

다중재료 DLP 3차원 프린터의 개발

박세원^a, 정민우^a, 손용운^a, 강태영^a, 이치범^{a*}

Development of Multi-Material DLP 3D Printer

Se-Won Park^a, Min-Woo Jung^a, Yong-Un Son^a, Tae-Young Kang^a, Chibum Lee^{a*}^a Mechanical System and Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

| | | | |
|----------|----|----------|------|
| Received | 3 | January | 2017 |
| Revised | 10 | February | 2017 |
| Accepted | 11 | February | 2017 |

Keywords:

3D Printer
Additive manufacturing
Multi material 3D printing technology
DLP 3D printer
Ultrasonic cleaning system
Automatic recharging system

ABSTRACT

3D printing is a technology that converts a computer-generated 3D model into a real object with additive manufacturing technology. A majority of 3D printing technologies uses one material, and this is considered a limitation. In this study, we developed a multi-material 3D printer by adopting dual resin vat and cleaning system with DLP (Digital Light Processing) 3D printing technology. The developed multi-material DLP 3D printer is composed of a manufacturing system, cleaning system, transporting system, and automatic resin recharging system. Various 3D structures were 3D printed with two materials, thus demonstrating the potential. Printing performance of the multi-material DLP 3D printer was studied by performing a comparative surface roughness test and tension test on specimens composed of one material as well as those composed of two materials.

1. 서론

빛에 포함된 자외선과 액체 수지(resin)가 반응하여 광중합 반응을 일으키는 성질을 이용한 DLP(digital light processing) 3차원 프린팅 방식은 출력하고자 하는 3차원 모델링의 단면이미지를 순차적으로 비추는 방법으로 출력물을 제작한다. 이와 유사한 방식으로 SLA(stereo lithography apparatus) 방식이 있으며, DLP와 SLA 방식은 광경화성 액체수지의 광중합 반응에 의한 고형화 원리는 동일하나, 출력물을 제작할 때 DLP 방식은 면(face) 단위로 출력이 진행되고, SLA 방식은 점(point) 단위의 출력이 진행되는 차이점을 보유하고 있다. 현재의 3차원 프린터는 시장성 및 성능 측면에서 일정 수준의 상용화가 가능해져 여러 분야에서 활용되고

있다.

하지만 단일 재료만을 이용하여 출력물을 제작하기 때문에 제작가능 출력물의 범위는 매우 협소하며, 이는 3차원 프린터의 한계로 지적받고 있다. 본 연구는 두 가지 재료를 사용한 3차원 프린터 출력방법의 개발을 수행함으로써 기존에 갖고 있는 ‘제작가능 제품의 한계’를 극복하기 위해 진행되었다^[1]. 두 가지 재료를 사용하는 다중재료 광조형 3차원 프린터(multi-material DLP 3D printer; MMDLP 3D printer)의 개발을 통하여 다양한 산업분야에 3차원 프린터의 활용범위 확대 방법을 제시하는 것이 본 연구의 목표이다.

3차원 프린팅은 기존의 제조공정과는 다른 방식으로 부품 내지 제품을 한 번의 생산공정으로 가공하는 방식이 산업계와 학계에서

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-9667

Fax: +82-2-974-8270

E-mail address: chibum@seoutech.ac.kr (Chibum Lee)



Fig. 1 Examples of multi materials 3D printer^{1),2)}

큰 반향을 일으켜 온 바, 향후 제조업 분야에 기여하는 부분이 클 것으로 기대된다²⁾. 종래의 기술은 사용 재료의 범위 제약이 한계점으로 지적되어 왔고, 그렇기 때문에 다물질 재료를 이용한 3차원 프린팅 기술은 출력하고자 하는 형상의 특정부분에 물성을 달리하여 출력할 수 있다는 점에서 현재의 기술을 발전시키는 의의가 있다. Fig. 1에서 확인할 수 있듯이, 출력물의 부위에 사용되는 재료의 물성까지도 사용자의 편의에 따라 생산과정에서 선택할 수 있는 것은 설계의 제한을 줄이고 가공 공정의 단축을 통해 효율적인 생산을 가능케 할 수 있다. 이러한 필요성과 가능성을 바탕으로 3차원 프린팅 기술의 활용범위 확대를 위해 다양한 작동원리를 이용하여 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다³⁾. 그 중에서도 DLP 3차원 프린팅 기법의 적은 출력 소요시간과 높은 출력 정밀도 그리고 간단한 후처리 공정을 이용하여⁴⁾ 다재료 3차원 프린팅의 연구가 이루어졌다⁵⁻⁷⁾.

본 연구에서는 두 가지 재료를 사용하는 출력물 제작에서 발생할 수 있는 문제점을 고려한 3차원 프린터의 개발을 직접 수행하고, 해당 기기를 이용해 제작된 출력물의 품질 측정결과에 대해서 논의한다. 2장에서는 3차원 프린터 개발과정에서는 출력과정 중 발생할 문제점인 재료 간 오염 방지 방법을 고려한 기기설계, 직접 개발한 S/W를 이용한 동작 구현에 대해 설명할 것이고, 3장에서는 KS 규격을 따른 인장시험을 출력한 후 표면거칠기 측정 및 인장시험을 통해 성능 측정을 수행하였다.

