

UV 나노 임프린트용 자기평형 공압 스테이지 연구

*김광¹, 구분석¹, 조장현¹, 김지완¹, 김주현¹

¹ 한국산업기술대학교 기계설계공학과

Self-Balanced Pneumatic Stage for UV Nanoimprinter

*K. Kim¹, B. S. Koo, J. H. Cho, J. W. Kim, J. H. Kim

¹ Dept. of Mech. Design Eng., Korea Polytech Univ.

Key words : UV Nanoimprint, Self-balancing Stage, Imprint Lithography

1. 서론

UV에 의한 나노 임프린트의 프로세스는 점도가 낮은 광경화 수지를 몰드에 변형시켜 그 후에 UV (300~400nm) 를 조사해 수지를 경화시키고 몰드를 이형 함으로써 몰드와 동일한 패턴을 얻은 것이다. 나노 임프린트 장치에서는 가압을 위해 주로 공기압 및 서보 모터압이 사용되고 있으며, 몰드와 기관과의 평행성을 유지하는 것이 균일한 전사성을 결정하는 중요한 요인이 된다. 컴플라이언트 기구를 적용한 수동형 스테이지 [1]와 능동형 스테이지의 연구 [2] 및 컴플라이언트 기구 적용방법보다 장치의 구성이 비교적 간단한 flexible thruster [3]의 연구, 또한, 유연한 Thruster 에 의한 스테이지 연구 [4] 와 소프트 몰드를 스택 그리드를 이용해 임프린팅한 연구 [5]가 진행되었다. 본 연구는 투명 또는 불투명 몰드에 모두 적용 가능하며 공압을 이용한 간단한 구조의 평형유지 스테이지에 관한 것으로 임프린트 장치를 구성하고 자기평형스테이지의 성능을 측정하였다.

2. 자기평형 공압 스테이지의 구조

임프린트 프로세스에서 몰드와 substrate 는 수평을 이루어야 전 영역에 대해 균일한 두께의 잔류층을 얻을 수 있으며 몰드의 패턴 전사율을 향상시킬 수 있다. Fig. 1에서 몰드와 substrate 가 평행하지 않은 상태에서 임프린트 될 때 별도의 보상기구가 없다면 좌우의 패턴 전사가 달라질 뿐만 아니라, 엣지 부분에 과도한 하중이 가해져 몰드의 손상을 초래할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 패턴의 전사율 향상과 몰드를 보호하기 위한 보상기구로서 Elastomer 를 원주방향에 배치하여 substrate 를 포함한 stage 부분이 이동하여 몰드에 접촉할 때 compliant 기구로 작용하도록 하였다. Fig. 2에 연구에서 제안한 자기평형 공압 스테이지 (self-balanced pneumatic stage)의 원리를 나타내었다. 몰드에 대해서 stage 가 수직으로 이동하며 경사진 몰드에 대해 평행하도록 보상해주는 역할을 한다. 수직 이동시 elastomer 는 압축되며 몰드에 가까운 부분보다는 경사 때문에 떨어진 부분에서의 압축량이 상대적으로 많아지게 된다. 가압의 수단으로 공기압을 사용하여 substrate 의 전면에 일정하게 작용되기 때문에 평형 유지와 함께 일정하게 가압되어 잔류층 (residual layer)의 두께를 일정하게 할 수 있어 잔류층 제거를 위한 후 공정인 O₂ 가스에 의한 RIE 작업에서도 패턴의 크기 조절이 용이하다. Fig. 3 (a) 는 자체 제작은 임프린트 장치에 구성한

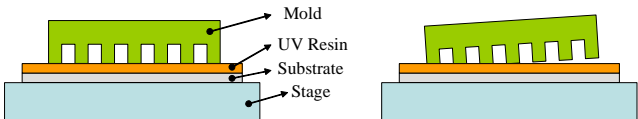


Fig. 1 Ideally contacted status and relatively shifted status

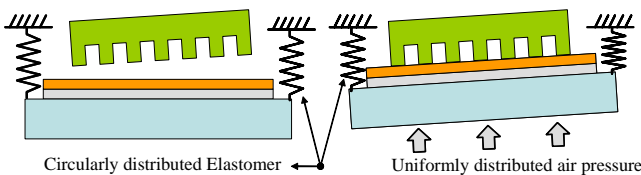
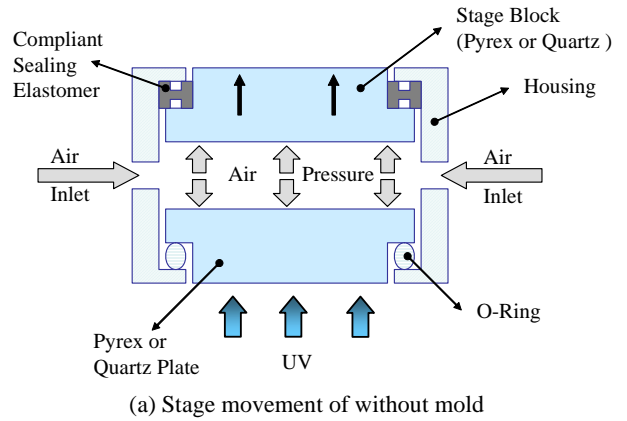
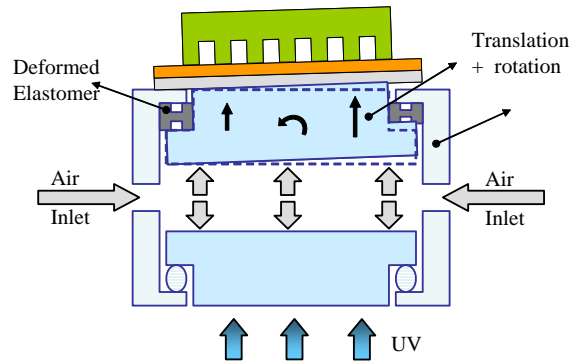


