

재료의 선택적 사용에 의한 금형의 국부적 유도가열기법

박 근[#] · 도범석 · 박정민¹ · 이상익¹

Localized Induction-Heating Method by the Use of Selective Mold Material

Keun Park, Bum-Suk Do, Jung-Min Park, and Sang-Ik Lee

Abstract

High-frequency induction is an efficient way to heat mold surface by electromagnetic induction in a non-contact procedure. Though the induction heating has an advantage in terms of its rapid-heating capacity on the mold surface, it still has a restriction on mold temperature control due to geometric restriction of an induction coil according to the mold shape. It has been recently applied to the injection molding of thin-walled parts or micro/nano structures. For localized induction heating, an injection mold composed of ferromagnetic material and paramagnetic material is used. The electromagnetic induction concentrates on the ferromagnetic material, from which we can selectively heat for the local mold elements. The present study proposed a localized induction heating method by means of selective use of mold material. The feasibility of the proposed heating method is investigated through the comparison of experimental observations according to the mold material.

Key Words : Injection Molding(사출성형), Induction Heating(유도가열), Rapid Mold Heating(급속 금형가열), Local Heating(국부가열), Micro Molding(미세형상성형)

1. 서 론

사출성형은 가장 널리 사용되는 고분자 성형공법으로, 용융된 고분자수지가 고온, 고속으로 금형 내부로 분사되고 금형 내부를 채우며 성형이 이루어진다. 사출성형 과정에서 고온의 수지와 상대적으로 온도가 낮은 금형 벽면간의 열전달이 발생하면서 금형과 인접한 부분에서는 급속하게 온도가 저하되어 수지의 응고가 진행된다. 이러한 고화층(frozen layer)의 생성은 수지 유동의 저하를 초래하여 성형품의 두께가 얇은 경우 미성형(short shot)을 유발하고[1], 성형품 표면에 이방성을 유발하여 잔류응력 및 복굴절(birefringence)의 원인이 되기도 한다[2].

사출성형시 발생되는 고화층을 제거하기 위해

금형을 유리전이 온도 이상으로 가열해야 하는데, 결과적으로 금형의 가열과 냉각에 소요되는 시간이 상대적으로 길어져 생산성이 저하되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 사출금형의 표면을 급속으로 가열/냉각하기 위한 연구가 진행되고 있다. 현재 화염을 사용한 방법[3], 금형 절연을 통한 표면가열방법[4], MEMS Heater를 사용한 방법[5], 고주파 전류를 인가할 때 발생되는 근접효과(proximity effect)를 이용한 방법[6], 적외선 가열을 사용한 방법[7], 고온증기를 사용한 방법[8] 등 다양한 금형가열 방법에 관한 연구가 진행되었다.

최근에는 금형 구조의 변경 없이 비접촉 형태로 금형가열이 가능한 고주파 유도가열(Induction heating)을 적용하여 사출금형의 표면만을 급속으로 가열하기 위한 연구가 진행되었다. Chen 등[9]

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

은 고주파 유도가열을 사용하여 마이크로 형상 사출성형에 활용하였고, Kim 등[10]은 도광판 나노 패턴의 성형성 향상을 위해 고주파 유도가열을 적용하였다.

고주파 유도가열은 가열코일 및 피가열체인 금형의 형상에 따라 가열부위의 범위가 결정되는데, 일반적으로 금형 표면 전역의 온도가 상승하게 되어 가열효율이 저하되고, 결과적으로 전력소모에 의한 생산비가 증가하는 단점이 있다. 본 연구에서는 전술한 단점을 개선하기 위해 재료의 선택적 사용에 의한 금형의 국부가열 기법을 개발함으로써 가열효율을 제고하고자 한다.

2. 고주파 유도가열 시스템

고주파 유도가열은 교번자계 내부에 놓여있는 도전성 물체 내에 발생하는 와전류손 또는 히스테리시스손을 이용하여 피가열체를 가열시키는 방식이다. 피가열체가 도체인 경우 고주파 유도가열에 의해 피가열체의 표면에 와전류(Eddy current)가 유도되고 이로 인한 저항 손실에 의해 표면에 열이 발생된다. 따라서 피가열체에 에너지를 짧은 시간에 인가할 수 있으므로 급속 가열이 가능하고 표면층만을 가열할 수 있다는 장점이 있다.

