

복합힌지를 갖는 차량용 정션박스의 게이트 위치설계

김홍석*

(2003년 2월 5일 접수)

Gate Location Design of an Automobile Junction Box with Integral Hinges

Hong Seok Kim

Abstract

Polymers such as polypropylene or polyethylene offer a unique feature of producing an integral hinge, which can flex over a million times without causing a failure. With such advantage manufacturing, time and cost required at the assembly stage can be eliminated by injecting the whole part as one piece. However, due to increased fluidity resistance at hinges during molding, several defects such as short shot or premature hinge failure can occur with the improper selection of gate locations. Therefore, it is necessary to optimize flow balance in injection molding of part with hinges before actually producing molds. In this paper, resin flow patterns depending on several gate positions were investigated by numerical analyses of a simple strip part with a hinge. As a result, we found that gates should be located to minimize flow hesitations at hinge areas in order to avoid defects. For a practical application, four gate systems for an automobile junction box were designed and it was found that the properly determined gate location leads to better resin flow and shorter hesitation time. Finally, injection molding tryouts using a mold that was designed one of the proposed gate systems were conducted using polypropylene that contained 20% talc. The experiments showed that hinges without defects could be produced by using the designed gate location.

Key Words : Injection Molding, Gate Location Design, Integral Hinge, Hesitation Effect, Short Shot

1. 서론

폴리프로필렌(PP, polypropylene)이나 폴리에틸렌(PE, polyethylene)과 같은 수지는 수십 만회 이상의 굽힘에도

파손되지 않는 복합힌지(integral hinge) 특성을 갖는다.⁽¹⁾ 플라스틱 제품에서는 이러한 힌지 특성을 이용하여 제품의 구조를 개선할 수 있을 뿐만 아니라 다수 개의 부품을 일체형으로 생산함으로써 성형 및 조립에 소요되

* 대구대학교 자동차·산업·기계공학부

는 시간과 비용을 대폭 절감할 수 있다.⁽²⁾ 그러나 복합힌지 부위의 두께는 0.3~0.5mm 정도로서 일반적인 제품 두께에 비해 훨씬 작기 때문에 유동저항이 급격하게 증가하여 미성형(short shot)과 같은 성형불량이 발생할 수 있다. 특히, 차량용 부품의 경우 제품의 강도와 강성을 증가시키기 위해 활석(talc) 입자를 첨가한 수지가 널리 사용되고 있는데, 보강재가 첨가될 경우 수지의 유동성이 떨어지기 때문에 힌지부위에서 성형불량이 발생할 가능성이 더욱 커진다. 또한 일반 폴리프로필렌이나 폴리에틸렌 수지가 사용될 경우 권장되는 힌지의 형상을 Fig. 1 (a)에 나타내었는데, 제품 형상이나 기능상의 제한점 때문에 Fig. 1 (b)와 같이 힌지의 랜드 길이(land length)가 크게 설계될 경우 수지의 충전이 더욱 어려워진다.

복합힌지의 수명을 증가시키기 위해서는 수지의 유동 방향이 힌지의 굽힘선과 수직이 되도록 게이트의 위치를 설정하고 성형 직후 힌지를 수차례 굽혀줌으로써 힌지부위에서의 수지 배향성을 증가시키는 방법이 제안되고 있다.⁽³⁾ 또한 복합힌지의 성형성 향상을 위해서는 수지와 굽힘의 온도를 높이고, 1차 사출속도를 증가시키는 것이 유리하다는 연구결과가 발표된 바 있다.⁽⁴⁾ 그러나 힌지를 갖는 제품의 경우 굽힘의 제작 후에 힌지 부위에서 미성형 결합이 발생한다면 사출조건외 조절만으로 문제를 해결하는 것이 쉽지 않다. 예를 들어 힌지에서의 수지 유동성을 증가시키기 위해 수지의 용융온도나 굽힘온도를 올린다면 냉각시간의 증가에 따른 생산성 저하를 피할 수 없게 된다. 또한 제품의 형상이 복잡할 경우 단순히 1차 사출속도를 증가시키는 것이 아니라 사출속도의 다단계어를 통해 힌지 부위에서의 유동선단속도를 극대화시켜야 하는데, 이러한 고도의 조건설정은 작업자의 숙련도와 사출기 성능에 대한 의존도가 높아 양산작업 중 굽힘의 교체나 작업자의 교대 시 불량 발생이나 작업지체의 원인이 될 수 있다. 따라서 일반적인 사출조건 하에서도 힌지의 성형이 가능하도록 수지의 유동양상을 제어하는 것이 바람직하다. 제품 형상의 설계가 완료된 후라면 수지의 유동양상에 가장 직접적인 영향을 미치는 주요 설계인자로서 게이트의 유형과 개수, 위치 등을 들 수 있다. 최근 사출성형에 대한 완성도 높은 CAE 해석 프로그램의 개발과 광범위한 보급에 힘입어 굽힘제작 전에 게이트 위치에 따른 수지의 유동양상을 파악하는 것이 가능하게 되었을 뿐만 아니라,⁽⁵⁻⁷⁾ 자동으로 게이트의 위치를 최적화하고자 하는 노력이 계속되고 있다.⁽⁸⁻¹¹⁾ 그러나 게이트의 위치는 제품형상 외에도 굽힘의 특성 및 작동 구조와의 간섭 여부, 수정의 용이성 등을 고려

