

# IT 분야에 적용되는 나노기술 동향

정명섭, 박준석 / 국민대학교 전자정보통신공학부  
 김형석 / 중앙대학교 전자전기공학부

## 1. 서론

컴퓨터, 휴대폰, 인터넷, 디스플레이, 디지털 카메라, DVD 플레이어 등 각종 IT 시스템은 고속화되어 점점 기능과 성능은 좋아지며 소형화하면서 크기는 작아지고 또한 저전력화 방향으로 발전하고 있다. 예를 들어 휴대용 정보통신 장비의 경우 앞으로는 음성인식, 비디오 압축복원, 통신과 연산 기능을 동시에 수행할 전망이다. 하지만 이처럼 다양한 기능을 질적 저하없이 충분히 수행하려면 메모리, 연산 속도, 소비전력 등이 현재 출시된 제품의 성능에 비해 수천 배 이상 향상돼야 한다.

이런 이유로 그림1과 같이 21세기 산업변화의 핵심 기술은 BT(Bio Technology), IT(Information Technology) 그리고 NT(Nano Technology)와의 융합이 절대적으로 필요한 상황이다. 이 결합 기술을 바탕으로 기존의 명령만을 수행하는 computing system과는 다른 인공지능로봇이 등장하고 이들은 초고속 통신망과 결합되어 지구촌을 하나의 지구촌으로 통합시키고, 가전제품, 통신 시스템, 제조업, 군사, 우주산업, 농업, 의학 등과 결합하여 사회 전반에 걸쳐 변화를 초래할 것이다. 특히 문자, 음성, 영상 등을 일체적으로 이용하여 키보드 없이 인식하고 추론할 수 있는 'Ubiquitous' 컴퓨터라고 통칭되는 초소형 휴먼 컴퓨터들이 손목시계, 허리띠, 모자, 안경, 옷 등으로 옮겨가면서 인간의 모든 생활에 접목될 것이다.

## 2. 나노 기술의 발전과 관련 분야

나노과학은 나노미터 수준의 크기인 분자나 원자를 인위적으로 조작하여 기계, 전자, 화학, 생물 등 다양한 부문에 응용하는 과학 기술을 말한다. 예컨대 나노공정, 탄소나노튜브, 나노로봇, 나노컴퓨터 등과 같이 나노가 우리의 실생활에 성큼 다가온 것이다. 그리고 현재 산업에서 나노가 '마이크로'라는 말을 대체해버렸다. 나노

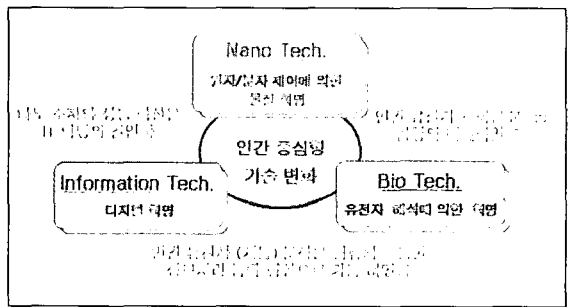


그림 1 21세기 산업의 핵심 기술

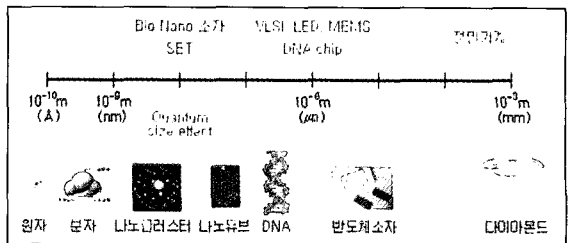


그림 2 나노의 크기

란 10억분의 1의 크기를 나타내는 단위로서 1nm는 10억분의 1m로 수소원자 10개의 크기다.

