

전사방식 광조형 시스템의 해상도 최적화를 통한 출력물의 정밀도 향상

김영흠^a, 김규언^a, 이치범^{a*}Accuracy Improvement of Output in Projection Stereolithography by
Optimizing Projection ResolutionYeong-Heum Kim^a, Kyu-Eon Kim^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 16 September 2015
Revised 6 November 2015
Accepted 19 November 2015

Keywords:

3D Printer
Stereolithography
Projection
DLP Printer
Constraint surface
Scalable

ABSTRACT

Projection stereolithography is an additive manufacturing method that uses beam projection to cure the photo-reactive resin used. The light source of a cross-section layer-form illuminates photo-curable resin for building a three-dimensional (3D) model. This method has high accuracy and a fast molding speed because the processing unit is a face instead of a dot. This study describes a Scalable Projection Stereolithography 3D Printing System for improving the accuracy of the stereolithography. In a conventional projection 3D printer, when printing a small sized model, many pixels are not used in the projection or curing. The proposed system solves this problem through an optical adjustment, and keeps using the original image as possible as filling the whole projection area. The experimental verification shows that the proposed system can maintain the highest level of precision regardless of the output size.

1. 서론

일반적으로 3D 프린팅이라고 불리는 적층 가공(additive manufacturing)은 기존의 절삭 위주의 가공 방식과 다르게 재료를 덧붙이면서 입체 형상을 제조한다. 과거의 시제품 쾌속 조형(rapid prototyping)의 수준을 넘어 양산에 사용할 수 있는 가공 방식으로 발전하고 있다. 가장 보편적인 적층 가공 방식은 재료를 목표지점에 분사시키고, 이를 냉각하여 굳혀나가며 형태를 제작하는 FDM(fused deposition modeling)이다. FDM은 경제적이라는 장점이 있지만, 출력속도가 느리고, 정밀도가 떨어진다. 또 다른 방식으로 SLS(selective laser sintering)가 있는데 주로 강성이

높은 플라스틱이나 금속을 가공할 때 사용하는 방식으로, 분말 재료를 층층이 쌓으면서 레이저를 사용해 선택적으로 소결하여 가공한다. SLS는 금속을 가공할 수 있다는 장점이 있지만, 기구와 재료가 매우 고가이고 분말을 소결하기 때문에 후처리 시 변형이 발생한다는 문제가 있다. 이 외에도 LOM(laminated object manufacturing), LENS(laser engineered net shaping) 등 다양한 방식의 적층 가공법이 존재한다¹⁻³⁾.

본 연구에 사용된 적층 가공 방식은 SLA(stereolithography apparatus)⁴⁾로 광경화성 수지(photo-curable resin)와 광원을 이용하는 방식이다. 광경화성 수지는 일반적으로 액체 상태에 존재하다가 자외선이나 전자선 등의 빛에너지에 의해 경화가 되어 고

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

Fax: +82-2-974-8270

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

체가 된다. 광경화성 수지는 일반적으로 중간체(oligomer), 단량체(monomer)와 광개시제(photo-initiator)의 혼합물이다^[5]. 과거에는 광원으로 주로 레이저를 사용하였으나, 최근에는 빔-프로젝터를 많이 사용한다. 빔-프로젝터를 사용하면, 고가의 레이저에 비하여 정밀도가 떨어지지만, 면 단위로 조형하기 때문에 점 단위로 가공하는 레이저보다 출력속도가 빠르고, 기구의 구성도 간단해진다. 빔-프로젝터를 사용하는 SLA방식을 PSLA(projection stereolithography)^[6] 또는 3D DLP(digital light processing)이라고 한다.

PSLA 방식은 출력과정의 형태에 따라 자유표면기법(free surface method)과 규제액면기법(constraint surface method)으로 나뉜다^[7,8]. 자유표면기법은 광원을 광경화성 수지 위에서 투사하여 경화시키는 방식으로, 출력물이 수지 속으로 점차 잠기는 과정을 반복하며 수지 표면에서 조형된다. Fig. 1에 나타난 규제액면기법은 광원(Fig. 1(d))에서 광경화성 수지를 담은 수조(Fig. 1(c))의 투명한 바닥면에 상을 투사하여 경화시키는 방식으로, 출력물이 거꾸로 매달린 채 조형된다. 출력물은 출력판(Fig. 1(a))에 붙어 올라오게 되며, 이송장치(Fig. 1(b))를 이용하여 이를 조금씩 들어 올린다. 자유표면기법은 출력물의 크기가 증가함에 따라 수지의 양과 이를 담은 용기의 크기가 대폭 증가한다. 하지만 규제액면기법은 수지를 절약할 수 있고 출력물의 높이에 대한 제약이 적다. 또한, 자유표면기법은 적층 두께가 수지의 표면장력에 영향을 받기 때문에 얇고 일정하게 출력하기 어렵다. 반면 규제액면기법은 수조 바닥면으로 막혀있는 액면을 얼마만큼 출력판과 출력물로 제한하는

지에 따라 적층 두께가 결정되기 때문에 얇고 일정하게 조형할 수 있다^[9]. 본 연구에서는 규제액면기법을 채택하여 시스템을 구성하였다.

