

식품 3D 프린터 부품 설계 및 제조를 통한 출력 품질 향상 연구

김 정 섭* · 김 태 성** · 이 규 석***
*금오공과대학교 건설팅학과 박사과정
**금오공과대학교 산업공학과 교수
***금오공과대학교 산업공학 박사

Research on Improving Output Quality through Design and Manufacturing of Food 3D Printer Parts

Jung-Sub Kim* · Tae-Sung Kim** · Gyu-Seok Lee***
*Student, Kumoh National Institute of Technology
**Professor, Kumoh National Institute of Technology
***Ph.D, Kumoh National Institute of Technology

Abstract

In this paper, we aim to improve the output quality of a food 3D printer through optimized component design and implementation. Existing 3D printers produce customized outputs according to consumer needs, but have problems with output speed and poor quality. In this paper, we aim to solve this problem through optimized design of unit parts such as the extruder, nozzle, guide, and external case. Fusion 360 was used for element design, and in the performance evaluation of the implemented system, the average precision was 0.06mm, which is higher than the non-repeatable precision of $\pm 0.1\text{mm}$ of other products, and the feed speed of the existing system was evaluated to be more than twice as fast, from 70mm/s to 140mm/s. In the future, we plan to continuously research output elements that can produce texture and color and device control methods for convenience.

Keywords : 3D printer, Food, Repeatability, Feed rate, Fusion 360

1. 서 론

4차 산업혁명의 핵심 기술 중 하나인 3D 프린팅은 3차원 도면을 바탕으로 입체적인 출력물을 만드는 기술이다. 이 기술은 기존 제조 방식과 달리 물리적 특성이 다른 여러 재료를 이용해 부품을 제조, 조립, 생산하는 것을 가능하게 하며, 소비자 중심의 다품종 소량 생산을 가능하게 한다. 또한, 미래 산업 추세인 스마트 공장의 패러다임을 향한 속도를 높이고 있다[1]. 3D 프린팅은 의료, 제조, 건설, 패션 등 다양한 분야에 적용되고 있으며, 최근에는 식품 분야에도 적용되고 있다. 음식과 기술이 융합된 푸드테크는 식품 생산 과정에 로봇을 적용하여 식품의 생산성을 높이고 비용을 절감하며, 소비자에게 맞춤형 상품 및 서비

스를 제공한다. 푸드테크는 지속적인 인구 증가에 따른 기아 문제, 전 세계적인 고령화 추세에 따른 식품 생산을 위한 노동력 문제, 건강 문제, 지구 온난화 등을 해결하기 위한 대안으로 주목받기 시작하여 현재까지 발전을 거듭하고 있다[2]. 스페인에서는 식품 3D 프린터를 판매하고 있으며, 3D 프린터를 이용해 음식을 판매하는 식당도 있다. 또한, 특정한 상황에서 부족한 영양을 채우기 위한 전투 식량, 우주 및 노인 식품의 개발 연구를 진행하고 있다[3]. 기존 식품 제조 방식에 비해 식품 3D 프린터는 산업적 이용 가치가 매우 높지만, 장비가 매우 비싸고 출력 속도 저하로 출력물의 품질이 떨어지는 기술적 한계점을 가지고 있다. 또한, 식품의 맛과 영양성을 완벽하게 구현하기 어렵다는 단점이 존재한다. 하지만 푸드 3D 프린터의

†Corresponding Author : Taesung Kim, Kumoh National Institute of Technology, 61, Daehak-ro, Gumi, Gyeongbuk, E-mail: tkim@kumoh.ac.kr

산업적 이용 가치를 보면 소비자의 맞춤형 식품 요구에 대응하여 개별적 영양 요구, 식단 제한, 또는 개인의 취향에 맞는 음식을 만들 수 있고[4], 기존의 조리 방식에서 벗어나 새로운 식품 제품을 개발하여 창의적이고 혁신적인 제품을 소비자에게 제공할 수 있다. 더불어 새로운 식품 개발에 있어 복잡한 구조와 디자인에도 기존보다 비교적 빠르게 만들어 시간 소모를 줄이고 응급상황 및 특수 요구에 대응하여 영양 공급에 도움이 될 수 있다[5].

