

# 사각판 사출성형품의 최종무게 예측에 관한 연구

이창훈\*, 윤경환\*\*

## A Study on the Prediction of the Final Weight for the Injection Molded Rectangular Plates

Chang-Hoon Lee\* and Kyunghwan Yoon\*\*

### ABSTRACT

In the present paper the effect of various process conditions on the final weight of injection molded rectangular plates has been investigated in detail. The main parameters involved in the simulations were melt temperature, mold temperature, injection speed and packing pressure. The dimensions of the plate used were 100mm long, 2mm thick and 20mm of width and polystyrene was used as a molding material. The shear viscosity of the polymeric material was treated as a function of shear rate, temperature and pressure through the whole processes including packing and cooling stages. By increasing a packing pressure the final weight of sample increased linearly. Furthermore, as the melt temperature, the mold temperature and the injection speed increased, the final weight of the injection molded plate decreased within the molding window.

**Key Words :** Polymetric Materials(고분자재료), Injection Molding(사출성형), Filling Stage(충전단계), Packing Stage(보압단계), Cooling Stage(냉각단계), Weight Prediction(무게예측)

### 1. 서론

현재 가장 널리 쓰이고 있는 플라스틱 가공법 중의 하나인 사출성형(Injection Molding)기술은 복잡한 형상의 제품을 짧은 시간에 연속적으로 생산할 수 있는 공정으로서 고분자 재료인 플라스틱(열경화성 및 열가소성)수지를 매개체로 한다. 사출성형은 실린더에서 수지를 용융시켜 스크류의 속도제어에 의해 높은 압력으로 일정량의

수지를 금형의 캐비티 안으로 사출하는 충전과정(Filling Phase)과 금형내에 유입된 수지의 열수축에 의한 체적감소를 보상하기 위하여 압력을 가하여 추가의 용융수지를 유입시키는 보압과정(Packing Phase) 및 금형내에 유입된 용융수지를 고화(Solidification)시키는 냉각과정(Cooling Phase)으로 전 공정을 크게 구분할 수 있다.

1930년대 말기부터 수지 및 성형 기술의 발전을 기반으로 1950년대 초 Gilmore와 Spencer<sup>(1),(2)</sup>의 연구를 시

\* 단국대학교 대학원, 현 대우전자  
 \*\* 단국대학교 기계공학과

작으로 지난 수십년간에 걸쳐 실험 및 수치해석적 방법을 통해 전공정을 과학적으로 이해하는데 많은 발전을 이루어 왔다. Kamal과 Kenig<sup>(3)</sup>가 수지의 충전과정을 유한차분법으로 모사한 것을 기점으로 최근에는 복잡한 형상의 성형품에도 적용할 수 있는 2차원적 평면상에는 유한요소법을 두께방향으로는 유한차분법을 적용하여 충전 및 보압의 전 과정을 모사하는 것이 널리 쓰이고 있다.<sup>(4),(5)</sup> 한편, 1980년대에 들어서부터는 Isayev와 Hieber<sup>(6)</sup>의 고분자 수지의 점탄성적 성질을 고려한 Leonov모델<sup>(7)</sup>을 충전과정 해석에 적용을 시작으로 Isayev<sup>(8)</sup>가 보압과정까지 해석을 확장하고 Kamal<sup>(9)</sup>등은 White-Metzner의 점탄성 방정식을 적용하여 해석하는 등 비탄성적 가정의 한계를 벗어나 잔류응력이나 수지의 방향성 예측이 가능하게 되어 한층 더 발전된 형태의 접근이 시도되고 있다. 그러나, 아직도 각 성형조건에 변화가 최종 사출품에 미치는 영향에 관한 연구는 계속되고 있으며 지속적으로 개선되고 있는 상황이다.

이에, 본 논문에서는 1차원 유동을 고려하여 용융된 폴리스티렌 수지가 가장 간단한 형상인 사각판형 금형(길이 : 100 mm, 두께 : 2.0 mm, 폭 : 20 mm)의 캐비티안으로 유입될 때 충전단계와 보압단계의 각각의 시간에 대한 질량변화를 성형조건, 즉, 보압의 크기, 용융수지의 온도, 금형벽면의 온도 및 사출속도를 성형 온도우내에서 변화시켜가며 수치해석적으로 계산하여 예측하였으며 또한 각 시간에 따라 유입된 수지의 양을 관찰함으로써 성형 조건의 변화가 최종 사출성형품의 무게에 미치는 영향을 연구하였다. 이 결과는 실제 사출품의 최종 무게를 예측할 수 있는 중요한 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 지배 방정식 및 경계조건

