

나노패턴을 갖는 DVD용 스탬퍼의 표면가열방식이 COC, PMMA 수지를 이용한 사출성형품의 전사성에 미치는 영향

김동학 · 유홍진 · 김태완*

Effects of the mold surface heating methods for the DVD stamper with nano pattern on the transcription of the injection molded parts using COC and PMMA plastics

Dong-Hak Kim, Hong Jin Yoo, Tae Wan Kim*

요약 본 연구에서는 분리형 이동코어 방식의 스탬퍼 금형을 개발하였고, 사출성형품 품질에 영향을 주는 인자 중에 이동코어 표면 가열 방식이 미세구조를 갖는 성형품 전사성에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 이동코어 표면 가열방식은 이동코어를 가열하지 않는 일반사출방식, 할로겐램프를 이용한 복사형 가열방식과 기체화염을 이용해 가열하는 MmSH 방식을 사용했다. COC, PMMA 두 종류의 열가소성 수지를 사용하여 성형품을 제작한 결과, 이동코어 표면온도가 가장 높은 MmSH 방식에서 나노패턴 전사성이 가장 우수했고, 일반사출성형 방식으로 제작한 성형품에서 전사성이 가장 저조했다.

Abstract We developed the stamper structured mold with moving core type with nano pattern. Among the factors affecting the quality of injection molding plastic parts, We studied the effects of moving core surface heating method on the transcription of injection molding plastic parts with nano structures. Moving core surface heating has been tested by three different methods. The first was conventional injection molding process without heating moving core surface, the second was halogen lamp radiation heating process and the last was MmSH process using gas flame. As a result of making injection molded parts by using thermoplastic amorphous resins such as COC, PMMA, MmSH method which is the most high temperature of moving core surface showed the best nano pattern transcription of the three methods, but the outcome of conventional injection molding process was not better than others.

Key Words : moving core surface heating, injection molding, MmSH, transcription, nano pattern

1. 서 론

플라스틱은 현재 가장 급증하고 있는 산업 중의 하나로 플라스틱 제작의 약 1/3정도가 사출성형공정으로 생산되고 있다. 최근 들어서는 경량화, 고강도 성분을 갖는 고분자 재료의 개발로 인해 전기전자 제품은 물론 자동차, 항공산업, 광학산업 등 정밀제품 생산에 이르기까지 사출성형기술의 중요성은 더욱 가속화 되고, 또한 플라스틱 재료특성 연구와 성형조건 최적화에 관한 연구도 활발히 진행 중이다[1,2]. 최근 들어 정밀성형품은 랩온어칩(Lab-on-a-chip) 형태의 플라스틱 구조물 제작 등 바이오산업에 적용되고 있다. 랩온어칩은 작은 기관 위에 DNA, 단백질 등을 집적시켜 놓은 것을 의미한다.

플라스틱 랩온어칩 구현을 위해서는 몰드제작기술, 플라스틱 랩온어칩 제작기술과 마이크로 플루이드스 기술 등 여러 기술들이 복합적으로 융합되어야 한다. 실용적이고 상업적인 방법은 플라스틱 미세구조물 제작 방법은 리소그래피 기술과 사출성형기술이 대표적이다. 리소그래피 기술은 몰딩(molding), 엠보싱(embossing), 임프린팅(imprinting) 등의 공정 등이 있다[3,4]. 엠보싱은 열가소성 물질의 미세 구조물을 각인시켜 상업적인 제작기술이다[5,6]. 그러나 엠보싱 또는 임프린팅 공정은 공정 시간이 길고 고분자 시트의 정밀도의 한계로 인하여 양산성과 패턴의 정밀도에서 한계가 있다. 미세 구조물을 저비용으로 생산하기 위해서는 플라스틱 재료를 이용하는 것이 필수적이다. 사출성형(injection molding)공정기술은 대량생산이 가능한 가장 대표적인 가공방법이다. 그러나 사출성형의 특성상 수지와 금형

순천향대학교 신소재화학공학부, 신가공기술혁신센터*

의 온도차로 인하여 성형품 표면의 물성 및 전사성 결합은 형상이 미세하고 정밀해질수록 더욱 그 경향이 나타난다. 사출성형기법 중 MmSH(Momentary Mold Surface Heating System)방식은 금형온도를 사출되는 수지의 온도 수준으로 끌어올려 미세 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].

