

사출성형시 보압이 냉각시간에 미치는 영향

문영배[†] · 최윤식 · 정영득

부경대학교 설계생산자동화공학 · 한국폴리텍VI대학 메카트로닉스공학
(2007. 10. 23. 접수 / 2007. 12. 20. 채택)

Effects of holding pressure affecting cooling time in injection molding

Yeong-Bae Mun[†] · Yun-Sik Choi · Yeong-Deuk Jung

Pukyong National University, Korea Politechnics VI
(Received October 23, 2007 / Accepted December 20, 2007)

Abstract : There occur not only many problems in the injection process but also low quality productivity due to the injection conditions of various injection factors. Injection molding process factors such as molding temperature, injection pressure, flow rate and flow velocity, must be controlled properly in filling and packing phases in the injection molding process. In this study, effects of these factors on the injection molding were investigated through the flow analysis for the holding pressure affecting cooling time. Results of this study would be helpful to setting of holding pressure for optimization of forming condition in order to reduce cooling time in injection molding.

Key Words : Holding pressure, cavity core, injection molding, thermal resistance, conductivity

1. 서 론

플라스틱재료를 대상으로 한 사출성형제품은 전자제품, 자동차, 가정용 기구 등 많은 분야에서 사용되고 있으며, 우수한 품질의 제품을 양산하기 위해 지속적으로 사출성형 기술에 관한 연구개발이 이루어져 왔다. 플라스틱 제품은 압출이나 압축성형을 통하여 생산될 수 있으나 70% 이상이 사출성형을 통하여 생산되고 있다.[1] 사출성형시 성형조건이 플라스틱 제품의 품질 및 생산성을 결정할 정도로 영향이 크며, 그 중 제품 품질에 많은 영향을 미치는 수축이나 휨은 사출성형시 냉각과정에서 그 원인을 찾을 수 있다.[2] 또한, 냉각과정은 사출성형시 전체 성형시간의 2/3 이상을 소요할 정도로 가장 많은 시간을 필요로 한다. 따라서 냉각과정의 시간을 단축시킨다면 플라스틱 제품 생산시 생산성이 대폭 향상될 것이며, 제품의 가격경쟁력도 높아지게 될 것이다.[3]

냉각시간 및 금형 캐비티 표면의 온도는 Moldflow[4], CAPA[5] 등의 상용사출성형해석 프로그램을 통해 알 수 있으나, 그 결과에는 보압의

영향을 나타내지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 사출성형시 보압시간이 냉각시간에 미치는 영향에 대하여 연구할 목적으로 결정성 수지 1종과 비결정성 수지 1종을 대상으로 사출성형 조건 중 보압시간을 변화시켰을 때, 금형 캐비티 표면의 온도가 어떻게 변하는 지에 대해 실험적 연구를 수행하였다.

사출성형 CAE의 결과와 실제 사출성형 실험의 결과를 비교, 분석하기 위해 대상 성형품을 CAE 냉각 해석을 수행하였다. 또한, 사출성형실험 결과를 고찰하기 위하여 캐비티내의 수지의 냉각에 대한 간단한 열전달 모델을 제시하였다.

본 연구의 결과는 사출성형시 냉각시간을 단축하기 위한 성형조건 최적화를 위해 보압의 설정에 도움이 될 것으로 생각된다. 향후 연구로는 본 연구에서 금형 표면온도 측정을 접촉식 표면온도계를 사용함으로써 오는 오차를 줄이기 위해 금형내 온도센서를 삽입한 금형온도 모니터링 시스템을 이용한 연구를 계획하고 있다.

2. 캐비티내의 열전달

Fig. 1은 금형 캐비티에서 수지가 고화되면서 수축이 발생하여 캐비티면과 성형품사이에 공기층(air gap)이 생겼을 경우에 금형 형판을 통해 열전달되는 간단한 열전달 모델을 제시한 것이며, 식(1)은 Fig. 1에서의 열전달률 \dot{Q} 를 나타낸 식이다. 열전달률은 용융수지의 온도 $T_{polymer}$ 와 금형온도 T_{mold} 의 온도 차이를 전체 열저항 R_{total} 로 나눈 것과 같다. 식(1)에서의 열저항은 식(2)와 같이 단순히 각 전도체의 열저항을 더하여 구할 수 있다. 고화된 성형품과 공기층, 금형 형판과 같은 각각의 층에서 온도 강하와 열저항의 비는 일정하다고 가정하며, 각 층에서의 온도 강하는 그 층의 열저항에 비례한다. 따라서 저항이 커질수록 온도 강하는 커진다. 식(1)은 식(3)과 같이 표현될 수 있으며, 어떤 층에서의 온도 강하는 열전달과 그 층에서의 열저항의 곱과 같으며, 온도 강하는 열저항에 비례한다는 것을 의미한다.

