

UV 램프와 광섬유를 이용한 새로운 개념의 마이크로 광 조형기술의 개발

최지순*, 이승표*, 이인환#, 고태조**

Development of a Novel Micro-stereolithography Technology using UV Lamp and Optical Fiber

Ji Soon Choi*, Seung Pyo Lee*, In Hwan Lee# and Tae Jo Ko**

ABSTRACT

Generally, micro-stereolithography technology uses laser and complex optical system as light source and light delivery system, respectively. In this research, a novel micro-stereolithography technology that uses UV lamp that is more economical than UV laser as light source and optical fiber that is simpler than previous light delivery system has been developed. Furthermore, precise control system that is composed of 3-axis linear stage and shutter has been used to fabricate truly three dimensional micro-structure. For confirming the feasibility of developed micro-stereolithography apparatus, the solidification experiments were conducted. The solidification widths and depths datum of photopolymer as varying scanning speed of the UV light have been obtained. Using developed apparatus, some micro structures were fabricated successfully.

Key Words : Micro-stereolithography technology (마이크로 광 조형기술), UV lamp (자외선 램프), Optical fiber (광섬유)

1. 서론

현재의 마이크로 구조물의 제작기술은 반도체 공정 기반의 MEMS 및 LIGA기술이 대부분이다. 일반적으로 이들은 복잡한 공정이 수반되며 또한, 고가의 장비 및 청정실(clean room) 설비가 요구되기도 한다. 한편, 이들 기술들은 마이크로 구조물의 제작시, 마스크에 의한 선택적 식각에 의존하기 때문에 제작된 형상이 2차원으로 한정적이다.

이에 최근 들어 전 세계적으로 3차원 마이크로 구조물 제작기술이 개발되고 있고, 특히 90년대 초반에 제시된 마이크로 광 조형기술 (micro-stereolithography technology)^{1,2}이 복잡한 3차원 형태의 마이크로 구조물 제작에 유용한 것으로 알려져 있다. 이 기술은 반도체 공정 기반의 MEMS 및 LIGA기술에 비해 간단한 공정이며 저가이고 또한, 3차원 마이크로 형상의 제작이 가능하다는 특징을 가지고 있다.

* 접수일: 2006년 4월 18일; 게재승인일: 2006년 10월 25일

* 충북대학교 대학원 정밀기계공학과

교신저자: 충북대학교 기계공학부

Tel. 043-261-3161, Fax. 043-263-2441

E-mail : anxanx@chungbuk.ac.kr

** 영남대학교 기계공학부

마이크로 광 조형 기술은 주로 자외선 레이저를 광원으로 하고 일련의 광학계로 구성되어 있는 광 전달 시스템(light delivery system)을 통해 광원의 빛을 광 경화성 수지 표면 위에 주사함으로서 3차원 마이크로 구조물을 만드는 기술이다. 이는 단일 공정으로서 반도체 공정 기반의 마이크로 제작기술에 비해 간편하고 공정 시간 및 관련 장비의 가격이 상대적으로 낮다. 하지만 일반적으로 고가의 자외선 레이저를 광원으로 사용하기 때문에 유지 보수에 비용이 많이 요구된다. 또한, 광원의 빛을 광 경화성 수지 표면위에 정확히 주사시키기 위한 광 전달 시스템이 복잡한 광학계로 구성되어 있으므로 이들의 광축을 광 경로에 오차 없이 정렬하기 위한 상당한 노력이 필요하다. 그리고 레이저 빛의 광 경로가 외부에 노출된 상태이므로 이에 따른 빛의 손실 및 위험이 따른다.

이에, 본 연구에서는 고가의 레이저에 비해 상대적으로 저렴한 UV 램프를 광원으로 사용하는 한편, 기존의 장비보다 단순한 광학계를 이용한 광 전달시스템을 구성하고 광섬유를 통한 폐쇄된 광 전달 시스템을 적용하는 새로운 개념의 마이크로 광 조형 기술을 개발하였다.

