

# 기초연구지수의 작성과 국제비교 (Measuring Basic Research Capacity Index and International Comparison)

송충한\*

- I. 서론
- II. 이론적 배경
- III. 기초연구지수 발전함수
- IV. 기초연구지수의 측정과 국제비교
- V. 요약 및 시사점

[abstract]

This paper presents an econometric model for measuring basic research capacity index(BRCI) of each OECD countries and analyses the gap in terms of time lag measured and forecasted in connection with factor analysis and BRCI progress function. Based on the analysis, gross domestic expenditure on R&D(GERD), total R&D personnel, higher education expenditure on R&D(HERD) and number of science and technical papers based on SCI are more effective than other factors to BRCI. Also, BRCI progress function shows that 29 years is needed for Korea to catch up the level of German's BRCI of year 1998. But, it's impossible for Korea to catch up US and Japan. Therefore, with restricted scientific resources, Korea's own strategy for strengthening basic research capacity is going to be more important in 21st century.

< key words >

basic research capacity index(BRCI), basic research, index, progress function. science policy.

---

\* 한국과학재단 연구관리팀장, 042-869-6310, chsong@kosef.re.kr

## I. 서론

21세기에 들어서면서 지식·정보화 사회가 점차 고도화되어감에 따라 우리 사회에서 차지하는 과학기술의 중요성이 그 어느 때보다 높아지고 있다. 특히, 지식·정보화 사회로의 이행에 있어서 과학기술의 기여는 절대적이며, 지식기반사회에서의 지식강국으로 발전하는데 과학기술이 절대적 역할을 하고 있다. 과학기술이 갖는 중요성과 함께, 내부적으로 과학기술이 전개되어 가는 양상을 보면 과학과 기술, 과학과 과학, 기술과 기술간의 융합화 현상이 가속적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 과학의 발전이 기술혁신을 촉진하고 기술혁신이 다시 과학의 발전을 가속화시키는 상호작용의 연결고리가 보다 복잡해지고 그 주기가 단축되고 있다는 것을 의미한다.

과학 특히 창의적 지식을 제공하는 기초과학의 발전이 없이는 기술의 발전이 제약을 받을 수밖에 없는 상황이 이미 되어가고 있다. 21세기의 핵심기술로 언급되는 정보통신기술(IT), 생명공학기술(BT), 나노기술(NT)이 모두 연구실에서의 기초연구 결과가 바로 산업으로 연계되고 있다는 점이 바로 이를 입증하고 있는 것이다.

본 연구에서는 이러한 창의적 지식을 창출하는 기초연구의 능력을 측정하고 이를 OECD 각국과 비교함으로써 우리나라의 현 상황을 파악하고 이를 토대로 우리나라 기초연구능력의 향상을 위해 우리가 나아가야 할 방향을 모색해 보고자 한다.

## II. 이론적 배경

### 1. 기존연구의 개관

기초연구능력을 하나의 지수로 나타낸다는 것은 쉬운 일이 아니다. 일반적으로 지수(index)란 '어떠한 상황을 알기쉽게 하기 위하여 또는 가늠할 수 있도록 작성한 수'로 정의될 수 있다. 따라서 지수의 작성에 있어서는 첫째 어떠한 변수를 이용하여 지수를 작성할 것인가 하는 문제와, 둘째 선정된 변수의 가중치를 어떻게 설정할 것인가 하는 문제가 제기된다.

OECD(1992)는 과학기술통계·지표의 유형을 영역별로 구분해보면 내부의 자원과 상태변화를 파악하는 내부지표(Internal Indicators), 목표달성 정도를 나타내는 목표지표(Goal Indicators), 경제·사회·환경 등에 미치는 영향을 측정하는 점수지표(Scoreboards Indicators), 미래를 예측하는 예측지표(Predictive Indicators)로 구분하고 있으며, 윤문섭(1994)은 과학기술활동을 투입-산출 시스템으로 파악하는 경우 각 단계별로 투입지표, 산출지표, 영향지표로 구분하고 있다<sup>1)</sup>. 또한, 신태영·윤문섭·장진규·권용수(1999)는 지식기반경제에서 적용할 수 있는 새로운 과학기술지표를 제시하고 있다. 이외에도 과학기술

1) 권용수, 박병무(2000)에서 재인용

부문의 국제경쟁력을 측정하여 제시하는 IMD 등이 많이 알려져 있으나, 이와 유사한 방법론에 대한 설명은 권용수·박병무(2000)에서 자세히 유형별로 언급하고 있으므로 여기서는 생략하고자 한다.

본 연구는 지수작성을 위한 변수의 선택과 각 변수에 대한 가중치의 설정이라는 문제를 해결하는 통계적 방법중의 하나로 요인분석(factor analysis)을 사용하고 있는데, 요인분석기법을 이용하여 지수를 작성한 연구로는 Blackman, Seligman and Sogliero(1973), Sharif and Haq(1980), 임양택(1991), Lim and Song(1996) 등이 있으며, 최근에는 권용수·박병무(2000)가 요인분석을 이용하여 1998년을 기준으로 각국의 지식기반 경쟁력을 측정/비교하였다. Lim and Song(1996)과 권용수·박병무(2000)이 갖는 공통점은 두 논문이 모두 요인분석기법을 사용하였을 뿐만 아니라, 요인분석기법에 의해서 얻어지는 가중치를 사용하였고, 누적정규분포값을 이용하여 이를 비교 가능한 지수로 전환하고 있다는 점이다. 두 논문의 차이점은 권용수·박병무(2000)는 1998년을 기준으로 한 cross section data를 이용하여 지수의 범위를 0점~100점으로 계산한 후 각국의 지수를 비교한데 비하여, Lim and Song(1996)은 1981년-1992년간의 시계열자료를 이용하여 지수의 범위를 0점~1점으로 계산한 후 여기에 발전함수를 도입하여 각국간 기초연구지수의 시차를 분석하였다는데 있다. 여기서는 Lim and Song(1996)의 연구를 현재의 시점에서 재조명하고 이를 보완하여 기초연구지수를 작성한 후 이를 비교하여 각국간 기초연구지수의 시차를 비교하고자 한다.