2. 다중재료 DLP 3차원 프린터의 개발

2.1 다중재료 3차원 프린팅 기술개요

다중재료 3차원 프린팅 기술은 기존 한 가지 재료를 이용해 만들어진 출력물의 한계를 극복하고, 효율적인 제품생산을 가능하게 하며 생산 비용 및 원가를 절감할 수 있다. 현재까지 이뤄진 3차원 프린팅 기술에 대한 연구는 3차원 프린터의 출력물 제작시간, 비용, 활용도 그리고 신뢰성(출력품질 및 내구성) 측면에서 주로 다루어졌다. 하지만 여러 재료를 이용한 3차원 프린터 개발에 관해서는 출력물 제작에 사용되는 재료와 작동원리에 따라 평가기준이 다르게 적용된다.

현재 다양한 방식을 이용한 다중재료 3차원 프린터의 연구, 개발이 진행되고 있으나, 다중재료를 이용한 적층가공 방법은 여러 문제점을 보유하고 있다. 고품질의 출력물을 생산하기 위해서는 이 문제들은 모두 해결하여, 최종적으로 상용화 단계를 거쳐야 한다. 다중재료 DLP 3차원 프린팅 기술에서 지적되는 주요 문제 및 유의사항은 다음과 같다³⁾.

- 1) 재료 간 오염 및 낭비 다중재료 3차원 프린터는 재료를 교체하는 과정이 존재하는데, 이 과정에서 재료 간 오염이 발생할 수 있다. 재료 간 오염은 출력 제품의 품질저하뿐만 아니라 남은 재료의 재활용을 불가능하게 만드는 요인이다.
- 2) 접합성
기존 3차원 프린터 원리인 적층방식은 다중재료 3차원 프린터에서도 적용되는 방식이다. 서로 다른 물성을 보유하고 있는 액체 상태의 재료를 적층함과 동시에 안정적으로 접합시키는 것은 다중재료 3차원 프린터에서 중요하게 고려되어야 할 사항이다.
- 3) 데이터 처리 기존의 3차원 프린터는 출력물의 전체 3차원 이미지를 STL 파일 형식으로 처리하여 출력이 진행되는 반면, 다중재료 3차원 프린터는 CAD(computer aided design) 프로그램을 이용하여 각 재료에 해당하는 3차원 모델링 정보가 부여될 수 있는 방법이 필요하다.
- 4) 출력공정의 추가
다중재료 3D 프린터가 갖고 있는 특징을 이용해, 재료 교환 과정, 재료 간 오염의 방지, 접합성 확보 등은 한 재료를 사용하는 단순한 3차원 프린터 보다 많은 출력공정을 필요로 하는 요인이다. 이들은 성능평가 요소 중 출력 소요시간에 직접적으로 관련된 요소로, 오염을 방지하면서 재료 간 접합력이 적절하며 출력 소요시간을 최소화할 수 있는 출력공정을 개발해야 한다.
- 5) 재료(resin) 다중재료 3차원 프린터 기술이 기존 3차원 프린터가 지속적으로 지적되는 ‘출력가능 제품의 한계’를 근본적으로 해결하기 위해 다양한 물성을 갖는 재료의 개발이 필수적이다. 예를 들어, 높은 전기전도도와 열전도율이 높은 금속, 기능성 세라믹, 반도체 등 다양한 재료를 사용할 수 있는 다중재료 3차원 프린터가 개발된다면 3차원 프린터가 활용되는 분야는 크게 넓어질 것이다.

2.2 다중재료 DLP 3차원 프린터의 설계 및 제작

다중재료 DLP 3차원 프린팅은 3차원 모델을 일정한 두께로 잘라 만들어지는 단면이미지 파일들을 만드는 과정으로 시작한다. 단면이미지는 재료에 따라서 각각 생성되어야 하며, 생성된 단면이미지들을 순차적으로 투사함으로써 출력이 진행된다. 2.1절에서 언

급한 바와 같이, 출력 재료가 교체될 때마다 세척 동작을 수행하여 재료 간 오염을 방지한다. 이 방법들을 반복함으로써 두 가지 재료를 사용한 출력물 제작이 이루어진다. Fig. 2처럼, 본 연구에서 개발한 다중재료 DLP 3차원 프린터는 프로젝터를 하단에 두어 이미지를 밑에서 위로 투영하는 규제액면방식(constraint surface method)으로 작동한다. 그리고 프로젝터에 마이크로 스테이지를 부착하여 프로젝터의 위치 및 이미지 초점을 정밀하게 조절할 수 있도록 하였다. 본 개발기기의 치수는 가로×세로×높이가 각 786×416×350 mm이며, 본 3차원 프린터를 이용해 출력되는 제품의 최대 사이즈, 즉 제작 크기는 각각 144×81×200 mm이며, 두께의 최소 단위는 0.05 mm이다. 본 개발기기는 크게 조형부, 세척부, 이송부 그리고 충전부로 구성된다.

