

나노기술의 최근 동향 및 전망 (1) - 개 황 -

김희중*

한국과학기술연구원

(2005년 1월 20일 받음, 2005년 1월 31일 최종수정본 받음)

I. 서 론

과학기술 측면에서 볼 때 지나간 20세기가 반도체로 대표되는 '마이크로(Micro)시대'라 한다면 21세기는 나노차원을 다루는 '나노(Nano)시대'가 될 것으로 생각되고 있다. 또한 나노기술(Nano Technology, NT)과 더불어 21세기의 3대 핵심기술로 거론되는 '생명기술(BT)', '정보기술(IT)'도 나노기술 없이는 실현이 불가능하다고 예상되고 있다. 즉 인공지능과 같은 정보혁명은 나노소자에 의해 실현 가능하며, 유전자 조작은 나노단위의 조작에 의해 실현될 수 있다는 것이 분명하다.

저명한 미국 금융회사인 메릴린치(Merrill Lynch)사는 인류 문명의 발전역사에서 산업혁명의 원동력은 약 50년마다 등장했던 혁신기술이며 이 혁신기술로 인해 부의 창출이 급격히 이루어졌다고 하였다[1]. 이 회사는 1771년의 섬유, 1825년의 철도, 1886년의 자동차, 1939년의 컴퓨터가 혁신기술로서 등장하여 공업화시대, 정보통신시대를 열었으며 1997년에 본격적으로 등장한 나노기술이 21세기 초 미래사회의 성장동력이 될 것으로 예상하였다. 이와 같이 나노기술은 과학기술적 가치 뿐만 아니라 산업형성을 통해 부를 창출할 수 있는 경제 사회적 가치를 갖고 있다.

나노기술을 통해 우리는 자연계에 존재하지 않는 많은 새로운 구조, 분자 및 물질의 합성을 할 수 있으며, 나노소자 및 나노시스템을 구현할 수 있으므로 그 파급효과는 상상을 초월하게 나타날 것이다. 나노기술은 나노재료 및 소자는 물론 우주항공, 환경, 에너지, 생명공학, 농업, 방위산업, 의료 및 건강분야에 광범위하게 응용될 수 있다.

나노기술은 1980년대 이후 여러 선진국에서 소규모 또는 중규모로 연구되다가 2000년초 미국 클린턴대통령이 국가적 나노기술개발계획(National Nanotechnology Initiative, NNI)을 의회에 제안하고 예산을 요청하면서 전세계적으로 주목을 받았으며 한국, 일본, 유럽 등의 다른 나라들도 곧 국가차원에서 지원하는 연구개발계획을 수립하여 전략적으로 추진 중

에 있다.

본고는 필자가 2004년 12월 한국자기학회 동계 학술발표회에 나노기술에 대한 초청강연 후 여러 회원들에게서 발표자료의 제공요청을 받고 기술해설로 소개할 필요성을 느껴 기고하게 되었다. 본고에서는 자기학 전공자에 필요한 나노기술 뿐만 아니라 생명과학, 정보산업 등 타 분야에 응용되고 있는 나노기술에 관해서도 연구개발 동향을 개괄적으로 소개하고 최근 미국, 일본 등의 선진국들과 국내에서 추진되고 있는 나노기술연구사업들에 대해서도 소개함으로써 자기학과 매우 밀접하게 발전하고 있는 나노기술에 대한 정보를 가급적 심도있게 정리하여 제공하고자 하였다.

나노기술은 매우 광범위한 기술이고 현재 세계적으로 제공되는 관련정보들도 매우 방대하므로 필자는 3회에 걸쳐 나노기술에 대해 소개하고자 하며, 1회에는 개황, 2회에는 외국의 동향, 3회에는 국내의 동향을 중심으로 소개하고자 한다.

II. 나노기술의 개요

2.1. 나노기술의 특징 및 발전역사

나노(nano)는 난쟁이를 뜻하는 고대 그리스어 나노스(nanos)에서 유래되었으며, 1 나노미터(nm)는 10억분의 1m로 머리카락 굵기의 약 10만분의 1 정도이며 수소원자 10개를 나란히 늘어놓은 크기이다.

나노기술은 나노미터 수준에서 물체를 만들고 조작하는 기술을 통칭하는 말로서 보는 시각에 따라 차이는 있으나 '100 nm 이하의 극미세 물질을 조작하는데 이용되는 기술과 공정'으로 정의하는 것이 일반적이다. 나노기술의 극한은 원자 또는 분자를 하나씩 인위적으로 제어하는 것이며 생명이나 물질을 근원적으로 창출하는 방법을 찾아내는 것이라 할 수 있다. 학문적 측면에서는 원자, 분자현상의 해석, 조작, 응용을 물리, 화학, 의학, 전자, 재료 등 여러 분야의 학문 또는 기술이 복합적으로 결합되어야 하는 학제적 연구분야이다. 또한 나노기술은 단순히 기존기술의 연장선상이 아닌 과학기술적 한계를 뛰어넘을 수 있는 혁신형기술로서 새로

*Tel: (02)958-5413, E-mail: hijkim@kist.re.kr

운 기술영역 및 산업을 창출할 수 있는 잠재력이 큰 기술이라 할 것이다.