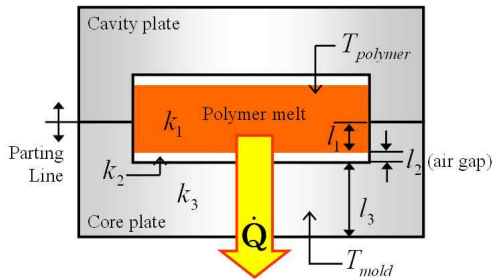


Fig. 1 Heat transfer between cavity and mold

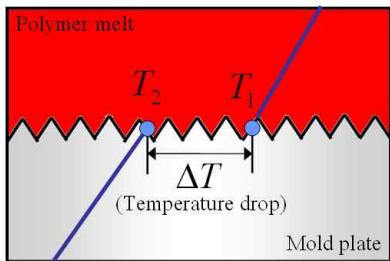


Fig. 2 Temperature drop by thermal contact resistance

$$\dot{Q} = \frac{T_{polymer} - T_{mold}}{R_{total}} \dots \dots \dots (1)$$

$$R_{total} = \frac{l_1}{k_1 A} + \frac{l_2}{k_2 A} + \frac{l_3}{k_3 A} \dots \dots (2)$$

여기서,

k_1 : 수지의 열전도율

k_2 : 공기의 열전도율

k_3 : 금형재의 열전도율

$$\Delta T = \dot{Q} R_{total} \dots \dots \dots (3)$$

Fig. 2는 금형 형판에 용융수지가 사출압력에 의해 캐비티면에 접촉시 발생하는 온도 강하를 표현한 것이다. 용융수지를 고체와 같이 취급하여 금형 형판에 압착될 때 각각의 표면 사이에는 공기를 포함하는 아주 미세한 빈공간을 형성한다. 공기의 작은 열전도율 때문에 접촉면의 공기는 단열재 역할을 하게 된다. 따라서 접촉면이 열전달에 저항역할을 하게 된다. 이를 접촉 열저항이라고 부르며, 접촉 열저항의 값은 실험에서 구해지는데 실험에서 구한 대부분의 접촉 열저항은 $0.00001 \sim 0.001 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 사이의 값을 가진다. 접촉 열저항은 표면거칠기를 줄이고 접촉 압력을 증가시키면 접촉 열저항을 줄일 수 있다.[6]

3. 사출성형 실험

본 실험에 사용된 사출성형기는 Fig. 3과 같은 LG 기계의 140ton 유압식 사출성형기(LG-IDE 140EN)를 사용하였으며, 사용된 금형은 Fig. 4와 같은 사각평판 형상을 가지는 2캐비티 2단 금형이다. 대상수지는 비결정성 수지 ABS(BASF GP22)와 결정성 수지 PP(LG화학 M540)를 선정하였다.

실험은 위한 성형조건은 Table 1과 같으며, 보압 시간을 제외한 수지온도, 금형온도, 사출압력, 사출 속도 등과 같은 성형조건은 고정하였다. 수지온도와 금형온도는 각각 200°C 와 40°C 로 각 수지별 측정 온도값을 비교하기 위해 동일하게 하였다. 변수로 사용된 보압시간은 10~30초 사이에, 총 5단계로 구분하였으며, 온도의 측정은 Fig. 5에서 나타난 측정부위 A, B, C의 캐비티 벽면온도를 측정하였다.

4. CAE 해석 및 결과

실제 사출성형과 사출성형 CAE의 결과값을 비교하기 위하여 사출성형 CAE를 수행하였으며, 사용된 사출성형 CAE 프로그램은 Moldflow MPI 6.0이

다.



