

UV 나노 임프린트 공정에서 스탬프 균일 변형을 위한 더미 블록 설계

김남웅*, 김국원⁺, 정태은⁺⁺, 신호철⁺⁺⁺
(논문접수일 2008. 5. 9, 심사완료일 2008. 9. 22)

Design of the Dummy Block for Uniform Stamp Deformation in the UV Nanoimprint Lithography

Nam Woong Kim*, Kug Weon Kim⁺, Tae Eun Chung⁺⁺, Hyo-Chol Sin⁺⁺⁺

Abstract

Nanoimprint lithography(NIL) is an emerging technology enabling cost-effective and high-throughput nanofabrication. Among NILs, significant efforts from both academia and industry have been put in UV NIL research and development because of its ability to pattern at room temperature and at low pressure. In UV NIL, there may be in-line set-up error of the stamp and the substrate. To compensate this error, the dummy blocks are put on the stamp and pressurized uniformly. Contact problems between the stamp and the photoresist layer on the substrate are often happened, which results in the non-uniform residual layer. In this paper, the pressurization method on the dummy block is investigated by the finite element method. A new method is recommended and evaluated for the uniform stamp deformation.

Key Words : UV Nanoimprint(UV 나노임프린트), Uniform Stamp Deformation(스탬프 균일 변형), Dummy Block(더미 블록), Finite Element Method(유한요소법)

1. 서론

나노 임프린트 리소그래피 (Nanoimprint Lithography, NIL) 공정은 100nm급 이하의 나노 구조물을 저가로 대량 생산할 수 있는 기술로서, 1996년 Chou 등에 의해 최초로

제안되었다^(1,2). 이 방법은 공정의 단순성에 기반하는 매우 혁신적인 기술이며, 반도체 및 디스플레이 산업에서 사용되는 기존의 고가의 포토 리소그래피 공정을 대체할 수 있는 유력한 대안으로 부각되고 있다. 최근 미국 뿐만 아니라 전 세계에서 경쟁적으로 공정 및 장비 기술을 연구하고 있다⁽³⁾.

* 서울대 대학원 기계항공공학부
+ 교신저자, 순천향대학교 기계공학과 (kimkug1@sch.ac.kr)
주소: 336-745 충남 아산시 신창면 읍내리 646번지
++ 인덕대 정보메카트로닉스과
+++ 서울대 기계항공공학부

NIL은 기본적으로 스템프(혹은 몰드)에 기 형성되어 있는 나노 구조의 패턴을 기계적 가압을 통해 반복적으로 기판에 전사시키는 기술이며, 레지스트의 종류 및 경화시키는 방법에 따라서 열 나노임프린트 리소그래피(Thermal NIL)와 자외선 나노임프린트 리소그래피(UV NIL)로 대별된다. 이 두 가지 방법은 각각 장단점을 가지고 있는데, 이중 UV NIL 방법은 상온 및 저압에서 공정이 이루어지므로 제조 속도면에서 Thermal NIL에 비해 강점을 가진다. 현재까지 UV NIL에 대해 학술적, 산업적으로 많은 연구가 이루어졌으며^(4,5) 최근 수십 나노미터까지의 선폭을 구현할 수 있는 장비가 개발되었다. 한편 임프린트 공정시 발생하는 스템프와 기판의 변형문제는 중요하다. Song 등⁽⁶⁾은 스템프와 글라스 기판사이의 정렬운동에 의해 발생하는 전단변형을 계산하고 평가하였다. Lee 등⁽⁷⁾은 CAE기법을 사용, 정렬 스테이지의 동역학 해석을 수행하여 임프린트 공정에서 정렬 정밀도를 높이고자 하였다.

