

플라스틱 비구면 사출렌즈의 복굴절에 관한 연구

전유태*, 현동훈†

(논문접수일 2005. 11. 14, 심사완료일 2006. 1. 4)

A Study Birefringence of Injection Molding for Plastics Aspheric Lens

Yoo Tae Jun*, Dong Hoon Hyun†

Abstract

A Study of birefringence in an aspheric lens of injection molding became more important to improve its optical properties. In the present study, the experimental study was carried out to investigate the relationship between birefringence and injection molded conditions. The processing factors are conditions include packing pressure, packing time, injection speed, melt temperature of optical resin and wall temperature. Birefringence was observed figures by using a polarizer in light. This experiments were carried out using the simulation software and injection molding machine.

Key Words : Birefringence(복굴절), CAE(Computer Aided Engineering), Ashpeirc Lens(비구면 렌즈)

1. 서론

초정밀 플라스틱 비구면 사출성형 렌즈의 경우, 광기록 저장매체 및 이미지 영상구현을 위한 광학 소자로 주로 사용되고 있으며, 렌즈의 형상은 비교적 단순하지만 고차함수를 이용한 비구면 표면형상의 정밀도는 매우 높게 요구된다. 뿐만 아니라 외부형상과 치수만을 중요시하는 성형제품과는 다르게 내부 조직의 균일도 및 응력에 대한 영향력은 광학적 수차를 발생시키는 주요한 요인으로 나타난다. 또한, 일반성형품에서는 내부 왜곡의 많고 적은 힘이나 변형 등 외관에서

판단하지만 광학소자의 경우, 외부적인 힘이나 변형에서 나타나지 않더라도 내부 왜곡이 많은 성형품은 시간의 경과 또는 환경의 변화로 변형이나 크랙 등이 발생할 우려가 있고, 내부 왜곡이 있으면 복굴절이 높아져 광학제품으로써 사용이 불가능하게 된다⁽¹⁾.

본 연구에서는 사출성형 시에 발생하는 비구면 플라스틱 렌즈 내부 복굴절의 특성을 이해하고 사출성형조건과 복굴절의 연관관계를 성형온도, 압력 및 시간 등으로 분류하여 규명하고자 한다. 본 실험을 진행하기 위해 3차원 CAE(TIMON)와 렌즈전용 사출기(Sodick TR40EH)를 활용하였다.

* 한국산업기술대학교 지식기반기술에너지 대학원 (hdh@kpu.ac.kr)
주소: 137-778 서울시 서초구 서초4동 삼풍A 14동 702호

† 한국산업기술대학교 나노광공학과 교수

2. 실험

플라스틱 광학소자의 제품을 성형하기 위해서 경험에 의한 데이터베이스를 이용하는 방법과 성형 시뮬레이션을 이용하는 방법이 있다. 그러나 현재 주로 경험에 의한 렌즈사출성형이 지배적이며, 향후에는 성능 해석 및 예측 시뮬레이션으로 점차 변경 되어야 하며 이러한 방법은 수정과 검토의 많은 반복 작업을 통해 이루어진다. 본 실험은 사출성형 조건을 온도, 압력, 시간으로 구분하여 실험하였으며, 관측은 편광필름을 이용한 형태분석 및 CAE 해석을 통해 복굴절의 변화를 관측한다.

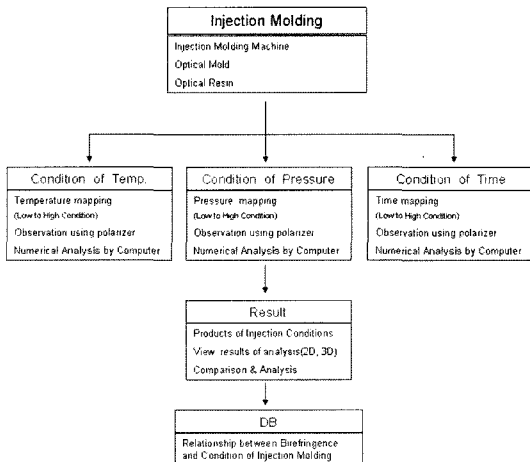


Fig. 1 Flow chart of injection molding process

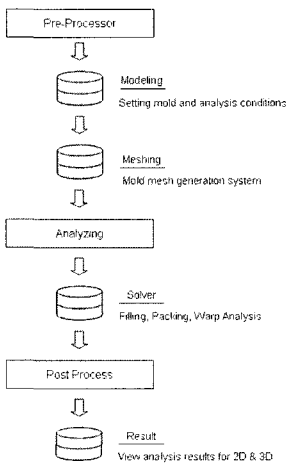


Fig. 2 Flow chart of computer aided engineering

2.1 굴절률과 복굴절(Refractive index and Birefringence)

