



SLA 기반 LCD 3D 프린터 제작에 관한 연구

성시현^a, 이성범^{b*}, 김현철^{c*}**Manufacturing of Stereolithography-based Liquid Crystal Display
Three-dimensional Printer**Siheon Seong^a, Seongbeom Lee^{b*}, Hyunchul Kim^{c*}^a Department of Mechanical Engineering, Inje University^b Department of Electronic, Telecommunications, Mechanical and Automotive Engineering, High Safety Vehicle Core Technology Research Center, Inje University^c Department of Future Automotive Engineering, Kongju National University**ARTICLE INFO***Article history:*

Received	21	December	2022
Revised	12	January	2023
Accepted	13	January	2023

Keywords:

3D Printer
Liquid crystal display (LCD)
Light emitting diode (LED)
Design method
Production

ABSTRACT

With the development of the Fourth Industrial Revolution, the use of three-dimensional (3D) printers has drawn attention as an approach to supplementing the limitations of mold processing by reducing various materials, complex shapes, and discontinuation cycles. However, there are limits to its application because its extended manufacturing time and expensive equipment do not satisfy the efficiency requirements of the existing mold method. This paper presents a method for solving the problems of existing 3D printers by producing liquid crystal display 3D printers with low cost, high manufacturing speed, and high precision. And for the verification, products of various shapes were printed and evaluated.

1. 서론

최근 4차 산업혁명의 주역이라 할 수 있을 만큼 강력한 3D 기술이 발전하고 있고^[1], 자동차, 가전, 의료, 건축 등 전문 분야에 이르기까지 3D 기술이 적용되지 않는 분야를 찾아보기 힘들다. 이러한 3D 기술의 대중화로 3D 프린터의 적용이 활발해지면서 적층제조 (additive manufacturing) 방식 또한 주목받고 있다^[2].

적층제조는 절삭 가공(subtractive manufacturing)방식의 드릴·선반·밀링머신 등과 같은 절삭 공구로 재료를 깎아 가공하는 방식

을 생략하여 전통 제조방식의 한계를 극복할 수 있으며 이는 설계의 자유도를 높여 복잡한 형상의 기계, 항공부품뿐만 아니라 단종된 부품 모델, 일반적인 금형 등에 적용하여 부품을 한 공정으로 제작할 수 있게 되었다. 또한, 개인 맞춤 의치, 의족 같은 의료산업 등 고객 수요에 맞게 제작할 수 있는 장점으로 제조업 혁명을 주도할 기술로 주목받고 있지만, 재료를 적층하여 입체화하는 방식으로 제작 시간이 오래 소요돼 기존 제작방식보다 생산성이 떨어지는 한계, 장비 크기에 따라 제품 크기가 한정적이며 고가라는 단점이 있다^[3-4].

* These authors contributed equally to this work.

^{b*} Corresponding author. Tel.: +82-55-320-3667

E-mail address: mechlsb@inje.ac.kr (Seongbeom Lee).

^{c*} Corresponding author. Tel.: +82-41-521-9273

E-mail address: khc@kongju.ac.kr (Hyunchul Kim).

여러 출력방식 중 UV 광에 반응하여 액체가 경화되어 제작하는 방식의 SLA(stereo lithography apparatus) 3D 프린터는 준수한 정밀도의 장점이 있지만, 레이저를 사용한 점 경화 방식으로 느린 제작속도와 고가의 장비 및 레진, 일반적인 환경에서 사용하기 어려운 문제들이 존재하여 이러한 문제를 개선한 LCD 3D 프린터 방식을 고려하였다. LCD 3D 프린터는 LCD(liquid crystal display)와 LED(light emitting diode)를 이용해 한 면을 경화하는 방식으로 전체 형상을 단면화(슬라이스)하여 층층이(layer by layer) 쌓는 면 경화 방식으로 빠른 출력속도가 가능하고 다양한 레진을 사용하여 쉽게 출력할 수 있다. 장비 가격 또한 SLA 3D 프린터보다 저렴한 가격에 제작^[5]할 수 있지만, 정밀도가 떨어지는 단점^[3]을 가지고 있어 본 연구에서는 우수한 정밀도를 확보하면서 비전문가도 쉽게 사용할 수 있으며 가격 경쟁력까지 갖춘 LCD 3D 프린터 설계 및 제작에 관한 기술을 제시하였다.

