

연구개발 사업화 성과 평가 : DEA 기반 3단계 R&BD 성과 모형

전익진¹ · 이학연^{2*}

¹서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 / ²서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과

Performance Evaluation of R&D Commercialization : A DEA-Based Three-Stage Model of R&BD Performance

Ikjin Jeon¹ · Hakyon Lee²

¹The Graduate School of Public Policy and Information Technology, Seoul National University of Science and Technology

²Department of Industrial and Systems Engineering, Seoul National University of Science and Technology

This study proposes a three-stage model of R&BD performance which captures commercialization outcomes as well as conventional R&D performance. The model is composed of three factors : inputs (R&D budgets and researchers), outputs (patents and papers), and outcomes (technical fees, products sales, and cost savings). Three stages are defined for each transformation process between the three factors : efficiency stage from input to output (stage 1), effectiveness stage from output to outcome (stage 2), and productivity stage from input to outcome (stage 3). The performance of each stage is measured by data envelopment analysis (DEA). DEA is a non-parametric efficiency measurement technique that has widely been used in R&D performance measurement. We measure the performance of 171 projects of 6 public R&BD programs managed by Seoul Business Agency using the proposed three-stage model. In order to provide a balanced and holistic view of R&BD performance, the R&BD performance map is also constructed based on performance of efficiency and productivity stages.

Keywords: R&D Performance, R&BD, Commercialization, Data Envelopment Analysis(DEA), Performance Map

1. 서론

21세기 지식기반 경제사회에서 기술혁신이 국가 및 기업의 경쟁우위를 결정하는 핵심 요소로 인식됨에 따라 이를 달성하기 위한 R&D 투자 규모가 지속적으로 증가하고 있다. 막대한 비용이 투입되는 R&D 활동으로부터 기대한 성과를 얻기 위해서는 효과적인 R&D 기획과 함께 기 수행된 R&D 활동에 대한 적절한 사후 성과 평가가 수행되어야 한다. 성과 평가 결과는 추후 R&D 활동의 기획 및 효율적 예산 배분을 위한 정책 수립에 중요한 근거자료로 활용될 수 있다.

이에 R&D 성과 측정을 위한 다양한 지표(metric) 및 기법(technique)이 개발되어 왔으며, 이를 활용하여 다양한 관점(pers-

pective)에서 R&D 성과 평가가 이루어져 왔다(Kerssens-van Drongelen *et al.*, 2000). 특히 최근 들어서는 R&D 활동의 투입 대비 산출을 고려한 효율성 관점에서의 성과 평가에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이를 위해 비모수적(nonparametric) 효율성 측정 기법인 자료포락분석(data envelopment analysis : DEA)이 널리 활용되고 있다. DEA는 다수의 투입요소와 산출요소를 바탕으로 의사결정단위(decision making unit : DMU)의 상대적 효율성을 측정하는 선형계획 모형(linear programming model)으로 생산 함수(production function) 및 변수 간 상대적 중요도를 사전에 설정할 필요가 없는 비모수적 특성으로 인해 다양한 수준에서 R&D 활동의 효율성 평가에 널리 활용되어 왔다(Lee and Shin, 2014).

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음(2015-0714).

* 연락저자 : 이학연 교수, 01606 서울시 노원구 공릉로 232 서울과학기술대학교, Tel : 02-970-6469, Fax : 02-974-2849,

E-mail : hylee@seoultech.ac.kr

2015년 3월 5일 접수; 2015년 6월 23일 수정본 접수; 2015년 7월 15일 게재 확정.

그러나 기존의 DEA를 활용한 R&D 성과 평가 연구들은 산출요소로써 특허 및 논문 등 단기적 또는 중간계적인 성과만을 고려하는데 그치고 있으며 R&D 활동의 궁극적인 목적인 사업화를 통한 경제적 이익 창출 측면은 평가에 반영하지 못한다는 한계가 있다. R&D의 목적이 기초 연구로 한정되어 있는 경우 기존의 산출물 중심의 효율성 평가가 활용될 수 있지만 기술이전 및 사업화에 초점을 둔 사업화 연계 연구개발(research and business development : R&BD) 프로젝트의 성과를 측정함에 있어서는 제대로 된 평가가 이루어지기 어렵다. R&BD는 연구 성과가 얼마나 확산되고 추가 개발이 필요한지를 판단하며 연계 연구개발의 필요성과 지적소유권, 자금, 컨설팅, 마케팅, 사업화 전략 등을 고려하는 기업성장 촉진에 초점을 둔 연구개발 및 사업화 연계기술개발 프로세스를 말한다(Kim and Lim, 2013). 그러므로 R&BD의 성과 평가를 위해서는 논문, 특허 등의 R&D 활동의 일반적인 산출 지표와 함께 사업화 관점의 성과 지표가 포함되어야 한다.

이에 본 연구는 사업화 측면을 고려하여 R&BD 프로젝트의 성과를 평가하기 위한 3단계 R&BD 성과 모형을 제시한다. 기존 연구에서 제시된 R&D 논리 모형(logic model)을 바탕으로 R&BD 활동의 구성 요소를 투입(input), 산출(output), 성과(outcome)의 세 가지로 정의하고 요소 간 전환 단계의 성과를 DEA 효율성 관점에서 측정한다. 즉, 투입 대비 산출 측면의 효율성(efficiency), 산출 대비 성과 측면의 효과성(effectiveness), 투입 대비 성과 측면의 생산성(productivity)의 3단계로 구분하여 R&BD 활동의 성과를 측정한다. 제시된 3단계 R&BD 성과 모형을 활용하여 서울시에서 진행한 R&BD 프로젝트의 성과 분석을 수행하고 이를 바탕으로 상위 수준인 프로그램 수준에서의 성과 평가를 수행한다. 또한 단계별 성과를 종합적으로 시각화하고 유형화하기 위한 R&BD 성과 지도를 함께 제시한다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 R&D 평가에서 DEA를 활용한 기존 연구를 고찰하고 본 연구에서 활용되는 DEA 모형에 대해 간략히 기술한다. 제 3장에서는 본 연구에서 제시하는 3단계 R&BD 성과 모형을 설명한다. 제 4장에서는 서울시 R&BD 프로젝트를 대상으로 단계별 성과를 측정하고, 프로그램 간 성과 비교를 수행하며, 제 5장에서는 단계별 성과 측정 결과를 바탕으로 R&BD 성과지도를 구축한다. 마지막으로 제 6장에서는 본 연구의 의의와 한계 그리고 향후 연구방향을 제시한다.

2. DEA를 활용한 R&D 평가

DEA는 다수의 투입요소와 산출요소를 가지는 DMU의 상대적 효율성을 측정하는 선형계획모형으로 투입요소와 산출요소 간의 관계를 정의하는 생산함수 및 각 요소들 간의 상대적 중요성에 대한 사전 가정이 필요 없는 비모수적 기법이다(Cooper et al., 2007; Chun and Lee, 2014). DEA의 이러한 특성

들은 R&D 성과 평가에 유용하게 활용될 수 있다(Lee et al., 2009; Wang and Huang, 2007). 첫째, R&D 활동은 일반적으로 다양한 유형의 투입요소가 투입되어 다양한 유형의 산출물을 산출한다. 단일 산출요소만을 고려할 수 있는 모수적 효율성 측정 기법과는 달리 DEA는 복수의 투입 및 산출요소를 반영한 효율성 측정이 가능하다. 둘째, R&D 활동은 투입과 산출의 관계를 특정한 함수로써 정의하는 것이 불가능하므로 생산함수에 대한 가정이 필요한 모수적 측정 기법의 사용이 불가능한 반면, DEA는 생산 함수를 사전에 정의할 필요가 없다. 셋째, 다양한 변수를 활용하여 효율성을 측정하는 경우 각 요소 간 상대적 가중치가 사전에 정의되어야 하나, R&D의 경우 변수들 간의 중요도를 사전에 고정하기가 여의치 않다. 그러나 DEA는 각 DMU의 효율성을 최대로 만들 수 있는 가중치를 자동적으로 결정하므로 사전에 가중치를 미리 설정할 필요가 없다.

