

# Pre-form의 사출성형 공정조건 변화에 따른 복굴절 분포에 관한 연구

## A Study on the Birefringence Distribution of Pre-form Using Blow-Molding Under the Various Processing Conditions.

\*이경범<sup>1</sup>, #이성희<sup>2</sup>, 윤경환<sup>3</sup>

\*K. B. Lee<sup>1</sup>, #S. H. Lee(birdlee@kitech.re.kr)<sup>2</sup>, K. H. Yoon<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 한국생산기술연구원, 단국대학교 대학원, <sup>2</sup> 한국생산기술연구원 금형·성형기술연구부, <sup>3</sup> 단국대학교 기계공학부

Key words : ISBM, Residual stress, Birefringence, Pre-form, Process condition, Polarizing microscope, Molecular orientation.

### 1. 서론

사출-연신 블로우 성형(Injection-Stretch Blow Molding: ISBM)은 금형 안에서 스트레칭 로드를 사용하여 프리폼을 축방향으로 스트레치 시키면서 블로잉하여 중공성형 플라스틱 부품을 만드는 성형방법을 말한다. 이러한 성형 방법은 비교적 축 방향으로 길이가 긴 중공 성형품을 성형 할 때 프리폼의 축 방향으로 연신을 도와주는 효과가 있으며 프리폼이 사출성형에 의해 성형되기 때문에 두께 분포를 정밀하게 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 프리폼 사출성형과정에서 온도/압력과 관련된 많은 성형상 문제점이 발생하게 되는데 특히 성형품에서 나타나는 잔류응력과 복굴절은 제품의 변형 및 성형품 외관 형상에 큰 영향을 미친다. 프리폼은 블로우 성형을 하기 전 사출성형공정을 통해 만들어진다. 충전 후에 금형안으로 유입된 고온/고압의 수지는 채널을 따라 유동을 하게 되는데 이 때 수지와 금형 벽면에서 일어나는 냉각효과로 수지의 분자배향이 완전히 완료되지 못하고 응력을 가진 채 굳어져 제품의 잔류응력과 복굴절을 발생시키며 이때의 잔류응력은 제품의 휨과 수축의 주요원인이 된다. 따라서 사출성형공정에서 잔류응력과 복굴절을 감소시키는 것은 매우 중요하다[1]. 본 논문에서는 금형온도와 수지온도를 주요 변수로 하여 성형조건 변화가 복굴절 분포에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하고자 실험을 수행하였다. Fig. 1은 광구 프리폼의 형상 및 편광판을 이용한 복굴절 분포를 보여주고 있다.

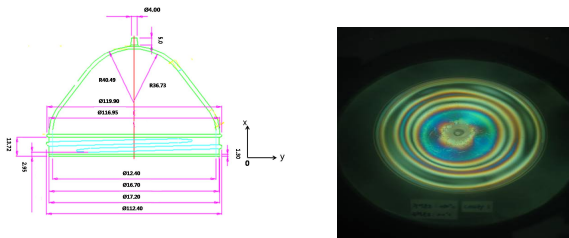


Fig. 1 Geometry and birefringence distribution of wide Pre-form

### 2. 실험

#### 2.1 재료 및 공정조건

본 실험에서는 Woon-Selex(NP 300) 형체력 300 ton 사출기를 사용하였고 수지는 SK 케미컬 SKYPET BL8085 수지를 사용하였다. 성형조건으로는 사출시간 1 sec, 보압시간 10 sec, 보압력은 최고 사출압의 80 % 로 설정하였다. 본 실험은 성형조건 중 금형온도와 수지온도의 변화에 따른 복굴절 분포를 알아보기 위하여 대조군을 두었으며 다음의 Table 1과 같이 설정하였다.

Table 1 Process conditions for injection molding

case	Melt Temp.	Mold Temp.
#1	280°C	20°C
#2	290°C	20°C
#3	300°C	20°C
#4	290°C	10°C

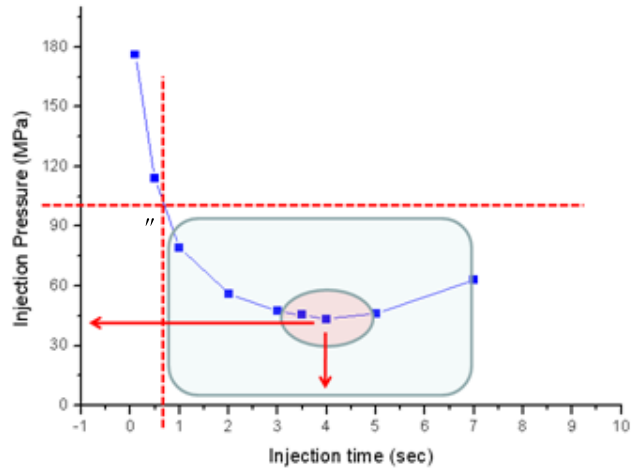


Fig. 2 Optimal injection time for wide Pre-form

실제 해석상으로 최적의 사출시간 조건은 Fig. 2에서의 같이 약 4초대로 확인되었으며, 실제 사출성형은 8캐비티 금형으로 수행되었다.