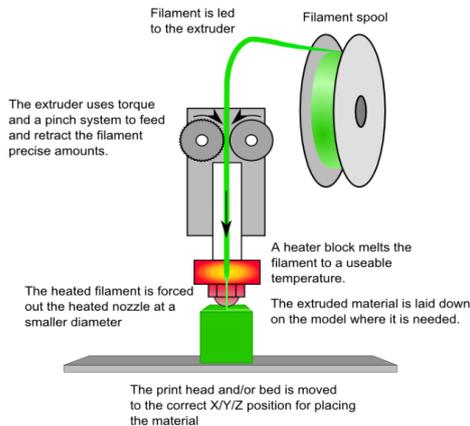
본 연구에서는 식품 3D 프린터의 출력물의 품질이 정밀하고 안정적인 3D 프린터를 구현하고자 한다. 이를 위해 식품 전용 실린더를 장착하고 속도와 정밀도를 높여 안전하게 출력할 수 있도록 하며, 식품 트레이로 사용하는 베드는 히팅 및 쿨링 시스템을 장착하여 출력물의 안정성을 더욱 향상하고자 한다.

논문의 2장에서는 3D 프린팅 방식과 장단점 및 관련 연구에 대해 작성하고, 3장에서는 3D 프린터 설계와 구현에 관해 기술한다. 4장에서는 구현한 3D 프린터의 성능에 대해 평가 및 결과에 대해 작성하고, 5장에서는 연구 결과와 향후 계획에 대해 논한다.

2. 이론적 배경

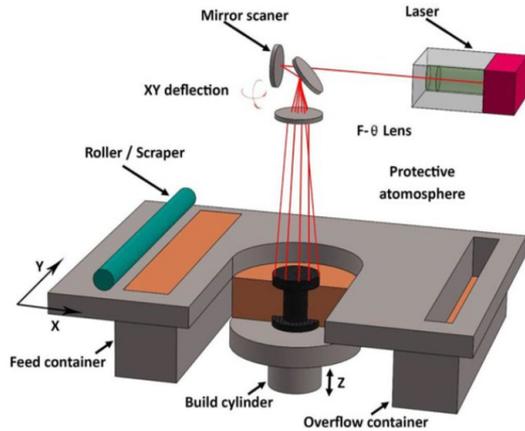
2.1 3D Printing의 종류

3D 프린팅은 3D CAD Software를 사용하여 3D 모형을 그린 후 STL(Standard Triangulated Language) 파일로 변환하면 사용자의 설정한 값으로 3D모델링 형상을 G-code로 변환하여 출력한다. 3D 프린팅 방식에는 FDM, SLA, DLP, SLM, SLS, MJN 등의 기술이 있다 [6]. 사용하는 재료에 따라 출력하는 방식이 다르며 식품 제작에 사용되는 3D 프린팅 기술에는 압출 방식과 분말 용융 소결 방식에 적용하고 있다.



[Figure 1] Operating Method Of FDM Print

[Figure 1]은 압출 방식의 프린팅 기법으로 노즐(Nozzle)에 필라멘트(Filament)를 삽입하고 열과 압력을 가하여 원료를 사출한 후 고체로 굳히는 원리이며 판 위에 2D 그림을 생성한 후 1개의 층을 쌓아가면서 3D 출력물을 형성한다. 방식이 간단하여 활용도가 높고 장비 가격이 비교적 낮게 형성되어 있지만 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.

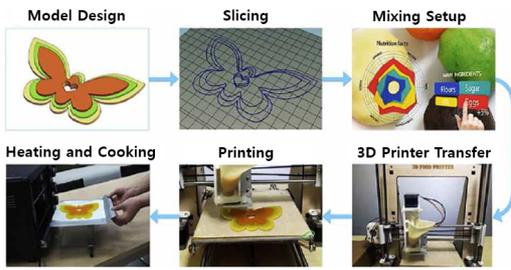


[Figure 2] Operating Method of SLS Printer

SLS(Selective Laser Sintering) 프린팅 방식은 분말 형태의 원료를 평평하게 위치하고 레이저(Laser)로 소결시킨 후 다음 층에 다시 분말을 평평하게 적층하여 소결하는 방식으로 출력 속도가 빠르고 품질이 우수하나 표면의 거침으로 후처리 과정을 거쳐야 한다.

