

패턴 롤 스탬퍼를 이용한 연속 UV 나노 임프린팅 공정기술 개발

차주원¹, 안수호¹, 한정원¹, 배형대¹, 명호¹, 강신일[#]

Development of Continuous UV Nano Imprinting Process Using Pattern Roll Stamper

J. Cha, S. Ahn, J. Han, H. Bae, H. Myoung and S. Kang

Abstract

It has been issued to fabricate nano-scale patterns with large-scale in the field of digital display. Also, large-scale fabrication technology of nano pattern is very important not only for the field of digital display but also for the most of applications of the nano-scale patterns in the view of the productivity. Among the fabrication technologies, UV nano imprinting process is suitable for replicating polymeric nano-scale patterns. However, in case of conventional UV nano imprinting process using flat mold, it is not easy to replicate large areal nano patterns. Because there are several problems such as releasing, uniformity of the replica, mold fabrication and so on. In this study, to overcome the limitation of the conventional UV nano imprinting process, we proposed a continuous UV nano imprinting process using a pattern roll stamper. A pattern roll stamper that has nano-scale patterns was fabricated by attaching thin metal stamper to a roll base. A continuous UV nano imprinting system was designed and constructed. As practical examples of the process, various nano patterns with pattern size of 500, 150 and 50nm were fabricated. Finally, geometrical properties of imprinted nano patterns were measured and analyzed.

Key Words : UV nano imprinting, Nano patterns, Continuous UV nano imprinting, Pattern roll stamper

1. 서론

다양한 응용분야에서 나노 스케일 패턴의 적용이 연구되고 있으며, 최근 디스플레이 분야에서 대면적 나노 패턴 부품에 대한 제작 기술의 개발이 요구되고 있다. 대면적 나노 패턴 부품 제작 기술의 경우 디스플레이 뿐 아니라 다양한 응용 분야에서 나노 패턴 제품의 생산성 향상을 가능케 하므로 관련 기술에 대한 관심이 매우 증대되고 있다[1,2]. 폴리머 재료를 이용한 나노패턴의 복제 기술로는 나노사출 성형(nano injection molding), 핫 엠보싱(hot embossing), UV 나노임프린팅 등이 있으며 이중 UV 나노 임프린팅 공정은 상온저압공정이 가능하고 낮은 열팽창

계수, 높은 안정성 등의 장점이 있어 미세 나노패턴의 성형에 적합하다고 할 수 있다[3,4]. 그러나 기존의 평면 몰드 기반의 UV 나노 임프린팅 공정의 경우, 대면적 성형을 위해서는 성형 면적에 해당하는 크기의 몰드가 필수적으로 요구되며, 대면적 몰드 제작을 위한 비용의 증가가 불가피하다. 복제 공정상에서도 대면적 성형 시에 전면적에 대한 정밀한 제어가 필요로 하므로 공정시간이 증가한다. 또한, 패턴영역의 대면적화에 따른 몰드 표면과 폴리머 수 시간의 접촉면적의 증대로 접착력이 증가하여 이형 특성이 저하되는 단점이 있다[5]. 본 연구에서는 이러한 기존 기술의 단점을 극복하고자 패턴 롤 스탬퍼를 이용한 연속 UV 나노 임프린팅 공정을 제안하였다.

1. 연세대학교 대학원 기계공학과

#. 연세대학교 기계공학부 snlkang@yonsei.ac.kr

다양한 크기를 갖는 패턴 롤 스탬퍼를 제작하고 이를 이용한 연속 UV 나노 임프린팅 시스템을 구성하여 본 공정을 나노 스케일 패턴 성형에 적용 하였다. 이후 본 공정을 통해 나노 스케일의 패턴을 제작하였으며 성형된 나노패턴과 스탬퍼와의 형상 특성을 비교/분석함으로써 본 공정의 유용성을 검증하였다.