도체에 고주파전류가 흐를 경우 표면에 내부보다 많은 양의 전류가 흐르는 현상이 발생하는데, 이를 표피 효과(Skin effect)라 한다. 표피 효과에 의해 전류가 표면의 $1/e(36.8\%)$ 만큼 감소하는 침투깊이(penetration depth)는 아래와 같이 정의된다.

$$\delta = \sqrt{\frac{\sigma}{\pi f \mu_r \mu_0}} \quad (1)$$

여기서 σ 는 도체의 비저항율(resistivity), f 는 주파수, μ_0 과 μ_r 는 각각 진공의 투자율(permeability) 및 피가열체의 상대투자율에 해당한다.

본 연구에서는 사출금형의 급속가열을 위한 고주파 가열 시스템을 구축하였다. 구성 요소를 살펴보면 고주파 가열기, 가열코일, 코일이 연결된 보조 컨트롤 박스, 냉각장치 및 데이터 처리 장치로 구성된다. 실험에 사용된 고주파 가열기는 (주)백마고주파의 BMHF-P227 모델을 사용하-

였으며, 출력전력은 최대 15 kW이다.

실험장치는 고주파가열기 및 보조 컨트롤 박스를 이동식 프레임에 장착하여 사출성형기에 삽입이 가능하도록 구성하였다. Fig. 1에 사출금형 가열을 위한 고주파 유도가열 장치를 도시하였다. 금형이 열린 상태에서 가열코일을 삽입하여 코어부분 주변에 위치시킨 후 가열을 실시한다. 가열이 완료된 후 코일을 제거하고 금형을 닫은 후 사출을 실시한다.

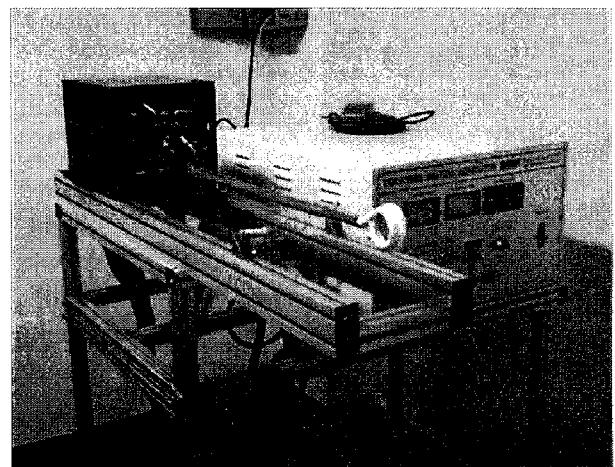


Fig. 1 Experimental setup for the induction heating

3. 선택적 유도에 의한 국부가열 시스템

3.1 재료의 선택적으로 사용한 국부가열

고주파 유도가열시 피가열체의 자기적 특성에 따라 가열효율에 많은 차이가 발생한다. 자성체의 경우 시변자장의 영향을 크게 받아 비자성체에 비해 많은 와전류가 유도된다. 특히 식 (1)에서 알 수 있듯이 자성재료의 경우 상대투자율의 증가로 인해 침투깊이가 얇아져 비자성체에 비해 표면가열의 효율이 더욱 증대된다.

본 연구에서는 상기 특성을 이용하여 재료를 선택적으로 사용함으로써 금형을 국부적으로 가열할 수 있는 선택적 유도가열 기법을 개발하였다. Fig. 2에 선택적 유도가열기법의 개념도를 도시하였다. 금형 형판은 상대투자율이 1인 알루미늄 합금(Al7075)를 사용하였고, 가열부위에 상대투자율이 200인 탄소강(S45C)을 사용하여 인서트물을 삽입하였다. 결과적으로 투자율이 높은 탄소강 인서트부위에 유도전류가 집중되어 금형표면의 국부적인 가열이 가능하다.

