

# Center-gated 디스크에 대한 사출/압축 성형공정의 수치적 모델링 (2) — 압축공정의 영향 —

김일환\* · 박성진\* · 정성택\* · 권태헌\*

(1997년 2월 1일 접수)

## Numerical Modeling of Injection/Compression Molding for Center-gated Disk (Part II) — Effect of Compression Stage —

Ilhwan Kim, Seong Jin Park, Seong Taek Chung and Tai Hun Kwon

**Key Words :** Center-gated Disk (Center-gated 디스크), Injection/Compression Molding (사출/압축 성형공정), Compression Stage (압축공정)

### Abstract

In the accompanying paper, Part I, we have presented the physical modeling and the associated numerical analysis of injection molding process with a compressible viscoelastic fluid model. In Part II, the effects of compression stage in the injection/compression molding process are presented. Numerical results showed that the injection/compression molding process reduced birefringence as compared with the injection molding process. In this respect, one can conclude that the injection/compression molding process is more suitable for manufacturing the precise optical products than the injection molding process. In the distribution of birefringence, the effect of packing procedure in injection/compression molding process was found to be similar to that in injection molding process. From the numerical results, we found that birefringence becomes smaller as the melt temperature gets higher and the closing velocity of the mold gets smaller with the flow rate and the mold temperature affecting the birefringence insignificantly. As far as the distribution of density is concerned, the flow rate, the melt temperature, and the closing velocity of the mold had insignificant effect on the distribution of density in comparison with the mold temperature.

### 1. 서 론

본 논문의 (1)에서는 압축성 점탄성유체 모델을 도입한 사출성형공정의 모델링과 수치해석에 관하

\*회원, 포항공과대학교 기계공학과

여 기술하였다. 그런데 정밀 광학 제품의 제조를 위해서 최근에 이르러서 기존의 사출성형공정 대신에 사출후 압축공정이 수반되는 사출/압축 성형공정이 여러가지 장점때문에 정밀 사출 제품에 도입되고 있는데, 사출과 압축의 최적 조합조건을 아직도 잘 모르고 있어 Trial-and-Error법에 의해 성

형조건을 결정하고 있는 형편이다. 따라서 사출/압축 성형공정의 과학적 설계를 위해서는 사출후 압축공정이 미치는 영향을 이해하는 일은 매우 중요하다. 권태현 등은 center-gated 디스크에 Leonov 모델을 적용하여 사출공정 및 사출/압축후 디스크에 존재하는 복굴절분포에 대하여 연구하였다.<sup>(1,2)</sup> 한편, 기존의 사출성형공정대신 사출후 압축공정이 수반되는 사출/압축 성형공정에 대한 연구도 Yang, S. Y. and Ke, M. Z.에 의하여 수행된 바 있다.<sup>(3,4)</sup> 본 연구에서는 논문 (1)에서 기술된 물리적 모델을 바탕으로 압축과정에서의 모델링을 첨가하여 물리적 모델링을 개발하였고, 우선적으로 간단한 형상으로서 CD, DVD와 같은 center-gated 디스크에 대한 사출/압축 성형공정에 적용하기 위하여 유한차분법을 사용하여 수치해석 시스템을 개발하였다. 개발된 수치해석 시스템을 이용하여 사출/압축 성형공정조건이 복굴절 및 밀도분포에 미치는 영향에 대해서도 연구하였다.

## 2. 이 론

### 2.1 수치적 모델링

사출후 압축공정이 수반되는 사출/압축 성형공정의 충전과정은 일정한 유량으로 충전되는 사출공정, 금형을 움직여 충전시키는 압축공정의 두 가지 공정으로 이루어진다. 사출공정에 관해서는 논문 (1)에서 기술된 지배방정식이 그대로 적용되지만, 압축공정에 관해서는 약간의 차이점이 발생하는데 아래에 기술하겠다.

사출 충전이후 압축에 의한 충전공정에서는 Fig.

1에서 보는 바와 같이 유량( $Q$ )이 금형의 단면속도( $v_c$ )와 다음과 같은 관계가 있음을 알 수 있다.

$$Q = \pi r^2 v_c \quad (1)$$

즉, 논문 (1)에서 기술된 사출성형공정에서 식 (23)과 식 (24)가 각각 다음과 같이 된다.

$$\int_0^b v_r(r, z) dz = \frac{rv_c}{4} \quad (2)$$

$$\Delta(r) = \frac{1}{S} \left[ \frac{rv_c}{4} - \sum_{k=1}^N 2\mu_k \left\{ \int_0^b \frac{z}{\eta_{0S}} C_{zr,k} dz - \int_0^b \frac{b^2 - z^2}{2\eta_{0S}} \frac{\partial C_{zr,k}}{\partial r} dz \right\} \right] \quad (3)$$

그리고, 압축공정에서 유동선단의 시간간격( $\Delta t_{adv}$ )과 금형의 새로운 두께( $b_{new}$ )는 Fig. 1로부터 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta t_{adv} = \frac{2b_{pre}}{v_c} \left[ 1 - \left( \frac{r_{pre}}{r_{new}} \right)^2 \right] \quad (4)$$

$$b_{new} = b_{pre} - \frac{v_c \Delta t_{adv}}{2} \quad (5)$$

여기서,  $r_{pre}$ 와  $r_{new}$ 는 각각 전 시간단계에서의와 새로운 시간에서 충전된 반경을 뜻한다.

