

국가종합과학기술지수의 도출과 적용:
종합지수를 통한 주요 선진국과의 국가과학기술활동 비교
(A Study on the Development of National Composite
S&T Indices and Their Application)

문혜선* · 이정동**

〈 목 차 〉

1. 서론
2. 연구 방법론
3. 연구 절차
4. 실증분석 결과
5. 결과 토의 및 결론

Summary : We attempt to make three composite Science and Technology (S&T) indices for overall understanding of national S&T by aggregation of various S&T indicators using fuzzy set theory and then use these indices to compare the S&T activities of Korea with those of five developed countries (France, Germany, Japan, the U.K., the U.S.). The overall results suggest that although the S&T indices of Korea still lag behind those of developed countries, they have grown rapidly and continuously and, as a result, the S&T gaps between Korea and developed countries have narrowed. However, the capability of Korea to transform its R&D input into final economic output has not yet matched that of developed countries.

Keywords : Composite Index, Fuzzy Set Theory, National S&T, S&T Indicators

* 한국과학기술기획평가원 (KISTEP) 전임연구원 (email : hsmoon@kistep.re.kr).

** 서울대학교 협동과정 기술정책전공 부교수.

I. 서론

과학기술지표는 과학기술 현상에 대한 정보를 제공할 뿐 아니라 과학기술의 현재 수준을 파악하고 미래의 발전방향을 예측하며, 잠재역량을 평가하는 등 과학기술정책 및 의사결정을 위한 다양한 기초 자료가 되고 있다. 특히 현대사회에서 과학기술이 경제사회의 변화를 추동하는 핵심요인이 되면서 과학기술지표는 과학기술 분야뿐만 아니라 경제 사회, 문화 등 다양한 측면에서의 현상과 변동을 설명하는 주요 지침이 되고 있다.

이와 같이 과학기술지표의 중요성이 높아지면서 OECD를 중심으로 한 선진국들은 변화하는 과학기술 관련 현상들을 보다 잘 설명할 수 있는 새로운 지표를 개발하기 위한 연구를 활발히 수행하고 있으며¹⁾, 우리나라에서도 최근 국가혁신역량을 평가할 수 있는 지표개발이 추진되는 등²⁾ 과학기술지표 관련 연구가 활발해지고 있다.

그러나 아직까지 과학기술지표는 국가정책 수립 및 의사결정의 기초자료로서 충분한 역할을 수행하지 못하는 경우가 많다. Niwa & Tomizawa (1996)가 지적하였듯이 과학기술활동은 매우 복잡하고 다양한 측면을 가지고 있어서 과학기술현상을 충분히 설명할 수 있는 지표 발굴이 어렵고, 더구나 세부 과학기술현상을 충분히 기술할 수 있는 개별 지표가 개발되었다 하더라도 이들을 통합하여 국가 전반의 과학기술현상을 종합적으로 이해하는 것은 여전히 어려운 문제이기 때문이다. 예를 들어 우리나라 기업의 연구비지출이 선진국 대비 10%라는 세부지표는 우리나라 기업연구개발 투자와 관련된 상대적인 규모 혹은 투자 노력에 대한 정보를 제공하지만, 이와 같은 개별 지표만으로는 우리나라의 과학기술 활동수준이나 역량 등을 한눈에 파악하기 어렵다. 따라서 과학기술지표가 국가 정책 수립 및 의사결정 과정에 유용한 정보가 되기 위해서는 적절한 세부 지표의 개발과 함께 세부지표들을 하나 혹은 소수의 과학기술 지수로 통합(aggregation)함으로써 종합적 이해를 돕는 것이 필요하다³⁾.

이와 같은 종합지수는 특히 국가 과학기술역량이나 경쟁력 등 다양한 요소로 구성되어 있는 포괄적인 현상을 한눈에 파악하고 국가간, 시점간 비교분석 및 평가를 수행하는데 용이하다는 장점이 있다. 우리나라와 선진국간의 과학기술 활동 격차가 어느 정도인지, 과거에 비해

1) OECD를 중심으로 추진되고 있는 Blue Sky Project가 한 예가 될 것이다.

2) '05년 과학기술혁신본부를 중심으로 국가혁신역량평가지표 개발이 추진중이다.

3) 본 논문에서 언급된 "지표"의 개념은 과학기술의 개별적인 현상들을 대표하고 기술(description)할 수 있는 개별 정보자료라는 의미로 사용하였으며, "지수"의 개념은 이와 같은 개별 지표들을 통합함으로써 현상을 종합적으로 파악할 수 있는 복합지표의 의미로 사용하였다.

얼마나 성장했는지 등을 파악하기 위해서는 결국 다양한 정보가 하나 혹은 소수의 계량화된 값으로 도출되어야 하기 때문이다. 이러한 관점에서 국가 과학기술종합지수는 GDP가 한 국가의 경제수준을 한눈에 보여주는 것과 같이 한 국가의 과학기술수준 혹은 역량에 대한 요약 정보를 담고 있는 계량화된 값이라는 의미가 있다⁴⁾.

이와 관련하여 지금까지의 과학기술지표 연구는 과학기술의 특정 현상을 설명하기 위한 세부 지표의 개발이 중심이 되어 왔으며 세부지표를 종합화하는 통합지수의 개발과 관련된 연구는 미미한 것이 현실이다(Godin, 2003). 특히, 세부지표를 통합하기 위한 가중치 부여 방법에 대한 연구는 더욱 활성화되지 않은 상태이다. 종합지수는 결국 세부지표의 가중합으로 도출된다는 점을 고려한다면 종합지수 산출에 있어서 가중치 부과 방법은 매우 중요한 의미를 갖는다. 동일한 세부지표들로 구성된 종합지수라 할지라도 가중치 체계에 따라서 도출된 최종 지수값은 달라질 수 있기 때문이다.