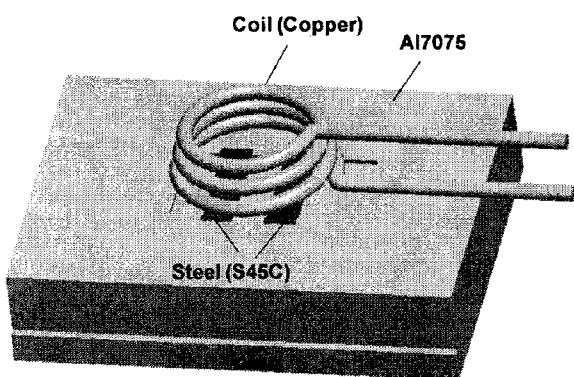


Fig. 2 Schematic description of the localized induction heating for a hybrid mold

3.2 재료특성에 따른 온도변화 고찰

재료특성에 따른 고주파 유도가열의 효과를 고찰하기 위해 단일재료와 이종재료의 파가열체를 각각 가열하여 결과를 비교하였다. 단일재료의 경우 상자성재료인 S45C 평판을 대상으로 유도가열 실험을 진행하였다. 고주파 가열기의 출력은 2.5kW로 설정하였고, 160kHz의 주파수로 3초동안 가열하였다. 이때 금형은 90°C로 예열된 상태에서 고주파가열을 실시하였다.

Fig. 3에 3초간의 고주파가열 후 1초 경과시에 열화상카메라로 측정한 S45C 금형표면의 온도분포를 도시하였다. 온도분포를 관찰하면 코일의 형상범위 내부에서 원형 형태로 온도가 상승하였음을 알 수 있으며, 이때의 최대온도는 162.3°C로 70°C 이상의 온도상승이 발생함을 알 수 있었다. 한편 가열후 자연대류 상태에서의 냉각이 진행되었으며, 10초후의 온도는 111.3°C로 거의 초기온도에 근접하게 온도가 저하되어 결과적으로 금형 표면만이 급속으로 가열되고 냉각됨을 알 수 있다.

Fig. 4에 이종재료, 즉 상자성재료(S45C)와 반자성재료(Al7075)로 구성된 사출금형의 코어 플레이트에 대한 고주파 유도가열 실험결과를 도시하였다. 이때 모든 가열조건은 Fig. 3의 경우와 동일하게 설정하였다. 온도분포를 관찰하면 상대적으로 투자율이 높은 S45C 주변에서 온도상승이 집중되어 국부가열의 효과를 확인할 수 있었고, 이때의 최대온도는 200.5°C로 110°C 이상의 온도상승이 발생하였음을 알 수 있다. 반면에 10초 냉각후의 최대온도는 110.2°C로 단일재료의 경우와 유사함을 알 수 있으며, 이러한 결

과로부터 이종재료의 사용에 의해 국부가열 및 급속가열 효과를 한층 더 높일 수 있는 것으로 판단된다.

