

마이크로 압축성형 공정을 이용한 굴절/회절용 마이크로 광부품 성형

문수동* · 안수호* · 강신일**

Fabrication of Refractive/Diffractive Micro-Optical Elements Using Micro-Compression Molding

S. Moon, S. Ahn and S. Kang

Abstract

Micromolding methods such as micro-injection molding and micro-compression molding are most suitable for mass production of plastic micro-optics with low cost. In this study, plastic micro-optical components, such as refractive microlenses and diffractive optical elements(DOEs) with various grating patterns, were fabricated using micro-compression molding process. The mold inserts were made by ultraprecision mechanical machining and silicon etching. A micro compression molding system was designed and developed. Polymer powders were used as molded materials. Various defects found during molding were analyzed, and the process was optimized experimentally by controlling the governing process parameters such as histories of mold temperature and compression pressure. Micro lenses of hemispherical shape with $250\mu\text{m}$ diameter were fabricated. The blazed and 4 stepped DOEs with $24\mu\text{m}$ pitch and $5\mu\text{m}$ depth were also fabricated. Optical and geometrical properties of plastic molded parts were tested by interferometric technique.

Key Words : Plastic Micro-Optical Component, Refractive Microlens, Diffractive Optical Element, Micro Compression Molding, Interferometric Technique

1. 서 론

광정보저장, 광통신, 디지털 디스플레이 분야에서의 마이크로 광부품의 수요가 증가함에 따라, 플라스틱 마이크로 광부품의 제조기술이 중요하게 되었다. 현재까지 개발된 마이크로 광부품 가공기술로는 silicon 공정을 이용한 micromachining 방법¹, reflow 방법², 레이저 가공

방법³, 몰딩방법^{4,5} 등이 있다. 이중 미세 몰딩기술은 저가의 대량생산에 의한 고품질의 광부품을 성형하는데 가장 적합한 기술이다. 미세 몰딩에 주로 사용되는 기술로는 사출성형과 압축성형이 있다. 사출성형은 다양한 공업수지의 선택과 공정의 제어를 통하여 마이크로성형에서의 적용이 늘고 있으나 마이크로성형에 적합한 특수 사출성형기와 금형이 필요한 단점이 있다. 이에 비해 압

* 연세대학교 대학원 기계공학과

** 연세대학교 기계·전자 공학부

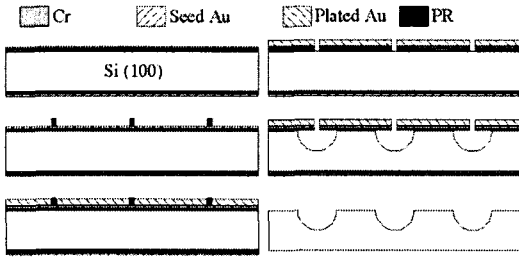


Fig. 1 Fabrication process of the silicon mold insert for refractive micro-lens

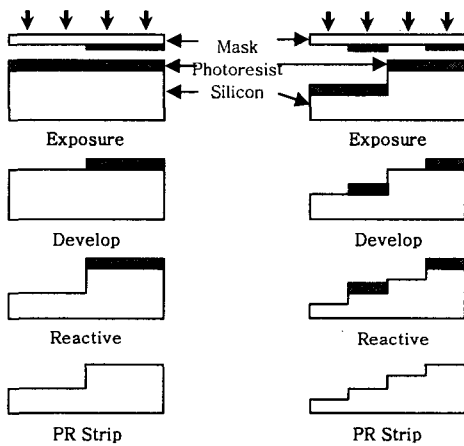


Fig. 2 Fabrication process of the silicon mold insert for 4 level DOE.

