

나노기술의 최근 동향 및 전망 (3) - 국내의 동향 -

김희중*

한국과학기술연구원

(2005년 2월 23일 받음, 2005년 6월 8일 최종수정본 받음)

I. 서 론

나노기술의 연구는 1980년대부터 선진국들에서 진행되었지만 전세계적으로 나노기술에 대한 관심은 2000년초 미국의 클린턴대통령이 의회에 국가적 나노기술개발계획(National Nanotechnology Initiative, NNI)을 제안하고 예산을 요청하면서 급격히 높아졌다. 이후 우리나라는 매우 신속하게 대응하여 나노기술에 대한 개발계획을 범부처적으로 논의하고 다른 나라들보다 앞서 2001년 7월 국가차원에서 지원하는 나노기술 종합발전계획을 수립하여 대통령이 위원장인 국가과학기술

술위원회에서 확정함으로써 현재와 같이 국가적 지원하에 본격적으로 나노기술개발을 추진할 수 있는 체제를 만들었다.

우리나라의 나노기술 연구는 선진국에 비해 늦게 착수되었지만 국가 경제력에 비해 많은 연구자원을 집중적으로 투입하여 근래에는 발표논문수 및 특허출원면에서 세계 5위권에 도달하는 성과를 거두고 있다. 국내 산업계도 나노분말, 탄소 나노튜브, 반도체소자를 중심으로 나노기술의 응용을 확대하고 있으며, 머지않아 나노기술시장에서 선진국과 치열한 경쟁을 벌일 것으로 예상된다.

미국 SRI가 차세대 기술영역으로 제시한 45개 기술영역을 <Table I>에 나타내었으며, 그중 Spintronics, Carbon Nanotube, Nanomachining, Nanorobots 등의 12개 기술이 나노기술이라는 점에서 나노기술의 중요성을 알 수 있다[1].

본고는 1회의 나노기술의 개황, 2회의 외국의 동향에 이은 3번째 기고로서 우리나라의 나노기술 정책, 최근의 주요 연구 개발 성과, 학술 및 산업동향 등 국내의 나노기술 동향에 대해서 소개하고자 한다.

Table I. 미국 SRI사가 제시한 45개 차세대 기술영역

Advanced Displays	Microturbines
Bioelectronics	Miniaturization
Biomachines	Molecular Electronics
Biomimetics	Nanomachining
Carbon Nanotubes	Nanorobots
Clean-up Bacteria	Non-speech Recognition
Cloning	Perpetual Energy
Combinatorial Designed Materials	Personal Factory
DNA Barcodes	Photonic Bandgap Materials
Free Space Optics	Quantum Computers
Gene Therapy	Quantum Energy
GM Foods/Organisms	Recycling Technologies
Grid Computing	Replication
High Temperature Superconductors	Self Clean Materials
Holographic Storage	Self Repair Materials
Human Machine Interfaces	Spintronics
Internet II	Systems Biology
Lon Propulsion	Teleportation (not quantum)
lap-on-a-chip/Microreactors	Thermal Piles
Microactuators	Tissue Regeneration
Microbatteries	Underwater/space Mining
Microfuel Cells	Virtual Reality
	Weather Control/Climate Modelling

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

II. 국내 나노기술 연구개발정책[2-5]

2.1. 역사

우리나라에서 나노기술연구는 80년대에 박막분야 및 나노 결정분야를 중심으로 소규모 그룹 차원의 연구들이 진행되다가 대형국책연구사업으로 기획, 추진된 첫 번째 나노기술연구사업이 ‘극미세구조기술개발사업’이다. 1996년 착수된 이 사업에는 단전자소자, 양자점 광소자, 나노전자소자 등의 소자 분야, 자기기록박막재료, 나노분말 등의 나노소재분야, STM 과 MFM 등의 분석분야 등 현재 나노기술의 중추적 연구과제들이 많이 포함되어 있었다. 이 연구사업의 참여자들 대부분이 그후 만들어진 21세기 프런티어사업, 국가지정연구실사업, 창의적연구사업 등 나노관련 국가연구사업의 중추 연구자가 되었으므로 이 사업이 국내 나노기술연구의 뿌리라 할 수 있을 것이다. 이후 2000년대에 들어서 국가적으로 나노기술 종합계획을 수립, 추진하게 되었으며, <Table II>에 주요 국

Table II. 국내 나노기술 주요 역사

일시	주요 내용
1996. 11	2004. 1 국내 최초의 국책연구사업인 '극미세구조기술개발' 사업 착수
2000. 7	21세기 프런티어사업 '테라급 나노소자개발사업단' 시작
2000. 12	김대중대통령, 국가과학기술위원회에 나노기술개발계획 수립지시
2001. 7	제8회 국가과학기술위원회, 나노기술종합발전계획 심의/확정
2001. 8	국민경제자문위원회, NT산업 발전전략 확정
2001. 11	나노산업기술연구조합 발족
2001. 12	국가과학기술위원회 산하에 나노기술전문위원회 신설 과학기술기본계획에 나노소자 및 시스템 등 4개 나노분야 선정
2002. 7	KAIST, 나노종합팹 주관기관 선정
2002. 11	국회, 나노기술개발촉진법 제정
2003. 5	KIST 콘소시움, 나노소자특화팹 주관기관 선정
2003. 6	나노기술개발촉진법 및 동법 시행령 발효
2003. 6	KISTI, 나노기술 종합정보지원체제 구축사업 시작
2003. 8	과기부/산자부, 제1회 국제 나노기술 심포지움 및 전시회 개최
2003. 10	과기부/시 NSF, 제1회 한미 나노포럼 개최 사단법인 나노기술연구협의회 발족

내 나노기술 역사를 나타내었다.

