

이색법과 삼파장법을 이용한 사출성형품의 복굴절 측정

김종선*, 윤경환**, 황철진*
*한국생산기술연구원, 정밀금형팀
**단국대학교, 기계공학과

A study on the birefringence measurement in injection molded parts using two color method and RGB separation method

Jong Sun Kim*, Kyung Hwan yoon**, Chul Jin Hwang*

*Precision Mold Team, Korea Institute of Industrial Technology

**Fluid Mechanics Lab., Department of Mechanical Engineering, Dankook Univ.

서론

최근 들어 유리에 의해 제조되던 사출성형에 의해 제조되는 광 저장 장치와 카메라 폰, 도광판등의 광학용 플라스틱 사출성형품의 생산이 활발히 진행되고 있다. 하지만 사출성형 공정과 고분자 물질의 특성상 최종 제품에 남는 광학적 이방성, 즉, 잔류 복굴절의 분포는 피할 수 없다. 이러한 사출성형품 내부에 남는 복굴절의 분포는 광학 설계 단계에서는 예측하지 못하는 결과들을 초래하게 된다. 그래서 품질이 우수한 광학용 사출성형품을 생산하기 위해 잔류응력(residual stress)과 복굴절(birefringence)의 양을 줄이려는 시도는 많은 연구가 활발히 진행 중이다. 이와같은 복굴절의 측정은 목적과 용도에 따라 여러가지로 구성할 수 있다. 하지만 일반적인 방법은 기판에 입사된 광이 투과 또는 반사시 일어나는 편광 상태의 변화를 측정하는 것으로 표면과 박막물성의 연구 수단인 엘립소미터와 원리적으로는 같은 것이다. 이런 복굴절의 측정 방법으로는 보상판에 의한 간섭 측정법, 직선 편광입사에 의한 회전 검광자법, 원편광 입사에 의한 회전 검광자법, 위상 변조법등이 있다.¹⁾ 또한 2차원 복굴절 측정 장비로는 주로 위상이동법(phase shifting/stepping) method)이 많이 사용되고 있는데 이 방법은 분석기(analyzer)나 1/4 파장판을 회전시키며 회전에 따른 이미지의 차이를 분석함으로써 복굴절의 분포를 측정하고 있다. 하지만 기계적인 작동부와 이미지처리를 위한 시스템 사이의 타이밍을 맞추는 장치가 별도로 들어가기 때문에 고가의 장비가 필요하고 장시간의 측정시간이 필요한 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 위의 사항들을 고려하여 포인트 측정법인 레이저 이색법과 이차원 측정법인 백색광 삼파장법을 이용하여 고속 복굴절 분포 측정 장치를 개발하는 것을 목적으로 하고 있다.

레이저 이색법

레이저 이색법은 위상변조법을 이용한 포인트 측정법으로 측정 시간은 오래 소요되나 측정정밀도가 높은 것을 특징으로 한다. 일반적인 단파장 위상변조법의 경우 Fig. 1과 같이 검출기에 들어오는 레이저의 신호강도가 $\sin\theta$ 의 주기로 변화하기 때문에 측정 파장이 632.8 nm의 He-Ne레이저를 사용하는 경우 158.2 nm이

상의 경로차가 발생할 경우 \sin 주기의 반복으로 동일 신호 강도가 발생하여 복굴절의 측정이 불가능한 문제를 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위하여 Fig. 2(a)와 같은 측정 순서로 단파장 레이저를 2개 사용하여 두 파장의 신호 강도 이외에 신호강도의 비를 이용하여 높은 오더의 복굴절을 측정할 수 있는 시스템을 제작하였다. 측정 시스템은 Fig. 2(b)와 같이 632.8 nm, 543.5 nm의 UniPaser사의 레이저, Newport사의 편광판 2개, 위상 변조를 위해서 Hinds사의 PEM-90 Photo-Elastic Modulator를 사용하였고, 변조된 신호를 측정하기 위해서 Stanford Research System사의 SR830 Lock-in Amplifier를 사용하였다. 또한 레이저 강도를 측정하기 위해서 Hinds사의 DET-90검출기, Lock-in Amp.에서의 나오는 신호를 수집하기 위해서 National Instruments사의 AT-MIO-16X와 LabView 프로그램을 사용하였다.