2. 연속 UV 나노 임프린팅 시스템 설계 및 구성

본 연구에서는 제작된 패턴 롤 스탬퍼를 이용한 연속 UV 나노 임프린팅 시스템을 Fig. 1 과 같이 설계/제작하였다. 연속 UV 나노 임프린팅 시스템의 경우, 롤 형상의 스탬퍼를 이용함으로써 재료의 공급에 따라 연속적인 패턴닝이 가능하므로 생산성을 높일 수 있으며 초기 스탬퍼 제작 시, 롤 형상의 표면에 해당하는 영역 만이 가공을 필요로 하므로 제작비용의 절감 효과를 기대할 수 있다. 또한, 다양한 표면 형상을 가지는 패턴 롤 스탬퍼를 제작함으로써 여러 가지 복제 구조물의 제작이 가능하다. Fig. 1 은 제작된 연속 UV 나노 임프린팅 시스템의 개념도로서 나노패턴이 표면에 가공된 롤 스탬퍼와 재료 공급 장치, UV 노광장치 그리고 기능성 롤러들로 구성된다. 패턴 성형을 위한 재료로는 자외선에 반응하여 경화되는 포토폴리머를 사용하였으며 디스펜서를 통해 액체상태로 투명 기판상에 도포된다. 롤 스탬퍼의 회전에 따라 기판이 이송되며 도포된 포토폴리머는 재료 균일 도포 롤러에 의해 일정 두께로 제어된다. 이후 액상의 포토폴리머는 기판과 롤 스탬퍼간의 접촉을 위한 롤러를 통과하면서 롤 스탬퍼의 캐비티(cavity)로 충전되고 이와 동시에 자외선이 투명 기판을 투과하여 조사된다.

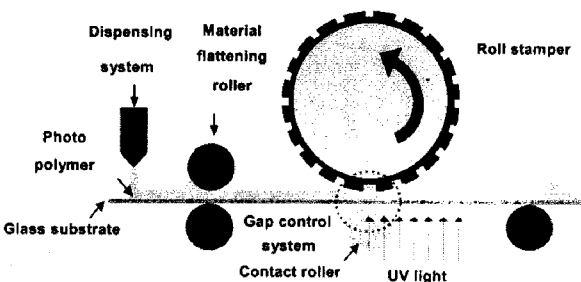


Fig. 1 Schematic of continuous UV nano imprinting system

따라서 포토폴리머는 캐비티의 형상을 유지한 상태로 경화되어 패턴을 형성하며 롤 스탬퍼로부터 이형되어 최종으로, 필름기판 상에 패턴이 전사된다. 본 시스템의 패턴 복제 공정은 롤 스탬퍼와 기판이 접촉하는 국부 영역에서 이루어지며 이때 UV 나노 임프린팅에 의해 높은 전사성을 확보할 수 있다. 또한 UV 나노 임프린팅이 롤 스탬퍼의 회전에 의해 연속적으로 이루어짐으로 대면적 성형 시에 전체 제품의 균일도를 높일 수 있다. 또한 재료의 공급과 UV 나노 임프린팅 및 이형에 이르기까지 순차적인 성형이 가능하여 양산에 매우 적합한 공정이다.

3. 롤 스탬퍼의 제작

연속 UV 나노 임프린팅 공정을 통한 나노패턴 제작을 위해서는 최종 형상의 역상인 나노패턴을 지닌 롤 스탬퍼의 제작이 요구되며, 롤 스탬퍼의 표면 품질, 균일도 및 평탄도 등의 특성은 최종 성형품의 특성을 결정짓는 매우 중요한 요소이다[6,7]. 본 연구에서는 다양한 롤 스탬퍼 제작 방법 중 나노 크기의 캐비티를 갖는 니켈 스탬퍼를 롤 베이스에 부착하는 방법으로 롤 스탬퍼를 제작하였다. 롤 스탬퍼 제작을 위한 이전 단계로 나노패턴을 갖는 마스터의 제작이 필요하다. 마스터 패턴의 제작은 홀로그래피 리소그래피(holographic lithography)와 전자빔 리소그래피(E-beam lithography) 및 건식 식각 공정(reactive ion etching)에 의해 제작되었다. 니켈을 기지층(seed layer)으로 마스터 상에 증착하였고, 이후 니켈 전기주조를 수행하였다. 니켈 스탬퍼의 두께는 0.2mm 로 제작되었으며 후면 평탄도를 얻기 위한 연마 작업(back polishing)을 수행하였다. 제작된 니켈 스탬퍼를 본딩(bonding) 공정을 통해 롤 베이스에 외주면에 접착함으로써 Fig. 2 와 같은 최종 롤 스탬퍼를 얻었다.