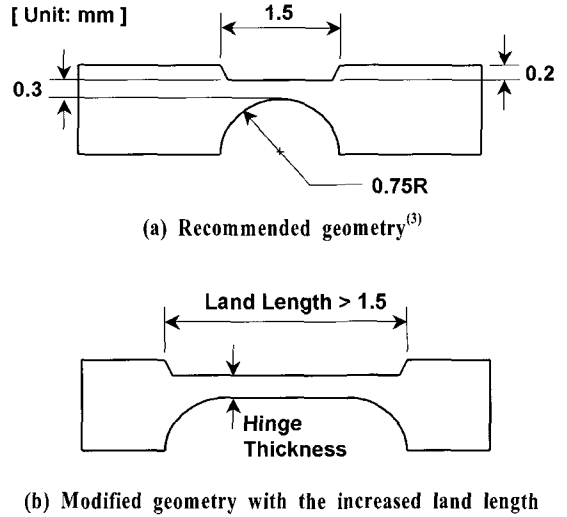


Fig. 1 Geometry of integral hinge for polypropylene and polyethylene

하여 결정되어야 하기 때문에 아직까지는 굽힘설계를 고려한 반복적인 CAE 해석을 통하여 게이트의 위치를 개선하는 방법이 주로 사용되고 있다.

본 논문에서는 복합힌지를 갖는 단순한 판(strip) 형상 제품에 대한 CAE 해석을 통하여 게이트 위치에 따른 힌지에서의 수지 유동특성을 파악하였으며, 미성형의 발생 경향을 고찰하였다. 또한 제품의 하단과 우측단에 복합힌지를 갖는 차량용 정선박스(junction box)에 대한 유동해석을 통하여 미성형을 방지할 수 있는 게이트 위치를 선정하였으며, 시험사출을 수행하여 선정된 게이트 위치의 타당성을 검증하였다. 본 연구에서는 상용 사출 해석 프로그램인 Moldflow⁽¹²⁾를 이용하여 유동해석을 수행하였으며, 시험사출에는 300 톤 사출기가 사용되었다.

2. 복합힌지부의 수지유동 특성

게이트 위치에 따른 힌지 부위의 유동특성을 고찰하기 위해 Fig. 2에 나타난 바와 같이 랜드 길이와 두께가 각각 5.0mm와 0.5mm인 힌지를 갖는 단순한 판 형상 제품에 대하여 게이트의 위치를 Case 1, Case 2, Case 3로 변화시켜 유동해석을 수행하였다. Case 1은 게이트에서 제품 좌측단까지의 거리와 게이트에서 힌지까지의 거리가 동일한 경우이고, Case 2와 Case 3는 게이트의 위치가 힌지 쪽으로 각각 20mm와 40mm씩 이동한 경우이다. 해석에 사용된 수지는 활석입자가 무게비로 20% 함유된 폴리프로필렌(LG 화학, LUPOL HI-5205)으로서

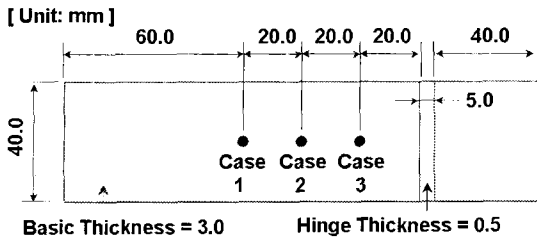


Fig. 2 Geometry of a strip part with a hinge and gate locations used in CAE analyses

Table 1 Material properties of LUPOL HI-5205

Density (g/cm ³)	0.87732
Specific heat (J/kg°C)	2447
Thermal conductivity (W/m°C)	0.15
Transition temperature (°C)	130

Moldflow의 수치 데이터베이스에 저장된 물성치를 사용하였으며, Table 1에 일부 물성치를 나타내었다. 수치와 금형의 온도는 각각 220°C와 55°C로 설정하였는데, 이는 수치 생산업체에서 권장하는 일반 사용조건이다. 사출시간은 1.5 초에 95% 충전이 완료된 후 보압절환이 수행 되도록 설정하였다.

