

# 비정질 탄소 몰드를 이용한 마이크로 프레넬 렌즈의 유리성형

## Glass Molding of Micro Fresnel Lens Using Vitreous Carbon Mold

\*김영규<sup>1</sup>, 주종현<sup>1</sup>, #김석민<sup>1</sup>, 김병욱<sup>2</sup>, 김장균<sup>2</sup>

\*Y. Kim<sup>1</sup>, J. Ju<sup>1</sup>, #S. Kim<sup>1</sup>([smkim@cau.ac.kr](mailto:smkim@cau.ac.kr)), B. Kim<sup>2</sup>, J.-K. Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>중앙대학교 기계공학과, <sup>2</sup>(주)애니캐스팅

Key words : Glass Fresnel lens, Glass molding, Vitreous carbon

### 1. 서론

프레넬 렌즈는 기존의 렌즈에 비하여 얇고 가벼운 장점이 있어 LED 조명, 디지털 카메라 그리고 태양전지와 같은 다양한 응용분야에 널리 사용되고 있다[1]. 일반적인 프레넬 렌즈 제작공정은 플라스틱 재료의 사출성형으로 제작 단가가 낮고 공정이 간단한 장점이 있다. 그러나, 플라스틱 재료의 낮은 열적, 화학적, 기계적, 그리고 광학적 특성으로 인하여 높은 내광성, 열저항성, 안정성이 요구되는 응용분야의 적용에 어려움이 있으며, 이러한 응용분야에서 유리 프레넬 렌즈의 필요성이 증대되고 있다. 유리 광소자의 기본적인 가공방법은 연삭공정이나, 이는 제작 단가가 높고 마이크로 프레넬 렌즈와 같은 미세 패턴 제작에 한계를 갖는다. 유리 광소자의 또다른 가공방법인 유리 성형은 최종형상의 음각형태를 갖는 몰드 상에 유리 재료를 위치시키고 고온에서 가압하여 몰드의 형상을 복제하는 공정으로 경제적이고, 대량생산에 적합하다. 유리 성형 공정으로 유리 마이크로 프레넬 렌즈를 제작하기 위해서는 고온경도 및 고온치수안정성이 높은 몰드의 제작이 필요하다. 일반적인 유리 성형용 몰드는 텅스텐카바이드 초경합금을 기계 가공하여 제작되지만 [2], 초경합금을 이용한 마이크로 패턴을 갖는 프레넬 렌즈용 몰드의 제작에는 기계가공의 한계가 있어 새로운 몰드 제작방법이 요구된다. 한편, 비정질 탄소 재료는 비흑연화 탄소 구조로써 높은 고온내구성 및 고온 경도를 가져 유리 성형의 몰드 재료로써 사용될 수 있다. 또

한 마이크로/나노 복제공정으로 제작된 고탄소 고분자 구조체의 탄화 과정을 통해 마이크로/나노 구조의 비정질 탄소 몰드 제작이 가능하다[3]. 본 연구에서는 복제공정 및 탄화과정으로 제작된 비정질 탄소 몰드를 이용한 마이크로 프레넬 렌즈의 유리 성형 공정의 가능성을 분석한다.

### 2. 비정질 탄소 몰드 제작 공정

대면적 비정질 탄소 마이크로 몰드를 저가 제작하기 위하여 고탄소 열경화성 수지를 이용한 복제공정 및 탄화공정이 사용되었다. Fig. 1은 비정질 탄소 몰드의 제작공정 및 이를 이용한 유리 프레넬 렌즈의 제작공정을 보여준다. 본 연구에서는 상용 플라스틱 프레넬 렌즈를 마스터로 몰드 제작을 수행하였다. 1 차 몰드 제작에 있어 일반적으로 열적, 화학적 안정성이 뛰어나고 표면 접촉성이 낮아 마이크로 복제공정에 널리 사용되는 Polydimethylsiloxane (PDMS)을 몰드 재료로 선정하였다. PDMS 용액을 프레넬 렌즈 마스터 위에 도포하고 상온에서 24 시간 경화 하여 PDMS 몰드를 제작하였다. PDMS 몰드의 음각 형상을 반전하기 위해

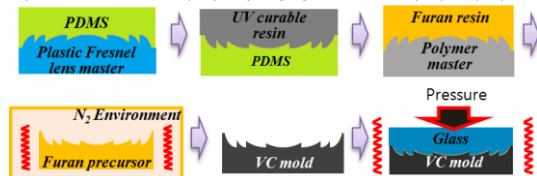


Fig. 1 Schematic of fabrication process for glass Fresnel lens using VC mold

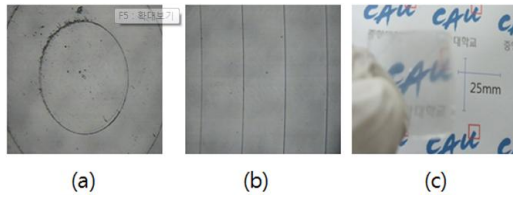


Fig. 2 (a) and (b) are the microscopic images and (c) is the picture of the molded glass Fresnel lens.

