

효과적인 웰드라인 제어를 위한 사출성형 유동해석

김현필*, 김용조**

Flow Analysis for an Effective Weld Line Control in Injection Molding

Hyun-Pil Kim*, Yohng-Jo Kim**

Abstract

Weld line is one of serious troubles which are observed in a plastic part manufactured by a injection molding process. This is caused by many process factors, which are molding pressure, temperature, velocity, location of a injection gate, mold geometry and material properties. Investigation on the effects of these process factors to the appearance of a weld line was carried out using a finite element method. Filling and packing analyses were carried out by modifying both the configuration of the injection gates and cavity thickness. Proper locations of the injection gates could be determined by considering molding pressure, temperature, velocity and frozen layer, and whereby the weld line was controled. In order to make a weak appearance of the weld line, flow velocity and flow front in a cavity were also investigated by modifying a cavity thickness. As a result, flow front was extended around the corner in the cavity by changing the flow velocity and hence the appearance of the weld line was much weakened.

Key Words : Injection Molding (사출성형), Weld Line (웰드라인), Packing Analysis (보압해석), Filling Analysis (충전해석), Frozen Layer (고화층), Flow Front (유동선단), Flow Velocity (유동속도)

1. 서론

플라스틱 사출성형에서 제품은 외관에 결함이 없고 표면의 미려함을 중요시하는 제품들로서 성형품의 품질관리에 많은 노력을 하고 있다. 사출 성형품 외관의 품질에

영향을 끼치는 중요한 결함(trouble)으로는 일반적으로 웰드라인(weld line), 수축 마크(sink mark), 플로우 마크(flow mark), 충전부족 현상(short shot), 플래시(flash), 은줄(silver streak), 흑줄(black streak), 타버림(burn mark) 등이 있다.⁽¹⁾ 이러한 결함을 발생시키는 중요한 요인으로는 금형

* 창원기능대학 금형 기술과(kimhp58@cw-polytec.ac.kr)
** 경남대학교 기계 공학부

의 정밀도에 따른 성형불량, 온도, 압력 및 체적수축(volumetric shrinkage)등의 성형 조건에 의한 성형 불량, 사출기의 정밀도에 따른 성형 불량, 유동을 고려치 않은 성형품 설계 등이 있으며, 주로 이들이 복합적으로 작용하여 성형품의 불량을 초래하고 있다.^(2,3) 이러한 불량 발생을 감소시키기 위해 금형 제작 완료 후 시험사출(test shot)을 실시하여 수정 보완하던 것을 설계 단계에서 CAE해석을 하여 그 결과를 설계에 반영함으로써 금형의 정도와 수명, 납기를 단축하고 성형 불량을 최소화시킬 수 있는 방법으로 이용되어가고 있다.

많은 사출성형 불량 중에서 성형품 표면에 대표적으로 나타나는 웰드라인은 용융된 수지가 금형 캐비티(cavity) 내에서 분류하였다가 합류하는 부분에 생기는 가는 선 모양을 말하며 2개 이상의 다점 게이트, 구멍이 있는 성형품, 형상이 복잡한 성형품, 살두께(part thickness)가 국부적으로 변화가 심한 부분에서 주로 나타나며⁽⁴⁾, 수지가 합류하는 부분에서 온도와 속도 및 압력 강하, 유동 불량 등에 의해 영향을 받는다.^(1,4) 이 결합은 성형온도, 유동속도, 압력 등의 성형변수 등을 조정하여 제어할 수 있으나 근본적인 해결이 어렵고 특히, 2개 이상의 다점 게이트(multi-gate)가 설치된 사출금형에서 게이트 종류에 따라 다르기는 하지만 피할 수 없이 나타나는 불량 현상의 하나이다. 따라서, 본 연구에서는 웰드라인을 약화시키고 외관상 나타나지 않는 곳으로 최적 제어하기 위해 유동해석을 통해서 성형변수가 웰드라인에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

2. 웰드 라인 대책

웰드라인의 결합을 방지하기 위하여 성형변수인 금형온도, 수지온도, 유동속도, 사출압력 등을 적절히 제어하고 온도 및 압력 강하가 심하게 일어나지 않게 하며, 금형의 사출 게이트 크기를 조정하여 유동선단(flow front)이 넓고 속도가 일정하도록 유동 밸런스(flow balance)를 맞춘다.⁽⁴⁾ 또한 원활한 유동을 위해 급격한 살두께 변화를 피하고, 성형 중에 가스가 금형의 분리선(parting line)에 따라 형성될 수 있게 하며, 이젝터 핀(ejector pin)등의 주위로 가스 빼기(gas vent)가 될 수 있도록 설계한다. 사출 성형품의 품질관리 측면에서 웰드라인은 미관을 저해하고 성형품의 강도 저하를 초래하고 있으며⁽⁵⁾, 칼라(coloring)수지의 경우에는 심한 표면 불량으로 나타난다. 복잡한 성형품의 경우 웰드라인은 피할 수 없으나 설계 단계

