국내외 나노기술 동향 분석 및 수준 비교 연구*

The Current Status of Nanotechnology Development in Korea and Other Countries

소대섭**·김경호***·이호신****·최붕기*****·박종구******

<목 차>

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 본론
1. 동향 조사 및 수준 비교분석의 방법
2. 기술 분야별 동향 분석
3. 우리나라 나노기술 경쟁력 평가 분석
Ⅲ. 결론

Abstract :

Four years have passed since Korea launched its intensive development plan for nanotechnology. Now, at the moment of transition moving to the second phase of nanotechnology development, it is very important to evaluate the results of government-driven nanotechnology development performed for last four years. In the present study, the trends of R&D and commercialization in nanotechnology area were in-depth investigated in both Korea and other countries. And Korea's nanotechnology level was compared with those of other advanced countries. This study is useful for establishing the government policy for nanotechnology development and amending the second phase plan of nanotechnology development in Korea.

Keywords : 나노기술, 동향 분석, 경쟁력, 수준 비교, 평가

* 이 논문은 과학기술부 특정연구개발사업의 지원으로 연구되었음.
** 소대섭, 한국과학기술정보연구원 선임연구원, 02-3299-6014, dasus@kisti.re.kr
*** 김경호, 한국과학기술정보연구원 책임연구원, 02-3299-6010, kimkho@kisti.re.kr
**** 이호신, 한국과학기술정보연구원 선임연구원, 02-3299-6018, leehs@kisti.re.kr
***** 최붕기, 한국과학기술정보연구원 연구원, 02-3299-6011, boongkee@kisti.re.kr
****** 박종구, 한국과학기술연구원 책임연구원, 02-958-5492, jkpark@kist.re.kr

I. 서론

2000년 미국이 국가나노기술개발전략(National Nanoetchnology Initiative, NNI)를 공포하며 나노기술 개발을 본격 추진한 이래 우리나라를 포함한 세계 40여개 국가들이 나노기술을 국가적인 차원에서 경쟁적으로 개발하고 있다.[1)2)] 나노기술의 광범위한 기반성, 원천성 때문에 국가간은 물론 기업간 경쟁력을 결정하게 될 전망이다. 이에 따라 각국 정부는 그 나라의 사회적, 경제적, 과학기술적 여건을 감안한 나노기술 개발전략을 수립하고 기술개발을 지원하고 있으며, 치열한 기술개발 경쟁에서 살아남기 위하여 선진 경쟁국들의 연구개발 동향을 면밀하게 분석하는 한편 자국의 연구개발 수준, 속도 등과 비교하는 노력을 게을리 하지 않고 있다.

우리나라는 2001년 7월 국가나노기술종합발전계획을 수립한 이후 나노기술개발 촉진법 및 시행령을 제정하는 등 국가적인 노력의 결과, 최근 들어 나노기술 분야에서 우수한 연구결과들이 많이 발표되고 있고 실용화에 성공한 사례들이 나타나고 있다. 연구개발의 중추적 역할을 담당하고 있던 학계나 연구계는 물론 산업계도 최근 들어 그 동안의 관망 자세에서 벗어나 나노기술을 응용하여 신제품을 개발하는 일에 적극적으로 나서고 있다.

우리나라가 나노기술 개발을 본격화한 이래 1단계가 지나고 이제 2단계로 접어들고 있다. 국가나노기술종합발전계획 수립 이후 진행되어온 우리의 나노기술 개발 동향, 산업화 동향 등을 면밀하게 관찰하고 외국 동향과 비교분석함으로써 우리의 기술개발 전략을 재점검할 필요가 있다.

본 연구는 나노기술의 국내외 개발동향 및 산업화동향을 조사·분석하고, 우리나라의 기술수준(기술경쟁력)을 선진국과 비교, 평가하기 위한 것이다. 이러한 연구는 국가의 2단계 나노기술 개발 추진 방향을 결정하고 전략을 수립하기 위한 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 본론

1. 동향 조사 및 수준비교 분석의 방법

1) 연구개발 동향 조사 분석

나노기술의 연구개발 및 산업화 동향을 중분류 기술별로 분석하였다. 3단계에 걸쳐 조사, 분석, 연구를 수행하였다.

첫 번째 단계에서는 나노기술 동향 조사에 필요한 분류체계에 대한 검토를 하였다. 이를 위하여 제2장에서 기술한 나노기술 분류 작업을 수행하였다. 나노기술종합발전계획 등에 제시된 기술분류[3)]와 한국과학기술정보연구원(KISTI) 등이 보유하고 있는 자료[4)]를 분석하였고, 분야별 전문가들의 검토를 거쳐 분류체계를 정리하였다.

두 번째 단계에서는 KISTI가 확보하고 있는 나노기술 기술분야별 전문가들[5)]을 대상으로 설문조

1) 미국 NNI 홈페이지, http://www.nano.gov

2) NSTC, *National Nanotechnology Initiative : The Initiative and It's implementayion plan* (2000. 7)

3) 과학기술부 등, "나노기술종합발전계획" (2001. 7)

4) 한국과학기술정보연구원, 「국가 나노기술 연구개발 활성화를 위한 정보지원체제 구축 사업, 1차년도 결과보고서」, (2002. 8)
   - 나노구조재료 기술분야(일본 특허청), 산업화가 유망한 나노기술의 분류(독일 교육연구부), 디지털나노구동연구단의 나노가술분류 등

사를 실시하였다. 응답자는 자신의 전문기술 분야에 대하여 기술명을 제시하고, 기술력 순위 및 상대기술력, 주요 기술개발 동향, 대표적 연구기관, 대표적 연구성과 등을 응답하도록 하였다. 분류체계에 속하지 않거나 분류체계를 보완할 필요가 있는 경우에도 작성이 가능하도록 하였다.

세 번째 단계는 2단계 조사결과를 참고하여 대분류 기술별로 작성위원회를 구성하여 수행하였다. 정해진 조사양식에 의해 세부기술별로 작성하도록 하였다. 각 세부기술에 속하는 주요 핵심기술 및 활용분야를 제시하며, 연구개발 및 산업화 동향을 국내와 국외로 구분하여 작성하도록 하였다. 또한 논문 및 특허 동향을 분석하였다. 논문의 경우 SCOPUS 및 EBSCO의 데이터베이스를 이용하고 특허의 경우 WPINDEX, CAPLUS, SCISEARCH을 포함하는 STN 데이터베이스를 이용하여 검색하였다. 논문 및 특허 동향은 1995년부터 2004년까지 10년간을 조사대상 기간으로 하였다.

2) 기술 수준 비교분석

국내외 나노기술 수준을 비교분석하는 작업은 제3단계 조사작업 시 기술별로 작성위원들을 통해 연구개발 및 산업화 동향에 관한 조사와 더불어 실시하였다. 국가별 기술력을 상대적으로 정밀하게 비교하기 위하여 각 세부기술에 속하는 핵심기술별로 국가별 기술력을 제시하고 핵심기술별로 제시된 각각의 기술력을 종합하여 세부기술에 대한 국가별 상대기술력을 산출하였다<표 1>. 이때 핵심기술별로 세부기술 전체에 대한 기여도(또는 세부기술 영역에서 차지하는 비중)를 고려할 필요가 있는 경우 가중치를 부여할 수 있도록 하였다. 핵심기술들이 서로 대등한 관계에 있는 경우는 가중치를 부여하지 않았다(모든 핵심기술들의 가중치가 같은 경우에 해당). 세부기술별로 기술된 국가간 기술력 차이를 종합하여 다시 대분류 기술의 국가간 기술력을 평가하였다. 국가간 상대기술력은 1위 국가의 기술력을 100으로 하고 상대적인 값으로 나타내었다.