DEA는 이러한 장점으로 인해 국가, 대학, 연구소 등 다양한 수준에서의 R&D 효율성 평가에 널리 활용되어 왔으며(Lee and Shin, 2014), 특히 과제 수준의 평가에 효과적으로 활용되어 왔다(Eilat et al., 2006; Guan and Wang, 2004; Hsu and Hsueh, 2009; Lee et al., 2009; Lee and Cho, 2014; Linton et al., 2002, 2007; Revilla et al., 2003). 그러나 대부분의 연구에서 논문 및 특허 등 R&D의 직접적인 산출요소만을 고려하여 효율성을 측정하였을 뿐 사업화를 통해 창출되는 실질적인 성과(outcome)를 반영한 효율성 평가는 거의 이루어지지 않았다. R&BD는 R&D의 직접적인 산출물인 논문과 특허의 효율성뿐만 아니라 연구결과에 대한 사업화 성과 역시 중요하게 반영되어야 한다. 앞서 언급한 바와 같이 DEA는 다수의 산출요소를 반영한 상대적 평가가 가능하므로 R&BD의 성과 측정에 있어서 기존의 R&D 산출요소와 함께 사업화 성과를 포함한 평가가 가능하다.

DEA를 이용하여 R&D 효율성을 측정함에 있어 다양한 모형의 적용이 가능하다. DEA의 기본 모형은 규모의 수익(returns to scale)이라는 가정에 따라 구분될 수 있다. Charnes et al.(1978)이 제시한 최초의 DEA 모형인 CCR 모형은 규모의 수익 불변(constant returns to scale)을 가정하며, 이후 Banker et al.(1984)이 제시한 BCC 모형은 규모의 수익 가변(variable returns to scale)을 가정한다. 또한 DEA 모형은 효율성 개선 방향에 따라 투입지향(input-oriented) 모형과 산출지향(output-oriented) 모형으로 구분된다. 투입지향이란 주어진 산출 수준에서 투입을 최소로 하는 것을 목적으로 하는 반면 산출지향은 주어진 투입 수준에서 산출을 최대로 하는 것을 목적으로 한다.

다양한 형태의 DEA 모형이 R&D 효율성 평가에 활용되어 왔으나 많은 연구에서 산출지향 BCC 모형을 채택하였다(Lee et al., 2009). 이는 R&D 활동의 효율성 개선 목적은 투입을 줄이는 것보다 산출을 최대화하는 것이라고 볼 수 있고 R&D 활동의 규모의 수익 형태가 일정하다고 가정할 수 없기 때문이다. 따라서 본 연구에서도 산출지향 BCC 모형을 활용하여 R&D

성과를 분석한다. 산출지향 BCC 모형은 아래와 같은 선형계획법 모형으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \max \quad & \eta \\ \text{s.t.} \quad & x_0 - X\lambda \geq 0 \\ & \eta y_0 - Y\lambda \leq 0 \\ & e\lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

여기서 x_0, y_0 는 DMU₀의 투입 및 산출 벡터이고, X와 Y는 전체 DMU들의 투입 및 산출 행렬을 나타낸다. λ 는 가중치 벡터, η 는 효율성 점수의 역수이며 본 모형에서 $e\lambda = 1$ 이라는 볼록성(convexity) 조건을 제거한 것이 CCR 모형이다.

3. 3단계 R&BD 성과 모형

본 연구에서는 먼저 R&D 성과와 더불어 사업화 측면의 성과를 고려하기 위한 3단계 R&BD 성과 모형을 구축한다. 3단계 R&BD 성과 모형은 논리모형에 기초한다. 논리모형은 공공 프로그램의 목적 및 과정을 기술하고 설명하기 위해 개발된 도구로 주어진 문제 해결을 위해 프로그램이 어떻게 운영되고 작동할 것인가를 나타내 주는 일련의 논리적 연관으로 구성된 선형적 모형이다(Bickman, 1987). 공공 R&D 프로그램 역시 논리 모형을 이용해 모형화하려는 시도가 이루어져 왔다. UW-Extension(2005)은 프로그램의 구성 요소를 크게 투입(input), 산출(output), 성과 및 영향(outcome and impact)로 정의하고 산출은 활동(activity)과 참여(participation)로, 성과 및 영향은 단기, 중기, 장기로 세분화하였다. Ruegg and Feller(2003)는 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)의 ATP(Advanced Technology Program)를 자원(resource), 산출(output), 성과(outcome), 영향(impact)의 네 요소로 모형화하였다. 본 연구에서는 기존 R&D 논리 모형들을 바탕으로 공공 R&BD 프로그램을 투입(input), 산출(output), 성과(outcome)의 세 요소로 정의한다. 여기서 투입(input) 및 산출(output)은 DEA의 투입 변수 및 산출 변수와 용어가 동일하고 성과(outcome)는 결과의 우수한 정도를 나타내는 일반적인 의미의 “성과(performance)”와 혼동될 수 있으므로, 이후 본 논문에서는 R&BD 프로그램의 세 가지 구성요소를 영문 대문자(INPUT, OUTPUT, OUTCOME)로 표기한다.

<Figure 1>은 본 연구에서 제시하는 3단계 R&BD 성과 모형을 나타낸 것으로, R&BD 프로젝트 수행을 위한 INPUT이 투입되어 R&D 결과물이라고 볼 수 있는 OUTPUT이 산출되고, OUTPUT의 사업화를 통해 R&BD의 최종 결과물로서 OUTCOME이 도출되는 논리적 연관 관계가 도식화되어 있다. 이때, INPUT이 OUTPUT으로 전환되는 1단계는 투입 대비 산출로써 측정되며 일반적인 의미의 효율성(efficiency)을 나타낸

다. OUTPUT이 OUTCOME으로 전환되는 2단계는 R&BD의 궁극적인 목적이 사업화에 있으므로 목표의 달성 수준을 나타내는 효과성(effectiveness)의 의미를 가진다. 또한 INPUT이 직접적으로 OUTCOME으로 변환되는 3단계는 효율성과 효과성을 모두 반영한다는 측면에서 생산성(productivity) 관점의 성과를 의미한다. 각 단계별 성과는 DEA 효율성 점수로 측정된다. 따라서 OUTPUT의 경우 효율성 단계(1단계)에서는 산출 변수로 작용하지만 효과성 단계(2단계)에서는 투입 변수로 작용한다. DEA에서의 효율성 점수와 본 모형에서의 효율성 단계를 구분하기 위해, 이후 본 논문에서는 각 단계를 영문 대문자(EFFICIENCY, EFFECTIVENESS, PRODUCTIVITY)로 표기한다.