## 2. 기초연구지수의 이론적 배경

요인분석기법은 여러 변수사이의 상관관계로부터 공통변량(common variation)을 구하고 측정치의 중복성을 규명하여 몇 개의 가설적인 요인(factors)을 추출함으로써 여러 변수들 사이의 상관관계를 몇 개의 요인들 사이의 상호관계로 재정의하는데 사용되는 분석방법이다.

요인분석방법을 통하여 계산되는 요인적재치행렬(factor loading matrix)을 이용하여 요인분석이 내포하고 있는 의미와 이를 이용한 가중치의 설정에 대해 살펴보고자 한다.

<표 1> 요인적재치행렬(factor loading matrix)

변수	factor 1	factor 2	factor 3	factor 4	factor 5	communality
X <sub>1</sub>	f <sub>11</sub>	f <sub>12</sub>	f <sub>13</sub>	f <sub>14</sub>	f <sub>15</sub>	C <sub>1</sub>
X <sub>2</sub>	f <sub>21</sub>	f <sub>22</sub>	f <sub>23</sub>	f <sub>24</sub>	f <sub>25</sub>	C <sub>2</sub>
X <sub>3</sub>	f <sub>31</sub>	f <sub>32</sub>	f <sub>33</sub>	f <sub>34</sub>	f <sub>35</sub>	C <sub>3</sub>
X <sub>4</sub>	f <sub>41</sub>	f <sub>42</sub>	f <sub>43</sub>	f <sub>44</sub>	f <sub>45</sub>	C <sub>4</sub>
X <sub>5</sub>	f <sub>51</sub>	f <sub>52</sub>	f <sub>53</sub>	f <sub>54</sub>	f <sub>55</sub>	C <sub>5</sub>
eigen value	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	

<표 1>은 변수가  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  로 5개인 경우의 요인적재치 행렬을 나타낸 것이다. 대상변수가 5개인 경우 요인(factor)은 원칙적으로 factor1부터 factor5 까지 5개가 존재하게 된다. 왜냐하면  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  의 5개 변수는 동일한 변수가 아닌 한 각 변수가 내포하는 의미는 각기 다르기 때문이다.

요인적재치 행렬에서 요인적재치(factor loading value:  $f_{ij}$ )와 communality, eigen value' 간에는 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$\sum_{j=1}^5 f_{ij}^2 = C_i = 1, \quad \sum_{i=1}^5 f_{ij}^2 = E_j, \quad \sum_{j=1}^5 E_j^2 = 5$$

즉, 변수  $X_1$  의 전체 변동분을 1이라고 할 때,  $f_{11}^2$ 은 요인 1에 의해 설명되는  $X_1$ 의 변동분을 의미하며  $f_{12}^2$ 은 요인 2에 의해 설명되는  $X_1$ 의 변동분을 의미한다. 따라서 요인 1부터 요인 5에 의해 설명되는  $X_1$ 의 변동분의 합계는 1이 된다.

또한 요인 1이 설명하는  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  의 변동분의 합계인  $f_{11}^2 + f_{21}^2 + f_{31}^2 + f_{41}^2 + f_{51}^2$ 을 eigen value라고 하는데 이는 요인 1이 전체변동 중에서 설명하는 부분을 나타낸다. 예를 들어  $E_1$ 이 4.5라고 가정하면  $X_1 - X_5$  의 전체변동분이 5이므로 요인 1은 전체변동 중에서 90%(4.5/5)를 설명하고 있는 것이다.

요인분석이 갖는 이러한 관계를 이용하여 지수의 작성에 필요한 변수의 설정과 가중치를 부여하는 방법은 다음과 같다. <표 1>의 요인적재치 행렬에서  $X_1$ 을 설명하는 요인적재치  $f_{11}, f_{12}, f_{13}, f_{14}, f_{15}$  중에서  $f_{11}$ 이,  $X_2$ 의 요인적재치 중에서는  $f_{21}$ 이,  $X_3$ 의 요인적재치 중에서는  $f_{31}$ 이,  $X_4$ 의 요인적재치 중에서는  $f_{42}$ 가 그리고  $X_5$ 의 요인적재치 중에서는  $f_{52}$ 가 가장 큰 값을 갖는다고 가정하자. 이 경우  $X_1, X_2, X_3$ 는 요인 1로 대표되는 동일한 성격을 갖는 하나의 집단으로 설정(grouping)될 수 있으며,  $X_4, X_5$ 는 요인 2로 대표되는 동일한 성격을 갖는 집단으로 설정될 수 있다. 따라서  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ 는 요인1과 요인 2로 대표되는 2개의 상이한 성격을 갖는 집단으로 구분될 수 있다. 바로 이러한 과정을 통하여 기초연구지의 작성에 필요한 변수의 선정이 가능하게 된다.

$X_1, X_2, X_3$ 이 하나의 집단으로 설정되었을 때 가중치는 요인적재치를 이용하여 작성된다. 즉, 요인1에 의해 설명되는  $X_1, X_2, X_3$ 의 변동분( $f_{11}^2 + f_{21}^2 + f_{31}^2$ )에 대한 각 변수의 변동분( $f_{i1}^2, i=1,2,3$ )이 각 변수의 가중치가 된다. 따라서  $X_1$ 의 가중치는  $f_{11}^2 / (f_{11}^2 + f_{21}^2 + f_{31}^2)$ 이 되며,  $X_2$ 의 가중치는  $f_{21}^2 / (f_{11}^2 + f_{21}^2 + f_{31}^2)$ 이 된다.

지수는 각 변수에 대한 가중치와 각 변수의 표준정규분포치(Z-score)를 이용하여 다음과 같이 계산된다.

