연구논문 「정부학연구」 제16권 제3호(2010): 185~215

원고투고일: 2010.11.11
원고수정일: 2010.12.21
게재확정일: 2010.12.29

학술연구지원사업의 효율성 평가:
DEA와 SFA를 중심으로*

한동성**
신민철***

본 연구는 공공부문 효율성 분석에서 최근 활용도가 높아지고 있는 변경분석방법인 DEA와 SFA 두가지 방법론을 활용하여 학술연구지원사업의 효율성을 측정하였다. 개인연구 또는 소규모 공동연구를 지원하는 9개 세부사업 4,375과제를 대상으로 DEA 및 SFA 분석을 실시한 결과 과제단위와 사업단위 분석모형에서 효율성이 상위인 사업들이 서로 다르게 나타나고 있음을 확인하였다. 특히 신진교수지원사업 선도연구자지원사업 등 단기 연구로 투입부분이 적은 과제들의 효율성이 DEA 분석에서 상대적으로 높게 나타난 반면, SFA 분석에서는 연구기간이 길고 실적이 상대적으로 많은 순수기초연구그룹, 선도과학자지원사업 등의 효율성이 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 사업의 성격과 투입 및 산출변수의 특성을 고려하여 이들 방법론을 상호 보완적으로 적용할 필요가 있음을 보여주고 있다.

주제어: 자료포락분석(DEA), 확률변경분석(SFA), 학술연구지원사업, 효율성

* 본 연구는 2009년 한국학술진흥재단의 정책연구과제로 수행된 연구보고서(2008-009-성과분석) 내용 일부를 보완 발전시킨 것입니다. 더 나은 논문으로 발전할 수 있도록 유익한 조언을 주신 익명의 심사위원님들께 감사드립니다.

** 고려대학교에서 과학기술정책 전공으로 박사학위를 취득하고, 현재 한국연구재단 기초연구본부 책임연구원으로 있다. 주요 관심분야는 대학연구활동의 성과분석, 연구개발정책, 산학협력, 기술이전 등이다(eastar01@nrf.re.kr).

*** 성균관대학교에서 행정학 박사학위를 취득하고, 현재 경기개발연구원 자치행정연구부 연구위원으로 있다. 주요 관심분야는 조직 및 인사관리, 성과관리 및 평가, 지방의회 업무활동 평가 등이다(smc1126@gri.kr).

Ⅰ. 서 론

지식과 정보를 창출, 확산, 활용하기 위한 연구개발(R&D) 활동은 미래 국가정책의 방향을 규정하는데 핵심적인 역할을 수행한다는 점에서 (노유진, 2007; 홍사균 외, 2006) 세계 주요 선진국들을 중심으로 관심과 지원이 확대되고 있다. 우리나라 역시 최근 연구개발 부문에 대한 투자의 중요성을 인식하고 예산 증가율을 가장 큰 폭으로 높이는 등 R&D 활동지원시스템 강화를 위해 적극적인 노력을 기울이고 있다. 그러나 선진국 수준에 이르렀다고 평가되는 투자규모에 비교하여 질적인 측면에서 기대한 성과를 거두고 있는지에 대해서는 여전히 의견이 엇갈리고 있다. 이에 대해 기존 연구개발사업 평가방식들의 경우 대부분 목표대비 달성도 혹은 전년대비 성과 증가율 등을 확인하거나 전문가 위원회 검토를 통해 평가점수나 등급을 부여하는 방식으로 성과를 측정하고 있어 실제 사업이 얼마나 효율적으로 추진되었는지 여부를 판단하기 어렵고 무엇보다 사업의 효율성 개선을 위해 어떤 요인들을 개선해야하는지에 대한 정확한 정보를 제공해 주지 못한 것이 사실이다.

이에 따라 공공부문 평가에서 투입대비 성과와 같은 상대적인 효율성에 대한 측정 기법을 활용하는 방안을 제시하는 연구들이 새롭게 주목받고 있다. 특히 학술연구를 지원하는 사업을 포함한 국가연구개발사업 역시 사업 효율성이 강조됨에 따라 연구사업 분야의 질적 평가를 보완할 수 있는 계량적 분석기법을 활용한 효율성 평가에 대한 논의들이 확대되고 있는 실정이다 (Ahn & Cooper 1988; Feng, Lu & Bi, 2004; Wang & Huang, 2007). 지금까지 이러한 효율성의 측정은 크게 지표체계를 통한 평가와 단순비율 및 회귀분석을 활용한 계량모형 평가 방식 등이 제시되어 왔다. 그러나 이들 효율성 평가방법들의 경우 여러가지 유용성에도 불구하고 전반적으로는 수치로 계량화되기 어려운 투입이나 산출변수들의 가치특성으로 인해 효율성에 대한 한정적인 정보만을 제공하거나 주로 수치나 계량화 될 수 없는 투입이나 산출요소들을 객관적으로 순위화 하는데 있어서 한계를 노출하고 있다. 특히 공공부문에 대한 효율성 평가의 경우 투입과 산출의 시장가치가 계량적으로 명시화되기 쉬운 민간부문과는 달리 투입을 통해 얻을 수 있는 가치의 개념이 비교적 명시적이지 않는 경우가 많아 투입 대비 산출의 효율성 측정이 어

려워 객관적인 평가에 한계를 지니고 있다. 왜냐하면 이들 비영리적 조직 활동의 경우 객관적 성과로서의 시장 가격이 존재하지 않거나 금액으로 환산할 수 없는 여러 산출요소나 혹은 여러 투입요소들을 통해 생산이 이루어지는 경우가 대부분이기 때문이다 (윤경준, 1998; 259).

본 연구는 이러한 공공부문 효율성 측정이 지닌 한계에 대한 대안으로써 최근 새롭게 활용되고 있는 대표적인 분석방법으로 비모수적 방법인 자료포락분석(Data Envelopment Analysis, 이하 DEA)과 모수적 방법인 확률변경분석(Stochastic Frontier Analysis, 이하 SFA)을 통해 연구지원 사업들 간의 효율성을 측정하고자 한다. 이들 방법론적 접근은 일정수준의 투입요소로부터 최대수준의 산출물을 생산하는 분석단위 간 비교 분석을 통해 비교 대상 사업들 간의 상대적 효율성을 측정하고 평가하는데 사용되고 있다. 따라서 이들 평가방법들을 활용하여 학술연구지원사업의 효율성을 측정하고 이들 방법론의 특성에 따른 결과를 비교 분석함으로써 연구지원사업 효율성 평가방법론으로써의 유용성을 검증하고자 한다.

Ⅱ. 변경분석 방법론에 의한 효율성 평가방식

1. 변경분석 방법론 개요

효율성의 개념은 다양하게 정의될 수 있지만 일반적으로 투입(input)과 산출(output) 간 관계를 중심으로 제한된 자원 내에서 최소의 비용을 사용하여 특정한 목적을 위해 보여줄 수 있는 최적의 수행상태로 정의될 수 있다 (Hatry, 1980:312). 전통적인 의미의 생산성(productivity)과는 달리 산출물의 질적 수준(quality)의 개념을 포함하고 있는 효율성을 최적화하기 위하여 각 생산조직들은 생산요소의 가변성과 대체 가능성을 전제로 투입 생산요소의 여러 가지 조합을 통하여 최대의 산출 생산량을 생산하기 위한 다양한 방법론적 접근을 시도하게 된다(박만희, 2008; 15). 이러한 효율성 측정방법 중 기존의 전통적 효율성 측정방법의 한계를 극복할 수 있는 대안으로 최근에 제시되고 있는 방법론으로 변경분석(frontier analysis)을 들 수 있다.

변경분석은 체제모형(systems models)에 입각한 효율변경(efficiency frontier)을 추정하여 투입요소와 산출요소를 사용하여 동일하거나 매우 유사한 기능을 수행하는 사업 및 의사결정단위들(decision-making units: DMUs)간의 상대적 효율성을 측정하고 평가하는데 사용할 수 있는 평가 방법론이다. 즉, 변경분석은 의사결정단위가 일정수준의 투입요소로부터 최대수준의 산출물을 생산하거나 일정수준의 산출물에 대해 최소수준의 투입요소를 사용할 때 표본 내의 다른 모든 단위들에 비해 어느 정도로 효율적인지를 평가하게 된다는 점에서 특히 공공부문의 비효율성을 분석하는데 매우 유용한 장점을 지니고 있다 (Farrell, 1957). 이러한 변경분석은 자료포락분석 (DEA)과 확률변경분석(SFA)으로 구분되는데 자료포락분석은 표본자료를 토대로 결정변경(determinants frontier)을 도출하는 선형계획기법이자 비모수적 기법인데 반해, 확률변경분석은 조직단위별 비효율성을 결정하는 변경의 추정을 위해 함수 형태(생산함수 또는 비용함수)를 가지는 계량경제학적 모수적기법이다 (유금록, 2004; 19-20).

2. 자료포락분석(DEA)과 확률변경분석(SFA)의 비교

1) DEA 모형의 개념 및 특성

Farrell (1957)의 연구에서 시작되어 발전되어온 자료포락분석(DEA)은 다수의 투입 산출변수들을 활용하여 비교대상 단위들간의 상대적인 효율성을 측정하는 방식이다 (Charnes & Rhodes, 1978). 즉, DEA 모형은 사전에 구체적인 함수형태를 가정하고 모수를 추정하는 기존의 효율성 측정방식과는 달리 선형계획법에 근거하여 평가대상의 경험적인 투입요소와 산출요소 간의 자료를 이용하여 경험적인 효율프론티어(준거기준)를 선정한 뒤 평가대상들이 이러한 준거기준으로부터 얼마나 떨어져 있는지 여부를 파악함으로서 비효율성을 측정하는 기법을 의미한다 (박만희, 2008; 52).

