

컴퓨터지원 공학(CAE)을 이용한 기체 사출 성형의 공정 개선

장우진 · 조정환 · 심상은 · 김건중 · 정성택 · 최순자*[†]

인하대학교 화학공학과

(2004년 1월 2일 접수, 2004년 5월 21일 채택)

Process Development of Gas Injection Molding Using Computer Aided Engineering

Woojin Jang, Chunghwan Cho, Sang Eun Shim,
Geon-Joong Kim, Sung Taik Chung, and Soonja Choe*[†]

Department of Chemical Engineering, Inha University,
253 Yonghyun-dong, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea

*e-mail : sjchoe@inha.ac.kr

(Received January 2, 2004; accepted May 21, 2004)

초록 : 자동차 계기판을 제조하는 기체 사출 성형의 공정에 있어서 전산 모사를 통한 공정성 및 제조된 제품의 물성 향상에 관한 연구를 수행하였다. ABS 삼원공중합체의 P-V-T 자료를 이용하여 기체 사출 공정을 적용하였으며 시간에 따른 금형 충전 효과를 예측하였다. 또한 기체 사출 성형에 있어서 압력, 충전 시간, 기체의 주입 통로 및 런너의 위치 등 다양한 가공 인자들을 변화시킴으로서 공정의 최적 조건을 찾을 수 있었다. 이러한 전산 모사를 통하여 확립된 공정을 통해 제조된 계기판은 일반적인 사출 성형법에 의해 제조되어진 제품에 비해서 우수한 치수 및 변형 안정성이 개선되었다.

ABSTRACT : Using computer simulation, the processibility and properties of the instrument panel of automobile produced by gas injection molding were predicted and evaluated. The P-V-T data of ABS, resin were used in the gas injection molding process in order to estimate the mold filling phenomena. The optimum process conditions were found by adjusting the process parameters including pressure, filling time, the positions of gas channel and runner. The process was simplified and the final instrument panel produced by the gas injection molding was found to have improved dimension stability compared to the one produced by conventional injection molding.

Keywords : Gas injection, instrument panel, Mold Flow CAE, ABS terpolymer.

1. 서론

일반 사출 시 문제점인 표면 함몰 (sink mark), 변형, 휨 등을 개선할 수 있는 새로운 가공방법으로 기체사출 성형법이 개발 되었다. 기체 사출은 사용목적에 따라 일정량의 용융 수지를 금형 내에 주입한 후, 용융수지의 추가 유입을 차단하고 질소 기체를 주입하여 제품 내에 중공 구조를 형성하면서 미충전 된 부분을 완전히 충전 시키는 성형 방법으로, 개략적 공정을 Figure 1에 도시하였다.

기체 사출 성형은 1975년 독일 Rhom사의 Friederich가 출원한 특허 이래 많은 회사들이 본격적으로 연구를 시작하였으며 대표적인 회사들로 Cinpres-Mitsubishi, Gain-Asahi, Battenfeld 등이 기체 주입 위치를 구분한 특허를

내고 있다.^{1,2}

기체 사출 성형은 일반 사출 성형의 단점을 보완하기 위한 새로운 가공 방법으로 불활성 기체인 질소기체를 사용하여 저압 사출 성형이 가능하며, 제품 외관 함몰 (sink-mark)의 감소, 잔류 응력 및 변형 감소, 치수 안정성, 경량화, 강성이 향상된 제품의 생산은 물론 형체력, 성형 시간의 단축 및 설계 자유도와 생산성을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.³ 반면에 Hole 자국, shadow 현상으로 인한 gloss차이, 벤트 (vent) 부족으로 인한 부풀음 현상 등의 단점이 있으며 민감한 물질인 기체의 사용으로 인한 정밀한 제어가 요구되며, 아직까지는 제품 설계에 대한 확실한 원리도 정립되어 있지 않으므로, 컴퓨터 지원 공학을 이용한 [Computer Aided Engineering (CAE)]

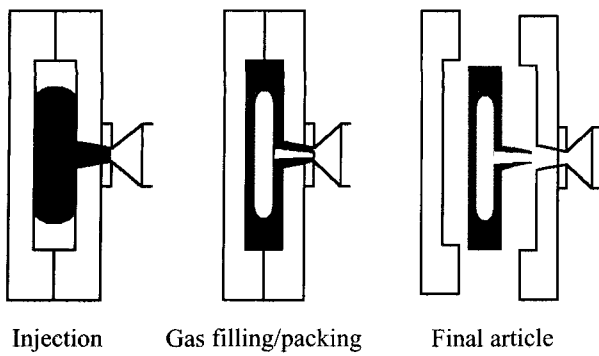


Figure 1. Process of gas injection molding.

을⁴⁸ 통한 현상 파악 및 이론적인 체계화와 지속적인 실험자료의 축적이 필요하다.

현재 미국이나 일본 등 선진국들이 기체 사출 성형법을 실용화하고 있는데 최근에는 국내에서도 이 방법이 활발히 진행되고 있다. 가장 대표적으로 대형 TV cabinet,⁹ 자동차의 내·외장 부품 (instrument panel, bumper trim, console box),¹⁰ 사무 기계의 하우징 등에 폭 넓게 적용되고 있다. 미국 Chrysler사는 향후 2~3년 내에 자동차 사출물의 약 30~40%가 기체성형으로 전환될 것으로 예측하고 있으며 국내에서도 삼성, LG, 대우의 가전 3사를 중심으로 25" 이상의 대형 TV cabinet, 냉장고 일부 부품, 카세트 및 자동차 손잡이 등이 기체성형으로 생산되고 있다. 그러나 국내의 기체사출 성형에 대한 기술수준은 단지 영국의 Cinpres사와 미국의 Gain사의¹¹ 장치를 도입하여 일부 가전제품에 응용하는 단계에 불과 하다. 따라서 ① 수치특성 및 제품형상에 따른 독자적인 기체통로 설계, ② 기체 및 수치 주입구 선정기술 ③ 공정조건의 최적화와 같은 핵심기술 등은 개발할 단계에 있다.