PSLA 방식은 출력 가능한 최대 단면 크기가 광경화성 수지에 투사되는 상의 크기와 같으며, 출력물의 정밀도는 투영되는 면의 각 픽셀(pixel) 크기와 z축 이송을 포함한 복셀(voxel) 크기에 의해 결정된다. 그러므로, 상용 PSLA 프린터들의 경우, 최대 출력물의 크기가 크면 정밀도가 떨어지고, 출력물의 크기가 작으면 정밀도가 우수하다. 최대 출력물보다 월등히 작은 크기의 출력물을 제작하려면 광경화성 수지에 전사되는 단면 이미지를 작게 만들어야 한다. 이러한 이미지 변환 과정에서 복셀의 손실이 발생한다. Fig. 2(a)와 같은 8×8 비트맵 이미지 단면을 1/4크기로 줄이는 경우를 가정하면, 소프트웨어에서 상의 크기를 줄이는 방법은 4×4 픽셀 사이즈의 축소된 이미지를 다시 생성하는 것이다. 이 경우, Fig. 2(b)와 같이 픽셀이 뭉개진다. 하지만 만약 빔-프로젝터에서 출력되는 상의 크기를 렌즈 등의 광학계를 통해 줄일 수 있다면 8×8 픽셀 사이즈의 초기 이미지를 그대로 사용하면서 Fig. 2(c)와 같이 픽셀 손상 없이 단면을 축소할 수 있다. 본 연구에서는 광학계를 이용하여 광경화 수지에 투영되는 상의 크기를 조절하여 최대해상도를 유지하고, 성형 크기에 최적화된 정밀도로 성형하는 방법에 대하여 연구를 수행하였다.

2. 시스템 구성

2.1 투영면 가변 전사방식 광조형 (Scalable PSLA)

Fig. 1의 규제액면기법 구성요소들을 포함하여 투영면의 크기를 자유롭게 조절할 수 있는 시스템을 Fig. 3과 같이 고안하였다. 수조 바닥에 맺히는 빔-프로젝터 상의 크기를 키우려면 광원과 수조의 거리가 멀어져야 한다. 반대로 상의 크기를 줄이려면 거리를 좁혀야 한다. 이를 위해 빔-프로젝터를 상하로 이송하기 위해 Fig. 3(c)와 같이 빔-프로젝터 이송장치를 부착하였다. 또한 빔-프로젝터가 움직이면 초점거리가 변하기 때문에 초점을 조절해줄 광학계가 필요하여 초점 조절장치(Fig. 3(b))를 부착하였다. 광원과 수조가 너

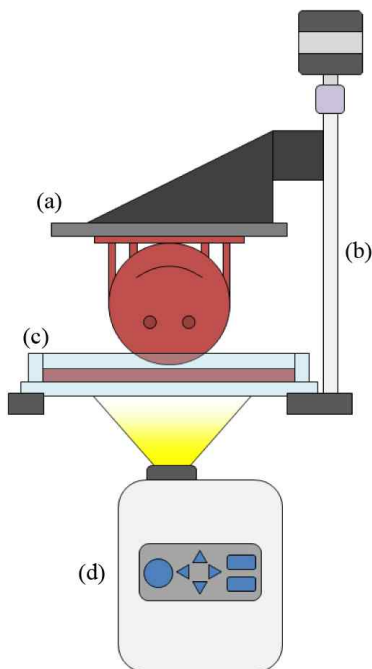


Fig. 1 Schematic of constrained surface method

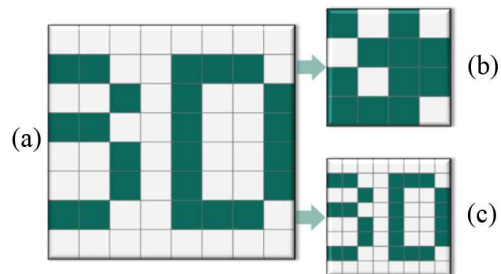


Fig. 2 Comparison of digital and optical scaling

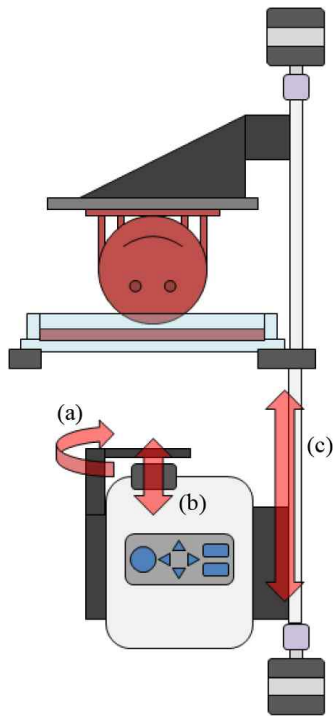


Fig. 3 Scalable DLP system schematic

무 가까워지면 광경화성 수지에 가해지는 빛 에너지가 증가하여 빔-프로젝터에서 출력되는 검정색 상에도 경화반응이 일어난다. 이를 방지하기 위해 Fig. 3(a)와 같이 빔-프로젝터 출력부에 셔터를 설치하여 의도한 경화시간 이외에는 광원을 차단하였다.

