

Cumulative DEA/Malmquist Index 기법을 이용한 정부출연 연구기관 연구개발 효율성 변화 분석

이수철¹ · 이동호^{2*}

¹한국과학기술정보연구원 미래정책연구부 미래전략실

²국방과학연구소 제7기술연구본부 UAV체계개발단

Analysis of the Change in R&D Efficiency in a
Government-Funded Research Institute in Korea :
Cumulative DEA/Malmquist Analysis Approach

Suchul Lee¹ · Dong Ho Lee²

¹Dept. of Future R&D Strategy, Div. of Policy Research,
Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI)

²The 7th R&D Institute Unmanned Aerial Vehicle Systems PMO,
Agency for Defense Development (ADD)

■ Abstract ■

This paper presents a framework to analyze the change in the research and development (R&D) efficiency of government-funded research institutes (GRIs) in Korea. Cumulative data envelopment analysis/Malmquist index method is utilized to analyze the changes in R&D efficiency of GRIs. Data analysis of the R&D activities of 10 GRIs in Korea Research Council of Fundamental Science & Technology showed that the average R&D efficiency of the 10 GRIs improved from 2009 to 2013. However, the efficiency of a few GRIs decreased in terms of the catch-up index. The proposed framework can help management teams diagnose the current state of R&D activities and determine the efficacy of strategic actions by comparing efficiencies in the past.

Keywords : Government-funded Research Institute (GRI), R&D Management, Research and Development, Data Envelopment Analysis, R&D Efficiency, Efficiency Change

1. 서 론

정부출연 연구기관(이하 출연(연))은 일반적으로 “정부출연 연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률” 및 “과학기술 분야 정부출연 연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률”을 근거로 하여 설립된 연구기관을 말한다. 이러한 출연(연)은 국가가 추구하고자 하는 과학기술연구를 국가를 대신하여 전문적으로 수행함을 목적으로 함에 있다. 특히 기업 및 대학에서 효과적으로 수행하기 힘든 연구, 대국민 서비스 관련 연구 또는 비영리 목적으로 국가가 추구하고자 하는 대규모 핵심연구를 수행하는 형태로 그 역할을 수행한다. 그러나 2000년대 이후, 산업체 및 대학의 R&D 역량이 크게 높아짐에 따라 출연(연)의 임무 및 역할에 대한 재정립 요구가 증대하고 있다. 출연(연)의 예산과 인력 투입이 성과에 효율적이지 않고 있다는 비판이 제기되고 있으며, 본 연구는 이러한 시각에서 출연(연) 연구개발 성과의 효율성 분석을 수행함을 목적으로 이루어졌다.

출연(연) 연구개발 성과 분석과 관련하여 다양한 선행연구가 수행되었으나[5, 7, 8, 9, 10, 12, 14], 이들 선행연구는 출연(연) 연구개발 생산성 제고 및 역할 정립에 기여점이 있는 반면에 출연(연)의 연구개발 효율성을 분석하여 시사점을 도출하고자 하는 관점에서는 한계점이 존재한다. 최근에 들어 본 연구에서 제시하는 방법론의 기반이 되는 Data Envelopment Analysis(DEA) 기법을 적용하여 출연(연)의 연구개발 효율성을 분석한 선행연구도 있지만[1, 6], 특정 시점에서의 연구개발 효율성을 분석하였다는 점에서 시간의 흐름에 따른 효율성 변화를 고려하지 못하였다는 한계점이 존재한다.

이러한 선행연구의 한계점을 보완하고자, 본 연구에서는 단순히 한 시점에서의 출연(연) 연구개발 효율성을 분석하는 것에서 나아가, 최근 5년간의 연구개발 효율성 변화를 측정하는 것에 초점을 두었다. 연구개발 효율성 변화 분석을 위해서 Cumulative DEA/Malmquist Index 분석법을 적용하였으며, 기초기술연구회 소속 10개 출연(연)을 대상으로 분석

을 수행하였다. 연구개발의 특성을 반영하는 2개 투입변수와 3개 산출변수를 문헌연구를 통해 선정하였고, 보다 정확한 결과 분석을 위해 투입변수와 산출변수 간 3년의 차이를 두었다. 그 결과 10개 출연(연) 전반적으로 연구개발 효율성은 향상되는 경향을 보임을 확인하였으나, 일부 출연(연)은 이러한 효율성 향상 경향에도 불구하고 효율 집단인 프론티어 라인과의 거리가 점점 멀어지는 경향을 보이기도 하였다. 본 연구에서 제시하는 방법론은 현재 출연(연) 평가체계에서 존재하는 한계점을 보완할 수 있을 것이며, 연구개발 효율성 변화 경향을 보여주는 분석 결과는 연구개발 생산성 관련 시사점 도출 및 출연(연) 발전전략 수립에 근거 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 이어지는 제2장에서는 관련 문헌연구를 통해 출연(연) 역사 및 성과 분석 현황, 그리고 연구개발 효율성 분석과 관련한 선행연구에 대해 간략하게 살펴본다. 제3장에서는 본 논문의 방법론인 Cumulative DEA/Malmquist Index 분석법을 소개하고, 제4장에서는 이 방법론을 활용하여 실제 분석을 수행한다. 마지막 제5장에서는 결론 및 본 연구의 기여점, 그리고 한계점에 대해서 논한다.

2. 문헌 연구

2.1 정부출연연구소 역사 및 현황

우리나라에서 최초로 설립한 출연(연)은 1960년대 설립된 KIST 종합연구소이다. KIST 설립을 계기로 1970년대 본격적으로 출연(연)의 시대가 열리게 되었다. 1970년대에는 원자력연구소, 기계연구소 등 각 기술 분야에 특화된 연구기관이 다수 설립되기 시작하면서 국내 산업기술이 매우 취약한 당시 국가의 과학 분야를 전반적으로 선도하고, 산업체를 직접 지원하는 역할을 수행하였다.

1980년대부터 1990년대에는 과학기술부 일원화 체제로 출연(연)은 통폐합 과정을 겪었다. 국가가 전면

적으로 R&D를 주도하였고, 산업체 및 대학의 R&D 역량이 강화됨에 따라 출연(연)은 국가 주도형 국가 연구개발 사업을 수행함에 초점을 두게 되었다.

1990년대 이후 출연(연)에 관하여, 공동 활용을 목적으로 하는 연구회체제를 도입하였고 이에 따라 정부가 직접 통제하는 측면은 다소 완화되는 특징을 보였다. 1990년대에는 프로젝트 중심으로 연구개발을 진행하는 Project-based System(PBS) 제도가 도입되었고, 기관평가 강화 등 생산성을 높이고자 하는 정책을 특징으로 하였다. 산업체 및 대학의 연구개발 역량이 더욱 확대되어 산·학·연은 서로 경쟁하는 구도를 나타내게 되었다.