종합지수 산출을 위해 기존연구에서 사용된 가중치 부과 방법은 크게 두가지로 요약해 볼 수 있다. 첫째는 자의적(arbitrary) 방법으로서 지수작성 기관 혹은 연구자가 임의대로 개별지표의 가중치를 결정하고 이에 근거하여 종합지수를 작성하는 방법이다. IMD의 “세계 경쟁력 연감”이나, WEF의 “세계 경쟁력 보고서” 등에서 매년 발표되고 있는 지수가 대표적인 예가 될 것이다. 이러한 방법론은 적용이 간편하나 개별지표의 중요성 혹은 가중치에 대한 충분한 의견수렴을 거치지 않고 소수의 의견에 근거하고 있다는 단점이 있다.

또 다른 방법은 통계적인 방법을 통해 가중치를 산출하는 것으로서 Niwa & Tomizawa (1996)는 과학기술 지표를 구성하는 변수들간 요인분석방법에 근거하여 개별 지표의 가중치를 도출하였고 미국 경쟁력 위원회의 “혁신지수”⁵⁾는 특허와 관련 변수들간의 회귀분석에 근거하여 가중치를 도출하였다. 이와 같은 방법은 통계분석에 근거한다는 점에서 객관적이라는 장점이 있으나 도출된 가중치는 실제적인 각 지표의 중요성 정도를 반영하지 못할 우려가 있다. 왜냐하면 변수들의 가중치가 변수간 통계적인 상관관계에 의해 도출되므로 어떤 변수가 다른 변수와 통계적인 상관관계가 높다면 종합지수 구성에 있어서 그 중요성이 낮더라도 높은 가중치가 부여되기 때문이다.

이러한 점에서 이 논문은 세부지표의 가중치 도출을 각 지표의 중요성 정도에 대한 사회적 판단에 근거하여 산출하고자 한다. 또한 전문가들의 의견수렴 방법론으로서 인간의 가치판단에 필연적으로 수반되는 불확실성 혹은 애매모호성(fuzziness)을 반영할 수 있는 퍼지집합이

4) 세부지표 통합을 통한 종합지수 산출의 유용성은 연구의 목적이나 대상에 따라 달라질 수 있다. 종합지수는 복잡하고 다양한 현상을 통합적으로 접근하고자 할 때 유용하지만, 예를 들어 투입요소 중 어떤 요인이 성과에 가장 큰 영향을 미치는가를 논의한다고 했을 때는 종합지수보다는 세부지표를 직접 활용하는 것이 타당하다.

5) Porter & Stern (1999) 참조.

론(fuzzy set theory)을 도입하였다.

최근 퍼지집합이론은 경영과학 분야와 환경, 핵문제 등 특정 이슈를 평가하기 위한 전문가 의견 수렴 과정에서 다양하게 활용되고 있지만 (Tran et al., 2002; Tsaur et al., 2002; Moon & Kang, 1999), 과학기술 지표와 관련된 적용사례는 없다. 따라서 이 연구는 종합과학기술지수 도출에 퍼지집합이론을 적용하는 시범적인 연구가 될 것이다.

본 논문의 목표는 세부 과학기술지수를 종합하는 가중치 도출 방법론으로서 퍼지집합이론을 소개하고 이를 적용하여 종합과학기술지수를 도출하며, 이 지수를 통해 우리나라와 선진국의 과학기술활동을 비교분석하고자 하는 데 있다.

논문의 전개를 위해 다음 장에서는 국가 과학기술지표체계를 정의하고 종합과학기술지수를 산출하는 과정과 방법을 다루었으며 세 번째 장에서는 지수를 적용한 결과를 분석하였으며, 마지막 장에서는 분석결과를 논의하고 결론을 기술하였다.

II. 연구 방법론

1. 국가 과학기술 지표 체계

국가 과학기술활동은 인과관계가 매우 복잡하여 과학기술지표 체계를 구성하는 것은 매우 까다로운 작업이다. 예를 들어 특허 변수는 현 시점에서는 연구개발의 산출물을 대표하는 지표이지만 보다 장기적인 관점에서는 미래의 연구개발 활동을 위한 지식기반, 즉 연구개발투입 지표로도 볼 수 있다. 그러나 이와 같은 과학기술활동의 복잡성에도 불구하고 경제적 관점에서 보면 국가 전체의 과학기술활동은 연구개발투자, 연구 인력과 같은 연구개발 투입요소를 특허, 논문 등의 연구개발 산출로 전환하고, 이를 최종적으로 지식기반산업의 부가가치, 수출액과 같은 경제적 성과로 반영되는 과정으로 단순화시켜 볼 수 있을 것이다.

따라서 이 논문에서는 국가 과학기술활동을 세 개의 주요 축, 즉 연구개발투입(input), 연구개발산출(output), 경제적 성과(outcome)의 세 가지 축으로 파악하였으며, 각각에 대해 국가 종합과학기술지수를 도출하였다. 물론 이들을 모두 통합하는 단일한 종합지수가 도출될 수 있다면 국가과학기술활동의 종합적 이해라는 측면에서는 훨씬 더 의미가 있을 것이다. 그러나 개념적으로 세 가지 축을 모두 종합하는 지수는 설명력을 갖기 힘들다. 예를 들어 연구개발 산출은 연구개발투입과 효율성의 곱으로 분해될 수 있기 때문에⁶⁾ 연구개발투입과 산출을 합

6) 효율성은 투입과 산출의 비로서 정의된다.

한다는 것은 본의 아니게 연구개발투입에 두 배의 가중치를 주는 결과를 초래하기 때문이다.

