

자료포락분석법을 활용한 국가연구개발사업의 효율성 분석 - 원자력연구개발사업을 중심으로 -

A Way to Enhance Efficiency of Nuclear Program in Korean R&D Program
by Data Envelopment Analysis

김태희(Tae Hee Kim)*, 김인호(In-ho Kim)**,
안성봉(Sung Bong Ahn)***, 이계석(Kye Suk Lee)****

목 차

- | | |
|------------------|----------|
| I. 서론 | IV. 분석방법 |
| II. 선행연구와 이론적 고찰 | V. 분석결과 |
| III. 연구방법 및 설계 | VI. 결론 |

국 문 요 약

최근 유가급등, 실물경제 위기 및 에너지 환경 위기 시대에 직면하여 공공부문에서의 효율성 증대에 대한 요구는 높아지고 있다. 그간 국가연구개발사업의 효율성은 개별 사업별 절대적 성과치를 근거로 재량적으로 판단되어 온 경우가 많은 점을 인식하고, 본 연구는 사업별 비교를 통해 원자력연구개발사업의 상대적 효율성을 도출함으로써 객관적 결과를 도출함을 목적으로 하였다. 본 연구를 수행하기 위해 교육과학기술부 주요 사업인 기초연구개발사업, 특정연구개발사업 및 원자력연구개발사업의 성과보고서에 제시된 자료를 활용하였고, 문헌검토와 관련이론을 통해 분석방법 및 모형을 설계하였다. 한편 상대적 효율성을 판단하기 위하여 자료포락분석법을 활용하였으며 이의 분석결과를 토대로 원자력연구개발사업의 효율성 증진방안을 세부사업별로 제시하였다. 연구개발사업의 효율성 측정을 위하여 자료포락분석법이 활용된 사례가 없는 만큼, 동 분석법의 한계를 극복할 수 있는 개선된 자료포락분석법이 적용된다면 연구개발사업의 효율적 관리에 기여할 것으로 기대한다.

핵심어 : 국가연구개발사업, 원자력연구개발사업, 효율성, 자료포락분석

※ 논문접수일: 2008.11.24, 1차수정일: 2009.1.14, 2차수정일: 2009.2.9, 게재확정일: 2009.2.16

* 한국과학재단 선임연구원, thkim@kosef.re.kr, 042-869-7716, 교신저자

** 한국과학재단 방사선연구원, ihkim@kosef.re.kr, 042-869-7750

*** 한국과학재단 원자력지원팀장, sban@kosef.re.kr, 042-869-7754

**** 한국과학재단 방사선팀장, chris73@kosef.re.kr, 042-869-7742

ABSTRACT

This paper studies the efficiency of public sector confronting with increasing oil price, economy crisis and energy-environment problems.

In consideration that efficiency of national R&D program has been subjectively evaluated, this paper focuses objective validity by relative efficiency through a comparison among R&D programs in Korea. To implement this study, data published in national reports on R&D programs is used and analyzing method is induced by related books and theories. At the result of Data Envelopment Analysis on the collected data, this paper suggests the way to enhance the efficiency of nuclear R&D program. This study is the first on efficiency of national R&D programs applied DEA methods and is expected to contribute exploring the more efficient way of program management if more sophisticated DEA could be developed and applied.

Key Words : National R&D Program, Nuclear R&D Program, Efficiency, Data Envelopment Analysis

I. 서 론

최근 에너지 고갈과 환경변화에의 능동적 대처, 중국을 중심으로 한 신흥개도국의 자원 수요 증대, 석유가격 급등, 미국의 정전사태에 따른 에너지 수요 변화 등은 우리나라에 자원과 에너지 확보 경쟁이 심화될 것임을 시사한다. 특히 향후 30년간 연 2.3%의 에너지수요가 증가될 것이며 현재 97%인 에너지수입의존도도 지속될 것으로 예측하고 있다¹⁾. 또한 기후협약 등 친환경에너지 정책이 의무화되고 환경기준이 강화됨에 따라 친환경 기술과 신재생 에너지는 핵심기술로 부각될 것이다.

미국의 경우 2008년도 연구개발예산의 투자우선순위로 국가안보 다음으로 에너지안보를 설정하고 있고, 일본은 제3기 과학기술기본계획에서 고속증식로(FBR) 사이클 기술과 핵융합 에너지기술을 중심으로 한 에너지분야를 전략중점과학기술 분야로 설정하고 있다. 특히 2007년 일본의 R&D 예산²⁾의 29.7%가 에너지 분야에 투자되고 있는 점은 에너지에 대한 세계적 대응 방안을 짐작하게 해준다. 한편 중국³⁾은 11개 중점 연구분야로서 에너지를 들고 있으며 특히 중장기 계획의 5대 중점전략으로서 에너지자원과 환경보호기술을 우선순위로 설정하고 있다.

우리나라는 최근 4년간 전체 R&D의 평균 8.5%를 에너지 및 원자력 분야에 투자해 왔으며 연구개발비 R&D 투자비용의 증대로 에너지 및 원자력 분야의 상대적 투자 비율은 감소하여 왔으나 절대적 투자액은 증대되어 오고 있다.

투자 주체별로 살펴보면 원자력발전과 관련된 산업부문은 지식경제부가, 원자력 기술과 관련된 연구개발부문은 교육과학기술부를 중심으로 투자⁴⁾되고 있으며 민간에서는 일부 대기업이 상업적 차원에서 투자되고 있다.

이처럼 에너지 및 자원위기라는 대내외적 환경변화 속에서 원자력의 유용성은 증대되고 있으나, 초기 대규모 시설비 및 안보 측면에서 민간보다는 정부 중심으로 원자력연구개발에 투자되고 있다. 또한 원자력기술은 방사선 의학을 비롯하여 식품, 소재, 작물 등 활용도가 높으며 전력 등 에너지 분야에서 대안으로 부각되는 만큼 투자 규모는 지속적으로 확대될 것이 예측된다.

