

나노융합기술의 산업화 촉진 전략

- 나노융합산업 발전단계 모니터링 시스템
구축 전략을 중심으로 -

정은미

2012. 11.

머 리 말

나노기술은 10억분의 1미터 크기의 극미세 세상을 다루는 최첨단 기술로서 우리에게 무한한 가능성을 제시하고 있습니다. 다목적 융합기술로서 나노기술은 나노소재, 나노전자 등 다양한 분야에서 획기적인 제품을 출현시키면서 산업을 바꾸고 있습니다.

2001년 미국의 국가나노기술전략(NNI) 발표를 기점으로 본격화한 주요국의 나노기술의 육성 전략은 2010년 'Nano 2.0 시대'로 진입하면서 나노융합산업의 본격화를 알리고 있습니다. 우리나라에서도 나노기술이 신성장동력과의 상승적 융합을 통해 산업경쟁력을 획기적으로 향상시킬 것으로 기대되고 있습니다. 나노융합산업은 산업발전에 새로운 모멘텀이 될 것으로 예상되며 적극적인 투자와 지원이 이루어지고 있습니다.

본 연구는 나노기술의 산업화를 촉진하기 위해서는 나노융합산업의 발전단계를 모니터링하는 시스템이 필요하다는 점을 강조하고 있습니다. 이를 통해 우리는 나노기술의 제품화 및 산업화에 대한 수준과 영향의 범위에 대하여 잘 이해할 수 있으며 보다 효과적인 산업발전 정책을 추진하기 위한 기초자료를 확보할 수 있을 것으로 예상합니다.

아울러 국내외에서 나노융합산업을 이해하기 위하여 취하고 있는 다양한 접근방법에 대해 살펴보면서 우리도 OECD를 포함하여 국제적으로 논의되고 있는 통계분석 프로젝트에 적극적으로 참여할 필요가 있다는 점을 강조하고 있습니다.

이에 본 연구에서는 나노기술에 대한 정의에서 출발하여 그 중요

성과 특성을 살펴본 후 나노융합제품에 기반하여 나노융합산업을 정의하고 있습니다. 그리고 나노융합산업의 조사대상, 적용 분야 및 수준, 조사항목과 나노기술의 활용 유형, 산업분류와의 연계를 산업발전단계 모니터링에서 제기되는 주요 과제로 제시하였습니다.

따라서 나노융합산업의 발전단계 모니터링 시스템 구축을 위해서는 우선 산업계와 과학기술 전문집단이 합의하여 도출된 정의에 기반해야 하며, 둘째, 주요 지표들이 산업통계와 비교가능해야 하며, 셋째, 통계 및 지표가 시계열로 축적되어 단계적으로 발전하는 것이 원칙이 되어야 합니다. 그리고 기술-제품-산업을 연계하는 제품 인벤토리 구축, 나노융합제품 혹은 산업에 대한 나노기술의 기여도 분석사례 확대, 나노융합산업 분류체계 도출이 전제되어야 한다고 보고 있습니다.

나노융합산업 발전단계를 파악하기 위해서는 모니터링 대상을 사업체뿐만 아니라 연구개발기관, 대학, 시험·평가·인증 기관으로 확장하고 모니터링에 필요한 지표를 산업발전단계에 대응하여 구성해야 합니다. 이에 마지막으로 산업발전단계 초기에 해당하는 나노융합산업에 우선적으로 필요한 기초지표를 제시하고 있습니다.

본 연구는 산업연구원의 2012년 기획과제로 추진되었으며, 성장동력산업연구센터 정은미 연구위원의 책임하에 집필하였습니다. 작성 과정에서는 나노기술 및 나노융합산업 분야 전문가들의 의견을 반영하였습니다. 본 연구의 집필자는 보고서가 발간되기까지 유익한 논평과 의견을 통해 보고서의 완성도를 높이기 위해 도움을 주신 분들께 감사드립니다. 특히 과학기술정책연구원의 이광호 연구위원, 지식경제부 박병기 사무관, 한국산업기술평가관리원의 최영진 나노융합 PD, 산업연구원의 장윤종 박사, 최윤희 박사, 장석인

박사께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

아무쪼록 본 연구가 나노융합기술의 산업화에 대한 파급경로 및 주요 제약요인을 파악하기 위한 방법론을 제시하는 연구가 되기를 바랍니다. 그리고 향후 우리나라 나노융합산업을 보다 잘 이해하고 효과적인 산업화를 촉진하기 위한 정책수립에 유용하게 활용되기를 기대합니다.

끝으로 본 연구보고서의 내용은 필자의 개인 견해이며, 산업연구원의 공식 견해가 아님을 밝혀둡니다.

2012년 11월

산업연구원장 송 병 준

차 례

머리말.....	3
요약.....	13

제1장 서론35

1. 연구 배경과 필요성	35
(1) 나노기술의 발전과 융합효과에 대한 관심 증대.....	35
(2) OECD 나노통계 프레임워크의 발전.....	38
(3) 나노융합산업 발전단계 모니터링 시스템 구축의 필요성.....	41
2. 연구목적 및 기대효과	42
(1) 연구목적	42
(2) 기대효과	43

제2장 나노융합산업의 주요 개념46

1. 나노기술	46
(1) 나노기술의 정의	46
(2) 나노기술의 응용 분야.....	51
2. 나노융합산업	54
(1) 나노융합산업의 정의와 중요성.....	54
(2) 나노융합산업의 특성	59
(3) 핵심유망가능기술로서의 나노융합기술	62

제3장 나노융합산업 측정·분석 방법론66

1. 나노융합산업 측정·분석에서 제기되는 주요 과제	66
(1) 조사의 대상	66
(2) 나노기술의 적용 분야 및 수준	70

(3) 조사항목(조사지표).....	79
(4) 나노기술 활용 유형의 구분	83
(5) 산업통계의 확장성	87
2. OECD WPN이 제기하는 주요 고려사항	91
(1) 관리 · 사용가능한 DB(Administrative/available databases).....	92
(2) 기업 및 기타 설문조사(Company and other surveys)	93
(3) National Model Survey의 발전	97
(4) 국제적으로 비교가능한 통계 프레임워크의 개발	98
3. 나노융합산업 측정 · 분석 주요 사례	99
(1) 산업연구원 : 나노융합산업 생산규모 추정	99
(2) STEPI, KISTI	101
(3) 산업연구원 : 나노기술의 경제적 기여도 분석	102
(4) OECD WPN/NNI(2012)	104
(5) M. R. Roco 외(2010)	106
4. 시사점	108

제4장 나노융합산업 모니터링 시스템 구축 전략 111

1. 모니터링 시스템 구축의 기본 방향.....	111
(1) 나노기술 및 나노융합산업의 정의 기반	111
(2) 산업통계와의 일관성과 체계성 확보	112
(3) 나노융합산업의 통계활용성 제고	113
2. 산업발전단계 모니터링을 위한 기반 확충	115
(1) 기술-제품-산업 연계 및 인벤토리 구축.....	115
(2) 나노기술 기여도 분석사례 확대	118
(3) 나노융합산업 분류체계의 정립	122
3. 모니터링 추진 세부 방안	128
(1) 모니터링 대상의 선정	128

(2) 모니터링에 필요한 지표	131
------------------------	-----

(3) 조사 주기 및 방식	135
----------------------	-----

참고문헌.....	137
-----------	-----

부표	141
----------	-----

표 차례

〈표 1-1〉 선행연구와 본 연구의 차별성	44
〈표 2-1〉 나노기술의 정의	49
〈표 2-2〉 리스트 기반 나노기술 응용 분야	53
〈표 2-3〉 우리나라 성장 유망 분야의 변화	55
〈표 2-4〉 나노융합의 주요 적용 분야	57
〈표 2-5〉 신성장동력 부문과 나노융합기술	58
〈표 3-1〉 나노 관련 기술 및 제품 분류체계 현황	71
〈표 3-2〉 나노기술의 최종제품지향 분류체계(2010)	74
〈표 3-3〉 기술씨앗형 분류체계	76
〈표 3-4〉 나노융합 2020 핵심기술 분야	78
〈표 3-5〉 나노기술의 응용 분야 - 예시	85
〈표 3-6〉 나노기술의 적용 단계	85
〈표 3-7〉 나노기술 응용 분야와 산업분류와의 연계	89
〈표 3-8〉 영국 녹색 나노기술의 가치혁신에 대한 사례연구(요약)	105
〈표 3-9〉 주요 산업별 나노기술의 적용 사례	107
〈표 3-10〉 나노융합산업 발전단계 모니터링을 위한 세부 과제	109
〈표 4-1〉 나노융합제품, 기술 인벤토리 구축 현황	116
〈표 4-2〉 나노기술의 신산업 분야 기여도 추정	120
〈표 4-3〉 나노융합산업 분류체계(안)	127
〈표 4-4〉 나노융합산업 관련 주체 및 모니터링 단계	130
〈표 4-5〉 나노융합산업 모니터링을 위한 주요 지표(기업체)	134
〈부표 1〉 나노융합산업 분류체계(초안)	143
〈부표 2〉 최종제품지향 분류체계(2009)	149

그림 차례

〈그림 1-1〉 나노기술에 대한 공공부문 R&D 지원 현황.....	37
〈그림 2-1〉 나노융합기술 산업화 단계 및 주요국 현황.....	56
〈그림 2-2〉 나노융합과 산업발전 경로의 변화	61
〈그림 4-1〉 산업발전 단계별 특성 및 주요 지표.....	133

요 약

제1장 서 론

1. 연구 배경과 필요성

나노기술이 빠르게 발전하고 이어 과학기술과 산업에 다양한 영향을 미치면서 그동안 투자된 나노기술의 성과에 대한 관심도 함께 높아지고 있다. 그러나 과학기술적 성과는 어느 정도 제시되고 있는 반면 사회·경제적 측면들은 아직까지 대내외적으로 신뢰성 있는 지표나 통계의 개발이 미흡하여 거의 모니터링되지 못하는 실정이다.

기존에 활용되는 통계는 대부분 과학적 발전이나 특허를 중심으로 하며 나노기술 혁신성과의 일부만을 파악할 수 있을 뿐, 기업, 비즈니스, 나아가 사회·경제적인 영향에 대한 분석 틀은 이제 막 시작 단계에 진입했다. 그러나 과학기술·산업정책은 R&D투자, 나노기술의 상업화, 산업사회 활성화 등에 대한 발전과 그 영향에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다.

여기에 최근 수년간 OECD의 나노기술작업반(WPN)에서는 유망 기술로서 나노기술의 특성과 발전에 대하여 국제적으로 비교가능한 지표를 정의하고 프레임워크의 구조를 도출하기 위한 시도가 진행 중이다. 그동안 지속적인 논의를 통해 나노기술의 단일한, 그리고 목록에 의한 정의들을 검토하였으며, 핵심지표, 모델질문의 발전 등에 대해서는 국가모델 파일럿 조사를 시도하기도 했다.

세계 4위의 나노기술 경쟁력을 갖는 것으로 평가되는 국내에서도 제조업을 혁신하고 산업성장의 한계를 극복하는 유력한 방안으로 나노융합기술의 활용에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 나노기술의 제품화 및 산업화 수준과 영향의 측정에 대한 관심도 높아지고 있다. 나노기술의 활용에 의한 기존 산업의 업그레이드와 신산업의 창출에 대한 수준과 범위를 파악하고 정부 및 민간 투자의 성과에 대한 평가가 필요하기 때문이다.

그러나 이런 요구와는 달리 국내에서도 지금까지 나노융합에 대한 대부분의 논의가 기술개발 관점 혹은 기업 관점에서 이루어졌으며 산업 관점에서의 접근은 미흡하였다. 이것이 바로 산업경제적 활용의 촉진을 뒷받침하며 핵심지표와 데이터베이스를 구축하고 나노융합산업의 모니터링 전략을 마련하기 위한 기본연구가 필요한 이유이다.

2. 연구목적 및 기대효과

본 연구는 나노융합기술의 산업경제적 활용을 촉진할 목적으로 나노융합기술의 산업화 파급경로 및 주요 제약요인을 파악하고 산

업정책의 방향을 도출하기 위해 모니터링 시스템 구축 전략을 제시하고자 한다.

이를 위해 우선 OECD의 나노기술작업반,¹⁾ 미국 국가나노기술전략²⁾ 등을 중심으로 나노기술과 녹색성장과의 관계, 사회경제적 영향 등에 대한 논의를 살펴보고 있다. 다음으로 나노기술이 한국 경제에서 어떻게 활용되고 있는지를 파악하기 위한 주요 지표를 제시하고 모니터링 방법을 제시하고 있다.

본 연구는 나노기술이 나노융합산업으로서의 성장을 파악할 수 있는 기본지표와 경로, 분야를 분석하는 방법론에 대한 예비 연구로서의 의의를 갖는다. 그리고 나노기술을 모니터링하는 국제적 논의, 즉 OECD WPN, European Commission, 미국 NNI를 중심으로 추진되는 나노통계 분석 틀 작성에 한국도 주도적으로 참여하기 위한 기초자료 작성을 지원하기 위해 추진되었다.

이를 통해 나노기술 개발의 효율화와 산업경제적 활용을 촉진하기 위한 주요 과제 도출의 인식 틀을 마련할 수 있을 것으로 예상된다. 산업분류를 기준으로 한 분류체계의 도입, 나노융합산업 발전단계를 고려한 지표개발 및 모니터링 시스템 확립 등은 향후 나노기술 개발의 효율성을 높이고 경제적 파급효과를 높이기 위한 정책추진을 뒷받침할 것으로 기대된다.

1) Working Party for Nanotechnology(이하 WPN).

2) National Nanotechnology Initiative(이하 NNI).

제2장 나노융합산업의 주요 개념

1. 나노기술

나노기술의 특징과 핵심활동에 대한 정의는 나노기술의 활용과 성과를 파악할 수 있는 지표와 통계 발전에 필수적이다. 나노기술에 대해 정의하고자 하는 시도는 다양한 국가에서 R&D 지원과 정책적 전략 수립을 위해 이루어져 왔다.

OECD WPN은 국가 간 논의를 통해 2011년에 나노기술에 대하여 국제표준화기구 나노기술위원회³⁾의 정의를 적용하기로 합의하였으며, 국제적으로 비교가능한 나노기술의 통계 분석 틀을 마련하는 과정에서 동 정의를 사용할 것을 요청하였다. OECD WPN/ISO TC229의 정의는 다음과 같다.

“나노 단위에서 물질과 공정의 조작을 이해하기 위해서는 전적이지는 않지만 전형적으로 100나노 이하에서 적용가능한 규모에 기반해야 한다. 나노 단위 물질의 사용은 개별 원자, 분자, 벌크에서의 특성과는 구분되며, 보다 향상된 물질, 디바이스, 시스템은 이런 새로운 특성을 이용하여 만들어진다.”

한편 우리나라에서도 나노기술을 “100nm 이하의 크기에서 인위적으로 물질을 제조·조작·제어함으로써, 기존 물질보다 월등히 우수한 물리화화학적 특성을 발현하도록 하는 기술”로 정의하고 있으며, 다음의 세 가지 특성을 모두 만족해야 한다고 보고 있다.

3) 국제표준화기구(ISO) 나노기술 분야(229) 기술위원회(TC), 이하 ISO/TC229.

- ① 다루는 크기 : 100nm 이하 (원자 0.1nm, DNA 폭 1~5nm, 적혈구 8,500nm)
- ② 물리화학적 특성 : 특성이 크게 개선되거나 완전히 다른 특성을 발현한다.⁴⁾
- ③ 인위성 : 자연적으로 존재하는 것이 아닌 인위적인 방법으로 제조한다.

그런데 나노기술에 대한 단일하고 일반적인 정의는 실제로 적용하여 나노기술의 발전과 산업화를 살펴보기에는 어려움이 많다. 이에 따라 나노기술을 리스트에 기반하여 정의하려는 시도가 이루어졌다. 리스트 기반의 나노기술을 정의한 것은 캐나다 통계청이 선도적이었으며,⁵⁾ 이후 OECD WPN의 조정과 합의 과정을 거쳐 2011년에 12개 부문으로의 수정안이 제시되었다.⁶⁾

리스트 기반 나노기술의 정의가 변화한 것은 나노기술이 급속하게 발전하면서 새로운 하위 영역들과 응용 분야들이 매년 새롭게 변화하고 있음을 의미한다. 그리고 리스트에 의한 구분을 통해 유용성을 높이기 위해서는 면밀한 관찰과 합의도출 과정이 필요하다는 점

4) 예를 들면 금덩어리는 황금색을 띠지만 10nm 이하가 되면 붉은색으로 변한다.

5) 나노소재(유기·무기 나노복합소재, 나노분말, 나노파티클, 나노코팅, 탄소나노튜브), 나노소자(센서, MEMS, 나노기반 MEMS(NEMS)), 나노전자(포토닉스, 나노-광학소자/센서 또는 light emitters), 나노공정(나노조립과 같은 시스템을 포함하는 나노기반 촉매 등), 나노의약(나노기반 의약전달시스템과 같은 나노약품), 기타 나노기술(나노기반 제품, 나노기반 소비재, 나노공구, 하드웨어, 장비, 소프트웨어, 나노바이오기술) 등 6개 분야로 구분.

6) 나노소재(Nanomaterials), 나노전자(Nanoelectronics), 나노광학(Nanophotonics), 나노바이오(Nanobiotechnology), 나노제약(Nanomedicine), Nanomagnetics, Filtration and membranes, Nanoinstruments or devices, (for observation, analysis or control), Nanotools(for manipulation, nanolithography and nanofabrication), catalysis, SW for modelling and simulation, 기타(other fields) 등 12개 부문으로 구분.

을 시사한다.

2. 나노융합산업

나노융합산업은 앞에서 살펴본 나노기술에 대한 정의를 활용하여 “나노기술을 기존 기술에 접목하여 기존 제품을 개선·혁신하거나⁷⁾ 전혀 새로운 나노기능에 의존⁸⁾하는 제품을 창출하는 산업”으로 정의할 수 있다.

나노기술은 IT·BT·ET 등 신성장동력 분야와의 상승적 융합을 통해 국가경쟁력을 획기적으로 향상시킬 것으로 예상되고, 나노융합산업은 산업발전과 구조고도화에 큰 파급효과를 미칠 것으로 보인다.

따라서 나노융합산업의 성장은 새로운 성장엔진의 발굴, 산업 구조 재편에서 새로운 기회이자 도전과제가 되고 있다. 또한 나노융합은 에너지, 환경, 물 부족 등 당면한 국가적 과제의 강력한 해결수단이 될 것으로 기대된다.

나노융합기술의 산업화가 진전되면서 세계시장은 연평균 18% 수준으로 성장하여 2020년에는 약 2조 5,000억 달러 규모에 이를 것으로 예상되며,⁹⁾ 주요국들은 나노기술을 활용한 신산업의 창출과 거대 신시장 선점을 위한 정책을 수립하고 있다.

우리나라는 그간 집중적인 나노기술 투자를 통해 기술혁신 단계

7) Nano-enabled.

8) Nano-dominated.

9) NNI(2011).

까지 도달했으나 신산업 창출에는 이르지 못한 것으로 평가되고 있다.¹⁰⁾ 그러나 기존 제조업의 기술적 정체 상태와 우리 경제의 성장한계(2만 달러 트랩)를 돌파하고, 나아가 신시장·신산업 창출을 위해 나노융합산업을 미래 성장동력으로 집중육성하기 위한 노력을 강화하고 있다.

3. 나노융합산업의 특성

나노기술의 제품, 혹은 산업으로의 적용은 단순히 입자 크기나 방법론적인 측면이 아닌, 기술 혹은 제품 측면에서 획기적인 기능을 창출하고 새로운 가치를 실현시킨다는 특성을 가진다. 따라서 나노융합산업은 단일 기술에만 전적으로 의존하는 제품 혹은 산업의 발전이 아니라 신기술 간 융합과 중첩 현상에 의해 나타날 가능성이 훨씬 높다는 점에 주목해야 한다.

이러한 관점에서 나노기술의 산업화 수준 및 효과를 측정하는 것은 기존의 산업을 분석하는 것과는 다른 새로운 접근방법을 필요로 한다. 이는 기존의 산업분류 혹은 산업통계를 그대로 이용하기 어렵다는 점에서 신기술, 나아가 융합기술의 산업적 활용에서 공통적으로 나타나는 현상이다.

나노기술은 대부분의 분야(기술, 제품, 산업)에서 적용가능한 기술이라는 특성을 가지며 IT, BT 등 신기술과 함께 기술·제품·산업 융합의 핵심적인 역할을 담당하고 있고, 그 영향은 향후에 더욱 커

10) 지식경제부(2012).

질 것으로 예상된다. 따라서 나노기술의 경우 일반목적기술¹¹⁾로 구분할 수 있으며, 그 활용의 방향에 따라 기술적·산업경제적 파급효과가 크게 달라질 것으로 예상된다. 일반목적기술이란 특정 신제품이나 이를 만드는 신공정이 아니라 다양한 분야에 적용되어 기존의 경제 및 사회 구조에 충격을 통해 극적으로 사회를 변화시킬 수 있는 기술을 의미하며, 내연기관, 기차, 전기, 전력, 자동차, 컴퓨터, 인터넷 등을 대표적 사례로 들 수 있다.

일반목적기술이 사회경제적 효과를 발휘하기 위해서는 체제전환을 위한 구조조정과 적응기간을 필요로 한다는 점에서 적용 과정에서 지연과 불연속성을 보일 수 있다. 따라서 새로운 일반목적기술로서 나노기술의 경제적 활용이 생산성에 영향을 미치기 전까지 일시적인 격차가 존재할 수 있으므로 이를 최소화하기 위한 사회적·정책적 지원이 필요하다고 볼 수 있다.

나노융합산업은 산업별 가치사슬에서의 수평적 통합과 더불어 다른 산업과의 융합으로 불연속적인 발전과정을 통해 산업구조 및 생산방식, 제품구조, 생산자원의 결합방식에 관한 산업패러다임을 전면적으로 변화시킬 것으로 보인다. 아울러 산업 내 단선적인 진화, 산업 내 비즈니스 간 연계로부터 네트워크형 산업구조로의 변화를 견인해 나갈 것이다. 융합화의 확산으로 산업별 가치사슬 내에서 수평적 통합이 일어나는 동시에 다른 산업 가치사슬로의 수직적 확장 및 영역을 재구성하는 것이다.

나노융합산업은 다른 산업과의 융·복합화를 통해 새로운 산업

11) General Purpose Technology(GPT).

을 창출하고 기존 산업의 산업발전 경로를 변화시킬 것으로 기대된다. 즉 융합화라는 기술환경의 변화가 제품의 다기능화와 고성능화, 새로운 개념의 제품군과 서비스를 창출할 것이다. 우리는 이미 생체 나노머신, 바이오 인포매틱스, U-healthcare, DNA Chip처럼 10여 년 전만 해도 개념으로만 존재하던 제품이 나노기술을 직접 이용함으로써 유망 신산업으로 부상하는 것을 볼 수 있다.¹²⁾ 또한 기초소재산업이 나노기술을 활용하여(Nano-Enabled) 산업용 섬유, 신금속 등 첨단소재산업으로 생산구조가 재편되는 경우도 있다.¹³⁾

3. 핵심유망가능기술로서의 나노융합기술

유망가능기술(Emerging and enabling technology)은 ‘지식집약적이며, 높은 R&D집약도, 빠른 혁신주기, 높은 자본지출 및 고숙련 노동의 특징을 지니며, 경제시스템 전반에 걸쳐 공정, 제품, 서비스 혁신을 가져오는 기술’로 정의된다.¹⁴⁾ 유럽연합에서는 6대 핵심유망가능기술로 마이크로-나노전자(Nanoelectronics), 나노기술(Nanotechnology), 광학(Photonics), 첨단소재(Advanced Materials), 산업용바이오기술(Industrial Biotechnology), 첨단제조기술(Advanced manufacturing technology) 등을 분류하고 있다.

OECD WPN에서는 유망가능기술들이 각각 구분하기 어려운 측면

12) nano-dominated의 대표적인 사례이다.

13) nano-enabled의 대표적인 사례로 들 수 있다.

14) EUROPEAN COMMISSION(2012).

이 있기 때문에¹⁵⁾ 기술의 변화와 활용을 측정하는 통계 데이터에서 질적 수준의 간섭이 일어나기 쉽다고 보고 있다. 이에 따라 유망가능기술들 간의 중첩성을 고려한 종합적인 프레임워크를 발전시켜 공동으로 조사·측정하는 것이 적합하다는 의견을 제시하였다.

특히 유망가능기술 간에는 정의, 상대적인 표본 추출, 데이터 수집과 측정 방법론에서 통일성을 갖춰야 한다. OECD WPN은 이러한 기술들이 개별적 시도보다는 공통으로 과제에 대해 도전한다면 더욱 효과적으로 조사 및 측정이 진행될 수 있을 것으로 예상하고 있다.

물론 국내에서도 나노, 바이오, 정보통신 분야 기술 및 산업, 제품 분류에서 중첩성이 크게 나타날 것으로 예상된다. 따라서 일단 나노융합 분야에서의 기술 및 산업 분류체계를 정립하고, 공통의 논의의 장을 마련해 나가는 단계적인 접근이 필요하다. 아직까지 나노기술은 융합형 분야가 대부분이며 산업화 초기단계에서의 기술 및 산업, 제품 분류가 정립되지 않은 상황을 고려해야 하기 때문이다.

제3장 나노융합산업 측정·분석 방법론

1. 주요 과제

나노융합산업 측정·분석에서 첫 번째로 제기되는 과제는 조사

15) 예를 들면 나노기술과 바이오기술 간의 뚜렷한 구분이 어려울 수 있다. 이는 나노-바이오기술 모두 관련된 논문발표, 특허, 기업, 제품이 중복 계산될 수 있으며, 그 결과 각 분야에서의 발전을 파악하는 데 어려움이 있다는 점을 의미한다.

대상에 관한 것이다. 이는 나노기술의 활용과 산업화 과정에 관련된 주체의 문제로서 학술, 기업, 정부에 대하여 역할과 기여도를 구분해야 한다. 예를 들면 나노융합산업에 대한 모니터링을 위해서는 나노융합 기업에 대한 조사가 중점이 되어야 하지만, 과학기술집약적 제품의 특성상 연구개발 기관 및 주체에 대한 조사가 이루어져 나노융합산업의 발전방향에 대한 기초자료도 축적해 나가야 한다.

두 번째는 나노기술의 적용 분야 및 적용 수준이다. 나노기술은 다양한 부문과 활동에 걸쳐 융합하면서 발전하고 있으므로 이를 모두 포괄할 수 있는 측정 틀의 설계가 필요하다. 선진 주요국은 나노기술의 적용이 공공부문에서의 연구개발, 제조업 분야뿐만 아니라 R&D 서비스에도 큰 영향을 미친다고 보고 있다. 따라서 나노융합산업의 통계분석 틀은 나노기술의 특성을 고려하여 광범한 세부 분야와 응용 분야를 모두 포괄할 수 있도록 탄력적이어야 하며, 가능성으로만 제시된 활용 분야도 포함할 수 있도록 기획되어야 한다.

세 번째는 조사항목에 관한 것이다. 통계조사항목은 나노기술의 활용효과를 이해하고 분석하고 전망하는 데 사용되어야 하며, 이러한 목표에 충실하게 개발되어야 한다. 나노기술 활용에 따른 산업·경제적 영향은 단기적으로 R&D, 인력, 기타 생산요소, 생산, 판매, 가치사슬, 사업 모델 등에 미치는 효과의 수준과 범위에 대한 내용을 포함해야 한다. 나아가 나노기술의 활용에 의해 창출된 시장에서의 경쟁과 기업활동의 동태성(진입, 퇴출), 산업구조, 노동시장 등에 어느 정도로 영향을 미치는가에 대해서도 파악이 가능해야 한다. 나노융합산업에 대한 조사에서는 가능하면 이런 항목들에 대해 조사가 이루어져야 하며, 특정 항목 간의 조정은 국가 간, 나노기술의 세

부 분야 간, 그리고 응용부문 간의 충분한 비교를 통해 계속 발전해야 한다.

다음은 나노기술의 활용 유형에 관한 것으로, 신기술과 경제 주요 부문의 성장을 위해 정부가 어디에 집중해야 하는가에 관련된 사항이다. 기존의 기업 차원의 나노기술 활용에 대한 조사는 대부분 정책입안자들이 나노기술의 개발 및 투자에 대한 정부 부처 간의 책임영역과 활동을 구분하기 위해 실시해 왔다. 한편 OECD WPN에서는 기존의 산업활동과 일관성을 갖는 접근방법을 제안하고 있는데,¹⁶⁾ 매우 효과적인 측정방법으로 평가된다.

마지막은 나노기술의 산업화 분야를 구분하고 하위 분류를 작성하는 데에 국제표준산업분류(ISIC)를 포함하는 다양한 산업분류의 출처를 고려하고 국제적 논의의 지식과 경험을 포괄해야 한다는 점이다.

2. OECD WPN이 제기하는 주요 고려사항

OECD WPN은 국제적으로 비교가능하면서도 나노기술의 특성을 반영하는 체계적인 통계분석 틀을 마련하기 위해 노력했으며, 이를 위해 파일럿 조사를 추진하기도 했다. 파일럿 조사는 충분한 조사 대상을 확보하지 못해 결과가 일반적이지 못하다고 스스로 평가하고 있다. 그러나 향후 나노기술 관련 데이터 수집 및 측정과 관련하여 세심한 접근이 필요하며, 이에 다음과 같은 고려사항을 제안하

16) OECD(2010b).

고 있다.¹⁷⁾

OECD WPN의 첫 번째 제안은 관리·사용 가능 DB를 구축해야 한다는 것이다. 이는 데이터 범위, 분석, 품질관리 등의 여러 가지 과제를 포함한다. 두 번째는 기업 및 기타 설문조사(Company and other surveys) 과정에서 목표 집단을 정확하게 인식하는 것이다. 더불어 응답률을 높이기 위해 필요한 데이터의 유형, 응답자의 사전인식, 질문구조에서 조사 목표에 적합한 항목만을 구조화하여 간결하게 제시할 필요가 있다고 주장한다.

OECD의 제안은 나노기술의 측정과 연관된 다양한 접근방법이 데이터 수집과 관련하여 가능하며, 다수의 요인들이 방법론 선택에 있어서 국제적으로 합의된 방향으로 진행하는 것이 필요하다는 인식에 기반하고 있다. 다양한 접근법은 장점과 한계점을 가지고 있지만 새로운 데이터의 원천뿐만 아니라 가능한 원천에 대해서도 새롭게 구성하는 기회를 잠재적으로 갖는다.

OECD WPN은 국가시범조사¹⁸⁾를 기반으로 나노기술에서의 비즈니스 활동에 대해 국제적으로 비교가능한 수준의 통계 수집과 적합한 지표를 개발하고 있다. 이에 우리도 WPN과의 피드백 과정을 통해 국내 나노융합산업 발전에 적합한 분석 틀을 마련해 나가야 한다.

17) OECD(2011).

18) National Model Survey.

3. 나노융합산업 측정 · 분석 주요 사례

나노융합산업의 규모와 구조에 대한 분석은 지금까지 다양한 방법으로 시도되어 왔다. 이는 실태조사, 정량적 추정, 나노기술의 경제적 기여도 분석 등을 통해 이루어졌으며, 결과적으로는 나노기술이 얼마나 산업적으로 활용되고 있는지에 대한 정량적 추정치를 제시하려는 노력을 반영한다.

그러나 기존의 연구들은 나노기술 기여도에 대한 객관적인 검증 없이 사례조사, 혹은 경제적 이론에 근거한 추정에 의하여 나노융합산업의 분석을 시도한 경우가 대부분이다. 실태조사에서도 표본 추출과 관련된 별도의 연구가 진행되지 않았으며, OECD WPN에서도 불과 수십 개의 조사표만을 분석하는 등의 한계를 가지고 있다.

