

User-centered Design of a Multi-material 3D Printer

DaeGi Hong¹, SoHyang Lee^{1*}, SoRee Hwang¹, JongWon Lee¹, MinSoo Park²,
Huhn Kim²

¹Department of Design and Engineering, Student, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea

²Department of Mechanical System Design Engineering, Professor, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea

Abstract

Background Currently, the 3D printer is expanding its application area to everyday life and the medical field due to the development of related technology. These changes mean that the scope of users will be extended to non-specialists, and that it will be important to ensure the ease of use for them. However, the existing 3D printer design has remained in the past and the usability is insufficient. Thus, in this study, user-centered design improvements were performed on multi-material 3D printers combined with ME and PP technologies.

Methods We observed users using ME and PP-type 3D printers in a joint laboratory with diverse 3D printers. In-depth interviews were conducted with managers of the laboratory. In this study, based on such observation and interview results, user's main pain points were derived and a design improvement plan was prepared.

Results Pain points of existing 3D printers have been investigated for complex UI, odor and harmful air generation, and inconvenient door opening and closing. The design improvement plans are as follows. First, the complex UI is reconstructed into a systematic and simplified structure. Second, the odor and harmful air are purified through the internal filter, and the discharged air is to be vented away from the user's respiratory. Third, inconvenient door opening and closing are designed to be easily opened and closed through auxiliary doors for collecting the printed output. In this study, we realized these design improvements into actual working prototypes and verified usability improvement through usability evaluation.

Conclusions This study derived design improvements for 3D printers through user-centered design. In the case of production equipment including 3D printers, design studies for improving usability have been relatively neglected, and it seems that active design improvement is needed in the future.

Keywords 3D Printer, Multi-material, User-centered Design, Usability

This work has been conducted with the support of the "Project for Nurturing Advanced Design Professionals" initiated by the Ministry of Trade, Industry and Energy of the Republic of Korea.

*Corresponding author: SoHyang Lee (kkangyu12@naver.com)

Citation: Hong, D., Lee, So., Hwang, So., Lee, J., Park, M., & Kim, H. (2019). User-centered Design of a Multi-material 3D Printer. *Archives of Design Research*, 32(4), 53-69.

<http://dx.doi.org/10.15187/adr.2019.11.32.4-53>

Received : Jul. 15. 2019 ; **Reviewed :** Aug. 07. 2019 ; **Accepted :** Aug. 07. 2019

pISSN 1226-8046 **eISSN** 2288-2987

Copyright : This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.

1. 서론

지난 10여 년 간 3D 프린터 시장은 오픈 소스의 보급과 기술 특허권의 만료로 인해 급격한 성장을 이루었다. 3D 프린터는 CAD(Computer-aided design)를 사용하여 제품을 디자인하고, 그 데이터를 바탕으로 소재를 한 층씩 인쇄하여 3차원 구조물을 만드는 기기이다. 신영문 (Shin, 2015)에 의하면, 덩어리로 된 재료를 깎아내어 형태를 만드는 절삭가공과 같은 전통적 제조방식에 비해 3D 프린팅은 재료소모가 적고, 제조비용과 시간을 절약할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인해 1980년대에 3D 프린터가 처음 상용화된 이후로 관련 시장은 매년 꾸준히 성장하고 있다.

또한, 3D 프린터는 과거 대비 새로운 생산 공정의 개발과 폴리머 소재로 국한되었던 재료적 한계를 극복하여 기능성 소재의 출력도 가능해진 한편, 단일 기기로 두 가지 이상의 소재를 동시에 출력하는 다중소재 3D 프린팅 기술에 대한 필요성도 증대되고 있다. 다중소재 3D 프린팅은 두 가지 이상의 소재가 복합되어 있는 제품을 만들 수 있게 해준다.

현재 다중소재 3D 프린팅이 가능한 기기는 단일 소재를 출력하는 기기에 비해 그 수가 현저히 적으며, 대부분 복잡한 공정을 지닐 뿐만 아니라 과도한 크기 및 낮은 사용성 등의 한계를 가지고 있다. 그럼에도 불구하고 기존의 다중소재 3D 프린터 관련 연구들은 대부분 기술적 관점에서만 행해졌으며, 사용성을 포함한 디자인 측면에서의 연구는 부족한 실정이다.

따라서 변화된 3D 프린팅 사용 환경을 반영하여 새롭게 개발되고 있는 다중소재 3D 프린터의 사용성 및 안전성을 개선한 디자인 제안이 필요하다. 이에 본 연구에서는 사용자 관찰 및 인터뷰를 통해 기존 3D 프린터 사용자의 Pain point를 조사하여 중점적인 개선 요소에 대한 디자인 개선안을 제시하였으며, 개선안이 반영된 다중소재 3D 프린터의 워킹 프로토타입을 제작하여 그 가능성을 탐색하였다.

2. 연구배경

2. 1. 3D 프린터 관련 조사 및 분석

1986년 특허 출원으로 시작된 3D 프린터 시장은 이후 출력 방식 및 재료 등 관련 기술들의 발전으로 현재 다양한 3D 프린터 제품이 존재하고 있다. 3D 프린터의 AM(적층 제조, additive manufacturing) 기술은 적층을 위한 광원의 종류, 적층방식, 그리고 소재의 종류 및 형태에 따라 구분되는데, 본 연구의 초점인 다중소재 3D 프린터의 주요 활용 기술은 ME(Material Extrusion)와 PP(Photo Polymerization)이다. ME는 열을 이용하여 고체 재료를 용융시킨 후 노즐을 통해 압출시켜 물체를 형성하는 출력 방식이며 FDM(Fused Deposition Modeling)이 대표적이다. PP는 광, 레이저 조사로 액상 재료를 경화하여 물체를 형성하는 출력 방식으로 DLP(Digital Light Processing), SLA(Stereo Lithography Apparatus)가 대표적이다.

Table 1는 ME 및 PP 3D 프린터를 조사한 것이다. ME와 PP의 대표적 출력 방식인 FDM, DLP, SLA의 출력 공정을 잘 드러내는 제품을 선정하여 조사를 진행하였다. 각 기기의 장단점을 중심으로 기기를 분석하였으며, 이를 통해 출력 방식별 개발 고려사항을 도출할 수 있었다.