에서부터 게이트 위치를 조절하여 예상되는 위치에 가장 적은 웰드라인을 형성시킬 수 있도록 금형설계를 하는 것이 바람직하다. 즉, 제품의 외형에 나타나지 않는 부분에 웰드라인이 형성되도록 하고, 이것이 불가능할 때는 제품의 모서리 및 단이 있는 요철부에 형성되도록 게이트 위치를 선택한다. 본 연구는 이러한 관점에서 도어 성형품의 설계 단계에서부터 유동해석을 실시하여 성형품의 품질관리에 문제점이 없는 지점에 웰드라인을 위치시킬 수 있도록 최적의 게이트 위치 및 게이트 형태를 결정하고, 웰드라인 발생을 약화시켜 최소화하여 적용하는데 있다.

3. 게이트 결정

사출성형에 적용되는 게이트의 형상은 제품의 크기, 형태, 수량 및 금형의 형식에 따라 그 적용 범위가 매우 다양하다.^(6,7) 본 연구에서는 사이드 게이트형(side gate type)과 핀 포인트 게이트형(pin point gate type)을 선택하여 유동해석을 실시하였다.

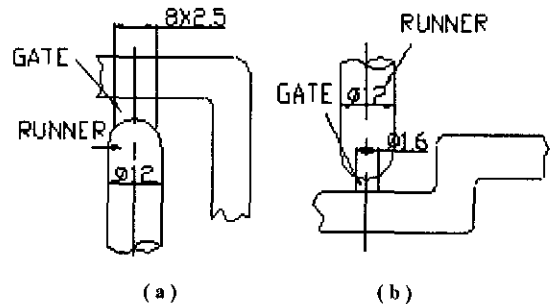


Fig. 1 Injection gate types selected for the finite element simulation of plastic injection molding, (a) side gate and (b) pin point gate

사이드 게이트 형상은 Fig. 1(a)와 같이 게이트의 단면은 8×2.5mm, 러너 직경은 $\phi 12$ mm로 하였고, 핀 포인트 게이트형의 게이트 직경은 $\phi 1.6$ mm, 러너 직경은 $\phi 12$ mm로 하였으며 Fig. 1(b)와 같다. 이러한 게이트 단면의 치수는 성형 사이클(molding cycle) 지면 문제 및 게이트 자국이 품질관리에 문제가 없는 크기로 여러번 시뮬레이션하여 결정하였다.

4. 유동해석의 이론적 배경

사출성형에서 용융수지는 압축성이며 비뉴우튼 유체(non-newtonian fluid)이고, Fig. 2와 같이 금형 벽면에 열을 전달하고 고화층(frozen layer)을 형성하면서 유동하며 용융 선단(melt front)은 분수효과(fountain effect)를 나타낸다⁹⁾. Kennedy⁹⁾등은 유동해석에 지배방정식을 수식화하였으며 이들 지배방정식은 다음과 같다.

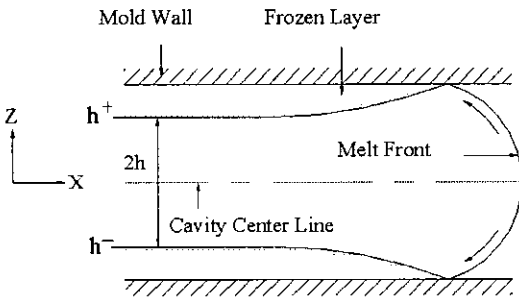


Fig. 2 Cross sectional view of the flow front in the cavity during the injection

◎ 연속 방정식

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

◎ 운동량 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) = \rho \vec{g} + [\nabla \cdot \underline{\sigma}] - [\nabla \cdot \rho \vec{v} \vec{v}] \quad (2)$$

◎ 에너지 방정식

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T \right) = \beta T \left(\frac{\partial p}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla p \right) + p \nabla \cdot \vec{v} + (\underline{\sigma} : \nabla \vec{v}) - \nabla \cdot (k \nabla T) \quad (3)$$

한편, 용융수지가 캐비티 내에 충전(filling phase)되는 동안을 비압축성 과정으로 취급하여 단순화한 지배 방정

식은 다음과 같다.

