

가변 금형온도 제어기법을 적용한 사출금형의 냉각성능 고찰[§]

손 동 휘* · 박 근**†

* LG 생산기술원 금형기술센터, ** 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

Investigation of Cooling Performance of Injection Molds Using Pulsed Mold Temperature Control

Dong Hwi Sohn* and Keun Park**†

* Mold Technology Center, LG Production Engineering Research Institute

** Dept. Mechanical System Design Engineering, Seoul Nat'l Univ. Sci. Tech.

(Received June 25, 2012 ; Revised August 20, 2012 ; Accepted August 30, 2012)

Key Words: Injection Molding(사출성형), Mold Temperature(금형온도), Pulsed Mold Heating and Cooling(가변 금형가열/냉각), Multi Cycle Analysis(다중사이클 해석), Numerical Analysis(수치해석)

초록: 금형온도는 사출성형시 수지의 유동특성이나 성형품의 변형에 영향을 미치는 중요한 변수로서, 고온의 수지 주입과 냉각회로에 주입되는 냉각수의 영향을 받아 사출 사이클이 반복될수록 온도의 상승과 하강이 반복되는 주기적인 변화특성을 가지고 있다. 본 연구에서는 금형 냉각회로에 저온과 고온의 유체를 번갈아 주입하는 가변 금형온도 제어기법을 적용하여 성형전에는 금형온도를 높게 유지하고 성형후에는 낮게 유지함으로써 사출성형시 품질과 생산성을 동시에 높일 수 있는 연구를 수행하였다. 특히 열전달-유동해석을 연계한 다중사이클 사출성형 과도해석을 수행하여 수지와 금형, 냉각수간의 과도적인 온도변화를 수치적으로 고찰하였고, 기존 냉각방법과의 해석결과를 비교하여 제안된 가변 금형온도 제어기법의 가열 및 냉각과정에서의 효율성을 비교하였다.

Abstract: In injection molding, the mold temperature is one of most important process parameters that affect the flow characteristics and part deformation. The mold temperature usually varies periodically owing to the effects of the hot polymer melt and the cold coolant as the molding cycle repeats. In this study, a pulsed mold temperature control was proposed to improve the part quality as well as the productivity by alternatively circulating hot water and cold water before and after the molding stage, respectively. Transient thermal-fluid coupled analyses were performed to investigate the heat transfer characteristics of the proposed pulsed mold heating and cooling system. The simulation results were then compared with those of the conventional mold cooling system in terms of the heating and cooling efficiencies of the proposed pulsed mold temperature control system.

1. 서 론

사출성형은 고분자 소재를 고온에서 가소화시켜 금형 내부에 고속, 고압으로 분사하여 금형 캐비티 내부를 채워 제품을 성형하는 공정이다. 사출성형시 성형제품의 품질 및 생산성 향상을 위해서는 유동안내부의 위치, 냉각회로의 위치 등의 금형설계 변수와 사출압, 사출온도, 금형온도, 보압

등의 성형공정 변수들에 대한 고찰이 필요하다.⁽¹⁾ 상기 공정변수중 금형온도는 고분자 수지의 유동 특성 및 충전완료 후 금형 내부의 열전달 특성에 영향을 미치는 중요한 변수로서 제품의 유동성 및 품질, 생산성 등에 영향을 미치고 있다.⁽²⁾

사출성형시 금형온도 조절을 위해 일반적으로 냉각회로(Cooling channel)에 냉각수로 통칭되는 온도조절용 유체(냉수, 온수, 오일 등)를 주입하는 방식을 사용하고 있다. 냉각회로에 고온의 유체를 주입하여 금형의 온도를 상승시키면 수지의 성형성 향상으로 성형품의 품질향상을 기대할 수 있으나, 금형의 냉각시간 증가로 인하여 결과적으로 생산성 하락의 원인이 된다. 반대로 냉각회로에

§ 이 논문은 2012년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2012. 6. 26.-27., 대전컨벤션센터) 발표논문임.

