

## 사출성형의 충전조건 선정에 관한 연구

조용무,\* 권오재,\*\* 유웅재,\*\*\* 김재도\*\*\*\*

### A study of estimation of filling phase condition in injection molding process

Y. M. Jo,\* O. J. Kwon,\*\* Y. J. Yoo,\*\*\* J. D. Kim\*\*\*\*

#### ABSTRACT

The filling phase analysis of the injection molding process for thermoplastics was applied to predict pressure, temperature and shear stress in the test mold, and the results were compared with the experiment using 30% glass fiber added ABS resin. The finite difference method was used in the analysis considering the effects of heat transfer between molten polymer and mold wall, and also frictional heating by shear flow.

The analysis results were considered as a method to improve the quality and the productivity of injection molding process. Using the analysis results, the molding factors such as moldability of polymers, performance of injection molding machine, positioning of gate and dimensioning of runner in the injection molding process can be estimated at the design stage of mold for good quality and productivity.

#### Nomenclature

$C_p$  Specific heat

$p$  Pressure

$\Delta p$  Pressure differential

$v$  Velocity, flow velocity

$x, y, z$  Coordinate

$Q$  heat flux

$\Delta T$  Temperature difference

$\alpha$  Dimensionless time

$\beta$  Coefficient

$\eta$  Viscosity

$\theta$  Dimensionless temperature

$\Delta \theta$  Temperature difference

$\rho$  Density

$\tau$  Shear stress, stress tensor

$\tau_{ij}$  Components of the stress tensor

$\varphi$  Dimensionless entrance velocity

\* 대우공업전문대학 금형설계과(정회원)

\*\* 생산기술연구원(정회원)

\*\*\* 인하대학교 대학원(정회원)

\*\*\*\* 인하대학교 기계공학과(정회원)

- $\phi$  Dimensionless velocity
- $\Gamma$  Dimensionless specific heat
- $\xi$  Dimensionless viscosity
- X, Y Dimensionless coordinate

## I. 서 론

사출성형 충전과정의 해석은 사출성형 생산에서의 생산성과 품질에 대한 예측을 가능하게 하여 준다. 따라서 실제의 금형제작과 시험사출을 통한 시행착오를 방지할 수 있으므로, 현재 국내의 관련업체가 당면한 문제를 해결할 수 있는 적절한 도구이기도 하다. 이와 같은 성형해석의 필요성은 White<sup>(2)</sup>, Wang<sup>(3)</sup>, Kamal<sup>(4)</sup> 등에 의하여 이미 제안되었다.

본 논문에서는 유한 차분법(finite difference method)을 유동선단 도해법과 함께 이용하여 금형과 수지간의 열전달 및 유동과정중 마찰열의 발생을 고려하고 사출성형 충전과정을 해석하였다. 해석 결과는 실제의 사출성형 실험결과와 비교하여 해석결과의 타당성을 검토하였으며, 또한 수치해석으로부터 얻은 결과를 이용하여 생산성과 품질 향상을 위한 사출성형조건 선정에 관하여 고찰하였다.

## 2. 사출성형 충전해석

### 2-1. 유한 차분법을 이용한 충전해석

Fig. 1은 사출성형 충전과정중의 단순화된 금형의 cavity단면을 나타내고 있다. 용융된 수지는 사출성형기의 노즐을 통하여 빠른 속도로 Cavity를 향하여 유

입되며, 금형은 냉각회로에 의하여 용융수지의 온도보다 훨씬 낮은 온도에서 유지되고 있다. 따라서 금형의 벽면과 접촉하고 있는 용융수지의 일부는 냉각되어 고화층을 형성하게 된다. 수지의 유동선단은 분수효과에 의하여 거의 반구에 가까운 형태를 유지하며 전진하게 된다.<sup>(5)</sup> 사출성형용 금형의 충전과정에서 캐비티내 유동장의 속도분포는 pseudoplastic의 유동 이론에 따르게 되며, 금형단면에서의 온도분포는 금형재료 및 수지의 물성치와 유동상황에 의하여 결정된다. 캐비티에 가까운 금형벽면의 온도는 수지로 부터의 열전달에 의하여 사출성형중 계속적으로 변화하게 되며, 캐비티내의 온도분포는 고화층내에서 급격하게 변화하게 되고 또한 마찰열의 발생에 의하여 용융층내에서의 온도분포 또한 변화하게 된다.<sup>(1), (5), (6), (7), (8), (9)</sup>

이와 같은 사출성형용 금형의 충전과정을 아래와 같은 질량 및 운동량 보존법칙, 에너지 보존법칙에 적절한 가정을 적용하여 해석하게 된다.