압축성, 비등온 유체의 유동에 관한 지배방정식은 다음과 같은 (1) - (4)의 기본 형태를 사용하였으며

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = -\nabla p - \nabla \cdot \underline{\underline{\tau}} \quad (2)$$

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T \right) = k \nabla^2 T + \phi \quad (3)$$

$$\underline{\underline{\tau}} = \eta_o s \{ \nabla \vec{v} + (\nabla \vec{v})^T \} + \sum_{k=1}^N \frac{\eta_k}{\theta_k} \underline{\underline{C}}_k \quad (4)$$

여기에서 (1)은 질량 보존, (2)는 운동량 보존, (3)은 에너지 보존법칙을 각각 나타낸 것으로  $\vec{v}$ 는 속도 벡터,  $\underline{\underline{\tau}}$ 는 (4)식의 Leonov의 모델로 표시한 응력 텐서,  $p$ 는 압력,  $\underline{\underline{C}}_k$ 는 탄성 변형을 텐서( elastic Finger strain tensor),  $\phi$ 는 분산함수(dissipation function),  $\theta_k(T)$ 와  $\eta_k(T)$ 는 각각 k번째 모드의 이완 시간(relaxation time) 및 점도(shear viscosity)를 주어진 온도 T에 대해 표현한 것이며  $\rho, p, C_p, k$ 는 각각 밀도, 압력, 정압 비열, 열전도계수를 나타낸 것이다.

위의 지배 방정식은 직사각형 캐비티에 적용하기 위하여 다음과 같이 단순화하여 사용하였으며

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \eta \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \eta \dot{\gamma}^2 \quad (7)$$

여기에서  $u$ 는 유동방향의 속도로 앞의 식 (2)에서는 레이놀즈수 ( $Re = \rho U h / \eta$ )와 사각판형의 두께대 길이비 ( $h/L$ )가 매우 작기 때문에 관성력의 영향을 무시하여 (6)의 형태로 나타낼 수 있으며 사용되어진  $\eta$ 는 전단 점도(Shear Viscosity)이다. 그리고, 식(7)의 오른쪽의 마지막 항은 점성마찰열(Viscous Heating) 항이고  $\dot{\gamma}$ 는 전단변형률(shear strain rate)을 나타낸다.

그리고, 본 연구에 적용된 좌표계는 Fig. 1과 같이  $x$ 를 유동의 방향으로  $y$ 를 캐비티의 중심으로부터 두께 방향으로  $z$ 를 이들에 수직한 넓이 방향으로 정하였으며 사각판의 길이를  $L$ , 두께는  $2h$ 로 나타내어  $h$ 를 반두께(half gap thickness)로 정하였다.

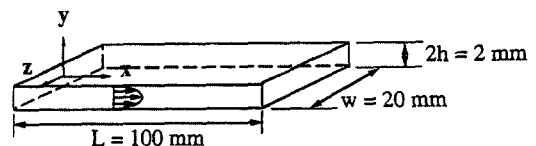


Fig. 1 The coordinate systems and the dimensions of a plate used.

한편, Fig 1.에서와 같이 좌표계에 대한 경계조건은 양벽면에서의 착벽조건(no-slip condition)인 (8)과 캐비티중앙에서의 속도구배와 온도구배가 0인 대칭조건 (9) 그리고, 금형의 양벽면에서의 등온조건(10)을 적용하였다.

$$u = v = 0 \quad \text{at } y = \pm h \quad (8)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0 \quad \text{at } y = 0 \quad (9)$$

$$T = T_w \quad \text{at } y = \pm h \quad (10)$$

여기서,  $h$ 는 사각판 금형의 반두께(Half-Gap Thickness)를  $T_w$ 는 금형의 벽면온도를 나타내며 등온으로 가정하였다.

한편, 유동 방향의 임의의 위치  $x$ 에서의 축방향으로의 질량유동을  $\dot{m}_x$ 는 다음과 같이 정의할 수 있으며

$$\dot{m}_x = 2W \int_0^h \rho u \, dy = 2W S_{rect} \Lambda_x \quad (11)$$

식 (11)에서  $W$ 는 사용되어진 금형의 폭을,  $S_{rect}$ 는 온도와 압력의 함수로서 유동성(Fluidity)을  $\Lambda_x$ 는 유동방향의 압력 기울기를 각각 나타낸다.