나노기술, 즉 NT(Nano Technology)는 nm 수준의 초미세 영역에서 물질을 제어하는 혁신기술을 말한다. 앞으로 생명공학·섬유·의학·화학 등 다양한 분야에서 활용될 전망이다. 반도체산업에서도 미래를 좌우할 핵심기술로 꼽힌다. NT는 여러 첨단산업이 당면하고 있는 많은 장애나 한계를 극복할 것으로 예측되고 있다. 예컨대 반도체 제조 분야의 경우 집적도를 더욱 높이기 위해 회로선 폭 간격을 100nm(10억분의 100m) 이하로 축소해야 하는 제조공정상의 한계에 부딪히고 있다. 이를 바로 NT로써 해결할 수 있다는 것이다. 따라서 NT는 현재의 반도체 가운데 집적도가 가장 높은 D램(Dynamic RAM)을 대체할 새로운 메모리 소자이다. D램은 실리콘 기반의 공정기술 발달로 회로의 선폭을 100nm까지 좁혀지면서 반도체 칩 층 최고의 집적도를 자랑하고 있다. 그러나 전원이 꺼지면 정보가 없어지는 휘발성 메모리이기 때문에 항상 데이터를 저장하기 위해 하드디스크를 함께 사용해야 한다. 그런데 각종 전자제품이 휴대용 기기로 점점 소형화되면서 고성능 비휘발성 메모리칩의 필요성이 점점 높아지고 있는 상황이다. 물론 비휘발성 메모리로 플래시 메모리가 있기는 하나, 고성능 휴대용 기기에 적합하지 않다. 따라서 차세대 비휘발성 메모리가 요구되는 이유이다. 현재 나노기술이 제시하는 차세대 비휘발성 메모리가 수년 내에 M램(Magnetic Ram)과 F램(Ferroelectric RAM)과 같이 실제 제품에 적용될 전망이다. M램은 수 nm의 나노박막이 갖는 GMR(Giant Magneto Resistance) 현상을 이용한다. 이는 비휘발성이라는 장점은 물론 수 nm의 현상을 이용하기 때문에 고집적을 실현할 수 있는 잠재력을 갖고 있다. 또한 처리속도가 D램보다 빠르고 에너지 효율도 높다. F램은 자기적 성질을 강하게 띤 물질(강유전체)을 데이터 저장에 필요한 커패시터에 사용함으로써 전원 없이도 데이터가 유지되는 비휘발성 메모리이다. 이 메모리는 1980년대부터 연구가 시작되어 상용화가 부분적으로 진행됐다. 그러나 현재 고집적화를 위한 생산공정과 나노수준의 소재물질을 개발하는 문제가 완전히 해결되지 못하고 있는 실정이다. 전문가들은 2005년 정도에 본격적으로 상

품화가 될 것으로 기대하고 있다. 이 분야에 대표적인 기업이 미국의 램트론사이고, 일본의 도시바, NEC, 히타치 그리고 우리나라 삼성전자 등이 개발 경쟁을 벌이고 있다.

현재의 반도체 기술의 한계는 반도체 칩의 집적도가 35nm이하로는 발전하기 어렵다. 반도체 소자의 크기가 20-30nm 정도가 되면 소자는 양자현상이 지배적으로 나타나게 돼 기존에 적용했던 회로의 설계법칙을 따를 수 없기 때문이다. 이를 극복할 수 있는 방법으로 반도체 기판에 회로를 새겨 넣는 기존의 제조 방식인 'top-down' 이 아니라 원자나 분자를 벽돌처럼 쌓듯이 조합해서 새로운 나노 구조물을 만드는 'bottom-up' 방식을 필요로 한다. 'bottom-up' 방식은 원자나 분자가 스스로 물질을 형성하는 자기조합을 가능하게 하여, 원자나 분자를 조작하는데 소요되는 시간과 에너지를 절약할 수 있을 뿐만 아니라 각종 전자소자를 테라비트급( $10^{12} \text{bits/cm}^2$ )의 고집적도를 얻을 수 있고 처리속도 및 에너지 소비 측면에서 유리한 장점이 있다. 현재 'bottom-up' 방식으로 개발 중인 전자 소자로는 단전자트랜지스터 (Single Electron Transistor), 탄소나노튜브(Carbon nanotube) 소자가 대표적이다. 단전자 트랜지스터는 전자 한 개의 터널링 효과로 트랜지스터가 작동되는 것으로 두 전극 사이를 하나의 전자만이 이동하도록 돼 있기 때문에 트랜지스터의 소형화에 문제가 됐던 열문제를 해결할 수 있다. 또 다른 대표적인 나노소자인 탄소나노튜브 트랜지스터는 1-10nm 두께의 대롱모양인 탄소나노튜브를 전자의 이동통로로 이용하는 것이다. 탄소나노튜브(Carbon nanotube; CNT)는 1985년에 Kroto와 Smalley가 탄소의 동소체(allotrope)의 하나인 Fullerene(탄소 원자 60개가 모인 것: C60)을 처음으로 발견한 이후, 1991년 이 새로운 물질을 연구하던 일본전기회사(NEC) 부설 연구소의 Iijima 박사가 전기 방전법을 사용하여 흑연 음극상에 형성시킨 탄소덩어리를 TEM으로 분석하는 과정에서 가늘고 긴 대롱 모양의 탄소나노튜브를 발견하여 Nature에 처음으로 발표하였다. 이때 성장된 탄소나노튜브의 길이는 수십nm~수 m이고, 외경은 2.5-30nm이었다. 탄소나노튜브에서 하나의 탄소원자는 3개의

