

나노기술 연구개발 성과의 상업화 현황 분석
Analysis on the commercialization of Nanotechnology R&D
products

강상규²⁾*, 소대섭³⁾** , 이일형⁴⁾*** , 배국진⁵⁾****

Kang, Sangkyu* · So, Daesup** · Lee, Ilhyung*** · Bae, Kookjin****

Abstract

Various countries in the world take the lead in investing for new technologies such as NT, BT and IT. On account of promoting strategy, Nano technology has made significant R&D performances and its commercialization has been remarkably increased. This study has analyzed and conducted research on successful R&D results of Nano technology in Korea and current status of its commercialization. Thereby, this study is to provide basic data for establishing efficient commercialization plan of R&D results and for facilitating its early industrialization.

핵심어 : 나노기술, 연구개발성과, 상업화

Keywords : Nanotechnology, R&D products, commercialization

* 강상규, 한국과학기술정보연구원, 선임연구원, 3299-6016, skkang@kisti.re.kr
** 소대섭, 한국과학기술정보연구원, 선임연구원, 3299-6014, dasus@kisti.re.kr
*** 이일형, 한국과학기술정보연구원, 책임연구원, 3299-6013, ihlee@kisti.re.kr
**** 배국진, 한국과학기술정보연구원, 선임연구원, 3299-6063, baekj@kisti.re.kr

I. 서론

나노기술은 21세기 국가 과학기술경쟁력의 확보는 물론 국가 경제 및 사회의 지속적인 발전을 위하여 국운을 좌우할 만한 핵심기술로 부상하고 있다. 나노기술은 전통 제조 산업과 접목되어 기술혁신을 유도할 뿐만 아니라, 특히 IT, BT, CT 등의 첨단기술과 융합하여 국가 미래 핵심전략산업을 한층 고도화시킬 수 있는 기반기술로서 차세대 성장 동력으로 인식되고 있다.

2000년 1월 미국의 국가나노기술개발전략(NNI) 발표 이후 독일, 프랑스, 영국, 스위스 등 유럽 국가와 우리나라를 비롯한 일본, 중국, 대만 등 아시아 국가, 그 외 호주, 캐나다, 이스라엘 등 세계의 30여 개국이 국가 주도의 나노기술개발 전략을 수립하고 이의 개발 경쟁에 뛰어들고 있으며, 2006년경을 나노기술 산업화의 획기적인 전환점이 될 것으로 예상하였다. 이러한 기술개발 경쟁의 가속화는 우리에게도 분명히 기회인 동시에 위협의 요소로 다가오고 있다.

나노기술은 나노미터 수준에서 원자, 분자를 조작 제어하고, 물질의 구조나 배열을 제어함으로써, 나노크기 특유의 물질 특성을 이용하여 새로운 기능, 우수한 특성을 발현시키는 기술의 총칭이다. 나노기술에 의해 지금까지의 전자공학, 재료, 화학, 기계 등의 상식을 초월한 새로운 지식이나 신소재, 신물질 등이 하나 하나 발견되고 있고, 정보, 소재, 의약, 가공 등 모든 분야에서 혁신적인 기술발전이 기대되고 있다.

향후 세계의 기술흐름과 경제의 판도를 바꾸는 핵심 역할을 담당할 나노기술에 대하여 미국의 NanoBusiness Alliances는 반도체를 제외한 나노기술산업의 세계시장이 2001년 460억 달러에서 2010년에는 1조 달러로 연평균 30% 이상 성장할 것으로 예측하고 있으며, 또 NSF도 향후 10~15년에 1조 달러에 이를 것으로 추정하고 이 시기에 약 200만명의 나노기술 전문인력을 필요로 할 것이라고 전망하고 있다.

2004년 10월에 발표된 Lux Capital사의 「Nanotech Report 2004」에 따르면, 2004년 나노기술에 투자되고 있는 전세계의 공공 및 민간 부문을 합한 전체 R&D 투자비용은 86억 달러에 이르고 있다. 미국과학기술위원회(NSTC)의 나노과학기술전문위원회(NSET) 위원장인 M. C. Roco에 의하면 세계 각국의 나노기술 연구개발 예산 증가율은 선진국들에 있어 국가 전체 R&D 예산 중 가장 높은 현상을 나타내고 있다.

미국 클린턴 정부는 2000년 1월 「국가나노기술개발전략」(National Nanotechnology Initiative, NNI)을 발표하고 인프라 구축, 기초연구 활동지원, 나노기술센터 설치 및 네트워크 구축분야 등 4대 분야에 집중 투자하고 있다. 나노기술개발의 집중 투자는 만약 나노기술이 전면적으로 진정한 파괴기술로서의 초기 임무를 완수하게 된다면 미국은 나노기술 경쟁에서 향후 발생될 무한한 새로운 지적재산권의 주인이 될 수 있다.

일본은 2001년 3월 經團聯의 「n-Plan21」을 시작으로 동년 9월 '중합과학기술회의'에서 「나노기술·재료분야 추진전략」의 수립을 통해 향후 5개년 나노기술개발 목표를 설정하고 미국과 유사한 연구개발비를 투자하고 있다.

우리 정부도 2001년 7월 제8차 국가과학기술위원회에서 10년간(2001-2010) 1조4,850억원(정부 66.2%, 민간 33.8%)을 투자하는 「나노기술종합발전계획」을 수립·확정하고, 이를 단계별 연차별로 추진하고 있다.

