

# 대한기계학회 주선

## 제9회 전국학생설계경진대회(2019년)

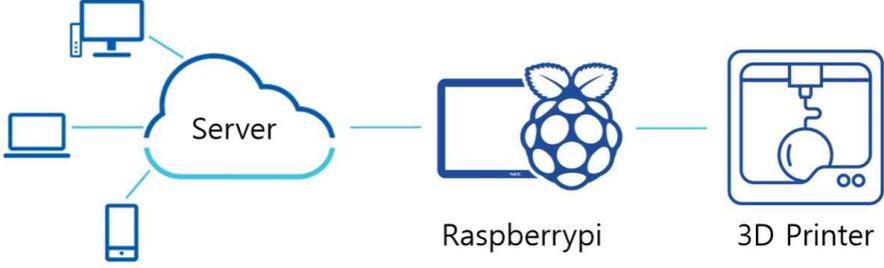
# 설계 최종 보고서

참가부	대학부 ( ○ )				
참가분야	공모주제 ( ○ ) / 자유주제 (   )				
참가팀명	3D Makers				
설계제목	클라우드 기반 자동화 3D 프린팅 시스템 개발				
지도교수/교사	(소속) 한성대학교 (성명) 윤주일      (연락처)      (이메일) julyoon@hansung.ac.kr				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	조창현	한성대학교 기계시스템공학과		joch9508@naver.com	

## 참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	이기창	한성대학교 기계시스템공학과 / 4학년	lgichang2000@naver.com
2	조창현	한성대학교 기계시스템공학과 / 4학년	joch9508@naver.com
3	최가애	한성대학교 기계시스템공학과 / 4학년	chlrkdo97@naver.com
4	김성진	한성대학교 기계시스템공학과 / 3학년	mml9944@naver.com
5	차창훈	한성대학교 기계시스템공학과 / 3학년	asdf727669@gmail.com
6	최희서	한성대학교 기계시스템공학과 / 3학년	chlgmltj8@naver.com

# 설계 요약문

참가분야	공모주제 ( ○ ) / 자유주제 (   )
참가팀명	3D Makers
설계제목	클라우드 기반 자동화 3D 프린팅 시스템 개발
대표자명	조창현
요약문	<p>FDM(Fused Deposition Modeling) 3D프린터는 열가소성 플라스틱 재료(Filament)를 녹인 후 한 층씩 적층하여 3차원 형상을 출력하는 방식의 프린터이다. 이러한 FDM 방식은 연속하여 프린팅할 수 없으며, 번거로운 서포트 제거과정을 거쳐야 한다는 문제점이 있다. 본 설계에서는 이러한 문제점들을 개선한 3D프린터를 제작하고, 서버를 통해 원격으로 프린팅이 가능한 클라우드 시스템을 개발한다.</p> <div style="text-align: center;">  <p style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <span>Server</span> <span>Raspberrypi</span> <span>3D Printer</span> </p> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">△ 클라우드 기반의 자동화 3D 프린팅 시스템</p> <p>클라우드 형태의 서버를 기반으로 원격 프린팅이 가능한 시스템을 구축해 내고 제작한 프린터를 이와 연동시킨다. 제작한 프린터는 연속으로 프린팅할 수 있는 컨베이어벨트 형식의 베드를 가진 FDM 3D프린터이고, 듀얼 노즐을 이용하여 물에 녹는 필라멘트로 서포터를 적층해, 서포터 제거 또한 간편하다. 이 프린터는 서버를 통해 확인 및 관리할 수 있으며 여러 사용자의 여러 출력물을 사람의 개입 없이 연속적으로 뽑아낼 수 있어 관련 사업으로의 확장 또한 기대할 수 있다.</p>

## 클라우드 기반 자동화 3D 프린팅 시스템 개발

조창현\*·이기창\*·최가애\*·차창훈\*·최희서\*·김성진\*·윤주일\*\*  
\*한성대학교 기계시스템공학과

### Development of cloud-based Automation 3D printing system

Chang Hyun Jo\*, Gi Chang Lee\*, Ga-Ae Choi\*, Chang Hun Cha\*, Hee Seo Choi\*  
Seong Jin Kim\* and Ju il Yoon\*\*†

\* School of Mechanical Engineering, Hansung University

**Key Words:** Automation(자동화), Conveyor Belt 3D Printer(컨베이어벨트 3D프린터), Cloud(클라우드), Dual Nozzle(듀얼노즐), Server(서버), FDM 3D Printer(FDM 3D프린터)

**초록:** 클라우드 형태의 서버를 기반으로 하여, 원격으로 프린팅할 수 있는 시스템을 구축해 내고 프린터를 제작하여 이와 연동시킨다. 제작한 프린터는 연속으로 프린팅할 수 있는 컨베이어 벨트 형식의 베드를 가진 FDM 3D프린터이고, 듀얼 노즐을 이용하여 물에 녹는 필라멘트로 서포트를 적층하여 서포터 제거 또한 간편하다. 이 프린터는 서버를 통해 확인 및 관리할 수 있으며 여러 사용자의 여러 출력물을 사람의 개입 없이 연속적으로 뽑아낼 수 있어 관련 사업으로의 확장 또한 기대할 수 있다.

**Abstract:** Based on the server in the Cloud form, we build a system that can be printed remotely. Also the system links with printer which we invented. The invented printer is a 3D printer with a conveyor belt that can be printed continuously and easy to remove support by building support with filaments that are soluble in water using dual nozzles. The printer can be checked and managed through a server, and it can process multiple printing continuously without human intervention. Therefore, it can be expected to expand into related businesses.

## 1. 서 론

4차 제조혁명으로 불리는 3D 프린팅 기술은 3D 모델링 만으로 제조할 수 있다는 간단한 공정 때문에 다양한 분야에서 활용되고 있다. 가장 많이 상용화되어 개인용으로 많이 보급된 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D프린터는 출력물과 서포트(Support)를 같은 물질의 필라멘트(Filament)로 적층하기 때문에 프린팅 후 서포트를 제거하는 과정에서 서로 잘 떨어지지 않거나 출력물이 파손되는 등의 문제가 발생한다. 또한, 베드의 크기가 한정되어 있어 한 번에 프린팅할 수 있는 출력물의 수가 제한적이고, 다음 프린팅을 위해 베드에서 출력물을 직접 제거해주어야 한다는 번거로움이 발생한다. 이러한 부분들이 노즐과 베드의 열을 올리는 준비시간을 추가로 가지게 만들고, 출력물의 완성도를 위한 번거로운 후처리 과정을 거치게 한다. 그뿐 아니라, 3D프린터 사용을 위해서는 사용자가 직접 프린팅을 실행시켜야 하기 때문에 시간적·공간적 제약이 따른다. 따라서 본 설계에서는 연속적인 프린팅과 서포트의 제거가 용이한 FDM 3D 프린터를 직접 설계 및 제작하며, 시간적·공간적 제약 없이 프린팅할 수 있게 서버를 통한

† Corresponding Author, juilyoon@hansung.ac.kr

TEL: (02)760-8008 FAX: (02)760-4329

원격 프린팅 시스템을 설계한다.

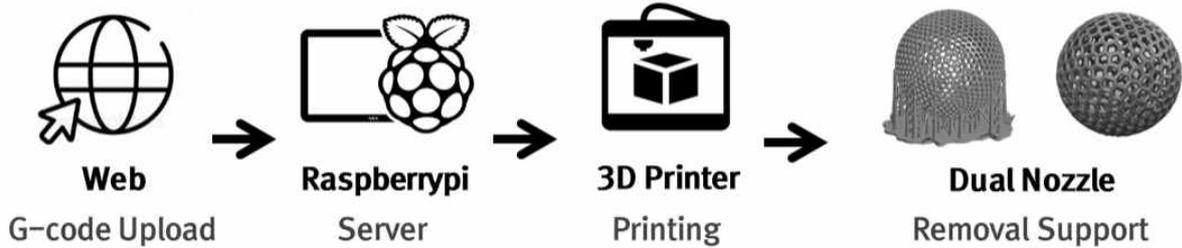


Fig. 1 Development of cloud-based automation 3D printing system

## 2. 설계핵심내용

### 2.1 설계 문제의 정의

FDM 방식의 3D프린터를 사용함에 있어 프린팅 과정, 후처리 과정에서 발생하는 문제를 파악하고 정의하며, 이를 개선하여 효율적인 3D프린터 사용을 돕는다. 기존 FDM 3D프린터의 문제점은 다음과 같다.

#### (1) 불연속적인 프린팅 과정

기존 FDM 방식의 3D프린터는 제한된 사이즈의 히팅베드(Heating Bed)위에서 3차원 물체를 출력한다. 이러한 방식은 한 번 프린팅할 때 출력물의 수에 제한이 있을 뿐 아니라 프린팅이 모두 완료된 후 베드에서 출력물을 제거하고 난 후에야 다음 출력물을 프린팅할 수 있다는 불편함이 있다.



Fig. 2 Process of 3D printing

세부적으로 비교적 오랜 시간이 걸리는 FDM 방식을 여러 번 출력하기 위해서는 프린팅이 모두 완료될 때까지 기다린 후 필라멘트 잔여물 및 출력물 정리를 마치고, 다시 베드와 노즐에 열을 가한 다음 프린팅을 진행해야 한다는 번거로움이 있다는 것이다. 그로 인해 많은 사용자들이 불편을 겪고 있으며 이를 해결하기 위해 기존 FDM 방식의 프린터 베드(Bed)에 컨베이어벨트 방식을 도입하여 여러 번의 프린팅이 가능하도록 한다.

