

승용차용 플라스틱 펜더의 사출성형해석과 금형설계

김현영* · 김종재** · 김영주***

(1997년 8월 14일 접수)

The Injection Molding Analysis and The Mold Design for Automotive Plastic Fender

Heon Young Kim, Joong Jae Kim and Young Joo Kim

Abstract

The injection molding process is analyzed to get the information on the mold design parameters and the optimum process conditions for automotive plastic front fender. The gate position, runner size and cooling channel are determined by the estimation of the flow balance, packing time, uniform cooling and shrinkage and warpage in the injection molding analyses. The procedure can be used in the mold design in the early stage when developing plastic parts.

Key Words : Injection molding(사출성형), Filling(충진), Postfilling(후충진), Cooling(냉각), Warpage(휨), Mold design(금형설계)

1. 서론

제한된 에너지원과 환경문제로 인하여 각국의 연비규제가 강화되고 있으며, 자동차업계는 연비향상을 위하여 차량경량화를 활발히 전개하고 있다. 차량경량화는 연비개선과 직결되는 부분으로 10%의 경량화는 약 6~7%의 연비향상 뿐만아니라 차체중량의 절감으로부터 성능을 향상시킬 수 있게 한다. 향후 2000년의 자동차재료의 구성이 현재 철강재료의 3할정도가 감소하고 그 감소분만큼이 알루미늄과 플라스틱등으로 대체될것으로 전망되며, 이에 대한 소재와 부품개발이 더욱 활성화 될것으로 예측된다.¹⁾ 자동차에 있어서의 플라스틱 적용은 경량화로 인한

연비향상과 디자인 자유도 및 생산성을 향상시킬 수 있는 이점과 기계적성질에 있어서 무게 대 강도비가 뛰어나 그 적용은 인스트루먼트 패널과 범퍼를 중심으로한 자동차 내,외장부품에서 펜더, 루프등의 외판 부품과 연료탱크등에 이르고 있다. 이에 따른 플라스틱 가공법도 사출성형, 블로우성형의 다양하게 연구되고 있으며, 리사이클을 향상시킬경우 그적용은 더욱 가속화 될것으로 예상된다.

플라스틱부품은 사출성형시 불균일한 수축, 상하 금형의 냉각차등 여러가지 원인으로 인하여 잔류응력 및 변형이 발생하며, 사용중 고온상태를 주기적으로 거치게 되기 때문에 잔류응력이 크리프(creep)를 유발하게 된다.²⁾ 특히 사출성형후 제품도장시의 도장온도와, 극온지방에서와

* 강원대학교 기계공학과
** 한라공대 자동차과
*** 기아모텍(주) 기술연구소

같은 고온상태에서도 열적 안정성이 보장되어야 하는 제품기준이 있다. 이러한 기준을 만족시키기 위한 제품설계는 매우 어렵고, 개발기간의 지연을 초래하는 큰요인이 된다. 제품개발 초기 단계부터 이러한 문제점을 미리 예측할 수 있는 시스템이 요구되며, 이를 이용한 선행단계에서의 제품, 금형설계 및 성형조건의 설정이 필수화 되고 있다. 최근 업계에서는 다양한 상용 프로그램을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 제품설계 단계부터 금형설계, 양산 과정에 이르는 성형해석을 수행하여 시행착오에 의한 손실의 최소화와 제품개발기간을 단축하고 있다. 또한 사출 성형에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 사출성형공정에 대한 유동 모델의 제시, 사용수지, 공정조건에 대한 제품 변형의 수치화 및 제품변형에 미치는 영향 분석등에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며,^{13, 14} 최근에 자동차 인스트루먼트 패널, 범퍼등의 자동차 내외장부품에 적용되어 런너, 게이트 설계방안과 냉각회로 설계 및 공정조건에 따른 제품 변형을 예측한 바 있다.^{15, 16}

본 연구에서는 기존의 금속관재 소재에서 플라스틱 소재로 대체되는 승용차용 프론트 펜더에 대하여 시제작 전에 사출성형해석을 수행하여 제품 및 금형설계에 반영하고자 한다. 유동 및 보압해석에 의한 공정조건 및 런너, 게이트 시스템의 선정과 유동 밸런스를 검토하고, 냉각 및 변형해석으로 온도에 기인한 제품변형량을 예측하여, 적정 냉각 시스템을 금형설계에 반영하고, 최적의 제품 성형을 위한 적정 공정조건을 제시하고자 한다. 또한 플라스틱 제품의 개발시 제품설계 및 금형설계 과정에 필요한 정량화된 데이터를 산출하는 것을 목적으로 한다.

2. 플라스틱 프론트 펜더와 금형설계

2.1 제품특성 및 형상

승용차의 프론트 펜더는 헤드 램프(head lamp)부, 쏫건(shot gun) 취부부, 프론트 도어(front door)부 및 휠 아치(wheel arch)부 등으로 구성되어 있으며 차량외관을 구성하는 중요한 외관 부품이다. 프론트 펜더의 헤드 램프부는 기존의 제품과 유사한 형태를 유지하며 강성보강, 열수축 및 팽창시의 변형을 줄이기 위해 펜더 노즈(nose)부위가 포켓(pocket)형상으로 처리되어 있다. 쏫건 취부부에는 스틸 펜더에 있는 레인 레일(rain rail) 형상을 유지하여 엔진 내부의 방수효과와 강성보강의 역할을 한다. 도어 부위에서는 프론트 도어부위와 일정 간격을 유지하고, 평행차 및 단차기준을 설정하여 플라스틱의 수축, 팽창을

고려한 공차의 여유를 두고 있다. 사이드 프레임(side frame)에 브래킷(bracket)을 2곳으로 만들어 볼트, 너트로 취부하는 구조로, 휠아치부에서는 플랜지(flange)에 의해 취부하게 되어 있다. 제품형상은 비교적 단순하지만 차체 외관인접을 고려할때 각종 성형불량, 치수 정도의 관리가 중요하다. 특히 조립시 펜더의 외관 라인은 헤드 램프, 본넷(bonnet), 도어와 일정간격이 요구 되기 때문에 불균일한 수축 및 변형이 없어야 한다. 특히 플라스틱 펜더는 금속 관재 제품에서와 같은 강도를 유지하며, 에너지 흡수능력, 공기역학적 스타일, 내열성등이 우수해야 하며 교체가 쉬워야 한다.