나노융합산업 측정 · 분석 주요 연구

	주요 내용
산업연구원 (2006, 2009, 2011)	주요 산업에 대한 나노기술의 기여도 추정과 나노융합산업 생산규모 추정
과학기술정책연구원 · 과학기술정보연구원 (2008, 2011)	나노융합기업 실태조사
과학기술정책연구원 · 나노융합협력기구 (2012)	나노융합기업의 혁신활동 조사
산업연구원 (2012)	나노기술의 경제적 기여도 사례분석(LED 조명)
OECD(2010)	나노기술기업 사례분석
OECD · NNI(2012)	나노응용제품과 기존 제품 간의 후생비교를 통해 나노기술의 경제적 기여도 추정
M. Roco 외(2010)	부문별 나노기술 기여도와 산업규모를 근거로 세계 나노기술 시장규모 추정 및 전망

자료 : 산업연구원.

제4장 나노융합산업의 모니터링 시스템 구축 전략

1. 모니터링 시스템 구축의 기본 방향

나노융합산업 발전단계 모니터링 시스템을 구축하기 위해서는 우선적으로 나노기술과 나노융합산업에 대한 정의에 기초해야 한다. 융합성이 강한 나노기술이지만 나노융합에 대한 정의를 도출하고 이에 대응하는 나노융합산업을 구분하여 산업적 독자성과 특수성을 제시할 수 있어야 하기 때문이다. 이를 위해서는 나노기술의 분류, 나노기술의 활용에 의해 만들어지는 나노융합제품에 대한 범위 및 수준에 대한 합의를 도출해 적용해야 한다.

나노융합산업은 기존의 생산방식이나 공정과 차이가 크고, 단일 제품을 기준으로 볼 때 혁신성을 갖고 있다. 하지만 아직 독립적인 산업으로 보기에선 발전 수준이 초기단계여서 기존 산업과의 융합으로 나타나거나 이해되는 경우가 많다. 따라서 나노융합제품, 나노융합기업에 대한 정의에서 출발함으로써 나노융합산업에 대한 과소평가 혹은 과대평가의 위험을 회피할 수 있는 전략을 수립해야 한다. 아울러 비교 기준이 동일해야 하며, 통계 혹은 데이터 분류의 범위와 산출방법도 동일해야 한다.

두 번째는 나노융합산업을 나타내는 주요 지표들은 산업통계와의 일관성과 체계성을 확보해야 한다는 점이다. 나노융합산업의 규모, 성장성, 경쟁력 등을 평가할 수 있는 지표를 발굴하고 이에 대응하는 통계와 정보를 생산하여 나노융합이라는 새로운 산업 분야에서의 변화를 포착하기 위해서는 기존 산업통계 및 분류체계와의 비

교가 가능해야 한다. 이는 나노기술, 나노융합제품에 대한 흐름을 반영하여 나노융합산업의 구조를 파악할 수 있는 산업분류체계의 설계가 필요하다는 점과 나노융합산업의 구조를 반영하는 분류체계의 재편이 주기적으로 이루어져야 한다는 점을 시사한다.

마지막으로 나노융합산업의 통계활용성을 제고하기 위해서는 나노융합산업에 대한 조사가 시계열로 축적될 수 있도록 지속적으로 추진되어야 하며, 나노기술의 산업적 활용에 대한 평가지표를 계속적으로 발전시켜야 한다. 그리고 나노융합산업의 발전단계 모니터링 시스템 구축은 국제적 논의를 거쳐 진행되어야 하며, 통일된 분석 틀을 만들어 적용해야 한다. 뿐만 아니라 우리의 비교우위 분야 도출과 정책 선택에 유용하게 활용될 수 있어야 한다.

2. 산업발전단계 모니터링을 위한 기반 확충

첫째는 기술-제품-산업 연계 및 인벤토리가 구축되어야 한다. 현재 국내는 물론이고 국제적으로도 신뢰성과 활용성을 인정받는 나노제품, 기술에 대한 인벤토리가 구축되어 있지 않다. 이러한 상황은 주로 나노제품에 대한 정의가 명확하지 않은 데서 비롯된다. 따라서 나노융합산업 모니터링을 위해서는 기술과 제품군의 연계구조를 고려하여 나노융합제품을 구분하고 이러한 연계구조를 통해 나노제품에 대한 정의가 도출되어야 한다.

그리고 이를 기반으로 나노기술 및 나노제품에 대한 인벤토리를 확장해 나가야 한다. 나노융합제품 인벤토리는 나노기술의 산업화 범위, 성장속도, 나노융합산업의 발전 수준 등을 보여줄 수 있는 가

장 기초적인 데이터베이스가 될 것이다.

인벤토리는 나노융합제품, 제품의 출시연도, 생산기업 등에 대한 정보를 포함해야 한다. 아울러 나노융합제품에 대한 인벤토리는 요건을 갖춘 공인기관에서 일정한 심사 등을 거쳐 등록되어야 하며, 지속적으로 확장되어야 한다.

둘째, 나노기술 기여도에 대한 분석사례가 확대되어야 한다. 나노기술의 신제품(산업) 창출 기여도에 대해서는 다양한 시도에도 불구하고 아직까지 합의된 방법론이 정립되지 않고 있다. 이에 나노융합제품에 대해 목록을 도출하는 데에도 어려움이 따른다. 이러한 이유로 현재로서는 나노기술의 경제적 효과를 평가하는 데에 있어서 나노기술의 활용에 의한 기술기여도에 대해 별도로 추정된 사례가 매우 적다.

이와 관련하여 산업원천기술개발로드맵(지식경제부)의 33개 산업(제품) 분야를 조사한 결과에 따르면, 해당 제품(기술)의 산업화까지 투입되는 핵심기술의 수요 혹은 공급 가능기술 중에서 나노기술이 차지하는 비중이 화학공정 소재, LED 광 분야, 청정기반, 에너지 효율 향상, 바이오 분야에서 각각 22~66%으로 나타난다. 이는 우리나라의 나노기술이 현재 어느 분야에서 활용도가 높은지를 단적으로 보여준다.

따라서 나노기술의 활용에 의한 경제적 영향 및 비중을 추정하는데 보다 용이한 기초자료를 확보하기 위해 나노기술의 기여도 및 경제적 성과에 대한 연구를 축적해 나가야 한다. 초기단계에서는 OECD WPN의 ‘나노기술의 경제적 통계 산출을 위한 프레임워크’¹⁹⁾

19) OECD(2012,3),

나노융합산업 분류체계(초안)

대분류	중분류	소분류
나노 소재	나노 원료소재	나노분말 (나노입자 포함), 나노선(나노막대, 나노튜브 포함), 판상 나노소재, 나노기공체 (나노세공체), 탄소 나노소재
	나노 가공소재 (1차 가공소재)	나노분산체, 나노코팅체, 나노 복합섬유, 나노응집체
	나노 복합소재 (2차 가공소재)	벌크형 나노복합체, 나노기공체, 나노구조 막소재, 나노 다층소재, 나노직물
나노 전자	반도체용 나노소자	메모리소자, 로직소자, 광소자
	센서용 나노소자	물리센서, 화학센서, 생체인식센서
	디스플레이용 나노소자	LCD용 나노소자, OLED용 나노소자(Frontplane), Backplane 소자 (a-Si, LTPS, Oxide TFT), Touch용 나노소자
	에너지용 나노소자	이차전지, 연료전지, 태양전지
나노 바이오/의료	나노의약품	나노치료제, 나노진단제
	나노바이오 기기 및 장비	진단기기, 분석기장비
	나노화장품	나노화장품
	나노 농수산식품	나노 기능성식품, 사료/비료/농약
	나노 생체삽입소재	임플란트
	의료 및 연구용 소모품	나노 단위의 의료 및 연구용 소모품
나노 장비/기기	일반목적장비용 나노부품	일반목적장비용 나노부품(나노필터, 나노분리막 등)
	나노 제조공정장비	나노 패터닝장비, 나노 박막장비, 나노소재 제조 및 정렬장비, 나노 제조장비용 나노부품
	나노 측정· 분석장비	나노 화학구조 측정분석장비, 나노 형상/물성 측정분석장비, 나노 측정·분석장비용 나노부품

자료 : 산업연구원.

에서 정한 나노소재, 나노전자, 나노바이오 등 12개 분야에서 대표 제품을 선정하여 사례분석 결과를 계속 확대해 나갈 수도 있다.

셋째, 나노융합산업 분류체계가 도출되어야 한다. 기존의 기술분류 혹은 제품지향 분류체계는 나노융합산업군이라기보다는 나노기술의 활용영역과 이에 해당하는 기술분류일 뿐이며 제품을 대상으로 하지 않는다. 나노융합산업에 대한 효과적인 모니터링을 위해서는 제품 기반이 되어야 하고 기존 산업통계와의 연계성을 갖고 산업경제적으로 접근해야 한다.

나노융합산업의 분류체계는 나노융합제품의 개발 동향과 제품화 추이를 반영하여 작성되어야 하고, 작성과정에서는 제품개발 및 생산과정에 종사하는 전문인력의 견해를 충분하게 반영해야 한다. 나노융합산업 분류체계는 앞의 <표>와 같이 제안할 수 있다. 본 분류체계는 나노기술의 산업적 활용에 대한 정의와 범위의 진화를 반영하여 제조업 분야에 대해 우선적으로 작성되었다. 분류체계는 앞으로 실태조사 등을 통해 국내에 존재하는 나노융합기업들의 유형과 발전단계 등을 고려하여 수정·보완되어야 하며, 제조업뿐만 아니라 서비스업을 포함하여 확장되어야 한다.

3. 모니터링 추진 세부 방안

나노융합산업의 발전단계를 모니터링하기 위해서는 나노융합산업에 포함되는 대상을 인식하고 구분하는 것이 첫 번째 단계이다.

나노융합산업 관련 주요 주체

인력양성, 기초연구	기술개발	산업활동	인프라
대학	연구기관	기업체	시험·평가·인증 기관

자료 : 산업연구원.

이를 위해서는 나노융합제품, 나노융합기업, 나노융합산업에 대한 정의가 필수적이며, 수립된 정의에 근거하여 모니터링 대상을 선정해야 한다.

기존의 나노융합산업 및 기술에 대한 연구가 보여주듯이 신기술 산업의 특성상 기술개발에서 제품화까지 단기간에 추진이 가능하며, 특히 나노기술의 경우 원천기술의 비중이 높다는 특성을 반영하여 연구기관을 포함하여 모니터링해야 한다. 나노기술의 제품화 혹은 산업화가 초기단계여서 향후 나노기술의 산업화를 모니터링하기 위해서는 기업, 연구개발기관뿐만 아니라 대학, 시험·평가·인증기관에 대한 조사도 병행하여 이루어져야 한다.

두 번째는 모니터링 지표에 관한 문제이다. 나노융합산업에 대한 발전단계 모니터링을 위해서는 산업발전의 단계별 특징을 고려하여 주요 지표를 선정하고, 이에 대한 조사와 분석의 과정을 필수적으로 거쳐야 한다. 산업발전은 도입기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기로 구분할 수 있다.

산업발전단계를 평가하기 위해서는 일반적으로 국내외 수요규

나노융합산업 모니터링을 위한 주요 지표

	주요 내용	
기초지표	기업활동	생산요소(인력, 자본조달, 연구개발투자, 설비투자 등) 산업성과(주요 생산제품, 매출, 수출, 수입) 입지, 기업 생존기간
	기술개발 활동	지식재산권 거래(특허, 디자인 등) 나노기술 기여도 등
가공지표	국내시장규모, 시장점유율(수입의존도, 수출률 등) 산업생태계(원료조달, 수요산업군, 장비산업 발전 수준 등)	
분석지표	생산성, 수익률, 성장기여도 등	

자료 : 산업연구원.

모 및 성장률, 생산 및 수출, 그리고 고용구조 및 고용량이 기본 지표가 된다. 여기에 연구개발, 설비투자 혹은 무형자산에 대한 투자가 어느 정도 이루어지는지, 그리고 투자구조에 관한 조사가 이루어져야 한다.

마지막으로 조사 주기 및 방식이 안정되어야 한다. 혁신성과 광범위성으로 인해 최근에는 나노융합산업의 발전 및 진화 방향이 매우 빠르고 다양하게 이루어지고 있다. 그러므로 발전속도를 적기에 파악하기 위해서는 정기적으로 나노융합산업에 대한 조사가 이루어져야 한다. 아직까지 나노기술의 활용영역에 대한 사례조사만 있을 뿐 실제로 어떤 분야에서 어느 정도로 나노기술이 활용되는지에 대한 체계적인 분석은 국내외 모두 뚜렷한 성과가 없는 실정이다. 따라서 나노융합 기업 및 제품에 대한 조사는 적절한 표본을 추출하여 진행하되, 나노융합 분야의 확장에 대응하여 조사 대상 및 범위를 점차 넓히는 단계적인 접근이 필요하다.

제1장

서론

1. 연구배경과 필요성

(1) 나노기술의 발전과 융합효과에 대한 관심 증대

나노기술의 발전속도가 빨라지고 과학기술과 산업에 다양하게 영향을 미치면서 그동안 크게 확대되었던 나노기술 분야에서의 투자성파에 대한 관심이 높아지고 있다. 지금까지 나노기술이 가장 활발하게 적용되는 분야는 전자부품과 시스템, 화학, 의약과 같은 소재, 바이오, 장비 및 기기, 제조공정 등으로 인식되고 있다.

빠른 속도로 발전하는 나노기술은 과학기술 분야에서만이 아니라 산업적 활용에서도 범위를 계속 넓혀가고 있다. 이에 따라 광범한 영역에서의 적용으로 나노기술은 새로운 21세기 일반목적기술,¹⁾ 핵심유망가능기술²⁾로 구분되고 있다. 뿐만 아니라 다양한 부문과

1) General Purpose Technology(GPT).

2) Key Emerging Enabling Technology(KEET).

융합하면서 혁신을 가속화하고 있는데, 나노기술과 ICT, 바이오기술과의 융합으로 발전하는 합성생물학³⁾같은 경우를 그 사례로 들 수 있다.

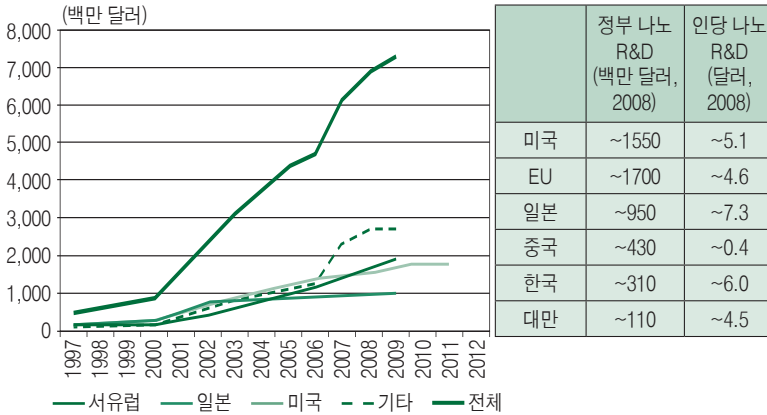
급속하게 발전하는 나노기술은 앞으로 산업경제에 보다 근본적인 방법으로 영향을 미칠 것으로 보이며, 그 속도 또한 과거와는 비교가 되지 않을 정도로 더욱 빨라질 것으로 기대된다. 나노기술이 산업 분야에 활용되면서 나타나는 효과는 생산성 향상과 경제성장으로 집약되고 있으며, 우리는 이미 정보통신기술(ICT), 바이오기술과의 융합을 통한 제품 및 기술혁신에서 그 잠재력을 확인하고 있다. 나노기술은 신기술과의 융합뿐만 아니라 기존 제조업에도 근본적인 변화를 가져올 것으로 예상하고 있다.

그러나 이러한 예상에도 불구하고 나노기술 발전에 의해 나타나는 다양한 사회경제적 측면들은 아직까지 충분히 이해되지 못하고 있다. 이는 국제적으로 비교가능한 수준까지 신뢰성 있는 지표나 통계, 연구방법론이 개발되지 못하고 있으며, 그 결과를 설득력 있게 보여줄 수 있는 결과도 제시되지 못하기 때문이다.

나노기술의 측정에 대해 합의된 통계적 정의가 미흡하기 때문에 규모 면에서 불확실성이 있으며, R&D투자에서도 나노기술에 대한 통계가 부족한 실정이다. 특히 민간부문에서의 문제가 더욱 심각하다. 이로 인해 나노기술의 활용에 의한 산업경제적 성과가 획기적일 것으로 예상하는 데도 불구하고 산업의 범위나 형태, 그리고 그 성과에 대한 불확실성이 높은 것으로 인식되고 있다. 그 결과 기업들

3) Synthetic biology. 바이오메디컬 연구에서와 같이 나노기술의 연구는 합성생물학을 통해 cell like complexity와 synthetic system의 발전에 기여하고 있다.

〈그림 1-1〉 나노기술에 대한 공공부문 R&D 지원 현황



자료 : OECD(2011).

이 나노융합산업 분야에 대한 투자를 기피하면서 신기술산업에서 공통으로 나타나는 진입장벽으로 작용하고 있다.

현재 나노기술 혹은 나노융합산업에 대하여 기존에 발표되어 활용되는 통계들의 대부분은 과학적 발전과 특허인데, 이러한 통계들은 나노기술의 혁신에 대한 일부만을 파악할 수 있을 뿐이어서 기업들이 미래의 성장가능성을 가늠하기에는 제한적이다.

가용한 통계와 정보의 부족에도 불구하고 나노기술이 발전하면서 광범한 과학기술과 산업에 영향을 미치고 있다는 점에 대해서는 대부분 동의하고 있다. 나노기술에 대한 공공부문의 지원이 계속 확대되면서 과학기술정책 측면에서도 견고하고 비교가능한 데이터에 대한 필요성이 계속 높아지고 있다. 나아가 산업정책 측면에서도 기업 R&D와 밀접하게 관련된 주제, 예를 들면 R&D 투자규모 및 배분구조, 나노기술의 상업화, 산업사회 활성화 등의 효과에 대한 수요가 계속 높아지고 있다.

반면 나노기술이 기업, 비즈니스, 나아가 사회경제적인 환경에 미치는 영향을 측정하고 분석하는 것은 아직 시작단계에 불과하다. 따라서 나노기술의 발전과 산업경제적 영향을 파악하기 위해서는 ICT, 바이오와 같은 다른 신기술들이 지난 수십 년간 그랬듯이 기술의 특성과 융합의 과정, 효과 등에 대해 보다 구체적으로 이해되어야 한다.

나노기술이 종합적인 모니터링 프레임워크를 갖고 유용한 사례로 분석될 수 있다면, 현재 진행 중인 융합기술의 광범위한 모니터 결과들과의 비교도 활발하게 이루어질 수 있다. 아울러 산업의 융합화, 융합산업의 범위와 발전단계에 대한 분석 기반을 구축하는 데에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

(2) OECD 나노통계 프레임워크의 발전

OECD는 유망기술로서 나노기술의 특성과 발전에 대하여 국제적으로 비교가능한 지표를 정의하고 개발하기 위해 최근 수년간 나노기술작업반(WPN)을 중심으로 공동작업을 추진하고 있다. 나노 통계 분석 틀의 범위와 목적 수립에 대한 요구는 2008년 4월 WPN 3차 회의에서 제안되었으며, 동년 6월 과학기술지표전문가그룹⁴⁾ 회의를 거쳐 12월 WPN 회의에서 공식적으로 제안되었다.

OECD WPN의 나노통계 분석 틀 개발계획은 나노기술에 대해 국제적으로 비교가능한 통계의 수집을 촉진하기 위한 지표를 개발하는 것이며, 다음과 같은 측면을 고려하여 프레임워크의 구조를 설정

4) NESTI(The National Experts on Science and Technology Indicators).

하고 있다.⁵⁾

- 나노기술의 정의와 차이를 이해하기 위해 이용가능한 지표와 통계의 인식
- 이용가능한 지표와 통계에 기초하여 지표와 방법론을 선택하기 위한 길잡이로서 나노기술의 속성을 특성화
- 주요한 정책적 요구에 대응하는 지표 선정과 사용자의 데이터 요구와 우선순위를 인식
- 선정된 지표와 관련한 방법론적인 고려와 제안

OECD WPN의 나노기술 통계 프레임워크는 다른 WPN 프로젝트⁶⁾와 주요 국가들의 참여에 의하여 지속적으로 추진되어 왔다. 참여국 간의 논의를 통해 나노기술의 단일한 또는 목록에 의한 정의들을 검토한 후 합의안을 도출하였으며, 핵심지표, 모델질문의 발전을 목표로 국가 모델 파일럿 조사를 추진하기도 했다. OECD에서 추진하는 나노기술의 이해와 모니터링을 위한 프로젝트는 기존의 통계와 지표 중 이용가능한 것들을 우선적으로 검토하는 데에서 출발하였다.

검토 결과 기존의 통계들은 특허, 논문출판 등이 대부분이었다고 평가하였다. OECD WPN은 이후 통계 틀을 개발하기 위하여 기존 나노기술의 지표와 통계의 현황을 살펴보고 비교되는 지표와 통계들의 가용성과 차이를 고려하는 것에서 시작하고 있다.⁷⁾ 초기 작업은 지표와 문헌검색과 특허 데이터에 기초하는 기술개발 투자의 1차적 성과를 볼 수 있는 지표 개발에 주력했다. 이 작업은 개별 연구자들

5) OECD(2008b).

6) OECD(2010a).

7) 동 검토 내용은 OECD 사무국이 NESTI와 협력하여 작성한 인벤토리 document (DSTI/STP/NANO2007)8과 부속서 DSTI/STP/NANO 2008(8)/ANN1에 구체적으로 정리되어 있다.

과 그룹에 의해 수행되었으며, 일본, 유럽, 미국 특허국이 나노기술 특허 평가에 필요한 방법론 개발에 참여했다.

지금까지 나노기술 발전과 성과에 대한 대부분의 분석은 논문과 특허 데이터에 기반을 두고 있으며 이들 통계는 국제적으로 비교가 용이하였다. 반면 EC에서는 주로 R&D 지출 관련 통계를 작성하고 있는데, 이조차 국가별로 일정한 프레임워크가 없어서 어려움을 겪고 있다.

과학기술적 성과에 대한 공공부문의 관심은 R&D 전략 및 상업화 이슈와 관심있는 일부 기업들에 대한 연구를 시작하는 계기로 작용하기도 했다. 이들 연구는 다양한 정부기관, 컨설턴트, 연구자들에게 의해 수행되었으며, 일부 국가에서는 통계청이 기업활동조사에서 나노기술에 대한 R&D 지출 등을 구분하여 통계수집을 시도하기도 했다.

한편 OECD WPN은 “NT; An overview based in indicators and statistics” (2009. 6)을 발간하면서 이용가능한 통계 및 지표에 근거하여 나노기술의 속성과 발전에 대한 개요를 정리하여 1차 보고서를 발표하였다. 동 보고서는 시장과 고용전망, R&D투자, 논문발간, 특허, 기업, 제품 인벤토리에 대한 분석 데이터를 제공하였으며, 나노기술의 속성에 대한 통계적인 작업과 관련한 주요한 문제를 제기하고 있다. 이후 OECD WPN은 17개 국가의 51개 업체에 대한 기업 서베이 결과를 발표하면서 실태조사 주요 내용에 대한 주요 시사점을 도출하였다.⁸⁾

8) OECD(2010a).

(3) 나노융합산업 발전단계 모니터링 시스템 구축의 필요성

국제적으로 활동하는 나노 전문가 집단은 나노기술이 녹색성장에 미칠 것으로 예상되는 영향이 매우 크다는 점에 주목하고 이의 작동 경로 및 녹색성장에 미치는 효과에 대해 기술적인 측면뿐만 아니라 경제사회적 측면에서의 연구에 관심을 기울이고 있다. 여기에서 나노기술은 기반기술이자 다목적기술로 인식되고 있으며 신성장동력의 창출을 위해 작용범위가 매우 넓고 핵심적인 융합기술이며, 핵심가능기술⁹⁾로 구분되고 있다.

국내에서도 제조업 혁신과 산업성장의 한계를 극복하기 위해 나노융합기술의 제품화 및 산업화 수준과 영향의 범위에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이의 활용에 대한 요구가 높아지고 있다. 동시에 나노기술의 활용에 의한 기존 산업의 고도화¹⁰⁾ 효과뿐만 아니라, 나노기술에 의해서만 전적으로 가능한 신제품 혹은 신산업의 창출¹¹⁾에 대한 수준과 범위를 파악하려는 요구 역시 높아지고 있다. 이러한 경제적 영향에 대한 분석을 통해 나노융합기술의 산업적 활용 과정에서 제기되는 직접적·잠재적 장애요인을 인식하고, 이를 극복하기 위한 전략 수립을 효과적으로 뒷받침할 수 있을 것으로 기대되기 때문이다.

반면 지금까지 대부분의 논의가 기술개발 관점 혹은 기업 관점에서 이루어졌으며 산업 관점에서의 접근이 미흡하므로 산업경제적

9) Key Enabling Technology.

10) Nano-Enabled.

11) Nano-dominated.

활용을 촉진하기 위한 전략 수립에서 기본방향을 제시하기 위한 연구가 필요하다고 볼 수 있다. 따라서 산업 관점에서의 나노기술에 대한 접근방법이 정립되어야 한다.

2. 연구목적 및 기대효과

(1) 연구목적

본 연구는 나노융합기술의 산업경제적 활용을 촉진하기 위해 나노융합기술의 산업화 파급경로 및 주요 제약요인, 이에 대한 대응전략을 모색하기 위한 작업의 출발로, 모니터링 시스템을 구축하기 위한 전략 수립을 주요 목적으로 한다.

이를 위해 OECD WPN, 미국 NNI 등을 중심으로 추진되는 나노기술과 녹색성장과의 관계, 사회경제적 영향 등에 대한 논의를 살펴보고, 나노기술이 한국의 산업경제에서 어떻게 활용되고 있는지를 파악하기 위한 주요 지표를 제시하고 있다.

특히 본 연구는 사회경제적 측면에서 영향이 클 것으로 예상되는 나노기술이 산업경제, 특히 제조업의 생산방식과 산업구조에 어떠한 영향을 미치고 있는지, 그리고 파급경로를 어떻게 분석할 수 있는지에 대한 구조화된 분석틀을 도출하고자 한다.

OECD에서는 녹색성장, 환경과 관련된 나노융합기술에 대한 관계에 주목하고 있는데, 본 보고서에서는 소재, 공정 분야뿐만 아니라 융합을 통한 산업적 효과를 파악할 수 있는 분석틀을 도출하되, 산업분석 방법론을 도입하여 향후 연구결과의 활용성을 확대할 수 있도록 하였다.

(2) 기대효과

본 연구는 한국 산업경제에 대한 나노기술의 적용 현황과 향후 파급효과 및 성장가능성 추정을 위한 방법론에 대한 예비적 연구를 수행하고 국제적 논의에 참여할 수 있는 기초자료를 제공하고 있다. 이를 통해 현재 OECD WPN, European Commission, 미국 NNI 등을 중심으로 추진 중인 나노통계 분석 틀(framework) 작성 과정에 한국도 주도적으로 참여할 수 있는 기반자료를 확보할 수 있다.

녹색성장과 제조업혁신이 강조되는 현재 시점에 한국의 나노기술이 녹색성장 및 산업경제에 미치는 영향을 분석할 수 있는 기초연구가 될 것이다. 즉 나노기술이 나노융합제품의 창출을 통해 제조업의 제품생산구조에 어떠한 영향을 미치는지, 그리고 녹색성장과 관련된 주요 제품의 공급에 얼마나 주요한 영향을 미치는지 살펴보면서 나노융합산업으로서의 성장을 파악할 수 있는 기본지표와 경로, 분야를 제시하기 위한 예비 연구로서의 의의를 가진다.

다음으로 나노기술 개발의 효율화와 산업경제적 활용 촉진을 위한 주요 과제 도출을 위한 인식 틀을 마련할 수 있을 것으로 기대한다. 특히 기존에 활용되는 산업분류를 고려하여 나노융합산업 분류체계를 제안하여 향후 동 산업분류체계가 활용된다면 기존 산업통계의 활용성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 여기에 산업발전단계를 반영하는 모니터링 시스템을 제안함으로써 나노융합산업의 구조변화와 이에 대응하는 정책과제를 도출할 수 있는 기반을 구축하고 있다.

동 연구를 통하여 향후 나노기술 개발의 효율성을 높이고 경제적 파급효과를 강화하기 위한 전략 수립과 과제 도출의 기초자료로 활

〈표 1-1〉 선행연구와 본 연구의 차별성

		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	- 과제명 : The Impacts of Nanotechnology on Companies - 연구자(연도) : OECD(2010) - 연구목적 : 나노기술의 혁신 및 상업화에 대한 사례분석을 통해 정책적 과제 도출	- 국내외 문헌조사 - 통계분석(17개국 51개 기업에 대한 설문조사)	- 나노기술이 VC 변화에 미치는 영향을 살펴보고 상업화 과정에서 직면하는 진입장벽, 애로요인 등이 존재하며 진입, 경영, 상업화에 영향 - 나노융합산업에 진입 시기가 짧은 편이며, 대기업과 중소기업 간 특성이 확인 - 인력, 자금, IPR, EHS 이외에도 scale up 어려움 등이 존재
	2	- 과제명 : Nanotechnology : An overview based on indicators and statistics - 연구자(연도) : OECD(2009) - 연구목적 : 나노 통계지표 선정 및 DB 구축을 위한 이론적 논의 및 분석 틀 모색	- 국내외 문헌조사 - 통계분석(OECD DB, 특허, R&D 투자)	- 나노융합기술의 사회경제적 파급효과에 대한 기존 논의를 통해 잠재성이 매우 높음. - 연구개발투자 이외에 특허 등을 통해 산업화 방향을 도출하고 국가별 차별성을 도출 - 5개국(미국, 캐나다, 독일, 핀란드, 오스트리아)에서의 서베이 자료 분석결과 요약하고 향후 과제 제시
	3	- 과제명 : Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020 - 연구자(연도) : M. Roco(2010) - 연구목적 : 2000~2010년 기간 동안 미국의 나노기술 분야의 투자 및 성과에 대하여 종합하고 향후 20년간(2020년까지) 전망	- 문헌조사 - 통계분석	- 나노기술의 시장규모는 2010년 2,400억 달러에서 2020년까지 3조 달러로 확대되고 18만명의 고용을 창출하면서 산업 판도 크게 변화시킬 것으로 예상 - 향후 2020년까지 나노융합분야에서 미국이 우위를 유지하기 위한 전략적 대응 필요성 강조
본 연구		- 나노융합기술의 제품화·산업화 수준 및 경로에 대한 정량적 분석 틀을 마련하고 국내 나노융합기술의 산업화와 발전단계를 지속적으로 모니터링할 수 있는 정책 방안 제시	- 국내외 문헌조사 - 국내외 사례분석 - 국내 실태조사	- 나노융합기술의 산업화 파급경로 및 효과 측정에 대한 방법론 기획, 산업분류체계 도입 - 나노기술의 특수성을 고려하여 산업화에서 영향을 미치는 대상, 범위, 수준을 파악할 수 있는 주요 지표의 도출 - 나노융합산업의 발전단계 모니터링을 위한 주요 전략 제시

용할 수 있을 것으로 기대된다. 아울러 현실적으로 나타나는 제약요인 이외에도 나노융합기술의 산업화 과정에서 잠재되어 있는 위험요인을 체계화하여 효과적인 대응방안 모색에 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

제2장

나노융합산업의 주요 개념

1. 나노기술

(1) 나노기술의 정의

나노기술은 과학과 산업 분야를 모두 포괄하기 때문에 각 분야에서 나노기술의 특징을 보일 수 있는 핵심적인 활동이 무엇인가에 대한 논의는 계속되어 왔다. 이는 나노기술의 핵심활동이 정의되고 구분이 가능하다면 나노기술의 활용과 성과를 파악할 수 있는 지표와 통계 발전에 기여할 수 있고 측정방법의 발전에서도 의미가 있을 것으로 기대되었기 때문이다. 나노기술의 정의에 대한 논의는 다음과 같은 고민을 반영한다.