기체사출 성형법은 적용목적에 따라 수치절감 효과,¹² 소재 대체,^{13,14} 자동차 문틀이나 완충빔과 같이 열가소성 수지로의 적용으로 양산성이나 재활용 개선, 또는 기존의 금속으로 만들어지던 위성 안테나 수신대 등도 구조적인 설계와 완벽한 표면 특성 등의 장점이 있으며, 조립공정의 단순화 및 고품질 추구, 성형성 및 생산성을 향상시킨다.¹⁴

본 연구실에서는 그 동안 일반 사출을 통한 TV back cover 와 부품의 최적 설계를 mold flow 사의 사출성형을 위한 CAE 프로그램을 통하여 해석 하였었다.¹⁵ 그러나 본 연구에서는 보다 더 경쟁력 있는 자동차 부품 개발을 추진하고자 H자동차 XD의 계기판 (Instrument Panel)을 기존에 2개의 부품 (Cluster, Audio Panel)을 각기 일반 사출성형한 후 조립·장착하던 공정을 기체 사

출성형으로 일체 성형을 실현한 후, 일반 사출과 기체 사출의 특성을 비교하였다. 사용한 그레이드는 국내기업이 생산하는 두 가지 ABS terpolymer [poly (acrylonitrile-butadiene-styrene)]를 사용 하였으며, 제품개발을 위한 모사 실험 과정에서 Moldflow사의 기체 사출 성형 해석 프로그램인 MF/GAS를 사용하여 그에 대한 효과와 고찰한 결과를 토대로 사출 성형에 적용하였다.

2. 지배 방정식과 수치해

충전 과정의 지배 방정식 및 수치해. 수지는 충전과정 동안 비압축성의 비 뉴턴 유체이며, 열전도도는 일정하다는 가정에 의해 다음과 같은 지배방정식을 유도해 낼 수 있다.^{16,17}

$$\nabla \cdot \bar{v} = 0 \tag{1} : \text{연속방정식}$$

$$\rho \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} = \bar{\rho} \bar{g} - \nabla p + [\nabla \cdot \underline{\tau}] - \rho [\bar{v} \cdot \nabla \bar{v}] \tag{2} : \text{운동방정식}$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla T \right) = \beta T \left(\frac{\partial p}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla p \right) + \eta \dot{\gamma}^2 + k \nabla^2 T \tag{3} : \text{에너지방정식}$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla T \right) = \beta T \left(\frac{\partial P}{\partial t} + \bar{v} \cdot \nabla P \right) + P \nabla \cdot \bar{v} + (\nu \cdot \nabla \cdot \bar{v}) + k \nabla^2 T$$

또한, 이 해석에 이용된 기본 가정은 다음과 같다.

$$\text{incompressible fluid} : \nabla \cdot \bar{v} = 0 \tag{4}$$

$$\text{generalized Newtonian fluid} : \tau = \eta(\dot{\gamma})\dot{\gamma} \tag{5}$$

$$\text{constant thermal conductivity} : \kappa \tag{6}$$

이 식에서 ρ 는 용융밀도, \bar{v} 는 평균 속도, \bar{g} 는 중력 가속도, τ 는 전단 응력, P 는 압력, C_p 는 비열, β 는 재료의 확장계수, k 는 열전도도, η 는 겔보기 점도, $\dot{\gamma}$ 는 전단 속도이다.

사출성형에서 용융 수지는 공동 (cavity) 벽에 부착하여 액체 상태에서 고체 상태로 변하게 된다. 위의 지배 방정식들은 유체에 대해 유도되었으므로 이러한 고화층 (frozen layer)에 적용하기엔 적합하지 않다. 따라서 액체와 고체 상태를 구분하는 정지 흐름 온도 (no-flow temperature)의 개념을 도입하고, 충전 동안에 고화층 영역에서의 속도 v_x, v_y 및 v_z 의 속도는 0으로 가정하였다.

지정된 시간동안 온도가 일정하다고 가정하고 그 가

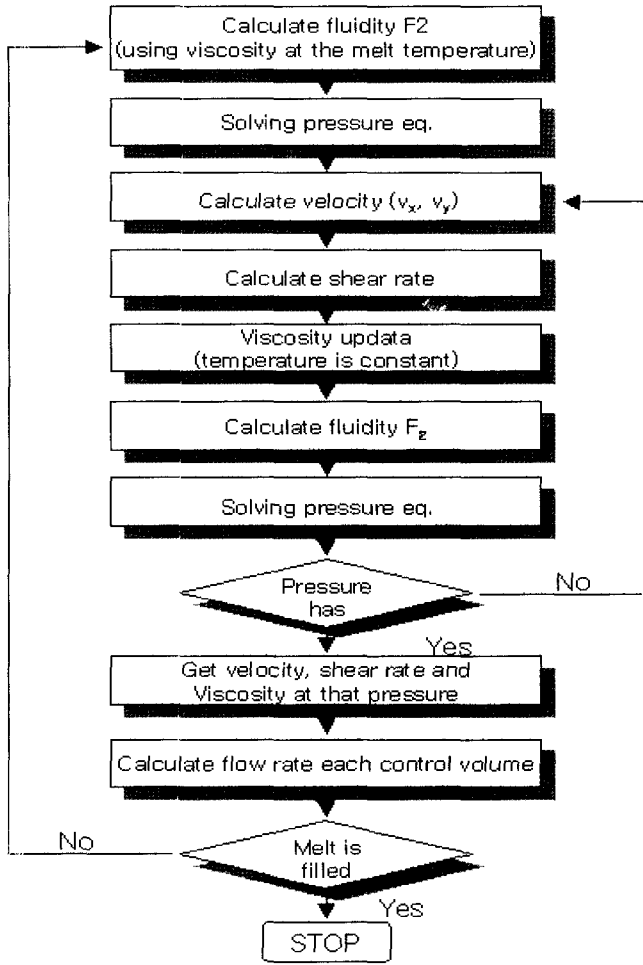


Figure 2. Flow chart for filling phase analysis.

정된 온도값에서 점성값을 예측하여 압력장을 계산하게 된다. 충전과정의 해는 Figure 2와 같은 절차를 거쳐 구한다.

보압 과정의 지배 방정식 및 수치해. 압축성 유체에 대한 연속방정식은

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho \vec{v}) = 0 \quad (7)$$

이고, 밀도 $\rho = f(p, T)$ 이므로 재료의 팽창 계수 (expansion coefficient) β 는

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} = -\beta \quad (8)$$

이다. 그리고 보압 과정에 대한 운동 방정식은 다음

과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) = \rho \vec{g} + [\nabla \cdot \tau] - [\nabla \cdot \rho \vec{v} \vec{v}] \quad (9)$$

보압 과정의 해를 구하는 절차는 Figure 3과 같은 과정을 따른다.