등축결정(等軸結晶)이 아닌 결정에서는 광축과 입사광선이 기울어져 있을 때 상이한 굴절률에 의해 입사광은 둘로 갈라지며, 그 중 하나는 정상광선, 다른 하나는 이상광선으로 나뉘게 된다.

$$n = c/v \quad (1)$$

c : Velocity of the light in a vacuum

v : Velocity of the light through a substance having refractive index n

$$\Delta n_{ij} = C(\sigma_i - \sigma_j) \quad (2)$$

C : An optical coefficient[1/Pa], reciprocal number of stress

σ : Stress

2.2 복굴절 관측(Observation of birefringence using retardation)

만일 입사하는 단색평면파의 전기장이 광축에 평행한 성분과 수직인 성분을 가지고 있다면, 두 개의 분리된 평면파가 결정 속을 전파해 나갈 것이다. n_1 의 빠른 광선을 얻고, n_2 다소 늦은 광선이 도착하여 렌즈를 통과한 두 전자기파는 중첩되고 상대적인 위상차를 갖는다⁽²⁾.

$$R = d(|n_2 - n_1|) \quad (3)$$

R : Retardation is the optical path difference

$$\delta = \frac{2\pi d(|n_2 - n_1|)}{\lambda} \quad (4)$$

σ : Phase difference

복굴절 세기관측(Observation using polarizers)은 식 (5)와 같다⁽³⁾.

$$I = \sin^2 2\theta \sin^2 \left[\frac{\phi}{2} \right] \quad (5)$$

$$\phi = \frac{2\pi R}{\lambda}$$

I : Transmitted light intensity

θ : Angle by polarization plane of incident ray and the direction of optical axis

R : Retardation

ϕ : Phase difference

λ : Wavelength of light

3. 성형해석 결과

본 연구에서는 사출성형 조건의 변화에 따른 복굴절의 발생유무와 정도를 관측하기 위한 실험으로 양면 비구면 렌즈를 온도, 압력, 시간 등의 성형변수(Parameter)로 구분하여 사출 성형한다. 성형된 제품은 편광필름(Polarizer)을 이용하여 복굴절 현상을 관측한다. 그러나 이때, 관측된 복굴절은 정량적, 수치적으로 계측이 어려워 형상(Pattern)만을 관측하며, 3차원 시뮬레이션을 통해 정량적 결과를 산출한다^(4,5). 해석된 성형시료(Resin)는 PC(Polycarbonate)를 사용하였으며 Fig. 3의 양면 볼록 비구면 형태를 갖는다.

3.1 온도에 따른 복굴절 해석

실험 온도는 크게 금형온도와 성형 소재의 온도로 분류하였으며, 금형온도와 소재의 온도가 높을수록 복굴절은 감소함을 알 수 있으며 금형온도의 변화보다 소재의 온도변화에 따른 복굴절의 발생이 더욱 민감하게 반응함을 알 수 있다. 실험 온도는 소재온도 90℃에서 120℃, 금형온도 280℃에서 330℃로 실험하였다.

3.2 압력의 변화에 따른 복굴절 해석

압력변화에 따른 복굴절 변화관측의 실험은 1차 충전 압력을 기준으로 실험하였으며, 실험 압력은 100kg/cm²에서 1200kg/cm²으로 압력의 증가에 따른 내부 잔류응력(Residual Stresses)이 증가하여 복굴절의 발생현상이 크게 증가함을 알 수 있다.

또한, 충전(Filling), 보압(Packing), 냉각(Cooling)의 단계별로 구분하였을 때 발생하는 복굴절 상대적 정도를 Fig. 8을 통해 알 수 있다.

3.3 시간의 변화에 따른 복굴절 해석

시간의 변화에 따른 복굴절 변화량을 알아보기 위한 실험으로 충전 시간과 보압 시간으로 구분하였다. 충전 시간 및 보압 시간이 길어질수록 복굴절 발생량은 감소하였으나, 본

