

DEA를 활용한 SW 국가연구개발사업 효율성 분석

Analysis of the Efficiency of National SW R&D Projects Using DEA

노석현(Seok-Hyun Ro)*, 조남욱(Nam-Wook Cho)**

초 록

4차 산업혁명의 핵심 동인으로서 Software(이하 SW)의 중요성이 더욱 커짐에 따라, 정부는 국가 경쟁력 강화를 위해 SW R&D 투자를 늘리고 SW 관련 정책을 지속적으로 수립하고 있다. 하지만 SW 연구개발에 대한 정부의 지속적인 투자에 비해, SW 연구개발 투자성공에 대한 체계적 분석은 부족한 실정이다. 본 연구에서는 Data Envelopment Analysis(DEA) 기법을 이용하여 SW 국가연구개발 사업의 분야별 효율성을 분석하였다. 2008년~2018년까지 정보통신산업진흥원(NIPA)에서 수행된 1,463개 과제정보를 토대로 효율성을 정태적/동태적 관점에서 측정하였다. 정태적 관점의 규모효율성 측정을 통해 비효율성 원인을 규모와 기술문제로 분석하였다. DEA/Window 모형을 이용한 동태적 효율성 분석 결과를 제시하고 효율성-안정성 매트릭스를 이용해 분야별 대응 모델을 제시하였다. 본 연구는 SW 국가연구개발사업 전체를 대상으로 효율성 분석을 수행했다는 점에 의의가 있으며, 정태적/동태적 효율성 분석결과를 향후 SW 국가연구개발사업 기획 시 기초자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

ABSTRACT

As software(SW) has been considered as a key driver of the fourth industrial revolution, significant R&D investment has been made by Korean government. Despite the attention and support by the government, systematic analysis on the SW R&D efficiency has not been fully addressed. In this study, the efficiency of SW national research and development projects was analyzed using Data Envelopment Analysis(DEA) techniques. Efficiency was measured from both static and dynamic perspectives based on 1,463 projects conducted by the National IT Industry Promotion Agency(NIPA) from 2008 to 2018. The static efficiency analysis identified the causes of inefficiency as scale and technology problems. As a result of dynamic efficiency analysis, we present a sector-specific response model using an efficiency-stability matrix. This study is meaningful in that efficiency analysis was

* First Author, Ph.D. Student, Department of Industrial & Information Systems, Graduate school of Public Policy and Information Technology, Seoul National University of Science & Technology (seokhyun.ro@gmail.com)

** Corresponding Author, Professor, Department of Industrial & Information Systems Engineering, Seoul National University of Science & Technology(nwcho@seoultech.ac.kr)

Received: 2021-02-24, Review completed: 2021-03-24, Accepted: 2021-04-17

conducted on the entire SW national R&D project, and static/dynamic efficiency analysis results are expected to be used as a guideline for planning SW national R&D project.

키워드 : 소프트웨어, 연구개발, 자료포락, 효율성, 성과, 윈도우

Software, R&D, Data Envelopment Analysis(DEA), Efficiency, Performance, DEA/Window

1. 서 론

현재 우리는 디지털 기술로 촉발되는 초연결화, 초지능화의 혁명이 산업과 사회, 삶의 변화를 유발하는 시대에 살고 있다. Software(이하 SW)는 이러한 변화의 핵심으로 산업의 경쟁력 제고를 위한 중요성이 점차 커지고 있다. 2019년 국내 SW산업 생산액은 58.3조 원이고 한국은행 산업연관표(2019. 9)에 의하면 SW산업의 부가가치 유발계수는 0.886로 제조업 0.668보다 약 1.3배 높다[27].

세계 각국은 국가 경쟁력 향상과 자국의 이익, 산업의 주도권 확보유지를 위해 SW R&D 투자 비중을 점차 높여가고 있다. 우리나라의 경우 2009년부터 2020년까지 2조원이 넘는 SW 국가연구개발사업을 진행하였다[25]. 그 동안 다양한 분야의 R&D 효율성 분석 연구가 이루어져 왔으나, SW 국가연구개발 성과에 대한 체계적인 분석은 부족한 실정이다.

본 연구에서는 2008년부터 2018년까지 수행된 SW 국가연구개발사업을 대상으로 Data Envelopment Analysis(이하 DEA) 방법론을 이용하여 SW 분야의 연구개발 효율성을 정태적·동태적 관점에서 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 DEA를 이용한 관련 연구를 고찰하고, 제 3장에서는 연구프레임워크 및 자료에 대해 설명하였다. 제 4장에서는 SW 국가연구개발사업의 효

율성 분석결과를 제시하고 제 5장에서는 분석 결과에 대한 결론과 시사점을 도출한다.

