

Dual Pickup 대물렌즈의 생산을 위한 주요 Parameter 및 특성에 관한 연구

우선희*, 이동주⁺

(논문접수일 2007. 3. 6, 심사완료일 2007. 3. 29)

A Study on Key Parameters and Characteristics in the Manufacturing Process of the Dual Pickup Objective Lens

Sun-Hee Woo*, Dong-Ju Lee⁺

Abstract

In order to operate CD and DVD compatibly in a pickup system, the objective lens comprise diffractive optical element(DOE) zone and aspheric curvature on its lens surface. The DOE objective lens is effective to simplify this dual-purpose pickup system of the 655nm and 785nm wavelength by using only one lens, but requires more precision manufacturing process and system due to the complicated shape. This paper presents the overall manufacturing process of this objective lens and describes main parameters in each process, for the correction of the aspheric surface in its core, the shrinkage compensation after injection molding, and the uniformity compensation by adjusting molding conditions.

Key Words : Diffractive Optical Element(DOE, 회절광학소자), Aspheric Surface(비구면), Dual-purpose Pickup(2중 목적 픽업), Compensation(보정), Lens Injection Molding(렌즈 사출성형)

1. 서론

본 CD/DVD⁽¹⁾ dual pickup의 대물렌즈의 특징은 1개의 렌즈를 이용하여 785nm의 CD 파장과 655nm의 DVD 파장을 동시에 만족하며 미디어의 정보를 읽거나 기록하는데 있다⁽²⁾.

이를 위해서는 고차함수를 이용한 비구면 표면(aspheric surface)의 형상 위에 회절무늬(fresnel diffraction zone)를 첨가하여 서로 다른 파장(785, 655nm)의 파면 위상차(phase shift of wavefront)를 발생할 수 있도록 유도한다. 따라서 본 대물렌즈는 정밀한 비구면 형상의 구현과 정확

* 한국항공우주연구원 통신해양기상위성사업단 탑재체팀 (HL3ZW@kari.re.kr)

주소: 305-333 대전광역시 유성구 어은동 45번지

+ 충남대학교 기계공학과

한 위상변위가 발생할 수 있도록 초정밀 가공⁽³⁾ 및 미세 형상 사출 기술이 수반되어야 한다.

즉, 일반적인 비구면 플라스틱 렌즈 보다 정밀한 공정과 생산 시스템의 개발이 필요하다. 특히 성형되는 비구면 표면과 내부적인 불균일성은 굴절되는 레이저 빔의 광로를 변형시켜 정확한 정보의 전달을 저해하는 요인으로 작용됨으로 이와 같은 문제 해법에 주안을 두고 연구하였다.

또한, 기존 연구에서는 렌즈의 단일 공정별 연구가 진행되었으나, 본 연구에서는 CD/DVD dual pickup 대물렌즈의 전체공정을 이해하고 주요 공정별 보상기술에 대해 연구한다.

2. 관련 이론

2.1 Dual pickup 시스템의 구성

CD/DVD 호환용 Dual pickup 시스템⁽⁴⁾의 개략도는 Fig. 1 과 같다. 서로 다른 두 광원이 발진되어 상측의 콜리메이터(collimator)와 대물렌즈(objective lens)를 통해 집광되며 이를 통해 디스크(disc)의 정보를 읽거나 기록하게 된다. 디스크의 정보를 읽고 되돌아오는 빛은 하측의 수광부(PDIC:Photo Diode Integrated Circuit)에 도달하여 빛의 신호가 디지털 신호로 변환된다.

2.2 DOE 대물렌즈(Objective Lens)

회절광학소자(DOE:Diffraction Optical Element)^(5,6)의 기하학적인 형상과 표기는 Fig. 2와 같으며, 일반적인 렌즈의 경우 집광력을 높이기 위해 비구면 형상의 새그(sag) 값이 깊어지나, 회절무늬(DOE)의 형태를 이용할 경우, 렌즈의 중심이 낮아지며 회절무늬에 의하여 위상을 변화시키는 것이 가능하다. Fig. 2에서 두 렌즈는 동일한 굴절능(power)을 갖는다.