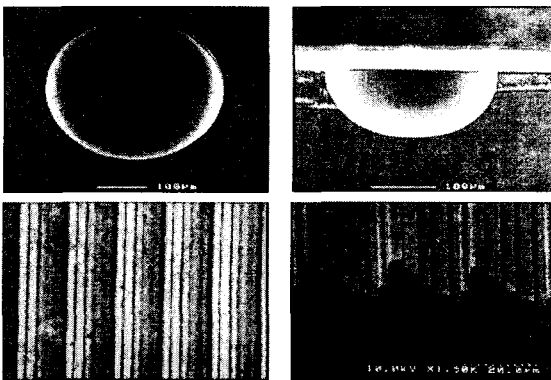


Fig. 3 SEM images of fabricated mold inserts for refractive lens and 4 level DOE.

축성형은 공정시간은 길지만, 공정이 단순하고 제어가 용이하여 예비성형이나, 연구개발 단계에 적합하다.

현재 마이크로 가공 기술을 응용한 마이크로 굴절/회절 광부품의 성형과 관련해서는 그 연구가 미진하여 이

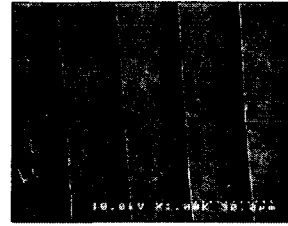


Fig. 4 SEM image of Fabricated mold insert for blazed DOE

의 개발이 시급한 실정이며, 이에 본 연구에서는 마이크로 몰드인서트의 제작 및 PMMA분말을 이용한 마이크로 압축성형 시스템을 개발하였고, 마이크로 압축 공정중 발생하는 결함을 분석하여 마이크로 압축성형 공정 제어 기술을 제시하였다.

2. 마이크로 몰드인서트의 가공

마이크로 광부품 성형을 위해서는 마이크로 광부품 형상으로 음각된 정밀한 마이크로 몰드인서트가 필요하다. 본 연구에서 시도하는 분말압축성형법은 충격하중이 가해지지 않는 저압의 공정이므로 금속 구조물 몰드인서트 대신 실리콘 인서트를 사용할 수가 있다. 실리콘은 기계 강도도 우수하고 식각된 면의 표면 상태가 우수하여 광학부품을 제조하기에 적절하다. 본 연구에서는 등방성 식각 기술을 통해 마이크로 반구형 굴절 렌즈가 음각된 실리콘 몰드인서트를 제작하였다. Fig. 1은 실리콘 몰드인서트 제조공정을 보여준다. 또한 Fig. 2에서 보여지는 바와 같이 Reactive Ion Etching을 통해 4단의 회절광학소자(diffractive optical element:DOE)가 음각된 실리콘 몰드인서트를 제작하였다. Fig 3은 제작된 실리콘 몰드인서트의 SEM사진을 보여준다. 반구의 곡률반경은 153 μm이며 4 stepped DOE의 pitch는 24.3μm, depth는 5.6μm였다. 또한 본 연구에서는 Fig. 4에서 보여지는 바와 같이 단결정 다이아몬드 tool을 이용하여 24μm pitch, 5μm depth의 톱니 형상의 회절 광학소자용 몰드인서트를 제작하였다.

3. 마이크로 압축 성형 공정

제작된 몰드인서트를 통해 플라스틱 마이크로 광부품을 얻기 위하여 마이크로압축성형을 수행하였다. 실리콘은 몰딩 공정중 부적절한 압력 제어에 의하여 쉽게 파손될 수 있으므로 적절한 지그의 설계와 압력의 제어 등이 필요하게 된다. Fig. 5는 본 연구에서 미세압축성형 실험을 위해 고안한 미세압축성형 시스템의 개념도이다. 원

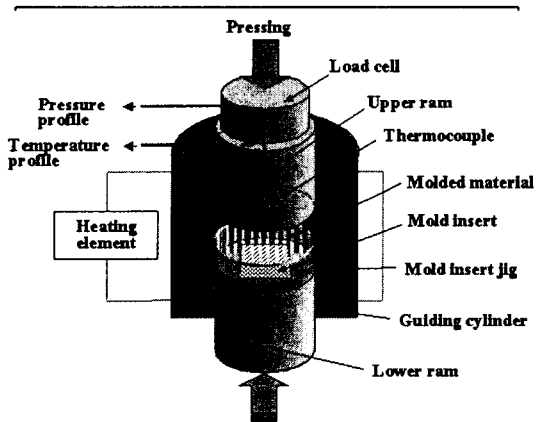


Fig. 5 Micro compression molding system.