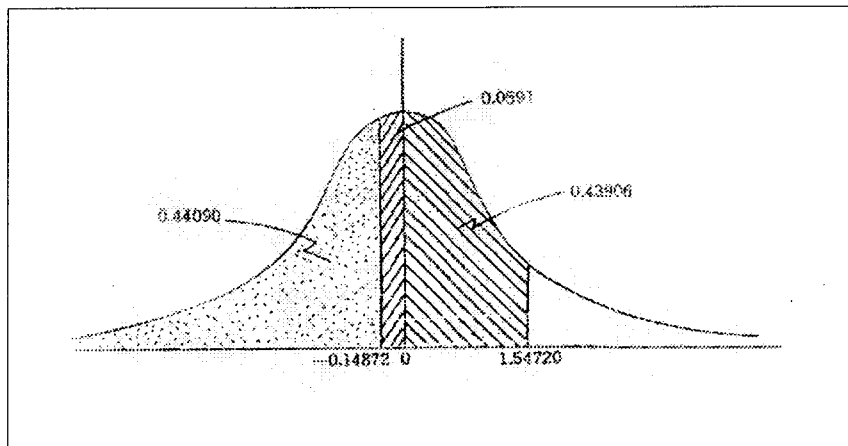
$$I = (f_{11}^2 / (f_{11}^2 + f_{21}^2 + f_{31}^2)) \times Z_1 + (f_{21}^2 / (f_{11}^2 + f_{21}^2 + f_{31}^2)) \times Z_2 + (f_{31}^2 / (f_{11}^2 + f_{21}^2 + f_{31}^2)) \times Z_3$$

여기서  $Z_1, Z_2, Z_3$ 는 각각  $X_1, X_2, X_3$ 의 표준정규분포치를 나타낸다.  $X_1, X_2, X_3$ 변수의 값

을 표준정규분포치로 변환하여 사용하는 이유는 각 변수의 단위가 다르기 때문에 변수간의 비교를 위해서는 동일한 단위의 변수로 변환하여야 하기 때문이다.

이와 같은 방법으로 계산된 지수 I는 표준정규분포를 이루고 있으므로 그 범위가 이론적으로는  $-\infty$ 에서  $+\infty$ 까지 이르게 되므로 상대적인 비교가 용이하지 않게 된다는 문제점을 가지게 된다<sup>2)</sup>. 따라서 지수 I를 일정한 구간내의 값으로 변형시킬 필요가 있다. 여기서는 지수 I가 표준정규분포를 이룬다는 특성을 이용하여 표준정규분포의 그래프가 갖는 확률면적인 0-1사이의 값을 갖는 지수로 변화하고자 한다.

[그림 1]



[그림 1]은 평균이 0이고 분산이 1인 표준정규분포를 나타낸다. 그림에서 0을 기준으로 하여 0보다 적은 값이 발생할 확률면적은 0.5이고 0보다 큰 값이 발생할 확률면적도 0.5이다. 이제 앞서의 방식으로 계산된 지수  $I_A$ 와  $I_B$ 가 각각 -0.14872 및 1.54720이라고 가정하자. 일반적인 통계책의 부록에 표시되어 있는 표준정규분포표를 이용하면 0 ~ 0.14사이의 확률면적은 0.0557이고 0 ~ 0.15사이의 확률면적은 0.0596이므로 이를 보간법을 이용하면 0 ~ 0.14872사이의 확률면적은 0.0591이 된다. 정규분포는 좌우가 대칭이므로  $-\infty \sim -0.14872$  사이의 확률면적은 0.5에서 0.0596을 뺀 0.44090이 된다.

### III. 기초연구지수 발전 함수

본 연구에서는 기초연구지수의 발전함수로서 다음과 같은 형태의 함수를 설정하고자 한다.

2) 지수 I는  $I = \sum W_j Z_j$  인데, I는  $Z_j$ 가  $W_j$ 에 의해 선형변환된 것이므로 표준정규분포를 이룬다.

$$I(t) = \frac{1}{1+ae^{-bt}}$$

여기서  $I(t)$  = t년도의 기초연구지수,  $0 \leq I(t) \leq 1$

$a$  = 상수, 단  $a > 0^3)$ ,  $b$  = 상수, 단  $b > 0^4)$

기초연구지수  $I(t)$ 는 시간  $t$ 가 경과함에 따라 한 국가의 기초과학지수의 동태적 궤적을 나타내므로 기초연구지수의 발전함수라 할 수 있고, 이를 그래프로 나타낸 것이 기초연구지수 발전곡선이라고 할 수 있다.

발전함수  $I(t)$ 의 함수적 특성을 살펴보면 다음과 같다. 우선  $I(t)$ 의 시간당 변화율을 구해보면,

$$\frac{dI(t)}{dt} = \frac{abe^{-bt}}{(1+ae^{-bt})^2}$$

$I(t)$ 의 시간당 변화의 변화율(가속도)은 다음과 같다.

$$\frac{d^2I(t)}{dt^2} = \frac{(1+ae^{-bt})ab^2e^{-bt}}{(1+ae^{-bt})^3}$$

따라서 변곡점  $(d^2I(t)/dt^2)=0$ 이 되는 시간  $t$ 의 값은 다음과 같다.

$$t = \ln a / b$$

이 값을 원래의 발전함수에 대입하면, 이 시점에서의 기초연구지수  $I(t)$ 는 1/2이 된다<sup>5)</sup>. 따라서 발전함수  $I(t)$ 는 다음과 같이 구분될 수 있다.

$$\textcircled{1} I(t) < 1/2 \text{ 일 때, } \frac{d^2I(t)}{dt^2} > 0$$

$$\textcircled{2} I(t) = 1/2 \text{ 일 때, } \frac{d^2I(t)}{dt^2} = 0$$

$$\textcircled{3} I(t) > 1/2 \text{ 일 때, } \frac{d^2I(t)}{dt^2} < 0$$

그리고  $t=0$ ,  $t=\infty$ 일 경우  $I(t)$ 는 각각 다음과 같다.