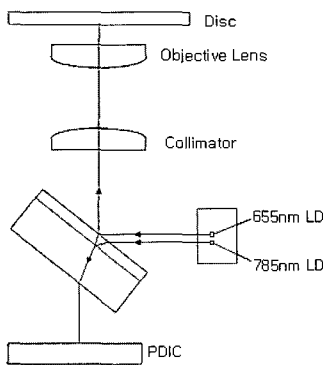


Fig. 1 Optical layout of the dual-wavelength pickup

이와 같은 DOE 렌즈는 높은 회절효과(diffraction effect)를 얻을 수 있으며 다이아몬드 터닝(diamond turning) 기계가공을 이용하여, 1매의 렌즈 상에 비구면 형상 및 DOE의 형상을 가공하여 비구면 효과와 DOE 효과를 동시에 구현할 수 있다.

Fig. 3은 회절광학소자의 설계에 대한 기하학적인 표현이다.

DOE의 Zone 반경은 식 (1)과 같으며

$$r_j = \sqrt{2jf\lambda + j^2\lambda^2} \quad (1)$$

DOE의 Blaze 최대 높이는 식 (2)와 같다.

$$h_{max} = \frac{\lambda}{n-1} \text{이다.} \quad (2)$$

DOE의 위상(phase profile)은 식 (3)으로 표현이 된다.

$$\phi = f(x, y) \text{ 혹은 } \phi = f(r) \quad (3)$$

또한, 회절광학소자의 위상함수는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\phi(r) = \frac{2m\pi}{\lambda} (a_1 r^2 + a_2 r^4 + \dots) \quad (4)$$

따라서 각 Zone에 의한 위상간격이 2π 의 정수배 일 때 동일위상으로 결상된다.

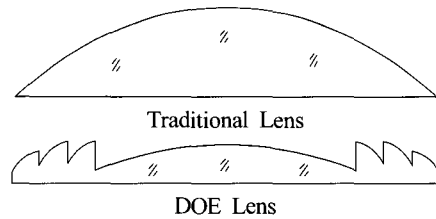


Fig. 2 Comparison between traditional convex lens and fresnel lens

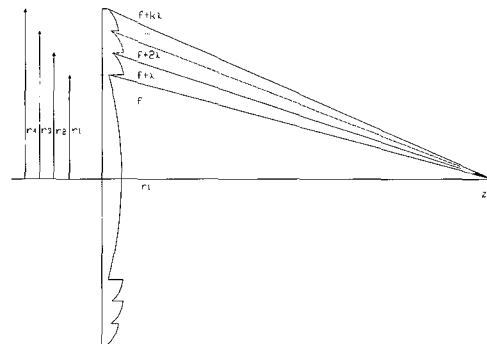


Fig. 3 Geometry of DOE lens

3. 생산시스템

3.1 실험장치 및 방법

3.1.1 초정밀 선반(Ultra-precision lathe)

비구면 가공장치는 리니어 스케일 피드백 계측제어방식의 동시 3축(X, Y, Z) 제어 다이아몬드 초정밀선반(NACHI ASP01)을 사용하였다. X, Z축 테이블은 V-V 수평면 안내 방식을 채택하였고 스텝이송의 반복성은 3nm의 정도를 유지한다. 주축(Z축)의 최대회전수는 2,500rpm 이고 X, Y, Z 축의 최소 분해능은 10nm이다. 이러한 장비는 온도 23±1℃, 습도 42±2%, 진동이 차단된 10,000클래스 클린룸에서 작업을 수행하였다. Fig. 4는 초정밀선삭에 관한 시스템의 개략도를 나타낸다.

DOE가 첨가된 비구면 코어는 10nm의 제어가 가능한 정밀선반의 CNC 제어시스템에 의해 좌표이송 되며, 가공형상의 측정은 비구면 형상측정기와 비접촉 광학현미경을 통해 회절무늬의 피치와 깊이를 측정하게 된다.

3.1.2 초미세 성형장치(Injection molding machine)

본 실험에서는 토글(toggle)식 전동사출성형기를 사용하

여 사출성형을 하였고, 금형온도를 제어하기 위한 열매체로 오일을 적용하는 온도조절기를 사용하였다.

사출기(ENGEL VC80/45 TECH PRO)의 사양은 Table 1과 같으며 수지의 정확한 계량과 빠르고 균일한 가소화를 이룰 수 있도록 전달량의 조절이 가능한 스크루가 사용되었다(Fig. 5). 또한 사출 압력 및 스크루의 속도의 제어를 위해서는 폐루프 제어(closed loop control)를 사용하여 성형품의 안정성과 재현성을 높이는 과정이 필수적이다.

