. 필라멘트 별 출력물

- PP가 함유된 경도 보강 바이오 필라멘트의 경우 TPR 70의 함유량이 높은 바이오 필라멘트 1은 프린팅 도중 적층이 원활히 이뤄지지 않아 끊어진 단면을 볼 수 있고, TPR 70 함유량이 낮은 바이오 필라멘트 2는 최종 큐브 형태까지 원활하게 프린팅 되었음.
- PETG가 함유된 경도 보강 바이오 필라멘트의 경우 TPR 70의 함유량이 높은 바이오 필라멘트 3은 프린팅 도중 적층이 원활히 이뤄지지 않아 끊어진 단면을 볼 수 있고 바이오 필라멘트 4는 완성품까지 프린팅에 성공하였음.
- TPR 70의 함량이 높은 바이오 필라멘트 1, 3은 프린팅 중간에 출력물이 끊기는 현상을 보여줬고, TPR 70의 함량이 상대적으로 적은 바이오 필라멘트 2, 4은 정상적으로 프린팅 되었음.
- 이는 TPR 70의 물성이 원인으로 보이며 연질도 조절 바이오 필라멘트 또한 프린팅이 어려웠기 때문에 필라멘트의 연질도가 프린팅 품질에 영향을 미치는 것으로 추측됨. 따라서 출력물의 완성이 어려운 바이오 필라멘트 1, 3은 향후 프린팅 실험에서 제외하였음.
- 경도 보강 바이오 필라멘트 4번의 경우 출력물이 완전히 생성되었지만 표면조도 및 완성도가 경도 보강 바이오 필라멘트 2번에 비해 현저하게 떨어져서 프린팅 실험에서 제외하기로 하였음. 이는 PETG와 TPR의 물성이 원인으로 보이는데 TPR의 적정 출력온도가 PETG의 출력 온도보다 높고, 두 성분이 물성에 차이가 있어 서로 혼합이 잘 안되기 때문에 위에서 제조한 필라멘트의 구성이 균일하지 못하여, 필라멘트 내부에 PETG와 TPR이 분리된 부분이 존재함. 따라서 표면이 거칠고 공극이 많은 출력물이 나왔을 것이라 추측됨.
- PP가 함유된 경도 보강 바이오 필라멘트 2의 경우 프린팅한 결과물이 타 필라멘트보다 우수하여, 프린팅에 가장 적합한 바이오 필라멘트로 선정하여 다음 실험을 진행하였음. 3D 프린팅에 사용한 소프트웨어의 세부 설정 값 조정 전 프린팅한 제품이라 윗면의 완성도가 떨어졌는데, 이를 보완하기 위해 세부 설정 값 조정을 통하여 프린팅 출력물의 완성도를 높이는 실험을 진행하였음.

③ 3D 프린터용 소프트웨어의 설정 값 조정 실험

- 3D 프린팅에 가장 활발하게 사용되는 소재이기도 하며 출력물의 완성도가 높은 PLA 필라멘트를 통해 소프트웨어의 세부사항을 조정하였다. 프린팅에 사용한 프린터는 Link Pro+를 사용하였고, 3D 프린터용 소프트웨어는 Cura 2.7.0과 Simplify3D를 사용하였음. 기본적으로 같은 필라멘트를 사용하였기 때문에 노즐온도는 190℃, 베드 온도는 50℃로 고정하였고, 내부 채우기 또한 25%, 적층 높이는 0.2mm, 쿨링 팬 속도를 100%로 고정시켰음. 베드 안착을 위해 PLA에 적합한 마스킹 테이프를 사용하였고 그 밖의 다른 설정 및 출력물은 아래의 그림 3-4.과 같음.

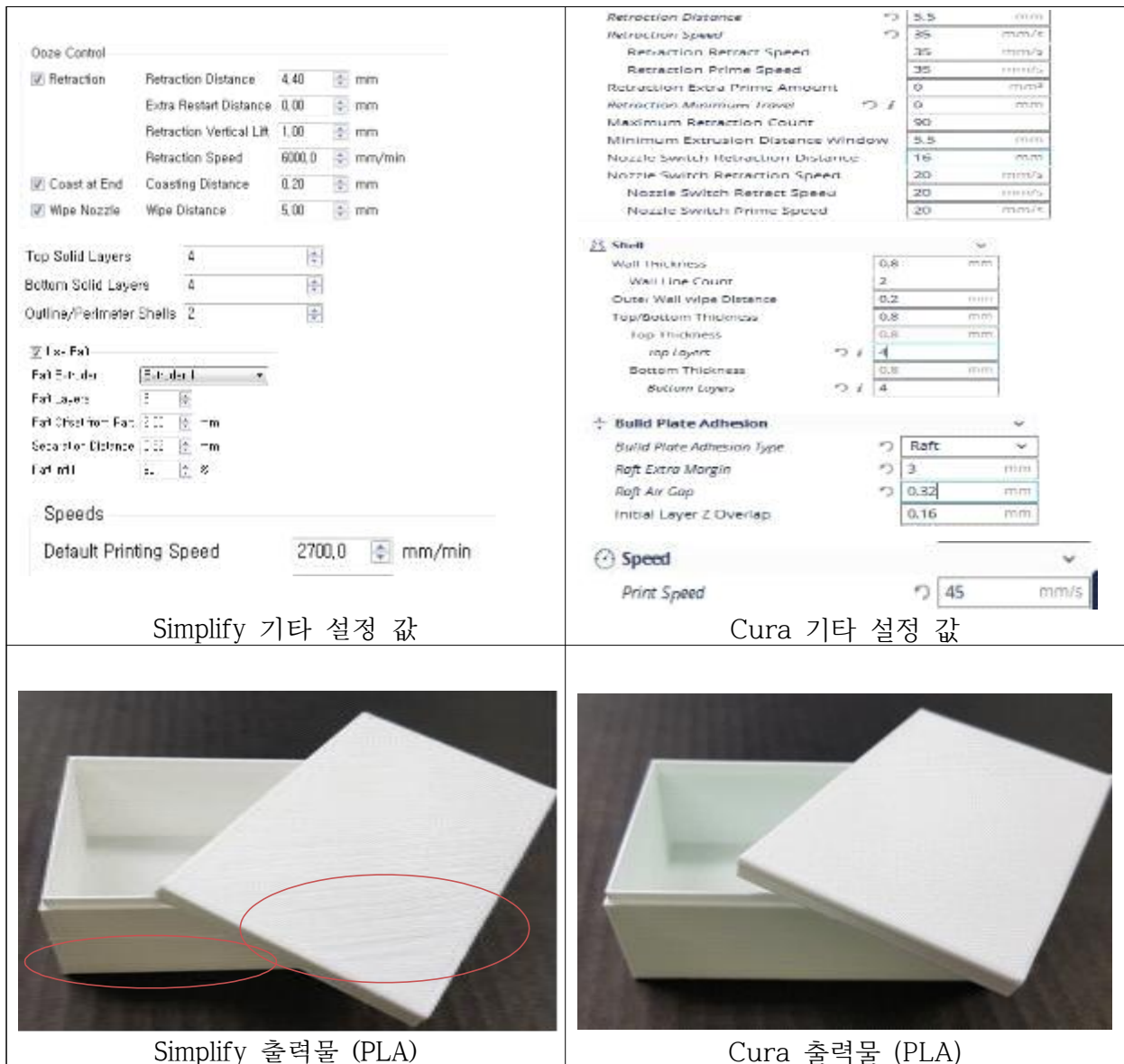


그림 3-4. Simplify3D, Cura 2.7.0 세부 설정 값 및 출력물

- 프린팅 속도를 동일하게 하여 프린팅을 한 결과 측면 및 윗면의 표면상태가 Cura를 사용한 출력물이 우수하였음. 이는 Cura의 세부설정사항이 Simplify보다 다양하게 존재하기 때문에 더 세밀한 조정이 가능하기 때문인 것으로 보임. 따라서 이후 경도 보강 바이오 필라멘트를 이용한 3D 프린팅은 Cura를 이용하여 진행하였음.

④ 프린팅 설정 추가 조정 및 시제품 제작

- Link Pro+를 통해 위에서 선정한 경도 보강 바이오 필라멘트 2과 Cura 소프트웨어를 사용하여 시제품을 제작하였으나 PP의 특성상 온도변화에 따른 수축이 일어나기 때문에 시제품의 완성도가 떨어지는 문제점이 있었고 초기 출력물의 사진을 그림 3-5.에 초기 출력물의 사진을 나타내었음



그림 3-5. 초기 출력물

- 경도 보강 바이오 필라멘트 2를 이용하여 프린팅한 베드 안착 실험용 출력물과 달리 바닥 면적이 넓은 출력물이었기 때문에 수축이 눈에 띄게 일어났고, 그로 인해 바닥과의 안착이 실패하여 프린팅 도중 베드에서 분리되었음.
- 이를 최소화하기 냉각팬의 속도를 0으로 설정하였고, 베드와 더욱 강하게 결합할 수 있도록 청 테이프와 딱풀을 같이 사용하였고. 추가적으로 변경한 세부 설정을 다음 표 3-8.에 나타내었음.

표 3-8. 추가 변경한 세부설정

변경 항목	기존 설정	변경 후 설정
보조 물질	청 테이프	청 테이프 + 딱풀
쿨링팬 속도	100%	0%
Raft 설정		
프린터 환기	O	X
Z-offset	1.50	1.55

- Raft 설정은 출력물의 베드 안착에 도움이 되기 때문에 Raft Extra margin, Raft Air gap, Initial layer Z overlap의 설정 값을 수정하여 진행하였고, 환기를 막아 외부공기의 유입을 최소화하여 온도를 일정하게 유지할 수 있도록 하였음.
- Z-offset은 익스트루더에 달린 센서가 바닥에 닿았을 때의 노즐 팁과 베드와의 간격을 조절하는 값이며, Z-offset의 값이 커질수록 노즐 팁과 베드 사이의 간격이 좁아져 베드 안착에 도움을 줄 수 있고. 추가 변경 후 프린팅한 최종 출력물을 아래의 그림 3-6.에 나타내었음.

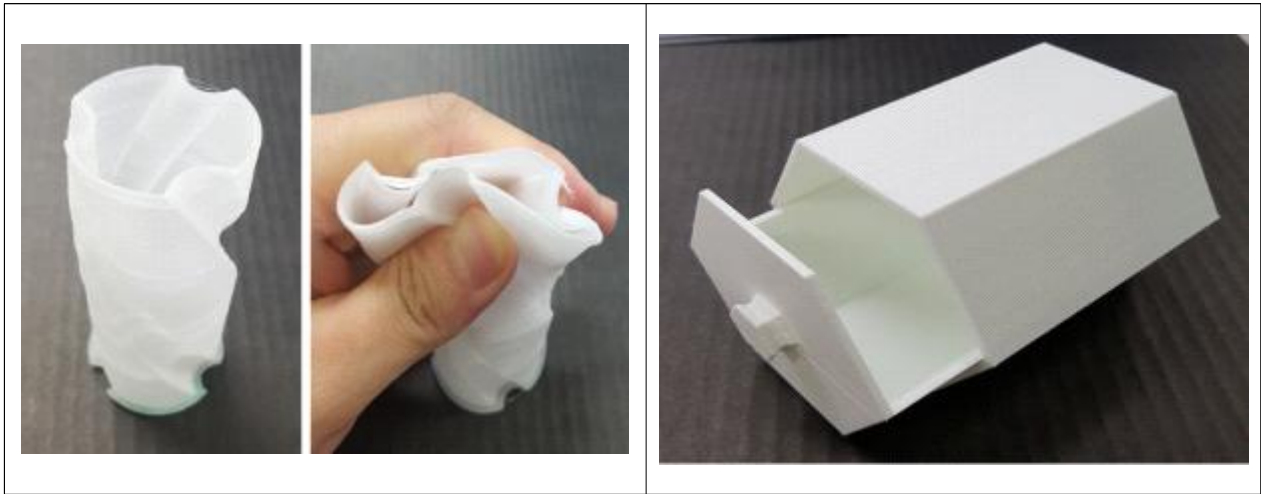


그림 3-6. 경도 보장 바이오 필라멘트 2를 이용한 최종 출력물

- 베드 안착을 위해 소프트웨어 설정 중 Raft를 사용하고, 쿨링팬, 딱풀 등을 이용하여 결합력을 더 강화한 경우 청 테이프와 출력물과의 결합은 강하게 일어났지만 PP 특유의 수축력이 청 테이프의 점착성보다 강하여 테이프자체가 조금씩 들렸기 때문에 바닥 부분의 완성도가 PLA와 ABS 소재보다 다소 떨어지는 면이 있었는데 이는 청 테이프는 고무계열 점착제를 사용하는데, 온도가 높아질수록 점착력이 감소하기 때문에 일어나는 현상으로 보임.
- 이후 적절한 베드 안착용 보조물질 및 아크릴계열 점착제를 이용한다면 이를 보완하여 더욱 완성도 높은 제품을 생산할 수 있을 것이라 사료됨. 또한 제작한 출력물은 연질 소재인 TPR이 포함되어 있었기 때문에 말랑말랑한 촉감을 갖고 있고, PLA와 ABS로 프린팅된 제품과 달리 깨지거나 파손될 우려가 적음. PP의 가격 경쟁력 또한 PLA보다 훨씬 우수하기 때문에 새로운 프린팅 소재로 활용하기 용이할 것임.

⑤ 추가적인 기능 부여 가능성

- 제작된 바이오 필라멘트에 추가적인 기능성을 부여하기 위해 천연오일을 사용하였음. PP에는 기본적으로 함침이 되지 않기 때문에 담체로 TPR 70을 이용하였고, TPR 70에 대한 천연오일 3종의 함침도를 다음 표 3-9.에 나타내었음.

표 3-9. TPR 70에 대한 천연오일 3종의 함침도

구분	천연 오일 함침량			비고
	1 w/w%	3 w/w%	5 w/w%	
계피 오일	우수	우수	보통	방충기능 오일
넙 오일	우수	보통	나쁨	
제충국 오일	우수	나쁨	나쁨	

- 함침 결과 계피 오일의 함침도가 제일 좋았기 때문에 계피오일을 3% 농도로 함침한 TPR 70을 이용하여 방충기능 바이오 필라멘트를 제조하였음. 필리봇을 이용하여 필라멘트를 제조하였고, 회전속도는 5, 온도는 200℃로 설정하였음.

- 사용한 노즐 팁의 직경은 1.9mm이고, 공랭식으로 냉각하여 직경 $1.75 \pm 0.2\text{mm}$ 의 필라멘트를 제조하였음. 기본적인 조성은 경도 보강 바이오 필라멘트 2를 참조하였고 제조한 방충 필라멘트의 성분은 다음 표 3-10.에 나타내었음.

표 3-10. 방충기능 바이오 필라멘트 배합비 (단위: w/w%)

구분	합량	비고
PP	69.3	
TPR 70	29.7	계피오일 3% 함침
TGR	1	
합계	100	

- 계피 오일로 인한 필라멘트 물성 변화 및 표면조도 변화는 없었고, 연질도 또한 유지되었기 때문에 이후 Link Pro+를 통한 프린팅 실험을 진행하였음. 프린팅 설정은 그림 3-6.에서 진행한 프린팅 실험과 동일하게 설정하였고 프린팅이 정상적으로 진행되었고. 다음 그림 3-7.에 방충기능 바이오 필라멘트를 사용한 출력물을 나타내었음.



그림 3-7. 방충기능 바이오 필라멘트를 사용한 출력물

- 가장 간단한 형태인 큐브형태를 통해 방충기능 필라멘트가 정상적으로 프린팅이 가능함을 확인하였고, 필라멘트 제조, 3D 프린팅 후에도 출력물에 계피 향이 잔존함을 확인할 수 있었음. 정확한 방충효과는 프린팅 후에 성분 분석을 통해 남아있는 계피 오일의 함량 확인과, 방충 실험을 통해 이루어져야하나, 이번 실험은 추가적인 기능 부여가 가능한지에 대한 여부를 확인하기 위해 이루어진 것이므로 추가적인 기능 및 성능확인 후 추후 연구를 통해 진행할 필요가 있다고 사료됨.

(라) 바이오 필라멘트 및 시제품 제작에 대한 고찰 및 개선방안

- 전반적으로 바이오 필라멘트 제작, 3D 프린터로 제품을 출력하는 측면에서 많은 성과가 있었지만, 아직은 최종 3D 프린터로 출력한 시제품에 물성이 약한 한계점이 있었음. 특히 에펠탑 상단부와 같이 약한 부분이 잘 부러지는 문제점이 있어 상용성 개선, 물성을 보강할 필요점이 있었음.
- 또한 원재료의 균일성 보완 필요성 등 한계점이 있었지만, 추가 연구 개발로 극복이 가능할 것으로 생각되었고, 본 연구에서 가장 큰 성과로 생각되는 점은 향후 식품 원재료를 이용한 푸드 프린팅 가공 조건 설정 등에 활용 가능한 사전 시험이 이루어졌다는 측면에서 성과가 있었다고 생각됨.
- 이번 연구를 통해 바이오 필라멘트를 개발하고 프린팅까지 진행을 하였는데, 위에서 사용한 경도 보강 바이오 필라멘트는 기존의 PLA, ABS보다 부드러운 소재로 유용하게 사용될 소지가 있으나 고무 탄성을 그대로 유지한 TPR 20, TPR 50, TPR 70의 경우 연질 필라멘트를 사용할 수 있는 FDM 방식의 프린터 개발이 이루어져야 할 것으로 생각됨.
- 그러나 위와 같은 PP 소재 필라멘트는 ABS와 다르게 프린팅 시 이취의 발생이 적기 때문에 식기나 생활용품 전반에 사용되기 쉽고, 연질도 또한 개선할 수 있기 때문에 파손의 우려가 적음. 또한 TPR을 이용해 여러 오일을 함침 시킬 수 있기 때문에 이후 방향, 향균 제품 등 다양한 기능의 3D 프린팅 제품을 제작하는데 큰 기여를 할 것이라 생각됨.
- 또한 1차 년도에 개발한 PLA, ABS 등 딱딱한 재질로는 식품의 식감을 구현하기 어려운 측면이 있으나, 본 연구에서 개발한 연질 필라멘트를 활용하는 경우 식품과 유사한 물성을 구현하기 용이할 것으로 생각됨.

(마) 식품 3D 프린팅이 가능한 식품소재 레시피 개발

① 식품 3D 프린팅 가능한 식자재 소재 탐색

- 1차년도에는 식용 분말 조성물을 탐색하여 친수성 및 수용성 단백질, 친염검 등 다당류 하이드로 콜로이드, 해조류 유래 다당류, CMC 등 셀룰로오스 유도체, 감자전분, 고구마 전분, 옥수수 전분, 글루코오스 등 탄수화물, 가소제, 유지방 등 지질 기반 필러, 당류 등을 선정하였음.
- 식용 액상 조성물로는 시럽, 과당 등 식용 당류 및 식물성 지방 등에서 열 변성 및 산화가 잘 되지 않는 대두유 등 식물성 액상 지질을 선정했고, 수분과 지방을 모두 포함한 식용액체 에멀션, 현탁액 등을 선정하였음.
- 바인더 경화제 등은 한천, 젤라틴, 젤리, 검류 등 액상 또는 분말 성분의 형상 유지 기능을 수행할 수 있는 경화제 물질을 탐색하였음. 또한 UV에 의한 경화 및 접착성을 향상시키는 기능이 있는 PEGDA, 생체조직 접착, 경화 기능이 알려진 홍합 추출물 등을 선정하였고, 표 3-11에 정리하였음.

- 2차년도에는 (1) 3D 프린터 적용을 위한 물성, 특성개발, 가공방법 연구, (2) 원재료의 열 변화, 광학적, 점탄성 부여, (3) 분말, 액상의 형상 유지를 위한 경화 기능 부여 연구, (4) 바인더, 경화 기능을 이용한 원재료 자체 특성 개선 연구를 진행하였음.

표 3-11. 식품 3D 프린팅이 가능한 식자재 소재

구 분	1차년도 탐색 조성물
식용분말 조성물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 콩단백질 등 단백질 ○ 다당류 하이드로 콜로이드 ○ 해조류 유래 다당류 ○ CMC, 식물체 바이오매스 등 셀룰로오스 ○ 감자전분, 고구마전분, 글루코오스 등 탄수화물 ○ 유지방 등 필러
식용액상 조성물	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시럽, 과당 등 식용 당류 ○ 식물성 액상 지질 ○ 액상 에멀전, 현탁액 등
바인더, 경화제	<ul style="list-style-type: none"> ○ 한천, 젤라틴, 젤리, 검류 등 ○ PEGDA 등 UV, 광경화제

② 3D 프린터 적용을 위한 원재료 선정

- 식품 3D 프린터에 적용되는 소재는 주로 설탕, 초콜릿, 카카오 왁스 등 상온 소결성이 높은 재료들 위주로 개발되어 왔으며 이 외에도 다른 소재들을 사용하기 위하여 다양한 방식에서의 식품 프린팅 연구가 진행되고 있음.
- 그러나 식품 3D 프린팅 결과물은 먹을 수 있어야 하므로 안전성이 검증된 식재료이며 입체적인 형상으로 프린팅될 수 있는 소재를 사용해야 하므로 프린팅 완료 후 형상 유지를 위해 자체적 점성이 있거나 다른 소재에 점성을 부여할 수 있는 소재를 사용하는 것이 매우 중요함.
- 따라서 탄수화물, 증점제 소재는 식용 가능한 물질을 프린팅하기 위하여 특유의 점착성으로 입체 형상을 유지할 수 있는 분말 형태의 소재로 아래 표 3-12와 같이 선정하여 연구개발을 진행하였음.

표 3-12. 탄수화물 소재, 증점제

재료	제조사
밀가루	(주)백설
감자 전분	(주)선인
옥수수 전분	(주)뚜레반
참쌀가루	(주)뜨레봄
카라기난	(주)이에스식품원료
아라비아검	
잔탄검	

- 지질 함유 소재는 식재료 가공품의 물성에 영향을 주며 실제 식재료로 사용 가능한 소재들 중에서 상용성이 높은 소재로 표 3-13.과 같이 선정하여 연구개발을 진행하였음.

표 3-13. 지질 소재

재료	특징	제조사
대두유	가정에서 주로 쓰이는 식용 식물성 지질	(주)오뚜기
버터	유지방이 주 원료인, 모든 식품산업에서 널리 쓰이는 동물성 고품 지질	(주)롯데푸드
마가린	식물성 고품 지질로 버터의 대체제	(주)롯데푸드
카나우바 왁스	초콜릿, 사탕검의 코팅 재료이자 자동차 광택제	주내물산
셀락	목재 마감용으로 쓰이는 곤충 유래 천연물질로 식용 가능	(주)이에스식품원료

- 이러한 재료들 중 원재료의 상용성과 입수 편의성 등을 고려하여 1차 프린팅 조건 탐색 연구의 주재료로 탄수화물 중 밀가루를 사용하기로 결정하였고, 지질 중에서 대두유, 버터, 카나우바 왁스를 선정하여 연구개발을 추진하였음.
- 지질 재료 중 마가린은 버터와 물성이 유사하고, 셀락은 본래 목재 가구 마감제로 주로 쓰이고 있으며 곤충에서 유래한 지질이기에 때문에 식재료로 쓰기에는 거부감이 있을 것으로 생각되어 제외시켰음.

③ 3D 프린터를 이용한 프린팅 실험.

- 연구개발에 사용한 3D 프린터는 (주)링크솔루션에서 제작하여 공급한 스크류 타입 프린터로 모델명은 MKS-TFT28 Ver 1.2, 구동방식은 Extruder 방식이며 FDM 형식으로 작동되는 3D 프린터임.
- 재료를 투입하면 모터에 의해 회전하는 스크류가 원재료를 혼합시키며 끌어당겨 노즐로 이동시킬 수 있고, 토출부에 가열기기가 있어 프린팅 직전 토출부로 내려온 재료가 가열되며 노즐에서 Bed로 토출된 직후 토출부에 달린 냉각팬에 의해 냉각됨.

- 크기는 가로 40cm, 세로 30cm, 높이 30cm 가량이고 냉각팬의 회전 속도는 최대 255rpm, 토출부 최고 가열온도는 180℃이며 외관은 그림 3-8.과 같음.



그림 3-8. 스크류 타입 식품 3D 프린터 MKS-TFT28 Ver 1.2

- 해당 3D 프린터에 적용하는 식품 원재료의 형태는 반죽(dough)이 적절하다고 판단되어, 3D 프린팅 조건을 탐색하기 위하여 밀가루 반죽을 기본으로 한 배합물로 실험을 진행하였음.

㉞ 실험 (1). 1차 반죽 조성비 프린팅 실험

- 밀가루를 이용한 반죽 조성비 중 가장 묽은 반죽인 부침개의 비율대로 물과 밀가루를 3:1로 배합하여 반죽기 1단으로 2분간 가동시켜 반죽을 제조하였으며, 토출부 온도 100℃, 노즐 직경 0.1φ, 토출속도 1000mm/min, 냉각팬 회전속도 255rpm으로 설정하였고, 반죽의 첨가량과 반죽 조성비는 표 3-14.과 같음.

표 3-14. 1차 반죽 조성비

재료	첨가량(g)	반죽 조성 비율(%)
물	150	75%
밀가루	50	25%

- 프린팅 결과 묽은 반죽은 점성이 매우 낮기 때문에 3D 프린터의 스크류를 따라 반죽이 타고 흘러내리는 현상이 발생했고, 또한 물의 비율이 많은 탓에 반죽기로 골고루 반죽되지 못하여 작은 덩어리가 생겼었고 이것이 토출부에서 나오지 못하고 머무르다 탄화되어 재료가 토출되는 것을 저해하였기에 프린팅이 이루어지지 못하였음.

㉔ 실험 (2). 2차 반죽 조성비 프린팅 실험

- 2차 반죽은 1차 반죽의 물과 밀가루 비율을 3:1(물 함량 75%)에서 2:1(물 함량 66.7%)로 수정하여 1차 반죽과 같은 덩어리가 생기지 않게 하였고 1차 반죽과 동일한 프린팅 조건으로 실험을 수행하였음. 프린팅 결과물은 사무용지를 Bed에 덧댄 뒤 찰싹풀을 도포하여 Bed에 접촉될 수 있도록 하였고, 반죽 조성비는 표 3-15과 같음.

표 3-15. 2차 반죽 조성비

재료	첨가량(g)	반죽 조성 비율(%)
물	100	66.7%
밀가루	50	33.3%

- 프린팅 결과 스크류의 회전 속도와 압력으로는 반죽을 직경 0.1 ϕ 의 노즐팁을 통하여 토출시키지 못하여서 반죽이 토출부 내부에서 탄화하여 노즐을 막아버리는 현상이 발생하였음.
- 때문에 노즐팁을 제거한 뒤 본래 토출부 직경인 1.0 ϕ 인 상태로 프린팅을 다시 시도하였고 그 결과 유의미한 형상으로 프린팅 됨을 확인하였으나, 반죽의 호화로 인해 부피가 증가하여 구체적인 형상으로 프린팅 되지 못하였고, 가열에 의해 점성이 낮아져서 그림 3-9와 같이 적층이 불가능한 결과물을 만들었음.



그림 3-9. 실험(2)의 프린팅 결과

㉕ 실험 (3). 지질 첨가에 의한 반죽 점성 증가 실험

- 2차 반죽 조성비 프린팅 실험에서 수행한 반죽은 점성이 낮아 적층이 어려웠기 때문에 반죽 자체의 점성과 탄성을 증가시킬 방안으로 카나우바 왁스, 대두유, 버터를 반죽에 첨가하여 어떠한 지질 성분이 반죽의 점성 증가와 프린팅 결과물의 형상 유지력을 향상시킬 수 있는지 확인하는 실험을 수행하였음.
- 각 반죽의 조성비는 표 3-16와 같이 설정하였고, 반죽기 1단으로 4분간 가동시켜 지질 성분이 첨가된 반죽을 제조하였으며, 토출부 온도 120 $^{\circ}$ C, 노즐 직경 1.0 ϕ , 토출속도 500mm/min, 냉각팬 회전속도 255rpm으로 설정함. 프린팅 결과물은 사무용지를 Bed에 덧댄 뒤 그 위에 찰싹풀을 도포하여 Bed에 접촉될 수 있도록 하였고 프린팅 결과는 그림 3-10에 나타내었음

표 3-16. 지질 첨가 반죽 조성비

(단위:g)

재료	카나우바 왁스	대두유	버터	반죽 조성 비율(%)
물	100	100	100	58.8%
밀가루	50	50	50	29.4%
카나우바 왁스	20	-	-	11.8%
대두유	-	20	-	
버터	-	-	20	



그림 3-10. 지질 첨가 반죽 프린팅 결과. 카나우바 왁스 반죽, 대두유 반죽, 버터 반죽

- 프린팅 결과 카나우바 왁스는 반죽에 골고루 섞이지 못하였고 Bed에 제대로 점착되지 못하여 유의한 형상을 만들지 못하여 프린팅이 잘 되지 않는 문제점이 있었음.
- 대두유 반죽은 호화되는 부피가 적고 물성이 부드러워 어느 정도의 정교한 프린팅 형상을 만들어냈으나, 점착성이 유의하게 증가하지 않아 후 토출된 반죽이 위로 적층되지 못하여 바깥으로 미끄러지려는 경향을 보였음
- 버터 반죽은 호화되는 부피가 2차 반죽과 유사하여 형상이 뭉개지는 모습을 보였으나, 자체 점착성을 보유하고 있어 안정적으로 적층되는 것을 확인하였음.
- 따라서 이후의 실험에서 사용할 반죽으로는 실험을 통해 반죽에 점성을 부여하는 기능이 확인된 버터를 첨가하여 제작하기로 결정함.

㉔ 실험(4). 효모에 의한 발효 반죽 프린팅 실험

- 효모에 의해 발효된 반죽이 빵에 쫄깃함을 부여하므로 이를 실험(3)에서 배합한 버터 반죽에 적용시켜 프린팅에 필요한 점성과 더불어 탄성을 부여하는 실험을 실시하였음. 실험(3)에서 제조한 버터 반죽의 조성비에 효모를 2.2g 첨가하여 반죽기 1단으로 약 5분간 반죽시키고 상온 25℃에서 1시간 상온발효를 진행하고 발효 가스를 뺀 뒤 냉장고에서 1시간 식혀 반죽을 완성함. 반죽에 사용한 재료의 첨가량과 조성비는 표 3-17.과 같음.
- 프린팅 조건은 토출부 온도 120℃, 노즐 직경 1.0φ, 토출속도 500mm/min, 냉각팬 회전속도 255rpm으로 설정하여 진행하였음.

