

사출압축성형을 통한 광디스크 기판 성형 및 복굴절의 측정

김현* · 김종성* · 강신일**

Measurement of Birefringence Distribution in Optical Disk Substrates Fabricated by Injection-Compression Molding

Hyun Kim, Jong Sung Kim and Shinill Kang

Abstract

It is necessary to improve mechanical and optical properties in the optical disk substrates as the information storage devices with high storage density using short wavelength laser are being developed. Injection compression molding is regarded as the most suitable process to manufacture optical disk substrates with high dimensional accuracy, low residual stresses, and superb optical properties. In the present study, polycarbonate optical disk substrates were fabricated by injection compression molding and the birefringence, regarded as one of the most important optical properties for optical disk, is measured. The effects of various processing conditions upon the development of birefringence distribution were examined experimentally. It was found that the values of the birefringence distribution were very sensitive to the mold wall temperature history and the variance of the birefringence distribution in the radial direction was affected by the level of the packing and the compression pressure.

Key Words: Optical Disk Substrates(광디스크기판), Injection Compression Molding(사출압축성형), Optical Information Storage Device(광학정보저장기기), Birefringence(복굴절)

1. 서론

DVD, HD-DVD 등과 같은 광자기정보저장매체의 고저장밀도화에 따라 광 pick-up레이저의 파장도 현재 780nm에서 650nm, 410nm등으로 계속 짧아지고 있다. 이와 같은 단파장 레이저를 이용한 정보재생방식과 높은 저장밀도를 갖는 정보저장기기의 개발로 기존의 공정으로는 이에 맞는 기판의 생산이 어려운 실정이며 새로운 금형

및 성형공정의 개발이 필요하게 되었다.

기판을 통과하는 레이저광의 복굴절현상은 디스크의 광학적 특성을 결정하는 주요 인자로서 빛이 가지고 있는 진동방향에 따라 구분되는, 정상광선과 이상광선이 이방성이 있는 물질을 통과할 때 그 진동방향에 따라 다른 속도를 가지고 통과하는 현상을 말하며 이에 따른 굴절율의 차이 Δn 을 복굴절의 값으로 정의한다. 이 복굴절 현상은 비정질 물질일 경우 내부 잔류응력으로 발생되어진다. 고분자 수지와 같은 경우는 충전시 유동에 의한 응력의 분포와 이의 이완에 의해 발생하는 복굴절(Flow-Induced Birefringence)과 불균일 냉각에 의해 발생하는 복굴절(Thermally Induced Birefringence)로 대분할 수 있으며 기판

* 연세대학교 대학원 기계설계학과
** 연세대학교 기계·전자공학부

의 최종 복굴절은 이 두가지 영향이 복합적으로 작용하여 발생한다. 따라서 사출압축성형시 사출 속도, 사출압력, 보압, 압축압력, 사출량, 금형온도, 용융수지 온도, 냉각시간 등과 같은 광디스크 기판의 성형조건에 따라 복굴절의 정도가 크게 달라질 수 있다.

사출성형을 통한 광디스크 기판 성형시 발생하는 잔류응력 및 복굴절에 관한 다양한 연구가 있었다. Jansen등[1]은 금형벽면온도가 사출성형품의 유동배향, 잔류응력 및 복굴절에 미치는 영향을 연구하였고 Greener등[2]은 radial flow 모델을 사용하여 광디스크에 발생하는 복굴절에 대한 연구를 수행하였으며 Isayev와 Hieber [3]는 간격이 좁은 두 평판 사이의 유동에 Leonov모델을 사용하여 고분자의 탄성에 관한 성질을 연구하였다. 또한 Shyu등[4]은 Leonov 모델을 이용하여 폴리카보네이트(polycarbonate)와 폴리스티렌(polystyrene) 재료를 이용하여 사출성형에 의한 잔류응력과 복굴절에 관한 기초연구를 수행하였고 Wu와 White [5]는 폴리카보네이트 재료의 사출성형 및 압축성형시 급속냉각 등 여러가지 공정조건이 복굴절의 발생에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였다.