광학 플라스틱 Lens의 재료로서 ZEON(사)의 ZEONEX E48R Resin을 사용하였다. 이 Resin은 기본적으로 재사용이 불가능한 소재인 열가소성수지이며, 광선투과율이나 흡습률이 낮은 안정적인 광학전용 수지이다.

3.1.3 비구면 형상측정 장치

렌즈의 표면을 측정하기 위한 장치로서 AFP(Atomic Force Probe, Fig. 6)를 내장한 표면해석장치(UA3P, MATSUSHITA)와 FTS(Form Talysurf System)를 사용하며, 이들은 작고 경사가 급격한 비구면 렌즈를 측정하기에 적합하다. 본 장비는 비구면 설계 값을 기준으로 측정물 형상 값을 비교함으로써 형상정밀도를 측정하며, 표면정밀도는 ISO 규격에 근거하여 산출한다(KS B 0106).

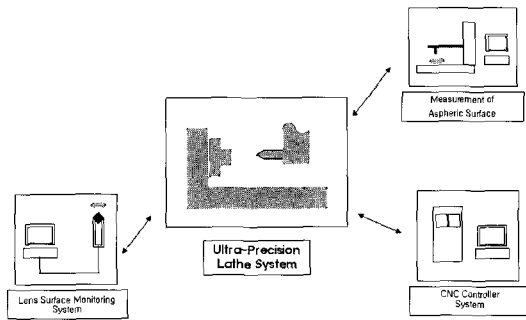


Fig. 4 Schematic diagram of ultra-precision lathe system

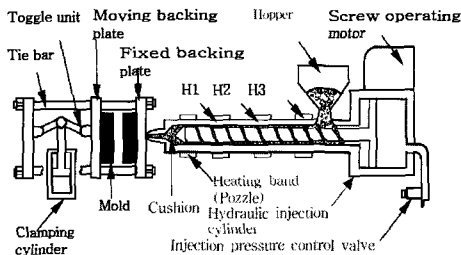


Fig. 5 Lens injection molding machine schematic

Table 1 Lens injection molding machine specification

Description	Specifications
Screw Diameter	22mm
Screw Stroke	100mm
Injection Capacity	38cm ³
Screw Speed	300min ⁻¹
Plasticizing Capacity	5g/sec
Injection Rate	61cm ³ /sec
Injection Pressure(max.)	2,060bar
Nozzle Stroke	200mm
Nozzle Contact Force	28kN
Heating Wattage	5.3kW
Number of the Heating Zones	4
Incl. Nozzle	
Rated Drive Power	5.5kW
Hopper Capacity	34L

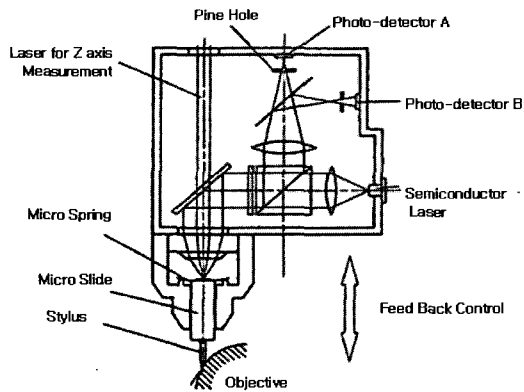


Fig. 6 Atomic force probe system

3.1.4 파면 측정 장치

간섭계(interferometer, ZYGO, Fig. 7)는 광을 이용해 기준면과 측정면의 파면 차이를 비교하여 해석하는 장치로써 파면수차(wavefront aberration)를 측정하기 위해 필요한 장비이다. 접촉식 표면 측정 장비와의 가장 큰 특징으로서 외면의 표면조도(rms) 뿐만 아니라 렌즈 내부의 광학적 수차를 측정할 수 있는 장점을 갖는다(Fig. 8).

