

전화기 케이스 외관의 Weldline 제거를 위한 금형 급속 가열-냉각 기술 개발

차백순^{1, #}, 박형필^{1, 3}, 이상용¹, 김옥래¹, 이승욱², 이병욱³

Development of rapid mold heating & cooling technology to remove weldline on surface appearance in telephone case

B. S. Cha, H. P. Park, S. Y. Lee, O. R. Kim, S. W. Lee and B. O. Rhee

Abstract

Painting process or coating with acrylic film may improve the surface defects of injection molded parts deteriorated by weldlines, flow marks, and etc. However such processes increase the production costs and increase environmental problems. Recently various types of rapid mold heating & cooling technology have been developed in order to improve surface quality of products. In this study, the heating & cooling performance of a telephone case mold is investigated by heat transfer analysis, in which the rapid mold heating & cooling technology is applied. The surface temperature of the mold was measured using thermal image camera and compared with analysis results. The influence of the rapid mold heating & cooling technology on weldline appearance and cycle time increase was also examined.

Key Words : Rapid Mold Heating & Cooling, Heat Transfer Analysis, Weldline, Cycle Time, Injection Molding

1. 서론

전자제품은 외관 품질에 대한 요구사항이 매우 높은 제품이나, 다수의 홀이 존재하고, 다수의 게이트를 사용하는 이유 등으로 제품 표면에 항상 웰드라인(Weldline)이 발생된다. 웰드라인은 제품의 외관품질을 저해하기 때문에 이를 개선시키기 위한 방법으로, 현재는 도장 공정이나 고광택 아크릴시트를 붙이는 번거로운 후 가공을 통하여 최종 제품을 생산하고 있다. 그러나 후 공정은 제품단가의 상승 및 생산성 저하의 주원인이 되며, 특히 도장공정은 환경문제로 인하여 정부 규제가 적용되고 있는 실정이다. 현재까지 후공정을 대체하며, 제품의 외관 품질 향상을 위한 기술로는 일본에서 개발된 RHCM(Rapid Heat Cycle Molding) 기술을 들 수 있다. 이 기술은 금형의 냉각에 사용되는 회로에 고온 수증기와 냉수를 유동시켜 급속 가열-냉각 공정을 사용하는 상용화된 기술이다.

그러나 온도가 다른 2가지의 작동유체를 순환시켜야 하므로 수증기를 만들 수 있는 보일러 및 냉각수 가동 시스템이 필요하며, 성형 싸이클 신호를 받아 작동이 이루어져야 하기 때문에 사용 중 오작동이 빈번히 발생하는 문제가 있다. 미국에서는 고주파를 이용하여 1초에 100℃ 이상의 온도로 금형을 급속 가열하는 RTR(Rapid Thermal Response molding)성형 기술을 개발하였으나[1], 적용 범위가 단순한 형상의 제품에 국한되어 있어 적용범위가 넓지 않은 단점이 있다. 국내에서는 MmSH(Momentary mold Surface Heating process) 기술이 개발되었으나[2], 프로판가스를 점화하여 사용하기 때문에 안전성 문제, 가열 형판의 별도 가공 및 금형수명 등의 문제로 상용화 되지 못하였다. 또한 특수 온도조절기를 이용한 가압열수방식이 제안되었지만, 다른 기술과 유사하게 설비의 복잡성과 온/냉수 공급 제어기의 오작동 문제로 인하여 적용에 한계를 가지고 있다.

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀

2. 엔지니어스랩

교신저자: 한국생산기술연구원 정밀금형팀

E-mail: bscha@kitech.re.kr

이렇듯 제품의 외관 품질 향상을 위하여 국내/외에서 많은 기술개발이 이뤄지고 있지만, 복잡한 부대 장비와 불 안전한 생산성 등의 공통적인 단점을 가지고 있다[3-5].

