Regular paper | Journal of the KIECS. pp. 909-916, vol. 16, no. 5, Oct. 31. 2021, t. 109, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2021.16.5.909

3D 프린터의 출력시간 단축과 재료소모량 감소를 통한 편의성 개선에 관한 연구

김성연* · 김은찬* · 김희찬* · 남재욱* · 이상우* · 백수황*

A Study on the Improvement of Convenience through Reduction of Printing Time and Material Consumption of 3D Printer

Sung-Yeon Kim* · Eun-Chan Kim* · Hee-Chan Kim* · Jae-Wook Nam* · Sang-Woo Lee* · Soo-Whang Baek*

요 약

3D 프린터는 개인의 창의력을 실제로 구현할 수 있는 장점이 있다. 이 특성을 활용하려는 사람들은 증가하고 있지만 적합한 프린팅 교육의 기회 부족과 잘못된 출력 방법으로 문제 발생의 어려움을 겪는다. 따라서 저하된 출력물 품질이 사용자의 관심을 낮춰 점차 3D 프린터의 활용빈도 수를 감소시키게 된다. 본 연구에서는 3D 프린터의 오작동 해결과 편의성의 개선을 위해 직접 기기를 작동하면서 발생하는 문제를 파악하고 분석했다. 여러 문제점 중 안착 불량, 스트링 현상, 노즐 막힘을 중점으로 해결과 완화 연구를 진행하였다. 또한, 3D 프린터의 기능을 실험을 통해 재료소모량 감소와 출력시간 단축 방법을 고찰했다. 최종적으로 3D 프린팅 중 빈번하게 발생하는 출력문제를 해결해 외관이 온전한 출력물을 얻을 수 있었고 편의성을 개선하였다.

ABSTRACT

3D printing has the advantage of providing opportunities for individuals to truly realize their creativity. An increasing number of people want to take advantage of this feature but they have lack opportunities for suitable printing training and struggle with problems with incorrect printing methods. Therefore, the lowered print quality lowers the interest of the user, and the 3D printer is not used gradually. In this study, we directly operate the device by identifying and analyzing the problems occurred to solve malfunctions of 3D printers and improve the convenience for user. In particular, we are conducting research on solving and mitigating problems with seating, stringing and nozzle clogging. In addition, the method of reducing material consumption and shortening the printing time was considered through experiments on the functions of 3D printers. Finally, by solving the printing problem that occurs frequently during 3D printing, it was possible to obtain a printed product with a complete appearance and improved convenience.

키워드

3D Printer, Convenience, Reduction of Printing Time, Reduced Material Consumption, User Question,
3D 프린터, 편의성, 출력시간 단축, 재료 소모량 감소, 사용자 질문

* 상명대학교 휴먼지능로봇공학과(xhunt79@naver.com, dmscks0227@naver.com, khc1358@naver.com, 511power@naver.com, tkdwkfy@naver.com)
* 교신저자 : 상명대학교 휴먼지능로봇공학과
· 접 수 일 : 2021. 08. 03
· 수정완료일 : 2021. 09. 09
· 게재확정일 : 2021. 10. 17
· Received : Aug. 03, 2021, Revised : Sep. 09, 2021, Accepted : Oct. 17, 2021
· Corresponding Author : Soo-Whang Baek
Dept. Human Intelligence and Robot Eng., Sangmyung University,
Email : swbaek@smu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

3D 프린터는 개인 사용자의 욕구, 필요에 맞춰 기능과 형태를 설계 및 제작하여 높은 만족도의 결과물을 얻는다. 대부분의 제조, 제작 작업 업종을 포함해 헬스케어, 건축, 자동차, 패션에도 활용하기 위해 많은 연구가 진행되었다[1-3]. 심지어 식품 관련 3D 프린팅 기술도 연구되었다[4]. 4차 산업혁명 기술로서 각광받고 있는 3D 프린팅 관련 기술은 무궁무진한 변화를 이끌 새로운 동력으로 그 시장 규모가 매년 증가하고 있다[5-7]. 하지만 3D 프린팅 교육 시스템은 체계적으로 확립되지는 못하고 있다. 우리나라에서는 3D 프린팅 기술이 능숙한 사용자가 적어 일반 사용자가 고장 나거나 출력물에 이상이 생겨 조치가 필요할 때 제대로 대처하기 어렵다. 이처럼 3D 프린터 시장이 확장되고 사용자가 늘어나는 것에 반해 개인마다 발생하는 다양한 문제들을 해결할 방안의 부족하며 이를 개선할 방안이 필요하다[8-10].

