

■ 나노기술의 개요

나노(nano)라는 단어는 본래 난장이나 아주 작은 것이라는 뜻에서 출발하여 지금은 아주 미세한 물리학적 계량 단위로 쓰이고 있다. nano는 십억분의 일이라는 단위로서, nanosecond는 십억분의 1초, nanometer는 십억분의 1미터를 가르킨다. 구체적으로 말하면 예컨대 1 나노미터는 머리카락 굵기의 10만분의 1에 해당된다. 눈으로는 볼 수 없는 세계, 전자 현미경을 통해야 접근 가능했던 극미의 세계가 나노의 세계다.

나노 기술(nano technology)이란 10억분의 1이라는 정밀도를 바탕으로 원자나 분자를 조작해 새로운 물질을 만들고 시스템을 창조하는 기술이다. 이러한 나노 기술이 의미를 갖는 것은 단지, 아주 미세한 세계 까지도 측정 가능하고 관찰할 수 있기 때문이 아니다. 나노의 세계는 물질의 최소 단위로 알려진 분자 또는 원자의 세계로 진입하여, 이를 조작하고 활용할 수 있다는 점 때문이다. 즉 물질의 최소 단위에 까지 인간의 통제력이 미치는 엄청난 변화의 가능성을 내포하고 있기 때문이다.

나노 스케일을 구현하는 방법은 <Bottom-up>식 접근과 <Top-down>식 접근으로 분류되는 2가지 방식이 있다. <Bottom-up>식 접근은 화학적인 수단에서 출발하는데, 각각의 원자나 분자들을 제어·조작하여 나노 구조체를 build-up하는 방식으로 합성, 자기 조립(self-assembly) 등이 주요 도구가 된다. <Top-down>식 접근은 기계적인 가공을 주요 수단으로 하며, 벌크 재료들을 breaking-up하여 나노 구조체로 조각하는 방식으로 기계적인 밀링이나 초정밀 가공, 리소그래피 등을 이용한다. 나노기술로의 접근 방식을 분야별로 보다 구체화하면 그림 1과 같이 세 가지 방향으로 분석할 수 있다. 첫 번째는 물리적 접근 방법으로서, 마이크로 일렉트로닉스에서 한 차원 낮은 스케일로의 접근 방식으로 이미 집적회로 기술에서는 100 nm 선폭이 실현되고 있으며, 이는 공정에 의존한다. 두 번째는 화학적 접근 방법으로서, 기존의 입증된 복합 화학 시스템으로부터 새로운 범주의 구성 기술들, 일례로 촉매, 멤브레인, 센서, 코팅 기술들을 실현하는 접근 방식으로 주로 소재에 의존한다. 마지막으로 생체학적인 방법으로서, 나노 스케일의 조직들과 생체학적 기능들을 결합하여 새로운 의학, 제약, 진단 관련 제품군을 생성하는 접근 방식으로 주로 생체 작용에 의존한다.

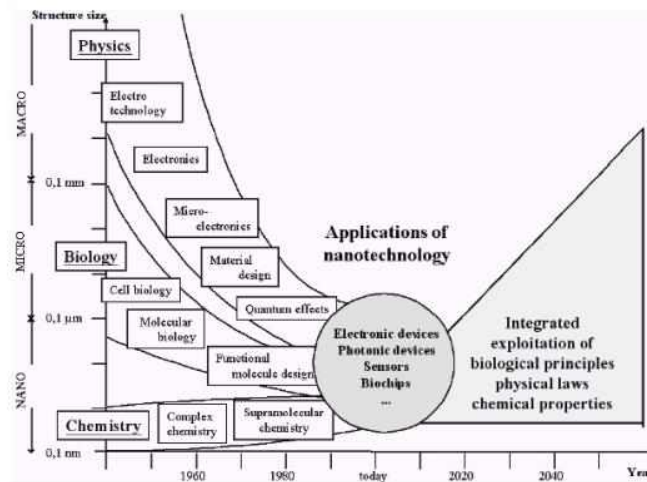


그림 1. 나노 기술의 발전과 물리학-생체학-화학적 접근 모델

■ 나노기술의 발전 현황 및 응용

나노기술은 아직 초기 단계로써, 응용 영역을 실용화 개념을 중심으로 예측하기에는 다소 이른 감이 있다. 그러나, GMR(Giant MagnetoResistance) 판독 헤드를 이용한 HDD(Hard Disk Drive) 헤드 등과 같은 일부의 특정 분야에서는 나노기술이 시장에 진입하고 있기도 하다.

나노 재료, 나노 구조체 및 소자, 나노 시스템 등을 실현하는 데에는 기존에 활용되고 있는 화학, 기계, 재료, 반도체, 전기·전자, 생명 공학 등과 관련한 다양한 공정 기술들이 근간이 되며, 이의 기반 위에 나노 스케일을 제공하는 공정 기술이 마련되어야 한다. 대표적인 공정 기술로는 <Bottom-up>식 접근의 경우 자기 조립과 입자 조작 공정, <Top-down>식 접근의 경우 나노 수준의 가공 및 리소그래피 공정을 주목할 만 하다. 나노 입자 조작(Nano Particle Manipulation)의 경우 나노 스케일의 팁을 이용하여 원자 혹은 분자를 개별적으로 조작하는 공정으로 나노 패터닝을 비롯하여 분자 단위의 결합, 이를 이용한 Bio-engineering 등에 활용될 수 있다. 그림 2의 (a)와 (b)에 각각 나노 스케일의 분자 조작 기구의 개념도와 원자 조작법을 이용하여 Xe원자들로 쓰여진 IBM로고를 보였다.

