

나노기술 인력의 수요 현황 및 예측

조대명¹⁾, 소대섭²⁾, 최경현³⁾

초 록

21세기의 나노기술은 국가경쟁력을 위한 핵심 학문과 기술로 대두되었다. 우리나라는 2001년 7월에 ‘나노기술종합발전계획’을 수립하였고, 2002년 12월에는 ‘나노기술개발촉진법’을 제정하여 국가의 전략기술로 범정부 차원에서 집중 투자하고 있음. 그 주요 내용으로 연구개발과 인프라 구축과 인력양성 등을 3대 핵심 과제로 추진하고 있다. 나노기술은 학문간, 기술간 및 산업 분야간 서로의 영역을 공유하는 다학제적 특성을 내포하고 있는 기술로서 미래의 기술혁신을 주도할 것으로 전망되고 있다. 또한, IT, BT, ET 등 신산업과 부품, 소재 등 기존 산업의 핵심 기술을 제공할 수 있는 기반기술로서 원천기술적 성격을 동시에 갖고 있다.

그동안 국내 나노기술 인력양성에 관한 조사 또는 연구는 매년 일부 수행되어 왔으나 나노기술 인력양성의 효과적 정책수립을 위한 보다 체계적이고 심층적인 조사와 분석에는 미흡했던 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 직접 설문을 통해 국내 나노기술 수요업체의 실태와 인력수요 현황을 조사, 분석하고 이를 바탕으로 나노기술의 세부 분야별 향후 인력 수요 전망을 통계적으로 예측한 후 해당 산업의 발전에 미칠 수 있는 영향을 분석하여 나노기술 인력 양성 정책 개발에 기반이 될 수 있는 정보의 제공을 목적으로 한다. 본 연구의 결과는 다음과 같은 내용을 포함한다.

- 나노기술 수요 업체의 특징 및 현황
 - 나노기술 수요 업체의 인력 상황 및 미래 계획에 대한 설문 결과
 - 설문 결과의 통계적 분석 및 이를 기반으로 하는 미래 상황 예측
- 주제어 : 나노기술, 인력 수요예측, 인력 양성 정책, 기술혁신, 산업고도화

1) 한양대학교 산업공학과 박사과정 e-mail: ph-seven@hanmail.net

2) 한국과학기술정보연구원 책임연구원 e-mail: dasus@kisti.re.kr

3) 한양대학교 산업공학과 교수, 교신저자 e-mail: ghchoi@hanyang.ac.kr

I. 서론

21세기의 나노기술은 국가경쟁력을 위한 핵심 학문과 기술로 대두되었다. 우리나라는 2001년 7월에 ‘나노기술종합발전계획’을 수립하였고, 2002년 12월에는 ‘나노기술개발촉진법’을 제정하여 국가의 전략기술로 범정부 차원에서 집중 투자하고 있는데, 그 중 연구개발과 인프라 구축과 인력양성 등을 3대 핵심 과제로 추진하고 있다. 나노기술은 학문간, 기술간 및 산업분야간 서로의 영역을 공유하는 다학제적 특성을 내포하고 있으며, 와해성(disruptive) 기술로서 미래의 기술혁신을 주도할 것으로 전망되고 있다. 또한, IT, BT, ET 등 신산업과 부품, 소재 등 기존 산업의 핵심 기술을 제공할 수 있는 기반기술로서 원천기술적 성격을 동시에 갖고 있다.

미국의 Lux Research의 분석에 의하면 현재 우리나라는 세계 선두권의 기술력을 인정받고 있으며⁴⁾, 정부의 체계적이고 적극적인 투자와 더불어 우수한 인력이 핵심원동력으로 작용하고 있는 것으로 평가된다.