대표적인 출력 중 이상 현상으로 3D 프린터의 적층 단면에 수축이 발생하는 단점이 있다. 이를 완화하는 연구는 온도, 습도, 계절 등 각종 자연환경의 요인과 추가적인 기계장치 필요, 전력소모량 증가 등 일반 가정, 사업장에서 적용하기 어렵다[11-12]

그리고 사용자의 대부분이 단순히 출력물을 얻기를 원해 접근하기 쉬운 3D 프린터 커뮤니티에서 얻는다. 하지만 얻은 정보로 문제가 해결되지 않아 3D 프린팅에 어려움을 겪는 사람이 많다[13-14].

본 연구에서는 3D 프린팅 사용자들의 접근성을 향상하고 기존 사용자의 불편함을 해소, 지속적인 프린팅 흥미를 유지하기 위해 모든 사용자가 공통으로 겪는 문제에 대해서 해결해 편의성 향상 방안을 제안한다. 저렴한 CS-20 프린터를 대상으로 무료 슬라이싱 프로그램 Cura로 이용해 출력 중 친환경 소재로 만든 PLA+ 필라멘트를 사용했다. 직접 3D 프린터를 작동해보고 3D 프린터 커뮤니티에 빈번히 올라오는 질문글을 참고해 오작동과 출력 중 문제를 파악했다.

먼저, 3D 프린팅의 출발점인 베드(Bed) 안착 과정에서 대중적으로 사용하는 히팅베드를 사용하지 않고 3D 프린팅 전용 풀과 래프트(Raft)를 이용해 안정적으로 베드 안착을 확인하였다. 그리고, 출력물 품질 향상을 위해 품질을 크게 떨어뜨리고 자주 발생하는 스트링 현상을 리트렉션 거리와 속도, 출력 온도에 변화를 주며 크게 완화된 설정 값을 고찰했다. 또한, 출력속도가 증가함에 따라 필라멘트 구매 빈도를 조금이라도 줄이고 최소한의 재료로 튼튼한 출력물을 얻는 필라멘트 소모량 감소에 관한 분석을 수행했다.

최종적으로 각 단계의 설정 값을 종합해 Cura 프로그램에 적용하여 출력을 진행하였고 실험과 고찰결과로 제안한 3D 프린팅 편의성이 향상되어 흥미를 유지하고 간단히 문제를 해결할 수 있게 되었음을 확인하였다.

Ⅱ. 3D프린터의 편의성 개선

본 연구에서는 가격이 비싼 단점을 갖는 고성능의 프린터 혹은 슬라이싱 프로그램을 사용할 경우 일반 사용자들이 주로 사용하는 저성능 프린터와 유사한 출력결과를 확인할 수 없으므로 일반 가정용으로 상용화된 3D 프린터를 기준으로 연구를 수행했다. 그림 1은 연구에 이용한 제품이다. Cs-20 프린터는 저렴하고 준수한 성능으로 입문하기에 적합한 3D 프린터라고 판단하여 선택했다. 필라멘트는 친환경 소재로 만들어 정화 필터와 덮개가 없어도 무관한 고급형 PLA Pro를 사용한다. 마지막으로 슬라이싱 프로그램으로써 사용하기 편한 장점과 무료 프로그램인 Ultimaker 사의 Cura를 이용했다.

