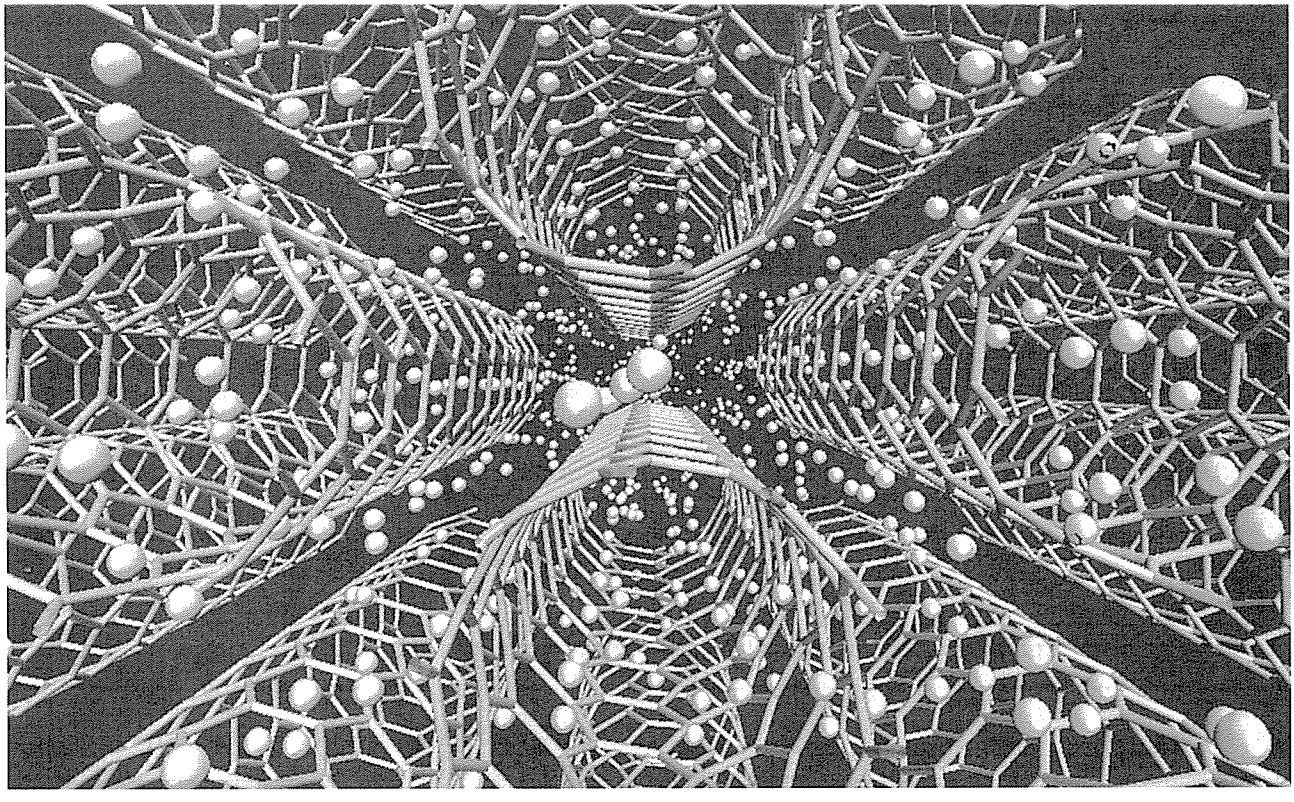


나노튜브는 연료전지에서 사용되는 수소를 저장하여 오염을 줄일 수 있다.

첨단과학기술현장

나노기술(NT)생산현장을 가다

21세기의 세계경제를 주도할 것으로 전망되는 나노기술의 개발을 위해 요즘 세계 각국은 후끈 달아오르고 있다. 미 국립과학재단은 2015년의 나노제품 시장규모를 1조달러로 보고 있어 이런 방대한 시장을 쟁취하기 위해 세계 비즈니스계와 정부들은 앞다퉈 막대한 연구개발비를 퍼붓고 있다. 미국은 2003년 나노테크 연구개발비를 2002년 보다 17%가 많은 7억1천만달러를 투입할 예정인가 하면 미국, 서유럽, 일본에 이어 많은 나노테크 연구개발비를 투입하고 있는 우리나라는 2002년부터 연간 1억달러를 지출할 계획이다.