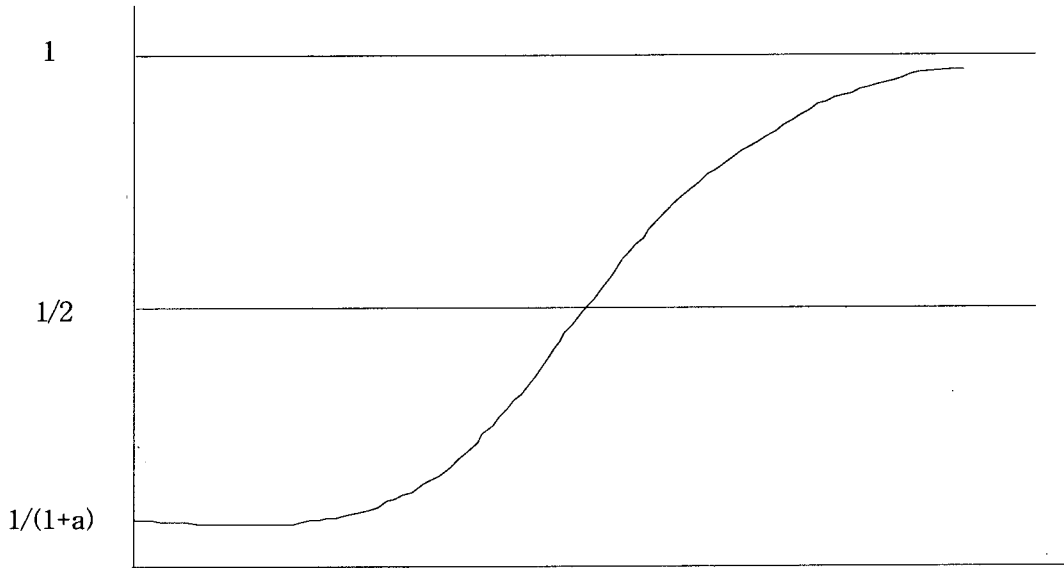
$$\textcircled{1} I(t=0) = 1 / (1+a)$$

$$\textcircled{2} I(t=\infty) = 1$$

- 3)  $a > 0$ 의 조건을 설정한 것은 ①  $a$ 의 값이 '0'이면  $I(t)$ 가 항상 1이 되어 최고 수준에 이르게 되므로 비현실적이며, ②  $a$ 의 값이 '-'인 경우에는  $I(t)$ 가 1보다 크게 되어 지수의 범위가 0-1사이라는 기본가정에 위배되기 때문이다.
- 4)  $b > 0$ 의 조건을 설정한 것은  $b$ 가 기초연구지수의 발전속도를 나타내는 파라미터이기 때문이다.
- 5)  $t = \ln a / b$ 의 값을 발전함수에 대입하였을 때, 분모는  $1+ae^{-b \ln a / b}$ 가 된다.  $ae^{-b \ln a / b}$ 에 자연로그를 취하면 그 값은  $\ln a - \ln a = 0$ 이 된다. 결국 로그를 취했을 때 그 값이 0이 되는 값은 1이므로  $ae^{-b \ln a / b}$ 의 값은 1이고, 따라서 분모의 값은 2이다.

따라서  $a > 1$ 인 일반적인 경우의 발전곡선은 [그림 2]와 같은 'S'자의 형태를 갖는다.

[그림 2] 기초연구지수의 발전곡선



기초연구지수 발전함수의 추정식은 발전함수를 다음과 같이 변형시킴으로써 가능하다. 발전함수의 양변에 로그를 취하여 정리하면,

$$\ln\left(\frac{1}{I(t)} - 1\right) = \ln a - bt$$

따라서, 다음과 같은 일반적인 선형함수로 추정이 가능하게 된다.

$$Y = \alpha + \beta t$$

$$\text{여기서 } Y = \ln\left(\frac{1}{I(t)} - 1\right)$$

$$\alpha = \ln a, \quad -\infty < \alpha < +\infty$$

$$\beta = -b, \quad \beta < 0$$

#### IV. 기초연구지수의 측정과 국제비교

앞서 언급한 바와 같이, 본 연구에서의 기초연구지수 작성은 Lim and Song(1996)에서 출발하고 있다. 이 연구에서는 1981년부터 1992년의 자료를 이용하여 앞서의 기초연구지수를 작성한 다음 발전함수를 추정하고 이에 근거하여 2000년의 기초연구수준에 대

한 예측을 실시한 바 있다. Lim and Song(1996)이 예측한 내용을 현재의 시점에서 살펴 보면, 한국의 경우 2000년 예측치는 15위인 반면, 1999년 SCI 실적치는 16위로서 예측결과가 실적치에 매우 근접해 있는 반면, 비교적 규모가 적은 나라의 경우 과대평가(overestimate)된 경향이 있으며, 규모가 큰 나라는 상대적으로 과소평가(underestimate)된 경향이 나타나고 있다. 이러한 예측결과는 지수작성에 사용된 변수 중 절대값을 반영하는 변수와 상대값(1인당 수치, 비율 등)을 반영하는 변수로 구성된 기초연구지수가 상대적으로 소규모국가들에게 유리하도록 계산되었다는 것을 의미한다. 따라서, 새로이 기초연구지수를 추정하는 경우에는 절대값을 반영하는 변수의 구성비율이 선행연구에서보다 높아져야 한다는 것을 의미한다.

## 1. 기존연구지수의 측정

본 연구에서는 기초연구지수를 구성하는 변수의 범주를 첫째, 국가의 연구개발역량을 반영하는 변수, 둘째, 기초연구의 역량을 반영하는 변수, 셋째, 과학기술에 대한 국민의 인식을 반영하는 변수의 3가지로 구분하고자 한다. 각 범주별 변수는 7개로서 그 내용은 다음과 같다<sup>6)</sup>.

- 국가의 연구개발역량을 반영하는 변수
  - ① 총연구개발비
  - ② 총연구원수
- 기초연구의 역량을 반영하는 변수
  - ③ 대학연구개발비
  - ④ 대학연구원수
  - ⑤ 대학연구원1인당 연구개발비
  - ⑥ SCI
- 과학기술에 대한 인식을 반영하는 변수
  - ⑦ 국내총생산에서 총연구개발비가 차지하는 비율

상기의 변수중 금액을 나타내는 변수는 미국의 달러(\$)를 기준으로 하는 각 국가별 구매력지수(purchasing power parity)를 적용하여 국가별 비교가 가능하도록 하였다. 일반적으로 연구개발비 등 각 국가의 화폐단위로 표현되는 수치를 비교할 때, 우리는 흔히 기준 화폐단위를 정하여 각국의 화폐단위를 기준화폐로 환산하여 비교하게 된다. 이 경우 가장 흔하게 사용되는 것이 바로 환율(exchange rate)이다. 그러나 OECD에서는 과학기술분야의 연구개발비를 비교할 때 구매력지수를 적용한 달러(ppp \$)를 사용하고 있다.

6) 7가지 변수이외에 '연구원1인당 연구개발비', '인구만명당 연구원수'를 함께 검토하였으나, 요인분석과정에서 이 두 변수는 전체변수의 요인과 달리 다른 요인을 구성하는 것으로 나타나 변수의 구성에서 제외되었음.



