나노기술에 대한 연구개발 동향 조사

The survey on the research trend for nanotechnology

박찬복, 유경화

< 目 次 >

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 나노기술의 개요
Ⅲ. 선진 연구개발 동향
Ⅳ. 국내 연구개발 동향
Ⅴ. 분석결과
Ⅵ. 결론 및 제안

< Abstract >

Nanotechnology arises from the exploitation of physical, chemical,and biological properties of systems that are intermediate in size between isolated atoms/molecules and bulk materials, where phenomena length scales become comparable to the size of the structure. In addition nanotechnology implies direct control of materials and devices on molecular and atomic scale, including fabrication of functional nanostructures with desired properties, synthesis and processing of nanoparticles, self-assembly, use of quantum effects, etc. This article is a collection of informations of trend of research and development in the field of nanotechnology in U.S., EU, Japan and Korea. And we would like to include some idea to decide the direction and the strategy for the investment for nanotechnology.

Ⅰ. 서론

지식기반-정보고도화 사회로 진입하면서 초고속의 정보전달은 필수적이며 , 이러한 정보전달 매체에 대한 기존의 기술에 의한 고집적화는 이제 한계에 이르러 새로운 기술과 소재의 개발이 필요하게 되었으며, 그때문에 100 nm 이하의 크기를 가지는 물질을 시작으로 소재나 장치를 제작하여 기존의 소자가 가지고 있는 기술적 장벽을 뛰어넘으려는 것이 나노기술이다. 나노기술에서 다루는 소재를 재료과학이나 전자공학, 생명공학, 환경/에너지 분야에 응용할 경우 획기적인 변화가 예상되므로, 선진 각국에서는 이 분야의 연구개발 투자를 확대하고 있고 국내에서도 나노기술 분야에 대한 집중적인 연구개발 투자를 기획하고 있다. 나노기술에 대한 연구개발은 아직 세계적으로 초기성장단계이지만, 미국은 하부구조구축과 아울러 미래를 위한 다양한 투자를 하고 있고 일본은 80년대에

나노재료에 대한 많은 투자에 이어 현재는 나노소자에 더 중점을 두고 있으며, 독일의 경우는 전통적으로 강한 환경과 에너지 기술분야의 개선을 목표로 기반기술에 투자를 하고 있다. 이와같이 각나라가 자국의 실정에 맞고 국제적 경쟁력을 유지할 수 있는 쪽으로 연구방향을 잡고 있으므로, 나노기술에 대한 국내의 연구개발 투자도 연구개발 능력과 지금까지 축적된 경험을 최대로 활용할 수 있도록 하면서, 산업기술과의 연계성을 고려하여 경쟁력을 유지할 수 있는 방향으로 연구개발 투자의 목표를 정해야 될 것이다. 이러한 배경에서 국내외 연구개발 현황을 살펴보고 연구개발투자의 기본방향 설정을 위한 아이디어를 제시하려는 것이 본 발표의 목적이다.