<표 1> 중분류 기술별 국가간 상대기술력 평가표

핵심기술분야	상대 기술력												기술의 중요도[*3]
	1위		2위		3위		4위		5위		기타[*1]		
	국가	%[*2]	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	
		100											1.0
		100											0.8
		100											0.6
		100											0.5
평가 기술력[*4]													
상대평가기술력[*5]													

*) 중분류 기술별로 하나의 표로 작성(비교시점은 2004년 12월 31일 기준)

*1) 우리나라가 5위 이내에 들지 못할 경우 우리나라의 상대기술력을 표시

*2) 최상위 국가의 기술력에 대한 상대적 국가기술력
- 등위별 비율 간격이 같을 필요는 없음

*3) 기술 중요도: 기술분야 내 최고 중요 기술(1.0)에 대한 상대적 중요도
- 같은 수치도 가능 / 시점은 2004년 12월 31일 기준
- 최소 수치를 0.5 이상으로 함

*4) 평가기술력: 핵심기술별 자료를 활용하여 계산
- 평가기술력 = $\sum$(*상대적 국가기술력*) ×(*기술 중요도*) / $\sum$(*기술 중요도*)
- 소수 둘째자리에서 반올림

5) 나노넷(http://www.nanonet.info)의 나노기술전문가 협의회 및 국가의 주요 프로젝트 참여 연구원 등으로 작성된 전문가 리스트

*5) 상대평가기술력: 평가기술력 최고 국가를 100으로 했을 때의 상대적 평가기술력 (소수 첫째 자리에서 반올림)

분야별 개별적인 조사에 따른 객관성 결여의 문제를 해결하기 위하여 제3단계 1차 작업에서 정리된 결과(수준평가 결과가 들어 있는 요약자료)를 참여자 및 외부전문가들에게 회람하여 분석결과에 대한 의견수렴을 세 차례에 걸쳐 행하였다(Delphi 분석법 적용). 1차 작업 때와 편차가 크게 나는 경우는 작업부분 전체를 재검토하였으며 기술수준 평가자료에 대한 근거자료를 보완하였다. 주요국간의 기술수준 평가는 각 전문가가 파악하고 있는 기술개발 동향, 산업화 동향, 인프라구축 수준 등을 고려하여 조사하였으며, 또한 이와 아울러 연도별, 국가별로 조사된 논문발표 동향, 특허출원 동향을 조사 분석하였다.

2. 기술 분야별 동향 분석

1) 나노소재

(1) 기술의 개요

일반적으로 나노소재는 나노소재를 구성하고 있는 요소(입자(막대 혹은 튜브, 분산체, 석출체), 결정립 등)의 최소크기가 나노크기 영역(100 나노미터(㎚)) 이내인 소재를 말한다. 여기서 최소크기로 크기를 정의하는 것은 소재를 구성하는 요소들의 모양이 완전한 구형인 경우는 드물고 모양이 불규칙하거나 막 또는 판, 막대 등 모양이 다양하기 때문에 크기를 정의하는 것이 용이하지 않기 때문이다.

대부분의 나노소재들이 100 ㎚ 이내의 크기영역에서 특이한 물성을 나타내지만 나노소재가 활용되는 영역에 따라 특이물성을 나타내는 임계크기(critical scale length)가 다르기 때문에 이러한 일반적인 정의와는 별도로 대상 크기영역을 세분화할 필요도 있다.

나노소재는 구성요소들의 형태 및 이들의 결합형태에 따라 다양하게 분류될 수 있다. 구성요소의 관점에서는 0차원소재(나노입자(분말, 결정), 나노점(양자점, 점결합) 등), 1차원소재(나노막대, 나노튜브, 나노선 등), 2차원소재(나노판, 나노막 등) 등으로 분류할 수 있고, 구성요소들의 결합형태 관점에서는 나노다결정소재, 나노복합소재(나노-나노, 나노-마이크론, 나노다층), 유기-무기 나노복합소재, 나노하이브리드 소재 등으로 분류할 수 있다.

(2) 연구개발 동향

나노소재는 그 형태의 다양성만큼이나 다양한 방법으로 개발되고 있으며 기술수준도 각기 다르다. 기술적으로 접근이 용이하고 많은 기술 축적이 이루어진 나노분말소재 분야는 기술이 성숙단계에 접어들고 있다. 물성을 정밀하게 제어하고 개선하는 연구와 더불어 경제적으로 합성하는 제조법에 관한 연구가 활발하다. 나노분말소재 다음으로 연구가 활발한 분야는 1차원 나노소재인 나노선, 나노튜브, 나노막대 등의 제조 및 물성에 관한 분야이다. 탄소나노튜브 이외에도 산화아연 나노선 등 다양한 소재들을 1차원 형태로 제조하는 방법에 관한 연구가 활발하다. 이들 1차원 나노소재는 소자로서의 응용가능성이 매우 높기 때문에 물성의 측정 및 제어에 관한 연구가 활발하며 소자 제작을 위한 시도들이 이루어지고 있다. 2차원 나노박막소재는 소재로서의 연구보다는 소자 제작과 직접적인 연관성이 크므로 자기소자 등 소자제작 공정을 연구하는 범위에 포함되어 진행되고 있다. 나노복합소재 분야에서는 고분자 기지에 무기물 나노입자, 나노막대(선, 튜브), 나노

판을 분산시켜 기계적 강도를 높이거나 내열성을 증가, 물질이동(산소, 수분 등) 차단 능력의 향상, 전기 및 열의 전도도 향상 등의 연구를 수행 중이다. 탄소나노튜브를 금속 또는 세라믹 기지에 분산시켜 기계적인 물성을 향상시키려는 연구도 수행 중이다.

다양한 형태를 가진 나노소재들이 개발되고 있지만 아직까지 산업화단계로 진입하고 있는 나노소재는 많지 않다. 전체적으로 나노소재 기술은 산업화 개시 내지 진입 단계라고 할 수 있다. 소자 제조공정과 직접 관련이 있는 나노구조 박막소재를 제외하면 여러 형태의 나노소재 중 나노분말 소재 분야가 산업화 진척도가 가장 높다. 나노분말 소재의 폭넓은 응용가능성에 비하면 아직 산업화 초기 단계에 지나지 않지만 많은 분야에서 실용화되고 있다. 의약, 첨단소재 및 화학제품, 정보통신 부품, 에너지 관련 제품, 자동차 등에 적용되고 있으며 나노분말 소재가 갖는 높은 흡착성, 촉매성, 광학특성 등을 활용하고 있다. 특히 우리나라는 반도체 산업에서의 나노분말 수요(기계화학적 연마공정(CMP, chemical mechanical planarization))가 커서 나노구조 복합소재를 사용하는 일은 기존의 유기-무기 하이브리드 소재보다는 나노크기 무기물을 분산시킨 유기-무기 하이브리드 소재가 부분적으로 산업화되고 있다.

(3) 나노소재 분야의 기술경쟁력

<표 2> 나노소재 분야의 기술경쟁력 분석결과

기술분야	국가별 상대기술력											
	1위		2위		3위		4위		5위		기타	
	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%
구조기능용 나노소재	일본	100	미국	97.3	독일	88.3	프랑스	75.0	한국	63.3	중국	63.3
전자부품용 나노소재	일본	100	미국	85.3	한국	70.0	이탈리아	68.3	중국	63.0		
정보저장용 나노소재	미국	100	일본	83.3	영국	63.3	한국	60.0	네덜란드	50.0		
분리기능용 나노소재	미국	100	일본	96.7	독일	91.7	한국	83.3				
1차원 나노소재	미국	100	일본	90.0	독일	80.7	중국	66.7	한국	56.7		
경쟁력 평가 (종합)	미국	100	일본	97.4	독일[3/5]	(88.6)	중국[3/5]	(70.3)			한국	69.1

* 독일, 중국과 같이 5개 분야 전체에서 5위 이내에 들지 못한 기술이 있고 반 이상의 기술에는 들어있는 경우 해당 분야의 기술력 평균을 같은 분야의 한국 기술력의 평균을 동시에 구하고 전체 분야의 한국의 기술력에 대한 상대적 기술력으로 환산(예: '**독일**[3/5]'는 독일의 경우 5개 분야 중 3개 분야에서 5위 이내에 들어있는 것을 나타내며 3개 분야의 평균은 86.9이며 동일항목 한국의 평균은 67.8임. 독일 86.9를 한국의 전체기술력 평균 69.1에 대한 상대적인 기술력으로 표시하면 독일의 상대기술력은 88.6임)
* 위 표에서 모든 분야에서 5위 이내에 들지 못하는 국가의 경우 분야별로 국가간 기술력 차이가 일정하지 않기 때문에 정확한 기술력이라고 보기는 어려우므로 참고 수치로서만 유의미함.

