

# 사출 금형의 능동형 온도제어에 따른 사출특성에 관한 연구

조창연<sup>1</sup>· 신홍규<sup>2</sup>· 홍남표<sup>2</sup>· 서영호<sup>2</sup>· 김병희<sup>#</sup>

## A Study on Injection Characteristic using Active Temperature Control of Injection mold

C. Y. Cho, H. G. Sin, N. P. Hong, Y. H. Seo and B. H. Kim

### Abstract

In recent years, many researches on new storage media with high capacity and information are developing. For manufacture of optical storage with high capacity, the injection molding process is generally used. In order to increase the filling ratio of the injection molding structure, the injection molding process required for high injection pressure, packing pressure and temperature control of the mold. However, conventional injection molding process is difficult to increase the filling ratio using injection master with the range of several nanometers and high aspect ratio. In order to improve and increase filling ratio of nano-structure with high aspect ratio, the active temperature control of injection mold was used. Experimental conditions were used injection pressure, time and temperature. Consequently, by using the peltier device into injection mold, we carried out the efficient and active temperature control of mold at low cost.

**Key Words** : Injection molding, Peltier device, Active Temperature control.

### 1. 서론

최근 폴리머 제품의 적용부분이 많아지면서 마이크로 나노 구조의 제품에도 그 영역을 넓혀 가고 있다. 특히 광저장 정보 매체 (DVD; Digital Versatile Disc, BD; Blue-ray)[1,2]와 의료 용품 (Nano tube, Nano Robot)의 생산 및 개발에 사용되고 있다. 또한, 나노 기술과 융합하여 의약품, 진단기기, 의료용품 등에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 다양한 분야에서 폴리머가 사용되는 이유는 폴리머 재료의 특징인 수축 상수가 작고 광 투과성, 내후성, 내열성, 내약품성 등이 뛰어나기 때문이다.

폴리머 재료를 바탕으로 한 제품의 대량생산을 위해서 일반적으로 사출성형 공정이 사용된다. 사출성형 공정을 사용하는 이유는 다른 제작 공정에 비해 생산 비용이 적게 들고 대량생산에 있어 높은 정밀도와 반복성의 제작이 가능하기 때문이

다. 사출 성형 시 중요한 외부 요인으로서는 사출압, 금형의 보압, 폴리머의 건조 정도, 금형의 온도이다. 이중 금형의 온도제어가 사출 성형품에 가장 높은 영향을 미치게 된다 [3,4,5].

본 연구에서는 온도 사출 금형 온도를 펠티어 소자 (Peltier Device)를 이용하여 폴리머 유리전이 온도 부근에서 능동형 온도 제어를 수행하였다. 또한, 펠티어 소자를 이용한 온도제어의 성형성과 전사성을 확인하기 위하여, 고종횡비(High aspect ratio)를 갖는 나노 마스터를 사용하였다. 압력, 온도와 시간에 따른 실험조건으로 펠티어 소자를 이용한 온도 제어가 고종횡비의 나노 구조물의 사출에 타당함을 실험적으로 규명하였다.

### 2. 금형의 제작

#### 2.1 금형 코어의 설계 및 제작

펠티어 소자를 이용한 금형 온도의 빠른 응답

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

을 도출하기 위하여 코어 형태의 금형을 제작하였다. 코어 형태로 제작된 금형은 펠티어 소자를 이용하여 가열과 냉각을 동시에 수행할 수 있도록 설계되었다. 펠티어 소자는 30X30mm의 넓이와 35.4W,  $\Delta T=68^{\circ}\text{C}$  성능을 갖고 있는 것으로 선택하여 기존의 사출성형기에 비하여 빠르고 정확한 온도 조절이 가능 하도록 하였다.