2.2. 예산

우리나라 나노기술개발은 BT, IT 등 기존의 기술분야와는 다르게 기술개발 초기단계에서부터 정부차원의 강력한 정책 수립과 추진이 이루어지고 있는데 그 근간은 2001년 7월 수립된 나노기술종합발전계획이다. 이 계획은 5년 이내에 나노기술개발을 위한 주요 인프라 구축을 완료하고, 2010년에는 선진 5개국 기술경쟁력을 확보하여 비교우위를 갖는 최소 10개 이상의 최고기술을 확보하는 것을 비전으로 제시하였다.

2001년부터 2004년까지를 1단계, 2005년부터 2007년까지를 2단계, 2008년부터 2010년까지를 3단계로 구분하여 추진되며, 추진분야는 연구개발, 인력양성, 장비확충 및 인프라구

축부문으로 구성되어 있다. 10년간 투입되는 전체 예산규모는 총 1조 4,850억원에 달하며, 연구개발부문 1조 2,125억원, 인력양성 835억원, 장비 및 인프라 구축부문에 1,890억원이 투자될 계획이다. 이중에서 정부측의 투자규모는 9,835억원으로 전체 예산의 66%를 차지하고 있으며, <Table III>에 예산계획의 내용을 나타내었다.

연구개발은 전략적 필요성, 성장가능성을 고려하여 대상사업을 선정하고 경쟁력 강화분야, 경쟁력 확보분야, 기술기반 강화분야, 기술저변 확충분야로 차별화하여 지원하고 있다. 인력양성은 단기 및 중장기별로 인력양성계획을 수립하고, 연구시설 및 기반구축은 한정된 재원으로 여러 연구주체가 공동으로 활용하기 위해 장비활용시설을 구축하는 것을 골자로 하고 있다.

Table III. 우리나라 나노기술 단계별 예산계획안(2001-2010년)[3]

(단위 : 억원)

구분	1단계('01~'04)		2단계('05~'07)		3단계('08~'10)		소계		계
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	
핵심기술	1,170	290	1,170	780	1,170	1,170	3,510	2,240	5,750
주요기술	500	125	600	400	600	600	1,700	1,125	2,825
기반기술	360	90	600	400	600	600	1,560	1,090	2,650
저변확충연구	300	-	300	-	300	-	900	-	900
연구부문 소계	2,330	505	2,670	1,580	2,670	2,370	7,670	4,455	12,125
외국인인력유치	40	-	30	-	30	-	100	-	100
대학인력 양성	180	-	100	-	50	-	330	-	339
핵심인력 양성	135	-	135	-	135	-	405	-	405
인력부문 소계	355	-	265	-	215	-	835	-	835
Fab센터	636	318	127	126	117	116	880	560	1,440
출연연특화연구	100	-	200	-	150	-	450	-	450
기반부문 소계	736	318	327	126	267	116	1,330	560	1,890
총 계	3,421	823	3,262	1,706	3,152	2,486	9,835	5,015	14,850

Table IV. 우리나라 나노기술정책의 2004년도 중점추진과제

중점 추진분야	중점 추진과제
국가 나노기술 육성체제 강화	- 나노기술개발 종합발전계획의 수정보완 - 나노기술 연구인력 로드맵의 작성추진 - 나노기술 육성/지원체제 다원화 추진
기술혁신형 연구개발 활성화	- 전략적 우위확보 가능분야에 대한 집중지원 - 기술의 융합추세에 대응한 NT기반 융합기술개발 확대 - 연구개발 기획 및 관리의 효율화
나노기술 연구인프라 확충 및 효율적 활용	- 나노기술 연구시설, 장비구축 및 활용 - 나노기술 전문인력 양성확대 - 나노기술 정보시스템 내실화
산업화 지원체제 및 연계협력 강화	- 나노 산업화시설 집적화를 통한 산업화지원체제 구축 - 산/학/연 및 국제협력 네트워크 강화

