

# 초소형 정밀 가공 기술 및 이를 이용한 정밀 사출품 제작 기술

박순섭\*, 정석원, 조진우(전자부품연구원), 제태진(한국기계연구원), 권태현(포항공과대학교)

## LIGA Technology and Its Application to Micro-molding

S. S. Park(KETI), S. W. Jung(KETI), J. W. Cho(KETI),  
T. J. Je(KIMM), T. H. Kwon(POSTECH)

### ABSTRACT

By combination of X-ray lithography, electroplating and molding process, various microstructures have been produced. Specially, the alignment grooves for multi-fibers with submicron accuracy have been produced. This paper described a fabrication process of LIGA molds and micro molding technique by using LIGA molds. The accuracy of the fabricated LIGA molds was less than  $0.4\mu m$ . The injection molded alignment grooves were very precise and had fine surface roughness so that they could be successfully applicable to optical systems.

**Key Words :** X-ray lithography, electroplating, injection molding, LIGA, mold, alignment grooves

### 1. 서론

최근 장비의 발전 및 신 공정 개발과 더불어 초정밀 가공기술이 크게 발달하면서 이들 가공법을 이용한 초소형 미세 형상부품에 대한 개발 연구가 세계적으로 진행되고 있고, 의료용 기기, 통신용부품, 광학요소 부품 등 광범위한 분야에 적용하기 위한 실용화 연구도 진행되고 있다[1]. 특히 최근 MEMS(Micro Electro Mechanical System)기술을 이용하여 직접적으로 제품을 가공하기도 하지만 미세 형상부품용 금형을 만들어 각종 성형법에 의해 최종적인 제품을 만드는 성형 공정의 개발도 활발히 이루어지고 있다[2-3]. 본 논문에서는 미세 사출 성형 기술 중 초정밀 금형에 이용하기 적합한 LIGA 기술에 의한 정밀 금형의 제작 및 실제 성형 예 및 그 결과에 대해 기술하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 LIGA 기술

LIGA 기술(X-선 사진식각기술, 전기도금기술, 사출성형기술의 독일어 약자)은 방사광 가속기에서 나오는 X-ray를 이용하여 수백  $\mu m$ ~수cm에 이르는 두꺼운 레지스트를 패터닝

한 후 전기도금 공정으로 금형을 제작하고 이를 플라스틱 사출성형에 이용하는 기술이다 [4]. LIGA 공정은 파장이 10Å 이하인 방사광(synchrotron radiation)을 이용하므로 노광시 회절에 의한 빛의 퍼짐이 작아 두꺼우면서도 수직에 가까운 정교한 미세 구조물의 제작이 가능하다[5].

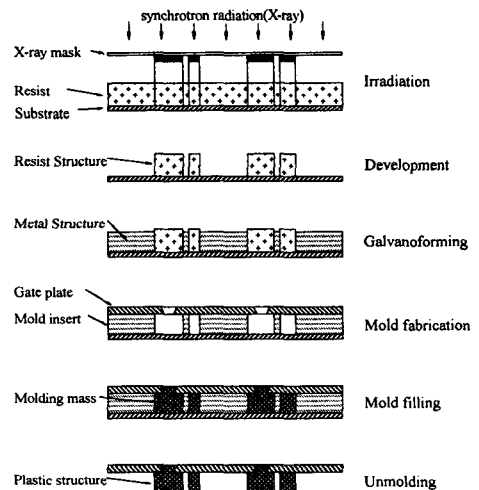


Fig. 1. Flow of LIGA process

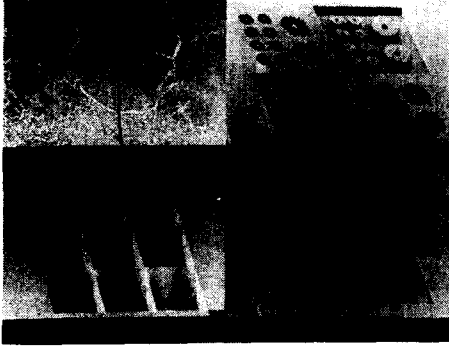


Fig. 2. Various microstructures made by LIGA process

Fig. 1은 LIGA 공정의 흐름도로서 X-선 노광 공정, 전기도금 공정, 플라스틱 사출 공정을 나타내고 있으며 Fig. 2는 LIGA 공정에 의해 제작된 다양한 미세구조물이다.

