

## 사출성형공정을 이용한 미세패턴을 갖는 플라스틱 부품 제작에 관한 연구

김동학, 김태완

순천향대학교 신소재화학공학부

### A study on the plastic parts with nano pattern using injection molding process

Dong-Hak Kim, Tae Wan Kim

Department of Chemical Engineering

Soonchunhyang University Asan 336-745, Korea

#### 요약

본 연구에서는 일반사출과 MmSH방식 두 가지의 사출성형공정을 이용하여 나노 패턴 구조물을 제작하였다. 성형품에 나타난 나노패턴의 진사성은 MmSH방식을 이용한 PC 성형품에서 가장 우수했다. 일반사출공정에서 HIPS로 제작된 성형품은 나노패턴의 진사가 잘 형성되었고, PC의 경우 진사가 잘 이루어지지 않았다. 연구 결과 수지의 유동성이 좋고, 금형표면 온도가 높을수록 나노패턴의 진사성은 향상됨을 알 수 있었다.

#### 1. 서론

나노패턴 공정기술은 초소형 발광 소자, 디스플레이 소자, 저장 소자, RF 및 광통신소자 등의 개발에 가장 중요한 기술로써 차세대 정보저장 및 처리 시스템과 광신호 연결 및 다중화 등에 사용되는 구조물의 성형에 적용이 가능하다. 현재 연구되고 있는 100nm에 근접할 수 있는 리소그래피 기술은 전자빔 리소그래피, X선 리소그래피, 주사탐침 리소그래피 등이 있다[1,2,3]. 저비용과 대량 생산을 위한 실용적이고 상업적인 방법으로는 한계가 있다. 이보다 발전되어 생산비용을 고려하여 미세구조물을 제작할 수 있는 리소그래피 기술에는 몰딩(molding), 엠보싱(embossing), 임프린팅(imprinting) 등의 공정이 있다[4,5,6]. 그러나 엠보싱 또는 임프린팅 공정은 공정 시간이 길고 고분자 시트(sheet)의 정밀도의 한계로 인하여 실용화를 위한 양산성과 패턴의 정밀도에서 한계가 있다. 나노 패턴을 갖는 미세 구조물을 낮은 비용으로 생산하기 위해서는 플라스틱 재료를 이용하는 것이 필수적이고, 특히 대량생산이 가능한 가공방법으로 사출성형(injection molding) 공정기술이 유망하다. 일반적인 사출성형공정은 금형의 온도를 40~80℃ 정도로 유지하면서 유입되는 고온(200~300℃)의 수지를 냉각시키도록 설계되어 있다. 따라서 수지와 금형의 온도 차이로 충전과정에서 수지가 냉각되기 때문에 여러 가지 표면 결함 및 물성 저하를 갖게 하고, 더욱이 미세한 형상인 경우 수지가 채우지 못하는 경우도 있다. 이러한 일반사출성형 공정으로는 우리가 원하는 정

밀한 나노 패턴을 갖는 플라스틱 구조물을 제조하는 것이 불가능하다. 일반적인 사출성형에서는 플라스틱이 금형 내로 충전되면서 냉각이 동시에 이루어지기 때문에 큰 중형비를 갖는 형상에서 충전되지 못한다. 그러나 MmSH(Momentary Mold Surface Heating System)방식은 금형의 온도를 사출되는 수지의 온도 수준으로 끌어올려 나노 패턴 구조물 제작이 가능하도록 금형 내의 미세한 구조까지 플라스틱이 충전될 뿐만 아니라 흐름과정에서 발생할 수 있는 표면결함을 개선할 수 있는 공정이다. 그리고 사출성형된 플라스틱은 금형 표면의 형상을 그대로 복사함으로써 성형품의 정밀도를 금형의 미세구조 수준과 동일하게 만들 수 있도록 하는 신기술이다[7].

본 연구에서는 일반사출성형 방식과 MmSH방식을 사용하여 나노패턴 구조물을 제작하여 성형품의 특성 및 사용된 수지의 유연학적 특성을 관찰하였다.

#### 2. 실험

설계 제작한 이동가열코어 구조의 금형에 미세 패턴을 갖는 사출성형품의 제작을 위해 PC(삼양사, 3022IR),와 HIPS(Dow, Styron A-Tech 1220) 수지와 사출기는 현대정공(주)의 SPF-250으로 직압식 수평형 타입을 사용하여 미세구조 패턴을 성형했다. 금형온도를 제외한 다른 인자인 사출압력, 보압, 속도, 위치, 시간, 수지의 온도는 일정하게 하였다. 금형온도는 금형온도 조절기로 사용하여 일반 사출성형은 80℃로 설정했다. 또한 순간금형가열방식(MmSH)에 사용된 금형온도는 금형 고정측은 8