Table 1 Analysis of domestic and foreign 3D printers

Name	Image	Characteristics
Reprap Prusa i3		<p>출력 방식 FDM(Fused Deposition Modeling)</p> <p>장점 - 단순한 구조 - 소재 교환 용이 - 다양한 소재 출력 가능</p> <p>단점 - 내부 구조 노출 - 조형부의 전후 움직임으로 인한 출력 안정성 저하 - 다이얼 조작 방식으로 낮은 조작 편의성 - 출력물 온도 유지 불가로 수축 변형 발생</p>
DIO PROBO		<p>출력 방식 DLP(Digital Light Processing)</p> <p>장점 - 출력물 표면 조도 좋음 - 풀 터치 스크린으로 높은 조작 편의성 - 병의원 및 생활 공간에 적절한 디자인 - 재료별 RFID를 통한 자동 출력 조건 적용 - 짧은 출력 시간</p> <p>단점 - 소재 교체 시 수조 내 수지 제거 필요 - 수지의 인체 유해성 - 수조 내 수지 유지 관리 필요 - 밀면부터 뒤집어 출력하기에 중력에 의한 레이어 분리 발생</p>
QUBEA SLA 450		<p>출력 방식 SLA(Stereo Lithography Apparatus)</p> <p>장점 - 출력물 표면 조도 좋음</p> <p>단점 - 각 기능별 별도의 조작부가 존재하여 복잡한 조작성 - 수지의 인체 유해성 - 큰 기기 부피로 사용 공간 제약 - 소재 교체 시 수조 내 수지 제거 필요 - 수조 내 액상 수지로 인한 악취 및 유해 요소 발생 - 긴 출력 시간</p>

ME의 경우 기기 구조가 간단해 3D 프린터의 소형화에 용이하며, 다양한 소재를 사용할 수 있다. 그러나 출력물의 품질이 좋지 않다는 단점이 있다. 반면, PP는 출력물의 품질은 상대적으로 우수하나 재료 교체, 조작 등이 어려우며 사용되는 빛에 반응하는 광경화성 수지만 출력 가능하다. 특히, 광경화성 수지가 인체에 유해하여 사용 시 주의가 필요한 단점이 있다. 이러한 단점은 기기의 사용성을 저하시키는 요소가 된다. 하지만 ME와 PP의 특성은 상호보완적이라 융합을 통해 각각의 단점을 개선할 수도 있다.

2. 2. 다중소재 3D 프린터

Figure 1은 ME 방식과 PP방식을 결합하여 본 연구에 앞서 개발된 다중소재 3D 프린터의 내부 구조이다. 전체 구조는 크게 조형부, 평탄화부, 광조사부, 그리고 압출부로 구성되어 있다. 조형부는 ‘베드’라고 불리며, Z축 방향으로 이동하면서 출력물의 조형이 이루어지는 부분이다. 평탄화부는 매 레이어마다 경화 전 적층 면을 평편하게 만들어 레이어 두께를 균일하게 유지하도록 해준다. 광조사부는 액상 수지를 경화시키는 UV광을 프로젝터를 통해 단면에 조사하여 매 레이어를 경화시킨다. 마지막으로, 압출부는 각 실린지에 채워진 서로 다른 액상 수지를 일정량씩 압출하여 레이어를 형성해주는 역할을 한다.

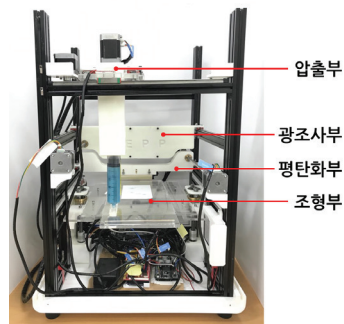


Figure 1 Multi-material 3D printer's internal structure

3. 사용자 조사

3.1. 사용자 관찰

본 연구에서는 기존 3D 프린터에 대한 디자인 및 사용성 문제를 도출하기 위해 실제 3D 프린터를 사용하는 사용자를 관찰하였다. 관찰 과정은 영상과 사진으로 기록하였으며 촬영물을 기반으로 문제점을 도출하였다. Table 2는 관찰 일시, 장소 및 참여자에 대한 정보를 정리한 것이다.

Table 2 Information of User Observation

방법	영상 및 사진 기록, 관찰 종료 후 인터뷰
촬영 분량	영상 93분 사진 117장
일시	2018년 9월 17일 ~ 2018년 9월 24일 (총 7일 간)
관찰 참여자	20~30대 참여자 50명(평균 나이 27.6세)
관찰 장소	서울과학기술대학교 3D 프린터 실험 실습실



3D 프린터의 사용과정은 컴퓨터를 활용한 출력 전처리 과정과 3D 프린터를 사용하는 출력 과정으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 전처리 및 출력 과정을 Figure 2와 Figure 3과 같이 각각 다섯 개의 세부과정으로 구분된 사용자 행동을 중심으로 발생하는 불편함을 관찰하였다. 전체 관찰 참여자 중 절반 이상이 겪는 불편함을 기준으로 하여 과정마다 문제점을 정리하였다. 문제점마다 전체 조사 인원 50명 중 불편을 느낀 인원을 기록하였다.

3.1.1. 전처리 과정

Figure 2는 사용자 관찰을 통해 도출된 전처리 과정에 대한 사용자 행동 및 관련 불편함 도식화한 것이다. 상단에는 과정, 중간에는 사용자 행동, 하단에는 그로 인해 발생 가능한 불편함을 정리하였다. 모델 설정에서 전처리 과정 중 가장 많은 인원이 불편함을 느꼈다.

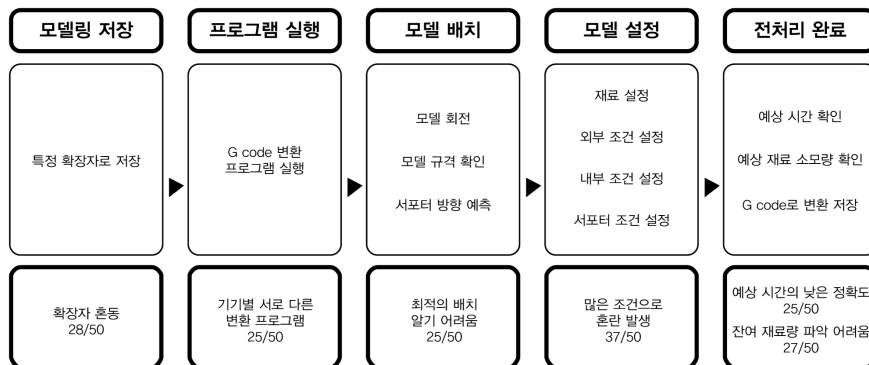


Figure 2 Pre-process of 3D printing

3. 1. 2. 출력 과정

Figure 3는 사용자 관찰을 통한 3D 프린터의 출력 과정에 대한 사용자 행동 및 불편함을 도식화한 것이다. 전반적으로 전처리 과정보다 출력 과정에서 불편함을 느낀 인원이 많았다. 출력 과정 중 출력 준비에서 가장 많은 인원이 불편함을 느꼈다.

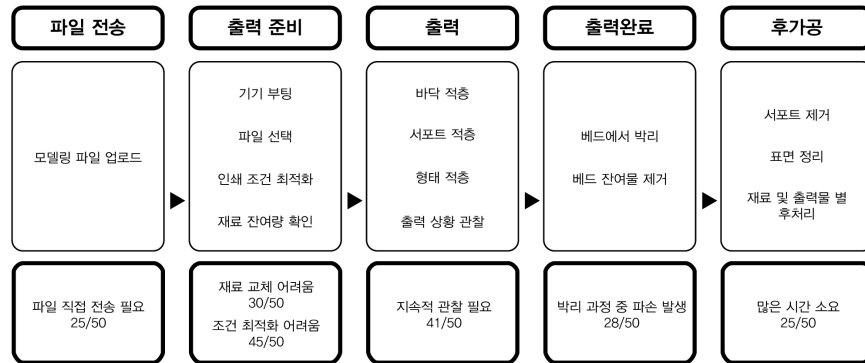


Figure 3 Process of 3D printing

3. 2. 심층 인터뷰

사용자 관찰이 끝난 후, 관찰된 내용을 기반으로 심층 인터뷰를 진행하였다. 인터뷰 대상은 3D 프린터가 있는 실험 실습실의 관리자로서, 그들은 기기에 대한 경험이 풍부하였고 초보부터 전문가까지 다양한 사용자 유형을 접해 본 전문가였다 (Table 3). 인터뷰 질문은 사용성을 개선하기 위한 질문들로 구성하였는데, 사용자가 느끼는 어려움, 관리자가 느끼는 어려움, 그리고 변화하는 사용 환경 속 3D 프린터의 미흡한 점 등 총 세 가지의 질문을 중심으로 심층인터뷰를 진행하였다.

