

# 엑시머 레이저를 이용한 PDMS 트랜스퍼 몰드의 제작

## Development of PDMS Transfer Mold using Excimer Laser

신동식, 이제훈, 서정

D. S. Shin, J. H. Lee, J. Suh

한국기계연구원 정보장비연구센터

### ABSTRACT

In this study, manufacturing of polymer master, PDMS(poly dimethylsiloxane) transfer mold, and mold insert was investigated for laser LIGA(Lithography Galvanoformung Abformtechnik). Initially, ablation by excimer laser radiation was used successfully to make 3-D microstructure of PET. After then, the PDMS transfer mold was replicated using ablated PET. Finally, epoxy resin tooling on replicated PDMS transfer mold was executed for making mold insert. From these facts we can conclude that excimer laser ablation of polymer and fabrication of PDMS transfer mold are reasonable tools to substitute for X-ray lithography of LIGA process in microstructuring.

**Keywords** : excimer laser(엑시머레이저), mold insert(금형), transfer mold(트랜스퍼 몰드), master(모형), rapid tooling(래피드 툴링)

### 1. 서론

마이크로 부품을 제조하기 위한 여러 기술들은 복합화 되고 있으며 정보통신, 바이오, 환경 등 다양한 분야에서 활용성이 증대되고 있다. 또한 양산성을 높여 가격 경쟁력을 확보하기 위하여 초 미세금형을 이용한 사출방식으로 제품을 대량생산하는 방식이 개발되고 있다.

이러한 금형 제작법 중 대표적인 가공법이 LIGA공정<sup>1)</sup>으로서 리소그래피(Lithography)공정, 도금(Galvanoformung)공정 그리고 주형(Abformtechnik)공정을 기본공정으로 한다. LIGA공정은 X-ray를 이용한 리소그래피공정으로서 높은 종횡비(aspect ratio:>100)를 가지는 구조물 제작에 유용하게 사용되고 있다. 그러나 LIGA공정은 리소그래피공정에 의해 패턴이 형성되므로 복잡한 3차원 가공이 힘든 단점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 방사선 가속기에서 나오는 X-ray를 사용하여야 하므로 X-ray용 마스크를 생산하기 어려우며 양산성 및 가격 경쟁력을 높이기 어렵다<sup>1)</sup>.

이에 대한 대책으로 X-ray 리소그래피 대신 엑시머 레이저 어블레이션공정을 이용하여 모형(模

型-master)을 형성한 후 도금하는 방법이 제안되었다<sup>2,3,4)</sup>. 엑시머 레이저를 이용한 마스크 프로젝션(mask projection)기법은 깊이에 따라 가공폭의 변화가 있는 3차원 구조물을 제작할 수 있어<sup>5,6,7)</sup> 마이크로 유체소자(microfluidic device) 내부의 채널을 가공할 때 유용하게 사용되고 있다<sup>8,9)</sup>.

그렇지만 모형의 제작 시 음각이 아닌 양각의 형상을 제작하려면 오랜 가공시간과 가공비가 요구되므로 기존의 반도체 가공공정에 비하여 가격경쟁력이 없어지는 단점이 있었다. 본 논문의 목적은 상기 단점을 극복하기 위해 음각으로 가공한 모형을 이용하여 트랜스퍼 몰드(transfer mold)를 제작하고 트랜스퍼 몰드 상에 에폭시 수지를 주입하여 금형을 제작하는 것을 목적으로 하고 있다. 이와 같은 방법을 통하면 양각으로 형성된 패턴의 제작도 용이한 장점이 있어 향후 Laser LIGA의 적용시 유용하게 사용될 것으로 전망된다.