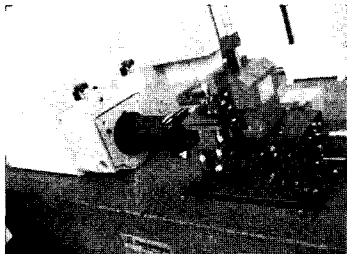


Fig. 7 Interferometer(ZYGO)

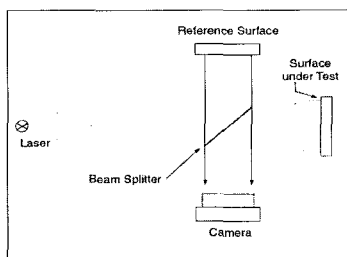


Fig. 8 Schematic of aberration measurement system

Table 2 Specification of pickup system

Description	Specifications (DVD/CD)
Source Wavelength	655nm/785nm
Focal Length	3.05mm/3.07mm
Numerical Aperture	0.60/0.47
Magnification	0
Working Distance	1.67mm(DVD) 1.30mm(CD,CD-R, RW)
I-O Distance	∞
Cover Glass	DVD : 0.6mm(n=1.58) C D : 1.2mm(n=1.57)
Compatible Method	Diffraction Method

3.2 Pickup 시스템 사양

비구면/DOE 대물렌즈의 CD/DVD 호환형 광 Pick up 시스템의 사양은 Table 2와 같다.

4. 생산 프로세스 및 주요 파라미터

4.1 생산 프로세스

CD/DVD dual pickup 대물렌즈의 제작 프로세스는 Fig. 9와 같다. Dual pickup 대물렌즈 제작을 위해서는 형상보정 가공, 렌즈 성형물의 수축보정가공, 내부 균일도(측정)보정 등의 세 가지 주요 파라미터로 구분할 수 있으며, 이에 보정 기술과 생산기술에 대한 연구가 필요하다.

4.2 주요 파라미터

① 코어(core)의 비구면 형상보정

비구면 형상을 보정⁽⁷⁾하기 위한 프로세스는 Fig.10과 같다. 비구면 코어는 설계 값을 기준으로 1차 가공을 진행하며 이때 1차 가공의 형상정밀도(peak to valley)는 대략 수십 μm의 형상 오차(form error) 값을 가지게 된다. 따라서 이와 같이 1차 가공된 코어를 2차, 3차 형상가공을 한다. 비구면 가공 시에 발생하는 형상오차의 해석은 Fig. 11과 같으며 형상은 크게 렌즈 중심부와 외곽부로 구분된다. 일반적으로 렌즈 회전대칭가공의 특성상 외곽형상은 좌우 대칭성을 갖으며 수평축의 Zero 실선은 실제 설계 값을 나타내고, 점선의 형상은 형상 오차(form error) 값을 나타낸다. 위와 같은 형상오차는 NC 프로그램을 수정하여, 측정된 데이터를 기준

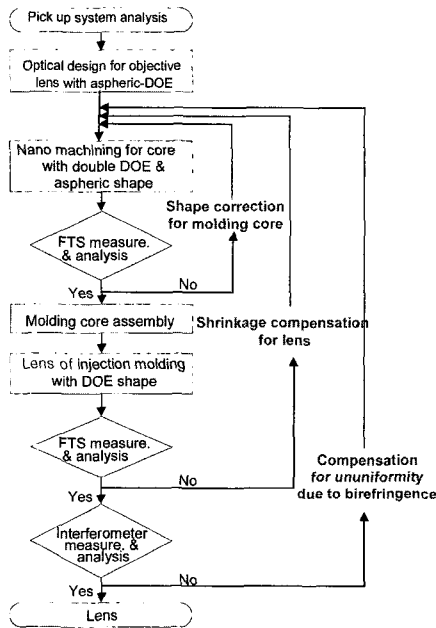


Fig. 9 Manufacturing system of dual pickup for objective lens

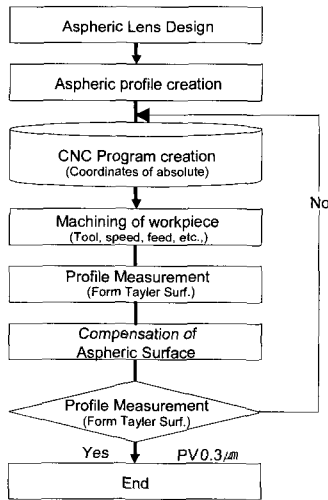


Fig. 10 Flow chart of the compensation for molding core

으로 재가공하며 구간별 좌표 값을 산출하여 보정 량을 적용 시켰다. Fig. 11에서 렌즈 중심부의 형상은 위로 보정하고, 외곽부의 형상은 아래로 보정하였다.