본 연구에서는 폴리카보네이트 광디스크 기판의 사출압축성형에 필요한 기본적인 공정조건 및 기판에 발생하는 복굴절의 측정기술을 확립한 후, 보압, 압축압력, 금형온도, 용융수지온도 등 여러가지 공정조건이 광디스크 기판 내부에 발생하는 복굴절의 분포에 미치는 영향을 실험적으로 규명하고, 이를 통해 복굴절 값을 감소시키고 균일한 분포를 갖게하는 성형 및 금형설계 방안을 모색한다.

2. 사출/사출압축성형에 의한 광디스크 기판 성형 및 복굴절 분포 측정

2.1 사출/사출압축성형 공정조건 확립 및 복굴절 측정 방법

본 연구에서는 광디스크 기판의 재료로 광학용 폴리카보네이트(Lexan 141, optical grade)를 사용하여 지름 86.0mm, 두께 1.2mm의 광디스크 기판을 성형하였으며 압축방식으로는 코어압축방식을 선택하였다. 사출압축성형기에 장착된 광디스크 성형용 금형을 Fig. 1에 나타내었다.

복굴절에 대한 보압과 압축의 영향을 살펴보

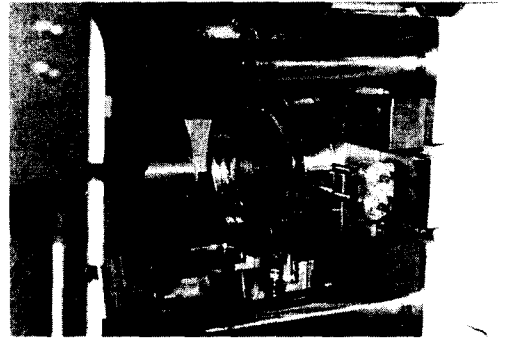


Fig. 1 The injection-compression mold to fabricate optical disk substrate (core-compression type)

기 위해 우선 보압과 압축을 가하지 않고 시편을 만들어 복굴절을 측정하였고 다음으로는 보압을 0.5초간 각각 3000psi, 6000psi만큼 바꾸어 가며 시편을 제작하였다. 또한 압축을 충전시간 이후 1초간 각각 6000psi, 12000psi로 바꾸어 가며 시편을 제작하였다. 금형온도가 복굴절의 분포에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 금형온도를 40℃, 60℃, 100℃로 각각 설정하였으며 용융수지 온도의 영향을 보기 위해서는 용융수지의 온도를 280℃, 300℃, 315℃로 각각 설정하였다. 압축공정에서의 압축이동 거리 δ 는 금형이 가지고 있는 설계 사양으로 0.1mm이다

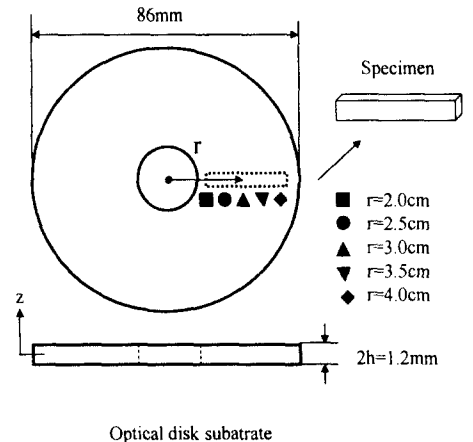


Fig. 2 The dimension of the optical disk substrate and the location of the measurement point

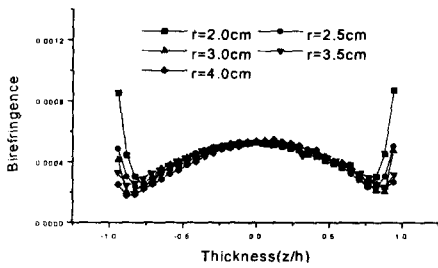


Fig. 3 The gapwise distribution of birefringence under zero packing pressure without compression

광디스크 기관 내부의 복굴절측정은 광디스크기관 제작, 시편 절단, 폴리싱, 복굴절 측정의 순으로 이루어졌다. 광디스크 기관을 diamond saw를 이용, 폭 0.7mm의 시편으로 Fig. 2와 같이 절단하여 복굴절을 반지름 방향으로 5부분 ($r=2.0\text{cm}$, $r=2.5\text{cm}$, $r=3.0\text{cm}$, $r=3.5\text{cm}$, $r=4.0\text{cm}$)에 대해 측정하였다.