그림 1. 연구에 이용한 제품
Fig. 1 Utilized product in the study

2.1 베드 안착 불량 및 수축

3D 프린터를 사용할 때 일반적으로 많이 겪는 오작동 문제들로 베드 안착, 레벨링, 스트링 현상이 있다. 그림 2는 3D 프린터가 출력 중인 상태를 보여준

다. 3D 프린터는 적층제조 방식을 사용하기 때문에 출력된 필라멘트는 형태를 유지하기 위해 냉각이 필요하다. 평평하게 안착된 필라멘트의 온도가 낮아지면서 수축이 발생한다. 베드 위에 필라멘트가 출력이 끝날 때까지 안정된 상태를 위해 보통 히팅베드를 사용한다. 기본으로 사용되는 선택사항이지만 베드의 재질에 따라 온도가 다르고 필라멘트 종류마다 다르다.

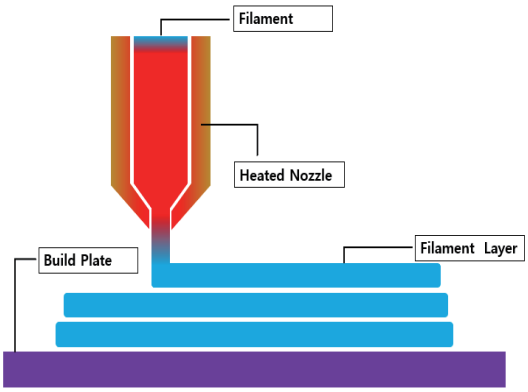

그림 2. 3D 프린터 출력 상태
Fig. 2 3D printer output status

그림 3은 히팅베드를 사용했지만 베드에 안착을 못한 상태를 나타낸다. 그리고 필라멘트가 평평함을 유지하기 전에 베드와 필라멘트의 접착력이 부족해서 안착이 불안정하다.

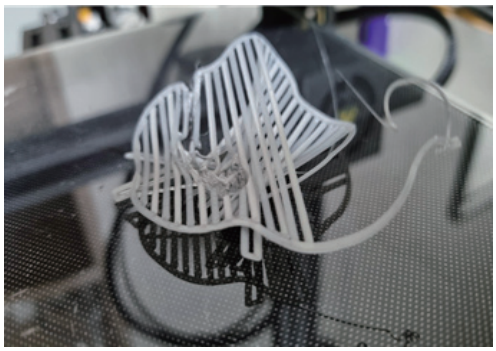

그림 3. 안착 실패사례
Fig. 3 Seating failure case

그림 4는 3D 프린팅 전용 풀이다. 그러나 베드 안착을 위해 사용하는 풀이지만 이용하는 사람이 적다. 베드 안착을 위해 풀의 점성을 이용하는 것이 히팅베드를 사용할 때보다 안착률을 높일 수 있다. 한 번 풀을 펴 바르는 것이 아닌 여러 겹으로 발라준다. 바른 풀이 완전히 마르면 다음 풀칠을 하고 충분한 건조시간이 지나도 풀의 점성이 손으로 느껴지면 멈춘다. 이때 베드 온도를 40도로 올려주면 건조시간이 줄어든다. 풀이 완전히 마른 상태에서 출력하게 되면 노즐 온도에 의해서 풀이 녹으면서 필라멘트가 베드에 붙게 된다. 결과적으로 베드 안착 성공확률을 높이는 개선 효과를 얻게 된다. 그리고 베드의 온도를 올리기 위한 소비 전력량과 출력을 시작하기까지 도달하는 프린터 준비시간이 감소해 출력시간이 단축된다.

그림 4. 3D 프린팅 전용 풀
Fig. 4 Glue dedicated to 3D printing

2.2. 빌드 플레이트 래프트

래프트(Raft)는 균일하지 않은 바닥재를 출력해 평평하게 만든다. 그림 5는 레벨링이 틀어진 베드 위 래프트의 모습이다.