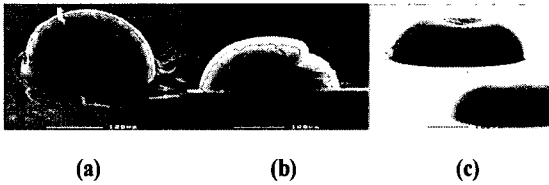


Fig. 6 various defects of molded micro lens: (a) slip, (b) burst, and (c) shrinkage

기동형의 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 예압을 가하였다. 금형이 성형온도에 도달하면 성형압력을 가하여 몰드인서트의 미세간극사이로 재료가 충전될 수 있도록 하였다. 보압을 가하는 동안 금형을 냉각하고, 금형이 취출온도까지 냉각되면 성형된 마이크로 광부품은 금형에서 분리되게 된다.

4. 성형결함 분석 및 최적 공정 도출

마이크로 압축 성형 공정을 통해 성형되어지는 마이크로 광부품은 부적절한 금형 및 성형공정조건에 의해 결함이 발생하였다. Fig. 6(a)는 성형 공정중의 미세진동에

의하여 성형품이 밀리면서 발생하는 밀립(slip) 변형 결함을 보여준다. 이는 적절한 지그의 재설계가 필요함을 보여준다. Fig. 6(b)는 제품의 표면이 벌어진 터짐(burst) 변형결함으로 재료가 유동성을 가지기에 충분한 온도까지 가열되지 못한 상태에서 성형압력을 과도하게 가했을 경우 발생하였다. Fig. 6(c)는 수축(shrinkage) 변형 결함을 보여주며 보압이 부적절하였을 때 발생하였다.

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 용융온도이상에서 물성치가 저하되지 않은 온도이하로 성형온도를 설정하며 Hot embossing 공정에서는 성형온도는 재료의 유리전이온도 이상으로 설정하는 것이 일반적이다. 본 연구에서 시도한 분말을 이용한 압축성형공정에서는 분말상의 재료가 미세구조를 충전하면서도 분말간에 결합력을 지녀야 하므로 유리전이온도와 용융온도사이로 설정하였다. 성형압력은 가해주는 압력의 최대치로서 재료가 성형온도에 도달하였을 때 유동을 원활하게 하고 재료간의 결합력을 유지시키기 위해 충분한 압력으로 설정해야 한다. 이러한 상황을 고려하여 본 연구에서는 성형온도를 150°C, 압축압력을 10MPa, 취출온도를 65°C로 하였다. 이러한 공정제어를 통하여 공정상의 결함이 최소화됨을 확인하였다.

5. 성형 결과

Fig. 7는 공정제어를 통하여 제작된 굴절/회절 마이크로 광부품의 SEM사진이다. 마이크로 광부품의 성능을 평가하기 위한 여러 연구가 진행에 있다. 그중 형상의 측정에 흔히 사용되는 것이 SEM과 Stylus, AFM 등이 있다. 이중 SEM은 그 형상의 윤곽은 묘사해주나 정확한 치수를 얻어내기 어렵고, stylus와 AFM은 그 특성상 계단형상, 격벽이나 반구같은 급격한 경사 형상에서 왜곡된 결과를 보여준다. 본 연구에서는 간섭의 원리를 이용하여 마이크로 광부품의 형상을 측정하였다. Fig 9는 WYKO NT2000 3D profiler를 통해 측정된 마이크로 렌즈용 몰드인서트의 단면 형상 및 마이크로 렌즈의 단면형상, 반지름 153 μ m의 이상원을 비교하였다. 그림을 통해 알 수 있듯이 마이크로 렌즈의 곡률반경은 153 μ m이며 측대칭형상을 지니고 있으며 몰드