2.2 금형설계

2.2.1 게이트 설계

외관 부품에서의 웨드라인에 의한 제품외관 및 기계적 성질 저하를 방지 하고, 수지의 유동밸런스를 위해 필름 게이트(film gate)를 사용하는 것이 바람직하다. 필름 게이트의 범위는 휠 아치부를 따라 일체형으로 설치 하였으며 두께를 테이퍼 형상으로 증가시켜 설계 하였다. 게이트 랜드(gate land)의 두께, 길이, 위치는 성형시 사출압, 보압적용등으로 인한 제품수축 및 변형과 깊은 관계가 있기 때문에 충전해석에 의한 최적화가 중요하다.

2.2.2 런너 설계

런너는 진원에 가까운 형상으로 유동저항을 적게하며, 냉각이 잘 되지 않도록 한다. 또한 압력 전달면에서 최대 단면적으로, 열 전도면에서 외주가 최소가 되도록 하고, 게이트와 런너의 중심은 유동 온도와 압력유지를 위해 일직선상에 있도록 한다. 이때 고화 시간과 성형 사이클(molding cycle) 저하를 고려, 설계시 단면 형상, 크기 및 배치(layout)에 유의한다.

2.2.3 냉각 회로 설계

냉각회로 설계는 균일한 냉각과 신속한 냉각을 목적으로 한다. 균일한 냉각은 수축률 차, 잔류 응력 및 이형 불량등을 방지하며, 제품의 품질 향상에 기여 하게 되고, 신속한 냉각은 사이클 단축을 통한 생산성 향상에 중요한 역할을 한다. 금형설계시 냉각회로의 구성은 이젝터 핀보다 우선하여 설계하며, 스프루나 게이트중 금형 온도가 제일 높은 곳에 냉매가 우선 유입되도록하여 제품 형상에 따라 설계한다. 이때 냉각효율을 높이기 위해 공급 수량이 일정한 경우 냉각 구멍이 크면 유속이 저하되어 열전도가 나빠

지므로 냉각회로의 갯수를 증가시키던지 구멍의 크기를 조절하여 냉각수의 흐름을 난류로하여 냉각 효과를 크게 한다. 또한 성형 수축률이 큰 재료는 성형품의 변형 방지를 위해 수축 방향에 따라서 냉각 회로를 설치하며, 제품 형상이 깊은 경우, 배플(baffle)을 사용함으로써 냉각효율을 높일 수 있다. 펜더에 적용된 냉각구멍의 지름은 매니폴드 단면적에 따른 지름으로, 냉각 구멍간의 피치(hole pitch)는 구멍 직경의 3~5배로 하였다. 이때 제품과의 거리가 먼곳에서는 냉각효율을 높이기 위해 배플타입의 냉각회로를 추가하여 냉각효율을 높였다(Fig. 1).

3. 사출성형 공정조건

Table 1은 사출 성형기의 성형조건 설정시 주요항목 및 범위를 나타낸것으로, 각 인자들은 제품 품질에 미치는 영향이 크기 때문에 사출성형 해석시 이들의 설정을 신중히 고려해야 하며, 해석결과의 분석으로 실제 양산공정에 맞는 조건의 설정이 중요한 열쇠이다. 사출성형은 주로 시간, 압력 및 온도요소와 관련이 깊기 때문에 다음 사항에 대해서 검토해본다.

3.1 사출시간

시간당 사출량 대 수축의 그래프는 U자 형태를 지니고 있는데 사출시간이 짧으면 높은 사출 속도로 인한 재료 배향이 커지기 때문에 수축이 커지게 되고 반면 사출시간이 길면 사출시 열손실이 증가 하기 때문에 재료의 점도를 증가시켜 보압시 보압 전달을 방해 함으로 수축이 증가된다.

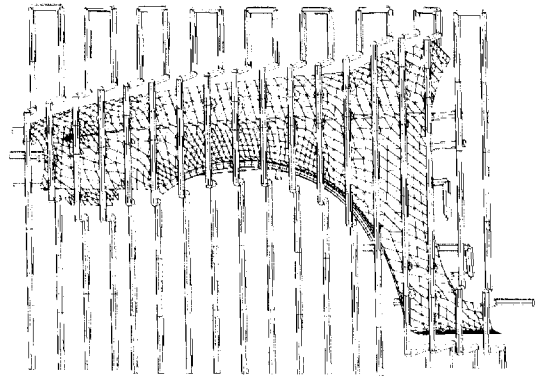


Fig. 1 Finite element model of front fender in injection molding analysis

Table 1 Process parameters of productivity

| Process condition | Unit | Process parameter |
|--------------------|-----------------|----------------------------------|
| Injection volume | SI or % | screw stroke |
| | | stroke profile (1-10) |
| | | filling/post-filling switch-over |
| Injection pressure | | suck back |
| | | injection pressure |
| | | packing pressure |
| | | holding pressure |
| Injection speed | | back pressure |
| | | injection speed profile(1-10) |
| | | screw revolution |
| Injection time | suck back speed | |
| | filling time | |
| | packing time | |
| | holding time | |
| Heating part | | cooling time |
| Hot runner | | hopper -> nozzle |
| Coolant | | hot runner temperature |
| Injection machine | | coolant control |
| | | clamping force |

따라서 초기 유동해석시 보압의 효과적 전달을 위해 압력이 낮은 시점에서의 적절한 사출시간의 결정이 함께 고려되어야한다.

