

## 급속 가열에 의한 박육 사출성형의 유동특성 개선

박 근<sup>#</sup>·김병훈<sup>1</sup>

### Improvement of Flow Characteristics for Thin-Wall Injection Molding by Rapid Heating

Keun Park and Byung Kim

#### Abstract

The rapid thermal response (RTR) molding is a novel process developed to raise the temperature of mold surface rapidly to the polymer melt temperature prior to the injection stage and then cool rapidly to the ejection temperature. The resulting filling process is achieved inside a hot mold cavity by prohibiting formation of frozen layer so as to enable thin wall injection molding without filling difficulty. The present work covers flow simulation of thin wall injection molding using the RTR molding process. In order to take into account the effects of thermal boundary conditions of the RTR mold, coupled analysis with transient heat transfer simulation is suggested and compared with conventional isothermal analysis. The proposed coupled simulation approach based on solid elements provides reliable thin wall flow estimation for both the conventional molding and the RTR molding processes

**Key Words** : Injection Molding; Mold Heating; Rapid Thermal Response Molding; Thin Wall Molding; Finite Element Analysis; Flow Simulation; Solid Element

#### 1. 서 론

최근 휴대용 전자기기의 보급 확산에 의해 박육 사출성형(Thin-wall injection molding)의 수요가 점차적으로 증가되고 있다. 박육 사출성형은 일반적으로 제품의 두께가 1mm 이하이거나 유동길이와 두께의 비율이 100:1 이상인 제품으로 정의된다[1]. 사출성형 과정에서 고온의 수지 내부에서 상대적으로 온도가 낮은 금형면으로 열전달이 발생하고, 금형과 인접한 부분에서는 급속하게 온도가 저하되어 수지의 응고가 진행된다. 이때 응고된 층의 두께는 일반적으로 편축 0.25mm 정도로 알려져 있다[2]. 이러한 응고층의 두께는 일반 사

출성형에서는 전체 두께에 비해 상대적으로 적은 부분으로 전체적인 유동에 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 두께가 매우 얇은 제품의 경우 응고층의 상대적인 비율이 증가하게 되고, 결과적으로 수지 유동의 저하를 초래하며 심한 경우 미성형(short shot)을 유발할 가능성이 높다.

박육 사출성형의 유동특성을 개선하기 위해 일반적으로 높은 사출압력 및 사출속도, 낮은 점성의 수지 사용, 강건한 구조의 금형 설계 등이 적용되고 있는데[1], 이러한 특화된 공정조건은 사출성형기, 수지, 금형구조 등에 많은 제약이 뒤따른다. 그밖에 금형을 유리전이 온도 이상으로 가열하여 수지의 응고를 완화시킴으로써 유동특성을

1. Dept. Mechanical & Industrial Engineering, University of Massachusetts Amherst, USA

# 교신저자: 서울산업대학교 기계설계 자동화공학부, E-mail: kpark@snut.ac.kr

개선하는 방법이 연구되었는데[3,4], 이는 금형의 가열과 냉각에 소요되는 시간이 상대적으로 길어 생산성이 저하되는 문제점이 있다. Yao 와 Kim 은 1 초에 100°C 이상의 속도로 금형을 가열하는 급속 반응 사출성형(Rapid Thermal Response molding; RTR molding) 공정을 개발하였으며[5], 이를 적용하여 박육 사출성형의 유동특성을 개선하기 위한 실험적인 연구를 수행하였다[6]. 본 연구에서는 수치해석을 통해 급속 반응 사출성형 기법을 사용한 박육 사출성형의 유동특성을 고찰하고, 실험결과와 비교해보고자 한다. 특히 급속 가열을 위한 금형의 열전달 특성을 반영하여 해석의 신뢰성을 향상시키기 위한 연구를 수행하고자 한다.

## 2. 급속 반응 사출성형 공정

### 2.1 급속 반응 사출성형 시스템

고주파 전류가 도체에 흐를 때 전류가 도체 표면 가까이 집중하여 흐르는 현상, 즉 표피 효과(skin effect)가 발생한다. 급속 반응 사출성형은 이러한 표피 효과를 이용하여 금형의 표면만을 순간적으로 가열하는 방법이다. 금형 표면만이 순간적으로 가열되기 때문에 금형의 냉각에 소요되는 시간도 여타 급속 가열 방법에 비하여 크게 감소하여, 생산성을 저하시키지 않으면서도 유동특성을 향상시킬 수 있다[5]. Fig. 1 에 급속 반응 사출성형 시스템의 개념도를 도시하였다.