#### (2) 서포트 제거과정

FDM 방식의 3D프린터는 가장 아래층에서부터 한 층씩 녹인 필라멘트를 적층해 출력물을 제조한다. 이러한 제조방식 때문에 허공에 떠 있는 물체를 출력할 때에는 아래층에 “서포트(Support)”라는 지지대를 깔아주어야 원하는 형상의 출력물을 출력할 수 있다. (Fig. 3 The Generation of support for objects in the air)



**Fig. 3** The generation of support for objects in the air

프린팅이 완료된 출력물은 서포트를 제거해주어야 원하는 형상이 완성된다. 그러나 서포트는 니퍼, 펜치 등을 이용하여 제거해주어야 하며, 제거과정에서 표면이 거칠어지고, 출력물이 파손되는 경우까지 발생할 수 있다.



**Fig. 4** Problems in the support removal process

서포트 제거과정은 번거로우며 출력물에 여러 문제가 발생할 수 있기 때문에 듀얼노즐 시스템을 도입하여 서포트 제거과정에서의 문제점을 해결하고자 한다. 듀얼노즐 시스템의 도입으로 수용성 소재인 PVA 필라멘트의 서포트 출력이 가능하고 손쉬운 서포트 제거가 가능할 것이다.

### (3) 공간적 제약을 받는 프린터의 사용

3D 프린팅을 위해서는 슬라이싱이 완료된 파일을 사용자가 직접 프린터에 입력해주어야 한다. (SD카드, 포트 등을 이용한다.) 이러한 프린팅 방식은 사용자의 프린터 사용에 공간적 제약이 발생하고, 수동으로 프린터를 실행시켜야 한다는 번거로움이 발생한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 서버를 통해 사용자의 위치에 구애받지 않는 프린팅이 가능하게 한다.



**Fig. 5** 3D printing requires

## 2.2 설계의 독창성 및 접근 방법

### 2.2.1 설계 방법 및 배경

#### (1) 컨베이어벨트 방식의 베드 제작

기존 FDM 3D프린터는 제한된 사이즈의 히팅베드(Heating Bed) 위에서 출력이 이루어진다. 이러한 방식은 한 번 프린팅 할 때 출력물의 수에 제한이 있으며, 다음 프린팅을 위해 사람이 직접 출력물을 베드 위에서 제거해주어야 한다. 이러한 불연속적인 프린팅을 개선하기 위해 기존 베드를 컨베이어벨트 방식으로 개선해 제작한다. 개선된 베드의 도입으로 출력물 탈착의 자동화와 연속적인 프린팅이 가능하도록 한다.



Fig. 6 Conveyor belt

(2) 듀얼노즐을 적용한 익스트루더

서포트를 제거하는 과정에서 겪는 불편함을 해소하기 위해 물에 녹는 서포트용 소재인 PVA(Polyvinyl alcohol) 필라멘트가 개발되어 있다. PVA 필라멘트를 사용하여 서포트를 출력하면 물에 넣는 것만으로도 손쉬운 서포트의 제거가 가능하며 서포트 제거과정에서 발생하는 문제들을 해결할 수 있다. 손쉬운 서포트 제거를 돕는 PVA 필라멘트를 사용하기 위해서는 노즐이 두 개인 듀얼노즐(Dual nozzle)을 이용하여 원래 본체용 노즐과 서포트용 노즐이 각각 출력물을 쌓도록 해야 한다.

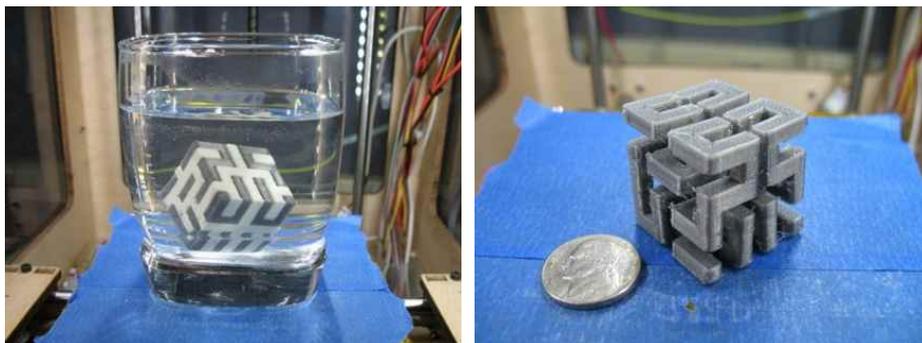
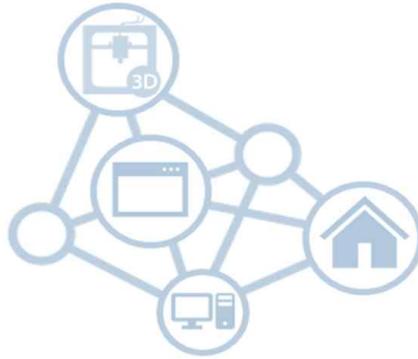


Fig. 7 The removal process of a support of a result using PVA filament

(3) 클라우드 서버 기반의 원격 프린팅 도입

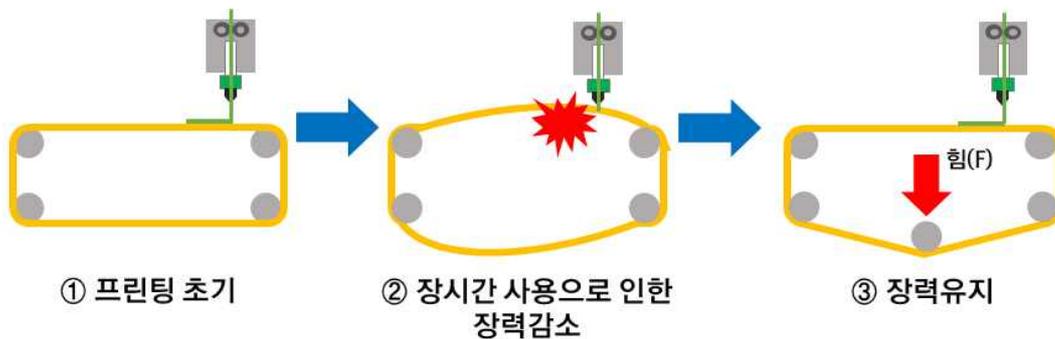
FDM 3D프린터에 IoT 시스템을 접목하여 프린팅을 자동화하고, 출력물의 생산 과정에서 소요되는 시간을 최소화시키고자 한다. IoT 시스템의 도입을 위해 우선적으로 서버를 구축하여야 하며, 서버 구축을 통해 사용자가 출력하고 싶은 출력물의 G-code를 서버에 업로드할 수 있다. 이에 따라 3D프린터를 사용자가 직접 작동시키지 않아도 언제 어디서든 서버를 통해 프린터의 작동이 가능하게 한다. (출력이 끝난 후, 컨베이어벨트 방식의 베드를 통해 자동으로 출력물이 탈착되기 때문에 서버를 통한 연속적인 프린팅이 가능하다.)



**Fig. 8** IoT system based on the Cloud form

### 2.2.2 설계의 독창성

현재 시중에 나와 있는 컨베이어벨트형 3D 프린터인 Blackbelt사의 3D 프린터는 하나의 원동축과 하나의 종동축만을 이용하여 베드를 운용한다. Blackbelt사 3D 프린터의 컨베이어벨트는 두 축으로만 이루어져 부피가 비효율적으로 증가할 수 있으며, 장력 변화에 취약할 수 있다. 따라서 벨트에 하중을 주어 장력을 높여주는 형태의 장력유지장치를 아래에 추가하여 정상작동 및 재료의 수명연장을 도왔다.



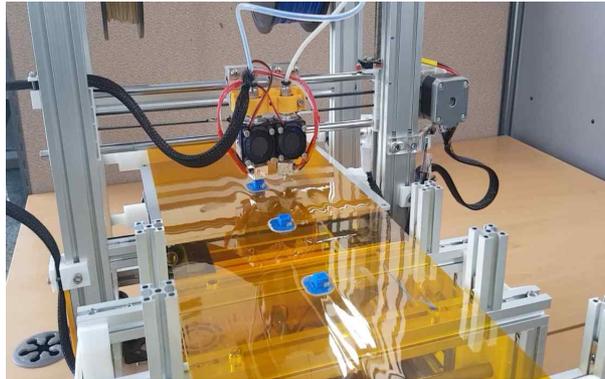
**Fig. 9** Schematic diagram of tension retention system

상용화된 듀얼노즐의 경우, 싱글노즐보다 부피가 크고 진동의 발생이 잦기 때문에 고장에 대처하기 쉬운 카트리지형 노즐을 사용한다. 그러나 카트리지형 노즐은 노즐, 히트블럭, 보우덴 등이 하나의 부품으로 결합되어 있어서 하나라도 문제가 생길 경우, 다른 부분까지 교체해야 하므로 낭비가 생긴다. 때문에, 카트리지형 노즐이 아닌 싱글노즐의 노즐부 핵심 요소만으로 구성하고 3D 프린팅 출력물과 아크릴로 고정하여 부피를 최소화하였다.

또한, 듀얼노즐을 이용하는 기존의 프린터들은 한 층을 출력할 때 하나의 동작을 완료한 후 바로 다음 위치로 가지 않고, 원점으로 돌아갔다가 다시 다음 위치로 이동하는 비효율적인 동작을 갖는다. 이러한 비효율적인 이동은 프린팅 시간을 연장시키므로 두 노즐 간의 거리를 이용한 소프트웨어의 수정을 거쳐 프린팅 시간을 단축시키고 효율을 높였다.

### 2.2.3 설계의 제약조건 및 문제 해결 방법

학부생 수준에서 경제성을 고려한 부품을 선정하여 프린터 제작하였고, 가격이 저렴한 소재를 사용해 컨베이어벨트를 제작한 결과 그에 따른 여러 가지 문제점들이 발생하였다. (Fig. 10 Existing conveyor belt)



**Fig. 10** Existing conveyor belt

플라스틱 소재의 PA(Polyacetal)봉을 가공하여 제작한 롤러는 여러 번의 출력을 거칠 경우 벨트의 장력을 버티지 못해 축이 휘는 현상이 발생한다. 이에 따라 정확한 Y축 조정이 불가능해지고 프린팅의 정밀도가 떨어지는 문제점이 생긴다.

