

펠티어 소자를 이용한 다공성 나노패턴의 사출에 대한 연구

홍남표¹ · 권종태¹ · 신흥규¹ · 서영호¹ · 김병희[#]

Injection molding using porous nano-scale patterned master with Peltier devices

N. P. Hong, J. T. Kwon, H. G. Shin, Y. H. Seo and B. H. Kim

Abstract

We have replicated nanopillar arrays using injection molding process of active heating and cooling method by several Peltier devices. The injection molding has a high accuracy and good reproducibility that are essential for mass production at low cost. Conventional molding processes widely use the water-based mold heating and air cooling methods. However, in case of replication for nano-patterned structures, it caused several defects such as air-flow mark, non-fill, sticking and tearing. In this study, periodic nano-scale patterns are replicated by using injection molding with Peltier devices. Porous nano-scale patterns, which have pore diameter range from 120nm to 150nm, were fabricated by using anodizing process. Periodic nano-pore structures (20mm x 20mm) were used as a mold stamp of injection molding. Finally, PMMA with nanopillar arrays was obtained by injection molding process. By using the Peltier devices, the temperature of locally adiabatic molds can be dramatically controlled and the quality of the molded patterns can be slightly improved.

Key Words : Injection molding(사출성형), Peltier device(펠티어소자), Active Heating and Cooling Method(온도제어), porous nano-patterns(다공성패턴)

1. 서 론

사출성형은 폴리머를 이용하여 나노 구조물이나 광학회절 제품, Bio-MEMS 제품 등을 높은 정밀도를 필요로 하는 제품을 저렴한 생산 비용으로 대량생산 할 수 있는 효과적인 공정이다 [1-4]. 특히, 플라스틱과 같은 폴리머(polymer)는 사출성형에 가장 적합한 재료이며, 대량생산 공법으로는 높은 재연성과 성형성의 유지가 쉬운 재료이다. 하지만 폴리머는 물리적 영향과 환경적 영향에 따라 복잡한 형태의 거동을 하는 물질이며 이와 같은 폴리머의 특징은 사출 성형 시 이상적인 조건을 설정하지 못할 경우 금형에 붙거나(sticking) 뜯어짐 (tearing)과 같은 문제점이 발생한다.

이를 해결하기 위하여 사출 성형 시, 가장 중

요한 조건은 금형의 온도 제어이다. 금형 온도 제어는 폴리머의 유리전이 온도(Tg) 부근에서 이루어졌을 때 성형성이 가장 좋다는 사실은 이미 선행 연구자들에 의해 발표된 논문에서 여러 번 언급된 바 있다 [4-5]. 그러나 기존 사출 성형 공정의 금형 온도는 히팅 코일과 워터 재킷을 이용하여 가열과 냉각을 수행하므로 빠른 온도 제어가 불가능 하고 정해진 온도 내에서 성형되기 때문에 유리전이 온도 이상을 유지하기가 어렵다. 또한 유리전이 온도를 유지 한다면 사출 후 이형 시 금형의 냉각을 폴리머 유리전이 온도 이하로 냉각이 쉽지 않고 시간이 오래 걸린다.

최근 나노 성형에 대한 기술적 요구가 증가함에 따라 여러 연구자들이 금형온도를 능동적으로 제어하여 성형성을 높이기 위하여 MEMS 히터를

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

이용하여 금형의 온도 제어를 하는 방법, 초고온 금형온도 제어를 이용한 플라스틱 사출성형을 위하여 기체화염 전열로 가열등과 같은 연구되고 있으나, 냉각을 수행할 경우 정확한 금형온도를 유지 할 수 없어 높은 중형비를 갖는 나노 구조물에 대해서는 사출하기 어렵다는 단점이 있다.