Table 3 Interviewee information

성별	나이	근속년수	일평균 사용자 수	보유 기기	주 사용층
남	26	2년	15명	ME기기 8대 PP기기 1대	학생
여	51	17년	3명	ME기기 3대	기업체
남	40	5년	5명	ME기기 4대	학생

3. 2. 1. 사용자가 느끼는 어려움

인터뷰 결과, 기기 사용 중 사용자들이 가장 큰 어려움을 경험하는 순간은 기기를 조작할 때라고 하였다. 기기 마다의 서로 다른 조작 방식, 과도하게 많은 조건 설정, 그리고 전문적인 용어 사용이 일반 사용자가 조작 어려움을 느끼는 이유라고 하였다. 어떤 응답자는 ME 기기보다는 더 많은 출력조건을 설정해야 하는 다중소재 출력 혹은 PP 방식의 3D 프린터에서 어려움을 느끼는 사용자가 더 많다고 하였다. 또한, 사용자들은 프린팅의 예상 완료시간에도 오차가 커서 많은 불편을 느낀다고 하였다.

3. 2. 2. 관리자가 느끼는 어려움

관리자의 어려움으로는 기기 사용 공간에 장시간 머무름에 따른 유해성이 특히 강조되었다. 실제 관리자들은 마스크를 착용하고 활동하거나 공기청정기를 배치하는 등 공기 질을 개선하기 위해 노력하고 있었다. 또한 기기 안정성이 아직 미흡하여 오류 발생 빈도가 잦다는 문제점도 제시하였다.

3. 2. 3. 변화된 사용 환경 속 3D 프린터의 미흡한 점

변화된 사용 환경에 대해 현존하는 3D 프린터의 미흡한 점은 디자인과 소재였다. 3D 프린터의 정돈되지 않아 보이는 외관과 내부 구조가 훤히 드러나는 디자인은 병의원 및 가정에서 사용되는 제품과는 이질감을 주며, 인체 공학과 사용성을 고려한 디자인도 부족하다고 하였다. 또한 제한된 소재 종류와 소재의 유해성 등도 개선되어야 한다는 의견이 있었다. 아래 Table 4는 이와 같은 심층 인터뷰 내용을 요약한 것이다.

Table 4 Result of in-depth interview on 3D printer operators

Question	Answer
사용자가 느끼는 어려움	조건 설정 등 기기 조작의 어려움 예상 완료시간의 큰 오차
관리자가 느끼는 어려움	3D 프린터로 인해 발생하는 유해성 찾은 오류 발생
변화된 사용 환경에서 3D 프린터의 미흡한 부분	사용 환경에 적합하지 않은 기기 디자인 사용 편의성이 미흡한 디자인 제한적인 소재 종류, 소재의 유해성

4. 디자인 개발

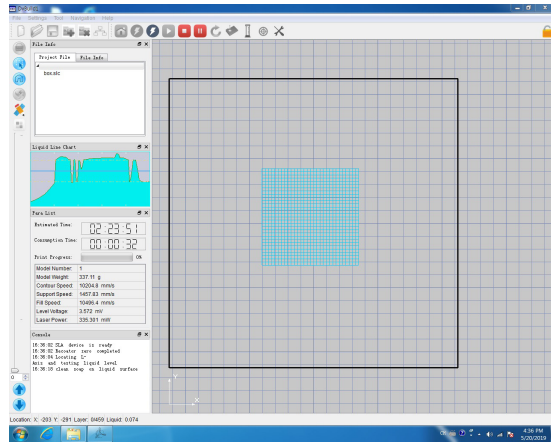
4. 1. 디자인 전개

본 연구에서는 사용자 관찰 및 인터뷰를 통하여 도출된 페인포인트(Pain point) 중에서 사용편의성을 가장 많이 저하시키고, 사용자의 건강에 직접적인 영향을 미치는 것들을 개선이 필요한 요소로 선정하였다. 따라서 복잡한 UI, 악취 및 유해공기 발생, 그리고 불편한 도어 개폐를 본 연구의 중심 디자인 개발 요소로 선정했고, 이를 개선할 수 있는 방안을 제시하였다.

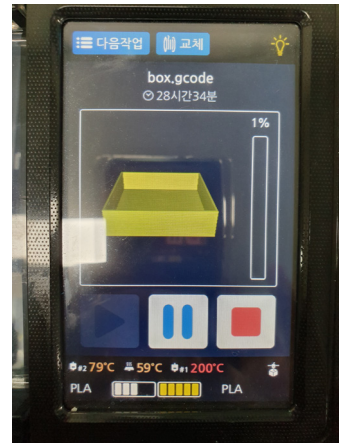
4. 1. 1. UI 메뉴구조의 단순화

3D프린팅을 위한 다양한 조건 설정은 출력물의 결과에 직접적인 영향을 주는 과정임에도 많은 사용자들이 어려워하였다. 본 연구에서 개발한 다중소재 3D 프린터는 ME와 PP방식을 결합한 방식이어서 출력 시 설정해야 하는 변수들도 더욱 늘어나게 된다. 예를 들어 ME방식에는 노즐과 베드의 온도를 소재별로, 그리고 원하는 출력품질별로 다르게 설정하여 출력하게 된다. 하지만 개발된 3D 프린터는 가열과정을 필요로 하지 않는다. ME와 PP방식의 UI를 단순히 합치기만 한다면 필요없는 메뉴 혹은 중복되는 메뉴가 존재하게 되므로 UI의 복잡도도 증가될 수밖에 없다. 따라서 개발된 3D 프린터의 기능에 맞춰 필요없는 메뉴들은 제거하고, 의미가 서로 유사하거나 충돌되는 메뉴들은 재구성할 필요성이 있다.

본 연구에서는 UI의 개선방향을 설정하기 위해 ME와 PP방식 각각의 3D 프린터 UI를 분석했다. Figure 4의 (a)는 PP방식의 대표적 3D 프린터인 QUBEA사 SLA 450의 UI이며, (b)는 일반적인 플라스틱 소재 두 가지를 ME방식으로 동시 출력할 수 있는 신도리코사 3D WOX 2X의 UI이다. SLA 450은 컴퓨터 모니터 상에 별도로 프로그램을 실행하여 조작하는 방식이다. SLA 450은 상단바의 버튼과 윈도우를 활용하여 메인화면에서도 세밀한 조작 및 정보 확인이 용이했다. 3D WOX 2X는 3D 프린터에 Figure 4 (b)와 같은 터치스크린이 있는데, SLA 450에 비해 스크린에 나타낼 수 있는 정보의 양이 제한적이므로 세밀한 설정들을 별개의 메뉴로 분할해둔 모습을 보였다.