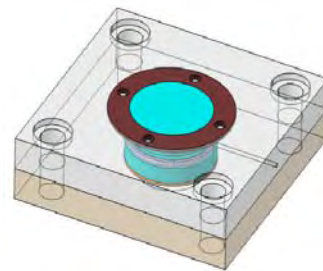
Fig. 2 Principle of self-balancing pneumatic stage



(a) Stage movement of without mold



(b) Stage movement of with inclined mold



(c) Self-balancing pneumatic stage unit

Fig. 3 Schematic diagram of self-balancing pneumatic stage unit

자기평형 공압 스테이지의 구조로 elastomer 는 compliant 기구와 씰링의 2가지 기능을 갖고 있으며 수직 방향에 대한 강성을 원주방향의 강성보다 상대적으로 작게 하여 몰드와의 접촉 후 가압시 발생 가능한 몰드와 substrate 와의 미끄럼 현상을 최소화 하였다. 공기압을 이용하기 위해 씰링가능 하도록 stage unit 을 구성하고 아래쪽에는 UV가 통과 가능한 파이렉스 또는 석영판을 위치시키고 위쪽에는 compliant 씰링 elastomer 를 반경방향으로 위치시키고 Fig. 3 (b)와 같이 공기를 stage unit 에 공급하면 몰드의 경사에 따라 stage 는 병진 및 회전운동을 하게 된다. 이때 공압에 의해 substrate 전면적에 대해서 균일한 압력이 가해져 일정한 두께의 전사패턴을 얻을 수 있게 된다. 간단한 구조로 compliant 기구처럼 동작하고 비교적 큰 압력에서도 기구가 동작함으로

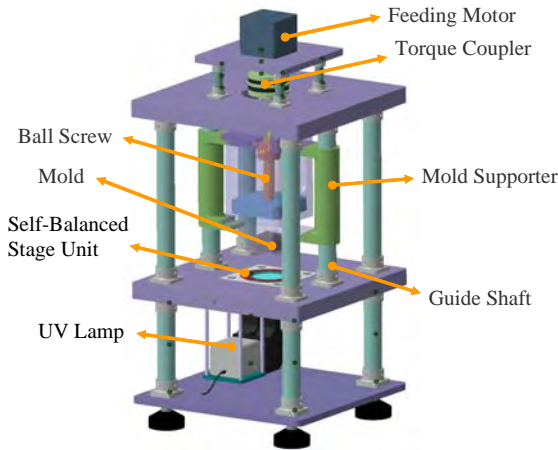


Fig. 4 Schematic diagram of UV imprinter
대면적의 UV 임프린트도 가능하게 되며, Fig. 3 (c)에 구성된 unit 의 형상을 나타내었다.

3. 장치의 제작과 전사율 측정

Fig. 4 은 자체 제작한 UV 임프린트 장치의 구조이다. 몰드 이송용으로 스텝모터를 사용하였고 이송기구로는 볼 스크류를 적용하였으며 양쪽에 가이드 샤프트를 이용하였으며 몰트 서포터를 충분히 길게 하여 이송 운동을 안정하게 하였다. 중간의 플레이트에 자기평형 공압 스테이지를 배치시켰으며 아래쪽

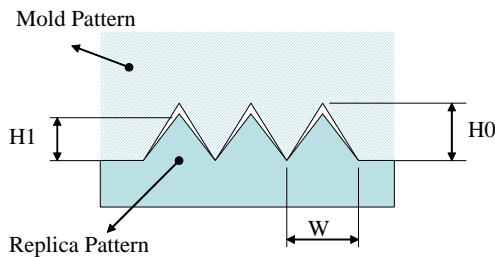
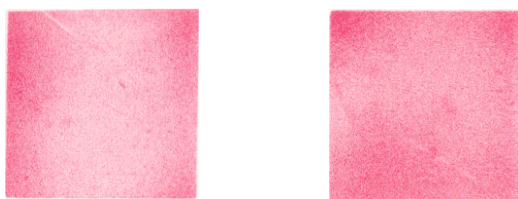
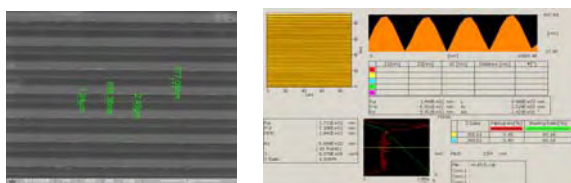


