

극대면적 UV-NIL 공정에서의 균일 가압 시스템 개발

최원호† · 신윤혁* · 여민구** · 임홍재*** · 신동훈*** · 장시열*** · 정재일*** · 이기성*** · 임시형***

The Development of Uniform Pressurizing System for Extremely Large Area UV-NIL

Wonho Choi, Minku Yeo, Yoon-Hyuk Shin, Hong Jae Yim, Siyoul Jang,
Jay Il Jeong, Kee Sung Lee and Si-Hyung Lim

Key Words: Nano-Imprinting Lithography(나노 임프린트 리소그래피), Uniform Pressurizer(균일가압장치), Active Pressurizing Zone(유효가압면적), Contact Mechanics(접촉역학)

Abstract

Ultraviolet-nanoimprint lithography (UV-NIL) is promising technology for cost effectively defining micro/nano scale structure at room temperature and low pressure. In addition, this technology is fascinating because of it's possibility for high-throughput patterning without complex processes. However, to acquire good micro/nano patterns using this technology, there are some challenges such as uniformity and fidelity of patterns, etc. In this paper, we have focused on uniform contact mechanism and performed contact mechanics analysis. The dimension of the flexible sheet to get adequate uniform contact area has been obtained from contact mechanics simulation. Based on this analysis, we have made a uniform pressurizing device and confirmed its uniform pressurized zone using a pressure sensing paper.

1. 서론

나노 임프린트 리소그래피 (NIL: Nano-Imprint Lithography)는 나노/마이크로 크기의 패턴을 종이 위에 도장을 찍어내듯 기판(Substrate) 위에 패턴을 전사하는 공정이다. 이는 기존의 복잡한 반도체 초소형 제작 공정(Microfabrication)의 단점을 뛰어넘어 보다 빠르고 쉽게 나노/마이크로 패턴을 전사할 수 있기 때문에 차세대 나노/마이크로 패터닝 기술로 떠오르고 있다. 이 중, 1996년

Haisma[1] 등에 의하여 최초로 제안된 UV-Nanoimprint Lithography (UV-NIL) 공정은, 높은 온도 및 압력 조건에서 공정이 진행되는 가열식 임프린트 리소그래피 (Thermal Imprint Lithograph)[2] 방식과는 달리 상온 및 저압 조건에서 공정이 가능하며, 열에 의한 변형을 크게 줄일 수 있어 높은 정밀도의 패턴 전사가 가능한 기술이다. 또한, 이 기술은 또한 다층(Multi-layer)의 패턴을 구현할 시 중첩의 정확도(Overlay accuracy)를 높일 수 있는 장점을 가지고 있다 [3, 4]. 오늘날 이러한 UV-NIL 공정의 장점을 이용해 극대면적(디스플레이 2세대, 370×470 mm²) LCD 패널의 제작공정에 적용하고자하는 시도가 있다 [5]. 하지만, 패턴 전사의 면적이 넓어지면서, 패턴전사의 균일성(Uniformity) 및 충실도(Fidelity) 확보가 어렵다. 이 같은 문제점을 해결하기 위해 가압 시 잔류 층 두께의 편차를 줄일 수 있는 균일가압시스템이 필요하다. 현재 가압방식으로는,

† 국민대학교 기계설계대학원

E-mail : choi0420@kookmin.ac.kr

TEL : (02)910-5032, FAX : (02)910-4839

* 국민대학교 기계설계대학원

** 국민대학교 자동차전문대학원

*** 국민대학교 기계자동차공학부

직접 공기를 불어 넣어주는 방법[3], 롤러(Roller)를 이용하는 방법[5], 그리고 유연한 재질의 풍선(Balloon)을 이용하는 방법[6] 등이 있다.

본 연구에서는, FEM을 이용한 접촉해석을 통해, 유연재질을 이용한 극대면적 균일가압 장치의 유효가압면적 구현을 위한 접촉역학해석을 수행하였다. 또한, 이를 바탕으로 균일가압장치를 설계하였으며, 실제 결과 값과 비교검토 하였다.

