

기술지식지표의 통합 및 구조화에 대한 연구<sup>1)</sup>  
A Study on the Aggregation and Structuring  
of Technological Knowledge Indicators

박 광 만, 신 준 석, 박 용 태 (서울대학교 산업공학과)

**Abstract**

Though it has been recognized that the accumulation of technological knowledge has been the core competency to reinforce the competitiveness of individual firms and to raise the innovation capability of social and economic systems, only single or fragmentary variables, such as R&D expenditure, R&D stock, the number of researchers and the number of R&D employee have been adopted to measure the amount of technological knowledge.

In this research, we use nine conventional technological knowledge measures under the conceptual structure of input-output framework to technological knowledge. Applying correlation and factor analysis, we examine the relationships among the nine proxy measures quantitatively and suggest the new approach for the calculation of technological knowledge index as a aggregated measure.

**I. 서론**

기술지식이 경쟁력의 핵심이라는 인식이 확산되면서 한 국가의 기술지식 수준 측정을 위한 기술지식 지표(indicator)에 대한 사회적 수요가 증가하고 있다. 90년대 들어 OECD의 주도 아

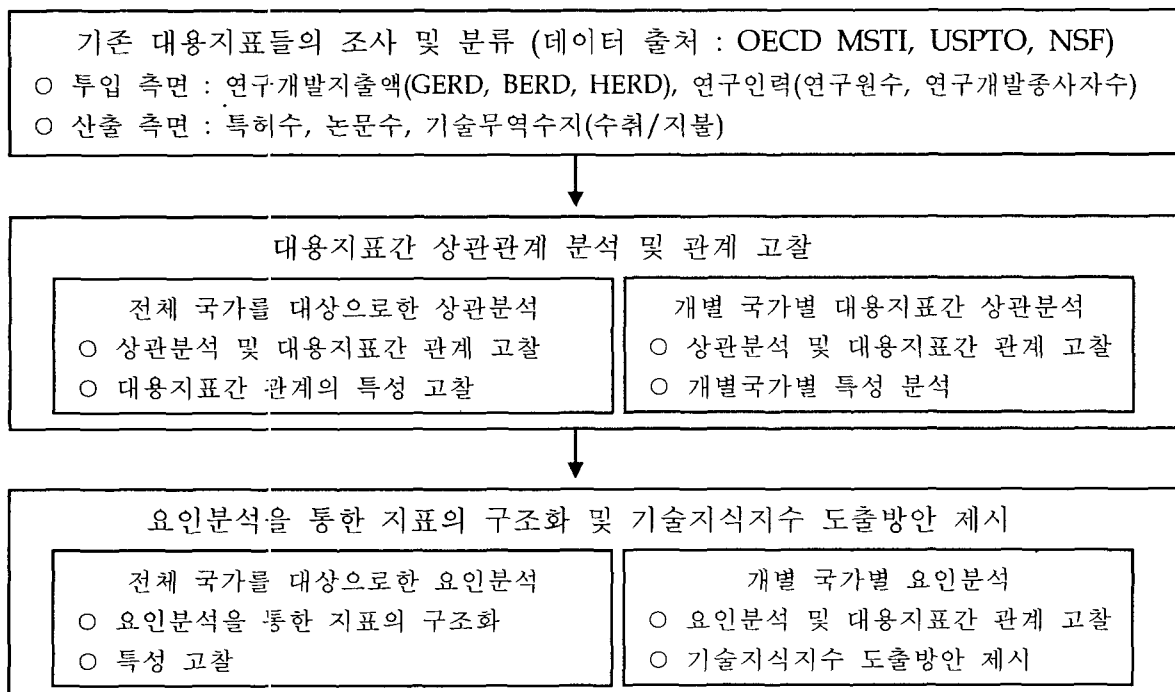
---

1) 본 연구는 정보통신부 정보통신연구개발사업의 지원하에 이루어졌음.

래 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[14].

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(R&D expenditure), 연구개발인력 또는 과학기술인력, 특허(patents), TBP(technology balance of payments)와 같은 지표가 사용되고 있으나, 이들이 개별적인 차원에서 기술지식을 대용하는 것에는 단순화의 오류가 존재하는 것으로 인식되고 있다[14].