미세구조를 갖는 플라스틱 웨이퍼용 금형의 요구특성은 첫째로 표면을 순간적으로 가열하여 금형표면온도를 수지온도 수준까지 상승시킨 후 충전이 완료되면 급속 냉각이 가능한 구조가 되어야 한다. 두 번째로 일반성형에 비해 사이클 타임이 길어지지 않아야 한다. 세 번째로 반복공정의 가열, 냉각 사이클에 견딜 수 있는 금형재질이어야 한다. 마지막으로 스탬퍼의 장착 및 탈착이 가능한 스탬퍼 금형구조이어야 한다. 일정한 열량으로 효율적인 금형 표면만을 가열하기 위해서는 가열되는 질량이 최소화 되어야 하며 이를 위해서 금형고정판과 가열코어 부분을 분리시켜야 한다. 본 연구진은 이러한 특성에 적합한 금형고정판과 이동코어의 분리가 가능한 분리형 이동코어 방식의 금형을 개발하였다. 실험은 가열방식에 따라 각각 일반사출성형 방식, 할로겐램프를 이용한 복사형 가열방식과 MmSH 방식으로 이동코어 표면을 가열하였다. 그리고 미세패턴 구조물을 지닌 성형품의 표면 특성 분석 및 평가를 통해 이동코어 표면 가열방식이 사출성형품 전사성에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

2. 실험

실험에 사용한 사출성형기는 동신유압의 PRO-25WD으로 직압식 수평형 타입의 고속정밀사출기이다. 사출금형은 스프루(sprue)의 길이 85 mm, 스프루 직경은 러너(runner)로부터 6 mm로 역테이퍼 졌으며, 러너의 길이는 50 mm이고, 게이트(gate)는 사이드 게이트(폭 5 mm, 두께 3 mm, 랜드길이 2.5 mm)로 가공하였다. 성형에 사용된 금형 캐비티(cavity)는 Fig. 1과 같다. 이 금형은 two cavity 형태로서 그림에서 오른쪽 캐비티는 가로, 세로 모두 50 mm, 두께는 2 mm 로 제작되었다. 이동코어 프레임과 성형면 가공판을 고정할 수 있도록 볼팅 체결이 되어 있고 이동가열코어의 분리거리는 70 mm 이상이다. 실험에 사용된 COC(Cyclic Olefin Copolyme) 수지는 Topas사의 Ticona이고, PMMA (Poly

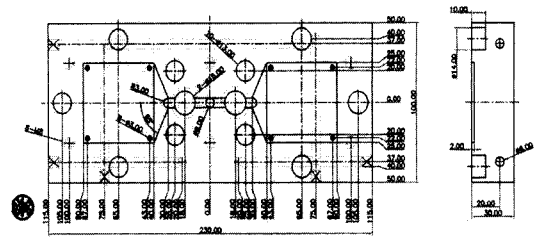


Fig. 1. 미세패턴 사출용 금형내의 캐비티 구조

methylmethacrylate) 수지는 LG화학의 IF850 이다. 사출성형 시 사출압력, 보압, 속도, 위치, 시간, 수지의 온도는 최적의 값으로 설정하였다.