다른 탄소원자와 sp<sup>2</sup> 결합의 육각형 벌집무늬를 이루며, 이 튜브의 직경이 대략 수 nm 정도로 극히 작기 때문에 나노튜브라고 부르게 되었다. 1992년 Ebbesen, Ajayan 등은 전기방전법을 사용하여 탄소나노튜브를 합성할 때, 챔버내의 헬륨압력을 높일 경우 흑연 음극 상에서 탄소나노튜브의 합성수율이 크게 증가한다는 사실을 발표하였다. 1993년에는 IBM의 Bethune 등과 NEC의 Iijima 등이 전기방전법을 사용하여 직경이 1nm 수준인 단중벽 나노튜브(single walled nanotube; SWNT) 합성을 각각 발표하였다. 이어서 1996년 Smalley 등은 레이저증착법(laser vaporization)으로 직경이 균일한 SWNT를 고수율로 성장시키는 방법을 발표하였고, 이 경우 성장된 SWNT는 bundle 형태로 존재하여 이 형태를 다발형 나노튜브(rope nanotube)로 명명하였다. 1998년에 Ren 등이 플라즈마화학기상증착법을 사용하여 글라스기판위에 수직배향된 고순도의 탄소나노튜브를 합성시킴으로써, 탄소나노튜브의 합성과 응용기술면에서 획기적인 진전을 가져오게 되었다. 그러나 탄소나노튜브가 반도체소자를 구성하기 위해서는 정렬시키는 것이 필요한데, 아직까지도 이 일이 정립되지 않아 탄소나노튜브를 하나하나 조작해야 하기 때문에 실용화 하지 못 하고 있다. 또한 크기에 따라 도체나 반도체가 되기 때문에 동일한 특성을 지닌 탄소나노튜브를 대량으로 제조하는 일이 관건이다. 그림 3은 탄소나노튜브의 몇 가지 예를 보여준다.

(현재 NT와 IT의 융합은 NT를 기반으로 한 IT의 향

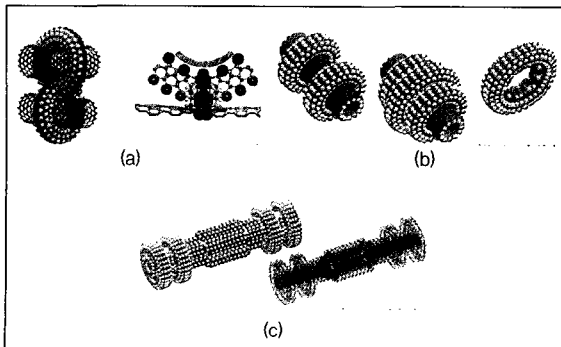


그림. 3 (a) 수직의 carbon nanotube 발판을 위한 주름결합  
(b) 2개의 carbon 동소체를 갖는 Low-friction bearing 집합  
(c) Rigid rod-based nanomechanical gear 집합

상을 목적으로 연구개발이 주로 이뤄지고 있으며 이 때문에 NIT에 속하는 기술군은 IT의 각종장비가 갖고 있는 기능으로 구분이 가능하다. 정보를 처리하는 분야, 전송하는 분야, 저장하는 분야, 표시하는 분야, 그리고 이들 분야에 적용되는 나노소재, 나노공정 그리고 나노기술의 특성 평가분야가 바로 그것이다.

