◆특집◆ 3D 프린팅

UV-LED를 이용한 광조형 장치 개발

윤해룡*, 고태조**, 김호찬#

(*, # 안동대학교 기계자동차공학과, ** 영남대학교 기계공학과)

Development of Stereolithography Apparatus by using UV-LED

Hae-yong Yun*, Tae-Jo Ko**, Ho-Chan Kim#

(Received 10 April 2014; received in revised form 24 April 2014; accepted 28 April 2014)

ABSTRACT

The stereolithography(SL) process is a type of fabrication technology which relies on photopolymerization. It has a relatively simple fabrication process and a resolution of several tens of μm . Recently, SL technology has been applied to various areas, such as bioengineering and MEMS devices, due to the development of advanced materials. This technology can be divided into the scanning(SSL) and projection(PSL) types. In this paper, in stereolithography, parts are fabricated by curing photopolymeric resins with light. The application of stereolithography can now include fabricated parts. This process, called stereolithography, can fabricate parts by taking into account their degrees of geometry complexity. In particular, UV-LED stereolithography can perform quite rapid fabrication in which specific cross-sections are cured upon exposure to light.

Key Words : Stereolithography(광조형), Additive manufacturing(첨가 가공), uv-led(자외선 발광소자)

1. 서 론

Nano/Micro 수준의 공정기술이 발달하면서 Micro 단위의 형상 제작에 대한 관심과 투자가 꾸준히 증가하였다. 특히 정밀한 계측 장비, 측정기구 등

이 활발히 발전하면서 높은 정밀도로 제품을 제작하는 많은 연구가 진행 중이다. 그 중 최근 화제가 되고 있는 분야가 3D 프린팅 분야의 쾌속 조형 기술이다. 제품의 CAD(Computer Aided Design) 데이터로부터 각종 재료 등을 이용하여 3차원 형상을 제작하는 쾌속조형기술(Rapid Prototyping)은 꾸준히 발전되고 있다. 쾌속조형기술은 CAD)을 사용하여 툴링 이나 치구(fixturing) 없이 직 가공으로 신속하게 복잡한 구조물을 제작 할 수 있는 기술이다. 쾌속조형기술에는 Plastic 용착을 이용한 FDM(Fused Deposition Modeling), 광경화성 수지의 경화를 이용한 SLA(Stereo Lithography Apparatus), 레이저로 금속이나 플라스틱의 파티클 소재를 선택적으로 용

* School of Mechanical and Automotive Engineering, ANDONG UNIV.

** School of Mechanical Engineering, YEUNGNAM UNIV.

Corresponding Author :

School of Mechanical and Automotive Engineering, ANDONG UNIV.

E-mail : hckim@andong.ac.kr

해서 제작하는 닐(Selective Laser Sintering) 등이 있다. 여러 쾌속조형기술 중에서 복잡한 3차원 형상 제작 함에 있어 정밀한 구조물의 제작에 적합한 광조형기술이다. 광조형 기술은 광경화성 수지에 UV(Ultraviolet)를 주사하여 광경화성 수지를 경화시켜 하나의 Layer를 만들고, 만들어진 Layer 위에 다음 Layer를 만드는 Layer by Layer 시스템을 적용하여 반복 적층을 통하여 구조물을 제작 하는 방식이다. 일반적으로 광조형 기술에서 광경화성 수지를 경화시키기 위해 사용되는 대부분의 광원은 UV 램프와 UV 레이저이다. 그 이유는 높은 파워와 빛의 평준화가 광경화성 수지를 경화하기 위한 적합한 시스템이기 때문이다. 그러나 친환경, 고효율에 관심이 커짐에 따라 LED분야에 대한 관심도 커지고 있다. 기존의 UV 램프나 UV 레이저 대신 광조형 기술을 사용할 경우 열이 적게 발생하기 때문에 열에 약한 제품도 제작할 수 있으며, 점등 후 바로 발광하므로 예열시간을 줄일 수 있다. 또한 수명이 길어 광원 교환 횟수를 줄일 수 있는 장점이 있다. 충격에 강하고, 친환경, 고효율, 소형화를 가능케 함으로써 기존 광조형 장비보다 저렴하게 제작 및 유지 할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 UV 레이저와 UV램프를 이용한 SLA(Stereo Lithography Apparatus) 광조형 기법 대신하여 UV LED 광원을 이용한 3차원 형상 가공 기술을 제안 하였다.

