

박막 요소를 이용한 스피커 그릴 일체형 맵 포켓의 사출 성형 해석

김홍석[†] · 조명상^{*} · 손중식^{*} · 서태수^{*} · 김태웅^{*}
(2001년 2월 22일 접수, 2001년 5월 18일 심사완료)

Injection Molding Analysis of Map Pocket with a Speaker Grill Using Shell Element

Hong-Seok Kim, Myung-Sang Cho, Joong-Sik Son, Tae-Soo Seo
and Tae-Ung Kim

Key Words: Speaker Grill(스피커 그릴), Map Pocket(맵 포켓), Injection Molding Analysis(사출 성형 해석), Shell Element(박막 요소), MOLDFLOW(몰드플로우)

Abstract

In order to reduce the time and cost for assembly, automobile speaker grills have been injection molded with door trims or map pockets in one piece recently. However, several defects such as short shots or air traps can easily occur due to the decreased fluidity of the melting polymer according to the excessive heat transfer to the mold. Therefore, it is necessary to optimize the resin feed system and predict possible defects by CAE analysis. However it is not possible to obtain exact analysis results for the speaker grill by using general shell elements since the heat transfer in the thickness direction which is the dominant factor of the filling stage can not be considered. Therefore, there have been several efforts to simulate the injection molding nature of the speaker grill by using shell elements with an effective thickness which is smaller than the actual thickness of the part. Two empirical values have been recommended for the effective thickness in real practice. One is 50~70% of the thickness of the speaker grill and another is the gap distance between the adjacent holes. In this paper, CAE analyses of a map pocket with a speaker grill were conducted using shell elements with both of these recommended effective thicknesses, and the predicted flow fronts were compared with the findings from injection molding experiments. The commercial code MOLDFLOW was used for injection molding analysis and an 850 ton injection molding machine was used for experiments.

1. 서 론

1990년대 중반까지 차량용 스피커 그릴(Speaker Grill)은 다공성 박판 금속으로 별도 성형된 후에 도어 트림 패널(Door Trim Panel)이나 맵 포켓

(Map Pocket) 등과 조립되었다. 그러나 차량 경량화를 위해 플라스틱 사출품으로 대체된 후 1990년대 후반부터 패널류와 일체로 사출 성형됨으로써 조립 작업에 소요되는 공수의 절감이 가능하게 되었다. Fig. 1에 플라스틱 스피커 그릴의 예를 나타내었는데, 고음질의 확보를 위해 40% 이상의 개구율이 보장되어야 한다. 따라서 수백 개의 작은 구멍들이 조밀하게 분포되는데, 일반 제품에 비해 수지의 흐름성이 좋지 않아 미성형(Short Shot)이나 가스 포집(Air Trap) 등의 성형 불량량이 자주 발생한다. 따라서 스피커 그릴 일체

[†] 책임저자, 회원, 현대오토넷 NET SBU 금형개발팀

E-mail : kimkong@hei.co.kr

TEL : (031)639-7842 FAX: (031)639-3111

* 현대오토넷 NET SBU 금형개발팀

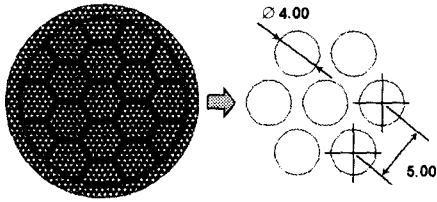


Fig. 1 An example of a speaker grill

형 제품과 같이 유동 경향의 예측이 어려운 경우 수치 유동 및 게이트 위치의 최적화를 통하여 불량을 미연에 방지해야 한다. 과거 게이트의 위치는 금형 설계자의 경험과 판단에 의존하여 결정되어 왔는데, 경험의 축적이 부족한 제품의 경우 수많은 시행착오가 불가피하였다. 그러나 1990년대 초반부터 현장에 도입되기 시작한 사출 성형 CAE 해석 프로그램을 이용하여 유동과 보압, 냉각, 변형에 이르는 성형 양상을 사전에 파악할 수 있으므로 금형 설계의 최적화가 가능하게 되었다.⁽¹⁻⁴⁾

