

기술이전 및 사업화 활성화를 위한 전략 도출 프레임워크 - R&BD 효율성 평가를 기반으로 -

김준영 · 성시일 · 박재훈[†]

국방기술품질원

The Framework for the Strategy of Research & Business Development

Kim, Joon-Young · Sung, Si-Il · Park, Jaehun[†]

Defense Agency for Technology and Quality

ABSTRACT

Purpose: This paper developed the framework for extracting strategies of research and business development (R&BD) based on the data envelopment analysis(DEA).

Methods: DEA has been widely utilized in evaluating R&D efficiency. Even though, technology transfer and commercialization has been regarded as the important factors for practical R&D efficiency evaluation, most research have evaluated R&D efficiency by just using the DEA outputs such as the number of patents and papers. The technology transfer, commercialization and relations among costs and generated technology and commercialization are needed to be considered for more practical R&D efficiency evaluation. Thus, this research addressed a method on how to incorporate the commercialization factors into the R&DB efficiency evaluation, and improve the efficiency strategically in terms of R&D and B&D. To achieve this, this research utilized a two-stage network DEA model for R&BD efficiency evaluation.

Results: The proposed framework was applied to the 15 public research institutes and the 34 universities for validation. R&BD efficiency for the 15 public research institutes and the 34 universities was evaluated, and the differentiated improvement strategies for the inefficient DMUs to improve their efficient were proposed.

Conclusion: The R&BD efficiency would be effectively analyzed based on two-stage network DEA. It would be utilized for the effective strategy planning for cultivating R&BD.

Key Words: Research and Business Development, Efficiency, Two-stage network DEA

● Received 22 August 2016, 1st revised 27 September 2016, accepted 28 October 2016

† Corresponding Author(dudskaudts@gmail.com)

© 2016, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and re-production in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

신기술 개발 및 확보와 같은 기술혁신 활동을 통해 다양하고 새로운 제품과 서비스가 개발되고 있는 현대사회에서는 기술혁신이 국가 및 기업의 경쟁우위를 평가하는 핵심요소로 인식되고 있다(Mojaveri et al., 2011; Roxas et al., 2011). 이런 상황에서 국내외적으로는 보다 앞선 기술혁신 활동을 추구하기 위해 연구개발(Research and Development, R&D) 투자비용을 지속적으로 증가시키고 있다. 특히, 우리나라는 태생적으로 부족한 자원에도 불구하고 R&D에 대한 투자를 꾸준히 확대시켜 2013년 기준으로 세계 6위를 차지하였으며, GDP 대비 R&D 투자 비중은 세계 최고 수준인 4.15%를 기록하였다(Ministry of Strategy and Finance, 2014). 이를 바탕으로 특허, 논문 등의 양적인 측면에서의 괄목할 만한 R&D 성과를 창출하였다(Ku, 2014). 하지만 R&D 투자의 궁극적인 목적인 실제 기술이전 및 사업화를 통한 확산 및 활용은 미흡하였으며, R&D의 질적 성과 및 경제적 관점에서의 효율성이 부족하다(Lee and Choi, 2014; Choi et al., 2012; Lim et al., 2015). 따라서 R&D 투자비용이 지속적으로 증가되고 있는 상황에서, 비용 투자에 따른 연구 성과가 얼마나 효율적인 지에 대한 평가 방법 개발은 중요한 연구 주제 중 하나이며, 이를 통해 전략적 방향을 모색하는 것은 더욱 중요하다고 할 수 있다.

R&D 성과를 평가하기 위한 다양한 지표 및 기법이 개발되어 왔으며, 이를 활용한 다양한 관점에서의 성과평가가 이루어져 왔다(Kerssens-van Drongelen et al., 2000). 최근에는 R&D 성과를 투입 대비 산출을 고려한 효율성 관점에서 평가하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 위해 상대적 효율성 평가 방법인 자료포락분석(Data Envelopment Analysis, DEA)이 널리 활용되고 있다(Jeon and Lee, 2015). DEA는 다수의 투입과 산출을 이용하여 유사한 특성을 지닌 의사결정단위(Decision Making Unit, DMU)들 간의 상대적 효율성을 평가하는 방법으로 R&D 효율성 평가와 벤치마킹 목적으로 많이 이용되고 있다(Lee and Shin, 2014). 특히, DEA를 활용한 효율성 평가는 국가(Lee and Park, 2005; Wang and Huang, 2007; Sharma and Thomas, 2008), 연구소(Liu and Lu, 2010), 프로젝트(Eilat et al., 2006; Hsu and Hsueh, 2009), 프로그램(Lee et al., 2009) 등 다양한 분야에 적용되고 있다.

하지만 기존의 DEA를 활용한 R&D 효율성 평가 연구들은 R&D의 궁극적인 목적인 기술이전 및 사업화(Business Development, B&D)를 통한 경제적 가치 창출 관점은 고려하지 않고, 특허와 논문 등 1차적인 연구개발 산출물에 집중하고 있다(Jeon and Lee, 2015). Sexton et al.(1999)는 R&D 효율성은 연구 개발부터 사업화에 이르는 전체적인 관점에서 평가하는 것이 중요하다고 언급했었고, Bozeman et al.(2015)은 최근에 기술이전 및 사업화의 중요성 및 관심의 증대로 R&D 효율성 평가를 기술이전을 포함한 사업화 관점까지 확장할 필요성에 대해 강조한 바가 있다. 특히 Min(2014)이 언급한 바와 같이 우리나라는 제한된 R&D 자원으로 인해 효율적인 사업화 시스템을 정착시키는 것은 매우 중요하기 때문에, 사업화를 통합적으로 고려한 효과적인 연구개발 사업화 효율성 평가는 필수적이라고 할 수 있다. 따라서 보다 현실적인 R&D 효율성 평가를 위해서는 기술이전부터 사업화까지를 종합적으로 고려한 효율성 평가가 중요하다. 연구개발 사업화는 연구개발(R&D)을 통해 신기술들을 확보하고 해당 기술들을 사업화(B&D, Business Development)하여 기술료 및 제화를 창출하는 2단계로 구성되며, R&BD(Research and Business Development)로 총칭하고 있다. 물론 기존의 기술이전 및 사업화 성과평가 연구에서 R&BD 관점의 기술료 수입과 창업 등 경제적 성과를 고려하여 효율성을 분석하고자 하는 시도는 있었다. 하지만 해당 연구는 기술이전 및 사업화를 독립적인 관점에서 각각에 대한 상대적 효율성을 평가하기 때문에 연구개발 성과와 기술이전 및 사업화 성과를 통합적으로 고려한 효율성 분석은 불가능 했다. 물론 기술이전 및 사업화를 독립적인 관점에서 효율성을 평가는 것도 의미가 있으나, 연구개발과 기술이전 및 사업화 간의 유기적인 관계를 고려하여 효율성을 평가할 수 있다면 상대적으로 효율성이 낮은 평가 대상의 효율성을 높이기 위한 최적의 전략 수립이 가능하다.

