

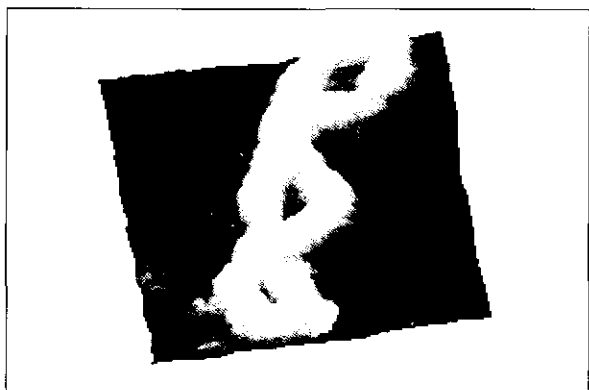
Nano와 Bio의 '멋진 만남'

이 글에서는 나노 기술(Nanotechnology)의 최근 동향과 근래에 생물학과의 결합으로 인해 새로이 각광받기 시작한 여러 나노-바이오 기술(nano-biotechnology)들과 그 향후 전망을 소개한다. 박 유 근

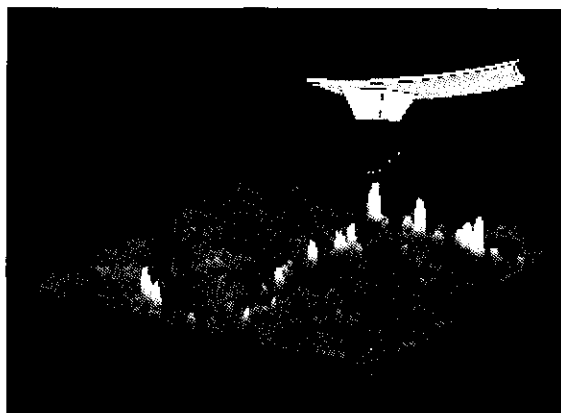
나노 기술(Nanotechnology)은 비교적 역사가 짧은 기술로서 최근까지는 주로 비생물적인 물질을 나노 스케일(nanometer-scale)에서 원자 및 분자들을 제어하여 새로운 소재와 소자 또는 시스템을 창출하는 기술로 발전하여 왔다. 근래에 이르러서는 나노 기술과 생물학이 접목되어 생체에서 일어나는 여러 물리적·화학적·기계적인 현상을 분자/원자 수준에서 이해하고 응용하여 바이오센서 및 새로

운 특성을 띠는 Biomolecular System을 제작하여 의료와 건강진단에 크게 이바지하는 기술로 발전하고 있다. 1959년에 벌써 Richard Feynman 교수는(Nobel 물리학상 수상자) "There's Plenty of Room at the Bottom"이라는 강의에서 나노 기술 분야의 급격한 발전이 올 것을 예측하였지만, 그 당시에는 이 분야가 공상과학에 불과하다고 받아들여졌다. 1980년대에 들어서야 비로소 나노 스케일에서 연구할 수

있는 도구들이 개발되었고, 21세기를 바라보는 오늘날에는 나노 기술 분야의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이 연구를 가능케 하는 도구로는 기계공학의 첨단이라고 할 수 있는 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)와 Nanomachining 기술로 제작된 STM(scanning tunneling microscope), AFM (atomic force microscope), NSOM(near field scanning optical microscope) 등으로 이들이 나노



〈그림 1〉 AFM은 DNA 같이 액체 안에 있는 분자단위의 생물체를 비파괴적으로 관찰할 수 있는 나노 기술의 핵심 도구이다 (Rutgers University).

