

## 기술군집분석을 활용한 전략적 연구영역 도출

이용길\* · 이세준\*\* · 박성배\* · 원유형\*

### 〈 목 차 〉

1. 서론
2. 이론적 배경
3. 기술군집분석의 방법
4. 기술군집분석의 적용 사례
5. 기술군집분석 결과
6. 결론 및 제언

**Summary:** The importance of selecting the strategic research field is increasingly emphasized by research manager and technology policy-maker in perspective of the strategic allocation of R&D resources, employing the R&D personnel, and formulating technology policy. Among various methods for selecting the strategic research field, it is, however, very difficult to find the method that involves the path-dependant trend, and interdisciplinary nature of technology development. This study suggests modified technology cluster analysis (TCA) as a method for selecting strategic research field in order to include the recent technology trend in quantitative approach.

TCA is the method that groups the near technologies of which the innovation pattern is similar. TCA model can be a very necessary method for multidisciplinary government research institutes (GRIs) which conduct multi research field with forward oriented positioning. It is more difficult for them to select the strategic research field mainly due to their diversity and intangibility of research scope.

In this study, we applied this method to Korea Institute of Science and Technology (KIST)

\* 한국과학기술연구원 연구정책팀 연구원

(e-mail: yonggil@kist.re.kr, sbpark@kist.re.kr, yhwon@kist.re.kr)

\*\* 한국과학기술연구원 연구정책팀 선임연구원 (e-mail: sjlee1@kist.re.kr)

which represents the most adequate research institute in terms of research diversity and forwardness. As a result of the application, we found that seven main technology groups come from TCA analysis, coincide with the technology topics of KIST's recent R&D planning. Even though this method designed for multidisciplinary research institutes, but it also can be used for establishing the research strategy of other (private or public) Research Institute which have the similar mission and scope of research.

## 1. 서론

기술변화 이론에 관한 최근의 연구는 기술변화 과정에서 발생하는 기술의 비가역성 (irreversibility)과 구축효과 (lock-in effect) 등에 대한 설명을 많이 담고 있다. 기술의 비가역성이란 기술변화의 경로의존성 (path-dependency)에서 발생하는 특징으로서 개발과정에서 소요되는 전환비용 (switching cost)과 매몰비용 (sunk cost), 학습효과, 규모의 경제 등 여러 요인들에 의하여 기술변화의 과정이 비가역적으로 이루어지는 기술변화의 동학을 의미한다 (Antonelli, 1997). 그리고 기술의 구축효과란 열등한 기술이 초기의 우호적 조건과 기술변화의 비가역성 때문에 우위의 기술을 밀어내고 시장에서 주류가 되는 현상을 의미한다. 기술의 구축효과에 대한 역사적 사례는 QWERTY 자판 (David, 1985), 비디오테이프 리코더 (Cusumano et al., 1992), 핵발전소 (Cowan, 1990) 등에서 찾아 볼 수 있다.

기술변화의 이러한 특징은 기술궤적이 비효율적이고 비효과적으로 형성될 수 있음을 의미하는 것과 동시에 가장 효율적이고 탁월한 기술궤적을 형성하기 위해서는 기술개발 주체의 노력뿐만 아니라 정부의 기술정책적 개입이 필요하다는 것을 의미하기도 한다.

최고의 기술궤적을 형성하기 위하여 정부가 개입할 수 있는 지점은 기술개발의 주체 (agent)와 기술대상 (object)의 조합에 따라 A-A, O-O, A-O의 세 군데가 있을 수 있다 (Ronde, 2001). A-A 개입은 연구개발 주체간 관계를 효과적으로 구축하여 시너지를 극대화하는 제반 정책을 의미한다고 볼 수 있다. O-O 개입은 기술간 연결성 (connectivity) 등을 근거로 기술들을 그룹으로 묶어서 관리하거나 지원하는 정책을 의미하고, A-O 개입이란 연구개발 주체와 기술대상을 효과적으로 대응시키기 위한 각종 방안을 의미하는데, 대형·융합 연구 추진을 위한 조직운영방안 등이 그 예가 될 수 있다.

본 논문에서 초점을 두는 것은 O-O 형태의 개입의 일환으로서 대형 연구과제의 기획이나 기술 분야별 선택적 지원 정책 등에 활용하기 위하여 기술변화의 패턴이 유사한 세부 기술들을 하나의 그룹으로 묶어내는 기술군집분석 (technology cluster analysis)과 관련된다.

이를 위하여 Ronde (2001)의 기술군집분석 모형을 변형하여 국내 출연연구기관의 전략적 연구영역을 도출하기 위한 모형을 개발하였다. 또한 이 모형을 다분야를 연구하는 정부출연 연구기관 (multidisciplinary government research institute)에 구체적으로 적용함으로써, 기술군집분석의 결과가 GRI가 주요 연구영역으로 삼는 기술들과 비교함으로써 모형의 유용성을 확인하고자 하였다. 2장에서는 기술군집분석의 이론적 배경에 대한 분석을 통하여 기술군집분석의 의의와 기존 연구 사례를 정리하였다. 3장에서는 Ronde (2001)의 모형을 보다 일반화시켜 기술군집분석의 내용과 절차를 정리하였고 4장에서는 다분야를 연구하는 우리나라의 공공연구기관에 적용할 수 있는 기술군집분석의 모형을 개발하여 구체적으로 적용하여 보았다. 그리고 5장과 6장에서는 분석결과와 함께 본 논문에서 제시한 기술군집분석 방법의 효용과 활용가능성을 언급하였다.