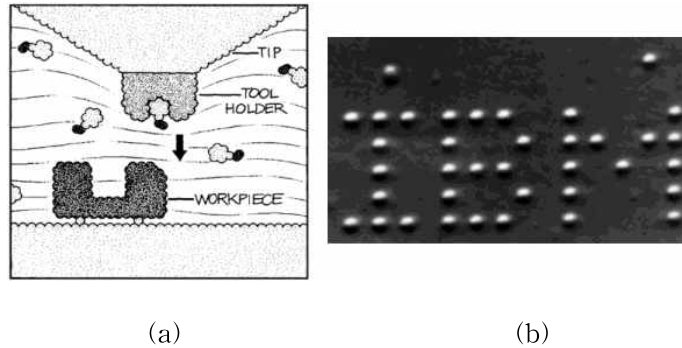


그림 2. 나노 분자 조작 기구의 개념도(a)와 Xe 원자로 기록된 IBM 로고(b)

또한, SPM 응용 기술의 비약적인 발전에 따라 생물체 내의 미소구조와 그 안에서 일어나는 화학적인 현상을 분자 수준에서 높은 해상도로 관찰할 수 있게 되었다.

스위스 Paul Scherrer Institute Ros 박사 연구팀에서는 AFM으로 세포 표면에서 작용하는 아주 미세한 항원(항체의 결합력을(~50pN) 직접 측정하여 생물체의 근본적인 현상을 이해하는데 큰 도움을 주고 있다.

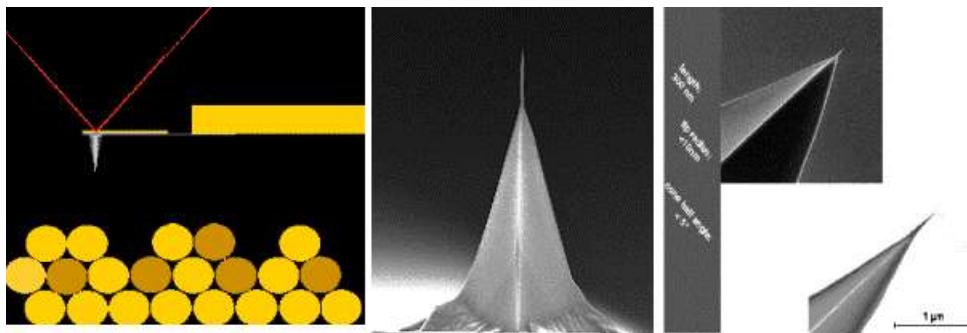
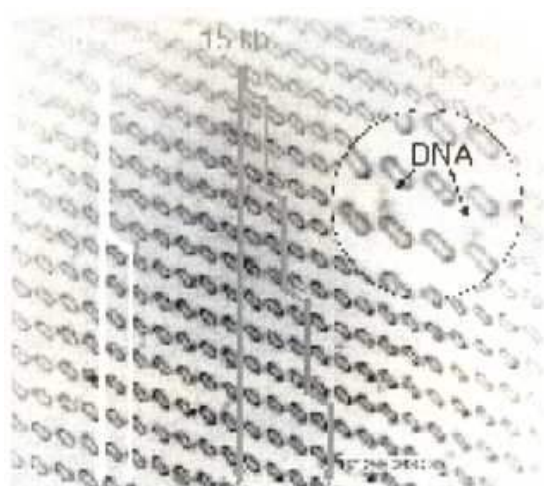


그림 3. SPM에 있어서 탐침부의 개념도 및 나노 팁의 모양

Cornell 대의 Nanobiotechnology Center에서는 nano-microfabrication 공정기술과 나노 유체 역학(nano-fluidics) 기술을 응용하여 DNA 등 여러 바이오유체(biofluid)를 분자 단위에서 분리시키는 기술을 연구하고 있다(그림 4). 이 기술이 광전자나 새로운 검출기와 결합된다면 분석 및 진단기기에 필요한 전처리 과정을 소형화시키고 고속화하는 데 응용될 수 있다.