UV NIL 공정에서 임프린팅 면적이 커질수록 스템프와 레지스트 사이의 접촉 편평도 유지가 어려워지며 이에 대한 해결책이 요구된다. 접촉 편평도에서의 오차는 그대로 레지스트에 전사되어 결국 잔류층 불균일을 초래하게 된다. 일반적으로 임프린트 공정시, 상판인 스템프와 하판인 기판 사이의 설치 정렬오차로 인하여 스템프와 레지스트 사이의 접촉에 문제가 발생하므로 이를 보상하기 위해 스템프 상단에 더미 블록을 놓고 일정 압력으로 가압을 한다. 이때 가압하는 방법 및 가압력에 대한 정량적이며 효율적 기술이 필요하다. 본 연구에서는 2세대 유리기판 크기(370×470mm)의 UV NIL 공정시 스템프 변형을 균일하게 할 수 있는 가압 방법에 대해 유한요소법을 이용하여 연구하였다. 기존의 방법의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 가압 방법을 제시하고 이에 대한 타당성을 수치해석을 통하여 검토하였다.

2. 연구 목표 및 해석을 위한 가정

해석의 대상인 UV 나노 임프린트 장비의 개략도는 Fig. 1과 같다. 스테이지 위에 진공흡착 테이블이 있고 여기에 하판인 글라스 기판이 놓여져 진공흡착에 의해 고정된다. 그림에는 표시되지 않았지만 글라스 기판의 상부에 감광성 레지스트가 도포되어 있다. 상판인 글라스 스템프는 클램프에 고정되어 있으며, 글라스 스템프 하부에 플라스틱 계열의 스템프 패턴이 형성되어 있다(그림에서 미 도시). 글라스 기판 상부의 레지스트와 글라스 스템프 하부의 스템프 패턴은 상/하판에 비해 상대적으로 크기가 매우 작으며 레지스트의 경

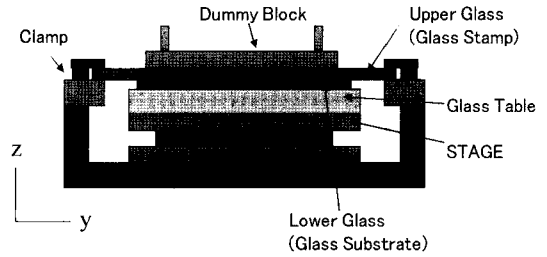


Fig. 1 Schematic of UV nanoimprint equipment

우 액체상태이고 스템프 패턴의 경우 플라스틱 계열의 매우 부드러운 재질이므로, 글라스 스템프의 변형에는 거의 영향을 미치지 않는다고 가정할 수 있다.

일반적으로 상판과 하판이 세팅된 후 UV를 조사하기 전 상/하판의 축방향 오차 즉, Fig. 1에 나타난 z축 방향 오차를 상쇄하기 위해, 그리고 상/하판의 접촉을 원활하게 하기 위하여 글라스 스템프 상단에 더미 블록을 놓고 가압을 한다. 본 연구에서 UV 나노 임프린트 장비에서는 ±0.5mm 축방향 정렬 오차를 허용하는데, 여기에서는 -0.5mm의 축방향 정렬 오차에 대해 해석을 수행한다. 가압시 글라스 스템프의 변형 균일성을 높이는 더미 블록을 설계하는 것이 본 연구의 목표이며, 특히 글라스 스템프의 액티브 영역(글라스 기판으로 패턴 전사가 이루어지는 영역)에서의 최대/최소 변형량의 차이가 0.01mm 이하가 되도록 더미 블록을 설계한다. 상판 글라스의 크기는 2세대 글라스 크기인 370×470mm이다.

본 연구를 수행하기 위해 다음과 같은 가정을 취하였다.

- 상판 글라스 스템프와 하판 글라스 기판은 평행하다.
- 가압축 방향(z축 방향)으로의 정렬오차만 존재하고 피칭, 롤링 등 축 회전각 오차는 없다.
- 축방향 정렬 오차는 -0.5mm이다.
- 해석 대상은 글라스 스템프와 글라스 기판이다.
- 스템프 하부에 접촉된 플라스틱 계열의 스템프 패턴은 고려하지 않으며 하판 글라스 기판 상부에 도포된 레지스트 역시 고려하지 않는다.
- 스템프 및 기판의 평탄도 및 두께 오차는 고려하지 않는다.
- Isothermal 조건이다.