## 2. 실험방법

본 실험은 엑시머 레이저 어블레이션공정을 이용하여 폴리머 상에 미소형상을 가공한 후 가공된 폴리머를 이용하여 PDMS 트랜스퍼 몰드를 제작하고 이어 에폭시수지 몰딩을 통하여 마이크로 인젝션 몰딩(micro injection molding)<sup>10)</sup>용 금형을 제작하는 공정으로 이루어진다. 본 공정은 Fig. 1(a)와 같은 기존의 LIGA공정에서 리소그래피 공정을 레이저 가공공정으로 대체하고자 개발된 레이저 LIGA공정에서 트랜스퍼 몰드 공정을 추가한 것으로서 Fig. 1(b)에 나타난 바와 같이 일반적인 레이저 LIGA를 이용하여 양각의 제품을 제조하기 어려웠던 문제점을 Fig. 1(c)와 같이 개선하였다. Fig. 1(c)의 공정은 엑시머 레이저 어블레이션(ablation), PDMS 트랜스퍼 몰드, 에폭시 몰딩, 그리고 주형(molding)공정으로 이루어졌다.

레이저 어블레이션에 적용된 가공기는 248nm 파장을 가지며 펄스폭(pulse duration)이 5~6ns인 KrF 엑시머 레이저(독일ATL사)를 사용하였다. 마스크를 사용하는 엑시머 레이저 가공은 초점을 가공부의 상단에 일치시키는 일반적인 레이저가공과는 달리 Fig. 2에 표기된 바와 같이 상이 맺히는 지점에서 가공한다. 상이 맺히는 지점에서는 마스크의 형상이 선명히 나타나며 렌즈와 마스크 사이의 거리를 조절하는 방법을 통하여 상의 크기를 제어할 수 있는 장점이 있다. 식(1)은 상이 맺히는 거리를 구하는 공식으로서 마스크로부터 렌즈까지의 거리( $l$ ) 및 초점 거리( $f$ )를 알면 렌즈에서 상이 맺히는 지점까지의 거리( $L$ )를 알 수 있다. 또한 마스크상의 패턴이 축소되는 비율( $B/A$ : demagnification ratio)은 식(2)의 관계식을 가진다. 본 실험에서  $l$ 은 955.9mm,  $L$ 은 95.59mm 그리고  $f$ 는 86.9 mm 인 조건하에 1/10의 축소비로서 레이저 빔을 조사하였다.

폴리머의 재료는 선행연구결과<sup>11,12)</sup> 엑시머 레이저( $\lambda$ :248nm)와 광화학반응(photochemical process)이 추가 되어 용융물(melt) 및 열영향부(HAZ)가 없고 균열(crack)이 발생되지 않으며 표면 부스러기(surface debris)가 적게 발생하는 PET(polyethylene terephthalate)를 선정하여 실험하였다.

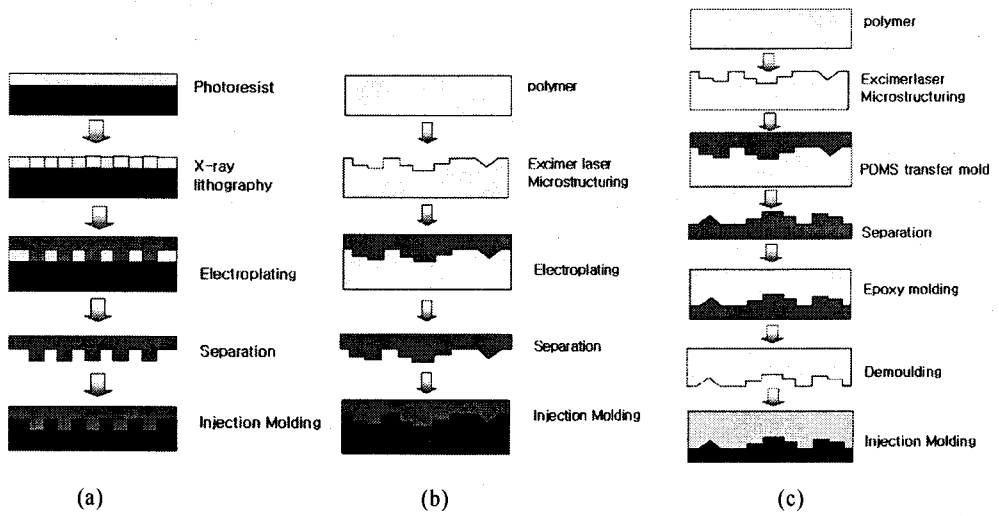


Fig. 1 Schematic diagram of (a) LIGA, (b) Laser LIGA, (c) Epoxy molding integrated laser LIGA