2. 설계

2.1 설계 계획

본 논문에서는 LCD 3D 프린터에 대한 대략적인 구조와 사용되는 부품에 대한 정보가 필요하여 기존에 제작된 LCD 3D 프린터와 특허에 근거하여 자료를 수집하였다^[6,7]. LCD는 3만 원 정도의 6.1 inch TFT 2K를 사용하여 가격은 저렴하지만 25060×1620 pixel의 높은 해상도를 가져 저렴하지만 높은 성능을 가졌으며 LED는 7000원으로 385~405 nm의 성능을 가진 일반적인 LED를 사용하였다. 기성품 사용을 늘려 가공부품 수를 줄여 단가를 절감 및 장비 소형화에 초점을 두어 Catia V5 3D 프로그램을 사용하여 설계를 진행하였다. 이때 부품의 치수는 기성품의 치수를 기준으로 5 mm 나사를 사용하여 부품 치수를 통일화하였다.

6개의 part는 각각 세부 부품으로 나누었으며 multi body modeling을 사용해 세부적인 설계 및 수정사항이 생겼을 때 쉽게

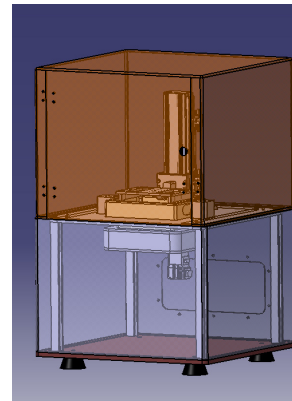


Fig. 2 LCD 3D printer assembly

수정할 수 있도록 하였다. Multi body modeling 부품설계 시 작업 창 하나를 body라 하고 각 부품은 하나의 객체로 인식하여 에러가 생길 수 있지만, body를 여러 개 만들어 독립 부품으로 인식해 에러를 줄여 설계 속도를 높일 수 있으며 각 part는 assembly를 통해 부품 간의 공차 및 설계 오류를 파악하여 조립 시 이상이 없는 것을 확인할 수 있었다.

2.2 설계 방법 및 제작

Main body는 3D 프린터 본체로 상, 하층으로 같은 치수로 이루어져 있으며 각 부품의 높이를 고려한 최소의 높이로 300 mm 기성 알루미늄 프로파일을 사용하였다. 하층에는 3D 프린터를 제어할 수 있는 전자장비를 두어 잔여 공간을 활용해 장비 크기를 줄였으며 상층에는 5.3 mm 홀을 주어 bolt와 nut을 사용해 고정하는 방식을 사용해 각 part를 고정하였다.

UV blocking case는 연구소 또는 산업현장의 경우 자외선이 차단된 특수한 환경이지만 일반 시설에서는 형광등과 창문의 햇빛 등이 경화 변수로 작용하여 사용에 제약이 있어 UV 차단 아크릴을 사용하여 자외선을 차단하였으며 디자인을 고려하여 main body의 넓이와 같게 하였다.

LCD 3D 프린터는 액체 레진을 수조에 담아 둔 상태에서 출력되어 레진을 담은 'vat', Teflon film을 고정할 수 있는 'film static', LCD를 올려 두는 'LCD_plan'으로 총 3개의 part로 제작하였다(Fig. 3의 위에서 아래 순으로 나열).

LCD_plan은 LCD만 설치할 경우 액체가 누르는 압력에 의해 LCD가 깨질 수 있어 일반 유리를 밑에 받치도록 하였으며 빛의 투과까지 고려하였으나 만약 LCD가 깨진 경우 부품의 part 화로 쉽게 유지 보수할 수 있다. 이때 각 부품을 올렸을 때 Teflon film 두께를 뺀 높이로 필름이 들뜨지 않아 안정적으로 layer를 생성할 수 있다. LCD_plan의 상부와 film static 하부는 접시 머리 나사를 사용해 나사가 매립되도록 하여 부품 간 평탄도를 유지하도록 하였다.