2) 나노소자

(1) 기술의 개요

나노소자 기술은 물질이 벌크 상태에서 나노크기로 작아지는 경우에 발생하는, 기존의 벌크 물질과는 다른 특성을 보이는 양자역학적 현상 및 나노공정에 의해 기존에는 가능하지 않았던 신기능의 소자를 구현하거나 기존 소자의 특성을 획기적으로 향상시키는 기술이다. 이러한 기술은 양자역학적으로 논의되던 이론적인 물질의 특성을 적극 이용함으로써 기존의 벌크(bulk) 기반의 소자의 특성을 획기적으로 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 양자암호통신, 양자연산 등의 신기능을 구현할 수 있는 기술이다.

(2) 연구개발 동향

나노소자 기술 개발은 크게 톱다운(top-down) 방식과 보텀업(bottom-up) 방식으로 나눌 수 있다. 나노 CMOS 기술은 전형적인 top-down 방식이며, 기존의 기술을 발전시켜 궁극적으로는 신기능 다용도 소자를 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 이 기술의 특징은 기존에 매우 큰 시장을 형성하고 있는 소자기술이 소자의 특성을 향상시키기 위해 나노크기의 공정을 추구하면서 생기는 문제를 해결하면서 기술이 발전하게 된다. 이와는 달리 bottom-up 방식은 나노구조체를 제작하고 그 물리적 특성을 규명함으로써 신기능의 소자 가능성을 확인하고, 이를 이용하여 기존소자의 특성을 향상시키거나, 제작비용을 획기적으로 절감시키거나 혹은 신기능의 신소자를 제작하는 방식이다. 이러한 기술에는 나노 CMOS 기술, 화합물반도체 양자점 발광소자 기술, 양자점 원적외선 수광소자 기술, 나노자기소자 기술 및 LED의 효율향상에 기여하는 PBG기술이 있다. 새로운 시장의 창출은 융합기술에서 찾을 수 있는데, THz 나노광소자 기술, 나노분자소자 기술, DNA소자 기술 등이며, 우선 바이오시장을 그 목표로 하고 있는 것으로 파악된다. 이러한 기존의 시장을 기반으로 하는 기술들은 전세계적으로 매우 활발하게 연구되고 있는 분야로 나노 CMOS 기술을 제외한 많은 기술들이 실험실 수준을 넘어서 기업화되고 있으며, 기업화 수준은 벤처기업이다.

양자역학적 현상을 이용하여 신기능 소자를 제작함으로써 신기술을 창출하고 신시장을 만들고자 하는 기술들인 나노전자소자 기술, PBG 광소자 기술들은 대학 및 연구소를 중심으로 하는 연구실 수준에서 매우 활발히 연구되고 있으며, 이러한 기술개발을 통하여 획득된 요소기술이 타 기술 분야에 미치는 영향은 매우 크다.

나노 CMOS 기술은 기존 시장점유율을 유지하거나 및 확대하기 위해 전세계의 Si 관련 반도체 회사들이 매우 활발히 연구하고 있으며, 화합물반도체 양자점 발광소자 기술, 양자점 원적외선 수광소자 기술, 나노자기소자 기술 및 LED의 효율향상에 기여하는 PBG 기술, THz 나노광소자 기술, 나노분자소자 기술, DNA소자 기술 등은 국외의 경우 벤처기업의 형태로 기업화되고 있으나 국내의 경우 기업화가 극히 미미한 실정이다. 미래기술 개발이 목표인 나노전자소자 기술, PBG 광소자 기술은 전세계적으로 실험실 수준에 머물고 있다.

(3) 나노소자 분야의 기술경쟁력

<표 3> 나노소자 분야의 기술경쟁력 분석결과

기술분야	국가별 상대기술력											
	1위		2위		3위		4위		5위		기타	
	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%
나노CMOS	미국	100	일본	90.0	한국	87.0	독일	76.0				
나노전자소자	미국	100	일본	100	독일	92.0	한국	80.8	네덜란드	79.5	중국	64.8
PBG 광소자	일본	100	미국	89.0	영국	70.7	프랑스	68.7	한국	49.0		
화합물 반도체 양자점 발광소자	미국	100	독일	98.4	일본	91.6	한국	71.2	중국	64.4		
양자점 원적외선 수광소자	독일	100	미국	98.2	한국	77.6	일본	75.8	중국	70.6		
THz 나노광소자	미국	100	유럽	91.5	한국	65.2	일본	60.2	중국	53.7		
나노자기소자(MRAM)	일본	100	미국	96.0	한국	75.0						
나노자기소자 (자기기록재생센서)	미국	100	일본	98.2	한국	65.5	독일	55.1	중국	38.0		
나노분자소자	미국	100	일본	90.0	네덜란드	88.0	한국	83.0				
DNA소자	미국	100	이스라엘	82.4	영국	80.1	일본	79.5	독일	76.3	한국	57.8
경쟁력 평가 (종합)	미국	100	일본	88.5	독일*/	(83.8)	한국	71.8	중국*/	(58.0)		

3) 나노바이오

(1) 기술의 개요

원자나 분자단위의 물질을 규명하고 제어함으로써 기존 물질의 특성 개선은 물론 신물질 및 신기능 소자/시스템의 개발을 가능하게 하는 나노기술(NT)은 생명과학이라고 하는 인간의 질병과 생명현상을 다루는 학문분야와 융합하여 나노바이오라는 영역을 탄생시켰다. 나노바이오 연구는 나노기술을 생명과학 연구에 응용하는 것과 생명현상 및 생체고분자 물질을 나노기술 개발에 이용하는 것으로 정의할 수 있다. 첫째는 생명과학연구를 위하여 나노기술의 응용으로 나노가공, 나노공정, 나노제어, 나노계측 등 다양한 나노기술을 생명과학기술개발 및 연구에 응용하는 것이다. 둘째는 나노소재, 부품 개발을 위한 생체고분자 물질의 응용인데 단백질, 당단백질 등을 이용한 나노필터 개발, 효소를 이용한 분자모터 및 액츄에이터 개발 등을 들 수 있다. 세 번째는 나노기술 개발을 위한 생체의 원리와 기능의 응용으로 이온채널을 이용한 나노센서의 개발, Gecko와 같은 살아 있는 생명체의 기능을 모사하여 필요한 소자를 구현하는 기술 등을 들 수 있다. 이러한 나노바이오 기술은 인간의 유전자 규명 후 생명현상 및 질병의 극복이라는 목표를 위하여 필요한 고속, 정밀 데이터 확보 및 처리를 위한 필수 불가결한 기술로 생명현상의 다양성과 복잡성을 고려할 때 기술의 중요성이 커지고 있다.

(2) 연구개발 동향

나노기술개발전략(NNI)을 바탕으로 나노기술 연구에 박차를 가하고 있는 미국의 경우 2001년 미국의 대표적인 생명공학 관련기관인 국립보건연구원(NIH)을 필두로 생물질(물질-조직 계면, 생체친화성 물질 등), 바이오소자(생체센서, 연구용 기구 등), 치료(약물 및 유전자 물질전달), 기반 및 교육 분야 등에 집중투자하고 있으며, 이외에 NASA, DOD, NSF의 지원 하에 나노바이오 기술의 연구개발 투자에 박차를 가하고 있다. 일본의 경우 종합과학기술회의에서 '2003년도 과학기술에 관한 예산, 인재자원 배분의 방침'을 발표하면서 5년간 약 1조5000억 엔 정도 소요예산을 전망한 바 있다. 그 중 약 40%가 나노바이오 관련 기술로서 나노기술과 바이오기술의 융합을 필요로 하는 기술이다. 유럽의 경우 영국에서는 3년에 걸친 과학에 대한 투자방안을 발표하였는데 이중 질병 유전자 연구, 인터넷을 이용한 데이터 분석, 나노기술과 바이오엔지어링 산업에 대한 지원 등 3대 핵심분야에 대한 새로운 투자방안이 포함되어 있고 BBSRC의 Engineering and Biological Systems Committee는 나노바이오 기술을 최우선 지원분야로 선정 2001년 2개의 컨소시엄에 총 1천 8백만 파운드의 연구비를 할당 나노바이오 기술의 개발을 가속화하고 있다.