실험은 이동코어 표면 가열방식에 따라 일반사출성형 방식과 할로겐램프의 복사열을 이용한 가열방식과 MmSH 가열방식으로 구분하여 실험했다. 일반사출성형 방식의 전체금형온도는 금형온도 조절기와 칠러로 사용하여 가공된 냉각수를 통하여 water를 순환시켜 설정온도를 유지시켜 금형의 이동측과 고정측 모두 80°C로 설정했고 이동코어는 가열하지 않았다. 할로겐램프 가열방식은 이동가열코어 온도제어를 컨트롤러에 내장된 전자식 전압조절기로 전압을 출력시켜 설정온도 만큼 할로겐램프를 가열하여 설정온도에 이르면 SSR을 on-off 시켜 온도를 제어했다. 금형의 이동측은 일반사출성형방식과 같이 금형온도 조절기를 사용하여 일반사출성형방식과 동일하게 설정하였다. 이동가열코어의 표면을 200°C로 가열시킨 후 금형에서 분리하는 이동식 외부삽입방식이다. Fig. 2는 가열에 사용된 할로겐램프 시스템의 개략도이다. MmSH 가열방식은 금형의 이동측은 일반사출성형방식과 동일하게 설정하였고 이동코어의 표면 온도를 gas flame을 이용하여 수지의 용융점인 250°C이상으로 가열하였다. Fig. 3은 가열에 사용된 MmSH 가열시스템의 개략도를 나타냈다.

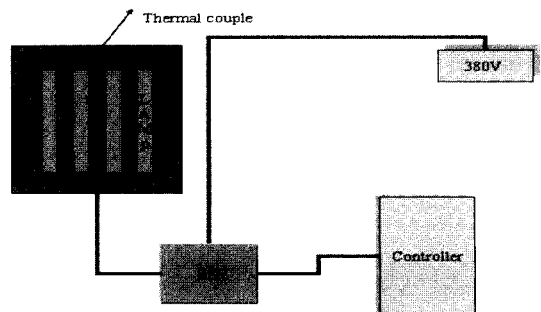


Fig. 2. 할로겐램프 가열방식 시스템 개략도

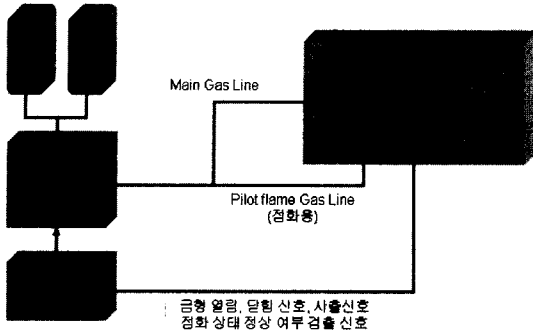


Fig. 3. MmSH 가열방식 시스템 개략도

성형품은 정상적인 사출상태가 이루어진 후 각각 금형온도 가열방식마다 성형재료별로 취출하였다. 모든 성형품은 더 이상의 후변형이 없다는 가정하에 Clean room에 5일간 방치시킨 후 NC-AFM 방식의 SPM (PSIA, XE-100)으로 나노패턴 전사성을 평가하였다. Scan size는 $5 \times 5 \mu\text{m}$ 이며, 프로파일 분석은 스캐닝된 패턴의 깊이와 패턴과 패턴사이의 거리 값을 측정하여 스템퍼의 프로파일과 비교했다. 스템퍼의 패턴은 positive 형태의 돌출된 모양이므로 사출성형된 성형품은 스템퍼의 형상과 정반대의 negative 형태의 파진 형상으로 나타난다.

Fig. 4는 사출성형공정에 캐비티로 사용된 스템퍼의 표면을 SPM으로 관찰한 이미지이다. 스템퍼의 크기는

4 inch 이고, 두께는 0.5 mm이다. 나노패턴은 positive 형상의 불규칙적인 패턴이다. 원 스템퍼의 패턴 높이는 73 nm 이었지만 5 inch 규격의 스템퍼를 4 inch 규격으로 가공하면서 산화막과 불순물로 인한 손상으로 패턴의 평균깊이는 61.65 nm 로 측정되었고, 이웃하는 패턴과 패턴 사이의 거리는 312.50 nm로 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

이동가열코어를 가열하지 않은 일반사출성형방식으로 사출한 COC 성형품과 PMMA 성형품의 SPM 이미지는 Fig. 5-6에 나타내었다. (a)는 측정된 2차원 이미지이고, (b)는 3차원 이미지이다. (c)는 2차원 이미지에서 근접해 있는 나노패턴들의 단면프로파일을 형성하여 패턴의 깊이와 패턴과 패턴 사이의 거리를 측정하여 나타내었다. 전사된 COC 성형품의 나노패턴 깊이는 41.70 nm 이고, 이웃하는 패턴과의 거리는 390.63 nm 이었다. PMMA 성형품의 나노패턴 깊이는 24.93 nm 이고, 패턴과 패턴과의 거리는 410.16 nm이었다.