최근 정책은 미국이 2003년 5월 7일 「나노기술연구개발법안 HR766」(Nanotechnology Research and Development Act of 2003)을 하원총회에서 405대 19로 압도적으로 통과시키고, 6월19일엔 이와 유사한 내용을 담은 나노기술개발법안(21st century Nanotechnology Research and Development Act, S.189)을 상원 통상과학교토위원회에서 통과시켰다. 이어

상하 공동위원회의 조정을 거쳐 수정 법률안이 2003년 11월 18일 상하 양원 합동회의를 통과하였다. 부시 대통령은 2003년 12월 3일 이 법안에 최종 서명함으로써 향후 4년(2005-2008) 동안 나노기술 R&D에 37억 달러를 투자하는 법적 장치를 마련하게 되었다. 우리나라의 경우는 「나노기술종합발전계획」의 효율적인 추진을 도모하고, 국가적 정책사업을 원활히 추진하기 위한 입법적 근거를 마련하기 위하여 2002년 11월 12일 세계에서는 최초로 「나노기술개발촉진법」이 제정되어 국회를 통과하였으며, 이어 「나노기술개발촉진법 시행령」의 제정이 추진되어 드디어 동법의 시행이 2003년 6월 27일자로 발효되었다. 이러한 법적인 지원을 통하여 국내의 나노기술개발은 새로운 시대를 맞이하고 있다. 또한 최근 정부는 차세대 성장동력 기술로서 나노기반의 정보기술과 바이오기술의 융합 신기술 등 나노기술 관련 기술을 다수 포함시키고 있다.

위와 같이 나노기술개발 지원을 위한 각국 정부의 제도적, 입법적 장치 마련과 함께 더욱 첨예화해 가고 있는 나노기술 개발경쟁의 국제적 환경 속에, 장차 우리나라의 나노기술 부문에 있어 국가기술경쟁력 확보를 위해 「나노기술발전 10개년 계획」에 따른 국내의 R&D 활동을 지원하고, 나노기술 전문인력 양성 및 나노기술의 산업화를 촉진하며, 국내 나노기술 전문정보의 수요에 능동적, 효과적으로 대처하고, 국내외적으로 관련 전문가·전문기관간의 나노기술정보의 교류협력을 강화하며, 궁극적으로는 종합발전계획의 국가적 목표인 2010년 나노기술 5대강국 진입을 위해, 산업화가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

본고에서는 이러한 추진 전략에 힘입어 나노기술 분야에서도 가시적인 연구개발성과와 상업화 사례도 늘어나고 있는 현황을 분석하여 연구개발성과의 효율적인 상업화 방안과 조기 산업화 유도 전략 수립을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 나노기술 육성 현황

1. 해외 동향

1) 미국

세계 나노기술개발경쟁을 촉발시킨 NNI의 성과를 계승하고 부처간 협력강화에 중점 둔 신나노기술전략 수립하고 있다.

구체적으로 살펴보면 나노기술을 차세대 핵심기술로 선언하고 범정부 차원의 국가 나노기술전략(National NanoTechnology Initiative, NNI)을 수립(2000년 2월)하여 재정적·법적 지원을 가속화하고 있다. 나노기술개발을 위해 2001년 4.64억 달러, 2002년 6.04억 달러, 2003년 8.62억 달러, 2004년 9.61억 달러, 2005년 회계연도에는 10.8억 달러로 NNI 추진 5년만에 정부예산이 배나 증가하였다.

미 정부는 또한 나노기술개발의 체계적 지원을 위해 나노기술연구개발법의 제정(2003년 11월)하고 NNI의 제2기 나노기술전략 수립(2004년12월)하였다. 여기에서는 연구개발, 제품화, 인력 및 인프라, 사회영향 연구 등 세부 목표를 설정하였다.

그리고 나노기술센터 설립지원과 대형 연구시설 및 장비 확충으로 나노기술 인프라 구축을 지속적으로 추진하고 있다. 과학재단(NSF)이 주관하는 나노전문센터가 2003년 10개였

던 것이 2004년 17개로 증가하였고, 나노인프라네트워크(National Nanofabrication Infrastructure Network, NNIN)를 확대하여 운영하고 있다. 또한 에너지부(DOE)에서는 5개 대형 나노팩을 건립 중이다(2006~8년 완공).

국가과학재단(NSF)은 또 향후 5년간 1,500만달러를 투자하여 나노기술교육센터 설립 예정이며, 초중고 나노기술 교육을 위한 과학기술교사 양성을 중점적으로 추진하고 있다.

2) 일본

정부부처간 연계 강화, 소재부품 분야에서 세계 최고의 기술경쟁력 확보·유지하고 있다. 구체적으로는 정부부처간 연계를 강화(과학기술연계시책군)하고 IT 등 다른 분야와 융합한 연구프로젝트의 지원을 본격화하고 있다.

2001년 3억9,600만 달러, 2002년 8.095억 달러, 2003년 8.56억 달러, 2004년 9억 4,000만 달러로 2001년 이후 연구투자비는 매년 증가추세이다. 특히 2005년에는 문부과학성에서 융합분야의 연구개발을 최우선 연구분야로 선정하고 14억5,000만엔을 지원하였다. 그리고 나노기술연구시설 및 장치 구축의 지속적인 지원과 나노기술정보교류 네트워크를 활성화를 주요 목표로 하고 있다. 나노기술종합지원프로젝트는 2005년 24억엔을 투자하고, 교토 나노기술클러스터, 나노기술정보교류를 위한 Kyo-Nano를 운영하고자 한다.

3) 중국

나노기술 강국을 향한 구체적 목표를 설정하였다. 구체적으로는 나노기술 육성체계 구축을 위한 '국가나노과학기술발전요강'을 수립하고, '국가나노과학기술 발전지도협조위원회'를 구성하였다. 특히 2001년부터 2005년 사이에 2억4000만 달러의 연구비를 투입할 계획이다. 중국은 산업화 부분에 집중적인 투자를 하기위해 나노기술의 제품화 촉진을 위한 '나노기술인증위원회'를 2004년 2월에 설치하였다. 특히 미국, 유럽과 국제협력을 가속화하고 있는데 2004년 3월 중국-핀란드 나노세군연구합작센터 설립하였고, 2005년 2월부터 중국 절강성 항주시에 미국 캘리포니아 나노기술연구소의 분원 설치를 추진중이다.

4) 유럽

신나노기술전략 수립, 나노연구인프라 조성 및 산업화를 모색하고 있다.