국내의 경우 2000년경 시작된 프론티어사업의 유전체연구사업단, 지능형마이크로시스템개발사업단을 필두로 DNA 칩 및 Lab Chip 연구를 시작하였고, 이후 과학기술부, 보건복지부 및 산업자원부 등에서 주도적으로 실시하고 있는 성장동력산업을 통하여 HTS용 단백질칩, HCS용 세포거동분석 시스템 등의 연구를 통하여 기술의 선점을 위한 연구에 전력을 다하고 있다.

나노바이오 융합기술의 응용제품들은 대부분 아직 개발단계에 머물고 있으나, 활발한 기술개발 노력에 힘입어 상용화가 빠르게 진전될 것으로 기대되고 있다. 현재 본 기술의 시장은 연구용 분석기기, 휴대용 측정기기, 진단 및 연구용 DNA 칩, 단백질 분석 칩 등이 주류를 이루고 있으나 점차 임상 및 진단, 식품, 농업, 환경모니터링 분야 등으로 확대 응용될 것으로 예상되고 있다. 시장조사기관인 Frost & Sullivan에서는 나노바이오 기술과 관련한 시장을 2015년경 1,800억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다. 진단 및 분석용 칩 기술의 경우 단백질체학의 연구가 활발해지면서 단백질 칩 시장 역시 커지고 있으며 주도적인 업체인 Biacore AB를 중심으로 2006년경 약 7억

5000만 달러 규모로 성장할 것으로 전망되고 있다. 현재 바이오칩을 중심으로 한 분석시장에 출시하고 있는 업체로는 Affimetrix를 비롯하여 Corning, Agilent Technologies, Nanogen, Ciphergen, Zyomix 등 유수의 회사들이 속속 경쟁력있는 제품을 출시하고 있는 상황으로 아이디어와 신기술이 접목된 상품들로 시장선점을 위하여 각축을 벌이고 있다고 할 수 있다.

국내의 경우 Macrogen이 한국인에 맞는 DNA 칩의 생산을 통하여 연구용 칩을 공급 중이고, 다수의 벤처기업을 통하여 자궁경부암 등 진단용 DNA 칩이 최근에 식약청을 통과하여 상품으로 출시되고 있다. 이외에 프로테오젠 등 다수의 벤처기업들이 칩에 필요한 고정화 기술 및 표면개질 기술 기반의 SAM 형성기술, 심근경색 또는 기타 진단용 나노바이오 칩의 생산을 위한 요소기술을 보유하고 상용화 연구를 진행 중이다. 또한 디지털바이오테크놀러지와 같은 벤처기업도 Lab-on-a-Chip기반의 플라스틱유체 칩 제조기술을 보유하고 미량의 혈액을 이용하여 타겟 셀의 거동을 분석하기 위한 시스템 개발의 상용화에 노력중이다. 그러나 탄소나노튜브나 나노선 등을 이용한 센서 응용은 현재 아이디어 구현 단계로 산업화를 위해서는 좀 더 연구가 필요한 실정이다.

(3) 나노바이오 분야의 기술경쟁력

<표 4> 나노바이오 분야의 기술경쟁력 분석결과

기술분야	국가별 상대기술력											
	1위		2위		3위		4위		5위		기타	
	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%
나노바이오칩(Array)	미국	100	독일	81.6	일본	80.0	프랑스	70.0	한국	53.3		
나노바이오센서	미국	100	독일	88.3	일본	82.0	프랑스	71.5	영국	63.3		
인공근육	미국	100	일본	70.0	중국	51.7	한국	41.7	독일	35.0		
생체전달막	미국	100	유럽	84.1	일본	84.1	한국	51.6				
바이오단백질소재	미국	100	일본	83.0	독일	79.3	영국	78.0	한국	68.3		
단일분자 검출	미국	100	유럽	85	일본	80	한국	45	중국	10		
약물전달기술	미국	100	독일	53.3	일본	51.7	프랑스	35.0	한국	21.7		
경쟁력 평가 (종합)	미국	100	독일	72.4	일본	75.1	프랑스*)	(65.2)	영국*)	(56.1)	한국	47.8

4) 나노시스템

(1) 기술의 개요

기존의 기술로 극복하기 어려운 기술적 한계를 넘어 새로운 기술의 발견을 위하여 태동된 나노기술은 원자나 분자 단위의 조작 및 처리 등 미시적 접근을 통한 원천기술 분야 뿐 아니라 이들 원자나 분자 단위의 물질을 규명하고 제어하기 위한 나노측정시스템, DNA나 단백질 같은 아주 작은 크기의 생체물질조작 기술을 이용하여 구현되는 나노로봇, 극미량의 유체를 조작 처리하여 생체 또는 화학, 환경 분야의 분석 및 처리가 가능한 Lab-on-a-chip 기술, 생물체의 미시적인 운동 및 작용 기작을 이해하고 이것을 응용하여 구현하는 생체모방 바이오하이브리드시스템 등과 같은 나노기술의 이해를 위한 시스템 또는 나노기술이 집적된 시스템도 나노기술이 구현해야 할 기술이라고 할 수 있다.

(2) 연구개발 동향

나노시스템 기술은 대부분 아직 초기 연구단계로 시스템의 부분적인 부품 구현 수준이나 혹은 기구 구현 수준에 있다. 단지 나노측정시스템의 경우 무기물이나 생체물질의 형상분석이 가능한 AFM 시스템이 PSIA, Seiko Instrument, Veeco 등의 국내외 산업체에서 생산되어 나노기술의 발전에 이바지하고 있다. 최근에는 탄소나노튜브를 팁의 끝에 달아 생체물질과 같은 보다 정교한 분해능을 갖는 시스템을 구현하고 있다. Lab-on-a-chip의 경우 시료 전처리 분야에 Cepheid 등의 회사가 PCR용 시스템의 전처리 부분과 통합한 칩을 상용화하였고, Aclara 등이 다양한 형태의 미세유체 조작칩을 발표한 바 있다. 세계 최초로 실용화된 미세유체기반의 Bioanlyzer를 개발한 Caliper를 비롯하여 DNA의 검출분야에 기술을 갖고 있는 Nanogen에서도 상용화에 박차를 가하고 있고 스웨덴의 Biacore AB는 마이크로유체 채널 내에 단백질의 바인딩 거동의 분석이 가능하도록 유체칩을 이용한 SPR 시스템을 상용화하였다.

국내의 경우 삼성종합기술원에서 칩을 이용한 실시간 PCR이 가능한 칩을 제작 상용화를 위하여 병원을 비롯한 임상병리 분야에 테스트 버전을 공급하고 있고, 디지털바이오 테크놀러지와 같은 벤처기업에서 Lab-on-a-chip기반의 플라스틱 유체칩 제조기술을 보유 미량의 혈액을 이용하여 수 μL 샘플을 사용하여 DNA, protein의 분리 및 면역 결합을 LIF를 이용하여 검출할 수 있는 DBMA100을 개발 판매하고 있다.

(3) 나노시스템 분야의 기술경쟁력

<표 5> 나노시스템 분야의 기술경쟁력 분석결과

기술분야	국가별 상대기술력											
	1위		2위		3위		4위		5위		기타	
	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%
나노로봇	미국	100	일본	86.7	독일	73.3	한국	53.3	중국	43.3		
Lab-on-a-Chip	미국	100	독일	53.3	일본	51.7	중국[2/3]	(32.3)	한국	28.3		
생체모방 하이브리드시스템	미국	100	일본	43.5	독일	28.6	중국	23.3	한국	9.9		
경쟁력 평가 (종합)	미국	100	일본	60.6	독일	51.7	중국	(33.0)	한국	30.5		

* 중국[2/3]: Lab-on-a-Chip에 속하는 3개 세부기술 중 중국이 5위 이내에 들어가는 기술은 2개로 평가되었음.

5) 의료 및 보건

(1) 기술의 개요

의료 및 보건 분야에 적용되는 나노기술은 그 범위가 대단히 넓지만, 진단에 관계되는 부분과 치료에 관계되는 부분으로 대별할 수 있다.

진단 부분은 주로 영상장치를 이용하는 조영기술과 연관성이 높다. 나노기술을 이용하는 조영제는 병소와 정상조직 간의 대조도를 증가시켜 정확하고 정밀한 영상을 통해 병소를 진단하거나 체내의 기능 또는 대사를 단층영상으로 검사할 있는 역할을 한다. 이러한 목적으로 사용되는 조영제에는 X-선/컴퓨터 단층촬영 조영제, 자기공명영상 조영제, 초음파 조영제, 양전자방출 단층촬영(PET)/단일광자방출 단층촬영(SPECT) 영상제제, 자기가열치료제제(진단 및 치료) 등이 있다.

