한국소성가공학회 2007년도 춘계학술대회 논문집 pp. 183~186

펠티어 소자를 이용한 사출 금형의 온도제어

조창연[1]· 신홍규[1]· 박동영[2]· 홍남표[2]· 김병희[#]

Active Control of Injection Mold Temperature using the Peltier Device

C. Y. Cho[1], H. G. Shin[1], D. Y. Park[2], N. P. Hong[2], B. H. Kim[#]

Abstract

The injection molding process has high accuracy and good reproducibility that are essential for mass production at low cost. Conventional molding processes typically use the water-based mold heating and air cooling methods. However, in the nano injection molding processes, this semi-active mold temperature control results in the several defects such as air-flow mark, non-fill, sticking and tearing, etc. Therefore, in order to control temperature of the molds actively and improve the quality of the molded products, the novel nano injection molding system, which uses active heating and cooling method, has been introduced. By using the Peltier devices, the temperature of locally adiabatic molds can be controlled dramatically and the quality of the molded patterns can be improved.

Key Words : Injection molding(사출성형), Peltier device(펠티어), Active Heating and Cooling Method(온도제어)

1. 서 론

고용량 미디어의 발달로 정보 저장 용량 증가를 위해 많은 연구와 새로운 제품의 출시가 이루어지고 있다. 현재 이동식 정보저장 매체의 발전은 대용량 광 정보 저장매체와 (DVD; Digital Versatile Disc, BD; Blue-ray)[1], 플래시 저장매체 (CF; Compact Flash Memory, SD; Secure Digital Memory, MMC; Multi Media Card, Memory Stick)와 같이 크게 두 가지 방향으로 발전을 이루고 있다. 이중 현재 멀티미디어 저장 매체로 가장 많이 사용되고 있는 광 정보 저장매체의 생산에는 사출성형 공정을 사용하고 있다. 사출성형 공정은 저렴한 생산비용으로 폴리머 표면에 나노 구조물이나[2] 광학회절 제품[3], bio-MEMS 제품[4]등을 높은 정밀도를 유지하고 대량생산을 할 수 있는 효과적인 생산 기술이다. 이러한 정밀한 구조물의 사출성형에서 높은 정밀도 유지 조건, 높은 AR(Aspect ratio)성형 조건, 마이크로 나노 채널의 폴리머 유동 조건 있어 가장 중요한 조건 중의 하나가 금형의 온도이다. 금형 온도의 폴리머 유리전이 온도(Tg) 부근에서의 유지가 성형성에 가장 많은 영향을 미친다는 것은 이미 발표된 논문에서 여러 번 언급된 바 있다. [5-6] 이 밖에도 사출성형에 중요한 외부 요인으로는 사출압 및 보압, 폴리머 내의 수분 함류량, 폴리머 특성에 따른 게이트(Gate), 러너(Runner), 에어 밴트(Air vent)의 설계이다.[7]

전통적인 사출성형의 금형온도 조절은 물을 이용한 가열과 공기를 이용한 냉각을 사용하였다. 이러한 전통적인 사출성형은 금형 온도 조절의 컨트롤이 수동적 이거나 세미 액티브(Semi-active)하여 에어 플로어 마크(Air-flow mark or shark mark)나 뜯김(Tearing), 붙는(Sticking) 등의 성형불량의 원인이 되었다. 본 연구에서는 펠티어 소자를 이용한 금형 온도의 다양한 액티브 컨트롤(Active control)을 통해 금형의 국부적인 온도의 빠른 제어를 수행하였다. 또 이를 통해 사출 성형품의 마

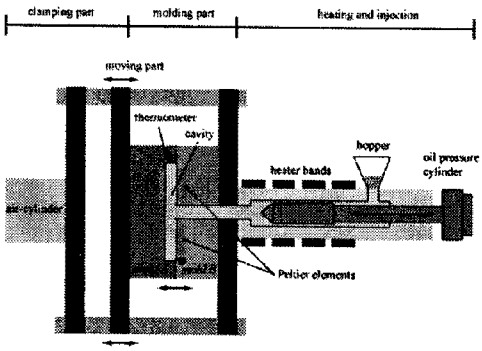
1. 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과 대학원
2. 강원 인력개발원 컴퓨터응용기계학과
교신저자: 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부
E-mail: kbh@kangwon.ac.kr

이크로 나노 패턴의 성형성을 높이고자 하였다. 본 연구에서는 수축 상수가 작고 광 투과성, 내후성, 내열성, 내약품성 등이 뛰어난 열가소성 수지인 PMMA을 주 재료로 사출실험을 수행하였으며, 또한 금형 설계의 시행 착오를 줄이기 위해 캐비티 내의 PMMA의 유동을 FDM을 통해 예측하고 설계, 제작 하였으며 실험을 통해 문제점을 보완하였다.