◎ 연속 방정식

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

◎ 운동량 방정식

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v_y}{\partial z} \right), \quad \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

◎ 에너지 방정식

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

또한, Kennedy⁹⁾, Seow와 Lam¹⁰⁾등은 연속 및 운동량 방정식을 결합시키기 위해 유동성(fluidity)을 도입하여 수식을 단순화하였으며 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(S \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(S \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0 \quad (8)$$

여기서, 첨자(x, y, z)는 좌표축을 나타내고, p는 압력, η는 점성, γ̇는 전단변형률속도(shear rate), ρ는 밀도, c_p는 정압비열, T는 온도, k는 열전도계수, β는 체적팽창계수(volume expansion coefficient), S는 유동성(fluidity)을 나타내며 다음과 같다.

$$S = \int_0^h \frac{z^2}{h} dz \quad (9)$$

캐비티(cavity)내 벽면(mold wall)의 고화층(frozen layer)에서 경계조건(boundary condition)으로 각 유동속도(velocities)는 0이므로

$$(v_x, v_y, v_z) = 0 \quad (\text{at } z = h) \quad (10)$$

또한, 캐비티 중심선에서는

$$\frac{\partial v_x}{\partial z} = \frac{\partial v_y}{\partial z} = 0 \quad (\text{at } z=0) \quad (11)$$

식(5) 및 (6)으로부터 식(12)를 얻을 수 있다

$$\frac{\partial p}{\partial x} z = \eta \frac{\partial v_x}{\partial z}, \quad \frac{\partial p}{\partial y} z = \eta \frac{\partial v_y}{\partial z} \quad (12)$$

성형 두께에 대한 평균유동속도(average velocities)를 구하기 위해 식(12)를 적분식으로 S 를 대입하면

$$\bar{v}_x = -\frac{S}{h} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad \bar{v}_y = -\frac{S}{h} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (13)$$

여기서, 임의의 x, y 방향에 있어 단위 유동 길이에 대한 유동량은

$$m_x = \int_h^{h^*} \bar{v}_x dz, \quad m_y = \int_h^{h^*} \bar{v}_y dz \quad (14)$$

5. 모델링 및 유동해석 조건

성형해석을 위해 제품에 대한 CAD 데이터로부터 유한요소 모델링을 하였다. 격자(mesh)분할시 모델의 곡면부, 게이트 주위 등은 격자수를 좀더 증가시켜 해석의 정도를 높였으며, 요소수를 3800개, 절점수를 2088개로 유한요소 모델을 완성하였다. 해석에 사용된 패넬의 크기는 가로×세로×최대높이가 448×291×42(mm)이며 품질 관리상 웰드라인의 위치를 게이트 맞은편 코너부에 위치시키고 게이트 자국이 성형품 외관의 품질관리에 문제점이 없도록 하였다. 따라서 Fig. 3 및 Fig. 4와 같이 성형품 코너부의 대각선 방향(A,B,C,D)에 게이트를 설치하였다. 유동해석에 사용된 수지의 물성치는 Table 1과 같으며 금형의 온도는 ABS(LK104)수지에 대한 추천 온도인 60℃로 설정하였고, 사출시간(injection time)은 2(sec), 수지 용융온도를 Table 1에 제시된 평균 온도 235℃으로 설정하였다.

6. 유동해석 결과 및 고찰

본 유동해석은 먼저 충전해석(filling analysis) 후 보압해

Table 1 Properties of plastic (ABS : LK104)

Min. melt temperature / Max.	215.0℃ / 255.0℃
Min. mold temperature / Max.	40.0 ℃ / 80.0℃
Generic shear stress (Max.)	0.3 MPa
Generic shear rate (Max.)	50000.0 1/s
Specific heat	1968.0 J/kg/℃
Melt density	926.60 kg/cu.m
Viscosity (temperature 235℃)	530.20 Pa.s
Parallel shrinkage	1.244000e-001
Perpendicular shrinkage	1.487400e-001

석(packing analysis)을 실시하였으며, 사출성형 해석용 MOLD FLOW를 사용하였다.^(9,11) 해석 모델로 사용된 성형품의 벽두께는 안쪽 리브(rib)가 1.0mm, 안쪽 벽이 2.0mm, 윗면 2.2mm, 외곽 테두리 벽이 3.7mm이며, 2종류의 게이트 형식을 적용하여 3차원 유동해석한 결과 각각 Fig. 3 및 Fig. 4와 같은 충전 패턴(Multi-laminate filling pattern)을 나타내었다.

