

# R&D 효율성과 생산성의 국제비교분석

KISTP 연구기획실 박수동(triznik@kistep.re.kr)

성균관대학교 시스템경영공학부 교수 홍순기(hongsk@yurim.skku.ac.kr)

## 1. 머리말

2002년도 「과학기술연구활동조사보고」에 따르면 2001년 우리나라 과학기술부문의 총 R&D 지출액은 전년대비 16.3% 증가한 16조 1,105억으로 국내총생산(GDP) 대비 2.96%로 스웨덴(1999) 3.78%, 핀란드(2000) 3.35%, 일본(2000) 2.98%에 이어 4위로 나타났다. 연구원 수의 경우 전년대비 11.9% 증가한 178,937명으로 나타났으며, R&D 활동에 실제로 참여한 비율을 반영하여 계산한 상근상당인력의 경우 전년대비 25.8% 증가한 136,337명으로 나타났다. 산출부문의 경우 2001년 SCI 논문수는 14,673편으로 세계 15위를 기록했으며, 미국특허출원수는 6,719건으로 세계 8위를 기록하였다.

그러나 이와 같은 외형적인 성장에도 불구하고 지난 2001년 *Financial Times*가 OECD 회원국을 대상으로 지식산업의 수준을 평가한 결과, 한국은 투자면에서는 세계 최고의 수준이지만, 지식의 산출과 활용 면에서는 수준이 매우 낮은 것으로 나타났다. 우리나라의 GDP 대비 지식투자 비중은 지난 1998년 기준 5.2%로 스웨덴(6.5%)과 미국(6.0%)에 이어 3위를 기록했다. 또한 정보기술 관련 연구개발비의 GDP 대비 비중 역시 지난 1999년 기준 0.81%로 핀란드(1.08%)와 스웨덴(0.85%)에 이어 3위를 기록했으며, 인구 백명당 인터넷 접속자수(23.2명), 평균 노동생산성 증가율(95~99년, 4.7%)에서는 OECD 회원국 중 1위를 기록하였다. 그러나 기술수지에서는 우리나라가 최대 적자국으로 분류되는 등 지식산출시스템이 매우 비효율적인 것으로 지적되었다. 특히 적지 않은 GDP 대비 R&D 투자에도 불구하고 기술무역 적자규모는 1998년 22억 5천만 달러로 독일, 아일랜드와 함께 최대 적자국으로 분류되었으며, 적자규모도 1999년과 2000년에 각각 24억 9천만달러, 28억 6천만달러로 계속 확대되고 있다. 이러한 현상의 원인으로 정부와 언론에서는 투자를 산출로 직결시킬 수 있는 시스템, 즉 국가혁신시스템의 비효율성을 들었다. 이러한 해석은 한 국가의 혁신시스템이 다른 국가에 비해 보다 효율적으로 또는 생산적으로 운영될 수 있다는 것을 말한다.

전통적으로 경제학자들은 생산함수를 이용하여 생산성을 분석해왔다. 생산함수란 일정기간 동안 사용한 여러 가지 생산요소의 투입량과 이를 사용하여 동 기간 동안 생산할 수 있는 최대산출량과의 관계를 나타내는 함수를 의미한다. 즉, 생산함수는

기술적으로 가능한 모든 투입과 산출의 관계를 의미하는 것이 아니라, 효율적인 투입과 산출의 관계를 의미한다. 이와 같이 생산함수는 생산시스템이 최적 상태에서 운영된다는 것을 가정하기 때문에 생산시스템의 비효율성을 무시한다. 전통적인 성장회계모형에서는 투입의 증가분으로 설명할 수 없는 산출의 증가분을 기술변화로 간주한다. 그러나 생산시스템에 비효율성이 존재하고, 그것이 시간이 지남에 따라 변한다면, 그러한 기술변화의 추정치는 편의될(biased) 가능성이 있다(Grosskopf, 1993).

R&D는 투입, 과정, 산출로 구성된 복잡한 시스템으로서(Brown et al., 1998), 그것의 투입요소에는 인력, 아이디어, 장비, 정보, 자금 등이 있으며, 산출요소에는 특허, 논문, 신제품, 신공정, 출판물, 원리 등이 있다. 이와 같이 복수의 투입요소와 복수의 산출요소를 갖는 R&D 시스템의 효율성과 생산성을 측정하는 것은 매우 복잡한 일이다. 뿐만 아니라 R&D의 산출은 기초연구, 응용연구, 개발연구의 단계에 따라 그것의 측정방법이나 대상범위가 변하므로, 그것의 설정은 물론 이들 간의 가중치를 부여하기가 매우 어렵다.

최근 국가연구개발사업을 바라보는 시각이 투입위주에서 산출위주로 옮겨감에 따라 R&D 효율성과 생산성에 대한 관심이 높아지고 있으며, 더 나아가 국가혁신시스템에 대한 논의도 활발히 진행되고 있다. 본고에서는 효율성과 생산성의 개념과 그것의 측정방법에 대해서 알아보고, R&D의 산출요소 중에서 과학기술부문을 대표하는 논문과 특허자료를 이용하여 OECD 국가별 R&D 효율성과 생산성을 분석하고자 한다. 또한 R&D 효율에 영향을 미치는 국가특성을 알아보기 위해 R&D 효율과 IMD의 국가경쟁력 평가요인과의 상관관계를 분석한다.

