

## CAE 를 이용한 TV Speaker Grille 사출 성형의 최적화

김범호\* · 장우진 · 김정훈 · 정지원 · 박영훈\*\* · 최순자†

\*현대 플라스틱 엔지니어링, \*\*순천대학교 고분자공학과, 인하대학교 화학공학과  
(2001년 2월 20일 접수)

### Optimization Condition for Injection Molding of TV Speaker Grille Using CAE

Beomho Kim\*, Woojin Jang, Junghoon Kim, Chee Won Chung, Yung-Hoon Park\*\*, and Soonja Choe†

\*Hyundai Engineering Plastics Co., Ltd, #1233 Tong Jung-Li, Seok Mun-Myun,  
Tang Jin-Gun, Chung Nam 343-856, Korea

\*\*Dept. of Polymer Science and Technology, Suncheon National University,  
315 Maegok, Suncheon, Chonnam 540-742, Korea

Department of Chemical Engineering, Institute of Polymer Science and Engineering,  
Inha University, Incheon 402-751, Korea

†e-mail: sjchoe@inha.ac.kr  
(Received February 20, 2001)

요약: MOLDFLOW사의 CAE S/W를 사용하여 A사의 TV speaker grille의 최적 성형 조건을 도출하였는데, 캐비티 안으로 충전되는 수지의 양을 조절하는 방법 중 flow balance, runner balance, 그리고 이 두 가지를 절충한 세 가지 방법으로 유동과 보압 해석을 수행하였다. 또한 실제로 각각의 온도별 점도와 전단속도를 측정한 결과(local database)를 이용하여 해석하고, standard database에 의한 해석결과와 비교 검토하였다. Speaker grille에서 flow balance는 성형품의 weld line을 최소화함으로써 양호한 외관과 weld line의 기계적 물성 저하를 최소화시켰으나, 제품 중앙부의 과충전으로 인한 과도한 변형이나 gas가 발생하는 단점이 나타났다. Runner balance는 각 gate로부터 사출되는 수지의 양을 균등하게 조절함으로써 flow balance의 단점을 보완하였으나, weld line의 외관과 기계적 물성이 저하하는 단점이 나타났다. 그러나 flow balance와 runner balance를 절충한 형태의 runner의 직경을 변형함으로써 두 방법이 가지는 단점을 보완하였다. 또한 각각의 온도에 대한 점도와 전단속도를 실측한 local database와 기존의 standard database에 의한 해석 결과를 비교한 결과, 실측의 점도가 다소 높게 측정되고, 온도 분포의 편차가 넓게 나타났음에도 불구하고, 두 data의 해석 결과는 거의 차이가 없음이 확인되었다.

ABSTRACT: The optimization condition of injection molding for a commercial product of TV speaker grille of A Company was induced using a CAE software of Moldflow. The flow and packing phase analysis was performed by using flow balance, runner balance, and the intermediate one by using the above two balances, which were used for controlling the amount of packing resins into the cavity. Later, the analysis performed by using the measured viscosity (local database) at various shear rates and the results were compared with the computer simulation using the standard database. Flow balance induced minimized weld line resulted in a better appearance and physical properties of the weld line, but exhibited a disadvantage of large deformation and gas formation due to over-packing of the molten resin in the center of the speaker grille. Runner balance improved the disadvantage of the flow balance by controlling the amount of molten resin injected from the gate, however resulted reduced mechanical properties and poor appearance of the weld line. However, the modified method induced from the flow and runner balance improved the disadvantages by changing the runner size. In addition, the analyses based on the local database and the standard database were compared. Although the measured viscosity was slightly higher and the temperature distribution was broader than the standard database, no distinct difference was obtained from the analysis using the two different databases.

**Keywords:** CAE (computer aided engineering), flow analysis, packing phase analysis, local database, standard database.

서 론

사출 성형은 열가소성 수지의 가공법들 중에서 정밀도나 고품질의 제품을 효과있게 생산하는 데에 널리 이용되는, 플라스틱 산업의 가장 일반적인 공정으로서, 고분자 용융체를 금형의 캐비티에 높은 압력으로 채워 넣음으로써 캐비티 형상과 같은 제품을 생산하는 공정이다. 이전의 사출 성형 공정은 과학적이고 체계적 이해의 부족으로 주로 생산 공정에서 얻어진 경험과 시행착오에 의존하여 왔기 때문에 다양한 플라스틱 재료의 성질, 복잡한 성형품의 형상 및 성형 조건 등의 변화 등에 능동적으로 대처하기가 어려웠다. 그러나 현대 산업 사회에서는 고도의 정밀도, 기계적 강도, 원가 절감, 및 납기 단축을 통하여 사출 성형 공정 중에 일어나는 물리적 현상을 컴퓨터의 시뮬레이션을 이용하여 이론적으로 해석함으로써, 품질과 생산성의 향상을 가져오고 있다. 이러한 해석 기법이 CAE (computer aided engineering)인데 이것은 사출 성형 공정의 각 단계를 사전·후 시뮬레이션을 통해 공정 단계의 생산성을 극대화하는 데 그 목적이 있다.

충전 해석은 사출 금형 내에서 수지가 유동하는 과정을 해석함으로써 충전 과정 중 설계 조건과 성형 조건에 의한 캐비티 내의 압력, 전단응력, 온도 등의 영향에 따른 용융수지의 물성을 알아본다. 그리하여 충전시 발생하는 웰드라인 (weld line), 미성형 (short shot), air trap 등과 같은 성형 불량 현상을 미리 예측할 수 있다.