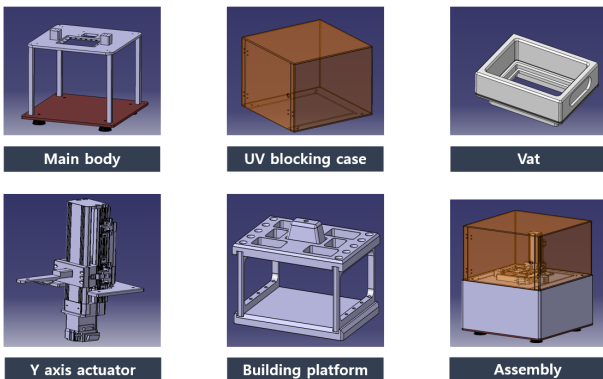


Fig. 1 6 parts and naming

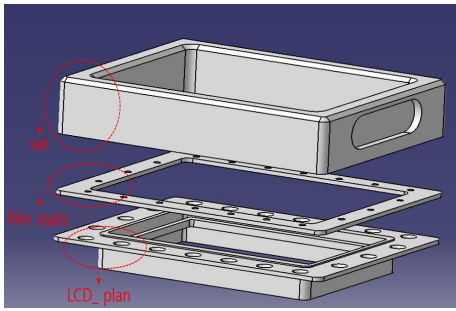


Fig. 3 Vat

Film static과 vat 사이에 Teflon film을 사용해 LCD의 이미지와 LED 빛이 투과될 수 있도록 하였으며, vat는 레진을 담아야 하므로 누수 방지 및 틈 사이에 잔여 레진이 스며드는 것을 방지해 하나의 part로 가공하였다. Teflon film에 형상의 단면이 생성되면 필름과 붙어 떨어질 때 수조가 같이 따라 올라가는 현상이 발생할 수 있어 clamp를 사용하여 고정하였다.

Y_axis_actuator는 3D 프린터의 상, 하 높이를 제어하는 장비로 최대 높이는 150 mm를 사용하여 장비의 크기를 축소하였으며 이 외 반복위치 정밀도 0.005 mm, 위치결정 정밀도 0.06 mm를 가져 0.05의 layer 높이도 출력할 수 있도록 1축 actuator를 사용하였다. Actuator는 수직으로 고정하여 세울 수 있는 ‘actuator back’, main body 상층과 고정할 수 있는 ‘cap’, actuator가 수직을 움직일 때 building platform을 움직일 수 있도록 ‘arm’을 actuator의 치수와 체결할 수 있도록 홀의 크기를 고려하여 설계하였다.

Actuator에 원점 센서를 부착하여 원점을 유지하도록 했으며 이 때 LCD와 Teflon film 두께인 0.1 mm만큼 띄워 과도한 하강으로 LCD가 깨지는 것을 방지하였다. 또한, arm의 길이는 수조를 벗어나지 않으며 building platform이 하강했을 때 LCD의 가운데에 위치하며 arm과 0.15 mm씩 최소 공차를 주어 상승 시 유격으로 인해 흔들림과 축 변형이 없도록 하였다.

Main body와 actuator를 연결하는 actuator back은 면과 면이 만나는 부품끼리 나사로 체결하게 되면 부품끼리는 고정되지만, 모터 회전 시 발생하는 진동으로 축이 회전하여 틀어지는 문제가 발생할 수 있어 0.2 mm의 높이차를 주어 턱을 만들어 cap과