2.2.1 조형부(manufacturing system)

조형부는 상/하 운동을 하는 조형판(bulid plate)과 두 가지 재료를 각각 담는 두 개의 재료 수조(vat)로 이루어져 있다. 3차원 프린터 출력물의 품질은 출력판의 수평정도에 영향을 많이 받기 때문에 이를 감안하여, 직사각형의 출력판 각 꼭짓점에 나사 구멍을 뚫어 볼트 및 너트를 부착하였다. 네 개의 볼트 및 너트를 이용해 사용자는 자신의 작업환경에 맞춰 조형판의 수평도를 쉽게 조절할 수 있다. 또한 볼 스크류(ball screw)에 부착된 브래킷 (bracket)과 조형판은 쉽게 탈착할 수 있도록 하여, 출력이 완료된 출력물을 조형판에서 쉽게 떼어낼 수 있도록 설계하였다.

조형판 모듈(build plate module)의 형상은 Fig. 3과 같다. 또한, 규제액면 방식의 출력방법임을 감안하여 재료 수조의 하단에는 FEP(fluorinated ethylene propylene) 필름이 부착되어 있다. FEP 필름은 재료가 프로젝터의 빛 에너지를 받아 경화될 때, 재료가 수조 바닥에 접촉되지 않고 출력판에 출력물에 접촉되도록 해주는 역할을 한다. 하지만 FEP 필름은 빛에 오래 노출되면 손상되기 쉬운 특성을 가지고 있다. 사용자가 쉽게 필름을 교환할 수 있도록 탈부착이 쉽도록 설계하였다. 또한 재료 수조의 경계부분에 실리콘 패드를 부착시켜 액체수지가 새지 않도록 하였다.

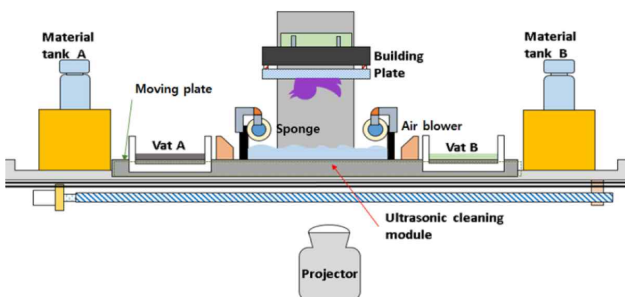


Fig. 2 Multi-material DLP 3D printer's schematic diagram

2.2.2 세척부(cleaning system)

수채화 미술을 할 때 붓에 묻어있는 물감을 제대로 씻지 않고 다른 색을 칠하면, 원하는 색이 아닌 지저분한 색이 나오는 것처럼 액상 재료를 사용하는 다중재료 DLP 3차원 프린터 특성상, 재료를 교환하는 과정에서 출력 이후 묻어있는 잔여물을 깨끗이 씻어내야 출력물의 품질을 확보할 수 있다. 특히, 물성, 색이 서로 다른 두 액체 재료를 사용하는 본 개발기기는 재료 간의 오염을 방지하고 높은 출력물 품질 확보를 위해서는 잔여물의 세척이 필수적이다. 출력물의 완벽한 오염방지를 목적으로 Fig. 4와 같은, 세척시스템(cleaning system)을 구축하였다.

세척 시스템은 초음파 세척기(ultra sonic cleaner), 송풍기(air blower) 그리고 스펀지로 구성되어 있다. 초음파 세척기를 사용한 이유는 공동현상(cavitation)을 이용하기 위함이다. 초음파로 발생되는 기포로 세척하는 공동현상은 재료의 물리적 세척작용과 동시에, 세척액으로 사용되는 IPA(iso-propyl alcohol)의 성질을 이용한 화학 세척작용을 동시에 할 수 있도록 한다. 세척부에서의 세척 과정은 IPA 용액이 담긴 초음파 세척기를 작동시켜 잔여물을 제거한 뒤, 송풍기를 이용한 알코올 건조작업 그리고 스펀지를 통해 출력물에 묻어있는 이물질을 닦아내는 순으로 진행된다.

2.2.3 이송부(transportation system)

이송부에 속하는 이송판(moving plate)에는 2 종류의 재료를 담는 2개의 수조, 초음파 세척기, 스펀지 그리고 송풍기로 이뤄진 세척부가 있다. 이송판은 스텝 모터, 볼 스크류 그리고 두 개의 LM 가이드에 의해 정밀한 좌/우 운동을 구현할 수 있다.

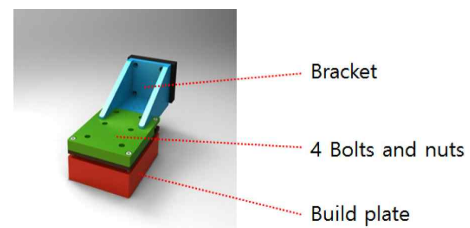


Fig. 3 Build plate module

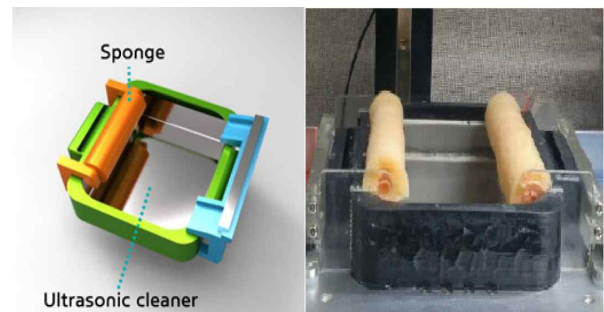


Fig. 4 Cleaning system (left: modeling, right: real image)