(a)



(b)

Figure 4 UI examples of other 3D printers

본 연구에서는 단순화된 UI 구조를 추출하기 위해 어피니티 다이어그램(affinity diagram)을 활용하였다. 먼저, Figure 5~6과 같이 기존 기기들인 SLA 450과 3D WOX 2X의 메뉴 및 UI를 각각 나열하였다. 그 후, 나열한 메뉴들을 카드로 만들어 필요없는 기능의 카드들은 제거하고 의미가 서로 중복되는 카드들은 하나로 합쳤다. 카드는 비슷한 기능끼리 그룹핑하여 각 그룹의 이름을 정하는 네이밍 작업을 한 후, 이렇게 해서 만들어진 그룹들을 다시 그룹핑하여 더 상위 개념의 그룹들로 만들었다. 이러한 과정은 여러 번에 걸쳐 수행되었는데, 최종적으로 도출한 메뉴 구조는 Figure 7과 같다.

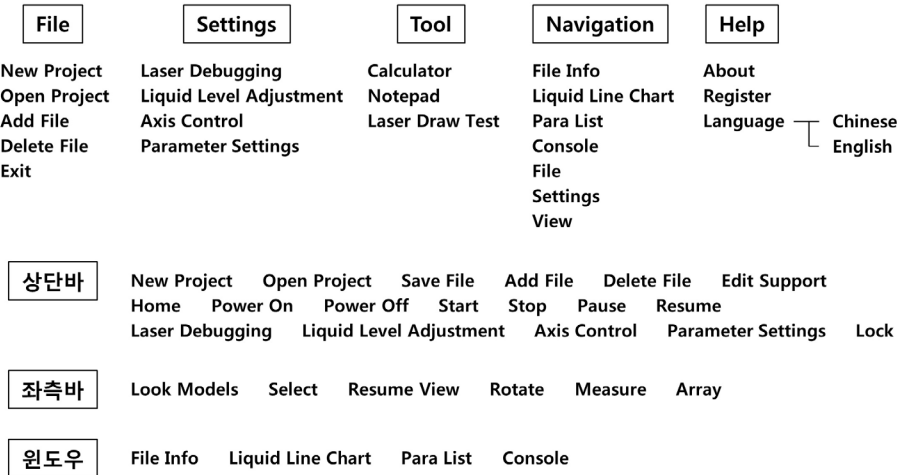


Figure 5 Menu list of SLA 450

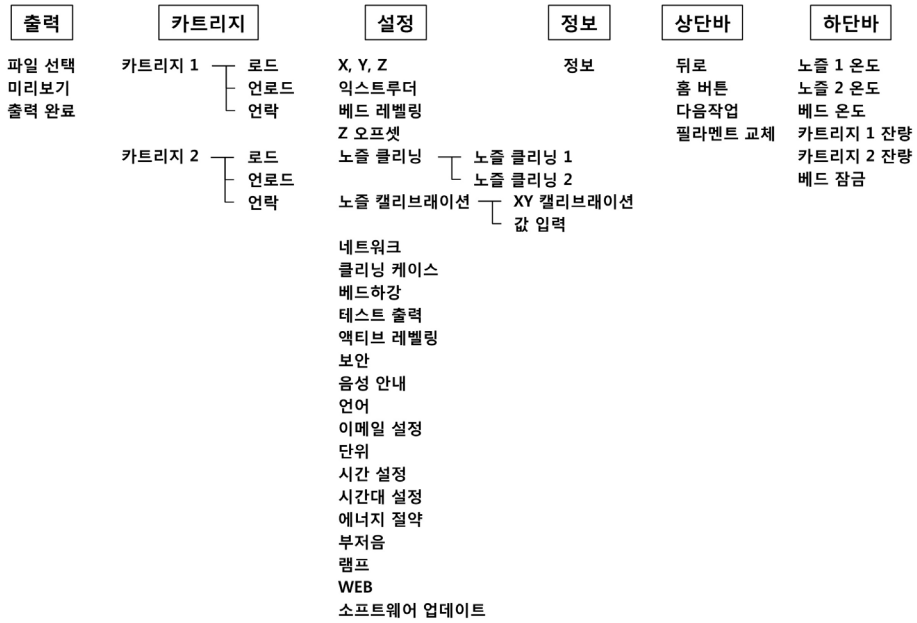


Figure 6 Menu list of 3D WOX 2X

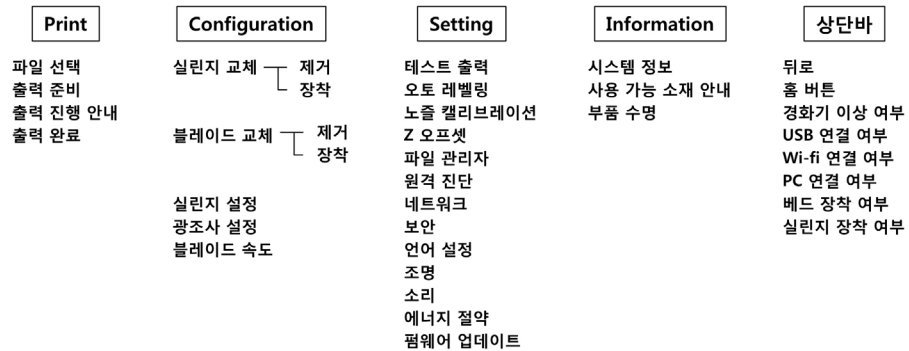


Figure 7 Menu structure from the affinity diagram

Figure 7과 같이 메인 메뉴는 Print, Configuration, Setting, Information으로 구성하였으며, 사용빈도가 높은 순대로 메뉴 순서를 배치하였다. 또한 SLA 450과 3D WOX 2X는 각각 57개와 53개의 메뉴항목이 있었지만, 필요 없는 부분은 제거하고 중복되는 부분은 결합하여 최종적으로 41개의 메뉴로 구성하였다.

도출된 메뉴 구조에 기반한 출력 과정 워크플로우는 Figure 8과 같다. SLA 450은 파일을 불러올 때 모델링 형상에 대한 슬라이싱 파일과 서포터에 대한 슬라이싱 파일을 각각 불러와야했고, 레이저 파워를 체크하는 과정이 필요하다는 점이 본 연구에서 개발한 3D 프린터의 워크플로우와 차별되었다. 그리고 본 연구에서 개발한 3D 프린터는 출력 과정 중에 실린지 별 소재 잔여량을 표시해 주는 화면이 노출되어서 이 과정에서 소재교체가 가능하다. 반면에 3D WOX 2X는 ‘출력’ 버튼을 누른 다음에는 소재 잔여량이 하단바에 작은 아이콘으로만 표시되기 때문에 출력 버튼을 누르기 전에 미리 소재 교체를 완료해야 했다. 또한 3D WOX 2X는 노즐과 베드의 가열 과정이 필요했다.

