

# 툴 체인지 방식 멀티 노즐 3D프린터의 설계 및 제작

석익현\*, 박종규\*.#

\*창원대학교 기계공학과

## Design and Fabrication of Tool Change Multi-nozzle FDM 3D Printer

Ik-hyun Suk\*, Jong-kyu Park\*.#

\*School of Mechanical Engineering, Changwon National University

(Received 10 August 2020; received in revised form 22 October 2020; accepted 04 December 2020)

### ABSTRACT

To cater to the transition from single-color to multicolor/multi-material printing, this paper proposes a cartridge-replacing type multi-nozzle Fused Deposition Modeling(FDM) three-dimensional (3D) printer. In the test printing run, tool change failure/wobble/layer shift occurred. It was confirmed that improper support was the cause of this tool change failure. As a solution, spline and electromagnetic cartridges were designed. Wobble was caused by machine vibration and the motor stepping out. To minimize wobble, an additional Z-axis was installed, and the four-point bed leveling method was used instead of the three-point bed leveling method. The occurrence of layer shift was ascribed to the eccentricity of the Z-axis lead screw. Therefore, slit coupler was replaced with an Oldham type. In addition to the mechanical supplementation, the control environment was integrated to prevent accidents and signal errors due to wire connections. Before the final test printing run, a rectifier circuit was added to the motor to secure precise control stability. The final test printing run confirmed that the wobble/layer shift phenomenon was minimized, and the maximum error between layers was reduced to 0.05.

**Key Words** : FDM 3D Printer(3D 프린터), Multi-color/Material Printing(다색/소재 출력), Tool Change(툴 체인지), Multi Nozzle(멀티 노즐)

## 1. 서 론

FDM 방식의 3D프린터는 3축 스테이지와 압출부를 구동하여 3d 형상을 출력하는 방식으로, 구조가 간단하고 구현하기 쉬워 다양한 방식의 3D

프린터가 연구되고 있다<sup>[1]</sup>. 이 방식은 압출부의 소재에 따라 패션<sup>[2]</sup>/가구/식품<sup>[3]</sup>/의료<sup>[4][5]</sup>/기계<sup>[6]</sup>/건축 등의 산업에 적용할 수 있다.

최근에는 이러한 산업 분야에서 다 색상/소재 프린팅의 수요가 증가함에 따라 멀티 노즐/소재 혼합 방식의 프린터가 연구 및 개발되고 있다. 멀티 노즐 방식은 압출부에 다수의 노즐 또는 필라멘트 혼입 노즐을 사용하여 다색 출력물을 적층하

# Corresponding Author : [chong@changwon.ac.kr](mailto:chong@changwon.ac.kr)

Tel: +82-055-213-3605, Fax: +82-055-213-3611

는 방식으로<sup>[7][8]</sup>, 다색 출력 및 압출 속도 조절을 통하여 혼합된 소재의 출력이 가능하나, 압출부의 무게가 증가하여 베드 중앙에서 이송 갠트리의 처짐이 발생한다. 이를 보완하기 위해서는 변형이 적은 소재로 변경이 필요하고, 이는 프린터 단가 상승의 원인이 된다.

소재 혼합 방식의 경우 별도의 다색 필라멘트 공급기를 사용하며, 소프트웨어로 색상을 조절할 수 있다는 장점이 있으나, 출력 가능한 이종 소재가 한정적이며, 고가라는 단점이 있다. 이에 카트리지 교체 방식의 3D프린터의 연구를 진행하고자 한다. 카트리지 거치 방식을 사용, 압출부의 무게를 감소시킴과 동시에 이종 소재 출력이 가능하도록 하였다. 또한 카트리지, 홀더 등의 설계 보완으로 정밀도를 향상시켰다.

