

## 한국의 나노기술 분야에서 핵심 연구영역 도출에 관한 연구

— 국가 연구개발사업 수준에서 기술군집분석의 적용<sup>1)</sup> —

### A Study on Selecting the Key Research Areas in Nano-technology Field in Korea: An Application of Technology Cluster Analysis in National R&D Program

이 용 길\* · 이 세 준\*\* · 이 재 영\*\*\*

#### 〈目 次〉

I. 서론	III. 나노기술 분야의 핵심 연구영역 도출
II. 기술군집분석의 개념 및 기존 연구	IV. 결론 및 향후 과제

#### <Abstract>

This paper deals with the methods for selecting the key research areas, which fit for the large, multi-disciplinary, and long-term programs by making use of Technology Cluster Analysis. This method is applied to nano-technology field at the level of national R&D program. 56 nano-technologies are analyzed and grouped into three main clusters based on the survey data from 180 experts. Three main clusters are ① nano-materials related cluster, ② nano-device related cluster, and ③ nano-bio related cluster. These three clusters are coincided with the focused areas of nano-technology in Korea. Each cluster is analyzed in view of its competence position.

Key Words: Technology Cluster Analysis, Key Research Areas, Nano-Technology, Technological Distance, Hierarchical Dendrogram,

핵심어: 기술 클러스터 분석, 핵심 연구영역, 나노기술, 국가연구개발사업, 기술군집분석

1) 본 논문은 한국과학기술기획평가원(KISTEP)의 정책연구 ‘국가연구개발사업 추진을 위한 기술조사 결과의 활용방안 연구’에 기반을 두고 있음

\* 한국과학기술연구원(KIST), 연구정책팀, 연구원, E-mail: yonggil@kist.re.kr

\*\* 한국과학기술연구원(KIST), 연구정책팀, 선임연구원, E-mail: sjleel@kist.re.kr

\*\*\* 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 연구성과실, 책임연구원, E-mail: jylee@kistep.re.kr

## I. 서론

21세기 국가경쟁력의 제고를 위해 '선택과 집중 전략'에 의한 한정된 자원의 효과적 배분 및 활용이 요구된다. 미래 경제사회의 예측과 시장전망, 기술동향과 과학기술 수준 등을 종합적으로 고려하여 세계 최고 수준의 경쟁력 확보가 가능한 기술을 집중적으로 지원할 필요가 있다. 이를 위하여 연구개발투자와 노력을 집중해야 할 핵심 연구영역을 선정할 필요가 있다. 이러한 핵심 연구영역은 우리나라의 산업의 경쟁력을 강화하는데 필수적으로 중요하고 미래 국가 차원의 수요가 큰 기술이어야 한다. 또한, 필요 기술을 모두 망라하는 것이 아니라 동원할 수 있는 인적·물적 자원과 성공 잠재력 등을 종합적으로 고려하여 전략적으로 선택된 기술이어야 하며 기여하는 산업 분야가 2개 이상일 경우 공통적으로 쓰일 수 있는 기술 등의 성격을 가져야 한다(한국과학기술기획평가원, 2002). 선정된 핵심 연구영역 중심의 '선택과 집중' 전략을 수행함으로써 연구개발 자원의 효율적 배분 및 활용을 도모할 수 있다.

한편, 연구개발사업의 효과적 추진을 위한 다양한 기술예측에 대한 연구가 진행되어 왔지만, 기술의 복합화 및 융합화 추세를 고려한 미래 유망기술의 예측 및 도출에 적용하기는 쉽지 않다. 또한 기 진행된 기술예측 결과를 활용하여 핵심 연구영역을 도출하고 연구기획에서 이를 활용하는 일련의 과정에 대한 체계적인 방법론의 개발 역시 미흡하다. 본 연구에서는 기 진행된 주요 기술예측 결과, 특히 나노기술 분야의 기술예측 및 기술조사 결과를 활용하여 나노기술 분야에서의 핵심 연구영역을 도출하고자 하였다. 핵

심 연구영역 선정 방법론으로서 기술군집분석 방법론을 제시하였고, 이를 국가 연구개발사업 수준에서 적용하여 핵심 연구영역을 도출하였다.

본 연구에서 다루고자 하는 핵심 연구영역 선정 방법론은 목적 지향적 기술분류/ 전문가 설문조사/ 기술군집분석 등의 단계로 구성되어 있다. 특히, 본 연구에서 초점을 두는 것은 대형 연구과제의 기획이나 기술 분야별 선택적 지원 정책 등에 활용하기 위하여 기술변화의 패턴이 유사한 세부 기술들을 하나의 그룹으로 묶어내는 기술군집분석(technology cluster analysis)과 관련되어 있다. 기술혁신과정에서 발생하는 기술변화의 독특한 특성을 고려한 기술군집분석 방법론을 적용하여 국가 연구개발사업과 개별 연구기관의 전략적 연구분야를 선정할 수 있는 기초를 마련하고자 하였다. 또한 위의 핵심 연구영역 선정 방법론과 기술군집분석 방법론을 나노기술 분야에 적용하여, 향후 우리나라가 추진해야 할 나노기술의 핵심 연구영역을 도출하고자 하였다.

II장에서는 기술군집분석의 개념 및 기존 연구를 다루었다. III장에서는 II장에서 제시된 기술군집분석 방법론을 나노기술 분야에 적용하여, 향후 우리나라가 추진해야 할 나노기술의 핵심 연구영역을 도출하였다. IV장에서는 나노기술에 대한 군집분석의 의의 및 정책적 함의에 대하여 정리하였다.

