

# 미세 외팔보를 이용한 미세 상호작용력 측정 방법 연구

\*김성주, 문원규<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 포항공과대학교 기계공학과

## Measuring the fine interaction force using a micro-cantilever

\*S. J. Kim, W. K. Moon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Mech. Eng., Pohang University of Science and Technology

Key words : mutual, interaction, measurement, micro-cantilever

### 1. 서론

최근 생명현상에 대한 물리, 역학적인 측면에서의 연구가 가속화 되면서, 융합접촉단백질을 이용하여 생체접착제를 개발하거나<sup>1)</sup> 도마뱀의 발섬모를 모사하여 건조접착을 시도하는등의<sup>2)</sup> 생물체의 고유한 특성을 과학적으로 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 이러한 특성은 상호작용을 통해 나타나므로 AFM(atomic force microscope)과 같은 나노수준의 측정장비를 이용하여 상호작용력을 측정하는 연구가 이루어지고 있다. 그러나 SAM(self assembled monolayer) 등의 표면 처리가 이루어지지 않고서는 분자수준에서의 상호작용력을 정확하게 측정하기가 쉽지 않다. 또한 AFM 프로브 끝단의 크기가 수~수십 nm 정도로써 매우 첨예하기 때문에 아주 작은 접촉상태의 변화에도 그 측정결과가 크게 변하여, 한가지 현상에 대해서도 서로 다른 결과를 보이고 있는 실정이다. 그러므로 AFM용 미세외팔보의 끝단의 접촉면적을 넓혀 국소면적에 대한 상호작용력을 측정하는 방법이 이용된다<sup>3-4)</sup>.

이에 본 연구실에서는 미세외팔보 끝단의 접촉면적을 확대하는 기존의 방법외에 지름 수 $\mu\text{m}$ 의 원형기둥 패턴을 가진 기저판을 MEMS 공정으로 제작하여, 접촉면적을 보다 정확하게 규정할 수 있는 방법을 개발하였고, 측정결과와 편차를 줄일 수 있었다<sup>3)</sup>. 그러나 낮은 고품비로 제작된 기저판과, AFM에서의 접촉력 측정 모드의 부재등은 여전히 측정결과와 편차가 높게 나타나게 하는 요인이었다. 따라서 본 연구에서는 높은 고품비의 패턴을 가진 기저판을 제작하고, AFM의 동작원리를 이용하여 미세외팔보를 이용한 상호작용력 측정장치를 개발하였으며, 반복적으로 나타나는 상호작용력에 대해서 힘지도를 추출하는 등의 측정모드를 개발함으로써 측정 결과의 편차를 더욱 감소시키고자 한다.

### 2. 미세상호작용력 측정 장치의 제작 및 측정법

미세외팔보를 이용한 미세상호력 측정장치는 기본적인 AFM의 동작원리를 따른다. 따라서 장치는 시편의 대면위 이송을 위한 3축 모터스테이지와 정밀 이송을 위한 1축 압전스테이지, 레이저광 및 검출센서로써 PSD(position sensitive detector), 시편 및 외팔보의 위치확인을 위한 CCD, 그리고 신호처리 및 구동을 위한 컴퓨터 시스템으로 구성되었다. 3축 모터스테이지는 마이크로 수준에서 격자움직임을 통한 힘지도 측정이 가능해야 하므로 0.5 $\mu\text{m}$ 이하의 분해능을 갖도록 하였고, 1축 압전스테이지는 미세외팔보의 휨변위를 충분히 측정할 수 있도록 30 $\mu\text{m}$ 이상의 이송거리를 가지도록 하였다. PSD는 외팔보의 길이방향의 휨변위만을 측정하므로 1축으로 구성하였다. 제작된 장치는 450 $\mu\text{m}$  길이의 미세외팔보를 사용하였을 때 약 1.5nm의 분해능으로 미세외팔보의 휨변위를 측정할 수 있다.(Fig.1).

