# 그릴형상을 포함한 플라스틱 사출제품의 성형거동 예측

# Prediction of flow behavior for plastic part including grill shape on injection molding process

송기형[1], *#이동윤[1], 황계환[1], 이석우[1], 최헌종[1]
K. H. Song[1], * #D. Y. Lee(dylee@kitech.re.kr)[1], K. H. Hwang[1], S. W. Lee[1], H. Z. Choi[1]
[1] 한국생산기술연구원 e가공공정팀

Key words : CAE, Injection molding, Moldflow, Grill, Beam element

## 1. 서론

사출 성형은 열가소성 수지의 가공법들 중에서 근래에 가장 일반적으로 사용되는 공정으로, 고분자 용융체를 금형의 캐비티에 높은 압력으로 채워 넣음으로써 캐비티 형상과 같은 고품질의 제품을 효과적으로 생산하는 방법이다. 이러한 사출 성형에서 금형의 품질은 성형되어 나온 제품의 품질과 직결되는 중요한 요소이다. 과거에는 사출 성형 공정에 대한 과학적이고 체계적인 이해의 부족으로 인해 주로 생산 공정에서 얻어진 경험과 시행착오에 의존하여 금형을 개발하였다. 그렇기 때문에 다양한 플라스틱 재료 및 복잡한 성형품의 형상 등의 변화에 능동적으로 대처하기가 어려웠다. 그러나 최근의 시장 상황은 급변하는 소비자의 욕구를 만족시키기 위해 고도의 정밀도, 기계적 강도, 원가 절감 및 개발 납기 단축을 요구하고 있다.

최근 들어 개발 단계의 시행착오를 줄이기 위한 노력으로 사출 성형 공정 중에 일어나는 물리적 현상을 컴퓨터의 시뮬레이션을 이용하여 이론적으로 해석함으로써, 품질과 생산성의 향상을 가져오고 있는데, 이러한 해석 기법이 CAE(computer aided engineering)이다. 사출 금형 개발 현장에서 CAE를 적용하기 위해서는 고가의 소프트웨어와 컴퓨터 장비 및 전문 인력을 필요로 하는데, 대부분 중소기업들로 이루어진 금형 업체들의 CAE활용을 높이기가 어려운 원인이 되고 있다.

금형 개발 단계에서의 이러한 중소기업의 기술적인 애로사항을 해결하기 위하여 온라인 기술협업 환경인 엔지니어링 협업허브가 구축되어 운영되고 있다. 엔지니어링 협업허브는 e매뉴팩처링 기반구축사업의 일환으로 엔지니어링 기술정보의 축적 및 기술협업체인 구성을 목적으로 2005년에 신규 구축되었으며, 2007년부터는 i매뉴팩처링 (한국형제조혁신) 사업으로 확대되어 운영 중에 있다.(1)

엔지니어링 협업허브를 통한 CAE해석 서비스 지원 시 업체의 금형 개발 적용을 높이기 위해서는 개발 일정 내에 활용 가능한 신속한 결과의 제공과 CAE를 통한 예측의 정확성 확보가 매우 중요하다. CAE 해석에 소요되는 시간과 결과의 정확성은 모델의 형상과 사용하는 소프트웨어의 특성에 크게 좌우된다. 소프트웨어와 컴퓨터 장비의 발전으로 많은 부분이 해결되고 있기는 하지만, 현장의 CAE해석 업무 담당자들에게 있어서 보유하고 있는 소프트웨어 및 컴퓨터 장비의 허용 성능 범위 내어서의 적절한 활용을 통한 신속하고 정확한 결과의 도출은 중요한 이슈 중 하나이다.(2)

본 연구에서는 두께의 정의가 모호한 특수한 단면형상을 가진 그릴 부분을 포함한 모델에 대하여 적용 소프트웨어의 기능 범위 내에서 모사 가능한 다양한 방법을 활용한 CAE해석을 통해 소요 시간 및 예측의 정확도를 비교분석함으로써, 현장에서의 CAE 활용성 향상을 위한 가이드라인을 제시하고자 한다.

## 2. 모델 분석

본 연구에서는 LCD 모니터의 Cover rear 모델을 사례로 들었다. 이 제품의 경우 관측이 용이한 상단 부위의 외관이 중요한 품질 결정 요소 중 하나인데, 제품에 포함된 그릴 형상 부위로 인하여 웰드라인이 나타날 경우 불량이 발생하게 된다.