2. DEA를 이용한 R&D 성과 평가 연구

DEA는 의사결정단위(Decision Making Unit: 이하 DMU)의 상대적 효율성을 측정하는 비모수적 기법으로 연구개발(이하 R&D) 성과 평가에 적합하다. R&D의 투입 및 산출요소의 상대적 중요도를 사전에 설정하거나, R&D의 투입과 산출의 관계를 특정한 생산 함수로 가정할 필요가 없기 때문이다. 또한, R&D의 다양한 투입 및 산출 요소를 반영하여 성과 측정이 가능하다[18].

Lee et al.[15]는 국내 6개 정부지원 R&D 사업, 548개 과제를 대상으로 산출기준 DEA를 이용하여 효율성을 비교 평가하였다. Hsu and Hsueh[6]는 대만의 110개 정부지원 R&D 과제를 대상으로 3단계 접근법을 이용하여 외부 환경요인의 영향을 배제하고 과제들의 상대적 효율성을 평가하였다. Byun and Han[5]은 신성장동력 핵심기술개발사업으로 지원한 195개 과제에 대해 산출 기준 DEA를 활용하여 효율성을 분석하였다. Kim et al.[12]은 원자력연구개발사업 11개를 대상으로 산출기준 DEA를 이용하여 사업별 효율성을 비교하였다. Park[22]은

〈Table 1〉 Previous Research on R&D Efficiency using DEA

Input Variable	Output Variable	Researcher
R&D Budget, R&D researcher	journal papers, patents, degrees awarded	Lee et al. (2009)
R&D Budget, R&D researcher, R&D Period government subsidy ratio	journal papers, patents, commercialization	Hsu and Hsueh (2009)
R&D Budget, R&D researcher	journal papers, patents, technology transfer	Byun et al. (2009)
R&D Budget, R&D researcher	journal papers, technology diffusion	Kim et al. (2009)
R&D Budget, R&D Period, Number of papers before the start of research	SCI papers, Impact Factor, patents, conference papers, degrees awarded	Park(2014)
R&D Budget, R&D Period	SCI papers	Kim and Cho (2019)
R&D Budget, R&D researcher, R&D Period	journal papers, patents	Lim(2020)

〈Table 2〉 Previous Research on Software Companies Efficiency Using DEA

Input Variable	Output Variable	Researcher
Number of employees, Total asset, Cost of sales	Sales	Kim (2005)
Number of employees, Total asset, R&D Budget	Sales	Ban and Han (2014)

DEA모형을 활용한 BT 및 NT 분야 연구개발 효율성을 측정하였다. Kim and Cho[8]는 DEA를 활용하여 국가연구개발사업의 기술적 성과의 질적 효율성 분석에 관한 사례를 연구하였다.

Lim[19]은 2013년~2015년 개발 완료된 국방 기초연구개발과제 60개 DMU를 대상으로 효율성을 분석하였다.

SW R&D 연구를 살펴보면, Seo and Chae [26]는 대형 SW R&D 프로젝트 2개 과제에 대해 새로운 품질활동관리 적정성 평가 프레임워크의 효과성과 실무 적용 가능성을 제시하였다. Yeo [28]는 정보통신부문 공공 R&D 기술 중 유망기술을 선정하기 위한 기술성 평가를 실시하였다.

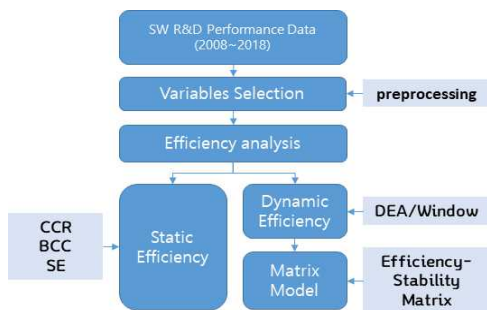
DEA를 이용한 SW기업 연구로 Kim[10]은 DEA기법으로 1997년부터 2002년까지 6년 동안 영업활동을 계속한 국내 SW분야 47개 코스닥 등록법인과 56개 외감법인을 대상으로 효율성과 생산성 변화를 측정하여 경영효율성을 분석하였다. Ban and Han[2]은 DEA 기법을 활용하여 국내 263개 소프트웨어 기업을 대상으로 패키지/솔루션 기업과 IT서비스 기업으로 구분하여 효율성을 분석하였다.

이와 같이 다양한 R&D 분야에서 DEA를 활용한 성과 평가가 이루어졌으나, SW 분야는 품질 및 SW 기업들의 성과 평가 연구가 일부 진행되었을 뿐, SW R&D 효율성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

3. 연구방법

3.1 연구 프레임워크

본 연구에서는 SW 연구개발과제의 분야별 효율성 측정을 위해 2008년~2018년까지 정보통신산업진흥원(이하 NIPA)에 의해 수행된 SW 국가연구개발사업 과제를 대상으로 NIPA SW 적용 분류체계에 따라 9개 분야를 DMU (Decision Making Unit)로 선정하여 효율성을 측정하였다. 연구의 전체적인 프레임워크는 <Figure 1>과 같다.