위의 차이점을 제외하고는 모든 물리적 모델링 및 지배방정식은 논문 (1)에 기술되었던 바와 같다.

### 2.2 해석순서

사출후 압축공정이 수반되는 사출/압축 성형공

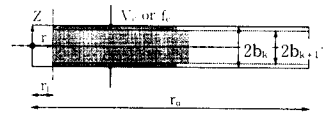
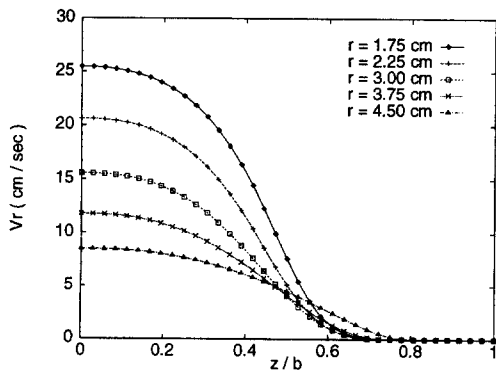
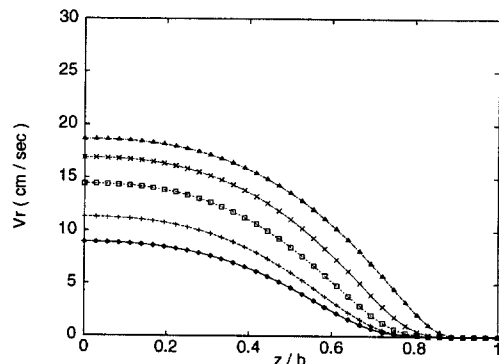


Fig. 1 Schematic diagram of cavity for compression process.



(a) In injection molding process  
( $t=0.678$  sec)



(b) In injection/compression molding process  
( $t=0.924$  sec)

Fig. 2 Gapwise distribution of velocity  $v_r$ , at various radial locations at the end of filling.

정을 해석하기 위하여 논문 (1)의 Fig. 1과 같은 간단한 형상에 대해서 유한차분법을 이용하여 해석 시스템을 개발하였고, 논문 (1)의 Fig. 2에 제시된 유한차분 격자에서 해를 구하였다. 사출/압축 성형 공정의 충전과정 해석은 다음과 같은 순서로 구하였다.

(1) 입구에서  $v_r(r_i, z)$ 과  $\bar{c}_k(r_i, z)$ 를 부여한다.

(2) 논문 (1)에서 기술된 방법으로 사출공정중의 수치 모사를 수행한다.

(3) 식 (4)와 식 (5)를 사용하여 유동선단의 시간간격( $\Delta t_{adv}$ )과 금형의 새로운 두께( $b_{new}$ )를 각각 구한다.

(4) 유동선단을 시간간격( $\Delta t_{adv}$ )에 대하여 전진시키고, 시간  $t = t_{prev} + \Delta t_{adv}$ 에서  $\bar{c}_k(r, z)$ 를

논문 (1)의 식 (26)~식 (30)으로부터 4차 Runge-Kutta method를 써서 구한다.

(5) 논문 (1)의 식 (4)를 사용하여 온도분포  $T(r, z)$ 를 구한다.

(6) 논문 (1)의 식 (26)~식 (30)에서  $\bar{c}_k(r, z)$ 를 4차 Runge-Kutta method를 써서 구한다.

(7) 식 (3)을 사용하여  $\Lambda(r)$ 을 구한다.

(8) 논문 (1)의 식 (22)를 사용하여  $v_r(r, z)$ 을 구한다.

(9) 논문 (1)의 식 (21)을 사용하여  $\partial v_r / \partial z(r, z)$ 를 구한다.

(10) 논문 (1)의 식 (13)~식 (17)을 사용하여  $\rho(r, z)$ 를 구한다.

(11) 금형의 내부 공간이 다 채워질 때까지 식 (5)를 사용하여 금형의 새로운 두께( $b_{new}$ )를 구하고 (6)~(10)을 반복한다.

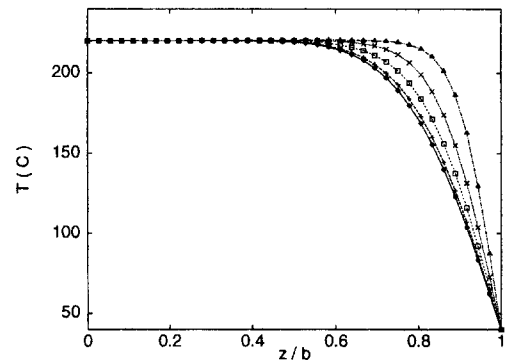
한편, 충전과정이 끝난 후 보압과정 및 냉각과정의 해석은 논문 (1)에서 기술된 보압과정 및 냉각과정의 해석과 동일하다.

