

# 유연기판의 나노임프린트리소그래피를 위한 가압 메커니즘 설계 Pressing Mechanism Design of Nanoimprint Lithography for Flexible Substrates

\*#임형준<sup>1</sup>, 이재종<sup>1</sup>, 최기봉<sup>1</sup>, 김기홍<sup>1</sup>, 정미라<sup>1</sup>, 김하나<sup>2</sup>, 박수연<sup>2</sup>

\*#H. J. Lim(hjlim@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, J. J. Lee<sup>1</sup>, K. B. Choi<sup>1</sup>, G. H. Kim<sup>1</sup>, M. R. Jeong<sup>1</sup>, H. N. Kim<sup>2</sup>, S. Y. Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부, <sup>2</sup> 과학기술연합대학원대학교

Key words : Nanoimprint Lithography, NIL, Flexible Substrate, Pressing Mechanism

## 1. 서론

나노임프린트리소그래피(Nanoimprint Lithography, NIL)는 1995년 Stephen Y. Chou 교수<sup>[1]</sup>에 의해 소개된 후 다양한 형태로 발전하며 기존의 포토리소그래피(Photolithography) 공정에 의존해 오던 반도체 등 각종 소자 제조방법의 다른 형태로 자리잡고 있다. 주로 웨이퍼 기반으로 이루어지는 포토리소그래피와는 달리 임프린트리소그래피는 롤 기반 연속 생산이 가능한 장점이 있다. 롤 기반의 나노임프린트리소그래피 역시 1998년 Chou 교수<sup>[2]</sup>에 의해 소개되었고 국내외에서 다양한 형태로 연구되고 있지만<sup>[3,4]</sup>, 여전히 해결해야 할 과제들이 많이 남아 있다. 특히 나노임프린트리소그래피 공정의 필수 요소인 스탬프 제작을 위해 웨이퍼 등 평면 기판을 기반으로 한 전자빔리소그래피(E-beam Lithography, EBL) 공정 등에 의존해야 하므로, 이를 롤 기반의 나노임프린트리소그래피 공정에 적용하기 위해서 별도의 수단에 의한 롤 스탬프의 제작이 필요하다. 이와 유사한 롤투롤(Roll-to-roll) 프린팅 기법은 유연한 기판을 기반으로 태양광 발전 및 디스플레이 분야에 생산성을 향상시키는 방안으로써 다양한 연구가 수행되어 오고 있다<sup>[5,7]</sup>. 결국 평면 기판에 존재하는 패턴을 유연기판으로 전사하는 공정은 향후 롤 기반 나노임프린트리소그래피를 구현함에 있어 필요한 기술이며, 본 논문에서는 이러한 방법의 구현을 위한 핵심요소인 롤 기반 가압 메커니즘에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 유연기판의 나노임프린트리소그래피 장치

일반적인 롤 기반의 프린팅 혹은 나노임프린트리소그래피 장치는 스탬프 롤러를 포함한 두 개의 롤러를 맞대어 회전시키며 그 사이로 기판이 통과하도록 하여 스탬프 롤러 패턴의 기판 전사를 수행하는데, 이는 시스템 구성이 비교적 용이하고 기판의 유연성과 무관한 시스템 구성 또한 가능하다는 장점이 있지만, 롤러 형태의 스탬프를 제작해야 하는 어려움을 안고 있다. 따라서, 본 연구에서는 그림 1 과 같이 평면 형태의 스탬프에 존재하는 패턴을 직접 유연기판에 전사시킬 수 있는 방법을 사용하고자 한다. 이는 유연기판에 대해서만 적용이 가능한 시스템이며 원형 또는 사각형 등 평면 형태의 실리콘, 유리와 같은 스탬프를 직접 활용할 수 있는 장점이 있다. 그리고, 평면 형태의 가열장치 또는 UV 조사장치에 직접 적용이 가능하다.

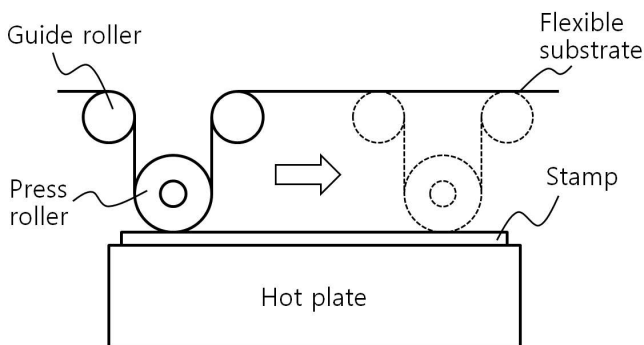


Fig. 1 Conceptual drawing of nanoimprint lithography system for flexible substrate

그림 1 의 가압롤러 이동 방법을 보면, 가압롤러(Press roller)의 전후에 가이드롤러(Guide roller)가 위치하며 가이드롤러를 통해 유연기판이 수평을 유지하도록 함으로써 가압롤러가 이동하는 경우에도 유연기판의 길이 변화가 발생하지 않게 된다.