또한 각각의 축은 단선적(unilateral) 관계를 갖는 것이 아니라 시차(time lag)를 가지고 상호 영향을 미치는 동적인 관계로 파악하였다. 즉, 연구개발투입은 연구개발산출로 전환되는 한편, 특허, 논문 등의 연구개발산출은 지식스톡의 형태로 미래의 연구개발투입으로 활용되며, 이 과정이 최종적으로 경제적 성과로 전환되는 한편으로는 경제적 성과의 일부분이 다시 미래의 연구개발투입으로 이어지는 동적인 메커니즘으로 상정하였다.

2. 퍼지 집합 이론

세부지표의 가중치를 각 지표의 중요성 정도에 대한 전문가 가치판단에 근거해서 도출한다고 할 때, 전문가들의 의사결정과 관련해서 다음과 같은 두 가지의 문제점이 지적될 수 있다. 첫 번째는 과학기술지표와 체계가 복잡하여 각 지표의 중요성 정도를 평가하기 어렵다는 것이고, 둘째는 전문가의 가치판단 과정은 필연적으로 인간 언어 혹은 사고에 내재된 애매모호성 혹은 불확실성을 수반하게 된다는 것이다. 따라서 불확실성 상황에서 보다 유리하게 적용될 수 있는 퍼지집합이론의 적용이 의미를 갖게 된다.

퍼지집합이론은 Zadeh(1965)를 통해 체계적으로 발전한 이론으로서 “0 또는 1”, “예 또는 아니오”로 확실하게 표시되는 고전적인 논리와는 달리 “1에 가깝다”, “아마도 그럴 것이다”와 같은 애매모호한 대상을 표현할 수 있다. 즉, 퍼지이론을 통해 인간 언어나 사고와 같은 애매모호함(fuzzyness)을 표현하는 질적이고 정성적인 자료를 정량적인 수치로 변환시킬 수 있기 때문에 애매모호성 혹은 불확실성을 본질적으로 내포하고 있는 인간의 가치판단을 보다 정확히 표현하는데 효과적이다.

이와 같은 퍼지집합이론의 구체적인 소개 및 지표의 가중치 도출에 활용하는 절차는 다음과 같다.

2.1 퍼지넘버(fuzzy numbers)

퍼지 넘버 A 는 변수 x 에 대응되는 퍼지 집합을 의미하는데, 이 넘버는 멤버십 함수(membership function) $\mu_A(x): R \rightarrow [0,1]$ 에 의해 정의된다. 멤버십 함수는 x 가 퍼지집합 A 에 속할 확실성의 정도를 나타내어 주는 것으로서, 함수형태는 여러 가지로 정의될 수 있으나 본 논문에서는 아래 식과 같이 개념적으로 접근하기 쉬운 삼각(triangular) 퍼지 넘버를 사용하였다.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{(x-l)}{(m-l)}, & \text{for } l \leq x \leq m \\ \frac{(x-r)}{(m-r)}, & \text{for } m \leq x \leq r \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 l 과 r 은 퍼지넘버 A 의 하한값과 상한값을 나타낸다.

2.2 언어변수 (Linguistic Variables)

언어변수는 자연어로 표현된 단어나 문장을 의미하는데 본 연구에서는 세부지표의 중요성에 대한 판단을 위해 “매우 중요”, “중요”, “보통”, “그리 중요하지 않음”, “전혀 중요하지 않음”의 다섯 가지 언어변수를 사용하였으며, 평가결과의 신뢰성 정도와 관련해서는 “매우 확실”, “확실”, “보통”, “불확실”, “매우 불확실”의 다섯 가지 변수를 사용하였다.

이와 같은 언어변수로서 평가된 정성적인 전문가의 의견은 정량적인 계산을 위해 퍼지넘버로 전환되어야 한다. 예를 들어 전문가 i 가 속성 t 에 대해 평가한 결과는 삼각 퍼지 넘버 $I_{it} = (a_{it}, b_{it}, c_{it})$ 로 변환된다. 또한 전문가 판단의 정확도에 대한 언어변수는 마찬가지로 $J_{it} = (d_{it}, e_{it}, f_{it})$ 로 정의된다. 본 논문에서는 Moon & Kang (2001)의 삼각 퍼지 넘버를 활용하였다.

<표 1> 언어값 및 퍼지 넘버

| 언어값(linguistic values) | 퍼지넘버(fuzzy numbers) |
|------------------------|---------------------|
| 전혀 중요하지 않다. 매우 불확실하다 | (0, 0, 0.25) |
| 그리 중요하지 않다. 불확실하다 | (0, 0.25, 0.5) |
| 보통이다. 보통이다 | (0.25, 0.5, 0.75) |
| 중요하다. 확실하다 | (0.5, 0.75, 1) |
| 매우 중요하다. 매우 확실하다. | (0.75, 1, 1) |

2.3 퍼지 신뢰지수(Fuzzy Confidence Index)

퍼지 신뢰지수 F_i 는 각 전문가가 전반적인 평가에 대해 얼마나 신뢰하고 있는가를 보여주

는 것으로서 이 논문에서는 퍼지 신뢰지수의 도출을 위하여 다음과 같은 방법을 사용하였다.

$$F_i \cong (A_i, B_i, C_i)$$

$$\text{단, } A_i = \sum(a_{ii} \cdot d_{ii})/k, B_i = \sum(b_{ii} \cdot e_{ii})/k, C_i = \sum(c_{ii} \cdot f_{ii})/k$$

다음으로 퍼지 넘버로 표현된 퍼지 신뢰지수와 각 지표의 중요성에 대한 평가결과는 수리적 계산을 위해 단일한 수치로 변환되어야 한다. 이를 위해 다음식과 같이 총 합산값(total integral value)을 도출하였다. 여기서 α 는 의사결정자의 낙관성(degree of optimism)의 정도를 나타내는 낙관지수(index of optimism)라고 불리며, 0.5일때는 중립적임을 나타낸다.

$$IV(F_i) = 0.5[\alpha C_i + B_i + (1 - \alpha)A_i]$$

다음으로 최종적인 전문가의 가중치는 다음과 같이 w_i 로 변환된다.

$$w_i = \text{norm}\{IV(F_i)\}$$

이와 같이 도출된 가중치를 적용하여 세부지표를 가중합하면 종합지수가 산출될 수 있다.