II. 나노기술의 개요

나노기술이란 나노미터의 규모로 원자, 분자를 조작·제어하거나, 물질의 구조나 배열을 제어하는 것에 의해 나노 크기 특유의 물질 특성을 실현하고 이를 이용하여 새로운 기능, 뛰어난 특성을 구현하는 기술을 총칭한다. 이러한 나노기술에 의해 지금까지의 전자공학, 재료, 화학, 기계 등의 상식을 넘은 새로운 개념이나 신소자, 신물질 등이 차례로 발견되고 있고 정보통신, 소재, 의료, 가공 등 여러분야에서 혁신적인 신기술 발전이 기대되고 있다. 나노 크기에 도달하는 방법은 기술적으로 두가지로 분류할 수 있다. 하나는 미세화, 정밀화를 나노미터의 극한까지 추구하여 가는 소위 top-down 방식이고 또 하나는 원자나 분자를 하나하나씩 조합하거나, 조직이나 배열을 정밀히 제어하여 새로운 기능을 구현시키는 소위 bottom-up 방식이다. Top-down의 예로는 극미세 기술의 대표격인 반도체 집적회로(LSI)를 들 수 있다. LSI 개발은 이제 양자효과를 무시할 수 없는 나노미터 수준의 세계로 돌입하고 있다. 지금까지의 속도로 미세화가 진행된다면, 선폭이 70 nm이하가 되는 5~10년 후에는 해결책을 찾을 수 없는 여러가지 기술적 장벽에 직면하게 된다. Bottom-up의 예로는 주사형 터널링 현미경(STM)을 조작하여 원자를 하나씩 임의의 배열로 나열하는 기술을 들 수 있으며 현재 이 기술을 이용하여 극소의 transistor를 제작하는 것도 성공단계에 있다. 그러나 이 경우의 문제는 현재의 LSI와 같이 수천만개 정도의 소자회로를 단시간에 저가로 제조할 수 없다는 것이다. 이 영역에서는 생명체가 DNA에 의해 미리 주어진 정보에 따라서 임의의 구조를 지극히 질서있게 효율적으로 성장시키는 것과 같은 자기조직화(self assembly) 메커니즘의 활용이 필수적일 것으로전망되고 있다. 생명체와 같은 고도의 복잡한 자기조직화는 지금으로서는 지극히 어려우나, 금속이나 반도체 등의 무기물질 혹은 고분자 등의 유기물질에 특정한 조건을 주면 미리 의도한 대로의 결정성장이나 구조형성을 얼마나 잘 활용할 수 있는가 하는 것이 bottom-up 기술확립의 중요한 열쇠이다. 나노기술의 분류는 기술의 요소별로 나노소자, 나노소재, 나노측정 등으로 분류하거나 기술의 응용분야 별로 정보통신, 생명공학, 환경/에너지 등으로 분류하거나, 예산지원의 성격에 따라서 기초연구, 원대한 도전, 네트웟 구축, 인프라 구축, 인력 양성 등으로 나누어지며 각국의 연구개발 방침에 따라서 분류의 형태가 다르다.

III. 선진 연구개발 동향

1. 미국의 사례

미국의 국가나노기술제안(NNI) 보고서에는 인프라 구축 부분을 2001년 최우선 예산배정 분야로 지정하고 있으며, 균형잡힌 인프라 구축을 목표로 하고 있으며 투자분야로는 측정 및 표준, 장비개발, 모델링 및 전산모사 능력, 나노기술 개발에 필요한 고가의 장비들을 필요한 사람들이 효율적으로 이용할 수 있는 시스템을 구축하는 R&D용 공동시설구축과 시설장비 이용 프로그램, 필요한 전문인력의 양성과 나노기술에 대한 전반적인 기초지식을 일반인에게 확산시키는 교육 프로그램, 관련 법규나 규격제정 등의 사회적 확산프로그램까지 넓은 영역을 포함하고 있다. 측정 및 표준 분야는 상무성 산하의 NIST를 주축으로 관련 분야 기관과 협력하도록 하였으며 장비 부분은 산학연 협력과 공동연구 필요성을 강조하였다. NSF, DOD, DOE, NASA는 대학들에 장비 인프라 구축을 하도록 하고 공동연구시설은 국립연구소와 NSF가 지원하는 대학의 연구센터의 장비를 근간으로 한다. 미국은 국가과학기술자문회의 기술위원회에서 국가나노기술제안에 따라 2000년 1월 클린턴이 국가선도기술로 선포하는 예산요청 연설을 통하여 의회를 통과한 기술개발 예산의 현황은 표1.과 같으며 우선 투자분야가 표2.에 나타나 있다.

〈표 1〉 미국의 2001년 나노기술 개발 지원계획

〈표 2〉 국가나노기술 제안에 따른 2001년도 우선 투자분야

구 분	지원 내용	금액(백만불)
기초연구 지원	-기초적 창조적 연구지원 -개인,소그룹 단위 연구지원 등	170 (△ 83)
원대한 도전 프로그램 (장기핵심기술 전략목표)	-고온·고강도 나노소재 -해수 담수화 등	140 (△ 69)
우수센터 넷트웍 구축	-넷트웍 구축 -장비 및 기법 개발 -나노기술 연구센터 설립	77 (△ 30)
연구 인프라 구축	-기술이전 촉진 등을 위한 효율적 인프라 구축 등	80 (△ 30)
나노기술의 사회적 연계강화 및 인력의 교육훈련	-나노기술 교육과정 개발 -나노기술의 사회적 연계	28 (△ 13)
합 계		495