玄 源 福 〈과학저널리스트/본지 편집위원〉

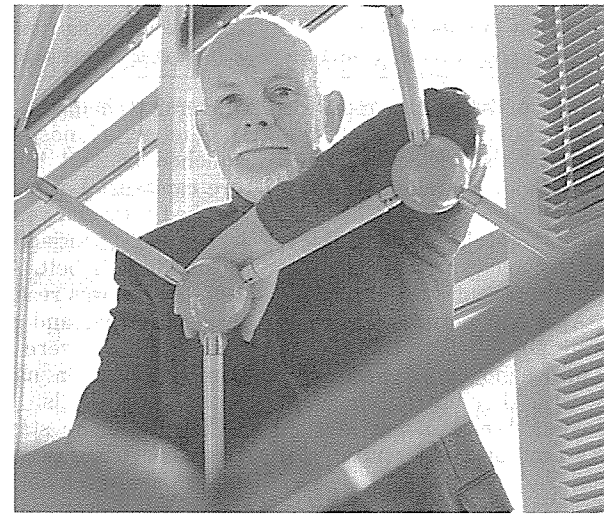
테니스 공에서 반도체까지

그러나 실제로 거래되는 나노테크 시장의 규모는 아직도 크지 않다. 버키볼, 나노튜브 그리고 다른 나노 소재의 매출고는 5천만달러 안팎으로 어림되지만 나노 소재가 들어간 제품의 매출고는 2001년만 해도 2백65억달러 상당으로 추정하고 있다. 현재의 나노제품 중에는 극미(極微) 촉매 입자, 육안으로는 볼 수 없는 작은 산화아연 조각을 가진 선 로션, 페인트의 분리를 막는 유화제, 안경 렌즈가 긁히는 것을 막거나 공업용 도구의 수명을 연장시키는 코팅 등이 있다. 그런데 세브론-텍사코, 듀퐁 그리고 NEC 등 큰 기업들은 대부분 대학의 연구자들이 창업한 벤처기업의 전문성을 타진하고 있다. 미츠비시 전기는 2001년 나노기술에 투자하기 위해 1억달러의 펀드를 만들었고 2000년 다우케미컬은 앞으로 나노 폴리머계열의 사업을 키우는 바탕으로 사용하기 위해 덴드리테크사의 덴드리머 기술을 사들였다. 사람의 머리카락의 10만분의 1 크기인 10억분의 1m(nm : 나노미터)단위의 크기를 다룬다고 해서 이름을 붙인 나노기술은 실제로는 100나노미터 보다 작은 부분을 가진 새로운 기계와 자재 등을 다루는 기술이다. 최근 삼성전자가 2003년 하반기에 512메가급 D램 생산에 나노기술을 채택한다고 알려져 우리나라의 나노기술시대가 개막할 날도 멀지 않았다. 그러나 이미 10여년 전부터 나노기

술을 개발해 온 나노기술 선진국들은 제품생산이 궤도에 오르기 시작했다. 특히 미국은 소비재, 컴퓨터, 의약품, 에너지 및 승용차 등 여러 분야에서 이익을 거둬들일 수 있는 많은 제품들을 시장에 선보이기 시작했다. 미국의 물리학자 해리스 골드버그는 10억달러 규모의 타이어 밀봉제 비즈니스에 도전하기 전에 테니스 공 시장부터 뛰어 들었다. 7명의 종업원을 거느린 그의 인매트사(뉴저지주 힐스보로 소재)는 정규적으로 윌슨 운동구메이커에게 1nm 두께의 진흙 시트가 들어있는, 환경적으로 안전한 액체를 채운 55갤런들이 드럼을 출하하고 있다. 이 재료를 테니스 공 내부에 바르면 표준 고무만을 바를 때보다 훨씬 효과적으로 공기를 가둬 두어 공의 수명을 두배나 더 오래 연장할 수 있다. 1년 전에 선보인 윌슨사의 '더블 코어'는 미국 테니스 가게에서 웃돈을 붙여 팔리고 있고 '데이비스 컵' 시합의 공식 공이 되었다. 인매트사는 올해 25만달러의 수입을 올릴 예정이지만 앞으로 수년간 테니스 공으로만 매년 이 숫자를 곱절로 끌어 올릴 예정이다.