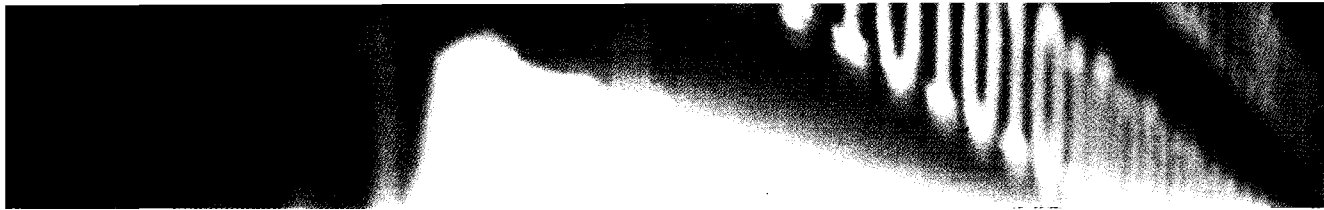
정보처리분야의 NIT 기술로는 반도체 나노소자, 분자일렉트로닉스, 양자 컴퓨팅 등이 있다. 반도체 나노소자는 반도체 물질을 10nm 이하의 나노수준으로 쪼개나가는(Top-down) 기술이다. 반면 분자일렉트로닉스는 분자를 조립해나가는(Bottom-up) 기술이다. 어떤 방식으로든 이 분야의 나노소자 기술이 성공하면 미 국회도서관의 모든 장서, 즉 1천8백만권의 책, 2백50만개의 기록물, 1천2백만장의 사진, 4백50만개의 지도, 그리고 5천4백만개의 원고를 각설탕 크기의 칩 하나에 수록할 수 있다. 양자 컴퓨팅은 나노 수준에서 나타나는 양자현상을 소자에 이용하는 기술이다. 이는 양자컴퓨터의 구현으로 이어진다. 양자컴퓨팅은 동시에 여러 상태를 갖는 '중첩'이라는 특이한 양자현상을 이용한다. 때문에 정보처리가 현재의 직렬식과는 달리 상당한 양의 정보를 한번에 처리하는 병렬식이 가능하다. 즉 양자컴퓨터는 현재의 슈퍼컴퓨터로 수백년 이상 걸리는 계산을 수초만에 풀어낼 수 있다. 이를 유전자 해독이나 기후 예측, 금융 전산과 같은 엄청난정보를 다루는 분야에서 활용하면 손쉽게 데이터를 처리해 정밀한 결과를 예측할 수 있다. 정보전송의 기술 분야에는 양자점 광소자나 나노 광결정 소자, 양자 광통신이 있다. 여기에서 핵심은 다양한 파장의 빛 생성과 양자성질의 응용에 있다. 양자점 광소자는 수십~수백nm 크기의 양자점을 특수 반도체 기판 위에 규칙적으로 배열함으로써 새로운 파장의 빛을 만들어내는 기술이다. 광통신은 한번에 보내는 빛의 파장 수가 많을수록 전송할 수 있는 정보량이 많아진다. 그런데 일반적으로 발생하는 빛의 파장은 물질과 소자의 크기에 좌우된다. 양자점 광소자는 기존보다 다양한 파장의 빛을 생성할 수 있다. 즉 대용량 전송이 가능하다는 말이다. 빛은 직진성 때문에 좁은 공간에서 광신호를 통한 정보전송은 지금까지 이뤄지지 못했다. 이런 까닭에 여

전히 전기적인 방식으로 정보전송이 이뤄지는 경우가 발생한다. 이 점은 전송속도의 향상에 큰 걸림돌이 되고 있다. 이를 해결하는 기술이 나노 광결정 소자다. 소자 구조를 나노 수준에서 결정체처럼 주기적으로 배열하면 광신호의 이동경로를 바꿀 수 있다. 한편 양자 광통신은 기존의 광통신보다 수천만배 빠른 정보전송을 구현할 수 있다. 기존의 광통신은 하나의 정보단위를 빛의 기본 단위인 광양자의 '집단' 또는 패키지로 전송하는 반면 양자 광통신은 광양자 '하나'를 하나의 정보 단위(비트)로 사용할 수 있기 때문이다. 따라서 양자 광통신은 영화 수백만편을 수초만에 전송할 수 있다. 또 한 양자의 특성상 정보에 암호를 실어보낼 수 있다. 이 점에서 정보 보호가 절대적으로 필요한 군사용이나 금융 데이터 전송, 전자 상거래에 활발히 이용될 전망이다.

정보저장 기술 분야에는 나노 자기식 정보저장, 나노 광정보저장, 비휘발성 나노자기메모리가 있다. 나노 자기식 정보저장은 지금의 수백기가비트급에서 10배 이상의 테라비트(1012비트)급으로 저장용량을 늘리기 위한 기술로, 하드디스크와 같은 자기식 정보저장 장치에 나노기술을 도입한다. 그리고 나노 광정보저장 기술은 CD, DVD와 같은 광정보 저장매체의 용량을 늘리는 기술로, CD 5백장 정도를 하나의 저장기기에 수록한다. 비휘발성 나노자기메모리는 현재의 메모리 기술을 대체할 수 있는 차세대 핵심 기술이다. 성능 면에서 플래시 메모리의 비휘발성과 SRAM의 초고속성, DRAM 메모리의 고집적성, 초저소비 전력의 장점을 모두 갖고 있다. 그래서 선진국에서 21세기 주력핵심전자기술로 인식돼 경쟁적으로 개발되고 있다. 여기에는 전자의 스핀을 이용하는 스핀트로닉스 기술과 상변화 매체의 물성을 이용하는 상변화 메모리기술이 있다. 이 기술이 완성되면 우리가 컴퓨터를 켤 때 기다릴 필요 없이 부팅하자마자 바로 컴퓨터 프로그램을 실행하는 것을 경험할 수 있다. 정보표시 분야에서는 모니터에 쓰이는 디스플레이 나노기술과 휴대용 IT 기기에 장착되는 나노 전원소자 기술이 포함된다. 브라운관을 넘어 이제는 LCD, PDP와 같은 평면 디스플레이가 대두되고 있는 가운데 유기EL, FED(Field Emission Display), 디지털 종이와 같은 새로운 개념의 디