할로겐램프 가열방식으로 사출한 COC 성형품과 PMMA 성형품의 SPM 이미지는 Fig. 7-8에 나타내었다. COC 성형품의 경우 전사된 나노패턴의 깊이는 50.86 nm 이고, 패턴과의 거리는 391.00 nm 의 거리를 나타냈고, PMMA 성형품은 패턴 깊이는 28.78 nm 이고, 패턴과의 거리는 351.56 nm 이었다. 일반사출성형 방식일 때 보다 패턴의 깊이와 거리가 COC, PMMA

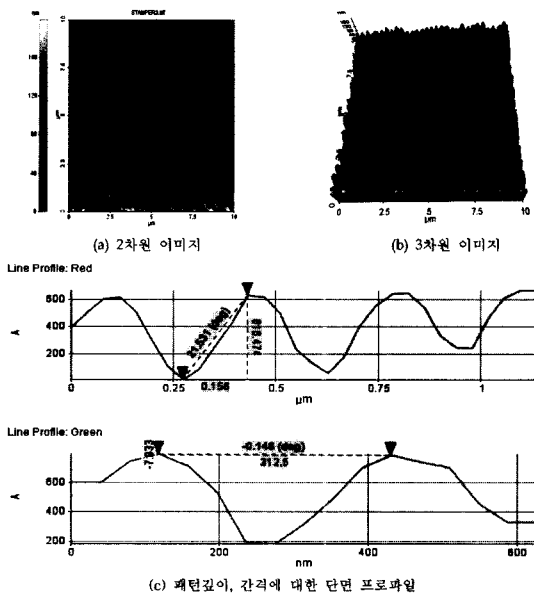


Fig. 4. DVD stamper 표면을 관찰한 SPM 이미지

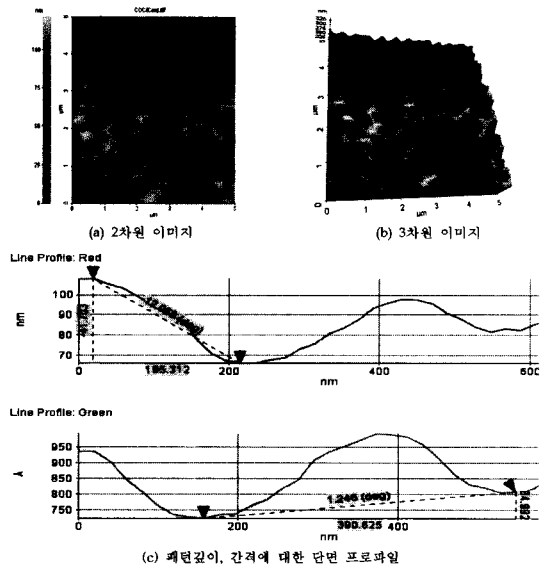


Fig. 5. 일반사출성형방식을 이용한 COC 성형품 SPM 이미지

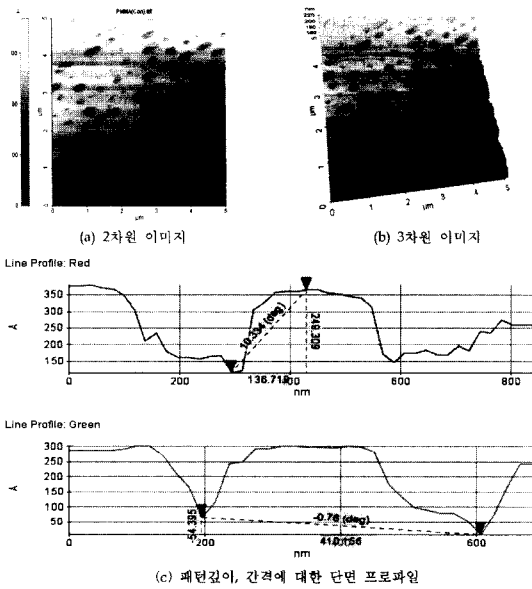


Fig. 6. 일반사출성형방식을 이용한 PMMA성형품 SPM 이미지

성형품 모두에서 스탬퍼 형상에 더 근접했다. 할로겐램프 가열방식은 일반사출성형 방식 보다 패턴의 전사가 잘 이루어졌다.