$$\rho \frac{D\bar{V}}{Dt} = -\nabla p - [\nabla \cdot \bar{\tau}] + \rho \bar{q} \quad (1)$$

$$\frac{D\rho}{Dt} = -\rho(\nabla \bar{V}) \quad (2)$$

$$\rho \frac{\partial V}{Dt} = -(\nabla \bar{q}) - p(\nabla \bar{V}) - (\bar{\tau} : \nabla \bar{V}) + Q \quad (3)$$

앞의 식들을 이용하여 사출성형용 금형에서의 충전과정을 해석하기 위하여 사출성형용 금형의 캐비티를 쉽게 모델링 할 수 있는 Fig. 2와 같이 임의의 일정한 두께를 갖는 평행판 사이의 유동을 고려한다.

유한차분법을 이용하여 사출성형용 금형의 충전과정을 해석하기 위해 Fig. 3과 같이 금형을 포함하는 캐비티의 단면에 대하여 node와 control volume을 설정

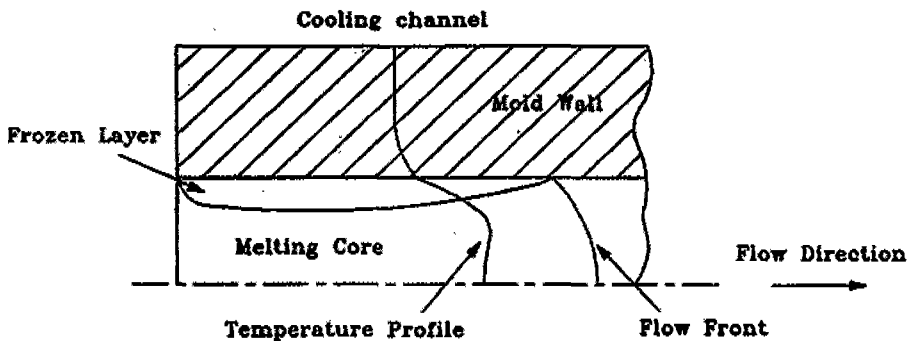


Fig. 1 Sectional view of cavity during mold filling.

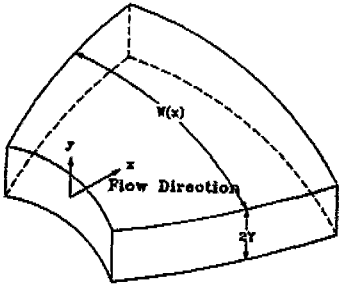


Fig. 2 Coordinate selection

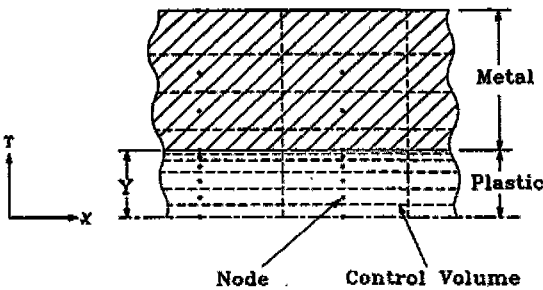


Fig. 3 Finite difference grid

하였다. 여기서 급격한 온도의 변화가 발생하여 고화층이 형성되는 금형의 벽면에 대하여는 매우 작은 control volume을 설정하므로써 해석결과의 정밀도를 향상시키도록 하였으며, 무차원 변수를 도입하여 식을 단순화 하였다.

$$\int_0^1 \phi dY = 1 \quad (4)$$

$$\xi \phi = -\frac{dp}{dx} \int_Y^1 \frac{Y}{\xi} dY \quad (5)$$

$$\Gamma \left( \frac{\partial \theta}{\partial \alpha} + \xi \phi \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} + \beta \phi \xi \frac{dp}{dx} \frac{\partial \phi}{\partial Y} \quad (6)$$

금형내에서는 열전달만 발생하므로 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \theta}{\partial \alpha} = \left( \frac{k_m \rho_r C_{pr}}{k_r \rho_m C_{pm}} \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (7)$$

위 식들을 풀기 위하여 다음과 같은 경계조건 및 초기조건을 적용하였다.

- (1) 유동이 발생하는 캐비티 단면에서의 온도분포는

대칭이다.

(2) 냉각회로와 접하고 있는 금형의 벽면온도는 일정한 것으로 가정한다.

(3) 금형으로 유입되는 수지의 온도는 이미 알고 있으며, 일정하다.

(4) 초기 금형의 온도는 일정하다.