- 나노기술의 모든 특성을 반영하는 정의가 사용될 수 있는가,
- 리스트에 의한 정의¹²⁾가 나노기술의 다양한 특성을 포착할 수

12) OECD에서 바이오기술에 대한 경우가 이에 해당한다.

있을 것인가,

- 다목적기술로서 융합성이 강하고 가능기술¹³⁾로 구분되는 나노기술에 대해 그 가능성을 나타내기에 충분하게 유연한 정의는 무엇인가?

이처럼 나노기술에 대해 단일한 용어로 정의하려는 시도는 여러 국가 혹은 기관에서 R&D 지원과 정책적 전략 수립을 위해 이루어져 왔다. 이중 일부는 <표 2-1>에 나타나 있다. ISO에 의해 제시된 정의를 포함하여 WPN의 정의도 나타나 있으며, 각각의 정의는 엄밀하게는 다르지만 나노기술에 대하여 다음과 같이 근본적인 측면을 포함하고 있다.

첫째, 대부분의 정의는 연구개발과 엔지니어링에서 나노기술 영역으로의 이동이라는 규모에 대한 측정을 강조하고 있다. 이는 크기에 의존한 경제 현상¹⁴⁾을 강조하고 있다. 100나노미터라는 구분은 100나노미터의 연속성을 따라 확장할 수도 있지만 이러한 연속성은 고전 물리학에서 쿼텀¹⁵⁾의 구조적인 효과에 의해 약화되고 있으며, 상대적으로 새로우면서 덜 알려진 나노기술에 의한 특수한 현상을 강조하고 있다.

두 번째, 나노기술은 매우 작은 규모에서 목적의식적으로 ‘통제’, ‘조작’, ‘취급’하는 것이다. 이는 목적의식성이 결여된 채 ‘우연적인’ 나노기술로부터 비롯되는 소재 혹은 공정에 대한 것을 배제하기 위한 것이다. 이러한 구분은 나노 사이즈에서 연구개발과 엔지니어링

13) Enabling Technology.

14) 예, 표면적의 확장, quantum 효과 등.

15) quantum.

(영국의 정의 참고)에서도 마찬가지로 ‘하향식’¹⁶⁾ 방식과 ‘상향식’¹⁷⁾ 접근방법의 차이에도 적용된다.

‘하향식’과 ‘상향식’이라는 두 가지 접근방식은 물리학의 R&D 궤도에서의 연속성의 반대편에서 비롯된다. 나노기술 관점에서 엔지니어링의 ‘하향식’은 분할, 에칭, 연마 혹은 리소그래피 기술을 이용한 소재 사이즈의 최소화를 의미한다. 동 방법은 전자산업에서 적용이 확대되면서 일반화되고 있으며 나노기술의 주요 분야가 되고 있다. 반면 ‘상향식’은 나노 사이즈에서 새로운 소재가 복합화하는 초분자화학¹⁸⁾ 분야에서의 방법이다. 상향식은 바이오기술에서 주로 비롯되는데, 나노기술 관점에서 상향식의 제조공정은 통제된 자기조립분자를 포함하며, 마이크로구조에서도 개별 분자의 조작 과정에 기반을 두고 있다. 특히 ‘상향식’은 과학발전에 중요한 역할을 하고 있으며, 전체적으로 평균적인 특허기술에 비해 나노기술을 상대적으로 과학기술 기반이 강한 것처럼 보이게 한다.

세 번째, 지금까지 나노기술에 대한 대부분의 정의는 나노단위에서의 ‘새롭고’, ‘획기적인’ 산업적 적용, 혹은 크기에서 비롯되는 현상의 특성에 기반한 ‘기술혁신’으로 개발과 조작(엔지니어링)이라는 기준에 주목하고 있다.

OECD WPN은 국가 간 논의를 통해 2011년에 나노기술에 대한 정의로 ISO TC 229¹⁹⁾의 정의를 적용하기로 합의하였으며, 국제적으로 비

16) top-down.

17) bottom-up.

18) supramolecular chemistry.

19) ISO TC(International Organization for Standardization Technical Committee)는 국제표준화

〈표 2-1〉 나노기술의 정의

출처	정의
US: National Nanotechnology Initiative (2001 and 2011)	Nanotechnology is the understanding and control of matter at dimensions of roughly 1 to 100 nanometers, where unique phenomena enable novel applications. Encompassing nanoscale science, engineering and technology, nanotechnology involves imaging, measuring, modelling, and manipulating matter at this length scale.
EU: 7th Framework Programme (2007~2013)	Generating new knowledge on interface and size-dependent phenomena; nano-scale control of material properties for new applications; integration of technologies at the nano-scale; self-assembling properties; nano-motors; machines and systems; methods and tools for characterisation and manipulation at nano dimensions; nano precision technologies in chemistry for the manufacture of basic materials and components; impact on human safety, health and the environment; metrology, monitoring and sensing, nomenclature and standards; exploration of new concepts and approaches for sectoral applications, including the integration and convergence of emerging technologies.
ISO TC 229	Understanding and control of matter and processes at the nanoscale, typically, but not exclusively, below 100 nanometers in one or more dimensions where the onset of size-dependent phenomena usually enables novel applications. Utilising the properties of nanoscale materials that differ from the properties of individual atoms, molecules, and bulk matter, to create improved materials, devices, and systems that exploit these new properties.
Japan: Second Science and Technology Basic Plan (2001~2005)	Nanotechnology is an interdisciplinary S&T that encompasses IT technology, the environmental sciences, life sciences, materials science, etc. It is for controlling and handling atoms and molecules in the order of nano (1/1,000,000,000) meter enabling discovery of new functions by taking advantage of its material characteristics unique to nano size, so that it can bring technological innovation in various fields.
UK: New Dimensions for Manufacturing: A UK Strategy for Nanotechnology	Nanotechnology and nanoscience are concerned with materials science and its application at, or around, the nanometre scale (1 billionth of a metre). Manufacturing can reach the nano scale either from the top down, by 'machining' to ever smaller dimensions, or from the bottom up, by exploiting the ability of molecules and biological systems to 'self-assemble' tiny structures. It is in the conjunction of these two approaches, in the meeting of physical and chemical/ biological manufacturing, that the potential for revolution lies. From the top down perspective, it interfaces with the larger-scale, more mature 'microsystems technology' being pursued very actively in the UK and around the world on a more immediate timescale.
나노산업융합 연구조합	나노기술은 물질을 나노미터 크기의 범주에서 조작·분석하고 새롭게 되거나 나타내는 소재·소자 또는 시스템을 창출하는 과학기술이며, 나노기술은 신성장동력 창출의 원천기반기술로서 핵심적인 위치를 차지하며, 나노융합기술은 나노기술을 기존 기술에 접목하여 기존 제품의 성능을 개선·혁신하거나 전혀 새로운 나노 기능에 의존하는 제품을 창출하는 기술

자료 : 산업연구원 종합.

교가능한 나노기술의 통계 분석 틀을 마련하는 과정에서 동 정의를 사용할 것을 요청하였다. OECD WPN의 정의는 다음과 같다.²⁰⁾

“나노 단위에서 물질과 공정의 조작을 이해하기 위해서는 전적이지는 않지만 전형적으로 100나노미터 이하가 적용을 가능하게 하는 규모에 기반을 둔 차원이 되어야 한다.”²¹⁾ 나노 단위 물질 특성의 사용은 개별 원자, 분자, 벌크 차원에서의 특성과는 구분되며, 보다 향상된 물질, 디바이스, 시스템이 이러한 새로운 특성을 이용하여 만들어진다는.”

한편 우리나라에서는 나노기술을 “100nm(만분의 일 밀리미터) 이하의 크기에서 인위적으로 물질을 제조·조작·제어함으로써, 기

기구 기술위원회 나노기술 분야의 약자이다. 2005년 1월 BSI(영국표준협회)의 제안에 의해 2005년 4월 신설되었으며 2012년 12월 현재 34개국이 참여하고 준회원은 12개국이다. 주요 역할은 다음과 같다. ① 나노기술의 지속적이고 책임 있는 개발과 글로벌한 보급 지원 ② 나노기술, 나노제품 및 나노시스템의 세계교역 촉진 ③ 나노기술과 관련된 천연자원의 합리적인 사용과 더불어 품질, 안전성, 보안성, 소비자 및 환경보호 증진 ④ 나노소재, 나노제품 및 응용시스템의 생산, 사용, 폐기에 대한 올바른 규범을 정착/이를 위해 초기에 용어, 시험방법, 건강·안전·환경 영역에 집중하여 표준을 개발하거나 가급적 중복성이 있는 기존의 TC와는 적극 협력하고 그렇지 않은 분야는 TC229 영역으로 흡수하였으며, 각국에서 추진 중인 프로그램을 위한 기반을 제공하는 데 필요한 나노기술표준화 로드맵을 작성하고 가장 최근의 나노기술 연구개발, 응용 및 이슈를 다룰 수 있도록 적절한 TC 구조를 구설하며, 나노기술에 의한 건강, 환경에 미치는 영향을 평가하는 전 세계적인 노력에 기여하고 건전하고, 과학에 기초한 표준을 개발하는 데 협조함으로써 적절한 규제화를 지원한다. 마지막으로 ⑤ OECD(경제개발협력기구)와의 전략적 협력을 통해 나노제품의 국가 간 교역을 위한 효율적 대책 마련을 추진하고 있다(출처, <http://www.iso.org/iso>).

20) OECD(2011).

21) Understanding and control of matter and processes at the nanoscale, typically, but not exclusively, below 100 nanometers in one or more dimensions where the onset of size-dependent phenomena usually enables novel applications(ISO TC 299).

존 물질보다 월등히 우수한 물리화화적인 특성을 발현하도록 하는 기술”로 정의하고 있다. 구체적으로 나노기술은 다음의 세 가지 특성을 모두 만족하는 기술을 의미하는 것으로 보고 있다.²²⁾

- ① 다루는 크기 : 100nm 이하(원자 0.1nm, DNA 폭 1~5nm, 적혈구 8,500nm)
- ② 물리화학적 특성 : 특성이 크게 개선되거나 완전히 다른 특성을 발현한다. 예를 들면 금덩어리는 황금색을 띠지만 10nm 이하가 되면 붉은색으로 변한다.
- ③ 인위성 : 자연적으로 존재하는 것이 아닌 인위적인 방법으로 제조한다.

우리나라에서 사용하는 나노기술의 정의도 OECD, ISO와 같이 국제적 논의와 동일한 의미를 포함하고 있다. 이에 본 보고서에서는 위와 같은 나노기술의 정의를 적용하고 있다.

(2) 나노기술의 응용 분야

앞에서 정리한 바와 같이 나노기술에 대한 단일하고 일반적인 정의는 의미하는 바가 분명하지만 실제로 나노기술의 발전과 산업화를 살펴보기에는 적용에 어려움이 많다. 나노기술의 세부 분야와 활용 분야에 의한 R&D 투자와 기업활동의 분포를 추적하기 위해서는 기업들이 세부 분야와 응용 분야 간에 구분이 필요한데 이때 구분에 어려움이 많다. 기업들은 복합적인 분야와 응용 분야에 포함될 수

22) 지식경제부(2012).

있기 때문에 더욱 그러하다.

따라서 나노기술을 리스트에 기반하여 정의하려는 시도가 이루어졌다. 물론 이 과정에서는 나노기술의 세부 분야에 대한 합의 도출이 필요하다. 리스트 기반의 나노기술을 정의한 것은 캐나다 통계청이 선도적이었는데,²³⁾ 캐나다의 리스트 기반 정의는 다음과 같다.

나노소재 : 유기·무기 나노복합소재, 나노분말, 나노파티클, 나노코팅, 탄소나노튜브

나노소자 : 센서, MEMS, 나노기반 MEMS(NEMS)

나노전자 : 포토닉스, 나노-광학소자/센서 또는 light emitters

나노공정 : 나노조립과 같은 시스템을 포함하는 나노기반 촉매 등

나노의약 : 나노기반 의약전달시스템과 같은 나노약품

기타 나노기술 : 나노기반 제품, 나노기반 소비재, 나노공구, 하드웨어, 장비, 소프트웨어, 나노바이오기술

캐나다의 리스트 기반 정의는 이후 전문가 회의 등을 거쳐 정리되면서 2011년에 OECD WPN 회의에서 다시 정립되었다. OECD WPN에서는 National Model Survey를 추진한 이후 조사대상이 적기는 하지만 나노기술의 응용 분야에 대하여 조정이 필요하다는 점을 인식하고 수정안을 제시했다.²⁴⁾

OECD WPN은 리스트 기반 정의를 개정하면서 참여국²⁵⁾과 전문가들은 새로운 용어를 포함하는 것이 유용하다는 점에 합의했다. 그

23) Statistics Canada(2008).

24) OECD(2011).

25) 통계 수집을 희망하는 국가들은 주요 정책 목표에 대응하는 하위 분야를 리스트에 포함시키기를 희망했다.

〈표 2-2〉 리스트 기반 나노기술 응용 분야

National model survey(초안)	OECD 수정안(2011)
Nanomaterials	나노소재(Nanomaterials)
Nanoelectronics	나노전자(Nanoelectronics)
Nanophotonics	나노광학(Nanophotonics)
Nanobiotechnology	나노바이오(Nanobiotechnology)
Nanomedicine	나노제약(Nanomedicine)
Nanomagnetics	Nanomagnetics
Filtration and membranes	Filtration and membranes
Nanoinstruments	Nanoinstruments or devices(for observation, analysis or control)
Nanodevices	-
Nanomechanics	-
Nanotools	Nanotools(for manipulation, nanolithography and nanofabrication)
-	catalysis
-	SW for modelling and simulation
Other Fields	기타(other fields)

자료 : OECD(2010, 2011).

결과 초기의 카테고리 중 나노장치,²⁶⁾ 나노기계²⁷⁾ 2개 분야는 포함되지 않았으며, 촉매, SW가 추가되었다.

2009년의 1차 National model survey의 파일럿 조사에서는 응답자들이 〈표 2-2〉 좌측열의 카테고리를 사용했다. 이후 2009년에는 기타

26) Nanodevices, 우리나라에서는 나노디바이스를 주로 나노 크기의 전자부품을 통칭하지만 OECD의 분류체계에서는 장비 및 기계를 포함하는 최종재의 부품을 포함하는 것으로 보인다.

27) Nanomechanics.

로 구분되었던 범주가 2011년에는 나노구조 소재, 촉매, 모델링과 시뮬레이션 소프트웨어 등으로 세분화되었다. 나아가 나노장비, 나노장치, 나노도구²⁸⁾는 중복성이 나타나면서 세분화하여 조정되었다.

이러한 변화과정은 나노기술이 급속하게 발전하면서 새로운 하위 영역들과 응용 분야들이 지속적으로 새롭게 변화하고 있음을 의미한다. 그리고 이는 나노기술이 용어에 기초하여 정의를 하는 방법에 비해 리스트에 의한 구분이 유용하다는 점을 의미하며, 활용도를 높이기 위해서는 면밀한 관찰과 합의도출 과정이 필요하다는 점을 시사한다.

2. 나노융합산업

(1) 나노융합산업의 정의와 중요성

나노융합산업은 나노기술을 기존 기술에 접목하여 기존 제품을 개선·혁신²⁹⁾하거나 전혀 새로운 나노기능에 의존³⁰⁾하는 제품을 창출하는 산업으로 정의할 수 있다. 세계 나노융합시장은 연평균 18% 수준으로 성장하여 2020년에는 약 2조 5,000억 달러 규모에 이를 것으로 전망되고 있다.³¹⁾

선진국은 이미 '나노기술혁신' 단계를 거쳐 경제·사회적으로 큰

28) nanotools.

29) Nano-enabled.

30) Nano-dominated.

31) M. Roco., eds(2010), OECD/NNI(2012).

〈표 2-3〉 우리나라 성장 유망 분야의 변화

산업군	차세대 성장동력 (2003)	2020 유망산업 (2005)	신성장동력(2008)	
최종재	지능형 로봇, 미래형 자동차, 차세대 이동통신, 바이오 신약	신개념 컴퓨터, 항공우주, 해양 운송기기	수송시스템 (그린 카, 선박·해양시스템)	융합신산업
부품 소재	차세대 전지, 디스플레이, 차세대 반도체	첨단화학소재, 초정밀기기·부품	New IT (반도체, 디스플레이, 차세대 무선통신, LED조명, RFID/USN)	로봇, IT 융합시스템
			바이오 (바이오 신약 및 의료기기)	신소재· 나노융합
			에너지·환경 (무공해 석탄에너지, 해양바이오연료, 태양전지, 이산화탄소 흡수 및 자원화, 연료전지 발전시스템, 원전플랜트)	
지식 서비스	디지털 콘텐츠, SW솔루션, 디지털TV·방송	콘텐츠(영화, 게임), 난치병 예방 치료 서비스, 노인성 질환치료서비스	지식서비스 (문화콘텐츠, 소프트웨어, 디자인, 헬스케어)	방송통신, 융합미디어

자료 : 산업연구원 정리.

변화를 가져올 수 있는 ‘신산업창출’ 단계로 발전해가고 있다. 최근 수년간 나노융합기술의 제품화 및 산업화가 본격화되면서 각국은 신산업 창출과 거대 신시장 선점을 위한 국가적 노력을 강화³²⁾하고 있다.

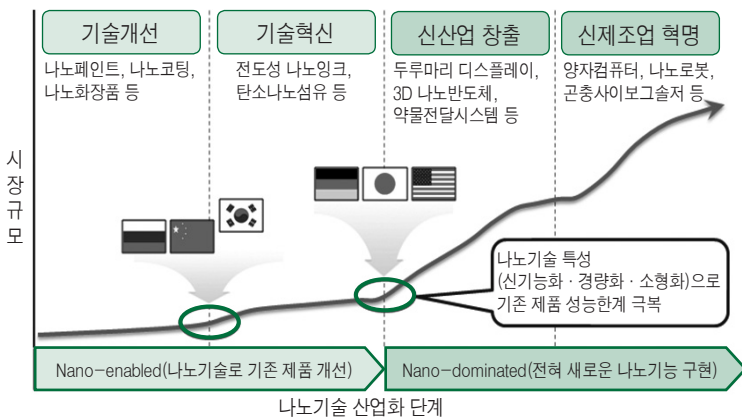
나노기술은 IT·BT·ET 등 신성장동력 분야와의 상승적 융합을 통해 국가경쟁력을 획기적으로 향상할 것으로 예상되고 있어 나노

32) 미국, 나노기술의 상용화를 촉진하기 위해 범부처 Nanotechnology Signature Initiatives (NSI) 프로그램을 추진(2010)하고 있으며, 러시아는 나노기술공사를 설립(2007)하고 2015년까지 12개의 나노기술센터를 설립할 예정이며, 2015년까지 약 10조원을 투입할 계획을 추진 중이다.

융합산업은 산업발전과 구조 고도화에 큰 파급효과를 미칠 것으로 보인다. 나노융합산업의 성장은 새로운 성장엔진의 발굴, 산업 구조 재편에서 새로운 기회이자 도전요인이 되고 있다. 기존에 정부가 선정한 차세대 성장동력, 2020 유망산업³³⁾에 선정된 미래유망산업 대부분이 융합화를 반영하고 있지만 완성재, 부품소재, 지식서비스라는 산업분류 방식을 채택하고 있었다.

반면 이명박 정부가 집중적으로 추진하는 신성장동력은 기존의 산업분류로는 구분할 수 없는 새로운 분야를 도출하고 있으며, 융합 신산업뿐만 아니라 대부분의 신성장동력 세부 분야가 나노기술과의 융합을 전제로 하고 있다는 특징을 보인다. 이는 나노융합이 기술영역에서 산업영역으로 본격적으로 전환되고 있으며, 이미 산업화 정책에도 적극 반영되고 있음을 나타낸다.

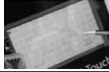
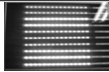
〈그림 2-1〉 나노융합기술 산업화 단계 및 주요국 현황



자료 : 지식경제부(2012) 활용하여 산업연구원 재작성.

33) 산업연구원(2005).

〈표 2-4〉 나노융합의 주요 적용 분야

	설명	주요 제품	
나노소재	재료의 제어·조합·합성을 통해 탁월한 신기능 소재개발	그래핀 터치패드 전자기 색가변 소재	
나노소자	기존 IT 소자의 물리적 한계를 극복한 혁신적 소자	유연 메모리소자 양자점 LED	
나노바이오	나노스케일의 생명현상 규명 및 바이오·의료 분야 활용	고감도 자가진단칩 나노구조 줄기세포 배양기	
나노 에너지·환경	고효율화, 저비용화 등 기술적 이슈 해결로 녹색성장 견인	염료감응형 태양전지 정수용 유기나노필터	
나노 공정·장비	나노 측정·공정·장비 개발로 첨단제조기술 경쟁력 강화	나노패터닝장비 산업용 원자현미경	

자료 : 지식경제부(2012).

또한 나노융합은 에너지, 환경, 물 부족 등 당면한 국가 과제의 강력한 해결수단이 될 수 있다. 대표적인 나노융합제품인 태양전지는 기존 에너지 변환장치의 효율적 한계를 극복하고 저가화할 수 있는 제품으로서 국가 에너지 자립에 기여할 수 있을 것으로 예상된다. 고성능 나노촉매, 나노필터 등은 오염배출 최소화 및 청정환경을 유지·보전하고 물부족 등 국가적 당면과제를 해결하는 데 가장 경제적이면서도 효과적인 대안으로 부상하고 있다.

한편 우리나라는 그간 집중적인 나노기술투자로 인해 기술혁신 단계에 도달했으나 신산업 창출 단계까지는 이르지 못한 상황으로 평가되고 있다.³⁴⁾ 그러나 기존 제조업의 기술적 정체상태와 우리 경제의 성장한계(2만 달러 트랩)를 돌파하기 위해 지속적인 신산업·신시장 창출과 급성장하는 나노융합시장 선점을 위해 나노융합산

34) 지식경제부(2012).

〈표 2-5〉 신성장동력 부문과 나노융합기술

17대 성장동력	스타브랜드(지정부)
신재생에너지	태양전지, 연료전지, 해양바이오, 해양에너지, 폐기물바이오, 청정석탄에너지
탄소저감에너지	이산화탄소포집저장, 원전플랜트, 중소형 원자로
고도 물처리	스마트상수도, 친환경 대체용수, 지속가능 물환경
LED응용	Eco LED, LED 스마트 모듈, LED 감성 웰빙 조명
그린수송시스템	그린카, Wise Ship, 첨단철도
첨단그린도시	U-City, ITS, GIS, 저에너지 친환경주택
방송통신융합	차세대융합, 차세대 무선통신, 실감 DTV 방송, 차세대 IPTV
IT융합시스템	지능형 그린자동차, 디지털선박, 웰페어융합플랫폼, 차세대 센서네트워크, 시스템반도체, 차세대 디스플레이
로봇 응용	라이프케어로봇, 청정생산용 첨단제조 로봇시스템, 에듀테인먼트로봇, 지속가능 사회안전 로봇시스템, 교부가 의료서비스 로봇
신소재/나노융합	초경량마그네슘 소재, Ionic liquid 소재, 나노탄소 융합소재, 기능성 나노필름, 나노융합 바이오머신
바이오제약/의료기기	바이오의약품, 바이오 자원 · 신소재 · 장기, 바이오매스 유래 바이오화합제품, 메디 바이오진단시스템, 첨단의료 영상진단기기, 고령친화 의료기기
교부가 식품	기능성 식품, 유비쿼터스 식품시스템, 친환경 안심식품, 웰빙 전통식품
콘텐츠/SW	u-Health, 외국인 환자 유치 확대
MICE/융합관광	u-러닝, 우수 외국 교육기관 및 유학생 유치
글로벌 헬스케어	배출권시장 활성화, 녹색금융인프라 조성, 녹색펀드
글로벌 교육서비스	게임, 차세대 영상 뉴미디어, 가상현실 콘텐츠, 창작 · 공연 · 전시, 융복합 콘텐츠, 공개SW, 지능형 인터페이스, 임베디드 SW, 사회안전시스템, 차세대 웹
녹색금융	MICE 복합단지 조성, 생태, 공연, 쇼핑 연계 융합관광

자료 : 정은미(2011b).

주 : 진하게 처리한 분야는 나노기술 활용이 높은 분야를 의미.

업을 미래 성장동력으로 집중육성하려는 계획을 추진 중이다.

나노융합산업의 성장은 막대한 글로벌 나노융합시장 선점을 통해 우리 경제를 한 단계 도약시킬 수 있으며, 제조업 활성화로 안정적인 일자리 창출의 기회로 활용할 수 있다. 아울러 치열한 글로벌 경쟁에 대응하여 우리만의 경쟁력을 확보하고 새로운 먹거리 창출을

위해 범국가적 역량을 집중해야 하는 대표적인 분야이다.

(2) 나노융합산업의 특성

1) 제품 및 서비스의 혁신성

나노기술의 제품, 혹은 산업으로의 적용은 단순히 입자 크기나 방법론적인 측면이 아니라 기술 혹은 제품에서 획기적인 기능을 창출하거나 새로운 가치를 발현시킨다는 특성을 가진다. 또한 단일 기술에만 전적으로 의존하는 제품 혹은 산업의 발전이 아니라 신기술 간 융합과 중첩 현상에 의해 나타날 가능성이 훨씬 높다는 점에 주목해야 한다.

이러한 관점에서 나노기술의 산업화 수준 및 효과를 측정하는 것은 기존의 산업을 분석하는 것과는 새로운 접근방법을 필요로 한다. 이는 기존의 산업분류 혹은 산업통계를 그대로 이용하기 어렵다는 점에서 신기술, 나아가 융합기술의 산업적 활용에 공통적으로 나타나는 특징으로 볼 수 있다.

2) 산업 간-산업 내 융합을 촉진하는 원천의 변화

나노기술은 대부분의 분야(기술, 제품, 산업)에 적용가능한 기술이라는 특성을 가진다. IT, BT 등 신기술과 함께 기술·제품·산업융합의 핵심적인 역할을 담당하고 있으며, 그 영향은 향후에 더욱 커질 것으로 예상된다.

나노기술의 경우 일반목적기술³⁵⁾의 특성을 갖고 있어 활용 여부에 따라 기술적·산업경제적 파급효과가 크게 달라질 수 있다. 일반목적기술이란 특정 신제품이나 이를 만드는 신공정이 아니라 다양한 분야에 적용되어 기존의 경제 및 사회 구조에 충격을 통해 극적으로 사회를 변화시킬 수 있는 기술을 의미하며, 내연기관, 기차, 전기, 전력, 자동차, 컴퓨터, 인터넷 등을 대표적 사례로 들 수 있다. 일반목적기술이 과학기술적인 측면에서 산업경제 분야에 효과를 발휘하기 위해서는 체제전환을 위한 구조조정과 적응기간이 필요하다는 점에서 적용 과정에서의 지연과 불연속성을 보일 수 있다. 새로운 일반목적기술의 도입이 생산성에 영향을 미치기 전까지 일시적인 격차(Lag)가 존재할 수 있으므로 이를 최소화하기 위한 사회적·정책적 노력이 중요하다. 기존 기술 및 기능의 쇠퇴, 학습비용, 사회적 기반의 발달, 새로운 산업과 이에 대응하는 고용 창출까지의 시차³⁶⁾가 고려되어야 한다.

3) 산업패러다임의 변화 촉진

나노융합산업은 산업별 가치사슬에서의 수평적 통합과 더불어 다른 산업과의 융합으로 불연속적인 발전과정을 통해 산업구조 및 생산방식, 제품구조, 생산자원의 결합방식에 관한 산업패러다임을 전면적으로 변화시킬 것으로 예상된다.

35) General Purpose Technology(GPT).

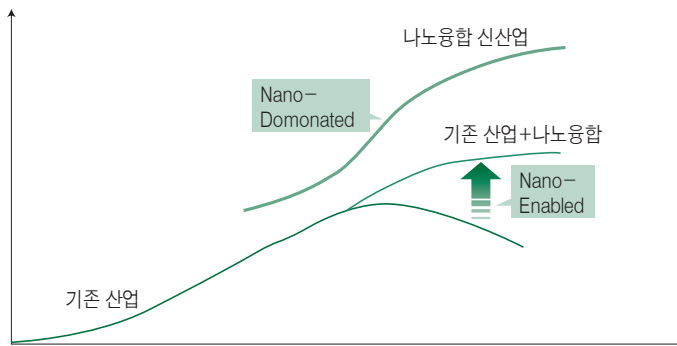
36) 생산성 역설은 신기술 도입 시 초기의 생산성 저하 현상이 나타날 수도 있다는 것을 보여준다. Brynjolfsson, E.(1993).

우선 나노융합산업은 다른 산업과 융복합화를 통해 새로운 산업의 창출과 기존 산업의 산업발전 경로를 변화시킬 것으로 기대된다(〈그림 2-2〉 참조). 즉 융합화라는 기술환경의 변화가 제품의 다기능화와 고성능화, 새로운 개념의 제품군과 서비스를 창출할 것이다. 우리는 이미 생체나노머신, 바이오 인포매틱스, U-healthcare, DNA Chip처럼 10여 년 전만 해도 개념으로만 존재하던 제품이 나노기술을 직접 이용하여(Nano-Dominated) 유망 신산업으로 부상하는 것을 볼 수 있다. 또한 기초소재산업이 나노기술을 활용하여(Nano-Enabled) 산업용 섬유, 신금속 등 첨단소재산업으로 생산구조가 재편되는 경우도 있다.

나노융합은 산업 내 단선적인 진화, 산업 내 비즈니스 간 연계에서 네트워크형 산업구조로의 변화를 견인하고 있다. 융합화의 확산으로 산업별 가치사슬 내에서 수평적 통합이 일어나는 동시에 다른 산업의 가치사슬로의 수직적 확장 및 영역을 재구성하는 것이다.

아울러 혁신자원에서도 산업융합의 고도화로 단일 기업 혹은 산

〈그림 2-2〉 나노융합과 산업발전 경로의 변화



자료 : 정은미(2011a).

업이 R&D, 기술개발, 사업화, 생산, 마케팅 등을 독자적으로 수행하기보다는 네트워크형 · 개방형 R&D · 사업화체제가 확대되는 방향으로 변화하며, 나노기술은 제품의 기획, 디자인, 생산 및 인력의 결합에서 근본적인 변화를 가져올 것이다. 이는 산업 내 생산제품 구성이 바뀌면서 이루어지는 산업 내 구조뿐만 아니라 전후방산업과의 산업연관 관계까지 변화하는 것을 의미한다.

(3) 핵심유망가능기술로서의 나노융합기술

나노기술의 특성은 기존 통계나 지표에 비해 새로운 유형의 지표 개발을 필요로 한다. 이러한 새로운 유형의 지표들은 기존 지표들의 통계적 특성을 거의 갖지 않을 수도 있다. 그렇지만 나노기술이 새롭게 부상하고 적용범위가 광범하다는 점에서 신중한 접근이 필요하다. 이는 나노기술이 새로운 학제 간, 다부문 간, 다국가 간 전략적 제휴를 통해 전개되고 있다는 점을 이해하기 위해 필요한 과정이다.

나노 관련 신규 지표들은 나노기술이 구현된 제품, 새로운 유형의 혁신, 고용 관련, 인적자원의 수요와 활용, 나아가 나노기술 발전에 의한 성과와 관련된 다양한 측면들을 포함해야 한다.

