

AFM을 이용한 나노임프린트 소재의 점착력 및 마찰력 측정 Measurement of adhesive and frictional forces on nanoimprint materials using AFM

*이희정¹, #김재현¹, 김광섭¹, 최대근², 이학주¹

*Hee-Jung Lee¹, #Jae-Hyun Kim (jaehkim@kimm.re.kr)¹, Kwang-Seop Kim¹, Dae-Geun Choi², Hak-Joo Lee¹

¹ 한국기계연구원 나노융합-생산시스템연구본부 나노역학연구실, ² 나노공정장비 연구실

Key words : Atomic Force Microscope, Diamagnetic lateral force calibrator, Lateral force, Adhesion force, Friction force

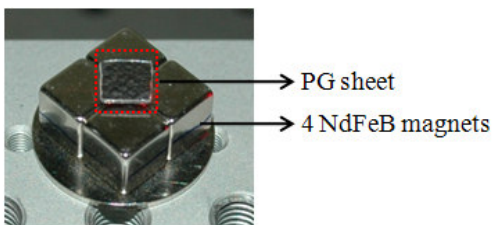
1. 서론

SPM (Scanning Probe Microscopy)은 미세한 캔틸레버의 팁과 시료 표면의 물리적 또는 화학적 상호관계를 이용한 기술을 의미하며, 물질 표면의 정밀한 형상 측정을 위하여 개발되었다. 일반적으로 AFM (Atomic Force Microscope)과 STM(Scanning Tunneling Microscopy)으로 분류할 수 있다. STM은 전도성 물질로 이용이 제한되기 때문에 이러한 단점을 보완하기 위하여 AFM이 개발되었다. AFM은 캔틸레버의 팁과 시료 표면에서의 상호작용을 이용하여 전도성과 비전도성 물질 모두에 적용이 가능하다.¹ AFM 장비가 표면형상 측정을 위한 목적으로 개발되었지만, 초정밀 구동기, 고해상도를 갖는 하중 및 변위 측정시스템으로 구성되어 있기 때문에 표면 형상 측정은 물론 박막 표면의 거칠기, 경도, 마찰특성, 내마모성, 점착력 등의 기계적 물성 측정을 위한 시험 장치로 사용되기에 충분한 가능성을 갖는다.¹⁻³ 본 연구에서는 AFM을 이용하여 나노임프린트 리소그래피에 이용되는 점착방지막 소재들에 대한 점착력 및 미찰력을 측정하였다. 그러나 일반적으로 상용 캔틸레버는 단순 캔틸레버 (Simple Cantilever Beam) 형상으로 시험중 얻어진 PSPD(position sensitive photodetector) voltage 값으로부터 장량적인 하중값을 얻기 위해서는 보정 절차가 필요하다. 본 연구에서는 D-LFC(Diamagnetic lateral force calibrator) 시스템⁴을 이용하여 물성 측정에 사용하는 상용 AFM 캔틸레버 팁의 lateral force 강성을 보정하였다. 또한 보정된 캔틸레버를 이용하여 NIL(Nano Imprint Lithography) 소재의 마찰 및 점착 특성을 평가하였다.

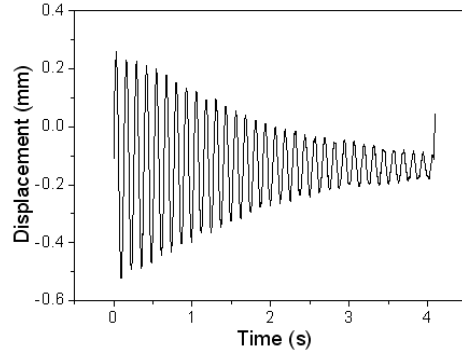
2. 실험 방법 및 결과

2-1 Diamagnetic levitation system의 강성 측정

D-LFC 시스템을 이루는 diamagnetic levitation 시스템은 4개의 강자석과 mica가 표면에 고정되어 있는 PG (pyrolytic graphite) sheet로 이루어져 있다. 강자석은 6.4 mm 정사각형 크기의 NdFeB (Neodymium-iron-boron) 영구자석을 사용하였고, levitation 재료는 susceptibility가 매우 큰 물질인 PG sheet를 이용하였다. PG sheet의 크기는 5 x 5 x 0.5 mm³이다. PG sheet의 표면은 매우 거칠기 때문에 시험중 캔틸레버 팁이 손상될 수 있다. 이를 방지하기 위해 PG sheet 표면에 mica를 붙였으며, mica가 올려져있는 PG sheet의 질량(m)은 0.0324 g이다. (Fig. 1 (a)).⁴ PG sheet를 강자석 위에 띄운 후, 레이저 변위 측정 시스템(Kegeene, LK-H50) 이용하여 PG sheet의 공진주파수를 측정하였다. PG sheet는 7.88±0.10 Hz의 공진주파수(ω)를 갖고 있는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 1 (b)). 따라서 diamagnetic levitation system의 spring constant ($K_{11} = m \cdot \omega^2$)는 0.0794 N/m이다.



