

사출 성형 공정이 폴리스티렌 디스크의 물성에 미치는 영향에 대한 연구

고경진[†] · 손동우

SKC 중앙연구소

(1999년 1월 8일 접수)

Influence of Injection Molding Conditions on the Properties of Injection Molded Polystyrene Disk

Kyoung Jin Ko[†] and Dong Woo Sohn

SKC, Central R&D Center, 500, JungjaDong, JangaGu, SuwonSi, KyonggiDo, Korea

(Received January 8, 1999)

요약: 사출 성형 공정상의 대표적인 인자인 사출 속도, 용융 수지 온도, 냉각 온도 및 보압에 대한 폴리스티렌 디스크의 물성 변화를 연구하였다. 이때 디스크의 물성 변화는 복굴절과 디스크 두께를 측정하여 관찰하였다. 또한 디스크 물성 변화를 설명하기 위하여 성형기 노즐과 금형 내에 압력 변환기를 설치하여 압력을 측정하였다. 보압에 대한 복굴절에서는 24 MPa에서 최대값을 보였다. 일반적으로 보압이 증가하면 복굴절이 증가하나 24 MPa 이상의 보압에서는 잔존 압력이 형개시에 작용하여 복굴절 감소에 기여하였다고 생각된다. 이는 보압에 따른 디스크의 두께 변화에서도 확인할 수 있었다. 한편 용융 수지 온도와 냉각 온도의 복굴절에 대한 영향은 온도 증가에 따라 복굴절이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 충전 및 보압시에 생성된 배향과 응력이 완화될 수 있는 시간이 증가하기 때문으로 생각된다. 사출 속도의 경우는 10%에서 최소, 20%에서는 최대값을 보였다. 이는 충전 시작 시간과 보압 시작 시간으로 설명할 수 있었다.

ABSTRACT: The relationship between processing conditions and the properties of polystyrene (PS) disk was investigated. The properties of injection molded PS disk were birefringence and geometrical changes. In addition, to explain the behavior of the properties of PS disk, the pressure in the nozzle and mold was measured by using pressure transducer. For the packing pressure, the birefringence of 24 MPa packing pressure shows a maximum. Generally speaking, with increasing packing pressure, the birefringence also increases, while, above a certain packing pressure, the pressure in the mold does not relax completely. This residual pressure may affect the birefringence behavior so that the birefringence of PS disk may decrease with increasing packing pressure above 24 MPa packing pressure. The thickness of PS disk also confirms this explanation. The effects of melt and cooling temperature show the decrease of birefringence with increasing temperature. The increase of relaxation time may cause the decrease of birefringence. For the injection speed, the birefringence shows the minimum at 10% and maximum at 20% of injection speed. This behavior can be explained by the difference between the start time of injection and packing.

Keywords: injection molding, birefringence, residual pressure, polystyrene disk.

서 론

사출 성형법은 복잡한 형상의 고분자 제품을 상당히 정확한 치수로 대량 생산이 가능한 제조 방법이다. 사출 성형 공정은 크게 나누어 수지 이송 및 용융, 충전, 냉각, 보압 그리고 취출의 단계로 나눌 수 있다. 이 사출 성형법에 대한 연구는 처음 주로 충전 공정의 연구로 시작되었다.¹⁻⁵ 그 결과 충전시의 수지 흐름 특성과 그로 인한 성형품의 물성 변화가 밝혀졌다. 그러나 충전에 대한 연구만으로 성형품의 최종 물성을 해석하는 것이 불가능하다는 것이 곧 밝혀졌고 이로 인해 냉각 공정에 대한 연구가 시작되었다.⁶⁻¹¹ 그 결과 성형품 내의 응력 분포 및 잔류 응력에 대한 것이 밝혀졌으나 여전히 최종 물성에 대한 완전한 이해와는 거리가 있었다. 따라서 보압에 대한 연구에 관심이 집중됨은 필연의 일이다.¹²⁻¹⁸ 실제로 사출 성형품의 최종 물성은 성형 공정중에 수지가 받는 열적 기계적 특성의 합이기 때문이다. 일반적으로 언급되는 성형 공정은 위에서 언급한 충전, 냉각 및 보압 공정을 의미하나 최근의 우리 실험 결과에 의하면 이외에도 충전 전에 용융 수지가 받게 되는 전단력 및 보압 후의 취출 공정도 성형품의 최종 물성과 관련이 있다는 것이 밝혀졌다.¹⁹

사출 성형품의 최종 물성 중 대표적인 것이 기계적 성질과 수지 안정성이며 투명 수지의 경우 광학적 성질도 중요한 물성이다. 결정성 고분자의 경우는 결정화도, 결정 크기 및 결정화 속도도 중요한 인자나 이 연구에서는 비결정성 고분자에 한해 설명하고자 한다. 이 성형품의 거시적인 물성과 관계 있는 분자 수준의 물성은 분자 배향 및 잔류 응력이다. 이 분자 배향 및 잔류 응력과 성형 공정과의 관계를 밝히기 위하여 다양한 연구 방법이 제시되었으나 가장 대표적인 것이 복굴절 측정법과^{1,2,5,8} 층 삭제법이다.^{10,20} 복굴절을 이용하는 방법은 투명한 고분자에만 이용할 수 있다는 단점과 분자 배향과 잔류 응력을 분리할 수 없다는 단점이 있으나, 정확한 값의 측정이 가능하고 성형품 각 지점마다의 복굴절 측정이 가능하다는 장점으로 인해 널리 쓰이고 있다. 반면, 층 삭제법은 정확한 값의 측정이 힘들고 성형품 전체의 잔류 응력만 측정할 수 있다는 단점이 있으나 배향과 잔류 응력의 분리가 어느 정도 가능하여 또한 많이 사용되고

있다. 이 이외에도 IR dichroism과¹⁷ Raman spectroscopy를¹⁴ 이용하는 방법도 발표되었다. 이러한 많은 연구에도 불구하고 아직도 성형 공정과 물성과의 관계는 완전히 이해되지 않고 있어서 앞으로도 많은 실험과 이론에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

이 연구에서는 사출 성형 공정에서 중요한 인자인 사출 속도, 용융 수지의 온도, 냉각 온도 및 보압과 성형품의 최종 물성과의 관계를 고찰하고자 하였다.