† Corresponding Author, kpark@seoultech.ac.kr

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

저온의 유체를 주입하여 온도를 하강시키면 냉각 효율은 향상되나 수지의 성형성 하락으로 인한 미성형 등의 문제가 발생할 수 있다. 최근에는 금형을 효율적으로 가열하기 위해 급속 금형가열(Rapid mold heating)을 적용하여 금형 성형부 표면만을 급속 가열하여 성형성 향상 및 웰드라인 개선시킨 연구가 진행되어 왔고,^(3~5) 또한 냉각회로에 냉수와 온수를 교대로 주입하여 주입하여 냉각 효과 상승 및 성형품의 후변형을 개선한 연구 사례가 있다.^(6,7)

본 연구에서는 사출성형시 금형온도의 효율적인 관리를 위해 고온과 저온의 유체를 번갈아 주입하는 가변 금형가열/냉각(Pulsed mold heating and cooling)방식을 적용한 사출성형에 대해 고찰하고자 한다. 상기 방식은 성형전에는 온수를 주입하여 금형 냉각회로에 금형온도를 높게 유지하고 성형후에는 냉수를 주입하여 낮게 유지함으로써 사출성형시 품질과 생산성을 동시에 높일 수 있는 방법으로 단일 냉수 혹은 온수를 순환시키는 기존의 냉각방법에 비해 효율적인 금형온도의 제어가 가능하다.

본 연구에서는 유한요소법 기반 수치해석을 통해 상기 가변 금형온도 제어기법의 열전달 특성을 고찰하고자 한다. 특히 금형온도가 충전 단계에서 주입되는 고온의 수지에 의하여 상승하고 냉각 단계에서 냉각수에 의해 하강하는 주기적인 변화를 보이는 점을 감안하여 다중 사이클(Multi-cycle) 해석⁽⁸⁾을 적용하여 수지와 금형, 냉각수간의 과도적인 온도변화를 고려하였다. 또한 해석 결과를 기존의 단일 온수순환 냉각방법과 비교하여 제안된 가변 금형가열/냉각방법의 온도변화 특성을 평가하고자 한다.

2. 사출성형의 과도적 온도변화특성 고찰

2.1 사출성형 해석모델 개요

본 연구에서는 전자부품 외관 형상의 사출성형 모델을 대상으로 금형 내부의 온도변화를 확인하기 위하여 사출성형 수치해석을 실시하였다. 사출성형품의 길이는 225 mm, 폭은 20 mm, 두께는 1.2 mm 이며, Fig. 1에 유동안내부를 포함한 사출성형 해석모델을 도시하였다. 사출성형의 수치해석은 Moldex-3D[®]10.0 을 사용하였으며,⁽⁹⁾ 과도적인 온도변화를 살펴보기 위하여 다중 사이클(Multi-cycle) 해석을 적용하여 수행하였다. 사용된 고분자소재는 제일모직 NH-100TG(PC/ABS), 사출금형의 재

질은 NAK 80 의 물성을 적용하였다. 냉각회로는 성형부 상/하부에 각각 4 개씩 설치(직경 8mm)하였으며, Fig. 2에 위치를 도시하였다. Table 1에 사출성형 조건을 요약하였으며, 냉각수 주입온도를 추가적으로 변화시켜가며 해석을 실시하였다.

2.2 냉각수 온도에 따른 금형온도변화 예측

냉각수의 온도가 금형온도의 과도적인 변화에 미치는 영향을 고찰하기 위해 Fig. 2의 금형에 주입된 냉각수 온도를 20℃(냉수 기준)와 90℃(온수 기준)로 변화시켜가며 사출성형 과도해석을 실시하였다. 또한 냉각수 자체의 효과를 분석하기 위해 냉각수를 주입하지 않은 경우에 대해서도 추가적으로 해석을 실시하였으며, 각각의 경우 총 15회에 걸친 다중사이클 해석을 실시하였다.

Table 1 Injection molding conditions

Molding conditions	Values
Melt temperature (°C)	260
Initial mold temperature (°C)	35
Injection time (s)	1.0
Packing time (s)	5.0
Cooling time (s)	10.0
Mold open time (s)	5.0

