

# 마이크로광조형을 이용한 대면적의 타원형 마이크로 렌즈 어레이 제작

박인백\*, 이수도\*, 권태완\*, 최재원\*\*, 이석희#

## Fabrication of Elliptical Micro-lens Array with Large Surface Using $\mu$ SL

In Baek Park\*, Su Do Lee\*, Tae Wan Kwon\*, Jae Won Choi\*\* and Seok Hee Lee#

### ABSTRACT

A 3D structure production method for microstereolithography is a useful way that produces complex structures with flexible processes and low cost. Several UV curable resins were blended and the optimal resin for micro-lens fabricate was selected through viscosity, workability and transmission tests. It consists of 1, 6 - Hexanediol diacrylate with 15 Apha and Isobornyl acrylate for reducing some shrinkage. When fabricating a micro-lens array on large surface, some distortion of shape occurred because of the surface tension between cured part. To overcome this problem, the optimal processing conditions were derived from considering amount of the resin and surface tension. Large surface Micro-lens array, which are a type of elliptical convex and consist of 18,000 micro-lens in the range of 2cm\*2cm were fabricated. The focal length to the X-axis and Y-axis were calculated. To verify the performance, measure an energy distribution of transmitted light from the Large surface Micro-lens array.

**Key Words** : Microstereolithography (마이크로광조형), Microlens array (배열형 마이크로 렌즈)

### 1. 서론

최근 Micro Lens Array(MLA)를 다양한 응용방 안으로 Optical systems 에서의 Optoelectronic sensor, Optical communication device, Confocal microscopes 등에 폭넓게 사용하고 있다.<sup>1</sup> MLA 의 역할은 Optical fibers 의 광 분포를 평행하게 하거나, 디스 플레이의 밝기를 증가시키는 역할, 평행 광 시스 템을 위한 광학 구조물 등의 역할을 수행한다.<sup>2</sup> 이러한 MLA 를 제작하는 방법으로 주로 MEMS,

Gray-scale photolithography,<sup>3</sup> Excimer laser ablation,<sup>4</sup> Reflow technique<sup>5</sup> 등의 미세 제작기술을 사용한다. 근래에는 단가 절감 및 대량생산을 시도하기 위해 Mold 를 사용한 미세 사출 성형(Microinjection molding)의 공정기술을 연구하고 있다.<sup>6</sup> 하지만 MLA 는 사용자에 따른 주문제작이 많은 이유로, 간접기법으로 제작하기에 많은 Mold 수와 가공공 정이 따른다. 그러므로 다양한 형태의 렌즈를 제 작하기 위해서는 직접 제작이 우선되어야 한다.

이를 위해 본 논문에서는 복잡한 형상과 저

접수일: 2007년 8월 27일; 게재승인일: 2007년 11월 20일

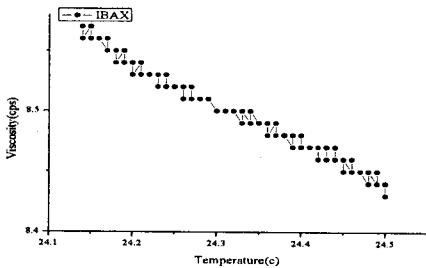
\* 부산대학교 대학원 지능기계공학과

\*\* The University of Texas at El Paso, TX, USA

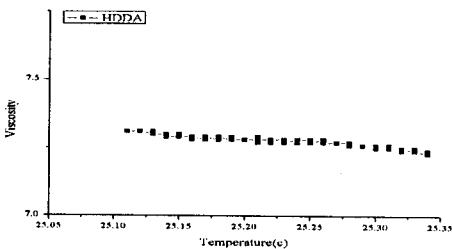
# 교신저자: 부산대학교 기계공학과

E-mail: sehlee@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-1476

비용으로 미세 구조물의 제작이 가능한 Microstereolithography( $\mu$ SL)을 이용해 촬영소자의 Fill-factor 를 높이기 위한 방안으로 대면적 MLA 를 제작했다. 렌즈의 형상 중 제작하기 힘든 2 개의 Focal length 를 가지는 타원형태를 설계하고, UV Resin 을 선정하기 위해 3 가지 물성테스트를 거쳐 가공했다. 또한 대면적 MLA 의 형상을 균일하게 제작하기 위해 UV Resin 도포량과 온도에 따른 표면장력을 고려해 경화 조건에 추가했다. 결과로 100, 140 $\mu$ m 의 두 개의 지름을 가진 타원형 렌즈를 10 \* 12 배열로 하나의 MLA 로 두고 X, Y 축의 이송으로 인해 10 \* 15 개의 대면적 MLA 를 제작하고 광 분포 및 에너지를 측정했다.



