

# 사출/압축 성형된 광디스크 내의 복굴절 및 광축의 분포에 관한 연구

김종선<sup>1,#</sup>, 윤경환<sup>2</sup>

## An experimental study on the birefringence and extinction angle distribution in the injection/compression molded optical disk

J. S. Kim, K. H. Yoon

### Abstract

Recently, injection molding process became more popular than ever to produce large quantities of high precision products or optical products. Injection molding products can cause sensorial problems because of high birefringence or deformation from the residual stresses in the optical media. In the present study, we have focussed on the effect of holding and compression pressures on the optical anisotropy remaining in the MOD by examining the gapwise distribution of birefringence and extinction angle. The effect of holding pressure was found to form the inner two birefringence peaks. But the effect of compression pressure on the birefringence distribution was found to make the uniform distribution near the center in the gap-wise direction. Finally, the value of the birefringence near the wall decreased as the mold temperature increased.

**Key Words** : Injection Molding(사출성형), Injection/Compression Molding(사출/압축성형), Birefringence(복굴절), Extinction angle(광축)

### 1. 서론

최근에 들어서 고분자 수지를 이용한 사출 성형법으로 정밀 부품류나 광학 제품 등의 고부가가치 제품을 대량 생산하는 사례가 늘고 있다. 특히, 제품의 경량화, 생산 자동화의 이점이 있어 여러 제품들에서 고가의 유리재료를 대체하여 플라스틱의 사용이 증가하고 있다. 하지만 이런 이점에도 불구하고 성형 과정에서 발생하는 잔류응력과 잔류 복굴절로 인한 성형후의 변형 등은 고정밀 제품을 생산하는데 있어서 아직도 문제점으로 남고 있다. 최근에는 광학 제품 내의 이방성,

즉, 복굴절의 양이 제품의 성능에 영향을 미치므로 공학적 측면에서 사출 성형품의 성형 과정에 대한 이해와 더불어 문제점 해결에 많은 연구가 필요한 실정이다.

본 논문에서는 사출 성형과정에서 발생하는 복굴절과 광축의 변화를 알아 보고 이를 저감시키기 위해 사출 후 압축 공정을 도입하는 효과를 알아보기 위해서 MOD (magneto-optical disk)의 두께방향의 복굴절의 분포와 광축을 측정함으로써 성형 조건의 변화가 최종 사출품의 광학적 이방성의 구조에 어떠한 영향을 미치는가에 초점을 두었다.

1. 단국대학교 대학원 기계공학과

2. 단국대학교 기계공학과

# 김종선: 단국대학교 대학원 기계공학과,

E-mail: libra74@dankook.ac.kr

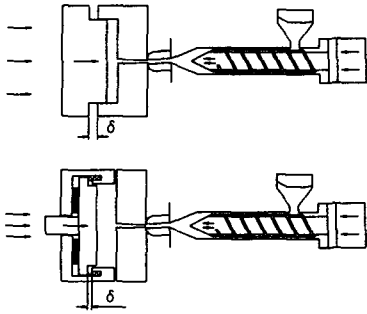


Fig. 1 Two different types of injection/compression molding: (a) total compression and (b) partial compression

구체적으로, 단순 사출과 단순 사출에 보압을 준 경우, 단순 사출에 압축을 준 경우의 최종 성형품의 복굴절과 광축을 측정하므로써 각기 다른 성형 조건이 최종 제품의 품질에 미치는 영향을 밝히고자 하는데 목표를 두었다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 사출 및 사출/압축 성형의 개요