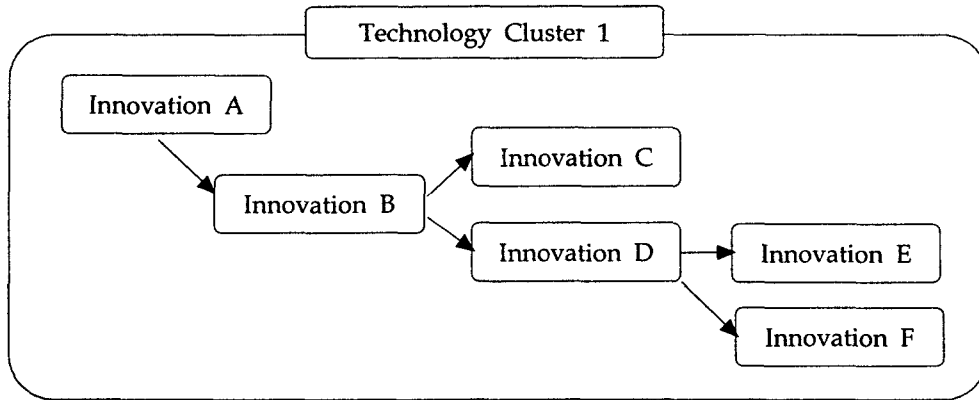
## 2. 이론적 배경

### 2.1 진화론적 관점에서 기술그룹과 기술군집분석의 의미

기술군집분석에 관한 사례 연구를 검토하기 전에 기술의 진화론적 관점에서 정의되는 기술혁신과 기술그룹의 개념을 살펴볼 필요가 있다. 진화론적 관점에 따르면 기술혁신은 연구 주체의 현재 역량에 의해 제한을 받으며, 축적된 역량 위에서 점진적으로 이루어진다 (Dosi, 1982). 우리는 기술혁신의 이러한 특징을 기술축적 (technological cumulativeness) 개념으로 나타낼 수 있다 (Nelson and Winter, 1982). 기술축적의 맥락에서 하나의 특정한 기술 혁신 (A)은 다른 기술혁신 (B)을 만들어 내고, 다른 기술혁신 (B)은 또 다른 기술혁신 (C)을 만들어낸다. 이러한 기술혁신의 과정을 하나의 흐름으로 파악할 수 있으며 A, B, C 기술혁신을 하나의 기술그룹으로 묶어도 될 것이다. 현실에서 기술혁신패턴의 유사성은 기술의 유사성으로 드러난다. 기술혁신패턴이 유사한 기술들을 하나의 그룹으로 묶어내는 것을 기술군집분석이라 하며 (Bergeron et al., 1998; Ronde, 2001) 다음 그림과 같이 표현할 수 있다.

위의 그림처럼 밀려의 기술혁신의 흐름에 의하여 기술계적은 형성되고, 기술계적의 이러한 발전은 학습과정의 누적적인 특성의 발현으로 볼 수 있다 (Rosenberg, 1976). 축적된 지식은 현재의 혁신의 범위를 결정하고 나아가 새로운 혁신을 도출하는 기술적 씨앗들 (seeds)을 창출한다. 기술군집분석은 기술혁신의 연관관계를 파악하여, 연관관계가 큰 기술들을 하나의 동질적인 그룹으로 간주함으로써 그룹 차원의 혁신패턴과 일반적인 원리를 도

출하여 미래의 혁신 형태를 예측하는데 목표를 두고 있다. 그룹 차원의 혁신패턴 및 일반적인 원리를 도출한다는 것은 여러 개의 개별기술로 구성된 하나의 동질적인 기술그룹에서 일반기술 (generic technology)<sup>1)</sup>을 식별해내는 것으로 이해할 수도 있을 것이다.



<그림 1> 기술군집분석에서 정의된 기술그룹

## 2.2 기존 연구 사례

### 2.2.1 기술연관분석

개별 기술들을 동질적인 기술그룹으로 묶어내는 기술군집분석과 유사하게 자주 쓰이는 방법 중의 하나는 기술연관분석이다. 기술연관분석은 대상의 관점에서 ①과제-요소기술 기술연관분석, ②과제-과제 기술연관분석, ③요소기술-요소기술 기술연관분석의 세 가지 형태로 분류할 수 있다. 과제-요소기술, 과제-과제 기술연관분석의 대표적인 연구로는 일본전자공업진흥회의 『일본전자공업의 장기 전망』, 일본산업재료조사연구소의 『기술연관분석 조사 보고서』 등이 있고 요소기술-요소기술 기술연관분석의 사례로는 미쓰시비 종합연구소 등이 미국과 일본의 교류 정도를 나타내는 Relative Acceptance (RA) 지표에 특허 정보를 대입한 『기술관련지표 분석』이 있다 (박병무 외, 1997).

국내에서는 첨단기반기술과 응용혁신기술 간의 연관분석을 통하여 전략적으로 개발해야 할 첨단기반기술을 도출한 최희운 외 (1988) 이후, 정보통신분야의 기술연관분석을 통한 기술개발과제 우선 순위 결정 모형 (박병무 외, 1996)과 건설기술 분야의 기술연관분석을 통한 우선 순위 결정 모형 (박병무 외, 1997) 등의 연구사례가 있다. 개별 기업 차원에서 연구개발

1) 일반기술의 개념 및 내용에 대한 자세한 설명은 Tassey (1997)를 참조

의사결정을 위한 기술연관분석의 사례로는 박승민 (2000)의 연구가 있는데, 위 연구들은 개별 기술의 연관관계 분석을 통하여 연구개발 우선 순위의 선정에 목표를 두고 있다.

한편, 기술연관분석을 수행하는데 있어서 연관의 존재와 정도를 어떤 가시화된 표현으로 나타내는 것은 매우 중요하나 아직까지 일반적인 방법이나 척도가 정착되어 있지는 않다. 델파이법 등과 같은 집단적 의견수렴 방법을 통하여 전문가의 직관에 의존하는 방법이 주로 사용되고 있으며 특허와 논문, 인력 등의 정보를 활용하여 객관적인 정량화의 방법을 사용하는 것이 어느 정도 가능하다고 볼 수 있겠다.