각국의 연구개발비 등을 비교할 때 구매력지수를 사용하는 이유는 환율의 사용에 대해 많은 문제점이 제기되고 있기 때문이다. 환율이 가지고 있는 가장 큰 문제점 중의 하나는 환율이 각국 화폐단위의 실질가치를 반영하지 못한다는 데 있다. 환율을 용어 그대로 화폐의 교환비율로서 국제금융시장에서의 화폐의 수요와 공급에 의해 그 교환비율이 결정되며, 국제금융시장에서의 화폐에 대한 수요와 공급은 해당 국가의 무역수지, 통화정책(또는 금리정책) 등에 의해 영향을 받으므로 환율을 기준으로 환산된 화폐단위의 비교는 사실상 명목가치(nominal value)의 비교일 뿐 그 화폐가 지니는 실질가치(real value)의 비교가 되지 못하기 때문이다<sup>7)</sup>. 아울러, 본 연구에서는 각 국가에서 발생하는 물가상승율에 따른 경상가격(current price)이 갖는 왜곡현상을 없애기 위해 1995년을 기준년도로 하는 불변가격(constant price)을 적용하였다. 아울러, 인력의 단위는 상근상당(FTE; full-time equivalent) 인원수를 사용하였다.

본 연구에서는 OECD의 Main Science and Technology Indicator를 사용하여 1981년~1998년의 18년간의 시계열 자료를 사용하였으며, 분석대상국가들로는 우리 나라를 포함하여 미국, 영국, 일본 등 16개 국가를 대상으로 하였다.

본 연구에서 사용하는 기초연구지수 계산 방법은 각 변수의 정규분포값(z-score)을 구하는 것에서부터 출발한다. 16개 국가의 18년간의 자료를 하나의 변수로 설정하면 그 수는 총 288개가 된다. 통상적으로 표본의 수가 30을 초과하면 통계적으로 정규분포를 하는 것으로 간주할 수 있으므로 288개의 표본은 정규분포를 하는 것으로 간주될 수 있다. 상기의 7가지 변수가 각각 정규분포를 하는 것으로 간주하여 각 변수별 자료의 z-score를 구한 후, 이에 대하여 요인분석(factor analysis)을 적용한 결과는 다음과 같다.

<표 3> 요인분석 결과

변 수	요인 1
총연구개발비(X1)	.986
총연구원수(X2)	.978
대학연구개발비(X3)	.985
대학연구원수(X4)	.892
대학연구원1인당 연구개발비(X5)	.729
SCI(X6)	.959
국내총생산에서 총연구개발비가 차지하는 비율(X7)	.549
EIGEN VALUE	5.447

<표 3>에서 보는 바와 같이, 각 변수가 갖는 요인적재치(factor loading value)는 요인 1에서 가장 크게 나타나고 있으며, 요인 1은 전체변동값 7중 77.8%인 5.447을 설명하는 것

7) 1997년말의 IMF사태에 따라 1998년 미국의 달러화에 대한 우리나라 원화의 교환비율인 환율은 1\$당 1,200원 정도이나, 동일한 년도의 구매력지수에 의한 미국 달러화의 교환비율은 1\$당 667.6원으로서 환율과 큰 차이를 보이고 있다.

으로 나타나고 있다. <표 3>에 의해 계산되는 각 변수의 가중치는 다음과 같이 계산된다.

$$X1 \text{의 가중치} = (0.986^2) / (0.986^2 + 0.978^2 + 0.985^2 + 0.892^2 + 0.729^2 + 0.959^2 + 0.549^2)$$

$$X2 \text{의 가중치} = (0.978^2) / (0.986^2 + 0.978^2 + 0.985^2 + 0.892^2 + 0.729^2 + 0.959^2 + 0.549^2)$$

이와 같이 계산된 각 변수의 가중치는 다음과 같다.

<표 4> 각 변수별 가중치

변 수	요인 1
총연구개발비(X1)	0.178462
총연구원수(X2)	0.175737
대학연구개발비(X3)	0.178092
대학연구원수(X4)	0.146060
대학연구원1인당 연구개발비(X5)	0.097561
SCI(X6)	0.168703
국내총생산에서 총연구개발비가 차지하는 비율(X7)	0.055386
합계	1

각 국가별로 표준화된 변수들에 대하여 상기의 가중치를 곱하고 이를 합산한 지수는 앞서 언급한 바와 같이  $-\infty \sim +\infty$ 의 범위를 갖는다. 앞서 살펴본 바와 같이, 그 범위가  $-\infty \sim +\infty$ 까지 분포하는 지수는 정규분포를 하므로 각 지수의 값에 해당하는 정규분포의 확률면적값을 구함으로써 이를 0 ~ 1 사이의 지수로 변환할 수 있다. 이와 같이 변환된 지수는 다음과 같다.

<표 5> 각 국가별 기초연구지수(0 ~ 1)

호 주		벨 기 에		캐 나 다		덴 마 크	
연 도	지 수	연 도	지 수	연 도	지 수	연 도	지 수
1981	0.2842	1981	0.2819	1981	0.3404	1981	0.2814
1982	0.2850	1982	0.2836	1982	0.3505	1982	0.2778
1983	0.2888	1983	0.2861	1983	0.3495	1983	0.2781
1984	0.2914	1984	0.2897	1984	0.3554	1984	0.2799
1985	0.2986	1985	0.2902	1985	0.3636	1985	0.2822
1986	0.3007	1986	0.2896	1986	0.3698	1986	0.2861
1987	0.2974	1987	0.2950	1987	0.3677	1987	0.2885
1988	0.2967	1988	0.2910	1988	0.3740	1988	0.2926
1989	0.3000	1989	0.3156	1989	0.3765	1989	0.2922
1990	0.3054	1990	0.3183	1990	0.3903	1990	0.2936
1991	0.3135	1991	0.3204	1991	0.3950	1991	0.2968
1992	0.3261	1992	0.3239	1992	0.4073	1992	0.2978
1993	0.3313	1993	0.3260	1993	0.4113	1993	0.3029
1994	0.3369	1994	0.3262	1994	0.4192	1994	0.3102
1995	0.3486	1995	0.3290	1995	0.4279	1995	0.3164
1996	0.3585	1996	0.3367	1996	0.4256	1996	0.3064
1997	0.3616	1997	0.3368	1997	0.4303	1997	0.3134
1998	0.3643	1998	0.3370	1998	0.4394	1998	0.3076