각 경우에 대한 유동선단분포를 Fig. 3 (a)부터 Fig. 3 (c)에 나타내었으며, Table 2에는 힌지에서 유동선단의 최저온도를 나타내었다. Fig. 3 (a)와 Fig. 3 (b)를 비교해 보면 Case 1의 경우 게이트에서 유입된 수지가 약 1.2 초에 제품의 좌측단과 힌지에 도달하였기 때문에 힌지에서의 유동정체가 발생하지 않았으나 Case 2의 경우 힌지에 먼저 도달한 유동선단은 제품 좌측단의 충전이 완료되기 전까지 정체되고 있음을 알 수 있다. 즉, 힌지에서의 유동저항이 상대적으로 크기 때문에 게이트를 중심으로 유동이 용이한 좌측방향의 유동만이 발생하고 있으며, 제품 좌측단의 충전이 완료되기 전까지 힌지에서의 수치 유동은 정체되고 있음을 알 수 있었다. 정체시간동안 힌지에서의 유동선단은 냉각되며 Table 2에 나타난 바와 같이 유동선단온도가 154.6°C까지 저하되었다. Case 3의 경우에는 Case 2보다 수치 유동의 정체시간이 증가하였으며, 제품 좌측단의 충전이 완료되기 전에 유동선단의 고화가 발생하였다. 따라서 힌지에서는 유동선단의 진전이 더 이상 이루어지지 않고 결국 미성형이 발생하는 것으로 예측되었다.

일반적으로 금형제작 후 시험사출 단계에서 미성형이 발생할 경우 가장 직관적인 대응책은 미성형부 근처에

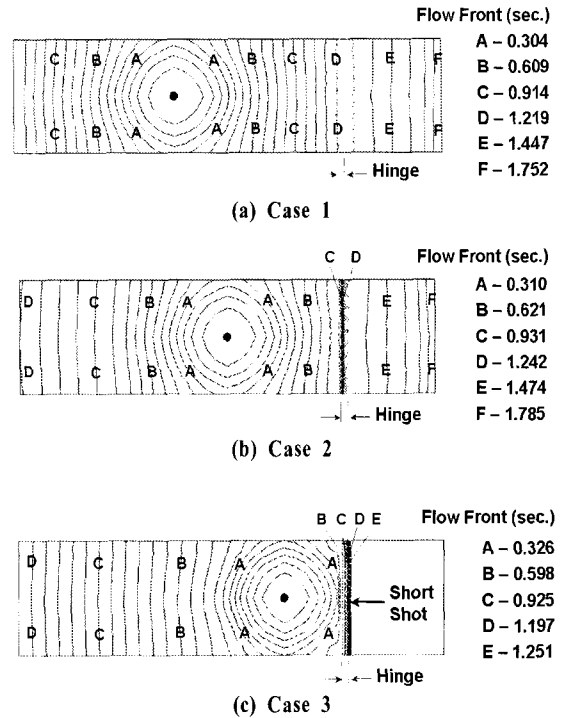


Fig. 3 Predicted flow front by CAE analyses

Table 2 The minimum value of the flow front temperature at the hinge for each case

Case	The minimum temperature at hinge (°C)	Remarks
1	219.6	-
2	154.6	-
3	130.0	Short shot

새로운 게이트를 설치하거나 기존의 게이트를 이동하는 것이다. 특히 균일한 두께를 갖는 제품에 대한 경험이 많은 작업자일수록 미성형의 원인을 게이트가 너무 멀리 떨어져 있어 충분한 사출압력이 작용하지 못하는 것으로 생각하는 경향이 있다. 그러나 제품의 두께 변화가 크고 미성형 결함이 박육부에 발생할 경우 수지가 미성형부 근처에 주입된다면 유동정체시간이 증가하게 되어 수지의 충전은 더욱 어려워지게 된다. 따라서 힌지를 갖는 제품의 경우 힌지 부위에서의 유동정체를 최소화할 수 있도록 게이트의 위치를 선정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