## 2.2.2 기술군집분석

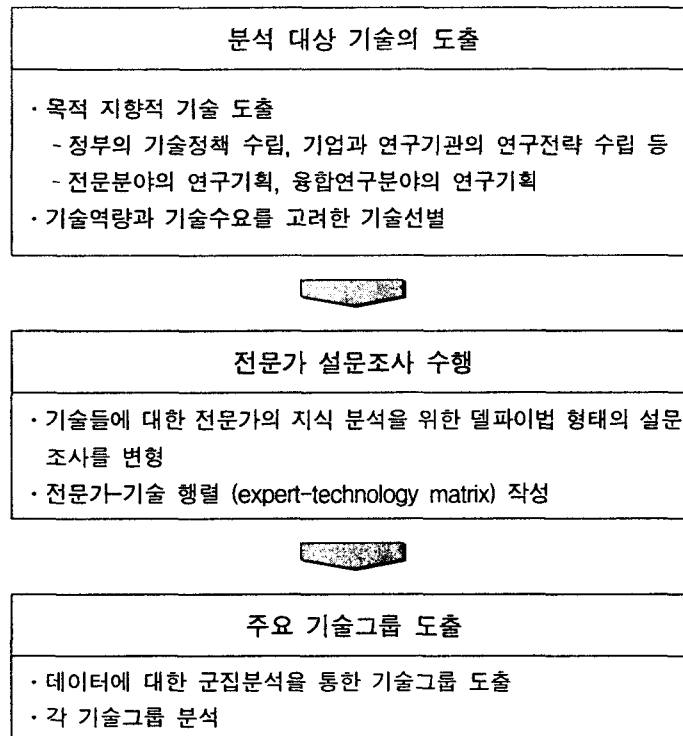
기술연관분석이 연구개발 우선 순위를 선정하기 위하여 개별 기술간 연관도를 분석하여 보여주는 것이라면, 기술군집분석은 연관도 분석의 결과 일정 기준 이상의 유사성을 갖는 기술들을 하나의 그룹으로 군집화 (clustering)하는 방법이다. 따라서 기술연관분석의 결과는 기술군집분석의 기본 자료로 활용될 수 있다. 기술군집분석에서 기술간 유사성을 정량화하기 위한 방법 역시 델파이법 등과 같은 집단적 의견수렴 방법을 통하여 전문가의 직관에 의존하는 방법과 특허, 논문 등의 객관적 정보를 활용하는 방법으로 구분된다.

특허 정보를 활용하여 Zig-Zag 기법에 의하여 기술-산업 군집분석 (techno-industrial cluster analysis)을 수행한 연구로는 Bergeron et al. (1998) 등이 있다. 다수의 연구들은 주로 델파이법의 전문가 설문조사 결과를 활용하여 기술군집분석을 수행하였는데, Ronde (2001)는 프랑스의 생명공학 분야의 세부기술 98개를 대상으로 기술군집분석을 수행하여 세계의 주요 기술그룹을 도출한 바 있다. 일본과 유럽의 각국에서는 국가적 차원의 델파이 조사를 통하여 미래기술예측을 시도하였고, 그 결과를 기술군집분석의 자료로 활용하려는 노력을 하고 있다 (Martin et al., 1999; Kuwahara, 1999).

## 3. 기술군집분석의 방법

기술군집분석은 크게 군집분석 대상 기술의 도출, 전문가 설문조사 수행, 데이터 분석을 통한 주요 기술그룹 도출의 세 부분으로 구성될 수 있다. 기술군집분석의 구체적인 절차를 도시하면 다음 그림과 같다.

우선, 군집분석의 대상이 되는 기술들은 기술군집분석의 목적에 적합한 방식으로 다양하게 도출될 수 있다. 산업 차원에서 연구개발 자원의 효율적 배분이라는 정책 수립을 위하여 기술군집분석을 수행할 경우, 각 산업이 포괄하고 있는 주요 기술들이 군집분석 대상 기술들



<그림 2> 기술군집분석의 절차

로 포함되어야 한다.

기업과 연구기관의 연구전략 수립을 위하여 기술군집분석을 수행할 경우, 기업과 연구기관의 특성에 맞게 대상 기술들이 도출되어야 한다. 기업의 연구전략 수립을 위해서는 실용화가 가능한 중·단기 기술들이 분석의 주대상이 될 수 있지만, 정부출연 연구기관의 연구전략 수립을 위해서는 그 연구기관이 국가적 기술혁신체제에서 차지하는 고유 역할과 국가적 기술수요를 고려하여 대상 기술들이 선정되어야 한다. 또한 연구기관의 연구분야가 전문분야일 경우, 해당 전문 영역을 잘 세분화하여 기술들을 도출할 수 있다. 반면에 연구기관의 연구영역이 다분야일 경우, 연구기관의 연구역량이 포괄하는 각 연구분야에서 분석 대상 기술들을 도출하여야 한다.

기술군집분석의 데이터를 확보하기 위한 자료는 전문가 설문조사에 근거하여 획득할 수 있다. 전문가 설문조사의 방법은 델파이법과 같이 다단계, 특히 2단계 기법에 의하여 전문가의 의견을 수렴하는 방법이 자주 활용되는데, 2단계 기법의 설문은 다음 예와 같이 구성될 수 있다 (Ronde, 2001).

<표 1> 기술군집분석을 위한 2단계 기법의 설문 문항 예시

질문	당신은 다음의 기술 분야를 잘 알고 있는가?			
	1	2	3	4
응답	아주 잘 알고 있다	잘 알고 있다	약간 알고 있다	모른다

응답자가 제시된 기술리스트 중  $i$ 와  $j$ 에 대하여 1 (아주 잘 알고 있다)과 2 (잘 알고 있다)로 응답을 한다면 두 기술  $i$ 와  $j$ 는 내적인 연관성이 크다고 볼 수 있다. 지식의 창출 및 흐름의 원리에 따르면, 과학기술자가 더욱 진전되고 깊이 있는 연구를 진행함에 따라 그가 다루는 기술 토픽 역시 확장되는데 이 과정에서 내적인 연관성이 큰 기술 토픽들이 그의 연구 대상으로 포괄될 것이다. 따라서 어떤 두 개의 기술이 1과 2로 표기된 빈도수가 많다면, 그 두 기술은 동일한 지적 도메인 (intellectual domain) 위에 있다고 판단할 수 있고 하나의 기술그룹으로 묶어도 무방할 것이다.