실 험

디스크의 제조. 실험에 사용된 재료는 Dow Chemical사에서 제공한 polystyrene (Styron 678U)이었다. 디스크 제조에 사용된 사출 성형기는 MOPAC-21 사출 성형 조절기 (Moog Inc.)가 부착된 BOY 50T 사출 성형기였다. 성형된 디스크의 모양은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 직경 120 mm, 두께 약 2.0 mm였다. 사용한 금형의 런너는 콜드 런너였으며 게이트는 디스크 중심 부분에 위치하고 있다. 공정 조건에 따른 디스크 물성 변화를 관찰하기 위하여 각각 1가지씩의 공정 조건을 변화시키고 나머지 조건은 동일하게

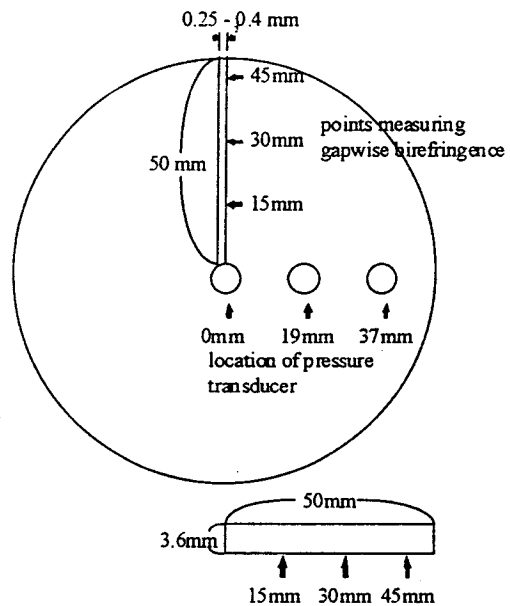


Figure 1. The schematic diagram of an injection molded polystyrene disk.

Table 1. The Processing Conditions of Injection Molding for Polystyrene Disks

	packing pressure (MPa)	melt temperature (°C)	cooling temperature (°C)	injection speed (%)
effect of packing pressure	0, 6, 12, 24, 36, 48, 60	230	40	40
effect of melt temperature	24	210, 230, 250	40	40
effect of cooling temperature	24	230	25, 40, 60, 80	40
effect of injection speed	24	230	40	10, 20, 40, 60, 80

하여 디스크를 제조하였다. Table 1은 각 공정 조건을 나타낸 것이다. 한편, 사출 성형중의 압력 변화를 관찰하기 위하여 성형기 노즐 부분과, 디스크 중심으로부터 0, 19, 37 mm 지점에 압력 변환기를 설치하였다. 정확한 위치는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 모든 압력 자료는 자료 수집 시스템을 사용하여 컴퓨터에 저장하였다.

측정. 디스크의 복굴절을 측정하기 위하여 2가지 방법을 사용하였다. 한가지는 He-Ne laser polariscope를 사용하는 것으로 두께 평균 복굴절을 측정하는데 사용하였으며 다른 한가지는 편광 현미경을 사용하는 것으로 두께 방향의 복굴절을 측정하였다. He-Ne polariscope 경우 사용한 laser의 파장은 632.8 mm였고 Oriol사의 0.8 mW급을 사용하였다. 두께 평균 복굴절의 측정법은 직교된 2개의 편광판 사이에 성형품을 삽입하여 발생한 laser의 retardation을 읽는 것이다. 이때 디스크를 반경 방향으로 일정하게 움직여 각 반경에서의 복굴절을 측정하였다. 정확한 retardation값을 읽기 위해서 Soleil-Babinet compensator를 사용하였다. 이러한 비파괴 방법으로 여러 성형 조건에서 제조된 디스크의 두께 평균 복굴절을 쉽게 측정할 수 있었다. 한편, 두께 방향의 복굴절은 Berek compensator를 이용하여 편광 현미경으로 측정하였다. 복굴절 측정을 위해 다이아몬드 톱으로 시료를 반경 방향으로 잘랐다. 잘라 낸 시료는 표면에서의 광 산란을 억제하기 위하여 다이아몬드 가루로 표면을 연마하였다. 이때 잘라 낸 시료의 두께는 0.2-0.5 mm 사이였다. 복굴절 측정은 디스크 반경 15, 30, 45 mm 지점에서 행하였다.

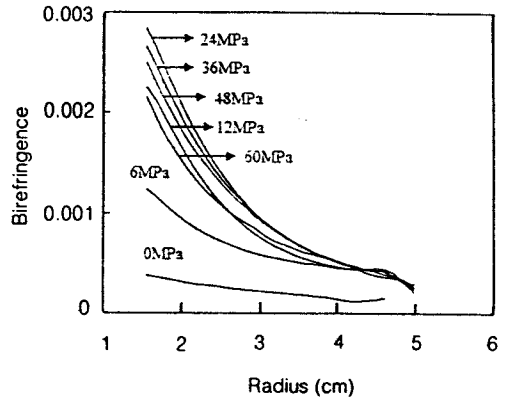


Figure 2. The gapwise average birefringence profiles of PS disks with various packing pressure.

한편, 성형된 디스크의 두께 측정은 마이크로미터 ($\pm 0.1 \mu\text{m}$)를 이용하여 측정하였다.

결과 및 고찰

보압 효과. Fig. 2는 용융 수지 온도 230 °C, 냉각 온도 40 °C, 사출 속도 40%의 사출 성형 조건에서 보압의 변화에 따른 두께 평균 복굴절 분포를 디스크의 반경 방향에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 반경이 증가함에 따라 복굴절이 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다. 디스크의 경우 반경이 커질수록 단위 반경 당 부피가 직선적으로 증가하므로 용융 수지 선단의 속도는 밀도 변화가 수반되지 않는다면 직선적으로 감소하게 된다. 보압 효과를 고려하지 않는다면 복굴절은 사출 속도의 구배에 비례할 것이므로 그 분포는 a/r^n 의 형태로 될 것이다 (a, n : 상수).² 그러나 보압을 고려하면 복굴절 분포는 다른 형태를 가질 것이다. 보압의 효과는 용융 수지 온도가 유리전이온도 이상일 때만 작용할 것이므로, 스프루쪽에 가까울수록 그 효과가 커질 것이다. 따라서 반경이 작아질수록 즉, 스프루쪽에 가까울수록 복굴절의 증가가 더 크게 된다. 이를 모식적으로 나타낸 것이 Fig. 3이다. 그림에서 점선은 측정치를, 실선은 계산 값을 나타낸 것이다.