Table V. 나노기술에 대한 정부의 2003년도 투자실적 및 2004년도 투자계획

(단위 : 억원)											
	사업 구분	과기부	교육부	산자부	정통부	복지부	환경부	국방부	농림부	국무조정실	계
2003실적	R&D	771	-	387	68	10	165	4	2	237	1,644
	인프라	420	-	63	57	-	-	-	-	86	626
	인력	30	75	-	-	-	-	-	-	-	105
	계	1,221	75	450	125	10	165	4	2	323	2,375
2004계획	R&D	966	-	319	124	10	170	6	3	269	1,867
	인프라	323	-	224	83	-	-	-	-	109	739
	인력	44	75	-	8	-	-	-	-	-	127
	계	1,333	75	543	215	10	170	6	3	378	2,733
증가율(%)		9.2	-	20.7	72.0	-	3.0	50.0	50.0	17.0	15.1

한편 정부는 매년 체계적이고 효율적인 나노기술개발 추진을 위해 당해연도의 나노기술발전시행계획을 수립하여 추진하고 있다. 수립된 계획은 매년 4월말까지 국가과학기술위원회에 보고하여 나노기술전문위원회의 심의를 받게하고 있다. 2001년 설립된 나노기술전문위원회는 정부부처별로 추진되고 있는 나노기술관련 연구사업들에 대한 정책 및 조정업무를 수행하고 있으며, 신규과제 발굴 및 중요 안건을 국가과학기술위원회에 보고하는 역할도 담당하고 있다.

2004년도 우리나라 나노기술정책의 중점추진과제는 4대 분야 11개 중점추진과제로 되어 있으며, <Table IV>에 세부내용들을 나타내었다. 또한 <Table V>에는 2003년도 우리나라 나노기술 정부투자 실적 및 2004년도 투자계획을 나타내었다 [5]. 2003년도에는 총 2,375억원의 정부예산이 투자되었는데 연구개발 1,644억원, 인프라구축 626억원, 인력양성 105억원으로 구성되었다. 2004년도의 정부의 나노기술 투자는 전년 대비 15.1% 증가한 2,733억원으로 정부 연구개발증가율 8.5%의 거의 2배가 되고 있다. 2004년도 예산투자를 사업별로 보면 연구개발부분이 1,867억원으로 총투자액의 68.3%를 차지하고 인프라부분은 전년대비 약 18%의 증가를 보이고

Table VI. 우리나라 정부의 2003년 및 2004년도 6T분야 연구개발비 투자계획(단위 : 억원)

구분	2003년	2004년	2004년 비중(%)
생명공학(BT)	4,964	5,428	8.9
나노기술(NT)	1,992	2,159	3.5
정보기술(IT)	5,059	4,769	7.8
우주기술(ST)	1,844	2,242	3.7
환경기술(ET)	2,709	3,051	5.0
문화기술(CT)	249	244	0.4
기타	39,273	42,954	70.6
계	56,090	60,847	100.0

있다. 부처별 투자규모를 보면 과학기술부 49%, 산업자원부 20%로 두 부처가 총투자액의 약 70%를 차지하고 있다.

국가적인 연구개발사업 중 나노기술사업의 비중을 보기 위해 <Table VI>에는 우리나라 정부의 중점연구개발 대상기술인 6T기술들의 2003년 및 2004년도 투자계획을 나타내었다. 2003년도에는 정보기술 5,059억원, 생명공학기술 4,964억원, 환경기술 2,709억원 다음으로 나노기술 투자액이 1,992억원이었으며, 2004년도에는 생명공학기술이 5,428억원으로 최대

Table VII. 우리나라 정부부처별 주요 나노기술 추진사업 [5]

			(단위 : 억원)	
기관명	사업명	사업기간	2003 실적	2004 계획
과기부	테라급 나노소자 개발사업	2000~2010	75	90
	나노소재기술 개발사업	2002~2012	68	82
	나노메카트로닉스기술 개발사업	2002~2012	75	90
	나노핵심기반기술 개발사업	2001~2010	171	173
	신기술융합사업	2003~2009	87	88
	차세대 원천기술 개발사업	2004~2011	-	190
	나노기초관련 연구사업	1995~계속	263	253
	나노IMT출연금 지원사업	2001~2003	32	-
	나노종합Fab센터 구축사업	2002~2010	250	150
	나노소자특화Fab센터 구축사업	2003~2007	100	100
	극초단 광양자빔연구시설 설치사업	2003~2008	30	35
	차세대 자기공명장치 설치사업	2002~2004	30	30
	나노종합정보지원체제 구축사업	2003~2011	10	8
	전문인력 양성사업	2002~계속	30	44
소 계			1,221	1,333
교육부	BK21사업(나노기술분야)	1999~2005	75	75
산자부	고기능 나노복합체 개발	1999~2008	21	21
	차세대 대용량 정보저장장치기술개발	1999~2008	16	16
	산업용 섬유제조기술 개발	2001~2010	21	24
	차세대 산업화 핵심요소기술 개발	2001~2010	25	49
	IT기반 나노제어시스템 개발	2002~2011	12	17
	반도체용 EUVL 리소스라피 핵심기술개발	2002~2011	18	18
	나노계측 X선 결상현미경시스템 개발	2002~2011	17	16
	이온빔이용 나노가공용장비 개발	2003~2013	21	22
	기능성 카본나노박막재료 및 장치개발	2003~2008	21	23
	부품소재 등 핵심기술개발	2001~계속	215	113
	나노기술기반구축사업	2004~2008	-	100
	나노부품실용화센터	2004~2008	-	75
	나노소재 및 응용제품 TIC	2003~2007	9	10
	나노기술산업화지원센터	2001~2005	25	30
	나노입자 TIC	2002~2006	9	9
	금속재료 TIC	1999~2003	10	-
	나노정밀가공 TIC	1999~2003	10	-
소 계			450	543
정통부	IT-NT융합기술개발사업	2001~2007	68	124
	국가 GRID사업	2002~2006	57	56
	IT융합기술 특화연구센터	2004~2008	-	27
	대학IT연구센터지원	2004~계속	-	8
소 계			125	215
복지부	메디컬 나노소재개발사업	2004~2013	-	10
	나노진단/치료 및 생체모방기술 연구	2001~2003	10	-
환경부	차세대 핵심환경기술개발사업	2001~2010	165	170
국방부	국방분야 나노기술개발사업	2001~2004	4	6
농림부	농업분야 나노기술개발사업	2001~2005	2	3
국무조정실	산하 출연연 나노기술개발사업	2001~2011	323	378
합계			2,375	2,733