표 3-17. 효모 첨가 반죽 조성비

재료	첨가량(g)	반죽 조성 비율(%)
물	30	35.6%
밀가루	50	59.4%
버터	2	2.4%
효모	2.2	2.6%

- 그러나 제작한 반죽이 보유한 탄성이 상당히 강하여 스크류 안으로 끌려 들어가지 않아 프린팅을 실패하였지만, 이러한 결과를 통하여 발효시킨 반죽은 해당 3D 프린터에 적용하기 어려운 탄성을 갖고 있음을 확인함.

㉞ 실험(5) 증점제를 적용한 반죽 프린팅 실험

- 선정한 재료들 중 카파 카라기난, 아라비아검, 잔탄검을 증점제로 사용하여 반죽에 적용시켜 프린팅을 실시하였고, 반죽의 조성비는 표 3-18.에 나타내었음.
- 해당 프린팅 실험에서 노즐을 직경 0.4 ϕ 로 교체하여 사용했는데, 초기 실험에서 직경 0.1 ϕ 노즐이 너무 작아 3D 프린터의 압력으로 프린팅 사출이 어려웠기에 노즐을 제거하고 1.0 ϕ 의 토출부를 그대로 이용했었으나 1.0 ϕ 는 미세 프린팅이 어렵고, 토출 반죽이 호화되는 부피가 컸기에 프린팅이 뭉개지는 현상이 발생하였으므로 직경 0.4 ϕ 노즐로 교체하여 정교한 프린팅의 가능 여부를 실험하였음. 3D 프린터의 상세 조건은 3D 프린터용 프로그램인 Simplify를 사용하여 아래 그림 3-11, 3-12, 3-13.과 같이 설정하여 프린팅을 진행하였음. 프린팅 결과물은 사무용지를 Bed에 덧댄 뒤 찹쌀풀을 도포하여 Bed에 정착될 수 있도록 함. 프린팅 결과는 그림 3-14.와 같음.

표 3-18. 증점제 반죽 조성비

(단위: g)

재료	카파 카라기난	잔탄검	아라비아검	반죽 조성 비율(%)
물	30	30	30	36.2%
밀가루	50	50	50	60.4%
버터	2	2	2	2.6%
카파 카라기난	0.8	-	-	1%
잔탄검	-	0.8	-	
아라비아검	-	-	0.8	



그림 3-11. 3D 프린터의 노즐 직경(Nozzle diameter)과 압출량(Extrusion multiplier) 설정

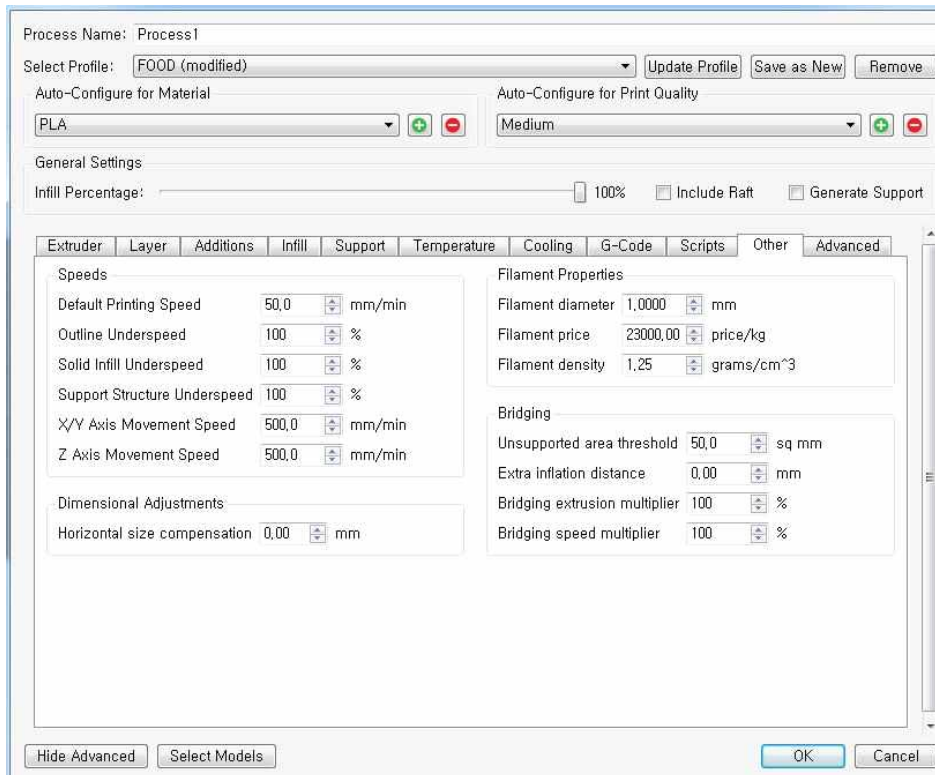


그림 3-12. 3D 프린터의 사출 속도(Default printing speed)와 기기 작동 속도 설정

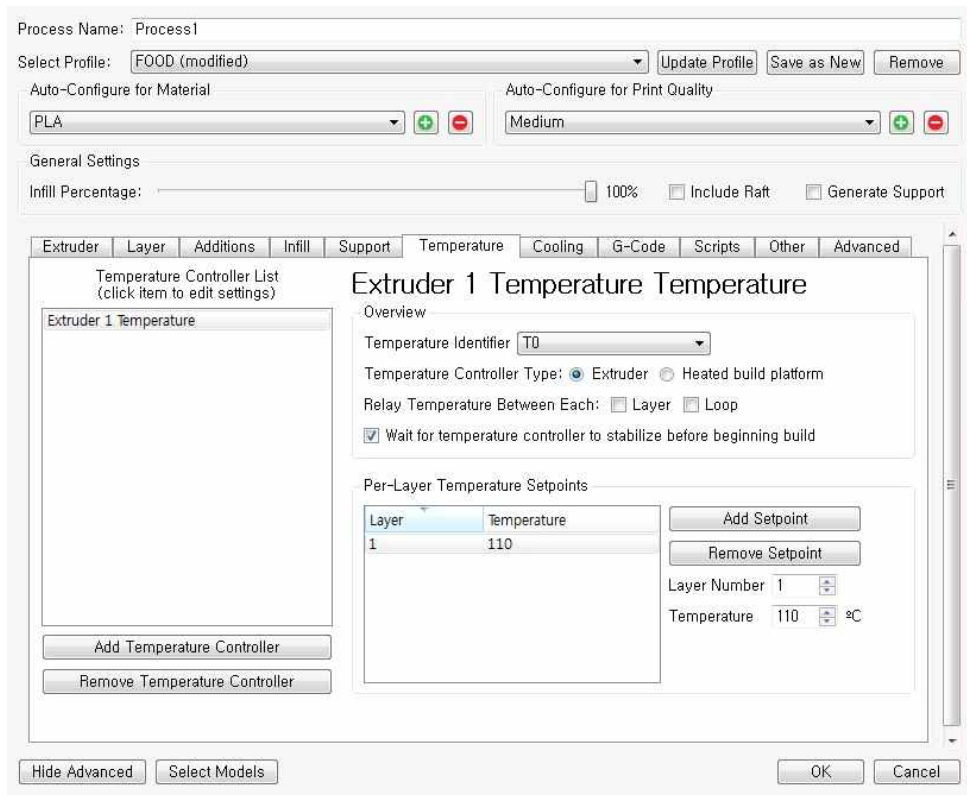


그림 3-13. 토출부 온도 설정



그림 3-14. 증점제 적용 반죽 프린팅 결과

- 프린팅 결과 카파 카라기난은 적층성과 토출 물성 둘 다 우수하였으나, 점성이 강하여 토출된 반죽이 스크류의 회전을 따라 돌아가는 현상을 보임. 때문에 Bed에 제대로 점착되지 못하여 적층 형상이 좋지 못하였고. 또한 사출 시 반죽이 호화된 부피는 첨가에 대한 유의성이 보이지 않음.
- 잔탄검 또한 카파 카라기난과 같은 이유로 적층이 고르지 못한 측면이 나타났으나, 프린팅 시의 호화 정도가 카파 카라기난에 비해 낮은 편이면서 점성은 유사하여 카파 카라기난 첨가 반죽보다 비교적 세세한 프린팅이 가능할 것으로 사료됨.
- 아라비아검은 앞의 두 반죽에 비해 거의 호화되지 않았으나, 점성이 약하여 적층 무게에 의해 조금씩 무너지는 현상을 보임.

- 이러한 결과로 볼 때 증점제 적용 반죽 중 잔탄검 1%를 첨가한 반죽의 프린팅 결과가 제일 우수하였음.

(바) 식품 프린팅후 형상유지를 위한 부가연구

① 프린팅 원료 소재의 물성, 특성 개선 및 개량

식용 가능한 물질로 2차년도에 선정된 원료를 이용하여 물성, 특성 개선 및 개량 시험을 추진하였음

② 3D 프린터를 이용한 식품 프린팅 실험.

연구개발에 사용한 3D 프린터는 2차년도에 사용한 프린터를 ㈜링크솔루션에서 수정 보완 제작하여 공급한 스크류 타입 프린터로 모델명은 MKS-TFT28 Ver2.0, 구동방식은 Extruder 방식이며 FDM 형식으로 작동되는 3D 프린터임.

재료를 투입하면 모터에 의해 회전하는 스크류가 원재료를 혼합시키며 끌어당겨 노즐로 이동시킬 수 있고, 토출부에 가열기기가 있어 프린팅 직전 토출부로 내려온 재료가 가열되며 노즐에서 Bed로 토출된 직후 토출부에 달린 냉각팬에 의해 냉각되는 원리인데 MKS-TFT28 Ver1.2에 비해 베드에 히팅기능 및 출력 토출부에 냉각팬을 보완된 설비임.



그림 3-15. 스크류 타입 식품 3D 프린터 MKS-TFT28 Ver2.0

상기 스크류 타입 3D 프린터에 적용하는 식품 원재료의 형태는 반죽(dough)이 적절하여, 3D 프린팅 조건을 탐색하기 위하여 시중에서 구입한 재료를 이용한 반죽을 기본으로 한 배합물로 실험을 진행하였음.

㉓ 실험 (1) 1차 반죽 조성비 프린팅 실험

- 2차년도 실험의 결과와 실생활에서 사용하는 반죽의 재료와 반죽비를 조합하여 선정 후 실험을 토대로 3D 프린팅 가능여부를 확인하는 것을 목표로하였음.
- 반죽과정은 물, 밀가루, 설탕, 소금을 넣고 반죽기 1단으로 1분간 반죽한 후, 버터를 추가한 다음 2분간 더 반죽을 한 결과, 칼국수나 만두피에 사용되는 반죽과 유사하게 흐르지 않고 뭉쳐있을 정도의 점도를 갖고 있었음.
- 3D 프린팅 실험을 위하여 토출부 온도 100℃, 노즐 직경 0.1φ, 토출속도 1000mm/min, 냉각팬 회전속도 255rpm으로 설정하였고, 반죽의 첨가량과 반죽 조성비는 표 3-19와 같음.

표 3-19. 1차 반죽 레시피

재료	첨가량(g)	반죽조성비율(%)	제조사
물	35	39.33	-
밀가루	50	58.82	(주)대한제분
설탕	1	1.18	(주)대한제당
소금	1	1.18	(주)CJ제일제당
버터	2	2.35	jersey dairy

- 프린팅 시험 결과 반죽의 점성이 너무 높아, 호퍼에 투입한 반죽이 screw를 통해 반죽이 노즐까지 밀어지지 않아 출력까지 진행되지 못하고 실험이 중단되었음.

㉔ 실험 (2) 2차 반죽 조성비 프린팅 실험

- 1차 반죽 조성비 프린팅 실험에서 사용한 반죽의 경우 점성이 높아 프린터 노즐부까지 반죽이 도달하지 못하였기 때문에, 반죽의 점성이 낮출 필요가 있다고 판단되어 물의 비율을 높여 반죽을 하였고, 반죽 레시피는 표 3-20과 같다.

표 3-20. 2차 반죽 조성비

재료	첨가량(g)	반죽조성비율(%)
물	45	45.45
밀가루	50	50.51
설탕	1	1.01
소금	1	1.01
버터	2	2.02

- 반죽과정은 물, 밀가루, 설탕, 소금, 버터를 넣고 다음 반죽기 1단으로 4분간 반죽한 결과, 수제비에 사용되는 반죽과 유사하였고 점성이 낮아져서 프린터 screw를 통해 노즐까지 반죽이 도달 가능하였음.
- 프린팅을 위한 모델링은 Thingiverse에서 다운로드한 도면이었고, 소프트웨어 설정은 푸드 프린팅 default값을 기준으로 출력속도(default printing speed)를 400 mm/min, 압출량(Extrusion multipuller)을 8.0으로 변경하여 사용했으며 노즐 직경0.9 ϕ , 노즐온도 120 $^{\circ}$ C로 설정하여 출력하였고, 그 결과는 그림 3-16.과 같음.



그림 3-16. 실험(2)의 프린팅 결과

- 프린팅 결과 처음 layer가 bed에 제대로 안착되지 않고 bed위를 미끄러지다가 반죽이 무거워질 때 무게에 의해 bed에 안착되는 현상이 발견됨. 소프트웨어를 적합하게 설정한 것이 아니기에 수축현상, 압출과다, 안착불량 등의 문제가 보이나 반죽의 문제점은 없는 것으로 사료됨. 따라서 표. 3-20.의 반죽 레시피를 토대로 실험을 진행하기로 결정함.

③ 3D 프린팅 원료 소재간 상용성, 부착성 개선 연구

- 원료 소재간 상용성 부착성 개선을 위해 표 3-20.의 반죽에 다양한 증점제를 첨가하여 프린팅을 실시했고 하드웨어와 소프트웨어에 변화를 주며 실험을 진행하였고, 사용한 증점제는 표 3-21.과 같음

표 3-21. 증점제 종류와 제조사

증점제	제조사
알긴산 나트륨	(주)ES식품원료
잔탄검	(주)ES식품원료
젤라틴	(주)젤텍
아라비아검	(주)ES식품원료
CMC(Carboxy methyl cellulose)	(주)보락
카파카라기난	(주)ES식품원료

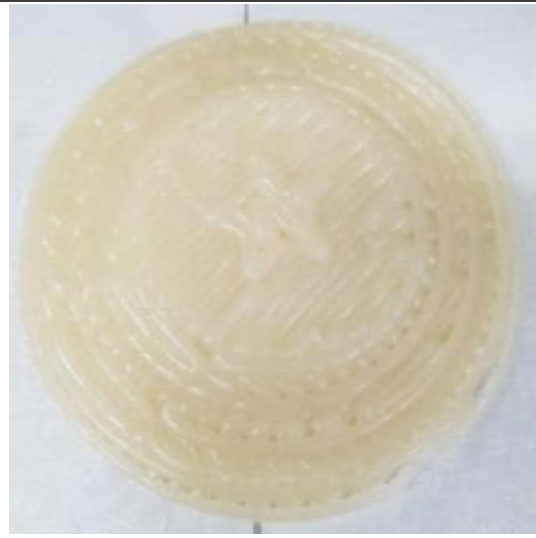
- 사용한 증점제의 첨가량은 표 3-20.의 반죽 조성비에 증점제 1g을 첨가하여 반죽했으며 반죽방법은 물, 밀가루, 설탕, 소금, 버터, 증점제를 넣고 반죽기 1단으로 4분간 반죽하였고, 모델링은 thingiverse에 있는 캡틴아메리카의 방패 도면을 사용하였음.
- 실험(2)와 유사한 조건으로 출력 시험을 하였고, 실험(2)와 다른 하드웨어의 변화는 bed 수평이 조금 어긋나 있어 수평을 맞춰주고 노즐과 bed가 과하게 떨어져 있어 Z offset을 초기화하여 다시 설정하였고, bed 안착을 위해 사무용지를 덧대고 실험하였음. 하지만 사무용지의 경우 반죽의 수분으로 인해 수분 흡수현상이 발생하였고, 출력후 시간이 지나면서 출력물이 건조되면서 사무용지와 출력물이 강하게 붙는 단점이 발견돼 사무용지 대신 종이마스크테이프를 붙이는 방법으로 사무용지의 단점을 해결하였음.
- 소프트웨어의 변화는 default 값을 기준으로 한 층의 높이(Layer height), 한 층의 넓이(Layer width), 압출량(Extrusion multipuller)을 변경해가며 출력했다. 적층결과는 그림 3-17.과 같고 소프트웨어 설정값은 표 3-22.와 같고, 적층 시험결과는 그림 3-17과 같음.

표 3-22. 증점제별 소프트웨어 값

증점제	한 층의 높이(mm)	한 층의 넓이(mm)	압출량
알긴산 나트륨	1.0	1.2	4.1
잔탄검	1.0	1.2	4.05
젤라틴	1.0	1.2	4.4
아라비아검	1.0	1.2	4.3
CMC	1.0	1.2	2.5
카파카라기난	1.0	1.2	2.9



알긴산나트륨



잔탄검



젤라틴



아라비아검



CMC



카파카라기난

그림 3-17. 증점제 첨가 실험결과

- 증점제를 첨가한 반죽은 증점제에 따라 점성과 탄력의 확연한 차이를 보였지만 3D 프린팅한 출력물의 경우 출력과정에서 반죽의 특이점은 크지 않다고 판단되지만, 압출량(Extrusion multiplier)의 경우 첨가한 증점제 마다 차이가 존재하였음. 그동안 실험에서 소프트웨어 값은 임의로 설정 했지만 소재의 특성만큼이나 소프트웨어의 값의 중요성도 크다고 판단돼 3D 프린팅 자체의 이해를 바탕으로 적절한 소프트웨어값의 선정이 필요하다고 사료됨.
- 실험을 진행하던 중 특이점을 발견했는데 노즐의 온도를 올려놓고 반죽을 넣어주면 압출량(Extrusion multiplier)이 4~5배가 더 필요하게 된다는 점으로 이 현상이 일어나지 않으려면 반죽을 미리 노즐까지 밀어 넣고 온도를 천천히 올려주면 되는데 어떤 원리로 이런 현상이 일어나는지는 추가 연구에서 밝혀야 할 것으로 생각됨.

④ 원료 소재간 균일화 및 사용화를 위한 소재 안정성 개선

- 소재 안정성 개선으로 소프트웨어값 설정을 통한 출력 조건잡기를 선택하였음. 대중화된 3D프린팅FDM방식의 경우 중저가형 조립식 프린터를 사용하고 출력 재료로 PLA와 ABS와 같은 고분자를 주로 사용하기 때문에 그에 대한 지식이 많이 알려져 있어 이들 고분자의 기준으로 소프트웨어값을 설정하고 출력을 통해 적절한 값들을 선정하였음.
- 그 동안 사용했던 default 값에서 변화해야하는 값으로 노즐직경(Nozzle Diameter), 압출량(Extrusion Multiplier) 리트랙션(Retraction), 한 층의 높이(Layer Height), 첫 층의 설정(First Layer Setting), 내부채움(infill percentage), 온도 설정(temperature), 출력속도(Speeds), 필라멘트설정(Filament Properties)들을 선정해서 적절한 값을 설정하면서 실험을 진행하였음.
- 노즐 직경과 필라멘트 설정의 경우 실제 사용중인 수치와 달라 사용 중인 0.9 ϕ 와 1.75 mm로 변경해 줬고 노즐이 이동할 때 출력물과 접촉하지 않도록 리트랙션중 이동전 노즐을 들어 올려주는 Retraction Vertical Lift를 0.4 mm, 리트랙션 0.2 mm, 리트랙션 스피드 1800 mm/min로 설정하였음.
- 첫 층의 설정은 bed 안착률을 높이기 위해 속도를 80%로 낮췄고 출력속도를 300 mm/min으로 설정하였음. 온도설정, 한 층의 높이, 내부 채움은 실험을 통해 적정 값을 설정하였고, 압출량은 그 값이 계속 변하는 현상이 발견되어 실험하면서 기록하였음. 실험에 사용한 반죽은 표 3-20의 반죽을 사용했으며 물, 밀가루, 설탕, 소금, 버터를 넣고 반죽기 1단으로 4분간 반죽하여 사용하였음.
- Modeling 파일은 2차년도에 이화여대에서 제공했던 20mm *20 mm*20 mm cube, 20mm * 20mm * 20mm XYZ cube, 20mm * 20mm * 20mm microstructure bodydiag_10 mm를 사용하였음. cube는 내부 채움이 100%로 적용돼있는 모델이고 XYZ cube는 내부채움을 조절할 수 있는 모델이었고, microstructure bodydiag_10 mm는 복잡한 출력물을 출력할 수 있는지 확인하기 위한 모델이었음.

㉔ 실험(3) 온도 설정값 설정

- 온도를 40℃, 60℃, 80℃, 90℃, 100℃, 110℃, 120℃로 바꿔가며 설정 했고 노즐직경은 0.9 ϕ 한층의 높이는 0.9 mm 내부채움은 100%로 설정하였고, 온도에 따른 압출량은 표 3-23.과 같고 온도별 적층결과는 그림 3-18.과 같음

표. 3-23. 온도와 압출량

온도	압출량
40℃	2.0
60℃	3.0
80℃	2.5
90℃	4.6
100℃	5.0
110℃	5.5
120℃	4.5

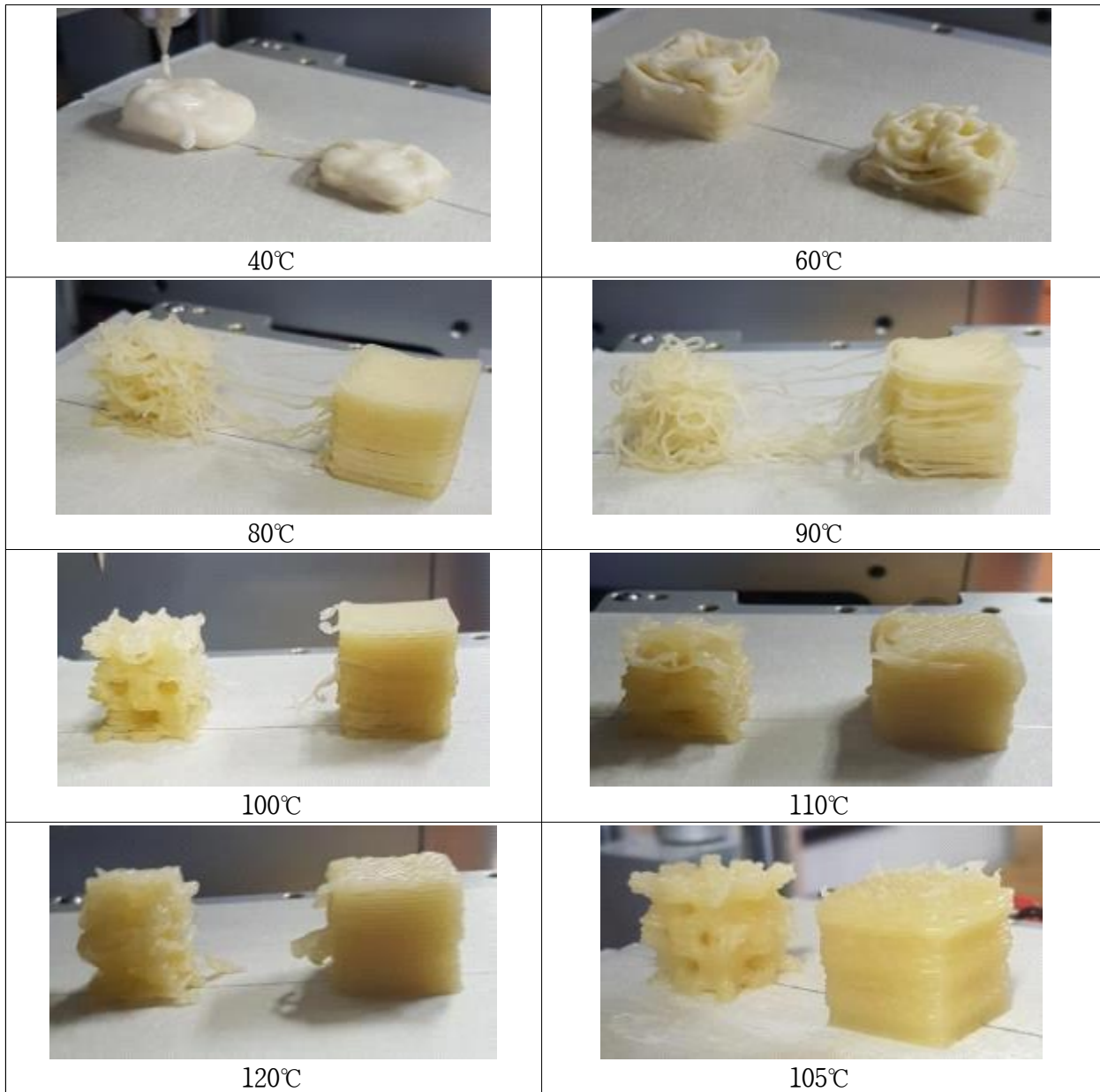


그림. 3-18. 온도별 적층결과

- 40°C는 압출량값을 2.0을 사용했고 2~3 Layer까지는 적층이 됐지만 그 이후 무게를 이기지 못하고 무너지는 현상이 나타났음.
- 60°C는 압출량값을 3.0을 사용했고 반죽이 아주 연한 노란빛을 띄었으며 일정 이상에서 layer가 쌓이지 못하고 무너졌음. 80°C는 압출량값을 2.5를 사용했고 반죽이 노란빛을 띄었으며 대부분의 layer가 적층됐지만 cube의 가운데 부분이 움푹 파일정도로 안정적이진 못했음.
- 90°C는 압출량값을 4.6을 사용했으며 적층은 가능하지만 layer간의 결합력이 아직 약했으며 cube 가운데 파인현상도 그대로였음. 100°C는 압출량값을 5로 사용했고 반죽의 색이 더욱 진한 노란색을 나타내었고, layer간 결합력도 좋아지고 비교적 복잡한 출력물인 microstructure bodydiag_10 mm의 출력물도 형태 유지를 하며 출력되었음.

- 110℃는 압출량값을 5.5를 사용했으며 반죽이 노즐에서 사출될 때 그 굵기가 더욱 굵어져서 나오는 현상이 보였음. layer가 굵어 졌기 때문에 내부가 딱 찬 cube의 경우 가운데 부분이 부풀어 올라 보이게 출력됐으며 반죽의 끈끈함이 강해져 microstructure bodydiag_10 mm적층물과 노즐에서 사출되는 layer가 강하게 붙어 출력물의 품질이 떨어졌음.
- 120℃는 압출량값은 4.5를 사용했는데 120℃에 비해 적은 값을 사용한 이유는 노즐에서 사출되는 반죽의 굵기가 더 굵어져 적층물의 품질이 심하게 저하됐기 때문에 적층이 되는 선에서 값을 줄여 주었음. 반죽의 끈끈함이 더욱 강해져 microstructure bodydiag_10 mm의 품질이 더욱 떨어졌음.
- 상기 실험 결과 105℃에서 출력품질이 가장 좋을 것으로 기대돼 밀가루 반죽의 온도 설정값을 105℃로 선정하였고, Extrusion Multiplier값은 4.5로 출력했으며 출력물의 품질 또한 우수한 출력물을 얻을 수 있었음.

㉔ 실험(4) 한 층의 높이 설정

- 일반적인 PLA 와 ABS의 경우 노즐직경 0.2 ~ 0.4 mm를 사용하는데 노즐이 녹은 PLA나 ABS를 눌러주며 한 층의 높이를 설정하는 것과는 달리, 식품인 반죽의 경우 반죽 자체의 점성과 무게로 인한 눌림으로 적층을 하는 것이기 때문에 한 층의 높이 설정을 노즐 직경과 같은 값으로 사용하였음. 그러나 출력물의 결과를 보면 출력물의 윗부분이 볼록하게 튀어나와 노즐이 과문혀서 출력이 되기 때문에 이 값을 변경 설정하여 출력이 잘 되기 위해 시험을 추진하였고, 그 결과는 그림 3-19와 같음.

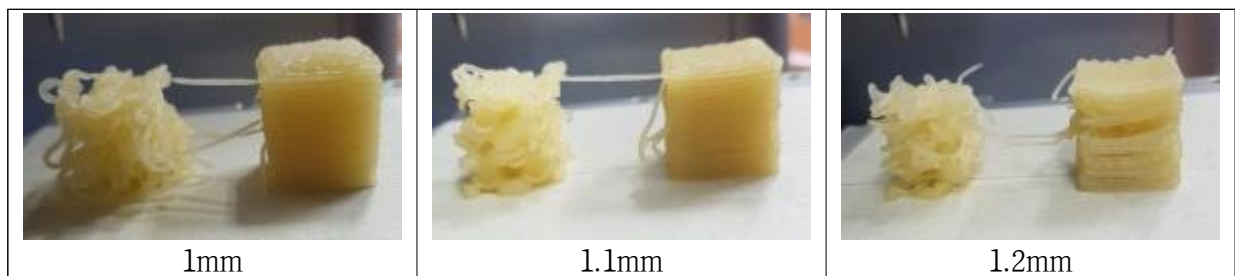


그림 3-19. 한 층의 높이 설정적층결과

- 한 층의 높이 설정 실험에서 압출량값은 모두 4.5를 사용하였음.
- 1mm의 경우 cube의 가운데 부분이 부풀어 오르는 현상은 완화가 됐으나 microstructure bodydiag_10 mm의 경우 layer간 결합력이 부족해 출력물이 무너져 내리는 현상이 생겼음.
- 1.1mm의 경우 cube의 가운데 부분의 부풀 현상은 거의 없게 보였으나 layer간 결합이 약하였음. microstructure bodydiag_10 mm의 경우 layer간 결합력이 부족해 출력물이 나오긴 했지만 품질이 떨어지게 출력되었음.
- 1.2mm는 cube의 layer간 결합이 매우 부실했고 microstructure bodydiag_10 mm의 경우 layer간 결합력이 부족해 품질이 매우 떨어지게 출력 되었음.

