

## 요인분석에 의한 기술지식지표의 통합 및 구조화<sup>1)</sup>

박광만\* · 신준석\*\* · 박용태\*\*\*

### 〈 목 차 〉

1. 서 론
2. 기존연구
3. 분석자료
4. 기술지식 대용지표간 상관관계 분석
5. 기술지식 대용지표의 구조화 및 기술지식지수의 도출

**Summary:** In the knowledge-based economy, the accumulation of technological knowledge is undoubtedly the core competency to reinforce the competitiveness of individual firms and to raise the innovation capability of social and economic systems. Thus far, however, only single or fragmentary indicators, such as R&D expenditure, R&D stock, the number of researchers and the number of R&D employees have been adopted to measure the amount of technological knowledge. In this research, we suggest an approach for aggregating and structuring respective indicators. Applying correlation and factor analysis, we examine the relationship among nine conventional proxy measures for technological knowledge and present a new approach for gauging an aggregated measure.

키워드: 기술지식지표, 지표 통합, 경쟁력 지수, 요인분석, 주성분 분석

1) 본 연구는 정보통신부 정보통신연구개발사업의 지원하에 이루어졌음.

\* 서울대학교 산업공학과 박사과정 (e-mail: gwangman@cybernet.snu.ac.kr)

\*\* 서울대학교 산업공학과 박사과정 (e-mail: astraeus@hanmail.net)

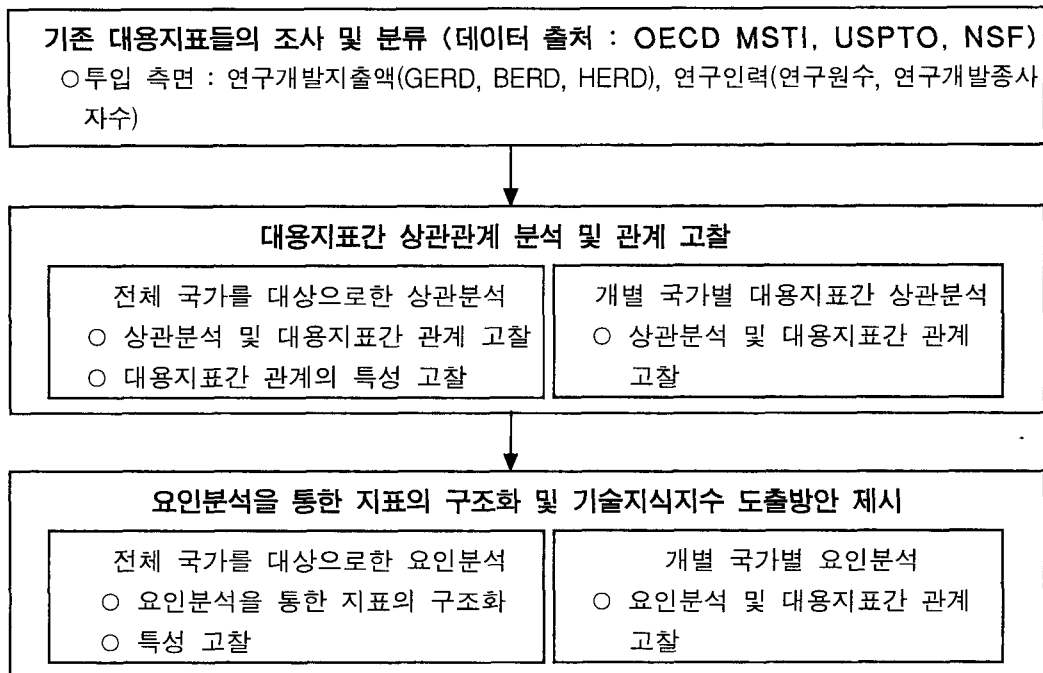
\*\*\* 서울대학교 산업공학과 교수 (e-mail: parkyt@cybernet.snu.ac.kr)

## 1. 서론

기술지식은 그것을 바라보는 시각에 따라서 다양하게 정의될 수 있으나 일반적으로 실제 생산활동에 유용하게 이용될 수 있는 기술적 지식을 의미한다. 이와 같은 기술지식은 기술능력 (technological capability)과 혁신 능력 (innovation capability)에 있어서 핵심적인 요인으로 작용하며, 보다 거시적으로는 한 기업 또는 국가의 경쟁력을 좌우하는 핵심 요소이다. 기술지식이 경쟁력의 핵심이라는 인식이 확산되면서 한 국가의 기술지식 수준 측정을 위한 기술지식 지표 (indicator)에 대한 사회적 수요가 증가하고 있다. 90년대 들어 OECD의 주도 아래 다양한 측면에서 지표의 개발과 구조화가 시도되었으나, 대부분이 기술투자, 창출, 활용의 한 측면만을 대상으로 하는 단편적 지표를 계량적으로 정교화 하고, 측정의 정확성을 기하기 위한 방안 제시 수준에 머무르고 있다 (OECD, 2001; Sirilli, 1998).

그러나 기술지식 측정에 있어서의 본질적인 문제는 단일지표로는 다양한 이질적 요소를 내포하고 있는 기술지식을 충분히 근사할 수 없다는 것이다. 현재 기술지식의 크기를 나타내는데 사용되는 대용지표 (proxy variables)들에는 연구개발투자, 연구개발인력 또는 과학기술인력, 특히, 기술무역수지 (technology balance of payments : TBP)와 같은 지표가 사용되고 있으나, 이들이 개별적인 차원에서 기술지식을 대용하는 것에는 단순화의 오류가 존재하는 것으로 인식되고 있다 (NISTEP, 2001; OECD, 2001; Wu & Lin, 2001). 따라서 여러개의 지표를 종합한 지수의 개발이 시도되고 있으나 자의적인 가중치 부과에 따른 문제점이 존재하거나 (Roessner et al., 1996; WEF, 2002), 서베이 자료를 이용하는데 따른 문제점 (권용수 등, 2000; 정진호, 1997; WEF, 2002) 및 연구의 초점이 기술지식 그 자체 보다는 기술능력 및 경쟁력에 초점이 맞추어져 있는 등의 문제점이 존재한다 (Blackman et al., 1973; Lim & Song, 1996; NISTEP, 2001; Sharif & Haq, 1980; Wu & Lin, 2001).

본 연구에서는 기술지식의 창출구조를 투입과 산출의 흐름으로 파악하고 이를 바탕으로 다양한 계량 지표의 통합 (aggregation)을 시도하고자 한다. OECD의 과학기술지표 자료를 중심으로 연구개발지출, 인력, 기술무역수지, 특히, 논문수를 중심으로 한 주요 기술지식 지표들간의 연관관계를 상관분석을 통해 파악한다. 그리고 이들 계량 지표들을 요인분석을 통해 구조화하고, 이를 통해 기술지식지수 (technological knowledge index) 개념으로의 통합과 그 의미를 탐색적으로 제시하고자 한다. 본 연구의 추진 체계는 다음 <그림 1>과 같이 도식화 할 수 있다.