3. 차량용 정선박스의 게이트 위치 설계

3.1 제품 개요 및 해석 조건

Fig. 4에 차량용 정선박스의 개략도를 나타내었는데, 그림에서와 같이 제품의 하단에 3개의 힌지 H1, H2, H3가 설치되어 있고 우측단에는 H4가 설치되어 있다. 모든 힌지의 랜드 길이와 두께는 각각 4.0mm와 0.4mm이고, 제품의 기본 두께는 3.0mm이며 전철의 해석에서 사용되었던 LUPOL HI-5205 수지가 사용되었다. Fig. 4에 나타난 제품은 정선박스의 상단 커버(upper cover)이며, 힌지 H1, H2, H3에 연결된 조립부위가 하단 커버(lower cover)의 장착 구멍에 삽입된 후 굽혀짐으로써 상하 제품이 조립된다. 복합힌지를 채용하기 전에는 강성이 높은 캔틸레버 스냅(cantilever snap)을 사용하여 상하 부품을 조립하였는데, 조립이 완료되면 상단 커버의 재개봉이 매우 어려웠기 때문에 제품의 보수성(repairability)이 낮았다. 그러나 복합힌지를 사용함으로써 개폐가 수월해졌을 뿐만 아니라 상단 커버를 조립시킨 상태에서 전자기판을 장착할 수 있기 때문에 보다 효율적인 조립작업이 가능하게 되었다. Fig. 4의 우측단에 나타낸 'A'는 전자기판과 연결되는 전선 묶음(wire bundle)의 뒷개로서 복합힌지를 통하여 본체에 연결되기 때문에 일체 성형이 가능해졌으며 개폐성이 향상되었다.

진술한 바와 같이 힌지부위에서의 유동정체가 최소화될 수 있도록 게이트를 위치시키는 것이 바람직하지만 제품의 형태가 비교적 복잡하고 다수개의 힌지가 설치되어 있으므로 적절한 게이트 위치를 직관적으로 선정하는 것이 쉽지 않았다. 따라서 본 연구에서는 균일 두께를 갖는 일반 차량용 부품에 대해 15년의 설계 경력을 가지고 있는 금형설계자에게 게이트 위치를 추천받았으며, 추가적으로 3개의 게이트 위치를 선정하여 CAE 해석을 수행하였다. Fig. 5에 Case 1부터 Case 4까지의 게이트 위치를 나타내었으며, 각각에 대한 좌표와 게이트 형식, 금형 구조를 Table 3에 나타내었다. 금형설계자가 직관적으로 선정한 게이트는 Case 1인데, 선정 요인으로 제품 각 단부의 충진이 비교적 균일하게 이루어질 수 있으며 두께가 얇은 힌지부위에도 적절한 사출압력이 전달될 수 있다는 점을 꼽았다. 그러나 본 제품의 경우 복합힌지의 랜드 길이가 권장사양보다 크고, 사용수지인 LUPOL HI-5205의 경우 활석입자가 보강제로 첨가되었기 때문에 일반 PP보다 유동성이 낮을 것으로 예측되었다. 따라서 Case 1에 게이트를 설치할 경우 제품 좌상단의 충진이 완료되기 전에 유동선단이 힌지에 도달하기 때문에 유동정체에 따른 미성형이 발생할 위험이 있다고

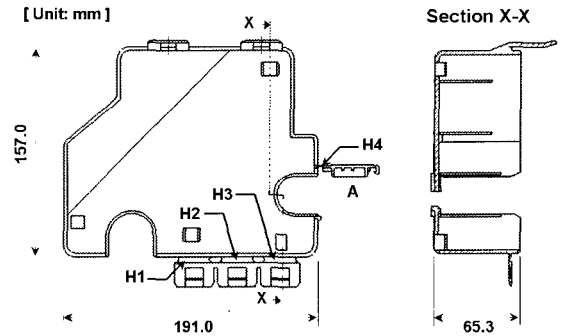


Fig. 4 Geometry of an automobile junction box

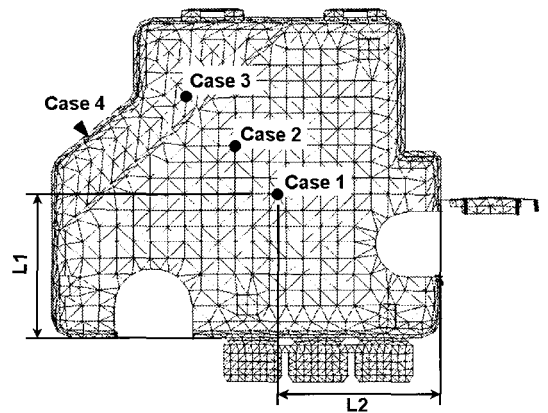


Fig. 5 Analysis model and gate locations

Table 3 The location and type of gate and the available mold structure for each case

Case	L1 (mm)	L2 (mm)	Gate type	Mold structure
1	63.8	77.5	pin point	3 plate
2	91.1	97.6	pin point	3 plate
3	115.6	121.1	pin point	3 plate
4	95.5	167.6	tunnel	2 plate

판단되었다. 따라서 게이트의 위치가 제품의 좌상측으로 이동된 Case 2와 Case 3를 추가적으로 선정하였으며, 터널 게이트를 사용할 경우를 상정하여 Case 4를 선정하였다. Case 1부터 Case 3까지는 제품의 상단에 핀포인트 게이트(pin point gate)를 설치해야 하기 때문에 3매판(3 plate) 형식의 금형구조가 사용되어야 하지만 Case 4의 경우 제품의 측면에 터널 게이트(tunnel gate)의 설치가 가능하기 때문에 비교적 가격이 저렴한 2매판

(2 plate) 형식의 금형구조를 사용할 수 있다.⁽¹³⁾

본 제품에 대한 요구사항은 두개의 캐비티(cavity)를 갖는 금형이지만 대칭성을 고려하여 한쪽 캐비티만을 해석하였으며, 게이트의 소단부 지름은 1.0mm로 설정하였다. 전술한 바와 같이 일반적인 온도조건에 대한 고찰을 위하여 수지와 금형의 온도를 각각 220°C와 55°C로 설정하였고, 사출시간은 2.1 초에 95% 충전 후 보압절환이 수행되도록 설정하였다.