## 2. 분석방법

### 1) 효율성과 생산성의 개념

생산단위조직의 성과를 논할 때, 그것이 효율적인지 또는 생산적인지를 검토하는 것은 일상적인 일이다. 일반적으로 생산단위조직의 효율(efficiency)이란 그것의 최적 산출에 대한 실제 산출의 비율을 의미하는데, 이러한 비율은 주어진 투입으로 달성할 수 있는 최대잠재산출(maximum potential output)에 대한 실제 산출의 비율 또는 주어진 산출을 생산하는데 필요한 실제 투입에 대한 최소잠재투입(minimum potential input)의 비율로 측정할 수 있다(Lovell, 1993).

오늘날의 효율성 개념은 Debreu(1951)과 Koopmans(1951)가 복수의 투입요소를 갖는 기업의 효율성에 대한 간단한 추정치를 정의하기 위해서 수행한 연구를 바탕으로, Farrell(1957)이 수행한 기술효율성(technical efficiency)에 관한 연구에 기인한

다(Coelli, 1996). Debreu(1951)와 Farrell(1957)은 주어진 산출 수준을 유지할 수 있는 가능한 범위 내에서 모든 투입의 최대비례감소(maximum equiproportionate reduction)를 1에서 뺀 값을 기술효율성으로 정의하였는데, 그 값이 1이면 투입의 감소가 불가능하기 때문에 기술적으로 효율적이라는 것을 의미하고, 그 값이 1보다 작으면 기술적으로 비효율적이라는 것을 의미한다. Debreu-Farrell의 효율성 개념은 또한 산출의 최대비례증가의 관점에서도 나타낼 수 있다.

생산단위조직의 생산성(productivity)이란 투입에 대한 산출의 비율로 정의된다. 생산단위가 한 가지의 산출을 생산하기 위해 한 가지의 투입을 이용할 경우에는 계산이 쉽지만, 복수의 투입을 이용할 경우에는 계산이 좀더 복잡해진다. 효율성 분석이 특정 시점의 최적 투입과 산출에 대한 실측치의 비율에 초점을 두는 반면에, 생산성 분석은 특정 구간의 투입과 산출의 관계 변화, 즉 생산성 변화에 초점을 둔다. 생산성은 생산기술의 차이, 생산과정의 효율성 차이, 생산이 일어나는 환경의 차이 등에 따라 다르다. 따라서 생산성 분석의 주요 관건은 그것의 변화요인이 어떤 것인지를 밝히는 것이다(Lovell, 1993). 생산성의 변화요인으로는 크게 생산시스템의 효율변화와 기술변화를 들 수 있으며, 요인별로 성장의 기여도 또한 다르다. 따라서 생산성을 분석할 때는 그것의 변화요인이 생산시스템의 효율변화에 기인한 것인지 또는 기술변화에 기인한 것인지를 밝혀야 하고, 그에 따른 적절한 정책을 수립해야 한다.

## 2) 분석모형

효율성과 생산성을 분석하는 방법은 학자마다 다양하게 분류되고 있다. 예를 들어, Chavas et al.(1993)은 그것을 모수적 접근과 비모수적 접근으로 구분하였고, Lovell(1993)은 계량경제학 접근과 수리계획법으로 구분하였고, Grosskopf(1993)은 경계접근과 비경계접근으로 구분하였으며, Sudit(1995)은 지수법, 선형계획법, 계량경제학적 방법으로 구분하였다. 모수의 추정 여부와 시스템의 비효율성의 고려여부를 이용하여 효율성과 생산성을 분석하는 방법을 분류하면 <표 1>과 같다. 본고에서는 시스템의 비효율성을 고려하면서, 모수를 추정할 필요가 없는 비모수적, 경계접근인 DEA(data envelope analysis)와 Malmquist 생산성지수(Malmquist productivity index, MPI)를 이용하여 국가별 R&D 효율성과 생산성을 분석한다.

<표 1> 효율성과 생산성 분석방법의 구분

	비모수적 접근	모수적 접근
비경계접근	시스템의 비효율성을 무시하고, 모수를 추정하지 않음 예) Laspeyres, Fisher 지수	시스템의 비효율성을 무시하고, 모수를 추정함 예) 생산함수
경계접근	시스템의 비효율성을 고려하고, 모수를 추정하지 않음 예) DEA, Malmquist 지수	시스템의 비효율성을 고려하고, 모수를 추정함 예) 경계생산함수

### ① DEA

DEA는 투입과 산출에 대한 가격정보가 알려져 있지 않을 때, 기업이나 비영리 조직과 같은 의사결정단위(decision making unit, DMU)의 상대효율(relative efficiency)을 측정하기 위해서 개발된 비모수적 방법의 하나로서, 오늘날 경영과학을 포함한 다양한 분야에서 은행, 병원, 기업 등의 효율성을 분석하는데 널리 활용되고 있다. DEA의 목적은 모든 실측치들이 생산경계(production frontier)나 그 아래에 놓이도록 하는 비모수적 포락경계(envelope frontier)를 찾아, 그것으로부터 떨어진 정도를 이용하여 각 DMU의 상대효율을 측정하는 것이다. DEA의 가장 큰 장점의 하나는 복수의 투입과 산출을 갖는 시스템의 상대효율을 별도의 가중치를 계산하지 않고 구할 수 있다는 점이다.