(a)

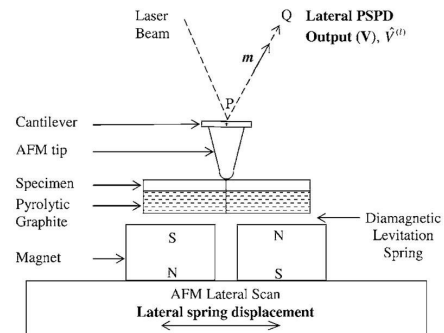


(b)

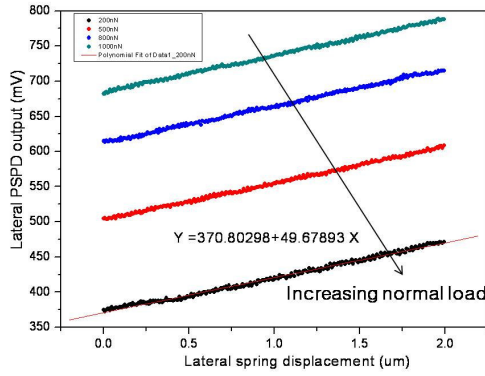
Fig. 1 (a) Diamagnetic levitation system (b) Time trace of the free vibration amplitude for PG sheet.

2-3 D-LFC를 이용한 캔틸레버의 lateral force constants 측정

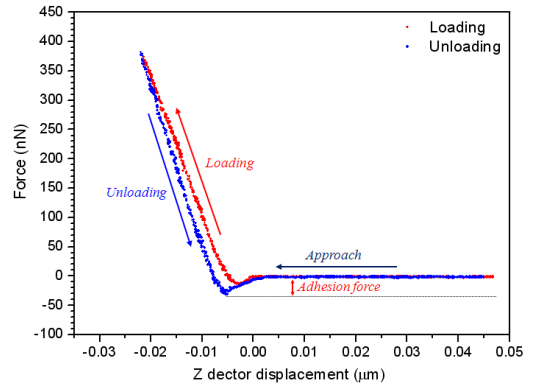
D-LFC 시스템의 강성 (K_{11})을 측정한 캔틸레버가 장착된 AFM 기기에서 일반적인 마찰 시험 모드를 diamagnetic levitation 시스템에서 수행함으로써 캔틸레버의 lateral force calibration을 하였다. 캔틸레버는 강성이 다른 NCHR (stiffness ; 42 N/m)과 NSC 36 B (stiffness ; 1.75N/m)를 사용하였다. 각각의 캔틸레버를 Fig. 2 (a)4 그림과 같이 D-LFC 시스템에서 하중에 따른 lateral force calibration 시험을 수행하였다. Fig. 2 (b)는 NCHR 캔틸레버의 하중에 따른 lateral PSPD output 결과를 보여준다. 이때 그래프의 기울기를 K_{11} 으로 나누어준 값이 캔틸레버의 lateral force constant을 의미한다. 동일한 방법으로 NSC 36 B 캔틸레버에 대한 lateral force constant 측정 시험을 수행하였다. 실험 결과 NCHR 캔틸레버와 NSC 36 B 캔틸레버의 lateral force constant는 각각 627×10^3 V/N, 13.35×10^6 V/N으로 얻어졌다.



(a)



(b)



(a)

Fig. 2. (a) A schematic of the D-LFC, (b) D-LFC data of the lateral PSPD output showing a linear dependence on the lateral spring displacement under incremental normal loads for the NCHR cantilever

2-3. 마찰력과 점착력 시험

Lateral force constant가 보정된 NSC 36 B 캔틸레버를 이용하여 NIL에 이용되는 5종류의 소재들에 대하여 마찰력과 점착력을 시험하였다. 시험에 이용된 시험편들은 Supernova, PUA, PFPE, SN 30(105), SN 30(115)이며, 이들의 접촉각은 각각 80°, 83°, 103°, 105°, 115°이다. 마찰력 시험은 캔틸레버가 장착된 AFM을 이용하여 각 시험편에 대하여 LFM 시험을 수행하여 얻어지는 전압차와 D-LFC 시험에서 얻어진 lateral force constant를 이용하여 각 시험편에 대한 마찰력을 구하여 Fig. 3에 나타내었다. 마찰력은 접촉각이 가장 작은 SN 30(115°)가 가장 작았으며, 다른 시험편들은 접촉각이 마찰력에 미치는 영향이 뚜렷이 보이지는 않았다.