사출 성형은 성형기의 가소화 장치에서 용융된 수지를 금형의 내부에 충전시키고 사출된 수지를 냉각, 고화시켜 원하는 성형품을 만드는 제조 기술이다. 일반적인 사출성형에서는 용융 수지를 게이트에서 고압으로 주입한 후 냉각에 따르는 수축분을 보압 과정을 거쳐 보충하여 성형한다. 때문에 성형품은 게이트 부근에서 금형내 수지 압력이 높고 게이트에서 떨어질수록 압력이 낮아지는 압력 분포를 가진 채 냉각 고화되므로 변형이 발생하게 된다. 반면에 사출/압축성형은 Fig. 1 처럼 사출 후 충전된 수지를 (a)의 경우와 같이 금형 전체에 압력을 가하거나 (b)와 같이 압축 기구를 사용하여 금형면 전체에 균일한 압력을 걸어 주어 유동의 배향을 완화시키고 잔류응력의 분포도 균일하게 하게 하며 전체 양도 줄일 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이를 위해 특수한 gate sealing 방법을 강구해야 하고 금형의 가공 정밀도 향상 및 정밀 제어가 요구된다.<sup>[1-3]</sup>

### 2.2 광탄성 이론

1816 년 David Brewster 는 등방성 물질이라도 응력을 가하면 광학적으로 이방성을 띄게 된다는

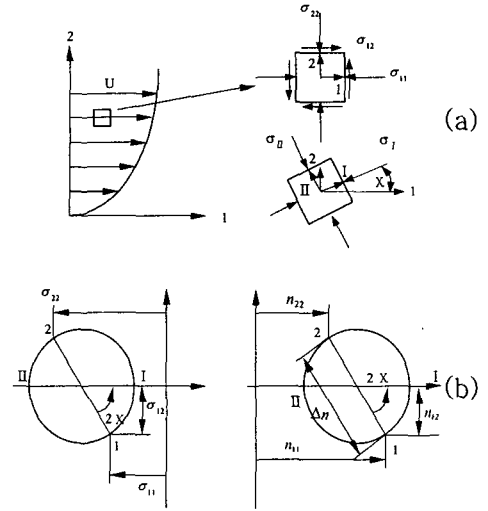


Fig. 2 (a) Stress distribution on the fluid element and its Mohr's circle of stresses for the simple shear case. And (b) Mohr's circle representation for the index of refraction tensor for positive C

것을 발견하였다. 이러한 현상을 광탄성(photoelasticity)이라 하며 광학적으로 광축은 응력의 방향과 일치하고 이방성에 의한 복굴절은 주응력차에 비례한다. 그러므로 어떤 시편에 대해서 응력의 분포가 일정하지 않다면 복굴절 또한 다르게 나타날 것이다. 선형 광탄성 이론을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$n_i - n_j = C(\sigma_i - \sigma_j) \quad (1)$$

여기에서  $i, j, k = I, II, III$  이며  $i \neq j \neq k \neq i$  이다. 또한  $\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$  는 각각 세 방향의 주응력이며  $n_i$  는 주축  $i$  방향으로 편광된 빛의 굴절률이며  $C$  는 광탄성계수(stress-optical coefficient)이다. 이 선형 광탄성 관계식은 여러 고분자들에 대하여 상당히 넓은 범위에서 증명되어 있고 본 논문의 실험에 사용한 폴리카보네이트(PC)의 광탄성계수는 유리 전이온도(Tg) 이상에서 약 3,600 Br(1Br =  $10^{-12}$  Pa $^{-1}$ ) 이고 유리 전이온도 이하에서는 60-70 Br로 알려져 있다. Fig. 2는 center-gated disk 에서 발생하는 굴절률 텐서를 모아 원으로 표시한 것으로 단순 전단의 경우에 유체 입자 주위에서의 응력 분포를 나타낸 것이며, 주축 I, II 와 I, 2 사이의 각도를 광축 X로 정의하였다. 광축 X를 수식적으로 표현하면 다음 식과 같다.<sup>[4]</sup>

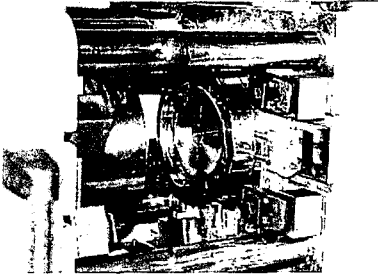


Fig. 3 Mod mold

$$\Delta n \sin 2\chi = 2n_{12} = 2C\sigma_{12} \quad (2)$$

$$\Delta n \cos 2\chi = n_{11} - n_{22} = 2C(\sigma_{11} - \sigma_{22}) \quad (3)$$