위의 설문에서 전문가 응답 중 1 (아주 잘 알고 있다)과 2 (잘 알고 있다)를 “잘 알고 있다”로 묶어서 “1”로 코딩하고 3 (약간 알고 있다)과 4 (모른다)를 “잘 모른다”로 묶어서 “0”으로 코딩하고, 전문가  $m$ 명이  $n$ 개의 기술에 대하여 응답을 했다면 우리는 0과 1로 구성된  $m \times n$ 의 전문가-기술 행렬 (expert-technology matrix)  $X$ 를 만들 수 있다. 즉,  $X$  행렬은  $n$ 개의 기술들에 대하여  $m$ 명의 전문가가 가지고 있는 지식을 이진수 (binary value) 형태로 나타낸 행렬로 바라볼 수 있다.

그리고 개별 기술  $i$ 와  $j$ 의 연관관계를 자세히 살펴보기 위하여  $X$  행렬에서  $i$  기술부분의 칼럼과  $j$  기술부분의 칼럼을 떼어내  $I$ 와  $J$ 로 표기할 수 있다. 이때,  $I$ 와  $J$ 는 0과 1로 구성된 칼럼 벡터이다.

<표 2> 전문가-기술 행렬 (expert-technology matrix)

	$t_1$	.....	$t_i$	.....	$t_j$	.....	$t_n$
$e_1$	0		1		0		0
$e_2$	1		1		1		0
$e_3$	0		1		1		1
$\vdots$							
$\vdots$							
$e_m$	0		1		0		0

전문가-기술 행렬에서 떼어낸 각각의 기술 부분의 칼럼들로부터 다음과 같은 근접성 지수 (proximity index)를 정의할 수 있다 (Ronde, 2001).

$$P(i, j) = \left( \frac{I \cap J}{I \cup J} \right) \quad (1)$$

$I \cap J$ 는 두 기술을 모두 잘 알고 있는 전문가의 수이고  $I \cup J$ 는 두 기술 중 하나 이상을 잘 알고 있는 전문가의 수이다. 근접성 지수  $P$ 는 정의에 따라 0과 1 사이의 값이며  $P$ 가 1에 가까울수록 두 기술간 유사성이 높고 0에 가까울수록 유사성이 낮다고 볼 수 있다. 그리고 위의  $X$  행렬에 대하여 근접성 지수를 기준으로 계층적 군집분석 (hierarchical cluster analysis)<sup>2)</sup>을 수행하면  $n$ 개의 기술들을 몇 개의 주요 그룹으로 분류해 낼 수 있게 된다.

## 4. 기술군집분석의 적용 사례

### 4.1 군집분석 대상 기술의 도출

기술군집분석 결과의 활용 목적에 따라 군집분석 대상 기술들이 유용적으로 도출될 수 있다. 산업 차원에서 연구개발 자원의 효율적 배분을 수행하기 위한 목적으로 기술군집분석을 수행할 경우, 정보통신산업 (박병무 외, 1996)과 건설기술산업 (박병무 외, 1997)의 기술연관 분석 사례연구에서와 같이 각 산업이 포괄하고 있는 주요 기술들을 대상으로 분석을 수행하여야 한다. 기업과 연구기관의 연구전략 수립을 위하여 기술군집분석을 수행할 경우, 기업과 연구기관의 특성에 맞게 기술들을 도출해야 한다.<sup>3)</sup>

본 논문에서는 “다분야를 연구하는 정부출연연구기관 (multidisciplinary government research institute, 이하 GRI)”의 연구전략 수립을 목적으로 기술군집분석을 수행하고자 한다. GRI의 연구전략 수립을 목적으로 분석 대상 기술들을 도출할 때, 두 가지 측면에서 주의를 기울여야 한다. 우선, GRI가 공공연구기관이라는 측면과 국가과학기술혁신체제에서 고유 역할에 조응하여야 한다는 측면에서 가까운 미래에 실용화가 가능한 기술보다는 국가 차원

2) 분석 데이터가 이진수 형태를 나타낼 때는 그룹의 개수를 미리 지정해야 하는 k-means 군집분석이 아닌 계층적 군집 분석을 사용하는 것이 타당하다. 또한 근접성지수를 군집분석의 기준으로 선택하였을 때, 상관계수 ( $r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2} \sqrt{\sum y^2}}$ )를 대리변수로 활용해도 무방하다. 왜냐하면 이진수 데이터에 대한 상관계수를 구했을 때, 분자는 교집합, 분모는 합집합의 형태를 띠고 있기 때문이다. 데이터 특성에 따른 군집분석의 사용 및 데이터간 거리 측정에 관해서는 Anderberg (1973)를 참조.

3) 개별 기업의 특성에 맞는 기술들을 도출하여 기술연관분석을 한 사례는 박승민 (2000)을 참조



의 미래유망 원천기술 위주로 분석 대상기술을 선정하여야 한다. 다음으로 단일분야가 아닌 다분야를 자신의 연구 영역으로 포괄하고 있고 미래 연구개발의 중요한 목표인 융합기술개발을 충족시키기 위하여, 다분야에 걸쳐서 분석 대상 기술들을 도출해야 한다.

우리는 위 두 가지 조건을 충족시키기 위하여 국가적 차원의 미래 유망기술에 대한 예측 결과인 『제2회 과학기술예측, 한국의 미래기술 2000-2025』의 내용을 중심으로 분석 대상 기술들을 도출하였다. 이 과정에서 분야별 전문가의 자문을 거쳐 GRI의 연구 영역에 포함되는 미래 유망기술들에 대하여 ①GRI가 지속적인 우위를 보이면서 연구를 수행할 수 있는지의 여부와 ②기술수요 및 파급효과의 정도를 기준으로 200여 개를 도출하였다 (200여 개의 분석대상 기술은 부록 참조).<sup>4)</sup>

#### 4.2 전문가 설문조사 수행

우리는 기존의 2단계 방식의 델파이조사 설문 (3.1 참조)이 2단계에서 응답 바이어스를 발생시켜 분포의 왜곡<sup>5)</sup> 등의 문제점을 유발할 수 있다고 판단하여, 1단계 방식의 설문조사를 사용하였다. 이 경우 응답바이어스를 줄일 수 있고 분석의 편리를 기할 수 있다는 장점이 있다. 대신, 2단계 방식의 델파이조사의 장점인 2단계 설문응답시 1단계 설문결과 정보의 제공 및 재판단 기회의 제공 등을 보완하기 위하여 설문의 완결성을 기하였다. 델파이조사의 설문이 “그 기술 영역에 대하여 잘 알고 계십니까?”에 그친 반면, 본 설문에서는 “잘 알고 있다”는 기준을 세 가지 정도로 제시하여 응답자의 응답 기준을 보다 명확히 하였다.