스플레이도 등장하고 있다. 유기EL이나 디지털 종이는 기존 평면 디스플레이에서 사용되는 유리 기판 대신 플라스틱 기판을 사용하기 때문에 접거나 말 수 있다. 바로 이 때문에 IT 기기의 소형화와 디스플레이의 대면적화가 서로 상충되는 문제점을 해결할 수 있다. 이와 같은 디스플레이 기술에는 다양한 NT 분야가 동원된다. 나노발광 재료, 나노입자뿐 아니라, 탄소나노튜브의 제작과 배열 공정기술, 화소를 마치 스탬프처럼 찍어낼 수 있는 나노 공정 기술 등이 있다. 휴대용 IT 기기의 운명은 전원인 배터리에 의해 좌우된다 해도 과언이 아니다. 아무리 좋은 휴대폰이라도 배터리의 수명이 짧다면 사용자가 적을 것이다. 나노 전원소자로 현재 연구되는 나노태양전지는 태양에너지로 전원을 공급할 수 있게 함으로써 충전의 번거로움과 휴대폰 배터리의 방전에 대한 걱정을 덜 수 있다. 뿐만 아니라 입는 컴퓨터 등의 전원 장치로도 활용이 가능하다. 나노 태양전지에는 태양에너지를 가급적 많이 흡수할 수 있는 광감응성 재료로 나노입자가 필요하다. 이를 통해 효율을 높일 수 있기 때문이다.

마지막으로 IT에 적용되는 나노소재 및 나노공정, 그리고 특성평가 기술을 살펴보자. IT에 적용될 수 있는 나노소재는 물질의 종류에 따라 고분자 소재, 금속 소재, 반도체 소재, 유전체 소재 등으로 무궁무진하다. 그리고 나노공정은 크기를 줄여나가는 기법에 대한 연구로 리소그래피 기술, 그리고 분자 단위로 크기를 불러나가는 기법의 자기조립공정 기술이 있다. 한편 나노소재나 소자가 우리가 원하는 기능을 가졌는지를 확인하려면 이들의 특성을 평가하는 특수한 장비나 기술이 필요하다. 여기에 속하는 대표적인 장비로는 주사터널링현미경(STM)이 있다. 이 장비는 원래 나노 크기의 표면을 분석하는 도구로 개발이 됐다. 하지만 이후 이 장비로 원자 움직이는 새로운 기법이 개발됨으로써 NT의 신기원을 열고 있다. 나노수준의 특성평가 기술에서 매우 중요한 의미를 갖는다. NIT는 미래의 모든 IT 분야의 고기능 소자에 필수적인 핵심과 기반을 제공할 것이다. 뿐만 아니라 조만간 수천억달러의 세계 IT 소자 기술 시장에서 일정 부분을 점유할 것으로 전망된다. 특히 우리나라와 같은 IT 강국은 앞으로도 이분야에서 세계 경쟁력을 계속 유지·확대하기 위해 NIT의 조기 확보가 절실하게 요구



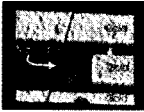

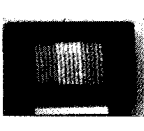
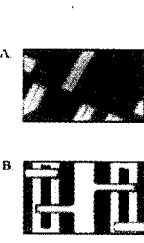
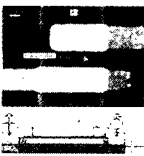
된다. NIT는 소재에서 소자, 시스템에 이르기까지 화학, 물리, 수학 등의 기초 과학, 그리고 전자, 재료, 화공, 기계 등의 응용공학 분야의 학문이 필요하다. 표. 1은 지금까지 발표되었던 나노기술 응용사례를 나타낸 표이다.