본 연구에서는 연구개발 사업화(R&BD) 효율성을 평가함에 있어 연구개발과 기술이전 및 사업화 간의 유기적인 관계를 종합적으로 고려한 평가를 바탕으로 차별화된 R&BD 전략을 도출하고자 한다. 특히 연구개발과 기술이전 및 사업화 간의 유기적인 관계를 종합적으로 고려하기 위해 2단계 네트워크 DEA 기반의 효율성 평가 방법을 활용하였으며, R&BD의 투입(Input), 산출(Output), 매개(Intermediate) 변수를 정의하고, 연구개발에서부터 사업화에 이르기까지의 변환 과정 분석 및 효율성 평가를 수행한다. 이를 통해 R&BD의 통합 관점에서 효율성 평가와 함께 연구개발 및 기술이전·사업화가 전체 효율성에 미치는 영향성 분석이 가능하여 향후 기술이전 및 사업화 육성을 위한 구체적인 전략 수립의 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 DEA에 대한 이론적인 학습과 연구개발 및 기술이전·사업화 효율성 평가 관련 연구를 살펴보고 3장에서는 본 연구에서 제안하는 기술이전 및 사업화 활성화를 위한 전략 도출 프레임워크를 제시한다. 4장에서는 국내 공공기관 및 대학을 대상으로 제안된 프레임워크를 적용하여 타당성 분석을 실시하고 마지막으로 5장에서는 본 연구의 의의 및 한계점을 살펴본다.

2. 연구 배경

2.1 DEA(Data Envelopment Analysis)

DEA는 투입 및 산출의 명확한 인과관계를 밝히기 어려운 DMU들 간의 상대적 효율성을 평가하기 위해 개발된 방법이며, 다수의 산출물을 생산하기 위해 다수의 투입물을 이용하여 DMU들 간의 선형계획법에 기반을 둔 효율성 평가 방법이다(Zhu, 2003). DEA의 수리적 모형은 (식 1)과 같다.

$$\begin{aligned} & \max_{u,v} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \\ & s.t. \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \forall j \\ & v_i, u_r \geq \varepsilon, \forall i, r \end{aligned} \quad (\text{식 1})$$

(식 1)은 DEA의 기본 모형인 Charnes, Cooper and Rhodes의 CCR 모형으로 u_r 은 r번째 산출 요소의 가중치, v_i 은 I번째 투입 요소의 가중치, n은 DMU의 수, s는 산출 요소의 수, m은 투입 요소의 수, k는 평가하고자 하는 특정 DMU 번호, y_{rj} 는 DMU j의 r번째 산출물의 양, x_{ij} 는 DMU j의 i번째 투입물의 양을 각각 의미한다. ε 는 무한소(non-Archimedean Infinitesimal)를 의미한다. 목적함수는 평가 대상 DMU의 효율성 값을 나타내게 되는데 효율성 값은 0보다 크고 1보다 작거나 같은 값을 가진다. 각각의 DMU에 대해 효율성 값이 1인 경우 해당 DMU는 효율적이라 하고, 1보다 작을 경우는 비효율적이라 한다. 한편 DEA 모형은 투입 요소에 초점을 두는가, 산출요소에 초점을 두는가에 의해 투입 지향(Input oriented) 모형과 산출 지향(Output oriented) 모형으로 구분되며 투입 지향 모형은 최소한의 투입 요소를 사용하여 주어진 산출 요소를 생산하는 것을 목적으로 하고, 산출 지향 모형은 주어진 투입 요소를 가지고 산출 요소를 최대화하는 것을 목적으로 한다. CCR 모형은 규모에 대한 수익 불변(Constant Return to Scale, CRS)이라는 가정 아래 모형이 도출되기 때문에 규모의 효율성과 순수 기술 효율성을 구분하지 못한다는

단점을 가지고 있다. CRS는 투입 규모가 일정하게 증가할 때 산출 규모도 투입 규모의 증가와 비례하여 일정하게 증가한다는 것을 가정한다. 이로 인해 CRS는 모든 기업이 최적의 규모로 운영되고 있다는 가정 아래 적용될 수 있는 모형이다. 하지만 현실은 불완전한 경쟁, 재무 관련 제약 등으로 인해 개별 기업들은 최적 규모로 운영되지 못하고 있는 것이 현실이다. 이로 인해 모든 기업들이 최적 규모로 운영되지 못하는 상황에서 CRS 모형을 적용하는 것은 기술적 효율성(Technical Efficiency)과 규모 효율성(Scale Efficiency)에 혼동을 가져올 수 있다. 반면 규모 수익 가변(Variable Returns to Scale, VRS) 모형을 이용하면 규모 효율성 효과를 제외한 기술적 효율성의 계산이 가능하다. Banker, Charnes, and Cooper(1984)는 이러한 CCR 모형에서 가정하고 있는 규모 수익 불변을 완화하여 VRS 가정을 적용하고 불록성 필요조건을 추가하여 (식 2)의 BCC 모형을 제안하였다. u_k 는 부호제약을 받지 않는 규모지수(Scale Indicator)를 나타내는데 이 점에 투입지향 CCR 모형과의 차이이다. 최적 해를 구한 후 도출되는 u_k^* 를 통하여 평가대상 DMU 규모 수익 현상을 파악할 수 있다. 만약 $u_k^* < 0$ 이면 규모 수익 체증이고, $u_k^* = 0$ 이면 규모 수익 불변이고, $u_k^* > 0$ 이면 규모 수익 체감이다. 앞서 언급한 내용을 정리하면 DEA의 모형은 다음 [표 1]과 같이 분류 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \max_{u,v} \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} + u_k \\
 & s.t \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + u_k - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \forall j \\
 & v_i, u_r \geq \varepsilon, \forall i, r
 \end{aligned}
 \tag{식 2}$$