## II. 기술군집분석의 개념 및 기존 연구

기술군집분석은 기술간 거리 또는 연관도를 기준으로 일정 기준 이상의 유사성을 갖는 기술들을 하나의 그룹으로 군집화(clustering)하는 방법이다. 기술간 거리 또는 유사성을 측정하는 방법은 논문과 특허, 연구자

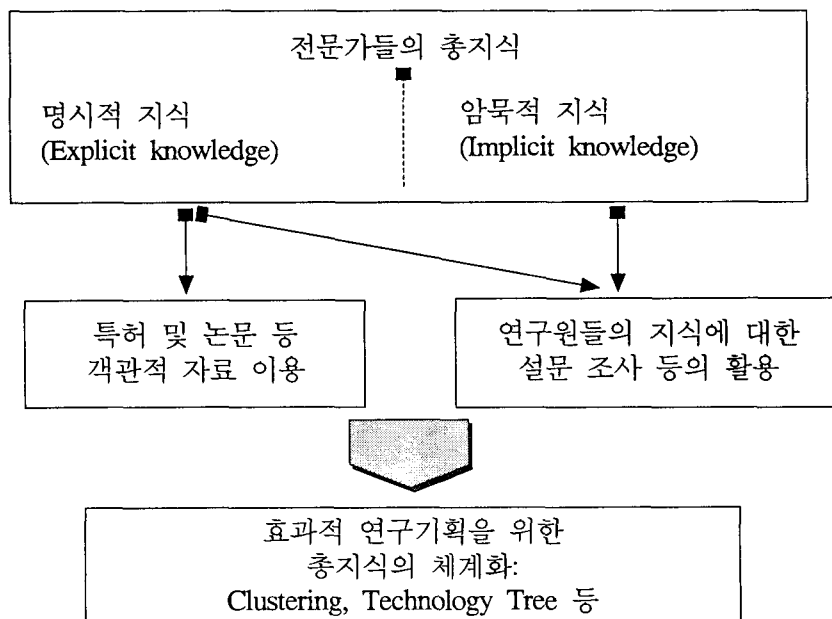
정보 등의 객관적 데이터를 활용하는 방법과 연구자들의 지식 기반을 끌어 낼 수 있는 설문 문항으로 구성된 설문 조사를 바탕으로 한 방법 등이 있을 수 있다. 이러한 데이터를 활용하여 기술군집분석을 수행하는 과정은 다음 그림과 같이 나타낼 수 있다.

한편, 이렇게 도출된 데이터에 근거하여 기술거리 (technological distance)가 측정되기 위해서는 기술공간 (technological space)이 잘 정의되어야 한다. 기술거리 측정을 통하여 기술간 근접성을 분석한 연구 사례인 Jaffe(1986), Verspagan(1997), 윤윤중(1999) 등을 살펴 보면, 이들은 특허 데이터를 통하여 산업간 기술거리를 측정하고 기술과급의 경로를 규명하는데 주력하였다. 하지만 이들 연구는 방법론이 가진 다양한 강점에도 불구하고 산업 수준에서 훨씬 심화·분류된 세부 기술간 기술거리 측정에 활용되기에는 무리가 있다. 따라서 산업 수준에서 심화·분류된 세부기술 간

거리 또는 유사성 측정에는 별도의 방법이 필요한데, 가장 효과적인 것은 전문가들이 세부 기술에 대하여 가지고 있는 지식 기반에 대한 설문조사를 활용하는 것이다.

전문가 설문조사를 활용하여 기술군집분석을 수행한 연구사례로는 Ronde(2001)와 이용길 외(2002)가 있다. Ronde(2001)는 프랑스의 생명공학 분야의 세부 기술 98개를 대상으로 설문조사를 수행하였고, 이에 대한 군집분석을 수행하여 세 개의 주요 기술그룹을 도출한 바 있다. 이용길 외(2002)는 개별 연구기관의 전략적 연구영역을 도출하기 위하여 약 200여개의 기술에 대한 설문조사를 바탕으로 7개의 주요 기술그룹을 도출하였다. Ronde(2001)의 연구가 국가적 수준에서 프랑스의 생명공학의 핵심 연구영역 도출에 관한 연구라면, 이용길 외(2002)는 Ronde(2001)의 모형을 개별 연구기관, 특히 다분야를 연구하는 공공연구기관

〈그림 1〉 기술군집분석의 주요 개념



의 전략적 연구영역을 도출하기 위한 모형으로 변형하여 주요 기술그룹을 도출한 연구이다. 본 연구는 Ronde(2001)의 연구와 대체로 가까운 연구로서 국가적 연구개발 사업의 수준에서 이제 신생기술로 각광받고 있는 나노기술 분야에서의 주요 기술그룹을 도출하였다.

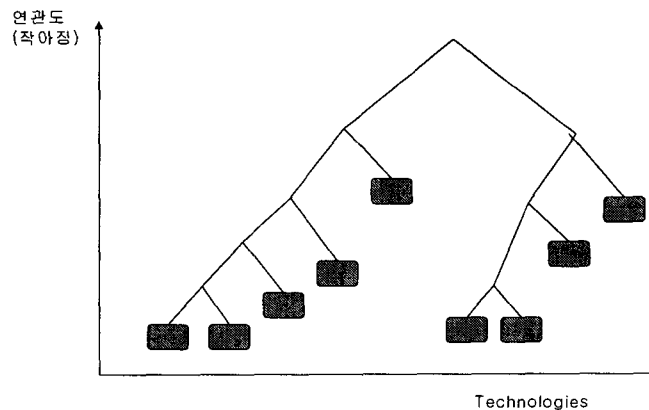
한편, 본 연구가 위 연구들에서 한걸음 더 나아간 점은, 위 연구들이 기술그룹을 도출함에 있어서 평면적으로 결과들을 제시하였다면, 본 연구에서는 세부 기술간 연관도를 하나의 덴드로그램으로 나타내어 종합적으로 보여 주고자 한데 있다. 이를 위하여 각 기술간 덴드로그램을 <그림 2>처럼 표현함으로써 전체 기술의 종합적 연관관계를 나타내었다.

### Ⅲ. 나노기술 분야의 핵심 연구영역 도출

미국, 일본, 유럽 등에서 나노기술 개발계획을 활발히 추진함에 따라 우리나라에서도 2001년 7월 확정된

‘나노기술종합발전계획’에 따라 본격적인 연구개발을 추진하고 있다. 이 계획에 따르면, 나노기술에서 세계적인 경쟁력 확보가 가능한 분야에 선택과 집중을 한다는 원칙 하에 나노소재, 전자소자, 컴퓨터기억장치, 분자논리소자 등에 주력하기로 하였다. 각 연구기관 역시 신개념 나노스핀소자기술, Bio-microprocessor 요소기술 등에 대한 집중 개발을 위해 노력하고 있으며, 또한 향후 나노기술연구의 국가적 구심 역할을 담당할 나노팜 등을 유치하여 노력을 경주하고 있다. 이때, 나노기술 및 이와 연관된 IT, BT, MEMS 등의 기술들을 요소기술 수준에서 분류하여 기술혁신패턴이 유사한 그룹으로 묶어서 기술체제도를 작성하는 것은 나노기술정책 수립 및 향후 연구기획의 수행시 좋은 근거 자료가 될 수 있다. 나노기술 및 그와 관련이 있는 기술(IT, BT, MEMS, Mechatronics 등) 들에 대하여 요소기술 수준의 분류를 한 후, 기술혁신패턴이 유사한 기술그룹을 도출하고 각 기술그룹의 특징 등에 대한 분석을 통하여 연구사업의 효율적 추진이 가능하기 때문이다.