여기에서  $\Delta n$  은 1-2 평면에서의 최대 굴절률의 차이를 의미하며 일반적으로는 복굴절률으로 정의하며 그 절대값은 다음과 같은 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$|\Delta n| = |C| \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (2\sigma_{12})^2} \quad (4)$$

선형 광탄성 이론에서 광탄성계수의 부호에 주의를 기울이면 복굴절의 값은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있으며 광탄성 계수가 온도와 시간의 함수라고 생각할 때 이를 광점탄성이론이라 한다.

$$\Delta n = C \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (2\sigma_{12})^2} \frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{|\sigma_{11} - \sigma_{22}|} \quad (5)$$

### 3. 실험 장치 및 실험 방법

사출성형시 복굴절의 변화를 알기 위하여 Fig. 3 과 같은 MOD 디스크 금형을 이용하여 사출 압축에 의한 복굴절의 변화를 알아보았다. 본 실험에 사용한 MOD 시편의 재료는 AD-9502 이다. 이 재료를 120℃로 4 시간 이상 건조한 다음 노즐 부분의 온도를 300 ~ 320℃로 설정하였다. MOD 디스크는 공칭 직경이 86 mm 이고 공칭 두께가 1.2 mm 로 제작하였다. 측정방법은 사출 후 만들어진 디스크를 다이아몬드 소울을 이용하여 시편을 만든 후 폴리싱을 거쳐 편광 현미경을 이용하여 측정을 하였다.

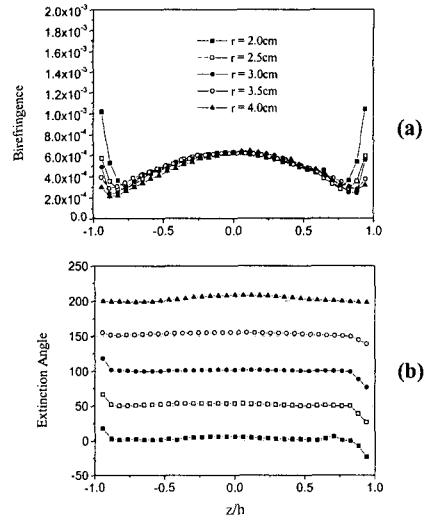


Fig. 4 Gapwise profiles of birefringence  $\Delta n$  (a) and extinction angle(b) of MOD made with injection at various radial locations (Extinction angles are shifted by 50 degrees).

### 4. 결 과

Fig. 4 는 폴리카보네이트를 재료로 하여 단순 사출 조건만 주어 시편을 제작하였으며 복굴절 분포는 Fig. 4(a)와 같다. Fig. 4(a)에서 중심 부위의 복굴절은 약  $6.3 \times 10^{-4}$  정도로 포물선을 형성하였고 벽면 근처에서 발생하는 복굴절 정점은 충전 과정시 유동에 의해 발생한 복굴절로 잘 알려져 있는 결과이다. Fig. 6(b)는 각 위치에서의 두께 방향의 광축을 나타낸 것으로  $z/h$  가 0 인 중심에서 전단응력도 0 이므로 광축값이 거의 0에 가깝게 분포함을 알 수 있다.

Fig. 5 는 단순 사출 후 20 bar 의 보압을 준 경우이다. Fig. 5(a)에서 보는 것과 같이 단순 사출 후 보압에 의하여 벽면 근처에서의 정점 이외에 중심과 벽면 사이에 두 번째 복굴절 정점이 생긴다. 이와 같은 두 번째 복굴절 정점은 광학 제품의 사출 성형시 형상의 정확성을 높이기 위해서 사용되는 보압이 광학적으로는 높은 복굴절을 발생시키는 문제를 발생시킨다. 또한 Fig. 5(b)와 같이 보압이 고분자의 오리엔테이션을 크게 만들어 광축을 크게 변화시키는 문제를 발생시키고 있다.