또, 식 (5)의 양변에  $2W$ 를 곱하고 두께 방향( $y$ 축)으로 0에서부터  $h$ 까지 적분을 하여 질량유동을  $\dot{m}_x$ 의 항으로 표현하면

$$2W \frac{\partial}{\partial t} \int_0^h \rho \, dy + \frac{\partial}{\partial x} (\dot{m}_x) = 0 \quad (12)$$

와 같이 쓰여질 수 있으며 식 (12)를 사각판의 입구에서 시간에 따라 적분하여 최종 제품의 무게를 구한다.

### 3. 성형조건 및 수치 해석 기법

#### 3.1 성형 조건

본 연구에서 사용된 재료는 폴리스티렌 (Polystyrene, Dow Styron 615APR)으로서 실제 성형시 이미 사용하여 경험에 의해 잘 알려진 용융수지의 온도가 230°C, 금형벽면의 온도는 40°C, 사출속도는 20 cc/sec인 case 1을 기준 사출조건으로 삼아 성형 윈도우 내에서 변화시켰으며 각각의 경우에 대한 사출조건은 Table 1과 같다. 한편, Table 1에는 사출 완료시 사각판 입구의 압력을 참고로 보였다. 이 자료는 사출 완료후 보압을 가할 때 역유동(back flow)이 생기지 않는 조건을 줄 때 유용한 자료로 사용되었다. 각 조건에서 사출 완료 후 보압이 사각판 입구에서 일정하게 걸리며 입구에서의 온도도 용융 수지의 온도(melt temperature)로 일정하다는 이상적인 조건을 사용하였다. 이는 스프루 및 게이트에서 발생하는 부가적인 압력강하 및 고화과정을 포함시키지 않기 위해 필수조건이었다.

Table 1. Molding conditions for different cases.

| Case No. | Melt Temperature (°C) | Mold temperature (°C) | Injection Rate (cm <sup>3</sup> /sec) | Pressure at the end of fill (Mpa) |
|----------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1        | 230                   | 40                    | 20                                    | 13.03                             |
| 2        | 230                   | 55                    | 20                                    | 12.88                             |
| 3        | 230                   | 40                    | 40                                    | 14.07                             |
| 4        | 230                   | 55                    | 40                                    | 13.98                             |
| 5        | 210                   | 40                    | 20                                    | 16.04                             |
| 6        | 210                   | 55                    | 20                                    | 15.87                             |
| 7        | 210                   | 40                    | 40                                    | 16.64                             |
| 8        | 210                   | 55                    | 40                                    | 16.53                             |
| 9        | 250                   | 40                    | 20                                    | 10.21                             |
| 10       | 250                   | 55                    | 20                                    | 10.10                             |
| 11       | 250                   | 40                    | 40                                    | 11.66                             |
| 12       | 250                   | 55                    | 40                                    | 11.58                             |

#### 3.2 성형 재료의 물성

본 연구에 적용한 수지의 물성 데이터는 다음과 같은 식과 그 상수값들을 사용하였다.

정상상태의 점도(steady shear viscosity)를 두개의 모드를 가진 Leonov 모델로 다음의 식 (13)의 형태로 Table 2의 상수들을 사용하였다.

$$\eta = \eta_0 s + \sum_{k=1}^N \frac{2\eta}{1 + q_k} \quad \text{and} \quad q_k = \sqrt{1 + 4\dot{\gamma}^2 \theta_k^2} \quad (13)$$

여기에서  $s$ 는 제 2 뉴턴(the second Newtonian) 영역의 불변상수로  $1.835 \times 10^{-3}$ 을 사용하였다.

Table 2. Leonov model constants

|                                       | Mode 1                 | Mode 2                 |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|
| $\theta_k$ (sec)                      | $4.230 \times 10^{-2}$ | $9.295 \times 10^{-4}$ |
| $\eta_k$ (dynes-sec/cm <sup>2</sup> ) | $1.351 \times 10^8$    | $8.679 \times 10^2$    |

그리고, 전단변형을 0에서의 점도는 다음의 (14)식과 Table 3의 상수들을 사용하였다.

$$\eta_0(T, p) = D_1 \exp\left(-\frac{A_1(T - T^*)}{A_2 + (T - T^*)}\right) \quad (14)$$

여기에서  $T^*$ 는 전이온도이다.