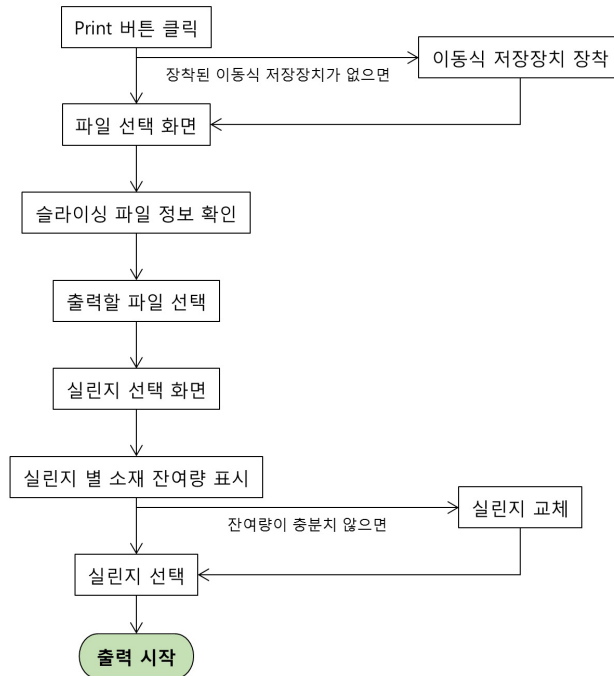


Figure 8 Workflow of Multi-material 3D Printer


4. 1. 2. 악취 및 유해공기의 외부 유출 저감

3D 프린터는 출력 과정이 끝난 후에도 기기 내부에 악취 및 유해 공기가 남게 되는데, 완성된 출력물을 꺼내기 위해 도어를 여는 과정에서 악취와 유해 공기가 외부로 유출될 수 있다. 이는 사용자의 건강에 직접적인 악영향을 주며, 사용 빈도 및 시간이 증가할수록 더욱 심각한 문제를 야기할 수 있다. 따라서 3D 프린터가 가정이나 병의원 등으로 확장되는 현 시점에서 이 문제는 반드시 개선되어야 한다.

환경부는 '다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법'을 통해 도서관, 의료기관, 찜질방, 대규모 점포 등과 같은 시설에서의 실내 공기질을 관리하고 있다. 그 중 의료기관에서의 총 휘발성 유기화합물(Total Volatile Organic Compounds)의 농도는 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 유지되어야 한다. Table 5는 QUBEA사 SLA 450기기의 TVOC 측정 방법을 정리한 것이다.

Table 5 TVOC Measurement Method of SLA 3D Printer

측정 기기	칼더 WP6910 공기질 측정기
일시	2018년 10월 03일
측정 장소	서울과학기술대학교 3D 프린터 실험 실습실
측정 대상	QUBEA SLA 450
측정 방법	10 × 10 × 10mm 박스를 출력하는 중에 3D 프린터의 문 개폐에 따라 문 앞 50cm 이내에서 반복 측정



(문이 열린 상태)



(문이 닫힌 상태)

Table 6은 SLA 450의 TVOC 농도를 반복 측정된 결과이다. 측정 결과, 출력과정 중에 3D 프린터의 문이 열린 상태에서는 TVOC 농도가 측정 한계치인 9999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 넘어섰다. 한편, 문이 닫힌 상태에서 TVOC 농도의 3회 평균치는 7205 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었다. 문 개폐에 따라 공기 오염도가 다르지만 문이 닫힌 경우에도 환경부 기준치의 약 18배에 해당하는 매우 높은 수치로, 기기의 밀폐와 기기 내부에서의 공기정화에 문제가 있음을 알 수 있었다.

Table 6 Results of TVOC Measurement of SLA 3D printer

측정 횟수	문이 열린 경우 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	문이 닫힌 경우 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1회	9999	7270
2회	9999	6791
3회	9999	7553
평균	9999	7205

출력 과정 중 발생하는 내부 악취와 유해 공기를 정화하기 위해서는 공기순환 팬과 활성탄 필터를 설치하여 내부 공기를 정화한 후 기기 외부로 배출시켜야 한다. 또한 공기 배출구를 제외한 모든 틈새에는 고무 씰링을 추가하여 내부의 유해 공기가 도어 및 기기 틈새를 통해 유출되는 것을 방지해야 한다. 하지만 대부분의 3D 프린터에서 도어는 정면에 위치하는데, 내부 공기 배출구는 후면에 위치하기 때문에 정화되지 못한 내부 유해 공기가 도어를 통해 외부로 유출될 수 있다. 그러므로 공기 배출구를 정면 도어와 가까운 위치에 배치하면 유해 공기가 도어를 통해 유출되는 것을 최소화할 수 있다. 또한 공기 배출구는 인간의 호흡기에서 가급적 멀리 떨어진 기기의 아래쪽에 배치하는 것이 좋을 것이다. 이러한 점들이 반영된 디자인은 4.2절에 상세히 설명하였다.

4. 1. 3. 도어 디자인 개선

대다수의 3D 프린터 도어 디자인은 현재의 일반적인 사용 환경에 적합하지 않은 디자인이다. 주로 기기의 좌 또는 우의 한 축을 기점으로 도어 전체가 회전하며 개폐되는데, 이는 기기 주변으로 상당한 여유면적을 필요로 한다. 즉, Figure 9에서 보여주듯이 도어가 열린 경우 3D 프린터의 전방으로 사용자의 통행을 방해하거나 행동에 제약을 줄 수 있다. 또한 도어가 90도 이상 열린 경우에는 이웃한 기기의 사용을 방해할 수도 있다. 3D 프린터의 사용공간이 점차 사용자 통행이 잦은 공간으로 변화하고 있기에 위와 같은 문제점은 필히 개선이 필요하다.



Figure 9 Problems in use space of 3D printers

3D 프린터 도어의 전체 개폐는 과열된 노즐 등의 내부 구조물로 인한 안전사고 위험을 가중시킨다. 더욱이 내부의 악취 및 유해 공기 유출 측면에서도 도어 전체의 개폐는 최소화하는 것이 좋다. 도어 개폐의 가장 잦은 이유는 출력물 수거이다. 하지만 출력물 수거 행동은 기기 내부 전체가 아닌 출력부의 주변에서만 이루어진다. 이는 도어에 작은 면적의 보조 도어가 있다면 이것만 열어서 출력물을 수거할 수도 있음을 의미한다. 보조 도어는 열린 경우에도 공간 차지를 최소화하여 사용자의 통행이나 인접한 기기의 사용 방해 등 불편이 없도록 설계해야 한다. 또한 사용 빈도도 높기에 개폐 방법도 기존보다 편리해야 한다.