제품의 형상에 있어서 대부분의 구간은 적용 소프트웨어인 Moldflow사의 MPI의 기본 가정 중 평판모델로의 적용이 가능하지만, 그릴 형상 부분은 이 가정을 벗어나므로 평판모델로 정의하기 어렵다. 아래의 Fig. 1은 제품의 그릴 부분의 형상을, Fig. 2은 평판모델의 정의를 보여준다.

그림의 제품 형상에서 알 수 있듯이, CAE 해석 시 그릴 상단부의 관측이 용이한 부분의 웰드라인 발생 여부에 대한 판단은 그릴 형상 부위의 유동이 얼마나 정확하게 예측되어지는가에 따라 달라질 수 있다.

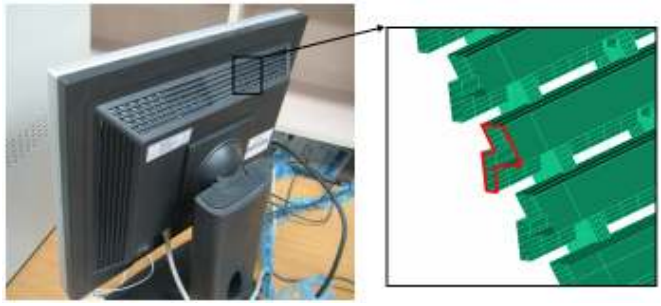

Fig. 1 Grille shape of LCD Monitor cover rear

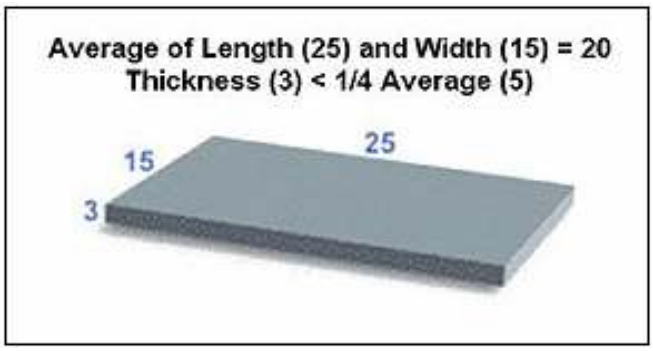


Fig. 2 Minimum thickness guideline for thin-wall analysis assumption in mid-plane mesh models(3)

## 3. 유한 요소 구성에 따른 해석 결과 비교 분석

CAE 해석에는 Moldflow사의 MPI6.1를 이용하였다.

해석을 위한 유한 요소 모델은 평판 부분과 그릴 형상 부분을 모두 2차원 삼각형 요소만으로 구성한 경우(Case a)와 그릴 형상 부분에 1차원 빔 요소를 적용한 경우(Case b), 그리고 모든 부분을 3차원 4면체 요소를 적용한 경우(Case c)의 3가지에 대하여 각각 구성하였다.

'Case a'에서 이 부분의 두께는 형상의 상하측 면간의 수직 방향의 거리로 정의하였다. 그리고, 'Case b'에서는 빔의 단면적이 그릴 형상의 단면적과 동일하도록 계산된 반지름을 적용한 원형 빔으로 정의하였다. 아래의 Fig. 3은 제품의 그릴 부위에 위의 세 가지 요소를 각각 적용하여 구성한 모델이다.

이렇게 구성한 각각의 모델에 대하여 성형 거동을 관찰하기 위해 충전 해석을 실시하였다.