본 연구에서는 빠른 가열과 냉각이 가능한 펠티어 소자(Peltier devices)를 이용하여 사출 금형내의 온도를 능동적으로 제어하여 다공성 나노패턴을 갖는 구조물을 성형하였다. 금형 내의 온도 보상은 열화상 카메라를 이용하여 최적 온도조건을 도출하였다. 다공성 나노 마스터는 양극산화를 이용하여 제작하였으며, 광 투과성, 내후성, 내열성, 내약품성 등이 뛰어난 열가소성 폴리머인 PMMA를 재료로 사용하였다. 사출된 나노 패턴은 FE-SEM(Field Emission Scanning Electron Microscope)을 이용하여 최종적인 결과물을 검증하였다.

2. 다공성 나노 패턴 제작

다공성 나노 패턴 마스터를 제작하기 위하여 양극산화공정(AAO; Anodic Aluminum Oxidation)을 이용하였다. 스퍼터링을 통하여 $1\mu\text{m}$ 두께로 알루미늄을 증착하였다 (Fig. 1 - step1, Fig. 2(a)). 알루미늄은 90V의 전압과 2분의 짧은 시간으로 0.04M의 수산(oxalic acid)에서 1차 알루미늄 양극산화를 수행하였다 (Fig. 1 - step2, Fig. 2(b)). 최초 양극산화를 통해 제작된 패턴들은 균일하지 못하고 패턴의 크기가 100nm 이하로 형성되었다. 1차 양극산화에 의해 생성된 알루미늄을 제거하기 위하여 크롬산 (1.8wt%)과 인산(6wt%)을 사용하여 65°C 에서 1시간 수행하였다 (Fig. 1 - step3, Fig. 2(c)).

알루미늄 양극산화공정과 식각공정을 통하여 제작된 마스터의 표면에 직경이 대략 250nm 의 반구형패턴(hemisphere pattern)이 형성된다. 이후, 1차 양극산화 공정과 동일한 환경하에서 2차 양극산화를 수행하였다 0.04M의 수산에서 60V, 10분간 수행하였다(Fig. 1 - step4). 2차 양극산화공정으로 제작된 다공성 알루미늄의 포어 크기를 확장하기 위한 공정으로 0.1M 인산(phosphoric acid)에 30°C , 2시간 수행하여 최종적으로 사출성형에 사용할 다공성 나노패턴 마스터를 제작하였다 (Fig. 1 - step4, Fig. 2(d)).

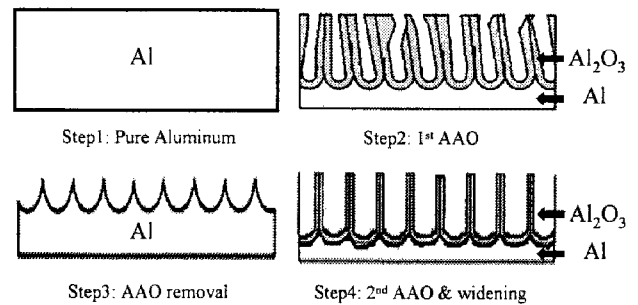


Fig. 1 Fabrication process of anodic aluminum oxidation

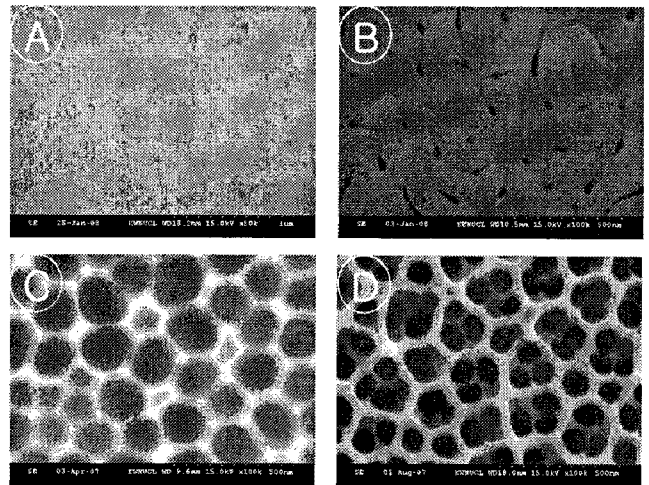


Fig. 2 (A) Surface of pure aluminum, (B) Surface of 1st AAO, (C) Result of AAO removal, (D) Surface of 2nd AAO and pore widening