Fig. 2에 나타낸 바와 같이 스피커 그릴의 성형에서는 금형 코어의 벽면을 통한 열전달이 수치 유동에 주도적인 영향을 미친다. 따라서 정확한 유동 양상의 예측을 위해서는 사면체나 팔면체 요소 등의 3차원 요소를 이용한 성형 해석이 요구된다.⁽⁵⁾ 그러나 사출 성형의 경우 이미 박막 요소를 이용한 해석 소프트웨어가 널리 사용되고 있으며, 3차원 요소를 이용한 해석 소프트웨어의 보급은 아직 초기 단계에 불과하다. 또한 사출 금형 업체의 경우에 솔리드 모델(Solid Model)을 사용하는 3차원 금형 설계 소프트웨어의 도입이 점차 증가하는 추세지만 데이터 호환 및 현장 도면 배포의 문제 때문에 아직까지는 면 모델(Surface Model)의 사용이 주도적으로 이루어지고 있는데, 면 모델의 경우 박막 요소를 이용한 해석 모델의 구성이 보다 용이하다. 따라서 스피커 그릴과 같이 일반적인 박막 요소로는 해석이 어려운 제품에 대해 실제 사출 경향과 근접한 해석 결과를 얻기 위한 노력이 현장을 중심으로 계속되어 왔다.^(6,7) 본 논문에서는 이러한 노력의 일환으로 스피커 그릴 일체형 제품에 대해 상용 사출 해석 프로그램인 MOLDFLOW⁽⁸⁾를 이용하여 얻은 해석 결과와 시험 사출 결과를 비교함으로써 경

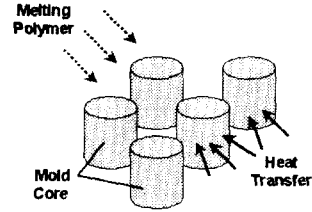


Fig. 2 Schematic diagram of heat transfer in a speaker grill

험적으로 제안되어 왔던 박막요소 모델링 기법을 검토하고 스피커 그릴에서의 유동 특성을 고찰하고자 한다.

2. 스피커 그릴의 박막 요소 모델링

박막 요소로 스피커 그릴을 모델링하는 방법은 Fig. 3(a)에 나타낸 바와 같이 구멍 둘레의 두께면에 격자를 생성시켜 구멍들을 일일이 생성시키는 방법과 Fig. 3(b)에서와 같이 구멍이 존재하는 영역에 실제 두께보다 얇은 유효 두께면(Effective Thickness Surface)을 설치하는 방법으로 나뉜다. Fig. 3(a)와 같은 방법으로 생성된 모델은 Fig. 3(b)의 유효 두께면 모델보다 제품과 비슷한 형상을 갖게 되지만, 박막 요소의 특성 상 금형 코어 벽면으로의 열전달 효과를 고려할 수 없기 때문에 수지의 유동 경향이 실제와는 다르게 예측된다. 따라서 최근에는 스피커 그릴과 같이 피치(Pitch)가 작은 구멍이 다수 존재하는 제품에 대해서 유효 두께 모델의 사용이 권장되고 있다.⁽⁷⁾ 일반적으로 스피커 그릴에서는 기본 두께면 보다 수지의 유동성이 저하되기 때문에 유효 두께는 기본 두께보다 작은 값이 설정되는데, 구멍의 조밀도에 따라 스피커 그릴 두께의 50~70%의 값을 유효 두께로 설정하는 방법과 구멍과 구멍 사이의 기본 두께면의 폭 (구멍 간 거리 = 구멍의 피치 - 2 x 구멍의 반지름)을 유효 두께로 설정하는 방법이 권장되고 있다. 두 방법은 모두 뚜렷한 이론적 근거를 가지고 있지 않으며 현장에서 경험적으로 도출된 방법에 불과하지만 많은 업체에서 이러한 방법을 통하여 성형 해석을 수행하고 있기 때문에 충분한 검토와 체계화가 요구된다.

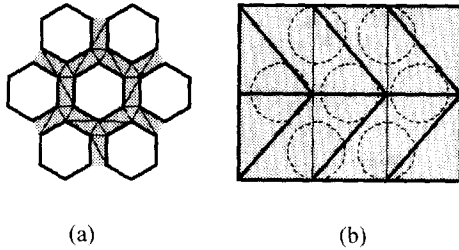


Fig. 3 CAE modelling methods of speaker grills:
(a) hole modelling and (b) effective thickness surface modelling

따라서 본 연구에서는 유효 두께를 각각 스피커 그릴 두께의 50% 및 구멍 간 거리로 설정한 모델에 대한 해석 결과를 실제 사출 결과와 비교함으로써 기존에 제안되어 왔던 경험적 방법에 대한 검토를 수행하고자 한다.