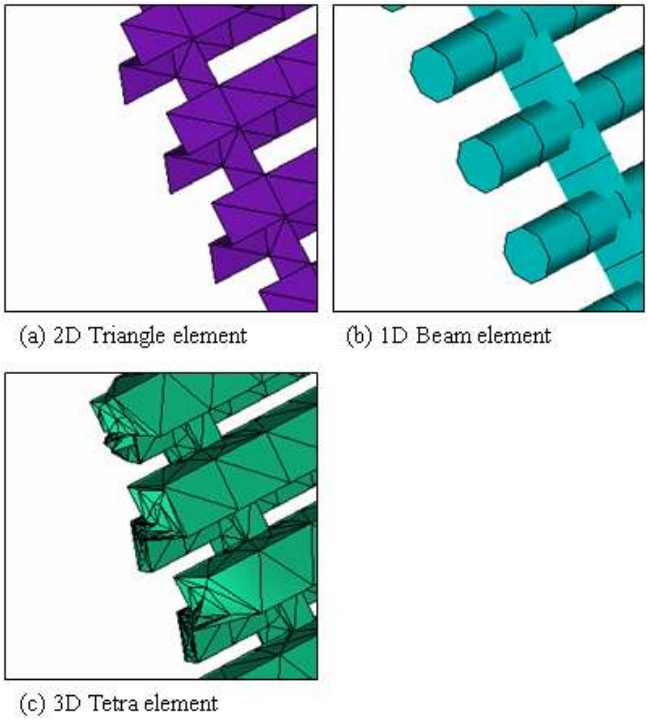


Fig. 3 Element types for grill shape

아래의 Table 1.에 각 모델에 대한 기본 정보와 해석 결과를 정리하였다. 'Case a'의 경우 적은 요소수로 인해 해석 시간이 비교적 적게 소요되었으나, 그릴 부분에서의 성형 거동을 정확하게 예측하지 못하였다. 이는 바닥면과 가장자리의 구분이 모호한 그릴 형상 부위를 평판모델로 가정함으로 인해 가장자리의 열전달이 정확하게 고려되지 못한 때문인 것으로 판단된다.

'Case b'의 경우 그릴 부분을 빔 요소로 구성하여서 전체 요소수가 가장 적게 나타났으며 이로 인해 요소의 형상 품질이 가장 높으며 해석 시간도 가장 적게 소요되었다. 또한 그릴 부분의 성형 거동을 가장 정확하게 예측하였다.

'Case c'의 경우 제품의 체적을 모두 채우는 3차원 요소의 특징으로 인해 전체 요소수가 가장 많으며, 이로 인해 해석 시간도 가장 길게 소요되었다. 또한 소프트웨어 및 컴퓨터 장비의 제한으로 인해 요소수를 무한정으로 만들수 없어서 요소의 형상 품질이 낮아지게 된다. 결과적으로 그릴 부분의 성형 거동이 가장 부정확하게 예측되었다.

Table 1 Model information and analysis result

| Element type | Element 갯수 | Average aspect Ratio | Computing time (hour) | 성형거동의 정확성 (순위) |
|---|---|---|---|---|
| Case a | 30,075 | 1.77 | 0.54 | 2 |
| Case b | 26,985 | 1.66 | 0.53 | 1 |
| Case c | 1,243,830 | 14.04 | 10.52 | 3 |

## 4. 결론

엔지니어링 협업허브를 통한 지난 3년간의 서비스 지원 결과, CAE의 적절한 활용은 금형 개발의 시행착오 절감에 큰 도움이 됨을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해, 사출 금형의 개발에 있어서 두께 정의가 모호한 그릴 형상을 포함하는 모델 형상에 CAE를 활용할 경우 다음의 사항을 알 수 있었다.

첫째, 일반적인 2차원 삼각형 요소를 사용하는 성형해석에서 그릴 형상을 포함하는 제품은 두께 지정 방법의 선택에 따라 제품의 성형거동 예측 시 오차가 발생할 수 있다.

둘째, 두께 정의가 모호한 특수한 단면 형상의 그릴 부분에 1차원 빔 요소를 적용할 경우 금형 개발 실무에서의 해석 시간을 절약하면서 결과의 정확성을 높일 수 있어 금형의 개발 납기 단축에 도움이 될 수 있다.

## 후기

본 논문은 지식경제부에서 수행하는 i매뉴팩처링(한국형제조혁신) 사업에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Ryu, K., Lee, S., and Choi, H., "Toward e-Manufacturing by Integrating On-line and Off-line Collaboration", Proc. 36th International Conference on Computers and Industrial Engineering, Taipei, Taiwan, 4567～4577, 2006.
2. A. Marcilla et al., "Simulation of the gas-assisted injection molding process using a mid-plane model of a contained-channel part", Journal of Materials Processing Technology, 178, 350-357, 2006.
3. Moldflow, "A mesh by any other name - Is it still the same? (How choice of mesh type affects analysis outcomes)", Flowfront, 11-14, 2004.