2.2 측정결과 및 토의

보압과 압축공정이 없는 사출성형에 의해 성형된 디스크 기관에서 절단된 시편으로부터 측정된 복굴절의 분포를 Fig. 3에 나타내었다. 그 결과 벽면에서 최대치를 보이며 중심부는 가운데가 위쪽 방향으로 불룩한 형상을 보이는 데 중심에서 불룩한 형상을 보이는 것은 유동의 속도가 중심에 가까울수록 증가하는 양이 높아지기 때문이다. 실험측정에 의한 복굴절 분포의 최소 값은 무차원화 시킨 두께의 ± 0.7 부근에서 나타나며 반지름방향으로는 대체적으로 중심에서 가까운 방향일수록 높은 값을 보여주고 있다. 이와 같은 복굴절 값의 분포는 성형품이 냉각과정을 끝내고 굳어 있는 동안 내부의 응력완화(relaxation)가 일어나기 때문으로 분석되며 벽면에서 여전히 높게 남아 있는 것은 응력완화가 일어나더라도 벽면에서는 냉각이 가장 먼저 일어나게 되어 응력완화의 효과가 매우 적어 전단응력(shear stress)이 여전히 남아있을 뿐만 아니라 fountain 효과의 영향이 작용하기 때문이다. 또한 복굴절 값이 반지름방향 가장자리에 비해 중심에서 크게 나타나는 이유는 유동의 속도가 중심에서 가장 빠르기 때문이다.

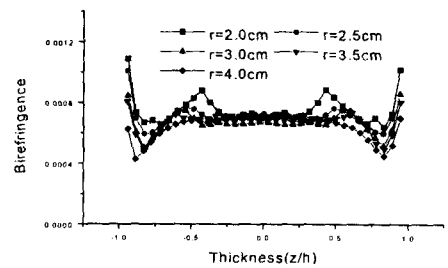


Fig. 4 The gapwise distribution of birefringence for packing pressure of 3000psi

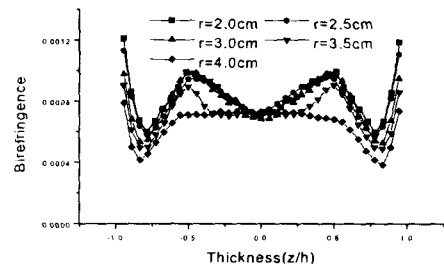


Fig. 5 The gapwise distribution of birefringence for packing pressure of 6000psi

보압 공정이 디스크의 복굴절 분포에 미치는 영향을 규명하기 위해 단순사출에서의 공정조건을 고정시키고 보압만을 3000psi, 6000psi로 가하면서 동일한 실험을 반복하였고 두께방향의 복굴절 분포는 Fig. 4 및 Fig. 5에 각각 나타내었다. 단순사출을 통해 얻어진 디스크에 나타난 복굴절 분포와 보압이 가해진 디스크의 복굴절 분포와의 차이점이 중심과 벽면사이(무차원 두께의 ± 0.5 부근)에서 발견된다. 전체적으로 두께방향에 대해 ± 0.5 부근에서의 복굴절 값이 상승했다. 보압과정에서 나타난 용융수지의 2차 유동에 따른 폴리카보네이트의 오리엔테이션 정도가 상승하기 때문이며 벽면은 이미 냉각이 이루어져 보압의 영향을 적게 받으므로 보압에 따른 복굴절 상승은 보여지지 않는다. 보압 역시 사출압력과 마찬가지로 중심에서 그 영향이 크게 나타나기 때문에 보압에 의해 복굴절 값이 상승되는 효과도 중심에서 가장 가까운 $r=2.0\text{cm}$ 에서 가장 크게 나타

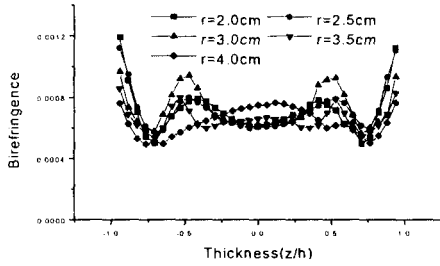


Fig. 6 The gapwise distribution of birefringence for compression pressure of 6000psi

