



“

나노기술은 전형적인 21세기의 미래유망기술로서 기계, 우주
항공에서부터 통신, 의료, 환경에 이르기까지 광범위한 산업에
적용될 수 있다.

”

08

08

나노과학기술

[자료 제공 : 이화여자대학교 자연과학대학 물리학과 교수 조윌럼]

1. 나노과학기술이란?

최근 들어 나노과학-나노기술(nanoscience - nanotechnology)이라는 단어를 일반인들도 쉽게 듣게 되었다. 또한 주변에서 나노기술이란 단어와 관련된 신기한 세계에 대해 갑자기 자주 듣게 됨에 따라 많은 사람들이 나노기술이 어느 순간에 갑자기 나타났으며, 또한 이 기술만 확보하면 하루아침에 선진국으로 쉽게 도약할 수 있는 것으로 착각하는 경향마저 보이고 있다. 그러나 나노기술은 다른 모든 과학기술과 마찬가지로 역사적 배경을 가진 첨단과학기술에 지나지 않는다. 오래전 로마제국에서 승리의 축배를 위해 사용하였던 Lycurgus 컵에 붉은 색깔을 내기 위하여 화산재에서 나온 나노 입자들을 유리속에 분산시켰을 뿐만 아니라 그림 1에서 보인 중세 유럽 성당의 채색유리에서 각종 색을 구현하는데에도 금(Au) 나노입자를 사용한 사실로 볼 때 인류가 나노기술을 사용한 역사는 참으로 유구하다 할 수 있다. 물론 이 때의 나노기술이 과학에 근거를 둔 기술이 아니라 경험지식에 바탕을 둔 예술에 가까운 성격이었기 때문에 진정한 나노기술로 보기 어려운 면이 있는 것 역시 사실이다. 그러면 진정한 의미의 나노기술은 어떠한 성격을 가지고 있으며 그 역사적 배경은 어떠한가 살펴보자.

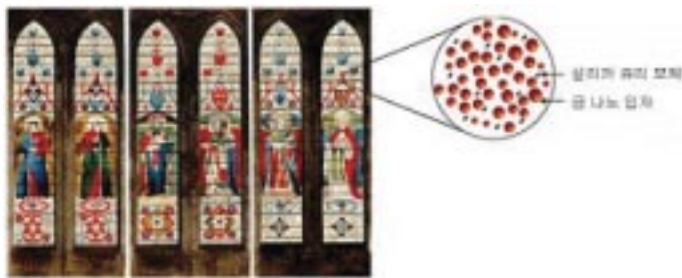


그림 1. Westminster 사원의 동쪽 창문

모든 물질은 원자나 분자로 이루어져 있음을 우리 모두 알고 있다. 가장 작은 원소인 수소는 그 직경이 약 10^{-10} m이며, 나노(nano)란 어휘는 10^{-9} 을 의미하므로, 수소원자의 직경은 약 0.1nm이다. 한편 분자들이 결합하여 고체를 형성할 때 무기물의 경우 그 기본단위의 길이는 1nm이하가 대부분이다.

한편 나노기술이란 100nm 이하의 구조를 제어하는 기술을 말하므로 나노과학기술이란 수백 개의 원자나 분자로 이루어진 물질을 연구하는 과학과 제어·활용하는 기술을 의미함을 알 수 있다. 이러한 나노기술은 앞서 언급한 바와 같이 오랜 역사를 지니고 있으나 예술과 달리 진정한 과학기술이 되기 위해서는 그 원리를 파악하고 제어할 수 있어야 하는 바, 나노과학기술의 발전을 가져온 진정한 바탕은 미시세계 자연의 법칙을 규명한 현대 물리학과 화학이었다. 사실 현대 화학에서는 나노기술의 극한치에 가까운 분자들을 합성하고 그 성질을 예측하고 활용해 왔으며 현대물리학의 일부분에서는 나노구조의 물성에 관하여 이미 오래전부터 많은 연구를 수행해 왔다. 이러한 현대과학의 배경에 더하여 기술이 발전하여 nm($=10^{-9}$ m)수준으로 물질을 제어하는 것이 가능해짐에 따라 1990년대에 들어 나노기술이란 용어가 대두되게 되었으며 현재는 기계, 전자, 재료, 생명공학 등 각종 기술에 나노기술이 광범위하게 적용되기 시작하였다고 보는 것이 올바른 역사적 해석이다.