#### 2.2 복굴절 측정원리

복굴절 측정은 편광현미경을 사용하여 두께 방향의 각 지점에서의 소멸각을 측정하고, 또 그 위치에서의 경로차를 구하여 최종적인 복굴절 값을 구하게 된다. 측정원리는 Fig. 3에서 보는 바와 같다[2,3].

$$\frac{I}{I_0} = \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\delta}{2} \quad (1)$$

식 (1)에서 I'는 검광자(analyzer)의 intensity, I<sub>0</sub>는 빛의 세기, θ는 샘플의 빠른 축과 편광기의 편광축 사이의 각도이며 δ는 위상차이다. I'를 0으로 만들 수 있는 조건은 등각(Isoclinic, sin<sup>2</sup> 2θ = 0)과 등과장(Isochromatic)(sin(δ/2) = 0)의 두 가지 경우이며, 이러한 상태를 일반적으로 extinction이라고 부른다.

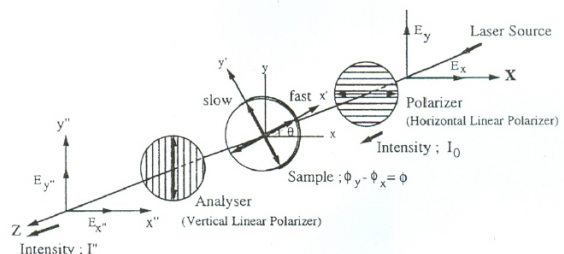


Fig. 3 Polariscopes setup

Isoclinic은 샘플의 광학주축이 편광기나 분석기의 편광축 중

하나와 만날 때마다 발생하며,  $\theta$ 가  $\sin^2 2\theta = 0$ 의 조건을 만족시키기 위해서 다음과 같이  $\theta = m\pi$  (여기서, m은 정수)가 된다. 회전스테이지(rotating stage)를 사용하여 샘플을 360° 회전시킬 경우 90° 간격을 두고 4번의 extinction을 관찰할 수 있다. 이때, 일단 주축을 발견한 후 I'가 최대가 되는 상태로 고정하고 빠른 축과 느린 축을 미리 알고 있는 위상차  $\theta$ 가 감소되는 현상을 통해 샘플 내의 빠른 축과 느린 축을 쉽게 발견할 수 있다. 주축을 발견한 후 I'가 최대가 되는 상태로 rotating stage를 사용하여 extinction 상태에서부터 샘플을 45° 회전시키면  $\sin^2 \theta = 1$ 이 되어 I'은 위상차만의 함수가 된다. 그 후 보상판(Berek compensator)을 사용해서 원하는 위치의 색이 검게 바뀔 때까지 기판에서 야기되는 위상차를 보상하여 총 위상차를 0으로 만들어 주면 샘플내의 위상차를 구할 수 있다.

### 2.3 편광현미경을 이용한 복굴절 측정

사출 프리폼 Table 1에 제시된 공정조건으로부터 성형된 프리폼에 대해, 독일 Leitz社의 편광현미경을 사용하여 복굴절을 측정하였다. 샘플은 현미경의 회전스테이지에 올라갈 수 있도록 Buehler社의 Low Speed Saw(ISOMET)을 이용하여 프리폼의 수지 유동방향의 수직으로 일정한 크기로 절단하고 제품의 끝단에서부터 게이트 입구까지 등간격으로 나누어 Fig. 4와 같이 18지점을 지정한 후 측정하였다.