<그림 2> 세부 기술간 덴드로그램



### 1. 목적 지향적 나노기술의 분류

본 연구 목적이 국가 연구개발사업 수준에서 나노 기술 분야의 핵심 연구영역 도출임을 유의하여, 한국의 나노기술개발체제 또는 나노기술혁신체제(Nano-technology Innovation System)의 잠재적 연구역량(Potential Competence)이 포괄할 수 있는 세부 나노기술에 대한 광범위한 리스팅 작업이 이루어져야 한다. 이를 위해서는 국가적 수준에서 진행된 나노기술에 대한 예측·분석 작업에 대한 포괄적인 검토를 통하여 본 연구의 목적에 적합한 나노기술 리스트가 도출되어야 할 것이다.

국가적 수준에서 진행된 나노기술에 대한 예측·분석 작업은 우선 2001년 7월 과기부, 산자부 등 관련 정부 부처 공동으로 입안한 『나노기술 종합발전 계획』의 <부록 3>에 제시된 ‘110개의 세부기술분야 분석’(이하 ① ‘110개의 세부기술분야 분석’)을 들 수 있다. 이후 2001년 12월, 과기부와 KISTEP이 공동으로 위의 ‘110개의 세부기술분야 분석’과 내용이 일부 중복되면서 더욱 압축된 67개 나노기술에 대한 상세 기술분석을 실시하여 56개 우선 순위 기술을 도출한 내용을 담아 발간한 『국가과학기술분야 우선 순위 설

정』(이하 ② ‘나노기술 분야의 56개 우선 순위 기술’)이 있다. 그리고 마지막으로 국가과학기술위원회와 관련 정부 부처 공동으로 작성 중에 있는 국가과학기술지도(National Technology Road Map) 작업에서 비전 I의 ‘정보-지식-지능화 사회’와 비전 IV의 ‘기반 및 주력산업의 가치창출’ 등에서 언급되고 있는 나노 기술 리스트(이하 ③ ‘NTRM 나노기술 리스트’)가 있다.

하지만 ③ ‘NTRM 나노기술 리스트’의 경우 그 기술 리스트의 내용이 ①과 ②에 모두 포함되어 있고 분류의 체계성이 다소 떨어진다고 판단된다. 또한 ① ‘110개의 세부기술분야 분석’은 광범위하고 잘 분류된 내용에도 불구하고 연구의 효율성 측면에서 열거된 기술의 개수가 너무 많고, 우리나라의 기술력이 절대적 열위에 있는 기술들이 다수 포함되어 있기 때문에 본 연구에서 그대로 채택하는 것은 분석상 어려움이 따른다. 반면에 ② ‘나노기술 분야의 56개 우선 순위 기술’은 전략적 중요도, 기술개발 수준 등 6개의 세부 전략기준을 적용하여 56개의 우선 순위 기술을 도출한 것으로 본 연구의 분석 대상으로 적합하다.

나노기술 리스트의 도출 과정 및 포괄 범위 그리고

〈표 1〉 56개의 우선 순위 기술 도출을 위한 세부 전략기준

세부 전략기준	배점
전략적 중요도	30
기술개발 수준	15
기술개발 가능성	20
공공성	5
경제적 파급효과	20
기술 및 사회적 파급효과	10
합계	100

자료: 한국과학기술평가원 & 과기부 (2001) 인용.

연구의 효율성 측면에서 ‘나노기술 분야의 56개의 우선 순위 기술’을 분석 대상 기술로 선정하는 것은 정책적으로 많은 시사점을 던져 줄 수 있다. 국가 정책의 기반이 되는 나노기술 리스트를 사용하여 군집 분석을 수행함으로써, 연구자들에게 세부 나노기술간 유사성에 관한 정보를 줄 수 있고, 정책 결정자에게는 과제의 선정·관리와 관련된 정보를 줄 수 있다 (56개의 기술 목록은 부록을 참조).

## 2. 전문가 설문조사

### 1) 설문 내용의 구성

설문 내용은 응답자의 효율적인 답변을 유도할 수 있어야 하고, 응답률을 높일 수 있는 방향으로 구성되어야 한다. 설문을 구분할 수 있는 방법은 여러 가지가 있으나 가장 중요한 요소인 응답자의 답변 형태에 따라 ① n개 중 선택법(n point likert scale method)과 ② 공표기 방법(co-nomination method)으로 구분할 수 있다. n개 중 선택법의 예는 Ronde (2001)의 4지 선다형(4 point likert scale method)을 사용한 설문이다. 이 방법을 이용하여 설문조사를 할 경우, 응답자가 기술 하나 하나에 체크를 해야 하는 번거로움이 있으므로 우편설문에는 적합할 수 있으나, e-mail 설문에는 적합하지 않다.

공표기형 방법은 해당 질문에 대응하는 답을 모두 표기하는 방법으로서 관련 분야의 전문가 풀의 구성 등에 활용할 수 있는 방법이다(Nedeva et al., 1995). 예컨대, 다수의 전문가들을 대상으로 “그 분야의 \*\*에 관한 전문가는 누구인가?”와 같은 질문에 대해 응답자는 여러 명을 답변으로 제시할 수 있다. 공표기형 방법의 경우, 연구영역간 유사성을 나타내는 학술논문의 핵심 단어의 공유 정도를 분석하는 Co-occurrence 방법과 논리적 구조가 거의 비슷하고 볼 수 있다. 이용길 외(2002)에서 사용된 설문도 위의 한 예이다.

위 방법의 답변 형태는 간단하기 때문에 e-mail 설문에서 효과적으로 사용될 수 있으며, 본 연구에서도 위 형태의 설문을 사용하고자 한다.