(1) EU

유럽연합집행위원회(EC)는 2004년 9월 브뤼셀 유럽연합이사회의 25개국 관계 장관 공동 지지 천명하고, 2010년까지 나노기술연구개발 투자규모를 3배 이상 확대하여, 세계 최고수준의 인프라시설 구축한다는 신나노기술전략을 수립하였다. 또한FP6(6차 Framework Programme)에서 5년간(2002~2006) 나노기술의 개발에 약 10억 달러 이상의 예산을 배정하고 있다.

(2) 독일

2004년 나노기술의 산업화에 초점을 맞춘 새로운 국가나노기술전략을 수립하였다. 2005년

에는 기술집약형 중소기업의 나노기술개발지원사업(NanoChance) 추진중이다.

(3) 프랑스

2003년 11월 국가나노기술연구사업을 통한 기초연구 지원과 우수센터 네트워크 등을 통한 연구개발, 시설 및 네트워크 구축 사업을 전개하고 있으며, 연구개발 및 산업화의 거점으로 그레노블에 MINATEC를 구축하는데 총 4억유로의 예산 투입하였으며, 2005년 완공예정이다.

(4) 영국

나노기술 산·학·연 공동연구 및 마이크로나노기술(MNT) 네트워크 구축을 위해 2003년부터 2008년까지 총 1억5천만달러를 투자할 계획이다. 2004년 4월 의회 차원에서 나노기술 개발에 대한 투자 확대를 정부에 요구하였다.

<표 1> 세계 주요 국가별 나노기술 예산 현황

(단위 : 백만 달러)

국가	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
미국	116	190	255	270	465	697	862	960
일본	120	135	157	245	465	720	800	900
서유럽	126	151	179	200	225	400	650	900
기타	70	83	96	110	380	550	800	900
한국					88	177	198	238
계	432	559	687	825	1535	2367	3122	3660

- 서유럽 : EU 국가와 스위스,
1\$ = 1.1Euro(2002까지), 0.9 Euro (2003), 0.8Euro(2004)
- 일본 엔화 : 1\$ = 120 yen (2002년까지), 110 yen(2003), 105 yen(2004)
- 한국 원화 : 1\$ = 1,200원 (2003년까지), 1,150(2004)
- 기타 국가 : 한국, 호주, 캐나다, 중국, 동유럽국가, 이스라엘, 싱가포르, 대만 등

2. 국내 동향

1) 투자현황

정부의 적극적인 투자에 힘입어 단계별 목표를 달성하였고, 일부 분야에서는 가시적 성과를 내고 있다.

이를 위해 첫째, 국가차원의 나노기술정책을 지속적이고 체계적으로 추진중이다. 2001년 7월 나노기술종합발전계획 및 연도별 시행계획을 수립하여 기술개발 초기단계에서부터 정부차원의 중장기 정책 수립, 추진하고 있고, 나노기술 육성을 위한 법적 근거를 확립하기 위하여 2002년 12월 나노기술개발촉진법을 제정하고 및 시행령 발효하였다.

둘째, 꾸준한 나노기술 R&D 투자와 향후 산업체에서 필요한 전문인력의 지속적인 배출계획을 세우고 있다. 정부 연구개발투자비는 2001년 832억원, 2002년 1,781억원, 2003년 2,375억원, 2004년 2,481억원, 2005년 2,799억원으로 증가하여 연평균 증가율 35.4%를 보이고 있다. 향후 나노기술 전문인력 수요는 2012년 9,400여명이 필요할 것으로 전망되어 2004년

2,600여명(석·박사급)의 3.6배에 이를 것으로 전망하고 있다. 또한 대학도 나노기술관련학과가 2002년 17개학과에서 2004년 31개학과로 지속적으로 개설되는 추세이다.

세제, 효율적 연구개발 및 산업화지원을 위해 핵심인프라를 구축하고 있다. 체계적이고 효율적인 나노기술개발 추진을 위하여 정부는 당해년도 나노기술발전시행계획을 수립하여 추진중이며, 연구개발 및 산업화의 효율적인 지원을 위해 나노종합팹센터와 나노소자특화팹의 안정적 운영기반 확립과 함께 나노소재·재료(포항공대) 및 나노공정·장비(전북대, 광주생기원) 등 3곳의 나노집적센터를 신규로 선정하고 지원하고 있다. 또한 나노부품실용화센터 구축사업 및 나노정밀화학융합산업기술개발 지원센터 등 지역진흥사업 추진하고 있다.

넷째는 민간부문에서 나노기술 제품의 초기시장 진입이 가시화되고 있다. 예를들면, 나노실버 냉장고, 세탁기, 나노기술 이용한 원사 및 페인트가 개발되고 나노치약, 나노카본볼 소취제, 나노기술 화장품 등 출시되고 있다. 이를 생산하고 있는 나노기술 관련 기업도 2001년 50여개에서 2004년 100여개로 급격히 증가하는 추세이다.

다섯째는 나노기술중장기 발전계획의 보완 및 영향평가 등 수행중에 있으며, 이는 정책추진의 단계적 점검을 통해 발전계획의 수정·보완 작업을 통해 나노기술이 사회·경제·환경에 미치는 영향을 분석·평가하여 반영하고자 함이며, IT-NT 융합분야 학제간 연구 촉진을 위한 대학IT연구센터 지원 사업 추진하고, 나노기술 산업화 촉진을 위하여 연구개발에서 산업화까지 일괄 지원 체제 구축하는 등의 나노기술 관련 학제간 연구과정 및 산·학·연 협력 프로그램 개발하고자 한다.