(a) IBXA



(b) HDDA

Fig. 1 Viscosity test of normal temperature condition

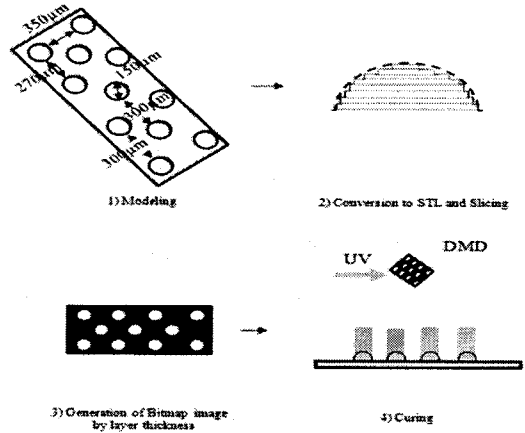
## 2. MLA 의 제작

### 2.1 물성 테스트

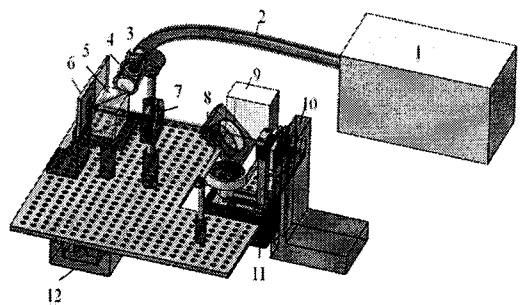
$\mu$ SL 에서 렌즈를 직접 제작하기 위해선 UV Resin 의 높은 투명성과 가공성을 가진 Monomer 를 필요로 한다. 이러한 렌즈의 원재료를 선택하기 위해 육안상 투명하고, 특성상 낮은 Apha 를 가진 Monomer 를 선정했다. Fig. 1 은 30 Apha 미만인 Isobornyl acrylate(IBXA)와 15 Apha 미만인 1, 6 -

Hexanediol diacrylate(HDDA)로 상온에서 점도 측정기인 SV-10(AND)을 사용하여 측정한 것이다.

IBXA 와 HDDA 는 점성에 있어서 비슷한 양상을 보이며, 투명성은 제작사의 특성상 HDDA 가 보다 투명한 색상을 지녔다. 이로 인해 HDDA 를 MLA 의 원재료로 하고 가공성 테스트를 실시했다. 가공성 테스트는 Fig. 2(a)과 같이 3D Modeling 하고, STL 파일로 변환 후 적층 두께만큼 Slicing 시켜 Bitmap 으로 변환했다. 이후 Dynamic Mirror Device (DMD)에 Bitmap image 를 전송한 뒤 Fig. 2(b)와 같은 광 경로를 통해 Resin 을 경화했다.



(a) Micro-lens design for workability test

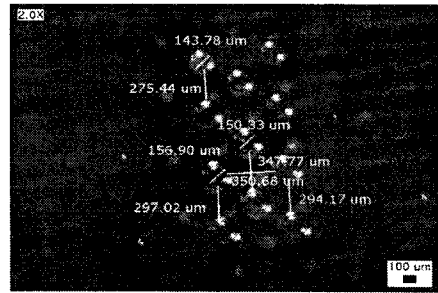


(b)  $\mu$ SL system and light pass. 1. Mercury Lamp (EXFO S2000, 365nm filtered, 200W output), 2. Optical fiber, 3. Fiber end, 4. Collimating Lens, 5. Light tunnel, 6. DMD (Dynamic Mirror Device), 7. Tube lens, 8. Reflecting mirror, 9. Focusing lens and adapter, 10. Z axis stage, 11. Resin vat, 12. X-Y axis

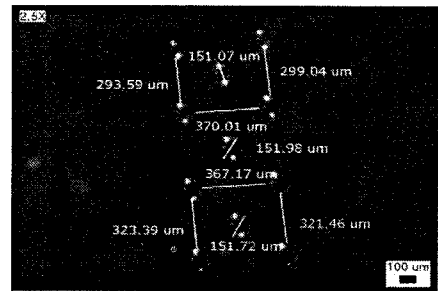
Fig. 2 Test modeling and  $\mu$ SL system