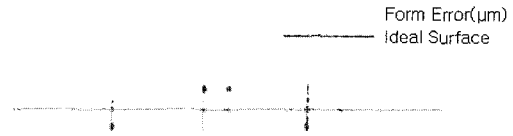
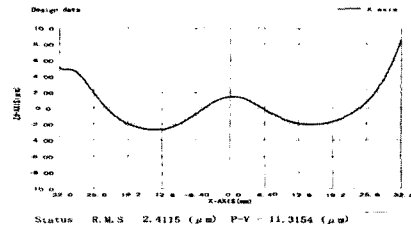
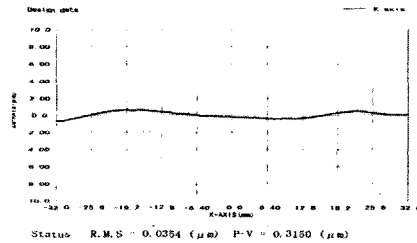


Fig. 11 Form error of core aspheric surface



(a) before compensation



(b) after compensation

Fig. 12 Measurement data by compensation of core form error

Fig. 12는 보정가공을 통한 측정 데이터이다. 3회의 보정을 진행하여 형상정밀도 0.3 μm 의 보정 값을 얻었다.

또한, 일반 비구면 렌즈의 경우에는 형상정밀도가 중요하지만 본 개발 렌즈는 특히 회절무늬가 첨가되어야 함으로 비구면 형상을 1차 가공 후에 미세 홈 가공을 추가하게 된다.

특히 미세 홈 가공 시에는 절입량을 0.5 μm 이하로 하였으며 이송량도 3 $\mu\text{m}/\text{rev}$ 이하로 하여 절삭력이 가능한 최소화할 수 있도록 하였으며, 미세진동에 의한 가공장애가 발생하지 않도록 특수방진장치를 갖추어 외부의 미세한 진동에도 절삭 메카니즘이 영향을 받지 않게 한다. 일반 공구동력계로 절삭력을 측정하여 보았으나 절삭력이 미세하여 절삭력 측정을 하지 못하였으며, 또한 미세 버어(burr)가 발생할 우려가 있어 공구 끝단에 특수 노즐을 이용한 가공유(oil mist)를 사용하였다.

② 성형물의 수축보정 가공

Fig. 13과 같은 프로세스를 통해 성형된 비구면 렌즈의 형상을 보정한다.

광학설계의 렌즈형상을 기준으로, 수축된 성형물의 미소 변위(ΔZ)를 측정하여 수축된 만큼만큼 비구면 코어의 상대

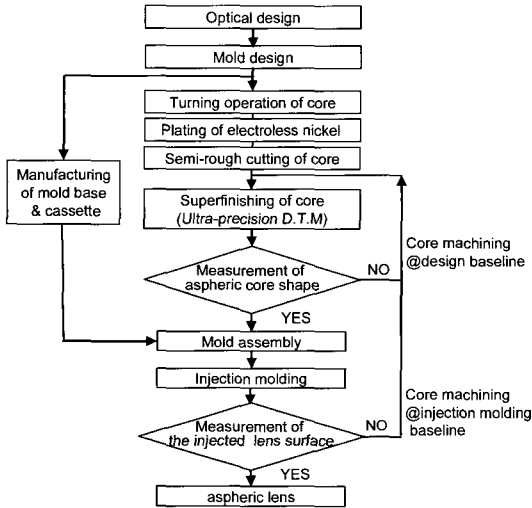


Fig. 13 Flow chart of the compensation for lens shrinkage error

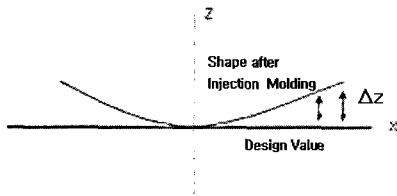


Fig. 14 Showing difference between design value and molding shape after injection molding

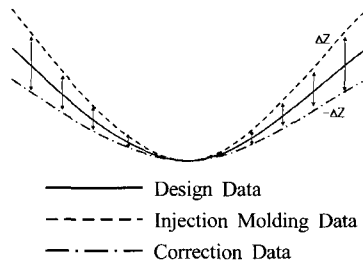


Fig. 15 Comparison between design, molding and compensation surface

가공물을 보상가공 한다(Fig. 14).