한편 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 보압의 변화에 따른 복굴절 값은 보압에 따라 증가하다 24 MPa 이상에서는 다시 감소하여 24 MPa에서 최대

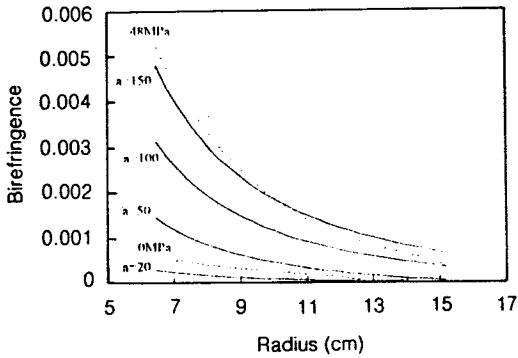


Figure 3. The comparison between calculated and experimental birefringence.

값을 보이고 있다. 그리고 60 MPa의 보압에서는 취출시 디스크 중심 부근에서 크랙이 발생하였다. Fig. 2에서 60 MPa 보압 조건에서의 복굴절 패턴이 디스크 반경 약 3 cm 부근에서 바뀐 것은 이때 발생한 크랙 때문으로 추측된다.

한편, 폴리스티렌은 폴리카보네이트나 폴리메틸메타크릴레이트 등의 수지와는 달리 축색에 스티렌기를 가지고 있기 때문에 용융되었을 때와 고체상일 때의 stress-optical coefficient 부호가 반대로 된다. 이는 용융 상태에서는 스트레스가 주로 주축의 배향에 작용하나, 고체 상태에서는 축색인 스티렌기의 변형에 작용하기 때문이다. 이 실험에서 사용한 조건들이 주로 용융 상태의 수지에 작용한다고 생각하여 주축의 배향과 완화를 주로 고찰하였다. 일반적으로 보압은 용융 수지가 금형에 완전히 충전된 후부터 시작되고 냉각은 금형에 수지가 충전되기 시작할 때부터 일어난다. 따라서 보압이 작용할 시점에서는 이미 어느 정도 냉각이 진행되어 성형품의 표면이나 스프루에서 먼 쪽 등에서는 고화가 일어난 후가 된다. 보압 효과는 용융 상태의 수지만 작용하므로 성형품의 두께 중심 또는 스프루에 가까울수록 그 효과가 크게 된다. 보압 효과의 결과는 금형내 용융 수지의 추가 유입으로 일어난다. 이에 따라 성형품의 무게 및 밀도 증가가 일어나고 분자 배향과 국부 응력을 수반하게 된다. 이 분자 배향과 국부 응력 중 일부는 완화되나 일부는 성형품에 남게 된다. 복굴절은 분자 배향과 응력에 비례하므로 보압이 클수록 복굴절 값이 증가해야 한다. 그러나, Fig. 2에서 알 수 있듯이 24 MPa이상

의 보압에서는 오히려 보압이 증가할수록 복굴절 값이 감소함을 알 수 있다. 그 이유를 추정하기 위하여 금형내 3지점에 압력을 측정할 수 있는 센서를 부착하여 사출 성형 시간에 따른 형내 압력을 측정하였다. Fig. 4는 보압 변화에 따른 노즐과 디스크 중심으로부터 0, 19, 37 mm 지점의 압력 변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. Fig. 4로부터 사출 시작에서 보압이 끝나는 시간은 40초라는 것을 알 수 있다. 또 보압이 끝난 후 15초 뒤 형개(mold opening)가 이루어짐도 알 수 있다. Fig. 5는 48 MPa의 보압으로 성형했을 때의 압력 변화를 각 위치별로 나타낸 것이다. 그림에서 디스크 중심 부분의 압력은 형개가 일어나기 전에 완전히 완화되나 19 mm와 37 mm 부분에서는 압력이 완전히 완화되지 않고 형개시까지 남아 있음을 보여 주고 있다. 이 압력을 잔존 압력이라 한다.^{12,13} 이 잔존 압력은 형개시에 완전히 완화된다. 또 24 MPa이하의 보압에서는 모든 지점에서의 잔존 압력이 형개 이전에 전부 완화되나 24 MPa보다 큰 보압에서는 형개 이전에도 잔존 압력이 남아 있음을 알 수 있다. 이 잔존 압력의 크기는 보압이 증가함에 따라 커지는 것도 알 수 있다. 한편, 형개시에 잔존 압력은 완화되나 이로 인해 부피 팽창이 일어나게 된다. 디스크의 반경 방향은 금형에 의해 제한을 받게 되므로 제한이 없는 두께 방향으로 팽창이 일어나게 되어 두께 변화를 가져오게 된다. Fig. 6은 디스크 중심으로부터 19 mm 떨어진 지점의 보압에 따른 두께 변화를 측정된 것이다. 보압에 따라 두께가 거의 직선적으로 증가함을 보여 주고 있다. 이 디스크 금형의 형내 두께는 1.91 mm였다. 따라서 정확히 말하자면 보압이 24 MPa이하에서는 냉각에 따른 성형품의 수축으로 인해 두께가 1.91 mm보다 작게 되고 24 MPa보다 큰 경우에는 잔존 압력이 형개시에 완화됨으로 인해 두께 증가가 일어난 것이다. 한편, 두께 증가가 일어나면 반경 방향의 분자 배향과 잔존 응력이 감소하여 복굴절이 감소하게 될 것이다. 이와 같은 복굴절 감소는 두께 증가가 클수록 즉, 잔존 압력이 클수록 더 심하게 일어날 것이다. 따라서 24 MPa이상의 보압에서는 보압의 크기가 클수록 두께 평균 복굴절 값이 작아지게 되는 것이다.