## 4. 나노기술동향

나노기술이 최근에 세인의 이목을 끌게 된 것은 1999년 미국에서 발표된 나노기술 연구에 관한 보고서인

NNI(National Nanotechnology Initiative)를 시발점으로 한다. 이 보고서에 따르면 나노기술은 21세기에 미국의 가장 중요한 전략적 과학기술 분야가 될 것이며, 이를 통해 제조, 의약, 국방, 에너지, 운송, 통신, 컴퓨터, 그리고 교육 등 전반적인 분야에 현재의 마이크로기술을 대체할 것이라고 쓰여 있다. 이중에서 가장 먼저 효과가 기대되는 분야가 컴퓨터 소자이고, 가장 막대한 영향을 줄 것으로 기대되는 분야가 의약이다.

표. 1 나노기술 응용사례

Nanotube field-effect transistor		Field-effect transistor(FET)의 채널로서 multi-wall 또는 single-wall nanotubes를 사용하여 nanotube transistors를 제조
Nanotube diode		3개의 금전자선(노란선 A,B,C)과 1nm의 single-Walled nanotube(빨간선)가 서로 연결되어 있다. Nanotube의 반은 도핑되어 있고 반은 도핑되어 있지 않았으며 이와 같은 구조로 다이오드 특성을 보임. [출처:Antonov and Johnson"Subband Population in a Single-Wall Carbon Nanotube Diode"]
Color Nanotube display		삼성에서 만든 carbon nanotubes를 이용한 field-emission display [출처:Choi et al., Applied Physics Letters, 15 November 1999]
Molecular-scale electronics		A. Semiconductor nanowires로 이루어진 다이오드와 트랜지스터를 사용하여 logic AND, OR, NOR, 그리고 XOR circuits 및 logic functions을 형성 B. Carbon nanotube 트랜지스터가 NOT circuit, NOR circuit, static random access memory cell, 그리고 ring oscillator와 같은 logic circuits를 구성하기 위하여 gold로 연결되어 있다. [출처:Cees Dekker et al, Science(2001) 1317]
Logical circuit with Carbon Nanotube transistor		Single-nanotube transistor와 소자의 schematic [출처:Cees Dekker et al, Science(2001) 1317]

### 4.1 미국의 경우

2001년 1월 클린턴 정부는 NNI(National Nanotechnology Initiative) 계획을 발표함으로써 나노 관련 과학과 기술에 대해 범 정부적인 연구개발 정책을 추진했으며, NNI 계획에서는 나노과학과 기술에 6개의 정부부처와 연방기관을 통해 수억 달러를 투자하는 계획으로, 재료, 물리, 화학, 생물 분야 등에 나노스케일 연구 프로그램을 후원하는 미정부 내 다수 기관들의 노력을 나타내는 것이라 할 수 있다.

미국은 나노 기술이 정보통신, 바이오 기술과 더불어 21세기를 주도할 핵심기술로 판단하고 정부차원에서 체계적으로 대비하고 있으며, 일본, 독일과 같은 주요국들도 미국과 같은 인식 하에 2000년부터 정부 주도로 본격적인 투자를 착수하여 새로운 성능을 가진 나노 소재의 개발이 가능하며, 이에 필요한 기술적 분야가 태동되고 있음을 확인하였고, 2001년도「국가 나노기술 과제(National Nanotechnology Initiative: NNI) 착수하여 5개 부분: 구성된 기초연구, 원대한 도전, 우수 센터 및 네트워크, 연구 인프라 구축, 사회적 연계 및 인력으로 나누어 지원하고 있다. 바이오 기술(BT)과 함께 나노 기술(NT), 정보기술(IT)을 중점 지원하기로 하고 2001년에 4억 2천만 달러 투입하였다. 주요 연구 동향으로는 차세대 정보처리 기술 확보를 위한

나노 관련 재료, 공정 기술, 소자 구조 개발, 나노 전자를 효과적으로 modeling 하는 소프트웨어 개발, 나노 크기의 반도체 및, 기타 전자 소재, 표면에 관련한 나노 기술 개발, 나노 크기에서 동작하는 전기회로 배열(array) 제작 기술 및 자기조립기술(Self-Assembly) 을 이용한 와이어링, 나노 제작 기술, 나노 전자, 나노 크기(Nanoscale)의 광전자·자기저장 기술을 산학연 공동으로 개발하고 있다