Table 1. Type of DEA model

	Constant Return to Scale(CRS)	Variable Return to Scale(VRS)
Input-oriented	Input-oriented CCR model	Input-oriented BCC model
output-oriented	output-oriented CCR model	output-oriented BCC model

DEA는 DMU들 간의 상대적 효율성 측정 외에 비효율적인 DMU에게 효율성 개선 대상으로 사용될 수 있는 참조 집단을 제시함으로써 벤치마킹 도구로도 매우 유용하게 사용될 수 있다. DEA를 이용한 벤치마킹에서는 DEA의 선형계획 모형을 쌍대화(Dual)하여 참조 집합을 구할 수 있다. (식 3)은 (식 1)를 쌍대화한 포락모형(Envelop Model)으로 모든 DMU들의 투입요소의 가중합이 DMU k의 투입 요소의 θ 비율 이하인 범위에서 모든 DMU들의 산출요소의 가중합이 DMU k의 산출요소 이상이 되는 최소비용 θ 를 구하는 모형이다. θ 는 효율성을 개선하기 위해 피평가 DMU k의 모든 투입 요소에 적용된 비례적 감소를 나타내는 변수이고, λ_j 는 각 DMU의 잠재가격(Shadow Price, 피평가 DMU k의 참조 대상이 되는 효율적 경계선 상의 가상 DMU를 구성하기 위한 모든 DMU들의 가중치)을 각각 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 & \min \theta \\
 & s.t \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m) \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} \quad (r = 1, \dots, s) \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n)
 \end{aligned}
 \tag{식 3}$$

2.2 연구개발 및 기술이전·사업화 효율성 평가 연구

DEA를 활용하여 연구개발 및 기술이전·사업화 효율성을 평가한 국내외 연구들은 [표 2]와 같다.

Table 2. Research related with Efficiency Assessment

Classification	Researches
Efficiency of R&D	Ko & Lee(2001), Bang et al.(2011), Min et al.(2012), Lee et al.(2012), Lee & Cho(2014), Lee & Park(2005), Eilat, Golany, & Shtub(2006), Kocher et al.(2006), Wang & Huang(2007), Sharma & Thomas(2008), Lee et al.(2009), Liu & Lu(2010)
Efficiency of B&D	Kim & Park(2004), Nam et al.(2008), Hyon & Yoo(2008), Baek & Chung(2011), Jang(2014), Thursby & Kemp(2002), Chapple et al.(2005), Anderson et al.(2007), Kim(2011)

먼저, DEA 기반으로 R&D 효율성을 평가한 연구들을 살펴보면, 연구개발의 궁극적인 목적인 기술이전 및 사업화(B&D)를 통한 경제적 가치 창출 관점은 고려하지 않고 있으며 특허와 논문 등 1차적인 연구개발 산출물에 집중하고 있다(Jeon and Lee, 2015). 물론 연구개발 결과가 바로 경제적 이익을 창출하기 위해서는 오랜 시간이 소요되지만, 연구개발의 궁극적인 목적과 연구개발의 실효성을 고려할 때 연구개발에서부터 사업화에 이르는 전체적인 성과에 대한 평가는 매우 중요하다.

한편 기술이전 및 사업화 효율성을 평가하는 연구들은 연구개발에서부터 사업화에 이르기까지의 전체적인 효율성 평가를 주로 하고는 있으나, 연구개발 효율성 평가와 유사한 투입 변수(예. 연구비, 연구인력 등)와 산출 변수(예. 특허, 논문, 기술료 수입 등)를 바탕으로 DMU들의 상대적인 효율성을 측정하는데 초점을 맞추고 있으며, 연구개발과 기술이전 및 사업화 간의 유기적인 관계 및 프로세스 분석을 통한 통합 관점에서의 효율성과 함께 개별 부문(연구개발, 기술이전 및 사업화)의 효율성 분석은 부족하다. R&BD 효율성 평가를 위해 연구개발 활동의 1차적인 성과(논문, 특허 등)와 더불어 사업화 관점에서의 성과 지표를 반영하고 R&BD 전체 효율성과 동시에 R&D와 B&D의 부문별 효율성을 평가하고자 하는 연구가 있었으나, 앞서 언급한 것처럼 연구개발과 기술이전 및 사업화 간의 유기적인 관계 및 상관관계를 고려한 효율성 평가가 이루어지지 않았으며 효율성 진단을 통한 기술이전 및 사업화를 활성화할 수 있는 전략을 제시하는 것이 중요함에도 불구하고 각 DMU들의 차별화된 전략 도출이 부족하였다.

따라서 본 연구에서는 2단계 네트워크 DEA를 활용하여 R&BD 효율성을 분석하고 이를 바탕으로 연구개발에서부터 기술이전 및 사업화를 효율적으로 수행하기 위한 성공 전략 도출을 위한 프레임워크를 제시하고자 한다.