DEA 분석은 의사결정집단(DMU)의 효율성, 즉 k번째 DMU의 투입요소에 대한 가중치(v_i)와 산출요소 가중치(u_i)의 비율(Ek)로 효율성을 파악하게 되는데 기본적인 모형은 아래 식 1)과 같이 정의될 수 있다[1].

$$Ek = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r \, y_{rk}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik}} \quad \text{..... 식 1)}$$

이러한 DEA는 기존의 상대적 효율성 평가와 관련된 지표체계나 계량모형에 의한 분석방법에 비해서 몇 가지 뚜렷한 특징을 지니고 있다(이광희 외, 2006; 216; 유금록, 2004). 먼저 DEA는 평가자료의 선택에 있어 상당한 유연성을 제공하는데, 투입과 산출에 연속변수, 서열변수, 명목 변수 등 어떠한 변수로도 적용이 가능하고 상이한 분석단위로도 적용이 가능하다. 또한 기존의 모수적 접근방식이 분석단위의 비효율적인 부분에 대해 뚜렷한 설명을 제공하지 못하는 기존의 모수적 방식에 비해 비효율적으로 나타난 분석단위에 대한 원인규명 및 이를 바탕으로 자원의 효율적 재배분이 가능하도록 조직의 효율성에 대한 정보를 제공할 수 있다. 이 밖에도 DEA는 투입과 산출에 있어 수학적으로 최적의 가중치가 부여되어지는데, 이때의 가중치는 결정규칙에 근거하여 자동적으로 각 분석단위별로 도출될 수 있다. 마지막으로 DEA는 복합적인 종속변수들 (산출, 품질, 결과)을 동시에 비교하는 것이 가능하며, 기존에 객관화하기 어려웠던 우수한 사업이나 기관들에 대한 등급화를 할 수 있는 기반을 제공해 줄 수 있다. 특히 최근의 성과측정 방식들이 다수의 복합적인 성과지표를 사용하고 있다는 점에서 이들 지표들에 대해 유용하게 활용될 수 있다.

2) 확률변경분석(SFA)의 개념[2] 및 특성

확률변경분석(SFA)은 변경함수(frontier function)를 추정함으로써 생산효율성을

1) 이때 y_{rk}는 r번째 의사결정단위가 사용한 r번째 산출물의 양이며, x_{ik}는 i번째 의사결정단위가 사용한 i번째 투입물의 양을 나타내는 것이다. 또한 u_r은 모형 속에서 계산된 산출요소 r에 대한 가중치이며 v_i 는 모형 속에서 계산된 투입요소 i에 대한 가중치를 의미하게 된다. 이 경우 Ek는 $0 \leq Ek \leq 1$ 의 값을 가지므로 DMUk의 효율성 Ek가 가질 수 있는 가장 큰 값은 1이 되고, 그 이하는 비효율적인 상태가 있음을 의미하게 된다.

2) 확률변경분석(SFA)은 확률생산변경모형과 확률비용변경모형으로 구분할 수 있는데 여기서는 확률생산변경모형에 대한 이론적 개념을 설명한다.

측정하는 계량경제학적 방법이다. 생산(또는 비용) 변경(frontier)을 상정하고 이러한 변경(frontier)과의 거리를 통해 각 생산주체의 효율성을 측정하는 초기 연구가 Farrell(1957)에 의해 시도된 이래 변경(frontier)을 추정하는 다양한 방법들이 논의되었는데 이후 Aigner, Lovell & Schmidt(1977)와 Meeusen & Van den Broeck(1977) 등에 의해 효율성을 측정할 수 있는 계량경제학적 모형인 SFA가 제안되었고, Schmidt & Lovell(1979), Johndrow, Lovell, Materov & Schmidt(1982), Greene(1990) 등이 지속적으로 모형을 발전시켜 왔다 (윤경준, 1998; 지홍민, 2007; 김성호 외, 2007).

일반적으로 변경분석은 각 생산주체의 투입요소의 투입량으로 달성할 수 있는 최대한의 산출수준인 산출 변경(frontier)과 실제 산출수준과의 거리로 각 생산주체의 효율성을 측정하게 되는데 SFA는 무작위 오차(random error)만을 포함하고 있는 전통적인 회귀식과는 달리 모형식(회귀식)에 랜덤오차 이외에 양의 값을 지니는 비효율 오차가 결합된 복합오차(composed error)를 포함하고 있어서 생산주체가 통제할 수 없는 무작위 오차 부분과 실제 비효율성을 초래하는 부분을 분리하여 측정이 가능하다 (Forsund et al, 1980; Lovell, 1993).

SFA의 기본적인 모형은 아래 식 2)와 같이 정의된다[3].

$$y_i = \alpha + x_i\beta + v_i - u_i \quad \text{..... 식 2)}$$

아울러 SFA에서 기술적 효율성(Technology Efficiency; TE)의 추정량은 아래 식 3)으로 구할 수 있으며, 기술적 비효율성 변수인 u_i는 식 4)로 정의된다[4].

---

3) 여기서 i는 생산주체를 나타내며, y_i는 종속변수로 일반적으로 생산주체 $i(i$=1,...,N)의 산출량에 자연로그를 취한 값이다. χ_i는 생산요소에 자연로그 취한 것으로 1×k 행벡터(vector)이며, β는 계수의 k×1 벡터로 추정되어야 할 미지의 모수의 (k×1)열벡터이다. 오차항 중 v_i는 u_i와 독립적으로 정규분포(i.i.d), N($N(0,\sigma_V^2)$)를 갖는 무작위오차(random error)로 일반적인 오차항과 동일하다. 기술적 비효율성을 나타내는 변수가 u_i인데 이는 0보다 크거나 같은 값을 갖는다. 보다 엄밀하게 정의하면 u_i는 생산주체 i가 기술적 비효율성으로 말미암아 현 생산수준으로 생산할 수 있으나 생산하지 못한 양의 자연로그를 취한 값으로, 간략히 표현하면, 기술적 비효율성으로 인한 생산량의 손실정도를 나타낸다(곽만순·이영훈, 2005).

4) 식 2)를 확률적 생산함수라고 명명하는 이유는 생산 변경(production frontier)이 $\alpha + x_i\beta + v_i$

$$TE_{i=}\frac{Y_i}{\exp(\chi_i\beta+v_i)}=\frac{\exp(\chi_i\beta+v_i-u_i)}{\exp(\chi_i\beta+v_i)}=\exp(-u_i) \quad \text{..... 식 3)}$$

TE_i : 효율성 지표이며 0과 1사이의 값

$$u_{i=}\ Z_i\delta+\ W_i \quad \text{..... 식 4)}$$

Z_i : (1×k)벡터로서 비효율성과 관련된 설명변수 값

δ : 추정되어야 할 미지의 모수의 (1×k)벡터

W_i : 오차항

SFA는 변경(frontier)을 확률적(stochastic) 모수적(parametric)으로 추정하는 계량경제학적 모형이므로 어떤 식으로든 함수형태를 가정해야 한다. 이때 함수형태의 경우 생산함수로서 Cobb-Douglas 함수 또는 Translog 함수가 흔히 가정되는데 이러한 생산함수를 추정하고 기술적 비효율성인 u_i를 오차항에서 분리하기 위해서는 분포에 대한 가정이 필요하다. 오차항의 비효율 부분(u_i)에 대해서는 반정규분포(half-normal), 절단정규분포(truncated- normal), 지수분포(exponential) 등과 같은 일방향분포(one-sided distribution)가 가정된다. 또한 u_i와 생산요소가 독립적이라는 가정도 필요로 한다(윤경준, 1998; 곽만순·이영훈, 2005).

SFA는 비효율성 지표를 보다 더 자세히 분류함으로써 각 조직단위(생산단위)의 효율성 지표에 관한 개선된 추정치와 비효율성의 근원(기술적 또는 배분적)을 제시해 줄 수 있는 특성을 지닌다. 또한, SFA는 규모의 경제(economies of scale)와 범위의 경제(economies of scope)를 분석할 수 있다. 규모의 경제란 조직단위(생산단위)의 규모가 커질수록 생산비용이 낮아지는 것을 말하며, 범위의 경제란 조직단위(생산단위)가 생산하는 상품의 범위가 커짐에 따라 비용이 감소하는 현상을 말한다. 특히 규모의 경제는 DEA로는 측정할 수 없기 때문에 SFA의 강점이 되고 있다(유금록, 2001)

이렇듯 SFA는 단순히 효율성에 대한 추정뿐만 아니라 여러 추론이 가능하므로 통계적 유의성 검정을 통해 모형의 타당성을 제고할 수 있을 뿐만 아니라 효율성

으로 생산변경에 확률변수인 v_i가 포함되었기 때문이다(곽만순·이영훈, 2005).

에 영향을 미치는 요인에 대한 가설검정도 가능하다(이영훈 외, 2007; 윤경준, 1998). 한광호(2002)는 SFA가 모수적 방법이기 때문에 지니는 장점으로, 첫째, 계측할 수 없는 설명변수들도 교란항으로 통제할 수 있고, 생산함수의 형태나 비효율성의 존재에 대한 가설검정(hypothesis testing)이 가능하며, 둘째, 비용극소나 이윤극대의 가정을 모형에 도입하여 미시적 근거(micro-foundation)를 확보할 수 있다는 점 등을 제시하고 있다.

