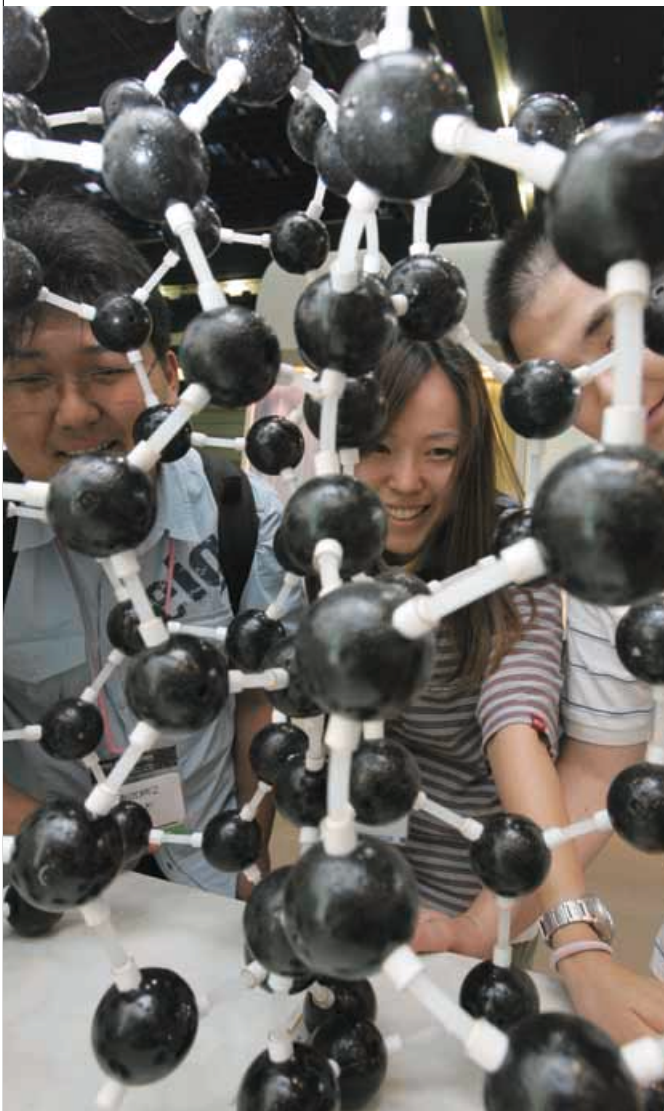


7 나노의 미래 세계

# ‘생명+물질’의 새 생명체 탄생 가능

글\_ 이조원 테라급나노소재개발사업단 단장 jwlee@nanotech.re.kr



**현** 실성이 없어보이던 영화 속의 아이디어가 나노기술에 의해 재현될 전망이다. 미국의 델러스비즈니스저널은 나노기술 발달로 5년 뒤면 특정 부위에 필요한 양 만큼의 약물을 투여할 수 있는 약물전달 시스템이 등장하고, 20년 안에 원자·분자 단위의 조작이 가능해지며 환경에 따라 변하는 지능형 페인트가 개발될 것이라고 예측했다. 또 50년 안에 혈관을 돌아다니며 치료하는 나노로봇이 만들어지고 50년 뒤에는 장기가 손상된 채 냉동된 인간이 나노기술로 만든 인공장기 덕으로 되살아날 것이라고 내다봤다(그림1 참조).

그러나 현재 모습의 로봇 축소형은 물리적으로 불가능하기 때문에 치료 나노로봇은 생명체와 무생물체의 결합에 의한 로봇이 될 것으로 생각되며, 생명체와 무생물체의 결합을 통해 우리의 상식으로는 상상조차 할 수 없는 신기능이 나올 수 있다. 암 정복도 향후 12년 이내에 가능하게 될 것이며 탄소나노튜브(CNT) 등 초고강도 물질을 사용하면 태풍, 홍수, 지진 등의 천재지변에도 견딜 수 있는 건축물도 가능하다. 비록 1천년 내라는 전제이지만 인간복제기술과 나노기술이 접목하면 모습은 물론 생각까지 똑같은 복제인간도 가능할 것이다.