III. 연구 절차

1. 변수 선정

국가 과학기술활동을 설명할 수 있는 과학기술지표의 채택 및 체계 구성을 위하여 먼저 미국, 일본, 유럽 등에서 작성되고 있는 지표보고서와 과학기술지표 관련 선행연구들, IMD, WEF 등의 보고서 등 광범위한 문헌조사를 바탕으로 하여 과학기술지표체계 초안을 작성하였다. 지표체계는 크게 연구개발투입, 연구개발산출, 경제적 성과 세부분으로 구성하고 연구개발투입 부문은 다시 인력과 투자 관련 7개 세부항목으로 구성하였다. 또한 연구개발산출부문과 경제적 성과부문은 각각 특허, 논문, 기술무역수지 관련 7개 세부항목과, 부가가치와 수출액 관련 2개 항목으로 세분화하였다.

이와 같이 작성된 지표체계 초안은 30명의 과학기술 관련 전문가⁷⁾들을 대상으로 한 1차

7) 과학기술지표체계를 검토하기 위해 국가연구개발사업 평가위원 및 연구개발예산 사전조정 위원회 소속 전문가들 중에서 소속기관과 전공분야를 고려하여 과학기술 전문가 및 경제, 지표관련 전문가들을 선별하였다.

설문을 통해 검토되었는데, 이 과정에서 총량(總量)의 개념으로 정의된 지표들은 각 국가간 규모의 차이가 반영되어 있기 때문에 순수한 과학기술활동만을 비교하기 어렵다는 측면에서 삭제되었다. 즉, 연구개발인력 부문에서는 총량 개념인 “연구개발인력 총원”을 삭제하고 연구원 집약도 개념인 “노동인구 만명당 연구원 수”를 사용하였으며, 연구개발투자도 “연구개발투자 총액”을 삭제하고 GDP대비 연구개발투자를 사용하였다. 특허 및 논문수 관련 지표도 동일한 과정을 거쳐 <표 2>에서 보는 바와 같이 최종적인 지표가 확정되었다. 또한 이 과정에서 전문가들이 각 지표항목을 대표하는 가장 적합한 변수들을 선정하도록 한 결과 제시된 바와 같이 최종 변수가 결정되었다.

<표 2> 과학기술지표 체계 및 변수

| 구분 | 항목 | 지표 | 변수 |
|------------|--------|--------------|---------------------------|
| 연구개발 투입 | 연구개발인력 | 연구원 | 노동인구천명당연구원수 |
| | | 연구개발인력풀 | 인구백만명당 이공계분야 박사학위 취득자수 |
| | 연구개발투자 | 총 연구개발비 | GDP 대비 연구개발비 |
| | | 정부연구개발예산 | GDP 대비 정부연구개발예산 |
| 연구개발스톡 | 지식스톡 | 해외 특허 스톡 | |
| 연구개발 산출 | 특허 | 국내특허 | 인구만명당 국내 특허 출원건 수 |
| | | 해외특허 | 인구 만명당 해외 특허 출원건 수 |
| | 논문 | 논문 | 연구원 1인당 과학기술분야 논문 게재 수 |
| | 기술무역 | 기술무역수지 | 기술무역수지 |
| 경제적 성과 | 경제적 성과 | 하이텍산업의 수출 | 하이텍 산업의 무역수지 |
| | | 지식기반산업의 부가가치 | 제조업대비 지식기반산업의 부가가치 |

2. 자료원

각 변수에 대한 자료획득을 위하여 미국 국립과학재단(NSF)의 “이공계분야 박사학위 취득자수”와 NSI (national science indicators) 데이터베이스로부터 얻은 “과학기술분야 논문수”를 제외한 모든 자료는 OECD⁸⁾로부터 활용하였다. 또한 우리나라와의 비교분석을 위해 선진 5개국, 즉 미국, 일본, 프랑스, 독일, 영국을 비교대상으로 선정하였으며, 분석기간은 연구개발투입자료를 기준으로 할 때 자료 구득이 가능한 1988-1998년까지로 한정하였다.

8) <http://new.sourceoecd.org>

또한 본 연구에서 사용된 모델은 연구개발투입, 연구개발산출, 경제적 성과의 세가지 축이 시차를 두고 상호연계되는 모형이다. 연구개발투입과 연구개발산출간의 시차도출을 위해서 각각의 대표변수인 연구개발투자와 특허간의 상관관계 분석을 수행한 결과, 특허변수는 2년 전의 연구개발투자와 가장 높은 상관관계를 보였으며, 마찬가지로 특허와 경제적 성과 부문의 대표적 변수인 하이테크 산업의 부가가치와의 상관관계 분석결과 2년 전의 특허가 부가가치에 가장 높은 상관관계를 보였다. 이 결과에 근거하여 본 연구에서는 연구개발투입과 연구개발산출, 연구개발산출과 경제적 성과간에 각각 2년의 시차가 존재한다고 가정하였다⁹⁾. 연구분석에 사용된 모든 자료는 국가간 규모효과를 배제하기 위해 관련 규모 변수로 나누어주었다. 즉 금전 관련 변수는 GDP로, 인력 관련 변수는 인구 혹은 연구원 수로 나누어 주었다.