투자분야	투자액	지원 내용
측정 및 표준화	1,000만 $	- 길이질량, 화학조성, 전기 자성 및 물성을 원자 scale로 측정 - 단원자 분자 수준의 물질반응 이해를 위한 측정기법 - 나노기반 상품 품질 보증을 위한 표준 소재,표준자료, 해석방법, 표준화 방법 - 신원리 측정기술개발과 산업이전
장비/장치	3,000만 $	- 나노기술 연구개발 제조공정장비 개발 - 나노 구조체 평가장비 - 기존 연구센터, 컨소시움 능력향상을 위한 장비지원 - 컴퓨터 네트워크와 전문인력 및 DB 제공
모델링 및 전산모사	1,500만 $	- 다른 학문영역 및 분야 종사그룹간의 공동연구장려 - 기본적인 이해, 나노 수준에서의 신현상, 나노구조체의 현상에 대한 모델링 및 전산모사 - 새로운 소재 및 소자를 창제하기 위한 전산모사 및 설계소프트웨어 - 공정제어 및 분자제조를 위한 소프트웨어, 전산모사
사용자 시설	2,500만 $	- 나노기술 전용기기를 구비한 다중사용자 국립센터와 네트워크 지원 - 시너지 효과를 위한 기초/기술 연구 통합 - 정보공유
인력양성	2,800만 $	- 기존 및 신규공학과정에 나노과학 공학개념도입 - 차세대 연구인력양성을 위한 나노기술센터 및 네트워크 - 산업 기술 교육훈련 프로그램 운영 - 학생 및 박사후 과정지원

2. 유럽의 사례

유럽에서 나노기술이라는 용어는 재료와 소자에 대해 '원자와 분자의 직접적인 조절 기술'로 정의된다. 연구 추진체계는 유럽연합의 각 국가별 프로그램과 유럽공동체 협력 프로그램 및 네트워크와 대기업들이 연합되어 있으며 나노기술연구와 관련된 공동연구프로그램이 있으며, 국가별로도 특징적으로 나노기술 연구사업에 투자를 하고 있다.

1) 독일

연방교육과학연구기술부(BMBF)에서 나노기술에 대한 지속적인 국가적 지원을 하고있으며 Fraunhofer 연구소, Max- Planck 연구소 그리고 몇몇 대학들이 이 분야에서 최우수 연구집단을 형성하고 있다. 1997년 기준 BMBF의 나노기술 관련 예산은 1년당 약 5,000만 $ 수준이다. 주정부와 연방 정부가 5,000만 $의 예산지원을 하여 Bonn에 설립된 과학센터의 1/3이 나노기술개발에 투자될것으로 알려져있으며 탄소강화재료에 대한 새로운 연구기관의 설립을 위해 3년간 400만 $의 예산을 투자할 계획이다. 또한 BMBF는 1998년부터 초정밀 제조를 위한 분자구조를 연구하는 5개의 나노기술센터를 발족시키고 있다.

2) 영국

영국에서는 네트워크 프로그램(LINK nanotechnology programme)이 1988년 매년 200만

$의 예산으로 시작되었다. EPSRC(Engineering and Physical Science Research Council)에서 1994년부터 1999년까지 5년간 700만$의 예산으로 나노기술과 관련한 재료 연구에 투자한바 있다. NPL(National Physical Laboratory)은 대학과 산업체 그리고 정부 연구기관의 나노기술 촉진을 위한 NION(National Initiative on Nanotechnology) forum을 개최한 바 있다.

3) 네델란드

네덜란드에서 가장 활발한 연구기관은 예산의 1/3을 산업체에서 받는 Delft 대학의 DIMES 연구소와 monolayer 제작 및 미세 patterning으로 유명한 Eindhoven에 있는 Phillips 연구소이다.

3. 일본의 사례

일본에서는 나노기술의 광범위한 분야에 있어서 독창성이 높은 연구개발이 일찍이 진행되어왔다. 나노기술 분야의 목표는 "21세기형 제조기술, 공정기술 등의 새로운 기술체계 구축을 통해서 일본의 경제사회의 비약적 발전을 목표로 하여 전체적으로 일본이 강한 분야를 보다 강하게 하여 산업기술력이 강화됨과 동시에 일본이 세계 과학기술에 공헌할 수 있는 분야에 중점을 두고 설정하였으며, 연구개발에는 다음 세가지 형태가 있다.

