

효율적 생산 프론티어를 이용한 연구개발활동의 규모의 보수성 측정

Measuring Returns to Scale of the R&D Activity Using

Efficient Production Frontier

고 민수 · 이 덕주
경희대학교 산업공학과

abstract

This purpose of this research is an attempt to measure and comparatively analyze the efficiencies and RTS(Returns to Scale) using panel data of OECD countries including Korea. In order to achieve this purpose, at first this study used efficient production frontier estimation combined with DEA for obtaining parameter estimates of a efficient production frontier. secondly using estimated results, measured R&D productivity and RTS(Returns to Scale) on all of the OECD countries. thirdly using time-series data related to R&D activity of Korea, measured R&D productivity and RTS(Returns to Scale). Finally based on the results of R&D productivity and RTS(Returns to Scale) using efficient production frontier, some policy implications for enhancing the R&D competitiveness and the technological capabilities are discussed.

1. 연구배경 및 목적

최근 정보화와 지식기반 경제 사회가 세계적으로 중요한 이슈로 대두됨에 따라 21세기에 있어 기술혁신은 국가의 경쟁력에 절대적인 영향을 미치는 요인으로 작용하게 되었다.

이에 따라 세계는 바야흐로 본격적인 기술경쟁의 시대에 접어들고 있으며, 최근 선진국과 개발도상국을 막론하고 각국에서는 공공 및 민간분야에서 경쟁과 협력체제를 적절히 조화시키면서 궁극적으로 자국의 기술력을 증대시키기 위한 연구개발 활동을 적극적으로 전개해 오고 있다.

우리나라의 경우 연구개발투자에 비해 연구성과가 그리 높지 않은 원인에 대해서 여러 가지 문제점들이 지적되고 있지만 그 중 주로 언급되고 있는 것이 연구개발투자의 비효율성이다. 국내와 같이 경제여건이 좋지 않은 상황에서 한정된 연구개발자원을 얼마나 효율적으로 활용하여 소기의 성과를 거두느냐 하는 문제는 매우 중요하다.

이와 관련하여 연구개발활동의 효율성 및 생산성을 측정하기 위한 평가시스템에 대한 관심 또한 그 어느때보다 높아지고 있다. 그러나 일반적으로 연구개발활동은 막대한 투자가 요구되는 반면 높은 불확실성이 존재하기 때문에 연구개발활동에 있어서 성공적인 기술혁신을 도출해내기 위해서는 연구개발의 효율성 및 생산성을 제고할 수 있는 여러 가지 방안들이 개발, 실행되어야 하며, 이러한 현실적 필요성에 따라 최근 들어 기업차원에서의 기술경영

이나 국가차원에서의 기술정책 분야의 연구가 활발하게 진행되고 있다.

이러한 과정에서, 국가의 경제개발 정책에 대한 논의가 올바르게 이루어지기 위해서는 특정 정책의 수행성과를 판단할 수 있는 객관적인 측정지표가 개발되어야 하며, 연구개발 활동의 효율성 및 생산성 제고를 목적으로 하는 연구들이 올바르게 수행되기 위해서는 연구개발 활동의 효율성 및 생산성을 객관적으로 측정할 수 있는 방법론에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 그러나 연구개발활동은 그 특성상 많은 불확실성을 내포하고 있으며 원인과 결과에 대한 확실한 인과관계를 도출하기가 매우 어렵다. 그리고 연구개발의 성과가 실제로 발현되는 데에는 짧아도 2-3년 길면 10년 이상의 상당한 기간을 필요로 하기 때문에 그 성과에 대한 평가가 더욱 어려운 것이다. 따라서 진정한 연구개발성과의 평가를 위해서는 오랜 기간동안의 체계적인 접근을 통해 해당 연구개발활동의 적합한 평가시스템을 개발하는 것이 중요하다.

그러나 현재 우리나라에서 실시되고 있는 연구개발 활동과 관련된 각종 평가시스템들은 아직도 대부분이 연구개발활동의 특성을 충분히 고려하지 않은 채 평가목적이나 평가단위에 관계없이 일률적으로 사용되는 경우가 많다. 평가목적이나 평가단위에 적합하지 않은 연구개발성과 평가는 무의미할 뿐만 아니라 심지어는 잘못된 평가결과를 연구개발관리에 적용함으로써 오히려 연구개발정책이나 전략방향을 왜곡시킬 수도 있다.

본 연구는 연구개발 활동에 대한 국가 차원의 효율성과 규모의 보수성(Returns to Scale)을 DEA와 효율적 생산 프론티어함수(Efficient frontier production function)를 이용하여 측정하는 것이며, 이를 위하여 Sueyoshi(1992)의 논문에서 적용되어진 기법인 DEA/LAV(Least Absolute value)기법을 응용하여 콥 더글라스 생산함수의 모수값을 추정하였으며 이를 통해 규모의 보수성을 측정해 보았다. 본 논문에서 사용되어진 분석 자료로는 1998년도 OECD 26개국의 연구개발 활동 관련된 패널 자료와 한국의 1980년부터 1995년까지의 투입과 1985년부터 2000년까지의 산출자료의 시계열 자료를 이용하였으며, 다수의 투입과 단일산출을 가정하기 위하여 총 6개의 분석 카테고리 분류하여 측정하여 보았다. 특히 본 연구에서는 기존의 연구개발활동 투입변수인 R&D 지출액과 연구인력수 이외에 국가별 상대적 경제규모 및 인구 규모를 정규화 하기 위하여 GDP대비 R&D지출액 비율과 총인구 대비 연구인력 비율을 투입변수로 추가하였고, 연구개발 성과의 질적인 측면을 고려하기 위하여 기존의 특허자료를 산출변수로 추가하였다. 또한 연구개발 활동에 있어서 투입과 산출간의 시간지연 효과를

반영하기 위하여 5년의 time-lag을 적용하였다.

