3 새로운 나노 소재

2㎚ 폭 DNA는 생명체의 기본

글 _ 강찬형 한국산업기술대학교 신소재공학과 교수 chkang@kpu.ac.kr

효성, 나노기술 적용 의류용 원사 개발.
효성이 국내 처음으로 개발한 나노기술을 적용한 의류용 원사 마이판 나노 매직실버(Mipan Nano-Magic Silver)를 효성 섬유연구소 연구원들이 살펴보고 있다.

연합포토

미국의 '국가나노기술개발계획'에 의하면, 나노기술은 '1~100㎚ 영역에서 원자, 분자, 초분자를 조작하여 이들의 미세한 구조로부터 근본적으로 새로운 특성과 기능을 갖는 재료, 소자, 시스템을 창제하는 과학 및 기술'로 정의되고 있다. 이를 원용하면 나노소재기술이란 '가로, 세로, 높이 중 어느 한 변이 100㎚ 정도 혹은 그 이하인 스케일에서 물질의 구조와 특성(또는 기능)을 제어하는 물질 조작(프로세스) 기술'로 정의할 수 있다.

나노기술은 100㎚ 이하 크기의 물질 개발

나노소재기술이 중요한 이유는 단순히 작은 것을 다루기 때문이 아니라, 앞으로 모든 기술의 키 테크놀로지가 되기 때문이다. 이 사실을 이해하기 위해서는 나노소재기술의 무대가 되는 나노스케일에서의 물질현상의 세 가지 특징을 알아야 한다.

먼저 물질의 기능이 나노스케일에서 처음으로 발현한다. 나노미터의 10분의 1, 즉 원자 단계에서 처음으로 물질의 성질이 나타나지만, 이 세상에 존재하는 원소는 주기율표 안에서 100여 가지 정도이다. 그 원소를 수십에서 수백개 단위로 모아 나노스케일로 가져오면, 그곳에서 다양한 물질의 기능이 나타난다. 2㎚ 정도의 폭을 갖는 DNA는 생명체의 기본 프로그램으로 나노스케일에서 기능을 갖는 대표적인 물질이다.

나노현상의 두 번째 특징은 나노스케일에서 원자나 분자의 조합을 제어하면, 그것보다 큰 영역에서의 물질의 기능이 결정된다는 것이다. 생물체의 모습을 결정짓는 프로그램인 DNA가 대표적인 예이다. 소재기술의 예로서는 나노스케일의 핵이 만들어지면 소재의 기본 기능이 결정되고, 그 다음은 결

연합포토

국제 나노기술 전시회
코엑스(COEX)에서 열린 국제 나노기술 전시회에 참가한 나노메카트로닉스기술개발사업단이 전시한 나노기술을 이용한 반도체 소자를 한 관람객이 살펴보고 있다.

정이 성장하는 과정을 거쳐서 최종 소재가 만들어진다.

세 번째 특징은 물질의 기능이 처음으로 나타나는 나노미터 스케일에서는 아주 풍부한 기능과 현상이 존재한다는 것이다. 탄소 원소로부터 새롭게 발견된 풀러렌과 카본나노튜브가 대표적인 나노소재로서 이것들을 활용하면 새로운 소자나 시스템을 창제할 수 있다.

모든 물질은 나노크기에서 새기능 가져

나노미터의 세계, 즉 수~수백 나노미터 영역에 접근하는 데는 2가지 방법이 있다. 하나는 커다란 것을 깎아서 한없이 작은 것을 만드는 톱다운(top-down) 방법이고, 또 하나는 물질의 최소단위인 원자나 분자를 조립해서 기능을 이끌어내는 보텀업(bottom-up) 방법이다.