### 3. 결과 및 고찰

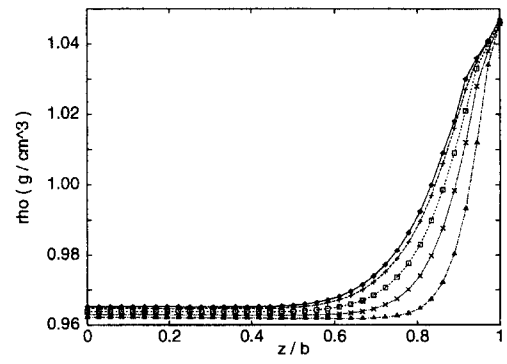
#### 3.1 사출/압축 성형공정에 대한 수치해석

사출후 압축공정이 수반되는 사출/압축 성형공정(초기의 두께(2b) 4.55 mm로  $r=3.50$  cm까지, 유량(Q) 23.8 cm<sup>3</sup>/sec로 부분적으로 충전시킨 후에 금형의 단면속도( $v_c$ ) 1.0 cm/sec의 압축공정을 통해 완전히 충전한 경우)에 대한 수치해석결과를 주요 단계별로 Fig. 2(b)부터 Fig. 8까지 제시하였

다. 이 때 보압은 16.5 MPa이고, 보압시간은 6.0 초이다. Fig. 2(b)부터 Fig. 5까지는 충전과정이 끝난 순간의 수치해석결과를 제시하였다. Fig. 2(a)는 사출성형공정(논문 (1)의 Fig. 3~Fig. 5의 경우)에서 충전과정이 끝난 순간, 반경방향으로 다섯 곳에서의 두께방향으로의 속도분포를 보여주고 있고, Fig. 2(b)는 사출/압축 성형공정에서의 속도분포를 비교하여 보여주고 있다. 이 결과들로부터 벽면 근처에서는 이미 재료가 냉각되어 유동이 거의 없음을 알 수 있고, 또한 사출공정(Fig. 2(a))에서는 속도가 반지름이 증가하면서 감소하는 반면에(즉,  $v_r \sim 1/r$ ), 사출/압축 공정(Fig. 2(b))에서는 경향이 반대임을 알 수 있다(즉,  $v_r \sim r$ ). Fig. 3는 온도와 밀도분포를 보여주고 있는데 이들은 사출공정 결과인 논문 (1)의 Fig. 3과 비교해 볼 때 경향이 같음을 알 수 있다. Fig. 4는 전단응력과  $N_1$ 의 분포를 각각 보여주고 있으며, Fig. 5는  $\Delta n$ 의 분포를



(a)



(b)

Fig. 3 Gapwise distribution of temperature T(a) and density  $\rho$ (b) at various radial locations at the end of filling ( $t=0.924$  sec). The meaning of symbols is the same as explained in Fig. 2(a).

보여주고 있다.

Figs. 4~5에서 보여진 바와 같이 벽면근처에서 전단응력,  $N_1$ ,  $\Delta n$ 이 반경이 증가할 수록 증가하고 있는데, 사출공정의 결과인 논문 (1)의 Figs. 4~5와 비교하여 보면 그 경향이 반대임을 알 수 있다. 이러한 근본적인 차이점은 위에서 설명한 속도분포의 차이점에 기인한 것이다. 바로 이러한 차이가 사출/압축 성형공정의 잇점을 설명하고 있다. 즉, 초기의 사출과정중에는 반경이 작은 부위에서 복굴절이 크게 형성되나, 후반의 압축과정에 의해 반경이 큰 부위에서 오히려 복굴절이 커지게 되므로 전 반경구간에 걸쳐 복굴절을 균일하게 하는 경향을 보여주게 되는 것이다. 또한 사출/압축 공정에 의한  $\Delta n$ 이 전반적으로 사출공정의 결과보다 낮음을 알 수 있다.

Fig. 6부터 Fig. 7까지는 보압과정이 끝난 순간의

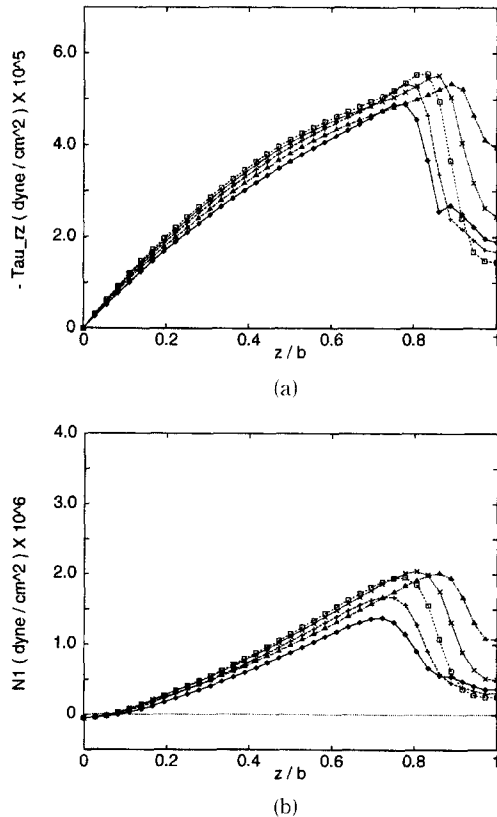


Fig. 4 Gapwise distribution of shear stress  $\tau_{rz}$ (a) and the first normal stress difference  $N_1$ (b) at various radial locations at the end of filling ( $t = 0.924$  sec). The meaning of symbols is the same as explained in Fig. 2(a).