(a) LCD plan (b) Vat bottom (c) Assembly

Fig. 4 LCD height and screws maintain flatness & clamp

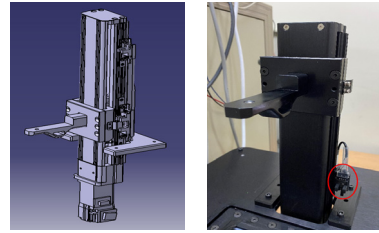


Fig. 5 Actuator and peripheral parts & homing sensor

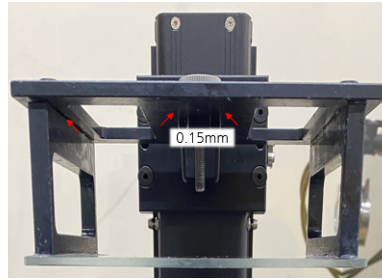


Fig. 6 Arm tolerances and horizontal alignment

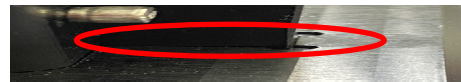


Fig. 7 Digging up seat

actuator back과 고정하였으며 cap과 main body는 핀을 이용하여 고정하였다.

Building platform은 출력물이 붙어서 출력되는 part로 ‘arm’, ‘top body’, ‘하부 유리’로 이루어져 있다. 각도가 1° 만 틀어져도 최종 형상은 변형되어 출력되므로 수평 유지는 중요하므로 top body와 연결된 arm의 홀 부분 바닥을 나사로 밀며 수평을 맞출 수 있도록 하였다. Arm의 두께는 나사가 외부로 나오지 않게 하여 액체가 나사에 묻는 것을 방지하였으며 모든 부품은 나사의 크기 고려 및 무게를 감소하였다.

LED는 80°까지 발열이 생겨 수명 단축 및 출력변수를 방지하기 위해 CUP Cooler를 사용해 발열을 낮추며 cooler와 LED는 thermal grease를 사용하여 높은 열 전도성 및 낮은 열저항으로 냉각 효율을 높였다. Cooler의 높이는 LED 반사각(120°)을 고려하여 치수설정 후 내부에 반사 필름을 부착하여 반사율을 높임과 동시에 FDM 3D 프린터를 사용하여 제조원가를 절감하였다.

최종적으로 프로토타입 3D 프린터를 알루미늄으로 제작하여 600만 원의 제작 비용이 들었으나, main body와 building platform 상층 및 arm, cooler는 제작 및 출력 실험과 기구의 움직임 등을 통해 플라스틱 사용이 정밀도에 영향을 주지 않는 것을 확인하였다. 반면 main body의 하층은 3D 프린터 전체의 무게를 지지하며, actuator의 부품은 반복적인 작업으로 인한 파손 문제, vat은 아세톤을 사용하여 세척이 필요한 레진의 특성상 플라스틱을 사용

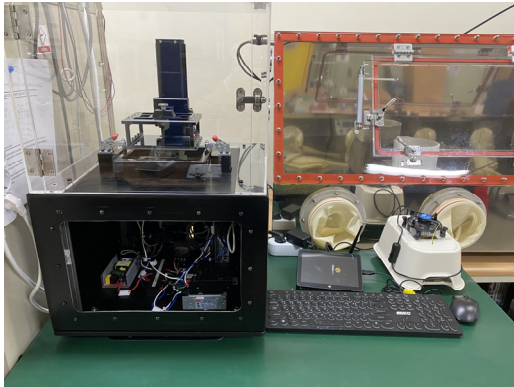


Fig. 8 LCD 3D printer

하게 되면 용융이 발생하여 각 부품은 금속을 사용해야 한다. Building platform의 bed는 출력물 제거과정에서 흡집을 고려하여 유리 또는 금속을 사용하여 출력변수를 줄여주어야 한다.

3. 전자 제어 장비와 알고리즘

서보모터 팩은 LS Mcapion, L7 시리즈로 펄스 방식으로 모터를 제어하며 최대 1 : 5000의 속도제어, ±1%의 반복 정밀도 토크의 성능으로 RS-422 통신을 사용하여 전체 서버를 관리할 수 있다. 서보모터는 모터 팩, 케이블과 연결되어 모터제어, 원점 위치 설정 등 입력값에 따라 최대 100 W, 3000 rpm의 출력을 낼 수 있어 3D 프린터의 부품 무게로 모터에 과부하가 생기지 않는 모터를 선정하였다. 따라서 서보모터 팩과 통신을 읽도록 알고리즘 연동을 통해 모터의 승, 하강이송 속도, layer 높이, 이형 거리 조건에 설정값을 입력할 수 있도록 프로그래밍하여 3D 프린터를 운용할 수 있다.

