

# 전사방식 마이크로광조형에서 표면 향상을 위한 그레이의 적용 Application of grayscale for improving a surface roughness in projection microstereolithography

\*김민섭<sup>1</sup>, 박인백<sup>1</sup>, #이석희<sup>2</sup>

\*M. S. Kim<sup>1</sup>, I. B. Park<sup>1</sup>, #S. H. Lee(sehlee@pusan.ac.kr)<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> 부산대학교 대학원 기계공학부, <sup>2</sup> 부산대학교 기계공학부

Key words : Stereolithography, Grayscale, Digital Micromirror Device(DMD)

## 1. 서론

미세광조형(microstereolithography: PμSL)기술은 미세구조물을 조형하기 위해 기존의 광조형(Stereolithography)기술을 응용한 것으로, 현재 주사(Scanning)방식과 전사(Projection)방식으로 분류할 수 있다<sup>1,2</sup>. 주사방식은 수지표면에 집광시킨 빔을 이송시키면서 수지를 경화시켜 조형물을 제작하는 방식으로 전사방식에 비해 정밀도가 높다. 전사방식은 단면현상으로 패턴링된 빔을 수지 표면에 한 레이어를 한번에 전사하여 제작하는 기법으로 주사방식에 비해 가공속도가 빠르다.

PμSL 기술은 광조형기술과 같이 레진에 빔을 조사하여 한 층을 경화 시킨 후 그 위에 새로운 층을 경화시키는 적층방식으로 조형한다. 이러한 적층방식으로 인해 마이크로구조물의 표면에 계단형상이 발생되며, 이로 인한 표면 거칠기는 미세구조 액추에이터 및 부품소자의 제작에 큰 문제점을 야기시킨다. 표면거칠기를 낮추기 위해 적층두께를 줄이는 방법이 있지만 이는 긴 가공시간을 요구한다.

이러한 적층방식의 구조물에서 생기는 계단형상을 줄이기 위한 연구로, SL에서 슬라이딩 각도를 변경시켜 단면이미지를 산출해 적층하는 방법<sup>3</sup>, 단면이미지들이 이루는 기울기로 빔 조사각도를 변경하는 Slant beam rotation(SBR)로 구조물을 제작하는 방법<sup>4</sup>, 구조물 제작 후 코팅과 연마로 후가공을 실시하는 방법<sup>5</sup> 등이 있다. 하지만 이러한 작업은 후 미세 크기로 인해 정확한 작업과 가공으로 이뤄지기 때문에 미세구조물에 변형을 가져올 수 있다.

본 연구에서는 PμSL의 가공과정에서 표면 거칠기를 줄이기 위한 방안으로 적층 간의 단면이미지에 grayscale을 사용한다. 이를 응용해 가공 시간을 줄이기 위한 큰 적층 두께에서도 부드러운 표면을 지닐 수 있도록 한다.

## 2. 실험장치

본 연구에서 사용되어진 실험장치는 DMD(Digital Micromirror Device)를 사용한 미세 광조형 장치이다<sup>6</sup>. Fig. 1은 본 장치를 간단히 표기하였다. 200W 급의 UV-Lamp(EXPO Co., Canada)와 광 케이블 및 각종 optics, 적층을 위한 100nm 급의 Z축 정밀스테이지 등으로 구성되었다.

UV-Lamp에서 방출된 365nm의 UV-light는 UV-DMD에 의해 패턴링 및 반사되어 대안렌즈를 통해 수지표면까지 도달된다. 본 장치에는 Prism(LightGate™, Unaxis, USA)으로 광패스(light path)를 줄이고, DMD에서 패턴링 광(Patterned beam)의 형상왜곡의 발생을 최소화하기 위해 Tube lens(MellesGriot, USA)와 정밀조절이 가능한 UV용 Reflector를 장착했다<sup>7</sup>.

Objective lens(CFI Plan Flour 10x, Nikon, Japan)를 통과한 p 패턴링 광이 수지표면에서 정확히 결상되기 위해 Z축의 초기셋업을 영점으로 잡고 렌즈 포커싱 장치(IM-4, Nikon, Japan)를 사용하여 Beam profiler를 모니터로 통해 포커스 거리를 맞추었다. UV-lamp의 에너지 및 조사시간, DMD에 0,1의 1bit bitmap의 입력, 대면적 가공을 위한 X, Y-stage 그리고 3차원 미세 구조물의 적층을 위한 Z-stage(ALS130-050, Aerotech, USA)는 제어기에서 제어된다.