<그림 1> 연구의 추진 체계

## 2. 기존 연구

기존의 경우 기술지식의 크기를 측정하는 지표로서는 주로 연구개발투자, 연구개발스톡 및 연구개발인력 또는 과학기술인력, 특히 등과 같은 단편적인 지표를 채택하고 있다 (김문수, 1999; 박용태 등, 2001; 장진규 등, 1994, 홍순기 등, 1991; Karki, 1997; Leoncini et al., 1996; Papaconstantinou et al., 1998; Ramani & Looze, 2002; Tijssen et al., 1999; Wakelin, 2001).

그러나 이와 같은 단편적인 지표로서 기술지식을 측정하는 것에는 한계와 여러 가지 문제점이 존재하며, 특히 거시적인 관점에서 경제 전체 또는 특정 산업분야의 혁신능력을 측정하는 것에는 부적합한 것으로 인식되고 있다 (Esposito, 1993; Geisler, 1994; Sahal, 1985; Sharif, 1986; Wu & Lin, 2001). 따라서 최근의 연구에서는 경제 전반의 또는 특정 산업분야의 혁신능력을 측정하기 위한 노력이 이루어지고 있다 (박용태 등, 2001; Jones & Lall, 1998; Furman et al., 2002; Kaiser, 2002; Lim & Song, 1996; NISTEP, 2001; Roessner et al., 1996; WEF, 2002; Wu & Lin, 2001). 이와 같은 연구에서는 기술지식을 측정하기

위한 대리변수로 RCA (revealed comparative advantage)와 같은 지표를 채택하여 국가 간 비교를 수행하거나 (Jones & Lall, 1998), 보다 종합적으로 기술지식 또는 기술경쟁력을 도출하기 위하여 기존 지표들을 가중평균 하거나 주요인 분석 또는 요인분석 등의 분산분석을 수행하여 복합지표를 제시하고 있다 (Lim & Song, 1996; NISTEP, 2001; Roessner et al., 1996; WEF, 2002; Wu & Lin, 2001). 또한 기술지식을 측정하기 위한 대용지표간 비교를 시도하거나, 이의 통합 가능성에 대한 탐색을 수행하고 있다 (박용태 등, 2001; Furman et al., 2002; Kaiser, 2002).

본 연구에서 시도하고 있는 기술지식 지표의 통합에 의한 기술지식지수의 도출은 기본적으로는 지표별 가중치 부과에 의한 지수도출이라는 점에서 기술 능력 (technological capability) 또는 기술 경쟁력 (technological competitiveness) 지수 산출과 유사하다고 할 수 있다. 따라서 이에 대하여 구체적인 지수 도출 방법론 측면에서 보다 자세히 고찰한다. 기술 능력 또는 기술 경쟁력 지수 도출을 위한 방법은 크게 분류해 보면 첫째, 지표별 가중치 부과에 따른 단순한 가중 평균 도출 방법 (Roessner et al., 1996; WEF, 2002)과 둘째, 주 성분 분석 및 요인분석과 같은 분산분석을 수행하여 통합된 복합 지표를 도출하는 통계적 방법으로 구분할 수 있다 (Blackman et al., 1973; Lim & Song, 1996; NISTEP, 2001; Sharif & Haq, 1980; Wu & Lin, 2001).

첫 번째 방법인 가중 평균 도출에 의한 경쟁력 지수의 도출은 국제경영개발원 (International Institute for Management Development: IMD), 세계경제포럼 (World Economic Forum: WEF) 등에서 채택하고 있다. IMD는 OECD 국가와 신흥공업국을 대상으로 140개의 하드 데이터 (hard data)와 106개 문항의 설문조사 결과 (soft data)를 이용하여 경쟁력 지수를 도출하고 있다. 각 국가의 상대적 경쟁력 격차를 8개 부문별 지표 (거시경제 지표, 국제화, 정부, 금융, 하부구조 (SOC), 경영(기업), 과학기술, 인력)로 구성하고 이를 종합하여 경쟁력 지수를 산출하며, 이 때 하드 데이터는 가중치를 1.0으로 주고, 서베이 자료는 0.66을 부여하는데 이는 IMD에서 임의로 결정한 것이다 (권용수 등, 2000).

WEF도 IMD와 마찬가지로 하드 데이터와 설문조사 결과, 총 161개 항목의 자료를 결합하여 경쟁력 지수를 도출하고 있으며, IMD에 비하여 지수 도출에 있어서 서베이 자료를 상당히 많이 사용한다. 모든 자료를 8개요인 (개방성, 정부, 금융, 사회간접자본, 기술, 기업경영, 노동, 제도)으로 분류하고, 각 요인별로 나무구조의 자료구조를 활용하여 자료를 취합하고 지수를 구성한다. 일반적으로 정량자료에는 가중치를 3/4, 서베이 자료의 경우에는 1/4을 주어 평균하나 이는 요인별로 차이가 있으며, 각 요인을 종합화할 경우의 가중치도 8개 요인별로 차이가 있다 (WEF, 2002).

이 밖에 IMD와 WEF의 분석 자료를 이용하여 경쟁력 지수 도출을 시도한 국내 연구가

다수 존재한다 (정진호, 1997; 권용수 등, 2000). 이들 연구에서는 분석방법으로 핵심 경쟁력 요소 추출법 (Key Factors for Competitiveness: KFC)과 같은 통계적 기법을 개발하여 분석하거나 (정진호, 1997), 또는 요인분석을 수행하여 경쟁력 지수를 도출하고 있다 (권용수 등, 2000).

두 번째 방법은 통계적 방법론인 분산분석을 이용하여 다수의 지표를 단일 또는 다수의 복합 지표로 도출하는 방법이다. 이때 분산분석 기법으로는 주성분 분석이나 요인분석이 이용된다. Lim & Song (1996)의 연구에서는 OECD 국가와 대만 및 한국을 대상으로 기초과학 연구 능력을 측정하기 위한 방법으로 요인분석을 수행하여 지표를 도출하고 있다. 여기서는 GDP 대비 R&D 투자비율, 인구 만명당 연구원수, 연구원당 R&D 투자액, 대학의 R&D 투자액, 대학의 연구자 비율에 대한 대학의 R&D 투자액의 상대적 비율 및 과학인용지수 (science citation index: SCI)에서의 인용수 등 총 6개 지표를 대상으로 요인분석을 수행하여 지표를 도출하였다. 본 연구는 방법론적인 측면에서는 이와 같은 분산분석 기법을 이용하고 있다.

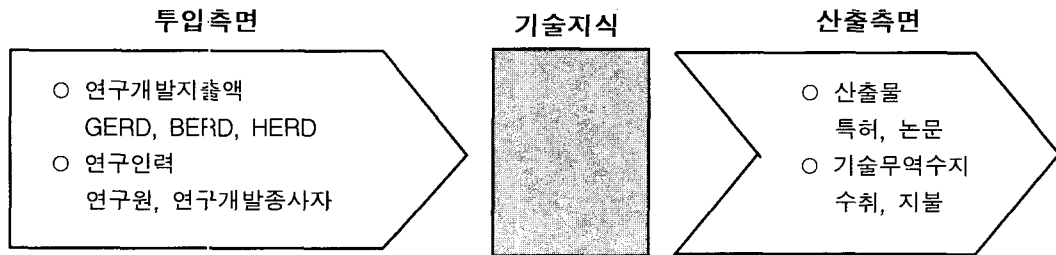
그리고 NISTEP (2001)은 각국별 과학기술의 통합 지표로 GIST (General Indicator of Science and Technology) 지표를 제시하고 있으며, GIST의 도출에 있어서 주성분 분석을 이용하고 있다. 여기서는 이학분야의 학사학위 취득자수, 공학분야의 학사학위 취득자수, 연구개발 종사자수, R&D 투자액, 기술수입액, 과학논문수, SCI 논문에서의 인용수, 국내특허 출원수, 국외특허 출원수, 기술수출액, 산업제품의 부가가치액, 하이테크 제품의 생산액 등 총 12개 지표를 대상으로 주성분 분석을 수행하여 GIST 지수를 도출한다.