2. UV-LED 를 이용한 광조형법 (Stereolithography)

2.1 광조형의 원리

실리콘 웨이퍼(siliconwafer)위에 UV 광원을 조사하여 형상물을 제작하는 포토리소그래피(Photolithography) 기술은 얇은 Layer를 적층하여 형상물을 제작할 수 있으나 적층 Layer 마다 다른 마스크가 필요하기 때문에 비용문제 뿐만 아니라 제작에 어려움이 있다. 이런 문제를 해결할 수 있는 방법이 광조형 기법(Stereolithography)이다. 광조형 기법은 액체 상태의 광경화성 수지에 UV 광을 조

Fig. 1 UV LED stereo lithography process

사하여 한 Layer씩 적층시켜 원하는 3차원 형상물을 만드는 기술이다. 이러한 광조형 기술은 하나의 층을 경화 시키는 방법으로 주사방식과 전사방식이 있다. 전사 방식은 일정한 크기의 면적을 한번에 경화 시키는 방법으로 경화 되는 부분과 경화 되지 않는 부분을 구분 하여 한 층을 제작하여 이를 반복 적층을 통하여 3차원 구조물을 제작 하는 방식이다. 이 방식의 장점은 한 층을 한 번에 경화하기 때문에 제작시간을 절약 할 수 있고, 정밀한 선택적 주사를 통하여 정밀한 구조물을 제작 할 수 있다. 반면 주사 방식은 경화된 한 층의 제작을 위해 하나의 점에 집중된 광을 광경화성 수지에 주사하여 주사된 빛의 외곽 모양에 따라 컨투어를 주사한 후 내부부를 격자 방식이나 원하는 패턴의 형상으로 채워서 경화 시키는 방식이다. 주사 방식의 장점은 광이 한 점에 고도로 집 중 되기 때문에 매우 높은 에너지를 일순간 가할 수 있는 장점이 있다. 따라서 주로 출력이 낮은 광원을 이용하는 경우에 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 UV LED의 광원이 기존의 레이저나 UV 램프보다 파워가 약하기 때문에 주사방식의 광조형 기법을 적용하여 UV LED 광조형 장치를 설계 및 제작 하였다. 이 광조형 기법의 공정 원리는 Fig. 1와 같다.

2.2 시스템의 구성

본 연구에서는 주사방식의 SLA방식을 채택하여 시스템을 설계 및 개발 하였다. 제작된 시스템은 제어 부, 구동 부 그리고 광학 부로 이루어져 있다. 먼저 구동 부는 X-Y-Z축으로 이루어진 3축 구

Fig. 2 UV-LED stereo lithography Equipment

동 스테이지이다. 그리고 제어부는 3차원 구조물을 효과적으로 제작하기 위해 스테이지, UV LED를 제어하는 제어부가 있다. 또한 UV LED에서 빛이 효과적으로 주사되어 광경화성 수지를 경화시키기 위한 광학부로 구성되었다. 본 시스템의 통합 시스템의 Fig. 2에 나타나 있다.

2.2.1 광학부

UV LED를 이용하여 광조형 장치를 개발하였다. UV LED는 기존의 UV Lamp 나 UV laser와는 다르게 긴 수명과 경제적인 장치를 구성할 수 있는 이점이 있다. 그리하여 이러한 장점을 최대한 살려 UV LED 광조형 장치를 개발하였다. UV LED는 LX504 LED를 사용하였다. 전원 공급 장치는 회사이름의 컨트롤러를 사용하였다. 그리고 UV LED는 빛이 모이지 않고 퍼지는 성질을 가지고 있다. 그리하여 광학부에 UV LED가 60mm의 길이의 관을 통과한 후 광학 UV 렌즈와 대물렌즈를 거쳐 빛이 주사되게 광학부를 구성하였다. UV 렌즈는 직경이 5mm이고 wave length가 30mm인 렌즈를 사용하였고, 렌즈는 배율이 1/5 렌즈를 사용하였다.

2.2.2 구동부

구동부는 X-Y-Z축으로 이루어진 3축 구동 스테

이지이다. 그중 X, Y축은 광원을 이송시키는데 이용하고, Z축은 경화 베이스 부분의 이송과 경화 깊이를 조절하는데 이용하기 위해 3축으로 개발하였다. X, Y의 스테이지는 Motorbank사의 2상 스테핑 모터 NK215-01AT를 사용하였고 이송거리 130mm가 이송가능하도록 설계를 하였다. 그리고 LM가이드가 스테이지의 각 축마다 장착되어 있어 축을 이송함에 있어 효율적이고 정밀하도록 설계 및 장치 개발을 하였다. 그리고 이송 나사는 볼스크류 방식을 채택하여 축을 이송함에 있어 많은 이송 저항이 적도록 설계하였다. 그리하여 X, Y축의 이송으로 입력된 톨 패스에 따라 이동하며 수지를 경화시켜서 한 Layer를 적층하게 된다. 구동부의 Z축은 OrientalMotor사의 2상 스테핑 모터 PK225PA와 Misumi사의 최대 이송거리 150mm의 1축 액추에이터 LX20을 장착되어 Z축의 이송이 가능하도록 하였다. 그리하여 Layer가 적층완료 되면 다음 Layer를 적층할 수 있게 Platform을 Z축이 이송하여 줌으로써 3차원 구조물의 제작이 가능하도록 장치를 개발하였다.