3.2 사출압 / 보압 시간

보압시간이 게이트 응고 시간보다 짧으면 캐비티(cavity)내의 높은 압력을 지닌 수지가 아직 응고 되지 않은 게이트를 통해 역류 하게 되므로 캐비티내의 재료부족으로 인하여 수축이 증가 하게 된다. 반면 보압시간이 게이트 응고 시간보다 충분히 길면 캐비티내의 고압의 수지가 게이트로 역류 하지 않기 때문에 재료의 결손이 생기지 않아 수축이 작게 된다. 보압조건은 제품형상을 기본으로 게이트의 단면적, 금형온도, 게이트와 제품 각부 거리에 따라서 결정된다. 이는 제품내 보압의 전달이 수지의 이동에 의해서 발생한다는 사실에 기초하며, 용융수지의 냉각관계에 연계하여 금형의 온도 및 게이트의 구조도 함께 고려되어야 한다. Fig.2는 보압 대 시간의 관계를 다음에 설명하는 보압조건 결정에 중요한 3가지 요소에 대하여 각각 비교한 것이다.

① 금형 온도변화

저온금형(a)과 고온금형(b)의 경우, 동일조건으로 사출하였을 때의 금형내의 압력은 저온금형에서 급격히 강하한다.

② 게이트 단면적 변화

단면적이 작은 게이트의 금형(a)과 큰 게이트금형(b)을 동일조건으로 사출 하였을때의 금형내에서의 압력은 단면적이 작은 게이트의 금형에서 압력이 급격히 강하한다.

③ 게이트에서의 거리

캐비티내 게이트와 가까운곳(b)과 먼곳(a)의 금형내 압력변화는 게이트와 먼곳에서 압력의 강하가 현저 하다. 따라서 보압조건을 결정할때에는 위와 같은 금형내 압력의 변화에 맞추어 결정하게 된다. 또한 게이트에서 먼곳으로 갈수록 금형 내압의 저하속도가 크고 게이트에 접근할수록 압력저하 속도가 완만 하므로, 보압조건을 설정할때 Fig.3 (b)와 같이 보압시간을 가능한 길게 하되 보압 후반에 압력 전환을 많히 해주고, 제품의 길이가 길거나 제품의 크기가 커서 흐름 말단부에 수축이 심할경우 보압전환과 관계없이 보압유지 시간을 길게 유지 한다.

3.3 금형 온도

냉각과정중 캐비티내에서의 수지는 게이트에서부터 냉각이 진행되면서 수지의 수축으로 인한 2차유동에 의한

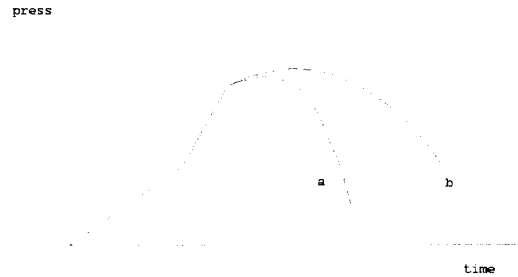


Fig. 2 Holding pressure profile

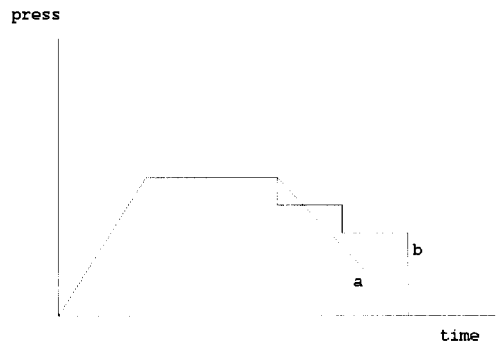


Fig. 3 Control of holding pressure

성형품의 수축이 발생되고, 수지의 점탄성거동에 의한 잔류응력이 생성되게 된다. 결정성 수지의 경우 다양한 결정성 분포를 갖게되어 이러한 영향을 최소화 하기위해 금형의 온도를 균일하게 유지하는것이 중요하다. 또한 금형온도가 높으면 냉각시 냉각시간이 길어지므로 재료의 수축이 커지고 금형온도가 낮으면 냉각시간이 줄어들어 수축이 작게 된다. 금형의 온도 조절을 위해 물을 강제 순환시켰으며, 특히 게이트 주위에는 열량이 높으므로 성형 시간이 클 시점의 단축 및 휨 예방을 위해 게이트 주위에 배플을 근접시켜 강제적인 열전달을 실시 하였다. 이때 제품 표면과 배플 선단부의 거리는 일정거리를 유지하도록 설계 하였다.

3.4 냉각 시간

전 성형과정중 냉각시간은 전체 성형 사이클 시간중 대부분을 차지하며 성형품의 가격과 품질에 큰영향을 주게 된다. 최적냉각의 예측을 위해 Ballman과 Shusman이 일전달 이론으로 부터 평판의 냉각시 필요한 최소 냉각시간을 다음의 식으로 정의 하였다. 이는 제시된 수치온도, 냉각수온도, 성형품 취출온도, 성형품 두께, 수지의 열발

산률을 고려한 평판에 대한 이론값으로 제품의 형태, 구조에 따라 정확히 일치하지는 않으므로 근접치에서의 최적값을 찾는것이 중요하다.

$$t_{\min} \approx \frac{S^2}{\pi^2 \alpha_p} l_n \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{T_m - T_c}{T_c - T_c} \right) \right] \quad (1)$$

위식에서 T_m 은 수지온도, T_c 는 냉각수온도 T_s 는 성형품 취출온도 S 는 성형품 살두께 α_p 는 수지의 열발산률 ($\alpha_p = k/c_p \rho$)을 나타낸것으로 k 는 수지의 열전도율, c_p 는 수지의 비열, ρ 는 수지의 밀도이다.