수치해석결과를 제시하였다. Fig. 6은 보압과정이 끝난 순간, 반경방향으로 다섯 곳에서의 두께방향

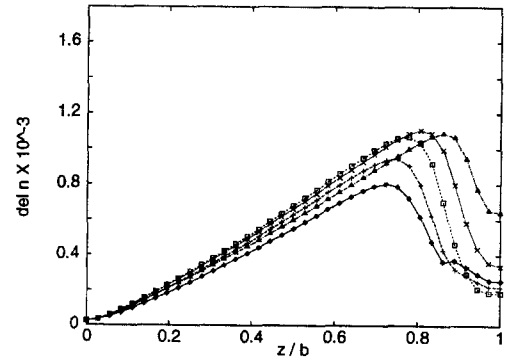


Fig. 5 Gapwise distribution of birefringence  $\Delta n$  at various radial locations at the end of filling ( $t = 0.924$  sec). The meaning of symbols is the same as explained in Fig. 2(a).

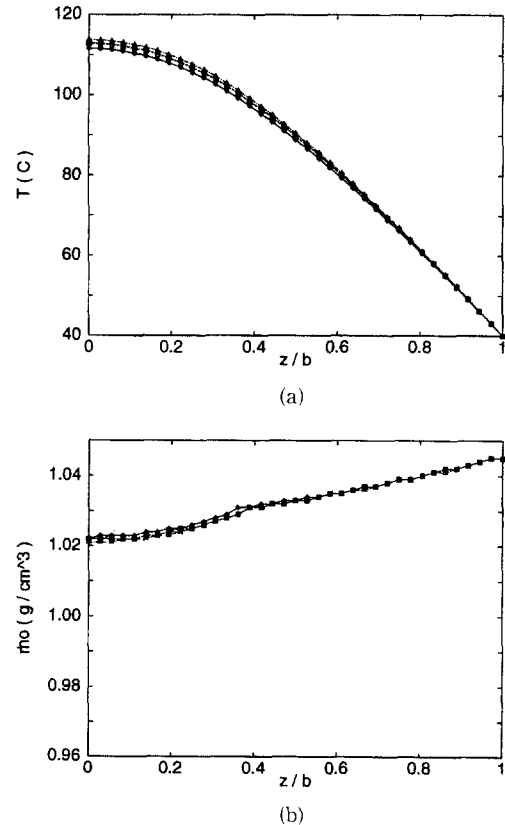


Fig. 6 Gapwise distribution of temperature  $T$ (a) and density  $\rho$ (b) at various radial locations at the end of packing ( $t = 6.886$ sec). The meaning of symbols is the same as explained in Fig. 2(a).

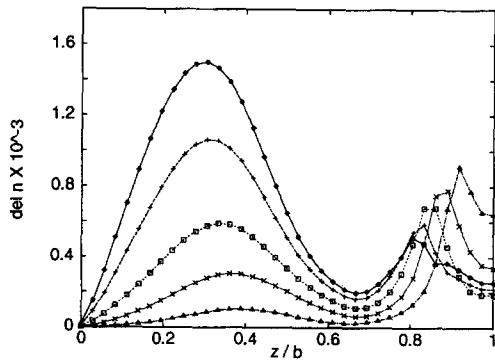
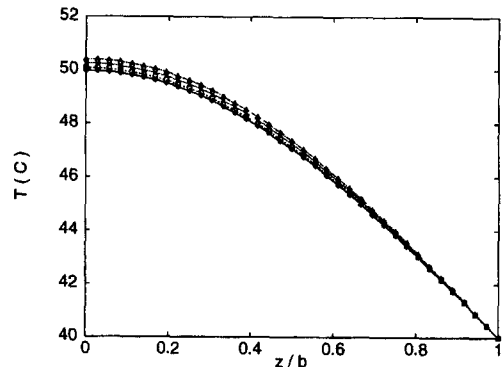


Fig. 7 Gapwise distribution of birefringence  $\Delta n$  at various radial locations at the end of packing ( $t=6.886$  sec). The meaning of symbols is the same as explained in Fig. 2(a).

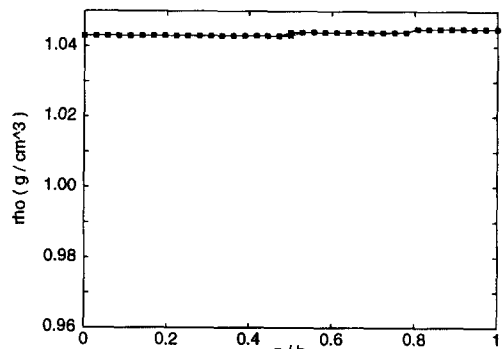
으로의 온도와 밀도분포를 보여주고 있다. 이 때 재료가 냉각되어 유동 및 두께방향으로의 속도변화는 거의 없었고, Fig. 6(b)에서 중심부의 밀도가 충전과정이 끝났을 때보다 증가한 것을 알 수 있다. 사출공정의 결과인 논문 (1)의 Fig. 6과 비교하여 볼 때, 온도 및 밀도분포는 공정에 관계없이 거의 같았다. Fig. 7는  $\Delta n$ 의 분포를 보여주고 있다. 사출/압출 공정의 경우에는 내부에 극대점이 존재하며, 이는 사출공정의 경우인 논문 (1)의 Fig. 7과 같은 경향임을 보여준다. 물론 벽면에서의  $\Delta n$ 의 분포는 Fig. 5에서와 같이 이미 고착되어 있어 반경이 큰 부위에서  $\Delta n$ 이 큰 것으로 남게 된다.