톱다운 방법의 역사를 찾아보면, 옛날에는 미터 스케일의 도구를 사용하다 기술의 발달과 함께 그 크기가 작아져 왔다. 생물학에서는 현미경에 의해 미생물을 관찰하게 되었으며, 마이크로 스케일인 모세혈관까지 알 수 있게 되었고, 더욱 작은 박테리아가 발견되었다. 공업제품에서는 마이크로미터 크기의 센서가 만들어지고, CD에 대용량의 정보가 들어가게 되며, 반도체칩은 메가비트에서 기가비트로 되고 지금은 나노미터의 영역에 들어서 있다.

보텀업 방법쪽을 보면, 처음엔 원자/분자를 스펙트럼으로 확인하는 단계에서 암모니아의 합성과 같이 분자를 만드는 것에 성공하는 등의 단순한 발견이 대부분이었다. 그 뒤 고분자를 만들 수 있게 되고, 나아가 그러한 분자를 연결하여 초분자를 만들게 되는 등 나노미터의 세계에서 새로운 발견이 계속되고 있다. 이와 같이, 위에서부터 깎는 방법과 밑에서부터 조립하는 방법 모두 나노미터의 영역에 들어왔다는 것이 나노기술 시대가 등장하게 된 역사적 배경이다. 이러한 역사적 필연성에 더하여, 나노미터 스케일에서 새로운 현상이 발견되거나 새로운 기능 물질이 만들어짐으로써 나노미터의 세계가 주목받고 있다. 앞으로 기대되는 것은 톱다운과 보텀업 접근방법이 융합된 나노소재기술이다.

자연 · 생체 속에는 '나노원리' 풍부

나노소재기술의 궁극적 목표는 보텀업 접근법으로 원자/분

자를 조립하여 도구나 기기를 만드는 것이다. 그러나 진정한 의미의 보텀업 나노기술로 제조된 소재나 시스템은 아주 초보 단계이다. 바이오 세계는 훌륭한 보텀업 기술로 만들어져서 나노소재기술의 완벽한 교본이 될 수 있다. 따라서 보텀업 나노소재기술을 발전시키기 위해서는 자연이나 생체의 나노구조와 그 원리를 모방하면 좋을 것이다.

쉬운 예로 의복 제조과정을 들면, 지금은 먼저 실을 만들고, 그 실로 천을 짜고, 그것을 디자인에 따라 자르고 꿰매는 과정을 거친다. 그러나 매미가 탈바꿈한 껍데기는 우리의 옷처럼 꿰매고 붙인 재봉선이 하나도 없다. 실을 바로 짜서 한 벌의 옷을 만드는 기계를 만든다면 의복 제조과정의 생산성은 한층 높아질 것이다. 더 나아가 의복을 이루는 원자/분자로부터 시작하여 최종 디자인된 옷까지 일괄적으로 제조할 수 있다면, 매미 애벌레가 껍데기를 만드는 것과 같은 개념일 것이다.

생체에서는 DNA에 수록되어 있는 정보에 따라 단백질 같은 나노크기의 부품이 형성되고, 그 부품들이 상호작용하여 뼈와 살이 만들어지는데, 나노소재기술에서는 유사한 메커니즘을 적용하여 인공적인 부품을 만들려고 한다. 이런 단계에 이르기까지는 아직 갈 길이 멀기 때문에, 그 첫단계로 소재기술자들은 생체의 나노구조와 기능 사이의 상관관계를 규명하고, 인공적으로 유사한 구조를 재현하려고 시도하고 있다. 이렇게 제조된 소재를 생체모방소재라고 한다.

연은 더러운 물 속에서 자라지만 깨끗한 꽃을 피우고 연잎사귀도 언제나 깨끗하다. 연잎에 떨어진 물방울은 잎에 맺히지 않고 흘러 내려 잎에 묻어 있는 먼지를 떨구어낸다. 연잎 표면을 환경주사전자현미경으로 관찰하면 무수히 많은 소수성의 작은 돌기들이 있어 물이 잎에 묻지 못하도록 한다. 소재연구자들은 이런 연꽃효과를 응용하여 소수성 물질을 건물 외벽이나 유리창에 코팅하여 빗물에 먼지가 쉽게 씻겨 내리도록 할 수 있다. 이런 방식으로 표면처리된 도기류를 화장실에 설치하면 청결을 유지하기가 훨씬 쉬울 것이다.