무차원 변수들을 이용하면 식(4)의 적분항은 trapezoidal rule을 적용하여 다음과 같이 유한 차분식의 형태로 표현될 수 있다.

$$v_{i,j} = \frac{1}{2} \sum_{k=j}^{j_{\max}-1} \left( \frac{Y_k}{\xi_{i,k}} + \frac{Y_{k+1}}{\xi_{i,k+1}} \right) (Y_{k+1} - Y_k) \quad (8)$$

여기서  $V_{ij_{\max}} = 0$

함수  $F_i$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\hat{F}_i = \int_0^1 v dY = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{j_{\max}-1} (v_{i,j} + v_{i,j+1})(Y_{j+1} - Y_j) \quad (9)$$

식(5)로부터 압력구배는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\frac{dP}{dx_i} = -\frac{\xi}{\hat{F}_i} \quad (10)$$

위의 식(8)과 (10)을 이용하므로써 각 node에서의 무차원 속도  $\phi$ 를 계산할 수 있다.

사출성형용 금형의 충전과정중 온도분포를 계산하기 위하여 유한 차분식을 적용하는 경우 온도의 시간에 따른 변화는 주변의 node 온도와 시간의 함수로 표시된다. 이와 같은 온도의 변화를 경계조건의 변화에 따라 마찰열과 유동방향으로의 대류열전달이 존재하는 금형의 유동층, 금형의 두께 방향으로의 전도열전달만이 존재하는 금형 벽면, 그리고 유동과정중 금형벽면으로의 열손실에 의하여 금형벽면과 유동층사이에서 발생하는 고화층에서의 시간에 따른 온도의 변화는 다음과 같이 차분식의 형태로 유도된다.

유동층:

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial \theta}{\partial \alpha} \right)_{i,j} = & -\xi \left( \frac{\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{2} \right) \left( \frac{\phi_{i,j} - \phi_{i-1,j}}{x_i - x_{i-1}} \right) \quad (11) \\ & + \left[ \left( \frac{\theta_{i,j+1} - \theta_{i,j}}{Y_{j+1} - Y_j} - \frac{\theta_{i,j} - \theta_{i,j-1}}{Y_j - Y_{j-1}} \right) \left( \frac{2}{Y_{j+1} - Y_{j-1}} \right) \right. \\ & \left. + \beta Y_j \left( \frac{dP}{dx} \right)_i \xi \left( \frac{\phi_{i,j+1} - \phi_{i,j-1}}{Y_{j+1} - Y_{j-1}} \right) \right] \Gamma \end{aligned}$$

금 형:

$$\left(\frac{d\theta}{d\alpha}\right)_{i,j} = \left(\frac{k_m \rho_r \Gamma_{pr}}{k_r \rho_m \Gamma_{pm}}\right) \left[ \frac{\theta_{i,j+1} - \theta_{i,j}}{Y_{j+1} - Y_j} - \frac{\phi_{i,j} - \phi_{i,j-1}}{Y_j - Y_{j-1}} \right] \left(\frac{2}{Y_{j+1} - Y_{j-1}}\right) \quad (12)$$

고화층:

$$\begin{aligned} \left(\frac{d\theta}{d\alpha}\right)_{i,j} = & \left\{ \frac{-\xi(\phi_{i-1,j-1} + \phi_{i,j-1})(Y_j - Y_{j-1})(3\theta_{i,j} + \theta_{i,j-1} - 3\theta_{i-1,j} - \theta_{i-1,j-1})\Gamma_p}{64(x_i - x_{i-1})} \right. \\ & - \left. \left(\frac{\theta_{i,j} - \theta_{i,j-1}}{Y_j - Y_{j-1}}\right) + \left(\frac{k_m}{k_r}\right) \left(\frac{\phi_{i,j+1} - \phi_{i,j}}{Y_{j+1} - Y_j}\right) \right. \\ & + \xi \frac{\beta}{2} \left(\frac{dP}{dx}\right) \frac{dP}{dx_i} Y_i \phi_{i,j} - 1 \left[ \Gamma \left(\frac{Y_j - Y_{j-1}}{2}\right) \right. \\ & \left. + \left(\frac{\rho_m \Gamma_{pm}}{\rho_r \Gamma_{pr}}\right) \left(\frac{Y_{j+1} - Y_j}{2}\right) \right] \end{aligned} \quad (13)$$

### 2-2. 유동선단 도해법과 성형품의 분할

충전해석을 수행하기 위하여 사출성형품의 형상은 적절한 자료의 형태로서 입력되어야 한다. 본 논문에서는 성형품의 형상을 입력하기 위하여 유동선단 도해법을 응용하였으며, 유동선단 도해법에 의하여 그려지는 유동선단의 형태를 근거로 하여 성형품의 형상을 단순한 형상으로 분할하는 방법을 사용하였다.