2. 기존 연구에 대한 고찰

효율성(efficiency)에 대한 연구는 다양하지만 기업의 생산 과정에서 효율성이란 다분히 기술적인 의미를 가지고 있어 “투입량에 대한 산출량의 비율”을 의미하고, 이와 유사한 효과성(effectiveness)이란 “조직 목표와 관련하여 기대한 결과를 어느 정도 충실히 달성하였는지”를 의미한다. 흔히 효율성 및 효과성과 함께 생산성이란 개념을 많이 사용한다.

R&D의 성과나 생산성을 올바르게 측정하기 위한 방법론을 제시하는 연구들은 계속해서 상당수 발표되어 왔으며(Pappas & Remer, 1985; Brown & Stevenson, 1988; Brown & Gobeli, 1992; Geisler, 1994; 이정원, 2000), 대부분의 연구들은 R&D 시스템의 여러 가지 복잡한 특성으로 인하여 그 성과 및 효율성의 측정이 쉽지 않다는 사실을 인식하면서, 보다 객관적이고 적용하기 쉬운 효율성 및 생산성 측정 방법론의 개발이 필요하다는데 의견을 같이 하고 있다. 특히 Werner & Souder(1977)는 1956년부터 1995년까지 R&D성과를 측정하기 위한 변수에 대한 방대한 문헌 고찰을 토대로 R&D 활동의 투입 및 산출요소들을 체계적으로 분류하고, R&D성과측정을 위한 다양한 기준들을 정리하면서, R&D 활동의 특성상 양적인 측면뿐만 아니라 질적인 측면을 모두 고려할 수 있는 통합 측정지표(integrate metrics)의 개발 및 사용이 바람직할 것이라는 결론을 주장하고 있다.

연구개발 생산성에 대한 실증분석으로는 Graves & Langowitz(1996)가 미국, 유럽, 일본의 117개 기업들을 대상으로 R&D지출액을 투입요소로 하고 특허수를 산출요소로 하는 R&D 생산성을 계량경제모형을 이용하여 분석하였다. 특히 이들은 연구개발활동은 규모의 수익체감(decreasing returns to scale)을 보이고 있다는 실증적 결과를 도출하고 있다. 그러나 기존의 실증적 연구들의 문제점은 대부분의 연구들이 계량경제학적 접근방법, 즉 생산함수의 형태가 알려져 있거나 통계적으로 추정 가능하다는 가정을 전제하는 모수적(parametric)방법을 사용하고 있다는데 있다. 일반적으로 R&D활동의 경우 특정한 유형의 생산함수를 이용하여 효율성을 측정하기에는 부적절한 범주(Lovell, 1995)에 해당되는 대표적인 경우로 간주할 수 있기 때문이다. 따라서 R&D 특성을 보다 적절히 반영할 수 있는 실증분석이 되기 위해서는 생산함수에 대한 사전적 가정을 하지 않은 상태에서 효율성을 측정할 수 있는 비모수적 추정모형을 이용한 접근 방법이 필요하다.

Co & Chew(1997)는 미국과 일본의 산업별 제조회사들의 R&D 비용과 기업성과와의 관계에 대한 비교분석 과정에서 DEA 방법을 사용하고 있다. 이 연구에서는 기업의 총자산, 종업원수 및 R&D 비용을 투입변수로 하고, 연간 판매량과 순이익을 산출변수로 한 DEA분석을 통해서 표본 기업들을 효율적인 기업군과 비효율적 기업군으로 분류한 후, 통계적 분석을 통해서 효율적인 기업과 비효율적인 기업간에 R&D 비용 지출과 기업성과와의 상관성에 어떤 차이가 존재하는가를 규명하고 있다. 한편 Korhonen, Tainio & Wallenius(2001)은 대학과 연구기관의 R&D 활동에 대한 효율성을 DEA를 이용

하여 분석하였는데, 특히 대학연구활동을 구성하는 투입 및 산출요소의 주관적 특성을 분석에 반영하기 위하여 의사결정자의 주관적인 선호를 고려하는 DEA모형인 가치효율성 분석(value efficiency analysis)모형을 개발하여 제시하고 있다.

DEA를 이용한 국내기업의 R&D 효율성에 관한 실증연구로는 장진규 외(1996)와 권철신 외(2001)등이 있으며, 장진규 외(1996)에서는 정부투자기관들을 대상으로 종업원 일인당 연구개발소과 연구개발인력수를 투입요소로 하고, 매출원가 개선율, 총자본경상이익률, 매출액 증가율을 산출요소로 한 DEA분석을 실시하였다. 한편 권철신 외(2001)에서는 시간지연, 기술수준, 기술특성을 고려한 R-DEA의 기본모형을 제시하였다.

