

BEM 해석을 이용한 테일게이트 도어 트림용 사출성형 금형 설계 Design of Injection Mould for Tailgate Door Trim Using BEM Analysis

#안동규¹, *박승화², 김춘후³

#D. G. Ahn (smart@chosun.mail.com)¹, *S. H. Park², C. H. Kim³

¹ 조선대학교 기계공학과, ² 조선대학교 일반대학원 기계공학과, ³ 아이엔테크 (주)

Key words : Injection moulding, Tailgate door trim, BEM analysis

1. 서론

최근 산업계에서는 금속을 플라스틱으로 대체할 수 있는 기술이 발전하면서 제품의 경량화를 추구할 수 있는 사출성형 공정의 활용이 증가되고 있다. 사출성형 공정은 저렴한 비용으로 신속하게 제품을 다량 대량생산 할 수 있는 제조방법으로 자동차 산업, 전기/전자 산업, 항공 산업 등에 널리 사용되고 있다¹. 사출성형 공정은 용융된 수지가 스프루 (Sprue) 에서 런너 (Runner) 및 게이트 (Gate) 를 지나 캐비티 (Cavity) 를 충전시키는 충전과정, 충전된 수지가 캐비티 내에서 수축되는 양을 보상하는 보압과정, 캐비티 내 수지를 냉각시키는 냉각과정, 제품을 이형시키는 취출과정으로 나눌 수 있다². 사출성형시 발생하는 불량 중 웰드라인 (Weld line), 에어트랩 (Air trap) 및 유동 흔적 (Flow mark) 등은 제품 및 사출성형 금형 내부 런너시스템 설계에 매우 의존적이다. 최근에는 사출성형시 발생하는 제품의 불량을 줄이고 금형개발 시간단축, 재료비 절감 및 제품의 품질 향상을 위하여 개발 초기단계에 사출성형 해석 프로그램이 폭넓게 사용되고 있다³.

테일게이트 도어 트림 (Tailgate door trim) 은 자동차의 뒤쪽 문 내측에 사용되는 제품으로, 사출성형시 외관상에 웰드라인 (Weld line), 에어트랩 (Air trap), 유동흔적 (Flow mark) 및 휨 변형 등이 최소화 되는 사출성형 금형 설계가 필수적이다.

본 논문에서는 테일게이트 도어 트림용 사출성형 금형의 BEM (Boundary Element Method) 해석을 통해 제품의 성형 특성을 분석하였다. 이 결과를 이용하여 제품 외관에 발생할 수 있는 웰드라인 및 에어 트랩을 최소화 할 수 있는 런너시스템 (Runner system) 을 선택하여 최적의 사출성형 금형 설계안을 도출하고자 한다.

2. BEM 해석 방법

Fig. 1 은 본 연구의 대상 금형인 테일게이트 도어 트림 제품과 이 제품을 사출성형 해석을 수행하기 위한 해석 격자 (Mesh) 생성 절차를 나타낸다. 본 제품의 크기는 1,145 mm × 425 mm 이며, 두께는 2.5 mm 이다. 해석 격자는 Fig. 1 과 같이 Unigraphics NX5 에서 모델링하여 .stl 파일 형식으로 변환한 후, .stl 파일을 Moldflow MPI 6.1 로 불러들여 생성하였다.

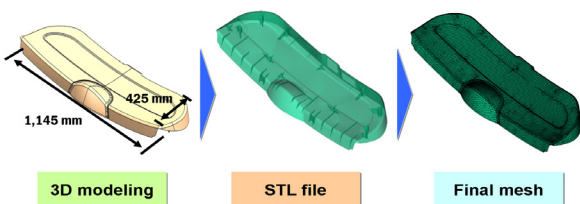


Fig. 1 Procedure of mesh generation

사출성형 해석을 위한 제품의 격자 생성조건은 에지 길

이 (Edge length) 가 10 mm, 현 간격 (Chord height) 이 0.1 mm 이다. 생성될 해석 격자의 품질 향상을 위해 형상비 (Aspect ratio) 의 최대값, 자유 에지 (Free edge) 제거, 비 매니폴드 에지 (Non manifold edge) 및 격자 매치 비율 (Mesh match ratio) 등을 수정하여 사출성형 해석에 필요한 최적의 BEM 해석 격자를 생성시켰다. 사출성형 해석에 사용된 제품의 격자 개수는 1,425 개이다.

런너시스템 설계에서는 런너 외경부와 중심부의 전단율 차이로 인한 충전 불균형 현상을 고려하고, 버리게 되는 콜드 런너 및 게이트의 양을 줄이기 위하여 Fig. 2 와 같이 핫 런너시스템 (Hot runner system) 과 콜드 런너시스템 (Cold runner system) 을 혼합하여 사용하였다.

