

# 모조 러너를 이용한 계기판 사출성형의 게이트 위치 설계

한경희\* · 최두순\*\* · 김홍석\*\*\* · 임용택†  
(2001년 2월 10일 접수, 2001년 7월 24일 심사완료)

## Design of Gate Location in Injection Molding of a Dashboard Using Dummy Runner

Kyeong Hee Han, Du Soon Choi, Hong Seok Kim and Yong Taek Im

**Key Words :** Dummy Runner(모조 러너), Injection Molding(사출 성형), CAM $^2$  mold, Gate Location (게이트 위치)

### Abstract

Injection molding is widely used in producing various plastic parts due to its high productivity, and the demand for injection molded products with high precision is increasing. To achieve successful product quality and precision, the design of gating and runner system in injection mold is very important because it influences the melt flow into the cavity. Some defects, such as weld lines and overpacking, can be effectively controlled with proper selection of gate locations. In the present study, the design of gate locations in injection molding of a dashboard for automobiles was carried out with CAM $^2$  mold, a PC-based simulation system for injection molding. A dummy runner system was developed to simulate a runner system in order to increase the efficiency of the analysis procedure. The numbers and locations of gates were iteratively determined in the present investigation. In this procedure, an acceptable design was obtained in terms of reducing the maximum pressure and clamping force.

### 1. 서론

사출성형은 복잡한 형상의 제품을 빠르게 대량 생산할 수 있는 플라스틱 성형방법이다. 이 때, 최종 제품의 품질은 사용된 재료, 금형의 설계, 공정 조건에 크게 의존한다. 금형의 설계는 일반적으로 게이트, 러너 시스템, 냉각 수로, 캐비티의 설계로 이루어지고, 이중 가장 중요한 것이 게이트와 러너 시스템의 설계이다.

게이트의 설계는 크게 게이트의 개수, 종류, 위치 선택의 세가지로 나누어진다.<sup>(1)</sup> 이 중, 게이트

의 종류는 금형의 개폐 방향과 게이트가 위치한 면의 방향에 관계되는 것이므로 게이트의 위치가 결정되면 자동으로 결정된다. 따라서 게이트의 개수와 위치의 설계가 실질적인 게이트 설계의 주내용이라고 할 수 있다.

게이트의 위치 설계는 수지 유동의 방향과 균형을 지배하여 온도, 압력의 분포를 결정지으므로 전 금형 설계 중 가장 중요한 부분이다. 부적절한 게이트의 위치는 과보압, 높은 전단응력으로 인한 마성형, 수축, 뒤틀림 등의 결함이나, 유동 방향에 따른 봉합선 (weld line) 등의 결함을 야기시킨다. 이러한 결함을 줄이려면 수지가 거의 같은 시간에 캐비티의 각 부분을 충전시키도록 게이트의 위치를 선택하는 것이 중요하다.

러너 시스템의 설계는 크게 사출기계의 노즐로부터 캐비티까지의 러너의 형태를 결정하는 형상 설계 (configuration design)와 러너의 지름과 게이트

\* 현대기아 연구개발본부 차량개발팀  
\*\* 한국과학기술원 기계공학과  
\*\*\* 현대오토넷 금형개발팀  
† 책임저자, 회원, 한국과학기술원 기계공학과  
E-mail : ytim@mail.kaist.ac.kr  
TEL : (042)869-3227 FAX : (042)869-3210

의 크기를 결정하는 변수 설계 (parametric design)의 두 가지로 나누어진다.<sup>(4)</sup>

형상 설계에서는 금형 내의 캐비티 개수 결정, 러너 시스템의 전역적 형상 설계, 지역적 형상 설계로 구성된다. 전역적 형상 설계는 복수의 캐비티를 갖는 경우에 금형 전체의 주입구에서 각 캐비티의 입구까지의 러너의 연결형태를 결정하는 것이고, 지역적 형상 설계는 하나의 캐비티로의 입구에서 캐비티의 각 게이트까지의 러너의 연결형태를 결정하는 것이다.

변수 설계에서는 모든 캐비티가 동시에 충전되고, 금형의 주입구에서 각 게이트까지의 압력 차이가 모두 같도록 러너의 지름과 게이트의 크기를 결정하는 것이다. 이 때 사출기계의 특성을 고려해 최대 압력 차나 냉각 시간 등의 조건들도 고려해 주어야 한다.

CAE 기술의 발전을 통한 많은 해석 프로그램의 등장으로 금형 설계의 시행착오가 줄어들고 짧은 시간에 금형 제작이 가능하게 되었으며 이로 인하여 많은 비용의 절감 효과도 얻게 되었다. 따라서 설계자는 이러한 상용 프로그램을 이용하여 결과를 분석하고, 새로운 설계를 도출하여 다시 해석을 수행하는 식으로 설계를 수행할 수 있게 되었다. 또한 이러한 과정까지도 컴퓨터를 이용하여 최적화 프로그램을 수행하도록 하기 위한 연구도 진행되고 있다.<sup>(1-5)</sup> 그러나 아직까지 이러한 연구가 실제 현장에서 복잡한 형상의 제품에 대하여 설계자의 개입이 전혀 없이 컴퓨터 스스로 최적화를 수행하는 단계에까지는 이르지 못하고 있다.