- 5~10년후 실용화·산업화를 목표로 한 needs 대응연구 및 생산기술의 기반구축을 꾀하는 연구개발
- 10~20년 후를 내다본 도전적 연구개발
- 개인의 독창성을 중시한 씨앗형 연구

첫번째와 두번째 형태는 구체적인 연구개발 목표 및 그 달성시기를 설정하여 연구개발을 추진하고 5~10 후의 실용화와 산업화를 목표로 하는 수요지향적 연구 중 개발속도와 시장에서의 영향을 중요시하여 목표를 설정하고 재료분야와 같이 산업기술의 기반 구축을 꾀하는 연구개발에 있어서는 성과의 범용성과 파급효과 등을 고려하여 목표를 설정하며, 10~20년 앞을 내다본 도전적인 연구개발에 있어서는 장래 크게 발전할 가능성을 중요시하여 목표를 설정하고 일단 목표설정을 한 연구개발에 대해서는 중장기적인 것이라 하더라도 5년 정도를 주기로하여 목표 달성도를 평가하여 다음 단계의 연구개발에 적절히 반영한다.

공통기반기술에 대한 일본의 연구개발 분야는 표3.과 같다.

〈표 3〉 일본 나노기술 공통기반 과제

분 야	연구 과제
측정 평가	초미세 구조해석기술 나노영역에서의 길이, 질량, 힘, 열, 에너지, 구조등의 설계 기술 및 계량표준개발 Sub 나노영역 상태 계측 Photon에 의한 nano 계측가공기술 나노 결정재료의 femto 초 시간 응답 계측 평가 계면의 나노구조 dynamics의 관찰제어
장비	강자장에서의 multi pobe 현미경개발 레이저 고성능화(파장 광역화, 초고속등) 근접장 광학 현미경 저속 양자빔 장치 나노 scale lab. 고분해능 분석 전자 현미경의 개발과 응용
공정	자기조직화 나노박막작성(소재) 초미세 link 화(소자) 고도성 박막기술에 대한 연구 나노구조로 단원자 도핑과 응용 100nm영역과 원자 분자 영역 가공기술, 재료개발 Micro.nano machine 제조용 나노가공기술 3차원 초미세 조영기술 다원나노물질의 설계 제어 해석 Multiple parallel processing 유기 무기 융합구조 제어 Sub nanometer 전자선 미세가공 해석기술 개발 양자점 세선 형상 완전 제어 양자 광 spin제어 나노구조 3차원 미세 가공기술
전산모사	장시간 분자동력학 계산 신 알고리즘

Ⅳ. 국내 연구개발 동향

국내에서는 창의과제, 국가지정연구실, SRC/ERC 등을 통하여 많은 나노 관련 연구들이 진행되고 있다. 문제는 이런 연구들이 서로 경쟁적으로 수행되고 서로의 연구결과를 연계해줄 체계적인 시스템이 부족하며, 연구자 간의 정보교환 및 공동장비 운영체계 확립 등 효율적으로 연구 생산성을 집중시키고 응용과 생산에만 치우치지 않고 장비 및 측정기술 개발, 인력양성 등 연구 인프라 구축분야의 균형을 잡아간다면 나노기술 분야의 경쟁력을 확보할 수 있다. 또한 우리나라는 반도체 생산이 선진수준의 기술력을 자랑하고 있으나 이 부분에서 조차 장비 자급율은 13 %에 불과하므로, 장비개발과 국산화에 대해서도 선택적인 투자가 필요하다.

나노기술의 측정 및 평가분야에 대한 국내의 연구는 반도체 관련 연구를 중심으로 많이 진행되었으며 최근 바이오 분야에 대한 측정기술이 개발되고 있다.