## 2.2 LIGA 공정을 이용한 다심 광섬유 정렬 소자 제작

리본형 광섬유 정렬소자는 광통신 시스템에 사용되는 광커플러, 광스위치, WDM 소자 등 여러 가지 기능의 광부품과 광섬유를 연결하기 위해 다심의 광섬유를 정밀하게 정렬시킬 목적으로 폭 넓게 사용되는 부품이다. Fig. 3은 제작하고자 하는 8심 광섬유 정렬소자의 설계도로 반원형태의 홈을 가지는 광섬유 정렬소자이다. 8심 광섬유 정렬소자에 장착되는 8심의 광섬유는 간격이  $250\mu\text{m}$ 로  $1\mu\text{m}$ 이내의 오차를 가지고 정렬이 되어야 한다. 따라서 초정밀의 금형 제작기술과 사출성형 기술이 필요하다.

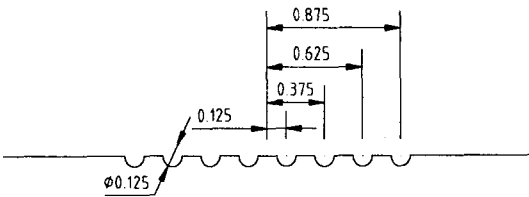


Fig. 2. Design of 8-fibers alignment grooves

### 2.2.1. LIGA 금형 제작

Fig. 3은 X-선 노광공정에 사용되는 마스크로서 Si 기판 위에 제작하고자 하는 금형의 반

대형상이 X-선 흡수체로 형성되어 있다. Si 기판의 두께는  $300\mu\text{m}$ 이고 X-선 흡수체로 Au를  $100\mu\text{m}$  형성시킨다. Fig. 4는 이 마스크를 이용하고 적정노광량을  $2.5\text{kJ}/\text{cm}^2$ 로 할 때 1~4mm 두께의 PMMA를 노광하기 위해 소요되는 시간을 계산한 그래프이다. 그림에서 평균 빔전류가 120mA 일 때 4mm 두께의 PMMA를 노광하는데 필요한 시간은 대략 5시간 정도이다.



Fig. 3. X-ray exposure mask

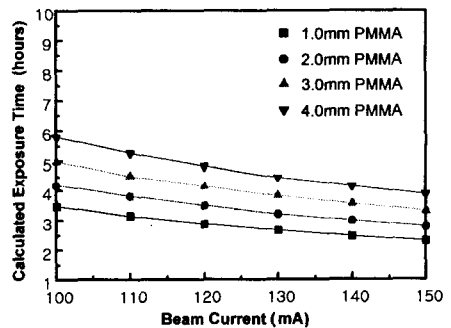


Fig. 4. Calculated exposure time

Fig. 5은 5mm 두께의 Ti 기판 위에 형성시킨 4mm 두께의 PMMA 레지스트에 fig. 3의 X-선 마스크를 이용하여 노광/현상한 후의 모습으로서 제작하고자 하는 금형의 반대 형상의 PMMA 레지스트 틀이 형성된 모습을 볼 수 있다. Fig. 6은 형성된 PMMA 레지스트 틀에 전기도금 공정으로 Ni를 채워 넣은 후 기판 및 레지스트 틀로부터 금형을 분리한 후 8심의 groove부 성형부를 살펴본 것이다. 광섬유의 삽입이 용이하도록 tapered grooves 형태로 제조된 것을 볼 수 있으며 AFM(Automic Force Microscopy)을 이용하여 금형의 표면조도를 측정한 결과 평균 20nm로 표면상태가 매우 매끈하다. Fig. 7은 완성된 금형에서 각 홈간의 간격을 측정하여 오차를 나타낸 것으로서 금형의 제작정밀도

가 ± 0.4 $\mu\text{m}$ 이내의 극히 작은 값을 나타내고 있어서 1 $\mu\text{m}$ 미만의 정밀도가 요구되는 다심 광섬유 정렬소자 제작용 금형으로 사용하기에 적합함을 알 수 있다.