3. 모델링 및 경계조건

글라스 스템프 변형 해석을 수행하기 위해 상용 유한요소 해석 프로그램인 MARC를 사용하였다. 글라스 스템프 및

더미 블록을 모델링하기 위해 쉘 요소를 사용하였고 글라스 기판을 모델링하기 위해서 솔리드 요소를 사용하였다.

해석을 위한 경계조건은 다음과 같다.

- 스탬프의 클램핑 영역 : 고정
- 스탬프에 중력가속도의 영향 고려
- 글라스 스탬프와 글라스 기판 사이, 더미 블록과 글라스 스탬프사이의 접촉 조건을 고려한 비선형 해석을 수행
- 더미 블록의 4지점에 집중하중 적용

Fig. 2는 해석에 사용된 스탬프, 기판, 더미 블록의 유한요소 모델을 나타낸다. 그림에서의 더미 블록은 현재 일반적으로 사용되고 있는 직사각형 형태이다.

4. 더미 블록의 형태에 따른 스탬프 변형 해석

일반적으로 사용되는 스탬프 가압 방법은 Fig. 3 (a)와 같이 직사각형 더미 블록 두 개를 액티브 영역밖에 놓고 그림

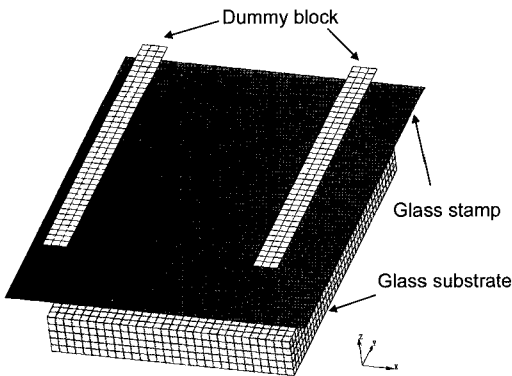


Fig. 2 Finite element model of glass stamp, glass substrate and dummy block

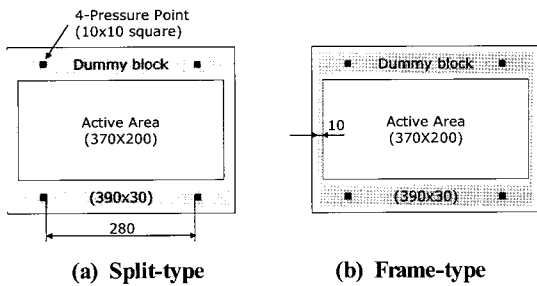
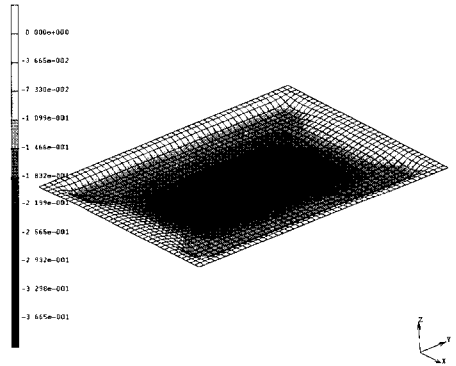


Fig. 3 Styles of the dummy block

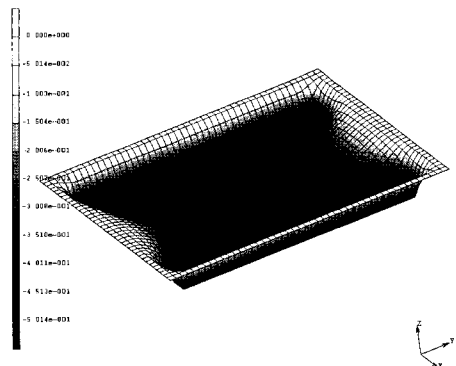
에서와 같이 4 지점에 집중하중을 가하는 형태이다. 이러한 가압 방법의 경우 종종 액티브 영역의 가장자리 부분에 불균일한 변형을 초래하여 결과적으로 레지스트에 불균일한 잔여층을 생성시키게 된다.