나노기술은 크게 기존의 가공방식인 재료를 나노미터 수준으로 깎고 다듬어서 소형화하는 탑다운(top-down)방식과 원자나 분자의 수준에서 물질들을 조작하고 만들어 새로운 성질과 기능을 가진 구조체를 형성하는 바텀업(bottom-up)방식으로 구분할 수 있다.

나노기술의 특징으로는 학문간 경계가 없는 학제간 연구, 높은 기술 집약도, 경제성, 환경 친화성, 자연 친화성 등을 들 수 있다. 나노기술은 기존의 물리, 화학, 생물, 재료, 전자 등과 같은 기술분야들을 횡적으로 연결함으로써 새로운 기술영역을 구축하여 기존 인적자원과 학문분야간 시너지효과를 유도한다. 또한 의료건강, 정보통신, 국가안보, 교육, 신소재, 환경 등에 광범위하게 응용되어 분자소자, 나노튜브소자, 바이오칩, 신약, 형광체 등의 새로운 경계학문영역도 확장된다.

나노구조물의 분석, 제어, 합성의 전과정이 극미세수준에서 제어되기 때문에 높은 기술집약도가 필요하며, 이는 21세기에 가장 중요한 핵심 과학기술분야로 한나라의 산업경쟁력을 좌우하게 될 것이다. 또한 개별 원자 혹은 분자를 조작, 제어하여 나노구조체를 제작하면 자원 손실을 최소화하면서 최고의 성능을 구현할 수 있어 경제성이 있으며 기존시장의 대체 혹은 신규시장 창출에 의한 파급효과가 매우 크다고 할 수 있다.

나노기술은 초미세상태에서 나노구조체를 합성하므로 에너지효율의 극대화, 오염발생 방지, 효과적 오염제거 등이 가능하여 환경오염을 최소화 할 수 있고, 궁극적으로는 자연계의

규칙성 및 효율성을 모방하거나 원자 및 분자를 효율적으로 제어하므로 환경친화적인 기술이라 할 수 있다.

나노물질은 크기를 작게 하는 것만으로도 광학적, 화학적, 기계적, 전자기적 특성들이 변화되므로 이를 이용하여 신기능을 보유한 물질들을 개발할 수 있다.

1959년 미국의 리차드 파인만박사가 나노의 개념을 제시한 이래 많은 학술적, 기술적 발전이 이루어져 왔으며, Table 1에 국내외의 주요 나노기술 역사를 정리하여 나타내었다[2].

2.2. 나노기술의 연구영역

나노기술이 연구대상으로 하고 있는 분야는 매우 광범위하지만 나노기술의 연구영역을 나노공정, 나노구조, 나노기능, 나노부품 및 시스템, 나노기반 등의 5가지로 분류하여 Table 2에 나타내었다[3].

2.3. 나노기술의 응용분야

불과 수년전만 해도 나노기술이 무엇인지 모르는 사람들이 대부분이었으나 최근에는 냉장고, 세탁기, 화장품 등에 은나노분말과 같은 신소재를 사용하였다는 광고들이 많이 등장하여 이제는 일반인들도 나노기술에 대한 인식이 높아진 상태라고 보여진다. 예를 들면 하우스세탁기(삼성전자), 디오스냉장고(LG전자)와 같은 백색가전제품은 은나노기술을 이용하여 표백, 살균 및 탈취 등의 효과를 증대한 제품들이고 여성들의 주름을 제거할 수 있다는 아이오페와 같은 화장품, 자외선차단 미백제 및 비누 등도 은나노분말을 이용하여 성능을 향

Table 1. 나노기술의 주요 역사 [2]