2.2 기구 제작

Fig. 4는 위에서 기술한 장치를 구현한 제작된 장비를 보여준다. 제작된 장비는 폭과 너비가 466 mm이고, 높이는 1,275 mm이다. 최대 성형 높이는 220 mm이고, 높이 방향 정밀도는 0.01 mm이다. 성형 가능한 최대 단면 크기는 110×150 mm²이고, 최소 단면 크기는 40×30 mm²이며, 단면 최대 정밀도는 0.05 mm²이다.

Fig. 4(b)는 출력물 상향 이송장치이며, 스테퍼 모터(Sanyo Denki사 103H7123-04425)와 볼-스크류로 구성된 리니어 액추에이터를 사용하였다. 스테퍼 모터의 최대 토크는 0.83 Nm이고, 바퀴당 200 펄스의 분해능을 가지고 있으며, 볼 스크류의 리드는 2 mm/rev이고, 최대 이송 거리는 220 mm이다. 펄스 당 출력관 축의 이송 분해능은 0.01 mm이지만, 실제 모터드라이브(NTRexLab사 NT-BST2403)에서 마이크로 스테핑을 이용하므로 이를 16배인 0.625 μm까지 증가시킬 수 있다. 출력관도 아크릴과 알루미늄 판재를 가공하여 제작하였다. 출력관의 바닥 부분은 위에서 설명한 수조와는 반대로 출력물이 잘 붙을 수 있는 재질이어야 한다. 또한 출력물을 떼어내기 쉽도록 출력관을 탈착 가능한 구조로 제작하였다.

출력물과 수조 바닥이 쉽게 떨어지고, 수지가 고르게 혼합될 수

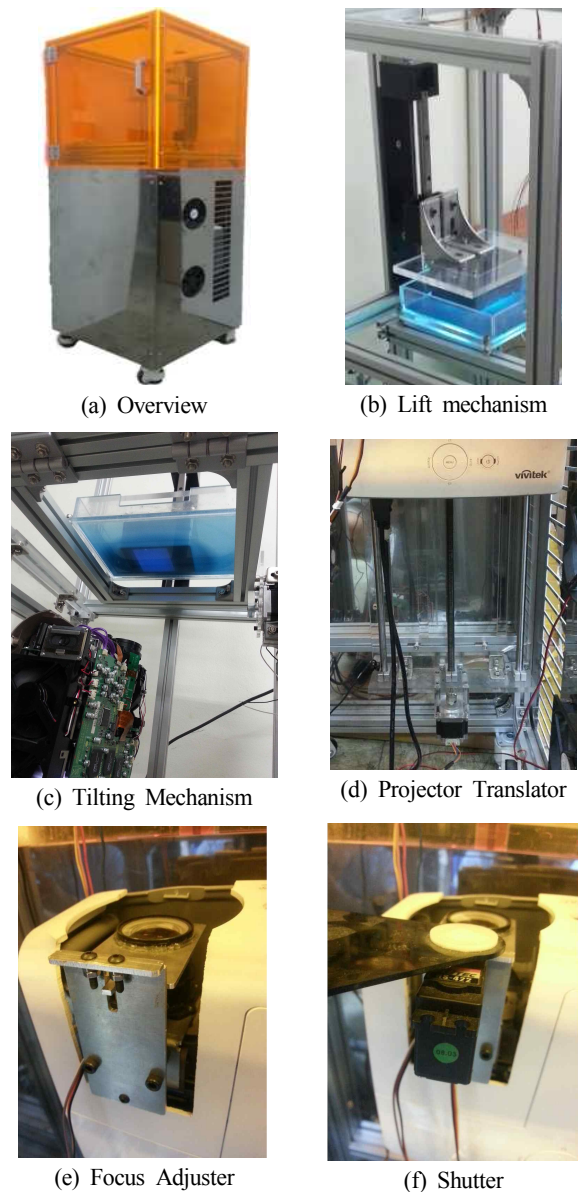


Fig. 4 Scalable PSLA 3D printer

있도록 Fig. 4(c)에 보이는 것과 같이 경첩과 캠을 사용하는 틸팅 기구를 부착하였다. 수조는 알루미늄 판재와 아크릴 판재를 가공하여 제작하였으며, 하판을 교체하기 쉽도록 제작하였다.

수조에 전사되는 상의 크기를 조절하기 위해 Fig. 4(d)와 같은 아크릴판, 볼스크류, 스테퍼 모터를 사용하여 빔-프로젝터 이송장치를 부착하였다. 스테퍼 모터는 출력관 축과 동일하다. 볼 스크류의 리드는 2 mm/rev이고, 최대 이송거리는 400 mm이다.

광원으로 DLP(digital light processing)방식의 상용 빔-프로젝터인 'Vivitek사의 D-554를 사용하였다. 이 빔-프로젝터는 800×600 픽셀 해상도와 3,000 루멘의 광량을 가지고 있다. 이 빔-프로젝터는 3개의 렌즈 조합을 포함하는 데, 투영면의 크기를 조절하기 위하여 빔-프로젝터 내부에 위치하는 렌즈를 이용한다. 그러나 단

거리에서 초점을 조절하기 위해서, 가장 외곽에 있는 초점 렌즈를 개조하였으며, Fig. 4(e)와 같이 자동 초점 조절장치를 부착하였다 (Fig. 3(B)에 해당). 알루미늄 판재를 가공해 제작하였고, 리니어 액츄에이터는 Potenit사의 PLS-3050을 사용하였으며, 본 연구에서는 4 mm 범위에서 0.05 mm의 분해능으로 움직이도록 했다.