2000년대 이후 소관부처가 교육과학기술부, 지식경제부 등으로 이원화되었으며, 2008년 이후 출연(연)은 크게 사회적 공헌도가 높은 기초원천연구와 개발연구의 2가지 기술 분야의 성격으로 나누어 각 분야에 집중하는 체제를 갖추었다. <표 1>과 같이 주로 기초과학 연구를 목적으로 하는 10개의 연구기관(미래창조과학부 산하)과 응용 및 산업 기술을 목적으로 하는 산업기술연구회 14개 기관(산업통상자원부 산하)이다.¹⁾ 이처럼 정부는 출연(연)의 효율화를 위하여 출연(연)을 기술 분야별로 구분함과 동시에, 각 분야별 연구기관에 기초기술연구회 및 산업기술연구회라는 전문 관리 공공기관을 두어 각 연구기관을 지원 및 육성하면서 체계적으로 운영하였다.²⁾

한편으로 2000년대 이후, 산업체 및 대학의 R&D 역량이 크게 높아짐에 따라 출연(연)의 임무 및 역할에 대한 재정립 요구가 증대하고 있다. 출연(연) 지금까지는 국가 연구개발에 지대한 공헌을 세운 것으로 평가받고 있으나, 최근에 들어 국가 경쟁력 제고에 어떻게 기여할 것인지에 관한 학술적, 사회적인 연구가 활발히 일어나고 있는 실정이다. 이러한 이유에서 출연(연)에 대한 정밀한 성과분석의 필요성이 제기되고 있다.

<표 1> 각 연구회 소관 출연(연) 현황

전문관리기관	기초기술연구회(10개)	산업기술연구회(14개)
출연(연)	한국과학기술연구원 한국한의학연구원 한국기초과학지원연구원 국가핵융합연구소 한국생명공학연구원 한국표준연구원 한국과학기술정보연구원 한국천문연구원 한국항공우주연구원 한국원자력연구원	생산기술연구원 전자통신연구원 국가보안기술연구소 건설기술연구원 철도기술연구원 식품연구원 세계김치연구소 지질자원연구원 기계연구원 재료연구소 에너지기술연구원 전기연구원 화학연구원 안전성평가연구소

2.2 정부출연연구소 연구개발 성과분석

출연(연)의 성과분석에 관한 연구로는 주로 정부 주도의 현황조사 및 정책 제언 위주의 문헌연구가 활발하게 이루어졌다. 김승태[3]는 출연(연)에 대한 투자와 성과 추이의 검토 및 타 연구개발주체와의 비교를 통해 출연(연)의 현재 상황을 투자 대비 생산성 측면에서 분석하고, 시사점을 도출하고자 하였다. 최문정[13]은 출연(연) 성과평가 발전방안 및 성과제고를 위한 현황을 정리하고, 출연(연)을 평가하는데 있어 질적 지표 등을 강조하고, 활용하는 방법에 관한 제언을 하였다.

방법론적인 관련 선행연구를 살펴보면, 심우중, 김은실[8]은 NTIS 자료를 활용하여 연도별 정부연구비 증감율과 성과 증감률 사이의 상관관계 분석, 성과비교분석 등을 수행하였다. 한승환, 권기석[14]은 대학의 경제적 역할에 대한 논의를 이공계 분야 대학 조직 차원에서 이공계 대학의 특성과 연구비 구조와 특히 기술이전 수익 등과 상관관계에 대하여 횡단면 분석을 실시하였다. 이종욱[10]은 정부의 연구비 지원이 자연과학 및 공학을 전공한 연구자 개인 차원에서 연구 성과(논문에만 국한)에 어떠한 영향을 미치는지에 관하여 실증 분석을 수행하였다. 장덕희 외[12]는 회귀분석을 통하여 정부연구비 지원이 지

1) 2014년 상반기 기준.

2) 2014년 7월 양 연구회는 국가과학기술연구회로 통합되었으며, 미래창조과학부 산하로 일원화되었다.

식재산 창출에 관하여 어떻게 영향을 미치는지에 관하여 연구비 지원규모와 특허성과(출원, 등록, 기술이전) 사이의 연관관계를 밝혀내고자 하였다. 민철구, 박성욱[7]은 출원(연) 연구성과에 영향을 미치는 요인 분석에서 출원(연)의 연구성과에 영향을 미치는 요인을 살펴보기 위해 성과에 미치는 각 변수들을 가정하여 이를 대표하는 독립변수로 연구비, 연구인력, 연구지원인력으로 선정하였고 종속변수인 연구성과는 기술료, 논문, 특허 등으로 상정하여 독립변수가 종속변수에 어떠한 영향을 미치는지 시계열 분석과 횡단면 분석을 통해 회귀 분석 값을 도출하였다. 남영호, 김병태[5]는 출원(연)의 기관평가제도가 각 연구기관의 특성(미션, 인력구성, 연구영역 등)을 얼마나 반영하는가에 관하여 BSC(balanced score card) 분석을 통하여 기관평가 지표를 보완하고자 하였고, 이수철 외[9]는 Michael Porter의 다이아몬드 모델에서 사용된 관점을 출원(연) 분석에 수정한 출원(연) 경쟁력 분석 모형을 제시하였다.

이처럼 다양한 문헌에서 출원(연) 연구개발 생산성 제고 및 역할 정립을 위해 다양한 성과 분석이 수행되었으나, 이들 선행연구는 출원(연)의 연구개발 효율성을 분석하여 시사점을 도출하고자 하는 관점에서 본 연구와 차이점이 존재한다. 최근 국가 연구개발 투자의 효율성에 대한 관심이 증대되고 있다는 점을 고려할 때, 기존 선행연구에서 나아가 출원(연)의 연구개발 성과의 효율성에 대한 정밀한 분석이 필요하며, 따라서 본 연구에서는 Culmualtive DEA/Malmquist Index 기법을 적용하여 출원(연)의 연구개발 효율성을 분석하고자 한다.

2.3 연구개발 효율성 분석

연구개발의 특성을 반영하여 연구개발의 효율성을 분석을 시도한 여러 선행연구에서 DEA 기법을 적용하였다. 그 이유는 DEA가 여러 종류의 투입과 산출을 가지고 있는 의사결정단위(decision making unit, DMU)의 상대적 효율성을 분석할 수 있는 대표적인 방법론이기 때문이다. Lee et al.[26]과 Wang and

Huang[35]은 DEA 기법을 연구개발 효율성을 측정하는데 있어 유용한 방법론임을 세 가지 이유를 들어 설명하였다. 첫째, DEA는 해당 DMU의 상대적 효율을 최대로 하는 투입요소와 산출요소에 부여되는 가중치를 찾는 모델로 투입요소와 산출요소의 상대적인 비중 설정이 필요하지 않다. 둘째, DEA는 투입요소와 산출요소 간 관계에 대한 정의 필요로 하지 않기 때문에 연구개발에 적용되는 투입요소와 산출요소간의 명확한 연결성을 고려하지 않아도 적용이 가능하다. 셋째, DEA는 다수의 투입요소와 다수의 산출요소에 대한 분석이 가능하므로, 다양한 투입요소(연구비, 연구인력 등)를 통해 다양한 형태의 산출요소(논문, 특허 등)가 나타나는 연구개발 효율성 분석에 적합하다.

