

## 금형온도 가열방식이 플라스틱 웨이퍼의 전사성에 미치는 영향

김태완, 김동학\*

순천향대학교 신소재화학공학부

(dhkim@sch.ac.kr\*)

**Effects of mold surface heating method on the transcription of injection molded plastic wafers with nano/micro structures**

Tae Wan Kim, Dong-Hak Kim\*

Division of Material and Chemical Engineering Soonchunhyang University

(dhkim@sch.ac.kr\*)

1. 서 론

플라스틱은 현재 가장 급증하고 있는 산업 중의 하나로 플라스틱 제작의 약 1/3정도가 사출성형공정으로 생산되고 있다. 최근 들어서는 경량화되고 고강도의 고분자 재료의 개발로 인해 전기전자 제품은 물론 자동차, 항공산업, 광학산업 등 정밀제품 생산에 이르기까지 사출성형기술의 중요성은 더욱 가속화 되고, 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 기관위에 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 미세 구조물 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. 특히 대량생산이 가능한 가공방법으로 사출성형(injection molding)공정기술이 가장 유망하다. 그러나 사출성형의 특성상 수지와 금형의 온도차로 인하여 성형품 표면의 물성 및 전사성 결함은 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].

본 연구는 금형온도 가열방식이 사출성형품 전사성에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 가열방법은 일반사출성형 방식, 할로겐램프를 이용한 복사형 가열방식과 MmSH방식을 사용했다. 성형품 전사성은 미세패턴 구조물을 지닌 성형품의 표면 특성평가로 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 two cavity 형태로서 가로, 세로 각각 50 mm, 두께는 2 mm 로 제작되었다. 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. 이러한 특성에 적합한 금형은 분리형 이동가열코어 방식의 금형을 실험에 사용했다. 이동가열코어 프레임과 성형면 가공판을 고정할 수 있도록 볼팅체결이 되어 있고 이동가열코어의 분리거리는 70 mm 이상이다.

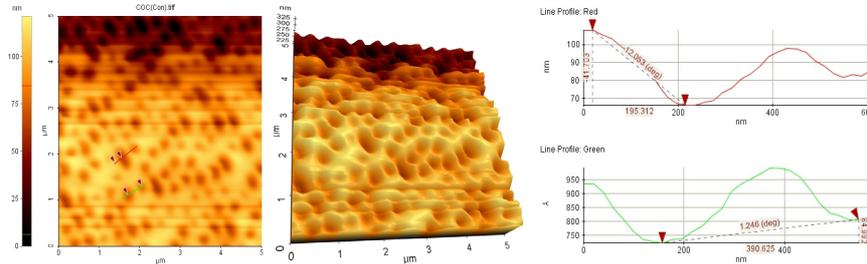
실험은 금형가열방식에 따라 일반사출성형 방식과 할로겐램프의 복사열을 이용한 가열방식과 MmSH 가열방식으로 구분하여 실험했다. 일반사출성형방식의 전체금형온도는 금형온도 조절기와 칠러로 사용하여 가공된 냉각수로를 통하여 water를 순환시켜 설정온도를 유지시켜 금형의 이동측과 고정측 모두 80℃로 설정했고 이동가열코어는 가열하지 않았다. 할로겐램프 가열방식은 이동가열코어 온도제어를 컨트롤러에 내장된 전자식 전압조절기로 전압을 출력시켜 설정온도만큼 할로겐램프를 가열하여 설정온도에 이르면 SSR을 on-off 시켜 온도를 제어했다. 금형의 이동측은 일반사출성형방식과 같이 금형온도 조절기를 사용하여 일반사출성형방식과 동일하게 설정하였다. 이동가열코어의 표면을 200℃로 가열시킨 후 금형에서 분리하는 이동식 외부삽입방식이다. MmSH 가열방식은 금형의 이동측은 일반사출성형방식과 동일하게 설정하였고 이동가열코어의 표면 온도를 gas flame을 이용하여 수지의 용융점인 250℃이상으로 가열하였다.

성형품은 정상적인 사출상태가 이루어진 후 각각 금형온도 가열방식마다 성형재료별로 취출하였다. 모든 성형품은 더 이상의 후변형이 없다는 가정하에 Clean room에 96시간 동안 방치시킨 후 NC-AFM 방식의 SPM (PSIA, XE-100)으로 나노패턴 전사성을 평가하였다. Scan size는 5×5 μm이며, 프로파일 분석은 스캐닝된 패턴의 깊이와 패턴과 패턴사이의 거리 값을 측정하여 스탬퍼의 프로파일과 비교했다. 스탬퍼의 패턴은 positive 형태의 돌출된 모양이므로 사출성형된 성형품은 스탬퍼의 형상과 정반대의 negative 형태의 파진 형상으로 나타난다. 스탬퍼의 크기는 4 inch 이고, 두께는 0.5 mm이다. 나노패턴은 positive 형상의 불규칙적인 패턴이다. 원 스탬퍼의 패턴 높이는 73 nm 이었지만 5 inch 규격의 스탬퍼를 4 inch 규격으로 가공하면서 산화막과 불순물로 인한 손상으로 패턴의 평균깊이는 61.65 nm 로 측정되었고, 이웃하는 패턴과 패턴 사이의 거리는 312.50 nm로 측정되었다.