2) 부처별 투자실적

<표 2> 국내 각 부처별 나노기술 투자현황

(단위 : 억원)

부처 연도	사업구분	과기부	교육부	산자부	정통부	복지부	환경부	국방부	농림부	출연기관	총계
2004	R&D	745.6*		285.0	96.9	9.5	195.0	3.8	2.4	293.1	1,631.2
	인프라	288.0		179.0	63.1					172.0	702.1
	인력	68.0	75.0	4.0							147.0
	계	1,101.6	75.0	468.0	160.0	9.5	195.0	3.8	2.4	465.1	2,480.3
2005	R&D	585.0		492.0	106.6*	19.2	200.0	1.2	2.8	296.7	1,703.5
	인프라	328.0		349.0	67.4					184.0	928.4
	인력	12.0	116.0**	4.0	8.0						140.0
	계	925.0	116.0	845.0	182.0	19.2	200.0	1.2	2.8	480.7	2,771.9
증가율(%)		△16.0	54.7	80.6	13.7	102.1	2.6	△68.0	16.7	3.4	11.8

- 2004년도 과기부 사업 중

* 신기술융합(71억원), 나노핵심기반(120억원)사업 등 2개 사업(191억원)이 산자부로 이관되었고, 차세대 시큐리티 기술개발사업(12.6억원)이 정통부로 이관됨

** 박사후 해외연수지원사업 등 3개 사업(48억원)이 교육부로 이관됨

각 부처별 투자에 대해 살펴보면 2005년도 정부의 나노기술 투자는 전년대비 11.8% 증가한 2,772억원으로 정부 연구개발투자 증가율(10.1%)을 상회하고 있으며, 과기부 조직개편에 따라 일부 사업이 산자부, 정통부, 교육부로 이관되어 해당 부처의 2005년도 예산이 크게

증가된 것으로 나타났다. 사업분야별로는 R&D부문이 1,704억원(61.5%), 인프라부문이 928억원(33.5%), 인력양성부문이 140억원(5%)으로 나타났으며, 특히 인프라부문(시설/장비)은 전년 대비 약 32.2% 증가하였다. 부처별로는 과기부(33.4%), 산자부(30.5%)가 총 투자의 63.9% 차지한 것으로 나타났으며, 정통부 6.6%, 환경부 7.2%, 출연기관 17.3%이었다. 복지부는 전년 대비 102.1% 증가하여 나노 보건의료분야에 대한 투자가 큰 폭으로 증가하였다.

III. 정부개발과제 주요 성과

1. 주요 연구개발 성과

지난 2000년 미국이 NNI를 발표하면서부터 불붙기 시작한 나노기술개발 경쟁은 이 분야에 급격한 성장을 이끌어왔다. 이는 우리나라도 예외가 아닌데 2000년 이후 나노기술에 관한 성과(문헌, 특허, 제품 등)가 급증하는 양상을 보이고 있다. 표 3은 최근 정부과제로 수행된 연구개발과제의 주요 성과를 요약하였다.

<표 3> 나노소자분야 주요 연구개발성과

연도	기관	주요 연구개발 성과
2003	삼성중기원	○Tera bit급 Si 기반 NVRAM 개발 - 30nm SONOS Array TEG 설계 및 Memory Cell 공정설계로 세계최고 성능을 갖는 Tera급 메모리 단위소자 세계최초 실현
	서울대	○원자이미지를 이용한 양자점형성기술개발 - 원자이미지를 이용하여 100nm 수준의 양자점·양자선 패턴을 형성하고 장비구축 완료
	KAIST	○InGaAsP 양자샘 광밴드갭 레이저 실현 - Q>3000이상인 양자샘 광밴드갭 레이저를 실현하여 Applied Physics Letters 표지논문 기재
2004	삼성전자	○세계 최소 60나노 8기가 낸드플래시메모리 개발 - 세계 최소선폭의 60나노미터 기술을 세계 최초로 상용화
	KAIST	○100만분의 1미터 크기 광결정 레이저 개발 - 광펌핑 과정이 없이 전기로 직접 구동될 수 있어 초고속, 고효율 광통신 및 광컴퓨터 등 광전자 기반기술에 활용 가능한 차세대 레이저 개발
	동국대	○반도체 백색 발광소자 개발 - 얇은 박막대신 나노막대 배열을 사용하여 기존제품보다 성능이 우수한 청색과 백색광 구현

<표 4> 나노소재분야 주요 연구개발 성과

연도	기관	주요 연구개발 성과
2003	포항공대	○ 세계최고 반도체 나노막대 제조기술개발 - 비촉매 성장법에 의한 고순도 고품질 나노막대 제조기술 개발로 초소형 디스플레이의 발광소재 활용가능성 구현
	KIST	○ 고강도 나노결정 Al소재 연속제조 ECAR 기술개발 - 기존의 Al소재에 비해 동일 연성수준에서 강도가 2~3배인 나노결정 Al소재 개발(국내보유 원천기술)
	한양대	○ 10~20nm급 순철 및 페라이트 나노분말 합성성공 - CVC, SC, IGC법에 의한 나노분말 합성으로 MR조형제등 생체적용 이용가능성 구현
2004	한진기술	○ 세계 최고성능의 '질소산화물 제거용 저온 나노촉매' 개발 - 나노분말의 소성조건을 조절하여 촉매 활성을 대폭 향상시킨 나노촉매 개발로 도쿄협약 발효와 환경규제에 따른 시장 선점 기대됨
	삼성중기원	○ 세계 최초 탄소나노튜브 상온합성 기술 개발 - 기존의 고온, 고압, 고진공 상태가 아닌 상온에서의 탄소나노튜브 합성 기술개발로 다양한 나노소재 분야에 파급 효과 예상
	KIST	○ 세계 최고 수준의 비정질 나노 복합재료 개발 - 강도와 연신이 동시에 향상되는 Cu 및 Ti계 벌크 비정질 나노 복합재료 개발로 차세대 구조용 재료로 응용 기대됨

표 5> 나노공정 및 장비분야 주요 연구개발 성과

연도	기관	주요 연구개발 성과
2004	기계연	○ 고생산성 상온저압 나노임프린팅 공정 및 장비기술 개발 - 5in×5in 스탬프 사용으로 시간당 22개의 8인치 웨이퍼 처리속도를 확보하여, 해외 기술력에 비해 10배 이상 생산성향상 - 고정도 정렬장치, 자세보정장치, 스테이지, 스탬프 헤드 장치 등 나노임프린팅 장비 핵심요소 기술력 확보 및 장비 개발
	기계연	○ 고밀도 자기정보저장매체 제작용 나노사출성형공정기술 개발 - 40nm급 패턴드 미디어 (100Gb/in ²) 제작에 적용하여 기존 공정방식에 비해 생산성 100배 이상 향상
	연세대	○ 차세대 광정보저장매체인 Blu-ray Disk 양산기술 개발 - 나노사출성형공정 적용으로 Blu-ray Disk 양산화 기술 토대 구축 및 9,500억원 세계시장 선점에 유리한 위치 확보