그동안 국내 나노기술 인력양성에 관한 조사 또는 연구는 매년도 나노연감 등에서 일부 수행되어왔으나 나노기술 인력양성의 효과적 정책수립을 위한 보다 체계적이고 심층적인 조사와 분석에는 미흡한 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 직접 설문을 통해 국내 나노기술 인력 수요업체의 실태와 인력수요 현황을 조사, 분석하고 이를 바탕으로 나노기술의 세부 분야별 향후 인력수요 전망을 통계적으로 예측한 후 해당 산업의 발전에 미칠 수 있는 영향을 분석하여 나노기술 인력양성 정책 개발에 기반이 될 수 있는 정보의 제공을 목적으로 한다.

II. 나노기술

2.1 나노기술의 개요

나노기술은 물질을 원자나 분자 단위로 조작해서 만들 수 있는 미세 크기의 물질(대략 1~100 나노미터)에서 나타나는 새로운 특성을 소재, 소자 등 다양

4) 나노기술인력 공급현황 조사와 전망을 위한 기초연구, 한국과학기술정보연구원, 2008

한 방면에 적용하는 미래형 첨단기술이다.

물질은 그 크기가 작아지면서 그것이 갖는 가장 기본적인 화학적, 전기적, 물리적 특성이 변화하는데 물질의 크기가 나노미터 수준으로 작아지면 물질의 전도성, 경도, 녹는점 등의 성질이 파동-입자 이중성 또는 양자 효과와 같은 독특한 성질로 나타난다. 이러한 성질은 기존의 물질 조作的 한계성으로 인해 접근이 어려웠던 분야에 적용될 수 있어 이론적으로만 가능했던 첨단 제품의 실현을 가능하게 할 수 있다.

<표 1> 나노 기술의 대표적 활용 분야⁵⁾

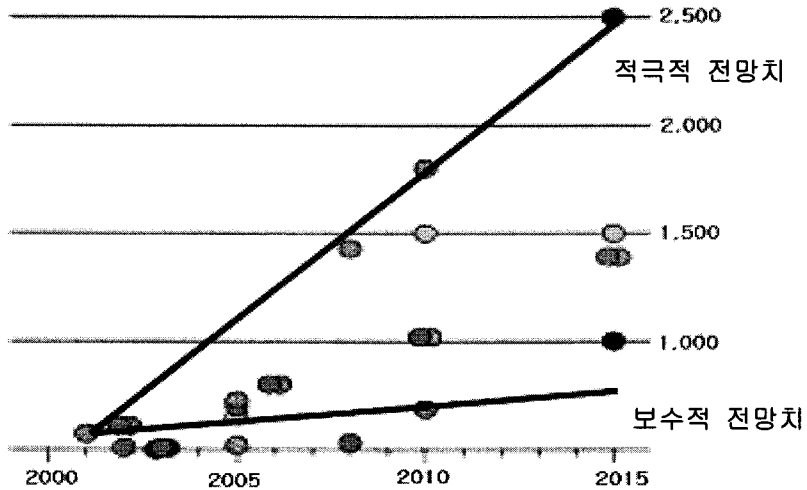
기술분야	활용분야 (또는 세부기술)
구조용 나노소재	경량고강도 소재, 초정밀 연마제, 초내식성 소재, 고온지지체
촉매용 나노소재	화학공업용 촉매, 환경산업용 촉매
전자부품용 나노소재	정밀전자소자/부품(극소형, 다층), 정전차폐용 소재, 도전용 소재
정보저장용 나노소재	자성 나노소재, 광학소재(포토닉 결정소재)
수송용 나노소재	나노구조 멤브레인, 경사구조 멤브레인, 촉매형 나노구조 멤브레인
나노 CMOS	DRAM, SRAM, 플래시 메모리, 마이크로 프로세서
나노전자소자	메모리, 로직소자, 센서소자, 전계방출소자
PBG 광소자	암호통신용 단일 광자발생기, 광집적회로, 고효율 광결정 LED, 광결정 광섬유, 고효율 수직 발광 레이저
화합물 반도체 양자점 발광소자	광통신용 레이저 다이오드, 광통신용 광증폭기, 고효율 반도체 레이저, 표면 발광 반도체 레이저 (QD VCSEL)
양자점 원적외선 수광소자	의료영상 장비, 열상장비, 인공위성 탑재용 FPA (Focal Plane Array), 군사용 seeker
THz 나노광소자	THz 분광기술, THz 양자폭포레이저, THz 수광소자, 의료 분광
나노자기소자	신기능 논리소자, 초고감도 바이오센서, 재생센서, 공명터널소자
나노분자소자	나노 화학센서, 분자메모리, 분자로직소자
DNA소자	광검지기, 트랜지스터, DNA 염기배열 분석기, CNT 및 생체분자 분별기, 신물질 혹은 신약 합성 및 전달
나노바이오칩	단백질 Array 칩, DNA Array 칩, 세포 Array 칩, 신경세포 Array 칩
나노바이오센서	나노선, 나노입자, 분자전자, 나노플루이드스
인공근육	전장전기 활성재료, 이온전기 활성재료, 물리적 자극인자에 따른 재료, 화학적 자극인자에 따른 재료
생체전달막	리포좀 표면처리기술, 리포좀 네트워크형성기술, 생체에너지생산용 리포좀 제작기술

