

# 사출성형에서 런너 크기의 최적화를 위한 CAE 적용

김준민<sup>1</sup>, 류민영<sup>#</sup>, 이상훈<sup>2</sup>, 이종원<sup>2</sup>, 황한섭<sup>2</sup>

## An Application of CAE in the Decision of Optimum Runner Size in Injection Molding

June-Min Kim, Min-Young Lyu, Sang Hun Lee, Jong Won Lee, Han Sub Hwang

### Abstract

The delivery system such as sprue, runner and gate is a waste of resin in injection molding operation. In this study the reduction of runner size has been investigated using injection molding CAE softwares, Moldflow and Moldex, and commercial CFD Softwares, Fluent and Polyflow. To verify the computational results experiment was performed. There were three considerations in deciding optimal runner size in this study: minimum pressure at the gate that makes resin fully filled in the cavity, minimum runner size that compensates shrinkage of resin in the cavity, and frozen layer thickness formed in the runner during injection. Through the computer simulations the optimal runner size that satisfies those three considerations has been decided. Although the computational results among the softwares were slightly different, it was enough to predict, the optimal runner size. The previous runner diameter was 8 mm and predicted optimal size was 5 mm. This was verified by injection molding experiment. Thus, the way of CAE application in deciding optimal runner size adapted in this study would be appropriated.

**Key Words** : Injection Molding, CAE, Delivery System, Runner Size, Shrinkage, Frozen Layer Thickness

### 1. 서 론

사출성형은 용융된 수지를 고속, 고압으로 성형하고자 하는 모양이 새겨져 있는 캐비티 내에 주입시켜 플라스틱 제품을 성형하는 방법이다. 수지가 캐비티 안으로 주입될 때는 스푸루 (Sprue), 런너 (Runner), 그리고 게이트 (Gate)로 구성되어있는 유동전달시스템 (Delivery system, 또는 Feed System)을 통하여 캐비티 안으로 전달된다[1, 2]. 이러한 유동전달 시스템은 성형품이 완성된 후 버려지게 되거나 원 소재와 함께 섞어서 재생하게 된다. 그러나 재생하게 되면 소재의 물성이 저하되어 성형품에 치명적인 결점을 주게 되는 경우가 생긴다. 따라서 근본적으로 유동전달 시스템의 크기를 최소화 하는 게 가장 바람직하다고 하

겠다[3~4].

본 논문에서는 정해진 성형품의 모양과 주어진 사출 성형기에서 최적의 런너 크기를 결정하는데 CAE 의 응용방법에 대해서 연구 하였다. CAE 해석에서는 사출성형 전용 CAE 프로그램뿐만 아니라 상용화된 CFD (Computational Fluid Dynamics) 프로그램을 적절히 사용 하였다. 그리고 본 연구에서 제시한 방법으로 최적화된 런너의 크기를 실험을 통하여 검증 하였다.

### 2. CAE 해석 및 실험

#### 2.1 해석 모델 및 CAE 해석 프로그램

Fig. 1 은 본 연구에 사용된 성형품의 모델을 나타내고 있다. 이 모델은 사각형의 프레임으로 그림

1. 서울산업대학교 산업대학원  
2. 삼성전자 DM 사업부  
# 교신저자: 서울산업대학교 금형설계학과,  
정밀기계기술연구소, E-mail: mylyu@snut.ac.kr

에는 유동전달시스템 (Delivery System: 스푸루, 런너, 게이트)이 함께 나타나 있다. 성형품의 평균 두께는 2 mm 이고 가로와 세로는 각각 407.6 mm, 335 mm 이다.

CAE 해석 프로그램은 해석결과 응용의 신뢰성을 높이기 위하여 두 개의 사출전용 CAE Software 인 Moldflow 와 Moldex, 그리고 두 개의 상용 CFD Software 인 Polyflow 와 Fluent 를 사용하였다.

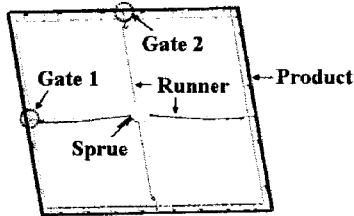


Fig. 1 Injection model with delivery system for study

## 2.2 CAE 해석 적용 절차

성형품을 사출성형 할 수 있는 최적의 런너 지름을 선정하기 위해서 다음과 같이 크게 3 단계의 해석 절차를 구상하였다. 즉 캐비티 내에서 완전 충진을 위한 해석, 성형품의 수축을 고려한 해석, 그리고 런너의 고화층 예측을 위한 해석을 수행하였다. 또한 성형해석을 통해 최적의 런너 지름을 결정하기 위해서는 런너의 지름에 따른 고화층의 두께를 고려하여야 하나 완전 충진을 위한 해석과 수축을 고려한 사출성형해석은 2D 해석으로써 고화층이 고려되지 않은 상태에서 해석이 진행되었다. 따라서 런너의 고화층을 예측하고 분석 하여 이를 보상하기 위해서 Moldflow, Moldex, Fluent, 그리고 Polyflow 를 이용하여 3 차원 해석을 수행 하였다. 위의 CAE 해석 결과를 종합적으로 분석하여 최적의 런너 크기를 결정하였다.