DEA 모형은 규모수익불변(constant return to scale, CRS) 가정 하의 CCR 모형과 규모수익가변(variable return to scale, VRS) 가정 하의 BCC 모형으로 구분할 수 있다. CRS 가정은 모든 DMU가 최적규모에서 운영될 때에만 적합하다. 불완전 경쟁이나 재정적 제한 등으로 인하여 DMU가 최적규모에서 운영되지 못할 수도 있다(Coelli, 1996). 모든 DMU가 최적규모에서 운영되지 않는 경우에 CRS 가정을 이용하여 구한 효율성 측정치는 규모효율(scale efficiency, SE)의 영향을 받게 된다. Banker et al.(1984)는 이러한 문제를 해결하기 위해 CCR 모형을 확장한 BCC 모형을 제안하였다. CCR 모형에서는 규모효율을 고려하지 않았으므로 동 모형에서 구한 효율성을 전체기술효율(overall or global technical efficiency, OTE)이라고 하는 반면, BCC 모형에서는 규모수익을 고려하였으므로 동 모형에서 구한 효율성을 순수기술효율(local or pure technical efficiency, PTE)이라고 한다. 규모효율의 측정치는 전체기술효율을 순수기술효율로 나눈 값( $SE=OTE/PTE$ )이다.

### ② Malmquist 생산성지수

Malmquist 생산성지수는 소비이론의 틀 안에서 거리함수(distance function)의 비율로 투입지수를 계산하자고 제안한 Malmquist(1953)에 의해서 최초로 개발되었다. 그 후 이러한 거리함수의 개념은 Caves et al.(1982)에 의해 생산이론의 맥락에서 경제학적 해석을 받게 되었고, 동 지수를 Malmquist 생산성지수라고 명명하였다. 그 후 Malmquist 생산성지수의 용도는 생산성 측정 분야로 확대되었다. Arcelus et al.(1999)은 톨퀴비스트지수(Tornqvist index)와 피셔지수(Fisher ideal index)와 같이 널리 알려진 생산성지수에 비해 Malmquist 생산성지수가 갖는 장점을 4가지로 요약하였다. 첫째, Malmquist 생산성지수는 생산성의 변화요인을 기술변화와 효율변화로 분해할 수 있다. 둘째, Malmquist 생산성지수는 가격자료를 요구하지 않으므로, 가격정보의 부재와 왜곡으로 인한 문제를 방지할 수 있다. 셋째, Malmquist 생산성지수는 복수의 투입과 산출을 이용할 수 있으므로, 그것들을 집계할 필요가 없다. 넷째, Malmquist 생산성지수는 비용최소화나 이익극대화과 같은 미리 규정된 최적화 기준을 필요로 하지 않는다.

Fare et al.(1994)는 식(1)과 같이 산출지향 Malmquist 생산성지수( $M_o^{t,t+1}$ )를 정의하였고, 생산시스템의 효율변화(괄호 밖)와 시간에 따른 생산기술의 이동(shift), 즉 기술변화(괄호 안)로 분리하였다. Malmquist 생산성지수가 분리된다는 것의 중요성은 효율변화가 추격잠재력을 반영하고, 기술변화가 혁신잠재력을 반영한다는 사실에 있다(Fare et al., 1994). 시간이 지남에 따라 기술이 발전하게 되면 Malmquist 생산성지수는 1보다 큰 값을 갖고, 기술이 퇴보하게 되면 1보다 작은 값을 갖는다. 효율변화와 기술변화 또한 동일하게 해석할 수 있다. 그러나 생산성이 증가했다고 하더라도 효율감소나 기술퇴보가 발생할 수 있으며, 마찬가지로 생산성이 감소했다고 하더라도 기술진보나 효율증가가 발생할 수 있다(Grosskopf, 1993).

$$\begin{aligned}
 M_o^{t,t+1} &= [M_o^t \cdot M_o^{t+1}]^{1/2} \\
 &= \left[ \frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \\
 &= \frac{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^t(x^t, y^t)} \left[ \frac{D_o^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_o^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D_o^t(x^t, y^t)}{D_o^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Malmquist 생산성지수를 계산하기 위해서는 식(1)에 포함된 4개의 거리함수를 계산해야 한다. Caves et al.(1982)은 시스템에 비효율성이 존재하지 않고, 규모수익 불변과 기업의 최적행태를 가정한다면, Malmquist 생산성지수는 톨퀴비스트 산출지수와 투입지수의 비율로 근사된다고 하였다. 이러한 지수는 표준 피셔지수공식을 이용하여 계산할 수 있다. 비효율성이 없다고 가정하는 것은 톨퀴비스트지수를 기술변화와 효율변화로 분해할 수 없다는 것을 의미한다. 따라서 시스템에 비효율성

이 존재하고, 그것이 시간이 지남에 따라 변한다면, 동 지수는 편의될 것이다. Fare et al.(1994)은 생산시스템에 존재하는 비효율성을 고려하기 위해서 DEA를 이용하여 거리함수를 계산하였다. 마찬가지로 본고에서도 국가별 R&D 시스템의 비효율성을 고려하기 위해 비모수적 방법인 DEA를 이용하여 Malmquist 생산성지수의 거리함수를 계산한다.