3.2 해석 결과 및 고찰

각 경우에 대한 유동선단분포를 Fig. 6 (a)부터 Fig. 6 (d)에 나타내었는데, Case 1과 Case 2에서는 미성형이 발생하였으나 Case 3과 Case 4에서는 수지의 충전을 완료시킬 수 있었다. Case 1의 경우 약 1.0 초에 유동선단이 힌지 H4의 상단에 도달하였으며, H1, H2, H3에는 약 1.6 초와 1.8 초 사이에 수지의 유입이 이루어졌다. 그러나 제품 좌상단의 충전이 완료되지 않았기 때문에 상대적으로 유동저항이 큰 힌지 부위에서 유동정체가 발생하였다. Table 4에 각 힌지에서의 최저 유동선단온도를 나

타내었는데, 정체시간이 가장 긴 H4와 H1에서의 유동선단온도가 LUPOL HI-5205의 유리전이온도(transition temperature)인 130°C까지 저하되었음을 알 수 있다. 결국 힌지 H4에서 미성형이 발생하였으며, H1의 경우에도 힌지에서 응고된 유동선단이 2차 유동선단과 접합되므로 굽힘부에 심한 웰드라인이 형성되어 힌지의 조기파손이 예상되었다. Fig. 6 (b)에 나타낸 Case 2의 경우에는 힌지 H1, H2, H3에서 유동정체가 거의 발생하지 않아 양호한 성형이 이루어졌으나 H4에서의 정체시간이 길어 미성형의 발생이 예측되었다. 특히 H4의 경우 힌지의 설치방향이 수지의 유동방향과 일치하기 때문에 힌지 상단에서의 수지 유입이 하단에 비해 먼저 이루어지며, 힌지 상단에서의 유동정체는 피할 수 없게 된다.

Fig. 6 (c)에 나타낸 Case 3의 유동선단분포를 Fig. 6 (a) 및 Fig. 6 (b)와 비교해 보면 H1과 H4에서의 유동정체가 현저히 감소하였음을 알 수 있다. Case 3에서는 유동선단이 약 1.7 초에 힌지 H4에 도달하였으며, H1, H2, H3에는 약 2.0 초와 2.1 초 사이에 도달하였다. 그러나 제품 좌상단의 충전은 약 1.8 초에 완료되었기 때문에