1980년대에 들어 nm 수준의 물체를 직접 관측할 수 있게 됨에 따라 물질을 이러한 수준에서 제어함으로써 유용한 성질을 활용하고자 하는 노력도 당연히 있게 되었는데 그 예는 반도체 소자 분야와 나노금속 분야에서 쉽게 찾을 수 있다. 즉 금속들이 나노구조를 가지게 될 경우 독특한 장점이 많을 뿐만 아니라 반도체 물질도 나노구조를 가질 경우 양자효과(quantum effects)라 불리는 유용한 특성을 가지게 된다. 따라서 현재의 반도체 광원인 LED와 LD는 모두 양자구조를 활용하게 되었으며 1990년대에 이르러서는 각 분야에서 나노기술이라는 용어가 널리 사용되기 시작하였다.



나노기술이 최근에 이르러 주목을 받고 있는 데에는 몇 가지 이유가 있다. 첫째로 나노 물질은 원자나 분자 혹은 벌크(bulk) 물체가 가지지 못하는 많은 유용한 성질을 가지고 있기 때문에 이를 규명하는 것 자체가 대단히 흥미롭다. 예를 들어 금 나노입자는 여러분이 알고 있는 금색과는 달리 그 크기에 따라 적색에서부터 보라색까지 다양한 색깔을 나타낼 수가 있다. 둘째로 나노구조물의 이러한 독특한 특성을 공학적으로 활용함으로써 소재 혹은 소자에서 지금까지 구현하기가 불가능하였던 기능을 구현할 수 있거나 아니면 현재의 성능보다 훨씬 우수한 성능을 구현할 수 있다. 일례로 나노기술을 자동차를 도장하는데 적용하면 굵기지 않는 자동차가 가능하며 통신기술에 적용하면 언제 어디서나 진료를 받을 수 있는 기술로 발전시킬 수 있다. 뿐만 아니라 일단 나노기술이 어느 분야의 소재나 소자에 적용되면 기존의 기술을 대체하게 된다. 셋째로 많은 분야의 나노기술은 장차 자동차 산업, 전자산업과 같이 하나의 산업으로 성장하는 것이 아니라 기존산업이나 기술을 뒷받침해주는 기술로서 자리잡을 것이며 이러한 면에서 나노기술은 전형적인 21세기의 미래유망기술로서 기계, 우주항공에서부터 통신, 의료, 환경에 이르기 광범위한 산업에 적용될 수 있다.

1) 탄소나노소재 : 대표적인 나노과학의 예

탄소(Carbon)는 라틴어 Carbo (Charcoal: 숯)로부터 유래되었고, 지표면의 0.09%(질량%)를 차지하며, 지구상에 있는 생명체에 필수적인 원소 중 하나이다. 나노과학의 가장 핵심적인 소재의 하나인 탄소 나노튜브를 간략히 소개한다. 탄소 나노튜브는 기존의 탄소의 형태인 흑연, 다이아몬드에서는 발견할 수 없는 전혀 새로운 물리적 성질을 보임으로써 나노과학의 새로운 시대를 개척하였다고 평가받고 있다.

탄소 나노튜브는 탄소원자의 결합에 의해 나노미터 크기 수준의 튜브 모양을 하고 있는 물질이며, 향후 나노 과학기술을 이끌어 갈 중요한 신소재로서 응용성이 크게 기대된다. 탄소 나노튜브는 흑연면이 튜브 형태로 감긴 구조를 가지고 있으며, 흑연면의 감긴 개수에 따라 단일벽 나노튜브, 다중벽 나노튜브, 다발형 나노튜브 등으로 구분된다. 흑연면이 감긴 구조에 따라서 전기적으로 금속 혹은 반도체적 특성을 선택적으로 가지게 되며, 매우 작은 직경으로 인하여 양자효과를 가진다.