냉각 방정식. 수지의 결정 잠열, 다른 부분으로부터 금형이 흡수하는 열량 및 금형이 대기중이나 사출 성형기로 빼앗기는 열량이 없다고 가정하면 단위 시간당 수치로부터 금형으로 이동하는 열량 Q 는

$$Q = \frac{P_1}{H} C_p \Delta T \quad (10)$$

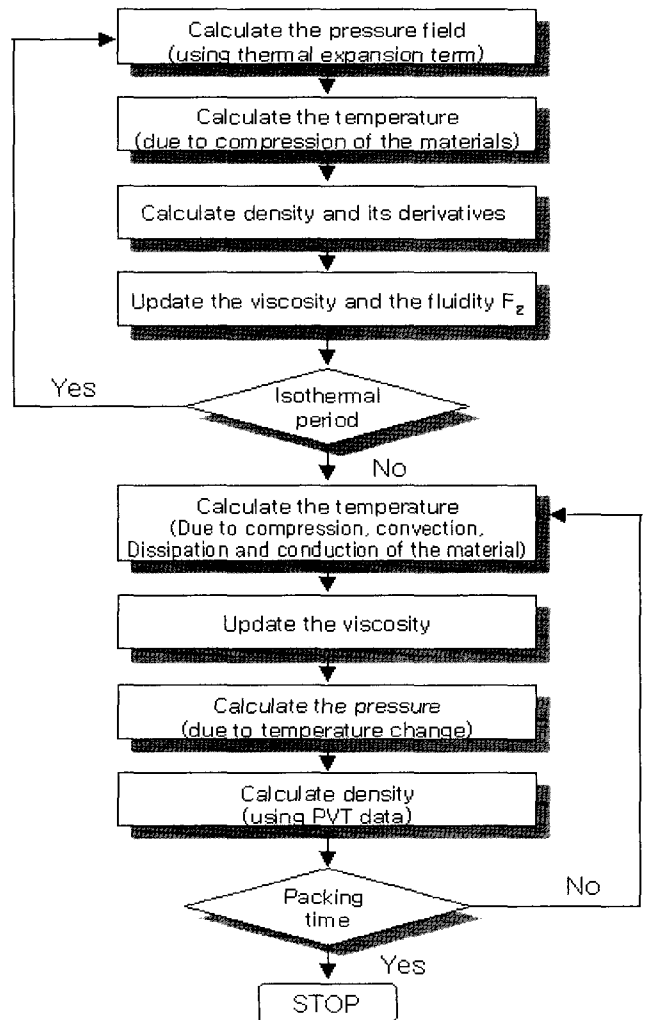


Figure 3. Flow chart for packing phase analysis.

로 계산하였으며, 여기서 P_1 은 수지의 중량, H 는 시간, C_p 는 수지의 비열을 나타낸다.

개략적인 냉각시간 t_c 를 계산하기 위하여 용융수지도 T_p 가 균일하고 금형온도 T_M 과 열확산계수 α 가 일정하다고 한다면,

$$t_c \frac{h^2}{\pi^2 \alpha} \ln \left(\frac{T_X - T_M}{T_p - T_M} \right) \quad (11)$$

이므로, 냉각 시간은 $\ln \left(\frac{T_X - T_M}{T_p - T_M} \right)$ 와 성형품의 살두께

의 제곱에 비례한다.

성형 재료. CAE의 입력 자료로서 고분자의 열적 특성과 관련된 입력 데이터로는 열전도도, 비열, 용융밀도, 흐름정지온도, 취출 온도 등을 사용한다.¹⁸

본 연구에서 사용된 Program인 Moldflow에서는 고분자 용융체의 사출 성형 공정에서 열의 전달과 관련된 기본적인 열확산 계수 (α : Thermal diffusivity)식을 열전도도 k , 비열 C_p , 용융밀도 ρ 를 통해서 다음과 같은 식을 통하여 구하였다.

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (12)$$

일반적인 고분자 용융체의 열 분산 정도는 10^{-7} m²/sec 정도이며, 고분자의 열전도도는 0.13 W/mK ~ 0.26 W/mK 로써, 통상적으로 활용되는 금형 재질의 열전도도인 29 보다 훨씬 작다. 비열은 시차열 주사열량계 (DSC)에서 고분자와 Reference cell간 열의 출입을 통해 측정할 수 있으며, 이는 열 분산식을 통해 고분자 용융체가 성형 공정에서 전도에 의하여 방출되는 열의 양을 계산해 줄 뿐 아니라, 충전의 공정에서 용융체가 받는 전단 변형력에 의해 발생하는 전단 발열 (shear heating)에 의한 온도 상승을 계산해준다. 용융 밀도란 고분자의 평균가공 온도에서 압력이 0이 되거나 0에 근접할 때의 밀도인데, 용융밀도가 증가할수록 사출 압력은 기본적으로 증가하지만, 점도가 온도에 대하여 민감한 고분자의 경우 용융밀도의 증가에 따른 사출 압력의 증가가 상대적으로 작는데, 이는 용융 밀도의 증가가 열의 분산보다 전단 발열에 주요하게 영향을 미치기 때문이다.

한편 결정성 고분자의 경우, 결정화도가 클수록 밀도가 증가하기 때문에 결정이 풀리는 액체 상태에서 용융

밀도와 고체 상태에서의 밀도간 차이는 비결정성 고분자보다 크다

상태 방정식. 고분자 재료의 밀도 변화는 충전 단계 이후의 유동장에 큰 영향을 미치게 되는데 밀도 변화의 표현에는 Tait가 제안한 상태 방정식이 있으며, 액상과 고상을 모두 표현할 수 있다.²⁰

$$v(T, p) = v_0(T) \left\{ 1 - C \ln \left(1 + \frac{p}{B(T)} \right) \right\} \quad (13)$$

여기에서 C 는 0.0894이고, $v_0(T)$ 는 압력이 0일 때의 비체적이다. 액상과 고상에 대한 표현은 다음과 같이 주어진다.

$$v_0(T) = b_{1,1} + b_{2,1} \bar{T} \quad \text{if, } T > T_t \quad (14)$$

$$v_0(T) = b_{1,5} + b_{2,5} \bar{T} \quad \text{if, } T > T_t \quad (15)$$

$$B(T) = b_{3,1} \exp(-b_{4,1} \bar{T}) \quad \text{if, } T > T_t \quad (16)$$

$$B(T) = b_{3,5} \exp(-b_{4,5} \bar{T}) \quad \text{if, } T > T_t \quad (17)$$

$$v(T, p) = 0 \quad \text{if, } T > T_t \quad (18)$$

$$v(T, p) = b_7 \exp(b_8 - \bar{T} b_9 p) \quad \text{if, } T > T_t \quad (19)$$

임의의 전이온도 T_t 가 압력의 일차 선형함수라고 가정하면

$$T_t(p) = b_5 + b_6 p \quad (19)$$

로 된다.