<표 6> 각 국가별 기초연구지수(0 ~ 1): 계속

핀란드		프랑스		독일		이탈리아	
연도	지수	연도	지수	연도	지수	연도	지수
1981	0.2491	1981	0.4694	1981	0.5679	1981	0.3707
1982	0.2575	1982	0.4743	1982	0.5752	1982	0.3645
1983	0.2654	1983	0.4738	1983	0.5777	1983	0.3650
1984	0.2727	1984	0.4801	1984	0.5904	1984	0.3712
1985	0.2808	1985	0.4864	1985	0.6128	1985	0.3897
1986	0.2905	1986	0.4865	1986	0.6145	1986	0.3895
1987	0.3022	1987	0.4972	1987	0.6294	1987	0.4026
1988	0.2938	1988	0.5039	1988	0.6418	1988	0.4106
1989	0.2865	1989	0.5177	1989	0.6491	1989	0.4118
1990	0.2829	1990	0.5329	1990	0.6555	1990	0.4250
1991	0.2940	1991	0.5363	1991	0.6773	1991	0.4305
1992	0.2945	1992	0.5556	1992	0.6854	1992	0.4168
1993	0.2921	1993	0.5559	1993	0.6744	1993	0.4137
1994	0.2952	1994	0.5583	1994	0.6790	1994	0.4102
1995	0.3020	1995	0.5719	1995	0.6944	1995	0.4102
1996	0.3079	1996	0.5734	1996	0.7018	1996	0.4119
1997	0.3216	1997	0.5697	1997	0.7145	1997	0.4069
1998	0.3277	1998	0.5737	1998	0.7220	1998	0.4094

<표 6> 각 국가별 기초연구지수(0 ~ 1): 계속

한국		네덜란드		노르웨이		스페인	
연도	지수	연도	지수	연도	지수	연도	지수
1981	0.2293	1981	0.3445	1981	0.2836	1981	0.2495
1982	0.2601	1982	0.3621	1982	0.2804	1982	0.2555
1983	0.2563	1983	0.3567	1983	0.2811	1983	0.2517
1984	0.2746	1984	0.3561	1984	0.2823	1984	0.2498
1985	0.2982	1985	0.3665	1985	0.2866	1985	0.2532
1986	0.3235	1986	0.3752	1986	0.2905	1986	0.2543
1987	0.3338	1987	0.3865	1987	0.2925	1987	0.2596
1988	0.3395	1988	0.3813	1988	0.2932	1988	0.2705
1989	0.3300	1989	0.3838	1989	0.2944	1989	0.2782
1990	0.3216	1990	0.3958	1990	0.2960	1990	0.2894
1991	0.3260	1991	0.3933	1991	0.2968	1991	0.2926
1992	0.3280	1992	0.3957	1992	0.3015	1992	0.3186
1993	0.3520	1993	0.3989	1993	0.3052	1993	0.3208
1994	0.3606	1994	0.4020	1994	0.3037	1994	0.3128
1995	0.3808	1995	0.4204	1995	0.3012	1995	0.3159
1996	0.4059	1996	0.4281	1996	0.3046	1996	0.3221
1997	0.4314	1997	0.4336	1997	0.3070	1997	0.3247
1998	0.4068	1998	0.4271	1998	0.3091	1998	0.3349

<표 6> 각 국가별 기초연구지수(0 ~ 1): 계속

스웨덴		영국		미국		일본	
연도	지수	연도	지수	연도	지수	연도	지수
1981	0.4332	1981	0.5241	1981	0.9878	1981	0.6265
1982	0.4433	1982	0.5209	1982	0.9895	1982	0.6524
1983	0.4465	1983	0.5217	1983	0.9931	1983	0.6815
1984	0.4386	1984	0.5353	1984	0.9955	1984	0.7009
1985	0.4342	1985	0.5453	1985	0.9974	1985	0.7266
1986	0.4426	1986	0.5597	1986	0.9985	1986	0.7355
1987	0.4535	1987	0.5672	1987	0.9991	1987	0.7660
1988	0.4374	1988	0.5762	1988	0.9993	1988	0.7842
1989	0.4214	1989	0.5629	1989	0.9994	1989	0.8074
1990	0.4044	1990	0.5643	1990	0.9996	1990	0.8315
1991	0.3886	1991	0.5386	1991	0.9993	1991	0.8374
1992	0.4023	1992	0.5535	1992	0.9996	1992	0.8561
1993	0.4130	1993	0.5569	1993	0.9996	1993	0.8673
1994	0.4166	1994	0.5647	1994	0.9997	1994	0.8753
1995	0.4186	1995	0.5647	1995	0.9998	1995	0.9060
1996	0.4240	1996	0.5674	1996	0.9999	1996	0.9212
1997	0.4280	1997	0.5667	1997	0.9999	1997	0.9289
1998	0.4331	1998	0.5746	1998	1.0000	1998	0.9414

각 국가별 기초연구지수의 변화를 보다 쉽게 파악할 수 있도록 1981년, 1990년, 1998년의 국가별 기초연구지수를 비교하면 다음과 같다. 우선, 1981년 우리나라의 기초연구지수는 0.2293으로 비교대상 16개국 중 가장 낮은 것으로 나타나고 있다. 미국은 0.9878로 가장 높고, 그 다음으로 일본이 0.6265, 독일이 0.5679, 영국이 0.5241, 프랑스 0.4694 등으로 나타나고 있다.

1990년에는 한국의 기초연구지수가 0.3216으로 비교대상 16개 국가중 10위를 차지하였다. 호주, 벨기에 등은 한국과 비슷한 수준이지만 약간 낮은 것으로 나타났으며, 덴마크, 핀란드, 노르웨이, 스페인 등은 0.3에 다소 못 미치는 것으로 나타났다. 미국은 0.9996으로 가장 높았으며 그 다음으로는 1981년과 같이 일본, 독일, 영국, 프랑스 순으로 나타났다.

1998년에 한국의 기초연구지수는 0.4068로 이탈리아의 0.4094와 비슷한 수준에 접근한 것으로 나타나고 있다. 1990년과 동일하게 비교대상 16개 국가중 10위를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나, 그 수준이 비교적 향상되어 1998년에는 캐나다, 네덜란드, 스웨덴 등에 많이 근접해 가고 있음을 알 수 있다. 미국은 기초연구지수가 갖는 한계점이 1을 나타내고 있으며, 일본이 0.9414로 0.9를 상회하고 있다. 1990년에는 영국과 프랑스가 각각 0.5643, 0.5329로서 약간의 차이가 있었으나, 1998년에는 영국과 프랑스가 각각 0.5746, 0.5737로서 그 격차가 거의 없는 것으로 나타나고 있다.