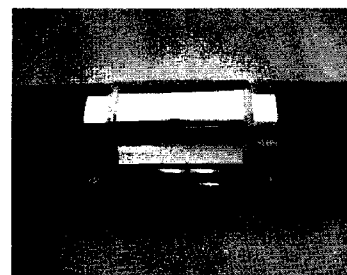


Fig. 2 Picture of fabricated nano pattern roll stamper

4. 연속 UV 나노 임프린팅 공정을 이용한 나노패턴 제작

패턴 롤 스탬퍼와 이를 이용한 연속 UV 나노 임프린팅 시스템의 유용성을 평가하기 위한 나노패턴 제작을 수행하였다. 본 연구에서는 기계적 강도가 우수한 실리콘 우레탄 아크릴레이트 계열의 UV 경화 포토폴리머를 사용하였고 투명 기관으로는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(Polyethylene Terephthalate, PET) 필름이 사용되었다.

연속 UV 나노 임프린팅 공정의 최적화에 있어서 중요한 공정인자로 UV 노광 에너지와 압력이 있다. 최적화를 위한 기초성형실험을 통하여 최적 노광 에너지로 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ 의 UV 조사가 이루어지도록 하였고 필름기관의 이송속도는 $13\text{mm}/\text{s}$ 로 제어되었다. 그리고 Fig. 1에서와 같이 기관과 롤 스탬퍼 간의 접촉부에 컨택롤러를 설치함으로써 롤러간 간극 조절을 통해 성형압력을 제어하였다. 이를 통해 성형품의 두께 균일도를 향상시킬 수 있다. Fig. 3은 연속 UV 나노 임프린팅 공정을 통해 제작된 성형품 사진이다. 본 공정을 통해 폭 80mm , 길이 600mm 의 패턴영역에 연속적인 성형이 수행되었다.

연속 UV 나노 임프린팅 공정을 통해 제작된 패턴의 전사성 평가를 위해 SEM(scanning electron microscope)과 AFM(atomic force microscope)을 이용하여 롤 스탬퍼와 성형물의 패턴을 측정하였다. Fig. 4는 본 연속 UV 나노 임프린팅 공정을 통해 제작된 다양한 나노패턴을 가진 롤 스탬퍼 및 성형품의 SEM 사진이다. 사진을 통해, 나노 스케일의 패턴이 균일하게 전사되었음을 알 수 있으며 본 공정을 이용한 다양한 나노 패턴의 연속성형이 가능함을 확인 할 수 있었다.