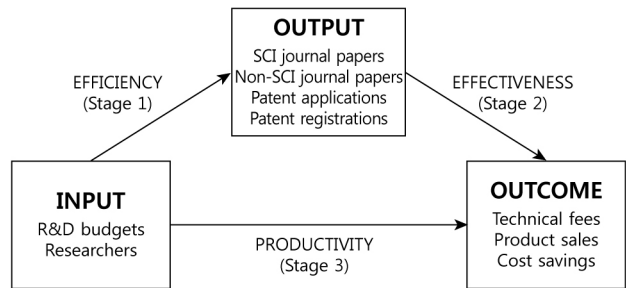


Figure 1. Three stage model of R&BD performance

이처럼 특정 생산 활동을 투입요소와 중간 산출요소, 최종 산출요소의 3단계로 나누고 이들 간의 전환 단계를 EFFICIENCY, EFFECTIVENESS, PRODUCTIVITY로 구분하여 성과를 측정하는 접근법은 제조 및 서비스 프로세스의 성과 분석을 위한 기존 연구에서 타당성 및 유용성이 입증되었다(Keh and Chu, 2003; Keh et al., 2006; Jeon et al., 2011). 본 연구는 R&BD 활동을 3단계로 구분하여 성과를 측정함으로써 기존의 R&D 평가에서 주로 다뤄 온 INPUT 대비 OUTPUT 관점의 EFFICIENCY 측면의 성과는 물론 사업화 측면의 OUTCOME을 반영한 EFFECTIVENESS와 PRODUCTIVITY를 포함하여 다양한 관점에서 R&BD 프로젝트 성과를 측정한다.

각 항목별 세부 요소는 DEA를 활용한 R&D 성과 평가 관련 기존 연구를 참조하여 <Table 1>과 같이 선정하였다. INPUT으로는 대부분의 기존 연구에서 공통적으로 노동과 자본의 대용지표로 활용되어 온 연구비와 연구인력을 선정하였다. OUTPUT으로는 기초적인 R&D 산출물로 인식되고 있는 특허와 논문을 선정하였다. 논문은 SCI 등재여부에 따라 두 개의 변수로 세분화하였고 특허는 출원과 등록으로 구분하였다. OUTCOME의 경우 기술이전액, 매출액, 비용절감액의 세 가지 변수를 채택하였다. 기술이전은 R&D 사업화의 대표적인 성과 지표로 활용되어 왔으며 매출액과 비용절감액은 R&D 논리모형의 주요 성과 요소이다. 매출액은 제품혁신을 통한 신제품 성과를 나타내며 비용절감액은 공정혁신을 통한 성과를 대표한다.

Table 1. Variables

Type	Variable	Description	References
Input	R&D budgets	Total amount of funds	Ruegg and Feller(2003), Revilla <i>et al.</i> (2003), Guan and Wang(2004), Farris <i>et al.</i> (2006), Meng <i>et al.</i> (2006); Hsu and Hsueh(2009); Lee <i>et al.</i> (2009); Lee and Cho(2014), Park(2014)
	Researchers	Number of participating researchers	Bonaccorsi and Daraio(2003), Lee and Park(2005), Guan and Wang(2004), Wang and Huang(2007), Meng <i>et al.</i> (2008), Sharma and Thomas(2008), Lee <i>et al.</i> (2009), Hsu and Hsueh(2009), Liu and Lu(2010), Guan and Chen(2012), Lee and Cho(2014), Park(2014)
Output	SCI journal papers	Number of papers published in journals listed on SCI	Rousseau and Rousseau(1997), Bonaccorsi and Daraio(2003), Guan and Wang(2004), Garg <i>et al.</i> (2005); Lee and Park(2005), Meng <i>et al.</i> (2006), Kocher <i>et al.</i> (2006), Wang and Huang(2007), Sharma and Thomas(2008), Hsu and Hsueh(2009), Lee <i>et al.</i> (2009), Liu and Lu(2010), Lee and Cho(2014)
	Non-SCI journal papers	Number of papers published in journals not listed on SCI	Rousseau and Rousseau(1997), Revilla <i>et al.</i> (2003), Zhang <i>et al.</i> (2003), Lee and Park(2005), Wang and Huang(2007), Meng <i>et al.</i> (2008), Sharma and Thomas(2008), Hsu and Hsueh(2009), Lee <i>et al.</i> (2009), Liu and Lu(2010), Guan and Chen(2012)
	Patent applications	Number of patents filed in domestic and foreign patent offices	Rousseau and Rousseau(1997), Revilla <i>et al.</i> (2003), Zhang <i>et al.</i> (2003), Lee and Park(2005), Wang and Huang(2007), Meng <i>et al.</i> (2008), Sharma and Thomas(2008), Hsu and Hsueh(2009), Lee <i>et al.</i> (2009), Liu and Lu(2010), Guan and Chen(2012)
	Patent registrations	Number of patents issued in domestic and foreign patent offices	Rousseau and Rousseau(1997), Revilla <i>et al.</i> (2003), Zhang <i>et al.</i> (2003), Lee and Park(2005), Wang and Huang(2007), Meng <i>et al.</i> (2008), Sharma and Thomas(2008), Hsu and Hsueh(2009), Lee <i>et al.</i> (2009), Liu and Lu(2010), Guan and Chen(2012)
Outcome	Technical fees	Amount of money charged for technology transfer	Georghiou(1999), Linton <i>et al.</i> (2002); Guan and Chen(2012)
	Products sales	Revenues from new products/services	Park(2014)
	Cost savings	Cost savings from process improvement	

4. R&BD 성과 측정

4.1 분석 자료

본 연구는 서울시에서 수행한 R&BD 프로젝트를 대상으로 3단계 R&BD 성과 모형을 적용하여 성과를 측정하였다. 서울시 R&BD 프로그램은 서울 소재 기업 및 대학 산학협력단을 중심으로 창의적인 아이디어와 안정적 경영 등으로 지속가능한 미래 비전을 제시하는 기업과 대학을 선정된 후 선정된 기관이 연구 개발과 사업화 연계 기술 개발의 과제를 수행토록 하여 매년 수행된 과제에 대해 프로젝트 별로 평가를 진행한다.

성과가 우수하여 분야별 롤 모델이 될 수 있는 기업과 산학협력단을 육성하고 집중적 마케팅, 판로 지원(국내·외 판로개척, 서울시 우수 기업 브랜드 활성화, 기업교류 활성화, 제품 공공구매 활성화, 지역특화사업 활성화) 등 연구 개발과 사업화 연계 기술 개발에 대해 경쟁력 있는 기업 및 산학협력단으로서의 다양한 활동이 가능하도록 지원하는데 목적을 두고 있다. 2005년부터 2013년까지 서울시에서 수행한 6개의 R&BD 프로그램을 통해 지원한 171개의 프로젝트를 분석 대상으로 선정하였으며, 프로그램별 목표 및 프로젝트 개수는 아래 <Table 2>와 같다. 프로그램별 변수값의 기초통계량은 <Appendix 1>에 첨부하였다.