이에 본 연구는 원자력연구개발사업비 규모가 지속적으로 확대되어 갈 것이 예측되는 만큼 질적 차원에서 연구개발사업의 효율성을 측정해 볼 수 있는 방법론을 제시해 보고자 한다. 이는 1970년대 후반, 정부부문에 시장적 메카니즘을 도입하여 생산성과 효율성을 높이고자하는 노력(Nagel

1) 국가연구개발사업 중장기 발전전략(2008), 교육과학기술부

2) 2007년 과학기술관계 예산안 및 그 중점화의 상황에 대하여(2007), 일본내각부

3) 국가 중장기 과학기술발전계획(2006), 중국 국무원

4) 국가과학기술시행계획(2008.11.25)에 의하면, 2009년도 원자력분야 연구개발투자는 4,580억원으로 2008년도(3,775억원)보다 17%가 증액되었고 민간이 투자하기에는 위험부담이 높고 투자예산이 대규모임에 따라 정부차원에서 국가주도기술핵심역량 분야로 선정하여 투자할 것을 명시하고 있다.

1997)을 비롯하여, 민간부분의 관리기법을 공공부분에 도입함으로써 시장이론에 대한 기대를 통해 공공부분에서의 새로운 혁신적 패러다임을 구축하려는 움직임이 대두되어 온 것을 바탕으로 한다.

II. 선행연구와 이론적 고찰

1. DEA 개념

효율성의 측정은 Koopmans(1951)과 Debreu(1951)의 영향을 받은 Farrell(1957)에서 시작되었다. Koopmans는 파레토 최적성을 도입함으로써, 효율적 상태와 비효율적 상태를 구별하는 효율성 개념을 제시한 바 있다. 다만, 효율성을 측정할 수 있는 구체적인 정보나 방법론을 제공하지 못한 한계가 있음에 따라, Farrell은 효율성의 개념을 체계적으로 정리하면서도 이를 측정할 수 있는 방법을 제시하였고 이후 Aigner and Chu(1968)에 의해 효율성 측정을 위한 모수적 방법으로 발전한 후, Aigner, Lovell and Schmidt(1977) 등에 의해 확률프론티어 접근법(stochastic frontier approach : SFA)로 발전하게 된다.

한편 Farrell의 효율성은 70년대 Abraham Charnes, William W. Cooper 및 Edward Rhodes등이 Charnes, Cooper and Rhodes(1978)에서 비모수적 방법으로 DEA를 설명하는데 영향을 주었다(김성호 외, 2007).

DEA모형은 다양한 모형이 있으며 대부분의 모형은 규모에 대한 수익불변(Constants Returns to Scale)을 가정하는 CCR모형과 규모에 대한 수익변화(Variable Returns to Scale)를 가정하는 BCC모형을 변형한 논리로 나타나고 있다. DEA는 유사한 복수투입물과 유사한 복수산출물을 가진 의사결정개체(DMU)들의 상대적 효율성을 평가하기 위한 방법으로, 각 의사결정개체의 가중된 투입물의 합과 가중된 산출물의 합의 비율을 평가하여 효율성을 측정하는 방식이다. 먼저 CCR모형의 경우, 의사결정개체의 효율성은 n 번째 의사결정개체의 총투입(X_i)에 대하여 총산출(Y_r)의 비율인 E_k 로 나타나며 아래와 같이 표현된다(유금록, 2003).

$$E_k = \frac{\sum_{r=1}^n Y_{rk} U_r}{\sum_{i=1}^m X_{ik} V_i}$$

상기에서 E_k 는 의사결정단위 k 의 효율성을, Y_{rk} 는 의사결정단위 k 에 의해 생산되는 산출물 r 의 양을, X_{ik} 는 의사결정단위 k 가 사용한 투입물 i 의 양을, U_r 은 산출물 r 에 부여되는 가중치

를, V_i 는 투입물 i 에 부여되는 가중치를, n 은 산출물의 수를, m 은 투입물의 수를 각각 의미한다.

CCR모형은 분수로 표현된 효율치를 하나의 값으로 계산하고 0에서 1의 값을 가지며 가장 효율적인 상태에 있을 때 1의 값을 취한다. 이러한 CCR모형은 규모에 대한 수익불변을 가정하여 일차함수형태인 직선형으로 나타나게 된다.

반면에 BCC모형은 규모에 따른 수익가변모형을 가정하고 있는 바, 이는 체증규모수익과 체감규모수익이 혼합된 모형이라 할 수 있다. 이는 초반에는 투입에 따른 초기 상승이 어느 일정 지점을 지남에 따라 상승이 둔화된다는 경제학적 원리에 의한 것으로 CCR보다 BCC에서 효율성이 1을 얻는 개체가 많아지는 결과가 나올 수 있다(김건위, 2005).

2. DEA의 유용성과 한계

DEA를 활용하는 장점은 다음과 같다(이시원, 민병익, 2001). 첫째 다투입-다산출의 구조하에서 효율성을 하나의 측정지표로 구할 수 있다는 점이다. 이는 공공부문에서 매우 유용한 방법이 된다. 둘째 DMU(Decision Making Unit의 약자로 독자적 의사결정을 가지는 식별가능한 조직의 단위를 의미)간 상대적 효율성을 측정하므로 생산이론이 요구하는 절대적 기준이 필요 없고 상대평가이므로 생산주체간의 객관적 비교가 가능하다. 셋째, 생산함수의 추정 없이도 효율성 평가가 가능하므로 투입과 산출간의 함수적 관계나 모수에 대한 가정이 불필요하다. 넷째 비용자료에 의존하지 않고 실물단위로 투입된 자료만을 대상으로 할 수 있어 자료의 활용도가 매우 높다. 다섯째 일반적으로 평가방법은 가중평균방식에 의한 평가지표를 선정하고 가중치를 부여한 후 지표들의 가중합을 척도로 간주하나 DEA는 주관적인 가중치 부여가 필요 없다는 점에서 객관성과 일반성을 지닐 수 있다. 여섯째, 준거집단을 보여줌으로써 관리절차 및 행태측면에서 벤치마킹 대상이 누구인지 그리고 집단간 격차를 알 수 있도록 해준다. 또한 각 투입과 산출요소에서 구체적인 비효율의 정도를 제시해 주기 때문에 각 조직은 DEA를 통해 효율적으로 되기 위한 목표량에 대한 실무변경(Frontier) 정보를 얻을 수 있다(김건위, 2005).

