

## 미세압축성형을 통한 플라스틱 미세렌즈의 성형

문수동\* · 강신일\*\* · 이영주\*\*\* · 부종욱\*\*\*

## Fabrication of micro lens array using micro-compression molding

Su-Dong Moon, Shinill Kang, Youngjoo Yee, and Jong Uk Bu

**Key Words :** micro lens array(미세렌즈열), micro compression molding(미세압축성형), silicon mold insert(실리콘몰드인서트), PMMA powder(PMMA 분말)

## Abstract

Plastic microlenses play an important role in reducing the size, weight, and the cost of the systems in the fields of optical data storage and optical communication. In the present study, plastic microlens arrays were fabricated using micro-compression molding process. The design and fabrication procedures for mold insert were simplified by using silicon instead of metal. A simple but effective micro compression molding process, which uses polymer powder, were developed for microlens fabrication. The governing process parameters were temperature and pressure histories and the micromolding process was controlled such that the various defects developing during molding process were minimized. The radius and magnification ratio of the fabricated microlens were  $125 \mu\text{m}$  and over 3.0, respectively.

## 1. 서 론

정보저장, 광통신분야에서의 소형화, 경량화 추세에 따라, 플라스틱 미세렌즈의 가공기술이 필요하게 되었다. 현재까지 개발된 미세렌즈 가공기술로는 lithography 방법[1], reflow 방법[2], 몰딩방법[3]이 있다. 이중 미세 몰딩기술은 저가의 대량생산에 의한 고품질의 광부품을 성형하는데 가장 적합한 기술이다. 미세렌즈의 외형상 특성으로는 곡률반경과 표면거칠기가 중요한데, 몰딩방식은 몰드인서트의 정교한 제작과 공정조건의 제어로 이들 요구사항을 만족시킬 수 있다. 미세 몰딩을 위한 미세 몰드 인서트는 여러가지 방식으로 제작될 수 있다. 미세구조의 크기가  $100 \mu\text{m}$ 보다 크고 표면특성이 중요하지 않을 경우에는 전통적인 CNC 가공이나 미세 방전가공이 사용되고 있다. 그러나  $100 \mu\text{m}$ 보다 작거나 표면정도가 중요한 경우는 LIGA 방식[4]이나 이 방식을 보완한 LIGA like 등이 사용되어 지고 있고, 또한 반도체 기술의 발달

에 따라 실리콘을 미세가공한 후 전기도금하여 금속 몰드인서트를 제작하여 사용하기도 한다.

미세 몰딩에 주로 사용되는 기술로는 사출성형과 압축성형이 있다. 사출성형은 플라스틱부품 제조에 널리 사용되는 기술이다. 다양한 공업수지의 선택과 공정의 제어를 통하여 미세성형에서의 적용이 늘고 있으나 미세성형에 적합한 특수 사출성형기와 금형을 요구한다. 이를 대신할 만한 공정이 압축성형으로 사출성형에 비해 공정시간은 길지만, 공정이 단순하고 제어가 용이하여 예비성형이나, 연구개발 단계에서 주로 적용된다. 현재 압축성형 방식으로는 Hot embossing 방법이 널리 쓰이고 있다[5]. 이 공정은 필름상의 재료를 가열 압축하여 필름 위에 미세 패턴을 복제시키는 방식이다.

현재 미세 가공 기술을 응용한 미세 광부품의 성형과 관련해서는 그 연구가 미진하여 이의 개발이 시급한 실정이며 이에 본 연구에서는 미세 광학렌즈 성형의 기초연구로 실리콘 몰드인서트를 사용하여 미 PMMA 분말 미세압축성형 시스템을 개발하였고 미세렌즈 array 를 제작하는 공정을 개발하였으며, 미세공정중 발생하는 결함을 분석하여 미세 압축성형 공정 제어기술을 제시하였다.