Table 2. R&BD programs

Program	Number of projects	Goal
A	7	Developing design technologies
B	14	Supporting strategic industries
C	7	Commercialization of transferred technologies
D	64	Commercialization of technologies of small and medium enterprises
E	6	Enhancing district-specialized industries
F	73	Commercialization of patented technologies

4.2 프로젝트 성과 측정

171개의 프로젝트를 대상으로 BCC 모형을 활용하여 각 단계별 DEA 효율성 점수를 측정하였다. 개별 프로젝트들의 효율성 점수는 <Appendix 2>에 첨부되어 있으며 아래 <Table 3>은 단계별 효율성 점수 측정 결과를 요약한 것이다. 일반적으로 DEA에서는 투입 및 산출 변수의 개수가 많을수록 효율적으로 판별되는 DMU의 수가 많아져 판별력이 감소한다. 그러나 본 연구에서 단계별 변수 개수는 EFFECTIVENESS(7개), EFFICIENCY(6개), PRODUCTIVITY(5개)의 순서임에도 불구하고 효율적인 DMU 개수는 EFFICIENCY(14개), PRODUCTIVITY(8개), EFFECTIVENESS(6개)의 순서로 나타났다. 이는 EFFECTIVENESS와 PRODUCTIVITY의 산출 변수인 OUTCOME 측면에서 프로젝트 간 성과 차이가 상대적으로 크기 때문이다. 세 단계 모두에서 1의 효율성 점수를 획득한 프로젝트는 단 한 개만 존재하는 것으로 나타났다. 그러나 EFFECTIVENESS에서 효율적으로 판별된 6개의 프로젝트 중 4개가 PRODUCTIVITY 측면에서도 효율적인 것으로 나타났다. 이는 EFFECTIVENESS와 PRODUCTIVITY가 동일한 산출 변수를 반영하기 때문이며, 이를 통해 효율성 점수 결정에 있어서 투입 변수보다는 산출 변수가 더 중요한 역할을 한다는 사실을 알 수 있다.

단계별 효율성 점수의 관계를 보다 구체적으로 살펴보기 위해 상관분석을 수행하였다. DEA 효율성 점수는 정규분포를 가정할 수 없으므로 비모수 기법인 스피어만 순위 상관계수를 측정하였으며 그 결과는 아래 <Table 4>와 같다. 먼저 EFFICIENCY와 EFFECTIVENESS의 경우 유의한 음의 상관관계가 도출되었다. 이는 EFFICIENCY의 산출 변수인 OUTPUT이 EFFECTIVENESS의 투입 변수로 활용되었으므로 OUTPUT 값이 클수록 EFFICIENCY 점수는 낮은 반면 EFFECTIVENESS 점수는 높게 나타나기 때문이다. 한편, 산출 변수로써

OUTCOME를 공유하는 EFFECTIVENESS와 PRODUCTIVITY는 매우 강한 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타난 반면, 공통적으로 INPUT을 투입 변수로 고려하는 EFFICIENCY와 PRODUCTIVITY는 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이를 통해 투입 변수보다 산출 변수가 효율성 점수에 더 큰 영향을 미친다는 사실을 다시 한 번 확인할 수 있다. 상관분석 결과는 3단계 모형을 활용한 다양한 관점에서의 R&BD 평가가 필요함을 보여준다. 즉, EFFICIENCY 점수는 EFFECTIVENESS 및 PRODUCTIVITY와 매우 다른 양상을 보이므로 기존의 EFFICIENCY 중심의 평가만으로는 사업화 측면이 강조되는 R&BD 활동의 성과를 제대로 측정할 수 없다는 사실을 파악할 수 있다.

4.3 프로그램 성과 비교

제 4.2절에서 수행한 개별 프로젝트 수준의 평가는 이미 완료된 프로젝트에 대한 사후 평가의 성격을 가지므로 향후 해당 기관 또는 연구책임자의 프로젝트 선정 등에 반영하는 것 이외에는 평가 결과의 활용도가 제한적이다. R&D 기획 및 정책 수립 측면에서는 프로젝트 수준이 아닌 프로그램 수준의 평가 결과가 더욱 유용하게 활용될 수 있다. 프로그램은 연속성을 가지고 있으며 수행 중인 프로그램의 성과 평가 결과는 프로그램의 지속 여부 결정 및 프로그램 운영 방안 개선 등 다양한 의사결정에 반영될 수 있다. 그러나 이를 목적으로 개별 프로그램을 하나의 DMU로 간주하고 DEA를 수행할 경우 변수의 개수에 비해 충분한 수의 DMU가 확보되지 않아 효율성 측정 결과의 판별력이 낮다는 문제점이 존재한다. 일반적으로 DEA에서는 투입 변수 및 산출 변수 개수의 합보다 세 배 이상 또는 투입 변수와 산출 변수 개수의 곱보다 많은 수의 DMU가 확보되어야만 만족할만한 수준의 효율적인 DMU의 판별이 가능하다(Banker *et al.*, 1989; Boussofiane *et al.*, 1991). 본 연구에

Table 3. Stage-wise DEA results

Stage	Number of efficient DMUs	Percentage of efficient DMUs	Average efficiency scores
Stage 1(EFFICIENCY)	14	8.2%	0.390
Stage 2(EFFECTIVENESS)	6	3.5%	0.214
Stage 3(PRODUCTIVITY)	8	4.7%	0.186

Table 4. Spearman correlation coefficients among three stages

	Stage 1 (EFFICIENCY)	Stage 2 (EFFECTIVENESS)	Stage 3 (PRODUCTIVITY)
Stage 1 (EFFICIENCY)	-	-0.312*	-0.085
Stage 2 (EFFECTIVENESS)		-	0.808*
Stage 3 (PRODUCTIVITY)			-

* $p \leq 0.01$.

서와 같이 프로그램 수가 상대적으로 적은 경우, 너무 많은 수의 프로그램이 효율적으로 평가되어 성과 순위의 파악이 어렵다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 프로그램이 아닌 개별 과제들을 DMU로 간주하여 효율성 점수를 측정하고, 이를 바탕으로 프로그램의 성과를 측정하는 상향식(bottom-up) 접근법을 활용하는 것이 적절하다(Lee *et al.*, 2009). 이 때 DEA 효율성 점수는 정규분포를 가정할 수 없으므로 집단간 평균 비교를 위해서는 ANOVA가 아닌 비모수적 기법인 Kruskal-Wallis 검정을 수행해야 한다. 제 4.2절에서 측정된 프로젝트별 효율성 점수를 바탕으로 Kruskal-Wallis 검정을 통해 6개 프로그램 간 성과의 차이를 통계적으로 검정하고 평균 순위(mean rank) 값을 기준으로 프로그램 간의 상대적 순위를 도출하였다. 또한 두 집단 간 평균 비교를 위한 비모수 기법인 Mann-Whitney U 검정을 수행하여 개별 프로그램 간 성과 차이의 통계적 유의성을 분석하였다. 아래 <Table 5>는 세 단계별로 6개 프로그램의 성과를 비교한 결과를 나타낸 것이다.

세 단계 성과 모두에서 프로그램 간 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으나, 단계별 프로그램의 순위는 매우 상이하게 나타났다. EFFECTIVENESS와 PRODUCTIVITY 간의 프로그램 순위 차이는 일부 존재하기는 하나 크게 다르지 않은 반면, EFFICIENCY에서의 상대적 순위는 두 단계와 상당히 다르게 나타났다. 특히 프로그램 E의 경우 EFFICIENCY에서는 가장 좋은 성과를 거두었지만 나머지 두 단계에서는 최하위에 위치하고 있다. 즉, 프로그램 E는 R&D 관점에서는 매우 우수한 성과를 보이고 있으나 그 결과물을 사업화하는 측면에서는 매우 부족하다고 할 수 있다. 반면 EFFICIENCY에서 가장 낮은 성과를 보인 프로그램 C의 경우 EFFECTIVENESS와 PRODUCTIVITY에서는 매우 높은 순위를 차지하였다. 프로그램 C는 비록 R&BD의 중간 결과물이라고 할 수 있는 특허 및 논문의 산출은 저조하나 이를 사업화하여 실질적인 가치를 창출하는데 있어서는 매우 뛰어나다고 할 수 있다. 제 4.2절의 프로젝트 수준 평가에서 파악한 바와 같이 R&BD 프로그램의 평가에 있어서 기존의 EFFICIENCY 관점만을 견지할 경우 잘못된 결과

가 도출될 수 있으며 사업화 성과를 반영해야만 효과적인 평가가 가능함을 파악할 수 있다.