5) 나노기술인력 공급현황 조사와 전망을 위한 기초연구, 한국과학기술정보연구원, 2008

현재 나노기술을 응용한 제품시장의 규모는 크지 않지만 무한한 잠재력을 갖고 있고 이로 인해 장래에 엄청난 시장을 형성할 것이라는 데는 의견이 일치한다.

<그림 1> 나노기술 적용제품 시장규모 전망치⁶⁾

(단위: \$10억)



이러한 미래의 무한한 잠재력으로 인해 세계 각국은 나노기술 분야의 육성을 위해 경쟁적으로 노력을 기울이고 있는 것이다.

2.2 나노기술 및 나노기술 인력의 특성

나노기술은 물질의 미세조작 및 이의 응용에 초점을 맞추고 있는 기술로써 자연과학 및 공학 등을 기반으로 하는데, 여타 기술에 비해 대표적인 특성으로 꼽히는 것이 융합성이다.

다루는 대상의 크기가 나노 수준으로 작아지면서 정밀도를 확보하기 위해서는 물질의 근본성질, 현상, 과정 등 물질의 특성에 대한 이해가 필요하고, 이를 위해서는 화학, 물리, 생물, 전자공학 등 다양한 측면의 복합적 지식이 필요하다. 따라서, 나노기술은 물리 화학 등의 각 분야 성과를 종합해 이뤄져야 하며, 이

6) Raymond Monk "Nanotechnology in Europe GNN Development Workshop", 2005

를 바탕으로 분자 수준의 컴퓨팅, 메카트로닉스, 통신, 측정 등의 응용분야로 가치를 쳐나가게 되었다. 이러한 점에서 나노기술은 물리, 화학, 생명 등의 기초과학과 전자, 재료 등의 공학이 밀착되어 이루어진 융합과학이면서 융합기술의 특성을 나타낸다⁷⁾.

나노기술 인력은 나노미터 크기의 물질을 조작, 분석 및 제어하는 과학자, 공학자 및 기술자를 가리키는 일반적 지칭이다. 우리나라에서 나노기술은 지난 90년대 후반 들어 본격적으로 각광받기 시작한 분야이어서, 현재의 나노기술 인력은 기존의 물리학, 화학, 전자공학, 재료공학 등의 분야에서 전환·활용된 인력이 주축을 이루고 있다. 융합적 특성을 갖는 나노기술의 특성상 나노기술 인력은 화학, 물리, 생물, 전자공학 등 여러 과학기술 부문에 걸친 의사소통을 할 수 있는 능력이 요구되고, 한 분야 이상에 대해 충분한 이해력을 갖는 것이 필요하다. 전통적 분류에 따른 과학기술은 서로 다른 용어, 문화, 분석틀로써 자연계를 바라보는 독특한 시각을 갖고 있지만, 융합과학의 특성을 갖는 나노기술을 구현하기 위해서는 지금까지 학문이 구축해 온 분야를 넘나드는 횡단성이 요구된다.