본 연구에서는 레지스트 잔여층 불균일 저감을 위하여 새로운 형태의 더미 블록(Fig. 3 (b))을 제안한다. 기존 형태의 더미 블록과의 구분을 위해, 기존 형태를 분할형 더미 블록(split dummy block)이라 하고 새로운 형태를 액자형 더미 블록(frame dummy block)이라 명하겠다.

각각의 더미 블록 형태에 대해 가압시 글라스 스탬프의 변형을 계산하였다. Fig. 4는 분할형 더미 블록에 대하여 각 가압 지점당 10N/point 및 100N/point으로 가압한 경우 상판 글라스 스탬프의 변형을 나타낸 그림이다. 더미 블록 가압에 의해 글라스 스탬프의 z축 변형량이 균일하게 -0.5mm가



(a) 10N/point

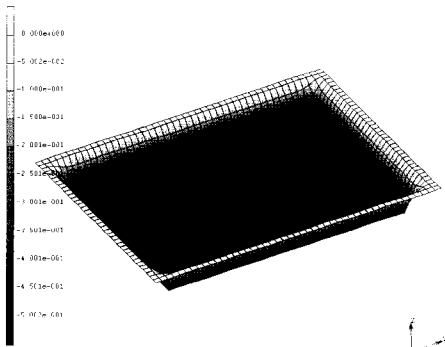


(b) 100N/point

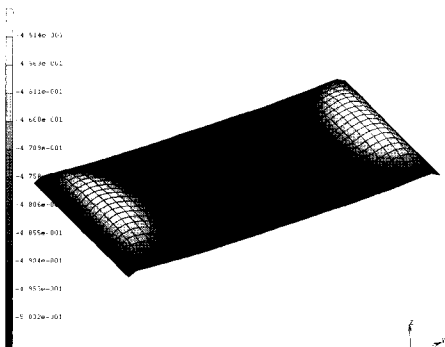
Fig. 4 Deformation of upper glass stamp by split-type dummy block

된다면 -0.5mm 정렬오차를 완벽히 보상하게 된다. 10N/point의 경우 최대 변형량이 -0.37mm 이므로 -0.5mm 축방향 정렬 오차를 보상하지 못한다. 절점당 하중을 증가시켜 100N/point의 경우에는 대부분 -0.5mm의 변형을 보이고 있지만 전체적으로 균일한 변형을 보이지 않는다. 이러한 변형의 형태는 임프린트 후 잔여층 균일도 저해를 초래하게 된다.

Fig. 5 (a)는 액자형 더미 블록에 100N/point 하중을 가한 경우 글라스 스탬프의 변형을 나타낸 그림이다. Fig. 4 (b)와 비교할 때 확실히 액자형 더미 블록이 글라스 스탬프의 변형을 균일하게 함을 알 수 있다. Fig. 5 (b)는 액티브 영역에서의 변형만 따로 살펴본 그림이다. 그림에서와 같이 양 끝단에서 불균일 변형이 존재하여 최대/최소 변형량의 차이는 목표로 하는 0.01mm를 초과하여 약 0.05mm의 값을 보이고 있다. 액자형 더미 블록에 있어서도 개선의 여지가 있음을 알 수 있다.