## 2.3 사출실험 장비

실험에 사용된 사출성형기는 사출 실린더의 최대압력이 140 bar, 최대 사출률이 438 cm<sup>3</sup>/sec, 스크류의 직경이 70 mm, 그리고 형체력이 480 ton 인 우진 SELEX NE-480 을 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 사출성형 해석과 실험의 비교

본 연구에서 대상으로 하는 모델에서 현재 사용하고 있는 런너 크기에 대해서 실험과 CAE 해석을 비교 검토하였다.

Table 1 Injection molding condition

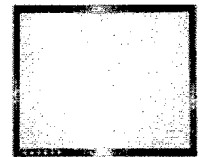
Stage	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>	4 <sup>th</sup>
Stroke Position (mm) (Start from 54)	45	12	8	5
* Injection Speed (%)	50	80	70	65
Pressure (bar)	50	80	75	60
Injection Temperature (°C)	240			
Mold Temperature (°C)	33			
Holding Pressure (bar)	80			
Holding Time (sec)	2			
Holding Stroke Speed (%)	30			

\*: Represents Percentage from Maximum Speed of Machine

실험 조건은 Table 1 에 나타나있으며 스트로크를 조절하여 얻은 성형품의 충전 과정의 실험이 Fig. 2 에 나타나있다. Fig. 3 에는 Moldflow 와 Moldex 를 이용한 2D 해석의 충전 패턴이 나타나 있다. Moldflow 와 Moldex 의 해석 결과충진 패턴이 일치하고 실험의 결과인 Fig. 2 와 비교하면 스트로크 (Stroke) 25 mm 에서 충전 말단의 모양이 CAE 해석 결과들과 일치함을 알 수 있다. 따라서 이 두 프로그램은 유용하게 사용될 수 있다고 판단된다.

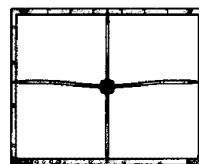


(a) Stroke: 25 mm

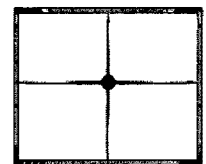


(b) Stroke: 35 mm

Fig. 2 A progress of melt front in the cavity



(a) Result from Moldflow

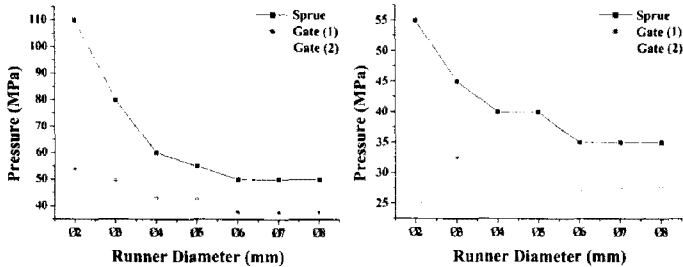


(b) Result from Moldex

Fig. 3 Two dimensional CAE results of melt front

3.2 완전 충전에 필요한 최소의 런너 크기  
본 연구에서는 사용되는 성형기계의 한도와 정해진 금형의 크기 내에서 런너의 크기를 결정하였다. 이를 위해 먼저 런너의 크기를 변화시켜 가면서 캐비티 내의 완전 충진을 이룰 수 있는 게이트의 압력을 계산 하였다. 그리고 완전충전을 이루는 게이트의 압력을 유지시키기 위해서 실제로 적용 가능한 스푸루 선단의 압력에 따라 런너

의 크기를 계산 하였다. 이러한 과정에서 적용 가능한 최대의 스프루 압력에서 완전 충전이 가능한 게이트의 압력을 유지시켜줄 수 있는 런너의 크기를 결정 할 수 있다. Fig. 4 에는 런너의 지름을 2 mm 에서 8 mm 까지 변화 시 Moldflow 와 Moldex 로 계산된 완전 충전을 시킬 수 있는 스프루 선단의 압력과 두 게이트에서의 압력이 나타나 있다. 런너 지름 2 mm 에서의 결과를 제외하고 Moldflow 해석 결과와 Moldex 의 해석결과가 유사한 경향을 보이고 있다. 그러나 두 CAE 해석결과에서 예측한 압력 값 차이는 존재하고 있다. 스프루 선단의 압력이 80 MPa 을 넘지 않는 범위 (사출기의 제한) 내에 두 해석 프로그램에서 동시에 만족하고 있는 최소의 런너 크기는 지름 3 mm 까지로 나타났다.