Fig. 3은 사이드 게이트형에 대한 충전해석 결과이며, 웰드라인의 위치를 성형품의 대각선 코너부에 위치시키기 위해 Fig. 3에서 1A, 1B의 위치에 유동수지가 합류하도록 게이트 위치를 5mm씩 좌우로 이동시키면서 해석을 반복하였고, 성형품 전체에 미충진 현상(short shot)이 나타나지 않는 위치를 구할 수 있었다.

Fig. 3에서 약 2.229 sec.에 완전히 캐비티에 충전되는 유동 결과를 확인할 수 있으며 유동패턴은 합류된 1A, 1B에서 성형품 대각선 모서리에 정확히 일치한 충전상태를 알 수 있었다. Fig. 4는 편 포인트 게이트형의 캐비티 충전

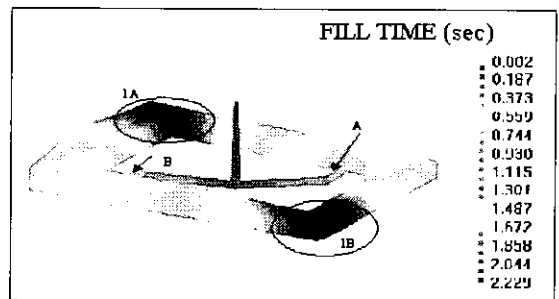


Fig. 3 Cavity filling pattern in injection molding of a panel with the side gate type

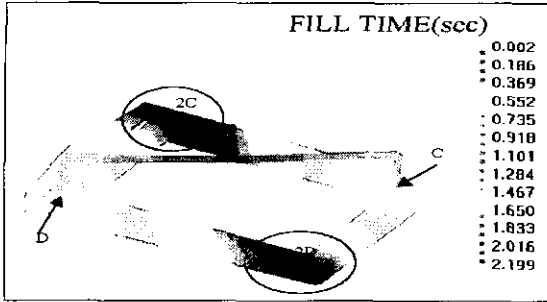


Fig. 4 Cavity filling pattern in injection molding of a panel with the pin point gate type

상태를 보여주고 있는 해석결과이며, C 및 D의 게이트 위치를 패널의 정 모서리에 위치시켜 게이트 자국이 품질관리에 문제점이 없도록 고려하여 해석하였다.

이 결과 성형품 전체에 미충전 현상(short shot)이 나타나지 않았다. 약 2.199sec.에서 캐비티에 충전이 완료되었으며, 2C 및 2D의 부분에서 확인할 수 있듯이 합류된 충전패턴이 코너부에 일치하지 않고 경사가 심하게 합류하는 해석 결과를 얻었다.

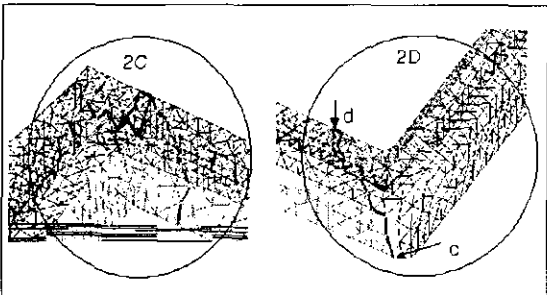


Fig. 5 Weld lines estimated by filling analysis of the injection molding with the pin point gate type (corresponding to Fig. 4)

Fig. 5는 유동해석 후 Fig. 4에서 나타난 2C 및 2D 부분의 웰드라인 생성 결과이며 성형품 코너부에서 매우 떨어진 곳에 경사지고 강하게 나타난 웰드라인을 보여주고 있다. 특히 2C 및 2D의 부분에서 내측, 외측, 뒷면에 경사가 심하고 길게 발생한 웰드라인은 성형 후 강도가 저하되고⁽¹¹⁾ 성형 표면에 두드러지게 나타나 성형 품질을 저해하는 요인이 될 수 있다.

Fig. 6 은 Fig. 5의 2D 부분에 발생한 웰드라인 부분을

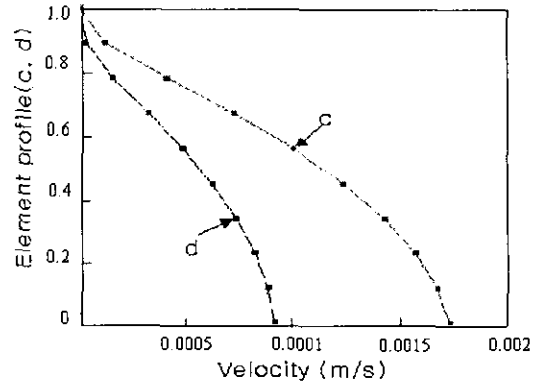


Fig. 6 Flow velocities at filling time of 2.10sec. in injection molding with the pin point gate type (corresponding to Fig. 5)

완전히 충전되기 전 2.10sec.에서 특정 요소(c, d)의 유동속도(flow velocity)를 나타낸 것이며, c인 외측이 d인 내측보다 빠르게 유동하는 결과를 확인할 수 있다. 따라서 충전과정에서 외측과 내측의 유동속도 차이로 유동균형(Balanced flow paths)이 맞지 않아 합류되면서 Fig. 5의 2D부분과 같이 길고 경사가 심한 웰드라인이 발생되어진 결과를 알 수 있다.