내열성이 좋은 소재를 사용하기 위해 가격이 저렴한 캡톤테이프를 사용하여 벨트를 제작하였다. 그 결과, 얇은 캡톤테이프가 장력에 오랜 시간 버티지 못하고 늘어나게 되었으며, 자주 교체해주어야 한다는 문제점이 발생하였다.

위와 같은 문제를 해결하기 위해 롤러의 소재를 알루미늄 봉으로 교체하였으며, 단힌 형태의 테프론 케블라 벨트를 주문제작 하였다. 알루미늄 봉을 사용하여 롤러 축이 휘는 현상을 방지하며, 정밀한 Y축 조정이 가능하도록 한다. 또한, 내열성이 뛰어난 테프론(Teflon)을 사용하여 벨트를 제작함으로써 높은 온도의 히팅베드 위에서도 벨트가 버틸 수 있게 한다. 기존 벨트 소재인 캡톤테이프의 두께는 50 $\mu$ m로 매우 얇은 소재이기 때문에 내구성 측면에서 약한 소재였으며, 교체주기가 짧다는 문제점이 있었다. 두께 0.25mm의 테프론 벨트로의 소재변경으로 벨트의 내구성을 향상하였다.



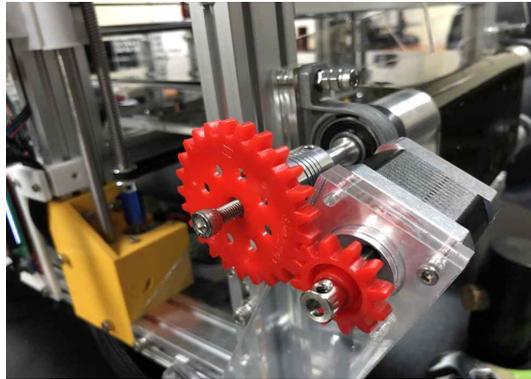
**Fig. 11** Aluminum rods and teflon belt

우수한 내열성을 지닌 테프론(Teflon) 소재의 가장 큰 특성은 비점착성으로, 테프론 벨트 위에 출력물을 프린팅할 때 압출된 필라멘트가 테프론 벨트에 붙지 않는다는 문제점을 발생시킨다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 기존에 사용하는 소재였던 캡톤테이프를 테프론 겉면에 부착해 온도에 따른 안정적인 안착 및 탈착을 돕는다.



**Fig. 12** Teflon belt with capton tape

벨트 소재의 변경으로 인해 벨트의 장력이 증가하였고, 기존 사용하던 5.0토크의 스텝모터가 증가한 장력에 버티지 못하고 프린팅 도중 벨트가 밀리는 현상이 발생한다. 따라서, 모터의 토크를 높이기 위해 기어(Gear)를 아래의 그림(Fig. 13 Gear configuration to increase torque force)과 같이 구성한다.

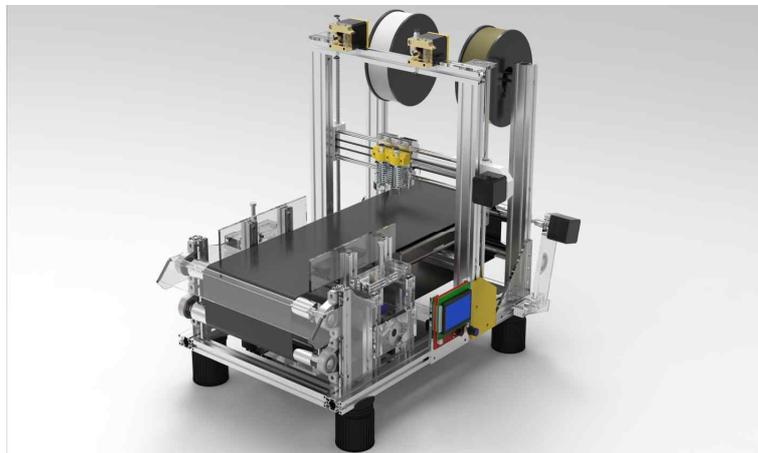


**Fig. 13** Gear configuration to increase torque force

## 2.3 설계 내용

### 2.3.1 하드웨어

전체적인 하드웨어 제작을 위해 부품을 선정 한 후, 프린터 형상의 3D modeling 및 assembly를 통해 치수와 간섭을 확인한다. 아래는 UG NX11.0을 이용하여 3D 모델링과 Keyshot8을 이용하여 렌더링(Rendering)한 모습이다.



**Fig. 14** 3D modeling and rendering

(1) 프레임 설계 및 XYZ 구동부

알루미늄은 은백색의 가볍고 무른 금속으로 내구성이 크다는 특성 때문에 원자재 등의 재료로 많이 사용된다. 이러한 특성을 지닌 알루미늄 소재의 프로파일(Profile)을 사용해 가공 및 볼트 체결이 용이하게 하며, 프린팅에 따른 진동을 최소화하는 견고한 프레임이 되도록 설계한다. 프로파일은 20용 프로파일을 사용하며 프로파일 간 연결은 알루미늄 브라켓(Bracket)을 사용하고, 프로파일의 홈 및 탭 작업을 통해 정확하고 손쉬운 조립이 가능하다. 또한, 프로파일 축이 휘지 않도록 프레임 걸면을 감싸줄 수 있는 아크릴판을 제작하여 조립한다. 아크릴판을 가공할 2D도면을 dxf 파일로 변환 후, 레이저 커팅기를 사용하여 커팅한다.



Fig. 15 Aluminium profile (20×20, 20×40)



Fig. 16 Aluminum bracket

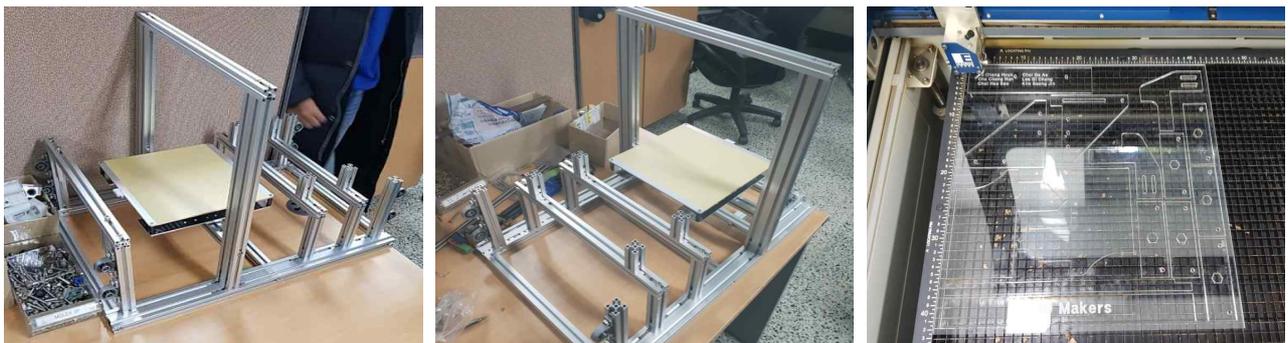


Fig. 17 Frame

프린터 구동에는 5.0토크의 nema17 스텝모터(Stepping motor)를 사용한다. 스텝모터는 펄스 신호를 줄 때마다 일정한 각도씩 회전하는 모터(입력 펄스 수에 대응하여 일정 각도씩 움직이는 모터)이다. 입력 펄스 수와 모터의 회전 각도가 완전히 비례하므로 회전 각도를 정확하게 제어할 수 있으며, 스텝마다 오차가 누적되지 않는다는 장점을 가지고 있다.

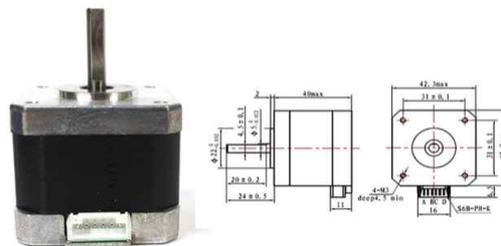


Fig. 18 Nema17 stepping motor

Table 1 Nema17 specification

General specification		Electrical specification	
Step angle	1.8	Rated voltage	3.75V
Number of phase	2	Rated current	1.5A
Insulation resistance	100M $\Omega$ min(500V DC)	Resistance per phase	2.5 $\Omega$ ±10%
Insulation class	Class B	Inductance per phase	5.0mH±20%
Rotor inertia	57g.cm <sup>2</sup>	Holding torque	500mN.m
Mass	0.24kg	Detent torque	15mN.m

X축은 두 개의 노즐이 결합된 익스트루더를 이송해야 하므로  $\varnothing$ 8연마봉, 볼부쉬(SC8UU)를 이용해 안정적으로 지지해주도록 한다. 또한 X축 스텝모터의 동력 전달을 위해서 벨트와 풀리를 사용한다. 벨트는 GT2타이밍벨트, 풀리는 20잇수의 타이밍풀리를 사용한다. 모터의 출력축에 풀리를 결합하고 풀리의 이에 타이밍벨트를 감아 익스트루더와 연결하여 모터의 회전에 따라 X축 방향으로 이동하도록 한다. (X축 모터의 반대편에는 플렌지베어링(F623ZZ)을 달아주어 원활한 회전이 가능하다.)