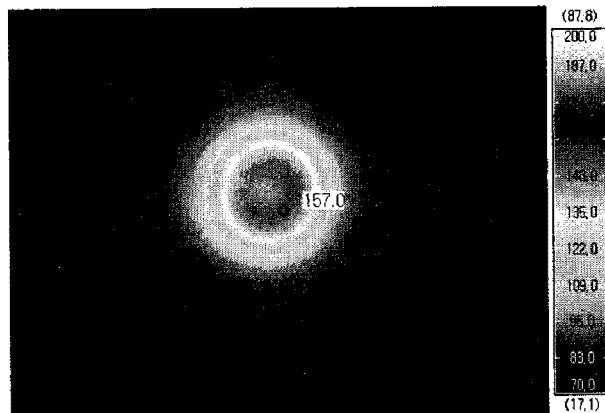


Fig. 3 Temperature distribution for the S45C mold

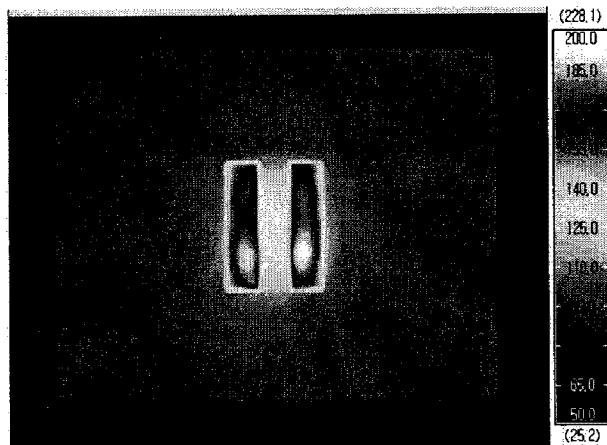


Fig. 4 Temperature distribution for the hybrid mold

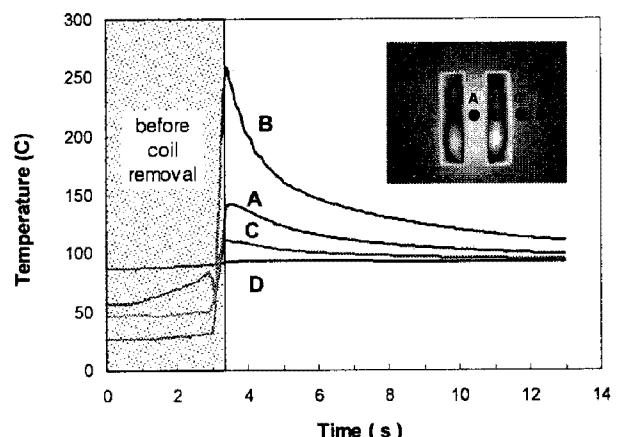


Fig. 5 Temperature variations at 4 sample points

Fig. 5에 이종재료 금형가열시 다양한 위치에서의 시간대별 온도변화를 그래프로 도시하였다. 이때 가열후 코일이 완전히 제거되는 시점(3.3초)까지는 코일에 가려 온도측정이 용이하지 못한 관계로 3.3초 이후의 온도를 비교하였다. 온도변화를 관찰하면 S45C의 중앙부(B)에서 최대 250°C 이상으로 온도가 급격하게 상승한 반면 주변부(A, C)에서는 150°C 이하로 100°C 이상의 편차를 보임을 알 수 있다. 또한 중심부에서 30mm 떨어진 D에서는 온도변화가 미미하여 국부적인 가열효과를 확인할 수 있었다.

4. 결 론

고주파 유도가열은 금형표면을 집중적으로 가열할 수 있는 장점이 있어 최근 급속 금형가열에 활용되고 있다. 본 연구에서는 고주파 유도가열의 효율을 보다 높이기 위해 이종재료를 사용한 선택적 유도가열 기법을 개발하여 원하는 부위만을 국부적으로 가열하기 위한 연구를 수행하였다. 이종재료에 대한 유도가열 실험결과 단일재료를 사용한 경우에 비해 동일한 가열조건에서 가열효율을 2배이상 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 상기 연구결과로부터 향후 초미세 사출성형 제품에 적용하여 성형성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 중소기업기술혁신사업의 지원으로 수행된 연구결과로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 현

- [1] Park, K., Kim, B. and Yao, D., 2006, "Numerical simulation for injection molding with a rapidly heated mold, Part I: Flow simulation for thin wall parts," *Polym. Plast. Technol. Engng.*, Vol. 45, pp. 897~902.
- [2] Park, K., Kim, B. and Yao, D., 2006, "Numerical simulation for injection molding with a rapidly heated mold, Part II: Birefringence prediction," *Polym. Plast. Technol. Engng.*, Vol. 45, pp. 903~909.
- [3] Kim, D. H., Kang, M. H., and Chun, Y. H., 2001, "Development of a new injection molding technology: Momentary mold surface heating process," *J. Injection Molding Tech.*, Vol. 5, pp. 229-232.
- [4] Yao, D. and Kim, B., 2004, "Development of rapid heating and cooling systems for injection molding applications," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 42, pp. 2471~2481.
- [5] Kim, Y., Choi, Y., Kim, Y. J., and Kang, S., 2005, "Construction of injection mold with MEMS RTD sensor and MEMS heater for micro/nano molding process," *Jap. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, pp. 3591-3595.
- [6] Yao, D., Kimerling, T. E., and Kim, B., 2006, "High-frequency proximity heating for injection molding applications," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 46, pp. 938~945.
- [7] Chang, P. C. and Hwang, S. J., 2006, "Experimental investigation of infrared rapid surface heating for injection molding," *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 102, pp. 3704-3713.
- [8] <http://www.onosg.co.jp/en/rhcm/index.html>.
- [9] Chen, S. C., Jong, W. R., Chang, Y. J., Chang, J. A, and Cin, J. C., 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.
- [10] Kim, S., Shiau, C. S., Kim, B., and Yao, D. "Injection molding nanoscale features with the aid of induction heating," *Polym. Plast. Tech. Eng.*, 46, 1031 (2007).