이러한 관점에서 다수의 선행연구가 DEA 기법을 활용하여 상대적인 연구개발 효율성 분석을 수행하였다. 연구개발 효율성을 분석하기 위한 대상도 선행연구에서 다양하게 나타나는데, 주로 연구개발 과제 또는 프로그램 수준에서 분석하거나(예: [20, 25, 26, 33]), 특정 지역 또는 산업 내 분석(예: [19, 27, 28, 30, 34, 35, 36])이 주로 수행되었다. 예를 들어, Lee et al.[26]은 국내에서 진행된 국가연구개발 프로그램을 대상으로 총 548개 과제를 DMU로 설정하여 효율성 분석을 수행하였고, Liu and Lu[28]은 대만의 32개 정부출연연구기관을 대상으로 연구개발 성과를 분석하였다. 이 연구는 기본적인 DEA 기법의 결과를 바탕으로, 각각의 DMU를 노드(node), DMU의 벤치마킹 대상으로 선정된 관계를 링크(link)로 하는 네트워크를 구성하여 중심성(centrality) 값으로 연구개발 성과에 대한 순위를 제시하였다. 또한, Meng et al.[30]은 중국의 15개 기초연구기관을 대상으로 연구 효율성을 분석하였는데, 이 연구는 많은 수의 산출변수를 고려하기 위해 다양한 산출변수를 계층구조로 구분하여 적용하는 기법을 제시하였다.

뿐만 아니라, 국내 출원(연)을 대상으로 DEA 기법을 적용하여 연구개발 효율성을 비교분석하는 선행 연구들도 다수 수행되었다(예, [1, 6]). 예를 들어 남인석 외[6]는 국내 과학기술분야 19개 출원(연)을 대상으로 DEA 기법을 적용하여 상대적 효율성을 분

석하였는데, 투입변수와 산출변수의 우선순위에 대한 주관적인 평가자들의 의견을 반영하기 위해 DEA/AR(Assurance Region) 모형을 적용한 것이 특징이다. 이 연구와 유사하게 광기호 외[1]의 연구에서도 DEA/AR 모형을 적용하여 국내 11개 출연(연)을 대상으로 분석을 수행하였는데, 연구개발 산출물이 생산되는데 일정 기간의 시차가 발생된다는 점을 고려하여 투입변수와 산출변수간 시차를 두고 분석을 수행하였다.

이처럼 다양한 선행연구에서 연구개발 효율성 분석을 목적으로 DEA 기법이 적용되었으나, 출연(연)의 연구개발 효율성에 관한 핵심지표라고 할 수 있는 논문, 특허, 기술이전에 관한 지표에 대하여 시간의 흐름에 따른 변화를 살펴보거나, 출연(연)간 성과를 비교분석 한다는 점에서 부족한 점을 보인다. 특히, DEA 방법론은 기본적으로 특정 시점에서의 효율성만을 분석할 수 있기 때문에 시간의 흐름에 따라 각 출연(연)의 연구개발 생산성이 변화하였는지 파악하기 어렵다는 한계점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 (구)기초기술연구회 소관 10개 기관의 연도별 논문, 특허, 기술이전을 산출 변수로, 예산 및 인력을 투입 변수로 사용하여 출연(연) 연구개발 성과 효율성 변화를 시간의 흐름에 따라 분석하고자 하였다. (구)기초기술연구회 소속 출연(연)으로 분석대상을 한정된 이유는 분석 대상이 되는 DMU는 유사한 성격을 가지며 비교 가능한 산출물을 생산한다는 DEA 분석의 기본 가정에 부합하기 위함이다. 이와 같이 선행연구의 한계점을 보완하기 위해 본 연구에서는 출연(연)의 연구개발 성과를 효과적으로 비교 분석하고, 시간의 흐름에 따른 효율성 변화를 측정하기 위하여 DEA/Malmquist Index 방법론을 응용하여 시사점을 도출하고자 하였다.

3. DEA/Malmquist Index 분석 방법론

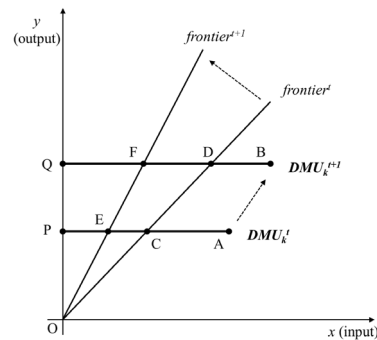
본 연구에서는 출연(연)의 R&D 효율성을 분석하기 위해서 DEA 기법을 기반으로 분석을 진행하였다.

DEA는 대표적인 두 가지 모델이 있는데, 하나는 CRS (constant return to scale)를 가정하는 CCR 모형 [17]이며, 다른 하나는 VRS(various return to scale)를 가정하는 BCC 모형[15]이다. 연구개발의 경우, 선행 연구에 따르면 CRS 뿐 아니라 IRS(increasing return to scale), DRS (decreasing return to scale)의 경향도 나타내므로[16, 23, 26, 31], 본 연구에서는 BCC 모형을 사용하였고, 이는 아래 수식과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize } g_k = \theta & (1) \\
 & \text{s.t.} \\
 & x_{ki}\theta \geq \sum_{j=1}^n x_{ji}\lambda_j, \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & y_{kr} - \sum_{j=1}^n y_{jr}\lambda_j \leq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 0 \\
 & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

- θ : efficiency score
- λ_j : weights of output "indicator" j

BCC 모형은 VRS 가정 하에서 DMU들의 상대적 효율성을 측정하는 것에는 적합하지만, 효율성의 변화를 측정하는 것에는 한계점을 가진다. 그 이유는 BCC 모형은 특정 시점에서의 DMU별 상대적 효율성을 분석함으로써 프론티어 라인의 이동(frontier shift)을 고려하지 못하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 출연(연) 연구개발 효율성 변화를 분석하기



[그림 1] 프론티어 라인 이동에 따른 효율성 변화

위해서 DEA/Malmquist Index 분석법을 사용하였다. DEA/Malmquist Index 분석법은 생산성 변화 분석에서 먼저 소개된 개념[21]으로 이 개념이 DEA에 적용되면서 활용되어 왔다. DEA/Malmquist Index 분석법에서 말하는 프론티어 라인의 변화에 따른 효율성 변화 개념은 [그림 1]과 같다.