3. 해석 및 시험 사출 조건

본 논문에서 사용된 맵 포켓의 해석 모델은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 박막 요소로 구성되었으며, 스피커 그릴부는 A와 같이 유효 두께면으로 모델링되었다. 제품의 기본 두께는 2.5 mm이고 도어 트림 패널과 조립되는 클립(Clip)의 두께는 1.5 mm, 스피커 그릴 하단부의 리브(Rib) 두께는 2.0 mm 이다. 게이트의 위치 및 크기는 금형 작동 구조와의 간섭 및 유동 균형(Flow Balance)을 고려하여 결정되었는데, 제품 하단에 설치된 3점의 측면 게이트(Side Gate)를 사용하였다. 성형에 사용된 수지는 활석(Talc)이 20% 함유된 폴리프로필렌(Polypropylene with Talc 20%)으로서 LG 화학의 LUPOL HI-5204를 사용하였으며, 해석에는 MOLDFLOW 수지 데이터베이스에 저장된 물성치를 사용하였다. 수지와 금형의 온도는 각각 215 °C와 40 °C로 설정하였으며, 사출 시간은 약 2.6 초이다. 유효 두께면을 사용한 해석 모델의 체적은 실제 제품과 약간의 차이를 보이지만 사출 시간이 2.6 초일 때 최대 사출 속도는 약 280 cm³/sec가 되며, 99% 충전 시부터 압력 전환이 수행되어 사출 속도가 감소한다. 스피커 그릴은 지름 2.0 mm, 피치 3.0 mm의 구멍을 가지는데

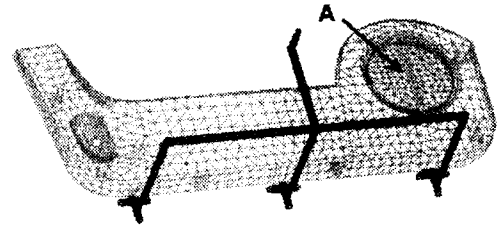


Fig. 4 Analysis model of a map pocket

(개구율은 40.3%, 구멍 간의 거리는 1.0 mm), 본 연구에서는 그릴 두께의 50%를 유효 두께로 선정하는 방법과 구멍 간의 거리를 유효 두께로 선정하는 방법에 대한 검토를 위하여 스피커 그릴부의 유효 두께를 각각 1.25 mm 및 1.0 mm로 설정하여 해석을 수행하였다. 시험 사출은 850 톤 사출기에서 수행되었으며 Fig. 5에 나타난 바와 같이 핫 런너(Hot Runner)를 갖는 2단 구조의 금형이 사용되었다. 금형의 고정 형판 및 가동 코어의 소재는 한국중공업에서 생산되는 KP-4M (AISI P20 상당)이 사용되었으며, 스피커 그릴 부위의 경우 별도의 코아핀 처리를 하였는데 소재로는 가동 코어와 동일한 KP-4M이 사용되었다. 또한 본 제품의 경우 제품 하단에 상대물과의 조립을 위한 언더컷(Undercut)이 존재하므로 Fig. 5(a)의 A, B와 같이 취출을 위한 슬라이드 코어(Slide Core)가 설치되었는데, 이러한 작동 구조에는 게이트의 설치가 어려우므로 간섭 조건을 고려하여 게이트의 위치가 설정되어야 한다.

4. 시험 사출 및 해석 결과

Fig. 6(a)에 시험 사출로 성형된 제품을 나타내었으며 스피커 그릴에서의 유동 경향 파악을 위해 미성형시킨 성형품을 각각 Fig. 6(b)와 (c)에 나타내었다. Fig. 6(b)에 나타난 바와 같이 스피커 그릴부로 진입된 수지는 유동성이 저하되기 때문에 그릴을 감싸고 있는 기본 두께면에서의 충전이 보다 빠르게 진행되며, 결국 유동 선단이 스피커 그릴을 감싸게 된다. 따라서 충전 후반부에는 Fig. 6(c)에 나타난 바와 같이 스피커 그릴 내부에 가스가 포집된다. 일반적으로 가스 포집은

