

# 극박 발열체를 이용한 급속 직가열기 Rapid Direct Heater Using Ultra-Thin Heating Element

\*,#이성희<sup>1</sup>, 주철원<sup>2</sup>

\*,#S. H. Lee(birdlee@kitech.re.kr)<sup>1</sup>, C. W. Ju<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원 정밀금형팀, <sup>2</sup>(주)평화

Key words : Rapid Direct Heater, Ultra-thin, Injection Mold, Coupled Analysis

## 1. 서론

최근 플라스틱 제품과 부품의 용도가 점차 확대되어 감에 따라 성형 기술도 고도화, 다양화가 점진적으로 요구되고 있으며, 플라스틱 성형품에도 경량(light-weight)화와 박육(thin-wall)화가 중요한 과제로 부각되고 있는 실정이다. 이러한 경향은 소비자 측면에서는 제품 휴대성에 대한 요구 증가에 기인하고, 생산자 측면에서는 재료 절감효과를 추구하는 데 원인을 찾을 수 있다. 최근 들어 휴대폰, 랩탑과 노트북 컴퓨터 및 기타 이동 통신용 플라스틱 부품의 두께는 이미 1mm 이하로 접어들었다. 이러한 외장부품뿐 아니라, 전자 컨넥터, 전자 패키지 부품, 전원 공급 장치 부품 등에도 이러한 플라스틱의 얇은 두께를 지속적으로 요구하고 있는 실정이다. 이러한 마이크로급 박육 사출부품의 성형은 단순히 일반사출성형에서처럼 플라스틱 부품의 설계(a) 단계에서 제품의 두께 치수를 줄이고 이에 상응하여 금형설계(b)를 수행한 후 금형가공(c) 후 사출성형(d)을 수행한다고 해서 제품이 완성되는 것은 아니다. 비록 기존사출성형 기술로 a~c의 과정을 거쳤다고 하더라도 성형단계(d)에서 일반사출에서 사용된 성형조건 및 방법을 가지고 성형을 하게 되면, 상대적으로 증가된 고화층 영향에 의한 미충진(short shot) 및 이로 인한 압력상승, 플래쉬(flash)의 형성 등 많은 성형불량을 겪게 된다. 따라서 정밀한 표면정도, 형상치수, 그리고 제품이 갖춰야 하는 고유기능을 확보한 초박육 성형을 실현하기 위해서는 무엇보다도 유동성이 우수한 재료의 선정, 수축 및 변형을 고려한 제품설계, 고속사출속도를 발생시킬 수 있는 사출성형기, 양산성을 확보할 수 있는 초정밀 금형설계 그리고 초정밀 성형기술의 복합 융합적인 기술이 확보되어야 한다. 특히 최근에는 충전과정에서의 고화층 제어를 위한 금형표면 급속가열기술들이 연구되고 있다<sup>[1-4]</sup>. 금형의 급속가열방법은 크게 금형표면을 직접회염으로 금형표면을 가열하는 방법, 가압수를 이용하여 금형표면온도를 상승시키는 방법, 유도가열 및 특수 가열히터를 사용하여 금형표면을 가열하는 방법 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 금형표면의 온도를 급속 가열시킬 수 있는 극박 가열기 제작에 대한 기초 연구를 수행하였다. 급속가열을 위해 사용된 가열요소로는 두께가 1μm이내인 극박 가열체를 사용하였으며, 급속가열성능은 250℃/3sec 이상이 되도록 설계목표를 정하였다. 이를 위해 급속가열기의 사전설계를 위한 전기-열-구조(electro-thermal-structural)의 유한요소해석을 수행한 후, 해석결과를 기초로 하여 극박 가열기를 설계 제작하고자 한다. 최종적으로 목표 가열성능을 확인하기 위한 급속 가열실험을 수행하여 본 연구에서 제시하는 방법의 타당성을 제시하고자 한다.

## 2. 극박발열체 설계 및 제작

본 연구에서는 극박 발열체를 이용한 급속직가열기 개발을 위한 기초 연구를 수행하였다. 즉, 금형코어 표면에 직접 가열체를 전사시킴으로써 순간적으로 금형의 표면을 가열할 수 있는 가열기를 설계하고 제작하였다. 이를 위해서는 가열체 상하부에 절연체의 배치 생성 및 시스템 회로를 구성하기 위한 배선 작업이 가장 중요한 요소 설계 기술이 된다. Fig 1에서는 극박 발열체를 이용한 극박 직가열기의 구성 및 개념도를 보여주고 있다. 그림에

서 보듯이 일정 금형코어 표면에 일정 극박 저항체를 생성시킨 후 폐회로를 구성하여 전압차를 부여하거나 전류를 인가시켜 발열이 되도록 하는 구조이다.