탄소나노튜브는 길이, 직경, 모양, 성질에 따라 FED(field emission display; 전계방출 디스플레이), 가스센서, 의공학용 미세 부품, 테라비트급의 메모리 소자, 양자컴퓨터, 초미세 시스템의 초미세 연결선, 전기자동차의 연료전지 배터리를 위한 수소저장물질, 전도성 페인트, 마이크로프로세서의 열분산 복합소재 응용분야에서 기본 소재로 사용될 수 있을 것으로 예측된다.

2) 자연계의 나노기술 : 오팔과 광학결정의 세계

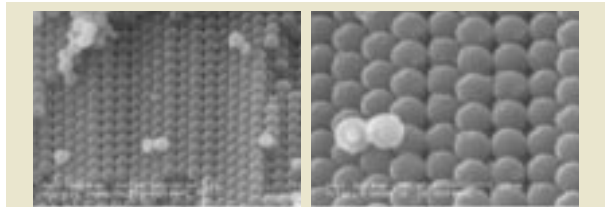
자연에 존재하는 생물은 35억년이라는 긴 시간을 주위 환경에 적응하고 진화를 해 오면서 다양한 기능을 개발하여 사용하고 있다. 나노기술의 측면에서 놀라운 것은 많은 생물이, 매우 원시적인 미생물조차도 나노의 구조와 기능을 완벽하게 활용한다는 점이다. 바로 이점은 나노기술이 실용화되기 위하여 성취하여야 할 궁극적 목표이기도 하다. 이런 의미에서 자연은 나노기술의 보물창고이며 우리는 이제 첨단 현미경의 도움으로 그 보물의 비밀을 밝혀나가는 단계에 있다. 오팔은 자연에서 얻어지는 광물인데 여러 색이 은은하게 섞여 있고 보는 방향에 따라 영롱한 색깔이 연하게 변화하는 특성이 있다. 루비나 사파이어처럼 한 가지 색을 가지는 투명한 보석과는 달리 무지개 색이 섞여 있고 방향에 따라 색채가 변하는 이유는 오팔의 내부가 나노구조를 가지고 있기 때문이다.

오팔 표면을 현미경으로 보면 지름이 수백 나노미터인 구형의 이산화규소(SiO_2) 나노입자가 규칙적으로 쌓여 있음을 알 수 있다. 구형의 이산화규소 나노입자 자체는 유리처럼 투명한 물질이고 나노입자 사이의 빈 공간은 공기로 채워져 있다.

오팔에서 이산화규소와 공기의 굴절률 차이가 규칙적으로 존재함에 따라 나노 광 결정 구조의 특성이 얻어진다. 즉 오팔이 여러 색을 띠는 이유는 나노미터 크기의 이산화규소 공의 크기와 배열에 따라 다른 색은 흡어지고 일정한 색만을 반사시키기 때문이다. 오팔뿐만 아니라 자연의 여러 생물들이 이 원리를 이용하고 있다. 공작새 깃털, 나비의 날개 색, 곤충의 외피, 열매의 껍질, 자개와 같은 조개껍질 등 영롱한 색채를 얻기 위하여 나노 구조가 광범위하게 이용되며 이런 나노 구조를 작으면서 성능이 뛰어난 광통신용 부품에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이러한 원리를 이용하여 다채로운 색을 가지는 안료가 화장품, 자동차용 도료로서 생산되고 있다.



〈다양한 색채를 보이는 오팔〉



실리카(SiO_2) 구형결정의 배열 구조 (저배율/ 고배율)

〈한 색채를 보이는 영역〉

그림 2. 오팔의 나노 광 결정구조 관찰(주사전자현미경)