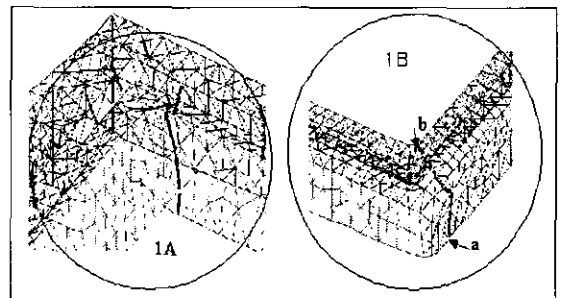


Fig. 7 Weld lines estimated by filling analysis of the injection molding with the side gate type (corresponding to Fig. 3)

Fig. 7은 유동해석 후 Fig. 3에서 나타난 1A 및 1B 부분의 웰드라인 생성 결과를 나타낸 것이며, Fig. 5의 2C 및 2D 부분에서 발생한 웰드라인의 상태와 비교해 보면 웰드라인의 경사가 심하지 않으며 길이가 짧은 매우 양호한 형상으로 거의 코너부에서 발생하였음을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 Fig. 7의 1B 부분에 발생된 웰드라인 부분을 완전 충전되기 전 2.10sec.에서 특정 요소 a 및 b의 유동 속도의 결과를 나타낸 것이다.

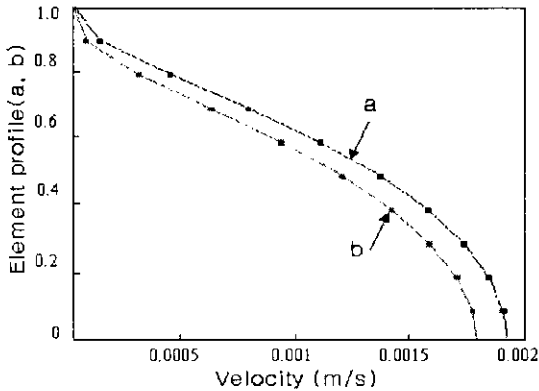


Fig. 8 Flow velocities at filling time of 2.10sec. in injection molding with the side gate type (corresponding to Fig. 7)

외측에 있는 요소 a는 내측의 요소 b 보다 빠른 유동 속도 차이를 나타내고 있으나, Fig. 6의 결과와 비교하면 유동 속도 편차가 매우 적음을 보여주고 있다. 따라서 충전과정에서 성형품 외측과 내측의 유동 속도 차이가 크지 않아 Fig. 5에 표시된 2D 부분과 같이 경사가 심하지 않고 짧은 웰드라인이 발생된 것을 확인할 수 있다.

편 포인트 게이트형을 사용한 유동해석에서 Fig. 5와 같이 예측된 웰드라인은 외곡과 경사가 심하고 너무 길게 발

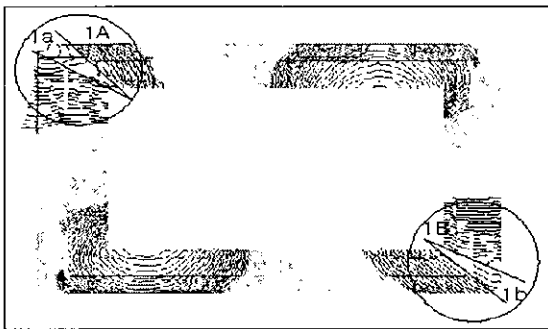


Fig. 9 Cavity filling pattern during the injection molding with the side gate type (corresponding to Fig. 3)

생되어 웰드라인의 위치변경 또는 약화시키기에 매우 어려움이 있다. 따라서, 웰드라인 발생을 억제하고 약화시킬 수 있는 방법을 제시하기 위해 웰드라인 발생이 양호하고 성형품 대각선 정 코너부에 위치시킬 수 있는 Fig. 3의 사이드 게이트형을 이용하여 Fig. 10과 같은 결과를 얻었다.