### 4.2 일본의 경우

일본은 21세기의 핵심 기술인 IT, BT, NT 분야 중에서 미국을 앞설 수 있는 유망 분야로 나노 기술을 지목하고 2000년 12월 총리주재 과학기술회의에서 4대 집중 연구 분야의 하나로서 나노 기술 선정 나노 융합물질 개발과 나노 단위 제조기술 기반 구축을 2001년 중점사업으로 지정하여 정부와 대기업이 나노 기술 분야 연구개발 주도하고 있으며, 일본 정부는 2001년 약 4억 달러를 나노 기술에 지원하였다. 히타치 중앙연구소와 NEC 기초 연구소의 경우 각각, 장기 연구의 25%, 50%를 나노 기술에 투입하고 있으며, NTT 아쯔기 연구소, 후지쯔 양자 소자 연구소, SONY, 후지 필름 등도 일정 부분을 나노 기술에 투자하고 있다. 이들 회사들의 주요 기술 개발 분야는, 초전도체, 나노-바이오 기술, 양자 연산 및 바이오 정보학, 단전자 트랜지스터(SET), 나노 리소그라피, CNT-FED, 양자정보기술 등이며, 일본이 추진하고 있는 나노 기술 중장점 분야로는, 나노분석 및 조작을 위한 주사탐침현미경(STM), 단전자소자와 같은 나노전자공학, 탄소 나노튜브·나노구조체·나노분말과 같은 나노소재, 연산 나노과학 등을 꼽을 수 있고, 몇몇의 나노 구조화된 제품을 생산하는 일본기업들은 이미 상당한 시장을 확보하고 있다

### 4.3 EU의 경우

소재, 소자를 위한「원자 및 분자의 직접 제어」로 나노 기술을 정의하고, EU 내에서의 나노 기술 연구는 국가별 프로그램, 유럽 협력 네트워크, 대기업 등 다양한 방법으로 진행하고 있으며, 2000년 전체 유럽 정부가 나노기술에 투자한 규모는 1억 8,400만 달러, EU 단독으로는

2,900만 달러를 지원하였다. 독일은 에너지, 환경, 정보 및 건강 4대 분야에 연구개발 초점을 맞추고 있으며, 특히 나노 기술을 이용한 instrumentation에 주력하고 있으며, 특히 나노기술을 생물 특성(Animated Nature)을 가진 공정과 무생물 특성(Unanimated Nature)을 가진 공정으로 구별하여 생물 특성을 가진 공정은 자기구성 조직체, 성장하는 기능 단위 등을 이해하여 그 지식을 생명과학 연구 또는 새로운 소재 개발에 적용하는 것으로, 무생물 특성을 가진 공정은 작은 구조체 혹은 새로운 소재의 기초 요소를 계속해서 가공하여 나노미터 크기가 되도록 하는 것으로서, 전자공학, 광전자공학, 센서기술에 기여할 수 있을 것으로 보고 개발하고 있다. 프랑스의 CNRS(Centre National de la Recherche Scientifique)는 약 40 개의 물리연구소, 20 개의 화학연구소에 나노 입자 및 나노 구조화 소재에 관한 연구 프로그램 진행하면서 나노 기술의 집중분야로는 분자전자공학, 밴드갭(band gap)이 큰 반도체 및 나노자성, 촉매, 나노필터, 처방문제, 농화학, 인성이 큰 나노 콘크리트 등이 있다.

### 4.4 한국의 경우

나노 기술 연구기반 구축을 위하여 과학기술부와 산업자원부가 중심이 되어 나노입자 제어기술, 초미세표면과학연구, 극미세구조기술 개발, 분자과학 연구, 테라급 나노소자 개발, 소재(분석) 환경 공정 생체과학 소자/시스템, 고기능 나노복합체 개발 등에 중점을 두고 있으며 정부가 지원하는 나노 기술 관련 연구과제들은 기초기술 개발로부터 응용단계에 걸쳐 있는 반면, 응용 단계에 가까운 개발 연구 이후의 과제들에는 산업체들이 부분적으로 참여하고 있다. 나노 기술은 전자소자를 중심으로 국내에서도 빠른 속도로 산업화되고 있는 추세이다.

WTEC가 분류, 분석한 세계의 나노기술 수준을 바탕으로 국내 기술수준을 분석한 결과(가중치 합)는 표3과 같다(기술수준을 6단계로 구분). 나노 구조체 합성, 바이오나노, 벌크 나노소재 분야는 미국, 일본, EU가 비슷한 기술력을 보유하고 있으며, 일본은 대표 면적 소재 분야, EU는 나노 소자 분야에서 상대적 열세를 보이며, 전체적으로는 미국이 일본과 EU에 비해 우위를 점하고 있다. 우리의 기술력은 선진국에 비해 약 25% 수준이며, 논문,

특히 등에서는 약5% 정도로 절대적으로 열세에 놓여 있는 형편이지만, 세계 최고 수준의 반도체 공정 기술을 확보하고 있으므로 이를 나노 기술 개발에 최대한 활용할 수 있을 것으로 기대되며, 1980년대부터 일기 시작한 소재, 부품에 관한 중요성 인식이 재료 관련 전공자의 풍부한 공급으로 이어졌기 때문에 이들을 나노 기술 전문인력으로 활용할 수 있는 환경이 조성되어 나노 소재 분야에서 큰 기대가 가능할 것으로 생각된다. 현재 국내 나노기술개발업체 및 연구소는 표 2와 같다.