4. 1. 4. 터치스크린의 각도

사용자는 별도의 모니터 없이 3D 프린터의 UI를 통해 직접 조작하는 것이 편할 것이다. 따라서 본 연구에서는 3D 프린터의 조작 인터페이스로 5인치 터치스크린을 고려하였다. 이 때, 스크린의 각도에 따라 스크린을 손가락으로 누르는 조작의 편의성이 달라질 수 있다. 사이즈 코리아(Size Korea, 2015)에 의하면, 성인 한국인의 바닥면에서부터 눈초리점까지의 평균 눈높이는 160.2 cm이고, 어깨점에서부터 손목점을 지나 손끝점까지의 길이는 77.3 cm이다. 또한 잭슨과 데이(Jackson & Day, 2006)에 의하면 사무용 테이블의 높이는 70 cm일 때 사용자가 편안함을 느낀다고 한다. 이를 Figure 10과 같이 배치했을 때 사용자가 스크린을 내려다보는 각도는 수평면과 15°를 이루게 되므로, 스크린은 15°의 경사면에 배치하는 것이 좋을 것이다.

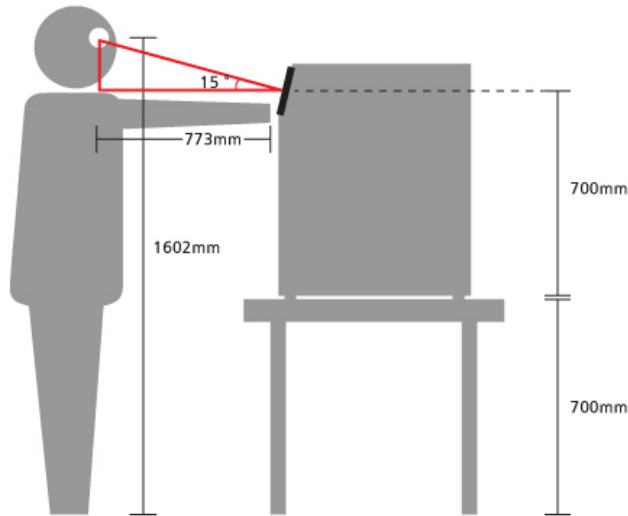


Figure 10 Projection of heights of human and 3D printer

4. 2. 디자인 컨셉

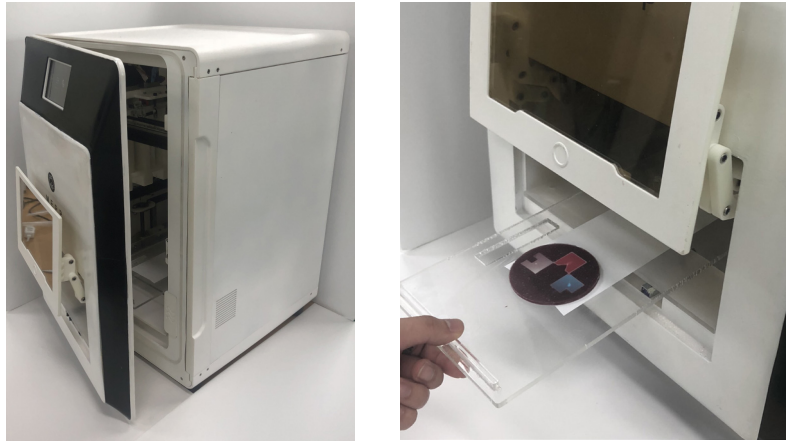
Figure 11은 앞서 설명한 사항들을 종합적으로 반영한 다중소재 3D 프린터의 디자인 컨셉이다.



Figure 11 Concept design of multi-material 3D printer

4. 3. 프로토타입 제작

Figure 12는 Figure 11의 디자인 컨셉을 기반으로 본 연구에서 개발한 워킹 프로토타입의 모습이다. 400×400×600 mm 크기의 프레임 구조물을 기반으로 필터와 팬을 내부에 배치하고, 프레임을 감싸는 전체 케이스를 제작하였다.



(a) (b)
Figure 12 Working prototype of multi-material 3D printer

Figure 13은 공기 배출구와 필터의 위치를 보여준다. 도어 개폐 시 전면으로 오염된 공기가 유출되는 것을 막기 위해 기기 전방 우측에 공기 배출구를 배치하였다. 강한 흡배기로 공기정화 효율을 높이기 위해 흡기 팬과 필터, 공기 배출구를 밀착시켜 구성하였다. 이때, 공기배출구 내부에 위치한 팬은 3D 프린터 내부의 공기를 흡입하여 활성탄 필터를 거쳐 정화시킨 후 공기 배출구로 배기되도록 하였다. 활성탄 필터는 일정 주기마다 교체해 줘야 하므로, 교체가 용이하도록 도어를 열었을 때 정면에서 바로 빼낼 수 있게 하였다.

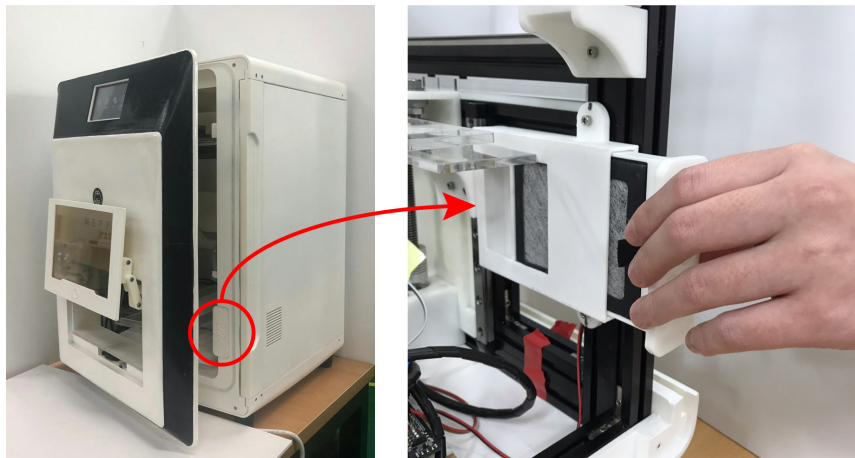


Figure 13 Details of air vent and filter

출력물 수거를 위해 부분적으로 개방되는 보조도어는 Figure 11과 같이 디자인하였다. 보조 도어 아래에 잠금 구조를 설치하고, 댐퍼와 링크 구조를 이용하여 전체도어와 연결시켰다. 이를 통해 도어캐치가 부착된 부분을 누르면 댐퍼에 의해 보조 도어가 슬라이드처럼 자동으로 열리도록 하였다. 그리고 보조 도어를 열면 조형된 출력물을 바로 꺼낼 수 있도록 하였다. 또한 보조 도어의 중앙부는 출력 과정을 확인할 수 있도록 투명한 아크릴 소재로 제작하였는데, UV광이 직접 안구에 노출될 경우 치명적인 안구 손상을 입을 수 있으므로 UV 차단 필름을 덧대었다.

UI의 경우, Figure 7의 단순화된 UI 메뉴구조를 기반으로 GUI를 디자인하였고, 초소형 컴퓨터인 라즈베리 파이를 통해 5인치 터치스크린에 구현하였다. GUI의 색깔구성은 외형의 전체적인 색깔구성과 조화될 수 있도록 무채색으로 구성하였으며, 대비가 강한 색을 이용하여 정보들이 쉽게 눈에 띄도록 하였다. 또한 5인치의 작은 스크린을 이용하므로 버튼크기는 일반적인 터치 타겟의 최소 크기 가이드인 10mm보다 크며, 메뉴 선택에 어려움이 없도록 가능한 크게 디자인하였다.