2.2.3 제어부

본 실험의 UV LED 광조형 장치 가공공정은 Fig. 3과 같다. 먼저 3D CAD 톨로 모델링된 구조물을 STL 파일로 변환한다. 그리고 STL 파일로 변환된 파일을 원하는 적층 두께로 슬라이싱한다. 단 전사방식의 공정은 단면 이미지를 추출하지만 본 연구에서는 주사방식의 광조형 장치이므로 슬라이싱된 한 단면의 레이어에서 G-code를 추출하여 제작하게 된다. 주사방식으로 처음 레이어를 적층하게 되면 Z축(엘리베이터)이 하강하면서 적층된 구조물 윗면에 수지가 도포되고 다음 레이어를 적층하게 된다. Z축(엘리베이터)스테이지는 설정된 레이어의 두께 만큼 내려갈 때 적층된 레이어 위로 수지가 완전히 도포되지 않을 수도 있다. 그래서 레이어 두께보다 더 하강해서 적층된 레이어 위에 수지가 완전히 도포되면 다시 설정된 위치로 Z축이 이동하게 하는 Re-coating 기능을 삽입하였다. 이렇게 순차적으로 Layer by Layer 방식으로 적층을 하고 더 이상 적층할 과정이 없다면 작

Fig. 3 Manufacturing process

업이 종료 된다. 본 연구를 위하여 제어프로그램을 개발 하였다. 이 프로그램은 간단한 Jog motion, Interpolated motion 제어와 설정기능을 추가 하였고 또한 스테이지의 제어 UV LED 의 제어 등을 기본 기능으로 개발 하였고, G-code 파일을 입력하여 3 차원 구조물 제작이 가능하도록 개발 하였다. 본 개발 프로그램은 Fig. 4와 같다. 본 프로그램은 STL파일로부터 G코드를 추출하여 G코드에 따라 구조물을 제작하는 시스템이다. 본 시스템은 구조물 제작의 선폭, 적층높이, 경화장치의 이송 스피드 등을 조절하여 구조물을 제작할 수 있는 시스템이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 재료

Fig. 4 UV LED Equipment control program

본 연구로 개발된 UV LED 광조형 장치를 이용하여 2차원 구조물을 제작 하기 위해 여러 가지 재료를 사용 하였다. 본 연구에서 사용된 Monomo 재료는 MIWON.CO 사의 Miramer M200과 Miramer M235 제품을 사용하였다. 재료의 사용은 각각의 재료를 이용하여 구조물제작 실험을 진행 하였다. Miramer M200 광경화성 수지의 특징은 약한 에너지도 광 경화 현상이 일어나 빠른 제작을 할 때 유용한 재료이다. Miramer M235 광경화성 수지는 Miramer M200 보다 경화 특성은 좋지 않지만 강한 기계적 강도를 가지는 특징이 있다. Miramer M200 의 광경화 현상을 억제하기 위하여 Miramer M235을 일정량 혼합하여 사용하였다. 그리고 두재료를 일정 비율로 혼합하여 UV LED 광조형 장치에 최적의 경화 특성을 가지는 재료를 찾기 위해 실험을 진행 하였다. 그리고 UV광에 맞는 광개시제인 DMPAb (2,2-dimethoxy-2-phenylacet ophenone)를 5wt%를 혼합 하여 사용하였다.

3.2 2차원 구조물 제작

UV LED 광조형 장치를 이용하여 2차원 구조물 제작

실험을 하였다. 2차원 구조물 제작 실험은 사각형 모양을 일정한 패턴으로 채워서 한 단면을 제작 하는 것으로 실험을 진행 하였다. 실험에 쓰인 재료는 Miramer M200 + DMPAb 5wt% (2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone)와 Miramer M200 95% + Miramer M235 5% + DMPAb 5wt% (2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone)와 Miramer M200 90% + Miramer M235 10% + DMPAb 5wt% (2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone)를 혼합한 수지와 Miramer M200 80% + Miramer M235 20% + DMPAb 5wt% (2,2-dimethoxy-2-phenylacetophenone)를 혼합한 수지를 사용하여 경화 실험을 진행 하였다. 그리고 스테이지의 스피드와 UV LED의 파워는 동일하게 하여 실험을 진행 하였다. 경화 층의 두께는 150um의 두께로 경화를 하였다. 스테이지의 이송 속도는 1.5cm/sec로 이송 하였다. 4가지 재료의 혼합으로 제작된 2차원 구조물은 Fig 5에 나타나 있다. Fig. 5에 Miramer M200 으로 제작된 2차원 구조물을 보면 과 경화 현상이 일어나 구조물이 뒤틀린 것을 쉽게 볼 수 있다. 그리하여 Miramer M200에 혼합한 Miramer M235 광경화성 수지를 혼합하여 과경화 현상을 억제하고자 Miramer M200에 일정량의 Miramer M235 광경화성 수지를 혼합하여 실험을 진행 하였다. 그 결과 Miramer M200 광경화성 수지에 Miramer M235 광경화성 수지를 10% 혼합하였을 때 과 경화 현상이 줄어들고 원하는 모양의 패턴의 구조물이 제작된 것을 볼 수 있었다. 그리고 Miramer