3. 연구 방법론

3.1 RTS(Returns to Scale)의 개요

생산에 관련된 문제에 있어서, 생산요소 투입의 증가에 따른 산출량의 반응에 대해 예측하는 것은 매우 중요한 과제이다. 특히 기술경쟁력의 심화로 인해 연구개발활동의 중요성이 증대됨에 따라 공공부문 및 개별 기업은 연구개발활동의 투자를 매년 증대시키는 추세이다.

그러나, 연구개발활동은 단기적 성과를 기대하기 힘들기 때문에 투자에 따른 성과의 측정이 어려운 것이 현실이다. 따라서 연구개발활동의 투입에 따른 성과의 추정모형의 제시를 통한 효율성 및 생산성 제고는 국가 및 기업의 기술경쟁력 제고의 토대를 마련해 줄 수 있으며, 불필요한 비용의 낭비를 방지할 수 있다. 특히 한국의 경우 연구개발활동의 비효율성과 불균형으로 인해 많은 문제가 제기되고 있다. 따라서 이러한 문제에 대한 수학적 이론을 제시하는 것이 규모의 보수성(returns to scale)이다.

규모의 보수성은 총 세가지 가정을 제시하고 있다. 첫째, 규모의 불변 보수성(Constant Returns to Scale)이다. 이는 생산요소의 투입량을 k배 증가시킬 때 산출량도 k배로 증가하는 경우를 말하며, 다음과 같은 함수적 관계를 만족해야 한다.

$$f(kX_1, kX_2) = kf(X_1, X_2)$$

k: 상수, X_1, X_2 : 투입물

그러나, 모든 생산요소의 투입량을 k배만큼 늘린다고 해서 산출량도 언제나 k배만큼 증가한다고 보장할 수 없다. 즉, 산출량의 증가는 c배보다 더 클 수도 더 작을 수도 있다. 만약 산출량의 증가가 k배보다 더 크게 된다면 이러한 생산기술은 규모의 보수체증(Increasing Returns to Scale)의 성격을 갖는다고 하며, 반대로 산출량의 증가가 c배보다 작게 나타나면 규모의 보수체감(Decreasing Returns to Scale)의 성격을 갖는다고 말할 수 있으며, 이는 다음과 같다.

$$f(kX_1, kX_2) > kf(X_1, X_2): \\ \text{Increasing Returns to Scale}$$

$$f(kX_1, kX_2) < kf(X_1, X_2) : \\ \text{Decreasing Returns to Scale}$$

한가지 유의해야 할 점은 규모의 보수성에 대한 개념은 기본적으로 장기간에 걸친 생산을 가정하고, 모든 투입요소가 가변적이라는 것을 전제해야만 규모의 보수성을 정의할 수 있다. 본 논문에서는 아래와 같은 Cobb-Douglas 생산함수의 회귀모델(Regression model)을 이용하여 전체 OECD국가의 규모의 보수성을 측정하였다.

$$y = A x_1^{\alpha} x_2^{\beta} \quad (1)$$

위 식에서 A는 0보다 큰 상수값으로서 기술수준을 나타내며, α, β 는 총생산성의 상대적 몫을 나타낸다. 측정되어진 모수값들의 합을 통해서 다음과 같은 규모의 보수성을 측정할 수 있다.

1. $\alpha + \beta = 1$, Constant RTS
2. $\alpha + \beta > 1$, Increasing RTS
3. $\alpha + \beta < 1$, Decreasing RTS

위와같은 모수값을 추정하기 위하여 각각의 투입변수와 최적산출량(y^*)를 이용하여 식 (2)와 같은 efficient production frontier function 을 계산하여 준다.

$$\ln y = A + \alpha \ln x_1 + \beta \ln x_2 \quad (2)$$

위의 식 (2)를 통해 각 개별 국가의 생산성을 측정하고, 최종적으로 모수의 합을 통하여 규모의 보수성을 측정하여 보았다.

3.2 DEA의 개요

3.2.1 Data Envelopment Analsis(DEA)

Charnes, Cooper and Rhodes(1978)에 의해 최초로 제시된 Data Envelopment Analysis(DEA)는 다수의 투입요소를 이용하여 다수의 산출물을 생산하는 의사결정단위(DMU:decision making unit)들의 효율성을 수리계획법을 이용하여 측정, 비교하는 기법으로서, 비모수적(non-parametric)효율성 측정을 위한 대표적 기법이다. DEA는 어떤 DMU의 효율성을 다수의 투입요소와 산출요소의 가중합 비율로 정의하고, 이 값을 측정하는데 있어서 산출 및 투입요소들의 각 가중치를 DMU자신의 효율성 값을 최대로 할 수 있는 값을 구한 후 이를 이용하여 효율성 값을 계산하는 것으로 되어 있다. 즉 자신에게 가장 유리한 가중치에 기반하여 자신의 효율성을 비교할 수 있도록 모형화되어 있다는 특징을 가지고 있다. 또한 모수적 기법과는 다르게 투입물과 산출물 사이의 함수관계에 대한 선형적인 설정이 필요없고 단순히 투입물과 산출물들의 관측 데이터만을 기초로 효율성의 측정비교가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