가 되고 정보기술 4,769억원, 환경기술 3,051억원, 우주기술 2,242억원, 나노기술 2,159억원 순이었다. 나노기술은 타 기술에 비해 2000년대 들어 가장 높은 정부예산 증가율을 나타내고 있다.

2.3. 주요 연구개발사업

국가주도의 나노기술개발은 주로 과학기술부, 산업자원부, 국무조정실 산하 출연연구기관들을 통하여 이루어져 왔으며, 특히 과학기술부가 국가 나노기술개발 추진전략을 총괄하면서 국내외의 환경변화에 대응하는 역할을 하여 왔다. 그러나 2004년 하반기 과학기술부의 기능이 정부 연구개발예산의 조정, 연구사업의 기획 및 평가 위주로 바뀌면서 2005년에는 상당부분 변화가 있을 것으로 보여진다.

과학기술부를 중심으로 추진되는 사업은 프런티어연구사업인 '테라급 나노소자 개발사업', '나노소재기술개발사업', '나노메카트로닉스기술개발사업' 등 3개 사업단이 있으며, '나노핵심기반기술개발사업', '나노기술 종합정보지원체제 구축사업', '나노IMT출연금지원사업', '나노종합센터 구축사업', '나노소자특화팩 구축사업' 등이 대표적인 나노기술관련사업들이다.

산업자원부를 중심으로 추진되는 사업은 '나노기술연구개발사업(7개)', '나노산업화지원센터사업' 등이 있으며, 교육부, 국방부, 정통부 등에서도 각각 나노기술관련 연구프로그램을 진행하고 있다.

<Table VII>에는 <Table V>의 나노기술에 대한 우리나라 정부부처별 나노기술 추진사업을 주요 사업별로 세분하여 세부사업명, 사업기간, 2003년도 예산투입실적 및 2004년도 예

Table VIII. 우리나라 정부출연연구기관들의 주요 나노기술 추진사업

(단위 : 억원)

기관명	사업명	사업기간	2003년 실적	2004년 계획
KIST	신개념 스피전자소자기술개발사업	2002~2011	50	45
	나노소재기술개발사업	2002~2006	60	68
	나노관련 시설구축사업	2001~2006	40	40
	Bio-microprocessor 요소기술사업	2001~2006	7	8
	소 계		164	161
전자통신연	나노 광통신소자기술개발	2002~2005	84	84
	나노 전자소자/소재기술개발	2001~2006	71	149
	소 계		155	233
기초과학연	나노물질개발 및 특성평가기술	2002~2008	5	8
	공동활용 기자재 및 장비확충사업	1993~계속	46	50
	초고압투과전자현미경 설치운영	1998~계속	10	16
	차세대 자기공명장치 설치운영	2002~계속	30	40
	고자기장 공동연구 및 장비공동개발	2003~2012	-	11
소 계		91	125	
기계연	나노지향 미세기계기술개발	2003~2005	91	100
표준과학연	나노바이오측정기술개발	2003~2009	45	45
	극미세구조기술개발	1996~2004	11	9
	나노기술 측정표준화기술개발	2002~2004	18	19
	소 계		74	73
화학연	전자재료용 고분자소재개발	2002~2006	7	6
	표적지향 항암나노캡슐개발	2002~2005	6	8
	기타 나노관련기술 개발	2001~2008	17	35
소 계		30	49	
에너지연	NT활용 에너지소재 및 응용기술개발 등 3개 과제	2002~2007	16	16
생명연	분자표적활용 HTS용 단백질칩 개발 등 2개과제	2001~2006	4	6
정보연	나노기술 종합정보지원체제구축	2001~2011	20	10
지질연	나노복합물질 제조 및 특성연구 등 3개 과제	2002~2006	3	7
합 계			649	781

산계획을 정리하여 나타내었다[5]. 과학기술부 및 산자부가 나노기술에 관한 연구개발사업을 금액면이나 과제수면에서 많이 추진하고 있음을 알 수 있다.