3. 국가 종합과학기술지수의 산출

세부 지표에 대한 가중치 도출을 위하여 과학기술전문가 140명을 대상으로 설문조사를 실시하여 111명이 응답하였다(회수율 79.3%)¹⁰⁾. 전문가 구성은 산업계 16.2%, 학계 48.7%, 공공부문 35.1%와 같이 산·학·연을 모두 포함하였으며, 전공분야별로는 자연과학분야 81.1%, 나머지가 인문사회분야를 전공한 전문가들로 구성되었다. 설문항목은 크게 두 가지, 즉 각 지표의 중요성을 평가하는 것과 전문가 판단의 신뢰성을 평가하는 항목으로 구성되었으며, 각 질문에 대한 대답은 언어변수로 제시하도록 하였다. 설문 응답은 과학기술지표 체계를 제시하고 전체 체계 하에서 각 세부지표가 차지하는 중요성의 정도를 응답하고, 응답한 결과에 대해 스스로 얼마나 확신하고 있는지를 답변하도록 하였다. 예를 들어 “기술무역수지” 항목을 평가하기 위한 설문은 다음과 같이 두가지 항목으로 구성되어 있다.

〈질문 1〉 연구개발산출부문의 세부항목에 대한 중요도를 판단함에 있어서 「기술무역수지」 항목에 대해 귀하께서 생각하고 계시는 항목의 중요도와 판단의 정확도를 표기해 주십시오.

9) 결과적으로 시차를 고려하여 연구개발산출지수의 분석기간은 1990-2000년, 경제적 성과지수의 분석기간은 1992-2002년으로 설정하였다.

10) 전문가풀은 1차 설문조사와 같이 국가연구개발사업 평가위원회와 정부연구개발예산 사전조정 위원회 리스트를 활용하였으며, 해당 전문가 전원에게 설문하였다.

| | | | | | |
|------------|------------|------|------|------------|---------------|
| 항목의 중요성 | 매우 중요하다 | 중요하다 | 보통이다 | 중요하지 않다 | 전혀 중요 하지않다 |
| 기술무역수지 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 판단의 정확도 | 매우 확실하다 | 확실하다 | 보통이다 | 불확실하다 | 매우 불확실하다 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

각 전문가들이 응답한 언어변수에 대해 전술한 바와 같이 퍼지집합이론을 단계적으로 적용하여 각 변수들의 가중치를 얻었다. 다음으로 각 가중치를 세부지표에 적용하여 각 지표의 가중합으로써 세 가지 국가 종합과학기술지수를 도출하였다. 이 과정에서 시계열간, 국가간 비교를 용이하게 하기 위해 각각의 자료는 한국의 1988년도 값을 기준값으로 한 상대적 값으로 변환되었다.

IV. 실증분석 결과

1. 전문가 집단간 가중치

위 과정을 통해 도출된 가중치는 <표 3>과 같다. 전공별, 혹은 소속기관별 가중치 차이 정도를 비교하기 위해 그룹별로 가중치를 비교하였다. 비교 결과 그룹간 가중치 수치는 일부 차이가 있으나 이 차이는 통계적으로 유의할만한 수준이 아닌 것으로 나타났다. 이러한 결과는 소속기관과 전공의 차이에도 불구하고 세부지표의 중요성에 대한 가치판단이 그룹간에 합의를 이루고 있음을 시사하고 있다. 따라서 본 논문은 그룹을 나누지 않고 전체 전문가를 대상으로 도출된 가중치 결과를 최종 가중치로 사용하였다.

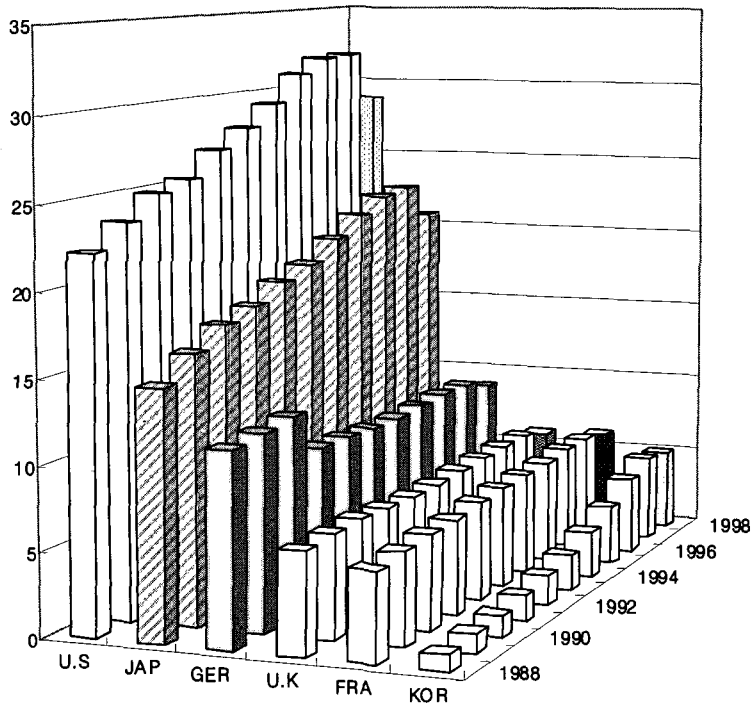
아울러 퍼지 집합 이론으로부터 도출된 최종 가중치와 단순평균을 사용한 가중치를 비교하였는데 <표 3>에서 보는 바와 같이 변수들의 가중치 순위에는 변동이 없었으나 그 수치는 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 퍼지 집합 이론을 채택함으로써 전문가 의사결정의 불확실성이 반영된 결과로 해석될 수 있다.