Charnes,Cooper and Rhodes(1978)에 의해 최초로 제시된 DEA는 다수의 투입요소와 산출요소의 가중합 비율로 정의되는 효율성값을 계산하는데 있

어서, 각 DMU가 자신의 효율성 값을 극대화할 수 있도록 요소별 가중치를 결정하는 식(1)과 같은 문제로 모형화 될 수 있다.

$$\text{MAX } h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r Y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i X_{i0}} \quad (3)$$

$$\bullet \cdot t \quad \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad j = 1, 2, 3, 4, \dots, n$$

y_{rj} - j-DMU의 r번째 산출요소 산출량
 x_{ij} - j-DMU의 i번째 투입량
 u_r - r번째 산출요소 가중치
 v_i - i번째 투입요소 가중치

한편 Charnes,Cooper and Rhodes(1978)은 위 식이 비선형계획법을 지적하면서 위 모형을 계산적으로 다루기 쉬운 선형계획문제로 변환시킨 이른바 CCR모형을 제시하였다.

$$\text{Max } \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \quad (4)$$

$$\text{subject to } \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \text{for all } r \text{ and } i$$

CCR 모형은 규모의 불변보수성(constant returns to scale)을 가정하고 있다. 이에 Banker, Charnes & Cooper(1984)는 규모의 가변보수성(variable returns to scale)을 모형에 반영할 수 있는 DEA 모형을 제시하였다. 이 모형은 CCR모형과 대비해서 통상 BCC모형이라 하며, 그 수리적 모형은 아래와 같다.

$$\text{Max } \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} - u_0 \quad (5)$$

subject to

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - u_0 \leq 0 (j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \text{for all } r \text{ and } i, \quad u_0 \text{ free sign}$$

한편 DEA는 DMU의 상대적 효율성을 측정하는 것 외에 비효율적으로 운영되는 부문에 관한 추가적 정보를 제공할 수 있다. 따라서 이러한 정보를

이용하면 비효율적으로 평가된 DMU의 효율성 개선을 위한 관리방향을 제공해줌으로써 비효율적인 DMU의 향후 개선에 필요한 정보를 줄 수 있다. 본 논문에서는 경영상의 오차인 μ 값의 측정을 위하여 아래와 같이 수학적으로 정의되어진 DEA-ratio form을 이용하였다.

$$\begin{aligned} & \text{Max } h & (6) \\ & \text{subject to } \sum_{i=1}^n X_i^T \lambda_i \leq X_0^T \\ & \quad - \sum_{i=1}^m y_i \lambda_i + y_0 h \leq 0 \end{aligned}$$

$\lambda_i, X_i, y_i \geq 0$ for all i
 X_{mi} : m 번째 DMU의 i 번째 투입요소
 y_i : 산출량 λ_i : 산출요소 가중치

식 (6)에 의해 계산되어진 h^* 는 0-th DMU의 효율성 값인 θ^* 에 의해 (7)와 같이 계산되어질 수 있다.

$$\theta^* = 1/h^* \quad (7)$$

식(7)에서 θ^* 는 특정 DMU의 효율성 값을 나타내며, $\theta^*=1$ 이면 DEA-efficient한 DMU를 나타내며 $\theta^*<1$ 이면 DEA-inefficient한 DMU를 나타낸다. 다음으로 식(6)를 쌍대성모델로 바꾸면 다음 식 (8)와 같은 수식으로 변환되어진다.

$$\begin{aligned} & \text{Min } UX_0^T & (8) \\ & \text{subject to} \\ & u_j X_j^T - v y_0, i=1, \dots, n, j=1, \dots, m \\ & \quad u_j, y_0 \geq 1 \\ & \quad u_j, v \geq 0 \text{ for all } i, j \end{aligned}$$

따라서, 최적해인 h^* 는 다음 식으로 정의되어질 수 있다.

$$h^* = u^* X_0^T$$

위의 결과를 통해 0-th DMU의 최적 산출값인 y_0^* 와 경영상의 오차 μ_0 는 다음과 같은 수식으로 표현되어질 수 있다.

$$y_0^* = y_0 h^* = y_0 / \theta^* \quad (9a)$$

$$\mu_0 = y_0 h^* - y_0 \quad (9b)$$

3.2.2 Efficient Production Frontier Function

객관적 측정치를 얻기 위하여 Sueyoshi[7]는 식 (10)과 같은 선형 회귀 모형을 제시하였으며.

$$y_i = X_i \beta - \mu_i + \eta_i, \quad i=1, \dots, n \quad (10a)$$

μ : managerial error,
 η : observational error

위 식을 식(9)을 통해 y^* 값으로 바꾸면 식 (10b)와 (10c) 같은 수리적 모형으로 표현되어질 수 있다.

$$y_i^* = y_i + \mu_i = y_i h^* \quad (10b)$$

$$y_i^* = X_i \beta + \eta_i, \quad i=1, \dots, n \quad (10c)$$

식(10)에서 구해진 y_i^* 값과 X_i 값을 이용하여 다음과 같은 효율적 생산함수를 통하여 각 국의 RTS를 추정할 수 있다.