연꽃효과와 유사한 현상이 나비의 날개에서도 관찰된다. 나비 날개 위에 묻은 물방울은 바로 흘러 내린다. 날개 표면의 나노 크기 결정체가 소수성을 갖기 때문이다. 이러한 나노 결정

우리 삶을 바꿀 나노소재기술

시사주간지 뉴스위크 인터넷판은 최근(2004년 11월 1일 판) 엉뚱해 보이지만 '장차 우리의 삶의 형태를 바꿔놓을지 모르는 10대 발명품'을 소개했다. 이것들은 고품질 인조 다이아몬드, 파리처럼 냄새 맡고 날 수 있는 로봇, 세포내의 유전정보 프로그래밍, 우주 엘리베이터, 컴퓨터가 운전하는 자동차, 뇌 기억 공간을 확장시키는 메모리칩, 무중력 상태에서 유전자 변형된 식물, 플라스틱으로 만든 전자 소자, 경량 자동차, 수륙 양용 주택 등이다.

이들 발명품을 살펴보면 나노기술(NT), 정보기술(IT), 바이오기술(BT)이 복합적으로 융합되어 있다. '파리 같은 로봇'을 예로 들면, 냄새를 맡기 위한 센서, 냄새 정보를 처리하는 마이크로프로세서와 소프트웨어, 로봇을 날게 하는 추진체, 안전한 비행과 착륙을 위한 위치 제어시스템 등 많은 기술이 복합적으로 응용되어야 한다. 소재의 관점에서 보면, 냄새 이외에 이미지, 속도, 압력, 온도 등을 감지하는 다양한 센서재료, 추진체를 구동하는 배터리재료, 파리처럼 천장에 거꾸로 매달릴 수 있게 하는 접착재료, 로봇의 몸통을 구성하는 가볍고 단단한 구조용 소재 등이 필요하다. 열가지 발명품을 더 자세히 살펴보면 '파리 같은 로봇' 이외에 소재와 직접적으로 관련된 것이 절반을 넘는다.

인조 다이아몬드

다이아몬드는 최고의 보석일 뿐만 아니라, 제일 강하고 단단한 물질로 최고의 열전도도와 음파전달속도를 보이며, 양호한 전기 절연체지만 도핑하면 최상의 반도체 특성을 보인다. 또, 극자외선에서 적외선까지 광범위한 영역에서 광학적으로 투명하며, 탄소로 이루어져 있어 화학적 부식에 대한 저항이 크고 생체에 대한 적합성이 우수하여 공업용 소재로서 응용성이 높다. 고온고압법으로 제조된 다이아몬드 분말이

체는 날개의 색깔과도 관계가 있다. 이 결정체의 배열 방향에 따라 외부의 빛이 반사되어 고유한 색깔을 낸다. 나비가 위험에 처하게 되면 본능적으로 이 결정체의 방향을 바꾸어 다른 색이 나도록 한다. 이러한 성질을 내는 물질을 광결정이라고 부른다. 나비와 같은 생체에 있는 광결정을 모방하여 나노구조의 인공 광결정을 제조하여 정보통신기기나 디스플레이에 응용하고자 하는 연구가 이루어지고 있다.

열대지방의 도마뱀붙이는 벽 위나 천장에 거꾸로 매달려 다닌다. 도마뱀붙이의 발바닥은 수 나노미터 이내의 간격으로 떨어져 있는 아주 미세한 털로 덮여 있다. 이 털이 천장에 붙게 되면 이른바 반데르발스 결합력이 작용하여, 털 하나는 아주 약한 힘밖에 지탱할 수 없지만 수백만 개의 털이 도마뱀붙이의 중량을 지탱한다. 이동하고자 할 때에는 털을 한 방향으로부터 순차적으로 떼면 각 결합들은 쉽게 깨지고 도마뱀붙이는 천장에서 거꾸로 다닐 수 있다. 도마뱀붙이뿐만 아니라 딱정벌레, 파리, 거미 등도 발바닥에 가느다란 털이 있어 벽이나 천장에 들러붙는 능력을 갖고 있다. 무거운 동물일수록 털이 더 가늘고 많아야 한다. 소재과학자들은 멀지 않아 인공으로 도마뱀붙이 발바닥을 합성할 수 있을 것이다.