### 생각까지 똑같은 복제인간 출현할 듯

지금까지 인간이 구현해온 생산기술은 재료를 공작기계 및 묘화기술(Lithography) 등을 이용하여 최소 10nm 까지 가공, 원하는 구조물 및 부품(트랜지스터)을 만들어내는 하향식방식(Top-down)이었다. 10nm 이하는 기존 방법으로는 가공이 매우 어렵고 제조비용 또한 극단적으로 상승한다. 따라서 원하는 기능을 만족시키는 물질 및 구조가 무엇인가를 먼저 설계하고 난 후, 구조물/부품을 원자 및 분자단위에서 가공해내는 상향식방법(Bottom-up)이 등장해야 한다.

미래 핵심기술로 각광받고 있는 나노기술을 한자리에서 보여주는 '나노 2004 코리아'가 코엑스에서 열리고 있는 가운데 관람객들이 디스플레이·연료전지·트랜지스터 등에 광범위하게 사용되는 신소재 '탄소 나노 튜브'의 모형 구조체를 구경하고 있다.

연립포도

그러나 원자를 하나씩 조작하는 것만으로는 구조물이나 부품을 대량 생산하는 것은 불가능하다. 따라서 자연이 수십억년간 수많은 시행착오를 겪으면서 발전시켜온 상향식방법 기술인 자기조립기술을 도입하는 것이 필요하다(그림2 참조). 자기조립은 특정한 기능을 발현하도록 미리 설정된 구성배열에 따라 원자 및 분자 수준에서 결합해 가는 공정을 말한다. 일례로 생물은 DNA 정보에 입각하여 나노미터 크기의 아미노산을 연결하여 다양한 기능을 갖는 단백질 대량으로 생산하고 있다. 따라서 나노미터 크기에서 제어하면서 어떤 프로그램에 따라 성장하도록 하여, 목적하는 부품이 저가에 대량으로 단번에 이루어지도록 하는 것이 나노기술이 추구하는 궁극적 목표다.

**나노크기 아미노산은 다양한 단백질 양산**

자기조립은 결정 성장으로부터 한 생명체의 재생산에 이르기까지 개념적으로나 구조적 복잡성 측면에서 매우 폭넓은 의미를 가지고 있다. 자기조립으로 완성된 자연을 보라! 무공해에 에너지 손실이 없고 자원의 낭비조차 없는 등 인간이 구현하고 있는 기술이 안고 있는 문제들로부터 자유롭다. 공상과학 소설이나 등장하는 인류의 꿈은 자기조립기술을 자유자재로 구현할 때 이루어질 수 있다. 원자나 분자를 마음대로 조작할 수 있다면 단지 주기율표상에 나오는 몇 개~수십 개의 원소들만 있으면 원하는 부품을 제작할 수 있는 만능 오븐이 등장할 날이 올 수도 있다.

자연계에 존재하지 않는 물질의 합성은 물론 그 합성물을 조작해 필요한 용도에 맞는 성질로 만들어내는 맞춤형 재료시대가 도래할 것이다. 360도 리사이클도 가능하다. 이제는 쓰레기가 우리 앞의 귀찮은 존재가 아니라, 자원의 보고가 되는 날이 올 수 있다. 나노 합성물질을 통한 인체 일부의 교체 등 인간의 기능개선을 유도하는 사례도 있을 수 있다.