2.2.4 자동 수지 충전부 (automatic resin recharging system)

액체 재료를 사용하는 다중재료 DLP 3차원 프린터 특징상 재료 낭비를 방지하기 위한 방안을 고려했다. 하나의 단면을 출력함에 있어서, 수조에는 최소한의 재료가 담겨 있도록 하였다. 그렇기 때문에 본 기기에는 각 재료를 이용한 제작 횟수를 기반으로 자동으로 재료를 공급할 수 있는 시스템이 필요하다. 본 구성요소의 개발은 핀치 밸브(pinch valve)와 릴레이 스위치(relay switch)를 이용하여 자동으로 재료를 공급함으로써 재료를 효율적으로 사용하도록 하였다.

수지의 높이 제어는 단면 1개 생성 시 소요되는 재료의 양과 핀치밸브로부터 나오는 재료의 공급속도를 이용하여 구성하였다. 우선 ‘높이 h의 출력물을 제작할 때 사용된 재료의 총량은 조형판 면적×h×1.15로 가정하였다. 단면 하나를 제작할 때 소요되는 재료는 평균적으로 조형판 면적×0.05(단면적의 두께)의 1.15배 가량 소요되는 것이다.

이 가정을 세운 이유는 두 가지가 있다. 첫 번째는 출력이 완료된 후, 조형판 전체부분에 묻은 잔여 재료가 세척과정에서 다 씻겨나간 것이며 두 번째 이유는 출력과정은 조형판이 약 5 mm 가량 잠긴 후에 진행되기 때문이다. 조형판이 잠겨 옆면에 묻어 나오는 재료 역시 세척과정에서 모두 씻겨나간다.

3D 모델링 프로그램을 이용하여 조형판의 면적을 측정하고, 이를 이용하여 조형판 면적의 1.15배를 계산한 결과, $10,346.6 \times 1.15 = 11,898.59 \text{ mm}^2$ 였다. 한 단면의 두께 0.05 mm를 이용하여 한 단면 생성 시 소요되는 재료의 양은 594.9295 mm^3 로 약 6×10^{-4} L가 사용된다.

지름 8 mm인 핀치밸브 관을 통해 나오는 유량은 유속이 약 5 cm/s인 점을 응용하여 $2,513.274 \text{ mm}^3/\text{sec}$ 으로 1초 공급 시, 단면 4개를 제작할 수 있는 양 만큼의 재료가 공급된다. 이 결과들을 이용하여 4번의 출력이 진행된 후에는 릴레이 스위치를 이용하여 자동으로 재료들을 공급할 수 있도록 하였다. 충전부의 모습은 Fig. 5와 같으며, 전체 설계 요소들을 반영하여 제작한 다중재료 3차원 프린터의 모습은 Fig. 6과 같다.

2.3 제어부 및 유저인터페이스(UI) 개발

본 개발기기의 작동은 C#을 이용해 개발한 프로그램으로 구동된다. 다중재료 DLP 3차원 프린터는 Fig. 7와 같은 순서로 작동한다.

먼저 3차원 모델을 출력 물질에 대해 분해하고, 각각의 파트 3D 모델링의 단면화(slicing)를 통해 단면화 처리된 이미지를 생성하게 된다. 이에 따라 출력되는 3차원 모델은 어셈블리 폴더(assembly folder) 안에 재료에 따른 각 파트의 단면 이미지를 담은 폴더로 구성된다.

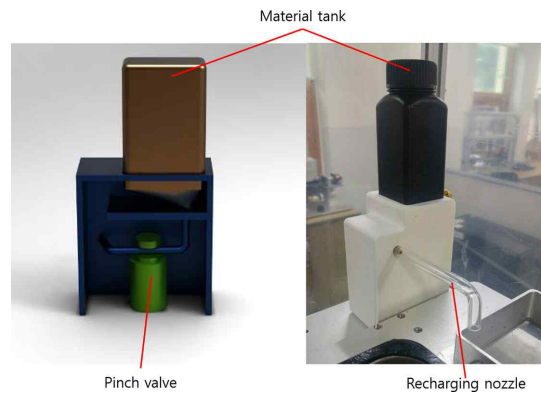


Fig. 5 Automatic recharging system



Fig. 6 Multi-material DLP 3D printer

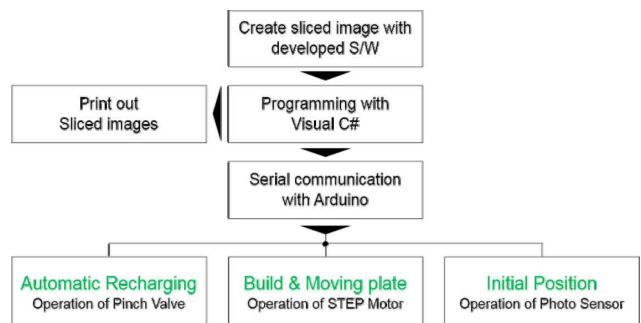


Fig. 7 Multi material DLP 3D printer's control sequence

C#을 이용해 개발한 유저인터페이스(UI) 프로그램은 하드웨어 제어기인 아두이노 메가(Arduino mega)와의 시리얼 통신, 프로젝터 이미지를 제어하는 기능을 포함한다. 그 중 UI 프로그램의 ‘프로젝터 제어기’(projector controller)는 단면화 처리된 3차원 모델링 이미지들을 출력하는 창을 생성하고, 재료 수조의 크기에 맞추는 동작을 수행한다.

