

# 금형온도에 따른 마이크로 사출성형의 유동특성 해석 Flow Analysis of Micro-Injection Molding considering Mold Temperature

엄혜주<sup>1</sup>, \*박근<sup>2</sup>

H. J. Eom<sup>1</sup>, \*K. Park(kpark@snut.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 서울산업대학교 에너지환경대학원 나노아이티공학과, <sup>2</sup> 서울산업대학교 기계설계자동차공학부

Key words : Induction Heating, Injection Molding, Thin-Wall Molding, Finite Element Analysis, Coupled Analysis

## 1. 서론

사출성형은 용융된 고분자 수지가 금형 내부에 분사되고 금형 내부를 채우면서 성형품 제작하는 방식으로 복잡한 형상의 고분자 제품을 제작 할수 있는 생산기술이다. 사출성형시 고온의 수지와 상대적으로 저온인 금형 벽면간의 열전달이 발생하면서 금형과 인접한 부분의 수지의 온도가 급속히 저하되면서 냉각된다. 이때 응고층의 두께는 일반적으로 편측 0.25mm로 알려졌으며, 대부분 사출성형의 유동특성에 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 두께가 매우 얇은 제품을 성형할 경우 응고층의 비율이 상대적으로 증가하게 되고, 결과적으로 수지 유동 저하를 초래하며 심한 경우 미성형(short shot)을 유발하는 등 유동특성에 악영향을 미친다. 따라서 초미세 사출성형의 경우 유동특성을 개선하기 위해 일반적인 경우와는 차별화된 사출성형 조건의 적절한 설정이 필요하다.<sup>(1,2)</sup> 사출성형의 유동특성을 개선하기 위해 높은 사출압력 및 사출속도, 낮은 점성의 수지 사용, 강건한 구조의 금형 설계 등이 적용되고 있는데,<sup>(1)</sup> 이는 수지 선택의 제한, 금형 구조 및 사출 조건의 실제적 한계 등의 문제점을 지니고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 금형을 급속으로 가열/냉각하기 위한 연구가 수행되었으며, 최근 고주파 유도가열(Induction Heating)을 적용하여 금형의 표면만을 급속 가열하기 위한 연구가 진행되어 왔다.<sup>(3-6)</sup>

본 연구에서는 고주파 유도가열시 금형온도에 따른 마이크로 사출성형의 유동해석을 수행하고자 한다. 이를 위해 고주파 유도가열을 적용한 마이크로 사출성형의 전산 모사를 수행하였으며, 전자기장 해석, 열전달 해석 및 사출성형 해석을 연계한 통합적 유한요소 해석을 적용하였다.

## 2. 고주파 유도가열

고주파 유도가열은 전자 유도 작용에 의한 것으로 교류 전류가 흐르는 코일 속에 위치하는 도전체의 와전류 손실과 히스테리시스(Hysteresis) 손실의 저항을 이용하여 피가열체를 가열하는 방식이다. 피가열체가 도전체인 경우 고주파 유도가열 시 유도되는 와전류(Eddy Current)로 인한 저항 손실에 의해 피가열체의 표면에 열이 발생된다. 이 방식은 피가열체에 단시간 에너지를 인가할 수 있으므로 급속 가열이 가능하고 피가열체의 표면만을 집중적으로 가열함으로써 급속히 냉각할 수 있다는 장점이 있다. 결과적으로 사출성형에 적용시 냉각시간을 크게 늘리지 않고 성형성을 효과적으로 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 성형이 어려운 두께가 얇은 원형 컵의 사출성형을 해석하였다. 사출 성형품의 두께는 0.5mm 이며 Fig. 1 에 제품의 단면형상 및 주요치수를 도시하였다. 유도 가열 과정을 전산 모사하기 위해 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS™10.0 을 사용하여 전자기장 해석과 열전달 해석의 연성해석을 수행하였다. 특히 피가열체의 투자율, 비저항율, 열전도도 등의 주요 물성이 온도에 의존적인 점을 감안하여 순차적 연계 해법(Coupled field analysis)을 사용하였다. 또한 연성해석의 결과로 얻어진 피가열체의 온도 분포는 사출성형 해석시 금형의 초기온도로 주어진다.