$$\ln y^* = A + \alpha \ln x_1 + \beta \ln x_2 \quad (11)$$

4. 자료의 구성

4.1 투입 및 산출요소의 선정 및 자료의 구축

연구개발 활동에 투입되는 자원과 그 결과물들의 많은 부분은 일반적으로 정성적이고 측정이 어렵다는 특성을 가지고 있기 때문에 객관적인 투입요소와 산출요소를 선택하는 것은 쉬운 문제가 아니다. 우선 본 연구에서는 R&D의 투입 및 산출요소를 선정하는데 있어서 간접적인 요소들은 제외하고 연구개발 활동에 순수하게 직접적으로 투입되고 산출되는 것으로 인식되고 있는 요소들에 초점을 맞추었다. 이에 본 연구에서는 국가차원 R&D의 가장 일반적인 투입요소로 인식되고 있는 국가별 R&D 총비용과 총연구인력을 투입요소로 선정하였다. 한편 산출요소 역시 가장 기본적인 R&D 성과로 논의되고 있는 특허수와 SCI 논문수로 선정하였다. 또한 특허수의 경우에는 출원수와 등록수를 따로 고려하기로 하였다.

위에서 선정한 투입변수는 연구개발 관련 비용 및 인력의 절대치를 나타낸 것으로서, 국가별 경제 및 인구 규모의 차이가 고려되지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 국가별 상대적 경제규모 및 인구규모를 정규화 하기 위하여 GDP대비 R&D지출액 비율과 총인구 대비 연구인력 비율을 투입변수로 추가하였다.

본 연구에서 분석에 사용한 자료는 통계청에서 발표한 1993년도 OECD 26개국의 R&D 총비용과 연구인력에 관한 발표자료를 사용하였으며, 미비한 부문에 대한 자료는 과학기술부의 과기통계와 OECD에서 매년 발간하는 main science and technology indicator 자료를 이용하여 보충하였다. 산출 data로는 kaist 과학기술전자 도서관의 NSI(National Science Indicator)와 NCR(National Citation Report) DB자료중 1998년도 부문에 관한 자료로 산출 data를 구성하였다. 우리나라에 관한 자료는 1980년부터 1995년까지의 투입 자료와 1985년부터 2000년까지의 산출자료로

구성하였으며, R&D 특성상 투입과 산출간의 특성을 고려 5년간의 time-lag을 두고 전체 자료를 구축하였으며, 출결과 등록간의 시간차는 두지 않았다.

4.2 분석 자료의 분류

분석에 사용되어진 생산함수를 가정하기 위하여 다수의 투입과 단일 산출을 가정하기 위하여 분석 자료를 총6개의 카테고리로 분류하였으며, 또한 투입의 절대치와 개별국가의 경제적, 인구규모대비 상대적 정규치를 이용하여 측정하였다.

분석 자료의 분류 1

투입요소 (X _i)	산출(y)
총R&D비용, 연구원수	특허출원수
총R&D비용, 연구원수	특허등록수
총R&D비용, 연구원수	논문수
GDP 대비 R&D 지출액, 노동인구천명당 연구원수	특허출원수
GDP 대비 R&D 지출액, 노동인구천명당 연구원수	특허등록수
GDP 대비 R&D 지출액, 노동인구천명당 연구원수	논문수

위 표에서 보는 것처럼 우선 일반적 R&D 투입요소인 총비용과 연구원수를 투입요소로 하고, 그에 따른 각각의 개별산출요소를 이용하여 분석하였고, 다음으로 국가별 상대적 경제규모 및 인구규모의 차이를 고려한 GDP 대비 R&D 지출액 비율과 총인구대비 연구인력 비율을 투입변수로 하고, 그에 따른 개별 산출요소에 대하여 분석하였다. 이러한 분석을 통하여 각 개별 산출, 즉 R&D 생산성에 가장 큰 영향을 미치는 투입요소들을 살펴보고 그에 따른 규모의 보수성을 측정하여 보았다. 다음의 표는 한국의 연구개발활동에 관한 시계열 자료를 이용한 분석자료를 총 3개의 카테고리로 분류한 표이다.

분석 자료의 분류 2

투입요소 (X _i)	산출(y)
총R&D비용, 연구원수	특허출원수
총R&D비용, 연구원수	특허등록수
총R&D비용, 연구원수	논문수

한국의 경우 상대적 경제규모 및 인구규모의 차이를 고려한 값은 분석대상에서 제외하였으며, 년도별 투입과 산출의 절대치를 이용하여 분석하여 보았다.

5. 분석 결과

본 연구에서는 efficient production frontier function을 이용해 총 6가지 카테고리로 분류한 OECD 27개국과 3개의 카테고리로 분류한 한국의 규모의 보수성을 측정하고자 하였다.