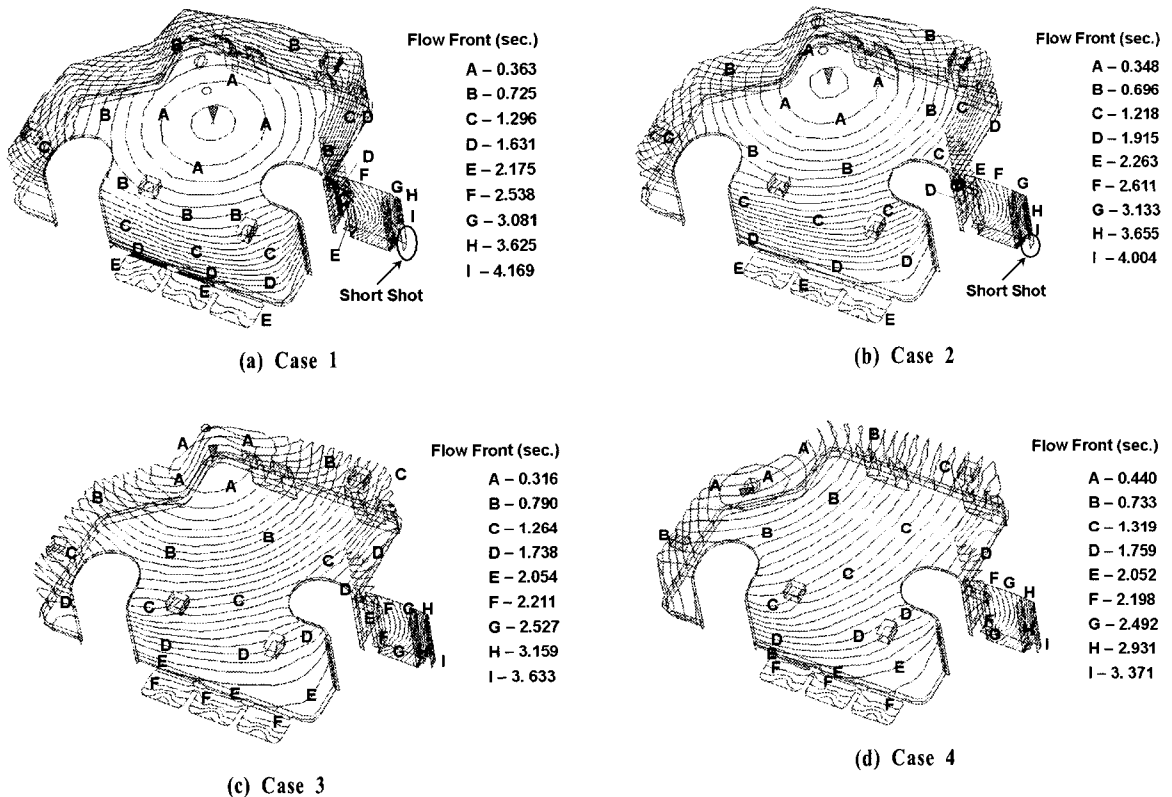


Fig. 6 Predicted flow front by CAE analyses

Table 4 The minimum values of the flow front temperature at the hinges

Case	The minimum temperature at hinge (°C)			
	H1	H2	H3	H4
1	130.0	189.3	206.1	130.0
2	217.7	215.8	219.8	130.0
3	216.6	214.2	219.8	192.5
4	209.8	212.2	219.2	199.8

힌지 H4의 상단부에서만 약 0.1 초의 유동정체가 발생하였으며 온도저하량도 Case 1이나 Case 2에 비해 상당히 감소하였음을 알 수 있었다. 따라서 Case 3에서의 게이트 시스템을 사용한다면 미성형 결합이 없는 제품을 얻을 수 있으리라 예상되었다. Fig. 6 (d)에 나타난 Case 4의 경우에도 미성형이 발생하지 않았는데, 제품 좌상단의 충전이 먼저 완료되고 약 1.9 초에 유동선단이 힌지 H1과 H4에 도달하였음을 알 수 있다. 특히, Case 4의 경우 H4에서의 온도저하량이 다른 게이트 위치를 사용할 때보다 적음을 알 수 있다.

3.3 금형 제작 및 시험 사출

제안된 4가지 게이트 위치에 대한 성형해석을 통하여 미성형 불량을 방지하기 위한 게이트 시스템으로서 Case 3와 Case 4를 선정할 수 있었다. Case 3의 경우 힌지 H4에서의 온도저하가 Case 4보다 크지만 힌지 H1, H2, H3에서는 비교적 균일한 유동선단 온도분포를 얻을 수 있었다. 그러나 Case 3의 경우 3매판 형식의 금형구조를 사용해야 하기 때문에 Case 4에 비해 금형의 취출 거리가 증가하고 제작비용이 상승하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 Case 4에서 설계된 게이트 시스템을 바탕으로 2 캐비티 금형을 제작하였다. Fig. 7 (a)와 7 (b)에 나타난 개략도와 같이 금형의 크기는 800mm x 530mm x 475mm이고, 그림의 'A'에 표시한 바와 같이 제품의 좌상측 벽면에 터널 게이트를 설치하였다. 시험 사출에는 300 톤 사출기가 사용되었으며, 사출조건은 CAE 해석에서 설정된 값을 기본값으로 설정한 후 사출 결과에 따라 미세 조정하였다. 최종적으로 설정된 사출 조건을 Table 5에 나타내었는데, 사출속도와 수지 용융 온도는 CAE 해석의 조건과 큰 차이가 없었으며 금형온도의 경우 해석 조건보다 5°C 낮게 설정하여도 힌지부위를 결합없이 성형할 수 있었다.

Fig. 8 (a)와 8 (b)에 시험사출에서 얻은 H1, H2, H3의 형상을 나타내었는데, 힌지의 성형은 무리없이 완료되었으나, 힌지 반대편의 성형 종단부에 뚜렷한 웰드라