3) 나노 세계 들여다 보기 : 새로운 현미경의 등장

최근 들어 온 나노 입자가 코팅돼 있어 세균이나 곰팡이의 서식을 막는다는 세탁기가 등장하고, 나노 크기의 입자로 이뤄진 자외선 차단제가 여름 인기 상품으로 등장하였다. 더불어 몸 속에서 암세포만을 찾아가 제거하는 새로운 약품이 개발되고, 미래에는 각설탕만한 칩 속에 국회도서관의 데이터를 넣을 수 있는 나노 소자가 개발될 것이라고 한다. 이처럼 공상과학 소설에서 보던 세상을 현실로 만드는 나노기술이 우리 앞에 요술처럼 다가오고 있다. 이러한 나노기술의 발전의 획기적인 계기는 나노세계를 직접 눈으로 볼수 있게 만든 현미경 기술에 있다고 보아야 한다. 즉 기존의 전자현미경(electron microscope)기술이 계속 발달하여 1980년대에 들어 투과전자현미경(TEM)으로 1nm수준까지 관측할 수 있게 되었으며 특히 1981년 스위스 쾰리히 IBM 연구소의 Binnig과 Rohrer에 의해 개발된 주사터널현미경(scanning tunneling microscope :STM)은 0.01nm 수준에서의 전자분포까지도 관측할 수 있는 길을 열었다. 이 기법은 이후 주사탐침현미경(scanning probe microscope :SPM)이라는 이름으로 관측하고자 하는 목적에 따라 여러 분야에서 독특하게 적용되는 광범위한 기술로 발전하게 되었다.

4) 우리 생활을 풍요롭게 하는 나노기술

나노기술의 사용이 생활용품이나 화장품과 같은 일상용품에 점차 확대되고 있다는 사실을 일반 소비자들이 잘 인식하기는 어렵다. 그만큼 나노기술이란 용어 자체가 어렵고 친숙하지 않기 때문일 것이다. 그러나 이미 나노기술은 일상 용품의 여러 분야에 활용되어 우리가 모르는 사이에도 기술 혁명이 진행되고 있고 앞으로도 더 유익한 기술들이 더 좋은 품질의 상품으로 소비자들에게 소개될 것이다. 최근 화장품에서의 나노기술은 주름살을 제거하거나 노화 방지 기능의 생리활성물질들을 피부에 잘 스며들게 하는데 사용되고 있다. 주름살 제거 화장품, 자외선을 차단하는 선크림(Sun cream), 피부를 희게 만드는 미백 화장품 등에 나노기술이 적용되고 있다. 나노 사이즈로 작아진 기능성 화장품에서는 화장품을 바르면 피부 깊숙이 약효성분이 잘 스며들어 간다는 연구결과들이 보고되고 있다.

기존의 로션이나 에센스 크림에는 물이 스쿠알렌과 같은 기능성 오일을 둘러싼 단순 에멀전 제품들이 주류를 이루었으나 최근에는 기존 에멀전을 고압으로 분쇄하여 물입자와 오일입자를 나노 사이즈로 제조하는 나노화장품으로 만들어 지고 있다. 그러나 이 방법의 한계는 나노 사이즈의 오일이 20% 정도를 넘어가면 자기들끼리 쉽게 달라 붙는다. 그래서 대부분의 나노화장품은 크림이 아닌 액체 상태의 에센스 제품으로 판매되고 있다.

나노화장품 중에는 리포솜이란 약물전달 캡슐이 있는데 마치 축구공과 같은 이중층 구조로 되어 있다. 가운데 빈 공간에 한방추출물이나 비타민 등을 넣고 인지질이란 공 껍질로 싸면 안정적인 리포솜이 만들어지는데 수 십 나노미터 크기의 리포솜은 피부 각질층을 통과해 피부 속에서 붕괴되며 자연스럽게 약물을 전달하고 인지질은 몸의 세포막 구성 성분과 비슷해 자연스럽게 피부에 흡수된다. 자외선 차단제로 사용되는 이산화티탄(TiO_2)이나 산화아연(ZnO)은 과거 수 십 마이크로 사이즈에서 수 십 나노 사이즈로 작아지면서 자외선 차단 효과가 증가되었다는 연구 결과가 보고되고 있다. 선크림 제품을 만들 때 나노 사이즈의 이산화티탄을 균일하게 배합하여 빛의 굴절률을 높여주는 것이 중요한데 이 경우 이산화티탄의 광촉매 반응이 일어나 수퍼옥사이드와 같은 피부 질환을 유발하는 라디칼 물질이 발생되기도 한다.