프로그램의 ‘시퀀스 매니저’(sequence manager)는 조형판 및 이송판의 이동 및 출력 시퀀스 생성을 수행한다. 초기화 과정에서 조형판 및 이송판은 각 판에 부착된 리미트 센서(limit sensor)를 통해 위치를 인식하며, 정해진 위치에 있음을 확인한 후에는 52각 스텝 모터(stepper motor)를 이용한 정밀 이동을 구현한다. 세척부

의 동작은 릴레이(relay)을 이용하여 동작하는데, 릴레이 스위치에는 초음파 세척기와 송풍기가 연결되어있다.

본 프로그램을 이용하여 이송판을 초기 위치로 이동시킨 후, 프로젝터 제어기의 동작 이후 사용자의 설정에 따라서 단재료 및 다중재료 출력 순서를 생성한 후, 기구를 작동시키면 출력이 진행된다. 출력 순서를 생성할 때 2가지 재료를 이용한 복합출력 및 기존 3차원 프린터 작동 방식인 단재료를 이용한 단일형상 출력이 가능하도록 하였다. 뿐만 아니라, 단면화 이미지 노광시간을 직접 설정할 수 있기 때문에, 재료에 따라 적절한 노광시간 값을 부여할 수 있도록 하였다. 한편, 재료의 교환이 단면 내에서 이루어지는 지, 단면 사이에서 이루어지는 지를 설정하게끔 하였는데, 이를 통해서 단면의 적층 방향에 구애받지 않도록 하였다. 동작 순서는 ‘재료 A의 단면 경화 - 초음파 세척 동작 - 송풍기 작동 - 스펀지를 이용한 닦아내기(swiping) - 재료 B의 단면경화’ 순서를 하나의 단면 출력 단위로 하여 실행된다. 입력정보에 따라서 출력순서가 생성된 실제 UI 프로그램의 동작화면은 Fig. 8과 같다.

2.4 단면 적층 출력과정

본 기계에 있어, 하나의 단면 생성에 소요시간은 5초 내외인 반면, 세척 소요시간은 이동과정을 포함하여 20초가 넘기 때문에, 세척 횟수를 최소화한 효율적인 출력과정의 개발이 필요했다. Fig. 9는 두 가지 재료를 사용한 3차원 프린터의 기존 방법과 본 기계의 다중재료 DLP 3차원 프린터의 출력과정을 비교한 그림이다.

기존 출력방법은 총 N 개의 단면층을 출력할 때, (2N - 1)번의 세척과정을 거치고, 반면 개선된 출력방법은 (N - 1)번 만큼의 세척과정을 거치게 된다. 출력 대상에 따라 다르겠지만, Fig. 10(A)의 출력 소요시간을 비교한 결과, 2개의 단면층을 출력할 때, 기존

방법은 6분 이상이 소요되었고, 개선된 방법은 2분 40초가 소요되어 약 2배 이상 빠른 출력속도를 확인할 수 있었다.

3. 다중재료 출력 실험 및 성능 분석

본 연구개발기기의 성능 측정의 목적으로 출력 실험을 진행하였다. 출력 실험은 한 가지 및 두 가지 재료를 이용하였으며, Fig. 10과 같이 단재료 및 다중재료를 사용하여 다양한 출력물들을 생산하였다.

3.1 실험 개요 및 목적

3장에서는 본 연구에서 개발한 다중재료 DLP 3차원 프린터를 이용하여, 단재료 출력물과 다중재료 출력물의 성능 비교 실험을 수행한다. 3차원 프린터의 성능은 출력물의 품질에 따라 평가되기 때문에 2가지의 서로 다른 재료를 이용하여 KS M 527-5A 규격에 따라 단재료 및 다중재료 시편을 출력하였다. Fig. 11은 출력한 시편의 규격이며, Fig. 12와 같이 단재료와 다중재료 시편을 각각 출력하였다. 다중재료 출력물의 경우, 광학현미경과 표면거칠기 측정기기를

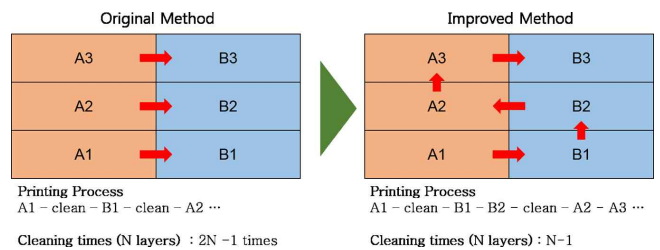


Fig. 9 Previous and improved build-up method^[5]