미래에는 각 가정에 자기조립이 가능한 만능 오븐을 갖게 될 것이며, 디자이너로부터 구매한 청사진을 이용하여 사용자가 요구하는 어떤 것이든 제작이 가능할 것이다. 언젠가는 원자



(출처 : Dallas Business Journal)  
나노기술의 미래 발전모습

를 하나하나씩 모아 DNA와 단백질을 합성하고 이를 다시 생명체로 합성할 수도 있음을 의미한다. 비록 현재는 매우 단순한 구조물들인 구겨지지 않는 바지, 향수, 일부 반도체 제조공정 밖에는 실현되지 않고 있지만 향후 나노기술 발전을 위한 노력에서 핵심적인 과학적 도전으로 부상할 것이다.

**현재의 100만 배 효능 '나노컴' 나올 것**

IBM, Intel, TI 와 HP를 비롯한 기업들도 자기조립 기술에 상당한 투자를 하고 있다. 이들 업체에 있어 자기조립 기술은 제조과정을 단축시키고 비용을 절감하는 효과를 가져 올 뿐만 아니라 기존 방식으로는 도저히 만들 수 없던 제품들을 생산해 낼 수 있기 때문이다. 단적인 예는 반도체의 집적도가 높아짐에 따라 톱-다운 방법에 의한 제조비가 극단적으로 높아지고 있으며, 실리콘으로 대표되는 반도체기술의 무어 법칙이 기술적 한계 때문에 10년 이내에 적용될 수 없다는데 있다.

기존의 실리콘을 대체할 수 있는 대안으로 CNT, 나노와이어 및 스핀트로닉스들이 거론되고 있다. CNT소자나 나노와이어소자를 대량생산할 수 있으면 지금보다 기억용량은 1만 배 이상 커지고 초당 페타(10의 15승)급 연산이 가능해 지금의 컴퓨터에 비해 약 1백만 배 이상 효율적인 시스템을 만들어 낼 수 있다. 즉 인간보다 우수한 컴퓨터가 만들어질 수 있다. 그러나 현재로서는 이들을 기판의 정확한 위치에 배치하는 방법이 없다. 하나의 칩 상에 많은 수의 CNT나 와이어들을 정확한 위

난자/정자 수정(약 1 mm)



수정 후 1일(약 1 mm)



배아에서 자기조립에 의해 탄생된 생명체



우주 엘리베이터 상상도

치에 정렬시켜 집적할 수 있는 방법은 마스크에 그려진 마이크로한 패턴을 기판에 축소 투영하는 톱-다운 방법 대신에, 나노스케일의 재료를 이용한 보텀-업 방법인 자기조립기술밖에 없다.

NNI(미국 나노기술종합계획) 심의위원장이었던 새뮤얼 스티프 교수의 표현대로 전자공학 분야는 '나노기술 성배 중의 하나'로서, 현재까지 나노소자 분야에서 많은 발표가 있어 왔지만 그것은 '나노컴퓨터 개발'이라는 본 이벤트의 서막에 불과한지도 모른다. 분명히 나노전자공학은 미래의 컴퓨터, 통신기기, 자동차, 가전제품, 자동화시스템에 활용될 고성능 부품의 토대를 형성하게 될 것이다.

### '뼈처럼 자라는 임플란트' 연구

나노기술 응용 분야 중 인간에게 가장 가치 있는 분야를 꼽으라면 의학 분야일 것이다. 임플란트의 평균 수명은 15년이며, 시술 후 뼈에 금이 가거나 부러지는 현상이 종종 발생되고 있다. 티타늄이나 세라믹으로 이루어진 임플란트 위로 뼈가 자라지 않기 때문이다. 퍼듀 대학의 토마스 웹스터는 뼈와 유사한 구조의 특수 코팅제를 개발하였다. CNT로 자기조립하는 분자로 구성된 이 특수 코팅제를 임플란트에 바르면, 뼈 세포가 코팅제 구조를 뼈로 인식하여 임플란트 위로 자라게 된다. 만일 동물과 인간을 대상으로 한 임상실험에 성공한다면 치아과 골절로 고생하는 많은 환자들에게 희소식이 될 것이다. 하

지만 실용화를 앞두고 넘어야 할 장애물이 많이 있다. 자기조립 기술이 인체에 해를 미치는지 여부를 밝혀야 하며 허가절차도 밟아야 한다. 이와 함께 원하는 형태로 자기조립하는 물질 개발에도 전력을 다해야 할 것이다.