한편 골드버그는 타이어 생산업자들에게 타이어 바퀴를 현재의 밀봉제인 부틸고무 대신 그의 기술로 밀봉함으로써 보다 안전하고 가벼우며 차의 연소효과를 끌어 올릴 수 있다고 설득하고 있다. 또 미 육군은 인매트사에게 군인들을 화학제로부터 보호하는 장갑을 개발해 달라고 요청했다. 그런데 골드버그의 연구자금은 대부분 앤젤 투자자와 기증금에서 나오고 있다. 면섬유에 '나노 깃털'을 첨가하여 주름과 얼룩에 대한 저항력을 제공하는 화학공정은 에디 바워와 리 진스의 신제품을 만들어 낸다. 이 섬유들은 미국 노스캐롤라이나주 크린스보로 소재 나노텍스사가 개발했다. 나노텍스는 또 땀을 분산 및 건조시키는 섬유도 개발했다. 2002년 말 섬유구조를 통해 몸 냄새를 내보내는 양말, 내의 그리고 T셔츠 생산에 착수한다.

미국 캘리포니아주 안티옥 소재 나노머슬사를 운영하는 하이테크 사업가 로드 맥그레고는 파워 창문에서 미묘한 얼굴표정을 가진 인형에 이르기까지 모든 작업에 어울리는 3인치 크기의 모터를 제작하고 있다. 그의 모터는 온도변화에 따라 서로 다른 모습을 취할 수 있는 니티놀 합금(티탄과 니켈의 비 자성합금)이 작용한다. 전류가 이 장치의 니티놀 와이어를 단축시켜 리니어 모터(磁力으로 직선 추진력을 발생시키는 전동기)가 인간의 근육처럼 수축시킨다. 맥그레고는 그 시장규모를 38억달러로 어림하고 있다. 생산가는 1달러 밖에 안 되는 이 '나노머슬'은 니티놀 결정의 크기 때문에 나노기술에 어울린다고 생각하고 있다. 이런 모터를 가진 최초의 나노 추진력 인형은 2003년 크리스마스에 선보일 예정이다.



미국 라이스대학 리처드 스몰리교수가 발견한 버키볼은 세포의 수용체에 꼭 들어갈 수 있는 모양으로 조합할 수 있다.

영리한 검댕

그레그 슈머겔이 운영하는 미국 매서추세츠주 워번 소재의 난테로사가 개발하고 있는 사업이 성공하면 누구나 하루 5분을 절약할 수 있는 혜택을 제공받을수 있다. 이 기업은 작동대기시간이 필요 없는 인스턴트 온 컴퓨터를 제작할 계획이다. 난테로사는 전력을 끊어도 모든 프로그램을 운용하는 방법을 잊어버리지 않는 '영속성 임의접근 기억장치(NRAM)'를 가진 칩의 상용 시험제품을 1년 내에 생산할 예정이다. 이 기술은 탄소 나노튜브라는 이름의 2nm 두께의 탄소원자의 타래를 사용하는데 이것은 구리보다 더 빨리 전자를 운반하고 무게로 따져 강철보다1백배나 더 강력하다. 나노튜브 쌍은 전류가 흐를 때 서로 얽혀 데이터를 저장하고 컴퓨터의 전력이 끊어질 때도 떨어지지 않는다. 이 나노튜브는 역전류가 갈라놓을 때 까지 그대로 연결되어 기억은 그대로 간직된다. 이런 칩은 이밖에도 여러 장점이 있다. 슈머겔은 3년 내에 난테로는 같은 크기의 실리콘칩보다 10배나 더 많은 데이터를 저장하고 더 빨리 그리고 덜 발열하는 NRAM을 가진 칩을 시장에 내놓을

수 있다고 말하고 있다.

나노튜브는 나노기술 경제에서 최초의 상품이 될 것이다. 세계 수십개의 기업들은 검댕으로 정답게 부르는 이 제품을 이미 IBM, 휴렛-패커드, 삼성, NEC 등 세계적인 거대기업과 연구소에 팔고 있다. 그 중에서 미국 매서추세츠주 브라이턴 소재 나노-래브사는 이익을 올리고 있는 몇몇 기업 중의 하나다. 이 회사는 2001년에 20만달러 상당의 주문제품을 팔았고 2002년에는 매출고를 2배로 늘릴 계획이다. 2002년 9월 HP사 연구자들은 이 소재를 이용하여 현재의 실리콘 칩보다 더 싸고 전력을 덜 사용하며 모든 도서관의 정보를 저장할 잠재력을 가진 분자 크기의 회로를 만드는 방법을 개발했다.