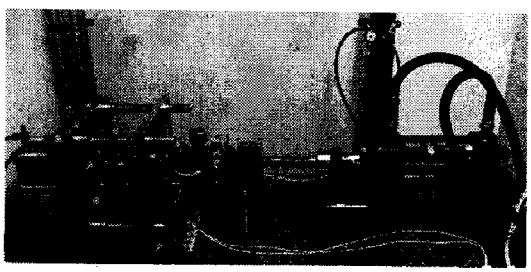
2. 나노 사출성형 공정

2.1 사출성형 시스템

Fig. 1의 (a) 와 (B) 는 사출성형 시스템의 도식화와 실제 실험장비의 사진이다. (a)에서 표시된 것과 같이 사출성형 시스템에는 펠티어 소자를 이용한 사출 금형의 온도 컨트롤 시스템과 밴드 히터를 이용한 사출 실리더의 온도 컨트롤 시스템. 호퍼를 통해 유입되는 폴리머의 사출을 위한 유압실린더와 보압력을 유지하기 위한 공압 실린더를 설치하였다. 이 밖에도 온도측정을 위한 써모커플과 폴리머의 양을 조절하기 위해 유압 실린더의 위치를 제어하는 Limit 센서가 설치되어 있으며 모든 시스템과 센서를 컨트롤 하기 위한 메인 컨트롤러와 전원 공급장치가 설치되어 있다.



(a) shchematic of injection molding system



(b) photograph of system

Fig. 1 Nano-injection molding system

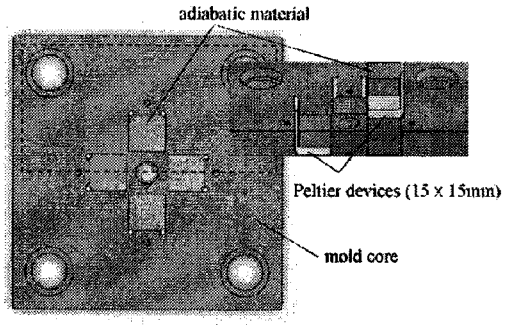


Fig. 2 1st design of mold

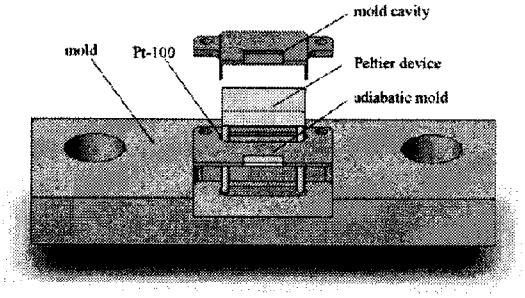
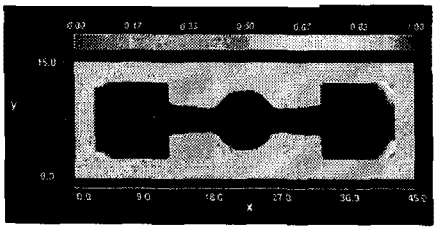