Ⅲ. 나노기술 인력 수요 현황 및 예측연구를 위한 방법론

본 연구는 우선적으로 본 연구에 한정할 나노기술 인력과 나노기술 분야를 정의한 후 조사 대상을 선정하여 이들의 형태, 위치, 사업 분야, 매출액 등의 기본 사항과 현재 관련 기술 인원 및 향후 수요 인원, 인원별 담당 업무의 형태 등을 직접 설문을 통하여 자료를 입수하였으며 이를 기반으로 기업의 나노기술 인력 현재 상황 및 향후 수요 변화를 예측하였다.

3.1 나노기술 인력의 정의 및 분류

나노기술 인력의 사전적 의미는 나노미터 크기의 물질을 조작, 분석 및 제어하는 과학자, 공학자 및 기술자를 지칭한다. 즉, 새로운 나노기술을 연구 개발하는 과학자, 공학자, 그리고 나노기술을 산업화하여 실생활에 적용하는 제품 등

7) 나노생산기술인력 수요실태 조사를 위한 기초연구, 나노산업기술연구조합, 2008

을 생산하는 데에 종사하는 기술자를 뜻 하지만 본 연구에서는 나노기술 분야의 연구개발, 생산제조 및 기타(기술영업 및 지원분야)분야에 종사하는 인원으로 정의하였다⁸⁾.

<표 2> 본 연구에서 적용한 나노기술 인력의 업무 분야별 분류 방법

연구·개발	생산·제조	기타
나노과학기술 분야의 지식을 축적하거나 새로운 적용방법을 찾아내기 위하여 창조적 활동을 수행하는 인력	대학이나 국공립연구기관을 제외한 나노과학기술 관련 산업 현장에서 생산 활동에 종사하는 인력	나노과학기술 관련 산업에서 사업화 및 판매 또는 이의 지원 분야에 종사하는 관련 기술 및 지식을 보유한 인력

또한 이들 인력의 기술 수준을 정의하기 위해 초급, 중급 및 고급의 등급으로 나누어 분류 하였다.

<표 3> 본 연구에서 적용한 나노기술 인력의 등급별 분류 방법

등급	분류기준			
	학력	자격	직급	경력
고급	석박사 수준	기술사 수준	과장급 이상	학사 후 5년이상 석사 후 3년이상
중급	4년제 학사수준	기사 수준	대리/사원급	고졸 후 5년이상 전문학사 후 3년이상
초급	전문학사 수준	산업기사 수준	사원급	고졸 후 2년 이상

3.2 나노기술 분야의 정의

나노기술 분야의 정의는 현재 관련 분야의 전문가 의견을 수렴하여 작성된 나노산업기술연구 조합의 분류 기준을 기반으로 나노소재/환경/에너지, 나노소자, 나노바이오/의료/보건 및 나노기반 분야로 정의 하였다.

8) 본 연구에서는 나노기술과 관련된 산업분야에 종사하는 관련 기술 및 지식 보유 인력으로 나노기술 인력의 의미를 광의적으로 해석하였다.

<표 4> 나노기술 분야의 정의

나노소재/환경/에너지	구조용 나노소재, 촉매용 나노소재, 전자부품용 나노소재, 정보저장용 나노소재, 수송용 나노소재, 기타 나노소재, 환경촉매용 나노기술, 태양전지용 나노기술, 수소에너지용 나노기술, 이차전지용 나노기술, 초고용량 커패시터용 나노기술, 연료전지용 나노기술 등
나노소자	나노 CMOS, 나노전자소자, PBG 광소자, 화합물반도체, 양자점 발광소자, 양자점 원적외선 수광소자, THz 나노광소자, 자기소자 나노분자소자 등
나노바이오/의료/보건	나노 바이오칩, 나노 바이오센서, DNA소자, 인공근육, 생체전달막 바이오 단백질소재, 단백질 감지기술, 약물 전달기술, 나노바이오시스템, 약물 전달시스템, 진단용 조영제, 진단시약 등
나노기반	나노공정(자기조립), 나노장비, 나노측정, 전산모사 등

3.3 설문

본 연구에서는 나노기술 분야 사업을 영위하고 있는 기업을 대상으로 직접 설문을 통해 현재 나노기술 인력의 현황과 향후 변화 상황을 추정하였다. 설문 수행 과정의 주요 내용은 다음과 같다.

