

# Reading-Writing-Measuring Tool로서의 Atomic Force Microscopy의 최신 연구 동향

## - Reading tool로서의 AFM (1) -

광운대학교 화학공학과 김영훈 교수

### 들어가며

전 강좌에서 AFM의 응용범위가 기상을 넘어서 액상에까지 확장되고 있음을 기술한 바 있다. 본 강좌에서는 액상 및 승온 조건에서 바이오 시료 및 고분자 시료를 분석하는 reading tool로서의 AFM에 관한 내용을 정리하고자 한다. 연결되는 다음 강좌에서는 액상 AFM에서의 이미지 개선을 위한 연구에 관하여 설명하고자 한다.

### 액상 AFM

액상 AFM을 사용하는 이유는 액상내에서 탐침과 시료 사이의 진동에너지를 줄여주는 것과 생물시료를 생체조건과 유사한 상황에서 분석할 수 있다는 장점이 있다. 또한 공기중에서 접촉모드로 분석할 경우, 공기중 수분이 탐침과 시료 사이의 응축되어서 이미지 왜곡을 야기하기도 하는데, 액상(특히 물)에서는 이러한 현상을 감소시킬 수 있다 [1].

액상 AFM의 응용가능성이 넓기 때문에 이에 관한 연구가 최근 들어서 많이 진행되고 있으며, 주로 상용 AFM에 부수적인 장비처럼 장착하는 방식을 택하고 있다. 이러한 액상 AFM은 크게 3가지 형태로 구분하며, 폐쇄형, 개방형, 액적형 등이 있다. 일반적인 개방형 AFM은 Fig. 1과 같으며, 캔틸레버가 액상에 잠긴 다음 반사되는 레이저의 정보를 읽기 위한 유리관으로 구성되어 있는 것이 특징이다.

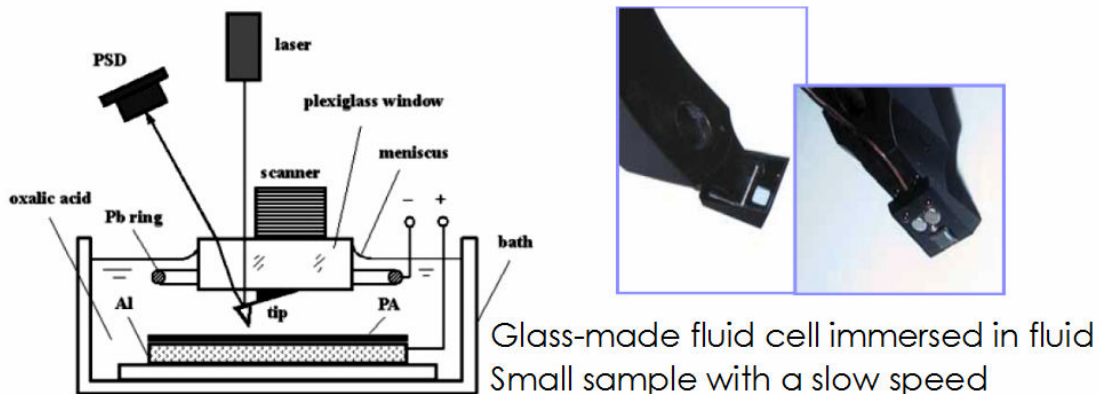
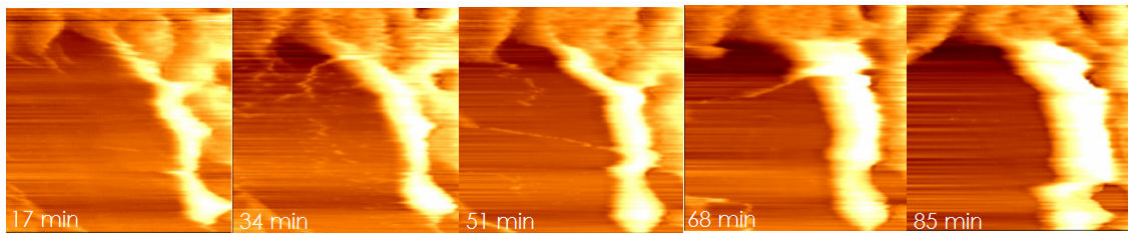


Fig. 1. Scheme of typical liquid AFM.

폐쇄형 AFM은 유연한 고무 O링을 이용하여 시료 홀더를 감싸는 방식으로 되어 있지만, O링의 찢어지는 현상과 함께 액상내 기포가 발생하는 문제점이 있다. 액적형은 시료위에 물방울을 떨어트려서 표면장력으로 형성되는 반구형 액적에 탐침을 담귀 분석하는 방식으로 모세관력을 이용한다. 이 방식은 대면적을 분석하기에는 어려움이 있다. 개방형 AFM은 이러한 두가지 액상 AFM의 단점을 개선한 것으로 액상 용액의 교체가 간단하고 액체의 휘발로 인한 시료의 파괴, 용액의 넘침으로 인한 장비의 손상 등의 문제점을 해결했다 [2,3].