앞서 언급한 대로 불필요한 경화를 막기 위해 Fig. 4(f)와 같이 셔터를 부착하여 조영하지 않을 때 광원을 확실히 차단하였다. 열고 닫는 두 개의 동작밖에 하지 않으므로 운동 정밀도는 고려하지 않았다.

규제액면기법으로 출력 시 발생하는 문제 중 하나가 출력물과 수조 바닥면의 이형이다. 바닥면으로 PDMS(polydimethylsiloxane)나 테프론 코팅을 이용하는 경우가 많다. PDMS의 경우, Fig. 5에 나타난 것과 같이 오랜 시간 사용하면 표면이 아크릴계 광경화성 수지와 반응하여 불투명하게 변화면서 떨어져나가기 때문에, 정밀도를 떨어뜨리는 단점이 있다. 테프론의 코팅의 경우 PDMS보다 오랜 시간을 사용할 수 있지만 투과율이 뛰어나지 않고, 교체 비용이 크다. 본 연구에서는 투명 아크릴에 Scientific Commodities사의 FEP(fluorinated ethylene propylene) 필름을 부착하여 사용하였다¹⁰⁾. FEP 필름은 상대적으로 가격이 저렴하고, 제작된 교체형 수조에 장착이 용이하다.

2.3 제어시스템 구성

3D 프린터를 하드웨어를 제어하기 위하여 TI사의 마이크로컨트롤러 TM320FS2812를 내장한 Robocube사의 EasyCube 보드를 이용하였다. 펌웨어에서는 PC 영상과 동기화하여 스테퍼-모터 3개와 서보-모터 2개, 포토-센서 3개를 제어한다. 1 ms 간격의 타이머 인터럽트 루프에 스테퍼 모터 제어 코드를 작성했으며, 0.1 ms 간격의 타이머 인터럽트 루프에 서보모터 제어를 위한 PWM 생성

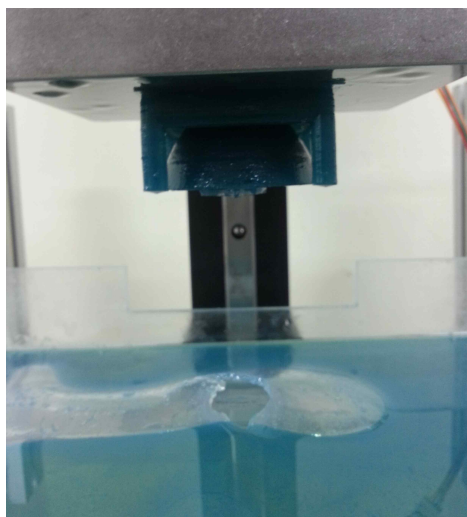


Fig. 5 Flaking of PDMS coating

코드를 작성하였다. PC와 RS-232 통신을 이용하여 프로젝터의 영상을 동기화하였으며, 통신 프로토콜은 자체적으로 정해 사용했다. 출력물 이송축, 빔-프로젝터 이송축, 수조 틸팅용 모터의 변위를 지정, 초점렌즈용 리니어 서보 액츄에이터와 렌즈 셔터의 변위를 제어하는 PWM 신호의 듀티비(duty ratio)를 지정하는 프로토콜이 프린터의 기구를 직접적으로 제어하는 주요 프로토콜들이다. 부수적으로 각 기구의 현재 위치를 출력하는 프로토콜이 있다. 통신에서 PC가 마스터가 되어 명령을 하달하는 식으로 프린팅 과정이 진행된다.

이밖에 스테퍼-모터를 제어하기 위해 스테퍼-모터 드라이버 (NTRexLab사 NT-BST2403)를 사용하였으며, 모든 모터는 동시에 동작 가능하다. 회로에 사용되는 전원은 24 V, 9 V, 5 V의 세 종류이므로, 주전원에서 24 V를 받아 각각 9 V, 5 V로 변압시키는 스위칭 레귤레이터 회로와 쿨링팬 전원 회로를 별도로 제작하였다.

2.4 PC 소프트웨어 개발

3D 프린팅을 구현하는 PC 소프트웨어는 크게 세 부분 구성되는데, 출력할 입체형상의 모습을 보여주는 3D 모델 뷰어(3D Model Viewer), 3D 모델을 잘라서 단면 이미지를 만들어 내는 슬라이서 (Slicer), 프린터와의 통신을 통해 기구 제어 명령을 내려 출력 과정을 관장하는 제어 프로그램이다. 3D 모델 뷰어는 Fig. 6과 같이 구성했으며, 향후 본 프로그램을 통하여 서포트를 부착하는 알고리즘을 개발하기 용이하도록 MATLAB을 사용하였다.