연도	주요 발명 및 정책	과학자 및 주관자
1959	미세화경향에 대한 미래 'There is plenty room at the bottom'을 강연	리차드 파인만
1968	물질의 표면에 단일 원자층을 형성할 수 있는 분자빔 표면증착기술 개발	알프레드 조, 존 아서
1974	초정밀 기계제작을 위해 나노기술이란 단어를 제시	노리오 다니구치
1981	개별 원자들의 이미지를 얻을 수 있는 주사 터널링 현미경(STM) 개발	게르트비니히, 뢰러
1985	지름이 약 1nm인 버크민스터 풀러렌 발견 - 나노기술의 대중화 '창조의 원동력 출판'	로버트 쉐 줄리어, 리처드 스몰리 등 에릭 드렉슬러
1986	분자나노기술 개념, 분자기계에 대한 개념 제시 - STM을 이용한 원자 분리 및 수정 실험 성공	AT&T Bell 연구소
1989	개별적인 제논원자로 IBM 로고 제작	IBM, 도널드 에이글러
1990	원자를 이용한 정보기억 입증	IBM, 도널드 에이글러
1991	탄소나노튜브(CNT) 발견	수미오 이치마
1993	CNT의 반도체 응용 가능성 이론적 규명	오시아마
1996	풀러렌 발견 공로로 노벨화학상 수상	스몰리교수팀
1998	CNT를 이용한 트랜지스터 개발	체즈데키
1999	미국 국가 나노기술 개발전략(NNI) 발표	미국 클린턴행정부
2000	양자 신기루 고안	에이글러 등
2001	한국 '나노기술 종합발전계획' 수립	국가과학기술위원회
2002	'나노기술개발 촉진법', '나노기술 발전계획' 발표	한국 과학기술부
2003	'나노기술 개발법' 통과	미국 통상과학교통위

Table 2. 나노기술의 연구영역

대분류	중분류	세부 기술
나노공정	화학적방법	전구체합성, 자기조립, 용액화학, CVD, CVC, 식각
	물리적방법	물리증착, 열분해, 증발-응축, 아크, 식각
	기계적방법	기계적합금화, 강전단변형, 분쇄
	광학적방법	리소그라피, 광합성
	생체적방법	자기복제, 생체모사공정
	기타	기계화학적공정(CMP)
나노구조	0차원 구조체	양자점, 나노분말, 나노석출체(분산체)
	1차원 구조체	양자선, 나노튜브, 극미세사
	2차원 구조체	양자우물, 나노박막, 층상화합물, 표면계질
	3차원 구조체	벌크(치밀체, 다공체), 자기조립체, 복합체
	기타	분산체(자성유체 등), 경사구조체
나노기능	기계적기능	고강도, 고경도, 고인성, 저마찰, 고탄성, 분리
	전자적기능	단전자저동, 전자방출
	자기적기능	스핀저동, 정보저장, 스핀트로닉스
	화학적기능	분자검진, 촉매, 분리막, 수송전달체
	광학적기능	형광, 발광, 분광, 비선형 광학기능
	열적기능	열차폐성, 난연성, 내열성
	생리적기능	분자인식
나노부품 및 시스템	나노소자	단전자소자, 나노CMOS, 스핀소자, 나노 광소자, 분자소자, 생체소자
	나노센서	화학나노센서, 바이오센서, 자기나노센서, 광센서역학센서
	Lap-on-a-chip	바이오칩, DNA칩
	NEMS	나노구동기
에너지시스템	태양전지, 연료전지, 슈퍼캐패시터	
나노기반	측정장비 개발	제어시스템(위치 등)
	나노측정	물성/구조(결함 포함) 및 성분분석
	전산모사	나노수준모사(물성, 기능, 공정)
	인력양성	연구계 및 산업계에 종사할 인력양성, 재교육

상시킨 제품들로 홍보되고 있다. 이 사례들은 나노기술이 일반 소비자들과 유리된 기술이 아니라 일부 기술들은 일상생활에 이미 들어와 있고 앞으로도 일반 소비자들에게 어필할 제품들을 계속 창출할 것이라는 전망을 할 수 있게 한다.

나노기술의 미래 응용분야는 매우 다양하고 광범위한 것으로 전망된다. Table 3에는 미국 국가 나노기술개발전략(NNI)에서 제시한 전자/통신, 재료/제조, 의료, 생명공학, 환경에너지, 국방, 항공우주 등의 나노기술 응용분야들을 나타내었다[4].

III. 나노기술의 시장

나노기술은 앞에서 살펴본 바와 같이 매우 광범위한 기술 영역이며, 현재 상품화가 이루어진 기술이 있는 반면 10년 이후에나 응용이 될 기술들도 많다. 평균적인 나노기술을 기술 발달단계로 볼때 현재 태동기를 지나 성장기 초기에 있는 것으로 평가되고 있으며 2010년경에는 매우 큰 시장이 형성될

것으로 전망되고 있다.