유망가능기술(Emerging and enabling technology)은 ‘지식집약적이며, 높은 R&D 집약도, 빠른 혁신주기, 높은 자본지출 및 고속련 노동의 특징을 지니며, 경제시스템 전반에 걸쳐 공정, 제품, 서비스 혁신을 가져오는 기술’로 정의된다.³⁷⁾ 유럽연합은 유망가능기술로

37) EUROPEAN COMMISSION(2012).

마이크로-나노전자(Nanoelectronics), 나노기술(Nanotechnology), 광학(Photonics), 첨단소재(Advanced Materials), 산업용 바이오기술(Industrial Biotrchnology), 첨단제조기술(Advanced manufacturing technology) 등이 해당하는 것으로 보고 있다.

OECD WPN은 유망가능기술들을 각각 구분하기 어려운 측면이 있기 때문에³⁸⁾ 기술의 변화와 활용을 측정하는 통계 데이터에서 질적 수준으로 간접이 일어나기 쉽다고 보고 있다. 이에 따라 유망가능기술들 간의 중첩성을 고려한 종합적인 프레임워크를 발전시켜 공동으로 조사측정하는 것이 적합하다는 의견을 제시하였다. 한가지 방법으로 하위그룹과 보다 심화된 연구를 위해 성장유망기술들과 관련된 산업의 모든 기업들을 조사하여 관련된 주제를 조사하는 것을 제안하고 있다.

한편 캐나다 통계국의 조사는 매우 흥미로운 결과를 보여주고 있는데, 유망가능기술들 간의 융합성은 기술영역뿐만 아니라 산업경제 활동에서도 융합화가 두드러지게 나타나고 있으며, 이는 개별 분야의 통계지표가 중첩될 가능성이 높다는 점을 지적하고 있다.³⁹⁾ 캐나다 통계국은 2005, 2007년의 조사결과를 분석하여 유망기술들에 대하여 중첩되는 기술들의 범위를 살펴보았다. 이들 기술들은 주로 나노기술, 바이오기술, 바이오제품, 기능성 식품, 환경기술 등이었다.

38) 예를 들면 나노기술과 바이오기술 간의 뚜렷한 구분이 어려울 수 있다. 이는 나노-바이오기술 모두 관련된 논문발표, 특허, 기업, 제품의 중복 계산될 수 있으며, 그 결과 각 분야에서의 발전을 파악하는 데 어려움이 있다는 점을 의미한다.

39) Statistics Canada(2008).

동 조사는 유망기술들이 영향을 미치거나 미칠 것으로 예상되는 산업의 모든 분야에 대해 대대적으로 수행되었는데, 상대적으로 하위그룹의 기업에 대해서는 그들이 활동하는 기술과 관련된 심층조사를 수행했다. 동 조사 결과 나노기술기업들의 70% 정도가 바이오기술과 바이오제품 생산을 위해 활동하고 있었으며, 바이오기술기업들의 54%가 바이오기술을 넘어서는 다른 분야에서 활동하고 있었다. 바이오제품 생산기업 중에서는 74%가 바이오제품을 넘어서는 영역에서 활동하는 것으로 나타났다.⁴⁰⁾

이는 유망가능기술들 간의 밀접한 관계를 보여주고 있으며, 기술 간 중첩성과 연계성을 고려하여 신중하게 접근해야 한다는 점을 시사한다. 유망가능기술들 간의 중첩성은 종합적인 프레임워크의 발전을 통해 공동의 조사측정을 고려하는 것이 적합하다는 것을 시사한다. 특히 유망가능기술들 간에는 정의, 상대적인 표본추출, 데이터 수집과 측정 방법론에서 통일성을 기해야 한다. OECD WPN은 이러한 기술들이 개별적으로보다는 공통으로 과제에 대해 도전한다면 보다 체계적인 방식으로 진행될 수 있을 것으로 예상하고 있다.

나아가 이러한 접근방식은 상대적으로 하위그룹 데이터의 계층구조화가 가능해야 한다. 계층적으로 구분이 가능하다면 정책과 관련성이 높은 기술에 대한 이해를 높이고 융합에 대한 기술영역 간의 비교가 보다 용이해질 것이기 때문이다.⁴¹⁾ 유망가능기술의 통계

40) 성장기술 조사에 대한 분석결과 2007년 캐나다 통계청에 의해 추진된 바이오기술 조사는 나노기술기업들에 대한 파일럿 조사를 포함하고 있었다. 88개의 나노기술기업 중 약 55%가 바이오기술기업에 포함되어 있으며, 주로 인체건강(human health) 영역이었다.

41) 이에 따라 OECD WPN은 성장유망기술을 측정하기 위한 종합적인 프레임워크는 해당

생산과 측정 프레임워크에 대한 종합적인 접근이 필요하다는 OECD WPN의 이러한 제안은 융합기술의 특성을 고려할 때 타당성이 매우 높다. 따라서 기존 바이오, ICT 환경 등 융합형 기술분야 간에 밀접한 관련성을 갖고 전면적으로 추진되어야 한다는 점에서 중장기적으로 고려해야 하는 도전적인 과제가 되어야 한다.

국내에서도 당연히 나노, 바이오, 정보통신 분야의 기술 및 산업, 제품 분류에서도 중첩성이 크게 나타날 것으로 예상된다. 따라서 일단 나노융합 분야에서의 기술 및 산업 분류체계를 정립하고 공통된 논의의 장을 마련해 나가는 단계적인 접근이 필요할 것으로 판단된다. 이는 나노기술이 아직까지 융합형 분야가 대부분이며, 산업화 초기단계에서의 기술 및 산업, 제품 분류가 정립되지 않은 상황을 고려해야 하기 때문이다.

기술을 정의하는 기준에 대한 관심이 필요하며, 하위그룹을 구분하기 위한 정의에 대해서도 세심한 주의가 필요하다고 강조하고 있다. 질의서의 발전은 신흥 유망기술들에 일반적인 주제들에 대한 이해를 통해서 가능하며, ICT, 바이오기술, 나노기술들은 공통된 주제에 대해 이해하기 좋은 기반을 제공한다고 평가하고 있다. 조사 항목은 투자, R&D, 협업, 혁신유형과 모드, 인적자원, IP, 비즈니스모델, 상업화 과정에서의 과제, 기술기반 활동과 기술적용 과정에서의 수익 등을 제시하고 있다.

제3장

나노융합산업 측정·분석 방법론

1. 나노융합산업 측정·분석에서 제기되는 주요 과제

(1) 조사의 대상

1) 문제 제기

나노기술의 활용과 산업화 과정에 참여하는 주체에는 연구자, 기업, 정부라는 일반적인 분류가 있다. 나노융합산업의 경우 해당 주체별로 역할과 기여에 따라 정의되어 모니터링되어야 한다. 이는 나노기술의 주요 주체와 그 산업경제적 활동에 대한 인식과 관련되어 있다. 주체들이 연계될 경우 산업적 성과가 나타나는 방식이나 경로가 달라지게 되는데 과학기반적인 특성이 강한 나노융합산업의 경우 특히 그러하다. 따라서 다음과 같은 문제가 제기된다.

- 기업의 R&D 활동을 어디까지 나노기술로 정의할 것인가?
- 나노융합제품은 어떻게 구분할 수 있는가?

- 기업 수준에서 어느 정도까지 나노기술이 인식될 수 있는가?
- 대기업의 경우 나노기술기업은 어떻게 정의될 수 있는가?

국제적인 R&D 투자, 논문, 특허 분포에 대한 지표는 나노기술이 소수의 국가, 첨단기술 지역에 집중되어 있는 것으로 나타난다. 미국은 샌프란시스코, 보스턴, 뉴욕, LA 지역을 포함하며, 일본과 EU 중 독일, 프랑스, 영국 등이 해당한다. 최근 수년간 일부 국가들이 두드러지게 나타나는데, 여기에는 한국, 인도, 중국 등이 있다. 이들 국가들의 부상은 나노기술 R&D가 전통적인 선진국가에서 신흥국가로 부분적으로 이동하고 있음을 시사한다.

그런데 기업활동에 대한 조사에서는 아직까지 기술의 분포와 어떻게 대응하는지에 대한 분석결과가 도출되지 않고 있다. 과학기술의 집약지와 산업화가 밀접한 연관 관계를 가질 것이라는 예상은 있지만 기존의 주력산업에서 기술개발이 이루어지는 지역과 생산이 이루어지는 지역이 대응하지 않는다는 점을 고려하면⁴²⁾ 나노기술에 대해서도 나노융합산업의 분포와 어떠한 대응관계를 가지는지를 인식하는 것이 필요하다.

더욱이 나노융합제품을 기존 제품과 어떻게 구분해야 하는지, 그리고 기업들이 신제품 개발 혹은 공정혁신의 과정에서 활용하는 나노기술을 어느 정도까지 인식하고 있으며, 이 과정을 거쳐 생산되는 제품을 과연 나노융합제품으로 인식하고 있는지, 그리고 조사가 가능한지에 대한 문제이다.

42) 한국의 경우 기업의 연구개발활동은 대부분 수도권과 대전 지역을 중심으로 하는 연구 개발집적지에 분포되어 있는 반면, 생산활동은 산업별로 특성을 갖고 분포한다. 예를 들면 중화학공업은 경기, 경북, 경남, 전남과 일부 충남 지역에 분포한다.

한편 대기업의 경우, 특히 우리나라에서 나노기술이 가장 많이 사용되는 것으로 추정되는 전기전자업체의 경우 기업규모 및 생산제품의 종류 및 규모가 매우 큰데도 불구하고 실질적으로 기업조사가 어렵기 때문에 이를 어떻게 해결할 것인가에 대한 해결방안의 모색이 필요하다.

2) 현황과 과제

기업의 R&D 활동을 나노기술로 구분하고 기업 수준에서 나노기술을 인식하는 것은 나노기술에 대한 정의에서 출발해야 한다. 나노기술의 세가지 특성⁴³⁾에 대한 정의를 적용한다면 기업의 연구개발 및 생산 과정에서 나노기술의 인식의 어려움은 해결될 수 있을 것으로 예상된다. 다음으로 나노융합제품에 대한 구분 역시 나노융합제품에 대한 정의를 적용한다면 모니터링 초기에 나타나기 쉬운 나노융합제품의 구별에 대한 어려움을 용이하게 극복할 수 있을 것이다.

그러나 이 과정에서 나노기술 및 나노융합제품에 대한 정의는 기술개발, 기술사용, 제품생산 및 유통 등에 참여하는 주체등의 지속적인 의견수렴과 합의에 기반해야 한다. 이러한 의견수렴과 합의도출 과정이야말로 나노기술의 인식과 나노융합제품에 대한 구분을 가능하게 하는 전제가 된다.

OECD WPN의 파일럿 조사에 의하면 나노기술 관련 지적재산권

43) 크기, 획기적 특성, 인위성.

중 나노기술 특허의 상당 부분을 대학(20%)이 점하고 있어 일반적인 특허의 대학 비중(5%)에 비해 매우 높은 수준을 보이고 있다.⁴⁴⁾ 반면 나노기술 특허의 62%가 기업들에 의해 소유되고 있어 일반 특허의 82%를 기업이 보유하고 있는 것과 비교가 된다. 즉 나노기술이 아직까지는 대학, 연구기관과 같은 기술개발단계 비중이 높으며, 기업들의 활용에는 상대적으로 초기단계인 것으로 보인다.

또한 일부 국가에서 시행된 기업실태조사에서는 나노기술 특허의 상당 부분을 중소기업이 확보한 것으로 나타난다. 이는 실험실 창업, 벤처기업과 같은 비중이 높기 때문에 나타나는 현상으로 보인다. OECD WPN은 나노기술의 사업 영역에서의 정보 수집을 위해 National Model Survey의 초안에 대한 조사⁴⁵⁾를 중소기업과 대기업 모두에 대해 행하였는데, 조사 결과 대학, 연구소와 같은 다른 조직들과의 연계도 고려해야 한다는 결론을 내렸다.

따라서 나노기술과 산업 관련 통계의 조사 및 분석은 대학, 연구기관과 같은 연구개발자부터 기업(대기업, 중소기업)을 모두 포함해야 할 것으로 보인다. 나아가 대기업의 경우 나노기술 전업기업으로 구분하기는 어려우므로 겸업기업으로 구분해야 한다. 대기업 집단의 경우 생산하는 제품의 다양성 및 나노기술의 적용 수준 및 적용 범위에서 차이가 크기 때문에 나노융합제품만을 생산하는 전업

44) OECD(2011).

45) OECD(2011)가 제시한 WPN의 파일럿 조사의 설문서는 기업을 고려하여 작성되었다고 밝히고 있다. 아울러 동 조사에서 제시한 기술 및 적용 분야에 대한 정의나 질문사항은 다른 분야에도 적용될 수 있다는 점이 강조되고 있다. 그렇지만 연구 주체에 대한 조사 결과는 산업화의 가능성을 측정하는 데에는 유용하지만 나노융합산업 자체로 보기에는 어렵다는 점에서 활용에 주의가 필요하다.

기업과는 구별해야 하기 때문이다. 따라서 대기업에 대해서는 주요 제품 혹은 사업부별로 구별하여 제품화 및 생산활동에 대한 기초데이터를 수집하여 나노융합제품에 대한 기초통계를 생산해야 한다.

(2) 나노기술의 적용 분야 및 수준

1) 문제 제기

나노기술은 다양한 부문과 활동에 걸쳐 나타나고 있으므로 이를 모두 포괄하는 측정 틀의 설계가 필요하다. 나노기술의 적용 활동은 과학기술, 공공부문의 연구개발에서도 중요한 비중을 점하고 있다. 한편 유럽, 미국에서는 나노기술 창업기업들이 기본적으로 제품보다는 R&D 서비스를 제공하고 있다고 나타나므로 나노융합산업의 분류상에서 연구개발서비스를 포함하여 조사가 이루어져야 한다고 주장하고 있다.

아울러 나노기술이 발전하고 성숙하면서 적용 분야의 변화를 포괄하기 위해서는 나노융합기업에 대하여 광의의 범주를 적용하는 것이 필요할 것으로 보인다. 이는 나노융합기업들이 얼마나 크게, 광범하게 인식될 수 있는가와 관련된 문제이며, 적절한 표본 추출은 어떻게 정의될 수 있는가, 과학기술 분야와 산업 부문은 어떻게 포함될 수 있는가, 서비스 부문 기업들의 중요한 역할을 어떻게 평가할 것인가와 관련된 사항이다.

현재까지 이용가능한 특허데이터를 살펴보면, 나노기술 특허는 다양한 하위 부문과 응용 분야에 산재해 있다는 사실을 알 수 있다.

그동안 나노기술 특허는 전자, 화학, 장비 분야에서 높은 증가율을 보여 왔다. 이는 전자, 소재 부문에서 전통적인 하향식 방식에 의한

〈표 3-1〉 나노 관련 기술 및 제품 분류체계 현황

기관	비고
이광호(2006)	· 나노기술 분류 · 5대 분류(나노소재, 나노소자, 나노 바이오· 의약, 나노 환경· 에너지, 나노기반 논리· 공정), 22개 소분류로 구분
한국과학기술정보연구원(2010)	· 나노제품 분류 · 6개 대분류(전기전자, 기계·소재, 화학·섬유, 에너지·환경, 바이오/의료, 생활용품), 23개 중분류별 132개 제품 분류 정의
한국산업기술평가관리원(2011)	· 나노기술 분류/기술씨앗형 분류 · 6개 중분류(나노소자, 나노소재, 나노바이오, 나노 에너지·환경, 나노 공정·측정·장비, 나노안전성), 31개 소분류별 130개 요소기술
OECD(2008b)	· 나노 특허 분류 · 6개 분류(나노바이오기술, 나노전자, 나노소재, 나노응용기기, 나노광학, 나노마그네틱)별 28개 기술 분류 · 나노기술 하위 특허를 기존 산업응용 분야와 비교
OECD(2011)	· 나노기술 응용 분야 · 나노소재, 나노전자, 나노광학, 나노바이오, 나노제약, 나노마그네틱, 나노필터·멤브레인, 나노 장비 및 디바이스, 나노장비, SW, 기타 등 12개 분류
Woodrow Wilson International Center(2005)	· 나노 제품 분류체계 & R&D 분류체계 포함 · 8개 제품군(기구, 자동차, 커팅, 전자·컴퓨터, 식음료, 어린이용품, 건강·휘트니스, 가정용품), 28개 기술 분류
호주 DIISR (2011)	· 나노 제품 분류 & R&D 분류 포함 · 8개 소비재 분류(기구, 자동차, 커팅, 전자·컴퓨터, 식음료, 어린이용품, 건강·휘트니스, 가정용품)별 28개 기술 분류
덴마크 DHI (2007)	· 나노기술 분류 · 9개 분야(소재, 나노바이오·의료기기, 에너지·환경, 전자·포토닉스, 나노계측, 부품·소프트웨어, 설비·네트워크, 정부자원, 컨설팅 서비스)
일본 내각부(2001), 경산성(2008)	· 나노기술 분류 · 10개 분야(전자폴리머·폴리머포토닉스, 감시·진단, 나노구조표면 등)로 구분

자료: 산업연구원 종합.

나노 크기의 엔지니어링과 관련된 점진적인 발전에 따른 것으로 볼 수 있다. 나노전자와 나노소재에서 나타나는 특허의 대부분은 해당 부문에서 자연적으로 발전한 기술개발의 성과로 볼 수 있으며 보다 혁신적인 상향식 방식은 아직 대학 연구실 수준에 머물러 있다고 추정하고 있다.

이는 그동안 나노기술제품으로 보고된 대부분의 제품들이 기술 개발단계이거나 시제품 생산단계로서 시장에서 판매되는 제품이 매우 적다는 데에서도 알 수 있다. 이러한 특성은 신흥기술일수록 더욱 뚜렷하게 나타나는데, 나노기술과 같이 일반목적기술의 특성을 가질수록 더욱 클 것으로 예상된다.

결국 나노융합산업의 통계 틀은 나노기술의 특성을 고려하여 광범한 세부 분야와 응용 분야를 모두 포괄할 수 있도록 탄력적이어야 하며, 활용 분야가 가능성으로만 제시된 분야에 대해서도 포함될 수 있도록 기획되어야 한다. 이는 나노기술의 전방위적인 융합성이라는 특성뿐만 아니라 발전의 불확실성에서 비롯된다. 아울러 통계 틀은 바이오-나노-인지-정보기술(NBIC) 등 다양한 유망 신기술 간의 복합적인 융합 현상도 포함해야 한다는 점을 의미한다.

2) 현황과 과제

기존 국내외 기관에서 발표한 나노기술 적용 분야에 대한 분류는 대부분 기술이 중심이 되고 있으며, 산업분류체계에서도 관련 기술을 구분하여 산업분류로서의 활용에 제약이 존재한다.

산업분류체계와의 연계시도는 일본 내각부(2011), 나노제품지향

분류체계는 우드로우월슨(2005)이 유일하지만 별도로 소재, 부품, 최종재, 응용제품의 구분이 없어 산업분류로서는 한계를 가진다.

□ OECD(2008~2011)

OECD WPN에서는 2008년에 나노특허에 대해 분류체계를 제시했으며, 나노바이오, 나노전자, 나노소재, 나노응용기기, 나노광학, 나노마그네틱 등 6개를 포함하였다.

- ① 나노소재 : 유기적, 무기적 나노복합소재, 나노분말, 나노파티클, 나노코팅, 탄소나노튜브
- ② 나노소자 : 센서, MEMS, 나노기반 MEMS
- ③ 나노전자 : 포토닉스, 나노-광학소자/센서 또는 light emitters
- ④ 나노공정 : 나노조립과 같은 시스템을 포함하는 나노기반 촉매 등
- ⑤ 나노의약 : 나노기반 의약전달시스템과 같은 나노약품
- ⑥ 기타 : 나노기반 제품, 나노기반 소비재, 나노공구, 하드웨어, 장비, 소프트웨어, 나노바이오기술

이후 2011년에 OECD WPN은 추가적인 논의를 통해 리스트 기반의 나노기술과 응용 분야에 대한 분류를 정립하여 제시하였다. 동 분류체계는 나노기술의 분류와 응용 분야와의 연계성을 확보하였으며, 나노융합산업의 기술집약적 특성을 고려하여 작성되었다.

□ 나노기술연구조합(2010)

우리나라는 나노융합기술의 산업활동에 대한 분류체계로 나노기술 최종제품지향 분류체계와 기술씨앗형 분류체계가 존재한다.

그 중에서 최종제품지향 분류체계는 2010년 작성⁴⁶⁾되었으며, 나노기술 연구개발사업 성과와 지식산업화의 사업성과를 분석하고 나노기술에 적합한 특허 분류체계 등을 제안하기 위해 작성되었다.

동 분류체계는 기본적으로 나노기술 분야 기술분류로 제안된 것으로, 기존의 산업기술 분류체계가 나노기술에 대한 분류를 충분하게 반영하여 작성되어 있지 못하다는 상황에서 출발하였다. 국가에서 고시하는 산업기술 분류체계가 대분류에서는 주력산업을, 중분

〈표 3-2〉 나노기술의 최종제품지향 분류체계(2010)

대분류	중분류
전기전자	반도체
	디스플레이
	전지
	의료기기/바이오
기계소재	분말/금속재료
	자동차
	정밀기계
섬유화학	정밀화학
	섬유제품
에너지환경	신재생에너지
	에너지효율 향상
	수질/대기

자료 : 나노기술연구조합(2010).

46) 나노기술연구조합(2010).

류에서는 대표 제품을 기준으로 작성되어 있고, 소분류에서는 제품을 구성하는 데 필요한 소재, 부품, 장치 및 시스템이 패키지 형태로 제시되어 있어 융합성과 다목적성을 갖는 나노기술에 대해 독립적으로 구분하기 어려웠기 때문이다.

제품지향형 분류체계는 산업기술 분류체계에 대응하고 있으므로 나노기술이 주로 적용되는 수요산업을 대상으로 하여 관련 제품, 소재 등을 포함하고 있으며, 에너지환경을 제외하면 표준산업분류와도 어느 정도 대응하고 있다. 최종제품지향 분류체계는 해당 산업 분야에서 어떤 기술씨앗을 산업화로 연계시킬 것인지를 사례를 들어 분석한 것으로, 현재 진행 중이거나 미래에 나타날 것으로 예상되는 분야에서의 나노기술의 활용 분야를 분류한 것이다.

다음으로 기술씨앗형 분류는 나노기술들이 어떤 산업 분야를 지향하고 있는지를 분석하기 위하여 만들어졌으며, 나노소자, 나노소재, 나노바이오, 나노 공정·측정·장비, 나노 에너지·환경 등 5개 분야로 구분하고 있다. 기술씨앗형 분류가 기술공급 관점에서 작성된 것이라면 최종제품지향 분류체계는 수요지향적인 관점에서 작성되었으며, 나노기술의 분류를 궁극적으로 어떻게 제품화 혹은 산업화로 연계할 것인지에 대한 고민을 반영하여 작성되었다.

동 분류에 의해 나노기술연구조합(2010)에서는 나노기술 분야의 정부 연구개발사업에 대하여 논문발표(SCI, 비SCI), 특허(국내, 해외)에 대한 성과를 분석하여 나노소재 및 나노소자 분야에서의 성과가 높게 나타난다는 결과를 보였다.

최종제품지향 산업분석에서도 나노기술이 주로 분말·금속재료 산업, 반도체산업, 정밀기계산업 등에 대한 비중의 66%를 점하고 있

〈표 3-3〉 기술씨앗형 분류체계

	기술명
나노소자	나노 기억소자
	나노 CMOS 소자
	Beyond CMOS 소자
	나노 유연소자
	나노 광소자
	나노소자 System 기술
나노소재	나노 기반 소재 제조기술
	나노소재 표면 제어, 고기능화 기술
	나노 기본 소재의 구조 제어 및 분산 기술
	나노소재 벌크화 기술
	나노소재 기반기술
나노 바이오	검진 및 진단
	치료 및 임플란트
	바이오 분자 제어
	생체 모사
	생활용품
	에너지
	농림해양수산
	안전성 및 영향 평가
	표준화
나노 공정 · 측정 · 장비	나노공정
	나노 측정 및 분석
	나노 공정 및 측정 장비
나노 에너지 · 환경	나노에너지 생산 · 변환
	나노에너지 저장
	나노 융합형 에너지
	나노환경 정화
	나노자원 순환
	나노환경 감시
	기타 나노에너지 · 환경 기술

자료 : 나노융합산업연구조합(2010).

다는 점을 도출하여 나노기술의 연구성과가 중간재 및 소재 분야에
서 제품화되는 활용도가 높다는 점을 보였다.

이러한 시도는 나노기술의 성과분석에서 특허, 논문 등 과학기술
의 1차적 성과를 도출하고 있다는 점에서 향후 산업 부문에 대한 영
향을 예측하는 데 매우 유용하다. 그렇지만 현재 나노기술이 얼마나
산업화에 활용되고 있는지, 산업경제적 성과는 어떠한지에 대한 모
니터링을 하기에는 제약이 있다.

□ 지식경제부·교육과학기술부(2010, 2011)

국내에서는 나노기술의 투입 현황과 과학기술적 성과를 분석하
고 평가하기 위한 필요성이 높아지면서 나노기술에 대한 분류체계
가 점차 진화해 왔다. 이러한 과정은 궁극적으로 나노기술의 산업화
를 목표로 하고 있으며, 나노기술의 융합화를 고려하여 분류체계가
작성되어 왔음을 보여준다.

나노기술의 활용을 통해 나노융합산업을 육성하려는 정부 차원
의 정책적 지원이 강화되면서 더욱 활발해진 산업화에 대한 고민은
‘나노융합 2.0(2010)’, ‘나노융합 2020(2011)’ 사업계획을 수립하는 과
정에서도 나타났다. 지식경제부와 교육과학기술부는 “나노기술과
나노융합산업 간의 연계 강화를 통한 신시장·신산업 창출”을 목표
로 하는 개방형 국가연구개발사업을 추진하고 글로벌 나노융합산
업의 선도적 입지를 구축하기 위하여 2010년, 2011년에 각각 예비타
당성조사를 위한 기획보고서를 작성하였다.

동 사업은 최종적으로 ‘나노융합 2020 사업’으로 확정되어 준비

〈표 3-4〉 나노융합 2020 핵심기술 분야

		내용
3대 융합 분야	NT-IT	1. Post CMOS형 차세대 반도체 2. 휴먼인터페이스용 나노 유연소자 3. 차세대 나노광소자
	NT-BT	4. 나노바이오리포터 5. 스마트 나노메디신 6. 생체단분자 나노프로파일러
	NT-ET	7. 나노융합 고효율 에너지 변환기술 8. 나노융합 고성능 이차전지 9. 나노융합 고성능 물 환경·자원 처리 기술 10. 나노융합 고성능 대기 진단·처리 기술
공통기반 기술 분야		나노소재기술과 나노 공정·측정·장비 기술로 구성된 나노제조기반 기술 (10대 중점추진 분야 기술을 개발하는데 있어 공통기반이 되는 기술)

자료 : 지식경제부·교육과학기술부(2011).

기간을 거쳐 2012년부터 추진되고 있는데, 10대 핵심전략기술을 기반으로 3대 융합 분야를 구분하였으며, 여기에 추가로 공통기반 분야를 구분하였다. 참고로 ‘나노융합 2020’에서는 5대 분야로 전략적 목표를 수립하였다. 여기에서 5대 분야는 나노일렉트로닉스, 나노소재, 나노 공정 및 측정 장비, 에너지·환경, 바이오·메디컬이 해당한다.

3) 과제

앞에서 살펴본 바와 같이 나노기술이 주로 크기 및 특성에 관련되는 일반목적기술이나 유망가능기술로서 제조업 분야에 주로 활용될 것이라는 예상과는 달리 연구개발 및 공공부문에서의 산업화 진행도 어느 정도 가시화되는 것으로 나타나고 있다. 이는 곧 나노기

술의 적용 범위와 수준에서 소재, 전자, 장비 등 일부 제조업 분야만을 고려해서는 안된다는 점을 보여준다.

따라서 나노융합산업의 범위는 제조업뿐만 아니라 연구개발과 같은 서비스산업까지 포괄해야 하며, 세부 분야와 응용 분야를 구분하여 포괄적으로 포함할 수 있도록 탄력적이어야 한다. 그리고 나노융합제품에 대한 분류체계도 이를 반영하여 제조업뿐만 아니라 서비스를 포함하는 다른 산업군에까지 점차 확장되어야 한다는 점을 시사한다.

(3) 조사항목(조사지표)

1) 문제 제기

통계조사의 항목은 나노기술의 활용효과를 이해하고 나노융합 제품 및 기업을 분석하며 향후 나노융합산업의 발전방향을 전망하기 위해 사용되어야 하며, 이러한 목표에 충실하게 개발되어야 한다. 따라서 나노융합산업에 대한 조사항목과 여기에서 도출되는 주요 지표는 기업에게는 나노기술을 적용하는 이유는 무엇인가, 혹은 나노기술의 적용과 사용에 의한 편익은 무엇인가로 나타나야 하며, 공공부문에서는 나노기술에 대한 지원의 필요성과 타당성을 뒷받침해야 한다.

기업의 나노기술 활용에 따른 영향은 단기적으로 R&D, 인력, 기타 생산요소, 생산, 판매, 가치사슬, 사업 모델 등에 미치는 효과의 수준과 범위에 대한 내용을 포함해야 한다. 나아가 나노기술의 활용에

의해 창출된 시장에서의 경쟁과 기업활동의 동태성(진입, 퇴출), 산업구조, 노동 시장 등에 어느 정도로 영향을 미치는가에 대해서도 파악할 수 있어야 한다.

공공부문에서는 보다 넓은 수준에서 장기적으로 사회경제적인 발전에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 통계나 지표를 제공할 수 있어야 한다. 투자효과가 어느 정도인지, 과학기술 혹은 산업경제에 미치는 영향이 어느 정도인지, 다른 부문에 투자하였을 때와 비교하여 어느 정도의 성과를 더욱 가져오는지에 대한 판단이 가능해야 한다.

나노융합산업에 대한 조사에서는 가능하면 이런 항목들에 대해 다루어야 하며, 특정 항목 간의 조정은 국가 간, 나노기술의 세부 분야, 응용부문 간 비교과정을 통해 보다 발전되어야 한다. OECD WPN에서는 기업사례 분석은 단기효과에 관련된 핵심 이슈에 대해 일부 내용을 제공할 수 있는 반면, 생산성, 산업구조 변화, 성장에 대한 장기적인 효과는 나노기술의 산업화에서의 초기단계적 특성(immature nature)으로 인해 분석이 어렵다고 평가하고 있다.⁴⁷⁾

2) 현황

나노기술 발전과 관련하여 미국의 NSI에서는 고용, SCI 논문, 특허

47) WPN에 의해 진행되는 기업사례 분석은 특히 기업활동별 유형에 따른 영향에 주목하고 있는데, 나노기술의 초기적 특성과 융합성을 반영한 R&D, 인적자원, 대규모 투자가 필요한 특성을 반영한 자금조달, 기존 가치사슬에서의 신규 기업의 진입, 사업 모델의 변화, 환경보건안전(EHS)에 대한 공공의 인식 등이 이에 해당한다.

활용, 최종제품 시장규모, R&D 투자규모, 벤처캐피털 규모 등을 핵심지표로 활용하고 있다.⁴⁸⁾ OECD WPN에서는 우선순위를 정하기 위해 잠재적인 지표 리스트를 제시하여 의견을 구했으며, 특수 지표의 활용성을 확인하기 위해 전문가에게 추가적인 자문을 받아 지표를 3개 분야로 구분하였다. 3개 분야는 공공부문, 기업부문, 나노기술의 영향으로 구분된다.

