

UV Roll 임프린팅 공정을 이용한 렌티큘러 렌즈 제작

명호¹, 차주원¹, 김석민¹, 강신일[#]

Fabrication of Lenticular Lens by Continuous UV Roll Imprinting

H. Myung, J. Cha, S. Kim and S. Kang

Abstract

With increasing demands for large-scale micro-optical components in the field of digital display, the establishment of large-scale fabrication technology for polymeric patterns has become a priority. The starting point of any polymer replication process is the mold, and the mold often has flat surface. However, It is very hard to replicate large-scale micro patterns using the flat mold, because the cost of large-scale flat mold was very high, and some uniformity and releasing problems were often occurred in large scale flat molding process. In this study, a UV roll imprinting system to overcome the financial and fabrication issues of large-scale pattern replication process was designed and constructed. As a practical example of the system, a lenticular lens with radius of curvature of 223 μ m and pitch of 280 μ m, which was used to provide wide viewing angle in projection TV, was designed and fabricated. The roll stamper was fabricated using direct machining process of aluminum roll base. Finally, the shape accuracy and uniformity of roll imprinted lenticular lens sheet were measured and analyzed.

key Words : Lenticular Lens, Continuous UV Roll Imprinting, UV-molding, Display, Photopolymer, Optical sheet

1. 서론

대화면 디스플레이에 대한 수요가 증가하면서 디스플레이 제품에 사용되는 각종 광학 부품의 대형화가 요구되고 있다. 다양한 광학 부품 중 렌티큘러 렌즈는 디스플레이 제품의 시야각 확대 및 [1], 3D 입체영상을 구현하는데 [2] 사용하고 자 많이 연구가 진행되고 있다. 렌티큘러 렌즈는 주로 폴리머를 적층하는 방식이나 필름 위에 반복 인쇄하는 방식으로 패턴을 형성하여 제작되고 있으나, 최근 고성능의 디스플레이 구현을 위한 고정도 필름 제작을 위해 정밀 가공된 금형을 사용하는 사출성형을 포함하는 다양한 폴리머 복제 공정이 적용되고 있다. 기존의 폴리머 복제공정은, 평면 코어상에 직접 기계가공 또는 정밀 제

작된 마스터를 이용하는 전주도금 공정으로 제작된 평면 스탬퍼를 이용한 것으로 [3-6], 패턴의 영역이 스탬퍼의 크기에 의해 결정됨으로써, 대면적 패턴의 경우 몰드 제작비용이 기하급수적으로 증가하는 문제를 갖는다. 또한 패턴의 영역이 커질수록 안정적인 공정 조건 확보를 위해 성형 시스템의 정밀도 및 공정 시간의 증가가 발생해 성형 공정 비용 증가의 문제를 수반한다. 성형품의 특성에 있어서도 전면적에 대한 균일도 확보가 어려우며, 기포 등의 결함 발생 확률이 높고, 이형시 형상의 변형, 뜯김 등 많은 문제점이 발생하는 단점을 갖는다. 본 연구에서는 저가의 몰드 제작비용과 높은 생산성을 갖는 고정도의 대면적 패턴의 안정적인 복제 방법인 UV 롤 임프린팅 공정을 제안하고, 롤 임프린팅 시스템과 렌티큘

1. 연세대학교 대학원 기계공학과

#. 연세대학교 기계공학부 snlkang@yonsei.ac.kr

러 렌즈 제작을 위한 롤 스탬퍼를 설계 제작하였다. 최종적으로 UV 롤 임프린팅 공정으로 제작된 렌티큘러 렌즈 필름의 형상 정밀도 및 균일도를 측정 평가함으로써 공정의 유용성을 검증하였다.