<표 6> 나노융합분야 주요 연구개발 성과

연도	기관	주요 연구개발 성과
2003	이화여대	○ 세계최초 나노크기 고분자 의약전달 신물질 개발 - 수용액중 분자가 10~50 μ m 크기로 조절가능한 포스파젠계 신고분자 물질 개발
	연세대	○ 세계수준의 탄수화물 마이크로 어레이 개발 - 조기진단, 신약개발, 글라이코믹스 연구 등에 사용가능한 고집적 고성능 탄수화물칩(1.2x4cm당 12,000개 탄수화물고정화) 개발
	서울대	○ 초저가 바이오센서용 나노다공성 백금전극 제작기술 개발 - 초저가 비이온성 계면활성제를 사용한 나노다공성 백금전극 제작 성공(기존 비이온성 계면활성제 단가 수십만원/g→ 수십원/g)
2004	연세대	○ 표적 지향적 자성 나노 약물전달 캡슐 개발 - 국내 최초의 자기장을 이용한 항암제 전달 체계 개발로 인체의 특정 부위에 약물을 집중시킴으로써 약물에 의한 부작용 최소화
	서울대	○ 세계 최초로 나노 DNA 바코드 시스템 개발 - 특정정보를 저장한 DNA를 넣은 나노입자를 제품에 삽입해 정보를 읽어낼 수 있는 나노 DNA 바코드 시스템(NDBS) 개발
	순천대	○ 세계 최초 카토산 나노파클리탁셀(WSC-NPTX)항암제개발 - 정상세포 보다 종양세포에 더 많은 약물이 축적되는 항암제개발로 기존 제품의 항암부작용 단점 극복 및 항종양 효과 증가
	KAIST	○ 나노바이오 센서 원천기술 개발 - 세포의 표면에 단백질을 발현시켜 극소량의 병원균을 검출하거나 병을 진단할 수 있는 원천기술 확보

2. 주요 산업화 성과

최근의 산업화 동향을 파악하기 위해 2004년부터 2005년 7월까지의 국내 일간지와 Nano Weekly, 정부 및 각 기관의 보도자료를 통하여 기사를 선정하였으며, 정부과제로 산업화가 가능한 제품이나 기술을 선정하였다. 국내기사는 총 2004년 542건, 2005년 349건을 대상으로 중복기사는 제외하였다.

<표 7> 2004년 정부과제 산업화 현황

기업	프로젝트명	산업화 내용	기대효과
삼성중기원	프론티어	○ 대형 나노화면 첫 개발 ○ 차세대 광기록기기의 핵심부품개발	○ DVD 대체가능 370억 달러 시장
일진나노텍 (포항공대)	미공군 목적기초	○ 플라스틱판 CNT 합성기술 개발	○ 현재 생산중
기계연	과기부	○ 휴대폰용 백라이트 등을 가공할 수 있는 2나노급 초정밀 MEMS기술개발	○ 기술이전(삼성전자, LG전자, 테넬스, 엔투웨이, 옵토메카, LGS, 카메이트) 1조 1470억 부가가치
공주대 (순천향, 단국대)	NRL	○ 세계 최초 고기능성 나노생체세라믹소재 개발	○ 실용화 기술이전기업 모색
중진공	중기청	○ IAT와 공동으로 나노입자급 초경질 코팅이 가능한 플라즈마 발생기 개발	○ 기술이전기업 모색
한국과학기술연구원	과기부	○ 단백질을 이용한 질병진단용 칩 개발	○ 휴대용 진단시스템 1-2년내에 실용화
연세대	과기부	○ 질병부위에만 약물전달하는 자성나노물질 개발	○ 1-2년후 상용화 가능성
서울대	과기부	○ LCD용 백라이트 제조기술 개발 기술이전기업 모색	○ 기술이전기업 모색
인하대 (한화석유화학)	NRL	○ 정보통신용 부품 미립자소재를 단일공정으로 대량제조기술개발	○ 200억원 수입대체 효과
디피아이슬루션	프론티어	○ 플렉시블 디스플레이 유기투명전극 개발	○ 150억원 수입대체효과 및 수출가능성
한양대	산자부	○ 2차 전지용 새 음, 양극 소재 개발	○ 양극소재의 80% 수입대체 효과, LG화학기술이전
한국전력기술	프론티어	○ 저온용 질소산화물 제거용 탈질 촉매	○ 수입 탈질촉매 2000억원 수입대체효과
전기연	정통부	○ 충전용 리튬전지 양극활물질 개발	○ 양극활물질 1200억 시장
기술표준원	산자부	○ 세라믹 나노용사층의 기공률 측정법 개발	○ ISO 규격 제정
주성엔지니어링	산자부	○ 전계방출디스플레이용 탄소 나노튜브 증착장비개발	○ FED시장 2조원 예상
한국과학기술연구원	과기부	○ 고강도 티타늄 클래드 강판 제조	○ 400억원의 수입대체효과
동의대	과기부	○ 차세대반도체 소재 개발	○ SiC 웨이퍼 시제품 생산
서강대	과기부	○ 은나노 제올라이트 섬유개발	○ 기술이전 기업 모색

<표 8> 2005년 정부과제 산업화 현황

기업	프로젝트명	산업화 내용	기대효과
한국전자통신연구원	정통부	○ 휘는 염료감응 태양전지	○ 실리콘 태양전지에 비해 1/4 경비와 다양한 응용분야에 실용화
화학연 (SK기술연)	과기부	○ 차세대 청정연료(디메틸에테르, 산소함유 액화석유가스) 생산기술 개발	○ SK(주)에 기술이전 ○ 하루 700억원 에너지 절감효과
화학연	프론티어	○ 나노기공분리막 개발	○ 국내시장 500억
기계연	프론티어	○ 반도체용 나노임프린트 장비 개발	○ 2008년 실용화 ○ 나노임프린트 시장 140억원

IV. 현황 분석 및 시사점

1. 연구개발 성과

1) 논문

2004년도의 논문발표건수(SCI)는 세계6위를 차지하였다. 이는 2000년 221편(8위)에서 2003년 832편(6위)이었으며, 2004년에도 1,128건(6위)를 차지하였다. 또한, 1997년 이후 전세계 논문의 4.5%인 3,542건으로 세계 6위, 증가율에서는 최근 5년간 세계 15.1%의 두배 가량인 26.2%에 달하고 있다.