<Table VIII>에는 정부 출연연구기관들이 추진하고 있는 주요 나노기술연구개발사업들에 관한 세부사업명, 2003년도 예산실적 및 2004년도 예산계획을 나타내었다. 한국과학기술연구원(KIST)이 나노소자 및 나노소재를 중심으로 가장 많은 나노기술연구개발비를 투입하고 있으며, 전자통신연구원, 기초과학지원연구소, 기계연구원, 표준과학연구원의 순서로 많은 연구비를 투입하고 있다.

III. 국내 논문 및 특허동향

3.1. 논문

나노기술 관련논문은 세계적으로 1997년 이후 2004년 2월 까지 약 58,000편의 논문이 발표되었으며, 매년 평균 24.8%의 높은 성장세를 보이고 있다[2]. 그중 미국이 27.9%인 16,352편을 발표하여 가장 높은 비중을 차지하였으며, 중국 8,637편(14.7%), 일본 7,678편(13.1%), 독일 5,926편(13.1%), 프랑스 4,101편(7%)의 순서이며, 8위인 한국은 2,424편으로 4.1%를 차지하였다. <Table IX>에 우리나라를 포함한 주요 국가들의 연도별 논문수 변화를 나타내었다.

국가별 논문순위 변화를 보면 1997년 이후 미국, 중국, 일본, 독일, 프랑스가 상위그룹을 꾸준히 지속하고 있지만 중국

이 1997년 4위에서 2000년 이후에는 2위를 유지하고 있고 한국이 2000년에 8위로 진입한 후 2002년에는 6위가 되었다. 이와 같이 아시아권의 나노기술 연구개발이 확대되어 기존의 일본, 중국, 한국 외에 인도, 대만 등이 20위 이내의 상위권으로 진입한 것이 특징적이다.

1997년 이후 2004년 2월까지 우리나라에서 발표한 나노기술 관련 논문수는 세계 총발표논문 58,696편의 4.1%인 2,424편이다. 우리나라는 연평균 57.7%의 논문 증가율을 나타내었으며, 2003년도에는 43.3%의 증가세를 나타내어 다른 국가들에 비해 매우 높은 성장세를 나타내고 있다. 세계 점유율 또한 1997년 1.4%에서 2003년 5.7%로 지속적으로 증가하고 있는 추세이다. 1997년 13위였던 세계순위는 2000년에 8위가 되었고 2003년에는 6위를 차지하여 국내 나노기술의 연구개발 위상이 매우 확대된 것을 보여주고 있다. 그러나 아직 절대규모면에서는 세계 1위인 미국의 1/4 수준에 있다. <Table X>에는 우리나라의 나노기술 관련 논문발표수 추이를 나타내었다.

다음에는 2003년에 한정하여 국내 나노기술연구자들이 SCI급의 저널에 발표한 논문들을 분석한 자료를 소개한다[2]. 2003년도에 논문제목에 '나노'라는 용어가 포함되어 발표된 논문수는 844건으로서 상기의 <Table X> 자료보다는 12편 많게 조사되었다. <Table XI>에는 논문이 실린 각 저널의 순위를 나타낸 것으로서 가장 많은 나노기술 논문이 발표된 저널은 총 53편이 실린 'Journal of the Korean Physical Society'

Table IX. 연도별 주요국들의 나노기술 논문수 순위변화[2]

	미국	중국	일본	독일	프랑스	러시아	영국	한국	이태리	스페인
1997	1,120(1)	373(4)	523(2)	470(3)	355(5)	227(6)	177(7)	54(13)	114(8)	114(8)
1998	1,374(1)	488(4)	627(2)	528(3)	404(5)	239(6)	226(7)	87(13)	145(9)	155(8)
1999	1,644(1)	717(3)	816(2)	678(4)	482(5)	350(6)	282(7)	162(10)	181(9)	188(8)
2000	1,989(1)	924(2)	919(3)	798(4)	543(5)	335(6)	305(7)	221(8)	204(9)	157(11)
2001	2,687(1)	1,336(2)	1,270(3)	916(4)	620(5)	432(6)	411(7)	408(8)	283(9)	243(11)
2002	3,517(1)	1,898(2)	1,573(3)	1,167(4)	794(5)	538(8)	541(7)	580(6)	338(9)	290(11)
2003	3,724(1)	2,640(2)	1,853(3)	1,284(4)	860(5)	608(7)	574(8)	832(6)	491(9)	360(11)
2004	297(1)	261(2)	97(3)	84(4)	43(6)	41(8)	42(7)	80(5)	25(11)	25(12)

* 단위는 건수이며, 2004년은 1년분이 아닌 2004년 2월 16일 현재 통계임.
() 내는 순위임.