나노크기 조개껍데기로 '새로운 진주' 탄생

이러한 본드 예술의 대가는 바다에도 살고 있다. 홍합은 바위에 붙을 때, 껍데기를 열어 발을 내밀고 바위 위에 아치모양을 만들어 일종의 흡입 컵을 형성한 후 작은 관을 통하여 마이셀 방울을 컵 안의 저압 부분에 쏟아 넣는다. 그리고 마이셀 방울을 터뜨려서 강력한 수중 접착제를 형성한 후, 여기에 탄성

절삭공구 등에 쓰이고 있으나 크기나 순도 등에 문제가 있다.

최근 화학증착기술의 발달로 순도와 결정성이 향상된 고품질의 다이아몬드 합성이 가능해졌다. 미국의 아폴로사에서는 보석 수준의 크기와 품질을 갖춘 다이아몬드를 합성했다고 하는데, 그것의 상품적 가치는 보석감정사와 호사가들의 판단에 맡기는 수밖에 없다.

인조 다이아몬드는 발광다이오드(LED), 평면 스크린, 고화질TV 등으로 무궁무진하게 활용될 수 있다. 아직 단결정 성장이 가능하지 않지만 나노소재기술을 이용한 초나노결정 박막 합성기술로 열발산체, 반도체 트랜지스터, 전자파 필터 소자, 바이오센서 등의 구현이 가능하다.

우주 엘리베이터

지금처럼 스페이스 셔틀을 로켓으로 쏘아 올리지 않고 우주기지까지 케이블을 연결하여 고속의 엘리베이터로 올라갈 수 없을까? 6만2천마일의 길이에 자체 하중과 번개, 태풍에 견뎌낼 만큼 튼튼한 케이블 소재를 생각하면 이는 환상에 불과한 것이었다.

그러나 철강보다 몇 배 강한 탄소나노튜브가 발견된 이후 희망이 보이고 있다. 탄소나노튜브나 나노파이버를 그 정도로 길게 뽑아내는 것이 아직 꿈에 불과하나, NASA를 비롯한 미국의 연구소와 기업에서 우주 엘리베이터를 실현시키려는 기초적인 연구가 진행중이다. 고층건물의 엘리베이터에 강선 대신 탄소나노튜브나 나노파이버를 이용한 복합재료가 채용되는 날이 오면 우주 엘리베이터 현실화에 한 발 다가섰다고 보면 될 것이다. 그 때쯤이면 이미 고층건물, 교량 등이 새로운 재료로 바뀌어 있을 것이다.

경량 자동차

현재 철강으로 된 자동차는 연료의 1% 정도만 운송 고유의 기능에 쓰이고 나머지는 차체 무게를 이동하는 데 쓰인다. 철

있는 족사(足絲)를 고정시켜 조류의 움직임에 아무런 해도 받지 않고 흔들거리며 바위에 붙어 있다.

홍합 같은 조개류는 접착제 이상으로 나노소재기술적 가치가 있다. 조개 진주모(眞珠母)는 무수히 많은 작은 방해석 판상 결정으로 구성되어 있다. 그러나 생체 조개 안에는 판상의 방해석 결정이 매우 탄력 있는 유기물인 단백질에 의해 서로 붙어 있다. 무게로 3%의 단백질만 있으면 조개 껍데기를 순수한 방해석 결정보다 3천배 이상이나 질기게 만들 수 있다. 조개껍데기의 나노구조로 말미암아 외부의 충격으로 조개껍데기에 구멍이 날 수는 있어도 균열이 나서 부서지지는 않는다.