3D 프린터에 전원을 공급하도록 24V SMPS와 연결하여 전류를 공급하며 단자대를 통해 서보모터 팩, LED power driver, cooler로 각각 전류를 공급하며 서보모터의 전류를 릴레이 소켓 내부에서 Pulse 신호로 받았을 때 내부에 있는 판이 코일과 붙어 전류를 흘려주며 신호가 끊어지면 판이 떨어져 소켓의 반대쪽에 연결된 LED power driver에 전류가 끊어져 LED의 빛의 꺼짐이 반복되는 방식으로 경화 작업이 이루어지며 서보모터 팩에서는 신호의 끊어짐을 입력받아 모터 상승 후 액체 레진 평탄화 작업을 일정 시간 동안 할 수 있도록 알고리즘을 작성하였다. LED power driver은 LED에 전원을 공급하는 장치로 최대 100 W까지 출력하며 도막 체크를 통해 빛의 세기를 조절한다.

내부 전자장치와 LED의 발열을 떨어뜨릴 cooler에 릴레이 소켓과 배선했을 때 LED가 켜졌을 때만 cooler가 작동하지만, 독립적으로 배선하여 항상 작동하여 내부 열을 떨어뜨리도록 하였으며 cooler는 총 3개를 사용하여 외부 케이스와 연결하여 전자장치의 열을 식히는 용도와 LED의 열을 식힐 수 있도록 하였다. 다음과

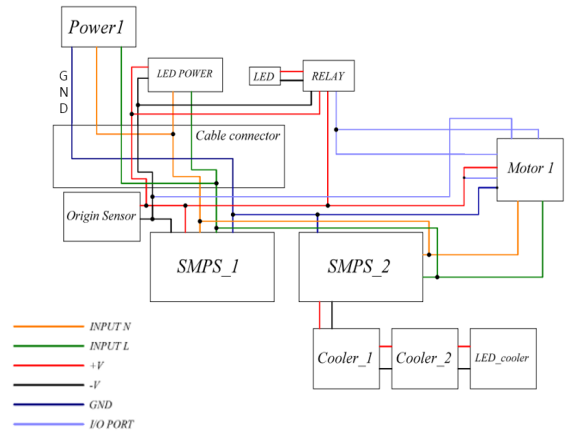


Fig. 9 3D printer electronic circuit drawing

같은 전류의 흐름을 전자도면으로 작성하였으며 input N 선은 주황색, input L 선은 초록색, +V는 빨간색, -V는 검은색, 접지 (ground)는 남색, 원점 센서와 연결된 I/O 선은 보라색으로 도면에 표시하였다.

4. 운용 프로그램 개발과 슬라이스 프로그램연동

3D 프린터를 운용하기 위해 Visual Studio의 MFC를 사용하여 프로그래밍을 진행했으며, LCD와 방식이 비슷한 DLP 장비의 프로그램 기능을 응용하였다^[7-9]. 컴퓨터와 연결되어있는 LCD는 dual monitor 방식으로 제1 모니터에서는 Window를 이용해 제어설정 창이 나타나며 제2 모니터는 3D 프린터의 LCD로 설정하여 슬라이스 파일을 띄우도록 설정하였다. 이때 LCD 제조업체마다 해상도 및 pixel이 달라 입력값과 출력값 치수가 달라지는 문제가 발생해 배율을 설정할 수 있도록 구성하였다.

