

BEM해석을 통한 형상 적응형 냉각채널을 가진 케이스 제작용 사출성형금형의 사출 공정조건 도출

Selection of injection molding conditions for case parts produced by the mould with conformal cooling channels using BEM analysis

#안동규¹, *김대원²

#D. G. Ahn(smart@mail.chosun.ac.kr)¹, *D. W. Kim²

¹ 조선대학교 기계공학과, ² 조선대학교 일반대학원 기계공학과

Key words : BEM, Conformal Cooling Channel, Injection Molding Conditions

1. 서론

현재 플라스틱 제품은 생활용품에서 자동차, 비행기, 등 폭 넓고 다양하게 거의 모든 산업에 활용되고 있다. 이러한 플라스틱 성형공정에는 제품의 형상에 따라 재질과 쓰이는 용도에 따라 다양한 성형공정이 있다. 플라스틱 성형 공정 중 보편적으로 쓰이는 성형공정으로는 사출 성형 공정을 들 수 있다.

사출 성형 공정은 목적하는 제품의 형상을 가진 금형내에 용융된 플라스틱 수지를 고온/고압/고속으로 주입시킨 후, 금형 내부에서 냉각시킴으로써 다양한 플라스틱 제품을 생산하는 공정이다. 충전/보압/냉각/취출 과정으로 반복되는 사출 성형 공정에서 제품의 품질을 결정짓는 요인으로 금형설계, 사출 성형 조건 및 냉각 시스템 등이 있다. 특히 냉각시스템은 제품의 품질과 생산성에 영향을 받게 됨에 따라 각 제품 사출 성형공정에 적합한 냉각 시스템 설계가 매우 중요한 설계 사항중의 하나이다.¹⁻² 한편 사출 성형 제품 개발에 있어서 BEM 사출 성형 해석 프로그램을 사용함으로써 최적 사출 금형 설계안을 금형을 제작 후 시험평가를 수행하지 않고 도출 할 수 있으며, 금형이 제작되기 전에 제품충진 및 보압, 냉각, 제품 수축, 변형, 및 구조적 특징을 평가하여 시 사출시 제품에 발생하는 문제를 예상하고 최적화된 설계와 제품 사출 성형 공정조건을 도출할 수 있어 균일한 제품을 생산 할 수 있다.³

본 논문에서는 형상 적응형 냉각 채널을 가진 케이스 제작용 사출 성형 금형에 대한 BEM 사출성형 해석을 통하여 제품의 최적 사출 공정조건을 도출하였다.

2. BEM 사출성형 해석 방법

본 연구에서는 Fig. 1 과 같은 케이스 제품을 Unigraphics NX4 을 이용하여 제품을 설계한 후 이 설계 데이터를 .stp 파일로 변환 하고, Moldflow MPI 6.1 를 이용하여 사출성형해석에 필요한 BEM해석격자를 생성하였다.

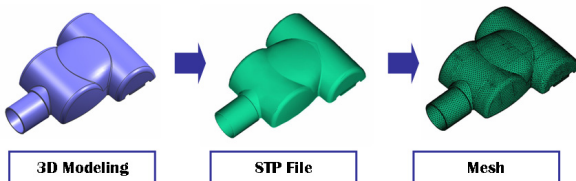


Fig. 1 Procedure of mesh generation

사출 성형 해석을 위한 해석격자 생성조건은 에지 길이 (Edge length) 2.5 mm, 현 간격 (Chord height) 0.1 mm, IGES 병합공차 0.1 mm 이었다. 해석 격자 생성 후, 생성격자의 자유 에지 (Free edge) 수정, 격자 형상비 (Aspect ration) 수정, 격자 매치율 (Mesh Match ratio) 수정을 수행하고 최종적인 사출 성형 해석을 위한 격자를 생성하였다. 사출성형 해석을 위한 격자 수는 80,130개 이고, 절점 수는 40,896개 이다. 사출성형 해석을 위해서 스프루는 경사진 원형 단면을 가지고 시작점과 끝점 직경이 각각 10 mm와 3.5 mm이며 길이는 110 mm가 되도록

설계 하였다. 스프루부터 게이트까지 연결되어 있는 런너의 직경은 8 mm이며, 게이트는 폭 6 mm, 높이 2 mm, 길이 7 mm인 사각형상으로 설계 하였다. 또한 형상 적응형 냉각 채널의 지름은 각각 8 mm, 6 mm로 코어부 위주로 설계 하였고, 캐비티부의 냉각채널은 8 mm로 Fig. 2와 같이 설계 하였다.