2. UV 롤 임프린팅 시스템의 설계 및 제작

본 연구에서는 대면적 광학 필름의 복제공정을 위해 UV 롤 임프린팅 시스템을 설계 제작하였다. Fig.1 은 설계 제작된 UV 롤 임프린팅 시스템의 개념도로써, 시스템은 기본적으로 최종 제작하고자 하는 패턴의 반대 형상이 가공된 롤 스탬퍼와 롤 스탬퍼와 대향되어 제작 패턴의 두께를 제어하는 접촉 롤러, 성형품의 두께 제어를 위한 간극 제어 시스템, 재료 공급장치, 재료의 균일 도포를 위한 재료 평탄화 롤러, 자외선 노광 장치로 구성된다. 자외선 경화 폴리머는 일정한 두께의 필름 기판상에 디스펜서를 이용하여 도포되며 재료 균일 도포 롤러를 통과하면서 일정 두께로 필름 기판상에 코팅 된다. 이후 필름과 롤 스탬퍼간의 접촉을 위한 롤러를 통과하며 롤 스탬퍼상의 패턴을 전사하게 되고, 이때 간극 제어 시스템에 의해 성형품의 두께가 결정된다. 또한 접촉 롤러에 의해 패턴이 전사되는 순간부터 자외선에 노출되어 포토 폴리머의 경화가 시작된다. 자외선 경화 성형 공정에서 재료는 자외선에 노출되는 순간 상당 수준의 경화가 완료되나 완벽한 경화를 위해 패턴 이형 후에도 지속적인 노광 공정을 수행하게 된다.

이때 재료의 공급량, 자외선의 강도와 조사량, 롤러와 드럼형 스탬퍼 사이의 압력 및 간극, 기판에 걸리는 인장력에 따라 성형품의 특성이 결정되며 이의 제어를 통해 우수한 특성의 미세형상의 연속성형이 가능하다.

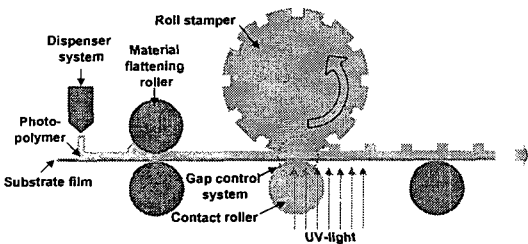


Fig. 1 Schematics of UV roll imprinting system

3. 롤 스탬퍼의 제작

UV 롤 임프린팅 공정을 이용한 대면적 광학 필름의 제작에 있어 롤 스탬퍼의 제작은 성형품의 특성을 결정하는 매우 중요한 공정이다. UV 연속성형을 위한 롤 스탬퍼 제작 방법으로, 평면 스탬퍼를 기본으로 하여 롤 상에 감는 방법이 있을 수 있으나 이러한 방식은 기본적으로 이음새 부분 패턴의 불연속성을 피할 수 없어 근본적인 연속성형이 불가능하다고 할 수 있다. 또한 평면 패턴을 롤 상에 부착함에 있어 얼라인기술, 진원도 기술, 접착 기술등 여러 어려움이 따른다. 본 연구에서는 롤상에 연속적인 패턴 형상을 구현하기 위해 다이아몬드 팁을 사용하는 정밀 기계 가공을 이용하여 곡률 223 μm , 피치 280 μm 를 갖는 디스플레이용 렌티큘러 렌즈 어레이 캐비티 형상을 길이 210mm, 직경 50mm 의 알루미늄 롤 베이스 상의 폭 80mm 영역에 Fig. 2 와 같이 가공하였다. 제작된 롤 스탬퍼의 형상 정밀도를 확인하고자 0.8nm 의 수직방향 resolution 을 갖는 형상측정 시스템을 이용하여 롤 스탬퍼의 형상을 측정하였다. Fig.3 은 롤 스탬퍼의 렌즈 캐비티 어레이 측정 결과로써 제작된 롤 스탬퍼 상의 캐비티 깊이는 약 47 μm 이며, 측정 영역 전면에 걸쳐 sag height 값 편차가 0.5 μm 이하로 높은 균일도를 갖고 있음을 확인하였다.