툴 체인지 방식은 교체 성공률이 중요한 성능 지표로 작용하며, 방해 요소는 진동 및 좌표 오차 등이 있다. 이에 카트리지에 자이로 센서를 부착, 툴 체인지 시 발생하는 진동을 확인하였다. 또한 개발된 3D 프린터의 성능 보완을 위해 자유곡선 및 전자석 고정 방식의 카트리지/홀더를 제작하여 진동을 배제, 출력 정밀도를 확보하였다. 최종적으로 멀티 노즐, Soft PLA 압출 시스템에 관한 설계 기법을 확립하여 추가 가공 없이 다양한 색/소재의 원패스 프린팅이 가능한 멀티 노즐 3D 프린터를 개발하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 진동 발생량 실험

기존 교체형 카트리지 모델은 상단의 전자석만으로 카트리지를 고정하므로, 하단 자유도로 인해 카트리지 교체/이송 시 고정되지 않는 문제점이 발생한다. 이로 인해 툴체인지 시 진동이 발생하고, 수직을 유지하지 못한 상태에서 A 축이 하강한다. 이는 노즐과 카트리지 히터 간 억지 결합을 발생하며, 노즐의 손상 및 툴 체인지 실패의 원인이 된다. 따라서 자유곡선 및 전자석 고정형 카트리지를 설계 및 제작하였으며, 각 타입의 형상은 Fig. 1과 같다.

각 카트리지의 툴 체인지 시 진동 확인을 위하

여 테스트를 진행하였으며, 실험 환경은 Fig. 2와 같다. 1번 툴이 거치 및 탈거 시 카트리지 상부에 장착된 9축 자이로 센서로 roll/pitch 방향의 회전 진동 발생량을 확인하였다.

각 결합 방식별 30회의 반복 테스트를 통하여 기존 카트리지와 비교를 시행하였다. 실험을 통한 자이로 센서 데이터 분석 결과는 Fig. 3과 같고, 기존/자유곡선형/전자석 방식의 roll 및 pitch 방향 진동값을 그래프로 나타내었다. 각 고정 방식 모두 기존 카트리지 교체 방식보다 진동이 줄어든 것을 확인하였다. Fig. 3의 1 ~ 5번 구간은 각각 Table 1의 1 ~ 5에 해당하는 동작을 수행할 때를 나타낸다. 툴체인지 순서는 탈거 위치로 이동 → 탈거 준비 → 기존 툴 탈거 → 다른 위치로 이동 → 툴 장착의 순서로 진행된다.