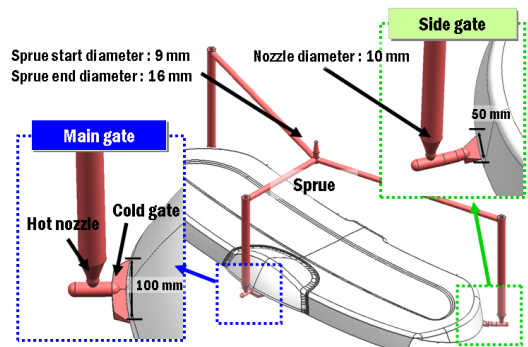


Fig. 2 Design of runner system

핫 런너시스템의 스프루 시작 지름은 9 mm 이고, 끝 지름은 16 mm 이다. 런너는 지름이 16 mm 및 22 mm 이고, 노즐은 지름이 10 mm 인 발라 오픈 게이트 시스템 (Balanced open gate system) 을 사용하였다. 콜드 게이트는 에지게이트 (Edge gate) 형상으로 설계하였고, 최대 길이는 중앙 및 외각 게이트가 각각 100 mm 및 50 mm 이다. 핫 노즐의 개수와 위치 변화에 대하여 제품의 사출성형 특성을 분석하고자 Fig. 3 과 같이 3 가지 설계안에 대하여 사출성형 해석을 수행하였다.

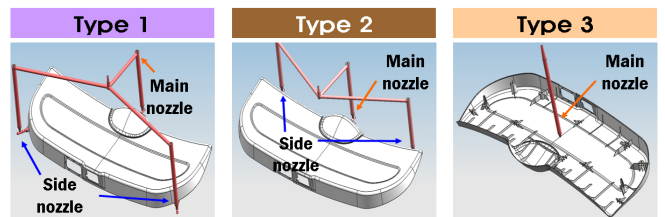


Fig. 3 Design alternatives of hot runner system

해석에 사용된 플라스틱 재료는 Talc 이 20 % 첨가되어 있는 TK - PP1 이고, 초기 사출성형 공정조건은 Table 1 과 같다.

Table 1 Initial conditions of injection molding process

Filling time + Packing time + Cooling time	Mold temp. / Melt temp.
Automatic	40 °C/240 °C

3. 결과 및 고찰

테일게이트 도어 트림 제작용 사출성형 금형 설계안에 대한 사출성형 해석을 수행한 결과는 Table 2 와 같다.

Table 2 Results of injection moulding analysis for three types of design alternatives

	Type 1	Type 2	Type 3
Fill time (sec)	2.68	3.09	4.57
Max. injection pressure (MPa)	90.20	89.90	106.00
Packing pressure (MPa)	72.20	71.90	84.76
Max. clamping force (ton)	1,810	1,776	2,642
Max. volumetric shrinkage (%)	15.57	15.40	15.35
Cycle time (sec)	12.30	14.40	14.38

각각의 런너시스템 설계안에 대한 사출성형 해석 결과 제 2 설계안에서 최대 사출 압력과 최대 형체력이 89.90 MPa 및 71.90 ton 으로 가장 적게 나타났다. 또한 최대 사출 압력 및 최대 형체력이 가장 높은 설계안은 제 3 설계안이었다. 제품 내의 웰드라인 생성은 Fig. 4 와 같이 제 1 과 2 설계안의 경우 제품의 상면 외관부에 생성 되었으며, 제 3 설계안의 경우 제품의 측면 외관부에 생성 되었다. 에어트랩은 세 가지 설계안 모두 리브 (Rib) 나 보스 (Boss) 부분에서 발생하였다.

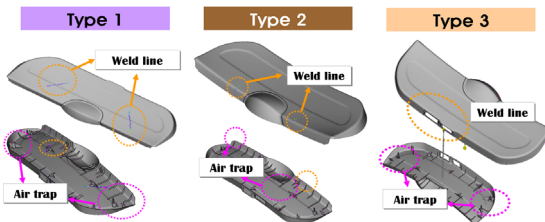


Fig. 4 Results of injection moulding analysis for three types of design alternatives (formation of weld-line and air-trap)

초기 해석 결과를 바탕으로 형체력과 사출압력이 최대인 제 3 설계안을 제외한, 제 1 과 2 설계안에 대하여 제품의 웰드라인 분포 영역을 콜드 게이트 영역으로 이동시키기 위하여 런너 3 개의 분사 시간을 조절하는 다단 분사 방법을 적용하였다. 이때 제품 측면 노즐 (Side nozzle) 의 다단 분사 시작 시간을 2.6 초로 설정하였고, 2.6 초에서의 보압을 60 MPa 및 55 MPa 의 두 가지로 설정하여 각각의 경우에 대한 사출성형 해석을 수행 하였다.