광 경화에 따른 수지의 가공성 실험 조건 Table 1 과 같으며 적층 두께는 3D 모델을 슬라이싱한 것과 같다. Z 축의 이송은 적층 두께를 결정함과 동시에 이전 경화한 구조물에 수지가 균일하게 도포되기 위해 사용된다.  $\mu$ SL 에서 수지표면의 상태는 가공성에 많은 영향을 미친다. 만일 점성이 높은 UV 수지를 사용해 가공하면 빠른 시간 내에 수지의 표면을 균일하게 이루지 못해 적층 두께나 형상이 불균일하게 제작된다. 이점을 고려하여 Table 1 에서 Z 축의 이송은 수지 도포를 위한 것이며 한 층의 가공 후 적층 두께만큼 하강한 위치를 중심으로 이송비율의 설정 값인  $\pm 3\text{mm}$  만큼 하강하고 상승해 도포한다. 또한 z 축의 이송 외에도 대기시간을 주어 경화 위치에 도달한 뒤 대기시간을 가지도록 설정했다. 광 조사 에너지와 경화 시간은 사용할 UV Resin, 광개시제 등에 따라 의도되는 사이즈만큼 경화되는 성질이 다르므로 광 조사 에너지를 100~30% 범위 내에서 실시했다. 선정된 HDDA 를 365nm 에 반응하는 광개시제인 DMPA (2, 2 - Dimethoxy - 2 - phenylacetophenone)를 혼합하고 Fig. 2 의 (a)에 형상을 따라 제작한 결과로 적절한 가공조건을 Fig. 3 에 나타냈다.

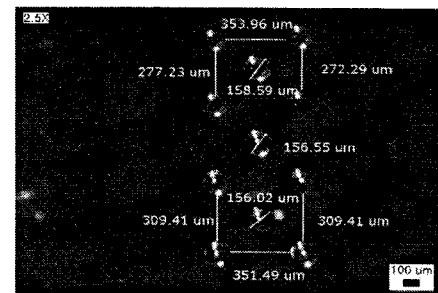
경화 시 HDDA 의 과반응으로 인한 수축을 줄이기 위해 IBXA 를 일정비율로 혼합하고 실험한 결과 8 : 2 비율일 때 HDDA 로만 가공한 것과 비슷한 형상치수를 보였다. 이후 투과율 테스트에서는 HDDA, HDDA + IBXA (8:2)를 광경화 후 Spectrophotometer (U-2010, HITACHI)를 사용하여 200 ~ 900nm 대역에서 측정했다. HDDA 의 높은 경화반응으로 인해 경화표면이 매끄럽지 않아 총 3 회 측정하고 평균을 산출해 Fig. 4 에 표기했다. 실험 결과 HDDA 는 대략 90%의 높은 투과율을 지니고, HDDA(8) + IBXA(2)는 85%의 투과율을 지님을 확인했다.



(a) HDDA+ PI(2%) : Beam Energy 60% , Irradiation time 2s



(b) HDDA + IBAX ( 8 : 2 ), PI (2%) : Beam Energy 50% , Irradiation time 4s

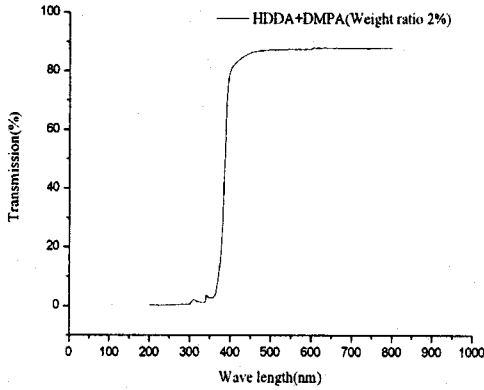


(c) HDDA + IBAX ( 4 : 6 ), PI (2%) : Beam Energy 50% , Irradiation time 6s

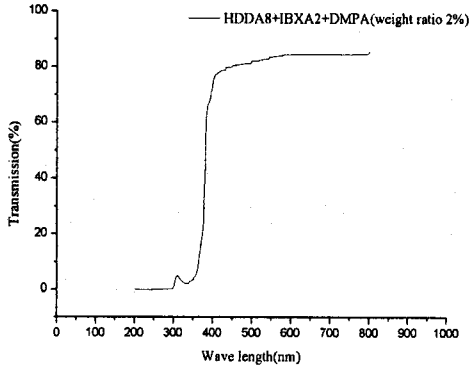
Fig. 3 Workability test of UV curable Resin