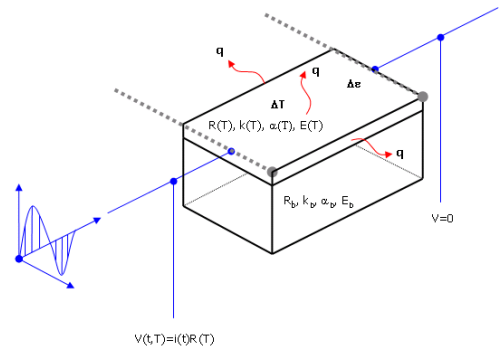


Fig. 1 Schematic diagram of rapid direct heater using ultra-thin heating element

한편 Fig. 1에 제시된 급속가열 시스템에 대한 설계를 위해 유한요소해석을 수행하였다. 해석 모델의 특성상 전기-열-구조의 연성해석이 요구되며, 유한요소해석과정에는 다음과 같은 이론식이 적용된다. 일차적으로 전기장과 관련된 전류전도(current conduction)에 대한 지배방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \cdot \frac{1}{\rho} \nabla \phi = 0 \quad (1)$$

여기서 ρ는 electrical resistivity를 φ는 electric potential을 의미한다. 한편 식 (1)과 주어진 경계조건으로부터 계산된 전압차로부터 주울열(Joule heating)이 식 (2)에 의해 계산이되면 식(3)에 의해 모델내부의 온도분포가 계산되게 된다.

$$Q_j = Power = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot k \nabla T = -\dot{q} \quad (3)$$

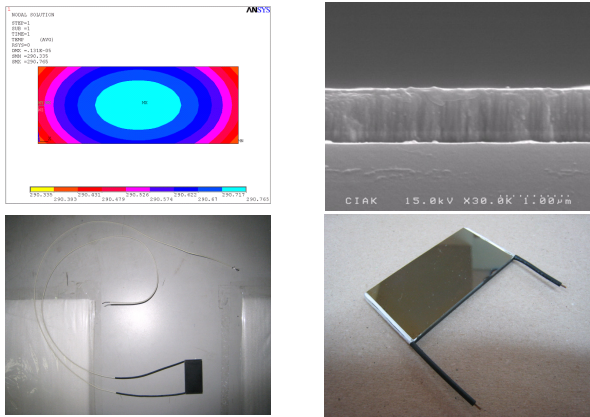
여기서 R은 저항(resistivity), k는 열전도도(thermal conductivity),  $\dot{q}$ 는 단위시간당의 열속(heat flux)을 각각 의미한다. 식 (3)에 의해 계산된 온도분포결과는 구조해석에서 열하중 경계조건으로 작용하게 된다. 이러한 연성문제를 해결하는데는 순차(sequential method)방법과 직접방법(direct method)가 있다. 본 연구에서는 후자의 방법을 이용하여 주어진 시스템에 대한 유한요소해석을 수행하였으며, 일반적으로 열전문제에서는 식 (4)에서와 같이 Joule 열, Seebeck, Peltier, Thomson 영향<sup>[5]</sup>이 고려되나 본 연구에서는 주울열만 고려하여 해석을 수행하였다.

$$\{q\} = T[\alpha]\{J\} - [K]\{\nabla T\} \quad (4-1)$$

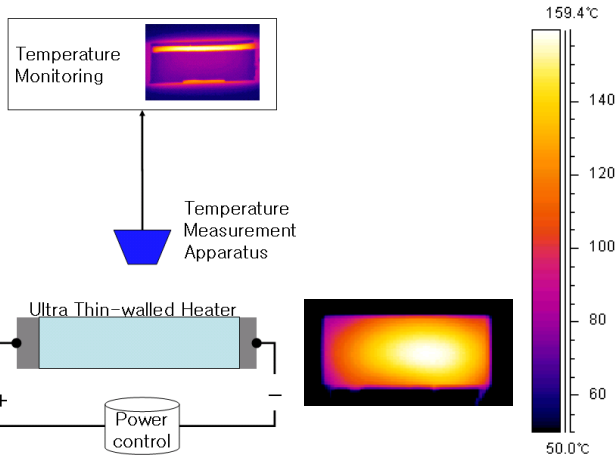
$$\{J\} = [\sigma]\{E\} - [\alpha]\{\nabla T\} \quad (4-2)$$

여기서 {q}는 열속벡터(heat flux vector), T[α]는 Peltier 계수행렬, {J}는 전기전류밀도(electric current density), [K]는 {J}={0}일때의 열전도행렬, [σ]는 {∇T}={0}에서 계산된 전기전도(electrical conductivity)행렬, [α]는 Seebeck 계수 행렬, {∇T}는 온도구배를 의미한다. 한편 극박 급속 가열체의 비저항과 해석관련 물성을 입력한 후 상용유한요소 해석프로그램인 ANSYS를 사용한 전기-열-구조 해석중 전기작용에 의한 극박 가열체의 온도발생 및

분포 결과를 Fig 2(a)에 제시하였다. 결과에서 보듯이 중심부에서 최대 온도가 발생되며, 최대온도는 인가된 전류에 따라 크게 변함을 확인하였다. 이러한 해석결과를 바탕으로하여 극박 저항체를 이용한 급속 직가열기를 제작하였으며, 그 결과를 마찬가지로 Fig 2(a)에 제시하였다. 또한 제작된 가열기의 단면을 FE-SEM으로 측정된 결과 약 0.780 $\mu$ m임을 확인하였다.