## 3. 가압 메커니즘

일반적인 가압롤러와 달리 본 시스템의 가압롤러는 가압의 역할을 수행함과 동시에 수평 이동이 가능해야 하므로 수평 및 수직 이송이 가능한 이송장치에 가압롤러가 탑재되어야 한다. 따라서, 수직 이송장치의 이동 거리에 의해 가압하는 힘 또는 압력을 발생해야 하므로 수직 이송 거리에 대한 힘의 변화, 최대 발생 가능한 힘의 크기 등이 중요한 변수가 될 것이다. 한편, 평면 스탬프와의 평행도 유지를 위해서는 가압롤러가 이송장치를 기준으로 회전이 가능하도록 해야 한다.

그림 2 는 가압롤러 및 가압롤러의 수직이송을 위한 이송장치에 대한 개념도를 보여준다. 가압롤러는 베어링에 의해 가압롤러 홀더에 장착이 되어 회전하며 가압롤러 홀더 또한 가압롤러용 슬라이더와 회전이 가능하도록 구속이 되어 있다. 가압롤러용 슬라이더와 수직 이송장치 사이에는 스프링이 삽입되어 있어 가압하는 힘의 세기를 조절할 수 있게 된다. 그림 3 은 가압롤러의 자중(M), 장착된 스프링의 탄성계수( $k_t$ ,  $k_b$ ), 수직 이송장치의 이동 거리( $\Delta z$ )와 가압하는 힘(F)의 관계를 보여준다. 가압이 이루어지기 전 가압롤러의 자중에 의한 힘의 관계를 포함, 가압이 이루어지는 과정에서 발생하는 스프링상수와 힘의 관계는 (1)식 및 (2)식과 같이 표현되므로, 결국 (3)식과 같이 얻어진다.

$$-Mg = k_t l_{ti} - k_b l_{bi} \quad (1)$$

$$F - Mg = k_t (l_{ti} + \Delta z) - k_b (l_{bi} - \Delta z) \quad (2)$$

$$F = (k_t + k_b) \Delta z \quad (3)$$

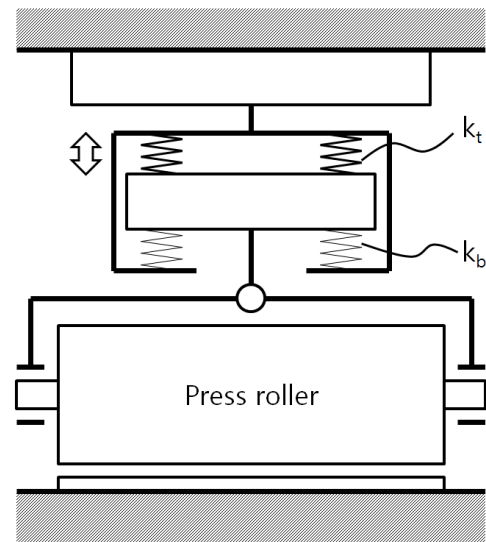


Fig. 2 Mechanism of the press roller

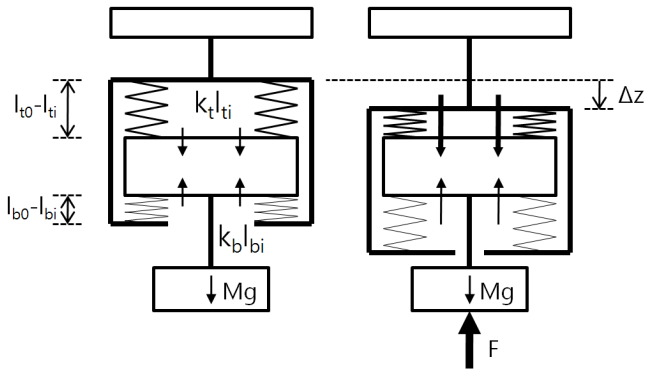


Fig. 3 Force equilibrium of the press roller

여기서  $l_{ti}$  와  $l_{bi}$  는 각각 가압 롤러의 자중에 의한 초기 변형의 정도이며, 스프링 고정부의 설계 치수에 따라 변형량의 합  $l_{ti}+l_{bi}$  를 결정할 수 있다. (2)식의 경우 스프링의 변형량이 허용 가능한 압축 길이 이상으로 변형하거나, 초기 길이 이상으로 인장되어 가압롤러 홀더로부터 스프링이 이탈하는 상황이 발생하지 않도록 하기 위해서는 이송 장치의 이동 거리를 적절한 수준으로 제한해야 한다.