Table 1 Workability test condition of UV Resin

Curing Test	Weight ratio	Process condition
HDDA _ DMPA	10g _2wt%	Irradiation Beam energy: 100 ~ 30% (0.0148~0.00444W/ /cm <sup>2</sup> ) time: 2 ~ 10 (sec)
HDDA + IBXA _ DMPA	8 : 2, 6 : 4, 4 : 6, 2 : 8 _2wt%	Total layer :10 layer layer Thickness: 1 $\mu$ m Z-axis Travel: z 3 - z -3(mm) feed late : up 20, down 20 Dwell time: 150 ~ 300(sec)



(a) HDDA + Photoinitiator (2wt%)



(b) HDDA(8)+ IBXA(2) + Photoinitiator (2wt%)

Fig. 4 Measurement of transmissivity

## 2.2 대면적 MLA

이전 실험을 통해 HDDA 와 HDDA + IBAX 로 MLA 의 제작가능성을 파악했다. 이러한 가능성으로 대면적 MLA 를 Fig. 5 와 같이 모델링 했다. 대면적으로 제작하기 위해 Fig. 6 과 같은 공정을 사용했다. 그러나 제작된 대면적 MLA 는 설계치수만큼 높이가 형상이 이뤄지지 않았고 각각의 렌즈마다 크기가 미세한 차이가 있었다. 이러한 이유를 본 연구에서는 UV 수지의 표면장력으로 인해 발생됨으로 판단했다. 적은 적층 높이로 극소한 UV 수지가 이전의 가공물에 도포되고 각 렌즈들 간의 사이 간격으로 인해 Fig. 7(b)와 같이 Meniscus 발생되어 경화 시 UV Resin 이 완전히 평탄하게 이뤄지지 않는다. 이러한 Meniscus 현상은 Fig. 7(a)와 같이 모세관 현상에서의 표면장력으로 인해 발생되며, 그 값을 측정하기 위해 Fig. 7(c)와 같은 시스템을 구축해 실험했다.

