

펠티에 소자를 이용한 급속 냉각시스템의 개발 Development of Rapid Cooling System using Peltier Device

장민규 · 이규호 · 노건철 · 정영득

M. K. Jang, G. H. Lee, K. C. Noh and Y. D. Jeong

(접수일 : 2009년 5월 8일, 수정일 : 2009년 6월 18일, 채택확정 : 2009년 7월 10일)

Key Words : Injection Mold(사출금형), Cooling(냉각), Rapid Cooling System(급속냉각시스템), Peltier Device(펠티에 소자)

Abstract : The Injection molding is used more than 70% of total production in plastic products. The injection molding process has 4 processes such as filling, packing, cooling and ejecting. now then, cooling process spends the most of times in Injection molding cycle time. Therefore, it is important to control the mold temperature in producing plastic products. The cooling system and time affect the product's quality and productivity. Especially, cooling time has about 60% of total injection cycle time. Therefore, we can improve a productivity by shortening cooling time. In this study, the rapid cooling system was developed and performed a efficiency test. This system could refrigerate coolant to 1°C and had to need 10 minutes for normal operating.

1. 서 론

플라스틱 재료를 대상으로 한 사출성형 제품은 전자제품, 자동차, 가정용 기구 등 많은 분야에서 사용되고 있으며, 우수한 품질의 제품을 양산하기 위해 지속적으로 사출성형 기술에 관한 연구개발이 이루어져 왔다. 플라스틱 제품은 압출이나 압축성형 등을 통하여 생산될 수 있으나 70% 이상이 사출성형을 통하여 생산되고 있다¹⁾. 사출성형시 성형조건은 플라스틱 제품의 품질 및 생산성을 결정할 정도로 영향이 크며, 그 중 제품 품질에 많은 영향을 미치는 수축이나 휨은 사출성형시 냉각과정에서 그 원인을 찾을 수 있다²⁾. 또한, 냉각과정은 사출성형시 전체 성형시간의 60% 이상을 차지할 정도로 가장 많은 성형시간을 필요로 한다. 따라서 냉각과정의 시간을 단축시킨다면 플라스틱 제품의 생산성이 대폭 향상될 것이며, 제품의 가격경쟁력도 높아지게 될 것이다³⁾.

본 연구에서는 사출성형용 금형에 유입되는 냉각

수의 온도를 펠티에(Peltier) 소자⁴⁾를 이용하여 급속하게 감소시킬 수 있는 급속 냉각시스템을 개발하였다.

급속 냉각시스템은 핫러너금형⁵⁾에서의 핫 매니폴드(hot manifold)가 있는 고정축의 급속냉각에 활용도가 높으며, 일반 콜드러너 금형에서도 핫스팟(hot spot)이 있는 부위의 국부냉각에 특히 그 활용도가 높을 것으로 예상된다. 본 연구에서 제시된 펠티에 소자를 사출금형에 적용한 사례는 기존 연구에서 찾아 볼 수 없으며, 본 연구가 펠티에 소자를 활용한 급속냉각의 최초 연구이다. 펠티에 소자란 1843년 프랑스의 펠티에가 발견한 열전현상으로 Fig. 1과 같이 n type 과 p type 을 접속하여 전류를 화살표 방향으로 흐르게 하면, n type의 전자는 전류의 방향과 반대로 흐르고, p type의 정공(전자의 빈자리)은 전류와 같은 방향으로 흐른다⁶⁾. 따라서 전자와 정공이 떠나는 부분은 열을 흡수하며, 전자와 정공이 모이는 부분은 열을 방출한다. 흡열부는 주위 온도를 하강시키며, 방열부는 주위온도를 상승시키게 되는 원리이다⁷⁾.

이것은 사출성형시스템 중에서 급속냉각을 통해 전체 사이클 타임 단축에 크게 기여할 것으로 기대된다⁸⁾.

