

최종보고서

나노기술분야 기술인력 수급전망

2013. 2

다산경제연구원

제 출 문

한국과학기술기획평가원장 귀하

본 보고서를 『나노기술분야 기술인력 수급전망』의 연구결과보고서로 제출합니다.

2013. 2.

주 관 연 구 기 관 : (사)다산경제연구원
연 구 책 임 자 : 이 종 원
공 동 연 구 자 : 이 상 돈
 김 영 세

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 연구의 필요성 및 목적	1
제 2 절 연구의 구성	2
제 2 장 나노기술 산업의 현황	3
제 1 절 나노기술의 현황	3
제 2 절 나노기술정책현황	16
제 3 절 나노기술의 발전 전망	31
제 3 장 나노기술인력	52
제 1 절 나노기술인력의 정의 및 특징	52
제 2 절 나노기술인력 양성현황	56
제 4 장 국내외 인력수급 전망모형 방법론	71
제 1 절 인력수급 예측방법의 발전과정	71
제 2 절 주요국의 인력수급 예측방법	78
제 3 절 질적 인력수급 예측방법론	90
제 4 절 우리나라의 인력수급 예측방법	93
제 5 장 나노기술인력 수급전망	99
제 1 절 나노기술인력 수요전망	99
제 2 절 나노기술인력 공급전망	104
제 3 절 나노기술인력 수급차 전망	112
제 6 장 결론 및 정책 제언	118
참 고 문 헌	121

표 목차

<표 2-1> 2005~2011년의 나노기술의 산업화 성과	15
<표 2-2> 2011년 미국의 나노기술예산 집행실적	17
<표 2-3> 일본 과학기술계획의 투자규모	18
<표 2-4> 중국 과학기술분야의 기술로드맵	23
<표 2-5> 제1기, 2기, 3기 나노기술종합발전계획 비전과 추진목표	28
<표 2-6> 나노안전관리종합계획의 4개 분야 및 주요 추진과제	29
<표 2-7> 나노융합 2020사업의 연도별·분야별 투자계획	31
<표 2-8> 전 세계 및 미국에서 나노관련 연구 인력, 연구개발 비 및 기타 관련 문 진 통계	32
<표 2-9> 지난 10년간 투자된 나노관련 연구비 비교	35
<표 2-10> 정부지원 연구기관(NSF, DOD, DOE, NIH, and NIST)별 나노 연구 투자 비중	35
<표 2-11> 국가별 정부주관 나노 관련 연구주제별 연구지원 비교	36
<표 2-12> 나노 1차 및 2차 사업기획에 따른 나노기술의 개발 현황 및 전망	38
<표 2-13> 최근 나노 기술 주요 업적	41
<표 2-14> 나노 기술 개발의 향후 전망	43
<표 2-15> 나노 과학 기술 단-중-장기 전망	50
<표 3-1> 나노기술의 응용분야	53
<표 3-2> 정부출연 연구기관 전체 현황	58
<표 3-3> 연구기관별 나노기술 연구인력 분포	59
<표 3-4> 대학학과 전체 현황	60
<표 3-5> 나노관련학과 학생현황(1)	61
<표 3-6> 나노관련학과 학생현황(2)	62
<표 3-7> 나노관련학과 교수진 현황(1)	62
<표 3-8> 나노관련학과 교수진 현황(2)	63
<표 3-9> 대학연구실 전체 현황	64
<표 3-10> 연구실별 연구인력현황(1)	65
<표 3-11> 연구실별 연구인력 현황(2)	66
<표 3-12> 나노기술기업의 현황	67
<표 3-13> 나노기업 연구 분야 비중	68
<표 3-14> 나노기업의 산업 분야별 인력규모 현황	69
<표 4-1> OECD 국가별 고용전망 개요	89
<표 5-1> 나노산업 연구개발투자비 전망	101
<표 5-2> 나노기술인력 학력수준별 수요 전망	102

<표 5-3> 나노기술인력의 학력별, 기술분야별 수요 전망	103
<표 5-4> 학력수준별 졸업생 전망	107
<표 5-5> 나노학과 졸업생 전망	109
<표 5-6> 나노기술인력 신규인력 공급 전망	110
<표 5-7> 대학의 나노기술분야별 연구 및 수업 비중(2011년)	110
<표 5-8> 나노기술인력의 학력별, 기술분야별 공급 전망	111
<표 5-9> 나노기술인력의 학력별, 기술분야별 성장수요 전망	113
<표 5-10> 나노기술인력의 학력별, 기술분야별 대체수요 전망	114
<표 5-11> 나노기술인력의 학력별, 기술분야별 신규수요 전망	115
<표 5-12> 2012~2022년 나노기술인력의 수급차 전망	116

그림 목차

[그림 2-1] 나노기술·재료분야의 연구개발투자 총액	19
[그림 2-2] 독일 연방 기관 및 연구소, 외부자본의 연도별 투자 현황	21
[그림 2-3] BMBF의 나노기술 분야별 투자 현황	21
[그림 2-4] 제3기 나노기술종합발전계획의 비전 및 추진전략	27
[그림 2-5] 나노융합 2020의 기본 개념	30
[그림 2-6] 나노 1, 2 사업기획별 나노기술 창출 및 연구개발 항목(NSF 나노 과학기술협회)	33
[그림 2-7] STEM 교육이념을 통한 나노 표면 부피 연구에 관한 나노기술연구 협력 관계	34
[그림 2-8] 10년간 국가별 나노관련 특허 출원 실적	37
[그림 2-9] 나노 1 차 기간 중 나노 관련 연구 개발 분야 분포	38
[그림 2-10] 대학, 대학원 연구생 및 전문 연구원들이 담당하는 연구주제 발생 및 업적 예	47
[그림 2-11] 타이완의 나노교육비전	47
[그림 2-12] 나노과학기술관련 기관별 연구목표, 인력, 그리고 경제적 지원	48
[그림 2-13] 20년 후 기초기술, 응용, 기업 그리고 시장의 투자 순위	48
[그림 2-14] 의학에 적용되는 나노 기술의 항목 및 시장 가치	49
[그림 2-15] 전문 연구, 기술, 산업 및 소비자들의 나노관련 지식 및 교육 정도	49
[그림 2-16] 미래의 나노기술을 이용한 응용분야	50
[그림 3-1] 나노기술의 다학문적 성격	54
[그림 3-2] R&D와 산업화 관계	56
[그림 3-3] 우리나라 나노기술분야 인력양성체계	57

[그림 3-4] 나노기업의 기술 분야별 인력규모 현황	69
[그림 3-5] 나노기업의 산업 분야별 인력규모 현황	70
[그림 4-1] BLS 인력예측 모형의 기본구조와 예측과정	80
[그림 4-2] IER 인력예측모형의 기본구조와 예측과정	83
[그림 4-3] IAB 인력예측모형의 기본구조와 예측과정	85
[그림 4-4] ROA 인력예측 모형의 기본구조와 예측과정	87
[그림 4-5] 총량부문 인력수급 전망 흐름도	94
[그림 4-6] 인력 수급차 전망 도출 방법	96
[그림 4-7] 신규인력 공급전망 절차	97
[그림 4-8] 인력수급 전망 모형	98
[그림 5-1] 나노기술인력 수요 전망 절차	100
[그림 5-2] 나노기술인력 공급 전망 절차	104
[그림 5-3] 졸업생 전망 절차	105
[그림 5-4] 학력수준별 졸업생수 비중변화	107
[그림 5-5] 학력수준별 졸업생수 현황 및 전망	108
[그림 5-6] 인력 수급차 전망 도출 과정	112

제 1 장 서론

제 1 절 연구의 필요성 및 목적

우리나라는 1960년대 경제개발계획을 기점으로 노동집약 산업을 위주로 발전을 시작해 1980년대에는 자본집약적 산업을 구축하고, 1990년대에는 IT 제조업을 중심으로 경제 발전을 이룩해 왔다. 그러나 2000년대 이후에는 제조업의 국제경쟁력이 약화되면서 제조업의 성장률은 지속적으로 감소하는 모습을 보이고 있다. 이러한 상황에서 미래의 성장 동력을 찾는 일은 매우 중요하게 여겨지고 있으며 이를 위해 새정부에서는 창조경제를 통한 성장을 강조하고 있다.

창조경제를 이룩하기 위한 방편 중 하나로 나노기술을 들 수 있다. 나노기술을 활용한 나노융합 산업은 창조경제처럼 세상에 없던 새로운 것을 만들어 내는 창의성이 극대화된 분야라 할 수 있다.

나노기술을 미래의 국가 경쟁력에 우위를 가져다줄 거대한 가능성으로 인식한 미국의 클린턴 행정부가 2000년 1월 국가나노기술개발전략(NND)을 발표한 후 미국, 일본, 유럽에서는 정부 차원에서 연간 10억 달러 규모로 나노기술 개발 투자를 확대하고 있으며, 중국, 대만, 싱가포르 등도 이에 합세하고 있다. 우리나라 정부도 나노기술 개발에 의해 미래 성장동력을 선점하고자 2001년부터 나노기술종합발전계획을 수립하여 적극적으로 나노기술 개발을 추진하여 왔다.

2001년부터 지난 5년간 정부에서 나노기술에 대해 투자해 온 규모를 보면, 2001년에 1052억 원에서 2005년에 2772억 원으로 증가했으며, 이로 인해 연구인력도 39배 증가했고 나노기술 관련 기업 수도 약 세 배 증가했다. 나노기술 개발을 돕기 위해 2005년과 2006년에 각각 나노종합웹센터(www.nnfc.com)와 나노소자특화웹센터(www.kanc.re.kr)가 준공되어 서비스를 시작했고, 세 개의 나노기술 집적센터를 건설하고 있다.

이렇듯 나노기술에 대한 중요성으로 인해 나노기술에 대한 국가연구개발사업의 투자 및 정책적 관심 증대되고 있으며 2011년에 우리정부는 제3기 나노기술종합발전계획('11~'20)을 수립·추진 중에 있다. 나노기술은 미래 유망기술분야 등에 대부분 포함되어 있어 기간산업으로 성장할 것으로 예측되고 있으며, 첨단나노기술 기술(나노섬유소재기술, 초경량 고강도 건축소재기술, 차세대초전도 소재기술, 자가회복기능 지능형 소재 기술 등)이 미래핵심기술로 부각 되고 있어 미래 유망기술분야 등에 나노기술이 대부분 포함되어 있어 국가정책상으로도 중요성이 강조되고 있다.

하지만, 이런 중요성에도 불구하고 나노기술인력에 대한 체계적인 접근은 매우 미흡한 것으로 보인다. 나노기술개발촉진법상에 '나노기술 분야에 대한 인력수급 전망을 세우고 그 결과를 반영하여야 한다'고 명시되는 등, 나노기술에 대한 중요성으로 인해 국가차원의 나노기술 연구개발에 대한 정책적 관심이 증대되고 있으나, 기술개발의 핵심역할을 차지하고 있는 나노기술인력에 대한 현황 파악은 물론이고 인력활용에 대한 체계적이고 실질적인 추진은 이루어지지 않았다. 따라서 본

연구는 국가정책상 중요성이 강화되고 있는 나노산업의 지속성장을 뒷받침 할 수 있도록 신뢰성 높은 중장기 인력수급 전망을 실시하고, 수급전망에 대한 정합성 제고와 인력수급의 양적·질적 미스매치의 분석을 통해 인재의 효율적 활용을 도모함으로써 국가 장기발전에 기여하고자 한다.

제 2 절 연구의 구성

인력수급전망은 노동력의 수요와 공급자간의 비대칭적인 정보에 따른 인력수급의 불일치에 대한 정보를 시장에 줌으로써 효율적인 인재양성과 배분에 신호기재로 작동할 수 있도록 한다. 이러한 목적을 위해 본 보고서는 다음과 같이 구성되었다.

제2장은 ‘나노기술 산업의 현황’ 으로 나노기술의 현황과 나노기술정책 현황을 통해 살펴본다. 제3장은 ‘나노기술인력’ 으로 나노기술인력의 정의 및 특징을 살펴보고 나노기술인력 양성 현황을 살펴보았다. 부문별 인력 수급 전망을 위해서는 해당이 되는 산업과 인력에 대한 정의가 매우 중요하다. 제4장에서는 인력수급전망의 방법론을 살펴보고 제5장에서는 인력수급전망을 실시하며 제6장에서는 시사점을 도출하였다.

제 2 장 나노기술 산업의 현황

제 1 절 나노기술의 현황¹⁾

1. 나노소재

일반적으로 나노소재는 나노소재를 구성하고 있는 요소(입자(막대 혹은 튜브, 분산체, 석출체), 결정립 등)의 최소크기가 나노크기 영역(100 나노미터(nm)) 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. 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 나노다결정 소재, 나노복합소재(나노-나노, 나노-마이크론, 나노다층), 유기-무기 나노복합소재, 나노하이브리드 소재 등으로 분류할 수 있다.

나노소재는 그 형태의 다양성만큼이나 다양한 방법으로 개발되고 있으며 기술수준도 각기 다르다. 기술적으로 접근이 용이하고 많은 기술 축적이 이루어진 나노분말소재 분야는 기술이 성숙단계에 접어들고 있다.

하지만 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 나노분말소재 분야가 산업화 진척도가 가장 높다. 나노분말소재의 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 나노분말소재가 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 나노크기의 무기물을 분산시킨 유기-무기 하이브리드 소재가 부분적으로 산업화되고 있다.

1) 2008년도 나노기술연감의 일부 내용을 참고하여 정리

2. 나노소자

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 기존 벌크(bulk) 기반 소자의 특성을 획기적으로 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 양자암호통신, 양자연산 등의 신기능을 구현할 수 있는 기술이다.

나노소자 기술개발은 응용분야를 중심으로 살펴보면 광범위한 응용분야를 갖고 있는 기존 소자의 특성을 향상시키거나 혹은 대체하려는 연구방향과 양자역학적 현상을 적극 이용하여 신기능의 소자를 개발하려는 연구로 대별할 수 있으며, 양자역학적 현상을 발생시키는 나노구조의 제작을 위해서 기존기술에서의 크기나 공정이 나노크기로 작아지는 방향으로 움직이는 top-down 방식²⁾과, 나노크기의 구조체를 제작하고 이를 이용한 소자를 제작하거나 혹은 나노구조 복합체를 만드는 방식인 bottom-up 방식³⁾이 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 된다는 것이다. 이러한 기술과는 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. 따라서 이러한 bottom-up 방식의 접근법이 기존의 시장을 획기적으로 확대시키거나 혹은 새로운 시장을 창출할 수 있는 기술로 인식된다. 따라서 일차적인 기술개발 방향은 기존에 형성된 시장 확대 및 침투를 목표로 하여 나노소자를 개발해야 하며, 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 전 세계적으로 매우 활발하게 연구되고 있는 분야로 나노 CMOS 기술

2) 기존의 방식으로 재료를 깎고 다듬어서 나노미터 수준의 가공을 통해 나노미터 크기로 소형화 하는 기술로서 기존 기술을 이용하므로 기술이 상대적으로 용이하나 작게 만들수록 기술의 근본적인 한계가 있다. 현재는 반도체 제조공정 중 리소그래피처럼 물리학이나 공학에서 주로 이용되고 있다.

3) 원자나 분자를 블록처럼 쌓아 올리는 자기조립방식으로 물질의 최소 단위인 원자나 분자를 자유자재로 조작하여 원하는 기능, 구조체를 형성하는 기술로서 생물학이나 화학분야에서 주로 응용하고 있으며, 자원문제를 해결할 수 있는 장점이 있으나 새로운 기술로 아직 개념이 정립되어 있지 않아 많은 시간이 소요되며, 성공확률은 크지 않으나 성공시 파급효과는 매우 큰 기술이다.

을 제외한 많은 기술들이 실험실 수준을 넘어서 기업화되고 있으며, 기업화 수준은 벤처기업이다. 양자역학적 현상을 이용하여 신기능 소자를 제작함으로써 신기술을 창출하고 신시장을 만들고자하는 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 전 세계의 Si 관련 반도체회사들이 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 전 세계적으로 실험실 수준에 머물고 있다.

3. 나노바이오

나노바이오센서란 바이오센서의 제작과 구동의 과정에 나노기술을 도입하여 민감도 한계 및 샘플(시료)의 용량 한계 극복, 극소 크기의 구현, 동시다중 진단의 실현 등을 통해 기존의 바이오센서가 가지고 있는 한계를 극복할 수 있도록 고안된 새로운 개념의 바이오센서를 의미한다. 일반적으로 바이오칩은 마이크로 유체 칩과 바이오어레이칩으로 분류할 수 있다. 협소한 의미에서의 바이오칩은 바이오어레이칩을 의미한다. Lab-on-a chip(이후 랩칩)은 마이크로리터(μl) 이하의 미세유체를 이송 및 제어하여 생화학 반응을 시킨 후 생화학 물질을 처리하여 분석하는 기술이다. 생체모방 소재 기술의 범주에는 생체모방(biomimetic) 나노시스템⁴⁾, 바이오하이브리드(biohybrid) 나노시스템⁵⁾, 생체막 소재⁶⁾가 포함된다.

나노바이오 분야에서 나노로봇은 나노 혹은 마이크로 기술과 같은 초소형 가공기술(Nanotechnology, NT)과 생체모방공학 또는 생체응용과 같은 바이오기술(Biotechnology, BT)을 로봇기술(Robot Technology, RT)에 접목한 융합기술이다. 주로 마이크로 혹은 나노미터 크기를 가지며 공간을 자유롭게 움직이는 초소형 로봇기술을 의미하지만 넓은 의미에서는 나노기술을 탑재하거나 바이오기술을 응용하여 구현하는 새로운 개념의 융합로봇기술을 포함한다. 나노바이오 분석기술은 인간 및 생물의 분자/세포의 특성을 나노 스케일 단위로 정밀하게 분석하는 기술이다. 기존 단일 수

4) 생체모방 나노시스템이란 생물체의 운동 및 작용 메커니즘을 이해하고 이것을 응용하여 만든 나노시스템으로 생물체가 갖는 기능을 모방하여 구현하고자 하는 기술이다.
5) 바이오하이브리드(biohybrid) 나노시스템이란 생물로부터 유도된 분자, 단백질 또는 세포를 사용하여 인공의 재료와 결합하여 만들어진 시스템으로 생물체가 갖는 특성을 이용하여 원하는 기능을 갖는 시스템을 구현하는 기술이다.
6) 생체막(biological membrane, liposome, lipid vesicle)은 분자영상용 나노물질 전달체, 암과 같은 질병을 대상으로 하는 표적 지향적 약물 전달체, 마이크로/나노스케일의 soft material-based actuator, 생체막에 박혀 있는 막 단백질의 3차원 구조 및 생리적 기능의 기초 연구 등에 이용될 수 있는 소재이다.

치적인 분석 수준에서 다양한 장비를 이용하여 3D 이미지를 구현하고 화학적인 특성을 종합하여 보다 실제적이고 정확한 결과를 얻을 수 있게 된다.

국외의 경우 FET 바이오센서는 측정하고자 하는 생체분자의 종류, 채널로 사용되는 일차원 나노구조물의 재료와 제작방법 등에 따라서 기술개발의 흐름을 알아 볼 수 있다. 초기에는 측정하기 쉬운 pH의 변화나 비교적 안정한 구조를 유지하는 유전자물질의 측정을 중심으로 연구개발이 진행되어 왔다. 최근에는 더욱 정확한 진단이 필요한 단백질이나 세포를 이용한 생체분자 검출에 관한 연구가 많이 시도되고 있다.

나노갭 센서는 전기전도성이 미약한 생체분자가 나노갭에 고정될 때 전기적 특성의 변화를 크게 유도할 수 있도록 하는 것이 기술적 핵심 사안이다. 초기에는 금속 나노입자만 이용한 생체분자 측정방식이 많이 사용되었지만 최근에는 금속 나노입자의 사용과 더불어 금속 이온의 환원방법을 첨가하여 나노갭 센서의 감도를 향상시키는 연구가 이루어지고 있다. 나노갭의 크기가 작으면 작을수록 더욱 민감한 센서로 이용할 가능성이 높아진다. 초기에는 마이크로 크기의 나노갭을 사용하였지만 최근 리소그래피 기술의 발달과 각종 자기조립현상 연구 등에 힘입어 이용하여 다양한 구조와 기능을 갖는 나노갭을 이용한 생체분자검출이 다양한 방식으로 시도되고 있다.

나노입자 활용 연구는 나노입자의 물리·화학적 특성을 기반으로 하여 매우 다양한 방식의 바이오물질 검출방법이 제안되고 있다. 주로 금 나노입자의 특성에 근거하여 광학적, 전기적인 검출방식으로 작동하며 DNA나 단백질 등을 매우 낮은 농도까지 검출할 수 있는 다양한 방법을 발표하였고 최근 상업화의 가능성까지 타진하고 있다.

나노바이오센서 분야의 경우 산업화의 관점에서는 초기 단계라 할 수 있는데 기업의 차원에서도 연구개발 중인 경우가 많고 실제 제품이 판매되는 경우는 매우 드물다 할 수 있다. 판매가 되는 경우에도 현재까지는 시장에 거의 진입하지 못한 상태이거나, 실제 진단에 이용되는 제품이 아니라 연구용 재료를 공급하는 수준의 제품에 머물러 있다. 국내의 경우 현재 국내에서 나노바이오센서 제품이 기업 차원에서 실제 제작되는 경우는 거의 없다. 하지만 기업의 기술개발이나 이전 사례, 기업의 제품전시 사례 등을 보면 이제 막 태동하는 단계라고 사료된다.

바이오어레이칩 분야의 경우 현재 DNA칩은 구미 선진국에서 많은 기업들이 질병진단 및 질병발현 예후 검증 등 다양한 목적의 DNA칩을 생산하여 판매하고 있다. 이러한 최종제품인 DNA 마이크로 어레이뿐만 아니라 이를 제작하는 제작기기와 마이크로 어레이를 분석하는 분석도구 시장도 크게 형성이 되어 있어 자체로서 독자적인 수급이 가능한 시장을 구성하고 있다.

단백질칩은 진단 및 시험분석용으로 사용되는 항체칩이나 항체유사단백질칩 등이 주종을 이루며 이외에도 각종 분석장비, 어레이어와 칩표면처리기술 등이 사업화 되어왔다. 현재 세포칩의 경우 각 연구기관에서 목적에 따라 개별적으로 제작하여 사용하고 있는 실정이고 소량 주문생산으로 판매되며 대단위로 사업화되어 생산되고 있는 경우는 없다. 대개 세포칩에 기반이 되는 요소기술 별로 개별기업들이 상품화하여 제품을 출시하고 있는 실정이다.

국내의 경우 DNA칩은 중소 바이오텍을 중심으로 사업화가 활발히 진행 중에 있다. 단백질칩은 질병진단이나 신약 스크리닝용으로 개발 중에 있으며 일부 시판되고 있다. 또한 칩제작 기술과 분석 장비 개발 등이 진행되고 있다. 케이맥에서는 SPR 이미징 장비를 시판하여 신약스크리닝 기술 발전에 기여하고 있다. 현재 세포칩의 경우 각 연구기관에서 목적에 따라 개별적으로 제작하여 사용하고 있는 실정이고 소량 주문생산으로 판매되며 대단위로 사업화되어 생산되고 있는 경우는 없다. 당쇄칩의 경우 국내에서는 아직 사업화가 진행되지 않고 기초연구가 진행 중에 있다.

4. 의료·보건

의료 및 보건 분야에 적용되는 나노기술은 그 범위가 대단히 넓지만, 진단에 관계되는 부분과 치료에 관계되는 부분으로 대별할 수 있다. 진단부분은 주로 영상장치를 이용하는 조영기술과 연관성이 높다. 인체영상장치는 생체 내부의 골격, 조직, 기관, 혈관 및 기능이나 대사 등 세부조직을 영상화할 수 있는 매우 우수한 기술이지만 병소와 정상조직 간의 음영 차이가 낮아 영상의 선명도 및 정확도가 떨어져 정확한 진단을 할 수 없는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 나노기술을 이용하는 조영제는 병소와 정상조직 간의 대조도를 증가시켜 정확하고 정밀한 영상을 통해 병소를 진단하거나 체내의 기능 또는 대사를 단층영상으로 검사할 수 있도록 해주는 역할을 한다. 이러한 목적으로 사용되는 조영제에는 X-선/컴퓨터 단층촬영(CT) 조영제, 자기공명영상(MRI) 조영제, 초음파 조영제, 양전자방출 단층촬영(PET)/단일광자방출 단층촬영(SPECT) 영상제제, 자기가열 치료제제(진단 및 치료) 등이 있다.

진단기술은 해부학적 영상뿐만 아니라 세포의 형태 및 기능적 변화에 선행하는 대사적 영상 또는 유전자 수준의 변화를 관찰하기 위한 것으로 자기장을 이용한 MRI, X-선, 초음파와 CT는 병소의 존재 여부와 크기 및 위치를 알려주는 해부학적 영상법이고, PET/SPECT는 주로 생리학적 변화 또는 유전학적 변화를 영상화하는 방법으로 질병을 초기에 진단할 수 있는 기술이다. 생체 내 특정조직 또는 질병 부위에 존재하는 특이 수용체를 인식하는 기능이 부여된 신개념의 표적지향형 나노입자 소재기술은 해당 산업분야인 제약산업의 고부가가치화 및 기술의 국제 경쟁력 강화를 위한 핵심기술로서 현재의 기술로는 치료가 어려운 암과 같은 난치성 질환의 진단 및 치료를 가능하게 할 것이다.

치료 부분은 주로 약물전달시스템 DDS(drug delivery system)과 관련되어 있다. 약물전달시스템은 약물의 방출, 흡수를 제어하거나, 체내의 특정 부위에만 약물을 전달시키는 기술이다. 이러한 약물 전달시스템을 이용하여 기존 약물의 부작용을 최소화, 약물의 효능 및 효과를 극대화, 약물 방출 속도 조절 등을 목적으로 설계된 모든 제형으로 정의된다. 최근에 나노기술을 이용한 나노구조가 제어된 약물전달시스템 개발에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

나노구조가 제어된 약물전달시스템(nano-drug delivery system)은 현재약품시장에서 제너릭 약물

의 특허 보호권과 신약 개발에 따른 연구개발비 증가 등의 문제를 해결하는 중요한 제형으로 인식된다. 다양한 약물의 전달체로 나노입자를 이용하면 약물방출 조절 및 지속적인 약물방출 효과를 얻을 수 있기 때문에 기존 약물의 효능을 크게 향상시키는 새로운 제제 개발이 가능하다. 또한 나노입자를 이용한 기술개발의 중요성은 한 가지 약물에 성공하면 대부분의 다른 약물에도 쉽게 적용이 가능한 대표적인 플랫폼(platform) 기술에 해당한다.

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.

또한 초음파 조영제의 경우에는 리포솜을 이용하여 비 확산성 가스를 포집함으로써 시간에 따른 마이크로 버블의 균일성, 안정성 증가와 생체 내 체류시간을 증가시키기 위한 노력이 진행 중이다. 최근에 설치되기 시작한 PET 스캐너의 사용은 한 번의 영상획득으로 해부학적, 기능적, 대사적 영상을 모두 얻을 수 있으므로 활용영역이 증가하고 있다. 따라서 PET 영상제제의 연구가 활발히 진행되고 있다.

국내에서는 응용이 전문한 광학적 영상 기술 분야이지만 미국에서는 동물을 대상으로 상당한 수준의 응용이 이루어지고 있다. 유럽 국가들 역시 독일과 프랑스를 중심으로 많은 연구 활동 및 국제적 교류가 이어지고 있다.

세계 시장을 선도하는 조영제의 주요생산 업체는 Amersham Health사(38%), Bracco사(18%), Tyco/Mallinckrodt사(14%), Schering사(12%), BMS/Dupont사(12%), Guerbet사(2%), 기타(4%)로 CT/X-Ray, MRI, 초음파, 방사선 조영제로 분류되고 있으며, CT/X-Ray 조영제 시장은 감소 추세에 있으나 그 자리를 나머지 세 가지 조영제가 차지하고 있다. 또한 초음파 조영제 판매의 선두는 Bracco 사로 약 31%를 소유하고 있으며, EzEm사가 Amersham Healthcare사의 약 12%를 공유함으로써 약 20%를 점유하고 있고, Alliance Pharmaceuticals, Schering AG, Imarx, Mallinckrodt 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 3개 업체로 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.

또한 PET를 이용하면 각종 암 및 두뇌기능 혹은 심장기능 등을 영상화할 수가 있으므로 지금까지 난치병 혹은 불치병들로 분류되던 수많은 질병들의 진단 및 치료에 많은 도움을 주게 될 것이다. 이러한 PET의 이용에서 필수적인 것은 환자에게 투여할 방사성 의약품의 제조하는 것이다. 현재 세계적으로 개발되어 있는 방사성 의약품의 종류는 다양하며 앞으로도 계속 연구 중에 있다.

나노입자를 이용한 단백질 약물전달체 개발은 Enzytech, Inc.의 10개 회사가 사업화를 시도하고 있다. 30nm 수준의 나노미립기와 나노지질의 제조가 가능하며 각종 항암제 및 DNA를 충전시켜 표적성약물전달체와 유전자 전달체로 응용하기 위한 기술을 개발하고 있다. 우리나라는 외국 수준의 나노입자/지질 개발능력을 보유하고 있으나 약물을 충전하는 응용 분야에 대한 경험이 적어 응용기술 개발이 지연되고 있다. 고분자, 지질, 무기물을 이용한 나노입자 제조에 관한 폭넓은 연구가 진행되면서 다양한 제조기술을 이용한 제품개발이 진행 중이다.

5. 환경 및 에너지

근래 환경과 에너지 문제는 국가의 장래를 결정하는 주요 핵심기술이 되었다. 특히 기존 기술로는 한계성을 드러내고 있는 환경 및 에너지 분야에 있어서 나노기술에 대한 기대는 매우 크다고 할 수 있다. 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.

화학/환경 촉매 기술은 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 연

구 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.

화학/환경 촉매용 나노소재 분야에서는 현재 많은 수의 기업들이 나노촉매 분야에 사용이 가능한 소재개발에 박차를 가하고 있다. 이것은 이 분야의 시장 잠재력과 이와 관련된 소재시장의 활성화에 기인한다고 볼 수 있다. 그러나 상업화 수준에 이르지 못하여 아직 개발의 여지가 많이 남았다고 볼 수 있다.

태양전지 분야에서는 염료감응 태양전지가 스위스, 미국을 중심으로 산업화 모색단계에 있으며, 국내에서는 기술개발 단계에 있다. 수소에너지용 나노기술 분야에서는 국내외적으로 개질반응에 의한 수소생산기술 나노촉매의 산업화 모색단계에 있다. 이차전지용 나노소재 분야에서는 기존 소재의 성능을 향상시키기 위한 나노코팅 기술이 산업화 진입단계를 지나 성숙단계에 접어들고 있으며, 나노합성 기술은 산업화 모색단계에 있다.

초고용량커패시터용 나노소재 분야에서는 기존 소재의 성능을 향상시키기 위한 나노합성기술이 산업화 모색단계를 거쳐 개시단계에 이르고 있으며, 대표적인 업체로 간사이 열화학, 쿠레라이가 있다. 최근 들어 새로운 나노소재의 도입을 시도하는 업체는 파워시스템, Advanced Capacitors Ltd. 등이다. 연료전지용 나노소재 분야에서는 PEMFC인 경우 산업화 모색단계를 거쳐 진입단계에 이르렀으나, 타 연료전지인 경우는 아직까지 기술개발 및 산업화 모색단계에 있다.

6. 사회 안전 및 국방

장갑/대장갑 나노소재 기술이란 나노결정립 재료의 우수한 기계적 특성을 이용하여 구조물을 고속 충돌하는 물체로부터 보호하거나(장갑), 구조물을 관통하여 무력화시키는(대장갑) 소재기술을 일컫는다. 군용에너지가 적용되는 기술 분야는 크게 태양전지 및 연료전지 분야이다.

태양전지는 군사용으로 태양 텐트, 개인 휴대용 태양전지, 미래병사 전원, 및 소형 무인항공기 전원이 있다. 연료전지는 규모가 큰 잠수함 전원, 무인항공기, 전투차량 보조동력장치(APU) 및 소형의 휴대용 무전기, 발전기 전원이 있다.

화생방어기술은 화학 및 생물학 작용제를 탐지/식별, 보호, 제독 및 해독하는 기술과 이러한 기술을 이용하여 방어무기체계 및 부품을 개발하는 기술로서 화생방 테러 및 군사적 공격에 대비하기 위해 필수적인 분야이다. 또한, 화생방어기술은 화학, 생물, 물리, 화공, 기계, 전자, 소재 등 다양한 학문분야의 기술이 융합된 분야로서 최근 급속한 발전을 이루고 있는 나노기술도 자연스럽게 융합되고 있는 분야이다.

극한환경 분야에서 나노소재기술이란, 부품 소재의 운용 환경이 최저 -150℃ 이하에서, 최대 1650℃ 이상인 극저온과 초고온의 극한환경에서 사용 가능하면서도 더 우수한 열적·기계적 특성을 가

지는 나노크기의 금속 및 세라믹소재 및 복합소재 제조 기술과 구조체 형성 기반 기술을 의미한다.

국내에서는 대용량, 고성능 태양전지 보다는 소형 휴대전원으로 태양전지를 이용하고 있다. 그 외 군용 태양전지 관련 연구가 거의 없으며 최근 군복 장착용 플렉서블 태양전지, 차세대 군용전원 연구가 예정되어 있다. 하지만, 화학 및 생물학 작용제의 탐지/식별과 관련된 나노기술연구는 전무한 상태이다.⁷⁾ 해독기술의 경우 나노소자를 이용한 약물전달은 다양한 약물을 나노고분자와 결합시킴으로써 약물 방출 속도의 지연 등을 통하여 약효를 강화하거나 연장시키는 목적으로 이용되고 있으며, 신약 개발과정에 소요되는 막대한 비용을 고려할 때 국내에서는 제형의 개선 연구가 집중적으로 진행되고 있으며 선진국과 비교할 때 매우 높은 수준까지 연구가 진행되어 있다.⁸⁾ 하지만, 약물 전달체에 대한 기술은 상대적으로 높은 수준에 도달해 있음에도 불구하고, 화학/생화학 작용제의 해독제에 대한 연구는 매우 미약한 상태이며 해독제를 전달할 수 있는 방법에 대한 연구는 전무한 상태이다.⁹⁾

미국을 제외하고는 장갑/대장갑 나노소재의 연구개발이 활발히 수행되고 있지는 않다. 아직 장갑/대장갑 나노소재의 연구 단계가 기초연구 또는 응용연구 수준이기 때문에 체계에 적용될 정도로 산업화되어 있지는 않다.

군용 태양전지의 경우 고효율의 태양전지를 개발하고 있으며, 인공위성용, 무인항공기용, 발전용, 개인병사체계 전원으로 개발되고 있다. 군용 연료전지는 잠수함용, 무인항공기용, 군용차량용, 개인병사체계 전원 등으로 개발되고 있다. 대부분의 군용에너지는 산업화를 위해 추가적인 고성능화, 저비용화, 소형 경량화를 위해 연구개발 중에 있다.

나노기술을 이용한 화학 및 생물학작용제 탐지 및 식별 기술은 나노입자, 나노선, 나노튜브 등을 이용하여 다양하게 이루어지고 있으며, 주로 DARPA 등 군 관련 연구기관으로부터 연구비를 지원받아 개발되고 있다. 이러한 나노기술을 이용한 탐지기의 개발은 소형화, 통합화를 목표로 이루어지고 있으나 아직 대부분이 기술개발 단계이다.

나노기술을 이용한 화학 및 생물학 작용제보호 및 제독 기술은 나노입자, 나노섬유, 나노튜브 막 등을 이용하여 다양하게 이루어지고 있으며, 주로 DARPA 등 군 관련 연구기관으로부터 연구비를 지원받아 개발되고 있다. 이러한 나노기술을 이용한 제독 및 보호 소재의 개발은 자가제독, 경량화를 목표로 이루어지고 있으나 아직 대부분이 기술개발 단계이다. 극한환경 분야에서 가장 상업화가 빠르게 진행된 분야는 나노분말 분야이다.

나노분말 분야에서 가장 두각을 나타내는 업체는 미국 American Elements Co.로 판단되며, 조사 결과 일반 금속은 물론 각종 탄화물, 질화물 등 다양한 분야 소재의 분말을 제조, 판매하고 있다.

7) 이에 국방과학연구소는 연세대학교 내에 2008년 국방나노응용 특화연구센터를 설립하여 나노센서를 이용한 통합 화학 및 생물학 작용제 탐지 센서 모듈의 기초연구를 착수하였다.
8) 약물전달체를 이용하여 치료 효과를 높인 제품으로 태평양제약의 케토톱, SK 제약의 트라스트, 제일약품의 케펜택 등이 상용화된 대표적인 약물에 해당한다
9) 이에 국방과학연구소는 2008년 연세대학교에 국방나노응용특화센터를 설립하여 해독제에 적용하기 위한 나노약물전달체 연구를 착수하였다.

텅스텐, 몰리브데늄 등의 내열금속과 지르코늄 탄화물 등의 내열금속계 탄화물, 그리고 관련 합금, 복합재의 나노분말이 현재 일부분 상용화되어 판매되고 있으나, 대부분 수입 규제 품목이기 때문에 이를 국내에서 획득하기는 매우 어려운 실정이다.

양자우물 적외선 검출소자의 경우 미국, 프랑스를 중심으로 한 몇몇 나라에서 제품화에 성공하였으며 일부는 생산 중에 있다. 양자점 적외선 검출소자와 초격자 적외선 검출소자는 아직 제품이 출시되지 않았다.

테러감지용 나노센서분야는 현재 기술개발 단계에 속해 있는 기술로 산업화되기까지는 많은 시간이 걸릴 것으로 판단된다. 또한 테러 감지용이라는 특수 용도로는 그 수요가 상대적으로 크지 않기 때문에 산업화 움직임이 아직은 없다. 민수용으로 개발 기술을 확립한 후 적용될 수도 있으며, 정부의 요청에 의해 고가의 나노센서로 시장이 형성될 수도 있을 것으로 판단된다.

우리나라의 장갑/대장갑 나노소재 연구는 국방과학연구소가 중심이 되어 이루어지고 있으며 연구 단계는 기초연구 또는 일부 응용연구 수준이다. 전반적인 경향은 미국과 비슷하다고 할 수 있으나 미국에 비하여 연구 단계가 다소 늦고, 아직 산업화에는 이르지 못하고 있다. 그러나 우리나라에서 보유한 구조용 나노소재 분야의 폭넓은 기술기반을 고려하면 발전 잠재력은 크다고 할 수 있다. 국내 군용 에너지 기술의 산업화는 미미하며, 기존 기술을 이용하거나 설계하는 단계에 있다.

태양전지의 경우, 소형의 간단한 배터리 충전용 태양전지를 개발하였으며, 연료전지 개발도 나노 기술을 이용한 고효율, 고성능의 군용에너지 개발은 미비한 것으로 판단된다. 국내의 화생방어 관련 나노기술의 산업화 동향은 현재 전무한 상태이며, 향후 국방과학연구소가 설립한 국방나노응용특화 센터 및 일부 민군겸용기술 과제의 연구결과가 어느 정도 축적된 후 나타날 것으로 예상된다. 극한 환경 분야의 나노 소재 상용화 실적은 거의 전무한 실정이다.

대부분의 연구가 정부출연연구소를 중심으로 각 분말 및 복합재료 제품 업체와 협력하여 진행되고 있기 때문에, 아직 상업화 단계에 이르지 못한 실정이다. 또한 국내의 경우, 극한환경 분야, 즉 항공우주, 국방 분야의 수요가 많지 않기 때문에, 그리고 현재까지는 품질이 공인된 선진국 회사의 제품을 전량 수입해 이용했기 때문에 이 분야에 대한 연구 및 투자는 극히 미비한 실정이다. 아직 테러 감지용 나노센서의 산업화 기미는 보이지 않고 있다. 하지만 나노센서를 개발하기 위한 원천 기술 확보에 주력하고 있기 때문에 조만간 정부 주도하에 개발 및 산업화가 이루어지리라 생각된다.

7. 나노기반

나노기반 기술은 나노공정, 구조, 기능, 소재(부품) 및 시스템 등 나노기술 분야 전반에 걸쳐 요구되는 공통 기반적 성격을 갖는 기술이라고 할 수 있다. 이러한 나노기반 기술을 별도의 세부분야로 구분한 추진체계를 구축함으로써 나노기술 전반의 연구개발 효율성과 기반성을 확고히 할 수 있을

것으로 기대된다. 또한, 국가 나노기술 연구개발 저변확대를 촉진하고 더 나아가 미래 국가 기술력 제고에 기여하게 될 것이다.

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 측정하고 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.

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.

그 밖에 탐침을 이용하는 공정기술은 1982년 스위스 IBM 연구소 G.K. Binnig과 H. Rohrer에 의해 주사형터널링현미경(STM)이 발명된 이후 탐침을 이용한 정보저장 기술과 아울러 공정에 응용하는 연구가 시작되었다. AFM oxidation lithography와 NSOM 기술, AFM를 이용한 기계화학적 방법 등이 다양하게 연구되고 있으며 연구개발을 위해 AFM 장비 기술과 탐침제작 기술이 지속적으로 발전해 가고 있다. 국소 극미세 나노프로브 패터닝 및 장비 기술에는 핵심기반기술로서 SPM 리소그래피 기술과 나노머니폴레이터 기술이 있다. 나노탐침을 이용한 대면적 고속 나노패터닝을 위해서는 탐침을 병렬로 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. 나노패터닝에 필요한 물질제어 역시 상당한 중요성을 갖는데 나노패터닝을 용이하고 정밀하게 하고 경우에 따라서는 특정 조건을 만족시키는 방향으로 물질이 구성(조립)되도록 제어하는 자기조립 기술이 광범위하게 연구되고 있다.

나노측정 기술 관련하여 이미징 기술과, 전자기적 물성 측정, 기계적 물성 측정으로 구분하여 연

구개발이 추진되고 있다. 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology), 영국의 대표적인 물성측정 국립연구소인 NPL(National Physical Laboratory), 미국 Illinois 대학과 Northwestern대학, 일본 리츠메이칸 대학 등에서 많은 연구개발을 수행하고 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 연구 개발되고 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 보여 진다. 자기조립 기술은 나노장비 또는 나노가공 기술개발과 맞물려 연구되고 있으며 이들 기술의 발전과 궤를 같이 하고 있다.

일례로 차세대 나노리소그래피 후보기술 중 가장 주목받고 있는 나노임프린팅 공정 장비는 미국의 MI사, 스웨덴 Obducat사, 오스트리아의 EV Group사, 일본의 미쓰이 물산 등에서 개발하여 판매되고 있다. 하지만, 이러한 기술이 본격적으로 산업화되어 생산라인에 적용되기까지는 기술적 보완이 필요하다.

국내에서는 FED(field emission display)용 탄소나노튜브 증착장치를 개발하였으며, APTC(adaptive plasma technology)에서는 플라스마를 이용해 반도체 회로를 깎아 내는 식각장비를 국내기술로 개발 상용화 모델을 출시하였다. 그밖에 나노스케일 정밀도의 인라인 검사장비, PSIA 사의 개선된 AFM 장비 등이 주요 산업화 사례에 해당된다.

측정기술과 장비 관련한 주요 국외 동향을 보면 전 세계적으로 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.

나노측정기술 분야의 대표적인 장치인 주사형탐침현미경(SPM)의 경우, 현재 시장규모가 급속도로 커지고 있는 추세이다. 이 분야는 특히 미국과 독일이 강세를 보이고 있다. 이중에서 전체의 60%가 광학현미경, 26%가 전자현미경, confocal microscope가 6%, SPM이 8%를 차지하고 있다. 하지만 향후에는 SEM, SPM가 전체 시장을 지배할 것으로 예측되고 있다.

나노전산모사 기술의 산업화는 상용화 코드 개발을 통해 가능하다. 원자모델링계산 기술에는 분자동역학, 분자정역학, Monte-Carlo 기법 분야에서 다양한 해석코드들이 개발되었으며 이중에는 상

용화된 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.

8. 우리나라 나노기술의 산업화 현황

나노기술은 지난 10년간 괄목할 만한 수준으로 성장했고, 전자, 의료, 에너지, 제조 및 재료 등 다양한 분야와 폭넓게 접목되어 이용되고 있다. 전 세계 나노부분 투자도 지속적으로 증가하고 있는 추세로서, 전 세계 정부의 나노투자는 675억 달러(2000년~2011년)이며, 향후 3년간 20%증가하여 2014년 1000억 달러로 예상되며, 민간부분의 나노투자는 2015년까지 2,500억 달러 규모가 될 것으로 예측되고 있다. 우리나라의 경우에도 2011년 나노기술 분야에 대한 정부투자는 총 2,534억 원이며, 이중 연구개발(R&D) 투자비중이 85.9%(2,179억 원)에 달한다. 이에 따라 나노기술에 기반을 둔 산업은 2001년 이후 연평균 30% 이상 성장, 2015년경 나노기술시장은 1조~2조 9천억 달러까지 성장할 것으로 전망된다.