밀도는 가장 흔히 사용되는 다음의 double-domain Tait equation과 Table 4의 상수들을 사용하였다.

$$\rho(T, p) = \left[ v_o(T) \left\{ 1 - C \ln \left( 1 + \frac{p}{B(T)} \right) \right\} \right]^{-1} \quad (15)$$

Table 3. The constants in a shift function

|                |                     |                     |   |
|----------------|---------------------|---------------------|---|
| A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> (°C) | D <sub>2</sub> (°C) | D <sub>3</sub> (°C-cm <sup>2</sup> /dyne) |
| 22.51          | 60                  | 100                 | 2.30 x 10 <sup>-8</sup>                   |

Table 4. Constants for the double-domain Tait equation

|                                      |  |   |                                    |                    |
|--------------------------------------|--|---|------------------------------------|--------------------|
| B <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> /g)  | B <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /g·C)  | B <sub>3</sub> (dyne/cm <sup>2</sup> )  | B <sub>4</sub> (C <sup>-1</sup> )  | B <sub>5</sub> (C) |
| 1.0071                               | 5.789 x 10 <sup>-4</sup>               | 2.021 x 10 <sup>9</sup>                 | 3.009 x 10 <sup>-3</sup>           | 150                |
| B' <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> /g) | B' <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> /g·C) | B' <sub>3</sub> (dyne/cm <sup>2</sup> ) | B' <sub>4</sub> (C <sup>-1</sup> ) |                    |
| 0.9892                               | 2.422 x 10 <sup>-4</sup>               | 2.260 x 10 <sup>9</sup>                 | 1.363 x 10 <sup>-3</sup>           |                    |

$$v_o(T) = B_1 + B_2T \quad \text{if } T > T_i$$

$$B'_1 + B'_2T \quad \text{if } T < T_i \quad (16)$$

$$B(T) = B_3 \exp(-B_4\bar{T}) \quad \text{if } T > T_i$$

$$B'_3 \exp(-B'_4\bar{T}) \quad \text{if } T < T_i \quad (17)$$

한편, 여기에서  $\bar{T} = T - B_5$ 로,  $T_i$ 는 등압시 고상과 액상선이 만나는 온도로 정의된다.

마지막으로 필요한 정압비열 및 열전도 계수는 측정에 의해 구한 다음 Table 5의 값들을 보간법에 의해 중간값들을 구해 사용하였다.

Table 5. Measured specific heat capacity and thermal conductivity

|       |                        |       |                        |
|-------|------------------------|-------|------------------------|
| T(°C) | Cp(erg/g·C)            | T(°C) | k(erg/g·cm·C)          |
| 0     | 1.11 x 10 <sup>7</sup> | 0     | 1.20 x 10 <sup>4</sup> |
| 66    | 1.38 x 10 <sup>7</sup> | 160   | 1.75 x 10 <sup>4</sup> |
| 100   | 1.83 x 10 <sup>7</sup> | 300   | 1.75 x 10 <sup>4</sup> |
| 240   | 2.24 x 10 <sup>7</sup> |       |                        |

### 3.3 수치해석기법

본 논문에서 시간에 따른 각 위치에서의 속도, 온도 및 밀도의 변화를 계산하기 위하여 이용한 수치 해석기법은 이미 잘 알려진 유한차분법(Finite Difference Method)(10)을 사용하였으며 수지의 유동방향(x축)으로는 균일 격자(Uniform Finite-Difference Mesh)로 스테거드 격자(staggered mesh)와 두께 방향(y축)으로는 비균일격자(Nonuniform Mesh)를 사용하였다. 특히, 본 수치해석의 과정은 점도를 식 (13)과 같이 모델링하여 충전 및 보압시 발생하는 응력의 분포에 관한 정보를 얻을 수 있고 전과정에 걸쳐 압축성을 고려한 점이 일

반적으로 수행되고 있는 수치해석에서 사용하던 모델링과는 큰 차이를 보인다.

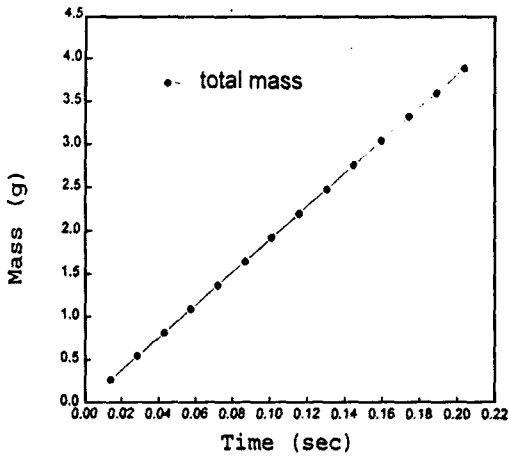
## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 보압크기의 변화