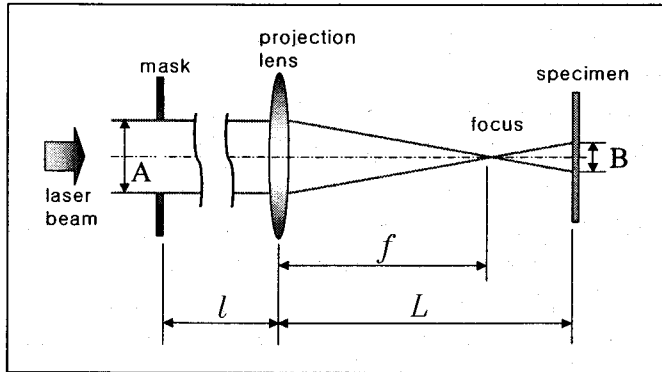


Fig. 2 Geometrical layout of mask projection

$$\frac{1}{l} + \frac{1}{L} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

$$\frac{B}{A} = \frac{L-f}{f} \quad (2)$$

이어 가공된 PET상에 Sylgard™사 PDMS를 주입하였고 상온에서 24시간의 경화공정을 거쳐 PDMS 트랜스퍼 몰드를 제작하였다. 상기 제작된 트랜스퍼 몰드는 Rapid Tooling 기법<sup>13)</sup>을 이용

하여 금형을 제작할 수 있었는데 이를 위한 첫단계로서 금박막 스퍼터링(20A, 5min)을 하였다. 본 공정에서 금 박막층은 다음 공정인 에폭시 몰드와의 분리를 용이하게 하기 위하여 형성된 이형층이다. 에폭시 몰드는 한국 제일산업의 J-4020으로서 주재와 경화제로 구성되어지며 두 재료를 혼합한 후 35℃의 분위기 하에 12시간동안 경화시켜 금형을 제작하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 PET의 어블레이션

Fig. 3은 마스크의 형상에 따른 가공단면을 보여주는 사진으로서 Fig. 3(a)는 사각 마스크를 사용하였을 경우, Fig. 3. (b)는 삼각마스크를 사용한 경우, (c)는 T형 마스크를 사용한 경우의 단면사진이다. 여기서 마스크의 형상은 단면의 형태를 제어할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 단면 형상이 형성되는 원리는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 마스크의 형상에 따라 단위 길이당 에너지의 분포가 달라져서 나타나는 현상으로 설명할 수 있다. 이와 같은 원리로서 엑시머 레이저를 사용하여 한번의 조사로서 3차원 형상을 제작할 수 있었다. Fig. 5는 각각 사각 마스크와 삼각 마스크를 이용하여 연속된 채널 및 그레이팅(grating)을 제작한 그림으로서 50 $\mu$ m의 영역은 마스크를 사용하여 형상제어가 용이하게 이루어진다는 것을 보여준다.

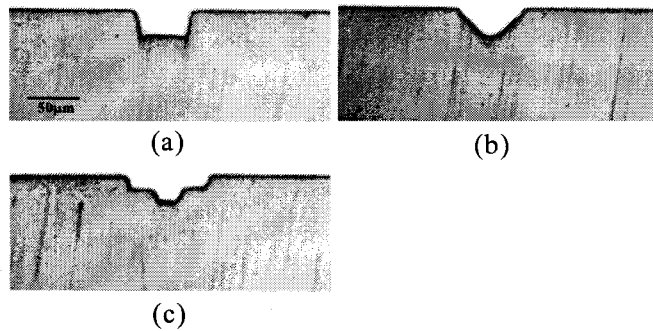


Fig. 3 Cross section of PET after excimer laser direct writing with (a)square, (b)triangular, (c)T-shape mask (scanning speed: 100 $\mu$ m/sec, energy density: 2.1J/cm<sup>2</sup>, Rep:200Hz)