Fig. 3 Injection machine for experiment

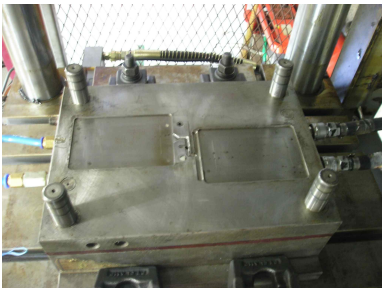


Fig. 4 A Cavity shape of experimental mold

Table 1 Injection condition for experiment

Injection condition	Unit	Value
Injection speed	%	70
Injection pressure	%	70
Packing pressure	%	80
Injection time	sec	2
Cooling time	sec	30
Packing time	sec	10, 15, 20, 25, 30
Melt temperature	°C	200
Mold temperature	°C	40

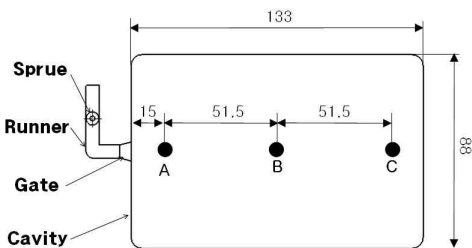


Fig. 5 Mold temperature measuring point

본 실험에서는 Table 1과 같이 실제 사출성형에서 사용되어진 사출성형 조건을 CAE조건으로 동일하게 입력하였으며, 온도의 측정 부위도 Fig. 5와 같이 실제 사출성형과 동일한 지점의 온도를 CAE결과에서 획득하였다.

Fig. 6은 사출성형 CAE 해석을 수행하기 위한 성형품의 형상이다. Fig. 7 및 Fig. 8은 각 수치별 사출성형 CAE 냉각해석의 결과이다.

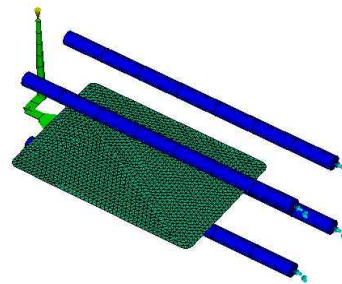


Fig. 6 Mesh shape for injection molding analysis

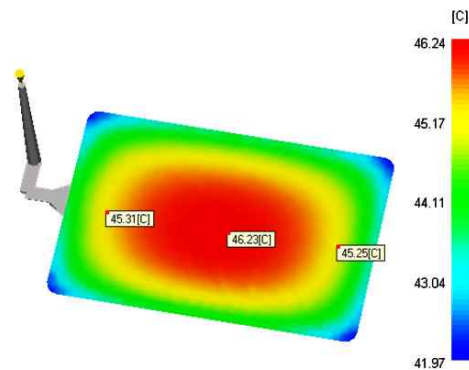


Fig. 7 Result of CAE analysis(ABS)

Table 2에서 알 수 있듯이 보압시간의 변화에 따른 캐비티 표면의 각 부위별 온도는 일정하게 나타났다. 이는 사출성형 CAE 프로그램이 냉각과정의 해석수행과정에서 보압 및 보압시간에 의한 냉각효과를 고려하지 않고 있음을 반증하는 것이다.

5. 성형 실험 결과 및 고찰

사출성형 실험에 의하여 측정된 캐비티 표면온도는 Fig. 9 및 Fig. 10과 같다. Fig. 9는 ABS수지를 사용하였을 때, 보압시간에 따른 캐비티 표면온도의 변화를 온도측정부위별로 나타낸 것이며, Fig. 10은

Table 2 Cavity's surface temperature at injection molding analysis

Measured point	Polymer		비 고
	ABS	PP	
A	45.31 °C	47.60 °C	보압시간에 따른 변화없음
B	46.23 °C	48.77 °C	보압시간에 따른 변화없음
C	45.25 °C	47.45 °C	보압시간에 따른 변화없음

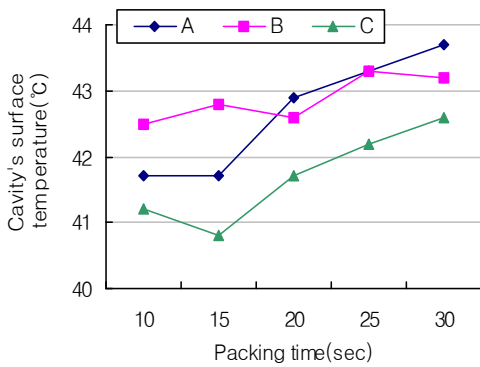


Fig. 9 Cavity's surface temperature(ABS)

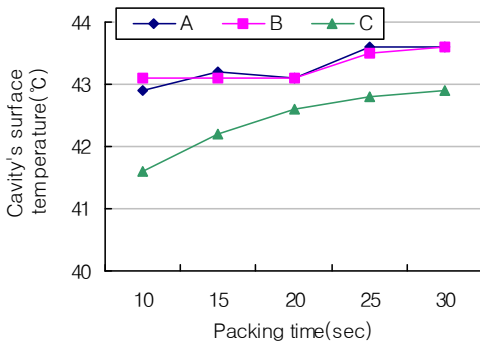


Fig. 10 Cavity's surface temperature(PP)

PP수지를 사용하였을 때의 결과값이다.