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(TBP), 특허, 논문수를 중심으로 한 주요 기술지식 지표들 간의 연관관계를 상관분석을 통해 파악한다. 그리고 이들 계량 지표들을 요인분석을 통해 구조화 하고, 이를 통해 기술지식지수(technological knowledge index) 개념으로의 통합가능성과 그 의미를 탐색적으로 제시하고자 한다. 본 연구의 추진 체계는 다음 [그림 1]과 같이 도식화 할 수 있다.



[그림 1] 연구의 추진 체계

## II. 기존 연구

기존의 경우 기술지식의 크기를 측정하는 지표로서는 주로 연구개발투자, 연구개발스톡 및 연구개발인력 또는 과학기술인력 등과 같은 단편적인 지표를 채택하고 있다[3, 4, 5, 7, 11, 12, 16, 17, 18]. 그러나 이와 같은 단편적인 지표로서 기술지식을 측정하는 것에는 한계와 여러 가지 문제점이 존재하며, 특히 사회 전체의 혁신능력을 측정하는 것에는 부적합한 것으로 인식되고 있다. 따라서 최근의 연구에서는 경제 전반의 또는 특정 산업분야의 혁신능력(innovative capacity)을 측정하기 위한 노력이 이루어지고 있다[8, 10]. 이와 같은 연구에서는 기술지식을 측정하기 위한 대용지표간 비교를 주로 시도하고 있으며, 이의 통합(aggregation) 가능성에 대한 탐색을 수행하고 있다[4].

본 연구에서 시도하고 있는 기술지식 지표의 통합에 의한 기술지식지수의 도출은 기본적으로는 지표별 가중치 부과에 의한 지수도출이라는 점에서 경쟁력 지수 산출과 유사하다고 할 수 있다. 국가 경쟁력 지수는 국제경영개발원(International Institute for Management Development: IMD), 세계경제포럼(World Economic Forum: WEF) 및 한국경제연구원(Korea Economic Research Institute: KERI) 등에서 분석, 발표하고 있으며, 이에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다.

IMD의 국가 경쟁력 산출을 위한 기초자료는 OECD 국가와 신흥공업국 및 시장경제 참여국을 대상으로 국제기구, 지역 또는 민간기구, 그리고 각국 정부로부터 수집한 140개 기준의 하드 데이터(hard data)와 106개 문항의 최고경영자 평가 서베이 결과인 설문조사 결과(soft data)를 이용한다. IMD 지표 산정방식은 각 국가의 상대적 경쟁력 격차를 8개 부문별 지표(거시경제 지표, 국제화, 정부, 금융, 하부구조(SOC), 경영(기업), 과학기술, 인력)로 구성하고, 이를 토대로 경쟁력 지수를 산출한다. 먼저 8개 부문별 지표를 구성하기 위해 각 지표를 표준화한 후 상대적 순위를 표준편차로 가중 평균하여 점수를 만들고, 그 결과에 따라서 순위를 정한다. 지표를 구하기 위해 우선 각각의 기준에 따라 최상위 국가와 최하위 국가를 결정하고 나머지 대상국가들의 상대순위를 결정해 나간다. 이 때 통계자료는 가중치를 1로 주고, 서베이 자료는 0.66을 부여하는데 이는 IMD에서 임의로 결정한 것이다[2].

WEF는 경쟁력 지수의 의미를 '중장기적인 경제성장과 깊은 상관관계가 있는 것으로 밝혀진 경제지표의 지수'로 정의하고 있다. WEF에서는 경쟁력 지수를 산출하기 위해 IMD와 마찬가지로 두가지 종류의 데이터 즉, 하드 데이터와 설문조사 결과, 총 161개 항목의 자료를 결합하여 활용하고 있다. 먼저 하드 데이터로는 37개 항목을 사용하는데 경제성과, 기술적 역량, 사회간접자본 등의 양적 변수가 이에 속한다. 다음 서베이 자료로는 124개 항목을 사용하는데, 매년 WEF의 Executive Opinion Survey를 바탕으로 하고 있으며, IMD에 비하여 서베이 자료가 지수 도출에 있어서 상당히 많이 사용된다. WEF의 국가 경쟁력 지수 산출과정에 대하여