## 5. 결 론

나노기술은 아직 전 세계적으로 초보적 단계이고, 기술의 잠재성이나 적용 분야는 무궁무진한 상황에서 나노기술이 발전되기 위해서는 해결 되어 할 몇 가지 문제점들이 있다. 첫째로 나노 구조를 만들거나 나노 현상을 볼 수 있는 장치의 개발이 선행되어야 한다. 최근 주사형 검침현미경의 개발로 나노과학 연구가 열린 것은 사실이나 더욱 세밀한 나노 현상을 볼 수 있는 기기의 개발과 보급이 이루어져야 할 것이다. 둘째로 새로운 양자현상에 대한 관찰과 응용가능성에 대한 고찰이 필요하다. 즉 기존의 고전 역학이 아닌 새로운 이론 양자역학이 적용되어야 한다. 세 번째로 분자 수준에서 정제된 물질의 합성 방법이 개발되어야 하겠다. 크기가 클 때에는 문제가 되지 않던 불순물이 소자의 크기가 나노 수준으로 작아지

면 그 안에 불순물의 영향이 나타나기 때문이다. 하나 이런 문제점들에도 불구하고 앞으로 미래에는 정보, 환경, 의료, 군사, 재료, 농업 등의 모든 분야에서 나노기술은 적용될 것이다. 더욱이 우리경제의 명암을 좌우하는 초고집적반도체의 경우 이와 같은 나노기술이 없으면 제작이 불가능하며, DNA가 갖고 있는 유전정보의 분석을 통한 생명체의 구조와 활동을 제어하는 것도 나노기술 없이는 불가능하다. 따라서 나노기술은 장기적인 투자가 필요하지만 무궁무진한 파급효과와 응용이 가능한 미래의 기술집약 산업이라 하겠다.

## [참고 문헌]

- [1] 이조원 “나노전자 기술의 전망” 전자공학회지 제 28권 제 1호, pp. 22-29, 2001년 1월
- [2] 김정구 “나노과학과 기술” 계간 과학사상, pp. 231-245, 2002년 춘계
- [3] 정태형 “태양 아래에서 자동 충전되는 입는 컴퓨터” 과학동아, pp. 110-113, 2003년 7월
- [4] 안강호 “나노 기술과 그 가능성” 기계저널 제 43권 제3호, pp. 32-38, 2003년 3월
- [5] 주병권 “MEMS 및 나노 기술 개론” 중소기업청 /KETI 세미나, pp. 1-29, 2002년 7월
- [6] 한치환, 한상도 “센서기술에서의 나노소재 적용 현황” ETIS 분석지 제 24권, pp. 39-51, 2003

[7] David Rotman “The nanotube computer” pp. 37-45, Technology Review, pp. 1-6, March 2002

[8] T.I. Kamins, and R. Stanley Williams “Trands in nano-tech-nology: Self-Assembly and Defect Tolerance” NSF Partnership in Nanotechnology Conference, pp. Jan, 29 & 30, 2001

표. 2 국내 나노기술 개발업체 및 연구소

업 체	업체 기술 동향	비 고
삼성 SDI	CNT FED 분야의 세계기술 선도 (최근 38인치 CNT FED 개발)	SWNT, DWNT
일진 나노텍	CNT 소재 합성 및 판매	SWNT, MWNT 판매
LG전자 / LG Philips	CNT FED 개발중 최근 20인치급 CNT FED 개발	전계방출분야에 응용
삼성전자, 한솔, 우영, 나노퍼시픽	전계방출형 CNT 평면광원 개발중	TFT-LCD의 backlight응용
LG 화학	CNT소재 이용한 연료전지, 2차전지 개발 중	SWNT, MWNT
한화기술연구소 레퍼더스	전자파차폐용 / 정전기방지용 CNT 복합소재 개발	MWNT
PSIA, KETI 표준과학연구원	CNT 팁, 나노센서, 반도체	SWNT, MWNT
이텍시스템	전기방전 설계 및 제어기술 확보	전기방전장치 생산