<표 5> 설문 수행의 주요 내용

구분	주요 고려사항	주요 내용
조사 대상의 분류	조사 대상의 적정성을 고려한 인력 수요 집단의 분류	○ 나노관련 사업 수행 업체
파라미터의 도출	인력 수요 집단의 특징을 고려한 파라미터를 선정	○ 주요 사업 분야 ○ 기업규모 ○ 지역 ○ 기술등급별 인원 ○ 담당 업무별 인원 등
적정 설문 매체의 개발	인력 수요집단의 응답편이성을 고려한 설문매체의 개발	○ e-mail 설문
설문 결과의 정리	설문 응답의 적합성을 고려한 데이터의 추출	○ 파라미터별 데이터의 정리
통계적 분석	인력수요 현황 및 향후 예측	○ 파라미터별 특징 분석 ○ 주요 파라미터간 상관성 분석 ○ 현황 및 향후 종합적 예측

설문 대상은 총 202업체로써 2008 나노코리아 참가업체, 나노산업기술연구조합 회원업체 및 2007년 나노기술연감(한국과학기술정보원 발행)에 수록된 업체를 대상으로 하였으며 업체는 서로 중복되지 않게 선정 하였다.

설문은 e-mail을 통해 이루어졌으며 설문자의 편의를 위해 e-mail 상에서 직접 응답을 할 수 있도록 설문 내용을 프로그래밍 하였다.

IV. 설문의 결과 및 분석

총 설문대상 202 업체 중 총 163업체가 응답을 하였으나 이중 업체명 등 기본적인 사항을 명기하지 않았거나 응답 항목 중 수치 입력의 에러로 인한 업체 20곳을 제외되어 최종적으로 143 업체의 응답이 유효 데이터로 채택되었다.

<표 6> 설문 응답 현황

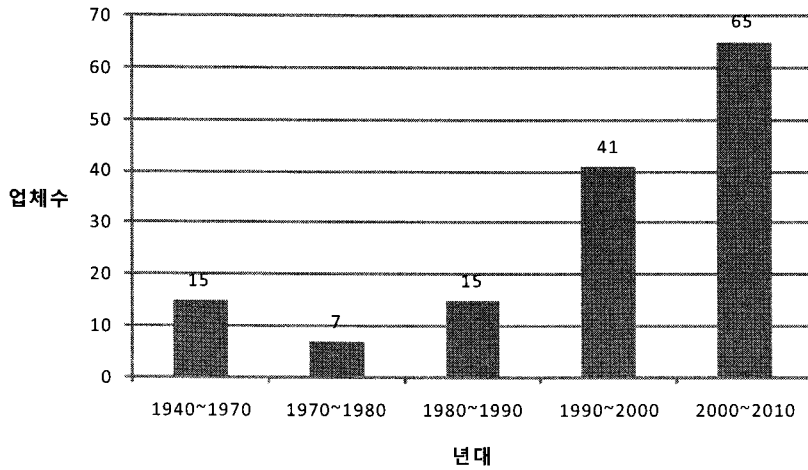
총 설문대상	총 응답	유효 응답
202 업체	163 업체	143 업체
	총 응답율 80.7%	유효 응답율 70.8%