측정 및 표준 기술은 표준연에서 전반적인 분야에 대해 수행되고 있다. 측정과 관련된 nanometrology 연구실, 나노표면 연구실, 극미세 표면 분석사업단과 장비 제작 및 공정개발의 기반이 되는 진공기술 기반구축 사업단을 운영하고 있으며 개방실험실인 Si 미세가공실은 사용자들에게 개방되어 있고 이종성장제어 사업단에서는 STM, AFM 제작기술을 보유하고 있다. 서울대의 나노기억매체 연구단에서는 STM 제작 및 원자 분자 조작기술을 바탕으로한 기억매체 개발을 위한 자성 나노센서 개발을 수행중이며, 근접장 이용 광기술응용 사업단, 양자기능구조 연구실 등이 운영되고 있다. 또한 공동연구시설인 반도체 공동연구소에서는 금속배선기술, 초정밀 스테이지 개발 등의 연구수행과 함께 물성분석 장비, TF anayzer, probe station 등 소자 측정장비, 그리고 사진, 식각, 증착, 도핑, 산화 등 단위공정장비 공동사용이 가능하다. 물성 및 표면분석 연구분야에서는 연세대의 초미세 표면과학 연구센터에서 초미세 표면구조 및 자기적 특성연구를 수행하고 있으며 이외에도 KAIST, 포항공대, 동국대, 서울시립대 등이 나노기술 관련 연구단을 운영하고 있다.

V. 분석결과

나노기술 전반적에 걸쳐 미국이 앞서 있으나 부분적으로는 일본이나 유럽이 기술적인 우위에 있다. 그러나 정밀측정 분야에 있어서는 모든 분야에서 미국이 앞서가고 있으며 연구 투자액이나 인력에 있어 타의 추종을 불허하고 있다. 대만이나 중국에서 부분적으로 나노기술에 필요한 정밀측정 및 평가기술에 대한 연구가 진행되고 있으나 한국보다는 그 기술수준이 낮은 것으로 알려지고 있다. 나노기술에 대한 주요국가의 상대기술력이 표4.에 나타나 있고 그 중에서 측정장비에 대한 기술력 비교가 표5.에 나타나 있으며, 주요국가의 투자개요가 표6. ,표7. ,표8.에 나타나 있다.

연구개발 투자 면에서는 미국은 미래를 위한 투자와 하부구조 구축에 치중을 하여 422백만 $을 금년도에 투자하고 있으며, 그 액수를 연차적으로 증액시키고 있으며, 일본은 상대적으로 잘 할 수 있다고 생각하는 나노소재 분야에 중점을 두면서도 2000년도에 전반적인 분야에 328백만 $을 투자하였다. 유럽연합의 특징은 사회적인 문제해결을 위한

나노기술 개발의 목표를 설정하고 있으며, 독일의 경우 매년 5000만불 수준을 에너지/환경, 정보통신, 건강과 노화 분야에 투자하고 있다.

〈표 4〉 나노기술에 대한 주요 국가의 상대기술력 비교

측정분야		미국	일본	유럽	기타	한국
nanometrology 분야	형상측정	100 %	85 %	90%(독일)	65 %(대만)	75 %
	박막의 두께측정	100 %	85 %	85 %	60 %	75 %
물리화학적 특성측정분야	전기·자기적 물성측정	100 %	80 %	90 %	50 %	50 %
	광학적 물성측정	100 %	80%	90%(영국, 독일)	60%(중국)	40%
	열적 물성측정	100 %	80 %	100 %	50% (대만/중국)	50 %
	기계적 물성측정	100 %	85 %	90%(독일)		65 %
	국소.구조 특성평가	100 %	85 %	90 %		65 %
	초박막 조성·구조 특성측정	100 %	90 %	90 %	70 %(대만)	80 %
생명공학	3차원활성 구조·동적 이미지	100 %	90 %	90 %		75 %

21 세기를 주도할 주요기술로서 정보기술(IT), 생명공학(BT), 환경기술(ET), 그리고 나노기술(NT)의 네가지를 흔히 말하고 있다. 여기서 나노기술은 나머지 세가지 첨단미래산업의 근간을 이루는 기술로서 전자, 생명공학, 화학, 재료 및 초정밀기계 등 과학 및 기술 전분야에서 연구가 진행되고 있으며 몇 분야에서는 이미 실용화 단계에 접어들고 있다. 그리고 나노기술의 저변에는 정밀측정이라는 광범위한 분야가 지지하고 있다. 앞으로 나노기술에 필요한 초정밀측정의 수요는 나노산업과 마찬가지로 폭발적으로 증가할 것이며, 실질적인 분자공학의 시대가 올 때까지 그 규모가 성장할 것으로 보인다. 현재는 초정밀측정이 요구되는 초기단계이긴 하지만, 현 시점에서도 초정밀측정이 절실히 요구되는 구체적인 첨단사업들은 생명공학, hard disk, 평판 display, 반도체 산업, 나노소자 및 기술 연구, 광학산업 등이다. 이와같이 나노기술과 초정밀측정은 불가분의 관계를 가지고 있다.