3. 기술이전 및 사업화 활성화 전략 도출 프레임워크

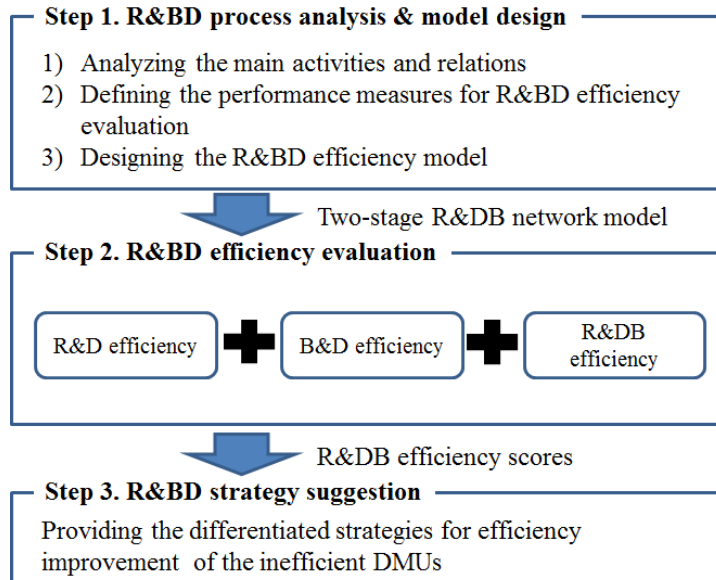


Figure 1. Framework of the proposed method

본 연구에서 제시하는 기술이전 및 사업화 활성화를 위한 전략 도출 프레임워크는 [그림 1]과 같다. Step 1에서는 연구개발에서부터 기술이전 및 사업화에 이르기까지의 핵심 프로세스 분석을 통해 효율성 평가를 위한 모형을 설계하고, Step 2에서는 Step 1에서 구축된 R&BD 네트워크 모형을 기반으로 R&D, B&D, R&DB 효율성 등을 평가한다. 마지막으로, Step 3에서는 도출된 효율성 평가를 기반으로 기술이전 및 사업화를 활성화하기 위한 차별화된 전략을 제시한다.

3.1 STEP 1: R&BD 프로세스 분석 및 모형 설계

1단계에서는 R&BD를 구성하는 주요 활동 및 투입물과 산출물을 식별한 후 연관관계를 파악하여 R&BD 프로세스를 분석하고 분석 결과를 토대로 효율성 평가를 위한 모형을 설계한다[그림 2]. 전통적인 DEA 기반의 효율성 평가에서는 개별 프로세스 사이에 존재하는 연관성을 고려하지 않지 않고, 블랙박스 형태로 간주하였으나, 해당 연구에서는 R&BD 전체 효율성뿐만 아니라 R&D와 B&D의 개별 효율성도 상호 연관관계를 고려하여 평가하고자 Network DEA를 적용한다.

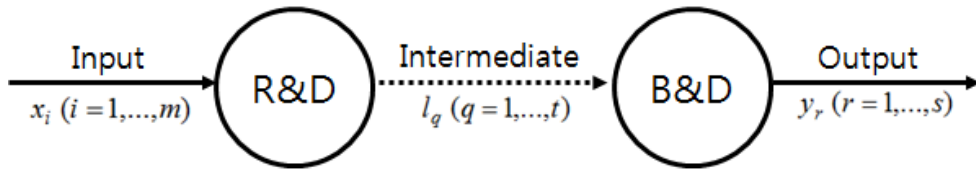


Figure 2. R&BD Network Model

즉, R&BD 효율성은 연구개발을 위해 주어진 연구개발 예산 및 인력을 투입해서 얼마나 많은 기술이전 및 사업화 실적을 산출하였는지, 혹은 반대로 주어진 기술이전 및 사업화 실적을 산출하기 위해 얼마나 적은 연구개발 예산 및 인력을 투입하였는지에 대한 지표로 평가할 수 있으며, R&D 효율성은 연구개발 인력 및 비용을 투입하여 얼마나 많은 특허 및 논문 등과 같은 기술들을 했는지에 대한 지표로 평가하고, B&D 효율성은 연구개발 단계로부터 얻은 기술을 투입하여 얼마나 많은 기술이전 계약 및 기술료 수입 등을 확보했는지에 대한 지표로 평가할 수 있는 것이다.

3.2 STEP 2: R&BD 효율성 평가

[그림 2]에서 x_i 는 연구개발을 위해 연구개발 인력 및 비용 등 투입되는 i 번째 투입요소를, y_r 은 사업화 결과물로 기술이전 건수, 기술료 수입 및 사업화 실적 등 산출되는 r 번째 산출요소를 의미한다. 특히, l_q 은 연구개발 결과물로 차후 사업화 효율성 평가를 위해 투입되는 논문, 특허 및 기술이전 등 q 번째 매개변수를 의미한다. 해당 모형은 연구개발 인력 및 비용을 투입하여 얼마나 효율적으로 특허와 논문과 같은 기술을 확보하였으며, 동시에 해당 기술을 투입하여 얼마나 효율적으로 기술이전과 기술료 수입 등을 창출하였는가에 대한 사업화 실적을 기반으로 R&BD 효율성을 평가한다. R&BD 효율성을 평가하기 위해 Kao and Hwang(2008)이 제안한 2단계 네트워크 DEA 모델을 적용한다. 2단계 네트워크 DEA 모형을 적용한 R&BD 효율성은 (식 4)에 의해 평가될 수 있다. (식 4)는 DEA의 투입 지향 CCR 모형을 기반으로 하였다. 다양한 형태의 DEA 모형이 R&D 효율성 평가에 활용되어 왔으며 일부 연구에서 R&D 활동의 효율성 개선 목적이 투입을 줄이는 것보다 산출을 최대화하는 것이기에 산출 지향 BCC 모형을 채택한 사례가 있다(Lee et al., 2009). 본 연구에서는 투입 지향과 산출 지향의 효율성 값의 차이가 없고, 연구의 목적이 효율성 개선보다는 효율성 평가에 초점을 두고 있기 때문에, 2단계 네트워크 DEA 기반 투입 지향 모델을 적용한다.