2.1.1 식품 3D 프린팅의 종류와 특징

다양한 식품 소재에 따라 3D 프린팅은 FDM, SLS, SLA, PBP(Powder Bed Printing), CJP(Color of Jet Printing) 등으로 분류되고 있다[9]. FDM 방식은 초콜릿, 푸레(Puree)와 같은 소재를 이용하여 디저트 및 창의적인 음식을 구현할 수 있고, SLS는 분말 상태의 재료를 사용하여 레이저로 분말을 녹이고 적층하며 정교한 모양을 구현할 수 있으나 장비의 비용이 많이 들고 잔여물이 발생할 수 있다. SLA에서는 액체 형태의 소재를 사용하여 고해상도 및 정밀한 출력을 할 수 있지만 소재에서 유해 물질이 발생할 수 있으며 PBP는 식물성 단백질을 기반으로 빠른 속도와 정확도가 높지만, 재료의 강도가 낮고 색상 및 글자 구현에 한계점이 있다. [Figure 3]은 식품 프린팅의 공정으로 3D Software Tool을 이용하여 모델을 디자인하고 슬라이싱(Slicing)을 통해 출력 레이어(Layer) 순서를 결정한다. 다음 배합비 설정을 통해 프린터로 전송하여 프린팅하고 2차 가열 조리를 한다.



[Figure 3] Food 3D Printing Process

2.2 관련 문헌

푸드테크는 식품과 기술의 융합 분야로서, 인류 먹거리 식품 관련 식재료인 농림축산물의 생산과 공급, 식품 제조·가공·조리·유통·판매·배달·소비에 이르는 Value Chain 전 분야에 IoT(Internet of Things), AI(Artificial Intelligence), 3D 프린팅, BT, 로봇틱스(Robotics) 등 ICT 혁신 기술을 접목하여 산업의 새로운 지평을 열어가는 분야이다[10]. 선진국에서는 2010년대부터 식물에서 단백질을 추출·분리하거나 동물 조직을 배양하는 바이오 기술 및 ICT 융복합 기술을 이용하여 새로운 신시장을 형성하는 식품산업에 관심이 확대되고 있다[11]. 3D 프린팅과 푸드테크를 융합하기 위하여 3D 프린팅에 적용이 가능한 소재로 곡류, 단백질과 전분, 초콜릿, 유류 및 유제품과 설탕에 관한 소재와 3D 프린팅 기술에 관한 연구가 진행되었다[12]. 또한 해조류 단백질 농축물을 활용하여 신체가 퇴보한 고령자를 위해 씹기, 소화·흡수를 원활하게 하고자 고령친화식품을 제조하기 위해 해조류 9종 단백질, 염도, 중금속을 기준으로 검사 후 잉크를 활용하여 출력 조건을 설정하여 출력한 연구를 하였다[13]. 변지현, 김상호는 식품 제조를 위한 3D프린터 기술에 관한 조사를 하였고 식품 3D 프린팅 기술은 초기 단계로 고성능 및 대규모 생산을 지원하는 기술이 필요하다고 하였으며 다양한 산업에 적용 가능하다고 하였다[14]. 식품 3D프린터를 구현하기 위해 아두이노 보드(Arduino Board)를 활용한 액체 소재용 3D프린터 설계 및 구현한 연구에서는 아두이노를 설계하고 Extruder과 2개의 노즐을 제어하여 재료의 공급과 출력을 안정되게 구현하였다[15]. 재료의 출력이 안정되게 하기 위해서는 노즐이 중요한 역할을 하고 있어 노즐을 투입부와 혼합부로 나누어 투입부는 테플론 튜브를 사용하고 혼합부는 캐니스 믹서를 사용하여 안정적으로 재료가 혼합되게 할 수 있었다[16]. 식품에 가장 많이 사용하는 FDM 프린팅 방식에는 출력물 표면의 매끄럽지 못하거나 정밀도가 낮음에 있어 출력물의 품질향상을 위한 환경 설정에 관한 연구로 안정적인 출력을 할 수 있게 하였다[17]. 또한 프로틴 젤(Protein Jel) 소재를 출력하기 위해 3D 프린터를 제작하고 소재의 점도 측정을

통해 지지대 없이 안정적으로 출력하기 위한 연구가 있었으며[18], AI 빅데이터와 ChatGPT를 활용하여 사용자들이 많이 사용한 모델링 데이터를 소재에 맞게 프린팅 설정값을 조절하여 사용의 편리함을 주는 연구를 하였다[19].

3. 시스템 설계 및 구현

3.1 3D printer 개발 환경

3D 프린터는 프린터 헤드(Head), 프린터 베드(Bed), 프린터 소프트웨어(Software)로 구성되어 있으며 프린터 헤드는 3D 프린터의 출력물을 만드는 부분이고, 프린터 베드는 출력물이 놓이는 부분이며, 소프트웨어는 출력물의 디자인을 설정하고, 헤드와 베드를 제어한다. 구현하고자 하는 식품 3D 프린터는 하드웨어(Hardware)와 소프트웨어로 구분하고 하드웨어에는 기구부와 제어부로 구성한다.

