

# Commercial DLP 의 DMD 를 이용한 Pmsl 에서 광분포 제어방안 Control program of the Beam distribution for Pmsl using the Commercial DLP with DMD

\*김민섭<sup>1</sup>, 박인백<sup>1</sup>, #이석희<sup>2</sup>, 김호찬<sup>3</sup>

\*M. S. Kim<sup>1</sup>, I. B. Park<sup>1</sup>, #S. H. Lee(sehlee@pusan.ac.kr)<sup>2</sup>, H. C. Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 대학원 기계공학부, <sup>2</sup> 부산대학교 기계공학부, <sup>3</sup> 안동대학교 기계공학부

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

## 1. 서론

광조형(Stereolithography)기술은 광경화성 resin(photopolymeric resin)에 빛을 조사하여 원하는 부분을 경화시켜 한 층을 만들고, 그 위에 새로운 층을 쌓아가는 방식으로 조형을 하는 기술이다. 기존 광조형기술은 수십~수백 밀리미터 크기와 수십~수백 마이크로 미터의 정밀도의 부품을 조형하기 위해 개발된 기술이다. 이와 달리 미세광조형(Micro-stereolithography)기술은 수~수십 마이크로 미터의 정밀도를 가지며 광조형기술과 동일하게 적층조형(layered manufacturing)기술과 광경화성 resin(이하 resin)을 사용하고 있다<sup>1</sup>.

미세광조형기술은 적층방식에 따라 주사방식(scanning method)와 전사방식(mask-projection method)로 구분 가능하다<sup>2</sup>. 이중에 전사방식에서 mask 는 LCD 나 DMD(Digital Micromirror Device)를 사용할 수 있으나, 최근에는 주로 안전성이 높고 투과율이 높은 DMD 를 이용하는 기술이 일반화 되어가고 있다<sup>3,4</sup>. 그러나 DMD 를 이용한 전사방식의 미세광조형기술에서 beam 이 DMD 에 도달할 때 Gaussian 분포에 의해서 일부가 불균등하게 도달한다. 특히 laser beam 을 사용하는 경우 regin 경화 시 불균등 정도가 확연히 차이가 나는 경우가 생기기도 한다<sup>5</sup>. LCD 나 DMD 에서 grayscale 을 적용시키면 반사되는 beam 의 power 의 제어가 가능하다. Beam profiler 를 사용하여 최종 도달하는 beam 의 광분포도를 이용하면 beam 의 불균등을 제어할 수 있다고 우선 가정하였다. 본 실험에서 grayscale 의 적용이 쉽고 저렴한 commercial DLP Projection 에서 사용되는 DMD 를 사용하여 laser beam 을 균등하게 제어하였다.

## 2. 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치에 대한 전체적인 도식은 Fig.1(a)에 나타내었고, 실제 장치의 사진은 Fig.1(b)에 나타내었다. 일반적인 미세광조형기술에서 resin 이 있어야 할 부분에 beam profiler 를 장착하여 최종 도달하는 beam 의 형상과 광 분포도를 측정할 수 있게 하였다. 본 연구에서 사용된 beam profiler 는 OPHIR 사의 BeamStar-fx-66 이며 사양은 Table.1 에 나타내었다.

## 3. 측정

앞에서 설명한 실험장치에서 DMD 에 Fig.2(a)와 같은 그림을 표시한다. 그러면 Beam profiler 에서 측정된 광분포도는 Fig.2(b)와 같이 나타난다. Fig.2(b)를 보면 laser beam 의 gaussian 분포에 의해 중간 부분은 강하고 주변으로 갈수록 약해지는 것을 확인할 수 있다.

## 4. 제어 및 재측정

Beam Profiler 에서 측정된 광분포도는 측정기의 각 픽셀 당 power 를 행렬 데이터로 읽어 올 수 있다. 앞에서 말했듯이 DMD 에서 grayscale 을 이용하여 반사되는 power 의 분포를 제어할 수 있다. 측정데이터를 사용하여 높은 에너지를 가지는 부분(픽셀)을 낮은 power 를 가지는 값과

Table 1 Specifications of the Beam profiler

Items	Specification
Spectral Response	350~1100 nm
Pixel Spacing	7.5 $\mu\text{m}$ X 7.5 $\mu\text{m}$
Number of effective pixels	1280 X 960 pixels
Operation mode	CMOS rolling mode