Parameters의 첫 층수는 이미지 배율의 0.3배 넓은 사각 base를 제작하여 출력물 분리와 출력 안정성을 높였으며 층수별로 경화 이미지 개수와 시간을 입력하여 출력의 안정성을 높여준 이후 support 하층, 상층 순으로 출력이 진행된다. 상, 하층은 3차원 형상에 따라 지지대 위치, 개수, 밀도, 높이는 차이가 있으며 바닥에서부터 작업자가 입력한 높이 만큼 출력물이 이동하여 support가 생성되며 support 하층 층수는 base와 지지대 사이를 연결하는 support로 경화시간은 출력물 출력시간 값을 입력한다. Support 상층 층수는 형체까지 연결하여 출력물을 지지할 수 있어 형체 이미지 파일을 포함하게 되면 조금 더 안정적인 출력이 가능해지며 경화시간은 비교적 길게 값을 입력해야 출력물과 안정적으로 고정하여 출력과정에서 출력물이 떨어지는 현상이 발생하지 않는다.

조사시간은 레진 점도에 따라 달라지며 같은 점도를 가진 레진이라도 색상에 따라 달라져 레진에 따른 출력시간 결정 방법은 도막

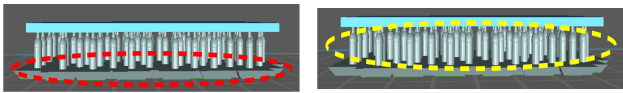


Fig. 10 Support lower & upper floor



Fig. 11 Appropriate time measurement method

체크를 진행하며 적절한 값을 찾아야 한다^[10]. 한 장의 경화시간을 찾기 위해서는 이미지 한 장을 경화 후 두께를 측정했을 때 0.2 mm 이상 측정될 때 안정적으로 출력되었지만, 빛의 세기가 너무 강할 경우 출력물 주위에 얇은 막이 생겨 레진 낭비와 피막 제거 작업과정에서 Teflon film의 수명을 낮추는 문제가 있어 적절한 값을 찾는 것이 중요하다.

최종적으로 입력된 시간만큼 이미지 파일이 바뀌면서 출력이 이루어지며 입력 적층 두께만큼 높이가 증가하며 적층 되고 이외의 모든 경우를 고려하여 입력창 및 버튼을 구성하여 프로그램을 개발하였다.

슬라이스 program은 유료 소프트웨어도 많지만, 이는 개발 자사의 3D 프린터 출력 조건에 맞춰진 프로그램이 많으며 지속적인 프로그램 유지비용이 지출되어 무료 소프트웨어인 Chitubox를 사용하였다. 본 소프트웨어는 유료프로그램만큼 support 생성조건 및 슬라이스 통한 png 파일을 생성할 수 있으며 출력 설정값 변경을 통해 제작된 3D 프린터 출력 조건에 맞게 기본값을 설정할 수 있는 장점이 있어 actuator와 PLC 모터의 성능을 기본값으로 설정해 이미지 파일 개수와 출력 소요시간을 일치하도록 하여 제작한 LCD 3D 프린터와 연동할 수 있도록 설정하였다.

설정값을 확인하기 위해 출력 테스트를 했을 때 LCD 3D 프린터 특성상 경화하는데 여러 조건이 필요하며 레진에 따른 경화시간 차이와 지지대 설정에 4가지 예를 들 수 있다.

(a) 문제는 불필요한 레진 소모를 줄이기 위해 지지대를 적게 생성하게 되면 출력 중 형상의 무게로 인해 출력물이 떨어지는 현상이 발생하여 지지대를 굵게 하는 방법, 개수를 늘리는 방법, 상층

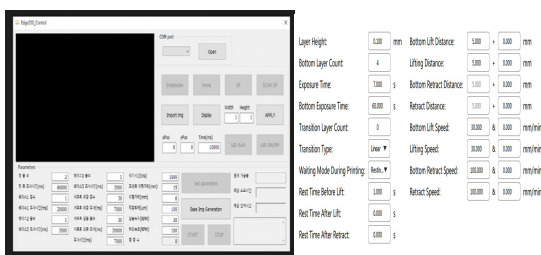
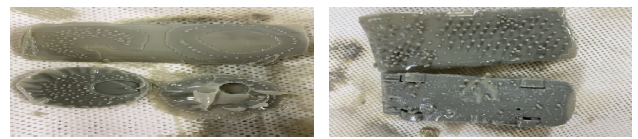