(a) Result from Moldflow (b) Result from Moldex

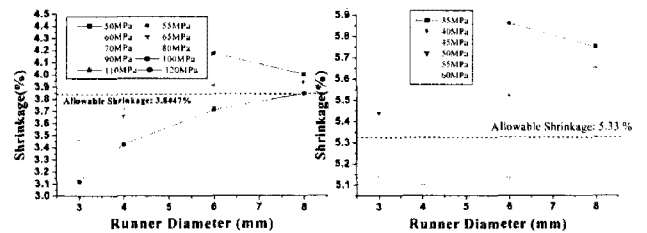
Fig. 4 Required pressures at the sprue and gate for fully filled in the cavity according to the runner size

### 3.3 런너의 크기에 따른 성형품의 품질 예측

3.2 절에서 캐비티에 완전 충전 하기위한 즉, 성형 가능한 최소의 런너 크기를 결정하였다. 그러나 이 런너의 크기가 성형 시에 나타나는 성형수축을 제어하는데 충분한 크기인지 검토할 필요가 있다. 따라서 런너의 지름이 3 mm 이상인 경우에 두 사출성형 CAE 프로그램을 이용하여 성형 수축을 비교 검토하며 양품의 성형이 가능한 런너의 크기를 계산하였다.

Fig. 4(a)에는 Moldflow 로 해석한 각 스프루 선단의 압력에서 런너의 크기에 따른 성형품의 수축률이 나타나있다. 성형품이 양품에 해당되는 수축률의 결정은 지름 8 mm 의 런너를 사용하는 실제 현장에서 양품으로 성형되는 성형조건에서 나타나는 수축률 즉, 3.8447%로 하였다. 현장에서 적용 가능한 스프루 선단의 압력이 80 MPa 이하 이므로 런너의 지름이 4 mm 까지는 양품의 제품을

성형하는데 가능하다고 판단된다. Moldex 의 결과에서는 런너의 지름이 8 mm 일 때 수축률이 5.33%이므로 이 수축량 이하로 되는 런너의 지름이 양품의 성형이 가능한 런너의 크기로 판단할 수 있다. Moldflow 와 Moldex 두 해석프로그램에서 각각 다른 성형 수축량을 예측하고 있기 때문에 두 프로그램에서 예측되는 적절한 런너를 결정하고 이 두 결과들 중에서 런너의 크기가 큰 쪽을 선택하였다. Moldex 해석 결과 스프루 선단의 압력이 80 MPa 로 제한되는 상황에서 양품으로 성형 가능한 런너의 크기는 지름이 4 mm 까지는 가능하다고 보여 진다. 두 CAE 해석 프로그램의 결과를 종합하면 런너의 지름이 4 mm 이상이면 양품의 성형품을 얻는데 가능한 크기라 할 수 있다.



(a) Result from Moldflow (b) Result from Moldex

Fig. 5 Part shrinkage for the runner size

### 3.4 런너의 고화층 예측 및 최적 런너 크기의 결정

본 연구에서는 고화층 분석을 하기 위해서 사출성형전용 CAE 프로그램인 Moldflow, Moldex 와 CFD 전용 프로그램인 Fluent 와 Polyflow 을 이용하여 분석 하였다. 고화층을 판단하는 고화층 경계온도는 Moldex 에서 제시하는 ABS 수지의 유동 정지온도를 적용하였다[5].

런너에서 온도를 분석하는 단면의 위치는 짧은 쪽 런너의 위쪽 중앙부분이다. Table 2 는 Moldflow 해석결과를 나타내는 것으로 런너 지름에 따른 고화층과 유동층의 두께정보를 보여주고 있다. 런너 지름이 4 mm 와 8 mm 일 때 온도 분포의 경향은 매우 유사하나 수지의 유동 정지온도를 143.9 °C (Moldex 에서 제시하고 있는 유동 정지온도)라고 가정할 때 고화층의 두께는 각각 0.09 mm 와 0.185 mm 로 런너의 지름이 클수록 고화층도 크게 나타났다. 이것은 런너의 크기가 작을수록 같은 유량에서 전단변형률 (Shear Rate)가 커져 벽면에서의 온도가 상승하기 때문이다. 런너의 지름이 커질수록 고화층의 두께가 커지나 유동층과 고화층의 비율은 런너의 지름에 관계없이 일정하게

예측되었다.