5. R&BD 성과지도

단계별 성과 점수는 R&BD의 서로 다른 관점의 성과를 반영하므로 세 단계 중 특정 단계가 더 중요하거나 중요하지 않다고 평가하기는 어렵다. 따라서 본 장에서는 균형적인 관점에서 성과를 한 눈에 파악할 수 있는 2차원 매트릭스 형태의 성과지도(performance map)를 제시한다. 성과 지도는 EFFICIENCY와 PRODUCTIVITY를 두 축으로 하는 2차원 매트릭스 형태로 구성된다. 두 단계 모두 프로젝트 수행을 위한 실질적인 투입요소라고 할 수 있는 INPUT을 투입변수로 고려하는 반면, 산출변수로는 각각 OUTPUT과 OUTCOME을 반영한다. 따라서 EFFICIENCY는 기존의 R&D 관점의 투입 대비 성과를 의미하고 PRODUCTIVITY는 R&BD 관점의 투입 대비 성과를 의미하게 된다. EFFECTIVENESS의 경우 R&D의 산출물이 사업화로 이어지는 중간 단계의 성과를 의미하므로 예산 배분 측면에서의 시사점 도출이 어려울 뿐만 아니라 PRODUCTIVITY와 매우 강한 양의 상관관계를 나타내므로 성과 지도에서 고려하지 않는다.

R&BD 성과 지도는 EFFICIENCY와 PRODUCTIVITY의 DEA 효율성 점수의 높고 낮음에 따라 2×2 매트릭스로 구성된다. 각 축을 평균 DEA 효율성 점수(EFFICIENCY : 0.3904, PRODUCTIVITY : 0.1859)를 기준으로 HIGH와 LOW로 구분함으로써 <Figure 2>와 같이 사분면을 도출할 수 있으며, 각 사분면은 하나의 성과 유형을 나타낸다. 두 단계의 DEA 효율성 점수가 모두 높은 프로젝트의 경우, R&D 성과와 사업화 성과가 모두 우수하므로 Innovator로 명명하며, 전체 171개 중 약 14%에 해당하는 24개의 프로젝트가 이 유형에 속하는 것으로 나타났다. 반면 두 단계의 점수가 모두 낮은 프로젝트들은 Underdog으로 분류되며 약 40%에 해당하는 가장 많은 프로젝트가 여기에 속

Table 5. Performance comparison among programs

Program	Number of projects	Mean rank in stage 1 (EFFICIENCY)	Mean rank in stage 2 (EFFECTIVENESS)	Mean rank in stage 3 (PRODUCTIVITY)
A	7	109.07	37.07	60.36
B	14	122.00	51.61	53.71
C	7	56.57	87.57	158.93
D	64	79.23	104.66	98.41
E	6	134.58	28.50	28.50
F	73	81.64	85.50	81.50
Statistics of Kruskal-Wallis test		$X^2 = 18.958,$ df = 5, p = 0.002	$X^2 = 31.921,$ df = 5, p = 0.000	$X^2 = 37.048,$ df = 5, p = 0.000
Relative comparison using Mann-Whitney U test		E > B > A > D, F > C	D > C, F > B > A, E	C > D > F > A, B > E

한다. EFFICIENCY의 성과는 뛰어나지만 PRODUCTIVITY 성과는 좋지 않은 프로젝트는 Scientist로 명명한다. 이는 특허 및 논문 등의 연구 성과는 좋으나 사업화를 통한 실용화 측면이 부족하기 때문이다. 반면 EFFICIENCY는 부족하나 PRODUCTIVITY가 뛰어난 프로젝트의 경우 즉, 논문 등의 기초 연구 성과는 상대적으로 미약하지만 사업화를 통해 실질적인 가치 창출 측면의 성과가 좋으므로 Utilitarian으로 분류한다. Scientist와 Utilitarian으로는 각각 28.07%와 18.13%의 프로젝트들이 분류되었다. 이처럼 DEA 효율성 점수를 이용하여 2X2 매트릭스를 구축하고, 성과 유형을 구분하는 것은 기존 연구에서도 종종 활용되어 온 방법이다(Chun and Lee, 2013).

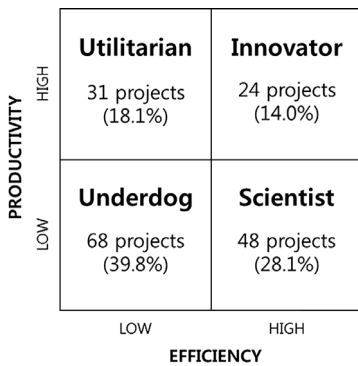


Figure 2. R&BD performance map

성과 유형별 프로젝트의 비율을 통해 프로그램별 성과 비교가 가능하다. R&D 프로그램의 성과 비교는 크게 두 가지 관점에서 이루어질 수 있다. 첫 번째 관점은 제 4.3절에서 수행된 바와 같이 프로그램을 통해 수행된 개별 프로젝트들의 평균적인 성과를 통해 프로그램의 성과를 비교하는 것이다. 그러나 일반적으로 성공률이 높지 않은 R&D 프로젝트의 특성을 감안하였을 때 평균적인 성과보다는 성과가 우수한 프로젝트를 얼마나 많이 배출하였는가가 또 다른 중요한 평가 관점이 될 수 있다. 즉, 네 가지 성과 유형 중 가장 우수한 유형인 Innovator에 속하는 프로젝트의 비율을 이용하여 프로그램의 성과를 비교할 수 있다. 아래 <Table 6>은 6개의 프로그램 별로 네 가지 성과 유형에 속한 프로젝트의 비율과 상대적 순위를 나타낸 것이다. Innovator 비율 기준의 프로그램 성과는 F > A, B, C > D >

E 순서로 나타났다. 제 4.3절의 비교에서 중위권에 머물렀던 프로그램 F는 17.8%의 프로젝트가 Innovator로 분류되어 가장 좋은 평가를 받았다. 그러나 프로그램 F는 Underdog의 비율도 가장 높아 프로그램 내 프로젝트의 성과가 극단적인 양상을 띠는 것으로 나타났다. 반면, 제 4.3절에서 우수한 성과를 보였던 프로그램 D는 단지 10.9%만이 Innovator에 속하는 것으로 나타났다. 한편 프로그램 E는 모든 프로젝트가 Scientist로 분류되어 단 한 개의 Innovator 프로젝트도 존재하지 않으며 프로그램 C는 대부분의 프로젝트가 Utilitarian에 속하는 것으로 나타났다. 이처럼 R&BD 성과 지도를 통해 성과 특성에 따른 유형화가 가능함으로써, 균형적이고 다양한 관점에서의 R&BD 성과 평가가 가능하다.

6. 결론

본 연구는 사업화 측면을 고려하여 R&BD 프로젝트의 성과를 평가하기 위한 3단계 R&BD 성과 모형을 제시하였다. 3단계 R&BD 성과 모형은 R&BD 프로세스를 INPUT, OUTPUT, OUTCOME의 세 가지로 정의하고, INPUT에서 OUTPUT으로 전환되는 EFFICIENCY 단계, OUTPUT이 OUTCOME으로 전환되는 EFFECTIVENESS 단계, INPUT이 투입되어 OUTCOME이 최종 산출되는 PRODUCTIVITY 단계로 구분하여 성과를 측정한다. 또한 단계별 성과를 종합적으로 고려할 수 있는 R&BD 성과 지도를 구축함으로써 프로젝트별 성과 유형을 구분하고 시각화하였다.