유동선단 도해법은 기존의 사출금형 현장에서 많이 사용되고 있는 L/t법의 발전된 형태로서 동일 캐비티내 유동거리는 재료의 특성에 관계없이 성형품의 두께에 비례한다는 원리를 응용한 것이다. 이 방법은 익숙한 경우 비교적 정확하고 빠르게 유동선단의 위치를 검토할 수 있는 것으로 알려져 있다.<sup>(11)</sup>

성형품의 형상은 유동선단 도해법을 근거로 하여 일련의 disc, plate, cylinder의 형태로 분할될 수 있다. 이와 같은 단순 형상들에 대하여 성형과정 중 유량을 결정한 후, 단면에서의 온도변화에 따른 경계층의 위치와 압력의 변화를 예측하기 위하여 앞의 유한차분식이 쉽게 적용될 수 있다.

## 3. 실험방법과 내용

### 3-1. 성형품 형상과 금형

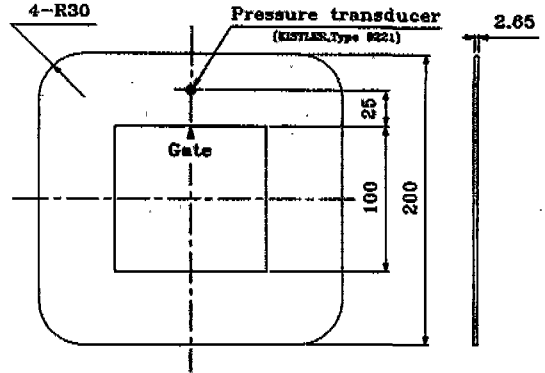


Fig. 4 Molding specification

실험을 위하여 사용된 시편의 형상은 Fig. 4와 같으며, 두께 2.65mm의 사각형으로서 내부에 사각형의 구멍을 가지고 있다. 이 시편을 생산하는 사출금형은 2단 금형의 구조와 사이드 게이트를 채용하고 있다. 사출성형중 캐비티 내부의 압력변화를 측정하기 위하여 게이트로부터 25mm 떨어진 지점에 피에조효과를 이용하는 간접 측정식 pressure transducer(KISTLER사)를 설치하였다.

### 3-2. 사출성형 실험 장비

사출성형기는 Battenfeld사(독일)의 사출성형기로서 형체결력은 150ton이고 제어는 micro processor (closed-loop control type)를 이용하여 이루어진다.

### 3-3. 사출성형 수치

실험에서 사용된 플라스틱 수지는 (주)력키의 유리섬유를 30% 포함하는 ABS수지(AF303)이며, Table 1은 사출성형해석에서 사용된 성형재료의 물성치이다. Klein's formula에 의하여 계산되는 수지의 점도변화를 Fig. 5에 나타내었다.

기타 해석에 사용된 물성치들은 온도등의 함수이나 대개의 경우에 성형온도 범위에서 측정되는 대표값을

Table 1 resin properties used in experiment

Thermal Conductivity	0.160 J/m sec °C
Melt Density	1078 kg/m³
Specific Heat	1565 J/kg °C
No Flow Temperature	122.9 °C
Freeze Temperature	85 °C

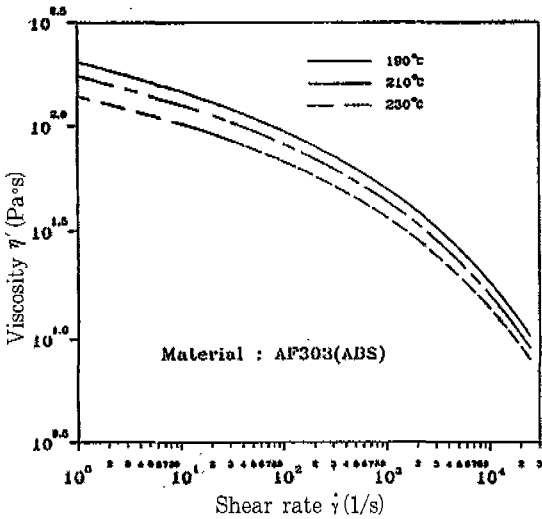


Fig. 5 Viscosity variation of AF303

Table 2 the injection molding conditions used in experiment

금형 온도(℃)	용융수지 온도(℃)	충전시간(초)
52(일정하게 유지)	190, 210, 230	0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 7, 10

활용하는 경우가 많으며, 본 논문의 경우에도 이와 같은 일정한 값을 활용하였다. 또한 no flow temperature는 성형과정중 수지의 유동이 발생하지 않는 온도로서 정의된 것이며, 성형과정중의 경계층을 계산하기 위하여 적용되었다.