정영득(책임저자) : 부경대학교 기계공학부
E-mail : ydjung@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6133
장민규 : 부경대학교 대학원
이규호, 노건철 : 부경대학교 기계공학부

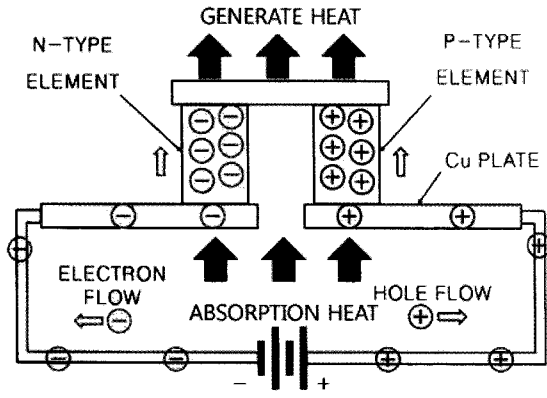


Fig. 1 Peltier effect

2. 급속냉각시스템의 구성

Fig. 2는 본 연구에서 개발한 급속냉각시스템의 구성도를 나타낸 그림이며, 급속냉각시스템을 통과한 냉각수의 온도 T_{out} 을 온도센서(S)를 통해 온도조절계(temperature controller)로 전달되며 온도조절계에서 지정된 온도 T_c 보다 높으면 펠티에 소자가 작동되어 냉각판을 냉각시킨다. 급속 냉각시스템에 의해 냉각된 냉각수는 급형으로 유입되며 펌프를 통해 급형에서 유출된 냉각수는 계속적으로 시스템 내를 순환하게 된다.

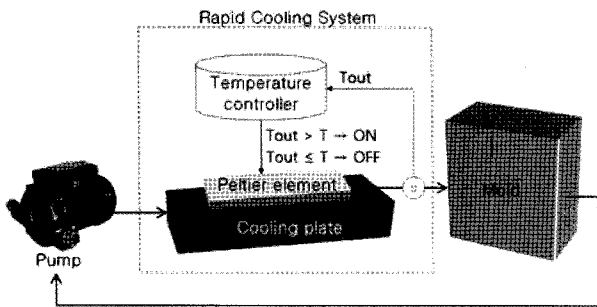


Fig. 2 Configuration of rapid cooling system

펠티에 소자를 이용한 급속 냉각시스템을 RCS (rapid Cooling System)라 호칭하였으며, RCS는 실제 사출성형 작업시 급형 내로 유입되는 냉각수의 온도를 설정온도 이하로 단기간내 냉각시켜 급형내에 구성되어 있는 냉각회로를 순환하며 캐비티내의 용융수지의 빠른냉각을 가능케 한다.

Table 1은 RCS와 기존 냉각시스템 (conventional cooling system : CCS) 을 항목별로 비교를 해놓은 표이다. RCS는 CCS보다 가용온도 범위가 가장 넓으며, 크기는 약 1/2 수준으로, 중량도 약 1/5~1/6의 수준으로 우수성을 보인다. 또한 기존의 냉각장

치는 친환경적이지 않은 프레온가스를 냉매로 이용하고 있지만, 펠티에 소자의 경우 전류를 매체로 냉각하는 방식이라 친환경적이라 할 수 있다.

Table 1 Difference specification RCS between of item

List	T.C	CHILLER	RCS
Temperature	20~95℃	15~40℃	1~150℃
Temperature Accuracy	5~7℃	5~7℃	1~2℃
Volume	$86 \times 10^{-3} \text{m}^3$	$72 \times 10^{-3} \text{m}^3$	$48 \times 10^{-3} \text{m}^3$
Weight	80~100kg	70~90kg	15kg

3. RCS의 성능시험

RCS는 Fig. 3과 같으며, RCS를 사용하여 냉각되는 냉각수의 온도변화에 대해서 실험을 수행하였다. 본 실험은 펠티에 소자로 인하여 냉각되는 냉각판의 온도변화와 냉각수의 온도변화를 관찰하였다. 접촉식 전자온도계를 사용하여 냉각판의 온도를 측정하였으며, 냉각수의 온도는 급속 냉각시스템에 설치되어 있는 온도센서에 의해 표시되는 값을 측정하였다.