**Fig. 2.** In-situ observation of Au growth on the amine-functionalized substrate [4].

Fig. 2는 개방형 액상 AFM을 이용하여, 아민 기능을 지닌 실리콘 웨이퍼 위에서의 금 나노입자의 표면성장을 관찰한 결과이다. 시료분석은 알코올 분위기에서 측정이 되었으며, 매 17분 마다 액상 이미지를 분석하였다. 입자의 높이 성장은 없으나, 넓이 성장을 관찰할 수 있으며, 이를 통하여 입자가 랑뮤어 흡착과 같이 단층 흡착을 보인다는 것을 액상 AFM을 통해 관찰할 수 있다. 또 다른 사례로는 Zhang[3]의 연구에서처럼 전기화학적으로 성장하는 기공성 알루미늄(Anodic Aluminum Oxide)의 성장을 분석하기도 하였다. Miller[5]는 tapping 모드를 이용하여 액상에서 생체고분자의 합성을 직접관찰하기도 하였다. Menchaca는 실시간으로 polyelectrolyte 필름의 자가조립 현상을 관찰하여 보고하였다. 이와 같이 액상 AFM은 주로 실시간 입자 성장이나 자가조립의 성장 기작을 밝히기 위하여 사용되었으며, 다양한 용매 조건에서 분석 활용되고 있다.

### 승온+액상 AFM

액상에서 시료를 분석하다 보면 시료의 생체 조건인 38°C를 맞춰줄 필요가 있다. 이에 최근에는 액상 AFM에 승온이 가능한 부수장비가 제공되고 있다. 그러나 승온을 위한 hot stage는 스캐너로의 전달되는 열을 효율적으로 차폐하지 못하면 이미지의 왜곡, 즉 thermal drift 현상을 발생시킨다[7]. 따라서 승온 AFM의 경우는 열의 차폐를 얼마나 효율적으로 해 내느냐가 관건이기도 하다. 승온의 방법은 레이저 가열법이나 전기저항법을 사용하며, 주로 PID 제어를 포함한 후자의 방법이 많이 사용되고 있다. 저온에서의 이미지 분석을 위해서는 추가적인 냉각장치를 이용하여 냉각수의 순환을 통한 저온 분석도 가능하며, 더 낮은 온도의 분석은 cryogenic liquid AFM으로 구분하고 있다. 승온 장비의 또다른 요구사항으로는 목표 온도까지 빠르게 도달할 수 있게 만드느냐와 얼마나 효율적으로 냉각을 시키느냐이다.

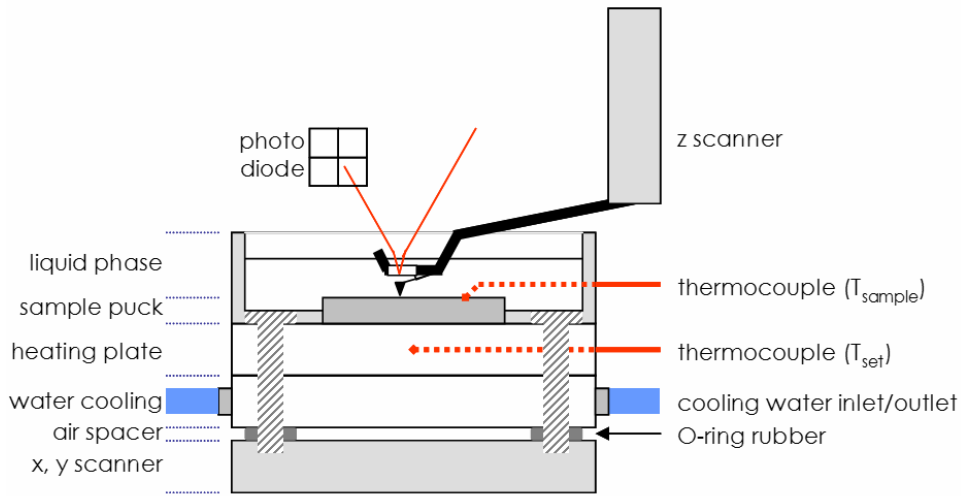


Fig. 3. Schematic diagram of the hot stage with an open liquid-cell AFM [1].