Wu & Lin (2001)의 연구는 15개국을 대상으로 기술경쟁력 지수를 도출하고 있다. 본 논문에서는 기업의 R&D 투자액, 대학 및 연구기관의 R&D 투자액, 기업의 R&D 연구자 수, 특허 강점 (patent strength), 제조업 부가가치액, 하이테크 산업의 부가가치액, 하이테크 수출액 등 7개 자료를 대상으로 주성분 분석을 수행하여 기술 경쟁력 지수를 도출한다. 이 밖의 연구에서 혁신지수와 같은 지수도출에 있어서 요인분석 등의 분산분석 기법이 이용되고 있다 (Blackman et al., 1973; Sharif & Haq, 1980).

### 3. 분석자료

본 연구에서는 먼저 기술지식의 크기를 측정하는데 이용되는 기존의 지표들에 대한 조사 및 정리를 수행하였다. 그 결과 본 연구에 포함된 기술지식 지표들로는 연구개발 지출액 (GERD (정부 연구개발 지출액), BERD (민간 연구개발 지출액), HERD (교육/인력 연구

개발 지출액)), 연구인력<sup>1)</sup> (연구원 수, 연구개발 종사자 수), 특허, 논문, 기술무역수지 수취 (received) 및 지불 (payment) 등을 포함하였으며, 이들 지표들은 개별 지표의 특성을 고찰 하여 <그림 2>와 같이 분류되었다.



<그림 2> 기술지식 대응지표 및 분류

본 연구의 자료는 기본적으로 OECD의 MSTI (Main Science and Technology Indicators) 데이터베이스에 근거하고 있다 (OECD, 2002). GERD, BERD, HERD, 연구원 수, 연구개발 종사자 수, 특허 수, 기술무역액 수취 (TBPREC), 기술무역액 지불 (TBPPAY)의 자료들이 여기에 해당한다. 단, 국가별 논문 수는 미국 National Science Board의 'Science and engineering indicators 2002'에서 지역/국가별 논문 수 자료를 활용했으며, OECD에서 누락된 기술무역수지와 특허자료의 일부는 과학기술부의 「과학기술 연구활동조사보고」 (2001)에 요약 수록된 National Science Foundation의 자료와 미국 특허청 (USPTO)의 데이터베이스를 이용하였다. 본 연구에서 금액은 1995년 기준으로 불변화해 백만불 단위로, 인력은 명수로, 특허와 논문은 건수로 각각 통일하였다. 불변화 과정에서 사용된 디플레이터는 구매력지수 (Purchasing Power Parity)를 사용하였다.

OECD의 2002년 MSTI DB는 37개국을 대상으로 자료를 수집한 것이다. 이들 국가중 본 연구에서 채택한 9개 지표중 7개 지표 이상의 자료를 가지고 있으며 집계자료를 연구분석 대상기간인 1981~2000년에서 50%이상 보유하고 있는 20개 국가를 연구대상으로 설정하였다. 상관분석 및 요인분석에서는 자료의 가용여부 및 누락비율에 따라서 일부 국가 및 지표를 배제하였다.

1) 연구원 수는 연구개발활동에 종사하는 학사이상 학위소지자 또는 동등 이상의 전문지식을 갖고 있는 자로서 연구개발 과제를 직접 수행하는 사람을 의미하며, 연구개발 종사자 수는 연구원 뿐만 아니라 연구보조원 및 기타 기술 및 기능직 종사자가 아닌 사람으로서 경리·회계·행정 등의 지원·기능인력을 포함한다.

#### 4. 기술지식 대용지표간 상관관계 분석

기술지식 대용지표간 상관관계분석은 지표 구조화 및 이들을 통합한 기술지식지수 도출의 기반이 된다. 이러한 전제하에서 본 분석의 목적은 기본적으로 기술지식의 투입 및 산출 부문으로 분류된 각각의 지표간 관계를 규명하고자 하는 것이다. 보다 구체적으로는 전체 국가를 대상으로 하여 총괄적으로 상관관계를 분석하고, 대용지표간 관계를 분석하고자 하였다. 그리고 개별 국가의 기술지식 대용지표간 관계의 특성을 파악하기 위하여 각국별로 기술지식 대용지표간의 연관관계를 상관분석을 통해 고찰하였다.

##### 4.1 전체 국가를 대상으로한 분석

본 연구에서는 상관관계 분석을 통해 각 변수의 선정된 변수들의 적절성, 유사도, 관계를 평가하였다. 여기에서는 자료 누락이 심한 한국, 덴마크, 아일랜드, 아이슬랜드 및 스웨덴을 분석에서 제외하였다. 1981~2000년까지의 전년도, 15개 국가를 대상으로 9개 지표의 상관계수를 계산한 결과는 <표 1>과 같다.

<표 1> 국가수준 지표간 상관계수행렬

	GERD	BERD	HERD	연구원수	R&D 종사자수	TBPREC	TBPPAY	논문	특허
GERD	1	0.988	0.975	0.709	0.396	0.765	0.419	0.833	0.829
BERD		1	0.977	0.707	0.391	0.764	0.412	0.826	0.817
HERD			1	0.746	0.496	0.743	0.425	0.838	0.818
연구원수				1	0.660	0.383	0.216	0.731	0.510
R&D 종사자수					1	0.119	0.257	0.330	0.206
TBPREC						1	0.746	0.608	0.696
TBPPAY							1	0.250	0.328
논문								1	0.814
특허									1

주) 상관계수는 유의수준 0.05에서 유의함.

<표 1>에서 전체적으로 확인할 수 있는 경향은 다음과 같다. 첫째, 연구개발지출 항목과 산출변수간의 상관관계가 전반적으로 높다. 특허 및 논문 수와는 0.8~0.9 사이에서, 기술무

역 수취와는 0.7~0.8 사이에서 값을 가진다. 둘째, 연구원 수와 특허 및 논문 수는 연구개발 지출보다는 낮지만 유의한 상관관계를 보인다. 연구원 수와 논문 수는 0.7~0.8에서, 특허 수는 0.5~0.6에서 상관계수를 가진다.

