

비구면 광학소자의 복제기술 개발

The Development of aspheric elements using replication process

민지홍, 김영일, 이문규, 조성민, 최환영
 삼성전자 중앙연구소
 jeehong@secns.sec.samsung.co.kr

Abstract

Aspheric optical elements can provide an advantage in the design of optical system that require high performance and small size. The main disadvantage of high volume production of aspheric optical elements is very high cost. In this paper, we suggest new technology of high volume production process using replication process. The replication is a thin film of UV cured resin on a solid substrate blank (polymer substrate) with aspheric surface.

1. 서론

최근 광응용 제품은 고속, 고정도, 고해상도를 요구하는 추세이다. 이러한 요구에 대응하기 위해서 비구면 광학계의 사용이 점차 확대되어 비구면 광학소자 관련기술 확보가 제품화의 관건이 되었다. 특히, 레이저 프린터용 LSU(Laser Scanning Unit)의 경우에 있어서는 저가격, 고해상도, 고속인쇄를 위한 고정도의 비구면 광학부품이 필요하게 되었다.

비구면 광학 소자를 직접 가공하는 경우 DTM(Diamond Turning Machine)과 같은 고가장비로 장시간과 고비용이 소요되며, 사출 성형시에는 양산성은 뛰어나지만 온도 및 기계적 변형에 의해 고품질을 달성하기 어렵다. 따라서 기존의 제작품보다 제작비용과 시간적 측면에서 훨씬 효율적이면서 정밀도를 유지할 수 있는 방법이 필요하게 되었다.

2. 본론

본 논문에서는 비구면 반사미러를 아래의 그림 1과 같이 Sub-micron 영역의 형상 정도로써 가공된 비구면 금형(Mold)과 통상의 방법(가공 또는 사출성형)에 의해서 얻어지는 광학소자의 모재(Substrate) 위에 비구면 층을 자외선 경화수지로서 중합 성형하는 복제(Replication) 방식에 의해서 제작하였다.

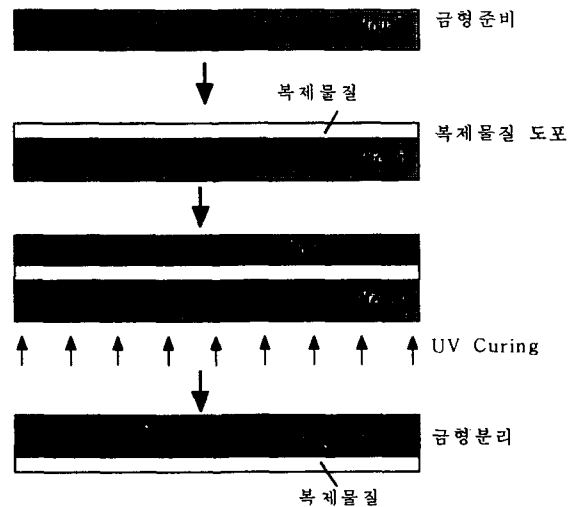


그림 1. 광학소자의 복제 Process

비구면 반사미러 제작은 3단계로 진행되었으며 첫단계가 Mold와 Substrate의 제작공정이다. 두 번째 단계는 Mold의 형상을 Substrate에 전사시키는 Replication 공정이고 마지막단계는 복제가 완료된 비구면에 알루미늄 반사코팅을 하여 완성품을 만드는 단계이다.

복제하고자 하는 비구면 반사미러와 제작에 사용된 Mold와 Substrate의 수식은 (1)과 같이 표시된다.

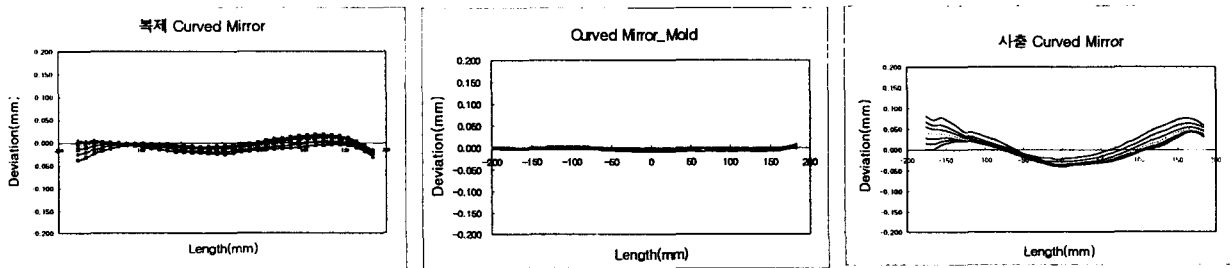
$$Z = \frac{(1/R) Y^2}{1 + [1 - (1+K) (1/R)^2 Y^2]^{0.5}} + A Y^4 + B Y^6 \quad (1)$$

여기서, R은 Radius이며 Y는 광축으로 부터의 거리를 의미한다.

3. 실험 및 결과

비구면 반사미러의 복제시 설계 및 환경 변수의 영향을 효과적으로 파악하기 위해서 본 논문에서는 다구찌 실험계획법을 사용하였으며 이 방법으로 가능한 최적의 조건을 도출하고자 하였다. 실험에 사용한 설계인자는 2수준 4인자(수축률, 복제층 두께, Curing Time, Curing 온도) 와 3수준 2인자(Substrate 당단 자세)의 6개로 설정하였으며 조합법을 사용하여 $L_9(3^4)$ 직교표를 선정, 총9개의 조건을 반복 실험하였다. 그리고 그 외의 설계인자에 대한 영향을 실험을 통하여 검증하였다.

다구찌 실험계획법에 의해서 도출된 최적의 복제조건으로 제작된 비구면 반사미러의 형상정도는 아래 그림 2(a)와 같이 365x30mm의 Aperture내에서 $\pm 20\mu\text{m}$ 이며, (b),(c)는 이때 사용된 Mold와 Substrate의 비구면 형상정도를 보여주고 있다.



(a)복제미러 형상오차

(b) Mold 형상오차

(c) Substrate 형상오차

그림 2 비구면 반사미러 비구면 형상 측정결과(Leitz 866 3차원 측정기 사용)

4. 결론

특상의 방법에 의해서 제작된 Substrate위에 비구면 금형(Mold)형상을 자외선 경화 수지를 이용하여 전사시켜 양산성을 확보할 수 있었다. 다구찌 실험계획법을 사용하여 복제시에 사용되는 설계인자중 Substrate자세와 Curing온도가 비구면 형상에 영향을 미치는 주요인임을 확인하였으며 최적의 조건을 도출하여 365x30mm의 Aperture에서 $\pm 20\mu\text{m}$ 의 제품을 제작하였다.

이상의 결과로 Laser Scanning Unit등에 사용되는 대형 비구면 광학소자의 양산 가능 기법을 확보하였다.

참고문헌

1. M.T.Gale, "Replication Technique for Diffraction optical elements", Micro electronic Engineering, Vol.34, No.34 (1997).
2. 임천석, "플라스틱 비구면 $f\theta$ 렌즈의 설계 및 측정 평가", 광기술 워크샵 논문집 10, 42-63 (2000)
3. C.G.Blough,S.K.Mark,R.L.Michaels,M.Rossi, "Diamond Turning and Replication of High-Efficiency Diffractive Optical Elements",OSA Technical Digest Series 5 (1996)