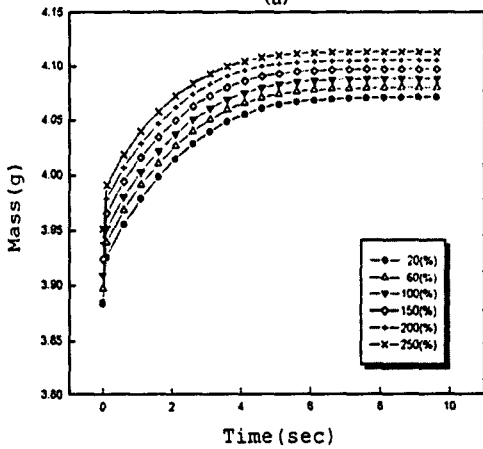
Figure 2(a)는 Table 1의 Case 1에 대한 충전과정에서의 시간에 따른 사각판 입구에 유입된 총질량의 시간에 따른 변화를 나타내는 것으로 스크류의 위치제어에 의해 유입되는 유량으로 제어되는 단계이므로 직선적으로 증가하는 형태를 보이며 (b)는 보압과정에서 Case 1의 충전과정이 끝났을 때 게이트에서의 압력(13.03 MPa)을 100%라고 지정하여 그것의 20, 60, 100, 150, 200, 250%에 해당하는 일정한 보압을 가하며 보압의 양을 변화시켰을 때 이에 따른 질량 History를 나타낸 것이다. 보압과정이 진행되며 시간에 따라 성형품의 질량 즉, 입구를 지나는 질량유량의 합은 완만한 곡선 형태를 이루면서 증가하는 것을 알 수 있으며 상식적으로 알 수 있듯이 보압이 증가하면 최종 성형품의 질량이 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 2(c)는 온도가 25°C, 압력이 대기압상태 일 때의 Polystyrene의 밀도에 금형의 체적을 곱해 계산된 질량과 보압의 변화를 주었을 때 각 보압에 해당하는 최종 성형 제품의 무게를 실선으로 표시하였으며 중간 단계의 변화를 더욱 자세히 알아보기 위해 10, 40, 80, 300%의 경우를 첨가했다. 보압을 전혀 안 걸었을 때로부터 작은 보압을 걸었을 때의 변화는 급격한 증가를 보이지만 보압을 걸리기 시작하면 보압의 크기와 최종무게와의 관계는 상당히 선형적인 비례 관계를 보인다는 것을 알 수 있다.

이와 같은 실험 수치적 실험을 통해 주어진 성형 조건에 관한 성형품의 무게의 상한선(upper limit)을 계산할 수 있으며 이는 입구의 조건이 이상적으로 게이트의 영향을 받지 않기 때문이다.

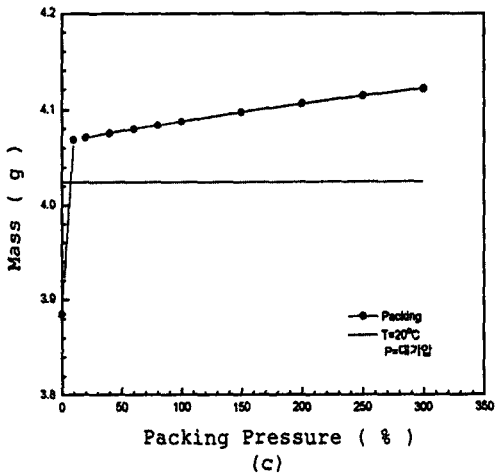
Fig. 3(a)와 (b)는 보압과정에서 130°C와 100°C의 두께방향의 등온선을 시간의 변화에 따라 각각 나타내었다. 이는 금형 벽면근처의 고화된 부분을 나타내는 중요한 자료로 일반적으로 고화층(frozen layer)이라고 부른다. Fig. 3(a)에서 보는 것과 같이 보압시간이 약 7.4초 경과후 게이트로부터 x축방향으로 약 3cm 되는 위치에서 캐비티 중앙 부분의 수지온도가 130°C에 이르고 (Polystyrene의 T<sub>g</sub>는 약 100°C임) 이후에는 3cm이상 떨어진 부분은 frozen layer가 이미 캐비티의 중심부위



(a)