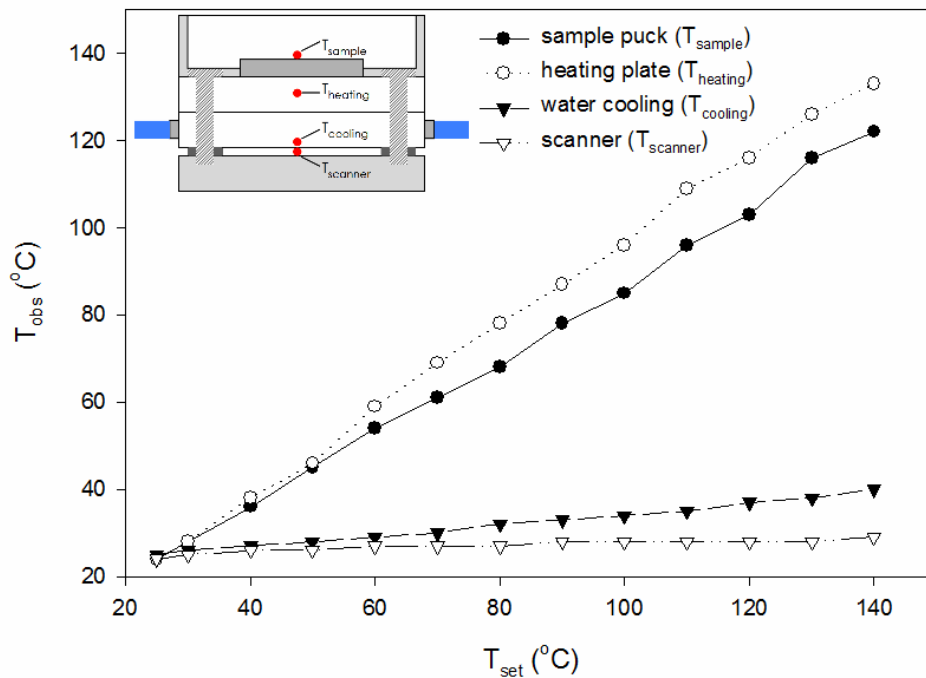


Fig. 4. Temperature of the sample puck, heating plate, cooling plate, and scanner head [1].

Fig. 3은 승온판을 개방형 액상 AFM에 결합한 상태의 모식도이다. 알루미늄판으로 구성된 열전달판과 냉각수가 흐르는 냉각판, 공기층의 샌드위치 형태의 승온판이 스캐너 위에 거치되어 있는 형상이다. 스캐너로의 열전달을 막기위하여 냉각판이 설치되어 있으며, 공기층을 두어서 추가적인 열전달을 억제하고 있다. 각각의 열전달계수를 계산하여 구조를 형성하였다. 시료부, 승온판, 냉각판, 스캐너에 대한 승온에 따른 온도 변화 파악을 통하여 조립한 형

태의 열전달 효율을 파악하여 승온 AFM의 효과를 확인할 수 있다.

Fig. 4와 같이 시료부로는 승온판에서 직접 열이 전달되고 있으며 약 5~10°C 이내의 온도 차이를 보이며 목표온도에 도달하고 있다. 또한 스캐너로의 열전달은 140°C까지 올렸을 때 약 5°C 정도의 상승만을 보이고 있어서 안정적인 열차폐가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

승온 액상 AFM의 경우 접촉법과 비접촉법을 통한 승온조건에 따른 영향을 파악하는 사례도 있다. 즉 접촉면을 사용시에는 탐침에 열이 전달되어 시료와 탐침의 서로다른 열팽창 계수로 인해 이미지의 왜곡이 발생하게 된다. 즉 thermal drift로 인한 이미지 왜곡이 발생하며, 약 70°C에서부터 이러한 왜곡이 심하게 발생한다. 그러나 비접촉식으로 분석시에는 탐침이 승온되어 있는 시료표면을 직접 접촉하지 않기 때문에 이미지 왜곡이 100°C 이상까지 발생하지 않는다.

