

금형코어 형상을 고려한 고정밀도 비구면 유리렌즈 형상보정 Profile Compensation Method Considering Mold Profile in the Molding of Aspheric Glass Lens

*차두환, 박흥수, 김혜정, #김정호

*D. H. Cha¹, H. S. Park², H. J. Kim³, #J. H. Kim(kimjh@kopti.re.kr)⁴

한국광기술원 초정밀광학연구센터

Key words : Glass Molding Press(GMP), Profile Compensation, Aspheric Glass Lens

1. 서론

비구면렌즈는 구면렌즈에서 해결이 어려운 결상저해요소(구면수차, 왜곡수차 등)를 극소화하거나 제거할 수 있는 장점으로 인하여 대부분의 광학계에서 비구면렌즈를 채용하고 있다. 특히, 비구면 유리렌즈의 경우 플라스틱렌즈에 비해 우수한 광학특성, 소재의 다양성 및 높은 내열성 등의 이유로 고화질 광학계를 중심으로 그 사용영역이 점차 확대되고 있다.

비구면 유리렌즈의 제작에는 전통적으로 구면렌즈의 제작에 이용되는 연삭·연마법이 사용되어왔으나, 복잡한 공정으로 인한 고단가 문제로 양산화 측면에서 문제점을 가지고 있다. 따라서 최근에는 유리 원소재를 금형에 넣고 가열 후 압축 및 냉각하는 간단한 공정으로 원하는 형상의 비구면 유리렌즈를 제작하는 압축성형(Glass Molding Press, GMP)법이 주로 이용되고 있다. 그러나 압축성형법은 광학유리의 굴곡점 온도(약 500~600℃) 부근의 고온에서 수행되므로 성형공정에서 발생하는 금형 열변형, 렌즈 수축 및 열응력 등으로 인해 성형렌즈는 기준 스펙을 벗어나는 큰 형상오차를 갖는다. 성형렌즈의 형상오차 보정을 위해서는 광학설계에 따라 가공된 금형으로 시성형한 렌즈를 통해 얻은 렌즈의 열변형량을 고려하여 금형을 보정가공하고, 보정된 금형을 사용하여 렌즈를 성형하는 방법이 적용되고 있으며 이와 관련된 연구들이 보고되어 있다.[1] 그러나 단순한 보정과정만 적용하여 보고된 기존 연구의 경우 성형렌즈의 정확한 열변형량을 얻기 위해서는 금형이 설계된 비구면과 일치하는 이상적인 면으로 가공되어야 한다는 전제가 필요하지만, 형상오차가 없는 가공면을 얻는 것은 불가능하기 때문에 여러 차례의 보정을 수행해도 형상오차(PV) 0.2um 이하의 고정밀도의 렌즈를 성형하는 것은 매우 어려운 실정이다. 따라서 Blu-ray disc용 광픽업렌즈와 같이 형상오차(PV) 0.1um 정도의 고정밀도를 요구하는 비구면 유리렌즈 성형에 적용할 수 있는 보정방법이 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 형상오차(PV) 0.1um 이하의 고정밀도 비구면 유리렌즈 성형을 위해 가공된 금형의 형상오차를 적용하여 성형렌즈의 정확한 변형량인 유효 열변형량을 구하여 금형 보정에 적용하여 고정밀도 비구면 유리렌즈를 성형하는 방법을 제안하고 금형 및 렌즈의 형상에 따른 유효 열변형량의 적용방법에 대해 기술하였다.

2. 실험

본 연구에서는 Fig. 1의 Blu-ray disc용 비구면 유리렌즈 A면에

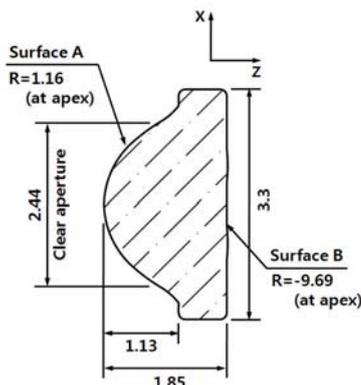


Fig. 1 Schematic optical design of the test lens

대해 형상오차(PV) 0.1 um의 고정밀면을 얻기 위한 형상보정 연구를 수행 하였다.

비구면 유리렌즈의 압축성형을 위해 코발트(Co) 함량 0.5%의 초경합금(WC; 일본, Fujiloy社, TJF03)을 초정밀 연삭가공하여 금형을 제작하였다. 비구면 유리렌즈 성형에는 Batch형 성형장비(일본, Sumitomo社, NanoPress-S)를 사용하였다. 유리소재는 전이점(T_g) 560℃, 항복점(A_r) 592℃의 열적특성을 갖는 K-LaFK50(일본, Sumita社)을 사용하였다.