백색광 삼파장법

백색광 삼파장법의 측정원리는 기본적으로 레이저 이색법과 같으나, 고속의 이차원 측정법을 개발하기 위하여 원편광 시스템과 bandpass 필터(R:632.8 nm, G:545.07 nm, B:452.56 nm)를 이용하였다. 측정 순서는 Fig. 3(b)와 같이 각각의 밴드패스 필터를 통해 R, G, B의 측정 이미지를 촬영하여, 그 신호 강도의 비를 이용하여 높은 오더의 복굴절을 측정할 수 있다. 이와 같이, 같은 경로차를 가져도 빛의 파장에 따라 검출기에 들어오는 신호의 강도가 달라지며 본 논문에서는 이를 이용하여 각각의 R, G, B 성분의 비율에 따라 비교적 큰 경로차도 측정할 수 있는 시스템을 구성한 것이 특징이다. 하지만, 경로차가 신호의 강도로만 표현되며, \sin 제곱의 함수로 표현되기 때문에 측정 파장의 절반, 즉, 632.8 nm의 레이저를 이용한 경우 316.4 nm이상의 경로차가 발생할 경우 파장의 주기에 따라 신호의 강도가 동일한 지점이 나타나 경로차를 구별할 수 없는 경우가 발생한다. 또한, 신호의 강도가 \sin 제곱의 함수이기 때문에 매우 작은 경로차가 발생하는 경우나 측정 파장의 절반의 경로차가 발생하는 경우, 마지막으로 측정파장과 같은 경로차가 발생하는 경우 등에 신호의 정확성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 측정에 사용된 광학 시스템은 Edmund Industrial Optic사의 편광 필름 2장, 1/4 파장판 2장, 그리고, 평면 광원, 632.8 nm, 545.07 nm, 452.56 nm의 bandpass 필터로 구성된 광학계를 가지고 있으며, 또한, 복굴절 이미지의 촬영을 위하여 canon사의 300D 디지털 카메라 그리고, CANON EF 180 mm f/3.5L Macro USM 렌즈를 사용하였다. 촬영한 이미지의 해석을 위해서 National Instruments사의 NI-1411 이미지 캡처보드와 LabView 프로그램을 사용하였다. 또한 Fig. 3(a)는 본 백색광 삼파장법에 의한 복굴절 측정 장치의 측정 순서를 도시한 순서도이다. 먼저 632.8 nm, 545.07 nm, 452.56nm의 bandpass 필터를 부착하여 각각의 R, G, B 이미지를 저장한다. 이렇게 저장된 이미지를 그레이 스케일로 변환하여 각각의 신호 강도를 저장한다. 각 픽셀의 R, G, B 신호 강도를 이용하여 먼저 투과도에 따른 신호 강도의 변화를 보정하기 위하여 경로차가 약 300 nm되는 지점의 R, G 신호강도의 비를 보정 데이터와 비교한다. 이렇게 비교된 신호강도의 비를 이용하여 측정물의 투과도를 결정하여 보정 데이터를 수정한다. 그 후 각 픽셀의 632.8 nm의 신호강도를 이용하여 보정 데이터의 경로차 값을 구한다. 632.8 nm의 신호강도가 사인의 제곱의 주기로 변화하기 때문에 같은 신호강도를 가지는 경로차 값이 여럿 존재할 것이다. 이렇게 구해진 경로차들의 값을 가지는 부분에서 다시 632.8 nm, 545.07 nm, 452.56 nm의 신호강도의 비가 가장 유사한 부분을 찾아 측정지점의 경로차로 측정을 한다. 이와같은 과정을 전 픽셀에 적용하여 측정물의 경로차를 결정하게 된다.

레이저 이색법과 백색광 삼파장법의 측정 결과

Fig. 4는 본 연구에서 사용한 측정 대상물로서 중앙에 게이트가 있는 디스크형상의 폴리스티렌 수지를 이용한 사출품의 복굴절을 촬영한 이미지이다. 외곽에서 작은 복굴절을 가지다 중심부로 갈수록 복굴절이 커지는 경향을 보이는 측정물로, Fig. 4와 같이 외곽에서 60 nm의 경로차가 발생하며 내주로 들어갈수록 그 값이 커져가는 35 mm 지점에서는 약 850 nm의 경로차가 발생함을 볼 수 있다. 이와 같은 측정 결과의 확인을 위하여 Soleil Babinet compensator를 이용하여 경로차를 측정하여 보면 Fig. 7과 같이 5%이내의 오차만이 발생하는 것을 볼 수 있다. 또한 백색광 삼파장법에 의한 측정 결과는 Fig. 6과 같이 R, G, B 삼색의 통과광 신호 분해 및 통과광 신호 강도비를 이용하여 기존의 측정법들이 가지는 문제를 극복하였으며, Fig. 7과 같이 레이저 이색법과 유사하게 디스크의 외곽 부분에서 약 50 nm의 경로차와 중심부에서 약 850 nm의 경로차의 측정이 가능하였다.

결론

높은 측정 정밀도를 특징으로 하는 레이저 이색법과 고속의 복굴절 측정을 장점으로 하는 백색광 삼파장법을 이용하여 기존 측정장비에서 측정이 어려웠던 높은 오더의 복굴절 측정 장치를 제작하였으며, 제작된 복굴절 측정 장치를 이용하여 850 nm의 경로차를 가지는 사출성형품의 경로차의 측정을 가능하게 하였다. 또한 현재 측정 정밀도를 높이기 위해 LED를 사용하는 광원과 이미지처리 알고리즘을 개선하는 작업을 진행하고 있다.