게이트의 위치설계를 위해서는 러너시스템을 해석에 포함시켜야 하므로 본 연구에서는 이를 수치적으로 모사하기 위하여 모조러너를 개발하였고, 개발된 결과를 PC 환경 기반의 사출성형 공정 해석 시스템인 CAMPmold<sup>(6,7)</sup>에 연계시켜 자동차의 계기판 형상에 대한 게이트의 위치설계를 수행하였다. 설계의 주 목적은 충전 시 미성형의 발생을 막고, 최대압력을 감소시켜 형체력을 감소시키며, 봉합선의 발생을 억제하거나 감소시키는 것으로 하였다. 이 때 게이트의 개수를 1 개에서 3 개까지 변화시키며 각각의 경우에 대한 설계를 수행하여 해석 결과를 비교 검토하였다.

## 2. 해석 시스템의 구성

### 2.1 CAMPmold 개요

CAMPmold 는 헬리쇼 (Hele-Shaw) 유동 모델을

가정하고 FEM/FDM 복합 해석기법 및 검사 체적법을 사용하여 충전 및 충전 후 과정의 연계 해석을 수행한다.

대부분의 사출성형공정의 충전과정 해석 시 주입구에서의 경계조건으로 일정 사출량속도 조건 (constant injection rate condition)이 주어진다.

이전의 사출성형 충전과정 해석 연구에서는 매 압력 계산마다 주입구에 일정 압력 조건을 가정하고, 주어진 유량속도 조건을 만족시키도록 추가적인 반복계산을 수행하여야 했다. 즉, Fig. 1 에서와 같이 초기 압력 조건 하에서 유동 선단에서의 총 질량 유속 (mass flux)을 계산하고 이를 주어진 유량속도 조건과 비교하여 압력 조건을 적절하게 조절하는 수치적 반복계산을 유량속도 조건이 만족될 때까지 수행하였다. 이 경우에는 반복계산으로 인해 해석 시간이 오래 걸릴 뿐 아니라 고분자의 압축성을 고려한 해석의 경우에는 식 (1)에서와 같이 유동 선단에서의 총 질량 유속이 주입구에서의 질량유입율과 같지 않기 때문에 실제 사출 성형 조건을 엄밀히 만족시키지 못하게 되는 단점이 있다.

$$\dot{m}_e = \frac{\partial m}{\partial t} + [\text{mass flux}] \quad (1)$$

여기서  $m$  은 현재 충전된 고분자의 질량,  $\dot{m}_e$  는 주입구에서의 질량유입율이다.

CAMPmold 를 이용한 해석에서는 주입구에서의 일정질량유입율 조건을 직접 수식화에 적용함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있다.

그 외에, CAMPmold 에서는 온도장, 압력장의 해석 결과와 열점탄성 모델 (thermo-viscoelastic model)을 사용하여 최종 제품 내의 잔류응력과 수축, 뒤틀림의 해석<sup>(8)</sup> 및 단섬유 보강 사출성형의 섬유배향 해석을 수행할 수 있다.<sup>(9-12)</sup>

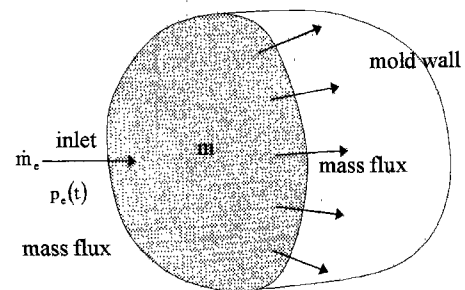


Fig. 1 Schematic diagram of the mass flow rate and mass flux

2.2 모조 러너 (dummy runner)

균형으로 유입된 수지는 러너 시스템을 거치면서 각 게이트에 도달하게 된다. 이러한 경우를 수치적으로 정확히 묘사하기 위해서는 러너 시스템을 고려하여야 한다. 그러나 게이트의 위치 설계를 위해서는 임의의 위치를 게이트로 설정하여 여러 번 해석을 수행해야 하기 때문에 러너시스템을 같이 고려해 줄 경우 계산 효율이 떨어지게 된다. 따라서 일반적으로는 러너시스템은 무시하고 게이트에서 경계조건을 가정하여 해석한다.

그러나 본 연구에서와 같이 주입구에서 일정사출량속도 조건을 직접 만족시키는 경우에는 충전이 시작될 후 각 게이트에서의 질량유입율이 캐비티 내에서의 압력 구배 등에 영향을 받으므로 이를 미리 지정해 주기가 어렵다.