2. 해석대상 모델링

해석 모델은 Figure 1에 보는 바와 같이, 균일가압 장치를 단순화 하여, 압력에 의해 변형이 일어나는 유연 재질과 지면이 고정 되어 유연재질과 접촉이 일어나는 지지부로 모델링 하였다. 유연 재질로는 실리콘 러버(Silicon Rubber)를 사용하고, 정적유체(Hydrostatic) 압력을 가했을 때, 실리콘 러버와 몰드의 접촉(Contact)을 해석 대상으로 삼았다. 유효가압면적은 몰드부에 새겨진 패턴의 크기, Target Area(280×380 mm²), 를 찾는 것을 목표로 하였다. 이때 사용된 실리콘 러버의 물성치는 Table 1에 나타내었다. 해석에 필요한 실리콘 러버의 물성은 네 번의 실험을 통하여 평균값을 취하였으며, Figure 2에 나타내었다. 접촉역학해석은 상용 유한요소 해석 프로그램인 LS-DYNA를 이용한 비선형 접촉 해석(Non-linear Contact Analysis)을 통하여 유연재질의 접촉거동을 파악하였다.

3. 접촉역학 해석 결과

3.1 유효가압면적(Active Pressurizing Zone)

균일가압 장치에서 가압부에 쓰이는 실리콘 러버의 크기를 규정하는 것이 중요하다. 실리콘 러버의 몰드와 접촉이 일어나는 영역이 몰드를 초과하게 되면 Figure 3과 같이 몰드 외곽으로 흘러내리는 현상(Slip down phenomenon)이 발생하며, 실리콘 러버의 크기가 작을 경우에는 유효가압면적을 확보할 수 없는 문제점이 생긴다. 따라서 Figure 4에 볼 수 있듯이 몰드부의 패턴 영역과 같은 280×380 mm²의 Target Area(Pattern region)를 확보를 위해 유효가압면적 형성에 대한 해석을 수행하였다.

Figure 5는 실리콘 러버의 두께(t)가 5 mm이고

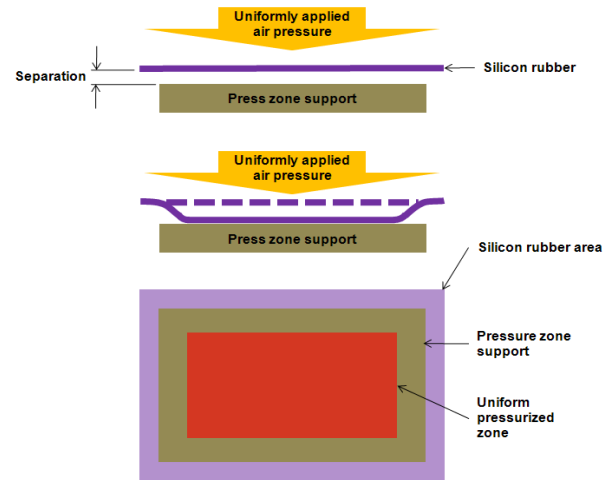


Fig. 1 Uniform pressurizing system modeling

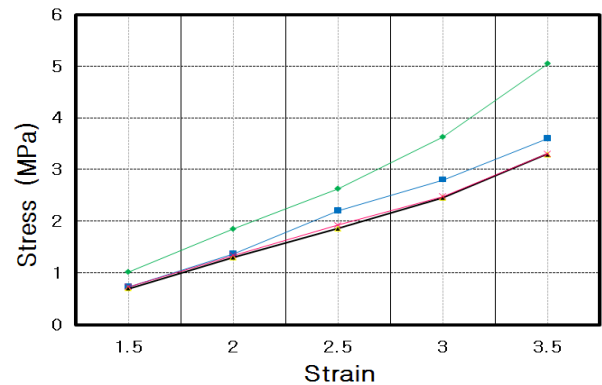


Fig. 2 Stress-Strain curve (Silicon Rubber)

Table 1 Material properties of silicon rubber

Material	E(MPa)	ρ (g/cm ³)	ν	Fracture strength(MPa)
Silicon Rubber	1.5	2.33	0.455	8.6

실리콘 러버와 몰드의 거리(d)가 8 mm일 때, 동일한 압력에서 실리콘 러버의 크기 변화에 따른 x, y 방향의 유효가압면적을 도식적으로 나타내고 있다. Table 2는 전체적인 유효가압면적을 나타낸다.

유효가압면적의 측정은 실리콘 러버와 몰드의 접촉 후에 일정시간이 지난 뒤 정상상태에서의 데이터 값을 취하였으며, 실리콘 러버의 크기와 유효가압면적의 크기가 선형적으로 비례함을 확인할 수 있다.