에이즈를 파괴하는 분자

프로 운동선수드도 노벨상 수상자 리처드 스몰리가 발견한 '축구 공'에서 해리스 골드버그의 테니스 공에서 본 것만큼의 신기한 점을 찾지 못할지 모른다. 실상 60개의 탄소원자로 구성되어 있는 이 '축구 공'의 구조는 원자력 현미경이 없다면 찾아 볼 수도 없다. 그러나 스몰리의 발견은 에이즈와 암 그리고 루게릭병(운동신경이 퇴화되어 근육이 변성되어 가는 질병) 등의 질병치료를 도울 것으로 기대되며 이것을 발견한 스몰리와 두사람의 과학자들은 1996년 노벨 화학상을 받았다.

이 분자들은 미국 건축가이며 발명가인 벅민스터 풀러를 기려 풀러린 또는 버키볼이라고 부르고 있다. 오늘날 스몰리가 이사로 있는 생물공학기업인 휴스턴 소재의 C식스티사는 연구자들이 HIV분자(에이즈 원인이 되는 사람면역부전 바이러스)에 풀러린을 붙여 그 활동을 멎게 하고 목표 암세포를 폭발시킬 분자로 만드는 연구를 하고 있다. 그런데 '버키볼'은 1966년의 작품인 영화 '판타스틱 보이지'에서 보는 것처럼 치명적인 질병을 표적으로 하는 나노 잠수함과는 달리 버키볼은 크기와 모습이 약품 발견에 잘 어울린다고 C식스티사의 공동창업자인 스티븐 윌슨은 생각하고 있다. C식스티사의 가설은 '버키볼'이 질병발생에서 주요한 역할을 하는 효소나 수용체의 공격수로 무기화할 수 있는 공통분자의 역할을 하면서 마스터키(맞쇠)식의 해결책을 제공한다는 것이다. C식스티사는 치료가치를 시험할 새로운 '버키볼' 바탕의 분자를 모으고 있다. 2003년 초에는 HIV와 루게릭 병 치료용 '풀러린' 약의 인체 임상시험에 들어간다. 현재의 HIV 치료약의 10분의 1의 독성을 가진 이 분자는 끊임없이 돌연변이를 하는 새로운 신종 바이러스를 겨냥하게 된다. 신경퇴화병인 루게릭병의 경우 이 약은 신경의 손상을 막거나 보수한다. C식스티사는 아직도 수입이 없으나 머지않아 3대 제약회사 중의 한 메이커와 제휴하게 될 것으로 알려져 있다.

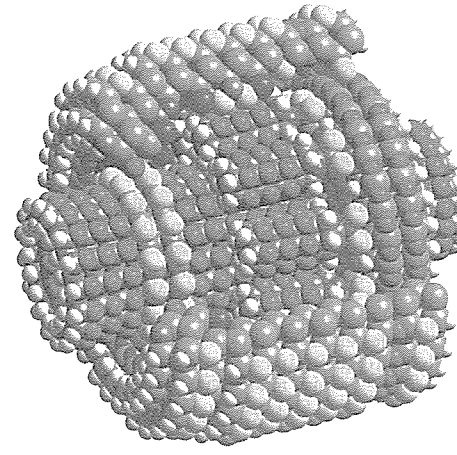
이 밖에도 병든 세포 내부로 들어가서 병의 발생을 멎게 하는 매우 작은 나노 발명품을 만들고 있는 연구자들도 있다. 미국 미시간대학 생물 나노기술센터 소장인 제임스 베이커는 암세포를 겨냥하는 '덴더리머'라는 나노 크기 분자를 개발하고 있다. 그는 나노기술이 세포가 암으로 번지기 전에 세포를 제거하는 능력을 포함하여 질병을 진단하고 치료하는 전혀 새로운 툴을 제공하고 있다고 말하고 있다.