4.1 나노기술 인력 수요 업체의 현황

4.1.1 설립 추이

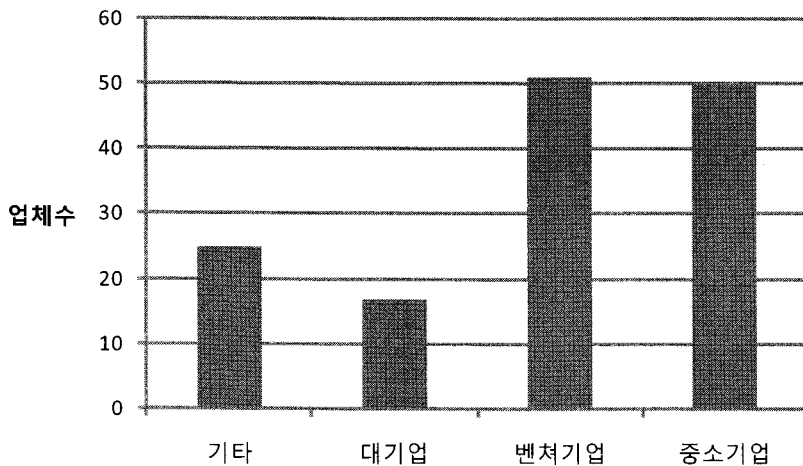
분석 결과 나노기술 관련 기업의 설립은 약 74%가 1990년대 이후인 것으로 나타나고 있다. 특히 2000년 이후에 설립된 기업은 65업체로써 전체의 약 45%에 해당한다.

<그림 2> 나노기술 인력 수요 업체의 설립 추이



4.1.2 기업 형태별 분포

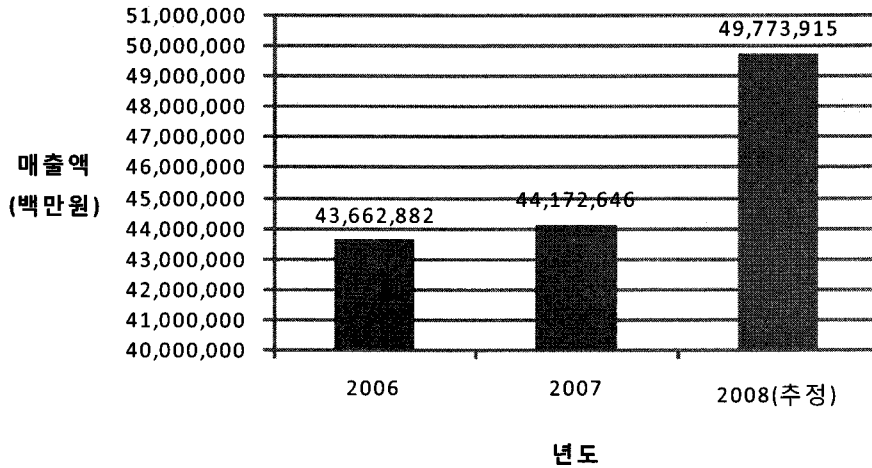
<그림 3> 기업 형태별 분포



설문조사 결과 나노기술 관련 사업을 수행하고 있는 기업은 대부분 벤처기업과 중소기업으로 나타나고 있는데, 전체의 약 70% 이상을 차지하고 있다.

4.1.3 매출 현황

<그림 4> 전체적 매출 현황



설문에 응한 유효 응답 업체 143개의 전체 매출액은 2006년 약 43조원, 2007년 약 44조원, 2008년 약 49조원(추정치)으로 매해 증가하고 있으며 연평균 성장률(CAGR, Compound Annual Growth Rate)은 약 6.7%로 나타나고 있다.

4.1.4 전체 매출액 중 나노기술 관련 분야 매출액 비중 (2008년 기준)

<표 7> 나노기술 관련 분야 매출액 비중

나노기술 분야 매출액 비중	나노기술 분야 매출액 추정
47.8% ⁹⁾	23,781,977백만원 ¹⁰⁾

설문결과 전체 매출액 중 나노기술 관련 분야 매출액은 평균 47.8%로 나타났다.

9) 설문결과 평균치

10) 2008년 매출액 추정치에 나노기술 분야 매출액 비중(설문결과 평균치)를 적용

4.2 나노기술 인력 수요의 변화 예측 분석

4.2.1 전체 산업체 측면의 향후 예측

설문분석 결과 나노 관련 산업체 전체 측면에서 살펴보면 향후 2013년까지 현재 보다 연평균 12.3%의 수요 인원 증가가 일어날 것으로 나타나고 있다. 하지만 통계 분석 결과 오차 범위가 약 4.95%로써 응답자별 차이가 큰 것으로 분석 된다.