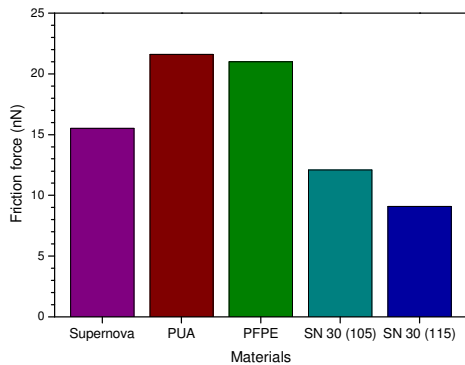
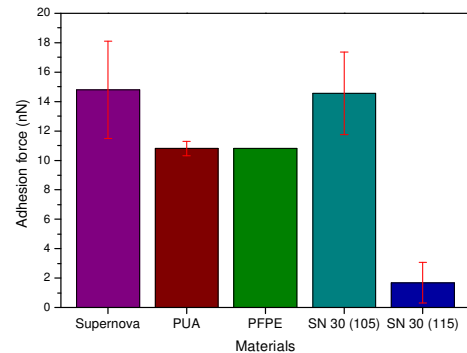


Fig. 3. The friction force graph of NIL specimens

NIL 소재의 점착력시험 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 점착력 시험은 AFM의 force-displacement mode를 이용하였다. Fig. 4 (a) 그림은 NIL 소재들중에서 SN 30 (접촉각 105°)에 대한 F/D 시험 커브를 보여준다. 그래프의 x축은 압전구동 스캐너의 이동거리를 나타내고, y축은 하중을 나타낸다. 시험이 평면팁에 닿기 전에는 하중은 일정한 값을 보이지만 시험과 팁의 거리가 수 나노미터 내로 좁혀지게 되면 시험과 팁 사이에 인력이 작용하여 팁이 시험 쪽으로 휘게 되어 접촉이 이루어진다. 그리고 하중을 제거하였을 때 시험과 팁의 점착력 때문에 일정한 거리 동안 붙은 상태를 유지하다가 팁이 시험 표면에서 갑자기 떨어지게 된다. 이때의 힘에서 스캐너가 복원된 후의 힘을 뺀 값이 팁과 시험의 점착력이 된다. 각 시험의 평균 점착력을 Fig. 4 (b)에 나타내었다. 마찰력 시험결과에서와 같이 점착력 역시 접촉각이 가장 작은 SN 30(115°)가 가장 작았다.



(b)

Fig. 4. (a) F/D curve of SN 30 (contact angle 105°) specimen. (b) Adhesion force graph of NIL specimens using F/D mode test.

3. 결론

본 연구에서는 D-LFC 시스템을 이용하여 AFM 물성시험시 사용되는 상용의 캔틸레버 팁의 lateral force constant를 보정 후, NIL 소재들의 마찰력과 점착력 시험을 수행하였다. D-LFC 시스템을 이용하여 얻어진 상용의 NCHR 캔틸레버와 NSC 36 (B) 캔틸레버의 lateral force constant는 각각 627×10^3 V/N, 13.35×10^6 V/N이다. 본 연구에서 물성시험을 수행한 5가지의 NIL 소재들 중에서 접촉각이 가장 큰 SN 30(115°) 시험편이 가장 작은 마찰력과 점착력을 갖는 것으로 확인되었다.

후기

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 나노 메카트로닉스 기술개발사업단의 지원(08-K1401-00610)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 문성호, AFM을 이용한 Tribology 연구 동향", 접촉 및 계면, 5, 3, 1-9, 2004.
2. J. R. Withers and D. E. Aston, "Nanomechanical measurements with AFM in the elastic limit", Advances in Colloid and Interface Science 120, 57-67, 2006.
3. C. A. Clifford and M. P. Seah, "Quantification issues in the identification of nanoscale regions of homopolymers using modulus measurement via AFM nanoindentation", Applied Surface Science 252, 1915-1933, 2005.
4. Q. Li, K.-S. Kim, and A. Rydberg, "Lateral force calibration of an atomic force microscope with a diamagnetic levitation spring system", Review of Scientific Instruments 77, 065105, 2006.