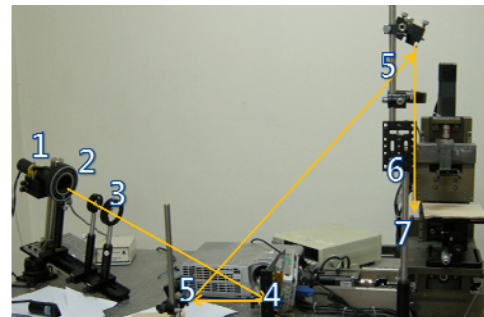
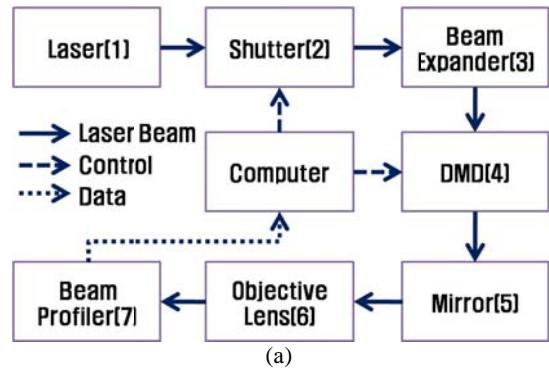


Fig. 1 (a) (b) photograph of the Pmsl using commercial DLP with DMD ①Laser, ②Shutter, ③Beam expander, ④DMD, ⑤Mirror ⑥Objective lens ⑦Beam profiler

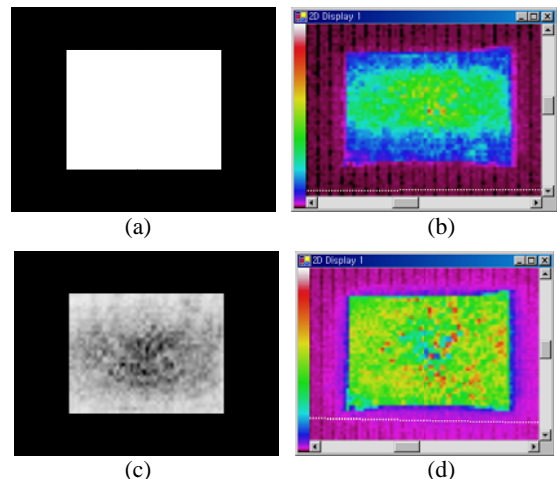


Fig. 2 Measurement of beam distribution according to cross-section image

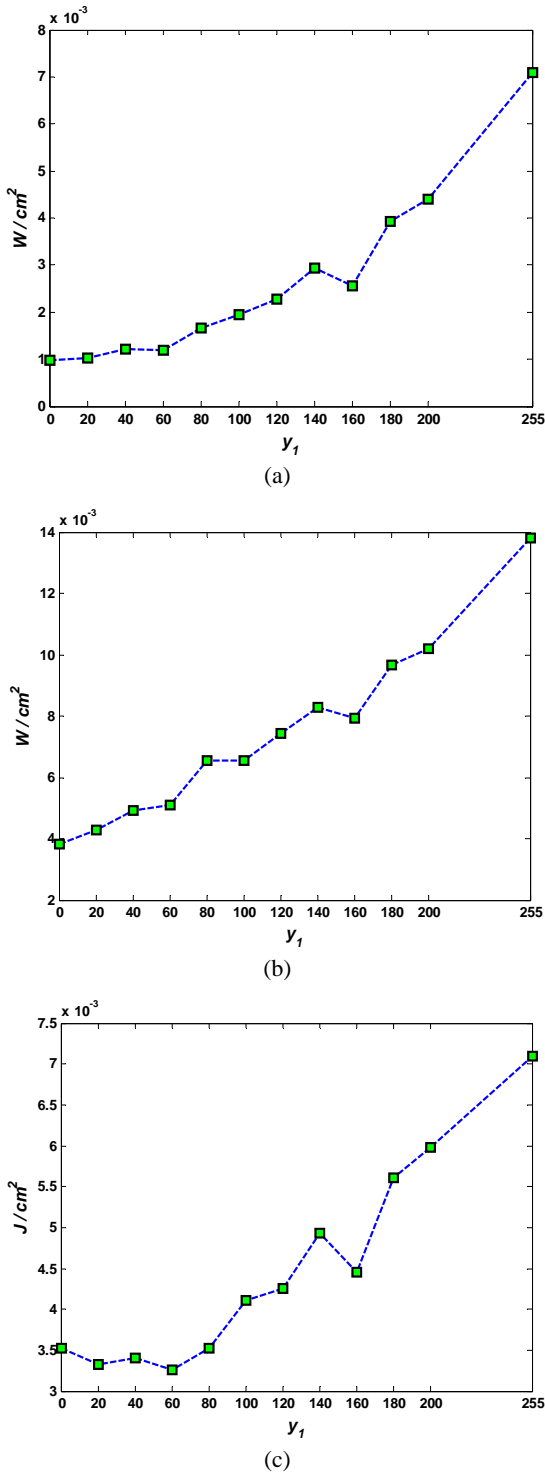


Fig. 3 measurement of the (a) standard deviation beam power & (b) mean beam power & (c) standard deviation beam energy according to concentration of grayscale