<표 2-1>은 나노기술의 산업화 성과를 보여주고 있다. 기술 분야별로 보면, 나노소자가 103건으로 가장 많았으며, 그 다음으로는 나노소재(98건), 환경 및 에너지(57건)순으로 이 분야에 대한 산업화가 활발하게 진행되었음을 알 수 있다. 연도별로 보면, 2008년 글로벌 금융위기 이후 나노기술의 산업화 성과가 둔화되는 것으로 나타나는데, 이는 정부의 재정지원투자가 글로벌 금융위기 이후 선택과 집중이라는 예산정책이 반영된 결과로 판단된다.

<표 2-1> 2005~2011년의 나노기술의 산업화 성과

(단위: 건)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	합계
나노소재	12	15	10	29	19	7	6	98
나노소자	8	23	11	7	17	21	16	103
나노바이오	12	8	2	5	7	5	7	46
의료 및 보건	2	9	2	16	2			31
환경 및 에너지	35	9	4	8	1			57
나노기반	10	10	6	4	8	5	8	51
합계	79	74	35	69	54	38	37	386

주: 기술별로 6개 분야로 분류한 것만 표시

자료: 나노기술연감, 각 년도.

제 2 절 나노기술정책현황¹⁰⁾

1. 주요국의 나노기술정책 현황

가. 미국

미국은 2000년 국가나노기술전략(National Nanotechnology Initiative, NNI)을 수립한 이래, 2005년에 새로운 NNI 체제를 구축하고, 2009년 나노기술개발법을 개정하는 등 나노기술 연구개발을 전략적으로 추진하고 있다. NNI의 비전과 목표는 구체적인 사업 프로젝트로 구현되는데, 이들 사업의 추진현황은 프로그램 구성영역(Program Component Area, PCA)을 통해 집계된다. 2000년에 수립된 미국 NNI 프로그램의 구성 영역은 2004년과 2007년에 큰 변화를 겪는다. 2001년에서 2004년 회계년도까지의 PCA는 기초연구(Fundamental Research), 그랜드 챌린지(Grand Challenge), 우수센터 및 네트워크(Centers and Networks of Excellence), 연구 인프라(Research Infrastructure), 사회적 영향 및 교육 훈련(Societal Implication and Workforce Education and Training)부분으로 구분되었다.

2004년 미국의 국가과학기술위원회(National Science and Technology Council, NSTC)는 제1차 NNI를 계승하는 제2차 NNI를 기획하여, 기존 5개의 투자지원 분류체계 대신에 새롭게 4개 목표와 7개의 프로그램 구성영역(PCA)을 설정하였다. 그리고 2007년에 NNI 사업부분을 8개로 세분화하였다. 사회적 차원(Social Dimensions)을 보건 및 안전(Environment, Health and Safety, EHS) 부문과, 교육 및 사회적 차원 부문으로 분리하였다. 2008년에는 미국 나노기술 추진체계를 크게 변화시키는 나노기술개발법이 개정되었다.

2008년 미국 하원에서는 2003년 제정된 ‘21세기 나노기술연구개발법’을 수정하는 법안이 압도적 찬성(407:6)으로 통과되었지만, 회기 내에 처리되지 못하여 자동 폐기되었으며, 2009년 미국의 나노기술개발 수정법안(National Nanotechnology Initiative Amendments Act of 2009, H.R. 554)이 미국 하원으로 통과하였다. 수정된 법안은 나노기술의 안전성, 산업화, 그리고 교육 문제에 초점을 맞추었으며, 2011년 개정된 NNI 전략보고서는 (1)세계적 수준의 나노기술 연구개발 프로그램의 유지, (2)경제성장, 일자리 창출, 기타 공공이익을 위한 신기술의 상품화 촉진, (3) 나노기술을 고도화하기 위한 교육 자원, 숙련된 인적자원개발 및 인프라 시설 및 장비 지원, (4) 책임 있는 나노기술개발의 지원 등의 4대 목표를 설정하고 이를 구체화하였다.

미국정부의 나노기술연구개발비는 2006년 13.5억 달러에서 2011년 18.5억 달러로 증액되었으며, 6년간 연평균 성장율(CAGR) 6.5%로 증가하였다. 2011년 14개 부처의 나노기술관련 예산 중 과학재단(NSF), 국방부(DOD), 보건복지부 국립보건원(HHS/NIH), 에너지부(DOE), 상무부/표준원(DOC/NIST)의

10) 2011년도 나노기술연감의 일부를 참고하여 정리

비중이 95%를 차지하였다. NSF가 4억 8,500만 달러로 가장 많은 투자를 하였으며, 국방부 4억 2,530만 달러, 국립보건원(NIH) 4억 8,060만 달러, 에너지부 3억 4,620만 달러, 기술표준원(NIST)가 9,590만 달러 순으로 집계되었다.

2010년 이후 나노기술개발의 정책적 방향은 아래와 같이 요약된다. 나노기술 예산 중 기초연구(PCA 1)가 여전히 가장 큰 비중을 차지하지만 나노소자 및 시스템(PCA 3) 및 나노제조(PCA 5)의 중요성이 지속적으로 강조되고 있다. 특히, 나노제조(PCA 5) 예산은 2010년 기준, 향후 5년간의 증액을 통해 2배로 확대될 예정이다.

<표 2-2> 2011년 미국의 나노기술예산 집행실적

(단위: 백만 달러)

부처	구성 영역	PCA1 나노기 초 원천	PCA2 나노소 재	PCA3 나노소자/ 시스템	PCA4 장비/측정 /표준	PCA5 나노제조	PCA6 시설/장비 확충	PCA7 환경/보건 /안전	PCA8 교육/사회 영향	합계
NSF		182.1	98.5	55.8	12.9	44.8	35.1	22.4	33.4	485.1
DOD		186	33	161	2	24.3	18	1	0	425.3
HHS/NIH		74.1	84.2	191.5	22.8	1.3	11.4	20.2	3.1	408.6
DOE		101	112.1	9.6	10.6	5	107.9	0	0	346.2
DOC/NIST		21.7	7.3	20.8	16.9	14.6	11.4	3.2	0	95.9
EPA		0	0	0	0	0	0	17.4	0	17.4
NASA		0	7	9	0	1	0	0	0	17
HHS/NIOSH		0	0	0	0	0	0	10	0	10
USDA/NIFA		1	2	4	0	0	0	2	1	10
USDA/FS		2	3	1	1	1	2	0	0	10
HHS/FDA		0	0	0	0	0	0	9.9	0	9.9
DHS		0	0	2	7	0	0	0	0	9
CPSC		0	0	0	0	0	0	1.8	0	1.8
DOT/FHW A		0	1	0	0	0	0	0	0	1
합계		567.9	348.2	454.7	73.2	9.2	185.8	88	37.5	1847.3

자료: NNI(National Nanotechnology Initiative) 2013 Supplement to the President's Budget, 2012.2.16

나노 EHS (PCA 7) 예산은 2006년 3,800만 달러에서 2011년 8,800만 달러로 133% 증가하였으며(동일기간 전체 NNI 예산 37% 증가) 나노 안전성 연구 및 규제화가 강화되고 있다. 과학재단(NSF), 국방부(DOD), 보건복지부 국립보건원(HHS/NIH), 에너지부(DOE), 국립항공우주국(NASA) 등이 지원하는 중소기업혁신연구(SBIR) 및 중소기업기술이전연구(STTR) 예산 비중은 지속적으로 확대되고 있으며, 기초/원천 연구 성과의 상업화를 촉진하고 있다.

나. 일본

일본은 2000년에 발표된 미국의 국가나노기술전략(NND)의 영향을 받아 지난 2001년부터 제2기 과학기술기본계획(2001~2005), 제3기 과학기술기본계획(2006~2010)의 중점 분야의 하나로 나노기술을 선정하고 전략적인 국가투자를 실시하고 있다.

제2기 과학기술기본계획에서는 나노기술·재료분야를 생명과학, 정보통신, 환경과 함께 4대 중점 연구 분야로 선정하였으며, 2001년 범정부차원의 국가나노기술개발전략인 “나노기술·재료 추진전략”을 확정하였고 2006년에는 제3기 과학기술기본계획을 통해 향후 5년간의 새로운 나노기술전략을 확정하고, 나노전자, 재료, 나노바이오·생체재료, 나노기술재료 기반, 나노사이언스 물질과학 등 5개 중점분야에 대해 29개 핵심 연구개발과제를 선정하고 지원하고 있다. 일본 정부의 나노기술 투자예산은 2006년 762억 엔에서 2010년 1,128억 엔으로 연평균 10%씩 증가하였으며, 이는 동기간 중 미국(8.1%)의 예산증가율보다 높은 수치를 보이고 있다.

일본의 나노기술은 나노재료가 기술의 원천이 되고 있으며, 나노기술분야를 견인하기 위해 2011년도부터 제4기 과학기술 기본정책을 5년간 시행하고 있다. 제4기 과학기술기본정책은 “과제해결형”이며, 이를 실현하기 위해 그린 이노베이션, 라이프 이노베이션, 동일본 대지진의 부흥계획을 추진하고 있으며 나노기술·재료분야는 환경·에너지 분야에서 태양전지, 연료전지, 이차전지 등 그린 에너지의 창출과 질병의 조기진단 및 극소 침습 의료의 실현으로 국민 건강을 위한 바이오나노 테크놀러지와 일렉트로닉스 기술의 융합을 추진하고 있다.

<표 2-3> 일본 과학기술계획의 투자규모

과학기술기본계획	실시년도	기본계획상 투자규모	실제 예산액
제1기	1996~2000년	17조엔	17.6조엔
제2기	2001~2005년	24조엔	21.1조엔
제3기	2006~2010년	25조엔	21.7조엔
제4기	2011~2015년	25조엔	-

자료: 총무성 통계국(2012), 『과학기술연구조사』.

일본은 지난 2001년부터 제2기 과학기술기본계획(2001~2005), 제3기 과학기술기본계획(2006~2010)의 중점 분야의 하나로 나노기술을 선정하고 연구개발을 지원하고 있으며, 이외에도 연구개발 거점형성, 교육 및 인재양성, 산·학·관 연계, 자금지원, 국제협력 및 표준 등 다양한 프로그램을 추진하고 있다. 일본정부의 나노기술개발전략은 연구개발 거점형성, 교육 및 인재양성, 산학관 연계, 자금지원, 국제협력 및 표준 등 다양한 프로그램을 통해 전개되고 있다. 나노기술종합 지원 프로젝트와 나노기술 첨단연구거점 네트워크를 통해서 일본 내 13개 센터에 나노팩, 전자현미경 등의 공용 시설을 구축하고 있으며, 나노기술의 산업화를 촉진하기 위해 연구개발의 기초단계부터 대학, 국립

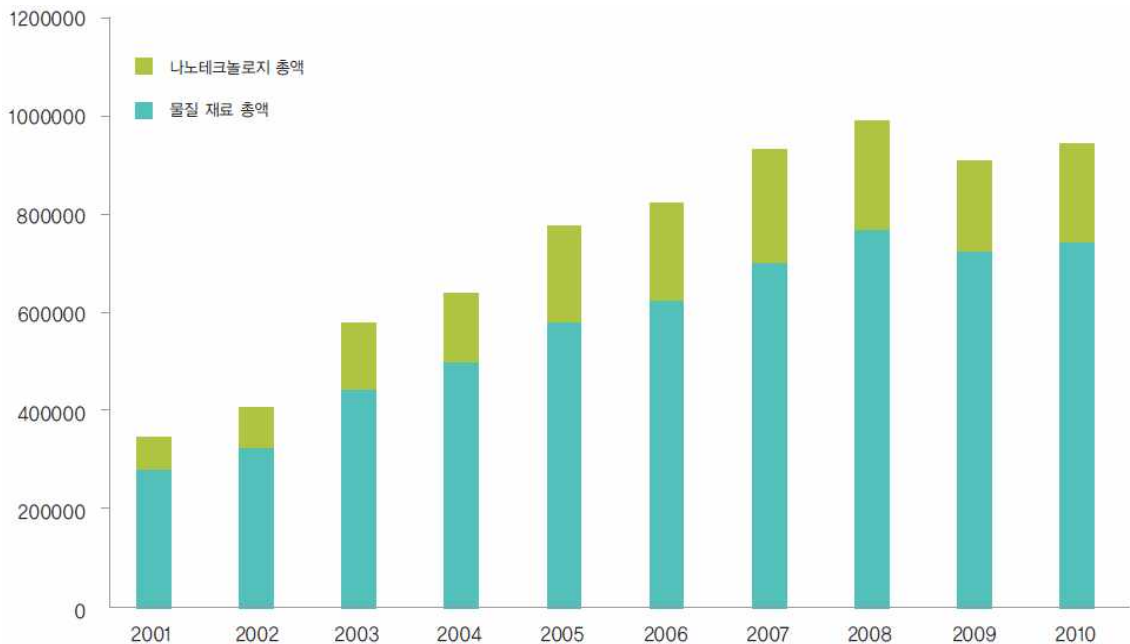
연구소, 기업이 함께 참여하도록 하고 있으며, 문부과학성도 ‘첨단융합 이노베이션 창출 거점’ 사업을 통해 산·학·관 연계를 촉진하고 있다.

2012년 문부과학성의 나노기술관련 예산은 나노기술플랫폼(1,800만 엔), 나노기술기반 환경기술개발(409만 엔) 등에 지원될 예정이며 제4기 과학기술기본계획을 근거로, 광범위하고 다양한 연구개발에 활용되는 공통적인 시설, 설비에 대해 공동 이용 체제를 한층 더 강화하여 상호 네트워크화를 촉진하고 산·학·관이 제휴해 환경 기술의 기초 기반적인 연구개발을 추진하기 위한 연구 거점을 구축하는 시스템으로 운영되고 있다.

일본의 나노물질·재료분야의 연구개발 투자현황을 보면, 나노기술분야보다 물질·재료분야의 투자가 3배 이상이며 민간의 연구개발투자가 전체의 7할 정도를 차지하고 있다. 2011년도 나노기술·재료분야의 연구개발투자는 민관 합쳐서 연간 약 1조 엔으로 추정되고 있다.

[그림 2-1] 나노기술·재료분야의 연구개발투자 총액

(단위: 백만 엔)



자료: 총무성 통계국(2012), 『과학기술연구조사』.

일본정부는 나노기술 분야를 ① 나노전자 영역, ② 재료 영역, ③ 나노바이오·생체재료 영역, ④ 나노기술재료 분야 추진기반 영역, ⑤ 나노사이언스·물질과학 영역 등 5개 분야로 구분하고 있으며, 특히, 재료, 전자응용, 측정기반 등을 강조하고 있다.

다. 독일

독일의 나노기술은 전자공학, 광학, 화학과 같은 분야에서 이미 10년 전부터 이루어진 반면, 건축, 섬유와 같은 분야는 개발제품의 시장진입이 후발주자인 상황에서 단계적으로 이루어지고 있다. 독일정부는 나노기술에 대한 연구지원, 간행물의 양과 질 및 영향력, 연구개발과 특허개발, 사회적 인식과 수용, 위험성 연구관리, 교육을 통한 인재양성의 6가지 항목을 미래 핵심 나노기술의 발전 조건요소로 정리하였다.

세계시장에서 수출을 통해 성장하는 독일은 나노기술에 대한 지원과 연구, 개발을 지속적으로 진행하고 있으며 적극적인 전략 수립과 지원을 통해 나노기술의 방향성을 가시화 하고 있다. 특히 산업 분야의 주도권을 유지하기 위해 선두적 위치에 있는 기술들을 집중적으로 육성하고 있으며 연구개발의 필요성을 넘어 사회 전반적인 나노기술 인식과 안전한 응용 및 상용의 수준까지 다루고 있다.

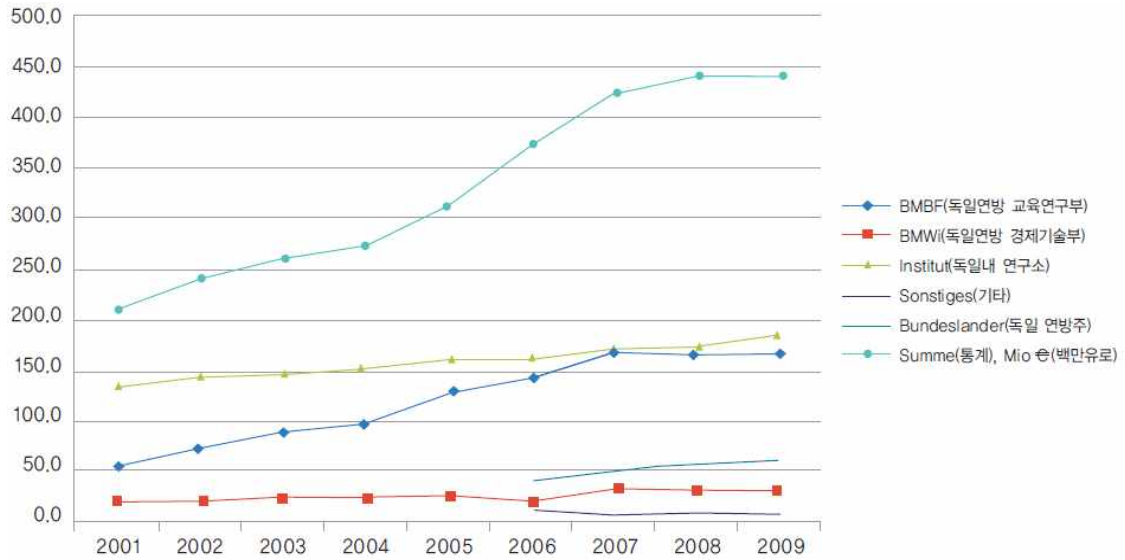
독일은 2009년 나노기술 관련기업이 총 75억 유로의 매출을 기록하였으며, 세계적인 경제 불황에도 2010년 132억 유로를 기록하였다. 나노기술에 대한 투자는 꾸준히 증가하여 2010년 12억 5,600백만 유로였으며, 연방교육연구부와 연구소는 독일이 국제적으로 유리한 기술에 집중적으로 투자, 육성하고 있다. 2011년 한해에는 약 143억 유로의 매출이 예상되고 있다. 이 중 약 10%인 14억 유로가 나노기술 연구, 개발을 위해 투자되고 있다.

나노기술은 독일의 핵심 기술 분야로 평가 받고 있으며, 다양한 사회적 도전과제들을 기술적으로 해결할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 이러한 나노기술의 잠재력을 미래에 발생할 수 있는 사회적 과제 해결에 이용하고 국제사회에서 독일의 경제, 기술 중심국으로서의 위치를 확고히 하기 위하여 독일 정부는 '2020 하이테크 전략', 및 '액션플랜 나노기술 2015' 와 같은 장기적, 다각적인 전략을 가지고 나노기술의 연구, 개발을 지원하고 있다.

또한 나노기술의 혁신적인 잠재력을 지속적으로 사용 또는 응용해 나가기 위해 독일 정부는 이 기술의 안전하고 책임감 있는 관리 방법을 통하여 발생 가능한 위험 요소들을 체계적으로 관찰 및 연구하고 있다. 독일 산업 내에서 나노기술이 차지하는 부분은 역동적으로 증가하고 있으며 이에 맞춰 관련 기업, 연구기관, 지원기관 등이 늘어나고 있는 추세이며, 나노기술 관련 특허 및 출판물의 양적, 질적 증가가 돋보인다.

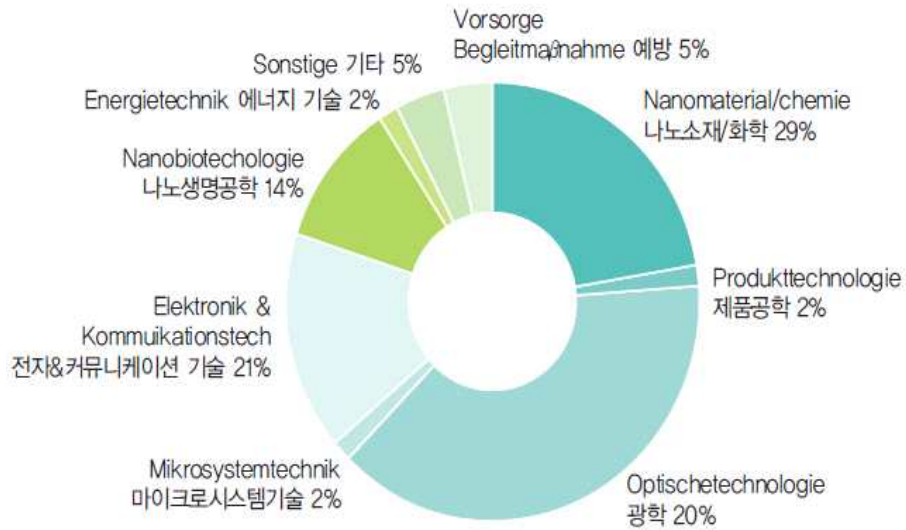
2001년 나노기술에 대한 투자가 약 2억 유로 이상에서 2009년 4억 4,000만 유로로의 꾸준한 증가 추세를 보이고 있으며 독일연방교육연구부(Bundesministerium für Bildung und Forschung, 이하 BMBF)의 지원 및 독일 내 연구소의 투자가 상당부분을 차지하고 있다. 나노기술의 발전과 더불어 독일 정부는 BMBF를 통해 재정적 지원을 하고 있으며 나노기술이 응용되는 다양한 산업 분야에, 특히 독일이 세계 경쟁력에서 앞선 산업 분야에 적극적으로 투자를 하고 있다. 2009년 BMBF의 나노기술 분야별 지원을 그래프로 살펴보면 다음과 같다.

[그림 2-2] 독일 연방 기관 및 연구소, 외부자본의 연도별 투자 현황



자료: <<http://www.techportal.de/de/192/2/static,public,static,1112> 및 nano.DE Report 2009[4]>

[그림 2-3] BMBF의 나노기술 분야별 투자 현황



자료: <<http://www.techportal.de/de/192/2/static,public,static,1112> 및 nano.DE Report 2009[4]>

라. 중국

중국은 지난 20세기 80년대 말에 나노기술 연구를 시작하였으며, 90년대 후반부터는 나노재료 관련 연구개발 프로젝트를 확정하여 관련 연구를 추진하였으며, 2000년 이후에는 나노기술과 바이오 기술을 결합시켜 나노기술에 대한 본격적인 연구를 실행하였다. 중국의 과학자들은 나노과학기술 연구에서 원천적인 성과들을 대량 달성하였다. 중국은 나노기술 기초연구 분야에서 특히 출원 건수는 세계 3위, SCI 수록 논문 순위는 세계 2위, EI 수록 논문 순위는 세계 1위에 도달하였다. 중국의 나노기술 응용 및 산업화는 상대적으로 취약한 상황에 처해 있다.

21세기에 들어서면서 중국은 나노기술과 바이오기술을 결합시키는 연구를 위주로 나노기술 연구를 중점적으로 추진하기 시작하였다. 중국의 나노과학기술연구는 ‘국가발전 및 개혁위원회’, ‘국가자연과학기금위원회’, ‘중국과학원’, ‘국가과학기술부’, ‘국가교육부’ 등중 양부처의 지원으로 추진되었다. 중국은 나노재료 및 관련 기초연구 분야에서 혁신적인 연구 개발 성과를 달성하였으며 약 7,000명에 달하는 고급 연구 인력을 육성했다. 중국은 나노과학기술 분야에서 기초연구의 세계적 입지를 확보하였으며 응용 관련 연구 개발도 활발히 추진되었다.

중국정부는 세계 과학 발전 트렌드와 중국의 중대 전략 수요에 근거하여 미래 발전을 선도할 수 있을 뿐만 아니라 과학기술 발전에서 중대한 선도적 역할을 발휘할 수 있고 중국의 지속가능한 혁신 역량을 신속히 향상시킬 수 있으며, 우수한 혁신 연구 역량을 보유할 수 있는 연구방향을 선정하여 4건의 ‘중대 과학연구 프로젝트’를 확정하였는데 그 중에는 나노기술 연구도 포함되어 있다. 중국은 나노기술 연구 방향을 확정하여 국제 경쟁력 향상을 추진하고 지속가능한 발전을 강화하고 있다. 나노과학기술은 여러 나라들의 핵심 경쟁력을 향상시키는 전략적 선택이 되고 있다.

나노과학기술은 중국의 신속한 발전을 견인할 수 있는 핵심적인 과학기술 분야에 속하고 있다. 중국의 ‘나노연구 중대과학프로젝트’는 나노재료제어 및 제조, 자체 조립과 기능화, 나노재료 구조, 우수한 특성 및 제어메커니즘, 나노가공 및 통합원리, 개념 및 원리적인 나노재료, 나노일렉트로닉스, 나노바이오테크놀로지와 나노의학, 분자집합체와 생물분자의 광전자 및 마그네트 특성 및 정보전송, 단일분자행위와 조종, 분자기기 디자인조립과 제어, 나노사이즈 특징과 그래픽, 나노재료와 나노기술을 이용한 에너지 및 환경, 정보, 의약 등 분야에서의 나노기술응용 관련 연구를 집중적으로 추진하고 있다.

중국과학원의 과학기술분야 기술로드맵의 제반 배치 요구에 근거하여 제시한 중국 나노기술 발전 로드맵은 3단계로 분류되어 있고 각 단계별 관련 발전 목표를 제시하였다. 3단계 간에는 점차적으로 발전하는 관계를 정리하고 전(前) 단계는 후(後) 단계의 기초이며, 후 단계는 전단계의 연장과 확장이 된다는 점을 강조하고 있다.

<표 2-4> 중국 과학기술분야의 기술로드맵

정책 단계	정책 목표
제1단계(현재~2020년): 경쟁강화	국가 중장기 과기발전계획을 지침으로 확정한 연구임무를 충실히 수행하고 보완하며, 주요 목표는 중국의 나노기술이 전반적으로 선진국 수준을 유지하도록 하고, 또한 국제적으로 선도역할을 하는 5-6개의 연구그룹 형성
제2단계(2020~2030년): 병행추진	국민경제와 사회경제의 지속가능한 발전에 대해 중요한 영향을 미치는 나노기술 실현
제3단계(2030~2050년): 세계선도	세계를 선도하고 또한 중국의 전략적 수요를 충족시키는 나노기술 체계구축

자료: 교육과학기술부(2012)의 『나노기술연감 2011』을 참고하여 연구자 정리

중국 나노기술 발전 로드맵의 3단계 발전을 바탕으로 로드맵의 내용을 취합 및 종합하여 정보, 건강, 에너지 및 환경 등 3개 우선적으로 발전시킬 나노기술 고속 노선을 도출하고 오는 2020년, 2030년과 2050년의 나노기술 발전 로드맵의 키맵(key map)과 정보, 건강, 에너지 및 환경 등 3개의 나노기술 고속 노선을 제시하고 있다. 중국에서는 2020년까지를 나노기술 및 산업이 발전하는 중요한 전략적 시기가 될 것으로 전망하고 있다. 전략적 시기에 나노 과학기술 발전은 중국의 경제발전에 새로운 기회를 제공하고 다른 한편으로는 또한 새로운 도전을 제시하게 될 것으로 전망된다.

마. 러시아

러시아는 “나노산업 발전전략” 1단계(2007~2011년)를 실현함으로써 국가나노기술네트워크(NNN: National Nanotechnology Network)라는 현대적인 나노산업 인프라를 보유하였으며, 현재 NNN은 법률적인 기반과 필요한 시설을 갖추었다. 그러나 러시아 내부에서 나노기술 등 첨단기술을 이용한 제품에 대한 관심과 수요가 적다는 점과 NNN을 통해 나노기술 관련 인프라가 조성되었지만 활용 빈도가 낮다는 점이 러시아 나노기술의 발전을 제한하고 있다.

이러한 열악한 상황에도 불구하고 러시아연방 전역을 연합한 NNN을 통하여 지역 및 분야별 나노 클러스터를 조성하고, 나노기술 제품개발 및 생산에 가장 크게 이바지할 것으로 예상된다. 또한 러시아 교육과 학부, 쿠르차토프 연구소, RUSNANO, NNN 담당기관은 함께 협력하여 “나노산업 발전 전략” 2단계(2012~2015년) 기간 동안의 NNN을 심화하고, 이에 필요한 비용은 “인프라 및 교육 프로그램” 재단으로부터 지원 받을 것이다.

러시아 정부는 2015년까지 나노기술 관련 제품 생산액을 300억 달러까지 끌어올릴(세계 나노기술 시장이 2015년 약 1.5조 달러에 미칠 것이라는 예측 하에) 계획이다. 내수를 제외하고 수출만으로는 세계 나노기술시장에서 3%(약 5억 달러) 점유를 목표로 하고 있다. 또한 2015년까지 첨단 제품을 대

량 생산할 수 있는 환경을 형성하고, 경쟁력을 갖춘 러시아 기업을 출현시킬 목표를 가지고 있다. 그뿐 아니라 나노기술로 의료서비스 질 향상 등 사회경제 문제를 해결하며, 경제 발전을 이루어낸다는 야심찬 계획도 가지고 있다.

현재 러시아는 자원기반 경제에서 벗어나 선진국과의 기술 격차를 축소하려는 시도를 하고 있다. 러시아 나노기술발전 프로그램도 이러한 정책의 일환이다. 러시아 정부는 “나노산업 발전 전략”을 발효한 이후 많은 예산을 나노기술에 투자하고 있다. 그러나 프로젝트 실현에 필요한 예산을 신청하는 절차가 복잡하고 통일된 관리 기관이 없어 중복된 사업이 있다는 문제가 남아 있다. 90년대에 크게 삭감된 과학기술 지원 금액이 이러한 프로그램을 통해 확대되어 러시아의 R&D 결과가 상업화되기 시작되었다는 점에서 러시아의 나노기술 발전 프로그램은 긍정적으로 평가되고 있다.

2007년의 “나노산업 발전전략”은 나노산업을 조성하는 과정에서 러시아 경제 현대화와 R&D 결과 상업화 및 민간기업의 혁신 분야 투자확대를 도모한다. 또한 러시아의 글로벌 혁신 역량을 강화하고 새로운 제품을 개발 및 도입하여, 삶의 질을 높이고 수입대체와 수출확대를 활성화하기 위해 구상되었다. 러시아 정부는 나노산업 발전 단계를 2008~2011년의 1단계, 2012~2015년의 2단계로 분류하였다. 특별히 정부는 소련 붕괴 이후 낙후된 러시아의 연구시설을 보완하고자 1단계 기간 동안 각 지역의 우수 대학 및 연구소에 교육과학센터와 공동기기센터를 설립하였다.

또한 중소 혁신기업의 참여를 장려하기 위해 이들이 집중된 지역에 나노기술센터도 설립하였다(주식회사 RUSNANO 산하 인프라 및 교육 프로그램 재단 지원). 이와 더불어 러시아 정부는 장비뿐만 아니라 연방특별프로그램 ‘2007~2013년 러시아 우선순위 과학기술 분야 연구개발’을 통하여 나노기술 관련 프로젝트에 123.2억 루블(4.1억 달러)을 지출하는 등 지원을 아끼지 않고 있다. 나노산업 발전에 필요한 인력을 양성하기 위해 주요 대학별로 나노기술 학과가 신설되었으며 ‘인프라 및 교육 프로그램 재단’은 대학교 뿐만 아니라 나노기술 제품 생산 등에 필요한 장비를 다룰 전문가 교육프로그램을 개발하였다. 그리고 나노기술 표준을 개발하며 안전성을 검증하고 있다.

바. 프랑스

프랑스는 정부가 관리 운영하는 대규모 정부 부처 기관, 국립과학연구소(CNRS), 원자력청(CEA), 국립 연구청(ANR), 국립우주연구센터(CNES) 등을 중심으로 R&D 예산을 편성하고 있으며, 마이크로 및 나노기술 연구를 위한 5개의 클러스터를 지정, 네트워크 구축을 통해 효율적인 자금의 분배 및 시너지 효과를 목표로 하고 있다.

2009년 OECD 평가에 따르면 나노기술과 관련된 논문 출판에서 미국 22%, 중국 11%, 일본 10%, 독일 8%, 프랑스 6%, 그리고 영국이 5%를 차지하는 것으로 나타났으며, 나노기술 관련 특허의 경우 미국 31.7%, 일본 26.9%, 독일 11.3%, 한국 6.6%, 프랑스는 3.6%를 차지하였다.

프랑스는 세계 5위권 나노기술력의 학문적 연구를 넘어, 산업과의 연계를 강화시켜 특허 출원 수

증가를 통한 경제발전의 밑거름으로 삼는 것을 목표로 하고 있으며, 최근 나노기술 관련 대규모 시설/장비 투자를 진행하고 있으며 사클레(Saclay), 툴루즈(Toulouse) 및 그르노블(Grenoble) 지역에 대규모 공사가 진행되고 있다. 단기적으로는 2015년부터, 장기적으로는 2020년에는 대규모 시설 투자 비용을 바탕으로 한 실질적인 논문/특허 발행, 나노기술 관련 기업 창업 등으로 주목할 만한 성과를 이룰 것으로 기대된다.

프랑스와 일본은 이미 활발한 공동 연구 개발을 진행하고 있는 반면, 한국은 R&D 부문에서 최근에서야 프랑스와의 협력을 시작하였다. 프랑스는 특히 기초과학 분야에서는 세계적 강국으로 뻗고 있으며, 최근 CNRS 연구소를 여러 아시아권에 설립하는 등 국제적 협력을 강화하고 있기 때문에 한국에게도 좋은 기회가 될 것으로 전망된다.

최근 나노기술분야의 가장 관심이 주목되는 이슈 중 하나는 안전성(환경·보건·안전) 문제로 유럽의회는 광범위한 나노물질의 데이터베이스를 구축하고, 유해성 여부를 철저히 파악하고자 노력하고 있다. 특히 전기/전자 제품 관련하여 은나노입자 및 탄소나노튜브가 포함된 제품의 생산을 금지하고 있다. 프랑스의 경우 유럽 13개국을 포함한 NANOGENOTOX 프로젝트를 가동하여, 소비자 제품에 포함된 TiO₂, Si, CNT에 대한 유전독성(genotoxicity) 연구를 시작하였다. 이에 발맞춰 OECD 역시, 나노물질의 위험성/데이터베이스에 관한 보고서를 계속적으로 발간 중에 있으며 2010년에는 나노물질 생산, 수입, 분배업자의 신고를 의무화하였으며, 관련 사업에 2010~2013까지 EU와 프랑스 정부가 620만 유로(약 91억원)를 투자할 예정이다. 프랑스는 현재 CNRS 소속 연구원을 중심으로 연구에 사용하는 나노물질에 대한 상세한 정보와 함께 분류작업을 진행하고, 나노물질을 다루는 연구원들의 건강 상태를 추적하기 시작하였다.

프랑스의 R&D는 대부분 정부 주도로 운영되고 있으며, 대표적 대형 프로젝트로는 C' Nano, 미래전략프로그램(Investissement d'avenir)¹¹⁾, 미래대학 캠퍼스운영지원(Operation Campus)¹²⁾, Nano-Innov¹³⁾를 들 수 있다. C' Nano는 나노 분야에서 경쟁력 있는 센터를 구축하기 위한 것으로 일명 'C' Nano Centre de competences en Nanoscience' 라고도 하며, 센터는 2006년 프랑스 고등교육연구부, CNRS, CEA에 의해 설립된 것으로 특히 입지적 조건을 중요하게 여겨 산업계, 학계, 연구기관등과의 협력 인프라구축 및 주변 국가의 네트워크 형성에 초점을 두고 있으며, 현재 C' Nano 산하에는 지역별 6개의 센터가 가동 중에 있다.

11) 미래전략프로그램은 2009년 프랑스 사르코지 대통령이 발표한 대규모 연구 및 기술지원 프로그램으로 미래혁신을 위한 5대 우선전략분야에 총 350억 유로(약 51.5조원)를 중점적으로 투자하며, 이 중 219억 유로(약 32조원)를 R&D예산으로 배정하였다.

12) 미래대학 캠퍼스운영지원(Operation Campus) 프로그램은 니콜라 사르코지 대통령이 프랑스대학의 경쟁력 향상을 위해 각각 유망 캠퍼스/혁신 캠퍼스를 선정하였으며, 기존 우수 캠퍼스에 투입된 50억 유로와 더불어 총 2.6억 유로가 추가 지원된다.

13) Nano-Innov 프로그램은 2006년 프랑스가 나노기술 관련 3,526편의 논문을 출판함으로써 세계 5위 (5.6%)로 기록되었지만 특허는 2005년 기준 290개로 세계특허의 2%밖에 되지 않아 산업화를 통한 경제 활성화가 어려운 상황을 개선하기 위해 2008년 12월 9일, 니콜라 사르코지 대통령은 European Conference of innovation에서 그르노블(Grenoble), 사클레(Saclay) 및 툴루즈(Toulouse) 지역에 마이크로/나노 기술 관련 대규모 센터 건설 추진을 약속하였으며, 2009년에는 총 7천만 유로(약 1천억원)가 투입되었다.

사. EU

유럽연합의 과학기술 연구개발은 1984년부터 추진되고 있는 프레임워크 프로그램(Framework program, FP)을 통해 추진되고 있다. 2000년 초부터 나노기술분야를 FP에서 전략적인 연구개발 부문으로 설정하고 연구지원을 강화해 오고 있다.

제6차 프레임워크프로그램(2002~2006년, FP6)은 유럽지역의 연구통합, 유럽연구지역(European Research Area, ERA) 구축, ERA강화 등을 주요 목적으로 설정하였으며, 유럽지역의 연구활동 통합화를 촉진하기 위해 7개의 핵심연구 분야를 설정하였다. 유럽연합의 연구개발펀드는 2009년 기준 55%가 민간에서 투자되었으며, 34%가 정부에 의해 투자되었다. 정부에 의한 투자가 일본(15.6%), 한국(25.4%) 그리고 미국(27.1%) 보다 상대적으로 높은 편에 속하며 비율은 연도별 거의 비슷한 추세를 유지하고 있다.

제7차 프레임워크 프로그램(2007~2013년, FP7)에서도 나노기술은 10대 핵심연구분야 중 하나로 선정되었으며, 7년 간 505억 유로(연간 100억 유로)와 5년간 (2007~2011년)의 유럽원자력 공동체(Euratom) 예산 27억 유로를 배정한 상태이며, 이는 2004년 FP6 대비 41%, 그리고 63%(현재 화폐가치 기준)의 대폭적인 증가를 보여주고 있다.

유럽연구지역(ERA)은 연구원을 중심으로 하여 연구개발 활동을 국경의 제한 없이 진행하고 지식순환 및 사용을 통한 연구 인프라스트럭처 구축 및 국제협력을 목적으로 하고 있다. 2007년부터 2010년까지 제7차 프레임 워크를 통해 20억 유로 12,000개의 프로젝트를 지원하였으며 독일과 영국 그리고 프랑스가 가장 많은 프로젝트를 수주하였다.

유럽집행위원회는 2004년 ‘나노기술에 대한 유럽전략’ 을 발표한 이후, 연합연구센터 등을 통해 나노기술연구에 직접적으로 관여하고 있으며, 이를 관련정책과의 연계를 추진하고 있다. 2005년에는 ‘유럽 2005~2009 나노과학 및 나노기술 실행계획’ 을, 2007년과 2009년에 각각 수행보고서를 발표하는 등 유럽의 나노기술 연구개발 능력의 통합, 산업화, 사회적 영향에 대한 책임을 강조하고 있다. 산업계 중심의 나노기술 자문위원회를 통해 연구의 우선순위를 선정하며, 특히 건강, 환경, 에너지 분야에서 제품의 안전성과 경제성을 높이는 동시에 산업계의 경쟁력 제고를 도모하고 있다. 연합연구센터(JRC)는 환경 및 건강안전 관련 프로젝트들을 지원하며, 이는 시험방법의 개발뿐만 아니라 생물학적 체계를 갖는 나노물질의 상호 메카니즘의 이해를 촉진한다.

2. 우리나라의 나노기술정책 현황

우리나라의 나노기술정책은 2001년 나노기술종합발전계획을 수립하면서부터 본격적으로 추진되었다. 2001년 제8차 국가과학기술위원회는 “나노기술종합발전계획” 을 확정하였고, ‘나노기술개발촉진법 제4조 및 동법시행령 제2조’ 에 따라 교육과학기술부가 매 5년마다 기술 및 산업 환경 변화

등을 감안하여 기본계획을 수정·보완해 오고 있다.

[그림 2-4] 제3기 나노기술종합발전계획의 비전 및 추진전략



자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

제1기 나노기술종합발전계획(2001~2005)은 5년 이내에 나노기술개발을 위한 주요 인프라 구축을 완료하고, 2010년에는 선진 5개국 기술경쟁력을 확보하여 비교우위를 갖는 최소 10개 이상의 최고 기술을 확보하는 것을 비전으로 제시하였다. 이후 정부는 제1기 나노기술종합발전계획의 추진성과를 점검하고 기술 및 산업발전과 환경변화를 반영하여 2005년 제2기 나노기술종합발전계획(2006-2010)을 발표하였다.

제2기 나노기술종합발전계획은 2015년 선진 3대 강국 기술경쟁력 확보, IT, BT, ET 등 여타 기존 기술과의 연계 및 융합을 통해 신기술 시장 선점, 안전하고 풍요로운 사회의 실현 등을 3대 비전으로 제시하였다. 1, 2기 나노기술종합발전계획을 통해 R&D와 산업화 기반 구축에 초점을 맞추어 왔으며, 3기부터는 획기적으로 R&D 예산을 증액하고 사회, 시장 수요에 따른 30개 핵심 기술 개발 과제 사업화에도 초점을 맞추고 있다. 이에 따라 국가과학기술위원회는 2011년 제3기 나노기술종합발전계획(2011~2020)을 확정하였다.

제3기 나노기술종합발전계획은 “세계 일류 나노강국 건설”을 비전으로 제시하며, 체계적인 나노

기술 연구개발 프로그램 수행을 통해 나노기술 선도국가 진입, 나노기술을 바탕으로 미래 신산업 창출, 나노기술 연구개발의 사회적·윤리적 책무성 강화, 우수 나노인력양성 및 인프라의 활용 극대화 등을 4대 목표로 하고 있다. 제3기 나노기술종합발전계획은 미래 수요에 대응하기 위하여 5대 중점 분야 30개 미래 기술을 집중 육성하며, 현재 정부연구개발 예산의 2.25%(2,458억 원) 수준인 나노기술분야 정부투자를 2020년까지 정부연구개발 예산의 4% 수준인 8,000억 원으로 확대할 계획이다. 30개 핵심 기술 개발에 기존 IT 소자의 한계를 극복하기 위한 나노기반 소자기술 분야에 6개 과제, 인류의 건강한 삶 구현을 위한 나노바이오 기술 분야에 5개 과제, 저탄소 녹색성장을 위한 나노에너지·환경기술 분야에 6개 과제, 미래 산업의 기반이 되는 나노소재기술 분야에 7개 과제, 제조분야의 경쟁력 유지를 위한 나노공정·측정·장비기술 분야에 6개 과제 등을 선정하였으며, 이 과제에는 기업들의 수요뿐만 아니라 국가나 사회에서 필요한 핵심 기술 등이 대거 포함돼 있다. 사업화 성과 촉진을 위해 초기 R&D 단계는 교과부가, 산업화 부문은 지식경제부·환경부 식약청·방사청·농식품부 등 관련 부처가 공동으로 과제를 관리하기로 하였다.