Fig. 15에서 보정량 $-\Delta Z$ 를 산출하여 코어에 수축된 양을 반영하여 재가공 하며, 다시 성형된 제품을 측정하여 형상정밀도 $0.35\mu m$ 를 얻었다.

Fig. 16은 성형된 사출물의 형상을 보정하기 전과 보정 후의 형상정밀도를 나타내고 있다.

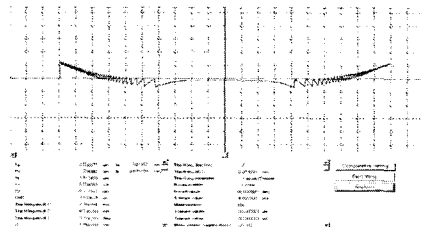
Fig. 17은 고배율 광학현미경을 통해 성형된 DOE의 나사산과 피치(pitch) 외관을 관측한 사진이다.

③ 내부 응력에 따른 복굴절

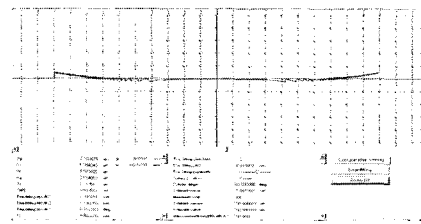
렌즈의 성형시 유체 흐름에 따른 내부응력 및 잔류응력이 발생하게 되고 이는 렌즈의 내부적인 불균일 상태를 유발하여 투과되는 빛의 광로를 저해하는 요소로서 광학적 성능을 떨어뜨리게 된다. 이와 같이 사출성형 시 내부응력 등에 의한 복굴절^(8,9)은 성능에 영향을 미치며, 복굴절에 영향을 미치는 주요 인자에 대한 경향을 파악 하였다.

(가) 온도 변화에 따른 복굴절의 변화

금형온도 변화에 따른 복굴절의 발생정도를 알아보기 위한 실험으로 금형온도는 $120^{\circ}C$ 에서 $140^{\circ}C$ 까지 $5^{\circ}C$ 단위로 온도변화를 관찰하였다(Fig. 18). 이를 통해 온도가 증가함에 따라 복굴절이 미소하게 감소함을 알 수 있었다.



(a) before compensation



(b) after compensation

Fig. 16 Measurement data by compensation of molding shrinkage error

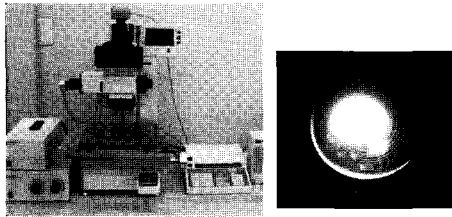


Fig. 17 Photomicrograph(X100) of DOE lens

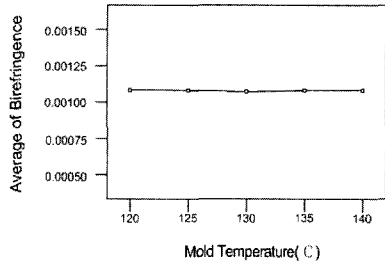


Fig. 18 Change of birefringence by mold temperature

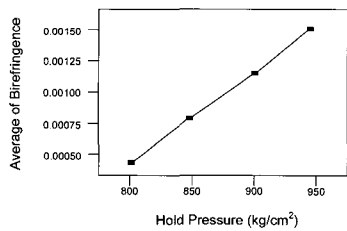


Fig. 19 Change of birefringence by hold pressure

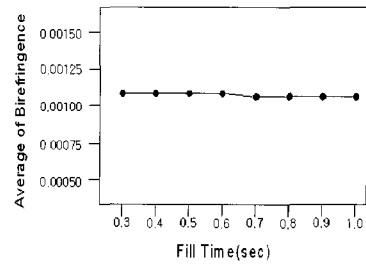
(나) 압력에 따른 복굴절의 변화

사출압력은 용융수지를 금형 안으로 밀어 넣는 힘이고, 보압은 사출된 레진을 누르며 유지시켜 주는 힘으로서, 보압이 증가함에 따라 렌즈 제품의 수축은 감소하지만 잔류응력은 상대적으로 증가됨을 알 수 있다(Fig. 19).