- 한 층의 높이 실험 결과 밀가루 반죽의 경우 노즐 직경값과 같은 값을 쓰는 것이 가장 품질이 좋고 내부가 꽉차있는 출력물의 경우 내부출력의 값을 줄여 출력물의 품질을 높이는 것이 좋다고 판단되었음.

㉔ 실험(5) 내부채움 설정

- 실험(4)의 결과를 토대로 내부채움을 바꿔 가운데가 볼록하게 올라오는 현상을 완화해 보고자 실험을 진행하였음. 실험은 80%, 60%, 40%, 20%로 변경하면 진행하였고, 그 결과는 그림 3-20.과 같음.

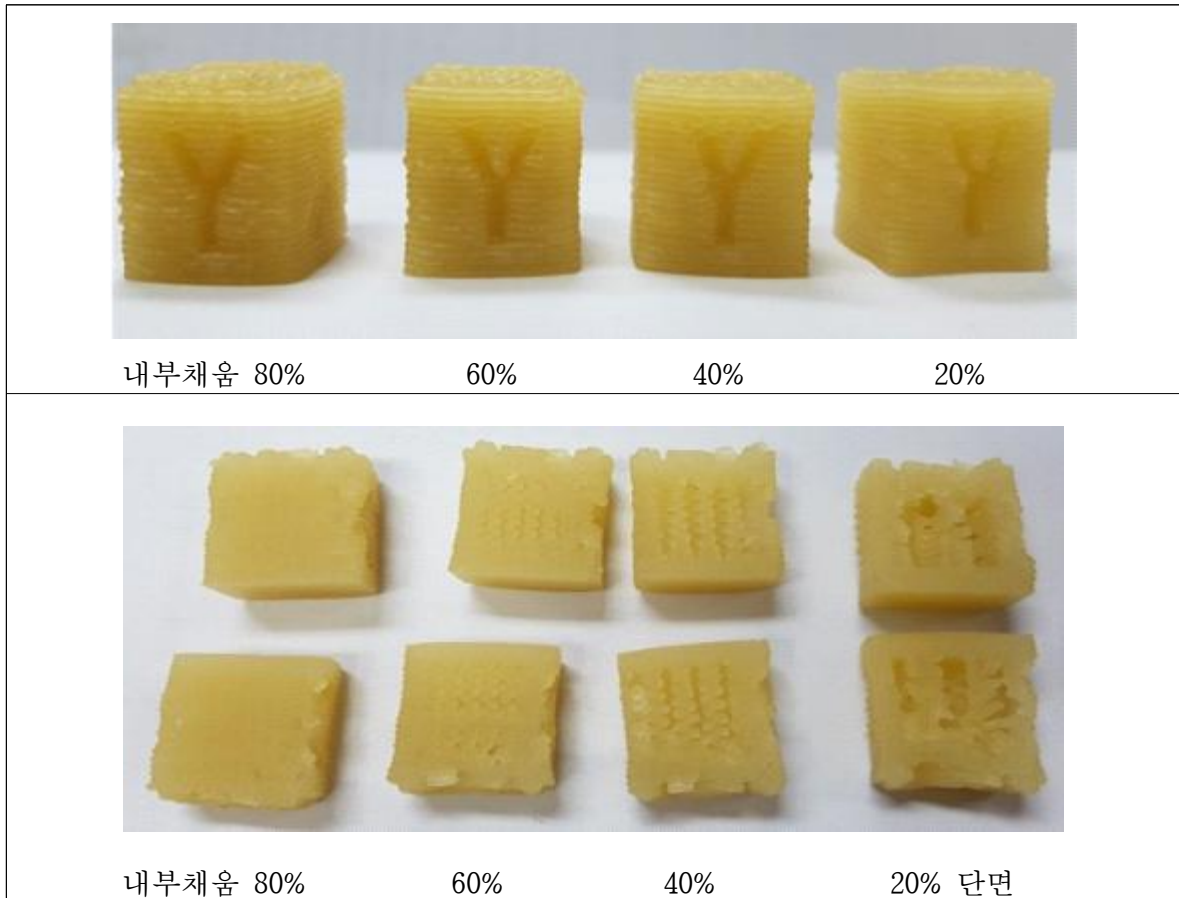


그림. 3-20. 내부 채움 출력 결과

- 내부 채움 80%의 경우 가운데 부분이 부풀어 오르는 현상이 줄어들지 않았고 세로로 잘라 확인한 결과 내부 채움도 100%와 비슷하게 채워 있었음. 60%의 경우 가운데 부분 현상이 완화 됐고 세로로 잘라 확인한 결과 내부에 빈 공간도 조금 확인 되었음. 40%의 경우 가운데 부분 현상이 없어졌고 세로로 잘라 확인한 결과 내부에 빈 공간이 보다 많이 확인이 되었음.
- 20%의 경우 가운데 부분이 약간 파였으며 세로로 잘라 확인한 결과 내부에 빈공간이 많이 존재해 출력물이 모양은 유지하지만 외부충격에 쉽게 모양이 변하는 현상이 있었음. 내부 채움값을 변경하면서 실험한 결과 내부가 비어있는 모델링을 사용 할 때 40%의 내부채움을 사용하는 것이 출력물의 품질이 가장 좋은 것을 확인할 수 있었음.

㉔ 실험(6) 노즐 직경별 출력 실험

- 그동안 실험을 진행하면서 0.9 ϕ 노즐을 사용하면서 출력 조건을 설정하였지만, 이번에는 노즐 직경별 출력에 미치는 영향을 알아보기 위해, 그동안의 실험 결과값으로 노즐 직경을 0.7 ϕ , 0.4 ϕ 로 변경 교체하여 출력을 실험해봄으로써 노즐 직경별 차이를 알기 위한 실험을 진행하였고, 그 결과는 그림 3-21.과 같음.

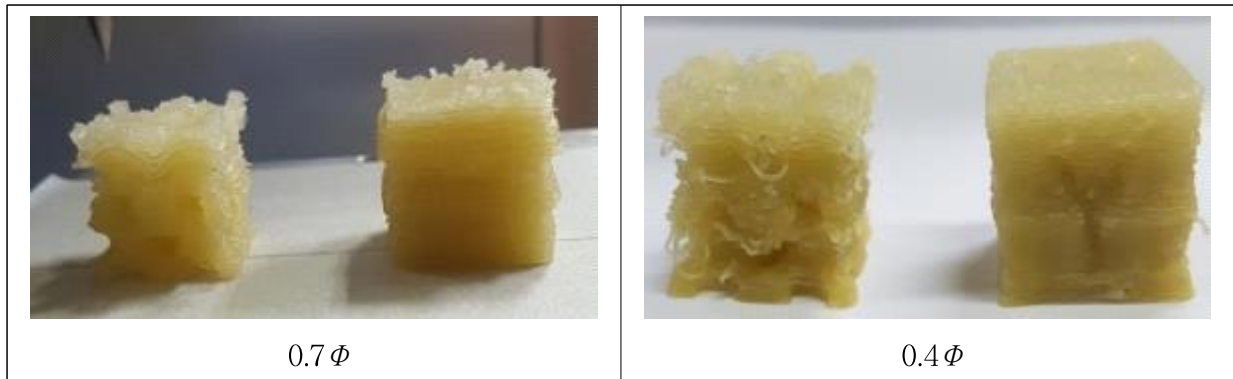


그림 3-21. 노즐 직경별 출력 결과

- 노즐을 변화하면서 실험한 결과 직경이 0.7 ϕ 인 노즐을 사용하여 출력실험 결과 압출량값이 7로 증가 했고 출력시간이 기존 약 50분에서 약 80분으로 증가하였음. 출력물의 품질은 0.9 ϕ 와 비교해서 유의한 차이를 느낄 수 없었음. 노즐 직경 0.4 ϕ 를 사용해 출력한 경우 압출량값이 29.5로 매우 크게 증가했고 출력시간 또한 약 210분으로 크게 증가 한 반면, 출력물의 품질은 역시 0.9 ϕ 와 유의한 차이를 느낄 수 없었음.
- 노즐 직경값이 줄어들면 밀어내는 힘이 더 많이 필요하기 때문에 압출량값이 증가하게 되고 압출량값이 증가하면 밀어내는 역할을 하는 모터가 더 큰 힘을 필요로 하는데 모터 출력에는 한계가 있기 때문에 출력속도를 늦춰 압출량값을 만족시키는 것으로 판단 됨.
- 출력물의 품질이 유의한 차이가 없는데 비해 출력시간은 너무 많이 늘어나기 때문에 0.9 ϕ 를 사용하는 것이 가장 바람직한 결과를 얻을 수 있는 것으로 사료됨.

㉕ 식물성 단백질을 이용한 콩 고기 등 육류 대체 원료 시제품 개발

- 곤충단백질, 대두단백질, 유청단백질을 이용한 3D 프린팅 실험을 추진하였음. 그 중 곤충 단백질은 시제품의 경우 곤충의 본래모습을 온전하게 갖고 있거나 분말의 형태로 판매되고 있는데, 원래 형상을 유지하고 있는 곤충단백질의 경우 시각적으로 바람직하지 않은 측면이 있고, 다른 시료가 분말로 되어 있기 때문에 3종류 모두 분말로 되어 있는 시료를 사용하기로 하였음.
- 곤충 단백질 분말의 경우 시중에서 구입한 제품의 분말 크기가 아주 고르지 못해 프린팅에 사용 시에 노즐 걸림의 현상이 발생하여 실험을 중단하였음. 곤충단백질의 경우 미래 단백질로 각광받아 다양한 연구가 이뤄지는 중인데 고운 입자의 분말이 제품화 된다면 향후 3D 프린팅 기술에 적용하는 것을 시도해 볼 수 있을 것이라 기대됨.

- 대두 단백질과 유청 단백질의 경우 그 자체를 기반으로 반죽하기엔 혼합 특성이 밀가루에 비해 부족하기 때문에 밀가루 반죽에 첨가를 하는 방향으로 실험을 진행하였음. 반죽의 경우 표 3-20.의 성분비에 1g의 단백질을 첨가하여 실험을 진행하였으면 반죽하는 방법도 동일하게 물, 밀가루, 설탕, 소금, 단백질을 넣고 반죽기 1단으로 4분간 반죽하여 실험에 사용하였고, 그 결과는 그림 3-22.와 같음.

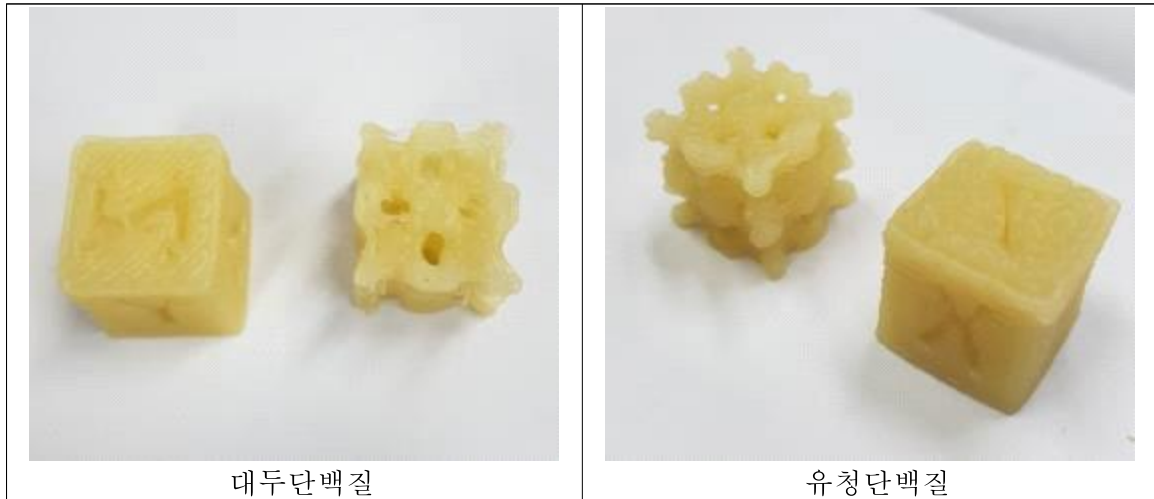


그림 3-22. 증점제를 첨가한 적층 결과

- 대두단백질은 (주)SNC인터내셔널 제품을 사용했으며 압출량은 5.0를 사용하였고, 유청단백질은 미국 기업인 marquez brothers international의 제품을 사용했고 압출량은 3.5를 사용하였음. 2가지 단백질을 첨가하여 실험 출력결과 모두 소재 안정성 개선을 위한 소프트웨어값 설정을 적용한 출력한 출력물임. 외관상으로도 판단을 해 보면 밀가루 반죽만으로 출력했을 때 보다 더 탄력적이고 탱글탱글한 느낌이 있었음.
- 대두단백질의 경우 콩에서 추출한 단백질로 식물성 단백질에 해당되며 동물성 단백질 섭취를 제한하는 채식주의자들의 주된 단백질 공급원으로 사용되고 있음.
- 식물성 단백질을 이용한 식품 프린팅 기술이 차후 더 발전하게 된다면 채식주의자의 음식선택의 폭이 넓어질 것으로 기대됨.

⑥ 당류, 초콜릿, 한천 등을 이용한 식품 개발

- 초콜릿 제품을 생산하는 대부분의 3D 푸드 프린팅 방식은 FDM 방식으로 토출이 적절하게 이루어질 수 있는 상태로 녹아 있어야 하는데, 이는 적정온도 이상으로 녹아 있으면 토출되기 전 먼저 흘러나올 수 있으며, 토출 후 적층 시 빨리 굳어지지 않아 초콜릿이 흘러내릴 수 있기 때문임. 또한 적정온도 이하로 녹아 있으면 초콜릿의 점성이 약하고, 일부 고체화 되어 압력을 주어도 토출되지 않거나, 토출 시 응집된 초콜릿이 함께 토출되어 제품이 거칠어지고, 상품성이 떨어지는 현상을 보이기 때문임. 이러한 현상 때문에 FDM 방식의 3D 푸드 프린팅 초콜릿은 45℃ ~ 48℃ 사이에서 적정 유동성이 생성되고, 토출 후 단시간에 굳어야 하기 때문에 점도 조절이 가능한 전용 초콜릿 제품을 사용해야 함.

- 결국 초콜릿에 들어있는 지방 함량을 줄이는 것이 지방에 남아 있는 무정형 유리당을 감소시켜 토출 시 초콜릿 제품을 형상화 시키는데 유리하게 작용하므로 최종 초콜릿 제품의 점도를 조절하는데 중요하다고 알려져 있고 또한 초콜릿을 활용한 푸드 프린팅의 경우 screw 타입의 프린터가 아닌 syringe 타입의 프린터를 주로 사용하는 것이 일반적이라고 알려져 있음.
- 본 실험에 사용된 푸드 프린터는 screw 방식이고, 쿨러의 작동이 약한 이유 때문인지 때문에 초콜릿이 토출 후 단시간에 굳지 못하고 뭉개지는 현상이 발생하여, 3차원으로 적층하기에 적합하지 않다고 판단되어 실험을 중지하였음.
- 당류 및 소다 등 첨가제를 이용하여 3D 프린터 익스트루더 통과 시, 메일라드 반응 등을 이용하고, 적층이 잘되는 특성을 사용하여 주문형 모델로 적층을 한 실험을 추진하고 있음.
- 한천을 활용한 프린팅은 밀가루 반죽에 첨가하는 방식으로 프린팅이 가능하다고 판단돼 표 3-20의 성분비에 한천 1g을 첨가하여 반죽했으며 물, 밀가루, 설탕, 소금, 한천, 버터를 투입하고 이전과 동일한 방식으로 반죽기 1단으로 4분간 반죽하여 실험을 진행하였음. 모델링은 thingiverse에서 슈퍼맨 로고가 적합할 것으로 판단되어 출력 시험을 진행하였고, 그 결과는 그림 3-23.과 같음.



그림. 3-23. 한천을 첨가한 출력 결과

- 압출량은 3.5를 사용했으며 다른 사항은 이전 소프트웨어 설정값을 동일하게 적용하여 출력을 하였음. 소프트웨어 설정값은 그림 3-25, 3-26, 3-27.과 같음.

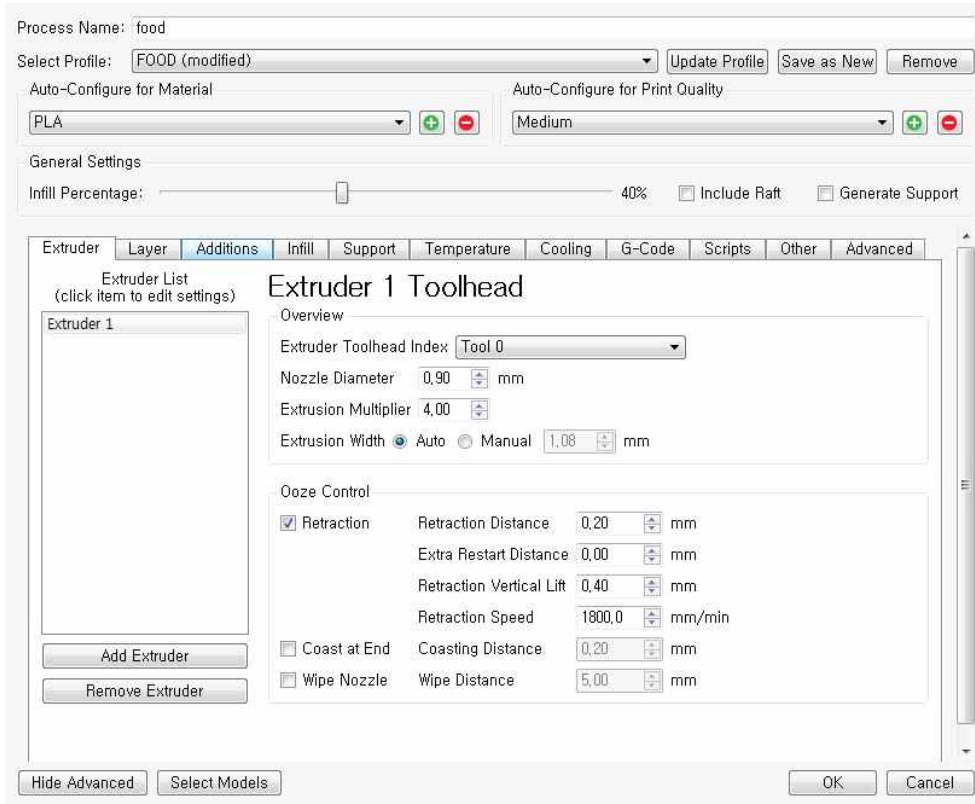


그림 3-24. 3D 프린터의 노즐 직경(Nozzle diameter)과 압출량(Extrusion multiplier) 설정

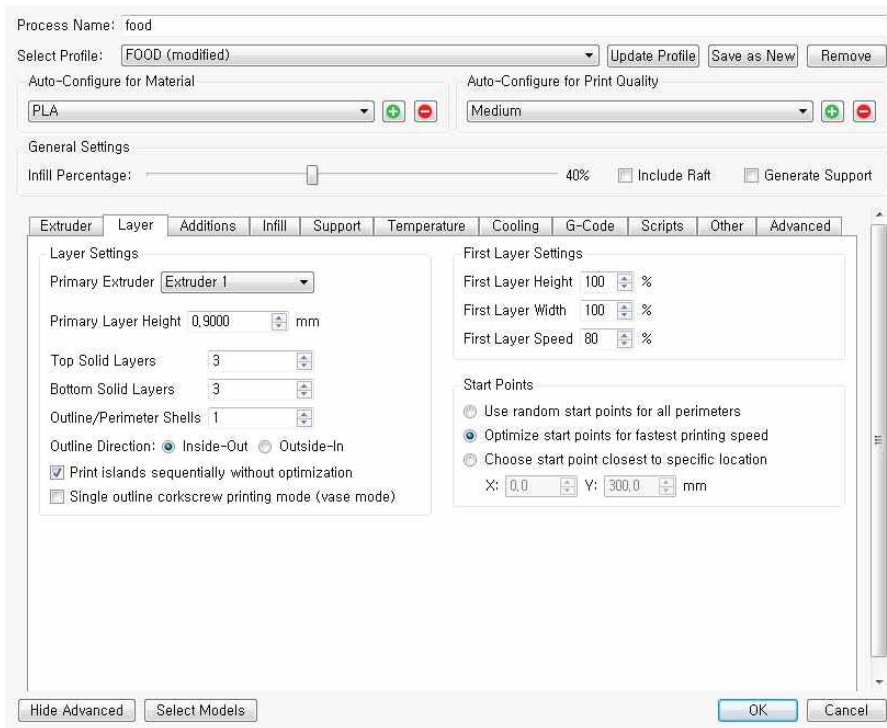


그림 3-25. Layer Settings 설정과 First Layer Settings 설정

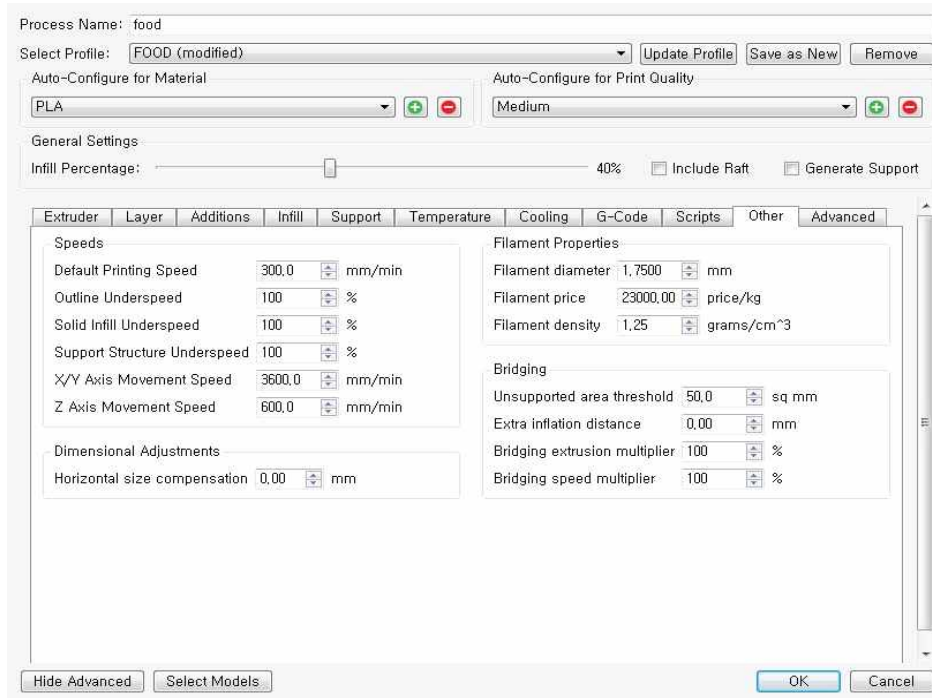


그림 3-26. 3D 프린터의 사출 속도(Default printing speed)와 필라멘트 설정

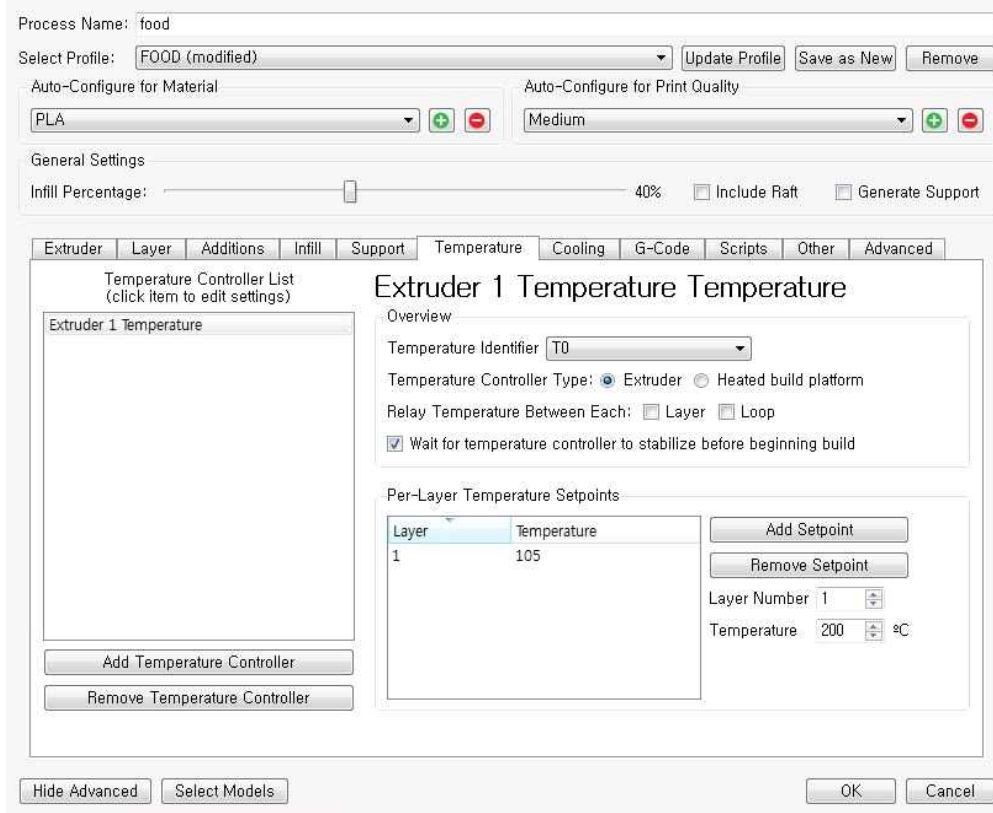


그림 3-27. 토출부 온도 설정

(사) 식품 3D 프린팅 연구 고찰과 개선점

① 실험에서의 고찰

- 밀가루 반죽에서, 지질 성분을 혼합하면 반죽의 물성이 좀 더 부드럽게 변화하여 출력 시 부드럽게 출력 돼 프린팅에 유의한 차이가 생김을 확인하였고 사용한 지질 중 버터가 제일 유의한 결과를 보였음. 카파 카라기난, 잔탄검, 아라비아검을 증점제로 이용한 반죽 혼합은 실제 프린팅 결과물의 유의적 변화를 이끌어내었고 이 중 잔탄검 첨가 반죽이 가장 프린팅 결과가 좋았음. 따라서 본 연구과제의 경우 물 36.2%, 밀가루 60.4%, 버터 2.6%, 잔탄검 1%의 중량비로 배합한 반죽을 이용한 프린팅 결과가 가장 좋았음. 발효를 거친 반죽은 찰기가 상당히 강해지므로 현재 사용 중인 FDM 방식의 3D 프린터로 사출하기는 어려울 것으로 보임.
- 최근 4~5년 동안 3D 푸드 프린팅의 재료와 기능이 지속적으로 개발 되면서 다양한 형태의 3D 푸드 프린팅 재료들이 출시되었으며, 다양한 외식 분야에 맞게 다양한 상품성을 인정받으며 활용되고 있음. 외식산업에서 활용한 3D 푸드 프린팅 해외 사례를 몇 가지 예로 들면 구체화 분자요리 기술을 사용한 3D 과일 프린터, 프린터 헤드 부분의 재료를 밀어내 층을 쌓아 만드는 방식을 이용한 3D 푸드 프린터, 과자의 틀을 만드는 프린터, 물을 이용한 프린터, 아이스크림을 만드는 프린터 등이 해외사례로 알려져 있음. 국내의 경우 라떼아트를 프린터로 만들기도 하고, 초콜릿을 출력하는 프린터를 만든 회사도 존재하지만 전체적인 수준은 기초단계에 머물러 있음. 그러나 푸드 3D 프린팅 세계시장은 개인 맞춤형 시장으로 변환되고 있기에 우리나라 또한 세계화에 발맞춰 발전해 나가야 한다고 생각됨. 본 연구 과제 수행 결과를 통해 푸드 3D 프린팅의 점진적인 기술개발에 뒷받침을 할 수 있기를 바라는 바임.

② 3D 프린터 개선 방안

- 3D 프린터의 구조를 사용자의 편의성을 고려하여 분해조립 및 세척의 용이성을 추가할 필요가 있다고 생각되며, 3D 프린팅이 일어나는 베드 부분이 금속이기에 토출물이 접합되지 못하는 문제가 있음. 이에 대한 대안방안으로 베드 위에 사무용지를 덧대고 거기에 찰싹풀을 도포하여 프린팅 시 토출된 결과물이 베드에 접착되도록 유도하는데, 식용 프린팅의 토출을 위해서는 베드 자체에 프린팅이 이루어지고 프린팅 결과물이 쉽게 베드에서 분리되도록 설계가 필요할 것으로 사료됨. 3D 프린터의 모터 출력이 높아진다면 프린팅에 실패한 효모 발효 반죽과 같은 소재도 프린팅에 사용할 수 있을 것으로 보임. 하드웨어의 경우 screw 타입의 프린터이기 때문에 헤드가 굉장히 무거운 구조를 갖고 있음. 3D프린팅의 현재 큰 단점중 하나가 출력 속도가 느리다는 단점이 있는데 무거운 헤드를 갖는 프린터는 가속도로 인해 속도를 줄여 가속도를 줄여야한다는 단점이 있어 속도의 단점이 더욱 심화될 수 있을 것으로 생각됨.
- 이를 해결하기 위해서는 모터의 크기는 줄이면서 모터의 출력은 높여야하는 기술적인 문제가 존재하지만, 하지만 본 실험에서 반죽 형태로 출력하다 보면 압출량이 3~30배까지 높은 출력을 요구하게 되는데 이는 모터의 출력이 현재 사용되는 모터보다 더 높은 출력량을 필요로 할 것으로 생각됨. 즉 현재 출력을 유지하면서 크기를 줄이는 기술도 아직

부족한데 출력까지 높아져야 하기 때문에 향후 다양한 3D 프린터 제작 기술이 개발되어야 한 것으로 생각됨.

- 소프트웨어의 경우 현재 대중적으로 사용되고 있는 PLA와 ABS의 경우 그때 그때마다 값을 변경해가며 사용하고 있으며 업데이트 또한 PLA와 ABS에 초점이 맞춰 진행되고 있음.
- 따라서 식품 프린팅을 위해서 소프트웨어의 사용지식을 이해하고 있어야 적용할 수 있을 것으로 사료됨.