한편, DEA가 지닌 많은 유용성에도 불구하고 다음과 같은 한계가 존재한다(김성호 외, 2007) 첫째 DEA는 통계적 유의성 검증이 논의되지 아니하므로 DMU의 선정과 변수 선정에 신중을 기해야 하며⁵⁾ DEA상의 변수는 0이나 음의 값을 가져서는 안되므로 결측값 처리가 되지 않는다는 점이 한계로 나타난다. 둘째, DMU의 수가 지나치게 적을 경우 효율적인 DMU의 비율이 상대적으로 높게 나타난다는 것이다. 즉 DMU의 수는 충분한 자유도를 가질 수 있도록 하기 위하

5) 이에 대하여 DEA 민감도분석을 실시함으로써 어느 정도 한계를 완화시킬 수 있다.

여 투입과 산출요소의 수보다 3배 정도는 많아야 할 것을 권장하고 있다(Banker et al., 1984).

요컨대 DEA가 지닌 많은 유용성에도 불구하고 한계점을 인식하여 적용함으로써 효율성 측정에 대한 많은 방법론 중 하나의 대안으로 제시될 수 있다(김건위, 2005)

3. DEA를 활용한 기존 선행연구

DEA모형을 이용하여 공공부문의 효율성을 측정한 선행연구로는 다음 <표 1>과 같다. DEA를 활용한 연구는 동질적 성질을 갖는 기관을 대상으로 함에 따라, 주로 지방정부(시, 군, 구), 보건소 및 대학교의 효율성 측정에 대한 사례가 대부분이며 부처별 특성이 다른 중앙정부에 대해서는 동질성을 파악하기 어려움에 따라 DEA분석이 적용된 바 없다.

<표 1> DEA를 이용한 선행연구

연구자	연구대상	투입요소	산출요소
Banker et al (1986)	미국 North Carolina 114개 병원	간호서비스, 보조서비스, 행정서비스	입원일수
Pina & Torres (1992)	스페인 Huesca 10개 보건소	인건비, 의약품비, 기타비용	보건서비스수요, 보건서비스 공급, 보건서비스 질
정윤수(1995)	미국 의료교육병원	의료인력, 간호인력, 기타인력, 총병상수	총입원일수, 수술횟수, 진료횟수, 레지던트 수
윤경준(1996)	지방자치구 보건소	의료인력, 간호인력, 기타인력	결핵관리사업, 가족계획사업, 모자보건사업
이혁주, 박희봉 (1996)	68개 지방도시	공무원수, 인건비, 자본, 총세출	건축허가건수, 쓰레기수거량, 상수도공급량, 생활보호대상수, 도로사업비, 지방세 징수액, 주민수
최태성 외 (1997)	국내 18개 대학	교수수, 연구비	논문편수, 저서, 번역
안태식 외 (1998)	국공립 77개 사립대학	교수수, 직원수, 운영비	대학생수, 학부생수, 논문수
김재홍(2000)	시군도시 64개	공무원수, 결산규모, 관할구역 면적	상하수도 보급률, 시설공원면적, 사회복지시설수 수용인원
김성중(2002)	일반도시 70개	보건 및 환경개선비, 사회복지비, 주택 및 지역사회개발비	쓰레기수거량, 식품위생업소수, 도로면적 등
김건위(2005)	기초자치단체 정보화 232개	정보화예산, 정보화인력, 정보교육시간	전자결재, 전자민원처리, 지역주민정보화교육
신현대(2005)	38개 대학교	교수수, 직원수, 학생수, 연구비, 인건비, 장서수	논문수, 논문 피인용 횟수, 연구용역수입, 사회적 평판도
신영진(2005)	광역자치단체 16개	정보화예산, 정보화인력	업무의 정보화, 웹사이트활용, 전자주민참여
문신용 외 (2004)	서울여성발전센터 5개	결산액, 사회복지사수, 자원봉사자수, 후원금	연간 프로그램수, 이용자수
유금록(2007)	서울시 보건소	의료인력, 간호인력, 행정인력	진료사업실적, 구강보건사업실적, 모자보건사업실적

상기에서 살펴본 바와 같이 연구개발사업에 DEA를 이용하여 분석한 사례는 존재하지 않는다. 경제적 측면에서 연구개발투자의 효율성과 요인분석을 연구한 사례는 다수 존재하나, 연구개발사업을 대상으로 한 분석이 아니라는 점에서 본 연구와 차별성을 가진다. 이는 연구개발사업의 세부적 특성이나 운영형태에 대한 자료가 통합적으로 제시된 바 없음에 따라 유사성을 파악하기 어렵고 투입변수 및 산출변수를 측정하는 데에 어려움이 있음에 기인한다. 다만, 미국에서 1960년대 후반 Program Fellow Through라는 소외계층을 위한 교육프로그램의 효율성을 측정한 사례(Charnes, Cooper and Rhodes, 1981)가 존재하나(김성호 외 2007) 사업간 비교를 통한 상대적 효율성 보다는 교육프로그램이라는 동일한 사업내에서 성과 비교를 통해 효율성을 측정하였다는 데에 본 연구와의 차이가 있다.

III. 연구방법 및 설계

본 연구는 연구대상을 교육과학기술부에서 투자하는 원자력연구개발사업을 중심으로 검토한다. 이는 타부처(예컨대 지식경제부) 혹은 민간분야의 원자력 관련 사업을 분석대상에 포함할 경우, 분석 대상이 지나치게 광범위하게 되는 측면도 있으나, 투자 주체별 사업목적과 투자 내용이 매우 상이함에 기인한다. 예컨대 지식경제부 사업은 원자력연구개발 보다는 원자력 발전 및 사업화를 목적으로 하며 기업체 등의 참여에 따른 민간부담금을 의무화하는 경우가 많다. 또한 민간 중심의 원자력사업의 경우 주로 상업화를 목적으로 함에 따라, 연구개발의 주요 특성인 SCI, 논문, 인력양성 부분보다는 특허, 기술확산에 초점을 두고 있어 DEA분석을 위한 전제조건인 동질성 측면에서 준거집단으로 분류하기에 어려움이 따른다.