0℃, 가열을 가하는 이동층의 금형온도는 250℃ ~ 300℃로 설정했다. MmSH방식과 일반사출성형 공정으로 성형한 제품의 표면은 SPM(Scanning Probe Microscopy)으로 관찰하여 특성을 평가하였다. 관찰한 제품의 Scan size는 5μm\*5μm이다. 그리고 Physica Rheometer MCR 300을 사용하여 유변물성 특성을 평가하였다. Frequency Sweep 테스트로 사출성형에 사용된 수지의 점성력과 탄성력 측정하였고, 사출성형시 가공온도에서 일어나는 열화현상 측정을 위한 Time 테스트를 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1~2는 광학렌즈용으로 polishing한 금형 코어에 대하여 일반사출성형법과 MmSH방식으로 사출한 사출성형품의 표면을 관찰한 그림이다. 나노미터 수준의 표면 형상을 관찰하기 위하여 약 0.5 nm로 polishing된 금형 코어를 대상으로 성형 실험한 결과, 일반 성형품의 경우 5nm이상의 거칠기를 나타내었고, 순간금형가열방식(MmSH)으로 만든 성형품의 경우는 약 1.5nm 수준의 거칠기를 보였다.

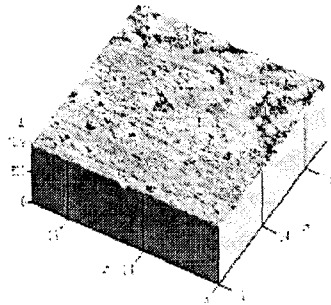


Fig. 1. 일반 사출성형법으로 제조한 성형품 표면의 AFM 이미지

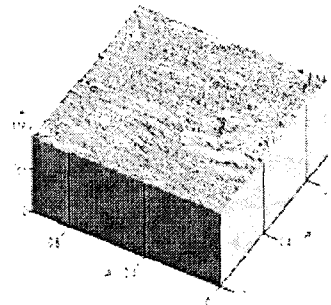


Fig. 2. 금형표면 순간가열방식으로 제조한 성형품 표면의 AFM 이미지

Fig. 3은 스탬퍼와 미세패턴을 갖는 성형품의 표면을 SEM으로 관찰한 결과이다. 스탬퍼 패턴 높이는 73nm이고, 패턴과 패턴의 사이는 310nm이다. Fig. 4~6은 금형표면 순간가열 공정과 일반 사출공정으로 성형후 성형품의 표면을 SPM으로 관찰한 3차원 결과이다. Fig. 4는 PC수지를 이용해 금형표면을 순간가열한 MmSH방식으로 제작한 성형품을 SPM으로 관찰한 결과이다. Scan 면적에 대한 패턴의 깊이에 대한 Max값은 40.22nm, Mid값은 16.43nm, Min값은 7.21nm이고, RMS값은 11.19nm이다. 패턴과 패턴 사이의 거리는 330nm이다.

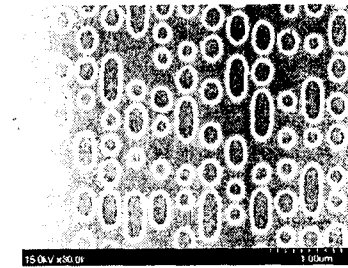


Fig. 3. DVD 스탬퍼 표면을 관찰한 SEM 이미지

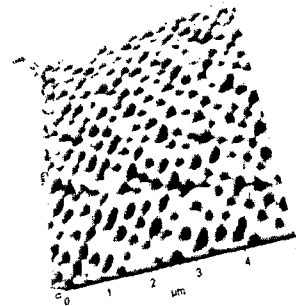


Fig 4. 금형표면 순간가열방식을 이용한 PC의 SPM 3차원 이미지

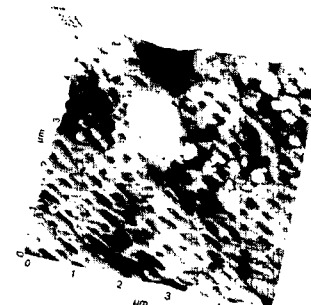


Fig 5. 일반 출성형 공정을 이용한 PC의 SPM 3차원 이미지

Fig. 5는 일반사출공정으로 제작된 PC 성형품을

SPM으로 관찰한 결과이다. Scan 면적에 대한 패턴의 깊이에 대한 Max값은 0.97 nm, Mid값은 0.93nm, Min값은 0.89nm이고, RMS값은 0.02nm이다. 패턴과 패턴 사이의 거리는 234.38nm이다. Fig. 6은 일반사출공정으로 제작된 HIPS 성형품을 SPM으로 관찰한 결과이다. Scan 면적에 대한 패턴의 깊이에 대한 Max값은 131.48 nm, Mid값은 98.32nm, Min값은 114.90nm이고, RMS값은 9.96nm이다. 패턴과 패턴 사이의 거리는 330nm이다.