3D 프린팅이 진행 중일 때 Figure 14과 같은 화면이 표시되는데, 사용자는 이를 통해 출력 진행 중인 모델링 파일의 정보와 출력 진행 정도를 확인할 수 있다. 다중소재 3D 프린터는 여러 개의 실린지를 사용하므로, 각 실린지에 남아있는 소재량을 표시하여 재료 교체시기를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다. 또한 표시되는 모델링 형상은 사용하는 소재에 따라 서로 다른 색으로 표시하여, 결과물에 대한 이해도를 높이고자 하였다.

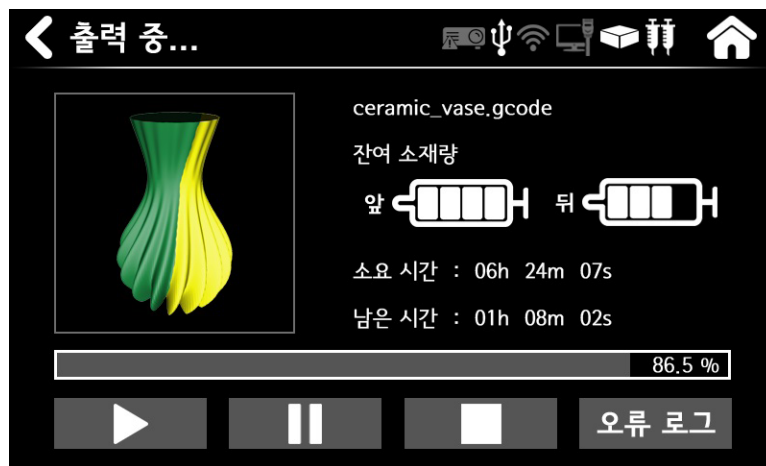


Figure 14 Example of GUI

5. 평가

5. 1. UI 사용성 평가

본 연구에서는 워킹 프로토타입을 이용하여 개선한 UI의 사용성을 평가하였다. 3D 프린터는 출력 방식과 제조사에 따라 사용 용어 및 조작 변수, UI 등에 차이가 큰 제품이다. 그러므로 유사한 수준의 배경 지식을 갖는 참여자들을 모집하기 위하여, 서울과학기술대학교의 3D 프린터 실험 실습실에 있는 ME 방식 및 PP 방식의 기기를 모두 사용해 본 경험이 있는 참여자만을 평가대상으로 제한하였다. 평가는 Table 7의 방법과 같이 진행되었다.

Table 7 Method of Usability Test

일시	2019년 1월 21일 ~ 1월 25일
평가 장소	서울과학기술대학교 3D 프린터 실험 실습실
평가자 정보	20~30대 참여자 7명(평균 나이 28.1세)
평가 방법	① 개발한 프로토타입의 구조와 출력 원리에 대해 충분히 설명 ② 평가 항목과 평가 요소에 대해 설명 ③ 터치스크린 UI를 조작하여 메인 화면에서부터 출력이 시작될 때까지의 과정을 수행 ④ 학습성, 효율성, 심미성에 대해 7점 척도에 따라 평가 ('매우 좋다(7점)', '좋다(6점)', '대체로 좋다(5점)', '보통이다(4점)', '대체로 좋지 않다(3점)', '좋지 않다(2점)', '매우 좋지 않다(1점)')

Table 8은 각 평가 항목에 대한 평가 요소와 참여자들이 평가한 점수를 정리한 것으로, 세 가지 항목 모두 '대체로 좋다' 수준의 긍정적인 결과를 얻었다.

Table 8 Results of Usability Test

평가 항목	평가 요소	점수(평균, 7점 만점)	표준 편차
학습성	직관성, 일관성, 버튼의 배치, 아이콘의 사용	5.3	0.95
효율성	메뉴 깊이와 너비의 적절함, 자주 사용하는 기능의 접근성, 태스크연속성	5.0	0.82
심미성	레이아웃, 컬러, 기기 디자인과의 조화	4.9	0.69

5. 2. 유해공기 차단능력 평가

워킹 프로토타입을 이용하여 Table 9와 같은 측정 방법으로 유해공기가 기기 외부로 유출되는 것을 차단하는 능력을 평가하였다. Table 10은 측정 결과를 보여준다. Table 6의 SLA 450 기기의 측정 결과와 비교해볼 때 86.7% 더 뛰어난 유해공기 차단 능력을 보였다. 평가에 사용된 프로토타입이 상용기기 수준의 높은 완성도가 아니었음에도 이는 유의미한 유해공기 유출 차단 능력이라 볼 수 있다.

Table 9 TVOC Measurement Method of Multi-material 3D Printer

측정 기기	칼더 WP6910 공기질 측정기
일시	2019년 1월 27일
측정 장소	서울과학기술대학교 3D 프린터 실험 실습실
측정 방법	개발한 다중소재 3D 프린터로 10 × 10 × 10mm 박스를 출력. 출력 중 1) 필터가 제거된 상황에서 문이 열린 경우, 2) 필터가 장착된 상황에서 문이 닫힌 상황, 총 두 상황에서 공기 배출구 50cm 내에서 TVOC 측정하여 비교

Table 10 Evaluation of the working prototype's ability to block harmful air spills (Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

측정 횟수	SLA 450 (in Table 6)		본 연구에서 개발한 기기	
	문이 열린 경우	문이 닫힌 경우	필터 제거 및 문이 열린 상황	필터 장착 및 문이 닫힌 상황
1회	9999	7270	6571	1048
2회	9999	6791	6223	893
3회	9999	7553	5988	941
평균	9999	7205	6261	961

6. 결론 및 고찰

본 연구의 목적은 ME와 PP 방식이 결합된 다중소재 3D 프린터에 적합한 디자인을 개발하는 것이었다. 이를 위해 사용자 관찰 및 인터뷰를 수행하여 기존 3D 프린터 사용 시의 페인포인트를 도출하였는데, 복잡한 UI, 악취 및 유해공기 발생, 그리고 불편한 도어 개폐가 핵심적인 문제였다. 본 연구에서는 이 세 가지 페인포인트를 개선한 3D 프린터의 디자인을 제안하였다. UI는 보다 단순화시켰으며, 악취 및 유해공기는 외부로의 유출을 최소화할 수 있는 디자인을 적용했다. 도어 개폐는 보조 도어 및 상단 열림을 통해 출력물 수거가 가능하면서도 도어가 열렸을 때의 공간 차지 및 유해공기 유출을 최소화하였다. 본 연구에서는 디자인 컨셉을 실제 동작하는 프로토타입으로 개발함으로써 실제 개발 적용이 가능한 지를 검증하고, 개선 여부를 확인하기 위하여 사용성 및 유해공기 차단능력 평가를 수행하였다. 기기별 출력 방법, 특성의 차이로 인해 타 제품과의 직접적인 비교는 의미가 없어 수행하지 않았으나 정성적 평가를 통해 유의미한 사용성 개선을 확인하였다.

3D 프린터를 포함한 생산기기는 다른 제품군보다 상대적으로 디자인 개선에 소극적이다. 그러나 3D 프린터는 생각보다는 사용 난이도와 위험성이 높기에 디자인 개선이 필요한 제품군이다. 그러므로 본 연구에서 수행한 것과 같은 사용자 조사를 통한 디자인 개선 방안 도출은 생산기기 제품군에서도 지속될 필요성이 있다.