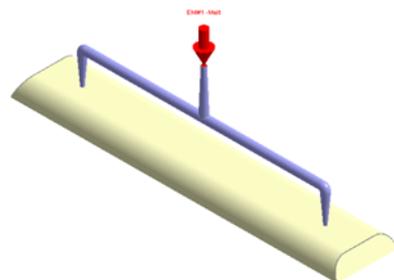


Fig. 1 Mold filling analysis model with delivery system

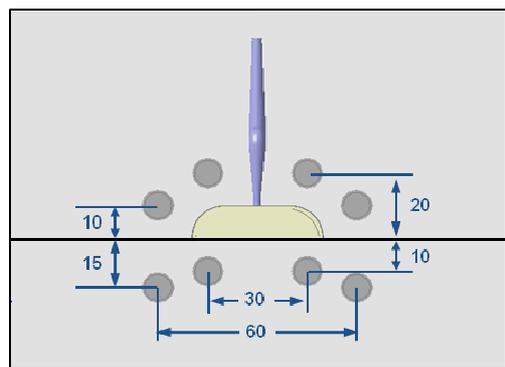


Fig. 2 Locations of the cooling channels in the mold

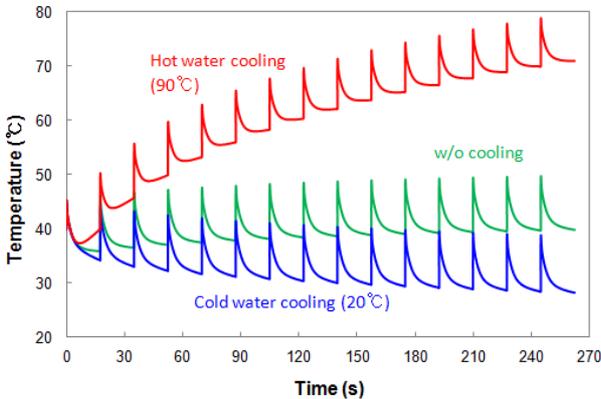


Fig. 3 Temperature variation profiles for the multi-cycle injection molding for various water temperatures

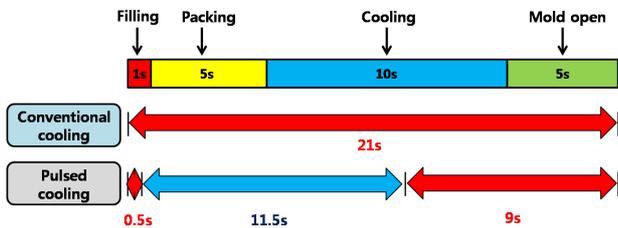


Fig. 4 Comparison cooling time of the conventional cooling and pulsed cooling methods

Fig. 3 에 3 가지 경우에 대한 금형표면의 온도 변화를 그래프로 도시하였다. 우선 냉각수를 주입하지 않은 경우(w/o cooling) 첫번째 사이클에서 수지주입시 금형표면의 최고온도가 45.2°C에 도달하고, 냉각종료시의 최저온도가 35.8°C로 예측된 반면, 마지막 사이클에서는 최고온도가 49.6°C, 최저온도가 39.8°C로 나타나 전체적으로 4°C 정도의 온도상승 효과를 보임을 알 수 있다. 냉수주입(Cold water cooling, 20°C)의 경우에는 마지막 사이클에서의 최고온도가 38.9°C, 최저온도가 28.3°C로 나타나 금형온도가 전체적으로 6°C 정도 하강함을 알 수 있다. 반면 온수주입(Hot water cooling, 90°C)의 경우 마지막 사이클에서의 최고온도가 78.8°C, 최저온도가 70.9°C로 나타나 금형온도가 전체적으로 30°C 이상 상승됨을 알 수 있다.

상기 결과로부터 금형내 온수를 주입하는 경우 금형의 온도를 상승시켜 적정 성형온도로 유지하는 역할을 수행함을 알 수 있다. 특히 냉각수를 주입하지 않은 경우에 비해 금형온도가 상승하는 점을 감안하면 금형의 냉각보다는 가열의 효과를 보이는 것으로 볼 수 있다. 이러한 특성은 금형온도를 적정 온도로 유지하기 위해서는 필수적이거나, 성형된 수지의 고화를 위한 냉각과정에서 냉각시간을 증가시켜 생산성을 저하시키게 된다.

3. 가변 금형온도 제어기법을 적용한 사출금형의 온도변화 특성 고찰

3.1 가변 금형온도 제어기법의 개요

가변 금형온도 제어(Pulsed mold temperature control) 기법은 사출성형기 기존의 금형온도조절기에 밸브를 구성하여 온수와 냉수를 선택적으로 순환시키는 방식으로, 동일한 냉각회로에 성형전에는 온수를 주입하여 금형온도를 높게 유지하고 성형후에는 냉수를 주입하여 금형의 냉각효과를 제고하는 방법이다.⁽⁷⁾ 본 연구에서는 가변 금형냉각을 적용한 경우의 금형온도 변화 특성을 기존의 온수를 순환시키는 일반 냉각방법(Conventional cooling)과의 비교를 통해 고찰하고자 한다.

Fig. 4 에 일반 냉각방식과 가변 냉각방식에서의 냉각수 주입시점의 차이에 대하여 도시하였다. 일반 냉각방식의 경우 전체 사이클 21 초 동안 온도 60°C의 온수를 연속적으로 주입하는 방법으로 설정하였고, 가변 냉각방식의 경우 80°C의 온수와 40°C의 온수를 교대로 주입하는 것으로 설정하였다. 즉 사이클 초반부 0.5 초 동안 80°C의 온수를 주입하고 그 이후 금형과 성형품 냉각을 위한 온도 40°C의 냉수를 11.5 초 동안 주입하였다. 이후 사이클이 종료될 때까지 다음 사이클을 위하여 금형온도를 재상승 시키기 위하여 80°C의 온수를 재주입하는 조건으로 해석을 진행하였다. 이때 주변 대기와의 대류열전달 효과를 고려하였고, 대기의 온도는 25°C로 설정하였다.