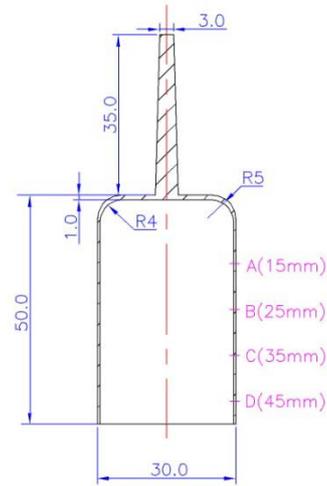


Fig. 1 Dimensional configuration of the thin-wall cup

## 3. 금형온도 분포를 고려한 사출성형 해석

금형 온도분포를 고려한 마이크로 사출성형의 유동특성을 고찰하기 위해 유도가열 해석으로부터 얻어진 금형온도 분포를 사출성형 해석에 적용하였다. 해석은 FLOW-3D®를 사용하였으며, 해석시간 단축을 위해 2 차원 축대칭으로 모델을 단순화하였다. 또한 금형온도 분포의 표현을 위해 금형을 코어와 캐비티로 나누고, 금형코어는 높이에 따라 여러 등분하여 모델링 한 후 이를 STL 파일로 불러들여 각 구성요소를 만든 후에 온도분포를 각 구간별로 나눠 평균치를 구하고 이를 각 구성요소의 초기온도로 설정하였다. Fig. 2 에 금형의 단면형상 및 금형온도 분포를 도시하였다. 이때 캐비티의 온도는 50℃이며, 코어는 400A의 전류를 인가한 경우로 가열 후 고주파 유도가열과정으로 인한 시간을 감안하여 1 초 냉각시의 온도분포를 사용하였으며 이는 약 50~140℃로 나타났다. 수지는 제일모직 ABS SR320 을 사용하였으며, 사출온도는 230℃로 설정하였다.

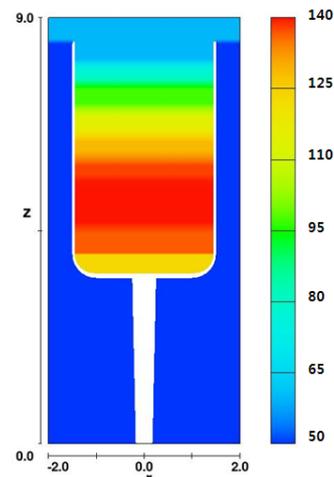


Fig. 2 Temperature distribution on the mold surface

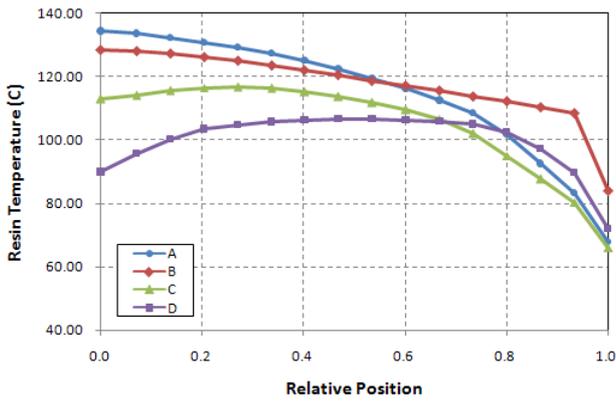


Fig. 3 Comparison of resin temperatures variations on the relative position at various locations

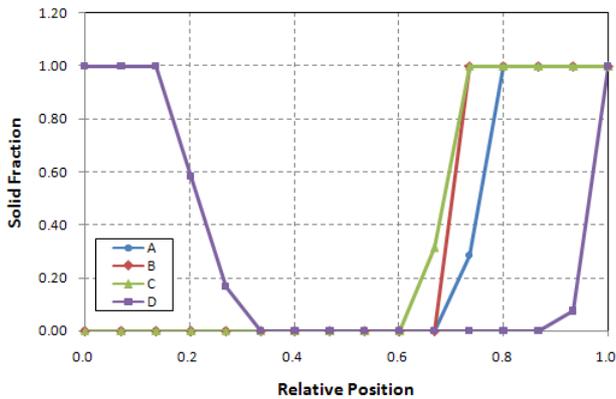


Fig. 4 Comparison of solid fraction variations on the relative position at various locations