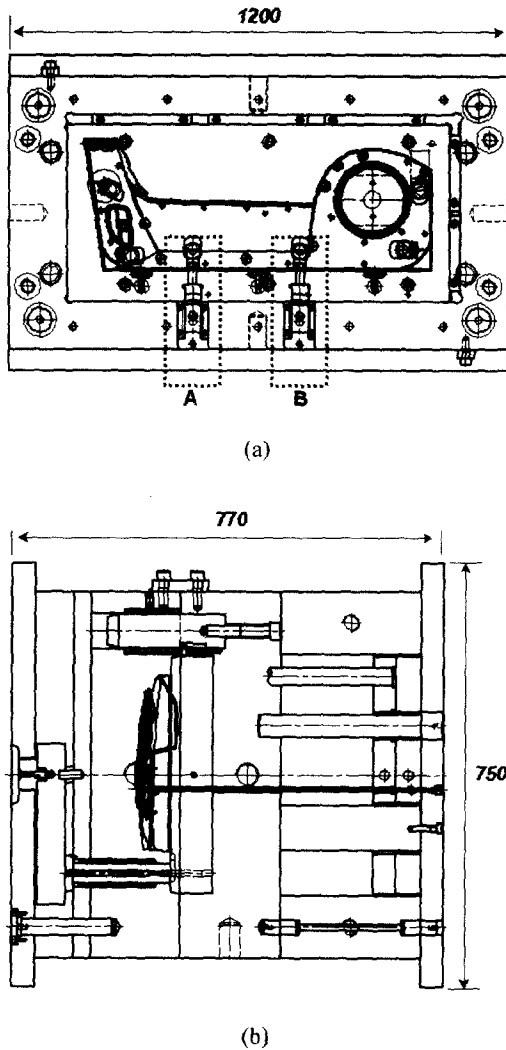


Fig. 5 Schematic diagram of the mold for injection molding the map pocket: (a) plane and (b) side view

미성형 및 가스 연소(Gas Burning)로 인한 변색의 원인이 되기 때문에 사출 불량 중의 하나로 인식되고 있으나 스피커 그릴 일체형 패넬류에서는 가스 포집을 피할 수 없는 경우가 많다. 따라서 이러한 제품의 급형 제작 시 코어를 분할하여 가스 벤트(Gas Vent)를 설치하거나 통기성 코어를 사용하는 등 포집된 가스를 외부로 배출시키기 위한 여러 가지 방법이 고안되고 있다.

Fig. 7(a)와 (b)에는 스피커 그릴의 유효 두께가 각각 1.25 mm와 1.0 mm인 경우 96% 충전 시의

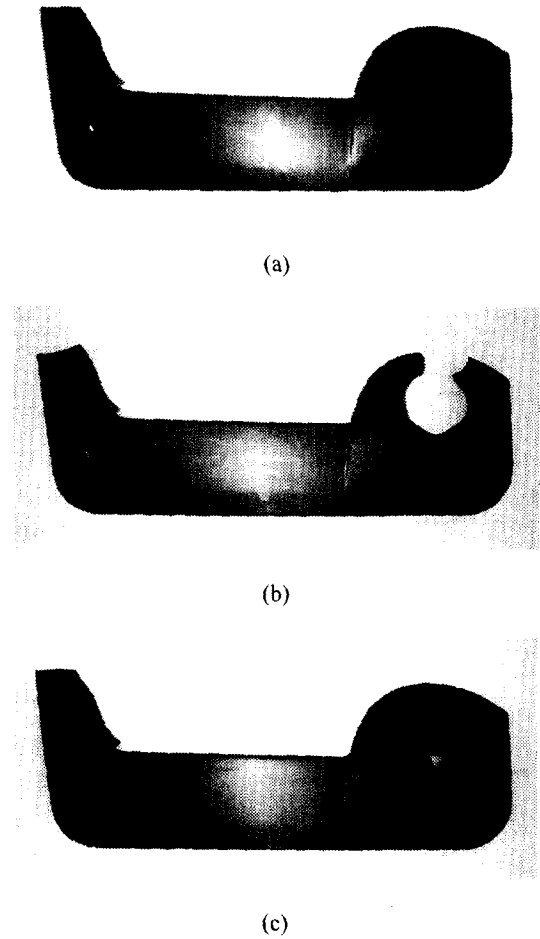


Fig. 6 Map pockets obtained by injection molding tests: (a) full shot, (b) 96% and (c) 99.8% shot