상기 2 가지 형태의 공정에서의 금형 및 성형부의 과도적인 온도변화를 고려하기 위하여 각각의 경우에 대해 다중사이클 해석을 적용하였다. 다중사이클 해석 종료조건은 성형부 금형표면 평균온도 변화량이 1% 이내일 때로 설정하였고, 최대 15 회의 사이클 반복회수를 적용하였다.

3.2 금형내부의 온도분포 비교

앞절에서 설정한 성형조건으로 일반 냉각방식과 가변 냉각방식의 사출성형 해석을 수행하여 금형내부의 온도분포를 비교하였다. Fig. 5 에 일반 냉각을 적용하였을 경우 최종 사이클 때의 시간별 금형내부 온도분포 변화에 대하여 도시하였다. 수지 충전후 0.5 초 경과시(1.5 초 해당) 성형부에 주입된 고온의 수지에 의한 열전달로 인하여 사출성형부 표면 주위의 금형온도가 최대로 상승(T_{max} : 68.3°C)하는 것을 Fig. 5(b)에서 확인할 수 있다. 이후 수지에 의해 발생된 열은 냉각회로를 통해 주

입된 냉수로 인해 빠져나가며 그에 따라 금형 온도도 하강하게 된다. 사이클 종료 직후(Fig. 5(d)) 금형내부 온도분포(60~67℃)는 사출단계 종료 후(Fig. 5(a)) 금형내부 온도분포와 비슷한 분포를 보임을 확인할 수 있다.

Fig. 6 에 가변 냉각방식을 적용하였을 경우 최종 사이클에서의 시간별 금형내부 온도분포 변화에 대하여 도시하였다. 역시 수지 충전후 0.5 초 경과시 성형품 표면 주위의 금형온도가 최대로 상승(T_{max} : 72.6℃)하는 것을 Fig. 6(b)에서 확인할 수 있으며, 일반 냉각의 경우에 비해 사출시 성형부 주변 금형온도가 4.3℃ 상승한 것을 알 수 있다.

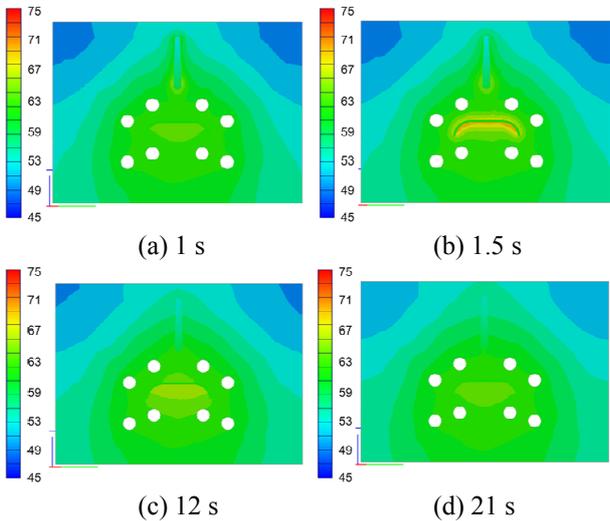


Fig. 5 Changes of the mold temperature distributions (conventional cooling, unit: °C)

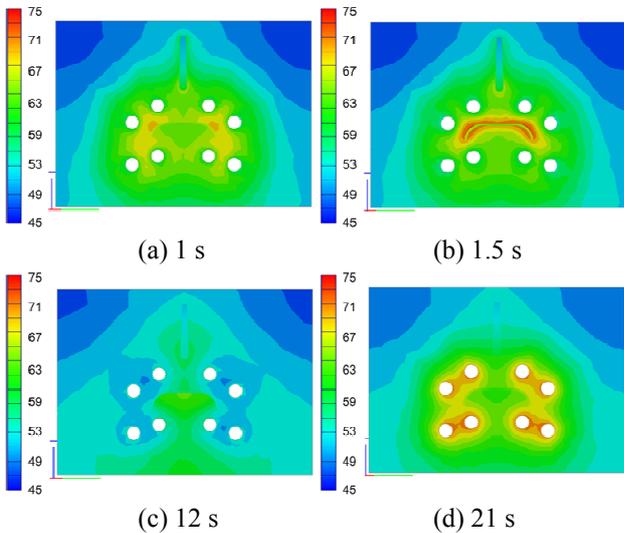
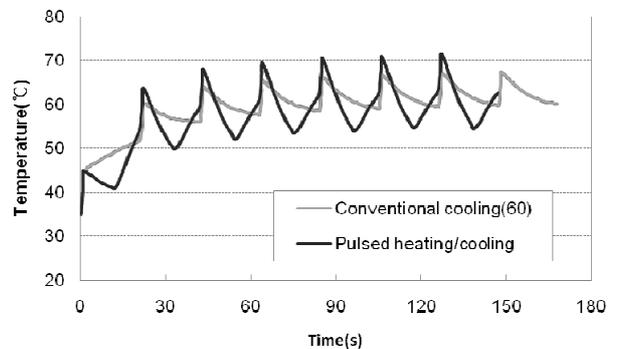