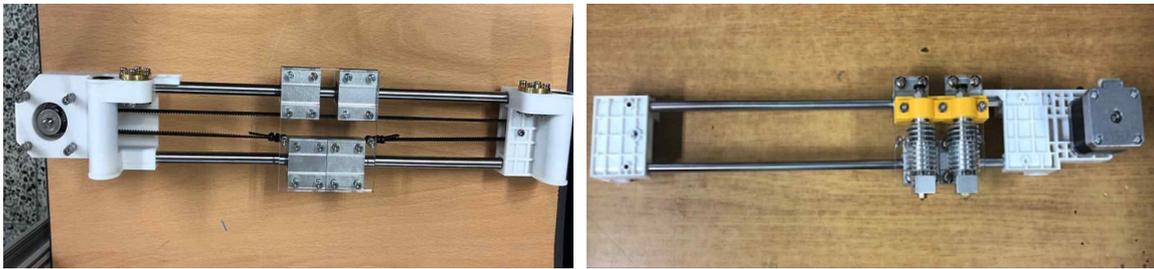


Fig. 19 X-axis

노즐을 통해 사출된 필라멘트는 Z축 이송을 통해 층층이 쌓여 3차원 출력물을 형성한다. Z축 이송에는 연마봉과 볼부쉬, 리드스크류를 사용한다. Z축 스텝모터와 리드스크류의 축 연결을 위해 진동이 적은 직결형 커플링을 사용하며, 안정적인 축 이송을 위해 양단에 리드스크류와 연마봉을 달아준다. 스텝모터와 프레임을 결합하기 위해 모터 고정용 부품을 치수에 맞게 3D 프린팅하여 제작한다. (Fig. 20 Parts for fixing motors and Z-axis drive parts) 또한, 하나의 모터로 양단의 축을 이동시켜야 하므로 타이밍벨트와 풀리를 사용해 모터의 동력을 반대 축에 전달해준다.

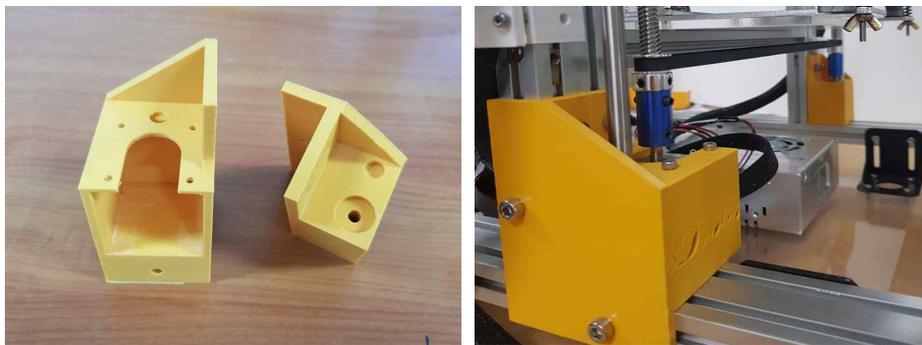


Fig. 20 Parts for fixing motors and Z-axis drive parts

## (2) 컨베이어벨트 방식의 베드

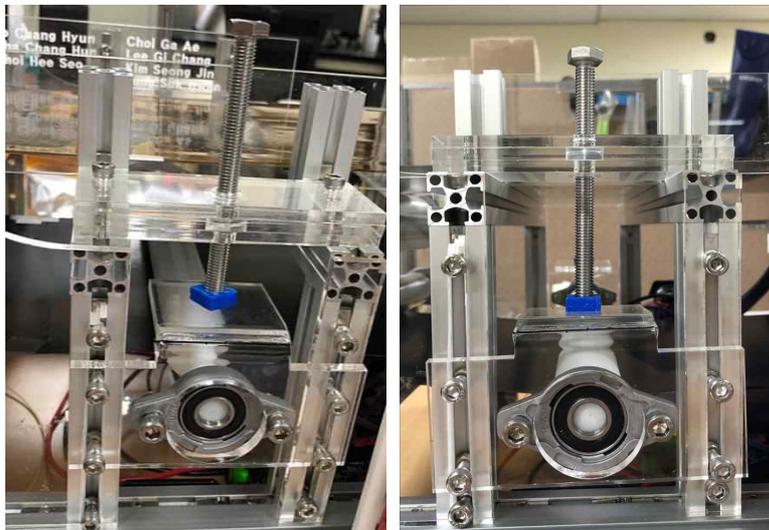
컨베이어벨트 구성을 위해 4개의 알루미늄 봉을 가공하여 롤러를 제작하였으며, 테프론 케블라 소재

의 벨트를 주문 제작하였다. 또한, 벨트가 일정 구간을 벗어나지 않도록 아크릴판을 이용해 가이드를 제작해준다.



**Fig. 21** Conveyor belt and belt guide

컨베이어벨트 방식의 Y축 구동을 위해서는 롤러와 벨트 간의 일정 이상 마찰력이 필요하기 때문에 느슨하지 않게 제작해야 한다. 따라서, 장력을 조절해주는 장력조절장치를 제작하여 설치한다. 장력조절 장치는 M8 볼트와 너트, 아크릴판을 이용해 제작하였으며, 조절장치에 고정된 PA(Polyacetal)봉을 이용해 벨트를 눌러주면서 장력을 조절해준다.



**Fig. 22** Tension control device

벨트 위에서 출력된 출력물은 Y축 구동에 따라 이동하게 되며, 롤러를 통해 탈착된다. 출력물의 탈착은 출력물의 냉각이 제대로 이루어지지 않을 경우, 출력물이 휘는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 탈착된 출력물의 안정적인 이송을 위해 아크릴판을 사용하여 지지대를 제작하였다.



**Fig. 23** Fabrication of support for detaching output

(3) 듀얼노즐 익스트루더

익스트루더는 크게 보우덴방식(Bowden)과 직결방식(Direct) 두 가지로 구동된다. (Fig. 24 Bowden extruder and direct feed extruder) 보우덴방식은 필라멘트를 밀어주는 공급장치(스텝모터와 기어부)가 외부에 있고, 직결방식은 필라멘트 공급장치와 노즐이 결합된 방식이다. 직결방식은 공급장치와 핫 엔드 사이 거리가 짧아 안정적으로 필라멘트가 공급된다는 장점이 있지만, 스텝모터와 결합되어 무게가 무거워지기 때문에 두 개의 노즐이 필요한 듀얼노즐 시스템에는 적합하지 않다. 따라서 익스트루더 제작에서는 보우덴방식을 채택하여 효과적인 진동제어와 고속출력이 가능하도록 한다.

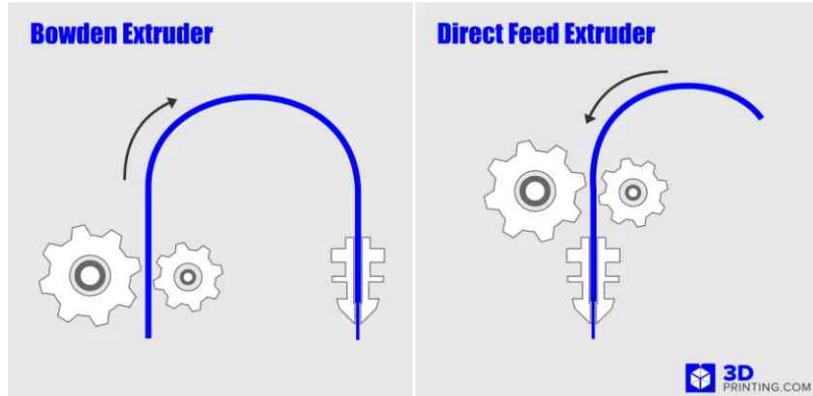


Fig. 24 Bowden extruder and direct feed extruder

익스트루더의 공급장치는 모터마운트 6mm 휘팅, 스텝모터, 테프론튜브로 구성되어 있다. 공급장치의 스텝모터 구동으로 기어가 맞물려 필라멘트를 노즐에 공급해준다. 이러한 익스트루더의 구성은 연질재료를 사용할 때에 문제가 발생한다. 공급장치로 잘 휘어지는 재질의 플렉시블 필라멘트(Flexible Filament)를 공급해줄 때는 공급장치와 핫엔드 사이 틈을 통해 필라멘트가 휘는 현상이 발생한다. (Fig. 25 Problems with the supply system of flexible filament) 이 현상은 원활한 필라멘트 공급을 방해할 뿐 아니라 프린팅에도 영향을 미친다. 따라서 플렉시블 필라멘트의 원활한 공급을 돕는 가이드를 잡아주어야 한다.

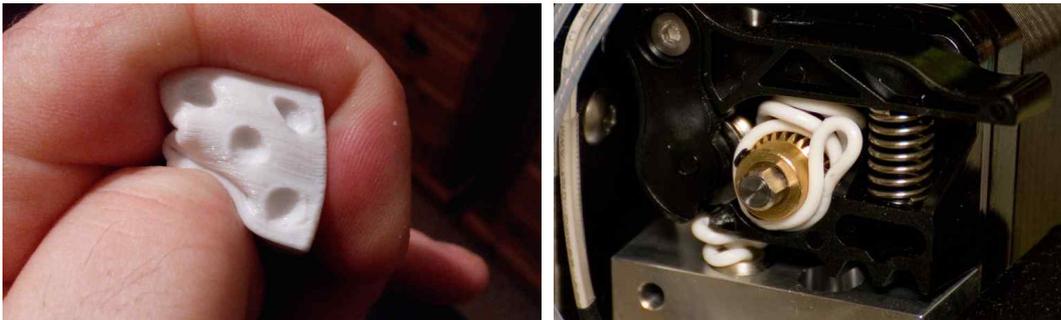


Fig. 25 Problems with the supply system of flexible filament

아래와 같이 보우덴방식의 공급장치인 모터마운트 휘팅과 스텝모터는 프린터 상단에 부착한다. (Fig. 26 Bowden type extruder) 또한, 서포트용 익스트루더에는 연질재료인 PVA 필라멘트가 사용되기 때문에 필라멘트의 이탈을 막는 가이드를 잡아주어 원활한 필라멘트 공급을 돕는다. 서포트용 피팅의 내부를 갈아 테프론튜브를 통과시키고, 테프론튜브를 밀어 넣어주는 기어와 맞게 익스트루더를 제작하였다. (Fig. 27 extruder for output & support)