베이커와 그의 팀은 나노바이오라는 기업을 창업하고 미국방부로부터 1천1백만달러의 연구개발비를 받아 발톱에서 성장하는 균류에서 유행성감기 바이러스와 탄저포자에 이르기 까지 전염성 미생물에 침투하여 죽일 수 있는 크림을 개발하기 시작했다. '나노디펜드'라는 이름의 액체는 탄저균, 에볼라균 또는 천연두균과 접촉한 옷과 표면을 소독하게 설계되어 있다. 또 '나노그린'이라고 부르는 크림 모양의 겔(교화체)이나 구프(끈적거리는 것)는 군인의 피부를 소독하는 데 사용할 수 있고 일반소비자용으로도 국부와 질(膣)에도 적용할 수 있게 될 것으로 보인다. 기존 기업들과도 유대관계를 맺기를 희망하는 이 기업은 FDA(미국 식품의약국)의 승인을 받기 위해 7종의 제품을 제출할 채비를 하고 있다. 일부 기업들은 단순히 일반의약품의 효능을 끌어올리기 위한 노력을 하고 있다. 미국 펜실베이니어주 킹 오브 프루시아 소재 이란 드러그 데리버리 회사는 몸의 약품 흡수능력을 극대화할 수 있는 크기로 기존 약품을 빻고 있다. '날레브'와 같은 제품에서 발견되는 진통제인 나프록센 나트륨은 진통효과를 발휘하자면 2시간이나 걸릴 수 있다. 나노 시스템은 아직도 임상개발 중이지만 15~20분 내에 효력을 발생하는 결정형 나프록센을 개발했다. 이런 나노결정을 사용하면 약효를 7~8배 빨리 나타낼 수 있다고 이란 드러그 데리버리의 모회사인 아일랜드 더블린 소재 이란사의 래리 스턴슨사장은 주장하고 있다. 의약품을 정확한 표적으로 보내서 부작용을 최소한

으로 줄이기 위해서 버키볼을 특정한 세포 표면 수용체에 꼭 들어맞는 모양으로 조립할 수 있다. 이 버키볼은 세포의 복제 사이클을 교란시키는 약으로 코팅할 수 있다. 이런 치료법은 현재 암, 에이즈 및 다른 질병 치료에 사용되고 있다. 더욱이 나노튜브는 매우 가늘어서 고통을 주지 않고 피부를 뚫고 들어갈 수 있다. 그래서 미 캘리포니아주 비스타 소재 벤처기업인 데라퓨즈사는 당뇨 치료용의 피부 패치를 개발하고 있다. 이것은 나노스트로를 통해 혈액을 끌어내어 당의 수준을 검사하고 필요하면 인슐린을 주입한다. 한편 엄격히 말해서 나노 규모는 아니지만 작은 기술로 탐지 및 분석 기능을 끌어 올릴 수 있다. 아직 연륜은 짧지만 많은 이익을 내고 있는 메소시스템사는 소방서에 대해 지름 0.5~10 미크론 크기의 생물입자를 수집하여 검증하기 위해 액체에 보존하는 휴대용 장치를 팔고 있다. 이 기업은 또 일부 미 연방 당국이 현장검사용 생물재해(병원체나 이에 감염된 동물연구가 안간 및 생태계에 주는 위험)탐지기에 사용되는 공기견본 적출기를 록히드 마틴사에 공급하고 있다. 이 기업은 2001년 7백만달러 매출에서 25만달러의 수익을 올렸으나 2002년에는 1천만달러 이상의 매출고를 기대하고 있다.

깨끗한 에너지의 생산

화석연료의 대체품으로서 산소와 수소에서 깨끗한 에너지를 만드는 수소연료전지는 누구에게나 사랑을 받고 있다. 그런데 수소는 공기 중에는 풍부하지만 정제된 형태로 쉽게 구할 수 있는 것은 아니다. 또 수소로 가동되는 기계도 드물다. 도쿄공업대학은 수소의 정제 문제를 연구해 왔고 주요 자동차 메이커들도 수소로 가동되는 기계를 연구하고 있다. 도쿄공대 그룹은 니켈화합물 분자를 박은 엷은 탄소섬유 그물을 사용하여 수소를 얻는 방법을 개발했다. 이 필터는 천연가스를 탄소와 수소로 분해하는데 여기서 얻은 수소는 연료전지에 쓸 수 있을 정도로 순수하다. 그런데 걸림돌은 이 공정을 시작하는데 필요한 촉매인 백금의 값과 공급 문제에 있다. 백금은 한개의 산소원자 마다 2개의 수소원자와 짝짓기를 하는 것을 부추기고 반응할 때마다 귀중한 에너지를 방출하는데 중매인 역할을 하는 이것이 바로 연료전지의 핵심원리다. 현재의 촉매 입자 크기는 약 10nm인데 함께 뭉치는 경향이 있기 때문에 백금이



작은 로봇이 원자나 분자를 이용하여 기어와 다른 나노부품을 만든다는 것이 나노기술 전문가들의 꿈이다.