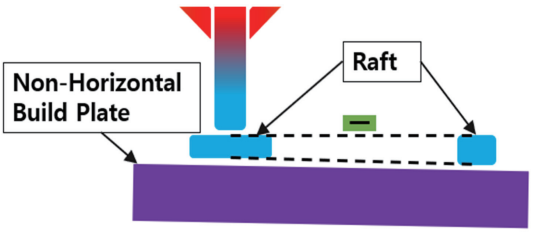

그림 5. 래프트의 첫 번째 레이어
Fig. 5 First layer of raft

래프트는 출력물이 베드와 닿는 면적을 넓히면서 두 가지 장점을 갖는다. 첫째, 풀칠한 베드는 출력물이 물리적으로 붙어있어 떼기 어렵기 때문에 큰 힘을

사용해서 출력물과 베드를 분리할 때 출력물이 부러지거나 손을 다칠 수 있다. 반면에 래프트의 첫 번째 레이어는 베드와 붙어있는 면적이 적어서 붙어있는 힘이 상대적으로 약하다. 또한, 래프트의 여백을 니퍼로 잡고 들면 쉽게 떼어진다.

둘째, 레벨링 문제를 일부 상쇄시킬 수 있다. 래프트는 노즐과 베드 사이 거리가 가까운 위치에서는 필라멘트가 뭉개져 납작하고 넓게 안착된다. 반대로 노즐과 베드 사이 거리가 먼 위치에서는 뭉툭하고 높게 안착이 이루어진다. 따라서 래프트 자체는 펴져서 뭉개지지만 래프트 위에 출력될 모델은 안정적으로 층층이 쌓이게 된다.

2.3 스트링 현상 완화

스트링 현상이란 하프처럼 두 단단한 프레임 사이에 필라멘트가 출력되는 것을 말한다. 그림 6은 두 가지 스트링 현상이다. 특정 레이어에서 노즐이 공중에 뜰 때 생기는 현상으로 내부에 생기는 실은 무관하지만 외부에 생긴 실은 출력물의 사용 목적에 방해를 줄 수 있다. 프린터 제조사에서는 스트링 현상을 없앨 방법에 관해서는 오직 온도를 변경하면 된다고 답변하고 있지만, 온도 조정만으로는 해결할 수 없다. 추가적으로 리트랙션 거리와 속도변화에 관한 분석이 필요하다.

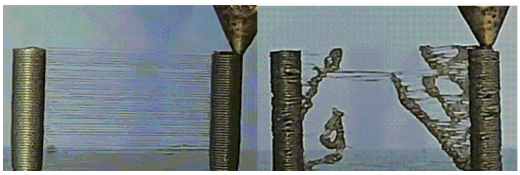

그림 6. 두 가지 스트링 현상
Fig. 6 Two types stringing

따라서 많은 설정 조건에서 노즐이 공중에 존재할 때 작용되는 리트렉션을 찾았다. 리트렉션은 출력이 불필요한 순간에 필라멘트를 배출(역회전)시켜 노즐에 녹아있는 필라멘트를 최소화하는 설정이다. 노즐의 온도와 배출하는 속도와 거리를 제어해 실이 적게 생기는 설정을 찾는다.

그림 7은 노즐 온도를 먼저 제어하고 실이 가장 덜 생긴 리트렉션 거리와 속도를 나타낸다. 노즐 온도를 제어했을 때 특정 온도 구간에서 실이 덜 생긴 모습을 볼 수 있다. 하지만 눈에 띄게 없어지지 않았고 생겼던 실이 수축하면서 끊어진 상태들이 존재한다. 가장 실이 적게 생긴 182도 조건에서 리트렉션 거리를 기본 설정 6mm보다 짧은 3mm, 4mm로 제어했을 때 끊어져서 늘어진 실이나 연결된 실의 양이 적게 발생되었다. 마지막으로 리트렉션 속도는 기본 설정 45mm/s보다 빠른 60mm/s 이상부터 확실하게 연결된 실이 없음을 확인했다.