3) 두 분석 방법의 비교

이들 두 분석방식은 각자 특성을 지니고 있는데 기본적으로 DEA는 범주형 및 연속형 자료를 사용할 수 있을 뿐 아니라 효율성의 상대적 지표를 얻고, 비효율성의 크기를 측정할 수 있다는 장점을 지니고 있는 반면, SFA는 비효율성 지표를 기술적 비효율성, 배분적 비효율성 그리고 통계 및 표본추출오차 등으로 보다 자세히 분류하여 각 조직단위의 효율성지표에 대한 개선된 추정치와 비효율성의 원인을 제시해 줄 수 있다는 점에서 차이를 보인다(Shermanm, 1984; 유금록, 2005; 79). DEA와 SFA의 장단점은 아래 [표 2-1]에서 제시되어 있다. 예를 들어 DEA의 경우 변경(frontier)로부터의 모든 편차를 기술적 비효율성으로 가정하는데 반해 SFA는 변경으로부터의 편차를 기술적 비효율성과 배분적 비효율성 그리고 통계 및 표본추출오차(statistical and sampling errors)와 무작위 충격(random shocks)으로 구분한다. 따라서 SFA는 오차에서 기술적 효율성과 무작위 오차를 분리해 내기 때문에 조직단위(생산단위)가 왜 비효율적으로 운영되는지 더 정확한 분석이 가능하다는 장점을 지닌다(유금록, 2001).

이들 분석방식들은 각각 고유의 장점을 지니고 있지만 아울러 단점도 포함하고 있기 때문에 변경분석의 이들 두가지 분석방식 중 어떤 것이 우월하다고 선험적으로 결론을 내리기는 매우 어렵다. 예를 들어 DEA의 경우 이상치에 대한 민감성과 가설검증의 불가능성, 그리고 측정오차나 통계적 잡음이 존재하지 않는다는 가정 때문에 SFA방식이 선호되기도 하지만 SFA 역시 여러 장점에도 불구하고 분석의 복잡성, 상이한 가정의 적절성 및 부정확한 분석구조의 사용이 결과에 미치는 불분명한 효과 때문에 선택에 신중함이 요구되기 때문에 두 방법은 상호 대체하기보다는 상호 보완적으로 함께 활용될 필요가 있다.

<표 2-1> DEA와 SFA의 장단점 비교

구분	자료포락분석 (DEA)	확률변경분석 (SFA)
특징	- 변경(frontier) 추정을 위해 투입요소와 산출요소간의 관계에 대해 명확한 함수형태를 부여하지 않는 비모수적이며 (non-parametric) 수리계획적인 방식임	- 변경(frontier)추정을 위한 함수형태를 가지는 모수적(parametric) 방법이며, 계량경제학적 방법임 - 잔차가 무작위오차와 비효율성으로 분리됨
장점	- 함수형태가 요구되지 않음 - 선형계획(LP)형태로 구성되므로 다수의 산출변수(outputs), 투입변수(inputs) 가능 - 벤치마킹의 대상으로 삼을 수 있는 변경(frontier) 선상의 준거집단 제공	- 가설검정 가능, 신뢰구간 설정가능, 즉, 통계적 유의성 검정으로 모형의 타당성 검정가능 - 비효율성 부분을 엄밀하게 측정 가능 - 회귀모형이므로 산출변수(outputs)가 하나가 되어야 함(생산함수의 경우)
단점	- outlier에 크게 좌우됨. - 비효율성과 무작위오차(noise)가 분리가 안되어 모두 비효율성에 포함 - 모형의 타당성을 검정할 유의성 검정 수단이 부재	- 함수식 필요, 분포의 가정 필요 (잘못된 함수형태 가정시 측정오류 초래)

출처: Siegel 외(2003), Chapple 외(2005), 윤경준(1998), 유금록(2001) 내용을 재구성

3. 변경분석 방법론을 활용한 효율성 평가 선행연구

변경분석 방법론을 활용한 상대적 효율성 평가사례는 주로 병원, 도서관, 은행 등 공공부문을 대상으로 한 연구에서 많이 나타나고 있다. 이 중에서 연구개발사업과 관련된 연구들의 경우 주로 연구중심 대학기관들의 연구개발(R&D) 활동이나 기술이전활동 등에 대한 상대적 효율성을 파악한 연구들을 찾아볼 수 있다.

Thursby와 Kemp(2002)는 미국대학들의 연구개발에 의한 특허권 산출의 생산성에 중점을 두고 자료포락분석(DEA)과 회귀방정식을 활용한 효율성 분석을 통해 미국 주요 연구중심 대학들의 지적재산권 활동의 증대가 다른 요소들보다 대학의 상업화에 더 큰 영향을 미치고 있음을 보여주었다. Feng 등(2004)은 중국 대학들의 연구개발 활동의 성과를 자료포락분석을 통해 비교하였고, Wang & Huang(2007)은 국제간 비교로 30개 국가들의 연구개발활동의 상대적 효율성을 분석하여 비록 많은 자원들이 이들 활동에 투자되고 있음에도 조사대상 국가들 중 절반이하가 효율성을 확보하지 못하고 있음을 보여주었다.

국내의 경우도 상하수도 시설이나 병원, 공사 등 일부 공공기관들의 효율성 비교에 변경분석 방법론을 적용한 사례는 많이 있지만 연구개발 활동에 이러한 분석방법론을 적용한 사례는 드물었다. 이 중 신현대(2005)는 국내대학들의 효율성 분석을 위해서 DEA 방식을 활용하여 국제 및 국내논문수, 논문 피인용횟수, 연구용역수입 등의 산출변수들을 중심으로 대학 연구기능의 효율성을 비교 분석하였다. 이와 함께 홍사균 등(2006)은 정부연구개발사업의 추진구조와 성과들 간의 상관관계를 파악하기 위하여 각 부처별 연구개발사업들의 성과들을 DEA 분석을 활용하여 분석하고 여기에서 나타난 효율성 결과들과 연구과제들의 특성들 간에 어떠한 상관관계가 나타나고 있는지를 분석하였다. 또한 김민희(2007)는 한국학술진흥재단 학술연구지원사업 효율성을 파악하기 위해 DEA 분석을 활용한 연구를 진행했다는 점에서 본 연구와 가장 근접한 접근방법을 취하고 있으나 연구데이타 확보의 한계로 실제 지원사업의 성과를 나타내는 산출변수들을 신청과제 선정율과 과제당 지원액으로 설정하는 한계를 보이고 있다.

이렇듯 변경분석 방법론을 활용한 효율성 연구들은 점차 확대되고 있으나 실제 연구개발사업의 효율성과 직접적으로 관련된 연구는 드문 것이 사실이다. 그럼에도 점차 대학, 특허, 기술이전, 연구개발활동 등에 대한 효율성 평가의 중요성이 확대됨에 따라 이들 연구개발 활동들을 지원하는 유사한 사업들 간의 효율성을 비교하고 평가하기 위해서 이들 비재무적인 투입 산출 요소들 간의 상대적 효율성과 순위를 파악하는 변경분석 방법론을 활용한 접근이 요구되어 진다.

Ⅲ. 연구모형 설계

1. 분석 대상사업 개요

본 연구는 (구)한국학술진흥재단[5]에서 수행하고 있는 학술연구조성사업[6]을 분

5) (구)한국학술진흥재단은 2009년 6월 26일 한국과학재단 및 국제과학기술협력재단과의 통합을 통해 전 학문분야를 아우르는 국가 기초연구지원시스템을 구축하기 위해 한국연구재단으로 새롭게 재편되었다.

석 대상으로 하고 있으나 학술연구조성사업이 세부사업별로 지원 유형이 다양하기 때문에 분석의 실효성을 위해서 학술연구조성사업의 세부사업 중 지원 대상과 지원 유형이 유사한 5개 세부사업중에서 과제가 최종적으로 완료된 과제 종료연도 2003년부터 2006년 사이의 세부사업 및 세부트랙사업을 고려하여 총 9개 사업을 분석대상 사업으로 선정하였다[7].

분석대상 사업의 선별 기준은 지원대상과 지원형태 그리고 성과물 유형의 유사여부로 하였으며, 학문분야는 지원사업을 통한 최종 성과물의 양적·질적 수준 측정이 용이한 이공계 분야로 한정하였다. 사업 성격은 주로 대학교수를 대상으로 개인·소규모 연구를 지원하는 사업을 대상으로 지원사업을 통한 최종성과물의 수합 기간을 고려하여 해당 사업에서 과제의 종료년도를 기준으로 2003년부터 2006년 사이에 종료된 과제를 대상으로 하였다. 아래 [표 3-1]에서 분석대상인 9개 세부사업의 내용을 간략하게 제시하고 있다

<표 3-1> 학술연구조성사업중 효율성 분석 대상 9개 세부사업

대표사업명	세부사업명	지원대상	연구유형	지원규모	필수성과
기초연구 과제지원	기초과학연구지원	(순수) 기초과학분야 대학 교원 등	개인과제	3천~5천 1년,3년	게재의무
	선도연구자지원	대학 교원 등	개인과제	5백(정액)~5천 1년~3년	게재의무
	순수기초연구그룹지원	(순수) 기초과학분야 대학교원 등 그룹	공동 (소그룹)	3억이내 1년~3년	게재의무
	협동연구지원	대학 교원 등	공동	1억이내 1년~3년	게재의무

6) 학술연구조성사업은 전 학문 분야를 포괄하여 국가 기초 연구력 증진 및 연구와 교육의 연계를 통한 인력양성을 바탕으로 지식강국, 인재강국 실현의 토대 제공을 목적으로 한국학술진흥재단에서 수행한 기초연구 지원 사업으로, 1983년 57개 과제를 지원하는 것을 시작으로 2007년도에는 8,119과제를 지원하였고, 지원금액은 약 3억여원에서 3,100억원으로 증가되는 등 그 지원규모와 금액이 확대되어왔다. 학문후속세대양성, 신진교수지원, 기초과학연구지원, 중점연구소지원, 학술단체지원 등 다양한 사업으로 구성되어 있다(학술진흥재단, 2008b).