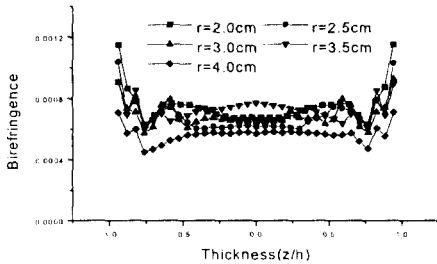
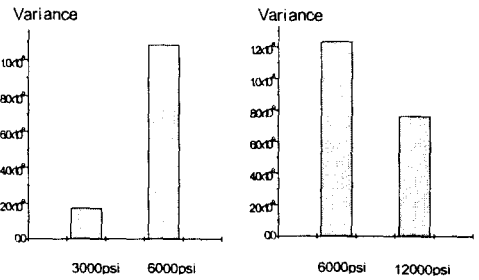


Fig. 7 The gapwise distribution of birefringence for compression pressure of 12000psi

났다.

압축공정이 복굴절 분포에 미치는 영향을 규명하기 위해 압축을 각각 6000psi, 12000psi로 가하여 성형한 디스크의 내부 복굴절 분포를 각각 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다. 이 그래프에서 보듯이 압축공정이 가해진 성형품에서도 압축에 의한 유동이 발생하기 때문에 복굴절 값 상승이 나타났는데 보압을 가했을 때와 비교하여서는 반지름방향으로 보다 더 균일한 분포를 나타냈다.

압축공정시의 캐비티 내부 초기 두께는 코어가 압축되어 이동하는 거리 만큼 더 두껍기 때문에 사출이나 보압과정시에 나타나는 수지유동의 속도가 캐비티 내부에서 감소하며 압축공정시에 나타나는 유동의 속도 분포가 사출이나 보압과정시에 나타나는 속도 분포와는 반대로 반지름방향 중심에서 가장 작게 증가하고 끝부분에서 가장 많이 증가하기 때문에 두께방향의 속도차이도 역시 감소하여 복굴절 값이 감소하게 된다. 이를



(a) (b)

Fig. 8 Variance of the second peak values in the radial direction obtained from the birefringence measurements for (a) different packing pressure (b) different compression pressure

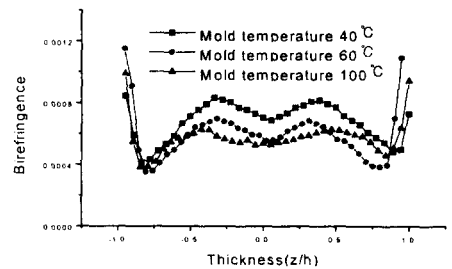


Fig. 9 The gapwise distribution of birefringence for the different mold temperature and the packing pressure of 6000psi($r=2.0\text{cm}$)

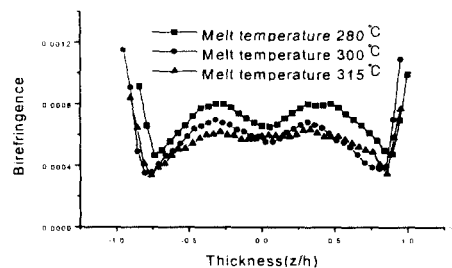


Fig. 10 The gapwise distribution of birefringence for the different melt temperature and the packing pressure of 6000psi($r=2.0\text{cm}$)

좀더 명확히 규명하기 위해 2차 유동의 영향으로

second peak가 발생했을 때 그 지점에서의 반지름 방향에 대한 복굴절 분포의 분산 값을 보압과 압축의 경우에 대하여 Fig. 8에 각각 나타내었다. 분산 값이 크다는 것은 복굴절의 평균값이 같더라도 반지름 방향 안쪽($r=2.0\text{cm}$)과 바깥쪽($r=4.0\text{cm}$)에서의 복굴절 값의 차이가 크다는 것을 의미하며 보압이 증가하는 경우 그 분산값이 Fig. 8 (a)에서 처럼 현저하게 증가하지만 압축압력이 증가하는 경우는 Fig. 8 (b)에서 보듯이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 압축 공정이 반지름 방향에 대해 보다 더 균일한 영향을 미치고 있음을 나타낸다. 또한 압축공정이 가해지는 성형품의 경우 사출압력 자체를 작게 설정할 수 있기 때문에 위와같은 영향을 고려하지 않아도 유동배향과 성형품 내부의 불균일한 압력분포를 어느정도 완화 시킬 수 있게 된다.