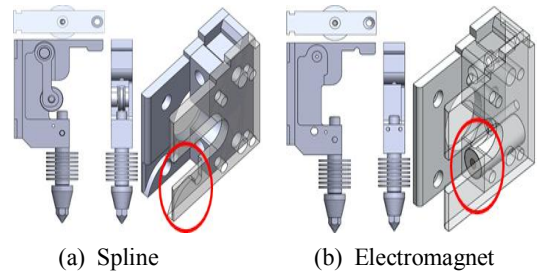


Fig. 1 Spline/electromagnet cartridge and holder

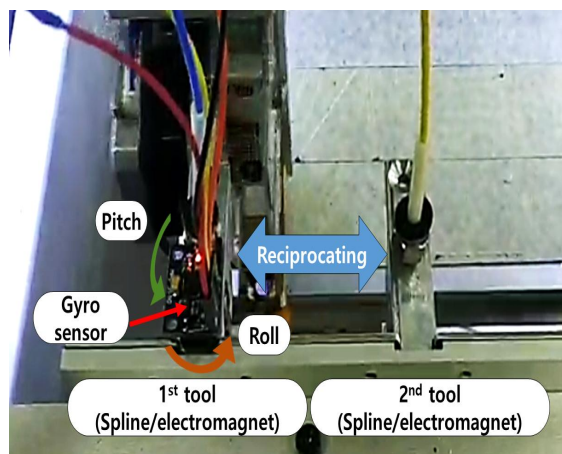


Fig. 2 Tool change test environment

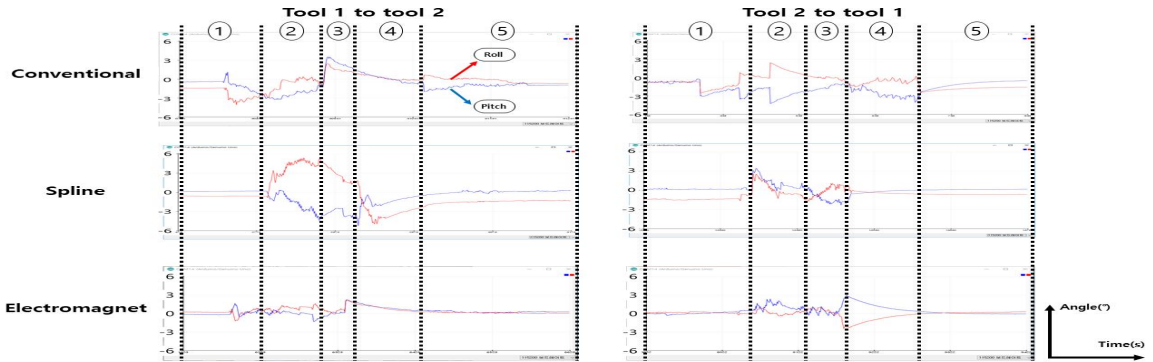
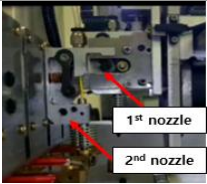
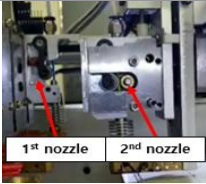




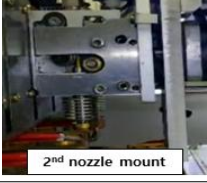
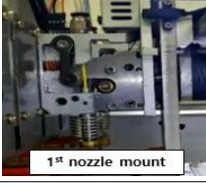
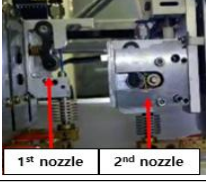
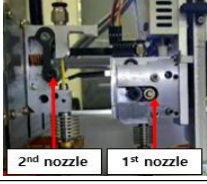


Fig. 3 Roll/pitch data per process

Table 1 Tool change process

Process	Figure	
	Tool 1 to tool 2	Tool 2 to tool 1
1		
2		
3		
4		
5		

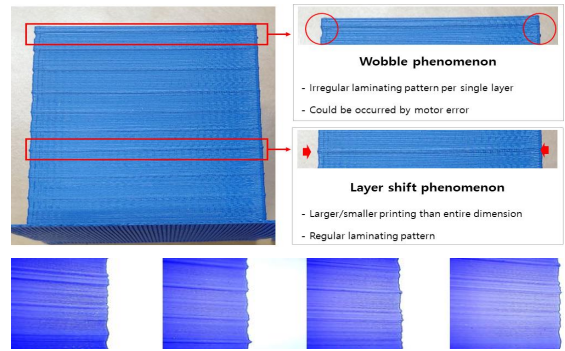


Fig. 4 Wobble & layer shift phenomenon

## 2.2 출력 품질 및 정밀도 보완

FDM 3D 프린터의 성능지표는 크게 출력 정밀도와 출력물의 표면 품질로 구분할 수 있다. 표면 품질 개선이 선행되어야 출력 정밀도를 객관적으로 측정할 수 있으며, 최종적으로 프린터의 성능을 향상시킬 수 있다. 따라서 정밀도 확보를 위하여 출력물 표면 품질 개선을 먼저 진행하였다. 기존 3D프린터의 문제 확인을 위하여 테스트 출력을 시행하였으며, Fig. 4와 같이 와블 및 레이어 쉬프트 현상이 복합적으로 발생함을 확인하였다.

와블 현상은 동일 적층 레이어 내에서 발생하는 불규칙한 적층 패턴으로, 기계적인 원인과 제어 변수의 원인으로 나눌 수 있다. 대표적인 기계적인 원인으로 프린터 기계 전체 또는 Z축 진동이 있다. 본 프린터는 베드의 고정을 담당하는 Z축이 후방에만 설치되어 전방에 진동이 발생하는 것을 확인하였다.