Spencer와 Gilmore는<sup>1,2</sup> 실험적을 통하여 금형 내 수지의 유동 상태를 해석하였으며, Ballman 등은<sup>3</sup> 점도의 Power law 모델을 사용하여 사각형 캐비티에서의 1차원 유동 해석을 하였다. Load와 Williams,<sup>4</sup> Tadmor와 Gogos는<sup>5</sup> 런너에서의 온도, 압력 및 속도 분포를 1차원 비등온 상태로 가정하여 해석하였다. Kamal 등은<sup>6</sup> 사각형 캐비티에서의 2차원 유동 해석을 실시하고, Hele-shaw flow 모델을 사용하여 게이트의 폭에 따라 유동 전진하는 흐름 선단의 모양을 예측하였다. Tadmor 등은<sup>7</sup> 등온의 수지 흐름을 가정하고 등가 뉴턴 점도 (equivalent Newtonian viscosity)를 사용한 FAN (flow analysis network) 해석 방법을 개발하였으며, Kamal과<sup>6</sup> Kenig는<sup>8</sup> 보압 과정을

압축성 유체의 비등온 유동으로 가정하고 Power-law 모델과 Spencer-Gilmore 상태 방정식을 사용하여 캐비티 내의 압력 분포로부터 유량을 구하고 수지의 평균 밀도를 구하였다. 또한 Bakerdjian과 Kamal,<sup>9</sup> White와 Dee도<sup>10</sup> 여러 성형 조건에 대한 실험적인 관찰을 통하여 충전 과정이 성형품의 최종적인 기계적 성질에 매우 큰 영향이 있음을 확인하였다. Chiang은<sup>11</sup> 준 3차원에 대한 보압 과정의 해석을 가능하게 하였고, 보압 과정 중에는 점성 모델과 수지의 압축성이, 냉각 과정에서는 온도와 냉각률에 따른 수지의 물성치 변화의 중요성을 피력하였다. Sherbelis와 Friedl은<sup>12</sup> 충전과 보압 단계에서 수지의 전단율과 온도의존성에 대하여 연구하였다.

Malguarnera 등은<sup>13</sup> 웰드라인의 생성과 성형조건이 기계적 성질에 미치는 영향을 고찰하였고, Wang 등은<sup>14,15</sup> 보압 및 냉각 과정에 대한 모델을 제시하고 전단율과 온도 및 압력이 점성에 미치는 영향을 연구하였으며, 특히 보압 과정 중의 압력구배에 의한 관성력의 영향을 지적하였다. Moy와 Kamal은<sup>16</sup> 금형 온도와 용융수지 온도가 성형품의 조직에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였으며, Wang 등은<sup>17</sup> 사출률, 용융 수지 온도 및 보압의 크기에 따른 성형품의 중량과 수축에 대하여 연구하였으며, Cox와 Mentzer는<sup>18</sup> 충전 시간의 변화에 따른 성형품의 외관, 인장강도, 수축 및 중량의 거동을 실험적으로 고찰하였다.

위와 같은 연구 결과들을 토대로 하여 CADMOULD, C-MOLD, MOLDFLOW 등의 회사에서 해석용 프로그램을 개발하였고, 단순화된 모델의 해석으로부터 실제의 성형 공정과 유사한 조건을 부여하여 해석할 수 있는 연구가 계속 진행되고 있다.

우수한 물성을 갖는 성형품은 열이력과 변형이력에 연관된 미세구조의 변화와 잔류 응력을 최소화할 수 있는 최적 성형 조건과 관계가 있다. 이를 위한 절차로 수지의 과충전이나 미성형 등을 예방하는 유동해석, 제품 전체의 균일한 냉각을 실현시켜 냉각속도의 차이에 의한 잔류응력을 예방하는 냉각 해석, 제품 냉각시 금형 안에서 수지의 수축에 의한 압력강하를 보상하여 제품의 변형을 방지하고 사출 불량 요인을 줄이는 보압 해석 등이 있다. 위의 해석을 통해 나타난 결과를 입력 값으로 사용하여 변형 해석을 하면 취출 후의 사출 성형품에 대한 변형량과 형태를 예측

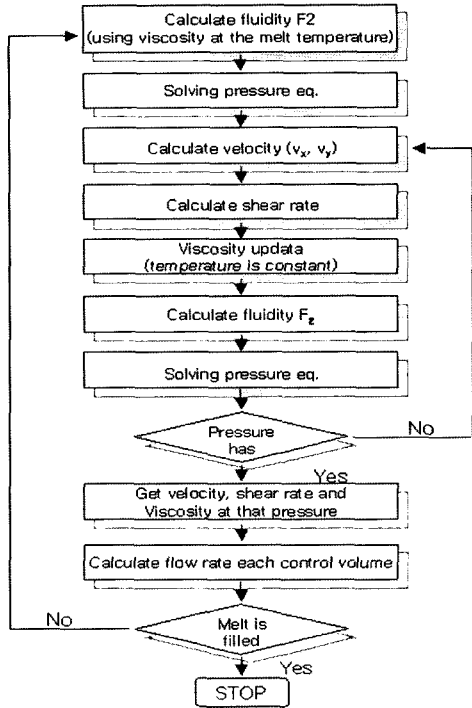


Figure 1. Flow charts for computation of packing phase analysis.

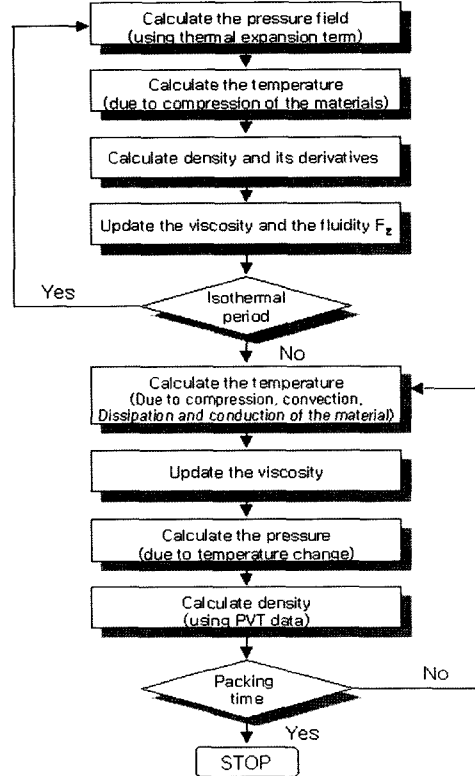


Figure 2. Flow charts for computation of packing phase analysis.