(4) 식품 3D 프린팅 관련 파라미터 DB 구축 및 인터페이스 소프트웨어 개발 (퀀텀솔루션)

(가) 3D프린터의 형상 구현을 위한 파라미터 Database 구축 (1차년도)

- 3D 프린터의 형상 구현을 위한 파라미터 데이터베이스를 구축하였으며, 식감 및 식품소재에 대한 테이블을 생성하였음. 특히 식감 및 식품소재에 대한 테이블은 각 협력기관과 연계하여 필요한 자료형을 반영하였음. 이를 이용하여 각 협력기관의 연구결과를 데이터베이스로 구축하여 개인별 맞춤형 메타데이터로 이용할 수 있음.



그림 4-349. 식품 3D 프린터의 빌딩블록 구현을 위한 데이터베이스 설계

① 개인별 맞춤형 식품소재 및 식감 Database 구축 시스템 개요



그림 4-2. 데이터베이스 실물 사진

- 분산환경 기반 데이터베이스 확장을 위한 쿼리 기반 맞춤형 식감 데이터베이스 구축환경

- 1) OS : Ubuntu 12.04 LTS 64Bit
- 2) database : MySQL 5.5.37
- 3) FTP: pure-ftpd 1.0.35
- 4) Web Server: NginX 1.4.4
- 5) HDFS : Hadoop 1.0.4

- 맞춤형 식감 데이터베이스 수집을 위한 클라이언트 개발 환경

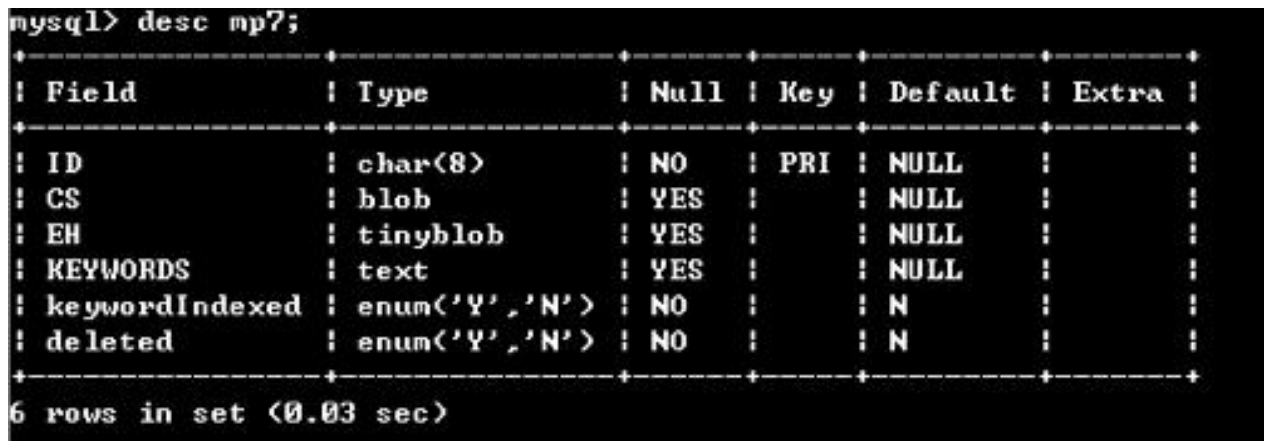
- 1) 운영체제: Windows 7
- 2) 개발언어: Oracle Java JDK 1.6.0_45
- 3) 라이브러리

② 맞춤형 식감 데이터베이스 설계

- 데이터베이스 생성 및 테이블 구조

```
mysql> create table mp7 (ID char(8) PrimaryKey,CS blob,EH tinyblob,KEYWORDS text,keywordIndexed enum('Y','N') NOT NULLDEFAULT 'N',deleted enum('Y','N') NOT NULL DEFAULT 'N');
```

표 4-1. 식감데이터베이스 테이블 생성



```
mysql> desc mp7;
```

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
ID	char(8)	NO	PRI	NULL	
CS	blob	YES		NULL	
EH	tinyblob	YES		NULL	
KEYWORDS	text	YES		NULL	
keywordIndexed	enum('Y','N')	NO		N	
deleted	enum('Y','N')	NO		N	

6 rows in set (0.03 sec)

그림 4-3. 식감 및 식품 소재 테이블 구조

- 테이블의 필드는 그림과 같이 총 6개의 필드로 구성되어 있다.

- 1) ID : 식감 혹은 식품 소재의 Index 번호
- 2) CS : 식감 대한 type 명시
- 3) EH : 식품 소재에 대한 type 명시
- 4) KEYWORD : 하위 재료 혹은 소재에 대한 이름 기재
- 5) keywordIndexed : 하위 재료 혹은 소재에 대한 인덱스 번호 명시
- 6) deleted : 변경 이력 저장

③ 맞춤형 식감 데이터베이스 접근 및 검색을 위한 핵심 Source (JAVA)

```
import java.sql.BatchUpdateException;
import java.sql.SQLException;
import java.util.HashMap;
import java.util.Iterator;
import java.util.Map;

abstract class DB implements Codes
{ /** The JDBC Connection that 'owns' this database instance. */
Conn conn = null;
/** The "begin:"and "commit:" statement handles. */
long begin = 0;
long commit = 0;
/** Tracer for statements to avoid unfinalized statements on db close. */
private final Map<Long, Stmt> stmts = new HashMap<Long, Stmt>();
// WRAPPER FUNCTIONS ////////////////////////////////////////
abstract void interrupt() throws SQLException;
abstract void busy_timeout(int ms) throws SQLException;
abstract String errmsg() throws SQLException;
abstract String libversion() throws SQLException;
abstract int changes() throws SQLException;
abstract int shared_cache(boolean enable) throws SQLException;
abstract int enable_load_extension(boolean enable) throws SQLException;
final synchronized void exec(String sql) throws SQLException {
long pointer = 0;
try {
pointer = prepare(sql);
switch (step(pointer)) {
case SQLITE_DONE:
ensureAutoCommit();
return;
case SQLITE_ROW:
return;
default:
throwex();
}
}
finally {
finalize(pointer);
}
}
final synchronized void open(Conn conn, String file, int openFlags) throws SQLException
```

```

{
this.conn = conn;
_open(file, openFlags);
}

finally {
ensureAutoCommit();
}
reset(stmt);
return changes;
}

final synchronized boolean execute(Stmt stmt, Object[] vals) throws SQLException {
if (vals != null) {
final int params = bind_parameter_count(stmt.pointer);
if (params != vals.length)
throw new SQLException("assertion failure: param count (" + params + ") != value count
(" + vals.length
+ ")");
for (int i = 0; i <params; i++)
if (sqlbind(stmt.pointer, i, vals[i]) != SQLITE_OK)
throwex();
}
int statusCode = step(stmt.pointer);
switch (statusCode) {
case SQLITE_DONE:
reset(stmt.pointer);
ensureAutoCommit();
return false;
case SQLITE_ROW:
return true;
case SQLITE_BUSY:
case SQLITE_LOCKED:
case SQLITE_MISUSE:
throw newSQLException(statusCode);
default:
finalize(stmt);
throw newSQLException(statusCode);
}
}

final synchronized boolean execute(String sql) throws SQLException {
int statusCode = _exec(sql);
switch (statusCode) {

```



```

case SQLITE_OK:
return false;
case SQLITE_DONE:
ensureAutoCommit();
return false;
case SQLITE_ROW:
return true;
default:
throw newSQLException(statusCode);
}
}

final synchronized int executeUpdate(Stmt stmt, Object[] vals) throws SQLException {
if (execute(stmt, vals))
throw new SQLException("query returns results");
reset(stmt.pointer);
return changes();
}

final void throwex() throws SQLException {
throw new SQLException(errmsg());
}

final void throwex(int errorCode) throws SQLException {
throw newSQLException(errorCode);
}

final void throwex(int errorCode, String errorMessage) throws SQLException {
throw newSQLException(errorCode, errorMessage);
}

static SQLException newSQLException(int errorCode, String errorMessage) throws
SQLException {
SQLiteErrorCode code = SQLiteErrorCode.getErrorCode(errorCode);
return new SQLException(String.format("%s (%s)", code, errorMessage));
}

private SQLException newSQLException(int errorCode) throws SQLException {
return newSQLException(errorCode, errmsg());
}

/*
* SQLite and the JDBC API have very different ideas about the meaning
* of auto-commit. Under JDBC, when executeUpdate() returns in
* auto-commit mode (the default), the programmer assumes the data has
* been written to disk. In SQLite however, a call to sqlite3_step()
* with an INSERT statement can return SQLITE_OK, and yet the data is
* still in limbo.
*
*/

```

```

* This limbo appears when another statement on the database is active,
* e.g. a SELECT. SQLite auto-commit waits until the final read
* statement finishes, and then writes whatever updates have already
* been OKed. So if a program crashes before the reads are complete,
* data is lost. E.g:
*
* select begins
* insert
* select continues
* select finishes
*
* Works as expected, however
*
* select beings
* insert
* select continues
* crash
*
* Results in the data never being written to disk.
*
* As a solution, we call "commit" after every statement in auto-commit
* mode.
*/
final void ensureAutoCommit() throws SQLException {
if (!conn.getAutoCommit())
return;
if (begin == 0)
begin = prepare("begin:");
if (commit == 0)
commit = prepare("commit:");
try {
if (step(begin) != SQLITE_DONE)
return; // assume we are in a transaction
if (step(commit) != SQLITE_DONE) {
reset(commit);
throwex();
}
//throw new SQLException("unable to auto-commit");
}
finally {
reset(begin);
reset(commit);
}
}

```

표 4-2. 맞춤형 식감 데이터베이스 쿼리를 위한 핵심 Source

(나) 식품 3D프린터 연동장치 하드웨어 설계 (1차년도)

- 맞춤형 데이터베이스와 3D프린터간 인터페이스 하드웨어는 Database에서 받은 식감 혹은 재료 목록을 3D 프린터에 정보를 제공하기 위한 하드웨어로써 아래 그림과 같이 Freescale I.MX6기반의 임베디드보드로 설계함. 이와 함께 Database와의 연동 인터페이스를 정의하였으며, 보드에 DB 쿼리 클라이언트 기능의 SW를 구현함.

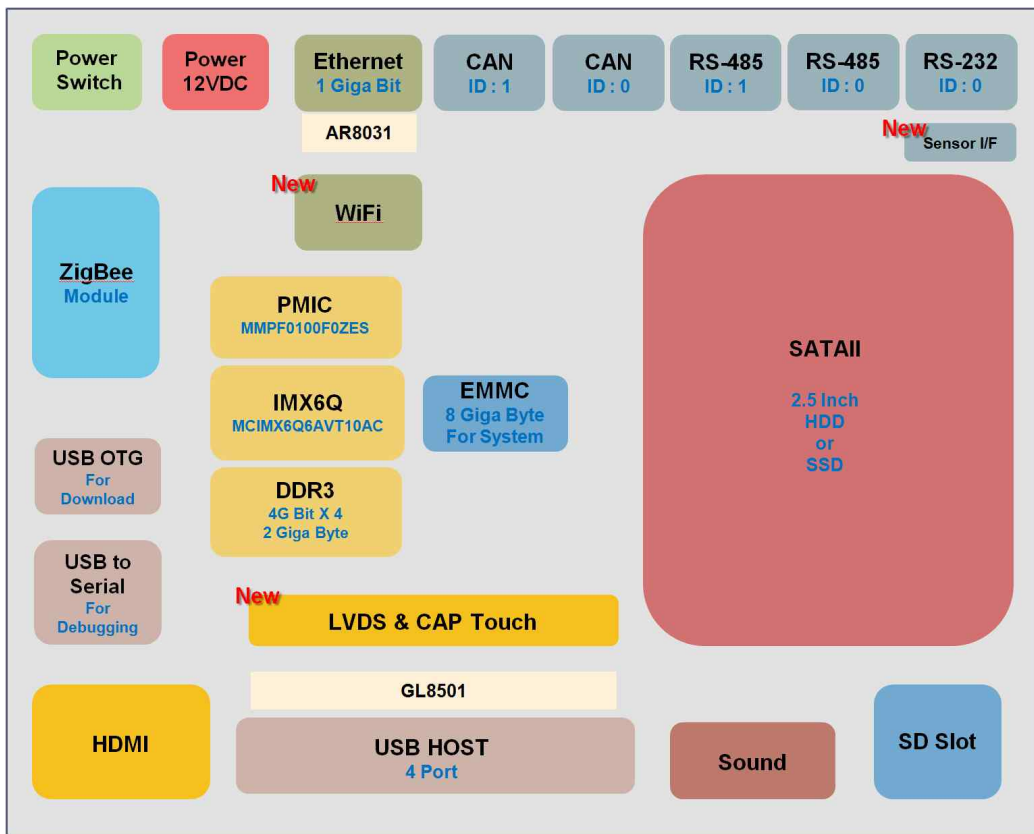


그림 352-4. 3D 프린터 인터페이스 하드웨어의 구조

① 3D 인터페이스 HW 설계

- 3D 프린터 HW 인터페이스는 다음과 같이 Database의 데이터를 처리하기 위한 MCU부와 통신을 위한 MAC-PHY부 및 전원부 등으로 이루어져 있으며, Database와의 연결은 이더넷을 이용함. 또한 프린터와의 연동은 UART/SPI/I2C 등을 통하여 연동할 수 있음.
- 3D 프린터와 연동하기 위한 I2C에 대한 하드웨어 모듈 구성

I2C Address MAP

I2C Port 1			
Peripheral	Speed (kpbs)	8-Bit Write Addresses	Default Write Address
X Axis	400	0x34,0x36	0x34

I2C Port 2			
Peripheral	Speed (kpbs)	8-Bit Write Addresses	Default Write Address
Y Axis	100	0x50	0x50

I2C Port 3			
Peripheral	Speed (kpbs)	8-Bit Write Addresses	Default Write Address
Z Axis	400	0x10 to 0x1E	0x10

+

그림 353 3D 프린터 연동을 위한 I2C 인터페이스 구성

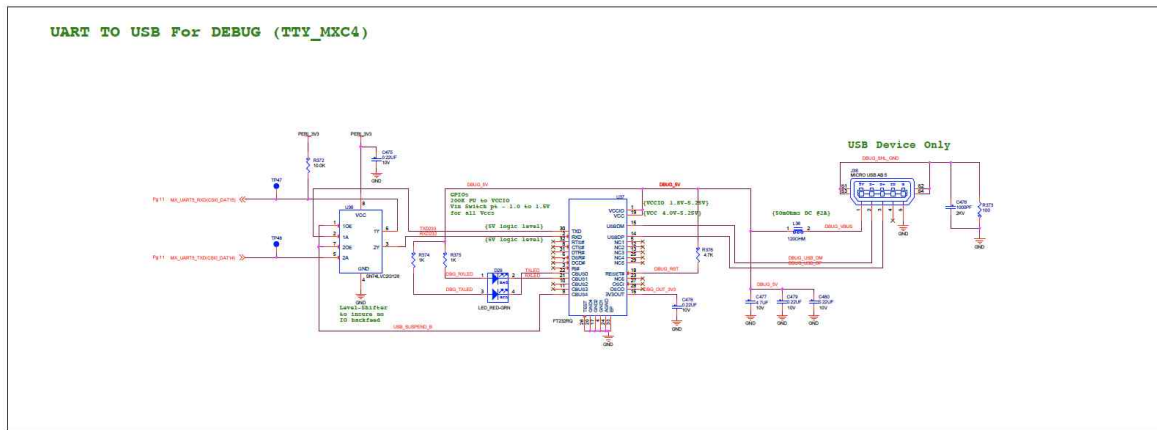
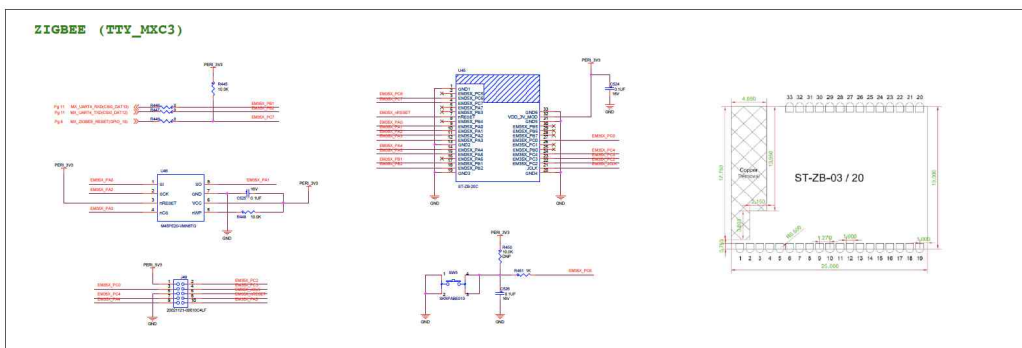
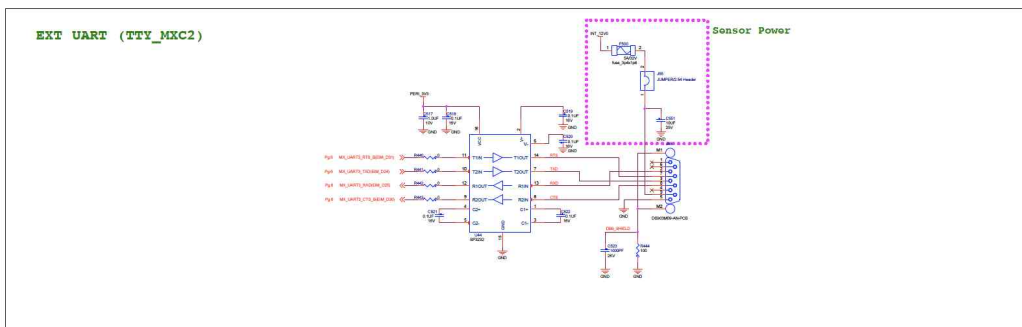


그림 354 USB(UART) 모듈 설계

- 3D 프린터와 연동하기 위한 USB등 Debug 모듈
- 맞춤형 메타데이터 데이터베이스 연동하기 위한 RF 통신 모듈 및 외부 연동을 위한 기타 통신 모듈



- 맞춤형 메타데이터 데이터베이스 처리하기 위한 MCU 설계

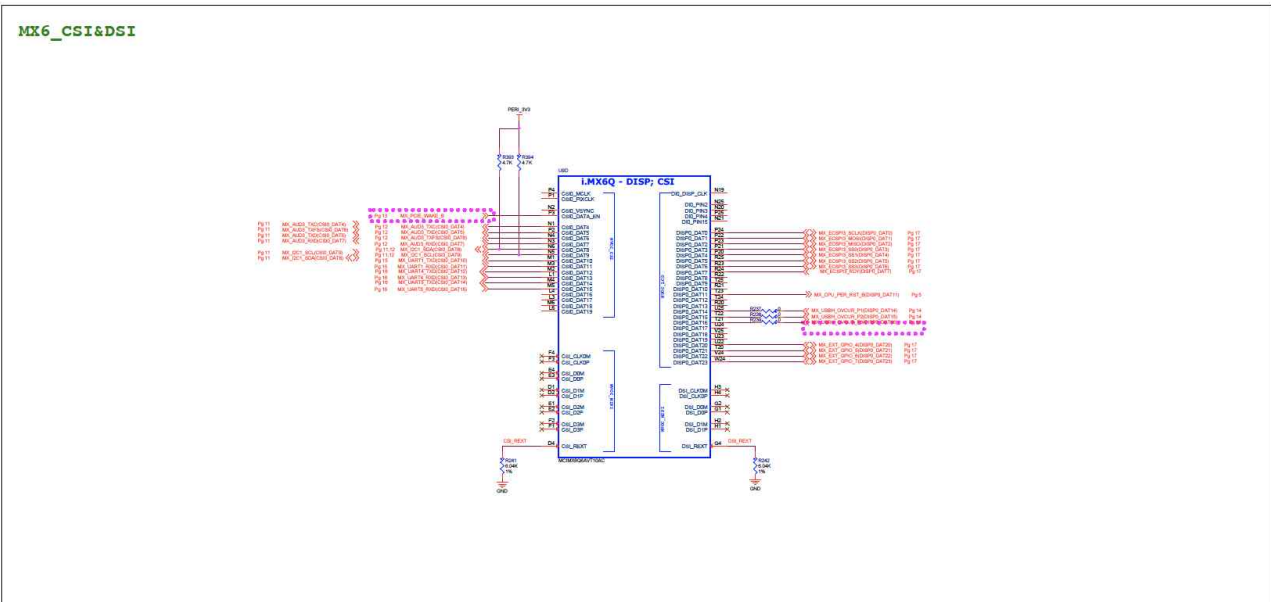


그림 356 맞춤형 데이터베이스 검색 및 처리를 위한 Freescale I.MX6 기반 CPU

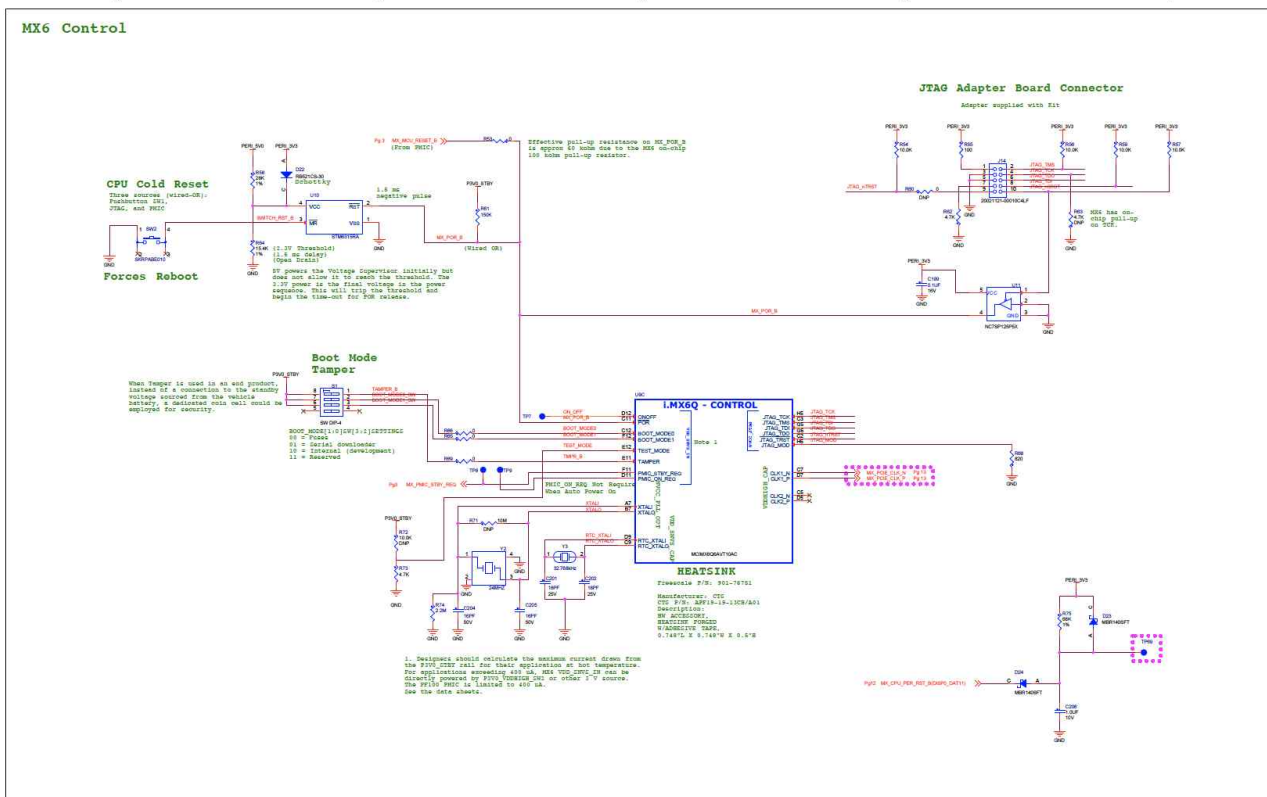


그림 357 Freescale I.MX6 제어부 설계

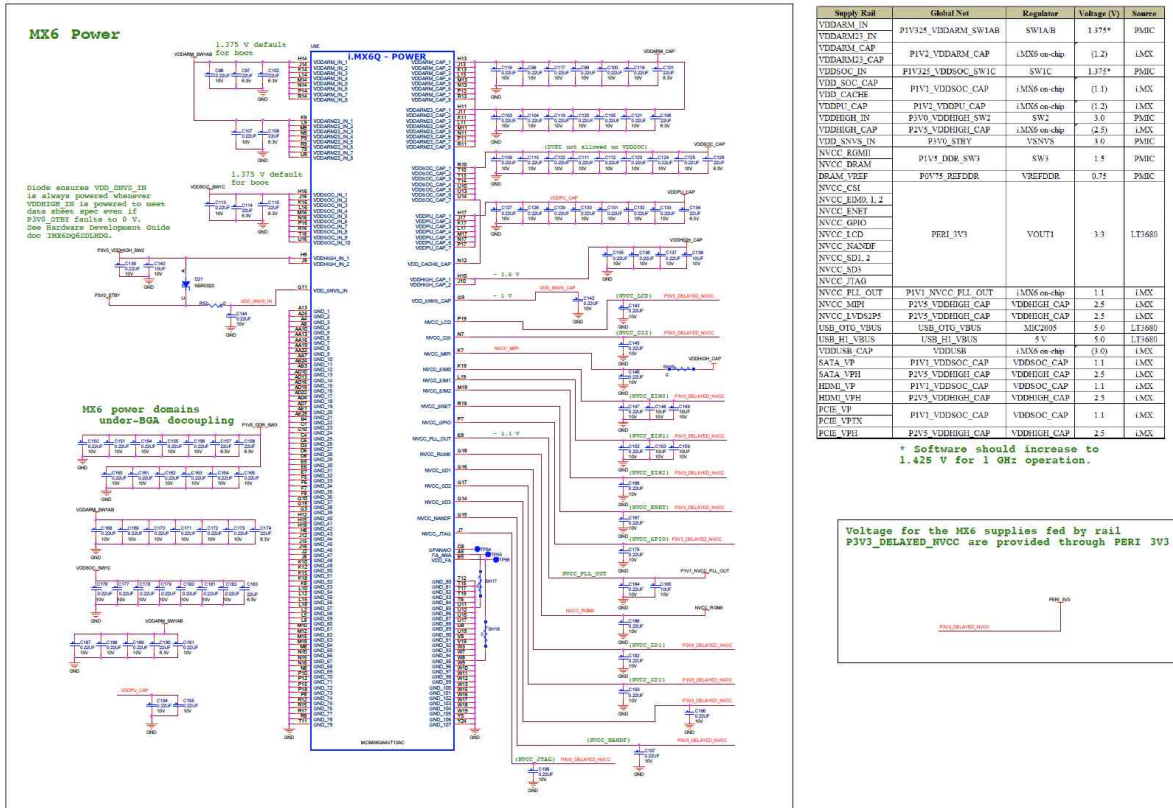


그림 358 Freescale I.MX6 Pin MAP 및 Power설계

② 3D 인터페이스 HW의 시작품 제작

- 맞춤형 데이터베이스 및 3D 프린터 연동 인터페이스 HW의 설계에 따라 아래 그림과 같이 HW 시작품을 제작함.



그림 4-11. 3D 인터페이스 HW 시작품 (1차년도)

- 맞춤형 데이터베이스 및 3D 프린터 연동 인터페이스 연동부 구현 Source(SNMP, JAVA)

```
import org.snmp4j.smi.Address;
import org.snmp4j.smi.GenericAddress;
import org.snmp4j.smi.Integer32;
import org.snmp4j.smi.OID;
import org.snmp4j.smi.OctetString;
import org.snmp4j.smi.Variable;
import org.snmp4j.transport.TransportMappings;

public class SNMPAgent extends BaseAgent {

    private String address;

    public SNMPAgent(String address) throws IOException {
        super(new File("conf.agent"), new File("bootCounter.agent"),
            new CommandProcessor(new
OctetString(MPv3.createLocalEngineID())));
        this.address = address;
    }
    /**
     * Adds community to security name mappings needed for SNMPv1 and
SNMPv2c.
     */
    @Override
    protected void addCommunities(SnmpCommunityMIB communityMIB) {
        Variable[] com2sec = new Variable[] { new OctetString("public"), new
OctetString("cpublic"), // security
            // name
                getAgent().getContextEngineID(), // local engine ID
                new OctetString("public"), // default context name
                new OctetString(), // transport tag
                new Integer32(StorageType.nonVolatile), // storage type
                new Integer32(RowStatus.active) // row status
        };
        MOTableRow row = communityMIB.getSnmpCommunityEntry()
            .createRow(new OctetString("public2public").toSubIndex(true),
com2sec);
```

```

communityMIB.getSnmpCommunityEntry().addRow((SnmpCommunityEntryRow) row);
    }
    /**
     * Adds initial notification targets and filters.
     */
    @Override
    protected void addNotificationTargets(SnmpTargetMIB arg0, SnmpNotificationMIB
arg1) {
        // TODO Auto-generated method stub

    }

    /**
     * Adds all the necessary initial users to the USM.
     */
    @Override
    protected void addUsmUser(USM arg0) {
        // TODO Auto-generated method stub

    }

    /**
     * Adds initial VACM configuration.
     */
    @Override
    protected void addViews(VacmMIB vacm) {
        vacm.addGroup(SecurityModel.SECURITY_MODEL_SNMPv2c, new
OctetString("cpublic"), new OctetString("v1v2group"),
StorageType.nonVolatile);

        vacm.addAccess(new OctetString("v1v2group"), new OctetString("public"),
SecurityModel.SECURITY_MODEL_ANY,
SecurityLevel.NOAUTH_NOPRIV, MutableVACM.VACM_MATCH_EXACT,
new OctetString("fullReadView"),
new OctetString("fullWriteView"), new
OctetString("fullNotifyView"), StorageType.nonVolatile);

        vacm.addViewTreeFamily(new OctetString("fullReadView"), new

```



```

OID("1.3"), new OctetString(),
        VacmMIB.vacmViewIncluded, StorageType.nonVolatile);

    }

    /**
     * Unregister the basic MIB modules from the agent's MOSEver.
     */
    @Override
    protected void unregisterManagedObjects() {
        // TODO Auto-generated method stub

    }

    /**
     * Register additional managed objects at the agent's server.
     */
    @Override
    protected void registerManagedObjects() {
        // TODO Auto-generated method stub

    }

    protected void initTransportMappings() throws IOException {
        transportMappings = new TransportMapping[1];
        Address addr = GenericAddress.parse(address);
        TransportMapping tm =
TransportMappings.getInstance().createTransportMapping(addr);
        transportMappings[0] = tm;
    }

    /**
     * Start method invokes some initialization methods needed to start the
     * agent
     *
     * @throws IOException
     */
    public void start() throws IOException {

```

```

        init();
        // This method reads some old config from a file and causes
        // unexpected behavior.
        // loadConfig(ImportModes.REPLACE_CREATE);
        addShutdownHook();
        getServer().addContext(new OctetString("public"));
        finishInit();
        run();
        sendColdStartNotification();
    }

    /**
     * Clients can register the MO they need
     */
    public void registerManagedObject(ManagedObject mo) {
        try {
            server.register(mo, null);
        } catch (DuplicateRegistrationException ex) {
            throw new RuntimeException(ex);
        }
    }

    public void unregisterManagedObject(MOGroup moGroup) {
        moGroup.unregisterMOs(server, getContext(moGroup));
    }
}

```

표 4-3. 맞춤형 식감 데이터베이스 연동 인터페이스(SNMP) 구현 Source

(다) 식품 3D프린터 연동장치 및 Database시스템간 식품 3D프린터 파라미터 통합 인터페이스 정의(2차년도)

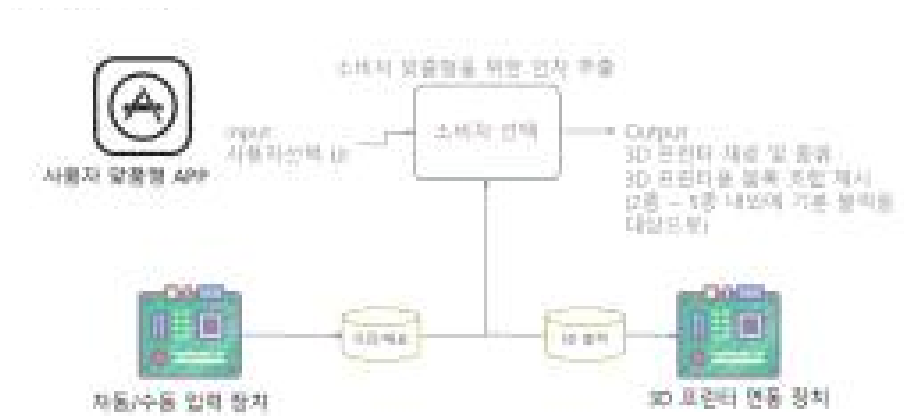


그림 4-12. 식품 3D프린터 연동장치와 Database 시스템간 식품 3D프린터 파라미터 통합 환경

- 식품 3D 프린터의 식품 형상 재현을 위한 전체 시스템 구축을 위해 식감 및 식품소재에 대한 테이블을 생성하였음. 특히 식감 및 식품소재에 대한 테이블은 각 협력기관과 연계하여 필요한 데이터를 수동 입력 장치를 이용하여 반영하였음. 연동 장비는 3차년도에서는 각 협력기관의 연구결과를 자동 입력 장치를 이용하여 자동으로 데이터베이스로 구축하여 추후 개인별 맞춤형 메타데이터로 이용할 수 있도록 추후 추진함.