Fig. 7은 디스크 중심으로부터 15, 30, 그리고 45 mm 지점의 두께 방향 복굴절을 보압에 따라 나

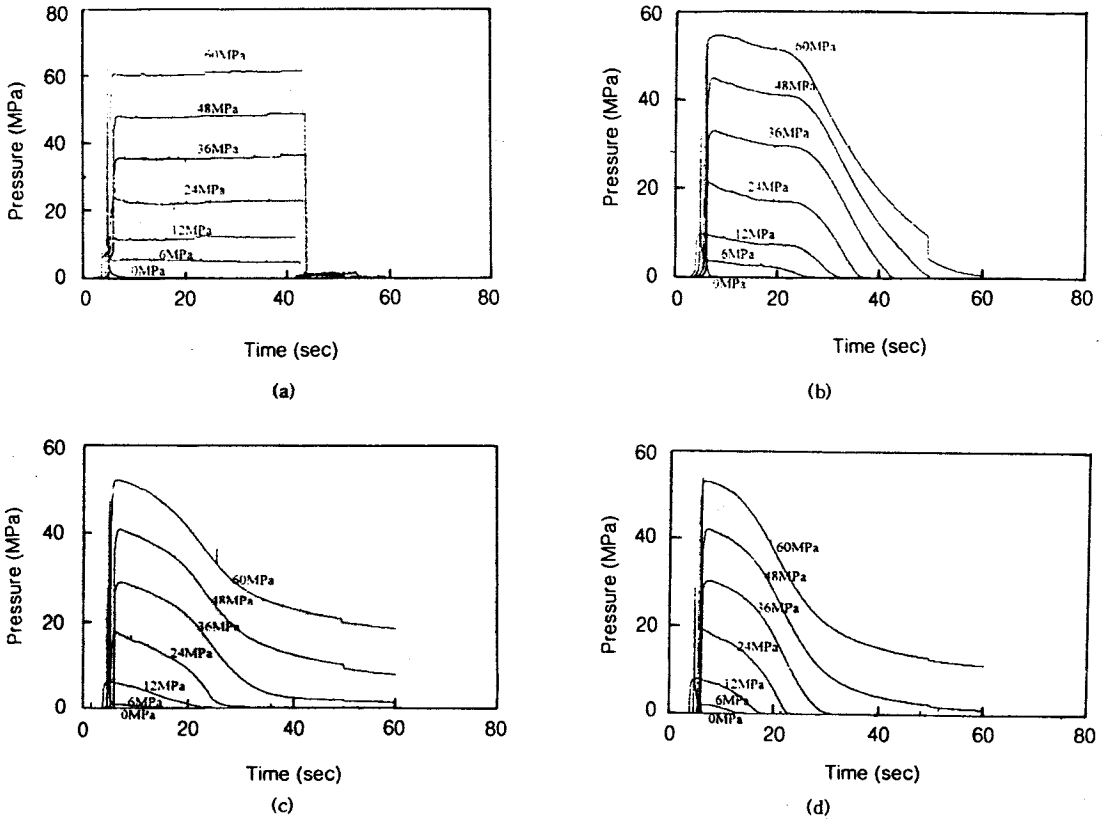


Figure 4. The typical injection molding pressure patterns with various packing pressure. (a) nozzle, (b) 0 mm, (c) 19 mm, and (d) 37 mm.

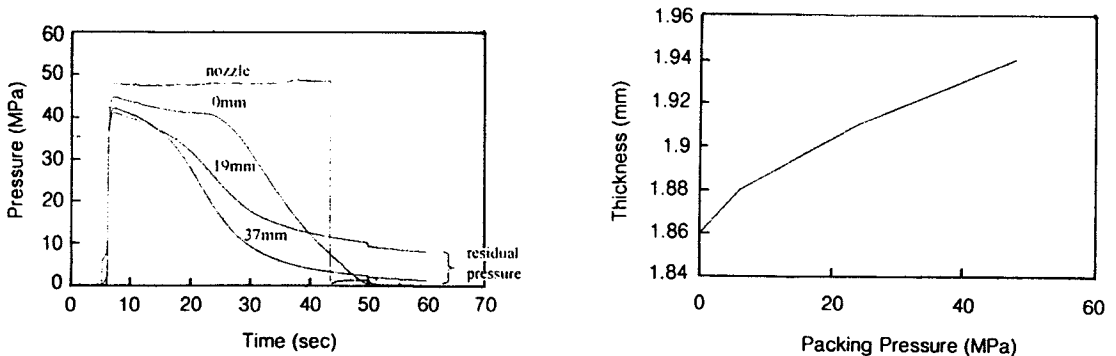


Figure 5. The pressure patterns of 48 MPa packing pressure disk at various positions.

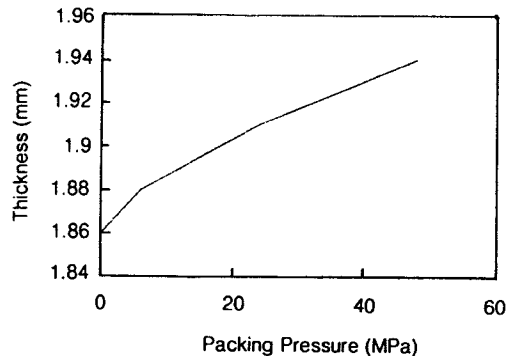


Figure 6. The relationship between disk thickness and packing pressure.