이 과정에서 WPN은 산업에서 나노기술의 활동을 측정하는 것은 공공부문의 나노기술과 활동의 영향을 반영하고 있는 것으로 보았다. 따라서 기업부문에서는 특허, 인적자원, 지적재산권 순으로 우선순위를 도출하여⁴⁹⁾ 공공부문에서의 투자, 상업화 이슈와 맥을 같이 하고 있다.

그러나 지표 도출 과정에서는 미시-거시 경제적 충격이 광범하게 나타날 것으로 예상되는데도 불구하고 우선순위가 낮게 나타났는데, 이는 사회경제적 영향을 분석할 수 있는 지표 마련이 선행되어야 한다는 판단에서 비롯된 것으로 보인다. 즉 OECD는 현재 상황이 나노기술이 거시적 경제환경에 미치는 영향을 나노융합기업들에 대해 조사하기 어렵다고 인식하는 것으로 보인다.

3) 과제

나노기술의 경제적 성과에 대한 지표는 거시적 영향을 살펴보는

48) M. C. Roco 외(2010).

49) 공공부문의 활동과 관련하여 특허는 R&D 자금지원, 논문발표, 인적자원과 관련된 지표를 보다 발전시켜야 한다는 의견이 강조되었다.

것보다는 미시적 차원에서 나노융합제품을 생산하는 기업들의 규모가 얼마나 되는지, 어떤 분야에서 주로 활동하는지에 대한 분석이 우선적으로 되어야 한다. 그리고 나노기술이 적용되어 만들어진 나노융합제품이 기존의 생산방식을 얼마나 변화시키는지, 산업구조와 산업활동에 어떤 경로로 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하며, 이는 미시데이터에 기반해야 한다.

여기에서 미시데이터는 생산, 고용, 투자, 수출입 등에 대한 기초데이터를 의미하며, 산업활동에 대한 영향을 분석하기 위해서는 생산성, 부가가치율, 산업과급효과, 고용창출효과 등에 대한 분석데이터를 포함해야 한다.

나아가 기업정보를 활용한다면 나노기술의 산업화와 관련한 기업의 진입과 분화, 퇴출, 사업장 혹은 기업이나 산업 차원에서의 생산성의 변화, 그리고 경제 전체 차원에서의 성장에 대해서도 분석을 확대할 수 있을 것으로 보인다.⁵⁰⁾ 물론 생산, 투자 등에 대한 기초통계의 수집과정에는 나노기술의 제품화, 즉 나노융합제품에 대한 합의 도출과 인식 공유가 전제되어야 한다.

한편 나노기술 지표와 통계에 대해 물론 광범하면서도 유연하게 기획하고 설계하는 것은 바람직하지만 추진 시기와 방법에 대해서는 환경요인을 고려해서 구체적인 실행계획을 수립해야 한다. 나노

50) 기업에 대한 광범한 범위에서의 잠재적인 영향에 대한 이해는 “The Impacts of Nanotechnology on Companies : Policy Insights from Case Studies”에 제시된 내용 중 the draft National Model Survey에서 일부 제시되고 있다. OECD WPN은 파일럿 조사에 대한 응답은 자발적 대상(recruiting staff) 확보에서의 어려움을 나타내며 또한 체계적인 분석의 어려움을 반영한다고 지적하고 있다.

기술의 잠재적 가능성을 고려할 때 국가통계 및 정책기관에서 자원 조달의 가능성, 조사의지, 각 분야의 복잡성, 필요정보와 중요성에 따라 우선순위가 달라지게 되며, 이는 곧 나노융합산업의 현실적 조건과 관련되어 있다.

나노융합산업을 모니터링하기 위한 지표와 관련 방법론이 사회적 경제적 요구의 우선순위를 반영하여 개발된다고 하더라도 중요성이 낮은 항목도 만약 우선순위가 변화하거나 추가적인 자원이 투입될 경우를 대비하여 병행해서 개발하고 조사하는 것이 바람직하다.

이러한 접근방법은 정보수집이 광범하게 이루어지는 경우 일반적으로 선호되는 방법이지만 세부적인 추진 과정에서는 소홀하게 다루어지기 쉽다. 따라서 다수를 포괄하여 나노융합산업에 대한 이해가 미흡하게 될 가능성이 있을 경우에는 핵심적인 이슈를 중심으로 확고한 지표를 개발하는 것이 중요하다.

(4) 나노기술 활용 유형의 구분

1) 문제 제기

기업에서 나노기술의 활용은 기업의 경영방침과 자금지원 결정에서 중요한 문제이다. 왜냐하면 R&D에서 최종제품의 판매까지 단계별로 기업들이 어떻게 활동하고 있는가, 신기술과 경제 주요 부문의 성장을 위해 정부는 어디에 집중해야 하는가에 관련된 사항이기 때문이다.

기업 차원에서 나노기술의 활용에 대한 기존의 조사는 정책입안

자들이 나노기술 개발 및 투자에 대한 정부 부처 간의 책임영역과 활동 구분을 위해 이루어졌다. 그러나 OECD WPN의 파일럿 조사는 기존의 산업활동과 일관성을 갖는 접근방법을 제안하고 있으며 이는 매우 효과적인 측정원칙으로 보인다.

2) 현황

OECD WPN은 나노융합제품을 다음과 같이 구분하고 있다. 구체적으로 살펴보면, 소비자 혹은 생산자의 범주를 구체적으로 포함하면서도 공정을 기준으로 하여 제품을 투입물, 중간재, 최종재 등으로 구분하고 있다. 그리하여 다음과 같은 분류기준을 나노기술 통계의 작성 및 조사에 대한 템플릿으로 사용하기를 제안하고 있다.⁵¹⁾

- 연구개발
- 생산투입물 : 나노기술의 사용자로 대체
- 공정
- 중간재 제조
- 소비자 판매를 위한 최종재

이러한 분류기준을 도출하는 과정에서 초기에 OECD WPN은 우선 <표 3-5>와 같은 조사표를 사용하였다. 동 조사표는 나노기술의 산업분류를 세로축으로 두고, 나노기술의 활용 유형을 가로축으로 두고 있어 나노융합산업 세부 분야에서 나노기술의 활용 빈도와 유형을 살펴보는 데에는 유용한 방식으로 보인다.

51) OECD WPN(2011).

〈표 3-5〉 나노기술의 응용 분야 - 예시

Application of Nanotechnology	Suggested Amendment based on pilot	All current or planned uses Indicate by					
		Proposed that category [ii] replace categories [iii] and [iii]				Manufacture of intermediate goods	In finished goods for sale to consumers
		In research & development	User or integrator of nanotech	As an Input to production [ii]	As a process [ii]		
Nanomaterials			Suggested Amendment based on pilot				
Nonoelectronics							
Nanophotonics							
Nanobiotechnology							
Nanomedicine							
Nanomagnetics							
Nanomechanics							
Filtration and membranes							
Nanotools (for manipulation, nanolithography and nanofabrication)							
Nanoinstruments or devices (for observation, analysis or control)							
Catalysis							
Software for modelling and simulation							
Other Fields, please identify							

자료 : OECD(2010b).

〈표 3-6〉 나노기술의 적용 단계

Company Operation	Indicate all those that apply by
Product or Service R&D	
Production/Manufacturing If yes, please answer question 1,6 below	
Quality Control	
Marketing	
Legal, Regulatory, or Intellectual Property Affairs	
Environmental, Health and Safety Activities	
Imports/Exports	
Standardisation/Normalisation Suggested Amendment based on pilot	
Other (please specify)	

자료 : OECD(2010b).

동 조사표는 나노기술이 융합산업에 어떠한 경로로 영향을 미치는지, 그리고 이에 의해 영향을 받는 기업들의 경쟁력 향상과의 상관관계는 어떠한지에 대한 의미있는 분석이 가능한 구조이다. 그렇지만 설문응답의 난이도가 매우 높아서 표본조사가 아닌 전수조사에서는 채택하기 어려운 조사표로 평가된다.⁵²⁾

한편 OECD WPN은 National Model Survey에서 <표 3-6>과 같이 나노기술의 적용 단계를 구분하고 있는데, 위의 <표 3-5>와 비교할 때 중복성이 있지만 다른 관점을 제시하고 있다. <표 3-6>에서는 기업 내 나노기술의 적용 단계에 대해 연구개발, 제품생산, 품질관리(QC), 판매, 법/제도/지적재산권, EHS, 수출입, 표준화, 기타 등으로 구분하고 있는데, 이러한 분류는 나노기술융합 관련 주체들을 모두 포괄하고 있는 데서 비롯된 것으로 보인다.

3) 과제

국내 나노융합산업 관련 주체에 대한 설문조사 작성 과정에 동 조사표를 활용하는 것은 응답률을 훼손하지 않는 범위에서 응답내용의 일관성을 확인할 수 있다는 점에서 유용하다. 그렇지만 조사결과 데이터의 활용성을 고려하여 기업체, 연구기관, 공공기관 등에 대한 조사양식을 구분해야 한다. 특히 나노융합산업에 대한 조사는 민간 부문, 즉 기업의 생산 및 투자 활동에 대한 분석을 우선적으로 고려

52) 실제로 동 조사표는 5개 국가에 대해 조사가 이루어졌음에도 불구하고 결과적으로 설문회수 대상은 불과 20여 개로 나타났으며, 조사결과를 일반화하기는 어렵다고 평가한 바 있다.

하여 설문지가 설계되어야 한다.

이와 관련하여 OECD WPN에서도 파일럿 조사에 참여한 국가들이 초안의 작성과 발전과정을 두고 논쟁이 있었는데, 주요한 이슈는 기업과 공공부문과 민간부문을 구분해야 하는가에 관한 것이었다. 논의 결과 WPN은 동 이슈가 파일럿 조사에서는 명확하게 나타나지 않았지만 향후 관심을 가져야 한다고 지적한 바 있다.

나노기술의 적용 단계와 관련해서도 투입물(원료), 중간재, 최종 제품으로 구분하며, 나노융합제품과 구분하여 나노공정에 활용되는 장비 및 도구 분야에 대하여 조사되어야 한다. 아울러 나노융합기업의 나노기술에 대한 투자, 과학기술적 성과가 어떤 수준인지에 대한 조사도 이루어져야 한다.

이는 나노 분야의 기술개발, 혹은 제품화 개발에 대한 활동이 대학 혹은 연구기관에서 이루어지는 비중이 높다고는 하지만 국내에서는 기업부문의 활동이 어느 수준인지, 그리고 기술개발 투자활동에서 어떤 부분을 담당하는지에 대한 분석이 필요하기 때문이다. 마찬가지로 공공 분야 활동 주체에 대한 조사에서도 기술개발활동뿐만 아니라 민간부문으로의 기술이전과 사업화 성과에 대한 조사가 이루어질 수 있도록 해야 한다.

(5) 산업통계의 확장성

1) 문제 제기

나노기술의 산업화 분야를 구분하고 하위 분류를 작성하여 나노

융합산업 통계를 도출하는 과정에서는 산업통계의 활용성을 높이려는 목표가 반영되어야 한다. 나노융합산업에 대한 기초통계가 도출되고 분석된다 하더라도 경제적 영향과 파급효과를 파악하기 위해서는 전체 산업에서 점하는 나노융합산업의 비중의 변화를 보여야 하며, 사회경제적 편익이 어느 정도 되는지를 제시할 수 있어야 한다.

나아가 국내 나노융합산업의 성장이 세계 나노융합산업에서 어느 정도의 위상을 가지며, 산업경쟁력은 어느 정도 되는지, 그리고 나노융합산업의 발전이 어느 단계에 놓여 있는지를 비교하기 위해서는 국제적으로 공통된 접근방법을 가지고 있어야 한다.

따라서 국내에서 나노융합산업의 발전단계를 모니터링하기 위한 분석 틀을 설계하기 위해서는 나노융합산업에 관련된 국내외의 논의를 모두 반영하여야 하며, 나아가 기존의 산업분석방법론과의 연계성도 적극 고려해야 한다는 점을 의미한다.

2) 현황

OECD WPN의 National Model Survey에서는 나노기술 응용 분야를 12개로 구분했지만 나노기술 활동의 주요 분야에 대해 <표 3-7>의 왼쪽 열과 같이 다시 구분하고 있다. 그런데 이러한 분류는 산업표준분류와 거의 대응하는데, 국제표준산업분류(ISIC)와의 연계는 표의 오른쪽 열과 같다. 동 분류는 국제표준산업분류와 대부분 연계되어 있는데 사실상 나노융합산업에 대한 분류라기보다는 나노기술이 산업 전반에서 활동되고 있다는 사실을 확인할 따름이다. 표준산업분류

에서 산업활동의 범주는 나노기술사업이 적용되는 분야에 관한 전문가와 국가들의 관심을 반영한다.

〈표 3-7〉 OECD의 나노기술 응용 분야와 기존 산업분류와의 연계

Main Field of Activity	ISIC code(국제표준산업분류)
Agriculture, forestry and fishing	01(농업), 02(임업), 03(수산업)
Mining and quarrying	05(석탄, 원유 및 천연가스광업), 06(금속광업), 07(비금속광물광업), 08(광업지원서비스업)
Manufacturing - CHEMICALS	20(화학제품제조업)(ext, 20433), 21(의약품제조업)
Manufacturing - COSMETICS	20433(화장품제조업)
Manufacturing - FOOD	10(식료품제조업), 11(음료제조업)
Manufacturing - COMPUTER AND ELECTRONIC	26(전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비제조업)
Manufacturing - TEXTILES & CLOTHING	13(섬유제품제조업), 14(의복, 의복 액세서리 및 모피제품 제조업)
Manufacturing - MOTOR VEHICLES AND TRUCKS	30(자동차 및 트레일러 제조업)
Manufacturing - OTHER	...
Electricity, gas, steam and air conditioning supply	35(전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업)
Water supply; sewerage, waste management and remediation activities	36(수도사업), 37(하수, 폐수 및 분뇨처리업), 39(환경정화 및 복원업)
Construction	41(종합건설업), 42(전문 건설업)
Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles	45(자동차 및 부품판매업), 952(자동차 및 모터 사이클 수리업)
Transportation and storage	49~51(육상운송 및 파이프라인, 육상, 수상, 항공 운송업), 52(창고 및 운송 관련 서비스업)
Accommodation and food service activities	55(숙박업), 56(음식점 및 주점업)
Professional, scientific and technical activities INCLUDES R&D companies and R&D activities	70(연구개발업), 혹은 71(자연과학 및 공학연구개발업), 혹은 72(건축기술, 엔지니어링 및 기타 과학기술 서비스업)
Academic Research and Education	-
Human Health	86(보건업)
Arts, entertainment and recreation	90(창작, 예술 및 여가 관련 서비스업)
OTHER:	

자료 : Draft National Model Survey에서 제시한 산업분류를 활용하여 산업연구원이 제작성.

동 분야는 대부분 국제표준산업분류(ISIC)⁵³⁾를 활용하고 있어 심지어는 농업, 임업, 어업, 광업까지 포함한다. 제조업은 중분류(2 digit)에서 나노기술 기업들의 활동과 연계하고 있다. 연구개발에서는 전문과학기술 활동이 리스트에 포함되어 있으며, 기타는 미리 인지된 응답의 범위에 해당한다고 보기 어려운 분야를 대응할 수 있도록 하였다.

3) 과제

우리나라 나노기술의 적용 분야를 구체적으로 인식하기 위해서는 산업분류 간의 연계를 위해 National Model Survey의 초안에서 제시한 20개의 하위 산업분류를 동시에 조사할 필요가 있다. 통계조사 주체에 의해 나노융합산업 분류체계와 기존 산업분류체계와 연계를 하는 방법도 있지만, 조사대상 기업들이 스스로의 경제활동에 대해 산업분류를 어떻게 연계하는지에 대한 조사를 병행하여 비교검토하는 방안도 고려할 수 있다. 이 경우 기업의 생산활동의 결과물(나노융합제품)에 대한 산업분류를 표시하는 방법이 있으며, 다른 방법으로는 기업의 등록 업종을 조사하여 확인이 가능하다.

이 과정에서 나노융합제품에 대한 조사가 필요하며, 실태조사에서 제시할 수 있도록 하여 기업이 나노기술을 활용하고 있으며, 나노융합제품을 생산하고 있다는 점을 분명하게 구분하여야 한다. 이는 나노융합기업들이 <표 3-7>과 같이 대부분 기존의 산업분류에 의

53) <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=27>

숙하여 나노융합제품의 신제품의 속성을 이해하지 못할 가능성이 높기 때문이다. 실제로 나노기술의 활용에 의해 생산하는 반도체 제품이 수십나노 단위까지 초소형화하고 있음에도 불구하고 해당 주체들은 나노융합기업으로 인식하기보다는 여전히 반도체 혹은 전자업체로 인식하면서 나노융합 설문에 응답 거부를 보이는 경우도 있다.

또한 국제표준산업분류(ISIC)를 포함하는 산업분류의 다양한 체계에 대하여 이해하고 연계할 수 있는 전문가가 포함되어야 하며, 국제적 논의의 지식과 경험을 반영해야 한다. 아울러 OECD가 제시한 National Model Survey의 세부 분야와 일관성을 가지는 것이 중요하다. National Model Survey의 범주 분류는 초기 파일럿 조사에서 충분하게 타당성을 검증하지는 못했지만 대부분의 분야를 포함하고 있기 때문이다.

2. OECD WPN이 제기하는 주요 고려사항⁵⁴⁾

OECD WPN은 국제적으로 비교가능하며, 나노기술의 특성을 반영하는 체계적인 통계 분석 틀을 마련하기 위해 노력해 왔으며, 이를 위해 파일럿 조사를 추진했다. 파일럿 조사는 충분한 조사대상을 확보하지 못해 결과가 일반적이지 못하다고 평가하고 있지만 향후 나노기술 관련 데이터 수집 및 측정과 관련하여 다음과 같은 사항을 고

54) 본 절은 OECD WPN의 National Model Survey에서 나노기술의 측정 및 활용에 대한 최근의 보고서를 정리하면서 부분적으로 우리나라 나노융합산업의 조사에 대한 시사점을 제시하였다.

려해야 하며, 이에 대하여 다음과 같은 제안을 하고 있다.

OECD의 제안은 나노기술의 측정과 관련하여 다양한 접근방법이 데이터 수집과 관련하여 가능하며, 다수의 요인들이 방법론 선택과 관련하여 국제적으로 합의된 방향으로 진행하는 것이 필요하다는 인식에 기반을 두고 있다. 가능한 접근방법과 관련된 고려요소들은 다음과 같은데, 각각의 접근법은 장점과 한계점에 대한 간단한 평가를 포함하고 있으며 새로운 데이터의 원천뿐만 아니라 이미 가능한 원천에 대해서도 새롭게 구성하는 기회의 잠재성을 강조하고 있다.

(1) 관리·사용가능한 DB(Administrative/available databases)

논문발표와 특허 기록을 포함하는 DB는 초기 나노기술의 발전과 국가 간 차이를 이해하는 데 매우 유용한 수단이다. R&D 지원 DB도 상세한 정보를 제공하고 있으며, 초록도 연구자, 연구팀, 기관에 대한 정보를 제공한다. 이러한 정보는 시간이 경과하면서 일관성 있고 비교가능한 데이터를 제공할 수 있었다. 그러나 데이터 범위, 분석, 품질관리는 여러 가지의 도전적인 과제를 제기하고 있다.

제일 중요한 점은 기존의 데이터베이스가 구체적으로 나노기술을 분석하기 위한 의도로 설계되지 않았다는 점이다. 부문 간 다학제적 특성을 고려할 때, 주요 단어 및 용어는 종종 국가 및 기술 분야에 걸쳐 다르다. 관리와 사용이 가능한 데이터베이스의 키워드 검색은 종종 분야 전문가에 의한 검토를 통해 일관성을 보장해야 한다. 그러나 논문발표나 특허 통계는 R&D의 규모, 자금 지원 및 수행자, 나노기술의 혁신과 응용에 대한 통찰력을 제공할 수 있지만 나노용

합산업에 대한 활동을 파악하기 위해서는 다른 차원의 지표가 도출되어야 한다.

이러한 문제는 국내에서도 나노기술 분류체계의 정립과 나노융합제품과의 연계성에 대한 분석 과정에서 제기될 수 있는 사항이다. 따라서 다음과 같은 문제들에 대한 관심이 필요하다. 첫째, 기술과 산업(제품)을 이해하는 전문가의 검토가 필수적으로 이루어져야 한다. 둘째, 나노기술 분류체계와 나노융합산업 분류체계는 관련 분야에 포함되는 주요 주체들의 폭넓은 논의를 통해 도출된 합의에 기반해야 하며, 동시에 기술 및 산업 발전단계를 고려하여 수정·보완될 수 있어야 한다. 셋째, 나노기술에서 나아가 나노융합제품과 산업을 모니터링할 수 있는 지표가 도출되어야 한다.

(2) 기업 및 기타 설문조사(Company and other surveys)

설문조사 데이터는 나노기술에 참여하는 활동과 기업의 비즈니스 환경에 대한 통찰력을 제공할 수 있다. 기업에 대한 설문조사는 투자와 상용화 과정에서 나타나는 자본유입, 인적자원 및 투자, 기타 요인들에 대한 정보를 제공한다. 이러한 기업과 관련한 설문조사는 나노기술의 필수적 본질을 나타내는 것이 아니라 민간부문에 대해 집중하고 있다.

나노기술 분야는 잠재력을 가진 광범위하게 분산된 응답자들로 구성되며, 이들로부터 표본 추출을 정확하고 완전하게 하는 것이 주요 과제가 된다. 그러나 응답자의 광범한 구성과 표본 추출의 완전성은 서로 상반되는 환경에서 제기되는 문제로서 나노융합산업을

정확하게 모니터링하는 데 상당한 어려움을 야기한다. 이러한 관점에서 목표 집단을 정확하게 인식하는 것이 무엇보다 중요하다는 점이 강조되어야 한다.

아울러 조사집단이 체계적으로 식별하고 접근할 수 있는가도 매우 중요하다. 나노기술은 새로운 주체, 예를 들어, 새롭게 출현하는 회사, 산업 부문과 R&D 서비스 부문에서 주체와 광범위한 경제 부문을 포괄하고 있으므로 기존의 분류 시스템으로는 주요 활동주체를 효과적으로 인식하기 어려울 가능성이 높다.

이에 따라 나노융합산업에 대한 정의와 구체적 목록, 표본 추출, 핵심어 검색 및 전문가의 참여가 목표 집단을 인식하는 데 적극 사용되어야 한다. 대부분의 국가들은 기업 조사에 크게 두 가지의 방법을 사용한다. 이들은 핵심질문을 시간이 변화해도 장기 데이터를 생산할 수 있도록 고정시키며, 조사주기 간의 변화를 포착할 수 있게 하고 있다. 이러한 접근방법은 나노기술 분야의 동태적 특성을 파악하는 데 적합하며, 현재 관심을 가지고 제기되는 정책적 관심과 관련된 함의에 대해 유연성 있는 접근이 가능하다. 핵심적인 질문에서 언급되는 지표는 회사 매출, R&D 투자, 인적 자원, 제품 파이프라인과 발전단계 등이 포함될 수 있다.

WPN 보고서⁵⁵⁾는 앞에서 언급한 핵심지표를 활용하여 47개 주체에 대한 사례를 분석하면서 나노기술의 적용과 상업화 과정에서 제기되는 주요한 과제들에 대해 제시하고 있다. 이 작업에 기반하여 자격을 갖춘 나노기술 종사자의 확보, 핵심기술의 원천, 부분적인 나

55) OECD WPN(2010a).

노기술 규제에 대한 이해와 체계적인 탐구⁵⁶⁾와 같은 주제들이 보고서에 포함되었다.

한편 나노기술 분야가 마이크로 단위부터 다국적 기업에 의해 활발하게 활용되고 있다는 점을 고려하되 응답율을 높이기 위하여 필요 데이터 유형, 사전적인 응답자의 인식과 질문구조에서 세심한 고려가 필요하다고 강조하고 있다. 이는 나노융합산업 발전단계 모니터링이라는 조사 목표를 분명하게 하고 적합한 항목만을 구조화하여 간결하게 제시할 필요가 있다는 점을 시사한다.

다른 방법론적 과제도 있는데, National Model Survey를 통해 다른 기술과 나노기술과 바이오기술과 같은 다른 기술과의 융합과 나노기술 자체의 매개변수를 설정하는 것이다. 예를 들면 바이오기술과 나노기술의 경계를 정하는 문제는 점차 중요성이 높아지고 있다. 그러나 이러한 방법론적인 문제는 공인된 정의와 용어가 존재하지 않기 때문에 아직까지는 명확한 추진계획을 수립하기 어렵다.

하지만 비교가능하고 신뢰성 있는 나노기술 통계와 지표 개발을 지원하기 위한 새롭고 혁신적인 방법론을 개발하거나 사용하기 위해 기존의 방법론을 채택하는 것은 새로운 기회를 제공할 수 있다. OECD는 나노기술에 대한 설문조사가 정부의 내부 R&D 활동 및 외부 나노기술 연구 및 활용에 대한 지원 정보를 수집하기 위해 개발될 수 있다고 지적하면서 관리 DB의 조사와 분석을 보완할 수 있을 것으로 보고 있다.

또한 설문조사는 과학, 기술 및 혁신 나노기술의 맥락에서 정책,

56) A module exploring understanding of the local regulation of nanotechnology.

공공 인식, 그리고 EHS 문제 등에 관련된 광범위한 문제에 대해 다룰 수 있어야 한다. 설문조사는 정책 거버넌스와 다른 시스템으로 인해 중앙정부뿐만 아니라 지방정부를 포함할 가능성도 제기하고 있다.

한편 나노기술의 효과뿐만 아니라 적용과 확산을 이해하기 위해서는 나노기술이 사회경제의 다양한 영역으로 확산되고 있으므로 최종 사용자와 광범한 대중들도 포함되어야 한다. 그러나 이러한 유형의 조사는 중장기적으로 추진해야 한다고 WPN이 밝히고 있다.

새로운 유형의 지표에 대한 잠재적인 필요성은 새로운 방법론적인 고려 사항을 요구한다. 키워드의 인식, 예를 들면 나노기술제품, 전략적 제휴, 인터넷 기반 연구, 탐색 등은 언어, 키워드의 속성, 알고리즘, 정의 등에 대하여 편차를 가져올 수 있다는 점에서 신중하게 접근해야 한다고 지적하고 있다.

이러한 방법론 중 일부는 이미 논의하고 검토했지만 해결되지 않은 문제가 남아있다. 데이터 원본으로 인터넷을 사용하는 경우 데이터가 거의 실시간으로 수집될 수 있다는 장점이 있으며, 실제로 이렇게 국가별, 산업군별 DB⁵⁷⁾를 만들어 활용하는 경우도 있다.

나노융합기술의 제품화에 대한 목록을 책자로 발간하는 형태도 있다.⁵⁸⁾ 그러나 나노융합기술과 제품의 속성상 빠르게 변화하고 데이터 수집의 연속성을 보장할 수 있는 시스템이 확보되어야 한다. 특히 나노기술의 경우 이러한 데이터의 특성이 고려될 필요가 있으며, 조사대상에 대한 지속적인 관찰 또한 필요하다.

57) <http://www.nanotechproject.org/inventories/>가 대표적인 경우이다.

58) 호주 혁신산업과학연구부(2011), Nanotechnology/Australian Capability Report 4th Ed.

(3) National Model Survey의 발전

최근 OECD WPN 프로젝트는 단일 정의와 리스트 기반 정의를 발전시키고 종합하여 나노기술의 비즈니스 활동에 대한 주요한 지표를 만들어 National Model Survey에 통합하여 제시하고자 한다. 동 프로젝트의 초안은 최초에 개발되고 반복적으로 검토되어 전문가들에 의해 개정되면서 마지막 버전은 2010년 10월 참여국들에 회람되었고 2011년 8월에 보고서로 발간되었다.

파일럿 조사는 당초 10개 국가에서 10개 분야 업체들에 대한 조사를 통해 OECD 회원국들 간의 문화적 다양성과 기업들의 다양성을 고려하고자 하였다. 그러나 예산 사정과 글로벌 금융위기로 인해 동 조사에 참여가 저조해서 5개 국가에서 총 20개 업체들에 대한 조사에 그쳤다. 동 조사에서 응답자는 초소규모기업(0~1명 고용)에서 다국적기업(16만명 고용), 장수명기업(1889년 설립)에서 신생기업(2010년 설립)까지 매우 다양했다.

파일럿 조사의 목적은 나노기술의 정의와 질문 범위, 예상응답 등을 검증하기 위한 것이었다. 파일럿 조사는 소규모로 추진되어 통계적으로 유의한 데이터를 얻기는 어려웠으며, 특정 이슈에 대해서는 추가 조사가 필요하다는 점을 보였다. 그러나 파일럿 조사를 통해 전체적인 구조와 질문 문항구조의 타당성을 확인할 수 있었으며, 리스트 기반 나노기술에 대한 추가 항목 구성도 가능해졌다.

(4) 국제적으로 비교가능한 통계 프레임워크의 개발

급속하게 등장하고 영향력이 크고 다목적기술의 특성상 나노기술은 움직이는 표적(moving target)의 특성을 가지며 그 측정은 도전적인 과제가 되고 있다. 그 결과 소수의 단순한 지표나 방법 혹은 데이터만으로는 시간 변화에 따른 나노기술 활동에 대하여 통계적으로 충분한 모습을 제공하기는 어렵다.

이에 따라 각각의 방법이나 접근방법은 시간과 가치의 제약하에 데이터가 만들어지고 있다. 데이터베이스 분석, 서베이 데이터, 인터넷 검색 등을 포함하여 다양한 방법을 사용하는 것은 나노기술의 활동에 대하여 완벽하지는 않지만 폭넓은 정보를 제공하는 것이다. 체계적인 접근방법을 통해 나노기술의 특성을 검토하고 고려하는 것은 정부 지원, 고등교육에 대한 연구, 산업적인 연구개발, 소비자시장으로의 단계적인 진입을 통한 산업에의 적용 등을 모두 포괄하는 것이다.

나아가 나노기술에 대한 보다 완벽한 이해를 위해서는 다른 유망가능기술, 환경기술, ICT, 바이오기술 등과의 비교가 필요하다. 과학기술정책은 유망가능기술들에 대해 유사한 방식으로 도전과제를 제시하고 연관기술에 대한 통계적 접근과 종합적인 프레임워크를 디자인하는 데 유용하게 활용될 수 있다.

결론적으로 나노기술은 전개 중인 기술집합, 활동, 제품을 포함하고 있다. 이것은 지표집합들도 그 특성을 나타내고 유용하게 측정하며 정확성을 검토하는 것이 필요하다는 것을 의미한다. 지표는 유망한 방법과 지표들에 의해 완성되어야 하며, 익숙한 것뿐만 아니라

모든 경제 분야-상업, 공공, 소비자 등-에 걸쳐, 실험실에서 최종 사용에 이르는 발전의 모든 단계에 걸쳐 동태성과 전망을 반영해야 한다. 각각의 단계와 분야는 나노기술의 발전이 차별화되고 잠재적으로 중첩되는 특징을 보일 것이다.

OECD WPN 프로젝트는 나노기술에 대한 국제적으로 비교가능한 통계 수집을 촉진하기 위한 지표를 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 파일럿에서 수정/보완에 이르기까지 National Model Survey는 리스트 기반의 정의를 보완해 나가며 동 분야에 기여해 왔다. 이에 우리도 WPN이 국가별 통계 수집에 관심을 갖고 동 조사의 프레임워크를 사용한다는 점을 인식하고 WPN과 피드백 과정을 이루어야 한다. 단 이 과정에서 OECD의 조사 목표나 과정이 나노기술에 집중하고 있으므로 민간부문 특히 나노융합산업에 대한 모니터링과 차이가 있다는 점을 고려해야 한다. 아울러 OECD WPN에서도 나노융합산업에 대해 보다 활발하게 논의될 수 있도록 건언해야 한다.