할 수 있다.

본 연구실에서는 그간 CAE를 이용한 사출성형의 최적 조건을 찾아 경제적이고 생산적인 TV backcover를 생산하기 위한 금형설계를 변형하는 연구를 하였는데, backcover의 설계도면을 사용하여 제품의 부분적인 두께를 조절하는 변수로 한 최적의 성형조건을 도출하여 기본 설계를 수정하는 방법을 모색하였다.<sup>19</sup>

본 연구에서는 사출 성형 공정의 최적화를 실현하기 위해 MOLDFLOW사의 전·후 처리기인 MF/VIEW를, Solver로는 MF/FLOW, MF/COOL, MF/WARP 등을 사용하여 실제 제품으로 나와 있는 A사의 TV speaker grille을 성형하는 최적의 조건을 도출하였다 이 때에 수지의 유동에 영향을 주는 변수들 중에서, 게이트의 위치와 수, 사출 시간, 금형의 온도 등의 변수들을 고정하고, 모델에 변형을 주지 않고 runner의 balance만을 변수로 사용한 최적의 사출 조건을 찾았다.

본 연구에 사용된 MOLDFLOW software의 기본

인 유동 해석과 보압 해석에 관한 Flow chart를 다음의 Figure 1과 2에 각각 도시하였다. Flow chart에서  $V_x$ 와  $V_y$ 는 x축과 y축 방향의 속도를 나타내며  $F_z$ 는 z축 방향으로의 유동성을 나타낸다.<sup>20</sup>

### 해석 이론

**열적 특성.** CAE의 입력 데이터는 고분자의 열적 특성인데,<sup>21</sup> 열전도도, 비열, 용융 밀도, 흐름 정지 온도, 취출 온도 등이다. 본 연구에서 사용된 program인 MOLDFLOW에서는 고분자 용융체의 사출 성형 공정에서 열의 전달과 관련된 기본적인 열 분산식을 열전도도, 비열, 용융 밀도를 통해서 구하고 있는데, 일반적인 고분자 용융체의 열확산계수는  $10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$  정도이다.

용융수지는 위소성 유동 (pseudoplastic flow) 체이

며, 유동해석을 위하여 점도는 온도와 전단율의 함수로 표시하였다. 또한 사출 성형에 이용되고 있는 점도의 함수에는 Power-law model, Carreau model, Cross model, Ellis model, 및 Second Order model 등을 사용하였다.<sup>12,22</sup> 고분자 재료의 밀도 변화는 충전 단계 이후의 유동장에 큰 영향을 미치게 되는데, 밀도 변화의 표현에는 액상과 고상을 모두 표현할 수 있는 Tait가 제안한 상태 방정식을 이용하였다.<sup>24</sup>

**보압 과정에서의 지배 방정식.** 충전 과정 (filling phase)과 보압 과정 (packing phase)에서 가장 큰 특징은 수지의 금형내 거동과 온도의 변화에 의한 체적 수축을 고려하는 것이다. 첫 번째 단계인 충전 단계에서는 금형의 캐비티 안으로 수지를 사출하고, 두 번째 단계인 보압 단계에서는 수축에 의한 체적 감소를 보상하기 위하여 압력을 가하며, 세 번째 냉각 단계에서는 용융 수지로부터 금형으로 열을 방출함으로써 용융 상태의 수지를 고화시킨다. 점탄성체인 수지는 충전 단계에서 비압축성, 비등온 유동을 하는 비뉴토니안 (Non-Newtonian) 유체의 특성을 가지며, 보압과 냉각 단계에서는 비정상 상태의 압축성, 비등온 유동을 하며 액체에서 고체로의 상변화를 일으키게 된다.

**냉각 방정식.** 수지의 결정 잠열, 다른 부분으로부터 금형이 흡수하는 열량 및 금형이 대기중이나 사출 성형기로 빼앗기는 열량이 없다고 가정하여 단위 시간당 수지로부터 금형으로 이동하는 열량을 계산했으며, 성형품에 두께가 다른 부분이 있을 경우 최대 살 두께에 의해 냉각 시간을 결정하였다.

**Local Database 측정.** 본 연구에 사용한 MOLDFLOW사의 CAE S/W는, 수지의 실측 값을 바탕으로 하여 2nd order 점도 방정식을 통해 Master Curve를 구현하고 얻은 data로써 이상 조건에서 표준 실험 장치를 사용하여 얻어낸 자료 (standard database)이므로 신뢰도가 매우 뛰어나다. 그러나 실제로 제품을 생산하는 현장의 환경은 data를 측정할 때의 이상적인 환경과는 차이에 의해 오차가 있을 수 있으므로, 그 한계를 비교하기 위하여 일반적인 환경에서 각각의 온도에 대한 점도와 전단속도를 측정하여 local database를 만들었는데, 점도 측정은 Rosand사의 advanced capillary extrusion rheometer를 사용하였다.

**Filling Balance.** Filling balance는 flow balance와

runner balance로 나뉘는데, 전자는 사출 시에 수지가 금형의 말단까지 균등하게 충전되도록 하는 방법으로 균등하지 못한 충전으로 과충전이 내부 잔류응력을 증가시켜 제품의 기계적 물성 저하나 변형을 방지할 수 있다. 반면에 후자는 각각의 gate로부터 사출되는 수지의 양을 균등하게 조절하여 sprue에서 가장 가까운 gate로부터 사출되는 수지에서 발생하는 gas를 억제하고, 제품 말단에서의 미성형을 억제할 수 있는 방법이다.