[그림 1]은 분석 시점이 t 와 $t+1$ 일 때, 각 시점에서의 프론티어 라인과 DMU_k 의 위치를 개념적으로 표현한 것이다. 여기에서 t 시점에서의 BCC DEA 프론티어는 \overline{OCD} , DMU_k 의 위치는 A 이고, 따라서 DMU_k 의 상대적 효율성은 $\overline{PC/PA}$ 로 계산된다. $t+1$ 시점에서의 프론티어는 \overline{OEF} 로, DMU_k 의 위치는 B 로 이동하였다면, 이 때 DMU_k 의 상대적 효율성은 $\overline{QF/QB}$ 로 계산된다. 이러한 경우 두 시점에서의 프론티어 라인이 이동하였기 때문에 t 시점과 $t+1$ 시점에서의 DMU_k 의 효율성의 변화를 비교 분석하기 어렵게 되는 한계점이 발생하게 된다. 따라서 정확한 효율성 변화 분석을 위해서는 t 시점 뿐 아니라 $t+1$ 시점에서의 프론티어 라인도 함께 고려하여야 하는데, 이러한 개념이 바로 DEA/Malmquist Index 분석법이다. DMU_k 의 DEA/Malmquist Index는 아래와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} MI_k(t, t+1) &= \left(\frac{QD/QB}{PC/PA} \times \frac{QF/QB}{PE/PA} \right)^{1/2} \quad (2) \\ &= \frac{QF/QB}{PC/PA} \left(\frac{PC/PA}{PE/PA} \frac{QD/QB}{QF/QB} \right)^{1/2} \\ &= \frac{QF/QB}{PC/PA} \left(\frac{PC}{PE} \frac{QD}{QF} \right)^{1/2} \\ &= CU_k(t, t+1) FS_k(t, t+1) \end{aligned}$$

즉, $MI_k > 1$ 일 경우에는 DMU_k 의 효율성이 t 시점에서 $t+1$ 시점으로 오면서 증가하였음을 나타내고, $MI_k < 1$ 일 경우에는 효율성의 감소, $MI_k = 1$ 일 경우는 효율성 변화 없음을 의미한다. 또한, MI_k 는 식 (2)와 같이 CU_k , FS_k 두 가지 컴포넌트로 구분되어진다. CU_k 는 catch-up index로 t 시점에 비해서 $t+1$ 시점에 DMU_k 가 얼마나 프론티어 라인에 가까워졌는지를 나타내는 값으로, $CU_k > 1$ 일 경우에는 DMU_k 가

t 시점에서 $t+1$ 시점으로 오면서 프론티어 라인에 더 가까워졌음을 나타내고, $CU_k < 1$ 일 경우에는 거리 증가, $CU_k = 1$ 일 경우는 거리 변화가 없음을 의미한다. FS_k 는 frontier shift index로 t 시점에 비해서 $t+1$ 시점에 DMU_k 의 생산성의 증감 여부를 나타내는 값으로, 즉, t 시점에서 $t+1$ 시점으로 오면서 프론티어 라인을 이동시키는데 끼친 DMU_k 의 영향을 나타낸다. $FS_k > 1$ 일 경우에는 t 시점에서 $t+1$ 시점으로 오면서 DMU_k 는 프론티어 라인을 같은 양의 산출요소를 생산하기 위해 상대적으로 적은 투입요소를 필요로 하는 방향으로 변화 시켰음을 나타내고, $FS_k < 1$ 일 경우에는 반대로 같은 양의 산출요소를 생산하기 위해 상대적으로 더 많은 투입요소를 사용하는 방향으로 프론티어 라인을 변화 시켰음을 나타낸다. 동일한 관점으로, $FS_k = 1$ 일 경우는 프론티어 라인의 변화에 영향을 주지 않는 경우를 의미한다.

이러한 catch-up index(CU)는 “efficiency change”로, frontier shift index(FS)는 “technical change”로 해석되기도 하며[21], 생산성 측면의 산업관점에서는 Malmquist Index가 총요소생산성(total factor productivity) 변화를 나타내는 바, 구체적으로 각각 “efficiency change at the level of the firm”과 “industry-wide productivity change”로 해석된다[24]. 이러한 관점을 출연(연)의 주요 임무인 연구개발 측면에서 적용하면 Malmquist Index는 총요소연구개발생산성(total factor R&D productivity)으로 정의할 수 있으며, 따라서 CU_k 는 “diffusion of R&D technology into DMU_k ”로, FS 는 “innovation of R&D technology”로 해석 가능하다. 식 (2)에 의하면, CU_k 는 DMU_k 가 t 시점에서 $t+1$ 시점으로 오면서 얼마나 프론티어 라인으로 가까워졌는지를 나타내는데, 이는 곧 연구개발 효율성 향상에 영향을 미치는 새로운 기술이 얼마나 DMU_k 에 확산 되었는지를 의미한다. 또한 FS_k 는 DMU_k 가 t 시점에서 $t+1$ 시점으로 오면서 프론티어 라인이 변화하는데 끼친 영향의 정도를 표현하는 값이므로, DMU_k 가 얼마나 기술혁신을 이루었는지를 나타내게 된다. 이와 유사한 관점은 선행연구에서도 적용되었는데(예, [4, 21, 24, 29,

32]), 예를 들어 Hashimoto and Haneda[24]의 경우 일본 내 11개 제약회사를 대상으로 10년간의 효율성 분석을 수행하여 그 결과를 “diffusion of R&D technology”와 “innovation of R&D technology”와 측면에서 제시하였다. 이와 같이 DEA/Malmquist Index 분석법을 출연(연) 연구개발 성과를 기반으로 적용함으로써, 주어진 기간 내 출연(연)의 실질적인 연구개발 효율성 변화를 측정할 수 있을 뿐만 아니라, 그 변화의 주요 요인까지 파악할 수 있게 된다.

이처럼 DEA/Malmquist Index 분석법을 통해 효율성 변화 분석을 위해 필요한 정보를 획득할 수 있지만, 기본적인 DEA/Malmquist Index 분석법은 바로 전 시점과의 비교 결과만을 보여주기 때문에, 전체 분석 기간의 전반적인 변화에 대한 정확한 분석 결과라고 보기는 어려운 부분이 있다. 그 이유는 측정되는 Malmquist Index는 circular test를 만족시키지 않기 때문이다(예 : $MI_k(t, t+1) \times MI_k(t+1, t+2) \neq MI_k(t, t+2)$) [21]. 따라서 본 연구에서는 누적 변화를 분석하기 위해 Cumulative DEA/Malmquist Index 분석법[24]을 적용하였다. Cumulative DEA/Malmquist Index 분석법은 특정 기준점을 두고 해당 기준점과 다른 시점을 비교하여 결과를 도출함으로써 분석 기간 동안의 전반적인 효율성 변화 측정을 가능하게 한다. 즉 분석이 $MI_k(1, 2)$, $MI_k(2, 3)$, $MI_k(3, 4)$, ...로 진행되는 것이 아니라 $MI_k(1, 2)$, $MI_k(1, 3)$, $MI_k(1, 4)$, ...로 수행된다. Cumulative DEA/Malmquist Index 분석이 본 연구에 적합한 이유는, 특정 시점을 기준으로 두고 출연(연)의 Malmquist Index가 측정되므로 해당 기준점과 비교하였을 때 총요소연구개발생산성이 어떻게 변화하여 왔는지 분석하기 용이하기 때문이다.