3.1 나노기술의 응용현황 및 전망

나노기술의 시장을 예상하기 위해서는 현존하는 나노기술이 언제 실용화될 것인가를 전망할 필요가 있다. 나노기술을 이용한 메모리반도체, 100기가비트급 하드디스크, PDP, 탄소 나노튜브 등은 이미 실용화단계에 있는 반면 분자소자, 나노 기계전자시스템(NEMS), 생체조직 등과 같은 나노기술은 10년 이후에나 응용될 것으로 전망되고 있다. Table 4에는 여러 자료들에서 제시한 나노기술의 응용동향 및 전망을 정리하여 나타내었다[5,6].

3.2 나노기술 시장전망

나노기술은 현재보다 미래혁신적인 신기술분야이므로 대부분이 아직 상업제품으로 연결되지 못한 상태이다. 이런 경우 기술변화 예측도 곤란하고 시장예측은 더욱 신뢰성이 낮아지게 된다. 따라서 본고에서는 독자적인 시장예측을 하지 않고

외국의 여러 기관들이 제시한 나노기술의 시장전망들을 열거함으로써 나노기술 시장에 관한 정보들을 제공하기로 한다.

미국과학재단(NSF)은 2001년도 보고서[7]를 통해 2010-2015년 내에 나노기술의 세계 시장규모가 1조불을 상회할 것으로 추정하였으며, 그 내용을 Table 5에 정리하였다. 시장측면에서 2010년 이내에 가장 시장이 큰 분야는 나노소재분야로 약 3,400억불로 전망하였으며, 다음으로 향후 2015년 이내에 반도체분야가 3,000억불 규모, 의약분야가 1,800억불 규모가 될 것으로 전망하였다.

Table 3. 나노기술의 응용분야

분야	응용분야 내용
전자/통신	- 낮은 전력소모, 저생산비용을 갖고 백만배 이상의 성능을 갖는 나노구조의 마이크로프로세서 소자 - 10배 이상의 대역폭과 높은 전달속도를 갖는 통신시스템 - 현재보다 용량이 수천배 크고 크기는 작은 대용량 정보저장장치 - 대용량 정보를 수집처리하는 집적화된 나노센서시스템 - 정보저장, 메모리반도체, 포켓사이즈 슈터로봇
의료	- 진단학과 치료학의 혁명을 가능케 하는 빠르고 효과적인 염기서열 분석 - 원격진료 및 생체이식소자를 이용한 효과적이고 저렴한 보건치료 - 나노구조물을 통한 새로운 약물전달시스템 - 내구성 및 생체친화력이 있는 인공기관 - 인체의 질병을 진단, 예방할 수 있는 나노센싱 시스템
생명공학	- 하이브리드시스템의 합성피부, 유전자 조작/분석 - 분자공학으로 제작된 생화학적으로 분해가능한 화학물질 - 동식물의 유전자 개선 - 동물에의 유전자와 약물 공급 - 나노배열 기반 분석기술을 이용한 DNA분석
환경/에너지	- 새로운 배터리, 청정연료의 광합성, 양자태양전지 - 나노미터 크기의 다공질 촉매제 - 극미세 오염물질을 제거할 수 있는 다공질물질 - 자동차산업에서 금속을 대체할 나노입자강화 폴리머 - 무기물질, 폴리머의 나노입자를 이용한 내마모성, 친환경 경성 타이어
국방	- 무기체계의 변화 (소형, 고속, 장거리 이동) - 무인 원격무기 (무인 잠수함, 무인 전투기, 원격센서시스템) - 은폐(Stealth) 무기
재료/제조	- 기계가공을 하지 않고 정확한 모양을 갖는 나노구조 금속 및 세라믹스 - 분자단위에서 설계된 고강도의 소재, 고성능의 촉매 - 뛰어난 색깔을 갖는 나노입자를 이용한 인체 - 나노크기를 측정할 수 있는 새로운 표준 - 절삭공구나 전기적, 화학적, 구조적 응용을 위한 코팅
항공우주	- 저전력, 항방사능을 갖는 고성능 컴퓨터 - 마이크로 우주선을 위한 나노기기 - 나노구조 센서, 나노전자공학을 이용한 항공전자공학 - 내열, 내마모성을 갖는 나노코팅

미국의 NanoBusiness Alliance는 나노기술 관련제품이 연 30% 이상의 성장을 보이며 반도체를 제외한 나노기술산업의 세계 시장규모는 2010년에 1조불에 이를 것으로 추정하였다.