### 2) 설문 대상의 선정

KISTEP이 보유하고 있는 나노기술 전문가 풀의 600여명을 대상으로 설문 조사를 수행하였다. 위 600여명은 산업계 90여명, 연구계 150여명, 학계 360여명으로 구성되어 있다. 전문가의 수가 학계에 치우친 측면이 있으나 나노기술이 아직까지는 신생기술이기 때문에, 산업계와 연구계보다는 학계에 전문가의 수가 더 많다는 판단을 할 수 있다. 하지만, 산업계와 연구계에 대한 설문 조사 강화로 설문 응답을 적극적

〈표 2〉 공표기(Co-nomination) 형 설문

<p>다음의 기술목록에서 본인의 전공기술 및 인접기술을 체크하여 주십시오.</p> <p>※ 전공기술 및 인접기술이란</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 프로젝트 수행과 논문 발표 경험이 있는 분야</li> <li>○ 논문과 보고서를 읽고 이해할 수 있는 수준의 지식을 보유하고 있는 분야</li> <li>○ 현재는 본인과 무관하지만 향후 세부과제수행 등의 형태로 공동연구 수행이 가능한 분야</li> </ul> <p>* 두 개 이상 해당되면 전공기술 및 인접기술이라 할 수 있습니다.</p>
---

으로 확보하고자 하였다. 위의 600여명의 전문가에게 e-mail 설문을 배포하여 총 180부의 설문 응답을 확보하였다. 180부의 설문 응답은 56개의 분석 대상 기술의 3배에 해당하는 양으로서 기술군집분석을 수행하기에 충분한 양의 설문 응답이라고 판단된다.

3) 설문 조사의 주요 결과

총 설문 응답자(180명)의 17.8%(32명)은 산업계, 25.6%(46명)는 정부출연연구기관, 56.8%(102명)은 학계 출신으로 구성되어 있다. 이러한 비율 분포는 국내 나노기술의 연구 현황 인력에 대한 분포를 비교적 잘 대변해 주는 것으로 표본의 대표성을 가지는 것으로 판단할 수 있다.

17개의 기업, 12개 연구기관, 43개의 대학의 연구자들이 설문에 응답하여 광범위한 공공/기업 연구기관의 연구원들이 참여하였음을 알 수 있다. 물리학, 화학, 생물학, 의학, 화학공학, 전자공학, 기계공학, 환경공학 등 나노기술을 둘러싸고 있는 전 영역의 연구자

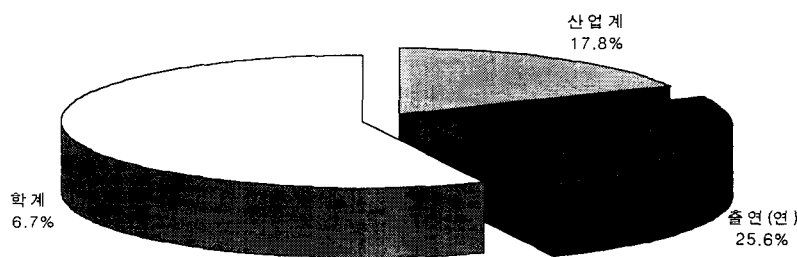
들이 골고루 설문 응답에 참여하였다.

응답자들은 자신의 전공기술 또는 인접기술로 56개 중 평균 7.27개 정도를 선택함으로써 13% 정도를 자신이 잘 알고 있는 기술로 판단하고 있다. 이를 산·학·연으로 구분해서 살펴보면 산업계 연구자는 평균 7.34개, 학계 연구자는 평균 6.94개, 출연(연) 연구자는 평균 7.98개를 자신의 전공기술 또는 인접기술로 선택하고 있다. 출연(연) 연구자는 학계 연구자보다 평균 1개 정도의 기술을 더 체크하였음을 알 수 있다.

각 기술당 평균 체크 수는 23회로써, 개별 기술은 평균적으로 180명의 연구자 중 23명(12.8%)의 관련 전공자를 보유하고 있다고 판단할 수 있다. 각 기술별 관련 전공자 수를 다음 표와 같이 나타낼 수 있다.

관련 전공자를 많이 보유한 상위 15개 기술은 나노분말 소재, 계면 혹은 표면의 나노구조화 기술, 화학공정, 나노 측정, 나노정보저장기술, 양자선/양자점 등이며 자세한 내용은 다음 표와 같다. 상위 15개 기술은 평균 39명(21.7%)의 관련 전공자를 보유하고 있다.

〈그림 3〉 설문 응답의 분포



〈표 3〉 연구자의 전공·인접 기술 수의 평균값

구분	전공·인접 기술 수의 평균 (개)
산업계	7.34
학계	6.94
연구계	7.98
종합	7.27

〈표 4〉 기술별 관련 전공자 수

기술 번호	전공자 수 (명)	기술 번호	전공자 수 (명)	기술 번호	전공자 수 (명)	기술 번호	전공자 수 (명)
1	31	15	41	29	31	43	8
2	39	16	23	30	30	44	5
3	32	17	23	31	16	45	27
4	21	18	61	32	37	46	16
5	30	19	8	33	14	47	25
6	26	20	34	34	7	48	24
7	22	21	24	35	29	49	10
8	13	22	58	36	35	50	4
9	12	23	30	37	9	51	3
10	32	24	19	38	8	52	11
11	27	25	55	39	27	53	29
12	19	26	35	40	13	54	8
13	21	27	13	41	28	55	18
14	28	28	35	42	11	56	14
						평균	23

〈표 5〉 전공자가 많은 상위 15개 기술

기술 번호	기술명	전공자 수(명)
18	나노분말 소재	61
22	계면 혹은 표면의 나노구조화 기술 (금속, 세라믹, 고분자 소재)	58
25	화학공정 (sol-gel, 전기화학, 콜로이드 공정 등)	55
15	나노 측정 (100nm 이하, synchrotron 포함)	41
2	나노정보저장기술	39
32	양자선/양자점	37
26	에너지용 소재 (에너지 발생 및 저장에 필요한 소재, 태양전지 제외)	35
28	기공 소재 (환경용, 화학산업용)	35
36	자기조립 공정	35
20	나노 패터닝 공정 (리소그래피, 식각 공정)	34
3	나노 바이오 칩 및 생물소재	32
10	원자/분자 레벨 물질 조작	32
1	나노 포토닉스 (양자점, 양자선 제외)	31
29	화학 촉매용 나노소재	31
5	나노 바이오 기능성 물질 (나노 바이오 촉매 포함)	30
평균		잘못된 계산식39



전공자가 많은 기술이라는 것은 기술에 대한 체크 빈도가 높다는 것을 의미하고, 특히 그것이 타 기술과 공표기(co-nomination)된 빈도가 많을수록 도출된 기술 군집에서 핵심적 위치에 있음을 의미한다.