5.1 OECD 26개국의 규모의 보수성

총R&D비용, 연구원수 대비 특허출원수에 있어서 가장 높은 DEA 값을 보이는 국가는 일본, 포르투갈, 아일랜드, 아이슬란드 등이며, 미국, 프랑스, 영국등과 같은 선진 주요국은 예외적으로 낮은 효율성 수치를 나타내고 있다. 한국의 경우 27개국중 24위로 총연구개발비, 연구원수 대비 특허출원수에 있어서 상당히 비효율적인 것으로 나타나고 있으며, 이러한 결과치를 이용하여 콥-더글라스 생산함수를 통한 efficient production frontier function을 수식으로 표현하면 다음 식과 같이 표현되어질 수 있다.

$$\ln y = -8.414 + 0.072 \ln X_1 + 0.2459 \ln X_2$$

위 식을 통해 OECD 27개국의 규모의 보수성을 추정하여 보면 다음과 같다

<표 1> 총R&D비용, 연구원수 대비 특허출원수 RTS추정치

coefficient	estimate
c	0.072
β	0.2459
c+β	0.318
RTS	Decreasing RTS

총 R&D비용, 연구원수 대비 특허등록수를 통한 OECD 27개국의 결과치를 통해 규모의 보수성을 추정하여 보면, 다음의 <표 2>과 같다.

<표 2> 총R&D비용, 연구원수 대비 특허등록수 RTS추정치

coefficient	estimate
c	0.3296
β	0.64861
c+β	0.97821
RTS	Decreasing RTS

이를 efficient production frontier function으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$\ln y = -1.081408644 + 0.329645954 \ln X_1 + 0.648612867 \ln X_2$$

총 R&D비용, 연구원수 대비 특허등록수에 있어서 전반적으로 규모의 보수체감을 나타내고 있다. 총 R&D비용, 연구원수 대비 논문수의 규모의 보수성을 측정하여 보면, 다음의 <표 3>과 같다.

<표 3> 총R&D비용, 연구원수 대비 논문수

RTS추정치

coefficient	estimate
c	0.1654
β	0.75241
c+ β	0.91781
RTS	Decreasing RTS

이를 efficient production frontier function으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$\ln y - 0.5084081 + 0.16541476 \ln X_1 + 0.75240529 \ln X_2$$

표 1,2,3의 결과치를 통해 알 수 있는 것처럼 연구개발활동의 1998년도의 총연구개발비, 연구원수 대비 개별 산출에 있어서 OECD 26개국의 전반적인 규모의 보수성은 규모의 보수체감(Decreasing Returns to Scale)을 보이고 있다.

이는 OECD 26개국이 전반적으로 국가의 상대적 규모를 고려하지 않았을 경우 규모의 비효율성을 나타내고 있다고 볼 수 있다.

그렇다면, 개별 국가의 경제적 규모와 인구 규모를 고려하였을 경우, 어떠한 결과치를 보일 것인가? 다음의 결과값들은 이러한 OECD 26개국의 경제적 규모와 인구규모를 고려하였을 경우의 규모의 보수성에 대한 측정치를 나타내고 있다.

우선 GDP대비총연구개발비, 노동인구천명당 연구원수 대비 특허출원수에 있어서, 규모의 보수성을 측정하여 보면 다음 <표4>와 같다

<표 4> GDP대비 R&D지출액, 노동인구천명 당 연구원수 대비 특허출원수 RTS측정결과

coefficient	estimate
c	0.452
β	0.61
c+ β	1.062
RTS	Increasing RTS

이를 efficient production frontier function으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$\ln y - 1.061657324 + 0.451977432 \ln X_1 + 0.60967989 \ln X_2$$

위의 결과를 통해 국가별 경제규모와 인구규모를 고려한 GDP대비총연구개발비, 노동인구천명당 연구원수 대비 특허출원수에 있어서 전반적으로 규모의 보수체증(Increasing Returns to Scale)을 보이고 있음을 알 수 있다.

다음으로, GDP대비총연구개발비, 노동인구천명당 연구원수 대비 특허등록수의 경우 규모의 보수성을 측정하여 보면 다음 <표 5>와 같다.

<표 5> GDP대비 R&D지출액, 노동인구천명당 연구원수 대비 특허등록수 RTS추정치

coefficient	estimate
c	0.00000001
β	1.6494
c+ β	1.6494
RTS	Increasing RTS

이를 efficient production frontier function으로 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\ln y - 1.649432591 + 0.0000001 \ln X_1 + 1.649432581 \ln X_2$$

이를 통해 GDP대비총연구개발비, 노동인구천명당 연구원수 대비 특허등록수의 경우 전반적으로 규모의 보수체증(Increasing Returns to Scale)을 나타내고 있음을 알 수 있다.

마지막으로 GDP대비총연구개발비, 노동인구천명당 연구원수 대비 논문수에 있어서 OECD 27개국의 규모의 보수성을 측정하여 보면, 다음과 같다.

<표 6> GDP대비 R&D지출액, 노동인구 천명당 연구원수 대비 논문수 RTS추정치

coefficient	estimate
c	0.00000001
β	1.7225
c+ β	1.7225
RTS	Increasing RTS

이를 efficient production frontier function으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$\ln y - 1.722457882 + 0.00000001 \ln X_1 + 1.722457872 \ln X_2$$

위의 결과들을 통해 투입요소를 정규화 시킨 자료를 통한 분석의 경우 OECD 27개국의 규모의 보수성은 전반적으로 규모의 보수체증을 나타내고 있으며, 이는 앞서 총연구개발비, 연구원수 대비 개별 산출에 대한 규모의 보수성과 상반된 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

이는 일반적으로 알고 있는 OECD 주요 선진국이라 해서 꼭 R&D 생산성 및 효율성이 높은 것이 아님을 보여 주고 있으며, 한국의 경우 많은 R&D 비용을 지출하고 있으나 상대적으로 낮은 생산성 및 효율성을 보이고 있음을 알 수 있다.