사이드 게이트형을 사용한 유동해석 결과 충전상태의 유동패스(flow path)를 솔리드 상태로 Fig. 3에 나타내었던 것을 라인 결과로 변환하여 평면도 상태를 Fig. 9에 나타내었다. 여기서 성형품 코너부 1A 및 1B의 유동 합류 상태를 좀더 정확히 파악할 수 있었다. Fig. 9 1A 및 1B 부분의 유동 상태를 보면 내측이 외측보다 유동속도가 느리고, 1a 및 1b에서 나타난 바와 같이 합류하는 각도가 크지 않아 코너부 및 성형품 위 표면에 Fig. 7결과와 같이 웰드라인이 발생된 것으로 해석된다. 또한, 성형품 코너부 1A 및 1B에서 합류하는 각도를 크게 하기 위해서는 성형품 내측 유동속도가 외측보다 빨라져야만 유동선단(flow front)이 코너부에서 넓은 각도로 합류될 수 있을 것이다.

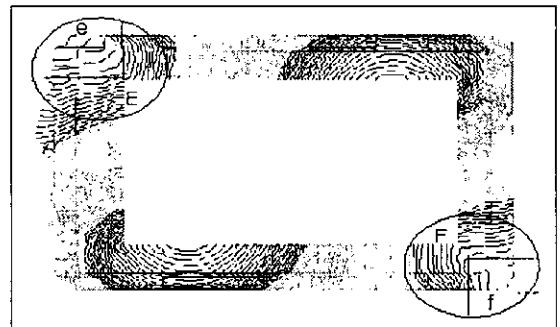


Fig. 10 Cavity filling pattern during the injection molding with the side gate type (using the modified part thickness)

Fig. 10은 유동속도를 조정하기 위해 성형품의 내측 테두리 살두께(part thickness)를 0.2mm 증가시키고 외측은 감소시켜 해석을 다시 실시한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 9에서 나타난 1a 및 1b 위치의 코너부 합류 각도와 비교하면 성형품 코너부 e 및 f 위치의 유동선단들이 넓고 큰 합류 각도를 이루며 충전되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11은 테두리 살두께를 변화시켜 유동해석하여 예측된 코너부의 웰드라인을 상세히 나타낸 것이며, Fig. 10에 표시된 코너부에 해당된다. Fig. 7의 1A 및 1B부분의 웰드라인 발생 결과와 비교하면 현저하게 약화된 결과를

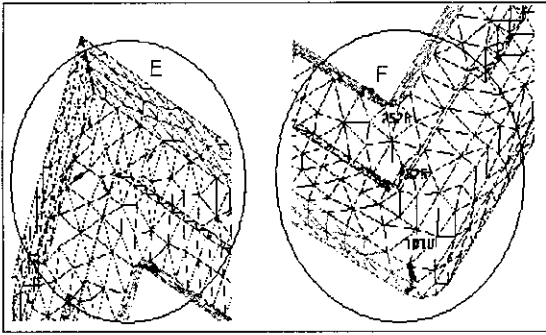


Fig. 11 Weld lines estimated by filling analysis of the injection molding with the side gate type using the modified part thickness

확인할 수 있다. 또한, Fig. 11의 E 및 F 부분의 웰드라인이 성형품 상면에는 전혀 발생되지 않았으며 코너부 외측 모서리에 짧게 위치되어 발생된 결과를 보여주고 있다. 따라서 성형품 살 두께의 변화를 통하여 Fig. 10에서 나타난 성형품 코너부(E, F)의 유동선단과 같이 넓고 큰 합류 각도(e, f)를 이루게 할 수 있으며 이로 인하여 유동선단의 합류되는 각도를 제어할 수 있고, 결국 웰드라인을 현저하게 약화시킬 수 있었다.

Fig. 12는 Fig. 11의 F부분에서 표시된 특정 요소(elements)의 유동속도를 비교하기 위하여 나타난 결과이다. F부분의 내측 요소(2528)에서 유동속도가 외측 요소(2525, 1018)보다 빠르게 나타나고 있다. 또한 웰드라인의 발생이 시작되는 위치인 요소(1018)의 유동속도는 표

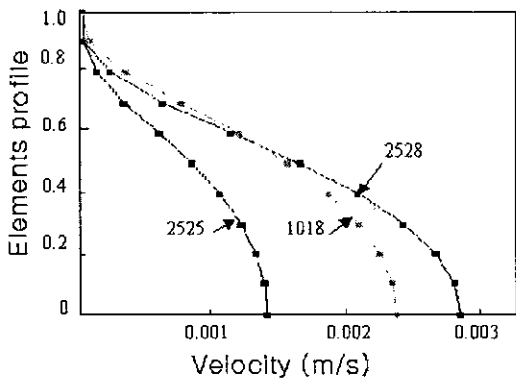


Fig. 12 Flow velocities at filling time of 2.10sec. in injection molding with the side gate type (corresponding to Fig. 11)

