

고주파 유도가열을 적용한 사출성형품의 웰드라인 개선

서영수¹, 손동휘¹, 박근[#]

Improvement of Weldlines of an Injection Molded Part with the Aid of High-Frequency Induction Heating

Young-Soo Seo, Dong-Hwi Son, and Keun Park

Abstract

High-frequency induction is an efficient way to heat mold surface by electromagnetic induction in a non-contact manner. Thanks to its capability of rapid heating and cooling of mold surface, it has been recently applied to the injection molding. The present study applies the high-frequency induction heating for elimination of weldlines in an injection-molded plastic part. To eliminate weldlines, the mold temperature of the corresponding weld locations should be maintained higher than the glass transition temperature of the resin material. Through experiments, the maximum temperature of 143°C is obtained on the mold surface around the elliptic coil, while the temperature of the mold plate is lower than 60°C. An injection molding experiment is then performed with the aid of induction heating, and the effect of induction heating conditions on the surface appearance of the weldline is investigated.

Key Words : Injection Molding (사출성형), High-Frequency Induction Heating(고주파유도가열), Weldline(웰드라인)

1. 서론

사출성형은 복잡한 형상의 고분자 제품을 제작할 수 있는 생산기술로서 다양한 산업분야에서의 플라스틱 부품 제조에 널리 사용되며, 제품의 경량화와 생산성 향상을 위해 가전, 이동통신, 자동차 분야의 외관 제품의 제조에 많이 사용되고 있다. 최근 첨단부품의 개발추세를 살펴보면 미세한 패턴이 추가되고 기능성 재료가 함유된 고분자 복합재료의 사출이 증가하고 있으며, 환경규제에 따른 무도장 사출 기술이 요구되면서 웰드라인(Weld line)과 흐름자국(Flow mark) 등 표면 결함을 줄이는 사출기술에 대한 관심이 증가하고 있다.

본 연구에서는 휴대폰 제품의 사출성형시 표면의 웰드라인 특성을 개선하기 위한 기술을 개발하고자 한다. 휴대폰 제품은 구조가 비교적 복잡

하고, 두께편차가 크고 특히 국부적으로 두께가 얇은(0.5mm 이하) 부분이 존재하기 때문에 사출성형시 고분자수지의 유변학적 특성에 대한 고찰이 필요하다. 특히 휴대폰 제품의 특성상 다수의 구멍(Hole)이 존재하고 다점게이트를 사용하면서 웰드라인(Weldline)이 발생하게 되어 도장 등의 후공정을 통해 웰드라인을 보이지 않도록 처리해주어야 하는데, 이러한 과정에서 부가적인 경비와 시간이 소요되는 단점이 있다. 또한 웰드라인 발생부위에서는 웰드부에서의 'V'자 형태의 노치(Notch)가 발생하며, 이러한 취약부위는 제품의 기계적 특성 저하는 물론 증착, 도장, 도금 등 후공정에 여러가지 문제를 유발하게 된다[1].

웰드라인을 개선하기 위한 성형조건의 고찰에 관한 연구가 수행되었는데, 일반적으로 수지온도 및 금형온도를 증가시켜 웰드 발생위치에서의 유동선단의 온도를 높이는 방안이나 사출압 및 사출속도를 높여 웰드 생성부에서의 유동 선단간의

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

결합력을 증가시키는 방법이 있다[2,3]. 이중 금형을 유리전이온도 이상으로 가열하는 방법이 소형 제품의 웰드라인 감소에 가장 효과적인 것으로 알려져 있으나[4], 금형의 가열과 냉각에 소요되는 시간이 상대적으로 길어 생산성이 저하되는 문제점이 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 고주파 유도가열(induction heating)을 사용하여 금형온도를 증가시킴으로써 웰드라인을 개선하는 방안에 대해 연구하고자 한다. 고주파 유도가열은 사출금형에 고주파 전류를 인가할 때 금형표면에 전류가 집중되는 표피효과(skin effect)를 이용하여 금형표면을 급속으로 가열하는 기법으로, 최근들어 박육 사출성형[5] 및 마이크로형상의 성형성 향상[6], 웰드라인 향상[7], 사출성형품의 기계적 물성 향상[8] 등에 응용되고 있다. 본 연구에서는 인장시편 형태의 사출금형에 고주파 유도가열 기법을 적용하여 웰드라인 생성부를 국부적으로 가열하고, 가열조건에 따른 성형품의 웰드라인 형상 및 강도저하 특성을 고찰해보고자 한다.