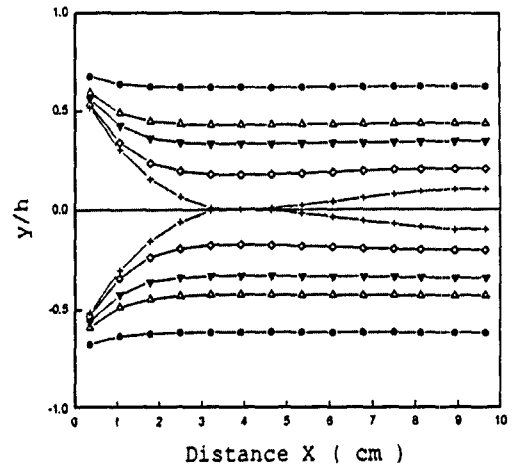


(b)

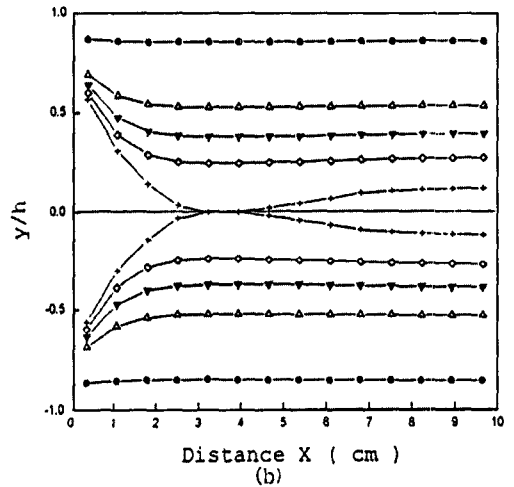


(c)

Fig. 2 Variation of mass during filling(a), packing(b) and the final weight vs packing pressure(c) for case 1.



(a)



(b)

Fig. 3 Isothermal lines of 130 °C(a) and 100 °C(b) as a function of time after the end of fill. (case 1, packing pressure of 13.03 MPa)

까지 고화시켜 보압의 영향을 받지 않기 때문에 질량의 변화율이 급격히 감소하는 현상을 설명할 수 있다.

#### 4.2 용융수지의 온도변화

Fig. 4(a)에서는 Case 1, Case 5 및 Case 9에 대해 충전이 끝났을 때 Case 1의 게이트에서의 압력(13.03 MPa)으로 일정한 보압을 가하며 보압과정중의 질량 변화를 시간의 함수로 나타낸 것으로서 용융수지의 온도만을 변화시켰을 경우 최종 사출성형품의 무게는 용융수지온도가 낮을수록 증가하고 높을수록 감소하는 것을 알 수 있다. 위의 결과를 더욱 확인하기 위해 Fig. 4(b)에는 용융수지의 온도를 220 °C 와 240 °C로

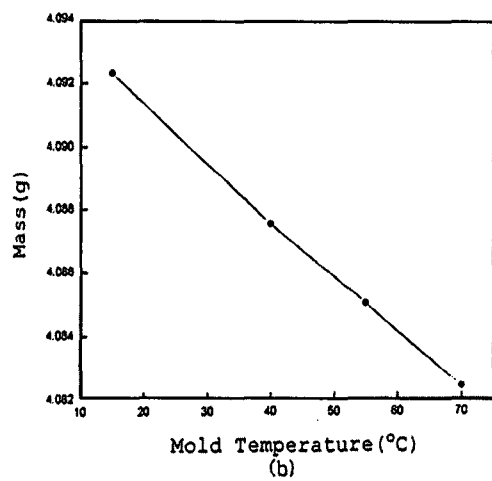
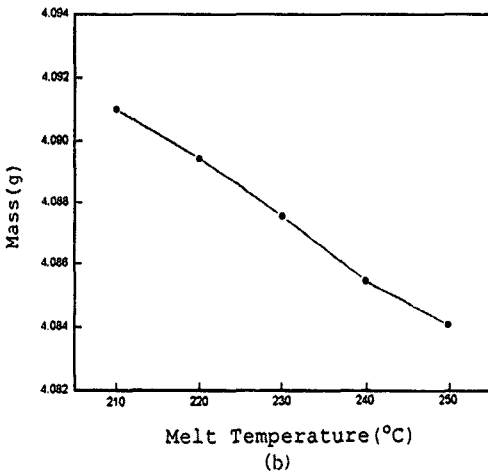
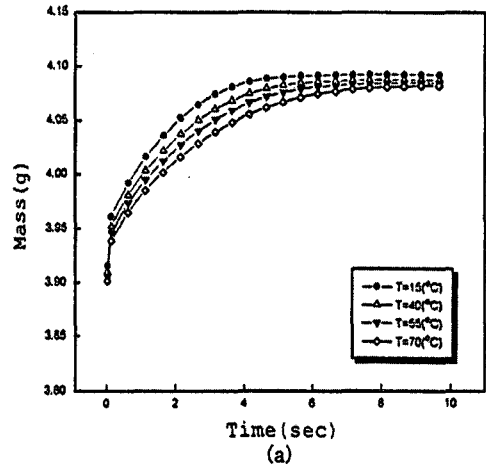
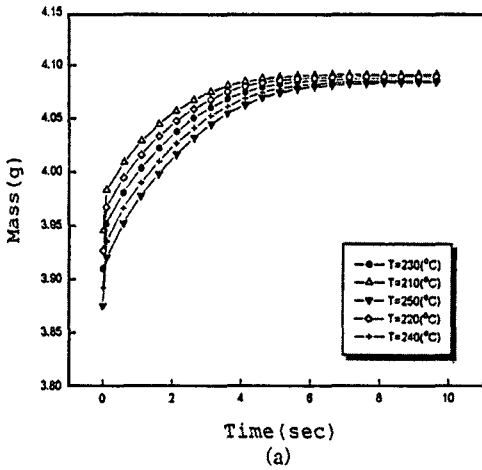