① 식감 및 재료 DB 시스템 개발 및 구축

- 1차년도 구성된 분산환경 기반 데이터베이스 확장을 위한 식감/재료 데이터베이스 구축 환경
 - 1) OS : Ubuntu 12.04 LTS 64Bit
 - 2) database : MariaDB 10.2.6
 - 2) FTP: pure-ftpd 1.0.35
 - 4) Web Server: NginX 1.4.4
 - 5) HDFS : Hadoop 1.0.4
- 맞춤형 식감 데이터베이스 수집을 위한 클라이언트 개발 환경
 - 1) 운영체제: 라즈베리 파이 3
 - 2) 개발언어: Oracle Java JDK 1.6.0_45
 - 3) 라이브러리

- 맞춤형 식감/재료 데이터베이스 생성 및 테이블 구조
: 식감 관련 테이블

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
ID	char(10)	NO	PK	NULL	
CS	text	NO		NULL	
EH	text	NO		NULL	
hardness	float	NO		NULL	
cohesiveness	float	NO		NULL	
springiness	float	NO		NULL	
resilience	float	NO		NULL	
chewiness	float	NO		NULL	
gumminess	float	NO		NULL	
adhesiveness	float	NO		NULL	

TPA (식감관련) 테이블의 필드는 그림과 같이 총 10개의 필드로 구성되어 있다.

- 1) ID : 식감 혹은 재료의 Index 번호
- 2) CS : 식감 대한 type 명시
- 3) EH : 식감 대한 보조 데이터 명시
- 4) hardness: 식감의 경도에 관한 데이터 명시
- 5) cohesiveness: 식감의 응집력에 관한 데이터 명시
- 6) springiness :식감의 탄력성에 관한 데이터 명시
- 7) resilience : 식감의 회복력에 관한 데이터 명시
- 8) chewiness : 식감의 질감(씹김성)에 관한 데이터 명시
- 9) gumminess: 식감의 점착성에 관한 데이터 명시
- 10) adhesiveness: 식감의 접착성에 관한 데이터 명시

Field	Type	Null	Key	Default	Extra
ID	char(10)	NO	PK	NULL	
CS	text	NO		NULL	
EH	text	NO		NULL	
color	text	NO		NULL	
shape	text	NO		NULL	
smell	text	NO		NULL	
touch	text	NO		NULL	
taste	text	NO		NULL	
texture	text	NO		NULL	

선택적 식품을 위한 관련 테이블

맞춤형 식품 선택을 위한 테이블의 필드는 그림과 같이 총 9개의 필드로 구성되어 있다.

- 1) ID : 식품 혹은 재료의 Index 번호
- 2) CS : 식품 대한 type 명시
- 3) EH : 식품 대한 보조 데이터 명시
- 4) color: 선택되는 식품의 전반적인 색감에 관한 데이터 명시
- 5) shape: 선택되는 식품의 전반적인 모양에 관한 데이터 명시
- 6) smell: 선택되는 식품의 전반적인 냄새에 관한 데이터 명시
- 7) touch: 선택되는 식품의 전반적인 촉감에 관한 데이터 명시
- 8) taste: 선택되는 식품의 예상되는 맛에 관한 데이터 명시
- 9) texture: 선택되는 식품의 전반적인 질감에 관한 데이터 명시

: 퀴텀솔루션 자체 데이터 베이스 옵션 구성

소비자 맞춤형을 위해 1) 병원, 2) 양로원, 3) 자택의 간호 보조사 등의 시나리오를 고려할 수 있으며

1) 사용자의 나이

→ 선호 식품 및 식감의 민감한 데이터

2) 사용자의 성별

→ 선호 식품 및 식감의 민감한 데이터

3) 사용자의 치아 상태

→ 식감의 민감한 데이터

4) 사용자의 병력 상태

→ 선호 식품의 민감한 데이터

등을 추가 하여 사용자 UI를 구성하였다.

(라) 식품 3D프린터 및 외부연동 인터페이스 소프트웨어 설계 및 개발(2차년도)

① 사용자 맞춤형 APP 개발을 위한 UI설계

사용자 UI APP

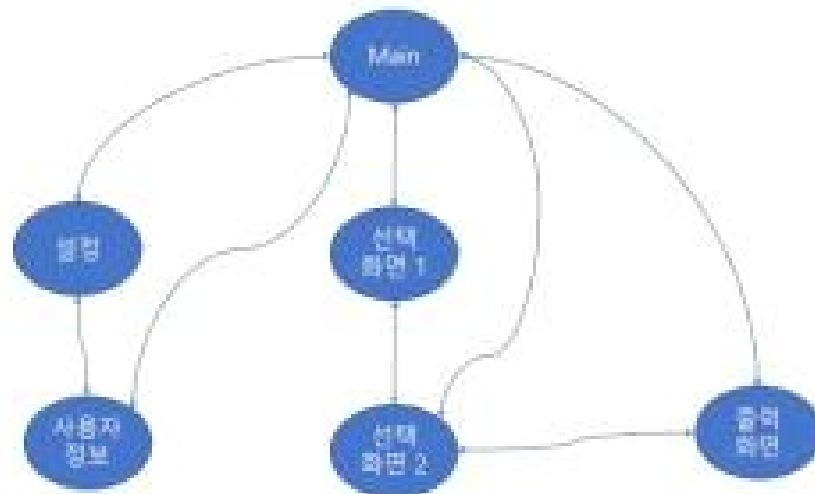


그림 4-13. 사용자 맞춤형 APP의 UI Flow Diagram

- 식품 3D 프린터의 사용자 맞춤형 식품 프린터는 사용자가 원하는/상태에 맞는 식품을 푸드 프린터로 출력하여 손쉽게 이용하여 식품을 시식해야함. 이를 위해서는 식감/재료의 DB를 기반으로 사용자 UI가 중요하며 사용자 시나리오를 이용하여 선택적 화면을 구성하여 사용자가 쉽게 푸드 프린터에 접근하여 본인의 상태에 적합하고 원하는 식품의 식감/조직감 등으로 식품을 프린터 할 수 있어야 함.
- 본 사용자 맞춤형 APP 개발은 이러한 사용자 시나리오를 기반으로 쉽게 사용자가 푸드 프린터에 접근하는 것을 목표로 함.

<p>사용자 ID - ID를</p>  <p>사용자 선택 및 적용 방법</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 대상 아이디는 없음 2. 해당 아이디/비밀번호 외에 식재료명 	<p>사용자를 선택. 관리자에 의해 사용자가 관리 되므로 비밀번호 없이 사용자의 ID를 기반으로 선택.</p>
<p>사용자 ID - 선택 화면 1</p>  <p>사용자 선택 및 적용 방법</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 다음창에 있는 음식은 표시를 해제하면 안됨 	<p>사용자가 선택했던 요리가 보여짐. 또한 푸드 프린터에서 가능한 요리가 선택화면으로 보여줌.</p>
<p>사용자 ID - 선택 화면 2</p>  <p>30분용의 물-여정용 설정</p>	<p>사용자가 선택한 요리의 식감/재료를 자동으로 계산하여 푸드 프린터로 전송함</p>

<p>사용자 내 - 요리 화면</p> 	<p>사용자를 요리를 프린팅 함. 사용자가 선택한 요리의 출력 현황 및 결과를 보여 줌.</p>
<p>사용자 내 - 설정 화면</p> 	<p>관리자의 페이지를 보여줌 사용자의 여러 가지 정보를 기입하여 저장/관리 함</p>
<p>사용자 내 - 사용자 관리</p> 	<p>관리자의 페이지를 보여줌 한명의 관리자가 여러명의 사용자를 관리함.</p>

② 사용자 맞춤형 APP 구현 화면



사용자가 본인의 ID를 입력하여 로그인하는 화면



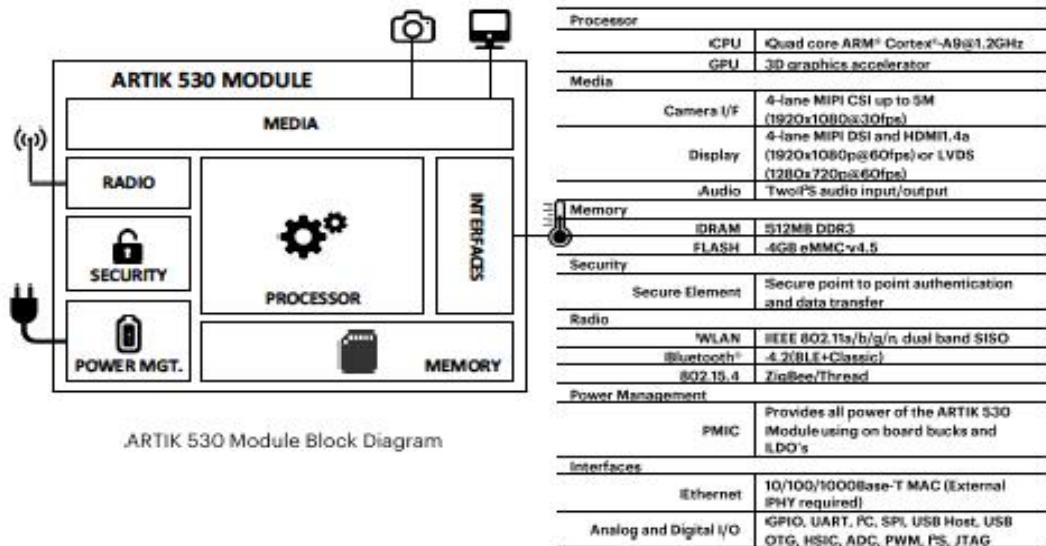
사용자가 로그인후 최근 프린팅 했던 요리 및 선택할 수 있는 요리를 보여줌



사용자가 선택한 요리를 푸드 프린터로 출력하는 상태를 표시함

③ 입력을 위한 자동/수동 입력 장치 하드웨어 개발 및 테스트

- 사용자 맞춤형 식품 프린터는 사용자가 원하는/상태에 최적의 식품을 쉽게 프린터하기 위해서는 식감/재료의 DB 구축이 매우 중요하며 이러한 DB는 소량의 데이터가 아닌 방대한 데이터 기반의 적절한 선택 및 제안을 할 수 있어야 함.
- 그러나, 식감 데이터를 모든 분야의 자료를 데이터화 하기에는 무리가 있다고 판단하여 각 장비 연동하여 자동으로 데이터를 취득 후 DB에 삽입하는 자동/수동 입력 장치를 개발 및 테스트 함.



ARTIK 530 Module Block Diagram

그림 4-12 메인 CPU 특징

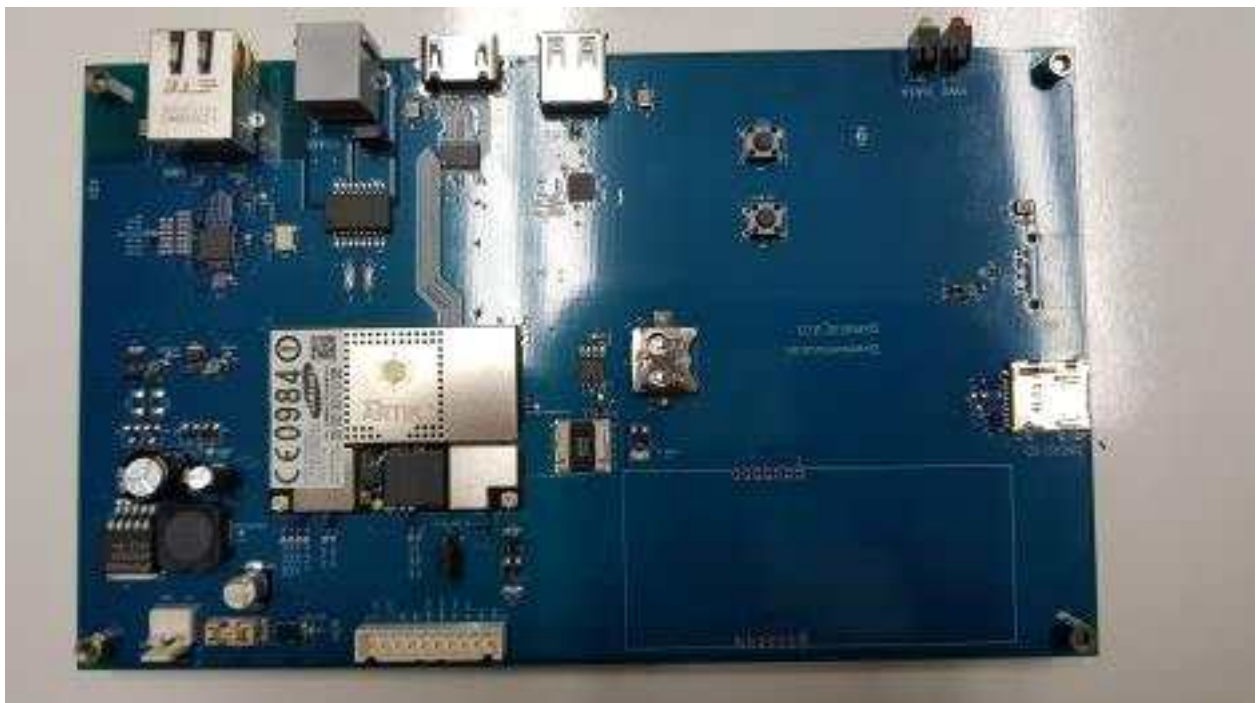
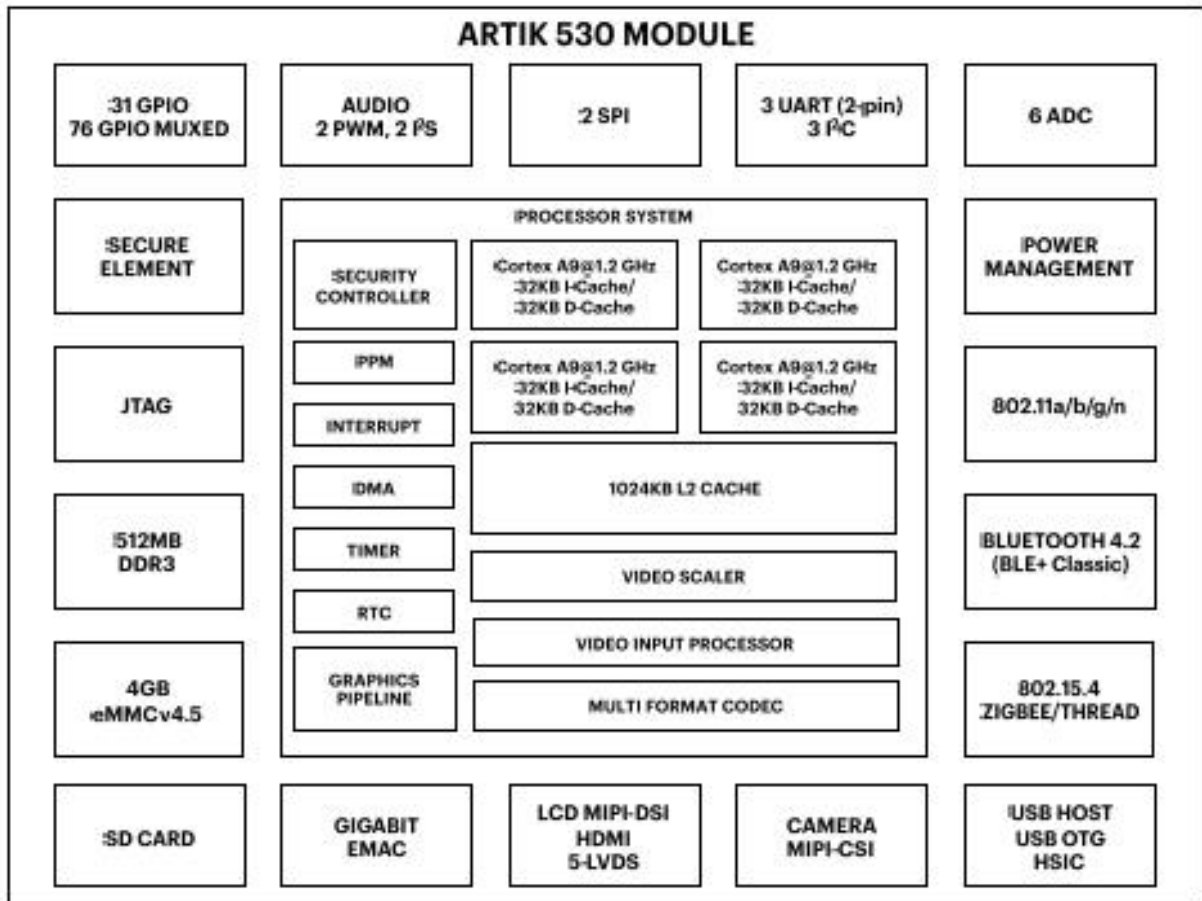


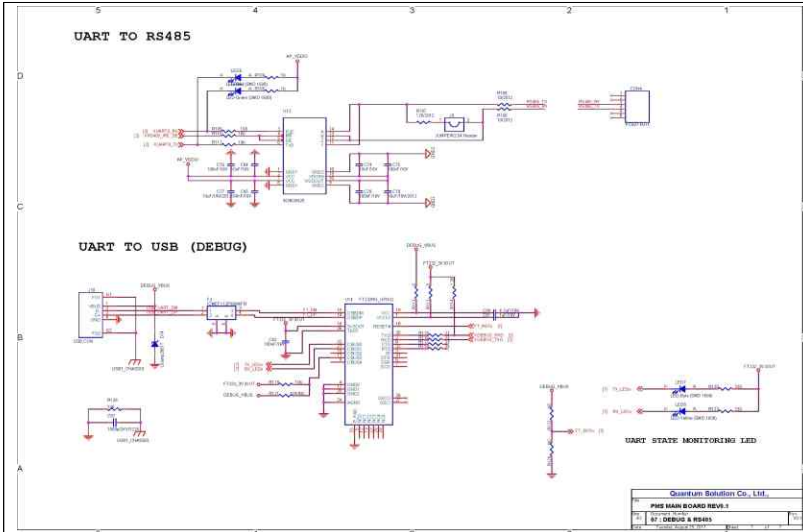
그림 4-13. 자동 입력을 위한 하드웨어



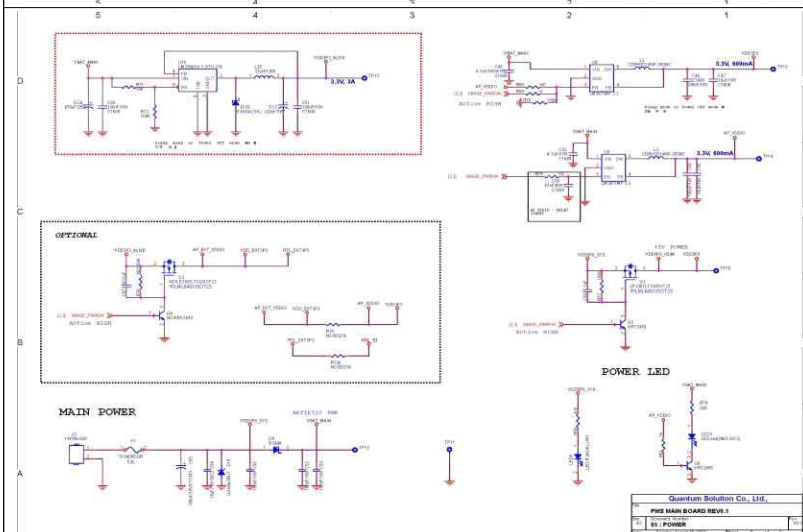
ARTIK 530 Module Top View

자동 입력을 위해 삼성에서 생산하는 IoT 모듈인 아틱 5를 사용하였다. 이 모듈은 리눅스 기반의 프로그램이 가능하게 되어 있다.

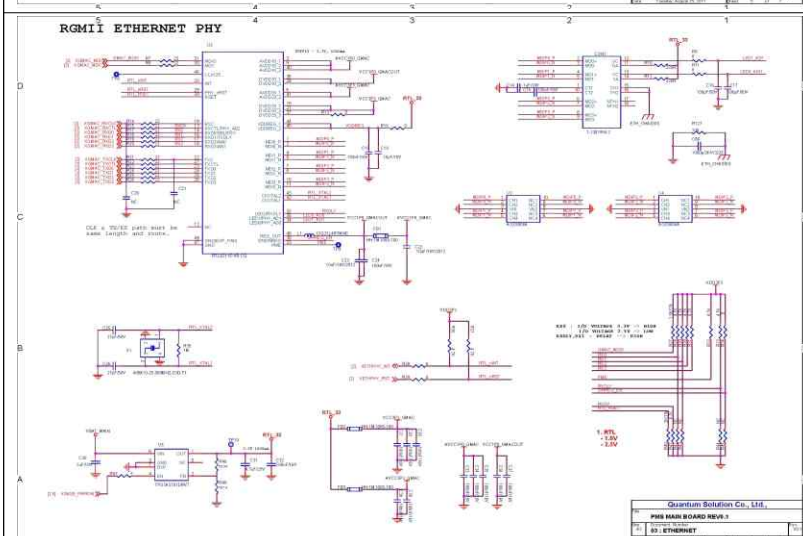




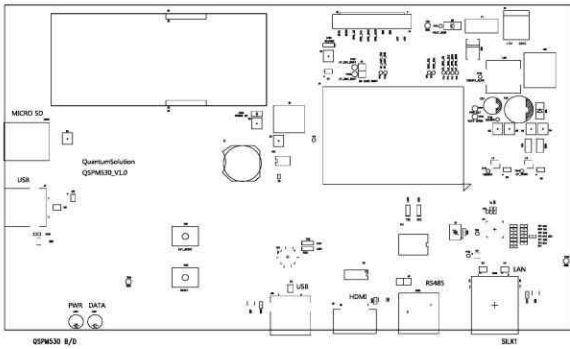
회로 구성도



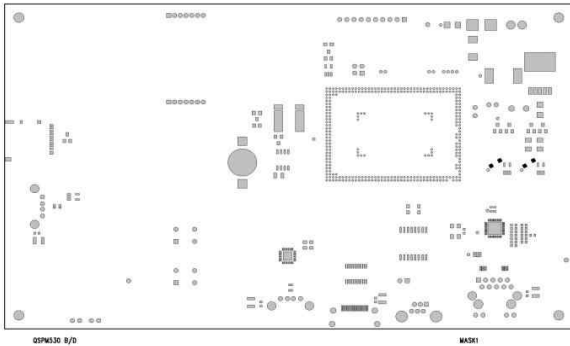
회로 구성도



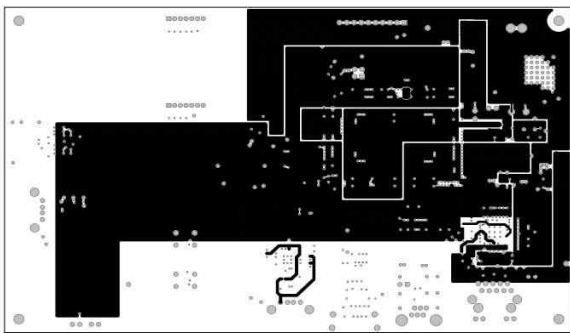
회로 구성도



SMT 구성도



SMT 구성도



SMT 구성도

(마) 3D프린터 연동 장치 하드웨어 개발(2차년도)

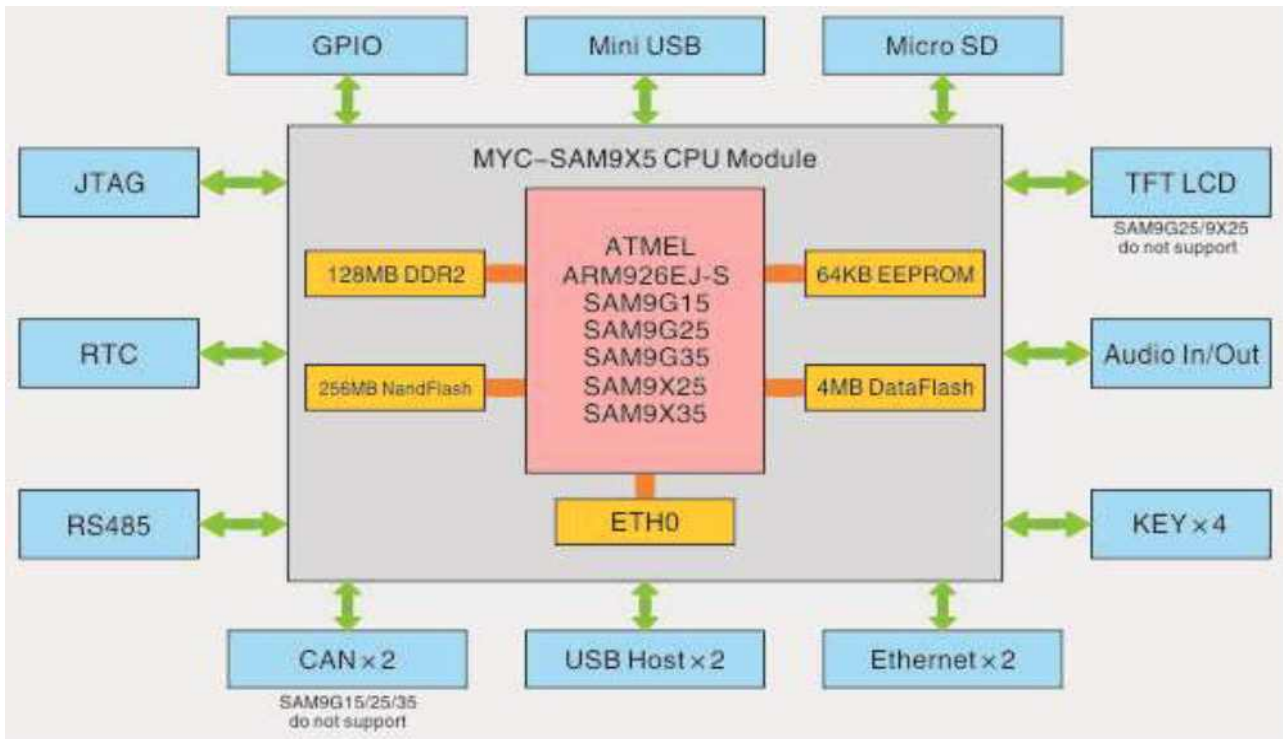
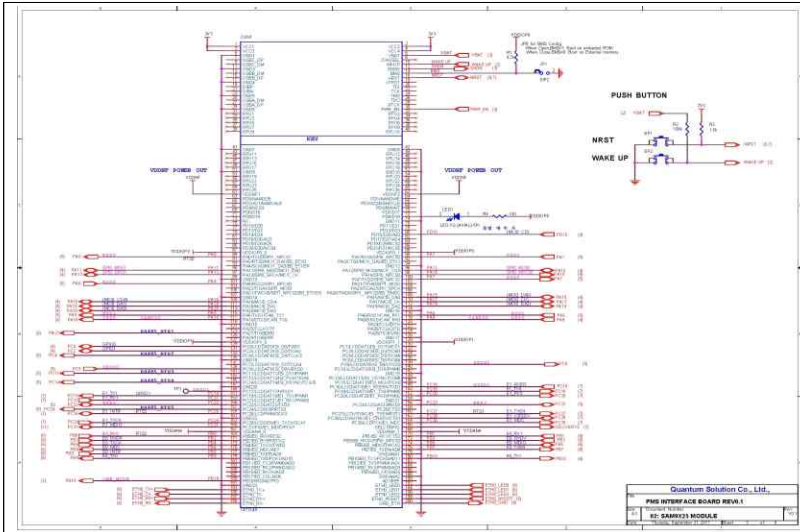


그림 4-14. 3D프린터 연동 장치 하드웨어 구성도

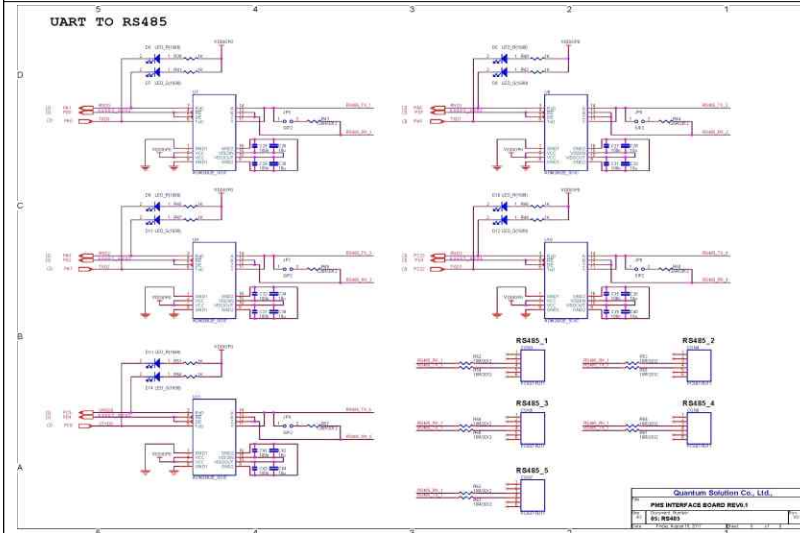
- 3D프린터 연동 장치는 사용자가 원하는 식품을 선택하고 식감을 선택한 후에 개별적 블록의 크기/밀도 등을 계산하여 푸드 프린터가 가지고 있는 G-Code를 출력할 수 있게 지원해야 한다.