4. 출연(연) 연구개발 효율성 변화 분석

출연(연) 연구개발 효율성 변화 분석을 위해서는 먼저 투입 및 산출 변수를 선정해야 한다. 연구개발을 대표할 수 있는 투입 및 산출 변수는 다양한 문헌을 검토한 결과 <표 2>와 같이 선정되었다. 투입변수는

연구개발 효율성 분석에서 널리 활용되는 연구비, 연구인력 2개 변수가 선정되었고, 산출변수는 연구개발 효율성을 대표하는데 주로 활용되는 SCI 논문 수, 특허 등록 건수를 비롯하여 출연(연) 특성을 반영하기 위해 기술이전 건수까지 총 3개 변수가 선정되었다.

<표 2> 출연(연) 연구 효율성 투입 및 산출 변수

구분	변수	관련 문헌
투입변수	연구비	[2, 11, 18, 19, 24, 25, 26, 27]
	연구인력	[2, 11, 18, 19, 24, 25, 26, 27]
산출변수	SCI 논문	[25, 26, 27, 34]
	특허등록	[18, 19, 24, 25, 26, 27, 34]
	기술이전	[22, 25, 27]

본 연구에서는 기술분야 성격을 고려하여 기초기술 연구회 소속 10개 출연(연)을 대상으로 연구개발 효율성 분석을 수행하였다. 선행연구에 따르면 연구개발을 위한 자원이 투입된 후 실질적인 결과가 도출되는데 평균적으로 3년 정도 소요되므로[35], 본 연구에서도 투입변수와 산출변수간 시간 간격을 3년으로 두고 분석을 수행하였다. 각 연구개발의 특성에 대한 고려 없이 일률적으로 3년 시간 간격을 두고 분석한 점은 추가적인 보완이 필요할 수 있으나, 본 연구는 일반적으로 적용 가능한 분석 프레임워크를 제안하는 것에 초점을 두어 진행하였다. 투입변수는 2006년에서 2010년 데이터를 활용하였고, 산출변수는 2009년부터 2013년 데이터를 각 연도별 투입변수에 맞추어 적용하였다. 또한, 출연(연)의 익명성 보장을 위해 10개 출연(연)을 A~J로 명명하였다. 출연(연)별 5년간 투입 및 산출변수 평균은 <표 3>과 같다.

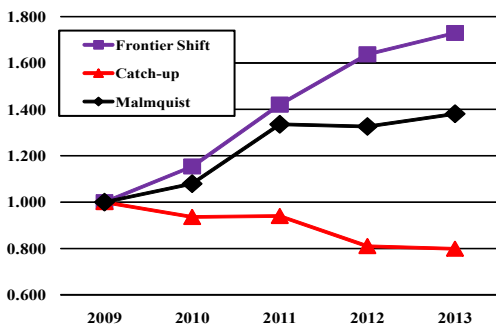
수집된 데이터를 바탕으로 10개 출연(연)의 5년간 연구개발 효율성 변화를 측정된 전체 결과는 [그림 2]와 같다. 10개 출연(연) 전체 변화 양상을 분석하기 위해서 각 출연(연)의 인덱스 값들의 기하평균으로 표현하였다. FS_k 는 DMU_k 관점에서 측정되는 프론티어 라인의 변화이므로 \overline{FS} 는 10개 출연(연) 전체 관점에서의 연구개발 효율성 변화를 의미하며, 구체적으로 $\overline{FS} > 1$ 일 경우는 10개 출연(연) 집합이 보다 적은 연구개발 투입요소로 보다 많은 연구개발 산출

〈표 3〉 출연(연)별 연간 투입 및 산출변수 평균

출연(연)	투입변수(2006~2010)		산출변수(2009~2013)		
	연구비* (백만 원)	연구인력** (명)	SCI 논문 (건)	특허등록 (건)	기술이전 (건)
A	194856.0	680.2	784.0	394.2	291.0
B	63456.0	181.4	365.8	45.2	4.4
C	106966.2	162.2	98.8	23.4	2.4
D	28329.4	133.0	120.2	5.6	0.6
E	107855.6	306.2	407.0	158.2	14.8
F	27610.2	106.4	65.4	34.0	3.8
G	98871.4	337.6	85.2	46.0	19.6
H	100554.4	387.0	248.2	148.0	26.8
I	343891.8	658.6	43.2	108.2	21.8
J	280310.4	1153.0	396.8	263.4	41.8
전체	135270.1	410.6	261.5	122.6	42.7

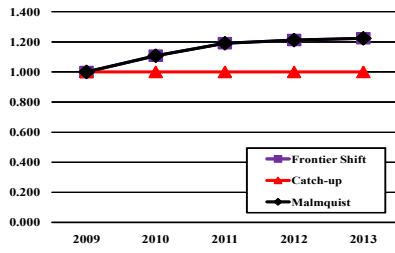
*기관 총예산, **정규직 인력.

요소를 생산하게 되었다는 뜻이다. [그림 2]에서 나타난 바와 같이 지난 5년 동안 10개 출연(연)의 연구개발 효율성은 전반적으로 상승추세에 있으며, 이 상승추세는 FS 가 상승되었기 때문임을 알 수 있다. 즉, (구)기초기술연구회 소속 10개 출연(연) 전체의 연구개발 효율성은 분석 시작 시점인 2009년에 비해 2013년에 약 1.7배 증가한 것으로 나타났다. 중요소 연구개발생산성에서 FS 는 “innovation of technology”로 해석되는바, 이는 5년간 (구)기초기술연구회 소속 10개 출연(연)에서 지속적으로 기술혁신이 발생하였고, 이러한 기술혁신이 곧 연구개발 효율성 또는 생산성 향상으로 이어진 것으로 분석된다.