관련 전공자를 적게 보유한 하위 15개 기술은 나노 중시계 측정, 리소그래피 장비, 의약품 재형 개발, 나노 연결 논리, 고주파 전자 소재, 나노 성격의 단일 칩 내의 기능 소자군 등이며 자세한 내용은 다음 표와 같다. 하위 15개 기술은 평균 8.7명(5.4%)의 관련 전공자를 보유하고 있다. 전공자가 적은 기술이라는 것은 기술에 대한 체크 빈도가 낮다는 것을 의미하고, 특히 이들 기술이 타 기술과 공표기(co-nomination)된 빈도수가 작다면 이들 기술은 주요 기술군집에 포함되지 않고 잔여기술(residual technology)로 존재할 가능성이 높다는 것을 의미한다.

### 3. 군집분석

전공자 180명이 56개의 나노기술에 대하여 응답을

했기 때문에, 우리는 0과 1로 구성된 180×56의 전문가-기술 행렬(expert-technology matrix) X를 만들 수 있다. X 행렬은 56개의 각 나노기술들에 대하여 180명의 전문가가 가지고 있는 지식을 이진수(binary value) 형태로 나타낸 행렬로 바라볼 수 있다. 개별 기술 i와 j의 연관관계를 자세히 살펴보기 위하여 X 행렬에서 i 기술부분의 칼럼과 j 기술부분의 칼럼을 떼어내 I와 J로 표기하여 분석을 수행할 수 있다(자세한 방법은 이용길 외(2002)를 참조).

전문가-기술 행렬에서 떼어낸 각각의 기술 부분의 칼럼들로부터 근접성 지수(proximity index)를 정의하고 이 지수를 기준으로 계층적 군집분석(hierarchical cluster analysis)을 수행하였다. 근접성 지수는 다음과 같이 정의된다.

$$P(i, j) = \left( \frac{I \cap J}{I \cup J} \right)$$

I ∩ J는 두 기술을 모두 잘 알고 있는 전문가의 수이고 I ∪ J는 두 기술 중 하나 이상을 잘 알고 있는 전

〈표 6〉 전공자가 적은 하위 15개 기술

기술 번호	기술명	전공자 수(명)
51	나노 중시계 측정	3
50	리소그래피 장비 (장비 국한)	4
44	의약품 재형 개발	5
34	나노 연결 논리	7
54	고주파 전자 소재	8
43	나노 성격의 단일 칩 내의 기능 소자군	8
38	하드디스크 TMR 소자	8
19	분자 기계	8
37	나노소자 논리/모사	9
49	나노 광학기	10
52	양자 컴퓨터 소자	11
42	광학 공정 장비 (반도체, 공정 위주)	11
9	가변 파장 소자	12
40	분자 소자	13
27	원자분자 모사 또는 계산	13
평균		8.7

184 한국의 나노기술 분야에서 핵심 연구영역 도출에 관한 연구

문가의 수이다. 근접성 지수 P는 정의에 따라 0과 1 사이의 값이며 P가 1에 가까울 수록 두 기술간 유사성이 높고 0에 가까울수록 유사성이 낮다고 볼 수 있다. 그리고 X 행렬에 대하여 근접성 지수를 기준으로 계층적 군집분석(hierarchical cluster analysis)을 수행하면 n개의 기술들을 몇 개의 주요 그룹으로 분류해 낼 수 있게 된다. 56개의 기술에 대하여 180명의 전문가 응답을 확보하였기 때문에 전문가-기술 행렬(180×56 matrix)을 구성한 후, 통계 프로그램을 이용하여 계층적 군집분석을 수행하였다.

노 바이오 센서 및 인공감각이 근접성 지수가 가장 가까워 먼저 군집화되고, 다음 기술 18(나노분말 소재)과 기술 28(기공 소재: 환경용, 화학산업용)이 군집화되는 등 <그림 4>의 덴드로그램처럼 계층적 군집화 과정을 나타낼 수 있다. 근접성 지수가 가까운 상위 15쌍의 근접성 지수는 다음 표와 같다. 나노분말 소재를 중심으로 한 관련 기술들이 상위에 랭크되어 있으며, 나노바이오, 나노 포토닉스 관련 기술들이 그 다음에 위치하고 있다. 여기에서 근접성 지수가 0.439라는 것은 I와 J 기술 중 하나 이상 알고 있는 사람과 I와 J를 모두 알고 있는 사람의 비율을 의미한다.