3. 해석 과정 및 절차

본 연구는 H사의 자동차 부품인 계기판 (Instrument panel)을 대상으로, 기체 사출 성형에 관한 모사 실험을 수행하였으며, 사출 성형을 위한 상업용 CAE (Computer

Aided Engineering) Software인 Moldflow사의 MF/FLOW, MF/GAS를 Solver로써 사용하였다.^{19,20}

CAE 해석을 통하여 (1) 제품의 형상에 적합한 사용수지의 결정, (2) 유동균형을 실현할 수 있는 게이트(gate) 위치의 선정, (3) 기체 (gas) 주입 위치의 선정, (4) 기체 통로(gas channel)의 형상 및 크기의 결정, (5) 공정변수의 최적화 등이 가능하며, 각 단계별 최적화 과정을 체계적으로 검증할 수 있다.

또한 모사실험을 위한 개략적인 CAE 해석과정을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 모델링 (Modeling)
- (2) 요소 분할 (Mesh Generation)
- (3) 요소 방정식 유도 (Derivation of element equations)
- (4) 요소 방정식 조합 (Assembly of element equations)
- (5) 경계 조건의 설정 (Application of boundary conditions)
- (6) 시스템 방정식 해석 (Solution of system equations)
- (7) 결과 값 디스플레이 (Display results)

상기 과정을 통해 수 차례의 시행착오를 거치면서 최적의 결과를 도출하게 되는데, (1), (2)는 해석을 위한 전처리 단계로 3차원 형상의 모델을 실제와 흡사하게 구현하고 해석을 위한 요소분할을 하는 과정이다.

CAE 해석은 유한 요소에 의한 수학적 연산에 바탕을 두고 있으며, 본 해석에서는 삼각형 요소의 Shell mesh를 기본단위로 설정하였다. Shell mesh 제작과정은 Pro-Engineer에 의해 설계된 내·외곽 3차원형상의 모델을, MF/MIDPLANE 모듈 (Module)을 사용하여 중간면을 새롭게 형성하였으며 제품 설계안을 토대로 기본두께를 부여하였다. 또한, 해석의 정확도를 향상시키기 위하여 요소의 밀도, 크기와 aspect ratio를 5이하로 최적화 하였다. 해석요소의 밀도와 aspect ratio 는 통상 해석의 목적에 따라 결정되는데, 요소의 증가에 따라 많은 시간이 요구되므로, 구조해석의 경우는 (1)~(3), 일반 해석의 경우에는 (1)~(5)범위 내에서 해석이 수행되는 것이 바람직하다고 보고되고 있다. 본 연구에서는 해석 시간 및 정확도를 고려하여 aspect ratio를 5로 설정하여 해석을 수행하였다.

(3)~(6)단계는 해석 과정으로, 제품의 요구특성을 만족시키는 범위 내에서 사용수지를 선정하고, 사용수지의 유동특성을 고려하여 그에 적합한 유동 기구 (스푸루, 런너, 게이트)의 설계 및 기체 (gas) 주입 위치 등을 결정하는 과정이다. 최종 설계안은 용융수지의 유동균형, 설계된 기체통로 내로 유입된 기체 (gas)침투상황을 통하여 채택할 수 있다. 그 과정에서 (7) 단계인 결과 값 디스플레이 과정은 육안으로 결과를 식별할 수 있는 마지막 단계이며, 이를 통해 금형 설계안의 적합여부를 판정하게

된다. 만일 해석 결과가 만족치 못할 경우 원인 분석을 통하여 상기의 과정을 반복 수행하면서 최적 안을 찾게 된다.

본 연구에서는 상기와 같은 과정을 수 차례 반복하면서 획득한 최적 설계안을 논하였으며, 사용 수지의 변경 및 공정 변수에 따른 효과를 분석하였다.

4. 결과 및 토론

자동차 계기판 (Instrument Panel) 제품설명. 해석에 적용된 판넬은, 기존에 계기판 (molding housing)과 센터 판넬 (center panel) 2개의 제품으로 분리되어 일반 사출을 적용하던 제품이었으나, 금형 비용 절감, 조립공수의 절감차원에서 신기술인 기체 사출 성형을 도입하여 통합된 하나의 부품으로 개발을 시도한 자동차 부품이다. 제품의 기능적인 면을 고려할 때, 변형의 최소화를 통한 치수안정성 확보, 내 충격특성 유지, 미려한 외관 등이 요구되는 제품이며 제품의 형상은 Figure 4에 도시하였다. Table 1은 제품의 상세 사양을 나타내고 있다.

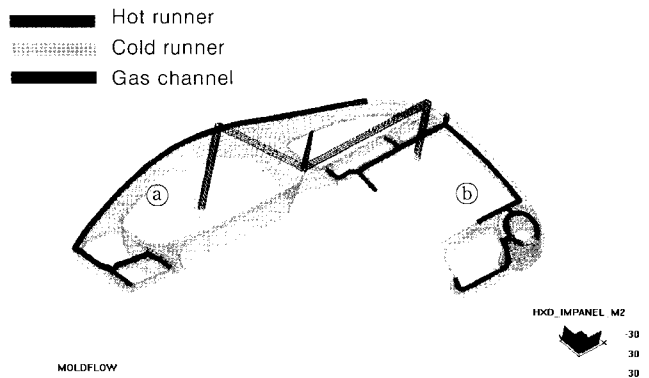


Figure 4. Configuration of model.

Table 1. Specification of the model Article (a, b: shape of the actual gas channel)

Article dimension	776 mm×451 mm×183 mm
Thickness	2.5 mm
Volume/Weight	538 cm ³ , 559.52g
Resin used	ABS H-2938
Runner type	Semi-Hot runner
Shape of gas channel	

해석 과정. 제품의 기능·성형측면을 고려한 사용수지 및 금형 설계의 세부 내용은 다음과 같다.