제작된 측정장치를 이용하여 단위면적당 상호작용력을 측정하는 방법으로는 끝단의 접촉면적을 확대하기 위해 수정된 미세외팔보와 유효접촉을 할 수 있는 수준의 크기를 가진 원형기둥을 제작하고, 미세외팔보끝단의 접촉부에 대상 시료를 부착한 후 기둥의 윗면에 대한 접촉력을 측정하였다. 그리고 반복적으로 나타나는 상호작용력을 보다 효과적으로 측정하기 위해, 원형기둥의 패턴 주변부를 격자형식으로 움직이며 연속적으로 상호

작용력을 측정하고, 그로부터 유효한 측정치를 추출하였다. 또한 미세외팔보의 끝단에 대상 시료를 부착하기 위한 모드등의 접촉력 측정 모드를 개발하여, 실험오차를 줄이도록 하였다(Fig.2).

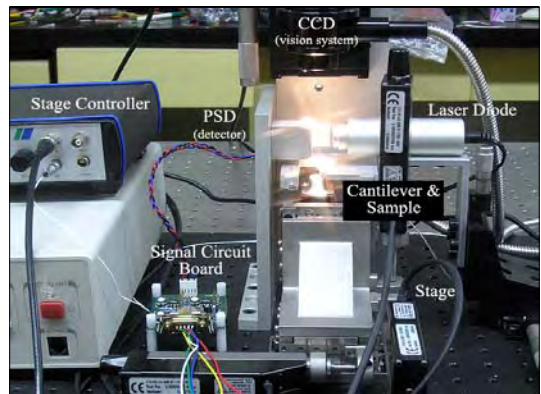


Fig. 1 Developed instrument for measuring the fine interaction force using a micro cantilever

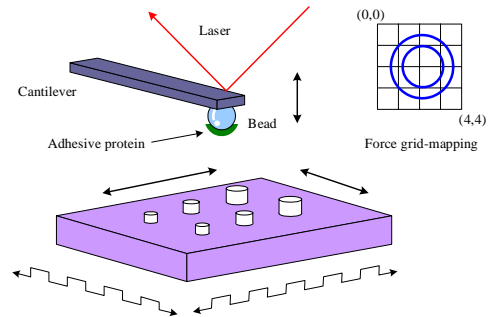


Fig. 2 Schematic measuring method (force grid mapping)

### 3. 미세외팔보의 수정 및 기저판 제작

AFM용 미세외팔보는 표면형상정보를 얻을 때와는 달리 힘-거리 곡선을 측정할 때에는 정확한 탄력정수값이 요구된다. 탄력정수는 미세외팔보의 공진주파수를 측정함으로써 그 값을 보정하였다. 접촉면을 확대하기 위한 방법으로는 끝단에 지름 20 $\mu\text{m}$ 의 비드(boro-silicate glass bead)를 에폭시수지(Vantico)를 이용하여 부착하였다<sup>3)</sup>(Fig.3). 이때 부착된 비드에 의해서 힘-거리곡선은 왜곡되지 않는 것으로 보고되어있다<sup>4)</sup>.

지름 20 $\mu\text{m}$ 의 구면체와 평면의 접촉면적은 대상시료의 두께가 0.5 $\mu\text{m}$ 일 때 약 31.4 $\mu\text{m}^2$ 으로 계산할 수 있다<sup>3)</sup>. 그러므로 기저판의 원형기둥과 비드가 유효접촉을 하기 위해서는 원형패턴의 반지름이 약 3 $\mu\text{m}$  이하 이어야한다. 따라서 반지름 3 $\mu\text{m}$  이하의 원형패턴을 가진 기저판을 Pyrex glass를 이용하여 제작하였으며, 기존 연구에서 습식식각으로 제작하여 고품비가 낮았던것을 보완하여 건식식각 방법인 AOE (advanced oxide etcher)를 이용하여 제작함으로써 고품비를 높였다. 원형패턴의 윗면적은 AFM을 이용하여 측정하고, 다수의 패턴에 대한 대표값을 사용하였다. 본 실험에서 사용한 패턴 면적의 대표값은 16.0 $\mu\text{m}^2$ 이며, 등가반지름은 2.75 $\mu\text{m}$ 이다.(Fig.4).