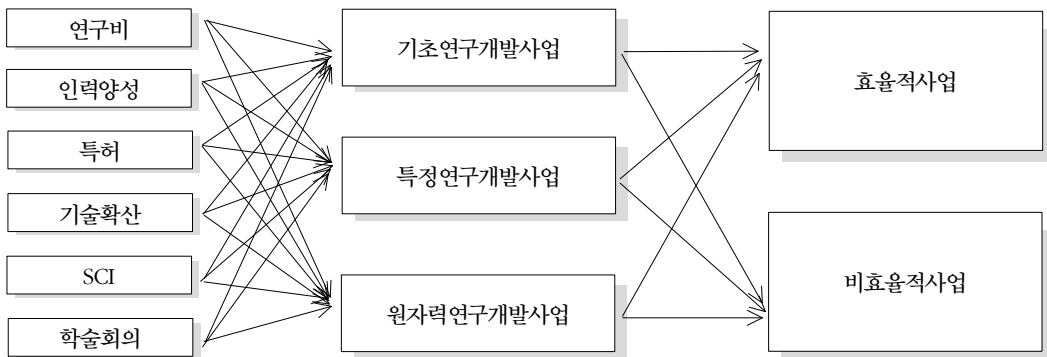
반면, 교육과학기술부 사업은 민간부담금을 의무화하는 사업이 거의 없으며 사업목적 또한 상업화보다는 기초연구 중심으로 SCI, 논문, 인력양성, 학술회의 등을 주요 성과로 설정하고 있으며 주요 사업으로는 원자력연구개발사업, 특정기초연구개발사업과 기초연구개발사업이 있다. 이는 <표 2>에서 보는 바와 같이, 사업별로 추구하는 목적은 다소 상이하나, 지원 대상에서는 유사성을 보이고 있으며 성과 지표의 경우 동일한 내용이 적용된다는 점에서 사업간 동질성을 찾을 수 있다. 예컨대 동일한 연구신청자가 원자력기술개발사업의 과제와 나노기술개발사업의 과제에 지원할 수 있으며 과제를 수행한 후 연구결과에 대한 성과측정이 유사한 지표에 의해평가될 수 있다. 다만, 동일한 연구신청자가 상이한 사업에 동일한 과제신청서를 제출하는 것을 의미하는 것이 아니라, 동일한 연구시설, 기자재 및 참여연구원을 보유한 연구신청자가 상이한 목적의 연구개발 사업에 신청할 수 있음을 의미한다.

사업별 주요 특성과 내용은 다음과 같다.

〈표 2〉 교육과학기술부 주요 사업별 특성

사업구분	주요 세부사업	사업목적	지원대상	성과측정 지표
원자력연구 개발사업	원자력기술개발	원자력 핵심 원천기반기술 확보	대학교 전임강사 급 이상 및 출연연 선임연구원 이상	SCI 편수, 학술 지 논문수, 학 술회의 건수, 인력양성수, 특허, 기술확산 실적, 산학강좌 등
	방사선기술개발	방사선 융합기술(생물, 환경 등) 개발 지원 및 난치성 진단 치료기술 개발		
	원자력기반확충	미래 원자력 연구분야 개척, 전문인력 양성, 핵융합 장치 개발 지원		
특정연구 개발사업	나노기술개발	나노분야 원천기술 개발	대학교 전임강사 급 이상 및 출연연 선임연구원 이상	
	바이오기술개발	생명공학 원천기술 확보		
기초연구 개발사업	창의진흥	차세대 연구자 발굴 및 기초연구 역량 강화	대학교 전임강사 급 이상 및 출연연 선임연구원 이상	
	특정기초	창의성 높은 기초분야 지원		
	국가지정	핵심기술분야 우수 연구실 지정 지원	대학교 전임강사 급 이상	
	우수연구센터	기초이론 및 공학연구 지원과 지식 창출	대학교 정규직 교 수 이상	
	의과학센터	기초의과학 분야 지원		
	국가핵심연구센터	전략적 육성이 필요한 주요 과학기술분 야 지원		

본 연구는 상기 사업을 중심으로 투입변수와 산출변수를 고려하여 효율적 사업과 비효율적 사업으로 구분함으로써 원자력연구개발사업내 세부사업의 효율성을 측정하고 비효율적이라면 준거대상을 어느 사업으로 선정하여야 하는지 또한 이에 대한 함의는 무엇인지를 고찰해 보고자 한다.



(그림 1) 연구 설계도

이를 위해 세부사업에 대한 투입산출 변수를 선정하고 변수선정의 타당성을 검토한 후, 본격적으로 DEA분석을 위하여 투입변수와 산출변수를 마련한다.

IV. 분석방법

1. 자료수집

본 연구를 위한 주요 자료는 2007년 1월부터 동년 12월까지 교육과학기술부 주요 사업에 대한 성과관리보고서를 근거로 하였다. 동 보고서는 교육과학기술부에서 수행하는 사업 중 한국과학재단에서 관리하는 주요 사업인 특정연구개발사업, 기초연구개발사업 및 원자력연구개발사업에 대한 성과 결과를 수집한 자료이다. 다만, 특정연구개발사업내의 21세기 프론티어사업, 우주기술개발사업⁶⁾, 차세대바이오신약사업은 해당 사업단에서 세부사업을 관리하고 사업의 목적이 특수하며 성과지표가 여타 사업과 다르게 적용됨에 따라 본 연구에서는 제외하고자 한다. 한편 상기 성과관리보고서에서 제시되지 아니한 자료는 사업에 선정된 후 제출된 과제계획서를 분석하여 수집하였다.

2. 변수의 조작적 정의

선행연구에서 검토한 결과, 지금껏 연구개발사업을 대상으로 한 DEA분석은 검토된 바가 없다. 다만, 주요 투입변수로는 예산과 인력을 설정하고 산출변수로는 투입 산출요소간 직간접적인 인과관계를 유추하기 위한 변수를 중심으로 설정되고 있음을 알 수 있다(신현대, 2005). 따라서 본 연구는 투입변수로서 참여연구원 수와 연구비를 설정하되 산출요소는 투입요소와의 직간접적인 인과관계로 유추되며 전부처 연구개발 성과지표로서 활용⁷⁾되고 있는 주요 지표를 참고하였다.

