

사출성형공정을 이용한 미세패턴을 갖는 플라스틱 부품 제작에 관한 연구

김동학* · 김태완*

A study on the Plastic Parts with Nano Pattern using Injection Molding Process

Dong-Hak Kim* and Tae Wan Kim*

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

Abstract Nano pattern structure is produced using the conventional injection molding and the MmSH method. Plastic parts using PC make used of the MmSH method is much better than the other about manufacture showed transcription of nano pattern. The conventional injection molding, transcription of plastic parts with nano pattern using HIPS showed better than PC. In the result, transcription of nano pattern improve when well liquidity and high temperature of mold surface.

Key Words : injection molding, MmSH, transcription, nano pattern

1. 서 론

나노패턴 공정기술은 초소형 발광 소자, 디스플레이 소자, 저장 소자, RF 및 광통신소자 등의 개발에 가장 중요한 기술로써 차세대 정보저장 및 처리 시스템과 광 신호 연결 및 다중화 등에 사용되는 구조물의 성형에 적용이 가능하다. 현재 연구되고 있는 100 nm에 근접할 수 있는 리소그래피 기술은 전자빔 리소그래피, X선 리소그래피, 주사탐침 리소그래피 등이 있다[1-3]. 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[4-6]. 그러나 엠보싱 또는 임프린팅 공정은 공정 시간이 길고 고분자 시트(sheet)의 정밀도의 한계로 인하여 실용화를 위한 양산성과 패턴의 정밀도에서 한계가 있다. 나노패턴을 갖는 미세 구조물을 낮은 비용으로 생산하기 위해서는 플라스틱 재료를 이용하는 것이 필수적이고, 특히 대량생산이 가능한 가공

방법으로 사출성형(injection molding) 공정기술이 유망하다. 일반적인 사출성형공정은 금형의 온도를 40~80°C 정도로 유지하면서 유입되는 고온(200~300°C)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. 일반적인 사출성형에서는 플라스틱이 금형 내로 충전되면서 냉각이 동시에 이루어지기 때문에 큰 종횡비를 갖는 형상에서 충전되지 못한다. 그러나 MmSH(Momentary Mold Surface Heating System)방식은 금형의 온도를 사출되는 수지의 온도 수준으로 끌어올려 나노패턴 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. 금형의 온도를 높이는 에너지원으로는 기체화염을 사용하고 금형이 열리면 성형품 표면에 해당하는 별도의 가열이동코어가 분리되고, 기체화염으로 가열이동코어를 수지온도 수준까지 가열한다. 금형이 닫히면 수지를 사출, 충전시키고, 냉

*순천향대학교 신소재화학공학부
Tel: 041-530-1505

각 공정에서는 이동코어가 분리되어 가열시 기체연료의 공급으로 이용했던 유로에 냉각용 공기를 이송시켜 급속한 냉각이 이루어지도록 한다. 본 공정은 냉각이 완료되어 성형품을 취출하는 것으로 하나의 사이클이 완성되며, 이런 공정이 반복되는 대량생산에 적합한 제조 방법이다[7].

본 연구에서는 일정한 형상을 지닌 DVD용 나노 스탬퍼를 가열이동코어에 장착한 후 일반사출성형법과 금형표면 순간가열방식(MmSH)방식으로 사출성형 한 후 성형품 나노패턴 구조물의 전사성의 특성과 실험에 사용된 수지의 유연학적 특성을 관찰하였다.

2. 실험

실험에 사용된 수지는 PC(Polycarbonate)는 삼양사의 3022IR이고 HIPS(High-Impact Polystyrene)는 Dow사의 Styron A-Tech 1220이다. 수지의 유연물성 특성을 평가하기 위해서 Physica Rheometer MCR 300을 사용했다. Frequency Sweep 테스트로 사출성형에 사용된 수지의 점성력과 탄성력을 측정했고, 사출성형 시 가공온도에서 일어나는 열화현상 측정을 위한 Time 테스트를 실시하였다.