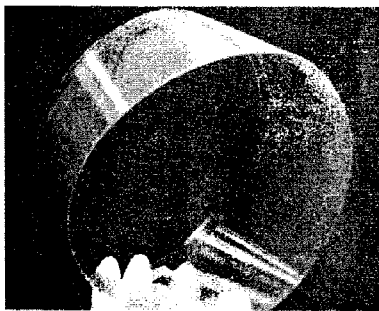
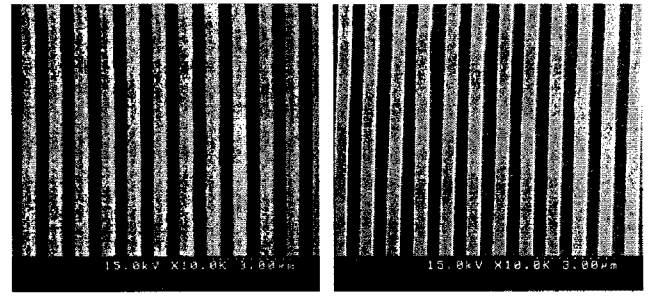
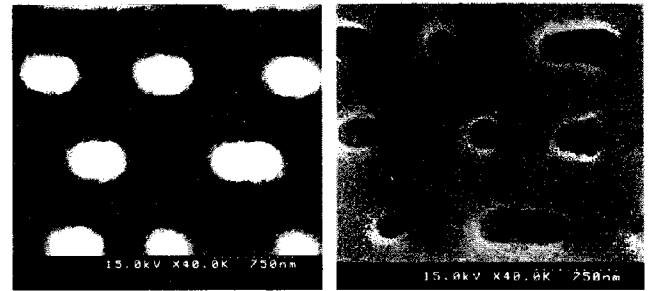


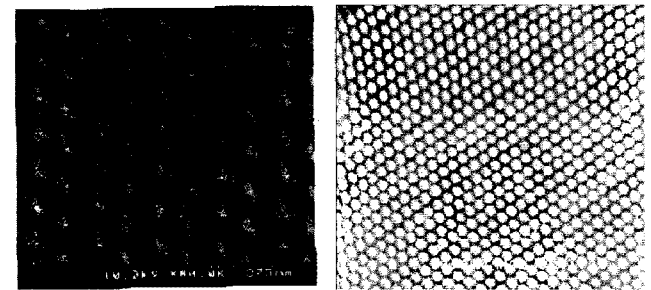
Fig. 3 Picture of imprinted nano patterns using PET substrate (pattern area; 80mm by 600mm)



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 (a) SEM images of roll stamper (left) and imprinted line pattern (right) with width of 500nm , pitch of $1\mu\text{m}$, (b) SEM images of roll stamper (left) and imprinted pattern for blue-ray disk with width of 150nm , pitch of 320nm , and (c) SEM images of roll stamper (left) and imprinted nano pattern with diameter of 50nm

성형품의 성형 특성을 정량적으로 분석하고자 나노 패턴 스탬퍼와 성형품의 형상 프로파일을 AFM을 이용하여 측정하고 비교하였다. Fig. 5 (a)는 선폭 500nm , 피치 $1\mu\text{m}$ 의 라인 패턴의 AFM 이미지이다. 이미지를 통해, 연속 UV 나노 임프린팅 공정으로 제작된 다양한 형상 및 사이즈를 갖는 나노 패턴이 균일하게 전사되었음을 알 수 있다. 또한, 롤 스탬퍼의 케비티와 이를 통해 성형된 나노 패턴의 프로파일 특성을 Fig. 5 (b)와 같이 비교하였으며 형상 비교를 통해 성형

품의 형상이 스탬퍼의 형상과 거의 동일하게 전사되었음을 알 수 있다.