<Table 1> 3D printer development environment

Hardware	Function / Role
Arduino Board	• 8 Bit Micro Controller based on ATmega 2560
Power Supply	• Provides voltage and current to operate the system
Temperature Sensor	• Resistance value varies depending on temperature
Kapton Film Heaters	• High heat resistance • Chemical resistance
Display	• Printing environment control • Temperature control
Extruder	• Delivers material to nozzle • Temperature control

기구 부에는 모터(Motor), 압출기, Extruder과 베드로 구성하고 제어부에는 메인보드(Main Board) 및 컨트롤러(Controller)로 구성한다. 또한 소프트웨어로는 G-code 생성 및 슬라이싱 S/W를 통해 출력 속도 및 품질을 제어한다. 하드웨어 개발 환경은 <Table 1>에 나타내었다.

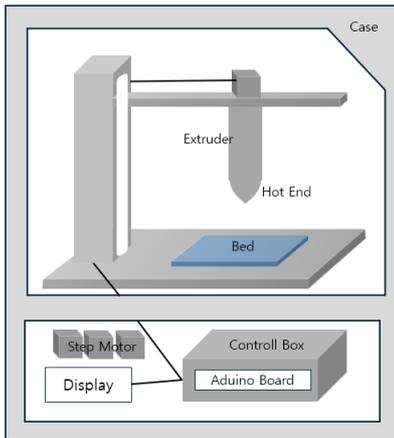
소프트웨어의 개발 환경으로 3D 모델링을 위해 Autodesk의 Fusion 360을 사용하여 3D도면을 제작하고, 오픈소스 소프트웨어인 Ultimaker Cura를 사용하여 모델링 작업을 사용자 설정을 통해 Slicing 한다. 개발에 사용된 소프트웨어의 기능은 <Table 2>에 기술한다.

<Table 2> Software development environment

S/W	Function / Role
Fusion 360	<ul style="list-style-type: none"> • 3D modeling creation • Modeling modification and optimization, simulation
Cura	<ul style="list-style-type: none"> • Slicing function • Modify modeling file • Set layer height and output speed
Arduino IDE	<ul style="list-style-type: none"> • Write and edit code to upload to Arduino board • Debugging (fix error code)

3.2 식품3D Printer 설계 및 구현

식품 3D 프린터는 [Figure 4]와 같이 구성하였다. 하부에는 크기가 크고 무거운 부품인 스텝 모터(Step Motor)와 외부의 충격을 방지하기 위해 아두이노 보드를 컨트롤 박스(Controll Box)에 보호하고 온도조절 및 디스플레이는 접근성이 쉽도록 케이스 외부에 배치하였다.



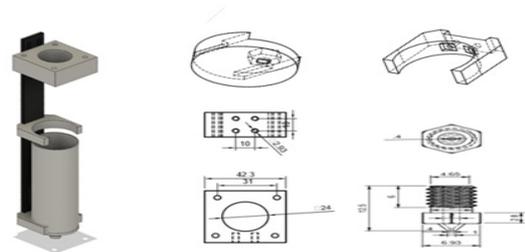
[Figure 4] 3D Printer Configuration

상부에는 재료를 넣고 압출하는 Extruder과 열을 공급하는 Hot End로 구성하였다. Case를 제작하여 프린팅 과정을 통해 만들어진 음식의 이물질 혼입 및 오염을 방지하고자 한다.

3.2.1 하드웨어 구성

식품 3D 프린터의 하드웨어는 프린터 헤드에 해당하는 Step motor, Hot-end(Extruder, Nozzle)로 구성하고 프린터 Bed와 외부 Case로 구성한다. Step motor는 프린터 헤드의 X, Y, Z 축의 움직임을 제어하는 것으로 출력 정밀도에 영향을 주어 Nema17를 사용하여 1회 Step에 1.8°로 회전하도록 하였다. 재료를 Printing 하기 위한