치료 부분은 주로 약물전달시스템(DDS, drug delivery system)과 관련되어 있다. 약물전달시스템은 약물의 방출, 흡수를 제어하거나, 체내의 특정 부위에만 약물을 전달시키는 기술이다. 최근에

나노기술을 이용한 나노구조가 제어된 약물전달시스템 개발에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 나노기술을 이용한 약물전달시스템의 범위는 생물 고분자, 생분해성 고분자, 유·무기소재를 이용한 나노입자의 제조, 온도 및 pH 민감성 재료를 이용한 방출속도 조절, 나노입자 코팅기술, 약물방출 모델링, 약물활성 측정 등의 모든 범위를 포함한다.

나노구조가 제어된 약물전달시스템(Nano drug delivery system)은 약품시장에서 제너릭 약물의 특허보호권과 신약개발에 따른 연구개발비 증가 등의 문제를 해결하는 중요한 제형으로 인식된다.

(2) 연구개발 동향

약물전달시스템 기술은 특허권 만료로 인한 의약품의 환자 순응도 및 편리성을 증가시켜 새로운 형태의 치료제를 저렴한 비용으로 개발할 수 있기 때문에 관련분야의 밝은 전망을 예측할 수 있다. 특히 생명공학의 꾸준한 발전으로 여러 가지 단백질 의약이 개발되고 있지만 전 세계적으로 이들의 효과적인 전달시스템이 아직 확보되지 않고 있기 때문에 단백질 의약전달용 고분자 나노입자를 개발 및 제조하는 것이 중요하다.

X-Ray/CT 조영제는 비이온성이면서 이온성과 같거나 더욱 뛰어난 효과를 나타내는 조영제 개발을 위한 노력이 진행되고 있으며 MRI 조영제는 최근 안정성이 높은 킬레이트제의 제조 및 나노입자에 표적 지향적 결합인자를 도입하고 다양한 킬레이트 사슬을 도입하여 표적 지향형 조영제의 개발을 위한 연구들이 진행되고 있다.

세계 시장을 선도하는 조영제의 주요생산 업체는 Amersharm Health 사(38%), Bracco 사(18%), Tyco/Mallinckrodt사(14%), Schering 사(12%), BMS/Dupont 사(12%), Guerbet 사(2%), 기타(4%)로 CT/X-Ray, MRI, 초음파, 방사선 조영제로 분류되고 있으며, CT/X-Ray 조영제 시장은 감소추세에 있으나 그 자리를 나머지 세 가지 조영제가 차지하고 있다. 또한 초음파 조영제 판매의 선두는 Bracco 사로 약 31%를 소유하고 있으며, EzEm 사가 Amersham Healthcare 사의 약 12%를 공유함으로써 약 20%를 점유하고 있고, Alliance Pharmaceuticals, Schering AG, Imarx, Mallinckrobt 사들이 3~4%를 차지하고 있다.

국내 조영제 시장은 2001년도 기준 233억원으로 그 중에 국내업체가 차지하고 있는 비중은 4.7%로 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다. 국내 조영제 생산업체는 3개업체로 태준제약, 이연제약 및 동인당제약이 제품을 개발하고 있으며 단지 8개 품목을 시판하고 있다. 이들이 판매하고 있는 조영제는 위장관 조영제로 이용하는 황산바륨 조영제와 요오드를 이용한 혈관조영제이다. 따라서 MRI 조영제의 국산화에 대한 필요성 및 요구가 증대되고 있는 상황이다.

(3) 의료 및 보건 분야의 기술경쟁력

<표 6> 의료 및 보건 분야의 기술경쟁력 분석결과

기술분야	국가별 상대기술력											
	1위		2위		3위		4위		5위		기타	
	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%
생분해성 고분자 제조	미국	100	독일	78.3	일본	68.3	한국	61.7	영국	56.7		
나노입자 제조 기술	미국	100	독일	78.3	영국	81.7	일본	73.3	한국	53.3		
CT/X-Ray 조영제	프랑스	100	독일	93.3	이탈리아	93.3	영국	86.7	미국	86.7	한국	40.0
MRI 조영제	영국	100	독일	91.7	프랑스	90.0	이탈리아	88.3	미국	83.3	한국	20.0
초음파 조영제	미국	100	독일	73.3	노르웨이	63.3	스위스	60.0	한국	10.0		
PET/SPECT 영상제제	미국	100	독일	88.3	캐나다	80.0	일본	63.3	한국	50.0		
자기가열치료	독일	100	프랑스	93.1	미국	93.1	일본	67.2	중국	51.7	한국	48.3
경쟁력 평가 (종합)	미국	100	독일	93.0	일본[47]	(54.6)					한국	37.8

6) 환경 및 에너지

(1) 기술의 개요

기존 기술로는 한계성을 드러내고 있는 환경 및 에너지 분야에 있어서 나노기술에 대한 기대는 매우 크다.

환경분야 촉매용 나노기술에 있어서 기존에 사용되고 있는 촉매의 경우 이미 그 기술이 나노기술이라 할 수 있으나 그 개념을 더 작은 분자클러스터 개념으로 나노화하여 새로운 특성을 발휘하는 기술개발이 이루어지고 있다.

이와는 달리 에너지 분야에서는 근래에 이르러 나노기술에 대한 기술개발이 이루어지고 있으며, 나노기술의 접목에 의한 한 단계 업그레이드된 기술개발이 이루어질 것으로 예상된다. 그 대표적인 기술로는 태양전지용 나노기술, 수소에너지용 나노기술, 이차전지용 나노기술, 초고용량커패시터용 나노기술, 연료전지용 나노기술을 들 수 있다.

(2) 연구개발 동향

촉매용 나노기술은 국내외적으로 나노세공형 촉매, 나노결정형 촉매, 나노분산형 촉매, 초분자 촉매에 대한 기술개발이 이루어지고 있다. 태양전지용 나노기술은 크게 염료감응 태양전지 기술과 유기고분자 태양전지 기술로 나눌 수 있는데, 국내외적으로 염료감응 태양전지기술은 고효율화를 위한 나노소재 전극개발, 셀 제작 및 모듈화 등 상용화를 위한 기술개발 분야에 집중하고 있으며, 유기고분자 태양전지 기술은 주로 효율향상을 위한 기초연구에 치중하고 있다. 수소에너지용 나노기술은 국내외적으로 개질반응에 의한 수소생산 나노촉매 기술, 광촉매 및 PEC 셀을 이용한 수소생산 기술, 수소저장을 위한 나노소재 제조 기술 개발에 치중하고 있다. 이차전지용 나노기술은 기존 상용화된 전지 소재의 한계성을 뛰어넘는 새로운 소재를 개발하기 위해 나노설계, 나노합성, 나노코팅 기술 개발이 국내외적으로 집중적으로 이루어지고 있다. 초고용량커패시터 나노기술은 국내외적으로 고전적인 소재의 경우는 이미 산업화가 달성된 상태에서 업체 중심의 나노소재에 대한 연구 개발 및 제품화가 이루어지고 있다. 연료전지용 나노기술은 국내외적으로 PEMFC/DMFC/DLFC 분야에서 활성을 높이거나 반응면적을 넓히기 위한 나노촉매전극 제조기술에 주력하고 있으며, SOFC 분야에서는 나노 전해질막, 계면특성 향상을 위한 나노기술 적용이 이루어지고 있다.