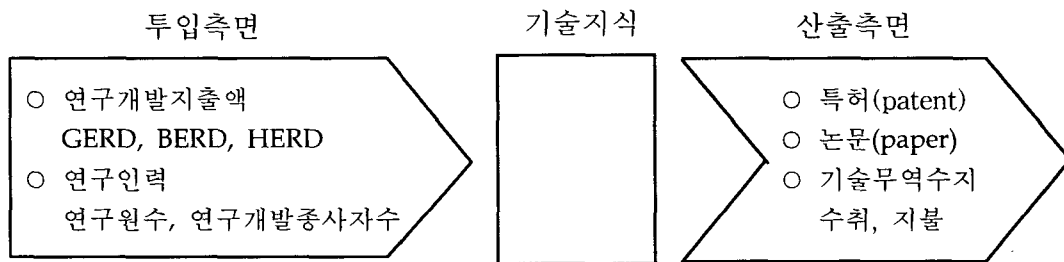
보다 자세히 살펴보면 다음과 같다. 먼저 모든 자료를 8개 요인(개방성, 정부, 금융, 사회간접 자본, 기술, 기업경영, 노동, 제도)으로 분류하고, 국가 규모에 따른 잠재적 편향(bias)을 제거하기 위해 표준화를 한다. 다음으로 각 요인별로 나무구조의 자료구조를 활용하여 자료를 취합하고 지수를 구성한다. 즉, 개방성, 정부, 금융, 노동 등에 대한 순위를 정하기 위해 자료를 정량 자료와 서베이 자료로 구분하여, 정량자료의 표준화 점수에 가중치를 3/4, 서베이 자료의 표준화 점수에 가중치를 1/4을 주어 평균한다. 나머지 요인들인 경영, 제도 등은 정량 자료를 취득하기가 어려우므로 전적으로 서베이 자료에 의존하고, 기타 사회간접자본 및 기술 등은 서베이 자료에 3/4을 가중치로 둔다. 이렇게 구성된 8개 요인의 지수를 통해 전체적인 경쟁력 지표를 산출한다. WEF의 목표는 이 전반적인 경쟁력 지수가 일인당 경제성장률과 높은 상관관계를 가져야 한다는 것이므로 경제성장률에 근거하여 개방성, 정부, 금융, 노동 등 4개 요인에 대해서는 다른 요인보다 높은 1/6의 가중치를 부여하고, 사회간접자본과 기업경영에는 1/9을, 나머지 요인에는 1/18의 가중치를 부여하여 지수를 도출한다[19].

KERI에서는 IMD와 WEF의 자료를 이용하여 국가경쟁력 분석을 수행하였다. 분석방법에 있어서는 IMD와 WEF와는 달리 핵심 경쟁력요소 추출법(Key Factors for Competitiveness: KFC)을 새로이 개발하여 적용하였는데, 기초통계 및 서베이 지표를 10개 항목(국내 경제 활력, 국제화 및 세계화, 정부행정, 기업경영, 인프라스트럭처, 금융환경, 인적자본형성, 과학 및 기술, 고용관계, 사회응집력)으로 나눈 후 경쟁력 기여도 가중치를 추계하고 그 비중을 따라 군집화(clustering)를 수행하여 핵심 세부요소를 추출한 후 경쟁력 분포 결합법에 의해 상위 지표의 점수와 순위를 계산하였다[6].

이 밖에도 STEPI에서는 과학기술력 지수개발에 대한 연구를 수행하였는데, 여기에서는 과학기술력 지수 개발을 위하여 지식기반을 '지식의 투입과 창출, 그리고 활용을 위한 기반(infrastructure)'으로 파악하여, 지식기반을 지식투입기반, 지식창출기반, 그리고 지식활용기반으로 구분하였다. 그리고 지식기반에 관련된 직접적인 통계자료는, IMD에서 이용한 자료를 활용하여 분석을 수행하였다. 여기에서는 사회기반(infrastructure), 과학기술(science & technology), 인적자원(people)분야 등에서 지식기반과 1차적으로 관련이 있다고 판단되는 33개 경쟁력 관련 자료를 추출하였고, 추출된 자료를 대상으로 요인분석(factor analysis)과 주성분분석(principal component analysis) 등 분산분석 기법을 통해 33개 자료를 주성분 특성을 기준으로 지식활용기반, 지식투입기반, 지식창출기반 등 3개 부문으로 통합, 재구성하였다. 그리고 이들 세 가지 기반경쟁력을 다시 종합하여 종합기반 경쟁력을 추정하여 과학기술력 지수를 도출하였다. 이렇게 도출된 지수의 타당성을 검증하기 위해 IMD에서 발표한 종합순위 및 분석의 대상인 사회기반, 과학기술, 인적자본 등 각 분야의 순위와 비교하였다. 이와 더불어 KERI의 방법(KFC 방법)에 의해 추출된 경쟁력 순위와도 비교 분석을 수행하였다[2].