1) 사용수지

사용재질은 HDT(Heat Distortion Temperature)가 100℃ 수준인 고 내열 ABS인 K사의 H-2938을 해석에 이용하였으며, 이 수지에 대한 물성 (physical property)과 해석에서 요구되는 측정 data는 Table 2에 도시하였다. H-2938의 내열온도는 97℃로 내열특성이 다른 resin에 비해 조금 떨어지지만 크게 문제되는 사항은 아니며, 유동지수 (melt index)가 높아 용융수지의 유동과 기체 (gas) 유동에 유리할 것으로 예상되었다. 또한 전단흐름 (shear flow)에 의해 발생된 응력자체가 적어 성형 후 변형을 최소화할 수 있음은 물론, H-2938의 성형성에서 사출압력이 60.32 Mpa로 안정된 성형이 가능할 것으로 판단하였다.

유동기구 및 기체 통로 (gas channel) 설계. 제품의 구조적 결함을 남길 수 있는 분기류 (weldline)의 형성을 최소화 하고, 원활한 기체유동을 유도하기 위하여, 성형 가능한 최소한의 게이트 (gate) 3점을 설정하였으며, 런너는 유동저항을 최소화하고자 핫런너 (Hot runner)를^{21,27} 채택하였다. 기체 주입구는 밀도가 높은 게이트 주위에 설치하여 압력이 낮은 마지막 충전 부위로 자연스럽게 기체침투가 이루어지도록 유도하였다. 또한 기체 (gas) 채널은 제품의 외관라인을 따라 코어 (core)측에 설치되어 제품의 외관과는 무관하게 설계하였으며, 기체침투로 인하여 차체와 조립될 두꺼운 보스 (boss)나 리브 (rib) 부위의 표면함몰 (sinkmark)를 방지하였다.

공정 변수. 사용수지 H-2938의 T_g 는²² Figure 5의 P-V-T(Pressure-Volume-Temperature) data에서^{16,20} 약 100℃ 부근에서 나타났다. 일반적으로 성형온도는 성형재료의 T_g 보다 100℃ 높은 온도를 사용하고 있으나, 본 제품은 제품의 크기가 크고, 두께가 얇아 유동저항이 과다하므

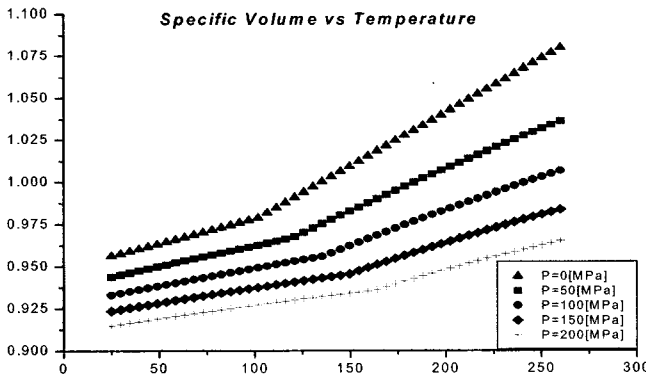


Figure 5. P-V-T data of ABS resin used.

Table 2. Molding conditions for H-2938

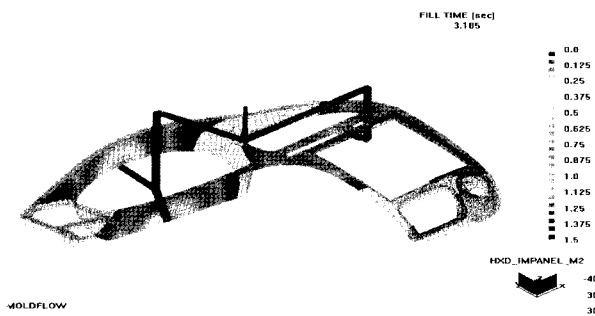
Mold Temp.	60℃
Injection Temp.	260℃
Injection Time	2초
Gas Delay Time	0.5초
Gas Pressure/ Holding Time	25 Mpa ~ 3초 20 Mpa ~ 3초 15 Mpa ~ 3초 10 Mpa ~ 3초

로 240, 250, 260℃의 용융수지 및 기체 유동상태를 점검하였다. 성형온도 260℃의 설정은 P-V-T data에서 260℃ 이상에서도 부피 변화가 선형을 이루고, 성형재료의 분해 (degradation) 등이 없음을 판단했기 때문이다. 또한, 기체를 주입하기 전 일반 사출을 통하여 용융수지를 95%만을 충전 할 때에 사출 압력이 60 Mpa 이하이고, 25 Mpa의 저압 기체를 주입하므로 전단 발열 (shear heating)에 의한 온도 상승효과 또한 적을 것으로 예상되었다.

용융수지 및 기체 사출성형을 위한 최적의 성형조건은 Table 2에 도시하였으며, 본 연구에서는 최적화된 결과와 공정조건의 변수에 따라 변화되는 효과들을 분석하였다.

해석 결과. Figure 6은 용융수지의 충전 과정을 나타내고 있는데, (a)는 제품외곽에 설치된 기체 통로 (gas channel)가 플로우 리더로써 흐름을 주도하여 60%의 용융수지가 충전 되고 있으며 (b)의 경우는 기체를 주입하기 직전 95%의 용융수지가 충전 된 과정으로 일반 사출 과정에 속한다. (c)는 기체 (gas)가 주입 되면서 기체통로 (gas channel) 내에 냉각되지 않고 남아있는 뜨거운 수지를 밀어내면서 미충전 부분을 완전히 충전 시켜 100%의 충전이 완료된 과정을 보여주고 있다.

기체 유동. 기체 (gas) 유동은 기체 충전 (gas filling)과 기체 보압 (gas packing)으로 구분될 수 있다. Figure 7은 기체 충전 과정을 도시하고 있는데, 0.6초 동안에 80% 이상의 기체가 충전되고, 100% 충전하는데 2.5~3.1초가 소요됨을 보여주고 있다. 이는 제품내의 큰 압력차로 인하여 기체의 충전 속도가 빠르게 진행되고 있음을 보여주고 있다. Figure 8은 기체 보압과정으로 냉각과정에서 발생하는 부피 수축량을 보상해주는 단계로 금형 내부의 압력이 상대적으로 증가하며 기체 (gas) 진행 속도는 현저히 감소하게 된다. 그리하여 기체유동은 기체압력과 금형내압이 평행이 되는 시점에서 정지하게 된다. 또한 Figure 8에 나타난 바와 같이 기체 보압 단계는 기체 충전 단계에 비하여 오랜 시간 지속적으로 기체가 주입되었으며 A, B, C부분은 부분적으로 기체통로가 아닌 제품 내로 기체가 침투되는 fingering 현상이 다소 발생하