보압과정이 끝난후 냉각과정에서, 제품 내의 모든 위치에서의 온도가  $T_{fz}$ 보다 낮아지는 순간, 반경방향으로 다섯 곳에서의 두께방향으로의 온도 및 밀도분포가 Fig. 8에 제시되어 있고 이들은 사출공정의 결과(논문 (1)의 Fig. 8)와 거의 같았다. 또한 냉각과정후 잔류응력에 의한 복굴절분포는 수치해석결과로부터 Fig. 7와 거의 같았음을 확인하였는데, 이것은 보압과정동안 이미 충분히 냉각되었기 때문이다.

위의 결과들로부터 벽면근처에서는 충전과정에서 이미 재료가 냉각되어 밀도 및 복굴절의 변화가 그 이후에 거의 없는 것을 알 수 있다. 또한, 중심부의 밀도가 보압과정과 냉각과정을 거치면서 충전과정이 끝났을 때보다 역시 증가한 것을 알 수 있는데, 이것은 보압과정과 냉각과정을 거치면서 추가적인 재료의 유입이 있었음을 또한 의미한다.



(a)



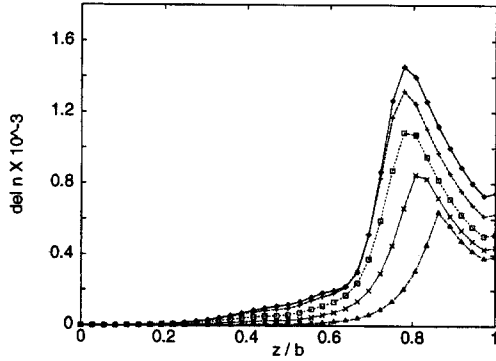
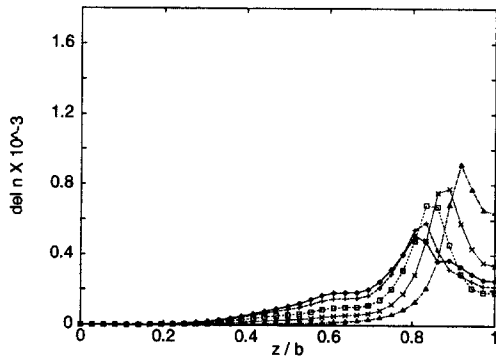
(b)

Fig. 8 Gapwise distribution of temperature  $T$  (a) and density  $\rho$  (b) at various radial locations at the end of cooling ( $t=13.919$  sec). The meaning of symbols is the same as explained in Fig. 2(a).

### 3.2 압축공정이 복굴절 및 밀도에 미치는 영향

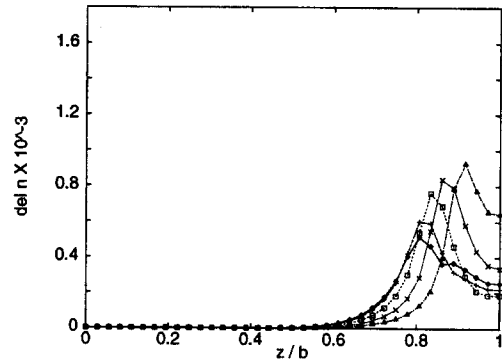
사출후에 수반되는 압축공정이 복굴절 및 밀도에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해, 사출후 압축공정이 수반되지 않는 사출성형공정의 복굴절분포인 논문 (1)의 Fig. 9(b)에 대해 사출후 압축공정이 수반되는 사출/압축 성형공정의 복굴절분포를 Fig. 9에 제시하였다. 즉, 논문 (1)의 Fig. 9(b)는 유량 ( $Q$ )  $23.8 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 로 완전히 충전한 경우의 복굴절분포이고, Fig. 9의 (a)는 초기의 두께(2b)  $2.18 \text{ mm}$ 로  $r=5.00 \text{ cm}$ 까지, 그리고 Fig. 9의 (b)는 초기의 두께(2b)  $4.55 \text{ mm}$ 로  $r=3.50 \text{ cm}$ 까지, 유량 ( $Q$ )  $23.8 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 로 부분적으로 충전시킨 후에 압축공정을 통해 완전히 충전한 경우의 복굴절분포이다. 이 때, 보압은  $16.5 \text{ MPa}$ 이고, 보압시간은  $1.0$  초, 금형의 탈형속도( $v_c$ )는  $1.0 \text{ cm}/\text{sec}$ 로 하였다.

우선 이 결과들로부터 사출후 압축공정이 포함되

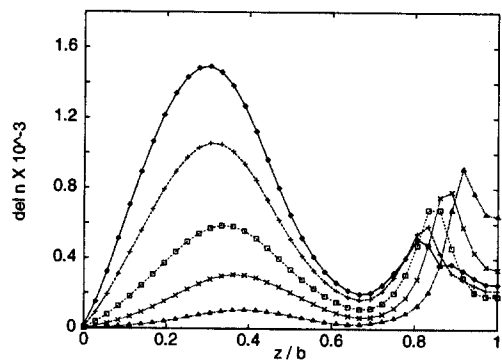
(a) Starting compression at  $r=5.00$  cm(b) Starting compression at  $r=3.50$  cm

**Fig. 9** Gapwise distribution of birefringence  $\Delta n$  at various radial locations at the end of relaxation. The meaning of symbols is the same as explained in Fig. 2(a).