Fig. 12 3D printer control window & settings

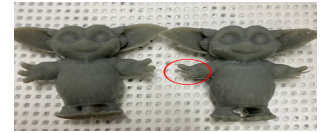


(a) Problem 1

(b) Problem 2



(c) Problem 3



(d) Problem 4

Fig. 13 Problems

support 경화시간을 늘리는 방법이 있다. (b) 문제는 반대로 support를 많이 생성한 경우 지지대 제거 작업 시간 증가와 불필요한 위치에 지지대가 생성되어 레진 낭비를 초래하며 깔끔하게 제거되지 않는 문제가 발생하여 지지대 밀도를 50~70% 사이로 지정하여 생성 및 경화시간을 줄여 강도를 낮추며 문제를 해결하였다. (c) 문제는 지지대 경화시간이 높게 입력되었을 때 발생하는 문제로 지지대와 출력 형상의 접점이 강하게 경화되어 제거과정에서 출력물이 훼손된 문제로 경화시간을 낮추는 방법과 지지대를 추가하여 출력 안정성을 높이는 방법이 있다. (d) 문제는 지지대를 생성해야 하는 위치에 생성하지 않았을 때 발생된 문제로 오른쪽 출력물의 손가락 부분의 지지대를 제거했을 때 공중에 뜬 상태로 출력되어 제대로 출력되지 않고 무너진 현상으로 지지대의 밀도를 높여 추가 적으로 지지대를 생성해 출력물을 지지해 주는 방법과 출

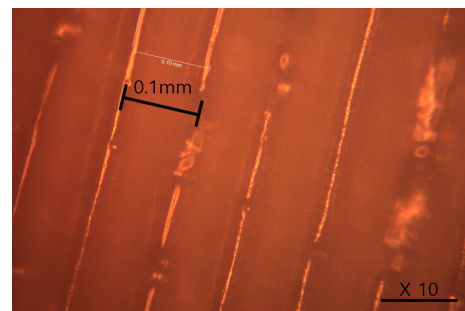


Fig. 14 Layer spacing measurement



Fig. 15 Performance experiment

력물의 출력 각도 변경을 통해 문제를 해결할 수 있다.

최종적으로 본 제작과 구동을 통해 알루미늄과 같은 금속과 플라스틱을 사용하는 부품을 고려한 제작 방법, 장비 소형화 및 저가형 부품사용을 통해 기존 고가의 SLA 3D 프린터를 대체할 수 있는 저가이지만 높은 정밀도를 가진 LCD 3D 프린터를 제작할 수 있으며, 무료 프로그램사용을 통해 유지비용 없이 지속적인 사용을 할 수 있다.

5. 출력 실험

고가의 SLA 3D 프린터와 제작된 3D 프린터의 layer 간격 비교를 통해 저가형 LCD 3D 프린터의 성능 증명 실험을 진행하였다. 가격 및 최대 출력 크기가 비슷한 SLA 3D 프린터를 구매하여 실험하기에는 제약이 있어 제품 성능 표를 통해 확인했을 때 25~300 μm 의 적층 두께 성능을 지닌 것을 확인하였으며^[11] 제작된 LCD 3D 프린터는 50, 100 μm 값을 입력하여 출력 후 현미경을 사용해 layer 간격을 측정한 결과 입력된 값으로 일정하게 적층 된 것을 확인하였다.

따라서 모터와 actuator 성능에 따라 적층 두께의 최소 layer 간격을 설정할 수 있으며 장비 정밀도의 우수성은 layer 간격에 따른 출력물 정밀도와 직결되므로 비슷한 가격의 SLA 3D 프린터와 비교했을 때 25 μm 차이가 있지만, 출력속도를 고려하였을 때 SLA 3D 프린터보다 빠르고, 대등하게 정밀한 LCD 3D 프린터를 제작했음을 확인하였다.

제작된 LCD 3D 프린터를 사용하여 다양한 형상 출력이 가능하며 SLA 3D 프린터만큼 정밀한 LCD 3D 프린터를 제작할 수 있다. LCD 3D 프린터를 이용해 제품의 생산속도 증가와 저렴한 가격을 통한 보급 확대를 통해 임플란트와 같이 기존 고가였던 개인 맞춤형 제품의 가격 또한 낮출 수 있다.