6) 참고로, 차세대 신약개발사업은 2007년 기준 16,000백만원이 투입되었고 SCI(92편), 학술회의(222건) 및 특허(59건)이, 우주기술은 197,510백만원이 투입되어 SCI(12편), 학술회의(491건) 및 56건의 특허의 성과를 도출하였다.

7) 매년 초, 국가연구개발사업의 성과평가 및 차년도 예산안 조정하기 위하여 정부에서는 조사분석평가를 실시하고 있으며 동 평가에서 제시되는 성과지표는 SCI/비SCI/국내학술회의/국외학술회의/특허출원/특허등록/인력양성/연구원교류/국제공동/기술확산 등이다. 이중 국제공동이나 연구원교류의 수치는 증빙이 어려운 한계가 있으며 타과제와 중복하여 계상될 수 있는 한계가 있는 바, 본 연구에서는 제외한다.

〈표 3〉 사업별 성과

(단위: 백만원, 건)

사업구분	사업비	연구원수	SCI	학술회의	특허	인력양성	기술확산
원자력기술개발	144,000	2,451	358	2,387	218	60	177
방사선기술개발	20,530	552	63	373	38	12	12
원자력기반확충	22,500	1,088	276	1,383	54	182	40
나노기술개발	8,600	154	191	653	54	100	8
바이오기술개발	60,308	803	628	2,208	233	398	61
창의진흥	34,080	361	489	1,039	103	136	27
특정기초	96,000	3,805	2,144	8,044	443	2,063	123
국가지정	48,280	1,251	1,241	4,230	528	723	423
우수연구센터	60,600	1,015	2,331	7,692	490	1,310	397
의과학센터	12,600	748	283	1,031	50	145	11
국가핵심연구센터	12,000	22	312	1,235	115	150	26

변수선정 결과를 구체적으로 살펴보면, 학술회의는 정보교환에 대한 환경변화를 고려하여 국내 학술회의와 국외 학술회의를 구분하는 것이 무의미하므로 국내의 학술회의로 단일화하였고, 기술확산은 기술이전 및 기술지도와 기술평가까지 포함하였다. 이는 기술이전, 기술지도 및 기술평가가 병행하여 이루어지는 경우가 많고 상호 성격이 유사함에 기인한다.

인력양성은 연구과제의 참여연구원에 박사후 연구원을 비롯, 석박사과정 및 학사학위 연구원까지 포함하였다. 이를 통해 본 연구대상 사업의 주요 수행자가 대학교, 연구소 및 기업체 소속인 경우까지 적용되도록 의도하였다. 다만, 특허의 경우 등록까지 포함할 경우 연구과제 수행시기가 짧은 경우 연구과제와 무관한 특허까지 포함할 수 있다는 판단 하에 특허 출원만을 포함하기로 한다.

사업비는 정부출연금과 함께 민간부담금을 포함한 금액을 전체 금액으로 산정하였다. 이는 교육과학기술부의 주요사업에서 민간부담금을 의무화하는 경우가 거의 없으나, 민간부담금이 투입된 사업이라 하더라도 과제의 성과를 도출하기 위해 활용되었음을 예측할 수 있고 민간부담금과 정부출연금을 나누어 판단할 경우 성과물도 투입자금의 비율만큼 분리하여 파악해야 하는 한계에서 비롯되었다.

한편, 참여연구원 수는 과제가 선정된 후 협약을 위해 제출된 수정용 과제계획서를 기준으로 작성되었다. 이는 과제 신청시 제출된 과제계획서에는 인건비가 확정되지 않음에 따라 잠정적인 형태로 작성되는 경우가 많고, 일반적으로 과제가 선정되어 연구비가 확정된 후에야 인건비 범위 내에서 최종 참여연구원이 결정됨에 기인한다.

〈표 4〉 투입 변수의 기술통계치

	평균	표준편차	N
SCI	756.00	796.192	11
학술회의	2752.27	2741.525	11
특허	211.45	189.397	11
인력양성	479.91	650.281	11
기술확산	118.64	153.372	11

수집된 자료에 대하여 〈표 4〉는 기술통계치를 보여준다. DEA 분석의 장점은 변수간 통계적 관계의 가정이 불필요하다는 점이 있으나, 기술통계치를 통해 사업의 목적과 운영 현황을 파악할 수 있다는 점(이시원, 민병익 2001)에서 간단하게 이를 살펴보고자 한다. 분석된 자료에 의하면, 학술회의와 SCI가 높은 수치를 보이고 있으며, 기술확산은 상대적으로 낮은 수치를 보이고 있다. 이는 분석대상으로 선정된 교육과학기술부의 주요 사업들이 기술의 상업화보다는 기초연구에 목적을 두고 있는 경우가 대부분임을 나타낸다. 또한 이는 특허출원 수치에서도 나타나는 바, 상업화 혹은 제품생산에 목적을 두고 있지 않음을 나타낸다. 이러한 결과는 상업화를 주요 목적으로 하는 지식경제부나 민간 차원의 원자력사업을 본 연구의 분석대상에 포함하지 아니한 것에 대한 타당성을 제시한다고 할 것이다.

한편, 변수간 상관관계분석을 통한 변수간 유의미성을 파악하면 다음과 같다.