(a) 60% of polymer filling

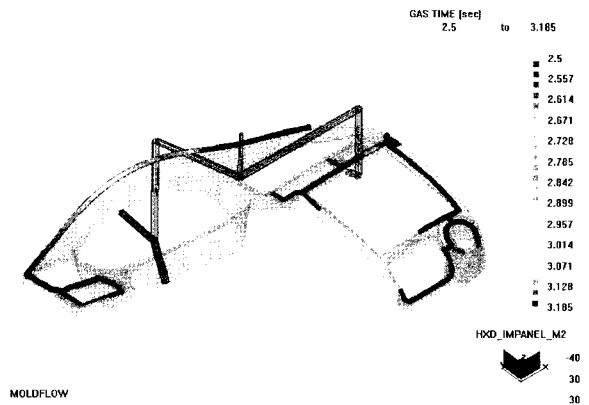
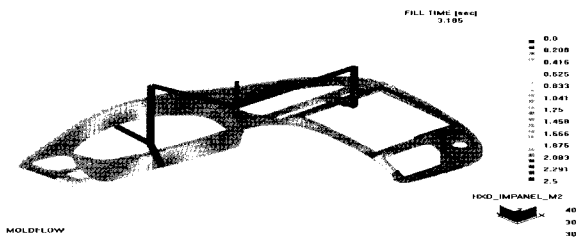


Figure 7. Gas filling stage (2.5~3.1sec).



Last fill

(b) 95% of polymer filling

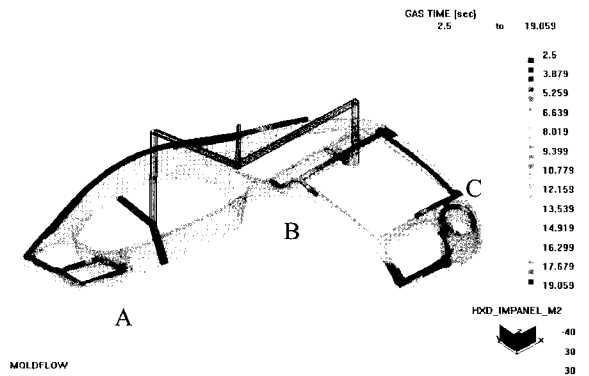
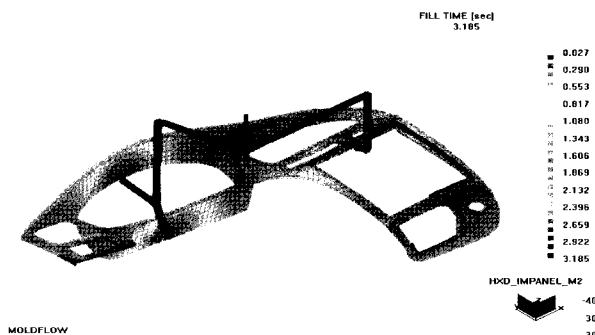


Figure 8. Gas packing stage (2.5~19.09sec).



(c) 100% completion of polymer filing

Figure 6. Filling patterns of the molten resin.

고 있는데 극히 작은 부분으로 제품에는 영향이 없을 것으로 예상된다.

또한 기체 주입 후 수지층과 기체층의 비율을 Figure 9에 도시하였는데, 빨간색은 수지층이 100%이며, 그 외의 부분은 기체가 침투된 상황을 나타내고 있다. 이 그림을 통하여 국소적으로 기체 fingering 현상이 보여지지만 비교적 안정적인 기체침투가 수행되었음을 알 수 있다.

공정 변수의 효과.^{19,23-25} 앞에서 관찰한 결과를 토대로 Table 2와 같은 성형 조건을 고정시키고, 침투량에 큰 영향을 미치는 용융 수지의 충전량, 성형 수지의 온도 등에 대한 효과를 관찰한 결과는 다음과 같다.

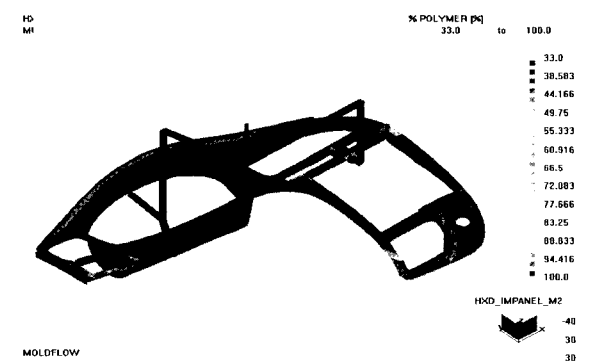


Figure 9. Specific ratio of the resin layer to gas layer.

1) 용융 수지 (Molten polymer) 충전량

앞서, 본 제품의 기체 (gas) 성형시 최적의 수지 충전량은 95%로 밝혀졌다. 수지 충전량에 대한 효과를 검증하고자 기체 주입 전 수지 충전량을 가·감하여 적용하였는데, Figure 10은 94%의 수지 충전량에 대한 유동현상을, Figure 11은 Figure 10의 충전 (일반사출과 같

음)에 이어 기체를 주입한 후의 유동현상을 보여준다. 그러나 Figure 11의 A에서와 같이 부분적으로 미 충전된 지역이 나타나는데 이는 기체주입 시 기체가 밀고 나갈 수 있는 수지의 양이 적어 A지역에서 터짐 현상이 발생하면서 충전이 더 진행되지 못한 상황을 나타내고 있다.

반면, Figure 12와 13은 각각 97%의 용융 수지를 충전한 결과 (일반 사출과 같음)와 97% 용융 수지 충전 후 기체가 주입되면서의 유동현상을 나타낸 결과이다. 수지 충전량이 너무 많아 기체가 밀고 들어가지 못해 기체 침투량이 상대적으로 적으므로 기체 침투가 안된 부

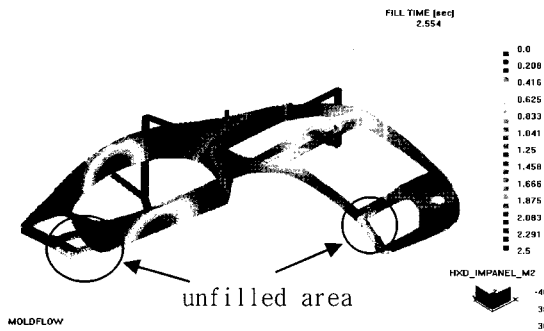


Figure 10. 94% of filling of the molten resin.