Fig. 5. Exposure sample after development

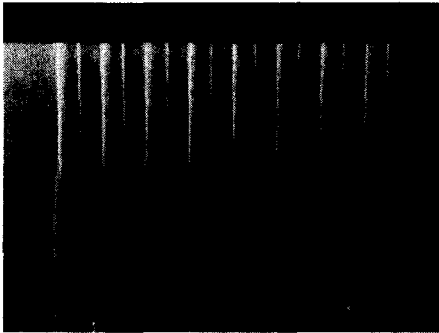


Fig. 6. LIGA mold fabricated by Ni electroplating

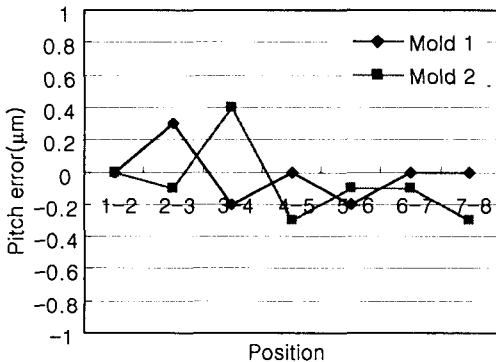
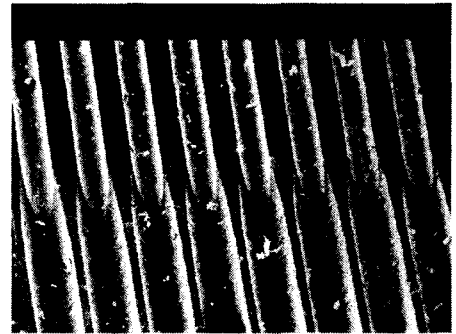


Fig. 7. Accuracy of LIGA molds

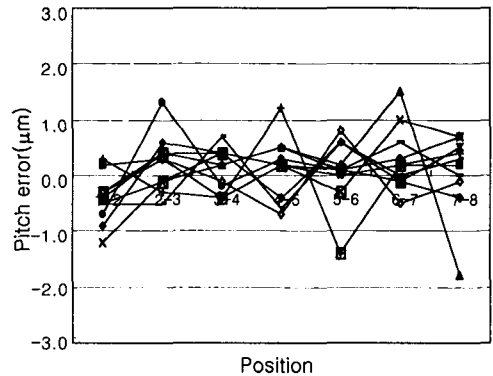
## 2.2.2 LIGA 금형을 이용한 다심 광섬유 정렬 소자 사출성형 실험

제작된 Fig. 6의 LIGA 금형을 이용하여 다심 광섬유 정렬소자를 사출 성형하여 제작된 정렬소자의 성형상태를 SEM으로 관찰하였고, groove간의 간격을 측정하여 성형오차를 살펴 보았다. 성형실험에 사용된 재료는 열가소성 재료로서 glass fiber가 65% 함유된 PPS와 열경화성 재료로서 실리카가 90% 함유된 TM261이다.

Fig. 8은 PPS를 이용한 사출실험 결과로서 Fig. 8(a)는 제작된 grooves의 모습으로 표면이 Fig. 6의 금형표면에 비해 거칠며 성형상태가 좋지 않은 것을 볼 수 있다. Fig. 8(b)는 groove간 간격오차 측정결과인데 -1.9 $\mu\text{m}$  ~ +1.5 $\mu\text{m}$ 의 간격오차를 나타내고 있어 1 $\mu\text{m}$  미만의 정밀도가 요구되는 다심 광섬유 정렬소자로 사용하기에 부적합하다.