〈표 5〉 측정장비에 대한 기술력 비교

측정장비			미 국	일 본	유 럽	기 타	분야별 중요도
분류	이름	용도					
물성평가 (미세조직)	SPM S(T)EM	· 나노구조체의 관찰, 평가, 해석	100%	85%	90% (독일)	65% (대만)	1.0
	SEM TEM	· 나노재료의 표면관찰 및 구조해석	100%	100%	90%	-	0.9
형상측정 (박막두께)	Ellipsometer	· 박막의 두께측정	100%	85%	85%	60%	0.6
물성평가 (전자기 특성)	SEMPA, NSOM, MFM	· 전자기 물성측정	100%	85%	80% (독일,프랑스)	-	0.8
물성평가 (결함해석)	EXAFS/XANES	· 국소구조 및 조성 측정 및 평가	100%	100%	90% (프랑스, 영국, 독일, 이태리)	60% (대만, 중국)	0.8
물성평가 (표면분석)	TOF-SIMS EDS	· 초박막 조성 및 구조측정 및 평가	100%	85%	100% (프랑스,영국)	-	0.7
물성평가 (구조해석)	Synchrotron/X-ray apparatus for crystallography	· 유기물, 무기물, 단백질등의 3차원 구조해석	100%	85%	95% (독일,프랑스)	50% (중국)	0.8
물성평가 (역학)	Nano-indenter	· 나노물질의 기계적 특성 평가	100%	90%	100% (스위스)	60% (중국)	0.6
물성평가 (열물성)	열분석측정장치 DSC, AC calorimeter	· 나노물질의 열분석 장치용	100%	100%	90% (영국)	-	0.6
공정장비	전자빔 리소그라피 공정	· 나노구조체 제작을 위한 패턴제작용	100%	80%	60% (네덜란드)	-	0.8
진공장비	MBE, Implantor Etcher	· 나노소자제작 및 특성평가장비	100%	100%	50%		1.0

〈표 6〉 나노기술에 대한 2001년도 미국의 투자 개요

분야 / 기관	기초연구	원대한 도전	우수센터 네트워크	연 구 인프라	사회연계 및 인력	투자예산 (백만불)
NSF	122	12	37	25	21	150
DOD	10	54	24	19	3	110
DOE	34	29	15	16		93
NASA	4	11		5		20
DOC		10		6	2	10
NIH	7	12	1	9	2	39
누 계	177	133	77	80	28	422

〈표7〉 나노기술에 대한 일본의 2000년도 투자 개요

분야 / 기관	나노 전자공학	나노 공정	나노소재	바이오 나노기술	양자연산	투자예산 (백만불)
MITI	-양자기능소자 -나노 칩 기술 -스핀트로닉스 -초긴밀 전자광자학	-원자·분자 조작 기술 -3D 나노기술 -나노조립기술	-프론티어 탄소기술 -고기능성 소재기술 -다기능 세라믹 -수퍼 메탈 -나노 소재 -미세입자 제어공정	-바이오 MEMS		145
STA (JST)	-나노구조화 액정 -광자 나노기계 -전자 및 광자 제어 -양자효과 및 연관현상	-나노 공간 -단일 분자공정	-나노튜브	-유전자 분석용 나노 칩 기술	-양자연산 및 처리 -메조크기 연관 -국소 광자 -양자 포획	121
문부성	-단전자소자 및 고밀도 집적회로	-고기능 지구적 계면 통합기술	-원자 스케일 과학 -플러렌 및 나노 튜브	-분자 유전연구 -분자 컴퓨터		53
농림 수산성	-나노소자 기능해석			-염색체 구조 기능해석		3
우정성	-양자 정보기술					1
기 타	-SET -CNT-FED	-나노리소그라피	-초전도체	-분자전자공학	-양자정보기술	5