일본 히타치총합연구소의 나노기술전망보고서에 따르면 바이오 관련제품분야를 제외하고 나노기술시장은 2005년에 약 9.8조엔(약 900억불)이지만 2010년에는 폭발적인 성장세를 보여 133조엔(약 1.2조불)이 될 것으로 전망하였다. 특히 2010년에는 IT 및 나노소재분야가 50.6%, 공정/재료분야가

Table 4. 나노기술의 시기별 응용현황 및 전망 [5,6]

시기	주요 나노기술
현 재	<ul style="list-style-type: none"> IT분야 : Memory semiconductor, FRAM, GMR-MRAM, GMR/TMR Sensor, PDP, OLED BT분야 : Drug delivery system, Lap-on-a-chip, X-ray contrast agents 기타 : Ultra-precision processing, SPM nano-analysis-Nano-particle colloids, Nano-particles for tyres, CNT Functional coatings, Anti-reflection coatings, Nano-membranes, Photo-catalyst
10년 이내	<ul style="list-style-type: none"> IT분야 : 10GB Memory semiconductor, TMR-MRAM, CNT-FED, Millipede, Terra bit HDD, Photonic waveguide Super broadband electronic devices, 3D LSI, Single electron transistor, CNT devices, Flexible display BT분야 : Advanced drug delivery system, Lap-on-a-chip, Intelligent bio-sensor, Bio-materials Magnetic hyperthermia with functionalized nanoparticles 기타 : X-ray optics, Diode laser, Interference parts(car) Magnetic fluidics, Carbon nanotube fiber, Nano-wire Fuel cell, Nanostructured hydrogen storage Nanoscale composite materials
10년 이후	<ul style="list-style-type: none"> IT분야 : Molecular electronics, Spintronics BT분야 : Tissue engineering, Molecular sensor detection 기타 : Nano-electro-mechanical system(NEMS) Quantum dot solar cells, Switched paints

Table 5. 미국과학재단의 나노기술 주요분야별 파급효과 분석 [7]

	파 급 효 과
소재	- 향후 10년 이내에 연간 3,400억불 시장 형성 - 기존공법으로는 만들 수 없는 고기능, 고성능재료 생산
반도체	- 향후 10-15년 이내에 연간 3,000-3,500억불 규모로 확대
의약	- 향후 10-15년내 연간 1,800억불의 시장 형성 - 전체 의약품 생산의 50%가 NT제품으로 전환
화학/정유	- 향후 10-15년내 연간 1,000억불의 시장 형성 - 석유정제 및 화학플랜트에 나노구조 촉매 적용 확대
운송	- 항공기의 경우 향후 10년 이내 연간 700억불 시장 형성 - 자동차, 철도, 항공기 등에 나노소재 및 나노전자부품 장착 확대
환경/농업	- 작물 수확량 확대, 수질정화, 태양에너지 변환효율 향상 - 연간 1,000억불의 비용절감 및 연간 2억톤의 탄소배출량 감소효과 예상

Table 6. 세계의 나노기술 시장규모 전망 (히타치 종합연구소) [5]

분	야	2005년		2010년	
		시장(조엔)	비율(%)	시장(조엔)	비율(%)
정보/전자		2.65	27.1	67.2	50.6
공정/재료		1.59	16.3	41.6	31.3
계측/가공/모사		1.28	13.1	5.2	3.9
환경/에너지		0.56	5.7	6.1	4.6
항공우주		2.93	30.0	8.8	6.6
생명과학		0.70	7.2	3.8	2.9
농축산 등		0.06	0.6	0.2	0.2
총 계		9.77	100	132.9	100

31.4%를 차지하여 2개 분야가 성장속도와 시장규모면에서 나노기술의 주력분야가 될 것으로 예상하였다. Table 6에는 히타치의 세계시장 전망자료를 나타내었다[5].

다음에는 일본의 나노기술 시장에 관해 정리해 보기로 한다. Table 7에는 일본의 미쓰비시 종합연구소에서 조사한

2005년, 2010년의 일본에서의 나노기술 응용분야 및 시장을 나타내었다[8]. 2005년 일본의 나노기술 전체시장은 약 8.5조엔 규모로 예상되고 있으며, 응용분야별로 살펴보면 가장 시장이 큰 분야는 전자분야로 4.27조엔 규모이며, 다음으로 공정기술 2.85조엔, 의료 및 제약분야 5,145억엔, 마이크로머신 5,020억엔, 원재료 1,459억엔, 케미칼분야 1,164억엔, 바이오분야 1,059억엔 순으로 전망되고 있다. 이중 원재료는 2005년에 지능재료 1,026억엔, 분자전자분야 290억엔, C60 및 탄소나노튜브 143억엔으로 전망되고 있다. 나노재료분야로 전체로는 2005년 고밀도 자성재료 2조 7,075억엔, 광메모리재료 1조 313억엔을 포함해야 하므로 전체가 3조 8,847억엔으로써 전체의 45.7%를 차지하고 있다. 이 자료에서는 나노재료의 단기적 시장이 주로 자기 및 광정보 저장재료가 될 것으로 예상하고 있다.