이러한 불편을 해소하고 간단히 게이트의 위치만 설정하여 해석을 수행할 수 있도록 다음과 같은 모조 러너를 고안하였다.

러너나 스프루 내의 유동은 Fig. 2 에 나타낸 것과 같이 일차원 축대칭으로 가정하여 해석할 수 있다. 이 경우 연속방정식, 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\rho r v) = 0. \tag{2}$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \eta \frac{\partial u}{\partial r} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} = 0. \tag{3}$$

여기서  $x, r$  은 Fig. 2 에 정의되어 있는 좌표이며,  $(u, v)$  는  $(x, r)$  방향의 속도,  $t$  는 시간,  $p$  는 압력을 나타낸다. 또한,  $\rho$  는 밀도 (density),  $\eta$  는 점성계수 (viscosity)를 나타낸다.

이 때 적용되는 경계조건은 다음과 같다.

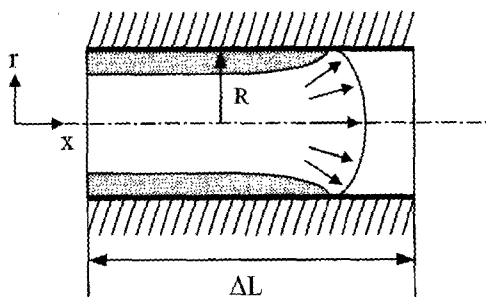


Fig. 2 Schematic diagram of 1-D axisymmetric flow

$$\begin{aligned} u &= 0, & \text{at } r &= R, \\ \frac{\partial u}{\partial r} &= 0, & \text{at } r &= 0. \end{aligned} \tag{4}$$

여기에서  $R$  은 러너의 반지름이다. 이로부터 체적속도를 구하면 다음과 같다.

$$\dot{q}_{cyl} = \frac{\pi}{8\eta} R^4 \frac{\Delta p}{\Delta L}. \tag{5}$$

위 식에서  $\eta$  는 일정하다고 가정하였다. 따라서 유동선단이  $\Delta L$  을 지나는 시간  $\Delta t$  는 다음과 같이 나타내어질 수 있다.

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{\left( \dot{q}_{cyl} / (\pi R^2) \right)} = \left\{ \frac{1}{\Delta p} \left( \frac{\Delta L}{R} \right)^2 \right\} (8\eta). \tag{6}$$

모조 러너는 하나의 주입구, 즉, 스프루 (sprue) 에 유입된 수지를 각 게이트에 분배해 주는 역할만을 위하여 고안된 것이므로 모조 러너를 통과하는 동안 고분자의 냉각이나 성질 변화는 없다고 가정하였다. 만일 고분자가 모조 러너를 통과하는 시간이 매우 짧은 경우에는 본 가정이 타당함을 알 수 있다. 이는 식 (6)에서  $\Delta L/R \ll 1$  으로 만들어주면  $\Delta t \ll 1$  됨을 알 수 있다.

모조 러너란 이러한 사실을 이용하여 모조 러너의 부피가 무시할만 하고  $\Delta L/R$  이 매우 작은 값을 갖는 가상적인 러너를 뜻한다.

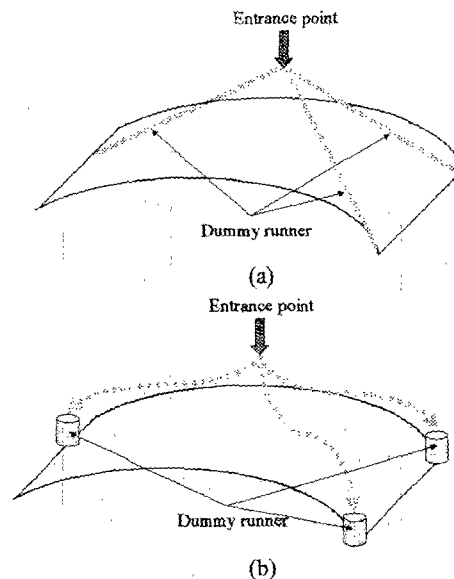


Fig. 3 Schematic diagram of dummy runners

1 개 이상의 게이트를 갖는 형상 해석 시, 각 게이트를 모조 러너를 이용하여 한 점으로 연결시키면 이 점을 주입구로 설정할 수 있다. 이 때, 기하학적으로는 Fig. 3 의 (a)와 같이 주입구와 각 게이트 간의 거리가 다르지만, 계산 시에는 각 모조 러너는 동일한 수의 요소로 나뉘고 각 모조 러너의 길이와 반지름이 미리 지정된 값으로 들어가게 되므로 결국 Fig. 3 의 (b)와 같이 주입구에서 각 게이트 간의 거리는 동일하게 인식된다.