### 3-4. 실험 변수의 선정

실험변수는 해석과 동일한 조건으로 사출성형이 이루어 질 수 있도록 하였다. 전 충전과정동안 사출성형기의 충전속도는 일정하게 유지하였으며 Table 2와 같다.

### 3-5. 성형품의 분할

유동해석을 수행하기 위하여 Fig. 4의 성형품은 적절하게 분할되어야만 한다. 성형품의 분할은 유동선단 도해법에 의하여 작성된 유동선단의 분포를 근거로 하였다. Fig. 6의 왼쪽은 유동선단 도해법에 의하여 그려진 유동선단의 분포를 보여주며, 이에 따라 성형품은 Fig. 6의 오른쪽과 같이 분할하였다.

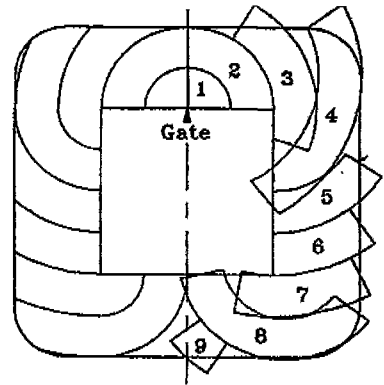


Fig. 6 Filling pattern and segmentation of specimen

## 4. 결과 및 고찰

### 4-1. 사출성형 충전압력의 변화

Figs. 7, 8, 9는 수지의 용융온도에 따른 충전압력의 측정값 결과와 성형해석의 결과를 함께 도시하고 있다. 측정값은 pressure transducer가 설치된 부위에서부터 사출성형용 금형의 나머지 부분을 충전하는 동안 상승하는 압력을 나타내며, 해석한 결과도 이 지점 이후의 충전시에 발생하는 압력의 상승분을 나타낸 것이다. 실제의 사출성형실험에서 충전시간이 0.67초 이하 및 4.16초 이상에서는 미성형이 발생하여 실제의 충전압력을 측정하는 것은 불가능하였다. 이와 같은 현상은 사출성형시 사출성형용 금형에 설치되어 있는 게이트에서 유로가 매우 작으므로 충전시간이 길어지는 경우 고화효과 및 충전시간이 짧아지는 경우 매우 큰 유

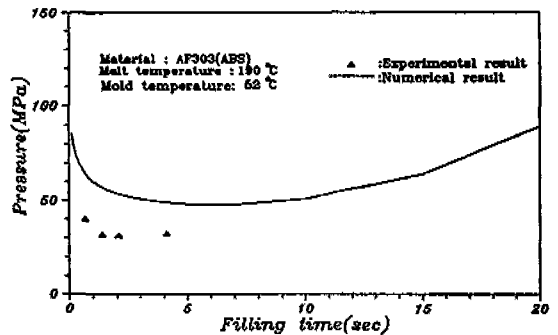


Fig. 7 Pressure variation with filling time at 190°C of melt temperature

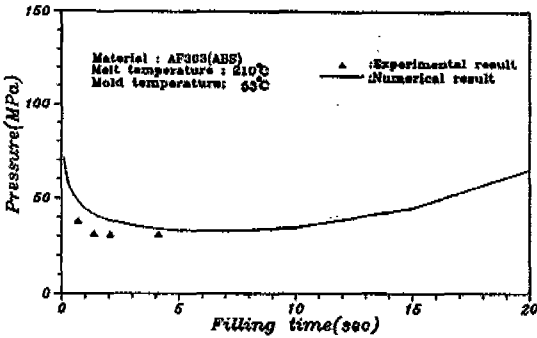


Fig. 8 Pressure variation with filling time at 210°C of melt temperature

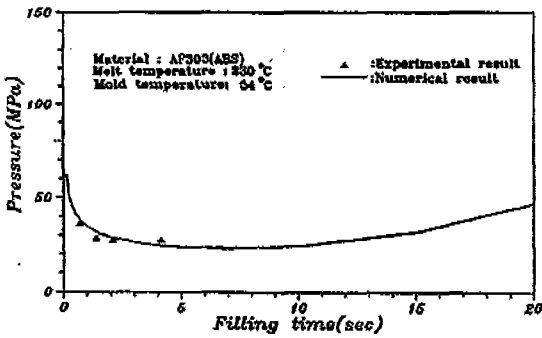


Fig. 9 Pressure variation with filling time at 230°C of melt temperature

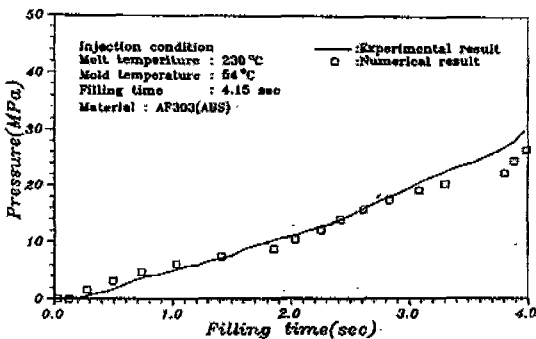


Fig. 10 Pressure build-up during mold filling

랑에 의한 압력의 과다 상승에 의한 것으로 사료된다.