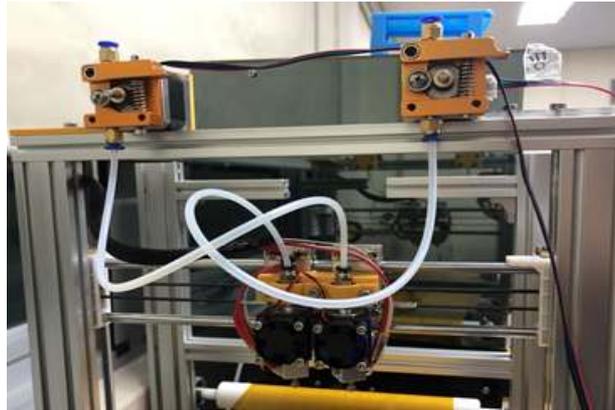


Fig. 26 Bowden type extruder

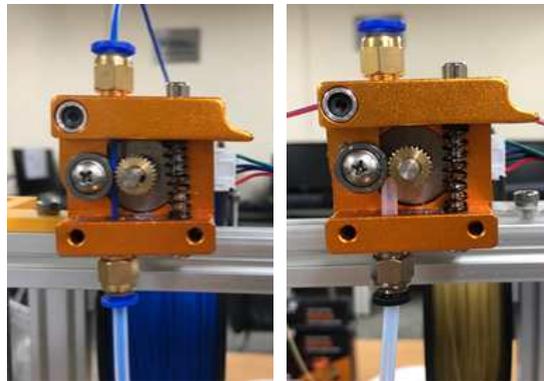


Fig. 27 Extruder for output & support

일반적으로 상용화되어있는 3D 프린터에는 하나의 노즐을 사용하는 경우가 많기 때문에 두 개의 노즐을 연결할 부품을 찾지 못하였고, 이에 따라 부품에 맞는 치수를 측정해 모델링한 후 다음과 같이 3D 프린팅해 듀얼노즐을 제작하였다. 또한, 노즐과 X축 볼부쉬와의 결합을 위해 아크릴판에 홈을 뚫어 제작하였다.

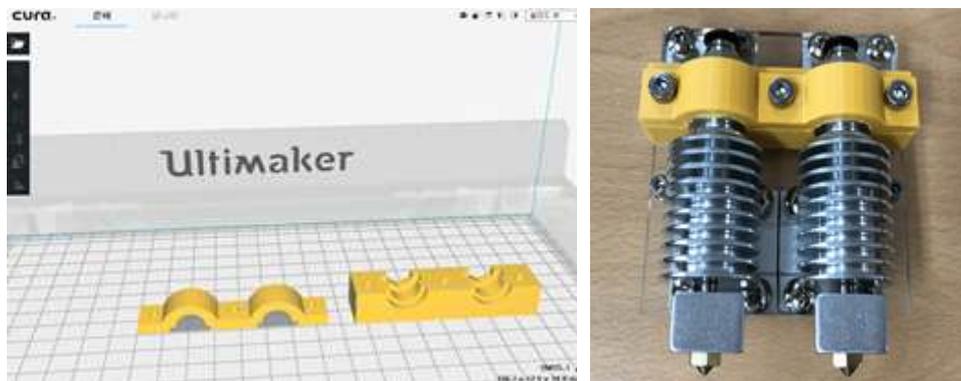


Fig. 28 Dual nozzle

### 2.3.2 소프트웨어

소프트웨어 구성을 위해 다음과 같이 Mks gen 1.4보드, 전원공급기와 프린터부품들을 배선한다.

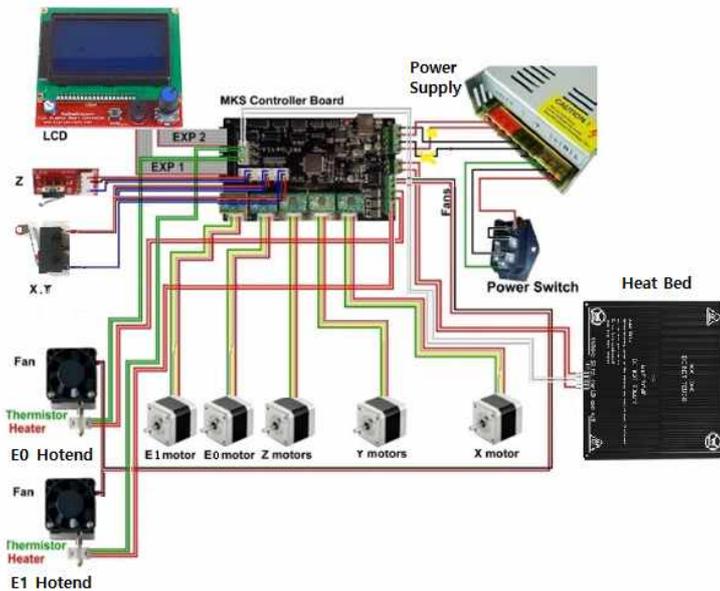


Fig. 29 A wiring diagram

부품들을 배선한 후, 3D 프린터를 제어하기 위해서 Marlin 2.0 beta 오픈소스 펌웨어를 활용한다. Marlin 펌웨어는 다음과 같이 수많은 헤더파일로 구성되어 있으며, 3D 프린터를 통제하는 코드들이 프로그래밍 되어 있다. (Fig. 30 Marlin firmware configuration file) 기본적으로 제공되는 Marlin 펌웨어는 컨베이어벨트 방식의 베드와 듀얼노즐을 사용하는 3D 프린터에 적용 불가능한 설정이기 때문에 제작한 하드웨어에 맞게 수정작업을 거쳐야 한다.

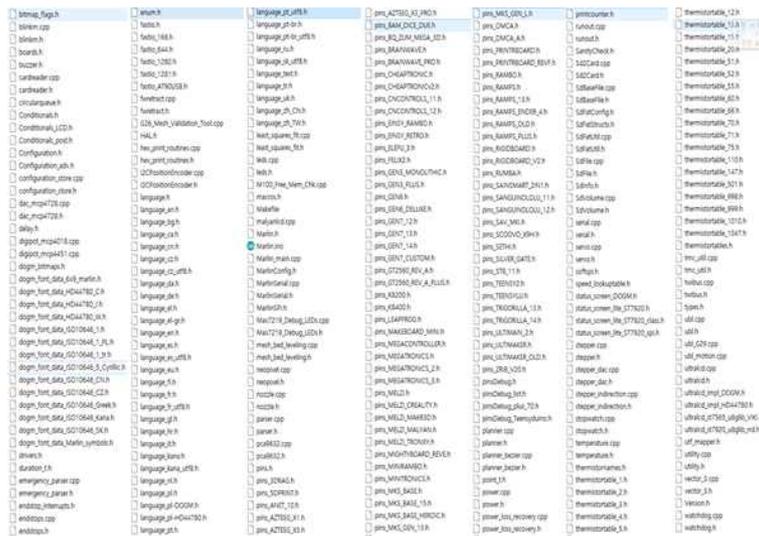


Fig. 30 Marlin firmware configuration file

3D 프린터의 DIY에서는 일반적으로 Arduino Mega 보드 + Ramps 보드를 많이 사용하지만 듀얼노즐을 사용하면서 제어에 필요한 핀이 부족하기 때문에 Mks gen 1.4 보드로 변경하며, 소프트웨어 상에서도 수정작업을 거친다.

듀얼노즐 사용을 위해 익스트루더의 개수를 1개에서 2개로 수정한다.

필라멘트의 직경을 3mm에서 1.75mm로 수정한다.

히팅베드의 크기는 220\*220mm이고, 컨베이어벨트로 인해 Y축의 길이는 이론상 무한이므로 출력 가능 범위를 220\*3000\*200mm으로 설정한다.

온도센서가 베드에 1개, 노즐 각각에 1개씩 있으므로 온도센서의 설정을 1개(E0)에서 3개(E0, E1,

BED)로 설정한다.

노즐의 부품을 고려하여 핫 엔드의 온도 히팅 제어 값(PID제어)을 Kp: 13.18, Ki: 0.73, Kd: 65.37로 설정한다.

영점을 잡아줄 엔드스탑을 필요에 따라 2종류를 사용하며, Z축 엔드스탑은 영점을 찍을 때 전류가 흐르는 방식이므로 Z축 엔드스탑의 인버팅 값을 True로 설정한다.

일부 기능들을 LCD로 컨트롤 하기 위해서 일반 LCD가 아닌 컨트롤러가 달린 LCD를 사용하며, 이를 위해 LCD를 REPRAP DISCOUNT FULL GRAPHIC SMART CONTROLLER로 설정한다.

스텝모터의 펄스 값이 X축, Y축, Z축, 익스트루더 마다 다르고 사용된 부품에 따라 다르게 적용해야 하기 때문에 수정이 필요하다. Z축에 사용하는 리드스크류의 리드가 8이므로 Z축의 펄스 값을 400으로 설정한다. Y축의 펄스 값은 컨베이어벨트의 롤러에 얼마의 펄스를 넣어야 1mm를 움직일 수 있는지를 계산하여야 한다. 사용한 스텝모터는 1펄스당 1.8도를 움직인다. 즉, 한바퀴를 도는데 200펄스가 사용된다. Y축 롤러의 직경이 30mm이고, 벨트의 두께가 0.25mm이므로 전체 직경은 30.5mm이다. 모터드라이버가 16분주로 설정되어 있으므로 펄스 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$200\text{pulse} \times \frac{16}{30.5\pi} = 33.39645\text{pulse}$$

기어비를 2:1 로 구성하였으므로 펄스값을 2배로 바꾸어준다. 따라서 펄스 값은 66.79289이다.