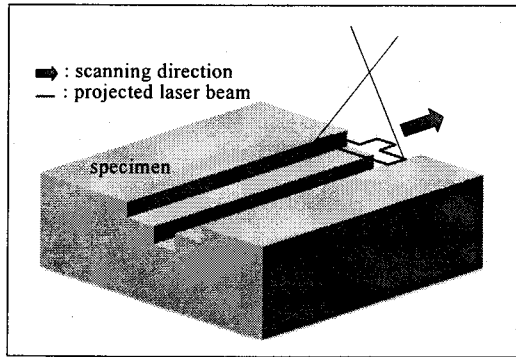


Fig. 4 Representation of relation between mask projected beam and groove formation

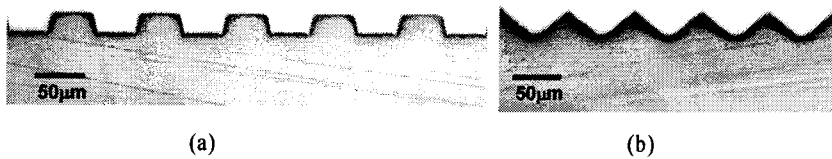


Fig. 5 PET master (a)rectangular channel, (b)triangular grating  
(scanning speed: 100µm/sec, energy density: 2.1J/cm<sup>2</sup>, Rep:200Hz)

### 3.2 PDMS 트랜스퍼 몰드의 제작

상기공정에서 볼 수 있듯이 엑시머 레이저와 마스크 프로젝션 기법을 이용하여 제작된 3차원 가공 형상은 동일 형태의 금형제작에도 용이하게 사용이 가능하다. 그러나 상기 공정은 음각의 금형을 만들기에는 한계점이 있다. 즉 레이저 가공을 요하는 모형의 경우 패턴 외의 부분을 제거하여야 하기 때문에 많은 가공시간이 소요될 것으로 예상된다. 따라서 이를 극복하기 위하여 고안된 방법이 PDMS(poly dimethylsiloxane)주형법이다. 즉 엑시머 레이저 빔을 이용하여 가공한 모형에 니켈이 아닌 PDMS를 도포한 후 떼어내면 양각의 또 다른 모형을 만들 수 있고 이후 금형을 제작하면 기존의 레이저 LIGA 공정에서는 어려웠던 음각의 니켈금형을 제작할 수 있다는 장점이 있다. Fig. 6은 본 논문을 통해서 발표하고자 하는 PDMS 주형법으로서 Fig. 6(a)는 엑시머 레이저 빔을 이용하여 PET 상에 패턴을 형성시킨 예에 해당되며, Fig. 6(b)는 가공된 PET 상에 PDMS를 도포한 후 떼어낸 샘플의 전자현미경사진이다. 또한 상기 PDMS상에 금박막으로 구성된 이형재층을 형성한 후 에폭시 몰드를 주입하면 내구성이 뛰어난 금형을 제작할 수 있다. 공정에 따라 에폭시에 세라믹 또는 금속을 혼합하면 내구성을 더욱 향상시킬 수 있으며 열전도도를 높여 과열을 방지하는 장점이 있다.