4. 사출성형 해석

4.1 사출성형해석 및 사용수지

Fig.4는 수지 충전, 보압, 냉각 과정과 이형 및 휨변형 예측을 포함하는 사출성형 해석 과정을 나타낸다. 사출 성형에서의 유동 밸런스(flow balance), 압력, 온도분포, 체적수축 및 변형상태 등은 제품 품질에 큰 영향을 미치게 되어 금형설계시 런너/게이트의 종류, 위치 및 치수를 최적화 함으로써 유동, 압력, 온도의 고른 분포로 유동 밸런스를 이루고, 제품내에서의 고른 냉각과 냉각효율이 최대가 되는 설계로 수축 및 변형을 최소화 하고자 하였다. Fig.1은 제품, 런너/게이트, 냉각 회로를 포함한 펜더의 해석모델이며, 사용된 수지, 런너/게이트 및 냉각회로에 대한 상세한 사항이 Table 2에 요약되어 있다. 사출성형은

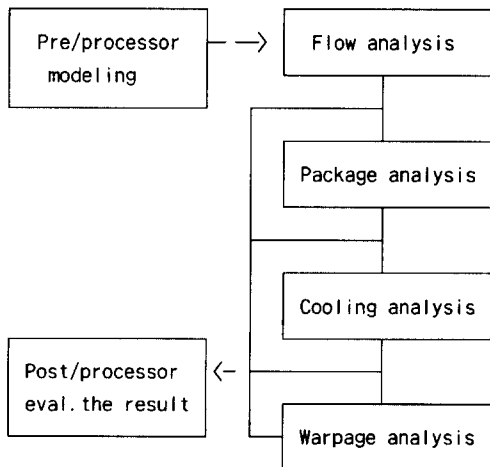


Fig. 4 Flow chart of injection molding process

대부분 비등방성과 큰 압력 변화를 수반 하기 때문에 수지 물성은 해석에 큰 영향을 미치게 되어 정확한 해석을 위해서는 정확한 물성 데이터를 얻는 것이 중요하다. 본 해석에 사용된 수지의 주요 물성 데이터는 Table 3에, 점성(viscosity), 압력-체적-온도 (Pressure- Volume -Temperature)선도는 각각 Fig.5와 Fig.6에 각각 나타내었다. Table 4는 사출성형 해석시 사용된 공정조건이다. 해석은 상용유한요소 프로그램인 C-MOLD를 사용하였다.⁽¹²⁾

Table 2 Detailed description on runner/gate and cooling channel

| Product | resin | PPE |
|------------------------|------------------|---------|
| Runner/Gate system | cold runner | 1 |
| | gate diameter | 1.0~3.0 |
| | gate type | film |
| Cooling channel system | channel | 9/5 |
| | channel diameter | 15~18 |
| | affle | 37 |
| | affle diameter | 25~30 |

Table 3 Resin data

| Resin | Unit | PPE |
|-----------------------------|-------------------|----------------|
| Density (con.) | kg/m ³ | 1013 |
| Specific heat (con.) | J/kg·k | 2600 |
| Thermal conductivity (con.) | W/m·k | 0.23 |
| C.T.E. | m/m·k | 11.8E-5(0~80℃) |
| Melt Index | g/10min | 5.3 - 7.4 |
| H.D.T. | ℃ | 191 - 199 |

Table 4 Detailed process conditions

| Items | Process condition | |
|--------------------------------------|-------------------|---------|
| Resin temperature | 280~300 ℃ | |
| Ejection/ambient temperature | 100/25 ℃ | |
| Coolant temperature | 65~85 ℃ | |
| Filling/holding pressure time | 3/7~3/14 sec | |
| Ram speed profile | stroke(%) | 6 steps |
| | speed(%) | |
| Postfilling/holding pressure profile | time(%) | 3 steps |
| | pressure(%) | |

4.2 지배방정식

유동하는 열유체를 정지된 미소 체적요소를 통해 바라볼 경우 이 체적내에서는 질량, 운동량, 에너지의 균형을 이루어야 한다. 질량 보존(conservation of mass)은 다음 식으로 표현된다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad (2)$$

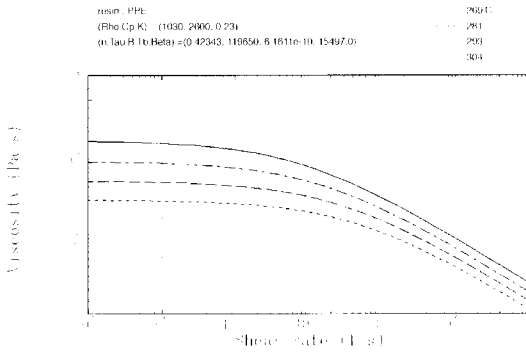


Fig. 5 Viscosity-shear rate relationship

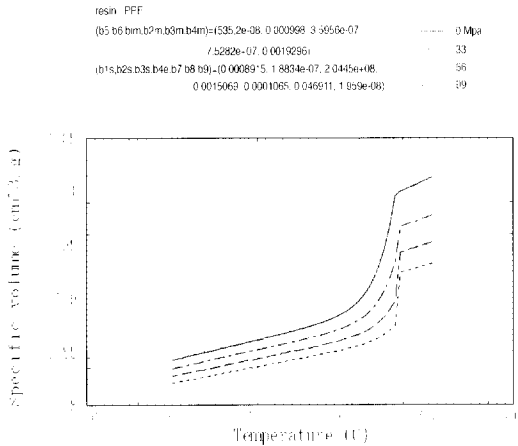


Fig. 6 Pressure-Volume-Temperature relationship

여기서 u, v, w 는 각각 좌표 x, y, z 축의 속도 성분이며 ρ 는 밀도이다. 또한 운동량 보존(conservation of momentum)은

$$\frac{D}{Dt}(\rho u) = -\nabla P + \nabla \tau + \rho g \quad (3)$$

식(2)에 의해

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \cdot \nabla u = -\nabla P + \nabla \tau + \rho g \quad (4)$$

와 같다. 여기서 $\frac{D}{Dt}(A) = \frac{\partial A}{\partial t} + \nabla \cdot (Au)$ 와 같고, P 는 압력이며 τ 는 전단응력을 각각 가리킨다.