### 해석 과정 및 절차

CAE 해석은 삼각형의 요소 형태로 된 shell mesh를 사용하고, MOLDFLOW사의 전·후 처리기인 MF/VIEW를, Solver로는 MF/FLOW, MF/COOL, MF/WARP 등을 사용하였다. 해석의 정밀도는 요소의 크기와 aspect ratio (삼각형 요소의 경우 삼각형의 가장 긴 변에 대한 수직 높이의 비)에 의해 좌우되는데, 유동 및 냉각 해석의 경우는 1~5, 변형 및 구조 해석의 경우는 1~3 사이의 범위 내에서 사용하였다.

위의 조건에 맞게 형성한 surface에 스프루, 런너, 게이트 등을 모델링한 후, 사용할 수지 데이터, 사출 성형기의 사양 및 사출성형 공정 조건을 적용하여 해석하였다. 그 과정을 요약하면, 전처리 과정인 모델링 (modelling)과 요소분할 (meshing), 해석 과정인 요소방정식 유도 (derivation of element equations), 요소방정식 조합 (assembly of element equations), 경계조건 설정 모델링 (modelling), 시스템 방정식 해석 (solution of system equations), 후처리 과정인 결과값 디스플레이 (display results) 등이다.

본 연구에서는 유동 이력 (melt history)에 영향을 주는 변수 중, 게이트의 위치와 수, 사출 시간, 금형 온도 등은 고정하고, 모델의 부분적인 두께 및 런너 size 변화에 의한 수지의 유동을 변수로 설정하고 최적의 사출 조건을 찾았다.

### 결과 및 고찰

**모델의 형상 및 제원.** 사용된 모델은 A사의 TV monitor speaker grille이며, 제품의 중앙에 음파의

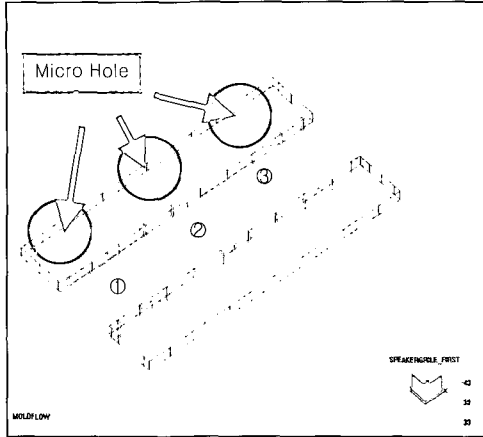


Figure 3. Shape of model used in this study.

통로로 사용될 미세공 부위를 가지고 있다. 그리고 제품의 생산성을 높이기 위해 두개의 제품을 한번의 사출로 생산할 수 있도록 double cavity runner system을 사용하였다. Gate ①, ②, 및 ③을 표시한 모델의 형상이 Figure 3에, 그리고 모델 제원이 Table 1에 도 시되었다.

**Filling Balance.** 본 모델은 제품의 중앙에 미세공 부분이 있어 수지의 유동 중에 정체 현상이 발생하므로 사출 속도가 감소하고 미성형이 발생할 수 있으므로 case 1에서 수지의 flow balance를 맞추기 위해 중앙의 runner size를 크게 하여 수지 유입을 증가시켰다. Case 2에서는 runner balance를 맞추어 각 gate에서 유입되는 수지의 양을 일정하게 유지시켜 중앙 부분의 gas 발생 문제를 해결하고자 했으며, case 3에서는 case 1과 2의 절충형으로써 두 가지 방법의 장단점을 모두 상쇄시켰다.

- CASE 1 : Flow balance에 대한 유동해석  
 <Runner ② : 6.8 mm runner ①, runner ③ : 6.0 mm>
- CASE 2 : Runner balance에 대한 유동해석  
 <Runner ② : 6.0 mm runner ①, runner ③ : 6.8 mm>
- CASE 3 : 두 가지 형태의 절충형에 대한 유동해석  
 <runner ①, runner ②, runner ③ 모두 : 6.0 mm>

**유동 패턴.** 세 가지 case에 대한 수지의 유동 패턴이 Figure 4(a)에, 그리고 Figure 4(b)에는 각각의 gate로부터 유출되는 수지의 양을 나타내 주는 grow form이 서로 다른 색깔로 구분되었다. 이 그림에 나

Table 1. Specification of the Product

size	length : 463mm	
	width : 83.6mm	
	height : 19.08mm	
thickness (by color)	green : 2.2mm	cyan : 1.4mm
	blue : 3.0mm	purple : 1.62mm
	red : 1.83mm	gray : 1.5mm
volume & weight	gross volume : 326.16 [cu.cm]	
	gross weight : 0.304 [kg]	
resin	K Co. high flowing HIPS	
application gate	3 side-gate System (yellow)	

타나듯이, case 1은 제품의 중앙에 위치한 미세공 부분에 기인한 충전 정체 현상을 보상하기 위하여 수지의 양을 늘린 결과, 가운데 gate로부터 유입되는 수지의 양이 다른 양쪽의 gate로부터 유입되는 양보다 훨씬 많음을 알 수 있다. case 2의 경우는 runner balance 구현의 결과 각 gate로부터 유입되는 수지의 양이 균등하게 나타났다. 따라서 case 1은 균등하지 못한 충전에 의해 발생하는 과충전이 내부 잔류응력을 증가시켜 제품의 기계적 물성저하나 변형이 발생 가능한데 비해, case 2는 이러한 문제점이 충분히 개선되었다. 그러나 Figure 5의 weld line을 살펴보면 flow balance를 구현한 case 1에 비하여 case 2 경우는 weld line이 더욱 많이 발생하였음을 알 수 있다. 따라서 case 2의 경우 weld line이 발생하는 부분에서 기계적 물성의 저하는 물론 외관상의 불량을 초래하게 된다. 결론적으로 case 1과 case 2 모두 적합하지 않은 것으로 판명되었다. case 3의 경우 case 1과 case 2의 절충 형태로서 flow balance와 runner balance 두 가지 모두의 장점을 완전히 가지지는 못하나 두 방법의 단점들을 허용 범위 내에서 모두 만족시키므로 case 3을 최종 안으로 결정하였다.