본 연구에서는 제시된 3단계 모형을 171개의 서울시 R&BD 프로젝트에 적용하여 단계별 프로젝트 성과를 측정하고 프로그램 수준의 성과 비교를 수행하였다. 분석 결과 EFFECTIVENESS와 PRODUCTIVITY는 강한 양의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났으나 EFFICIENCY는 두 단계와 부의 상관관계를 가지거나 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 기존의 EFFICIENCY 중심의 평가의 신뢰성을 반증하는 것으로 본 연구는 EFFICIENCY 뿐만 아니라 EFFECTIVENESS와 PRODUCTIVITY를 포함한 3단계 성과 모형을 개발함으로써 다양한 측면의 성과를 고려하여 R&BD 프로그램을 평가할 수 있도록 접근법을 제시하였다는데 의의가 있다.

Table 6. Distribution of four performance categories for six programs

Program	Innovator		Utilitarian		Scientist		Underdog	
	Frequency(%)	Rank	Frequency(%)	Rank	Frequency(%)	Rank	Frequency(%)	Rank
A	1(14.3%)	2	1(14.3%)	4	3(42.8%)	3	2(28.6%)	3
B	2(14.3%)	2	0(0%)	5	8(57.1%)	2	4(28.6%)	3
C	1(14.3%)	2	6(85.7%)	1	0(0%)	6	0(0%)	5
D	7(10.9%)	5	12(18.8%)	2	17(26.6%)	4	28(43.7%)	2
E	0(0%)	6	0(0%)	5	6(100%)	1	0(0%)	5
F	13(17.8%)	1	12(16.4%)	3	14(19.2%)	5	34(46.6%)	1

그럼에도 불구하고 본 연구는 몇 가지 한계점이 존재하며 이는 향후 연구에서 보완될 필요가 있다. 첫째, OUTCOME 변수로 활용된 매출액 및 비용절감액 측정치의 신뢰성에 대한 고려가 필요하다. 기존 연구에서 이 변수들의 활용도가 부족했던 이유는 신제품 매출 및 비용 절감 효과를 개별 프로젝트의 기여도에 따라 귀속시키는 것이 어려울 뿐만 아니라 프로젝트 종료에서부터 경제적 효과가 발생하기까지 긴 시차가 존재하며 효과의 발생도 장기적으로 나타나기 때문이다. 본 연구에서는 각 프로젝트 담당자들이 직접 보고한 값을 활용하였으므로 프로젝트별 산정 방식이 다를 뿐만 아니라 실제 값보다 과대 산정되었을 가능성을 부정할 수 없다. 또한 자료 수집 시점까지 집계된 결과만을 활용하였으므로 이후에 발생하게 될 성과를 반영하지 못 하였다. 평가 결과의 타당성을 향상시키기 위해서는 OUTCOME 변수 값의 신뢰성이 확보되어야 하며 이를 위해서는 관리 기관에서 변수 값 측정을 위한 공통의 가이드라인을 제시할 필요가 있다. 또한 과제 종료 후에도 지속적인 추적을 통한 성과 관리가 요구된다. 둘째, 앞서 언급한 바와 같이 DEA는 변수 간 상대적 중요도를 사전에 정의할 필요가 없다는 장점으로 인해 다양한 유형의 변수를 고려하는 R&D 평가에 유용하게 활용되어 왔다. 그러나 이러한 DEA의 유연성은 논문과 특허 등 서로 다른 유형의 변수에 적용될 경우 장점으로 작용할 수 있으나 공통적인 선호도가 존재하는 변수들 간에 적용될 경우 비현실적인 결과가 도출될 수 있다. 예를 들어, 국내에서는 비 SCI 저널 논문보다 SCI 저널 논문의 가치를 높게 평가하는 것이 일반적이거나 본 연구에서는 이러한 사전 선호도를 고려하지 않았기 때문에 일부 프로젝트의 경우 SCI 저널 논문보다 비 SCI 저널 논문에 보다 큰 가중치가 부여되었다. 이처럼 변수 간 상대적 중요도가 명확한 경우 현실 세계에서의 선호도를 반영하여 효율성을 측정하는 것이 바람직하며, 따라서 추후 연구에서는 변수별 가중치에 제약을 두는 AR(assurance region) 모형(Thompson *et al.*, 1990) 등을 도입하여 평가의 타당성을 향상시킬 필요가 있다.

참고문헌

- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984), Some models for estimating technical and scale inefficiency in data envelopment analysis, *Management Science*, **30**(9), 1078-1092.
- Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W., Swarts, J., and Thomas, D. (1989), An introduction to data envelopment analysis with some of its models and their uses, *Research in Governmental and Nonprofit Accounting*, **5**, 125-163.
- Bickman, L. (1987), *The functions of program theory*, New Directions for Program Evaluation, Jossey-Bass, San Francisco, **33**, 5-18.
- Bonaccorsi, A. and Daraio, C. (2003), A robust nonparametric approach to the analysis of scientific productivity, *Research Evaluation*, **12**(1), 47-69.
- Boussofiane, A., Dyson, R. G., and Thanassoulis, E. (1991), Applied data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, **52**(1), 1-15.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978), Measuring efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, **2**(6), 429-444.
- Chun, H. and Lee, H. (2013), A DEA-Based Portfolio Model for Performance Management of Online Games, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **39**(4), 260-270.
- Chun, H. and Lee, H. (2014), Measuring Operational Efficiency of Korean Online Game Companies with DEA Window Analysis, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, **39**(3), 23-40.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., and Tone, K. (2007), Data envelopment analysis : A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver Software, *Second editions*, **490**, Springer.
- 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.
- Farris, J. A., Groesbeck, R. L., Van-Aken, E. M., and Letens, G. (2006), Evaluating the relative performance of engineering design projects : A case study using data envelopment analysis, *IEEE Transactions on Engineering Management*, **53**(3), 471-482.
- Garg, K. C., Gupta, B. M., Jamal, T., Roy, S., and Kumar, S. (2005), Assessment of impact of AICTE funding on R&D and educational development, *Scientometrics*, **65**(2), 151-160.
- Georghiou, L. (1999), Socio-economic effects of collaborative R&D-European experiences, *Journal of Technology Transfer*, **24**(1), 69-79.
- Guan, J. and Chen, K. (2012), Modeling the relative efficiency of national innovation systems, *Research Policy*, **41**(1), 102-115.
- Guan, J. and Wang, J. (2004), Evaluation and interpretation of knowledge production efficiency, *Scientometrics*, **59**(1), 131-155.
- 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.
- Jeon, J., Kim, C., and Lee, H. (2011), Measuring efficiency of total productive maintenance(TPM) : a three-stage data envelopment analysis(DEA) approach, *Total Quality Management and Business Excellence*, **22**(8), 911-924.
- Keh, H. T. and Chu, S. (2003), Retail productivity and scale economies at the firm level : A DEA approach, *Omega*, **31**(2), 75-82.
- Keh, H. T., Chu, S., and Xu, J. (2006), Efficiency, effectiveness and productivity of marketing in services, *European Journal of Operational Research*, **170**(1), 265-276.
- 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, Y.-H. and Lim, H.-J. (2013), A Study on the Creative Economy and Diffusion of R&D, *Korea Productivity Association*, **27**(2), 285-307.
- 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.
- Lee, C. and Cho, K. (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, D., Bae, S., and Kang, J. (2006), Development of R&D Project Selection Model and Web-based R&D Project Selection System using Hybrid DEA/AHP Model, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **32**(1), 18-28.