에너지 보존(conservation of energy)은 다음을 만족하여야 한다.

$$\frac{D}{Dt}(\rho C_p T) = -\nabla \cdot g + G_v \quad (5)$$

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \cdot u \cdot \nabla T = -\nabla \cdot g + G_u \quad (6)$$

여기서 G_u 는 shear rate에 의해 발생된 열이다.

4.3 성형 해석 및 결과

제품에서의 수지의 유동형태는 필름 게이트를 적용하였기 때문에 Fig.7과 같이 유동형태는 균일유동(unidirectional flow)을 형성하고 있으며, Fig.8과 Fig.9는 게이트 두께변화에 따른 보압전환 시점에서의 압력 분포를 각각 나타낸 것이다. Fig.8의 게이트 두께가 1.0 mm인 경우, 보압 전환시점(98% filling stage)에서의 압력 분포는 게이트부위에서 92MPa로 비교적 높게 나타나고 있다. 이때 게이트에서의 압력이 높을 경우 보압의 효과를 얻기가 어려우므로 게이트에 걸리는 압력을 최소화하고자 게이트 두께를 조정하면서 압력의 감소를 시도하였다. Fig.9는 게이트두께를 1.0 mm에서 1.5 mm로 증가했을 때 압력으로 제품전체에 걸쳐 7~12%가 저하된 값을 보이므로 보압 적용효과를 기대할수 있게 된다. Fig.10과 Fig.11은 보압시간(post-filling time)이 7sec일때의 압력과 체적수축률을 각각 나타낸다. Fig.10에서 게이트와 캐비티의 압력은 보압이 끝난후 게이트의 압력이 캐비티내의 압력보다 낮음을 알 수 있는데 이는 캐비티내의 수지가 다시 런너로 역류하는 현상을 유발하게 되어 궁극적으로 게이트 부위의 체적 수축률을 증가 시키는 결과를 가져오게 한다. 이때 게이트와 인접한 부위의 체적수축은 최고 3.2%로 나타나고 있으며, 이러한 조건하에서 사출성형할 경우 게이트 부위에서 인장응력을 받게 된다. 또한 이 제품을 내열시험 하게되면 온도상승으로 인한 수지의 강성이 저하될때, 인장응력이 수축변형을 유발시키게 된다. Fig.12와 Fig.13은 보압시간을 변경한 경우의 게이트와 캐비티에서의 압력분포와 체적수축률을 나타낸 것으로 보압이 끝난후 게이트의 압력이 캐비티의 압력보다 높아 이로 인한 수지의 역류는 발생하지 않을 것으로 보인다. 이때의 게이트부의 체적수축은 제품전체보다 낮은 값, 0.09%정도의 값을 보이고 있다. Fig.14의 (a), (b)는 보압시간 변경에 따른 확대된 게이트 변형양상이다.

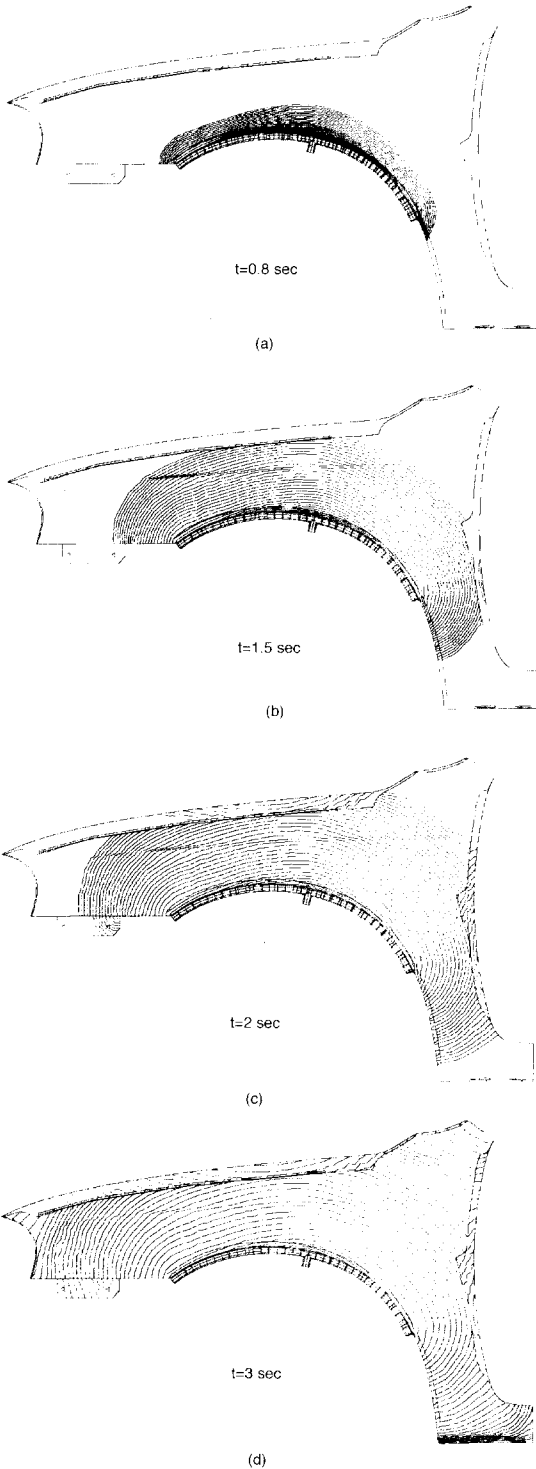


Fig. 7 Melt front advancement in the injection molding process

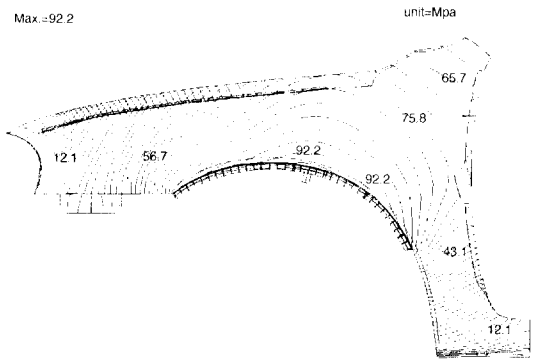


Fig. 8 Pressure distribution at 98% filling (gate thickness 1.0)