(a) 100N/point



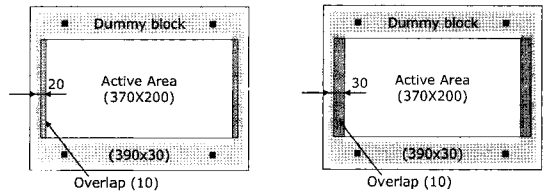
(b) 100N/point(active area)

Fig. 5 Deformation of upper glass stamp by frame-type dummy block

5. 액자형 더미 블록의 개선

앞 절에서 액자형 더미 블록의 경우 양 끝단 영역에 불균일 변형이 발생하였으므로 액자형 더미 블록의 형태를 Fig. 6과 같이 세로 방향 폭을 증가시켜 이에 대한 영향을 살펴보았다.

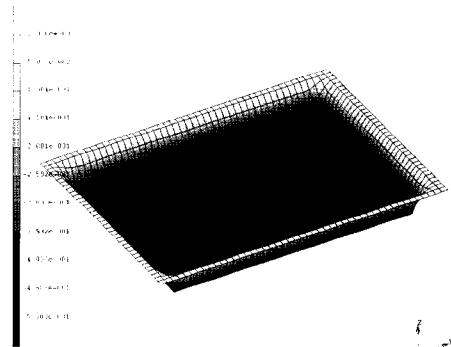
Fig. 7은 액자형 더미 블록의 세로 폭이 20mm인 경우 스탬프 변형 및 액티브 영역의 변형을 나타낸 그림이다. 가압



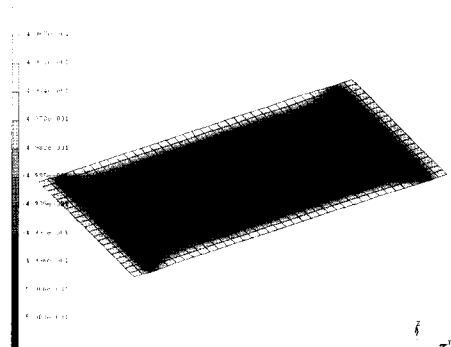
(a) Thickness : 20mm

(b) Thickness : 30mm

Fig. 6 Width change of the frame-type dummy block



(a) 50N/point



(b) 50N/point(active area)

Fig. 7 Deformation of upper glass stamp by frame-type dummy block with 20mm thickness

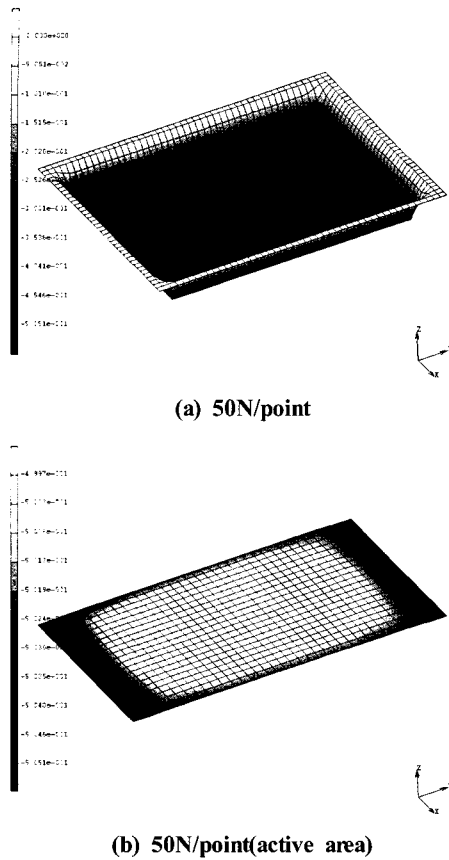


Fig. 8 Deformation of upper glass stamp by frame-type dummy block with 30mm thickness

력이 절점당 50N인 경우에도 글라스 스탬프의 변형이 충분히 균일함을 알 수 있다. 액티브 영역의 변형을 살펴보면 변형 균일도가 목표로 하는 0.01mm 보다 훨씬 작음을 알 수 있다. Fig. 8은 액자형 더미 블록의 세로 폭이 30mm인 경우 스탬프 변형 및 액티브 영역의 변형을 나타낸 그림이다. Fig. 6과 마찬가지로 50N의 절점당 힘으로 매우 균일한 변형을 보이고 있다. 한편 글라스 스탬프에 발생하는 응력은 무시할 정도로 작았다.