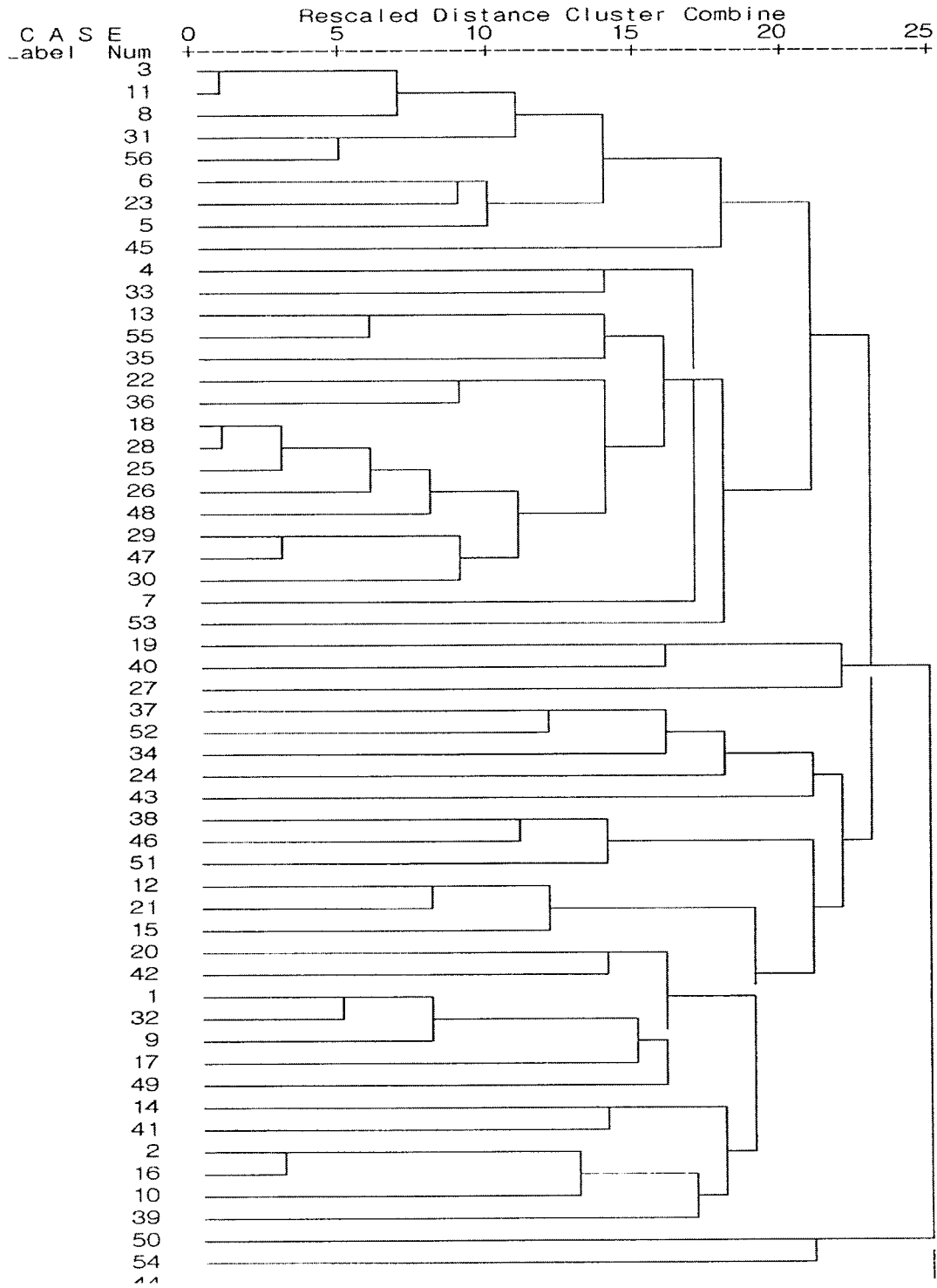
4. 군집분석의 결과

기술 3(나노 바이오 칩 및 생물소자)과 기술 11(나

<표 7> 상위 15쌍의 근접성 지수

기술쌍				지수
번호	기술	번호	기술	
3	나노 바이오 칩 및 생물소자	11	나노 바이오 센서 및 인공감각	0.439
18	나노분말 소재	28	기공 소재 (환경용, 화학산업용)	0.433
18	나노분말 소재	25	화학공정 (sol-gel, 전기화학, 콜로이드 공정 등)	0.432
29	화학 촉매용 나노소재	47	오염 제거 기술 (소재, 기구 포함)	0.400
18	나노분말 소재	26	에너지용 소재 (에너지 발생 및 저장에 필요한 소재, 태양전지 제외)	0.391
2	나노정보저장기술	16	고밀도 기록용 소재	0.390
25	화학공정 (sol-gel, 전기화학, 콜로이드 공정 등)	28	기공 소재 (환경용, 화학산업용)	0.364
31	나노 생체 모방형 소재	56	생체용 단백질 접합체	0.364
3	나노 바이오 칩 및 생물소자	8	나노바이오 거동 분석	0.364
1	나노 포토닉스 (양자점, 양자선 제외)	32	양자선/양자점	0.360
13	수소 저장	55	나노 섬유 소재	0.345
1	나노 포토닉스 (양자점, 양자선 제외)	9	가변 파장 소자	0.344
26	에너지용 소재 (에너지 발생 및 저장에 필요한 소재, 태양전지 제외)	28	기공 소재 (환경용, 화학산업용)	0.321
8	나노바이오 거동 분석	11	나노 바이오 센서 및 인공감각	0.290
9	가변 파장 소자	32	양자선/양자점	0.289

<그림 4> 군집분석의 덴드로그램



〈표 8〉 3개의 주요 기술군집

기술군집	기술 번호	개수
A. 나노소재 관련 군집	4, 33, 13, 55, 35, 22, 36, 18, 28, 25, 26, 48, 29, 47, 30, 7, 53	17
B. 나노소자 관련 군집	12, 21, 15, 20, 42, 1, 32, 9, 17, 49, 14, 41, 2, 16, 10, 39	16
C. 나노바이오 관련 군집	3, 11, 8, 31, 56, 6, 23, 5, 45	9

나노기술리스트에 대한 기술군집분석의 결과, 42개의 개별 기술들이 그룹화되어, A. 나노소재 관련 군집, B. 나노소자 관련 군집, C. 나노바이오 관련 군집 등 3개의 주요 기술군집이 도출되었다.

나머지 14개의 기술들은 2개 또는 3개의 소그룹으로 묶여서 존재하거나 그룹화되지 않은 개별기술로 존재하고 있다. 3개의 주요 군집으로 그룹화되지 않은 잔여 기술(Residual Technology)은 아래 표와 같다. 14개의 잔여기술의 대부분은 전공자 수가 적은 하위 15개 기술리스트에 포함되는 기술들로서, 이들이 그룹화되

지 않은 가장 중요한 이유는 ①전공자 수가 적고 ② 공표기(co-nomination) 된 횟수도 적기 때문이다. 나노 접합과 스핀소자는 전공자 수가 적은 기술리스트에 포함되지는 않았지만 관련 전공자 수가 역시 적은 편에 속하며, 비슷한 수준의 다른 기술과 비교할 때 이 분야의 전공자는 자신의 영역 위주로 연구를 수행하는 경향이 있기 때문에 다른 기술들과 군집이 되지 않았다고 판단할 수 있다.