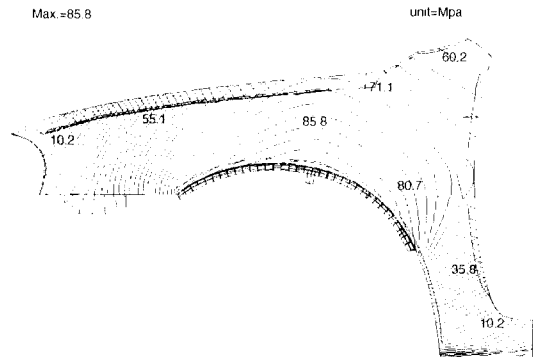


Fig. 9 Pressure distribution at 98% filling (gate thickness 1.5)

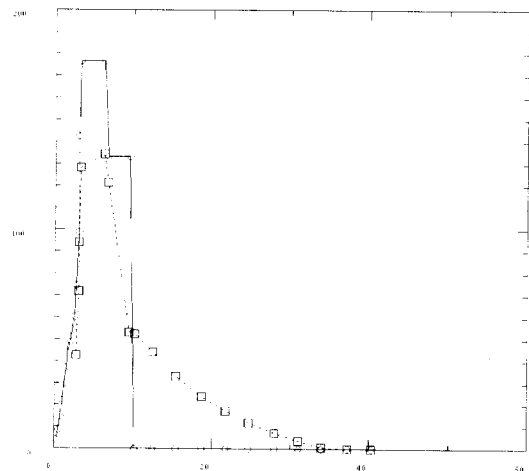


Fig. 10 Pressure curve of gate and cavity (process condition 1)

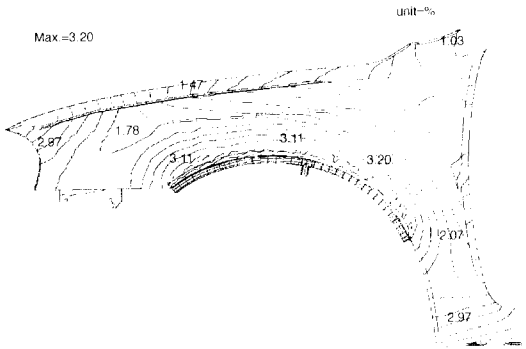


Fig. 11 Volumetric shrinkage rate distribution (process condition 1)

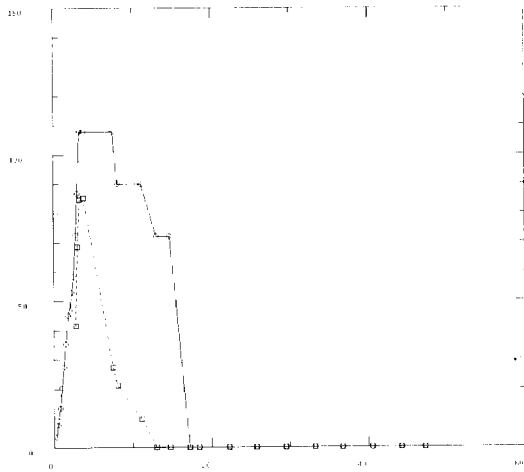


Fig. 12 Pressure curve of gate and cavity (process condition 2)

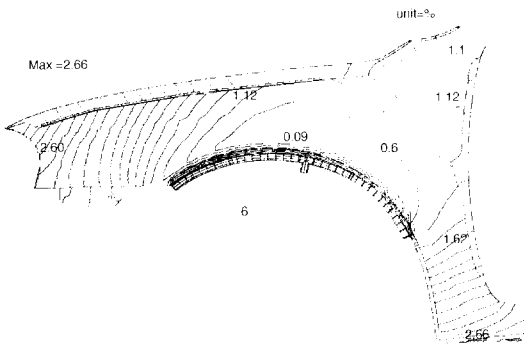
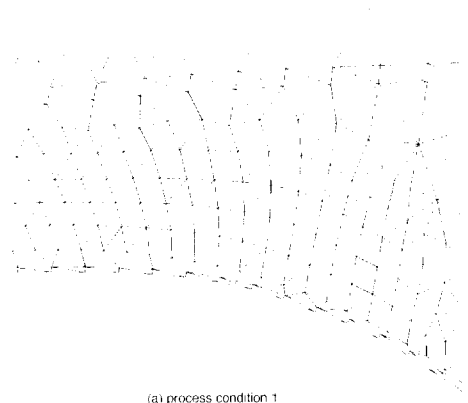
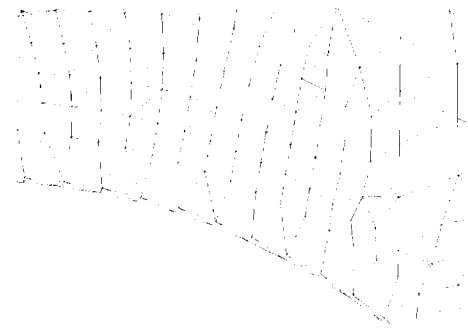


Fig. 13 Volumetric shrinkage rate distribution (process condition 2)