3. 나노융합산업 측정·분석 주요 사례

(1) 산업연구원 : 나노융합산업 생산규모 추정⁵⁹⁾

산업연구원(2006)은 나노기술에 대한 기술영향평가에 참여하면서 산업(제품)의 생산에서 접하는 나노융합기술에 의한 생산(제품)의 비중(생산액, 부가가치액 기준)을 기준으로 나노융합기술의 산

59) 산업연구원, 2006, 2009, 2011.

업생산 기여도를 제시한 바가 있다.

이는 나노기술이 기존 산업에 적용되거나 혹은 새로운 산업을 창출하면서 실질적으로 투자, 고용, 생산활동이 늘어나는 수준을 파악하기 위한 목적으로 수행되었으며, 기술적 기여도(특허, 논문 등)와 별도로 생산 및 부가가치 증가와 같이 산업경제적 지표를 이용하여 국내 나노융합기술의 기여도를 정량화하려는 최초의 시도였다.

동 연구에서는 나노기술이 산업생산활동에 적용되어 창출한 부가가치 규모를 4단계로 추정하고 있다. 1단계는 주요 나노제품을 선정한 후, 해당 제품이 기존 산업분류에서 해당 나노제품이 속하는 산업군의 생산액을 산출한다. 2단계는 나노제품이 포함된 산업에서 점하는 나노제품의 비중을 추정한다. 여기에서 나노제품의 비중은 추정대상인 주요 산업에서 나노기술이 적용된 제품의 생산액을 의미한다. 3단계에서는 나노기술이 적용된 제품의 부가가치율을 적용하여 나노제품의 부가가치 창출 규모를 도출하였다. 4단계는 3단계까지 구한 주요 나노제품에 대하여 나노융합기술의 투입수준을 추정하여 적용함으로써 나노기술에 의한 부가가치 증가의 순효과(Net Effects)를 도출하였다.

동 조사는 주요 산업에서 나노기술이 적용된 제품의 비중, 나노기술의 기여도(나노융합기술의 투입수준)는 나노기술 전문가 집단에 대한 설문조사를 활용하였으며, 나노융합산업은 국민계정 78분류에 기반한 산업 모두를 대상으로 하여 나노기술의 적용 여부를 조사하였다.

추정 결과 나노융합기술에 의한 주요 산업별 생산에 대한 기여도는 2000년에는 1% 미만⁶⁰⁾으로 미약하지만 2000년대에는 전자, 의약,

소재 등에서 시작하여 통신기기, 화학, 자동차 등 최종재 산업까지 영향이 가속적으로 확대되면서 2020년에는 전체 산업의 16.7%가 나노융합제품에 해당할 것으로 전망하였다.

동 전망에 따르면 2020년에는 우리나라 제조업 생산의 23.8%를 나노융합제품이 점할 것으로 예상되며, 나노기술의 융합화가 제품생산구조와 신제품 출시를 통해 제조업 분야에서 특히 활발하게 진행될 것이라는 점을 보이고 있다.

(2) STEPI⁶¹⁾, KISTI⁶²⁾

과학기술정책연구원(STEPI)에서는 나노기업이 수행하고 있는 연구개발을 포함한 기술혁신 활동에 대한 실태파악을 통해 나노융합산업의 산업혁신 특성을 제조업 일반기업들과 비교분석하기 위한 설문조사를 수행했다.

동 조사에서는 나노기술 분야와 관련된 제품을 생산하거나 준비단계에 있는 기업체를 모두 포함하였으며, 유효기업 수 690개에 대한 조사를 실시하여 그중 52%인 359개 업체에 대한 조사결과를 발표

60) 2000년 약 5조원, 2010년 약 50조원, 2020년 약 250조원으로 전망하였다. 우리나라 산업별 중장기 전망(경상생산액 기준)에 각 산업별 나노기술에 의해 생산된 제품의 비중 현황 및 전망치를 추정하였다. 동 연구는 국민계정의 78분류 산업별 생산액 전망치를 이용(현황은 한국은행, 전망치는 산업연구원, “한국산업 발전비전 2020” 활용)했으며, 나노기술의 활용도는 나노 관련 업체, 연구자, 관련 기관(정부 부처, 조합, 위원회 등)의 전문가에 대한 설문조사(2006년, 2009년에 각각 2회 수행)를 이용하였다. *설문응답자 중 특이치(outlier)를 제외한 후 세부 산업별로 제시된 수치의 평균값을 적용.

61) 과학기술정책연구원·나노융합협력기구(2012).

62) 과학기술정보연구원(2010).

하였다. 동 조사는 앞서 과학기술정보연구원(2008)과 공동으로 수행한 나노기업 조사의 206개 기업에 비해 늘어난 것이다.

동 조사에 의하면 나노기술 관련 업체 중 매출발생 이전 업체가 35%에 달하며, 손익분기점을 지나 수익을 창출하는 업체가 33.1%로 나타났다. 동 조사에서는 기업 형태, 나노기술의 수준, 나노기술 활동영역 및 주력제품 등에 대한 분석을 통해 국내 나노융합제품 생산 업체 중 중간재(소재) 생산 업체들의 비중이 높으며, 아직까지 최종재나 자본재에서의 비중은 낮은 것으로 나타났다.

또한 나노기업의 기업 형태, 연구개발활동, 혁신활동(기술혁신, 제품혁신, 공정혁신)에 대한 분석결과를 제시하고 있으며, 정부 연구개발사업 수요에 대한 조사결과를 포함하여 정부의 지원방안 수립을 뒷받침하기 위한 분석자료를 제공하고 있다.

(3) 산업연구원 : 나노기술의 경제적 기여도 분석⁶³⁾

산업연구원에서는 경제학적 방법에 의하여 나노기술이 적용된 제품이 다른 제품을 대체할 경우 기대되는 사회적 편익을 도출하면서 나노융합제품에 의한 사회적 편익이 예상보다 훨씬 클 수 있다는 점을 보였다. 동 분석에서는 활용 가능 데이터의 제약으로 외부효과와 생산자 편익만을 도출하였으나 소비자 편익을 도출할 경우 경제적 편익효과는 더욱 커지게 될 것으로 예상하고 있다.

동 분석은 소재, 소자, 칩, 제품생산에 이르기까지 나노기술에 의

⁶³⁾ 산업연구원(2012).

해 제품화가 가능하게 된 LED 조명에 대하여 나노기술의 경제적 영향에 대한 사례분석을 시도하였다. 나노기술은 LED 조명의 핵심기술 중 약 64.4%를 점하는 것으로 도출되었다. 나노기술은 LED 조명이라는 신성장동력의 출현을 가능하게 하였으며, 생산증대와 고용창출, 그리고 기술혁신 및 글로벌 경쟁력 향상이라는 효과를 가져왔다.

동 분석에 따르면 나노기술 활용에 따른 경제적 편익은 LED 조명에서만 고려하더라도 향후 10년간 8조 5,000억원, 연평균 8,500억원 규모에 달하는 것으로 추정했다(현재 가치 기준). 그중 전력사용량 절감에 따른 사회적 외부효과가 약 7조 7,000억원으로 대부분을 차지하지만, 제조업체들의 생산자 잉여 증가분 및 온실가스 절감효과 규모도 10년간 약 7,500억원에 달하는 것으로 예상된다.

동 결과를 볼 때 LED 응용 분야 기술개발에 대한 정부지원 예산은 2008년 650억원, 2011년 1,161억원으로 계속 늘어나고 있지만 현재가치로 환산하더라도 경제적 편익이 투입비용을 초과하는 것으로 보고 있다. 더욱이 기술개발투자가 현재와 같이 활발하게 추진된다면 나노기술을 포함하는 기술개발의 혁신속도가 빨라지면서 에너지효율 및 사회적 편익은 더욱 커질 것으로 예상된다.

나노기술의 경제적 기여에 대한 대부분의 기존 연구가 나노기술이 활용된 제품 혹은 시장 전체를 대상으로 하는 반면, 동 연구는 해당 제품에 대한 나노기술의 기여도(비중)을 고려하여 경제적 효과를 도출하고 있다. LED 조명 관련 제품의 생산에 관련된 가치사슬 단계별로 나노기술이 어떻게 활용되는지, 그리고 나노기술의 기여도가 어느 정도인지를 고려하여 나노기술에 의해 구현된 시장에서 나

노기술의 기여도를 별도로 추정하고 있다.

기존의 연구들이 나노기술의 기여도를 고려하지 못하면서 나노기술제품 시장에 대한 과대평가 가능성을 가진 데 반해 동 연구에서는 LED 조명에 대한 나노기술의 기여도를 고려하여 나노기술의 경제적 효과를 산출한 것으로 나노융합제품 혹은 산업에 대한 과대추정의 가능성을 최소화하고 있다는 점에서 차별화된다.

(4) OECD WPN/NNI(2012)

EU의 위탁과제로 영국의 Oakdene Hollins에서 수행한 연구는 녹색 나노기술의 가치혁신을 측정하기 위해 새로운 나노응용제품과 기존 제품 간의 후생비교를 통해 나노제품의 추가적인 후생을 계산하는 방법을 사용하고 있다. 미시경제학과 특히 산업조직론에서의 후생계산을 근간으로 하므로 새로운 방법은 아니지만 실제 적용 과정에서 발생하는 데이터 문제를 가정을 통해 해결하는 방법을 제시하고 있다.

동 보고서는 나노기술의 경제적 기여도에 대한 6개의 사례분석을 통해 분석결과를 도출하고 있다.⁶⁴⁾ 기존 제품과의 차별성, 시장규모 및 특징을 제시한 후 나노기술에 의한 성과를 소비자잉여, 생산자잉여, 외부효과(경제적, 환경적)로 제시하고 있으며, 향후 20년까지 나노기술에 의한 경제적 효과는 230만 파운드(오염방지 페인트)에서 153억 파운드(고효율 축매)로 추정하고 있다.

64) OECD WPN/NNI(2012).

〈표 3-8〉 영국 녹색 나노기술의 가치혁신에 대한 사례연구(요약)

	Gas-impermeable nano-clay film	Thin film photovoltaics	Fuel-enhancement catalysts	Gas sensors	Antifouling paints	Nano zero-valent iron
Application	Food packaging	Energy production	Fuel additive	CO gas detection	Ship building	Remediation of contaminated sites
Incumbent product	Plastic film	Crystalline photovoltaics	Diesel fuel	Electrochemical sensor	Foul release paints	Pump and treat
Market scale	80,32 million units/year (UK)	250 MW/year (UK)	25 billion liters/year (UK)	823,000 households / year (UK)	£2.3 million (UK). Possible export sales of £143m over 20 years	40 sites / year (UK)
Market characteristics	Fixed (no unit growth)	Fixed (no unit growth)	Total sales of diesel (UK)	Six year replacement	5% of merchant ships	10% of contaminated sites
Nanotechnology product advantage	Reduced household food waste by 2% annually	Reduced CO ₂ by half over silicon based PV	Improves fuel efficiency by 5%	Increases performance per unit mass, or reduces the mass required	1% improvement in fuel efficiency	20~30 times faster reaction rates
Price differential	+10% for nano product	+36% higher than incumbent	14% to 20% higher for nano product	5% to 10% below incumbent price	Initially 24% higher, then matching incumbent over time	90% lower for nano product
Benefits (surplus) to producers	£11.41m/year	£1.75 million / year	£50.82m / year	£1.24m / year £0m / year	£0.34m to -£0.074m per year	-£0.365m per unit year
Benefits (surplus) to consumers	£0.60m/year	£7.89 million / year	£1,142.5m / year	£0.1m / year £35m / year	0 to £398,000 per year	£136m/year
Economic Externalities	£122.85m (per year), household savings	No R&D externalities to UK	£1.44m (per year)	No R&D or other externalities anticipated for UK	£0.6m to £0.7m/year	No additional externalities identified.
Environmental Externalities	Reduction of 243,000 tonnes of CO ₂ e / year (= £5.36m at DECC carbon price)	Reduced CO ₂ , NO _x , SO _x emissions; fewer heavy metals than conventional PV	0.111kg of CO ₂ per liter of fuel consumed	None in UK, reduction in platinum mining overseas.	8,640 tonnes of CO ₂ / year (UK)	No conclusive evidences, Impacts of nanoparticle release not known.
Diffusion rate	50% UK market share = 8 years	100% UK market (full replacement of silicon PV)	50% UK market share = 8 years	66% UK market = 8 years	50% UK market share = 8 years	50% UK market share = 8 years
Net present value to UK economy	£4.941 billion (20 years)	£205 million (20 years); negative £1.1 billion 20-year value with tariff subsidies)	£15.3 billion (20 years)	£12.4 million (20 years)	£2.3 million (20 years)	£2.4 billion (20 years)

자료 : OECD WPN/NNI(2012).

그러나 동 연구는 보고서에서도 밝혔듯이 나노응용제품에 대하여 전체 매출규모를 경제적 후생을 산출하기 위한 기초 데이터로 사용하고 있어 나노융합산업의 규모를 과대추정할 가능성이 높다는 점에서 분석결과를 활용하는 데 한계가 있다.

(5) M. R. Roco 외(2010)

미국은 나노기술의 상용화를 촉진하기 위해 2001년에 National Nanotechnology Initiative를, 2010년에는 범부처 차원에서 Nanotechnology Signature Initiatives(NSI) 프로그램의 추진을 통해 세계적인 나노기술 육성정책을 주도하면서 나노기술의 경제적 효과에 대한 비전을 발표해 왔다.

2010년에는 세계 나노융합산업에 대해 전망하고 있으며⁶⁵⁾, 이는 미국 NSI 정책수립의 기본자료로 활용되고 있다. 동 보고서에서는 Lux Research의 전망을 인용하여 나노기술에 의한 시장이 2009년에 세계적으로 최대 2,540억 달러에 달하며 2020년에는 3조 달러까지 늘어날 것으로 전망하였다. 2000년대에는 투자, 고용, R&D 지원이 늘어나고 시장이 연평균 25%씩 확대되면서 과학기술적 혁명이 산업 분야에서 성과를 나타내는 시기였다고 평가하고 있다.

나노전자, 광학부품 등이 컴퓨터, 통신 부품 등에 적용되기 시작했으며, 의약품, 촉매 제품 등에 활용이 확대되고 있다고 적시하고 있다. 이에 기반하여 2000년 이후 과학 기반과 인프라 확보를 통

65) M. Roco, eds(2010).

〈표 3-9〉 주요 산업별 나노기술의 적용 사례

U.S.	2000	2010	Est. in 2020
Semiconductor industry	0 (with features <100nm)	60% (~\$90B)	100%
	0 (new nanoscale behavior)	30% (~\$45B)	100%
New nanostructured catalysts	0	~35% (~\$35B impact)	~50%
Pharmaceutics (therapeutics and diagnostics)	0	~15% (~\$70B)	~50%
Wood	0	0	~20%

자료 : M. C. Roco 외(2010).

주 : 2010년은 시장규모에서 나노기술에 의해 영향받은 절대가치와 비중을 의미.

해 R&D가 주도했던 비전과 차별화하여 “Nano 2” 비전을 제시하고 있다.

그러나 동 기관에서의 전망치는 구체적인 방법론을 제시하지 않고 있으며, 구체적인 적용 분야, 예를 들면 반도체 분야에는 2010년 현재 30~60%, 2020년에는 100%까지 활용될 것으로 전망하고 있으며, 의약에서는 2010년에 15%, 2020년에 50% 등으로 해당 분야에서 나노기술에 의한 가치창출과 이의 시장 비중을 제시하는 것을 볼 때, 주요 산업 분야에서의 시장규모와 전망치를 활용하여 해당 산업에서 나노기술을 이용한 제품의 시장 비중을 적용하는 것으로 보인다. 이는 우리나라의 기술영향평가에서 산업연구원⁶⁶⁾이 적용한 방법과 유사하지만 산업보다는 주요 제품을 대상으로 한다는 점에서 차이가 있다.

동 보고서는 나노기술의 주요 응용 분야로 장비, 안전, 제조공정,

66) 산업연구원(2006).

운수, 에너지, 환경, 건강관리, 전자, 소재를 지목하고 있으며, 향후 새로운 적용 영역이 계속 출현할 것으로 보고 있다.

4. 시사점

나노융합산업의 규모와 발전단계를 모니터링하려는 시도는 국내외에서 간헐적으로 진행되어 왔지만 대부분 나노기술 혹은 혁신 활동과 관련된 조사에 그쳤으며, 산업으로서의 접근은 제한적으로만 진행되어 왔다.

따라서 나노융합산업의 발전단계를 모니터링하기 위한 시스템을 구축하는 중요성에 비해 구체적인 실행과정에서는 해결해야 할 과제가 많은 실정이다. 구체적으로 보면 조사대상, 조사범위 및 조사항목에 대하여 합의된 방법론이 아직까지는 미흡한 실정이며, 조사결과와 활용성을 높이기 위한 고민은 이제 시작단계이다.

이에 나노융합산업 측정·분석에서 제기되는 주요 과제와 그에 대응하기 위한 기본방향을 요약하면 <표 3-10>과 같다.

우선 조사대상과 관련해서는 나노융합산업의 특성을 반영하여 나노기술 및 나노융합제품, 그리고 나노융합산업에 대하여 합의된 정의에 기반해야 한다. 그리고 융합성을 반영하여 나노융합제품을 생산하는 기업에 대해서도 나노 전업기업, 나노 겸업기업으로 구분해야 한다.

둘째, 나노기술의 적용 분야 및 적용 수준은 마찬가지로 나노기술과 나노융합제품 및 산업에 대한 정의에 기반해야 하지만 나노융합산업의 확장성과 융합성을 충분히 고려하여 탄력적으로 설계되어

〈표 3-10〉 나노융합산업 발전단계 모니터링을 위한 세부 과제

	세부 과제	대응방안
조사대상	나노기술 및 나노융합제품의 구분	참여주체의 의견수렴과 합의에 기반하여 도출된 나노기술, 나노융합제품의 정의에 기반
	나노기술기업의 정의	나노 전업기업, 나노 겸업기업(주로 대기업) 구분
나노기술의 적용 분야, 적용 수준	나노기술의 적용 분야	제품생산에서 연구개발서비스까지 나노융합산업 분야 확장 필요
	나노기술 및 제품의 융합성	나노기술의 세부 응용 분야를 포괄할 수 있도록 탄력적으로 나노융합제품 분류체계 정립
조사항목 (지표)	기업과 공공부문의 투자 필요성에 대한 판단 뒷받침	생산요소, 사업모델의 변화 파악이 가능한 지표 사회경제적 편익, 나노융합산업에 대한 정부투자의 효과 분석 가능한 지표 제시 필요 우선순위를 고려한 핵심적 지표의 선정
	나노융합산업의 발전수준 모니터링	미시지표(생산, 고용, 투자, 수출입 등)의 수집 산업발전단계 평가를 위한 지표 도출
나노융합산업의 유형 구분	나노융합 분야의 활동주체	주체별로 조사표 구분(민간부문, 공공부문)
	나노기술의 적용 단계	기초지표 중심으로 설계하되 우선순위의 변화 가능성 고려 민간부문 : 기초지표(생산, 투자, 고용)와 함께 기술개발투자 및 성과에 대한 지표도 조사 공공부문 : 투입지표(기술개발투자, 기술개발인력)와 함께 성과지표(특허, 기술이전, 사업화 건수) 조사
나노융합산업 통계의 확장성	비교가능성 제고	기존 산업통계 분류체계와의 연계(KSIC, HS) 국제적 논의를 통해 도출된 분석 틀과 연계
	전문성 향상	산업분류체계 및 통계에 대한 전문성 확보

자료 : 산업연구원.

야 하며, 제조업뿐만 아니라 연구개발서비스, SW와 같은 분야까지 포함해야 한다.

셋째, 나노융합산업에 대한 조사항목은 기존에 주로 추진되어 온 나노기술 혹은 나노기술의 상업적 활용에 대한 조사항목들과 구별되어야 하며, 생산요소, 사업모델, 그리고 산업활동에 대한 지표가

포함되어 기초통계를 수집할 수 있게 제시되어야 한다. 조사항목의 선정 과정에는 정책적인 목표를 고려하여 우선순위가 도출되어야 하지만 동시에 핵심적인 지표가 반드시 포함될 수 있도록 해야 한다.

넷째, 나노융합산업의 유형 구분에서는 반드시 기업체만을 대상으로 해서는 안된다. 과학기술집약형 산업으로서 나노융합산업의 발전단계와 향후 발전방향을 이해하기 위해서는 연구기관과 같은 주체까지 포함하여 조사되어야 하며, 주체별로 조사항목이 조사대상에 대한 특성을 반영하여 작성되어야 한다.

마지막으로 나노융합산업 통계의 확장성을 고려해야 한다. 이를 위해서는 기존 산업통계 분류와의 연계성을 갖도록 한다. 이를 통해 우리는 소재산업에서 나노소재가 어느 정도 비중을 점하는지, 그리고 전자산업의 발전에 나노전자가 어느 정도 기여하는지를 이해할 수 있게 될 것이다. 나아가 국제적 논의를 통해 도출되는 분석 틀과 연계하여 국제적 비교를 할 수 있도록 해야 한다.

위에서 살펴본 시사점은 나노융합산업 모니터링 시스템 구축 과정에서 제기될 수 있는 주요 과제를 제시하고 있으며, 동시에 4장에서 시스템을 구축하기 위한 세부 전략 도출의 기본 방향을 제시하고 있다.

제 4 장

나노융합산업 모니터링 시스템 구축 전략

1. 모니터링 시스템 구축의 기본 방향

(1) 나노기술 및 나노융합산업의 정의 기반

산업은 ‘재화, 용역, 소득의 원천을 생산하고 공급하는 생산적 기업이나 집단’ 혹은 ‘공동의 구매자와 공급자, 공통된 경쟁목적, 공통된 기술 플랫폼을 가지는 집단’⁶⁷⁾으로 정의할 수 있으며, 산업활동은 ‘각 생산단위가 노동, 자본, 원료 등 자원을 투입하여 재화 또는 서비스를 생산 또는 제공하는 일련의 활동’이다.

나노융합산업은 기존의 생산방식이나 공정과 차이가 크고 단일 제품을 기준으로 보면 혁신적이지만, 아직은 독립적인 산업으로 보기에선 발전 수준이 초기단계여서 기존 산업과의 융합으로 평가된다. 이는 나노융합산업에 포함하는 재화의 형태가 대부분 신제품인

67) Mcgahan(2004).

데서 비롯되며, 이로 인해 기존의 산업분류를 적용하는 데 어려움이 있지만 동시에 독립적인 산업분류를 갖지 못하는 이유로 작용한다.

따라서 나노융합산업의 모니터링을 위해서는 나노기술과 나노융합산업에 대한 정의에서 출발해야 한다. 융합적인 특성이 강한 나노기술이지만 나노융합에 대한 정의를 도출하고 이에 대응하는 나노융합산업을 구분하여 산업적 독자성과 특수성을 제시해야 하기 때문이다. 이를 위해서는 나노기술의 분류, 나노기술의 활용에 의해 만들어지는 나노융합제품의 범위 및 수준에 대한 합의를 도출하고 적용해야 한다.

나노융합제품, 나노융합기업에 대한 정의에서 출발함으로써 나노융합산업에 대한 과소평가 혹은 과대평가의 위험을 피할 수 있는 접근방법을 선택해야 한다. 나노기술이 융합화를 통해 새로운 제품을 생산하거나 혹은 산업군을 창출한다면 이는 기존의 산업활동에 변화를 가져오는 요인으로 작용하게 되며 중장기적으로는 산업구조에 주요한 영향을 미치게 될 것으로 예상된다. 이러한 관점에서 나노융합의 산업화 크기와 방향, 그리고 효과에 대한 모니터링이 필수적이다. 따라서 산업 및 경제에 미치는 효과를 파악하기 위해서는 비교의 기준이 동일해야 하며, 이는 통계 혹은 데이터 분류의 범위와 산출방법이 동일해야 한다. 그리고 수집된 통계 및 자료의 신뢰성을 높이기 위한 다양한 검증이 동시에 이루어져야 한다.

(2) 산업통계와의 일관성과 체계성 확보

나노융합산업의 발전단계를 모니터링하기 위해서는 나노융합산

업의 규모, 성장성, 경쟁력 등을 평가할 수 있는 지표를 발굴하고 이에 대응하는 통계와 정보를 생산해야 한다. 이는 나노융합이라는 새로운 산업 분야에서의 변화를 포착하기 위해서는 기존 산업통계 및 분류체계와 비교가능해야 한다는 점을 의미한다.

그러나 나노융합산업에 대한 분류체계가 반드시 기존 산업분류와 일치해야 한다는 것이 아니라 연계성을 가져야 한다는 것을 의미한다. 즉 나노융합산업의 경제활동이 제조업에서의 생산 중 어느 정도의 비중을 차지하는지, 그리고 전자, 기계, 소재 등 어느 분야에서 융합을 통한 산업활동에 어떠한 변화를 가져오는지에 대한 분석이 가능해야 한다. 제조업뿐만 아니라 서비스업, 원료조달에 이르기까지 가치사슬 전반에 걸쳐 분석하고 현안과제를 도출할 수 있는 기초 자료를 생산해야 하는 것도 이러한 이유에서 비롯된다.

이를 위해 나노기술, 나노융합제품에 대한 흐름을 반영하여 나노융합산업의 구조를 파악할 수 있는 산업분류체계가 설계되어야 한다. 또한 일단 분류체계가 작성되었다 하더라도 빠른 속도로 발전하는 나노기술의 흐름과 나노융합산업의 구조변화를 반영하여 주기적으로 분류체계가 재편되어야 한다.

(3) 나노융합산업의 통계 활용성 제고

나노기술의 산업화는 아직 초기단계로 볼 수 있으므로 일회성 사업으로는 산업화의 수준과 범위에 대한 분석에 한계가 있다. 나아가 나노융합산업의 범위가 소재, 부품, 제품, 서비스, 장비에 이르기까지 다양할 것으로 예상되므로 각 부문별로 발전단계에 차이가 있을

수 있다. 따라서 나노융합산업에 대한 조사는 산출되는 주요 지표에 대한 평가와 모니터링을 통해 지표와 데이터를 지속적으로 관찰하여 발전시켜야 한다.

생산, 기술기여도, 고용, 투자 등 주요 지표가 정립되어 시계열로 축적된다면 이를 활용하여 나노기술이 산업구조 및 범위에 미치는 영향을 산업화·혁신지수로 발전시킬 수 있다. 아울러 국내 공급과 수출입에 대하여 신뢰성 있는 데이터를 만들 수 있다면 국내 시장규모 및 수입의존도와 같은 가공데이터를 통해 국내 투자가 필요한 분야를 도출할 수 있을 것이다. 따라서 필요한 지표에 대해 폭넓은 논의과정을 거쳐 우선순위를 도출하고 이에 대응하는 평가지표를 선정하고 확대해 나가야 한다.

이러한 과정은 물론 기존의 산업분석 방법론에 기반을 두겠지만 나노기술의 융합성과 다목적성, 가능기술로서의 특징으로 인해 세심한 고려가 필요하다. 예를 들면 융합의 특성상 정보통신산업 분야와의 중첩성이 나타나는 경우 나노융합 혹은 정보통신산업 개별 산업에 대한 분석 결과를 단순합으로 하여 제시해서는 안 된다.

기술의 융합성에서 비롯되는 산업의 융합성을 간과한다면 산업 규모가 과대평가되면서 산업에 대한 이해와 정책결정에 혼선을 가져올 수 있기 때문이다. 이런 경우에는 나노융합, 그리고 정보통신산업의 독자성을 훼손하지 않으면서도 산업 전체에 대한 성장기여도, 그리고 경쟁력의 변화를 어떻게 산출할 것인가에 대해 공동으로 연구가 진행되어야 한다.

마지막으로 나노융합산업의 발전단계 모니터링은 국제적 논의 속에서 진행되어야 하며 통일성을 갖는 분석 틀을 만들어 적용하려

고 노력해야 한다. 국제적으로 나노기술의 산업화에 주력하는 국가들이 중심이 되어 나노융합기업, 나노융합산업에 대한 분석들을 공동으로 만들어 나가고 이러한 논의에 우리나라가 적극적으로 참여한다면 나노융합산업의 경제적 성과 측정에 보다 유용한 접근이 가능하게 될 것이다.

아울러 국제적으로 공통적인 분석들을 도출하게 됨으로써 각국의 나노기술에 대한 투자와 성과에 대한 비교분석이 가능하게 될 것이며, 이는 우리의 비교우위 분야 도출과 정책 선택에 유용한 환경을 조성하게 될 것이다.

2. 산업발전단계 모니터링을 위한 기반 확충

(1) 기술-제품-산업 연계 및 인벤토리 구축

현재 국내는 물론이고 국제적으로도 신뢰성과 활용성을 인정받는 나노제품, 기술에 대한 인벤토리가 구축되지 못하고 있다. 이는 주로 나노제품에 대한 정의가 명확하지 않은 데서 비롯된다. 여기에 나노기술은 융합성이 높고 다목적 기술이므로 특정 분야의 나노기술의 활용에 대해 기업체에서 제조공정에 참여하는 주체들이 나노기술로 인지하고 보고하지 못하는 것이 영향을 미친다.

나노융합산업에 대한 모니터링을 위해서는 기술과 제품군의 연계 구조를 고려하여 기준으로 활용된다는 점에서 체계적인 접근이 필요하다. 이를 위해 우선 나노기술과 나노융합산업에 대한 정의에 기반하여 나노융합제품을 구분하고 나노융합산업 관련 주체들에 대한

이해기반을 넓히면서 인벤토리를 지속적으로 축적해 나가야 한다.

물론 그동안 국내외에서 나노융합제품에 대한 인벤토리를 구축하려는 시도는 있었다. 그러나 대부분의 인벤토리가 기술개발과정 혹은 기술이나 제품에 대한 아이디어, 혹은 기술 자체를 포함하고 있는 경우가 많아 나노융합제품에 대한 인벤토리로 구별하여 적극적으로 활용하기에는 어려움이 많다. <표 4-1>에서는 현재까지 구축되어 인벤토리로 활용이 가능한 데이터베이스 중 제품 혹은 기술개발을 추진 중인 제품에 대한 정보를 나타내고 있다.

나노기술에 대한 투자가 2000년대 초반부터 강화되기 시작했고, 나노기술의 원천성을 고려한다면 2005년부터 연구개발 혹은 제품에 대한 인벤토리를 구축하려는 시도가 추진되었다고 볼 수 있다.

PEN 나노기술 인벤토리의 경우에는 스스로 나노제품을 생산한다고 여기는 기업이나 기관들이 인벤토리에 제품을 자발적으로 등록하여 형성된 데이터베이스인데, 등록된 품목을 자세히 살펴보면 역시 기술 혹은 시제품이 많은 실정이며, 특히 장난감과 같이 생활용품의 비중이 높아 엄밀한 의미에서는 나노융합제품으로 분류할 수 있는 경우가 매우 적다. 이러한 문제는 기존의 나노 실태조사 혹은

〈표 4-1〉 나노융합제품, 기술 인벤토리 구축 현황

	출처	연도	기관	품목 수
제품 (2,642개)	나노기술 최종제품지향 분류체계	2011	KISTI	133
	나노 실태조사(중 생산제품)	2011	NT센터	1,642
	PEN NT인벤토리(등록제품)	2005~	우드로윌슨	804
	나노융합기술 제품화 사례집	2010	지식경제부	189
R&D (614개)	PEN NT인벤토리	2005~	우드로윌슨	561
	신산업·주력산업 산업융합원천 R&D전략	2011	지식경제부	53

자료: 산업연구원 정리.