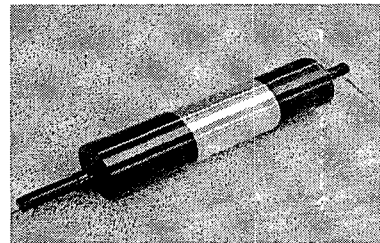


Fig. 2 Image of mechanical machined roll stamper

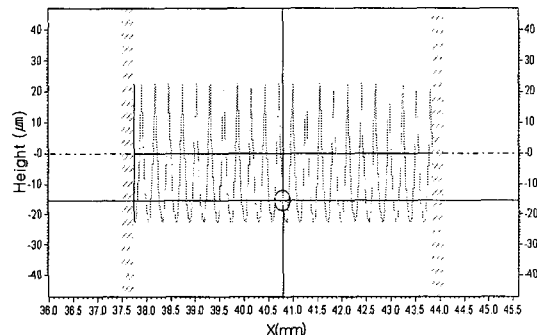


Fig. 3 Surface profiles of lens cavities of roll stamper

4. 렌티큘러 렌즈의 성형

제작된 렌티큘러 렌즈용 롤 스탬퍼와 UV 롤 임프린팅 시스템의 유용성을 평가하기 위해 250 μm 의 두께를 갖는 폴리에틸렌 테레프탈레이트 (Polyethylene Terephthalate, PET) 필름과 기계적 강도 및 광 특성이 우수한 아크릴 계열의 자외선 경화 포토 폴리머를 이용한 연속 성형을 수행하였다. 롤 스탬퍼의 회전속도(RPM)는 5로 설정되었으며 이때 필름의 이송속도는 13mm/s이다. 간극 제어 시스템을 이용하여 최종 패턴의 두께는 300 μm 으로 제어되었으며 메탈 할라이드 램프와 반사경을 이용하여 200mJ/cm²의 광도를 갖는 자외선을 조사하였다. 성형 시편의 패턴 폭은 롤 스탬퍼와 같은 80mm이며 시편의 길이는 300mm이다.

Fig.4는 제작된 렌티큘러 렌즈의 평면 및 단면 SEM 사진이다. SEM 사진을 통해 렌티큘러 렌즈의 전체 형상 및 edge가 균일하게 잘 전사되었음을 정성적으로 확인 할 수 있다. UV 롤 임프린팅 성형품의 전사성을 정량적으로 분석하기 위하여 형상측정 시스템을 이용하여 성형품의 표면 프로파일을 측정하고 이를 케비티의 프로파일과 비교하였다. Fig.5는 성형품의 표면 형상과 케비티 표면 형상의 역상을 비교한 것이다. 측정된 성형품의 sag height는 약 43 μm 이며 이는 케비티의 값과 약간의 차이를 갖으나, 형상 비교를 통해 성형품의 형상이 몰드의 형상과 거의 동일하며 접촉식 측정방식의 특성상 렌티큘러 렌즈 사이의 edge부분이 정확히 측정되지 않아 렌즈 sag height간의 편차가 발생하였음을 확인 할 수 있다. Fig. 6은 최종 제작된 렌즈 성형품의 형상 오차를 확인하기 위해, 측정된 렌즈 프로파일을 설계치(곡률 223 μm)와 비교한 것이다. 성형품의 형상오차는 최대 $\pm 0.3\mu\text{m}$ 이하로 이는 설계공차범위 이내이다. UV 롤 임프린팅 공정을 통한 렌티큘러 렌즈의 연속성형에 있어 성형품의 두께 균일도는 매우 중요한 인자이다. 본 연구에서는 두께 균일도 확보를 위해 필름/롤 접착용 롤러에 간극 제어 시스템을 설치함으로써 성형품의 두께를 설계치인 300 μm 으로 제어하고자 하였다. 성형품의 두께 균일도를 확인하고자 총 5개의 성형 시편에 대해 각각 12개의 측정 point에서 필름의 두께를 측정하였으며, 측정결과 제작된 필름의 평균 두께는 300.58 μm 이며 표준편차는 3.121 μm 이다. 이는 본

연구에서 기관으로 사용한 PET 필름의 편차와 유사한 수준으로 본 연구에 적용된 간극 제어 시스템의 유용성을 확인하였다.