<표 8> 전체 나노기술 인력 수요 산업체 측면의 향후 인원 증가 예측

수요인원 성장율 (%)	전체	기술분야				기술수준			업무분야		
		소재	소자	Bio	기반	초급	중급	고급	생산	연구	기타
평균	12.34	9.45	12.37	15.94	10.84	16.78	11.79	20.34	1.91	12.78	-21.30
신뢰수준	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
오차범위 (±)	4.94	5.59	4.88	3.56	4.90	2.65	2.48	2.67	7.93	4.46	9.94
전체와의 상관계수	-	0.99	0.11	0.11	0.89	0.89	0.99	0.91	0.17	0.08	0.07

전체 수요 인원의 증가와 가장 높은 상관성을 보이는 기술 분야는 나노소재 분야와 나노 기반 분야로 나타나고 있는데, 이는 전체 인원 증가 패턴과 유사한 증가 패턴을 보인다는 의미로 해석된다. 기술 수준별로는 초급, 중급 및 고급 모두 전체 수요 인원 증가와 유사한 상관성을 보이고 있으며, 업무 분야별로는 전체 수요 인원 증가와의 상관성이 약한 것으로 나타났다.

4.2.2 기업규모별 산업체 측면의 향후 예측

설문분석 결과 나노 관련 산업체 기업별 규모 측면에서 살펴보면 대기업의 경우 향후 2013년까지 현재 보다 연평균 14%의 수요 인원 증가가 일어날 것으로

로 나타나고 있다. 통계 분석 결과 오차 범위가 약 3.4%로써 응답자별 차이는 크지 않은 것으로 분석 된다.

<표 9> 나노기술 인력 수요 대기업 측면의 향후 인원 증가 예측

수요인원 성장율 (%)	전체	기술분야				기술수준			업무분야		
		소재	소자	Bio	기반	초급	중급	고급	생산	연구	기타
평균	14.27	4.77	21.47	21.06	10.97	34.43	13.94	22.23	7.50	17.52	1.78
신뢰수준	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
오차범위 (±)	3.40	19.37	6.94	4.13	5.89	10.10	3.83	5.67	22.70	5.19	27.88
전체와의 상관계수	-	1.00	-0.06	-0.04	0.98	0.88	0.99	0.90	0.09	-0.01	-0.02

대기업 측면에서 전체 수요 인원의 증가와 가장 높은 상관성을 보이는 기술 분야 또한 나노소재 분야와 나노 기반 분야로 나타나고 있다. 기술 수준별로는 초급, 중급 및 고급 모두 전체 수요 인원 증가와 유사한 상관성을 보이고 있다. 벤처기업의 경우 향후 2013년까지 현재 보다 연평균 18% 이상의 높은 수요 인원 증가가 일어날 것으로 나타나고 있다. 통계 분석 결과 오차 범위는 약 4.3%로써 응답자별 차이는 다소 큰 것으로 분석 된다.

<표 10> 나노기술 인력 수요 벤처기업 측면의 향후 수요 인원 증가 예측

수요인원 성장율 (%)	전체	기술분야				기술수준			업무분야		
		소재	소자	Bio	기반	초급	중급	고급	생산	연구	기타
평균	18.57	19.26	30.93	26.48	15.22	14.81	10.64	20.69	-3.25	15.86	-32.94
신뢰수준	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00	95.00
오차범위 (±)	4.37	3.44	4.84	10.22	5.00	3.55	2.85	4.56	13.96	4.84	16.51
전체와의 상관계수	-	0.36	0.08	0.06	0.91	0.55	0.73	0.88	0.76	0.76	0.70