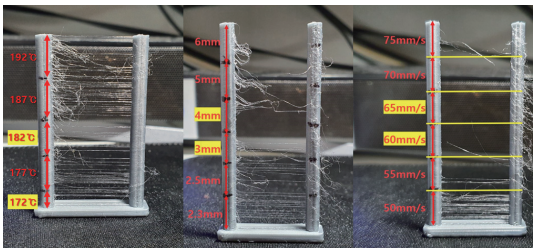

그림 7. 노즐 온도, 리트렉션 거리와 속도 차이에 의해 변화된 스트링 현상
Fig. 7 String phenomenon changed by nozzle temperature, retraction distance and speed difference

스트링 현상이 나타나면 출력물이 나뭇가지 또는 실처럼 나타나게 된다. 이 두 가지 경우는 완화 방법이 다르다. 필라멘트가 매우 높은 온도에서 과하게 녹아 나뭇가지처럼 출력물 사이에 쌓이면 노즐 온도를 낮추는 시행착오를 거치면 완화된다. 출력물 사이에 실처럼 얇게 필라멘트가 이어지면 리트렉션 거리를 길게해 노즐 끝에 남아있는 필라멘트를 많이 배출하면 된다. 하지만 필요 이상으로 길게 제어하면 다시 노즐이 채워지기까지 시간이 오래 걸려 출력이 원활히 이루어지지 못한다. 이는 노즐 이동속도를 느리게 하거나 도착하는 감속을 강하게 제어하면 해결되지만 출력시간이 늘어나기 때문에 출력시간 감소 측면에서 방해되는 요소이다.

2.4 출력시간과 최소 재료 사용

출력시간을 줄이는데 사용한 모델은 한 모서리가 3cm인 정육면체로 두 하드웨어 세팅에서 출력시간 감소를 비교했다. 표 1은 노즐 직경 0.4mm와 1.0mm 조건에서의 Cura 설정 값 변화와 출력시간을 보여준다. 기존에 사용한 설정을 비교했을 때 최대 60분까지

차이가 있다. 출력시간 감소를 위해 이동속도 20mm/s를 더하고 외벽의 두께를 1mm로 제한한다. 내부채움 밀도를 5% 낮추고 적층 높이를 0.2mm에서 0.32mm로 변화를 준다. 이 중에 이동속도 증가가 가장 큰 출력시간 감소를 보인다. 출력시간을 줄이고 정밀한 표현이 필요하지 않은 한 1mm 노즐이 노즐 막힘도 없고 사용하기 편리하다. 시간을 줄이기 위해 설정을 바꿀 때 속도를 너무 높이면 안착이 이루어지지 못하고 두께가 얇고 내부 밀도가 낮고 적층 높이가 높으면 쉽게 부서진다.

표 1. 설정 값 변화와 바뀌는 출력시간 (단위: 분)
Table 1. Change in set value and changing 3D printing time (units: min.)

Nozzle diameter	1.0mm			0.4mm	
Hardware / Setting	A	B	C	D	F
Existing	33	38	51	53	95
Speed +20mm/s	23	34	35	50	78
Width 1mm	23	34	33	52	68
Infill -5%	23	32	24	49	58
High 0.32mm	17	24	24	36	39

대부분의 3D프린터 사용자가 튼튼한 출력물을 위해서 높게 밀도를 사용하는데 출력시간이 긴 것과 동시에 아주 많은 재료를 소모한다. 따라서 출력시간과 재료소모량을 줄이기 위해 같은 내부채움 밀도에서 튼튼한 내구력을 가지는 내부채움 패턴을 찾는다. 일반적으로 내부채움 밀도가 20%인 출력물은 허리 높이에서 낙하해도 부서서지 않지만, 사용환경에 따라 튼튼한 내구성을 가진 출력물이 필요한 경우가 많다. 내부 채움 패턴은 3D 프린트 충진 재료의 패턴을 의미하는 것으로 Cura 슬라이싱 프로그램에서 제공하는 패턴들 중 크게 다섯 가지를 선정했는데, 그림 8과 같이 그리드, 라인, 삼각형, 큐빅, 자이로이드 조건의 패턴들을 모델링 하여 나타냈다.