### 3. 분석결과

#### 1) 자료와 가정

이 글에서는 OECD 국가별 과학기술부문의 R&D 효율성과 생산성을 분석하기 위해 투입자료로 R&D 스톡(stock)과 R&D 인력수를 이용하였고, 산출자료로는 인용지수를 고려한 수정된 SCI 논문수와 미국특허출원수를 이용하였다. 1991년부터 2001년까지 투입과 산출의 시계열자료 확보가 가능한 16개 OECD 회원국을 대상으로 분석하였다. DEA와 Malmquist 생산성지수는 각각 투입지향모형과 산출지향모형으로 구분할 수 있는데, 본 고에서는 모두 산출지향모형을 이용하였다.

R&D 스톡은 자체 R&D 지출에 의해서 형성된 것과 기술도입에 의해서 형성된 것으로 구분할 수 있으므로, 따라서 각각의 스톡을 구한 후, 이를 합하여 전체 R&D 스톡을 구하였다. R&D 스톡을 구하기 위해서는 R&D 시차, 진부화율, 디플레이터를 고려해야 한다. 본고에서는 R&D 시차를 자체 R&D 지출의 경우 2년(30%), 3년(40%), 4년(30%)으로 하였고, 기술도입의 경우 시차가 없는 것으로 가정하였다. 진부화율은 R&D 스톡이 감가상각되는 기간을 7년으로 가정하고, 이것의 역수(0.143)를 진부화율로 가정하였다. R&D 디플레이터는 OECD 국가별 경상 R&D 지출을 불변 R&D 지출로 나누어서 구하였고, 이것으로 경상 기술도입액을 나누어서 불변 기술도입액을 구하였다. R&D 인력의 경우 상근상당인력을 기준으로 하였다. SCI 논문의 경우 그것의 질을 반영하기 위해 연도별 SCI 논문수를 2001년까지의 피인용횟수로 나눈 평균 피인용횟수를 구한 후, 그 값이 가장 높은 스위스를 기준으로 표준화한 후에, 이 값을 연도별 SCI 논문수에 곱하여 수정된 SCI 논문수를 구하였다. 특허의 경우 미국특허 출원건수를 이용하였다. 또한 투입과 산출간의 시차를 반영하기 위해서 1년의 시차를 적용하였다.

#### 2) 분석결과

##### ① R&D 효율성

<표 2>는 CCR 모형과 BCC 모형을 이용하여 1991년부터 2000년까지의 국가별 R&D 효율성을 분석한 결과로서, 전체기술효율(TE), 순수기술효율(PTE), 규모효율

(SE)의 연평균을 나타낸 것이다. 분석결과, 네덜란드, 미국, 스위스, 영국, 캐나다, 핀란드, 호주는 연평균 R&D 효율(TE와 PTE)이 평균 이상으로 나타난 반면에, 노르웨이, 독일, 벨기에, 스페인, 오스트리아, 이탈리아, 일본, 프랑스, 한국은 연평균 R&D 효율이 평균 이하로 나타났다. 특히, 스위스, 캐나다, 미국, 호주의 R&D 효율이 매우 높게 나타났다.

<표 2> R&D 효율성 분석결과

구분 국가	TE	PTE	SE
네덜란드	0.666	0.820	0.812
노르웨이	0.467	0.567	0.828
독일	0.465	0.590	0.790
미국	0.908	0.977	0.929
벨기에	0.445	0.460	0.969
스위스	0.987	0.989	0.998
스페인	0.630	0.640	0.983
영국	0.770	0.970	0.794
오스트리아	0.537	0.664	0.828
이탈리아	0.451	0.618	0.734
일본	0.565	0.567	0.996
캐나다	0.957	0.963	0.994
프랑스	0.412	0.563	0.732
핀란드	0.886	0.995	0.891
한국	0.507	0.544	0.928
호주	0.913	0.925	0.987
평균	0.660	0.741	0.887

TE: 전체기술효율, PTE: 순수기술효율  
SE: 규모효율, TE = PTE × SE

규모효율의 경우 미국, 벨기에, 스위스, 스페인, 일본, 캐나다, 핀란드, 한국, 호주는 평균보다 높게 나타났고, 네덜란드, 노르웨이, 독일, 영국, 오스트리아, 이탈리아, 프랑스는 평균보다 낮게 나타났다. 규모효율이 평균보다 높게 나타난 국가들의 R&D 비효율의 원인은 R&D 시스템의 비효율적인 운영 또는 경영에 기인했다고 볼 수 있다. 반면에 규모효율이 평균보다 낮게 나타난 국가들의 R&D 비효율의 원인은 그들의 R&D 규모가 다른 국가에 비해서 작기 때문이라고 볼 수 있다. 따라서 후자의 경우 R&D 규모를 늘림으로써 R&D 효율을 개선할 수 있다.