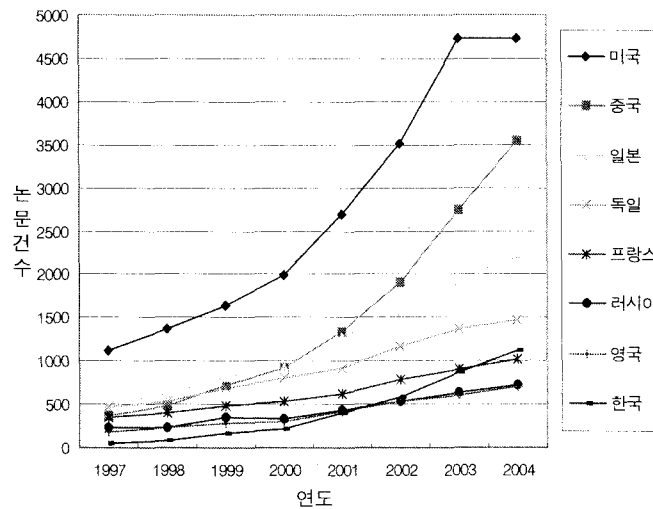
<표 9> 주요 국가별 논문수와 점유율

(2005년 2월 현재)

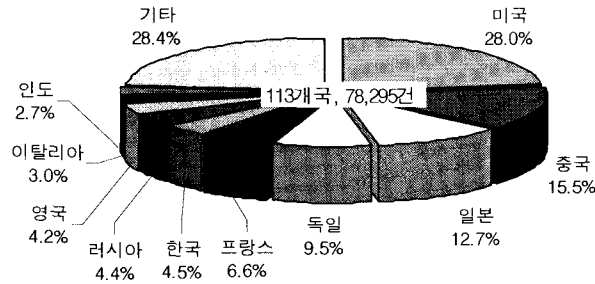
순위	국가명	논문수	점유율	순위	국가명	논문수	점유율
1	미국	21,892	28.0	6	한국	3,542	4.5
2	중국	12,173	15.5	7	러시아	3,474	4.4
3	일본	9,924	12.7	8	영국	3,254	4.2
4	독일	7,437	9.5	9	이탈리아	3,281	3.0
5	프랑스	5,139	6.6	10	인도	2,139	2.7

그러나 절대량에서 한국은 미국의 16.2% 수준에 머물고 있으며, EU는 83%, 일본은 45.3%, 중국은 55.6%이다.

<그림 1> 국가별 논문 추이



<그림 2> 국가별 비율



1997년 이후 나노기술부분의 논문발표 현황을 살펴보면 미국은 21,892건의 논문 발표가 있었고, 연구개발 예산은 3,845억 달러를 집행하였다. 한국은 3,542건의 논문 발표가 있었고 연구개발 예산은 701억 달러이었다. 미국은 1억달러당 5.694건의 SCI 논문이 발표된 셈이고, 한국은 1억달러당 5.053의 SCI문헌을 발표한 셈이다. 일본의 경우는 동기간에 9,924건의 논문 발표를 하였고, 3,542억달러의 연구예산을 집행하였다. 1억달러당 SCI 논문건수는 2.802건이었다.

단순히 비교해보면 미국이 가장 효율적인 연구를 하고 있으며, 한국이 비교적 많은 논문을 발표하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 점유율면에서 일본은 역시 9,924건, 12.7%를 차지하여 단순비교로 국가경쟁력을 판단하기는 어렵다. 2004년 9월부터 2005년 4월까지 국내 나노기술전문가를 대상으로 국내외 나노기술분야별 수준을 비교한 결과 최고기술을 보유한 미국을 100%으로 할때 일본이 86.2%로 전세계 2위 수준이고, 한국은 61.4% 수준의 기술을 보유하고 있는 것으로 나타났다. 또한 SCI 논문의 주체가 미국이 가장 많으며, 영어로 발표해야 하므로 비영어권의 지역에서는 상대적인 불이익을 당할 수 있기 때문이다.

2) 특허

산업화 동향을 파악하기 위해 특허를 조사하였다. 1991년 이후 미국에 등록된 나노기술 관련 특허 22,052건 중 우리나라는 217건으로 7위를 차지하였다. 1994년~1998년까지 5년동안 22건(12위), 최근 5년('99~'03) 동안 192건(6위)을 등록하여 동기 대비 8배 이상 증가하였다.

<표 10> 미국에 출원된 국가별 특허출원 추이

순위	국가명	논문수	점유율	순위	국가명	논문수	점유율
1	미국	15,221	69.0	6	영국	235	1.1
2	일본	3,141	14.2	7	한국	217	1.0
3	프랑스	840	3.8	8	대만	204	0.9
4	독일	726	3.3	9	네덜란드	160	0.7
5	캐나다	347	1.6	10	스위스	155	0.7

표 10은 미국에 출원된 국가별 특허출원 추이를 나타낸 것으로 미국이 연구개발추이와는 달리 전체의 69%를 차지하여 상업화는 일찍 시작한 것으로 보인다. 이러한 경향은 일본에 출원된 특허동향분석을 보면 일본이 자국 출원하여 1위인 점을 제외하면 전세계 출원국가별 경향은 비슷하다. 특히 일본에 출원된 한국 특허는 2003년에 4위, 2004년에는 3위로서 한국특허가 가장 빠른 속도로 증가하고 있다.