중요한 요소인 Extruder는 식품을 대상으로 하기에 재료에 지장이 없고 오염되지 않아야 하기에 Extruder는 별도의 제작으로 Fusion 360 CAD Tool을 사용하여 도면을 설계하고 제작하였다. 초기 주사기 모양의 알루미늄으로 설계하였으나, 세척이 힘들고 위생의 문제가 발생하여 실린더 형태로 구조 변경하여 일회용 주사기가 삽입할 수 있도록 제작하였다. Extruder 내부에는 Kapton Film Heater를 붙여 열 분포가 고르게 될 수 있도록 하여 주사기 내 열가소성 재료가 안정적으로 토출되었다. 이에 Extruder 노즐 또한 실린더에 결합하여 압출 후 재료의 뭉침에 의한 파손과 온도로 인한 변형 및 압출 시 응력을 견딜 수 있는 구조로 설계 후 제작하였다. 재료가 안정되게 압출하려면 일정한 압력을 가해야 하며, 압력이 고르지 않으면 주사기와 결합한 Extruder의 흔들림 또는 이탈이 발생한다. 이를 방지하기 위해 Extruder 가이드를 설계하여 압출을 균일하게 하고 프레임에 고정하여 출력 제품의 품질이 저하 또는 형상이 바르지 않게 나타나는 문제를 해결하였다. [Figure 5]는 3D CAD S/W로 설계한 Extruder, Nozzle 및 Guide 도면과 랜더링(Rendering) 그림이다.

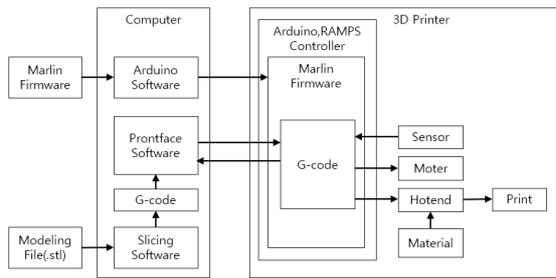


[Figure 5] Head part design and rendering

프린터 베드는 3D 프린터가 출력 시 이탈하지 않도록 크기 150mm x 150mm x 3mm의 제작하였으며 알루미늄 소재를 적용하여 가볍고 내구성이 우수하였다. 출력 후 제품의 이물질 혼입 및 오염방지 또는 외부의 충격을 방지하기 위해 외부 케이스를 설계 후 제작하였다. 케이스는 상부와 하부를 구분하고, 상부에는 아크릴(Acrylic) 문을 통해 재료 투입과 출력물을 쉽게 꺼낼 수 있도록 하고 하부에는 Fan을 통해 온도를 제어할 수 있도록 제작하였다.

3.2.2 3D printer 구동 프로세스

3D 프린팅 동작은 [Figure 6]과 같이 3D CAD로 설계한 STL 파일을 Slicing Software를 통해 G-code를 생성하여 호스트 소프트웨어로 전송한다. Arduino는 Marlin S/W를 통해 3D프린터를 설정하고 수신된 G-code를 통해 모터, Hot-end를 제어한다. Printing을 시작하면 삽입된 재료가 Hot-end를 통해 출력한다.



[Figure 6] 3D Printer operation process

3.2.3 Software 구성

3D 프린터를 제어하기 위해 Arduino Board에 펌웨어 (Firmware)를 업로드(Upload)하여 3D 프린터를 제어할 수 있다. 프린팅에 중요한 요소인 헤더의 이동 또는 재료의 압출, 베드의 온도제어, 센서, 속도와 해상도를 조정하여 정밀한 출력하기 위해 Arduino IDE를 설치하고 펌웨어를 실행한다. 3D 프린터의 환경에 적합하도록 펌웨어를 설정하기 위하여 부품의 정보를 파악하여 Configuration, Configuration Advance를 수정하였다. 필수적으로 수정해야 할 부분은 메인보드와 통신하는 속도로 Baudrate를 115200으로 설정하고, Extruder 온도를 5 ° ~100 ° 로 설정하였다. 온도가 상승하게 되면 재료의 점도에 영향을 미치고 출력 품질에 영향을 미치기 때문에 테스트를 통해서 정확한 값을 입력하여 실패를 예방할 수 있다. Step Motor는 헤더가 이동하는 방향과 확인하여 회전시켜야 하며 회전 방향이 반대일 때 모터와 축에 손상을 줄 수 있다. 변경된 코드는 <Table 3>에서 확인할 수 있다.

<Table 3> Firmware Modification Code

```
#define BAUDERATE 115200
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_0_MAXTEMP 100
#define INVERT_X_DIR true
#define INVERT_Y_DIR true
#define INVERT_Z_DIR false
```

출력하고자 하는 형상을 3D CAD로 제작한 다음 Cura Slicing S/W에서 적용할 수 있도록 stl 파일로 저장하여 Cura S/W를 통해 실행하였다. Cura를 통하여 최대 출력 크기, Extruder 수, Bed 온도 및 모양을 설정하고 추가로 출력 속도, 서포트, 적층 두께 및 채움을 설정하였다.