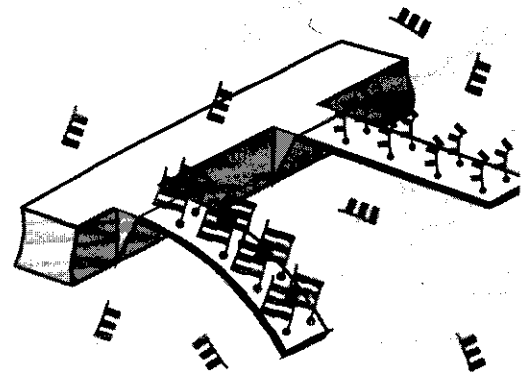
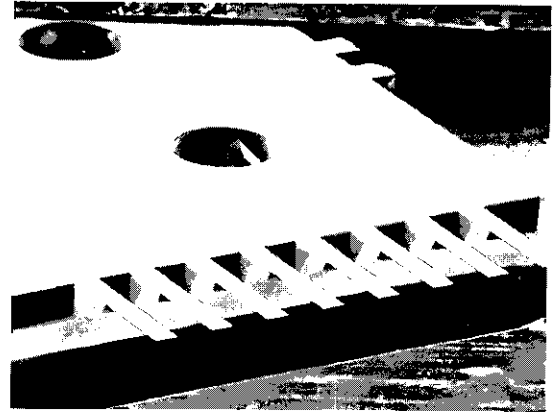


〈그림 2〉 AFM을 이용하여 항원-항체의 결합력을 단일분자 단위에서 측정할 수 있다 (Paul Sherrer Institut).

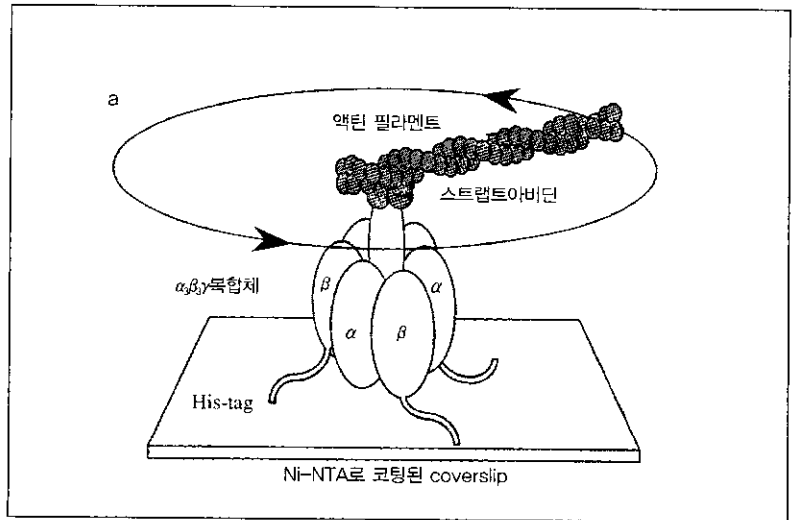
• 박유근/ 삼성종합기술원, MEMS Lab 장/ e-mail : yepak@sait.samsung.co.kr

세계의 '눈'(그림 1)과 '손'(그림 2)이 되어 나노 구조나 단일 분자의 특성을 측정하고 조작할 수 있게 되었다. 이러한 기술이 탄소 나노튜브(carbon nanotube)나 단일 전자 트랜지스터(single electron transistor)와 같은 전자소자에만 한정되지 않고 DNA, 단백질, 박테리아나 바이러스 같은 생물체에 적용된다면 생물학, 의학 나아가서는 사회의 healthcare 서비스 전반에 혁명적인 변화를 초래하리라 본다. "Engines of Creation"이라는 책을 펴내며, 나노 기술의 시대를 연 Eric Drexler에 의하면 자연은 오래 전부터 분자 수준의 생화학적 현상을 이용하여 DNA에 기록되어 있는 정보를 생물학적 프로그램에 따라 단백질을 만들어 생명체를 생성, 조절, 유지하는 나노 스케일의 자기 조립적 생산방식(self-assembly manufacturing)에 능숙하여 있지만, 이 프로세스의 결과인 인간의 기술은 아직 주어진 물질을 가공해서 제조하는 top-down 방식에 머물러 있다. 그러나 앞으로는 micro/nanomachining 기술을 기반으로 하여 제작된 도구들을 가지고 자연의 원자/분자 수준에서 일어나는 자기 조립(self-assembly) 현상에 응용하여 필요한 소재나 시스템을 bottom-up 방식으로 제작하는 수준에 도달할 것이다. 이에 따라 나노 기술을 이용하여 복잡한 생물체를 이해하고 또 그로부터 나노 기술의 발전을 이끌어내는 상보적인 상관관계가 가능해지고 있으며, 선진국에서는 벌써 나노-바이오 기술이 눈부시게 발전하고 있다. 이러한 연구를 촉진하기 위해 NASA, DOD, NSF, NIH 등 미국 정부기