### III. 분석자료

본 연구에서는 먼저 기술지식의 크기를 측정하는데 이용되는 기존의 지표들에 대한 조사 및 정리를 수행하였다. 그 결과 본 연구에 포함된 기술지식 지표들로는 연구개발지출액(GERD, BERD, HERD), 연구인력(연구원수, 연구개발종사자수), 특허, 논문, 기술무역수지(TBP) 등을 포함하였으며, 이들 지표들은 개별 지표의 특성을 고찰하여 [그림 2]와 같이 분류되었다.



[그림 2] 기술지식 대용지표 및 분류

본 연구의 자료는 기본적으로 OECD의 MSTI(Main Science and Technology Indicators) 데이터베이스(CD-ROM, 2002)에 근거하고 있다. GERD(정부 연구개발지출), BERD(민간 연구개발지출), HERD(교육/ 인력 연구개발지출), 연구원수, 연구개발종사자수, 특허, 기술무역수지 수취(TBPPREC), 지불(TBPPAY)의 자료들이 여기에 해당한다. 단 국가별 논문수는 미국 National Science Board의 'Science and engineering indicators 2002'에서 지역/국가별 논문수 자료를 활용했으며, OECD에서 누락된 기술무역수지와 특허자료의 일부는 과학기술부의 '과학기술연구활동조사보고'(2001)에 요약 수록된 National Science Foundation의 자료와 미국 특허국(USPTO)의 홈페이지 DB(데이터베이스)를 이용하였다. 차원(dimension)을 통일시킬 수 있는 자료들은 가능한 같은 차원으로 정리하였다. 본 연구에서 금액은 1995년 기준으로 불변화해 백만불 단위로, 인력은 명수로, 특허와 논문은 건수로 각각 통일하였다. 불변화 과정의 디스플레이 터로는 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 대상 기간인 1981~2000년간에서 50%이상 보유하고 있는 20개 국가를 연구대상으로 설정하였다. 상관분석 및 요인분석에서는 자료의 가용여부 및 누락비율에 따라서 일부 국가 및 지표를 배제하였다.

#### IV. 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 분석하여 대용지표간 관계를 분석하고, 군집분석을 통해 얻어진 지표간 관계와 비교하였다. 그리고 개별 국가별로 기술지식 대용지표간의 연관관계를 상관분석을 통해 고찰하고자 하였다.

##### 4.1. 전체 국가를 대상으로 한 분석

상관관계 분석을 통해 각 변수의 선정된 변수들의 적절성, 유사도, 관계를 평가하고자 하였다. 여기에서는 자료 누락이 심한 한국, 덴마크, 아일랜드, 아이슬란드 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&D종사자수	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
연구원				1	0.660	0.383	0.216	0.731	0.510
종사자					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

<표 1>에서 전체적으로 확인할 수 있는 경향은 다음과 같다. 첫째, 연구개발지출 항목과 산출변수간의 상관관계가 전반적으로 높다. 특허 및 논문수와는 0.8~0.9 사이에서, 기술무역수지(수취)와는 0.7~0.8 사이에서 값을 가진다. 둘째, 연구원수와 특허 및 논문수는 연구개발지출 보다는 낮지만 유의한 상관관계를 보인다. 연구원수와 논문수는 0.7~0.8에서, 특허수는 0.5~0.6에서 상관계수를 가진다. <표 1>의 다른 지표쌍들은 유사한 지표들로 개념적으로도 쉽게 연관관계를 찾을 수 있는 것들이다. 투입 측면에서는 연구개발지출항목인 GERD, BERD,