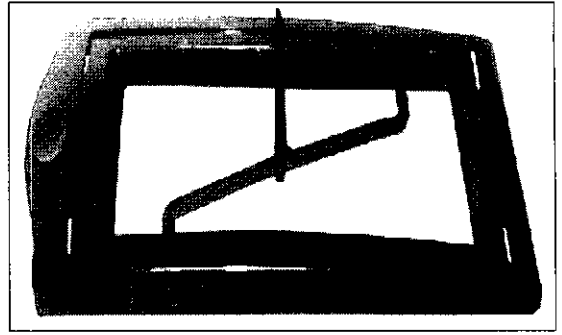


Fig. 13 Plastic door panel produced by injection molding process using the side gate type

면 요소(2525)의 유동속도 보다 빨라지면서 넓은 유동선단을 이루며 외측 모서리로 유동되는 결과를 볼 수 있다. 따라서 성형품 살두께 조절을 통하여 유동속도를 제어할 수 있으며, 유동속도는 유동선단에 영향을 미치며 성형품 코너부에서 유동선단이 넓게 합류하도록 성형변수로 작용됨을 알 수 있다.

유동해석에서 만족할 만한 결과를 보여주고 있는 Fig. 10의 결과를 토대로 실제 도어 패널에 적용하여 생산된 제품을 Fig. 13에 나타내었다. 본 도어 패널에서 발견된 웰드라인은 품질관리 지점인 대각선 코너부에 위치하였으며 코너부 상면에 전혀 나타나지 않았고 코너부 외측 모서리에 매우 약하게 형성되어 유동해석 결과와 거의 일치하였다.

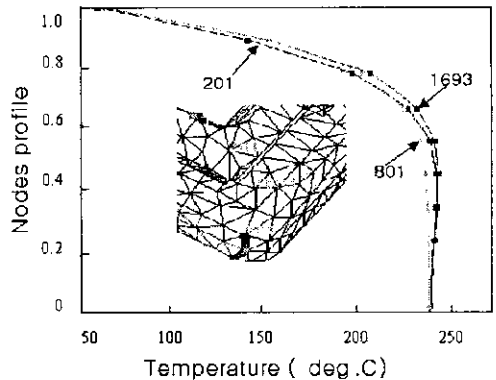


Fig. 14 Thickness profile vs. temperature at the typical elements where a weld line is estimated by the filling analysis (corresponding to Fig. 11)

Fig. 14는 코너부(Fig. 11, F)의 요소에 포함되어 있는 절점(nodes)의 캐비티 단면 유동선단에 대한 온도 분포 결과이다. 웰드라인이 나타나지 않았거나 감소된 각 절점들에서 온도의 편차가 매우 작고, 단면 중앙 부분의 유동 온도(flow temperature)는 본 해석에서 사용된 수지의 유동점온도인 146.30℃보다 높은 약 238℃의 유동온도를 나타내고 있다.

따라서, 합류 부분은 아직 고화(freezing)되지 않았고 유동선단의 온도가 높아 유동성이 좋은 상태에서 유동온도는 Fig. 10에 표시된 e 및 f 위치와 같이 넓은 유동선단을 유지하도록 작용하고 있음을 알 수 있다.

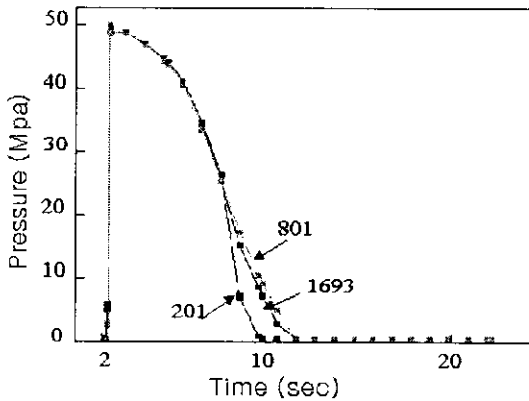


Fig. 15 Packing pressure vs. packing time estimated by packing analysis (corresponding to Fig. 11)