이상과 같이 액자형 더미 블록의 세로 폭을 증가시킬 경우 스탬프의 액티브 영역의 변형을 균일하게 하여 임프린트시 잔여층 불균일 저감에 매우 효과적임을 알 수 있으나, 액티브 영역과 겹쳐지는 부분이 발생하므로 더미 블록 설계 시 유의해야 할 것이다. 본 연구에서 고려한 액티브 영역에는 충분한 마진이 있었기 때문에 상기 겹침은 문제가 되지 않았으나, 일반적인 입장에서 Fig. 6에 나타낸 더미 블록의 가

로 치수를 390에서 410 이상으로 변경하는 것이 바람직하다.

6. 결론

UV 나노 임프린트 공정에서 스탬프를 가압할 때, 스탬프 변형의 균일성에 대한 연구를 수행하였다. 스탬프 변형의 균일성은 임프린트 공정 후 잔여층 균일화와 직접적으로 영향이 있으므로 실제 공정에서 매우 중요하게 취급하고 있다. 기존의 공정에서 사용하고 있는 더미 블록의 형태로는 스탬프 변형의 균일성을 보장할 수 없으므로 새로운 액자 형태의 더미 블록을 제시하였으며, 이의 유용성을 수치적 방법으로 확인하였다. 본 연구결과는 특히 대면적화 되어가는 UV NIL 공정 장비 설계에 효과적으로 이용될 수 있다.

후기

이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-311-D00333).

참고 문헌

- (1) Chou, S. and Krauss, P., 1997, "Imprint lithography with sub-10nm feature size and high throughput," *Microelectronic Engineering*, Vol. 35, pp. 237~240.
- (2) Guo, L. J., 2004, "Recent progress in nanoimprint technology and its applications," *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 37, pp. R123~R141.
- (3) Schulz, H., Wissen, M., Bogdanski, N., Scheer, H.-C., Mattes, K., and Friedrich, Ch., 2006, "Impact of molecular weight of polymers and shear rate effects for nanoimprint lithography," *Micro-electronic Engineering*, Vol. 83, pp. 259~280.
- (4) Ruchhoeft, P., Colburn, M., Choi, B., Nounu, H., Johnson, S., Bailey, T., Damle, S., Stewart, M., Ekerdt, J., Sreenivasan, S. V., Wolfe, J. C., and Willsonet, C. G., 1999, "Patterning curved surfaces: Template generation by ion beam proximity lithography and relief transfer by step and flash imprint lithography," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 17, pp. 2965~2969.
- (5) Resnick, D. J., Dauksher, W. J., Mancini, D.,

- Nordquist, K. J., Bailey, T. C., Johnson, S., Stacey, N., Ekerdt, J. G., Willson, C. G., Sreenivasan, S. V., and Schumaker, N., 2003, "Imprint lithography for integrated circuit fabrication," *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 21, pp. 2624~2631.
- (6) Song, Y. J., Shin, D. H., Im, H. J., Jang, S. Y., Lee, K. S., and Jeong, J. I., 2007, "LCD Glass strain Simulation During stage alignment process of Large Size Imprint Equipment," *Proceedings of The KSMTE Spring Conference 2007*, pp. 108~111.
- (7) Lee, K. W., Lee, M. G., Lee, J. W., Lim, S.-H., Shin, D. H., Jang, S. Y., Jeong, J. I., and Yim, H. J., 2007, "Dynamic Analysis of a Nano Imprinting Stage Using CAE," *Trans. of the KSMTE*, Vol. 16, No. 5, pp. 211~217.