위의 결과는 Figs. 7, 8에서 해석결과와 측정결과간의 차이로서도 나타나고 있다. 이 경향은 수지의 온도가 상승하므로서 점차 감소하고 있다. 즉 수지의 점도 하강에 따라 게이트의 영향이 점차 감소하는 것으로 보이며, 이와 같은 경향은 사출성형 해석에서 급격한 단

면의 변화에 의한 에너지의 손실과 압력의 전달을 해석하지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

유동선단 도해법을 적용하여 성형품을 1차원의 유동 상태를 갖는 요소(segment)로 분할하고 이 요소에 대하여 유한 차분법을 적용하여 충전과정중 압력의 변화가 실제의 경우와 유사하게 나타날 수 있는지를 고찰하였다. Fig. 10은 수지의 온도가 230°C, 금형의 온도가 54°C, 충전시간이 4.15초일때 성형중에 측정되는 압력의 변화를 해석한 결과와 함께 도시한 것이며, 측정되는 압력의 변화와 일치하고 있음을 알 수 있었다.

#### 4-2. 사출성형조건선의 선정

사출금형 또는 사출성형품의 설계단계에서 사출성형의 생산성과 품질을 향상시키기 위한 설계를 수행하기 위해서는 사출금형의 구조, 성형품의 형상, 성형재료 및 사출성형기의 용량이 함께 고려하여야 한다. 본 논문에서는 사출성형 해석결과를 이용하여 사출성형 변수들을 정량적으로 고찰하여 설계에 반영하는 방안을 고찰하였다.

Fig. 11은 수지의 온도가 190°C일때 충전시간의 변화에 따라 충전압력의 변화, 충전시작과 충전완료단계에서의 전단응력의 변화, 그리고 충전완료단계에서 수지의 온도를 함께 보여주고 있다. 실험에서 사용된 수지의 경우 사출성형시 제안되는 최대 허용전단응력은 0.3MPa이다. 또한 일반적인 범용사출성형기의 최대 사출압력은 140MPa로서 사출성형기의 내구성을 고려하여 사용 사출압력은 최대 사출압력의 80%로 제한할 것이 요구된다. 성형과정중 수지의 온도는 충전초기의 온도와 비슷하여 성형과정중 수지의 급격한 온도의 변화에 의하여 수지의 열화, 또는 weld line부의 특성저하가 발생하지 않아야 한다. 수지의 온도가 190°C일 경우 충전을 위하여 요구되는 압력은 충전시간이 10초일 때까지는 일반 사출성형기의 성형조건범위에 있으며, 전단응력 역시 한계값을 넘고 있지 않다. 그러나 수지의 온도는 충전시간이 약 0.1초일때에 205°C까지 상승하고 충전시간이 8초를 넘으면 수지의 온도가 180°C이하로 떨어지게 된다.

사출성형용 금형의 성형조건을 선정할 경우에는 위에서 언급한 모든 조건들을 고려하고, 사용자의 필요에 따라 우선순위를 정하여 성형조건을 결정하게 된다. 예로서 Fig. 11의 결과에서 수지의 온도가 190°C일 때에 적정 충전시간을 사출성형기의 형체결력을 고려하여 압

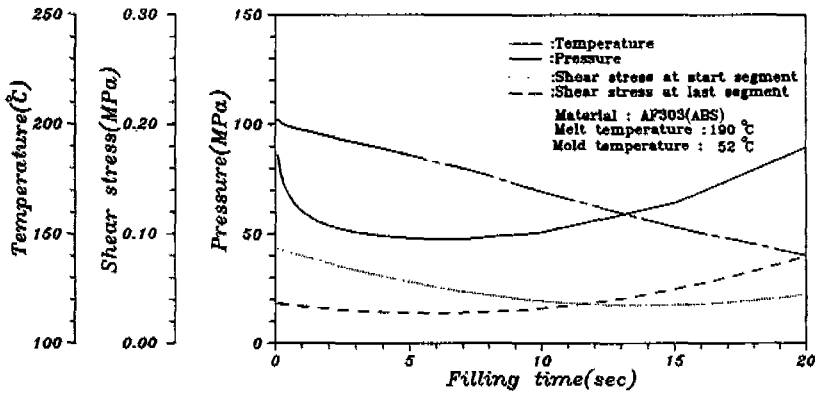


Fig. 11 Variation of injection molding factors with filling time at 190°C of melt temperature