<표 1>의 다른 지표쌍들은 유사한 지표들로 개념적으로도 쉽게 연관관계를 찾을 수 있는 것들이다. 투입 측면에서는 연구개발 지출항목인 GERD, BERD, HERD의 상관계수가 높으며(0.9~1.0), 연구개발인력인 연구원 수, 종사자 수간 상관계수가 높다 (0.6~0.7). 산출측면에서는 기술무역의 수취/지불지표와 (0.7~0.8), 특허 및 논문 수간의 상관관계가 높다 (0.8~0.9). 이 밖의 변수쌍간의 상관계수는 0.5 미만으로 상관관계가 높지 않다. 이와 같은 결과를 정리하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 상관계수에 따른 지표관계

지표관계	분류		지표쌍	상관계수범위
유사지표	투입	연구개발지출	GERD, BERD, HERD	0.9~1.0
		연구개발인력	연구원 수, 연구개발 종사자 수	0.6~0.7
	산출	기술무역수지	기술무역 수취/지불	0.7~0.8
		산출	특허 수, 논문 수	0.8~0.9
비례 선형 관계	투입-산출관계		(GERD, BERD, HERD) - (특허 수, 논문 수)	0.8~0.9
			연구원 수 - (특허 수, 논문 수)	0.5~0.8

주) ( )는 ( )안 변수들의 조합 전체를 나타내고, -(하이픈)은 비례선형관계를 나타냄.

## 4.2 국가별 분석

국가별 분석에서는 국가별로 상관분석을 통해 지표간 관계를 살펴보고자 하였다. 상관관계 분석에 있어서, 자료누락이 심한 영국은 분석에서 배제하였으며, 오스트리아의 경우에는 BERD, HERD, 연구원 수 및 연구개발 종사자 수 등의 지표를 분석에서 제외하였다. 그리고, 덴마크, 아이슬란드, 아일랜드, 네덜란드는 기술무역액 지표의 자료부족으로 이를 제외하였고, 스웨덴의 경우는 기술무역액 지불을, 미국은 연구개발 종사자 수의 지표를 배제하였다.

각 국가별로 상관계수에 따른 지표관계를 정의한 후 구조의 유사성에 따라 각 국가를 분류하였다. 기본적으로는 투입변수간, 산출변수간 관계와 투입-산출관계 구조가 분류체계가 된다. 상관계수 강도의 표현에 대해서는 0.8 이상을 강한 상관관계로, 0.6~0.8을 중간 정도의 상관관계로, 0.6 이하를 약한 상관관계로 정의하기로 한다.

각각의 상관계수 크기에 따라 위에서 분류한 상관계수 정도의 범주에 따라 각 국가의 지



표간 관계를 분류하였고, 투입변수간, 산출변수간, 투입-산출간 상관계수의 정도에 따라 범주를 구분하였다. 위에서 언급한 상관계수의 정도에 의한 조합은 27가지가 가능하겠지만, 실제 각 국가를 분류한 결과 유의한 조합은 6개로 줄어들었다. 여기서 상관계수의 강도 분류 기준은 각 범주에 속하는 지표쌍의 상관계수들의 평균값을 기준으로 이용하여 분류하였다. 투입-산출구조와 상관계수의 정도에 따라 분류할 수 있는 범주의 수와 해당 국가는 <표 3>과 같다.

범주 1은 투입변수간, 산출변수간, 투입-산출변수간 상관계수가 모두 높은 범주를 나타낸다. 투입변수간, 산출변수간 지표가 유사하며 투입지표와 산출지표가 유의한 선형 비례관계에 있다는 것을 나타낸다. 아이슬랜드는 투입변수의 지표들만이 유사하며, 오스트리아는 투입-산출간 상관관계만이 강하게 나타난다. 노르웨이와 독일은 각각 산출변수간, 투입변수간에 상관관계가 낮다. 상관관계가 모든 측면에서 약하게 나타나는 국가에는 이탈리아, 네덜란드, 스웨덴, 스위스가 있다. 이 국가들은 투입-산출구조상에서 유의한 관계를 상관분석으로는 파악하기 힘들다. 단 일본만은 비교적 상관계수값 사이에 차이가 존재한다.

<표 3> 투입-산출구조와 상관계수에 의한 국가분류

범주	투입변수간 상관계수	산출변수간 상관계수	투입-산출간 상관계수	국 가
1	강	강	강	호주, 벨기에, 캐나다, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 아일랜드, 미국, 스페인, 한국
2	강	중 이하	중 이하	아이슬랜드
3	중 이하	중 이하	강	오스트리아
4	강	중 이하	강	노르웨이
5	중 이하	강	강	독일
6	중 이하	중 이하	중 이하	이탈리아, 네덜란드, 스웨덴, 스위스, 일본

## 5. 기술지식 대용지표의 구조화 및 기술지식지수의 도출

앞에서는 기술지식지표간의 관계를 상관분석을 통해 살펴보았다. 여기에서는 요인분석을 통해 기존 기술지식지표들의 구조화 및 통합 지표로의 통합가능성에 대하여 살펴보려고 한다. 먼저 국가별 데이터 전체를 대상으로 요인분석을 실시하였으며, 이후에 국가별 분석을 통해 각국별 특성을 규명하고자 하였다.

## 5.1 전체 국가를 대상으로한 분석

전체 국가를 대상으로한 분석에서는 전년도, 전 국가를 대상으로 요인분석을 실시해 공통 요인 및 요인점수를 도출하고, 이를 바탕으로 국제적 수준에서 지표간 관계를 구조화하고자 하였다. 그리고 요인점수를 가중치로 하여 기술지식의 크기를 나타내는 새로운 기술지식지수를 제시하고자 한다. 요인분석을 실시하기에 앞서 분석의 타당성을 검증할 필요가 있으며, 우선적으로 변수쌍의 상관성에 대한 다른 변수의 설명력과 항등행렬 가정 등 두 가지를 검증해야 한다. 전자에 대해서는 Keiser-Meyer-Olkin (KMO) 측도를 통해 유의성을 검증하였고, 후자에 대해서는 Barlett의 구형성 검정치 (test of sphericity)를 이용하였다. KMO 측도 분석의 목적은 사용한 변수쌍간의 상관관계가 각 변수들에 의해 설명되는 정도를 나타낸 것이다. 일반적으로 0.90이상이면 상관관계가 높고 요인분석에 적합하게 변수를 선정한 것이며, 0.50이하면 상관관계가 낮고 요인분석에 적절하지 않다. 본 분석의 KMO값은 0.832336으로, Kaiser (1974)의 분류에 의하면 요인분석이 유의미한 것으로 판명되었다. 또한 Barlett의 구형성 검정치 분석결과, 카이제곱값이 약 2937이고 유의수준이 0.00으로 판명되어 요인분석을 사용하기에 적절한 것으로 분석되었다.

요인분석의 기준은 상관계수가 되며, 공통요인의 추출에는 주성분 분석 기법을 사용하였다. 요인 개수 선정의 기준인 고유치 (eigenvalue)의 값은 보통 1을 사용한다. 그러나 본 분석에서 이 조건을 사용할 경우 대상 변수의 개수가 적기 때문에 공통요인의 수가 너무 적어진다. 분산에 대한 설명력이 충분해도 해석상의 유의성이 감소할 위험이 있는 것이다. 본 연구에서는 먼저 기존 지표들을 특성에 따라서 유형적으로 투입-산출이라는 두 범주로 지표들을 분류하였고, 변수의 개수를 고려할 때 공통요인의 개수는 2개에서 9개 사이이다. 실제 이 범위에서 공통요인의 수를 조정해가며 표본총분산에 대한 설명력과 요인점수를 살펴본 결과 적절한 요인의 개수는 2개로 판명되었다. <표 4>는 각 요인의 표본총분산에 대한 설명력이다.