<표 2-5> 제1기, 2기, 3기 나노기술종합발전계획 비전과 추진목표

	비전	추진목표
제1기 나노기술 종합발전계획 2001~2005 (2001.7.수립)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 신기술확보를 통한 지속성장 잠재력 확보 · 5년 내 나노기술개발을 위한 주요 인프라 구축을 완료하고, 2010년에 선진 5대국 기술경쟁력 확보 · 선진각국의 기술보호방벽을 극복하고 국내기술의 토착화 ■ 기존기술과의 연계·보완 · 기존기술과 연계하여 제품의 고기능, 고효율, 소형화 달성 · IT, BT, ET 등 여타 기술과의 상호 보완·상승효과로 첨단기술 시장 선점·분할 ■ 인간 삶의 질 향상 · 진단, 치료기술의 획기적 향상, 고도 정보통신 사회, 에너지·환경문제 해법제시 등 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연구개발 · 우리의 비교우위 가능기술 발굴·집중화 추진 ■ 인력양성 · 단기 및 장기 수요에 부응한 인력양성 ■ 시설구축 · 산·학·연 공동 활용이 가능한 Fab. 설비구축·운영
제2기 나노기술 종합발전계획 2006~2010 (2005.12.수립)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 신기술(제품)확보를 통한 지속성장 잠재력 확보 · 2015년 선진3대국 기술경쟁력 확보 ■ 기존기술과의 연계 및 융합 · IT, BT, ET 등 여타 기술과의 융합 및 시너지를 통해 신기술시장 선점 ■ 인간 삶의 질 향상 · 안전하고 풍요로운 사회의 실현, 환경 친화적 사회실현 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연구개발 ■ 교육 및 공용 연구 인프라 구축 ■ 신기술의 상품화 촉진을 위한 산업경쟁력 강화 ■ 나노기술 영향 등 사회적 요구에 대응하는 기술개발
제3기 나노기술 종합발전계획 2011~2020 (2011.4.수립)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 세계 일류 나노강국 건설 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 체계적인 나노R&D프로그램을 통해 나노기술 선도국가 진입 ■ 나노기술을 바탕으로 미래 신산업 창출 ■ 나노기술 연구개발의 사회적·윤리적 책무성 강화 ■ 우수 나노인력양성 및 인프라 활용 극대화

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

이와 함께 나노기술 관련 교육을 내실화하고 교육기반을 구축하기 위해 석·박사급 고급 인력을

양성하고, 나노인프라를 활용한 산·학·연 연계 전문인력을 양성하는 등 나노기술에 특화된 전문 인력 양성계획을 수립하였으며 나노인프라 운영체계의 개선방안을 제시하였다. 또한 정부의 나노분야 총 연구개발예산 중 나노 EHS 관련 예산 비중을 대폭 확대하여 나노 EHS 관련기반을 구축함으로써 나노기술 연구개발의 사회적·윤리적 책무성을 강화하기 위한 전략을 수립하였다. 제3기 나노기술종합발전계획이 계획대로 추진될 경우, 2020년 현재 4위 수준인 나노과학기술 경쟁력은 3위로 상승하고 나노과학기술 수준도 선진국의 75% 수준에서 90% 수준까지 근접할 것으로 전망되고 있다. 이 분야에 핵심연구 인력도 지난 2009년 5,400명 수준에서 2020년 2만 명 수준까지 증가할 것으로 예상되고 있다.

나노안전관리종합계획은 “나노 안전관리를 통한 국민건강·생태계 보호 및 산업경쟁력 강화”라는 비전을 제시하며, 4개 분야 12개 추진과제를 설정하였다. 동 계획에 따라 정부는 향후 5년간 964억 원을 투자할 예정이다. 4대 중점분야는 나노물질 측정·평가 방법을 개발하고, 나노 현황 조사·연구 자료를 DB로 구축하여 신뢰성 있는 정보를 제공하는 “측정·분석 및 DB 구축”, 국제적 시험지침을 확보하고, 물질별 독성 예측기술을 개발하여 나노물질의 안전성평가 기반을 구축하는 “안전성평가 기반 구축”, 나노기술 연구윤리정립, 기업 스스로 자기적합성 선언 유도, 환경과 사업장 안전관리 지침 등을 개발·보급하는 “제도화 도입기반 마련” 그리고 나노전문 인력을 양성하고, 국제협력에 적극 참여하며, 대국민 인식증진활동을 통해 정보소통체계를 마련하는 “전문 인력양성 및 파트너십 구축”으로 구성되어 있다. 나노안전관리종합계획은 “전주기(Life cycle) 나노안전관리기반 구축”을 목표로 하고 있다. 나노물질 및 제품의 개발, 제조, 유통, 사용, 보관, 폐기 및 재활용에 이르는 모든 과정을 대상으로 하는 종합계획을 추구하고 있는 것이다.

<표 2-6> 나노안전관리종합계획의 4개 분야 및 주요 추진과제

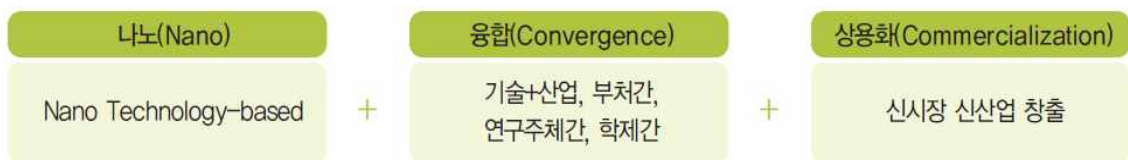
분야	주요 내용
1) 나노 측정·분석 및 DB 구축	- 국내 유통 현황조사 추진 및 인벤토리 구축 - 기초 특성 규명 및 측정기반 구축 - 나노물질 환경 중 거동 조사 및 모니터링 체계 구축
2) 나노 안전성평가	- 독성 등 안전성평가 기초자료 생산·수집기반 구축 - 노출평가 기법 개발 및 평가 추진 - 안전성평가 체계 마련
3) 안전관리 제도화도입기반 마련	- 나노기술 연구윤리 지침 및 안전관리방안 마련 - 나노제품 안전관리 체계 마련 - 나노물질 안전관리 지침 마련 및 제도화 도입 추진
4) 전문 인력 양성 및 파트너십 구축	- 안전관리 전문 인력 양성 - 국제협력 강화 - 이해관계자간 협력 및 소통체계 구축

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

한편, 급속하게 전개되는 나노안전성 이슈에 대한 탄력적인 대응을 위하여 매년 계획추진 상황에 대해 정기적 평가를 실시하고 계획안을 수정·반영해 나갈 예정이다. 1차 5개년 계획 종료 이후인 2016년에는 1차 계획 이행성과를 평가·분석하여 “나노기술 제품의 안전관리 지원”을 위한 2차 추진계획을 수립한다. 나노안전관리종합계획은 나노기술, 물질, 제품의 안전에 관한 연구개발, 제도, 인력양성 및 국제협력 등을 포괄하는 종합계획이면서, 범부처가 공동으로 수립하고 추진한다는 특징을 지니고 있다. 따라서 나노안전에 대한 향후 정부의 대응이 보다 구체화 될 것으로 예상되고 있다.

정부는 지난 10여 년간 기초·원천 R&D, 인프라 기반 구축 등의 투자 성과를 바탕으로 나노융합 기술의 상용화와 이를 통한 신산업 창출을 위하여 기초·원천연구부터 기술사업화까지 전주기적으로 지원하기 위한 “나노융합 2020” 사업을 추진하기로 확정하였다.¹⁴⁾

[그림 2-5] 나노융합 2020의 기본 개념



자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

나노융합 2020 사업은 세계시장 선점형 글로벌 스타상품 10개 개발, 세계 1등 나노융합핵심기술 10건 확보, 나노융합기술 활용 매출발생기업 50개 육성, 신시장·신산업 창출형 융합기술 200건 개발, 개방형 혁신 R&D 지원체계 구축 등을 목표로 제시하며, NT-IT, NT-BT, NT-ET 3대 융합분야의 10대 핵심전략사업 분야 및 공통기반기술 분야에 9년(2012년~2020년) 동안 총사업비 1.75조원을 투입하는 것으로 기획되었으며, 나노융합 2020추진단을 구성하여 운영함으로써 다양한 연구주체들이 참여할 수 있는 여지를 마련하였다.

14) “나노융합2020 사업단 “은 2010년 10월 서울대학교 오세정교수, 삼성중기원 김기남원장을 공동위원장으로 하여 구성되었다. 그 추진 배경은 2009년 3월에 수요지향형 나노융합산업기술 R&D로 제시된 “나노융합 2.0” 프로젝트의 예비 타당성조사에서 지적된 “나노분야 R&D 성과의 상용화전략 부재, 두 부처 공동추진의 전략성 미흡, 사업목표와 성과지표의 연계성 미흡 등 성과관리 방안의 부재, 사회적 수요와 기술수준 분석에 근거한 사업화지원 필요 기술도출 및 기획의 부재, 기존 나노관련 사업과의 관계 정립 미흡, 나노분야 특성 및 현황이 미반영된 예산 소요계획” 등에 대해 수정, 보완 작업을 거쳐 2011년도에 ‘나노융합2020’ 사업으로 예비타당성조사를 재추진하게 되었다. 2011년 3월부터 8월까지 6개월 간의 예비타당성조사 과정을 거치면서 “사업의 기술성과 경제성 측면에서 몇 가지 조치와 보완이 수행되어 기술개발 계획이 구체화되고 이를 지원할 실천전략과 예산소요 계획이 논리적으로 마련된다면 합리적인 예산범위에서 지원될 당위성을 가질 것”으로 평가받았다. 따라서 조기 상용화 목적에 부합하지 않거나 기존 사업과의 중복성이 높은 분야, 2020년까지 실용화가 이루어질 수 없는 과제들을 지원 배제하고 새롭게 구성된 사업 대안에 대해 경제성 분석 결과 최종적으로 타당성을 확보하게 되었다.

<표 2-7> 나노융합 2020사업의 연도별·분야별 투자계획

세부분야	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	합계
Post CMOS형 차세대 반도체	146	137	157	124	170	140	73	53	55	1,053
휴먼인터페이스용 나노유연소자	216	208	174	145	133	126	131	62	57	1,251
고효율에너지 변환기술	144	147	225	150	114	228	296	71	57	1,431
고성능물 환경/자원 처리기술	137	151	147	158	171	139	163	70	62	1,198
연구관리비	26	26	28	23	23	25	27	10	9	197
총계	670	668	730	599	611	658	689	266	240	5,131

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

제 3 절 나노기술의 발전 전망

1. 나노기술 연구개발 현황

전 세계적으로 지난 10년 (2000-2010)은 나노 과학 기술이 미래 기술로써 응용 가능성과 사회적으로 그 중요성을 입증한 시간이었다. 나노기술은 기존의 전기, 생의학 그리고 디지털 기술과 비교할 만큼 과학, 의학, 및 공학에서 혁명적인 기술로 확인 되면서 전 세계적으로 기술연구비, 나노관련 인력, 연구과제 그리고 시장 가치 등이 25%가 증가되었다. 예로써, 미국 나노기술협의회 (NND)는 2009년 말 나노 기술의 시장 가치를 미국 내에서 900억 달러로 평가하였다. 전 세계적으로는 2500억 달러의 시장가치로 그 중요성이 더욱 평가되었다. 이를 반영하듯 2000년 전 세계적으로 연구투자비는 12 빌리언 (미국 0.37빌리언 달러) 달러였으나 2010년에는 18 빌리언 (미국 4.1 빌리언 달러) 달러로 31% 증가하였다. <표 2-8>은 나노 기술을 이용한 연구인력, 연구개발 투자, 발표된 논문, 특허, 시장 마켓 가치를 전 세계 및 미국의 통계를 나타내고 있다.

<표 2-8> 전 세계 및 미국에서 나노관련 연구 인력, 연구개발 비 및 기타 관련 문건 통계

World (US)	People -primary workforce	SCI papers	Patents applications	Final Products Market	R&D Funding public + private	Venture Capital
2000 <i>(actual)</i>	~ 60,000 (25,000)	18,085 (5,342)	1,197 (405)	~ \$30 B (\$13 B)	~ \$1.2 B (\$0.37 B)	~ \$0.21 B (\$0.17 B)
2010 <i>(actual)</i>	~ 600,000 (220,000)	78,842 (17,978)	~ 20,000 (5,000)	~ \$300 B (\$110 B)	~ \$18 B (\$4.1 B)	~ \$1.3 B (\$1.0 B)
2000 - 2010 average growth	~ 25% (~23%)	~ 16% (~13%)	~ 33% (~28%)	~ 25% (~24%)	~ 31% (~27%)	~ 30% (~35%)
2015 <i>(estimation in 2000)</i>	~ 2,000,000 (800,000)			~ \$1,000B (\$400B)		
2020 <i>(extrapolation)</i>	~ 6,000,000 (2,000,000)			~ \$3,000B (\$1,000B)		
Evolving Topics	Research frontiers change from passive nanostructures in 2000-2005, to active nanostructures after 2006, and to nanosystems after 2010					

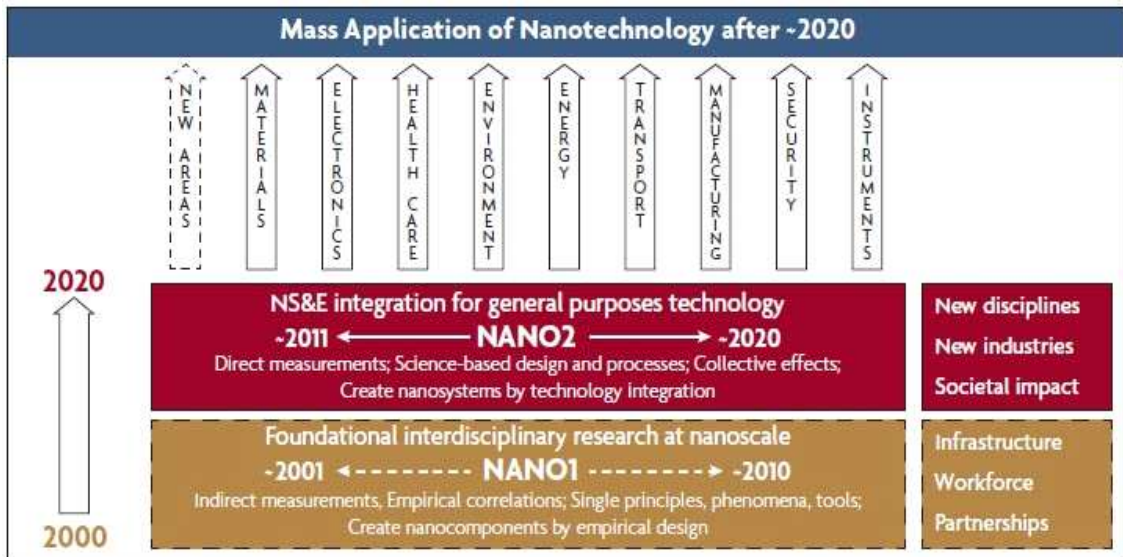
<표 2-8> 에서 보듯이 나노 과학기술은 인력 및 생산 가치 등에서 지난 10년간 30 % 이상 증가되었고 2020년에는 3천 빌리언 달러의 시장가치와 60억 개의 일자리를 창출 할 것으로 예상 하고 있다. 이러한 긍정적인 예상은 대한민국, 미국, 유럽, 중국, 일본 등 전 세계 적으로 60여 국가가 나노 기술을 국가 중점 연구과제로 선정하여 천문학적 수치의 연구비 및 투자개발을 지원하고 있으며 나노 기술은 가장 크고 경쟁적인 전 세계 중점 연구 과제로 자리매김하고 있다.

나노기술 연구는 나노 현상에 대한 기초 이론 연구에서부터 응용 및 나노관련 전문 관리 인력 등 다 방면에서 연구가 진행되었다. 특히 최종 연구 목표로서 고갈되어 가고 있는 에너지문제해결, 환경오염 및 정화, 인류의 의학발전, 그리고 신 개념의 전기전자장치 개발 등의 큰 주제로부터 많은 소 연구과제들이 수행 되고 있다. 예로써, 미국은 2015년 나노기술을 이용한 태양력 발전 및 신 개념의 수질 정화 장치 개발을 2025년 목표로 하고 있다. 따라서 미래에는 50% 이상을 나노 기술이 적용된 새로운 장비를 이용하여 에너지 및 수질 문제를 해결 할 것으로 전망하고 있다. 이러한 전망과 비전을 위해 지속적인 연구개발, 일자리 창출, 상업화, 그리고 투자의 사회적 환원 등의 시스템을 두고 나노과학기술개발이 진행될 것으로 전망되고 있다.

미국은 2000년부터 2020년 까지 두 단계 (나노 1, 2 사업기획)로 구성된 각 분야의 나노 기술항목 및 연구를 계획했다. [그림 2-6]에서 보듯이 나노 1차는 기초 연구 및 인프라구축에 목적을 두었고 나노 2차는 실질적인 나노집적체제로써 물질, 전자, 건강, 환경, 에너지, 교통, 제조, 안전, 및 관

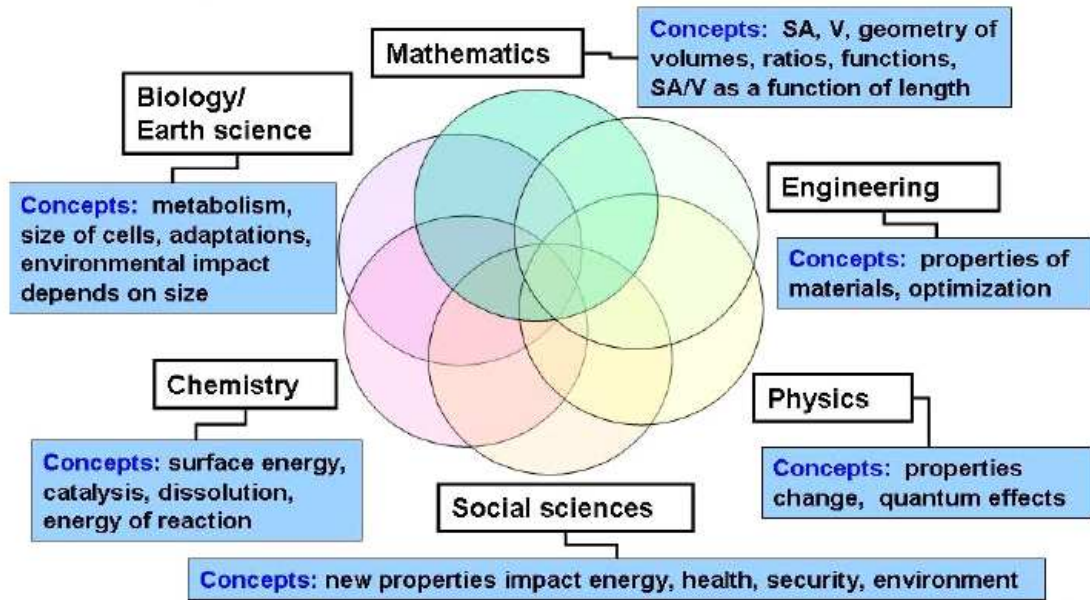
리문건 등으로 사업의 완성 목표를 두고 있다. 미국은 조직적인 나노관련 기술개발을 위해 전 지역에 균형적으로 나노기술센터를 설립하여 나노기술이 균형을 이루며 개발 되도록 하고 있다.

[그림 2-6] 나노 1, 2 사업기획별 나노기술 창출 및 연구개발 항목(NSF 나노 과학기술협회)



미 행정부는 정부 산하 연구기관이 대학 및 기업과 연구협력을 강화하도록 독려하여 보다 우수한 연구내용 창출을 유도하고 있다. 각 대학은 미국의 과학기술 교육이념인 과학, 기술, 공학, 및 수학 (Science, Technology, Engineering, and Mathematic (STEM))을 바탕으로 6개의 대학 교육프로그램을 통하여 각 분야의 우수한 인재 수급을 목표로 하고 있다. 그림3은 나노 표면과 부피에 관한 공동 나노 기술연구개발을 위하여 물리, 화학, 공학, 의학/지구과학, 수학 및 사회과학의 협력 교육 프로그램의 예이다. 물리분야는 나노 물질의 특성변화 및 양자점을 연구하며 화학분야는 나노 물질의 표면에너지, 촉매, 용해, 그리고 에너지반응을 연구한다. 공학 분야는 물질의 특성 및 최적화된 공정 개발을 연구하며 의학/지구과학은 신진대사 물질, 세포의 크기, 수용, 및 나노 크기에 따른 환경적인 영향을 연구한다. 수학은 부피, 비율, 길이 및 기능에 대한 기하학적 특성을 연구한다. 끝으로 사회 과학은 새로운 특성들이 에너지, 건강, 안전 및 환경에 미칠 영향에 관한 연구를 수행한다. 위의 예에서 보듯이 각 교육프로그램은 각 분야의 연구특성을 이용 서로 보완 협력하며 나노기술을 연구하고 있다.

[그림 2-7] STEM 교육이념을 통한 나노 표면 부피 연구에 관한 나노기술연구 협력 관계



이러한 정부 주관 각 연구기관별 협력 연구체제와 차별화된 대학 교육 프로그램을 통한 연구개발은 지난 10년 간 전기전자, 의학, 환경, 에너지 등의 각 분야에서 나노기술이 차세대 중점 기술로 발전 할 수 있는 기초를 만들었다. 2050 년 세계 인구는 100억 명으로 추산된다. 증가된 인구증가로 인하여 세계는 환경, 식량, 물, 에너지, 물질 소비 증가, 그리고 사회의 커다란 변화가 예상된다. 따라서 향후 나노기술은 인류 미래의 생활에 있어 중요한 신 에너지개발, 환경오염 정화 및 개선, 나노 유전자를 통한 식량문제해결, 의학 및 신 개념의 전기전자소자 개발 그리고 기술을 관리하고 감독할 수 있는 기준 및 관리인력 수급이란 새로운 과제를 두고 사회전반적인 투자와 관심이 진행될 것으로 보인다.

전 세계는 지난 10년간 나노관련 연구개발투자를 꾸준히 증가하였다. <표 2-9>는 지난 10년간 미국, 유럽, 일본 및 그 외 국가별 나노기술개발을 위해 투자한 연구비를 비교하였다. <표 2-9>에서 보듯이 200 억 달러에서 시작된 연구 투자비가 2010 에는 1.7 억 달러 이상이 투자되었다. 대한민국은 기타 국가에 속한 것으로 사료되며 정부차원의 보다 폭 넓은 연구개발 투자가 필요할 것으로 사료된다.

<표 2-9> 지난 10년간 투자된 나노관련 연구비 비교

Table 5. Estimated government nanotechnology R&D expenditures, 2000-2010
(\$ millions/year)

Region	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
EU +	200	~ 225	~ 400	~ 650	~ 950	~1,050	~1,150	~1450	1700	1,900	
Japan	245	~ 465	~ 720	~ 800	~ 900	~ 950	950	~950	~950	~950	
USA*	270	464	697	862	989	1,200	1,351	1,425	1,554	1,702+ 511*	~1,76 2
Others	110	~ 380	~ 550	~ 800	~ 900	~1,100	~1,200	~2,300	~2,70 0	~2,700	
Total	825	1,534	2,367	3,112	3,739	4,200	4,651	6,125	6,904	7,252; 7,763* *	
est. U.S. % of EU	135	206	174	133	104	114	117	98	91	90; 116**	
est. U.S. % of Total	33	30	29	28	26	29	29	24	23	22; 28**	

미 오바마 행정부는 2013년 나노 관련 연구투자를 위해 위회에 1.767 빌리언 달러를 증액 요청하였다 이는 전년도 비해 4.1% 가 증액된 금액이다. 이를 집행하는 NNI는 정부로부터 지원받은 연구 투자금액의 96%를 주요 정부 연구기관(NSF, DOD, DOE, NIH, and NIST)에 의탁 집행하게 된다. <표 2-10>은 각 5개 정부연구기관이 지원하게 될 나노 관련 연구투자 주제이다. <표 2-10>에서 보듯이 나노기술 관련해서 자연과학 및 공학에 나노 관련 연구 지원을 25.1%, 정부 보완 및 방위에 21.3%, 에너지 효율, 생산, 에너지 저장 등의 기술에 18.6%, 생의학 및 치료 과학에 25.4% 나노 측정 기준 및 나노 제조 등의 연구에 5.6%를 지원하게 될 전망이다. 본 투자계획을 통하여 나노 관련 연구 개발 주제별 전망에 대한 전반적인 세계 흐름을 인지하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

<표 2-10> 정부지원 연구기관(NSF, DOD, DOE, NIH, and NIST)별 나노 연구 투자 비중

연구기관	투자 비중	연구 주제
NSF (기초과학연구기관)	25.1	자연과학 및 공학을 통한 기초 나노기술전반
DOD(국가 방위기관)	21.3	국가 보완 및 방위를 위한 나노기술 전반
DOE(에너지 기관)	18.6	에너지효율 증대, 생산, 저장 및 전환에 대한 기초연구지원
NIH(의료 기관)	25.4	나노기술에 기반한 생의학 기초 연구 개발
NIST(측정 기준기관)	5.6	장비, 측정, 분석, 및 나노 제조 기초 연구지원

<표 2-11>는 지난 10년간 국가별 나노 연구 분야 (나노 재료, 소자, 에너지, 바이오, 관련 문건 및 교육)에 정부주관 연구투자가 활성화되었음을 보여주고 있다. 대한민국은 나노재료 및 소자 개발에 중점을 두었고 미국, 유럽 그리고 일본 등의 국가는 전체적으로 균형 있는 연구 투자가 이루어 졌다. 따라서 향후 선진 나노 기술국으로 입성하기 위하여 대한민국은 나노기술 전 분야에 대한 균형 있는 연구개발 투자 및 정부 차원의 지도라인이 필요할 것으로 사료된다.

<표 2-11> 국가별 정부주관 나노 관련 연구주제별 연구지원 비교

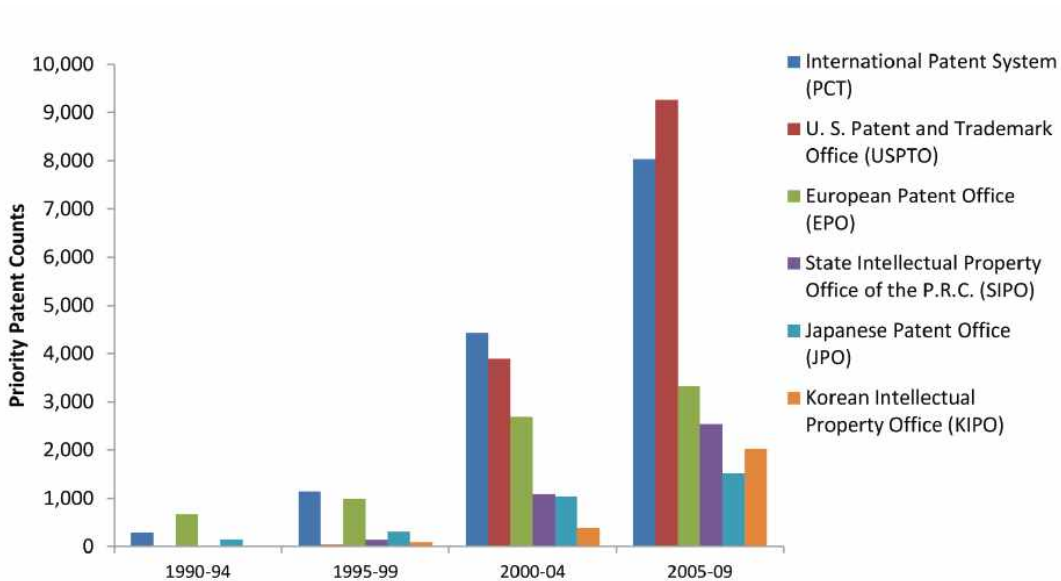
Country	Materials/ Manufact.	Devices (including Electronics & Optics)	Energy & Environment	Biotech/ Medical	Instrument Development	Education
Argentina	X					
Australia	X	X	X	X		
Austria						
Belgium	X	X		X		
Brazil	X	X		X		
Canada	X	X		X		
Czech Republic	X	X		X		
European Union*	X	X	X	X	X	X
France	X			X		
Germany	X	X		X	X	
India	X	X		X	X	X
Ireland	X	X	X	X		
Israel	X			X		
Italy	X	X		X	X	
Japan	X	X	X	X	X	
Korea	X	X				
Mexico	X					
Netherlands	X	X		X	X	
New Zealand	X					
Romania	X			X		
South Africa	X		X	X		
Switzerland	X	X		X	X	
Taiwan	X	X		X		
United Kingdom	X	X		X		
United States	X	X	X	X	X	X

나노관련 기술점유에 있어 특히 출원 실적은 향후 전 세계 나노 시장형성 및 점유에 있어 중요한 자료로 평가될 수 있다. [그림 2-8]는 지난 10년간 나노관련 국가별 특허 출원 실적을 보여주는

고 있다. 미국 및 유럽 국가를 중심으로 특허 출원이 월등이 앞서고 있다. 반면 대한민국은 미국 및 유럽에 비해 저조한 수준을 기록하였다. 따라서 특허 전문 인력 양성 및 신 나노 기술개발에 따른 정부 차원의 지원을 통한 전 세계 특허 출원 증가가 요구되는 부분이다.

특허출원과 함께 연구투자가 많은 미국은 1999년 나노기술연구회(NNI) 발족 후 2000년부터 10년간을 나노 1차 기획으로 나노기술의 기초 연구 및 미래 원천 기술로 그 응용 가능성을 확인하였다. [그림 2-9]는 NNI 발족 이 후 5년간 연구개발 분포를 보여주고 있다. 바이오 의학 및 나노 물질개발을 위해 50% 이상의 연구가 집중 투자되었으며 화학, 환경 및 제품 생산 등을 관한 연구가 진행되었다. 이는 화학, 의학, 물리, 재료 등의 과학 및 공학관련 연구개발 주제가 활성화 되었으며 관련 전공 연구 인력의 증가로 볼 수 있다.

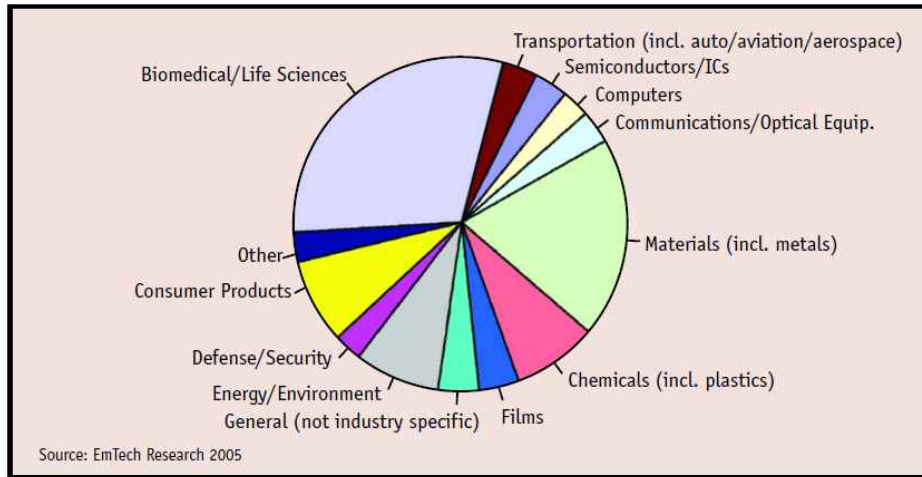
[그림 2-8] 10년간 국가별 나노관련 특허 출원 실적



보다 구체적으로 연구주제별 지난 10년 및 향후 10년의 연구 현황 및 전망을 살펴보면, 지난 10년 간 (2000-2010) 진행된 나노 1차 기획은 나노 기술의 응용 가능성에 대한 기초 연구 및 미래 응용기술로써 가치를 평가하고 인증하는 기간이었다. 반면 2011년부터 향후 10년 간 진행될 나노 2차 기획은 나노 기술이 인류의 복지, 환경, 및 건강 다방면의 분야에 실질적으로 활용할 수 있도록 그 응용 분야에 중점을 두고 연구 투자 및 계획을 두고 있다.

<표 2-12>는 2010을 기준으로 나노 기술의 현황 및 2020 나노기술개발의 목표 및 전망을 주제별로 간략히 정리하였다.

[그림 2-9] 나노 1 차 기간 중 나노 관련 연구 개발 분야 분포



<표 2-12>나노 1차 및 2차 사업계획에 따른 나노기술의 개발 현황 및 전망

나노 1차 사업계획, 2000-2010	나노 2차 사업계획, 2011-2020
<p>이론, 모델, 그리고 모의실험</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 기계, 광학, 전자기 분야에서 나노 특성 및 공정개발의 기초적인 이해 및 발견. ■ 의학에서 화학적 연결 및 나노 입자의 기능에 대하여 전자학적 모델 및 통계. ■ 양자 효과의 이론적 배경을 통해 양자점, 나노 튜브, 와이어 및 양자 소자를 정의하고 측정. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 수치해석 및 컴퓨터 계산적 이론은 십만 단위 이상의 가능성에 대한 가상 실험. ■ 다중 단위 및 현상을 이용한 이론적 접근법을 통해 컴퓨터를 이용하여 나노 물질, 소자 및 시스템 디자인. ■ 의학에서 신약 개발, 약물전달 및 다양한 현상을 이해하기 위한 모델 연구.
<p>측정 방법, 장비, 그리고 방법론</p> <p>차세대 나노 단위 측정 장비를 만들기 위한 새로운 개념의 접근법이 시도.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 고 배율 주사 현미경이 물질을 나노 단위로 구분 다 각적인 현상을 연구하는데 사용. ■ 전기 현미경은 수 나노 단위의 해상도와 3차원 단층촬영을 가능하게 하였다. ■ 자기 조립이며 수용이 쉬운 미세 접촉 프린팅 및 노광기술과 같은 나노 패턴을 이용한 복잡한 나노 소자 연구개발. ■ 광선 측정에 사용되는 엑스선 휘도는 지난 10년 사이 5배로 증가되어 3차원 나노 구조를 원자단위로 측정하게 되었다. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 화학적 특성 및 실시간으로 해상도를 갖는 원자 단위 3차원 영상 장비 개발 ■ 나노 단위 측정은 나노 전자, 생의학 및 나노 제조 등의 영역에서 일반적 기준으로 확립. ■ 나노 단위 측정 장비개발을 통한 연구: <ul style="list-style-type: none"> - 단 수 단백질의 3차원 원자단위 영상, - 원자조절을 통한 신 합성물 개발, - 화학반응에 있어 순간의 반응을 측정하기 위하여 초고속으로 전자를 추적, - 전체 세포의 영상화, - 저가의 휴대용 나노 특정 장비,

	<ul style="list-style-type: none"> - 비전문가들이 이해해가 쉽게 설명된 나노 사용지침서.
<p>나노 물질 개발, 소자 및 시스템을 위한 합성, 공정, 시스템</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 코팅, 산업용 화학, 직물, 자기 저장 소자 등을 포함하는 상업적 제품개발. ■ 나노 입자, 튜브, 2-3차원 나노 구조 연구 자료를 통한 나노 합성 및 제조. ■ 나노 구조 패턴을 위한 중요한 기초 연구 3 차원적으로 합성 가능한 폴리머 구조, ■ 신 분자 기계, 흑연소자, 준 물질, 주사 기술을 이용한 접촉 나노 패턴, 노광기술 등이 나노 공정에 적용되었다. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 나노 입자, 와이어, 얇은 판, 코팅 그리고 3차원 조립 개발을 위한 원자 및 분자단위 자화 합성을 위한 기초적 이해. ■ 1 nm 해상도 이하에서 나노 제조를 위한 2-3 차원 나노 물질 개발. ■ 주요 연구 목표로: <ul style="list-style-type: none"> - 효율 증대 및 경량화를 위한 탄소 나노 튜브를 이용한 전력 케이블 생산, - 효율이 극대화된 전기 저장 소자에 적용 가능한 나노 패턴 기술에 필요한 자화 조립 기능을 갖는 단위 복합 합성체 개발, - 나노 구조를 갖는 준 물질 개발.
<p>환경, 수질, 식품, 관산 그리고 기온</p> <p>인류의 지속적인 증가는 전 세계는 복잡하고 복합적인 상호 의존 지역이 됨.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 나노 기술은 환경 정화, 수자원, 식량, 광물자원, 친 환경 제조, 주거, 교통, 그리고 기후 변화를 다룰 새로운 기초적인 접근법을 제시. ■ 나노 기술은 향후 10년 에너지 전환, 저장 그리고 탄소가스 제거에 대한 새로운 과제 의 반 이상을 위한 해결책을 제시할 기술로 판단. ■ 고밀도 다공성 나노 구조 물질 개발은 수소 저장 장치 및 이산화탄소 제거를 위한 금속 유기 물질개발을 유도. ■ 환경 및 결정 처리를 위한 다양한 폴리머 및 무기 나노섬유 및 합성물질이 개발 ■ 나노 구성 세포막 및 흡수제는 정수, 탈염, 오일 세척 및 환경복원을 위해 개발. 	<p>환경을 정화하는 데 나노기술이 사용되도록 하는 것이 향후 연구 목표.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 수자원- 지난 10년간 개발된 넓은 표면적을 갖는 나노 구조 세포막 및 물질을 이용한 정수, 탈염, 수조저장 및 탄소 제거 등 다방면의 응용에 적용. ■ 나노 물질을 이용한 보다 효율적인 탄소 및 질소 제거 방법이 산업체에서 재사용 나노 기술은 화석연료를 사용하는 화력발전소 및 산업체에서 발생하는 이산화탄소를 효율적으로 제거. ■ 소형의 일반 센서는 공기, 물 그리고 토양을 포함한 환경을 실시간으로 관리하는데 사용되도록 개발.
<p>광 전압 및 플라즈몬</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 플라즈몬을 이용한 타겟 의학 치료. ■ 고 밀도 해상, 패턴 그리고 광학 응용을 위해 개발 ■ 나노 크기 입자 자화 물질을 이용하여 자장내에서 열을 발생시켜 특정 인체내에 존재하는 암 치료 가능성 제시, ■ 태양전지 셀 및 양자 점. 광학 신호의 저 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 최소 및 초고속으로 정보를 전달하는 전기 집적회로 개발. ■ 광 보전, 집적 소자, 재료의 열 및 기계적 조절을 위한 광사용, ■ 플라자몬, 광 그리고 전자를 이용한 합성 소자 개발, ■ 단 분자로부터 빛의 방출 및 흡수 조절

장 및 자연과 같은 광 시스템	용 신 개념의 플라즈몬 방출 감지기 개발
에너지 전환 과 저장	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 태양에너지 전환을 위하여 나노기술을 이용한 고 효율 및 소형 소자 개발. ■ 나노 구조를 갖는 유기 세포의 전력 전환 효율은 2000년 이후 약 8배로 증가되었다. 기존의 성능 저하 없이 광 전압 응용을 위한 무기 물질개발. ■ 실험실단위 태양빛을 연료로 전환하는 광물질 개발. ■ 나노 구조 물질은 전력 콘텐서의 저장능력을 증가시켰다. 	<p>미국은 2015년을 목표로 나노기술을 이용하여 저가이며 경제적인 태양 에너지 전환 기술응용을 목표.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 테라와트 태양에너지 발전기가 기존의 화석에너지 발전량에 근접할 것으로 전망. ■ 광 전압 소자를 위하여 실리콘이 저렴하고 풍부한 대체 기능이 있는 철 셀파이드 같은 물질로 대체. ■ 나노 입자 및 양자 점이 필름 형태의 광 전압소자에서 shockley-Queisser 31%의 효율 최저치를 넘기 위하여 전자이송체로 활용될 것으로 전망. ■ 전기자동차를 위한 신 개념의 나노 구조 배터리 시스템 개발이 진행 될 것으로 전망.
생의학 그리고 건강	
<p>나노 바이오 및 의학은 나노 기술에서 가장 빠르게 성장하고 있는 연구주제</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 실험실 단계로 선행 의학 치료제 개발 ■ 생체에 적합한 물질, 진단 및 치료의 기초 마련 ■ 여러 형태의 암을 치료할 수 있는 Abraxane과 같은 10가지 이상의 상업적 선행 의학 치료제 개발 ■ 5대 나노기술을 이용한 의학연구 성과; <ul style="list-style-type: none"> - 세포를 고치며 재생을 돕는 분자개발, - 의학 합성에서 나노 단위 조절, - 1,000 게놈 분석을 위한 상품, - 나노 단위 생의학 바코드, - 최근 FDA에서 승인 나노 치료제 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 호흡 및 타액 나노 단위 감지에 기초한 반 침입적 진단기술. ■ 암 치료 및 의학용으로 부작용을 줄이는 의약품 개발. ■ 미국에서 50 개 이상의 암 치료제 개발. ■ 2020년 인체에 나노 세포를 주입하여 심장마비 등의 치료에 적용. ■ Stem 세포 치료제개발.
전자 및 자기 물질	
<ul style="list-style-type: none"> ■ 1nm 케이트 절연층을 갖기 위해 300 nm 웨이퍼 위에 정확한 단층 필름증착. ■ 15nm 크기의 트랜지스터 개발. ■ 2010년 나노 단위기술로 60% 공정을 이용하여 3000억 달러의 반도체 시장형성. ■ 양자 스핀 효과 및 토크로 전기 및 자기 조절 능력을 동시에 갖는 메모리 소자 개발. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 3 차원의 준 원자 단위 조절이 가능한 물질 개발. ■ 10nm 및 그 이하 단위로 반도체 소자 개발. ■ Memristor (memory resistor)를 이용한 메모리, 저장 장치 개발로 인류의 뇌기능을 증가하는 신 개념의 소자 개발.
환경, 건강, 및 안전	
나노 물질이 직장, 가정, 실험실 그리고 환	■ 실질적인 판단을 돕기 위하여 나노 물질

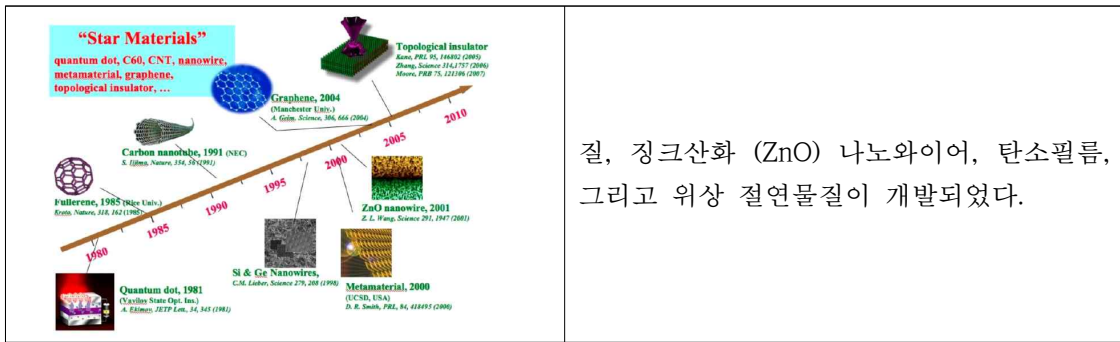
<p>경으로 확산되어 가고 있지만 나노 물질이 인체에 미치는 질병 또는 환경에 유해한 기능이 현재까지 확인되지 않고 있다.</p> <p>따라서 나노 입자물질의 유해 가능성에 대하여 대중적 관심이 미세 입자란 단순 위험성의 경고에서 보다 현실적인 이해가 따라야 한다. 특히 특별한 사용목록, 응용 그리고 노출에 대한 안정규정이 강구되어야 한다.</p> <p>■ 여러 부서 및 국제 협력기구가 지난 10년 사이 설립되었다.</p> <p>■ 2000년 NSF는 나노 단위 공정에 있어 연구개발권유를 설립했으며 예산의 7%가 나노 환경, 건강 및 안전 (EHS)에 책정되었다.</p> <p>■ 2004년 50 건이었던 나노 EHS관련 연구 보고서가 2009년 250건으로 증가하였으며 다른 나노 관련 보고서보다 빠르게 증가하고 있다.</p> <p>■ 나노 물질에 대한 잠재적 위험의 기준을 마련하기 위하여 산업체, 규제 단속 및 보험사들로 구성된 연구단체들이 서로 협력하고 있다.</p>	<p>의 위험 모델, 나노 정보 등의 지식을 저장할 대용량 데이터, 컴퓨터 모델, 유해여부 판단 방법 등의 개발이 수행 될 것이다. ■ 내외 실험, 생화학적인 적절성, 고 배출방법의 적절한 균형을 고려한 위험성평가 방법론 및 전략을 개발</p> <p>■ 상업용 나노 물질 데이터, 단속 활동</p> <p>■ EHS 연구에 활용할 수 있는 위험 규제 방법 및 전략을 확립.</p> <p>■ 학교, 산업 및 정부의 주요 과제는 효율적으로 의사소통, 정보 및 나노 기술의 유용한 영향 및 잠재적 위험을 동시에 전달하는데 대중적으로 참여.</p>
--	---

2. 나노기술 연구 현황 및 업적

나노기술개발의 연구현황을 연구주제로 세분화하여 주요 연구결과를 요약하면 <표 2-13>과 같다. 나노과학 기술의 최근의 연구주제에 따른 (나노 와이어/튜브 개발, 나노 발광소자, 반도체 나노소자, 나노 표면 분석, 나노 의학) 업적을 정리하였다.