Cura S/W를 수정하여 식품 3D프린터 GUI를 적용하고자 Python으로 코드 작성하였다. 작성된 코드는 <Table 4>와 같으며 사용자 인터페이스를 제공하고 사용자와 상호작용하도록 파일을 열고, 저장하며, 인쇄 작업을

관리하고 다양한 설정을 저장하고 불러오게 하였다.

<Table 4> GUI Change Development Code

```
# TODO: wxWidgets 2.9.4 has a bug when
NSView does not register for dragged types when
wx drop target is set if
sys.platform.startswith('darwin'):
try:
import objc
nswindow
objc.objc_object(c_void_p=self.MacGetTopLevelWindowRef())
view nswindow.contentView()
view.registerForDraggedTypes_([u'NSFileNamesPboardType'])
except:
pass
self.normalModeOnlyItems = []
mruFile os.path.join(profile.getBasePath(),
'mru_filelist.ini')
self.config wx. FileConfig(appName="Cura",
```

4. 실험 및 결과

구현한 푸드 3D 프린터 시스템의 성능을 평가하기 위하여 시험을 하였다. 시험 평가를 위해 3D 프린터의 기구부와 구동부를 연결하고 3D 프린터의 소프트웨어를 통해 설정값을 조정하여 출력 시험을 진행하였다. 시험 환경으로는 소음과 진동이 없는 공간에서 프린팅에 최적의 온도도로 이루어진 곳에서 평가하였다. 평가 항목으로는 구동 위치 X, Y, Z축의 반복 정밀도, 이동속도, 노즐의 정밀도로 구성하였다. 또한 설계된 3D 프린터의 외관 조립성의 타당성을 Fusion 360 S/W를 통해 분석하였다. 평가 결과는 평가 항목을 10회 이상 측정하고 평균값을 도출하여 합/부 판정하였다.

<Table 5> Performance evaluation items and results

Evaluation items		Target standard	Result
1	Repeatability	Position Repeatability Accuracy Less than 0.1mm	Pass
2	Movement Speed	X-axis, Y-axis movement speed of 135mm/s or more	Pass
3	Nozzle Precision	Extruder nozzle hole size of 1 mm or less	Pass

첫 번째 성능 평가의 Step Motor에 연결된 Extruder

가 지정된 좌표(최대지점)로 이동 후 Home 위치(X:0.00, Y:0.00, Z:0.00)로 재 위치할 때를 기준으로 반복 오차를 측정하였다. 시험은 규격 KS B 7068을 기준으로 디지털 인디케이터를 이용하여 10회 측정하였으며 측정 결과는 <Table 6>에 나타내었다. 측정 결과를 통해서 타제품 $\pm 1\mu\text{m}$ 보다 반복 정밀도가 높음을 확인할 수 있었다.

<Table 6> Repeatability accuracy test results

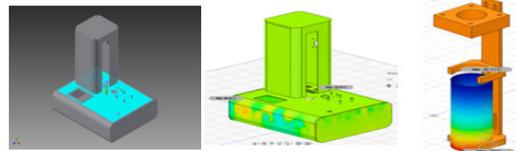
No	X Axis (μm)	Y Axis (μm)	Z Axis (μm)
1	62.9	43.3	73.1
2	65.3	50.2	70.5
3	63.5	46.5	71.1
4	67.6	48.2	69.5
5	64.1	47.6	70.2
6	65.0	49.1	72.5
7	66.2	47.4	67.5
8	66.8	48.8	68.3
9	64.2	44.2	71.5
10	67.3	49.8	66.9
Result	67.6	50.2	73.1

두 번째 성능 평가는 3D 프린터의 이동속도를 확인하기 위해 Home 위치(X:0, Y:0, Z:0)에서 지정된 위치(X:15cm, Y:15cm)로 이동까지 소요 시간을 시험하였다. 시험 결과 평가 목표인 135mm 이상의 결과가 나왔다. 분석으로 타코 메타를 이용하여 X축, Y축 이동 최대속도를 측정하였으며 최종 결과로 X축은 146.6mm/s, Y축은 141.2mm/s로 확인되었다. 타사의 식품 3D 프린팅의 최대 출력 속도 70mm/s 보다 2배 이상의 속도로 출력을 할 수 있어 소요 시간을 단축할 수 있음을 확인할 수 있었다. 결과 데이터는 <Table 7>에서 확인할 수 있다.