<표 4> 각 요인의 표본총분산 설명력

Component	Initial Eigenvalues		
	Total	% of Variance	Cumulative %
1	7.14	79.34	79.34
2	1.40	15.52	94.87
3	0.33	3.62	98.48

표본 총분산의 설명력과 고유값의 크기에서 볼 때 요인 1과 2만이 유의하다. 표본총분산에 대한 두 요인의 누적설명력은 94.87%다. 9개 지표를 94.87% 설명하는 2개의 요인으로 줄인 후에는 각 변수가 요인에서 차지하는 비중, 각 요인이 변수를 설명하는 비중을 구해야 한다. 이를 통해 요인과 변수의 관계를 명확히 파악할 수 있으며 가중치로 사용해 각 지표를 하나의 기술지식지표로 통합하는 것이 가능하게 된다. <표 5>의 구조행렬은 요인이 각 변수를 설명하는 정도를 나타낸 것이며 <표 6>은 한 요인에서 각 변수가 차지하는 비중의 계수가 된다.

<표 5> 구조행렬(structure matrix)

변수	공통요인 1	공통요인 2
GERD	0.99	0.73
BERD	0.99	0.71
HERD	0.98	0.69
연구원	0.97	0.65
종사자	0.99	0.71
TBPREC	0.63	0.95
TBPPAY	0.51	0.91
PAPER	0.96	0.64
PATENT	0.85	0.73

<표 6> 요인점수 상관계수 행렬

변수	공통요인 1	공통요인 2
GERD	0.14	0.06
BERD	0.14	0.05
HERD	0.14	0.04
연구원	0.14	0.00
종사자	0.14	0.05
TBPREC	0.08	0.38
TBPPAY	0.06	0.40
PAPER	0.13	0.00
PATENT	0.12	0.19

사각회전을 통해 얻은 요소행렬을 구조행렬 (structure matrix)이라고 한다. 공통요인 1은 기술무역액 (TBPRE, TBPPAY)을 제외한 전 요소를 포괄해 하나의 차원을 구성한다. 공통요인 2는 기술무역수지의 부하계수가 높으며 이 두 차원을 중심으로 한 차원을 구성한다. 요인점수의 상관계수는 각 공통요인을 구성하는 변수의 비중으로 사용할 수 있다. 공통요인 1의 경우 연구개발지출과 인력, 연구개발 산출물, 기술무역액의 순으로 가중치가 낮아진다. 요인 2는 기술무역의 지출/수취항목이 절대적으로 크며 특허 수를 제외하고는 비중이 낮거나 거의 없다.

## 5.2 국가별 분석

기술지식지표가 실제 정책적 측면에서 효용성을 지니기 위해서는 개별 국가의 과학기술 측면에서의 고유한 특성을 반영해야 한다. 따라서 9개 과학기술지표의 상관관계, 공통요인, 가중치가 각 국가별로 어느 정도의 편차를 보이는지를 분석할 필요가 있다. 국가별 지표관계를 파악한 후에는 구조적 유사성에 기반해 국가들을 분류하고 정성적 분석을 시도하고자 하였다.

요인분석을 하기에 앞서 국가별로 요인분석 기법을 적용하는 것이 적합한지를 판단해야 한다. 앞서서와 같이 KMO 측도와 Bartlett의 구형성 검정치를 이용해서 국가별로 요인분석의 적합성을 판단한 결과, 스웨덴, 스위스, 영국은 상관계수 행렬이 양의 한정 (positive definite)이 아니기 때문에 분석에서 제외하였다. Bartlett의 구형성 검정치에서 항등행렬 가정은 모두 유의수준 .000에서 만족한 것으로 판명되었으나, KMO 측도에는 차가 있는데 국제수준 총괄분석시보다 KMO값이 떨어진다. 즉, 지표간 상관관계에 대한 다른 지표의 설명력이 개별 국가에서는 감소한다는 것이다. 특히 일본, 한국, 네덜란드, 노르웨이와 같이 KMO 측도값이 0.5~0.6 사이인 경우 추출한 공통요인과 요인점수가 유의하지 않을 위험이 높다고 할 수 있다.

스웨덴, 스위스, 영국을 제외한 17개 국가에 대해 요인분석을 실시하였다. 요인분석의 기준은 앞서서와 마찬가지로 상관계수가 되며, 공통요인의 추출에는 주성분 분석 기법을 사용하였다. 요인 개수의 결정방법은 일반적으로 고유치의 값을 이용하며, 기준값은 보통 1을 이용하지만 본 연구에서는 변수의 수가 비교적 적으므로 분산 설명력과 해석상의 의미를 고려해서 유연하게 결정하였다. 각 지표간에 상관관계의 존재가 입증되었으므로 사각회전을 채택하였다. 요인점수계수의 값과 요인행렬의 계수값이 가급적 양수가 되도록 델타값을 조정해가며 회전하도록 한다.

각 국가별로 위의 기준을 적절하게 수정해가며 요인분석을 시행하였다. 먼저 추출된 요인

의 개수, 요인과 부하계수가 높은 변수의 관계를 기준으로 각 국가를 분류하였고 이후 요인 점수 계수의 지표별 비중에 따라 국가를 재분류하였다. <표 7>은 이 두 가지 분류와 상관분석의 결과를 종합해 최종적으로 국가별 특성을 분류한 것이다.

<표 7> 상관분석과 요인분석에 따른 국가별 분류결과

범주	상관분석			요인분석	국 가
	투입	산출	투입-산출		
1	강	강	강	1개 요인 9개 지표 비중 균일	덴마크, 핀란드, 프랑스, 아일랜드
2	강	강	강	2개 요인 산출지표 분리	호주, 캐나다, 스페인, 미국
3	강	강	강	2개 요인 투입지표 분리	벨기에, 독일, 한국
4	중 이하	중 이하	중 이하	2개 요인 인력지표 분리	이탈리아, 일본, 네덜란드
5	한 측면만 강함			지표별 비중 불균일, 투입-산출구조와 불일치	오스트리아, 아이슬랜드, 노르웨이

상관분석에서 투입은 투입지표간 상관계수의 정도를 나타낸다. 산출은 산출지표간, 투입-산출은 투입지표와 산출지표간의 상관관계 정도이다. 요인분석에서는 추출된 요인의 수와 부하계수, 요인점수 계수를 통해 살펴본 요인의 성격 및 요인내 각 변수 비중의 세 가지 특징을 기준으로 한 분류결과를 다시 통합, 정리한 것이다. 상관분석은 20개 국가를 대상으로 했지만 요인분석에서는 스웨덴, 스위스, 영국을 제외했으므로 후자에 맞춰 17개국만을 분류 대상으로 한다.

범주 1부터 3은 상관계수가 투입간, 산출간, 투입-산출간에 모두 0.9이상인 국가들이다. 요인분석을 통해 이 국가들을 다시 세 범주로 세분한다. 범주 1은 공통요인 내에서 각 변수가 차지하는 비중이 비교적 균일하며 하나의 공통요인으로 설명되는 국가들이다. 범주 2의 국가들은 산출지표중 일부가 별도요인으로, 범주 3은 투입지표중 일부가 별도요인으로 분리된다. 범주 4에 속하는 국가들에서 상관관계는 세 측면에서 모두 약하지만 요인분석에서는 인력관련 지표들이 별도로 분리된다. 범주 5의 상관관계 측면에서 오스트리아는 투입-산출간, 아이슬랜드는 투입간, 노르웨이는 산출간 상관관계만이 강하게 나타난다.