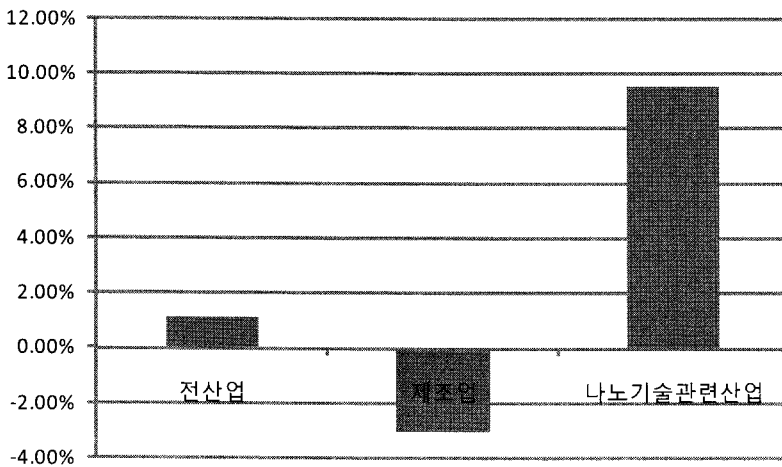
전체 수요 인원의 증가와 가장 높은 상관성을 보이는 기술 분야는 나노 기반 분야로 나타나고 있다. 기술 수준별로는 중급 및 고급에 있어 전체 수요 인원 증가와 유사한 상관성을 보이고 있다.

4.3 나노기술 인력 수요 산업과 타 산업과의 인력 수요 성장률 비교 분석

나노관련 산업은 현재 산업 규모는 크지 않지만 미래형 산업으로써 향후 그 성장성이 대단히 우수한 것으로 평가되고 있다.

이러한 특성으로 인해 현재 나노기술 관련 산업은 여타 산업에 비해 고용창출이 활발하게 일어나고 있는 분야로 분석된다.

<그림 5> 타 산업 대비 나노기술 관련 산업의 고용 신장률 비교¹¹⁾



고용 성장률 면에서 보면 나노기술 인력 수요 산업은 전산업 평균 성장률을 훨씬 뛰어 넘는 수준이다.

11) 전산업, 제조업 고용 성장률 : 통계청 자료 이용 2006~2008년 평균치 적용, 나노기술관련 산업 고용 성장률 : 설문 결과

V. 결론

연구결과를 바탕으로 향후 나노기술 관련 산업의 수요 인원을 예측해 본 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 나노 관련 산업은 여타 산업에 비해 향후 성장 가능성이 높은 산업으로 인력 수요의 증가율도 클 것이다.
- 우리나라의 나노 관련 산업은 대기업 보다는 중소, 벤처기업의 참여가 활발한 분야이다.
- 나노 관련 산업은 향후 5년 까지 연평균 10% 이상의 높은 수요 인원 증가 추세가 이루어 질 것이다.
- 나노 관련 산업 중 가장 높은 인력 수요가 발생할 분야는 나노 소재와 나노 기반분야이다.
- 나노 관련 산업의 중요성 및 국내 산업 전반에 미치는 영향력을 감안할 때 수요 인원 증가 추세에 대응할 수 있는 인력 공급 계획이 필요하다.

참고문헌

1. 나노기술인력 공급현황 조사와 전망을 위한 기초연구, 한국과학기술정보연구원, 2008
2. 나노생산기술인력 수요실태 조사를 위한 기초연구, 나노산업기술연구조합, 2008
3. 나노기술 영향평가, 과학기술부, 2005. 12.
4. 나노기술연감 2005, 과학기술부, 한국과학기술정보연구원, 2006.
5. 나노금속분말재료의 연구현황, 기계와 재료, 14권 2호, 2002.
6. 산업기술동향분석 -Nano섬유소재, 한국산업기술평가원, 2006
7. NT특허분석보고서, 특허청, 2004
8. Raymond Monk "Nanotechnology in Europe GNN Development Workshop", 2005
9. Portet, C.; Taberna, P.L.; Simon, P.; Flahaut, E., "Influence of carbon nanotubes addition on carbon-carbon supercapacitor performances in organic electrolyte", Journal of Power Sources, Vol. 139, p.371 (2005)