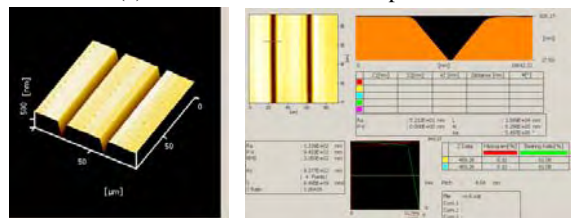
Fig. 5 Schematic diagram of imprinted test pattern



(a) Without compensation (b)With compensation
Fig. 6 Result of compensation using self-balancing : □50 × 50(mm)



(a) Ni metal mold and its replica



(b) Soft mold and its replica

Fig. 7 Pattern measuring results with SEM and AFM

Table 1 Comparison of measured replica patterns

	Upper pattern (Metal mold)	Lower pattern (Soft Mold)
Mold pattern (H0 : μm)	0.646	1.633
Replica pattern (H1 : μm)	0.628	1.565
Imprint Condition (volume/ pressure)	7 μl, 1.0 bar	6 μl, 1.5 bar
Replication Ratio(H1/H0 : %)	97.2	95.8

에 UV 램프를 위치시켰다. 이송운동은 고속과 저속의 2단계로 구별하여 몰드가 substrate 근접하면 마이크로 스텝 모드로 전환하여 정밀도를 향상시켰다. 제작된 임프린트 장치에 Fig. 5와 같은 Ni 도금한 금속 몰드를 장착시켜 UV 임프린트 프로세스를 진행했다. 패턴은 프리즘 도광관에 이용된 형상으로 높이(H0)는 0.65μm 이고 폭(W)은 1.54μm 이다. 몰드의 사이즈는 □50 × 50(mm) 이며 스테이지의 크기는 φ 100 (mm) 이다. 면압은 1.5 bar 로 1200N 까지 실험을 진행했다. 전사된 패턴의 높이(H1)를 측정하여 전사율을 조사하였다. Fig. 6(a)는 자세 보정이 안 된 경우 필름을 이용해 측정한 면압력으로 왼쪽부분에 큰 힘이 작용함을 알 수 있고 자기평형 공압스테이지를 적용한 결과를 Fig. 6(b) 나타내었다. 전체적으로 일정한 압력이 작용함을 알 수 있다. Fig. 7(a), (b)에 Ni 금속 몰드와 소프트 몰드의 패턴 사이즈와 임프린트된 패턴의 사이즈를 SEM 과 AFM 을 이용하여 측정하였고, 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 임프린트에 사용한 수지는 점도가 60 cps 로 (주)미뉴타택의 UV 수지를 사용하였으며, 각각 97.2% 및 95.8% 의 전사율을 얻었으며, 2~3%대의 수지 수축율을 감안한다면 자기평형 공압 스테이지를 적용으로 높은 전사특성이 얻어졌음을 알 수 있다.

4. 결론

임프린트시 몰드와 substrate 의 평행을 유지하고 일정한 압력이 가해지도록 제한한 self-balanced pneumatic stage를 임프린트 장치에 장착하여 실험을 통하여 높은 전사율을 확인하였다. 본 구조는 수동운동 스테이지로 (Passive Orientation Stage) 고압력 대응이 가능하여 대면적 임프린팅이 가능하고 상부에 석영 몰드를 채용할 경우 양면 일괄 전사를 간단한 장치 구성으로 구현가능하다.

후기

임프린트 장치제작에 많은 도움을 주신 아이엠비전에 감사드립니다.

참고문헌

1. Choi, B.J., Johnson, S. and Sreenivasan, S.V., "Partially Constrained Compliant Stages for High Resolution Imprint Lithography", Proceedings of DETC2000/MECH-14145, Baltimore, Maryland, 2000.
2. 최기봉, 이재중, "나노 패턴 장비용 컴플라이언스 스테이지", 대한 기계학회 2003년도 춘계학술대회논문집, 1065-1068, 2003.
3. Hiroshima, H., Komuro, M., Kurashima, Y. Kim, S.H. and Muneishi, T., "Step-and-Repeat Photo-Nanoimprint System Using Active Orientation Head", The Japan Society of Applied Physics, Vol. 43, No. 6B, 4012-4016, 2004.
4. Hiroshima, H., "SOFT (Sample on Flexible Thruster) Stage for Step-and-Repeat Nanoimprinter," The 4th International Conference on Nanoimprint Technology Digest of Papers, 24-25, 2005.
5. Pederson, R.H., Nielson, T., Kristensen, A. and Hansen, O., "Low Pressure Thermal Nanoimprint with Automatic Demolding", The 4th International Conference on Nanoimprint Technology Digest of Papers, 24-25, 2005.