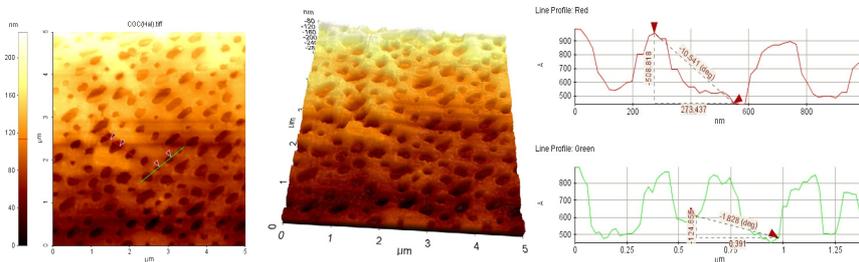
## 3. 결과 및 토론

이동가열코어를 가열하지 않은 일반사출성형방식으로 사출한 COC 성형품의 SPM 이미지는 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 (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 나노패턴의 깊이는 41.70 nm 이고, 이웃하는 패턴과의 거리는 390.63 nm 이었다. 할로겐램프 가열방식으로

사출한 COC 성형품의 SPM 이미지는 Fig. 2에 나타내었다. 전사된 나노패턴의 깊이는 50.86 nm 이고, 패턴과의 거리는 391.00 nm 의 거리를 나타냈다. 일반사출성형방식일 때 보다 패턴의 깊이와 거리가 스탬퍼 형상에 더 근접해 감을 알 수 있다.

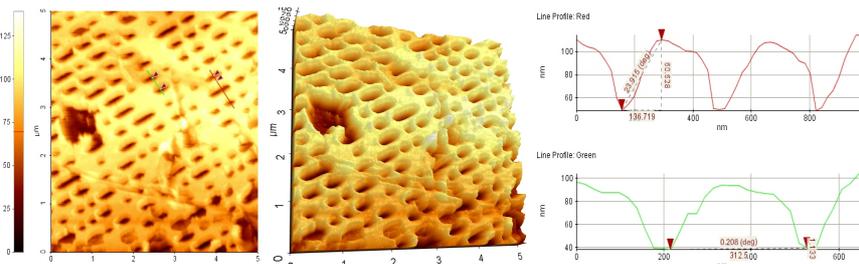


(a) 2차원 이미지 (b) 3차원 이미지 (c)패턴 단면 프로파일  
Fig. 1. 일반사출성형방식을 이용한 COC성형품 SPM 이미지



(a) 2차원 이미지 (b) 3차원 이미지 (c)패턴 단면 프로파일  
Fig. 2. 할로겐램프 가열방식을 이용한 COC성형품 SPM 이미지

MmSH 가열방식으로 사출한 성형품들의 SPM 이미지는 Fig. 3에 나타내었다. MmSH 가열방식일 때 나노패턴의 깊이는 60.62 nm 이고, 이웃하는 패턴과의 거리는 스탬퍼 상의 이웃하는 패턴과 패턴사이의 거리인 312.50 nm의 거리와 같게 측정되었다. 나노패턴의 깊이와 거리에 전사성은 일반사출성형 방식과 할로겐램프 가열방식 보다 우수했다.



(a) 2차원 이미지 (b) 3차원 이미지 (c)패턴 단면 프로파일  
Fig. 3. MmSH 가열방식을 이용한 COC성형품 SPM 이미지

금형가열방식에 따른 나노패턴의 전사성을 비교한 결과, 일반사출성형 방식은 미세패턴 전사의 한계점을 보여주었고, 할로겐램프 가열방식은 외부삽입방식으로 가열된 금형표면은 대기 증으로 손실되는 열로 인해 금형표면 온도감소 효과를 가져와 MmSH 가열방식 보다 나노패턴의 전사가 잘 이루어지지 않았다. 효율적인 패턴의 전사를 위해서는 할로겐램프 가열방식은 외부삽입방식이 아닌 금형내부에 가열원을 제공해야 한다. MmSH 가열방식은 스탬퍼 표면의 온도가 약 200°C 이상 금형표면 전반에 걸쳐 고르게 온도분포가 이루어져 나노패턴의 전사성이 가장 우수했다. 이와 같이 금형표면의 온도가 높아질수록

유동수지의 점도가 낮아져 캐비티 내의 수지의 유동성을 향상시켜 스탬퍼의 나노패턴 전사성을 향상시킴을 알 수 있었다.

Table. 1은 스탬퍼와 금형가열방식에 따른 각각의 나노패턴 깊이와 패턴사이 거리의 값을 도시하였다.

Table. 1. 금형온도 가열방식에 따른 전사성 비교

Temp. method	Depth(nm)	distance(nm)
Stamper	61.65	312.50
일반사출성형	41.70	390.63
할로젠 램프	50.86	391.00
MmSH	60.62	312.50

#### 4. 결론

본 연구는 사출성형공정을 이용하여 나노패턴을 갖는 플라스틱 부품 제작 시 금형온도 가열방식이 패턴 전사성에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 실험결과 일반사출성형 방식에서 전사가 가장 잘 이루어지지 않았고, MmSH 가열방식에서 패턴의 전사가 가장 잘 이루어졌다. 따라서 나노패턴의 전사는 금형표면온도가 높을수록 전사가 잘 이루어짐을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 나노메카트로닉스기술개발사업단 특정연구개발사업(과제번호: M102KN010001-02K1401-02010)지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [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.