3. 나노 사출성형 공정

3.1 나노 사출성형 시스템의 구성

Fig. 3은 다공성 나노 패턴의 성형을 위한 간이형 사출성형 시스템의 개략도이다. 자체 제작된 간이형 나노 사출성형 시스템은 펠티어 소자를 이용한 사출 금형의 온도 컨트롤 시스템과 밴드 히터를 이용한 사출 실린더의 온도 컨트롤 시스템, 호퍼를 통해 유입되는 폴리머의 사출을 위한 유압실린더와 보압력을 유지하기 위한 공압 실린더로 구성된다. 또한, 온도측정을 위한 써모커플과 폴리머의 양을 조절하기 위해 유압 실린더의 위치를 제어하는 리밋(limits) 센서 등이 설치되어 있으며 모든 시스템과 센서를 컨트롤 하기 위한 메인 컨트롤러와 전원 공급장치가 설치되어 있다.

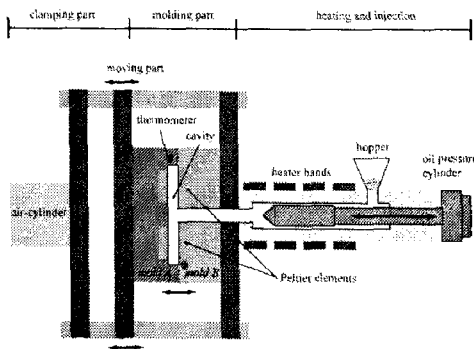


Fig. 3 Schematic of nano-injection molding system

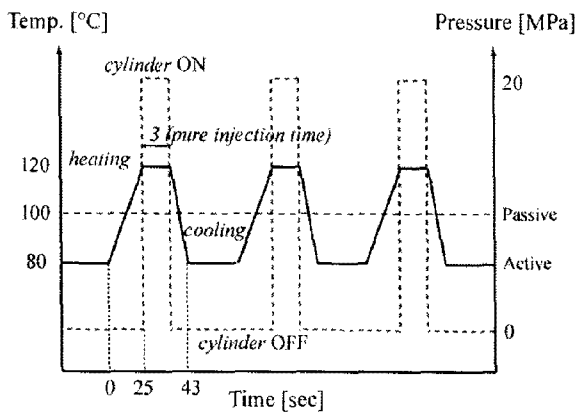


Fig. 4 Variations of temperature and pressure with respect to cycle time for injection molding

Table 1 Experimental conditions

		Active temp. control
Mold master		Porous nano-hole structures
Pattern size	Depth	320nm
	Diameter	150nm
Polymer temp. [°C]		240
Passive mold temp. [°C]		60-140
Temp. variation [°C]		100±20
Pressure [MPa]		35
Total processing time [sec]		43
Pure injection time [s]		3
Polymer		PMMA

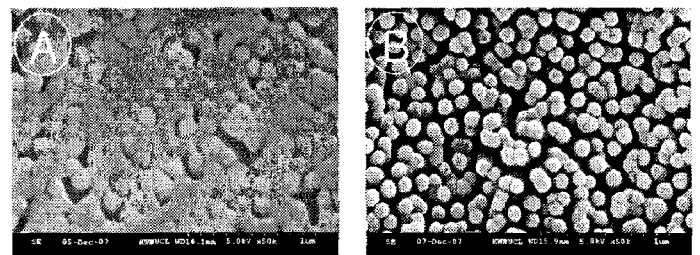
3.2 다공성 나노 패턴의 성형

Fig. 4는 다공성 나노 패턴의 성형을 위한 시간에 따른 온도와 압력변화를 나타낸 공정 그래프이다. PID 컨트롤러를 통해 펠티어 소자를 제어하였으며, 온도 변화는 최소 80°C에서 최대 120°C까지 정해진 시간 동안 반복하여 유지하였