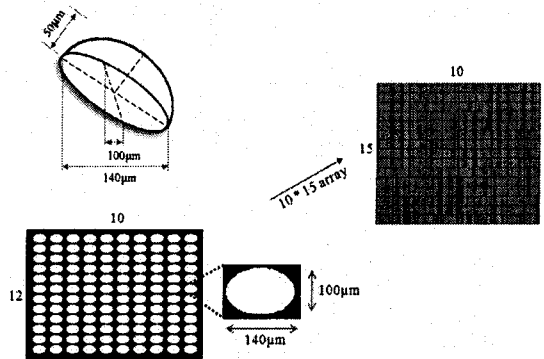


Fig. 5 3D modeling of MLA and array pattern

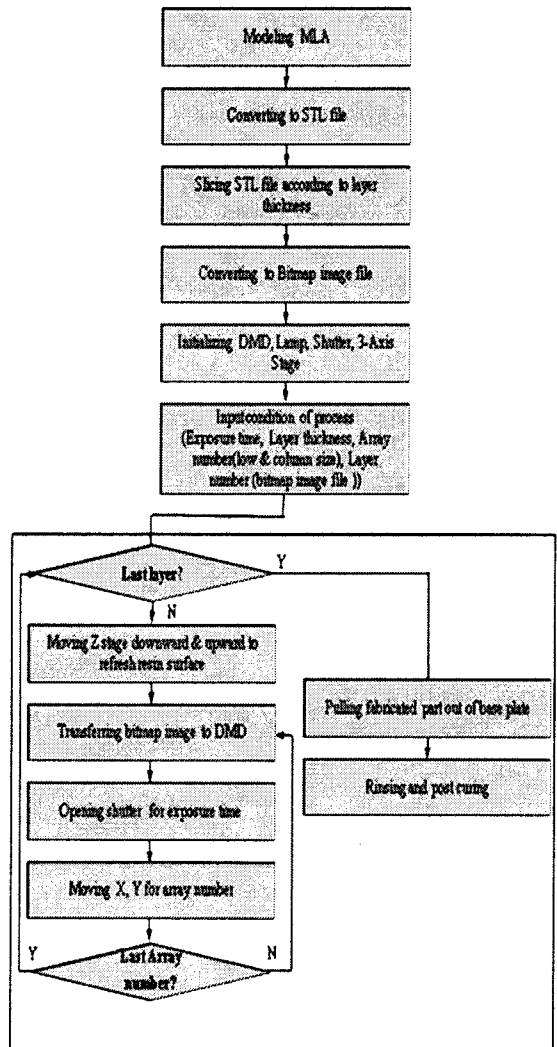


Fig. 6 Process flowchart for large-surface MLA

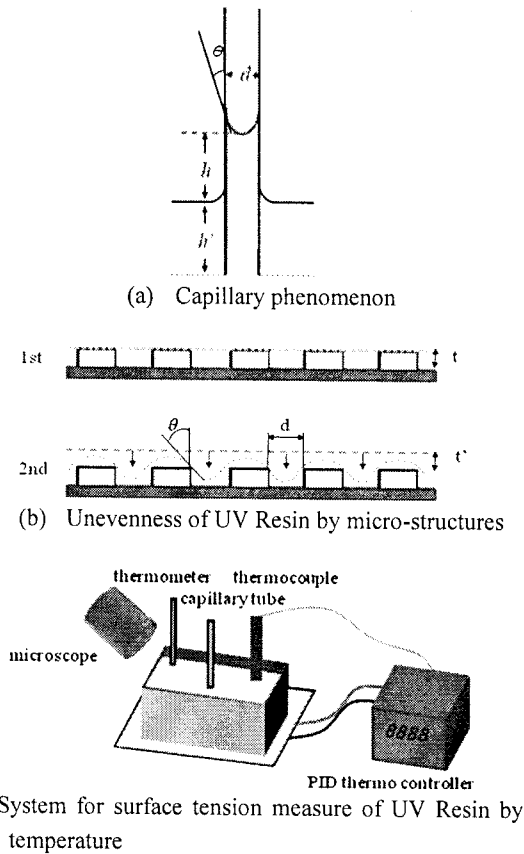


Fig. 7 Measurement of surface tension

Fig. 7 (a)는 모세관 현상에 대한 실험으로 식 1에 의해 표면장력의 비교가 가능하다. 또한 Fig. 7 (a)와 (b)에서  $\theta$ 는 접촉각으로 표면장력에 의해 생기는 현상으로 클수록 응집력이 강한 액체이며, 적을수록 부착력이 강하다.<sup>7</sup> 이러한  $\theta$ 의 값은 모세관 안의 수지표면에 생기는 Meniscus와 모세관의 액체 높이인  $h$  값에 영향을 준다. 식 1은 모세관 현상에 따른  $h$  값을 나타내며  $D$ 는 모세관의 직경, 모세관이 유체에 잠긴 높이인  $h'$ , 모세관과 유체의 접촉각인  $\theta$ , 중력 가속도  $g$ , 밀도  $\rho$ , 표면장력인  $T$ 이다.

$$h = \frac{4T \cos \theta}{gD\rho} \quad (1)$$

식(1)에서 표면장력인  $T$ 는 동일 유체와 동일 모세관의 직경  $D$ 에서  $\theta, h$ 의 크기로 인해 달라진다.  $\theta$ 는  $h$ 에 영향을 받으므로 제외하면  $h$ 가 적을

수록 표면장력이 적다. 이를 고려해 Fig. 7(c)와 같은 측정시스템을 제작하여 MLA의 UV 수지를 동일한 직경의 모세관을 넣어 상온에서  $h$ 를 측정했다. 그 예로 Fig. 8은 온도를 증가시키에 따라  $h$ 가 낮아짐을 확인했다.