HERD의 상관계수가 높으며(0.9~1.0), 연구개발인력인 연구원수, 종사자수간 상관계수가 높다(0.6~0.7). 산출측면에서는 기술무역수지의 수취/지불지표와(0.7~0.8) 특허수 및 논문수간의 상관관계가 높다(0.8~0.9). 이밖의 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, 종사자	0.6~0.7
	산출	기술무역수지	기술무역수지 수취/지불	0.7~0.8
		산출	특허수, 논문수	0.8~0.9
비례 선형관계	투입-산출관계		(GERD, BERD, HERD) - (특허수, 논문수)	0.8~0.9
			연구원수 - (특허수, 논문수)	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, 연구원수 및 R&D종사자수 등의 지표를 분석에서 제외하였다. 그리고, 덴마크, 아이슬란드, 아일랜드, 네덜란드는 기술무역수지 지표의 자료부족으로 이를 제외하였고, 스웨덴의 경우는 기술무역수지 지불을, 미국은 R&D종사자수의 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. 0.9 이상을 강조할 경우 아주 강한 상관관계로 표현하였다. 각각의 상관계수 크기에 따라 위에서 분류한 상관계수 정도의 범주에 따라 각 국가의 지표간 관계를 최종적으로 결정하였다. 일차적으로 투입변수간, 산출변수간, 투입-산출간 상관계수의 정도에 따라 범주를 구분하였다. 위에서 언급한 상관계수의 정도에 의한 조합은 27가지가 가능하겠지만, 실제 분류결과 유의한 조합은 6개로 줄어들어 나타났다. 상관계수의 강도분류 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.

<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

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 차가 있다.

## V. 기술지식 대응지표의 구조화 및 기술지식지수 도출방안

4장에서는 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 각 국별 특성을 규명하고자 하였다.

### 5.1. 전체 국가를 대상으로한 분석

전체 국가를 대상으로한 분석에서는 전년도, 전 국가를 대상으로 요인분석을 실시해 공통요인 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 가정의 두 가지를 검증해야 한다. 전자에 대해서는 Keise-Meyer-Olkin(KMO) 측도를 통해 유의성을 검증하였고, 후자에 대해서는 Barlett의 구형성 검정치(test of sphericity)를 이용하였다. KMO 측도 분석의 목적은 사용한 변수쌍 (Variable-pair)간의 상관관계가 각 변수들에 의해 설명되는 정도를 나타낸 것이다. 일반적으로 0.90이상이면 상관관계가 높고 요인분석에 적합하게 변수를 선정한 것이며, 0.50이하이면 상관관계가 낮고 요인분석에 적절하지 않다. 본 분석의 KMO값은 0.832336으로, Kaiser(1974)의 분류에 의하면 요인분석이 유의미한 것으로 판명되었다[9]. 또한 Barlett의 구형성 검정치(test of sphericity) 분석결과, 카이제곱값(Chi-Square)이 약 2937이고 유의수준이 0.00으로 판명되어 요인분석을 사용하기에 적절한 것으로 분석되었다.

요인분석의 기준은 상관계수(correlation coefficient)가 되며, 공통요인의 추출에는 주성분 분석(principal component analysis) 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(typologically) 투입-산출이라는 두 범주로 지표들을 분류하였고, 변수의 개수를 고려할 때 공통요인의 개수는 2개에서 9개 사이이다. 실제 이 범위에서 공통요인의 수를 조정해 가며 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. 추출하는 요인의 개수를 2개로 결정한 후에는 요인과 변수의 부하계수를 결정해야 한다. 변수를 요인으로 설명하면 요소행렬(component matrix)이 된다. 공통요인에서의 각 변수의 비중은 요인점수(factor score)의 상관계수로 평가한다. 각 분석결과는 <표 5>, <표 6>과 같다.