**Table 2 Thicknesses of frozen layer and core in the Runner - predicted by Moldflow**

Runner Diameter (mm)	Frozen Layer Thickness (mm)	Percentage of Frozen Layer from Runner Size (%)	Core Layer Diameter (mm)	Percentage of Core Layer from Runner Size (%)
3	0.07	4.6	2.86	96.4
4	0.09	4.5	3.82	96.5
6	0.135	4.5	5.73	96.5
8	0.185	4.6	7.63	95.4

Moldex 의 해석 결과 런너의 지름이 4 mm 와 8 mm 때 각각 0.06 mm 와 0.14 mm 의 고화층이 형성되고 있음을 알 수 있었고 Fluent 를 이용한 해석 결과는 런너의 지름이 4 mm 와 8 mm 때 각각 0.11 mm 와 0.26 mm 의 고화층이 형성됨을 알 수 있다. 그리고 Polyflow 해석에서는 사출성형의 유량보다 5 배 적은 값을 사용하였다. 사출성형은 단위시간당 유량이 큰 공정으로 Polyflow 를 이용하여 그 유량으로 해석하기에는 어려워 실제보다 적은 유량값을 사용하였다. 그 결과 런너 지름이 4 mm 와 8mm 일 때 각각 0.3 mm, 0.6 mm 의 고화층이 생김을 알 수 있다. 따라서 실제의 큰 유량에서는 전단에 의한 온도 상승에 의해 5 배 적은 유량에서 계산된 온도보다 더 높은 온도분포가 될 것으로 예측된다. 결국 여러 프로그램의 해석 결과를 종합해 볼 때 런너에서 고화층의 두께는 여유치를 감안하여 볼 때 0.5 mm 정도로 형성된다고 보면 큰 무리는 없을 것으로 판단된다. 위와 같이 런너의 고화층을 예측해본 결과 상당 두께의 고화층이 형성됨을 알 수 있었고 이는 Moldflow 와 Moldex 를 이용하여 계산된 캐비티내의 완전충전을 위한 런너의 크기, 그리고 양품의 성형품을 위한 런너의 크기보다 런너의 지름이 1 mm 정도 더 커야 함을 나타내고 있다. 따라서 런너에서의 고화층을 고려한다면 런너의 지름이 5 mm 가 적절하리라 판단된다.

런너의 지름이 8 mm 인 것을 5 mm 로 수정하여 실험한 결과 런너 지름 8 mm 에서 사출한 것과 같은 품질의 결과를 얻을 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구는 사출성형공정에서 재료의 소비가 일어나는 부분의 절감을 위해 런너의 크기를 최소화 하기 위한 연구로써 여러 종류의 상용 프로그램과 실험을 통하여 접근 하였다. 특히 상용 프로그램을 유용하게 활용하는 방법에 대해서 주안점을 가지고 런너를 최소화 시키는 해석 방법을 제시 하였다.

사출성형 전용 프로그램인 Moldflow 와 Moldex 를 이용하여 정해진 공정조건에서 금형의 캐비티에 완전충전을 위한 런너의 지름은 최소 3 mm 로 나타났다. 그러나 성형수축과 같이 성형품의 불량을 해소하기 위한 조건을 고려하면 즉, 성형품의 품질을 고려하면 런너의 지름은 4 mm 로 예측 되었다.

사출성형 중 수지가 런너의 벽에서 고화되는 층을 고려하기 위해 사출성형 전용 프로그램과 상용 CFD 프로그램을 통하여 이를 예측하고 분석 하였다. 고화층은 상용 프로그램에 따라 다양한 고화층을 예측하고 있어 정확한 고화층의 두께를 결정하기는 어려웠으나 모든 프로그램의 결과를 종합해 볼 때 런너의 지름은 더 커져야 함이 확인 되었고 따라서 런너의 지름이 5 mm 가 되면 양품의 성형품을 성형하는데 적절하다고 판단되었다. 이는 실험으로도 검증이 되었으며 결과적으로 런너의 지름이 8 mm 인 것을 5 mm 로 줄이는 결과를 얻었다. 따라서 본 연구에서 제시하고 사용한 CAE 적용 방법은 런너의 크기를 줄이는 방법으로 타당하다고 판단된다.

#### 참고 문헌

- [1] Irvin I. Rubin, 1972, Injection Molding, Theory and Practice, John Wiley & Sons, USA,
- [2] Herbert Rees, 1995, Mold Engineering, Hanser/Gardner, Cincinnati, pp. 76~169.
- [3] Richardson. S.M., 1986, Injection moulding of thermoplastics: freezing of variable-viscosity fluids. I. Developing flows with very high heat generation, (West Germany) Rheologica Acta, vol.25(2), pp.180~190.
- [4] Richardson. S.M., 1985, Injection moulding of thermoplastics II. Freezing-off in Cavities, Rheol. Acta (West Germany) Rheologica Acta, vol.24(5), pp. 509~518.
- [5] Moldex3D, Version 7.1, ETS-soft, 2005.