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} \\
 & s.t. \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + s_j = 0, \forall j \\
 & \sum_{q=1}^t w_q l_{qj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + s_j^{(C1)} = 0, \forall j \\
 & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{q=1}^t w_q l_{qj} + s_j^{(C2)} = 0, \forall j \\
 & v_i, u_r, w_q \geq \varepsilon, \forall i, r, q
 \end{aligned} \tag{식 4}$$

s_j^* , $s_j^{(c1)*}$ 그리고 $s_j^{(c2)*}$ 는 일반적인 DEA의 제약조건에서 부등호를 등호로 변환하기 위한 여유 변수(Slack variable)를 의미한다. l_q 는 연구개발 단계의 산출물인 동시에 사업화 단계의 투입물인 매개변수를 의미한다. 2번째 제약조건은 k번째 DMU의 R&D 효율성을 의미하고, 3번째 4번째 제약조건은 j번째 DMU의 연구개발 효율성과 기술이전 및 사업화 효율성을 각각 의미한다. v_i^* , u_r^* 그리고 w_q^* 가 (식 4)를 통해 산출된 가중치를 의미할 때, k번째 DMU의 연구개발 효율성과 기술이전 및 사업화 효율성은 다음 (식 5)와 (식 6)과 같이 나타낼 수 있다. 만약 $E_k^{(c1)*}$ 가 1이면 연구개발 효율성이 상대적으로 가장 높다 평가될 수 있으며, 마찬가지로 $E_k^{(c2)*}$ 가 1이면 기술이전 및 사업화 효율성이 상대적으로 가장 높다고 평가될 수 있다. 반대로, $s_k^{(c1)*} / \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik}$ 와 $s_k^{(c2)*} / \sum_{q=1}^t w_q^* l_{qk}$ 는 연구개발과 기술이전 및 사업화 단계에서의 비효율성을 의미한다. 일반적으로 DEA에서 평가대상 DMU의 효율성을 산출 가중합 대비 투입 가중합의 비율로 나타내므로, (식 4)에서 R&BD 효율성은 (식 7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_k^{(c1)*} = \frac{\sum_{q=1}^t w_q^* l_{qk}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik}} = 1 - \left(\frac{s_k^{(c1)*}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik}} \right) \quad (\text{식 5})$$

$$E_k^{(c2)*} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rk}}{\sum_{q=1}^t w_q^* l_{qk}} = 1 - \left(\frac{s_k^{(c2)*}}{\sum_{q=1}^t w_q^* l_{qk}} \right) \quad (\text{식 6})$$

$$E_k^* = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik}} = 1 - s_k^* \quad (\text{식 7})$$

3.3 STEP 3: R&BD 전략 도출

3단계에서는 R&D 효율성 및 B&D 효율성 평가 결과를 바탕으로 기술이전 및 사업화의 효율성을 개선하기 위한 차별화된 전략을 제시하고자 한다. R&DB 효율성 평가 결과는 4가지 영역으로 분류할 수 있다. 첫 번째 영역은 기술이전 및 사업화 효율성은 상대적으로 높으나 연구개발 효율성이 낮은 DMU들의 집합, 두 번째 영역은 기술이전 및 사업화 효율성과 연구개발 효율성이 모두 높은 DMU들의 집합, 세 번째 영역은 기술이전 및 사업화 효율성과 연구개발 효율성이 모두 낮은 DMU들의 집합, 마지막으로 네 번째 영역은 연구개발 효율성은 높으나 기술이전 및 사업화 효율성이 낮은 DMU 집합을 의미한다.

4. 실증 분석

본 연구에서 제안된 프레임워크의 적용 가능성을 살펴보기 위해 국내 대학 및 공공기관 49곳을 대상으로 R&BD 효율성 평가를 수행한 후 그 결과를 활용하여 차별화된 전략을 도출하였다. 적용 대상 중 대학은 34곳이고, 정부출연

연구소 등 공공기관은 15곳으로 구성되어 있다. 한편 연구 인력과 연구비 등이 투입되어 연구개발을 수행한 후 특허와 논문 등의 형태로 기술이 확보되고, 확보된 기술은 기술이전과 사업화를 통해 기술료 수입 등의 경제적 가치를 창출한다. 따라서 제시한 평가 모형에서 매개변수(Intermediate)로는 기술 확보 건수(특허, 실용신안 등)를 설정하였으며[표 3] 분석된 공공기관과 대학들의 투입 및 산출 변수의 기초적인 통계정보는 [표 4]와 같다.

Table 3. Input, Intermediate and Output variables

Input	total number of R&D researchers	R&D
	total R&D expenditure	
Intermediate	development number of R&D items (the number of patents, utility model)	-
Output	number of technology transfer contracts and number of transferred technologies	B&D
	royalty	
	number of business developments	

Table 4. Information of Variables

Variables		Max.	Min.	Ave.	S.D.
Input	total number of R&D researchers	7,566	64	1,374	1,539.93
	total R&D expenditure(million won)	541,183	558	110,442	110,654.27
Intermediate	development number of R&D items (patent, utility model)	4,984	16	639	806.40
Output	number of technology transfer contracts and number of transferred technologies	1,654	0	122	247.86
	royalty(million won)	36,364	5	2,265	5290.35
	number of business developments	42	1	4	6.54

[표 5]는 일반적인 DEA 모형에 의한 효율성 결과 값(효율성 A)과 본 논문에서 활용한 2단계 네트워크 DEA에 의한 효율성 값(효율성 B)을 나타낸다. 효율성 A는 R&D 단계에서의 투입 요소인 총 연구개발 인력 수, 연구개발비 총액을 투입요소로 고려하였고, B&D 단계의 산출요소인 기술이전 계약 체결 및 이전 건수, 기술료 수입, 창업 건수를 산출요소로 고려하였다. 효율성 A에서는 DMU 20, 27, 28, 31, 32가 상대적으로 효율적인 DMU(효율성 값이 1)로 판별되었고, 나머지 44개 DMU는 비효율적인 DMU로 판별되었다. 반면에 효율성 B에서는 효율성 값이 1인 DMU가 없지만 DMU 27, 31이 높은 효율성 값을 나타내었다. 효율성 결과에서 B의 효율성 값이 A의 효율성 값에 비해 전반적으로 낮게 도출된 것을 확인할 수 있다. 이는 2단계 네트워크 DEA가 R&BD 효율성을 측정함에 있어서 R&D 효율성과 B&D 효율성을 동시에 고려하므로 보다 엄격하게 효율성을 측정하기 때문으로 해석할 수 있다.

Table 5. Comparison of R&BD Efficiency

DMU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Efficiency A	0.073	0.146	0.162	0.527	0.180	0.202	0.210	0.325	0.632	0.173
Efficiency B	0.024	0.044	0.065	0.115	0.062	0.089	0.076	0.171	0.179	0.075
DMU	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Efficiency A	0.817	0.327	0.228	0.166	0.236	0.145	0.164	0.973	0.639	1.000
Efficiency B	0.175	0.139	0.082	0.060	0.061	0.071	0.083	0.383	0.334	0.599
DMU	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Efficiency A	0.364	0.079	0.243	0.339	0.244	0.186	1.000	1.000	0.149	0.170
Efficiency B	0.144	0.034	0.064	0.076	0.043	0.073	0.900	0.360	0.055	0.122
DMU	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Efficiency A	1.000	1.000	0.280	0.384	0.134	0.130	0.325	0.306	0.133	0.200
Efficiency B	0.945	0.091	0.179	0.090	0.057	0.036	0.132	0.138	0.022	0.084
DMU	41	42	43	44	45	46	47	48	49	
Efficiency A	0.479	0.352	0.740	0.305	0.461	0.399	0.139	0.296	0.202	
Efficiency B	0.283	0.214	0.305	0.124	0.262	0.173	0.055	0.102	0.072	

[표 6]은 2단계 네트워크 DEA에 의해 산출된 세부적인 효율성 값을 나타낸다. E_j^* (두 번째 칼럼)는 R&DB 전체 효율성 값을, $E_j^{(c1)*}$ 와 $E_j^{(c2)*}$ (세 번째 및 네 번째 칼럼)는 R&DB 효율성을 평가함에 있어 연구개발과 기술이전 및 사업화 간의 유기적인 관계를 고려한 R&D 및 B&D 효율성 값을 각각 의미한다.

Table 6. Assessment of Efficiency

DMU	Efficiency by two-stage Network DEA model		
	E_j^*	$E_j^{(c1)*}$	$E_j^{(c2)*}$
1	0.024	0.257	0.092
2	0.044	0.376	0.117
3	0.065	0.254	0.255
4	0.115	0.409	0.281
5	0.062	0.464	0.135
6	0.089	0.287	0.310
7	0.076	0.223	0.340
8	0.171	0.463	0.369
9	0.179	0.179	1.000
10	0.075	0.151	0.494
11	0.175	0.449	0.391
12	0.139	0.354	0.392
13	0.082	0.208	0.393
14	0.060	0.186	0.325
15	0.061	0.381	0.160
16	0.071	0.261	0.273
17	0.083	0.277	0.300
18	0.383	1.000	0.383
19	0.334	0.988	0.338
20	0.599	0.856	0.699
21	0.144	0.328	0.440

22	0.034	0.172	0.200
23	0.064	0.326	0.196
24	0.076	0.343	0.221
25	0.043	0.185	0.233
26	0.073	0.236	0.308
27	0.900	1.000	0.900
28	0.360	0.464	0.776
29	0.055	0.226	0.244
30	0.122	0.272	0.450
31	0.945	1.000	0.945
32	0.091	0.091	1.000
33	0.179	0.667	0.269
34	0.090	0.208	0.432
35	0.057	0.273	0.208
36	0.036	0.424	0.085
37	0.132	0.381	0.348
38	0.138	0.367	0.376
39	0.022	0.229	0.096
40	0.084	0.327	0.256
41	0.283	0.426	0.664
42	0.214	0.323	0.664
43	0.305	0.477	0.640
44	0.124	0.314	0.395
45	0.262	0.523	0.502
46	0.173	0.525	0.331
47	0.055	0.256	0.214
48	0.102	0.281	0.363
49	0.072	0.199	0.362

평균 효율성 점수(R&D: 0.385, B&D: 0.391)를 기준으로 4가지 영역으로 나눌 수 있다. A 영역은 B&D가 0.391보다 높지만 R&D가 0.385보다 낮은 DMU들의 집합이고 B 영역은 R&D가 0.385보다 높을 뿐만 아니라 B&D도 0.391보다 높은 DMU들의 집합이다. 그리고 C 영역은 B 영역과 반대로 0.385보다 낮을 뿐만 아니라 B&D도 0.391보다 낮은 DMU들의 집합이며, 마지막으로 D 영역은 A 영역과 반대로 B&D가 0.391보다 낮지만 R&D가 0.385보다 높은 DMU들의 집합이 된다. A 영역에 포함된 DMU들은 B&D 효율성이 전체 R&DB 효율성에 기여하는 정도가 높기 때문에 R&D 효율성을 우선적으로 개선한다면 R&DB 효율성을 효과적으로 개선할 수 있다. 반대로 D 영역에 포함된 DMU들은 R&D 효율성이 전체 R&DB 효율성에 기여하는 정도가 높기 때문에 B&D 효율성을 우선적으로 개선한다면 R&DB 효율성을 효과적으로 개선할 수 있다. 각 영역별로 DMU가 분류된 현황을 보면, A와 B 그리고 D 영역에는 각각 8개의 DMU들이 분류되어 전체 대비 각각 16.3%를 차지하였고, C 영역에는 25개의 DMU들이 분류되어 전체 대비 51%를 차지하였다. 즉 분석 대상들 중에서 50%가 넘는 DMU들이 R&D 효율성과 B&D 효율성이 평균 값 이하임을 살펴볼 수 있다.