제어 변수로 인한 원인은 모터의 탈조가 있다. 축을 제어하는 모터의 탈조가 발생하면 이동에 문제가 발생하며, 이는 출력 품질 불량으로 이어진다. 앞서 언급한 두 변수를 모두 고려하여 프린터 보안을 진행하였다.

Z축의 경우, 진동 최소화를 위해 Fig. 5와 같이 베드 전방에 부가 축을 설치하였다. 설치된 두 모터의 Z축 동시 제어를 위해서는 정확한 시간에 동일한 펄스를 인가해야 한다. 그렇지 않으면 모터 간 펄스 오차로 스크류 회전량이 달라지고, Z축 전후방의 높이차로 이어진다. 이는 Z축 구동 부하를 증가시키며, 모터와 드라이버의 손상을 일으킨다. 동일 펄스 전달의 경우, 1개의 모터 드라이버에 2개의 모터를 연결하여 명령 전달 딜레이에 인한 누적 펄스 오차를 배제하였다.

또한, 본 프린터는 3점식 수평 조절방식으로 Fig. 6과 같이 베드 외곽에 레벨링 불가 영역이 발생한다. 이에 4점식 수평 조절 방식으로 변경, 레벨링 불가 영역을 최소화하였다.

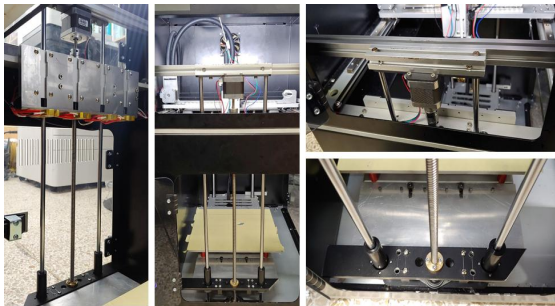


Fig. 5 Additional Z axis installation

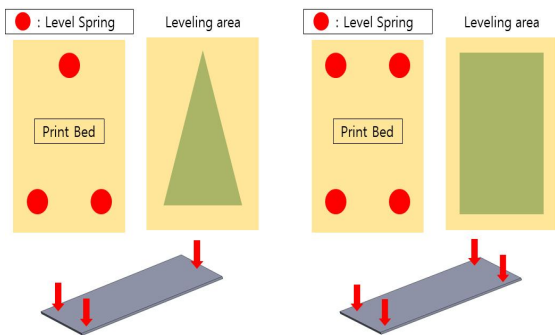


Fig. 6 Comparison of 3 & 4 point leveling

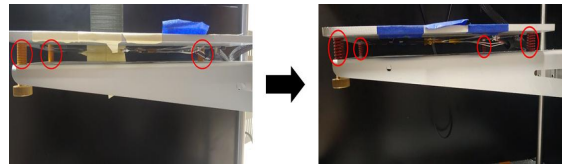
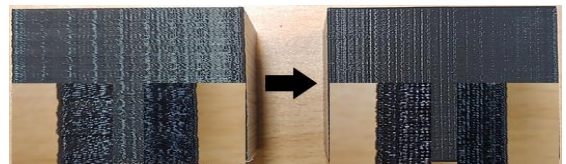
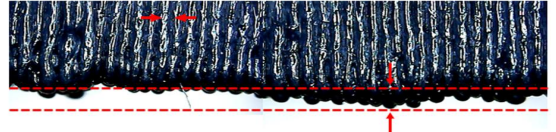


Fig. 7 Bed leveling method conversion



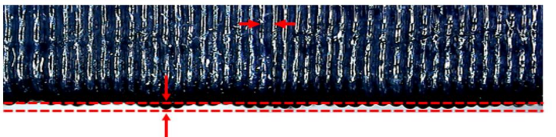
(a) L : Conventional, R : Integrated

Stacking error : 1.2 mm



(b) Layer error (Conventional)

Stacking error : 0.4 mm



(c) Layer error (Integrated)