Fig. 7의 슬라이서는 stl 형식의 파일을 읽어 들이고, 모델의 폭, 너비, 높이를 설정하여, 설정에 따라 단면을 자르는 과정을 수행한다. 이 프로그램도 MATLAB으로 구현하였다. 모델의 단면을 구하기 위해서는 일단 단면을 구할 높이를 지정해야 한다. 그리고 지면과 평행하면서 해당 높이에 위치한 가상의 평면과 접하는 3D 모델의 모든 조각 면을 구하고, 그 조각들과 가상의 평면과의 접선을 모두 구한 뒤 저장한다. 그 접선들이 이루는 다각형의 안쪽 부분

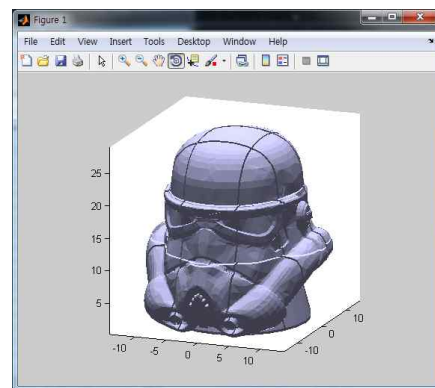


Fig. 6 3D model viewer program

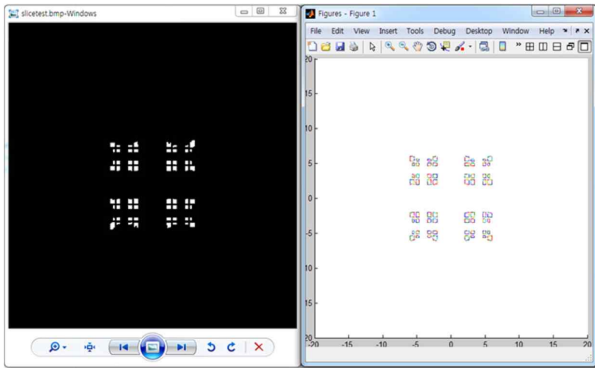


Fig. 7 Slicer program

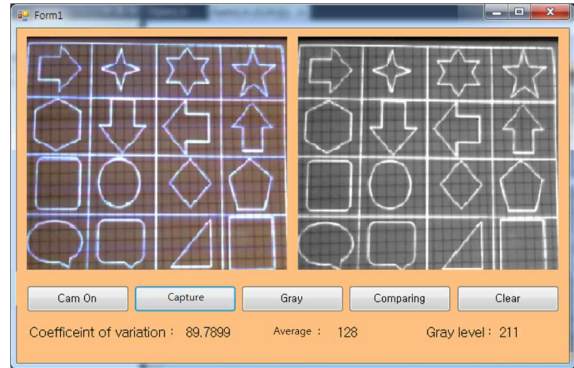


Fig. 9 Focus calibration test

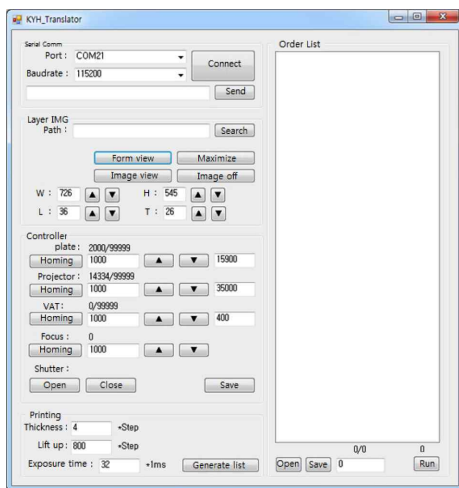


Fig. 8 Scalable PSLA controller

을 희게 만들고 바깥쪽 부분은 검게 만들어서 이미지를 출력해 내면 단면 하나가 만들어진다. stl파일이 슬라이서를 거치면 단면 별로 여러 장의 비트맵 이미지 파일들이 생성된다.

3D 모델 뷰어와 슬라이서는 전처리기의 개념이며 실제 광조형 과정은 Fig. 8에 나타난 제어 프로그램에 의해 하드웨어와 통신을 하며 이루어진다. 제어 프로그램은 통신 설정, 기구 제어, 출력 설정 부분으로 나뉜다. 설정에서 마이크로컨트롤러 펌웨어 및 빔-프로젝터와 통신을 연결하고, 기구위치를 설정하고 실행하는 순서를 거치면 모델이 출력된다. 미리 단면 이미지가 담겨있는 폴더 경로를 설정해 두면, 이미지가 순차적으로 출력되며, 각 이미지 사이의 영상 휴지기에 일련의 명령문을 차례대로 펌웨어에 전송한다. 이 프로그램은 Visual Basic 언어로 구현하였다.

3. 최적 성형조건 도출

수조에 맺히는 상의 크기를 조절하기 위해서는 광원과의 거리를 조절해야 한다. 앞서 제어프로그램의 설정에서 상의 크기를 지정하면 Fig. 4(d)의 빔-프로젝터 이송장치가 광원의 위치를 이동한다.