나노촉매 관련 제품을 연구개발 중에 있거나 이미 상품을 시장에 내 놓은 기업으로는 Akzo Nobel, Altair Nanotechnologies, Argonide, Carbon Nanotechnologies, Degussa, DuPont, Exxon Mobil, Kerr-McGee, Millennium Chemical, Nanophase Technologies, Nyacol, Rhodia and TAL Materials 등이 있다. 태양전지 분야에서는 염료감응 태양전지가 스위스, 미국을 중심으로 산업화 모색단계에 있으며, 국내에서는 기술개발 단계에 있다고 하겠다. 수소에너지용 나노기술 분야에서는 국내외적으로 개질반응에 의한 수소생산기술 나노촉매의 산업화 모색단계에 있다고 하겠다. 이차전지용 나노소재 분야에서는 기존 소재의 성능을 향상시키기 위한 나노코팅 기술이 산업화 진입단계를 지나 성숙단계에 접어들고 있으며, 나노합성 기술은 산업화 모색단계에 있다고 하겠다. 초고용량커패시터용 나노소재 분야에서는 기존 소재의 성능을 향상시키기 위한 나노합성 기술이 산업화 모색단계를 거쳐 개시단계에 이르고 있으며, 대표적인 업체로 간사이 열화학, 쿠레라이가 있다.

(3) 환경 및 에너지 분야의 기술경쟁력

<표 7> 환경 및 에너지 분야의 기술경쟁력 분석결과

기술분야	국가별 상대기술력											
	1위		2위		3위		4위		5위		기타	
	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%
환경촉매용 나노기술	미국	100	일본	94.3	독일	91.3	한국	88.3	네덜란드	87.7		
태양전지용 나노기술	일본	100	스위스	93.1	미국	89.7	호주	86.1	독일	79.3	한국	48.3
수소에너지용 나노기술	미국	100	일본	86.7	독일	85.0	한국	53.3				
이차전지용 나노기술	일본	100	한국	90.0	미국	86.7	중국	83.3	캐나다	76.7	독일	76.7
연료전지용 나노기술	미국	100	독일	93.7	일본	91.1	캐나다	81.0	이태리	74.3	한국	66.0
경쟁력 평가 (종합)	미국	100	일본	99.6	독일	85.4					한국	75.4

7) 나노기반

(1) 기술의 개요

나노기반 기술은 나노공정, 구조, 기능, 소자(부품) 및 시스템 등 나노기술 분야 전반에 걸쳐 요구되는 공통 기반적 성격을 갖는 기술이라고 할 수 있다. 나노기반 기술은 크게 나노장비, 나노측정, 나노공정, 전산모사로 분류할 수 있다. 기존의 광학리소그래피를 개선한 공정, 전자빔 공정, 이온빔 공정, 나노임프린팅 기술 등 차세대 나노리소그래피 등의 나노공정 장비가 주요 나노장비에 해당되며, AFM 등의 나노스케일 이미징 장비, 그리고 나노스케일 박막의 기계적 물성 측정 장비 등이 포함된다. 나노측정 기술은 나노미터 수준의 형성, 치수, 물성 구조 및 성분을 나노미터 수준의 정확도로 계측하고 분석해 내는 기술로 정의된다. 나노공정 기술은 나노크기의 구조물(또는 소재)을 제조하는 것에 관련된 기술로 나노가공, 자기조립 등의 기술이 포함된다. 나노전산모사 기술은 나노공정, 소자 및 시스템 기술 연구에 필요한 현상 예측 모델을 제시하고 모사할 수 있는 도구를 제공해 주는 기술이다. 나노전산모사 기술 연구를 통해 공정 최적화와 소자 거동 현상을 사전에 예측 가능케 함으로써 연구개발의 효율성과 경제성을 가져올 수 있다.

(2) 연구개발 동향

나노장비의 대표적인 나노리소그래피 장비 기술은 반도체 선폭 제조 공정기술과 맞물려 지난 수십 년간 비약적인 발전을 거듭하였다. 리소그래피 방식은 생산성, 안정성, 범용성 등 여러 가지 장점을 발판으로 반도체 공정뿐만 아니라 디스플레이, MEMS, BT 분야의 제품 생산에 이르기까지 광범위하게 적용되고 있으며 나노리소그래피와 관련 장비기술 개발이 활발하게 진행되고 있다.

나노리소그래피를 위한 핵심기술은 짧은 파장의 광원을 이용하는 것으로 이를 위해 KrF, ArF, F2 등 단파장 계열의 광원을 개발하고 관련 장비들이 개발되고 있다. 향후에는 빛의 굴절률을 조절하여 작은 패턴을 얻을 수 있는 immersion lithography와 극자외선 파장의 광원을 이용하는 EUV 공정이 가까운 시일 내에 확산될 것으로 예상된다.

한편, 2003년 ITRS 기술지도에 차세대 나노리소그래피 기술로 나노임프린팅 리소그래피가 최초로 소개되어 32 ㎚와 22 ㎚ node에 적합한 공정방식으로 소개된 바 있다. 국내에서는 과학기술부 21세기 프론티어연구개발사업의 일환으로 추진 중인 나노메카트로닉스기술개발사업단과 주관연구기관인 한국기계연구원에서 주도적으로 나노임프린팅 연구개발을 추진 중에 있다.

국소 극미세 나노프로브 패터닝 및 장비 기술에는 핵심기반기술로서 SPM 리소그래피 기술과 나노머니퓰레이터 기술이 있다. 나노탐침을 이용한 대면적 고속 나노패터닝을 위해서는 탐침을 병렬

로 정렬하여 이들을 독립적으로 구동할 수 있는 장치 및 장비 기술의 개발이 필요하다. 이러한 측면에서 스위스 IBM 연구소, 스탠포드 대학, 노스웨스턴 대학 등에서 수 십 만개의 나노탐침 어레이를 제작하여 패터닝한 결과를 발표하는 등 주목할 만한 성장을 거두고 있다.

나노전산모사 기술은 양자역학기반 계산기술, 동시적 다중스케일 해석기술, 계층적 다중 스케일 해석기술 등으로 구분된다. 양자역학기반 계산을 위해 알려진 코드로는 Gaussian, GAMESS, CASTEP, DMol3, DV-X, VASP 등이 있다. 양자역학기반 계산 기술로는 다룰 수 있는 시스템의 크기가 매우 작기 때문에 보다 큰 길이 및 시간 스케일을 다루고자 하는 연구가 활발히 진행 중이다. 동시적 다중스케일 해석기술은 비교적 최근 들어 활발한 연구개발이 이루어지고 있는 분야로 미국 IBM, 루이지애나 대학, CalTech 등에서 활발히 연구개발되고 있다.

나노장비, 나노측정, 나노공정, 전산모사 기술 등으로 구성되는 나노기반기술은 나노기술 연구개발이 본격적으로 추진된 이래 연구개발 용도의 공정 및 측정 장비에 대한 수요가 크게 증가하고 있다. 이러한 시장의 요구에 부응하여 새로운 나노장비 개발과 실용화가 이루어지고 있어 전체적으로 나노기반기술의 산업화는 진입단계에 있다고 보여진다. 자기조립 기술은 나노장비 또는 나노가공 기술개발과 맞물려 연구되고 있으며 이들 기술의 발전과 궤를 같이 하고 있다.

주성엔지니어링에서는 FED(field emission display)용 탄소나노튜브 증착장치를 개발하여 2004년 발표한 바 있으며, APTC(adaptive plasma technology)에서는 플라스마를 이용해 반도체 회로를 깎아내는 식각장비를 국내기술로 개발 상용화 모델을 출시하였다. 그밖에 서울대 박회재 교수가 실험실 벤처기업을 통해 상용화에 성공한 나노스케일 정밀도의 인라인 검사장비, PSIA 사의 개선된 AFM 장비 등이 주요 산업화 사례에 해당된다.

측정기술과 장비 관련한 주요 국외 동향을 보면 전세계적으로 많은 연구결과가 발표되고 있음을 알 수 있다. 미국에서는 NIST에서 개발한 나노뉴턴의 힘을 측정할 수 있는 장비, 브라운 대학의 고분해능 마그네틱 센싱 현미경 등 다수가 있으며, 일본 MTS Japan에서는 최근 생체 내에 사용하는 고분자 화이버 및 금속 와이어 재료의 탄성률 등의 기계적 특성을 나노미터 이하의 고정밀 분해능으로 측정할 수 있는 나노메커니컬 시험시스템(Nano Bionix)을 개발하였다.

나노전산모사 기술의 산업화는 상용화 코드 개발을 통해 가능하다. 원자모델링계산 기술에는 분자동역학, 분자정역학, Monte-Carlo 기법 분야에서 다양한 해석코드들이 개발되었으며 이중에는 상용화된 코드뿐만 아니라 소스가 공개된 코드 또한 다수 존재한다. 폴리머 및 생체 분자에 대한 분자동역학 코드에 대한 수요가 크게 증가하고 있는 추세이며 다중 스케일 해석 코드는 아직 상용화되고 있지 않아 이러한 부문에서 연구개발이 추진된다면 나노전산모사 기술의 상용화 또는 산업화가 가능할 것으로 예상된다.