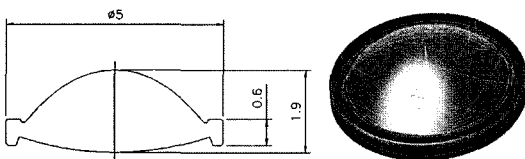


Fig. 3 Design of aspheric lens

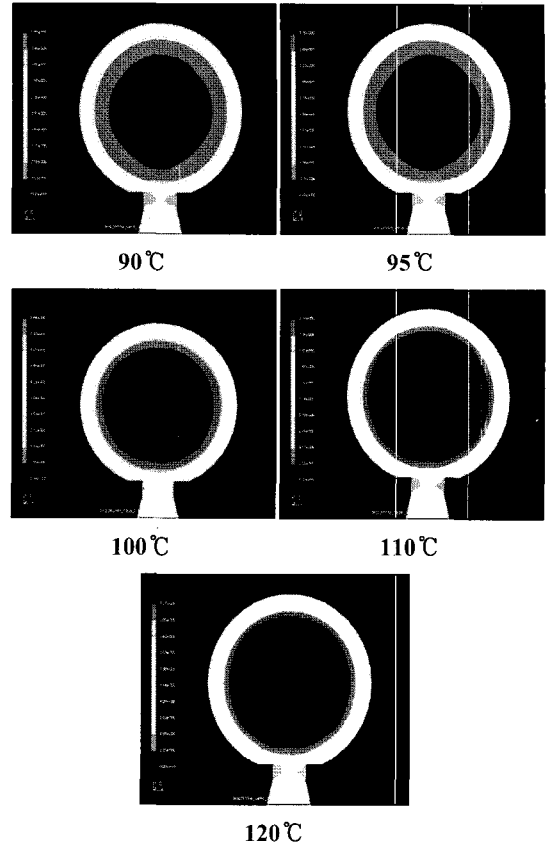


Fig. 4 Change of birefringence as temperature parameter

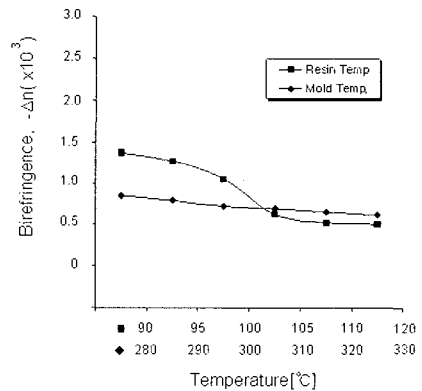


Fig. 5 Parameter of temp

연구의 사출성형 조건의 변수 중 시간에 대한 복굴절 발생량이 가장 둔하게 나타났다.