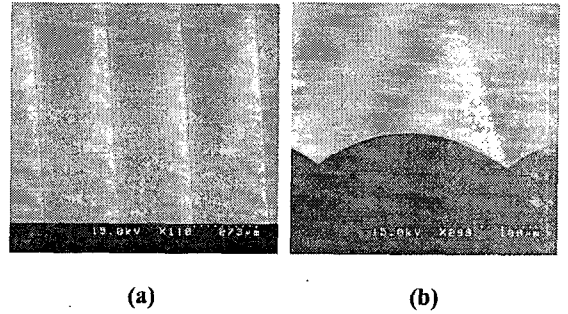


Fig. 4 SEM images of roll imprinted lenticular lens; (a) top view and (b) section view

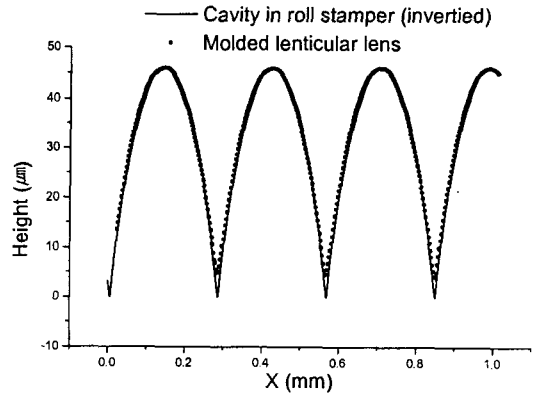


Fig. 5 Comparison of surface profiles between mold cavities and imprinted lenticular lenses

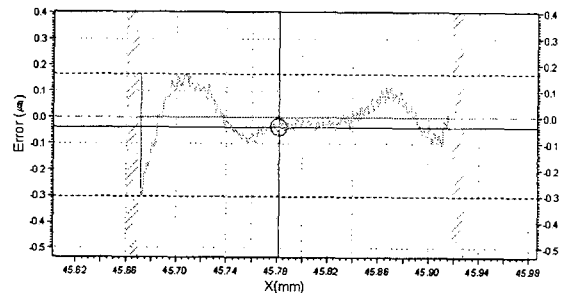


Fig. 6 Form error of imprinted lenticular lens; maximum form error: $\pm 0.3\mu\text{m}$

5. 결 론

본 연구에서는 대면적 광학 필름의 제작을 위한 UV 롤 임프린팅 시스템을 구축하였으며 시스템의 유용성을 평가하기 위해, 대표적인 디스플레이용 광학 부품인 렌티큘러 렌즈 필름을 설계/제작하였다. UV 롤 임프린팅을 위한 롤스탬퍼는 다이아몬드 팁을 이용한 정밀 기계가공으로 제작되었으며 제작된 케비티의 반경은 $223\mu\text{m}$, 피치는 $280\mu\text{m}$ 이며, sag height 편차는 $0.5\mu\text{m}$ 이하 였다. 제작된 롤 스탬퍼를 사용하는 안정적인 UV 롤 임프린팅 공정 조건을 적용하여 패턴 폭 80mm, 길이 300mm, 두께 $300\mu\text{m}$ 의 렌티큘러 렌즈 필름을 제작하였다. 성형품의 형상 오차는 설계값 대비 $\pm 0.3\mu\text{m}$ 이하이며 두께 편차 역시 $3.1\mu\text{m}$ (표준편차) 정도로 본 시스템을 사용하여 매우 높은 정밀도와 균일도를 갖는 광학필름의 제작이 가능함을 확인하였다. 현재 본 시스템 및 롤 제작 기술을 이용한 다양한 광학 필름의 제작에 대한 연구가 진행중이다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가지정 연구실 사업중 “나노 몰드 및 고분자 나노 복제 기술의 나노 광전자소자 응용” 연구과제 (M10400000321-05J0000-

32110) 로서 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Chao-Hsu Tsai, 2000, Fabrication of a large F-number lenticular plate and its use as a small-angle flat-top diffuser in autostereoscopic display screens, SPIE Vol. 3957, pp322~329.
- [2] Hideki Morishima, 1998, Rear Cross Lenticular 3D Display without Eyeglasses, SPIE Vol. 3295, pp193~202.
- [3] Shinill Kang, 2004, Replication Technology for Micro/Nano Optical Components, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.43, No.8B, pp.5706-5716.
- [4] 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.
- [5] Namseok Lee, Yongkyu Kim and Shinill Kang and Jongill Hong, 2004, Fabrication of metallic nano-stamper and replication of nano-patterned substrate for patterned media, Nanotechnology, Vol.15, Issue.8, pp.901-906.
- [6] 김석민, 임지석, 강신일, 전병희, 2004, UV 성형을 통한 마이크로 렌즈 어레이의 제작, 한국소성가공학회지, 제 3 권 제 3 호, pp236-241.