<표 5> 구조행렬(structure matrix)

변수	Component 1	Component 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

	Component 1	Component 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 1(Component 1)은 기술무역수지(TBPREC, TBPPAY)를 제외한 전 요소를 포괄해 하나의 차원을 구성한다. 공통요인 2(Component 2)는 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, 연구개발산출물, 기술무역수지의 순으로 가중치가 낮아진다. 요인 2는 기술무역수지의 지불/수취항목이 절대적으로 크며 특허수를 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 Positive definite이 아니기 때문에 분석에서 제외하였다. Bartlett의 구형성 검정치에서 항등행렬 가정은 모두 유의수준 .000에서 만족한 것으로 판명되었으나, KMO 측도에는 차가 있는데 국제수준 총괄분석시보다 KMO 값이 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 상관계수(correlation coefficient)가 되며, 공통요인의 추출에는 주성분

분석(principal component analysis) 기법을 사용하였다. 요인 개수의 결정 방법은 일반적으로 고유치(eigenvalue)의 값을 이용하며, 기준값은 보통 1을 이용하지만 본 연구에서는 변수의 수가 비교적 적으므로 분산 설명력과 해석상의 의미를 고려해서 유연하게 결정하였다. 각 지표간에 상관관계의 존재가 입증되었으므로 사각회전(oblique rotation)을 채택하였다. 요인점수계수의 값과 요인행렬의 계수값이 가급적 양수가 되도록 델타값을 조정해가며 회전하도록 한다.

각 국가별로 위의 기준을 적절하게 수정해가며 요인분석을 시행하였다. 먼저 추출된 요인의 개수, 요인과 부하계수가 높은 변수의 관계를 기준으로 각 국가를 분류하였고 이후 요인점수계수의 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	이탈리, 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, 요인점수계수를 통해 살펴본 요인의 성격 및 요인내 각 변수 비중의 세 가지 특징을 기준으로 한 분류결과를 다시 통합, 정리한 것이다. 상관분석은 20개 국가를 대상으로 했지만 요인 분석에서는 스웨덴, 스위스, 영국을 제외했으므로 후자에 맞춰 17개국만을 분류대상으로 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 요인점수계수행렬인 <표 6>과 결과를 비교해 보면 각 요인에 대한 변수비중이 대상국가 전체와 개별국가간에 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 범주 1과 2가 국제수준 결과에 유의한 영향을 미친다고 판단되는데, 범주 1의 국가들의 요인점수계수값이 <표 6>과 유사하며 범주 2에서 두 번째 요인으로 분류되는 산출변수들 중에 기술 무역수지가 차지하는 비중이 높기 때문이다. 따라서 기술지식지표를 구조화할 때 요인점수계수를 가중치로 사용한다면 이 값은 일정한 값으로 통일될 수 없으며 국가별로 최적화된 값을 사용해야 한다. 2절의 변수별 요인점수 식과 각 국가별 결과값을 이용해 국가별로 변수별 요인점수를 구할 수 있다. 이 변수별 요인점수를 다시 9개 지표에 걸쳐 통합하면 기술지식지수(technological knowledge index)를 구성할 수 있다.

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

$$\begin{aligned} \text{변수 } j \text{의 요인점수} &= \sum_{i=1}^n (\text{i번째 요인의 표본충분산설명력}) \\ &\quad \times (\text{i번째 요인의 } j \text{변수의 요인점수계수}) \times (\text{변수 } j) \\ \text{여기서, } n &= 1, \dots, \text{요인의 수} \quad \dots \dots \dots \text{(수식 1)} \end{aligned}$$

위 식은 j번째 변수의 요인점수를 나타낸 것이다. 요인점수가 0과 1 사이의 값을 지니는 지수가 되려면 변수값의 정규분포를 가정하거나 또는 변수값을 정규분포로 변환해야 한다. 분산이 1이 아닌 경우에는 분산이 1이 되도록 변환한 뒤, 개별 수치 값에서 누적정규분포함수를 평가하면 0과 1 사이의 값으로 변환된다. 지수가 음수인 경우 계산이 복잡하므로 요인회전법을 바꾸거나 사각회전에서 델타값을 변화시키면 요인점수계수를 변화시킬 수 있다. 특히 요인계수가 적은 경우에는 요인계수를 변화시켜 계산부담을 줄이고 보다 간략하게 지수화시킬 수 있다. 그리고 이 변수별 요인점수를 다시 9개 지표에 걸쳐 통합하면 기술지식지수(technological knowledge index)를 구성할 수 있다. 각 변수별 가중치를 고려한 기술지식지수의 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{기술지식지수} &= \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^m \text{표본충분산설명력}_{ij} \times \text{요인점수계수}_{ij} \right\} \times \text{요인점수}_i \\ \text{여기서, } n &: \text{변수(지표)의 수, } m : \text{요인의 수} \quad \dots \dots \dots \text{(수식 2)} \end{aligned}$$