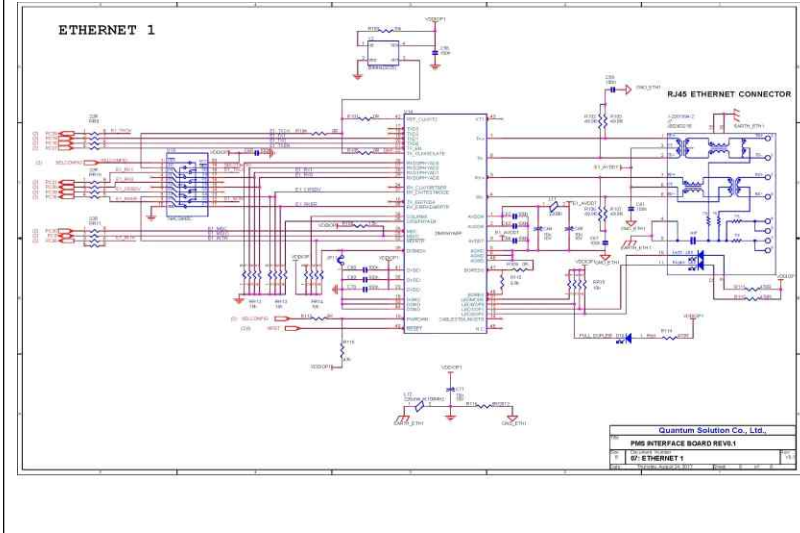
그림 4-15. 구성된 하드웨어 실물 사진



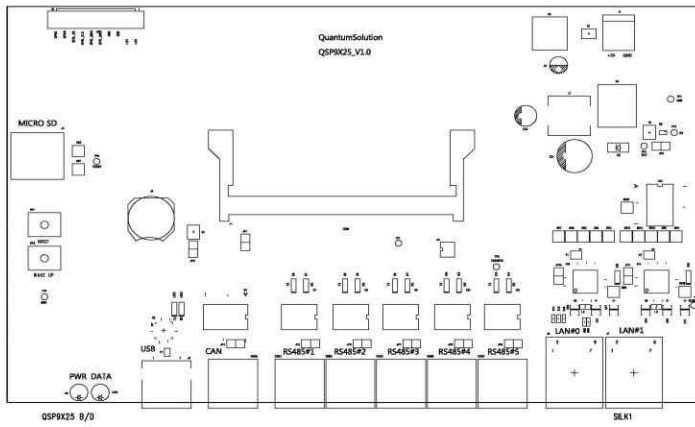
회로 구성도



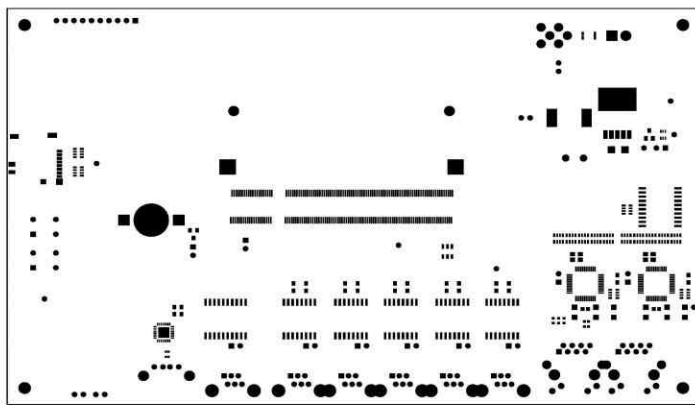
회로 구성도



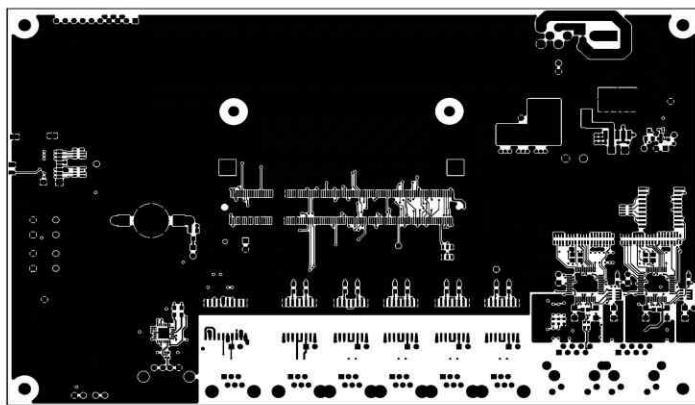
회로 구성도



SMT 구성도



SMT 구성도



SMT 구성도

(바) 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발(3차년도)

- 식감 데이터를 기반 파라미터 추출을 통한 식품 3D프린터와 파라미터 연계성 연구 및 인터페이스 소프트웨어 연구를 통해 사용자 맞춤형 및 선택형 UI기반의 디자인 확보.
- 식품 3D 프린팅 사용자 연동 인터페이스 정의 및 관련 연동 소프트웨어 개발을 통해 스트러처 프로파일과 식감을 매칭시키는 레퍼런스 테이블을 DB화 후 소비자 계층에 따른 연계성 연구 진행.

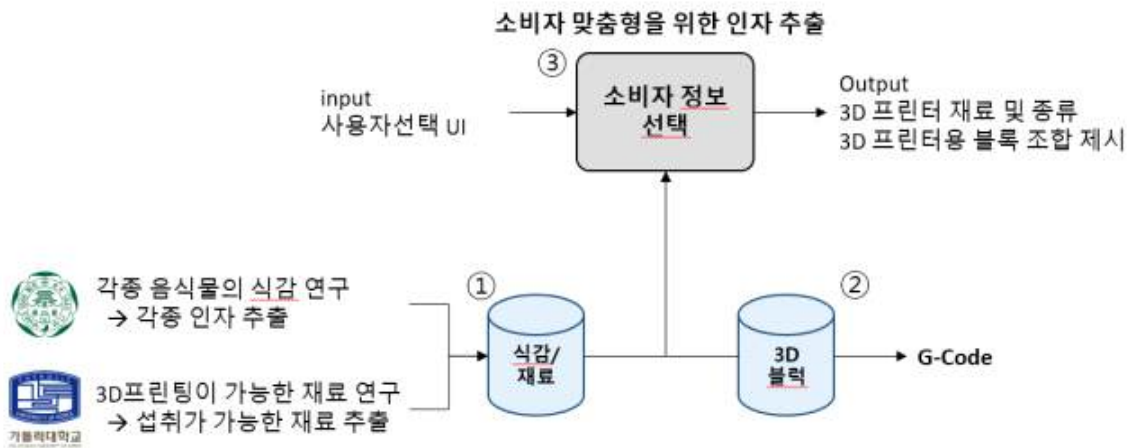


그림 4-17. 시스템 통합 연동 환경

① 식품소재 3D 데이터베이스 연동 소프트웨어 고도화

- 고도화 및 레퍼런스 사이트 구축을 위해 DB 테이블 구조를 변경 적용하였으며 식감 데이터 증가 시에도 지속적인 업그레이드 가능한 구조로 적용함.

주요 정보	DB 주요 항목	
개인별건강정보	<ul style="list-style-type: none"> • 나이 • 성별 • 병력(고혈압, 당뇨병, 암 등) • 치아건강상태 	
식품의 관능적 요소	<ul style="list-style-type: none"> • 색 • 모양 • 냄새 	<ul style="list-style-type: none"> • 촉감 • 맛 • 조직감
TPA 추출정보	<ul style="list-style-type: none"> • Hardness • Cohesiveness • Springiness 	<ul style="list-style-type: none"> • Resilience • Chewiness • Gumminess • adhesiveness
식품분말재료	<ul style="list-style-type: none"> • 콩단백질 등 단백질 • 다당류 하이드로 콜로이드 • 해조류 유래 다당류 • CMC, 식물체 바이오매스 등 셀룰로오스 • 감자전분, 고구마전분, 글루코오스 등 탄수화물 • 유지방 등 필러 	
식품액상재료	<ul style="list-style-type: none"> • 시럽, 과당 등 식용 당류 • 식물성 액상 지질 • 액상 에멀전, 현탁액 등 	

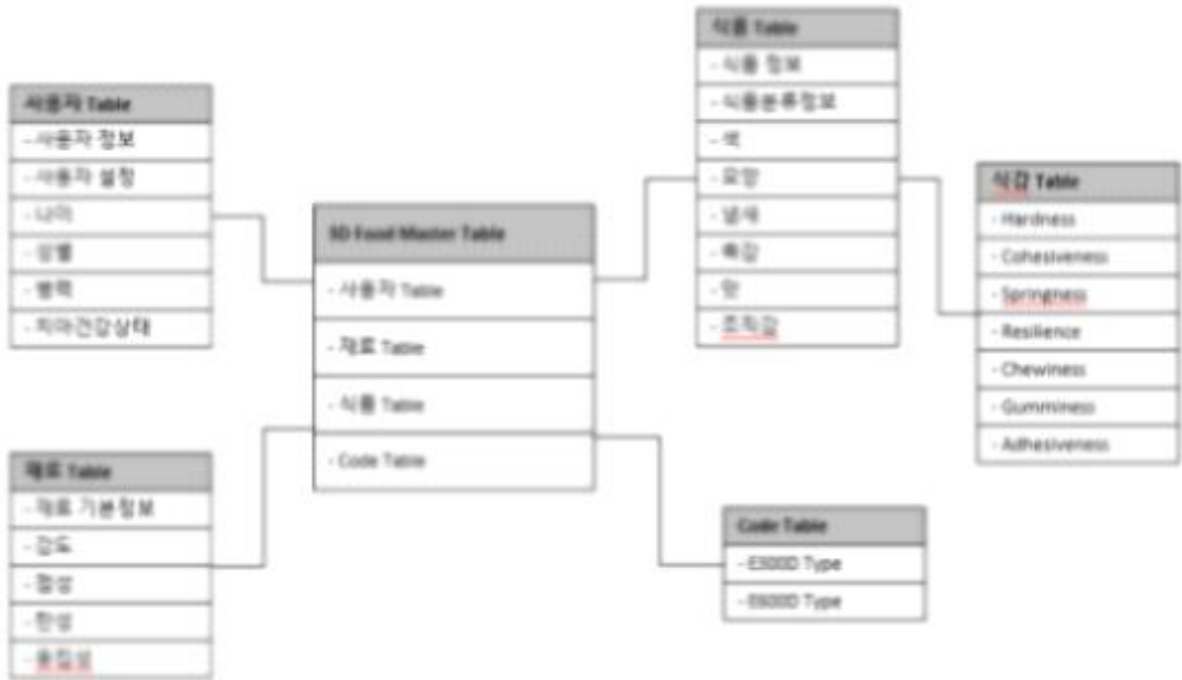


그림 4-18. 맞춤형 식감 데이터베이스 ER Diagram

② 식품소재 3D 파라미터 데이터베이스 연동 소프트웨어 고도화 및 제품화

- 연동의 핵심 요소로써 통신 호환성 보장을 위해 USB Serial 통신방식을 사용하여 시스템 간 연동 인터페이스를 구성.
- USB Serial 방식은 범용성이 우수하여 내부 통신 프로토콜 개발을 통한 확장이 용이한 구조임



그림 4-19. 식품 3D 데이터 파라미터 데이터베이스 연동을 위한 USB 기반 연동 장치

- 3D 데이터 파라미터 데이터베이스 연동을 통한 데이터 추출 소프트웨어 개발

Packet	Direction	IN	ADDR	ENDP	CRC5	Pkt Len	Idle	Time Stamp	
0	H→S	0x95	30	1	0x0D	10	301.330 ns	0.036550882	
1	S→H	NAK	Pkt Len				20.532 us	0.036551350	
2	H→S	SPLIT	SC	HubAddr	Port	S U ET CRC5 Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x1E	0	27	2	0 0 Bulk 0x1F	10	201.330 ns	0.036571982
3	H→S	IN	ADDR	ENDP	CRC5	Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x95	30	1	0x0D	8	200.660 ns	0.036572350	
4	S→H	ACK	Pkt Len				8.367 us	0.036572750	
5	H→S	SOF	Frame #	CRC5	Pkt Len		Idle	Time Stamp	
		0xA5	2020.7	0x09	12		12.065 us	0.036581250	
6	H→S	SPLIT	SC	HubAddr	Port	S U ET CRC5 Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x1E	1	27	2	0 0 Bulk 0x04	10	199.330 ns	0.036593516
7	H→S	IN	ADDR	ENDP	CRC5	Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x95	30	1	0x0D	8	300.660 ns	0.036593882	
8	S→H	NAK	Pkt Len				20.533 us	0.036594316	
9	H→S	SPLIT	SC	HubAddr	Port	S U ET CRC5 Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x1E	0	27	2	0 0 Bulk 0x1F	10	201.330 ns	0.036614982
10	H→S	IN	ADDR	ENDP	CRC5	Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x95	30	1	0x0D	8	200.660 ns	0.036615350	
11	S→H	ACK	Pkt Len				20.700 us	0.036615750	
12	H→S	SPLIT	SC	HubAddr	Port	S U ET CRC5 Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x1E	1	27	2	0 0 Bulk 0x04	10	185.330 ns	0.036636550
13	H→S	IN	ADDR	ENDP	CRC5	Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x95	30	1	0x0D	10	207.330 ns	0.036636882	
14	S→H	NAK	Pkt Len				20.533 us	0.036637316	
15	H→S	SPLIT	SC	HubAddr	Port	S U ET CRC5 Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x1E	0	27	2	0 0 Bulk 0x1F	10	201.330 ns	0.036657982
16	H→S	IN	ADDR	ENDP	CRC5	Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x95	30	1	0x0D	8	206.660 ns	0.036658350	
17	S→H	ACK	Pkt Len				20.666 us	0.036658750	
18	H→S	SPLIT	SC	HubAddr	Port	S U ET CRC5 Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x1E	1	27	2	0 0 Bulk 0x04	10	199.330 ns	0.036679516
19	H→S	IN	ADDR	ENDP	CRC5	Pkt Len	Idle	Time Stamp	
		0x95	30	1	0x0D	8	300.660 ns	0.036679882	
20	S→H	NAK	Pkt Len				25.834 us	0.036680316	
		0x5A	6						
		SOF	Frame #	CRC5	Pkt Len		Idle	Time Stamp	

그림 4-20. 식품소재 3D 파라미터 데이터베이스 연동 정보 분석

(사) 식품 3D프린터 연동장치 제품화 및 메타데이터 시스템 연동 (3차년도)

- 식품 3D 데이터 파라미터 데이터베이스 연동 장치로부터 3D 프린터까지의 통합 연동 기능을 구현하여 식품 3D프린터 연동장치 제품화 및 메타데이터 시스템 연동과 식품 3D 프린터 연동 장치 개발, 가공 데이터 및 메타데이터 변환장치 제품화 개발 진행함.

① 식품 3D프린터 연동 인터페이스 장치 개발

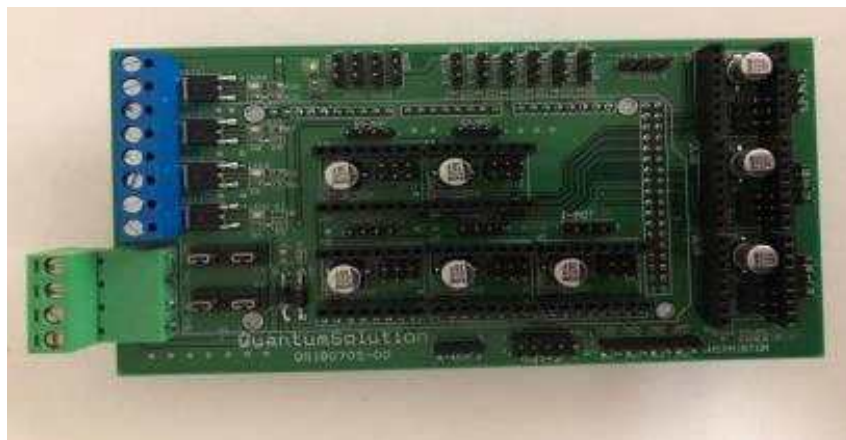


그림 4-21. 식품 3D 프린터 연동 인터페이스 장치

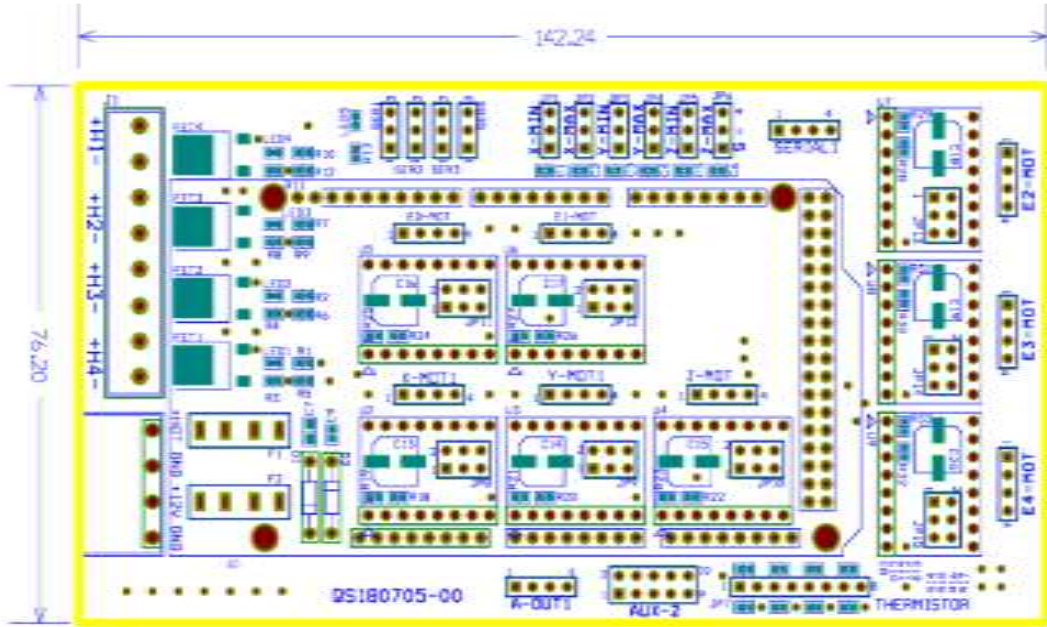


그림 4-22. 식품 3D프린터 연동 인터페이스 회로도

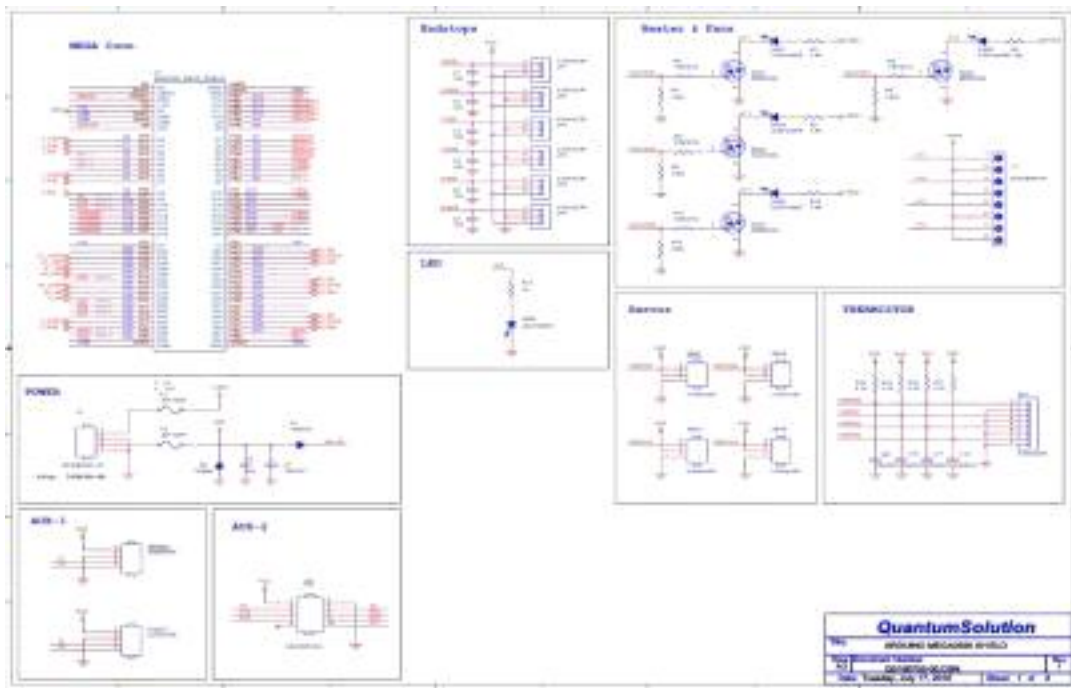


그림 4-23. 식품 3D 프린터 연동 인터페이스 장치 회로도

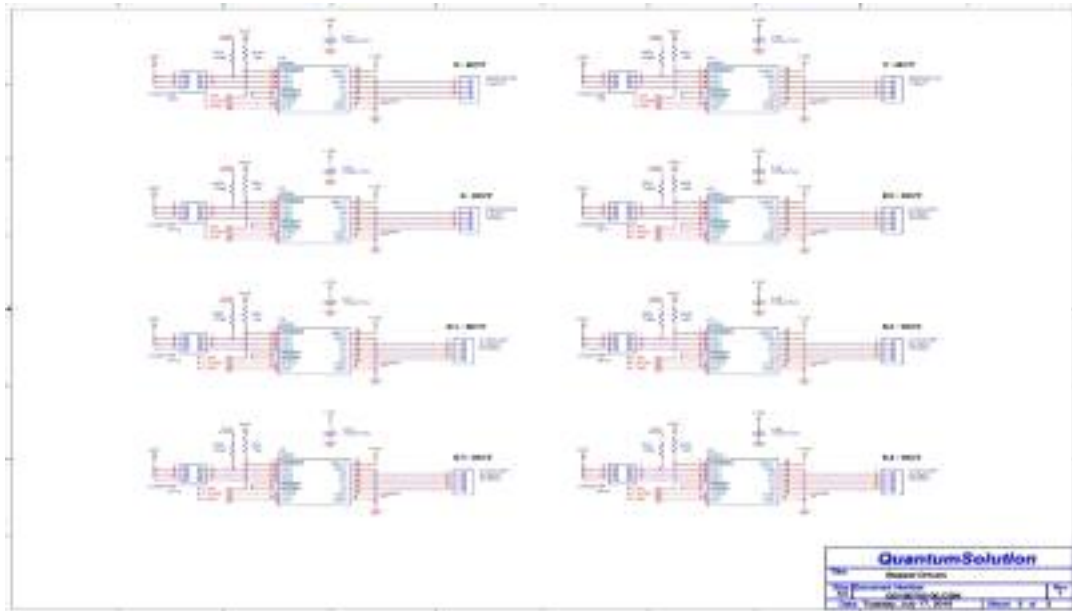


그림 4-24. 식품 3D 프린터 연동 인터페이스 장치 회로도

② 식품 3D프린터 가공 데이터 및 메타데이터 변환장치 제품화

- 3D프린터 가공 데이터 출력을 위한 G-code 생성 SW 를 구현함.

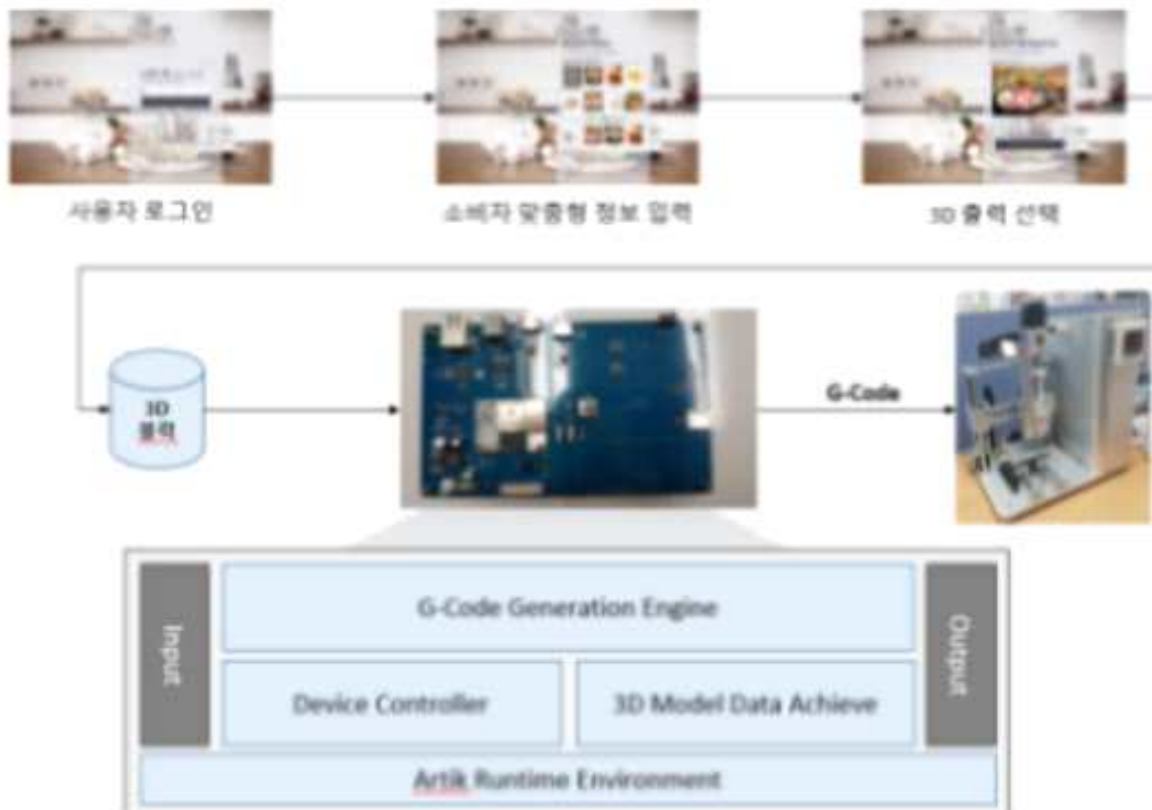


그림 4-25. 식품 3D 프린터 가공 데이터 및 메타데이터 변환 장치

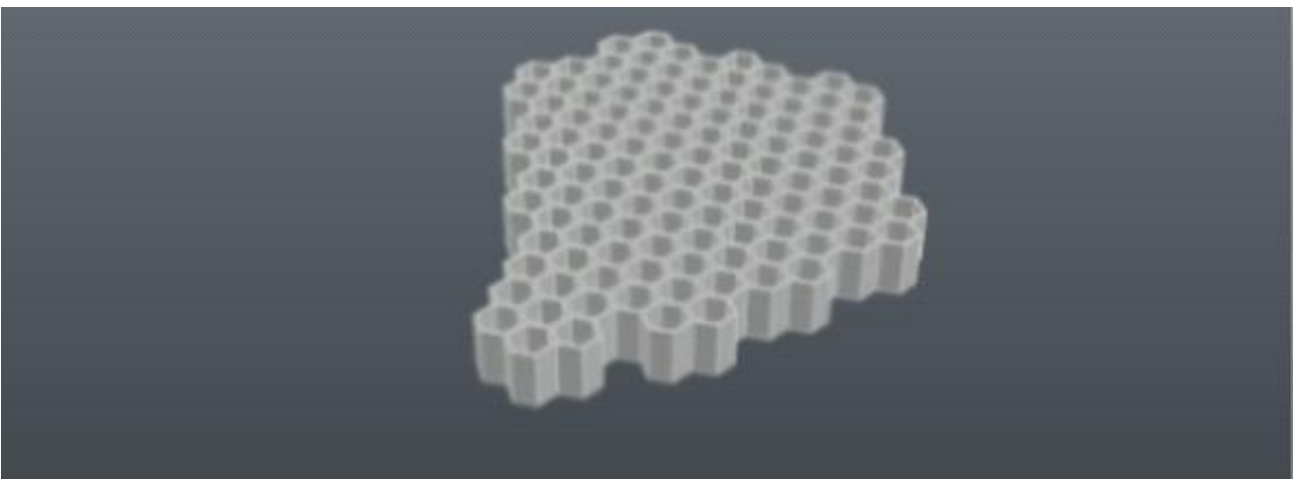
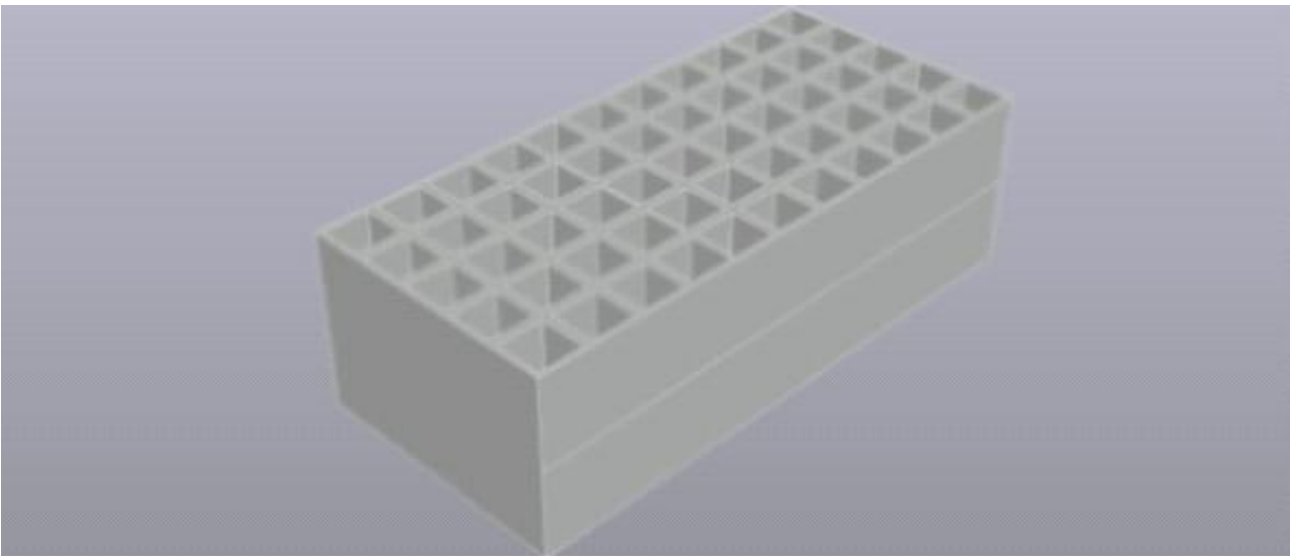
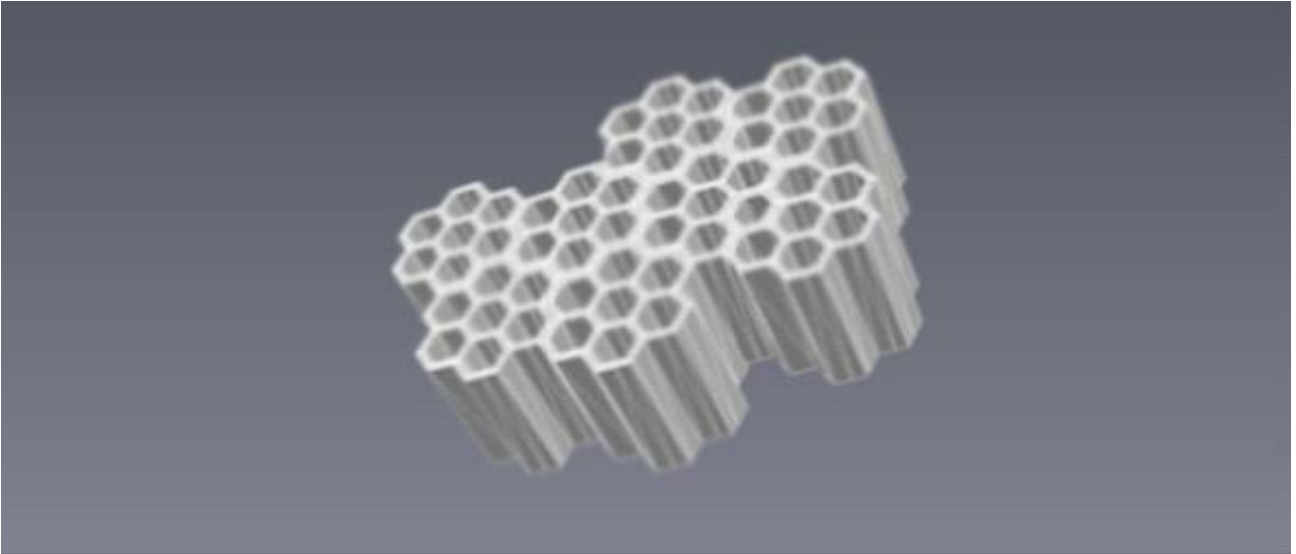