효율적으로 사용되지 못하고 있는 형편이다. 더욱이 세계 자동차 생산고의 10%만이 연료전지를 사용한다고 해도 세계 백금 총생산고로도 필요한 백금의 수요를 채울 수 없다. 미국 유타주 드레이퍼 소재 대체에너지 회사인 하이드로 카본 테크롤로지즈사는 함께 뭉치지 않고 공정을 늦출 수 있는 나노 크기의 백금입자를 만드는 방법을 발견했다고 주장하고 있다. 이 새로운 입자는 연료전지를 안정되고 효과적인 방법으로 가동하고 백금의 공급기간을 연장시킬 것으로 기대된다. 전문가들은 이 입자가 나노기술이 종전의 비경제적 공정에 다시 활력을 불어 넣을 수 있는 본보기가 될 것이라고 말하고 있다.

석유수출국기구(OPEC)는 최근 나노기술에서 나온 연료전지 보다 더 큰 걱정거리가 생겼다. 2002년 8월 중국 최대의 석탄회사가 미국 기술을 차용하여 내몽고에 20억달러 규모의 석탄액화공장을 건설할 수 있게 된다는 소식이다. 그런데 이 신기술의 핵심은 석탄액화의 효율을 개선하고 깨끗한 수송연료의 생산단가를 내릴 수 있는 겔형 나노 크기 촉매다. 만약에 이 기술이 약속대로 능력을 발휘하고 경제적으로 석탄을 디젤유와 가솔린으로 전환할 수 있다면 미국, 중국, 독일 등 풍부한 석탄보유 국가들의 수입 석유의존도는 훨씬 줄어들 것이다. 동시에 액화는 석탄에서 유해한 황을 제거하기 때문에 산성비의 오염도 줄어들 것이다. 현재의 세계 유가를 감안할 때 석탄의 석유전환으로 중국은 경제적으로 큰 덕을 볼 것이다. 유가가 현재보다 배럴당 4~8달러 상승한다면 미국에서도 이 기술은 경제적으로 매력적인 가치를 갖게 될 것이라고 하이드로카본 테크놀로지즈 사장 데오 리는 주장하고 있다.

플라스틱 차

미국의 대표적인 승용차 메이커들은 이제는 언제라도 연료전지 차를 출하할 수 있다고 약속하고 있다. 이 승용차는 조용히 달릴 뿐 아니라 뒤쪽 배기관에서는 마실 수 있는 깨끗한 물을 뱉어 내고 차고에서 플러그를 꽂으면 집에 전력을 공급할 수 있다. 한편 자동차 메이커들이 다른 방법으로도 나노기술을 응용하고 있다. 예컨대 도요타사는 1980년대 말 처음으로 강력하고 가벼운 나노복합재료로 실험한 이래 미국 자동차 메이커들은 나노복합재를 연구실로부터 자동차 속으로 옮겨서 이용하기 시작했다. 제네럴 모터즈사는 2002형 GMC 사파리와 시보레 아스트로 밴 차에 첨단 플라스틱 재료를 도입했다. 이 신소재는 다른 플라스틱보다 강력하고 가벼울 뿐 아니라 추운 온도에서도 덜 부서진다. 차체의 경량화는 연료절약을 가져온다. 다음 단계로 GM은 차의 인테리어와 범퍼 그리고 마침내는 차의 프레임과 같은 무게를 지탱하는 구조부품에 나노 복합재료를 사용할 계획이다.