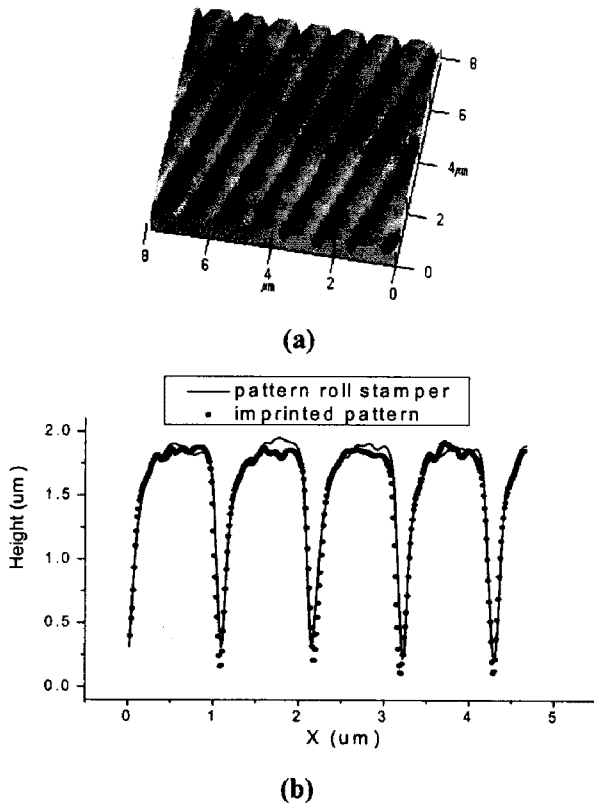


Fig. 5 (a) AFM image of line pattern with width of 500nm, pitch of 1 μm, (b) comparison of surface profiles between roll stamper cavities and imprinted line patterns

5. 결론

본 연구에서는 대면적 나노패턴 성형을 위한 방법으로 패턴 롤 스탬퍼를 이용한 연속 UV 나노 임프린팅 공정기술을 제안하고 이를 통해 패턴을 제작함으로써 본 공정기술의 유용성을 검증하였다. 나노패턴 성형을 위해 먼저 다양한 패턴이 가공된 패턴 롤 스탬퍼를 제작하고 연속 UV 나노 임프린팅 시스템을 구성하였다. 이후 제작된 연속 UV 나노 임프린팅 시스템을 통해 나노패턴 성형을 수행하였다. 본 연구에서 제안한 연속 UV 나노 임프린팅 공정으로 제작된 나노패턴의 SEM, AFM 이미지 및 프로파일의 비교를 통해 우수한 패턴 전사성을 확인 하였고 제안한 공정의 유용성을 검증하였다. 따라서 다양한 형상의 패턴을 가지는 패턴 롤 스탬퍼를 제작/이용하여 생산성을

향상을 도모하고 다양한 나노패턴 제조분야에의 적용이 가능할 것으로 기대된다. 또한 현재 본 공정의 최적화 조건을 통해 실제 양산에 적용하기 위한 다양한 연구가 진행 중에 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정 연구실 사업중 “나노 몰드 및 고분자 나노 복제 기술의 나노 광 전자소자 응용” 연구과제 (M10400000321-05J0000-32110)로써 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] S. Y. chou, P. R. Krauss, and P. J. Renstrom, 1996, “Nanoimprint lithography”, Journal of Vacuum Science Technology B, Vol. 14, pp.4129-4133.
- [2] Young-suk Sim, Ki-don Kim, Jun-ho Jeong, Hyonkee Sohn, Eung-sug Lee, Sang-chan Lee, 2005, “Wafer deformation in ultraviolet-nanoimprint lithography using an element-wise patterned stamp”, Microelectronic Engineering, Vol. 82, pp.28-34
- [3] Seok-min Kim, Dongmook Kim and Shinill Kang, 2003, “Replication of micro-optical components by ultraviolet-molding process”, Journal of Microlith. Microfab. Microsyst., Vol.2, No. 4, pp.356-359.
- [4] 김석민, 임지석, 강신일, 전병희, 2004, “UV 성형을 통한 마이크로 렌즈 어레이의 제작”, 한국소성가공학회지, 제 13 권 제 3 호, pp.236-241.
- [5] Namseok Lee, Sungwoo Choi, and Shinill Kang, 2006, “Self-assembled monolayer as an antiadhesion layer on a nickel nanostamper in the nanoreplication process for optoelectronic applications”, Applied Physics Letters, Vol. 88, pp.073101 1-3.
- [6] N. Lee, Y. Kim, and S. Kang, 2004, “Temperature dependence of adhesion between a stamper with sub-micron patterns and the polymer in nano-moulding processes”, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 37(12), pp.1624-1629.
- [7] Namseok Lee, Youngkyu Kim, Shinill Kang, and Jongill Hong, 2004, “Fabrication of metallic nano-stamper and replication of nano-patterned substrate for patterned media”, Nanotechnology, Vol. 15, pp.901-906.