2010년 일본의 나노기술 전체시장은 연평균 17.6%로 성장하여 약 19.1조엔 규모로 예상되고 있으며, 응용분야별로 살

Table 7. 일본의 나노기술 시장 전망 (미쓰비시 종합연구소) [8]

(단위: 억엔)

Field	Nanotechnology	Year 2005	Year 2010	growthrate(%)	
A	Raw material				
	Fullerene/Carbon Nanotub	143	292	15.3	
	Intelligent material	1,026	1,139	2.1	
	Molecular electronics	290	2,213	50.1	
	Sub-Total	1,459	3,644	20.1	
B	Chemical				
	High selectivity catalyst	581	680	3.2	
	Photocatalyst	583	1,826	25.7	
	Sub-Total	1,164	2,506	16.6	
C	Electronics				
	Quantum devices	282	1,380	37.4	
	High-density magnetic material	27,075	95,813	28.8	
	Optical memory material	10,313	17,063	10.6	
	Super memory	5,051	16,309	26.4	
	(Sub-Total)	42,721	130,565	25.0	
D	Processing Technology				
	Machine for thin-film manufacturing	1,875	1,875	0.0	
	Machine for semiconductor manufacturing	24,450	31,950	5.5	
	Super precise processing machine	2,025	2,963	7.9	
	Machine for inspection	137	368	21.8	
	(Sub-Total)	28,487	37,156	5.5	
	Sub-Total (= C + D)	71,208	167,721	18.7	
E	Robots	Micromachine	5,020	7,723	9.0
F	Automobile	-	-	-	
G	Medical care /Pharmaceutical				
	Molecular designed protein	153	178	3.1	
	Medicine for gene therapy	4,346	4,510	0.7	
	Gene diagnosis	359	1,071	24.4	
	Micromachine for medical use	287	1,200	33.1	
	Sub-Total	5,145	6,959	6.2	
H	Biotechnology				
	Bioreactor	616	1,387	17.6	
	Biosensor	443	1,193	21.9	
	Sub-Total	1,059	2,580	19.5	
	Total	85,055	191,133	17.6	

해보면 가장 시장이 큰 분야는 역시 전자분야로 13조엔 규모이며, 다음으로 공정기술 3.7조엔, 의료 및 제약분야 약 7,000억엔, 마이크로머신 7,700억엔, 원재료 3,600억엔, 케미칼분야 2,500억엔, 바이오분야 2,580억엔이 될 것으로 전망되고 있다. 이중 원재료는 2010년에 지능재료 1,139억엔, 분자전자분야 2,213억엔, C60 및 탄소나노튜브 292억엔으로 전망되고 있다. 나노재료분야로 전체로는 2010년 고밀도 자성재료 9조 5800억엔, 광메모리재료 1조 7000억엔을 포함하여 전체가 11조 6,500억엔으로써 전체의 약 61%를 차지하고 있다. 이 자료에서는 결국 2010년까지는 나노재료가 나노기술 시장의 주력시장이 될 것임으로 시사하고 있다.

2010년까지 각 응용분야별 성장률을 보면 전자분야가 연평균 25%로 가장 높고, 원재료 20.1%, 바이오분야 19.5%, 케미칼 16.6%, 마이크로머신 9%, 의료 및 제약분야 6.2%, 공정분야 5.5% 순이 될 것으로 예상되고 있다.

결론적으로 미쓰비시 종합연구소의 시장자료는 2010년까지 나노기술 시장은 전자분야, 특히 전자재료를 중심으로 확대될 것이라 전망하고 볼 수 있다.

Table 8에는 일본의 히타치 종합연구소가 2005년 및 2010년 일본의 나노기술 시장을 예측한 결과를 나타내었다. 이 자료는 2005년 일본 나노기술 전체시장이 2.4조엔 규모, 2010년에는 2005년의 10배 이상인 27.3조엔 규모가 될 것으로 예상하고 있다. 이는 앞의 미쓰비시 예측결과와 비교해 볼 때 2005년은 약 30%로 작지만 2010년에는 약 1.5배로 커질 것으로 예상하고 있다.

2005년에는 정보전자분야가 전체의 37.5%인 0.9조엔으로 가장 시장이 큰 분야이며, 다음으로 공정/재료분야 0.5조엔(20.8%), 계측/가공분야 0.6조엔(25%) 순으로 되고 있다. 2010년에는 정보전자분야가 더욱 커져 전체 27.3조엔의 50.9%인 13.9조엔이 되고 다음으로 공정/재료분야 9조엔(33%), 계측/가공분야 2.1조엔(7.7%), 환경 및 에너지분야 1.6조엔(5.9%) 순이 될 것으로 전망되고 있다. 결국 이 자료도 2010년에 나노기술 시장은 정보전자분야와 공정/소재분야가

주도하는 시장이 될 것이라 전망하고 있다.