〈표 5〉 각 변수의 상관관계 분석 결과

구분	사업비	연구원수	SCI	학술회의	특허	인력양성	기술확산
사업비	상관계수	1	.796(**)	.410	.520	.521	.401
	유의확률		.003	.210	.101	.101	.222
연구원수	상관계수	.796(**)	1	.562	.678(*)	.543	.701(*)
	유의확률	.003		.072	.022	.084	.016
SCI	상관계수	.410	.562	1	.985(**)	.889(**)	.942(**)
	유의확률	.210	.072		.000	.000	.000
학술회의	상관계수	.520	.678(*)	.985(**)	1	.890(**)	.955(**)
	유의확률	.101	.022	.000		.000	.000
특허	상관계수	.521	.543	.889(**)	.890(**)	1	.797(**)
	유의확률	.101	.084	.000	.000		.003
인력양성	상관계수	.401	.701(*)	.942(**)	.955(**)	.797(**)	1
	유의확률	.222	.016	.000	.000	.003	
기술확산	상관계수	.411	.294	.710(*)	.698(*)	.890(**)	.507
	유의확률	.209	.380	.014	.017	.000	.111

** 상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의

* 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의

분석결과, 사업비는 참여연구원 수와는 유의미함을 나타내나, 기타 변수와는 유의미한 결과를 보이지 않았다. 한편 SCI편수는 학술회의(0.985), 특허(0.889), 인력양성(0.942)로 높은 상관관계를 보이고 있는 것으로 나타남에 따라, 산출변수의 조정이 필요할 것으로 판단된다. 이에 본 연구는 변수간 공선성의 문제가 발생할 수 있으므로, 상관관계가 높은 변수를 조정하여 다음의 <표 6>과 같이 재조정하였다.

<표 6> 조정된 투입·산출 요소별 내용과 측정지표

구분	요소명	측정지표(단위)
산출요소	SCI	편수
	기술확산	기술이전+기술평가+기술지도(건)
투입요소	연구비	정부출연급+민간부담금(백만원)
	연구원수	참여연구원(학사학위 이상자 포함)(명)

V. 분석결과

상기의 변수를 토대로 산출지향적 규모수익가변(BCC)모형의 DEA 분석⁸⁾을 실시하면 다음과 같은 결과를 도출한다.

<표 7> 사업별 효율성 분석 결과

사업 구분	BCC		
	성과점수	효율성	비교건수
우수연구센터	100	효율적	7
나노기술개발	100		4
국가지정연구	100		3
국가핵심연구센터	100		3
특정기초연구	92	비효율	-
바이오연구	33.1		-
창의연구	48.8		-
의과학기초	79.6		-
원자력기반조성	36.2		-
원자력기술개발	41.8		-
방사선기술개발	10.5		-

8) EMS(www.wiso.uni-dortmund.de)에서 해당 프로그램을 활용하거나, DEAP(www.uq.edu.au)에서 다운받아 활용할 수 있다. 다만, DEAP의 경우 FORTRAN으로 작성된 자료포락분석을 수행하기 위한 프로그램이다.

분석 결과 우수연구센터, 나노기술개발, 국가지정연구, 국가핵심연구센터는 효율적으로 분석된 반면, 특정기초, 바이오, 창의연구, 의과학기초, 원자력기반조성, 원자력기술개발, 방사선 기술개발사업은 비효율적인 사업으로 나타났다. 한편 비교건수 많을수록 준거집단으로 분석됨을 의미함에 따라, 우수연구센터가 7건으로 벤치마킹 대상사업으로 볼 수 있으며 이후 나노 기술개발사업이 4건으로 두 번째 벤치마킹 대상사업이라 할 수 있다.

한편, 원자력연구개발사업내 3개의 세부사업은 모두 비효율적으로 나타난 바, 이를 세부사업별로 검토하면 다음과 같다⁹⁾.

〈표 8〉 투입변수별 잠재적 증대치

(단위: %)

	예산	연구원	SCI	기술확산
원자력기술개발	-66	-48	246	138
원자력기반조성	0	-64	176	179
방사선기술개발	0	-24	850	850

상기 〈표 8〉은 원자력기술개발사업의 예산과 참여연구원 수 모두 감소시키고 산출 변수에 대해서는 증가시킬 필요성을 나타내고 있다. 반면에 원자력기반확충과 방사선기술개발은 참여연구원 수를 감소시키고 산출변수를 증가시킬 필요성이 있음을 보여준다. 이는 지금껏 원자력 사업 분야에 있어 사업비의 절대적 증가는 성과물에 있어 비례적으로 확대될 것이라는 일반적인 생각과 다소 상이한 결과이다. 즉 사업비의 대규모화를 추구하기 보다는 적재적소의 예산 투입을 통해 성과가 도출될 수 있도록 세밀한 사업의 점검이 요청된다고 할 수 있다.

한편, 준거집단 중 가장 많은 비교건수를 보인 우수연구센터와 원자력연구개발사업내 세부 사업을 비교분석한 결과는 다음과 같다.

〈표 9〉 원자력연구개발 사업별 효율성 증진 요소

(단위: %)

	예산	연구원	SCI	기술확산
원자력기술개발	298	195	26	41
원자력기반조성	37	107	11	10
방사선기술개발	33	54	2	3

9) 본 연구는 자료포락분석 결과 도출된 변수별 영향을 기술함에 한정하였다. 최근(유금록, 2008a)에는 효율성에 영향을 미치는 요인 분석으로 절단회귀분석(censored regression model), 토빗회귀모형 등을 활용하고 있으며, 토빗회귀모형이 지니는 한계를 극복하고자 단절회귀분석(truncated regression model)을 사용하여 분석하고 있다.

〈표 9〉는 세부사업별 효율성 증진 요소를 계량적으로 나타내고 있다. 먼저 원자력기술개발 사업은 우수연구센터에 비해, 연구비는 298%, 연구원수는 195%, SCI는 26%가, 기술 확산은 41%가 활용되고 있음을 나타내고 있다. 이는 원자력기술개발사업의 투입대비 산출이 우수연구센터에 비해 상대적으로 매우 낮게 나타나고 있음을 의미한다. 원자력기반조성사업의 경우 참여연구원 수는 107%로 우수연구센터에 근접한 활용도를 보이고 있으나, 성과부분에서 10% 정도만 도출하고 있음을 알 수 있다. 마지막으로 방사선기술개발사업의 경우, 전반적으로 우수연구센터에 비해 활용도가 낮으며 특히 성과의 경우 2%내외로 매우 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다.