7) 본 연구에서 이들 9개 사업을 통칭하여 '학술연구지원사업'이라고 지칭하였는데 분석대상으로서 사업 효율성을 비교하기 위하여 성격이 비교적 유사한 사업으로 선정되었다. 이들 사업들은 주로 논문을 성과목표로 하는 개인단위 또는 소규모 공동연구 사업들이며, 2010년 기준으로 한국연구재단 기초연구사업의 일반연구자지원사업(기본,신진,지역,여성 등)에 주로 해당된다.

신진교수 연구지원	신진교수연구지원	신진교수 (임용5년이내)	개인과제	5백(정액)~2천 1년	게재의무
	젊은과학자연구 활동지원-Ⅰ유형	신진교수 등 (임용5년이내)	개인과제	2천2백(시설비2억까지별도) 1년~3년	게재의무 ('05부터)
여성과학자 지원	우수여성과학자 도약연구지원	(여성) 대학교원 등	개인과제	2천2백이내 1년~3년	게재의무 ('05부터)
우수학자지원	선도과학자육성 지원	(순수)기초과학분야 실적 우수 대학교원 등	개인과제	9천이내 1~3년	게재의무 ('05부터)
지역대학 우수과학자지원	지역대학우수 과학자지원	서울 이외지역의 대학교원	개인과제	2천2백이내 1~3년	게재의무 ('05부터)

2. 측정 변수 설정

변경분석 분석에서 가장 중요한 것은 모형의 타당성을 높이는 것인데 이를 위해서는 평가대상 사업의 투입이나 산출의 특성을 포괄할 수 있는 변수들을 선정할 필요가 있다[8]. 본 연구에서는 학술연구지원사업의 효율성 평가를 위해서 투입산출요소 간 직·간접적인 인과관계와 활용가능성이 높은 변수들을 중심으로 각 분석방법에 따른 투입지표와 산출지표를 선정하였다.

1) DEA 모형

가) 투입변수

먼저 DEA 모형의 투입변수로 연구기간, 연구비 규모, 그리고 연구인력을 선정하였다. 먼저 '연구기간'은 개별 연구과제에 소요되는 기간으로 본 연구에서는 개월 수로 표시하였다. '연구비 규모'의 경우 개별 연구과제에 지원되는 지원금액을 의미하며 원 단위로 표시되었다. 마지막으로 '연구참여인력'의 경우 개별 연구과

8) 변경분석 방법론의 경우 평가지표들의 수가 많아지면 많아질수록 평가 결과에서 평가의 변별력이 떨어지기 때문에 한정적인 투입지표와 산출지표만이 사용하게 된다. 따라서 평가의 변별력 확보를 위해서 투입과 산출지표의 수가 제약되기 때문에 실제 투입과 산출을 과대평가하거나 과소평가하는 것이 아닌 포괄적으로 반영할 수 있는 지표를 선정하는 것이 매우 중요하다(김태일, 2000; 11).

제를 수행하는 연구책임자뿐만 아니라 공동연구원, 박사급연구원, 연구보조원의 수를 모두 포함하였다[9].

나) 산출변수

산출변수로는 지원사업을 통한 최종적인 양적 질적 성과로서 '학술논문 수' 및 '순위보정영향력 지수'를 선정하였다. 먼저 논문 수의 경우 과제별로 학술진흥재단에 성과로 제출된 국내 저널(KCI)과 국제저널(SCI)의 논문을 모두 포함시켰다. 또한 논문의 질적 성과를 나타내는 대표적 지표인 저널 영향력지수 (Impact Factor: IF)를 순위보정영향력지수 (RNIF)로 산출한 과제별 순위보정영향력지수 합 (RNIF-Sum)[10]을 산출변수로 선택하였다([표3-2] 참조)[11],[12].

---

9) 투입변수 '연구참여인력'의 경우 연구책임자, 공동연구원(교수급), 박사급연구원, 연구보조원 등 다양한 연구참여자가 있기 때문에 연구책임자부터 연구보조원(대학원생)까지 비중에 차등을 둘 것인지를 고려해보았지만 다음과 같은 이유로 동일한 비중을 두었다. 이공계 연구과제의 특성상 연구보조원인 대학원생이 실험을 주로 수행하고 논문에도 저자중의 하나로 참여하는 경우가 대부분이기 때문에 산출요소(논문)에 기여하는 부분이 결코 적지 않다는 것이다.(이공계 연구자의 자문의견). 이를 고려할 때에 모호한 기준으로 참여인력의 비중에 차등을 두는 것보다는 각각 동일한 비중(1명)으로 계산하는 것이 통계적 편이(bias)를 줄일 수 있다고 판단하였다.

10) 특정 학술지의 저널영향력지수는 기준년도를 제외한 최근 2년간 해당 학술지가 수록된 논문이 기준년도에 인용된 횟수를 논문 수로 나눈 값인데, 이들 지표들은 학술지의 영향력을 통해 개별논문의 간접적인 영향력을 측정할 수 있는데 실질적으로 학문분야별로 값의 편차가 심하다는 단점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 학술지 영향력지수의 단점을 보완한 순위보정영향력지수(RNIF)를 사용하였다. Pudovkin(2004)에 의해 개발된 RNIF는 학문분야가 다를지라도 분야내 차지하는 위상이 같은 학술지들은 비슷한 질적 수준을 가지고 있다는 가정 하에 학술지의 IF 값을 사용하지 않고 분야내 순위만을 사용함으로서 IF값이 가지는 분야별 편차를 제거하는 방식이다 (허정은 외, 2008; 383 재인용). 이러한 순위보정영향력지수(rnIF)의 공식은 다음과 같다.

$$rnIF_j = \frac{(N - R_j + 1)}{N}$$

이때, rnIFj 는 순위보정영향력 지수, N은 해당 분야 내의 학술지 수, Rj 는 분야 내 특정 학술지의 순위이다. 특정 학술지의 rnIF가 'x'라는 값을 가진다는 말은 (1-x) * 100 % 의 학술지가 해당 학술지 보다 상위에 (영향력지수 기준) 있음을 의미하게 된다(교육기술과학부, 2008; 172).

11) 순위보정영향력지수값에 대한 정보가 제공되지 않는 국내학술지의 경우 홍사균 등(2006)의 연구에서 논문산출지수 산정시 사용한 방법을 적용하였는데, 이는 SCI에 속한 국내 학술지에 대하여 순위보정영향력 지수(RNIF)를 계산하여 가장 낮은 값인 0.143을 대표값으로 적용, 국내학술지의 RNIF 값으로 일괄적으로 사용했다.

<표 3-2> DEA 모형 투입 및 산출지표

모형	변수구분	변수명	변수설명
DEA 모형	산출변수	총 논문수	SCI 논문수+KCI 논문수
		총 RNIF_Sum	RNIF_Sum (KCI의 rnIF는 0.143일괄입력)
	투입변수	연구비	연구비
		연구인력	연구참여인력 (책임자+공동+박사급+보조원)
		연구기간	연구기간(개월)

2) SFA 모형

SFA 모형에서의 투입 및 산출변수는 DEA 모형과 동일한 변수들로 설정하였다. 투입변수로는 연구비, 연구인력 및 연구기간을, 산출변수로는 질적 양적 성과 측정변수로 총 논문수와 순위보정영향력 지수 합을 사용하였다. 이와 함께 SFA 모형의 경우 비효율성에 영향을 주는 요인을 파악하기 위하여 연구과제별 특성을 나타낼 수 있는 요소를 설명(특성)변수로 선정하였다. 따라서 SFA모형에서 사용한 설명변수는 연구책임자의 나이, 성별, 연구수행기관의 설립유형(국공립 및 사립), 그리고 수행기관의 지역(수도권 및 지방)이다.

SFA 분석시 분석단위를 과제단위와 사업단위로 구분하여 분석모형을 각각 설계하였다[13]. 이와 함께 설명(특성)변수에 따라 효율성에 차이가 있는지를 살펴 보기위하여 각 모형에 설명(특성)변수를 포함한 모형도 추가적으로 만들어 분석하

12) 산출변수로서 '논문수'를 설정한 것은 과제당 주로 1개의 논문을 제출하는 인문사회분야와 달리 이공계 분야의 연구과제는 그 특성상 의무제출 편수이상으로 논문을 산출하여 추가 성과로 제출하고 있어 과제별로 논문수에 차이가 있다고 보기 때문이다(사업별로 최소 1.3편, 최대 10.2편). 아울러 상당수의 논문이 SCI 논문이므로 순위보정영향력지수(RNIF)의 합도 과제당 평균 순위보정영향력지수(RNIF)의 합이 최소 0.62에서 최대 6.11까지 다양하게 나타나고 있어 'RNIF_sum'도 산출변수로 사용하였다([표3-4] 참조).

13) SFA의 경우 종속변수인 산출변수가 하나이어야 하므로 양적인 변수인 논문수와 질적인 변수인 순위보정영향력지수합(RNIF_Sum)을 각각의 산출변수로 구분하였으며 본 연구에서의 생산함수는 Cobb-Douglas 함수를 활용하였다. 또한 효율성 측정단위인 생산주체를 사업단위로 하는 경우 사업 수가 9개에 불과하므로 종료년도를 기준으로 2003년부터 2006년까지의 패널자료(panel data)를 통합시계열자료(pooled time series data)로 만들어 횡단면 형태로 구분하여 총 34개의 효율성 수치를 SFA로 분석하고, 이들 9개 사업별로 평균값을 구하여 사업별 효율성 값으로 계상하였다.

였다. 이러한 SFA 분석모형을 정리하면 아래 [표 3-3]과 같다.