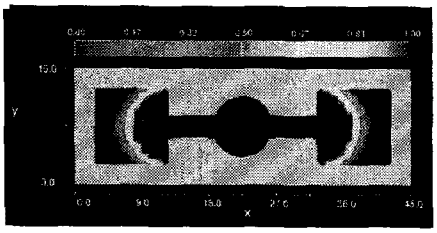
Fig. 3 Modified design of mold

2.2 코어 베이스 제작

Fig.2 와 같이 본 연구에서는 처음으로 펠티어 소자를 이용한 몰드 코어(1st model)를 설계하였다, 첫 금형의 설계는 빠른 실험과 사출의 경향성을 보기 위해 마이크로 도광판(LGP; light guide plate)의 스템프를 이용하여 제작하였고 그에 따라 캐비티(10x10x2mm), 러너(runner), 스프루(sprue)와 직경 0.2mm 의 에어 밴트가 설계 되었으며 표면적의 크기가 15x15mm 인 펠티어 소자(power: 6.5W, ΔT=73℃)를 사용 하였다. 하지만 높은 압력으로 인해 펠티어 소자 표면의 세라믹 층이 깨져서 펠티어 소자 내부의 PN 접합(Couple)이 허물어져 작동을 하지 않는 경우가 발생 하였다. 또한 펠티어 소자의 열용량이 작고 금형의 체적이 커서 빠른 속도의 온도 컨트롤과 높은 온도의 유지가 힘들었다. 따라서 Fig.3 과 같이 표면적의 크기가 30x30mm 인 펠티어 소자(power: 35.4W, ΔT=68℃)를 선택하였으며 코어 베이스를 모듈형식으로 제작하고 열의 방출을 막기 위해 석면 단열재를 코어베이스와 금형 사이에 삽입하였다. 또한 온도제어를 위한 써모커플(Thermocouple)을 코어 베이스에 삽입하였다.



(a) diffuser type (after 0.7sec)



(b) plain type (after 0.7sec)

Fig. 4 Flow behavior of resin during injection molding with respect to runner shape

Fig.4 는 코어 베이스 내의 스프루(sprue)와 러너를 통해 캐비티 내로 폴리머 유동에 관한 FDM(FLOW-3D) 시뮬레이션 해석 결과이다. 디퓨저 형식의 러너의 폴리머 유동이 그렇지 않은 경우에 비해서 같은 시간의 사출을 하였을 때 충진율의 차이를 보였다.

3. 금형의 온도제어

사출성형에서 충진율을 높이기 위한 가장 중요한 조건은 금형의 온도와 사출시간이다. 본 연구에서는 코어 베이스의 온도를 빠른 시간 내에 제어하기 위해 노력하였다. 금형과 열전달이 되지 않도록 설계된 몰드 코어는 뒷면에 부착되어 있는 펠티어 소자 (35.4W, 30x30m, ΔT=68℃)로 인해 가열되며 펠티어 소자와 코어 베이스 사이의 열전달율을 높이기 위해 써멀 그리스(Thermal grease)를 도포 하였으며 PID 컨트롤러 (Cubloc CB280 chip, Korea)를 통하여 몰드 코어의 온도를 제어하였다.

Fig.5 는 전압에 따른 온도의 변화 곡선을 나타낸 그래프이다. 전압이 증가하면 펠티어 소자의 가용 온도가 증가하는 것을 알 수 있다. 실험결과 35.4W, 30x30m 펠티어 소자는 12V 일 때 연구에서 필요로 하는 온도인 PMMA 의 유리 전이온도인 100℃ 에 빠른 도달 성능(상온→120℃ 20 초)을 보였다.

Fig.6 은 사출 성형을 하기 위한 코어 베이스의 사이클 타임과 온도 변화 그래프이다. PID 컨트롤러를 통해 제어되는 펠티어 소자는 최소 80℃에서 최대 120℃ 를 유지하였으며 사출기간에는 최대 온도에서 약 3 초간을 지속 하였다. Fig.7 은 Infrared camera(NEC, Thermo Tracer, Japan)을 통한 코어 베이스의 열 분포도 이다.