본 연구에서는 외관 품질이 중요한 전화기 케이스를 대상으로 웰드라인 제거 및 외관 품질향상을 위한 급속 가열-냉각 금형을 개발하였다. 이를 위하여 가열 및 냉각에 대한 금형 구조의 열전달 해석을 수행하여 금형의 가열온도 분포 및 가열특성에 대하여 알아보도록 하였다. 또한 급속 가열 시 금형온도 분포의 측정을 통하여 균일 가열을 위한 금형 내 카트리지 히터 배치에 대한 평가를 진행하였으며, 일반사출성형과의 비교실험을 통하여 실제 현장 적용의 가능성에 대하여 알아보았다.

2. 금형설계 및 CAE 해석

2.1 급속 가열-냉각 금형설계

Fig. 1 에는 급속 가열-냉각 성형 공정의 개념도 및 3 차원 금형 설계도와 가열 온도 제어를 위한 온도센서 위치를 나타내고 있다.

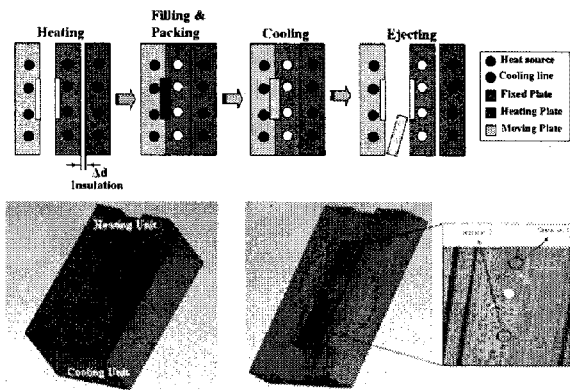


Fig. 1 Rapid Heating & Cooling Process and 3D model of Telephone mold.

본 연구의 대상품인 전화기 케이스는 다수의 리브와 홀이 존재하여 성형 중에 항상 웰드라인이 발생된다. 금형 급속 가열-냉각을 통한 웰드라인 제거를 위하여 캐비티 플레이트에 카트리지 히터를 설치하였으며, 가열 시 열전도에 의한 열손실을 줄이기 위한 방법으로 가열 캐비티 플레이트와 고정측 냉각 플레이트에 Δd 의 공간을 두어 단열 효과를 이루도록 하였다. 가열이 끝난 후 금형이 닫힘과 동시에 냉각채널이 배치된 고정측 플레이트와 캐비티가 서로 접촉되며 급속히 냉각

되도록 하였다. 급속 가열 및 냉각 시 재료의 변색에 의한 제품의 광택도 저하를 방지하기 위하여 코어 재질을 HITACHI사의 Cenal과 두랄루민을 사용하였으며, 히터의 제어는 온도센서를 삽입하여 금형을 모니터링 함으로써 설정된 온도로 제어되도록 하였다. 또한 사출성형 중 발생하는 가스는 웰드라인의 형성에 큰 영향을 미치기 때문에 다수의 가스빼기를 설치하여 이를 개선하도록 하였다.

Fig. 2에는 급속가열/냉각을 고려한 금형설계도를 보여주고 있으며, 양산에 적용되는 방식과 동일하게 핫 런너(Hot runner) 밸브게이트(Valve gate)를 적용하도록 하였다.