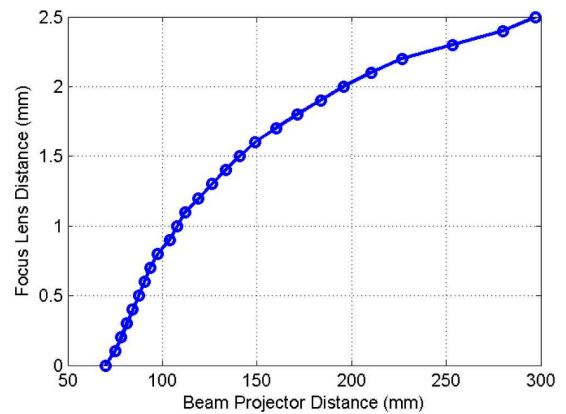


Fig. 10 Focus lens distance

이 때 투영 이미지의 초점이 흐려지므로 Fig. 4(e)의 초점 조절기능을 이용하여 초점을 맞추게 된다.

초점 조절을 위하여 기존에 빔-프로젝터에 포함되어있는 초점렌즈를 이용하였다. 사용한 D-554 프로젝터에는 초점렌즈 이외에 두 개의 렌즈가 존재하여 색수차 보정 등에 이용된다. 초점 거리는 렌즈의 정보가 구체적으로 주어지면 광학식에 의해 결정할 수 있으나, 프로젝터의 광학계에 대한 구체적인 데이터가 공개되어 있지 않으므로, 실험을 통하여 초점 거리를 직접 구하였다. Fig. 9와 영상 캘리브레이션 프로그램을 제작하여 출력판 위치에 화상 카메라를 부착하고 수조 바닥에 투영되는 이미지의 선명도(sharpness)를 측정했다. 카메라에 입력되는 이미지를 흑백 변환하여 명도의 분포도를 계산하여 분포가 가장 적을 때 초점거리를 기록했다. Fig. 10은 빔-프로젝터와 수조의 거리변화에 따라 선명도가 가장 높은 초점 렌즈와 광원의 거리 그래프이다.

다음으로 광경화성 수지의 경화시간에 대한 시험을 수행하였다. 광원이 멀어지면 단위면적 당 광에너지가 줄어들어서 광경화성 수지를 경화시키는 시간이 더 길어진다. 따라서 상의 크기를 조절하기 위해 광원을 이동시켰다면 경화시간도 다르게 적용해야 한다. 이 경화 시간은 광경화성 수지의 성분에 크게 의존하므로 수지 별로 다르게 적용되어야 하며, 본 연구에서는 Maker Juice Labs사

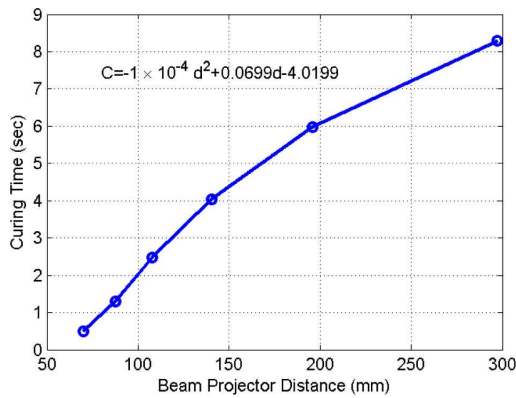


Fig. 11 Curing time

의 Maker Juice G+ 녹색과 청색을 사용하였다. 참고로 본 연구에서는 경화 효율을 높이기 위하여 빔-프로젝터 내부의 UV 필터를 제거하였다. 경화시간은 거리별로 반복실험을 통해 측정하였고 녹색과 청색의 차이는 미미하였다. 일정 경화 시간이 경과한 후에는 과경화가 발생하여 주변부가 경화되거나 경화면의 변형이 발생하였다. Fig. 11은 광원과 수조의 거리 변화에 따른 최적의 경화시간을 표시한 그래프이다. 기구의 최대 행정거리 범위 안에서의 단면 크기가 최소인 경우의 최적 경화시간은 0.7초였으며, 광원이 가장 멀어서 단면 크기가 최대인 경우의 최적 경화 시간은 8초였다. 이 실험 데이터를 바탕으로 회귀곡선을 계산하면 식 (1)과 같으며, 이를 프로그램에 포함하여 단면크기별 빔-프로젝터 투사시간의 기본값으로 이용하였다.

$$C = -1 \times 10^{-4}d^2 + 0.0699d - 4.0199 \quad (1)$$

4. 출력 실험 및 결과

시스템의 효율성을 확인하기 위해 동일한 단면을 가장 높은 정밀도를 보일 것이라고 기대되는 조건과 낮은 정밀도를 보일 것이라고 생각되는 조건으로 각각 출력해 보았다. Fig. 12(a)의 이미지를 표본으로 사용하였다. Fig. 12(b)는 출력을 위해 빔-프로젝터에서 단면 형상을 수조에 전사하고 있는 모습이다.