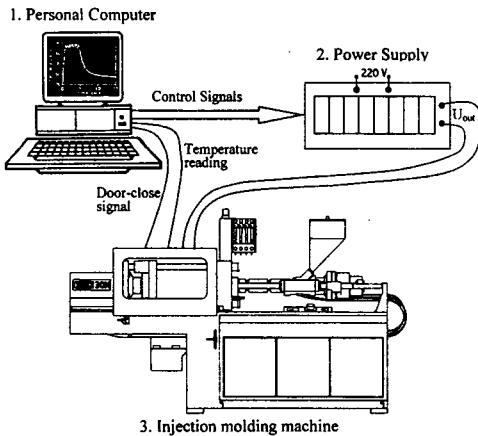


Fig. 1 The schematic setup for the RTR molding



Fig. 2 RTR mold containing side insulation elements

### 2.2 금형의 온도분포 고찰

Fig. 2 에 박육 사각 평판(폭 30mm, 길이 80mm, 두께 0.5mm) 성형을 위한 급속 반응 사출성형용 금형의 구조를 도시하였다. 금형은 성형부 측면에 전기적 절연을 위해 세라믹 절연체를 삽입한 구조로 제작되었다. 급속 가열시 발생하는 금형의 온도분포 고찰을 위해 열전달 해석을 수행하였다. 해석은 ANSYS 를 사용하였으며, 대칭성을 고려하여 단면의 1/4 만을 해석하였다. 온도조건은 금형 표면이 6.5 초동안 265°C로 가열되고, 성형후 20 초동안 냉각되는 것으로 설정하였다. Fig. 3 은 성형 직전의 금형 내부의 온도분포를 보여준다. 세라믹 절연체의 영향으로 인해 측면으로의 열전달이 상대적으로 적게 발생하였음을 알 수 있다. 이러한 현상을 보다 정량적으로 고찰하기 위해 Fig. 4 에 중심부로부터 10mm, 12.5mm, 15mm 에서의 금형 표면 온도의 변화를 시간대별로 관찰하였다. 금형 측면(중심부로부터의 거리 15mm)의 경우 최대온도가 100°C 정도로 유리전이온도 이하임을 알 수 있다.

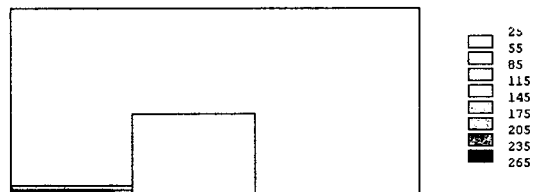


Fig. 3 Temperature distribution at the end of the heating stage

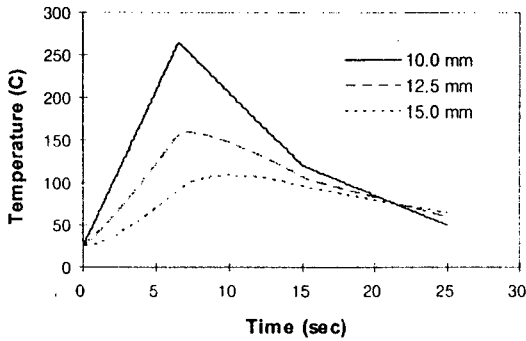


Fig. 4 Temperature variations on the mold surface at various locations

### 3. 급속 반응 사출성형의 수치해석

#### 3.1 등은 경계조건에서의 유동해석

급속 반응 사출성형에서의 유동특성을 고찰하기 위해 길이 80, 폭 30, 두께 0.5mm 인 박육 평판에 대해 유동해석을 수행하였다. 수지는 Bayer PC CD2000 을 사용하였으며, 사출온도는 265°C로 설정하였다. Fig. 5 에 와 상온(25°C)에서와 급형 가열시(265°C)의 유동패턴을 비교한 Yao 와 Kim 의 실험결과[6]를 도시하였다. 급속 가열의 경우 수지가 급형을 완전히 충전시킨 반면, 상온에서는 미성형이 발생하였고, 이때의 최대 유동길이 27.5mm (전체 길이의 35%에 해당)로 측정되었다.

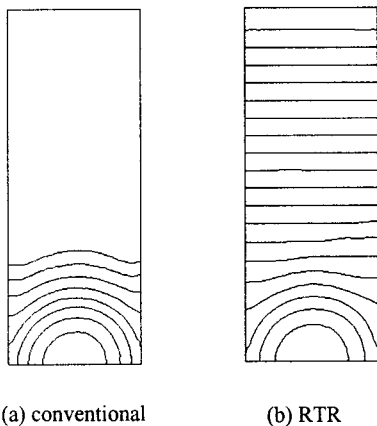


Fig. 6 Flow patterns for the shell analysis

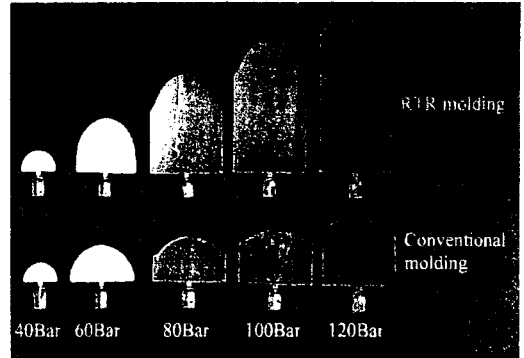


Fig. 5 Experimental results of flow patterns (4)