MmSH 가열방식으로 사출한 COC와 PMMA 성형품의 SPM 이미지는 Fig. 9-10에 나타내었다. MmSH 가

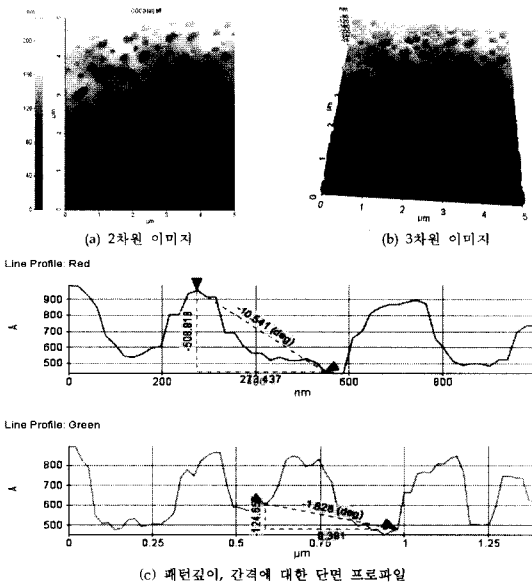


Fig. 7. 할로겐램프 가열방식을 이용한 COC성형품 SPM 이미지

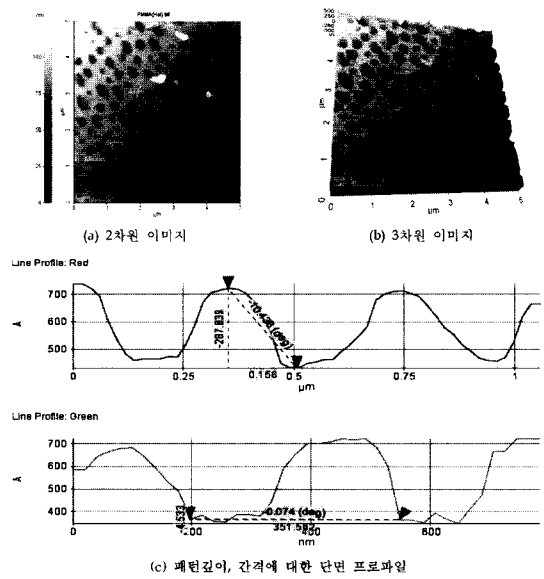


Fig. 8. 할로겐램프 가열방식을 이용한 PMMA성형품 SPM 이미지

열방식일 때 COC 성형품의 경우 전사된 나노패턴의 깊이는 60.62 nm 이고, PMMA 성형품은 69.47 nm 였다. 이웃하는 패턴과의 거리는 스탬퍼 상의 이웃하는 패턴과 패턴사이의 거리는 두 성형품 모두 312.50 nm 로 측정되어 나노패턴의 깊이와 거리에 전사성은 일반