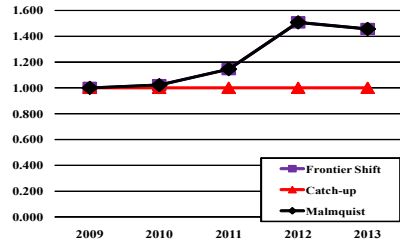


[그림 2] 10개 출연(연) 연구개발 평균 효율성 변화

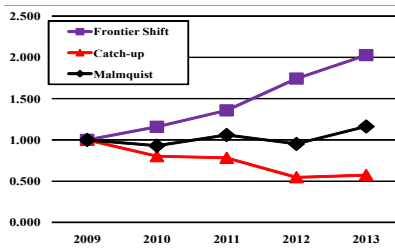
분석 대상 10개 출연(연)의 개별적인 효율성 변화 모습은 [그림 3]과 같다. [그림 2]에서 분석된 결과와 같이 전반적인 연구개발 생산성이 향상되었기 때문에 ($\overline{FS} > 0$), 10개 출연(연) 개별적으로도 MI 는 전반적인 증가 추세를 나타낸다. 하지만, 출연(연) C, D, F, H, J의 경우 CU 가 지속적으로 감소하는 형태를 보이면서 최근으로 올수록 전체 효율성이 감소되거나, FS 의 상승 추세에도 불구하고 전체 효율성은 5년 전 수준을 유지하고 있는 것으로 분석되었다. CU 의 감소추세 (< 1)는 최근으로 올수록 프론티어 라인에서 멀어지고 있음을 의미하는 것으로, 다른 출연(연)들과의 연구효율성 격차가 커지고 있음을 나타낸다. 반면, 출연(연) G의 경우는 5년간 $CU > 1$ 을 계속 유지하고 있는데, 이는 지속적으로 프론티어 라인과의 거리를 좁히는 방향으로 연구개발 효율성을 향상시키고 있음을 나타낸다. CU_k 는 DMU_k 즉, 출연(연) K가 연구개발효율 프론티어에 얼마나 매년 가깝게 이동했는가를 나타내는 값이다. <표 4>를 보면, 출연(연) E의 경우 시작점인 2009년에는 프론티어 라인 위에 위치하고 있었지만, 분석 마지막 해인 2013년에는 프론티어 라인에서 멀어진 것을 알 수 있다. 즉, 출연(연) E는 2009년에는 상대적으로 가장 효율적(Dea efficiency score = 1)인 출연(연)이었지만 2013년에



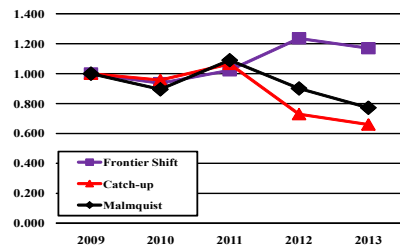
(A)



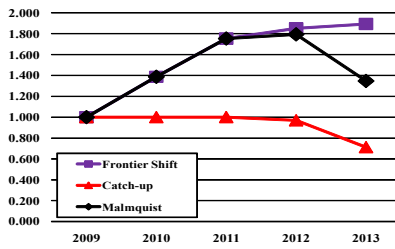
(B)



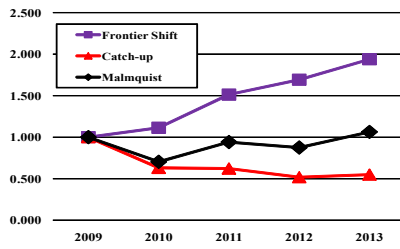
(C)



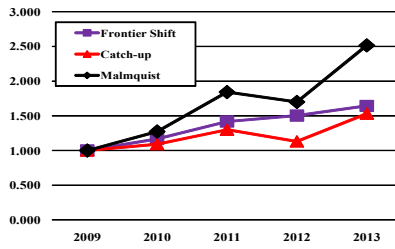
(D)



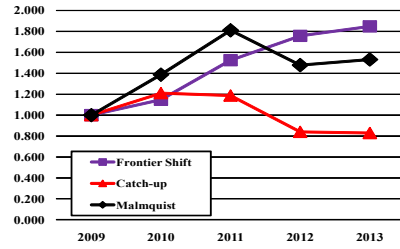
(E)



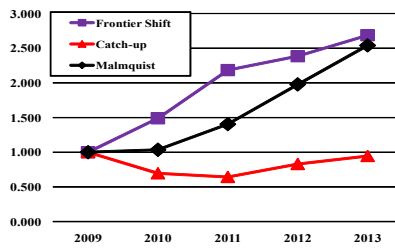
(F)



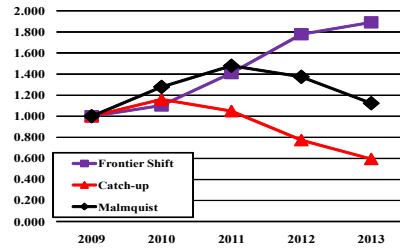
(G)



(H)



(I)



(J)

[그림 3] 10개 출연(연) 연구개발 효율성 변화

는 더 이상 효율적이지 않은(DEA efficiency score < 1) 연구개발 생산성을 보인다. 반면에 출연(연) A와 B는 2009년에서 2013년 5년간 CU = 1을 유지하고 있는데, 이는 5년간 지속적으로 프론티어 라인 위에 위치하고 있음을 나타낸다. <표 4>에서 나타내는 Cumulative Catch-up Index는 시작점인 2009년 대비 분석연도에서의 연구개발 효율성의 비율 값으로 표현된다. 즉, <표 4>의 각 셀의 값은 <표 5>에서 해당 셀의 DEA 효율성 값을 시작 시점(2009년)의 DEA 효율성 값으로 나눈 것으로 나타나게 된다. 따라서 출연(연) E의 CU는 DEA 효율성 값과 동일하게 나타나며, 각 출연(연)의 CU 최대값은 <표 5>의 최대 효율성 값(= 1)을 2009년 DEA 효율성 값으로

<표 4> 10개 출연(연) Cumulative Catch-up Index 변화

출연(연)	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
B	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
C	1.000	0.802	0.781	0.546	0.574
D	1.000	0.957	1.065	0.729	0.660
E	1.000	1.000	1.000	0.969	0.712
F	1.000	0.630	0.622	0.517	0.549
G	1.000	1.091	1.300	1.131	1.532
H	1.000	1.210	1.187	0.840	0.829
I	1.000	0.696	0.643	0.830	0.945
J	1.000	1.159	1.049	0.773	0.594
평균	1.000	0.936	0.940	0.810	0.799

<표 5> 10개 출연(연) DEA 효율성 변화

출연(연)	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
A	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
B	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
C	0.524	0.420	0.409	0.286	0.301
D	0.881	0.843	0.938	0.642	0.582
E	1.000	1.000	1.000	0.969	0.712
F	1.000	0.630	0.622	0.517	0.549
G	0.197	0.215	0.256	0.223	0.302
H	0.739	0.894	0.878	0.621	0.613
I	0.328	0.228	0.211	0.272	0.310
J	0.539	0.625	0.565	0.417	0.320

나누어 계산되는 값이 된다. 예를 들어, 출연(연) H의 경우 CU 최대값은 1.353(= 1/0.739)이 되며, CU가 이 값에 도달하면 프론티어 라인 위에 올라간 것으로 해석 할 수 있다. 또한 <표 5>에서 10개 출연(연)의 CU 평균값이 5년 동안 감소 추세를 나타내는 것으로 미루어 분석 기간 동안 매년 연구개발 효율성 향상에 영향을 미치는 새로운 기술의 확산은 없었음을 알 수 있다.