유동 선단 분포를 나타내었는데, 두 경우 모두 기본 두께보다 작은 유효 두께가 설정되었으므로 그릴부에서 유동성 저하에 따른 정체(Hesitation) 현상이 발생하고 있음을 알 수 있다. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)를 비교해 보면 유효 두께가 1.25 mm로 설정된 경우가 1.0 mm로 설정된 경우보다 스피커 그릴에서의 수지 유입이 빠르게 진행되고 있으며, 최종 충전 위치도 그릴 상층에 형성됨을 알 수 있다. 해석 결과와 실제 유동 경향의 비교를 위하여 스피커 그릴부에서의 유동 선단을 Fig. 8(a)와 (b)에 겹쳐서 나타내었는데, 약 96% 충전

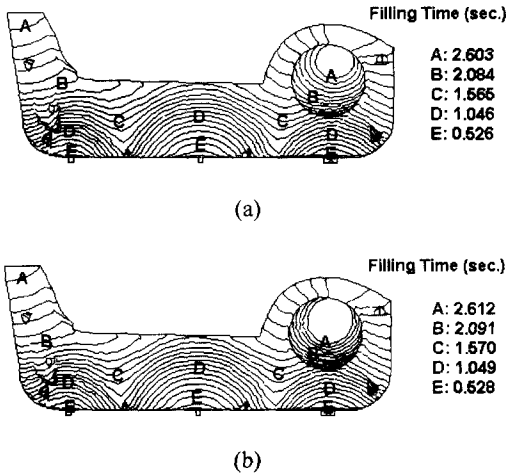


Fig. 7 Predicted flow fronts at 96% shot with effective thicknesses of (a) 1.25 and (b) 1.0 mm

--- : Flow Fronts Obtained by CAE Analysis

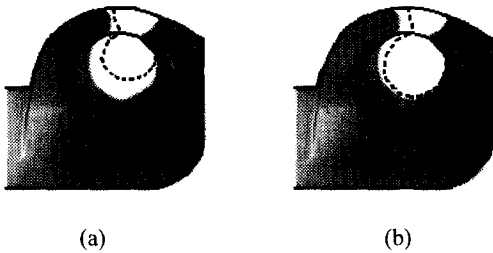


Fig. 8 Comparisons of flow fronts at 96% shot between experimental results and CAE analyses with effective thicknesses of (a) 1.25 and (b) 1.0 mm

시에 해석으로 얻은 유동 선단 결과를 이미지 처리 소프트웨어를 사용하여 실험 결과와 같은 비율로 증첩시킨 것이다. 그림에서와 같이 두 경우 모두 스피커 그릴 상단부의 유동 선단은 실제 결과보다 우측으로 20~30 mm 정도 치우쳐 예측하고 있었으나, 스피커 그릴 내부에서의 유동 선단은 스피커 그릴부의 두께를 구멍 간의 거리인 1.0 mm로 설정하여 얻은 해석 결과가 보다 유사함을 알 수 있다. Fig. 9(a)와 (b)에는 약 99.8% 충전 시의 실험 결과와 해석에서 얻은 유동 선단

--- : Flow Fronts Obtained by CAE Analysis

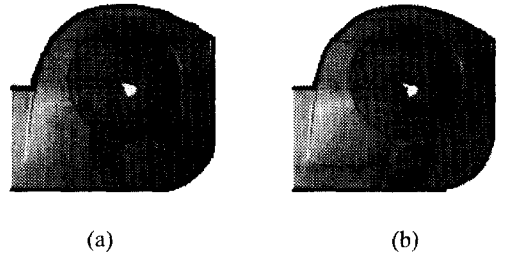


Fig. 9 Comparisons of flow fronts at 99.8% shot between CAE analyses and experimental results with effective thicknesses of (a) 1.25 and (b) 1.0 mm

을 비교하여 나타내었다. 그림에서와 같이 유효 두께를 1.25 mm로 설정한 경우에 최종 충전부의 위치는 실제보다 약 60 mm 위쪽으로 예측되었는데, 유효 두께를 1.0 mm로 설정한 경우의 위치 편차는 약 15 mm 정도로서 보다 정확한 예측이 수행되었음을 알 수 있었다. 금형 제작 시 공기가 포집되는 최종 충전부 부근에 가스 벤트나 통기성 코어를 설치해야 하기 때문에 가스 포집 위치의 정확한 예측은 매우 중요한데, 일반적으로 가스 벤트나 통기성 코어의 설치는 직경 50 mm 내외의 구간에서 수행되므로 Fig. 9(b)의 해석 결과는 실제 금형 제작시 유용하게 사용될 수 있다고 판단되었다.