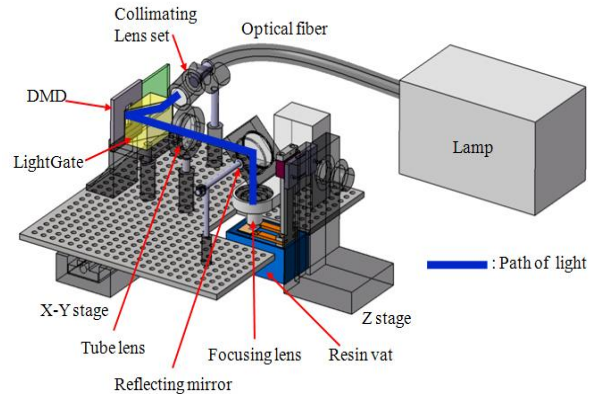


Fig. 1 Schematic of Projection microstereolithography based on DMD

## 3. 그레이 스케일(Grayscale)

PμSL에 grayscale을 적용 시키면 패턴링된 빔의 에너지 분포를 제어할 수 있다<sup>8</sup>. 본 실험의 장치에 설치된 DMD kit은 8bit-grayscale이 적용된 이미지를 입력할 수 없다. 이를 해결하기 위해 본 실험에서는 dither method를 이용하여 8bit-grayscale와 같은 효과를 낼 수 있다

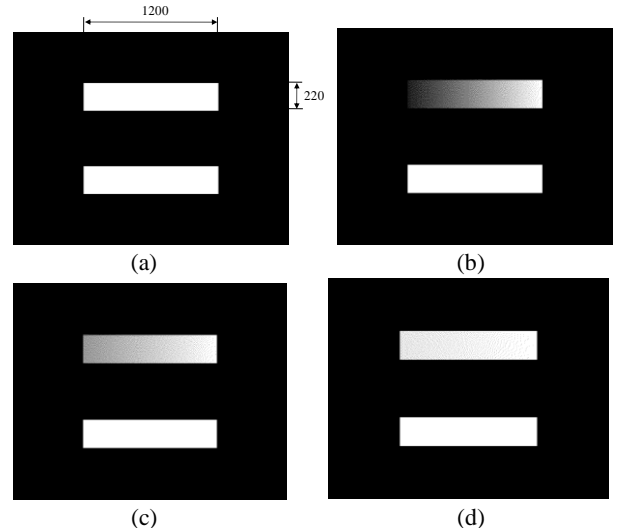
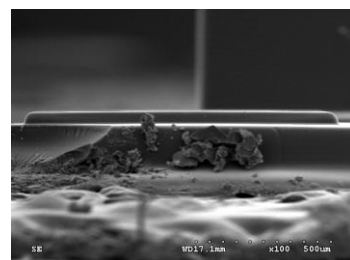


Fig. 2 Regeneration of grayscale image by dither method



(a)

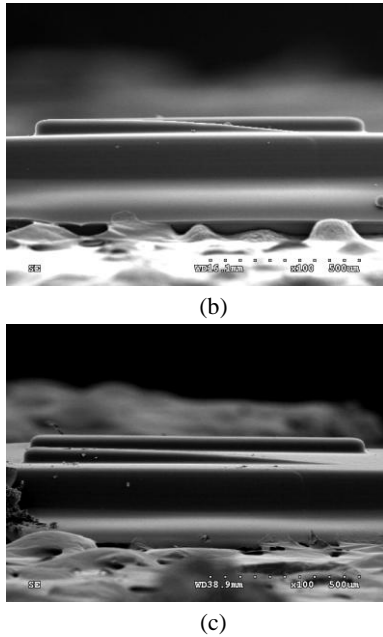


Fig. 3 SEM images of microstructures fabricated with cross-sectional images of Fig. 2