**온도 분포.** 최종 안에 대한 충전 중과 직후의 온도 분포를 Figure 6(a)와 6(b)에 각각 나타내었는데, 충전 중 온도 분포는 약 227.50~231.97 °C 이고 온도 차이가 4.47 °C 정도로 허용오차 약 20 °C 이내에서 매우 안정된 상태를 보이고 있다.

**보압 해석.** 본 연구에 사용한 speaker grille처럼

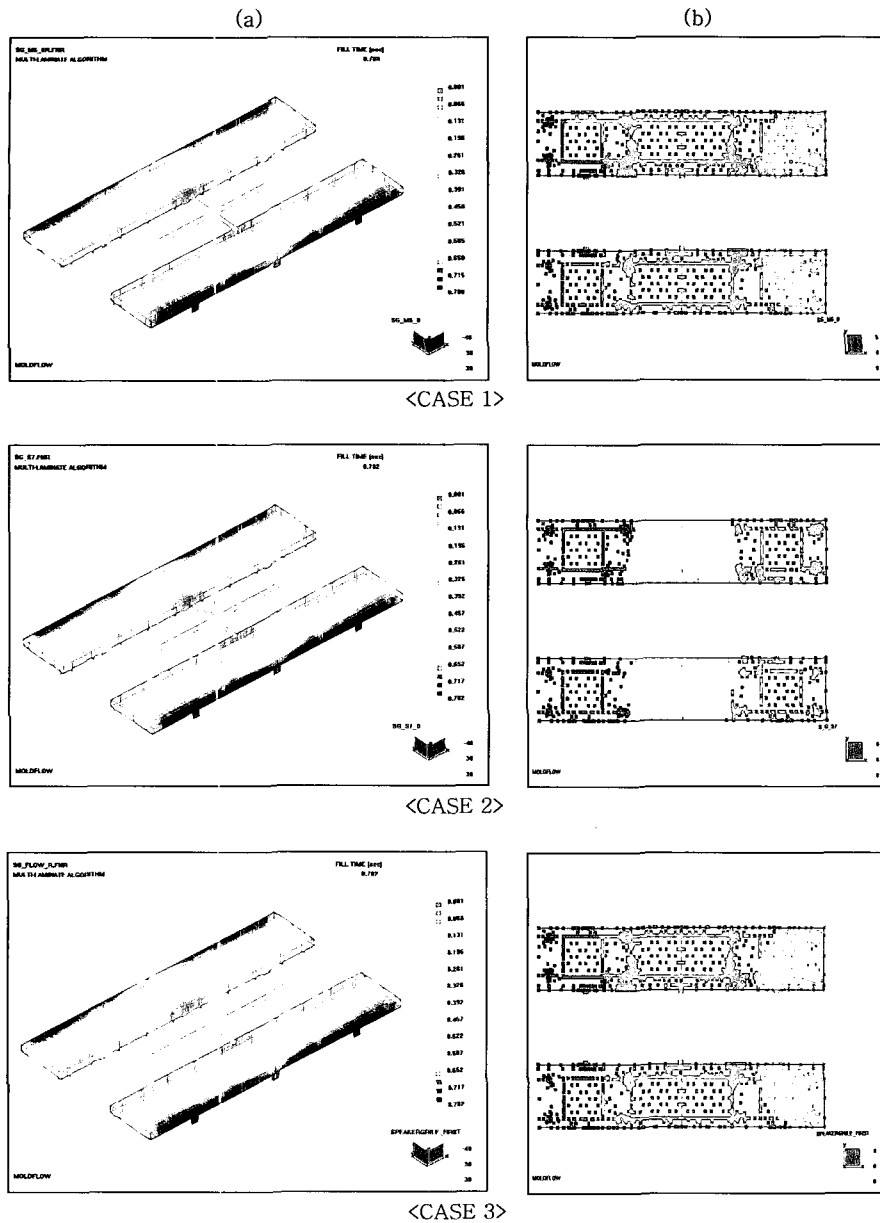


Figure 4. (a) Flow patterns of the resin and (b) grow form in each CASE.

스프루와 제품 말단간의 거리가 가까운 경우는 단일 보압 과정으로도 충분하므로 단일 보압 과정을 채택하여 해석하였는데, 이 해석 결과가 Figure 11의 standard database에 의해 나타난 부피 수축과 같다. 이 그림에서 최대 부피 수축이 10.37%로 다소 크게

나타났으나, 이것은 스프루같은 제품과 관계 없는 부분이며 제품의 부피 수축은 전체적으로 5% 이내로 매우 균일하게 나타나므로 각 부분의 수축차에 의한 변형은 최소화될 것으로 예상된다.