Fig. 6 Changes of the mold temperature distributions (pulsed cooling, unit: °C)

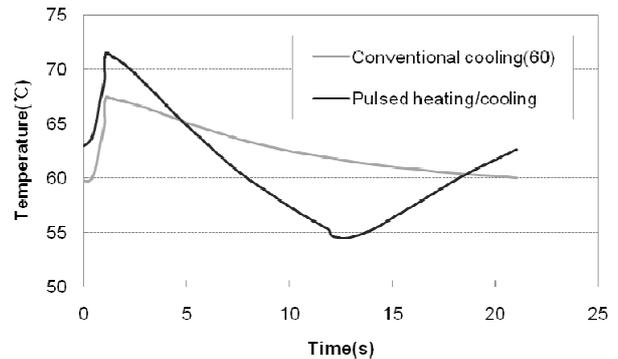
Fig. 6(c)를 보면 사이클 0.5 초 때부터 12 초 때까지 주입된 온도 40℃의 냉수로 인하여 성형부 금형온도가 일반 냉각 방식을 적용한 경우의 금형온도에 비하여 상대적으로 많이 하강된 것을 확인할 수 있다. 이후 사이클 12 초 때부터 재주입된 80℃의 온수로 인하여 금형온도가 재상승하여 사이클 종료 때 금형내부 온도분포를 살펴보게 되면 성형부 주변 금형온도가 사출단계와 비슷한 온도로 다시 상승한 것을 Fig. 6(d)를 통해 확인할 수 있다.

3.3 금형표면 평균온도 변화 비교

3.2 절에 기술된 금형내부 온도분포의 변화에 대해 정량적인 비교를 위하여 성형부 금형표면 평균 온도 변화를 측정하여 일반 냉각방식과 가변 냉각방식의 성형부 금형표면 가열 및 냉각효율을 비교하였다. Fig. 7 에 금형표면 평균온도 변화에 대하여 전체 사이클 및 최종 사이클 때의 온도변화를 그래프로 도시하였다. Fig. 7(a)를 보면 일반 냉각방식의 경우 금형표면 평균온도 변화의 주기적 거동이 사이클 반복 8 회, 가변 냉각방법의 경우 사이클 반복 7 회만에 수렴되는 것을 확인하였다.



(a) Total molding cycles



(b) The final molding cycle

Fig. 7 Comparison of mold surface temperature profiles

가변 냉각방식의 경우 일반 냉각에 비하여 금형 표면 평균온도가 한 사이클 안에서 상대적으로 더 많이 상승하고 하강하는 형태를 보이고 있으며, 보다 자세한 비교를 위해 Fig. 7 (b) 에 2 가지 방식에서의 최종 사이클 온도변화를 비교하였다. 최종 사이클을 비교한 결과 사이클 시작시 가변 냉각방법의 금형표면 평균온도가 일반 냉각에 비해 3.2℃ 높았고 수지충전 직후 가변 냉각의 경우 71.4℃, 일반 냉각의 경우 67.4℃로 가변 냉각의 경우 일반 냉각방법에 비하여 4℃ 정도 높은 것을 확인하였다.

냉각단계(12 초 경과시)에서의 금형온도 변화를 비교해보면 가변 냉각의 경우 성형부 평균온도가 54.4℃, 일반 냉각의 경우 61.7℃로 가변 냉각의 경우가 일반 냉각의 경우에 비해서 상대적으로 7.3℃ 정도 온도가 더 하강함을 확인하였다. 이는 수지충전 후 0.5 초 경과시부터 온도 40℃의 냉수가 주입되기 때문에 금형표면 평균온도의 냉각속도가 일반 냉각방법보다 상대적으로 높기 때문으로 분석된다. 또한 사이클 종료시 성형부 평균온도는 가변 냉각의 경우 62.5℃, 일반 냉각이 경우 60.0℃로 측정되어 가변 냉각방법 적용시 금형표면 평균온도가 일반 냉각방법에 비해 2.5℃ 높게 상승하는 것을 확인할 수 있다. 이는 사이클 12 초 이후에 주입된 온도 80℃의 온수의 영향으로 분석되며, 결과적으로 냉각단계에서의 냉각효율은 높아지면서도 사출 시작단계에서의 금형온도는 상승하는 효과를 보임을 알 수 있다.