요인분석에서는 공통요인내 각 변수 비중이 불균일하며 동시에 투입-산출구조에 따라 해석하기 어렵게 혼합된 형태로 나타난다. 국제수준에서 총괄분석을 시행했을 때의 요인점수 계수행렬인 <표 6>과 결과를 비교해 보면 각 요인에 대한 변수비중이 대상국가 전체와 개별국가간에 차이가 크다는 것을 알 수 있다.

### 5.3 기술지식지수의 도출

기술지식지수로의 통합은 다음과 같은 절차를 통해서 가능하다. 요인별 가중치는 표준총본산에 대한 각 변수의 설명력이 되며 각 요인 내에서의 지표의 가중치는 요인점수계수가 된다. 각 변수의 요인점수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{개별 국가의 요인점수} &= \sum_{i=1}^n (\text{i번째 요인의 표본 총본산 설명력}) \\ &\quad \times (\text{i번째 요인의 j 변수의 요인점수 계수}) \times (\text{정규화한 변수 j}) \\ \text{여기서, } n &= 1, \dots, \text{요인의 수} \end{aligned} \quad (1)$$

국가간 비교가 목적이므로 우선 연도를 고정하고 지수를 계산한다. 각 연도에서 국가-기술지식지수로 구성된 행렬에 요인분석을 적용해 요인점수를 얻는다. 국가별 변수의 정규분포를 가정하였으므로 요인점수도 정규분포를 따르게 된다. 그 과정은 식 (1)과 같다. 비교의 편의를 위해 정규분포를 따르는 요인점수를 누적확률분포의 값을 이용해 0~100의 구간값으로 변환한다. 이 경우 중심의 확률밀도가 큰 분포를 선형확대한 것이기 때문에 구간의 길이가 균일하지 않은 문제가 있다. 국가별 비교시에는 이 문제를 고려해야 한다.

1981년부터 1999년까지 이 방법에 따라 기술지식지수를 도출한다. 자료가 50% 이상 누락된 변수, 연도, 국가는 분석에서 제외했다. 각 국가 내에서 기술지식지수는 일반적으로 연도에 따라 증가하는 경향을 보인다. 따라서 누락된 자료의 일부는 인접구간의 평균값으로 대체했다.

기술지식지수의 도출에 있어서는 자료의 누락이 심한 미국, 덴마크, 아일랜드 및 아이슬랜드를 제외한 호주, 오스트리아, 벨기에, 캐나다, 핀란드, 프랑스, 독일, 이탈리아, 네덜란드, 노르웨이, 스페인, 스웨덴, 스위스, 영국, 일본, 한국의 16개국에 대하여 기술지식지수를 도출하였으며, 그 값은 <표 8>과 같다.

여기에서 도출된 각국별 기술지식지수의 해석에 있어서는 주의가 필요하다. 본 연구에서는 각국이 어느 정도의 기술지식을 보유하고 있는지 즉, 기술지식 총량의 측정을 기존 지표를 통해서 종합화하고 있으며, 따라서 각국별 경제규모, 인구 등의 크기에 따른 정규화 과정이 고려되고 있지 않다. 따라서 국민 일인당 보유 기술지식비교와 같은 분석을 위해서는 경제규모의 크기에 따른 정규화 과정이 필요하다. 이와 같은 정규화 과정에 있어서는 GDP 또는 인구규모와 같은 지표가 이용될 수 있을 것이나, 앞서 언급했듯이 본 연구에서의 초점이 기술지식의 총량에 맞추어져 있으므로 본 연구에서는 이를 고려하지 않았다.

<표 8> 각 국가별 기술지식지수

국가연도	81	82	83	84	85	86	87	88	89	
호주	24.57	25.70	27.72	27.61	28.02	29.68	30.06	29.27	28.45	
오스트리아	20.44	22.29	23.90	23.31	23.42	25.30	25.52	24.78	24.08	
벨기에	32.64	36.69	37.75	38.39	39.05	39.66	38.69	38.25	38.65	
캐나다	38.52	39.60	43.78	44.71	44.92	43.00	42.95	42.63	41.57	
핀란드			22.79	22.75	22.94	24.70	25.20	24.47	23.98	
프랑스	70.83	68.64	68.44	69.93	69.29	67.02	65.93	64.75	61.69	
독일	90.85	87.03	88.90	87.00	88.17	94.04	94.23	93.31	92.05	
이탈리아	38.40	38.30	40.61	40.15	39.79	41.17	41.20	43.68	40.30	
네덜란드	33.78	58.90	57.94	56.85	57.50	52.78	52.73	53.83	53.91	
노르웨이	19.70	21.19	22.94	22.54	22.65	24.46	25.03	26.00	25.23	
스페인	26.71	30.66	31.08	29.95	30.06	31.15	31.08	32.15	32.16	
스웨덴	25.11	25.68	27.33	27.34	27.54	29.17	29.34	28.43		
스위스						37.16	36.54	35.99	34.40	
영국	78.00	71.91	73.33	75.98	74.58	69.30	70.69	70.25	67.07	
일본	99.31	96.83	98.06	98.23	97.95	97.89	97.69	98.18	97.80	
국가연도	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
호주	29.66	29.83	29.49	29.08	28.65	30.02	30.33	30.61	30.57	28.65
오스트리아	25.37	25.22	28.65	28.58	28.94	30.89	30.08	29.51	30.47	
벨기에	38.77	37.05	35.79	36.25	36.46	37.32	35.54	35.45	36.12	35.17
캐나다	42.49	42.08	40.68	40.44	40.91	41.44	41.60	41.86	42.42	41.03
핀란드	25.16	25.06	24.18	23.99	23.60	24.62	24.37	24.91	25.11	24.03
프랑스	63.62	61.10	60.98	59.16	58.50	59.53	59.81	58.54	58.45	55.55
독일	93.15	93.51	93.03	92.63	92.73	94.17	92.59	92.91	92.78	91.24
이탈리아	42.32	46.39	52.86	49.06	47.21	46.69	46.44	46.49	45.25	43.39
네덜란드	56.44	60.75	58.30	54.07	52.32	48.82	44.94	44.12	42.56	40.16
노르웨이	26.41	26.41	25.73	25.58	24.99	25.78	24.65	24.76	25.58	24.19
스페인	34.85	34.86	35.64		28.50	29.71	30.02	30.66	31.08	29.40
스웨덴	28.84	28.61	28.00	27.88						
스위스	34.97	34.59	33.35	33.66	33.54	33.67	31.89	31.49	31.52	28.80
영국	67.57	63.88	64.34	62.89	65.26	65.23	80.60	80.66	80.61	75.93
일본	97.96	97.97	97.88	97.69	97.89	98.39	97.91	97.79	97.83	97.09
한국						35.24	35.15	36.15	35.16	