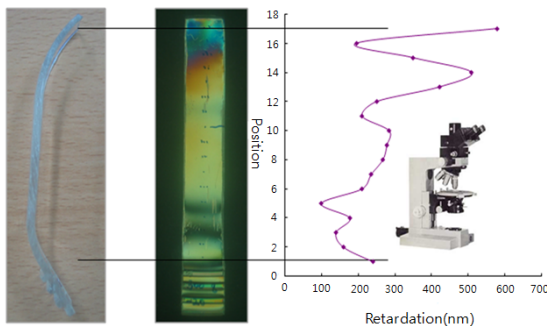


Fig. 4 Measurement of birefringence using the polariscope

### 3. 결과 및 고찰

수지 온도 변화에 따른 복굴절 분포를 Fig. 5에 나타내고 있다. case #1의 경우, 최대 663.1 nm 최소 24 nm의 크기를 보였고, case #3의 경우, 최대 579.7 nm 최소 99.1 nm의 양을 보이고 있었다. 이는 수지의 온도가 올라감에 따라 캐비티 내의 점도가 낮아지면서 유동특성이 좋아지고, 유동방향으로 배향하던 고분자 체인이 이완이 되면서 복굴절 양이 현저히 줄어드는 것으로 판단이 된다. Fig. 6에서는 금형온도 변화에 따른 복굴절 분포를 나타내고 있다. case #4의 경우 최대 1185.1 nm 최소 45.6nm case #2의 경우 최대 936.1 nm 최소 13.8 nm 크기의 복굴절을 보이고 있었다. 따라서 금형온도가 올라감에 따라서 수지와 금형 벽면 사이에서 일어나는 열전달 현상에 의해 냉각시간이 증가하고 유동방향의 고분자 사슬 배향이 더 완화되었기 때문이라고 판단이 된다[4,5].

### 4. 결론

사출-연신 블로우 성형에서 사용되는 광구 프리폼의 사출성형 공정조건 변화에 따른 복굴절을 측정함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 사출성형된 광구 프리폼은 수지온도가 증가하면 복굴절은 양은 감소하게 되는데 이는 수지온도가 증가할수록 유동방향으로 배향하던 고분자 체인이 이완이 되면서 복굴절 양이 현저히 줄어드는 것으로 판단된다.

또한 수지온도 290℃로 일정하게 유지시키면서 금형온도 10℃

와 20℃ 일 때의 비교 결과, 후자의 경우가 좀 더 복굴절이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 금형의 온도가 증가함에 따라서 수지와 금형 벽면 사이에서의 냉각시간이 늘어남에 따라서 유동 방향의 고분자사슬 배향이 더 완화되었기 때문이라 판단된다.

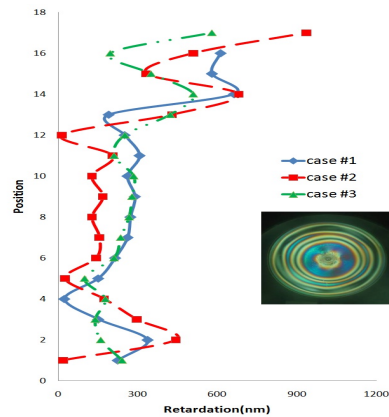


Fig. 5 Distribution of birefringence for 3 different melt temperature

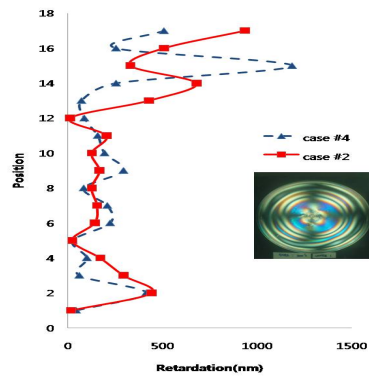


Fig. 6 Distribution of birefringence for 2 different mold temperature

### 후기

본 연구는 지식경제부 국가플랫폼 기술개발사업(09-FM-1-0019), 초발수 미세패턴 사출성형기술 개발(09-CT-2-0005), 초고압 등방압 응용 핵심부품 제조기술개발(09-EO-1-0016)의 지원 하에 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 민인기, 이성희, 고영배, 이효수, 권창오, 윤경환, “정밀 광학부품의 복굴절 측정 방법에 관한 연구,” 한국금형공학회 동계 학술대회 논문집 pp164-168, 2009.
2. Fuller, G.G., 1995, Optical Rheometry of complex Fluids, Oxford University Press, New York
3. Hecht, E., 1987, Optics, Addison-Wesley Publishing Company.
4. Wen-Bin Young, “Effect of process parameters on injection compression molding of pick up lens,” Applied Mathematical Modeling, pp 955-971, 2005.
5. Goang-Ding Shyu, Avraam I. Isayev, H. S. Lee, “Numerical simulation of flow induced birefringence in injection molded disk,” Korea-Australia Journal. Int, 15, 4, pp159-166, 2003.