조개껍데기나 동물의 뼈는 생체가 합성하여 만들어내는 광물질이다. 생체광물질은 나노스케일에서 DNA에 들어있는 프로그램에 따라 보텀업 방법으로 합성되기 때문에 매우 섬세한 조직을 갖는다. 현재 양식진주는 핵이 되는 '씨'를 조개에 이식하여 만들어지고 있지만, 나노소재기술에 의해 지금까지 없었던 진주나 조개껍데기를 합성하는 것이 가능하다. 우리의 뼈에 금이 가면 우리 몸은 자체적으로 뼈를 재생한다. 그러나 뼈가 심하게 훼손되면 인공뼈로 대체하여야 되는데, 조개껍데기나 뼈의 생성원리와 조직을 이해하면 아주 훌륭한 인공뼈를 만들 수 있을 것이다.

나노소재기술의 연구결과는 지금도 계속 신문과 TV에 보도되고 있다. 이것들을 제품으로 연결시키기 위한 연구도 기업과 연구소에서 활발히 이루어지고 있다. 이러한 과정을 거쳐 우리의 생활은 더욱 윤택해지고 이에 필요한 비용은 점점 내려갈 것이다. 결론적으로 나노소재기술이 개척할 우리의 미래는 더욱 밝고 재미있을 것이다.

강의 강도를 높여 강재 사용량을 줄이거나 철강 대신 플라스틱이나 알루미늄, 마그네슘 등의 경량재료를 채용하여 연비를 높이려는 노력이 있으나, 획기적인 대체 재료로 탄소가 각광을 받고 있다.

테니스채나 골프채 재료로 이미 상용화되어 있는 탄소파이버를 이용한 고강도 고인성의 나노복합재료로 초경량차를 만들면 절반의 무게로 두 배의 연비를 낼 수 있다. 가솔린과 2차전지를 번갈아 쓰는 하이브리드 자동차의 상용화는 나노복합재료의 수요를 촉발시키고 있다.

가솔린의 고갈과 함께 2차전지나 연료전지가 자동차의 동력원이 될 수밖에 없는 시대가 오면 경량자동차는 필수가 될 것이다. 자동차의 경량화는 교통사고에 의한 인적·물적 손실을 크게 줄일 것이다.

수륙 양용 주택

나노소재기술로 개발된 구조용 소재는 우주 엘리베이터나 자동차뿐만 아니라 주거문화에도 영향을 줄 것이다. 지금도 태풍이나 허리케인으로 피해를 보는 해안 주민들이 많지만 앞으로 지구 온난화로 인한 해수면 상승으로 20억 명이 홍수 피해 위기에 처한다는 예측이 있다.

이에 효율적으로 대비하기 위한 방안이 파도나 태풍에 균형을 잃지 않고 떠 있는 수륙양용주택의 개발이다. 이를 위해서 해수에 의한 부식에 강하고 태풍 등의 외력을 지탱할 수 있는 고강도 고인성의 건축자재와 전기 및 용수 공급을 위한 유연성 있는 배관재료가 필요하다.

전자 플라스틱

절연체로 알려져 왔던 플라스틱이 전도성이 있으며 반도체 성질이 있다는 사실이 발견되었고, 플라스틱으로 LED나 트랜지스터를 만드는 데 이미 성공했다.

앞으로 실리콘을 대체하여 휴대폰, TV, 시계, 컴퓨터의 핵심부품으로 유기고분자를 이용한 저렴한 플라스틱 칩이 널리 사용될 것으로 전망된다. 가볍고, 얇고, 밝고, 유연한 플라스틱 디스플레이가 개발되면, 적용되는 제품이 더욱 늘어날 것이다. ST

글쓴이는 서울대 금속공학과 졸업 후, 한국과학기술원에서 석사학위를, 미국 MIT에서 박사학위를 받았다. 한국과학기술연구원 연구원을 지냈으며, 대우ST반도체설계(주) 대표이사를 역임했다.