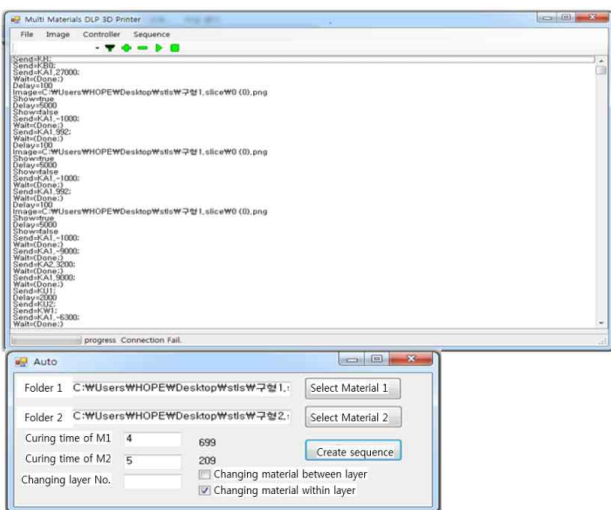


Fig. 8 MMDLP 3D printer UI

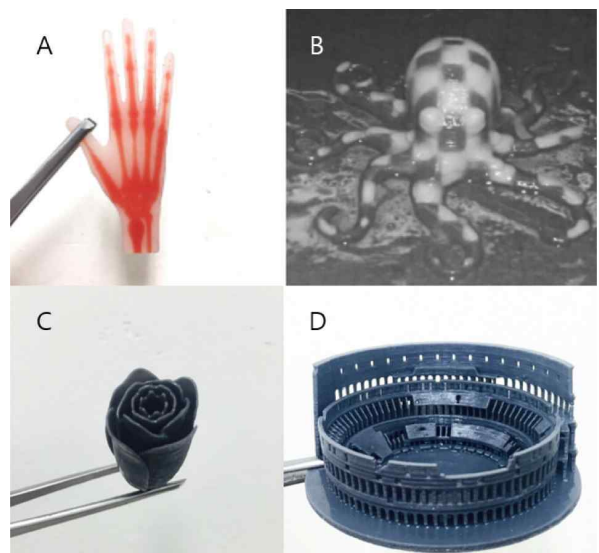


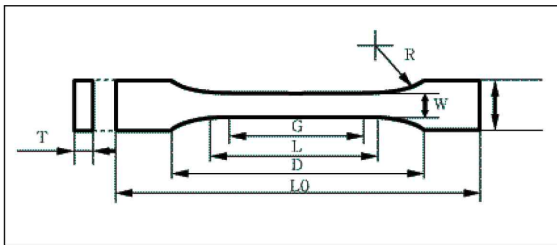
Fig. 10 Printed 3D modeling (A: hand bone (2 materials), B: octopus (2 materials), C: rose (1 material), D: colosseum (1 material))

이용해 표면정밀도 및 표면거칠기를 측정하였으며, 동일한 방법으로 단재료 출력물과 비교함으로써 단재료 및 다중재료 출력 실험의 성능 비교를 수행하였다. 출력에 사용된 재료는 Maker juice사의 G+(v4)-green, blue 2가지를 사용하였는데, 인장시험에서는 그 성능의 비교를 위해 G+green과 G+blue를 사용하여 단재료 및 다중재료 시편을 제작하여 인장시험을 통해 비교하였다. 모두 동일한 수평 방향으로 출력하였으며, 1 단면 당 두께는 56 μm 이며 경화 시간은 색상에 관계없이 1 단면 당 2초로 하였다.

3.2 실험 결과 및 분석

3.2.1 표면 관측 및 거칠기 측정 결과

접합부 표면거칠기 실험은 TESA 社の RUGOSURF 90G를 이



| L ₀ | D | L | G | R | W | T |
|----------------|------|------|--------|-------|--------|----|
| > 75 | 50±2 | 25±1 | 25±0.5 | 8±0.5 | 10±0.5 | ≥2 |

(Unit: mm)

Fig. 11 Tensile specimen standard



Fig. 12 Printed tensile specimen (left: blue, middle: green/right: green+blue)

용하였다. 본 실험은 정교한 표면 측정도구를 이용해, 0.002 mm 단위로 총 8 mm 길이의 표면거칠기를 측정하였다. Fig. 13은 8 mm 중 5 mm만큼의 데이터를 나타낸 자료이다. G+green과 G+blue만을 이용하여 출력한 단재료 시편의 표면에 비해, 다중재료 출력시편은 경계부분에서 1 단면의 두께인 56 μm 보다 더 큰 단차를 보였다. 이는 재료를 교환할 때 세척과정에서 경화가 이루어진 일부 형상까지 떨어져 나간 것으로 판단된다. 접합부를 광학 현미경을 이용하여 관찰한 모습은 Fig. 14와 같다.

3.2.2 인장시험 측정 결과

Fig. 15는 단재료를 이용한 시편 출력물과 다중재료 시편 출력물의 인장시험 결과를 비교한 결과, 표면에서의 접합 성질은 시편의 최대 인장응력에 영향을 주었음을 알 수 있었다. 단물질 시편의 최대 인장하중 각각 155 N(blue), 171 N(green)에 비하여, 다중재료 시편의 최대 인장하중은 80 N으로 단재료 시편의 50~60% 정도의 수준임을 확인할 수 있었다. 이는 표면 측정 실험에서 확인하였듯, 서로 다른 재료의 접합이 정밀하게 이루어지지 못했기 때문으로 볼 수 있다. 인장시험 이후 파단면을 확인함으로써 동일한 원인을 확인할 수 있었는데, Fig. 16과 같이 다중재료 출력물의 경우 재료 간의 접합이 이루어지는 부분에서 파단면을 형성한 반면, 단재료 출력물에서는 그 위치가 시편마다 조금씩 다른 것을 확인할 수 있었다.