설계 제작한 이동가열코어 구조의 금형에 미세패턴을 갖는 사출성형품의 제작을 위해 사출기는 현대정공(주)의 SPF-250으로 직압식 수평형 타입을 사용하여 미세구조 패턴을 성형했다. 금형온도를 제외한 다른 인자인 사출압력, 보압, 속도, 위치, 시간, 수지의 온도는 일반사출성형법과 MmSH방식에 따라 구분하여 일정하게 유지하였다. 금형온도는 금형온도 조절기로 사용하여 일반사출성형법은 80°C로 설정했다. 또한 순간금형가열방식(MmSH)에 사용된 금형온도는 금형 고정측은 80°C, 가열을 가하는 이동측은 250°C-300°C로 설정했다.

성형품 미세패턴의 표면 관찰을 위해 Scan size는 5 μm*5 μm로 설정하고, NF-AFM 방식의 SPM (Scanning Probe Microscopy)으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 HIPS 수지의 Frequency Sweep 테스트를 통한 유동해석 결과이다. HIPS는 낮은 점도의 Shear-thinning 특성이 나타나 유동의 흐름성이 PC보다 향상되었다. 반면 PC는 사출성형 가공온도인 270°C에서 높은 점도의 뉴턴유체의 특성을 보였다.

Fig. 2에서는 HIPS와 PC 수지는 사출성형을 했을 때 고온의 성형 가공온도 범위에서 열변형이 일어나지 않아 내열성이 우수한 수지임을 보여주고 있다.

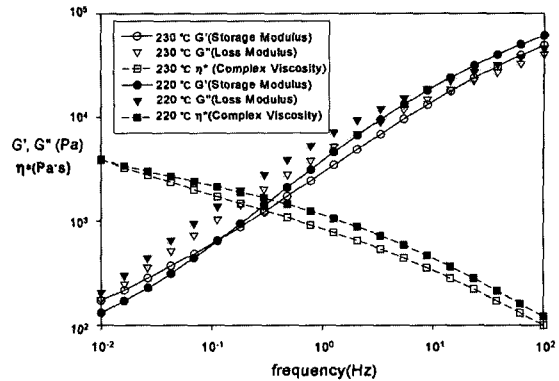


Figure 1. HIPS 230°C와 220°C에서의 Frequency Sweep

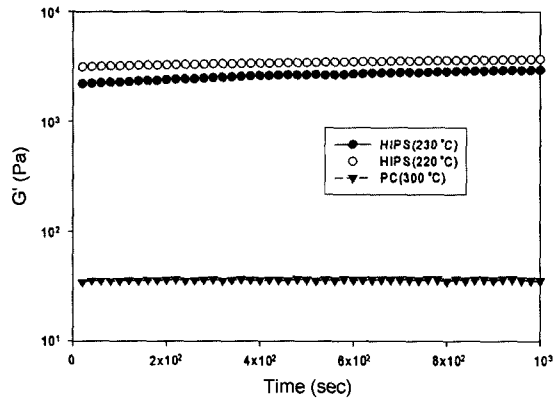


Figure 2. PC(300°C)와 HIPS(230°C와 220°C)에 대한 Time test

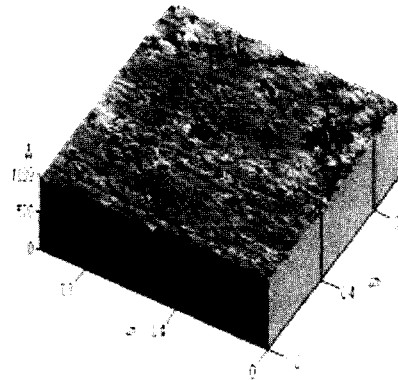


Figure 3. 일반사출성형법으로 제조한 ABS-성형품 표면의 SPM 이미지

Fig. 3과 Fig. 4는 광학렌즈용으로 polishing한 금형 코어에 대하여 ABS 수지(제일모직, Starex MP-0160RD)를 사용하여 일반사출성형법과 MmSH방식으로 사출한 사출성형품의 표면을 관찰한 그림이다. 나노미터 수준의 표면 형상을 관찰하기 위하여 약 0.5 nm로 polishing된