최근에는 라디칼 발생이 없는 이산화티탄 나노기술이 발표되어 선크림 제품으로 자외선 차단 효과는 높이고 피부자극은 줄이는 획기적인

기술이 소개되고 있다. 최근 미국 및 일본

에서는 탄소 분자 체인 풀러렌

(Fullerene)을 배합한 나노화장품을

출시한 바 있는데 피부노화를 촉진

하는 과산화물질들을 잘 잡아주

는 풀러렌의 특성을 이용한 것으

로 소개되고 있다. 나노기술을 이

용하여 만든 립스틱 제품이 사용

중 지방성분 및 향료가 열화되어 변

성되는 것을 막아 주어 언제나 새 제

품처럼 느끼게 해 준다고 한다.

20세기 후반 이후 전 세계적으로

정보사회의 혁신적 발전을 가져온 기

술의 주역은 역시 마이크로일렉트로닉스

(microelectronics) 임을 부인 할 수 없다. 이 기술의 비약

적 발전은 특히 최근의 모바일 통신, 디지털미디어, 컴퓨팅/네트워크를 통한 유비쿼터스

정보사회의 성공적인 실현 가능성을 보여주고 있다.



그러나 인간이 한번 느끼고 체험한 이러한 정보기술의 경이함은 현재에 만족될 수 있을까? 예를 들면 명령만을 수행하는 기존의 컴퓨팅시스템과는 전혀 다른 문자, 음성, 영상 등을 일체적으로 이용하고 키보드 없이 인식하고 추론할 수 있는 휴먼컴퓨터, 혹은 인간의 오감을 자연 인터페이스화한 3-D 가상실현, 등 결국은 끊임없이 보다 더 편리하고 생산적이며 삶의 질을 한 단계 업그레이드 시키는 스마트시스템¹⁾ 혹은 한 걸음 더 나아가 인공지능형 시스템을 찾고 있다. 이에 부응하기 위한 기술의 변화로 하드웨어에서는 자연스럽게 마이크로에서 나노일렉트로닉스(nanoelectronics)로 기술 발전이 이루어질 수밖에 없으며 동시에 소프트웨어에서도 이를 지원하기 위한 파격적인 변화가 수반된다. 구체적으로 먼저 하드웨어에서는 기본적으로 현재 수백 MIPS²⁾ 수준인 CPU의 성능이 천 배 이상인 수백 GIPS가 될 것이고, 이들 데이터를 프로세싱하기 위해서는 테라비트³⁾급 이상의 메모리와 초절전형의 신 개념 전자소자가 구현 될 것이다.

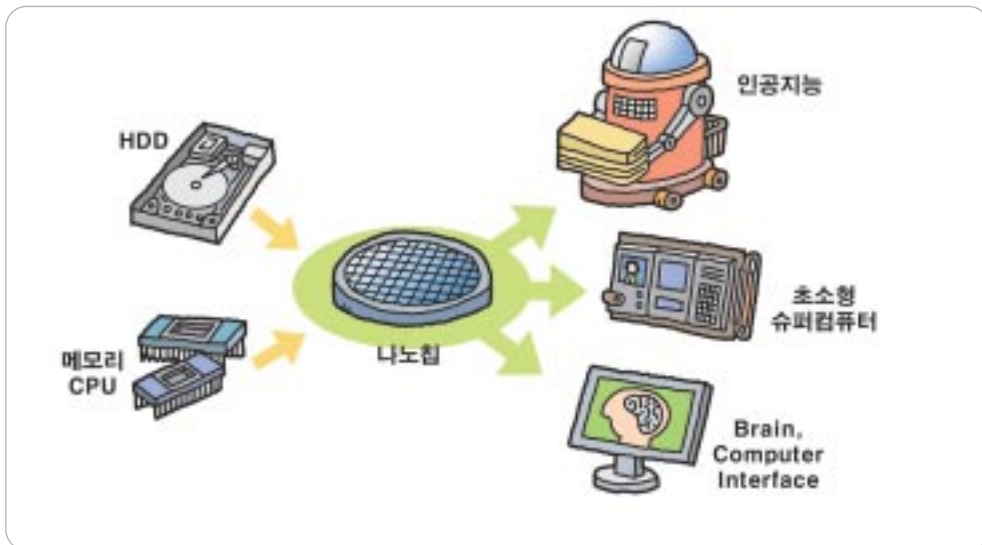


그림 3. 미래의 나노전자기술 (테라급나노소자개발사업단)

에너지 절감을 위해 적용되는 나노기술의 예로써 조명을 들 수 있다. 인류가 사용하는 전체 전기에너지의 20% 이상은 조명용으로 사용되고 있다. 현재 조명으로 사용되고 있는 형광등은 수은을 포함하고 있기 때문에 환경오염을 일으킨다. 이러한 형광등을 대신하여 고체조명인 LED(반도체발광다이오드)가 곧 생활에 적용되기 시작할 것으로 예측된다.