한편, A 영역에 속하며 효율성 A의 값이 1.000이었지만 효율성 B를 통한 값은 0.091으로 낮게 분석되었던 DMU 32의 경우를 자세히 살펴보면 B&D 효율성 값은 1로 상대적으로 매우 높지만 R&D 효율성 값이 0.091로 상대적으로 매우 낮음을 알 수 있다. 즉 DMU 32의 경우 상대적으로 낮은 R&D 효율성 값으로 인해 R&DB 효율성 값이 낮아지게 되었고 이는 R&D 효율성이 R&DB 효율성에 기여하는 정도가 매우 낮다고 간주할 수 있다. DMU 32는 향후 R&DB 효율성을 높이기 위해서는 연구인력 효율화 등 R&D 효율성을 높이기 위한 성공 전략 도출이 우선시 되어야

한다. B 영역에 속하는 DMU 27과 31은 R&DB 효율성이 상대적으로 가장 높은 DMU(효율성 값 0.900 이상)로 현재 기관에서 추진하고 있는 제도 및 시스템을 강화하고 지속할 필요가 있다. 모든 효율성 값이 낮은 C 영역에 속한 기관은 개별 기관의 현재 상황을 파악하고, R&D 효율성과 B&D 효율성의 기여도를 바탕으로 각 기관에 맞는 효율성 향상 전략을 수립해야 하며 타 기관의 제도 및 시스템에 대한 벤치마킹 등이 필요하다. D 영역에 속하며 R&DB 효율성 값이 0.115로 상대적으로 낮은 효율성 값을 가지는 DMU 4의 경우, 해당 DMU의 R&D 효율성 값은 0.409이고 B&D 효율성 값은 0.281으로, R&D 효율성 값이 B&D 효율성 값보다 높음을 알 수 있다. 이 경우에는 R&BD 효율성을 높이기 위해서는 기술 수요자 발굴 및 기술료 협상 능력 강화 등 B&D 효율성을 높이기 위한 전략 도출이 우선시 되어야 함을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 기술이전 및 사업화 활성을 위한 전략 도출을 위해 연구개발과 기술이전 및 사업화 간의 유기적인 관계를 종합적으로 고려한 2단계 네트워크 DEA 기반의 효율성 평가를 바탕으로 전략 도출 프레임워크를 제안하였다. 효율성 평가를 위해 투입 변수로는 총 연구개발 인력수와 연구개발비 총액, 산출변수로는 기술이전 계약 체결과 이 전건수, 기술료 수입 그리고 창업 건수, 매개변수로는 기술 확보 건수로 정의하여, 연구개발부터 사업화에 이르기까지의 변환 과정 분석 및 효율성 평가를 수행하였다. 특히 제안한 프레임워크의 적용 가능성을 입증하기 위해 국내 대학 및 공공기관 49곳을 대상으로 R&BD 효율성을 평가하였으며, 기존 DEA 기반 평가와 본 연구에서 적용한 2단계 네트워크 DEA 기반의 평가를 비교 분석을 실시하여 차이가 나는 DMU에 대한 시사점을 도출하였으며, 통합적인 효율성 평가와 더불어 DMU들의 효과적인 R&BD 효율성 개선을 위해 개별 부문별 효율성 평가 및 분석을 수행하였다. 연구개발 사업화의 통합 관점에서 효율성 평가와 함께 연구개발 및 기술이전·사업화가 전체 효율성에 미치는 영향성 분석이 가능하여 향후 연구개발 사업화 육성을 위한 구체적인 전략 수립의 기초자료로 활용 가능 할 것으로 기대된다.

한편 본 연구의 한계 및 향후 연구방향을 살펴보면 우선 R&BD 효율성에 대한 통합적인 평가와 개별 부문별 평가를 통해 공공기관 및 대학들을 대상으로 분석을 하였으나, 이를 바탕으로 구체적인 벤치마크 제시를 통한 전략적 목표 도출이 부족하였기 때문에 구체적인 벤치마크 목표 제시는 향후 연구에서 수행할 것이다. 다음으로 개별 공공기관 및 대학들의 특성을 기준으로 집단별 효율성 차이 비교 분석이 결여되었기 때문에 추가적인 시사점 도출이 용이하지 못하였다. 마지막으로 공공기관 및 대학 특성상 데이터 접근이 어려워 한정된 기간에 한하여 R&BD 효율성 평가가 이루어졌으며 이에 따라 장기적인 관점에서 R&BD 효율성에 대한 추세 분석이 어려웠다. 이러한 부분은 향후 추가적인 자료 확보 등을 통해 보강해야 할 필요가 있다.

REFERENCES

- Anderson, T. R., Daim, T. U., and Lavoie, F. F. 2007. "Measuring the efficiency of university technology transfer." *Technovation* 27(5):306-318.
- Baek, C. W., and Chung, Y. K. 2011. "Analysis on the contribution of Leading TLO Program to R&D efficiency." *INNOVATION STUDIES* 6(2):27-45.
- Bang, M. S., and Jung, H. J. 2011. "A Study on Efficiency of Regional R&D Program by Data Envelopment Analysis." *Region Administration Research* 25(4):285-308.

- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. 1984. "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis." *Management Science* 30(9):1078-1092.
- Bozeman, B. Rimes, H., and Youtie, J. 2015. "The evolving state-of-the-art in technology transfer research: Revisiting the contingent effectiveness model." *Research Policy* 44(1):34-49.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. 1978. "Measuring the efficiency of decision making units." *European Journal of Operational Research* 2(6):429-444.
- Chapple, W., Lockett, A., Siegel, D., and Wright, M. 2005. "Assessing the relative performance of UK university technology transfer offices: parametric and non-parametric evidence." *Research Policy* 34(3):369-384.
- Choi, J. I., Hong, K. P., Jang, S. K., and Bae, Y. G. 2012. "Technology Commercialization of Research Institute Company: A Case of the KAERI's Hemo Him." *Asia-Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship* 7(2):129-140.
- Eilat, H. Golany, B., and Shtub, A. 2006. "Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology." *European Journal of Operational Research* 172(3):1018-1039.
- Hsu, F. M., and Hsueh, C. C. 2009. "Measuring relative efficiency of government-sponsored R&D projects: A three-stage approach." *Evaluation and program planning* 32(2):178-186.
- Hyon, M. S., and Yoo, W. J. 2008. "Study on the Technology Transfer Efficiency for Public Institutes Using DEA Model." *Journal of society of Korea industrial and systems engineering* 31(2):94-103.
- Jang, J. G. 2014. "A study on the influence factor on government-funded research institutes efficiency: focusing on science and technology field." Master Thesis in Seoul National University.
- Jeon, I. J., and Lee, H. Y. 2015. "Performance Evaluation of R&D Commercialization : A DEA-Based Three-Stage Model of R&BD Performance." *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers* 41(5):425-438.
- Kao, C., and Hwang, S. N. 2008. "Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan." *European Journal of Operational Research* 185(1):1107-1112.
- Kerssens-van Drongelen, I. Nixon, B., and Pearson, A. 2000. "Performance measurement in industrial R&D." *International Journal of Management Reviews* 2(2):111-143.
- Kim, J. H., and Park, S. B. 2004. "Comparison Analysis of National Research Laboratory's R&D Efficiency." *Science and Technology Policy* 146:21-34.
- Kim, Y. H. 2011. "The ivory tower approach to entrepreneurial linkage: productivity changes in university technology transfer." *The Journal of Technology Transfer* 85(10):180-197.
- Ko, M. S., and Lee, D. J. 2001. "A Comparative Analysis on the R&D Efficiencies of OECD Countries Using DEA." *KIIE Conference 2011.11:703-706*.
- Kocher, M. G., Luptacik, M., and Sutter M. 2006. "Measuring productivity of research in economics: A cross-country study using DEA." *Socio-Economic Planning Sciences* 40(4):314-332.
- Ku, B. C. 2014. "Derivation and Empirical Analysis of Critical Factors that Facilitate Technology Transfer and Commercialization of Research Outcome." *Asia-Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship* 9(5):69-81.
- Lee, C. H., and Cho, K. T. 2014. "Efficiency Analysis and Strategic Portfolio Model of National Health Technology R&D Program Using DEA : Focused on Translational Research." *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers* 40(2):172-183.
- Lee, H., Park, Y., and Choi, H. 2009. "Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives: A DEA approach." *European Journal of Operational Research* 196(3):847-855.
- Lee, H., and Shin, J. 2014. "Measuring journal performance for multidisciplinary research: An efficiency perspective." *Journal of Informetrics* 8(1):77-88.
- Lee, H. Y., and Park, Y. T. 2005. "An international comparison of R&D efficiency: DEA approach." *Asian Journal of Technology Innovation* 13(2):207-222.
- Lee, M. H., Lee, K. B., and Park, H. G. 2012. "The Efficiency Analysis of Regional R&D Investment." *Review of business & economics* 25(5):3365-3382.

- Lee, W. C., and Choi, J. I. 2014. "A Study on the Application Plan of Basic Original Technology in Science & Research Parks: Focus on Science Parks in Korea." *Asia-Pacific Journal of Business Venturing and Entrepreneurship* 9(3):63–74.
- Lim, I-J., Liu, H., and Lee, J. 2015. "Oversea Expansion Strategy of Chinese E-Commerce Company – Focusing on Alibaba in the US B2C Market-." *The e-Business Studies* 16(6):525–541.
- Liu, J. S., and Lu, W. M. 2010. "DEA and ranking with the network-based approach: a case of R&D performance." *Omega* 38(6):453–464.
- Min, H. K., Kim, T. Y., and Hwang, S. J. 2012. "Open Innovation R&D Efficiency Evaluation by Integrated AHP-DEA." *Journal of society of Korea industrial and systems engineering* 35(4):149–161.
- Min, J. W. 2015. "Analysis of success factors about technology transfer and commercialization of public research institutions and university." Doctor's Thesis in Korea University.
- Ministry of Strategy and Finance. 2014. "Arrangement of the R&D renovation plan for governmental department." A press released information.
- Mojaveri, H. S., Nosratabadi, H. E., and Farzad, H. 2011. "A New Model for Overcoming Technology Transfer Barriers in Iranian Health System." *International Journal of Trade, Economics and Finance* 2(4):280–284.
- Nam, I. S., Song, Y. Y., and Jeong, B. H. 2008. "Analysis of Relative Efficiency of Government Funded Research Institutes Using DEA Model." *Journal of Society of Korea Industrial and System Engineering* 35(4):149–161.
- Roxas, S. A., Piroli, G., and Sorrentino, M. 2011. "Efficiency and evaluation analysis of a network of technology transfer brokers." *Technology Analysis & Strategic Management* 23(1):7–24.
- Sexton, M. Barrett, P., and Aouad, G. 1999. "Diffusion mechanisms for construction research and innovation into small to medium sized construction firms." CRISP Consultancy Commission-99/7, London.
- Sharma, S., and Thomas, V. 2008. "Inter-country R&D efficiency analysis: An application of data envelopment analysis." *Scientometrics* 76(3):483–501.
- Thursby, J. J., and Kemp, S. 2002. "Growth and productive efficiency of university intellectual property licensing." *Research policy* 31(1):109–124.
- Wang, E. C., and Huang, W. 2007. "Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach." *Research Policy* 36(2):260–273.