3.3 응용분야별 시장 수요예측 및 전망

본항에서는 VMTech사가 2003년도에 조사보고한 'Nanotechnology Market and Company Report'에 수록된 응용분야별 시장동향을 간단히 소개한다.

3.3.1 나노소재

나노소재는 소재의 결정립, 두께, 직경 크기가 나노단위 수준으로 미세화되도록 물리, 화학적 방법을 통하여 제조한 소재로서 탄소나노튜브와 같은 신소재 뿐만 아니라 기존의 카본블랙, 염료 및 안료 등 다양한 소재로 구성된다. 나노소재의 세계시장은 2002년 218억불에서 2003년 229억불로 되고, 2004년 242억불, 2005년 259억불, 2006년에는 288억불이 될 것으로 전망된다. 현재까지의 시장은 염료와 안료, 카본블랙 등 전통적 소재들이 주도하여 2002-2006년간 연평균 7% 성장이 예상된다. 그러나 탄소나노튜브, 고분자 나노복합체 등과 같은 신소재들은 연 200% 이상의 성장세를 나타낼 것으로 전망된다.

3.3.2 나노소자

나노소자 세계시장은 현재 하드디스크 드라이브가 주도하고 있으며, 2002년 347억불, 2003년 399억불, 2004년 459억불, 2005년 530억불, 2006년 612억불로 예상되어 이 기간 중 연평균 9%대의 성장이 예상되고 있다. 향후에는 OLED와 같은 디스플레이소자, 메모리소자, 양자점 레이저, 단전자소자와 같은 새로운 나노소자의 신장이 예상된다.

3.3.3 나노바이오

나노바이오 시장은 관상동맥 확장술용 스텐트, DNA칩, 단백질칩, 랩온어칩 등이 중심이 되고 있으며, 2002년 33억불, 2003년 40억불, 2004년 53억불, 2005년 62억불, 2006년 76억불이 예상되어 연평균 24%의 성장률이 전망되고 있다.

Table 8. 일본의 나노기술 시장규모 전망 (히타치 종합연구소) [5]

분	아	2005년		2010년	
		시장(조엔)	비율(%)	시장(조엔)	비율(%)
정보/전자		0.9	37.5	13.9	50.9
공정/재료		0.5	20.8	9.0	33.0
계측/가공/모사		0.6	25.0	2.1	7.7
환경/에너지		0.1	4.2	1.6	5.9
환경 에너지		0.1	4.2		
생명과학		0.1	4.2	0.7	2.6
농축산 등		0.1	4.2		
총 계		2.4	100	27.3	100

IV. 나노기술의 정부지원 동향

2000년 1월 미국 클린턴대통령이 발표한 미국 국가 나노기술개발전략(NNI)는 세계 주요국들의 나노기술 개발정책을 자극하여 한국(2001. 7), 일본(2001. 9), EC(2002. 3), 독일(2002. 5), 중국(2002. 7), 대만(2002. 9) 등의 나라들이 국가적 나노기술개발전략을 수립하게 만든 계기가 되었다.

나노기술이 21세기 신산업혁명을 촉발시킬 것이라는 기대와 함께 세계 주요국들은 최근 수년 동안 연구개발예산을 증대시켜 왔으며 향후 수년간 나노기술 주도권을 확보하기 위

Table 9. 세계 주요국가별 나노기술 예산동향 [2](단위: 백만불)

국가	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
서유럽	126	151	179	200	225	400	650
일본	120	135	157	245	465	720	800
미국	116	190	255	270	465	697	774
기타	70	83	96	110	380	550	800
계	432	559	687	825	1,535	2,367	3,024
한국					88	177	208

한 각국간의 경쟁은 더욱 심화될 것으로 전망된다. 현재 정부가 주도적으로 나노기술을 개발하는 국가는 선진국들 뿐만 아니라 아시아, 동유럽, 이스라엘 등 30여개국에 이르고 있다.

세계 주요 국가들의 나노기술 예산동향을 Table 9에 나타내었다[2]. 2000년 나노기술 예산은 전세계적으로 8.25억불이었던 반면 2003년에는 30.2억불로 약 4배 증가하였다. 특히 한국을 비롯한 개도국들의 예산 증가율이 가장 높게 나타나고 있다.

미국은 나노기술 개발을 위해 2001년 4.64억불, 2003년 7.74억불을 투입하였으며 2004년도에는 8.47억불의 예산을 투입하여 인프라 구축, 기초연구활동 지원, 나노기술센터 설치 및 네트워크 구축분야 등 4대 분야에 집중투자하고 있다.