### 2.3.3 슬라이서 프로그램

G-code란 NC공작기계를 제어할 때 사용하는 코드이며, 3D프린터를 동작시킬 때는 G-code 파일이 필요하다. 3D프린터에 사용되는 G-code는 일반적으로 슬라이서(Slicer)라 불리는 G-code 생성 프로그램들을 이용하여 생성할 수 있다. 일반적인 FDM 프린터의 경우에는 Cura라는 슬라이서 프로그램을 이용해 프린터 설정에 맞춰 사용하면 되지만, 컨베이어벨트 방식의 베드와 듀얼노즐 시스템을 도입한 프린터의 사용을 위해서는 몇 가지 설정을 추가 및 수정해주어야 한다.

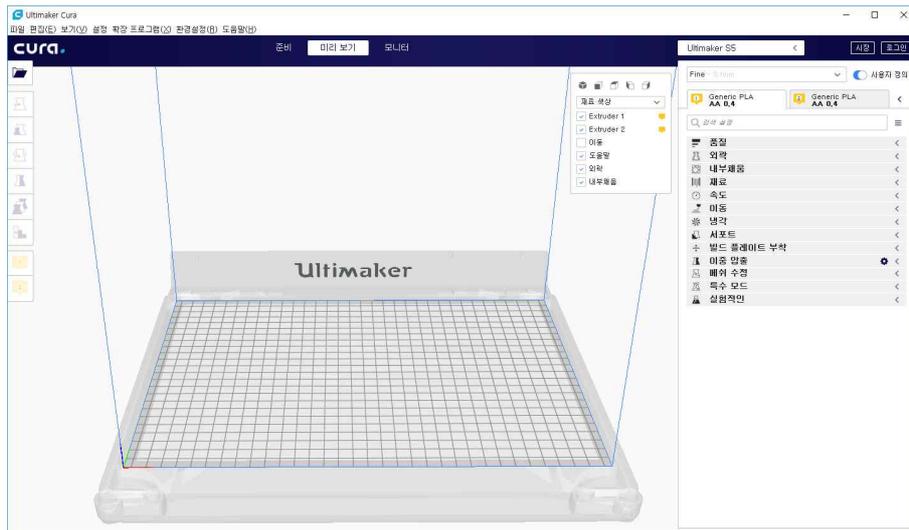


Fig. 31 Ultimaker Cura 4.0.0

Ultimaker Cura는 FDM 3D 프린터에서 가장 많이 사용되는 슬라이서 프로그램이다. 큐라에는 판매되는 여러 3D프린터의 설정을 가질 뿐 아니라 큐라 상에 등록이 되어있지 않은 3D프린터나 개인이 직접 만든 DIY 3D프린터 또한 설정 가능하다. Custom FFF(FDM) Printer로 프린터를 등록해 다음과 같이 설정을 수정한다.

듀얼노즐을 사용하므로 익스트루더의 개수를 2개로 늘려주어 서포트와 본체의 노즐을 설정한다.

출력가능 사이즈를 X: 220mm , Y: 1500mm이상, Z: 200mm로 설정한다.

시작 코드에 노즐 끝에 뭉쳐진 필라멘트를 제거해주는 코드를 추가하고, 종료 코드에는 출력이 끝난

뒤 컨베이어벨트를 밀어주는 코드를 추가해 출력된 출력물이 자동으로 떨어져 나갈 수 있도록 한다.

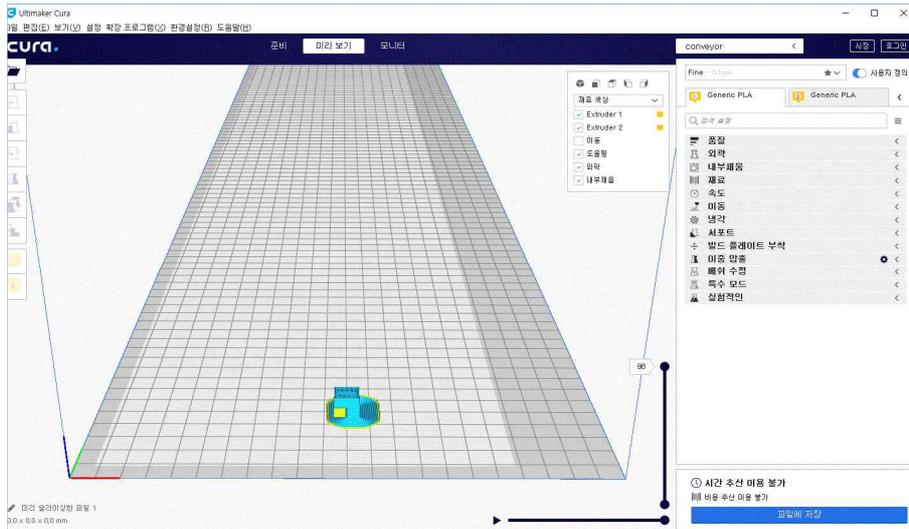


Fig. 32 Custom FFF(FDM) printer

### 2.3.4 서버를 통한 IoT 시스템

Java, JavaScript, Mariadb(데이터베이스 관리 시스템)를 이용하여 G-code 파일을 올릴 수 있는 홈페이지를 제작하였다. JavaScript를 이용하여 기본적인 게시판의 틀을 형성하였고, 회원가입과 로그인 기능, 예약 게시판 게시기능, 예약현황 확인하기 기능 그리고 실시간 영상 페이지를 추가하였다.

회원가입 및 로그인 기능은 회원가입 시에 입력받은 사용자 정보를 데이터베이스 관리 시스템인 Mariadb에 저장해두었다가 로그인할 때 기입하는 정보와 일치하면 로그인되고 서비스를 이용할 수 있게 한다. 이용자의 정보는 ID, PASSWORD, 이름, 성별, 메일주소를 입력받는데 이는 출력이 완료되었을 때 혹은 기타 변동사항이 생겼을 때 이용자에게 연락을 취할 수 있고, 알 수 없는 이용자의 프린터 이용을 막고자 할 때 활용할 수 있다.

게시판 기능은 글 제목, 내용(G-code)을 입력받고, 이에 게시번호, 이용자 ID, 작성시간을 자동으로 추가하여 Mariadb의 데이터베이스에 저장하며 게시판에 표시한다.

이때 이용자는 글 내용에 G-code를 첨부하여야 하고 첨부한 파일은 자동으로 데이터베이스와 프린터에 연결한 관리자의 라즈베리파이(raspberrypi3 B+보드)에 저장된다. G-code를 전달받으면 순차적으로 출력을 시작하고 출력이 완료되면 완성된 파일을 지우고 다음 파일을 출력함으로써 중복 출력을 막고 연속적인 프린팅이 가능하다.

예약현황 페이지는 앞서 데이터베이스에 저장된 정보를 이용하여 이용자들이 업로드한 목록을 먼저 등록된 순으로 나타내고 G-code에서 추출한 시간 정보를 이용하여 소요시간을 표시함으로써 이용자가 출력물의 완성시간을 예측할 수 있도록 한다.

실시간 영상 페이지는 현재 출력물이 잘 나오고 있는지 실시간으로 확인하기 위해서 웹캠과 mjpg-streamer(스트리밍 프로그램)을 이용해 스트리밍 서버를 구축하고 스트리밍 서버의 영상을 끌어와 홈페이지에서 실시간으로 확인할 수 있게 하였다.

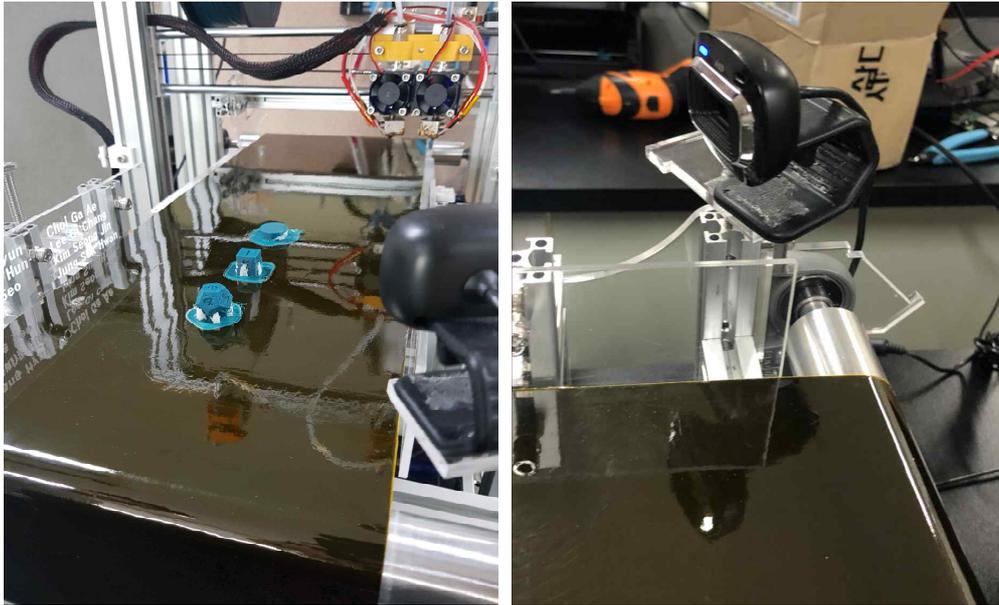


Fig. 33 Webcam for real-time video



Fig. 34 Equipment miniaturization through raspberrypi and raspberrypi remote access

3D 프린터에 필요한 장비들을 소형화하기 위해서 raspberrypi3 B+보드를 사용하였고 언제 어디서든 홈페이지에 접속할 수 있도록 raspberrypi3 B+보드에 apache tomcat(웹 어플리케이션 서버)를 설치하여 서버를 구축하였다. python을 이용하여 Mariadb에 저장된 G-code 파일 정보를 읽어와 시리얼 통신으로 mks gen 1.4 보드(3D 프린터 제어 보드)에 순서대로 보내주는 프로그램을 만들었고 이러한 시스템을 이용하여 언제 어디서나 3D프린터에 파일을 넣어 줄 수 있고 잘 작동하는지 확인도 가능하다. 만약 프린터에 문제가 발생할 경우, raspberrypi3 B+ 보드에 원격으로 접속하여 3D프린터를 정지시킬 수도 있다.