<표 3-3> SFA 분석 모형

모형구분	모형명	개체수	변수		
			산출변수	투입변수	설명(특성)변수
과제단위	A1	4,375	총논문수	연구비, 연구인력, 연구기간	-
	A2	4,375	총논문수	상동	나이, 성별, 설립, 지역, 설립*지역
	A3	4,375	총 RNIF_Sum	상동	-
	A4	4,375	총 RNIF_Sum	상동	나이, 성별, 설립, 지역, 설립*지역
사업단위	B1	34	총평균논문수	평균 연구비, 연구 인력, 연구기간	-
	B2	34	총평균논문수	상동	평균나이,남성비율,국공립비율,수도권비율
	B3	34	총평균RNIF_Sum	상동	-
	B4	34	총평균RNIF_Sum	상동	평균나이,남성비율,국공립비율,수도권비율

3) 측정대상 변수들의 기술통계

각 분석방법의 투입 및 산출변수들 간의 특성을 살펴보기 위하여 변수들에 대한 기술통계를 살펴보면 [표3-4]와 같다. 학술연구지원사업의 개별 연구과제 당 연구기간은 젊은과학자연구활동 및 순수기초연구그룹지원 등은 2년 이상인 반면, 선도연구자와 신진교수연구지원사업은 1년 정도로 평균 17.9개월 정도로 나타났다. 평균 지원 연구비의 경우 지원기간에 비례하였는데 평균 지원액은 약 5천2백만원 정도인 것으로 나타났다. 이와 함께 이공계 연구의 특성상 과제당 평균 4.9명의 연구인력이 참여하고 있는 것으로 나타났다. 마지막으로 과제를 통해 제출된 논문 수는 의무 제출편수인 1편을 넘어서 최소 1.3편에서 최대 10.2편에 이르기까지 편차가 크게 나타났으며 평균 1.9편의 학술논문을 산출한 것으로 나타났다. 이러한 투입 및 산출 요소들 간 편차는 전체적으로 지원 사업내부 및 사업들간에 있어서 상대적 효율성 수준을 비교하기에 타당성을 지니고 있음을 보여주고 있다.

<표 3-4> 투입변수 및 산출변수의 기술통계

세부사업명	과제수	과제당 평균 연구비 (천원)	과제당 평균연구 기간 (개월)	과제당 평균 연구인력	전체논문수 (SCI+KCI)	과제당 평균 논문수	과제당 평균RNIF_Sum
기초과학연구지원	691	69,193	21.4	4.7	1,375	1.990	1.17
선도연구자지원	1216	29,579	13.2	4.1	1,827	1.502	0.62
순수기초연구그룹지원	63	605,711	33.3	22.5	643	10.206	6.11
협동연구지원	330	68,864	13.7	9.1	688	2.085	0.90
신진교수연구지원	888	17,478	12.0	3.2	1,158	1.304	0.42
젊은과학자연구활동지원-I	66	185,106	32.2	5.2	183	2.773	1.46
우수여성과학자도약연구지원	223	48,216	29.2	5.6	522	2.341	1.03
선도과학자육성지원	59	164,390	22.8	9.5	265	4.492	3.54
지역대학우수과학자지원	839	44,787	24.3	4.6	1,674	1.995	0.77
계	4,375	52,670	17.9	4.9	8,335	1.905	0.87

Ⅳ. 분석 결과

1. DEA 분석을 통한 효율성 분석

1) 과제별 순위분석

전체 과제들을 대상으로 상대적인 효율성 순위 분석을 실시하였다. 이를 위해서 전체 과제들에 대해 DEA 분석을 실시하여 산출된 효율성 값들을 각각의 사업별로 분류하고 이들의 합계를 해당 사업의 DEA 효율성 값으로 나타냈다.

이러한 전체 과제 효율성 값 순위 분석결과는 아래 [표 4-1]과 같다. 분석 결과 전체 학술연구지원사업 중에서 신진교수연구지원사업이 평균 효율성 점수 0.848로 가장 효율성이 높은 사업으로 나타났으며, 선도연구자지원사업 (0.787)과 협동연구지원 사업 (0.727) 등이 전체 학술연구지원사업의 평균 효율성 점수인 0.682 보다 높아 효율성이 높은 사업들이 것으로 파악되었다. 반면 순수기초연구그룹지원사업 (0.450)과 우수여성과학자지원사업(0.422) 등이 비교적 낮은 효율성 점수를 나

타내 비효율적인 사업으로 나타났는데 특히 젊은과학자연구활동지원사업(0.364)이 가장 낮은 효율성을 지닌 것으로 나타났다.

<표 4-1> 과제단위 DEA 분석결과

세부사업명		과제수	효율성 점수
기초연구 과제지원	기초과학연구지원	691	0.654
	선도연구자지원	1,216	0.787
	순수기초연구그룹지원	63	0.439
	협동연구지원	330	0.725
신진교수 과제지원	신진교수연구지원	888	0.848
	젊은과학자연구활동지원 I	66	0.365
여성과학자지원	우수여성과학자지원	223	0.422
우수학자 지원	선도과학자 지원	59	0.544
지역대학 우수과학자지원	지역대학 우수과학자지원	839	0.480
계		4,375	0.682

2) 사업단위 순위 분석

사업단위 순위 분석을 위해서 각 사업별로 변수의 평균값을 구하고 이를 이용하여 9개의 세부사업들의 상대적 효율성을 구하기 위해서 DEA 분석을 실시하였다. 각 사업들의 효율성의 우선순위를 보다 명확하게 파악하기 위해서 효율성을 지닌 분석단위들 간 순위화가 가능한 초효율성 점수 (super-efficiency scores)를 파악할 수 있는 AP모형 분석을 실시하였다[14].

AP모형을 활용한 DEA 분석결과는 [표 4-2]와 같다. 분석 결과 선도과학자지원사업, 신진교수연구지원사업, 그리고 우수여성과학자지원사업 순서대로 가장 효율적인 것으로 나타났으며 상대적으로 기초과학연구지원사업, 협동연구지원사

14) AP 모형은 Anderson & Peterson (1993) 등이 효율적 단위들의 순위를 결정하는 새로운 방식으로 제안한 DEA 추가분석 모형으로, DEA분석을 통해 효율적인 것으로 나타난 다수의 효율적인 의사결정단위들 사이의 효율성 차이를 판별하기 위하여 특정 피평가 의사결정단위를 생산가능집합으로부터 제외하고 특정의사결정단위로부터 새로운 생산가능집합까지의 거리를 측정하여 효율성을 계산하는 방식이다 (유금록, 2006; 164).

업, 그리고 젊은과학자연구활동지원사업 등이 가장 비효율적인 것으로 분석되었다.

<표 4-2> 사업별 DEA 분석결과

세부사업명		과제수	DEA Score (AP)	준거집단 (가중치)
기초연구 과제지원	기초과학연구지원	691	0.90	7 (0.22), 8 (0.31)
	선도연구자지원	1,216	0.95	5 (0.91), 8 (0.08)
	순수기초연구그룹지원	63	0.99	8 (2.10)
	협동연구지원	330	0.79	5 (0.35), 8 (0.30)
신진교수 과제지원	신진교수연구지원	888	1.28	0
	젊은과학자연구활동지원 I	66	0.70	8 (0.53)
여성과학자지원	우수여성과학자지원	223	1.04	0
우수학자 지원	선도과학자 지원	59	2.31	0
지역대학우수과학자지원	지역대학우수과학자지원	839	0.92	7 (0.68), 8 (0.05)
계		4,375	1.10	

3) 종료년도 사업별 순위 분석

학술연구지원사업에 대해 각 사업들의 평균값을 분석단위로 DEA 분석을 통해 사업들 간의 상대적인 효율성을 구한 결과 효율성이 높은 의사결정단위들(DMUs), 즉 준거집단이 9개 전체 분석집단 중 3개로 30%를 차지하고 있어 이론적으로 25%를 넘지 않는 것을 기준으로 삼고 있는 DEA 준거집단 비율 기준에 비해서 (김태일, 2000; 15) 다소 높은 것으로 나타났다. 이것은 실제 분석에 있어서 평가의 변별력 문제를 발생시키게 되는데 현재 분석대상 사업들(9개)이 투입 산출지표(5개)에 비해서 지나치게 적기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 이러한 소규모 의사결정단위에 따른 평가의 변별력 문제가 발생함에 따라 각 연도별 사업들의 평균값을 의사결정단위들로 나누어 DEA 평균값에 따른 순위를 분석하였다 ([표 4-3] 참조).

<표 4-3> 34개 사업단위별 DEA 분석결과

세부사업명		종료년도	과제 수	DEA 효율성 점수	평균 DEA Score
기초연구과제지원	기초과학연구지원	2003	171	0.855	1.045
		2004	195	1.310	
		2005	187	1.032	
		2006	138	0.982	
	선도연구자지원	2003	389	0.920	0.946
		2004	291	0.941	
		2005	282	1.039	
		2006	254	0.883	
	순수기초연구그룹지원	2003	2	1.730	1.215
		2004	3	0.978	
		2005	45	1.304	
		2006	13	0.851	
	협동연구지원	2003	107	0.910	0.755
		2004	79	0.818	
		2005	88	0.767	
		2006	56	0.527	
신진교수과제지원	신진교수연구지원	2003	213	0.794	0.938
		2004	223	0.892	
		2005	253	0.990	
		2006	199	1.078	
	젊은과학자연구활동지원 I	2005	8	0.697	0.679
		2006	58	0.661	
여성과학자지원	우수여성과학자지원	2003	46	0.843	0.931
		2004	223	0.754	
		2005	261	1.111	
		2006	257	1.017	
우수학자지원	선도과학자지원	2003	12	0.734	0.745
		2004	25	0.789	
		2005	12	0.732	
		2006	10	0.725	
지역대학우수과학자지원	지역대학우수과학자지원	2003	162	0.804	0.790
		2004	210	0.734	
		2005	320	0.810	
		2006	147	0.813	
계		4,375		0.907	0.894

연구지원 과제들의 종료년도를 기준으로 34개 (젊은과학자연구활동지원사업의 경우 2003년과 2004년도에는 지원사업을 실시하지 않았으므로 해당년도는 제외함) 분석단위를 대상으로 DEA 분석을 실시한 결과 전체 대상 사업 중에서 순수

기초연구그룹지원사업 (1.215), 기초과학연구지원사업 (1.045)의 DEA 효율성 값들이 매우 높은 것으로 나타났다. 이와 함께 선도연구자지원사업 (0.946), 신진교수연구지원사업 (0.938), 우수여성과학자지원사업 (0.931) 등도 비교적 효율성이 높은 지원사업인 것으로 분석되었다. 반면, 젊은과학자연구활동지원사업 (0.679), 선도과학자지원사업 (0.745), 협동연구지원사업 (0.755)이나 지역대학우수과학자 지원사업 (0.790) 등은 전체 사업들의 DEA 효율성 값의 평균인 0.894에 미치지 못하고 있는 것으로 나타나 다소 비효율적인 지원사업인 것으로 나타났다. 이러한 분석결과는 앞서 9개의 사업을 대상으로 한 DEA 효율성 분석결과와 비교해 볼 때 효율성 순위에 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 그러나 이 경우에도 신진교수연구지원사업과 우수여성과학자지원사업의 경우 두 가지 기준을 적용했을 때 모두 효율적인 지원사업인 것으로 나타났다.