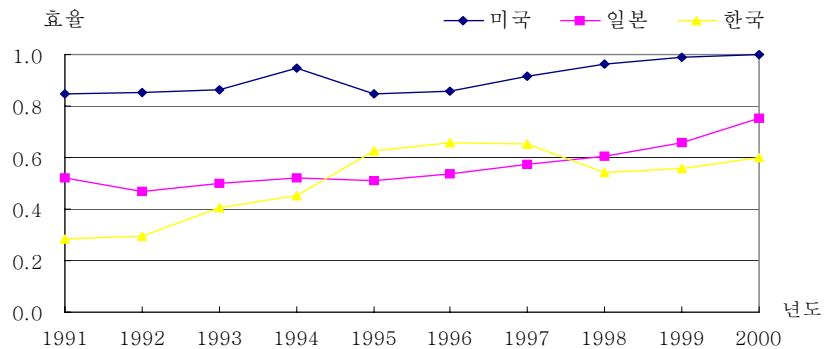
<표 3>은 16개국 10년간의 총 160개의 DMU 중에서 R&D 효율이 1인 국가를 나타낸 것으로 CCR 모형의 경우 미국, 스위스, 캐나다, 핀란드로 나타났고, BCC 모

형의 경우 미국, 스위스, 영국, 오스트리아, 캐나다, 핀란드, 호주로 나타났다.

<표 3> R&D 효율이 1인 국가

CCR 모형	BCC 모형
미국(2000) 스위스(1991, 1993, 1998)	미국(1991, 1994, 1998, 1999, 2000) 스위스(1991, 1993, 1998) 영국(1994, 1997, 1998, 1999) 오스트리아(1991) 캐나다(1991, 1994) 핀란드(1991, 1992, 1993, 1994, 1998, 2000) 호주(1994)

<그림 1>은 한국, 미국, 일본의 R&D 효율의 변화추세를 나타낸 것이다. 한국의 경우 R&D 효율이 계속해서 증가하다가 1998년에 갑자기 하락하다가 차츰 회복하는 추세에 있다. 이 시기에 한국은 외환위기사태로 기업의 R&D 활동이 전반적으로 위축되어, 연구성과를 미국특허로 출원하는 활동이 위축되었기 때문이다. 실제로 한국의 미국특허출원수는 1998년 5,452건에서 1999년 5,033건으로 약 7.8% 감소하였다.



<그림 1> 한국, 미국, 일본의 R&D 효율(TE)의 추세

<표 4>은 각국의 실제 산출량과 최적산출규모의 비율, 즉 R&D 효율이 1이 되기 위해 필요한 평균 산출부족률을 나타낸 것이다. R&D 효율이 높은 미국, 스위스, 영국, 캐나다, 핀란드의 평균 산출부족률은 매우 낮은 반면에 R&D 효율이 낮은 노르웨이, 독일, 벨기에, 스페인, 일본, 프랑스, 한국 등은 평균 산출부족률이 매우 높게 나타났다. 대부분의 국가에서 미국특허출원수의 평균 부족률이 SCI 논문수의 평균 부족률보다 높게 나타난 반면에, 한국과 일본은 SCI 논문수의 평균 부족률이 미국



특허출원수의 평균 부족률보다 높게 나타났다. 이는 한국과 일본이 논문보다는 특허에 보다 많은 비중을 둔다는 것을 간접적으로 보여준다.

<표 4> 평균 산출부족률(단위: %)

구분 국가	SCI 논문	미국특허출원
네덜란드	18.0	29.7
노르웨이	43.3	62.1
독일	41.0	41.0
미국	2.3	3.6
벨기에	54.0	56.6
스위스	1.1	5.9
스페인	36.1	80.6
영국	3.0	7.4
오스트리아	33.6	35.3
이탈리아	38.2	38.7
일본	63.1	43.3
캐나다	3.7	3.7
프랑스	43.7	43.7
핀란드	0.5	0.5
한국	76.1	45.6
호주	7.5	10.0

## ② R&D 생산성

<표 5>는 1991년부터 2000년까지의 10년 동안 각국의 기간별(1년) 효율변화지수(EC), 기술변화지수(TC), Malmquist 생산성지수(MPI)의 연평균(기하평균)을 나타낸 것이다. 세 가지 지수 모두 그 값이 1보다 크면 증가를 의미하고, 그 값이 1보다 작으면 감소를 의미한다. 예를 들어 효율변화지수가 1.100이라면 효율이 10% 증가했다는 것을 의미하고, 그 값이 0.900이라면 효율이 10% 감소했다는 것을 의미한다. 분석결과, 전반적으로 OECD 국가별 R&D 생산성이 증가(2.3%)한 것으로 나타났고, 그것의 원동력은 기술혁신(0.5%)보다는 효율개선(1.7%)인 것으로 나타났다. 한국은 R&D 생산성이 연평균 14.2%로 가장 많이 증가한 것으로 나타났으며, 그것의 원동력은 기술혁신(5.1%)보다는 효율개선(8.7%)에 있는 것으로 나타났다. 효율변화의 경우 한국이 연평균 8.7%로 효율이 가장 많이 개선된 것으로 나타났으며, 오스트리아는 연평균 -2.9%로 효율이 가장 많이 하락한 것으로 나타났다. 기술변화의 경우 한국과 일본이 연평균 5.1%로 기술혁신이 가장 많이 일어난 것으로 나타났으며, 핀란드는 연평균 -1.6%로 기술퇴보가 가장 많이 일어난 것으로 나타났다.