(a) process condition 1



(b) process condition 2

Fig. 14 Deformed shape of fender at the gate

금형의 캐비티와 코어의 온도차는 제품변형의 중요한 인자이다. 1차 해석에서 캐비티와 코어의 온도차는 게이트와 가까운 흰 아치부에서 최대 11℃로 나타나고 있는데, 이는 코어측 언더컷 존재와 제품형상으로 인한 냉각회로의 설치가 부족하기 때문에 발생하는 것으로 판단되어 코어측 냉각구멍의 치수와 설치방식을 변경시켜 해석을 수행한 결과 도어 라인(door line), 헤드 램프(head lamp) 집합부에서 최대 8.2℃로 감소되었고 제품전체의 온도차 분포도 만족할만한 결과를 얻었다.(Fig.15, Fig.16) 이때 설계된 배플(baffle)의 선단부는 제품표면과의 일정간격을 유지시켰다. 냉각회로 설계시 제품형태상 국부적인 곳에서 제품면과 냉각회로의 거리가 가까우면 그부분에서의 수축편차가 생길 수 있으므로 상세 냉각 설계시 정확한 검토가 필요하다. Fig.17은 보압 및 냉각 해석 결과 검토후 수정된 모델에 대한 최종변형량을 나타낸것이다. Fig.18은 성형완료된 시제품을 나타낸것으로 제품모델과 일부 상이한 부분은 제품개발 과정중 설계변

경된 부분이다. 최종제품의 해석 데이터는 Table 5와 같으며, 본제품성형을 위한 최소형체력은 2.700ton이상이 되어야 한다.

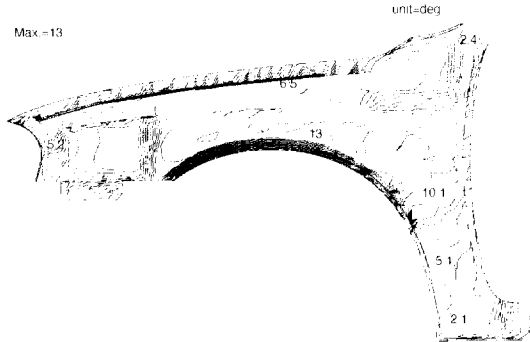


Fig. 15 Temperature difference between cavity and core (process condition 1)

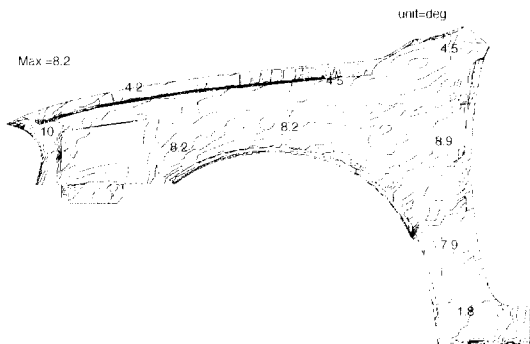
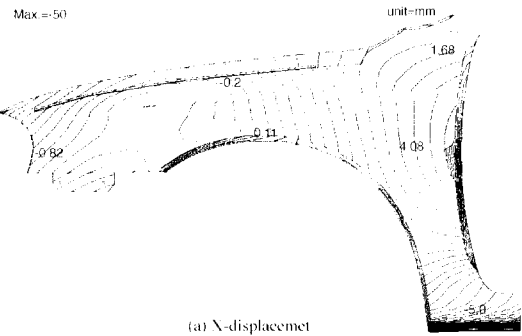


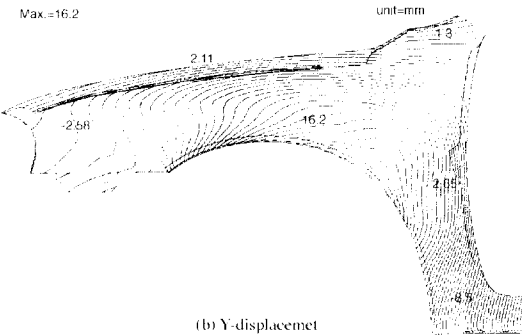
Fig. 16 Temperature difference between cavity and core (process condition 2)

Table 5 Results of injection molding analyses

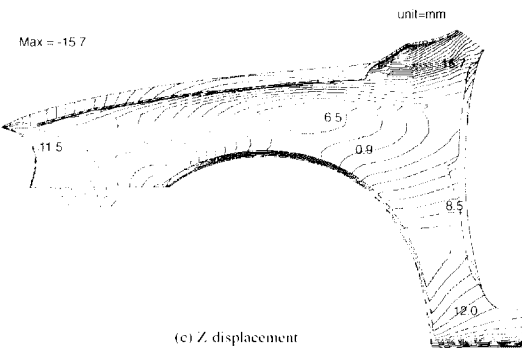
| Items | | Run |
|-------------------------------|----------------------------|--------------|
| Filling, Postfilling analysis | filling time(sec) | 3.02 |
| | pressure distribution(MPa) | 86 |
| | temp. distribution(°C) | 286 ~ 295 |
| | clamping force(ton) | 2600 ~ 3000 |
| | volumetric shrinkage(%) | 0.35 ~ 2.15 |
| Cooling analysis | temp. difference(°C) | 0 ~ 4.8 |
| | mold wall temp.(°C) | 75 ~ 104 |
| | cooling channel eff. | 0.1 ~ 11.4 |
| Warping analysis | x-displacement(mm) | -5.0 ~ 4.08 |
| | y-displacement(mm) | -8.5 ~ 16.2 |
| | z-displacement(mm) | -15.7 ~ 12.0 |