Fig. 10(a)에는 유효 두께가 1.0 mm인 경우 성형 해석으로 얻은 유동 선단의 온도 분포를 나타내었다. 그림에서와 같이 온도 변화는 스피커 그릴부에 집중되며 최종 성형부에서의 온도는 186.2 °C까지 저하됨을 알 수 있다. Fig. 10(b)에는 사출 압력 분포를 나타내었는데, 최대 압력은 79.3 MPa로서 일반적인 조건에서 성형이 가능하다고 판단되었다. 또한 최대 형체력은 944 ton으로서 시험 사출에 사용된 사출기의 최대 용량인 850 ton을 초과하였는데, 시험 사출에서는 무리없는 성형이 이루어졌다. 이는 CAE 해석으로 얻은 형체력이 상계치(Upper-Bound Solution)로서 실제 형체력보다 높고 시험 사출 시 사출 조건의 다양한 조절을 통하여 형체력을 제한 용량 이내로 감소시킬 수 있었기 때문으로 판단된다.

본 논문에서는 이상과 같은 결과를 통하여 스

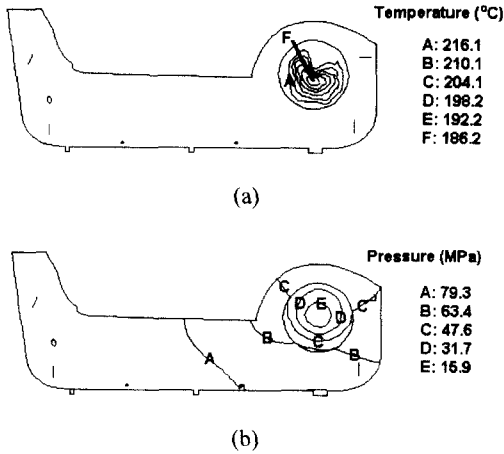


Fig. 10 Analysis results with the effective thickness of 1.0 mm: (a) flow front temperature and (b) pressure

피커 그릴부와 같이 조밀한 구멍을 갖는 제품에 대해 경험적으로 제안되어 오던 박막 요소 모델링 기법 두 가지를 비교해 보았는데, 스피커 그릴부의 유효 두께를 구멍 간의 거리로 설정한 경우가 그릴 두께의 50%로 설정한 경우보다 실제 경향과 유사한 해석 결과를 예측하여 줌을 알 수 있었다.

5. 스피커 그릴의 유동 특성 고찰

차량용 스피커 그릴의 설계 시 보다 향상된 음질을 얻기 위해 개구율을 증가시키려는 노력이 계속되고 있는데, 본 연구에서는 스피커 그릴의 유동 특성을 고찰하기 위해 구멍의 직경을 2.0 mm에서 2.3 mm로 증가시킨 경우에 대한 성형 해석을 수행하였다. 구멍의 직경과 피치가 각각 2.3 mm와 3.0 mm라면 개구율은 53%로 증가하고 스피커 그릴부의 유효 두께는 구멍 간 거리인 0.7 mm가 된다. 전 절에서의 해석 조건을 동일하게 사용하고 스피커 그릴부의 유효 두께만을 0.7 mm로 감소시킨 경우 예측된 유동 선단 분포를 Fig. 11에 나타내었다. 그림에서와 같이 스피커 그릴 하단부에서의 유동 정체가 Fig. 7(b) 보다 심하게 나타났으며, 결국 미성형의 발생이 예측되었다. 미성형 부위에서의 최저 온도는 93.9 °C

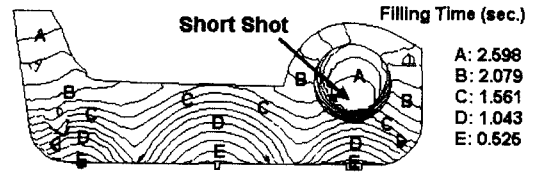


Fig. 11 Predicted flow front obtained with the effective thickness of 0.7 mm

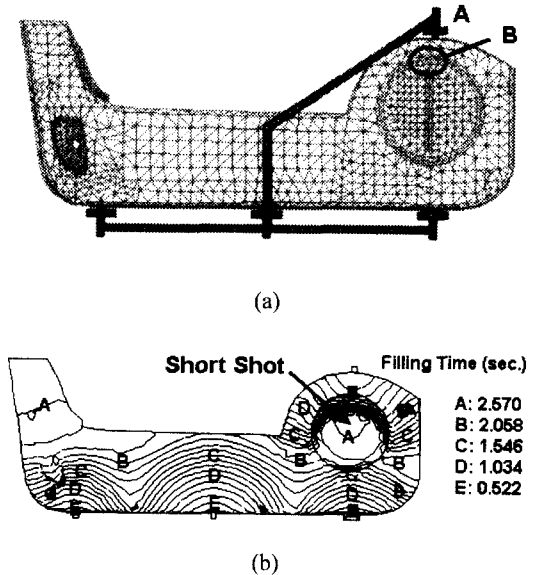


Fig. 12 Analysis in case of an added gate: (a) CAE model and (b) predicted flow front