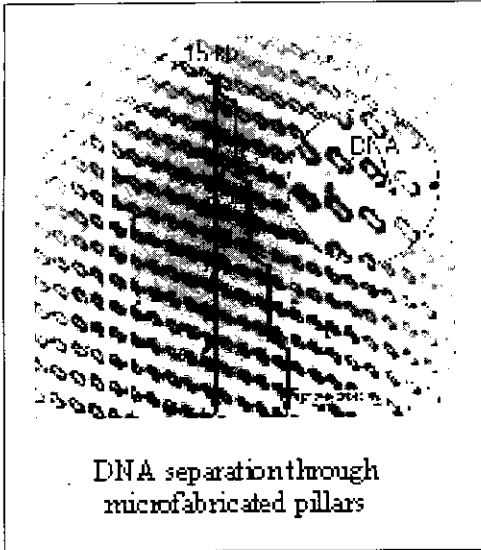
관에서는 막대한 연구비를 투자하고 있으며, 정책적으로 이 분야를 집중 육성하고 있다. 대학에서도 미래의 과학자와 공학자들을 배출하기 위하여 Cornell, Northwestern, Rutgers 등 대학들과 Foresight Institute, Paul Sherrer Institut 연구소 등에서는 나노-바이오 기술과 나노-의약(nano-medicine) 연구 프로그램을 설립하였고, 그 외에도 연구를 수행하는 많은 대학들이 나노 기술을 생물학과 연결시키는 방향으로 연구를 추진하고 있다.



〈그림 3〉 초미세 silicon cantilever 위에 부착되어 있는 분자와 측정하고자 하는 DNA나 단백질 분자가 결합되었을 때 생기는 정전력의 힘으로 Cantilever가 휘는 정도를 측정하여 분자의 형태를 알아낼 수 있다 (IBM).



〈그림 4〉 액틴 필라멘트가 단백질 모터에 부착되어 회전하며 일을 할 수 있다는 것을 보여준다 (Noji Hiroyuki).



DNA separation through microfabricated pillars

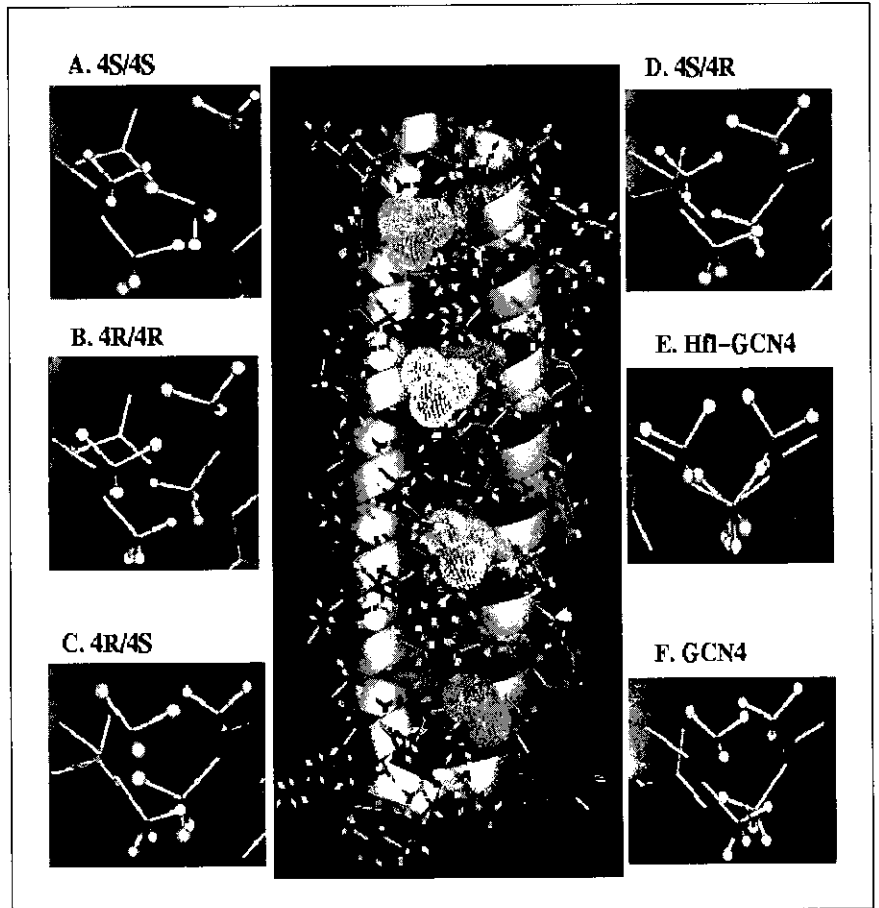
〈그림 5〉 Microfabrication 기술로 초미세 기둥들을 세워 DNA 분자를 크기별로 분리하는 기술은 현재 gel을 쓰고 있는 전기영동 방법의 기술을 대체할 수 있다(Cornell University).