나노기술은 지구환경 문제를 해결할 청정기술이며 무한정으로 식량과 물, 에너지 등도 생산할 수 있다. 나노기술로 상품을 만들면 크기가 줄어들 뿐만 아니라 생산 공정이나 제품을 폐기할 때 발생하는 쓰레기량도 획기적으로 줄어들기 때문이다. 또한 나노필터링 기법을 적용해 물을 정화하고 천연가스 파이프라인, 공장 필터 시스템 등에서 불순물의 초미세 입자까지 걸러낼 수 있다. 생산 시설의 폐가스에서 나오는 나노크기의 검댕이까지 제거할 수 있는 초고감도 세정기도 개발되었다. 게다가 초미세 제품들이 실용화된다면 원료물질과 폐기물도 줄어들기에 지구 생태계를 지킬 수 있다.

### 터미네이터 같은 나노전투복도 연구

금속은 원자가 규칙적으로 배열된 물질이긴 하지만 곳곳의 전위 때문에 강도에 한계가 있다. 그러나 나노기술을 이용하면 원자를 전위 없이 배열할 수 있어 초고강도 재료를 만들 수 있다. 가령 10nm인 금속은 몇 백 나노미터인 일반금속보다 7배의 강도를 갖고 있다. 굽힘 및 부식 방지를 위해 극미세 세라믹 입자를 넣은 폴리머 기반 도장재, 신약과 플라스틱을 만드는 개량 촉매, 2배 정도 오랫동안 사용할 수 있는 철-폴리머 전지

등 가능성은 무한대에 가깝다. 가벼운 자동차 사고라면 금세 원상 복구되는 금속-폴리머 합성 패널도 등장할 것이다. 압력 때문에 생긴 작은 균열을 자동 수선하는 터보 엔진 등 제트 엔진 성능을 높이면서 고강도/초경량의 합성 소재도 있다. 그리고 생체 시스템을 모방하여 만들어진 모든 종류의 지능형 물질들은 환경 변화에 적응하고 마모 부분을 보완하며 곧 일어날 고장에 대해 미리 경고할 수 있게 된다.

미 육군은 10년 후 종이처럼 가벼우면서 스스로 은폐 및 은폐 기능을 하고 부상시 응급처치까지 해주는 지능형 나노전투복을 지상군에 보급하기 위해 2003년 4월 매사추세츠공대(MIT)에 군인나노기술연구소(ISN)에 신설하였다. 이를 위해 미 육군은 향후 5년간 5천만 달러를 투자하고 듀폰을 포함, 기업들이 4천만 달러를 투자하기로 결정하였다. 나노전투복에는 GPS시스템, 각종 센서들과 통신용 초소형 컴퓨터가 내장되며, 탄환이나 수류탄을 방탄할 수 있으며, 생화학전쟁 조기 경보 및 방어가 가능하고, 극한 온도에서도 병사들을 보온할 수 있으며, 카멜레온처럼 주변 환경에 맞게 위장할 수도 있는 군복이다. 또한 평소에는 부드럽지만 팔 다리가 부러지면 딱딱해져 깃스 역할을 하는 첨단군복을 개발할 예정이다.

이어폰 마이크에 소형비디오디스플레이와 야간용 센서가 달린 가볍고 단단한 헬멧도 개발된다. 더욱이 신물질을 이용해 6m 높이의 담장을 뛰어넘을 수 있는 축지법군화도 만든다고 한다. 그럼에도 불구하고 완전군장시 지금까지는 무게가 57~66kg 정도였으나 나노전투복의 무게는 20kg 정도밖에 되지 않는 것으로 알려져 있다. 결국 보이지 않는 적의 위치도 파악하고 총탄에도 끄떡없는 '터미네이터와 같은 슈퍼솔저'가 현실화될 날이 멀지 않은 셈이다.