Fig. 9는 금형온도를 각각 40°C , 60°C , 100°C 로 설정하여 가공한 디스크 내부의 복굴절 분포이다. $r=2.0\text{cm}$ 인 부분의 복굴절에 대해서만 비교를 한 것은 디스크의 반지름 방향 가장 안쪽에서 보압에 의해 나타나는 second peak가 가장 높게 나타나기 때문이다. 여기서 보여지듯 금형온도의 상승은 전체적으로 복굴절 값을 감소시키는 데 기여하며 보압에 따른 second peak를 벽면쪽으로 이동 시킬 수 있다. 이는 금형온도가 높아져 냉각속도가 감소하기 때문에 벽면근처에서 보압에 의한 영향이 증가하기 때문이다. Fig. 10은 용융수지 온도를 각각 280°C , 300°C , 315°C 로 설정하여 가공된 디스크 내부의 복굴절 분포이고 역시 $r=2.0\text{cm}$ 부분의 값만 나타내었다. 금형온도의 영향과 마찬가지로 용융수지온도의 증가는 복굴절 값을 감소시키는데 기여함을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 사출성형/사출압축성형에 의해 가공된 폴리카보네이트 광디스크 기관 내부에 발생하는 복굴절을 측정하여 각 공정조건이 복굴절 분포에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였다.

보압은 용융수지의 2차 유동을 발생시켜 복굴절 값을 증가시키는데 이 영향은 냉각이 빠른 벽면에서는 거의 나타나지 않고 무차원화 시킨 두께의 ± 0.5 부근에서 나타나 second peak을 발생시켰으며 보압이 증가함에 따라 그 값이 증가하였다. 사출압축공정시 가해지는 압축은 복굴절을

증가시키는 영향을 미치기도 하지만 캐비티 전면에서 고른 압력을 가해주게 되므로 압축에 따른 용융수지의 유동속도는 사출공정과 보압공정과 반대로 반지름 방향 안쪽에서 바깥쪽으로 갈수록 증가하여 보압에 비해 전체적으로 균일한 복굴절의 분포를 갖게 하였다. 금형온도와 용융수지온도가 증가할 수록 복굴절은 감소하며 금형온도가 증가할 수록 냉각속도가 감소함에 따라 보압에 따른 second peak의 위치가 점차 벽면으로 이동하였다. 이상의 결과를 토대로 금형벽면온도의 능동제어를 위한 해석 및 실험적 연구가 진행중이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기기연구센터의 지원(과제번호 : 97K3-0913-03-02-1)을 받아 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한 실험에 도움을 주신 단국대학교 기계공학과 윤경환 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Jansen, K. M. B., "Heat transfer in injection moulding systems with insulation layers and heating elements", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 38, No. 2, pp. 309-316, 1995
- (2) Greener, J., Kesel, R. and Contestable, B. A., "The Birefringence Problem in Optical Disk Substrates: A Modeling Approach", *AICHE Journal*, Vol. 35, No. 3, pp. 449-458, 1989
- (3) Isayev, A. I. and Hieber, C. A., "Toward a Viscoelastic Modeling of the Injection Molding of Polymers," *Rheol. Acta*, Vol. 19, pp. 168-182, 1980
- (4) Shyu, G., "Birefringence and Residual Stresses in Molded Articles of Amorphous Polymers", Ph. D. Thesis, The University of Akron, Ohio, USA, 1993
- (5) Wu, J. and White, J. L., "Study of Birefringence Character of Injection and Compression-Molded Polycarbonate and Its Interpretation", *Polym. Eng. and Sci.* Vol. 31, No. 9, pp. 652-660, 1991