위와 같은 단순 사출의 경우 제품에 형상이 고르지 않은 문제와 사출 후 보압을 사용했을 때

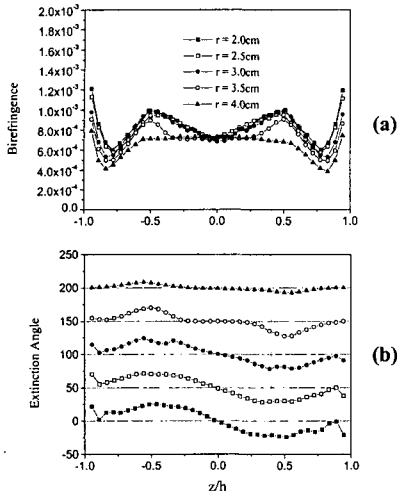


Fig. 5 Gapwise profiles of birefringence  $\Delta n$  (a) and extinction angle (b) of MOD made with injection / hydraulic holding pressure of 20 bar at various radial locations(Extinction angles are shifted by 50 degrees).

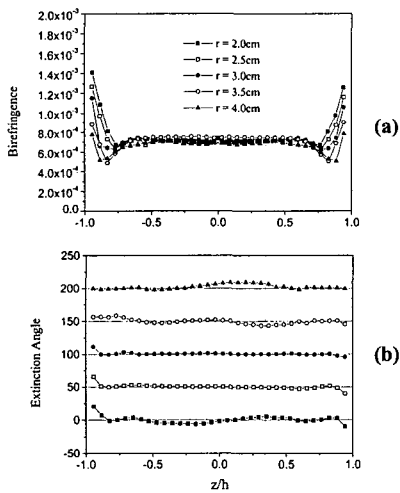


Fig. 6 Gapwise profiles of birefringence  $\Delta n$  (a) and extinction angle (b) of MOD made with injection/compression of 20 bar at various radial locations (Extinction angles are shifted by 50 degrees).

심한 복굴절을 발생시키는 문제를 해결하기 위해 도입된 것이 사출/압축성형이다. Fig. 6 은 단순 사출 후 20 bar 의 압축을 준 경우이다. Fig. 6(a)는 Fig. 5 와 비교하여 볼 때, 복굴절치가 현저히 감소했음을 알 수 있다. 또한 복굴절값이

거의  $7.0 \times 10^{-4}$  에서 일정하게 나타남을 알 수 있다. 또한 광축의 경우는 단순 사출 정도의 광축의 변화만을 발생시키고 있다. 하지만 압축에 의해서 작은 유동이 생기기 때문에 스프루에서 가장 먼쪽에서 광축이 반대로 형성됨을 알 수 있다. 즉, 압축 과정에서는 수지의 유동이 반대로 나타난 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

사출/압축 성형의 경우 성형품의 형상의 정확도를 위하여 사용하는 보압에 의해서 발생하는 큰 복굴절의 발생을 피하면서 형상의 정확도와 낮은 복굴절을 가지며, 단순 사출시 발생하는 작은 광축의 변화를 가지는 광학적 샘플을 만들 수 있다는 결과를 얻었다.

## 후기

본 연구는 산업자원부 2010생산기반혁신기술개발사업의 지원으로 진행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고 문헌

- [1] Isayev, A. I. 1987. Injection and Compression Molding Fundamentals. New York and Basel. Marcel Dekker. INC.
- [2] Menges, G. and Wubken, G. 1973. Influence of processing Conditions on Molecular Orientation in injection Moldings. S. P. E. Technical Papers. 19, 519-522.
- [3] White, J. L., Dietz, W. and Clark, E. S. 1978. Teoretical and Experimental Studies of Orientation Distributions in injection Molded Parts of Glassy Plastics. S. P. E. Technical Papers. 24, 118-120
- [4] Yoon, K. 1995, An Experimental Study on Precision Injection Molding of Center-gated Disks. J. of Rheology. 19-27.
- [5] Wust, Jr C. J. and Bogue, D. C. 1983. Stress Optical Behavior in Polystyrene; Residual Stresses and Birefringence in Large, Quenched Samples. J. of Applied Polymer Science. 28, 1931-1947.