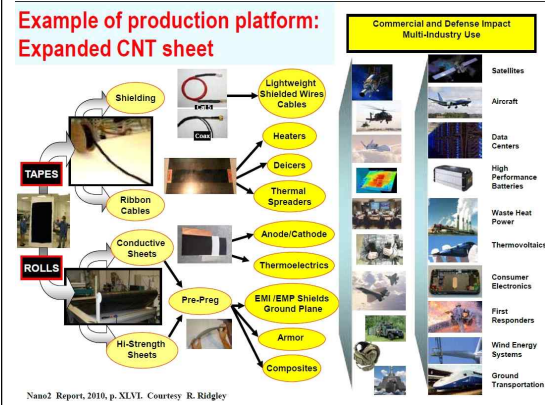
<표 2-13> 최근 나노 기술 주요 업적

나노 물질 (나노 와이어)	
	<p>양자점의 개발 이후 1차원 구조를 갖는 나노와이어 개발이 급속도로 발전되었다.</p> <p>■ 탄소원자 60개로 구성된 공 모양의 분자인 풀러렌 개발 이후, 카본 나노 와이어, 실리콘(Si) 및 게륨(Ge) 나노 와이어, 준 물</p>



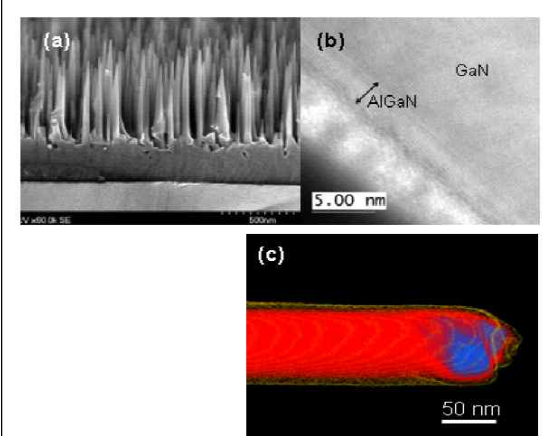
질, 징크산화 (ZnO) 나노와이어, 탄소필름, 그리고 위상 절연물질이 개발되었다.

탄소 나노 튜브



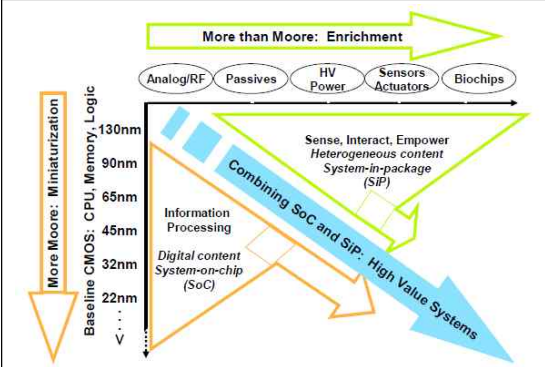
탄소 나노 튜브는 1차원 나노 구조를 갖는 나노 물질을 대표하는 물질로 탄소 고유의 특성인 강도 및 전기 전도도 때문에 항공, 배터리, 풍력, 위성 및 전자 부품 등에 사용될 차세대 나노 물질로 사료되고 있으며 다양한 합성 방법 및 응용 분야가 연구되었다.

나노 발광소자



나노 발광소자는 2차원 기학구조에서 갖는 합성 및 두께의 한계를 극복한 1차원 구조를 갖는 나노 와이어/튜브로 구성된 나노물질을 이용하여 개발 될 전망으로 그림은 갈륨 나이트라이드 (GaN)의 나노 와이어의 주사전자현미경 및 전자투과이미지.

반도체 나노 소자



지난 10년간 나노기술을 이용하여 반도체 소자의 크기는 20 nm 이하로 소형화 되었다. 반도체 소자의 크기가 지난 10년간 줄어든 추세를 통해 반도체 및 의학 등에 이용될 소자가 개발되어 가고 있다. 향후 10년은 소자의 크기가 더욱 줄어들어 따라서 기존의 기학구조가 아닌 양자점을 이용한 신 개념의 반도체 소자 개발이 전망 된다

나노물질 표면 분석연구	
	<p>나노물질 분석을 위한 측정 장비로서 표면 주사 현미경 개발기술이 개발되었다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 나노물질 표면분석이 가능하여졌으며 표면을 나노단위로 이해하고 분석하고 할 수 있게 되었다. ■ 표면 주사 현미경을 통해 측정된 나노물질의 단층 표면 이미지.

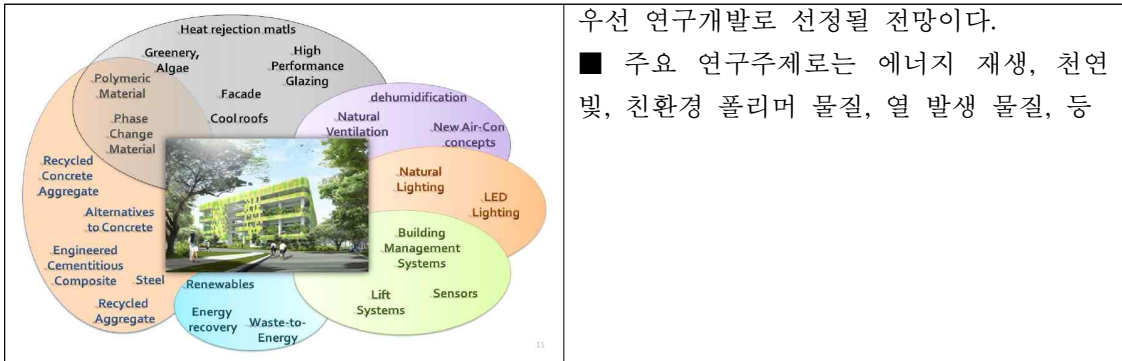
나노 기술을 이용한 의학	
	<p>나노기술을 이용한 의학 분야는 환자에게 새로운 형태의 진단, 치료 및 간호 등의 응용가능성 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 나노 입자를 이용한 나노 칩 및 나노입자와 반응하여 형성된 영상을 이용한 질병 진단, 타겟용 나노 치료제, 나노 의료 장비를 이용한 시술. 병원에서 주입된 인체 칩을 통해 원격으로 지속적인 환자의 상태 진단을 통한 새로운 개념의 간호 및 모니터링에 대한 새로운 시스템 구축

3. 나노 과학기술의 발전 전망

미래의 나노기술은 환경, 에너지, 의학, 전기 전자 등의 응용 분야로 그 활용가능성을 목표로 개발될 것으로 전망된다. 본 장은 나노 기술을 이용한 환경, 의학 및 반도체 관련 연구 전망을 <표 2-14>에 요약·정리하였다.

<표 2-14> 나노 기술 개발의 향후 전망

지구 녹색 성장을 위한 나노기술의 전망 과 미래	
	<p>인류의 지속적인 인구증가에 따라 향후 지구는 환경오염이란 문제에 노출 될 것으로 전망된다. 따라서 지구의 녹색 성장을 위하여 환경오염을 줄이고 정화할 수 있는 다방면에 대한 연구과제가 추진될 것이며</p>



우선 연구개발로 선정될 전망이다.
 ■ 주요 연구주제로는 에너지 재생, 천연 빛, 친환경 폴리머 물질, 열 발생 물질, 등

녹색 성장을 위한 나노 양자 - 기계 기술의 융합

나노 기술 1차 기획 과제에서 개발된 양자 점을 이용하여 지구 녹색 성장을 위한 혁신적인 기술로 나노전자, 양자 정보 소자 및 지속 가능한 에너지 개발에 연구 목표를 설정하였다.

- 양자점 개발은 2020년 이전에 보다 선행적인 나노전자개발 이를 통한 양자 및 광소자 개발이 추진 될 전망
- 2025년 이후 개발된 소자는 태양에너지 및 양자를 이용한 차세대 양자를 이용한 소자 개발
- 2030이 후 전 인류는 나노 양자 기술에 기초한 지속가능한 에너지원 발전

유럽의 에너지 관련 나노기술

유럽은 향후 15년 개발 목표를 통해 나노 광기술을 이용하여 에너지, 나노제조, 및 광학에 관련한 나노기술이 선행할 것으로 전망하고 있다.

나노기술을 이용한 수자원 에너지 전환 및 재생

나노기술을 이용하여 수력자원을 유용한 에너지원으로 전환 및 저장하여 에너지 문제를 해결할 것으로 전망

- 물을 재처리 하여 산소 및 수소를 생산하고 개발된 수소는 지구의 오염물인 질소 및 이산화탄소와 결합하여 새로운 형태의

Practical applications
Large scale application: km² scalability

Schematic drawing of chemical process combined with water splitting and N₂ or CO₂ hydrogenation

7.6 hrs/day irradiation AM1.5G
 Total Solar energy 27 TJ/km² day
 Water splitting Plant
 25 km² (5 km x 5 km)
 Water 5100ton/day
 H₂ 570ton/day
 Energy efficiency=10%
 Chemical synthesis process
 N₂ CO₂
 Chemicals 500~1000 kton/year

유용한 에너지용 화합물을 생산.
 ■ 나노 촉매, 나노입자, 및 신 개념의 나노 입자들이 개발될 것으로 전망 된다

나노기술을 이용한 환경대기오염 정화 재생

CO₂/N₂ separation film (A cost less than amine absorption liquid)
 Gas-based film (Carbon dioxide, VOC solvent)
 A water-based film
 Replacing distillation (VP) Alcohol selective film
 High selectivity gas separation film
 Artificial photosynthesis film (6H₂O+6CO₂ (Solar energy) → C₆H₁₂O₆+6O₂ (Chemical energy))
 Fusion with biotechnology A membrane bioreactor
 Function except separation Microbe autolysis function film resistant
 Living body imitation film (When a molecule gathers, structure and a property change)
 Organic no machine hybrid Low energy reverse osmotic membrane
 Lithium selective separation film (Rare resources collection)
 The water processing feasible from bio-fueled
 The transmission speed of the water in the carbon nanotube is expected with 1,000 times of the polyamide (L.K.Huh et al., Science, 312, 1034-1037(2006))
 The source: "Nanotube"
 Five years future Ten years future 20 years future

지구 환경오염 정화를 위하여 나노기술이 다방면에서 이용될 전망이다.
 ■ 질소 및 이산화탄소 제거, 수자원의 정화를 통한 재사용,
 ■ 녹색 2차 물질 생산, 반도체 식물 및 전자소자를 이용한 제한된 자연물질 재생 및 회복 등에 나노 입자 및 광물질 개발 전망

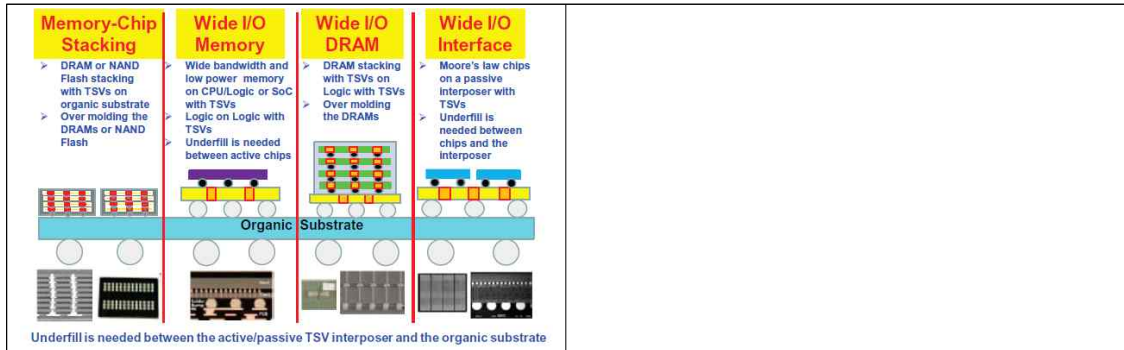
인체의 치료 및 진단에 적용될 나노기술

EMG: MAGNETOENCEPHALOGRAPHY FOR BRAIN IMAGING AND BRAIN INTERFACING
 INTERNAL MEDICINE: BIOMARKERS DETECTION AND IMAGING FOR DEGENERATIVE AND INFECTIOUS DISEASE:
 ULTRASOUND AND PHOTOACOUSTIC ENHANCEMENT NANOPARTICLES
 FTIR AND RAMAN SPECTROSCOPY ENHANCEMENT AND NEMS
 MS: SINGLE MOLECULE MASS SPECTROMETRY
 INTEGRATED NANO-DEVICES FOR TARGETED THERAPEUTICS
 DETECTION, IMAGING, TARGETED TREATMENT FOR
 DEGENERATIVE AND INFECTIOUS DISEASE:
 CANCER, ARTHRITIS, ARTERIOSCLEROSIS, ISCHEMIA, DIABETES, NEURODEGENERATION, HIV/AIDS, MALARIA, TUBERCULOSIS...
 ORGAN SYSTEMS: HEART, LUNG, ESOPHAGUS, INTESTINE, KIDNEY, LIVER, PANCREAS, OVARY, TESTES, PROSTATE, BLOOD VESSELS, CARTILAGE, BONE, BLOOD, BRAIN, SPINAL CORD, NERVES, ...
 NANOSENSORS IN NEUROSENSORY PROSTHETICS (FOR EYE, EAR)
 PULSE OXIMETRY (INTERNAL MEMS)
 ACCELEROMETRY
 PRESSURE (WIRELESS MEMS) HEART, BLOOD VESSELS, MUSCLE, JOINTS
 HUMIDITY: SKIN, LUNG
 GALVANIC POTENTIAL
 IMPEDANCE, pH
 GLUCOSE SENSORS
 INTEGRATED NANO-DEVICES FOR TARGETED IMAGING, THERAPEUTICS (WIRELESS ENDOSCOPY)
 NANOSENSORS IN NEUROMUSCULAR PROSTHETICS (FOR LIMBS, HAND, FEET, FACE, ETC.)

나노 기술로 개발된 각종 의학용 전자소자 및 재료 등이 인체에 주입되어 질병을 치료할 수 있을 것으로 전망하고 있다.
 ■ 뇌, 눈, 귀, 손, 발, 무릎에 주입 가능한 소형의 전자소자 및 센서 그리고 장기(심장, 폐, 간, 혈관, 뼈 척추 등)의 재생 및 치료를 도울 수 있는 인체에 부작용이 적은 인체용 나노물질개발
 ■ 주입용 나노 치료제, 신 개념의 나노 영상진단(뇌) 장비

3차원 반도체 나노소자

나노 기술은 기존의 실리콘 반도체의 기하적 구조를 3차원으로 확대하여 보다 용량이 크며 빠른 반도체 소자 개발에 적용될 것으로 전망된다.

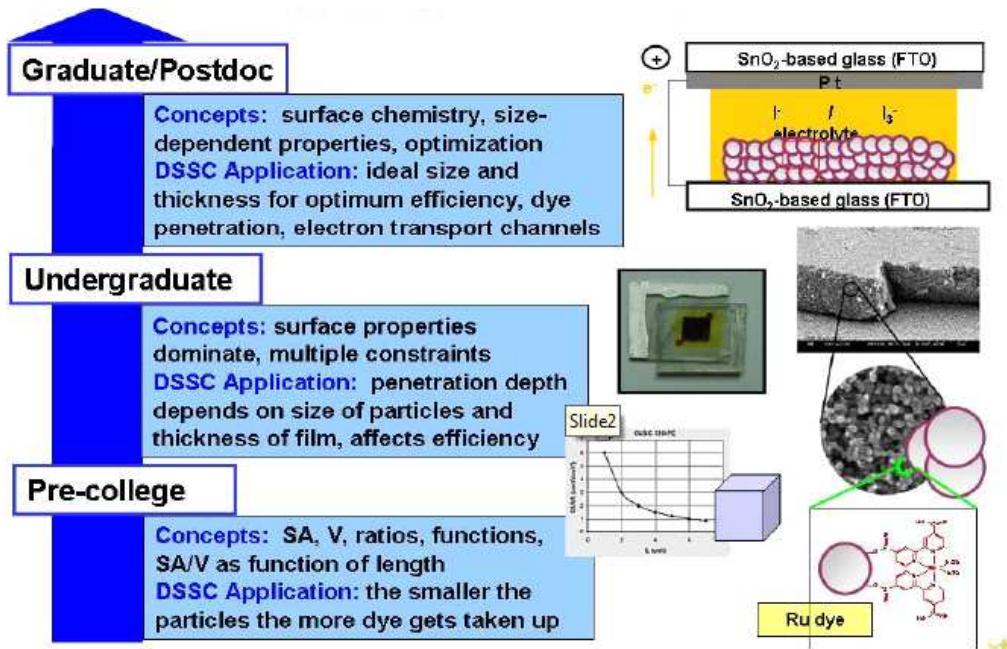


나노 연구개발의 성공을 위하여 나노 기술연구는 산학연이 공동으로 참여하고 협력하는 구조로 진행 될 것으로 전망된다. 그림 6은 나노 기술을 이용한 태양에너지개발에 있어 대학 및 대학교의 학부 연구생 및 대학원 및 박사 후 과정 연구원들이 한 연구 시스템에서 협력하며 각 기관의 연구원들의 연구 결과들이 체계적으로 상호 보완 및 점진적인 개발을 통해 최종 연구 목표 달성 개념을 설명하고 있다. [그림 2-10]에서 보듯이 대학에서의 연구생들은 기본적인 연구를 수행하므로 나노 입자의 비율, 기능 및 기능으로써 나노 입자의 크기에 따른 염료 정도의 기초 연구를 담당하게 된다. 대학교의 연구생들은 나노 입자 표면 특성, 나노 입자의 단순 복합성의 지배성과 제약특성, 입자의 크기 및 두께에 따른 투과 깊이 및 영향에 관한 진보적인 연구를 담당한다. 그리고 대학원 및 박사 후 과정 연구원들은 나노 표면 화학, 크기에 따른 특성, 최적화 연구 및 최적의 효과를 위한 두께, 및 크기 연구 등 보다 완성된 형태의 연구를 수행하게 된다. 따라서 한 기관에서 나노 연구 전체를 주관하는 것이 아니고 대학, 대학교 및 고등 연구기관에서 단 계별 기술 인력 배치 및 연구 목표를 설정하여 최종 연구개발을 하는 통합적 시스템으로 나노 기술개발형태가 주도될 것으로 판단된다.

최근 타이완의 나노 관련 교육비전에서 보듯이([그림 2-11]) 나노 연구는 대중적인 지지 기반위에서 사업자 전문가 그리고 연구기술자들이 피라미드 구조를 갖도록 사회 전반에서 모든 국민을 교육하고 전문 기술자를 양성하는 교육시스템을 통해 발전될 것으로 전망된다.

[그림 2-12]는 나노 과학기술발전과 전망에 있어 대학, 기업 그리고 사회 순으로 연결되는 기관별 연구목표, 인력, 그리고 경제적인 지원 종류를 체계적으로 묘사하였다. 그림8에서 보듯이 대학은 연구 인력들이 기초연구 및 응용가능 기술을 연구하며 기업은 최종 응용 기술 및 경영을 전담하다. 끝으로 사회는 시장을 형성하고 소비자에게 나노기술을 이용한 제품의 판매를 담당한다. 경제적인 지원으로 연구 장려금, 기자재, 기술훈련, 기업체 투자 및 판매에 관한 지원을 담당하게 된다. 이 모든 과정은 정부 주도하에 조직적인 운영으로 이루어 져야 한다. [그림 2-13]은 위에서 제세된 운영을 통해 20년 후 기초기술, 응용, 기업 그리고 시장의 순위가 시간별로 조정되며 발전해 하는 경향을 보여주고 있다. [그림 2-14]은 나노 기술 시장의 한 예로써 의학에서 적용되는 기술과 시장 가치를 보여 주고 있다. [그림 2-14]에서 보듯이 현재 유전 및 백신 개발은 80 밀리언 달러의 시장가치

[그림 2-10]은 대학, 대학원 연구생 및 전문 연구원들이 담당하는 연구주제 발생 및 업적 예



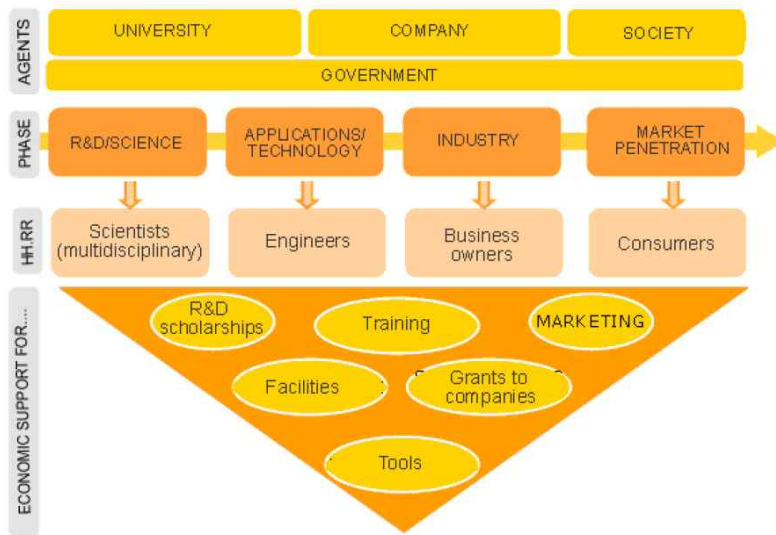
[그림 2-11] 타이완의 나노교육비전



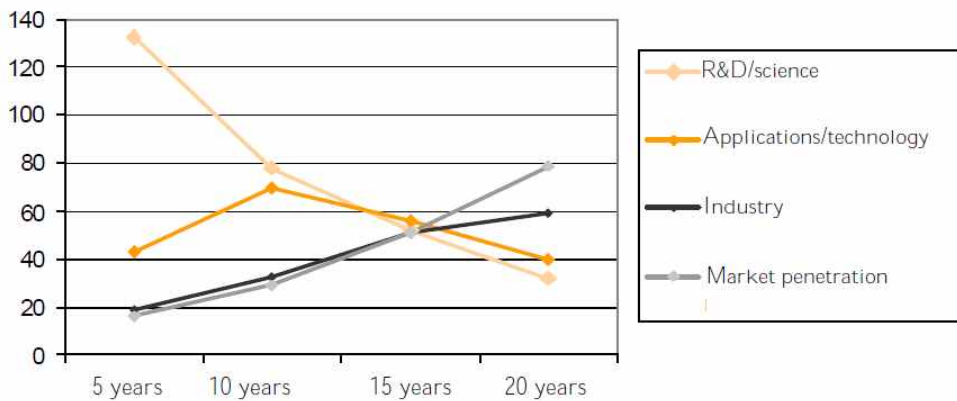
로 전망되고 있다.

이러한 체계적인 발전을 위해 계획적인 인력 조절과 전문성의 조화가 이루어져야 한다. [그림 2-15]은 현재 각 분야의 전문 인력의 전문도와 훈련의 상태를 보여주고 있다. 현재 전문 과학 인력은 우수하지만 공학, 기업 및 소비를 담당하게 될 전문 인력의 교육은 부족한 형편이다. 특히 소비를 담당할 인력의 교육과 수요는 계속 증가시켜야 할 부분이다.

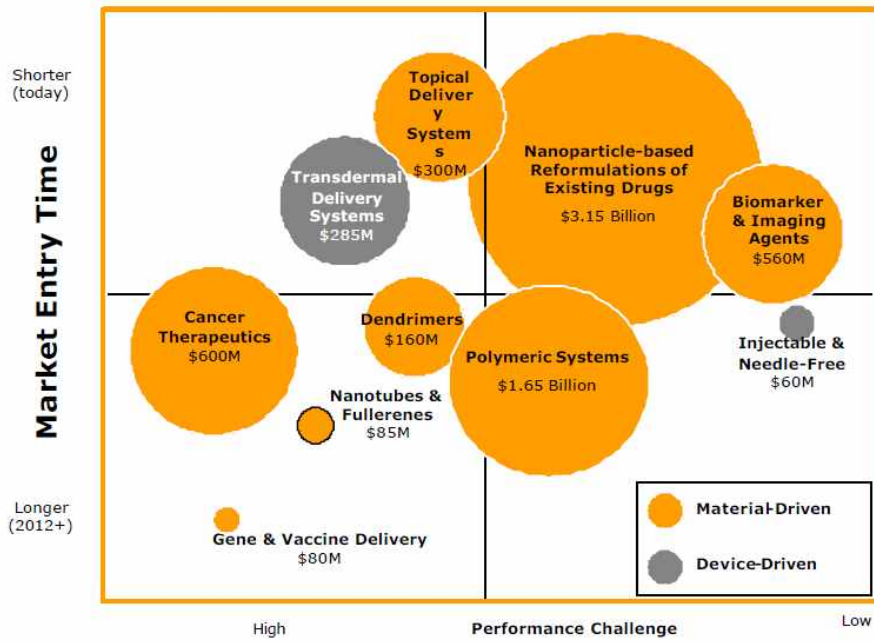
[그림 2-12] 나노과학기술관련 기관별 연구목표, 인력, 그리고 경제적 지원



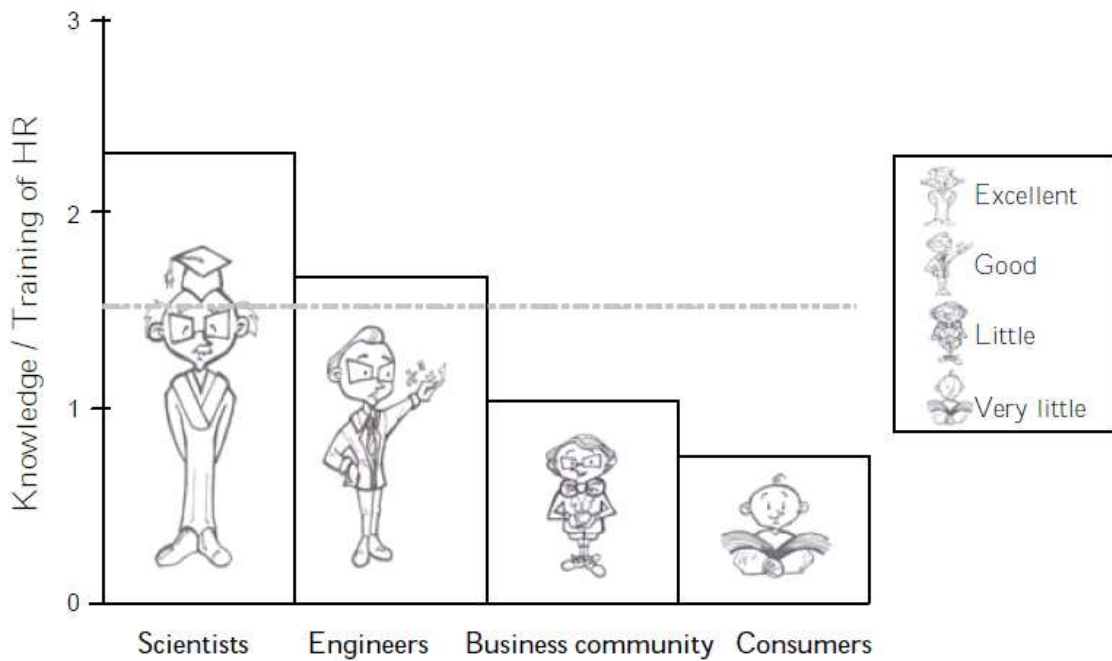
[그림 2-13] 20년 후 기초기술, 응용, 기업 그리고 시장의 투자 순위



[그림 2-14] 의학에 적용되는 나노 기술의 항목 및 시장 가치



[그림 2-15] 전문 연구, 기술, 산업 및 소비자들의 나노관련 지식 및 교육 정도



나노 기술은 지난 10년간 전기, 전지, 기계, 과학, 의학, 환경, 에너지, 교육 등 각 분야에서 기초

연구가 충실히 진행되었고 향후 미래 과학기술의 핵심 주제로 그 유효성이 확인 되었다. 향후 10년 또는 미래 나노 과학기술은 나노 과학기술이 현실적으로 우리 생활에 적용되고 응용될 수 있도록 목표하고 있다. 연구 과학기술 인력 및 전문 관리 인력의 증대는 나노 기술이 과학적 의미 이상으로 인류의 생활과 사회에 더욱 큰 파급 효과를 줄 것을 의미한다.

[그림 2-16]은 나노 기술이 환경, 의학, 생활용품, 항공, 자동차, 반도체 등 각 분야에 적용될 응용 제품 가능성을 보여주고 있다.

[그림 2-16] 미래의 나노기술을 이용한 응용분야



<표 2-15> 은 20년 이후 의학, 에너지, 정보기술 그리고 환경에 적용될 나노과학기술의 단-중-장기 목표 전망을 요약하였다.

<표 2-15> 나노 과학 기술 단-중-장기 전망

단기목표 (1-5년)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 무게 대 장력이 개선된 나노입자 개발 ■ 수질 정화를 위한 나노 세포막 및 필터 개발 ■ 감지, 선택, 재현이 가능한 고체 화학 및 바이오 센서개발 ■ 정확한 타겟용 의학 진단기소자 개발
-------------	---

	<ul style="list-style-type: none"> ■ 장기 지속이 가능한 충전용 배터리 개발
중기목표 (5-10년)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 타겟 약물 치료제 개발 ■ 향상된 의학 이미지 개발 ■ 고 효율 및 기능이 향상된 태양전지개발 ■ 물과 수소의 전환이 향상된 기술 확보 ■ 공기 중 이산화탄소 제거 기술 확보
장기목표 (20 이후)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 세포막을 통한 약물 전달체 개발 ■ 분자 크기 전자소자 개발 ■ 마비, 장님 및 휘기 난치성 질병 치료를 위하여 인체에 해롭지 않는 인공 삽입 가능 장기기관 개발 ■ 환경에서 열 및 화학 자원을 통한 에너지 전환

미국은 지난 10년간 가장 성공적으로 나노과학기술개발을 진행한 나라 중 하나로 사료된다. 그 배경에는 초기부터 중고등 부 학생 및 대학생들을 나노 관련 교육에 참여 시켰기 때문이다. 이를 위해 기초 교육 및 전문 인력을 양성하였고 교육받은 연구생들은 차세대 연구 기술자로 성장할 수 있는 원동력이 되었다.

끝으로 미래 나노 과학 기술은 단순한 과학 기술이 아니며 60억 이상의 연구 개발, 생산, 판매, 전문 관련 인력이 투입되어 운영되는 커다란 사회 구조를 갖출 것으로 사료된다. 따라서 과학 기술 개발 뿐 아니라 사회적으로 커다란 파장을 흡수 하고 운영관리 할 수 있도록 다 각적인 면에서 사회, 과학, 정치, 경제 등의 통합적인 인력 개발이 필요할 것으로 사료된다.

제 3 장 나노기술인력

제 1 절 나노기술인력의 정의 및 특징¹⁵⁾

1. 나노기술인력의 정의

우리나라와 미국은 나노기술의 정의를 법률로 규정하고 있다. 나노기술 개발촉진법 (2조 1항)은 나노기술을 “물질을 나노미터 크기의 범주에서 조작·분석하고 이를 제어함으로써 새롭거나 개선된 물리적, 화학적, 생물학적 특성을 나타내는 소재 소자 또는 시스템(이하 “소재 등” 이라 한다)을 만들어 내는 과학기술” 그리고 “소재 등을 나노미터 크기의 범주에서 미세하게 가공하는 과학기술” 로 정의하고 있다.

미국은 21세기 나노기술연구개발법(21st Century Nanotechnology Research and Development Act, 10조 2항)에서 우리나라와 유사한 정의를 두고 있는 데, “나노기술이라는 용어는 근본적으로 새로운 분자조직, 물성 및 기능을 갖는 재료, 소자 및 시스템을 창출할 목적으로 원자, 분자 및 초분자 수준에서 이해, 측정, 조작 및 제조할 수 있도록 해주는 과학과 기술을 의미한다.” 고 규정하고 있다. 즉, 나노기술은 나노미터 스케일에서 나타나는 새로운 물질의 성질과 원리를 이용하여 새로운 기능을 만드는 과학과 기술로 규정되어 있다.¹⁶⁾

이처럼 나노기술은 기반기술로서의 성질상 나노기술 그 자체나 나노기술에 의해 창출된 기능, 성질, 구조 등이 그대로 제품이 되는 경우도 있지만, 그 기능, 성질을 응용한 제품 및 그 것들의 제품을 조합한 응용제품과 더불어 응용범위가 연쇄적으로 확대되어 많은 제품에 이용되고 있다. 미국 국가 나노기술개발전략(NND)에서는 전자/통신, 재료/제조, 의료, 생명공학, 환경/에너지, 국방, 항공우주 등의 나노기술의 응용분야를 다음의 <표 3-1>과 같이 제시하고 있다.

15) 박명수 외(2006)의 나노인력양성을 위한 인프라 구축방안을 참고하여 정리

16) 나노기술의 정의는 기술적, 경제적, 전략적 목적에 따라 국가마다 포괄하는 범위가 조금씩 다른 특성을 보이고 있으며, 나노기술 연구계에서는 나노 스케일을 보다 명문화시킨 세분화된 나노기술 정의를 활용하고 있다. 미국 국가나노기술전략(National Nanotechnology Initiative, NNI)에서는 나노기술시스템은 크기가 대략 1~100 nm인 구성요소를 반드시 포함해야 하며, 물체의 크기로 인하여 재료나 시스템이 독특한 기능을 가져야 하며, 나노수준에서 발현되는 효과(effect)를 제어할 수 있는 능력이 있어야 하는 것으로 간주하고 있다¹⁾. 이러한 NNI의 나노기술 정의는 국제적으로 널리 통용되고 있지만, 최근 국내에서는 나노기술의 범위를 보다 확장해야 한다는 의견이 형성되고 있다. 나노스케일을 0.1 nm ~100 nm로 확대하려는 것인데, 이는 나노기술의 진보에 따라 직경이 1 nm 이하의 단일벽 탄소나노튜브(Single Wall Carbon Nanotube)가 등장하고 있기 때문이다.

<표 3-1> 나노기술의 응용분야

분야	내용
전자/통신	<ul style="list-style-type: none"> · 낮은 전력소모, 저 생산비용을 갖고 백만 배 이상의 성능을 갖는 나노 구조의 마이크로프로세서 소자 · 10배 이상의 대역폭과 높은 전달속도를 갖는 통신 시스템 · 현재보다 용량이 수천 배 크고 크기는 작은 대용량 정보저장장치 · 대용량 정보를 수집 처리하는 집적화된 나노센서시스템 · 정보저장, 메모리반도체, 포켓사이즈 슈퍼 로봇
재료/제조	<ul style="list-style-type: none"> · 기계가공하지 않고 정확한 모양을 갖는 나노구조 금속 및 세라믹 · 분자단위에서 설계된 고강도의 소재, 고성능의 촉매 · 뛰어난 색감을 갖는 나노입자를 이용한 인쇄 · 나노크기를 측정할 수 있는 새로운 표준 · 절삭공구나 전기적, 화학적, 구조적 응용을 위한 나노코팅
의료	<ul style="list-style-type: none"> · 진단학과 치료학의 혁명을 가능하게 하는 빠르고 효과적인 염기서열 분석 · 원격진료 및 생체이식소자를 이용한 효과적이고 저렴한 보건치료 · 나노구조물을 통한 새로운 약물전달 시스템 · 내구성 및 생체친화력이 있는 인공기관 · 인체의 질병을 진단, 예방할 수 있는 나노센싱 시스템
생명공학	<ul style="list-style-type: none"> · 하이브리드 시스템의 합성피부, 유전자 분석/조작 · 분자공학으로 제작된 생화학적으로 분해 가능한 화학물질 · 동식물의 유전자 개선 · 동물에의 유전자와 약물공급 · 나노배열 기반 분석기술을 이용한 DNA 분석
환경/에너지	<ul style="list-style-type: none"> · 새로운 배터리, 청정연료의 광합성, 양자태양전지 · 나노미터 크기의 다공질 촉매제 · 극미세 오염물질을 제거할 수 있는 다공질 물질 · 자동차산업에서 금속을 대체할 나노 입자 강화 폴리머 · 무기물질, 폴리머의 나노입자를 이용한 내마모성, 친환경성 타이어
국방	<ul style="list-style-type: none"> · 무기체계의 변화(소형, 고속, 장거리 이동) · 무인 원격무기(무인 잠수함, 무인 전투기, 원격센서시스템) · 은폐(Stealth) 무기
항공우주	<ul style="list-style-type: none"> · 저 전력, 항 방사능을 갖는 고성능 컴퓨터 · 마이크로 우주선을 위한 나노기기 · 나노구조 센서, 나노전자공학을 이용한 항공 전자공학 · 내열, 내마모성을 갖는 나노코팅

자료: 한국과학기술정보연구원(2008), 『나노기술연감 2007』.

이러한 나노기술이 기반기술과 응용기술로서의 역할을 수행하기 위해서는 과학자 및 기술자를 필요로 한다. <표 3-1>에서 알 수 있듯이, 나노기술이 기존의 기술 분야(물리, 화학, 재료, 전자, 생물 등)를 횡적으로 연결하는 학문간 경계를 뛰어넘는 학제 간(Interdisciplinary)연구이지만, 각각의 과학기술이 갖는 상이한 용어, 문화, 분석틀로서 자연계를 바라보는 독특한 시각이 필요하다. 따라서 나노기술인력은 다양한 관련 과학기술 부문에 걸친 의사소통 능력이 요구되고 효율적인 의사소통을

원활히 할 수 있도록 한 훈련분야 이상에 대해 충분한 이해력을 갖는 것이 필요하다.

2. 나노기술인력의 특징

가. 多학문적 관점에서의 나노기술인력

나노기술은 나노미터 수준에서 물질을 제어하는 과학기술이다. 따라서 나노기술이 새롭게 탄생한 독립된 분야라기보다는 나노규모에서 이루어지는 모든 과학, 공학, 기술이라고 하는 것이 더 적절하다. 나노기술인력의 정의와 분류도 이러한 특성을 반영하여 특정한 한 분야가 아니라 물리, 생물, 화학, 재료, 전자, 의학 등 거의 전 이공계 분야에 새로운 적용이 필요하다.

[그림 3-1] 나노기술의 다학문적 성격

		Industry application						
		Materials and manufacturing	Medicine and health	Elec. And computing	Transportation and defense	Environment and energy	Biotech and agriculture	Other
Technology platform	Nanotools	* Modeling and simulation		* Characterization/metrology		* AFM,MFAM	* Haptics	* Nanomanipulation
	Nanomaterials	* Nanoparticles	* Nanoporous materials		* Dendriners	* Nanocapsules	* Nanotubes	* Thin films
	Nanostructures	* NEMs	* Nanomagnetic	* Molecular electronics		* Nanofluidics		* Nanophotonics
	Processes	* Chemical synthesis	* Lithography	* Integration	* Mechanoynthesis		* Assembly(self-directed)	

나노기술은 다른 첨단기술과 병행하는 기술이 아니라 모든 기술발전의 근간이 되는 기반적인 성격의 과학기술이다. 그러므로 나노기술은 나노규모에서 이루어지는 모든 과학, 공학, 기술이라고 할 수 있다. 예를 들어, 나노기술의 연구 분야를 ‘물리’, ‘화학’, ‘생물’로 분류하고 연구대상을 한정하는 것은 다양한 분야에서의 응용 및 결합을 확대할 수 있는 범위를 축소하는 것을 의미한다. 실질적으로 나노기술의 활용은 세 개의 학문영역을 모두 포괄할 수 있다. 따라서 나노기술의 연구특성은 기존의 학문분야를 도외시하는 것이 아니라 기존 학문과의 융합과 확산을 통해 각 학문영역이 갖고 있는 한계를 극복하는 매개체적 성격이 강하다고 볼 수 있다. 즉 나노기술은 학문의 구분을 조준하며 각 학문 분야를 관통하는 횡단성이 강한 과학기술이다. 이처럼 특정 전공분야가 아니라

다루는 물질의 크기에 따라 나노기술인력이 새롭게 정의될 수 있다. 이러한 나노기술인력은 이공계에 많이 분포되어 있으며, 다양한 전공분야의 성과가 복합적으로 이루어져야 하는 다문학적 성격을 갖는다.

나. 학제적 관점에서의 나노기술인력

나노기술은 ‘물리’, ‘화학’, ‘생물’ 분야에서 다루는 원리와 공통분모를 갖고 있다. 각각의 학문분야는 서로 다른 분야에 속한 독립적인 연구로 보이지만 연구대상의 관찰 및 조작하는 방식은 나노기술의 접근영역에서 모두 발생하고 있다. 이러한 서로 다른 학문분야의 연구가 융합하는 ‘기반’을 나노기술이 제공하고, 이것이 새로운 기술의 출현을 촉진할 수 있다. 따라서 나노기술은 학제 간 또는 다학제적 성격을 갖는다. 그러므로 나노기술인력은 효율적인 의사소통을 원활히 할 수 있도록 타 연구 분야에 대한 충분한 이해가 필요하고, 인접 과학기술분야에 대한 의사소통 능력이 요구된다. 또한 나노기술인력은 자기 학문분야에 대한 지식뿐만 아니라 타 학문분야에 대한 이해 및 활용하는 것이 특징이다.

연구자들은 활용 물질에 대해 정확히 파악한 후 연구해야 하기 때문에 화학, 무리, 생물, 전자공학 등 나노기술과 관련된 인접 학문분야의 전문가와 협업을 통해 다양한 관점에서 복합적인 연구가 수행되어야 한다. 따라서 고등교육분야에서 나노기술인력을 양성하기 위해서는 학과구성이나 교과 과정이 ‘횡적’으로 연관된 학제적 편제가 필요하다. 기초과학의 폭넓은 이해를 기초로 하는 학제적 교육과정은 기술과학, 정보과학과 연관되어 있으며, 나노기술의 습득에 필수적인 과정이다. 예를 들어, 기초입문과정은 DNA, RNA, 단백질 합성, 유전공학, 분자화학, 재조합 DNA기술, 세포 생물학, 물리학 등이다. 나노기술은 화학, 물리, 생명, 소재 등 타 학문분야의 지식과 결합하여 새로운 융합 기술을 창출하고 있다. 이러한 특성은 기존의 교육 및 연구개발체제를 충분히 변화시킬 만한 파괴력을 갖고 있다. 이러한 나노기술의 특성을 효과적으로 활용하기 위해서는 산학연 연계를 통한 적극적인 아웃소싱의 연구개발 전략이 요구된다.

다. R&D와 산업화 관점에서의 나노기술인력

나노기술은 산업의 각 분야에서 새로운 핵심기술로 부상하면서 모든 산업분야에서 응용되고 있다. 특히, 기초연구의 성과가 산업창출과 연결된다는 것이 특징이다. 따라서 나노기술인력은 연구개발뿐만 아니라 상업화를 연계시키는 능력을 갖추어야 하며, 이러한 나노기술인력의 역량을 확대하기 위해서는 대학·연구소·기업 간 구축된 기술 분야의 경계를 극복하여 상호 간 인력교류를 활성화할 필요가 있다.

예를 들어, 반도체 소자에 사용되는 실리콘 기술과 바이오기술을 융합하여 나노소자와 바이오센

서를 구현할 경우, 나노펩, 정보공학, 분자기계, 센서공학, 컴퓨터 사이언스, 바이오 의료, 바이오, 물리, 응용물리 등 다양한 전공분야의 연구자가 참여하며 개발된 기술을 활용하는 후원기업은 바이오, 의료, 반도체, 정보, 의약, 가정용품, 전자, 통신, 헬스케어, 영상시스템, 컴퓨터, 컴퓨터 소프트웨어, 완구, 신용카드, 시계 등 전 산업분야를 포괄한다.

[그림 3-2] R&D와 산업화 관계

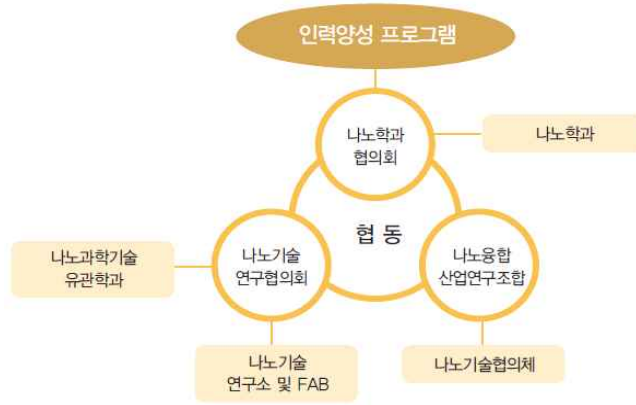


제 2 절 나노기술인력 양성현황¹⁷⁾

현재 우리나라의 나노분야 인력양성 추진체계는 나노과학기술을 전문으로 교육하는 나노학과와 집합체인 나노학과협의회를 중심으로 다양한 나노 과학기술 전문 인력 양성 프로그램을 시행하고 있다. 나노학과협의회는 국내 나노 과학기술 전문 인력 양성의 주체로서, 나노학과를 중심으로 나노 기술 유관학과와 함께 나노기술연구협의회, 나노융합기술연구조합 등의 행정기구를 정책적으로 지원하며, 관련 산업체 및 연구소와 협동으로 국내 나노과학기술 전문 인력 양성 프로그램을 시행하고 있다. 전국 나노 관련학과에서 나노과학기술을 중점적으로 교육하여 나노과학기술 분야의 일반적인 전문 인력을 중장기적으로 양성하고 있다. 단기적으로는 나노기술 전문 펍과 학연 공동으로 특화된 나노기술 전문 인력을 양성하고 있다. 또한 나노기술관련 사회인식 제고와 저변확대를 위하여 나노학과 협의회, 나노기술연구협의회 및 나노융합기술연구조합 주도로 다양한 홍보 프로그램을 개발하고 시행하고 있다.