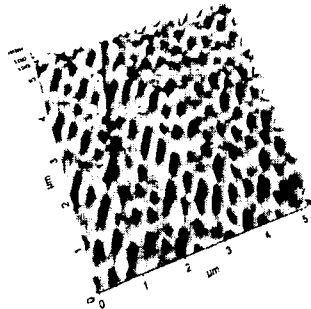


Fig 6. 일반 사출성형 공정을 이용한 HIPS의 SPM 3차원 이미지

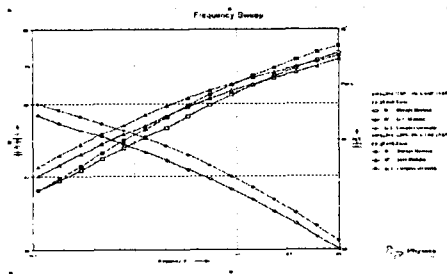


Fig. 7. HIPS 230°C와 220°C에서의 Frequency Sweep

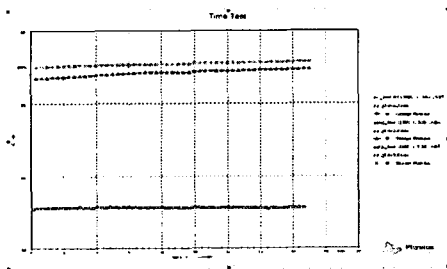


Fig. 8. PC(300°C)와 HIPS(230°C와 220°C)에 대한 Time test (square:HIPS 220°C, triangle:HIPS 230°C, circle:PC 300°C)

Fig. 7~8은 유동해석 결과를 나타낸 그림이다. 사출성형 가공온도에서 PC는 높은 점도의 뉴톤유체의 특성을 보였다. HIPS는 낮은 점도의 Shear-thing 특성을 나타내었고 유동의 흐름이 좋았다. PC의 경우 일반사출성형공정에서는 고점도의 영향으로 나노 패턴의 전사성이 좋지않았으

나, HIPS의 경우 온도가 낮은 사출성형공정에서도 패턴의 전사성은 같은 조건의 PC보다 월등히 우수하였다. 그리고 순간금형 가열방식으로 사출한 PC의 경우는 원래 점도는 HIPS 보다 높지만 금형온도를 높여줌으로써 금형과 수지의 열전달을 최소화시켜 수지의 점도를 낮게 유지하는 효과를 볼 수 있었다. Fig 8에서는 HIPS와 PC 수지로 사출성형을 했을 때 가공온도에서 열변형이 일어나지 않은 결과를 보여주고 있다.

#### 4. 결론

DVD 스템퍼의 자체장착이 가능한 금형 코아를 이용하여 스템퍼의 나노패턴에 대한 전사성을 시험한 결과, 사출성형 가공온도에서 PC는 고점도의 뉴톤유체의 특성을 보여 일반사출성형공정에서 패턴의 전사성이 나빴다. 그러나 MmSH방식으로 제작한 PC성형품은 금형온도를 수지의 용융온도까지 높여줌으로써 금형과 수지의 열전달을 최소화시켜 수지의 점도를 낮게 유지시켜 전사성이 향상되었다. HIPS는 저점도의 Shear-thing 특성이 나타나 유동의 흐름이 좋아 일반사출성형공정에서도 나노패턴의 전사가 잘 이루어졌다. 따라서 성형품의 전사성은 유동성이 좋고, 금형표면 온도가 높을수록 향상됨을 알 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

- [1] Geppert, L. IEEE Spectrum 1996, 33-38
- [2] Moreau, W. M. Semiconductor Lithography: Principles and Materials, Plenum. New York(1988)
- [3] Chou, S. Y., Krauss, P.R. and Renstrom, P. J. "Imprint of sub-25nm vias and Trenches in Polymers." Appl. Phys. Lett., 67(21), 3114-3116(1995)
- [4] Chou, S. Y., Krauss, P.R. and Renstrom, P. J. "Imprint Lithography with 25-Nanometer Resolution," Science, 272(5258), 85-87(1996)
- [5] Xia, Y. N., Rogers, J. A., Paul, K. E. and Whitesides, G. M., "Unconventional Methods for Fabricating and Patterning Nanostructure," Chem. Rev., 99(7), 1823-1848(1999)
- [6] Kim, Y. S., Suh, K. Y. and Lee, H. H., "Fabrication of Three-dimensional Microstructures by soft Molding," Appl. Phys. Lett., 79(14), 2285-2287(2001)
- [7] Kim, D.-H., M. H. Kang and Y. H. Chun, "Development of a notebook PC housing by using MmSH process" ANTEC2001, 2001.