각 변수별 가중치는 표본충분산설명력과 요인점수계수의 곱을 요인의 개수에 걸쳐 합산한

값이 된다. 이 값과 각 변수의 요인점수를 곱한 값을 변수의 개수만큼 합산하면 9개 지표를 기술지식지수의 정량적인 값으로 통합할 수 있다. 이러한 지수화 과정에서는 변수들의 정규분포를 가정하므로 정규분포가 아닌 경우 반드시 변환과정을 거쳐야 한다.

## VI. 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 측정할 9개 변수 즉, GERD, BERD, HERD, 연구원수, 연구개발 종사자수, 특허수, 논문수, 기술무역수지 수취/지불의 9개 계량 변수를 대상으로 하여, 각 변수간 상관관계 및 구조화에 대한 연구를 수행하였고, 요인분석을 수행하여 이들 변수들을 종합하여 통합한 기술지식지표(technological knowledge index)의 도출에 대하여 살펴보았다. 본 연구에서 제시하고 있는 기술지식지수는 여러 기술지식지표의 연관관계에 근거하여 도출되는 지수로, 이에 따라 보다 종합적이고 체계적인 기술지식 추계가 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 연구개발 스톡과 같은 - 추가적인 기술지식지표들에 대한 고려가 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

### - 국내문헌 -

1. 과학기술부, 과학기술연구활동 조사보고, CD-ROM, 2001
2. 권용수, 박병무, 지식기반 중심의 과학기술력 지수 개발에 관한 연구, STEPI, 2000
3. 김문수, 한국 제조업의 지식연계구조 특성과 기술변화, 서울대학교 박사학위 논문, 1999
4. 박용태, 박광만, 김문수, "Correlation among measures of technological knowledge", 기술력

신연구, 제9권, 제2호, pp. 17-33, 2001

5. 장진규, 정성철, 김기국, 연구개발투자의 경제효과 분석, STEPI, 1994
6. 정진호, 한국 경제의 글로벌 국가경쟁력, 한국경제연구원, 1997
7. 홍순기, 홍사균, 안두현, 연구개발투자의 산업부문간 흐름과 직·간접 생산성 증대효과 분석에 관한 연구, STEPI, 1991

- 국외문헌 -

8. Furman, J.L., Porter, M.E. & Stern, S., "The determinants of national innovative capacity", *Research Policy*, Vol. 31, pp.899-933, 2002
9. Kaiser, H.F., "An Index of Factorial Simplicity," *Psychometrica*, Vol. 39, pp.31-36, 1974
10. Kaiser, U., "Measuring knowledge spillovers in manufacturing and services: An empirical assessment of alternative approaches", *Research Policy*, Vol. 31, pp.125-144, 2002
11. Karki, M.M.S., "Patent citation analysis: A policy analysis tool", *World Patent Information*, Vol. 19, pp.269-272, 1997
12. Leoncini, R., Maggioni, M.A. & Montresor, S., "Intersectoral innovation flows and national technological systems: network analysis for comparing Italy and Germany", *Research Policy*, Vol. 25, pp.415-430, 1996
13. OECD, *Science, technology and industry outlook*, Paris, 1996
14. OECD, *Special issue on new science and technology indicators*, STI Review, No. 27, 2001
15. OECD, *Main science and technology indicators*, CD-ROM, 2002
16. Papaconstantinou, G., Sakurai, N. & Wyckoff, A., "Domestic and international product-embodied R&D diffusion", *Research Policy*, Vol. 27, pp.301-314, 1998
17. Tijssen, R.J.W. & Wijk, E., "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, pp.519-543, 1999
18. Wakelin, K., "Productivity growth and R&D expenditure in UK manufacturing firms", *Research Policy*, Vol. 30, pp.1079-1090, 2001
19. World Economic Forum, *The global competitiveness report 2001-2002*, Oxford University Press, 2002