3.4 사출성형품 내부의 온도변화 비교

앞절에서 기술한 금형온도의 변화가 수지온도에 미치는 영향을 분석하기 위해 사출성형품 내부의 특정위치에 대해 온도변화를 비교하였다. Fig. 8(a)에 성형품 내부의 온도분포를 보기 위한 성형물 중심부 단면 위치를 도시하였고, Fig. 8(b)에 일반 냉각방법을 적용한 경우 사이클 5 초 경과시 성형품 내부의 온도분포를 도시하였다. 해석 결과를 보면 그림에서 표시된 성형품 곡면의 온도가 다른 위치에 비하여 상대적으로 약 30℃ 정도 높게 나타나 곡면부의 수지 냉각속도가 상대적으로 낮다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 곡면부 위치의 냉각속도를 향상시키는 것이 냉각시간을 단축시킬 수 있을 것으로 예상된다.

온도변화의 정량적인 비교를 위해 Fig. 9 와 같이 곡면 표면부에서 0.2 mm 간격으로 성형품 중심부까지의 위치를 P1, P2, P3, P4 로 설정하고 각

위치별로 시간대별 온도변화를 살펴보았다. Fig. 10 에 전체 사이클동안 각 위치의 온도변화를 그래프로 도시하였다. 2 가지 결과 모두 성형물 표면부 (P1) 위치의 냉각속도가 가장 높고 중심부(P4) 위치의 냉각속도가 상대적으로 낮게 나타났으며, 중심에 위치한 P3 와 P4 위치의 온도변화 경향은 거의 동일한 것으로 확인되었다. 한편 일반 냉각방식의 결과(Fig. 10(a) 참조)를 보면 사이클이 진행됨에 따라 모든 지점에서 온도하강이 지속되어 수렴하는 형태를 보이는 반면 가변 냉각방식이 적용된 경우(Fig. 10(b) 참조) 모든 위치에서의 온도가 냉각종료시 최소치를 보였다가 이후 온수주입 과정에서 소폭 상승하는 경향을 볼 수 있다.

