

# UV 임프린팅을 통한 프레넬 렌즈 제작 시 미세 복제 특성에 관한 연구

## Micro replication quality of Fresnel lens using UV imprinting process

임지석\*, 김병욱\*, 강신일†

Jiseok Lim, Byungwook Kim and Shinill Kang

(2010년 3월 10일 접수; 2010년 3월 17일 심사완료; 2010년 3월 22일 게재확정)

### Abstract

Fresnel lens is a kind of refractive optical lens with various advantages. It has nearly flat shaped optical lens that has small mass. Fresnel lens has number of applications in the compact optical systems. Recently, demands of high quality Fresnel lens for small size optical systems such as illumination units, compact imaging systems, display units, information storage systems, optical detecting units had increased rapidly. Conventional manufacturing process of high quality Fresnel lens is direct machining. However, it is not suitable for mass production because of high cost and long cycle time. Replication method can provide cost effective mass production process. However, there are various issues about replication of Fresnel lens. Fresnel lens has number of sharp blade shape prism. In the replication process, this blade shape causes defects that can affect optical efficiency. In this study, replication processes; injection molding process and UV imprinting process, were developed and evaluated using Fresnel lens that has maximum pattern height of 250  $\mu\text{m}$  and aspect ratio of 1.5

**Key Words :** Fresnel lens, UV replication, injection molding, high aspect ratio pattern

## 1. 서론

프레넬 렌즈(Fresnel lens)는 굴절 렌즈의 일종으로서, 일반적 구면, 비구면 렌즈와 달리, 평면에 가까운 형상을 가지고 있는 광 부품을 말한다. 이와 같은 프레넬 렌즈는, 평면에 가까운 형상적 특성과, 가벼운 무게 등의 장점이 있어, 최근 소형 광모듈에 일반 굴절 렌즈를 대신해 널리 사용되고 있다.

프레넬 렌즈는 특정 사양을 갖는 굴절 렌즈의 변형 형태로 설명될 수 있다. 일반적인 굴절광학계에 사용되는 렌즈의 굴절 현상은 렌즈의 표면에서 일어나기 때문에 렌즈의 상면과 하면 사이의 렌즈 재료는 광 경로차를 제시할 뿐 굴절에 직접 개입하지 않는다. 이와 같은 특징을 바탕으로, 프레넬 렌즈는 굴절에 직접 관여하지 않는 렌즈 내부의 재료를 제거하여 평면상에 여러 개

의 동심원의 칼날 형태(blade shape) 패턴의 형태를 갖는 평면 굴절 광부품이다[1-2].

프레넬 렌즈는 최초 설계된 굴절 렌즈의 굴절면의 형상을 유지하면서 이를 특정 간격으로 나누어 평면상에 투영시키는 과정을 거쳐 설계된다[3-4].

이와 같은 프레넬 렌즈의 제작 방법 중 가장 고전적인 방법으로 유리의 직가공을 통한 제작 방법이 있으나, 유리 직가공 방법은 급증하는 프레넬 렌즈의 수요를 충족할 수 없어, 대량 생산에 적합한 생산 방법이 필요하게 되었다. 사출 성형이나 핫 엠보싱, UV 임프린팅 등의 폴리머 복제의 방법은 제작 시간이 짧으며, 고품질 원기를 사용하는 경우 높은 형상 정밀도의 프레넬 렌즈 제작이 가능한 장점을 가져 프레넬 렌즈의 대량 생산에 가장 적합한 방법이다[5-10]. 그러나 폴리머 복제 공정 시 발생 가능한 기공, 성형 중 높은 폴리머의 점도, 수축 등에 의해 프레넬 렌즈의 패턴 끝단의 전사성이 손상될 수 있으며 이 경우 프레넬 렌즈의 효율에 영향을 주게 된다. 본 연구에서는 대표적인 폴리머 복제 공정인 사출성형과, UV 임프린팅 공정을 통해 동일한 형상

† 연세대학교 기계공학부

E-mail : snlkang@yosnei.ac.kr

TEL : (02)2123-2829

\* 연세대학교 기계공학과

의 프레넬 렌즈를 복제하고 그 형상정밀도를 측정함으로써 각 공정의 칼날 형태 패턴 끝단에 대한 전사성을 평가함으로써 최적의 프레넬 렌즈 양산 성형 방법에 대해 고찰하였다.

본 연구에 사용된 프레넬 렌즈는 각각의 굴절면이 등간격으로 설계되어 외곽부로 갈수록 패턴의 높이가 점차 높아지는 형상을 하고 있다. 유효 직경 35mm, 초점 거리 20mm, 인치 당 미세 패턴 수 125 개, 최대 패턴의 높이 240  $\mu\text{m}$ , 최대 세장비 1.5 를 갖는다.

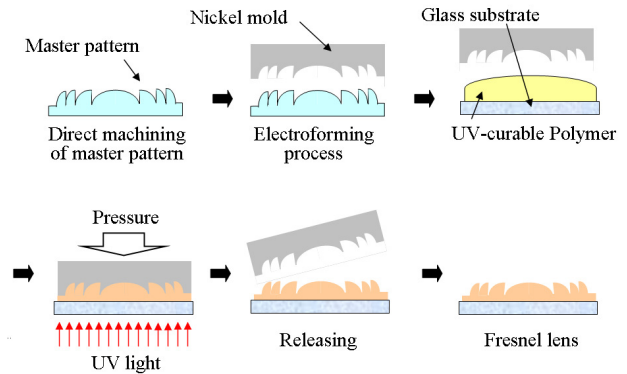


Fig. 1 Fabrication process flow of Fresnel lens using UV imprinting process

## 2. 프레넬 렌즈의 제작

프레넬 렌즈의 제작 방법은 기계가공을 통한 직가공과 복제로 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 기계 가공을 통한 직가공의 경우 프레넬 렌즈의 복잡한 형상으로 인해 높은 생산성을 기대하기 어렵다. 이는 대량 생산 방법으로는 현실성이 부족하다. 이와 같은 한계를 극복하기 위해, 몰드를 제작하여 복제 공정을 수행하는 방식이 주로 사용된다. 대표적인 복제 방법으로는 사출 성형, UV 임프린팅, 핫 엠보싱 등이 있다. 정밀 광부품으로서의 초정밀 프레넬 렌즈의 복제 시 가장 중요한 것 중 하나가 전사성이다. 프레넬 렌즈의 경우, 칼날 형태의 프리즘 패턴이 동심원을 이루고 있는 형태이기 때문에, 패턴 끝단에서 빈번히 발생하는 기포, 미충진, 이형시 발생하는 뜬김 등은, 프레넬 렌즈의 광학 성능 저하를 야기한다. 프레넬 렌즈는 일반적으로 그 효율이 일반 굴절 렌즈에 비해 50%이하로 알려져 있다. 이러한 프레넬 렌즈의 특성 때문에 형상 이상에 따른 성능의 저하는 보다 치명적이다.

본 연구에서는 다양한 폴리머 복제 공정 중 양산 공정에 가장 널리 사용되는 사출성형과, 액상의 자외선 경화 폴리머를 사용함으로써 유동 저항에 둔감한 UV 임프린팅을 통한 복제 공정을 이용하여 프레넬 렌즈의 제작을 수행하고, 이를 비교하였다.

### 2.1 사출성형 및 UV 임프린팅 공정을 통한 프레넬 렌즈의 제작

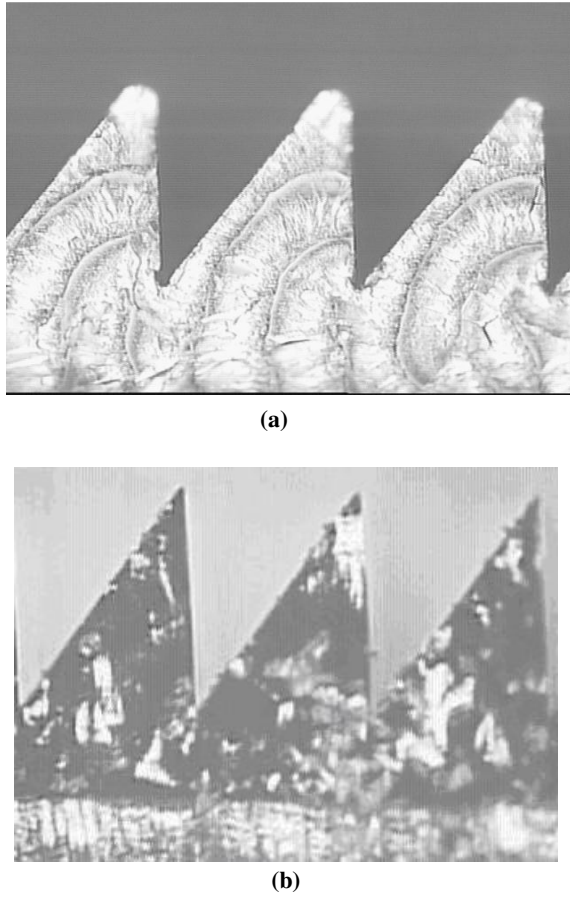
사출성형 공정을 위해 제작된 스템퍼의 부착이 가능한 2 캐비티 카세트 금형 제작하였다. 캐비티 내의 수지의 균일한 흐름을 위해 팬 게이트를 설치하고 유동 밸런스를 제어하는 런너 설계를 수행하였다.

UV 임프린팅 공정은 자외선에 반응하여 경화하는 포토 폴리머를 이용한 복제 공정으로, 상온에서 액상의 형태를 갖는 포토 폴리머를 몰드상에 도포하고 자외선을 조사하여 경화시키는 공정으로서, 재료의 유동에 의한 영향이 적어 높은 전사 특성을 갖는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 기계적 강도 및 광학적 특성이 우수한 실리콘 우레탄 아크릴레이트 계열의 자외선 경화 폴리머를 사용하여 복제 공정을 수행하였다[5]. Fig. 1 은 본 연구에서 수행된 UV 임프린팅 공정도이다.

프레넬 렌즈의 원기는 기계가공으로 제작되어 전주 도금을 통해 니켈 몰드로 제작되었다. 기계가공을 통해 제작된 고가의 마스터를 직접 복제 공정에 사용하지 않고, 전주 도금 공정을 통해 복제하여 사용함으로써, 몰드 제작 단가를 낮출 수 있다.

이후 유리 기판 상에 자외선 경화 폴리머를 도포하고, 제작된 몰드를 이용하여 최종 프레넬 렌즈를 제작하였다. UV 임프린팅을 위한 공정 개발을 위해 자외선 경화 폴리머의 경화 정도를 측정하여 적절한 자외선 조사량을 산출하였으며, 100mW/cm<sup>2</sup>의 광도 하에서 10 초 동안 노광 공정을 수행하였다. 또한 UV 성형공정에서 발생하는 기포 및 수축을 제어하기 위해 프리 히팅(pre-heating) 공정과 가압공정을 수행하였다.[11]

최종적으로 제작된 프레넬 렌즈에 대한 평가가 수행되었다. 프레넬 렌즈 제작에 있어 가장 중요한 blade shape 의 끝단에서의 전사성을 평가하기 위해 제작된 성형품의 단면 형상을 현미경 및 표면 형상 측정시스템(surface profiler)을 이용하여 측정하고, 그 결과를 분석하였다.

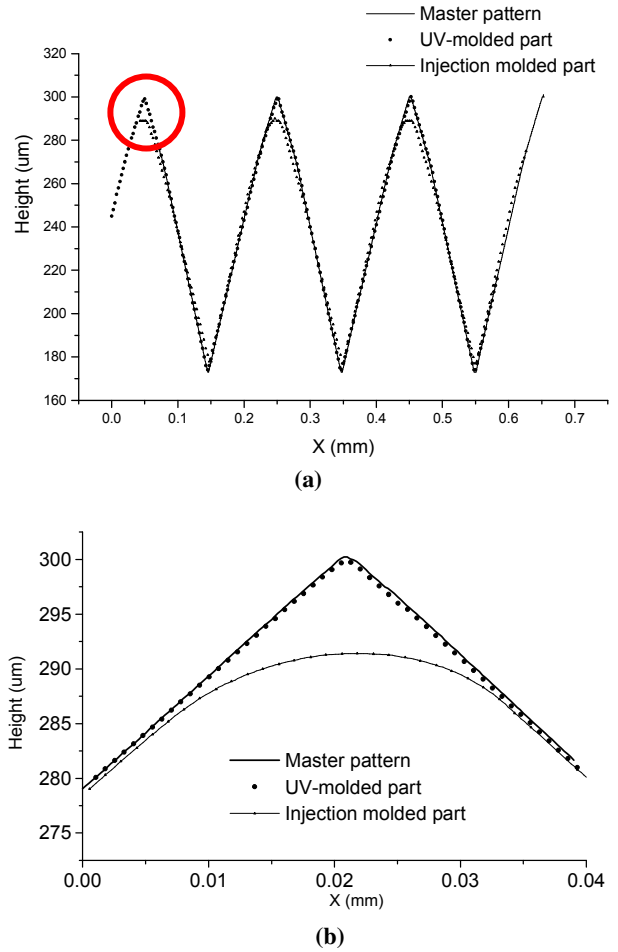


**Fig. 2** Micro scope images of cross sectional of (a) injection molded Fresnel lens and (b) UV imprinted Fresnel lens

**2.2 분석 및 평가**

각각 제작된 프레넬 렌즈의 복제 특성을 분석하기 위해 현미경을 이용한 단면 형상의 정성적 비교와, 표면 형상 측정 시스템을 이용한 정량적 방법이 사용되었다. 전사 특성의 비교를 보다 명확하게 하기 위하여, 렌즈 외곽부의 세장비가 가장 큰 영역에 대한 평가를 수행하였다.

Fig. 2(a)는 사출 성형품의 단면중 패턴의 세장비가 가장 큰 외곽부 패턴의 형상이다. 단면 형상에서 알 수 있듯, 패턴의 첨단 부분의 전사성이 불량한 것을 알 수 있으며, 이는 사출 시 패턴의 끝단에 고립된 공기 및 충전 시 높은 재료 점도에 의한 미충진 결함으로서 이는 곧 굴절면의 손실과 함께 보다 많은 빛의 손실을 야기한다. 이는 몰드에 능동 가열모듈을 장착한 지능형 몰드를 통해 극복 가능할 것으로 판단된다.[3-4]



**Fig. 3** (a) Comparison of master pattern, UV-molded part and injection molded part (b) Magnified result of circle area

Fig. 2(b)는 UV 몰딩을 통해 제작된 성형품의 외곽부 단면 사진이다. 이를 통해 사출공정으로 제작된 성형품에 비해 보다 높은 전사 특성을 보임을 정성적으로 확인할 수 있다.

앞서 기술한 바와 같이 정량적인 전사특성을 평가하고자 프레넬 렌즈 원기와 사출성형품, UV 성형품의 형상 프로파일을 수직방향 분해능 0.8  $\mu\text{m}$ 의 형상측정기를 이용하여 측정 비교 하였다.

Fig. 3은 제작된 프레넬 렌즈에서 최대 세장비를 갖는 최외곽 칼날 형상 패턴의 끝단 형상을 측정, 비교한 결과이다. 마스터 패턴과 UV 몰딩 결과물의 팁 반경은 측정 오차 수준 내에서 구분하기 어려운 수준으로 작아 분석이 불가능하였다. 그러나 사출 결과의 경우 팁 반경이 약 19  $\mu\text{m}$  정도로 측정되었다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 최근 소형 조명 광학계, 이미징 광학계 등 다양한 응용분야에서 수요가 급증하고 있는 정밀 프레넬 렌즈의 양산을 위한 복제 공정에 대한 분석을 실시하였다.

폴리머 복제를 이용한 양산 방법 중 가장 널리 사용되는 사출 성형과 우수한 정사특성을 갖는 UV 임프린팅 공정을 서로 비교함으로써, 공정의 유용성을 비교 평가하였다.

이를 위해 렌즈 마스터를 기계가공을 통해 제작하고 전주 도금을 통해 몰드를 제작하였다. 제작된 몰드를 이용한 사출 성형 및 UV 몰딩 성형을 수행하고 세장비가 높고 끝단이 예리하여, 복제 시 많은 결함을 야기할 수 있는 형태를 갖는 성형품의 외곽부 패턴을 중심으로 전사성을 평가하였다. 사출 성형의 경우 예리한 끝단의 복제 시 미충진에 의한 문제가 발생하여, 패턴 끝단 팁 반경이 약 19  $\mu\text{m}$ 로 측정되어 다소 무딘 형상을 나타내고으나, UV 임프린팅의 경우 사출 성형에 비해 뛰어난 전사성을 보였다. 이에 UV 몰딩은 프레넬 렌즈의 복제의 방법으로서 그 유용성이 큼을 확인하였다. 현재 복제공정을 통한 프레넬 렌즈의 실제 적용 제품 및 사출성형 공정 시 금형 온도 능동 제어를 통한 전사성 향상에 관한 연구가 진행중에 있다.

### 후 기

" 이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0080932)."

### 참고문헌

- [1] B. Hadimioglu, E.G. Rawson, R. Lujan, M. Lim, J. C. Zesch, 1993, High efficiency Fresnel acoustic lens, HIGH-EFFICIENCY FRESNEL ACOUSTIC LENSES
- [2] C. Sierra and A. J. Vazquez, 2005, High solar energy concentration with a Fresnel lens, Journal of materials science 40, pp.1339~1343
- [3] W. Watanabe, D. Kuroda and K. Itoh, 2002, Fabrication of Fresnel zone plate embedded in silica glass by femtosecond laser pulse, Optics Express, Vol. 10, No. 19pp.978~983
- [4] Y Kim, Y Choi, S Kang, 2005, Replication of high density optical disc using injection mold with MEMS heater, Microsystem Technologies, Vol.11, pp.464-469
- [5] H. Schiff, C. David, M. Gabriel, J. Gobrecht, L. j. Heyderman, et al, 2000, "Nanoreplication in Polymers Using Hot Embossing and Injection Molding", Microelectronic Engineering, Vol 53, pp. 171-174.
- [6] Masaki Yoshii and Hiroki Kuramoto, 1994, "Experimental Study of Transcription of Minute Width Grooves in Injection Molding", Polymer Engineering and Science, Vol. 34, pp. 1211-1217.
- [7] S. Kim, H. Kim and S. Kang, 2006 "Development of a UV-imprinting Process for Integrating a Microlens Array on an Image Sensor", Opt. Lett. 31, 2710-2712.
- [8] M.V. Kunnavakkam, F.M. Houlihan, M. Schlax, J.A. Liddle, P. Kolodner, et al, 2003 "Low-cost, low-loss microlens arrays fabricated by soft-lithography replication process", Appl. Phys. Lett. 82, 1152-1154.
- [9] P. Nussbaum, I. Philipoussis, A. Husser, and H.P. Herzig, 1998 "Simple technique for replication of micro-optical elements", Opt. Eng. 37, 1804-1808.
- [10] M.T. Gale, C. Gimkiewicz, S. Obi, M. Schnieper, J. Sochtig, H. Thiele, et al, 2005, "Replication Technology for Optical Microsystems", Opt. Laser. Eng. 43, 373-386.
- [11] J. Lim, K. Jeong, J. Yoo, N. Park and S. Kang, 2005, Design and fabrication of diffractive optical element for objective lens of small form factor optical data storage device, Information Storage and Processing Systems Conference.