타낸 것이다. x축은 정규화한 두께를 나타낸 것이다. 동일한 두께 지점에서 반경이 증가함에 따라 복굴절이 감소하는 경향은 두께 평균 복굴절과 같음을 알

수 있다. 이는 반경이 증가할수록 냉각속도가 빨라져서 보압이 효과적으로 작용하지 못하기 때문일 것이다. 한편, 15 mm와 30 mm 지점에서는 2개의 피크

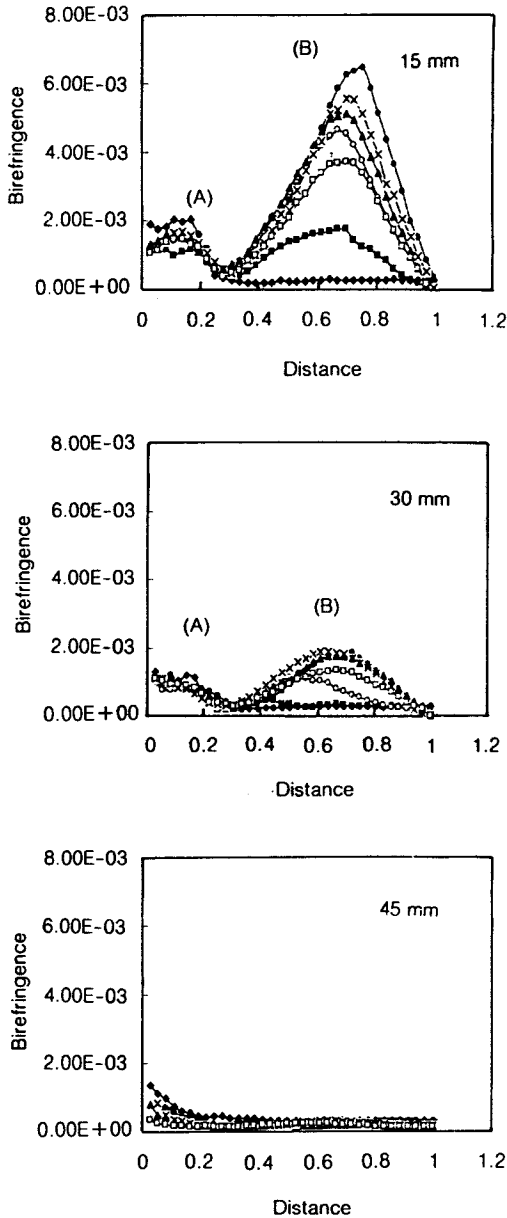


Figure 7. The gapwise birefringence with various packing pressure. ◆ 0 MPa, ■ 6 MPa, ○ 12 MPa, ● 24 MPa, × 36 MPa, ▲ 48 MPa, □ 60 MPa.

를 보이나 45 mm에서는 거의 비슷하게 낮은 복굴절 값만 보였다. 또 15 mm와 30 mm 지점에서 보인 2 개의 피크 중 디스크 표면에 가까운 피크(A)는 보압에 거의 무관하였으나 중심에 가까운 피크(B)는

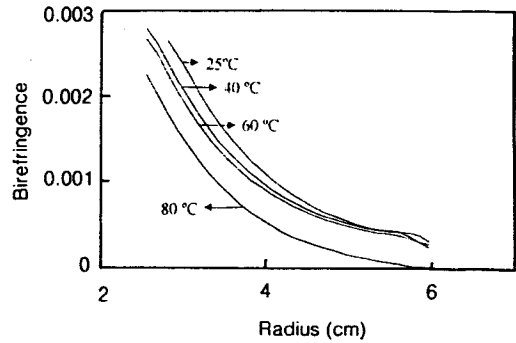


Figure 8. The gapwise-averaged birefringence of PS disks with various cooling temperatures.

보압 변화에 따라 각각 다른 값을 보였다. 따라서 피크(A)는 여러 학자가 지적한 바와 같이 충전시에 발생하는 용융 수지의 흐름에 의한 배향으로 생각된다.^{2,5,7} 반면, 피크(B)는 보압시에 발생하는 용융 수지의 흐름에 의한 배향과 잔존 응력에 의한 것으로 생각된다.²¹ 또 피크(B)가 보압 효과가 가장 클 것으로 생각되는 두께 중심에서 나타나지 않고 표면 쪽으로 이동한 것은 앞서 설명한 배향과 응력의 완화로 인한 것이라 생각된다. 즉, 두께 중심 부분에서 보압 효과는 가장 클 것이나 또한 가장 나중에 냉각이 일어날 것이므로 완화 효과도 가장 클 것이므로 피크가 표면 쪽으로 이동된 것이라 생각된다. 한편, 피크(B)가 24 MPa의 보압에서 가장 최대값을 보이는 것은 두께 평균 복굴절과 동일한 경향이다.

냉각 온도의 효과. 냉각 온도의 영향을 관찰하기 위하여 사용한 냉각수의 온도를 각각 25, 40, 60 및 80 °C로 변화시켜 복굴절 분포 및 압력 변화를 측정하였다. Fig. 8은 냉각 온도 변화에 따른 두께 평균 복굴절을 나타낸 것이다. 냉각 온도 이외의 성형 조건은 수지 온도 230 °C, 사출 속도 40%, 그리고 보압 24 MPa이었다. 그림에서 알 수 있듯이 냉각 온도가 증가할수록 복굴절 값은 감소하였다. 사출 속도와 보압이 일정하므로 충전시와 보압시에 생성된 배향과 응력의 크기는 동일할 것이다.

일반적으로 냉각 온도가 상승하게 되면 금형내로 유입된 용융 수지의 고화되는 시간은 증가하게 된다. 이에 따라 충전시와 보압시에 생성된 배향과 응력이 완화되는 시간도 증가하게 되어 복굴절 값이 감소하