\* 회원, 연세대학교 대학원 기계공학과

\*\* 회원, 연세대학교 기계·전자공학부

\*\*\* LG 전자 기술원 소재재료 연구소

## 2. 등방성 식각을 통한 몰드인서트 가공

미세렌즈 성형을 위해서는 렌즈 형상으로 음각된 정밀한 미세 몰드인서트가 필요하다. 미세 몰드인서트는 미세형상의 크기, 가공단가, 성형 공정 환경에 따라 미세 EDM, laser ablation, LIGA 공정 등에 의하여 제작된다. 본 연구에서 시도하는 분말압축성형법은 충격하중이 가해지지 않는 저압의 공정이므로 금속 구조물 몰드인서트 대신 실리콘 인서트를 사용할 수가 있다. 실리콘은 기계강도도 우수하고 식각된 면의 표면 상태가 우수하여 광학부품을 제조하기에 적절하므로 실리콘을 몰드인서트로 사용한다. 등방성 식각 기술을 통해 미세 렌즈 array가 음각된 실리콘 몰드인서트를 제작하였다. Fig. 1은 실리콘 몰드인서트 제조공정을 보여준다. 단결정 실리콘 기판에서 반구형 형상의 구멍은 등방성으로 식각되는데 etchant는 불화수소산, 질산과 버퍼로 쓰인 초산의 혼합액을 사용하였다. 식각은 상온에서 수행하였고 금을 1 μm 두께로 전기도금하여 masking 하였다. 전기도금한 금의 내부잔류응력을 억제시키는 것이 반구형상의 크기와 형태를 제어하는데 가장 중요한 인자이다. Fig. 2는 제작된 실리콘 몰드인서트의 SEM 사진을 보여준다.

## 3. 미세압축성형 공정 개발

제작된 실리콘 몰드인서트를 통해 플라스틱 렌즈 array를 얻기 위하여 미세압축성형을 수행하였다. 본 연구에서는 식각후 2cm×2cm로 절단된 실리콘 웨이퍼를 몰드인서트로 사용한다. 절단된 실리콘은 몰딩 공정중 부적절한 압력 제어에 의하여 쉽게 파손될 수 있으므로 적절한 지그의 설계와 압력의 제어 등이 필요하게 된다. Fig. 3는 본 연구에서 미세압축성형 실험을 위해 고안한 미세압축성형 시스템의 개념도이다. 원기둥형의 램 위에 지그를 장착하고 실리콘 몰드인서트를 배치하였다. 가열을 위한 전기저항 열선이 내장된 외측 실린더는 상하 램이 평행하게 이동하게 하는 가이드 역할을 한다. 내부의 온도를 측정하기 위하여 상측 램에 열전대를 배치하여 시간에 따른 온도이력을 측정하였다. 또한 로드셀을 통하여 압력의 이력도 측정하고 이를 피드백하여 압력을 제어하였다. 미세렌즈의 재료로는 PMMA 분말을 사용하였다. PMMA 분말을 몰드인서트 위에 도포하고 금형을 성형온도까지 가열시켰다. 가열하는 동안 금형에서 재료로의 열전달이 원활하게 이루어지도록 예

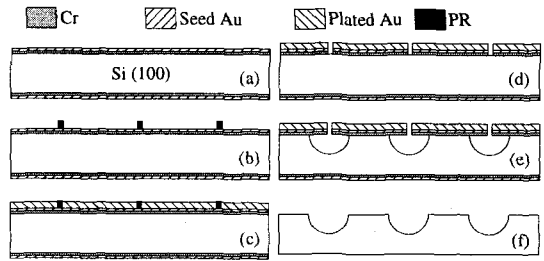


Fig. 1 Fabrication process of the silicon mold insert.

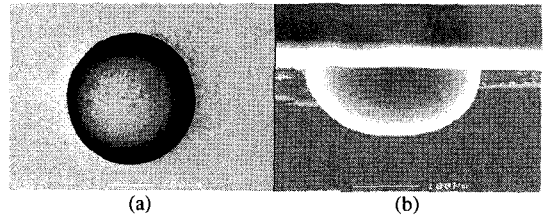


Fig. 2 SEM images of fabricated silicon mold insert for a micro-lens. Top view in (a) and cross section in (b).