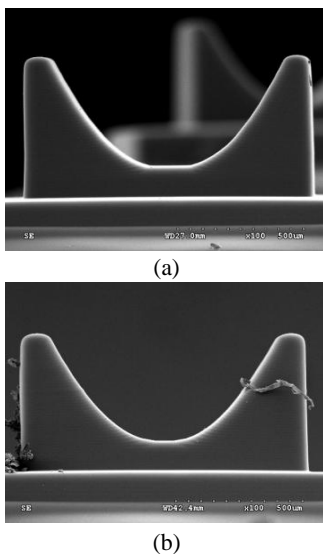


Fig. 4 SEM image of improved surface of microstructure using grayscale

Grayscale 이미지가 레진의 경화에 어떠한 영향을 주는 지를 알아보기 위해 Fig.2 의 그림과 같이 밝기가 gradation 된 이미지를 DMD 에 입력하여 일정한 시간과 에너지 (17.5mW/cm<sup>2</sup>)로 조사하였다. 그 결과 Fig. 3 과 같이 광 에너지가 낮은 부분은 경화 높이가 높은 곳 보다 낮고 일부 부분은 선형적으로 낮아지는 것을 확인 할 수 있다. 여기서 사용된 레진은 HDDA 에 광 개시제인 DMPA 를 5 wt% 넣고 room temperature 에서 마그네틱 스트러를 사용해 3 시간 동안 혼합했다.

#### 4. 표면 향상

미세 구조물의 표면향상을 위한 grayscale 의 적용은 우선 계단형상의 제거를 위주로 연구되었다. 1<sup>th</sup>의 단면이미지에 2<sup>nd</sup> 단면이미지의 경화구역의 차를 산출하여 gray-level 을 줘 8bit-grayscale 을 입히고 다시 dither method 를 사용해 1bit-grayscale 을 재 생성한다. 이를 다시 2<sup>nd</sup> 단면이미지에 매핑한다. 이 과정을 단면이미지 순서대로 재생성 시킨다. 이렇게 재 생성된 단면이미지를 사용해 제작된 미세 구조

물을 fig.4 에 표기하였다. Fig. 4 의 (a)는 1bit grayscale 을 적용하지 않은 것으로 특정부위에서 원호가 일그러짐이 보이지만 (b)의 경우 표면이 향상되고 (a)에 비해 부드러운 원호를 지남을 확인했다. 이것은 3 차원 모델의 단면이미지 생성시 모델의 기울기가 낮은 부분에서 층간 오차가 많이 일어나는 것을 볼 수 있으며, dither method 의 1bit grayscale 로 보정이 가능함을 확인할 수 있다.

#### 5. 결론

본 실험에서 dither method 를 이용해 단면이미지에 1bit grayscale 을 적용하여 표면 거칠기 및 형상을 향상을 시도하였다. 그 결과 표면 향상에 도움이 된 다는 것을 알 수 있다. 차후 이러한 grayscale 의 적용을 수지의 경화 실험의 수치와 비교해서 gray-level 을 산출해 최대한 3d 구조물과 동일할 수 있도록 연구할 예정이다.

#### 참고문헌

1. Varadan V-K, Jiang X, Varadan V-V 2001 Microstereolithography and other fabrication techniques for 3D MEMS JOHN WILEY & SONS
2. Jacobs P-F 1992 Rapid Prototyping and manufacturing: Fundamentals of Stereolithography, Society of Manufacturing engineers Publishers, Dearborn
3. Holzer F, Fadel G 2002 Design of a 3-degrees of freedom platform for stereolithography apparatus. Rapid Prototyping J. 8(2) 100-115
4. Khalid Mahmood Arif, Tamotsu Murakami 2009 Slant beam rotation UV scanning to eliminate stair- steps in stereolithography fabrications Int J Adv Manuf Technol 41:527-537.
5. Keon Ahn, Seok-Hee Lee 2007 Improving the surface roughness of SL parts using a coating and grinding process Int J Precision engineering and manufacturing Vol. 8, No. 3
6. Hayashi T, Shibata T, Kawashima T, Makino E, Mineta T and Masuzawa T 2008 Photolithography system with liquid crystal display as active gray-tone mask for 3D structuring of photoresist Sensors and actuators. A, Physical 144(2) 381-388
7. In-Baek Park, Jae-Won Choi, Young-Myoung Ha and Seok-Hee Lee 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
8. 김민섭, 박인백, 이석희, 김호찬, "Commercial DLP 의 DMD 를 이용한 Pmsl 에서 광분포 제어방안," 한국정밀 공학회 2009년도 춘계학술대회논문집, 1013-1014, 2009