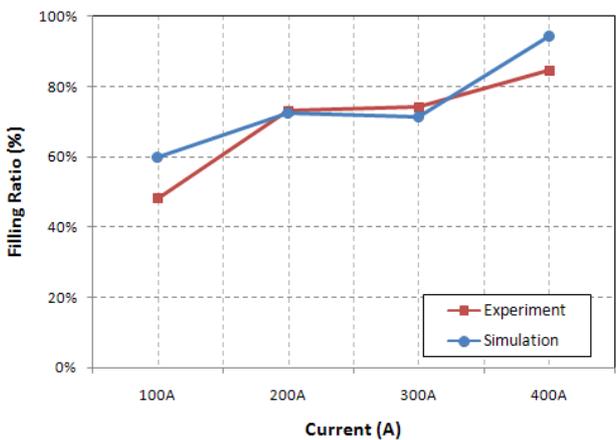


Fig. 5 Comparison of filling ratio for various current conditions

사출성형해석 수행시 제품의 충전높이에 따른 유동특성을 비교하기 위해 바닥면으로부터 15, 25, 35, 45mm의 높이 (Fig. 1 참조)에서의 유동특성을 분석하였다. Fig. 3에 각 높이에 따른 단면 온도분포를 그래프로 도시하였다. 이때 금형내 상대위치(Relative position)은 금형의 코어측벽면을 0, 캐비티측 벽면을 1로 설정하여 정의하였다. Fig. 4에 높이에 따른 고화도 분포를 도시하였는데, 이때 고화도는 액체상태를 0, 고체상태를 1로 정의하여 유체의 상태변화 정도를 나타낸 수치이다. 본 해석의 경우 0.67 이상의 고화도의 유체는 흐르지 않는다고 설정하였다. 수치온도에 비해 상대적으로 낮은 금형 온도에 의해 유동부내의 수치 온도가 전반적으로 낮아졌다. 특히 유도가열의 영향을 받지 않는 캐비티측 수지는 약 66~84℃의 온도로 높이에 상관없이 모두 응고되었다. 한편 코어측 수지는 D 지점을 제외한 대부

분의 지점에서 고화온도(101℃) 이상의 온도를 유지하며 유동이 진행됨을 알 수 있었고, 충전 높이가 증가할수록 점차 온도가 낮아지다가 제품의 말단 부분인 D 지점에 이르러 비로소 응고됨을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해 충전과정중의 유동의 특성을 분석할 수 있었으며 유도가열을 적용한 코어측 수지가 미 적용된 캐비티측 수지에 비해 유동특성이 향상됨을 알 수 있어 고주파 유도가열의 효과를 확인할 수 있었다.

또한 금형 온도에 따른 유동특성을 분석하기 위해 각각 100, 200, 300A의 인가전류를 적용한 경우를 추가적으로 해석하였으며 Fig. 5에 동일한 조건의 실험 결과와 함께 도시하였다. 인가 전류가 증가할수록 금형 표면의 온도가 높아지며 이로 인해 충전율이 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 유동특성은 실험결과와 일치하였으며 약간의 오차가 발생하였는데 이는 금형 초기온도 대입 시 온도분포를 구간별로 나눠 평균값을 대입하는 등 해석 조건의 단순화에 의한 것으로 판단된다. 위와 같은 결과를 통해 통합적 연계 해석의 신뢰도를 검증할 수 있었으며, 금형 온도가 증가함에 따라 유동 특성이 향상됨을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

이상으로 본 연구에서는 금형 온도에 따른 마이크로 사출성형의 유동 특성 해석을 수행하였다. 이를 위해 전자기장해석, 열전달해석 및 사출성형해석을 연계한 통합적 유한요소 해석을 적용하여 고주파 유도가열을 적용한 마이크로 사출성형의 전산모사를 수행하였다. 해석 결과를 통해 유동부 위치에 따른 수치 특성을 고찰하였고, 이를 통해 마이크로 사출성형의 유동특성을 예측할 수 있었다. 또한 인가전류에 의해 변화된 금형 온도 분포에 따른 마이크로 사출성형 해석을 통해 금형 온도가 증가함에 따라 유동 특성이 향상되어 난성형 제품의 성형성을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 확인하였으며, 실험결과와의 비교를 통해 해석 결과의 신뢰성을 검증하였다. 상기 연구결과는 향후 초박육 사출성형, 초미세 사출성형 등의 고부가 가치 기술에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

#### 후기

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술 인력양성사업 및 중소기업청의 기술혁신개발사업 지원으로 진행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- Seldén, R., 2000, "Thin wall molding of engineering plastics – a literature survey," *J. Injection Molding Tech.*, Vol. 4, pp. 159~166.
- Jim, F., 1995, "Thin wall molding differences in processing over standard injection molding," *SPE ANTEC*, Vol. 41, pp. 430~433.
- Chen, S. C., Peng, H. S., Chang, W. R. and Jong, W. R., 2004, "Simulations and verifications of induction heating on a mold plate," *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, Vol. 31, pp. 971~980.
- Chen, S. C., Jong, W. R., Chang, Y. J. and Chang, J. A., 2006, "Rapid mold temperature variation for assisting the micro injection of high aspect ratio micro-feature parts using induction heating technology," *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 16, pp. 1783~1791.
- Kim, S., Shiau, C. S., Kim, B. and Yao, D. 2007, "Injection molding nanoscale features with the aid of induction heating," *Polym. Plast. Technol. Eng.*, Vol. 46, pp. 1031~1037.
- Park, K., Hwang, J. J., Kwon, O. K. and Yun, J. H., 2007, "Finite element analysis of induction heating process for development of rapid mold heating system," *Trans. Mat. Proc.*, Vol. 16, pp. 113~119.