면 사출성형 후의 복굴절 값이 감소하고 그 값은 압축공정이 빨리 시작될수록 (즉, 충전된 반경이 작은 상태에서 압축공정을 도입할수록) 더 많이 감소하게 된다는 것을 알 수 있다. 또한 각각의 반지름 방향 위치에서 최대 복굴절 값이 나타나는 두께 방향의 위치도 점점 벽면근처로 이동하는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 압축공정이 빨리 시작될수록 급형의 초기 두께가 증가함에 따라 두께 방향으로의 속도변화가 작아져서 유동변형 및 복굴절 값이 작아지기 때문이다. 그리고, 압축공정이 수반되지 않는 경우와는 달리 반지름이 증가할수록 복굴절 값이 증가하는 경향을 나타내고 있는데, 이는 사출공정과 압축공정시에 일어나는 유동현상의 차이 때문이다. 즉, 사출공정에서는 중심부의 게이트를 통하여 수지가 유입되기 때문에 중심부에서 유동이 크게 일어나고 반지름이 증가하면서 감소하는 반면에 (즉,  $v_r \sim 1/r$ ), 압축공정에서는 이미 중심부위



(a) No packing



(b) Packing time=6.0 sec

**Fig. 10** Gapwise distribution of birefringence  $\Delta n$  at various radial locations at the end of relaxation : The meaning of symbols is the same as explained in Fig. 2(a).

는 채워진 상태로 거의 유동이 없고 주된 유동현상이 아직 채워지지 않은 부분에서 반지름이 증가하면서 증가하기 때문이다 (즉,  $v_r \sim r$ ). 이러한 결과들로부터 사출/압축 성형공정이 사출성형공정에 비해 복굴절을 더 감소시킴으로써 정밀광학 제품의 제조공정으로 보다 적합함을 알 수 있다.

한편, 복굴절분포와는 달리 사출후에 수반되는 압축공정이 밀도에 미치는 영향은 거의 없음을 확인 하였는데, 이는 사출성형공정과 사출/압축 성형공정의 차이가 밀도변화와는 거리가 먼 (따라서 밀도변화가 무시될 만한) 충전과정에만 국한되기 때문이다.

**3.3 보압과정이 복굴절 및 밀도에 미치는 영향**  
사출후 압축공정이 수반되는 사출/압축 성형공정 (초기의 두께(2b) 4.55 mm로  $r=3.50$  cm까지 유량( $Q$ ) 23.8 cm<sup>3</sup>/sec로 부분적으로 충전시킨 후에

금형의 단협속도( $v_c$ ) 1.0 cm/sec의 압축공정을 통해 완전히 충전한 경우에 있어서 보압과정이 복굴절 및 밀도에 미치는 영향을 알아보기 위해 Fig. 10에 보압과정이 포함되지 않은 경우의 복굴절분포

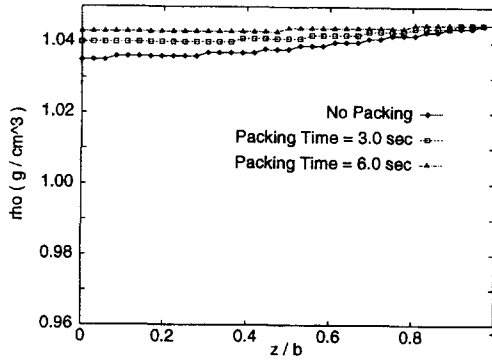
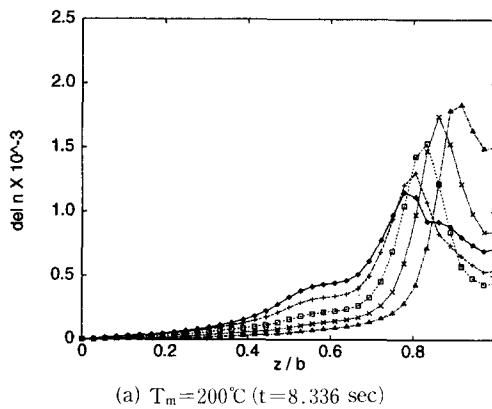
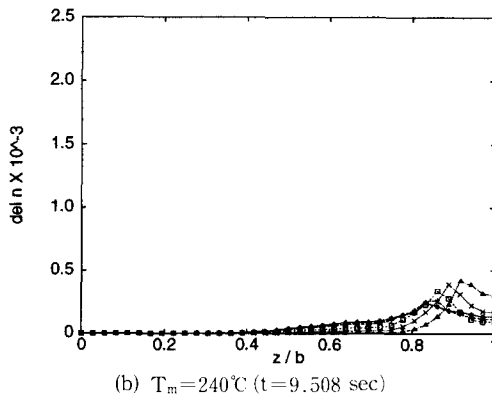


Fig. 11 Effect of packing time on the gapwise distribution of the average density  $\rho$  with respect to radial directions at the end of relaxation.



(a)  $T_m=200^\circ\text{C}$  ( $t=8.336$  sec)



(b)  $T_m=240^\circ\text{C}$  ( $t=9.508$  sec)

Fig. 12 Gapwise distribution of birefringence  $\Delta n$  at the end of relaxation. The meaning of symbols is the same as explained in Fig. 2(a).