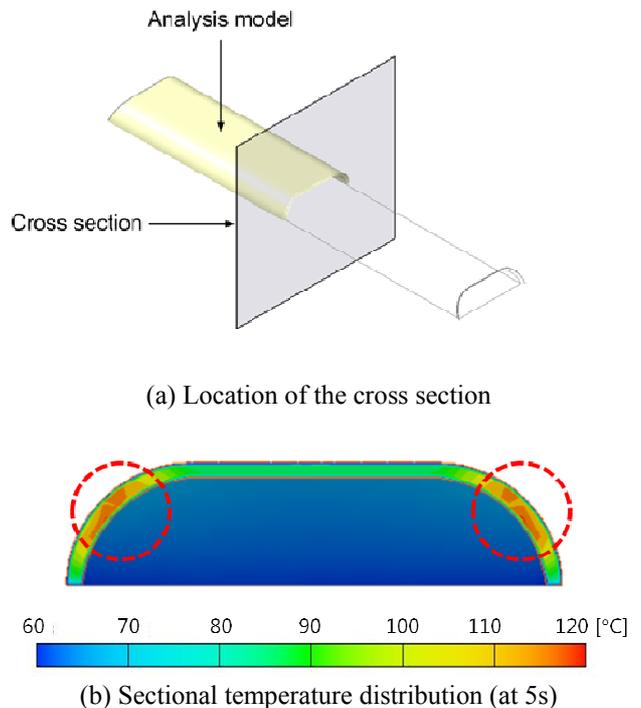


Fig. 8 Investigation of the cross-sectional temperature

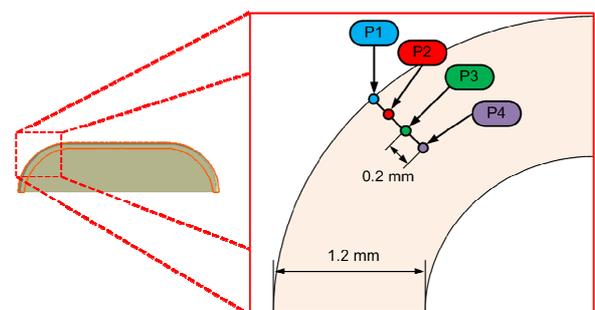
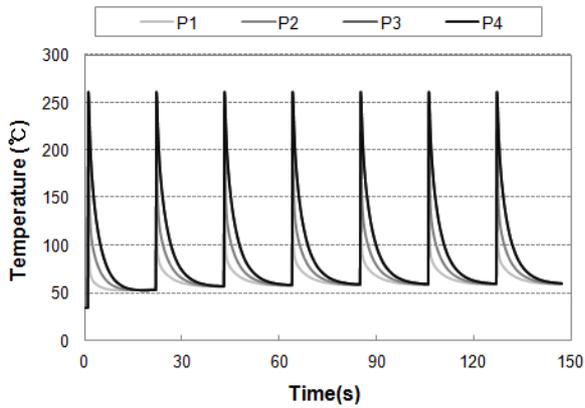
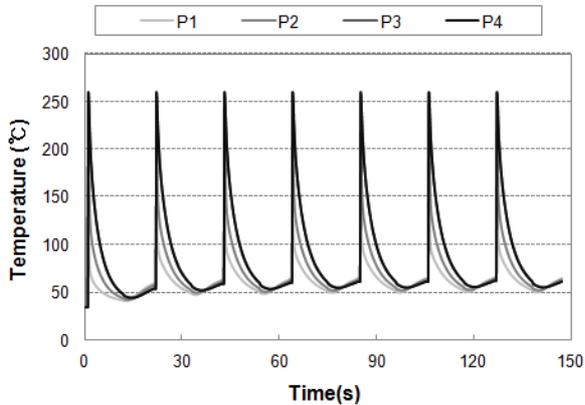


Fig. 9 Temperature measurement locations inside the mold cavity



(a) Conventional cooling



(b) Pulsed cooling

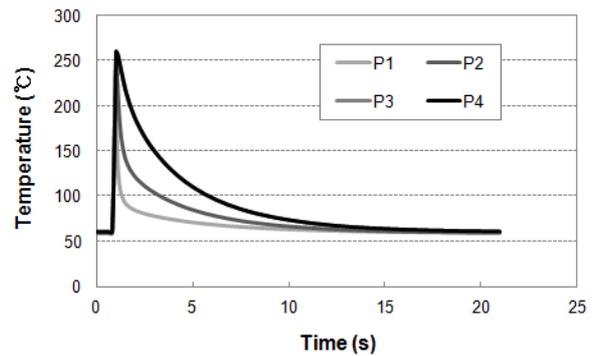
Fig. 10 Temperature profiles at various measurement locations

보다 자세한 온도 변화를 비교하기 위하여 Fig. 11 에 각 위치별 최종 사이클에서의 온도변화 그래프를 도시하였다. 최종 사이클 시작시 성형물 곡면부 표면위치(P1)의 초기온도를 비교하였을 때, 일반냉각의 경우 59.5℃, 가변냉각의 경우 65.9℃로 가변냉각의 경우가 일반냉각의 경우에 비하여 초기온도가 6.4℃ 정도 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 가변 냉각방식을 적용하였을 경우 일반 냉각방식의 경우에 비하여 더 높은 금형온도에서 사출이 가능하여 성형품의 품질을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

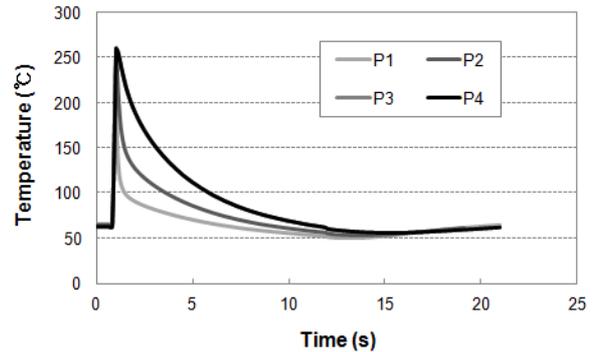
Table 2 에 사출 종료후 4 개 위치에서의 온도가 60℃에 도달하는데 소요되는 냉각시간을 비교하였다. 각 위치별로 비교해 본 결과 P1 위치에서 일반냉각의 경우 60℃에 도달하는 시간이 12.06 초로 예측된 반면 가변냉각의 경우 사이클 7.31 초 만에 도달하여 일반 냉각에 비하여 4.75 초 빨리 냉각되는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 냉각시간 단축 효과는 성형품 내부로 갈수록 점차적으로