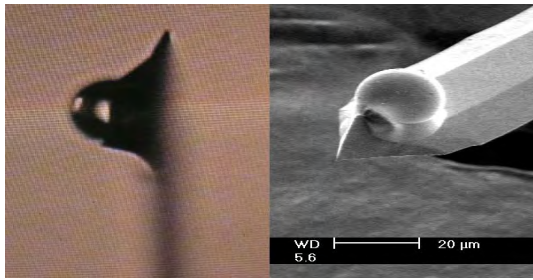


Fig. 3 Modified micro-cantilever attaching a micro bead (l) an optical microscope image (r) a SEM image

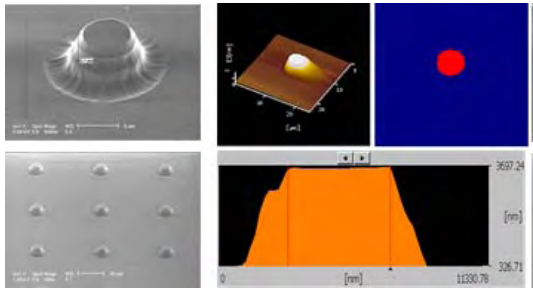


Fig. 4 Fabricated substrate with a micro-patterns (l) a SEM image (r) a AFM image and obtaining the top area

4. 실험 및 결과

우선 제작된 장치의 유효성을 검사하기 위해 원형패턴이 없는 기저판(cover glass)에 대해서 생체접착단백질의 접착력을 측정하였다. 상용 접착단백질인 Cell-tak을 외팔보 끝단의 비드부분에 10분간 흡착 후 상온에서 20분간 건조시키고 접착력을 측정하였다. 사용된 미세외팔보는 길이 450 $\mu$ m, 탄력정수 1.6N/m 이다. Figure 5에서 나타나듯 힘-거리 곡선을 성공적으로 얻을 수 있었으며, 반복되는 실험에서 기존의 AFM(SPA 400, SII)을 이용한 측정결과와 비교했을 때 측정결과와 표준편차가 평균값대비 80% 정도에서 20% 정도로 크게 향상되었다(Fig.6). AFM을 이용한 측정결과는 외팔보의 탄력정수를 보정하지 않고, 제조사에서 명시한 값을 그대로 사용하였기 때문에 상대적으로 약간 크게 나온 것이다. 그러므로 개발된 장치가 상호작용력 측정에 있어서 는 더욱 신뢰성있는 측정이 가능할것으로 판단된다.

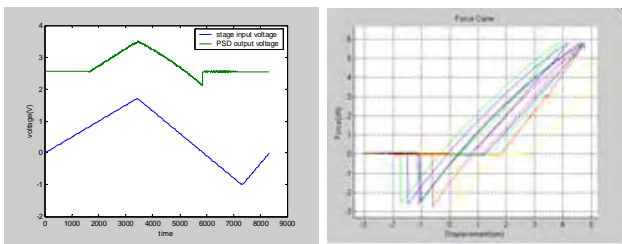


Fig. 5 (l) raw data while measuring the adhesive force (r) force-distance curve from raw data

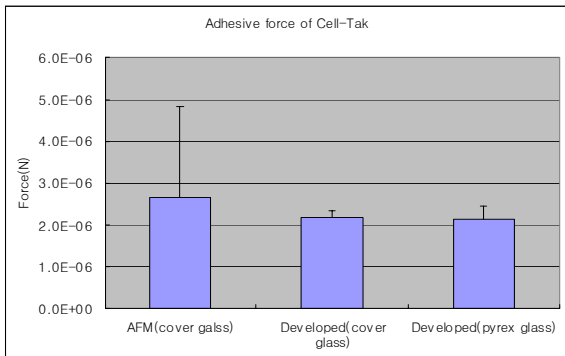


Fig. 6 Adhesive force measurement with AFM and developed instrument (bar-mean, error-bar-standard deviation)