및 보압시간이 6.0초인 경우의 복굴절분포를 제시하였고(보압시간이 1.0초인 경우는 이미 보여준 Fig. 9(b)에 해당함), Fig. 11에 보압과정이 포함되지 않은 경우의 평균밀도분포 및 보압시간이 각각 3.0초, 6.0초인 경우의 평균 밀도분포를 제시하였다. 이 결과들로부터 사출/압축 성형에서는 보압과정이 복굴절 및 밀도에 미치는 영향이 압축공정의 포함여부와 관계가 없음을 알 수 있다. 즉, 보압과정중의 추가적인 재료의 유동은 게이트 근처의 중심부에서 두드러져서 안쪽 정점의 경향(Fig. 10)은 사출성형공정에서의 그것(논문 (1)의 Fig. 7과 Fig. 9)과 거의 동일함을 알 수 있다. 즉, 사출후 압축공정이 수반되는 사출/압축 성형공정과 사출후 압축공정이 수반되지 않는 사출성형공정(논문 (1) 참조)에서 보압과정이 미치는 경향은 같음을 알 수 있다.

3.4 공정조건에 따른 복굴절 및 밀도의 변화

사출/압축 성형공정(초기의 두께(2b) 4.55 mm로  $r=3.50$  mm까지 유량( $Q$ )을  $23.8$   $\text{cm}^3/\text{sec}$ 로 부분적으로 충전시킨 후에 금형의 단협속도( $v_c$ ) 1.0 cm/sec의 압축공정을 통해 완전히 충전한 경우) 제품에 대한 공정조건의 영향을 알아보기 위해 논문 (1)에서와 같이 서로 다른 공정조건에 대한 복굴절 및 밀도분포를 고찰하였다.

복굴절분포에 대해서는 유량과 금형의 온도는 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다. 그런데 반하여 Fig. 12는 복굴절분포에 대한 용융 수지온도의 영향이 큰 것을 보여주고 있다. 한편, 유량과 용융 수지온도는 밀도분포에 영향을 미치지 못하나, Fig. 13은 밀도분포에 대한 금형온도의 영향이 큰 것을 보여 주고 있다. 이러한 결과들은 사출후 압축공정이 수반되지 않는 사출성형공정(논문 (1)의 참조)에서의 복굴절 및 밀도분포에 미치는 영향들과 같은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

한편, 사출후 압축공정이 수반되는 사출/압축 성형공정에 있어서 유량, 금형온도, 용융 수지온도뿐만 아니라 금형의 단협속도도 공정조건의 하나가 된다. Fig. 14와  $V_c=1.0$  cm/sec( $t=8.957$  sec)인 경우의 Fig. 9(b)는 이러한 복굴절분포에 대한 금형의 단협 속도의 영향을 보여 주고 있다. 이 결과들로부터 금형의 단협속도가 증가할수록 최대 복굴절 값이 증가하고, 벽면근처에서의 복굴절 값도 증가함을 알 수 있는데, 이는 금형의 단협속도의 증

가에 따라 전단변형률도 증가하기 때문이다. 또한, 금형의 단힘속도도 유량이나 용융 수지온도처럼 밀도분포에는 거의 영향이 없었음을 밝혀준다.

결과적으로 사출후의 복굴절분포가 특히 용융 수지온도, 금형의 단힘속도 등의 공정조건에 따라 달라지는 것을 알 수 있는데, 이는 사출 제품의 광학적 성질이 이러한 공정조건들의 영향을 받는다는 것을 의미한다. 따라서 광학적 성질이 좋은 사출제품의 제조를 위해서는 이러한 공정조건들을 잘 설정하는 것이 중요함을 알 수 있다. 이러한 점에서 본 연구에서 개발된 물리적 모델링 및 수치해석 시스템은 CD나 DVD와 같은 정밀광학 제품의 사출/압축 성형공정의 과학적 설계에 유용할 것으로 믿어진다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 center-gated 디스크의 사출/압축 성형공정에 대한 수치해석을 수행하였다. 비선형 점탄성 유체의 구성방정식으로 Leonov 모델을 사용하였으며, 온도와 압력의 변화에 따른 밀도의 변화를 고려하기 위한 압축성 모델링으로써 Tait 상태방정식을 사용하였다. Center-gated 디스크는 2차원의 간단한 형상이므로 유한차분법을 이용하여 해석 시스템을 개발하였다. 본 연구를 통하여 얻을 수 있었던 결론은 다음과 같다.

(1) 사출/압축 성형공정은 사출후 압축공정이 수반되지 않는 사출성형공정에 비해 복굴절을 더 감소시킴으로써 정밀 광학 제품제조에 보다 적합함을 알 수 있다. 한편, 사출/압축 성형공정과 사출후 압축공정이 수반되지 않는 사출성형공정의 밀도분포는 서로 차이가 없음을 알 수 있다. 즉, 압축공정이 밀도분포에는 영향이 없다는 것이다.

(2) 보압과정이 포함되면 복굴절분포에서 바깥쪽 뿐만 아니라 안쪽에도 또 하나의 정점들이 생겨 제품의 비등방성이 증가함을 알 수 있고, 보압시간이 커짐에 따라 그 값이 점점 증가함을 알 수 있다. 한편, 보압시간이 증가함에 따라 중심부의 밀도값도 점점 증가하는 것을 알 수 있다.