2. 고주파 유도가열 시스템

2.1 고주파 유도가열의 개요

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 사용하였으며, 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.

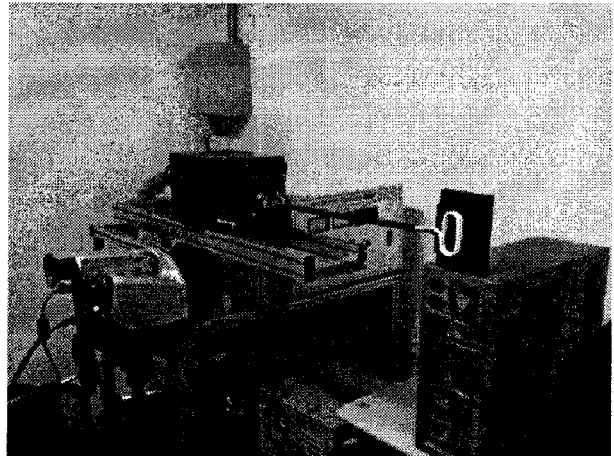


Fig. 1 Experimental setup for the induction heating

2.2 휴대폰 금형의 급속 가열

휴대폰 금형의 웰드라인 발생부를 가열하기 위해 타원형태로 코일을 제작하여 휴대폰 금형의 가열실험을 실시하였다. Fig. 2에 타원형 코일과 금형 캐비티간의 배치형태를 도시하였다. 가열시 금형표면의 온도분포는 열화상 카메라를 사용하여 측정하였으며, 이를 위해 금형 표면을 흑색 페인트로 도포한 후 실험을 수행하였다.

고주파 유도가열 실험조건은 160kHz로 3초간 가열하는 것으로 설정하였으며, 이때 고주파 가열기의 출력은 2.5kW로 설정하였다. Fig. 3에 고주파가열 진행 과정에서 열화상카메라로 측정된

금형표면의 온도분포를 시간대별로 도시하였다. 온도분포를 관찰하면 코일 주변을 중심으로 온도상승이 시작되어 3초 경과시 최대 140℃ 이상 온도가 상승함을 알 수 있다. Fig. 4에 가열후 자연대류에 의한 냉각과정에서 열화상카메라로 측정된 금형표면의 온도분포를 시간대별로 도시하였다. 온도분포를 관찰하면 금형표면의 온도저하가 급속하게 진행되어 3초 경과시 최대 90℃ 이하로 온도가 감소함을 알 수 있으며, 이러한 온도저하 속도는 자연대류 상태에서의 냉각이 진행됨을 감안할 때 매우 빠른 속도이다.