(3) 나노기반 분야의 기술경쟁력

<표 8> 나노기반 분야의 기술경쟁력 분석결과

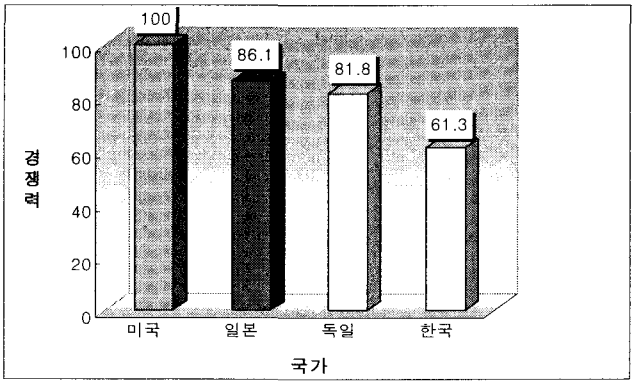
기술분야	국가별 상대기술력											
	1위		2위		3위		4위		5위		기타	
	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%
나노장비	미국	100	일본	71.1	독일	69.4	한국	52.8	네덜란드	27.8	오스트리아	20.3
나노측정	미국	100	독일	92.6	일본	87.0	중국	40.0	한국	28.9		
나노공정(자기조립)	미국	100	일본	90.0	독일	81.7	한국	71.6	중국	70.0	프랑스	70.0
나노전산모사	미국	100	영국	81.3	일본	79.6	독일	76.7	한국	53.3	중국	35.8
경쟁력 평가 (종합)	미국	100	일본	81.9	독일	80.1	중국[3/4]	(49.0)			한국	51.7

3. 우리나라 나노기술 경쟁력 평가 분석

1) 기술 경쟁력 평가

나노기술 세부분야별로 분석·평가된 자료를 바탕으로 우리나라가 역점을 두고 있는 분야별로 정리하여 기술력을 평가하면 다음의 <표 9>와 같다.[1] 전체적으로는 미국이 나노기술 전 분야에서 최고 기술력을 보유하고, 다음이 일본, 독일 순으로 기술력을 보유하고 있는 것으로 나타났다.[2] 미국에 대하여 일본은 약 86%, 독일은 약 82% 수준에 해당하는 기술력을 보유하고 있는 것으로 분석되었다.

<그림 1> 나노기술 기술경쟁력 평가 결과



<표 9> 나노기술 기술경쟁력 평가 결과

기술분야 (대분류)	국가별 상대기술력											
	1위		2위		3위		4위		5위		기타	
	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%	국가	%
나노소재	미국	100	일본	97.4	독일[3/5]	(88.6)	중국[3/5]	(70.3)	-	-	한국	69.1
나노소자	미국	100	일본	88.5	독일[7/9]	(83.8)	한국	71.8	중국[5/9]	(58.0)	한국	71.8
나노바이오 및 의료·보건	미국	100	독일	71.4	일본	(63.4)					한국	38.7
환경 및 에너지	미국	100	일본	99.6	독일	85.4	-	-	-	-	한국	75.4
나노기반	미국	100	일본	81.9	독일	80.1	중국[3/4]	(49.0)	-	-	한국	51.7
경쟁력 평가 (종합)	미국	100	일본	(86.1)	독일	(81.8)	-	-	-	-	한국	61.3

우리나라의 나노기술 수준은 미국의 61.3% 정도로 평가되었으며, 일본과 독일에 비해서는 약 71%, 75% 수준의 기술력을 갖고 있는 것으로 나타났다. 우리나라가 기술경쟁력을 갖고 있는 기술분야는 나노소재(69%), 나노소자(71%), 환경 및 에너지(75%) 분야이다. 반면에 나노바이오 및 의료·보건 분야와 나노기반 분야는 미국의 약 40~50%에 해당하는 기술력을 갖고 있는 것으로 분석되었다.

---

1) 나노바이오 및 의료·보건 분야에 속하는 나노바이오, 나노바이오시스템 및 의료·보건 등 3개의 중분류 기술들도 중요도가 상당히 높은 분야이나 아직까지는 산업화 진행 정도 미약 등의 이유로 기술 비중이 높게 형성되지 않으므로 1개의 대분류 영역으로 묶었다.

2) 실제로 4위국 이후는 순위에 큰 의미를 부여하기 힘들다. 왜냐하면 중분류 기술 분석·평가에서 세부기술별로 5위 이내에 속하는 국가들이 일정하지 않기 때문이다. 예를 들어 어떤 나라는 몇 분야에서는 5위 이내에 들지만 다른 기술분야에서는 5위 밖에 속하는 경우 상대적인 기술력 평가가 곤란하다.

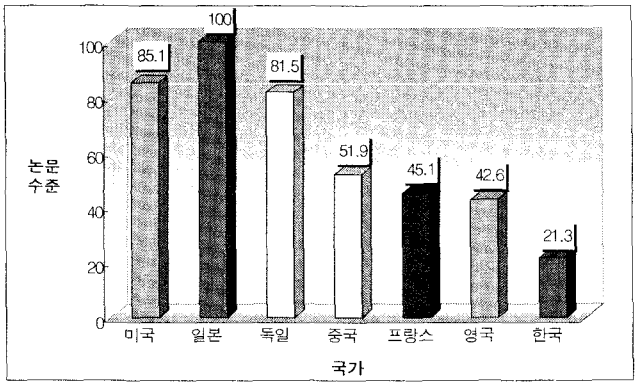
그러나 여기에서 제시된 평가수치는 우리나라가 현재 기술개발을 진행하고 있는 분야를 중심으로 한 것이기 때문에 나노기술의 전분야를 포함한 기술수준 평가라고 보기는 어렵다. 즉 우리나라가 추진하고 있는 나노기술 개발 분야를 대상으로 한 해외국과의 상대적인 기술력을 의미한다.

2) 논문발표 동향 분석

2000년부터 2004년 말까지 5년 동안 발표된 논문을 중분류 기술 분야별로 조사한 것을 8개의 대분류별로 합하여 논문발표 상대비율을 구하고 다시 8개 기술분야를 통합하여 작업영역 내 나노기술 전체의 논문발표 건수의 상대비율을 산출하였다<표 10>.

우리나라는 전체적으로 논문발표 1위국인 일본의 21.3%에 해당하는 논문을 발표한 것으로 나타났다. 대분류 기술 분야별로는 1위국(따로 언급하지 않은 부분은 일본이 1위국임)에 대하여 나노기반 분야 25.1%, 나노소재 분야 23.6%, 자기조립 분야 23.4%(1위국 독일), 나노소자 분야 21.8%, 나노바이오 분야 20.5%, 환경 및 에너지 분야 18.2%(1위국 미국), 의료 및 보건 분야 17.6%(1위국 미국), 나노바이오시스템 분야 14.5%의 비율로 논문을 발표한 것으로 나타났다.