2. 마이크로 광 조형 장치

Fig. 1(a)은 본 연구를 통하여 개발된 마이크로 광 조형 장치의 개략도이다. 광원(light source)으로는 UV램프가 이용되었으며, 광원에서 나온 빛은 광섬유(light source fiber, FC patch cable)등으로 구성된 일련의 광학계를 통하여 $400\mu\text{m}$ 의 초점 지름을 갖는 빛이 되어 광 경화성 수지의 표면에 수직으로 주사되게 된다. 광섬유의 코어지름과 클레딩 지름은 각각 $50\mu\text{m}$, $125\mu\text{m}$ 이며 이의 작동 파장(working wavelength)은 200nm 에서 900nm 이다. 한편, 빛을 받아들이는 부분인 렌즈나 광섬유는 개구수(numerical aperture)가 클수록 보다 많은 빛을 받아들일 수 있다. 이에, 본 장비에서 커넥터로부터 나온 광원의 광을 보다 많이 받아들이기 위해 개구수 0.22의 광섬유를 사용하였다.

최종 광섬유(FC patch cable)의 끝은 x-y 평면으로 구동되는 2축 스테이지에 부착되어 성형하려는 단면형상에 따라 구동된다. 한편, 광 경화성 수지가 담긴 용기(container)내에는 z축 스테이지에 의한 상하 방향으로 움직이는 엘리베이터(elevator)가 부착

되어 있어 단면형상의 적층성형이 가능하게 된다. 또한, 광원에서 나온 빛을 필요에 따라 단속해 줄 필요가 있기 때문에 반응속도 3ms의 정밀셔터(precision shutter)가 광 경로에 설치되었다. x-y 및 z 스테이지 및 셔터는 PXI시스템에 의해 제어되게 된다. Fig. 1(b)은 제작된 마이크로 광 조형 장치의 사진이며 Table 1은 본 장치의 주요 구성이다.

광원인 UV 램프는 다파장의 자외선 빛이 넓은 발산각을 가지고 방출된다. 따라서 넓은 발산각을 가지는 빛을 작은 초점지름을 지니는 빛으로 만들어 광섬유에 입사시키기 위해서 일련의 렌즈군 및 이들의 정확한 정렬을 위한 3축 정렬 스테이지(3-axis align stage)로 구성된 Fig. 2와 같은 커넥터(connector)를 개발하였다. 광학설계를 통해 선택된 렌즈군(Fig. 3)은 빛의 노출 위험을 최소화하기 위해 폐쇄형으로 제작되었다.

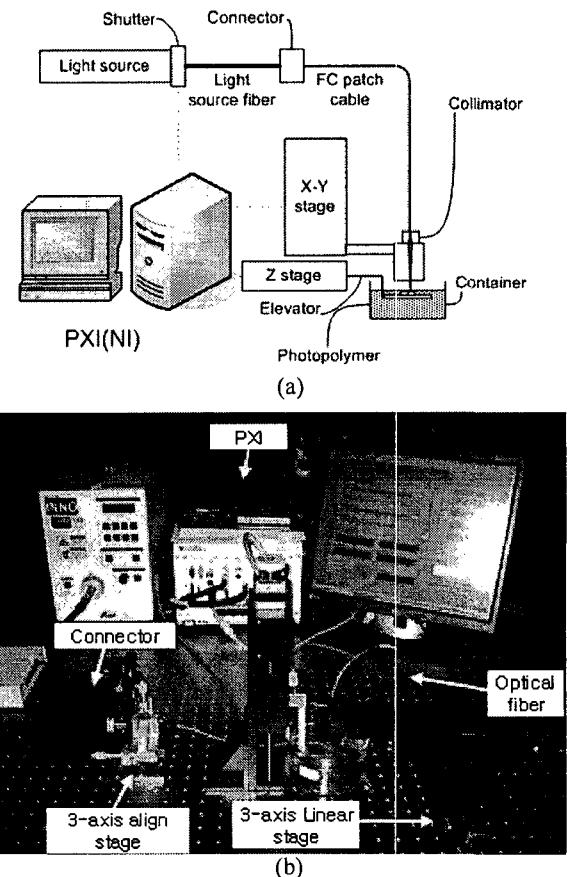


Fig. 1 (a) Schematic drawing and (b) photograph of developed micro-stereolithography apparatus