- Lee, H. and Park, Y. (2005), An international comparison of R&D efficiency : DEA approach, *Asian Journal of Technology Innovation*, **13**(2), 207-221.
- Lee, H. and Shin, J. (2014), Measuring journal performance for multi-disciplinary research : An efficiency perspective, *Journal of Informetrics*, **8**(1), 77-88.
- 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.
- Linton, J. D., Morabito, J., and Yeomans, J. S. (2007), An extension to a DEA support system used for assessing R&D projects, *R&D Management*, **37**(1), 29-36.
- Linton, J. D., Walsh, S. T., and Morabito, J. (2002), Analysis, ranking and selection of R&D projects in a portfolio, *R&D Management*, **32**(2), 139-148.
- 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.
- Meng, W., Hu, Z., and Liu, W. (2006), Efficiency evaluation of basic research in China, *Scientometrics*, **69**(1), 85-101.
- Meng, W., Zhang, D., Qi, L., and Liu, W. (2008), Two-level DEA approaches in research evaluation, *Omega*, **36**(6), 950-957.
- Park, S. (2014), Identification of DEA Determinant Input-Output Variables, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **40**(1), 84-99.
- Revilla, E., Sarkis, J., and Modrego, A. (2003), Evaluating performance of public-private research collaborations : A DEA analysis, *Journal of the Operational Research Society*, **54**(2), 165-174.
- Rousseau, S. and Rousseau, R. (1997), Data envelopment analysis as a tool for constructing scientometric indicators, *Scientometrics*, **40**(1), 45-56.
- Ruegg, R. and Feller, I. (2003), A toolkit for evaluating public R&D investment models, methods, and findings from ATP's first decade, National Institute of Standards and Technology, Technology Administration, 3-857, US Department of Commerce, Gaithersburg.
- Sharma, S. and Thomas, V. J. (2008), Inter-country R&D efficiency analysis : An application of data envelopment analysis, *Scientometrics*, **76**(3), 483-501.
- Thompson, R. G., Langemeier, L. N., Lee, C. T., Lee, E., and Thrall, R. M. (1990), The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming, *Journal of Econometrics*, **46**(1), 93-108.
- 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.
- Zhang, A., Zhang, Y., and Zhao, R. (2003), A study of the R&D efficiency and productivity of Chinese firms, *Journal of Comparative Economics*, **31**(3), 444-464.

Appendix 1. Descriptive statistics of data

Program	Statics	INPUT			OUTPUT					OUTCOME		
		R&D Budgets (unit : 1,000KRW)	Researchers	SCI journal papers	Non-SCI journal papers	Patent applications	Patent registrations	Products sales (unit : 1,000 KRW)	Cost savings (unit : 1,000 KRW)	Technical fees (unit : 1,000 KRW)		
A	Mean	26,414	2.14	0.57	1.00	0.00	0.00	3,386	8,454	0		
	Stdv	44,934	1.36	1.40	0.53	0.00	0.00	8,293	13,483	0		
	Min	225,000	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0		
	Max	355,152	5.00	4.00	2.00	0.00	0.00	23,700	32,880	0		
B	Mean	6,477,873	38.29	0.29	7.43	10.29	2.07	0	0	29,214		
	Stdv	2,657,712	19.80	0.45	6.17	10.27	3.13	0	0	66,617		
	Min	2,173,695	9.00	0.00	1.00	2.00	0.00	0	0	0		
	Max	10,600,000	71.00	1.00	26.00	45.00	9.00	0	0	231,396		
C	Mean	398,243	3.57	0.00	0.57	0.57	0.00	0	0	15,181		
	Stdv	92,804	2.06	0.00	0.49	0.49	0.00	0	0	3,384		
	Min	273,700	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	10,270		
	Max	560,000	6.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0	0	20,000		
D	Mean	879,828	5.44	0.25	1.84	2.17	0.66	276,720	54,803	24,963		
	Stdv	179,425	1.88	0.81	1.91	2.89	1.64	710,746	256,128	14,843		
	Min	341,793	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0		
	Max	1,126,800	10.00	5.00	9.00	15.00	9.00	4,376,521	2001,189	90,000		
E	Mean	251,660	1.50	0.17	1.83	1.33	0.67	0	0	0		
	Stdv	10,008	0.50	0.37	1.21	0.47	1.49	0	0	0		
	Min	238,500	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0	0	0		
	Max	265,000	2.00	1.00	4.00	2.00	4.00	0	0	0		
F	Mean	914,846	6.05	0.18	2.37	2.22	0.38	1,164,353	121,610	23,605		
	Stdv	130,278	1.67	0.53	2.39	2.37	0.75	9,762,491	931,144	28,431		
	Min	422,734	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0		
	Max	1,109,040	9.00	3.00	9.00	11.00	3.00	84,000,000	8,000,000	180,000		

Appendix 2. DEA efficiency scores of three stages

Program	DMU	EFFICIENCY	EFFECTIVENESS	PRODUCTIVITY
A	RNBD001	0.39678	0.00000	0.00000
A	RNBD002	1.00000	0.00000	0.00000
A	RNBD003	0.21774	0.00000	0.00000
A	RNBD004	0.24417	0.00000	0.00000
A	RNBD005	0.99951	0.06890	0.99963
A	RNBD006	0.99909	0.00000	0.00000
A	RNBD007	0.24119	0.08614	0.18861
B	RNBD008	1.00000	0.17286	0.17286
B	RNBD009	0.66441	0.00000	0.00000
B	RNBD010	0.49918	0.60691	0.59465
B	RNBD011	0.46254	0.00000	0.00000
B	RNBD012	0.87168	0.00000	0.00000
B	RNBD013	0.35372	0.00000	0.00000
B	RNBD014	0.33503	0.00000	0.00000
B	RNBD015	0.28964	0.00000	0.00000
B	RNBD016	1.00000	0.00000	0.00000
B	RNBD017	0.47265	1.00000	1.00000
B	RNBD018	0.42433	0.00000	0.00000
B	RNBD019	1.00000	0.00000	0.00000
B	RNBD020	1.00000	0.00000	0.00000
B	RNBD021	0.18570	0.00000	0.00000
C	RNBD022	0.23846	0.13732	0.37765
C	RNBD023	0.00007	0.18571	1.00000
C	RNBD024	0.50001	0.21126	1.00000
C	RNBD025	0.00006	0.14671	1.00000
C	RNBD026	0.24179	0.15844	0.45387
C	RNBD027	0.00005	0.28571	0.33333
C	RNBD028	0.23475	0.15844	0.40770
D	RNBD029	0.11046	0.25098	0.13162
D	RNBD030	1.00000	0.21046	0.14435
D	RNBD031	0.40001	0.19854	0.13993
D	RNBD032	0.11765	0.25351	0.13275
D	RNBD033	0.66667	0.11537	0.13322
D	RNBD034	0.38096	0.14042	0.37328
D	RNBD035	0.47059	0.14975	0.14542
D	RNBD036	0.00004	0.30000	0.15000
D	RNBD037	0.11765	0.22866	0.11897
D	RNBD038	0.32099	0.22048	0.17525
D	RNBD039	0.00004	0.38650	0.18475
D	RNBD040	0.00005	0.28000	0.36506
D	RNBD041	0.35484	0.20110	0.24000

