

프레넬 렌즈 UV 미세복제 공정에서의 전사특성에 관한 연구

임지석¹, 이남석¹, 김석민¹, 강신일[#]

Micro-replication quality of Fresnel Lens in UV micro-replication process

J. Lim, N. Lee, S. Kim and S. Kang

Abstract

Fresnel lens has number of applications in the optical systems because of its advantages. It is nearly flat lens that has small weight. It is conventionally used in lighthouse beacons, condensing unit of overhead projector and etc. Recently, demands of small size optical systems such as display units, information storage systems, optical detecting units had increased. Conventional manufacturing process of high quality Fresnel lens is direct machining. But it is not suitable for mass production because of high cost and long cycle time. Replication process is more suitable for mass production. But the 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 process of blade shape pattern that has maximum height of 280 μm , aspect ratio 1.4 for Fresnel lens application.

Key Words : 프레넬 렌즈(Fresnel lens), UV 몰딩, 사출성형, Blade shape pattern, 고세장비

1. 서론

프레넬 렌즈는 구면렌즈에 비해 형상 및 무게 등의 장점을 가져 구면 렌즈의 대안으로 주로 적용된다. Fig.1 은 동일한 초점거리를 갖는 일반 굴절 렌즈와 프레넬 렌즈의 개념도 이다. 프레넬 렌즈는 고전적인 등대의 반사경이나 오버헤드 프로젝터의 집광판에 사용됨은 물론, 최근에는 다양한 분야에서 컴팩트한 광학계의 실현을 위해 일반 굴절 렌즈를 대체하고 있다. 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 molding 등의 폴리머 복제의 방법은 짧은 제작 시간을 갖으며 고품질 원기를 사용하는 경우 높은 형상 정밀도의

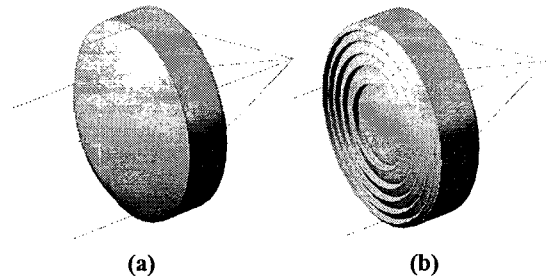


Fig. 1 Conceptual diagram of (a) conventional refractive lens and (b) Fresnel lens

1. 연세대학교 기계공학과

연세대학교 기계공학부, snlkang@yonsei.ac.kr

프레넬 렌즈 제작이 가능한 장점을 가져 프레넬 렌즈의 대량 생산에 가장 적합한 방법이다. 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, 재료 점도에 의한 영향이 적어 높은 전사성을 갖는 UV-molding 공정을 통해 동일한 형상의 프레넬 렌즈를 복제하고 그 형상정밀도를 측정함으로써 각 공정의 blade shape 에 대한 전사성을 평가함으로써 최적의 Fresnel 양산 성형 방법에 대해 고찰하였다.

2. 프레넬 렌즈

2.1 프레넬 렌즈의 특성

프레넬 렌즈는 특정 사양을 갖는 굴절 렌즈의 변형 형태로 설명할 수 있다. 일반적인 굴절광학계에 사용되는 렌즈의 굴절 현상은 렌즈의 표면에서 일어나기 때문에 렌즈의 상면과 하면 사이의 렌즈 재료는 광 경로차를 제시할 뿐 굴절 자체에 아무런 영향을 주지 못한다. 프레넬 렌즈는 굴절에 직접 관여하지 않는 렌즈 내부의 재료를 제거하여 평면상에 여러 개의 동심원의 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].