3. 결과 및 토의

유리소재의 열적특성을 고려하여 렌즈의 성형조건을 Table 1과 같이 결정하고, 광학설계에 따라 가공된 형상오차(PV) 0.2 um의 금형을 사용하여 렌즈를 성형하였다.

Table 1 Molding condition used in this study

	Press			Slow cooling	
	Soaking	Step 1	Step 2	Step 1	Step 2
Time (s)	30	5	8	-	-
Force (N)	-	100	250	100	100
Temperature (°C)	Molding			Slow cooling rate	
	560			4 °C/sec	

성형된 렌즈는 금형 열변형, 렌즈 수축 및 열응력 등으로 인해 Fig. 2과 같이 4.5 um의 높은 형상오차(PV)를 나타냈다. 성형렌즈의 형상보정을 위해서는 렌즈의 정확한 열변형량 이 필요하다. 성형 시 사용된 금형은 0.2 um의 형상오차를 갖기 때문에 렌즈의 정확한 열변형량을 얻기 위해서는 Fig. 3과 같이 렌즈와 금형의 형상오차를 동시에 고려하여 유효 열변형량을 계산해야 한다.

유효 열변형량을 고려하여 금형을 보정가공 하여 렌즈를 성형한 결과 Fig. 4와 같이 형상오차(PV) 0.09 um의 고정밀 렌즈를 얻었다.

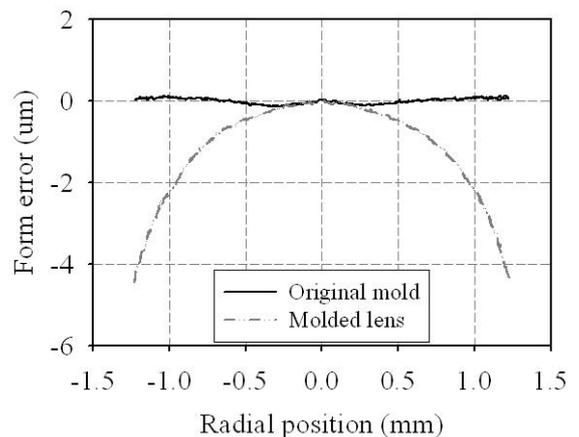


Fig. 2 Form error(PV) of mold and molded lens

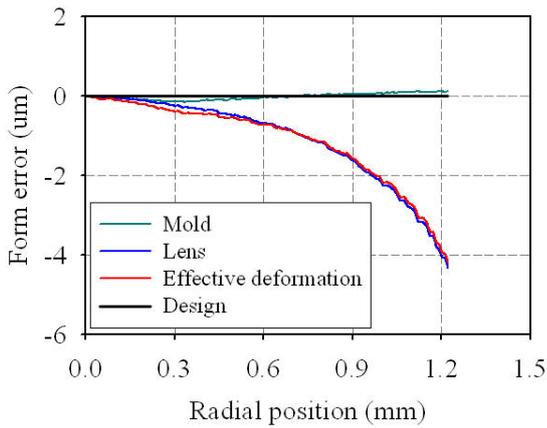


Fig. 3 Calculation of effective deformation of molded lens considering form error of both mold and molded lens

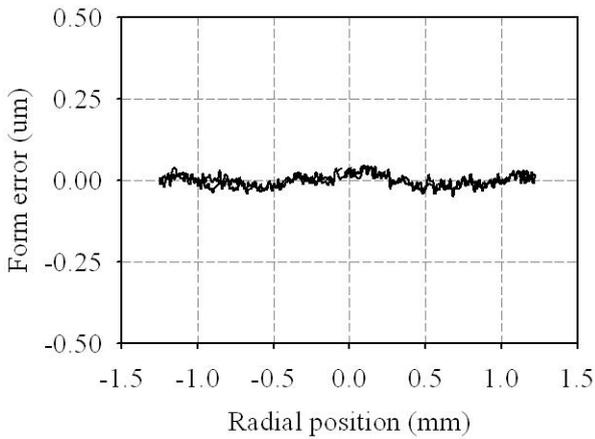


Fig. 4 Form error of the lens molded using the compensated mold

4. 결론

압축성형법을 이용한 비구면 유리렌즈 성형 중 발생하는 성형 렌즈의 형상오차 보정을 위해 금형코어의 형상오차를 고려하여 렌즈의 유효 열변형량을 계산하였다. 유효 열변형량을 적용하여 금형을 보정한 결과 형상오차(PV) 0.1 um이하의 고정밀도 비구면 유리렌즈를 성형할 수 있었다.

참고문헌

1. T. Kamano and M. Katsuki, "Compensation technology of glass molding accuracy", in Medical Imaging 2003, Dev. P. Chakraborty and E. A. Krupinski, eds., Proc. SPIE TD02, 4-6, 2003.