VI. 결 론

이상에서 본 연구는 주요 국가연구개발사업 중 원자력연구개발사업의 효율성을 측정을 위한 방법론으로서 DEA를 적용하여 보았다. 앞서 살펴본 바와 같이 DEA는 상대적 효율성을 나타내는 것으로 동일한 준거집단을 갖는 그룹 내에서만 의미를 가지며 준거집단이 다른 경우 효율성 비교는 의미를 갖지 못한다(김태일, 2000). 요컨대 본 연구에서는 교육과학기술부의 주요 3대 사업을 대상으로 검토한 것으로서 비교 대상 사업의 범위를 확대할 경우 결과가 달라질 수도 있으나, 본 연구를 통해 사업별 효율성 여부를 검토하고 이를 극복하기 위한 해결책을 살펴본다는 점에서 DEA의 적용은 의미가 있다고 하겠다.

세부적으로 본 연구결과에 의하면, 원자력연구개발사업내의 세부사업인 원자력기술개발사업, 원자력기반확충사업 및 방사선기술개발은 모두 비효율적으로 나타났다. 따라서 향후 지속적인 투자확대가 예상되는 원자력연구개발사업의 효율성을 제고하기 위해서는 앞서 살펴본 바와 같이 SCI 및 기술확산을 비롯하여 전반적인 산출성과를 높일 필요성이 제기된다. 다만, 효율적인 사업으로 나타난 대부분의 경우 연구수행 주체가 연구소보다는 대학교에 치중되어 있다는 점을 주목할 필요도 있다. 이는 예컨대 대학교의 경우 인건비¹⁰⁾에 투입되는 예산이 연구소 소속 연구원 보다는 상대적으로 적게 나타나므로, 직접비 부분에 상대적으로 많이 투입될 수 있고 이는 석박사학위의 인력양성이나 학술회의 개최 등 성과도출에 영향을 줄 수 있다는 측면도 고려해야 한다.

한편, 본 연구는 연구비의 절대적 증대가 반드시 성과측면에서도 비례적으로 증대될 것이라

10) 연구소의 경우 대학교에 비해 상대적으로 많은 부분이 인건비에 계상되고 인건비와 연계된 간접비 및 직접비 중 연구수당에 할당됨으로써 직접비 부분이 상대적으로 적게 투입될 수 있다.

는 사업운영 방향을 재검토하게 한다는 데에 의의를 둘 수 있다. 예컨대 원자력기술개발사업은 원자력연구개발사업내에 절대적 비중을 차지하고 있음에도 불구하고 분석결과는 현행 연구비를 줄여야 함을 제시하고 있다. 따라서 사업비의 효율성을 전반적으로 제고하기 위해서는 성과도출과 함께 사업비의 효율적 투입이 동시에 고려되어야 할 것이다.

서론에서 제기한 바와 같이, 공공부문에서 시장 매커니즘의 도입과 경제적 효율성 개념의 도입은 현재 대외환경 변화에 따라 더욱 증가할 것이 예측되는 만큼, 사업 효율성 측정에서 자료포락분석의 활용은 의의가 있을 것이다.

한편, 최근에는 자료포락분석법에 의한 효율성 점수가 편의(bias)를 가지며 통계적 신뢰구간을 제시하지 못하는 한계에 대하여 부트스트랩(bootstrap) 자료포락분석이 제시되고 있다(유금록, 2008a). 부트스트랩 자료포락분석을 활용하여 효율성을 측정한 연구는 Simar & Wilson(1998)에 의해 처음으로 수행된 것으로 원자료에서 나타나는 초기 부트스트랩의 추정치가 편의를 가지게 되므로 이를 해결하기 위하여 커널평활법(kernel smoothing method)을 통해 기술적 효율성점수의 원래 밀도(original densities)를 추정하는 것이다.

요컨대, 국가연구개발사업에 자료포락분석을 적용하여 효율성을 측정하는 것은 국가 예산의 효율적 투입을 위하여 의의를 가지고, 효율성 점수를 객관적으로 제시한다는 데에 방법론 차원에서 중요성을 가질 수 있다고 할 것이다. 자료포락분석이 가지는 한계에 의해 통계적 유의미성을 제시하는 데에는 어려움이 있으므로 한계를 극복하기 위한 다양한 방법론을 발굴하여 적용하려는 노력이 필요하다. 또한 최근에 효율성에 영향을 미치는 요인 분석이 다양한 방법에서 시도되고 있는 바, 향후에는 효율성 측정과 함께 post-DEA 차원에서 요인분석이 병행하여 이뤄진다면 DEA가 지니는 한계를 극복하고 사업의 효율성 측정에도 좋은 방법론이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

- 교육과학기술부 (2008), 「국가연구개발사업 중장기 발전전략(2008)」.
- 김건위, 최호진 (2005), “DEA 기법 적용상의 유의점에 관한 연구-지방행정분야를 중심으로-”, 「지방행정연구」, 19(3): 213-244.
- 김건위 (2005), “DEA기법 적용상의 유의점에 관한 연구”, 「한국행정학회 하계학술대회발표논문집」.
- 김성중 (2002), “지방정부 지출 효율성에 미치는 영향요인 분석-사회개발비 지출을 중심으로”,