Fig. 8 Result comparison of cartridge

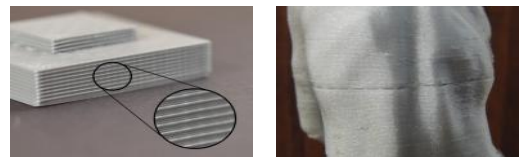


Fig. 9 Layer shift phenomenon

앞서 언급한 사항의 수정 및 일체형 압출부 /개선된 카트리지를 사용하여 테스트 모델을 출력한 결과, Fig. 8과 같이 레이어 쉬프트를 제외한 와블 현상에서는 적층 오차가 1.2 mm에서 0.4 mm로 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

레이어 쉬프트 현상은 Fig 9와 같이 가로 방향 (X, Y 축)으로 일정한 패턴을 보이는 현상으로, 와블 현상처럼 불규칙한 적층이 아니므로 다른 변수를 통한 문제 해결이 요구된다.

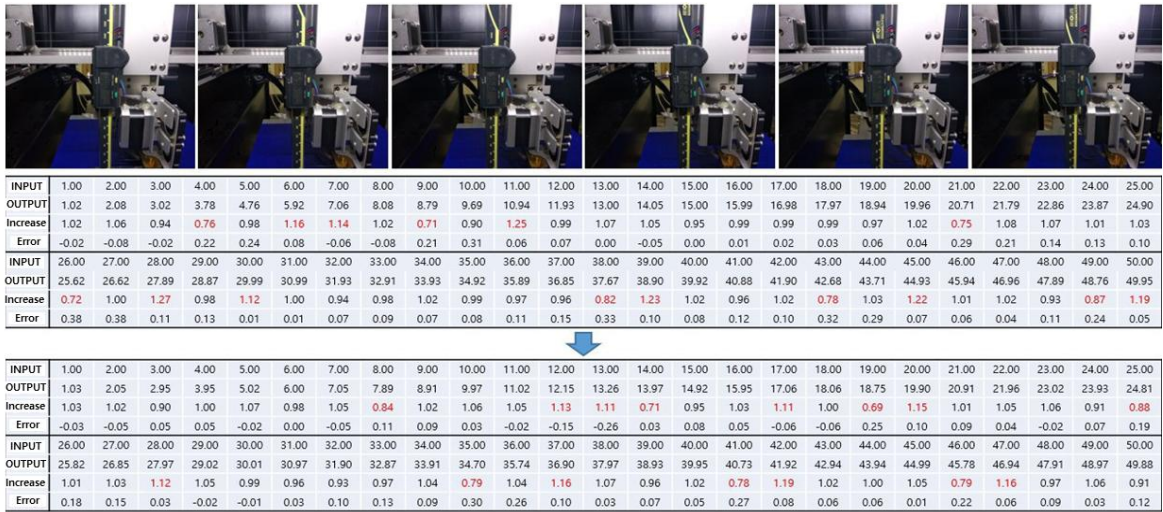


Fig. 10 Result of Z axis Movement precision test

전술한 레이어 쉬프트 현상의 대표적인 원인은 Z축 리드 스크류의 편심 문제가 있다. 편심 상태 이거나 표면이 일정하지 못한 리드 스크류로 Z축 구동 시, 프린팅 베드가 리드 스크류의 편심 방향에 맞추어 흔들린다. 이는 적층 높이에도 영향을 미치며, 베드가 수직으로 올라가지 못하고 압출된 필라멘트가 노즐에 눌러 치수 오차가 발생한다. 리드 스크류의 편심 문제 외에도 고려되는 영향 변수는 구동축의 제어 정밀도, 안정성, 폴리장력이 있다. 따라서 Z축 편심 고정 후에도 레이어 쉬프트 현상 발생 시 전술한 변수의 변경이 필요하다.

먼저 리드 스크류의 편심 확인을 위해 직접 변위 입력, G-code에 맞추어 Z축의 스텝모터가 동작하는지 확인하였다. 200 step의 스텝모터 및 리드 4 mm의 리드 스크류를 사용하였으므로 최소 단위는 0.04 mm가 된다. 따라서 0.01 mm의 분해능을 가진 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 원점에서 1 mm 간격으로 총 50 mm 이송을 실시하였으며, 각 간격 이송 후 이동량을 측정한 결과는 Fig. 10과 같다. 이는 현재 사용 중인 리드 스크류가 편심되어 있다는 것을 의미한다. 따라서 기존에 사용하던 커플링을 올덤 커플링으로 변경하여 별도의 설계 수정 없이 편심을 맞추고자 하였다.