나노-바이오 기술의 발전 현황과 응용

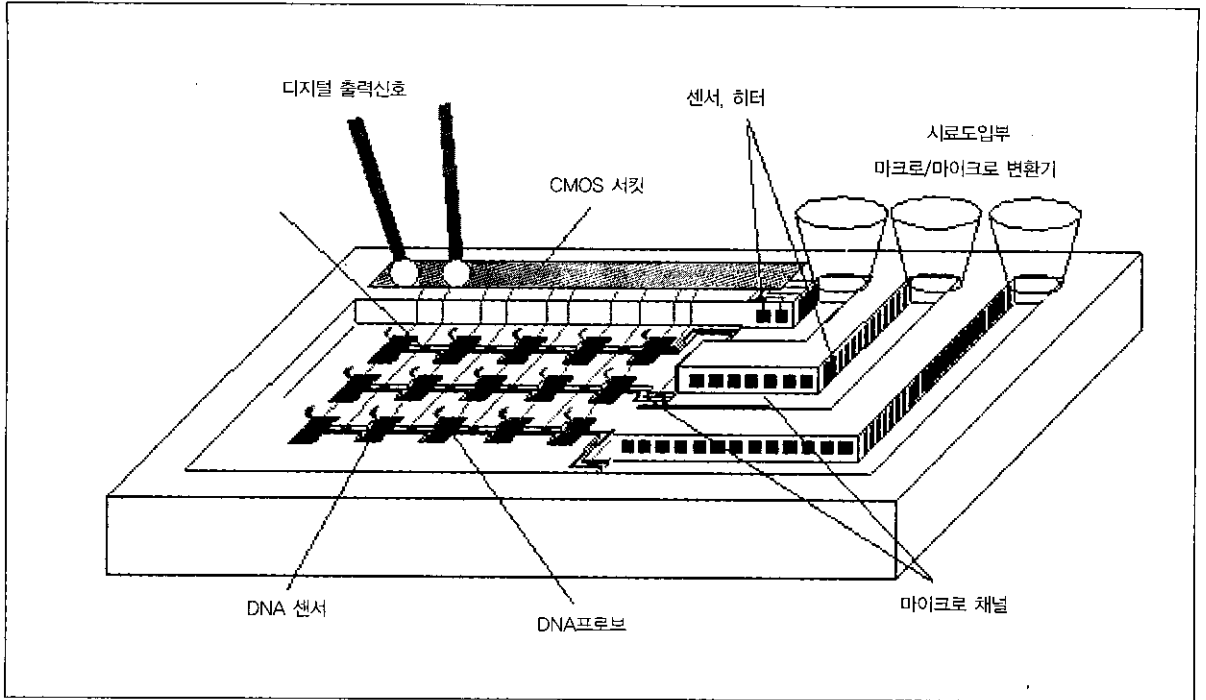
지난 몇 년간 SPM 응용 기술의 비약적인 발전에 따라 생물체 내의 미소구조와 그 안에서 일어나는 화학적인 현상을 분자 수준에서 높은 해상도로 관찰할 수 있게 되었다. 예를 들면, 스위스 Paul Scherrer Institut의 Ros 박사 연구팀에서는 AFM으로 세포 표면에서 작용하는 아주 미세한 항원(항체의 결합력(~50 pN) 직접 측정하여 생물체의 근본적인 현상을 이해하는데 큰 도움을 주고있다(그림 2 참조). 스위스 IBM Zurich 연구소와 Basel 대학에서는