Table 1 Design Parameters of the press mechanism

Parameter		Designed value
Press roller	Weight (M)	7.8 kg
Stage	Stroke	10 mm
Upper Spring	Length ( $l_t$ )	40 mm
	Stiffness( $k_t$ )	1 kgf/mm * 4 = 4 kgf/mm
	Initial deformation ( $l_{ti}$ )	0.8 mm
Lower Spring	Length( $l_b$ )	40 mm
	Stiffness( $k_b$ )	0.3 kgf/mm * 4 = 1.2 kgf/mm
	Initial deformation( $l_{bi}$ )	9.2 mm
Force	Resolution	52 gf / 10 um
	Maximum force	52 kgf (at 10 mm deformation)

본 논문을 통해 실제 제작하고자 하는 시스템의 경우 가압할 수 있는 힘의 크기를 50 kgf, 최대 이동거리를 10 mm 로 두었으며 이를 만족하기 위한 조건으로써 표 1 과 같은 설계 변수를 도출할 수 있었다. 가압용 스프링은 전 후 및 좌우방향으로 힘의 균형을 유지하기 위해 각 4 개씩 적용하였다. 표 1 에서 얻어진 스프링상수, 초기 길이 및 최대 이동거리 등 설계변수를 근거로 그림 4 와 같이 가압 메커니즘을 제작하였다.

#### 4. 결론

롤 기반 나노임프린트리소그래피 시스템은 다양한 소재 및 부품의 제작에서 가장 중요한 생산성 문제를 해결하기 위해 제안된 전도유망한 방법이다. 또한 유연 디스플레이, 유연 태양전지 등의 생산 공정에 적합한 방법이다. 스탬프와 기관 사이에 적절한 압력이 가해지도록 하는 롤러의 가압 메커니즘은 이를 위한 핵심 기술요소 중 하나이다. 본 논문에서는 다양한 설계 변수를 선정하고 이를 바탕으로 가압 메커니즘을 제작하였다. 본 가압 메커니즘은 그림 1 에서 제안한 형태 외에도 유연 스탬프와 유연 기관간의 패턴 전사, 유연 스탬프와 실리콘 기관 간의 패턴전사, 롤 스탬프와 유연 기관간의 패턴 전사 등 다양한 형태로 활용이 가능할 것으로 예상된다.

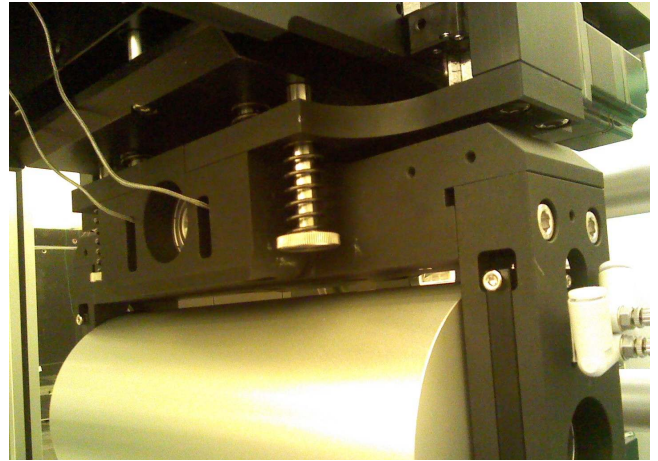


Fig. 4 Pictures of press roller mechanism for nanoimprint lithography system

#### 후기

본 논문은 산업계연계형 ACE 과제인 “유연스탬프기반 나노임프린트장비 응용기술 개발”의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- Stephen Y. Chou, Peter R. Krauss, and Preston J. Renstrom, “Imprint of sub-25nm vias and trenches in polymers,” Appl. Phys. Lett., **67**(21), 3114-3116, 1995.
- Hua Tan, Andrew Gilbertson, and Stephen Y. Chou, “Roller nanoimprint lithography,” J. Vac. Sci. Technol. B, **16**(6), 3926-3928, 1998.
- J Han, S Choi, J Lim, B S Lee, and S Kang, “Fabrication of transparent conductive tracks and patterns on flexible substrate using a continuous UV roll imprint lithography,” J. Phys. D: Appl. Phys., **42**, 115503-115506, 2009.
- Se Hyun Ahn and L. Jay Guo, “Large-Area Roll-to-Roll and Roll-to-Plate Nanoimprint Lithography: A Step toward High-Throughput Application of Continuous Nanoimprinting,” ACS Nano, **3**(8), 2304-2310, 2009.
- Frederik C. Krebs, “Polymer solar cell modules prepared using roll-to-roll methods: Knife-over-edge coating, slot-die coating and screen printing,” Solar Energy Materials & Solar Cells, **93**, 465-475, 2009.
- Masat Izu and Tim Ellison, “Roll-to-roll manufacturing of amorphous silicon alloy solar cells with in situ cell performance diagnostics,” Solar Energy Materials & Solar Cells, **78**, 613-626, 2003.
- HongMei Zang and R.C.Liang, “Microcup electronic paper by roll-to-roll manufacturing processes,” The Spectrum, **16**(2), 16-21, 2003.