Fig. 12(c)는 높은 정밀도를 지니도록 출력한 경우로, 수조와 광원의 거리는 70 mm이고, 최대 투영면의 크기는 50×37.5 mm이다. 단면 당 경화시간은 0.7초이다. Fig. 12(d)는 정밀도를 낮추는 대신 단면의 크기를 크게 한 경우로 광원과 수조의 거리는 285 mm이고, 최대 투영면의 크기는 150 mm×110 mm이다. 이때 단면 당 경화시간은 8.2초를 사용하였다. 두 경우에 대해서 동일한 출력물의 크기(직경 36 mm)를 갖도록 출력하였으며, Fig. 12(c)와 (d)에서 적색 사각형으로 표시한 부분은 빔-프로젝터 전체 상의 크기이다. Fig. 12(c)의 경우에는 최대 투영면에서 단면 이미지가

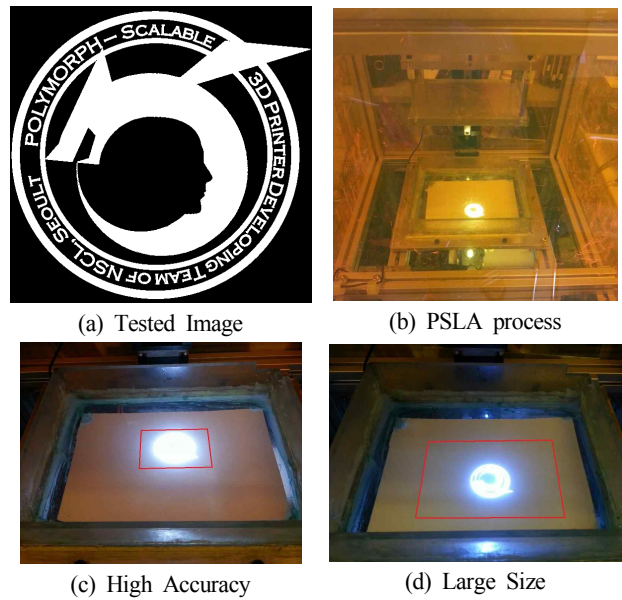


Fig. 12 Test image and PSLA process

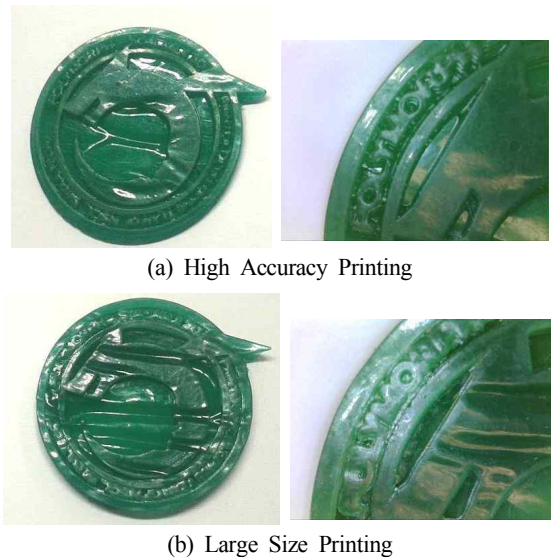


Fig. 13 Comparison of high accuracy and large size printing

차지하는 비율이 높고, Fig. 12(d)는 그 비율이 낮다. 출력 결과물을 비교하면 Fig. 13(a)가 더 선명하게 출력된 것을 육안으로도 확인할 수 있으며, 이는 우측의 USB 현미경의 사진에서 확연히 나타난다. 당연한 결과이나 Fig. 13(a)가 빔-프로젝터에서 더 많은 픽셀을 사용하여 표현하였으므로 정밀도가 높다.

정량적인 분석을 위하여 Fig. 14(a)의 이미지를 이용하여 최소 성형 사이즈를 비교하였다. 이미지에는 1×1 픽셀에서부터 20×20 픽셀까지 20개의 정사각형 점이 일정 간격으로 배치돼 있다. 몇 개의 사각형이 출력됐는지에 따라 단면 정밀도를 측정할 수 있다. 표본 이미지는 각기 다른 초점거리에서 60×45 mm의 크기로 수조 바닥에 투영되도록 했다. 프로젝터의 해상도가 800×600이므로

1×1 픽셀은 0.075 mm²의 크기를 갖는다. Fig. 12(b)는 광원거리 156 mm, 초점렌즈 1.6 mm, 경화시간 4.5s의 조건에서, Fig. 12(c)는 각각 199 mm, 2 mm, 6s의 조건에서, Fig. 12(d)는 각각 242 mm, 2.25 mm, 7s로 출력하였다. Fig. 12(b)는 3×3 픽셀부터 성형되었으며, 정밀도는 0.225 mm이고, Fig. 12(c)의 정밀도는 0.525 mm이고 Fig. 12(d)는 8×8 픽셀부터 출력됐으므로 0.075 mm의 8배인 0.6 mm의 단면 정밀도를 갖는다. 백색광에 의한 색 수차와 수조 투영면의 산란에 의해 최소 픽셀 크기의 성형은 불가능하였지만, 광원이 수조와 가까울수록 전체적인 조형 면적은 작아지고 정밀 출력에는 유리함을 확인할 수 있다.