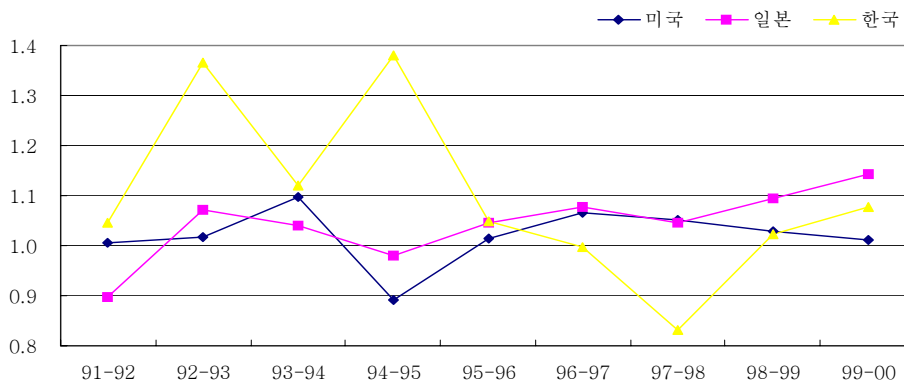
<표 5> R&D 생산성 분석결과

구분 국가	EC	TC	MPI
네덜란드	0.978	0.989	0.967
노르웨이	0.989	0.986	0.975
독일	1.037	1.020	1.058
미국	1.019	1.040	1.059
벨기에	0.989	0.997	0.987
스위스	0.996	0.987	0.984
스페인	1.049	0.985	1.033
영국	0.997	0.997	0.994
오스트리아	0.971	1.002	0.973
이탈리아	1.046	0.997	1.044
일본	1.042	1.051	1.095
캐나다	0.992	0.991	0.984
프랑스	1.019	1.003	1.023
핀란드	1.032	0.984	1.016
한국	1.087	1.051	1.142
호주	1.002	0.992	0.994
평균	1.017	1.005	1.023

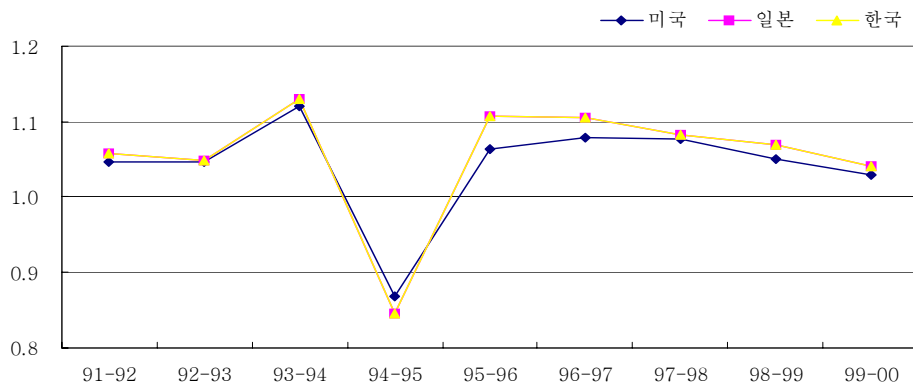
EC: 효율변화지수, TC: 기술변화지수

MPI: Malmquist 생산성지수,  $MPI = EC \times TC$

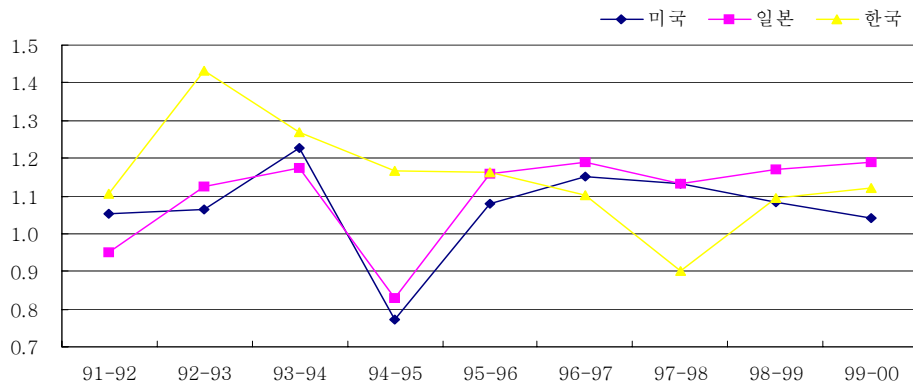
<그림 2>, <그림 3>, <그림 4>는 연도별 한국, 미국, 일본의 효율변화지수, 기술변화지수, Malmquist 생산성지수의 추세를 나타낸 것이다. 상대적으로 R&D 효율이 높은 미국과 R&D 효율이 높지는 않지만 꾸준히 증가하고 있는 일본의 경우 효율변화지수가 안정된 상태를 보이고 있는 반면에, R&D 효율의 변화가 가장 큰 한국의 경우 효율변화지수가 급격히 변하고 있다. 기술변화지수의 경우 한국, 미국, 일본이 비슷한 패턴을 보이고 있다.