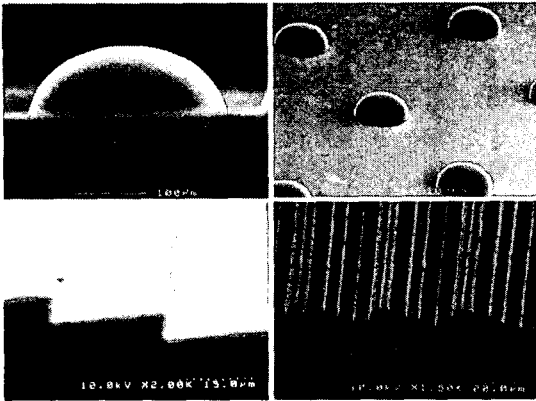


Fig. 7 SEM images of the molded refractive /diffractive micro-optical elements

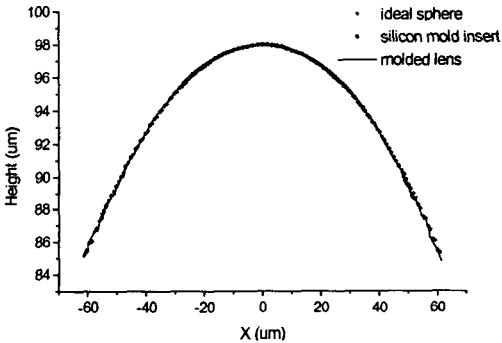


Fig. 8 Comparison among ideal sphere profile, mold insert profile and molded lens profile

인서트의 미세형상을 정확히 전사한 것을 알 수 있다. 렌즈의 광학적 성능을 평가하기 위하여, 광학 현미경에서 마이크로 렌즈를 사용하여 AFM 눈금측정 시편을 관찰한 결과 성형된 미세렌즈의 배율은 3.14 였다. Metricon 사의 Metricon 2010 Prism Coupler를 통해 측정된 렌즈의 굴절률은 1.49였다.

6. 결론

본 연구에서는 플라스틱 마이크로 광부품을 압축성형 공정을 통하여 제작하였다. 기계가공에 의한 방법 외에 실리콘을 몰드인서트로 사용하여 몰드인서트 제조공정을 간략화할 수 있었고, 마이크로 광부품 성형에 적합한

PMMA분말 마이크로압축성형 시스템을 개발하였다. 압축 공정중 성형품에 발생하는 결함을 조사하고 이를 방지하기 위한 방안을 제시하였고, 압축성형 공정에서의 온도와 압력이력의 제어를 통해 마이크로 광부품을 정밀하게 성형할 수 있었다. 성형된 광부품은 간섭기술을 통해 측정해 본 결과 몰드인서트의 형상을 정확하게 전사함을 알 수 있었다. 본 연구를 기초로 하여, 공정시간을 최소화하고 기하학적, 광학적, 기계적 물성치를 향상시키기 위한 micro/nano 성형공정에 대한 연구가 현재 진행중에 있다.

후기

본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기기연구센터의 지원(과제번호: 2001G0203)으로 이루어졌습니다.

참고 문헌

- (1) M. B. Stern, and T. R. Jay, 1994, "Dry etching for coherent refractive microlens array", *Opt. Eng.* Vol.33, n11, pp. 3547~3551.
- (2) Z. D. Popovic, R. A. Sprague, and G. A. Neville Connell, 1988, "Technique for monolithic fabrication of microlens array" , *Applied Optics*, Vol. 27, pp. 1281~1284.
- (3) S. Mihailov, and S. Lazare, 1993, "Fabrication of refractive microlens array by excimer laser ablation of amorphous Teflon", *Applied Optics*, Vol. 32, No. 31, pp. 6211~6218.
- (4) S. Kang and S. Moon, 2001, "Design and Fabrication of Micro Optical Components for Optical Data Storage by Micromolding", *CLEO/Pacific Rim 2001*, Vol.2 pp. 16~17, July.
- (5) 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.