D	RNBD042	0.40651	0.15660	0.14571
D	RNBD043	0.39786	0.19461	0.13361
D	RNBD044	0.39081	0.00000	0.00000
D	RNBD045	0.37132	0.00000	0.00000
D	RNBD046	0.23530	0.22601	0.13780
D	RNBD047	0.25796	0.00000	0.00000
D	RNBD048	0.39416	0.00000	0.00000
D	RNBD049	0.66797	0.22660	0.16204
D	RNBD050	1.00000	0.13333	0.13333
D	RNBD051	0.36111	0.20636	0.13958
D	RNBD052	0.22223	0.66913	0.19993
D	RNBD053	0.14667	0.25351	0.17143
D	RNBD054	0.00004	0.36630	0.17528
D	RNBD055	0.35294	0.16828	0.13559
D	RNBD056	0.22449	0.00000	0.00000
D	RNBD057	0.48575	0.17357	0.15501
D	RNBD058	0.33334	0.18032	0.13308
D	RNBD059	0.21193	0.49705	0.34803
D	RNBD060	0.46802	0.20054	0.13374
D	RNBD061	1.00000	0.10808	0.13318
D	RNBD062	0.00003	0.34286	0.13310
D	RNBD063	0.82353	0.14436	0.13320
D	RNBD064	0.00003	0.34565	0.13347
D	RNBD065	1.00000	0.32626	0.13462
D	RNBD066	0.11111	0.28657	0.13271
D	RNBD067	0.00004	0.25714	0.13975
D	RNBD068	0.00003	0.34286	0.13194
D	RNBD069	0.11066	0.28657	0.13315
D	RNBD070	0.00004	0.84785	0.34446
D	RNBD071	0.00003	1.00000	0.18149
D	RNBD072	0.37399	0.20122	0.17177
D	RNBD073	0.14667	0.42252	0.28571
D	RNBD074	0.23677	0.22096	0.16404
D	RNBD075	0.00004	0.17143	0.19673
D	RNBD076	0.41296	0.14836	0.15181
D	RNBD077	0.00003	0.32242	0.13811
D	RNBD078	0.44385	0.15228	0.13350
D	RNBD079	0.13773	0.21385	0.15027
D	RNBD080	1.00000	0.24587	0.22185
D	RNBD081	0.58824	0.29080	0.36000
D	RNBD082	0.21592	0.34330	0.22222
D	RNBD083	0.25532	0.34330	0.28571
D	RNBD084	0.61905	0.32146	0.22222

D	RNBD085	0.44000	0.27775	0.28571
D	RNBD086	1.00000	0.34573	0.44444
D	RNBD087	0.22449	0.00000	0.00000
D	RNBD088	0.45454	0.80900	0.64286
D	RNBD089	0.37501	0.27775	0.22222
D	RNBD090	0.29310	0.11364	0.17816
D	RNBD091	0.79553	0.17286	0.22180
D	RNBD092	0.31818	0.27670	0.24743
E	RNBD093	0.50001	0.00000	0.00000
E	RNBD094	0.42954	0.00000	0.00000
E	RNBD095	0.50001	0.00000	0.00000
E	RNBD096	1.00000	0.00000	0.00000
E	RNBD097	0.58681	0.00000	0.00000
E	RNBD098	0.82407	0.00000	0.00000
F	RNBD099	0.28755	0.00000	0.00000
F	RNBD100	0.00004	1.00000	1.00000
F	RNBD101	0.59423	0.19855	0.22198
F	RNBD102	0.54541	0.20994	0.22222
F	RNBD103	1.00000	0.10808	0.13346
F	RNBD104	0.22222	0.00000	0.00000
F	RNBD105	0.11111	0.00000	0.00000
F	RNBD106	0.23121	0.00000	0.00000
F	RNBD107	0.22222	0.20110	0.13299
F	RNBD108	0.11765	0.00000	0.00000
F	RNBD109	0.00003	0.68571	0.26607
F	RNBD110	0.72032	0.00000	0.00000
F	RNBD111	0.36668	0.21116	0.13949
F	RNBD112	0.13637	0.00000	0.00000
F	RNBD113	0.47059	0.14313	0.13460
F	RNBD114	0.21005	0.34478	0.22292
F	RNBD115	0.11111	0.00000	0.00000
F	RNBD116	1.00000	0.07056	0.23363
F	RNBD117	0.11765	0.00000	0.00000
F	RNBD118	0.00003	0.34286	0.13328
F	RNBD119	0.22449	0.00000	0.00000
F	RNBD120	0.14287	0.42353	0.22230
F	RNBD121	0.20000	0.75762	0.57143
F	RNBD122	0.50001	0.19252	0.13171
F	RNBD123	0.99657	0.00000	0.00000
F	RNBD124	0.53882	0.00000	0.00000
F	RNBD125	0.37501	0.00000	0.00000
F	RNBD126	0.50544	0.19025	0.21966
F	RNBD127	0.78970	0.26051	0.28113

F	RNBD128	0.70698	0.00000	0.00000
F	RNBD129	0.33868	0.21034	0.13446
F	RNBD130	0.22541	0.00000	0.00000
F	RNBD131	0.18122	0.00000	0.00000
F	RNBD132	0.74265	0.11455	0.13414
F	RNBD133	0.00003	0.07143	0.02876
F	RNBD134	0.00003	0.31714	0.12311
F	RNBD135	0.43220	0.48406	0.46120
F	RNBD136	0.44445	0.34432	0.26000
F	RNBD137	0.00003	0.41931	0.16259
F	RNBD138	0.15437	0.24717	0.13276
F	RNBD139	0.37507	0.21034	0.13458
F	RNBD140	0.51800	0.17219	0.16197
F	RNBD141	0.16913	0.25351	0.13333
F	RNBD142	0.00004	0.33429	0.16714
F	RNBD143	0.66666	0.00000	0.00000
F	RNBD144	0.26957	0.18902	0.13162
F	RNBD145	0.29885	0.44403	0.22013
F	RNBD146	0.46234	0.31504	0.21915
F	RNBD147	0.22107	1.00000	1.00000
F	RNBD148	0.38461	0.18032	0.13720
F	RNBD149	0.41380	1.00000	0.44824
F	RNBD150	0.00004	0.52857	0.22722
F	RNBD151	0.46860	0.37804	0.26123
F	RNBD152	0.23570	0.24000	0.13459
F	RNBD153	0.00005	0.57143	0.66666
F	RNBD154	0.79084	0.18292	0.19429
F	RNBD155	1.00000	0.11000	0.13732
F	RNBD156	0.25001	0.32679	0.22064
F	RNBD157	0.22222	0.00000	0.00000
F	RNBD158	0.26688	0.00000	0.00000
F	RNBD159	0.88869	0.00000	0.00000
F	RNBD160	0.94118	0.00000	0.00000
F	RNBD161	0.33333	0.00000	0.00000
F	RNBD162	0.00005	0.85714	1.00000
F	RNBD163	0.22222	0.61539	0.33362
F	RNBD164	0.19345	0.00000	0.00000
F	RNBD165	1.00000	1.00000	1.00000
F	RNBD166	0.11111	0.00000	0.00000
F	RNBD167	0.86183	0.31928	0.21667
F	RNBD168	0.33248	0.00000	0.00000
F	RNBD169	0.21441	0.00000	0.00000
F	RNBD170	0.34092	0.00000	0.00000
F	RNBD171	0.40001	0.00000	0.00000