<표 7> 주요 국가의 기초연구지수 비교-1981, 1990, 1998년

국가	1981년	1990년	1998년
호 주	0.2842	0.3054	0.3643
벨기에	0.2819	0.3183	0.3370
캐나다	0.3404	0.3903	0.4394
덴마크	0.2814	0.2936	0.3076
핀란드	0.2491	0.2829	0.3277
프랑스	0.4694	0.5329	0.5737
독 일	0.5679	0.6555	0.7220
이탈리아	0.3707	0.4250	0.4094
한 국	0.2293	0.3216	0.4068
네덜란드	0.3445	0.3958	0.4271
노르웨이	0.2836	0.2960	0.3091
스페인	0.2495	0.2894	0.3349
스웨덴	0.4332	0.4044	0.4331
영 국	0.5241	0.5643	0.5746
미 국	0.9878	0.9996	1.0000
일 본	0.6265	0.8315	0.9414

## 2. 기존연구지수 발전함수의 추정

이제 앞서 살펴본 바와 같이 0~1 사이의 값을 갖는 기초연구지수를 이용하여 발전함수를 추정하여 보고자 한다. 선형변환된 기초연구지수 발전함수를 추정한 결과는 다음의 <표 8>과 같다.

본 연구에서 기초연구지수를 이용하여 발전함수를 추정하는 중요한 이유는 발전함수를 이용하여 각 국가의 기초연구지수가 갖는 격차를 계산해보고자 하는 것이다. 이러한 기초연구지수의 격차는 현재의 기초연구지수가 갖는 수준도 중요하지만, 앞으로 이 기초연구지수가 얼마나 빠른 속도로 발전할 것인가 하는 점도 매우 중요하다. 본 기초연구지수 발전함수에서 이러한 발전속도를 나타내는 것이  $\beta$  값이다. 앞서의 이론적 검토에서 살펴본 바와 같이 발전속도  $b$ 는  $-\beta$ 이므로 <표 8>의  $\beta$  값에 '-'를 곱하면 발전속도를 얻을 수 있다.

각 국가의 발전속도를 살펴보면, 미국이 0.2970으로 가장 높고, 그 다음으로는 일본이 0.1280이며, 한국이 0.0444, 독일이 0.0403으로 나타나고 있다. 이외의 국가들은 기초연구지수의 발전속도가 모두 0.03 미만인 것으로 나타나고 있으며, 영국, 덴마크, 벨기에, 핀란드, 이탈리아 등은 0.01~0.02 사이에 분포하여 그 속도가 매우 느린 것으로 나타나고 있다. 스웨덴의 경우에는 발전속도가 -0.0065인 것으로 나타나고 있으며, 기초연구지수의 값도 1981년과 1998년의 값이 거의 변동이 없는 것으로 나타나고 있다.

<표 8> 각국별 기초연구지수의 발전함수

국 가	Y = $\hat{\alpha}$ (t-value)	+ $\hat{\beta}t$ (t-value)	R <sup>2</sup>
호 주	0.968 (55.688)	-0.02278 (-13.749)	0.922
벨기에	0.952 (81.815)	-0.01760 (-15.058)	0.934
캐나다	0.667 (82.944)	-0.02495 (-30.873)	0.983
덴마크	0.965 (118.209)	-0.01082 (-13.194)	0.916
핀란드	1.039 (50.451)	-0.01651 (-7.986)	0.799
프랑스	0.155 (11.025)	-0.02924 (-20.678)	0.964
독 일	-0.274 (-18.76)	-0.04029 (-27.468)	0.979
이탈리아	0.508 (19.558)	-0.01227 (-4.704)	0.580
한 국	1.091 (28.494)	-0.04443 (-11.552)	0.893
네덜란드	0.625 (54.297)	-0.02039 (-17.645)	0.951
노르웨이	0.942 (196.495)	-0.008252 (-17.144)	0.948
스페인	1.155 (58.236)	-0.02783 (-13.978)	0.924
스웨덴	0.241 (8.459)	0.00645 (2.253)	0.241
영 국	-0.129 (-5.630)	-0.01015 (-4.405)	0.548
미 국	-4.649 (-29.811)	-0.29700 (-18.954)	0.957
일 본	-0.444 (-11.874)	-0.128 (-34.074)	0.986

주)  $\alpha$ 와  $\beta$  계수에 대한 t-통계량은 99%수준에서 유의적임. 단, 스웨덴의 경우  $\beta$  계수에 대한 t-통계량은 95%의 유의수준임

이러한 발전속도가 의미하는 것은 미국과 일본의 경우에는 시간이 경과하더라도 기초연구의 잠재력을 반영하는 기초연구지수의 값이 다른 나라들에 비하여 항상 높다는 것을 의미한다. 한국의 경우 기초연구지수의 발전속도가 다른 나라들에 비해 상대적으로 높기 때문에, 시간이 경과하는 경우 다른 나라와의 격차가 상당부분 좁혀지거나 한국이 이들 국가를 추월할 가능성도 있다는 것을 의미한다.

이제 한국의 기초연구지수 발전함수를 이용하여 선진국과 우리 나라간의 기초연구지수가 갖는 시간격차를 계산하여 보도록 하자. 추정치를 이용하여 한국의 기초연구지수 발전함수를 원래의 형태로 표시하면 다음과 같다.

$$I(t) = \frac{1}{1+2.9772e^{-0.0444t}}$$

상기의 함수식에 시간변수를 대입함으로써 1998년 선진국의 기초연구지수 수준과 우리나라간의 시간격차가 얼마나 되는지를 살펴볼 수 있다.