일반적으로 수지가 금형의 캐비티에 충전되면 금형

CAE를 이용한 TV Speaker Grille 사출성형의 최적화

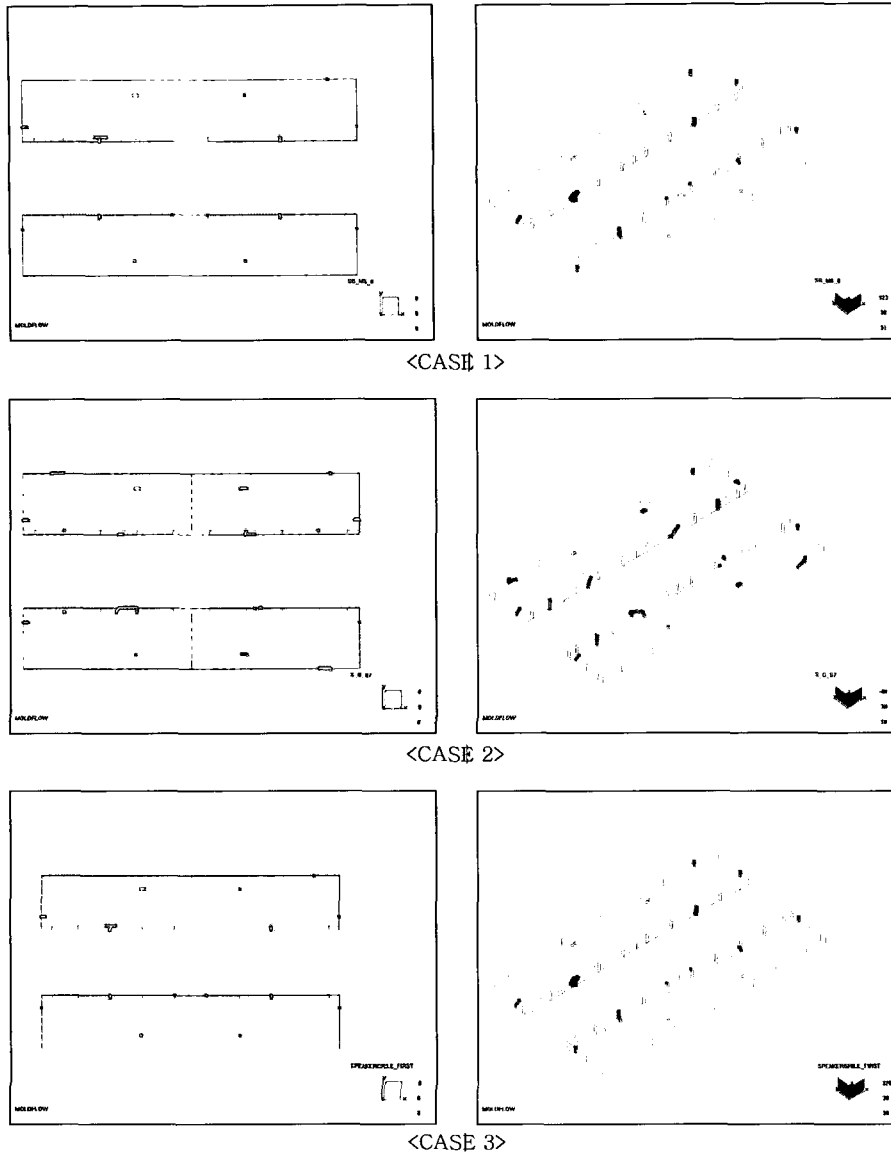
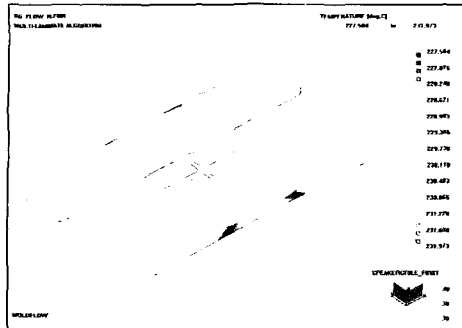


Figure 5. Weld line distribution in each CASE.

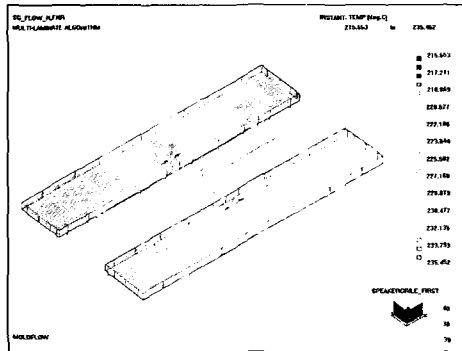
과의 온도 차이에 의해 냉각되고 이 과정에서 반드시 수축이 일어나게 되는데, 이 체적 수축을 보상해 주기 위해 보압이 요구된다. 보압을 가하지 않고 냉각하게 되면 고화되면서 표면에 결함이 발생하거나 내부에 기포가 발생하게 된다. 일반적으로 TV housing 과 같이 크기가 큰 제품의 경우 스프루와 제품의 말단간의 거리가 멀어 압력이 잘 전달되지 않아 말단까

지 압력을 전달하기 위해 다단 보압을 수행한다. 즉 처음에 큰 압력을 가하고 점진적으로 압력을 줄여 나가면서 flash 현상도 방지하고 금형 말단까지 압력을 미치게 하는 것이다.

변형 해석. Figure 8은 제품의 변형 해석을 수행한 결과를 도시한 것인데, 각 축별 변형량이나 전체적인 변형량이 모두 0~2% 이내로써 제품의 전부분



(a)



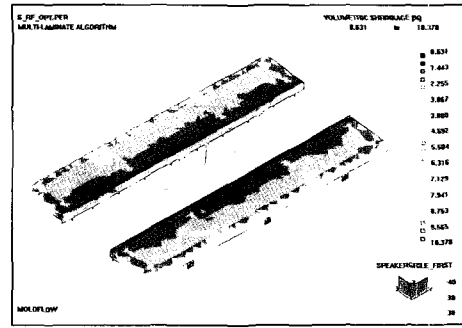
(b)

Figure 6. Temperature distribution (a) during filling and (b) after filling resin.

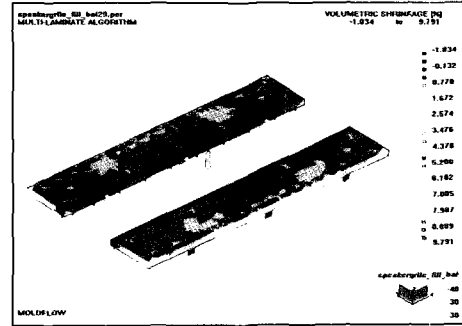
에 걸쳐 허용 범위 이내의 안정된 모습을 보여주고 있다.

Local Database에 의한 해석. Standard와 local database에 의해 만들어진 master curve에 의해 생성된 온도 및 전단속도에 대한 점도 값을 Figure 9에 도시하였는데, 전자에 비하여 후자의 실측 값이 다소 높게 나타났다.