<Table 7> Printing speed measurement results

No	X Axis (mm/s)	Y Axis (mm/s)
1	146.6	139.2
2	146.0	139.5
3	145.8	140.8
4	146.2	138.9
5	144.7	140.3
6	145.0	141.0
7	144.9	139.7
8	145.5	139.0
9	146.1	141.2
10	144.4	140.6
Result	146.6	141.2

세 번째 3D 프린터 출력의 정밀도를 높이기 위한 Extruder Nozzle의 지름을 확인하였다. 측정에 사용된 장비는 공구 현미경(Keyence VHX-1000)으로 고해상도 이미지를 제공하고 자동초점 기능이 있으며 최대 100배의 배율을 지원하여 평가에 적합하였다. Extruder Nozzle을 현미경으로 확대하여 노즐의 Hole의 지름을 측정한 결과 0.909mm로 나타났으며 미세 노즐의 간격은 0.603mm, 0.408mm로 측정되어 출력 정밀도를 높일 수 있도록 하였다. 이 외 식품 3D 프린터의 케이스 설계에 대해 검증하기 위해 Fusion 360 Software를 이용하여 Static Stress, Thermal, Interference analysis를 분석하였다. 하단 상부의 프레임을 대상으로 고정 구속 조건으로 제한하여 응력 10kg, 20kg, 30kg을 해석한 값은 10kg : 8.89856MPa, 20kg : 17.7,939MPa, 30kg : 26.6,922MPa로 해석되었다. 이에 30kg의 충격에도 무너짐이 없이 견딜 수 있음을 알 수 있다. 또한, 인가된 온도 70°에서 Heat Flux는 2.605 W/mm²으로 1mm²의 면적에 2.605W의 열이 전달되는 것을 알 수 있고, 단위 길이당 온도 변화는 0.01621° C/mm로 온도의 변화량이 작음을 알 수 있다. 더하여 Extruder 측정 결과 재료 투입부에서 Extruder Nozzle까지 온도 변화가 점진적으로 큰 것으로 나타났다. 최대 결괏값은 0.7325C/mm로 확인되었으며 식품 출력에 있어 적합하였다. [Figure 7]은 측정에 사용된 부품과 검증에 사용된 부분이다.



[Figure 7] 3D Printer Stress, Heat, and Temperature Analysis

5. 결론

본 연구는 식품 3D 프린터의 안전한 품질을 위해 최적화된 부품 설계 및 식품 프린터를 구현하였다. 프린터 헤드의 Extruder, Extruder Nozzle, Extruder Guide는 출력에 있어 시간을 줄여주고 품질에 큰 영향을 미치므로 안정적인 출력을 위해 최소의 오차를 적용하여 실린더가 삽입될 수 있도록 하였다. 연구를 통하여 헤더의 이동으로 발생하는 흔들림에도 품질이 안정하지 못하는 것을 알 수 있었다. 이를 최소화하기 위해 케이스의 응력, 온도 변화 및 간섭 등을 확인하여 안정된 출력을 할 수 있었다. 프린터의 동작 후 이송유닛의 반복 정밀도와 이동속도의 측정으로 타사의

고가 장비보다 성능이 우수함을 알 수 있었다. 그러나 Nozzle의 지름은 소재에 따른 점도, 압력에 따라 각기 다른 Nozzle을 사용해야 하고 작으면 작을수록 정밀도가 높음에 있어 연구에 사용된 노즐은 타 재료(초콜릿)에 비해 정밀도가 매우 높지 않고 중간 정도의 품질을 유지할 수 있다. 이에 대한 대안으로 재료의 압출 압력과 점도를 조절할 방법을 강구하여 노즐의 지름을 더욱 최소화하여야 한다. 최근 식품 3D 프린팅에 관한 기술이 향상하는 데 다양한 재료를 사용할 수 있으므로 향후 연구에는 2개의 Extruder를 사용할 수 있게 하여 다양한 질감이나 색상을 연출할 수 있도록 하여 음식의 활용도를 높이고, 출력 Bed의 Heating과 Cooling을 조절할 수 있도록 하여 식품 3D 프린팅의 안정성과 편의성을 증가할 예정이다.