<표 3> 설문 내용

다음의 기술목록에서 본인의 전공기술 및 인접기술을 체크하여 주십시오.
<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>

4) 재료, 시스템, 생체과학, 환경 등의 분야에서 내부 전문가 약 100여 명이 GRI가 연구영역으로 포함하고 있는 400여 개의 기술들에 대하여 ① GRI가 국내 타 연구주체에 비해 비교우위를 가지면서 연구를 수행할 수 있는지 여부 (기술역량의 측면)와 ② 미래의 기술수요 및 파급효과의 정도 (기술수요의 측면)의 평가항목에 대하여 매긴 평점을 종합하여 상위 200여 개의 분석대상 기술을 선정하였다.

5) 2단계 방식의 설문조사를 수행함으로써 응답 바이어스의 발생, 분포의 변화 등에 대한 통계적 쟁점에 대해서는 별도의 연구가 필요하다.

위 설문 내용을 가지고 GRI의 재료, 시스템, 생체과학, 환경 분야 등의 박사급 연구원 300여명을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 이는 GRI의 연구자들의 정보를 사용함으로써 GRI의 독특한 연구환경에서 형성되는 기술체계에 부합하는 연구전략을 수립하고 융합연구를 기획할 수 있는 정보를 얻기 위함이다.<sup>6)</sup>

### 4.3 주요 기술그룹 도출

200여 개의 기술에 대하여 300여명의 전문가 응답을 확보하여 전문가-기술 행렬 (3장 참조)을 구성하였고 통계 프로그램 SPSS를 이용하여 군집분석을 수행하였다. 응답 데이터가 이진수 (binary value) 형태를 띠고 있어서 계층적 군집분석을 사용하였다. 계층적 군집분석이란 하나의 데이터가 다른 데이터와의 거리 및 연관성<sup>7)</sup>을 기준으로 가장 가까운 데이터부터 군집해나가는 방법으로서 피리미드처럼 중층적 구조를 띠면서 최종적으로는 하나의 그룹으로 융합되는 형태를 나타내는 분석법이다.

또한 계층적 군집분석은 분석대상 기술의 개수에 해당되는 단계에 걸쳐 분석이 이루어지므로 어느 수준까지 분석을 수행하는가 하는 점이 쟁점이 된다. 보통 군집과정의 기술간 연관성을 나타내는 계수가 크게 변화 (big jump)할 때까지 분석을 수행하는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 계수가 크게 변화하는 단계를 중심으로 관련 기술 분야의 전문가의 정성적 판단을 종합하여 분석의 기준 단계를 결정하였다.

## 5. 기술군집분석 결과

기술군집분석의 결과 100여 개의 기술들이 그룹화되어 7개의 주요 기술그룹 (G1~G7)이 도출되었다.<sup>8)</sup> 각 기술그룹을 세부적으로 살펴보면, G1은 나노재료 및 재료공정 관련 기술들

6) GRI의 내부전문가의 정보를 사용한 결과와 외부전문가의 정보를 사용한 결과가 중요한 차이를 보일 때, 이는 기술변화의 경로의존성에서 찾을 수 있다. 이는 GRI의 기술환경에서 형성되는 기술체적과 기업 및 타 연구집단에서 형성되는 기술체적이 큰 차이가 있을 수 있기 때문이다.

7) 군집분석에서 Data간 거리 및 관계를 측정하는 방법으로는 Euclidean distance나 Squared Euclidean distance, 상관계수 (correlation coefficient) 등이 있으며, 데이터가 나타내는 특성에 따라 적절한 방법을 선택하여야 한다. 이진수 데이터 경우, 0값이 사물의 속성이나 특징을 나타내는 값이 아니며 1값의 공유 정도가 군집 결정 요인이 될 때는 상관계수를 사용하는 것이 타당하다 (Anderberg, 1973).

8) 나머지 100여 개의 기술들은 2~5개의 소규모로 그룹화되어 있거나, 아예 그룹화되어 있지 않은 기술들이다. 기술군집분석의 단계를 더 늘렸을 경우, 나머지 기술들이 7개의 기술그룹으로 포함될 수 있다.

로 구성된 미래 적응소재에 관한 기술 분야이며 G2는 실감미디어, 인터랙티브-휴머노이드 등 휴먼-컴퓨터 상호작용에 관한 기술 분야이다. G3은 메모리소자와 광정보저장 등 양자컴퓨터 관련 기술들로 구성되어 있고 G4는 환경오염방지 관련 기술들, G5는 청정공정 관련 기술들로 구성되어 있다. G6은 세포의 노화에 기인한 난치성 질환 극복 관련 기술들로 구성되어 있고, G7은 분자 수준에서 생명현상 기전을 규명하는 기술들로 구성되어 있다.

<표 4> 기술군집분석의 결과

	분 야	세부 기술 번호	기술개수
그룹1 (G1)	미래 적응소재 기술	13, 16, 41, 42, 76, 93, 94, 125, 140, 151, 163, 164, 195	13
그룹2 (G2)	휴먼-컴퓨터 상호작용	3, 7, 36, 42, 44, 50, 64, 67, 75, 78, 89, 98, 105, 107, 137, 141, 147, 148, 166, 189, 191, 195, 201, 204, 206, 212, 214	27
그룹3 (G3)	양자컴퓨터 관련 기술	1, 2, 30, 54, 85, 115, 133, 152, 167, 168, 169, 170	12
그룹4 (G4)	환경오염방지기술	8, 47, 71, 77, 114, 120, 139, 145, 178, 197, 198	11
그룹5 (G5)	청정공정기술	29, 32, 90, 102, 156, 157, 166, 185, 200	9
그룹6 (G6)	노화 기인 난치성 질환 극복 연구	9, 28, 40, 45, 49, 55, 56, 73, 88, 96, 108, 111, 112, 123, 143, 186, 190, 193, 199	19
그룹7 (G7)	분자 수준의 생명현상 기전 연구	39, 46, 48, 57, 58, 95, 109, 129, 144, 207	10