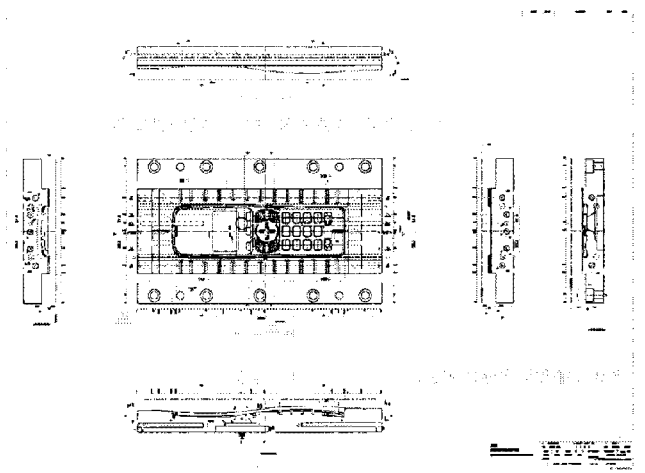


Fig. 2 Drawing of telephone case mold

2.2 급속 가열-냉각 CAE 해석

급속 가열-냉각에 의한 온도 분포, 열전달 방향 및 일정 위치에서의 온도 변화를 예측을 위하여 금형의 가열 및 냉각에 대한 열전달 해석을 수행하였다. 가열 해석의 경우는 열용량 $60W/cm^2$ 히터에 의해서 금형을 가열시키는 단계로 가열부의 초기 온도는 $60^\circ C$, 공기의 온도는 상온으로 설정하여 Sensor 부의 온도가 $150^\circ C$ 까지 상승하는 시점까지 진행 하였다. 냉각 해석은 가열 후 금형이 닫히며 냉각부와 가열부가 맞닿으며 냉각이 진행되기 때문에 금형 전체에 대하여 해석을 진행하였다. 수지가 충전되고 냉각부 내의 냉각채널을 통해 $25^\circ C$ 의 냉각수가 흐르면서 금형을 냉각시키기 때문에, 초기 조건으로 몰드부의 수지 온도는 $220^\circ C$, 냉각부의 온도는 $25^\circ C$ 로 설정하였다.

Fig. 3 은 금형 가열 시 시간에 따른 금형 표면의 온도 분포를 보여 주고 있다.

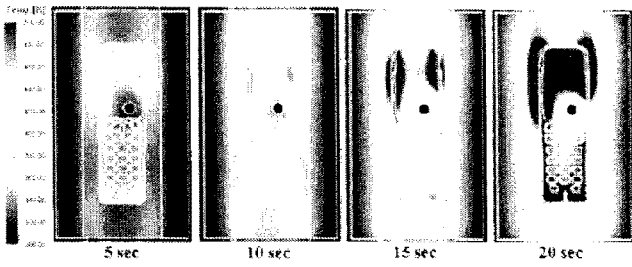


Fig. 3 Temperature distribution of the mold surface

금형 표면온도의 경우 가열이 진행되며 히터가 설치된 부위를 중심으로 급속히 가열되고 있으나, 다른 부위에 비해서 금형의 중간 부분 온도가 낮은 경향을 보였다. 이것은 금형 구조 상 중간 부분에 위치한 핫 런너(Hot Runner)로 인하여 히터 설치에 제약을 받기 때문이다.

Fig. 4 는 가열 시간에 따른 금형 가열부의 내부 단면 온도 분포를 보여 주는 것으로, 히터간의 거리가 짧은 곳부터 열이 집중되었다.

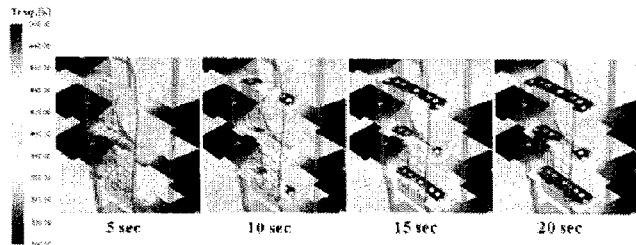


Fig. 4 Temperature distribution of the section for inner mold

이를 통하여 간격이 좁은 부위에 설치된 히터의 경우 열효율을 고려하여 다른 부위의 히터 온도보다 상대적으로 낮추어 줄 필요가 있을 것으로 판단하였다. 이는 금형의 온도편차를 줄여주는 것이 제품의 변형을 줄여 줄 수 있으며, 제품의 백화 현상에도 영향을 주기 때문이며, 특히 금형 표면의 큰 온도 차이는 제품외관의 광택차이를 유발시키기 때문이다.