- 「한국행정논집」, 14(3): 699-718.
- 김성호 외 (2007), 「효율성 분석」, 서울경제경영.
- 김정렬 (2000), “정부의 미래와 거버넌스: 신공공관리와 정책네트워크”, 「한국행정학보」, 34(1).
- 김재홍 (2000), “도동통합 행정구역 개편이 지방정부의 효율성 변화에 미친 영향 연구”, 「한국정책학회보」, 9(1): 47-66.
- 김태일 (2000), “자료포락분석 기법에 의한 자치단체 행정의 생산성 평가에 관한 비판적 논의”, 「정책분석평가학회보」, 10(1): 185~207.
- 김희경, 문상호 (2006), “관세행정서비스의 성과평가: DEA와 SURVEY 방법론을 적용하여”, 「한국행정학회 추계학술대회발표논문집」.
- 국가과학기술위원회 (2008), 「이명박 정부의 과학기술기본계획 2009년도 시행계획」.
- 류영아 (2006), “행정계층별 복지서비스 평가연구”, 「정책분석평가학회보」, 16(2).
- 문신용, 윤기찬 (2004), “사회복지서비스 생산성에 관한 통합적 분석”, 「한국행정학보」, 38(6): 201-224.
- 박창제 (1997), “자료포락분석을 이용한 효율성 측정: 지방공사 의료원을 중심으로”, 「보건행정학회지」, 6(2): 91-114.
- 서순복 (1999), “신공공관리에 관한 보완적 접근: 정보기술을 활용한 행정개혁”, 「한국사회와 행정연구」, 10(2).
- 신영진 (2005), “광역자치단체의 전자기방정부구현과정의 효율성 평가-자료포락분석과 SWOT 분석을 중심으로”, 「한국행정논집」, 17(3): 811-832.
- 신현대 (2005), “DEA기법에 의한 대학의 성과평가”, 「한국행정학회 하계학술대회발표논문집」.
- 안태식 (1998), “한국 대학의 효율형태와 영향요인”, 「회계학 연구」, 23(2).
- 유금록 (2008a), “공공부문의 효율성과 영향요인 분석”, 「한국행정학보」, 42(3): 79-109.
- 유금록 (2008b), “공공부문의 효율성 측정에 있어 환경변수의 조정”, 「한국행정학보」, 42(4): 117-149.
- 유금록 (2007), “성과평가를 위한 자료포락분석에 있어서 쌍대이론에 의한 포락모형의 공식화와 적용”, 「정책분석평가학회보」, 17(4): 57-86.
- 유금록 (2003), “보건소의 생산성 측정”, 「한국행정학보」, 37(4): 261~280.
- 윤경준 (2003), “공공부문 효율성 측정을 위한 DEA의 활용”, 「정부학연구」, 9(2): 7~31.
- 윤경준 (1996), “DEA를 통한 보건소의 효율성 분석”, 「한국정책학회보」, 5(1): 80-109.
- 이시원, 민병익 (2001), “시군 통합에 따른 행정구역 개편의 효율성 분석”, 「서울행정학회보」, 12(3).

- 이혁주, 박희봉 (1996), “도시행정서비스의 생산특성과 비효율 분석”, 「한국행정학보」, 30(4): 4121-4137.
- 이환범 외 (2005), “지방공기업의 경영성과관리와 평가지표개발: 자료포락분석에 의한 효율성 측정”, 「한국사회와 행정연구」, 15(4): 275-298.
- 일본내각부 (2007), 「2007년 과학기술 관계 예산안 및 그 중점화의 상황에 대하여」.
- 임동진, 김상호 (2000), “DEA를 통한 지방정부의 생산성 측정: 인력재정과 공공서비스 관계를 중심으로”, 「한국행정학보」, 34(4): 217-234.
- 전병관 (2002), “지방정부의 상대적 생산성 측정: DEA에 의한 기술, 배분, 규모 효율성을 중심으로”, 「지방정부연구」, 6(2): 23-44.
- 정윤수 (1995), “자료포락분석모형을 이용한 효율성 연구”, 「정책분석평가학회보」, 5(1): 277-291.
- 중국 국무원 (2006), 「국가 중장기 과학기술발전계획(‘06~20)」.
- 최태성 외 (1997), “비영리 조직의 효율성 평가를 위한 DEA 활용”, 「인하대학교 경영연구소 경영논집」, 6(1).
- 한국과학재단 (2007), 「과학기술부 연구개발사업 성과분석보고서」.
- 홍준현 (2005), “도농통합의 재정적 효과에 관한 연구”, 「지방행정연구」, 19(4): 145-173.
- Aigner, D., C. A. K. Lovell, and P. Schmidt (1977), “Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models”, *Journal of Economics*, Vol. 6(1): 21-37.
- Aigner, D. and S.F. Chu (1968), “On Estimating the Industry Production Function”, *American Economic Review*, 58(4): 826-839.
- Banker, R. D., A. Charnes & W. W. Cooper (1984), “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis”, *Management Science*, 30(9): 1078-1092.
- Charnes, A., W.W.Cooper and E. Rhodes (1978), “Measuring the Efficiency of Decision Making Units”, *European Journal of Operational Research* 2.
- Charnes, A., W.W.Cooper and E. Rhodes (1981), “Evaluating Program and Managerial Efficiency - an Application of Data Envelopment Analysis to Program Fellow Through”, *Management Science*, 27(6): 668-697.
- Debreu, G. (1951), “The Coefficient of Resource Utilization”, *Econometrica*, 19: 273-292.
- Farrell, M. (1957), “The Measurement of Productive Efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society*, 120A.

- Jennifer C. Greene, Lehn Benjamin and Leslie Goodyear (2001), "The Merit of Mixing Methods in Evaluation", *Evaluation*, 7(1): 25-44.
- Koopman, T.C. (1951), *An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities*, Wiley, New York.
- Nagel, Jack H. (1997), "Radically Reinventing Government: Editor's Introduction", *Journal of Policy Analysis and Management*, 16(3).
- Robert D. Behn (2003), "Why measure Performance?: Different Purpose Require Different Measures", *Public Administrative Review*: 586-606.
- Rhodes E. (1978), "Data Envelopment Analysis and Related Approaches for Measuring Efficiency of Decision Making Units with an Application to Program Fellow Through in US Education", *PhD Thesis (Carnegie Mellon University)*.
- Simar, L. & Wilson, P.W. (1998), "Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models", *Management Science*, 44(1): 49-61.
- Stigler, G J. (1976), "The Xistence of X-efficiency", *American Economic Review*, Vol. 66(1): 203-216.

김태희

고려대학교 및 동대학원에서 석사학위(법학)를 취득하고 동대학원 기술정책학 박사과정을 수료하였다. 현재 한국과학재단 선임연구원으로 근무 중이며 관심분야는 연구개발정책, 연구개발제도, 정책분석 등이다.

김인호

건국대학교 전자공학과에서 박사학위를 취득하고 현재 한국과학재단 방사선연구관으로 근무 중이다. 관심분야는 기술정책, 연구개발 등이다.

안성봉

건국대학교 경영대학원 석사과정을 수료하고 현재 한국과학재단 원자력지원팀장으로 근무 중이다. 관심분야는 연구관리 및 과학기술정책 등이다.

이계석

한양대학교 및 동대학원에서 석사학위(원자력공학)를 취득하고 현재 한국과학재단 방사선팀장으로 근무 중이다. 관심분야는 정책기획 및 국제지식재산권 등이다.