그림 4-27. 3D 프린터 가공 데이터 변환 결과

(아) 메타데이터 시스템 통합 연동 및 레퍼런스 사이트 구축(3차년도)

- 수집된 식품소재 데이터를 기반으로 사용자 맞춤환경 구성 후, 사용자 조건에 따른 출력물을 출력 할 수 있는 환경을 제공함
- 식감/재료의 DB 연동을 기반으로 실제 레퍼런스 사이트를 통한 사용자 UI 환경으로 본인의 상태에 적합한 식감/조직감을 가진 식품을 프린터 함.



그림 4-28. 레퍼런스 사이트 이용 절차

① 메타데이터 통합 시스템의 레퍼런스 사이트 운영 환경

- 1) 서버 운영체제 : Ubuntu 12.04 LTS 64Bit
- 2) 개발언어 : Javascript, HTML
- 3) Database : MySQL 5.5.37
- 4) 운영환경 : Teclast Tablet Android 7.0

② 메타데이터 통합 시스템의 레퍼런스 사이트 구동 화면

	<p>사용자가 선택한 요리를 푸드 프린터로 출력하는 상태를 보여줌</p>
	<p>선택된 요리의 모델링 데이터를 3D 프린터로 전송</p>

다. 연구 개발 성과

(1) 지식 재산권

No.	유형	특허 출원·등록 및 SW 등록 번호, 일자, 명칭	수행 기관
1	특허출원	10-2017-0138625, 2017. 10. 24., 빌드 플랫폼 구동장치	링크솔루션
2	특허출원	10-2017-0089669, 2017. 07. 14., 섬유제조장치	이화여자대학교
3	특허출원	10-2017-0136603, 2017. 10. 20., 음파 부양을 이용한 프린터 장치	이화여자대학교
4	특허출원	10-2018-0046988, 2018. 04. 32., 다공성 블록 제조장치 및 이를 이용한 다공성 블록의 제조 방법	이화여자대학교
5	특허출원	10-2018-0016568, 2018. 02. 09., 프린터 장치	이화여자대학교
6	특허출원	PCT/KR2018/007931, 2018. 07. 13., 섬유제조장치	이화여자대학교
7	특허출원	PCT/KR2018/012342, 2018. 10. 18., 음파 부양을 이용한 프린터 장치	이화여자대학교
8	특허등록	10-1807433, 2017. 12. 04 식물체 유래 가소제 및 생분해 촉매제를 포함하는 산화생분해성 고투명 바이오 플라스틱 조성물 및 이의 압출성형품	가톨릭대학교
9	특허출원	10-2018-0163466, 2018. 12. 17, 방충 유효성분을 함유한 마스터배치 제조방법	가톨릭대학교
10	특허출원	10-2017-0184658, 2017. 12. 29 3D 프린터용 친환경 바이오 필라멘트 및 이의 제조방법	가톨릭대학교
11	특허출원	10-2018-0163466, 2018. 12. 17, 방충 유효성분을 함유한 마스터배치 제조방법	가톨릭대학교
12	특허등록	10-1833902, 2017. 11. 24., 3D 프린터용 멀티 컬러노즐	링크솔루션
13	특허등록	10-1891699, 2018. 08. 20. 빌드 플랫폼 구동부 및 이를 포함하는 SLA 3D 프린터	링크솔루션
14	특허등록	10-1891709, 2018. 08. 20. SLA 3D 프린터	링크솔루션
15	특허등록	10-1883935, 2018. 07. 25., 섬유제조장치	이화여자대학교
16	SW 등록	식감 입력장치를 위한 인터페이스 프로그램	퀀텀솔루션
17	SW 등록	식감 입력 데이터를 위한 DB관리 프로그램	퀀텀솔루션



(2) 기술 실시 (이전)

(가) 가톨릭대학교

- 2016.08.19. 신속저분자화 및 생분해 가능한 복합분해 바이오 필름 제조(통상실시권)
- 2016.09.28. 3D 프린터용 바이오 필라멘트 제조 기술(통상실시권)
- 2017.04.04. 3D 프린터용 식품소재 및 가공 기술

(나) 관련내용

- 2016.08.19. 신속저분자화 및 생분해 가능한 복합분해 바이오 필름 제조(통상실시권)
- 2016.09.28. 3D 프린터용 바이오 필라멘트 제조 기술(통상실시권)
- 2017.04.04. 3D 프린터용 식품소재 및 가공 기술

(3) 사업화

(가) 제품화

- ① 실린지 타입 FDM 3D 프린터
- ② 호퍼 타입 3D 프린터
- ③ CJP / MJP 3D 프린터

(나) 고용창출

고용 기업	성명	직위	직위	학 위	입사일
링크솔루션	안예지	연구원	연구원	학사	2017.06.01
링크솔루션	유성수	연구원	연구원	석사	2017.11.06
링크솔루션	장수철	연구원	연구원	학사	2017.11.06
링크솔루션	이재향	연구원	연구원	학사	2018.03.22
링크솔루션	강성민	연구원	연구원	학사	2018.07.01
링크솔루션	조예찬	연구원	연구원	학사	2018.07.01
링크솔루션	제정현	연구원	연구원	학사	2018.08.06
링크솔루션	윤영건	연구원	연구원	학사	2018.09.03

(4) 기술인증

(가) 링크솔루션

- 2018.11.6. 한국정보통신기술협회 소프트웨어시험인증(BT-A-18-0823)
- 2018.12.14. 한국기계전기전자시험연구원 품질인증(Q-Mark)지정서(N63-2018-001)
- 2018.01.06. ISO9001 인증

(5) 학술성과

No.	유형	논문명	수행 기관
1	SCI	Anti-Obesity Effect of Red Radish Coral Sprout Extract by Inhibited Triglyceride Accumulation in a Microbial Evaluation System and in High-Fat Diet-Induced Obese Mice. J Microbiol Biotechnol. 2018 Mar 28;28(3):397-400.	이화여자대학교
2	SCI	Spectroscopic methods to analyze drug metabolites. Arch Pharm Res. 2018 Apr;41(4):355-371.	이화여자대학교
3	SCI	Versatile Chemical Derivatizations to Design Glycol Chitosan-Based Drug Carriers. Molecules. 2017 Oct 5;22(10).	이화여자대학교
4	비 SCI	3D 프린팅 기술과 미래식품산업의 응용., 한국식품과학회., 49(4) p64 ~ 69	이화여자대학교
5	비 SCI	International Certification Marks Trends and Current Regulation Situation of Bio Plastics, 포장학회지 24(3) p131 ~ 140, 2018	가톨릭대학교
6	비 SCI	Characterization of Shelf Life Extension Packaging Material for Food and Fresh Cut Agricultural Product: A Review. 포장학회지 22(3) p119 ~ 125	가톨릭대학교
7	비 SCI	Development of Oxo-biodegradable Bio Film by Using Biodegradable Catalyst., 포장학회지 22(3) p127 ~ 134	가톨릭대학교
8	비 SCI	Development of Oxo-biodegradable Transparent Bio Films Using Biomass and Biodegradable Catalyst. 청정 기술 23(2) p133 ~ 139, 2017	가톨릭대학교
9	학술발표	3D Printing Technology for Developing Age-Friendly Food., 탄수화물소재연구소, 2018 정기학술심포지엄, 2018. 09. 07.	이화여자대학교
10	학술발표	3D 음식 프린팅 기술의 이해., 한국식생활문화학회, 2018. 08. 08.	
11	학술발표	Micro grinding and 3D printing techniques for establishing ready-to-disperse brick-type constructs of food materials., 한국식품과학회, KoSFoST Beyond 50 years: Renew the New in Food Science, 2018. 07. 28.	이화여자대학교
12	학술발표	Micro Grinding and 3D Printing Techniques for Establishing “Dispersion-Ready” Brick-Type Constructs of Food Materials., 한국미생물생명공학회., 2018. 06. 27.	이화여자대학교
13	학술발표	Cryogenic Grinding and 3D Printing Techniques for Establishing “Disperse and Absorb” Brick-Type Constructs of Food Materials., Experimental Biology 2018 Meeting. FASEB Journal., Experimental Biology 2018 Meeting. 2018. 04. 24.	이화여자대학교
14	학술발표	4차 산업혁명시대를 대비한 미래 식품공학기술., (사) 한국산업식품공학회 2017학년도 추계 학술대회 및 심포지엄., 2017. 11. 03.	이화여자대학교

15	학술발표	3D Printing of Edible Materials., 한국환경생물학회 학술대회 및 심포지엄., 2016. 07. 01.	이화여자대학교
16	학술발표	산업식품공학회 추계학술발표 2018 .11. 30	가톨릭대학교

(6) 교육지도

(가) 링크솔루션

- 2017 창의인재육성 드림플랫폼 [3D 프린터]
 - 일시:2017년 6월 23일(금요일)
 - 시간: 오후 10:00~15:00
 - 장소: 한국산업기술대학교 기술혁신파크 322호
- 3D 프린터 조립 실습 및 드론 제작 교육
 - 일시:2018년 6월 18일(월요일) ~ 6월 19일(화요일)
 - 시간: 오후 10:00~16:00 (6시간, 2일, 총 12시간)
 - 장소: 한국산업기술대학교 기술혁신파크 506호
- 2018 맞춤형 기술교육 컨설팅 1차
 - 일시:2018년 7월 9일(월요일) ~ 7월 20일(금요일)
 - 시간: 오후 10:00~17:00 (6시간, 10일, 총 60시간)
 - 장소: 시흥창업센터 3층
- 3D 설계 교육 / 3D 프린터 실습 / 드론 제작 교육 (시흥시청소년상담복지센터)
 - 일시:2018년 7월 9일(월요일) ~ 12월 12일(수요일)
 - 시간: 오후 17:00~19:00 (2시간, 20일, 총 40시간)
 - 장소: 시흥시청소년상담복지센터
- 2018 맞춤형 기술교육 컨설팅 2차
 - 일시:2018년 8월 27일(월요일) ~ 9월 14일(금요일)
 - 시간: 오후 19:00~22:00 (3시간, 15일, 총 45시간)
 - 장소: 시흥창업센터 3층
- 메이커스튜디오+창공
 - 일시:2018년 9월 11일(화요일) ~ 11월 6일(화요일)
 - 시간: 오후 19:00~22:00 (2시간, 15일, 총 30시간)
 - 장소: 시흥문화발전소 창공
- 3D프린터 전문가 양성교육
 - 일시:2018년 12월 3일(월요일) ~ 12월 14일(금요일)
 - 시간: 오후 14:00~17:00 (3시간, 10일, 총 30시간)
 - 장소: 시흥문화발전소 창공

(나) 이화여자대학교

- 나노소재를 이용한 불량식품 현장진단기술응용“연구에 대한 전문가 초청세미나(제목: Edible 3D printing)
 - 일시: 2017년 4월 11일(화요일)
 - 시간: 오후 3:30~4:30 (1시간)
 - 장소: 인하대학교 2동 254 강의실
- ‘18-’ 19년 식품 및 축수산 안전관리를 위한 기획연구(17162기획연144)(제목: 4차 산업 관련 주제에 대한 국제 연구 동향 브리핑, 3D 프린팅에 의한 식품제조기술)
 - 일시: 2017년 7월 3일(월요일)
 - 시간: 오후 2:00~6:00 (4시간)
 - 장소: 삼경교육센터 3층 회의실
- 3D프린터를 이용한 신소재 식품개발 연구동향
 - 일시: 2017년 6월 14일(수요일)
 - 시간: 오후 2:00~4:00 (2시간)
 - 장소: 식품의약품안전처 시험검정동 212A
- 나노기술을 이용한 식품산업, Edible 3D printing
 - 일시: 2017년 9월 22일, 29일(금요일)
 - 시간: 오전 11:00~오후12:15 (1시간 15분)
 - 장소: 이화여자대학교 아산공학관
- 3D 프린팅 기술과 미래식품산업
 - 일시: 2017년 11월 3일(금요일)
 - 시간: 오후 10:40~11:20 (40분)
 - 장소: 강릉 라카이 샌드파인 리조트
- 4차산업혁명과 식품산업(제목: 식품맞춤형 식품개발을 위한 3D 프린팅 기술)
 - 일시: 2017년 11월 6일(월요일)
 - 시간: 오후 4:00~4:40 (40분)
 - 장소: 한국프레스센터 국제회의장

(다) 가톨릭대학교

- 2016. 10. 11 “生物原材料”, 중국 복단대학교 창신기술경진대회
- 2017. 03. 21 : 전라남도 농업기술원 “유기가공식품인증” 세미나 발표
- 2017 .04 .26. : 서울대 글로벌공학교육센터 “바이오소재 및 친환경 패키징 소재 연구 동향”
- 2018. 02 .27 : 화학경제연구원 “바이오소재 및 친환경 패키징 소재 연구동향” 세미나
- 2018. 08. 14. : 한국화학연구원 “바이오 플라스틱 종류 및 동향”
- 2018. 09. 17. : 환경부 국립생물자원관 “생물자원활용 세미나”
- 2018. 10. 10. : 가톨릭대학교 “바이오 플라스틱 종류, 시장현황 및 규제동향

(7) 인력양성

졸업 연도	학교명	전 공	학 위	지도교수
2017	한국산업기술대학교	기계설계공학과	학사	신형철
2017	한국산업기술대학교	메카트로닉스공학과	학사	심재홍
2017	한국산업기술대학교	전자공학부	석사	정인호
2017	한국산업기술대학교	전자공학부	학사	정인호
2017	한국산업기술대학교	전자공학부	학사	-
2017	이화여자대학교	식품공학전공	학사	이진규
2017	이화여자대학교	식품공학전공	석사	이진규
2018	이화여자대학교	식품공학전공	석사	이진규
2018	이화여자대학교	식품공학전공	석사	이진규
2017	가톨릭대학교	생명공학전공	학부	유영선
2017	가톨릭대학교	생명공학전공	석사	유영선
2017	가톨릭대학교	생명공학전공	박사과정	유영선

(8) 정책제안

(가) 이화여자대학교

- ① 2017. 12. 22. 미래대응 식품 R&D 전문가 FGI. 미래 대응 식품 연구개발 분야 제시
- ② 2018. 1. 22. 미래대응 식품 R&D 전문가 FGI., 미래 대응 식품 연구개발 분야 제시

(나) 가톨릭대학교

- ① 2017. 8. 23 : 경기도의회 정책연구 “경기도 수면산업에 바이오소재 적용 방안 - 3D 프린터 활용 가능”

기타

(1) 전문지 투고

- 유영선, “신선편이 농산물 포장재 동향-향균 신선도 포장을 중심으로(Trends of Fresh-cut Agricultural Product Packaging)”, 한국포장협회 월간 포장계(The monthly Packaging World), 통권 281호, p54-59, 2016년 9월호 //가대 및 협회 유영선
- 유영선, “바이오 플라스틱, 화이트 바이오 산업 활성화“, e-생물산업(한국미생물 생명공학 회 웹진), 29(5), pp 1-5, 2016년 9월
- 유영선, “국내 바이오플라스틱 산업의 연주소를 말하다”, 플라스틱사이언스, 통권 357호, p8-13, 2017년 3월호
- 유영선, “친환경 포장의 국내외 최신 동향”, 포장협회 포장계, 통권 306호, p48-54, 2018년 10월호

(2) 언론 홍보

- 연합뉴스 한국직업방송 2017. 12. 30. : 식의 품격, 미래 보고서
- 식품저널뉴스 2018. 05. 16. : 3D 프린팅, 식량수급과 식문화 대변혁 예고 이진규 이화여대 교수, 식감·체내 흡수력 높은 3D 프린팅 플랫폼 개발
- 대학저널 2018. 06. 19. : 이화여대 이진규 교수팀, 3D 프린터로 맞춤형 음식 만든다 3D 프린터 음식 미세구조 생성 플랫폼 개발
- 머니투데이 2018. 06. 19 : 梨大 이진규 교수팀, 3D프린터로 맞춤형 음식 만든다! 식품공학전공 이진규 교수팀, 3D 프린터 음식 미세구조 생성 플랫폼 개발
- 교수신문 2018. 08. 13. : 3D프린터라는 무대의 연출가
- 월간인물 2018. 08. 17. : 인류 식생활에 커다란 변화 일으킬 3D 프린팅 기술
- 머니투데이방송 2018. 11. 13. : [특이한 기자들] 3D프린터로 맛과 식감 구현...‘푸드테크’가 뜬다
- 중앙일보 2016.8.31 : 해외시장도 거뜬히 뚫은 산학협력 모델 ‘LINC’ - 가톨릭대 생명공학과 유영선 교수
- 포장계 2016.9.1. : “신선편이 농산물 포장재 동향 (향균 신선도 포장을 중심으로)”, 포장계, 통권 281호, pp54-59
- YTN Science 2016.09.16. : [이지사이언스] 포장의 기술, 안전하게 지켜라!“플라스틱의 재탄생”
- YTN Science 2016.09.29. : [다큐S] “식품 포장의 세계”
- 2018.06.18. 동아일보, “썩는 PVC랩 세계 최초로 개발... 환경오염 문제 해결”
- 2018.06.18. 중앙일보 영자신문, “한국카페의 어두운면-매년 수십억개 재활용이 어려운 컵 사용”
- 2018.11.18 소비자 TV, “다큐-플라스틱프리존”

(3) 전시회

- 국제창신기술경진대회 전시 참가 2016.10.11. ~ 10.16 절강성 닝보
- 산학협력엑스포 2016.10.20. ~ 10.22 일산 킨텍스

- 산학협력엑스포 2017.10.31. ~ 11.02 부산 벡스코
- 코리아팩 2018.04.17. ~ 04.20 일산 킨텍스
- tct코리아2018 2018.10.16.~10.18 창원컨벤션 센터
- 대한민국식품대전, 2018.10.24. ~ 27, 서울 양재동 at 센터 제 1, 2 전시장

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	연구개발 수행내용
1차 년도 (2016)	바이오 소재 3D 프린팅 테스트 및 형상 구현 프린팅 장비 설계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 바이오 소재 3D 프린팅을 위한 압출 장치 하드웨어 개발 ○ 바이오 소재 3D 프린팅을 위한 압출 출력테스트 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다양한 형태의 소재를 프린팅 가능한 노즐 모듈 개발 및 프린터 하드웨어 개발 ○ 바이오 소재 프린팅 테스트를 통한 출력 파라미터 검출
	식품소재의 구조학적, 유변학적 파라미터 수집 및 소재선정을 위한 기초연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식품소재의 구조학적, 유변학적 파라미터 수집 및 소재선정을 위한 기초연구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식품소재 절단면 조직구조의 위상 데이터 수집 및 3D 스캐닝을 통한 3D 데이터화 ○ 식품소재의 유변학적 특성, 조직감, 그리고 탄성도의 수치화 ○ 식품 3D 프린팅 가능한 식품소재 탐색
	식품 3D 프린팅이 가능한 식품소재 레시피 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식품 3D 프린팅 가능한 식자재 소재 탐색 ○ 조직, 텍스처 등 사전 연구를 위한 바이오 플라스틱 원료 개발 ○ 3D 프린터용 바이오 필라멘트 가공기술, 조건 연구 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식용분말 및 액상 조성물 탐색 ○ 바인더, 경화제 등 탐색 ○ 바이오 플라스틱 원료 개발 ○ 3D 프린터용 바이오 필라멘트 제작 및 가공기술연구
	3D모델링을 위한 파라미터 Database 구축 및 식품 3D프린터 연동장치 하드웨어 설계(퀀텀솔루션)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 3D모델링을 위한 파라미터 Database 구축 ○ 식품 3D프린터 연동장치 하드웨어 설계 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세부연구기관(이화여대/가톨릭대)의 식감 및 식품소재에 대한 Database를 설계. 각 세부기관에서 레코드를 입력할 수 있는 클라이언트 프로그램을 설계 및 개발 완료. DB데이터 쿼리를 위한 검색 클라이언트 설계 완료 ○ 개인별 맞춤형 3D프린터 식품 소재 Database와 3D 프린터간 인터페이스를 위한 I.MX기반 HW 설계 및 시제품 제작 완료
2차 년도 (2017)	형상 구현 3D 프린터 개발 완료 및 식품 소재 출력 가능한 3D 프린터 설계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식품 소재 카트리지 교체가 가능한 3D 프린터 개발 ○ 멀티 소재 투입구가 있는 노즐을 통해 식소재의 프린팅이 가능한 3D 프린터 하드웨어 제작 및 테스트 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실린지 압출 방식 3D 프린팅 노즐 모듈 최적화 설계 및 하드웨어 소형화 제작 ○ 다양한 소재를 넣을 수 있는 호퍼 구조 및 재료 혼합을 위한 스크류를 통한 압출 방식 노즐 모듈 개발

	가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유연학적, 구조적 연구	○가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유연학적, 구조적 연구	○ 선정된 3D 프린팅용 원재료의 가공 후 탄성 및 단단함 (hardness, young's modulus, tensile strength), 조직감 연구 ○ 3D 프린팅용 가공 원재료의 프린터 적용을 카트리지화 적합도 시험 ○ 3D 프린터용 바이오 필라멘트 시제품의 유연학적, 구조적 연구
	3D 프린터용 원료로 선정 및 가공 방법 연구	○3D 프린팅용 원재료 선정 및 가공 방법 연구 ○3D 프린팅용 가공 원재료의 구성 성분 균일화 연구 및 안정성 연구 ○3D 프린터용 바이오 필라멘트 시제품 제조	○ 원재료 선정 ○ 프린터 적용을 위한 원재료 특성 연구 바인더, 경화제 개발 ○ 가공 원재료의 상용성, 가공성, 분산성 등 부여 ○ 인체무해성 및 원재료간 조리 등 후 가공, 안정화 연구 ○ 3D 프린터용 바이오 필라멘트 시제품 제조 ○ 인체무해성, 항균 등 기능성 부여
	식품 3D프린터 연동 장치 하드웨어 개발 및 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 개발 (퀵텀솔루션)	○ 식품 3D프린터 연동장치 및 Database 시스템간 식품 3D프린터 파라미터 통합 인터페이스 정의 ○ 식품 3D프린터 및 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 설계 및 개발 ○ 식품 3D프린터 연동 장치 하드웨어 개발	○ 파라미터를 기반한 식품 3D프린터 연동 인터페이스 개발 ○ DB 자료 기반의 식품 3D프린터 연동 인터페이스 개발 ○ 사용자 UI를 기반한 식품 3D프린터 데이터 추출 개발 ○ 사용자 맞춤형 및 선택형 UI기반의 디자인 개발 ○ 식품 3D프린터 연동을 위한 인터페이스 임베디드 장치 개발
3차년도 (2018)	식품 소재 멀티 프린팅 Food 3D 프린터 제작 및 공정 연구	○2종 이상의 식품 소재 혼합이 가능한 3D 프린터 장치 개발 ○형상 적층의 구체화 및 정교성을 위한 노즐 연구 및 개발 ○식품 안정성 및 살균소독장비 개발	○ 액상 소재 및 파우더 소재를 혼합 방식을 통한 3D 형상 제작 연구 ○ 바인딩을 위한 액상 소재 압출 방법 연구 ○ 프린터 부속 및 출력물 살균 방법 연구
	3D 프린팅된 식품	3D 프린팅된 식품의 특성연구 및 카	○ 개발된 식용 3D 프린터와 식용재료를

<p>의 특성연구 및 카트리지 최적화</p>	<p>프린터 최적화</p>	<p>사용하여 출력한 식품의 유변학적 특성 및 조직감, 탄성 수치화 및 검증 (hardness, young's modulus, tensile strength)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 시제품의 형상유지 물성 측정 ○ 카트리지 최적화를 위한 공정시험분석
<p>프린팅후 형상 유지를 위한 원재료 부가연구</p>	<p>프린팅후 형상 유지를 위한 원재료 부가연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○프린팅 원료 소재의 물성, 특성, 개선 및 개량 ○소재간 상용성 부착성 개선 연구, 조리 과정 분리방지 ○원료 안정성 개선 ○식용 건더기 스프, 식물성 단백질을 이용한 콩 고기 등 육류 대체 원료 시제품 개발 ○형상 유지 안정화 및 내부 가공이 부여된 식품 개발
<p>3D프린터 연동장치 및 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 시스템 연동 및 제품화 개발(컨설팅솔루션)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○외부 연동 인터페이스 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발 ○식품 3D프린터 연동장치 제품화 및 메타데이터 시스템 연동 ○메타데이터 시스템 통합 연동 및 레퍼런스 사이트 구축 	<ul style="list-style-type: none"> ○식품 3D프린팅이 가능한 식품소재 데이터베이스 연동 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발 ○식품소재 3D데이터 파라미터 데이터베이스 연동 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발 ○맞춤형 식감 메타데이터 연동 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발 ○식품 3D 프린터 연동 장치 제품화 개발 ○식품 3D 프린터 가공 데이터 및 메타데이터 변환장치 제품화 개발 ○메타데이터 시스템 및 식품 3D 프린터 연동 장치간 시스템 연동 ○외부 연동 소프트웨어의 메타데이터 시스템 연동 및 통합 테스트 ○식품 3D 프린터 연동 장치 하드웨어의 메타데이터 시스템 연동 및 통합 테스트 ○메타데이터 통합 시스템의 레퍼런스 사이트 구축