(3) 제품의 복굴절 값은 특히 용융 수지온도와 금형의 단힘속도에 영향을 크게 받으며, 용융 수지온도는 높을수록, 그리고 금형의 단힘속도는 작을수록 복굴절 값이 작아짐을 알 수 있다. 한편, 금형온도는 밀도분포에 영향을 주지만, 유량과 용융

수지온도 및 금형의 단힘속도는 밀도분포와 관계가

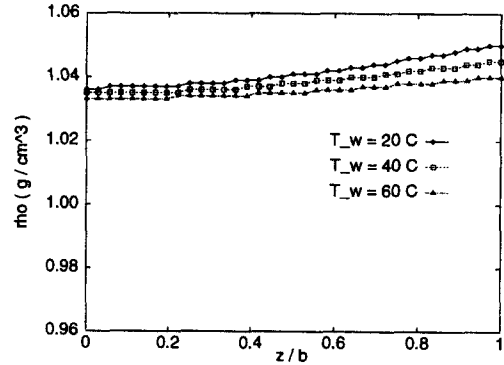
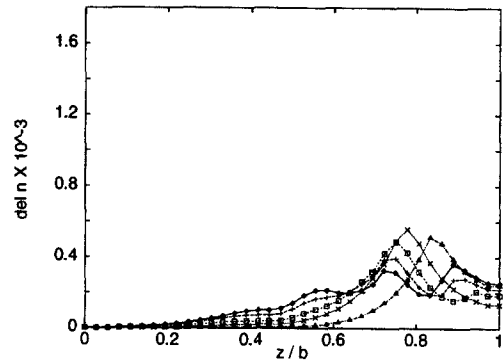
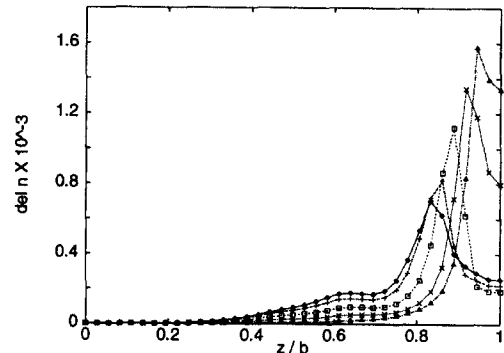


Fig. 13 Effect of mold wall temperature on the gapwise distribution of the average density  $\rho$  with respect to radial direction at the end of relaxation at  $T_w=20^\circ\text{C}$  ( $t=7.953$  sec),  $T_w=40^\circ\text{C}$  ( $t=8.957$  sec) and  $T_w=60^\circ\text{C}$  ( $t=10.545$  sec).



(a)  $V_c=0.25$  cm/sec ( $t=9.720$  sec)



(b)  $V_c=3.0$  cm/sec ( $t=8.788$  sec)

Fig. 14 Gapwise distribution of birefringence  $\Delta n$  at the end of relaxation with the meaning of symbols is the same as explained in Fig. 2(a).



없음을 알 수 있다.

## 후 기

이 연구는 '94년도 한국과학재단 연구지원에 의한 결과(과제번호: 94-0200-04-3)로서 관계 당국에 감사드리고, 한편 LG전자(주)의 산학협동 연구지원과 기술적 논의에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) 권태현, 윤경환, 김승우, 1995, "정밀 플라스틱 광학 제품 제조를 위한 정밀 사출성형 기술에 관한 연구," 한국과학재단 제1차 중간보고서.
- (2) 권태현, 윤경환, 김승우, 1996, "정밀 플라스틱 광학 제품제조를 위한 정밀 사출성형 기술에 관한 연구," 한국과학재단 제2차 중간보고서.
- (3) Yang, S. Y. and Ke, M. Z., 1995, "Influence of Processing on Quality of Injection-Compression-Molded Disks," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 35, No. 15, pp. 1206~1212.
- (4) Yang, S. Y. and Ke, M. Z., 1995, "Experimental Study on the Effects of Adding Compression to Injection Molding Process," *Advances in Polymer Technology*, Vol. 14, No. 1, pp. 15~24.
- (5) Kennedy, 1995, "Flow Analysis of Injection Molds," *Hanser Publishers*, New York, Chapter 5~6.
- (6) Chiang, H. H., Hieber, N. and Wang, K. K., 1991, "A United Simulation of the Filling and Postfilling Stages in Injection Molding, Part I: Formulation and Part II: Experimental Verification" *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 31, pp. 116~124 and pp. 125~139.
- (7) Chiang, H. H., Himasakhar, K., Santhanam, N. and Wang, K. K., 1993, "Integrated Simulation of Fluid Flow and Heat Transfer in Injection Molding for the Prediction of Shrinkage and Warpage," *J. Eng. Mat. and Tech.*, Vol. 115, pp. 37~47.
- (8) Isayev, A. I., 1987, *Injection and Compression Molding Fundamentals*, Marcel Dekker Inc., New York.
- (9) Famili, N. and Isayev, A. I., 1991, "Viscoelastic Modeling of Injection Molding of a Strip and a Center Gated Disk-Cavity," *Modeling of Polymer Processing*, Hanser Publisher.
- (10) Chen, B. S. and Liu, W. H., "Numerical Simulation of the Post-Filling Stage in Injection Molding with a Two-Phase Model," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 34, No. 10, pp. 835~846.
- (11) White, J. L., 1990, "Principles of Polymer Engineering Rheology," Polymer Engineering Center, Department of Polymer Engineering, The University of Arkon.
- (12) Matsumoto, T. and Bogue, D.C., 1977, "Stress Birefringence in Amorphous Polymers under Nonisothermal Conditions" *J. Polym. Sci. Polym. Phys. Ed.*, Vol. 15, No. 9, pp. 1663.