이는 앞으로 좀 더 효율적인 R&D정책 및 투자가 필요하다는 점을 시사한다고 할 수 있겠다.

본 논문에서는 측정된 결과치에 대한 사실적 제시에 초점을 맞췄으므로 개별 국가에 대한 분석 및 경제적 상황에 대한 주관적 분석은 되도록 배제하였다

5.2 OECD 26개국의 연구개발비 차이에 따른 규모의 보수성 측정

분석을 좀 더 객관적이고 세분화시켜 구체적 결론을 유도하기 위하여 OECD 26개국을 총연구개발비에 있어서 평균치 이상인 국가와 이하인 국가로 분류하여 규모의 보수성을 측정하여 보았다. 우선 OECD 26개국의 총연구개발비의 평균을 보면 \$176,052백만 이고 평균치 이상의 연구개발비 투자 국가는 미국, 일본, 독일, 프랑스, 영국으로 나타났다. 연구개발비의 투자규모의 차이를 통해 규모가 큰 국가와 작은 국가간의 규모의 보수성을 측정하여 봄으로써 효율적이며 효과적인 투자방안을 제시할 수 있을 것이라 생각한다. 연구개발비 투자규모가 크고 경제적, 기술적으로 앞선 국가의 경우 투자의 절대치의 증가보다는 상대치의 증가를 통해 연구개발의 효율성과 생산성의 증대를 제고할 수 있을 것이며, 반대로 규모가 작은 국가의 경우 투입의 절대치를 증가함으로써 연구개발활동의 효율성과 생산성을 증대시킬 수 있을 것이다. 이에 대한 객관적 결론을 도출하기 위하여 각각에 대한 실증적 분석을 통해 결과치들을 산출하여 보았다. 우선 투입의 절대치를 이용하여 평균치 이상의 국가와 이하의 국가에 대한 연구개발 규모의 보수성을 측정하여 보았다. 첫 번째로 총연구개발비 규모가 평균치 이상인 국가에 대하여 논문수와 특허등록수를 산출자료로 하여 측정하여 보았으며, 다음에 나올 표 17의 경우 절대치 대비 논문수에 있어서 평균치 이상의 국가에 대한 결과치들을 정리한 것이다.

<표 7> 평균치 이상 국가의 절대치 대비 논문수 RTS추정치

coefficient	estimate
c	0.794
β	0.1133
c+β	0.9073
RTS	Decreasing RTS

이를 Cobb-Douglas 회귀 모델을 이용하여 다음과 같은 efficient production frontier function으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$\ln y = -0.000000102548 + 0.7938703 \ln X_1 + 0.1133071 \ln X_2$$

위의 결과에서 보는 것처럼 투입의 절대치 대비 논문수에 있어서 규모가 큰 국가의 경우 규모의 보수체감을 나타내고 있다. 다음의 <표 8>은 절대치 대비 논문수에 있어서 규모가 작은 국가 즉, 연구개발비 투자 규모가 평균치 이하인 국가들에 대한 측정 결과를 나타낸 것이다.

<표 8> 평균치 이하 국가의 절대치 대비 논문수 분석결과

coefficient	estimate
c	0.3475
β	6.0811
c+β	6.4286
RTS	Increasing RTS

이를 efficient production frontier function으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$\ln y = -5.245395 + 0.347522 \ln X_1 + 6.081086 \ln X_2$$

이러한 결과들을 통해 연구개발비 차이에 따른 규모의 보수성을 국가별로 분류하여 분석해본 결과, 규모가 큰 국가의 경우 투입의 절대치를 줄이고 상대치를 늘리는 것이 연구개발활동에 있어서 효율적인 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났으며, 규모가 작은 국가의 경우 투입의 상대치보다는 절대치 즉, 연구개발비와 연구인력의 수를 늘리는 것이 연구개발활동에 있어서 효율적이고 생산적인 결과를 도출할 수 있는 것으로 나타났다.

5.3 한국의 시계열 자료를 이용한 규모의 보수성 측정

이 장에서는 한국의 1980년부터 1995년까지의 연구개발활동에 관련된 투입과 1985년부터 2000년까지의 산출 자료를 이용하여 시계열 분석 결과를 정리하였으며, 투입 자료의 절대치만을 이용하여 규모의 보수성과 효율성을 측정하여 보았다. OECD 국가 전체의 연구개발활동의 규모의 보수성은 투입자료의 절대치를 이용하여 측정하였을 경우 전반적으로 규모의 보수체감을 나타내었다. 최근까지 한국의 경우 높은 연구개발 투자에 비해 낮은 성과와 효율성으로 많은 문제점을 나타내었다. 과연 시계열 자료를 이용한 실증분석에서도 비효율적이고 비생산적 결과를 도출할 것인가에 주요한 점을 두고 측정하였으며, 세부적이고 주관적 결론은 배제하고 객관적이고 사실적인 부분에 초점을 맞추었다. 우선 총연구개발비, 연구원수 대비 특허출원수에 있어서 어떠한 결과를 보였는지에 대하여는 다음과 같다.