도출된 G1~G7은 GRI가 현재 수행하고 있고, 미래에도 수행할 것으로 기대되는 주요 연구 영역을 내부 연구자들의 지식 분석에 기초하여 7가지로 구분하였다고 간주할 수 있다. 실제로 G1~G7에 포함되는 다수의 기술들이 GRI의 현재의 주요 과제들에 포함되어 있고 기술타게팅 (technology targeting) 방식으로 설정한 미래의 연구기획 과제들에 포함되어 있다. 따라서 G1~G7의 기술그룹은 GRI에서 현재와 미래 연구기획을 해 나갈 수 있는 잠정적 범위를 의미하며, 연구개발 조직 역시 위의 연구 영역에 따라 구성될 수 있음을 의미한다. 또한 도출된 기술그룹 단위로 연구기획 및 연구관리를 수행할 때 효율이 배가될 수 있을 것이다.

한편, 각 기술그룹별로 융합연구의 단초가 될 수 있는 기술들이 포함된 경우가 있는데, G2에서 컴퓨터-휴먼 상호작용 관련 기술들을 환경 및 생명과학에 적용한 기술들이나 G3에서

재료기술과 양자컴퓨터 관련 기술들이 같이 묶여 있는 것이 그 대표적인 예이다. 융합연구의 영역을 도출하기 위한 기술군집분석은 보다 목적 지향적인 기술 분류를 토대로 심화된 연구를 필요로 한다.

## 6. 결론 및 제언

우리는 Ronde (2001)의 모형을 변형하여 GRI의 전략적 연구영역을 도출하기 위한 기술군집분석의 모형을 개발하였다. GRI의 역량과 특성에 맞게 분석 대상 기술을 도출하였고, 전문가의 지식 기반을 확인할 수 있는 1단계 형식의 설문문을 구성하여 설문조사를 수행하였다. 특히, 분석 대상 기술의 도출 과정과 전문가 설문조사의 방법을 적절히 변형하면 개별 기업 또는 연구기관의 주요 연구영역을 설정하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그리고 GRI가 포괄하고 있는 연구영역의 기술들에 기술군집분석을 적용하여 7개의 주요 기술그룹을 도출하였다. 이 7개의 기술그룹은 GRI 내·외에서 제안되고 있는 각종 연구기획 과제들과 비교하였을 때, 상당 부분 기술토픽이 일치하고 있으며 미래에 수행가능성이 있는 기술토픽까지 포괄하고 있다. 예컨대, G2는 GRI에서 현재 추진 중인 「실감형 가상공간 기술」의 과제에서 다루는 주요 기술들을 포함하고 있으며, G3은 「신개념 전자소자 연구」의 주요 기술을 포함하고 있으며, 또한 G7은 「케모인포매틱스 (Chemoinformatics) 연구」와 관련된다. 즉, 7개의 기술그룹은 GRI가 현재 수행하고 있고 미래에도 수행할 것으로 기대되는 주요 연구 영역으로 간주될 수 있다.

또한 다분야를 연구하는 GRI의 특성과 융합기술개발이라는 기술수요의 측면에서 살펴보면, 융합연구의 단초가 될 수 있는 기술들이 포함된 몇 개의 기술그룹이 도출되었다. 이러한 결과는 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. 특히 나노기술과 생명공학기술, 정보기술을 중심으로 한 융합기술 연구에 대한 기술군집분석은 매우 흥미 있는 주제로 간주된다.

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.

## 〈참고문헌〉

- 박병무·유태수·박종오 (1996), 「정보통신 연구개발사업의 효율적 관리를 위한 기술연관분석에 관한 연구」, 서울: 정보통신연구관리단.
- 박병무·홍순기 (1997), 「'97 건설기술 연구개발사업 사전기획 연구」, 서울: STEPI.
- 박승민 (2000), 「기술연관분석과 기술지식스톡을 이용한 연구개발 의사결정 정보도출에 관한 연구」, 서울: 서울대학교 경제학석사 학위 논문.
- 최희운·홍순기 (1988), 「첨단기반기술의 기술연관분석 및 사전조사 연구」, 서울: STEPI.
- 한국과학기술평가원·과학기술정책연구원 (1999), 「제2회 과학기술예측, 한국의 미래기술 2000-2025」.
- Anderberg, M. R. (1973), *Cluster Analysis for Applications*, New York: Academic Press.
- Antonelli, C. (1997), "The Economics of Path-dependence in Industrial Organization", *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 15, pp. 643-675.
- Bergeron S., S. Lallich, L. B. Christian (1998), "Location of Innovating Activities, Industrial Structure and Techno-industrial Clusters in the French Economy, 1985-1990. Evidence from US Patenting", *Research Policy*, Vol. 26, pp. 733-751.
- Cowan, R. (1990), "Nuclear Power Reactors: a study in technological lock-in", *The Journal of Economic History*, Vol. 5 No. 3, pp. 541-567.
- Cusumano, M., Y. Mylonadis, R. Rosenbloom (1992), "Strategic Manoeuvring and Mass-market Dynamics: the Triumph of VHS over beta", *Business History Review*, Vol. 6, pp. 51-94.
- David, P. (1985), "Clio and the Economics of QWERTY", *American Economic Review*, Vol. 75, No. 2, pp. 332-337.
- Dosi, G. (1982), "Technology Paradigms and Trajectories: a Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change", *Research Policy*, Vol. 11, pp. 147-162.
- Fisher, W. D. (1969), *Clustering and Aggregation in Economics*, Baltimore: The Johns Hopkins Press.

- Kuwahara, T. (1999), "Technology Forecasting Activities in Japan", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 60, pp. 5-14.
- Martin, B. R., R. Johnston (1999), "Technology Foresight for Wiring up the National Innovation System Experiences in Britain, Austria and New Zealand", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 60, pp. 37-54.
- Nelson, P. R., S. G. Winter (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge MA: Belknap-Harvard University Press.
- Ronde, P. (2001), "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.
- Rosenberg, N. (1976), *Perspectives on Technology*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Tassey, G. (1997), *The Economics of R&D Policy*, Connecticut: Quorum Books.