6. References

- [1] S. J. Cho, E. Y. Jeong, J. H. Park(2020), "Proposal of a Design Concept for 3D Food Printing Design Development: Focusing on Establishing the Development Direction of Chocolate 3D Printers." *Journal of Basic Design Studies*, 21(4).
- [2] S. H. Park(2024), Optimization of the manufacturing and printing process of 3D printing ink based on the meat and the quality characteristics of steamed fish cake using it. Master's thesis, Gyeongsang National University Graduate School.
- [3] H. J. Park, H. W. Kim(2017), "Global 3D Food Printing Technology and Industry Trends and Future Prospects." *World Agric*, 202:147-168.
- [4] T. Pereira, S. Barroso, M. M. Gil(2021), "Food texture design by 3D printing: A review." *Foods*, 10(2):320.
- [5] A. Derossi, et al.(2021), "Could 3D food printing help to improve the food supply chain resilience against disruptions such as caused by pandemic crises?." *International Journal of Food Science & Technology*, 56(9):4338-4355.
- [6] M. H. Ali, S. Batai, D. Sarbassov(2018), "3D printing: a critical review of current development and future prospects." *Rapid Prototyping Journal*, 25(6):1108-1126.
- [7] RepRap, Fused filament fabrication, https://reprap.org/mediawiki/index.php?title=Fused_filament_fabrication&oldid=185043
- [8] M. Mehrpouya, et al(2021), "Additive manufacturing of polyhydroxyalkanoates (PHAs) biopolymers: Materials, printing techniques, and applications." *Materials Science and Engineering: C*, 127:112216.
- [9] S. Singhal, et al(2020), "3D food printing: paving way towards novel foods." *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92(3):20180737.
- [10] B. G. Kim(2024), 3D bioprinting technology, "Food tech, Food 3D printing technology," Center for Biotechnology Policy Research.
- [11] M. S. Park, et al.(2019), "Actual conditions of the food industry's application of food tech and its tasks-Focusing on alternative livestock products and 3D food printing." *Report of Korea Rural Economic Institute*, 879:1-217.
- [12] Y. Kim, et al.(2022), "3D Printing Technology: Food Tech Analysis." *Resources Science Research*, 4(1):1-11.
- [13] S. Y. Park(2024), Manufacturing and Characteristics of Elderly-Friendly Food Using 3D Food Printing Technology Using Seaweed Protein Concentrate. Domestic Doctoral Dissertation, Graduate School of Gyeongsang National University.
- [14] J. H. Byun, S. O. Kim(2024), "Review of Food 3D Printer Technology for Food Manufacturing." *Korean Journal of Food Science and Technology*, 56(2):130-141.
- [15] J. S. Han(2018), Design and Implementation of a Liquid Material 3D Printer Using Arduino. Master's thesis, Kangwon National University.
- [16] J. H. Park, I. H. Lee(2019), "Fabrication of a Food 3D Printer Nozzle for Mixed Dispensing of Heterogeneous Materials." *Proceedings of the Spring and Autumn Conference of the Korean Society of Machinery Processing*, pp.128-128.
- [17] W. B. Oh(2021), For improving the quality of 3D printer output. Domestic master's thesis, Incheon Catholic University Graduate School.
- [18] C. H. Kim(2020), Development of protein gel 3D printer and improvement of stacking performance. Domestic master's thesis, Soonchunhyang University Graduate School.
- [19] J. G. Moon(2023), Problems with Food 3D Printer Output Using AI Big Data and ChatGPT. Domestic Master's Thesis, Hoseo University Venture Graduate School.

저자 소개



김 정 섭

2007년 : 금오공과대학교 산업공학과 학사
 2017년 : 경북대학교 기술경영학과 석사
 2021년 : 금오공과대학교 컨설팅학과 박사과정
 현재 : (주)삼성전자 부장 재직 중
 관심분야 : AI, 자동화, 스마트팩토리, 교육, 컨설팅
 E-mail : jsub.kim@samsung.com



김 태 성

1991년 : 동국대학교 산업공학과 학사
 1994년 : New Jersey Institute of Technology 산업공학과 석사
 2000년 : Louisiana State University 산업공학과 공학박사
 현재 금오공과대학교 교수로 재직 중
 관심분야 : SCM/APS, MESM Smart Factory
 E-Mail : tkim@kumoh.or.kr



이 규 석

2007년 : 영남대학교 전자공학과 학사
 2021년 : 금오공과대학교 산업공학과 석사
 2024년 8월 : 금오공과대학교 산업공학과 박사
 관심분야 : 품질경영, 컨설팅
 E-mail : lieve4001@naver.com