Table 2 Comparison of the cooling time for each case

Measurement pts.	P1	P2	P3	P4
Conventional cooling (s)	12.06	14.69	17.35	17.51
Pulsed cooling (s)	7.31	9.52	11.85	11.92
Cooling time reduction (s)	4.75	5.17	5.50	5.59



(a) Conventional cooling



(b) Pulsed cooling

Fig. 11 Temperature variation profiles in the final cycle at various temperature measurement locations

증가하여 P4 에서는 냉각시간이 5.59 초 단축되어 가변냉각 방법을 적용한 경우 사출성형품 냉각을 위해 소요되는 시간을 단축시킬 수 있음을 확인하였다. 금형표면에 해당하는 P1 지점을 기준으로 계산할 때 4.75 초의 냉각시간 단축은 금형 개폐시간을 포함한 21 초의 전체 사이클의 22.6%에 해당하며, 해당 비율만큼의 생산성을 향상시키는 효과를 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 가변 금형온도 제어기법을 적용한 사출금형의 온도변화 특성을 수치적으로 고찰하였고, 기존의 일반 냉각방식 대비 금형가열 및 냉각특성을 비교하였다. 이러한 결과를 항목별로

요약하면 다음과 같다.

(1) 전자부품 사출성형 모델을 대상으로 다중사이클을 고려한 사출성형의 과도해석을 실시하였으며, 60°C의 냉각수를 연속적으로 주입하는 일반 냉각방식과 40°C의 냉수와 80°C의 온수를 교대로 주입하는 가변 냉각방식에 대해 해석을 수행하였다.

(2) 사출성형 초기단계의 금형온도를 비교한 결과 가변 냉각방식이 일반 냉각방법에 비하여 초기온도가 4.0°C 높게 나타났고, 성형품 초기온도는 6.4°C 높게 나타났다. 상기 결과는 성형과정의 유동성 및 성형품의 품질 관점에서 금형온도를 5°C 이상 높게 설정한 효과를 갖는 것으로 평가된다.

(3) 냉각단계의 최종온도를 비교한 결과 금형온도는 가변냉각이 일반냉각보다 7.3°C 정도 낮게 나타났고, 성형품 온도는 9.3°C 낮게 나타났다. 상기 결과는 냉각시간 단축을 통한 생산성 향상의 관점에서 금형온도를 8°C 이상 낮게 설정한 효과를 갖는 것으로 평가된다.

(4) 각각의 경우에 대해 냉각소요시간을 예측한 결과 가변 냉각을 적용한 경우 일반 냉각방식에 비해 4.75 초 단축시킬 수 있는 것으로 예측되었으며, 이는 전체 공정시간 기준으로 생산성을 20% 이상 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

후 기

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

(1) Park, K. and Ahn, J. H., 2004, "Design of Experiment Considering Two-Way Interactions and Its Application

to Injection Molding Processes with Numerical Analysis," *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 146, pp. 221~227.

(2) 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.

(3) Chen, S. C., Jong, W. R., Chang, J. A. and Cin, J. C., 2006, "Rapid Mold Temperature Variation for Assisting Micro Injection of High Aspect Ratio Micro-Feature Parts Using Induction Heating Technology," *J. Micromech. Microeng.*, Vol. 16, pp. 1783~1791.

(4) Park, K., Sohn, D. H. and Cho, K. H., 2010, "Eliminating Weldlines of an Injection Molded Part with the Aid of High-Frequency Induction Heating," *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 24, pp. 149~152.

(5) Park, K., Seo, Y. S. and Sohn, D. H., 2011, "Automated Mold Heating System Using High Frequency Induction with Feedback Temperature Control," *Int. Polym. Process.*, Vol. 26, pp. 490~497.

(6) Chen, S. C., Minh, P. S., Huang, S. W., Chiou, Y. C. and Wang, H. C., 2010, "Effect of Processing Parameters on Pulse Cooling Efficiency in Injection Molding," *SPE ANTEC.*, pp. 760~764.

(7) Chen, S. C., Targ, S. H. and Tseng, C. Y., 2010, "Using Pulsed Cooling to Reduce Cycle Time and Improve Part Warpage," *SPE ANTEC.*, pp. 1421~1425.

(8) Sohn, D. H., Kim, K. M. and Park, K., 2011, "Thermal-Fluid Coupled Analysis for Injection Molding Process by Considering Thermal Contact Resistance," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 35, No. 12, pp. 1537~1668.

(9) CoreTech System Co., 2008, *Moldex3D®: User's Manual*, Taiwan.

(10) Sohn, D. H., 2012, "Thermal-Fluid Coupled Analysis of Mold Filling Considering Heat Transfer Characteristics of Injection Molds," Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology.