

자료포락분석을 적용한 연구시설장비 보유기관의 운영효율성 연구

양인준¹, 이재훈², 최승일^{2*}

¹한국표준협회, ²국립공주대학교 산업시스템공학과

A Study on the Operational Efficiency of Research Facility Equipment-Holding Institutions Using Data Envelopment Analysis

In-Joon Yang¹, Jae-Hun Lee², Seungil Choi^{2*}

¹Korean Standards Association

²Department of Industrial & Systems Engineering, Kongju National University

요약 본 연구의 목적은 정부 R&D 지원사업으로 연구시설장비를 구축한 기관들의 투입요소와 산출요소 간의 관계를 분석하여 운영효율성 수준을 파악하고 향상 방안을 수립하는데 기여하고자 함이다. 본 연구는 그간 선행연구에서 다루지 않았던 연구시설장비 보유기관의 운영효율성을 분석하였다. 연구시설장비 보유기관의 주요 투입요소와 산출요소를 통해 DEA(Data Envelopment Analysis)를 진행하여 효율성의 수준 및 특성을 측정 및 분석하였다. 기술 효율성과 순기술 효율성, 그리고 이들의 차이로 확인할 수 있는 규모 효율성을 측정하여 효율성의 특성, 그리고 주된 비효율의 원인을 분석하였다. 운영효율성 분석을 통하여 비효율적인 기관은 효율적인 기관과의 비교 및 벤치마킹 기회를 제공받을 수 있다. 이를 통해 효율적인 기관과 비교하여 역량을 확인하고 발전 방향을 설정할 수 있다. 연구시설기관에 대한 운영효율성 분석결과는 연구시설장비 관련 이해관계자들에게 연구시설장비 보유기관 지원과 성과평가 관련 정책수립을 위한 자료로 제공될 수 있다. 이번 연구의 결과물이 연구시설장비 기관의 성과평가 방법과 지표를 기반으로 정책과 전략을 수립할 수 있는 토대를 제공함으로써 관련 담당자들이 최적의 결정을 내리는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

Abstract The purpose of this study was to contribute to understanding the level of operational efficiency and establishing improvement plans by analyzing the relationship between the input and output factors of institutions that have established research facility equipment as a government R&D support project. This study analyzed the operational efficiency of institutions with research facility equipment that has not been covered in previous studies. DEA (Data Envelopment Analysis) was conducted through the main input and output factors of the institution with research facility equipment to measure and analyze the efficiency. The characteristics of efficiency and the main causes of inefficiency were analyzed by measuring the technological efficiency, net technological efficiency, and scale efficiency, which can be confirmed by their difference. Through operational efficiency analysis, inefficient institutions can be provided with opportunities for comparison and benchmarking with efficient institutions. Through this, it is possible to assess capabilities and set development directions compared to efficient institutions. The operational efficiency of research institutions can be provided to stakeholders related to research facility equipment for supporting institutions with research facility equipment and establishing policies related to performance evaluation. These results will provide a foundation for establishing policies and strategies based on the performance evaluation methods and indicators of research facility equipment institutions, helping those in charge make optimal decisions.

Keywords : Data Envelopment Analysis, Operational Efficiency, Outcome Evaluation, Research Facility Equipment

*Corresponding Author : Seungil Choi(Kongju National Univ.)

email: sichoi@kongju.ac.kr

Received December 20, 2023

Accepted March 8, 2024

Revised January 22, 2024

Published March 31, 2024

1. 서론

연구시설장비는 과학기술의 하부구조를 지탱하는 과학기술 창출기반으로 연구개발 수행에 있어서 필요한 핵심요소이며, 새로운 과학기술을 견인하는 필수요소이고, 공동연구의 핵심가치를 창출하는 기반이다[1].

그동안 연구기반조성사업은 국가 기술경쟁력 향상 및 연구성과의 산업화 지원에 기여해 왔으나, 지속적인 개선 요구도 제기되어 왔다. 연구장비 도입 전략의 부재, 불필요한 중복투자 또는 과잉투자 우려, 저조한 장비 활용도, 보유현황과 활용실태에 대한 관리/표준화 미흡 등의 문제점이 지적되어왔다. 특히 사용하지 않거나 사용률이 저조한 장비가 많다는 지적이 국회 등에서 꾸준히 제기되고 있는 상황에서 연구시설장비 보유기관의 운영과 활성화 방안 모색은 매우 중요하다.

본 연구는 연구시설장비 보유기관의 운영효율성을 측정하고, 이 효율성에 영향을 미치는 요인을 파악하여 효율적인 기관 운영을 위한 방안을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 연구시설장비 보유기관의 특성과 운영체계를 고찰하였고, 효율성의 개념 정립, 그리고 측정방법에 대한 이론적 논의를 통해 분석을 위한 토대를 구축하였다. 이러한 논의를 기반으로 하여 다수의 투입과 산출이 이루어지는 연구시설장비 보유기관과 같은 연구시설의 효율성 분석에 적합한 방법인 자료포락분석(DEA)을 활용하였다. 분석대상은 전국에 위치한 연구시설장비 보유기관 78개소였으며, 분석자료로서 설문조사를 통하여 기관 현황 및 운영현황 자료를 활용하였다.

2. 연구방법

2.1 DEA(Data Envelopment Analysis)를 적용한 연구성과 효율성 분석 선행연구

DEA 모형은 학교, 병원, 투자기관 등 여러 서비스업 분야의 효율성 측정뿐만 아니라 공공기관 및 비영리기관에 대한 효율성 측정에도 적용되고 있다. 가장 큰 특징은 모든 비교 대상(DMU: Decision-Making Unit)의 성과를 과학적, 정량적으로 도출하며, 나아가 개선해야 할 부분과 개선의 가능성, 베스트 프랙티스와 벤치마크 대상 등을 제시한다는 점이다.

DEA를 적용한 연구성과 효율성 분석 선행연구들 <Table 1>과 같이 정리하였다. 선행 결과를 보면 연구개발 분야의 출연연구기관 및 연구사업을 대상으로 DEA

모형을 활용하여 연구개발의 효율성을 분석한 것을 알 수 있다. 분석된 결과의 활용 측면을 제시한 내용은 다음과 같이 두 가지로 요약할 수 있다.

첫째, DEA 모형을 활용한 연구개발 관련 투입 산출 효율성을 비교 분석하여 각 DMU 별 비효율요인을 제시하였다. 이는 DEA 분석방법 특성을 활용하여 주관적 판단을 배제한 상대적 연구 효율성의 비교로서 상대적 비교를 통한 각각의 DMU의 비효율 요소를 제시하고 있다.

둘째, DEA 분석결과로 도출된 프론티어와의 차이를 통한 향후 운영 효율성 및 생산성의 개선 방향 및 향후 연구 전략을 제시하고 있다.

이러한 관점에서 다수의 선행연구가 DEA 모형을 활용하여 연구개발 과제 또는 프로젝트 수준의 상대적 효율성 분석을 수행하였다.

곽기호 외(2010)의 연구는 DEA-AR(Assurance Region) 모형을 적용하여 국내 출연(연)을 대상으로 R&D 효율성 분석을 수행하고 성과제고를 위한 시사점을 제시하였다. 또한, 연구개발 산출물이 생산되는데 일정 기간의 시차가 발생된다는 점을 고려하여 투입변수와 산출변수 간 1년의 시차를 두고 분석을 수행하였으며, 투입지향 모형을 채택하여 DEA-CCR, BCC 모형을 사용하였다.

남인석 외(2008)는 국내 과학기술 분야 19개 출연(연)을 대상으로 DEA 기법을 적용하여 상대적 효율성을 분석하였는데, DEA-AR 모형을 적용하여 투입변수와 산출변수의 우선순위에 대한 주관적인 평가자들의 의견을 반영한 것이 특징이다.

이성희 외(2015)의 연구는 DEA Window 분석을 이용하여 정부출연연구기관의 연구개발 사업화 분야의 동태적 효율성 분석을 도출하였다. 이 연구에서는 R&BD (research and business development) 측면과 R&D 성과로 나누어 분석하였다.

이수철(2016)의 연구에서는 Malmquist Index 기법을 이용하여 정부출연연구기관의 연구개발 효율성을 분석하였다. 이를 통해 연구개발 생산성과 관련된 시사점을 도출하여 출연연구기관의 연구개발 발전전략 수립의 근거자료로 제시하고자 하였다.

현만석 외(2008)의 연구는 공공기관의 기술이전 효율성 측정결과를 기관특성과 지역 특성으로 구분하여 효율성 결과의 차이를 분석하였다. 이를 통해 기관별 기술이전의 효율적 개선전략을 제안하였다.

정재용(2018)의 연구에서는 과학기술 분야 출연연구기관의 현행 기관 성과평가시스템에 대해 분석하고 운영 효율성 분석을 활용하여 현재의 평가체계에 대해 보완점

을 제안하였다.

Table 1. A Prior Study on the Efficiency Analysis of Research Performance Using DEA

Researcher	Subject of study	Input variable	Output variable	DEA Model
Kwak, K. H. (2010) [2]	Government appearance a research institution R&D	Research personnel, Business contract amount	Number of overseas SCI papers published, Number of patents registered, Technical fee collection	DEA-AR
Nam, I. S. (2008) [3]	Government appearance a research institution	Research personnel, Research and Development Budget	Number of SCI papers, Number of registered patents, Technology fee income	DEA-AR
Lee, S. H. (2015) [4]	Government appearance a research institution	Research funds, Researcher	Patent, thesis, technology transfer paid technology transfer, technical fee	BCC, Window Model
Lee, S. C. (2015) [5]	Government appearance a research institution	Research funds, Research personnel	Number of SCI papers, patent registration Number, number of technology transfers	BCC, Malmquist
Hyun, M. S. (2008) [6]	The public a research institution	R&D personnel, R&D costs, Dedicated to technology transfer Number of personnel, total Number of skills held	Number of new technologies, number of patent applications and registrations, Number of technology transfers, technology transfer fee	CCR, BCC
Jung, J. Y. (2018) [7]	Government appearance a research institution	Research expenses, labor costs, research equipment	Thesis (SCI), patent application, Technology transfer	CCR, BCC, Window, Malmquist

2.2 효율성 및 DEA

효율성(Efficiency)이란 특정 조직이 제한된 자원이나 노력을 투입하여 거두어들이는 성과(산출)와의 비율을 의미한다[8]. 효율성이 투입대비 산출의 비율이라는 점을 고려할 때 일반적으로 말하는 비효율은 기술적 비효율(technical inefficiency)이며 이는 일정한 기술 수준에서 생산요소의 투입에 의해 달성 가능한 최대의 산출을

달성하지 못하는 정도라고 할 수 있다[9]. 효율성은 절대 효율성과 상대 효율성으로 구분되는데 절대 효율성은 관심의 대상이 되는 활동 주체의 투입대비 산출의 비율을 의미하며 주로 생산성을 나타낼 때 많이 사용한다[10]. 반면 상대 효율성은 활동 주체가 가진 효율성 중에서 최고치와 비교하여 상대적으로 나타낸 값으로 최고 수준의 효율을 1 또는 100%로 표준화하였을 때의 상대적 비율을 나타낸다. 상대 효율성을 분석하기 위해 사용하는 방법이 DEA인데 DEA는 비모수적인 방법으로 Farrell[8]의 효율성 측정 개념과 Shephard[10]의 거리함수 개념을 바탕으로 Charnes, Cooper and Rhodes[11]의 연구에 의해 탄생하게 되었다. Charnes, Cooper and Rhodes는 효율성의 측정 대상을 DMU(Decision Making Unit, 의사결정단위) 라고 불렀으며 DEA는 유사한 활동을 하는 평가 대상이 되는 DMU들로부터 가장 효율적인 DMU를 도출한 후 이들 가장 효율적인 DMU들이 만들어 내는 생산변경(Frontier)과 생산변경 내부에 위치하는 비효율적인 DMU와의 거리를 선형계획법(Linear Programming)으로 측정하여 개별 DMU의 상대적인 효율성을 측정한다.

DEA는 규모수익(RTS: Return to Scale)의 가정에 따라 CCR과 BCC의 두 가지 모형으로 구분된다. Charnes, Cooper and Rhodes에 의해 처음 개발된 CCR 모형은 투입과 산출의 관계가 규모에 상관없이 일정 비율로 동일한 불변규모수익(CRS: Constant Return to Scale)을 가정한다. CCR 모형은 Charnes, Cooper and Rhodes (1978) 논문에서 제시한 DEA 분석모형으로 논문 저자의 성명 약자를 모형명칭으로 사용하였다.

CRS 가정이 유효한 경우 각 DMU의 효율성을 평가하기 위해서는 n개의 DMU가 있고 각 DMU는 m개의 투입물 $X_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})$ 를 이용하여 r개의 산출물 $Y_j = (Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{rj})$ 를 생산한다고 가정할 때, k번째 DMU의 효율성은 m개의 투입변수를 같은 비율로 줄일 수 있는 공통된 비율값(θ)은 Eq. (1)과 같으며, 선형계획 모형은 다음 Eq. (2)와 같다[12].

$$\text{Minimize } \theta \quad (1)$$

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$$

$$\text{subject to } \theta X_k \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \quad (2)$$

$$Y_k \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j$$

$$\lambda_j \geq 0$$

Banker, Charnes and Cooper에 의해 제시된 BCC 모형도 저자의 성명 약자를 모형명칭으로 사용하였다. BCC 모형은 CCR 모형의 불변규모수익을 완화하여 투입과 산출의 관계가 규모에 따라 변하는 가변규모수익(VRS: Variable Return to Scale)을 가정한다.

BCC 모형의 가정이 유효한 경우 각 DMU의 효율성을 평가하기 위해서는 n개의 DMU가 있고 각 DMU는 m개의 투입물 $X_j = (X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})$ 를 이용하여 r개의 산출물 $Y_j = (Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{rj})$ 를 생산한다고 가정할 때 k번째 DMU의 효율성은 m개의 투입변수를 같은 비율로 줄일 수 있는 공통된 비율값(θ)은 Eq. (3)과 같으며, 선형계획 모형은 다음 Eq. (4)와 같다[12].

$$\text{Minimize } \theta \quad (3)$$

$$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$$

$$\text{subject to } \theta X_k \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \quad (4)$$

$$Y_k \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j$$

$$\lambda_j \geq 0, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

DEA 모형은 투입지향(Input-oriented)과 산출지향(Output-oriented)로 구분할 수 있는데 투입지향 모형은 산출을 고정된 상태에서 투입을 최소로 줄여 효율을 개선하는 것을 목적으로 하고 산출지향은 반대로 투입을 고정된 상태에서 산출을 최대화하여 효율을 개선하는 것을 목적으로 한다.

투입지향 VRS모형은 투입지향 CRS모형에 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ 이라는 제약조건이 추가되어 있다. 규모수익에 대한 가정에 따라 프론티어가 달라지므로 CRS 모형과 VRS 모형은 서로 다른 효율성 값을 측정한다. CRS 모형의 생산가능 집합이 VRS 모형의 생산가능 집합보다 크기 때문에 VRS 모형에서 측정된 효율성의 값이 항상 더 크다. 특정 관측치에서 프론티어까지의 거리가 CRS 모형보다 VRS 모형이 더 가깝기 때문이다[13].

2.3 연구모형 수립

본 연구는 연구시설장비 보유기관의 운영효율성을 분석하기 위해 <Fig. 1>과 같은 연구모형을 설정하였다.

DEA 모형을 활용하여 연구시설장비 보유기관의 효율성을 측정하기 위해서는 적절한 투입변수와 산출변수의 선정이 중요하다. 국내외에서 지금까지 DEA를

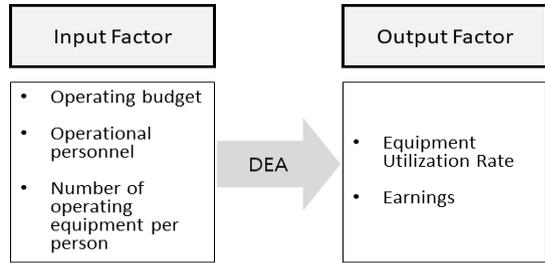


Fig. 1. Research model

이용한 연구는 많이 존재하지만, 연구시설장비 보유기관을 대상으로 연구한 사례는 부족한 실정이다. 따라서 연구시설장비 보유기관 관련 DEA모형 연구에서 사용된 변수 중 투입변수로는 운영예산, 운영인력, 인당 운영장비수를 산출변수로는 장비가동률, 수익금을 선택하였다.

연구모형에 따른 구체적인 연구내용은 다음과 같다. 첫째, 연구시설장비 보유기관의 효율성 수준 및 특성을 다방면으로 분석한다. 먼저 CCR 모형을 적용하는 DEA를 통한 기술효율성과 BCC 모형의 순기술 효율성, 그리고 이들의 차이로 확인할 수 있는 규모 효율성을 측정하여 효율성의 특성, 그리고 효율적인 기관과 그렇지 않은 기관 간의 차이를 비교한다. 둘째, 기관의 효율성에 영향을 미치는 요인들을 분석한다. 셋째, 이러한 연구결과를 바탕으로 기관의 효율성을 향상시키는데 필요한 논의를 진행하여 기관 운영의 개선방안을 제시하였다.

2.4 연구대상

'2022 국가연구시설장비 실태조사 보고서'에 의하면 국가연구개발사업으로 구축한 연구시설장비를 2점 이상 보유한 비영리 연구기관은 449개이고, 실태조사 대상 비영리 연구기관이 보유한 연구시설장비는 46,300점으로 조사되었다. 이들 연구기관 중 산업통상자원부 2018년~2022년 지원사업에 참여한 248개 연구장비 보유기관을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 산업통상자원부의 유사한 지원사업을 적용받는 연구기관은 자료포락분석(DEA) 분석 대상으로 적합하다고 볼 수 있다.

조사대상 기관 중 지원사업기간이 5년을 초과한 기관, 현재 연구시설장비 구축 중인 신생기관은 동일한 조건으로 평가하는데 어려움이 있어 분석에서 제외하였다. 최종적으로 78개 기관의 자료를 DEA 분석에 활용하였다.

Table 2. Criteria for investigation

Classification	Criteria for investigation
Acquisition resources	National R&D
Acquisition method	Purchasing Research Facility Equipment
Equipment classification	Main research facilities equipment (including auxiliary equipment and auxiliary facilities)
Acquisition Amount	More than 30 million won
Utilization status	Utilization, underutilization, idle (excluding disuse)
Type of institution	National and public research institutes, government-funded research institutes, local government-funded research institutes, universities, other public institutions, and others (excluding private enterprises, private medical institutions, and hospitals affiliated with private universities)
Retention Facility Equipment	An institution with two or more research facilities equipment

2.5 투입변수·산출변수

연구 성과지표의 유형은 활동과정에 따라 투입-과정-산출-결과지표로 구분된다. 정부 부처가 제시한 국가연구개발사업 성과지표 유형과 선행연구에서 제시한 변수, 국가연구시설장비진흥센터(NFEC) 홈페이지 및 공공기관경영정보공개시스템의 자료 등을 참고하여 연구시설장비 보유기관에서 수집이 된 자료를 투입과 산출변수로 활용하였다. 연구개발 활동의 결과로서 일반적인 연구에서의 성과는 논문, 특허, 기술이전 및 기술료 등을 대표적으로 제시할 수 있다. 이 연구에서는 연구시설장비 운영성과 측면에 한정됨으로 연구시설장비의 대표적인 연구성과 투입지표 3가지와 산출지표 2가지를 활용하여 분석하였다.

투입지표와 산출지표를 <Table 3>과 <Table 4>와 같이 선정하였다.

투입요소에서 연구시설장비 운영예산은 해당 기관에서 연구시설장비를 관리하고 운영하기 위하여 사용한 전년도 운영비 투입예산 총금액이며, 연구시설장비 운영인력은 해당 기관 보유인력 중 단순히 시설장비 구매, 시설장비일지 관리 등 행정적인 관리 또는 지원하는 인력과 학생, 행정 조교, 교수 등 연구시설장비를 활용하여 연구를 직접 수행 또는 단순히 지원하는 인력을 제외한 연구시설장비 운용 및 유지관리 업무를 전담하며, 연구개발 활동을 직접적으로 지원하는 연구장비 엔지니어이다. 인당 운영 연구장비 대수는 해당 기관 연구시설장비 운영

인력 1인당 운영관리하고 있는 장비대수(장비대수÷운영인력)이다.

산출요소에서 수익금은 국가연구시설장비 이용료 산정기준에 따른 이용자의 이용료를 의미하며, 본 연구에서는 해당 기관에서 전년도 1년간 연구시설장비를 외부 기관이나 기업에 활용 지원하여 발생한 이용료 총금액이다. 연구시설장비 가동률은 국가연구시설장비 관리 등에 관한 매뉴얼에서 제시된 가동률(%)을 적용하였다. 연구시설장비 가동시간은 시설장비 사용을 위해 수행한 실질 가동시간과 보조가동시간의 합을 의미하고, 시설장비 가용시간은 근무일수 × 8시간, 연간 근무일수 : [주5일 × 50주 = 250일]을 기준으로 하였다.

Table 3. Operational performance and input index of research facility equipment

Input Data		
Budget	Unit: 1 million won	Total budget for direct expenses related to the operation of research facilities equipment
Operational personnel	The number of people	Personnel dedicated to facility equipment operation and maintenance
Number of research equipment per person	EA	Number of equipment operated and managed per person

Table 4. Output Index of Operational Performance of Research Facilities

Output Data		
Equipment Utilization Rate	%	Sum of actual operation time and auxiliary operation time performed for the use of facility equipment
Earnings	Unit: 1 million won	Total annual usage fee incurred by using research facility equipment to external institutions or companies

3. 결과 및 고찰

3.1 효율성 분석결과

본 연구에서는 정부 지원을 받아 연구시설장비를 구축한 연구시설장비 보유기관 중 78개 기관을 선정하여 운영 효율성을 확인하였다. 2022년 조사된 기관의 현황 자료를 바탕으로 하여 DEA의 CCR 모형, BCC 모형별로 효율성을 분석하고, 두 효율성 간의 차이를 통해 규모 효율성을 확인하였다. 마지막으로, 기관유형별로 효율성

분석을 실시하였다.

3.1.1 CCR 모형에 따른 기술 효율성 분석

효율성 분석의 첫 번째 단계로서 규모로 인한 효율성이나 비효율성을 배제하는 CCR 모형으로 분석을 실시하였다. DEA에서 효율성 점수는 0에서 100% 사이로 표시된다. 점수가 100%인 경우 그 DMU는 효율적이라고 볼 수 있으며, 100% 미만은 비효율적인 것이다. CCR 모형을 통해 확인된 연구시설장비 보유기관의 기술 효율성 측정결과를 <Table 5>에 명시하였다. 이후 진행된 효율성 분석은 산출지향모델, 즉 현재의 투입상태를 유지하면서 산출물을 최대한 방안을 찾는 방향으로 분석을 수행하였다.

Table 5. Technical efficiency based on CCR model

Classification	Frequency	%	Average	Standard deviation
100%	10	12.82%		
90% Range	4	5.13%		
80% Range	6	7.69%		
70% Range	3	3.85%	59.95	24.06
60% Range	10	12.82%		
50% Range	14	17.95%		
50% Less than	31	39.74%		
Sum	78	100.00%	-	-

분석결과, 연구시설장비 보유기관 전체 기술 효율성의 평균은 59.95% (sd=24.06)이고, 비효율적인 기관들의 평균은 54.06%(sd=19.84)로 확인되었다. 이는 비효율적인 기관이 효율적인 기관에 비해 평균 45.94% 정도의 비효율성을 보이는 것으로 말할 수 있다. 효율성 점수대별 분포를 보면, 100% 즉, 효율적으로 분석된 연구시설장비 보유기관은 78개 중 10개(12.82%)로 나타났고, 나머지 68개 기관은 비효율적인 기관으로 분류되었다. 이 중 90%대는 4개 기관(5.13%), 80%대 6개 기관(7.69%), 70%대는 3개 기관(3.85%), 60%대 10개 기관(12.82%)으로 나타났다. 그다음 50%대가 14개 기관(17.95%)이고, 50% 미만의 효율성을 보인 시설이 31개 기관(39.74%)이다. 전반적으로 낮은 수치를 보인 빈도가 많음을 알 수 있다. DEA 방식이 상대적인 효율성을 알아보는 방법이라는 것을 고려하였을 때, 연구시설장비 보유기관 사이의 효율성 격차가 크다는 것을 확인할 수 있다. 다만, CCR 모형에 따른 기술 효율성은 규모라는 요소가 고려되지 않은 상태이기 때문에 비효율의 원인이 명확하

지 않은 상태라고 할 수 있다.

3.1.2 BCC 모형에 따른 순기술 효율성 분석

다음으로 CCR 모형과는 달리 규모의 영향을 배제한 순기술 효율성을 확인하는 BCC 모형으로 분석을 실시하여 그 결과를 <Table 6>에 제시하였다. 순기술 효율성의 평균은 68.59%(sd= 24.36)로써 CCR 모형에서의 기술 효율성에 비해 수치가 크게 상승한 모습을 보였다. 효율적인 연구시설장비 보유기관이 20개 기관(25.64%)으로 나타났고, 나머지 58개 기관이 비효율적인 기관으로 분류되었다. 순기술 효율성이 비효율로 확인된 기관의 평균은 57.76%(sd=18.45)이다. 이는 비효율적으로 분류된 58개 기관이 효율적인 기관에 비해 투입된 요소 대비 산출물의 양을 평균적으로 42.24%만큼 도출하지 못하고 있다는 것을 의미한다.

Table 6. Net technical efficiency based on BCC model

Classification	Frequency	%	Average	Standard deviation
100%	20	25.64%		
90% Range	2	2.56%		
80% Range	7	8.97%		
70% Range	6	7.69%	68.59	24.36
60% Range	13	16.67%		
50% Range	9	11.54%		
50% Less than	21	26.92%		
Sum	78	100.0%	-	-

비효율적 시설들의 분포를 보면, 90%대 2개 기관(2.56%), 80%대 7개 기관(8.97%), 70%대 6개 기관(7.69%), 60%대 13개 기관(16.67%), 50%대 9개 기관(11.54%), 50% 미만이 21개 기관(26.92%)으로 나타났다. CCR 모형을 통해 확인했던 기술 효율성과 BCC 모형에서 확인한 순기술 효율성의 평균값의 차이가 발생한 것은 비효율의 원인이 연구시설장비 보유기관 운영의 기술적인 부분뿐만 아니라 투입 산출요소가 가지고 있는 규모에 의하여 발생한 것일 수도 있다는 의미가 된다.

3.1.3 규모 효율성 분석

규모 효율성은 DMU가 최적의 규모보다 크거나 작게 운영됨으로 인해 발생하는 규모의 비효율에 대한 정보를 제공한다. 따라서 비효율적으로 분석된 연구시설장비 보유기관들이 가지고 있는 비효율의 원인이 기술적인 요인 때문인지, 규모로 인한 문제인지 파악하기 위해 규모 효

효율을 알아보는 과정이 필요하다. 규모의 효율성이 100%라는 것은 규모수익불변 상태에서, 해당 DMU는 최적 규모라는 것이고, 100% 미만으로 나온다는 것은 규모로 인한 비효율이 존재하고 있다는 것이다. 이를 파악하기 위해 CCR 모형의 기술 효율성 값을 BCC 모형에서 측정된 순기술 효율성 값으로 나눠서 구할 수 있는데 이 결과가 <Table 7>에 제시되어 있다.

Table 7. Scale Efficiency Analysis

Classification	Frequency	%	Average	Standard deviation
100%	11	14.10%		
90% Range	27	34.62%		
80% Range	20	25.64%	87.15	13.04
70% Range	12	15.38%		
70% Less than	8	10.26%		
Sum	78	100.00%	-	-

3.2 기관유형별 효율성 분석결과

대상인 78개의 DMU를 기관 유형에 따라 정부출연(연), 국·공립(연), 기타공공기관, 지자체출연(연), 대학, 기타로 분류하였다. 효율성을 각 기관 유형의 평균으로 구한값의 결과가 <Table 8>이다. 효율성의 전체 평균을 보면 기술 효율성(TE: Technical Efficiency)은 59.95%이고, 순수기술 효율성(PTE: Pure Technology Efficiency)은 68.59%이고, 규모의 효율성(SE: Scale Efficiency)은 87.15%로 나타났다.

규모의 효율성이 전체 평균보다 낮은 기관은 정부출연(연), 기타 기관으로 나타났고, 상대적으로 규모의 효율성이 높은 기관은 국·공립(연), 기타공공기관, 지자체출연(연)과 대학으로 나타났다.

Table 8. Efficiency Analysis Results by Institution Type

Institutional type	CCR(TE)	BCC(PTE)	Scale efficiency
Government-funded research institute	57.65	71.28	79.29
National and public research institutes	73.89	76.64	94.50
Other public institutions	63.15	73.07	87.52
Local government-funded research institute	62.44	69.18	90.71
University	60.94	64.51	91.85
etc.	53.82	62.83	86.45
Average	59.95	68.59	87.15

4. 결론

본 연구는 연구시설장비 보유기관의 운영 효율성을 측정하고, 이 효율성에 영향을 미치는 요인을 파악하여 효율적인 기관 운영을 위한 방안을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 연구시설장비 보유기관의 특성과 운영체계를 고찰하였고, 효율성의 개념 정립, 그리고 측정방법에 대한 이론적 논의를 통해 분석을 위한 토대를 구축하였다. 이러한 논의를 기반으로 하여 다수의 투입과 산출이 이루어지는 연구시설장비 보유기관과 같은 연구시설의 효율성 분석에 적합한 방법인 자료포락분석(DEA)을 활용하였다. 분석대상은 전국에 위치한 연구시설장비 보유기관 78개소였으며, 분석자료로서 설문조사를 통하여 기관 현황 및 운영현황 자료를 활용하였다.

투입과 산출요소 현황을 보면, 예산은 평균 1,203백만원(sd=1,209)으로 나타났고, 전담인력은 평균 8.6명(sd=5.2)으로 확인되었다. 다음 인당 운영 장비수는 5.3대(sd=4.3)이었고, 가동률은 평균 59.2%(sd=12.7)으로 나타났고, 수익금은 평균 569백만원(sd=653)으로 확인되었다. 전반적으로 기관 간의 수치 차이가 큰 것을 확인할 수 있었다.

다음으로 CCR 모형과 BCC 모형 두 가지 방식을 통해 연구시설장비를 보유한 78개 기관의 상대적 효율성을 측정하였다. 연구시설장비 보유기관 전체 기술 효율성의 평균은 59.95% (sd=24.06)이고, 비효율적인 기관들만의 평균은 54.06%(sd=19.84)로 확인되었다. 이는 비효율적인 기관이 효율적인 기관에 비해 평균 45.94% 정도의 비효율성을 보이는 것으로 말할 수 있다. 효율성 점수대별 분포를 보면, 100% 즉, 효율적으로 분석된 연구시설장비 보유기관은 78개 중 10개(12.82%)로 나타났고, 나머지 68개 기관은 비효율적인 기관으로 분류되었다. 이 중 90%대는 4개 기관(5.13%), 80%대 6개 기관(7.69%), 70%대는 3개 기관(3.85%), 60%대 10개 기관(12.82%)으로 나타났다. 그다음 50%대가 14개 기관(17.95%)이고, 50% 미만의 효율성을 보인 기관이 31개 기관(39.74%)이다. 전반적으로 낮은 수치를 보인 빈도가 많음을 알 수 있다. DEA 방식이 상대적인 효율성을 알아보는 방법이라는 것을 고려하였을 때, 연구시설장비 보유기관 사이의 효율성 격차가 꽤 크다는 것을 확인할 수 있다.

다음으로 순기술 효율성을 측정하는 BCC 모형으로 효율성을 분석한 결과, 순기술 효율성의 평균은 68.59%(sd=24.36)로써 CCR 모형에서의 기술 효율성에 비해 수치가 크게 상승한 모습을 보였다. 효율적인 연구

시설장비 보유기관이 20개 기관(25.64%)으로 나타났고, 나머지 58개 기관이 비효율적인 기관으로 분류되었다. 순기술 효율성이 비효율로 확인된 기관의 평균은 57.76% (sd=18.45)이다. 이는 비효율적으로 분류된 58개 기관이 효율적인 기관에 비해 투입된 요소 대비 산출물의 양을 평균적으로 42.24%만큼 도출하지 못하고 있다는 것을 의미한다. 비효율적 기관들의 분포를 보면, 90%대 2개 기관(2.56%), 80%대 7개 기관(8.97%), 70%대 6개 기관(7.69%), 60%대 13개 기관(16.67%), 50%대 9개 기관(11.54%), 50%미만이 21개 기관(26.92%)으로 나타났다. CCR 모형을 통해 확인했던 기술 효율성과 BCC 모형에서 확인한 순기술 효율성의 평균값의 차이가 나왔다는 것은 비효율의 원인이 연구시설장비 보유기관 운영의 기술적인 측면뿐만 아니라 투입 산출요소가 가지고 있는 규모에 의한 것일 수도 있다는 이야기가 된다.

DMU 간의 상대적 효율성의 차이가 어떠한 원인으로 나타난 것인지 확인하기 위해 규모 효율성과 규모수익을 측정하였다. 이는 기술 효율성과 순기술 효율성 간의 차이를 통해 확인할 수 있다. 본 연구에서 확인한 규모 효율성의 평균은 87.15%(sd=13.04)로 확인되었고, 규모 효율성이 100%미만인 기관들의 규모 효율성 평균은 85.04%(sd=12.90)으로 확인되었다. 이는 규모로 인한 비효율이 존재하는 기관들이 14.96% 정도의 규모 비효율을 가지고 있다고 볼 수 있다. 점수대별로 살펴보면, 100%로 측정된 기관이 11개 기관(14.10%)으로 나타났고, 비효율적인 기관은 나머지 67개 기관이었다. 비효율적인 기관 중에서 90%대가 27개 기관(34.62%), 80%대가 20개 기관(25.64%), 70%대가 12개 기관(15.38%), 70% 미만이 8개 기관(10.26%)으로 나타났으며, 가장 낮은 효율성은 40.58%인 것으로 확인되었다. 이렇게 확인된 분포로만 볼 때는 단순히 효율적인 프론티어들이 있고, 나머지 100% 값을 나타내지 못한 67개의 DMU들은 그들이 가지고 있는 투입 산출요소들의 양, 즉 규모로 인한 비효율이 존재한다는 것만을 알 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 규모수익분석을 수행한 결과, 규모수익체증을 나타내는 기관이 78개소 중 49개소로 나타났고, 규모 수익체감을 보이는 기관은 19개소로 나타났다. 즉, 연구시설장비 보유기관들은 투입의 증가량에 비례해 산출의 증가량이 더 커지는 규모의 경제성이 존재한다는 것이다. 한편, CCR 모형과 BCC 모형의 차이를 통해 연구시설장비 보유기관은 규모 요인에 의한 비효율보다는 순기술 효율성에 의한 비효율이 더 큰 것으로 분석되었다. 이는 비효율의 원인이 기관이 가지고 있는 규모, 그리고 그

규모를 결정하는 외부적인 요인보다 기관의 내부적인 측면이 더 크다는 것을 의미한다.