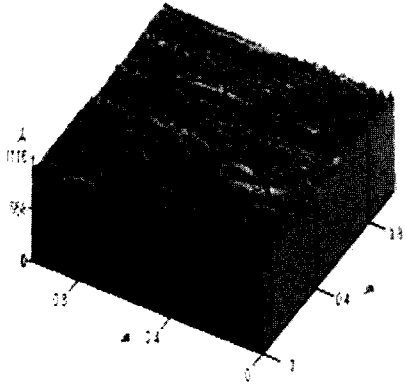


Figure 4. 금형표면 순간가열방식으로 제조한 ABS-성형품 표면의 SPM 이미지

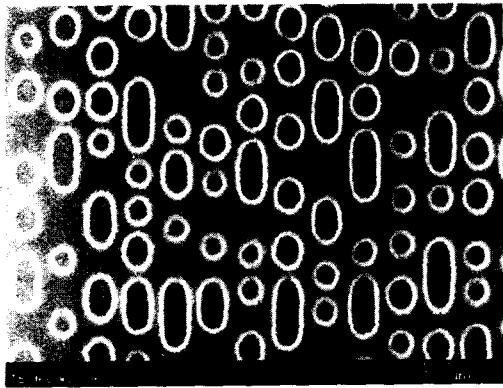


Figure 5. DVD용 스탬퍼 표면을 관찰한 SEM 이미지

금형 코어를 대상으로 성형 실험한 결과, 일반 성형품의 경우 5 nm 이상의 거칠기를 나타내었고, 반면에 금형표면 순간가열방식(MmSH)으로 제작한 성형품의 경우는 약 1.5 nm 수준의 거칠기를 보였다. 금형의 온도가 높은 금형표면 순간가열방식의 성형품의 표면조도가 일반사출성형법의 표면조도보다 3배 이상 향상되었다.

Fig. 5는 이동코어에 장착한 DVD용 스탬퍼 표면의 미세패턴을 SEM으로 관찰한 결과이다. 스탬퍼 패턴들의 높이는 73 nm이고, 이는 사출성형후 성형품에 음각 형태의 파인 형상으로 나타난다. 패턴과 패턴 사이의 거리는 310 nm이다.

Fig. 6과 Fig. 7은 PC수지를 일반사출성형법과 금형표면 순간가열방식으로 사출성형 후 성형품의 표면을 SPM으로 관찰한 3차원 이미지이다. Fig. 6에서 일반사출성형법으로 사출한 PC 성형품의 나노패턴의 평균깊이 값은 0.93 nm이다. 패턴과 패턴 사이의 거리는 234.38 nm이다. Fig. 7은 순간금형가열방식으로 제작한 PC 성형품을 SPM으로 관찰한 결과이다. 패턴의 깊이 평균값은 40.22 nm이고, 패턴과 패턴 사이의 거리는

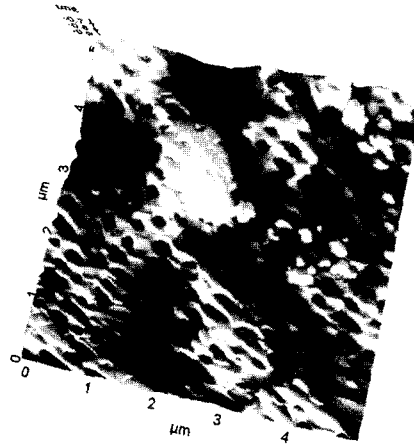


Figure 6. 일반사출성형법을 이용한 PC의 SPM 3차원 이미지

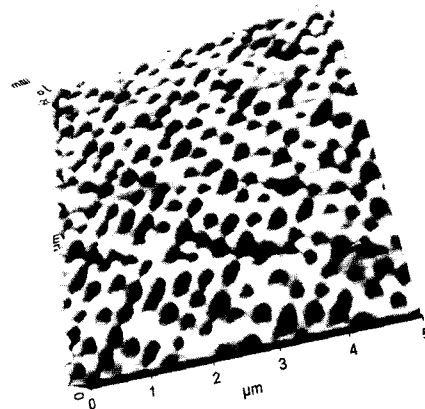


Figure 7. 금형표면 순간가열방식을 이용한 PC의 SPM 3차원 이미지

330 nm이다.