<표 3> 그룹별 가중치

| 구분 | 항목 | 지표 | 변수 | 퍼지이론에 의한 그룹별 가중치 | | | | | | 단순 평균 |
|----------------|----------------|---------------------|------------------------------|------------------|------|------|----------|----------|------|----------|
| | | | | 소속기관별 | | | 전공별 | | 전체 | |
| | | | | 학 | 연 | 산 | 자연 과학 | 인문 사회 | | |
| 연구 개발 투입 | 연구 개발 인력 | 연구원 | 노동인구천명당 연구원수 | 0.20 | 0.20 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.21 |
| | | 연구 개발 인력풀 | 인구백만명당 이공계분야 박사학위 취득자수 | 0.20 | 0.19 | 0.20 | 0.20 | 0.18 | 0.19 | 0.17 |
| | 연구 개발 투자 | 총 연구 개발비 | GDP 대비 연구개발비 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.22 | 0.23 | 0.25 |
| | | 정부 연구 개발 예산 | GDP 대비 정부연구개발예산 | 0.22 | 0.23 | 0.22 | 0.23 | 0.21 | 0.23 | 0.21 |
| | 연구개발 스톡 | 지식 스톡 | 해외 특허 스톡 | 0.15 | 0.15 | 0.16 | 0.14 | 0.18 | 0.15 | 0.16 |
| 연구 개발 산출 | 특허 | 국내 특허 | 인구만명당 국내 특허 출원건 수 | 0.19 | 0.22 | 0.21 | 0.21 | 0.20 | 0.21 | 0.19 |
| | | 해외 특허 | 인구 만명당 해외 특허 출원건 수 | 0.29 | 0.29 | 0.28 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.31 |
| | 논문 | 논문 | 연구원 1인당 과학기술분야 논문 게재 수 | 0.25 | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.22 |
| | 기술 무역 | 기술 무역수지 | 기술무역수지 | 0.27 | 0.27 | 0.28 | 0.27 | 0.29 | 0.27 | 0.28 |
| 경제적 성과 | 경제적 성과 | 하이텍 산업의 수출 | 하이텍 산업의 무역수지 | 0.51 | 0.50 | 0.49 | 0.50 | 0.51 | 0.50 | 0.49 |
| | | 지식기반 산업의 부가가치 | 제조업대비 지식기반산업의 부가가치 | 0.49 | 0.50 | 0.51 | 0.50 | 0.49 | 0.50 | 0.51 |

2. 국가 종합과학기술 지수 결과

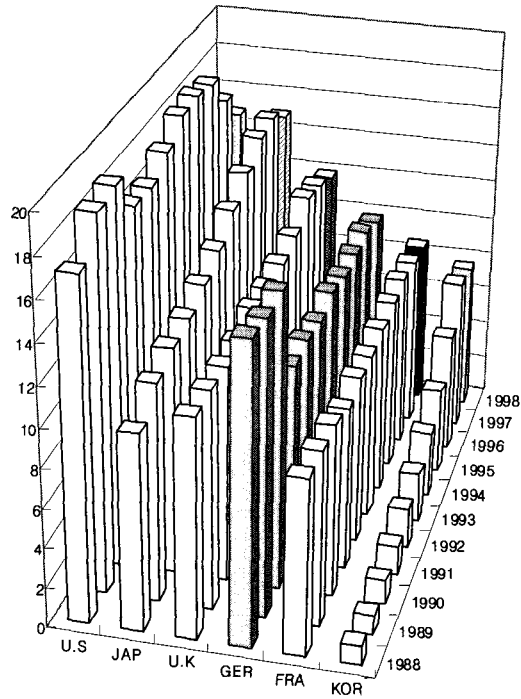
세부지표간 가중합으로 도출된 세 가지 국가 종합과학기술지수는 다음과 같은 특징을 보인다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 연구개발투입지수는 분석기간 평균값을 기준으로 미국이 가장 높고, 다음으로 일본, 독일, 영국 프랑스, 한국 순이다. 한국의 평균 연구개발 투입지수는 미국의 10%, 일본의 14% 정도 수준에 머물고 있다. 그러나 같은 기간 내 한국 지수의 연 평균 성장률은 17.6%로서 비교대상국 중 가장 높은 수치를 보였으며 다음으로 일본, 미국 순의 성장률을 보였다. 프랑스와 영국은 전 기간에 걸쳐 완만한 성장을 보였다. 독일의 경우 1991년에 일시적인 감소를 보이고 있는데 이는 독일 통합의 결과인 것으로 보인다.



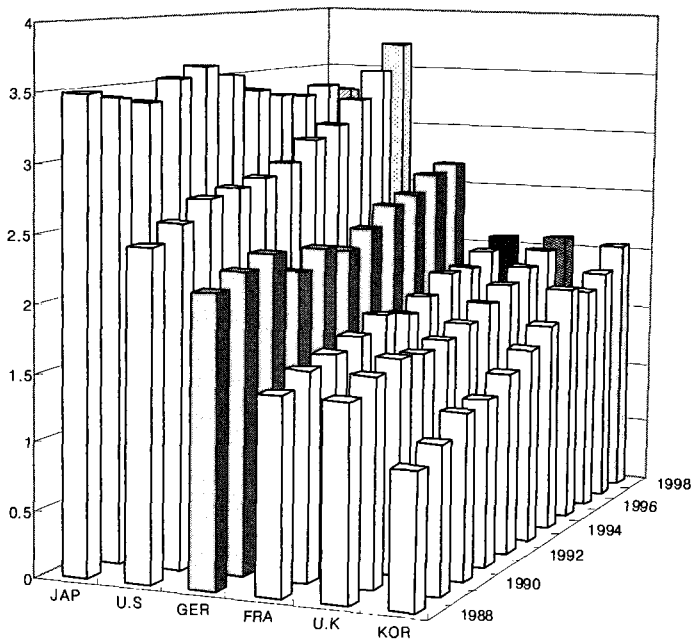
<그림 1> 연구개발투입지수의 추이

연구개발 투입지수와는 달리 연구개발 산출지수는 평균값 기준으로 미국이 처음 3년간 가장 높다가 이후에는 다소 위축되는 형태를 보이고 있다. 반면 일본의 연구개발 산출지수는 지속적으로 증가하여 1998년에는 미국보다 높은 수치를 보이고 있다. 독일은 연구개발 투입지수와 유사한 증가 추세를 보이며, 영국과 프랑스는 분석 기간내에 큰 변동을 보이지 않고 있다. 한국은 평균 지수값에서 선진국보다 훨씬 뒤떨어져 있지만 급속한 성장을 보이고 있어서 1998년의 지수 값은 1988년의 7배에 달하고 있다.