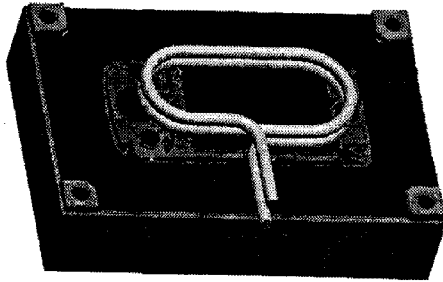


Fig. 2 An elliptically-turned induction coil to heat the mold surface

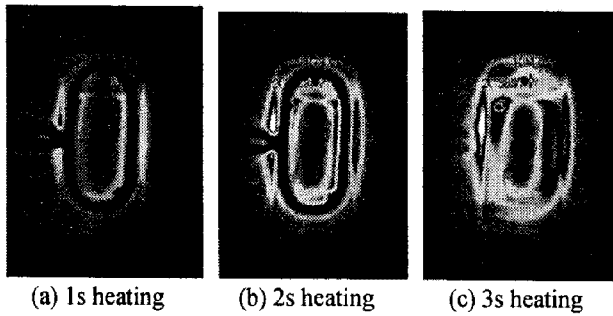


Fig. 3 Temperature distributions of mold surface during the heating stage

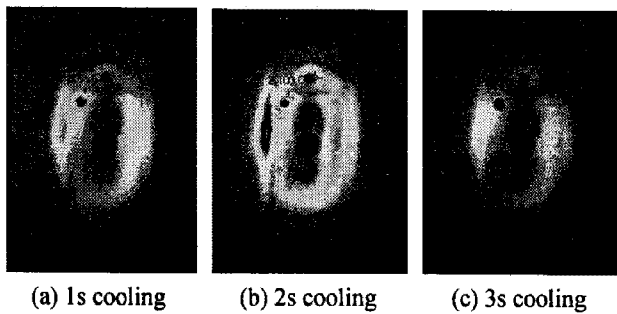


Fig. 4 Temperature distributions of mold surface during the cooling stage

3. 고주파 유도가열을 적용한 웰드부 개선

휴대폰 사출품의 웰드라인 발생부위 관찰을 위해 고주파 유도가열을 적용하지 않은 상태에서 시사출을 실시하였다. 수지는 PC(Starex HF-1023I, Cheil Industries Inc.)를 사용하였으며, 사출 온도는 310℃, 금형온도는 100℃, 사출시간은 1초로 설정하였다. Fig. 5에 시사출된 휴대폰 제품의 웰드라인 형상을 부위별로 확대하여 도시하였다. 웰드부 형상은 광학현미경(배율: 30배)으로 측정하였으며, 웰드라인의 형상이 선명하게 나타나 제품 표면의 외관을 저해함을 알 수 있다.

상기 제품의 웰드라인을 개선하기 위해 고주파 가열을 적용하여 사출성형을 실시하였다. 가열조건으로는 출력 2.5kW 에 5초간 유도가열을 실시하였으며, Fig. 6에 해당 조건에서의 웰드발생부의 형상을 확대하여 도시하였다. Fig. 5의 결과와 비교할때 전반적으로 웰드라인이 육안으로 확인이 어려울 정도로 현저하게 줄어 고주파 가열에 의한 웰드라인 개선 효과를 확인할 수 있었다.

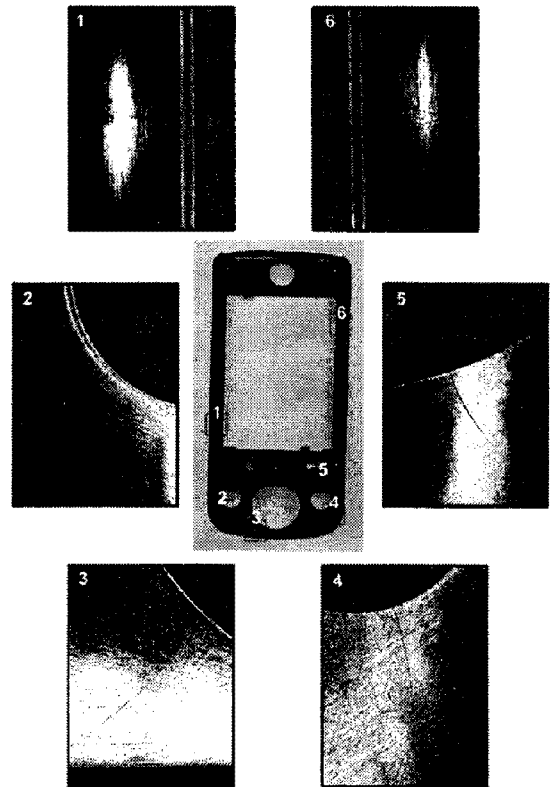


Fig. 5 Enlarged photographs of weldlines for a mobile phone cover (w/o induction heating)