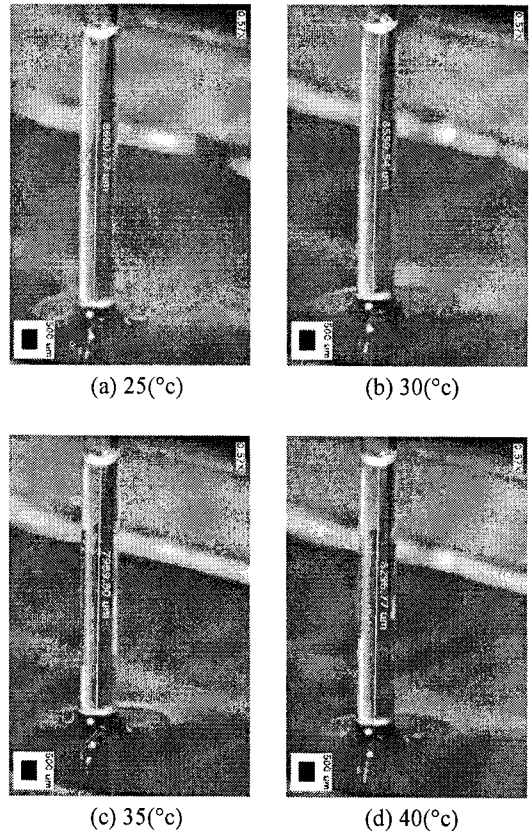
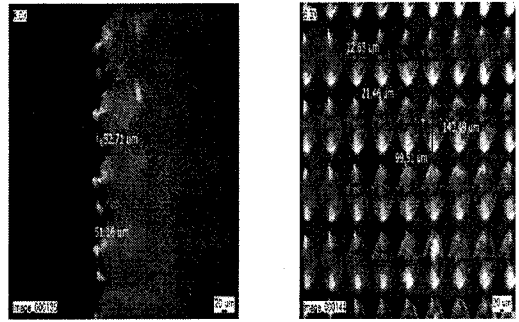


Fig. 8 Measurement ( $h$ ) of UV Resins by temperature

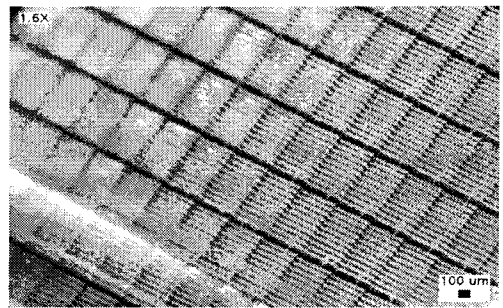
Table 2 Variation of  $h$  from MLA Resins by temperature

Temp. (°C)	$h$ (HDDA + PI(2%))
25	8130.77( $\mu$ m)
30	8061.14( $\mu$ m)
35	7864.17( $\mu$ m)
40	7677.84( $\mu$ m)
Temp. (°C)	$h$ (HDDA (8) + IBXA (2) + PI(2%))
25	8660.77( $\mu$ m)
30	8559.54( $\mu$ m)
35	8296.77( $\mu$ m)
40	7989.80( $\mu$ m)

Table 2 의 온도에 따른 h 가 적어짐에 따라 접촉 각인  $\theta$  의 크기가 커지고 표면장력인 T 는 식 1 에 따라 적어진다. 온도로 표면장력을 줄이는 방법 외에 계면활성제와 같은 첨가제를 혼합하는 방법이 있으나 경화특성과 투과율이 달라질 수 있으므로 본 실험에서 제외했다. Table 2 의 실험 결과를 토대로 대면적 MLA 을 제작하기 위해 Table 3 의 가공 조건과 UV 수지에 온도를 가했다. 더불어 UV 수지의 원활한 도포를 위해 Table 3 에서 z 3 - z - 2.9997 ~ 6(mm)으로 Table 2 의 이송비율을 달리 적용한 이유는 대면적 MLA 의 가공공정상 한 층의 10 \* 15 의 어레이를 마치고 Z 축의 이송이 이뤄지기 때문에 실제 적층 두께보다 많은 도포가 필요로 한다. 실험으로 한 층의 도포량에 비해 경화되는 구조물이 많이 제작될수록 UV Resin 의 밀도가 줄어들어 형상이 정확히 제작되지 않았다. 이를 해결하기 위해 Table 3 과 같이 Z 축의 수지도포를 위한 이송범위 중 상승 값을 실험을 통해 적절히 감소시켜 수지의 도포량을 늘였다. 이외에 가공성 테스트를 거친 광 조사 에너지, 조사 시간, Z 축 이송 속도, 대기시간, 수지 가열 온도를 결정했다. 이러한 실험 조건으로 제작된 MLA 는 Fig. 9 와 같으며 균일한 마이크로 렌즈의 형상으로 가공되었다.