2. SFA 분석을 통한 효율성 분석

1) 모형의 유의성 검정

SFA 모형이 유의미한지 검정하기 위해서 단측일반우도비검정(one-sided generalized likelihood-ratio test, LR test) 분석을 실시한 결과는 [표 4-4]와 같다[15].

15) 먼저 SFA 분석에 사용되는 형태인 자연로그 값으로 산출변수와 투입변수간의 상관관계 분석한 결과 전반적으로 변수간의 상관관계는 유의미하게 나왔으며, 두 산출변수에 대한 투입변수들의 상관관계도 유사한 패턴을 보여서 투입변수와 산출변수의 선별이 적정한 것으로 나타났다. 모형별 분석결과의 경우 과제단위 모형에서는 두 산출변수에 대한 세 가지 투입변수가 모두 유의미한 상관관계를 보이고 있고 그 중에서 연구비의 상관계수가 가장 높고 그 다음은 연구기간이 연구인력보다 다소 높게 나왔다. 반면 사업단위의 분석모형에서는 변수간의 상관계수가 전반적으로 과제단위 분석모형의 상관계수보다는 높게 나타났으며 연구비와 연구인력순으로 산출변수에 대해 높은 상관관계를 보이고 있는 반면, 연구기간 변수의 경우 다른 변수들에 대한 상관관계가 유의미하지 않은 것으로 나타났다.

<표 4-4> SFA 분석 모형별 LR 검증 결과

모형구분	모형명	$\ln L(H_0)$	$\ln L(H_1)$	LR통계량	검증결과
과제단위	A1	-	-	-	(모형에러)
	A2	-0.33709974E+04	-0.33647266E+04	12.5416*	유의
	A3	-0.57739509E+04	-0.57739164E+04	0.069	유의하지 않음
	A4	-0.57739509E+04	-0.57565531E+04	34.7956**	유의
사업단위	B1	0.15859156E+01	0.39416657E+01	4.7115002**	유의
	B2	0.15859156E+01	0.55584534E+01	7.9450756	유의하지 않음
	B3	-0.32216576E+01	0.11044045E+01	8.6521242**	유의
	B4	-0.32216576E+01	0.44063107E+00	7.3245774	유의하지 않음

*p<.05, **p<.01,

분석 결과, 모형 A1에서는 모형에 오류가 있는 것으로 나타났고, 모형 A3, B2, B4의 LR통계량이 유의미 하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 그 외 나머지 모형들에서는 통계적으로 유의미한 결과를 보여주고 있다. 이러한 각 변수의 모수(계수)값을 추정한 결과 투입변수의 계수값을 통해 투입변수와 산출변수의 설정이 적절한지를 파악할 수 있고 어떤 투입요소가 산출의 증가에 유의미하게 작용하는지를 알 수 있다.

2) 과제단위 분석모형의 효율성 분석

총논문 (SCI+KCI논문)을 중심으로 한 과제단위 분석모형에 대한 SFA의 모수(계수) 값 추정결과는 아래 [표 4-5]와 같다. 총 논문수를 산출변수로 하는 A2모형의 경우 투입변수의 계수값이 양수(+)이고 통계적으로 유의하므로 총 논문수라는 산출변수에 대해 연구비, 연구인력, 그리고 연구기간 등 투입변수들 모두가 통계적으로 유의미하게 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 또한 설명변수들의 계수값을 살펴보면 연구책임자의 나이를 제외한 성별, 설립기관 유형, 그리고 설립지역 변수의 부호가 음수(-)이고 모두 통계적으로 유의미하게 나타났다. 이것은

연구책임자가 남성이거나, 연구책임자의 소속기관에 국공립 또는 지역이 수도권인 경우 총 논문수 생산의 효율성이 높은 것으로 해석할 수 있다. 이러한 결과는 성별의 경우 남성의 논문 생산성이 높다고 볼 수도 있지만 반면 남성이 많이 있는 분야에서의 논문 생산성이 높다고도 추정할 수 있다. 또한 국공립대여부나 수도권 여부가 과제의 효율성을 증가시키는 것으로 나타났는데 이것은 이들 과제의 참여인력(연구책임자 또는 대학원생)의 연구력이 높거나 연구인프라(시설 등)가 우수하기 때문이라고 볼 수 있다.

<표 4-5> 과제단위 SFA모형의 효율성 추정 결과

구분	과제단위 (4,375과제)							
산출변수	총논문수				RNIF_Sum			
모형	A1		A2		A3		A4	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
constant(상수)	-3.680	-14.283	**-4.051****	-17.107	15.521	16.106	**15.576****	16.162
ln연구비	0.217	12.728	**0.217****	13.670	0.738	34.489	**0.723****	32.483
ln연구인력	0.098	5.818	**0.095****	10.589	-0.143	-5.099	**-0.146****	-5.198
ln연구기간	0.010	8.409	**0.214****	11.211	-8.058	-27.926	**-7.860****	-26.833
특성변수상수			**0.124****	28.923			**0.785****	3.012
나이			-0.001	-0.553			**-0.004***	-1.802
성별			-0.032*	-1.451			0.015	0.357
설립			**-0.058****	-2.727			**-0.165***	-4.431
지역			**-0.058****	-3.217			**-0.154***	-4.169
설립*지역			**0.104****	2.911			0.066	0.879
sigma-squared	0.273	48.136	**0.273****	44.515	0.820	48.821	**0.814***	47.339
gamma	0.000	0.019	0.000	0.034	0.000	0.034	**0.031***	1.374

*p<.05, **p<.01.

다음으로 순위보정 영향력지수합(RNIF_Sum)에 대한 투입요소들의 영향력 값을 확인한 A4 모형의 경우 연구인력과 연구기간 등 두 투입변수의 계수값이 음(-)의 값을 보이고 있고 연구비만 양(+)의 값을 보이고 있는데 이러한 결과는 연구비가 증가되는 경우에는 질적인 산출변수인 총순위보정영향력지수합(RNIF_Sum)이 증가하지만 연구인력과 연구기간의 경우는 그렇지 않다는 것을 보여주고 있다. 또한 과제의 특성중 연구책임자의 연령, 설립, 지역이 효율성에 영향을 미치는 것으로 나타났는데 연령이 많거나, 국공립대학이거나, 수도권인 경우 효율성이 증가한다고 볼 수 있다.

3) 사업단위 분석모형의 효율성 분석

사업단위 분석모형의 효율성 분석 결과 투입변수와 산출변수만으로 구성된 B1과 B3모형이 유의미한 것으로 나타났다. 아래 [표 4-6]의 결과를 살펴보면 SCI논문과 KCI논문의 평균논문 수의 경우 평균연구비와 평균연구인력이 증가할 때 유의미하게 함께 증가하고 있는 것으로 나타났으며, 평균 RNIF_Sum 값의 경우 평균연구비 변수만 유의미한 결과를 보이고 있는 것으로 나타났다. 반면 특성변수에 따른 효율성의 영향요인을 볼 수 있는 B2와 B4 모형이 모형자체가 유의하지 않으므로 총논문을 대상으로 하는 사업단위 분석에서는 사업별 평균연령, 남성비율, 국공립비율, 수도권비율 특성이 효율성에 어떤 영향을 미치는지는 본 분석 모형으로는 파악하기 어려운 것으로 나타났다.

<표 4-6> 사업단위 SFA모형의 효율성 추정 결과

구분	사업단위 (34개 사업)							
산출변수	총논문수				평균 RNIF_Sum			
모형	B1		B2		B3		B4	
	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value	추정치	t-value
constant(상수)	**-5.388****	**-3.632**	-3.899	-3.245	**-12.926****	**-8.829**	-12.887	-14.669
ln평균연구비	**0.300****	**3.084**	0.210	2.741	**0.739****	**7.412**	0.806	12.987
ln평균연구인력	**0.472****	**2.908**	0.745	7.825	0.086	0.355	-0.257	-2.006
ln평균연구기간	0.052	0.570	-0.004	-0.049	-0.048	-0.537	-0.126	-1.005
특성변수상수			-2.558	-2.710			2.574	3.458
평균나이			0.078	3.794			-0.037	-2.089
남성비율			0.439	3.388			0.201	0.725
국공립비율			-2.040	-4.488			-0.441	-0.687
수도권비율			0.008	0.025			-0.542	-1.906
sigma-squared	0.078**	2.416	0.092	5.999	0.190**	2.248	0.056	2.750
gamma	0.537***	2.587	1.000	4,083.018	0.820***	7.626	1.000	26.472

*p<.05, **p<.01.