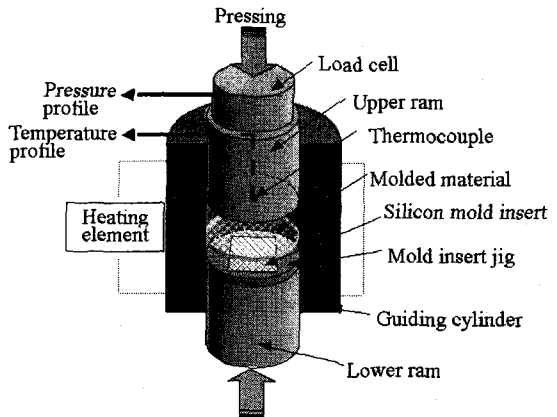


Fig. 3 Micro compression molding system.

압을 가하였다. 금형이 성형온도에 도달하면 성형 압력을 가하여 몰드인서트의 미세간극사이로 재료가 충전될 수 있도록 하였다. 보압을 가하는 동안 금형을 냉각하고, 금형이 취출온도까지 냉각되면 성형된 미세 렌즈 array는 금형에서 분리되게 된다.

## 4. 성형 결함 분석

미세 성형품의 결함은 성형공정조건에 매우 민감하다. 외관상의 여러 결함들은 미세 광학부품에서 더 치명적인 결함이 될 수 있다. 미세 성형

결함을 살펴보면 일반 사출성형품의 결함과 유사하지만 훨씬 더 제어하기가 어렵다.

Fig. 4(a)는 지그설계가 부적절한 경우에 성형 공정중의 미세진동에 의하여 성형품이 밀리면서 발생하는 변형을 보여준다. 적절한 지그의 재설계가 필요하고 심할 경우 유압기계를 진동이 작은 전동 기계로 바꾸어야 한다. Fig. 4(b)는 제품의 표면이 터지면서 벌어진 모습으로 재료가 유동성을 가지기에 충분한 온도까지 가열되지 못한 상태에서 성형압력을 과도하게 가했을 경우 발생한다. Fig. 4(c)는 냉각에 의하여 수축된 결함을 보여주며 보압단계의 공정이 부적절하였을 때 발생한다. 재료는 상변화와 냉각과정에서 수축을 하게 되는데 성형과정중 보압공정에 의해 수축에 의한 부족분을 공급하면서 수축을 억제해야 한다. Fig. 4(d)는 제품과 몰드 캐비티 면이 밀착되어 있다가 분리에 떨어지면서 찢어진 것으로 보압이 과도하게 오래 걸려서 내부 응력이 커졌기 때문이다. 그 외에, 취출시에 몰드 면에서 평행하게 제품이 이형되지 않았을 때 제품의 표면이 몰드표면에 긁히게 되거나 심한 경우에는 변형이 발생한다. 미세부품, 특히 광부품의 경우에는 이는 치명적인 결함이 될 수 있다. 또한 외부환경, 재료, 및 기계에서 발생한 먼지가 제품의 표면에 붙거나, 반대로 제품의 표면이 몰드표면에 붙어서 제품표면상태를 불량하게 하는 경우가 있다. 이 경우 청정실에서 공정을 수행하거나 고주파 세척을 통해서 양호한 표면상태를 얻을 수 있다.

### 5. 미세 압축 성형 공정 제어

몰드의 정밀한 설계외에도 공정 제어 또한 성형품의 품질을 결정하는 주요인자이며 미세압축성형 공정조건중 가장 민감하게 작용하는 것이 온도와 압력의 이력이다.