위의 두 가지 database를 가지고 speaker grille에 대한 유동 해석의 결과가 Figure 10에 도시되었는데, 두 가지 경우에서 거의 유사한 유동 패턴을 보이고 있다. 충전 중 온도 분포에 대한 비교에서 local database를 사용한 해석의 결과에 의한 온도 분포는 222.8~233.2 °C로써 standard database에 의한 온도 분포 227.5~232.0 °C에 비하여 편차가 5.5 °C 정도 더 커졌지만 허용범위 내에 존재하는 값을 나타내었는데, 이 결과를 Figure 11에 도시하였다. 또한 두 가지 서로 다른 데이터에 의해 해석한 부피 수축 결



〈Standard data〉



〈Local data〉

Figure 7. Comparison of volumetric shrinkage of the standard database and local database.

과가 Figure 7에 나타났는데 미세한 차이는 발견할 수 있으나, 제품 전반에 걸쳐 5% 이내의 오차로 유사한 결과가 도출되었다.

위의 결과들을 종합할 때 standard database에 비해 local database의 점도가 다소 높게 측정되었고, 해석의 결과에서 온도 편차 역시 소폭 증가하였지만 두 가지 해석 결과 사이에 큰 오차가 없는 일관된 결과가 도출되었다.

## 결론

사출 성형 공정은 그 조건에 따라 다양한 형태의 열이력과 변형이력을 받게 되고 그 결과로 최종 성형품의 기계적 물성이 현저히 달라지게 된다. 이러한 단점을 극복하고 우수한 물성을 갖는 성형품을 얻기 위하여 제품 디자인 과정에서 수지의 충전에 가장 영향을 크게 미치는 제품의 부분적인 두께를 조절하는



CAE를 이용한 TV Speaker Grille 사출성형의 최적화

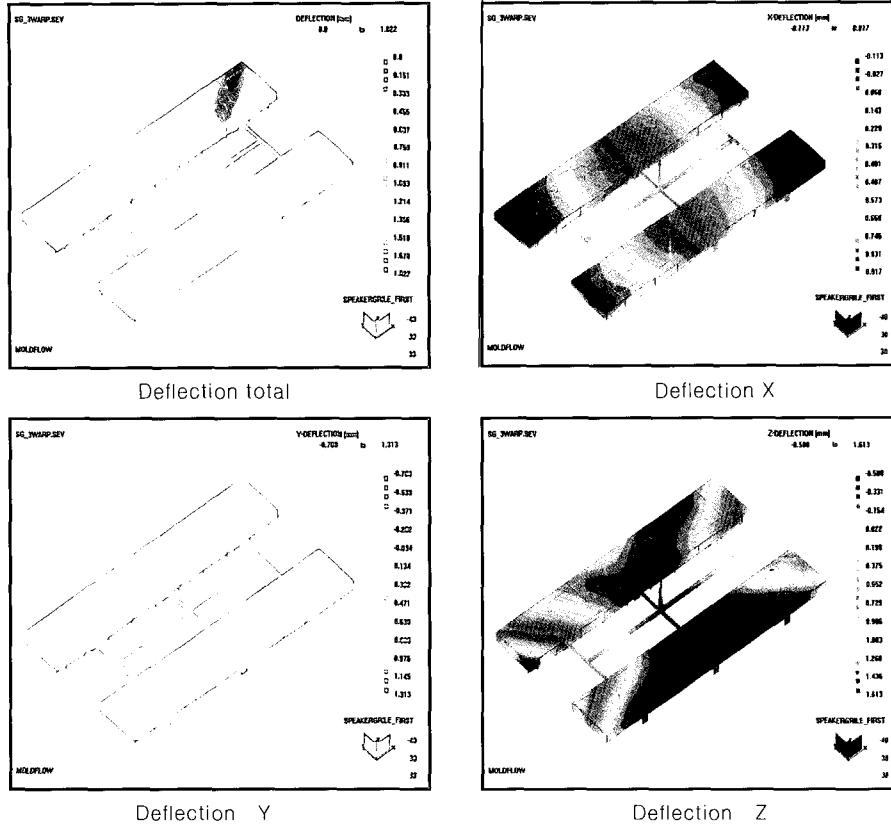


Figure 8. Deformation analysis in total and each axis.

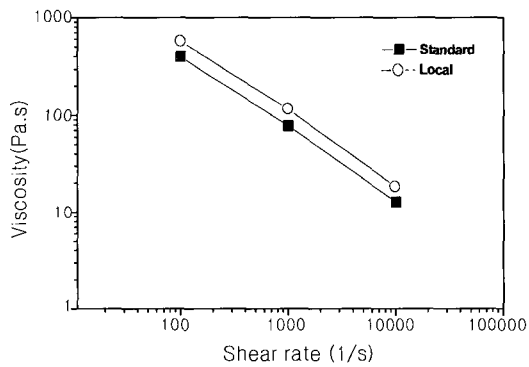


Figure 9. Experimental data of shear rates vs. viscosity at 220 °C.

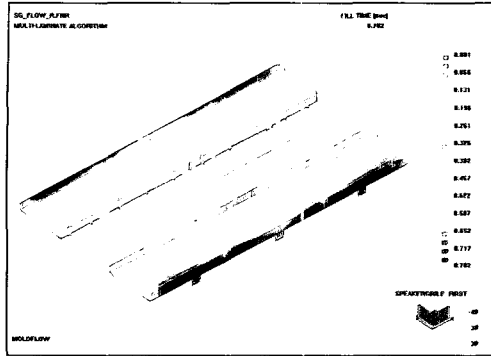
방법과 런너의 두께를 조절하여 캐비티 안으로 충전되는 수지의 양을 조절하는 방법 두 가지를 변수로 하여 해석하였다. 그리고 실제로 각각의 온도별 점도

와 전단속도를 측정하여 해석을 수행하여 standard database를 이용한 해석의 결과와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

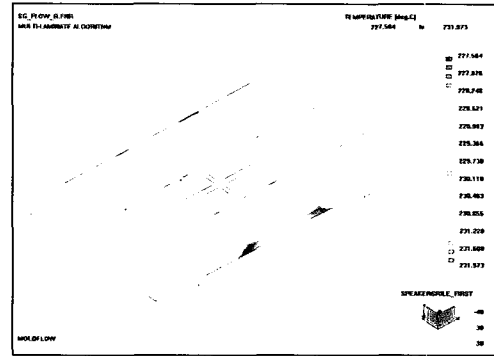
1) Speaker grille에서 flow balance는 성형 완제품의 weld line의 최소화로 인해 양호한 외관과 weld line 부분에서의 기계적 물성의 저하를 최소화시키는 장점을 가지나 제품 중앙부의 과충전에 의한 과도한 변형이나 gas의 발생 가능성을 가지는 단점을 나타내었다.