4) 과제 및 사업별 효율성 비교 결과

과제단위 및 사업단위 분석모형별로 사업별 효율성 값은 모형이 유의하다고 검

증된 분석모형(A2, A4, B1, B3)을 사용하여 구하였고 그 결과는 사업별로 [표 4-7]에서 구체적으로 보여주고 있다.

<표 4-7> SFA 분석을 통한 과제 및 사업별 효율성 분석 결과

모형구분 / 세부사업명	과제단위		사업단위	
	A2	A4	B1	B3
기초과학연구지원	**0.971**	**0.633**	0.834	0.781
선도연구자지원	0.969	0.617	0.859	0.787
순수기초연구그룹지원사업	**0.972**	**0.644**	**0.940**	0.681
협동연구지원	0.968	0.617	0.644	0.553
신진교수연구지원	0.964	0.600	**0.917**	**0.798**
젊은과학자연구활동지원-Ⅰ유형	**0.972**	0.602	0.832	0.492
우수여성과학자도약연구지원	0.940	0.621	**0.915**	**0.863**
선도과학자육성지원사업	0.969	**0.657**	0.914	**0.955**
지역대학우수과학자지원사업	0.966	0.600	0.900	0.720
평균값	0.966	0.614	0.862	0.737

모형별로 효율성이 높은 상위 사업들을 살펴보면, 순수기초연구그룹지원사업과 기초과학연구지원사업이 공통적으로 상대적으로 높은 효율성을 보였으며, A2 모형에서는 젊은 과학자 연구활동지원사업, 그리고 A4 모형에서는 선도과학자육성지원사업이 각각 높은 효율성을 보였다. 그리고 모형이 유의하다고 검증된 사업단위의 분석모형에서 사업단위로 구한 효율성 값을 통해 효율성이 높은 사업들을 살펴보면, 우수여성과학자 지원사업과 신진교수지원사업이 공통적으로 높은 효율성을 보인 반면, B1 모형에서는 순수기초연구그룹지원사업이, 그리고 B3모형의 경우 선도과학자육성지원 사업이 상대적으로 높은 효율성을 보이고 있는 것으로 나타났다.

3. 분석방법에 의한 사업별 효율성 비교

각 방법론과 분석모형에 따른 사업별 효율성을 비교하기 위하여 과제단위 및 사업단위별로 모형별 효율성 상위 30%에 속하는 사업들을 다음 [표4-8]에 제시하

였다.

<표4-8> DEA와 SFA 분석의 효율성 상위 사업 비교

구분	분석방법특징	DEA	SFA
과제단위	과제별 효율성 값을 사업별로 평균 (개체수 4,375개)	신진교수연구지원사업 선도연구자지원사업 협동연구지원사업	순수기초연구그룹지원사업 기초과학연구지원사업 선도과학자육성지원사업
사업단위	9개사업분석 (개체수 9개)	선도과학자육성지원사업 신진교수연구지원사업 우수여성과학자지원사업	-
	종료년도기준 사업분석 (개체수 34개)	순수기초연구그룹지원사업 기초과학연구지원사업 선도연구자지원사업	우수여성과학자지원사업 신진교수연구지원사업 선도과학자육성지원사업

비교 결과 DEA 또는 SFA간에 기본적으로 분석 단위간에 효율성 상위인 사업들이 서로 다르게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 DEA와 SFA를 통해 측정된 효율성 결과의 차이를 직접적으로 비교하는 것은 엄밀하게 볼 때 적절하지는 못하지만 방법론에 따라 사업별 효율성 값이 어떻게 다르게 나타나고 있는지 살펴보면 다음과 같은 추정을 할 수 있다. 먼저 DEA의 경우 사업별 효율성 값의 편차가 큰 반면 SFA의 경우는 사업별로 효율성의 편차가 매우 작은 것으로 나타났다. 이것은 DEA가 두 산출변수를 분석모형에 함께 사용함으로써 산출변수들 간의 과제별 편차가 나타나고, 이로 인해 산출변수 값들의 영향력 보다는 보다 적은 투입요소를 사용한 과제들의 효율성 값이 더 크게 가능성이 높다. 반면 SFA는 논문 수, 순위보정영향력지수(RNIF_Sum) 등 단일 산출변수로서의 값을 각각 사용하기 때문에 전체 투입에 대비해서 탁월한 실적을 보여주는 과제에 대한 효율성 비율이 높게 나타나게 된다.

또한 산출변수와 관련해서도 각 측정방법에 따른 과제별 효율성 값들의 편차가 차이를 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 먼저 DEA의 경우 과제별 효율성 값의 편차가 크게 나타났다. 이는 비모수적이며 수리계획적 모형의 특성으로 인해 특정 과제의 변수값이 매우 크거나 매우 작은 이상값(outlier)의 영향을 받기 쉽고 이로 인한 효율성 값의 편차가 크게 나올 개연성이 크기 때문인 것으로 판단된다. 반면 SFA의 경우는 기본적으로 정규분포를 가정하기 때문에 가정된 분포를 벗어나는

이상값들의 영향을 덜 받게 되어 전반적으로 유사한 효율성 값을 보이는 것으로 추정할 수 있다[16]. 이로 인해 과제단위별 효율성 순위를 살펴보면 DEA의 경우 신진교수연구지원, 선도연구자지원, 협동연구지원 등 과제당 평균연구기간이 짧고 연구비가 적은, 즉 투입요소 측면에서 상대적으로 효율적이거나 산출변수간의 편차가 크지 않은 단기 과제들이 보다 효율적이라고 평가된 반면 SFA의 경우 순수기초연구그룹이나 선도과학자육성지원 등 투입요소에 비해 상대적으로 산출결과 실적이 큰 장기 과제들에 대한 효율성 비율이 높은 것으로 추정할 수 있다.

이러한 분석결과는 향후 학술연구지원사업과 관련된 효율성 측정방식을 선별하기 위하여 필요한 몇 가지 제언이 가능함을 보여주고 있다. 먼저 DEA의 경우 분석단위들의 편차가 크지 않은 상대적으로 유사한 지원 사업 내부에서의 개별 과제들 간의 비교에서 활용하는 것이 유용할 것으로 판단된다. 이러한 경우 DEA는 투입 및 산출 변수들 간의 상대적 비교를 통해 비효율적으로 나타난 분석단위에 대한 원인과 이를 바탕으로 한 이상적 준거기준 제시 및 효율적인 투입 및 산출단위의 크기 및 재배분에 대한 정보를 제공할 수 있게 된다. 반면 SFA의 경우 개체수가 많고 이상값(outlier)들이 나타날 개연성이 높은 사업단위에서 보다 유용하게 활용될 수 있다. 특히 SFA는 논문 수나 순위보정영향력지수 등 산출변수에 대한 예산이나 인력 등 투입변수들의 유의성 뿐 아니라 각 과제를 수행하는 연구자들의 연령이나 지역, 소속대학 등 다양한 특성변수 등에 대한 각각의 영향력에 대한 추정이 가능하다는 점에서 효율성 측정과 함께 효율성에 영향을 미치는 요인을 분석할 때 유용할 것으로 판단되어진다.

16) 이러한 DEA 분석에서의 이상값의 경우 변수들의 기술통계를 통해서도 대략적 추론이 가능하다. 각 모형들의 산출변수와 투입변수의 기술통계적 특성인 평균값, 최소값, 최대값, 표준편차를 살펴보면, 산출변수인 논문수와 순위보정영향력지수는 평균값을 기준으로 최대값쪽으로 편차가 큰 이상값이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 또한 투입변수중에서도 연구비와 연구인력의 경우에도 이상값이 존재하고 있는데 이로 인해 나머지 값들의 변별력이 미미해지게 됨으로서 결과값인 효율성이 이상값에 좌우될 가능성이 커지게 된다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 공공부문 효율성 분석에서 최근 활용도가 높아지고 있는 변경분석방법인 DEA와 SFA 두 가지 방법론을 활용하여 학술연구지원사업의 효율성을 측정하였다. 이를 위하여 분석 방법별로 산출변수와 투입변수를 다양하게 설정하고 분석단위도 과제단위와 사업단위로 구분하는 등 다양한 모형을 구성하여 효율성 분석을 실시한 결과 각각의 분석모형에서 측정한 사업별 효율성 수치들이 분석방법의 특성에 따라 다양한 결과를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

분석 결과, DEA와 SFA를 통하여 학술연구지원사업의 효율성을 측정하는 것이 가능하며 방법론적 특성에 따라 사업별 효율성 값의 비교를 통한 사업간 상대적 수준을 평가하거나, 특정 사업 내 과제들 간의 성과분석의 방법으로도 활용 가능한 것으로 판단된다. 그러나 이들 분석방법은 사업이나 과제의 성격에 따라 차별적으로 적용될 필요가 있으며 특히 효율성 측정을 위한 투입 및 산출변수들의 특성과 데이터 획득가능성에 대한 충분한 검토가 사전에 이루어질 필요가 있다. 이와 관련하여 본 연구에서 제시한 효율성과 관련된 투입 및 산출단위 지표들 외에도 학술연구지원사업을 평가하는 지표로써 향후 이와 관련된 추가적인 지표의 발굴 또한 요구된다. 사실 사업추진 실적을 단순히 '효율성' 관점으로만 판단하는 것은 사업의 성과나 실적을 명확히 반영하는데 중대한 오류가 될 수 있다. 지역대학 우수과학자, 우수여성과학자 등 각 지원 사업들의 성과를 논문실적 등 일부 지표만을 대상으로 비교하는 것은 무리가 있기 때문이다. 본 연구는 학술연구지원사업의 전반적인 효율성을 측정한 것이 아니라 연구 성과물 중에서 논문을 주요 산출물로 보고 이를 생산하기 위해 투입된 투입요소들 대비 논문의 생산 효율성을 측정한 것이다. 그러나 일부 지원사업이나 과제의 경우 특허를 산출하기도 하고 산출된 특허로 기술이전 사업화 실적도 있으며, 또한 연구수행을 통해 연구참여 인력중 대학원생의 연구역량을 향상시키고 석사 및 박사학위자를 배출하는 등 연구인력을 양성하는 성과 등도 사실상 학술연구지원사업의 중요한 성과라고 할 수 있다. 따라서 논문과 함께 이러한 성과들을 포괄하여 투입 대비 산출의 효율성을 측정할 필요가 있다. 이를 위해서는 다른 성과들에 대한 데이터의 축적과 함께 양적인 비교이외에도 질적인 비교가 가능한 자료가 함께 축적되어야 학술연구지원

사업의 전반적인 효율성 측정이 가능할 것이다. 다만 이렇게 다양한 성과물을 산출변수로 할 경우에는 본 연구에서 사용한 두 가지 분석방법인 DEA와 SFA중 SFA는 한 개의 산출변수만 가능하므로 활용에 제약을 받게 된다. 물론 다양한 성과물을 적절하게 지수화해서 하나의 변수로 만들 수 있다면 SFA 적용도 가능할 것이다.