기술군집 A는 나노소재 관련 군집이고, 기술군집 B는 나노소자 관련 군집이며, 기술군집 C는 나노바이오 관련 군집이다. 세 개의 주요 기술군집은 현재

〈표 9〉 잔여 기술의 리스트

번호	기술	# of Checks
24	나노 접합	19
46	스핀소자	16
40	분자 소자	13
27	원자분자 모사 또는 계산	13
52	양자 컴퓨터 소자	11
37	나노소자 논리/모사	9
43	나노 성격의 단일 칩 내의 기능 소자군	8
19	분자 기계	8
38	하드디스크 TMR 소자	8
54	고주파 전자 소자	8
34	나노 연결 논리	7
44	의약품 재형 개발	5
50	리소그래피 장비 (장비 국한)	4
51	나노 중시계 측정	3

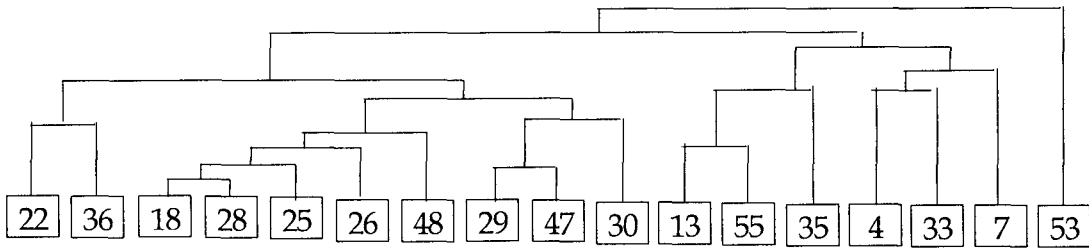
국가 연구개발사업에서 핵심 연구영역으로 포괄하고 있는 주요 기술그룹과 일치하고 있다(과학기술부, 2002). 각 기술군집이 포괄하고 있는 개별 기술들 역시 국가 연구개발사업에서 공동연구로 추진하고자 하는 개별 연구사업들과 큰 틀에서 일치하고 있으며, 다만 본 연구는 개별 기술들간 연관관계를 계층적으로 자세히 보여줌으로써 보다 가까운 기술, 보다 먼 기술을 선별함으로써 향후 나노기술연구개발 사업의 추진에 관한 예측을 할 수 있게 해 준다.

#### IV. 결론 및 향후 과제

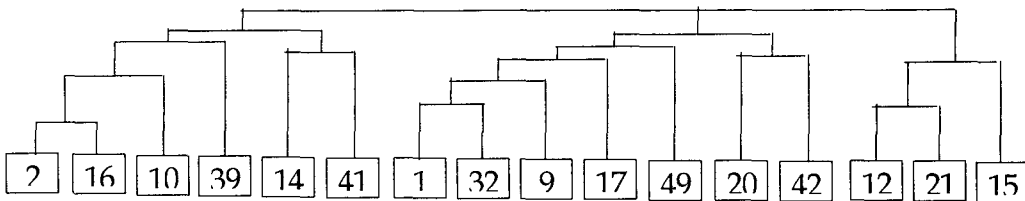
본 연구에서는 국가 연구개발사업 수준에서 핵심 연구영역을 도출하기 위한 기술군집분석의 모형을 제시하여 나노기술 분야에 적용하였다. 56개의 나노기술리스트에 대한 180여명의 설문조사 데이터를 바탕으로 기술군집분석을 수행하여 3개의 주요 기술군집을 도출하였다. 각 기술군집이 포함하고 있는 개별

〈그림 5〉 각 기술군집의 세부 덴드로그램

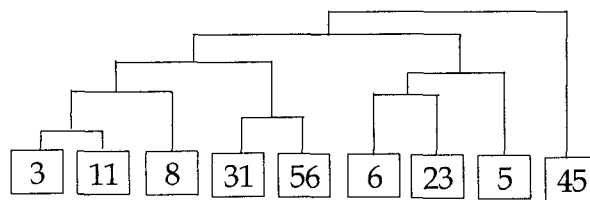
기술군집 A: 나노소재 관련 군집



기술군집 B: 나노소자 관련 군집



기술군집 C: 나노바이오 관련 군집



기술간 거리를 덴드로그램을 통해서 표현하였다.

세 개의 주요 기술군집은 나노소재 관련 기술군집, 나노소자 관련 기술군집, 나노바이오 관련 기술군집으로서 현재 국가 연구개발사업에서 핵심 연구영역으로 포괄하고 있는 주요 기술그룹과 일치하고 있다. 각 기술군집이 포괄하고 있는 개별 기술들 역시 국가 연구개발사업에서 공동연구로 추진하고자 하는 개별 연구사업들과 큰 틀에서 일치하고 있다. 다만 본 연구는 개별 기술들간 연관관계를 계층적으로 자세히 보여줌으로써 보다 가까운 기술, 보다 먼 기술을 선별함으로써 향후 나노기술연구개발 사업의 추진에 관한 예측을 할 수 있게 해 준다. 이러한 예측이 가능한 이유는 나노기술 연구개발사업 역시 연구자들의 프로포절을 광범위하게 수집하고 거기에서 경쟁력 있고 우수한 과제들을 발굴해 나가는 상향식 추진 체계를 아직까지 따르고 있고, 본 방법론 역시 우리나라의 나노기술 연구자들에 대한 지식 기반에 대한 설문 조사를 담고 있는 과학과 기술의 공급(Science and Technology Push) 측면의 방법론이기 때문이다.

기술군집분석은 또한 다분야 영역의 융합기술개발이라는 기술수요의 측면에서 살펴보면, 융합연구의 단초가 될 수 있는 기술들이 포함된 몇 개의 기술그룹을 도출할 수 있다는 장점을 가질 수 있다. 향후 융합연구 기획을 위하여 활용될 수 있을 것으로 기대되는 부분이다. 하지만 융합연구의 구체적인 영역을 도출하기 위한 기술군집분석은 보다 목적 지향적인 기술 분류를 토대로 심화된 연구를 필요로 한다. 이러한 기술군집분석의 목적은 결국 기술혁신패턴이 비슷한 기술들을 하나의 그룹으로 묶어서 파악하여 개별 기업 또는 연구기관 차원에서는 기술그룹에 적절한 연구전략을 수립하고, 정부는 각 기술그룹에 선택적인 기술정책을 수립하고자 하기 위함이다.