력이 낮은 구역으로 선정하여야 한다면, 3초에서 8초의 범위에 있는 것을 알 수 있다. 이 경우 사출성형의 생산성을 위하여 충전시간을 3초로 설정할 수 있고, 온도 및 압력만을 고려한다면, 좋은 성형 조건이 될 수 있다. 이 성형조건에서 성형품의 전단응력은 유동의 초기와 말기 모두에서 제한되는 최대치 이하를 유지하고 있으나, 두 전단응력의 값에 큰 차이를 갖게 된다. 이것은 성형품의 전단응력 위치에 따라 변화가 커진다는 것을 의미하며, 결과적으로 성형품 변형의 원인이 될 수 있다. 따라서 수지의 온도가 190°C인 경우 성형품의 변형을 최소화 하려면 전단응력의 차이가 작아질 수 있도록 충전시간은 3초 이후로 설정하고, 수지의 온도변화를 고려하여 충전시간은 8초 이내에서 선정되어야 한다. 만약 성형품의 변형이나, 응력이 크기, 또는 weld line 부의 외관 품질이 문제가 되지 않는 경우라면, 충전시간을 3초 이내로 설정할 수도 있을 것이다. 이러한 경우

는 제품이 비교적 값이 싸고 대량 생산을 해야 하는 경우에 적용될 수 있는 성형조건이다.

Figs. 12와 13은 수지의 온도가 210, 230°C일 경우에 사출성형조건을 선정하기 위하여 활용할 수 있는 결과를 보여 준다. 사출성형의 생산성과 성형품의 품질을 함께 고려하여 성형조건을 결정한다면, 수지의 온도가 210°C일 경우 충전시간이 2초~6초, 230°C일 경우 1.5~5초의 범위로 변화하게 된다. 수지의 온도를 상승시키게 되면, 성형을 위한 압력과 전단응력의 크기가 모두 감소하며, 따라서 작은 형체결력을 갖는 사출성형기에서 크기가 큰 성형품을 생산할 수 있어 사출성형의 생산원가를 매우 낮출 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 수지의 초기 온도를 상승시키기 위해 사출성형 장치의 배럴온도를 상승시켜야 한다. 이 경우 수지가 사출성형기의 배럴에서 장시간 정체하면 낮은 온도에서도 수지의 열화가 발생하기 쉽다. 본 실험의 경우 수지

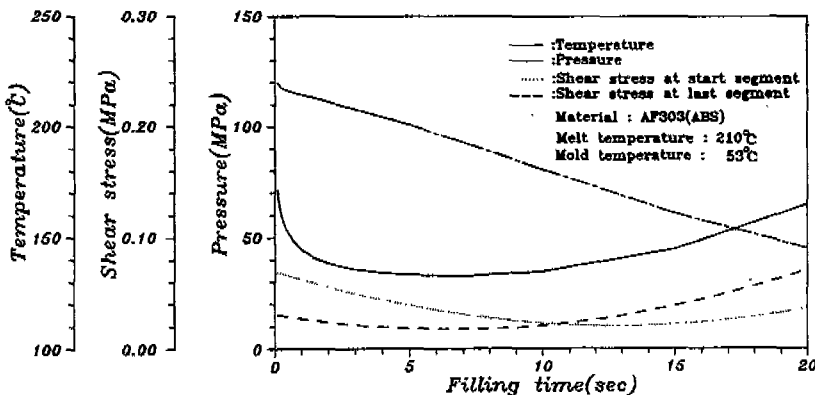


Fig. 12 Variation of injection molding factors with filling time at 210°C of melt temperature

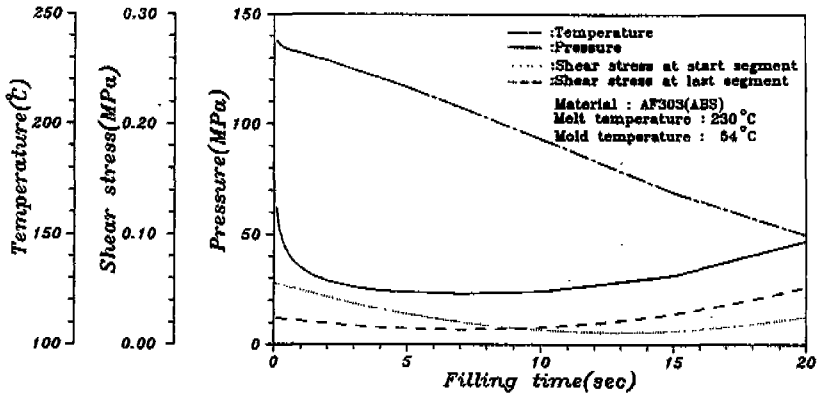


Fig. 13 Variation of injection molding factors with filling time at 230°C of melt temperature

의 온도상승과 전단응력이 모두 허용한계 이내에 있으므로 문제가 되지 않으나, POM, 또는 PVC와 같이 온도에 매우 민감한 재료라면 성형품의 품질은 물론 사출성형의 안정성에도 큰 영향을 끼칠 수 있다.<sup>(10)</sup> 따라서 사출성형조건 선정은 사출성형기의 배럴온도와 수지의 정체시간도 함께 고려되어야 한다.