이와 함께 연구지원사업의 효율성 측정은 분석단위의 선정 문제, 투입 및 산출변수의 측정단위 및 선정 문제 등 여러 가지 한계와 논의가 필요한 부분들이 존재하고 있다. 본 연구는 이러한 문제에 대한 선험적 연구의 성격을 지니고 DEA와 SFA를 이용하여 학술연구지원사업의 효율성을 측정해 보기 위해서 산출변수를 여러 가지 경우의 수로 달리하고 분석단위도 과제단위와 분석단위로 구분해서 다양한 분석모형을 설계하여 분석하였다. 향후 앞에서 논의된 한계를 극복하고 보다 실제의 성과에 가까운 결과를 측정하기 위해서는 본 연구에서 분석한 결과를 토대로 좀 더 세밀한 모형을 설정하여 분석하는 연구가 이뤄져야 할 것이다.

▣ 참고문헌

곽만순·이영훈. 2005. “효율성추정과 확률적 생산변경모형에 대한 문헌연구.” ≪계량경제학보≫ 16(4): 107-130.

교육과학기술부. 2008. ≪2008년도 국가연구개발사업 성과분석 보고서≫.

권남훈·고상원. 2004. “기업 R&D 투자에 대한 정부 직접 보조금의 효과.” ≪국제경제연구≫ 10(2): 157-181.

김민희. 2007. “한국학술진흥재단 학술연구지원사업의 효율성 탐색.” ≪교육재정경제연구≫ 16(2): 25-75.

김성호·최태성·이동원. 2008. ≪효율성 분석: 이론과 활용≫. 서울경제경영.

김태일. 2000. “자료포락분석기법에 의한 자치단체행정의 생산성평가에 관한 비판적 논의.” ≪정책분석평가학회보≫ 10(1): 185-207.

노유진. 2007. “이공계분야 기초연구지원의 우선순위 설정에 관한 연구: 학술연구조성사업의 사례를 중심으로.” ≪정책분석평가학회보≫ 18(1): 263-292.

박만희. 2008. ≪효율성과 생산성 분석: 자료포락분석과 Malmquist 생산성 분석을 중심으로≫. 한국학술정보.

신현대. 2005. “대학의 성과평가에 관한 비교측정 연구”, ≪2005 한국행정학회 하계공동학술대회 발표논문집≫. 51-72

양정모. 2008. ≪2008 학술연구조성사업 연구성과 추적조사 연구≫. 한국학술진흥재단 조사분석 보고서(2008-002-성과분석).

유금록. 2001. “공공부문의 효율성 평가를 위한 모수적 변경추정법.” ≪한국사회와 행정연구≫ 12(2): 99-115.

유금록. 2004. ≪공공부문의 효율성 측정과 평가: 프런티어분석의 이론과 적용≫. 서울: 대영문화사.

유금록. 2007. “지방자치단체 및 공공기관 정무업무평가제도의 개선방안.” ≪지역발전연구≫ 7(2): 223-242.

유영아. 2006. ≪지방행정의 효율성 평가에 관한 연구: DEA 기법에 의한 기초자치단체 복지서비스 분석≫, 성균관대학교 행정학과 박사학위 논문.

윤경준. 1998. “공공부문 성과측정을 위한 DEA와 확률전선모형의 비교분석: 일선경찰서의 기술효율성 측정을 중심으로.” ≪한국행정학보≫ 32(4): 257-273.

이건창. 2008. ≪학술연구조성사업 연구성과 추적시스템 개발에 관한 연구≫. 한국학술진흥재단 정책연구(2007-030).

이광희 외. 2006. ≪정책평가와 성과관리≫. 대영문화사.

이영훈·김정우. 2007. “확률프런티어를 이용한 세계 철강기업의 효율성 분석.” ≪2007 경제학 공동학술대회 발표논문집 (한국경제학회)≫. 1-21

지홍민. 2007. ≪확률적 프런티어 방법론을 이용한 손해보험사의 기술효율성 측정≫. 보험개발원보험연구소

한국과학재단. 2004. ≪기초과학연구사업 성과분석보고서≫.

한국과학재단. 2007. ≪과학기술부 연구개발사업 성과분석보고서≫.

한국과학재단. 2008. ≪한국과학재단 통계연보≫.

한국학술진흥재단. 2005. ≪학술연구조성사업 세부사업별 사업계획서≫.

한국학술진흥재단. 2008a. ≪2008 학술연구조성사업 성과분석≫. 한국학술진흥재단 정책연구 2008-005.

한국학술진흥재단. 2008b. ≪2008 학술연구연구지원 통계연보≫.

한동성·장덕희·한승환·양정모. 2008. “정부의 연구비 지원이 대학 연구자의 논문성과에 미치는 영향분석.” ≪한국행정학보≫ 42(4): 265-290.

한승환. 2007. ≪국가연구개발사업 조사·분석·평가에의 합리적 대응방안: 학술연구조성

사업부문을 중심으로≫. 한국학술진흥재단 정책연구 2007-029.

허정은·김해도·조영돈·조석민·조순로. 2008. "국가연구개발사업의 과학적 성과분석을 위한 새로운 계량지표 개발에 관한 연구." ≪기술혁신학회지≫ 11(3): 376-399.

홍사균·황정태·유의선·백훈. 2006. ≪정부연구개발사업의 추진구조와 성과와의 상관관계분석: 기초연구를 중심으로≫. 과학기술정책연구원 정책연구 2006-08.

Abbott, M., and C. Doucouliagos. 2003. "The Efficiency of Australian Universities: A Data Envelopment Analysis", *Economics of Education Review,* 22(1): 89-97.

Aghion, P., P. Howitt. 1995. "Research and development in the growth process", *Journal of Economic Growth*, 1(1): 49-73.

Ahn, T., A. Charnes, and W. W. Cooper. 1988. "Some Statistical and DEA Evaluations of Relative Efficiencies of Public and Private Institutions of Higher Learning", *Socio-Economic Planning Science,* 22(6): 259-269.

Anderson, T.R., T.U. Daim, & F.F. Lavoie. 2007. "Measuring the efficiency of university technology transfer", *Technovation*, 27: 306-318.

Charnes, A.C. & E. Rhodes. 1978. "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2: 429-444.

Charnes, A.C. & E. Rhodes. 1981. "Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through", *Management Science*, 27: 668-697.

Chapple, W., A. Lockett, S. Siegel, & M. Wright. 2005. "Assessing the relative performance of U.K. university technology transfer offices: parametric and non-parametric evidence", *Research Policy*, 34: 369-384.

Cohen, W. M., R. Nelson, & J. P. Walsh. 2002. "Links and impacts: The influence of public research on industrial R&D", *Management Science*, 48(1): 1-23.

COSEPUP(Committee on Science, Engineering, and Public Policy, USA). 1999. *Evaluating Federal Research Programs: Research and the Government Performance and Result Act*, Washington D.C.

Fare, R. S. & C. Lovell. 1985. *The Management of Efficiency of Production*, Boston: Kluwer-Mijhoff Publishing.

Farrell, M. J. 1957. "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of Royal Statistical*

Society, Series A General, 120: 253-281.

Feng, Y., H. Lu.& K. Bi. 2004. "An AHP/DEA method for measurement of the efficiency of R&D management activities in universities", *International Transactions in Operational Research*, 11: 181-191.

Greene, W. H. 1990. "A Gamma-distributed Stochastic Frontier Model", *Journal of econometrics*, 46: 141-164.

Hatry, Harry P. 1980. *Productivity and Motivation: A Review of State and Local Government Initiatives*. Washington D.C.: An Urban Institute Press.

Lovell, C. A. K. 1993. Production Frontiers and Productive Efficiency, in Harod O, Fried C. A., Knox Lovell & Shelton S. Schmidth (eds.), *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*, New York: Oxford University Press; 3-67.

Salter, A. & B. Martin. 2001. "The economic benefits of publicly funded basic research: a critical review", *Research Policy*, 30: 509-532.

Stevens, P. A. 2005. "A Stoc*hastic Frontier Analysis of English and Welsh Universities",* Education Economics, 13(4): 355-374.

Wang, E. C. 2007. "R&D efficiency and economic performance: A cross-country analysis using the stochastic frontier approach", *Journal of Policy Modeling*, 29: 345-360.

Wang, E. C. & W. Huang. 2007. "Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach", *Research Policy*, 36: 260-273.