Fig. 9 및 Fig. 10에서 나타난 것과 같이 보압시간이 증가할수록 측정된 캐비티의 표면온도도 증가한다는 것을 알 수 있다. 이는 보압시간이 길어짐에 따라 캐비티내 수지 충전후 보압에 의한 수지의 수축율은 줄어들어 수지에서 금형으로의 전달되는 열량이 상대적으로 많아지기 때문이라고 생각한다.

Fig. 11은 캐비티 표면온도 중 Fig. 5의 측정부위

B의 캐비티 표면온도는 10초~20초와 25초~30초에는 그 변화량이 적으나, 20초~25초 사이에서는 큰 변화량이 있음을 알 수 있다. 이는 20초에서 25초 사이에서는 게이트가 고화되어 보압이 25초 이후에는 압력전달이 되지 않아 그 이후의 보압시간에는 열전달량이 감소되어 캐비티 표면온도의 변화에 크게 영향을 미치지 않기 때문에 오는 결과라고 생각된다. 또한 10초~20초사이의 캐비티 표면온도가 25초~30초사이의 캐비티 표면온도보다 적은 것은 게이트가 고화되는 시간 이전까지 보압시간을 유지하였을 경우, 캐비티내 수지의 수축과 함께 게이트를 통한 수지의 역류가 발생하고 수지에서 캐비티 표면으로 전달되는 열량이 적어진다. 그러므로 측정된 캐비티 표면온도가 낮은 것이며, 게이트 고화시간 이후까지 보압시간을 유지하였을 경우, 캐비티내 수지의 역류를 방지하므로 수지에서 캐비티 표면으로의 열전달량이 많아 측정된 캐비티 표면온도가 높게 나타나는 것이라고 생각된다. 결과적으로 냉각과정시 충분한 보압시간을 유지하여 캐비티내 수지와 금형과의 열전달량을 높임으로서 냉각시간을 단축시키며, 총 사이클 시간을 단축시키게 된다.

5. 결론

본 연구에서는 사출성형 CAE해석에서는 보압의 크기 및 보압시간에 따른 냉각시간의 변화는 나타내지 못함을 지적하고, 보압시간의 변화에 따른 금형 캐비티 표면온도의 변화에 대하여 사출성형 실험을 통하여 알아보았으며, 본 연구에서는 다음과 같은 주요 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 사출성형 CAE의 냉각해석만으로는 사출성형 조건 중 보압의 크기 및 보압시간의 영향은 알 수 없었다.
- (2) 보압시간이 증가할수록 캐비티 표면온도도 증

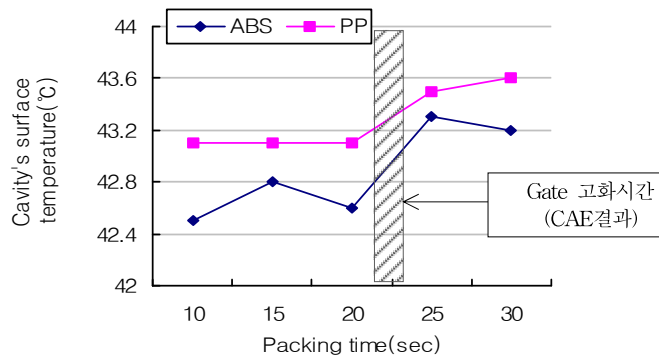


Fig. 11 Cavity's surface temperature on measured point B

가하였다. 이는 보압에 의한 수지의 수축량의 상대적인 감소로 인하여 수지와 금형사이의 열전달량이 증가한 것으로 판단된다.

- (3) 게이트 고화 이후의 보압은 캐비티내로 압력을 전달시키지 못하여 게이트 고화시간 이후의 보압시간은 열전달량에 미치는 영향이 미비하였다.

참고문헌

1. 강철민, “다수캐비티 사출금형에서 성형조건이 균형충진에 미치는 영향”, pp.2, 2005.
2. 정영득, 구본홍 공역, “사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계”, 도서출판 인터비전, pp.432~433, 2005.
3. 권태현, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득 공역, “사출성형 CAE 설계지침”, 문운당, pp.109, 2004.
4. <http://www.moldflow.com>
5. <http://www.wincapa.com>
6. 권오봉 외 7명 공역, “쉽게 배우는 열전달”, 도서출판 인터비전, pp.20~28, 2003.