그림1은 펠티어 소자를 이용한 사출 코어의 단면의 도식도이다. 펠티어 소자는 세라믹 절연층 사이에 두고 P형 반도체와 N형 반도체가 직렬로 연결되어 있는 구조로 되어있다. 직렬로 연결된 PN접합 커플에 직류전원을 인가하면 전류가 흐르는 방향에 따라 냉각면과 가열면이 바뀌게 된다. 이러한 펠티어 소자의 특성을 이용한 금형 코어의 제작 중 가장 중요한 점은 펠티어에서 발생하는 열을 빠르게 캐비티에 전달하고 목표로 하는 온도에 정확히 도달할 수 있는 것이다.

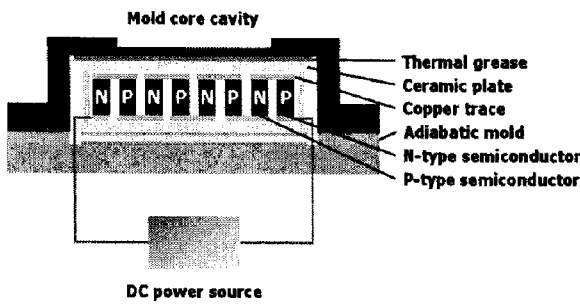


Fig. 1 schematic of mold core

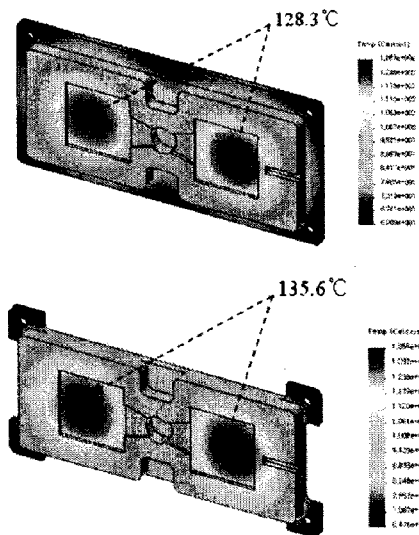


Fig. 2 FDM results of mold temperature

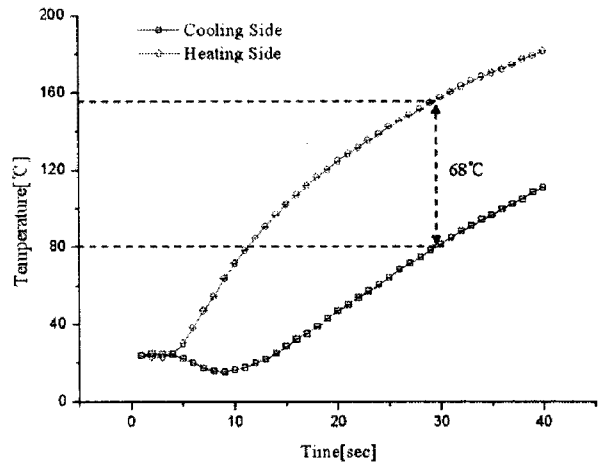


Fig. 3 Temperature variation of Peltier device

금형 코어 내에 장착된 펠티어 소자에서 발생한 열은 금형 코어에 빠르게 전달하기 위하여 금형코어 내부에 써멀 그리스(Thermal grease)를 도포하였으며 이를 통해 통해 전달된 열은 캐비티에 전달되게 된다. 보다 높은 효율을 내기 위해서는 금형 코어내에 전달된 열의 외부 유출을 막는 것이 필요하다. 따라서 금형 코어와 백 플레이트(Back plate) 사이에 단열재(Teflon, Thermal conductivity: 0.22W/m-k)를 삽입하여 금형간의 열전달을 억제 하였으며 Fig. 2의 열 해석 결과와 같이 몰드 코어의 체적을 최소한으로 줄여 펠티어 소자의 발열 양에 의해 최대한의 성능을 발휘하도록 설계하였다. 이 밖에 금형 코어내의 열의 방출을 막는 것도 중요 하지만 펠티어 자체내의 열을 외부로 어떻게 방출하는 것도 설계시 중요한 고려 원인이다. 그림3의 그래프에서 보는 것과 같이 펠티어 소자는 냉각면과 가열면이  $\Delta T$ 의 온도차이를 갖고 동작하는 특성을 가지고 있다. 이 냉각면의 열을 외부로 방출시키지 못하게 되면 펠티어 소자 내의 PN접합된 커플의 납땜(Soldering) 부분이 허물어져 펠티어 소자의 수명이 단축되고 성능의 저하를 가져 오기 때문이다. 따라서 금형의 설계시 열의 유동이 가장 중요한 변수로 작용 하였다. 또한 펠티어 소자의 외부는 세라믹 절연층으로 구성되어 있어 외부의 충격에 쉽게 깨지는 경향이 있다. 이는 금형의 조립 과정에서 자주 발생하게 되고 또한 높은 사출압으로 인해 금형 코어의 변형으로 깨지게 된다. 따라서 펠티어 소자 세라믹층에 영향을 주지 않는 설계