Target-Area(280×380 mm²)를 만족하는 유효가압

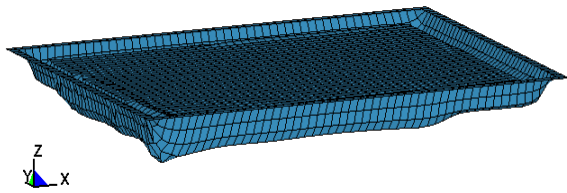


Fig. 3 Slip down phenomenon of silicon rubber

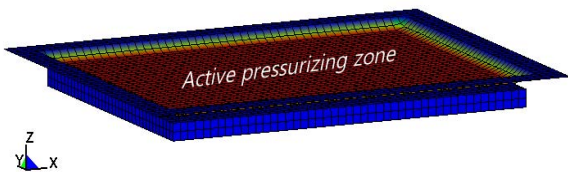
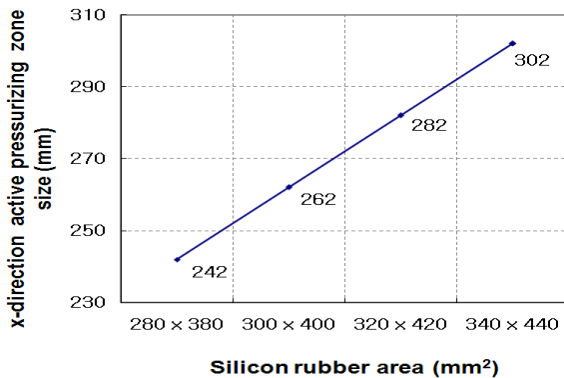
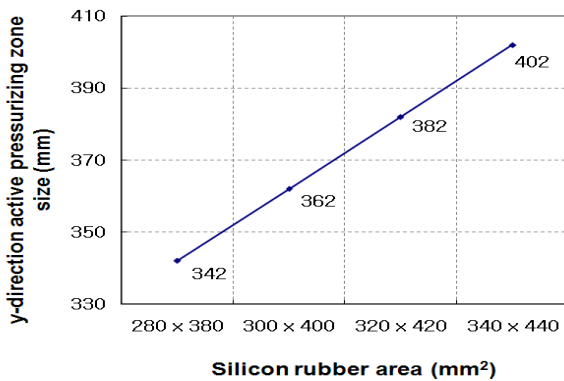


Fig. 4 Availability active pressurizing zone



(a)



(b)

Fig. 5 Relationship between Silicon rubber area and Active pressurizing zone at $d = 8$ mm (a) x-direction cross section (b) y-direction cross section

면적은 실리콘 러버의 크기가 $300 \times 400 \sim 320 \times 420$ mm² 사이일 때 찾을 수 있었다.

3.2 최대 응력해석(Maximum Stress Analysis)

균일가압장치에서 실리콘 러버의 내구성을 검증하기 위하여 실리콘 러버에 걸리는 응력 값을 측정해 보았다. 최대응력(Maximum stress)은 Figure 6에서 볼 수 있듯이 실리콘 러버의 체결부위에서 발생한다. Figure 7은 $t = 5$ mm, $d = 8$ mm 일 때, 실리콘 러버의 크기와 응력과의 관계를 나타낸다.

최대응력은 접촉순간 발생하며, 실리콘 러버의 바운딩(Overshoot)이 원인이다. 실리콘 러버의 크기가 커질수록 총 걸리는 힘도 증가하므로 최대 응력 값도 증가한다. 정상상태의 응력 값은, 실리콘 러버와 몰드간의 거리가 일정할 때, 러버가 커질수록 실리콘 러버의 변형량이 감소하기 때문에 응력값이 감소함을 볼 수 있다.

해석결과, 실리콘 러버의 크기가 $300 \times 400 \sim 320 \times 420$ mm² 사이에서 목표유효가압면적을 달성할 수 있었다. 이때의 최대응력값은 0.63646 MPa 값을 갖는다. 실리콘 러버의 파괴강도가 8.6 MPa이므로 충분한 안전계수를 확보할 수 있다.