로서 LUPOL HI-5204의 유동 불능 온도(No Flow Temperature)인 148.5 °C 이하로 냉각되어 미성형이 발생하였음을 알 수 있었다. 일반 제품의 경우 미성형이 발생하면 수지 유동이 원활하지 못한 부분에 게이트를 추가하여 미성형을 방지할 수 있다. 그러나 스피커 그릴과 같이 특이한 유동 특성을 갖는 제품의 경우에 게이트의 추가는 역효과를 초래할 수 있다. 예를 들어, Fig. 12(a)와 같이 스피커 그릴 상측에 게이트 A를 추가로 설치할 경우 A에서 유입된 수지는 사출 초기에 스피커 그릴부의 상측 B에 도달한 후 제품의 다른 부분이 충전될 때까지 정체가 되는데, 정체 시간

이 길어지면 수지의 온도가 유동 불능 온도 이하로 떨어져 결국 미성형이 발생하게 된다. Fig. 12(b)에 게이트가 추가된 경우에 대한 유동 선단 분포를 나타내었는데, 그림에서와 같이 스피커 그릴 상단에 미성형의 발생이 예측되었다. 이때 스피커 그릴 상단부에 정체되고 있던 수지의 온도는 58.0 °C로서 더 이상의 유동이 불가능함을 알 수 있다.

결국 스피커 그릴에 발생하는 미성형의 주요 원인은 과도한 열 방출에 의한 유동성 저하 및 유동 정체에 의한 수지 냉각임을 알 수 있는데, 미성형을 방지하기 위해서는 스피커 그릴에서의 유동 정체를 최소화시키거나 수지의 과도한 냉각을 피해야 한다. Fig. 13(a)에는 Fig. 4에 나타낸 모델의 게이트 3 개 중에서 스피커 그릴과 가장 근접한 우측의 게이트를 삭제시키고 좌측의 게이트 2개만을 사용하여 얻은 유동 선단 분포를 나타내었다. 그림에서와 같이 스피커 그릴 좌측 하단에 수지가 정체되지만 Fig. 11에 비하여 유동 정체 시간이 짧기 때문에 응고되지 않고 충전을 완료시킬 수 있었다. 이 경우 스피커 그릴에서의 최저 유동 선단 온도는 152.3 °C로서 Fig. 10(a)에 비하면 상당히 낮은 온도까지 냉각되었지만 수지의 유동 불능 온도까지 저하되지는 않았다. Fig. 13(b)에는 사출 속도를 약 405 cm³/sec로 증가시켜 얻은 유동 선단 분포를 나타내었다. 이 경우 수지의 유동은 Fig. 11과 유사하게 진행되지만 스피커 그릴 하단에서 정체되는 시간이 비교적 짧기 때문에 온도 저하량이 작아 미성형을 피할 수 있었다. 또한 스피커 그릴에서의 최저 온도는 170.1 °C로서 Fig. 13(a)보다 양호한 조건에서 충전이 완료되었음을 알 수 있다. Fig. 13(a)와 (b)의 최대 사출압 및 형체력은 각각 94.3 MPa, 1276 ton과 90.3 MPa, 1194 ton이며, 이 경우 모두 850 ton 사출기로는 성형이 어려우므로 보다 큰 용량의 사출기를 사용해야만 한다.

본 논문에서는 CAE 해석이 반드시 필요한 스피커 그릴 일체형 제품에 대해 경험적으로 제안되어 오던 박막 요소 모델링법들에 대한 검토를 수행하였는데, 이러한 연구 결과를 통하여 향후 유사한 제품에 대해 성형 해석의 정확성과 신속성을 향상시킴으로써 금형 제작에 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있으리라 기대한다.