(a) before change



(b) after change

Fig. 11 Z axis coupling replacement

올덤 커플링은 Fig. 11 (a)에서 볼 수 있는 기존 일체형 커플링과 다르게, 4방향으로 슬라이딩이 가능하여 편심 축 회전이 가능케 한다. 따라서 Z축의 휨 현상 없이 정상 동작이 가능하다.

### 2.3 추가 보완 및 최종 출력 테스트

시판 중인 3D 프린터 부품의 경우, 제어나 전원 공급량 조절 등의 역할을 맡는 별개의 부품들이 있다. 이는 손상 발생 시 해당 부품의 교체가 용이하다는 장점이 있으나, 각 부품을 연결하는 전선이 증가하여 합선 및 누전으로 인해 사고나 신호 전달 오류가 발생할 수 있다. 이에 전체 회로

도의 확인을 통하여 Fig. 12와 같이 외부 전원, 릴레이 및 모터 드라이버를 제외한 모든 기능을 단일 보드로 구성하여 전선으로 연결되는 부품을 최소화하였다. 이와 같은 기능 집약을 통하여 전문가가 아닌 사용자라도 직관적인 유지 보수가 가능하다.

최종 출력 테스트 전 추가 변수 배제를 위하여 Fig. 13과 같은 수정 및 보완을 실시하였다. 먼저 모터의 정밀제어 안정성 확보를 위해 X/Y/Z 축에 정류 회로인 TL-smoother를 연결하였으며, 벨트의 장력 조절이 가능한 텐서너를 장착하였다.

최종 수정 후 표면 품질을 확인하기 위하여 동일 모델을 출력하였다. Fig. 14와 같이 연구 초기 제어 인자의 최적화 문제로 인해 발생한 와블 및 레이어 쉬프트 문제가 완화된 것을 확인하였다. 최종적으로 X·Y축 모터 가속도/레이어 두께/압출 속도와 같은 3D 프린터 제어 인자 수정 시, 0.05mm 미만의 출력 오차가 발생하는 것을 확인하였다.

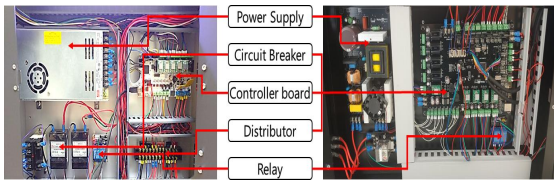


Fig. 12 Integrated control environment

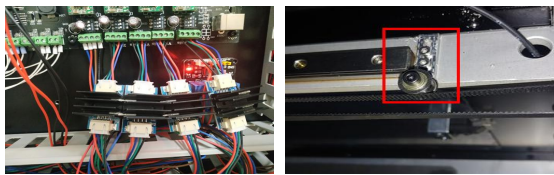


Fig. 13 Rectifying circuit & belt tensioner

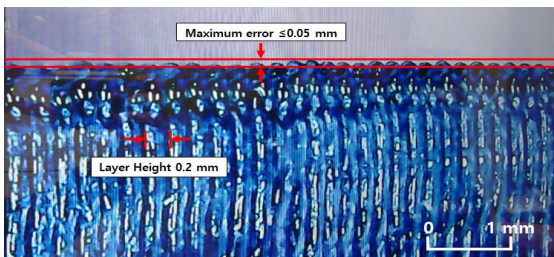


Fig. 14 Surface quality of specimen

### 3. 결론

개발 초기 카트리지 교체 방식의 멀티 노즐 3D 프린터에서 출력 불량 및 툴 체인지 실패 등의 문제가 발생하였으며, 원인 확인을 통하여 설계 수정 및 보완을 실시하였다.

툴체인지 시 발생하는 카트리지-홀더 결합 불량 의 경우, 자유곡선/전자석 방식의 카트리지 설계 로 하부에 지지부를 추가하였다.