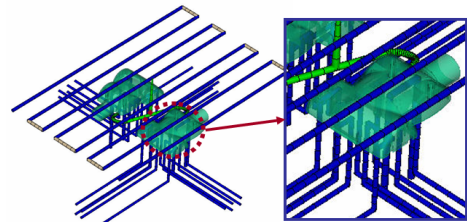


Fig. 2 Design of conformal cooling channels

케이스 제품의 안쪽 평면부에서부터 형상 적응형 냉각 채널의 중심점까지의 간격 (Cooling distance : A) 을 Fig. 3 과 같이 3가지 타입으로 설계하였다. 초기 사출성형 공정조건 Table 1 과 같이 적용하여 사출성형 해석을 수행하였다. 형상 적응형 냉각채널을 가진 금형의 특성을 정량적으로 비교하기 위하여 직선형 냉각 채널을 가진 금형도 동일 사출 성형 조건으로 사출 성형 해석을 수행 하였다. 사출 성형 해석에 사용된 수지는 ABS이다.

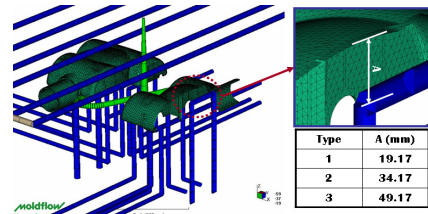


Fig. 3 Definition of Cooling distance

Table 1 Initial injection molding process conditions

Filling control	Packing Time	Melt temp.	Mold Temp.
Automatic	10sec	230℃	50℃

3. BEM 사출성형 해석 결과 및 고찰

본 연구의 대상 제품의 사출성형 해석결과 모든 조건에서 Fig. 4 와 같이 제품의 미 충전 발생 없이 원활하고 균일하게 플라스틱 용융수지가 충전 됨을 알 수 있었다.

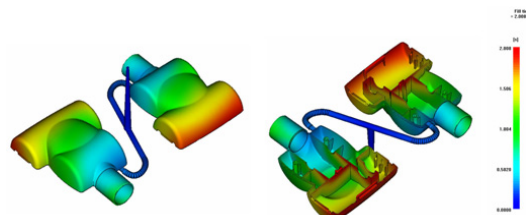


Fig. 4 Filling characteristics of the target mould

Fig. 5 는 시간에 대한 사출 압력 선도이다. 4가지 설계안 모두 비슷한 사출 압력 분포를 가지고 있지만, 형상 적응형 냉각 채널을 가진 금형의 경우 케이스 제품의 안쪽 평면부에서부

터 형상 적응형 냉각 채널의 중심점까지의 간격이 증가 될수록 전체 사이클 타임이 길어지는 것을 알 수 있었다. 그리고 형상 적응형 냉각채널을 가진 금형이 직선형 냉각 채널을 가진 금형보다 짧은 전체 사이클 타임이 나타남을 알 수 있었다.

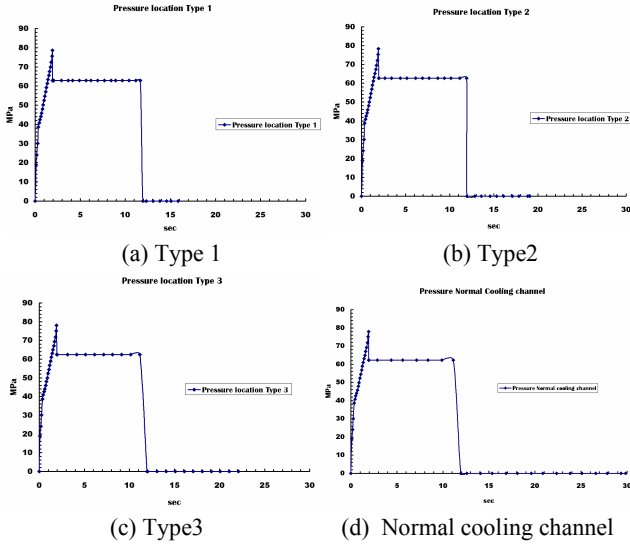


Fig. 5 Influence of the cooling distance on the P-T curve

형상 적응형 냉각 채널을 가진 금형의 최적 사출성형 공정을 도출하기 위하여 다구찌 기법을 활용하였다. 다구찌 기법을 사용하기 위해서는 제품의 품질을 판단하기 위한 기준이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 판단 기준으로 제품의 평균 수축률을 선정하였다. 제어인자에는 사출시간, 수지온도, 보압시간 및 냉각시간으로 선정하였으며, 각 인자에 대한 수준은 Table 2와 같이 결정하였다. 해석조건은 Table 3과 같이 직교 배열로 나타내었으며, 제품의 수축률은 망소 특성에 해당되므로 식(1)을 이용하여 S/N비를 구하였다.⁴ 최적 사출 성형 조건 도출에 적용된 금형 설계안은 사이클 타임이 가장 짧게 나타난 Type 1을 선정하였다.