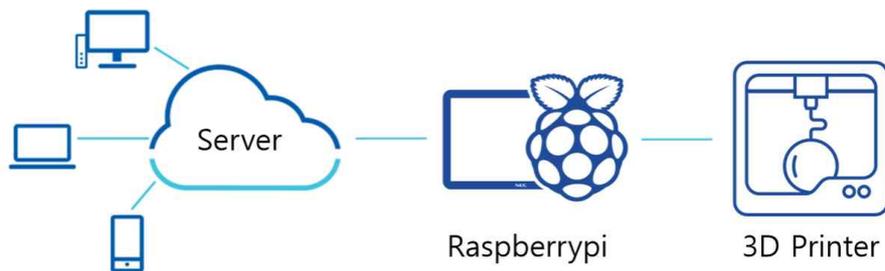


Fig. 35 Automated 3D printing process based on the Cloud form

### 2.3.5 출력테스트

제작한 3D프린터의 성능 확인 및 구동 테스트를 위해 여러 차례 출력 테스트를 진행하였다. 출력한 출력물의 상태를 확인함으로써 프린터의 문제점을 확인하고, 하드웨어 및 소프트웨어 보완작업을 거쳐 완성도 있는 출력물을 얻게 되었다.



Fig. 36 Result

## 3. 결과 및 토의

### 3.1 최종 결과물 형상 및 작동원리

#### 3.1.1 컨베이어벨트 방식의 베드 제작

기존 FDM 방식의 베드를 컨베이어벨트 방식의 베드로 변경함으로써 출력물의 자동탈착과 연속적인 프린팅이 가능해진다. 아래와 같이 롤러는 알루미늄 봉, 벨트는 테프론 및 캡톤테이프를 감아 컨베이어 벨트 형태의 베드를 제작하였고, 벨트의 장력유지를 위해 PA봉을 눌러주는 형태의 장력유지장치를 구성하여 아래에 설치하였다. 모식도(Fig. 37 Schematic diagram of conveyor belt driving system)와 같이 히팅베드(Heating Bed) 위에서 출력이 완료된 출력물은 벨트의 움직임에 따라 히팅베드에서 벗어나 냉각된 후 롤러를 통해 탈착된다. 이러한 베드 제작으로 Y축의 원활한 구동과 연속적인 프린팅이 가능해졌으며, 수작업 없이 서버를 통한 원격 프린팅 또한 가능하게 한다.



Fig. 37 Schematic diagram of conveyor belt driving system

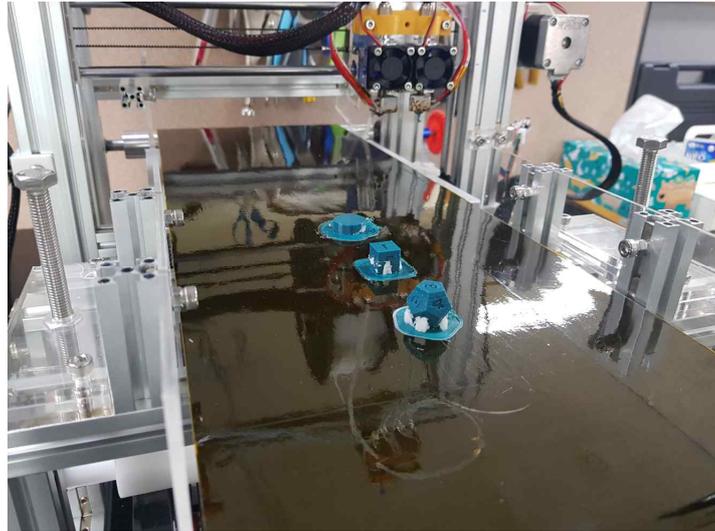


Fig. 38 Continuously printing

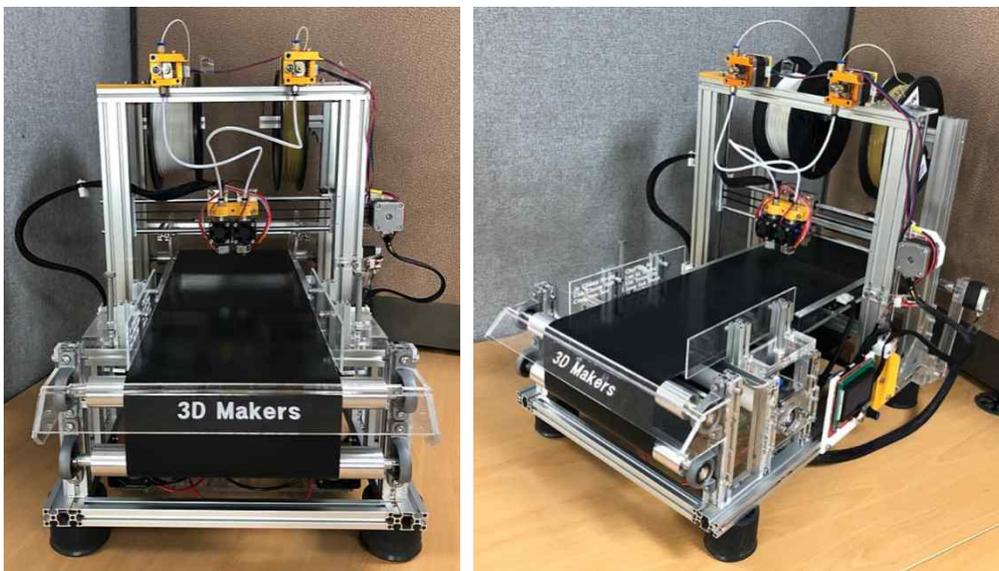
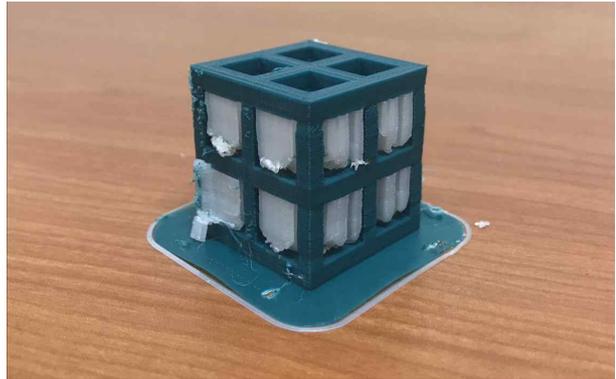


Fig. 39 Final product formation

### 3.1.2 듀얼노즐 익스트루더

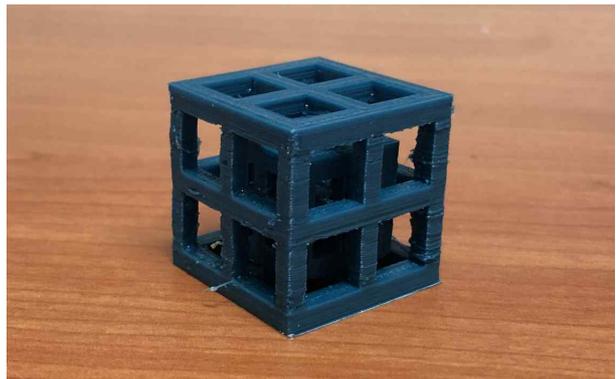
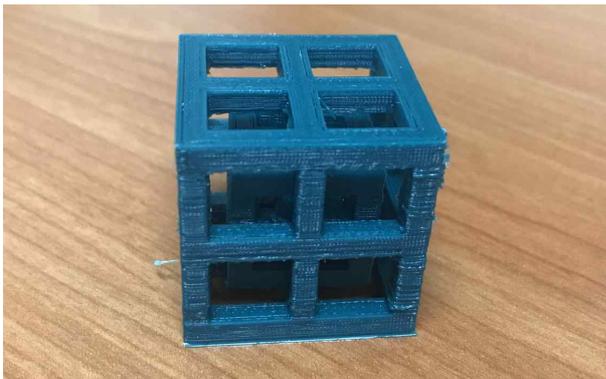
듀얼노즐 익스트루더는 두 개의 노즐이 부착된 익스트루더로 두 가지 색이 들어가는 제품을 출력할 수 있을 뿐 아니라 서포트용 필라멘트(수용성 필라멘트)의 출력이 가능해지게 된다. 이에 따라 물에 넣는 것만으로도 간편하게 서포트를 제거할 수 있으며, 제거하기 어려운 위치의 서포트 또한 손쉽게 제거할 수 있다. 아래의 출력물은 정육면체 안에 작은 정육면체가 있는 형태의 출력물이다. 출력물의 내부 서포트는 제거하기 굉장히 까다로우며, 서포트 제거 도중 출력물 파손의 우려가 있다. 자작 3D프린터의 듀얼노즐 익스트루더는 제거하기 까다로운 형태의 서포트를 수용성 필라멘트로 출력할 수 있으며, 이를 통해 물에 넣는 것만으로도 손쉬운 서포트 제거가 가능해진다.



**Fig. 40** Before removing support



**Fig. 41** Support removing process



**Fig. 42** After removing process

### 3.1.3 클라우드 기반의 IoT 시스템

다음은 이용자로 부터 G-code를 전달받는 서버의 메인 페이지 모습이다. (Fig. 43 Server main page) 홈 페이지는 메인 페이지, 예약 페이지, 예약현황 페이지, 실시간 영상 페이지로 구성하였다.