17) 2011년도 나노기술연감의 일부 내용을 참고하여 정리

[그림 3-3] 우리나라 나노기술분야 인력양성체계



자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

1. 정부출연 연구기관

나노 관련 정부출연 연구기관의 수는 총 47개 기관으로 나타났으며, 박사 540명, 박사과정 182명, 석·박사 통합과정 5명, 석사 245명, 석사과정 292명, 학사 145명, 기타 34명으로 약 1,143명이 정부출연 연구기관에서 나노관련 근무를 수행하고 있는 것으로 나타났다.

기관현황과 인력 현황을 기술 분야, 산업분야로 나누어 살펴보면, 기술 분야에서는 나노소재와 관련된 연구를 진행하는 기관의 비중이 높았으며, 1,001명이 나노소재 관련 연구 및 업무를 수행하는 것으로 나타났다.

산업분야에서는 역시 소재 산업과 관련된 연구를 진행하는 기관의 비중이 23.76%로 가장 높게 나타났으며, 신재생에너지가 21.78%로 그 뒤를 잇는 것으로 나타났다. 소재산업, 신재생에너지 산업과 관련된 연구 및 업무를 수행하는 인력은 각각 788명, 741명으로 조사되었다.

<표 3-2> 정부출연 연구기관 전체 현황

	기관현황			인력현황								
	기관수	중·복합 대비비율 (C/B)	중·복합 대비비율 (C/A)	박사	박사 과정	석·박사 통합과정	석사	석사 과정	학사	기타	계	
전체(A)	47	100.00%		540	182	5	245	292	145	34	1,443	
기술분야	나노소재(C)	17	19.10%	36.17%	246	90	1	110	117	50	3	617
	나노바이오(C)	12	13.48%	25.53%	196	69	2	80	91	46	13	497
	나노에너지환경(C)	18	20.22%	38.30%	237	90	4	111	164	50	14	670
	나노소재(C)	30	33.71%	63.83%	354	117	4	161	232	107	26	1,001
	나노공정측정장비(C)	12	13.48%	25.53%	151	53	1	59	77	51	10	402
	기술분야 중복합(B)	89		189.40%	1,184	419	12	521	681	304	66	3,187
산업분야	반도체(C)	17	16.83%	36.17%	192	94	3	75	121	57	4	546
	디스플레이(C)	14	13.86%	29.79%	143	38	1	83	90	47	4	406
	이동통신기기(C)	4	3.96%	8.51%	29	10	0	15	28	1	3	86
	자동차(C)	5	4.95%	10.64%	50	1	0	39	20	6	0	116
	기계(C)	3	2.97%	6.38%	32	5	0	10	6	13	0	66
	소재(C)	24	23.76%	51.06%	291	109	4	123	185	62	14	788
	신재생에너지(C)	22	21.78%	46.81%	268	91	4	137	170	59	12	741
	의약바이오(C)	10	9.90%	21.28%	130	48	1	67	41	48	4	339
	소비재(C)	2	1.98%	4.26%	10	4	0	6	2	15	0	37
	산업분야 중복합(B)	101	-	214.90%	1,145	400	13	555	663	308	41	3,125

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

국내 정부출연연구소의 나노기술연구는 한국과학기술연구원(KIST)을 비롯한 20개 기관에서 수행하고 있다. 이들 20개 정부출연(연)에는 현재 50개 나노기술 연구부서(사업단, 센터, 팀)가 설치되어 있으며, 약 1,450여명의 인력이 연구개발에 참여하고 있다. 주요 연구 분야는 나노소재, 나노에너지·환경, 나노소자 등이다.

연구기관별로 연구조직수가 제일 많은 기관은 한국과학기술연구원(KIST)이며 다음으로 한국표준과학연구원(KRISS), 한국화학연구원(KRICT), 한국기계연구원 (KIMM), 한국기초과학지원연구원, 한국전기연구원 순으로 나타났다. 비정규직 연구원을 포함하여 석사 이상의 연구 인력은 972명이며, 박사 이상의 고급인력은 540명으로 집계되었다. 또한 연구 장비 운영 등 기술 인력을 포함하면, 모두 1,443명의 연구자가 정부출연(연)에서 나노기술 연구개발에 종사하는 것으로 나타났다.

기관별로는 한국과학기술연구원(KIST)이 409명의 연구 인력을 보유하여 정부출연(연) 중에서 국내

최다의 나노기술 연구 인력을 보유하고 있는 것으로 나타났다. 다음으로는 한국표준과학연구원이 218명, 한국화학연구원(KRICT)이 167명으로 나타났다.

<표 3-3> 연구기관별 나노기술 연구인력 분포

연구기관명	박사	박사 과정	석·박사 통합 과정	석사	석사 과정	학사	기타	합계
국가핵융합연구소	72	17	0	34	30	14	0	167
국방과학연구소	104	44	2	19	27	15	7	218
대구경북과학기술원	7	1	1	1	1	1	3	15
안전성평가연구소	15	2	0	8	0	1	0	26
전자부품연구원	18	2	0	20	5	2	0	47
한국건설생활환경시험연구원	7	3	0	8	2	1	0	21
한국과학기술연구원	6	0	0	2	1	4	0	13
한국기계연구원	7	3	0	3	12	2	1	28
한국기계연구원부설재료연구소	13	2	0	12	4	7	2	40
한국기초과학지원연구원	14	6	1	12	7	6	0	46
한국생명공학연구원	35	2	0	19	12	10	0	78
한국생산기술연구원	28	1	0	9	20	4	2	64
한국세라믹기술원	27	9	0	11	12	5	0	64
한국식품연구원	97	73	0	35	143	42	19	409
한국원자력연구원	4	4	0	4	1	11	0	24
한국전기연구원	11	5	0	11	11	4	0	42
한국전자통신연구원	5	1	0	6	0	1	0	13
한국지질자원연구원	18	2	0	15	4	3	0	42
한국표준과학연구원	35	3	0	1	0	1	0	40
한국화학연구원	17	2	1	15	0	11	0	46
합계	540	182	5	245	292	145	34	1,443

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

2. 대학학과

나노 관련 대학학과의 수는 총 74개 학과로 나타났으며, 교수는 950명(전임 528명, 겸임 422명), 학생은 10,717명(학부생 8,876, 석사과정 1,078, 박사과정 458명, 석·박사 통합과정 305명)이 대학에서 나노관련 연구 및 수업을 수행하고 있는 것으로 나타났다. 학과 현황, 교수현황, 학생현황을 기술 분야, 산업분야로 나누어 살펴보면, 기술 분야에서는 나노소재와 관련된 연구를 진행하는 학과의 비중은 28.2%로 가장 높았으며, 9,670명이 나노소재 관련 연구 및 수업을 진행하는 것으로 나타났

다. 산업분야에서는 반도체 산업, 소재 산업과 관련된 연구를 진행하는 학과의 비중이 각각 20.3%, 19.5%로 높게 나타났다. 반도체 산업, 소재 산업과 관련된 연구 및 수업을 수행하는 교수는 각각 658명, 601명, 학생수는 각각 6,839명, 7,209명으로 조사되었다.

<표 3-4> 대학학과 전체 현황

	기관현황			인력현황								
	기관 수	중·복합 대비비율 (C/B)	중·복합 대비비율 (C/A)	박사	박사 과정	석·박사 통합 과정	석사	석사 과정	학사	기타	계	
전체(A)	74	100.00%	-	528	422	950	8,876	1,078	458	305	10,717	
기술분야	나노소재(C)	47	23.30%	63.50%	361	287	648	6,332	771	309	219	7,631
	나노바이오(C)	39	19.30%	52.70%	327	234	561	4,604	534	248	189	5,575
	나노에너지환경(C)	28	13.90%	37.80%	252	153	405	4,369	314	135	165	4,983
	나노소재(C)	57	28.20%	77.00%	434	278	712	8,173	889	363	245	9,670
	나노공정측정장비(C)	31	15.30%	41.90%	218	255	473	3,541	480	240	177	4,438
	기술분야 중복합(B)	202	-	273.00%	1,592	1,207	2,799	27,019	2,988	1,295	995	32,297
산업분야	반도체(C)	47	20.30%	63.50%	347	311	658	5,461	816	324	238	6,839
	디스플레이(C)	42	18.20%	56.80%	347	251	598	5,423	750	279	203	6,655
	이동통신기기(C)	12	5.20%	16.20%	126	81	207	1,713	177	97	121	2,108
	자동차(C)	13	5.60%	17.60%	129	11	140	1,903	156	62	65	2,186
	기계(C)	17	7.40%	23.00%	147	94	241	1,681	281	158	113	2,233
	소재(C)	45	19.50%	60.80%	316	285	601	5,934	790	295	190	7,209
	신재생에너지(C)	26	11.30%	35.10%	202	174	376	3,921	366	103	85	4,475
	의약바이오(C)	24	10.40%	32.40%	192	181	373	2,215	463	207	96	2,981
	소비재(C)	5	2.20%	6.80%	35	31	66	640	133	30	5	808
	산업분야 중복합(B)	231	-	312.20%	1,841	1,419	3,260	28,891	3,932	1,555	1,116	35,494

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

나노관련 개설학과에는 10,717명의 학생이 재학 중인 것으로 나타났으며, 학부생이 8,876명(82.82%)으로 대다수를 차지하였고, 석사과정은 1,078명(10.06%), 박사과정은 458명(4.27%), 통합과정은 305명(2.85%)으로 나타났다. 학부학생은 한국산업기술대학교(763명), 금오공과대학교(727명), 부산대학교(671명), 세종대학교(580명), 경상대학교(571명), 울산과학기술대학교(567명), 인하대학교(526명), 국민대학교(461명), 영남대학교(343명), 인제대학교(319명)에서 300명 이상의 학생이 나노기술 교육과

정을 이수중인 것으로 나타났으며, 대학원 석·박사 과정에서는 전북대학교(158명), 한양대학교(140명), 부산대학교(126명), 성균관대학교(118명), 서울과학기술대학교(103명)에서 100명 이상의 학생이 나노기술 교육과정을 이수중인 것으로 나타났다.

<표 3-5> 나노관련학과 학생현황(1)

대학명	학부	석사과정	박사과정	석·박사 통합과정	합계
가천대학교(경원대학교)	185	11	0	0	196
건국대학교	184	2	0	0	186
건양대학교	162	0	0	0	162
경남대학교	127	6	2	0	135
경북대학교	100	1	2	0	103
경상대학교	571	62	21	2	656
고려대학교	0	27	11	5	43
공주대학교	76	0	0	0	76
과학기술연합대학원대학교	0	57	31	7	95
광주과학기술원	0	35	23	3	61
국민대학교	461	38	12	4	515
군산대학교	123	3	1	0	127
금오공과대학교	727	27	3	0	757
단국대학교	77	45	26	9	157
동국대학교	133	10	1	0	144
동아대학교	0	4	4	1	9
동의대학교	183	16	2	0	201
명지대학교	0	13	5	1	19
목원대학교	24	0	0	0	24
배재대학교	77	0	0	0	77
부산대학교	671	64	48	14	797
서경대학교	0	4	2	0	6
서울과학기술대학교	0	76	27	0	103
서울대학교	0	14	10	23	47
서울시립대학교	0	10	2	0	12
선문대학교	0	2	2	0	4
성균관대학교	0	29	39	50	118
세종대학교	580	46	6	5	637
숙명여자대학교	66	0	0	0	66
순천향대학교	200	0	0	11	211

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

<표 3-6> 나노관련학과 학생현황(2)

대학명	학부	석사과정	박사과정	석·박사 통합과정	합계
순천향대학교	200	0	0	11	211
연세대학교	0	10	19	0	29
영남대학교	343	0	0	0	343
울산과학기술대학교	567	11	8	41	627
원광대학교	184	17	5	0	206
이화여자대학교	0	47	15	37	99
인제대학교	319	30	2	0	351
인천대학교	66	0	0	0	66
인하대학교	526	67	22	9	624
전남대학교	0	2	1	0	3
전북대학교	248	116	37	5	406
전주대학교	88	0	0	0	88
중앙대학교	130	11	1	0	142
창원대학교	109	23	9	0	141
충남대학교	204	33	5	0	242
충주대학교	297	0	0	0	297
한국과학기술원	0	2	1	32	35
한국산업기술대학교	763	48	9	0	820
한국해양대학교	126	0	0	0	126
한남대학교	179	7	2	0	188
한양대학교	0	52	42	46	140
총합	8,876	1,078	458	305	10,717

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

나노관련 개설대학 교수진의 인적현황은 전임과 겸임로 구분하였는데, 총 950명의 교수진이 재직 중인 것으로 조사되었다(전임 528명, 겸임 422명). 50개 대학 중에서 전임교수를 두고 있는 대학교는 45개 대학교로, 거의 모든 대학교가 전임교수를 두고 있으며, 5개 대학교(고려대학교, 동아대학교, 명지대학교, 전남대학교, 한양대학교)는 전임교수 없이 겸임교수만으로 운영 중인 것으로 나타났다. 겸임교수를 두고 있는 대학교는 총 26개 대학교로 총 21개 대학교에서 전임교수와 겸임교수가 같이 재직 중인 것으로 나타났다. 또한, 5개 대학교(경북대학교, 성균관대학교, 과학기술연합대학원대학교, 전북대학교, 광주과학기술원)에서는 전임교수보다 겸임교수의 비율이 훨씬 높게 나타났다.

<표 3-7> 나노관련학과 교수진 현황(1)

대학명	전임교수	겸임교수
가천대학교(경원대학교)	15	0
건국대학교	8	0

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

<표 3-8> 나노관련학과 교수진 현황(2)

대학명	전임교수	겸임교수
건양대학교	4	2
경남대학교	9	1
경북대학교	5	45
경상대학교	23	14
고려대학교	0	31
공주대학교	5	0
과학기술연합대학원대학교	21	88
광주과학기술원	9	18
국민대학교	21	1
군산대학교	6	0
금오공과대학교	17	1
단국대학교	8	0
동국대학교	4	0
동아대학교	0	18
동의대학교	7	0
명지대학교	0	7
목원대학교	3	0
배재대학교	4	1
부산대학교	57	6
서경대학교	10	0
서울과학기술대학교	4	2
서울대학교	8	11
서울시립대학교	3	0
신문대학교	7	0
성균관대학교	4	23
세종대학교	15	0
숙명여자대학교	5	0
순천향대학교	5	0
연세대학교	24	0
영남대학교	7	0
울산과학기술대학교	28	13
원광대학교	9	1
이화여자대학교	30	0
인제대학교	28	14
인천대학교	3	0
인하대학교	14	1
전남대학교	0	22
전북대학교	16	40
전주대학교	5	0
중앙대학교	6	7
창원대학교	12	0
충남대학교	9	0
충주대학교	8	0
한국과학기술원	21	0
한국산업기술	10	5
한국해양대학교	5	3
한남대학교	6	0
한양대학교	0	47

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

3. 대학연구실

나노 관련 대학연구실의 수는 총 469개 연구실로 나타났으며, 박사 1,047명, 박사과정 1,717명, 석·박사통합과정 1,159명, 석사 341명, 석사과정 2,107명, 학사 416명, 기타 268명으로 약 7,055명이 대학연구실에서 나노관련 연구를 수행하고 있는 것으로 나타났다. 연구실 현황과 인력 현황을 기술 분야, 산업분야로 나누어 살펴보면, 기술 분야에서는 나노소재와 관련된 연구를 진행하는 기관이 비중은 31.45%로 가장 높았으며, 4,579명이 나노소재 관련 연구를 수행하는 것으로 나타났다. 산업분야에서는 역시 소재 산업과 관련된 연구를 진행하는 기관의 비중이 25.27%로 가장 높게 나타났으며, 반도체가 21.44%로 그 뒤를 잇는 것으로 나타났다. 소재산업, 반도체산업과 관련된 연구를 수행하는 대학연구실 연구 인력은 각각 3,463명, 3,370명으로 조사되었다.

<표 3-9> 대학연구실 전체 현황

	기관현황			인력현황								
	기관수	중·복합 대비비율 (C/B)	중·복합 대비비율 (C/A)	박사	박사 과정	석·박사 통합과정	석사	석사 과정	학사	기타	계	
전체(A)	469	100.00%	-	1,047	1,717	1,159	341	2,107	416	268	7,055	
기술분야	나노소재(C)	217	23.13%	46.27%	717	963	624	235	1,163	206	189	4,097
	나노바이오(C)	160	17.06%	34.12%	448	625	492	181	746	189	111	2,792
	나노에너지환경(C)	105	11.19%	22.39%	220	423	436	93	471	77	48	1,768
	나노소재(C)	295	31.45%	62.90%	664	1,099	766	187	1,521	232	110	4,579
	나노공정측정장비(C)	161	17.16%	34.33%	366	672	429	147	794	158	116	2,682
	기술분야 중복합(B)	938	-	200.00%	2,415	3,782	2,747	843	4,695	862	574	15,918
산업분야	반도체(C)	202	21.44%	43.07%	534	842	553	161	1,000	145	135	3,370
	디스플레이(C)	127	13.48%	27.08%	312	560	413	132	625	85	72	2,199
	이동통신기기(C)	29	3.08%	6.18%	96	191	122	21	151	22	12	615
	자동차(C)	34	3.61%	7.25%	85	114	77	6	146	32	15	475
	기계(C)	38	4.03%	8.10%	103	151	124	70	159	87	16	710
	소재(C)	238	25.27%	50.75%	475	883	622	178	1,017	191	97	3,463
	신재생에너지(C)	151	16.03%	32.20%	408	541	409	123	681	137	64	2,363
	의약바이오(C)	117	12.42%	24.95%	267	402	348	115	448	138	99	1,817
	소비재(C)	6	0.64%	1.28%	74	15	9	63	21	59	11	252
	산업분야 중복합(B)	942	-	200.90%	2,354	3,699	2,677	869	4,248	896	521	15,264

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

나노기술관련 대학 연구기관은 전국 51개 대학에서 469개의 연구실 및 센터가 운영 중인 것으로 집계되었다. 대학별로는 한국과학기술원(KAIST) 47개, 서울대학교 43개, 한양대학교 41개, 포항공과대학교 40개, 연세대학교 34개, 광주과학기술원 28개, 성균관대학교 26개, 이화여자대학교 24개, 고려대학교 24개 등으로 조사되었다.

전체 연구인력 중 석·박사 통합과정 이상의 학력을 지닌 연구 인력의 규모는 3,937명이었으며, 석사 및 석사과정의 학력을 지닌 연구원은 2,457명으로 집계되었다. 또한, 학사 및 기타 학력을 소지한 인력의 규모는 684명으로, 총 7,078명의 연구자가 대학 연구실에서 나노기술 연구개발에 종사하는 것으로 집계되었다.

대학별로는 한국과학기술원이 768명(석·박사 통합과정 이상 507명)으로 가장 많은 연구 인력을 보유하고 있으며, 한양대학교가 785명(석·박사 통합과정 이상 507명)으로 가장 많은 연구 인력을 보유하고 있으며, 포항공과대학교 659명(석·박사 통합과정 이상 494명), 한양대학교 617명(석·박사 통합과정 이상 340명), 서울대학교 581명(석·박사 통합과정 이상 377명), 성균관대학교 534명(석·박사 통합과정 이상 313명), 연세대학교 526명(석·박사 통합과정 이상 302명), 광주과학기술원 479명(석·박사 통합과정 이상 301명), 고려대학교 377명(석·박사 통합과정 이상 207명) 순으로 조사되었다.

<표 3-10> 연구실별 연구인력현황(1)

연구기관명	박사	박사과정	석·박사 통합과정	석사	석사과정	학사	기타	합계
한국과학기술원	137	266	104	80	107	55	19	768
포항공과대학교	100	146	248	50	91	15	9	659
한양대학교	67	163	110	24	179	19	55	617
서울대학교	64	160	153	15	170	11	8	581
성균관대학교	56	123	134	3	196	9	13	534
연세대학교	54	96	152	29	171	20	4	526
광주과학기술원	102	165	34	40	114	18	6	479
고려대학교	31	112	64	3	151	14	2	377
이주대학교	52	81	29	0	149	2	7	320
서강대학교	32	62	28	12	59	13	52	258
충남대학교	23	62	0	13	93	45	2	238
이화여자대학교	66	50	24	8	59	8	5	220
국민대학교	15	46	26	5	80	10	1	183
부산대학교	32	33	13	8	67	12	14	179
인제대학교	19	12	0	10	79	33	10	163
세종대학교	4	13	2	9	51	15	17	111
영남대학교	69	2	0	0	9	4	0	84
동국대학교	18	7	1	0	37	1	1	65
숙명여자대학교	34	11	0	0	13	0	0	58
인하대학교	4	15	3	3	17	3	1	46
한남대학교	3	9	0	0	13	20	1	46

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

<표 3-11> 연구실별 연구인력 현황(2)

연구기관명	박사	박사과정	석·박사 통합과정	석사	석사과정	학사	기타	합계
동의대학교	1	1	1	0	20	20	0	43
강원대학교	3	10	6	0	15	6	2	42
경북대학교	1	11	13	0	15	0	0	40
건국대학교	4	11	6	0	15	3	0	39
경상대학교	2	4	3	2	17	6	1	35
서울시립대학교	6	5	0	10	3	0	4	28
울산대학교	2	5	1	0	6	5	6	25
전북대학교	23	0	0	0	0	1	1	25
경남대학교	2	2	0	2	6	5	7	24
순천향대학교	5	0	0	0	10	0	9	24
항공대학교	1	7	0	0	11	3	0	22
명지대학교	0	3	0	0	18	0	0	21
서울과학기술대학교	0	1	0	3	5	11	0	20
한밭대학교	3	0	0	2	9	6	0	20
전남대학교	1	2	0	2	8	2	4	19
경희대학교	4	6	2	0	6	0	0	18
동아대학교	3	4	1	0	7	2	1	18
공주대학교	2	2	0	0	6	0	5	15
부경대학교	0	0	2	0	4	5	0	11
삼육대학교	0	2	0	3	2	3	0	10
광운대학교	2	1	0	0	6	0	0	9
한국외대학교	1	2	0	0	4	1	1	9
조선대학교	0	3	0	1	3	1	0	8
충북대학교	1	2	0	2	3	0	0	8
상명대학교	0	1	0	0	2	4	0	7
중앙대학교	1	3	0	0	3	0	0	7
강릉대학교	0	0	0	0	2	4	0	6
한림대학교	3	0	0	2	0	0	0	5
금오공대학교	0	0	0	0	4	0	0	4
대불대학교	0	1	1	1	0	1	0	4
합계	1053	1723	1161	342	2115	416	268	7,078

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

4. 나노기술기업

나노기술 관련 기업의 수는 총 422개 기업으로 나타났으며, 규모별로는 50인 이하가 256개 기업으로 가장 높게 나타났으며, 51인 이상~100인 이하가 44개 기업, 101인 이상~300인 이하가 63개 기업, 301명 이상 대기기업이 59개로 나타났다. 이를 통해 살펴볼 때 약 86.02%의 기업이 중소기업으로 파악되었다. 나노기술 관련 기업 현황을 기술 분야, 산업분야로 나누어 살펴보면, 기술 분야에서는 역시 나노소재와 관련된 나노기술 기업의 비중이 39.61%로 가장 높았으며, 나노공정 측정 장비(20.98%), 나노바이오(13.14%) 순으로 나타났다. 산업분야에서도 역시소재 산업과 관련된 나노기술 기업의 비중이 26.28%로 가장 높게 나타났으며, 반도체, 디스플레이 관련 나노기술 기업의 비중이 13.59%, 13.36%로 나타났다.

<표 3-12> 나노기술기업의 현황

	기관현황			인력현황					
	기업수	중·복합 대비비율 (CB)	중·복합 대비비율 (CA)	1-50명	51-10명	101-300명	300명 이상	합계	
전체(A)	422	100.00%	-	256	44	63	59	422	
기술분야	나노소재(C)	53	10.39%	12.56%	30	9	7	7	53
	나노바이오(C)	67	13.14%	15.88%	43	9	11	4	67
	나노에너지환경(C)	62	12.16%	14.69%	39	6	6	11	62
	나노소재(C)	202	39.61%	47.87%	122	21	26	33	202
	나노공정측정장비(C)	107	20.98%	25.36%	76	7	17	7	107
	기술분야 중복합(B)	19	3.73%	4.50%	13	2	3	1	19
산업분야	반도체(C)	510	-	120.85%	323	54	70	63	510
	디스플레이(C)	61	13.59%	14.45%	42	5	4	10	61
	이동통신기기(C)	60	13.36%	14.22%	35	5	10	10	60
	자동차(C)	25	5.57%	5.92%	14	4	4	3	25
	기계(C)	33	7.35%	7.82%	19	3	7	4	33
	소재(C)	33	7.35%	7.82%	26	2	4	1	33
	신재생에너지(C)	118	26.28%	27.96%	74	12	11	21	118
	의약바이오(C)	47	10.47%	11.14%	28	4	9	6	47
	소비재(C)	50	11.14%	11.85%	31	8	8	3	50
	산업분야 중복합(B)	22	4.90%	5.21%	15	4	2	1	22

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

국내 나노기업의 주된 나노기술 분야는 나노소재(39.6%)와 나노공정·측정장비(21.0%)인 것으로 집계되었다. 다음으로는 나노바이오(13.1%), 나노에너지·환경(12.2%), 나노소자(10.4%), 기타(3.7%) 순이었다. 대기업은 나노소재 관련연구에 주력하고 있으며, 종업원수 50인 이하의 중소기업은 나노소재, 나노공정·측정·장비 관련 기업이 많았다.

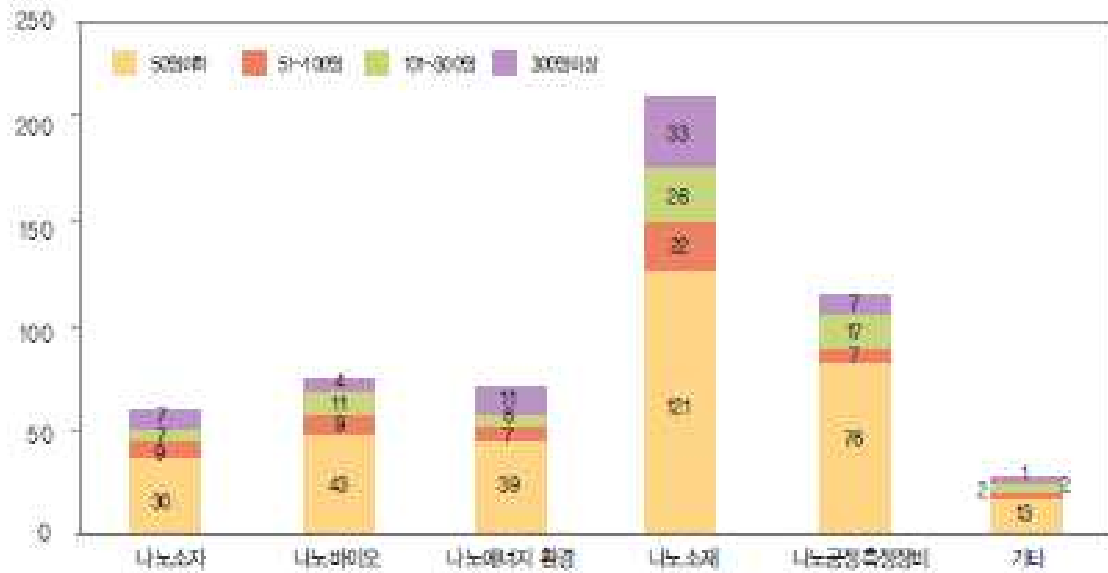
<표 3-13> 나노기업 연구 분야 비중

	기업수	중복합 대비 비율(C/B)	전체 대비 비율(C/A)
전체(A)	422	100.00%	-
나노소재(C)	53	10.39%	12.56%
나노바이오(C)	67	13.14%	15.88%
나노에너지환경(C)	62	12.16%	14.69%
나노소재(C)	202	39.61%	47.87%
나노공정측정장비(C)	107	20.98%	25.36%
기타(C)	19	3.73%	4.50%
기술 분야 중복합(B)	510	-	120.85%

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

각 기술 분야별로 기업의 인력규모 살펴보면, 모든 기술 분야에서 100명 이하의 기업이 70% 이상으로 나타나고 있으며 이는 나노기업도 다른 제조업분야와 유사하게 대기업의 비중보다는 중소기업의 비중이 높게 나타났다. 대기업 비중만을 살펴보면, 나노에너지·환경(17.5%), 나노소재(16.3%), 나노소자(13.2%)분야가 다소 높게 나타나고 있다.

[그림 3-4] 나노기업의 기술 분야별 인력규모 현황



자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

국내 나노기업의 주된 산업분야는 소재(26.3%), 반도체(13.6%), 디스플레이(13.4%)인 것으로 집계되었다. 다음으로는 의약/바이오(11.1%), 신재생에너지(10.5%), 기계(7.3%), 자동차(7.3%), 이동통신기기(5.6%), 소비재(4.9%) 순이었다.

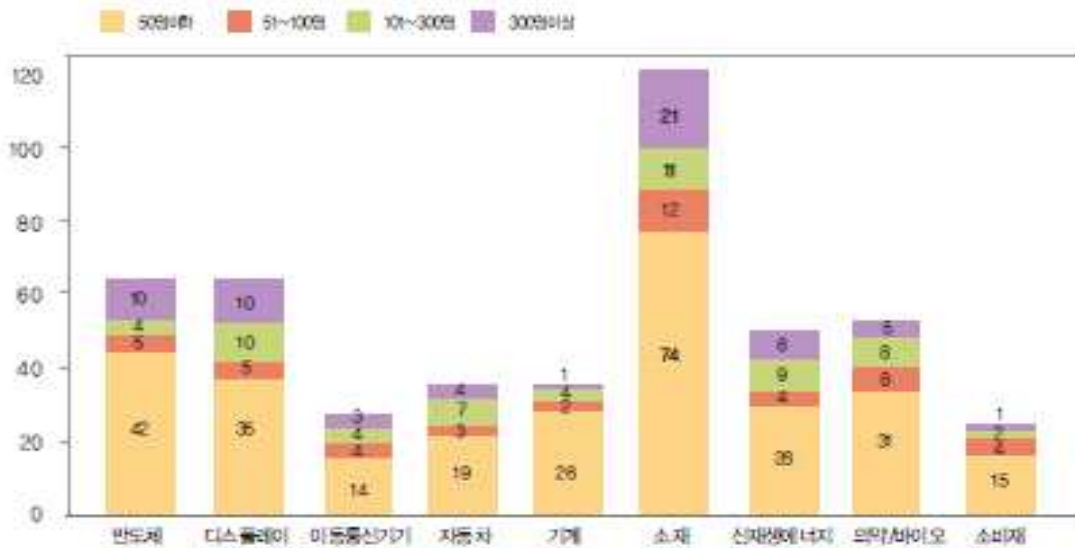
<표 3-14> 나노기업의 산업 분야별 인력규모 현황

	기업수	중복합 대비 비율(C/B)	전체 대비 비율(C/A)
전체(A)	422	100.00%	
반도체(C)	61	13.59%	14.45%
디스플레이(C)	60	13.36%	14.22%
이동통신기기(C)	25	5.57%	5.92%
자동차(C)	33	7.35%	7.82%
기계(C)	33	7.35%	7.82%
소재(C)	118	26.28%	27.96%
신재생에너지(C)	47	10.47%	11.14%
의약/바이오(C)	50	11.14%	11.85%
소비재(C)	22	4.90%	5.21%
산업 분야 중복합(B)	449	-	106.40%

자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

각 산업분야별로 기업의 인력규모를 살펴보면, 대기업 비중은 소재(17.8%), 디스플레이(16.6%), 반도체(16.4%)에서 높은 것으로 나타나고 있는 반면, 50인 미만 소기업의 비율에서는 기계(78.8%), 반도체(68.8%), 소비재(68.2%)에서 높은 것으로 나타났다.

[그림 3-5] 나노기업의 산업 분야별 인력규모 현황



자료: 교육과학기술부(2012), 『나노기술연감 2011』.

제 4 장 국내외 인력수급 전망모형 방법론

인력수급 방법론은 1960년대 서구에서 시작되어, 초창기에 지니고 있던 문제점을 개선해 나가면서 지속적인 발전을 거듭해왔다. 현재 선진국에서는 이론적인 토대뿐 아니라 이를 뒷받침할 수 있는 인력수급 관련 통계인프라를 배경으로 전망을 실시하고, 인력양성 및 활용정책을 입안하는 정책담당자에서부터 좀 더 유망한 직장을 구하려는 근로자들, 진로를 결정하려는 학생들에 이르기까지 다양한 수요자에게 정보를 제공해 주고 있다. 이하에서는 인력수급 예측방법의 발전과정을 간략하게 살펴보고, 현재 주요 선진국에 사용되고 있는 수급예측방법론을 소개하고자 한다. 이를 통해 우리나라에서 사용하고 있는 인력수급예측방법론의 현황을 파악하고자 한다.

제 1 절 인력수급 예측방법의 발전과정

1. 초창기 인력수급예측 방법

인력수급예측이 본격적으로 등장하기 시작한 것은 1960년대 초부터라고 할 수 있다. 구조적 실업과 노동력 부족이라고 하는 두 가지 문제에 직면한 국가들은 정부가 노동시장에 개입함으로써, 숙련인력의 수요와 공급 사이의 불균형을 해소할 수 있을 것으로 기대하면서 인력계획수립(manpower planning)에 커다란 관심을 갖기 시작했다.

특히 노동시장의 인력 공급 측면에 정부 개입의 초점을 맞추어서, 노동수요의 변화에 적절히 대응할 수 있는 교육계획수립(educational planning)이 당시 인력계획수립의 중심과제가 되었다. 가장 먼저 등장한 인력계획수립 가운데 하나로는 1960년대 초 OECD가 발족시킨 ‘Mediterranean Regional Project’ 와 ‘Educational Investment and Planning Programme’ 을 들 수 있다(Parnes, 1962; Bombach, 1965).

당시에 이와 같은 인력계획수립이 각광을 받게 된 구체적인 까닭은, 과거와 달리 교육은 개인의 재능을 발휘하는 수단에 그치는 것이 아니라 지속적인 경제성장을 이룩하는데 필요한 핵심적인 요소이고, 또한 그와 같은 경제성장의 목표를 달성하는데 요구되는 교육의 양을 계산할 수 있다는 인식에 근거한다. 또한 비용이 크게 증가하기 시작한 교육부문의 지출규모를 국가적 차원에서 적정수준으로 통제할 필요성이 커졌으며, 수많은 이질적인 부문들로 구성되어 있는 노동시장에서는 급변하는 환경변화에 따라 인력수급의 과부족이 발생할 가능성이 크다고 보고, 이를 해결하기 위한 방법이 필요하였다.

인력요건법(manpower requirements approach), 수익률법(rate of return approach)

그리고 사회적 수요법(social demand approach) 등이 초창기 인력수급예측 방법으로 이용되었는데, 이 가운데서 당시 대부분 인력수급예측 모형들에서 채택되었던 인력요건법은 고정계수 생산함수(fixed-coefficients production function)를 이용하는 예측 방법이다. 즉 생산 목표치를 달성하는데 필요한 노동수요량을 산출한 다음에, 이러한 노동수요량을 충족시킬 수 있는 노동공급이 이루어질 수 있도록 하는 교육훈련의 양을 산출하는 방법이 인력요건법이다.

인력요건법은 7개의 단계별 예측과정을 거쳐서 이루어진다(Parnes, 1962). 기준년도의 인력구조를 파악하는 1단계를 거친 다음에는 목표년도의 노동공급의 총규모를 추정하는 2단계가 이어진다. 목표년도 노동공급의 총규모는 노동공급의 과거추세와 함께 향후 예상되는 경제적, 사회적 변화를 기초로 추정된다. 3단계는 인력요건법의 핵심단계로서 경제 부문별 고용수준을 추정하는 단계이다. 이 단계에서는 국민경제 전체의 생산 및 서비스에 관한 총수요 예측치를 먼저 구한 다음에, 투입-산출 모형(input-out model)에 의한 부문별 수요 예측치를 구하고 부문별로 필요한 고용량을 산출한다. 이 단계의 특징은 노동과 다른 생산요소 사이에 대체가 불가능한 고정계수 생산함수(fixed-coefficients production function)가 이용되는 점이다. 5단계는 노동수요 측면에서 각 직업에 요구되는 교육자격(educational qualifications)이 어느 정도인지를 예측하는 단계이며, 6단계는 5단계와 달리 노동공급 측면에서 각 직업에 종사할 노동력이 교육자격별로 어느 정도인지를 예측하는 단계이다. 마지막으로 7단계에서는 5단계와 6단계에서 각각 구한 교육자격별 노동수요 예측치와 교육자격별 노동공급 예측치를 비교한 다음에, 두 예측치들의 크기가 같아지는 학생수를 산출하고, 또 그에 필요한 교육시설장비에 대한 투자, 교사의 수 등에 관한 기초 자료를 작성한다.

초창기 인력수급예측이 인력요건법이 주로 채택된 이유는 무엇보다도 당시의 정책결정권자들이 중시했던 계획수립(planning)의 개념에 인력요건법이 비교적 잘 부합하는 방식이었다는 데 있다. 또한 고정계수 생산함수를 이용함으로써 생산 목표치와 필요 노동량 사이의 관계가 간단하고 명확하게 파악될 수가 있었기 때문에, 다른 방법들에 비하여 여러 가지 복잡한 문제점들을 피할 수 있었다는 것도 인력요건법이 초창기 인력수급예측의 방법으로 널리 이용된 이유였다(Psacharopoulos, 1987).

2. 인력수급예측 방법의 발전

인력요건법을 중심으로 진행된 1960년대의 초창기 인력수급예측은 곧이어 여러 가지 비판을 받기 시작했다(Ahamad and Blaug, 1973). 먼저 인력예측을 통한 인력계획수립 자체에 대해서 많은 회의론적인 비판이 대두하였다. 무엇보다도 인력계획수립은 그 자체가 기술적 한계를 가질 수밖에 없는 작업이며, 비록 인력계획수립을 하더라도 교육체계에 미칠 수 있는 영향이 제한적일 수밖에 없기 때문에 인력수급예측은 큰 성과를 기대하기 어렵다는 것이다(Holister, 1967). 인력수급예측에 필요한

자료들의 부족으로 인하여, 예측기간이 장기적일수록 예측오류가 커질 수밖에 없고, 교육체계와 노동시장 사이에는 동시성(synchronization)이 존재하지 않기 때문에 인력계획수립은 커다란 오류를 범할 수밖에 없다고 보았다.

또한 그 당시 인력수급예측의 주된 방법이었던 인력요건법에 대한 방법론적인 비판도 적지 않았다. 이를테면 생산요소들 사이의 비대체성을 가정한 고정계수 생산함수의 이용, 직업과 교육 사이의 비현실적인 가정 등을 채택한 인력요건법은 인력수급예측의 방법으로 적절하지 않다는 것이었다. 또한 인력요건법의 과정에서 이용된 통계자료들의 분류체계 미비, 그리고 질적인 측면의 인력수급예측 미흡 등도 인력요건법에 대한 당시의 비판 가운데 하나였다(Colclough, 1990).

초창기 인력수급예측의 방법에 대한 이와 같은 여러 가지 비판은 많은 논쟁으로 이어졌다. 특히 인력예측모형에 내재된 방법상의 신축성(flexibility) 여부와 핵심적인 숙련(key skill)에 대한 정의, 그리고 인력수급예측의 결과에 대한 사용처 등에 대한 논쟁이 주를 이루었다.

국가적 차원에서 인력수급예측 자체가 무의미하다는 주장에 대해서 인력요건법을 옹호한 사람들은 대부분의 국가들에서 나타난 지속적인 숙련부족은 시장실패가 분명히 존재하고 있음을 입증한다고 반박하면서 인력수급예측은 필요한 작업이라고 주장하였다. 그리고 인력수급예측의 정확도가 높지 않다는 비판에 대해서는 어느 정도의 예측오류가 발생하는 것은 비단 인력수급예측에만 국한되는 문제가 아니라 다른 대부분의 경제 관련 예측에 공통적으로 나타나는 현상이라고 주장하였다.

인력요건법에 대해서 이루어진 가장 큰 비판 가운데 하나인 고정계수 생산함수의 이용, 즉 생산요소들 사이의 비대체성 비판에 대한 반론도 적지 않게 제기되었다. 이러한 반론에 의하면, 현실적으로 생산요소들 사이의 대체성이 없는 것은 아니지만 그 정도가 미미하기 때문에 Leontief 생산함수와 같이 생산요소들 사이의 비대체성을 가정한 생산함수를 사용해도 무방하다는 주장이었다. 생산요소들 사이의 대체성 여부와 관련한 논쟁 가운데는 절충적인 견해도 제시되었다. 즉 대체성을 무시한 인력요건법과 완전한 대체성을 가정으로 하고 있는 다른 방법(예, 수익률법) 가운데 어느 하나를 고집할 것이 아니라, 서로 보완하거나 절충하는 종합적 접근방법(synthetic approach method)이 필요하다는 주장이 제기되기도 했다(Adelman, 1966; Blaug, 1967).

비대체성 등과 같은 가정을 채택한 인력요건법에 대한 비판이 점차 증가하였으나, 인력요건법에 대한 옹호는 한동안 계속되었다. Freeman(1980)에 의하면 인력요건법에서 채택하고 있는 노동수요의 임금탄력성이 0이라는 가정은 실제 사실에 거의 부합하며, 또한 노동공급의 임금탄력성도 대단히 탄력적이기 때문에, 고용량의 총변화는 노동수요의 변화, 그것도 고정계수의 변화에 대부분 기인하므로 인력요건법은 훌륭한 방법이라는 것이었다.

인력요건법에 대한 비판의 결과, 초창기 인력수급예측의 방법이 수정·보완되기 시작하였는데 이 가운데 Tinbergen and Bos(1965)에서는 초창기 인력요건법과 마찬가지로

가지로 노동수요 측면에서는 고정계수 생산함수를 이용하여 노동력이 산출되었으나 노동공급 측면에서는 선형관계식으로부터 교육수준별 노동력을 산출하는 방법이 사용되었다. 또한 Den Hartog and Thoolen(1971)은 이전의 Leontief 생산함수 대신에 Cobb-Douglas 생산함수를 가정하여 초창기 인력요건법의 문제점을 일부 해결하려고 하였다.

Freeman(1977, 1980)에서는 노동수요 측면과 노동공급 측면을 각각 예측한 다음에 수급일치의 여부를 분석하는 이전의 방법 대신에 처음부터 노동수요 측면과 노동공급 측면을 하나의 모형에 통합하여 생산요소들 사이의 대체성을 검토하는 방법이 제시되었다. 그리고 Cohen(1988)은 고정계수 생산함수에서 고정계수의 값을 구하기 위하여 RAS 방법을 사용한 후 직업별, 교육별 노동수급 구조를 예측하였으며, Dekker et al.(1990), Beekman et al.(1991)은 초창기 인력요건법과 달리 수요 측면의 변수뿐만 아니라 공급 측면의 변수도 노동수요와 직업구조에 영향을 준다고 가정하고 인력수급을 예측하는 방법을 제시하였다.

이와 같이 인력수급예측의 방법에 관한 이와 같은 이론적 논쟁이 진행되자 일부 국가들에서는 그동안 실시하고 있던 인력수급예측을 계속할 것인지 여부에 대한 정책적 논의도 분분하였다. 예를 들면, 프랑스에서는 1970년대 석유 파동으로 제5차, 제6차 경제계획들이 크게 차질을 빚자 제7차 경제계획에서는 자세한 인력수급예측을 포기하였으며(Paul, 1985), 이어서 수립된 8차 경제계획에서는 사실상 인력수급예측이 제외되었다. 그러나 프랑스에서 정치적으로 분권화(decentralization)가 진행되면서 인력수급예측에 대한 요구가 이후에 다시 증가했다(Giffard and Guegnard, 1999). 어쨌든 국가적 차원의 인력수급예측은 대부분의 주요 국가들에서는 실시되는 방향으로 진행되어 왔다.

그런데 1990년대 들어서면서 지금까지 해 오던 인력수급예측의 방법이 너무 기계적이고 비신축적이어서 급변하는 환경에 적합하지 않다는 비판이 다시 제기되기 시작했다(Psacharopoulous, 1991; Castly, 1996). 특히 임금수준, 가계를 대상으로 하는 서베이, 노동자들에 대한 교육 및 숙련 정도 등을 포함하는 노동시장분석이 가능하도록 인력수급예측이 실시되어야 한다는 것이다(Psacharopoulous, 1991). 이에 따라 인력수급예측은 이전보다 노동시장 전반에 관한 보다 충분한 분석과 함께 예상되는 각종 변화에 대처할 수 있는 방향으로 발전하기 시작했다.