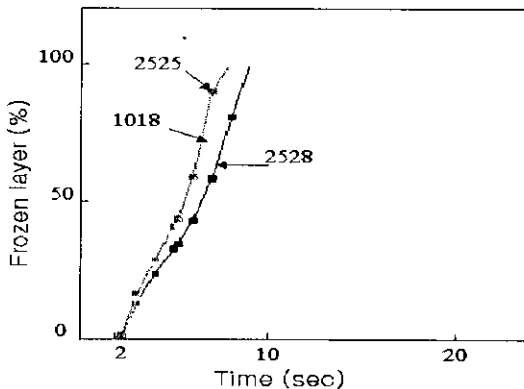


Fig. 16 Frozen layer vs. packing time estimated by packing analysis (corresponding to Fig. 11)

충전해석 후 보압해석을 실시하고 웰드라인 발생이 약화된 곳(Fig. 11, F)에 해당하는 각 절점(nodes)들의 보압 작용 결과를 Fig. 15에 나타내었다. 최대 보압은 50MPa이며 거의 편차가 없이 유동이 합류되어지는 이들 절점에 잘 전달되어 체적수축(volumetric shrink-age)을 보상하게 되며 서서히 감소하여 보압이 끝나는 10sec. 정도에서 압력은 0이 되어지는 결과를 확인할 수 있다.

Fig. 11에 표시된 F부분에서 요소들의 캐비티 두께에 대한 고화율을 Fig. 16에 나타내었다. 충전단계에서 유동선단의 고화는 나타나지 않았으며 충전 완료 후 보압 단계를 거치면서 서서히 고화율이 증가되고 보압이 끝나는 10sec전 후에서 100% 고화 되어지는 결과를 알 수 있다. 따라서 웰드라인은 분류된 수지가 합류되는 부분에 주로 발생되어짐으로 웰드라인을 약화시키기 위해 충전단계에서 합류 부분이 고화 되지 않고 유동온도가 높아 유동성이 좋은 상태에서 큰 편차 없이 압력 전달이 이루어지고 합류되어야 할 것이다.

7. 결론

사출성형에 있어서 웰드라인의 생성을 약화시키기 위한 최적 사출조건을 설계하기 위하여 유동해석을 하였으며, 성형변수인 유동속도, 온도 및 압력 등이 웰드라인을 약화시키는 영향에 관해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 성형품 살두께(part thickness)를 변화시켜 성형변수인 유동속도를 조절할 수 있으며, 유동속도 차이를 이용하여 성형품 코너부에서 유동선단을 넓게 합류시켜 웰드라인 생성을 약화시킬 수 있었다.
- (2) 웰드라인을 약화시키는 넓은 유동선단을 유지하기 위해서는 성형 코너부 합류 부분이 충전단계에서 고화 되지 않고 유동성이 좋은 온도 상태에서 큰 편차 없이 압력 전달이 이루어져야 함을 알 수 있었다.
- (3) 웰드라인의 생성 위치는 사출 게이트 위치의 조정으로 목표 지점에 웰드라인 생성 위치를 결정할 수 있으며 합류 부분에 압력이 잘 전달되고 유동점온도보다 높은 유동 상태를 유지하여 웰드라인 생성을 최소화시킬 수 있었다.

참고 문헌

- (1) 국립공업시험원, "프라스틱 금형(기술자료91-2)",

- pp. 493~558, 1991.
- (2) 일본프라스틱가공기술협회, "사출금형기본과 응용", 기전연구소, pp. 81~96, 201~207, 1985.
 - (3) 일본금형공업회, "프라스틱사출성형설계기준", 기전연구소, pp. 1~30, 1988.
 - (4) Menges/Mohren, "How to Make Injection Molds", Carl Hanser Verlag Munich, pp. 136~154, 1993.
 - (5) Garrett P. Gardner, Robert A. Malloy, "Use of the moving boundary molding technique to strengthen weld lines", pp. 685~691, ANTEC '96
 - (6) Gastrow, "Injection Molds", Carl Hanser Verlag Munich, pp. 4~16, 1993.
 - (7) Klaus Stoeckhert, "Mold-Making Handbook", Carl Hanser Verlag München Wien, pp. 23~35, 1983.
 - (8) Ulrich Lichius, Leopold Schmidt, "Rechnergestütztes Konstruieren von Spritzgieß Werkzeuge", Vogel Buchverlag Würzburg, pp. 31~74, 1986.
 - (9) Perter Kennedy, "Flow Analysis Reference" Mold flow Pty. Ltd., pp. 59~108, 1993.
 - (10) L.W. Seow, Y.C. Lam "Optimizing flow in plastic injection molding" Journal of Materials Processing Technology 72, pp. 333~341, 1997.
 - (11) Moldflow Korea, "Moldflow Training Manual", Moldflow Pty. Ltd., pp. unit 8, 1996.