<그림 2> 한국, 미국, 일본의 효율변화지수의 추세



<그림 3> 한국, 미국, 일본의 기술변화지수의 추세



<그림 4> 한국, 미국, 일본의 Malmquist 생산성지수의 추세

<표 6>은 R&D 생산성을 1990년대 전반기(1991-1995)와 후반기(1996-2000), 그리고 1990년대(1991-2000)로 구분하여 분석한 결과이다. 1990년대 전반기에 R&D 생산성이 가장 높게 증가한 국가는 한국(133.7%)으로 나타났으며, 그것의 원동력은 주로 효율개선(120.7%)인 것으로 나타났다. 이것은 1990년대 전반기에 한국의 SCI 논문수와 미국특허출원수가 각각 177%, 113%나 증가했기 때문이다. 1990년대 후반기에 R&D 생산성이 가장 높게 증가한 국가는 일본(99.9%)으로 나타났으며, 그것의 원동력은 효율개선(40.7%)과 기술혁신(42.0%)인 것으로 나타났다. 1990년대 전체로는 한국과 일본의 R&D 생산성이 각각 218.7%와 116.8% 증가한 것으로 나타났으며, 그것의 원동력은 한국의 경우 효율개선, 일본의 경우 기술혁신인 것으로 나타났다.

<표 6> 기간별 R&D 생산성 분석결과

년도 국가	1991-1995			1996-2000			1991-2000		
	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI	EC	TC	MPI
네덜란드	0.954	0.983	0.937	0.831	0.973	0.809	0.816	0.930	0.759
노르웨이	0.902	0.896	0.808	0.950	0.968	0.920	0.902	0.866	0.781
독일	1.064	1.001	1.065	1.276	1.168	1.490	1.389	1.197	1.663
미국	1.001	1.061	1.062	1.166	1.284	1.497	1.183	1.315	1.556
벨기에	1.000	0.993	0.993	0.935	1.051	0.982	0.908	0.990	0.899
스위스	0.974	0.910	0.886	0.977	1.027	1.003	0.968	0.965	0.934
스페인	1.280	0.899	1.151	1.187	0.932	1.106	1.534	0.852	1.307
영국	1.030	0.951	0.980	0.976	0.999	0.975	0.972	0.952	0.926
오스트리아	0.790	0.959	0.757	0.971	1.066	1.035	0.765	1.019	0.780
이탈리아	1.244	0.976	1.214	1.213	1.038	1.259	1.503	1.053	1.582
일본	0.979	1.058	1.036	1.407	1.420	1.999	1.443	1.503	2.168
캐나다	0.955	0.934	0.892	1.048	0.999	1.047	0.933	0.964	0.899
프랑스	1.047	0.959	1.004	1.141	1.072	1.224	1.189	1.054	1.254
핀란드	1.160	0.932	1.081	1.124	1.043	1.172	1.330	0.998	1.327
한국	2.208	1.058	2.337	0.915	1.420	1.299	2.120	1.503	3.187
호주	1.049	0.945	0.991	1.065	0.919	0.979	1.014	0.863	0.875
평균	1.102	0.970	1.069	1.074	1.086	1.166	1.186	1.064	1.261

### ③ R&D 효율과 국가경쟁력

R&D 효율성에 영향을 미치는 국가특성을 도출하기 위해 국가별 연평균 R&D 효율(PTE)과 IMD의 국가경쟁력 평가요인간의 상관관계를 분석하였다. 이를 위해 IMD의 국가경쟁력 점수와 평가요인별 점수를 이용하여 R&D 효율과의 상관관계분석을 실시하고, Spearman 서열상관계수를 이용하여 국가간 순위에 차이가 있는지를 분석하였다. 그리고 과학기술하부구조의 세부 평가요인을 대상으로 동일한 분석을 실시하였다.

분석결과, R&D 효율과 정부효율과의 상관관계가 가장 높게 나타났고, 경제성과와는 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 'R&D 효율의 순위와 IMD의 국가경쟁력 순위간에는 상관관계가 없다'라는 귀무가설을 검정한 결과, R&D 효율과 국가경쟁력간에는 순위차이가 없는 것으로 나타났다. 이를 세부 평가요인별로 살펴보면, 경제성과를 제외한 정부효율, 사업효율, 하부구조의 순위와 국가별 R&D 효율의 순위간에는 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 과학기술부문의 R&D 효율은 각국의 경제성과보다는 기업과 정부의 효율성, 그리고 하부구조와 밀접한 관계가 있다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 과학기술부문의 R&D 산출로 간주한 논문과 특허

가 경제성으로 직결되기 이전의 중간 산출물이기 때문이다.

과학기술하부구조의 세부 평가요인 중에서 과학기술부문의 R&D 효율에 영향을 미치는 요인으로(1) 제조업 수출액 중 첨단기술제품의 비중,(2) 법적 환경이 기술개발 및 응용을 지원하는 정도,(3) 지적재산권의 보호정도,(4) 기초연구가 장기적인 경제와 기술발전에 공헌하는 정도,(5) GDP 대비 R&D 투자의 5가지 세부 평가요인을 이용하여 R&D 효율과의 상관관계를 분석하였다. 분석결과, 법적 환경이 기술개발 및 응용을 지원하는 정도, 기초연구가 장기적인 경제와 기술발전에 공헌하는 정도와 지적재산권의 보호정도가 R&D 효율과 상관관계가 높은 것으로 나타났고, 동 평가요인의 순위와 R&D 효율의 순위간에는 차이가 없는 것으로 나타났다. 제조업 수출액 중 첨단기술 제품의 비중과 GDP 대비 R&D 투자의 경우 R&D 효율과 상관관계가 없는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 경제성과의 경우와 마찬가지로 과학기술부문의 R&D 산출로 간주한 논문과 특허가 실제 제품으로 체화되어 생산되기 이전의 중간 산출물이기 때문이다.