### 우주로 가는 엘리베이터로 위성 옮겨

우주로 올라가는 엘리베이터도 미국항공우주국(NASA)과 대학의 과학자들이 진지하게 검토하고 있는 아이디어다(그림3 참조). 최근 이 개념이 20~50년 사이에 실현될 가능성이 커졌다는 의견이 속속 등장하고 있다. 우주로 올라가는 엘리베이터는 유명한 공상과학소설가인 아서 C. 클라크가 1978년 발표한 '천국의 분수'에 등장한다. 당시만 해도 진짜 '공상적'이라는 분위기가 지배적이었지만 1991년 CNT가 등장하고 이를 엘

리베이터의 밧줄로 이용할 수 있다는 아이디어가 도출되면서 분위기가 반전됐다. 우주 엘리베이터가 실현된다면 위성의 발사 비용을 kg당 1만5천여 달러에서 100여 달러로 줄일 수 있어 우주 개발의 획기적인 진전을 가져올 것이다.

그밖에 NASA의 경우 정비가사 주문한 그대로 정확하게 사양을 맞추는 초고강도/초경량 맞춤형재료와 태양계 밖의 생명체 탐사를 위해 우주선 감량을 추진중이다. 태양계 밖의 행성인 사자자리까지 가려면 파운드당 10만 달러를 들고 화성까지는 파운드당 1만 달러 정도가 들기 때문에 무게감량을 통해 2.2파운드 나가는 로봇식 나노우주선과, 0.5파운드의 피코( $10^{-15}$ ) 우주선을 만드는 것이 최종 목표이다. 이러한 나노 및 피코 우주선들을 태양계 밖의 은하계에 보낸다면 언젠가는 ET와 만날 수 있지 않을까?

### 창조적 영감, 인류과학사 다시 쓸 것

이렇듯 나노기술에 의한 응용 사례들이 우리의 생활에 밀접하게 다가오고 있지만 그것은 나노기술 중 극히 일부에 불과하다는 사실이다. 또한 인류의 지속적인 성장을 위해 항상적인 해결책이 되고 있는 것도 확실하다. 많은 기회가 열려 있어 선점이 가능하며 다양한 분야에 파급효과가 지대한 기술의 보고이다. 그리고 수많은 벤처가 창출될 수 있어 대박의 주인공이 될 수도 있다. 관련지식과 도구가 진보된다면 향후 정보혁명보다 더 큰 산업혁명들이 몇 차례 연속적으로 우리에게 다가올 것이 분명하다. 그러나 위에 열거한 꿈의 기술 중 일부는 아무리 빨라도 수십 년 후에 실현될 것이며, 어쩌면 창조적 영감이 될지도 모른다. 왜냐하면 원자나 분자를 레고블록 쌓듯 하나씩 쌓아 올리거나 자기조립으로 나노단위의 세계를 제어하고 이를 기반으로 극한에 이를 정도로 미세한 구조를 만들어내는 것은 현재로서는 어려울 것으로 보이기 때문이다. 과학/기술 발전사를 보면 예고된 기술 발전은 없었다. 어느 누가 뉴턴의 만유인력으로 산업혁명이 시작될 줄 알았으며, 어느 누가 양자역학이 나와 트랜지스터가 만들어지고 이것이 정보혁명의 초석이 될 줄을 짐작이나 했었던가? 



글쓴이는 한양대 금속공학과를 졸업 후, 미국 펜주립대에서 석사·박사학위를 받았다. 국방과학 연구소 연구원, 미국 카네기멜론대 자기기록 연구소 연구원, 삼성종합기술원 신소재 연구실장을 역임했다.