이러한 특성을 이용하면 3D 모델 출력 시 최상의 정밀도를 얻을 수 있다. 먼저 단면 생성 과정에서 출력하고자 하는 모델의 최대 단면크기를 확인해야 한다. 그리고 이 크기에 일치하는 상이 수조에 맞히도록 광원의 위치를 계산한다. Fig. 10의 결과를 이용하여 초점을 조정된 뒤 출력하면 해당 크기의 모델에서 광원 조절로 얻을 수 있는 최상의 출력물을 얻을 수 있다. Fig. 15는 동일한 모델에 대하여 최대 단면이 투영면에 가득 차도록 하여 다양한 크기로 출력한 예시이다.

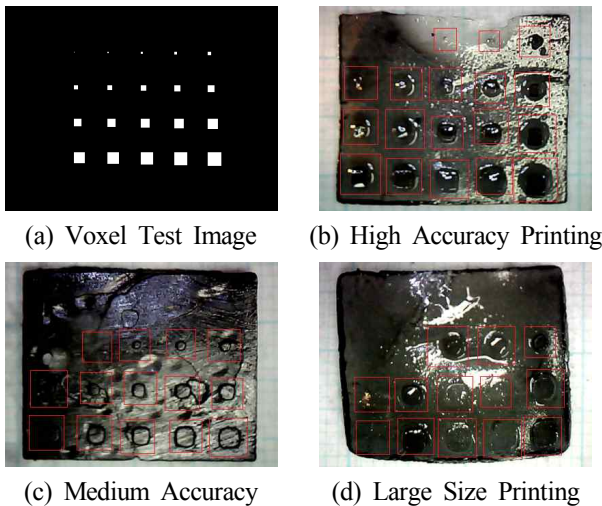


Fig. 14 Pixel resolution experiment



Fig. 15 Scalable PSLA output

5. 결론

PSLA는 광경화성 수지와 빔-프로젝터를 이용한 최근 널리 사용되는 적층 가공 기법이다. 이 시스템에서 다양한 크기의 출력물을 해당 크기에서 최상의 정밀도로 성형하기 위하여 광원을 조절해 수조에 맞히는 상의 크기를 조절하는 기구를 추가했다. 이는 각각 빔-프로젝터 이송부, 초점렌즈 조정부, 렌즈 셔터로 이루어져 있다. 각각을 제어할 수 있는 펌웨어와 PC 소프트웨어를 제작하였다.

구축한 시스템으로 최적 성형 조건을 도출하였다. 출력조건은 상의 크기를 결정하는 빔-프로젝터와 투영면 사이의 거리, 초점 렌즈의 위치, 단면 당 경화시간이다. 측정된 조건을 기반으로 고정확도를 위하여 광원과 수조의 거리를 가깝게 위치시켜 출력한 것과 대형 출력물을 위하여 광원과 수조의 거리를 멀리 떨어뜨려 놓고 작은 이미지를 사용한 출력물을 비교하여 정밀도 차이를 확인하였다. 모델 일부분의 출력여부가 서로 달라질 정도로 정밀도의 차이가 컸다. 예상된 결과이지만, 수조와 광원의 거리를 좁히고, 상의 화면에 꼭 차는 큰 이미지를 사용하여 출력하는 것이 정밀도 향상에 유리하다. 이를 적용하여 동일한 모델을 다양한 크기로 출력하여 해당 출력 사이즈에서 최대 정밀도를 가질 수 있는 출력물을 제작하였다.

후기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Yan, X., Gu, P., 1996, A Review of Rapid Prototyping Technologies and Systems, Computer Aided Design, 28:4 307-318.
- [2] Kulkarni, P., Marsan, A., Dutta, D., 2000, A Review of Process Planning Techniques in Layered Manufacturing, Rapid Prototyping Journal, 6:1 18-35.
- [3] Park, C., Kim, M. H., Hong, S. M., Go, J.S., Shin, B.S., 2015, A Study on the Comparison Mechanical Properties of 3D Printing Prototypes with Laminating Direction, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 24:3 334-341.
- [4] Kruth, J. P., 1991, Material Increase Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques, Annals of the CIR., 40:2 603-614.
- [5] Limaye A. S., 2007, Multi-objective Process Planning Method for Mask Projection Stereolithograph, A Thesis for a Doctorate, Georgia Institute of Technology, U.S.A.

- [6] Sun, C., Fang, N., Wu, D.M, Zhang, X., 2005, Projection micro-stereolithography using Digital Micro-mirror Dynamic Mask, *Sensors and Actuators*, 121:1 113-120.
- [7] Bertsch, A., Jiguet, S., Bernhard, P., Renaud, P., 2003, Micro-stereolithography: a Review, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, 758 3-15.
- [8] Park, I.B., Choi, J.W., HA, Y.M., Lee, S.H., 2009, Multiple Fabrications of Sacrificial Layers to Enhance the Dimensional Accuracy of Microstructures in Maskless Projection Microstereolithography, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 10:1 91-98.
- [9] Huang, Y. M., Kuriyama, S., Jiang, C. P., 2004, Fundamental Study and Theoretical Analysis in Aa Constrained-surface Stereolithography System, *International Journal Adv. Manuf. Technol.*, 24:1 361-369.
- [10] Kim, H. J., Lee, S. H., 2013, Reducing Separation Force for Projection Stereolithography based on Constrained Surface Technique, A Thesis for a Master, Pusan National University, Republic of Korea.