다음은 기저판을 격자에 따라서 움직이며 접착력을 측정하여 힘지도(force map)를 완성하고, 이로부터 유효한 접착력 측정 결과를 추출한 결과이다. 격자의 간격은 1 $\mu$ m 이며, 전체 11x11 지점에 대한 접착력을 측정하였다. 시료는 fp151 이라는 수정된 혼합단백질이며 10분간 흡착후 20분간 상온에서 건조시킨 후에 접착력을 측정하였다. 사용된 미세외팔보는 길이 445 $\mu$ m, 탄력정수 1.85이다. Figure 7에서 나타나듯 기저판의 원형패턴 주변에서의 격자에 따른 힘지도를 성공적으로 얻을 수 있었으며, 원형패턴의 위치 및 형상을 부가적으로 얻을 수 있었다. 그리고 원형패턴의 윗면 모두가 접촉을 하고 있는 것으로 판단되는 몇몇 지점의 단위면적당 접착력을 Table 1에 정리하였다. 이렇게 유효한 접착력을 추출하였을 때 측정 편차는 평균값대비 10% 내외로써 더욱 감소하였다.

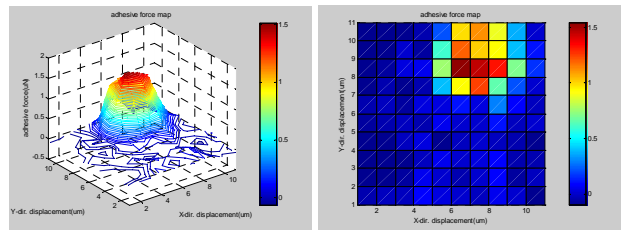


Fig. 7 (l) topography of the circular-pattern (r) force map (11x11  $\mu$ m)

Table 1. Effective adhesive force form force map

coordinate( $\mu$ m)	raw force( $\mu$ mN)	adhesive force(KPa)		
(7,7)	1.36	85.11	Mean(KPa)	89.84182
(8,6)	1.66	104.26		
(8,7)	1.58	99.09		
(8,8)	1.45	90.78	Stdev.(KPa)	10.26519
(9,6)	1.32	82.39		
(9,7)	1.24	77.41		

5. 결론

본 연구에서는 미세외팔보를 이용하여 미세상호작용력을 측정하기 위한 장치를 제작하고, 기존의 AFM을 이용한 접착력 측정방법외에 높은 고품비의 패턴을 가진 기저판을 사용하여 접촉면적을 더욱 정확하게 규정하고, 상호작용력을 측정하기 위한 모드를 개발하여 힘-지도를 추출함으로써 측정결과의 편차를 감소시킬 수 있는 방법을 개발하였다.

후기

본 연구는 한국과학재단이 지원하는 특정연구개발사업중 나노핵심기술개발사업에 의하여 수행중인 나노생체물질의 초미세력 감지기술개발II 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. D. S. Hwang, H. J. Yoo, J. H. Jun, W. K. Moon, H. J. Cha, "Expression of Functional Recombinant Mussel Adhesive Protein Mgf1-4 in Escherichia coli", Applied and environmental Microbiology, 70, 3352-3359, 2004
2. D. S. Kim, H. S. Lee, J. Lee, S. Kim, K. Lee, W. Moon, T. H. Kwon, "Replication of high-aspect-ratio nanopillar array for biomimetic gecko foot-hair prototype by UV nano embossing with anodic aluminum oxide mold", Microsystems Technology, DOI 10.1007/s00542-006-0220-1
3. 김성주, 문원규, 진중협, "원자현미경을 이용한 생체물질의 접착력 측정 기술 개발", 한국정밀공학회 추계학술대회는문집, 2005
4. Pincet F., Perez E., Wolfe J., "Dose Glue Contaminate the Surface Forces Apparatus?", Langmuir, 11, 373-374, 1995