비슷하게 낮추어 광분포의 편차를 낮출 수 있다. Grayscale 을 가지는 영상(사진)의 픽셀당 값은 8bit 값으로 0~255 범위의 양의 정수 값을 가진다. 측정데이터를 그대로 gray 영상으로 변환할 수 없으므로 적절한 수식을 이용하여 변환할 필요가 있다. 측정데이터에서 실제범위에 있는 데이터 중 가장 큰 값 $x_1$ 과 가장 낮은 값 $x_2$ 을 찾을 수 있다. 빛의 power 는 grayscale 값에 따라 선형적으로 변한다고 예상되므로 1 차 방정식  $y = Ax + B$  를 이용하여 측정데이터를 gray 영상으로 변환할 수 있는 데이터로 변환한다. 1 차 방정식의 A 와 B 값을 하기 위해  $y_1, y_2$ 를 정의할 필요가 있다. 여기서  $y_1$ 은 데이터 중 가장 큰 값 $x_1$ 이 변환되어야 할 값이고, 높은 에너지는 낮추어야 하므로 255 보다 작

은 값으로 하되 본 실험을 위해 변수로 두었다.  $y_2$ 은 데이터 중 가장 작은 값 $x_2$ 이 변환되어야 할 값이고, 낮은 에너지는 낮추어서는 안되므로 8bit 범위에서 가장 큰 값인 255로 정의하였다. 측정된 데이터 행렬의 크기가 DMD 에 출력된 이미지보다 크거나 작을 수 있다. 이를 보정하기 위해 이미지를 강제적으로 확대나 축소시켜야 한다.

본 실험에서 앞에서 Beam profiler 으로 측정된 데이터를 이용하여 grayscale 을 가지는 이미지로 변환하는 모든 과정을 MATLAB 으로 하였다. 설명한 데이터 변환 과정 중 변수로 두었던  $y_1$  값을 0 으로 두었을 때 변환된 이미지를 Fig.2(c) 에 나타내었다. 그리고 Fig.2(d)은 Fig.2(c)를 DMD 에 표시하였을 때 Beam profiler 에서 측정된 광분포도이다. Fig.2(b)와 단순 비교하였을 때 광분포가 좋아진 것을 볼 수 있다.

Fig.3(a)는 본 실험의 변수인  $y_1$  값에 따른 power 의 표준편차를 나타낸다. 그리고 Fig.3(b)는  $y_1$  값에 따른 power 의 평균값을 나타낸다.  $y_1$  값이 0~60 경우 표준편차가 작지만 60 보다 큰 값에서는 표준편차가 커지는 것을 볼 수 있다. 그리고  $y_1$  값이 낮을수록 power 평균값이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 본 실험의 경우에서 낮은  $y_1$  값에서 좋은 표준편차를 가지는 것을 볼 수 있지만  $y_1$  값이 낮을수록 power 값이 작아지므로 동일 시간 동안 resin 경화 시 정도가 달라지거나 경화가 되지 않을 수 있다. Grayscale 을 적용하지 않았을 때 1 초 동안 노출 시켰을 경우의 평균 energy 값과 동일하게 하였을 때  $y_1$  값에 따른 energy 표준편차를 Fig.3(c)에 나타내었다. Fig.3(c)를 보았을 때  $y_1$  값이 60 정도 되었을 때 낮은 표준편차를 가지는 것을 볼 수 있다.

### 5. 결론

본 실험에서 Beam 의 Gaussian 분포에 의한 불균등을 grayscale 영상을 이용하여 균등하게 제어하였다. 실험결과 grayscale 을 통하여 beam 의 power 를 부분적으로 제어할 수 있다는 것을 확인하였다. 그러나 beam profiler 로 측정 시 최종 도달 beam 형상이 작아서 정밀한 데이터를 측정할 수 없었다. 최종 beam 형상을 확대하여 사용하거나, 해상도가 높은 beam profiler 를 사용하면 좀더 좋은 결과를 낼 수 있을 것이다. 또한 본 실험에서 사용된 commercial DLP Projection 에서 사용되는 DMD 는 가격을 저렴하지만 UV beam 의 반사율이 매우 적어서 적용하기가 매우 까다롭다.

### 참고문헌

1. Varadan, V. K., Jiang, X. and Varadan, V. V., "Microstereolithography and other Fabrication Techniques for 3D MEMS," Wiley, 2001
2. 최재원, 하영명, 이석희, 최경현, "Digital Micromirror Device 를 이용한 3 차원 마이크로구조물 제작," 한국정밀공학회지, 제 23 권, 제 11 호, pp. 116-125, 2006.
3. Bertsch, A., Bernhard, P. and Renaud, P., "Microstereolithography: Concepts and applications," 8<sup>th</sup> IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 289-298, 2001.
4. 주재영, 김성훈, 정성호, "디지털마이크로미러 소자를 이용한 마이크로 광조형 기술개발," 한국정밀공학회 2005 년도 춘계학술대회논문집, 509-513, 2005.
5. 최재원, 김호찬, 김민섭, 하영명, 배용환, 이석희, "레이저 광원을 이용한 DMD 기반 마이크로광조형 장치," 한국정밀공학회 2007 년도 춘계학술대회논문집, 685-686, 2007