3. 계기판 사출성형의 게이트 위치 설계

자동차의 계기판은 사출 성형으로 제작되는 자동차 부품의 대표적인 예다. 이것은 크기가 커서 충전 시 미성형의 위험이 있고, 외부에 노출되는 부품으로 미관상으로도 좋아야 하므로 게이트의 위치를 특히 잘 설계해야 하는 부품이다.

본 연구에서는 CAMpmold 의 모조 러너 기능을 이용하여 실제 계기판 형상에 대한 게이트 위치 설계를 수행하였다. 사용된 형상은 폭이 약 800 mm 정도의 자동차의 계기판 형상으로 Fig. 4 에 나타내었고 두께는 5 mm 로 일정하게 설정하였다. 사용된 요소 수는 3506 개, 절점 수는 1933 개이다.

해석에 사용된 재료는 PS (polystyrene)이고, 점성 모델로는 크로스 (Cross-type) 모델, 압축성 모델로는 타이트 (Tait) 상태방정식에 액상과 고상을 고려한 식을 사용하였다. 해석에 사용된 상수값은 Table 1 과 Table 2 에 나타내었다.

공정 변수로는 배럴 온도는 230 °C, 금형 온도는 50 °C, 사출 속도는 300 cm<sup>3</sup>/sec 을 사용하였다.

Fig. 5 에 이러한 조건하에서 수행된 계기판 사출 성형 해석 예제 중 충전과정 종료 후의 압력장

분포를 나타내었다. 압력장의 경우, 게이트에서부터 최종 충전구역까지 압력이 꽤 일정한 비율로 감소함을 알 수 있다.

Table 1 Viscosity model constants for PS

Symbol	Value
n	0.2520
τ*	3.080×10 <sup>4</sup> Pa
D <sub>1</sub>	4.76×10 <sup>10</sup> Pa·s
D <sub>2</sub>	100 °C
D <sub>3</sub>	5.1×10 <sup>-7</sup> °C/Pa
A <sub>1</sub>	25.74
A <sub>2</sub>	61.06 °C

$$\eta(\dot{\gamma}, T, p) = \frac{\eta_0(T, p)}{1 + \left\{ \frac{\eta_0(T, p)\dot{\gamma}}{\tau^*} \right\}^{1-n}}$$

$$\eta_0(T, p) = D_1 \exp\left\{ -\frac{A_1 [T - T^*(p)]}{A_2 + D_3 p + [T - T^*(p)]} \right\}$$

$$T^*(p) = D_2 + D_3 p.$$

Table 2 Specific-volume model constants for PS

Symbol	Value
b <sub>1,l</sub>	9.72×10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> /kg
b <sub>2,l</sub>	5.44×10 <sup>-7</sup> m <sup>3</sup> /kg°C
b <sub>3,l</sub>	1.68×10 <sup>8</sup> Pa
b <sub>4,l</sub>	4.08×10 <sup>-3</sup> °C <sup>-1</sup>
b <sub>1,s</sub>	9.72×10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> /kg
b <sub>2,s</sub>	2.24×10 <sup>-7</sup> m <sup>3</sup> /kg°C
b <sub>3,s</sub>	2.62×10 <sup>8</sup> Pa
b <sub>4,s</sub>	3.00×10 <sup>-3</sup> °C <sup>-1</sup>
b <sub>5</sub>	100 °C
b <sub>6</sub>	5.1×10 <sup>-7</sup> °C/Pa

$$v(T, p) = \frac{1}{\rho} = v_0(T) \left[ 1 - 0.0894 \ln \left( 1 + \frac{p}{B(T)} \right) \right]$$

$$v_0(T) = \begin{cases} b_{1,l} + b_{2,l}(T - b_5) & \text{for } T > T_g \\ b_{1,s} + b_{2,s}(T - b_5) & \text{for } T \leq T_g \end{cases}$$

$$B(T) = \begin{cases} b_{3,l} \exp\{-b_{4,l}(T - b_5)\} & \text{for } T > T_g \\ b_{3,s} \exp\{-b_{4,s}(T - b_5)\} & \text{for } T \leq T_g \end{cases}$$