재료의 점도는 온도와 압력의 함수로 온도와 압력이 높을수록 점도는 낮아져서 유동성이 커지게 된다. 그러나 공정중의 온도와 압력은 공정환경과 제품의 물성치상 어느 한계치가 있으므로 적절히 조절해야 한다. 사출성형에서는 재료 용융온도 이상에서 물성치가 저하되지 않은 온도이하로 성형온도를 설정하며 Hot embossing 공정에서는 성형온도는 재료의 유리전이온도 이상으로 설정하는 것이 일반적이다. 이는 유동거리가 긴 사출성형에서는 충전중 응고를 억제하고 유동성을 최대화하여야 하지만 Hot embossing 은 몰드 캐비티의 미세구조의 틈을 채우기 위해 필름상의 재료 표면만이 국부적으로 유동성을 지니면 되기 때문이다. 분말

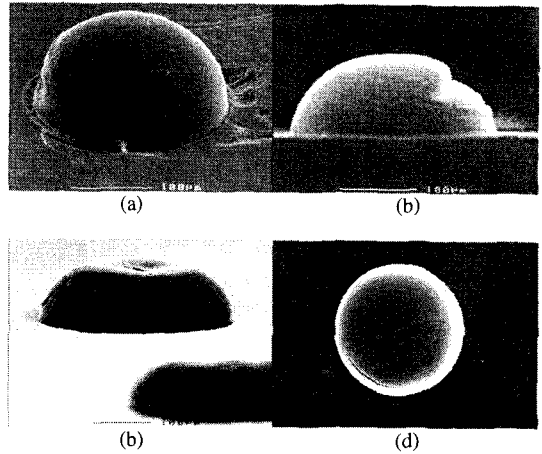


Fig. 4 various defects of molded micro lens. (a)slip, (b) blowing-out, (c) shrinkage, and (d) tear.

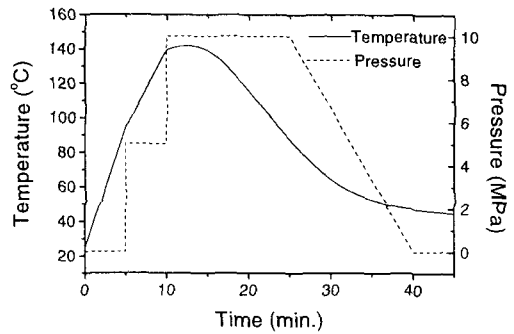


Fig. 5 Temperature and pressure histories during molding the polymeric micro-lens array.

을 이용한 압축성형에서는 분말상의 재료가 미세구조를 충전하면서도 분말간에 결합력을 지녀야 하므로 유리전이온도와 용융온도사이의 설정한다.

성형압력은 가해주는 압력의 최대치를 의미하며 재료가 성형온도에 도달하였을 때 유동을 원활하게 하고 재료간의 결합력을 유지시키기 위해 충분한 압력으로 설정해야 한다. 보압은 냉각 중 재료의 수축을 억제하기 위하여 가하게 된다. 응고된 후에 받게 되는 과도한 보압은 재료와 금형에 압축응력을 유발하게 되어 결함을 발생시킬 수 있으므로 재료내부가 완전히 응고하기 전까지 서서히 낮추어서 응고 후에 압력이 잔류하지 않도록 하여야 한다.

취출온도는 제품의 취출시 변형되지 않을 충분한 강도를 지니게 되는 온도로 설정하여야 하지만 너무 낮은 온도는 공정시간을 길게 하는 요인이 된다. 제품의 표면거칠기는 몰드인서트의 표면거

칠기에 지배를 받지만 취출온도와 보압이력에도 영향을 받는다. 높은 온도와 압력은 성형품의 치수정밀도를 높여주지만 재료가 몰드 표면에 들러붙는 현상을 유발하여 최종 제품의 표면조도를 불량하게 한다.

Fig. 5는 본 연구에서 반복수행을 통해 개선된 압축공정의 온도 및 압력 이력 곡선이다. 성형온도는 PMMA의 유리전이온도가 110℃이므로 분말의 결합력을 증가시키기 위하여 150℃를 성형온도로 하였다. 예압은 성형압력의 1/2 값으로 설정하여 재료로의 열전달을 촉진하였고 보압은 2단계로 나누어 주게 되는데 1차보압이후 온도가 PMMA의 유리전이온도보다 낮아진 후부터는 서서히 감압을 하여 재료내에 과도한 응력이 생기지 않게 한다. 이러한 공정제어를 통하여 공정상의 결함이 최소화 됨을 확인 하였다.