2. 산업화 성과

2000년 초 나노기술 연구개발 분야의 무게 중심이 대학이나 기초과학연구소를 기반으로 학문적 나노과학 연구로 부터 점진적 대기업이나 기술집약형 기업(벤처기업 포함)을 중심으로 이동하고 있는 추세이다. 국내의 경우 2001년 산업자원부의 벤처기업 실태조사에서 나노기술 관련 대상 기업이 50개 이하였는데 비해 2004년은 130여개로 증가 하였다. 이는 나노기술이 점차 핵심기술로 인식되고 실험실 수준에서 상업화 하는 단계로 이동하고 있음을 나타내고 있다. SNU프리스즌과 같은 나노관련 기업이 코스닥에 상장하여 그 성공사례를 보여주고 있으며, 향후 2~3년 이내에 이와 유사한 기업이 계속 코스닥 상장을 준비하고 있다. 현재 미국의 나노기업은 1,000여개로 추정되고 있지만 50% 정도의 기업이 매출이 없는 것으로 나타나 있다. 특히 2004년에 매출액 기준 1,500만 달러 이하의 소기업이 전체 60% 이상이며, 지난 3년간 나노기술로 매출액이 폭등한 기업은 없다. 그러나 지금도 매년 수 십 개의 기업이 설립되고 있어서 정확한 추정은 어렵지만 대학과 연구기관의 많은 연구자들이 이들 기업에 투자 또는 지분을 보유하고 있는 것 또한 현실이다. 5억달러 이상의 매출액을 갖는 대기업은 역시 계속해서 매출액을 늘리고 있으며, 나노기술을 주도하고 있는 것으로 나타났다.

미국과 일본은 전통적인 소재기업이 나노소재분야로 많이 진출하였으며, 우리나라 역시 이와 유사하게 소재기업이 많이 진출해 있다. 특히 나노소재분야는 주로 대기업과 이와 관련기업이 주로 진출해 있다.

2004년 이후 국내의 나노기술 산업화는 급속하게 진행되어 왔다. 정부의 연구과제는 주로 미국 나노기술종합발전전략(NNI)이 모태가 되어 소재, 소자, 바이오, 장비분야로 분류하여 정책적인 지원을 하여 왔다. 3년이 지난 2004년부터는 그 결과가 뚜렷하게 나타나고 있다. 대학과 연구기관에서는 기술개발을 해 놓고 기술이전 기업을 모색하는 곳도 있고, 특허출원을 해 놓고 기술이전이나 투자자를 찾는 경우가 증가하고 있다.

분야별로는 나노소자의 경우 소자분야의 특성이 기존기술의 파괴형(disruptive)이기 때문에 기존 제품에 비해 획기적으로 가격을 낮추거나 탁월한 성능의 제품이 나오기 전까지는 시장에 큰 영향을 미치지 않는으나 탄소나노튜브에 의한 반도체 소자나 양자컴퓨터의 출현이 나타나면 시장은 강력하게 뒤 바뀔 것이다. 국내의 경우 나노소자 분야와 반도체 관련 분야가 프론티어 사업으로 가장 실용화 성과를 보이고 있으며, 연구개발 결과 5~10년 후에 상용화를 앞두고 있다.

나노바이오분야는 전세계적으로 바이오칩과 바이오센서가 가장 빠른 시장성장이 예상되어 타분야에 비해 많은 기업이 진출하고 있는데 국내에서도 단백질칩분야에 많은 연구자들의 노력으로 세계적 수준의 논문과 특허 및 제품이 나타나고 있다. 그러나 바이오분야는 미국이 70% 이상을 원천특허로 무장하고 있고 시장의 80% 이상을 확보하고 있어 우리나라도 NT와 BT의 융합 분야에 총력을 기울일 필요가 있다.

장비분야는 나노기술 발전 단계에서 가장 먼저 성장하는 산업분야로서 전세계적으로 나노패시 설치가 설치되는 2005~6년까지 가장 빠른 성장이 예상되며, 그 이후에는 미미한 성장이 예상된다. 그러나 신규검사장비는 계속 등장하여 성장을 이끌 것이다. 우리나라에서도 기계연을 비롯하

여 프론티어 사업의 성과가 나타나고 있고, 코스닥 기업에 상장된 기업이 나노관련 장비분야이어서 귀추가 주목되고 있다.

나노소재분야는 나노기술 산업화 초창기부터 실용화 가능성이 가장 높은 분야로서 연료전지, 태양전지, 촉매분야에서 꽃을 피울 것으로 보인다. 국내에서는 정보통신용 부품소재와 액체금속, 연료전지 등에서 상용화하려는 움직임이 일어나고 있고, 일반 벤처기업이나 중소기업에서는 광촉매나 은나노 제품의 응용분야로 실제 제품이 판매되거나 서비스되고 있다. 특히 은나노 제품은 세탁기를 비롯하여 비데, 공기청정기, 에어컨 등의 가전제품과 실내용의 장판 등을 선보였다. 광촉매는 이미 수년전부터 수십 개의 기업이 군을 형성하고 가정용과 건축용등의 광범위한 응용제품을 선보이며 광촉매 산업군으로 변모해 가고 있다. 그리고 나노섬유분야는 이미 기존의 섬유기업들이 내의나 신발, 기저귀 등 가정용품으로 자리잡아 기존의 제품들을 대체해 나가고 있다. 이들 기업은 이미 나노기술시행계획 이전부터 연구되어 오던 것들로 나노기술과 맞물려 성숙기에 들어선 제품이다. 정부과제로 진출한 것이 대부분이나 대기업에서는 일본제품을 그대로 수입하여 판매나 서비스하고 있는 곳도 있다.

따라서 나노기술에 의한 시장의 파급효과는 나노기술이 특정한 시장을 형성한다기 보다는 나노기술이 기존 시장에 흡수되어 얼마나 잠식 하였는가 대체되고 있는가에 따라 파급효과가 나타날 것으로 보인다.