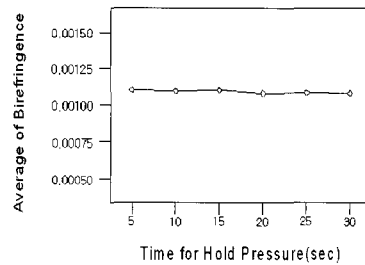
(다) 시간의 변화에 따른 복굴절의 변화

사출공정 시 충전시간과 보압시간은 복굴절에 영향을 미치며, 성형품의 형상 및 크기에 따라 차이가 있고 외관상의 문제를 결정하는 요인이 되었다. 시간이 길어짐에 따라 제품의 수축 및 잔류응력이 다소 감소(Fig. 20)하였다.

Fig. 21의 사진은 사출조건에 따른 내부적인 응력을 감소시켜 사출한 렌즈이다. 관측은 편광필름을 이용하여 관찰하였다.



(a) fill time



(b) time for hold pressure

Fig. 20 Change of birefringence by time



(a) before compensation (b) after compensation

Fig. 21 Stress in molding lens

5. 결론

본 연구는 회절무늬를 첨가한 CD/DVD 호환형 광 Pickup DOE(Diffractive Optical Element) 비구면 대물렌즈의 성능을 얻기 위한 생산 공정 및 주요 Parameter에 대한 고찰이다. 이를 위해 전체적인 생산 공정을 제시하고 각 공정에서의 주요 인자를 정립하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 초정밀 비구면 코어(core)를 얻기 위해 코어 보정가공을 통해 PV 0.3 μ m의 형상정밀도를 얻을 수 있었다. 또한 미세 칩에 의한 가공 버어(burr)를 제거하기 위해 미세 가공유(oil mist)를 공급해 주었다.

- (2) 사출성형품의 형상보정을 위해 수축되는 미소변위(ΔZ)를 측정하였으며 비구면 Core에 $-\Delta Z$ 를 보정가공 하여 사출되는 렌즈의 형상정밀도 PV $0.35\mu\text{m}$ 을 얻을 수 있었다.
- (3) 사출 성형 시 금형온도가 증가함에 따라 복굴절 발생이 미소하게 감소됨을 알 수 있다.
- (4) 사출 성형 시 보압의 변화에 따라 복굴절의 발생정도가 크게 나타났으며, 보압이 증가함에 따라 복굴절의 발생 정도는 비례함을 알 수 있다.
- (5) 사출성형 시 충전시간 및 보압시간이 증가함에 따라 복굴절의 발생정도가 다소 감소 함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Dias, D., Stankovic, S., Haidner, H., Wang, L. L., Tschudi, T., Ferstl, M. and Steingruber, R., 2001, "High-frequency Gratings for Applications to DVD Pickup Systems," *J. of Optics A : Pure and Applied Opt.* 3(2001), pp. 164~173.
- (2) Joachim K., Dambach, S. and Richter, H., 2002, "Compact Optical Pickup with a Two-wavelength Laser Diode," *J. of Magnetism and Magnetic Material* 249, pp. 437~441.
- (3) Ikawa, N., 1991, "Ultraprecision Metal Cutting The Past, the Present and Future," *Annals of the CIRP*, Vol. 40, No. 2, pp. 587~594.
- (4) Wang J. and Yu, R., 2003, "A DVD Pickup Based on Dual-wavelength Integrated Laser Diode," *Optics & Laser Technology* 34, pp. 369~371.
- (5) Hayford, M. J., 1985, "Optical Design of Holographic Optical Element(HOE) Construction Optics," *SPIE*, Vol. 554, International Lens Design Conference, pp. 502~509.
- (6) Park, S. C. and Kim, M. J., 1999 "Development for Optical Design Technology of Diffractive Optical Element System Using Optimization Method," Dankook Univ. Faculty Research Paper, Vol. 34, pp. 51~59.
- (7) Kang, S. D., Kim, W. S., Jang, K. H. and Kim, D. H., 2004, "A Study on the Compensation of Ultra-precision Aspheric Lens Mold," *Proceeding of KSPE spring conference*, pp. 237~238.
- (8) Eugene Hecht, 2002, *Optics*, Addison Wesley, New York.
- (9) Jun, Y. T. and Hyun, D. H., 2006, "A Study Birefringence of Injection Molding for Plastics Aspheric Lens," *Journal of the KSMTE*, Vol. 15, No. 1, pp. 108~112.