그리고 인력수급예측에 대한 시각도 다소 변화하기 시작했다. 사회과학분야에서 다른 종류의 예측과 마찬가지로 인력수급에 대한 예측 자체가 사람들의 행위를 변화시킬 수 있고, 또 그와 같은 변화를 정확히 측정한다는 것은 어려운 일이므로, 개인 또는 정책결정권자에게 인력수급예측의 결과에 따라 무엇을 어떻게 하라는 식으로 해석되어지는 것은 곤란하다는 것이다. 개인 또는 정책결정권자가 중요한 의사결정을 하기 전에 필요한 수많은 정보 가운데 하나 정도로 인력수급예측이 이해되어야 한다는 것이다(Wilson, 2001).

또한 1990년대 들어 기술적으로도 이전에 비하여 인력수급예측의 방법이 보다 정

교해지기 시작했다. 예를 들면, 인력수요 측면에서 그동안 간과되어 왔던 보충수요(replacement demand)의 중요성이 인식되면서 이를 인력수급예측 모형에 반영하게 되었다(Borghans, 1993). 그리고 인력수급예측에서 직업에 대하여 지나치게 초점을 맞추고 있는 방식은 기업이 원하는 숙련요건(skill requirements)을 제대로 파악하기 어려운 점이 있기 때문에, 이에 대한 보완 작업도 병행되어 왔다(Wilson, 전게서).

3. 우리나라의 인력수급 연구

우리나라의 인력수급에 대한 연구는 다양하며, 일반적으로 거시적 측면에서 일반균형분석 방법과 미시적 측면에서 인력의 수요와 공급을 동시에 고려하는 부분균형분석 방법이 널리 사용되고 있다. 이 중 미시적 측면에 입각한 부분균형분석 방법은 관심대상인 산업의 성장 추세와 그 산업 내 인력구조의 변화, 그리고 그 산업이 여타 산업에 미치는 과급효과 등을 고려하여 해당 산업의 취업자가 얼마나 증감하느냐를 전망함으로써 새로이 발생하는 인력수요의 규모를 예측하는 방법이다. 반면에 거시적 측면에 입각한 일반균형분석 방법은 전체 산업의 구조 변화를 고려하는 관점에서 경제성장률과 산업간의 구조변화 추세, 노동시장에서의 변화, 즉 산업과 직업내의 취업자 구성 추이 등을 고려하여 필요한 인력수급의 전망치를 구하는 방법이다.

전술한 두 가지 방법은 그 나름대로의 장점과 단점을 모두 가지고 있다. 부분균형 분석의 경우, 그 산업 내에서의 변화와 특수한 상황이 자세히 반영되는 장점이 있는 반면에 그 산업이 속해 있는 경제 전체의 변화를 고려하는 것이 미흡한 단점을 가진다. 후자의 경우는 이와는 반대의 장점과 단점을 가지고 있다.

가. 국내 거시부문 모형

1990년대 이후 거시모형에 기초한 일반균형분석 방법을 이용한 인력수급예측에 대한 연구를 살펴보면 박명수(1991), 정인수 외(1996), 장창원 외(1998), 김승택 외(2000), 강순희 외(2000), 김휘석 외(2001), 안주엽(2002), 김형만 외(2002), 장창원 외(2004), 안주엽(2005) 등이 있다.

이 가운데, 박명수(1991)는 제7차 5개년 계획상의 자료를 토대로 구조방정식을 설정해 1990 ~ 2000년 기간에 대해 노동시장의 장기 예측을 실시하였다. 구체적으로는 산업과 직업을 각각 9개 산업과 7개 직업으로 구분한 대분류 수준에서 인력수요 전망을 실시하였다.

정인수 외(1996)는 한국개발연구원의 다부문 모형의 하위 모형으로 노동시장 모형을 추가하여 산업별 취업자수를 산출하였고, 산업·직업별 취업 행렬을 구한 다음 산업별 취업자수를 대입하여 직업별 취업자를 추정하는 방법을 사용하였다.

장창원 외(1998)는 인력공급 측면에서 교육시장을 추가하여 학력별 인력공급을 제

시하였으며, 직업별 예측에 있어서는 투자수익률 분석을 도입하여 향후 수요 증대가 예상되는 직업을 전망하였다.

김승택 외(2000)는 산업기술인력에 대한 정의를 토대로 각 산업별 필요인력 수급 전망을 실시하여 인력수급상의 불일치를 추정하였다. 노동수요 측면에서는 산업별로 부족한 산업기술인력의 규모를 근거로 필요한 인력수요 규모와 전망을 제시하였고, 노동공급 측면에서는 각 교육기관별 정원 추이 분석을 통해 산업기술 인력의 공급을 전망한 다음 인력수급간의 비교 분석을 통해 인력수급상의 불일치를 산출하였다.

강순희 외(2000)는 미국 BLS의 인력수급예측 방법에 준거하여 전 산업을 지식기반 산업과 비지식기반 산업으로 분류하여 산업 중분류와 직업 세분류로 인력수요 전망을 실시하였다. 그리고 자료가 지니는 불완전성을 보완하기 위하여 2,500개 사업체를 대상으로 인력수급의 실태 및 수요전망 조사를 실시하고 이를 통해 인력수급의 실태, 과부족, 중기 예측을 직업 세분류별로 제시하고 있다.

김휘석 외(2001)는 전체 산업과 직업에 대한 인력수급예측을 실시하여 인력수급갭(gap)을 예측하였고, 이러한 종합적인 예측 결과를 토대로 지식기반 산업, 연구개발인력, 정보통신인력 등 주요 부문에 대한 인력수급예측을 실시하였다.

안주엽(2002)은 산업연구원의 산업별 예측치를 토대로 취업계수의 예측을 통해 산업별 취업자를 도출하였고, 산업×직업 취업행렬의 추정을 통해 직업별 취업자 수를 도출하였다. 또한 인력수급예측 과정에서 IMF 경제위기 기간에 발생한 노동시장의 불안정성을 보정하여 예측 결과를 도출하고 있다.

김형만 외(2002)는 기존 연구들이 인력수요 주체인 노동시장 중심의 인력수급예측을 실시해 공급주체인 교육시장을 소홀히 대한 것과는 달리 교육수준을 반영한 인력수급예측을 시도하였고 분석결과를 토대로 인적자원의 양성 및 활용을 원활히 하기 위해서는 교육시장과 노동시장의 연계성 강화가 중요함을 제시하고 있다.

장창원 외(2004)는 산업 및 직업별 구조변화에 따른 노동시장의 수요전망을 양적인 측면에서 2010년까지 전망을 실시하는 한편, 양적 위주의 인력수요 전망이 지니는 한계점을 보완하여 교육시장 및 노동시장의 정보를 반영한 질적인 인력수요 전망을 실시하였다. 구체적으로는 현재의 노동시장 상태를 교육수준별 산업 및 직업별로 인력수요의 노동시장상태를 추정하였다.

안주엽(2005)은 경제활동인구조사의 가중치 변동에 따른 고용통계의 변화, 국민계정의 기준년도 변동에(1995→2000) 따른 산업별 부가가치 변동 및 장래인구추계의 변동을 감안하여 2020년까지 산업 및 직업 중분류 수준의 중장기 인력수급전망을 실시하였다.

상기 제기한 연구들의 일반적인 특징을 살펴보면, 거시경제에 기초한 인력수급을 예측하고, 필요한 경우 사업체 실태조사를 통하여 세부적인 직업별 인력수요를 따로 예측하는 형식을 취하고 있다. 그러나 예측의 기초 자료들인 표준산업분류, 표준 직업분류, 임금구조기본통계조사보고서, 경제활동인구연보 등이 중분류 이하로 세분

화되어 있지 않아서 중분류 수준(2-digit)의 예측결과를 제시하는데 머물고 있다.

정책당국의 정책수립이나 근로자들의 취업정보 및 학생들의 전공 선택 등에 대해 현실적인 도움을 주기 위해서는 세분류수준(4-digit)이하의 세분화된 예측결과가 요구되므로, 이와 같은 연구들은 현실적인 요구를 만족시킬 수 없는 한계가 존재하고 있음을 보여주고 있다.

뿐만 아니라 질적인 예측분석이 매우 낮은 수준을 보여주고 있음을 알 수 있다. 이를테면 미약하지만 선진국에서 시도하고 있는 숙련개발, 숙련전망(skill development, skill projection)에 따른 인력수요추정 등이 거의 다루어지지 않고 있으며, 부정확한 양적 추계에 머물고 있기 때문에 노동시장상태를 반영하고 있는 수급차 전망비교에 따른 노동시장상태의 취업 전망 등에서 미흡하다.

따라서 노동시장취업 정보의 정확한 시그널을 교육시장에 주는 정보가치가 상향되어야 할 과제를 보여주고 있다. 이에는 거시부문에서도 확실적인 모형이 아니라 부문별 산업(기술)발전 등이 감안된 모형 개발이 필요함을 보여주고 있으며, 각 부문별 모형개발에 맞는 Database 구축이 동반되어야 함을 보여주고 있다.

나. 국내 미시부문 모형

미시적 차원에서 인력의 수요와 공급을 동시에 고려한 부분균형분석 방법을 이용한 인력수급예측 연구는 고상원·장진규(1995), 고상원·김태기(1999), 고상원(2000), 권남훈 외(2001), 박재민 외(2002), 이상돈 외(2003), 장창원 외(2004) 등이 있다.

이 가운데 고상원·장진규(1995)는 과학기술인력에 대한 수급 전망을 2010년까지 실시하였다. 과학기술인력의 수요 전망은 각 산업별로 요구되는 전공 및 학위별로 구분하여 실시하였으며, 공급 전망은 각 고등교육기관별로 공급 능력을 전공 및 학위별로 구분하여 산출하였다.

윤석천(1996)은 산업 성장에 따른 필요 인력(성장수요)과 추가적인 보충인력(보충수요)을 이용하여 필요 공급량을 구하고, 신규 노동력 전망에서 도출된 가용 노동공급량을 차감하여 최종 노동력의 수급 전망치를 도출하였다.

고상원·김태기(1999)는 과학기술인력의 수급전망을 위해, 먼저 인력수요 측면에서는 기업, 대학, 연구기관 등 수요처별로 학위별·전공별 필요 인력을 도출하였다. 인력공급 측면에서는 국내 정규대학과 해외 대학에서 배출되는 과학기술 인력의 공급을 전망하여 과학기술 인력의 수급차를 추정하였다.

고상원(2000)은 이공계 석·박사급 연구개발인력에 대한 수급 예측을 위해 산업별 취업계수를 활용하여 산업별 수요를 예측한 다음 국내대학 및 대학원과 해외대학으로 구분하여 도출한 전공별·학력별 공급인력과의 비교를 통해 분야별 수급불일치에 따른 정책 방향을 제시하고 있다.

권남훈 외(2001)는 정보통신 부문의 인력수급예측을 2011년까지 실시하였다. 한국개발연구원 다부문 모형의 산업 전망치와 한국노동연구원의 산업별 취업자 수 전망

을 토대로 산업별, 직업별 인력수요를 예측하였고, 이를 바탕으로 정보통신산업의 필요 인력을 분야별·학력별로 전망하였다. 또한 교육기관별 정보통신분야의 공급 능력을 감안해 분야별·학력별 공급인력을 도출한 다음 수급간의 불일치를 정보통신분야별·학력별로 산출하였다.

박재민 외(2002)는 과학기술인력을 크게 4분야(이학, 공학, 의약학, 농림수산학)로 분류하여 학위수준별(전문대학, 학사, 석사, 박사)로 2010년까지 수급예측을 실시하였고 또한 IT분야에 대한 인력수급을 실시하여 분야별 수급예측 결과를 토대로 과학기술인력 수급정책의 문제점과 개선방안을 제시하고 있다.

이상돈 외(2003)에서는 종전의 제조업 중심의 인력수급전망에서 벗어나 우리경제의 성장을 주도해 나갈 서비스산업에 초점을 맞추어 2010년까지 인력수요 전망을 실시하였다. 특히 전통적 표준산업분류에 따라 분류시 발생하는 한계점을 개선하기 위해, 서비스산업을 OECD에 의해 제시된 지식기반서비스산업과 산업성장성, 노동탄력성과 고용증가율에 의한 분류 등 3가지 분류기준을 이용하여 재구성한 후 수요전망을 실시하였다.

상기 언급한 연구들은 특정 산업 분야 또는 영역에 따라 계량기법 및 인력수급을 예측하는 기법을 적절하게 활용하는 장점을 지니고 있다. 그러나 정형화된 인력수급 예측 모형을 설정하고 있지 못하고 있을 뿐만 아니라 통계적 한계를 극복하기 위하여 대리변수(proxy variable)를 활용함에 따라 예측 결과의 편차가 크게 존재하는 한계를 내포하고 있다.

장창원 외(2004)에서는 IT 직업별, 기술별(산업별), 학력별로 2010년까지의 예측을 하고 있다. 한국노동연구원의 IT 기업조사를 이용한 실증방법(2002년)을 일부 개선하여 수요현황을 분석하였으며, 한국직업능력개발원의 IT 학과 및 비IT 학과 졸업생 원자료를 사용하였다. 네덜란드의 ROA 모형에서 제시하고 있는 공급모형방법을 IT 기업 및 비IT 기업에 공급된 신규인력 전망에 활용하였다.

특히 수요예측부문에서 대체수요(IT전체의 약 3% 수준)와 성장수요를 구분하여 예측한 것은 매우 의미 있는 인력수요예측으로 평가할 수 있으며, 정부에서 발표한 2010년까지의 IT 차세대 성장산업의 투자를 감안한 노동시장상태를 감안한 수요전망을 근거로 IT 28개 세부직업별로 초과공급부문과 초과수요부문을 제시하고 있는 점은 진일보한 미시적 수급부문의 성과이다. 하지만 현황 조사방법의 개선과 예측 모형의 개발, 그리고 모형에 적합한 DB자료의 한계를 개선시키기 위한 노력이 필요한 것으로 판단되고 있다.

제 2 절 주요국의 인력수급 예측방법

최근에 이용되는 인력수급예측의 방법은 상당히 정교한 계량경제학 모형을 사용

하여 장래의 숙련 수요를 예측하는데 초점을 맞추고 있는 것이 대부분이다. 이를 통하여 정책당국자들에게 향후 직면하게 될 교육 및 노동시장의 환경에 대한 정보를 제공하는 것을 주된 목적으로 하고 있다.

인력수급예측의 주된 방법은 계량경제학 모형을 이용하는 방법이지만, 실제로는 다양한 방법들이 이용되고 있다. 기업체들을 대상으로 하는 설문조사 방법, 숙련에 대한 회계감사 방법, 전문가들을 대상으로 하는 델파이(delphi) 방법, 사례연구 방법, 특정 그룹에 초점을 맞추는 방법 등이 적지 않게 활용되고 있다(Tessaring, 1998; Wilson, 전제서).

그러나 이와 같은 다양한 방법들은 나름대로 장점을 갖고 있지만, 단점도 동시에 지니고 있다. 이를테면 기업체 설문조사 방법에서는 기업체가 직면하고 있는 인력수요를 기업이 정책당국에게 긴급히 전달하기 위한 목적으로 인력수요를 과장하는 경향이 있는 단점이 있는 것으로 지적되고 있다(Neugart and Schomann, 2002a). 계량경제학 모형을 이용하는 방법을 포함하여 현재 채택되고 있는 인력수급예측 방법들은 예측 자체가 지니는 불확실성으로 인하여 어느 정도 한계를 가질 수밖에 없다고 보고 서로 보완적으로 이용되고 있는 추세이다.

현재 인력수급예측을 비교적 체계적으로 잘 실행하고 활용하는 국가들로는 미국, 영국, 독일 그리고 네덜란드 등을 들 수 있다. 이러한 국가들은 거시계량경제모형을 이용하여 인력수급예측을 하는 등 여러 가지 측면에서 유사한 점을 보이고 있으나 세부적으로는 적지 않은 차이를 보이고 있다.

1. 미국 BLS(Bureau of Labor Statistics) 모형

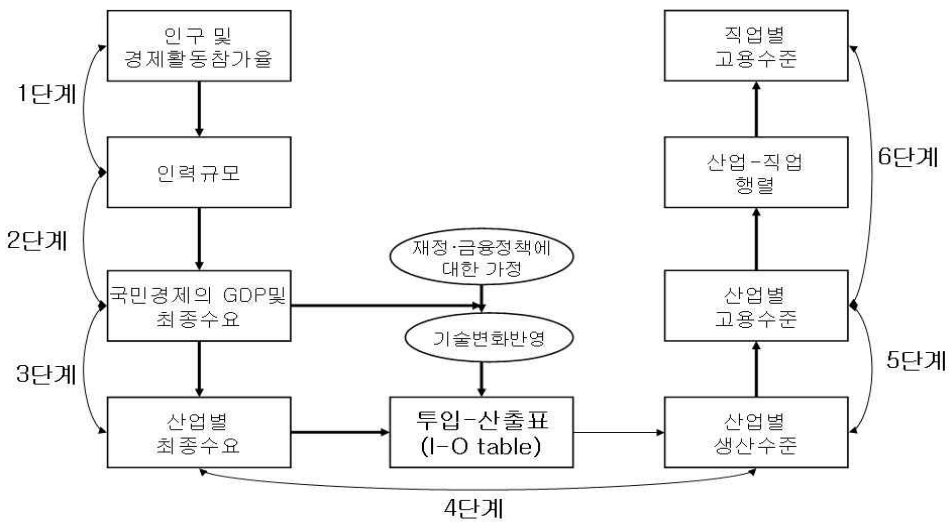
예측기간이 10년인 중기 예측모형으로서 2년마다 산업별 고용수준과 직업별 고용수준 등에 관한 예측치들을 갱신하고 있다. 주요국의 인력수급예측모형에 비하여 초창기 인력요건법에서 사용된 방법들이 많이 남아 있는 BLS 모형은 교육훈련형태별 고용수준에 관한 예측은 실시하지 않고 있다. 따라서 비교적 예측작업이 손쉽게 이루어지는 장점이 있는 반면에, 비현실적인 가정들이 상당수 내포되어 있어 다소 현실 유용성이 떨어진다는 단점이 있다. BLS 모형의 예측과정은 모두 여섯 단계로 이루어지는데, 노동공급 측면이 크게 무시되고 노동수요 측면 위주로 예측이 이루어진다는 문제점을 갖고 있다.

BLS 모형의 예측은 모두 여섯 단계들로 구성되어 있다. 이러한 단계별 과정들은 일련의 연속적인 과정들인데, 경우에 따라서는 일치성(consistency)을 확보하기 위하여 전(前)단계 과정으로 피이드백 되기도 한다. 여섯 단계들은, 첫째, 노동력의 수준과 인구통계학적 구성 예측, 둘째, 국민경제의 국내총생산(GDP) 및 최종수요 예측, 셋째, 산업별 최종수요 예측, 넷째, 산업별 생산수준 예측, 다섯째, 산업별 생산 및 고용수준 예측, 여섯째, 직업별 고용수준 예측이다.

[그림 4-1]은 BLS 모형의 기본구조와 예측과정을 나타내고 있는데, 각 단계별로

예측작업 및 관련내용을 간략히 정리하면 다음과 같다. 먼저 첫 번째 단계에서는 인구규모 예측치, 연령별, 성별, 인종별 구성 비율에 대한 예측치, 그리고 경제활동 참가율 추세를 산출하여 국민경제 전체의 인력에 대한 예측이 구해진다.

[그림 4-1] BLS 인력예측 모형의 기본구조와 예측과정



이와 같은 국민경제 전체의 인력을 예측하기 위해서, 출생률, 사망률, 순이민 등의 추세를 감안하여 인구의 규모와 구성에 대한 예측을 실시한다. 또한 이와는 별도로 BLS는 인구집단별로 경제활동참가율 예측치를 산출해낸다. 그리고 인구의 규모와 구성에 관한 예측시나리오들 중에서 중간 정도의 예측시나리오를 선택한 다음에, 이를 경제활동참가율 예측치에 곱하여 인력 예측치를 산출해낸다.

예측과정의 두 번째 단계는 거시계량경제모형을 이용하여 GDP와 최종수요의 크기를 예측하는 단계이다. 최종수요에 대한 예측치는 소비지출, 투자, 정부수요, 그리고 해외무역 등 네 부문으로 나누어져 산출되고 있다. 네 부문의 최종수요 예측치를 구하는 과정은 각각 다르지만, 공통적으로 다음과 같은 두 단계를 거치고 있다. 그리고 세 번째 단계에서는 두 번째 단계의 예측작업의 결과를 이용하여 산업별 최종수요가 산출된다.

네 번째 단계는 앞서 구한 산업별 최종수요를 투입-산출표(input-output table)를 이용하여 산업별 생산수준으로 전환시키는 과정이다. 이 과정에서는 투입-산출표에 따라 산업별 최종수요를 산업별 생산수준으로 기계적으로 단순히 전환시키는 것이 아니라, 예측기간 동안에 나타날 것으로 예상되는 기술변화, 공급의 과잉 또는 부족 등과 같이 생산과정에 영향을 미칠 수 있는 여러 가지 요인들도 투입-산출표 분석 과정에 함께 고려되어진다.

다섯 번째 단계에서는 임금노동자의 노동시간에 대한 수요 예측치와 일자리 하나에 필요한 연평균 주당노동시간을 각각 산출한 다음에, 이 둘을 결합하여 일자리수, 즉 고용수준 예측치를 도출한다. 자영업자와 무급가족종사자의 인원수에 대한 예측치는 각 산업의 총노동자 중에서 자영업자와 무급가족종사자가 차지하는 비율의 로짓(logit) 함수를 이용하여 구해진다.

여섯 번째 단계는 산업-직업행렬(industry-occupation matrix)을 이용하여 산업별 고용수준 예측치를 직업별 고용수준 예측치로 전환시키는 단계이다. 산업-직업행렬의 고용분포는 예측기간 동안에 변할 수가 있으므로 이 단계에서는 RAS 방법을 이용하여 향후 산업-직업행렬의 고용분포가 어떻게 변하는지를 파악하는데 분석의 초점이 맞추어져 있다. 그러나 산업-직업행렬의 고용분포를 이용하는 이와 같은 방법은 임금노동자의 경우에만 적용되고, 자영업자와 무급가족종사자들에 대한 직업별 고용수준 예측치는 별도의 방법으로 산출된다.

2. 영국 IER(Institute for Employment Research) 모형

IER 모형은 영국의 고용연구원(Institute for Employment Research: IER)이 개발한 모형으로 미국의 BLS 모형과 마찬가지로 예측기간이 10년인 중기 예측모형이다. 학생을 비롯한 개인들에게 교육 및 노동시장에 대한 정보를 제공하기 보다는 정책결정권자들이 이용할 수 있는 정보를 제공하는 것이 주목적인 모형이다. IER 모형에서는 직업별 고용수준의 예측에 초점을 맞추고 있으며, BLS 모형과 마찬가지로 교육훈련형태별 고용수준에 관한 예측은 하지 않고 있다. 그러나 예외적으로 고급수준의 교육훈련형태에 대해서는 별도로 예측을 실시하고 있다. 영국은 1988년 이후로 국가적 차원보다는 지역 차원의 인력수급예측에 더 큰 관심을 기울이고 있으며 지역의 인력수급예측 관련기관들은 기업체 설문조사와 같은 예측을 자체적으로 실시하는 곳이 많다. 또한 1998년에 숙련 태스크포스(Skill Task Force)라는 국가기관이 설치되어 숙련부족의 원인 등에 관한 연구와 함께 장래에 요구되는 숙련을 예측하고 있다.

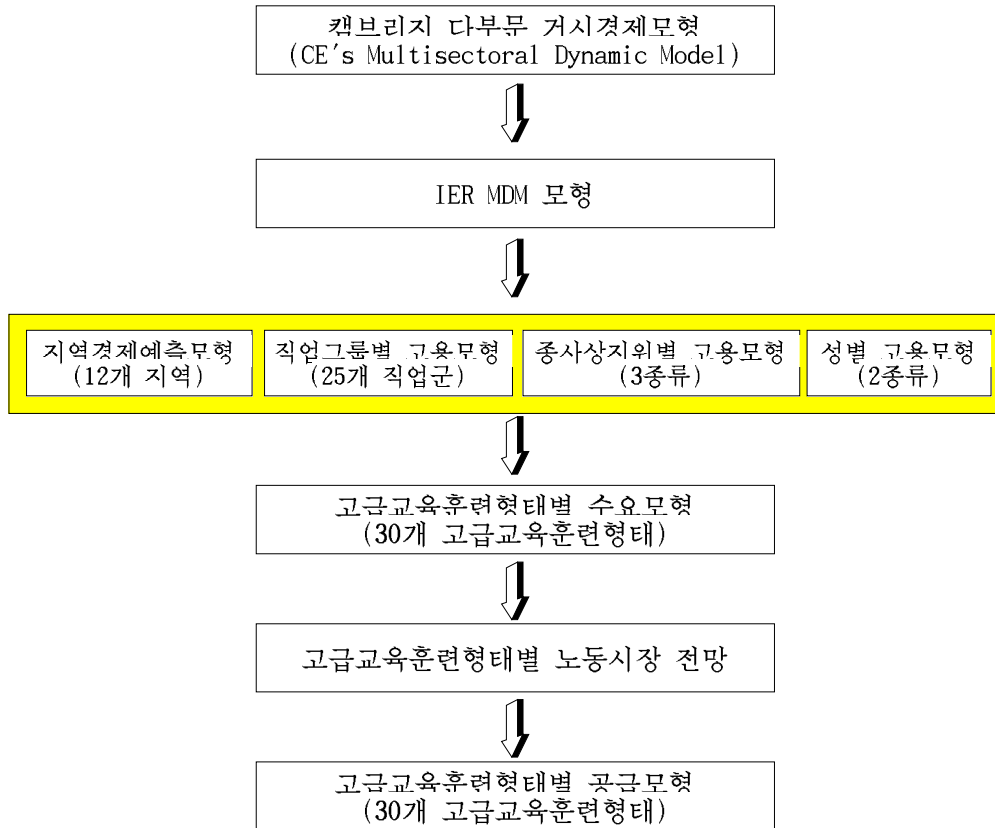
IER 모형은 Cambridge Econometrics(CE)에 의해서 개발된 다부문 거시경제모형을 인력예측의 출발점으로 하고 있다. CE 다부문 거시경제모형은 기본적으로 케인즈학파의 거시경제이론을 기반으로 하고 있는 모형이며, 또한 투입-산출체계(input-output system)를 갖추고 있는 모형이다.

경제부문별 고용수준의 예측은 CE 다부문 거시경제모형을 일부 수정한 MDM 모형(Cambridge Multisectoral Dynamic Macroeconomic Model)의 노동수요방정식을 이용하여 구해진다. 경제부문별 고용수준의 예측치를 구한 다음에는 직업그룹별 고용모형, 종사상 지위별 고용모형, 성별 고용모형, 그리고 지역별 고용모형을 통하여 각각 직업그룹별, 종사상 지위별, 성별, 지역별 고용수요에 관한 예측치들이 구해진다.

이 중에서 직업그룹별 고용모형에서는 고용수준에 관한 예측치를 구하기 위해서 먼저 경제부문별 직업구조를 예측한다. 이 과정에서 직업그룹별 계수들을 구한 후, 전 단계에서 산출한 경제부문별 고용수준 예측치와 결부시켜 직업그룹별 고용수준 예측치를 구한다. 그리고 종사상 지위별 고용모형에서는 풀타임, 파트타임, 그리고 자영업의 3종류로 종사상 지위별 고용형태를 구분하여 각각 어느 정도 수준의 노동 수요가 발생할 것인지를 예측한다. 이 외에도 최근 IER에서 큰 관심을 갖고 있는 지역경제 예측모형(Local Economy Forecasting Model; LEFM)이 있다.

IER 모형은 교육훈련형태별 고용수준의 예측보다는 직업그룹별 고용수준의 예측에 초점을 맞추고 있는 모형이다. 그리고 직업그룹별 고용수준의 예측치도 수요측면 위주의 예측치이다. IER 모형에서는 일반적인 교육훈련형태별 고용수준을 예측하고 있지 않지만, 고급 교육훈련형태에 대해서는 예외이다. 현재 고급 교육훈련형태에 속한 30개 교육훈련형태들에 대해서는 별도로 수요예측과 공급예측을 실시하고 있다. 그리고 이러한 30개 고급 교육훈련형태들에 대해서는 각각 다시 수준별로 3단계로 나누어 세분화된 예측을 하고 있다. IER 모형에서는 복수의 시나리오를 작성하지 않는 것이 원칙인데, 30개 교육훈련형태들에 대한 수요예측에는 두 개의 시나리오를 가지는 예측을 하고 있다.

[그림 4-2] IER 인력예측모형의 기본구조와 예측과정



주: 현재 50개이상의 산업별, 성별, 종사상지위별(full-time, part-time, self-employed), 12개 지역별, 25개 직업군별, 3개 연령별(16-24, 25-55, 55)로 2010년까지의 고용전망을 제공 하고 있다.

(<http://www2.warwick.ac.uk/fac/soc/ier/research/forecast/service> 참고)

자료: Heijke(1994), Forecasting the labour market by occupationa and education, p.14

3. 독일 IAB(Institut für Arbeit und Berufsforschung) 모형

독일의 고용연구원, 즉 IAB(Institut für Arbeitmark und Berufsforschung)에서 작성·공표하는 IAB 모형은 예측기간이 30년인 대표적인 장기 예측모형으로서 정책기능이 중시되고 있는 모형이다. IAB 모형에서는 산업별 노동수요 예측치와 함께 직업별 노동수요 예측치 라고 할 수 있는 활동분야(field of activity)별 노동수요 예측치와 교육훈련형태별(자격별) 노동수요 예측치가 산출된다. IAB 모형에서 직업별 노동수요 예측치 대신에 활동분야별 노동수요 예측치가 산출되고 있는 이유는 노동자의 지위, 자격프로필 등을 객관적으로 잘 반영하는 데는 활동분야가 직업보다 적합하다는 인식을 하고 있기 때문이다.

[그림 4-3]은 IAB 모형의 기본구조와 예측과정을 도식화한 그림이다. 먼저 윗부분

에 해당되는 노동수요예측은 국내외 경제환경, 기술 및 작업조직, 그리고 정부의 주요경제정책 등 일반 경제환경에 관한 예측시나리오에서부터 출발한다. 이와 같은 예측시나리오가 정해지면 산업별 생산수준과 기술진보 등을 감안하여 산업별 생산성 예측치를 구하고, 이를 토대로 산업별 노동수요 예측치를 구한다. 다만 서비스산업 분야의 노동수요에 관한 예측치는 일반 경제환경, 국내총생산수준, 연령별·성별 인구, 교육·사회적 조건 등에 관한 전망자료들을 토대로 별도의 방식으로 구해진다. 서비스산업 분야의 노동수요 예측치를 포함하여 산업별 노동수요 예측치들이 구해지면, 활동분야별, 자격별, 기능그룹별 노동수요 예측치들을 각각 구한다.

그리고 교육훈련형태 대신에 자격이라는 용어를 채택하고 있는 독일의 IAB 모형에서는 자격을 10개 그룹, 5개 수준으로 분류하여 각각에 대한 노동수요 예측치를 산출하고 있다. IAB 모형에서는 개인이 지금까지 교육훈련기관에서 이수한 공식적 교육훈련들 중에서 가장 높은 단계의 교육훈련을 해당 개인의 자격으로 정의하고 있다. 이에 따라 비공식적 교육훈련 또는 OJT 등은 자격분류의 대상에서 제외되어 있다.

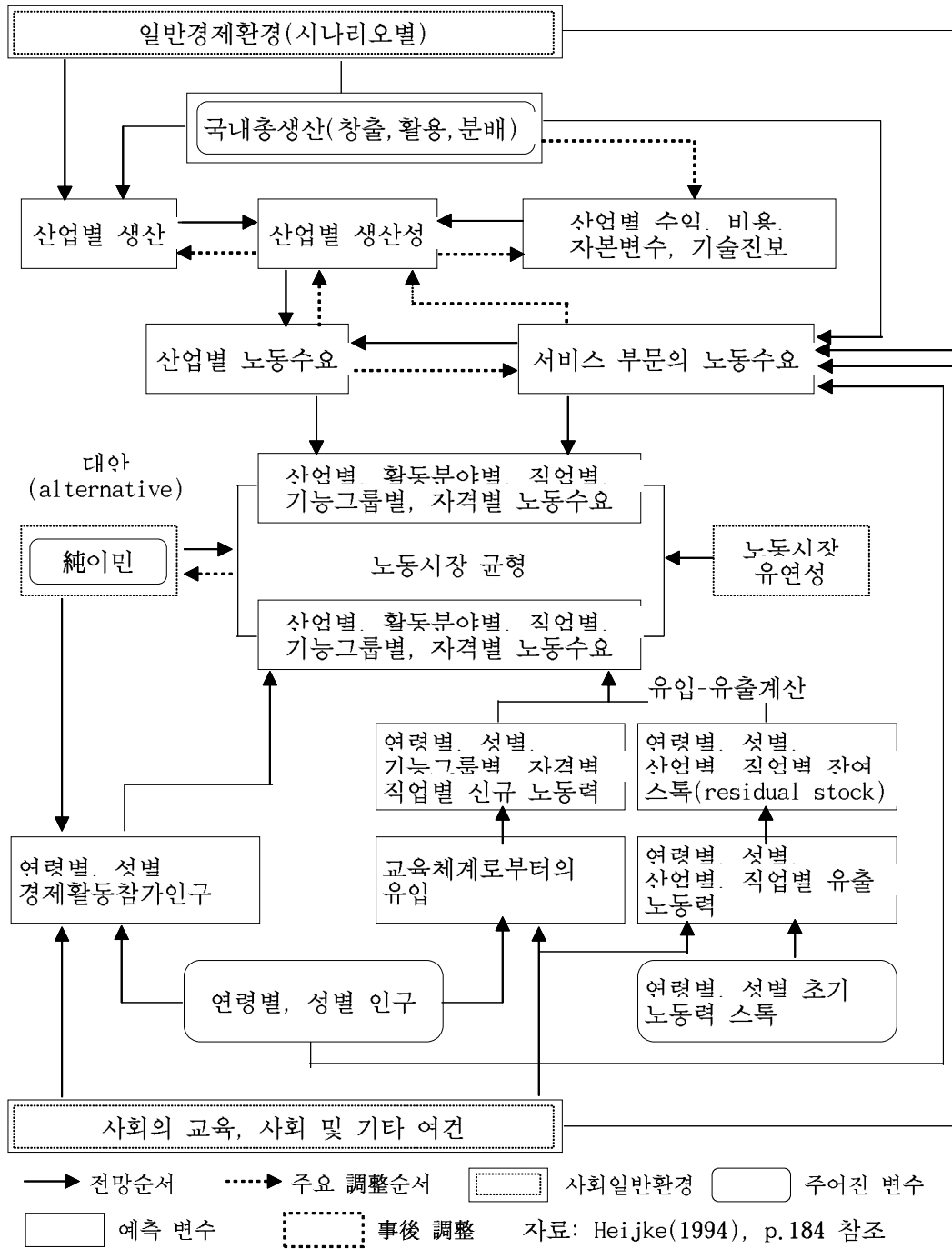
한편 아랫부분에 해당되는 노동공급예측은 노동공급을 예측하는데 이용되는 두 가지 예측방법 가운데 어느 하나를 택하여 이루어지거나, 아니면 두 가지 방법을 병행하는 방식으로 이루어지고 있다. 즉 우하(右下)측 부분의 유입-유출 계산방식과 좌하(左下)측 부분의 스톡계산(stock calculation)방식이 그와 같은 것들이다.

IAB 모형에서 직업(그룹)별 노동수요 예측치를 구하지 않고 활동분야별 노동수요 예측치를 구하게 된 까닭은 앞서 밝힌 바와 같이 노동자의 지위, 자격프로필 등을 반영하기 위해서는 직업(그룹)별 노동수요를 예측하기보다는 활동분야별로 노동수요를 예측하는 것이 더 적절하다는 판단이었다. IAB 모형에서 직업(그룹)별 노동수요 예측보다 활동분야별 노동수요예측을 선호하고 있는 또 다른 까닭은 직업, 자격과 같은 카테고리들 사이에 명확한 선을 긋기가 쉽지 않다고 보기 때문이다.

그런데 IAB 모형에서는 여러 가지 시나리오들 하에서, 그리고 복잡한 과정을 거쳐서 예측이 이루어지고 있기 때문에, 이러한 예측과정에 적지 않은 시간이 소요되어, 급속히 진행되는 각종 주변 환경의 변화에 신속히 대응하기 어려웠던 것이 사실이었다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위해서 IAB가 개발한 별도의 모형이 바로 다부문 거시계량경제모형인 SYSIFO(SYSTEM for SIMulation and FOREcasting)이다.

급격한 정치적, 사회적, 경제적 변동이 있는 상황 하에서 고용수준예측을 하기에 적합하도록 설계된 SYSIFO는 원래 서독경제를 대상으로 하고 있었으나, 통일 후 동독경제모형을 하나의 하부모형으로 SYSIFO에 통합시켰다. SYSIFO에 의한 고용수준 예측 시나리오는 서독, 동독 두 부분으로 구성되어 있으며, 각 부분은 서로 다른 가정들을 전제로 하고 있다. SYSIFO는 급격한 주변 환경변화에 신속히 대응하기 어려운 장기인력예측모형인 IAB모형을 보완해주는 역할을 맡고 있다는 점 때문에 IAB에서는 SYSIFO의 개선 및 보완을 지속적으로 실시하고 있다.

[그림 4-3] IAB 인력예측모형의 기본구조와 예측과정



4. 네덜란드의 ROA(Researchcentrum voor Onderwijs en Arbeidsmarkt) 모형

네덜란드의 ROA(Researchcentrum voor Onderwijs en Arbeidsmarkt) 모형은 정책 당국을 위한 정책기능보다는 개인들에 대한 정보기능이 중시되고 있는 모형이다. 특히 학생들에게 교육 및 노동시장에 관한 신뢰할 만한 정보를 제공하여 교육훈련 과정 또는 직업 선택을 올바르게 할 수 있도록 하는데 초점을 맞추고 있는 모형이다. ROA 모형은 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 다른 모형들보다 짧은 5년을 예측기간으로 하고 있으며, 양적 예측보다는 질적 예측을 강조하고 있다. 또한 직업별 인력수요 예측과 교육훈련형태별 인력수요 예측을 병행하고 있으며, 생산요소들 사이의 대체성, 확장수요와 보충수요의 구분 등을 함으로써 방법론적으로 정교한 모형이라는 평가를 받고 있다.

[그림 II-4]는 ROA 모형의 기본구조를 나타내고 있는데, 크게 직업모형(occupational model) 부분과 교육훈련모형(education / training model) 부분으로 양분된다. 직업모형 부분에서 특정 부문(sector)의 직업구조는 노동시장의 수요요인에 의하여 결정되는 반면에, 교육훈련모형 부분에서 특정 직업의 교육훈련구조는 수요요인과 공급요인에 의하여 다 같이 영향을 받는다는 가정을 전제로 하고 있다.

노동수요 측면을 두 가지로 나누어 보면, 그 중 하나는 경제성장에 따라 나타나는 고용수준의 변화정도를 가리키는 확장수요(expansion demand)이다. 다른 하나는 기존 노동자들의 일부가 퇴직, 근로능력상실 등으로 노동시장에서 항구적으로 또는 일시적으로 노동시장에 참가하지 않는 경우와 타 직업(군)으로 이동하는 경우 발생하는 보충수요(replacement demand)이다.

확장수요의 경우 먼저 경제부문별 확장수요 예측치가 산출된다. 그리고 나서 직업군별 확장수요 예측치와 교육훈련형태별 확장수요 예측치가 차례대로 구해진다(A, B). 그리고 보충수요의 경우에도 직업군별 및 교육훈련형태별로 예측치들이 구해진다. 그런데 보충수요의 경우 퇴직 등으로 결원이 있다고 해서 결원인원만큼 바로 보충수요가 발생하는 것은 아니며, 결원이 신규노동자에 대한 공석(vacancy)으로 이어질 때에만 보충수요가 나타나는 것으로 간주된다. 그리고 노동자가 보다 높은 단계의 자격을 취득하기 위하여 직장에 근무하면서 어느 특정 교육훈련형태를 이수하게 되는 경우에도 해당 근로자가 이전에 속했던 교육훈련형태에서 새로이 보충수요가 발생한 것으로 간주되고 있다(C).

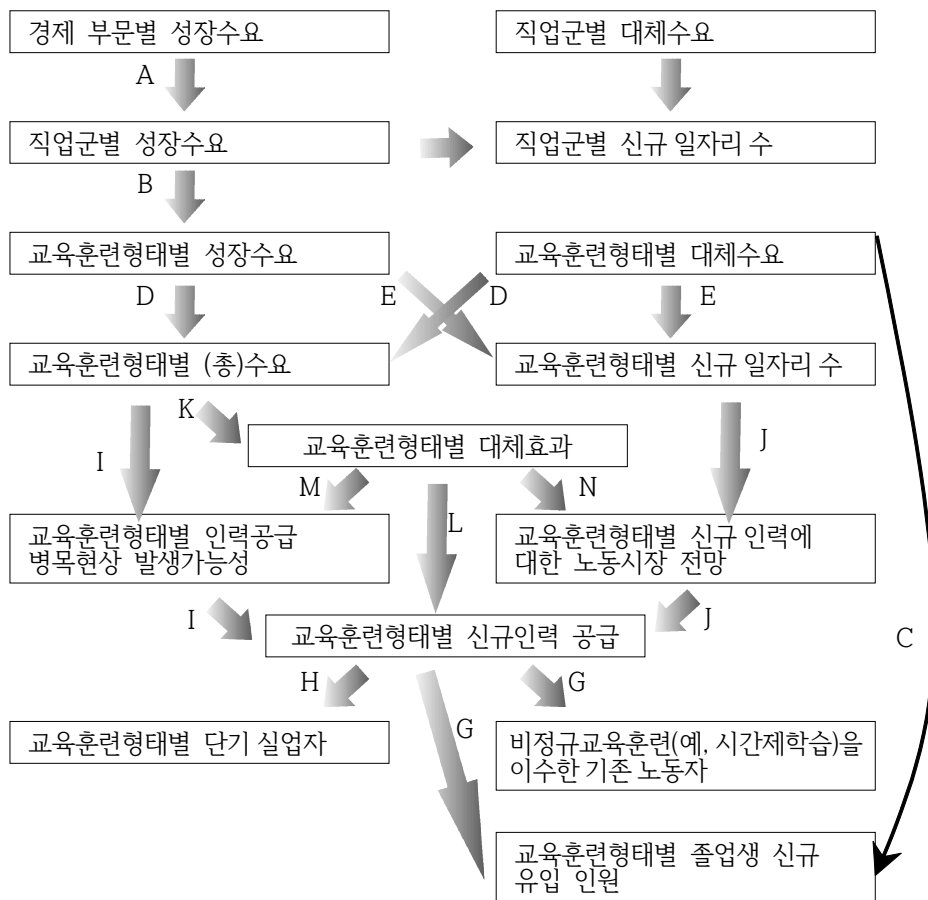
확장수요와 보충수요가 합해져서 신규 노동자들에 대한 (총)채용수요가 정해지고(D), 또한 거기에 상응하는 신규 일자리수가 만들어진다(E). 대체로 호경기하에서는 확장수요와 보충수요가 다 같이 늘어나 신규 노동자들에 대한 일자리수가 증가하게 되는 반면에, 불경기하에서 고용수준이 감소하는 경우에는 신규 노동자들에게 열려 있는 일자리는 오직 보충수요로부터만 나오는 경향이 있다.

한편 교육훈련형태별 인력공급 측면에서는 크게 세 가지 경로에 의해서 신규인력의 공급이 이루어진다. 첫째, 교육훈련과정을 갖 이수한 졸업생이 노동시장에 새로

이 참여하는 경우(F), 둘째, 앞서 언급한 바와 같이 현재 기존의 노동자가 직장에 근무하면서 정규교육훈련이외의 학습(예, 파트타임 학습)을 통하여 상위단계의 자격 등을 획득한 후 보다 나은 일자리를 구하고 있는 경우(G), 셋째, 실업자, 그 중에서도 실업기간이 1년 미만인 단기실업자가 일자리를 찾는 경우(H)로 신규인력의 공급 경로를 구분할 수 있다.

이와 같이 교육훈련형태별로 인력수요 측면과 인력공급 측면에서 각각 예측치가 구해지면, 이들을 비교하여(I) 인력공급의 과부족 여부를 판단하게 된다. 그런데 이러한 과정 가운데 ROA 모형이 특히 주의를 기울이는 부분은 앞서 설명한 대체과정(K, L)을 참작하는 부분(M)이다. 교육훈련형태별 신규인력에 대한 전망 역시 대체과정(L, K)을 고려한 후(N), 신규 일자리수와 신규인력의 공급을 서로 비교하여(J) 만 들어진다.