Table 1 The composition of equipment

구성	모델명
linear stage	KS262-50 (CheungWon Mechatronics co.)
PXI	PXI-1042Q (National Instrument)
FC patch cable	QMMF-UVVIS-50/124-3-L (THORLABS)
UV lamp	INNO CURE100 (JEIL UV)

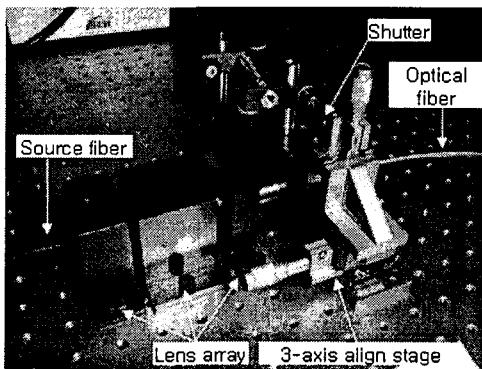


Fig. 2 Photograph of connector

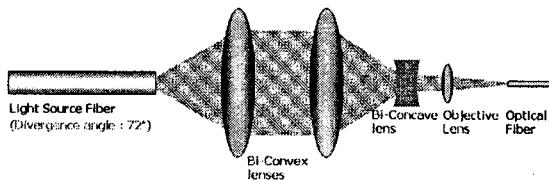


Fig. 3 Schematic drawing of a series of lenses

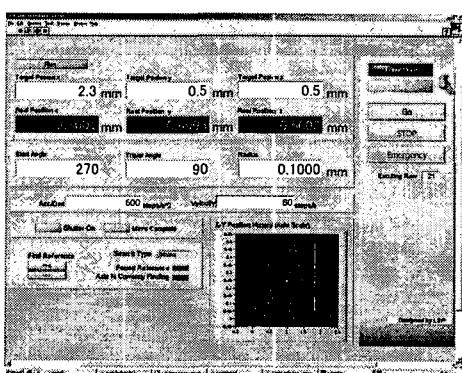


Fig. 4 Interface of developed control software

정교한 형상의 3차원 마이크로 구조물을 제작하기 위해선 셔터와 x-y 및 z축 스테이지간의 유기적인 움직임이 매우 중요하다. 이에, 본 연구에서는 스테이지 및 셔터의 동시 제어가 가능한 제어 소프트웨어를 개발하였다. 제어 소프트웨어는 National Instrument사의 LabView를 이용하여 제작 되었으며, 이는 원하는 3차원 모델의 성형데이터를 절대 좌표화 하여 입력하면 x-y 및 z축 스테이지 그리고 셔터를 유기적으로 제어하도록 구성하였다. Fig. 4는 제작된 제어 소프트웨어의 실행화면이다.

3. 마이크로 광 조형 장치의 특성

본 연구를 통해 개발된 마이크로 광 조형 장치의 경화 특성파악을 위한 실험을 수행하였다. 마이크로 광 조형에서는 자외선 빛의 주사조건에 따른 경화 폭 및 경화 깊이가 매우 중요한 특성이다. 따라서 본 연구에서는 광 경화성 수지(SL-5180)의 표면 위에 작은 초점지름의 빛을 주사함으로서 경화 폭(solidification width) 및 경화 깊이(solidification depth)를 파악하는 실험을 수행하였다. 사용된 광 경화성 수지인 SL5180은 즉, Fig. 5와 같은 형태의 기둥(supporting post)위에 빛의 세기를 0.074mW로 일정하게 유지한 상태에서 자외선 빛의 이송속도를 변화시켜 가면서 광 경화성 수지를 경화시키고, 이의 경화 폭 및 경화 깊이를 측정하였다. 한편, 세척 과정 중에서 세척 약품의 종류 및 세척 시간, 스터링의 속도 등의 세척조건에 따라 성형된 형상이 변화할 수 있다. 따라서, 본 실험에서는 세척조건을 일정하게 유지하여 이에 의한 영향을 최소화 하도록 하였다. 즉, 상온에서 비교적 성형물에 공격적이 적은 IPA(Isopropyl Alcohol)만을 세척액으로 사용하였고 스터링 속도와 특히, 세척시간을 가장 짧은 선폭의 경화선이 유실 없이 남아 있을 수 있는 6분으로 고정하여 세척을 수행 한 후, 성형된 폭 및 깊이를 측정하였다.