1	Converter
2	Temperature controller
3	Temperature display
4	Terminal
5	Water jacket
6	Peltier
7	Cooling plate

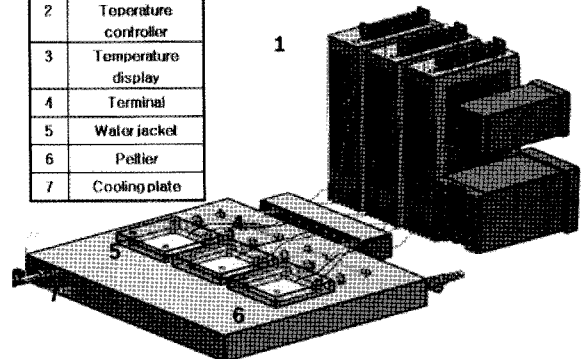


Fig. 3 Rapid cooling system

냉각판의 온도는 초기 13.3 °C에서 16분 후 -3.8 °C까지 내려갔으며, 약 1 °C/min의 속도로 냉각되었다. Fig. 4는 시간별 냉각판과 냉각수의 온도변화를 30초 단위 간격으로 나타낸 것이다.

급속 냉각시스템을 통과한 냉각수의 온도는 Fig. 4와 같이 초기 14 °C에서 16분 후 -0.3 °C까지 내려갔다. 0 °C로 온도를 유지시켜, 이 온도를 냉각수의 온도로 실험에 사용하였다.

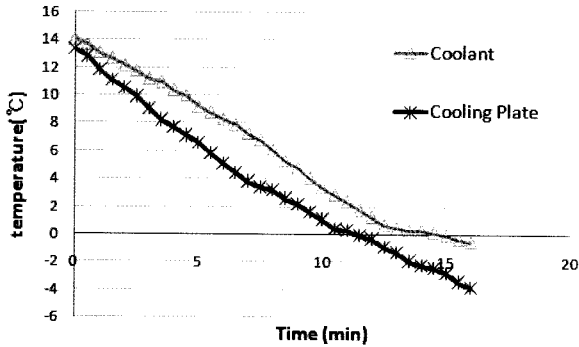


Fig. 4 Temperature of cooling plate and coolant

이러한 냉각수 온도의 변화를 볼 때, 급속 냉각시스템의 구동은 적어도 사출성형 작업 전 15분에 시작되어야 한다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발된 급속 냉각시스템은 사출성형 준비시 가동시켜 사출작업을 별도의 준비시간이 필요없이 작업을 시작할 수 있다.

4. 사출성형 CAE 해석

실제 사출성형 실험에 앞서 급속냉각시스템을 통과한 냉각수가 제품고화시간에 어느정도 영향을 끼치는지 알아보기 위해서 CAE해석을 실시하였다. 성형해석 프로그램은 Moldflow MPI 6.1을 사용하였다.

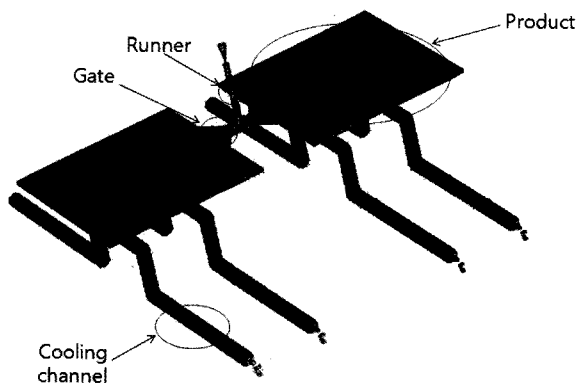


Fig. 5 Model is used by analysis

Fig. 5는 CAE해석에서 이용된 제품의 형상이다. 제품은 평평한 형판으로써, 길이가 120 mm인 정사각형이며, 두께는 2.5 mm 인 제품이다. 냉각채널은 양쪽 모두 직선채널로 설계하였으며, 냉각수온도를 변수로 두고 해석을 수행하였다.

대상 수지는 실험에서 이용할 ABS를 사용하였으며, 수지온도는 230 °C로 설정하였다. 러너를 제외한 제품의 고화시간만을 측정한 결과는 Fig. 6과 같다.