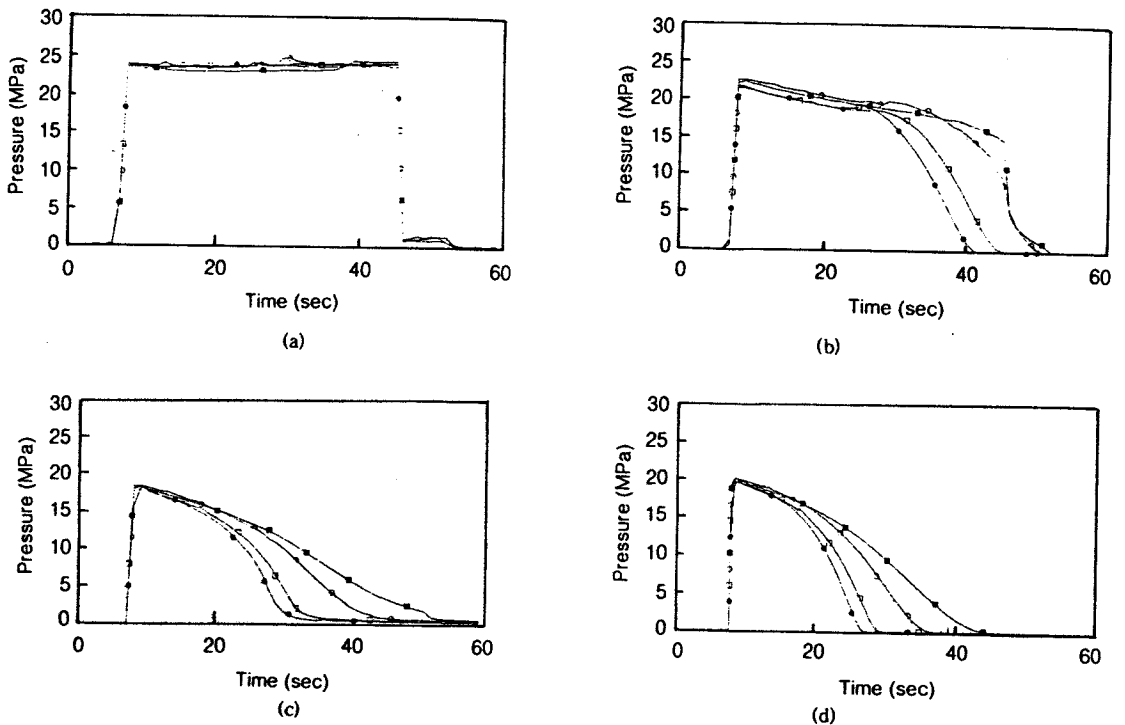


Figure 9. Pressure patterns with various cooling temperature at various positions. (a) nozzle, (b) 0 mm, (c) 19 mm, and (d) 37 mm. ■ : 80 °C, ○ : 60 °C, □ : 40 °C, ● : 25 °C.

게 된다. Fig. 9는 노즐 및 디스크 반경에서 0, 19, 37 mm 지점에서의 냉각 온도 변화에 따른 압력 분포를 성형 시간에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 냉각 온도가 증가함에 따라 금형내 압력이 감소하는 비율이 작아짐을 알 수 있다. 금형내의 압력 감소는 전적으로 용융 수지의 고화로 인한 부피 감소 때문이다. 따라서, 냉각 온도가 증가하면 고화되는 속도가 작아진다는 것을 알 수 있다. 즉, 냉각 온도가 증가하게 되면 배향과 용력 완화 시간이 증가하게 되어 복굴절 값이 감소함을 알 수 있다.

용융 수지 온도의 효과. Fig. 10은 용융 수지 온도를 210, 230, 그리고 250 °C로 변화시켰을 때의 두께 평균 복굴절을 측정된 것이다. 이때의 성형 조건은 보압 24 MPa, 사출 속도 40%, 냉각 온도 40 °C였다. 일반적으로 용융 수지 온도를 변화시켰을 때의 복굴절 분포는 냉각 온도의 변화와 거의 동일한 경향을 보인다. 즉, 수지 온도를 증가함에 따라 복굴절은 감소하게 된다. 이는 냉각 온도 변화 때와 마찬가지로

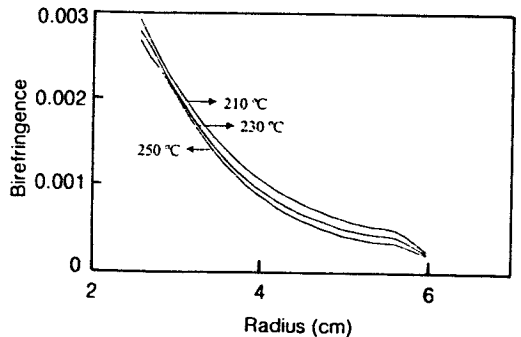


Figure 10. The gapwise-averaged birefringence with various melt temperatures.

로 용융 수지 온도를 증가 시키면 고화되는 시간이 증가하게 되어 더 많은 완화가 일어나기 때문이다. Fig. 11은 용융 수지 온도에 따라 노즐 및 디스크 반경 방향으로 0, 19, 37 mm 지점의 압력 변화를 시간에 따라 나타낸 것이다. 용융 수지 온도가 증가함에 따라 압력이 감소하는 비율이 작아짐을 알 수 있다.

사출 성형 공정이 폴리스티렌 디스크의 물성에 미치는 영향에 대한 연구

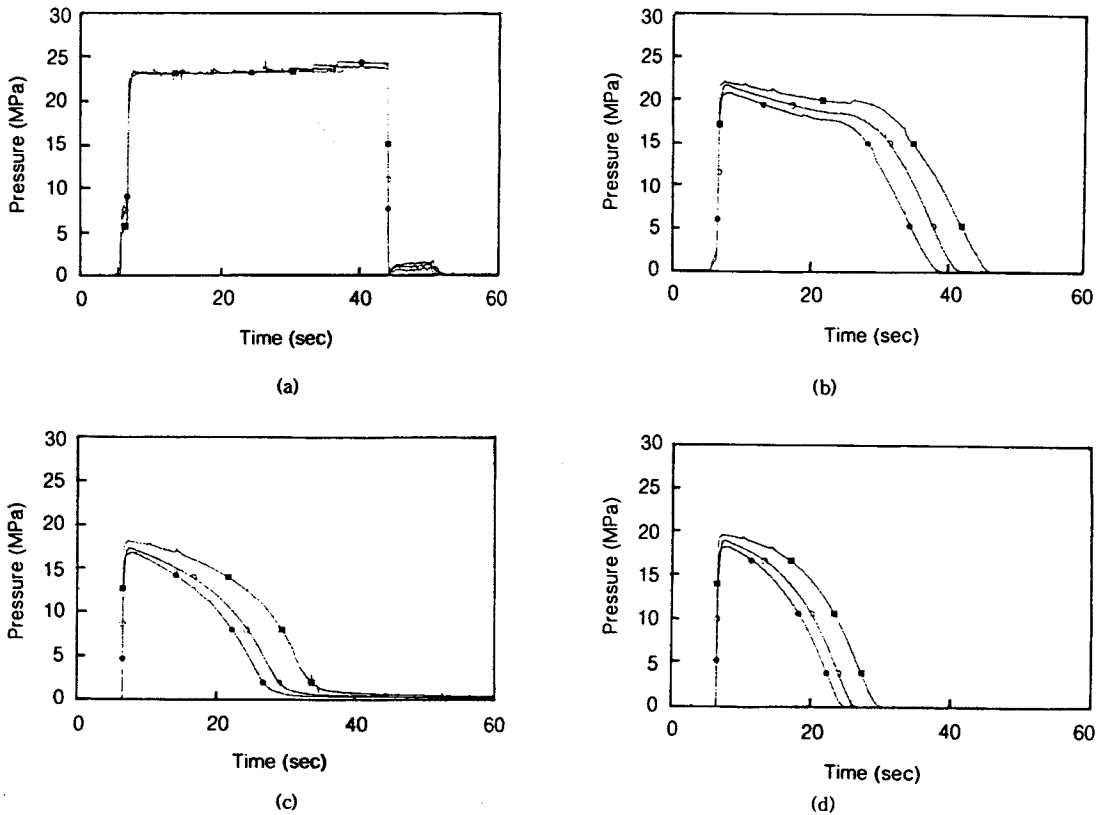


Figure 11. Pressure patterns with various melt temperature at various positions. (a) nozzle, (b) 0 mm, (c) 19 mm, and (d) 37 mm. ■ : 250 °C, ○ : 230 °C, ● : 210 °C.

사출 속도의 효과. Fig. 12는 수지 온도 230 °C, 냉각 온도 40 °C, 보압 230 MPa에서 사출 속도에 따른 두께 평균 복굴절을 측정하였다. 10%의 사출 속도에서 가장 낮은 값을 보이고 20%에서 최대 값 그 뒤 40, 60, 80%에서는 거의 비슷한 값을 보이고 있다. 한편, 각각의 사출 속도에서 압력 분포를 나타낸 것이 Fig. 13이다. Fig. 13에서 사출 속도 10%의 경우 충전이 시작되어 용융 수지가 금형내를 완전히 채우는 시간이 3.5초이며, 20% 경우는 1.4초, 40%는 0.4초 그리고 60, 80%는 약 0.2초임을 알 수 있다. 보압 효과를 고려하지 않는다면 사출 속도가 커짐에 따라 충전시의 용융 수지 선단의 속도도 증가할 것이므로 복굴절도 증가할 것이다. 그러나, Fig. 7에서 알 수 있듯이 두께 평균 복굴절은 충전시 보다 보압시에 생성된 배향 및 용력에 더 영향을 받으므로 보압 효과를 고려하면 사출 속도만 생각 했을 때와는

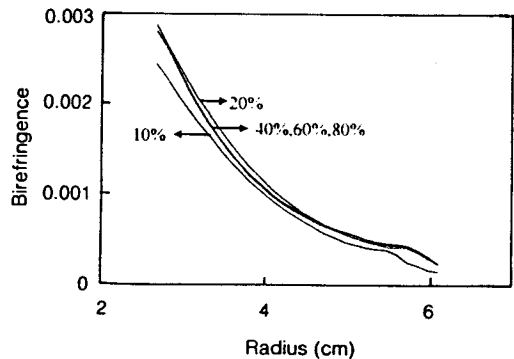


Figure 12. The gapwise averaged birefringence with various injection speed.

다른 복굴절 거동을 보일 것이다.

일반적으로 보압은 용융 수지가 금형내로 유입되어 형내가 완전히 찰 때 시작된다. 따라서 사출 속도 10%

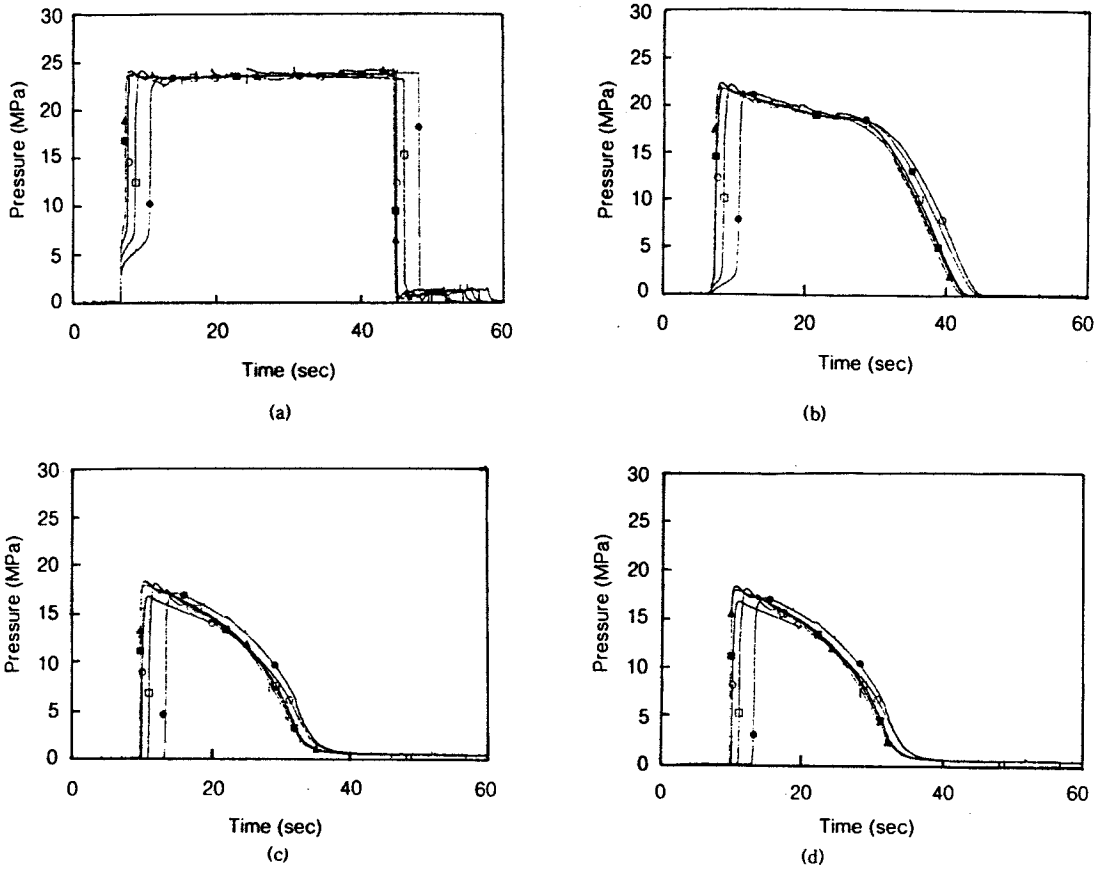


Figure 13. Pressure patterns with various cooling temperature at various positions. (a) nozzle, (b) 0 mm, (c) 19 mm, and (d) 37 mm. ● : 10%, □ : 20%, ○ : 40%, ■ : 60%, ▲ : 80%.

의 경우 충전이 시작된 후 3.5초 후에 보압이 시작되고 20, 40, 60, 80%의 경우는 각각 1.4, 0.4, 0.2, 0.2초 후에 보압이 작용하게 된다. 형내로 유입된 용융 수지는 즉시 냉각이 일어나게 되어, 10%의 사출 속도 경우 보압이 작용하기 전에 이미 3.5초 동안 냉각이 일어나게 된다. 따라서, 보압이 작용할 시점에서는 이미 고화가 상당히 일어난 후라서 효과적으로 보압이 작용할 수 없게 된다. 반면, 20%의 경우 10% 경우에 비해 냉각 시간(1.4초)이 작게 되어 용융 수지의 고화가 보압이 효과적으로 작용할 수 없을 만큼 진행되지는 않을 것이다. 이 경우, 용융 수지의 온도가 감소되어 앞에서 설명한 바와 마찬가지로 복굴절 값이 증가하게 된다. 즉, 용융 수지의 온도가 낮아지면 배향 및 응력이 완화될 수 있는 시간이 감소되어

복굴절이 증가하게 된다. 한편, 40, 60, 80%의 경우는 충전 시간이 20%보다 더 작게 되어 충전이 끝난 시점의 용융 수지 온도가 높게 되어 복굴절 값이 작게 되며 또한 충전 시간도 비슷하여 거의 동일한 복굴절 분포를 나타내게 된 것으로 생각된다.

결론

사출 성형 공정 조건이 고분자 성형품에 미치는 영향을 연구하기 위하여 대표적인 성형 조건인 사출 속도, 용융 수지 온도, 냉각 온도 및 보압이 폴리스티렌 디스크의 복굴절에 미치는 영향에 대해 조사하였다. 보압의 경우 24 MPa에서 복굴절이 최대값을 보였다. 일반적으로 보압이 증가하면 디스크의 배향 및

응력도 증가하나 잔존 압력도 증가하게 된다. 이 잔존 압력이 형개시에 완화되면서 디스크 두께 증가와 함께 배향 및 응력의 감소도 일어나게 된다. 이로 인해 24 MPa보다 더 큰 보압의 경우에는 보압이 증가할수록 복굴절이 감소하였다. 용융 수지 온도와 냉각 온도의 경우는 온도가 증가할수록 낮은 복굴절 값을 보였다. 이는 온도 증가에 따라 배향과 응력 완화 시간이 증가하기 때문으로 추정되었다. 한편, 사출 속도의 경우는 10%일 경우에 최소값, 20%일 경우에 최대값을 보였다. 40, 60, 80%의 경우는 비슷한 값을 보였다. 이는 사출 시작 시간과 보압 시작 시간의 차로 해석할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. R. L. Ballamn and H. L. Toor, *Modern Plastics*, **41**, 113 (1960).
2. J. L. S.Wales, Ir J. van Leeuwen, and R. van der Vijgh, *Polym. Eng. Sci.*, **12**, 358 (1972).
3. Z. Tadmor, *J. Appl. Polym. Sci.*, **18**,1753 (1974).
4. J. F. Stevenson, A. Galskoy, K. K. Wang, I Chen, and D. H. Reber, *Polym. Eng. Sci.*, **17**, 706 (1977).
5. M. R. Kamal. and V. Tan, *Polym. Eng. Sci.*, **19**, 558 (1979).
6. L. C. E. Struik, *Polym. Eng. Sci.*, **18**, 799 (1978).
7. A. I. Isayev, *Polym. Eng. Sci.*, **23**, 271(1983).
8. S. M. Lee, J. de la Vega, and D. C. Bogue, *J. Appl. Polym. Sci.*, **31**, 2791 (1986).
9. K. K. Kabanemi and M. J. Crochet, *Intern. Polym. Process.*, **7**, 60 (1992).
10. C. H. V. Hastenberg, P. C. Wildervanck, A. J. H. Leenen, and G. G. J. Schennink, *Polym. Eng. Sci.*, **32**, 506 (1992).
11. K. M. B. Jansen, *Intern. Polym. Process.*, **9**, 82 (1994).
12. J. Greener, *Polym. Eng. Sci.*, **26**, 534 (1986).
13. J. Greener, *Polym. Eng. Sci.*, **26**, 886 (1986).
14. M. Takeshima and N. Funakashi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **32**, 3457 (1986).
15. P. G. Lafleur and M. R. Kamal, *Polym. Eng. Sci.*, **26**, 92 (1986).
16. V. Wang and C. Hiever, *Antec88*, 290 (1988).
17. Y. Sjonell, B. Terselius, J. Fredrik, and J. F. Jansson, *Polym. Eng. Sci.*, **35**, 950 (1995).
18. R. W. Friedl, *Intern. Polym. Process.*, **11**, 373 (1996).
19. Private data.
20. A. A. M. Flaman, *Polym. Eng. Sci.*, **33**, 193 (1993).
21. K. H. Yoon and K. K. Wang, *Antec91*, 333 (1991).