(a)



(b)

Fig. 2 Result of finite element analysis for rapid direct heater, manufactured specimen(a) and schematic diagram of experiment setup for temperature measurement and measured result(b)

### 3. 극박 발열체의 급속 가열 실험

앞 절의 설계과정 및 제작과정을 통해 제작된 극박 저항체를 이용한 급속 직가열기의 반복 가열실험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 결과에서 보듯이 본 연구에서 제작된 시스템을 이용하여 반복가열 및 냉각실험을 수행한 결과 급속가열성능이 250 $^{\circ}$ C/3sec이상이 됨을 확인하였다. 또한 가열체의 온도 균일성을 확인하기 위해 9개 포인트에 대한 온도를 시간 변화에 대해 측정 비교하였으며 그 결과를 Fig. 4에 제시하였다. 결과에서 보듯이 매우 균일한 온도 분포 결과가 발생되었음을 볼 수 있다. 따라서 극박 발열체를 이용한 급속 가열시스템의 제작이 가능함을 제시하였다.

### 4. 결론

본 연구에서는 금형표면의 온도를 급속 가열시킬 수 있는 극박 가열기 제작에 대한 기초 연구를 수행하였다. 이를 위해 급속가열기 사전 설계를 위한 전기-열-구조(electro-thermal-structural)의 유한요소해석을 수행하였으며, 해석결과를 기초로 하여 극박 가열기를 설계하고 제작하였다. 급속 가열 성능을 확인하기 위해 급속 가열실험을 수행하였으며, 실험 결과 급속가열성능이

250 $^{\circ}$ C/3sec이상이 됨을 확인하였다. 또한 제작된 급속 가열기의 극박가열요소 두께를 측정된 결과 1 $\mu$ m이내의 가열체가 생성되었음을 확인하였다. 본 연구를 통해 극박 가열체를 이용한 급속 가열기 제작이 가능함을 확인할 수 있었다.

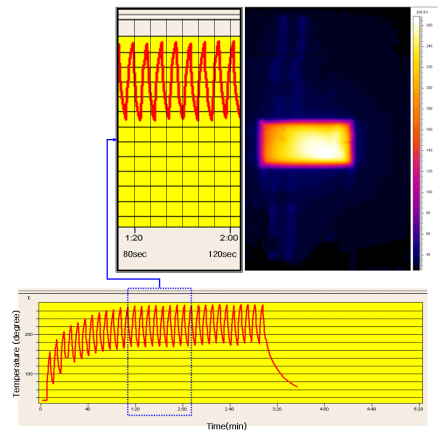


Fig. 3 Monitored result of transient temperature for the manufactured rapid direct heater

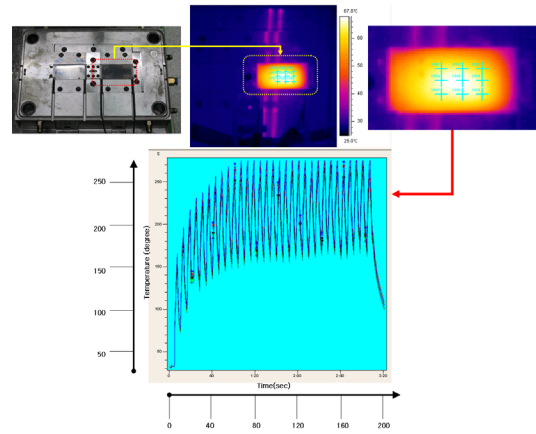


Fig. 4 Result of uniformity measurement of transient temperature for 9 pts.

### 후기

본 연구는 산업자원부의 부품소재전문기업기술지원사업과 생산기반혁신기술개발사업에 의해 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Donggang, Y. and Byung, K., "Developing rapid heating and cooling systems using pyrolytic graphite," Applied Thermal Engineering, Vol. 23, pp. 341~352, 2003.
2. K. Park, B.H. Kim, "급속 금형가열에 의한 사출성형품의 복굴절특성 개선에 관한 연구," 한국소성가공학회, 제16권 제4호, pp. 229~233, 2007.
3. 홍석관, 이성희, 허영무, 강진진, "미세 패턴 성형용 판형 금형의 급속 가열을 위한 유도가열기구," 한국소성가공학회, 제16권 제4호, pp. 282~287, 2007.
4. Shia-Chung Chen, Jen-An Chang, Jin-Chuan Cin, Chun-Feng Yeh, 2007, "Dynamic Mold Surface Temperature Control for Assisting Injection Molding of Light-Guide Plate and Improving Optical Performance," ANTEC, pp. 1636~1640, 2007.
5. Landau, L. D. and Lifshitz, E. M., "Electrodynamics of Continuous Media", Vol. 8 (Course of Theoretical Physics), Butterworth-Heinemann, 2nd Edition, Oxford, 1984.