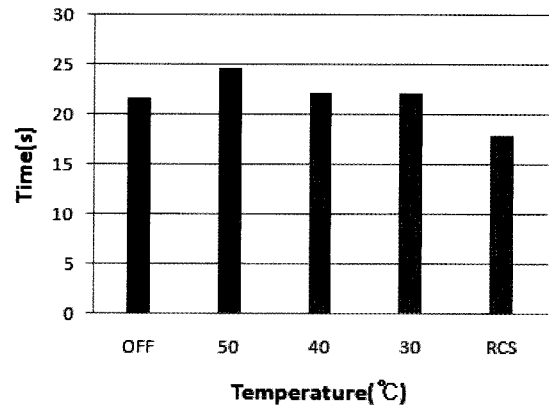


Fig. 6 Time to freeze coolant temperature

Fig. 6은 냉각수의 온도를 각각 RCS를 통과한 냉각수 인 0 °C와 냉각수 온도를 각각 30 °C, 40 °C, 50 °C 그리고 냉각수가 흐르지 않았을 때를 OFF로 표현하였을때 제품의 고화시간을 나타낸 그래프이다. RCS냉각수의 경우 제품의 고화시간은 약 18초로 일반적으로 사용하고 있는 냉각수 온도 30 °C 혹은 40 °C를 범위로 적용하였을때 보다 약 18%정도 빠른 고화시간을 나타냈다. 이것은 하루 8시간 25일 기준으로 월 생산량을 계산하여 비교했을때 한 달에 약 20%의 생산량증대를 보였다.

5. 사출성형 실험

급속 냉각시스템을 사용하여 실제 사출성형용 금형을 통해 냉각수에 의한 표면온도측정실험을 수행하였다. 실험에 사용된 금형은 Fig. 7과 같은 사각평판 형상을 가지는 2캐비티 2단 금형이다. 대상 수지는 비결정성 수지 ABS(BASF GP22)를 사용하였다. 실험을 위한 성형조건은 Table 2와 같으며, 냉각수 온도를 제외한 성형조건은 고정하였다.

냉각수 온도는 급속 냉각시스템을 사용하여 냉각수의 온도를 0 °C까지 냉각시켰다. 온도의 측정은 금형 캐비티 표면의 온도를 접촉식 전자온도계를

사용하여 캐비티 중심부의 온도를 측정하였다. 총 50회의 사출성형을 수행하여 온도를 측정하였으며, 실험을 수행하기에 앞서 캐비티 표면온도를 냉각수 온도와 일치하게 설정하여야 하나 금형의 온도가 주위 온도, 습도 등의 환경적 영향과 금형에서 발생하는 열손실로 인하여 14 °C이하로 금형이 냉각되지 않았다. 따라서 최초 금형의 온도는 14 °C로 설정하여 실험을 수행하였다.

Table 2 Injection conditions for experiment

Injection condition	Unit	Value
Injection speed (Max. 206 cm ³ /s)	%	50
Injection pressure (Max. 1550 kg/cm ²)	%	50
Packing pressure (Max. 1550 kg/cm ²)	%	50
Injection time	sec	2
Cooling time	sec	15
Packing time	sec	1
Total cycle time	sec	18
Melt temperature	°C	230
Coolant temperature	°C	0

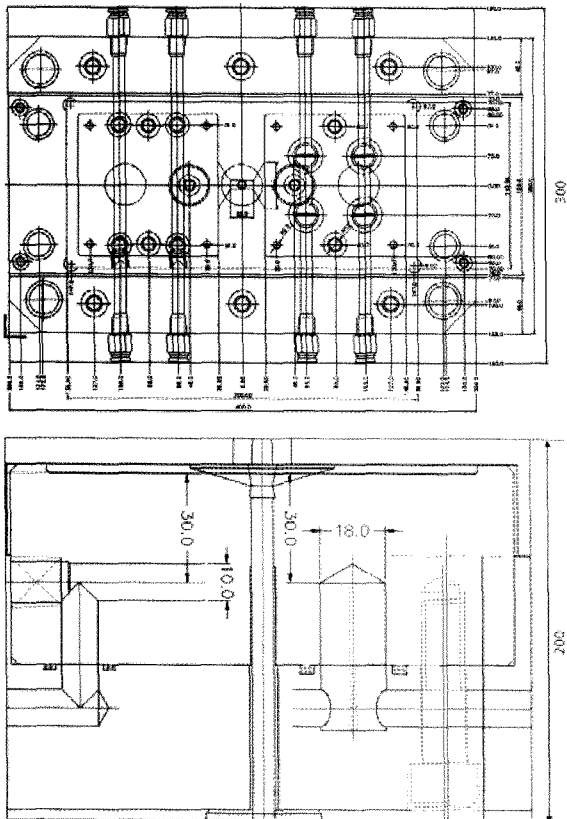


Fig. 7 Schematics of experimental injection mold

6. 실험 결과 및 고찰

본 실험에서 측정된 캐비티 표면온도는 Fig. 8과 같으며 급속 냉각시스템을 사용하여 실험한 결과는 RCS로 표기하였다. 또한, 냉각수온도를 30 °C, 40 °C, 50 °C로 실험하여 캐비티 표면온도와 비교하여 나타내었다. 급속 냉각시스템에 의해 냉각된 냉각수의 온도는 Fig. 8에 포함되어있다.