2.2 프레넬 렌즈의 제작

프레넬 렌즈의 제작 방법은 기계가공을 통한 직가공과 복제로 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 직가공의 경우 요구되는 높은 형상 정밀도와 표면 조도에 의해 제작 단가가 매우 높으며 제작 시간 또한 매우 길다. 이는 대량 생산의 방식으로는 현실성이 부족하다. 이에 원기를 제작하여 이를 복제하는 방식이 각광 받고 있다. 복제 방법으로는 사출 성형, UV 몰딩, hot embossing 등이 있다. 프레넬 렌즈의 복제 시 가장 중요한 것 중 하나가 전사성이다. 프레넬 렌즈의 경우, blade shape 의 프리즘 패턴이 동심원을 이루고 있는 형태이기 때문에, 패턴 끝 단에서 미충진이나 뜯김 현상에 의한 결함이 발생하기 쉽다. 이는 프레넬 렌즈의

굴절면의 손실과 연결되며 성능의 저하로 이어진다. 프레넬 렌즈는 일반적으로 그 효율이 일반 굴절렌즈에 비해 50%이하로 알려져 있다. 이러한 프레넬 렌즈의 특성 때문에 형상 이상에 따른 성능의 저하는 보다 치명적이다.

3. 프레넬 렌즈의 복제

3.1 몰드 제작

본 연구에 사용된 프레넬 렌즈의 원기는 기계가공으로 제작되어 도금을 통해 니켈 몰드로 제작되었다. 제작된 프레넬 렌즈 원기의 설계 정보는 다음과 같다. 각각의 굴절면은 등간격을 갖는 blade shape 으로 설계 되어 외곽부로 갈수록 패턴의 높이가 점차 높아지는 형상을 하고 있다. 원기는 유효 직경 35mm, 초점 거리 20mm, inch 당 groove 수 125 개, 최대 패턴의 높이 240 μ m, 최대 세장비 1.5 를 갖는다.

3.2 프레넬 렌즈 성형

본 연구에서는 다양한 폴리머 복제 공정 중 양산 공정에 가장 적합한 사출성형과, 비교적 짧은 공정 시간을 갖으며 액상의 포토 폴리머를 사용함으로써 유동 저항에 둔감한 UV 몰딩을 통한 복제 공정을 이용하여 프레넬 렌즈의 제작을 수행하였다.

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. 프레넬 렌즈 제작에 있어 가장 중요한 blade shape 의 끝단에서의 전사성을 평가하기 위해 제작된 성형품의 단면 형상을 현미경을 이용하여 관찰하였다.

Fig. 2(a)는 제작된 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]

UV 몰딩 공정은 자외선에 반응하여 경화하는 포토 폴리머를 이용한 복제 공정으로, 상온에서

액상의 형태를 갖는 포토 폴리머를 몰드상에 도포하고 자외선을 조사하여 경화 함으로써, 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 복제공정을 수행하였다[5]. Fig. 3 은 본 연구에서 사용된 UV 복제 시스템의 사진이다. UV 몰딩을 위한 공정 개발을 위해 자외선 경화 폴리머의 경화 정도를 측정하여 적절한 자외선 조사량을 산출하였으며, $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 광도 하에서 10 초동안 노광 공정을 수행하였다. 또한 UV 성형공정에서 발생하는 기포 및 수축을 제어하기 위해 pre-heating 공정과 가압공정을 수행하였다.[6]

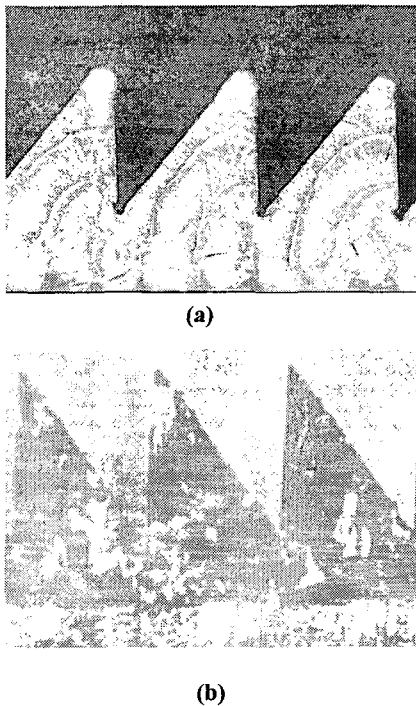


Fig. 2 Micro scope image of cross section of (a) injection molded Fresnel lens and (b) UV-molded part

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.

정량적인 전사특성을 평가하고자 프레넬 렌즈

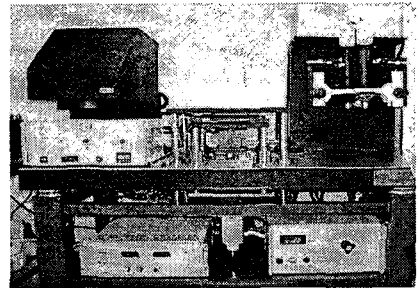


Fig. 3 Image of UV-replication system

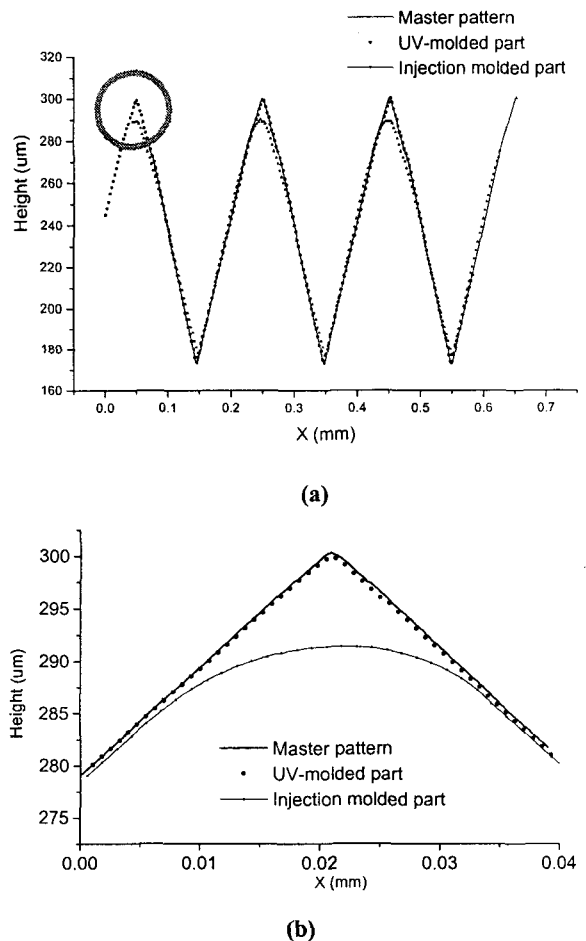


Fig. 4 (a) Comparison of master pattern, UV-molded part and injection molded part (b) Magnified result of circle area

원기와 사출성형품, UV 성형품의 형상 프로파일을 수직방향 resolution $0.8\ \mu\text{m}$ 를 갖는 형상측정기를 이용하여 측정 비교 하였다. Fig. 4 는 제작된 프레

넬 렌즈에서 최대 세장비를 갖는 최외곽 blade shape 패턴의 끝단 형상을 측정, 비교한 결과 이다. 마스터 패턴과 UV 몰딩 결과물의 팁 반경은 매우 작아 측정 범위를 벗어 났으나, 사출 결과의 경우 팁 반경이 약 19 μm 정도로 측정되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 고성능 프레넬 렌즈의 양산방법으로써 사출 성형 및 UV 몰딩 공정의 유용성을 비교 평가하였다. 이를 위해 렌즈 마스터를 기계 가공을 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 발생하였으나, UV 몰딩의 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 공정시 금형 온도 능동 제어를 통한 프레넬 렌즈의 전사성 향상에 관한 연구가 진행중에 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정 연구실 사업중

“나노 몰드 및 고분자 나노 복제 기술의 나노 광전자소자 응용” 연구과제 (M10400000321-05J0000-32110) 로서 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] C. Sierra and A. J. Vazquez, 2005, High solar energy concentration with a Fresnel lens, *Journal of materials science* 40, pp.1339~1343
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 배재철, 김영민, 김홍민, 강신일, 2004, 단열층을 이용한 광디스크 기관의 서브 마이크론 성형에 대한 수치해석, *한국소성가공학회지*, 제 13 권 제 1 호, pp.39-44
- [5] 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 deviced, *Information Storage and Processing Systems Conference*.
- [6] 김석민, 임지석, 강신일, 전병희, 2004, UV 성형을 통한 마이크로 렌즈 어레이의 제작, *한국소성가공학회지*, 제 13 권 제 3 호, pp236-241