Table X. 나노기술 관련 우리나라 논문발표수 추이[2]

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004*
논문발표수	54	87	162	221	408	580	832	80
증가율(%)	-	61.1	86.2	36.4	84.6	42.1	43.4	-
세계점유율(%)	1.4	1.9	2.7	3.2	4.3	4.8	5.7	7.2
세계순위	13	13	10	8	8	6	6	5

* 2004년은 2월 16일 현재기준.

Table XI. 나노기술논문이 게재된 주요 SCI급 저널순위

저널명	논문수	저널명	논문수
Journal of the Korean Physical Society	53	Applied Physics Letters	35
Chemical Physics Letters	22	Chemical Communications	20
Advanced Materials	19	Synthetic Metals	18
Journal of Applied Physics	18	Journal of Applied Polymer Science	17
Japanese Journal of Applied Physics	17	Journal of Vacuum Science and Technology B	16
Materials Letters	15	Bulletin of the Korean Chemical Engineering	15
Physical Review B	14	Journal of Industrial and Engineering	14
Journal of Crystal Growth	14		

이다. 다음으로 36편인 ‘Applied Physics Letters’, 22편의 ‘Chemical Physics Letters’로서 주로 물리학계의 저널이 차지하고 있으며, 이는 현재 국내에서 나노기술이 물리학분야에서 가장 활발한 연구가 진행되고 있음을 시사한다. 다음으로 응용과학기술분야인 화학공학, 재료공학 등의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있다.

2003년도에 나노기술 논문을 발표한 주요기관들을 살펴보면 서울대학교가 가장 많은 95편의 논문을 발표하였으며, 다음으로 한국과학기술원 61편, 고려대학교 및 한양대학교가 각각 50편을 발표하였고 이어 포항공대(37편), 인하대(36편), 성균관대(34편)의 순서로 많은 논문들을 발표하였다.

대학 이외의 연구기관으로는 한국과학기술연구원이 26편을 발표하여 국내 7위를 차지하고 있을 뿐 국내에서 학술적으로 나노기술의 발전을 선도하는 주체는 대학으로 나타나고 있다.

3.2. 특허

특허는 연구개발한 나노기술의 권리를 보호한다는 면에서 매우 중요한 지적재산권이다. 한국에 출원공개된 나노기술 관련 특허는 1981년 이후 2003년 12월까지 총 1,596건이었다. 특허 출원공개 추이를 보면 85년 이후 연평균 30%의 높은 증가율을 보여 왔으며, 특히 탄소나노튜브가 발견된 1992년부터 2002년 사이의 출원은 연평균 35%의 증가율을 나타내었다.

<Table XII>에 나타난 출원인의 국가별 출원건수 추이를 보면 1995년을 기점으로 한국인의 출원이 외국출원인을 상회

하기 시작하였음을 알 수 있다. 외국 출원인 중에는 미국이 총 336건으로 21%를 차지하였으며, 일본이 112건으로 7%, 그 다음으로 독일과 프랑스이었다. 우리나라 출원은 총 938건으로 전체의 약 59%를 차지하고 있다.

1992년 이후 연도별 출원 증가세를 보면 내국인 출원은 연평균 70%로 급속한 증가세를 보이고 있고, 미국 약 50%, 일본 약 36%, 독일 25%의 증가세를 보여 외국인 출원도 상당히 높은 증가율을 보이고 있음을 알 수 있다.

한국에 출원된 나노기술 관련특허의 대상분야를 살펴보면 반도체장치 및 관련부품이 가장 큰 비중을 차지하고 있고 다음으로 디스플레이에 관련된 전자관 및 방전램프분야가 차지하고 있다. 우리나라는 디스플레이소자가 상대적으로 많고, 미국은 반도체 및 정보저장장치, 일본은 반도체 및 전자소자가 많은 반면 유럽국가들은 의약품, 화장품, 화학분야가 많은 것에 차이가 있다.

국내의 주요 나노기술특허 출원인을 살펴보면 한국전자통신연구원이 51건으로 가장 많이 출원하였고, 다음으로 삼성전자(47건), LG전자(43건), 삼성SDI(40건), 한국화학연구원(29건), IBM(25건), 로레알(23건), 한국과학기술연구원(21건), 일진나노텍(21건), 나노테크닉스(20건)의 순이었다.

IV. 주요 연구개발 성과

우리나라에서 나노기술을 본격적으로 연구개발한지 수년이

Table XII. 국내특허 출원인의 국가별 출원건수 추이

	1985	1990	1995	1997	2000	2001	2002	2003*	계**
한국		6	16	42	181	276	209	29	936
미국	4	4	15	18	48	55	60	37	336
일본		2	4	3	11	17	25	13	112
독일		1	1	2	9	10	13	5	64
프랑스			2	5	3	3	11	3	48
기타		2	1	3	11	9	35	10	100

* 2003년도는 일부기간 통계.