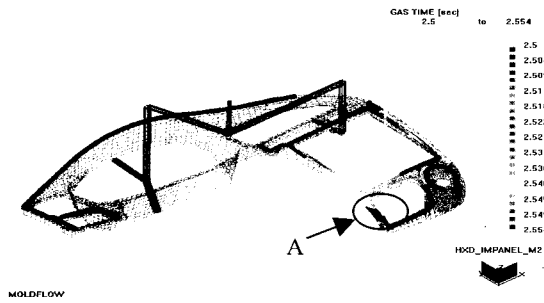


Figure 11. The phenomenon of the gas filling.

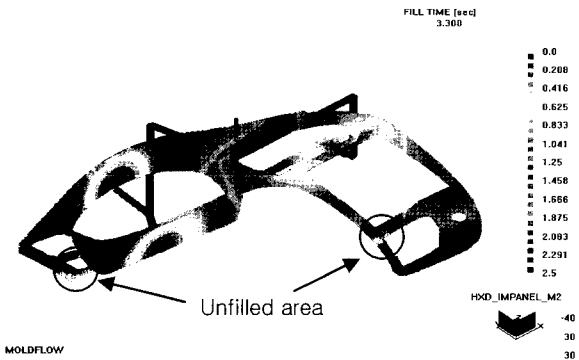


Figure 12. 97% Filling of the molten resin.

분 (Figure 13의 동그라미 친 부분)이 냉각시간은 물론 성형후 표면함몰 (sinkmark)을 초래하는 것으로 나타났다.

2) 사용 수지의 온도 변경

성형 조건의 최적화 과정에서 온도 변화에 대한 효과를 분석하고자 H-2938의 정상적 사출 온도인 240 °C에서 기체 침투효과를 파악하였다. Figure 14는 사출온도 240 °C에서 95% 용융수지를 충전한 후 기체를 주입한 결과인데, A지역에서 제품두께가 얇은 결과 유동저항이 커지면서 충전 속도가 크게 감소되어 기체터짐 현상으로 미충전 지역으로 나타나고 있다.

구조적 결함에 대한 고려. 지금까지 기체통로의 설계, 수지선정, 및 공정변수의 최적화 과정에서 CAE 해석을 통해 기체 침투효과에 대한 고찰을 하였으나, 구조적으로 결함을 초래할 수 있는 웰드라인과 성형품 각 부분의 온도분포에 대한 고찰은 다음과 같다.

1) 온도분포

Figure 15는 3차원 형상의 온도 분포를 도시한 그림으로, 전체적으로 260~270 °C 범위 내에서 균일한 온도분포를 나타내고 있다. 이는 유동의 정체로 인해 발생하는 온도하강 및 그로 인해 발생하는 수축차에 의한 변형을^{26,27} 최소화 할 수 있을 것으로 예상된다. 성

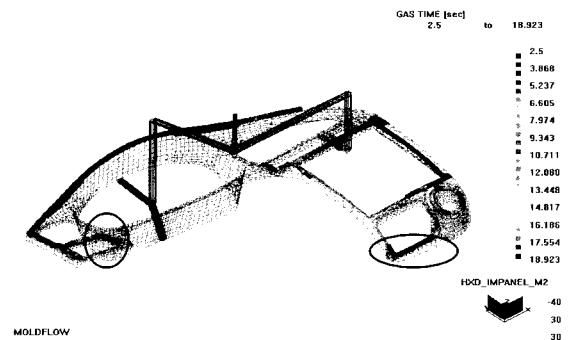


Figure 13. The phenomenon of the gas penetration with 97% of filling.

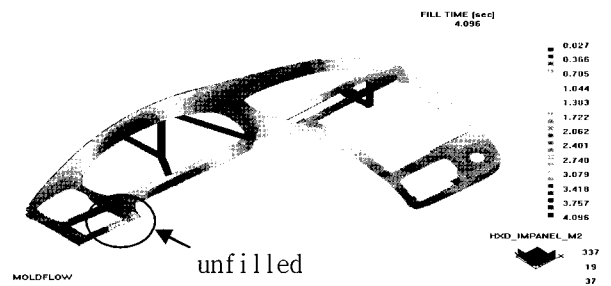


Figure 14. Fill pattern (240°C, 95% filling of the molten resin).

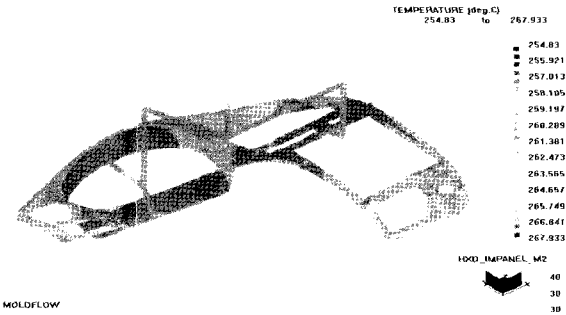


Figure 15. Temperature distribution after filling.

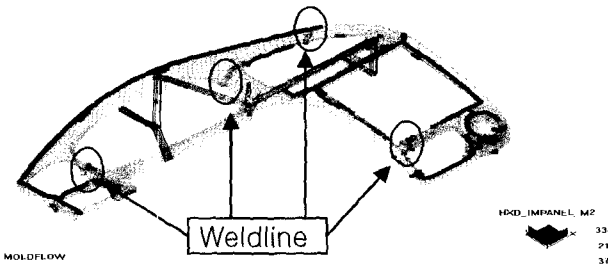


Figure 16. Weldline distribution.

형온도가 260 °C인데 비하여 국부적으로 온도가 상승한 부분은 마찰에 의한 전단 발열 (shear heating)에 기인한 것으로 판단되며 온도차가 5~10 °C 이내로 매우 작아서 냉각 속도에도 큰 영향이 없을 것으로 예상된다.

2) 용접선 (Weldline) 분포

Figure 16은 제품의 구조적인 결함을 초래할 수 있는 웰드 라인의²⁸ 분포를 나타내고 있다. Figure 15를 통하여 웰드 라인의 질을 간접적으로 평가해 본 결과, 용접선 (weldline) 부위에서의 온도가 높아 두 분기류의 결합력이 우수할 것으로 예상되어 크랙 (crack)과 같은 구조적인 결함을 배제할 수 있을 것으로 판단되었다.