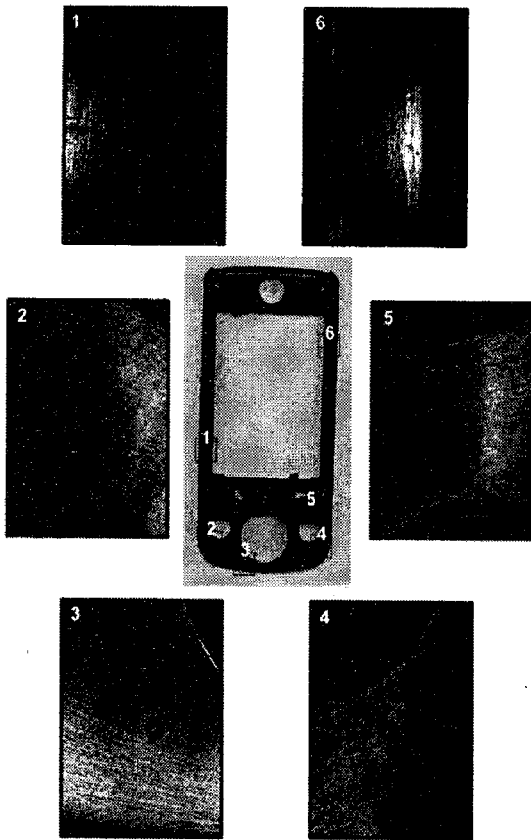


Fig. 6 Enlarged photographs of weldlines for a mobile phone cover (with induction heating)

4. 결 론

이상으로 본 연구에서는 고주파 유도가열기법을 적용하여 사출금형을 급속으로 가열함으로써 휴대폰 제품의 웰드라인을 개선하기 위한 연구를 수행하였다. 타원형 코일을 사용하여 휴대폰 금형의 유도가열을 실시한 결과 최대 40℃/s의 가열효율을 얻을 수 있었으며, 가열 직후 자연 대류 상태에서 최대 20℃/s의 온도감소가 발생하여 금형표면의 급속가열 및 냉각이 가능함을 확인할 수 있었다. 상기 고주파가열을 휴대폰 사출성형에 적용하여 기존에 발생되었던 웰드라인을 육안으로 확인이 되지 않을 정도로 감소시킴으로써 생산성을 크게 저하시키지 않으면서도 성형품의 외관을 개선할 수 있는 것으로 확인되었다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 중소기업기술혁신사

업 및 (주)모베이스의 지원으로 수행된 연구결과로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Tomari, K., Tonogai, S., Harada, T., Hamada, H., Lee, K., Morii, T., and Maekawa, Z., 1990, "The V-Notch at weld lines in polystyrene injection molding," *Polym. Eng. Sci.* Vol. 30, pp. 931~936.
- [2] Selden, R., 1997, "Effect on processing on weld line strength in five thermoplastics," *Polym. Eng. Sci.* Vol. 37, pp. 205~218.
- [3] Kim, J. K., Song, J. H., Chung, S. T., and Kwon, T. H., 1997, "Morphology and mechanical properties of injection molded articles with weld lines," *Polym. Eng. Sci.* Vol. 37, pp. 1202~1210.
- [4] Tosello, G., Gava, A., Hansen, H. N., Lucchetta, G., and Marinello, F., 2009, "Characterization and analysis of weld lines on micro-injection moulded parts using atomic force microscopy (AFM)," *Wear*, Vol. 266 pp. 534~538.
- [5] 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.
- [6] Kim, S., Shiau, C. S., Kim, B., and Yao, D., 2007, "Injection molding nanoscale features with the aid of induction heating," *Polym. Plast. Tech. Eng.*, 46, 1031~1037.
- [7] Chen, S. C., Jong, W. R., and Chang, J. A., 2006, "Dynamic mold surface temperature control using induction heating and its effects on the surface appearance on weld line," *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 101, pp. 1174~1180.
- [8] Park, K. and Kim, Y. S., 2009, "Effect of mold temperature on mechanical properties of an injection-molded part with microfeatures," *J. Polym. Engng.*, Vol. 29, pp. 135~154.