2) Runner balance는 각 gate로부터 사출되는 수지의 양을 균등하게 조절함으로써 1)의 단점을 보완하였으나, weld line 부분에서의 외관과 기계적 물성 저하 등의 문제점이 증가하는 단점을 나타내었다.

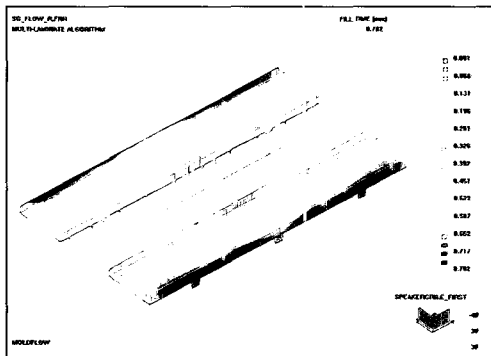
3) Flow balance와 runner balance의 절충 형태의 runner size를 변형하는 방법을 채택함으로써 두



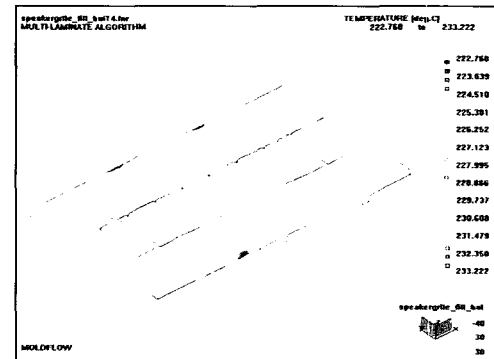
<Standard data>



<Standard data>



<Local data>



<Local data>

**Figure 10.** Comparison of flow pattern by the standard and local database.

**Figure 11.** Comparison of temperature distribution during filling by the standard database and local database.

방법을 각각 이용했을 때의 단점을 보완할 수 있었다.

즉, 성형 완제품의 weld line 부분에서의 외관과 기계적 물성저하를 낮추면서도 과충전에 의한 변형이나 gas 발생 가능성 등의 단점을 보완할 수 있었다.

4) 각각의 온도에 대한 점도와 전단속도를 실측하여 local database를 만든 후, 수행한 해석을 standard database에 의한 결과와 비교한 결과, 실측의 점도가 다소 높게 측정되고 온도 분포의 편차가 넓게 나타났으나, 두 데이터의 해석 결과는 거의 차이 없이 비슷한 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. R. S. Spencer and G. D. Gilmore, *J. Collid. Sci.*, **6**, 118 (1950).
2. R. S. Spencer and G. D. Gilmore, *J. Appl. Phys.*, **21** 523 (1950).
3. R. L. Ballman, T. Shusman, and H. L. Toor, *Ind. & Eng. Chem.*, **51**, 847 (1959).
4. H. A. Lord and G. Williams, *Polym. Eng. Sci.*, **15**, 569 (1975).
5. Z. Tadmor and C. G. Gogos, "Principles of Polymer Processing", John Wiley & Sons, New York, 1979.
6. M. R. Karnal, Y. Kuo, and P. H. Doan, *Polym. Eng. Sci.*, **15**, 863 (1975).
7. Z. Tadmor, E. Broyer, and C. Gutfinger, *Polym. Eng. Sci.*, **14**, 660 (1974).

8. M. R. Kamal and S. Kenig, *Polym. Eng. Sci.*, **12**, 302 (1972).
9. Z. Bakerdjian and M. R. Kamal, *Polym. Eng. Sci.*, **17**, 96 (1977).
10. J. L. White and H. B. Dee, *Polym. Eng. Sci.*, **14**, 212 (1974).
11. H. H. Chinag, "Simulation and Verification of Filling and Post-Filling Stages of the Injection-Molding Process", Ph.D. Thesis, University of Cornell, Ithaca, New York, 1989.
12. G. Sherbelis and C. Friedl, *SPE ANTEC*, **92**, 954 (1992).
13. C. Malguarnera and A. Manisali, *Polym. Eng. Sci.*, **2**, 586 (1981).
14. K. Wang, S. F. Shen, C. Cohen, C. A. Hieber, R. C. Ricketson, V. W. Wang, and S. Emerman, *CIMP Progress Report*, No. 12, 12 (1986).
15. K. Wang, S. F. Shen, C. Cohen, and C. A. Hieber, *CIMP progress Report*, No.13, 13 (1987).
16. H. Moy and M. R. Kamal, *Polym. Eng. Sci.*, **20**, 957 (1980).
17. K. Wang, S. F. Shen, C. Cohen, C. A. Hieber, and A. I. Isayev, *CIMP Progress Report*, No.10, 130 (1984).
18. W. Cox and C. C. Mentzer, *Polym. Eng. Sci.*, **26**, 488 (1986).
19. B. Kim, W. Jang, J. Kim, and S. Choe, *submitted to J. Korean Ind. & Eng. Chem.*
20. Kennedy, "Flow Analysis of Injection Molds", p. 63, Moldflow Corp, Wayland, MA, USA, 1993 .
21. Injection Molding Training Program, KUMHO CHEMICALS, INC., Central R & D, 1996.
22. C. Austin and P. Kennedy, "Moldflow Data Theory", Moldflow Corp, Wayland, MA, USA, 1992.
23. B. A. Salamon and R. J. Donald, *J. of Injection Molding Technology*, **1**, 36 (1997).