출력 불량의 경우, 레이어 쉬프트와 와블 현상 의 복합적인 발생을 확인하였으며, 문제 해결을 위해 전방에 추가 Z축 장착/베드 레벨링 지점 추가/커플링 교체(올덤 방식)/신호 정류 회로 추가/ 벨트 장력 제공 텐서너 추가/제어 환경 통합을 실시하였다.

보완 후 30번의 툴 체인지 결과, 기존 모델의 경우 25번의 툴 체인지가 성공하였음에 반해 자유 곡선 및 전자석 카트리지의 경우 30번 모두 성공 하여 기존 모델 대비 15% 개선된 것을 확인하였다. 자이로 센서를 통한 Roll/Pitch 각도 확인 결과, 기존 모델의 경우 툴 체인지 시 미세한 진동이 지속적으로 발생하였으나, 자유곡선 및 전자석 방식의 카트리지는 모두 0~1.5도로 수렴하는 것을 확인하였다.

또한, 테스트 출력 결과, 와블과 레이어 쉬프트 현상이 최소화된 것을 확인하였으며, 모터 가속도 /레이어 두께/압출 속도 등의 제어 인자 수정을 통하여 0.05 mm 미만의 출력 오차가 발생하는 것을 확인하였다.

추가적인 연구를 통해 소프트웨어 내부의 Plug-in으로 직관적인 인터페이스 구축, 출력 조건 최적화, 효율적인 툴 체인지 시스템을 구현하고자 한다.

### 후 기

“이 논문은 2018년도 정부 (교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 입 (No. 2018R1A6A1A03024509)”

## REFERENCES

1. Choi, J. W. and Kim, H. C., "3D printing Technologies, A review", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 1~8, 2015.
2. Oh, S. Y., Suh, D. A. and Kim, H. K., "Last Design for Men's Shoes using 3D Foot Scanner and 3D Printer", The Journal of the Korea Contents Association, Vol 16, No. 2, pp. 186~199, 2016.
3. Kim, M. J., Kim, M. K. and You, Y. S., "Food 3D Printing Technology and Food Materials of 3D Printing", The Korean Society of Clean Technology, Vol 26, No. 2, pp. 109~105, 2020.
4. Oh, W. K., "Customized Model Manufacturing for Patients with Pelvic Fracture using FDM 3D Printer", Journal of the Korea Contents Association Vol 14, No. 11, pp. 370~377, 2014.
5. Kim, S. H. and Yoo, S. K., "Usefulness of Surgical Planning of Distal Humerus Shaft Fractures using Three - Dimensional Printing Technique", Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol. 55, No. 10, pp. 1255~1260, 2018.
6. Jang, J. A. and Cho, D. W., "A Review of the Fabrication of Soft Structures with Three - dimensional Printing Technology", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14 No. 6, pp. 142~148, 2015.
7. Shin, D. H., Park, Y. M. and Park, S. H., "Correlation between UV-dose and Shrinkage amounts of Post-curing Process for Precise Fabrication of Dental Model using DLP 3D Printer", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 2, pp. 47~53, 2018.
8. Kim, H. J., "3D Printing Characteristics of Reverse Idle Gears for Tractor Transmissions", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 1~8, 2017.
9. Kim, H. J. and Kim, N. K., "Dimensional Characteristics according to Internal Density of Automotive Inner Ring in 3D Printing", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 11, pp. 96~102, 2019.
10. Kim, H. J., "3D Printing Characteristics of Automotive Hub using 3D Scanner and Reverse Engineering", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Vol. 18 No. 10, pp. 104 - 109, 2019.
11. Noh, K. S., Seo, H. W., Kim, T. Y., Lee, Y. G., "Development of a G-Code Generator for Color Gradation Generations in a Mixing Chamber FDM 3D Printers", Korean Journal of Computational Design and Engineering Vol. 22, No. 1, pp. 10~17, 2017.
12. Abilgazyev, A., "Design and development of multi-nozzle extrusion system for 3D printer", Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2015.