(a) X-displacement

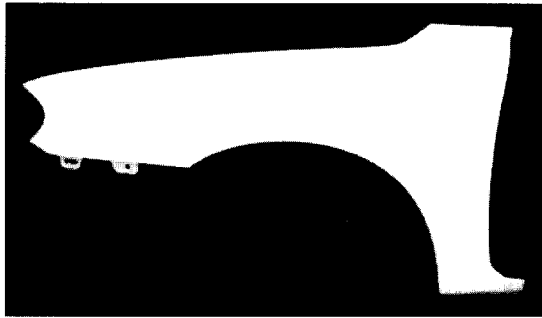


(b) Y-displacement

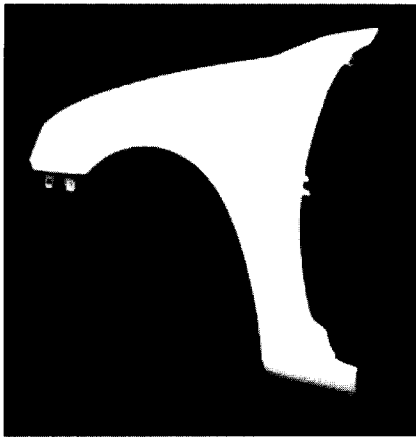


(c) Z-displacement

Fig. 17 Displacement distribution after analysis of injection molding



(a) Front view



(b) Side view

Fig. 18 Product of plastic fender

5. 결론 및 검토

플라스틱 펜더의 사출성형 해석결과를 기본으로 제품설계 방향과 금형설계시 런너/게이트 시스템과 냉각회로에 대한 설계기준을 제시 하였고, 사출성형시 또는 사출후의 변형에 큰 영향을 미치는 요인들을 중심으로한 성형조건들을 검토 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 필름게이트 선정으로 양호한 성형성과 웰드라인 및 기포를 제거할 수 있었으며, 전체적으로 균일한 유동형태를 보여 사출후 유동 및 수지배향의 불균일로 인한 수축은 우려 되지 않는다.

2) 사출성형시 공정조건 특히 보압전달은 성형후의 수축과 후변형에 상당한 영향을 미친다. 1차 해석에서 보압시간을 7초로 한 경우, 보압의 작용시간이 게이트 응고시

간 보다 짧기 때문에 공동부내의 재료부족으로 인하여 수축이 증가하게 되었으며, 게이트 부위의 변형을 유발 하였다. 이는 또한 고온내열 시험을 거치는 플라스틱 부품에 대해서 상당량의 후변형으로 나타날 수 있기 때문에 이를 최소화 시키기 위한 사출압력, 보압전달계등의 최적 성형조건이 설정이 요구된다. 보압시간을 9초로 증가시켜 해석을 수행하였으며, 수지의 역류를 방지하고, 게이트부의 수축을 감소시킬 수 있었다.

3) 제품변형이 양끝단, 프론트 도어(front door)부 및 휠 아치(wheel arch)부에서 심하게 나타나고 있으며 이는 금형의 캐비티측과 코어측의 온도차로 인해 발생된다고 판단되며, 제품변형의 원인이 제품형상에 기인한것 보다는 냉각의 불균일에 의한 변형이 크다고 판단되었다. 코어측의 냉각구멍의 치수와 설치방식을 변경하였으며, 배플의 선단부가 제품과 일정한 간격을 유지하도록 금형을 수정하였다. 제품전체의 온도 차이 및 이형시 최종 변형량을 감소시킬 수 있었다. 금형설계시 코어측 언더컷부의 냉각채널시스템 설계가 충분히 검토 되어야 한다.

참고문헌

- (1) 유동형, "21세기의 일본 乗用車 開發 방향", 자동차경제 제115호, pp.401~412.
- (2) NI S. J. and Wang, K. K. 1993, "An Analytical and Experimental Study of Warpage and Shrinkage of An Injection-Molded Part ", ANTEC' 93, pp.1612~1617.
- (3) Hieber, C. A. and Shen, S. F. 1978, "Folw Analysis of the Non-Isothermal Two-Dimensional Filling Process in Injection Molding", Israel Journal of Tech., Vol.16, pp.248~254.
- (4) Chiang, H. H., Hieber, C.A. and Wang, K. K.1991, "A Unified Simulation of the Filling and Postfilling Stages in Injection Molding. Part I : Formulation", Polymer Engineering and Science, Vol.31 No.2, pp.116~124.
- (5) Chiang, H. H., Hieber, C.A. and Wang, K. K. 1991, "A Unified Simulation of the Filling and Postfilling Stages in Injection Molding. Part II : Experimental Verification", Polymer Engineering and Science, Vol.31, No.2, pp.125~139.
- (6) 김재수, 김중재, 김현영, 1992, "자동차 플라스틱

- 부품의 사출성형해석”, 한국자동차공학회 1992년도 춘계학술대회 논문집, 논문5~8, pp.436~445.
- (7) Nguyen, KY T. and Kamal, M. R. 1993, “Analysis of Packing Stage of a Viscoelastic Melt”, *Polymer Engineering and Science*, Vol.33 No.11, pp.665~674.
- (8) Matsuoka, T., Takabatake, J., Koiwai, A., Inoue, Y., Yamamoto, S. and Takahashi, H. 1990, “Integrated Simulation to Predict Warpage of Injection Molded Parts”, *Polymer Engineering and Science*, Vol.31, No.14, pp.1043~1050.
- (9) Luis G. Buitrago, 1995, “Thermal Expansion F.E. Analysis”, *Engineering Analysis Report by GE Plastics*.
- (10) 김영주, 유택희, 이세춘, 김현영, 1994. “자동차 범퍼 사출성형해석과 금형설계”, 한국자동차공학회 1994년 추계학술대회 논문, pp.481~490.
- (11) 김현영, 김중재, 김재수, 1995. “사출성형 플라스틱부품의 내열변형 예측”, 한국자동차공학회 1995년도 춘계 학술대회 논문집, pp.500~510.
- (12) C-MOLD Filling & Post-Filling User's Guide, AC Technology, 1996.