$$T_g(p) = b_5 + b_6 p.$$

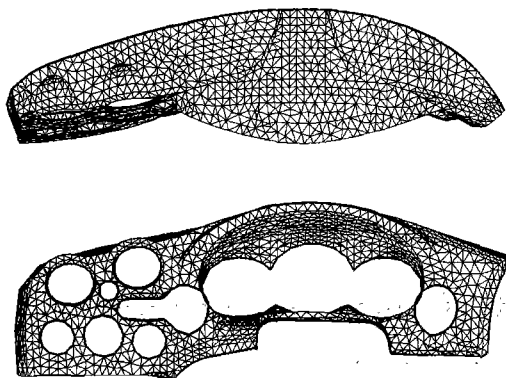


Fig. 4 Mesh layout for the dashboard panel

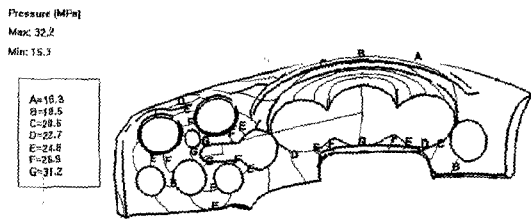


Fig. 5 Pressure distribution at the end of filling in the dashboard panel

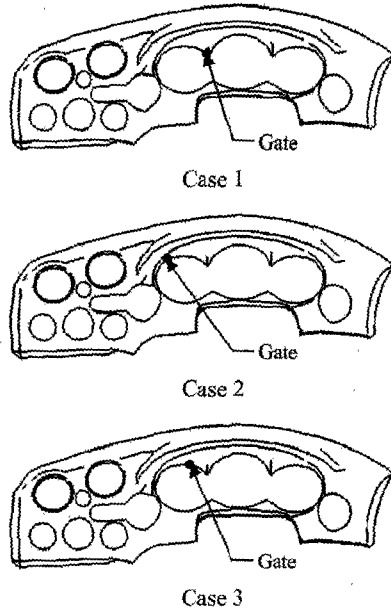


Fig. 6 Three cases of 1-gate location

게이트 위치 설계의 목적은 다음과 같다. 첫째, 최대 압력을 최소화한다. 충전 과정 시, 요구되는 압력이 높으면 미성형 등의 불량이나 나타나기 쉬우므로 최대 압력, 즉, 주입구에서의 압력은 낮을수록 좋다. 둘째, 형체력을 최소화한다. 일반적으로 최대 압력이 낮으면 전체적인 압력이 낮으므로 이것은 첫번째 목적과 중복되는 경향이 있으나 제품의 형상에 따라 반드시 중복된다고는 볼 수 없으므로 하나의 독립된 설계 목적으로 포함시켰다. 셋째, 봉합선의 발생을 막거나 최소화시킨다.

설계 시 게이트의 개수는 1 개에서 3 개까지 고려하였다.

(i) 게이트 1 개소

게이트가 1 개인 경우는 균형충전을 위하여 게이트를 전체 형상의 중앙에 위치시킨다는 계획을 세우고 Fig. 6 과 같이 세가지 경우의 해석을 수행

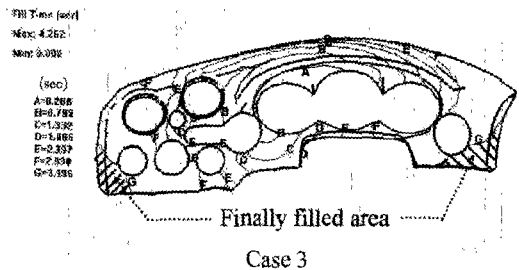
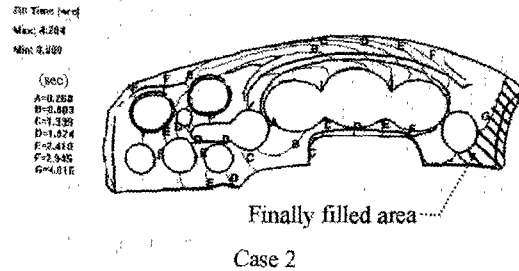
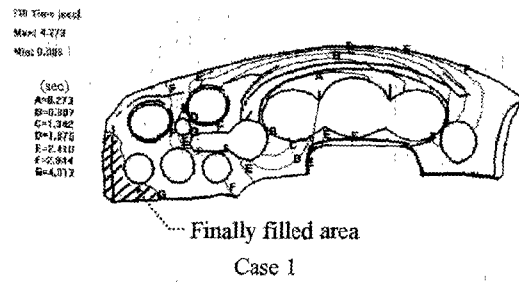


Fig. 7 Filling time distribution of each case of 1-gate location

Table 3 Maximum pressure and clamping force for each case

	Case 1	Case 2	Case 3
$P_{max}$ (MPa)	38.44	36.15	28.45
$F_{clamp}$ (kN)	1870.68	1845.37	1070.95

하여 최적의 위치를 탐색하였다.

세가지 경우에 대한 충전 시간 분포와 계산된 최대 압력과 형체력을 각각 Fig. 7 과 Table 3 에 나타내었다. 최대 압력은 항상 주입구에 위치한다.

Case 1 과 Case 2 의 경우 최종 충전 지역이 각각 왼쪽과 오른쪽에 치우침으로 인하여 이곳이 충전되는 동안 나머지 지역의 압력이 상승하여 최대 압력과 형체력이 증가하였음을 알 수 있다. 따라서 게이트가 1 개인 경우 수지가 균형 있게 충전하는 Case 3 의 위치가 최적의 게이트 위치임을 알 수 있다.