나노 분류체계에서 제시하는 품목들에서도 유사하게 나타난다.

국내에서도 나노융합산업에 대한 실태조사가 시작되면서 조사 결과에서 나노융합제품으로 인식할 수 있는 정보가 생산되었지만 본격적으로 제품 인벤토리로 구축되어 공개되지는 않았다. 또한 기술개발을 목적으로 하는 나노융합제품에 대한 데이터베이스를 제외한다면 다른 데이터베이스들의 경우 나노융합제품 리스트가 1회성으로 작성되었다. 더욱이 이들 데이터베이스들은 시제품 단계를 포함하고 있어 현재 시점에서 상업화에 성공한 제품을 구분하는 것은 추가적인 노력을 필요로 한다. 기존의 나노 실태조사의 경우 주요 생산제품에 대한 조사결과 공개가 일부분에 그치고 있으며, 조사 기준이 나노기술 최종제품지향 분류체계를 이용하고 있어 기술분류에 근거한 경우가 많아 기술과 제품의 연계성이 낮다.

따라서 나노융합산업의 발전단계 모니터링에서는 나노융합제품에 대한 인벤토리를 구축해야 한다. 구축 과정에서는 나노기술, 제품, 산업에 대한 이해를 기반으로 과거부터 현재까지의 추이에 대한 조사를 추진할 필요가 있다. 아울러 나노융합산업 통계조사와의 연계 및 일관성을 가져야 하며, 산업 및 기술 분류체계와의 통일성을 가져야 한다.

또한 국가기술개발로드맵 등에서 제시하는 핵심기술에 대해서는 나노기술의 활용을 확인하여 나노기술의 적용 분야를 정의해야 한다. 그러나 이 경우에도 이미 범용화된 기술이나 기술개발로드맵에서 제시하지 않은 경우는 인식하기 어려운 문제가 여전히 남아 있으므로, 나노기술의 활용으로 만들어지는 나노융합제품에 대하여 적극적인 논의와 합의가 도출되어야 한다.

나노융합제품 인벤토리는 나노기술의 산업화 범위, 성장속도, 나노융합산업의 발전 수준 등을 보여줄 수 있는 가장 기초적인 DB가 될 것이다. 인벤토리에서는 나노융합제품, 제품의 출시연도, 생산기업 등에 대한 정보를 포함해야 할 것이다. 아울러 나노융합제품에 대한 인벤토리는 일정한 심사 등을 거쳐 등록되어야 하며, 등록과 관리를 지속적으로 담당할 수 있는 주체가 정립되어야 한다.

(2) 나노기술 기여도 분석사례 확대

나노기술의 신제품(산업) 창출 기여도에 대해서는 앞의 3장에서 살펴보았듯이 다양한 시도에도 불구하고 아직까지 방법론이 정립되지 않고 있다. 이에 따라 나노융합제품에 대해 합의된 목록을 도출하는 데도 어려움이 있다. 이러한 이유로 현재 나노기술의 경제적 효과를 평가하는 데 나노기술의 활용에 의한 기술기여도에 대해 별도로 추정된 사례가 매우 적다.

이에 대한 대안으로 논문발표, 특허 통계가 활용되는 경우가 있지만 논문이나 특허만으로 기술기여도를 평가하기에는 역시 어려움이 있다.

논문발표의 경우 산업 현장에서 활용되기까지 시차가 존재한다는 점, 특허의 경우에도 시차가 존재하는 이외에 특허로 나타나지 않는 기술성고가 존재한다는 점에서 특허 통계는 부분적인 정보만을 제공한다는 한계가 있기 때문이다.

현재 나노융합제품을 정의하는 데 주요한 문제는 나노기술을 활용하여 생산된 융합제품의 증대된 가치에 대하여 나노기술의 기여

도를 객관적 기준으로 평가하는 어려움에서 비롯된다. 핵심기술로 정의된 경우는 나노기술이 기여한다고 볼 수 있지만 특정 나노기술이 분석대상 제품의 핵심기술이 될 수 있는지에 대해서도 전문가별로 평가가 상이하다는 문제점이 있다.

이와 관련하여 국내에서 작성된 산업원천기술개발로드맵⁽⁶⁸⁾에서 나노기술의 기여도를 간접적으로 파악할 수 있다. 2010년 산업원천기술로드맵은 지식경제통합기술 청사진의 일환으로 작성되었다. 2010 지식경제통합기술 청사진은 대-중-소-핵심기술로 구성되는 기술체계를 중심으로 성능지표 및 R&D 목표, R&D 추진 전략, 산업간 기술연관도, 핵심 product에 대한 정보를 제공하고 있다.

동 로드맵은 RFID, LED, 차세대 컴퓨팅 등 33개 분야에 대하여 작성되었는데, 각각 핵심기술에 대해 정의한 후 여기에 수요가능기술과 공급가능기술을 조사하여 핵심기술 분야와의 연계성을 조사한 바 있다. 이들 핵심기술 중 수요·공급 가능기술과 나노기술과의 연관성을 분석한 결과는 다음의 <표 4-2>와 같다.

자세하게 살펴보면 화학공정 소재, LED 광 분야, 청정기반, 에너지 효율 향상, 바이오 분야에서 핵심기술 중 공급 및 수요 가능기술이 차지하는 비중이 22~66%를 점하고 있다. 이는 현재 나노융합 2020 사업에서 추진 중인 NT-IT, NT-BT, NT-ET 등 융합 분야와 공통된 분포를 보이고 있으며, 현재 우리나라 나노기술이 어느 분야에서 활용도가 높은지를 단적으로 잘 나타내고 있다. 여기에는 미치지 못하지만 자원기술, 섬유의료, 전기, 생산시스템, 금속소재와 같은 소재, 공정 분

(68) 지식경제부·KIAT, 산업기술개발로드맵(2009), www.mae.or.kr

〈표 4-2〉 나노기술의 신산업 분야 기여도 추정

산업원천기술로드맵 작성 분야(2010)	핵심기술 전체 (A)	수요가능기술 (B)	공급가능기술 (C)	수요+공급 가능기술 (D=B+C)	비중 (D/A)
RFID_USN	166	2	0	2	1.2
플랜트엔지니어링	383	0	0	0	0.0
항공우주	426	0	0	0	0.0
홈네트워크_정보가전	286	0	0	0	0.0
화학공정 소재	443	102	103	205	46.3
BCN	477	0	0	0	0.0
IT융합	613	1	1	2	0.3
LED_광	413	138	134	272	65.9
차세대 컴퓨팅	323	0	0	0	0.0
차세대 이동통신	233	0	0	0	0.0
차세대 의료기기	288	3	7	10	3.5
지식정보 보안	414	0	0	0	0.0
지식기반 서비스	300	0	0	0	0.0
조선	439	3	0	3	0.7
전력	206	5	0	5	2.4
자원기술	250	4	7	11	4.4
청정기반	205	31	15	46	22.4
자동차	575	12	0	12	2.1
섬유의류	234	7	13	20	8.5
소프트웨어	497	0	0	0	0.0
스마트그리드	513	0	0	0	0.0
신재생에너지(열)	184	5	1	6	3.3
신재생에너지(전기)	345	7	7	14	4.1
에너지효율 향상	372	59	42	101	27.2
온실가스	124	4	7	11	8.9
원자력	280	0	0	0	0.0
생산시스템	436	20	12	32	7.3
금속소재	561	20	21	41	7.3
디지털 TV	316	0	0	0	0.0
로봇	342	5	0	5	1.5
바이오	216	40	36	76	35.2
반도체	534	10	0	10	1.9
생산기반	956	17	15	32	3.3
합계	12,350	495	421	916	7.4

자료 : 지식경제부 · KIAT DB 활용하여 산업연구원 작성.

야에서도 활용도가 높게 나타난다.

한편 반도체의 경우 나노미터 수준의 반도체가 이미 상용화되고 있어 대부분의 생산공정 및 소재 관련 기술이 나노기술에 영향을 받고 있음에도 불구하고 수요·공급 가능기술에서 나노기술의 비중이 불과 1.9%로 나타났다. 이는 실제로 반도체 생산을 위해 필요한 핵심기술 중 나노기술의 기여도를 과소평가한 것으로 보인다. 따라서 나노기술의 활용에 대한 산업기술평가관리원의 산업원천기술 로드맵 분야에 대한 조사결과는 나노기술의 기여도에 대한 최소치로 보아야 하며, 실제로는 인식하지 않은 분야에서 나노기술의 활용이 훨씬 클 것으로 추정할 수 있다.

이처럼 나노기술이 제품생산 공정별 혹은 최종제품에서 핵심기술로 활용되는지에 대한 전문가적인 평가가 주로 이용될 수밖에 없으므로 이의 객관성을 확보할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 이를 위해 우선 나노기술 응용 분야에서 대표적인 제품을 선정하여 나노기술의 기여도 및 경제적 성과에 대한 연구를 축적해 나간다면 주요 산업경제활동 분야에 대한 나노기술의 경제적 기여도를 추정할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것으로 예상된다.

주요 제품 혹은 산업 분야에서 나노기술의 기여도를 산출하는 과정에서는 여러 가지 방법으로 분석사례를 축적할 수 있다. 앞에서 논의한 대로 국내 주요 산업 혹은 신성장동력 분야에서 제시된 핵심 제품 혹은 분야별로 조사를 할 수 있다. 또는 OECD WPN의 나노기술의 경제적 통계 산출을 위한 프레임워크⁶⁹⁾에서 정한 나노소재, 나노

69) OECD WPN/NNI(2012).

전자, 나노바이오 등 12개 분야에 대해 대표 제품을 선정하여 사례분석 결과를 계속 확대해 나가는 방법도 있다. 어떠한 방식이든 점차 사례를 축적해 나간다면 처음에는 특수한 사례가 될 수 있지만 점차 해당 산업 분야에서 나노기술의 활용에 의한 경제적 영향 및 비중을 추정하는 데 주요한 원천이 될 수 있을 것으로 보인다.

한편 나노기술의 기여도를 가치사슬 측면에서 살펴본다면 다른 접근도 가능하다. 이 때에는 나노융합제품 혹은 서비스의 하위 그룹 간의 총화가 가능하고 기술 및 제품 간 융합의 주도성에 대한 구분에 기반해야 하므로 소재, 공정, 장비, 유통과 같은 구분을 통해 나노기술의 기여도를 도출할 수 있다.

이러한 접근방법은 나노기술이 경제활동 과정에 활용되는 다양한 분야를 개념적으로 인식한 것으로, 실제로 조사분석 과정에서는 기초데이터를 추출하는 데 어려움이 예상된다. 따라서 1단계는 나노기술이 제조, 생산 과정에 직접 이용되는 경우부터 시작하고 점차 원료, 장비, 연구개발, 그리고 유통·판매 단계로 점차 확장해 가는 단계적인 접근이 필요하다.

(3) 나노융합산업 분류체계의 정립

1) 나노기술융합 분야의 포착

나노융합산업 실태조사에서 기존에 주로 사용되던 기술분류 혹은 제품지향 분류체계를 산업 분류체계로 보기는 어렵다. 앞에서 설명했듯이 산업에 대한 정의가 존재하는데, 현재의 기술분류 혹은 제

품지향 분류체계는 나노융합산업군이라기보다는 나노기술의 활용 영역과 이에 해당하는 기술분류이므로 제품을 전제로 하고 있지 않다. 따라서 나노융합산업에 대한 모니터링을 위해서는 기술기반의 접근이 아니라 기존 산업통계와의 연계성을 갖고 산업경제적인 접근을 해야 하며, 이는 나노융합산업군을 분류하는 과정에서도 동일하게 적용되어야 한다.

나노융합산업에 대한 분류체계는 나노융합제품의 개발 동향과 제품화 추이를 살피면서 작성되어야 하며, 이 과정에는 현장의 전문가들의 견해를 충분하게 반영하는 동시에 실제로 제품화되었는지, 그리고 나노융합제품으로 구분할 수 있는지에 대한 객관적인 평가가 병행되어야 한다.

여기에서 순수하게 신기술만이 투입된 제품 및 산업을 대상으로 할 경우 신기술의 융합화라는 특성을 고려하지 않은 것으로, 신기술의 산업화 수준에 과소추정의 오류가 발생할 가능성이 높다. 반면 기존 산업에 대한 융합형 신기술의 효과를 추정하는 것은 기존 산업 전체를 대상으로 한다는 점에서 과대추정의 오류가 발생할 가능성을 내포하고 있다.

이에 따라 나노융합제품, 나노융합산업에 대한 현황 파악과 발전 수준을 평가하기 위해서는 정량 지표를 개발하는 것과 동시에 전문가의 정성적 평가가 필요하다. 전문가의 평가 과정에서도 소수의 전문가가 나노융합기술의 활용과 나노융합산업의 영향에 대해 평가하고 이를 일반화하는 것은 오류의 가능성이 높다. 그러므로 전문가에 의한 정성적 평가의 오류를 회피하기 위해서는 관련 분야에 대한 충분한 전문가 집단을 확보하여 활용해야 하며 평가자의 선정에 의

해 평가결과가 달라지지 않도록 단계를 두어 객관성을 확보해야 한다. 그리고 정성적 평가 과정에서도 비교데이터가 객관적이면서도 충분하게 제공되어야 한다.

2) 기존 산업통계 분류와의 연계

나노융합산업의 모니터링을 위해 나노융합산업 통계 시스템을 기획하는 데는 나노기술의 산업화 과정에서의 융합성을 고려하면서도 기존 산업분류와의 연계성을 갖는 분류체계를 설계하는 것이 첫걸음이 된다. 분류체계에 의해 조사대상과 범위가 결정되고 이에 따라 나노융합산업의 현황과 구조를 살펴볼 수 있는 지표가 도출될 수 있기 때문이다.

따라서 기존 산업에 대한 나노융합산업의 영향을 보기 위해서는 표준산업분류와 연계되어야 한다. 이러한 연계를 통해 나노융합산업이 독자적으로 얼마나 성장하는지에 대한 분석과 아울러 전체 산업에서 나노융합을 통한 산업화의 비중, 성장기여도 등에 대한 분석이 가능해진다. 즉 나노융합산업이 기존 산업분류체계에 대해 독자성을 갖고 있어 그대로 비교는 어렵지만 일관성을 갖고 비교가 가능한 체계를 가져야 한다.

나노융합산업이 기존 산업통계와의 일관성과 체계성을 갖추기 위해서는 우선 기존의 산업분류와 연계되어야 한다. 이를 위해 나노융합산업의 분류체계를 수립하고 현재 사용빈도가 높은 한국표준산업분류(KSIC)⁷⁰⁾ 혹은 무역표준분류(HS)⁷¹⁾의 분류코드와 연계되어야 한다.

나노융합산업 분류체계의 큰 골격은 표준산업분류(ISIC, KSIC)와의 연계성을 고려하되 나노융합산업의 특성을 반영하여 산업분류 체계의 독립성을 추구해야 한다. 대분류는 KSIC 2단위 수준, 중분류는 KSIC 3~4단위 수준, 소분류는 KSIC 5단위 또는 8단위 수준이거나 나노제품의 세부 품목분류 수준에서 정의되어야 한다. 나노융합산업 분류를 표준산업분류 체계에 기반하여 정립한다면 국내의 경우 통계청, 한국은행, 무역협회 등의 기관에서 생산하는 미시 산업통계와의 연계 용이성을 높일 수 있으며, 이는 곧 나노융합산업 통계의 생산 및 활용도를 확장할 수 있을 것으로 예상된다.

3) 나노융합산업 분류체계(안)

나노기술의 산업적 활용의 다양화와 진화 과정을 반영하여 산업 분류체계를 작성해서 적용해야 한다. 아울러 기술과 산업의 연계에서 n:1의 문제는 허용하였으나, 기술 혹은 산업 분류체계에서는 정의하는 대상의 배타성을 전제로 해야 한다.

나노융합산업 분류체계는 다음과 같이 제안할 수 있다.⁷²⁾ 본 분류체계는 나노기술의 산업적 활용에 대한 정의와 범위의 진화를 반영하여 초안 형태로 작성되었으며 관련 분야의 기술개발과 기업체 전

70) KOREAN STANDARD INDUSTRIAL CLASSIFICATION, 한국표준산업분류.

71) Harmonized System 통일상품분류.

72) 본 분류체계는 지식경제부·KEIT의 주관하에 나노융합협력기구(기계연구원 내)·산업연구원이 나노융합산업 통계기반 구축사업(2012~2013)에서 각 분야 전문가들의 자문을 받아 작성되었으며, 향후 2~3년간 실태조사와 추가 분석을 거쳐 확정될 계획이다.

문가들의 참여하에 작성되었다.

초안으로 제시된 본 나노융합산업 분류체계는 기술의 융합성으로 인해 산업경제활동에서도 융합화가 두드러지게 나타나고 있으며, 이는 개별 산업분류에서도 융합성을 고려하고 있다. 즉 융합성이 높은 나노융합산업의 특성을 반영하여 대분류에서는 현재 나노기술의 활용에 의한 제품군이 형성되는 나노소재, 나노전자, 나노바이오, 나노장비로 구분했다. 한편 현재의 나노기술 분류체계와 환경 및 에너지에 대하여 독립된 분류를 갖지 않는다. 이는 환경 및 에너지산업이 특정 분야에서의 용도와 관련 기술 및 제품을 정의하고 있으며, 기존의 산업통계 혹은 산업분류의 범위에서 정의되지 않고 있기 때문이다.

물론 녹색산업으로 하여 환경 및 에너지 관련 분야를 포괄하여 별도로 구분하고 있지만, 이는 기존 산업 중 환경 및 에너지 관련 소재, 부품, 제품, 서비스 등을 모두 포함한다는 점에서 일종의 특수 분류체계로 볼 수 있다. 나노융합산업도 특수산업 분류체계로 작성되기 때문에 배타성의 원칙에 어긋난다. 그러므로 나노융합산업에서 에너지 및 환경 분야를 독립적으로 구분하기보다는 우선 기존의 산업 분류체계와의 일관성을 가지는 지표를 만들어낸 후 이를 다시 환경 및 에너지 분야를 구별하는 방안이 보다 효과적일 것으로 판단된다.

동 분류체계는 앞으로 실태조사 등을 통해 국내에서 생산되는 제품 및 기업들의 유형과 발전단계 등을 고려하여 발전시켜 나가야 한다. 아울러 제조업뿐만 아니라 서비스업을 포함하여 나노기술과 같은 유망가능기술의 산업화 특성을 반영해서 확장되어야 한다.

〈표 4-3〉 나노융합산업 분류체계(안)

대분류	중분류	소분류
나노 소재	나노 원료소재	나노분말 (나노입자 포함)
		나노선 (나노막대, 나노튜브 포함)
		판상 나노소재
		나노기공체 (나노세공체)
		탄소 나노소재
	나노 가공소재 (1차 가공소재)	나노분산체
		나노코팅체
		나노 복합섬유
		나노응집체
	나노 복합소재 (2차 가공소재)	벌크형 나노복합체
		나노기공체
		나노구조 막소재
		나노 다층소재
		나노직물
나노 전자	반도체용 나노소자	메모리소자
		로직소자
		광소자
	센서용 나노소자	물리센서
		화학센서
		생체인식센서
	디스플레이용 나노소자	LCD용 나노소자 (Frontplane)
		OLED용 나노소자 (Frontplane)
		Backplane 소자 (a-Si, LTPS, OxideTFT)
		Touch용 나노소자
	에너지용 나노소자	이차전지
		연료전지
		태양전지
나노 바이오/의료	나노 의약품	나노치료제
		나노진단제
	나노바이오 기기 및 장비	진단기기 분석기장비

〈계속〉

대분류	중분류	소분류
나노 바이오/의료	나노화장품	나노화장품
	나노 농수산물식품	나노 기능성식품
		사료/비료/농약
	나노 생체삽입소재	임플란트
	의료 및 연구용 소모품	의료 및 연구용 소모품
나노 장비/기기	일반목적장비용 나노부품	일반목적장비용 나노부품
	나노제조 공정장비	나노 패터닝장비
		나노 박막장비
		나노소재 제조 및 정렬장비
		나노 제조장비용 나노부품
	나노측정 분석장비	나노 화학구조 측정분석장비
		나노 형상/물성 측정분석장비
		나노 측정분석장비용 나노부품

자료 : 전문가 의견을 반영하여 산업연구원이 작성.

3. 모니터링 추진 세부 방안

(1) 모니터링 대상의 선정

나노융합산업의 발전단계를 모니터링하기 위해서는 나노융합산업에 포함되는 대상을 인식하고 구분하는 것이 첫 번째 단계이다. 이를 위해서는 나노융합제품, 나노융합기업, 나노융합산업에 대한 정의가 필수적이며 이에 근거하여 모니터링 대상을 선정해야 한다.

나노융합제품은 나노기술이 활용되어 획기적인 기능개선 혹은 신기능을 발현하는 제품으로 정의할 수 있으며, 나노기술이 제품의 본질적인 기능에 영향을 미치지 않고 부차적인 효과만 갖는다면 배제되어야 한다. 예를 들면 시스템반도체의 경우 나노기술에 의해서

만 소재 및 모듈, 제품 개발이 가능하다는 점에서 나노융합제품으로 구분할 수 있을 것이다. 그러나 본래의 기능에 살균 기능을 추가하기 위해 은나노코팅이 된 가전제품의 경우 나노코팅이 가전제품의 본질적 기능이라고 보기 어렵고 나노기술이 해당 가전제품의 생산을 위해 투입된 기술 중 절대적인 비중을 점한다고 보기 어렵기 때문에 나노융합제품으로 포함하지 않는 것이 바람직하다.

나노융합산업에 대한 기존 조사에서는 나노융합산업을 영위하는 기업들이 기술창업을 하는 경우가 많았고, 창업 이후에도 기업의 생존연수가 짧은 경우가 많았다는 결과가 도출된 바가 있다. 따라서 나노융합기업의 유형에 대한 조사가 병행되어야 한다. 기업 유형은 기본적으로 대기업, 중소, 중견기업 등 기업규모별 구분이 가능해야 하며, 연구개발 전문기업, 벤처기업, 코스닥 상장기업 등을 포함해야 한다. 아울러 나노전문기업인지, 나노융합기업인지에 대한 구분이 필요하다.

한편 기존의 나노융합산업 및 기술에 대한 연구가 보여주듯이 신기술산업의 특성상 기술개발에서 제품화까지 단기간에 추진이 가능하며, 특히 나노기술의 경우 원천기술의 비중이 높다는 특성을 고려하여 연구기관을 모니터링해야 한다.

이와 관련하여 교육과학기술부가 운영하는 국가나노기술정책센터(NNPC)⁷³⁾에서 제공하는 나노 관련 기관 DB는 시사하는 바가 있다. 동 DB에서는 나노 관련 기업체 관련 정보는 287개가 제공된다. 한편 정부출연연구원 중 나노 관련 연구기관으로 기계연구원(나노공정

73) National Nanotechnology Policy Center.

〈표 4-4〉 나노융합산업 관련 주체 및 모니터링 단계

	인력양성, 기초연구	기술개발	산업활동		인프라
관련 주체	대학	연구기관	기업체		시험·평가· 인증 기관
			제조업	서비스업 등	
모니터링 단계	3단계	2단계	1단계	2단계	3단계

자료 : 산업연구원.

장비연구실 등), 과학기술연구원(나노재료센터 등) 등을 포함하여 51개로 파악하고 있다. 여기에 대학 연구실은 KAIST, 성균관대학교, 서울대학교에 대하여 472개로 나타났다. 나노 관련 전공학과는 학부와 대학원, 나노공학과 혹은 나노·신소재공학부 등을 포함하여 전국에 84개 학교 및 학과로 집계되고 있다.

이처럼 나노기술 관련 기관 DB에서 나노융합기업의 규모에 비해 대학 및 연구원의 규모가 훨씬 크게 나타나는 것은 한편으로는 융합산업의 특성상 나노융합기업을 별도로 구별하기에 어려움이 많은 것이 영향을 미치고 있다. 그러나 한편으로는 나노융합기업이 아직 매출 면에서 성과를 내고 있는 경우가 일부에 불과하며, 나노융합기업으로 명확하게 인식되어 구분되지 못한다는 점을 반영한다. 반면 다른 측면에서는 나노기술의 제품화 혹은 산업화가 초기단계여서 아직까지 대학 및 연구기관들이 연구개발 및 시제품 생산단계를 추진하는 기관들이 많다는 점을 반영하는 것일 수도 있다.

따라서 나노융합산업에 대한 모니터링을 위해서는 우선 나노융합기업에 대한 분석 틀을 마련하고 이에 대한 조사가 집중되어야 한다. 그러므로 나노융합산업 중 유형의 제품을 생산하는 제조업체에 대한 조사가 우선적으로 이루어진 후 연구개발서비스를 제공하는

서비스업, 그리고 기초소재를 공급하는 분야(광업, 유통업, 무역업 등)로 산업활동에 대한 조사가 2단계로 확대되어야 한다. 이때 연구 개발서비스와 밀접한 관련성이 있는 연구개발기관 등에 대해 조사가 병행되어야 할 것이다.

그리고 다음 단계로 나노융합산업의 생태계를 분석하기 위하여 인력공급과 기초연구를 담당하는 대학, 시험·평가·인증 업무를 담당하여 나노융합제품의 사업화를 지원하는 기관들에 대하여 조사범위를 확장하는 전략이 필요하다. 이는 나노융합산업의 모니터링의 목적에도 부합하는 방향으로 조사대상이 단계적으로 선정된 것이다. 동시에 현재 모니터링이 상대적으로 취약한 산업 분야에 대한 조사에 집중하면서 어느 정도 조사기반이 갖추어진 분야에 대해서는 우선순위를 낮게 두는 방식을 채택하여 사업추진 과정의 효과와 성과를 높이는 대신 기존 인프라의 활용가능성을 고려하였다.

(2) 모니터링에 필요한 지표

나노융합산업의 발전단계를 모니터링하기 위해서는 산업발전단계를 구분할 수 있는 주요 지표를 구분하고 이에 대한 조사가 이루어져 기초데이터를 축적해야 한다. 이하에서는 1단계로 추진되어야 할 기업체에 대한 조사를 중심으로 지표를 제시하고자 한다.

산업발전⁷⁴⁾은 도입기, 성장기, 성숙기, 쇠퇴기로 구분할 수 있다. 산업발전 초기단계는 혁신기술 도입기와 상품화 혹은 시장진입 초

74) 이하 산업발전단계에 대한 주요 특성은 정은미 외(2011) 인용.

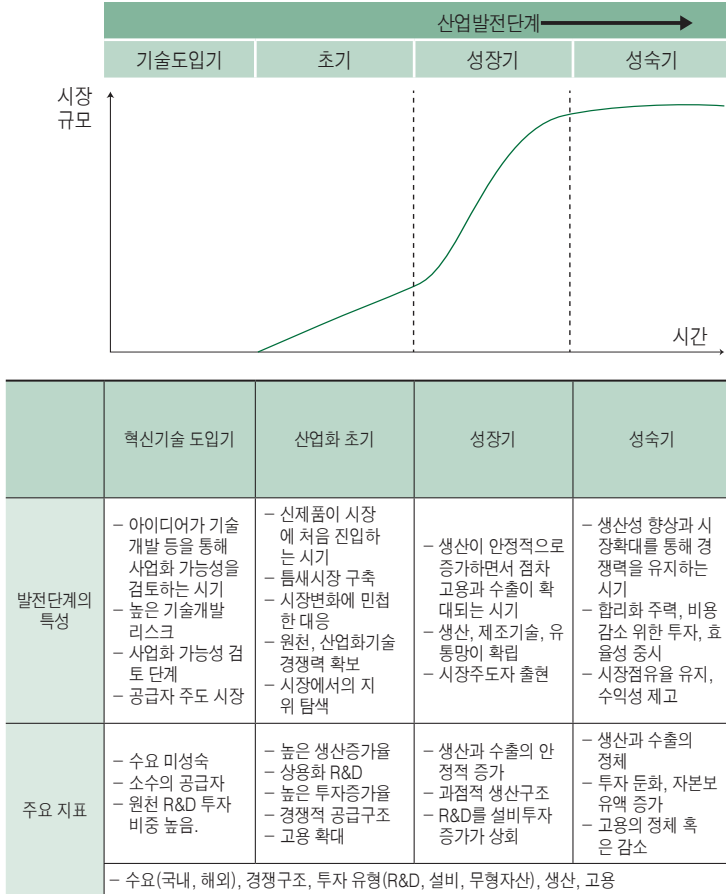
기에 해당하며, 이 시기에 산업화를 뒷받침하기 위한 정책지원이 집중적으로 필요하다. 즉 신제품의 발굴과 사업화, 그리고 기초연구에서 초기투자 및 상용화까지의 ‘죽음의 계곡(Valley of Death)’을 극복하도록 하는 것이 정부지원의 목표가 되어야 한다. 이때 주로 기술개발의 위험과 자금부담을 완화하기 위해 연구개발 보조금 혹은 세금 감면과 같은 정부지원이 이루어지며, 산업화를 위한 인력양성 정책이 추진된다.

혁신기술 도입기는 아이디어가 혁신기술로 도입되는 시기로, 기술개발이 활발하게 이루어지고 논문, 특허, 기술이전 등 기술적 결과물이 주요 성과로 도출되는 시기이다. 이 시기의 정책지원은 기술개발투자 확대, 기술사업화 촉진, 지식재산권 창출 등이 중요하다.

제품화 혹은 산업화 초기에는 기술개발의 성과물이 상업화되는 시기로 초기 투자 및 창업, 신제품 출시와 같은 산업적 성과가 나타나기 시작한다. 정책지원은 벤처캐피털 활성화, 대형 펀드 조성, 창업절차 간소화, 시장 창출에 주력해야 한다. 성장기 이후에는 투자 및 고용이 늘어나고 생산 및 수출이 활발해지면서 본격적으로 산업발전 궤도에 진입하고 주력산업화가 되었다고 판단할 수 있는 시기에 해당한다. 성장기 정책수요는 규제완화, 해외시장 진출 지원에 집중되며, 성숙기 이후에는 산업구조 고도화 혹은 산업구조 조정에 대한 대응이 주를 이루게 된다.

나노융합산업에 대한 발전단계 모니터링을 위해서는 위와 같은 산업발전 단계별 특징을 고려하여 주요 지표를 선정하고, 이에 대한 조사 및 분석이 이루어져야 한다. 일반적으로 산업발전단계를 평가하기 위해서는 국내외 수요규모 및 성장률, 생산 및 수출, 그리고 고

〈그림 4-1〉 산업발전 단계별 특성 및 주요 지표



자료 : 정은미 외(2011).

용구조 및 고용량이 기본 지표가 된다. 여기에 연구개발, 설비투자 혹은 무형자산에 대한 투자가 어느 정도 이루어지는지, 그리고 투자 구조에 대해서도 조사가 이루어져야 한다.

현재 나노융합산업이 산업발전 초기단계라는 평가가 일반적이므로 나노융합산업 및 기업에 대한 조사결과에서도 유사한 특성이

〈표 4-5〉 나노융합산업 모니터링을 위한 주요 지표(기업체)

	주요 내용	
기초지표	기업활동	생산요소(인력, 자본조달, 연구개발투자, 설비투자 등) 산업성과(주요 생산제품, 매출, 수출, 수입) 입지, 기업 생존기간
	기술개발 활동	지식재산권 거래(특허, 디자인 등) 나노기술 기여도 등
가공지표	국내시장규모, 시장점유율(수입의존도, 수출률 등) 산업생태계(원료조달, 수요산업군, 장비산업 발전 수준 등)	
분석지표	생산성, 수익률, 성장기여도 등	

자료 : 산업연구원.