5. 결론

보다 더 경쟁력 있는 자동차 부품 개발을 위하여 H자동차회사 XD의 계기판 (Instrument Panel)을 2개의 부품 (Cluster와 Audio Panel)을 각각 일반 사출성형 후 조립 장착하던 공정에서 기체 사출에 의한 일체성형을 실현하였다. 그 결과 조립공수 단축으로 인한 원가절감, 기체 채널로 인한 제품의 강성 증가, 변형의 최소화로 인한 치수 안정성 확보 등이 개선되었다. 제품개발을 위한 모사실험 과정에서 금호 석유화학의 내열 ABS인 H-2938을 이용하여 Moldflow사의 기체사출성형 해석 프로그램인 MF/GAS를 사용하였으며, 이 연구에서도

출된 결과는 다음과 같다.

- 1) 용융수지 주입위치 (gate)의 결정시, 용접선 (weldline)으로 인한 외관결함을 최소화하고자, 성형 가능한 최소한의 게이트 3점을 선정하였다. 그리고 런너는 핫-런너 (hot runner) 시스템을 채택하여 설계 자유도를 높이고 유동 균형을 향상시켰다.
- 2) 기체 통로는 테두리를 중심으로 설계 하였으며, 채널의 크기 및 모양은 제품의 형상과 유동 패턴을 고려하여 결정되었다. 기체 주입구는 용융수지의 압력이 높은 게이트 주변에서 압력이 낮은 쪽으로 충전이 원활하게 수행되도록 유도하였다.
- 3) 기체 사출과 일반 사출과의 성형 인자에 대해 최종 제품의 물성을 비교한 결과, 기체사출 적용 시 제품의 구조적 안정과 변형량의 현저한 감소가 예측 되었다.
- 4) 본 제품에서는 용융온도와 수지 충전량이 원활하게 기체를 침투시키는 데에 가장 중요한 요인으로 작용하였는데, 성형온도 260 °C, 수지 충전량 95%에서 기체 침투가 원활한 최적 안을 획득하였다.
- 5) 유동현상에 영향을 미치는 온도, 전단율에 따른 viscosity, 용융밀도, 열전도도, 열용량, P-V-T (Pressure-Volume- Temperature) data를 이용하여 모사 실험을 한 결과 실측치와 현장 고유의 standard database의 두 자료 모두 비슷한 결과를 얻었다.

감사의 글 : 본 연구는 산자부에서 지원하는 인하대학교의 자동차규격제부품 TIC 센터 연구비 (2003-2004)로 수행되었음에 감사드립니다.

References

1. E. Galli, "Gas-assist Injection Molding:More systems", more molders, more OEMs, *PM&E*, pp. 27-30, June (1993).
2. L. S. Turng, "Computer-Aided-Engineering for the Gas-Assisted Injection Molding Process", *SPE Tech. Paper, ANTEC*, 50, 452 (1992).
3. K. C. Rusch, "Gas-Assisted Injection Molding-A New Technology is Commercialized", *Plastics Engineering*, Jul. (1989).
4. C. A. Hieber and S. F. Shen, *J., Non-Newtonian Fluid Mech.*, 7, 1 (1980).
5. V. W. Wang, C. A. Hieber, and K. K., Wang, "Mold-Filling-Simulation in Injection Molding of Three-Dimensional Thin Parts", *SPE Tech. Paper, ANTEC*, 32, pp. 97 (1986).
5. H. Maviridis, A. N. Hrymak, and J. Vlachopoulos, *Polym. Eng. Sci.*, 26, 449 (1986).
6. L. S. Turing and V. W. Wang, "Simulation of Co-Injection and Gas Assisted Injection Molding", *SPE Tech. Paper*,

- ANTEC*, **49**, 297 (1991).
7. L. S. Turng, *Innov. Polym. Process.: Molding*, 43 (1996).
 8. H. Tateyama, "Design Innovation for TV Cabinets by Gas Assisted Injection Moulding", Proceedings of the Society of the Plastic Industry's(SPI) Structural Plastics Division's(SPD) 20th Annual Conference and New Product Design Competition. Washington, D.C., Apr. 5-8, (1992).
 9. S. Shah and D. Hlavaty, "Gas Injection Molding of an Automotive Structural Part", *Plast. Eng.*, Oct. (1991).
 10. J. A. Avery, "Gas Assist Injection Molding: Technological and Commercial Status", Mar. (1993).
 11. P. Mapleston, "Gas-assist injection molding: more variants from more sources", *Modern Plastics International*, Feb. (1989).
 12. J. D. Gaspari, "Gas Injection Demonstrates Automotive Large-Part Potential", *Plast. Technol.*, Sep. (1994).
 13. S. Shah and D. Hlavaty, "Gas Injection Molding: Structural Application", *SPE Tech. Paper, ANTEC*, **49**, 1479 (1991).
 14. a. B. Kim, W. Jang, J. Kim, C. W. Chung, Y. Park, B. H. Lee, and S. Choe, *Polymer(Korea)*, **25**, 855(2001); b. B. Kim, W. Jang, J. Kim, Y. Park, B. H. Lee, and S. Choe, *Hwahak Konghak*, **41**, 577 (2003).
 15. C. Austin and P. Kennedy, *Moldflow Data Theory*, Moldflow Pty. Ltd., USA, 1992.
 16. M. E. Ryan and T. S. Chung, *Polym. Eng. Sci.*, **20**, 642 (1980).
 17. C. Austin and P. Kennedy, *Flow Analysis Reference Manual*, Moldflow Pty. Ltd., USA, 1993.
 18. B. S. Chen and W. H. Liu, *Polym. Eng. Sci.*, **29**, 1039 (1988).
 19. *Gas Injection Molding Training Manual*, Moldflow Korea, 1997.
 20. M. W. Hong, *Injection Molding Technology I*, Kijun Press, Seoul, Korea, 1989.
 21. J. W. Kim, C. S. Kim, H. D. Kim, *Mold Design*, Wonchang Press, Incheon, Korea, 2002.
 22. L. E. Nielsen and R. F. Landel, *Mechanical Properties of Polymers and Composites*, 2nd Ed., Dekker, N. Y. USA, 1994, pp. 15-23.
 23. C. L. Clark and R. Williams, "Rationalizing Gas-Assist Injection Molding Processing Conditions", SAE, N.Y. USA, 1995, pp.85-89.
 24. B. H. Min, *J. of Inject. Molding Technol.* **1**, 204 (1997).
 25. B. Witold and D. Roger, *Comeliussen Failure of Plastics*, Hanser Publishers, New York, 1986.
 26. S. L. B. Woll and D. J. Cooper, *Polym. Eng. Sci.*, **36**, 1477 (1996).
 27. C. Austin, *Moldflow Design Principles*, Wiley, N. Y., USA, 1986.