References

1. Hong, Y., & Nam, T. (2010). 디자인 컨셉 선별 및 개선을 위한 인터뷰에서 유용한 참가자 피드백을 얻는 방법 - 모호화 방법 개발 및 검증을 중심으로 [A Method to Obtain Rich Participant Feedback from an Interview for Design Concept Screening and Development - With an Emphasis on Developing and Evaluating the Ambiguity Method]. *Archives of Design Research*, 23(4), 15-27.
2. Jackson, A., & Day, D. (2007). *Collins Complete Woodworker*. NY: Harper Collins.
3. KATS. (2010). *Report of the 6th anthropometry of Size Korea*. Gwacheon: Korean Agency for Technology and Standard.
4. KATS. (2015). *Report of the 7th anthropometry of Size Korea*. Gwacheon: Korean Agency for Technology and Standard.
5. Kim, B. (2015). 사용자 경험디자인 요소에 따른 반응형 웹 GUI 디자인 분석 - 남녀대학생을 중심으로 [Analysis of the GUI Design for the Responsive Web Based on the UX Design Factors - Focused on Male and Female Undergraduates]. *Journal of Korean Society Design Culture*, 21(2), 19-30.
6. Kim, H. (2018). Market Analysis and the Future of Sustainable Design Using 3D Printing Technology. *Archives of Design Research*, 31(1), 23-35.
7. Kim, S. (2014). 셀프 뷰티 족(族)을 위한 냉온 피부마사지기 디자인개발사례 - 신속한 제품디자인 대응을 중심으로 [Design Development Case of Hot and Cold Skin Care Device for Self-Beauty Group - Focusing on Prompt Product Design Response]. *Journal of Digital Design*, 14(4), 381-390.
8. Kim, W. (2013). 3D 프린터를 활용한 오픈 소스 하드웨어 디자인 - 3D 프린팅의 엔지니어링 디자인 특성 실험 연구 [Open Source Hardware Design Using 3D Printer -Experimental Study on Engineering Design Characteristics of 3D Printing]. *Journal of Korea Design Knowledge*, 26, 113-124.
9. Kwon, D. (2015). 캐릭터 상품 제작 교육에 적합한 3D프린터 연구 [Study on 3D Printer Suitable for Character Merchandise Production Training]. *Korean Society of Cartoon and Animation Studies*, 455-486.
10. Kwon, M. (2012). 게이머를 위한 돌비 입체사운드 헤드셋 디자인 개발 [The Design Development of a Dolby Surround Sound Headset for Gamers]. *Archives of Design Research*, 25(5), 61-65.
11. Lee, H. (2015). 유아교구 개발을 위한 3D 프린터 활용 방안에 관한 연구 [A study of 3D Printing Technology adaption for the development of teaching materials for young children]. *Korean Journal of Children's Media*, 14(4), 247-263.

12. Oh, I., & Jung, S. (2014). 사용자 경험(UX) 디자인 프로세스 선행연구 경향에 대한 분석 [An Analysis of Pervious Research Trends on User Experience Design Process]. *Journal of Digital Design*, 14(2), 247-256.
13. Park, S., Jung, M., Son, Y., Kang, T., & Lee, C. (2017). 다중재료 DLP 3차원 프린터의 개발 [Development of Multi-Material DLP 3D Printer]. *Journal of Korea Society of Manufacturing Technology Engineers*, 26(1), 100-107.
14. Shim, H. Y., & Lee, H. E. (2019). Multi-Converging Educational Program for Design with the usage of 3D Printer: Targeted for Middle School Students. *Archives of Design Research*, 32(1), 75-87.
15. Shin, Y. (2015). 3D 프린터의 종류와 활용 실태 [Types and Applications of 3D Printers]. *Polymer Science and Technology*, 26(5), 404-409.
16. Wohlers, T. (2017). *Wohlers Report 2017*. Fort Collins: Wohlers Associates, Inc.
17. Yoon, S., Kim, T., & Kim, M. (2005). 온·오프라인 환경에 따른 경험의 활용과 경험디자인에 관한 연구 [A Study on the Experience Design and Partical Use of Experience by On-and Off-Line Environment]. *Archives of Design Research*, 18(3), 5-14.

다중소재 3D 프린터의 사용자 중심 디자인

홍대기¹, 이소향^{1*}, 황소리¹, 이종원¹, 박민수², 김현²

¹서울과학기술대학교 디자인기술융합전공, 학생, 서울, 대한민국

²서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과, 교수, 서울, 대한민국

초록

연구배경 관련 기술의 발전으로 현재 3D 프린터는 일상생활 및 병의원 등으로 활용 영역이 확장되고 있다. 이러한 변화는 비전공자로 사용자 범위가 확대됨을 의미하며, 그들을 위한 사용편의성 확보가 중요해짐을 의미한다. 하지만 기존의 3D 프린터 디자인은 과거에 머물러 있어 사용성이 미흡한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 ME와 PP 기술을 결합한 다중소재 3D 프린터를 대상으로 사용자 조사를 통한 사용자 중심의 디자인 개선을 수행하였다.

연구방법 실제 3D 프린터를 사용하는 환경 속에서 ME와 PP 방식의 3D 프린터를 사용하는 사용자를 관찰하였다. 그리고 기기 사용 공간의 관리자들을 대상으로 한 심층 인터뷰를 진행하였다. 본 연구에서는 그러한 관찰과 인터뷰 결과를 기반으로 사용자의 주요 페인포인트를 도출하였고 그에 대한 디자인 개선방안을 마련하였다.

연구결과 기존 3D 프린터의 페인포인트는 복잡한 UI, 악취 및 유해공기 발생, 그리고 불편한 도어 개폐로 조사되었다. 그에 대해 마련된 디자인 개선방안은 다음과 같다. 첫째, 복잡한 UI는 체계적이고 단순화된 구조로 재구성하였다. 둘째, 악취 및 유해공기는 내부 필터를 통해 정화시켰고, 토출되는 공기는 사용자의 호흡기에서 먼 위치에서 토출되도록 하였다. 셋째, 불편한 도어 개폐는 출력물 수거를 위한 보조 도어로 보다 쉽게 개폐가 가능하도록 디자인하였다. 본 연구에서는 이러한 디자인 개선안을 실제 워킹 프로토타입으로 구현하고 사용성 평가를 통해 사용성 개선을 검증하였다.

결론 본 연구는 사용자 중심 디자인을 통해 3D 프린터의 디자인 개선안을 도출하였다. 3D 프린터를 포함한 생산기기의 경우 사용성 개선을 위한 디자인 연구가 상대적으로 등한시되어 왔는데, 향후 적극적인 디자인 개선이 필요한 것으로 보인다.

주제어 3D 프린터, 다중소재, 사용자중심디자인, 사용성

*교신저자 : 이소향 (kkangyu12@naver.com)

본 논문은 산업통상자원부 R&D사업 ‘창조혁신형 디자인고급인력양성사업’의 지원으로 진행되었음.