### DNA separation through microfabricated pillars

그림 4. Microfabrication 기술로 초미세 기둥들을 세워 DNA 분자를 크기별로 분리하는 기술은 현재 gel을 쓰고 있는 전기영동 방법의 기술을 대체할 수 있다

#### ■ 결론

나노기술은 반도체 산업을 비롯하여 현재 과학기술 분야에서 인류가 당면하고 있는 기술적 한계를 극복할 유일한 출구로 기대되고 있다. 과거 이백년이 넘는 산업화를 통해 인류는 기계 문명을 발전시켰고, 20세기 후반에 들어서는 반도체를 통해 획기적인 소형화 집적화에 성공을 거두었지만 점점 한계점에 부딪치고 있다. 나노기술은 이러한 문제를 해결해 줄 것이다. 박테리아보다도 더 작은 분자 단위의 기억용 칩, 즉 '분자 나노 소자'를 통해 종전의 반도체칩과는 비교할 수 없는 초고밀도의 집적이 가능한 분자컴퓨터까지도 가능해진다. 이 칩은 분자 1개크기(10나노미터)가 직접 트랜지스터 같은 역할을 하게 되어, 1평방 센티미터 크기의 공간에 1조개의 소자를 집적할 수 있다. 이 정도면 1250만권의 장서를 보유하고 있는 미국 의회도서관에 실린 책의 모든 정보를 각설탕 한 알 크기의 칩에 담을 수 있게 된다는 계산이 나온다.

소재 분야에서도 나노기술로 물질의 구조를 완벽하게 제어할 수 있으므로 기발한 신제품을 생산할 수 있다. 이를테면 주위 환경을 감지해 스스로 적절하게 대응하는 지능을 가진 물질의 제조가 가능하다. 가령 나노 기술로 만들어진 옷감은 얇은 섬유 안에 습기를 감지하는 센서, 센서의 자료를 처리하는 컴퓨터, 컴퓨터의 지시에 따라 움직이는 모터 등 나노기계가 들어 있어 날씨나 습도의 변화에 따라 옷감 스스로 모양과 질감을 바꿀 수 있다.

나노칩을 사람의 머리에 삽입하여 대용량 컴퓨터와 인간의 지능을 하나로 통합하면, 더 이

상 지식 습득을 위한 노력이 불필요해질지 모른다. 단순한 정보보다는 창의력과 감성 등만이 컴퓨터와 인간을 구별하는 척도가 될 것이다.

나노 기술이 의학에 미칠 영향은 더욱 상상을 불허한다. 바이러스 퇴치용으로 개발된 인공의 나노기계는 목표하는 병원균만을 정확히 공격할 수 있다. 나노로봇을 인체에 주입하면 잠수함처럼 혈류를 따라 항해하면서 바이러스를 박멸한다. 나노로봇은 세포 안으로 들어가서 자동차 정비공처럼 손상된 세포를 수리한다. 이론적으로는 나노의학으로 치료가 불가능한 질병은 거의 없어질지도 모른다.

미국, 일본, 유럽 등 선진국들은 나노기술의 개발을 위해 치열한 전쟁을 벌이고 있다. 나노기술은 정보통신이나 생명공학 발전의 관건이다. 나노기술의 우위에 따라 전자, 통신, 환경, 소재, 방위산업, 의학 등 산업 전반의 지도를 바꿀 폭발력을 갖고 있기 때문이다. 우리나라에서도 일부 분야에서는 세계적인 수준에 도달하는 성과가 나오고 있다. 얼마 전에는 포항공대 연구팀에 의해 세계에서 가장 가는 나노선(線) 합성에 성공했다. 이 나노선은 미국에서 개발된 세계 최고 수준의 나노선 배열보다 집적도가 200배나 높은 은(銀) 나노선으로 굵기는 0.4 나노미터에 불과하다. 아직은 우리의 나노기술 수준은 선진국에 비해 턱없이 뒤져 있지만, 21세기의 경쟁력을 좌우하는 핵심기술이라는 인식 아래 국가와 기업들의 투자가 최근 집중되고 있는 것도 사실이다.

초소형화, 집적화, 저에너지화를 통해 산업 각 분야에 혁명적인 변화를 예고하고 있는 나노기술. 나노기술은 정보통신과 생명공학 등 과학 전반의 패러다임과 나아가서는 인류생활에 대변화의 물결을 몰고 올 것이다. 모든 과학기술의 발전이 양면성을 갖고 있듯이, 엄청난 변화를 가져올 나노기술 역시 두 가지 얼굴을 하고 있다. 축복일 수도 있고 저주일 수도 있는 꿈의 과학기술, 이미 그 나노기술의 세계는 우리의 일상 속으로 빠르게 다가오고 있다.

#### ■ 참고문헌

1. M.Werner et al., "Nanotechnology for applications in microsystems," MST News, pp.4-8 (2001.3.)
2. L.Liu et al., "Nanotechnology initiatives in the Asia Pacific region," MST News, pp.11-12 (2001.3.)
3. G.Bachmann, "Market opportunities at the boundary from micro-to nanotechnology," MST News, pp.13-14 (2001.3.)
4. Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology (Vol.1 ~ Vol.5), edited by Hari Singh Nalwa, Academic Press, USA (2000)
5. National Nanotechnology Initiative, National Science and Technology Council, USA (2000)
6. Nanostructure Science and Technology, WTEC Panel Report, International Technology Research Institute, USA (1999)
7. Unbounding the Future: the Nanotechnology Revolution, Foresight Institute, USA (1997)
8. 대한기계학회 기계저널 Vol. 40, No. 11

#### ■ 참고사이트

1. <http://falcon.aben.cornell.edu>