나타나는지 살펴보아야 한다. 혹은 나노소재, 나노전자 등 세부 분야에서 산업발전단계가 차별화되는지를 살펴보아야 하며, 만약 발전단계에서 차이가 있다면 각각 대응하는 정책수단이 구분될 수 있을 것이다. 아울러 경쟁구조를 살펴보기 위해서는 나노융합기업과 나노융합제품에 대한 미시적 분석을 해야 한다. 이를 위해서는 기업 규모별, 혹은 기업유형별로 구분하여 시장점유율, 투자효율성, 생산성 등과 같은 세부 지표를 만들어야 한다.

한편 나노융합산업의 발전단계를 모니터링하기 위해서는 연구개발과 이에 대한 과학기술적 1차 성과, 즉 특허 혹은 논문과 같은 데이터의 분석이 필요하다. 따라서 이들 지표는 향후 나노융합산업의 발전방향을 전망하는 데 중요한 지표라고 볼 수 있지만 연구기관 및 연구개발서비스 기관에 대한 분석결과와 연계되어 있다는 점에서 산업발전단계 자체를 파악하기 위한 필수 지표는 아니라고 볼 수 있다. 따라서 나노융합산업을 모니터링하기 위해서는 인력, 자본과 같은 생산요소에 관한 지표, 생산 및 판매, 판매경로(직접판매, 유통판매, 해외수출 등)에 대한 지표를 우선적으로 수집하여 분석되어

야 할 것이다.

다음으로는 기업의 진입, 퇴출과 같은 산업활동의 동태성을 파악하기 위한 기업 생존기간, 기업입지 등에 대한 조사가 필요하며, 나노융합제품 생산을 위해 투입되는 원료, 장비 등의 조달경로, 그리고 수요산업의 판매경로에 대한 조사가 추가되어야 한다.

(3) 조사 주기 및 방식

나노기술은 그 혁신성과 광범위성에도 불구하고 불과 4~5년 전만 해도 산업화가 매우 일부분인 것으로 인식되었다. 이에 따라 나노기술에 대한 조사도 연구개발, 특허, 논문과 같은 과학기술적인 측면에 집중하였으며, 가치사슬구조를 둘러싸고 나노기술이 산업화의 단계 중 어디에 활용되는지에 대한 관심이 더욱 많았다.

그러나 최근 들어 나노융합제품의 제품화가 늘어나고 나노기술의 산업적 활용이 활발해지면서 기업 및 산업에 대한 모니터링의 필요성이 강조되고 있다. 이는 나노기술의 산업화 속도가 빨라지고 있으며, 산업화의 범위도 기대 이상으로 광범하게 이루어지기 때문이라고 볼 수 있다.

결국 나노융합산업의 발전 및 진화 방향이 매우 빠르고 다양하게 이루어지고 있으므로 발전 속도를 적기에 파악하기 위해서는 조사 주기가 너무 멀지 않아야 한다. 그렇다고 산업화 단계에 진입한 기업들에 대하여 조사주기가 너무 짧아 조사에 대한 부담을 높이고, 그 결과 응답률을 낮추어서도 안된다.

따라서 나노융합기업에 대한 조사는 1년을 주기로 하여 정기적으

로 추진하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 정기적으로 조사를 추진하는 것은 나노융합산업에 대한 데이터를 축적하여 나노융합기업의 발전방향을 평가하고 향후 산업화 단계를 예상할 수 있는 기반을 구축할 수 있기 때문이다.

한편 아직까지는 나노기술의 활용영역에 대한 사례조사만 있을 뿐 실제로 어떤 분야에서 어느 정도로 나노기술이 활용되는지에 대한 조사는 국내외 모두 이루어지지 못한 상황이다. 따라서 나노융합기업 및 제품에 대한 조사는 우선 표본을 적절하게 추출하여 진행하되, 나노융합 분야의 확장에 대한 모니터링을 통해 조사 대상 및 범위를 점차적으로 확장해 나가는 단계적인 접근이 바람직하다.

참고문헌

1. 국내문헌

- 과학기술정보연구원(2010), 나노융합기업 실태조사 보고서.
- 과학기술정책연구원 · 나노융합협력기구(2012), 「나노융합기업의 혁신활동조사」, 2012. 2.
- 나노융합산업연구조합(2010), “NTR&D 사업성과 지식자산화사업”, 2010. 12.
- 산업연구원(2005), 「한국산업의 발전비전 2020」, 산업연구원 연구보고서, 2005. 12.
- _____(2005), “나노기술 시장전망”, 「나노기술영향평가」, 과학기술정책연구원 · 과학기술부, 2005. 12.
- _____(2009), “나노융합산업의 부문별 현황과 전망”, 「대전 나노융합산업 발전전략 수립연구(2009)」.
- _____(2012), 「나노기술의 경제적 기여도 사례분석」, 2012. 3.
- 이광호(2006), 「나노기술을 활용한 부품소재기업의 기술혁신 특성분석」, 과학기술정책연구원 연구보고서, 2006. 12.
- 정은미(2009), “나노융합산업의 의미와 산업화 방향”, 「나노 인사이트」, 2009. 4.
- _____(2011a), “나노기술의 산업화 방향과 과제”, 「KIET산업경제」, 2011.4.
- _____(2011b), “Economic Impacts of Nanotechnology”, The 3rd International Nanomaterials Ethics Workshop(INEW 2011) presentation paper, 2011. 1.
- 정은미 외(2011), 「신성장동력의 산업화 조건과 정책과제」, 산업연구원 연구보고서, 2011. 12.
- 지식경제부(2010), 「나노기술 상용화를 위한 나노융합 2.0 사업」, 대형국가연구개발사업 예비타당성조사 기획보고서, 2010. 7.
- _____(2012), 「나노융합 확산전략 : 나노 PLUS+ 2020」, 2012. 12. 4.
- 지식경제부 · 교육과학기술부(2011), 「나노융합 2020 예비타당성 기획보고서」, 2011. 2.

- 한국산업기술평가관리원(2011), 「신산업-주력산업 산업융합원천 R&D전략 (2012~2016)」.
- 한국과학기술정보연구원(2011), 「NT R&D사업성과 지식자산화 사업성과 분석」.

2. 해외문헌

- 일본 경제산업성(2008), 「기술전략맵 2008: 나노테크놀로지 분야」.
- 덴마크 수리환경연구소(DHI, 2007), 나노기술 소비자제품 조사.
- 일본 내각부(2001), 「나노기술에 관한 산업경쟁력 평가」.
- 호주 DIISR(2011), Nanotechnology/Australian Capability Report 4th Ed, .Australian Gov. DIISR.
- Breggin eds,(2009), *Securing the Promise of Nanotechnologies Towards Transatlantic Regulatory Cooperation*, 2009. 9.
- Brynjolfsson, Erik(1993), "The productivity paradox of information technology" Communication of the ACM 36(12), pp. 66-77.
- European Commission(2009), "Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU", Brussels, 30.09.2009 COM(2009) 512 final.
- EUROPEAN COMMISSION(2012), "A European strategy for Key Enabling Technologies A bridge to growth and jobs."
- McGahan, A. M.(2004), "How Industries Change", *Harvard Business Review*, 82 (10), pp. 87-94.
- Oakdene Hollins(2010), "A comparative methodology for estimating the economic value of innovation in nanotechnologies", A report for DEFRA, November 2010.
- OECD(2008a), INVENTORY OF NATIONAL SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION POLICIES FOR NANOTECHNOLOGY 2008, DSTI/STP/NANO(2008)18.
- _____(2008b), "INDICATORS AND STATISTICS", NT: AN OVERVIEW PROJECT

- 2008.
- _____(2009), NANOTECHNOLOGY: AN OVERVIEW BASED ON INDICATORS AND STATISTICS, DSTI/DOC(2009)7, 2009. 6.
 - _____(2010a), The Impacts of Nanotechnology on Companies: Policy Insights from Case Studies, 2010. 12.
 - _____(2010b), Nanotechnology National Model Survey Questionnaire.
 - _____(2011), Statistical Framework for Nanotechnology, DSTI/STP/NANO (2011)8/REV1, 2011. 5.
 - OECD WPN/NNI(2012), “OECD/NNI International Symposium on Assessing the Economic Impact of Nanotechnology Background Paper 3: The Economic Contributions of Nanotechnology to Green and Sustainable Growth”(proceedings), DSTI/STP/NANO(2012)14, 2012. 3.
 - Roco, M. C., Hersam, M., Mirkin, C.A(2010), Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020, Springer, September 30, 2010.
 - Statistics Canada(2008), “Survey on Emerging Technologies 2007.”
 - Woodrow Wilson International Center, Pew Charitable Trusts(2005).

3. 주요 인터넷 사이트

- <http://www.iso.org>
- <http://www.mae.or.kr>
- <http://www.nanotechproject.org>
- <http://www.un.org/unsd>

부 표

〈부표 1〉 나노융합산업 분류체계(안)

〈부표 2〉 최종제품지향 분류체계(2009)

〈부표 1〉 나노융합산업 분류체계(안)

대분류	중분류	소분류	세분류(주요 품목)
나노 소재	나노 원료소재	나노분말 (나노입자 포함)	금속 나노분말 (은, 알루미늄, 니켈 등의 순금속 및 구리-은 등의 합금), 비금속 나노분말(Si, Ge, P 등)
			산화물계 나노분말 (티타니아(TiO ₂), 실리카(SiO ₂), 산화철(Fe ₂ O ₃), 알루미나(Al ₂ O ₃), 지르코니아(ZrO ₂) 등의 단일계 및 BT(BaTiO ₃), ITO(In ₂ SnO ₅), LTO(LiTiO ₃) 등의 복합계, 복합산화물계(InPO ₃ , CaCO ₃ 등)
			비산화물계 화합물 나노분말 (탄화물계(WC, TiC 등), 질화물계(Si ₃ N ₄ , TiN 등), 붕화물계(TiB ₂ 등) 및 이들 간의 복합화합물(TiCN 등), 금속간화합물계(NiAl, CdSe, CuInGaSe ₂ 등), 금속-비금속화합물계(CdS, Cu ₂ S 등)
			고분자 나노분말(라텍스 나노분말, 폴리스틸렌(PS), 덴드리머형 고분자소재 등)
		나노선 (나노막대, 나노튜브 포함)	금속나노선(은, 금, 백금 등의 순금속 및 합금)
			화합물계 나노선 (ZnO, TiO ₂ , In ₂ O ₃ 등의 산화물계; CuInGaSe ₂ 등의 금속간 화합물계; ZnS 등의 금속-비금속화합물계(BN 등)
			고분자계 나노섬유(nano-yarn, 나노파이버 등 및 중공/다공성 나노섬유); 유리질계 나노섬유
			복합구조 나노선소재(합성 시 곧바로 복합구조를 형성한 소재)
		판상 나노소재	결정질 판상소재 (montmorillonite(몬트모릴로나이트), bentonite(벤토나이트) 등의 점토계, MoS ₂ , Al ₂ O ₃ 등)
			금속계 판상소재(알루미늄 플레이트, 은 플레이트 등)
		나노기공체 (나노세공체)	박리소재(BN, MoS ₂ 등을 박리한소재)
		탄소 나노소재	제올라이트(나노분말)
			탄소나노분말(카본블랙, 카본볼, 활성탄소), 플레렌(C ₆₀)
			탄소나노튜브(단일벽, 다중벽), 나노혼(nanohom) 등, 탄소나노파이버(carbon nanofiber), 흑연나노파이버(graphite nanofiber) 등
			그래핀, 박리흑연(exfoliated graphite) 등
			나노다이아몬드(나노분말)
	나노 가공소재 (1차가공소재)	나노분산체	나노도료, 나노페인트, 나노잉크, 나노슬러리 등(액상형); CNT-고분자 복합 펠렛 등(고체형)
			나노콜로이드(현탁액), 에멀전 등

(계속)

대분류	중분류	소분류	세분류(주요 품목)
나노 소재	나노 가공소재 (1차 가공소재)	나노코팅체	코어-셸 나노입자, 중공형 나노입자, 코팅입자(caped particles), 캡슐화 입자(encapsulated particles) 등
		나노 복합섬유	다공형, 중공형, 복합소재형(나노입자분산형), 클래드형(clad-type; 이종소재로 코팅한 형태) 등
		나노응집체	나노분말그래놀(여러 개의 나노입자를 인위적으로 뭉쳐 놓은 형태), 나노복합분말(제2상이 나노형태로 분산된 형태),
	나노 복합소재 (2차 가공소재)	벌크형 나노복합체	석출형(나노입자 강화형) 합금소재, 소결형 나노복합소재(WC-Co 등), 분산형 나노복합소재(CNT-Al, CNT-고분자 복합소재), 나노섬유 강화소재, 나노다층벌크소재 등
		나노기공체	나노필터, 나노흡착제, 나노흡수제, 나노기공코팅체(열차폐제) 등
		나노구조 막소재	멤브레인, 복합나노구조 막소재(나노입자/나노선/나노관 등을 분산한 형태)
		나노 다층소재	나노코팅소재(반사방지코팅 유리(코팅층의 두께가 나노스케일)), 나노다층필름소재, 나노다층코팅 광학소재 등
		나노직물	나노부직포, 나노천(옷감) 등
나노 전자	반도체용 나노소재	메모리소재	DRAM
			SRAM
			비휘발성 메모리(NANDflash, NORflash, SSD, Charge-trappingmemory, FeRAM, MRAM, PCRAM)
			Read-only memory (ROM)
			One-time-programmable (OTP) memory
			ReRAM, PoRAM, Molecular memory, Nano-electro-mechanical memory, Mott memory
		로직소재	ASIC Logic (u-Processor, u-Controller, DSP, Communication Processor, GraphicsProcessor, VideoProcessor, ImageProcessor, DisplayController, MemoryController, FPGA/CPLD, Peripherall/FIC, SecurityIC, TargetSpecificController)
			Standard Logic (Buffers, Drivers, Transceivers, FlipFlops, Latches, Registers Multiplexer, Demultiplexer, Decoders, Gates 등)
			Bipolar IC
			MonolithicIC(Oscillator, Regulator 등과 같이 수동소재+IC가 존재)

(계속)

대분류	중분류	소분류	세분류(주요 품목)
나노 전자	반도체용 나노소자	로직소자	Analog IC(Amplifier/ Filter/ High Speed Buffer 등)
			Analog Hybrid IC(Audio Codec IC, Power Management IC, Battery Monitoring IC)
			Sensor Hybrid IC(Sensor + Controller)
		광소자	Laser diode (통신용, display-용, optical disk driver pick up-용, laser 가공 장치, laser scribe, VCSEL 포함)
			LED(light emitting diode), 조명용, display-용, sensor-용, 통신용, lamp 대체용 LED
			OLED(organic light emitting diode) 조명용, display-용,
			QLED, QD(quantum dot) 발광소자, 조명용, sensor-용,
			광결정 소자(Photonic Crystal), LED-용, OLED-용, Filter 용
			nano material 투명 전극 소자
			nano 광학 coating 소자
			nano 편광 소자
			형광소자 (광변환 소자)
			광전소자(바이오센서, 가스센서, 솔라셀, 포토다이오드)
			nano structure 저반사 기능 소자(CMOS 이미지 센서)
			유연성 Si 소자
			GaN/Si 기판 소자
			광서터
	센서용 나노소자	물리센서	광센서(이미지센서(CCD, CMOS나노공정), 자외선센서(나노소자, photodiode), 적외선센서(나노소재, 나노공정), 조도센서(나노소재, 나노공정), 연기센서(나노소자))
			음향센서(마이크(MEMS공정), 스피커(나노소재), 보청기, 헤드폰)
			관성센서(가속도센서(MEMS공정), 각속도센서(MEMS공정), 중력센서(MEMS공정))
			변위센서(근접센서(나노소재), 유량센서(나노소재), 유속센서(나노소재), 레벨센서(나노소재))
			압력센서(터치센서(나노소재, 나노공정), 마이크로프로브(MEMS공정), TPMS(MEMS공정))
			액츄에이터(마이크로거울(MEMS공정), 초음파모터(나노소재), 자동차용인젝터밸브(나노소재), 잉크젯헤드(MEMS공정), 공진기(나노소재, MEMS공정), 발진기(나노소재, 나노공정))
		화학센서	대기모니터링센서(NOx센서, CO센서, O3센서, SO2센서, CO2센서)(나노소재 또는 MEMS공정)

(계속)

대분류	중분류	소분류	세분류(주요 품목)
나노 전자	센서용 나노소자	화학센서	구취센서(알콜센서, VOC센서, NH3센서)(나노소재 또는 MEMS공정)
			독가스센서(나노소재 또는 MEMS공정)
			가연성가스센서(hydrazine센서, LPG/LNG센서, H2센서)(나노소재 또는 MEMS공정)
			수질모니터링센서(pH센서, 용존산소센서, 이온센서, 중금속센서)
			반응제어센서(자동차용공연비제어센서, O2센서)(나노소재)
		생체인식 센서	생체인식센서(홍채인식센서, 지문인식센서, 정맥인식센서, 망막인식센서, 얼굴인식센서, 음성인식센서)(나노소자)
	디스플레이용 나노소자	LCD용 나노소자 (Frontplane)	대전방지센서(Film)
			광추출센서(Film)
		OLED용 나노소자 (Frontplane)	광추출센서(EML)
			일함수조정센서(ETL/EIL, HTL/HIL)
		Backplane 소자 (a-Si, LTPS, OxideTFT)	외기외습센서(Encapsulation)
			나노 Backplane 소자(나노 배선-Source, Gate, Drain, Gate Insulator, Semi-conductor Integration)
	에너지용 나노소자	이차전지	유연(플렉시블) 기관용 나노Backplane소자
			Touch용 나노소자
			In-cell, Hybrid In-cell 용 Touch 소자
		연료전지	납축전지
			니켈-카드뮴 전지(Ni-Cd) 이차전지
			니켈-수소 전지(Ni-MH) 이차전지
			리튬이온 이차전지
			리튬이온 폴리머 이차전지
			나트륨나노 이차전지 (나트륨-황, 나트륨-아연 이차전지 등)
			기타 나노 이차전지 (니켈-아연, 금속공기, 리튬전고체, 마그네슘, 유기라디칼, 박막형, 프린터블 이차전지 등)
		연료전지	알카리 연료전지(AFC)
			인산형 연료전지(PAFC)
			용융탄산염 연료전지(MCFC)
			고체산화물 연료전지(SOFC)
			고분자 전해질 연료전지(PEMFC)
			직접 메탄올 연료전지(DMFC)

〈계속〉

대분류	중분류	소분류	세분류(주요 품목)
나노 전자	에너지용 나노소자	연료전지	바이오연료전지
			극미소 전원용 하이브리드전지
			기타 나노 연료전지(직접에탄올연료전지등)
		태양전지	결정질 실리콘 태양전지
			박막 태양전지(CIGS, CdTe, 비정질 실리콘 등)
			염료감응 태양전지
			유기 태양전지
			기타 태양전지(양자점 태양전지, 텐덤 태양전지, 융합 태양전지 등)
		나노치료제	DDS제제(리포좀, 고분자, 유무기 나노제제)
			광역학치료제
나노 바이오/의료	나노 의약품	나노진단제	체내 진단제(MR조영제, CT조영제 등)
			체외 진단제 (Colloidal gold, 자성나노입자, 형광나노진단제)
	나노 바이오 기기 및 장비	진단기기	생화학진단기기, 면역 진단기기, 분자 진단기기, 세포 조직 진단기기
		분석기장비	생화학분석기장비, 유전자분석기장비, 세포분석기장비, 생물공정기장비
			생물공정장비(DNA/RNA 증폭기(PCR기기), 생체분자 시료추출기)
			나노바이오칩
	나노 화장품	나노화장품	나노소재를 포함한 화장품 (기초화장품, 색조화장품, 바디제품, 헤어제품, 기능성 화장품, 자외선차단 화장품(산화아연, 이산화티타늄, 무기, 고분자 등))
	나노 농수산 식품	나노기능성식품	기능성 식품 (면역강화제, 근육강화제, 골보충제, 수분보조제, 비타민보충제, 혈당보조제, 통증완화보조제, 체력증강제, 다이어트보조제, 미네랄보조제)
			건강보조식품
		사료/비료/농약	사료
			비료(나노셀레늄 용해액 포함 비료, 50나노급 천연미네랄 함유 식물전용 영양제)
			농약(온나노살균수 희석 농약)
	나노 생체삽입소재	임플란트	치과용 임플란트
			외과용 임플란트(스텐트, 골이식제 등)
	의료 및 연구용 소모품	의료 및 연구용 소모품	의료용 소모품(거즈, 봉합사, 카테터, 세포배양모듈 등)
			연구용 소모품(분자생물학 연구용, 생물공정 연구용)

(계속)

대분류	중분류	소분류	세분류(주요 품목)
나노 장비/기기	일반목적 장비용 나노부품	일반 목적 장비용 나노부품	기체여과기용 나노필터(에어컨, 공기청정기, 공기살균기용 항균/탈취 나노필터), 액체여과기용 나노필터(정수기, 이온수기, 가습기, 폐수처리기용 나노필터), 기타필터(진공청소기용 나노필터, 화학나노필터), 액체 나노분리막, 기체 나노분리막
	나노제조 공정장비	나노 패터닝장비	전자빔 리소그래피(electron beam lithography)장비, 극자외선 리소그래피(extreme Ultraviolet lithography)장비, 나노임프린트(nanoimprint)장비, 나노프린팅(nanoprinting)장비, 나노사출(nano injection molding)장비, 레이저 간섭 리소그래피(laser interference lithography)장비, 광리소그래피(optical lithography)장비, 식각(etch)장비, 유도결합플라즈마(inductively coupled plasma)식각장비, 아이온밀링(ion milling)식각장비
		나노 박막장비	도포(deposition)장비, 증착(evaporation)장비, 스퍼터(sputter)장비, 원자층 증착(atomic layer deposition)장비, 에피택시(epitaxy)장비, 전기도금(electro plating)장비, 자기조립(self-assembly)장비, 나노박막 바(bar) 코팅(coating)장비
		나노소재 제조 및 정렬장비	나노점/선(nano dot/wire) 합성(synthesis)장비, 나노점/선(nano dot/wire)성장(growth)장비, 나노소재 분사기(spray), 나노섬유 멜트블론 방식(melt blown spinning)장비, 나노소재 정렬(alignment)장비
		나노 제조장비용 나노부품	광리소그래피용 투과형 마스크(mask), 극자외선 리소그래피용 반사형 마스크, 나노임프린트용 나노몰드(mold) 또는 나노스탬프(stamp), 전자빔발생기, 자외선발생기, 레이저발생기, 플라즈마발생기, 진공장비 부품, 금속 타겟(target), 나노잉크젯헤드
	나노측정 분석장비	나노 화학구조 측정분석장비	X선 광전자 분광기(x-ray photoelectron spectroscopy), 오제 전자분광기(auger electron spectroscopy), 이온산란분광기(ion scattering spectroscopy), 주사오제현미경(scanning auger microscope)
		나노형상/물성 측정분석장비	주사형 전자현미경(SEM, Scanning electron microscope), 투과전자현미경(TEM, Transmission electron microscope), 집속이온빔(FIB, Focused ion beam)장비, 주사형 터널현미경(Scanning Tunneling Microscope), 원자력현미경(Atomic Force Microscopy), 근접장광학계(Near-field Scanning Optical Microscope), 탐침형원자현미경(Scanning Probe Microscope), 정전기력현미경(Electrostatic Force Microscopy), 자기력현미경(Magnetic Force Microscopy), 푸리에변환적외선분광기(FTIR, Fourier transform infrared spectroscopy), 나노원격조정기(nano manipulator), 나노압입시험(nanoindentation test)장비, 나노역학시험(Nanomechanics test)장비
		나노 측정분석 장비용 나노부품	원자력현미경 탐침(probe), 이온빔발생기, 나노액츄에이터(actuator), 적외선발생기

자료 : 산업연구원.

〈부표 2〉 최종제품지향 분류체계(2009)

대분류	중분류	분류코드	소분류
전기전자 (A)	반도체 (A1)	A101	나노 Si 전자소자
		A102	반도체용 나노소재
		A103	탄소나노튜브 전자소자
		A104	스핀전자소자
		A105	센서용 나노소자
		A106	나노 광소자
		A107	화합물기반 나노소자
		A108	나노반도체 공정장비
		A109	열전발전용 나노소자
		A110	압전발전용 나노소자
		A100	기타 달리 분류되지 않는 반도체 나노소재/소자
	디스플레이 (A2)	A201	디스플레이용 나노소재
		A202	디스플레이용 나노소자
		A203	나노 측정/검사 장비
		A204	나노 디스플레이 제조장비
		A205	나노 광학부품/소재
		A200	기타 달리 분류되지 않는 디스플레이 나노소재/소자 및 장비
	전지 (A3)	A301	리튬이온 이차전지
		A302	전력저장용 NaS전지
		A303	전력저장용 Redox Flow전지
		A304	이차전지 멤브레인소재
		A305	박막형 이차전지
		A306	고분자 전해질 연료전지
		A307	고체 산화물 연료전지
		A308	직접탄소연료전지
		A309	바이오연료전지
		A310	슈퍼커패시터
		A311	금속공기전지
		A312	극미소 전원용 하이브리드 전지
		A300	기타 달리 분류되지 않는 전지 나노 전지
	기타 전기전자(A4)	A000	기타 달리 분류되지 않는 나노 전기전자제품

(계속)

대분류	중분류	분류코드	소분류
기계 · 소재 (B)	분말/금속재료 (B1)	B101	나노입자/분말
		B102	나노선/막대/튜브
		B103	나노판 그래핀소재
		B104	나노박막
		B105	나노다공체
		B106	구조용 나노융합소재
		B107	광학용 나노융합소재
		B108	유연전자응용 나노융합소재
		B109	전극용 나노소재
		B100	기타 달리 분류되지 않는 나노융합소재
	자동차/수송기기 (B2)	B201	경량 고강도 나노복합소재
		B202	나노융합 방열소재
		B203	전자파 차폐소재
		B204	고기능성 타이어소재
		B205	나노박막 코팅소재
		B205	배기가스 정화 촉매재
		B206	항공 우주용 나노소재/소자
		B207	조선용 고기능성 나노소재/소자
		B200	기타 달리 분류되지 않는 자동차/수송기기용 나노융합소재
	정밀기계 (B3)	B301	나노박막 증착장비
		B302	나노선 합성장비
		B303	나노입자 합성장비
		B304	나노패터닝 장비
		B305	초소형 가공조립 장비
		B306	초소형 구동장치
		B307	나노마이크로 기계 시스템
		B308	자기조립 기반 공정장비
		B309	나노식각장비
		B310	나노소자 프린팅 장비
		B311	임프린팅 장비
		B312	나노화학/구조분석장비
		B313	SPM기반 융합장비
		B314	나노 광융합 측정장비

〈계속〉

대분류	중분류	분류코드	소분류
기계 · 소재 (B)	정밀기계 (B3)	B315	나노물성 측정/분석 장비
		B300	기타 달리 분류되지 않는 나노기반 합성/측정/분석 장비
	기타 기계 · 소재 (B4)	B000	기타 달리 분류되지 않는 기계 · 소재
화학 · 섬유 (C)	정밀화학 (C1)	C101	도료/코팅제
		C102	첨가제
		C103	계면활성제/윤활제
		C104	유무기재료 및 촉매
		C105	감광재료
		C106	나노응용기술
		C107	기타 정밀화학소재
		C100	기타 달리 분류되지 않는 나노정밀화학 소재 및 제품
	섬유제품 (C2)	C201	고기능성 나노섬유
		C202	스마트 나노섬유
		C200	기타 나노섬유 제품
	고분자재료 (C3)	C301	개질기술
		C302	중합반응/공정기술
		C303	나노융합 고분자 복합재료
		C304	특수 기능성 소재
		C305	고분자 가공기술
		C300	기타 나노융합 고분자 재료
	기타 화학 · 섬유 (C4)	C000	기타 달리 분류되지 않는 나노기술을 이용한 섬유화학제품
에너지 · 환경 (D)	신재생에너지 (D1)	D101	염료감응 태양전지
		D102	유기태양전지
		D103	박막태양전지
		D104	양자점 태양전지
		D105	화합물계 태양전지
		D106	수소에너지 생산 및 저장
		D107	극미소 전원용 나노소재
		D100	기타 달리 분류되지 않는 나노기술을 이용한 신재생에너지

〈계속〉

대분류	중분류	분류코드	소분류
에너지 · 환경 (D)	에너지 효율 향상 (D2)	D201	스마트 윈도우용 나노박막
		D202	열차폐 코팅기술
		D203	산업용 초단열 나노소재
		D204	나노다공체 단열소재
		D205	열관리용 나노융합소재
		D200	기타 달리 분류되지 않는 나노기술을 이용한 에너지효율 향상제품
	수질/대기 (D3)	D301	폐수정화용 흡착분리 나노소재
		D302	배기가스 정화용 나노촉매
		D303	미량유해물질 제거용 환경촉매
		D304	기상 유해물질 처리용 나노흡착제
		D305	용존광물 회수용 나노 다공성 소재
		D300	기타 달리 분류되지 않는 나노기술을 이용한 수질/대기 제품
	기타 에너지 · 환경 (D4)	D000	기타 달리 분류되지 않는 나노기술을 이용한 에너지 · 환경 제품
바이오/의료 (E)	진단 및 치료 (E1)	E101	진단기기 및 의료분석기기
		E102	조영제
		E103	나노 약물 및 약물 전달체
		E104	나노기술이 응용된 임플란트
		E105	위생학, 의학, 수의학 등에 활용되는 나노제품
		E100	기타 달리 분류되지 않는 나노기술을 이용한 바이오/의료 제품
	소재/소자/ 분석 (E2)	E201	바이오 칩 및 센서
		E202	나노바이오 분석기기
		E203	나노바이오소재 및 생체모방
		E204	U-헬스케어 및 나노바이오정보
		E200	기타 달리 분류되지 않는 나노기술을 이용한 바이오 소재/소자 분석
	농.축.산/식품 (E3)	E301	농업, 임업, 축산, 원예, 어업 등
		E302	나노첨가물이 들어간 가루반죽, 제빵류
		E303	육처리, 가공류 및 어류 가공식품
		E304	나노기술이 응용된 담배제품
		E305	기타 나노기술이 적용된 식료품
		E300	기타 달리 분류되지 않는 나노기술을 이용한 농.축.산/식품

〈계속〉

대분류	중분류	분류코드	소분류
바이오/ 의료 (E)	기타 바이오/의료 (E4)	E000	기타 달리 분류되지 않는 나노기술을 이용한 바이오/의료 제품
생활용품 (F)	의류/신발류/ 장신구류 (F1)	F101	의류/모자
		F102	신발류
		F103	브러시, 장신구류
		F104	가구 및 침구류
		F100	기타 달리 분류되지 않는 나노기술을 이용한 의류/신발류/장신구류
	건강/오락 (F2)	F201	나노기술을 이용한 인명구조, 소방 관련 제품
		F202	나노기술을 이용한 스포츠/게임 관련 제품
		F200	기타 나노기술을 이용한 건강/오락 제품
	기타 생활용품(F3)	F000	기타 은나노 기술을 이용한 생활용품

자료 : 한국산업기술평가관리원(2011).

정책자료 2012-169

나노융합기술의 산업화 촉진 전략

- 나노융합산업 발전단계 모니터링 시스템
구축 전략을 중심으로 -

인쇄일 2012년 11월 26일

발행일 2012년 11월 28일

발행인 송병준

발행처 산업연구원

등 록 1983년 7월 7일 제6-0001호

주 소 130-742 서울특별시 동대문구 회기로 66

전 화 02-3299-3114

팩 스 02-963-8540

문 의 자료·편집팀 02-3299-3151

인쇄처 태광인쇄

값 8,000원

ISBN 978-89-5992-469-1 93320

내용의 무단 복제와 전재 및 역재를 금합니다.