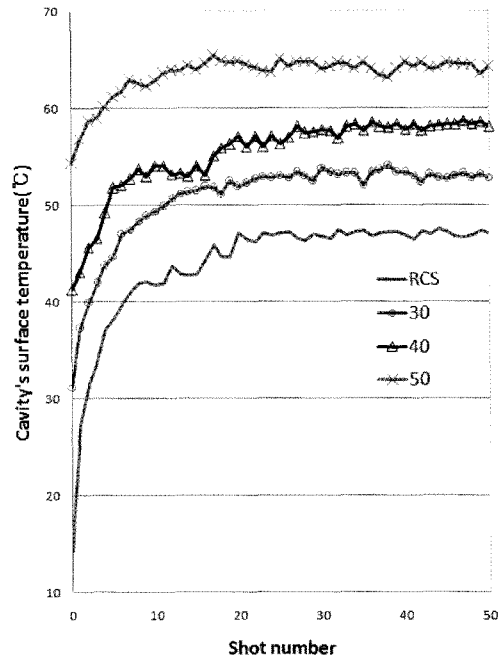


Fig. 8 Cavity's surface temperature

Fig. 7에서 나타나는 것과 같이 급속 냉각시스템에 의해 0 °C의 냉각수가 흐르는 금형의 캐비티 표면온도는 초기 약 14 °C정도이나 캐비티 표면온도가 정상상태에 도달하는 실험횟수 21회 이후 측정부터는 약 47 °C로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 냉각수의 온도가 30 °C일 때의 캐비티 표면온도와 약 6 °C의 표면 온도값 차이를 나타내는 것을 알 수 있었다.

따라서, RCS를 이용했을때 기존의 냉각시스템보다 냉각시간을 20%정도 단축시킬수 있을 것으로 보이며, 동일시간대비 생산량이 상당히 증가할 것으로 판단된다.

7. 결 론

본 연구에서는 펠티에 소자를 이용하여 사출성형용 금형에서 적용할 수 있는 급속 냉각시스템을 세

계최초로 개발하였으며, 실험연구결과 실효성을 확인할 수 있었다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

1) 급속 냉각시스템을 통과하는 냉각수는 약 16분 후에 0 ℃까지 온도가 하강하였으며, 시스템 냉각판의 온도는 15분 후에 영하 3.8 ℃까지 하강하였다.

2) 실제 사출성형용 금형에 적용하였을 때, 냉각수의 온도를 0 ℃로 유지한 결과, 금형에 미치는 영향은 냉각수의 온도가 30 ℃일 때에 비해 약 6℃의 온도 차이가 발생하였다.

3) 전체 사출성형시간에서 냉각시간의 비율이 높은 대형금형일수록 냉각시간의 단축효과가 증대되어 성형 사이클타임의 단축효과가 더욱 증대할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 강철민, 2005, "다수캐비티 사출금형에서 성형조건이 균형충전에 미치는 영향", p. 2.
2. 정영득, 구본홍 공역, 2005, "사출성형해석에 의한 제품 및 금형설계", 도서출판 인터비전, pp. 432~433.
3. 권태현 외 4인 공역, 2004, "사출성형 CAE 설계 지침", 문운당, p. 109.
4. <http://www.encyber.com>
5. Okamura Isao, "도해 핫러너를 알 수 있는 책", 공업조사회, pp. 144~145.
6. 권순재 외 5인 공역, "전기전자공학개론", 도서출판 YOUNG, pp. 436~437.
7. 신윤기, 2007, "생활속의 전기전자", 인터비전, pp. 138~139.
8. 권윤숙, 정영득, 2008, "내측기어 성형용 사출성형 금형구조의 개발", 한국동력기계공학회지, 12권 6호, pp. 78~82.