본 기술군집분석의 방법은 지식 기반의 관점에서 관계가 긴밀한 혁신에 대한 분류학을 제시하였다. 주관적인 대답이 가능한 방법을 사용하였지만, 대규모 조사를 수행하여 정보의 객관성과 보편성을 높이고자 하였다. 따라서 이 분석은 가능성 있는 미래를 정확히 예측하기 위한 사전 단계(preliminary stage)로 간주될 수 있다. 하지만, 보다 정확한 예측을 위해서는 국가적 R&D 기획·관리 기관이 주관하는 보다 대규모의 전문가 풀에 대한 설문조사를 수행할 필요가 있다. 기술군집분석을 발전시킬 수 있는 방법은 좀더 이질적인 영역과 전문가를 포함하여 분석을 하는 것이다. 즉, 이는 기술-전문가 행렬( $n \times m$  행렬)을 확장시키는 것이고, 각 그룹에서 이질적인 전문가들을 발견하여 그 그룹의 미래 궤적과 합의가 이루어졌는지 여부 등에 대하여 분석할 수 있고 나아가 이질적 전문가 사이의 잠재적 쟁점을 미리 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

하지만, 핵심 연구영역을 선정함에 있어, 향후의 시장규모와 함께 독창적인 연구영역의 확보도 중요한 과제가 될 수 있다. 또한 첨단 연구 분야일수록 국내의 한정된 연구자들만을 대상으로 기 알고 있는 논문이나 이해가 가능한 분야를 조사하는 것은 세계 수준의 기술력을 확보하는데 한계가 될 수 있다. 따라서 이런 부분을 보완하기 위해서는 기술군집분석과 함께 경향분석 (trend analysis), 인용도 분석 (citation analysis), 특허지도 (patent map), 과학기술 문헌정보 분석법 등의 방법을 병행하여야 할 것이다.

또한 본 방법론을 발전시키기 위해서는 그룹화된 기술의 구현 시기, 기술개발의 장애물 등에 대한 추가적인 설문조사가 필요하다. 특히, 델파이 조사 방식의 설문에서 추가로 설문을 할 수 있는 항목인 기술 개발 및 구현 과정에서 발생하는 장애물과 기술의 구

현시기의 경우, 본 연구에서는 연구기간 상의 제약 및 e-mail 방식의 설문 특성상 이들 설문을 수행하지 못하였다. 이는 향후 연구과제로 남아 있으며, 이에 대한 응답들을 얻을 수 있다면 정책자료로 적극 활용될 수 있을 것으로 보인다.

### 참 고 문 헌

- 과학기술부, 「국가전략기술분야 우선순위 설정」, 한국과학기술기획평가원, 2001.
- 과학기술부, 「나노기술종합발전계획」, 과학기술부, 2001.
- 과학기술부, 「나노핵심기반기술개발사업 안내」, 과학기술부, 2002.
- 윤윤중, 「한국 제조업의 기술과급 네트워크와 연구개발투자의 파급효과분석」, 서울대학교 박사학위논문, 1999.
- 이용길, 이세준, 박성배, 원유형, “기술군집분석을 활용한 전략적 연구영역 도출”, 기술혁신연구, 제 10권 1호, pp. 22-37, 2002.
- 한국과학기술평가원, 과학기술정책연구원, 「제 2회 과학기술예측, 한국의 미래기술 2000-2025」, 1999.
- 한국과학기술기획평가원, 「국가기술지도 작성 대상 핵심기술」, 2002.
- Anderberg, M.R., *Cluster Analysis for Applications*, New York: Academic Press, 1973.
- Jaffe, Adam B., “Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms’ Patents, Profits, and Market Value”, *American Economic Review* Vol.76, No.5, pp. 984-1001, 1986
- Nedeva, M., Georghiou, L., Loveridge, D., Cameron, H., “The use of co-nomination to identify expert participants for technology foresight”, *R&D Management* Vol. 26, No. 2, 155-168, 1996.
- Ronde, P., “Technological clusters with a knowledge-based principle: evidence from a Delphi investigation in the French case of the life sciences”, *Research Policy* Vol. 30, pp. 1041-1057, 2001.
- Tassey, G., *The Economics of R&D Policy*, Connecticut; Quorum Books, 1997.
- Verspagen, B., “Measuring Intersectoral Technology Spillovers: Estimates from the European and US Patent Office Databases”, *Economic Systems Research* 9, pp. 47-65, 1997.

〈부록〉 나노기술 분야의 56개 우선순위 기술목록

번호	기술명	번호	기술명
1	나노 포토닉스 (양자점, 양자선 제외)	29	화학 촉매용 나노소재
2	나노정보저장기술	30	하이브리드 나노복합체
3	나노 바이오 칩 및 생물소자	31	나노 생체 모방형 소재
4	나노분자 합성	32	양자선/양자점
5	나노 바이오 기능성 물질 (나노 바이오 촉매 포함)	33	마이크로 에멀전
6	나노에 쓰이는 고분자	34	나노 연결 논리
7	태양전지	35	복합 층상 소재
8	나노바이오 거동 분석	36	자기조립 공정
9	가변 파장 소자	37	나노소자 논리/모사
10	원자/분자 레벨 물질 조작	38	하드디스크 TMR 소자
11	나노 바이오 센서 및 인공감각	39	나노 튜브소자
12	나노 metrology (100nm standard, 측정 방법 포함)	40	분자 소자
13	수소 저장	41	플라즈마 공정
14	원자층 박막 공정 (ALE 포함)	42	광학 공정 장비 (반도체, 공정 위주)
15	나노 측정 (100nm 이하, synchrotron 포함)	43	나노 성격의 단일 칩 내의 기능 소자군
16	고밀도 기록용 소재	44	의약품 재형 개발
17	광학용 소재	45	나노 감지소자 (genomics, proteomics 제외)
18	나노분말 소재	46	스핀소자
19	분자 기계	47	오염 제거 기술 (소재, 기구 포함)
20	나노 패터닝 공정 (리소그래피, 식각 공정)	48	나노구조 분리막 소재 (수송막 소재, 촉매형 멤브레인, 생물박막 소재)
21	주사형 검침 현미경	49	나노 광학기
22	계면 혹은 표면의 나노구조화 기술 (금속, 세라믹, 고분자 소재)	50	리소그래피 장비 (장비 국한)
23	의약 약물전달 시스템	51	나노 중시계 측정
24	나노 접합	52	양자 컴퓨터 소자
25	화학공정 (sol-gel, 전기화학, 콜로이드 공정 등)	53	내구성 나노소재 (내식, 내열, 내마모 소재)
26	에너지용 소재 (에너지 발생 및 저장에 필요한 소재, 태양전지 제외)	54	고주파 전자 소재
27	원자분자 모사 또는 계산	55	나노 섬유 소재
28	기공 소재 (환경용, 화학산업용)	56	생체용 단백질 접합체

자료: 한국과학기술평가원 & 과기부 (2001) 인용