MEMS 기술로 제작된 머리카락 1/50 두께의 '실리콘 손가락'으로 DNA와 단백질 분자를 분별할 수 있는 생화학 기계를(그림 3 참조) Science(Fritz et al., 2000)지에 발표함으로써 휴대용 질병 진단 센서의 가능성과 나아가 나노미터 스케일의 기계와 생체가 결합한 나노-로보틱스의 시대를 열었다. 1998 젊은 일본 과학자

Noji Hiroyuki는 세포 내에 자연적으로 생기는 "분자모터(molecular motor)"(그림 4 참조)가 있다는 것을 보여주므로 Amerisham Pharmacia Biotech and Science Prize 상을 받았다. 그는 세포에 있는 미토콘드리아 안에서 ATP를 생산하는 F1-ATPase에 액틴 필라멘트(actin filament)를 붙여 회전하는 것을 광학현미경으로 관찰하였고, 이로부터 회전하며 일을 할 수 있는 분자수준의 나노 모터 개발에 대한 가능성을 보여주었다. 분자 모터는 인체에 내장되어 있는 약물 전달 시



〈그림 6〉 생물체 내 나노 스케일에서 일어나는 여러 생화학, 물리, 기계적인 현상을 이해하고 규명하기 위해서는 컴퓨터 모델링과 시뮬레이션이 필수적이다 (Cal Tech).



〈그림 7〉 MEMS, 나노, 바이오의 여러 요소 기술들이 결합되어 집적화된 DNA/protein Lab-on-a-Chip은 질병진단 및 healthcare에 커다란 발전을 초래할 것이다 (삼성종합기술원).

스텝(drug delivery system)에서 유체 펌프로써 쓰일 수 있으며, 또한 앞으로는 모터가 필요한 MEMS 디바이스와 결합이 되어 생체분자를 해석하는 미세진단 칩에 응용될 수도 있다. Cornell 대의 Nanobiotechnology Center에서는 nano-microfabrication 공정기술과 나노 유체역학(nanofluidics) 기술을 응용하여 DNA 등 여러 바이오유체(biofluid)를 분자 단위에서 분리시키는 기술을 연구하고 있다(그림 5 참조). 이 기술이 광전자나 새로운 검출기와 결합된다면 분석 및 진단 기기에 필요한 전처리 과정을 소형

화시키고 고속화하는 데 응용될 수 있다.

맺음말

이와 같이 나노 기술과 바이오 기술의 결합은 생물체의 나노 스케일 현상에 대한 직접적인 이해뿐만 아니라 나아가서는 암 같은 병을 치료할 수 있는 인공적인 바이러스, 적혈구, 세포 등의 개발도 가능하게 할 것이다. 이 기술들이 성장하기 위해서는 나노 스케일 구조의 생화학적, 전자적, 광학적, 기계적인 특성과 나노-바이오 시스템(nano-

biosystem)에 대한 새로운 이론과 해석기술(그림 6 참조), 합성과 제조 기술들이 연구되어야 할 것이다. 지금까지 소개된 여러 요소 기술들을 직접화하는 시스템 기술과 인류사회의 필요성에 맞는 새로운 플랫폼(그림 7 참조)을 창출하는 기술의 발전으로 인하여 나노-바이오 기술은 약물 전달 시스템, 질병 진단용 칩, 나노 의약품, 수술용 마이크로 로봇 등 파급효과가 상당히 큰 분야로 발전할 것으로 본다.