경제적 성과지수를 살펴보면 <그림 3>에서 보는 바와 같이 미국과 일본의 성장 추세가 연구개발 산출지수 양상과 반대이다. 즉, 일본이 경제적 성과 지수는 초기에 급속한 성장을 보이다가 시간이 지날수록 다소 감소되고 있는 반면, 미국의 지수는 점차 성장하여 1998년에는 미국이 가장 높은 수준을 보이고 있다. 유럽 국가들은 같은 기간 동안에 전반적인 성장 추세를 보이고 있다. 한국은 평균 지수값에서 가장 낮은 수준이나 연평균 성장률은 7.4%로서 가장 높은 수준이다.



<그림 2> 연구개발산출 지수의 추이



<그림 3> 경제적 성과지수 추이

각 국에 대해 세 가지의 종합지수 분석결과를 종합해보면 각국의 국가 과학기술활동은 다음과 같은 특징을 갖고 있는 것으로 보인다. 유럽 국가들은 연구개발투입의 증가폭이 낮거나 심지어 감소된 경우에도 불구하고 최종 경제적 성과지수는 전반적으로 증가되고 있는 추세이다. 미국도 경제적 성과지수의 평균 증가율이 연구개발투입이나 연구개발 산출지수의 증가율보다 높다는 점에서 유럽 국가들과 유사한 것으로 볼 수 있다. 반면, 일본과 한국은 경제적 성과지수의 성장속도가 상대적으로 낮은 것으로 볼 수 있다. 일본의 경제적 성과지수는 연구개발 투입지수와 연구개발 산출지수의 지속적인 증가에도 불구하고 오히려 감소되었으며, 한국의 경제적 성과지수 증가율도 연구개발투입이나 산출 지수 증가율에 못미치고 있다는 점에서 유사하게 지적될 수 있다.

V. 결과 토의 및 결론

1. 우리나라 과학기술활동의 특성

전술한 바와 같이 우리나라는 전반적인 과학기술활동에 있어서 선진국보다 뒤떨어져 있으나 IMF 외환위기의 영향을 받은 1998년을 제외하고는 매년 지속적으로 급속한 성장을 보이고 있다. 이와 같은 결과, 선진국과의 격차는 점차 극복되고 있는 추세이다. 예를 들어 우리나라의 연구개발 투입지수는 1988년 미국의 4.5% 수준에서 1998년 미국의 17.6%로 성장하였다.

이와 같이 우리나라의 과학기술지수가 급속히 성장한 것은 과학기술에 대한 지속적인 노력의 결과로 보인다. 세 가지 지수의 연평균 성장률을 같은 기간 동안의 우리나라 경제성장률과 비교해보면, 연구개발투입과 연구개발 산출지수의 연평균 성장률은 각각 17.6%와 22.6%로서 동기간내 경제성장률 9.8%보다 높은 성장을 보이고 있다. 이러한 결과는 한국이 그동안 경제적 역량(capacity)을 넘어서는 연구개발에 대한 투자 노력으로 연구개발 산출을 높은 수준으로 이끌었다는 것을 시사하고 있다. 반면 경제적 성과지수의 연평균성장률은 7.4%로서 경제적 성장률보다 낮다. 본 연구에서 한 국가의 과학기술활동을 연구개발투입을 연구개발산출로 전환하고, 최종적으로는 경제적 성과로 전환하는 과정으로 본 것을 다시 한번 상기한다면, 이와 같은 결과는 연구개발 산출을 경제적 성과로 전환하는 과정이 상대적으로 비효율적임을 암시하고 있다. 따라서 한국의 국가 과학기술 성장을 위해서는 연구개발투자를 높이는 것보다 우선적으로 연구개발 산출을 경제적 성과로 전환하는 효율성 제고의 노력이 필요하다.

2. 지수간 상관관계

국가 과학기술활동을 전반적으로 이해하기 위해서는 세 가지 지수간 통계적 상관관계를 살펴보는 것이 유의할 것이다. 연구개발투입지수와 연구개발 산출지수간에 단순 회귀분석을 수행한 결과 <표 4>와 같이 두 지수간 유의미한 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 계수는 0.71로 분석되었다. ($R^2 = 0.78$) 반면 연구개발 산출과 경제적 성과지수와의 회귀분석결과, 연구개발 산출지수의 변동이 경제적 성과지수의 변동을 충분히 설명하지 못하는 것으로 나타났다 ($R^2 = 0.51$)¹¹⁾.

<표 4> 연구개발투입지수와 연구개발 산출지수와의 회귀분석결과

| 변수 | 계수 |
|--------------------------|-------------------|
| 상수항 | 0.702 (3.94)* |
| $\ln(\text{연구개발투입지수})^a$ | 0.710 (10.07)* |
| F-통계량 (p-값) | 233.47 (0.00) |
| R^2 | 0.78 |

주) a : \ln 은 로그를 취한 값을 의미. 괄호안 수치는 t-통계량을 의미.

* : 1% 수준에서 통계적으로 유의미.

다음으로 연구개발투입지수와 경제적 성과지수와의 상관관계를 분석하였는데, 선진국과의 비교분석을 위해 선진국과 우리나라를 구분하여 분석하였다. 분석결과 <표 5>와 같이 한국의 계수는 0.37, 선진국의 계수는 0.52로 도출되었는데, 이는 한국의 경우 연구개발투입을 1% 증가시켰을 때 경제적 성과가 0.37% 증가되는 반면 선진국에서는 1% 증가로 0.52%의 경제적 성과를 얻을 수 있음을 보여준다.