후기

본 연구는 2010생산기반혁신기술개발사업 중 '기능성 고분자소재 성형용 마이크로 금형시스템 과제' 및 서울시의 '차세대 감성형 디지털 정보 디스플레이 혁신 클러스터 구축과제'의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- Kim, J. S. and Yoon, K. H., 2003, "A Study on the Prediction of Thermally-Induced Residual Stress and Birefringence in Quenched Polystyrene Plate Including Free Volume Theory", *KSME (A)*, Vol. 27, No. 1, pp.77 ~ 87.
- Hecht, E. 1987, *Optics*, Addison-Wesley, Berlin, Massachusetts
- Janeschitz-Kriegl, 1983, *Polymer Melt Rheology and Flow Birefringence.*, Springer-Verlag, Berlin
- Zhu, Y. C., et al., 1999, "Two-dimensional measurement technique for birefringence vector distributions: data processing and experimental verification", *Applied Optic*, Vol. 38, No. 11, pp. 2216 ~ 2224
- Patterson, E. A., Ji, W. and Wang, Z. F., 1997, "On Image Analysis for Birefringence Measurement in Photoelasticity", *Optics and Lasers in Engineering*, Vol 28, pp. 17 ~ 36
- Otani H., 1998, "2-D Birefringence measurement using Phase Shift", *J. J. of Optics.*, Vol. 27, No. 12, pp. 698 ~ 703.

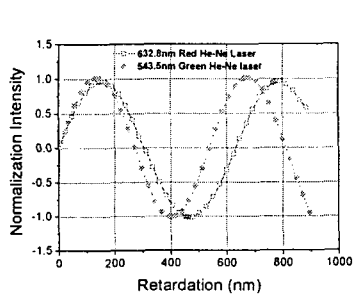


Fig. 1 Calibration data of Soleil Babinet compensator.

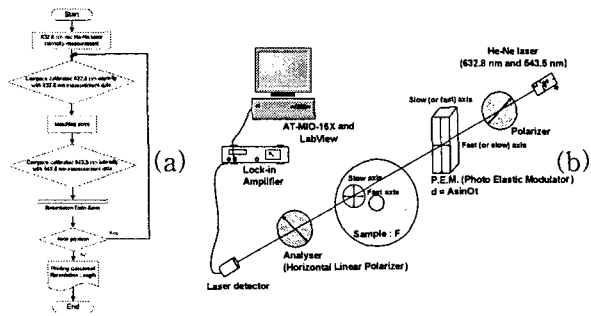


Fig. 2 (a) Measurement flow and (b) optical train setup for two color method.

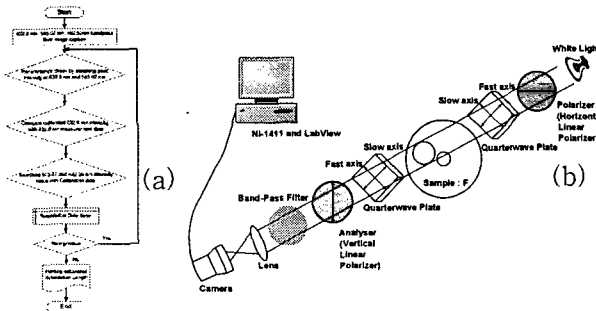


Fig. 3 Measurement flow and Optical train used for RGB separation method

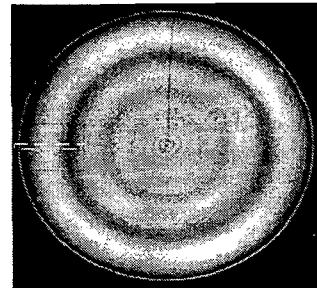


Fig. 4 A picture of birefringence in injection molded disk

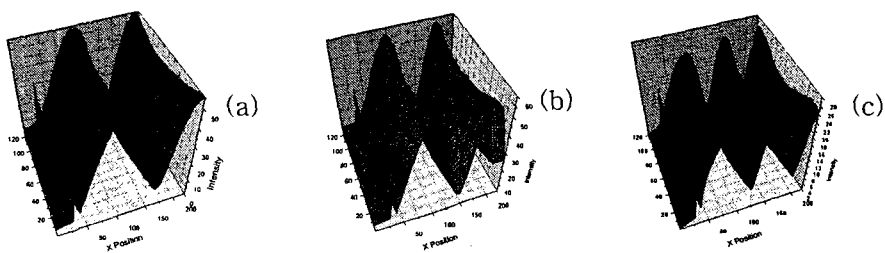


Fig. 5 Gray-scale intensity of (a) 632.8 nm (R), (b) 545.07 nm (G), and (c) 452.56 nm (B).

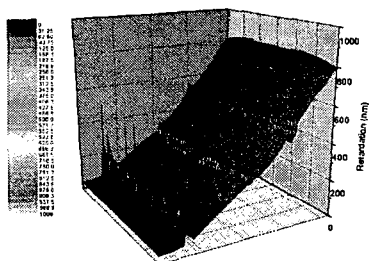


Fig. 6 Measured retardation length using a RGB color method separation method.

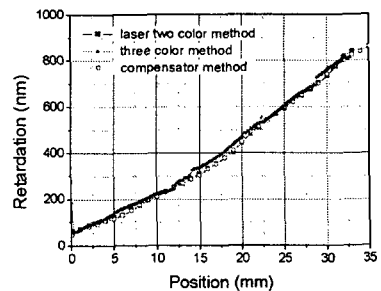


Fig. 7 Comparison between laser two and RGB separation method.