** 계는 1985년부터 2003년까지의 전체년도의 합계.

경과하면서 양호한 연구성과들이 창출되기 시작하고 있으며, 다음에는 2003년, 2004년에 국내에서 이루어진 주요 연구성과들을 분야별로 나누어 간단히 정리하였다.

4.1. 나노소자분야

테라급 나노소자개발사업(프린티어사업)의 대표적 성과로서 2003년 삼성종합기술원에서는 30 nm SONOS Array TEG 설계 및 메모리 셀 공정설계로 세계최고 성능을 갖는 테라급 메모리단위소자를 세계최초로 실현하였다. 이기술은 종래의 다결정 실리콘을 사용한 부유게이트 대신 실리콘질화막 안에 전하를 축적하는 SONOS 구조의 30 nm 극미세선폭을 가지는 소자로서 향후 플래시메모리의 집적도 향상의 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 또한 동 기술원에서는 탄소나노튜브를 이용한 비휘발성메모리의 동작을 구현하는데도 성공하였다. 이 사업단에서는 40 nm급 이중게이트 CMOS 소자를 값싼 벌크실리콘기판을 이용하여 구현하였다. 또한 25 nm InGaAs HEMT소자를 제작하는데 성공하였고, HSQ (Hydrogen Silses Quioxane) E-beam resist로 10 nm 이하의 패터닝을 구현하였으며, 서울대에서는 원자이미지를 이용하여 100 nm 수준의 양자점, 양자선 패터닝을 형성하는 장비구축을 2003년도에 완료하였다. 성균관대에서는 중성자빔을 이용한 무손상 식각장치 및 공정기술을 통해 50 nm 이하 선폭의 무손상식각을 확인하였다.

한양대에서는 차세대 반도체기술인 나노SOI를 개발하였으며, KAIST에서는 Q>3000 이상인 InGaAsP 양자섀 광밴드 갭 레이저를 실현하였다.

삼성전자는 최근 반도체 나노기술을 적극 개발하고 있으며,

그 대표적인 성과들은 90나노공정에 비해 50% 이상 생산성이 향상된 세계최초로 70 nm 공정을 적용한 4기가 낸드(NAND) 플래시메모리반도체 개발, 50나노 이하 반도체에 적용할 수 있는 나노급 반도체 신기술인 다마신 게이트(Damascene Gate)와 RCAT(Recess Channel Array Transistor)기술 개발, S램 가운데 최고속도 및 최대용량을 보유한 90나노공정을 이용한 72메가 DDR3 SRAM의 세계최초 개발 등이다.

4.2. 나노소재분야

나노소재기술개발사업(프린티어사업)에서는 다양한 나노소재를 연구개발하고 있으며, 최근의 대표적 연구성과로는 포항공대에서 수행한 세계최고수준의 비축매성장법에 의한 고순도 고품질 나노막대 제조기술의 개발을 들수 있는데 이 기술은 향후 초소형 디스플레이의 발광소자로 활용 가능성이 있다고 보여지고 있다. KIST에서는 기존 알루미늄소재에 비해 강도가 2배 이상인 나노결정 알루미늄소재를 연속으로 제조할 수 있는 ECAP 공정을 개발하였으며, 한양대에서는 CVC, SC, IGC법에 의한 10~20 nm급의 순철 및 페라이트 나노분말합성에 성공하여 생체적용 가능성을 모색하고 있다.

국민대의 원자층증착기술을 이용한 산화티타늄 나노튜브의 개발, 광주과학기술원의 나노크기의 콜로이드 결정체에 빛의 굴절율을 점진적으로 변화시키는 기법을 사용한 신개념의 광자결정 제조기술개발, 미지테크의 금과 은 나노분말 개발, 새한의 나노기술을 이용한 직물가공법 개발, 서울대의 고성능 연료전지 탄소나노소재 개발과 나노튜브 반도체 대량양산기술 개발, 세계최고수준의 반도체용 저유전물질 개발, LG생활건강의 나노카본을 이용한 소취제 개발 등이 이루어졌다. 서강대에서는

Table XIII. 국내 나노소재기업들의 생산제품

기업명	나노소재 생산제품
(주)나노신소재	TRP(Transparent Ray Blocker) paste제조 - 열(적외선) 차단용 분말 및 도료, 나노콜로이드 - 이온환원법으로 은 분말 및 콜로이드 제조
나노환경기술(주)	광촉매 제조 - 이산화티타늄 광촉매를 제조하여 각종 오염물질을 정화 - 모든 실내에 적용가능
(주)뉴맨나노텍	탄소나노분말 및 이를 이용한 제품 제조 - Forsan : 플러렌을 응용한 강력한 코팅제로서 엔진처리 마모 방지(세라믹+금속층) - 탄소나노소재, 용접기 및 자동차충돌방지 시스템 생산
티오캠(주)	나노입자 제조 - 단분산상 나노폴리머 미립자, 유/무기 나노복합소재, 다기능 나노코팅제, 무기나노연제 및 단열재, 광촉매 제조 - LCD 광분산시트, 도전성미립자, 센서, 담체, 충전제, 바인더, 엔프라의 충격보완제, 유연제, 필름의 내블로킹제 등
나노니코(주)	엔진보호용 오일첨가제(NICO) 제조 - 러시아의 나노신소재기술 도입, NICO 개발판매 - 구리와 니켈의 나노입자에 의해 엔진마모 및 진동을 방지