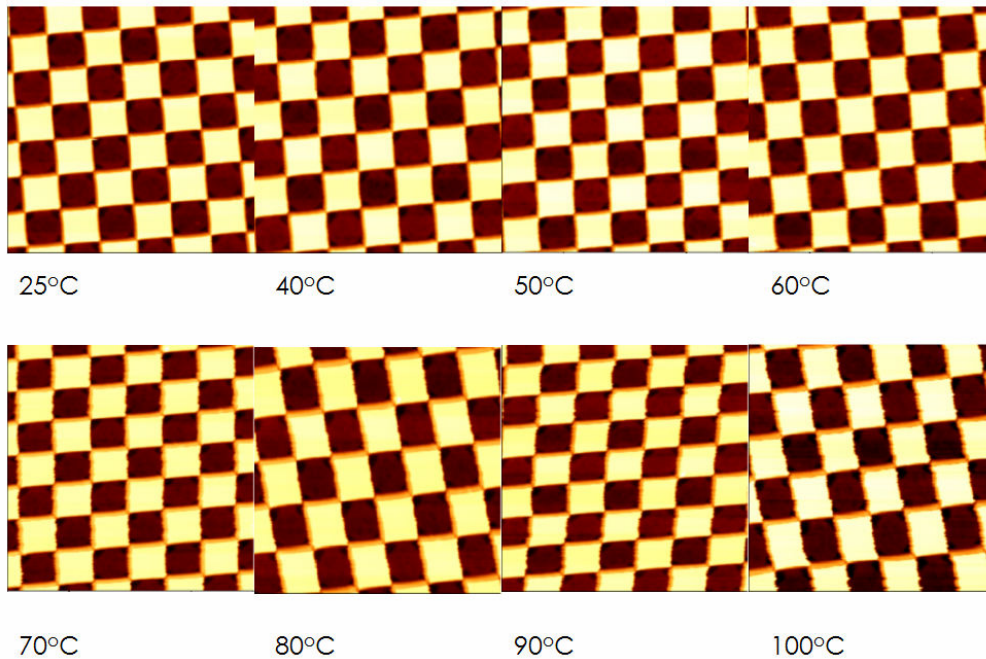
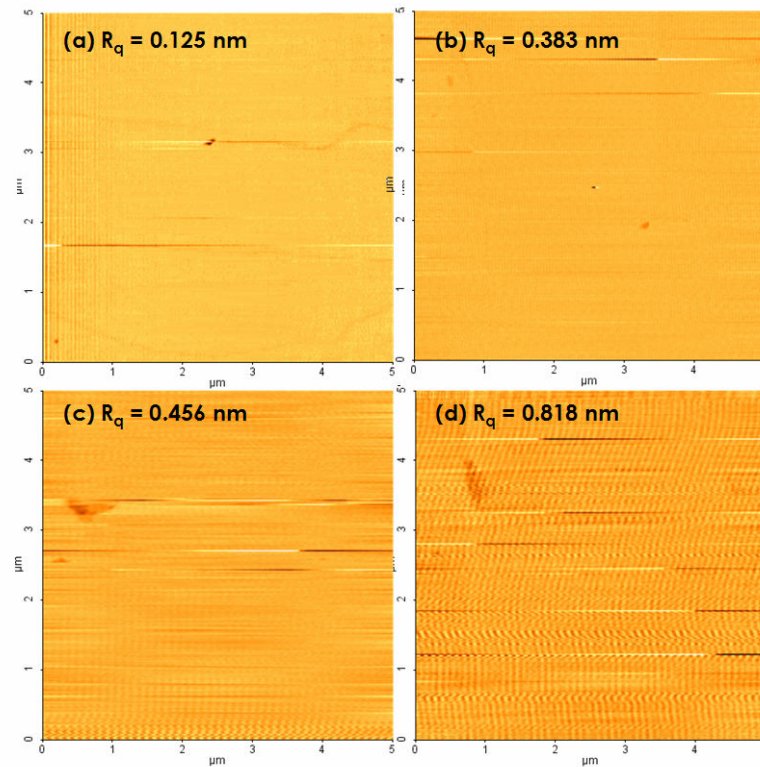


Fig. 5. Image distortion with rising temperature of hot stage.

끝으로 액상 AFM의 안정적인 사용이 중요한 관건이 되기도 한다. 이를 위해서는 1 nm이하의 거칠기를 지닌 mica를 이용한 액상내 이미지 분석을 통한 거칠기 증가정도를 파악하여 측정할 수 있다. Fig. 6과 같이 공기중에서 냉각장치를 사용하면 약 0.25 nm의 거칠기가 증가하며, 액상에서는 0.35 nm의 거칠기가 증가한다. 이는 Å 수준의 이미지 거칠기 증가로서 1 nm이상의 스케일에서의 액상 분석시에는 이미지 왜곡을 야기하지 않는다고 본다.



**Fig. 6.** AFM images of mica (a) in air without cooling, (b) in air with cooling, (c) in water without cooling, and (d) in water with cooling.

## 나가며

이성과 같이 reading tool로서 AFM을 활용하는 구체적인 예를 살펴보았다. 승온 및 액상 AFM은 생체 시료를 생체조건과 유사하게 만들어 분석할 수 있다는 장점 때문에 널리 활용되고 있으며, 앞으로도 그 응용범위가 더욱 확대 될 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- [1] Y. Kim et al., Rev. Sci. Instru., 77, 036114 (2006).
- [2] Y. Kim et al., Appl. Phys. Lett., 88, 173121 (2006).
- [3] H. Zhang et al., Microscopy Res. Tech., 66, 126 (2005).
- [4] Y. Kim and J. Yi, submitted to J. Nanosci. Nanotechnol. (2006).
- [5] T. C. Miller et al., Anal. Chem., 73, 4087 (2001).
- [6] J.-L. Menchaca et al., Colloids Surf. A, 222, 185 (2003).
- [7] B. D. Sattin and M. C. Goh, Rev. Sci. Instru., 75, 4778 (2004).