6. 결론

본 연구는 기존 고가였던 SLA 3D 프린터의 문제점을 개선한 LCD 3D 프린터를 제작하여 가격은 저렴하지만, SLA 3D 프린터만큼 좋은 성능을 가졌으며 레진의 범용성과 쉬운 사용방법으로 3D 프린터 시장의 활성화를 기대할 수 있으며 추후 부품의 재료 변경을 통해 좀 더 저렴한 LCD 3D 프린터를 제작할 수 있다.

후 기

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No. 2021-0-00447, 30%)과 2021~



2022년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력 기반 지역혁신 사업의 결과입니다. (2021RIS-003, 2021RIS-004, 70%)

References

- [1] Choi, B. J., Yang, J. Y., Lee, M. G., Jeon, Y. H., 2021, Defect Analysis of Metal 3D Printing Process, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:1 92-98, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.1.92>.
- [2] Jung, C. H., Lee, M. G., Jeon, Y. H., 2021, Metal 3D Printing Simulation through Thermal-structure Coupled Numerical Analysis, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:5 389-395, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.5.389>.
- [3] Choi, E. J., Kim, S. A., Bae, J. Y., Lee, K. H., 2013, A Study on the State-of-the-Art of 3D Printers, Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, 21:2 385-388.
- [4] Lee, J. J., 2016, 3D Printing for Biomedical Use Technology Utilization and Prospects, The Magazine of the IEIE, 43:8 20-29, <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201626542339747.page>.
- [5] Shin, G. S., Kweon, H. K., Kang, Y. G., 2017, The Influence of Experiment Variables on DLP 3D Printing using ART Resin, J. Korean Soc. Manuf. Proc. Eng., 16:6 101-108, <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2017.16.6.101>.
- [6] Jang, M., Oh, A. S., 2017, Design of 3D Printer Based on SLA Using LSU and Test of Scanning Mechanism, Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, 21:6 1225-1230, <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.6.1225>.
- [7] Jo, K. H., Lee, S. H., Jang, H. S., Ha, Y. M., 2015, Development of 3D Printer Using LCD and UV-LED, Proc. Korean Soc. Precis. Eng. Autumn Conf. 2015, 607-608.
- [8] Gupta, P., Bhat, M., Khamkar, V., Tandel, G., Salunkhe, G., 2020, Designing of Cost Effective Resin 3D Printer using UV LED, International Conference on Convergence to Digital World-Quo Vadis (ICCDW), 1-4, <https://doi.org/10.1109/iccdw45521.2020.9318691>.
- [9] Quan, H., Zhang, T., Xu, H., Luo, S., Nie, J., Zhu, Xi., 2020, Photo-curing 3D Printing Technique and its Challenges, Bioactive Materials, 5:1 110-115, <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2019.12.003>.
- [10] Piedra-Cascón, W., Krishnamurthy, V., Att, W., Revilla-León, M., 2021, 3D Printing Parameters, Supporting Structures,

Slicing, and Post-processing Procedures of Vat-polymerization Additive Manufacturing Technologies, J. Dent., 109 103630, <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103630>.

[11] 3D printer store, n.d., viewed 31 January 2023, <https://3dprinterstore.co.kr/product/detail.html?product_no=243&cate_no=132&display_group=1>.

	<p>Siheon Seong Ma. D. Candidate in the School of Mechanical Engineering, Inje University. His research interest is Mechanical Engineering. E-mail: ssh831@oasis.inje.ac.kr</p>
	<p>Seongbeom Lee Professor in the Department of Electronic, Telecommunications, Mechanical and Automotive Engineering, Inje University. His research interest is Mechanical Engineering. E-mail: mechlsb@inje.ac.kr</p>
	<p>Hyunchul Kim Professor in the Department of Future Automotive Engineering, Kongju National University. His research interest is CAD/CAM and Precision Machining. E-mail: khc@kongju.ac.kr</p>