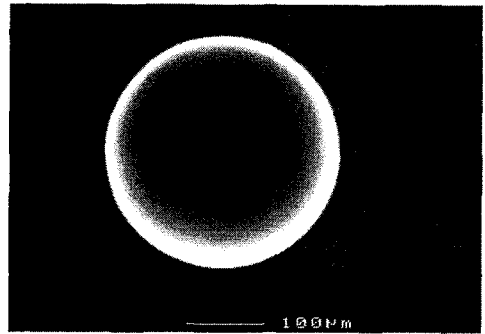
Fig. 6는 공정제어를 통하여 제작된 미세렌즈의 SEM 사진이다. 렌즈의 성능을 평가하기 위하여, 반경 125 μm로 성형된 미세렌즈를 통해 AFM 눈금 측정 시편을 측정하였다. 시편은 10 μm의 미세 사각 패턴으로 되어 있다. 시편 위에 미세렌즈를 장착하고 일반 편광 현미경을 통해 관찰하였다. 현미경의 대물렌즈는 배율이 20 이고, NA는 0.45였다. 성형된 미세렌즈의 배율은 3.0 이상이었고 굴절률은 1.49였다.

## 6. 결론

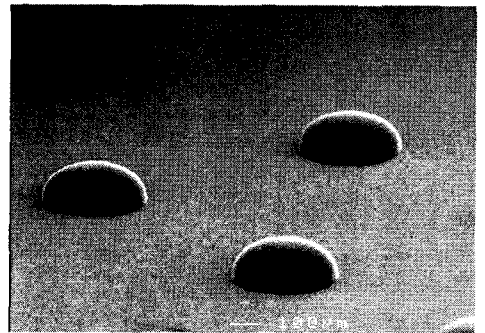
본 연구에서는 플라스틱 미세렌즈를 압축성형 공정을 통하여 제작하였다. 금속 구조물인 아닌 실리콘을 몰드인서트로 사용하여 몰드인서트 제조공정을 간략화 하였고, 미세렌즈 성형에 적합한 PMMA 분말 미세압축성형 시스템을 개발하였다. 미세 압축 공정중 성형품에 발생하는 결함을 조사하고 이를 방지하기 위한 방안을 제시하였고, 미세 압축성형 공정에서의 온도와 압력이력의 제어를 통해 미세렌즈를 정밀하게 성형할 수 있었다. 제작된 렌즈는 직경 125 μm의 반구형으로 3.0 이상의 배율을 지닌다. 본 연구를 기초로 하여, 공정시간을 최소화하고 기하학적, 광학적, 기계적 물성치를 향상시키기 위한 micro/nano 성형공정에 대한 연구가 현재 진행 중에 있다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기기연구센터의 지원(과제번호: 2000G0203)으로 이루어졌습니다.



(a)



(b)

Fig. 6 SEM images of the plain view of a molded micro-lens in (a) and the micro-lens array in (b).

## 참고문헌

- (1) P. Ruther, B. Gerlach, J. Gottert, M. Ilie, J. Mohr, A. Muller, and C. Obmann, 1997, "Fabrication and Characterization of microlenses realized by a modified LIGA process", Pure Appl. Opt. Vol. 6, n6, pp. 643~653.
- (2) M. B. Stern, and T. R. Jay, 1994, "Dry etching for coherent refractive microlens array", Opt. Eng. Vol.33, n11, pp. 3547~3551.
- (3) N. Moldovan, M. Ilie, N. Dumbravescu, M. Danila, A. Vitriuc, P. Sindile, and J. Mohr, 1997, "LIGA and alternative techniques for microoptical components," CAS '97 Proceedings, IEEE, pp. 149~152.
- (4) W. Menz, W. Bacher, M. Harmening, and A. Michel, 1991, "The LIGA technique-a novel concept for microstructures and the combination with Si-technologies by injection molding," MEMS '91, Proceedings. An Investigation of Micro Structures, Sensors, Actuators, Machines and Robots, IEEE, pp 69~73.
- (5) H. becker, U. Heim, 1999, "Silicon as tool material for polymer hot embossing," Proceedings MEMS '99, pp.228~231.