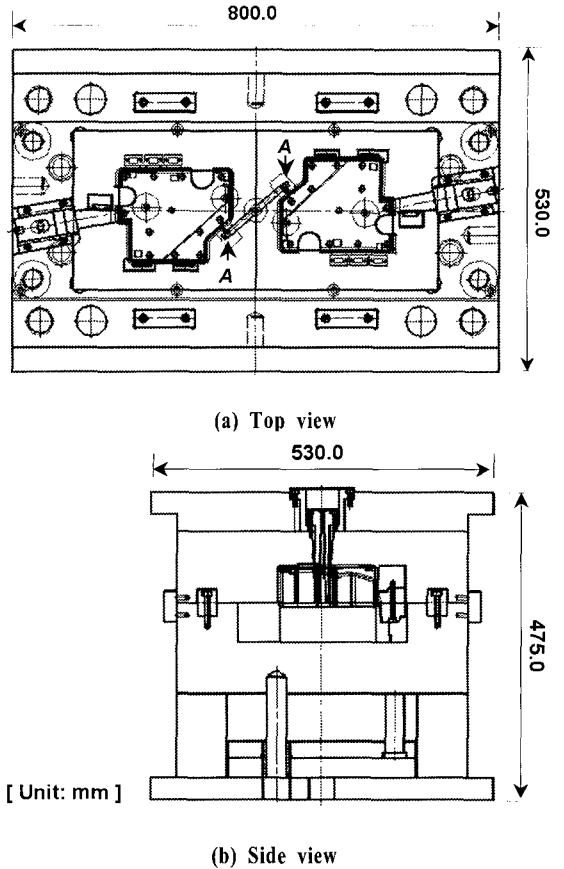


Fig. 7 The simplified geometry of the 2-cavity mold designed by case 4

Table 5 Process conditions for injection molding tryouts

Injection pressure(%)*	Filling stage				
	1	2	3	4	
60	65	55	-		
Injection speed(%)*	Packing stage				
	1	2	3	4	
38	35	30			
Cylinder temperature(°C)	1	2	3	4	
	60	65	60	55	
Mold temperature(°C)	NH	H1	H2	H3	H4
	210	220	185	175	165
Mold temperature(°C)	Fixed core		Moving core		
	50		50		