UV 임프린팅 공정을 통한 폴리머 몰드가 제작되었다. 푸란 전구체의 제작을 위해 89.8 wt%의 푸란 수지와 0.2 wt%의 p-toluenesulfonic acid monohydrate ( $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{H}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , PTSA) 그리고 10 wt%의 에탄올의 혼합물을 폴리머 몰드에 도포하고 열경화를 수행하였다. 경화과정은 푸란 수지 내에 있는 기포가 충분히 배출되도록 5일간 상온에서 1차 경화를 수행하였으며, 2차 경화 과정은 내부응력 증가와 급격한 경화에 의한 내부 가스 배출 통로 차단을 최소화하기 위해 진공 오븐에서  $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 느린 승온속도와, 매  $5^\circ\text{C}$ 상승마다 60분씩 온도를 유지하며, 최고온도  $100^\circ\text{C}$ 로 수행되었다. 탄화 과정에서는 열분해시 내부 가스의 급격한 분출로 인한 결함을 최소화하기 위해, 불활성 기체 분위기의 퍼니스에 푸란 전구체를 넣고  $600^\circ\text{C}$ 까지  $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 가열하며, 매  $60^\circ\text{C}$ 상승마다 60분씩 온도를 유지하였으며, 이후  $1000^\circ\text{C}$ 까지  $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 느린 승온속도로 서서히 가열한 후,  $100^\circ\text{C}$ 에서 일정 시간을 유지하였다.

### 3. 마이크로 프레넬 렌즈 유리 성형 공정

제작된 비정질 탄소 몰드를 이용한 유리 성형을 통해 마이크로 프레넬 렌즈를 제작하였다. 유리 소재는 K-PG375 (Sumita Optical Glass, Inc., Japan)가 사용되었다. 유리 전체의 충분한 열전달을 위하여 성형 온도인  $380^\circ\text{C}$ 에서 200초간 예열단계를 거쳤으며 금형과의 충돌로 인한 유리재료의 파손을 막기위하여 금형의 접근속도는  $15\text{mm}/\text{min}$ 으로 제한하였다. 유리와 금형의 접촉 후  $2\text{MPa}$ 의 압력으로 80초간 가압하였으며, 완성된 유리 프레넬 렌즈는 급냉각으로 인한 파손을 막기 위해  $250^\circ\text{C}$ 까지 냉각한 후 렌즈를 이형하고 상온에서 공냉하였다. Fig. 2의 (a)와 (b)는 위와 같은 방법으로 금형된 유리 프레넬 렌즈의 패턴 (a)중심부와 (b)외곽부를 현미경으로 측정된 것이다. Fig. 2의

(c)는  $2 \times 2\text{cm}^2$  크기로 제작된 유리 프레넬 렌즈의 사진으로 볼록렌즈의 역할을 하고 있음을 보여주고 있다. 탄화단계에서 필연적으로 발생하는 열분해에 의한 수축으로 인하여 렌즈 외곽부분의 해상도가 낮아지는 현상이 발생하였으나, 반복적인 실험결과 탄화과정의 수축률이 항상 일정한 것으로 확인되었으므로, 향후 본 기술의 실제 적용시 마스터 설계단계에서 탄화과정에서의 수축을 보정할 수 있을 것으로 기대된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 마이크로 복제공정과 탄화공정을 이용한 비정질 탄소몰드 제작방법을 이용하여 유리 마이크로 프레넬 렌즈의 성형 가능성을 분석하였다. 적절한 푸란 수지의 배합비율, 두 단계의 경화공정 제어 및 탄화공정제어를 통해 고품위의 비정질 탄소 몰드를 제작하였으며, 이를 이용한 유리성형공정을 성공적으로 수행하였다. 탄화과정에서의 정확한 수축예측을 위한 수치 해석적 모델의 개발과 이를 통한 마스터 패턴 보정을 통한 고해상도 유리 프레넬 렌즈의 개발이 진행중에 있다.

### 후기

본 연구는 지식경제부, 정보통신산업진흥원 및 한국과학기술단체총연합회의 “2012년 이공계전문가기술지원서포터즈 사업”의 연구결과로 수행되었음.

### 참고문헌

1. Kitaura, N., Ogata, S., and Mori, Y., “Spectrometer employing a micro-Fresnel lens”, *Optical Engineering*, **34**, 2, 584-588, 1995
2. Zhou, T., Yan, J., Masuda, J., and Tsunemoto, K., “Ultraprecision Mass Fabrication of Aspherical Fresnel Lens by Glass Molding Press”, *Advanced Materials Research*, **325**, 713-718, 2011.
3. Ju, J., Han, Y., Seok, J., and Kim, S., “Development of Low-cost and Large-area Nanopatterned Vitreous Carbon Stamp for Glass Nanoreplication”, *IEEE Nano 2012*, 2012.08.20.-23, Birmingham, U.K.