이보다 더 관심을 끄는 제품들은 기업 연구실에서 볼 수 있으나 새로운 생산 시스템을 개발해야 하기 때문에 제품이 시장에서 선을 보이려면 1~2년은 기다려야 한다. 삼성전자, 모토롤라 등을 포함하여 전자제품의 큰 메이커들은 현재 TV, 컴퓨터 및 휴대용 전자장치용의 초선명 평판 스크린 디스플레이 개발을 하고 있다. 오늘날의 액정 디스플레이(LCD)는 절전에서는 효율적이기는 하지만 아직도 배터리의 전력소모가 많은 편이다. 스크린 뒷면에 전자를 뿌리는 나노튜브 배열판은 이런 전력의 일부만 사용해도 충분한데 삼성전자는 2003년 크리스마스시에맞춰 첫번째 나노튜브 TV를 출하할 예정으로 알려져 있다.

오늘날 무서운 속도로 가동하는 초경량 랩탑 컴퓨터는 워낙 에너지 대식가(大食家)이기 때문에 배터리로는 기껏 2시간 밖에 계속 사용하지 못한다. 그러나 일본의 NEC사는 1~2년 내에 에너지원으로 강력한 소형 연료전지를 제공할 계획이다. 연료전지는 전기화학반응으로 수소 같은 화학연료 에너지를 전기로 바꾸는데 NEC는 연료전지의 핵심부분에 탄소 나노튜브를 도입할 계획이다. 나노튜브는 탄소원자의 격자로 된 긴 원통형의 분자인데 11년 전 NEC 과학자 이이지마 수미오가 처음 만들었다. 이이지마와 그의 연구팀은 최근 연료전지에서 매우 효율적인 전극으로 사용할 수 있는 뿔 모양을 한 나노튜브를 개발했다. 이 '나노혼'은 뿔 모양을 한 덕분에 전기화학 반응을 할 수 있는 더 넓은 표면을 제공하여 연료전지의 효율을 크게 끌어 올릴 수 있다.

아직도 개발단계에 있기는 하지만 이 새로운 장치는 같은 크기의 리튬-이온 배터리 보다 10배나 더 많은 용량의 전기를 공급할 수 있다고 알려져 있다. 그래서 곧 랩탑 컴퓨터를 쉬지 않고 5~6일 사용할 수 있게 된다.

생물학 + 나노 전자공학

생물학과 전자공학은 오랫동안 서로 다른 우주에 존재했다. 그러나 DNA와 단백질처럼 생물분자의 크기는 2~3나노미터에 불과하고 물리학자와 화학자들이 같은 크기의 전자장치를 만드는 방법에 손을 대면서 이런 우주는 서로 부딪치지 않을 수 없게 되었다. 나노 전자공학과 생물학이 짝을 맺고 탄생한 나노생물공학이라는 새로운 분야는 특정한 생물분자를 탐지할 수 있는 작은 센서 배열판에서 DNA를 읽을 수 있는 시스템에 이르기 까지 여러 가지 툴을 만들고 있다. 이런 장치는 종래의 방법보다 복합적인 질병을 훨씬 빠르고 쉽게 진단할 수 있어 예컨대 심장병 환자에게는 조기경고를 제공할 수 있다. 또 단 한개의 마이크로 칩이 한 방울의 피의 샘플을 사용하여 종합 진단을 내릴 수 있다. 또 의약연구자들은 나노바이오테크 장치를 이용하여 한번에 수백만 종의 서로 다른 제약후보들을 검사하여 보다 신속하게 평가할 수 있다. 하버드대학 화학교수 찰스 리버는 전립선암 진단용으로 초민감 진단기술을 개발했는데 미국 캘리포니아주 팔로알토 소재 벤처인 나노사는 리버의 기술을 차용하고 3년 내에 상용센서를 출시할 계획이다. 이 센서는 먼저 의약품 후보를 신속하게 검사하는 연구보조장치로 사용된 뒤 전립선암과 다른 암의 가정 진단용 장치로 사용할 수 있다.

스탠퍼드대학 화학자인 홍지 다이는 최근 뛰어난 전기적 특성을 가진 탄소분자인 탄소 나노튜브로 글루코스(포도당)를 탐지할 수 있는 장치를 개발했다. 이런 장치는 당뇨병 환자에게 이식할 수 있는 글루코스 센서로 발전시킬 수 있다. 다이는 지난 12월 팔로알토에 몰레큘러 나노시스템사를 창업하고 바이오센서를 포함한 나노튜브 바탕의 의료장치를 상용화하는 사업에 착수했다. ST