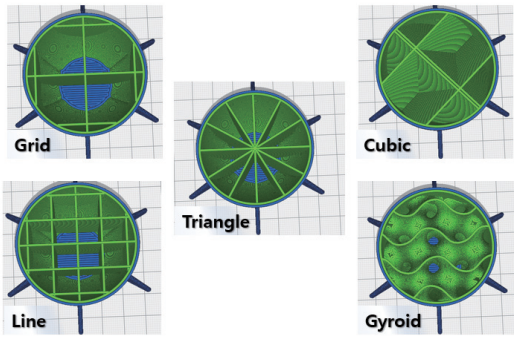

그림 8. 내구성 테스트에 사용된 패턴 형태 (a) 그리드 (b) 라인 (c) 삼각형 (d) 큐빅 (e) 자이로이드
Fig. 8 Pattern shape used for durability test (a) Grid (b) Line (c) Triangle (d) Cubic (e) Gyroid

각 내부 채움 패턴들은 목적함수(G)를 거쳐 재료사용량과 출력물의 강도를 동시에 고려한 점수를 얻게 되고, 가장 높은 수치를 가지는 패턴이 적용된 조건에서 최적이라고 판단할 수 있다. 이를 위한 조건으로 출력물 품질이 우수(높은 강도)하면서 재료소모량이 적고, 출력시간이 빠른 것으로 설정했고, 간단히 표현하면 식 1과 같으며 그림 9에 결과를 나타내어 비교하였다.

$$G = T_h T_v / TMI \quad (1)$$

여기서 T_h는 수평으로 가한 힘, T_v는 수직으로 가한 힘, T는 출력시간, M은 재료소모량, I는 내부채움 밀도를 의미한다.

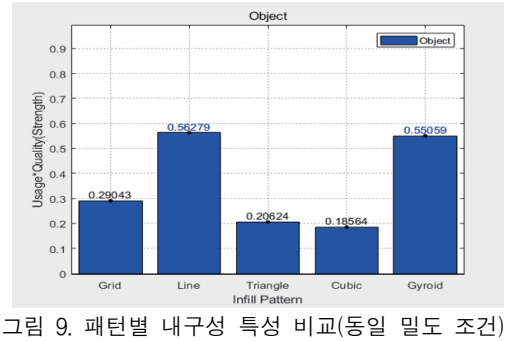

그림 9. 패턴별 내구성 특성 비교(동일 밀도 조건)
Fig. 9 Comparison of durability characteristics by pattern (Same density condition)

최종적으로, 라인 패턴이 근소한 차이로 가장 높은 점수를 획득했으나 비슷한 점수를 획득한 자이로이드 패턴도 모든 방면에서 일정한 내충격성을 가지는 특별한 장점을 나타냈다.

III. 결 론

본 논문에서는 3D 프린터의 출력시간 단축과 재료 소모량 감소를 통한 편의성 개선을 위해 안정적인 베드 안착 방법과 스트링 현상 최소화, 출력시간 단축, 필라멘트 사용량 감소 방법을 제시했다. 표준 방식의 히팅베드를 사용하지 않고도 더욱 효과적인 안착을 위해 3D 프린팅 전용 풀을 이용했다. 스트링 현상을 개선하는 방법으로 온도와 리트렉션 기능을 조절하는 방법을 제시했다. 출력시간과 재료 소비량을 줄이기 위해 내부채움 패턴을 분석한 결과 라인과 자이로이드 패턴 방식이 가장 높은 목적함수 값을 나타냈다.

국내의 3D 프린터 사용자들이 겪고 있는 문제점을 관찰하고 직접 제어하면서 분석하여 해결 및 완화 방법을 제시함으로 손쉽게 제어하고 해결이 가능해져 다양한 관련 응용분야에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1F1A1061567).

References

[1] J. Park, “Correlation analysis of product element and user experience according to utilization of 3D printing,” *J. of Integrated Design Research*, vol. 19, no. 1, Mar. 2020, pp. 91-108.

[2] C. R. Hatz, B. Msallem, S. Aghlmandi, P. Brantner, and F. M. Thieringer, “Can an entry-level 3D printer create high-quality anatomical models Accuracy assessment of mandibular models printed by a desktop 3D printer and a professional device,” *Int. J. of Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 49 no. 1, Jan. 2020, pp. 143-148.