Fig. 4 The change of mass during packing stage (a) and the final weight(b) for the various  $T_M$  with  $T_w = 40^\circ\text{C}$ .  $Q = 20\text{ cc/sec}$  and  $p = 13.03\text{ MPa}$  fixed.

Fig. 5 The change of mass during packing stage(a) and the final weight(b) for the various  $T_w$  with  $T_M = 230^\circ\text{C}$ .  $Q = 20\text{ cc/sec}$  and  $p = 13.03\text{ MPa}$  fixed.

변화시킨 경우를 첨가하였으며 용융수지의 변화에 따른 최종 사출성형품의 무게를 표시한 것이다.

최종 사출성형품의 무게를 표시한 것이다.

### 4.3 금형의 온도변화

Fig. 5(a)에서는 Case 1에 대해 금형벽면의 온도만을 변화시켰을 때 최종 사출성형품의 무게 변화를 알기 위해 충전이 끝났을 때 일정한 보압(13.03 MPa)을 가할 때 보압 단계에서의 질량 변화과정을 나타낸 것으로서 금형벽면의 온도만을 변화시켰을 경우 최종 사출성형품의 무게는 금형벽면의 온도가 낮을수록 증가하고 높을수록 감소하는 것을 알 수 있다. Fig. 5(b)에서는 금형의 벽면온도 변화에 따른

### 4.4 사출속도 변화

Fig. 6(a)에서는 Case 1에 대해 사출속도만을 변화시켰을 때 최종 사출성형품의 무게 변화를 알기 위해 게이트에서의 보압을 1890 psi로 일정하게 가할 때 보압단계에서의 질량변화를 나타낸 것으로서 사출속도만을 변화시켰을 경우 최종 사출성형품의 무게는 사출속도가 낮을수록 증가하고 높을수록 감소하는 것을 알 수 있으며, Fig. 6(b)에서는 Case 1의 사출속도의 변화에 따른 최종 사출성형품의 무게를 표시한 것이다.

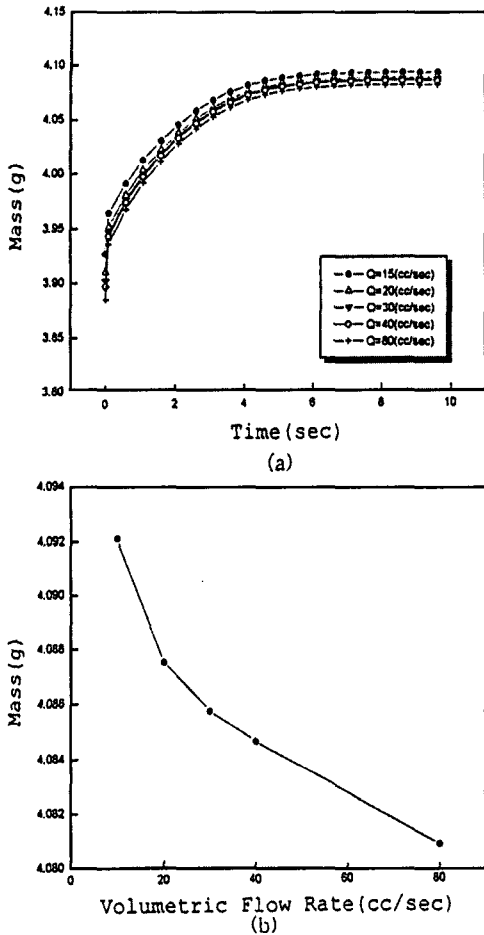


Fig. 6 The change of mass during packing stage(a) and the final weight(b) for the various Q with  $T_M = 230^\circ\text{C}$ ,  $T_W = 40^\circ\text{C}$  and  $p = 13.03\text{ MPa}$ .