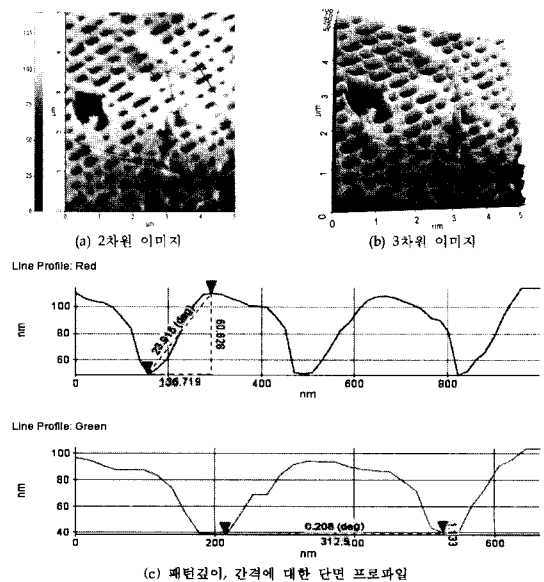


Fig. 9. MmSH 가열방식을 이용한 COC성형품 SPM 이미지

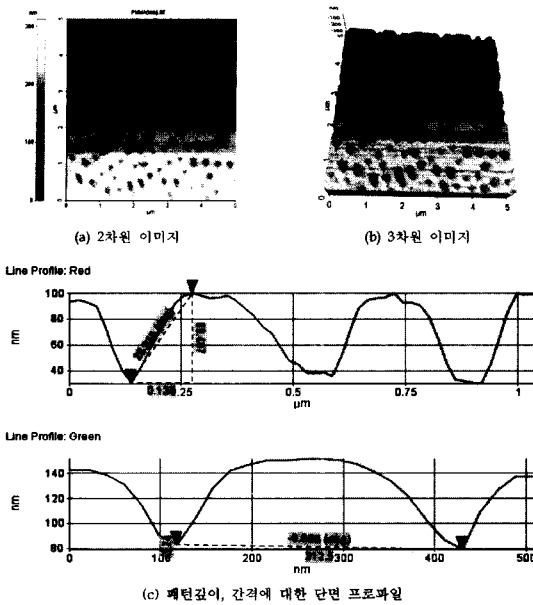


Fig. 10. MmSH 가열방식을 이용한 PMMA성형품 SPM 이미지

사출성형 방식과 할로겐램프 가열방식 보다 우수했다. 금형가열방식에 따른 나노패턴의 전사성을 비교한 결과, 일반사출성형방식은 미세패턴 전사의 한계점을 보여주었고, 할로겐램프 가열방식은 외부삽입방식을 사용하였기 때문에 열손실로 인해 실제로 가열한 온도보다 금형표면 온도는 감소되어 MmSH 가열방식보다 나노패턴의 전사가 잘 이루어지지 않았다. 효율적인 패턴 전사를 위해서는 할로겐램프 가열방식은 금형내부에 가열원이 있는 내부삽입방식으로 전환이 필요할 것으로 판단된다. MmSH 가열방식은 스템퍼 표면의 온도가 약 200°C 이상으로 금형표면 전반에 걸쳐 고르게 온도분포가 이루어져 나노패턴의 전사성이 가장 우수했다. 이와 같이 금형표면의 온도가 높아질수록 유동수지의 점도가 낮아져 캐비티 내의 수지의 유동성을 향상시켜 스템퍼의 나노패턴 전사성을 향상시킬 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 사출성형공정을 이용하여 나노패턴을 갖는 플라스틱 성형품 제작 시 이동코어 표면 가열방식이 패턴 전사성에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 실험 결과 금형표면을 가열하지 않은 일반사출성형 방식에서 전사가 가장 잘 이루어지지 않았고, MmSH 가열방식에서 패턴의 전사가 가장 잘 이루어졌다. 따라서 나노패턴은 이동코어 표면온도가 높을수록 전사가 잘 이루어짐을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 한국과학재단 지정 순천향대학교 차세대BIT무선부품연구센터(과제번호 : R12-2002-052-04005-0)의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- [1] L. A. Utracki, "Polymer Alloys and Blends", Hanser Publisher, Munich, 1989.
- [2] S. Y. Kienzle, "Polymer Blends and Alloy", Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, Pennsylvania, USA, 1988.
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] General reviews on self-assembly J.-M. Lehn, Angew. Chem. 1990, 102, 1347-1362.
- [6] Self-assembly on the molecular scale J. S. Lindsey, New J. Chem. 1991, 15, 153-180.
- [7] Kim, D.-H., M. H. Kang and Y. H. Chun, "Development of a notebook PC housing by using MmSH process" ANTEC2001, 2001.