Fig. 5 에는 금형 급속 가열-냉각 공정에 따른 금형의 온도 분포를 나타낸 결과로써, 가열 공정 동안 가열부는 냉각부와 Δd 의 간격으로 떨어져 10 초 동안 가열이 진행되고 가열이 종료된 후 냉각부는 가열부와 맞닿으며 급속하게 냉각이 진행되는 것을 확인 할 수 있다. Fig.6은 금형 급속 가열-냉각 시 시간에 따른 센서부의 온도 그래프를 보여 주는 것으로써, 가열이 종료 후 약 10 초가 지난 후에도 온도가 거의 내려가지 않고 유지되는 것을 볼 수 있는데 이것은 냉각 해석 시 적용된 수지의 온도와 가열 종료 후에도 일정시간 유지되는 히터의 온도 때문으로 판단된다.

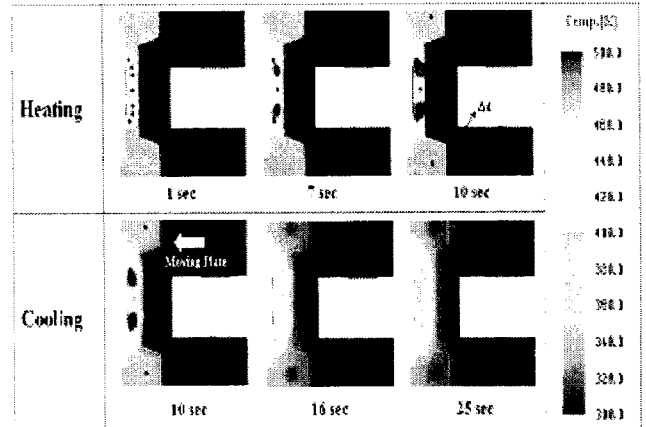


Fig. 5 Temperature distribution according to heat & cool mechanism

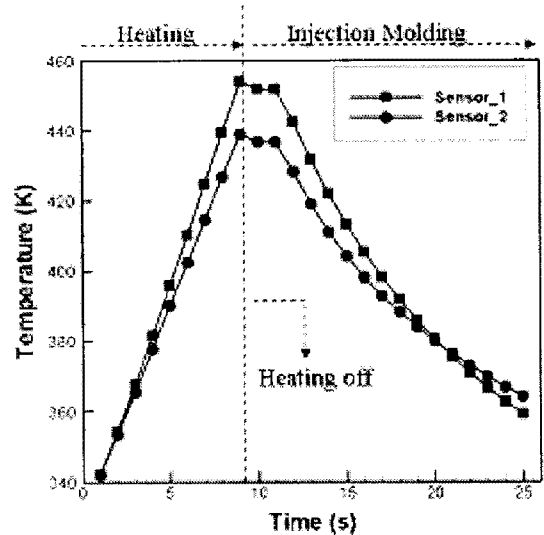


Fig. 6 Temperature profile according to Heat & cool mechanism

3. 사출성형실험

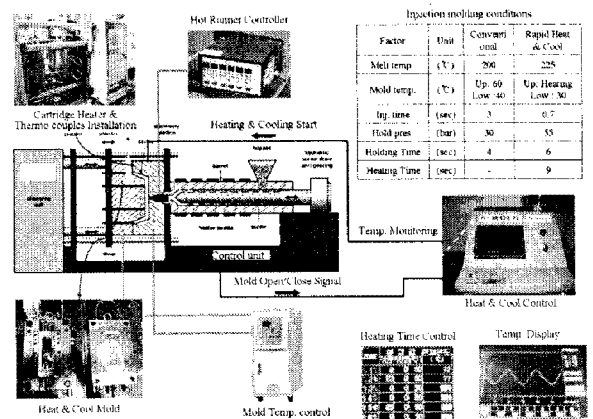


Fig. 7 Schematic of rapid heating & cooling experiment

전화기 케이스 금형의 급속 가열-냉각 해석을 통하여 설계된 금형의 가열 히터의 위치 및 냉각 채널의 효과에 대한 분석 결과를 금형 제작에 반영하였으며, 나다이노베이션의 E-Mold 장비를 이용하여 금형 급속 가열-냉각 공정을 제어하였다.