<그림 2> 나노기술 논문 평가 결과



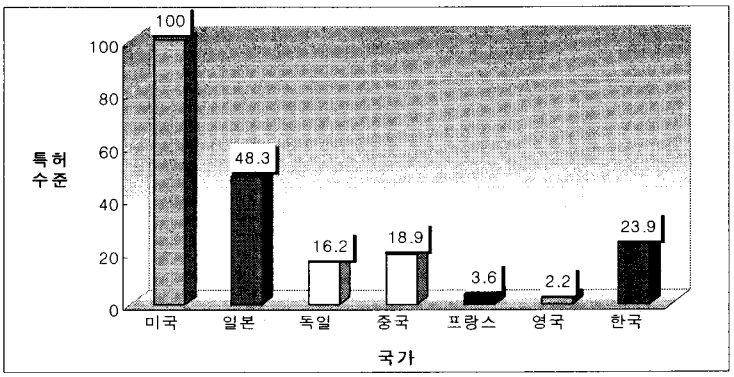
<표 10> 기술 분야별 주요국의 논문발표 상대건수 평가 (2000~2004)

기술분야	한국	중국	일본	미국	프랑스	독일	영국
나노소재 평균	18.58	51.06	78.72	71.06	46.68	69.24	50.50
(상대비율)	(23.6)	(64.9)	(100.0)	(90.3)	(59.3)	(88.0)	(64.2)
나노소자 평균	21.77	32.09	99.79	55.64	44.21	70.67	33.40
(상대비율)	(21.8)	(32.2)	(100.0)	(55.8)	(44.3)	(70.8)	(33.5)
나노바이오 평균	17.16	33.48	83.56	82.91	42.02	67.26	41.32
(상대비율)	(20.5)	(40.1)	(100.0)	(99.2)	(50.3)	(80.5)	(49.4)
나노바이오 시스템 평균	13.33	33.39	91.78	62.10	23.41	43.13	20.66
(상대비율)	(14.5)	(36.4)	(100.0)	(67.7)	(25.5)	(47.0)	(22.5)
의료·보건 평균	13.05	25.58	73.06	74.16	32.10	64.97	18.95
(상대비율)	(17.6)	(34.5)	(98.5)	(100.0)	(43.3)	(87.6)	(25.6)
환경·에너지 평균	16.82	40.73	85.01	92.59	43.95	81.76	42.52
(상대비율)	(18.2)	(44.0)	(91.8)	(100.0)	(47.5)	(88.3)	(45.9)
나노기반 평균	22.97	70.40	91.67	55.27	33.97	61.73	50.20
(상대비율)	(25.1)	(76.8)	(100.0)	(60.3)	(37.1)	(67.3)	(54.8)
자기조립 평균	23.4	72.4	82.2	84.2	40.9	100.0	33.1
(상대비율)	(23.4)	(72.4)	(82.2)	(84.2)	(40.9)	(100.0)	(33.1)
논문발표 종합 평균	**20.59**	**50.16**	**96.56**	**82.19**	**43.52**	**78.69**	**41.13**
(상대비율)	**(21.3)**	**(51.9)**	**(100.0)**	**(85.1)**	**(45.1)**	**(81.5)**	**(42.6)**

3) 특허출원 동향 분석

주요 7개국들이 2000~2004년 기간 동안 각 중분류 기술분야별로 특허를 출원한 건수 비율을 <표 11>에 종합하였다. 발표논문 건수 비율과는 사뭇 다르게 1위국 미국이 2위국 일본(48.3%)을 2배 이상 앞서는 것으로 나타났다. 우리나라는 3위 특허출원국이며 미국 대비 23.9%의 특허를 출원하고 있다. 우리나라는 일본과 비교하여 절반이 되지 않는 특허를 출원하였다. 4위국은 중국으로 미국의 18.9%, 5위국은 독일로 미국의 16.2%에 해당하는 특허를 출원하였다. 미국은 모든 대분류 기술분야에서 독보적인 1위를 기록하였다. 중분류 기술별로는 이차전지를 제외하면 미국은 다른 모든 기술분야에서 1위를 기록하였다. 대분류 기술분야별로 특허출원 상대비율을 보면 환경 및 에너지 34.1%, 나노소재 29.2%, 나노바이오 시스템 24.2%, 나노바이오 23.3%, 나노기반 22.0%, 나노소자 19.6%, 의료 및 보건 15.0% 순으로 특허를 출원하였다.

<그림 3> 나노기술 특허 평가 결과



<표 11> 핵심기술 분야별 주요국의 특허출원 상대건수 평가 (2000~2004)

기술분야 (상대비율)	한국	중국	일본	미국	프랑스	독일	영국
나노소재	29.18	26.28	67.70	100.0	8.12	22.44	3.22
나노소자	19.59	14.99	42.50	100.0	4.51	10.69	2.80
나노바이오	23.25	19.98	48.08	100.0	6.57	17.72	1.77
나노바이오 시스템	24.20	13.45	22.10	100.0	1.45	14.60	0.70
의료 · 보건	15.02	23.60	39.74	100.0	2.50	16.26	3.02
환경 · 에너지	34.07	19.53	68.96	100.00	0.70	17.90	2.09
나노기반	22.04	14.52	49.28	100.0	1.45	14.00	2.00
특허출원 종합(상대비율)	**23.9**	**18.9**	**48.3**	**100.0**	**3.6**	**16.2**	**2.2**

III. 결론

본 연구는 나노기술 분류에 대해 검토 및 연구를 하였으며, 활용적 관점에서 기술분류를 제시하였다. 이러한 분류의 틀에서 국내외 나노기술의 연구개발 현황과 산업화 동향을 조사 · 분석하였다. 나아가 각 기술 분야별로 기술 경쟁력을 평가하였다. 심도있는 연구를 위하여 해당분야의 전문가들을 참여시켰다. 그러나 그 과정에서 국내에서 중점적으로 이루어지고 있는 연구분야를 중심으로 분석 · 평가 작업이 이루어진 면이 있다. 결과적으로 국내에서 연구개발이 이루어지고 있지 않거나, 상대적으로 해외 비교대상 국가들에서 연구개발이 가시적으로 이루어지지 않고 있는 분야

들에서는 대칭적인 비교가 사실상 불가능하다는 한계를 안고 있다. 따라서 본 연구의 결과는 비교분석이 가능한 해당 기술분야에서는 충분한 의미를 갖지만, 모든 분야를 포괄하는 종합적인 평가를 내리기에는 다소 무리가 있다. 그럼에도 불구하고, 동일분야의 평가 항목에서 우리나라의 상대기술력을 제시한 것은 큰 의미가 있다고 여겨진다.

나노기술을 국가차원에서 전략적으로 추진한 지 4년여가 경과하였다. 현시점에서 우리나라의 나노기술 수준을 분석하고, 그 동안의 기술개발 결과를 평가하는 것은 향후 나노기술개발 방향을 설정하는데 있어서 매우 중요한 의미를 갖는다. 본 연구의 결과 나노기술종합발전계획 수립 시 1위 기술국인 미국 대비 약 25% 수준이었던 우리나라의 기술력은 현재 미국의 61.3% 수준까지 높아진 것으로 평가되었다. 일본과 독일에 비해서는 각각 약 71%, 75% 수준의 기술력을 갖고 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 연구방법의 개선 등 아직 보완되어야 할 부분이 많이 남아 있다. 그럼에도 불구하고 나노기술 영역의 기술동향 분석 및 평가에 관한 전체적인 틀을 제공하였다고 사료된다. 나노기술의 효율적인 추진과 더불어 체계적인 평가·분석에 대한 연구도 계속될 필요가 있다. 실효성 있는 나노기술 개발 정책을 수립하고 정책 수행의 효율성을 제고하기 위해서는 연구개발의 동향과 성과를 정확히 분석하고 평가하는 것이 매우 중요하기 때문이다.

<참고문헌>

1. 과학기술부 등, "나노기술종합발전계획" (2001. 7)
2. 과학기술부 등, "나노기술발전 시행계획", (2003년, 2004년, 2005년)
3. 한국과학기술정보연구원, "국가 나노기술 연구개발 활성화를 위한 정보지원체제 구축 사업, 1차년도 결과보고서", (2002. 8)
4. 산업자원부, 차세대 성장산업 발굴기획단, "미래전략산업 발전전략 세미나", (2003. 5)
5. 과학기술부, "국민소득 2만불 달성을 위한 차세대 성장동력 산업 추진현황 및 계획", (2004. 4)
6. 특허청, 특허정보원, "NT 특허 분석 보고서", (2004. 12)
7. 나노산업기술연구조합, "나노산업로드맵 작성 및 나노클러스터 조성방안 연구", (2004. 12)
8. NSTC, *National Nanotechnology Initiative : The Initiative and It's implementayion plan* (2000. 7)
9. (주)富士經濟, "나노테크놀로지 관련시장의 전모", (2002)
10. 나노넷(한국과학기술정보연구원), http://www.nanonet.info/
11. 미국 NNI 홈페이지, http://www.nano.gov
12. 생물학연구정보센터, http://bric.postech.ac.kr/
13, 생명공학연구원 바이오진, http://biozine.kribb.re.kr/
14, 한국과학기술정보연구원, http://www.kisti.re.kr/kisti/index.jsp, http://www.kosen21.org /index.html, http://analysis.kisti.re.kr/kristal-jsp/search_call.jsp.