역시 금형 코어 설계에 있어 중요한 요인 중 하나이다.

### 3. 사출 실험

#### 3.1 사출 공정

그림 4는 펠티어 소자를 이용한 사출성형 공정을 나타낸 도식도이다. A의 대기 상태에서 사출성형 공정이 시작되며 밴드히터를 사용하여 사출실린더를 가열한다. A에서 사출의 준비를 마친 후 B와 같이 공압실린더를 이용하여 금형을 결합시킨 후 펠티어 소자 내로 DC 전압을 흘려 보낸다. 이때 펠티어 소자에서 발생된 열원은 캐비티 내의 온도를 증가시키게 되고 캐비티 표면에 설치된 써모 커플(Thermo couple)을 통해 원하는 온도까지 제어 된다. 설정된 온도에 도달한 금형 코어에는 C와 같이 유압 실린더를 통해 사출이 이루어지며 사출이 완료된 금형코어는 D에서 도시한 것과 같이 펠티어 소자에 역전압을 가하여 냉각 작업을 수행하게 된다. 이때 역시 표면의 써모 커플을 통해 목표 온도 까지 제어 되며 마지막 E에서는 금형의 개방과 성형품의 이형이 이루어지며 사출 공정 사이클을 마치게 된다. 모든 공정은 마이크로 프로세서를 통해 제어된다.

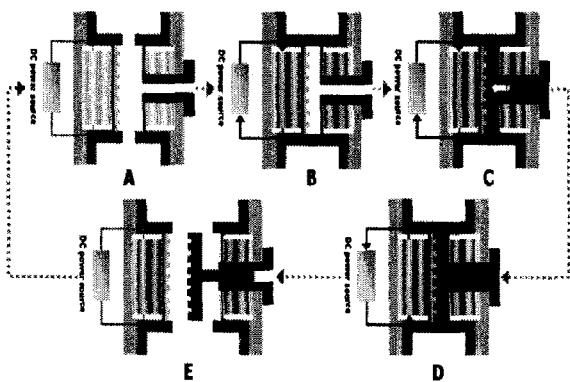


Fig. 4 Schematics of injection molding process

#### 3.2 사출 실험 및 결과

펠티어를 이용하여 사출성형 시스템을 구성하였다. PMMA를 사용하여 사출성형을 수행하였고 마이크로 나노 패턴의 사출성형시 고려해야 할

패턴의 중형비 및 충진률 이형시 발생하는 문제점에 대해 고찰하였다. 이를 위해 구성된 간이 사출성형기는 펠티어 소자를 통해 캐비티 내의 온도는 그림 6과 같이  $100 \pm 20$ 로 액티브 온도 컨트롤과 패시브 온도 컨트롤을 통해 사출성형을 수행하였다. 수행 결과  $100^\circ\text{C}$ 가열과  $100^\circ\text{C}$ 유지 조건을 가지고 수행한 사출결과에서는 미충진 영역과 이형 과정에서 눌러 붙는 현상이 발생하였으며  $120^\circ\text{C}$ 가열과  $80^\circ\text{C}$ 냉각 조건에서는 고온으로 인한 뜯어짐 현상이 발생하였다.  $100^\circ\text{C}$ 가열과  $80^\circ\text{C}$ 냉각에서는 높은 충진률을 보였지만 패턴 주변부의 미충진 영역이 발생하는 것을 확인하였으며 그림 7과 같이  $110^\circ\text{C}$  가열과  $80^\circ\text{C}$  냉각 조건에서 가장 좋은 성형성을 보였다.