(a) Dimension of MLA(Front-view and Cross-view)



(b) Fabrication a Large-surface MLA consists of micro lens array 10\*15

Fig. 9 Dimension of large-surface MLA

Table 3 Process condition for large-surface MLA Fabrication

UV Resin	Weight ratio	Process condition
HDDA + DMPA	10g + 2%(wt)	Irradiation Beam energy: 60% (total 1W) time: 2 (sec) Total layer :50 layer layer Thickness: 1μm Z-axis travel for spread of UV Resin: z 3 - z -2.9997(mm) feed late : up 10, down 20 Dwell time: 300(sec) Heating temp. (about) 28°C
HDDA + IBXA + DMPA	8 : 2 + 2%	Irradiation Beam energy: 50% (total 1W) time: 4 (sec) Total layer :50 layer layer Thickness: 1μm Z-axis travel for spread of UV Resin : z 3 - z -2.9996(mm) feed late : up 10, down 20 Dwell time: 350(sec) Heating temp. (about) 30°C

### 3. 측정 결과

제작한 대면적 MLA 는 이중 초점을 가지는 렌즈로서 Focal length 을 알아보기 위해 식(2), (3)을 사용해 계산 했다.

$$R = \frac{D^2 + 4h^2}{8h} \quad (2)$$

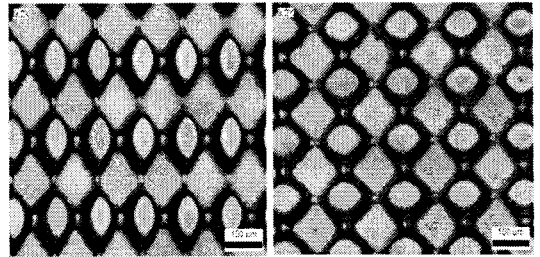
$$f = \frac{R}{n-1} \quad (3)$$

$$F\# = \frac{f}{D} \quad (4)$$

(*R*: Radius of curvature, *f*: Focal length, *D*: Diameter, *h*: Sag Height, *n*: Refractive )

식 (2)의 렌즈 곡률은  $R_x = 49.77$ ,  $R_y = 73.80$  이며, 굴절률  $n = 1.42$  를 식 (3)에 대입하면  $f_x = 118.5$ ,  $f_y = 175.71$  이다. 렌즈의 명도는  $F\#_x = 0.84$ ,  $F\#_y = 0.799$  이다. 대면적 MLA 에서 투과되는 광 분포를 알아보기 위해 Microscope(LEICA)를 사용하여 Fig. 10 의 (a)와 같이 마이크로 스테이지를 이동시켜가면서 측정한 결과, (b)는 MLA 에 맺히는 광 패턴이 렌즈의 장축을 수직, 수평으로 동일한 패턴으로 투과되고 있음을 확인했다. 이로써 렌즈의 형상이 비교적 일정하게 제작되어 있음을 보여준다.

대면적 MLA 에서 투과되는 광 에너지를 알아보기 위해 Beamprofiler(OPHIR)를 사용해 실시한 결과, MLA 를 투과하지 않은 광에 비해 높은 에너지로 분포되고 있음을 보였다. Table 4 는 입사 광과 대면적 MLA 의 격자를 투과된 광의 에너지 차이를 측정한 것이다. 결과적으로 입사 광에 비해 렌즈를 투과한 광 에너지가 증폭됨을 알 수 있었다.



(b) Measurement of distribution of light-source from MLA (horizontal, vertical)

Fig. 10 Distribution of light-source from MLA

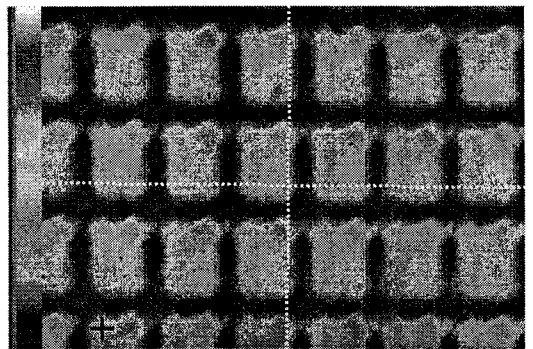


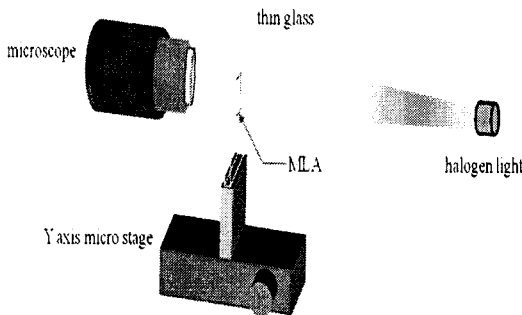
Fig. 11 Measurement of beam-energy form large surface MLA