1) 스마트시스템 : '스마트'란 소프트웨어나 하드웨어에 관하여 말할때 지금까지 기대할 수 없었던 정도의 정보처리 능력을 가지고 있다는 의미를 나타냄.

2) MIPS : 컴퓨터의 처리 능력을 나타내는 단위. 1MPS는 1초당 1백만회의 명령을 실행하는 연산속도를 의미함. 이에 반해 GIPS는 1초당 십억번 이상의 명령을 실행.

3) 테라비트 : 네트워크 장비에서 1초당 전송되는 정보량. 1초간 1조 비트의 정보 속도를 의미. 이에 반해 메가비트는 1초간 백만 비트 전송.

LED에 이어서는 OLED(유기발광다이오드)가 더 우수한 특성을 보이면서 조명이나 광원으로 사용될 것이다. 위 두 가지 조명소자는 기존 형광등에 비해서 90%의 전기에너지를 절약할 수 있다. 이러한 절약을 통하여 원자력발전소나 화력발전소를 건설하지 않아도 되고 환경도 보존할 수 있게 된다.

LED나 OLED는 제조공정 중에 나노기술이 들어간다. 두 소자 모두 전기에너지를 빛으로 바꾸는 역할을 하는데 빛을 내는 층의 두께가 수십에서 수백 nm의 두께를 가진다. 따라서 기존 형광등에 비해서 아주 작거나 얇은 조명기구나 광원을 만들 수도 있다. 나노기술이 가지는 장점 중에서 발광효율을 높이는 다양한 나노기술들이 LED와 OLED 제조기술로 응용되고 있다.



(a) OLED를 이용한 조명기구 시제품



(b) 일반조명기구와 OLED 조명의 비교: 다양한 색상을 낼 수 있고 얇다는 특징을 가짐



(c), (d) LED를 이용한 조명의 예; 다양한 형태로 제조할 수 있고 머지않은 시기에 우리 생활에서 쉽게 볼 수 있을 전망이다



그림 4. 나노기술을 이용한 새로운 디스플레이제품의 개발

5) 우리나라 나노과학기술의 미래

미국의 클린턴 전 대통령은 모든 정보를 각설탕 크기의 기기에 저장한다고 말했다. 이와 같이 나노기술의 절대적 중요성을 인식한 미국의 클린턴 행정부가 2000년 1월에 국가나노기술개발 전략(NNI)을 발표한 이후에 미국, 일본, 유럽에서는 정부 차원에서 연간 10억불 규모로 나노기술개발 투자를 확대하고 있다. 미국은 2007년에 13억9100만불, 일본은 2006년에 9억7500만불, EU는 2006년 제7차 프레임워크에서 34억6700만 유로를 확정하였다. 중국, 대만, 싱가포르 등도 나노기술 연구개발에 합세하고 있다. 우리나라 정부에서도 나노기술의 개발에 의해 미래 성장동력을 선점하고자 2001년부터 나노기술종합발전계획을 수립하여 적극적으로 나노기술개발을 추진하여 왔다.

우리나라에서 나노기술에 대한 투자가 본격적으로 이루어진 2001년도와 대비해서 2005년도 정부의 투자규모는 2.7배, 연구인력은 3.9배, 나노기술관련기업은 3배로 증가하였다. SCI 논문 발표 수는 408건의 세계 8위에서 1128건의 세계 5위 수준으로 뛰어올랐다. 특히 출원 건수도 세계 5위권에 도달하여 Lux Research라는 외국기관의 조사에 의하면 기업의 나노기술경쟁력을 포함할 때, 우리나라의 나노기술은 이미 세계 4위권에 도달하였다고 평가되고 있다.