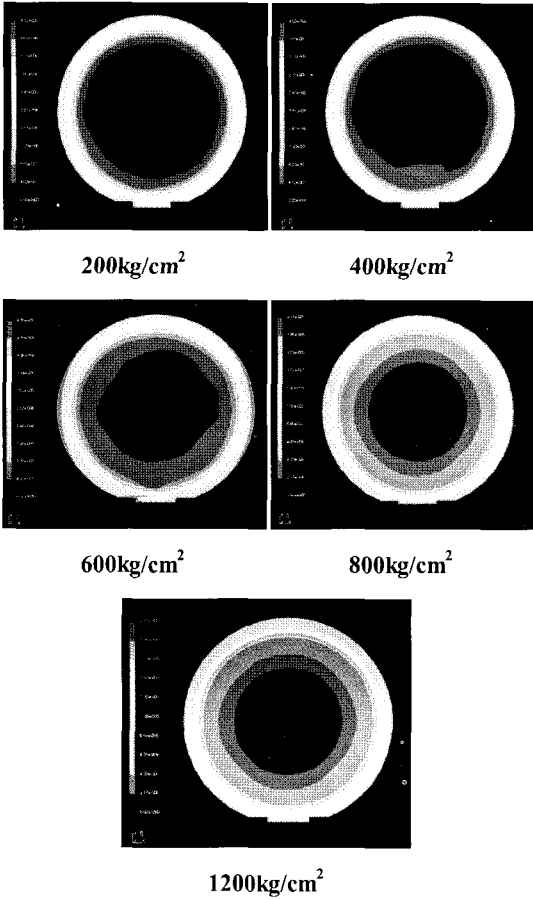


Fig. 6 Change of birefringence as pressure parameter

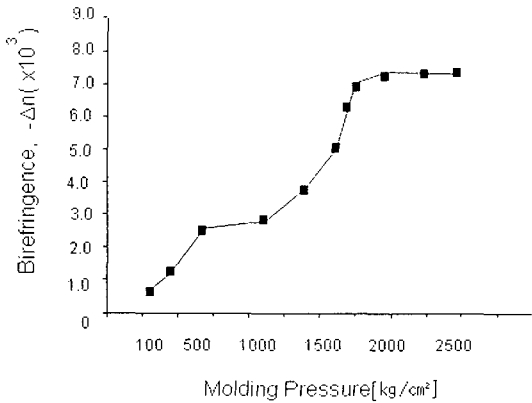


Fig. 7 Parameter of pressure

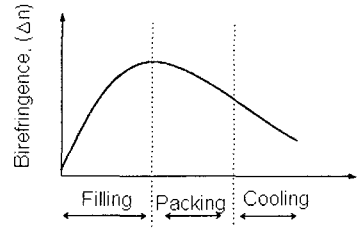


Fig. 8 Change of birefringence as molding condition

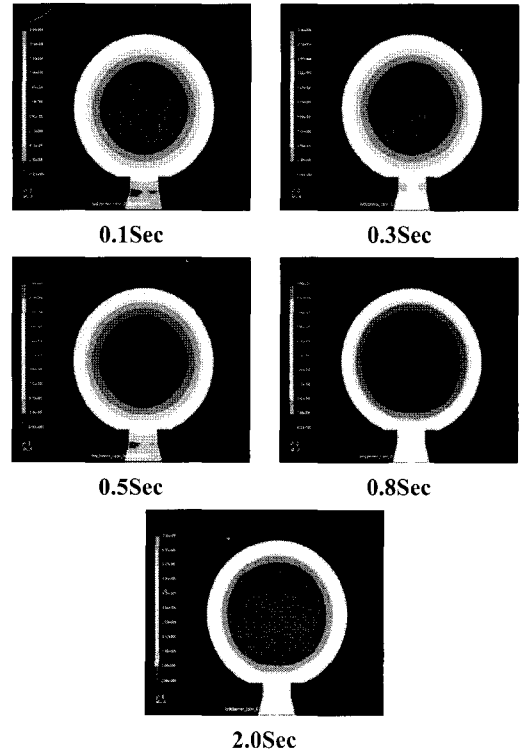


Fig. 9 Change of birefringence as time parameter

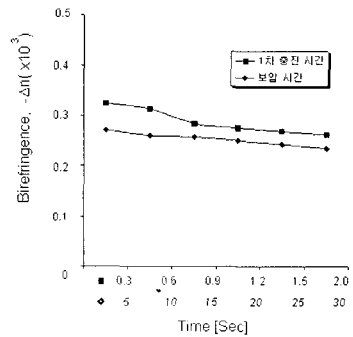


Fig. 10 Parameter of time

4. 결론

초정밀 광학 사출성형 제품의 내부 복굴절에 대한 이해 및 개선은 광학적 성능을 향상시키기 위해 중요한 요소로 작용한다. 비구면 사출성형 렌즈 내부의 복굴절은 아래와 같은 조건과 상관관계가 있으며, 비구면 렌즈 내부에 발생하는 복굴절을 최소화하여 내부조직의 균일도를 유지시키는 것이 바람직하다.

- (1) 복굴절의 발생정도는 수지 온도가 증가함에 따라 감소하며 금형온도 변화에 따른 복굴절의 감소율은 다소 낮게 나타난다.
- (2) 복굴절의 발생정도는 충전 및 보압 시간이 길수록 감소한다.
- (3) 복굴절의 발생은 충전 및 보압의 영향력을 받으며 충전 압력에 따른 발생정도가 크게 나타난다.
- (4) 충전, 보압, 냉각의 공정별 복굴절 발생정도는 충전 단계 시 그래프 기울기가 급격히 증가되며 보압 및 냉각 단계의 그래프 기울기가 감소함을 알 수 있다.

참고 문헌

- (1) Mazuda, K., Tamura, I., 1984, "Injection & Compression Molding For Plastic Lens Fabrication," *4th Japan RETEC*.
- (2) Lee, S., Javier, D. L. V., and Donald, C. B., 1986, "residual Stresses and Birefringences in Large, Quenched Samples," *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 31, pp. 2791~2803.
- (3) Winberger, F., R. and De Bruin, J. G., 1993., "Birefringence in Polycarbonate : Molecular Orientation Induced by Cooling Stress. I," *Journal of Polymer Science*, Vol. 31, pp. 1041~1049.
- (4) Winberger, F., R. and De Bruin, J. G., 1993, "Birefringence in Polycarbonate : Molecular Orientation Induced by Cooling Stress. II," *Journal of Polymer Science*, Vol. 31, pp. 1051~1060.
- (5) Lee, Y. B., Kwon, T. H. and Yoon, K. H., 2002, "Numerical Prediction of Residual Stresses and Birefringence in Injection/Compression Molded Center-Gated Disk," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 42.