3-2. 목표 달성여부

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성 도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2016)	바이오 소재 3D 프린팅 테스트 및 형상 구현 프린팅 장비 설계	<ul style="list-style-type: none"> ○바이오 소재 3D 프린팅을 위한 압출 장치 하드웨어 개발 ○바이오 소재 3D 프린팅을 위한 압출 출력테스트 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○다양한 형태의 소재를 프린팅 가능한 노즐 모듈 개발 및 프린터 하드웨어 개발 ○바이오 소재 프린팅 테스트를 통한 출력 파라미터 검출
	식품소재의 구조학적, 유변학적 파라미터 수집 및 소재선정을 위한 기초연구	<ul style="list-style-type: none"> ○식품소재의 구조학적, 유변학적 파라미터 수집 및 소재선정을 위한 기초연구 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○식품소재 절단면 조직구조의 위상 데이터 수집 및 3D 스캐닝을 통한 3D 데이터화 ○식품소재의 유변학적 특성, 조직감, 그리고 탄성도의 수치화 ○식품 3D 프린팅 가능한 식품소재 탐색
	식품 3D 프린팅이 가능한 식품 소재 레시피 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○식품 3D 프린팅 가능한 식자재 소재 탐색 ○조직, 텍스처 등 사전 연구를 위한 바이오 플라스틱 원료 개발 ○3D 프린터용 바이오 필라멘트 가공기술, 조건 연구 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○식용분말 및 액상 조성물 탐색 ○바인더, 경화제 등 탐색 ○바이오 플라스틱 원료 개발 ○3D 프린터용 바이오 필라멘트 제작 및 가공기술연구
	3D모델링을 위한 파라미터 Database 구축 및 식품 3D프린터 연동장치 하드웨어 설계(퀵텀솔루션)	<ul style="list-style-type: none"> ○3D모델링을 위한 파라미터 Database 구축 ○식품 3D프린터 연동장치 하드웨어 설계 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○세부연구기관(이화여대/가톨릭대)의 식감 및 식품소재에 대한 Database를 설계. 각 세부기관에서 레코드를 입력할 수 있는 클라이언트 프로그램을 설계 및 개발 완료. DB데이터 쿼리를 위한 검색 클라이언트 설계 완료 ○개인별 맞춤형 3D프린터 식품 소재 Database와 3D 프린터간 인터페이스를 위한 LMX기반 HW 설계 및 시제품 제작 완료
2차 년도 (2017)	형상 구현 3D 프린터 개발 완료 및 식품 소재 출력 가능한 3D 프린터 설계	<ul style="list-style-type: none"> ○식품 소재 카트리지가 교체 가능한 3D 프린터 개발 ○멀티 소재 투입구가 있는 노즐을 통해 식소재의 프린팅이 가능한 3D 프린터 하드웨어 제작 및 테스트 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○실린지 압출 방식 3D 프린팅 노즐 모듈 최적화 설계 및 하드웨어 소형화 제작 ○다양한 소재를 넣을 수 있는 호퍼 구조 및 재료 혼합을 위한 스크류를 통한 압출 방식 노즐 모듈 개발
	가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○선정된 3D 프린팅용 원재료의 가공 후 탄성 및 단단함 (hardness, young's modulus, tensile strength), 조직감 연구 ○3D 프린팅용 가공 원재료의 프린터 적용을 카트리지가 적합도 시험 ○3D 프린터용 바이오 필라멘트 시제품의 유변학적, 구조적 연구
	3D 프린터용 원료로 선정 및 가공방법 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○3D 프린팅용 원재료 선정 및 가공 방법 연구 ○3D 프린팅용 가공 원재료의 구성 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○원재료 선정 ○프린터 적용을 위한 원재료 특성 연구

		성분 균일화 연구 및 안정성 연구 ○ 3D 프린터용 바이오 필라멘트 시제품 제조		<ul style="list-style-type: none"> 바인더, 경화제 개발 ○ 가공 원재료의 상용성, 가공성, 분산성 등 부여 ○ 인체무해성 및 원재료간 조리 등 후가공, 안정화 연구 ○ 3D 프린터용 바이오 필라멘트 시제품 제조 ○ 인체무해성, 항균 등 기능성 부여
	식품 3D프린터 연동장치 하드웨어 개발 및 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 개발 (퀀텀솔루션)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식품 3D프린터 연동장치 및 Database시스템간 식품 3D프린터 파라미터 통합 인터페이스 정의 ○ 식품 3D프린터 및 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 설계 및 개발 ○ 식품 3D프린터 연동 장치 하드웨어 개발 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 파라미터를 기반한 식품 3D프린터 연동 인터페이스 개발 ○ DB 자료 기반의 식품 3D프린터 연동 인터페이스 개발 ○ 사용자 UI를 기반한 식품 3D프린터 데이터 추출 개발 ○ 사용자 맞춤형 및 선택형 UI기반의 디자인 개발 ○ 식품 3D프린터 연동을 위한 인터페이스 임베디드 장치 개발
3차 년도 (2018)	식품 소재 멀티 프린팅 Food 3D 프린터 제작 및 공정 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2종 이상의 식품 소재 혼합이 가능한 3D 프린터 장치 개발 ○ 형상 적층의 구체화 및 정교성을 위한 노즐 연구 및 개발 ○ 식품 안정성 및 살균소독장비 개발 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액상 소재 및 파우더 소재를 혼합 방식을 통한 3D 형상 제작 연구 ○ 바인딩을 위한 액상 소재 압출 방법 연구 ○ 프린터 부속 및 출력물 살균 방법 연구
	3D 프린팅된 식품의 특성연구 및 카트리지가 최적화	3D 프린팅된 식품의 특성연구 및 카트리지가 최적화	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발된 식용 3D 프린터와 식용재료를 사용하여 출력한 식품의 유변학적 특성 및 조직감, 탄성 수치화 및 검증 (hardness, young's modulus, tensile strength) ○ 시제품의 형상유지 물성 측정 ○ 카트리지가 최적화를 위한 공정시험 분석
	프린팅후 형상유지를 위한 원재료 부가연구	프린팅후 형상 유지를 위한 원재료 부가연구	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 프린팅 원료 소재의 물성, 특성, 개선 및 개량 ○ 소재간 상용성 부착성 개선 연구, 조리과정 분리방지 ○ 원료 안정성 개선 ○ 식용 건더기 스프, 식물성 단백질을 이용한 콩 고기 등 육류 대체 원료 시제품 개발 ○ 형상 유지 안정화 및 내부 가공이 부여된 식품 개발
	3D프린터 연동장치 및 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 시스템 연동	<ul style="list-style-type: none"> ○ 외부 연동 인터페이스 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발 ○ 식품 3D프린터 연동장치 제품화 및 메타데이터 시스템 연동 ○ 메타데이터 시스템 통합 연동 및 	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식품 3D프린팅이 가능한 식품소재 데이터베이스 연동 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발 ○ 식품소재 3D데이터 파라미터 데이터베이스 연동 소프트웨어 고도화

	<p>및 제품화 개발 (퀀텀솔루션)</p>	<p>레퍼런스 사이트 구축</p>	<p>및 제품화 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 맞춤형 식감 메타데이터 연동 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발 ○ 식품 3D 프린터 연동 장치 제품화 개발 ○ 식품 3D 프린터 가공 데이터 및 메타데이터 변환장치 제품화 개발 ○ 메타데이터 시스템 및 식품 3D 프린터 연동 장치간 시스템 연동 ○ 외부 연동 소프트웨어의 메타데이터 시스템 연동 및 통합 테스트 ○ 식품 3D 프린터 연동 장치 하드웨어의 메타데이터 시스템 연동 및 통합 테스트 ○ 메타데이터 통합 시스템의 레퍼런스 사이트 구축
--	-----------------------------	--------------------	---

4. 연구결과의 활용 계획 등

<1세부> 링크솔루션

- 식품 3D 프린터 장비를 이용한 식품 레시피 제작 및 장비 판매를 통한 신규 인력 양성 및 매출 발생
- 식품 소재를 이용한 적층 노하우 및 특허권 확보를 통해 사업화 진행

<2세부> 이화여자대학교

- 소비자의 저작능력 맞춤형 식품 소재 개발을 위한 원천기술로 식품소재의 미세구조를 일부 구현할 수 있는 본 연구의 성과를 바탕으로 보다 다양한 3D 프린팅 기술과 식품소재의 조합에 의한 다양한 미세구조체 제조를 위한 추가 연구를 기획중임.
- 치과대 등 스트레인게이지 등을 이용하여 저작능력을 보다 정밀하게 측정하고 모니터링 할 수 있는 연구팀과의 협력연구로 확대하여 식품 미세구조를 3차원의 구조체로 구현할 수 있는 본 연구의 기초성과를 보다 의미있도록 연계할 수 있는 추가 연구, 개발로의 수행을 기획중임.

<3세부> 가톨릭 대학교

- 고분자 바이오 플라스틱 원료, 바이오 필라멘트 및 식품과 유사한 연질 필라멘트를 활용한 식품 3D 프린팅 조직, 텍스처 사전 연구 및 일반 3D 프린팅 분야로 적용성 확대 예정
- 식품 원재료를 이용한 3D 프린팅의 용이성을 위한 소프트웨어 설정값의 변화를 통한 다양한 식품 3D 프린팅 조건을 확립하여 식품 3D 프린팅 기반 구축 및 적용 범위 확대

<4세부> 쿼텀솔루션

- 식품 3D 프린팅 환경의 다양한 이기종 기기 간 연동 인터페이스 기술 확장
- 식품 3D 프린팅 기반 데이터 베이스 구축 기술 토대로 오픈 데이터 플랫폼 확장 예정
- GUI를 이용한 사용자 입력 환경 기술을 반응형 웹 기반의 멀티 디바이스 타겟으로 확대 예정

붙임. 참고문헌

- 2-1. 농촌경제연구원, 세계 3D 식품 프린팅 기술 및 산업 동향과 미래 전망(2017.06.)
- 2-2. 한국식공간학회, 외식상품 개발을 위한 3D 푸드 프린팅 활성화 방안 연구(2017.06.) 한국식공간학회, 외식상품 개발을 위한 3D 푸드 프린팅 활성화 방안 연구(2017.06.)
- 2-3. KB금융지주 경영연구소, KB지식 비타민 : 미래 식생활의 변화 - 3D 음식 프린팅 (2015.06.)
- 2-4. BIZION, 피자를 3D 프린팅하다! '3D쉐프'(2017.04.)
- 2-5. ZDNET Korea, 의자에서 음식까지...3D 프린터로 인쇄하는 레스토랑(2016.08.)
- 2-6. 네이버 포스트, 이 8비트-참치초밥은 먹을 수 있습니다. 진짜예요.(2018.03.)
- 2-7. 나우뉴스, “음~맛있어”...‘3D 프린터 음식’ 화제(2014.04.)
- 2-8. FOOD NEWS, 3D프린팅, 식량수급과 식문화 대변혁 예고(2018.05.)
- 3-1. Choi DY (2017) The development and proliferation of the fourth industrial revolution - Focused on industrial robot and sensor market. POSRI issue report 2017(1),1-12.
- 3-2. Lee BS, Kim KH, Kim KH, Gwon HC, Kim WY (2014) 3D printing technology overseas R & D trend. Korean J Advanced Materials, 27, 13-19.
- 3-3. Hull CW (1986) Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. US patent NO. 4575330.
- 3-4. Yang J, Wu L, Liu J (2001) Rapid prototyping and fabrication method for 3-D food objects. US Patent. NO. 6280785.
- 3-5. Malone E, Lipson H. (2007) Fab@Home: the personal desktopfabricator kit. Rapid Prototyp. J. 13, 245-255.
- 3-6. Hao L, Mellor S, Seaman O, Henderson J, Sewell N, Sloan M. (2010) Material characterisation and process development for chocolate additive layer manufacturing. Virt. Phys. Prototyp. 5, 57-64.
- 3-7. Grood JPW, Grood PJ, Tillie LWM. (2013) Method and device for dispensing a liquid. US patent NO. 20110121016A1.
- 3-8. Kim HJ. (2014) Liquid material cartridge for three-dimensional printer used in e.g. food industry, has extruding device moved forward and backward and top and bottom by Y-axis motor and Z-axis drive motor arranged in frame lower portion respectively. Korea patent NO. 201415725A.

- 3-9. Luisel R, Huang S, Mao Q, Xu T, Zhang J, Chen S, Guo J, Emilio S, VICTOR D, XAVIER O. (2014) Additive manufacturing printer system for printing e.g. food product, has processor that provides controller with position coordinates for movement of tool, instructions for exchange of capsule holders, and adjustment of heating device. China patent NO. 201480038848A.
- 3-10. Wei HH, Xu SR, Wei JY, Wei TH. (2015) Edible 3D print material, comprises main material and auxiliary material, where main material comprises starch, water, free sugar, pentosan and protein and auxiliary material comprises methyl cellulose, enzyme and cyclic oligosaccharides. China patent NO. 2015278915A.
- 3-11. Diaz JV, Noort MWJ, Van BKJC. (2015) Method for the production of an edible object by powder bed (3d) printing and food products obtainable therewith. PCTWO201515897A1.
- 3-12. Fli, Liu GY, Wang YH, Zhang X, Zhao X, Gao ZY. (2015) Food 3D printing prototyping apparatus comprises storage tank connected to extruded material unit, where bottom of storage tank is connected to buffer tank via conveying pipe, and buffer tank is placed on heating or cooling unit. China patent NO. 201520233891U.
- 3-13. Kim JT, Maeng JS, Shin WS, Shin IC, Oh SI, Joo YH, Kim JH, Kim CJ (2017) Food 3D-printing Technology and Its Application in the Food Industry. Korean Society for Food Engineering. 21. 12-21
- 3-14. Lee DH (2017) A Study on Revitalization for Developing Cuisine Products of 3D Food Printing: Focused on Chocolate Product. Journal of the Table & Food Coordinate. 12. 1. 111-126
- 3-15. KMF. (1997) Wheat and Wheat Flour. Korea Flour Mills Industrial Association. 118
- 3-16. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). (2011) Major statistics of food, agriculture, forestry and fisheries. MAFRA, Sejong, Korea. 32-101.

<별첨작성 양식>

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 소비자 맞춤형 식품 3D-프린팅 기술 및 제품 개발					
	(영문) Customizable Food 3D-Printing Technology and Product development					
주관연구기관	링크솔루션		주 관 연 구 자 책 임 자	(소속)링크솔루션		
참 여 기 업	이화여자대학교 산학협력단 가톨릭대학교 산학협력단 퀀텀솔루션			(성명) 최근식		
총연구개발비 (1,040,000천원)	계	1,040,000	총 연 구 기 간	2016. 07. 07 - 2018. 12. 31 (2년 5월)		
	정부출연 연구개발비	780,000		총 인 원	27명	
	기업부담금	440,000		총 참 여 수 연 구 원	내부인원	27명
	연구기관부담금	440,000			외부인원	-
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <p>본 연구는 식품 소재를 이용한 빌딩 블록 기술 개발과 식품 소재 3D 프린팅 시스템 기술 개발을 통해 식품과 유사한 식감을 가진 제품을 3D 프린팅 과정을 통해 구현하는 기술을 개발함,</p> <p>○ 연구내용 및 결과</p> <p>3D 프린팅 식품용 소재개발 평가 및 조직분석 연구를 위해 식품소재 절단면 조직구조의 위상 데이터 수집 및 3D 스캐닝을 통한 3D 데이터화 분석에 의해 미립화된 시료의 이미지화 및 3D 데이터를 수집함. 식품소재의 유변학적 특성, 조직감, 그리고 탄성도의 수치화하였고, 유변학적 데이터에 근거하여 식품 3D 프린팅 접합 식품소재 탐색을 탐색함.</p> <p>가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구 및 빌딩블록 디자인을 위해 Building Information Modeling을 도입하여 식품소재에 유사한 조직구조와 유변학적 특성을 가진 microstructure를 3가지 패턴에 4가지 밀도를 대입하여 총 12개의 microstructure를 개발하여 구현함. 각 Microstructure를 기존 3D 출력 방식과 비식품 재료를 사용하여 3D 모델 구현 후 실제 식품소재의 특성과 비교 및 검증은 진행함. 유변학적 특성의 연구를 위해 출력된 hex pattern microstructure의 물성 분석 후 유사한 물성을 갖는 식품과의 비교 분석을 위해 개발된 3D 식품 프린터를 식용재료를 이용하여 hex pattern을 출력하고 이의 물성을 비교 분석함.</p> <p>개발된 식용 3D 프린터와 식용재료를 사용하여 출력한 식품의 유변학적 특성 및 조직감, 탄성 수치화 및 검증 및 시제품의 형상유지 물성 측정을 진행함. 카트리지를 최적화를 위한 공정을 설계하여 분석함.</p> <p>○ 연구성과 활용실적 및 계획</p> <p>소비자의 저작능력 맞춤형 식품 소재 개발을 위한 원천기술로 식품소재의 미세구조를 일부 구현할 수 있는 본 연구의 성과를 바탕으로 보다 다양한 3D 프린팅 기술과 식품소재의 조합에 의한 다양한 미세구조체 제조를 위한 추가 연구를 기획중임. 치과대 등 스트레인지지 등을 이용하여 저작능력을 보다 정밀하게 측정하고 모니터링할 수 있는 연구팀과의 협력연구로 확대하여 식품 미세구조를 3차원의 구조체로 구현할 수 있는 본 연구의 기초성과를 보다 의미있도록 연계할 수 있는 추가 연구, 개발로의 수행을 기획중임.</p>						

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	316058		
사업구분	농식품기술개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	고부가가치식품개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	소비자 맞춤형 식품 3D-프린팅 기술 및 제품 개발			과제유형	(기초,응용,개발)
연구기관				연구책임자	
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2016.7.7.-12.31	180,000	240,000	240,000
	2차연도	2017.1.1.-12.31	300,000	100,000	400,000
	3차연도	2018.1.1.-12.31	300,000	100,000	400,000
	4차연도				
	5차연도				
	계		780,000		1,040,000
참여기업	이화여자대학교 산학협력단, 가톨릭대학교 산학협력단, (주)퀀텀솔루션				
상대국		상대국연구기관			

※ 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2019년 2월 21일

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
(주)링크솔루션	대표이사	최근식

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

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

확약	
----	--

I. 연구개발실적

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

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

- 다양한 연구기반의 그룹들이 팀을 이루어 연구성과를 창출하였으며, 창의적인 연구방향을 설정함.
- 다양한 식품소재의 3D 프린팅을 위한 하드웨어 접근을 다양하게 시도함(FDM/CJP/MJP등)
- 식품 프린팅을 위한 원재료 선정, 원재료 균일화 및 안정성 연구
- 프린터 출력시 선정된 원재료의 3D 출력이 용이할 수 있도록 하드웨어 수정보완, 소프트웨어 최적 설정값을 통한 식품 3D 프린팅 조건 설정 완료
- 본 과제 수행을 통해 식품 데이터베이스 구축과 분석 경험 확보.
- Texture analyzer, 3D 프린터 장치 간 인터페이스 개발 기술을 확보.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

- 본 연구성과를 기반으로 산업화 가능한 소재 및 장비 개발이 예상되며, 다양한 분야간의 융합가능성을 보임.
- 탄수화물, 지질, 바인더인 증점제 등을 선정하여 원재료 배합비 설정, 물성개량 및 가공방법 개발, 점탄성 부여 등을 다양한 식품 원재료 적용 방안 구축
- 원재료를 혼합, 반죽하여 프린팅 온도, 토출속도, 노즐직경 변화 등을 통하여 프린팅 조건을 설정
- 본 과제 수행을 통해 구축된 맞춤형 메타데이터 DB 구축 경험을 기반으로 데이터 누적을 통한 통계 및 레시피 데이터로써 활용도를 높일 수 있을 것으로 예상됨.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

- 연구개발결과로 고령친화식품의 개발을 위한 기본 플랫폼으로 활용가능
- 식품 원재료 및 3D 프린팅 조건, 공정 등 기술 보급(3D 프린팅 업체, 단체 등)
- 사전 연구를 통한 PLA, ABS 등 경질 고분자, 엘라스터토머, 러버 등 연질 고분자 이용 바이오 필라멘트 개발 및 고분자 플라스틱을 이용한 3D 프린팅 기술 보급
- 본 과제 수행을 통해 맞춤형 데이터를 기반으로 개방형 플랫폼으로 확대할 수 있을 것으로 예상됨.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

- 연구기반이 다른 그룹과의 어려운 커뮤니케이션을 주관기관의 노력으로 극복하여 성실히 수행함.
- 당초 계획 대비 연구추진내용 100% 달성
- 개발 기술 산업화를 위한 목표 지향적 연구 추진
- 지속적인 산학연 연계/융합연구 추진으로 산업화 기반 마련

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지식소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

- 지적소유권 및 학회 발표된 성과는 국내외 언론의 주목을 받음.
 논문의 경우, 본 연구개발의 기반의 될 수 있는 성과로 활용이 가능함.
- 특허출원(11건), 특허등록(4건), 기술실시(3건), 논문(SCI 6편/비SCI 3편), 학술발표(11)건, 언론 홍보실적(14건), 전시회 참가(6건), 교육(17건), 수상실적(3건), 연구성과결과활용영역(2건), 인증(3건), 저작권(2건), 고용창출(8건)
 - 논문 9건 및 정책건의 2건, 연구종료 후 1년 이내 달성

II . 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
식품소재의 구조학적, 유변학적 파라미터 수집 및 소재선정을 위한 기초연구	15	100	본 연구과제의 기초연구성과로 활용
가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구	15	100	가공된 원료를 평가하고 3D 프린팅을 위한 유변학, 구조적 연구로 연계
3D 프린팅된 식품의 특성연구 및 카트리지 최적화	10	100	3D 프린팅으로 제조된 식품의 특성연구하였으며, 식품소재 카트리지화를 위한 기초연구 수행
식품 3D 프린팅 가능한 식품소재 레시피 개발	5	100	바이오 플라스틱 개발, 식품 원재료 선정 여부
3D 프린팅용 원재료 선정 및 가공방법 연구 및 프린팅후 형상유지를 위한 부가연구	5	100	프린팅 가공방법, 형상유지 가능 여부
3D프린터의 형상 구현을 위한 파라미터 Database 구축	10	100	Database 구축
식품 3D프린터 및 외부연동 인터페이스 소프트웨어 개발	7.5	100	인터페이스 소프트웨어 개발
3D프린터 연동 장치 하드웨어 개발	7.5	100	하드웨어 개발
외부 연동 인터페이스 소프트웨어 고도화 및 제품화 개발	7.5	100	제품화 개발
식품 3D프린터 연동장치 제품화 및 메타데이터 시스템 연동	7.5	100	연동 개발
메타데이터 시스템 통합 연동 및 레	10	100	사이트 구축

퍼런스 사이트 구축			
합계	100점	100	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 연구기반의 다른 그룹간의 커뮤니케이션을 원활하게 운영해 온 주관기관의 연구개발 결과로 4차산업혁명 시대에 산업화가능한 아이템으로 매우 우수한 성과로 사료됨.
- 식품소재 원재료 선정 및 레시피 개발, 3D 프린터용 바이오 필라멘트 개발, 프린팅후 현상 유지 연구는 특허 출원 3건, 등록 1건, 언론홍보 및 교육지도 각 21건 및 11건, 기술이전 3건 달성
- 소프트웨어 지적재산권 등록 2건, 다양한 사용자 계층의 식감 메타데이터의 구축 및 지속적인 데이터 확대 개발 진행, Textureanalyzer 및 3D 프린터 간 통신 인터페이스 하드웨어 장치개발, 입력장치 기반 인터페이스 소프트웨어 개발 달성

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 국내외 언론의 주목을 받은 연구성으로 본 연구개발결과가 창출할 수 있는 시장의 잠재력을 유도한 훌륭한 성과로 고려를 요청함.
- 세계적으로 식품 3D 프린터의 시도 하지 않은 다양한 3D 프린팅 방식을 통해 시장 창출 가능성에 대한 연구를 진행함에 대한 성과로 고려를 요청함
- 한국인삼공사, 오투기, 아모레퍼시픽, CJ CGV등의 기업에 새로운 식품 제조 방식을 제안을 통해 상업화 노력에 대한 성과로 고려를 요청함
- 새로운 3D 프린팅 방식을 통한 식품 제조 방식에 대한 가이드를 제안하기 위한 기초 연구로 성과에 대한 고려를 요청함

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 본 연구개발성과는 4차산업혁명시대의 주요한 덕목인 다양한 분야간의 융합에 의한 연구 성과로 식품산업의 미래에 대한 방향성을 제시한 성과로 보다 긴 지원을 통해 산업화로 이끌어 갈 수 있도록 관심과 투자가 필요함.
- 지도교육 : 학교, 단체 등을 대상으로 개발기술에 대한 지도 교육 실시하여 개발기술의 홍보 및 확산 계획
- 산업화 지원 : 3D 프린터 및 프린팅 기술 산업화를 위한 지속적 추진과 3D 프린터 및 프린팅 기술 관련 하드웨어 통신 장치 산업화를 위한 벤처 기업 지원 정책

IV. 보안성 검토

○ 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

일반과제

2. 연구기관 자체의 검토결과

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정에 보안과제에 해당하지 않음

[별첨 3]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	고부가가치식품기술개발사업	
연구과제명	소비자 맞춤형 식품 3D-프린팅 기술 및 제품 개발			
주관연구기관	(주)링크솔루션		주관연구책임자	최근식
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
연구개발기간	2017.7.7.-2018.12.31			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input checked="" type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 식품소재의 구조학적, 유변학적 파라미터 수집 및 소재선정을 위한 기초연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식품소재 절단면 조직구조의 위상 데이터 수집 및 3D 스캐닝을 통한 3D 데이터화 ○ 식품소재의 유변학적 특성, 조직감, 그리고 탄성도의 수치화 ○ 식품 3D 프린팅 가능한 식품소재 탐색
② 가공된 식품 3D 프린터용 원료의 평가·선정을 위한 유변학적, 구조적 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선정된 3D 프린팅용 원재료의 가공 후 탄성 및 단단함 (hardness, young's modulus, tensile strength), 조직감 연구 ○ 3D 프린팅용 가공 원재료의 프린터 적용을 카트리지와 적합도 시험 ○ 3D 프린터용 바이오 필라멘트 시제품의 유변학적, 구조적 연구
③ 3D 프린팅된 식품의 특성연구 및 카트리지 최적화	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발된 식용 3D 프린터와 식용재료를 사용하여 출력한 식품의 유변학적 특성 및 조직감, 탄성 수치화 및 검증 (hardness, young's modulus, tensile strength) ○ 시제품의 형상유지 물성 측정 ○ 카트리지 최적화를 위한 공정시험분석
④ 식품 3D 프린팅용 카트리지 개발을 위한 식품 소재 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 조직, 텍스처 등 사전연구를 위한 바이오 플라스틱 원료 개발, 바이오 플라스틱 기반 필라멘트 가공 기술을 개발하였고, 이어서 식품 3D 프린팅이 가능한 식품 원재료 선정, 레시피 개발 및 가공방법을 연구하고, 식품 프린팅후 형상유지를 위한 원재료 부가연구를 수행하여 다양한 식품 소재의 프린팅 공정, 조건 확립 등을 수행하였음.
⑤ 식품 3D 프린팅 관련 파라미터 DB 구축 및 인터페이스 소프트웨어 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사용자 식감 메타 데이터베이스 구축 완료, 사용자 맞춤형 인터페이스 개발 완료, Texture analyzer 및 3D 프린터 인터페이스 하드웨어 장치 개발 완료, 통합 연동 및 레퍼런스 사이트 구축 완료

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍 보		기 타 (타 연 구 활 용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		학 술 발 표	정 책 활 용			홍 보 전 시		
												SCI	비 SCI						논 문 평 균 IF	
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건	-		
가중치	25 %	15 %	%	5%	-	5%	%	-	15 %	-	10 %			5%	5%	5%	5%	5%	-	
최종목표	3	3	2	2	-	2	-	-	2	-	2	3	5	-	6	10	6	3	-	-
연구기간내 달성실적	11	4	2	3	25	15 8	19 0	-	8	-	3	6	3	2.3	11	17	14	3	20	2
달성율(%)	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	-	10 0	-	10 0	10 0	10 0	-	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0	10 0

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	10-2017-0089669, 2017. 07. 14., 섬유제조장치
②	10-2017-0136603, 2017. 10. 20., 음파 부양을 이용한 프린터 장치
③	10-2018-0046988, 2018. 04. 32., 다공성 블록 제조장치 및 이를 이용한 다공성 블록의 제조 방법
④	10-2018-0016568, 2018. 02. 09., 프린터 장치
⑤	조직, 텍스처 등 사전연구를 위한 바이오 필라멘트 개발
⑥	식품 원재료 선정, 레시피, 프린팅후 형상 유지 등 3D 프린팅 공정 및 가공기술 개발 연구
⑦	식감 메타데이터베이스 개발 및 구축
⑧	사용자 맞춤형 인터페이스 앱 개발

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복 제	외국기술 소 화 흡 수	외국기술 개 선 개 량	특허 출 원	산업체이전 (상 품 화)	현 장 애 로 해 결	정 책 자 료	기 타
①의 기술	v					v	v			
②의 기술	v					v	v			
③의 기술	v					v	v			
④의 기술	v					v	v			
⑤의 기술		v			v	v	v			
⑥의 기술					v			v		
⑦의 기술		v				v				
⑧의 기술		v				v				

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	섭유상 식품소재를 제조하여 식감구현소재로의 활용이 기대
②의 기술	식품소재를 비접촉으로 좌표선정 후 3차원 구조 제조에 이용
③의 기술	다공성 블록으로 식감 구현 및 체내흡수율 조정
④의 기술	식품용 3D 프린터 제조를 위한 기본요소로 활용
⑤의 기술	논문, 산업화
⑥의 기술	논문, 교육지도, 산업화 지원
⑦의 기술	지속적인 데이터 확대와 통계 분석 환경 연계
⑧의 기술	통계 분석 엔진 기반 사용자 맞춤형 인터페이스 고도화

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)	
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문	논문				학술발표	정책활용		홍보전시
													SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명					
가중치	5%	-	5%	5%	-	25%	10%	-	15%	-	10%			5%	5%	5%	5%	5%	-	
최종목표	2	-	2	-	-	-	-	-	3	-	2	3	1	-	5	8	5	-	-	-
연구기간내 달성실적	11	4	2	3	25	158	190	-	8	-	3	6	3	2.3	11	17	14	2	20	2
연구종료 후 성과창출 계획		1		1		300														

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	섬유제조장치		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	논의 중 천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기 ³⁾	2020
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	논의 중		

핵심기술명 ¹⁾	3D 프린터용 바이오 필라멘트 제조 기술		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	10,000천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타(노하우, 기술지원, 각종 자문 등)		
이전소요기간	6개월	실용화예상시기 ³⁾	2019
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

핵심기술명 ¹⁾	신속저분자화 및 생분해 가능한 복합분해 바이오 필름 제조 기술		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	5,000천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타(노하우, 기술지원, 각종 자문 등)		
이전소요기간	6개월	실용화예상시기 ³⁾	2019
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

핵심기술명 ¹⁾	3D 프린터용 식품소재 및 식품 가공 기술		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	10,000천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input checked="" type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타(노하우, 기술지원, 각종 자문 등)		
이전소요기간	6개월	실용화예상시기 ³⁾	2020
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			