<표 9> 총R&D비용, 연구원수 대비 특허출원수 RTS추정치

coefficient	estimate
α	0.70241
β	0.000000001
α+β	0.70241
RTS	Decreasing RTS

한국의 1985년부터 2000년까지 총연구개발비, 연구원수 대비 특허출원수에 있어서 전반적으로 규모의 보수체감을 보이고 있다. 다음으로 한국의 1985년부터 2000년까지의 규모의 보수성을 추정하여 보면 다음 <표 10>과 같다.

<표 10> 총R&D비용, 연구원수 대비 특허등록수
RTS추정치

coefficient	estimate
c	0.9885
β	0.00000001
c+ β	0.9885
RTS	Decreasing RTS

총연구개발비, 연구원수 대비 특허등록수의 경우도 규모의 보수체감을 나타내고 있다.

한국의 총연구개발비, 연구원수 대비 논문수에 있어서 규모의 보수성을 측정하여 보면 다음 표 22와 같다.

<표 11>총R&D비용, 연구원수 대비 논문수 RTS
추정치

coefficient	estimate
α	0.91009
β	0.00000001
$\alpha + \beta$	0.910090001
RTS	Decreasing RTS

한국의 연도별 시계열 자료를 이용하여 규모의 보수성을 측정하여 본 결과 전반적으로 규모의 보수체감(Decreasing Returns to Scale)을 보였으며, 이는 한국이 1980년대 중반부터 2000년까지 연구개발활동에 있어서 비효율적이며, 비생산적으로 운영되어 왔음을 간접적으로 시사하고 있다고 생각하는 바이다.

6. 결론 및 향후연구과제

본 논문에서는 efficient production frontier을 통해 OECD 개별국가에 대한 생산성과 전체 국가에 대한 규모의 보수성을 측정하여 보았다. 이러한 분석방법의 장점은 확률 프론티어 분석에 있어서 특정 관리적 오차와 통계적 오차의 필요성을 배제할 수 있다는 데에 있으며, 좀 더 객관적 측정이 가능하다는 점이다.

기존 Sueyoshi[7]의 논문에서는 여러 가지 통계적 측정치를 제시하였으나, 본 논문에서는 규모의 보수성과 R&D생산성에 초점을 맞추고 통계적 분석은 제외하였다. 차후 그 점은 좀 더 보완하여 다시 한번 분석해 보고자 한다.

또한, 본 연구에서는 OECD 27개국의 패널 자료를 이용하여 분석하였으나, 차후 좀 더 많은 자료를 보완하여 시계열 분석을 통해 개별 국가에 대한 규모의 보수성 및 생산성에 관한 세부적 분석을 하고자 한다.

한국의 경우 많은 공공 R&D 비용을 투자하고 있으나 투자대비 성과가 미미하다는 비난을 면치 못하고 있으며, 이는 비효율적 운영에 기인한다고 할 수 있겠다. 정확한 R&D 측정지표가 제시된다면, 이러한 비효율적 낭비요소를 방지하고, 글로벌 경쟁시대에 있어 기술경쟁력 제고의 밑거름을 제시할 수 있으리라 생각한다.

본 연구는 앞서 말했듯이 측정값의 사실적 제시에 초점을 맞추고 있으며, 이에 대한 세부적 분석은 여러 가지 경제적, 시대적 흐름에 대한 정확한 파악이 선행되어야 할 것이라 생각한다.

차후 본 연구의 결과가 R&D 효율성 및 생산성 측정의 기본 자료로 활용될 수 있으리라 기대하는 바이다.

참고 문헌

Brown, M. G & R.A. Svenson(1988), "Measuring R&D Productivity", *Research Technology Management*, Vol. 31, pp 11-15

Brown, W. B. & D. Gobel(1992), "Observations on the Measurement of R&D Productivity: A Case Study", *IEEE Trans. on Eng.Mgmt.*, Vol. 39, No. 4, pp.. 325-331

Co, H.C and K.S.Chew.(1997) " Performance and R&D expenditures in American and Japanese manufacturing firms". *Economic Production Research*, vol.35 No. 12, pp. 3333-3348

Farrell M.J. and Fieldhouse M.(1962) "Estimating efficient production functions under increasing returns to scale", *J.R.Statis. Soc. Series* Vol.125, pp 252-267

Geisler, E.(1994), "Key output indicator on performance evaluation of R&D organization", *Technological Forecasting & Social Chang*, .Vol.47 pp.189-203

Hal R.Varian, "Intermediate Microeconomics", *University of Californis at Berkeley*, fifth edition

korhonen, P. Tainio, R & J. Wallenius(2001), " Value efficiency of academic research", *European Journal of Operational Research* Vol. 130. 121-132

Lovell C.A.K.(1995), "Econometric efficiency analysis : A policy-oriented review", *European Journal of Operational Research*, Vol.80, pp.452-461

Pappas, R. A. & D. S. Remer(1985), "Measuring R&D Productivity"*Research Management*,Vol. 28, No. 3, pp. 15-22

R.G.Dyson, E.T and A.Boussofiac "A DEA(Data Envelopment Analysis) tutorial". *Warwick Business School*.

Sueyoshi, T. " Stochastic frontier production analysis : "Measuring performance of public telecommunications in 24 OECD countries ", *European Journal of Operational Research* vol.74, pp 466-478