부록: 기술리스트 1

번호	기술	번호	기술
1	100Gbit이상의 불휘발성 메모리소자	56	단백질 기능 및 polypeptide 설계/합성 기술
2	2차원의 정보처리 소자	57	대사 조절 및 대사 산물 운반 규명 기술
3	3차원 사이버 유지업 기술	58	대사물질에 의한 질환지표 구축기술
4	6N 이상의 고순도 철 제조	59	대용량의 크로마토그래피 분리 공정
5	가스터빈용 초내열 합금	60	대체 냉매 냉동기 개발
6	가시광선 투과도 80% 이상의 금속소재	61	대형 고온 초전도 변압기용 고온 초전도체 기술
7	가정용 흡수식 냉난방기기 개발	62	도시쓰레기로부터 유기물 회수를 위한 분별, 분리기술
8	가축 분뇨의 자원화 기술	63	디스플레이용 나노박막 고분자소재 개발
9	간염 치료제 개발	64	디지털 홀로그래픽 데이터저장 시스템
10	거대 자기변형 재료	65	로켓발사체용 수소 및 액체 연료 저장용 소재 개발
11	고기능성 전자 패키징 고분자 소재 개발	66	멀티미디어 통신이 가능한 수첩크기의 휴대용 컴퓨터
12	고기능성 촉매제를 이용한 중금속 분리 기술	67	몰입형 3차원 가상 공간 생성 및 Interaction 기술
13	고분자 나노 섬유제조	68	무선 대용량 에너지 변환소재
14	고분자 나노센서 및 액추에이터 개발	69	무접점 설비진단 센서
15	고분자 나노입자 제조 기술	70	물성을 예측할 수 있는 구조가 제어된 고분자 합성기술
16	고분자 나노입자를 이용한 나노 미세 가공	71	미생물을 이용한 약취 및 대기 정화기술
17	고분자 분리막 소재 및 분리기술 개발	72	바이오 응용 센서 개발 기술
18	고분자복합 절연재료	73	박테리아상 질병을 정복하는 치료제개발 기술
19	고온 고내식성 치료	74	발전시스템용 자성유체
20	고온 고압용 분진 필터 제조 기술	75	복합감각 기능 인공지능 센서
21	고온 내 환경성 코팅 기술	76	부가 중합 반응에서 분자레벨의 제어 프로세스
22	고온 부식성 수처리 필터 제조 기술	77	부형양화된 호소 정화기술
23	고온용 가스 분리막 소재 제조 기술	78	분산형 환경에 적합한 생산정보 관리 기술
24	고온용 금속간 화합물	79	분자 및 구조배열을 제어할 수 있는 새로운 유기 금속촉매
25	고충 대기질 정확히 측정할 수 있는 Remote Sensing 기술	80	분해성 고분자 복합재 개발
26	고효율 유기 발광 소재	81	비 정질 기판에 단결정 박막 성장 기술
27	근종의 항근단백질 및 항혈전 응고물질 의약품	82	산업폐기물로부터 유기금속 및 물질 회수 기술
28	골다공증 감소용 drug개발	83	상온 전이점을 갖는 초전도 재료 및 응용기술 개발
29	공정폐수 재이용 기술	84	상온 초전도 재료
30	광 컴퓨터 개발 기술	85	상온동작 단전자 소자
31	광기록 및 재생용 고분자 소재 개발	86	새로운 구조를 갖는 탄소소재 개발 및 표시소자 개발
32	광촉매를 이용한 VOC제거 기술	87	새로운 매체를 응용한 물질 전환 공정
33	국가간 산성가스에 의해 의한 산성비 원인 및 영향 규명	88	생물정보학 및 화학정보학
34	극소형 동력 전환 장치 개발 기술	89	생체모방 시각 센서 및 고속 영상신호 처리 기술
35	극한 환경용 윤활제 및 코팅 기술	90	석탄의 직접액화 및 간접액화에 의한 연료유 전화기술
36	기계구조물의 자가 진단 기술	91	세라믹 가스터빈의 실용화
37	기능성 고분자 코팅제 개발	92	세라믹 나노기공 항균 필터 기술
38	기능성 필터 기술 개발	93	세라믹 나노분말의 실용화 기술 개발
39	지역의 분자수준 기전 규명기술	94	세라믹스 초소성 가공기술 및 초소성 재료 개발
40	기전에 근거한 임 치료제 개발	95	세포 사멸의 분자수준 기전 규명기술
41	나노 표면 평가 기술	96	세포 인식과 탄수화물의 구조 및 기능 규명기술
42	나노바이오테크놀로지	97	세포를 이용한 대사 공학 기술
43	내산화성 탄소섬유 강화 탄소 복합재료	98	소형 정밀기계용 스마트 센서 기술
44	네트워크 기반 기상현실 기술	99	수백 KW 급 on-site연료 전지
45	노인성치매 예방 및 치료기술	100	수소자동차용 수소저장합금
46	노화 기전 규명기술	101	수소저장용 나노재료기술
47	농촌오수와 축산폐수 병합처리 기술	102	수소제조용 고효율 광촉매 제조기술
48	뇌 및 척수신경손상의 기전 및 재생기술	103	수심 10,000 m 용 해중자로 탐사용 로봇 실용화
49	뇌 ischemic 예방 및 치료기술	104	수심 kW급 고분자 전해질 연료전지, 고체 산화물형 연료전지
50	다시점 카메라 기반 3D 모델링 및 영상 표시 기술	105	스마트 액추에이터 개발 기술
51	다이아몬드 박막/후막이온 반도체 패키징용 열전소자	106	스트립 캐스팅 및 박슬라브 연속주조
52	다이아몬드 박막을 이용한 FED	107	식품의 신선도 측정을 위한 Biosensor
53	다이아몬드 반도체 기술	108	신경세포 보호물질 개발
54	다중 파장 감지용 2 차원 적외선 센서 소자	109	신호 전달과정 규명기술
55	단백질 구조 및 합성 규명기술	110	신호응답형 미사일 드럭