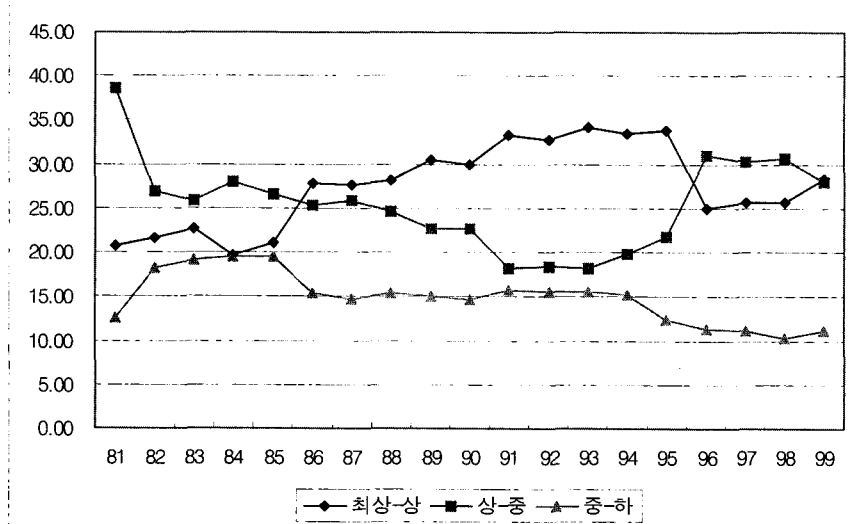
<표 8>에서 구한 기술지식지수의 상대비교를 위해 점수가 높은 순으로 정렬해 순위를 매기고 변화를 비교하였으며, 그 결과는 <표 9>와 같다. 연도별로 누락된 데이터의 양에 차이가 있기 때문에 비교대상 국가의 수가 변화한다. 81~85년까지 스위스 자료가 없으며 94년부터 스웨덴의 자료가 없다. 한국은 95년~98년까지의 자료만 입수 가능하다. 비교와 정책적 함의를 살펴보기 위해 분석대상에 포함시켰다.

<표 9> 1981~1989년의 기술지식지수 순위

순위\연도	81	82	83	84	85	86	87	88	89	
1	일본	일본	일본	일본	일본	일본	일본	일본	일본	
2	독일	독일	독일	독일	독일	독일	독일	독일	독일	
3	영국	영국	영국	영국	영국	영국	영국	영국	영국	
4	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	
5	캐나다	네덜란드	네덜란드	네덜란드	네덜란드	네덜란드	네덜란드	네덜란드	네덜란드	
6	이탈리아	캐나다	캐나다	캐나다	캐나다	캐나다	캐나다	이탈리아	캐나다	
7	네덜란드	이탈리아	이탈리아	이탈리아	이탈리아	이탈리아	이탈리아	캐나다	이탈리아	
8	벨기에	벨기에	벨기에	벨기에	벨기에	벨기에	벨기에	벨기에	벨기에	
9	스페인	스페인	스페인	스페인	스페인	스위스	스위스	스위스	스위스	
10	스웨덴	호주	호주	호주	호주	스페인	스페인	스페인	스페인	
11	호주	스웨덴	스웨덴	스웨덴	스웨덴	호주	호주	호주	호주	
12	오스트리아	오스트리아	오스트리아	오스트리아	오스트리아	스웨덴	스웨덴	스웨덴	노르웨이	
13	노르웨이	노르웨이	노르웨이	핀란드	핀란드	오스트리아	오스트리아	노르웨이	오스트리아	
14	핀란드	핀란드	핀란드	노르웨이	노르웨이	핀란드	핀란드	오스트리아	핀란드	
15						노르웨이	노르웨이	핀란드	스웨덴	
순위\연도	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
1	일본	일본	일본	일본	일본	일본	일본	일본	일본	일본
2	독일	독일	독일	독일	독일	독일	독일	독일	독일	독일
3	영국	영국	영국	영국	영국	영국	영국	영국	영국	영국
4	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스	프랑스
5	네덜란드	네덜란드	네덜란드	네덜란드	네덜란드	네덜란드	이탈리아	이탈리아	이탈리아	이탈리아
6	캐나다	이탈리아	이탈리아	이탈리아	이탈리아	이탈리아	네덜란드	네덜란드	네덜란드	캐나다
7	이탈리아	캐나다	캐나다	캐나다	캐나다	캐나다	캐나다	캐나다	캐나다	네덜란드
8	벨기에	벨기에	벨기에	벨기에	벨기에	벨기에	벨기에	한국	벨기에	벨기에
9	스위스	스페인	스페인	스위스	스위스	한국	한국	벨기에	한국	스페인
10	스페인	스위스	스위스	호주	오스트리아	스위스	스위스	스위스	스위스	스위스
11	호주	호주	호주	오스트리아	호주	오스트리아	호주	스페인	스페인	호주
12	스웨덴	스웨덴	오스트리아	스웨덴	스페인	호주	오스트리아	호주	호주	노르웨이
13	노르웨이	노르웨이	스웨덴	노르웨이	노르웨이	스페인	스페인	오스트리아	오스트리아	핀란드
14	오스트리아	오스트리아	노르웨이	핀란드	핀란드	노르웨이	노르웨이	핀란드	노르웨이	오스트리아
15	핀란드	핀란드	핀란드	스페인	스웨덴	핀란드	핀란드	노르웨이	핀란드	스웨덴
16						스웨덴	스웨덴	스웨덴	스웨덴	



<표 8>~<표 9>의 국가별 기술지식지수와 순위를 비교하면 몇 가지 특징을 도출할 수 있다. 단, 이 비교는 기술지식의 절대량을 기준으로 한 분석이 아니라 연도별 상대량을 기준으로 하여 비교한 것이다. 첫째, 기술지식지수의 상대값 차와 그 순위는 전반적으로 안정적이다. 최상위권 국가인 일본과 독일은 안정적으로 90점대이며, 상위권 국가인 영국과 프랑스도 중위권 국가인 네덜란드, 이탈리아, 캐나다, 벨기에, 스위스에 비해 상대적 우위를 유지하고 있다. 하위권의 스페인, 스웨덴, 호주, 오스트리아, 노르웨이, 핀란드의 경우 그 값은 20~30의 범위에 모두 포함된다. 이 네 그룹의 평균치는 통계적으로 유의하다. 분산분석에서 F값은 99% 신뢰수준에서 유의하며 연도변화에 따라서도 지속적으로 유지된다. 따라서 이 네 그룹간 지수값 평균의 차는 통계적으로 유의하다. 둘째, 이 그룹간 기술지식지수의 차는 그룹간에 다른 패턴을 보여준다. <그림 3>에서 최상위 그룹과 상위그룹간의 차는 95년까지 계속 증가하며 반대로 상위그룹과 중위그룹의 차는 감소한다. 그러나 96년에 이러한 경향은 일시적으로 역전되며 이후 안정적이다. 중위권과 하위권 그룹의 차는 80년대 중반까지는 소폭 증가했으나 이후로는 지속적으로 감소한다. 마지막으로 상대적으로 변동이 큰 국가들이 일부 관찰된다. 영국, 프랑스, 네덜란드의 세 국가가 이 경우에 해당된다. 한국은 95~98년의 자료로는 중위그룹에 해당하며 이 4년간의 기술지식지수 값은 안정적으로 나타난다.