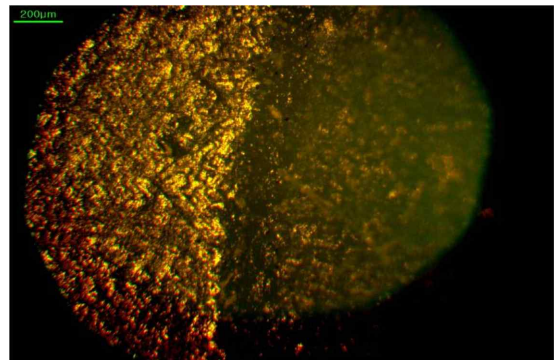


Fig. 14 Microscopic image of multi materials specimen

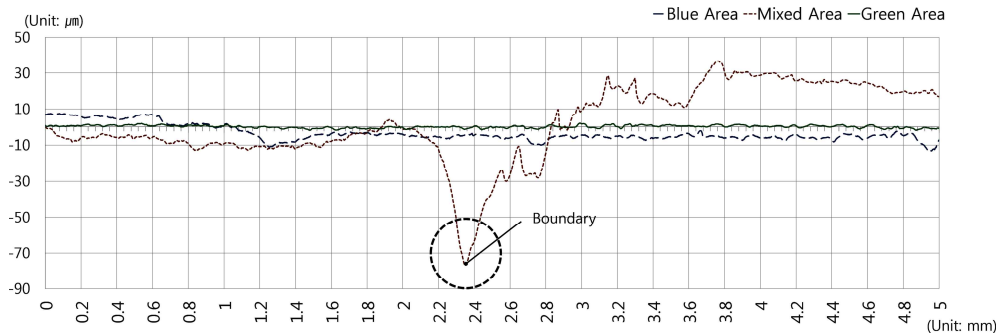


Fig. 13 Surface profile test result

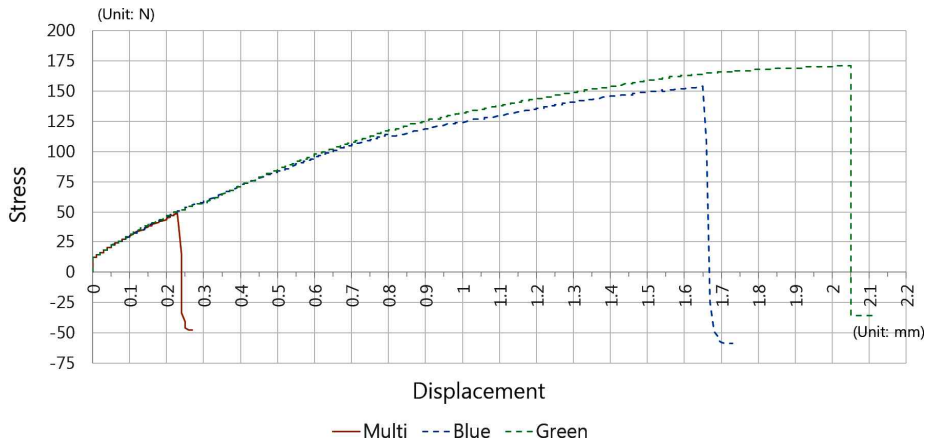


Fig. 15 Tension test results



Fig. 16 Fracture plane of specimens

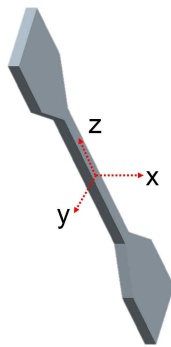


Fig. 17 Build orientation of manufacture

3.3. 실험 고찰

본 장에서는 단재료 출력물과 다중재료 출력물의 성능 비교 실험을 진행하였다. 광경화성 액체수지를 재료로 사용한 3차원 프린팅에 있어서, 출력물의 적층가공이 어느 방향으로 이루어지느냐에 따라서도 그 성능 실험의 결과가 달라질 수 있다⁸⁾.

따라서, 정확한 평가를 위해서는 Fig. 17의 X, Y, Z 각각의 출력 방향별로 단재료 시편과 다중재료 시편을 제작하여 성능을 비교하는 실험이 추가되어야 한다. 본 장에서 측정에 사용한 시편의 출력은 X축 방향으로 상대적으로 출력에 용이하였다. 반면, Y축과 Z축 방향으로 다중재료 출력을 시도한 경우, 동일 재료의 접합면이 작

고, 다중재료의 접합면이 상대적으로 크므로 다중재료의 접합이 제대로 이루어지지 않아 시편의 제작이 어려웠다.