[3] M. Kim, M. Kim, and Y. You, “Food 3D printing technology and food material of 3D printing,” *Clean Techology*, vol. 26, no. 2, 2020, pp. 109-115.

[4] S. Lee, “Prospect for 3D printing technology in medical, dental, and pediatric dental field,” *J. of The Korean Academy of Pediatric Dentistry*, vol. 43, no. 1, 2016, pp. 93-108.

[5] N. Sathishkumar, A. S. M. Udayakumar, B. Vincent, and V. A. Kumar, “Study and analysis of 3D printed FDM components by non-destructive testing techniques,” *Int. J. of Research and Review,* vol. 7, no. 5, 2020, pp. 217-222.

[6] S. Dul, L. Fambri, and A. Pegoretti, “Fused deposition modeling with ABS-graphene nanocomposites,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturng*, vol. 85, 2016, pp. 181-191.

[7] S. Park, J. Park, H. Lee, and N. Lee, “Current status of biomedical applications using 3D printing technology,” *J. of the Korean Society of Precision Engineering,* vol. 31, no. 12, 2014, pp. 1067-1076.

[8] Y. Kim, K. Kim, and C. Lee, “Accuracy improvement of output in pojection sereolithography by optimizing projection resolution,” *J. of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, vol. 24, no. 6, 2015, pp. 710-717.

[9] D. Jang, H. Lee, and J. Oh, “Design of individual 3D printer remote safety and quality management system based on IoT beacon," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 15, no. 2, Apr. 2020, pp. 225-230.

[10] D. Jang, H. Lee, and J. Oh, “Design of IoT system for 3D printer multi-management,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 4, Aug. 2020, pp. 759-764.

[11] W. Kim and S. Lee, “Structural design of 3D printer nozzle with superior heat dissipation characteristics for deposition of materials with high melting point,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no.

2, Apr. 2020, pp. 313-318.
[12] H. Jeon, J. Park, S. Kim, K. Park, and C. Yoon, "Effect of nozzle temperature on the emission rate of ultrafine particles during 3D printing," *Indoor Air*, vol. 30 no. 2, Mar. 2020, pp. 306-314.
[13] N. Shahrubudin, T. Lee, and R. Ramlan, "An overview on 3D printing technology: technological, materials, and applications," *Procedia Manufacturing*, vol. 35, 2019, pp. 1286-1296.
[14] S. Choi and S. Hwang, "3D printing design for minimizing flection phenomenon," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 12, Dec. 2014, pp. 1415-1420.

저자 소개

김성연(Sung-Yeon Kim)

2017년~ 상명대학교 휴먼지능로봇공학과 재학

※ 관심분야 : 3D 프린팅, 기구설계, 인공지능

김은찬(Eun-Chan Kim)

2017년~ 상명대학교 휴먼지능로봇공학과 재학

※ 관심분야 : 3D 프린팅, 지능형로봇, 인공지능

김희찬(Hee-Chan Kim)

2017년~ 상명대학교 휴먼지능로봇공학과 재학

※ 관심분야 : 3D 프린팅, 지능형로봇, 로봇제어

남재욱(Jae-Wook Nam)

2017년~ 상명대학교 휴먼지능로봇공학과 재학

※ 관심분야 : 3D 프린팅, 지능형로봇, 로봇제어

이상우(Sang-Woo Lee)

2017년~ 상명대학교 휴먼지능로봇공학과 재학

※ 관심분야 : 3D 프린팅, 지능형로봇, 인공지능

백수황(Soo-Whang Baek)

2005년 한양대학교 전자컴퓨터공학부 졸업(공학사)
2012년 한양대학교 대학원 전자전기제어계측공학과 석박사통합과정 졸업(공학박사)
2012년~2016년 현대케피코 기술연구소 책임연구원
2016년~2020년 호남대학교 미래자동차공학부 교수
2020년 상명대학교 휴먼지능로봇공학과 교수
※ 관심분야 : 친환경미래자동차, 자동차전자제어, 전기기기시스템