Table 2 Relationship between Silicon rubber area and Active pressurizing zone at $d = 8$ mm

Silicon rubber area (mm ²)	280×380	300×400	320×420	340×440
Active pressurizing zone (mm ²)	242×342	262×362	282×382	302×402

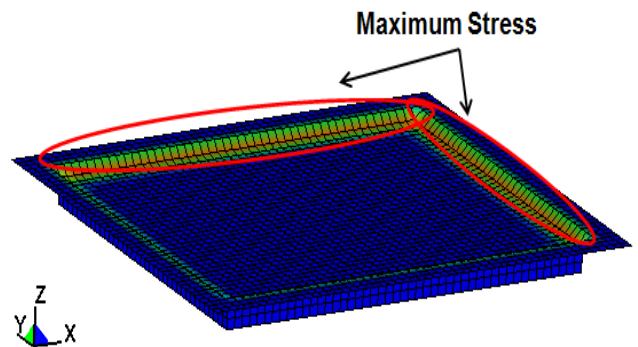
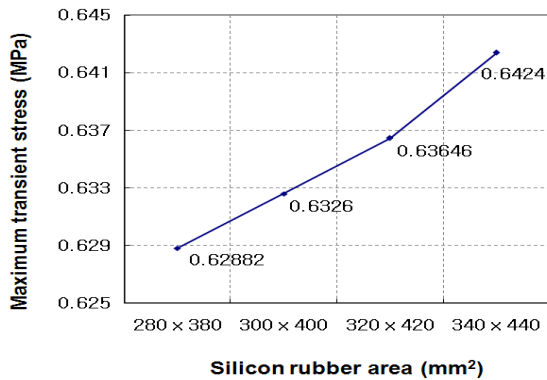
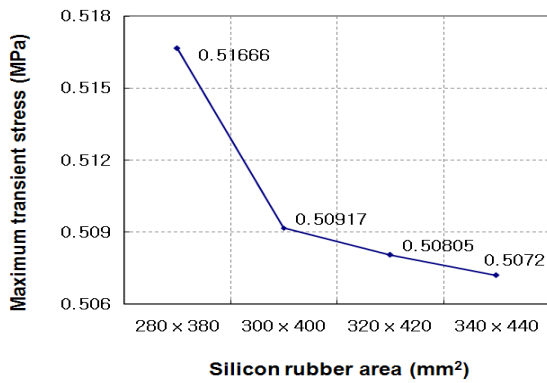


Fig. 6 Stress concentration of silicon rubber



(a)



(b)

Fig. 7 Relationship between Silicon rubber area and Effective stress (a)Maximum transient stress (b) Maximum steady state stress

4. 균일 가압장치 가압실험

접촉역학 해석 결과를 바탕으로 제작된 균일가압장치를 Figure 8에 나타내었다. Air Inlet를 통해서 공기가 주입되면, 장치 내부는 균일한 압력상태가 되며 실리콘 러버가 늘어나면서 정적유체의 압력을 가하게 된다. 이때, 균일가압장치에 부착된 실리콘 러버의 크기는 300×400 mm² 이다.

가압실험은 실제 제작된 균일가압장치와 압력측정용 전사지인 Pressure Sensing Paper를 이용하여 Figure 9와 같은 방법으로 실험을 수행하였다. 지지부와 실리콘 러버의 접촉이 일어나는 부분에 Pressure Sensing Paper를 고정시키고, 균일가압장치에 공기를 주입해 실리콘 러버가 늘어나면서

Pressure Sensing Paper를 가압하게 된다. 측정은 Pressure Sensing Paper에 현상된 발색 분포를 통해 압력 정도 및 유효가압면적을 파악하였다. 가압력은 2 bar로 압력을 가압하였다. Figure 10은 Pressure Sensing Paper를 이용하여 측정한 균일가압 장치의 가압실험 결과를 보여주고 있다. 실험 결과, 유효가압면적의 발색 분포가 균일하게 나타났으며, 면적의 크기는 280×380 mm²로 측정되었다. 해석값과 실제 균일가압장치의 오차가 약 11 % 발생함을 확인 할 수 있었다.