### 5. 결 론

본 연구에서는 가장 일반적인 수지인 폴리스티렌을 재료로 사용하여 이상적인 입구조건을 가정하며 보압의 크기, 용융수지의 온도, 금형벽면의 온도 및 사출속도의 성형조건을 변화시킬 경우에 직사각형 모양 사출성형품의 최종 무게를 예측하였으며 이와같은 성형조건 변화가 최종 성형제품의 무게에 미치는 영향을 알아보았다. 주어진 성형 윈도우내에서 성형조건 변화에 따른 무게 예측의 프로그램을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 용융수지의 온도, 금형벽면의 온도와 사출속도를 고

정하고 보압의 크기만을 변화시킬 경우 최종 사출성형품의 무게는 보압의 크기가 클수록 증가하며 상당히 직선적인 증가를 보였다.

2. 금형벽면의 온도와 사출속도, 보압의 크기를 고정하고 용융수지의 온도만을 변화시킬 경우 최종 사출성형품의 무게는 용융수지의 온도가 높을수록 감소하는 경향을 나타내었다.

3. 용융수지의 온도와 사출속도, 보압의 크기를 고정하고 금형벽면의 온도만을 변화시킬 경우 최종 사출성형품의 무게는 용융수지의 온도와 마찬가지로 금형벽면의 온도가 높을수록 감소하는 경향을 나타내었다.

4. 용융수지의 온도와 금형벽면의 온도, 보압의 크기를 고정하고 사출속도만을 변화시킬 경우 최종 사출성형품의 무게는 사출속도가 높을수록 감소하며 용융수지의 온도나 금형의 온도 증가에서 보인 경향과는 달리 비선형적인 감소 현상을 보였다.

이상에서 보인바와 같이 각 성형조건 변화는 최종 성형품의 무게에 자기 다른 영향을 미치며 이상적인 조건에서의 수치해석 결과만을 보였으나 표준 금형에 대한 표준 시험법등의 개발에 대한 필요성을 느끼게 되는 계기가 되었다. 한편, 이러한 연구의 일환으로 최종 사출품의 수축률, 잔류 응력등의 예측에 체적 이완 등을 가미한 연구의 기초가 되리라 믿는다.

### 후 기

본 연구는 1994년도 한국과학재단의 목적기초 특정연구과제(94-1400-04-01-3)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. Gilmore, G.D. and Spencer, R.S., "Orientation in Injection Molding", Modern Plastics, Vol. 27, No. 2, p. 143, 1950.
2. Gilmore, G.D. and Spencer, R.S., "Orientation in Injection Molding", J. of Colloid Sci., Vol. 12, pp. 294-301, 1951.
3. Kamal, M.R. and Kenig, S., "The Injection Molding of Thermodynamics. Part I : Theoretical Model", Polym. Eng. Sci., Vol. 6, p. 118, 1972.

4. Bernhardt, E.C.(Ed.), Application of Computer Aided Engineering in Injection Molding, Hanser Publishers, Munich, 1983.
5. Manzione, L.T.(Ed.), Application of Computer Aided Engineering in Injection Molding, Hanser Publishers, Munich, 1987.
6. Isayev,A.I. and Hieber,C.A., "Toward a Viscoelastic Modelling of the Injection Molding of Polymers", Rheol.Acta., Vol.19, pp.168-182, 1980.
7. Leonov,A.I., "Nonequilibrium Thermodynamics and Rheology of Viscoelastic Polymer Media", Rheol.Acta.,Vol.15, No.2, pp.85-98, 1976.
8. Isayev,A.I.,Injection and Compression Molding Fundamentals, Marcel Dekker, INC., New York, 1987,
9. Kamal,M.R. and Papathanasiou, T.D., "Filling of a Complex-Shaped Mold with a Viscoelastic Polymer. Part II: Comparison with Experimental Data", Polym. Eng. and Sci., Vol.33, p. 400, 1993.
10. Wang, K.K. et al., Cornell Injection Molding Program, Progress Report 16, Ithaca, New York, 1992.