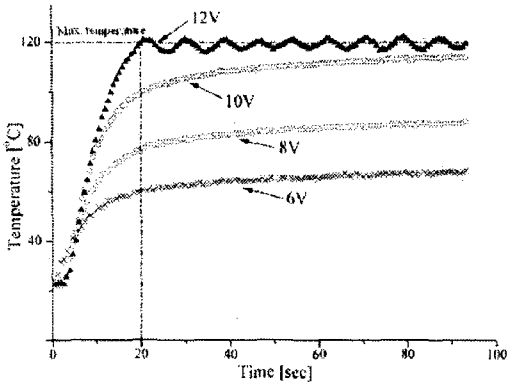


Fig. 5 Temperature variation with respect to time and voltage

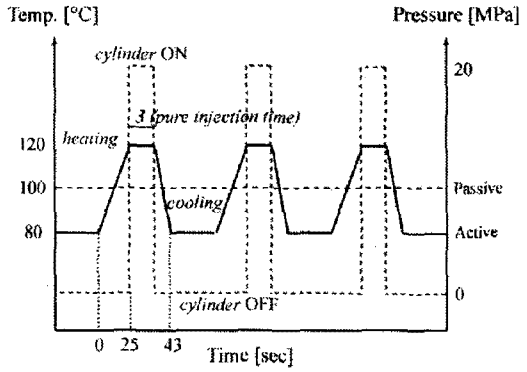


Fig. 6 Temperature and pressure variation along cycle time

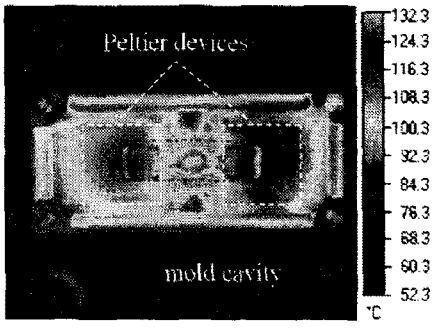
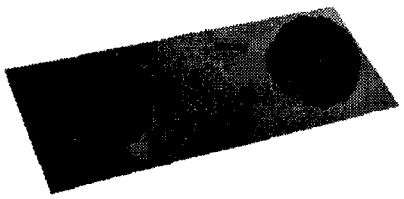


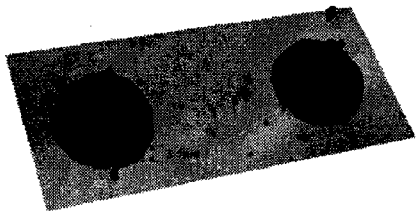
Fig. 7 Heat distribution on the mold surface

		Passive temp.control	Active temp. control
Mold Material(Core)		SUS(Nikel)	
Pattern size	Depth	3.5μm	
	Diameter	23μm	
Polymer temp.[℃]		200	200
Passive mold temp. [℃]		100	-
Temp. variation[℃]		N.A	100±20
Pressure [Mpa]		20	20
Total Injection time [sec]		30	43
Pure Injection time [sec]		3	3
Polymer		PMMA (polymethyl Methacrylate)	
Measurement devices		SE-SEM (S-4300,HITASHI,JP) IR-Camera (TH5104,NEC,JP) 3D-Profiler (NANOVIEW,KR)	

Table 1. Experimental conditions



(a) passive temperature control



(b) active temperature control

Fig.8 3D surface images of injection molded results

4. 사출 결과

Table 1은 실험 조건을 나타낸 표이다. Fig.8 은 몰드 코어의 액티브 가열과 냉각의 결과와 수동적인 냉각과 가열로 성형한 LGP의 3D도트 형상이다. 전통적인 사출성형의 결과 미충진, 뜯김, 플로어 마크 등 그 동안 사출성형 공정에서 발생하는 문제점이 많이 발생하였으나. 펠티어 소자를 이용한 몰드 코어의 액티브 컨트롤 사출성형에서는 이전의 사출 성형보다 문제점이 적게 확인되는 결과를 보였다.

4. 결 론

본 논문은 일반 사출성형에서 생기는 문제점의 해결과 성형 속도의 향상, 마이크로-나노 구조물의 충진률을 높이기 위해 연구 하였다. 이를 위해 Flow-3D 를 통한 몰드 코어내의 폴리머 유동의 해석과 펠티어 소자를 이용하여 국부적인 몰드 코어의 액티브 힛팅과 쿨링의 시스템을 개발하였고 마이크로 나노 구조물의 성형성을 높이고자 하였다. 현재 높은 AR 비를 갖는 나노 패턴의 사출성형의 실험이 진행 중이며 사출성형 공정 중 발생하는 문제점의 해결도 연구 중이다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비 지원(06K1401-00511)에 의해 수행되었습니다. 또한 이 연구에 참여한 연구자는 '2단계 BK21 사업' 의 지원비를 받습니다.

참 고 문 헌

[1] Bell,A.E. and Cookson, C.J. ,2004, Next generation DVD:application requirements and technology, Vol 16, pp. 909～920

[2] Pranov, H, 2006, On the injection molding of nanostructured polymer surface, Polymer Engineering and Science, pp. 160～171.

[3] Gale, M. T., Gimkiewicz, C., S.,2004, Replication technology for optical Microsystems, Optical and Laser in Engineering, Vol 43, pp 373-386.

[4] Rötting, O. Röpke, W.; Becker, H, Gärtner, C. , 2002, Polymer microfabrication technologies, Microsystem Technologies, Vol 8, pp 32-36.

[5] Liou, A. C., Chen, R. H., Injection molding of polymer micro- and sub-micron structures with high-aspect ratios, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 28, pp 1097-1103,

[6] Yamagiwa, Y., 200, Micro-injection molding, Journal of Japan Society Polymer Process, Vol 15, pp 257-259,

[7] 노원기, 정진수, 황규선, 2006, 사출성형과 제품설계, 교보문고.