* The maximum injection pressure of the machine used: 1670 kg/cm²

** The maximum injection speed of the machine used: 375 cm³/sec

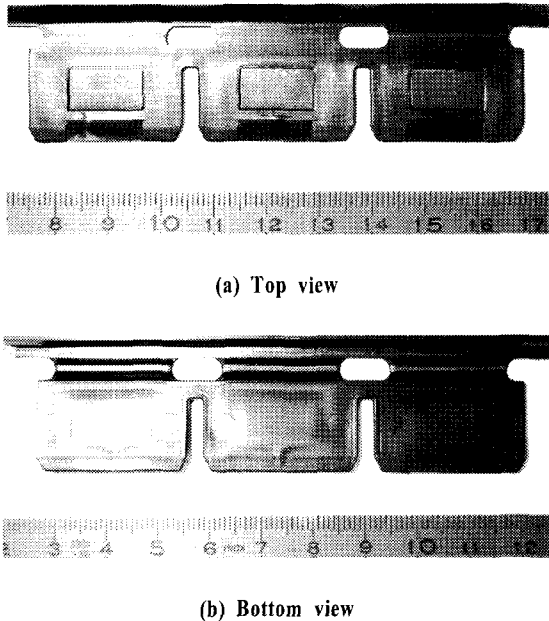


Fig. 8 Hinges of H1, H2 and H3 obtained by injection molding tryout

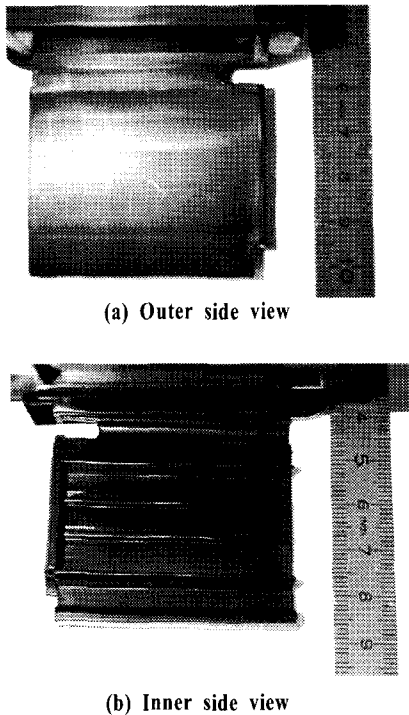


Fig. 9 The hinge of H4 obtained by injection molding tryout

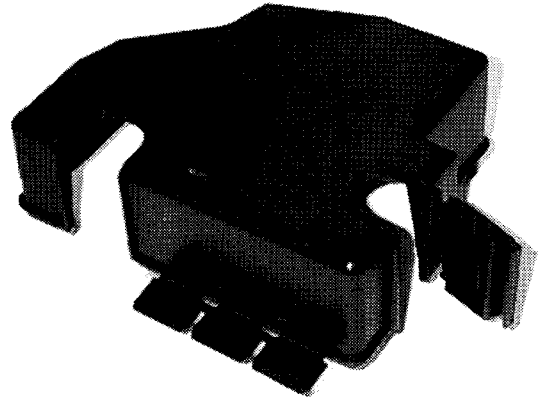


Fig. 10 An automobile junction box obtained by injection tryout

인이 형성되었음을 알 수 있었다. 그러나 웰드라인의 형성 위치가 상대 부품에 삽입되는 부분으로서 외관이나 강도상의 문제는 없으리라 판단되었다. 또한 Fig. 9 (a)와 9 (b)에 나타난 H4의 경우에도 문제없는 성형이 가능했으나, 리브(rib) 부위에 싱크마크(sink mark)가 비교적 깊게 발생하였다. 이는 두께가 얇은 복합힌지 부위에서 빠른 응고가 진행되어 충분한 보압력이 전달되지 못했기 때문이라고 판단되었다. 금형의 온도를 높이면 싱크마크가 감소하는 경향을 보였지만 본 제품의 경우 외관에 장착되는 부품이 아니기 때문에 금형의 온도를 높일 필요까지는 없었다. Fig. 10에 최종적으로 얻어진 제품의 형상을 나타내었는데, 상대물과의 조립이 큰 문제 없이 이루어졌으며 각 복합힌지는 작업 조건하에서 주어진 기능을 충분히 발휘하였다. 이상과 같은 시험 사출 결과를 통하여 설계된 게이트 위치의 타당성을 검증할 수 있었으며, 게이트의 위치가 적절할 경우 힌지에서의 유동정체가 감소하여 유동선단의 고화에 따른 불량을 방지할 수 있음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 복합힌지를 갖는 제품의 수지유동 특성을 고찰함으로써 미성형의 발생 원인을 파악하였으며, 차량용 정션박스에 대한 성형 실험을 통하여 설계된 게이트 위치의 타당성을 검증하였다. 이러한 일련의 과정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 힌지를 갖는 판 형상 제품의 CAE 해석을 통하여 게이트의 위치변화에 따른 유동특성을 고찰하였으며, 미성형의 주요 원인은 힌지 부위에서의 유동정체 및 그에 따른 유동선단의 냉각임을 확인할 수 있었다.

(2) 힌지 부위에서 유동정체가 발생하는 원인은 유동 단면적 감소에 따른 유동저항의 증가로 판단되며, 유동 정체를 최소화하기 위해서는 제품의 각 단부와 힌지 부위에 유동선단이 동시에 도달할 수 있도록 게이트의 위치를 설계하는 것이 바람직하다.

(3) 제품의 하단과 우측단에 현지를 갖는 차량용 정션막스의 유동해석을 통하여 미형형을 방지할 수 있는 게이트 위치를 선정할 수 있었으며, 금형제작 및 시험사출을 통하여 설계된 게이트 위치의 타당성을 검증할 수 있었다.

(4) 본 논문에서는 사출기 성능의 한계 및 사출작업자의 능력편차에 따른 성형불량의 위험성을 줄이기 위하여 보수적인 사출조건 하에서 게이트 위치를 설정하였으나, 보다 다양한 공정조건을 설정한다면 게이트 위치의 개선이 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) Frados J., 1976, "Plastics Engineering Handbook", Van Nostrand Reinhold Company.
- (2) Malloy R. A., 1994, "Plastic Part Design for Injection Molding", Hanser Publisher.
- (3) Tres P. A., 1994, "Designing Plastic Parts for Assembly", Hanser Publisher.
- (4) Rhodes, V. H., 1999, "Processing effects on hinge life of injection molded styrene butadiene copolymers", Proceeding of ANTEC '99, Vol. 1, pp. 733~736.
- (5) 김현영, 김중재, 김영주, 1997, "승용차용 플라스틱 쉐어의 사출성형해석과 금형설계", 한국소성가공학회지, 제6권, 제6호, pp. 489~499.
- (6) 한경희, 최두순, 김홍석, 임용택, 2001, "모조 런너를 이용한 계기관 사출성형의 게이트 위치 설계", 대한기계학회논문집, 제25권, 제10호, pp. 1575~1582.
- (7) 이호상, 2002, "소형 LCD 도광판의 사출성형에 관한 연구 (1): 유한요소해석 및 금형설계", 한국소성가공학회지, 제11권, 제4호, pp. 332~340.
- (8) 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.
- (9) Saxena, M. and Irani, R. K., 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.
- (10) 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.
- (11) 임원길, 김영일, 설권, 1996, "사출성형의 게이트 위치 최적화", 한국정밀공학회 '96년도 춘계학술대회 논문집, pp.787~791.
- (12) Kennedy, P., 1993, "Flow Analysis Reference Manual", Moldflow Pty. Ltd.
- (13) Sors L., Bardocz L. and Radnoti I., 1981, "Plastic Molds and Dies", Van Nostrand Reinhold Company.