#### 4. 맺음말

이 글에서는 효율성과 생산성을 측정할 수 있는 방법에 대한 소개와 함께, 비모수적 경계접근의 하나인 DEA와 Malmquist 생산성지수를 이용하여 OECD 국가별 R&D 효율성과 생산성을 분석하였다. DEA는 투입과 산출의 함수관계와 오차항의 분포에 대한 가정을 필요로 하지 않을 뿐만 아니라, 복수의 투입과 산출이 있는 경우에도 이들을 집계하지 않고 원시자료를 그대로 이용하여 상대효율을 계산할 수 있다는 장점이 있다. Malmquist 생산성지수는 시스템에 비효율성이 있다는 가정 하에, 생산성의 변화요인을 효율변화와 기술변화로 분리할 수 있는 장점이 있다. 이와 같은 장점으로 인해 많은 학자들이 동 방법을 이용하여 다양한 분야에서 효율성과 생산성을 분석하고 있으며, 특정 산업을 대상으로 한 국가간 분석도 많이 이루어지고 있다. 최근 OECD에서도 효율성과 생산성을 분석하는데 있어 DEA와 Malmquist 생산성지수와 같은 비모수적 방법을 활용하고 있다.

일반적으로 R&D 시스템의 비효율성 증가로 인한 생산성 증가의 둔화는 기술혁신의 부족으로 인한 생산성 증가의 둔화와는 다른 정책을 제안할 수 있다. 예를 들어, R&D 시스템의 비효율성으로 인한 생산성 감소는 혁신의 확산에 대한 제도적 장벽에 기인할 수 있다. 따라서 이러한 경우 R&D 생산성을 높이기 위해서는 제도적 장벽을 제거하는 정책이 기술혁신을 유도하는 정책보다 효과적일 수 있다. 한국의 경우 1990년대 전반기에는 R&D 시스템의 생산성 증가요인이 효율변화인 것으로 나타났고, 1990년대 후반기에는 기술변화인 것으로 나타났는데, 이를 통해 한국

은 1990년대 전반기에는 기술혁신을 위한 노력이 부족했다고 판단할 수 있다. 그러나 이러한 해석은 오류를 범할 수도 있다는 점에 유의해야 한다. 왜냐하면 본고에서 R&D의 산출로 가정한 논문과 특허는 전체 R&D 산출의 일부분인 과학기술성과만을 대표하기 때문이다.

#### 【참고문헌】

- 과학기술부·한국과학기술기획평가원(2002), 「과학기술연구활동조사보고」.
- Arcelus, F. J. and P. Arozena(1999), "Measuring Sectoral Productivity Across Time and Across Countries", *European Journal of Operational Research*, Vol. 119, pp. 254-266.
- Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper(1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092.
- Brown, M.G. and R. A. Svenson(1998), "Measuring R&D Productivity", *Research Technology Management*, Vol. 42, No. 6, pp. 30-35.
- Caves, D., L. Christensen and E. Diewart(1982), "Multilateral Comparisons of Output, Input, and Productivity using Superlative Index Numbers", *Economic Journal*, Vol. 92, No. 365, pp. 73-86.
- Chavas, J.P. and Aliber, M.(1993), "An Analysis of Economic Efficiency in Agriculture: A Nonparametric Approach," *Journal of Agricultural and Resource Economics* 18, pp. 1-16.
- Coelli, T. J.(1996), "A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis(Computer) Program", CEPA Working Paper, Centre for Efficiency and Productivity Analysis(CEPA).
- Debreu, G.(1951), "The Coefficient of Resource Utilization", *Econometrica*, Vol. 19, pp. 273-292.
- Fare, R., S. Grosskopf, M. Morris. and Z. Zhang(1994), "Productivity Growth, Technical Progress in Industrialized Countries", *American Economic Review*, Vol. 84, No. 1, pp. 66-83.
- Farrell, M. J.(1957), "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, A CXX, Part 3, pp. 253-290.
- Financial Times(2001), "New Millennium's Winners and Losers", *Financial Times* 2001,10.29.
- Grosskopf, S.(1993), "Efficiency and Productivity", in Fried, H. O., C. A. K.

- Lovell and S. S. Schmidt(eds), *The Measurement of Productive Efficiency*, Oxford University Press, pp. 160-194.
- Koopmans, T. C.(1951), "An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities", in Koopmans T. C.(eds), *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No. 13, Wiley.
- Lovell, C. A. K.(1993), "Production Frontiers and Productive Efficiency", in Fried, H. O., C. A. K. Lovell and S. S. Schmidt(eds), *The Measurement of Productive Efficiency*, Oxford University Press, pp. 3-67.
- Malmquist, S.(1953), "Index Numbers and Indifference Surfaces", *Trabajos de Estadística*, Vol. 4, pp. 209-242.
- Sudit, E. F.(1995), "Productivity Measurement in Industrial Operations", *European Journal of Operational Research*, Vol. 85, pp. 435-453.