M200 광경화성 수지에 Miramer M235 광경화성 수지를 20%를 혼합한 수지의 구조물은 경화장치의 이송속도를 동일하게 하였을 때 경화가 되지 않는 현상이 발생하였다. 이는 Miramer M235의 경화특성 때문인 것으로 예상된다.

3.3 3차원 구조물 제작

UV LED 광조형 장치를 이용하여 3차원 구조물을 제작 하였다. 3차원 구조물은 3D CAD 데이터로부터 STL 파일을 추출한 후 장치가 구동할 수 있도록 G-Code를 추출하여 실험을 진행 하였다. 3차원 구조물은 2차원 구조물과 같은 3가지 재료를 사용하여 구조물을 제작 하였다. 그리하여 재료마다 구조물의 정확도와 비틀림 등을 측정 하였다. 그리고 한 층의 적층 높이를 150um로 하였고 선평의 간격은 500um로 하여 구조물을 제작 하였다. 그리고 UV 광과 광경화성 수지의 높이는 12000um ~ 13200um의 값으로 조절하여 실험을 진행 하였다. 그리고 적층 방식은 미로 방식의 패턴으로 하여 제작 하였다. 재료에 따른 3차원 구조물의 3D 모델링과 실제 제작 구조물은 Fig. 6에 나타나 있다. 그리고 최적의 파라미터를 찾은 구조물의 제작 조건과 동일하게 Non-support Bridge를 제

Fig. 5 Two-dimensional structures fabrication

Fig. 6 Three-dimensional structures fabrication

작하였다. Non-support Bridge는 별도의 서포트 영역 없이 구조물을 제작 하였다.

4. 결론

본 연구는 기존의 방식과는 다르게 UV-LED를 이용하여 SLA 방식의 3차원 프린터를 설계 및 개발 하였다. 개발된 장치를 토대로 경화 재료에 따른 경화 특성과 경화 특성에 따른 광경화성 수지의 노출시간 등을 실험 하였다. 그리고 또한 광경화성 수지에 따른 경화 특성을 연구하여 3차원 구조물을 제작 할 때 스테이지의 이송속도와 높이를 조절하여 정밀한 구조물을 얻기 위해 실험을 진행 하였다. 본 연구를 통하여 파워가 강한 레이저 및 UV-lamt 광원만이 아닌 LED 소자와 같이 파워가 약한 단점과 수명이 긴 장점을 가진 광원을 통해서 3차원 프린터의 제작의 가능성을 제기 하였다.

후 기

“이 논문은 2012년도 안동대학교 특별연구지원 사업에 의하여 연구되었음”

REFERENCES

- (1) Jacobs, P. F., Rapid Prototyping & Manufacturing, Society of Manufacturing Engineers, pp. 26-29, 1992.
- (2) Maruo, S., and Ikuta, K., Submicron stereolithography for the production of freely movable mechanisms by using single-photon polymerization, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 100, Issue 1, pp. 70-76, 2002.
- (3) Lee, I. H., and Cho, D. W., Micro-stereo-lithography photopolymer solidification patterns for various laser beam exposure conditions, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 22, Issue 5-6, pp. 410-416, 2003.
- (4) Park, I. B., Ha, Y. M., and Lee, S. H., Fabrication

of a micro-lens array with a non-layered method in projection microstereolithography, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 11, pp. 483-490, 2010.

- (5) Sun, C., Fang, N., Wu, D. M., and Zhang, X., Projection micro-stereolithography using digital micro-mirror dynamic mask, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 121, Issue 1, pp. 113-120, 2005.
- (6) Hornbeck, L. J., Digital Light Processing and MEMS: Timely Convergence for a Bright Future, SPIE Micromachining and Microfabrication, Austin, Texas, 1995.
- (7) Lee, S. H., Kim, H. C., Hur, S. M., and Yang, D. Y., STL file generation from measured point data by segmentation and Delaunay triangulation, Computer-Aided Design, Vol. 34, Issue 10, pp. 691-704, 2002.
- (8) Kim, H. C., and Lee, S. H., Reduction of post-processing for stereolithography systems by fabrication-direction optimization, Computer-Aided Design, Vol. 37, Issue 7, pp. 711-725, 2005.