Fig. 8은 일반사출성형법으로 제작된 HIPS 성형품을 SPM으로 관찰한 결과이다. 나노패턴의 평균깊이 값은 98.32 nm이고, 나노패턴과 패턴 사이의 거리는 330 nm이다.

Fig. 9는 PC와 HIPS 성형품의 표면을 SPM으로 관찰한 2차원 이미지이다.

PC 성형품은 일반사출성형공정에서는 Fig. 6과 Fig. 9(a)에서와 같이 수지의 유변학적 특성으로 높은 점도의 영향으로 인한 나노 패턴사이의 거리가 스탬퍼상의 거리보다 75.62 nm만큼 차이가 생겼고, 스탬퍼의 형상이 성형품에 잘 전사되지 못해 음각형상의 나노패턴이 형성되지 못했다. Fig. 7과 Fig. 9(b)에서와 같이 금형표면 순간가열방식으로 사출한 PC 성형품은 금형온도를 상승시킴으로써 금형과 수지의 열전달을 최소화시켜

4. 결 론

DVD용 스탬퍼의 자체장착이 가능한 금형 코어를 이용하여 사출성형 한 결과 PC 성형품은 일반사출성형법에서는 고점도 특성으로 스탬퍼상의 나노패턴 구조물 전사가 잘 이루어지지 않았고, 금형표면 순간가열방식으로 제작한 성형품은 높은 금형온도 영향으로 나노구조물의 전사성이 실험결과 가장 잘 전사되었다. HIPS 성형품은 일반사출성형 공정에서도 나노패턴의 전사가 비교적 잘 이루어졌다. 따라서 스탬퍼의 나노패턴 구조에 대한 성형품의 전사성은 유동성이 좋고, 금형표면온도가 높을수록 향상됨을 알 수 있었다.

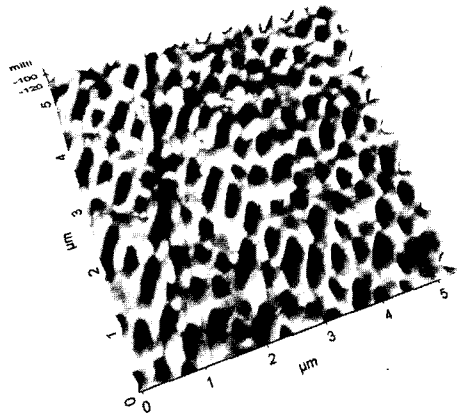


Figure 8. 일반사출성형법을 이용한 HIPS의 SPM 3차원 이미지

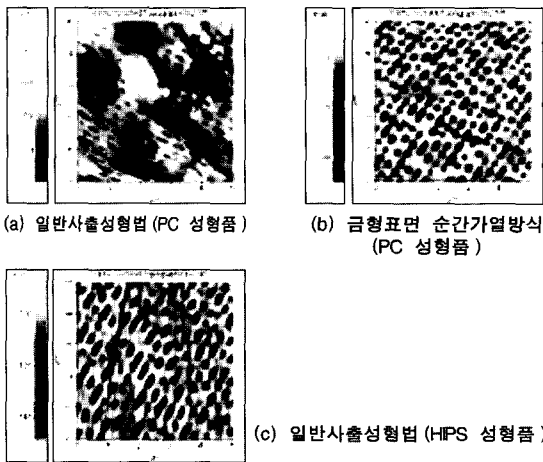


Figure 9. PC & HIPS 성형품의 SPM 2차원 이미지

수지의 점도를 낮게 유지하는 효과가 발생하여 나노패턴의 전사성이 일반사출성형법보다 우수해 나노패턴의 형성이 잘 이루어졌다. Fig. 8과 Fig. 9(c)의 HIPS 성형품은 shear-thinning특성에 기인한 저점도 물질로 유동성 흐름이 좋아 금형온도가 낮은 일반사출성형법에서도 같은 조건의 PC 성형품보다 나노패턴 구조물이 성형품에 잘 전사되었다.

감사의 글

본 연구는 나노메카트로닉스기술개발사업단 특정연구개발사업(과제번호: M102KN010001-02K1401-0210) 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Geppert, L. IEEE Spectrum, 33-38, 1996.
- [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-25 nm 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.