

## 정전기력을 이용한 나노 힘 표준기

김민석\*(한국표준과학연구원), 최인묵(한국표준과학연구원), 박연규(한국표준과학연구원),  
강대임(한국표준과학연구원)

주제어 : 나노 힘, 나노 뉴턴, AFM Cantilever, 정전기력, SI 단위

최근에 급속히 발달하고 있는 나노 기술(NT)과 생명공학 기술(BT)로 인해 미세한 영역에서의 역학적 측정이 중요시 되고 있다. 질량, 힘, 온도, 압력 등의 기본적인 물리량들의 정확한 측정이 거시 세계와 마찬가지로 나노 물질의 제조, 현상의 규명에 필수적인 요건이기 때문이다. 이 중에서 미세 힘 측정은 나노 압입 시험, 탄소나노튜브의 기계적 특성 측정, MEMS 구조물의 특성 평가, 근육 세포의 근력 측정, DNA나 생체 분자력 측정 등 광범위하게 사용되고 있다. 하지만 이런 미세한 힘 측정은 AFM 캔틸레버를 이용하여 주로 이루어지는데 신뢰성 있는 측정값을 주지 못하고 있다. 그 첫 번째 이유는 캔틸레버의 스프링상수 값이 10~20% 정도의 오차를 가지고 있는 것이고, 두 번째 이유는 실하중(아는 질량과 중력가속도로 구현하는) 방식의 힘 표준은 최소 10 μN으로 그 아래의 힘에 대해서 표준이 확립되어 있지 않기 때문이다. 이러한 미세 힘 측정 요구에 대응하여 각 표준기관에서도 미세 힘 표준에 관련한 연구가 진행되고 있으며 한국표준과학연구원에서도 2003년 나노 힘 표준의 확립 및 보급을 목적으로 정전기력을 이용한 미세 힘 표준기에 대한 연구를 시작하였다. 정전기력을 이용한 나노 힘 표준기의 개략도는 그림 1과 같다. 두 개의 동심을 갖는 원통형 실린더로 구성된 축전기에 전압을 가하면 자유롭게 위아래 방향으로만 움직이도록 설계된 선형 가이드에 부착된 안쪽 실린더는 다음과 같은 힘을 받는다.

$$F = -\frac{dU}{dz} = \frac{1}{2} V^2 \frac{dC}{dz} = k \cdot z$$

여기서, V는 전극사이의 전압, C는 축전기의 정전용량, z는 중력방향의 변위, k는 선형가이드의 스프링 상수이다. 안쪽 실린더의 바깥 지름을 15 mm, 바깥쪽 실린더의 안쪽 지름을 15.9 mm로 하면 정전용량의 거리에 대한 기울기  $dC/dz = 1 \text{ pF/mm}$ 로 1 V의 전압에 5 10<sup>-10</sup> N, 1000 V의 전압에 의 힘을 가할 수 있다. 외부 힘이 가해지면 내부 전극은 위 또는 아래로 움직이며 변위를 레이저 간섭계로 측정한다. 이때 내부전극이 움직이지 않도록 전압을 제어하면 외부에서 가해지는 힘을 측정할 수 있다. 본 논문에서는 정전기력을 이용한 나노힘 표준기의 구조에 대해 소개하고 기초 실험 결과에 대해 논의 하고자 한다.

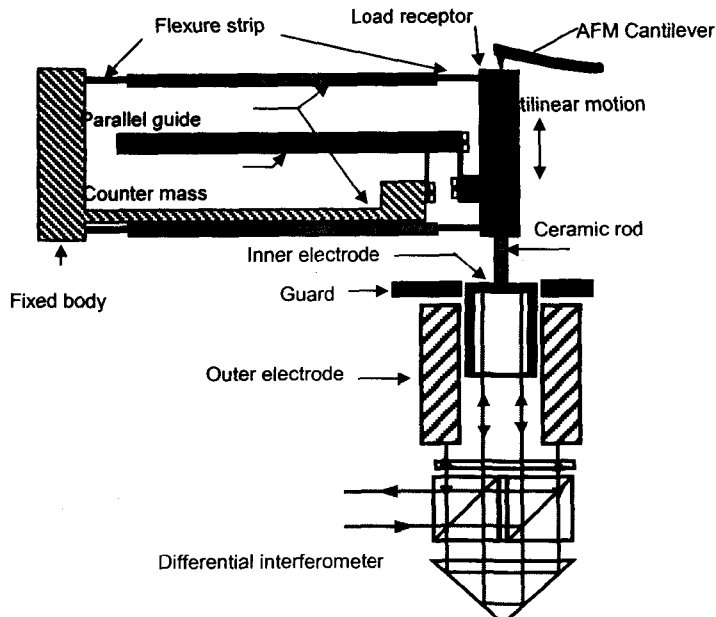


Fig.1 Schematic of an electrostatic precision balance