Fig. 6 에 박막요소(shell element)를 사용한 유동해석 결과를 도시하였다. 해석은 Moldflow Plastics Insight<sup>®</sup> 사용하였고, 등은 경계조건을 가정하였다. Fig. 5 의 실험결과와 비교하면 상온에서의 경우 유동패턴이 실험결과와 흡사한 반면, 265°C의 경우는 유동패턴이 수평선에 가깝게 예측되어 실험결과와 상당한 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 차이는 2.2 절에서 언급한 급형의 온도분포가 적절히 고려되지 않았기 때문으로 판단된다. 즉, 급형 표면의 중심부 온도가 265°C까지 올라가더라도 측면부는 절연체의 영향으로 인해 상대적으로 온도가 낮기 때문에 유동특성이 중심부에 비해 저하되고, 결과적으로 불룩한 형태의 유동선단이 야기된다. 그러나 기존의 상용 소프트웨어

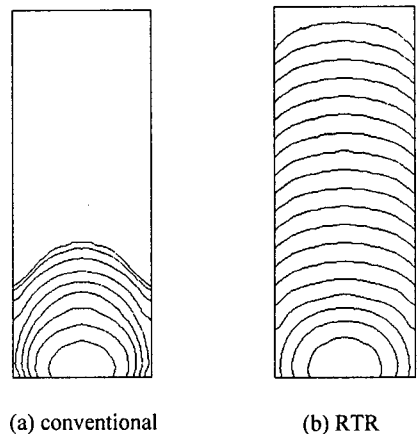


Fig. 7 Flow patterns for coupled solid analysis

에서 제공되는 등은 경계조건으로는 이러한 현상을 적절하게 묘사하기 어려운 한계점이 있다.

### 3.2 금형 열전달해석과 연계한 유동해석

앞절에서 언급한 바와 같이 급속 반응 사출성형의 특성을 적절히 고려하기 위해서는 금형의 열전달 해석을 통해 얻어진 내부 온도분포를 사출성형 해석시 경계조건으로 설정해주어야 한다. 본 연구에서는 열전달 해석을 통해 계산된 금형 표면의 온도분포(Fig. 3 참조) 데이터를 사출성형 해석을 위한 입력파일로 변환해주었다. 사출성형 해석시 두께에 따른 온도변화를 적절히 고려하기 위해 위해 삼차원 육면체 요소를 사용하여 격자를 구성하였고, 해석은 3D TIMON<sup>®</sup>을 사용하여 수행하였다.

Fig. 7 에 금형의 열전달 해석과 연계한 유동해석 결과를 도시하였다. 고온에서의 유동패턴(Fig. 7 (b))을 보면 볼록한 형태의 유동 선단이 적절히 묘사되어 Fig. 6 (b)의 등온조건에서의 해석에 비해 실험결과와 보다 유사하게 예측됨을 알 수 있다. 이러한 차이는 측면 절연체가 금형 가열시에 금형 측면부의 온도 상승을 억제하는 효과를 갖기 때문으로 분석된다. 결과적으로 열전달 해석과의 연계를 통해 측면 절연체의 영향을 효과적으로 고려할 수 있었고, 이를 바탕으로 박육 제품 성형을 위한 급속 반응 성형의 유동특성을 보다 정확하게 예측할 수 있었다.

## 4. 결 론

이상으로 본 연구에서는 급속 반응 사출성형 기법을 사용하여 박육 제품의 사출성형시 유동성을 개선하기 위한 제반 연구를 수행하였다. 이러한 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 급속 반응 사출성형의 기본 원리 및 금형의 구조를 고찰하였고, 또한 급속 가열 및 냉각과정의 열전달 해석을 통해 금형 온도분포의 변화를 분석하였다.

(2) 급속 반응 사출성형법을 두께 0.5mm 의 박육 제품의 사출성형에 적용하였고, 이때 유동특성이 일반 사출성형에 비해 획기적으로 향상됨을 확인할 수 있었다.

(3) 급속 반응 사출성형 공정의 유동특성을 분

석하기 위해 전산모사를 수행하였다. 경계조건 부여 방법에 따른 해석 결과를 고찰하였으며, 이중 금형의 온도변화를 고려한 해석방법이 보다 실험치와 근접한 결과를 보임을 확인할 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. M01-2004-000-10140-0).

## 참 고 문 헌

- [1] R. Seldén, 2000, Thin wall molding of engineering plastics – a literature survey. *J Injection Molding Tech.*, Vol. 4, pp. 159~166.
- [2] F. Jim, 1995, Thin wall molding differences in processing over standard injection molding. *SPE ANTEC*, Vol. 41, pp. 430~433.
- [3] B. H. Kim and N. P. Suh, 1986, Low thermal inertia molding. *Polym. Plast. Technol. Eng.*, Vol. 25: 73~93.
- [4] K. M. B. Jansen and A. A. M. Flaman, 1994, Construction of fast-response heating elements for injection molding applications, *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 34, pp. 894~897.
- [5] D. Yao and B. Kim, 2002, Development of rapid heating and cooling systems for injection molding applications. *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 42, pp. 2471~2481.
- [6] D. Yao and B. Kim, 2002, Increasing flow length in thin wall injection molding using a rapidly heated mold. *Polym. Plast. Technol. Eng.*, Vol. 415, pp. 819~832.