Fig. 6은 빛의 이송속도에 따른 광 경화성 수지의 경화 폭 및 깊이를 측정한 실험 결과이다. Fig. 6(a)에서 알 수 있듯이 자외선 빛의 이송속도가 0.1~0.4mm/min으로 증가할수록 성형된 경화 폭이 약 120 ~ 50 μm 로 감소함을 알 수 있다. 또한 Fig. 6(b)에서와 같이 자외선 빛의 이송속도가 증가 할수록 경화 깊이가 감소함을 알 수 있다. 이 결과는 기존의 UV레이저와 복잡한 광학계로 구성된 마

이크로 광 조형장치의 성능실험 결과^{3~5}와 유사한 성능을 보이고 있다. 따라서, 본 연구를 통하여 개발된 새로운 개념의 마이크로 광 조형 기술의 유용성을 확인 할 수 있다.

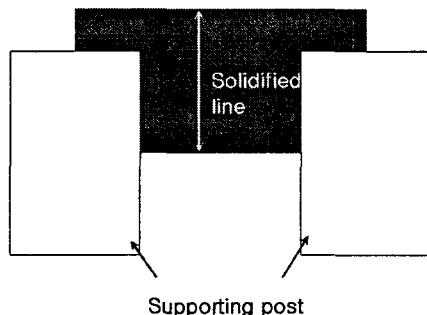


Fig. 5 Schematic drawing of solidification experiment

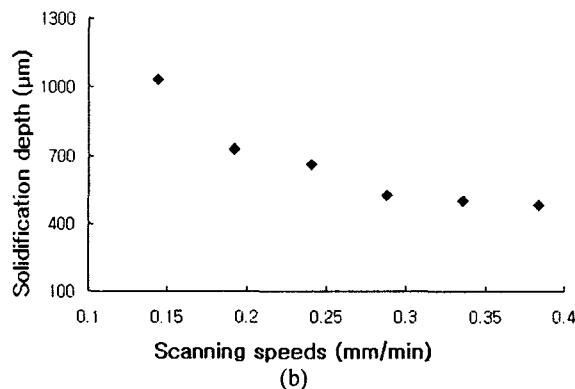
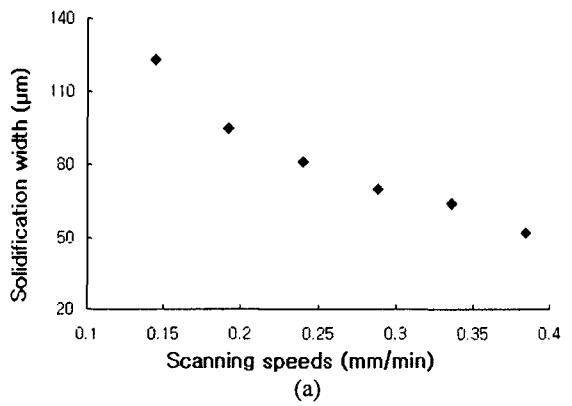


Fig. 6 (a) Solidification width and (b) depth of the solidified photopolymer according to the light scanning speed