2009년과 비교하여 가장 큰 폭으로 총요소연구개발생산성 향상을 나타내는 출연(연) I의 경우(2013년 Malmquist Index = 2.540)를 보다 상세히 살펴보면, 투입 및 산출변수의 연간 변화율이 <표 6>과 같이 나타난다. 출연(연) I는 5년간 연구인력이 감소 또는 유지되는 추세를 보였으나, 오히려 SCI 논문을 제외한 특허등록 및 기술이전에서는 매년 비교적 큰 폭으로 산출이 증가하는 양상을 나타낸다. 특히, 2009년에는 연구비가 10% 이상 감소했음에도 불구하고 3년 후인 2012년의 특허등록 및 기술이전은 전년 대비 1.3~1.5배 증가한 특징을 보인다. 해당 출연(연)의 익명성 보장을 위해 정확한 설명을 부가하긴 어려우나, 추가적인 조사 결과 해당 출연(연)에서 다년간 수행해 온 대형 연구개발사업의 실질적인 성과가 2013년 초에 창출된 영향으로 분석되었다. 전반적인 FS 증가 추세가 이끄는 총요소연구개발생산성 향상 역시 이 대형 연구개발사업의 영향이 큰 것으로 분석된다.

<표 6> 출연(연) I 투입 및 산출변수 연간 변화율

기간	투입변수 (2006~2010)		산출변수 (2009~2013)		
	연구비 변화율	연구인력 변화율	SCI 논문 변화율	특허등록 변화율	기술이전 변화율
1	-	-	-	-	-
2	109.4%	116.0%	157.6%	120.3%	112.5%
3	104.3%	99.7%	90.4%	136.6%	100.0%
4	89.5%	100.0%	83.0%	139.2%	150.0%
5	112.5%	103.3%	115.4%	132.6%	111.1%

또한, CU 감소추세가 가장 뚜렷하게 보이는 출연(연) J의 경우를 보다 상세히 살펴보면, 투입 및 산출

변수의 연간 변화율이 <표 7>과 같이 나타난다. 출연(연) J는 5년간 연구인력에는 큰 변화를 보이지 않았으나 2009년에 연구비가 급격히 증가(126%)하였다. 하지만 SCI 논문 및 특허는 그 증가율을 따라가지 못하고 있으며, 특히 2013년에는 2012년 대비 오히려 감소하는 양상을 보인다. 하지만 기술이전 산출변수의 경우는 그 상승폭이 최근으로 올수록 매우 큰 것(120%~143%)으로 볼 때, 출연(연) J가 전략적으로 과학적 성과(논문, 특허 등)보다 경제적 성과(기술이전 등)에 집중하였을 가능성이 높은 것으로 분석된다. 또 다른 가능한 이유로는 2009년에 대규모의 새로운 과제가 시작되었고, 해당 과제의 성격상 관련한 과학적 성과가 도출되는데 3년 이상의 시간이 필요한 경우일 수 있다.

<표 7> 출연(연) J 투입 및 산출변수 연간 변화율

기간	투입변수 (2006~2010)		산출변수 (2009~2013)		
	연구비 변화율	연구인력 변화율	SCI 논문 변화율	특허등록 변화율	기술이전 변화율
1	-	-	-	-	-
2	102.5%	100.6%	87.2%	136.5%	80.0%
3	111.3%	102.6%	109.1%	145.6%	109.4%
4	126.0%	99.6%	105.4%	106.0%	120.0%
5	107.7%	100.9%	78.7%	86.6%	142.9%

5. 결 론

본 연구에서는 출연(연)의 연구개발 효율성 변화를 분석하기 위해서 DEA/Malmquist Index 분석법을 적용하였다. 연구개발이라는 특성을 반영하기 위해서 투입변수와 산출변수 간 시간 차이(3년)를 두고 분석을 수행하였으며, 기초기술연구회 소속 10개 출연(연) 2006년부터 2013년까지의 데이터를 분석대상으로 하였다. 그 결과, 분석대상 출연(연)들은 평균적으로 연구개발 효율성이 향상되고 있음을 확인하였다. 하지만 일부 출연(연)은 이러한 전반적인 경향성에도 불구하고 프론티어 라인과의 거리가 더 멀어지는($CU < 1$) 경향을 보이는 것으로 분석되기도 하였다.

본 연구는 출연(연) 성과 비교분석 측면을 고려할 때, 현재 평가시스템에서 존재하는 한계점을 보완할 수 있는 시스템화된 방법론을 제시하고, 이 방법론의 적용가능성을 실제 출연(연) 데이터에 적용해 봄으로써 검증해 보았다는 점이 주요 기여점이라 볼 수 있다. 뿐만 아니라, 출연(연)의 연구개발 효율성 변화 경향을 분석함으로써 도출되는 본 연구의 결과는 현재까지의 시사점 및 향후 발전 전략수립에도 근거 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

이러한 기여점에도 불구하고, 본 연구는 서로 다른 다양한 연구개발을 진행하고 있는 여러 종류의 출연(연)을 단일한 방법론을 통해 분석함으로써 개별 출연(연)의 특성을 반영하지 못했다는 한계점이 존재한다. 따라서, 본 연구에서 제시하는 방법론 및 도출된 결과 자체만으로 출연(연)의 연구개발 성과를 진단하기 보다는 다른 정성적 방법과 상호보완적인 관계로 함께 적용된다면 그 효용성이 증대될 것으로 생각된다. 특히, 투입변수와 산출변수 사이의 시간 간격을 연구개발 특성을 반영하여 보정한다면 보다 심도있는 분석이 가능할 것으로 기대된다. 또 다른 한계점으로는 DEA라는 방법론의 특성 상 투입 및 산출변수 선택에 따라 그 결과가 달라질 수 있는 가능성이 있다. 본 연구에서는 이러한 영향을 최소화하기 위해서 다양한 문헌연구를 바탕으로 투입 및 산출변수들을 선정하였으나, 그럼에도 불구하고 여전히 관련 한계점은 존재하고 있다. 따라서, 변수 선정을 위한 지표 pool을 다각화 하고, 나아가 정성적인 지표까지 함께 고려된다면 보다 신뢰할 수 있는 결과를 도출하는 방법론 개발이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 광기호, 오승훈, 김재운, "DEA-AR을 활용한 산업기술연구회 소속 정부출연(연)의 R&D 효율성 분석과 평가 방안 제언", 한국기술혁신학회 2010년 추계학술대회, (2010), pp.262-278.
- [2] 권철신, 박준호, 홍석기, "상호영향형 R&D 과제군의 평가선정을 위한 「CIDEAR」 모형의 개발",