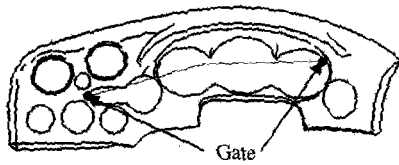


Fig. 8 2-gate locations

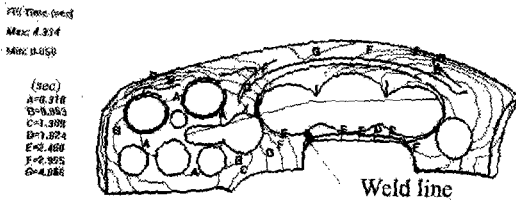


Fig. 9 Filling time distribution and weld line

Table 4 Maximum pressure and clamping force for each case

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
$P_{max}$ (MPa)	28.89	33.38	31.64	32.33
$F_{clamp}$ (kN)	1366.36	1779.68	1608.22	1710.34

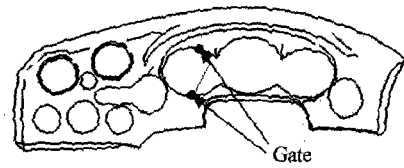
(ii) 게이트 2개소

게이트가 2 개인 경우, 먼저 게이트를 좌우로 분산시키는 계획을 세우고 Fig. 8 에 나타난 위치에서 해석을 수행하여 보았다.

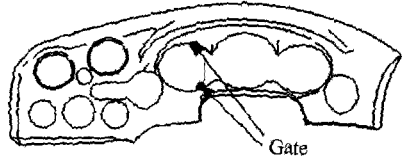
해석 결과 최대압력은 20.24 MPa 이고, 형체력은 1228.09 kN 을 나타내었다. 최대 압력의 경우는 게이트가 하나인 경우보다 낮은 결과를 보여주었으나 형체력은 증가하였다. 이것은 최대 압력이 분포하는 영역의 수직방향이 균형의 개폐방향쪽으로 분포하여 적은 압력으로도 큰 형체력을 발생시켰기 때문이다. 이 경우 Fig. 9 에서와 같이 제품의 중앙 부분에 봉합선이 발생하였다. 따라서 봉합선을 제거하기 위하여 2 개의 게이트를 상하로 분산시키는 계획을 세우고 Fig. 10 과 같은 4 가지 경우에 대하여 해석을 수행하고 최적의 위치를 탐색하였다.

네 가지 경우에 대해 계산된 최대 압력과 형체력을 Table 4 에 나타내었다.

결과를 살펴보면 Case 1 이 가장 좋은 결과를 보임을 알 수 있다. 그러나 이것은 게이트가 1 개인 경우의 최적위치보다는 좋지 못한 결과를 보이는 데, 그 이유는 봉합선을 없애기 위해 게이트를 모두 중심부에 위치시킴으로써 주입로를 분산시키는 효과를 충분히 얻지 못한 데다가 유동의 균형 측면에서도 게이트 1 개의 경우보다 비효율적이었기 때문이라고 판단된다.



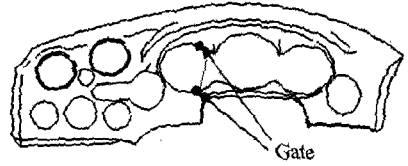
Case 1



Case 2



Case 3



Case 4

Fig. 10 Four cases of 2-gate location

(iii) 게이트 3개소

게이트가 3 개인 경우, 먼저 2 개의 게이트를 좌우로 분산시켜 최대압력과 형체력의 감소를 피하고, 나머지 1 개의 게이트를 적절히 위치시켜 봉합선의 발생을 막을 계획을 세우고 Fig. 11 에서와 같이 네 가지 경우에 대하여 해석을 수행하였다.

해석 결과 Fig. 12 에서와 같이 네 경우 모두 봉합선의 완전한 제거에는 실패하였다. 그러나 Case 1 의 경우 좌우의 두 유동이 낮은 온도 (130~140°C)에서 작은 접합각을 가지고 접합하여 좁고 깊은 봉합선의 발생이 예상되는 데 비해, 나머지 경우들은 비교적 높은 온도 (140~150°C)에서 큰 접합각을 가지고 만나 봉합선의 크기가 감소하거나 소멸될 가능성을 보였다.<sup>(13)</sup> 특히 Case 2 는 좌우 두 유동이 높은 온도에서 접합하므로 봉합선의 크기가 매우 작을 것으로 예상된다. 따라서 공정 조건의 개선, 특히 용융 온도나 균형 온도를 증가시키는 것에 의해 봉합선을 충분히 감소시킬 수 있을 것이다.