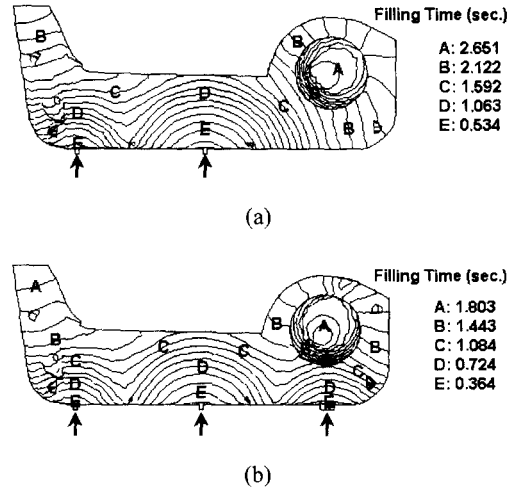


Fig. 13 Predicted flow fronts when (a) only the two left gates are used and (b) the injection speed is increased

6. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 상용 CAE 해석 프로그램인 MOLDFLOW를 이용한 사출 해석 및 성형 실험을 통하여 작은 구멍들이 조밀하게 분포되어 있는 스피커 그릴에 대해 경험적으로 제안되던 박막 요소 모델링법들에 대한 비교를 수행하였으며, 스피커 그릴에서의 성형 특성을 고찰하였다. 이러한 일련의 과정에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 박막 요소를 이용한 스피커 그릴 일체형 맵포켓의 성형 해석 시 그릴부의 유효 두께를 구멍간의 거리로 설정하여 얻은 해석 결과가 그릴 두께의 50%를 유효 두께로 설정하여 얻은 결과보다 실제 사출 경과와 유사함을 알 수 있었다.

(2) 스피커 그릴에서는 금형 코어 벽면으로의 열방출로 인한 수지 유동성의 급격한 저하 때문에 미성형이나 가스 포집 등의 성형 불량 발생하기 쉽다. 따라서 스피커 그릴 일체형 제품과 같이 특이한 유동 특성을 갖는 제품에 대해서는 금형 제작 전에 사출 성형 해석을 수행하여 수지 유동을 최적화시키고 성형 불량 요인을 사전에 예측하여 대책을 강구해야 한다.

(3) 차량용 스피커 그릴의 경우에 구멍의 크기

나 피치, 사용 수지의 특성 등이 대체로 유사하기 때문에 본 논문의 결과가 유용하게 사용될 수 있으리라 기대한다. 그러나 보다 정확한 수지 유동의 예측을 위해서는 특이한 유동 특성을 갖는 경우에 대한 다양한 연구 결과의 공유 및 해석 기법의 체계화가 요구되며, 궁극적으로는 현장에서 손쉽게 사용할 수 있는 3차원 사출 성형 해석 프로그램의 개발 및 확산이 필요하다.

후 기

본 연구의 수행에 아낌없는 도움과 조언을 주신 MOLDFLOW Korea에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) 한경희, 임용택, 1997, "압축성을 고려한 사출 성형 충전과정에 관한 연구," 대한기계학회논문집 (A), 제21권, 제5호, pp. 735~745.
- (2) 임원길, 김영일, 설권, 1996, "사출성형의 게이트 위치 최적화," 한국정밀공학회 96년도 춘계 학술대회논문집, pp. 787~791.
- (3) Chan, M., 1997, "Comparison of Shrinkage Measurements and MOLDFLOW Simulation of a Plastic Automotive Instrument Cluster," *The 9th International Pacific Conference on Automotive Engineering*, pp. 663~666.
- (4) Yeung, V. W. S. and Lau, K. H., 1997, "Injection Molding, C-MOLD CAE Package, Process Parameter Design and Quality Function Deployment: A Case Study of Intelligent Material Processing," *J. Mater. Proc. Technol.*, Vol. 63, pp. 481~487.
- (5) Hetu, J. F., Gao, D. M., Garcia-Rejon, A. and Salloum, G., 1996, "3D Finite Element Method for the Simulation of the Filling Stage in Injection Moulding," *ANTEC96*, pp. 703~707.
- (6) 허영무, 1994, "자동차용 플라스틱 스피커 그릴의 재료 대체에 관한 연구," Moldflow Korea User Symposium.
- (7) 이효성, 1997, "자동차용 Doortrim FRT Part의 사출성형해석에 관하여," Moldflow Korea User Symposium.
- (8) Kennedy, P., 1993, *Flow Analysis Reference Manual*, Moldflow Pty. Ltd., Australia.