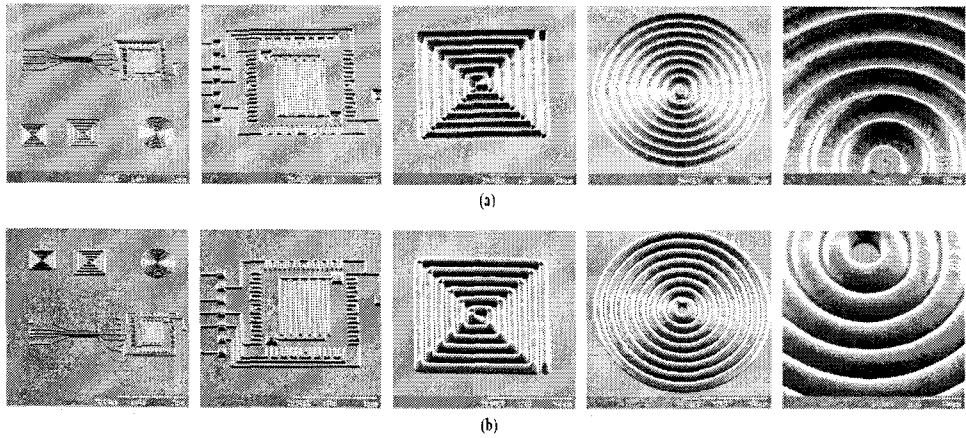


Fig. 6. PET master by KrF excimer laser(a), PDMS Transfer mold(b)

## 5. 결론

본 논문에서는 LIGA공정에서 사용되던 X-ray 리소그라피를 엑시머 레이저 어블레이션으로 대체하기 위한 가능성을 제시하였다. 또한, KrF 엑시머 레이저와 광화학반응을 이용하여 제작된 모형(master) 상에 PDMS를 주입하여 트랜스퍼 몰드를 제작하였고 트랜스퍼 몰드에 에폭시를 주입하여 하여 금형을 제작하였다. 레이저 가공을 요하는 모형의 경우 패턴 외의 부분을 제거하여야 하기 때문에 많은 가공시간이 소요되었는데 PDMS 트랜스퍼 몰드를 이용한 결과 양각의 또 다른 모형을 만들 수 있고 이후 에폭시를 이용하여 금형을 제작하면 기존의 레이저 LIGA 공정에서는 어려웠던 음각의 금형을 제작할 수 있다는 장점이 발견되었다. 이와 같은 공정은 기존의 LIGA공정을 레이저 LIGA 공정으로 대체하기 위한 공정으로서 향후 마이크로 인젝션 몰딩법으로의 적용 시 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

## 6. 참고문헌

1. Marc Macdoug, "Fundamentals of microfabrication", CRC Press, pp275-323, 1997.
2. Dirk Basting, "Laser LIGA-Excimer laser microstructuring and replication", Lambda Highlights No.45, August 1994.
3. T. Erdogan, V Mizrahi, "Fiber phase gratings reflect advances in lightwave technology", Laser Focus World, pp73-80, February 1994.
4. L. Dong, J.L. Archambault, "Single pulse Bragg gratings written during fiber drawing", Electronics Letters Vol.29(17), pp1577, 1993.
5. P. T. Rumsby, E.C. Harvey and D.W. Thomas, "Laser Microprojection for Micromechanical Device Fabrication", proc. SPIE Vol 2921, pp684-692, 1996.
6. Erol C. Harvey, Phil T. Rumsby, "Fabrication Techniques and their application to produce novel Micromachined Structures and Devices using Excimer Laser Projection", proc. SPIE Vol.3223, pp26-33, 9/1997.
7. Nadeem H. Rizvi, Phil T. Rumsby, Malcolm C. Gower, "New Developments and Applications in the Production of 3D Micro-structures by Laser Micro-machining", proc. SPIE Vol.3898, pp240-249, 11/1999
8. Malcolm Gower, "Laser micromachining for manufacturing MEMS devices(invited paper)", proc. SPIE, Vol.4760, 4/2002.
9. R Pething, J P H Burt, A parton, N H.Rizvi, M S. Talary, J A. Tame, "Development of Biofactory on a chip technology using excimer laser micromachining", J. Micromech. Microeng. 8, 57, 1999
- 10 W. pfleging, T. Hanemann, "Laser micromachning of mold inserts for replication techniques-State of the art and applications", proc. SPIE Vol.4274, 2001.
11. 신동식, 이재훈, 서정, 김도훈, "엑시머 레이저를 이용한 PMMA와 PET의 가공", KSLP V6(1), 2003.
12. Duley, "UV Lasers: effects and applications in materials science", Cambridge, pp148-199, 1996.
13. C. M. Cheah, C. K. Chua and H. S. Ong, "Rapid Moulding Using Epoxy Tooling Resin", Int J Adv Manuf Technol Vol. 20, pp 368-374, 2002.