네 가지 경우에 대해 계산된 최대 압력과 형체

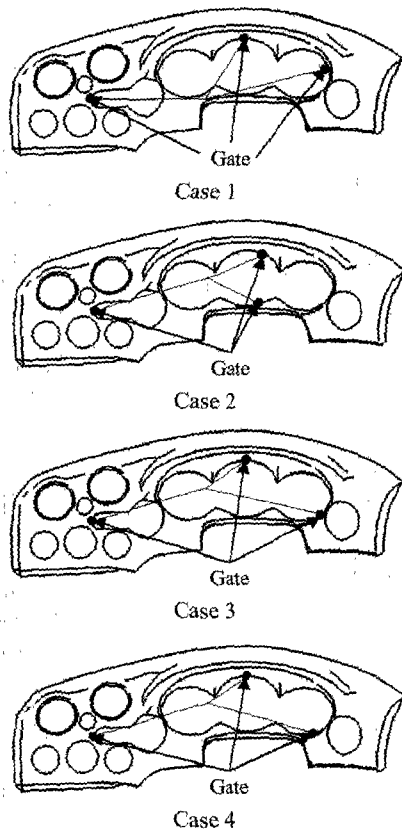


Fig. 11 Four cases of 3-gate location

Table 5 Maximum pressure and clamping force for each case

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
$P_{max}$ (Mpa)	18.58	20.93	18.59	19.04
$F_{clamp}$ (kN)	1172.01	1222.46	1168.87	1185.81

Table 6 Maximum pressure and clamping force

	Number of gate	$P_{max}$ (MPa)	$F_{clamp}$ (kN)
A	1	28.45	1070.95
B	2	28.89	1366.36
C	3	20.93	1222.46
D	3	18.59	1168.87

력을 Table 5 에 나타내었다.

결과를 살펴보면 Case 3 의 경우가 최대압력과 형체력이 가장 작음을 알 수 있다. 그러나 Case 2 의 경우가 불합선의 크기가 가장 작기 때문에 이 점을 고려한다면 최적의 게이트 위치는 Case 2 와 Case 3 중의 하나로 선택하여야 할 것이다.

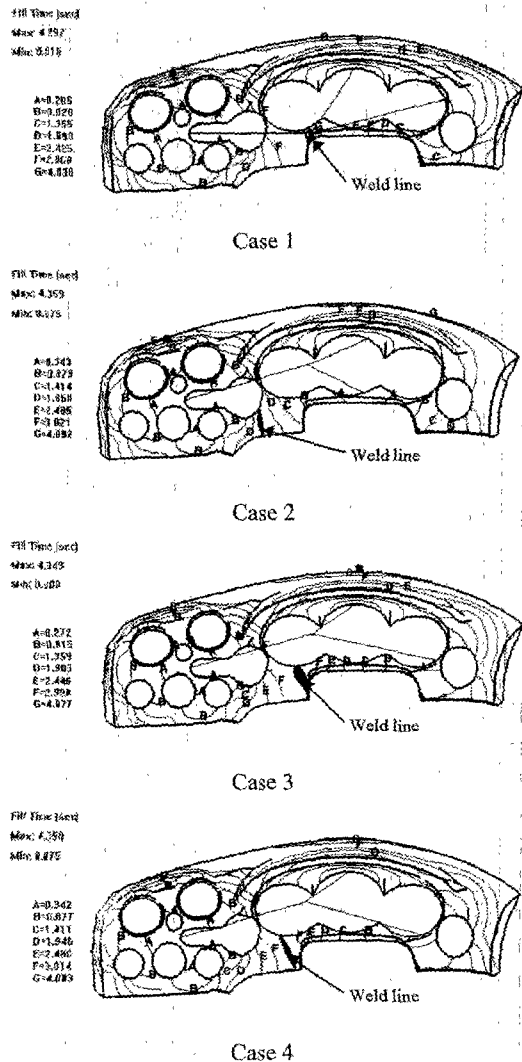


Fig. 12 Filling time distribution and weld line for each cases of 3-gate location

지금까지의 각 게이트 개수에 대한 설계 결과를 종합하면 Table 6 과 같다. 여기서 A 는 게이트 1 개소의 Case 3, B 는 게이트 2 개소의 Case 1, C 와 D 는 각각 게이트 3 개소의 Case 2 와 Case 3 를 나타낸다.

결과에서 알 수 있듯이 A 와 B 의 경우에는서 예외이지만 게이트의 수가 많아지면 최대 압력과 형체력은 낮아지는 경향이 있다. 최대 압력은 게이트의 위치에서 나타나며 고분자가 유입됨에 따라 점차 증가하는데, 게이트의 수가 많아지면 각 게이트를 통해 유입되는 고분자의 양이 감소되어 적은 압력하에서 충전을 완료시킬 수 있기 때문에 나타나는 현상이다. 형체력은 최대 압력이 낮은

경우에 작게 나타났다. 그러나 게이트가 많아질수록 최대 압력이 감소하는 비율에 비해서는 적은 비율만큼 감소한 것을 알 수 있다. 이것은 최대 압력이 낮아져서 전체적으로 압력크기가 작아지지만 높은 압력이 분포하는 게이트 주변의 영역이 게이트의 개수가 많아질수록 증가하기 때문이다.