(a) Alignment grooves

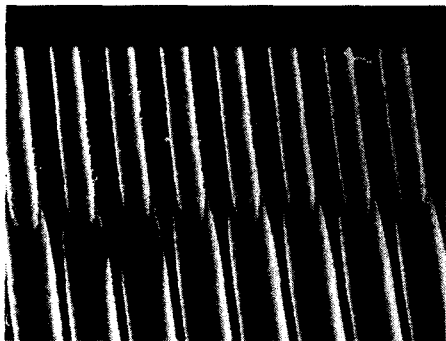


(b) Groove pitch error

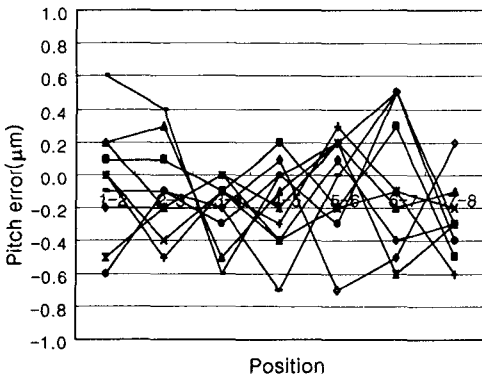
Fig. 8. Injection molding by using thermoplastic material PPS

Fig. 9는 TM261을 이용한 사출실험 결과로

서 제작된 grooves의 표면이 PPS의 경우보다 매우 깨끗하며 성형상태가 우수한 것을 볼 수 있다. Fig. 9(b)는 groove간 간격오차 측정결과도  $-0.7\mu\text{m} \sim +0.6\mu\text{m}$ 의 간격오차를 나타내고 있어  $1\mu\text{m}$  미만의 정밀도가 요구되는 다심 광섬유 정렬소자로 사용하기에 충분한 정밀도를 보이고 있다.



(a) Alignment grooves



(b) Groove pitch error

Fig. 9. Injection molding by using thermosetting material TM261

### 3. 결론

초소형 정밀 가공기술로서 LIGA 기술을 소개하였다. LIGA 기술의 응용예로서 다심 광섬유 정렬소자 제작용 금형의 제조 공정을 소개하였고 이를 이용하여 다심 광섬유 정렬소자를 사출성형하여 제작하여 그 특성을 살펴보았다. 제작된 LIGA 금형은  $1\mu\text{m}$  이하의 정밀도를 보였으며 열경화성 재료인 TM261을 이용하여 사출성형한 결과 다심 광섬유 정렬소자에서 요구되는  $1\mu\text{m}$ 미만의 정밀도를 실현할 수 있었으며 성

형 상태도 매우 우수함을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 초정밀의 금형 및 부품 제작 기술로서 LIGA 기술의 가능성을 살펴볼 수 있었으며 앞으로 LIGA 기술의 적용범위가 확대될 것으로 기대된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 주관하는 Milli-structure 생산기술개발사업에 의한 것으로 이에 감사드리며 포항가속기 관계자 여러분께도 감사드립니다.

### 참고문헌

1. D. W. L. Tolfree, "Microfabrication using synchrotron radiation," Rep. Prog. Phys. vol. 61, pp. 313-351, 1998.
2. H. Becker et al., "The fabrication of polymer high aspect ratio structures with hot embossing for microfluidic applications," SPIE Conference on Microfluidic Devices and System II, pp. 74-79, 1999.
3. L. Weber et al, "Micro molding - a powerful tool for the large scale production of precise microstructures," SPIE vol. 2879, pp. 156-167
4. E. W. Becker et al., "Fabrication of microstructures with high aspect ratios and great structural heights by LIGA process", Microelectronic Engineering 4, pp. 33-56. 1986
5. J. Mohr, "The LIGA Process", Proceedings of the International School of Physics "뚜가체 Fermi" Course CXXVIII. E. Burattini and A. Balerna(Eds), IOS Press, pp. 181-207, 1986.