Fig. 43 Server main page

이용자가 회원가입을 하면, 상단 바의 ‘예약’ 페이지를 통해 글을 작성할 수 있고 그 글에 G-code를 첨부하여 게시하면 자동으로 프린팅을 시작한다. 여러 개의 글이 게시되면 먼저 올린 파일부터 순차적으로 출력되며 그 상황 또한 ‘예약현황’ 페이지에서 확인할 수 있다. ‘예약현황’ 페이지에서는 올린 G-code의 순서뿐만 아니라 현재 출력 중인 파일, 각 파일의 소요시간까지 알 수 있으며 이를 통해 이용자는 자신의 출력물이 언제 완성될지 예측할 수 있고 ‘실시간 영상’ 페이지에서는 프린팅이 진행되고 있는 모습을 실시간으로 확인할 수 있다.

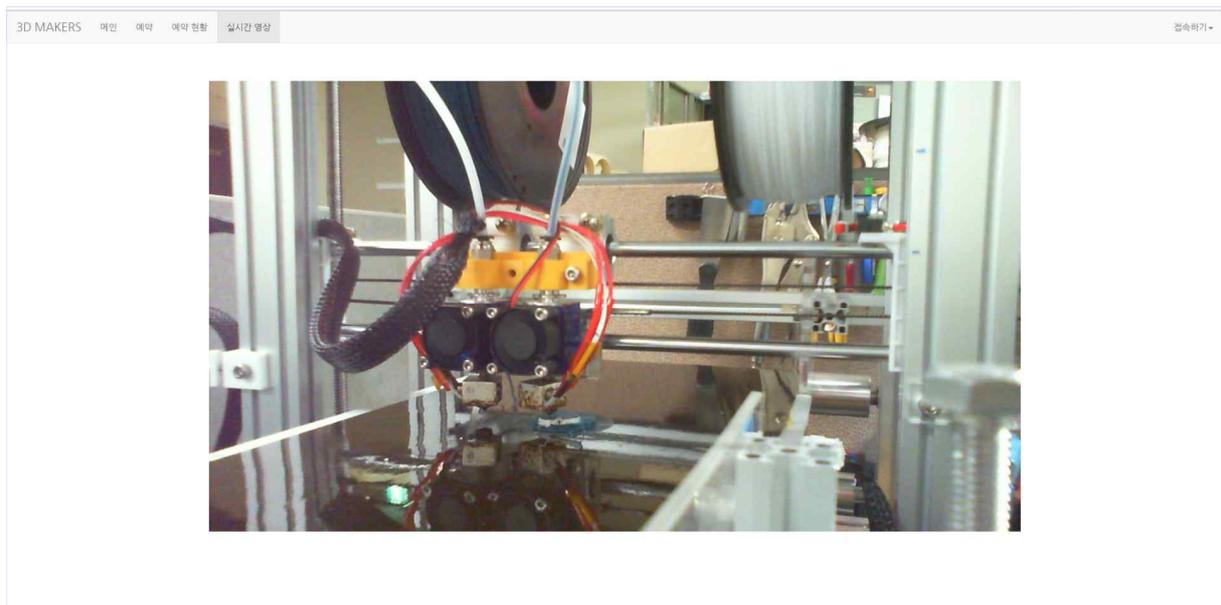


Fig. 44 Real-time image check

### 3.2 최종설계 결과물의 장단점 및 의의

최종설계 결과물인 “클라우드 기반 자동화 3D 프린팅 시스템”은 언제 어디서든 서버를 통해 출력할 파일들을 업로드할 수 있으며, 자동으로 프린터를 실행시켜 출력물을 뽑아준다. 이를 통해 여러 명의 사

용자가 하나의 프린터를 이용할 수 있으며, 공간적 제약 없이 어디서든 원격으로 프린팅 가능하다는 장점이 있다. 출력물을 프린팅한 후, 컨베이어벨트를 통해 사람의 개입 없이 자동으로 탈착할 수 있어 여러 번의 연속적인 프린팅 또한 가능하다. 이로써 출력물을 프린팅하는데 소요되는 전반적인 시간이 줄어들게 된다. 부가적으로 서버를 통해 출력되는 프린터의 모습을 실시간으로 볼 수 있다는 점에서 언제 어디서든 프린터의 상태를 알 수 있다는 장점이 있다.

또한, 듀얼노즐을 통해 수용성 서포트를 사용함으로써 출력물 손상의 우려가 적다는 장점과 함께 제거하기 어려운 위치의 서포트를 물에 넣는 것만으로도 손쉽게 제거할 수 있다는 장점도 있다.

최종설계 결과물의 단점으로는 기기의 수명을 알 수 없고, 서버 사용자가 모델링 G-code를 직접 업로드 해야 한다는 점이 있지만, 기존 3D 프린터를 이용하는 데 겪는 시공간적인 제약사항들을 해결할 수 있다는 점 그리고 연속적인 프린팅이 가능해져 대량생산 과정에 적합하다는 점에 의의를 두었다.

### 3.3 활용방안 및 기대효과

서버를 통한 클라우드 시스템을 기반으로 3D 프린터를 이용하는 데에 시공간적 제약으로부터 자유로워진다. 예를 들어, 내일까지 출력해야 하는 것이 있다면 내일 아침 일찍 작업장에 가서 프린트 실행시키고 하루 종일 기다릴 필요 없이 오늘 저녁에 집에서 서버를 통해 프린터에 G-code를 전송하여 프린팅을 시작하고 내일 오전에도 출력물을 받아볼 수 있게 되는 것이다. 여러 개를 출력해야 할 때도 문제없다. 여러 파일을 서버에 업로드하고 기다리면 중간에 사람의 개입 없이도 프린터가 스스로 연속적으로 프린팅할 것이다. 이를 통해 대량생산에도 훨씬 간편해지므로 산업적인 활용을 기대할 수 있다. 또한, 여러 사용자가 한 프린터를 이용할 수 있다는 점에서 관련 사업으로의 확장도 기대할 수 있다.

## 4. 결론

결론적으로 “클라우드 기반 자동화 3D프린터 시스템 개발”은 사람의 개입 없이도 연속적인 프린팅이 가능하고 시공간적 제약에 있어 자유로운 3D프린터이다. 서버를 이용한 클라우드 시스템으로 원격 프린팅이 가능하며, 베드를 컨베이어벨트 형식으로 제작해 출력물이 완성되고 벨트가 돌아가면 기존 출력물을 직접 떼지 않고도 다음 코드를 출력할 수 있다. (코드 내의 Y축 구동으로 출력물은 자동으로 탈착된다.) 이를 통해 클라우드 내의 출력할 다음 G-code파일을 프린터로 전송하여 연속적인 프린팅이 가능해진다. 또한, 듀얼노즐을 통해 서포터를 물에 녹는 소재로 출력하여 더욱 쉽게 서포터를 분리할 수 있다.

본 설계의 3D프린터는 기존의 여러 출력물을 연속해서 프린팅할 수 없고, 작업장에서 직접 실행시켜 주어야 했던 불편함을 해결하였다. 이러한 3D프린터는 대량생산에도 적용 가능한 방식으로 산업적인 활용을 기대할 수 있다. 또한, 여러 사용자가 한 프린터를 이용할 수 있다는 점에서 관련 사업으로의 확장도 기대할 수 있다.

## 후 기

3D프린터를 직접 설계하고, 제작하면서 3D프린터의 원리나 종류, 사용 등 여러 가지 면에서 더 깊게 이해하게 되었다. 또한, 기존 3D프린터의 약점을 보완하려는 방안을 생각하는 과정에서 사회에서의 발전상황이나 쓰임새, 강점과 개선점 등, 3D프린터의 사회적 모습 또한 더 잘 알게 되었다. 서버를 통해 원격 프린팅을 구동시키기 위해 서버를 구축하고, 서버의 코드를 다운받아 프린터를 실행시키는 코드를 작성하는 과정에서는 비교적 코딩을 많이 접하지 않았던 기계과 학부생으로서 적지 않은 어려움이 따랐는데 어려웠던 만큼 성공했을 때에 뿌듯함은 배가 되었고, 이번 프로젝트를 통해 Java에 대해서 더 공부하고 다른 분야로도 견문을 넓힐 수 있는 계기가 되었던 것 같아 만족스럽다. 팀을 구성하여 프로젝트를 진행하면서 어렵고 힘든 부분도 많았지만, 협동력을 배울 수 있었고 점점 자신이 각자 잘하는 분야를 알게 되어 각자 직무선정에 대해서도 조금 더 다가갈 수 있는 계기가 되었다.

### 참고문헌

- [1] 네이버 “스텝모터” <https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1982023&cid=42331&categoryId=42334>
- [2] Google “플라스틱 물성표” [http://www.hanjinn.co.kr/bbs/board.php?bo\\_table=hire&wr\\_id=22](http://www.hanjinn.co.kr/bbs/board.php?bo_table=hire&wr_id=22)
- [3] Google “히트 엔드” <http://wakalics.blogspot.com/2015/01/fdmfff-3d.html>
- [4] 네이버 “3D프린터의 구조”  
<https://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=zzzudol&logNo=220484099214&parentCategoryNo=&categoryNo=4&viewDate=&isShowPopularPosts=false&from=postView>
- [5] 네이버 “익스트루더”  
<https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=16811128&memberNo=25379965>
- [6] Google “메이커 스페이스” <http://young.hyundai.com/magazine/campus/detail.do?seq=16811>
- [7] Google “flexible filament Extruder” <https://recreus.com/en/content/12-how-to-print-with-filaflex>  
<https://www.thingiverse.com/thing:1271581>