본 연구는 그간 선행연구에서 다루지 않았던 연구시설장비 보유기관의 운영 효율성을 분석하였다. 연구시설장비 보유기관의 주요 투입 산출요소를 통해 DEA를 진행하여 효율성의 수준 및 특성을 분석하였다.

연구시설장비 보유기관의 운영 효율성 분석결과는 관련 정책과 전략을 수립하는데 참고자료로 활용될 수 있다. 정부, 기관, 연구시설장비 보유기관 등의 담당자 및 이해관계자들에게 연구시설장비 보유기관 지원과 성과평가 관련 정책수립을 위한 자료로 제공될 수 있다. 또한 연구시설장비 기관의 성과평가 방법과 지표를 기반으로 정책과 전략을 수립할 수 있는 토대를 제공함으로써 최적의 결정을 내리는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

References

- [1] S. K. Hong(2012), Policy Evaluation on the Direction and Promotion Strategy of Investment in National Research and Development Projects, Institute for Science and Technology Policy. 28-32.
- [2] K. H. Kwak, S. H. Oh, J. H. Kim(2010), A Study on the R&D Efficiency and Evaluation Plan of Government-funded (Yeon) of the Industrial Technology Research Association using DEA-AR, Korean Society of Technological Innovation, 2010 Autumn Conference, 262-278.
- [3] I. S. Nam, Y. Y. Song, B. H. Jung(2008), Relative Efficiency Analysis of Government- Funded Research Institutes using DEA Model, Journal of Industrial Management Systems, 31(1): 1-10.
- [4] S. H. Lee, T. S. Kim, H. Y. Lee(2015), Dynamic Analysis of R&D Efficiency of Government-funded Research Institutes, A collection of papers at the Autumn Conference of the Korean Society of Industrial Engineering, 1755-1772.
- [5] S. C. Lee, D. H. Lee(2016), An Analysis of Changes in R&D Efficiency of Government- Funded Research Institutes Using the Cumulative DEA/MalmquistIndex Techniques, Journal of the Korean Society of Management Sciences, 41(1): 99-112.
- [6] M. S. Hyen, W. J. You(2008), A Study on the Analysis of Technology Transfer Efficiency in Public Research Institutes using DEA Model, Journal of Industrial Management Systems, 31(2): 94-103.
- [7] J. Y. Jung(2018), A Study on the Improvement of Institutional Evaluation of Science and Technology Research Institutes Using Data Envelope Analysis (DEA), Chungnam National University Graduate

School, A doctoral dissertation.

- [8] Farrell, Michael James(1957), The measurement of productive efficiency, Journal of the Royal statistical Society. Series A, 120(3): 253-290.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2343100>
- [9] K. S. Seo, H. M. Ahn(2016), A Study on the Operation Efficiency of Urban Railway Trains Using DEA (Data Enclosure Analysis), The Korean Railroad Association, 2016 Academic Presentation Conference of the Korean Railroad Association, 446-459.
- [10] Shephard, R. W.(1953), Cost and Production Functions, Princeton University Press, New Jersey.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-51578-1>
- [11] Charnes, A., Cooper, W., and Rhodes, E.(1981), Measuring Efficiency of Decision Making Units, European Journal of Operational Research, 2, 1978, 429-444. Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis To Program Follow Through, Management Science, 27(6).
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(79\)90229-7](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(79)90229-7)
- [12] Y. H. Han(2019), Efficiency Analysis between Korean Franchise Brands using Data Envelopment Analysis, Journal of the Korean Data Analysis Society(February 2019), Vol. 21, No. 1, 335-350.
- [13] J. D. Lee, D. H. Oh(2012), Efficiency Analysis Theory, Jilphil media. 1-124.

양 인 준(In-Joon Yang)

[정회원]



- 2019년 8월 : 한국기술교육대학교 IT융합과학경영산업대학원 IT융합 과학경영 전공 (IT융합석사)
- 2024년 2월 : 공주대학교 산업시스템공학과 박사
- 2018년 1월 ~ 현재 : 한국표준협회 수석전문위원

<관심분야>

연구장비활용, 스마트공장

이 재 훈(Jae-Hun Lee)

[정회원]



- 2021년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 산업시스템공학과 석박사과정 재학 중
- 2003년 7월 ~ 현재 : LG유플러스 CDO전략팀 책임

<관심분야>

네트워크분석, AI/DX, 장애인 관련 ICT기술 개발

최 승 일(Seungil Choi)

[종신회원]



- 2001년 12월 : 미시간대학교 금융공학 (공학석사)
- 2002년 8월 : 미시간대학교 수학과 (이학박사)
- 2002년 9월 ~ 2005년 2월 : 삼성 SDS 책임컨설턴트
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 산업시스템공학과 교수

<관심분야>

경영과학, 금융공학, 네트워크분석