제오라이트 초결정을 형성하는 신기술을 세계최초로 개발하였으며, KAIST의 나노 다공성 신구조물질 개발, 부산대의 세계에서 가장 질긴 섬유개발 및 나노복합체 기계코팅막 개발, 연세대의 다양한 형상의 나노물질 구현, 한양대의 이중벽 탄소나노튜브 대량합성기술 및 나노세리아 슬러리 개발, 기계연구원의 나노크기 초경분말 제조기술개발, 이화여대의 압조직 선택성 나노백금착물 항암물질 개발 등도 주요 연구개발 성과들이다.

<Table XIII>에는 현재 국내에서 나노소재를 개발, 생산하고 있는 기업들과 그 생산제품들을 간략하게 소개하였다.

4.3. 나노공정분야

성균관대에서는 세계최초로 높은 플럭스, 낮은 에너지의 중성빔을 이용하여 50 nm의 극미세패턴 형성 및 특성확인을 하였다. (주)올메디쿠스에서는 당화혈 색소내의 헤모글로빈 농도와 전기화학적 반응중 발생하는 전류와의 상관관계를 이용한 헤모글로빈 측정기술을 개발하였다. KIST에서는 경도 45 GPa, 잔류응력 3.2 GPa 이하의 탄소나노복합박막 합성기술 개발로 각종 금형 및 공구의 성능 및 수명을 향상시켰다.

이외에도 다기능 프린팅공정기술, 나노프루브를 이용한 리소그래피기술 개발 등도 주요한 성과이다.

4.4. 나노융합분야

이화여대에서는 고분자 의약전달 신물질로 사용할 수 있는 수용액 중 분자가 10~50 nm 크기로 조절가능한 포스파젠계 신고분자물질을 세계최초로 개발하였다. 연세대에서는 조기진단, 신약개발, 글라이코믹스 연구 등에 사용가능한 세계수준의 고집적, 고성능 탄소화물칩을 개발하였다. 서울대에서는 바이오센서로 응용가능한 기존 계면활성제보다 수천분의 1인 초저가의 비이온성 계면활성제를 사용한 나노다공성 백금전극의 제작에 성공하였다.

V. 결 론

우리나라는 1990년대 후반부터 나노기술에 대한 국책연구

를 시작하였지만 2000년에 들어서는 다른 어느 국가보다도 빠르게 나노기술에 대한 국가연구프로그램을 마련하고 범부처적으로 지원하는 나노기술연구사업에 착수하였다.

앞에서 살펴본 바와 같이 우리나라는 나노소자 및 나노소재에 연구의 중점을 두고 있으며, 수년이 경과한 현재 나노기술 투자에 대한 성과가 나타나기 시작하고 있다. 논문발표수는 현재 세계 6위의 상위권에 있으며, 특허출원도 매우 빠른 속도로 증가하고 있으므로 수년이 지나면 우리나라도 나노기술의 지적재산권의 소유나 학술적 위상에서 세계 상위권의 나노기술 보유국이 될 것으로 기대된다. 따라서 앞으로는 개도국들이 아닌 미국, 일본, 유럽연합에 속한 선진국들과 나노기술의 직접적인 경쟁이 벌어질 것이 확실하므로 원천성과 응용성이 강한 기술개발에 신경을 써야할 시기에 이르렀다고 생각된다.

우리나라는 현재 응용면에서 성장기 초입에 도달한 것으로 생각된다. 나노분말을 중심으로 한 나노소재들이 이미 생산되고 응용이 되기 시작하였으며, 반도체는 이미 100 nm 이하의 공정이 생산에 이용되고 있다. 또한 정보저장 및 정보표시소자 들도 상당히 나노공정이나 나노소재를 이용하여 생산되기 시작하고 있다.

나노기술은 미래의 주요기술임과 동시에 현재기술이므로 종래기술의 연장선상에 있는 기술들은 응용가능성을 고려하여 단기, 중기적으로 개발하고, 혁신적인 아이디어나 공정 및 재료를 필요로 하는 혁신기술들은 장기적인 관점에서 신중한 로드맵을 수립하여 전략적으로 개발해 나아가야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 박철호, 차세대 전략기술 도출프로세스(SRIC-BI 사례), KISTI 기술시장 정보분석 세미나, 2004. 12월.
- [2] 한국과학기술정보연구원, 나노기술연감 2003, 2004년 6월.
- [3] 과학기술부, 나노기술 종합발전계획, 2001년 7월.
- [4] 정상기, 한국의 나노기술 연구개발 동향, KISTEP News Letter, 2004. 11. 22.
- [5] 국가과학기술위원회, 2004년도 나노기술발전시행계획. 2004. 4월.