[그림 4-4] ROA 인력예측 모형의 기본구조와 예측과정



그런데 이와 같은 예측작업에서 ROA가 심혈을 기울이고 있는 일 중의 하나는 직업 및 교육훈련형태를 적절히 그룹화 시키는 작업이다. 대부분의 다른 예측모형들

에서는 주로 행정상의 편의를 기준으로 직업분류와 교육훈련형태분류가 이루어지고 있는데 비하여, ROA 모형에서는 모형의 유용성을 제고시키기 위한 방향으로 직업 및 교육훈련형태를 분류하고 있다.

이를 위해 유사한 특징들을 갖는 직업들을 소위 군집과정(cluster procedure)의 방식에 의하여 동일한 군(群)으로 묶어서 분류하고 있다. 즉 네덜란드 중앙통계국(Dutch Central Bureau for Statistics: CBS)의 표준직업분류에 따라 구분된 320개의 직업그룹(occupational group)들을 군집과정에 따라 새로이 93개의 직업군(occupational class)으로 묶고, 다시 교육훈련구조면에서 보아 유사한 것으로 보이는 직업군들을 묶어 총 48개의 직업분절(occupational segment)로 나누고 있다.

교육훈련형태에 대한 분류 역시 노동시장이 교육훈련형태들에 따라 어떻게 분할되어 있는가를 고려하여 만들어져 있다. 구체적으로는 노동인력의 대체성 정도를 나타내는 유사성 지표(similarity index)의 크기에 비추어 동일한 교육훈련형태로 분류할 것인지 여부를 정하고 있다. 이를테면 대체성이 거의 없는 교육훈련형태들(예, 의사, 변호사, 회계사 등)은 서로 달리 분류되어지도록 하는 반면에, 대체성이 높은 교육훈련형태들은 동일한 그룹에 포함되도록 하고 있다. 현재 ROA 모형에서 분류하고 있는 교육훈련형태들의 수는 총 49개이다

5. 비교분석

이와 같은 4개국을 포함하여 주요국들이 채택하고 있는 인력수급예측을 간략히 표로서 정리하면 다음과 같다. <표 4-1>에서 보는 바와 같이 대부분의 국가들에서 이용되고 있는 인력수급예측모형은 5년 내지 10년을 예측기간으로 하고 있다. 예측기간을 이 정도로 잡고 있는 이유 가운데 하나는 단기적인 경기변동에 기인하는 효과를 제외한 중기적인 구조변화를 살펴보기 위함이다. 또한 예측에 필요한 기초 자료들을 입수하는데 불가피하게 발생하는 시차문제(time-lag problem)를 어느 정도 해결하기 위하여 매년 또는 격년별로 예측 결과를 새로이 업데이트하고 있다 (Neugart and Schomann, 2002b).

대부분의 국가들에서 인력수급예측에 이용되는 기초 자료들은 노동력 서베이 또는 센서스 자료이며, 기업체 서베이 등과 같은 추가적인 자료들이 큰 도움이 될 수 있지만(Barnow, 2002) 현실적으로 시계열 부족 등과 같은 문제 때문에 이러한 추가 자료들이 널리 이용되지는 않고 있다.

그리고 연구기관과 정부의 고용관련 행정기관이 인력수급예측을 담당하고 있는 경우가 대부분이며 그와 같은 연구에 소요되는 비용은 대체로 정부가 부담하고 있다. 또한 아직까지는 정책당국이 인력수급예측의 결과에 대한 주된 수요자이며, 학생 등과 같이 개인이 직접 그 결과를 이용할 정도로는 인력수급예측의 결과가 충분히 활용되고 있지는 않은 것으로 조사되고 있다.

<표 4-1> OECD 국가별 고용전망 개요

구 분	오스트리아	캐나다	프랑스	독일	영국
전망기간	2000-2005	2000-2004	2000-2010	1999-2010	2001-2006/2010
정보 갱신의 간격	불규칙	5년	불규칙	5년	1년
주요 자료	사회경제적 인구조사, 국가계정, 실업보험 및 사회보장 제도	월별 노동력 조사	노동력 조사, 국민계정	노동력조사, 국가계정, 사회보험 기록	고용별 성별 노동력 조사 자료
예산부담		노동부 (HRDC)	고용부 산하의 연구기관	주연방 정부	교육 및 고용부 산하의 연구기관
전망 담당 기관	WIFO, IHS	독립연구기관	노동부의 통계 및 경제연구소	정부 산하 연구소 및 독립연구소	IER
전망 결과의 이용	전망 정보에 대한 수요가 낮음	주정부: 훈련프로그램의 사용	주정부, 연방정부, 사회기관	정부	정책결정자
전망의 실행	낮은 수준의 실행, 전망 이용자의 공식, 비공식을 통한 질적 평가	연방노동부, 지역 교육부 및 노동부	교육부, 훈련 정책을 담당하는 지역정부	실행에 있어 지역간 차이 있음. 전국적 전망과 지역적 전망의 이용 간에는 밀접한 연관성 없음	비코프라티즘적 접근
기타특성	도제제도 시장에 대한 양적인 전망 예측	전망서 발간 및 배포	교육부와 노동간의 협조	제한된 접근성과 투명성	기술 부족에 대한 특별 조사 실시

<표 4-1> 계속

구분	아일랜드	일본	네덜란드	스페인	미국
전망기간	2000-2005	1998-2010	2001-2006	2000-2010	2002-2012
정보 갱신의 간격	2년	5년	2년	불규칙	2년
주요 자료	연간 노동력조사, 연4회 국가차원의 가구조사	고용구조에 대한 기본 조사 및 인구조사	노동력 조사	노동력 조사 및 국가계정	노동력 자료, 고용통계
예산부담	국가고용 및 훈련사업기관 (FAS)	노동부고용정책 연구기관	노동 및 농업부	재단 및 지역적 전망의 경우에는 주정부	노동부
전망 담당기관	독립연구기관 (ESRI)	고용정책 연구기관	독립연구기관 (ROA)	연구기관	노동부의 연구소(BLS)
전망 결과의 이용	고용과 교육프로그램을 위해 정부와 주정부 기관	고용추진을 위한 주요자료	노동 및 농업부서	전문가 중심	훈련, 교육 및 인민 정책의 정부대행기관, 개인, 기업, 직업상담자
전망의 실행	성별로 구분된 하부모형 사용	정부가 전망 결과를 발표하고 공적 논쟁을 유도. 경제전망 논쟁의 일부임.	일반적 직업별 고용전망 외, 학교 탈락자에 대한 전망 실시	숙련 필요에 대한 기본 전망을 도출하기 위한 단순 거시경제 전망 방법 사용 중심	인터넷에서 많은 전망결과 제공. 모든 주는 주별로 고용전망 생산을 요구받음.
기타특성	성별 하위모형	공공논쟁	일반적인 직업별 전망서	기술 요건에 따른 거시경제 전망 방법	모든 주에서 고용별 직업 전망

자료: Michael Neugart & Klaus Schomann eds(2002a), pp.18-19 참조.

제 3 절 질적 인력수급 예측방법론

1. 양적 인력수급 예측의 한계점

앞서 소개한 방법론들은 예측치를 정확한 수치로 제공하는 일종의 양적 측면의 예측방법론들로 대부분의 나라에서 인력예측은 방법의 투명성과 상식에 어필하는 대중성등의 이유로 이러한 양적 인력예측방법을 이용하여 인력예측을 실시하고 있다. 이처럼 숫자를 필요로 하는 추정기술이 인력계획부문에 요구되어 왔지만 계획테크닉과 인력계획의 연계가 매우 밀접하고 견고하기 때문에 계획테크닉과 인력계획은 기술변화속도를 반영하지 못하는 논리상 결점을 갖게 되었다.

그 논리상 결점은 인력수요 예측모형이 다음 4가지 단계를 거치기 때문이다.

- ① 전체적인 경제생산이 일정기간에 추정됨
- ② 생산은 산업부문에 분배되고 이에 따라 생산을 산출하는 노동력 요구가 추계되고 있음
- ③ 노동력 요구는 각각의 일자리가 특정 직업능력수준과 교육형태가 일치되는 것을 가정하고 교육요구로 전환되는 점
- ④ 교육요구의 예측은 교육시스템의 확장과 축소의 필요를 추정하기 위해서 신규진입자수와 마찰을 조정하기 위해서 조정된 교육인력의 총량을 비교하게 되는 점 때문이다.

이러한 문제점 때문에 World Bank 등 국제기구는 더 이상 모형 추정테크닉을 사용하지 않기를 바라고, 노동시장 분석과 시장을 기초로 기술 수급 측정방법을 사용하는 게 더 좋다는 인력수급계획을 모색·제시하고 있다.

현재 양적 인력수급예측방법과 달리 질적 측면에서 인력예측을 실시하는 방법론으로는 교육투자수익률을 이용한 노동시장신호이론과 네덜란드 ROA에서 노동시장 정보지표를 이용한 방법을 들 수 있다.

2. 노동시장 정보지표¹⁸⁾

네덜란드 ROA 모형에서는 직업군별 또는 교육훈련형태별로 향후 노동시장의 전망에 관한 다양한 정보들을 생성하여 이용자들 (특히 학생)에게 제공하고 있는데, ROA에서 개발한 몇 가지 노동시장 정보지표들을 살펴보면 다음과 같다.

가. 미래노동시장지표(IFLM: Indicator of the Future Labour Market)

교육훈련을 마치고 노동시장에 새로이 진입할 예비노동자들을 위한 노동시장전망에 관한 지표로 산출 공식은 아래와 같다.

$$IFLM = \frac{E + INS + U}{E + \max(0, ED) + RD}$$

18) 본 연구에서는 ROA의 노동시장 지표를 이용하여 질적 예측을 시도함을 감안하여 이하에서 간략하게 관련 내용을 소개하였음. 교육투자수익률을 이용한 예측방법에 대해서는 장창원 외 (2004) 참고.

여기서, E : 현재의 취업자

INS : 예측기간 중 노동시장에 진입하는 졸업자의 수
(신규노동력 공급)

U : 현재 1년미만의 단기실업자

ED : 예측기간 중 확장수요

RD : 예측기간중 대체수요

산출 공식에서 노동수요의 크기를 나타내고 있는 분모는 예측시점의 기존 근로자 수에다가 확장수요와 보충수요를 합한 인원수를 가리키고, 노동공급의 크기를 나타내는 분자는 예측시점의 기존 근로자수에다가 예측기간 중에 신규로 유입될 예비노동자들의 수, 그리고 신규로 유입될 예비근로자들의 교육훈련형태와 동일한 교육훈련형태를 갖고 있으면서 실업기간이 1년 이하인 단기 실업자수를 합한 값을 가리킨다.

IFLM을 기초로 미래 노동시장의 상태를 5단계로 나누어 질적 예측을 시도하고 있으며 IFLM이 0.85보다 작을 때는 인력수요가 “very good“, 0.85 ~ 1일 경우에는 “good“, 1 ~ 1.05사이일 경우는 “resonable“, 1.05 ~ 1.15일 때는 “moderate“, 1.15이상일 때는 “bad“로 표시하고 있다.

나. 노동시장 이동지표

IFLM의 수치가 낙관적으로 나타나도 교육훈련기관으로부터 노동시장에 진입하는 인력들이 IFLM이 예측하는 것만큼 취업된다고는 보장할 수 없으며, 반대로 IFLM의 수치가 비관적이라고 해서 교육훈련기관으로부터 노동시장에 진입하는 인력의 대다수가 실업상태에 놓인다고 단정할 수 없다. 왜냐하면 노동시장의 수급상태에 따라 신규 진입자들이 처음 취업하기를 원했던 특정부문에서 다른 부문으로 옮겨갈 수 있기 때문이다. 따라서 일정한 교육훈련을 받고 타직업 혹은 타부문으로 옮겨갈 수 있는 가능성에 관한 정보는 매우 중요하다. 뿐만 아니라 경기변동에 따라 부문별 고용수준의 변화정도가 달리 나타나기 때문에, 특정교육을 받고 특정직업에 종사하고 있는 자들의 취업위험도도 다르게 나타난다.

ROA는 타직업 혹은 타부문로의 전환 가능성을 ‘수평적 이동성 (lateral mobility)’ 혹은 부문간 이동성 (inter-sectoral mobility)’지표에 의해 측정하고 있다. 특정 교육훈련을 이수하고 노동시장에 진입하는 신규 근로자들이 얼마나 다양한 직업에 취업될 수 있는가를 나타내는 수평적 이동성은 Gini-Hirschman계수를 이용한 다음 식으로 산출된다.

$$GH_e = (1 - \sum_{o=1}^o \beta_{eo}^2) \frac{o}{o-1}$$

여기서, GH_e : 교육훈련형태의 e의 수평적 이동지수

β_{eo} : 교육훈련형태 e에서 직업 o가 차지하는 비율

o : 직업수

GH_e 는 0과 1사이의 값을 가지는 만약 교육훈련형태 e를 이수한 모든 신규 근로자들이 단 하나의 직업에만 취업된다면 GH_e 는 0이 되고, 반면 모든 직업에 균등하게 취업할 수 있다면 그 값이 1이 된다.

경기감응도는 각 부문별 변동지수를 먼저 구한 후 이를 직업의 경기감응도로 확장시켜 측정하고 있는데 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$FI_o = \sum_{s=1}^S \alpha_{os} \frac{100}{H} \sum_{t=1}^H \frac{|F_{st}|}{T_s}$$

여기서, FI_o : 직업 o의 경기감응도 지수

α_{os} : 부문 s에서 직업 o의 비중

s : 부문수

T_s : 부문 s의 고용추세치

F_{st} : t기의 부문 s의 고용추세치와 고용실제치 사이의 차이

H : 관찰년도수

경기감응도와 수평적 이동성은 고용의 안정성과 관련이 깊은 지표로서, 경기감응도가 낮을수록 불황기에도 고용이 줄지 않을 가능성이 높으며, 수평적 이동성이 높을수록 불황기에 다양한 부문으로 이동할 가능성이 높다.

ROA는 수평적이동성, 경기감응도와 같은 다양한 정보지표들을 공표함으로써 인력수급예측이 가지는 문제점을 보완하고 모형의 이용자들이 양적인 지표뿐만 아니라 질적인 지표를 통해 적절한 판단을 할 수 있도록 한다.

제 4 절 우리나라의 인력수급 예측방법

우리나라의 인력수급 예측은 다양한 연구기관과 연구자들에 의해서 연구가 이루어져 왔는데, 최근의 연구는 미국 노동통계국(BLS)의 전망절차를 국내현실에 맞게 응용한 전망방법이 주로 사용되고 있다.

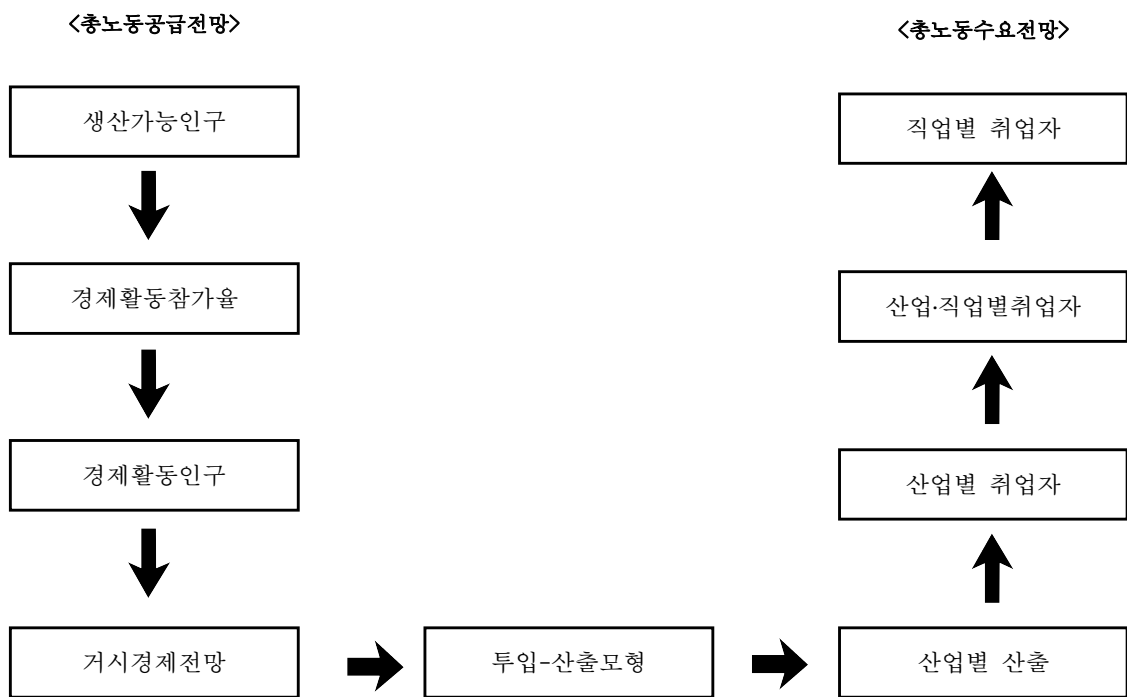
그러나 BLS모형에 근거한 인력수급 전망은 총노동공급과 총노동수요를 나타내는 총량수급전망에는 적절하지만, 정책목적에 사용되는 수급차전망을 실시할 수 없다는 한계점을 지니고 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하고 국내실정에 적합한 수급전망을 실시하기 위해서 총노동수요와 총노동공급을 나타내는 총

량부문의 수급전망에는 전통적인 미국 BLS의 저량접근법(stock approach)을 이용하는 한편, 수급차전망과 관련된 신규인력 부문의 수급전망에는 네덜란드 ROA의 유량접근법(flow approach)을 활용하였다. 구체적인 전망절차는 아래와 같다.

1. 총량 수급전망 모형

총량부문의 인력수급전망 모형은 [그림 4-5]에서 나타나듯이 총노동공급 전망모형의 3단계와 총노동수요 전망모형의 5단계 등 총 8단계를 통해서 구축된다. 먼저 노동력의 공급을 결정하는 경제활동인구의 전망은 다음의 절차로 진행된다. 1단계로서 각 계층별 인구구조의 변화, 2단계로 각 계층별 경제활동참가율의 변화를 전망한다. 3단계로서 노동의 공급량을 나타내는 지표인 경제활동인구의 전망은 1, 2단계를 통하여 자동적으로 도출된다.

[그림 4-5] 총량부문 인력수급 전망 흐름도



다음으로, 총노동수요전망은 5단계를 거치며 진행되는데, 1단계에서는 거시계량모형을 이용하여 GDP 및 산업별 최종수요 등 거시경제전망을 실시한다. 이때, 균형실업률을 도출하여, 전단계에서 예측된 노동공급을 토대로 노동수요의 총량을 도출한다.¹⁹⁾ 균형실업률을 이용한 노동수요의 총량 도출 방법은 실업률을 균형실업률 수

준으로 가정하고 노동공급 총량에서 실업자수를 가감함으로써 취업자 총량을 구하는 방식으로 노동공급 총량이 구해지면 노동수요의 총량을 안정적으로 구할 수 있다는 장점이 있다. 구체적으로는 노동공급 총량을 구한 후 균형실업률 수준을 가정하여 취업자 총량을 구하고, 이를 경제성장률과 고용탄력성 계수를 통하여 도출한 취업자 총량과 상호 조율(fine tuning)하는 방식을 통하여 노동수요 총량을 조정했다.

제2단계로는 산업별 최종수요를 투입산출표를 이용하여 산업별 생산수준으로 전환하는 과정이다. 제3단계는 산업별 산출전망에 기대되는 기술의 변화와 노동생산성에 대한 효과 등의 요소를 감안하고 필요 취업자수 및 연간 근로시간 등을 산정함으로써 산업별 취업자수를 전망하였다.

제4단계는 먼저, 산업·직업 취업행렬구조의 변화를 전망하였다. 즉, (산업×직업)의 취업행렬구조에 대한 과거 추세를 구한 후, 행렬을 구성하고 있는 각 요소의 값들을 ARIMA모형을 이용하여 예측을 실시하여 도출하였다.

마지막으로 제5단계에서는 이러한 결과들을 이용하여 직업별 취업자를 전망하였다. 이때 직업별 및 학력별 취업자를 전망하기 전에 먼저, ‘산업별·직업별’ 취업행렬을 전망하는 이유는 산업구조나 직업구조의 변화에 따른 수요 변화요인을 고려하기 위해서이다.

그러나 실질적으로는 노동수요 전망의 5단계 중 균형실업률 도출을 제외한 1~3 단계는 한국개발원의 다부문 모형을 이용하여 도출하고 있다. 다부문 모형은 일반균형에 입각한 경제모형으로, 노동시장의 단일방정식 추정에 국한된 기존 연구들이 생산요소간의 대체가능성과 기술진보의 영향력을 무시하고 있는 단점을 보완해 준다.²⁰⁾

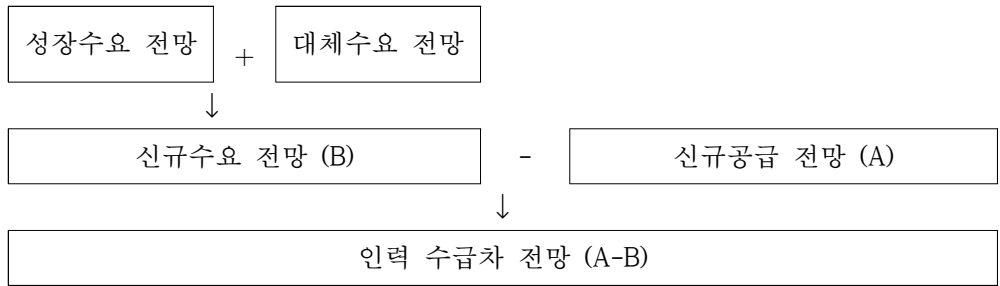
2. 신규인력 수급전망 모형

신규인력 수급전망은 궁극적으로 인력수급차를 도출하기 위한 과정으로 신규인력 부문의 인력수급전망 모형은 [그림 4-6]에서 나타나듯이 유량(flow) 개념의 신규수요와 신규공급을 도출하여 양자 간의 차를 통해 인력수급차를 도출하는 과정으로 구성된다.

19) 총취업자수를 전망하는 방법으로 고용계수를 이용하는 방법이 존재하는데, 고용계수 방식은 경제성장률과의 관계를 통해 취업자수를 구하는 방식으로 경제성장률 전망치를 통하여 직접적으로 취업자 수를 구할 수 있다는 장점이 있는 반면에 취업자 수가 경제변동에 따라 매우 민감하게 반응할 수 있어 불안정하다는 단점을 지니고 있다.

20) 이러한 다부문 모형의 경우를 감안해서 수정한 총량부문의 전망모형은 [그림 4-4]를 참조

[그림 4-6] 인력 수급차 전망 도출 방법



3. 신규인력 수요전망

인력수요전망은 일반적으로 주어진 시점에서 필요한 전체 근로자의 수로 표현되는 저장 (stock) 개념의 총수요가 제시되고 있는 바, 수급차 전망을 위해서는 일정기간동안 추가로 요구되는 근로자의 수로 표현되는 유량 (flow) 개념의 신규수요가 필요하다.

여기서 신규수요는 성장수요 (growth demand)와 대체수요 (replacement demand)로 구분되며(즉, 신규수요 전망 = 성장수요 전망 + 대체수요 전망), 이 중 성장수요는 해당 산업 또는 직업의 발전에 따른 수요증대에 기인하며, 단순히 기존 총인력 수요 전망결과를 이용하여 금년도 취업자수에서 전년도 취업자수를 차감하는 방식으로 전망치를 도출한다.

$$\cdot \text{성장수요전망}_t = \text{총인력수요전망}_t - \text{총인력수요전망}_{t-1}$$

반면, 대체수요는 타 직업으로의 이직 및 정년퇴직에 따른 감소분과 결혼, 입학, 입대 및 이민 등의 이유로 인해 노동시장을 떠나는 (구체적으로는 경제활동인구에서 벗어나는) 감소분을 대체하는 수요로 아래와 같은 방식으로 전망치가 도출된다.

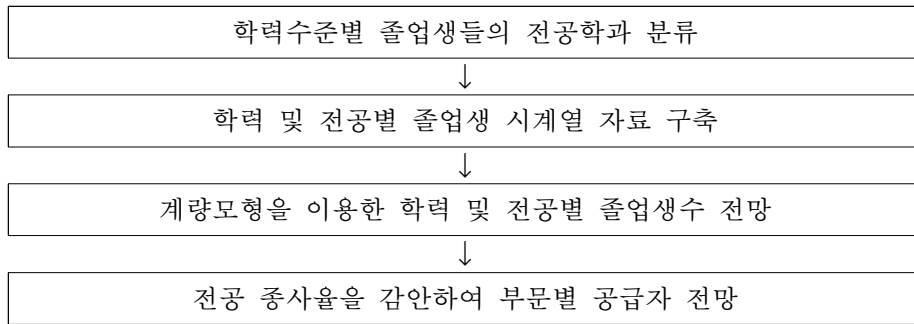
$$\cdot \text{대체수요전망}_t = \text{총인력수요전망}_t \times \text{대체수요비율}_t$$

4. 신규인력 공급전망

노동시장에 처음으로 진입하는 신규인력의 공급은 주로 정규교육기관을 통해 배출되므로²¹⁾, [그림 4-7]과 같은 4단계를 거쳐 전망치가 도출된다.

21) 비정규교육기관을 통해 배출되는 신규인력은 전체에서 차지하는 비중이 작아 전체공급수준에 영향을 미치지 못할 것이라는 가정 하에 논의에서 제외함

[그림 4-7 신규인력 공급전망 절차



구체적으로는 먼저 1단계에서는 학력수준별로 졸업생들의 전공학과를 분류하고, 2단계에서는 학력 및 전공별 졸업생 시계열 자료를 구축한다.

3단계에서는 도출된 자료를 활용하여 이중지수평활모형 (Double Exponential Smoothing Model)을 이용하여 공급전망을 실시한다. 공급전망에 사용할 수 있는 계량모형으로는 시계열 회귀분석모형 (Time Series Regression Model), ARIMA모형 (Autoregressive Integrated Moving Average Model), 지수평활모형 등 다양한 모형이 존재한다.

이 중 시계열 회귀분석에 의한 예측의 경우 최적의 모형이 수립될 때 최소의 오차를 갖는 우수한 예측치를 산출할 수 있으나 종속시계열에 대하여 높은 설명력을 갖는 독립시계열을 발굴하고 종속시계열에 대한 독립시계열의 함수형태를 찾아내는데 많은 시간과 노력이 소요된다. 또한, ARIMA 모형에 의한 예측의 경우 모형의 설정을 위하여 최소한 35개 정도의 시계열이 요구되는데 가용한 시계열의 기간이 짧은 경우 적용에 어려움이 따른다.

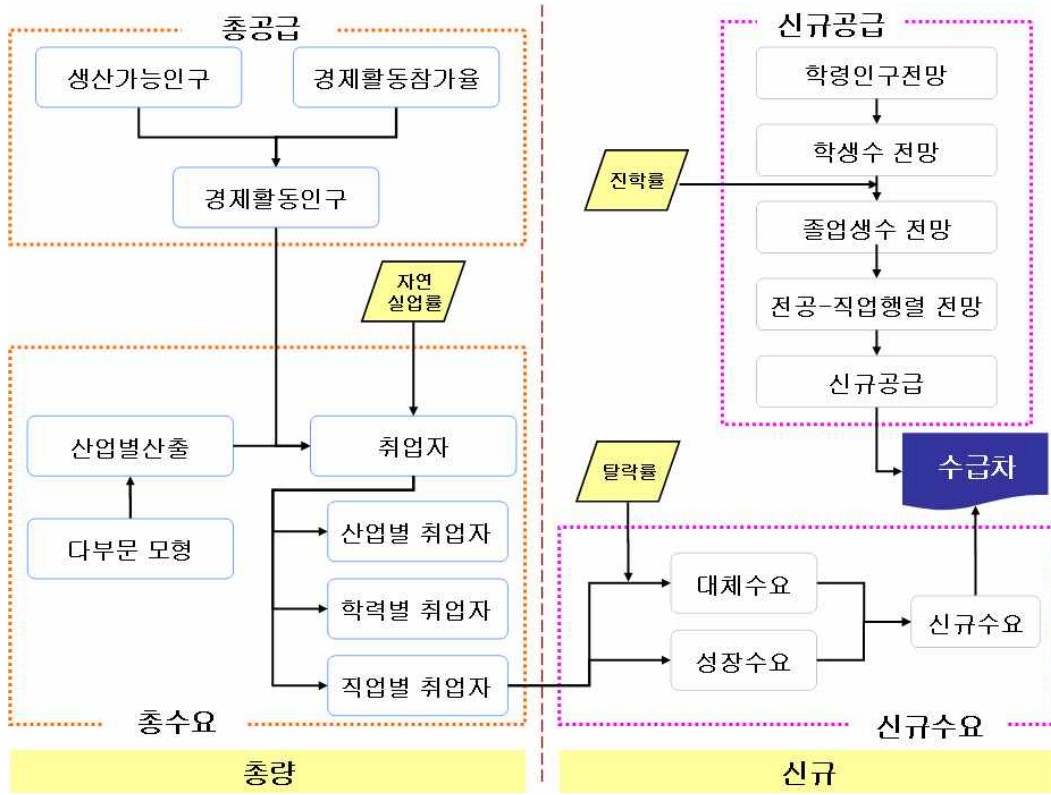
반면, 지수평활모형의 경우 비록 이론전개에 있어 통계적으로나 수학적인 논리구조가 빈약한 면도 있으나 모형의 적용이 매우 간편할 뿐만 아니라 정확한 예측값을 구할 수 있고 현재 사용되고 있는 여러 예측기법들 중에서 가장 경험적인 예측기법이라는 점에서 분석자들이 자주 사용하고 있다.

마지막으로 4단계에서는 경제활동참가율과 전공 종사율을 감안하여 분야별 신규인력 공급전망치를 도출한다.

5. 신규인력 수급차 전망

결론적으로 수급차 전망은 신규수요전망치를 도출한 후 신규공급전망치와의 차이를 통해 산술적으로 도출된다. 이때, ‘수급차=신규인력공급 (A)-신규인력수요 (B)’에서, 만일 수급차 전망결과가 (-)이면 초과수요상태를, (+)이면 초과공급상태를 의미한다.

[그림 4-8] 인력수급 전망 모형



제 5 장 나노기술인력 수급전망

제1절. 나노기술인력 수요전망

1. 수요전망 절차

나노기술인력 수요전망 절차는 [그림 5-1]과 같이 「나노산업 성장 전망 → 취업계수 전망 → 취업자 전망」의 3단계로 진행한다. 먼저 1단계는 나노산업의 성장을 전망하는 단계이다. 산업성장은 해당 산업의 재화 및 서비스의 생산이 증가하는 것으로 노동수요가 산업성장과도 연관성이 높다는 것을 반영하는 것이다. 즉 노동수요는 산업수요의 파생수요임을 감안하여 노동수요 전망에 앞서서 산업성장에 대한 전망이 선행 되어야 한다. 다만, 나노산업이 산업화단계 도달하기 이전의 연구개발 단계인 점을 감안하여 부가가치액 대신에 연구개발투자비를 산업성장을 대표하는 변수로 사용한다.

2단계는 취업계수를 전망하는 단계이다. 취업계수는 부가가치 10억 원을 창출하는데 소요되는 노동력을 의미한다. 일정 시점에서 부가가치, $Y(t)$ 는

$$Y(t) = F(L(t); K(t), A(t), \dots)$$

로 표현된다. 일정 시점에서 자본저량, $K(t)$ 와 총요소생산성, $A(t)$ 가 일정할 때, 주어진 생산함수가 필요한 가정을 따를 경우, 최적화의 해로부터 최적 노동수요 $L(t)^*$ 를 도출할 수 있는데 이때 최적 자본집약도(=최적점에서 자본저량과 노동의 배합비율)는 취업계수와 일대일 대응관계를 갖게 된다. 이에 따라 취업계수를 해석하면, 일정 부가가치를 생산하는 데 소요되는 최적의 노동수요이며, 당시 요소생산성 등 기술 수준을 총체적으로 반영하는 중요한 변수라 볼 수 있다. 취업계수를 구하기 위해서는 취업자 수와 부가가치 값이 필요한데, 나노산업은 전술한 바와 같이, 본격적인 산업화 이전의 연구개발 단계인 점을 감안하여, 취업자 수 대신에 연구개발에 참여하는 연구원 수를 사용하고 부가가치 대신에 연구개발투자비를 사용한다. 또한 본격적인 산업화 단계에 이르지 않았고 나노산업에 대한 범위가 명확하게 설정되지 못해 나노산업에 종사하는 연구원 수에 대한 시계열 자료가 미비한 실정이다. 따라서 취업계수 전망에는 국가과학기술위원회·한국과학기술기획평가원 ‘연구개발활동조사보고서’ 상의 연구원 수와 총 연구개발비를 사용한다.

○ 나노산업 취업계수 = 연구원 수(명) / 연구개발비(십억원)

이러한 과정을 거쳐 취업계수 시계열 자료를 확보한 후에는, 추세분석법을 이용하여 취업계수 전망을 실시한다.

취업계수를 전망하는 기본 모형은 아래와 같이 설정한다.

$$\text{Model1 : } y = a + b \cdot t$$

$$\text{Model2 : } y = a + b1 \cdot t + b2 \cdot t^2$$

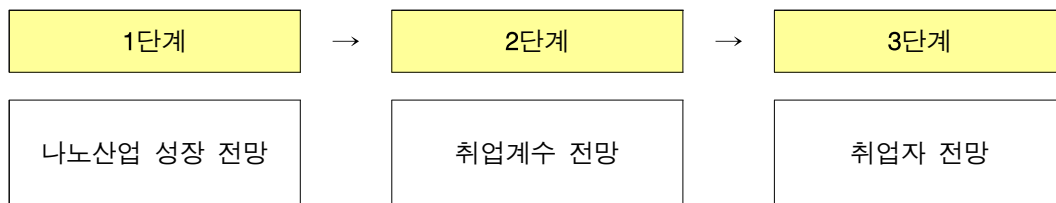
$$\text{Model3 : } y = a + b1 \cdot t + b2 \cdot t^2 + b3 \cdot t^3$$

단, y (취업계수), t (추세)

3단계는 취업자를 전망하는 단계이다. 나노기술 취업자 전망은 1단계의 나노산업 전망과 2단계의 취업계수 전망치를 곱하여 도출한다.

○ 취업자수 = 산업 전망 × 취업계수 전망

[그림 5-1] 나노기술인력 수요 전망 절차



2. 수요전망 결과

가. 나노산업 성장 전망

나노산업 성장전망은 나노산업이 산업화단계 도달하기 이전 연구개발 단계인 점을 감안하여 부가가치액 대신에 연구개발투자비를 전망자료로 사용한다. 나노산업 연구개발투자비는 연구개발주체에 따라 정부 연구개발투자비와 민간 연구개발투자비로 분류된다. 이중 정부 연구개발투자비는 국가과학기술위원회가 2011년에 발표한 “제3기 나노기술종합발전계획(2011-2020)” 상의 연구개발투자비 전망수치를 활용한다. 그러나 민간 연구개발투자비 자료를 얻을 수가 없어서 우회적으로 박명수 외(2006)에서 제시한 나노산업에 대한 정부 대 민간 연구개발투자비 비중을 현실에 맞게 조정했다. 또한, 나노산업이 지속적으로 성장하여 초기 연구개발단계에서 산업

화 단계로 들어서서 정부 연구개발투자비 비중이 점진적으로 하락할 것으로 예상하여, 2022년에는 정부 대 민간의 연구개발투자비 비중이 2011년 현재 국가 전체연구개발비의 정부 대 민간 비중인 26.1% 대 73.9%에 달할 것으로 전망했다.

<표 5-1> 나노산업 연구개발투자비 전망

(단위:억원, %)

연도	연구개발비 규모			연구개발비 비중	
	정부	민간	소계	정부	민간
2000	300	-	300	100.0	0.0
2001	1,052	236	1,288	81.7	18.3
2002	2,121	444	2,565	82.7	17.3
2003	2,375	561	2,936	80.9	19.1
2004	2,480	749	3,229	76.8	23.2
2005	2,676	1,042	3,718	72.0	28.0
2006	2,788	1,363	4,151	67.2	32.8
2007	2,814	1,699	4,513	62.4	37.6
2008	2,429	1,793	4,222	57.5	42.5
2009	2,543	2,543	5,086	50.0	50.0
2010	2,540	2,763	5,303	47.9	52.1
2011	3,020	4,036	7,056	42.8	57.2
2012	3,505	5,322	8,827	39.7	60.3
2017p	6,143	13,924	20,067	30.6	69.4
2022p	9,660	27,403	37,063	26.1	73.9

자료: “제3기 나노기술종합발전계획(2011-2020)”, 박명수 외(2006), 연구개발활동조사보고서(2012)

주: p는 전망치

나. 나노기술인력 수요 전망

나노기술인력에 대한 수요전망을 수행하기 위해서는 앞서 제시한 바처럼, 취업계수에 대한 전망 값이 필요하다. 취업계수 전망은 ‘연구개발활동조사보고서’ 상의 연구원 수와 총 연구개발비 자료를 이용하여 다양한 추세분석모형을 대상으로 실증분석을 실시해, R^2 및 유의성을 감안하여 적합성이 우수한 모형을 선택하여 도출하였다.

이렇게 도출된 취업계수 전망치에 나노산업 연구개발투자비 전망 값을 곱하면 나노기술인력수요에 대한 전망 값을 얻을 수 있다. 본 연구의 관심은 나노기술별 인력에 대한 전망임을 감안하여 전체 나노기술인력 수요전망 값을 먼저 학력수준별로 분류하고 나아가 기술 분야별로 세분화하였다.

인력수요 전망치를 학력수준별로 분류하기 위해서, 나노기술인력의 학력수준별 분포현황이 필요하다. 나노기술연감(2012)에서 나노기술인력의 대표적인 근무처인 정부출연연구기관과 산업체의 나노기술인력의 학력수준별 분포현황을 파악할 수 있으나 2011년 일개년도 자료에 불과하여 전망수행에 필요한 시계열 자료를 확보할 수 없었다. 따라서 박명수 외(2006)에서 제시한 2005년 학력수준별 비중과 나노기술연감에서 도출한 2011년 학력수준별 비중을 연결시켜 그 연장선상에서 학력수준별 비중을 전망하였다.

이러한 과정을 거쳐 도출된 학력수준별 비중 전망을 인력수요 전망치에 대입하여 <표 5-2>와 같은 학력수준별 나노기술 수요전망결과가 추정된다. 나노기술인력 수요는 2012년 7,800명 수준에서 연평균 13.1% 증가하여 2022년 27,000명에 달할 것으로 전망된다. 학력수준별로 살펴보면, 대학교의 경우, 2012년에서 2,655명에서 2022년에는 10,252명으로 증가한다. 석사는 2012년에서 3,192명에서 2022년에는 10,404명으로, 박사는 2012년에서 1,998명에서 2022년에는 6,248명으로 증가할 전망이다. 전망기간(2012-2022년) 동안 연평균 성장률이 학사(14.5%), 석사(12.5%), 박사(12.1%)를 기록해 학력수준이 낮을수록 상대적으로 높은 증가율을 기록할 것으로 전망된다.

<표 5-2> 나노기술인력 학력수준별 수요 전망

(단위: 명, %)

구 분	2012년	2017년p	2022년p	연평균증가율 2012~2022
전 체	7,846	16,118	26,903	13.1
대학교	2,655	5,799	10,252	14.5
석 사	3,192	6,395	10,404	12.5
박 사	1,998	3,924	6,248	12.1

주: p는 전망치임.

학력수준별 인력수요 전망치를 기술 분야별로 세분화하기 위해서, 나노기술인력의 기술수준별 인력분포현황이 필요하다. 학력수준별 인력분포현황과 마찬가지로 나노기술연감(2012)에서 나노기술인력의 대표적인 근무처인 정부출연연구기관과 산업체 나노기술인력의 기술수준별 인력분포현황을 파악할 수 있으나 2011년 일개년도 자료에 불과하여 전망수행에 필요한 시계열 자료를 확보할 수 없었다. 따라서 제3기 나노기술종합발전계획(2011)에서 제시한 나노기술분야별 세계시장 전망결과와 연계하여 기술수준별 인력비중을 전망하였다.

이러한 과정을 거쳐 도출된 기술수준별 비중 전망을 학력수준별 인력수요 전망치에 대입하여 <표 5-3>과 같은 기술수준별 나노기술 수요전망결과가 추정된다. 나노기술분야별 수요전망결과를 살펴보면, 전망기간 중 나노소자분야가 연평균 21.8%

증가율을 기록해 가장 높은 성장세를 기록할 것으로 전망되며, 그 뒤를 이어 나노바이오, 나노에너지환경분야가 전체평균을 초과하는 성장세를 기록하는 반면, 나노소재와 나노공정측정장비분야는 전체평균보다 낮은 성장세를 기록할 것으로 전망된다.

구체적으로는 나노소자 분야의 수요규모는 2012년 900여명에서 2022년 6,500여명으로 연평균 21.8% 증가할 것으로 전망된다. 나노바이오 분야의 수요규모는 2012년 890여명에서 2022년 4,000여명으로 연평균 16.1% 증가할 것으로 전망된다. 나노에너지환경 분야의 수요규모는 2012년 1,160여명에서 2022년 4,700여명으로 연평균 15.1% 증가할 것으로 전망된다. 한편, 나노소재 분야의 수요규모는 2012년 3,450여명에서 2022년 9,300여명으로 연평균 10.5% 증가에 머물고, 나노공정측정장비 분야의 수요규모도 2012년 1,400여명에서 2022년 2,400여명으로 연평균 5.2% 증가에 머물 것으로 전망된다.

<표 5-3> 나노기술인력의 학력별, 기술분야별 수요 전망

(단위 : 명, %)

구 분		취업자 수			연평균 증가율 (2012~2022)
		2012	2017p	2022p	
대학교	소계	2,655	5,799	10,252	14.5
	나노소자	246	838	2,201	24.5
	나노바이오	274	694	1,353	17.3
	나노에너지환경	373	911	1,712	16.4
	나노소재	1,277	2,598	4,073	12.3
	나노공정측정장비	485	757	912	6.5
석 사	소계	3,192	6,395	10,404	12.5
	나노소자	369	1,125	2,627	21.7
	나노바이오	346	845	1,581	16.4
	나노에너지환경	467	1,054	1,821	14.6
	나노소재	1,407	2,509	3,428	9.3
	나노공정측정장비	603	863	947	4.6
박 사	소계	1,998	3,924	6,248	12.1
	나노소자	284	778	1,649	19.2
	나노바이오	274	611	1,056	14.5
	나노에너지환경	316	692	1,175	14.0
	나노소재	761	1,336	1,818	9.1
	나노공정측정장비	363	508	550	4.2
전 체	소계	7,846	16,118	26,903	13.1
	나노소자	900	2,741	6,478	21.8
	나노바이오	894	2,150	3,990	16.1
	나노에너지환경	1,157	2,657	4,707	15.1
	나노소재	3,445	6,443	9,319	10.5
	나노공정측정장비	1,451	2,128	2,409	5.2

주: p는 전망치임.

제2절. 나노기술인력 공급전망

1. 공급전망 절차

나노기술인력 공급전망 절차는 [그림 5-2]와 같이 「졸업생 전망 → 신규인력 공급 규모 전망 → 기술별 신규인력 공급 규모 전망」의 3단계로 진행한다. 먼저 1단계 졸업생 전망은 나노학과의 졸업생 수를 기준으로 하여 전망을 수행해야 하는데, 실질적으로 사용가능한 나노기술연감의 졸업생 자료가 시계열이 짧아 전망을 수행하는데 한계를 지니고 있다. 따라서 우회적인 방법으로 나노유관학과²²⁾들의 졸업생 수를 전망한 후 이를 토대로 나노학과 졸업생을 추정하는 방법을 사용한다.