부록: 기술리스트 2

번호	기술	번호	기술
111	악성종양의 억제내성 극복기술	166	태양에너지의 전환 및 저장용 광촉매 기술
112	알프하이머병의 예방 기술	167	테라급 광 정보저장 기술
113	암 유전자 및 암 억제 유전자를 활용한 유전자요법	168	테라비트급 광메모리 소재 및 소자 개발
114	양식장의 적조현상 제어를 위한 해수 순환장치 기술	169	테라비트급 논리소자 및 메모리소자
115	양자 컴퓨터	170	테라비트급 HDD 및 MRAM 소자 및 소재 개발
116	에너지 절약형 무공해 터보기기 기술	171	통신용 고분자 소재 개발
117	연소재 및 비산재의 자원화 기술	172	펩타이드 화합물의 경구 투여기술
118	연속사용온도 450℃의 내열성 고분자 개발	173	폐기물 자원화 기술- 연소재, 비산재, slag
119	열 에너지 고효율화를 위한 세라믹 부품 실용화	174	폐하수 처리장에서 발생하는 슬러지 저감 및 이용기술
120	오염된 지하수 및 매립지 복원기술	175	포화자화 3T 이상의 벌크 자성재료
121	오염물질을 배출하지 않는 청정 도금공정	176	폴리머 전지 소재 개발
122	용융환원 제철법	177	플러렌계 탄소화합물의 대량 합성기술 개발
123	우울증 및 정신분열증 치료제 개발	178	하폐수로부터 중수도 생산 기술
124	유기 고분자의 초분자 구조를 임의로 제어할 수 있는 기술	179	합성 진화형 Smart system-on-a-chip 기술
125	유유기 나노하이브리드 소재 개발	180	해수용 내부식성 합금
126	유전자 기술에 의한 암 진단의약품 개발	181	해양오염 및 해양 생태계 자동 원격 관측망 기술
127	유전자 재조합을 이용한 백신 생산	182	혈액 적합성과 생체 적합성이 우수한 재료의 실용화
128	의료용 생체재료 물질 개발	183	혈액적합성과 생체적합성이 뛰어난 재료
129	의약품의 안전성에 대한 신속한 검정기술	184	형상기억합금
130	이차전지용 나노재료기술	185	화학 제품의 원료를 원료로부터 천연기스로 대체하는 기술
131	인공 뼈 제조기술 개발	186	환경 친화형 합성농약 개발기술
132	임계값, 초고온 증기터빈용 로터깁	187	환경모니터링을 위한 바이오센서 소자 기술
133	자기, 광학, 반도체 융합방식의 기술복합형 드라이브 개발	188	환경오염물질의 원격감시를 위한 센서 개발
134	자기조립기술 (self assembly)	189	환경친화 제품설계 기술
135	자기회복형 고분자 개발	190	효소에 의한 생물학적 변환 공정
136	자동차, 항공기용 경량금속	191	효율 50% 이상의 적층 태양전지 소재 및 소자
137	자율생산 생산시스템 기술	192	AIDS 치료 및 진단기술
138	저마찰 내용착성 나노 복합 유기분자막 기술	193	AIDS 치료제 개발
139	저에너지 소모용 분리막 이용 수처리 및 폐수처리 기술	194	Bio-Automation 기술
140	정보처리용 nano 소재 기술	195	biochip 개발
141	제품 가상 모델링 기술	196	bio-circuit/neurocomputer의 개발
142	조직공학을 이용한 인공장기	197	Biotechnology를 이용한 난분해성 물질 처리 기술
143	조합화학기법을 이용한 신약, 촉매, 신소재 개발기술	198	Biotechnology를 이용한 조류제어 기술
144	종양표지자검색에 의한 암 진단기술	199	c형 간염백신 개발
145	중금속 또는 농약 오염 토양의 복원기술	200	CO, CO2, H2 등을 이용한 C1화학의 실용화
146	한반도 지역의 기후변동 예측 시스템	201	Concurrent 설계 및 지능형 설계 기술
147	지능형 기계상태 진단 기술	202	FGM 소재의 실용화
148	차세대 실감 디스플레이 기술	203	Flexible display용 유기-고분자 소재 개발
149	천적미생물, 페로몬 등 생물농약	204	Intelligent Future Home 개발 기술
150	초거대자기저항 재료	205	Intelligent smart material 개발
151	초고밀도 DVD 기술	206	Interactive Humanoid 기술
152	초고주파 통신용 복합 박막 칩소자	207	Knock-out 쥐의 개발 및 이용 기술
153	초소형 무인 비행체 기술	208	Magneto-calory 냉각소자
154	초소형이면서 사이클 Time이 3000회 이상인 Lipidmer 전지	209	Micro Heat Exchanger 개발 기술
155	초전도 전력선 제조기술	210	Micro unmanned vehicle 용 소재 기술
156	촉매를 이용한 악취 및 대기오염 정화기술	211	Micro-Nano Robot 기술
157	촉매용 나노기공 세라믹 담체/나노 촉매 제조기술	212	Multi-Modal Human-Computer Interaction 기술
158	최대에너지적 70MGOe의 고에너지 자석	213	MW급 인산형 전지, 용융 탄산염형 연료전지 제조기술
159	컴퓨터 모델링에 의한 신약개발기술	214	Reverse Engineering 기술
160	컴퓨터 모델링에 의한 물질 해석	215	SF/SA 개념의 초고밀도 광기록 매체
161	컴퓨터 모사 재료 설계 기술	216	Si 기판에 c-BN 및 다이아몬드 단결정 박막 성장 기술
162	클레이 나노 고분자 복합재 개발	217	SOFC용 세라믹 소재 및 시스템 기술
163	탄소 나노소재 개발	218	SPM 이용 나노 기록 저장용 소재 및 저장 기술
164	탄소 Nano-Tube의 합성기술	219	Synergy nano ceramics/composite 기술
165	태양에너지, 생체시스템 이용 유기물분해 및 수소생산기술		