미국은 2003년 5월 HR766(Nanotechnology T&D Act of 2003)을 하원에서 통과시키는 등 2004-2008년간 47억불 이상을 나노기술개발에 투자하기 위한 준비를 끝냈다.

일본은 2001년 경단련의 n-Plan21을 시작으로 종합과학기술회의에서 나노기술/재료분야 추진전략 수립을 통해 목표를 설정하고 2001년 4.65억불, 2003년에는 약 8억불을 나노기술 분야에 투입하고 있다.

EU는 FP6(6차 Framework Programme)에서 2002-2006년 5년간 나노기술의 개발에 약 10억불 이상의 예산을 배정하고 있다.

2003년 전세계 나노기술 투자비는 30억불에 이르고 있으며, 1997-2001년 사이에 약 3.5배의 대폭적인 증가가 이루어졌는데 이는 선진국 국가예산 중 가장 높은 비율의 증가를 의미하는 것이다.

우리나라는 2001년 7월 국가과학기술위원회에서 10년간(2001-2010) 1조 4850억원을 투자하는 '나노기술종합발전계획'을 수립하고 현재 연구개발, 인력양성, 장비확충 및 인프라 구축 분야로 나누어 단계별, 연차별로 추진하고 있다. 2001년에는 1052억원, 2003년에는 2,496억원의 예산을 투입하여 나노기술을 개발하고 있다. 2002년 나노기술개발촉진법, 2003년 나노기술개발촉진법 시행령이 발효되어 법적인 지원을 공고히 하였다.

우리나라의 나노기술 수준은 선진국들에 비해 30-40% 수준으로 분석되고 있으며, 점차 세계수준과의 격차를 좁혀나가고 있다. 현재 미국은 전반적으로 나노기술분야의 기술적 우

위를 점유하고 있으며, 약세분야로는 일본이 대표면적 소재분야, EU가 나노소재분야로 나타나고 있다. 나노 구조체 합성, 바이오 나노, 벌크 나노소재분야는 미국, 일본, EU가 비슷한 기술력을 보유하고 있다.

V. 결 론

나노기술은 21세기를 주도할 미래혁신기술로서 자체적으로도 중요할 뿐만 아니라 정보통신, 생명과학, 환경, 국방 등 다른 산업들의 혁신을 위한 기반이 된다는 점에서도 매우 중요한 핵심기술이다. 나노기술은 기술범위, 응용분야가 매우 넓고 기존의 기술과 혁신적 기술이 혼합되어 있는 기술의 성격상 시장규모를 파악하는 것이 곤란하지만 여러 자료들에서 공통적으로 2010년경 세계시장이 1조불 규모가 될 것으로 전망되고 있고, 그 시장의 주도적 분야가 나노소재와 나노소재분야라는 데는 이론의 여지가 없다.

나노기술이 21세기 신산업혁명을 촉발시킬 것이라는 기대에 따라 세계 주요국들은 최근 수년 동안 연구개발예산을 증대시켜 왔으며 향후 수년간 나노기술 주도권을 확보하기 위한 각국간의 경쟁은 더욱 심화될 것으로 전망된다.

우리나라는 나노기술의 적용이 필수적인 반도체 및 평판형 디스플레이의 세계 최대생산국이므로 일찍 나노기술의 중요성을 인식하고 21세기에 들어서자마자 국가적인 나노기술개발 종합계획을 수립하고 전폭적인 예산지원을 하고 있다. 따라서 나노기술은 우리나라에서 다른 선진국가들에 크게 뒤떨어지지 않고 특정분야에서는 기술우위를 점할 가능성이 높다고 생각된다.

앞에서 살펴본 바와 같이 나노기술의 개발을 주도하는 분야로 하드디스크 드라이브, MRAM, Spintronics, 나노자성분말 등 자기학에 관련된 기술들이 많으므로 자기학계에 종사하는 전문가들은 나노기술의 변화동향에 항상 주목하여 그 흐름을 이용할 필요가 있다. 특히 새로운 장비나 공정기술, 분석평가기술의 경우는 자기학 연구자들에게 큰 도움을 줄 수 있으므로 각별한 주의가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] Norman Poire, Merrill Lynch Report.
- [2] 한국과학기술정보연구원, 나노기술연감 2003, 2004년 6월, p.10.
- [3] 과학기술부, 나노기술 종합발전계획, 2001년 7월.
- [4] 미국 국가과학기술위원회, National Nanotechnology Initiative, 2000년 1월.
- [5] 日立總研, 나노기술전망보고서.
- [6] German Innovation Initiative for Nanotechnology.
- [7] M. C. Roco, NSF Report, 2001년 8월.
- [8] 미쓰비시 종합연구소, 나노기술동향보고서.