다. 다공성 나노 패턴의 성형을 위한 총 사출 시간은 약 43 초가 소요되었으며, 실제 성형시간은 약 3 초이다. 표 1은 다공성 나노 패턴의 성형을 위한 실험 조건이다. 다공성 나노 마스터(Fig. 2(D))는 20mm x 20mm를 사용하였으며, 사용된 폴리머 재료는 PMMA를 사용하였다.

4. 결과 및 토의

다공성 나노 패턴의 크기는 약 150nm이며, 깊이는 약 320nm이다. 약 2 이상의 종횡비를 갖는 마스터이기 때문에, 높은 압력과 PMMA의 유리전이온도보다 높은 온도에서 실험을 수행하였다. 또한, 다공성 패턴의 종횡비가 1 이상이기 때문에 사출성형 공정 후, 마스터와 PMMA가 이형이 되지 않는 결과가 나타났다. 효율적으로 이형 문제를 해결하기 위하여, 실리콘 에칭 용액인 TMAH(Tetra Methyl Ammonium Hydroxide) 용액을 사용하였다. 85°C에서 실리콘과 알루미늄을 에칭하여 Fig. 6과 같은 결과를 얻을 수 있었다. PMMA 유리전이온도(104°C)에서 패턴 전사가 우수하였으며, Fig. 6(b)와 같이, 규칙적인 나노 필라 어레이(nano-pillar arrays, 120nm)가 형성되었다. 하지만, 120°C에서 사출성형 실험의 경우, 나노 패턴은 미세하게 형성되었으나, 유리전이온도보다 높은 성형온도 조건이기 때문에 패턴과 패턴 사이의 공간을 위지하는 경계면이 폴리머에 의해 서로 결합된 결과를 확인하였다(Fig. 6(a)). 또한, 금형이 냉각되는 과정에서 충전된 나노 패턴들 사이에 빠른 온도 감소로 인한 폴리머 수축(shrinkage) 현상이 발생하여 성형성을 저하시키는 원인이 되었으리라 판단된다.



(A) 120°C

(B) 100°C

Fig. 6 FE-SEM images of nano patterns replicated by nano-injection molding using porous nano-hole master

4. 결 론

본 연구에서는 펠티어 소자를 이용한 금형온도의 제어를 통하여 다공성의 나노 패턴을 사출하였다. 양극산화공정에 의하여 다공성 나노 패턴 마스터를 제작하였으며, 이를 이용하여 사출성형을 몰드 스탬프로 사용하였다. PMMA 를 성형 재료로 사용하여 PMMA 의 유리전이온도 및 그 이상의 온도에서 다공성 나노 패턴의 전사성을 확인하였다. 또한, 펠티어 소자를 이용한 금형온도 제어의 우수성을 검증하였다.

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] Pranov, H, 2006, "On the injection molding of nanostructured polymer surface", *Polymer Engineering and Science*, pp. 160~171.
- [2] Gale, M. T. Gimkiewicz, C., S., 2004, "Replication technology for optical Microsystems, *Optical and Laser in Engineering*", Vol. 43, pp 373-386.
- [3] Rötting, O. Röpke, W.; Becker, H and Gärtner, C. , 2002, *Polymer microfabrication technologies, Microsystem Technologies*, Vol 8, pp 32-36.
- [4] Liou, A. C. and 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,
- [5] Y. Kim, Y. Choi and S. Kang, 2005, "Replication of high density optical disc using injection mold with MEMS heater", *Microsystem Technologies*, Vol.11, pp.464-469.
- [6] M. Kang, D. Kim and Y. Chun, 2000, "Wonder injection molding with MmSH process", *ANTEC 2000*, pp. 3841.