Table 4 Measurement of beam energy from MLA

	Total energy (mW)	Peak power density (W/cm <sup>2</sup> )	Peak to average
Original Light	0.10	0.00040	2.74
Transmitted Light	0.15	0.00048	3.24

### 4. 결론

이전의 연구와 달리 본 연구에서는 MLA 를  $\mu$ SL 에서 점성 및 투과율, 가공성의 실험을 통한 선정 Monomer 을 사용해 직접 기법으로 제작했다. 형상의 균일화를 위한 가공조건을 고려해 Fig. 9 와 같이 격자형태의 대면적 MLA 를 제작하고 광 에너지 분포를 측정하였다. 측정결과 주어진 광보다 높은 에너지와 밝기를 가진 격자구조로 발함을 확인했다. 격자형태의 배열로 제작한 이유는 Photo-Detector 의 Pixel 단위로 격자 내 MLA 를 제작하기 위한 사전 연구로 시작되었다. X-ray 의 photon 이



(a) Composition of measurement system

섬광체를 통과하면서 발생하는 빛이 CCD 또는 CMOS 에 전달되기 전에 픽셀단위의 격자 내 MLA 로 집광시켜 Fill-factor 를 높이기 위함이다. 그러나 격자 내에 다수의 렌즈로 구성될 경우 빛을 확산시킬 수 있으므로 큰 격자 배열로 우선 제작하여 구성 렌즈간의 광 에너지 및 분포를 측정하였다. 그 결과 집광렌즈로 충분한 기능을 수행할 수 있음을 확인했다. MLA 의 직접 제작을 DMD 를 이용한  $\mu$ SL 로 수행함에 있어 타 장비보다 비용이 적고 신속한 제작이 가능했다. 그러나 가공 정도는 많은 실험과 가공 조건의 부여에도 불구하고 정확히 제작되지 않았다. 그 이유는 DMD 에서 반사된 패턴이 Focusing lens 에서 축소되어 가장자리에 광 에너지가 약화되기 때문으로 사료된다. 이를 보정하기 위해 Collimate lens 이후 렌즈를 추가해 광분포를 퍼트려 실험할 예정이다. 이와 동시에 Fill-factor 를 고려해 격자크기를 Intra oral sensor 의 Pixel 크기(약  $50 \mu\text{m}$ , 사이 간격  $10 \mu\text{m}$ )와 동일하게 하여 적정 렌즈 수를 계산해 대면적 MLA 를 제작할 것이다. 추가적으로 본 논문에서 제작된 대면적 MLA 는 시간이 경과함에 따라 약간의 수축현상이 발생됨을 보였다. 이를 위해 향후 재료 선정은 실제 Contact lens 로 쓰이는 Monomer 인 Hydroxyethyl Methacrylate (HEMA)와 분자량이 높은 Monomer 를 사용해 연구할 계획이다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2004-000-10507-0)와 BK21 사업에 의한 연구 지원으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Agarwal, M., Gunasekaran, R. W., Coane, P. and Varahramyan, K., "Polymer-based variable focal length microlens system," *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 14, No. 12, pp. 1665-1673, 2004.
2. Yoon, K. K., Lee, S. K., Kim, J. G., Kim, C. S. and Kim, J. D., "Microlens fabricated by laser irradiation," *Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Autumn Conference*, pp. 748-751, 2000.
3. Peng, Q., Guo, Y. and Liu, S., "Real-time gray-scale photolithography for fabrication of continuous microstructure," *Optic Letters*, Vol. 27, No. 19, pp. 1720-1722, 2002.
4. Naessens, K., Van Daele, P. and Baets, R., "Flexible Fabrication of Microlenses in Polymers with Excimer Laser Ablation," *Applied Surface Science*, Vol. 208-209, No. 15, pp. 159-164, 2003.
5. He, M., Yuan, X., Ngo, N., Cheong, W. C. and Bu, J., "Reflow technique for the fabrication of an elliptical microlens array in sol-gel material," *Applied Optics*, Vol. 42, No. 36, pp. 7174-7178, 2003.
6. Desmet, L., Van Overmeire, S., Van Erps, J. H., Ottevaere, H., Debaes C. and Thienpont, H., "Elastomeric inverse moulding and vacuum casting process characterization for the fabrication of arrays of concave refractive microlenses," *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 17, No. 1, pp. 81-88, 2007.
7. Hara, A., "Nonsteady Flow in Capillary Tube," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 39, No. 3A, pp. 1437-1441, 2000.