한편, 위의 결과는 러너 시스템을 모조 러너로 간략하게 나타내는 방법을 통해 얻어진 것이기 때문에 게이트가 많아질 경우 러너 시스템이 복잡해지고, 이로 인한 재료의 낭비량이 증가하게 되는 등의 단점이 고려되지 않은 경우이다. 이러한 사항들은 원통형 요소를 이용하여 실제의 러너 시스템을 구성하여 해석을 수행함으로써 고려될 수 있다.<sup>(14)</sup> 이와 같이 최종적인 선택은 실제 러너 시스템을 구성하였을 때의 제약점과 공정 조건의 설계를 고려하여 결정되어야만 한다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 PC 기반 사출성형공정 해석 시스템으로 개발된 CAMPmold 를 이용하여 복잡한 형상에 대한 게이트의 위치 설계를 수행하였다. 게이트의 위치 설계 시 위치를 바꿀 때마다 새로 러너 시스템을 구성해 주는 불편을 없애기 위하여 모조 러너를 고안하여 1 개 이상의 게이트를 갖는 경우에 대하여도 게이트의 위치만을 설정함으로써 해석이 가능하도록 하였다. 이것을 이용하여 자동차의 계기판 형상에 대하여 최대 압력과 형체력을 최소화하고 봉합선을 없애거나 작게 하는 것을 목표로 게이트 위치 설계를 수행하였다. 게이트가 1 개, 2 개, 3 개인 경우에 대해서 반복적인 해석을 통하여 각 경우의 게이트의 위치를 설계하였다. 해석 결과 균형충전이 잘 수행되도록 위치를 설정하는 것의 중요성과 게이트의 개수가 많아질수록 최대 압력과 형체력이 감소한다는 것을 확인하였다. 그러나 최종 설계안의 결정은 러너 시스템의 구성과 실제 현장에서의 제약점을 고려하여 선택되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- (1) Irani, R. K., Kim, B. H. and Dixon, J. R., 1995, "Towards Automated Design of the Feed system of Injection Molds by Integrating CAE, Iterative Redesign and Features," *Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME*, Vol. 117, No. 1, pp. 72~77.
- (2) Pandelidis, I. and Zou, Q., 1990, "Optimization of Injection Molding Design. Part I : Gate Location Optimization," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 30, No. 15, pp. 873~882.
- (3) Pandelidis, I. and Zou, Q., 1990, "Optimization of Injection Molding Design. Part II : Molding Conditions Optimization," *Polymer Engineering and Science*, Vol. 30, No. 15, pp. 883~892.
- (4) M. Saxena and R. K. Irani, 1993, "An Integrated NMT-Based CAE Environment - Part II : Applications to Automated Gating Plan Synthesis for Injection Molding," *Engineering with Computers*, No. 9, pp. 220~230.
- (5) 임원길, 김영일, 설권, 1996, "사출성형의 게이트 위치 최적화," 한국정밀공학회 '96 년도 춘계 학술대회논문집, pp. 787~791.
- (6) Han, K. H. and Im, Y. T., 1997, "Compressible Flow Analysis of Filling and Post-Filling In Injection Molding with Phase-Change Effect," *Composite Structures*, Vol. 38, pp. 179~190.
- (7) 한경희, 임용택, 1997, "압축성을 고려한 사출성형 충전과정에 관한 연구," 대한기계학회논문집(A), 제 21 권, 제 5 호, pp. 735~745.
- (8) Choi, D. S. and Im, Y. T., 1999, "Prediction of Shrinkage and Warpage in Consideration of Residual Stress in Integrated Simulation of Injection Molding," *Composite Structures*, Vol. 47, pp. 655~665.
- (9) 한경희, 2000, "단섬유 보강 사출성형 시 섬유 배향 해석의 정확도 향상에 관한 연구," 박사학위논문, 한국과학기술원, 기계공학과.
- (10) Han, K. H. and Im, Y. T., 1999, "Modified Hybrid Closure Approximation for Prediction of Flow-induced Fiber Orientation," *Journal of Rheology*, Vol. 43, No. 3, pp. 569~589.
- (11) Han, K. H. and Im, Y. T., 2000, "Effect of Closure Approximation on Fiber Orientation Distribution in Injection Molding," will appear in *International Journal of Forming Processes*.
- (12) Han, K. H. and Im, Y. T., 2001, "Numerical Simulation of Three Dimensional Fiber Orientation in Injection Molding Including Fountain Flow Effect," will appear in *Polymer composites*.
- (13) 윤경환, 조광환, 2000, "이동식 코아를 적용한 웰드라인 제거에 관한 실험적 연구," 대한기계학회논문집(A), 제 24 권, 제 7 호, pp. 1787~1794.
- (14) Han, K. H. and Choi, D. S., 2000, CAMPmold v1.0 manual, "http://camp.kaist.ac.kr/campseries/."

(1) Irani, R. K., Kim, B. H. and Dixon, J. R., 1995,