<그림 3> 그룹간 기술지식지수 평균차의 연도별 변화

## 6. 결론 및 추후 연구방향

지식기반경제의 도래에 따라서 기술지식의 사회적 축적은 사회경제적 시스템의 혁신능력을 제고하고 개별기업의 경쟁력을 강화하는 핵심으로 인식되고 있다. 그러나 기존의 경우 기술지식의 크기는 주로 R&D 투자, R&D 스톡, R&D 인력 등과 같은 단편적 지표에 의해 대용되고 있어, 전체적인 차원에서 이들 변수간의 연관관계를 고려하여 통합한 기술지식스톡에 대한 지표의 연구가 필요하다.

본 연구에서는 기술지식의 크기를 계량적으로 측정한 9개 변수 즉, GERD, BERD, HERD, 연구원 수, 연구개발 종사자 수, 특허 수, 논문 수, 기술무역액 수취/지불의 9개 계량 변수를 대상으로 하여, 각 변수간 상관관계 및 구조화에 대한 연구를 수행하였고, 요인분석을 수행하여 이들 변수들을 종합하여 통합한 기술지식지표를 도출하였다. 본 연구에서 제시하고 있는 기술지식지수는 여러 기술지식지표의 연관관계에 근거하여 도출되는 지수로, 이에 따라 보다 종합적이고 체계적인 기술지식의 수준에 대한 분석이 가능할 것이다.

그러나 본 연구에서 제시하고 있는 기술지식지수의 의미를 보다 체계적으로 구체화하기 위해서는 기술지식지수와 거시 경제적 성과와의 연관관계에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다. 즉, 각국별로 기술지식지수와 경제 지표와의 동태적, 정태적 분석을 통해 이들간의 연관관계에 대한 분석이 이루어져야 할 것이다. 또한 본 연구에서 다루지 못한 - 예를 들면 연구개발스톡과 같은 - 추가적인 기술지식지표들에 대한 고려가 이루어져야 할 것이다.

### 〈참 고 문 헌〉

- 과학기술부 (2001), 과학기술연구활동 조사보고, CD-ROM.
- 권용수·박병무 (2000), 「지식기반 중심의 과학기술력 지수 개발에 관한 연구」, 과학기술정책연구원.
- 김문수 (1999), 「한국 제조업의 지식연계구조 특성과 기술변화」, 서울대학교 박사학위 논문.
- 박용태·박광만·김문수 (2001), “Correlation among Measures of Technological Knowledge”, 「기술혁신연구」, 제9권 제2호, pp. 17-33.

- 장진규 · 정성철 · 김기국 (1994), 「연구개발투자의 경제효과 분석」, 과학기술정책연구원.
- 정진호 (1997), 「한국 경제의 글로벌 국가경쟁력」, 한국경제연구원.
- 홍순기 · 홍사균 · 안두현 (1991), 「연구개발투자의 산업부문간 흐름과 직·간접 생산성 증대효과 분석에 관한 연구」, 과학기술정책연구원.
- Blackman, A. W., E. J. Seligman and G. C. Sogliero (1973), “An Innovation Index Based on Factor Analysis”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 4, No. 3, pp. 301-316.
- Esposito, E. (1993), “Technology Measurement: A Composite Approach”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 43, No. 1, pp. 1-17.
- Furman, J. L., M. E. Porter and S. Stern (2002), “The Determinants of National Innovative Capacity”, *Research Policy*, Vol. 31, No. 6, pp. 899-933.
- Geisler, E. (1994), “Key Output Indicators in Performance Evaluation of Research and Development Organizations”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 47, No. 2, pp. 189-203.
- Jones, A. and A. Lall (1998), “A Comparative Record of Technological Capability in ASEAN Countries”, *Technovation*, Vol. 18, No. 4, pp. 263-274.
- Kaiser, H. F. (1974), “An Index of Factorial Simplicity”, *Psychometrika*, Vol. 39, pp. 31-36.
- Kaiser, U. (2002), “Measuring Knowledge Spillovers in Manufacturing and Services: An Empirical Assessment of Alternative Approaches”, *Research Policy*, Vol. 31, No. 1, pp. 125-144.
- Karki, M. M. S. (1997), “Patent Citation Analysis: A Policy Analysis Tool”, *World Patent Information*, Vol. 19, No. 4, pp. 269-272.
- Leoncini, R., M. A. Maggioni and S. Montresor (1996), “Intersectoral Innovation Flows and National Technological Systems: Network Analysis for Comparing Italy and Germany”, *Research Policy*, Vol. 25, No. 3, pp. 415-430.
- Lim, Y. T. and C. H. Song (1996), “An International Comparative Study of Basic Scientific Research Capacity: OECD Countries, Taiwan and Korea”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 52, No. 1, pp. 75-94.
- NISTEP (2001), *Science and Technology Indicators: 2000*, NISTEP Report No. 66, Tokyo: NISTEP.
- OECD (1996), *Science, Technology and Industry Outlook*, Paris: OECD.

- OECD (2001), *Special Issue on New Science and Technology Indicators*, STI Review, No. 27, Paris: OECD.
- OECD (2002), *Main Science and Technology Indicators*, CD-ROM, Paris: OECD.
- Papaconstantinou, G., N. Sakurai and A. Wyckoff (1998), "Domestic and International Product-embodied R&D Diffusion", *Research Policy*, Vol. 27, No. 3, pp. 301-314.
- Ramani, S. V. and M. A. Looze (2002), "Using Patent Statistics as Knowledge Base Indicators in the Biotechnology Sectors: An Application to France, Germany and the U.K.", *Scientometrics*, Vol. 54, No. 3, pp. 319-346.
- Roessner, J. D., A. L. Porter, N. Newman and D. Cauffiel (1996), "Anticipating the Future High-tech Competitiveness of Nations: Indicators for Twenty-eight Countries", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 51, No. 2, pp. 133-149.
- Sahal, D. (1985), "Foundations of Technometrics", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 27, No. 1, pp. 1-37.
- Sharif, M. N. and A. K. M. A. Haq (1980), "Evaluating the Potentials of Technical Cooperation Among Developing Countries", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 16, No. 1, pp. 3-31.
- Sharif, M. N. (1986), "Measurement of Technology for National Development", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 29, No. 2, pp. 119-172.
- Sirilli, G. (1998), *Conceptualizing and Measuring Technological Innovation*, IDEA Paper Series 1, STEP Group.
- Teitel, S. (1994), "Scientific Publications, R&D Expenditures, Country Size and Per Capita Income: A Cross Section Analysis", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 46, No. 2, pp. 175-187.
- Tijssen, R. J. W. and E. Wijk (1999), "In Search of the European Paradox: An International Comparison of Europe's Scientific Performance and Knowledge Flows in Information and Communication Technologies Research", *Research Policy*, Vol. 28, No. 5, pp. 519-543.
- Wakelin, K. (2001), "Productivity Growth and R&D Expenditure in UK Manufacturing Firms", *Research Policy*, Vol. 30, No. 7, pp. 1079-1090.
- World Economic Forum (2002), *The Global Competitiveness Report 2001-2002*,

Oxford: Oxford University Press.

Wu, R. and H. Lin (2001), "International Competitiveness of Taiwan's Industrial R&D and Innovation", *International Conference on "Measuring and evaluating of industrial R&D and innovation in the knowledge-based economy"*, August 23-24, Taipei.