이와 같이 사출성형조건 선정은 사출성형기의 사양과 금형 및 사출성형품의 설계구조, 사용수지 그리고 사출성형공정의 생산성과 품질을 고려하여야 하며, 적정 사출성형조건 선정은 본 논문에서 연구된 바와 같이 수치적 해석을 통하여 정량적으로 결정될 수 있다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 플라스틱 제품개발에서의 시행착오를 최소화하며, 사출성형의 생산성과 품질 향상을 기하기 위하여 유한 차분법을 유동선단 도해법과 함께 이용하였다. 사출성형의 충전과정을 해석하고 실험과 비교하므로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 금형의 압력 측정에서 수지의 온도가 190°C인 경우 수치 해석의 예측결과와 실험결과 사이에 편차가 발견되고 있으나, 수지의 온도가 210°C, 230°C로 상승하여 수지의 온도가 성형온도의 범위내에 있으면 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 압력은 충전시간의 변화에 따라 “U”자의 형태로 변화하고 있으며, 또한 이론적인 해석결과는 충전과정중 상승되는 압력의 변화와 잘 일치함을 알 수 있었다.

(2) 사출성형 수지는 성형조건변화에 따라 충전압

력, 온도, 전단응력이 변화하며, 이와 같은 성형인자들은 성형품의 품질과 사출성형의 생산성에 큰 영향을 끼치게 된다. 본 연구에서는 이와 같이 수지와 성형조건에 따른 성형변수들의 변화를 정확하게 예측할 수 있었다.

(3) 사출성형 충전조건은 성형변수외에도 사출성형품의 형상, 게이트의 위치, 런너의 치수와 같은 금형의 구조 및 사출성형기의 성능을 함께 고려하여야 한다. 본 연구에서는 사출성형 충전과정을 해석하므로써 사출성형의 충전조건 선정이 가능하였으며, 이것은 성형품의 설계단계에서 생산성과 품질을 고려하여 수지의 선정, 금형의 구조설계, 사출성형기의 선정을 가능하게 한다.

### 참고문헌

1. S.M. Richardson, "Injection moulding of thermoplastics:Freezing during mould filling" *Rheo. Acta* 22, 223-236, 1983
2. James L. Whit and Wolfgang Dietz, "Some Relationships Between Injection Molding Conditions and the Characteristics of Vitrified Molded Parts", *Polym. Eng. Sci.*, Vol.19, No.15, pp.1081-1091, 1979
3. K. K. Wang, "A system approach to injection molding process", *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 14(1), 75-93, 1980
4. Musa R. Kamal, P. G. Lafleur, "Computer Simulation of Injection Molding", *Polym. eng. Sci.*, Vol.22, No.17, pp.1066-



- 1074, 1982
5. D. J. Coyle, J. W. Blake, C. W. Macosko, "The Kinematics of Fountain Flow in Mold-Filling", WAIE J., Vol.33, No.7, pp.1168-1177, 1987
  6. M. R. Kamal, W. Ian Patterson, D. Abu Fara and A. Haber, "A Study in Injection Molding Dynamics", Polym. Eng. Sci., Vol.24, No.9, pp.686-691, 1984
  7. M. R. Kamal, P. G. Lafleur, "Heat Transfer in Injection Molding of Crystallizable Polymers", Polym. Eng. Sci, Vol.24, No.9, pp.692-697, 1984
  8. H. Mavridis, A. N. Hrymak, J. Vlachopoulos, "Finite Element Simulation of Fountain nFlow in Injection Molding", Polym. Eng. Sci., Vol.26, No.7, pp.449-454, 1986
  9. I. Manas-Zloczower, J. W. Blake, C. W. Macosko, "Space-Time Distribution in Filling a Mold", Polym. Eng. Sci., Vol.27, No.16, pp.1229-1235, 1987
  10. G. Potech, Ott et al, Fundamentals of injection moulding, IKV, 1990
  11. Paul F. Filz, Layout of injection Moulds, SIMCON kunststofftechnische Software GmbH, 1989