Fig. 7 에는 금형 급속 가열-냉각 사출성형실험의 개념도를 나타내고 있다. 사출성형기는 우진세렉스의 Selex-s50 을 사용하였으며, 수지는 Cheil - Starex HF-0680 을 사용하였다.

3.1 급속 가열-냉각 사출성형실험

Fig. 8(a)는 일반사출성형을 통하여 생산된 전화기 케이스를 보여주고 있다. 다수 버튼 홀의 영향으로 웰드라인이 발생되고 있음을 확인 할 수 있다. 또한 웰드라인 폭을 측정한 결과, 게이트에 가까운 부위의 웰드라인은 약 0.01mm 의 폭을 가지고 있었으며, 충전말단부의 웰드라인은 약 0.04mm 로 폭이 상대적으로 크게 나타남을 확인 할 수 있었다. 이는 유동 중 고화된 수지가 충전 말단부에서는 게이트 가까운 부위보다 용융수지 온도가 낮아 발생된 것이며, 또한 충전 말단부의 불충분한 보압 전달로 인한 곰보현상으로 외관 품질이 저하됨을 알 수 있었다. Fig. 5(b)에는 급속 가열-냉각 공정 적용 후의 제품을 보여주고 있다. Fig. 5(a)와 다르게 웰드라인이 형성되지 않음을 확인 할 수 있다. 이는 급속가열을 통하여 금형온도가 적용수지의 유리전이온도 이상으로 가열되어 유동 중 고화층 발생 없이 충전이 완료되어 상대적으로 효과적인 보압전달이 이루어져 웰드라인이 없어진 것으로 판단된다.

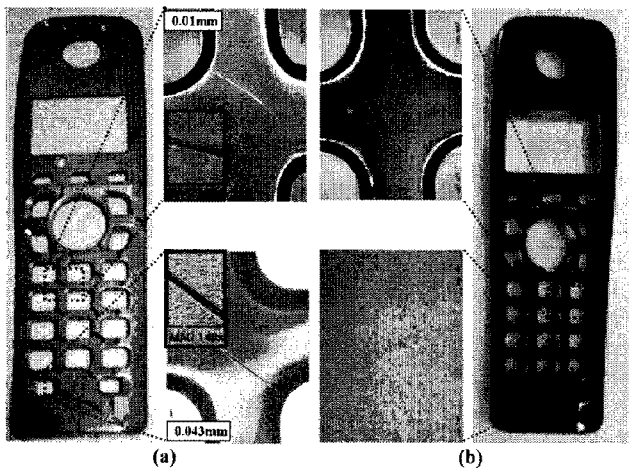


Fig. 8 Comparison of weld-lines (a) Conventional injection molding (b) Rapid Heat & Cool Mold

Fig. 9 에는 금형 급속 가열-냉각 공정 전과 후의 성형사이클 비교를 나타내고 있다. 일반적으로

급속 가열-냉각 성형은 고품질의 외관 제품 생산에 큰 장점을 가지고 있지만, 성형 사이클이 상당히 길어지는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에 적용된 급속 가열-냉각 성형 사이클에 대해서 일반 사출성형과 실험을 통하여 비교해 보았다. 실험 결과 일반사출의 경우 후공정을 제외한 성형 사이클 시간이 26 초가 소요됨을 확인 할 수 있었다. 또한 웰드라인 제거를 위하여 금형온도를 승온 할 경우에는 웰드라인 제거는 가능하지만, 제품 냉각에 과도한 시간이 소요되어 양산공정에는 적합하지 않음을 알 수 있었다.