〈표 8〉 나노기술에 대한 유럽연합의 투자 개요

국 가	연구 분야	투 자 액
독 일	에너지, 환경, 정보통신, 건강 및 노화	5000만 $/년 (1997년 기준)
영 국	넷트웟 프로그램	
	나노 재료	총 700만 $ (1994~1999년)
	산학연 연계 나노기술 촉진	
프랑스	나노입자 및 구조소재 연구 프로그램 (CNRS 산하 60개 연구소)	
스위스	기술지향적 프로그램(유전자칩, 인조코, 약물전달 시스템, 소형 내연엔진 및 연료전지)	

Ⅵ. 결론 및 제안

해외의 연구동향에서도 투자확대에서도 볼 수 있듯이 이제 나노기술이 국가의 과학과 산업의 존망을 결정한다고 말할 정도로 중요하고 광범위한 기술분야에 영향을 미칠 것이라는 것은 의심할 여지가 없다. 다만 기존에 우리의 역량을 어떻게 하면 최대한 발휘할 수 있게하고 국가적인 목표설정을 어떻게 하고 그 한 우산 아래에서 각 연구분야의 상호관계를 고려하여 얼마나 효율적이고 조직적으로 추진할 수 있는 전략을 짜고 그대로 실천에 옮기는 일이다.

미국은 국가적으로 나노기술을 우선 투자분야로 선택하고 예산을 계속 증액하고 있으며, 원대한 투자와 하부구조 구축과 사회저변의 확대를 중요시 하는 것이 특징이지만, 국내의 경우는 주변 상황이 미국과는 다르므로 다음과 같은 점들이 고려되어 투자의 방향과 경중을 결정하는 것이 바람직해 보인다.

첫째, 반도체 산업의 당면한 기술장벽을 극복하고 국제경쟁력을 키우는 것은 국가적인 당면 과제이므로, 이와 관련되어 추진되고 있는 「테라급나노소자 개발사업」는 지속적으로 추진하며 그 저변확대가 필요

둘째, 나노기술은 학제간 연구의 필요성이 강하므로 이러한 연구분위기를 유도할 수 있는 동기부여와 제도의 마련이 필요

셋째, 원대한 가능성을 지향한 다양한 투자보다는 산업계와 밀접하며 우리가 국제경쟁력

을 유지할 수 있는 나노소자 분야에 선택적이고 집중적인 투자가 필요하지만, 미래에 대한 다양한 가능성도 배제하지 않는 전략적인 고려가 필요

넷째, 환경/에너지 문제도 국가가 당면한 중요한 과제이므로 이 분야에 대한 나노기술의 접목을 위한 전략적인 고려가 필요

다섯째, 무엇보다도 중요한 것은 연구개발이 원만히 수행될 수 있도록 시료의 제조와 그것의 시험평가 등을 담당할 나노센터의 설립과 이 센터와 생명공학, 정보통신, 환경/에너지 분야 등과 연계를 시키는 체제의 구축과 학제간 연구개발을 수행할 수 있는 인력의 양성을 포함한 하부구조의 구축을 위한 투자가 우선적으로 필요

여섯째, 지식과 시설장비를 공동활용할 수 있는 넷트웍의 구축이 필요

일곱째, 선진 나노기술을 소화흡수하고 공동활용하기 위한 프로그램이 필요

참고문헌

1) www.nano.gov/
2) www.nist.gov/, www.eeel.nist.gov/812/nano.html#electrical, www.eeel.nist.gov/812/51.htm
3) www.ptb.de/
4) www.npl.co.uk/
5) www.area.to.cnr.it/IT/area/aimgc.html/
6) www.aist.go.jp/NRLM
7) www.dap.csiro.au/
8) itrinews.itri.org.tw/
9) www.nano-technology.com/
10) www.zyvex.com/
11) www.aps.org
12) The national technology roadmap for semiconductors, Sematech, 1997
13) 1998 international conference on characterization and metrology for ULSI
14) National nanotechnology initiative, IWGNET, USA
15) Nanostructure science and technology, WTEC, Loyola College in Maryland
16) R & D status and trends in nanoparticles, nanostructured materials, and nanodevices in the United States, Proceedings of the WTEC workshop