11) 통계분석결과 연구개발산출지수는 경제적 성과지수의 변동을 설명하는데 주요한 요인이지만(t-통계량은 1% 수준에서 유의미), 이 변수만으로는 경제적 성과지수의 변동을 충분히 설명할 수 없는 것으로 나타났다($R^2 = 0.51$). 이 분석은 연구개발산출지수와 경제적 성과지수와의 단순 상관관계를 살펴보기 위한 것으로서 경제적 성과는 연구개발산출만으로 결정되는 것이 아니며 다른 요인들이 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다. 따라서 두 지수간의 통계적 관계를 엄밀히 밝히기 위해서는 다른 설명변수들을 모형에 포함시켜 회귀분석을 수행한다면 보다 명확한 관계를 파악할 수 있을 것이다.

<표 5> 연구개발투입지수와 경제적 성과지수와와의 회귀분석 결과

| 변수 | 한국 | 선진국 |
|---------------------------|-------------------|--------------------|
| 상수항 | 0.072 (2.35)* | -0.371 (-5.32)* |
| ln(연구개발투입지수) ^a | 0.372 (11.03)* | 0.52 (17.49)* |
| F-통계량 (p-값) | 182.75 (0.00) | 265.35 (0.00) |
| R ² | 0.95 | 0.83 |

주) a : ln 은 로그를 취한 값을 의미. 괄호안 수치는 t-통계량을 의미.

* : 1% 수준에서 통계적으로 유의미.

이러한 결과를 종합하면 우리나라의 과학기술활동은 선진국보다 더 빠른 속도로 성장하고 있으나 연구개발투입을 최종 경제적 성과로 전환하는 능력은 선진국에 비해 뒤떨어져 있음을 알 수 있다.

3. 결론

과학기술지표를 통해 국가 과학기술활동을 이해하기 위해서는 과학기술현상을 충분히 기술할 수 있는 세부 과학기술지표의 개발과 더불어 이들 세부지표들의 통합을 통한 종합 지수의 도출이 필요하다. 이 논문은 후자에 초점을 두고 퍼지 집합 이론을 활용하여 세부지표의 가중치를 도출함으로써 세 가지의 국가 종합 과학기술지수를 산출하였다. 아울러 도출된 지수를 적용하여 우리나라와 선진국의 과학기술활동을 비교분석하였다.

분석결과 우리나라는 경제적 역량을 넘어서는 연구개발 노력에 힘입어 과학기술활동이 급속히 성장해온 것으로 나타났다. 그러나 우리나라의 경제적 성과지수 성장률은 연구개발 투입지수 및 연구개발 산출지수 성장률에 비해 상대적으로 낮고 같은 기간동안의 국가경제 성장률에 못 미치는 수준이며, 연구개발투입의 증가로 기대되는 경제적 성과지수의 성장으로의 상관정도가 선진국에 비해 뒤떨어진 것으로 나타났다. 이에 근거할 때 우리나라의 과학기술발전을 위해 가장 필요한 것은 연구개발투입 증가보다는 연구개발을 경제적 성과로 전환하는 효율성 제고라는 것임을 시사하고 있다.

이 연구는 세부지표를 통합하는 과정에서 각 지표의 가중치를 각각의 중요성에 대한 사회적인 평가에 근거해서 도출하였으며, 그 방법론으로 인간 언어 및 사고의 애매모호성을 반영할 수 있는 퍼지 집합 이론을 적용했다는 점에서 중요성을 갖는다. 또한 도출된 종합과학기술

지수는 국가 연구개발 활동에 대한 종합적인 이해를 돕고 국가 과학기술정책결정을 위한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것이다.

〈참고문헌〉

- 과학기술부 (각년도), 「과학기술연구개발활동조사 보고」.
- 강상목 · 김명수 · 이명현 (1999), “환경종합지수에 관한 실증적 연구”, 『경제학연구』, 제47집, 제4호, 한국경제학회, pp. 349-370.
- 유승훈 · 광승준 · 김태유 (1998), 환경관련 의사결정을 위한 환경영향지수-전력산업을 중심으로, 자원경제학회지, 제7권 제2호, 한국자원경제학회, 1998년 3월, pp. 111-135.
- Godin, B. (2003), “The Emergence of S&T Indicators: Why Did Governments Supplement Statistics with Indicators?”, *Research Policy*, Vol. 32, pp. 679-691.
- International Institute for Management Development (2000), *World Competitiveness Yearbook*, Lausanne, Switzerland.
- Moon, J.-H., C.-S. Kang (2001), “Application of Fuzzy Decision Making Method to the Evaluation of Spent Fuel Storage Options”, *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 39 No. 3-4, pp. 345-351.
- Niwa, F., H. Tomizawa (1996), “A Trial of General Indicator of Science and Technology: Methodological Study of Overall Estimation of National S&T Activity”, *Scientometrics*, Vol. 37 No. 2, pp. 245-265.
- Porter, A.L, S. Stern (1999), *The New Challenge to America's Prosperity : Findings from the Innovation index*, Council on Competitiveness Washington, D.C.
- Tran, L.T., C.G. Knight, V. O'Neill, R. Smith, E.R., Riitters, K.H., J. Wickham (2002), “Environmental Assessment”, *Environmental Management*, Vol. 29 No. 6, pp. 845-859.
- Tsaur, S.-H., T.-Y. Chang, C.-H. Yen (2002), “The Evaluation of Airline Service Quality by Fuzzy MCDM”, *Tourism Management*, Vol. 23, pp. 107-115.
- World Economic Forum (2001-2002), *The Global Competitiveness Report*, Oxford University Press, New York.
- Zadeh, L.A. (1965), “Fuzzy Sets”, *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-353.