금형 급속 가열-냉각 공정을 적용한 경우는 전체 성형 사이클은 29.7 초가 소요되었으며, 일반사출성형 사이클에 비해서 약 12.45% 정도 길어짐을 알 수 있었다. 그러나 일반사출성형과는 다르게 금형의 급속한 가열을 통하여 웰드라인이 없는 표면 품질이 우수한 제품을 생산할 수 있기 때문에, 기존의 후 공정으로 인한 물류비, 작업시간, 인건비 및 도장비용을 줄 일 수 있는 큰 장점을 가질 것으로 판단된다.

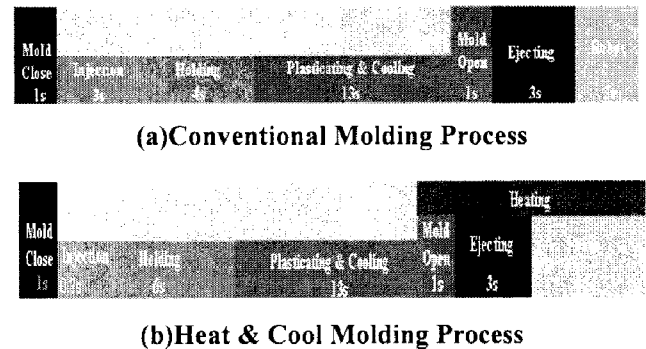


Fig. 9 Comparison of Injection Molding Process

4. 결 론

카트리지 히터를 이용한 전화기 케이스의 금형 급속 가열-냉각을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다

(1) 카트리지 히터를 이용한 급속 가열-냉각 금형에 대하여 가열부, 냉각부, 전체 몰드부에 대한 열전달해석을 통하여 카트리지 히터의 위치에 따른 금형온도 분포와 가열 및 냉각공정에서의 금형온도 분포를 확인할 수 있었다.

(2) 사출성형실험을 통하여 급속 가열-냉각 공정을 사용하였을 경우가 일반사출성형에 비하여 약 12.45% 정도의 성형 사이클 시간이 증가됨을

확인 하였으나, 일반 사출성형에서의 후 공정을 고려한다면 본 연구에서 적용된 급속 가열-냉각 금형이 양산공정에 더욱 효과적으로 적용될 수 있음을 확인 할 수 있었다.

(3) 일반 사출공정에서는 웰드라인의 발생이 게이트 가까운 지점은 약 0.01mm 의 크기를, 그리고 게이트에서 먼 지점에서는 0.04mm 크기의 웰드라인이 나타났으나, 급속가열/냉각 공법을 사용한 제품의 경우 동일지점에서 웰드라인이 형성되지 않음을 확인 하였다.

후 기

본 연구는 한국생산기술연구원 생산기술연구사업의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] O. K. Kwon, H. T. Jeong, J. H. Yun and K. Park, 2007, A Study on Rapid Mold Heating System using High-Frequency Induction Heating, KSME, Vol. 31, No. 5, pp.594-600.
- [2] D. H. Kim, M. H. Kang and Y. H. Chun, 2001, Development of a new injection molding technology: Momentary Mold Surface Heating process, Journal of injection molding technology, Vol. 5, No.4, pp.229~232.
- [3] P. C. Chang and S. J. Hwang, 2006, Experimental investigation of infrared rapid surface heating for injection molding. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 102, No.4, pp. 3704~3713.
- [4] S. C. Chen, W. R. Jong, and J. A. Chang, 2006, Dynamic mold surface temperature control using induction heating and its effects on the surface appearance of weld line. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 101 No.2, pp. 1174~1180.
- [5] K. M. B. Jansen, 1995, Heat-Transfer in Injection-Molding Systems with Insulation Layers and Heating Elements. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 38, No.2, pp. 309~316.