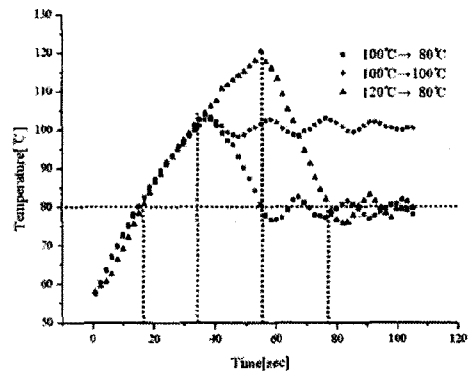


Fig. 5 Time variation with respect to temperature by using Peltier device control

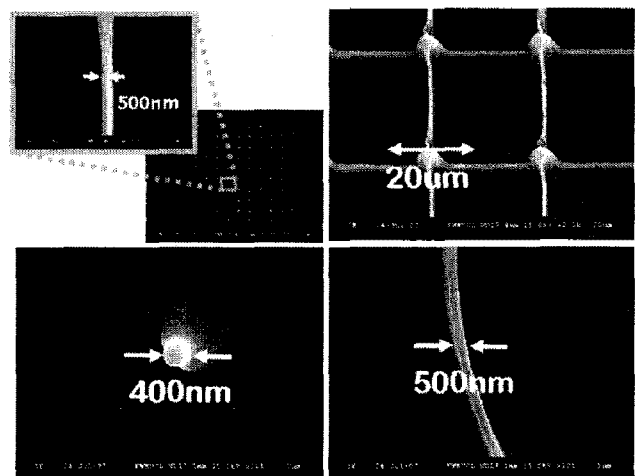


Fig. 7 SEM image of nano structure

#### 4. 결 론

본 연구에서는 사출 성형 공정에 펠티어를 이용하여 금형의 액티브 금형온도 제어를 통해 나노 구조물의 성형성을 확인하고자 하였다. 이를 위해 사출금형의 코어 모듈화 하였다. 사출 성형 시 압력은 일정하게 유지하였으며 온도를 변화하여 금형온도에 따른 사출 특성 연구를 수행하였다. 펠티어 소자 자체의 온도 변화 특성은 펠티어 소자가 설치된 금형의 온도 변화 특성보다 빠르고 정확하게 나타났다. 이는 금형의 설계 변경을 통해 최적화된 금형을 제작 하였을 때 온도 컨트롤이 더 빠르고 정확하게 수행 할 수 있을 것이라고 생각한다. 이를 위해서는 펠티어소자의 가열 면에서 발생하는 열을 금형에 빠르게 전달하도록 구성하여야 하며 또한 펠티어소자의 냉각 면에서 발생하는 열은 외부로 빠르게 방출 할 수 있도록 금형을 구성하여야 한다. 이를 위해서는 열전달 계수가 높고 또한 낮은 물질의 적절한 사용과 설계를 동반할 때 보다 높은 성형성을 얻을 수 있으며 사출 사이클도 줄일 수 있다고 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21세기 프론

티어 연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스 기술개발사업단의 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] Gale, M. T., Gimkiewicz, C., S., 2004, Replication technology for optical Microsystems, Optical and Laser in Engineering, Vol 43, pp 373-386.
- [3] Pranov, H., 2006, On the injection molding of nanostructured polymer surface, Polymer Engineering and Science, pp. 160~171.
- [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