4. 마이크로 성형물의 제작

Fig. 7은 본 연구를 통하여 개발된 마이크로 광 조형장치를 이용하여 제작된 마이크로 글자 구조물의 SEM사진이다. 각 글자의 선폭은 약 $100\text{ }\mu\text{m}$ 이며 전체길이는 2.5mm이고 제작시간은 25분 정도 소요되었다. Fig. 8은 본 연구를 통해 제작된 3차원 마이크로 구조물의 SEM사진이다. 즉, Fig. 8(a)와 같이 원하는 형상을 CAD모델링 한 후, 이의 성형정보를 절대 좌표화하여 제어시스템에 입력하면 Fig. 8(b)와 같이 3차원 마이크로 구조물이 성형된다. 이 구조물의 총 제작시간은 2시간 30분 정도가 소요되었으며 경화 폭은 $80\text{ }\mu\text{m}$, 높이는 1mm 그리고 길이는 1.5mm이다.

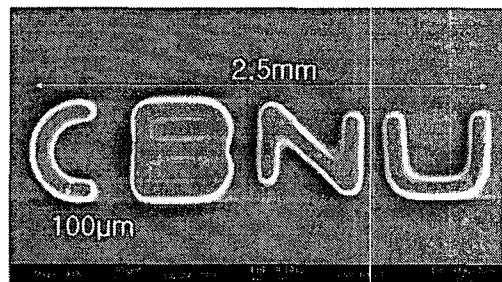


Fig. 7 SEM photograph of micro text

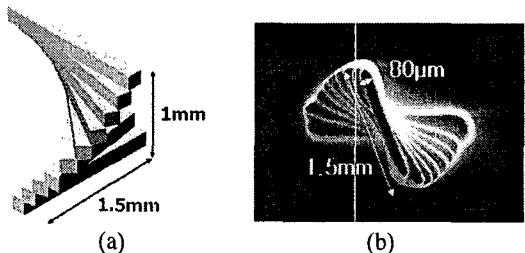


Fig. 8 (a) CAD model of 3-D micro structure and (b) SEM photograph of 3-D micro structure

5. 결론

본 연구를 통하여 기존의 마이크로 광 조형기술과 다른 형태의 새로운 마이크로 광 조형기술이 개발되었다. 이는 고가의 레이저를 광원으로 이용하는 대신에 상대적으로 저렴한 UV램프를 광원으로 이용함으로서 경제적이라 할 수 있다. 또한, 기존의 미러 및 렌즈 등의 복잡한 광학계 대신에 상대적으

로 간단한 일련의 렌즈군 및 광섬유를 이용한 광 전달 장치를 고안함으로서 빠르고 쉽게 광축의 정렬이 가능하다. 이를 이용하면 보다 저렴한 비용과 적은 노력으로 기존의 마이크로 광 조형기술과 유사한 3차원 마이크로 형상을 제작할 수 있게 된다.

후기

이 논문은 2005년도 충북대학교 학술 연구 지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Ikuta, K. and Hirowatari, K., "Real three-dimensional micro fabrication using stereolithography and metal model," Proc. of IEEE international Workshop on Micro Electro Mechanical system(MEMS'93), pp. 42-47, 1993.
2. Ikuta, K., Maruo, S. and Kojima, S., "New micro stereo lithography for freely movable 3D micro structure," Proc. of IEEE International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS'98), pp. 290-295, 1998.
3. Lee, I. H. and Cho, D. W., "An Investigation on Photopolymer Solidification considering laser irradiation Energy in Miro-stereolithography," Micro System Technologies, Vol. 10, No. 8-9, pp. 592-598, 2004.
4. Lee, I. H. and Cho, D. W., "Micro-stereolithography photopolymer solidification patterns for various laser beam exposure conditions," The international Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 22, No. 5-6, pp. 410-416, 2003.
5. Lee, I. H., Cho, D. W. and Lee, E. S., "Photopolymer Solidification Phenomena Considering Laser Exposure Conditions in Micro-stereolithography Technology," Journal of the KSPE, Vol. 21, No. 3, pp. 171-179, 2004.