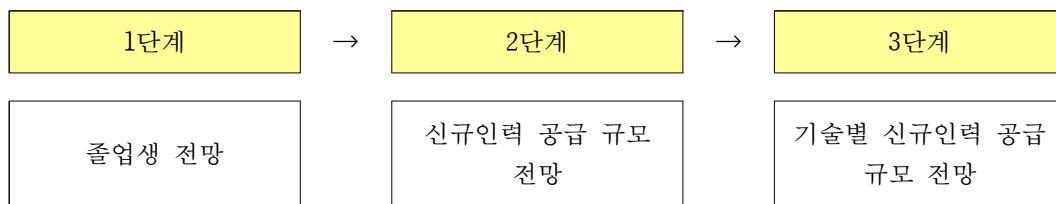
2단계 신규인력 공급 규모 전망은 공급량 기준으로서 각 나노유관학과 전공별 경제활동참가율을 구한 후 아래의 식에 의해 전망을 실시한다.

$$\bigcirc \text{신규인력 공급 전망} = \text{졸업생 전망} \times \text{경제활동참가율}$$

3단계 기술별 신규인력 공급 전망은 대학에서 나노기술분야별 연구 및 수업 비중의 전망치를 이용하여 아래의 산식에 의해 도출된다.

$$\bigcirc \text{기술별 신규인력 공급 전망} = \text{신규인력 공급 규모} \times \text{나노기술별 연구 및 수업 비중}$$

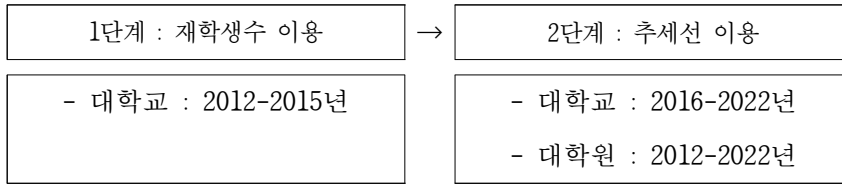
[그림 5-2] 나노기술인력 공급 전망 절차



이하에서는 졸업생수 전망 절차에 대해서 자세하게 살펴보자. 졸업생수 전망 절차는 [그림 5-3]에서 보듯이 2단계를 이루어진다. 먼저 1단계에서는 기존의 재학생 수를 이용한 전망이고, 2단계에서는 추세선(trend line)을 이용한 전망이다.

22) 나노유관학과는 이공계 학과 중 나노분야와 밀접한 교육을 실시하는 학과로 물리, 화학, 기계, 전기, 화공과 등임.

[그림 5-3] 졸업생 전망 절차



먼저 1단계 전망에서는 다른 조건이 동일하다면(ceteris paribus), 당해 연도 졸업생수는 전년도 졸업을 앞둔 재학생수(대학교의 경우 4학년)에 가장 큰 영향을 받는다.²³⁾ 이에 따라 전문대의 경우 2012~2013년까지, 대학교의 경우 2012~2015년까지 교육과학기술부·한국교육개발원의 『교육통계연보』상 제시된 재학생 통계를 이용하여, 다음과 같은 전망모형 하에서 전망을 실시한다. 다만, 대학원 석·박사의 경우는 학기별 재학생수의 구분이 없기 때문에 1단계 전망이 불가하다.

대학교의 경우는 입학 4년 후 졸업하기 때문에 전망모형의 도출을 위한 함수의 형태는 다음과 같다. 이때 각 연도별 재학생이 해당 년도에 졸업할 확률을 추정한 후 이를 전년도 재학생수를 곱하면 졸업자수 도출이 가능하며, 본 전망에서 사용한 평균 졸업률은 3개년 평활법을 이용한다.

· 전망모형 : 졸업자수_t = $f_i(4\text{학년 학생수}_{t-1})$
 = $f_i(3\text{학년 학생수}_{t-2})$
 = $f_i(2\text{학년 학생수}_{t-3})$
 = $f_i(1\text{학년 학생수}_{t-4})$, 여기서, i는 전공

다음으로 2단계 전망에서는 대학의 경우 2016년 이후에는(대학원 석박사의 경우는 2012년) 각 학년별 재학생수에 대한 정보가 없기 때문에 기존 재학생 자료의 이용이 불가능하므로 회귀모형을 이용한 추정을 실시하였다. 이 때 시계열분석에 가장 많이 사용되는 모형으로는 지수평활모형(exponential smoothing), 시계열 회귀모형(time series regression), 자기회귀누적이동평균모형(Autoregressive Integrated Moving Average, ARIMA) 등이 있으나 본 연구에서는 김형만 외(2002), 장창원 외(2005)와 같이 노동공급전망에 주로 사용되고 있는 과거의 자료만을 이용한 추세접근법(trend approach)을 사용하였으며, 구체적인 모형은 다음과 같다. 추정결과 R² 값과 유의성을 검토한 후 최적 모형을 선택한다.

· 전망모형: 모형 1: $G_t = \alpha + \beta_1 T + \epsilon$

²³⁾ 변수로서 자퇴율 등의 요인도 고려할 수 있으나 현재의 자료 제약으로 인해 이용이 불가능하다. 따라서 이 변수는 동일하다고 가정하였다.

$$\text{모형 2: } G_i = \alpha + \beta_1 T + \beta_2 T^2 + \epsilon$$

여기서, i 는 학과, G 는 졸업자수, T 는 trend

전망 기간은 대학교의 경우는 2016~2022년 그리고 대학원 석·박사의 경우는 2012~2022년까지이며, 추정결과 R^2 값과 유의성을 체크한 후 최적 모형을 선택한다.

2. 공급전망 결과

가. 졸업생 전망

앞서 전망절차에서 제시한 바처럼, 나노학과 졸업생을 전망하기 위해서 필요한 나노기술연감의 졸업생 자료가 시계열이 짧으므로 우회적인 방법으로 나노유관학과의 졸업생 수를 전망한 후 이를 토대로 나노학과 졸업생을 추정하는 방법을 사용하였다. 이하에서는 직능원(2012)의 학력수준별 졸업생 전망결과를 이용하여 나노학과의 졸업생수를 도출하였다.

직능원(2012)의 학력수준별 졸업생 전망을 살펴보면, 우리나라가 고학력화 되면서 그에 따른 배출 규모도 꾸준히 증가하였다. 2006년 기준으로 572.3천명에 달하던 전문대졸 이상 졸업생 총수는 10년 후인 2016년에도 578.3천명으로서 지속적으로 소폭 증가하다가 2021년에 달해서는 전문대 감소, 대학 소폭 증가 등으로 전체적으로 소폭 감소할 것으로 보인다. 기간별로 나누어 보면, 연평균 증가율은 2011~2021년 -0.3%로 2011~2016년의 0.2%에 비해 증가하나 2016~2021년 기간 동안은 0.8% 감소할 것으로 전망된다.

학력수준별로는 전문대의 경우 지속적인 졸업생수 감소가 이어질 것으로 전망된다. 대학교 졸업생수는 지속적인 증가를 할 것으로 전망되나 증가율은 점차적으로 둔화되어 2021년에는 감소할 것으로 전망된다. 반면에 고등교육의 보편화는 대학원 진학률까지 이어지게 되고, 이는 어느 정도의 시차를 두고 대학원 졸업생의 배출규모 증가로 이어질 것이기 때문에, 대학원 졸업생들에 대한 증가속도는 상대적으로 높을 것으로 전망된다.

<표 5-4> 학력수준별 졸업생 전망

(단위: 천명, %)

구 분	2006년	2011년	2016년p		2021년p		증가율 2011-2021
			증가율	증가율	증가율	증가율	
전 체	572.3	573.2	0.0	578.3	0.2	555.2	-0.8
전문대	223.0	188.2	-3.3	172.2	-1.8	156.5	-1.9
대학교	270.5	294.0	1.7	305.1	0.7	289.4	-1.0
대학원	78.7	91.0	2.9	101.0	2.1	109.3	1.6

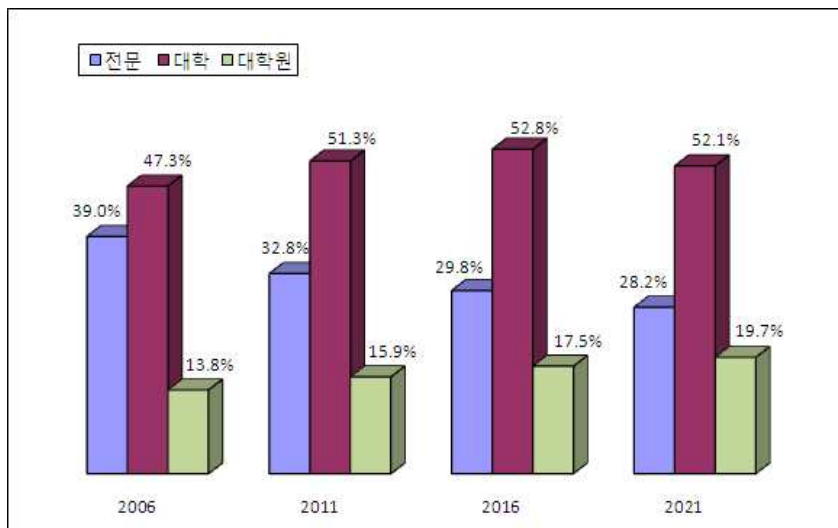
자료: 직능원(2012)

주: 1) 증가율은 연평균 증가율 기준임.

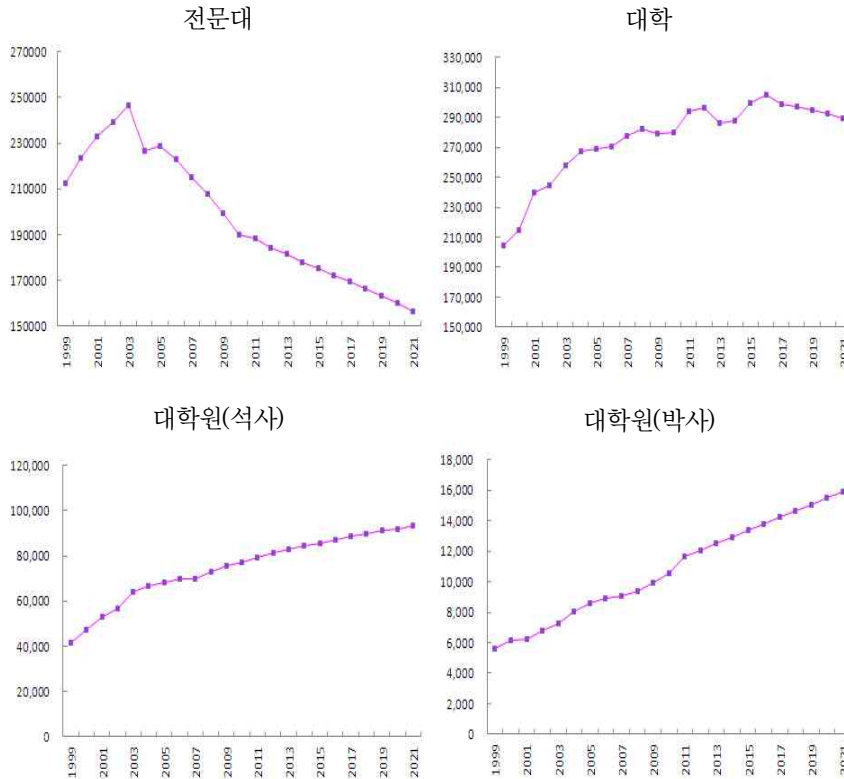
2) p는 전망치임.

이에 따라 향후에는 고등교육기관 졸업생의 구성비가 크게 변화할 전망이다. 즉, [그림 5-4]에서 보여주듯이 전체 고등교육기관 졸업자 중 전문대 졸업자의 비중은 2006년도 39.0%에서 2011년 32.8%, 2016년 29.8%로 꾸준히 낮아지겠지만 대학교 졸업자의 비중은 같은 기간 동안 47.3%에서 51.3%, 52.8%로 높아지다가 2021년에는 52.1% 감소할 전망이다. 특히 대학원 졸업자의 비중은 동일 기간 동안 13.8%에서 15.9%, 17.5%, 19.7%로 가장 빠르게 상승할 것으로 보인다.

[그림 5-4] 학력수준별 졸업생수 비중 변화



[그림 5-5] 학력수준별 졸업생수 현황 및 전망



학력수준별 졸업생을 전공별로 전망한 결과를 보면, 전문대의 경우 언어·문학과 인문과학 분야, 건축, 토목·도시, 전기·전자, 소재·재료, 산업, 화학 공학, 미술·조형학과 등에서 졸업생수 감소가 나타났다. 일부 학과는 인력배출이 전문대 중심에서 점차 4년제 대학으로 옮겨가고 있는 고학력화 추세를 반영하는 것으로 판단된다. 반면에 특수교육, 교통·운수, 정밀·에너지, 간호, 치료·보건 등의 전공에서는 졸업생수가 2021년까지 증가할 것으로 전망된다.

대학교의 경우, 전문대와는 달리 대학교의 경우는 사회계열, 의약계열, 예체능계열이 지속적인 증가추세를 보일 것으로 전망된다. 유아교육 졸업생수가 연평균 2.9% 증가할 것으로 보이며, 정밀·에너지 분야, 간호학과, 치료보건 계열에서 학생들이 증가할 것으로 나타났다. 대학의 졸업생 증가 원인을 살펴보면 관련 학과 사업 육성, 정부정책 방향 등에 따라 학과수가 증가로 인한 것으로 판단된다.

대학원의 경우에는 대학원 졸업생 전망 결과, 연평균 전체 졸업생수 증가율이 1.8%에 이르는 가운데 대분류 계열에서 모두 1%대 이상의 높은 증가율을 기록할 것으로 전망되었으며 의약계열, 예체능 계열, 사회 계열, 인문 계열 등의 순서로 증가할 것으로 예측되었다. 전공분류 중분류 기준으로는 기계·금속, 전기·전자, 산업·화공, 농림·수산, 수학·물리·천문·지리 관련 전공을 제외하고는 모두 향후

2021년까지 졸업생수는 증가할 것으로 전망된다. 특히 예체능 계열 관련 전공 분야의 졸업생이 크게 증가할 것으로 전망된다.

이제, 나노유관학과(즉, 물리, 화학, 기계, 전기, 화공과 등)들의 졸업생 수 전망치를 토대로 나노학과 졸업생을 추정한 결과가 <표 5-5> 이다. 나노학과 졸업생은 2012년 2,949명에서 2022년에는 6,036명으로 전망기간 중 연평균 7.4% 증가율을 기록할 것으로 전망된다. 학력수준별로는 대학교의 경우, 연평균 7.2% 증가율을 기록할 것으로 보이고, 석사는 5.1%, 박사는 13.8% 증가율을 기록할 것으로 전망된다.

<표 5-5> 나노학과 졸업생 전망

(단위: 명, %)

구 분	2012년	2017년p	2022년p	연평균증가율 2012~2022
전 체	2,949	4,275	6,036	7.4
대학교	2,219	3,174	4,459	7.2
석 사	539	712	885	5.1
박 사	191	389	692	13.8

주: p는 전망치임.

나. 나노기술인력 공급 전망

앞서 도출한 나노학과 졸업생 전망결과에 한국교육개발원의 고등교육기관 졸업자 취업통계조사를 활용하여 나노기술인력 신규인력 공급 규모를 전망한다. 구체적으로는 아래와 같이 나노유관학과의 경제활동참가율을 반영하여 신규인력 공급규모를 전망한다.

○ 나노기술인력 신규인력 공급 전망 = 나노학과 졸업생 전망 × 나노유관학과 경제활동참가율

나노기술인력 신규인력 공급전망 결과는 <표 5-6>에 제시되어 있다. 나노기술인력 신규인력은 2012년 2,283명에서 2022년에는 4,688명으로 전망기간 중 연평균 7.5% 증가율을 기록할 것으로 전망된다. 학력수준별로는 대학교의 경우, 2012년에서 1,697명에서 2022년에는 3,411명으로 증가한다. 석사는 2012년에서 426명에서 2022년에는 699명으로, 박사는 2012년에서 159명에서 2022년에는 579명으로 증가할 전망이다.

<표 5-6> 나노기술인력 신규인력 공급 전망

(단위: 명, %)

구 분	2012년	2017년p	2022년p	연평균증가율 2012-2022
전 체	2,283	3,316	4,688	7.5
대학교	1,697	2,428	3,411	7.2
석 사	426	562	699	5.1
박 사	159	325	578	13.8

주: p는 전망치임.

기술별 나노기술 신규인력 공급 전망은 대학의 나노기술분야별 연구 및 수업 비중의 전망치를 이용하여 아래의 산식에 의해 도출된다.

○ 기술별 신규인력 공급 전망 = 신규인력 공급 규모 × 나노기술별 연구 및 수업 비중

전망에 사용된 대학의 학력·나노기술분야별 연구 및 수업 비중은 나노기술연감의 자료를 이용하여 중복되는 분야를 조정하여 도출한다. 아래 <표 5-7>은 나노기술연감(2011)을 이용하여 도출한 2011년의 학력·나노기술분야별 연구 및 수업 비중이다.

<표 5-7> 대학의 나노기술분야별 연구 및 수업 비중(2011년)

(단위:%)

	학사	석사	박사
소계	100	100	100
나노소자	23	26	23
나노바이오	17	18	19
나노에너지환경	16	11	13
나노소재	30	30	27
나노공정측정장비	13	16	18

자료: 나노기술연감(2011)

이제 <표 5-6>의 공급전망 결과에 학력·나노기술분야별 연구 및 수업 비중 전망치를 곱하면 나노기술분류별 공급전망결과가 도출된다. 나노기술인력의 공급전망결과를 학력수준별로 살펴보면, 전망기간 중 박사 나노기술인력이 연평균 13.8% 증가율을 기록해 가장 높은 성장세를 기록할 것으로 전망된다. 구체적으로는 대학교의 나노기술인력 공급규모는 2012년 약 1,700여명에서 2022년 3,400여명으로 연평균 7.2% 증가할 것으로 전망된다. 석사 나노기술인력의 공급규모는 2012년 약 400명에

서 2022년 700명으로 연평균 5.1% 증가할 것으로 전망된다. 박사 나노기술인력의 공급규모는 2012년 약 160명에서 2022년 580명으로 연평균 13.8% 증가할 것으로 전망된다.

나노기술분야별 공급전망결과를 살펴보면, 전망기간 중 나노소자분야가 연평균 8.3% 증가율을 기록해 가장 높은 성장세를 기록할 것으로 전망되며, 그 뒤를 이어 나노바이오, 나노공정측정장비, , 나노에너지환경분야가 전체평균을 초과하는 성장세를 기록하는 반면, 나노소재는 5.8% 증가에 머물러 전체평균보다 낮은 성장세를 기록할 것으로 전망된다.

구체적으로는 나노소자 분야의 공급규모는 2012년 약 550여명에서 2022년 1,200여명으로 연평균 8.3% 증가할 것으로 전망된다. 나노바이오 분야의 공급규모는 2012년 약 400여명에서 2022년 860여명으로 연평균 8.1% 증가할 것으로 전망된다. 나노공정측정장비 분야의 공급규모는 2012년 약 320여명에서 2022년 690여명으로 연평균 8.0% 증가할 것으로 전망된다. 한편, 나노소재 분야의 공급규모는 2012년 약 680여명에서 2022년 1,200여명으로 연평균 5.8% 증가에 머물 것으로 전망된다.

<표 5-8> 나노기술인력의 학력별, 기술 분야별 공급 전망

(단위 : 명, %)

구 분		2012년	2017년p	2022년p	연평균 증가율 2012~2002
대학교	소계	1,697	2,428	3,411	7.2
	나노소자	398	594	870	8.1
	나노바이오	289	426	614	7.8
	나노에너지환경	274	397	563	7.4
	나노소재	513	679	880	5.5
	나노공정측정장비	222	332	484	8.1
석 사	소계	426	562	699	5.1
	나노소자	110	149	191	5.7
	나노바이오	76	104	133	5.7
	나노에너지환경	45	63	83	6.4
	나노소재	127	158	185	3.8
	나노공정측정장비	68	89	108	4.6
박 사	소계	159	325	578	13.8
	나노소자	37	79	147	14.8
	나노바이오	30	64	117	14.4
	나노에너지환경	21	43	77	14.2
	나노소재	43	83	140	12.7
	나노공정측정장비	29	57	97	12.8
전 체	소계	2,283	3,316	4,688	7.5
	나노소자	545	823	1,207	8.3
	나노바이오	396	593	864	8.1
	나노에너지환경	340	503	723	7.9
	나노소재	683	920	1,204	5.8
	나노공정측정장비	320	477	689	8.0

주: p는 전망치임.

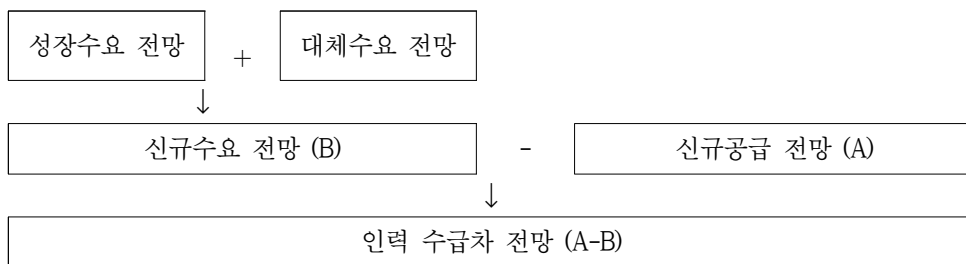
제3절. 나노기술인력 수급차 전망

앞서 도출한 나노기술인력 수요전망과 공급전망 결과를 이용하여 전망기간중 수급차 전망을 실시하고자 한다. 이처럼 수급차 전망을 수행하기 위해서는 먼저 수요 및 공급 전망결과를 대비할 수 있도록 하는 전환과정이 필요하다. 구체적으로는 저장(stock) 개념의 수요 및 공급 전망 결과를 유량(flow) 개념으로 조정해야 하는데, 조정된 수요전망과 공급전망 값을 앞서의 전망결과와 구분하기 위하여 신규수요전망과 신규공급전망으로 부른다.

1. 수급차 전망 절차

수급차 전망은 궁극적으로 인력수급차를 도출하기 위한 과정으로 [그림 5-6]에서 볼 수 있듯이 유량(flow) 개념의 신규수요와 신규공급을 도출하여 양자 간의 차를 통해 인력수급차를 도출하는 과정으로 이루어진다.

[그림 5-6] 인력 수급차 전망 도출 과정



먼저, 신규수요전망과정을 살펴보면, 신규수요는 성장수요 (growth demand)와 대체수요 (replacement demand)로 양대분되며(즉, 신규수요 전망 = 성장수요 전망 + 대체수요 전망), 이 중 성장수요는 해당 산업의 발전에 따른 수요증대에 기인하며, 단순히 기존 인력수요 전망결과를 이용하여 금년도 수요전망 값에서 전년도 수요전망 값을 차감하는 방식으로 전망치가 도출된다.

○ $\text{성장수요전망}_t = \text{인력수요전망}_t - \text{인력수요전망}_{t-1}$

반면, 대체수요는 타 산업으로의 이직 및 정년퇴직에 따른 감소분과 결혼, 입학, 입대 및 이민 등의 이유로 인해 노동시장을 떠나는 (구체적으로는 경제활동인구에서 벗어나는) 감소분을 대체하는 수요로 아래와 같은 방식으로 전망치가 도출된다.

○ 대체수요전망_t = 인력수요전망_t × 대체수요비율_t

신규공급전망과정은 신규수요전망과는 다르게 기존의 인력공급전망값을 이용하여 신규인력수요와의 비교시점에 맞게 누계치를 구해서 활용한다.

결론적으로 수급차 전망은 신규수요전망치를 도출한 후 신규공급전망치와의 차를 통해 산술적으로 도출된다. 이 때, ‘수급차=신규인력공급(A)-신규인력수요(B)’ 에서, 만일 수급차 전망결과가 (-)이면 초과수요 상태를, (+)이면 초과공급 상태를 의미한다.

2. 신규수요 전망

앞서 살펴본 수요전망 결과를 토대로 나노기술인력의 성장수요를 추정하면, 전망 기간(2012~2022년)중 총 19,000여명의 추가수요가 필요할 것으로 전망된다. 나노기술인력의 성장수요 전망결과를 학력수준별로 살펴보면, 대학교에서 7,600여명, 석사에서 7,200여명, 박사에서 4,200여명의 추가수요가 전망된다.

나노기술분야별로 살펴보면, 나노소재에서 가장 많은 5,900여명의 추가수요가 전망되며, 그 뒤를 이어 나노소자(5,600여명), 나노에너지환경(3,500여명), 나노바이오(3,100여명), 나노공정측정장비(900여명)의 순으로 추가수요가 전망된다.

<표 5-9> 나노기술인력의 학력별, 기술분야별 성장수요 전망

(단위 : 명, %)

구 분		성장수요 누계		
		2012-2017	2017-2022	2012-2022
대학교	소계	3,143	4,453	7,596
	나노소자	592	1,363	1,955
	나노바이오	420	659	1,079
	나노에너지환경	537	801	1,339
	나노소재	1,321	1,475	2,796
	나노공정측정장비	273	155	428
석 사	소계	3,203	4,008	7,212
	나노소자	756	1,502	2,258
	나노바이오	499	736	1,235
	나노에너지환경	586	767	1,353
	나노소재	1,102	919	2,021
	나노공정측정장비	260	84	344
박 사	소계	1,926	2,324	4,249
	나노소자	493	872	1,365
	나노바이오	337	445	782
	나노에너지환경	376	482	858
	나노소재	575	482	1,057
	나노공정측정장비	144	42	187

전 체	소계	8,272	10,785	19,057
	나노소자	1,842	3,736	5,578
	나노바이오	1,256	1,841	3,097
	나노에너지환경	1,500	2,051	3,550
	나노소재	2,998	2,876	5,874
	나노공정측정장비	677	281	958

인력수요전망 결과와 탈락율(정년, 결혼, 입학, 입대, 이민 등의 이유로 노동시장을 떠나는 비중)을 이용하여 대체수요를 추정하면 전망기간(2012~2022년)중 총 1,700여명의 대체수요가 필요한 것으로 전망된다. 나노기술인력의 대체수요 전망결과를 학력수준별로 살펴보면, 대학교에서 800여명, 석사에서 700여명, 박사에서 200여명의 대체수요가 전망된다.

나노기술분야별로 살펴보면, 나노소재에서 가장 많은 600여명의 추가수요가 전망되며, 그 뒤를 이어 나노소자(300여명), 나노에너지환경(280여명), 나노바이오(230여명), 나노공정측정장비(200여명)의 순으로 대체수요가 전망된다.

<표 5-10> 나노기술인력의 학력별, 기술분야별 대체수요 전망

(단위 : 명, %)

구 분		대체수요 누계		
		2012-2017	2017-2022	2012-2022
대학교	소계	280	516	796
	나노소자	35	97	132
	나노바이오	32	66	98
	나노에너지환경	43	85	127
	나노소재	129	215	344
	나노공정측정장비	41	53	95
석 사	소계	267	452	718
	나노소자	41	101	142
	나노바이오	33	66	99
	나노에너지환경	42	78	120
	나노소재	110	159	269
	나노공정측정장비	41	48	89
박 사	소계	72	120	193
	나노소자	13	29	42
	나노바이오	11	20	31
	나노에너지환경	12	22	35
	나노소재	26	37	63
	나노공정측정장비	11	12	23
전 체	소계	619	1,088	1,707
	나노소자	89	227	316
	나노바이오	76	151	227
	나노에너지환경	97	184	282
	나노소재	264	411	676
	나노공정측정장비	93	113	206

이제, 앞서 도출한 성장수요와 대체수요를 학력수준 및 기술수준별로 합하면 신규수요가 도출된다. <표 5-11>에서 볼 수 있듯이 전망기간(2012~2022년)중 총 20,700여명의 신규수요가 필요할 것으로 전망된다. 나노기술인력의 신규수요 전망결과를 학력수준별로 살펴보면, 성장수요와 대체수요가 학력수준별로 유사한 전망결과를 지니고 있어, 단순히 양대 수요의 전망치를 합해서 도출된 신규수요 전망결과도 유사한 전망결과를 지니는 것으로 나타났다. 구체적으로는 대학교에서 8,400여명, 석사에서 7,900여명, 박사에서 4,400여명의 신규수요가 전망된다.

나노기술분야별로 살펴보면, 나노소재에서 가장 많은 6,500여명의 신규수요가 전망되며, 그 뒤를 이어 나노소자(5,900여명), 나노에너지환경(3,800여명), 나노바이오(3,300여명), 나노공정측정장비(1,100여명)의 순으로 신규수요가 전망된다.

<표 5-11> 나노기술인력의 학력별, 기술분야별 신규수요 전망

(단위 : 명, %)

구 분		신규수요 누계		
		2012-2017	2017-2022	2012-2022
대학교	소계	3,423	4,969	8,392
	나노소자	627	1,460	2,087
	나노바이오	452	725	1,177
	나노에너지환경	580	886	1,466
	나노소재	1,450	1,690	3,140
	나노공정측정장비	314	208	522
석 사	소계	3,470	4,460	7,930
	나노소자	797	1,603	2,400
	나노바이오	532	802	1,334
	나노에너지환경	629	845	1,473
	나노소재	1,211	1,079	2,290
	나노공정측정장비	301	132	433
박 사	소계	1,998	2,444	4,442
	나노소자	506	900	1,407
	나노바이오	348	465	813
	나노에너지환경	388	505	893
	나노소재	601	519	1,120
	나노공정측정장비	155	55	210
전 체	소계	8,891	11,873	20,764
	나노소자	1,931	3,963	5,894
	나노바이오	1,331	1,992	3,324
	나노에너지환경	1,597	2,235	3,832
	나노소재	3,262	3,288	6,550
	나노공정측정장비	770	394	1,165

3. 인력수급차 전망

앞서 도출한 신규수요전망과 신규공급전망을 토대로 학력수준 및 나노기술분야별로 수급차 전망을 실시하였다. 결론적으로 수급차 전망은 신규수요 전망치를 도출한 후 신규공급전망치와의 차를 통해 산술적으로 도출된다. 이때, ‘수급차=신규인력공급(A)-신규인력수요(B)’에서, 만일 수급차 전망결과가 (-)이면 초과수요상태를, (+)이면 초과공급상태를 의미한다.

전술한 전망결과로부터 전망기간(2012~2022년)중 나노기술분야에서 요구되는 신규수요는 2.1만 명이 필요한 반면에 동기간 중 신규공급은 3.5만 명이 공급되어 전망기간 중 단순히 신규공급인원에서 신규수요인원을 차감해서 도출되는 나노기술 수급차인원은 연평균 14천 명씩 누계기준으로 1.4만 명이 초과 공급될 것으로 전망된다.

수급차 전망결과를 학력수준별로 살펴보면, 학사의 경우는 전망기간(2012~2022년)중 나노기술분야에서 요구되는 신규수요는 8.4천명이 필요한 반면에 동기간 중 신규공급은 2.5만 명이 공급되어 나노기술 수급차인원은 연평균 17천 명씩 누계기준으로 1.7만 명이 초과 공급될 것으로 전망된다. 반면 석사의 경우는 2.2천명이 박사의 경우는 0.8천명이 초과 수요 될 것으로 전망된다. 이처럼 나노기술인력의 경우 전반적으로 양적으로는 인력수급상의 문제는 없지만, 석·박사급의 고급인력은 부족한 것으로 전망된다.

나노기술분야별로 인력 수급차 전망을 살펴보면, 학사의 경우에는 나노소자를 비롯한 모든 기술 분야에서 초과공급이 발생할 것으로 전망된다, 석사의 경우에는 나노공정측정장비를 제외한 모든 분야에서 초과수요가 발생할 것으로 전망된다. 특히 나노소자분야에서 전망기간 중 가장 큰 0.9천명의 초과수요가 발생할 것으로 전망된다. 박사의 경우에도 석사의 경우와 동일한 형태의 모습을 보인다. 나노공정측정장비를 제외한 모든 분야에서 초과수요가 발생할 것으로 전망되며, 나노소자분야에서 전망기간 중 가장 큰 0.5천명의 초과수요가 발생할 것으로 전망된다.

<표 5-12> 2012~2022년 나노기술인력의 수급차 전망

(단위 : 명)

구 분		신규공급 (A)	신규수요 (B)	초과공급 (A-B)
학사	소계	25,433	8,392	17,041
	나노소자	6,282	2,087	4,195
	나노바이오	4,485	1,177	3,308
	나노에너지환경	4,167	1,466	2,701
	나노소재	6,995	3,140	3,855
	나노공정측정장비	3,504	522	2,982

석사	소계	5,740	7,930	-2,190
	나노소자	1,532	2,400	-867
	나노바이오	1,064	1,334	-270
	나노에너지환경	650	1,473	-823
	나노소재	1,593	2,290	-697
	나노공정측정장비	900	433	467
박사	소계	3,598	4,442	-844
	나노소자	885	1,407	-521
	나노바이오	713	813	-100
	나노에너지환경	476	893	-417
	나노소재	902	1,120	-219
	나노공정측정장비	622	210	413
전 체	소계	34,772	20,764	14,008
	나노소자	8,700	5,894	2,806
	나노바이오	6,263	3,324	2,939
	나노에너지환경	5,293	3,832	1,461
	나노소재	9,489	6,550	2,939
	나노공정측정장비	5,027	1,165	3,862

제 6 장 결론 및 정책 제언

인력수급 전망은 인력정책을 수립하는 기초자료가 된다. 인력수급 전망을 통하여 교육 및 노동시장의 변화를 예측한다는 것은 현실에 대한 분석을 토대로 그 분석결과를 미래로 연장함으로써 미래환경변화에 어떻게 대처할 것인가를 고려하는 근거를 제시하는 것이다.

세계경제는 산업혁명이후 조성된 실물 중심의 산업경제(Industrial Economy)에서 21세기 들어서서 지식 및 정보가 중요한 역할을 하는 지식기반경제(Knowledge Economy)로 빠르게 전환하였고, 최근 들어서는 창조성(creativity)이 중시되는 창조경제(Creative Economy)로 패러다임의 변화가 급속하게 진전되고 있다. 창조경제는 “과감한 패러다임의 전환을 의미하는 것”으로, 근본적으로 창의적 아이디어에 기반하고, 창의적 아이디어가 경제적 부가가치로 발현될 수 있는 환경을 조성하는 것이라는 관점에서, 창의적 아이디어를 창출하는 인재와 창의적 아이디어를 부가가치로 전환할 수 있는 인재의 역할이 중요하다.

국내의 나노기술인력 양성은 주로 대학 교육을 통하여 이루어지고 있는 실정인데, 대학을 통한 나노인력양성은 그 한계가 있다고 할 수 있다. 이러한 한계를 극복하고 나노산업의 발전에 부응할 수 있는 다양한 인력양성정책이 강구되어야 할 것이다.

따라서 나노산업의 경쟁력 확보와 지속적인 발전을 이끌 미래지향적 나노기술 인력정책을 효과적으로 추진하기 위해서는 기존에 추진되고 있는 정책을 좀 더 발전시키는 가운데 다음과 같은 정책방안을 체계적으로 추진할 필요가 있다.

1. 나노 기술인력 양적 공급과잉 및 질적 공급과소 해소

나노기술인력에 대한 학력수준별 인력수급전망 결과를 살펴보면, 학사의 경우는 전망기간(2012~2022년)중 연평균 17천 명씩 누계기준으로 1.7만 명이 초과 공급될 것으로 전망되는 반면, 석사와 박사의 경우는 초과 수요 될 것으로 전망된다. 이처럼 나노기술인력의 경우 전반적으로 양적으로는 인력수급상의 문제는 없지만, 석·박사급의 고급인력은 부족할 것으로 전망되므로 현실적으로는 양적으로는 공급과잉이 발생하지만 질적으로는 공급과소가 일반화될 것으로 예상된다.

또한, 빠른 기술변화 등으로 나노산업 현장에서 요구되는 직질 수준은 높아가는 반면에 배출되는 나노기술인력의 질적 수준은 담보상태를 보이고 있어 나노산업 현장수요에 질적으로 부응하는 인력을 양성하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 나노기술인력의 양적 공급과잉 및 질적 공급과소 문제를 해소하기 위해서는 신기술 발달에 따른 신속적인 나노산업의 요구를 충족시킬 수 있도록 교과과정의 개편 등을 통한 교육시스템의 재구축이 요구된다.

2. 미래 전문 인력 양성을 위한 공급기반 확충

미래는 창의적 인재를 요구하고 있다. 창조적 혁신을 통해 경쟁우위를 강화하고 패러다임 변화를 선도하는 창의력과 전문성을 겸비한 미래형 전문 인력을 양성해야 한다. 즉, 인문, 예술, 과학기술을 통섭하는 인재양성을 위해 나노분야에도 융합형 교육시스템의 구축이 필요하다.

구체적으로는 국가 R&D 로드맵과 연계하여 나노분야별 특화 및 미래전략·원천기술 분야의 맞춤형 고급인력을 공급할 수 있는 인력체계를 구축하는 정책적 지원이 수반되어 한다. 또한, 고급인력에 대한 인력수요에도 불구하고 학과정원 규제 등으로 인해 충분한 인력공급에 한계가 노출되고 있다. 따라서 학과 간 자율적인 정원 조정을 통해 나노기술분야의 정원을 확충하여 부족한 나노기술분야 고급인력의 공급 확대를 유도해 나간다. 이러한 미래 나노기술분야 전문 인력 양성 체계의 혁신과 환경조성을 통한 창조적 인재육성을 통해 글로벌 경쟁우위를 확보해 나가야 한다.

3. 창의적 나노인력 확보를 위한 교육 경쟁력 강화

대학과 기업의 나노인력에 대한 인재상이 달라 대학교육과 산업현장의 인력선호에서 불일치가 발생하고 있다. 이는 대학의 나노전공교육과 산업 수요 사이에 격차가 존재하고 있어 새로운 변화가 필요하다는 것을 의미한다. 대학과 기업의 인력선호 불일치를 해결하기 위해서는 이론과 교내 실습에 한정된 수동적인 전공교육에서 인턴쉽, 팀프로젝트 등 실무기술이 접목된 현장실습을 통해 대학나노교육의 실질적인 변화를 모색해야 한다. 이처럼 실무중심의 교육개혁을 통한 대학경쟁력 강화를 통해 나노기업과 대학 간 존재하는 인재상의 차이를 좁혀 나노기업의 인력부족을 해결할 뿐만 아니라 나노전공자에게는 실무에서 필요로 하는 지식과 실무능력을 축적할 수 있는 기회를 제공하여 고용시장에서의 취업기회를 확대해야 한다.

4. 산학연 연계형 나노기술 융합인재 양성

지금까지 나노분야 고급인력 양성사업은 순수 나노기술의 고도화에 초점이 맞추어져 있었다. 그러나 앞서 살펴 본 바와 같이 전 세계적으로 융합을 통한 새로운 성장 모델이 제시되는 가운데 나노기술은 타산업과의 융합을 통해 새로운 부가 가치를 창출하는 중요한 기반으로 자리 잡고 있는 것이다. 이를 위해서는 융합인재의 양성이 무엇보다 중요하다.

이를 위해서는 수요자 중심의 유연한 교육체계의 운영이 필요하다. 학과과정의 내용에 대해 수요자들이 참여할 수 있도록 경직적인 학교 문화를 바꾸는 노력도 필

요하다. 전술한 것처럼 나노기술분야의 산학연 연계형 융합 인재를 창조적 혁신을 통해 창의력과 전문성을 겸비한 인재양성의 기반이 될 것이다.

우리나라의 산학협력이 스위스나 독일의 도제제도처럼 기업이 교육에 일정부분 관여하여 skill mismatch를 줄여가거나 연구 소내 기업을 통한 인력양성과 같은 제도의 즉각적인 변환은 어렵겠지만 새로운 성장을 위해서는 혁신을 통한 준비가 필요하다.

5. 나노분야 세부연구를 위한 통계 인프라 구축

나노분야가 단순히 기술차원이 아니라 산업차원에서 지속적인 발전을 이룩하기 위해서는 우선적으로 현황을 파악할 수 있는 통계인프라의 구축이 선행되어야 한다.

먼저, 나노분야는 급속히 변화하는 기술적 특성을 가지고 있고 연구개발단계를 지난 본격적인 산업화 단계에 들어서고 있으나 여전히 나노기술과 나노산업에 대한 정의 및 분류체계에 대해서는 단일화되고 통일된 결론을 도출하기 어려운 실정이다. 즉 산업차원에서의 독립적인 연구를 수행하기 위해서는 우선적으로 나노기술 및 나노산업에 대한 정의, 범위 및 수준에 대한 합의가 도출되어야 한다.

둘째, 나노분야에서 생성되는 각종 통계자료는 다른 분야와의 비교분석을 위해 기존 산업통계 및 분류체계와의 연계성을 지녀야 한다. 따라서, 나노분야의 특성과 구조를 반영할 수 있는 독자적인 산업분류체계가 요구되는 한편 기술변화를 반영하여 분류체계가 주기적으로 변경되어야 한다.

셋째, 나노분야 통계자료의 활용성을 높이기 위해서는 분류체계의 일관성과 더불어 시계열자료의 구축이 필요하다. 이를 위해서 세부적이고 통일된 기준에 따라 조사 자료의 시계열화를 추진해야 한다. 다만, 자료 생성 및 관리에는 상당한 비용과 시간이 요구되므로 체계적인 통계정비를 위해 예산 및 인력의 뒷받침이 필요하다.

참 고 문 헌

- 교육인적자원부·한국교육개발원. 『교육통계연보』. 각 연도.
- 국가과학기술위원회.(2011), 제 3기 나노기술종합발전계획('11~' 20)(안).
- 김창경(2006). 『지식혁명 시대를 선도할 기술융합형 인력양성체계 구축방안』. 국가기술자문회의.
- 대통령 주관 교육인적자원분야 장관회의(2001). 國家戰略分野(IT, BT, NT, ST, ET, CT) 『人力養成 綜合計劃』.
- 대한민국 정부(2001), 나노기술 종합발전 계획
_____ (2005), 나노기술 종합발전 계획(2006~2015)
- 박명수, 이광호, 김미경(2006), 나노인력 양성을 위한 인프라 구축방안, 과학기술정책연구원
- 박재민 외(2002). 『고급과학기술인력의 증장기(2001~2010) 수급전망 분석』. 과학기술정책연구원.
- 산업연구원(2004). 『신기술 융합화에 대한 전략적 대응』.
- 서갑양(2004). 『NT, BT, IT 기술융합의 트렌드에 대하여(PDF)』. 서울대학교 기계항공공학부.
- 윤석천(1996). 『증장기 산업인력 수급전망과 대책』. 한국기술교육대학교.
- 이광호(2010), 나노기업의 실태 및 특성, 나노기술정책동향 No.14_07, 나노기술정책연구원
- 이상돈 외(2003). 『국가인력수급 전망과 정책과제(Ⅲ)』. 한국직업능력개발원.
_____ (2011). 『IT전문·융합인력 실태분석 및 전망』. 한국직업능력개발원.
- 이상철·유철규·방진욱(2005). 『혁신주도형 경제와 신산업정책』. 과학기술정책연구원.
- 전황수·허필선(2006). 『IT-BT-NT 기술 융합에 따른 산업육성전략』. 기술혁신정책연구팀.
- 전황수(2007). 『국내 IT기업의 IT-BT-NT 융합기술 개발 동향』.
- 통계청. 경제활동인구조사 원자료. 각 연도.
- 한국과학기술정보연구원.(2007). 나노인력, 그 특성과 수급 전망, 나노기술정책동향 제 3호.
- ABNC(2009), 나노기술인력의 수요 예측전망
- Ahamad, B. and Blaug, M.(1973). The practice of manpower forecasting: a collection of case studies. Amsterdam: Elsevier.
- Berman, Jay M.(2004). “Industry output and employment projections to 2012” .

- Monthly Labor Review, U.S. Bureau of Labor Statistics, Vol.127, No.2, pp. 58-79.
- De Grip, A., Heijke, H.(1998). Beyond Manpower Planning: ROA's Labour Market Model and its Forecast to 2002. Maastricht: ROA.
- Freeman, R.(1977). "Manpower requirements and substitution analysis of labor skills: a synthesis" . in Ehrenberg. R.(ed). Research in labor economics: an annual compilation of research. Connecticut: JAI press.
- Heijke, H.(1994). Labour Market Forecasts by Occupation & Education: The Forecasting Activities of Three European Labour Market Research Institutes. London: Kluwer Academic Publishers.
- M.C. Roco, C.A, Mirkin, and M.C. Hersam, Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020, NSF, WTEC report, 2010, Springer, Berlin, and Boston.
- Mike Rock. Global development of nanotechnology, NSF and NNI.
- Neugart, M. and Schomann, K.(2002). Forecasting labour markets in OECD countries, measuring and tackling mismatches. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Parnes, H.(1962). Forecasting educational needs for economic and social development, Paris: OECD.
- Pennings, Johannes & Puranam, Phanish(2001). Market Convergence and Firm Strategy: new directions for theory and research. ECIS Conference, The Future of Innovation Studies. Eindhoven, Netherlands.
- President' Council of Advisors on Science and Technology.(2005). The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel
- Sally S Tinkle, PhD. National Nanotechnology Initiative Positioning the NNI its second decade
- Tessaring, M.(1998). "The future of work and skills-visions trends and forecasts" . in Cedefop (ed), Vocational education and training-The european research field, background report 1998, Vol. 1, Cedefop, 271-317.
- U.S. Bureau of Labor Statistics(1997). BLS Handbook of Methods.
- Wilson, R.(2001). "Forecasting skill requirements at national and company levels" . in Descy. P. and Tessaring. M.(ed). Training in europe, second report on

vocational training research in europe 2000: background report, Vol, 2,
Cedefop Reference Series, 561-609.