V. 결 론

1997년 이후 부터 현재까지 연구개발에 대한 논문발표가 특허출원 수보다 많은 것은 나노기술이 아직 태동기에서 성장기로 진입하고 있는 것으로 판단되며, 본격적인 성장기가 되면 논문발표수와 특허출원건수는 비슷해지고, 논문발표건수에 비해 특허출원건수가 더욱 증가하게 되면 일반적으로 성장기를 지나 완숙기에 접어들었다고 판단한다.

따라서 나노기술은 국내외적으로 아직 시장적 측면에서 진입기로 보인다. 국내외 나노기술의 현황을 보면 더욱 그렇게 나타나고 있다. 우리가 지난 10여 년간 보아온 소형화 혁명의 자연스러운 연속으로 휴대용 전화기, 컴퓨터, 카메라의 소형화에서 뚜렷이 나타나며, 또 CD, DVD, 센서, 잉크젯 프린터 등에서도 나노미터 특성을 갖는 부품들이 장착되고 있다. 지금 나노기술은 초기 단계에 있고, 마이크로시스템 기술을 통하여 시장에 접근하는 경향이 있지만 속도는 분명 가속화되고 있다.

미국 국가나노기술발전전략(NNI)에서도 나노기술이 산업화를 추진하기 위해서는 상당한 시간과 대규모의 물적, 인적 자원을 필요로 하며 투자도 지속적으로 이루어져야 된다고 기술하고 있다. 정부과제의 초창기부터 반도체 산업 육성을 기반으로 집중과 선택을 하여 연구기반을 구축하는데 투자한 결과 한국이 IT 선진국이며, 세계의 반도체 강국으로서 우뚝 서있는 것은 중심에 국내 대기업의 노력도 한 몫을 하고 있다.

최근 국내 대기업이 낸드플래시와 반도체공정을 업그레이드 하면서 세계 IT제품의 변혁을 예고하고 있다. 메모리 분야를 삼성에게 다 내어준 인텔과 IBM, NEC, SONY는 세계를 이끌어가는 IT 기업임에 틀림없지만 NT분야에서 영향력이 줄어들 것으로 판단된다.

나노기술은 한 단계 높은 수준으로 끌어 올리는 것이 아니라 완전히 그 기술을 대체하는 신기술로서 새로운 산업들도 이러한 이해의 결과로서 생겨나게 될 것이다. 나노기술은 이미 IT, 자동차, 화장품, 화학, 포장 등 다양한 산업에서 기술혁신의 밑받침이 되고 있다. 이 가운데 에너지 저장, 의료진단, 측정시험, 분석, 약물전달, 로봇틱스, 보철술 등의 분야는 나노기술이 기존 제품 및 시장에 파괴적인 것으로 나타날 수 있는 나노기술의 급진적 응용가능성의 영역으로 시제품이 출시되고 있다.

현재 나노기술을 응용한 대부분의 제품과 기술은 나노분말을 이용한 것이지만, 장기적 관점에서 높은 시장 잠재력이 있는 나노기술제품과 응용분야로는 국립도서관에 버금가는 소형 데이터 저장 시스템, 오늘날의 컴퓨터 센터의 능력을 갖는 PC, 1,000시간 이상의 영화를 상연할 수 있는 칩, 인체의 조직 및 장기 대체품, 저렴한 수소 저장 설비, 저렴하고 재사용 가능한 의료진단용 칩, 윤활제가 필요없는 신개념 베어링 등이 있다.

우리나라는 상대적으로 나노기술 연구개발 부문의 투자는 많이 이루어지고 있지만, 선진국에 비해 나노기술부문의 상업화는 아직 부족한 것 같다. 정부에서 본격적으로 투자한지 3년~4년이란 짧은 여정과 선택과 집중이라는 절대절명의 과제에 벗어나지 못해 정작해야 될 것을 빼 놓은 것은 아닌지 검증하고 다시 재무장해야 할 때이다.

현재 세계 최고 수준의 반도체 기술을 바탕으로 10~15년 내에 세계적인 경쟁력을 갖출 수 있는 나노소재 및 나노소재의 나노기술은 무엇인가? 약물전달시스템 등 폭발적으로 수요가 증가하는 나노바이오기술은 어떻게 대처하고 있는가? 나노소자나 나노소재에 독창적인 핵심기술과 원천기술은 보유하고 있는가? NT-IT, NT-BT 융합기술은 어떠한 시너지효과를 줄 수 있는가? 를 생각하여 상업화를 조성해야 할 것이다.

정부과제로 상업화의 기반을 마련하기 위해 단기적으로는 나노기술 유망아이템의 구체적인 사례와 벤치마킹을 통하여 산학연 공동 프로젝트를 수행하고 중장기적으로는 체계적인 협업중심의 클러스터와 특정분야에 원천기술과 성장산업에 집중할 수 있도록 한 실질적인 네트워크가 요구되고 있다.

참고문헌

- 차세대 성장산업 발굴기획단, 「미래전략산업 발전전략 세미나」, 산업자원부, 2003.5.22
 「국민소득 2만불 달성을 위한 차세대 성장동력 산업 추진현황 및 계획」, 과학기술부, 2004. 4. 19
 국가과학기술위원회, 「2002년, 2003년, 2004년, 2005년 나노기술발전 시행계획」, 과학기술부 2005. 5. 10
 특허정보원, 「NT 특허 분석 보고서」. 특허청, 2004
 나노산업기술연구조합, 「나노산업로드맵 작성 및 나노클러스터 조성방안 연구」 산업자원부 2004. 12.
 「Nano Weekly 51호」 KISTI, (2003.5.16), 56호(2003.6.20), 79호(2003.12.5)
 「나노테크놀로지 관련시장의 전모」, (주)富士經濟, 2002
 M.C. Roco, "International Strategy for Nanotechnology Research and Development", J. Nanoparticle Research. Vol. 3. No. 5-6, pp.353-360, (2001.8)
 "Nanotechnology Opportunity Report 2004", Cientifica, 2004
 M.C. Roco, "The US National Nanotechnology Initiative after 3 years(2001~2003)", J. Nanoparticle Research 6:1~10, 2004
 Government Policy and Initiative in Nanotechnology, The Institute of Nanotechnology, 2004