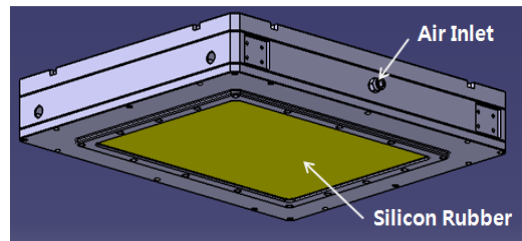


Fig. 8 Uniform Pressurizer

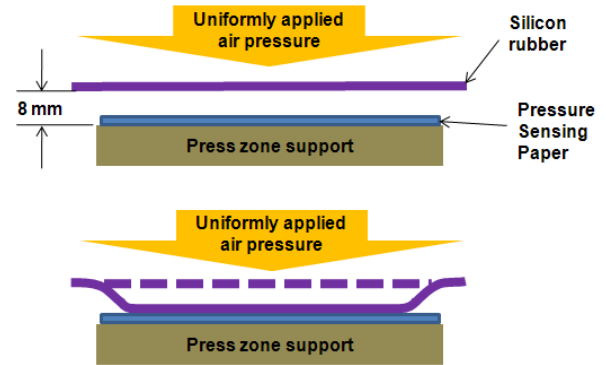


Fig. 9 Experiment of pressure distribution

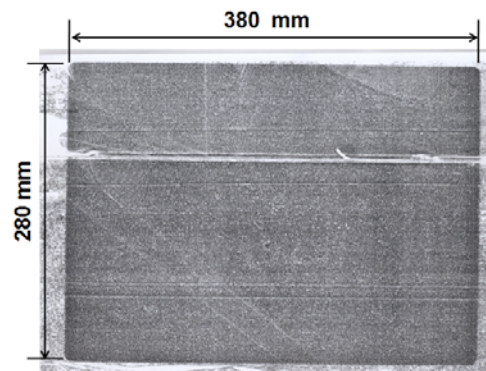


Fig. 10 Result of pressure experiment

4. 결 론

본 논문에서는, 임프린트 공정 장비에 필요한 균일가압장치의 개발을 목적으로, 실리콘 러버를 이용하여 정적유체의 압력을 가하는 원리로 LS-DYNA를 이용하여 균일가압장치의 접촉역학 해석을 수행하였다. 풍선형식의 유연재질로 실리콘 러버를 사용하여 몰드 패턴부의 Target Area(280×380 mm²)에 균일가압을 할 수 있는 유효가압면적(Active pressurizing zone)의 크기를 찾는 실험을 수행하였다.

실리콘 러버의 크기가 커질수록 유효가압 면적의 크기가 선형적으로 증가함을 확인 할 수 있었다. 최대응력은 접촉순간 발생하며, 실리콘 러버의 크기가 커질수록 총 걸리는 힘도 증가하므로 최대응력 값도 증가한다. 정상상태의 응력 값은, 실리콘 러버가 커질수록 감소하는데, 이는 러버가 커질수록 러버의 변형량이 감소하기 때문이다.

해석결과를 기반으로 실리콘 러버를 이용한 풍선형식의 실제 균일가압장치를 제작 하였으며, Pressure sensing paper의 발색 분포를 통해 해석값과 실제 유효가압면적을 비교해 봄으로써 약 11%의 오차를 확인 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 지원으로 수행(과제번호 10583)되었고, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Haisma, J., Verheijen, M. and Heuvel, K., 1996, "Mold-assisted nanolithography: A process for reliable pattern replication," *Trans. of the Journal of Vacuum Science and Technology B*, Vol. 14, No. 6, pp. 4124-4128.
- (2) Stephen, Y. C., Peter, R. K., Wei, Z., Lingjie, G. and Lei, Z., 1997, "Sub-10 nm imprint lithography and applications", *Trans. of the Journal of Vacuum Science and Technology B*, Vol. 15, No. 6, pp. 2897-2904.
- (3) Schiff, H., 2008, "Nanoimprint lithography: An

old story in modern times? A review," *Trans. of the Journal of Vacuum Science and Technology B*, Vol. 26, No. 2, pp. 458~480.

- (4) Sim, Y. S., Jeong, J. H., Shon, H. K., Shin, Y. J., Lee, E. S. Choi, S. W. and Kim, J. H., 2004, "Nano-patterning technology using an UV-NIL method," *Trans. of the Journal of Korea Vacuum Society*, Vol. 13, No. 1, pp. 39~45.
- (5) Lee, S. W., 2008, "Large Area UV Nanoimprint Lithography: Tools and Applications," *Trans. of the ASNIL2008*, pp. 40.
- (6) Cheng, F. S., Yang, S. Y. and Chen, C. C., 2008, "Novel hydrostatic pressuring mechanism for soft UV-imprinting processes," *Trans. of the Journal of Vacuum Science and Technology*, Vol. 26, No. 1, pp. 132~136