제 1, 2 설계안에 대하여 제품 측면 노즐의 다단분사 공정을 적용하여 사출성형 해석을 수행한 결과는 Table 3 과 같다.

Table 3 Results of injection moulding analysis for multi-steps injection technique

	Type 1		Type 2	
Packing Pressure (MPa)	60.0	55.0	60.0	55.0
Fill time (sec)	5.46	7.65	5.14	6.47
Max. injection pressure (MPa)	60.08	55.21	63.04	57.10
Max. clamping force (ton)	1,624	1,391	1,274	1,186
Max. volumetric shrinkage (%)	15.81	15.70	15.86	15.80
Cycle time (sec)	16.90	17.91	15.82	12.40

노즐의 다단분사 시작 시간인 사출 시간 2.6 초에서 보압을 55 MPa 로 설정시 제 1 설계안의 경우 최대 사출압력 및 형체력이 각각 55.21 MPa 과 1,391 ton 으로 나타났다. 또한 동일 노즐 분사 시간대에 보압을 55 MPa 로 선정할 경

우 제 2 설계안의 최대 사출압력과 형체력이 각각 57.10 MPa 와 1,186 ton 으로 나타났다. 제품의 최대 수축율의 경우 보압이 55 MPa 일때와 60 MPa 일때 각각 15.70 % 및 15.80 % 로 나타났다. 또한, 보압을 55 MPa 로 선정할 경우 제 2 설계안이 제 1 설계안 설계안보다 형체력이 205 ton 정도 적게 필요하며, 제품 성형 시간도 5.51 초 정도 적게 소요됨을 알 수 있었다. Fig. 5 는 제 1 과 2 런너시스템 설계안에 대하여 제품 측면 노즐의 다단분사 시작시간 2.6 초에서 보압을 55 MPa 로 설정했을 때 웰드라인 및 에어트랩의 발생 위치를 나타낸다. Fig. 5 에서 제 2 설계안의 경우 노즐 다단 분사 시작 시간을 2.6 초로 하고 해당 시간의 보압을 55 MPa 로 설정할 경우 웰드라인이 콜드게이트 위치로 밀려나는 것을 볼 수 있다. 그러나 제 1 설계안의 경우 사출 조건을 제 2 설계안과 같이 변경하더라도 웰드라인이 제품 표면에 존재하는 것을 알 수 있었다. 이 결과로부터 제 2 런너시스템 설계안에 측면 노즐 다단분사 시간과 이때의 보압을 각각 2.6 초와 55 MPa 로 한 조건을 최적의 금형 설계와 사출조건으로 도출하였다.

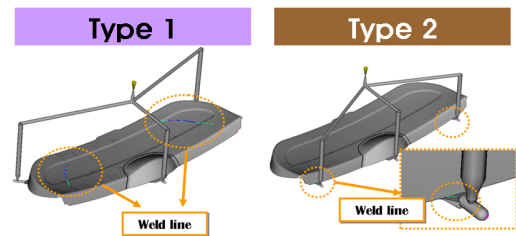


Fig. 5 Results of injection moulding analysis for multi-steps injection technique (formation of weld line)

4. 결론

본 논문에서는 BEM 해석을 이용한 자동차 테일게이트 도어 트림 제작용 사출성형 금형의 런너 시스템 설계 안 및 이에 적합한 사출성형 조건 도출에 대한 연구를 수행하였다. 3 가지 런너 시스템 설계안에 대하여 사출압력, 형체력, 웰드라인 형성, 에어트랩 형성 및 수축 특성을 고려하여, 2 가지의 우선 설계안과 다단 노즐 분사 방법을 도출하였다. 2 가지 우선 설계안과 다단 노즐 분사 방법을 적용하여 추가적인 BEM 해석을 수행하여 사출압력, 형체력 및 제품 제작이 시간이 최소화되며, 웰드라인이 제품 외관이 아닌 콜드 게이트 쪽으로 이동하여 제품 외관 특성에 영향을 미치지 않은 최적의 런너시스템 설계안과 사출 성형 조건을 도출할 수 있었다. 추후 금형 제작과 사출성형 실험을 통하여 본 연구에서 취득된 설계안의 타당성을 검증하고자 한다.

참고문헌

- Demirer, A., Soydan, Y. and Kapti, A., O. " An Experimental Investigation of the Effect of Hot Runner System on Injection Moulding Process in Comparison with Conventional Runner System," Materials and Design, 28, 1467-1476, 2006.
- Kurt, M., Kamber, O., S., Kaynak, Y., Atakok, G. and Girit, O. "Experimental investigation of plastic injection molding: Assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products," Materials and Design, 30, 3217-3224, 2009.
- Lee, C., W. and Huh, Y., J. " Intelligent Design System for Gate and Runner in Injection Molding," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 18, 192-203, 2001.