전사조형 3차원 프린팅에서는 재료에 투사되는 빛 에너지가 클수록, 투사하는 단면의 넓이가 넓을수록 출력물에 대한 접합력이 강하게 작용한다. Y축과 Z축 방향의 출력은 3차원 형상의 슬라이싱(slicing) 과정을 거친 단면의 넓이가 X축 방향의 출력에 비해 작다. 이러한 출력 특성은 단재료 출력 시에는 문제가 되지 않았으나 세척시스템의 동작이 추가되는 다중재료 출력 시에는 문제가 되었다. 이는 세척과정에서 출력물에 묻어나오는 재료뿐 아니라 광원에 의해 단면 이미지의 형태로 경화된 형상의 일부가 이탈하여 출력물이 접합되는 데에 악영향을 미쳤기 때문으로 판단된다.

3.2절의 표면거칠기 실험에서도 확인할 수 있듯이, 본 개발 기기를 사용한 다재료 출력물의 재료 간 접합부위의 접합성능이 미흡한 것은 이러한 영향이 컸기 때문으로 생각된다. 이는 2.1절에서 제기된 접합성과 관련하여 세척의 문제가 크게 작용하기 때문으로 판단된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 다물질 접합부의 특성화된 조형 조건에 대한 연구가 필요할 것으로 예상된다.

4. 결론

본 연구에서는 다물질 3차원 프린팅 구현을 위한 기구를 개발하였고 출력성능의 검증과 향상을 위한 연구를 진행하였다. 전사조형 3차원 프린팅이라는 정밀도가 높으면서도 간단한 가공방법을 발전시켜 다물질 3차원 프린팅을 구현하였다. 다물질 3차원 프린팅을 구현하는 데에 작용하는 제약들을 해결하면서도 좋은 출력품질을 유지하기 위해 기구를 조형부, 세척부, 이송부, 충전부, 제어부로 나누어 개발하였으며 기기를 통해 출력한 다중재료 출력물과 단재료 출력물의 성능 비교 실험을 진행하였다. 다중재료 3차원 프린팅의 실용성 제고를 위해서는 정밀한 세척방법을 통한 재료 간 교환 부위에서의 접합 성능 향상이 개발단계 이후의 과제이다.

또한 전사조형 3차원 프린팅의 재료로 사용되는 광경화성 액체 수지는 일반적으로 중간체(oligomer)와 단량체(monomer) 그리고 광개시체(photo-initiator)로 이루어져 있으며^[9-11] 제작방법 및 혼합물에 따라서 광원에 의한 결정화가 다르게 진행되며 그 재료의 물성(탄성, 열전도성, 전기전도성 등)에 따라라도 결정화가 다르게 진행된다. 다중재료 전사조형 3차원 프린팅 기법의 실용성을 확보하기 위해서는 이러한 재료의 특성을 고려한 경화조건의 성립을 위한 연구 및 개발이 필수적이다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Javelin, viewed 12 December 2016, <<http://www.javelin-tech.com/3d-printer/materials/polyjet-photopolymer/stratasys-polyjet-technology/>>
- [2] Additive manufacturing, 2015, viewed 12 December 2016, Stratasys Groundbreaking Multi-Color, Multi-Material 3D Printing Now Available for Larger Dental Labs Who Need Increased Throughput, Productivity October. 26, 2015 by stratasys, <<http://additivemanufacturing.com/2015/10/26/stratasys-groundbreaking-multi-color-multi-material-3d-printing-now-available-for-larger-dental-labs-who-need-increased-throughput-productivity/>>
- [3] Vaezi, M., Chianrabutra, S., Mellor, B., Yang, S., 2013, Multiple material additive manufacturing - Part 1: a review, Virtual and Physical Prototyping, 8:1 19-50.
- [4] Kim, Y., Kim, K., Lee, C., 2015, Accuracy Improvement of Output in Projection Stereolithography by Optimizing Projection Resolution, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 24:6 710-717.
- [5] Kim, H., Choi, J., Wicker, R., 2010, Development of a Multi-material Stereolithography System, Journal of the Korean Society of Precision Engineers, 27:3 135-141.
- [6] Bartolo, P. J., Mitchell, G., 2003, Stereo-thermal-lithography : A New Principle for Rapid Prototyping, Rapid Prototyping Journal, 9:3 150-156
- [7] Zhou, C., Chen, Y., Yang, Z., Khoshnevis, B., 2013, Digital Material Fabrication using Mask-Image-Projection-Based Stereolithography, Rapid Prototyping Journal, 19:3 153-165
- [8] Quintana, R., Choi, J., Puebla, K., Wicker, R., 2010, Effect of Build Orientation on Tensile Strength for Stereolithography-Manufactured ASTM D-638 Type I Specimens, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 46:1 201-215.
- [9] Kim, H. J., Ha, Y. M., Park, I. B., Kim, M. S., Jo, K. H., Lee, S. H., 2013, Reducing Separation Force for Projection Stereolithography based on Constrained Surface Technique, Journal of the Korean Society of Precision Engineers, 30:9 1001-1006
- [10] Gatner, B., Boßhammer, St., Irmer, U., 2013, UV-curable Silicone Rubbers Open Up New Fields, Gummi Fasern Kunststoff, 2 80-82
- [11] Limaye, A.S., 2007, Multi-objective Process Planing Method for Mask Projection Stereolithograph, A Thesis for a Doctorate, Georgia Institute of Technology, USA