- 『한국경영과학회지』, 제29권, 제3호(2004), pp. 41-61.
- [3] 김승태 외, 과학기술분야 정부출연연구기관 투자 및 성과 분석과 시사점 KISTEP, 2012.
- [4] 김지혜, 김해수, 임빛나, 윤장혁, “DEA와 맘퀴스트 생산성 지수를 활용한 OECD 국가간 의료서비스 효율성 분석”, 『한국경영과학회지』, 제37권, 제4호(2012), pp.125-138.
- [5] 남영호, 김병태, “과학기술계 출연연구기관 기관 평가지표의 BSC 관점분석”, 『기술혁신연구』, 제13권, 제1호(2005), pp.265-293.
- [6] 남인석, 송윤영, 정병호, “DEA 모형을 이용한 정부출연연구기관의 상대적 효율성 분석”, 『Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering』, 제31권, 제1(2008), pp.1-10.
- [7] 민철규, 박성욱, “정부출연 연구기관 연구성과에 영향을 미치는 요인 분석”, 『기술혁신연구』, 제21권, 제3호(2013), pp.121-141.
- [8] 심우중, 김은실, “우리나라 국가연구개발사업 정부연구비의 투입 대비 성과의 다각적 분석”, 『한국기술혁신학회지』, 제13권, 제1호(2010), pp.1-27.
- [9] 이수철, 서의호, 이재영, “정부출연연구기관 경쟁력 분석 모형 개발”, 『지역산업연구』, 제36권, 제2호(2013), pp.159-176.
- [10] 이종욱, “정부의 연구비 지원이 연구자의 연구성과에 미친 영향 분석”, 『한국기술혁신학회지』, 제14권, 제4(2011), pp.915-936.
- [11] 임호순, 유석천, 김연성, “연구개발사업의 평가 및 선정을 위한 DEA/AHP 통합모형에 관한 연구”, 『한국경영과학회지』, 제24권, 제4(1999), pp.1-12.
- [12] 장덕희, 강길모, 한동성, “지식재산(특허) 생산에 대한 정부연구비 지원의 영향 분석 : 우리나라 이공계 전공분야 대학교수들의 연구활동 결과를 중심으로”, 『한국정책학회 추계학술발표논문집』, 2013.
- [13] 최문정 외, 정부출연 연구기관 성과평가의 발전방안 및 성과제고를 위한 방안 도출 KISTEP, 2010.
- [14] 한승환, 권기석, “대학의 특성 및 연구비 구조와 산학 성과와의 관계 : 우리나라 대학의 이공계 분야를 중심으로”, 『한국행정학보』, 제43권, 제3호(2009), pp.307-325.
- [15] Banker, R.D., A. Charnes, and W.W. Cooper, “Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis,” *Management Science*, Vol.30, No. 9(1984), pp.1078-1092.
- [16] Bound, J., C. Cumins, Z. Griliches, H.H. Hall, and A. Jaffe, *R&D, Patent, and Productivity*, University of Chicago Press, Chicago, 1984.
- [17] Charnes, A., W.W. Cooper, and E. Rhodes, “Measuring the Efficiency of Decision Making Units,” *European Journal of Operational Research*, Vol.2, No.6(1978), pp.429-444.
- [18] Chen, C.-T., C.-F. Chien, M.-H. Lin, and J.-T. Wang, “Using DEA to evaluate R&D performance of the computers and peripherals firms in Taiwan,” *International Journal of Business*, Vol.9, No.4(2004), pp.347-359.
- [19] Cullmann, A., J. Schmidt-Ehmcke, and P. Zloczysti, “R&D efficiency and barriers to entry : A two stage semi-parametric DEA approach,” *Oxford Economic Papers*, Vol.64, No.1(2011), pp.176-196.
- [20] Eilat, H., B. Golany, and A. Shtub, “R&D project evaluation : An integrated DEA and balanced scorecard approach,” *Omega*, Vol.36, No.5(2008), pp.895-912.
- [21] Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris, and Z. Zhang, “Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries,” *The American Economic Review*, Vol.84, No.1(1994), pp.66-83.
- [22] Georghiou, L., “Socio-economic effects of collaborative R&D—European experiences,” *The Journal of Technology Transfer*, Vol.24, No.1(1999), pp.69-79.

- [23] Graves, S.B. and N.S. Langowitz, "R&D productivity : A global multi-industry comparison," *Technology Forecasting and Social Change*, Vol.53, No.2(1996), pp.125-137.
- [24] Hashimoto, A. and S. Haneda, "Measuring the change in R&D efficiency of the Japanese pharmaceutical industry," *Research Policy*, Vol.37, No.10(2008), pp.1829-1836.
- [25] Hsu, F.-M. and C.-C. Hsueh, "Measuring relative efficiency of government-sponsored R&D projects : A three-stage approach," *Evaluation and Program Planning*, Vol.32, No.2(2009), pp.178-186.
- [26] Lee, H., Y. Park, and H. Choi, "Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives : A DEA approach," *European Journal of Operational Research*, Vol.196, No.3(2009), pp.847-855.
- [27] Lee, H.Y. and Y.T. Park, "An international comparison of R&D efficiency : DEA approach," *Asian Journal of Technology Innovation*, Vol.13, No.2(2005), pp.207-222.
- [28] Liu, J.S. and W.-M. Lu, "DEA and ranking with the network-based approach : a case of R&D performance," *Omega*, Vol.38, No.6 (2010), pp.453-464.
- [29] Madden, G.G. and S.J. Savage, "Telecommunications productivity, catch-up and innovation," *Telecommunications Policy*, Vol.23 (1999), pp.65-81.
- [30] Meng, W., D. Zhang, L. Qi, and W. Liu, "Two-level DEA approaches in research evaluation," *Omega*, Vol.36, No.6(2008), pp. 950-957.
- [31] Scherer, F.M., "The propensity to patent," *International Journal of Industrial Organization*, Vol.1, No.1(1983), pp.107-128.
- [32] Taskin, F. and O. Zaim, "Catching-up and innovation in high-and low-income countries," *Economics Letters*, Vol.54, No.1(1997), pp.93-100.
- [33] Thomas, V.J., S.K. Jain, and S. Sharma, "Analyzing R&D efficiency in Asia and the OECD : An application of the Malmquist productivity index," *Science and Innovation Policy, 2009 Atlanta Conference on. IEEE*, 2009.
- [34] Thomas, V.J., S. Sharma, and S.K. Jain, "Using patents and publications to assess R&D efficiency in the states of the USA," *World Patent Information*, Vol.33, No.1(2011), pp.4-10.
- [35] Wang, E.C. and W. Huang, "Relative efficiency of R&D activities : A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach," *Research Policy*, Vol. 36, No.2(2007), pp.260-273.
- [36] Zhong, W., W. Yuan, S.X. Li, and Z. Huang, "The performance evaluation of regional R&D investments in China : An application of DEA based on the first official China economic census data," *Omega*, Vol.39, No.4(2011), pp.447-455.