$$SN_i = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] \quad (1)$$

Table 2 Process parameters and their levels for Taguchi's method

Process parameters		Level		
		1	2	3
A	Injection time	1.2 sec	1.7sec	2.2sec
B	Melt Temp.	210°C	230°C	250°C
C	Packing Time	3sec	6sec	9sec
D	Cooling Time	5sec	10sec	15sec

Table 3 Combination of experimental condition according to L₉(3⁴) orthogonal array

No.	A	B	C	D	Avg. Volumetric Shrinkage (%)
1	1	1	1	1	2.97
2	1	2	2	2	2.81
3	1	3	3	3	2.89
4	2	1	2	3	2.61
5	2	2	3	1	2.68
6	2	3	1	2	3.51
7	3	1	3	2	2.48
8	3	2	1	3	2.98
9	3	3	2	1	2.82

S/N비를 계산한 결과 Fig. 6과 같이 사출 시간과 보압 시간은 3수준에 SN비가 가장 높게 나타났다. 냉각 시간 및 수지 온도는 1수준 일 때, S/N비가 가장 높게 나타나는 결과를 얻을 수가 있었다. 이 결과로부터 최종적으로 형상 적응형 냉각채널을 가진 금형의 최적 사출 성형 공정조건을 Table 4와 같이 도출

할 수 있었다. Table 4 조건에 대하여 사출 성형 해석을 수행한 결과 제품의 평균 수축률은 2.47%로 직교 배열 표 No. 7의 조건과 유사한 수축률 가짐을 알 수 있었다. 이 결과로부터 본 제품의 수축률은 냉각 시간에 거의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었다.

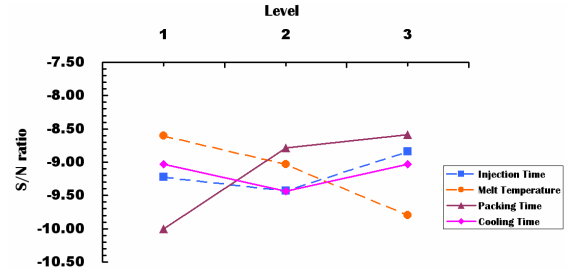


Fig. 6 S/N ratio for each injection condition

Table 4 Optimum injection condition

Injection Time	2.2 sec
Melt Temperature	210 °C
Packing Time	9 sec
Cooling Time	5 sec

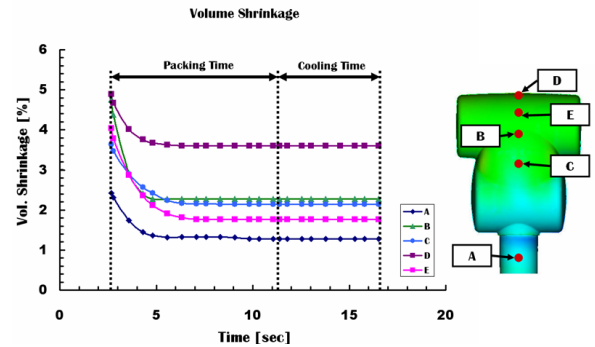


Fig. 7 Volumetric shrinkage for each location at the optimum injection condition

4. 결론

본 논문에서는 사출 성형 해석을 이용한 형상 적응형 냉각 채널을 가진 케이스 제작용 사출 성형 금형의 최적 사출 성형 공정조건을 도출에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

형상 적응형 냉각채널이 제품부에서 멀어질수록 냉각효율이 감소되어 제품 제작 사이클 타임이 증가함을 알 수 있었다. 또한, 형상 적응형 냉각채널을 가진 금형이 일반 냉각 채널을 가진 금형보다 우수한 냉각성능을 나타냄에 따라 형상 적응형 냉각채널을 가진 금형이 직선형 냉각 채널을 가진 금형보다 생산성을 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다. 다구찌 기법을 이용하여 형상 적응형 냉각채널을 가진 금형으로 제작된 제품의 수축률을 최소화하는 최적 사출 성형 조건을 도출할 수 있었다. 본 연구에서 도출한 사출 성형 공정조건으로 실제 사출금형에 적용시켜 제품을 양산할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Amit Kumar, P.S. Ghoshdastidar, M.K. Muju., "Computer simulation of transport processes during injection mold-filling and optimization of the molding conditions," Journal of Materials Processing Technology, 120, 438-449, 2002.
2. 윤상문, "유전알고리즘을 이용한 사출 성형 금형의 냉각 시스템 최적 설계," 서울대학교 박사 학위논문, 2001.
3. 정영득, 구본홍, "사출성형해석에 의한 제품 및 금형 설계," 인터비전, 2006
4. 오정열, 허용정, "CAE와 실험계획법을 연계한 사출 성형 시스템 최적화에 관한 연구," 한국 산학 기술 학회 논문지, 7, 3, 271-277, 1999.