<표 9> 한국과 주요 선진국간 기초연구지수의 시간격차

국명	1998수준	한국의 도달연도	시차 (년)	국명	1998수준	한국의 도달연도	시차 (년)
캐나다	0.4394	2000	2	영국	0.5746	2012	14
프랑스	0.5737	2012	14	미국(90년)	0.9996	2180	168
독일	0.7220	2027	29	일본	0.9414	2068	70

표에서 보는 바와 같이 1998년의 캐나다 기초연구수준에 우리나라가 도달하는 시기는 2000년으로 우리나라의 기초연구수준은 큰 격차가 나지 않고 있다. 그러나, 프랑스, 영국의 1998년 수준에 도달하는 시기는 2012년으로 14년의 차이가 있으며, 독일의 1998년 수준에 도달하는 시기는 2027년으로 29년의 시차를, 그리고 일본의 1998년 수준에 도달하는 시기는 2068년으로 우리나라와 70년의 격차를 보이고 있다. 미국의 1990년 수준인 0.9996에 도달하는 시기는 2180년으로서 168년의 격차가 나고 있다. 미국의 1998년 수준인 1.0000에 도달하는 시기는 200년 이상 차이가 나는 것으로 나타나고 있는데, 이는 미국의 기초연구지수 발전속도가 우리나라보다 매우 빠르기 때문에 시간이 흐르면 흐를수록 미국과의 격차는 확대되고 있기 때문이다.

## V. 요약 및 시사점

21세기 지식·정보화 사회에서 창의적 지식을 창조하는 기초연구의 중요성은 더욱 커지고 있다. 본 연구는 이러한 창의적 지식을 창출하는 기초연구의 능력을 측정하고 이를 OECD 각국과 비교함으로써 우리나라의 현 상황을 파악하고 이를 토대로 우리나라 기초연구능력의 향상을 위해 우리가 나아가야 할 방향을 모색해 보기 위해 시도되었다.

본 연구에서 각국별 기초연구지수를 측정한 결과를 살펴보면, 1981년 우리나라의 기초연구지수는 0.2293으로 비교대상 16개국 중 가장 낮은 것으로 나타나고 있다. 미국은 0.9878로 가장 높고, 그 다음으로 일본이 0.6265, 독일이 0.5679, 영국이 0.5241, 프랑스 0.4694 등으로 나타나고 있다. 1990년에는 한국의 기초연구지수가 0.3216으로 비교대상 16개 국가중 10위를 차지하여 비교적 큰 폭으로 상승한 것으로 나타나고 있다. 미국은 0.9996으로 가장 높았으며 그 다음으로는 1981년과 같이 일본, 독일, 영국, 프랑스 순으로 나타났다.

1998년에 한국의 기초연구지수는 0.4068로 이탈리아와 비슷한 수준에 접근한 것으로

나타나고 있다. 그러나, 이 시점에서 미국은 이미 기초연구지수가 갖는 한계점인 1을 나타내고 있으며, 일본이 0.9414로 0.9를 상회하고 있다.

기초연구지수 발전함수를 이용하여 우리나라와 각국간의 격차를 비교하여보면, 프랑스, 영국의 1998년 수준에 도달하는 시기는 2012년으로 14년의 차이가 있으며, 일본의 1998년 수준에 도달하는 시기는 2068년으로 우리나라와 70년의 격차를 보이고 있고, 미국의 1990년 수준인 0.9996에 도달하는 시기는 2180년으로서 168년의 격차가 나고 있다. 이와 함께 일본과 미국의 발전속도는 우리나라보다 높은 것으로 나타나고 있다. 이는, 시간이 경과하는 경우 우리나라의 기초연구 잠재력이 일부 국가와는 유사하거나 혹은 우리가 앞설 수 있지만, 우리나라보다 발전속도가 빠른 미국과 일본에 대해서는 시간이 경과할수록 그 격차가 확대된다는 것을 의미한다. 따라서 기초과학에 대한 우리나라의 정책방향은 일정한 수준의 균형적 발전전략과 함께 국제경쟁력 확보가 가능한 일부 분야에 대한 선택과 집중이 이루어져야 한다는 점을 시사하고 있는 것이다.

이와 함께, 기초연구지수가 갖는 제약점은 다음과 같이 두 가지를 들 수 있다. 첫째, 기초연구지수를 측정하기 위해 사용된 변수들이 량(量)적인 측면만을 반영하고 있고, 질(質)적인 측면을 반영하지 못하고 있다는 점이다. 이는 여러 국가에서 그리고 장기간의 시계열자료를 확보하기 위해서는 질적인 측면에서의 접근이 매우 한계가 있기 때문이다. 둘째, 기초연구의 역량(capacity)을 측정하기 위해서는 연구개발비를 유량(flow)의 개념보다는 저장(stock)의 개념으로 사용하는 것이 바람직하지만 이 또한 별도의 연구가 필요한 방대한 내용이므로 본 연구에서는 이를 다루지 못했다는 점을 밝히고자 한다. 이러한 제약점이 보완되는 경우 동 기초연구지수는 우리나라의 기초과학정책 수립을 좋은 이정표가 될 수 있을 것으로 보인다.

#### [참고문헌]

1. 과기부, 과학기술연구활동조사보고, 각년도
2. 권용수·박병무(2000), 「지식기반중심의 과학기술력지수 개발에 관한 연구」, 과학기술정책연구원
3. 신태영·윤문섭·장진규·권용수(1999), 「지식기반 경제를 위한 새로운 과학기술지표 개발」, 과학기술부/과학기술정책연구원
4. 윤문섭(1994), 「OECD 및 선진국의 과학기술지표 개발동향에 관한 연구」, 과학기술정책연구소
5. 임양택(1991), “측정관련투자의 경제적 효과와 측정기술수준의 평가에 관한 연구”, 「경제연구」, 한양대학교 경제연구소
6. Blackman, A.W., Seligman, E.J., and Sogliero, G.C.(1973), "An Innovation Index Based on Factor Analysis", *Technological Forecasting and Social Change*
7. NSF(1998, 1999), *National Patterns of R&D Resources*
8. National Science Board(2000), *Science and Engineering Indicators*.
9. OECD(1992), *Technology and The Economy*.



10. OECD(2000), *Main Science and Technology Indicators*, No. 2(CD-ROM)
11. Sharif, M. N. and Haq, A. K. M. A.(1980), "Evaluating the Potentials of Technical Cooperation among Developing Countries", *Technological Forecasting and Social Change*
12. Yang Taek Lim and Choong Han Song(1996), "An international Comparative Study of Basic Scientific Research Capacity: OECD Countries, Tiwan and Korea", *Technological Forecasting and Social Change* 52.