<Figure 1> Research Model

본 연구는 공공데이터포털(data.go.kr)에서 수집한 2008년부터 2018년까지의 SW 연구성과에 대해 선정된 투입 및 산출 요소 정보를 연구 목적에 적합하도록 전처리하였다. 이후 정태적, 동태적 효율성 분석을 수행하였다.

정태적 효율성 분석은 CCR(Charnes, Cooper & Rhodes), BCC(Banker, Charnes & Cooper), 규모효율성 모형 등을 활용하였고 동태적 효율성 분석은 DEA/Windows 모형을 사용하였다. DEA 분석 Tool 은 Frontier Analyst(ver.4.4.0)을 활용하였다. 동태적 효율성 분석 결과를 바탕으로 효율성과 안정성에 기반한 전략적 포트폴리오 매트릭스 모형을 제시하였다[11].

3.2 DEA 모형

DEA는 DMU의 상대적 효율성을 측정하는 비모수적 효율성 측정방법이다. DEA는 다수의 투입, 산출요소를 갖는 DMU의 효율성을 투입 요소들의 가중합(weighted sum)과 산출요소들의 가중합의 비율로 측정한 후, 유사한 활동을 수행하는 다른 DMU들의 효율성과 비교하여 상대적인 효율성을 측정한다[21].

대표적인 DEA 모형에는 Charnes, Cooper and Rhodes의 CCR 모형과 Banker, Charnes and Cooper의 BCC 모형이 있다. 규모수익불변(Constant Return to Scale)을 가정한 CCR 모형은 모든 DMU가 최적의 규모에서 운영될 때 적합하지만 규모 효율성(Scale Efficiency, 이하 SE)과 순수기술효율성(Pure Technical Efficiency, 이하 PTE)을 구분하지 못하는 단점이 있다. 이런 CCR 모형의 한계를 극복하기 위해 규모수익가변(Variable Return to Scale; VRS)을 가정하고 볼록성 조건(convexity condition)을 추가한 BCC 모형이 제시되었다. 규모수익가변은 투입요소의 비율을 일정하게 유지하면서 규모 확대 시 산출요소 양의 변화를 살펴보는 개념으로, 규모수익체감(Decreasing Return to Scale, 이하 DRS)과 규모수익체증(Increasing Return to Scale, 이하 IRS)으로 구분할 수 있다[11]. 규모 효율성(SE)은 CCR 모형에서 측정한 기술효율성(Technical Efficiency, 이하 TE) 값을 BCC 모형에서 측정한 순수기술효율성(PTE) 값으로 나누면 구할 수 있다. 규모 효율성 값이 '1'이면 최적의 규모상태를, '1'보다 작으면 현재의 투입, 산출이 규모의 효율성을 달성하지 못하고 있음을 의미한다[19].

〈Table 3〉 DEA Models

Model	Author	Descriptions
CCR	Charnes, Cooper and Rhodes	Assumptions of unchanged scale. All DMUs are suitable for operations at the optimal scale.
BCC	Banker, Charnes and Cooper	Assumptions with variable scale returns. Classification of Size Revenue Depression (DRS) and Size Revenue Depression (IRS)
DEA /Window	Charnes et al. (1985)	Utilize for dynamic change analysis of DMU's relative efficiency over time period

DEA 모형의 목표 중 하나는 비효율적인 DMU의 효율성 개선을 위하여 벤치마킹 대상을 찾는 데 있다. 이를 위한 평가 기준은 기본적으로 투입중심모형, 산출중심모형, 투입/산출중심 모형으로 나눌 수 있다. 투입중심 모형은 현재 산출물 수준을 유지하면서 투입물의 수준을 최소화하는 데 목적이 있고 산출중심 모형은 현재 투입물 수준을 유지하면서 산출물의 수준을 최대화하는 데 있다. 투입/산출중심 모형은 투입물의 최소화와 산출물의 최대화를 동시에 추구한다[14].

〈Table 4〉 Analysis criteria of DEA/Window Model

category		formula
Number of windows		$k-p+1$
Total number of DMUs for each window		$p \times n$
Total number of DMUs		$P \times n \times w$
Window Width	k(Odd)	$(k+1)/2$
	k(Even)	$\{(k+1)/2\} \pm 1/2$

※ k : Time length, p : Window Width, w : Number of windows

DEA/Window 분석은 동일한 DMU가 시간에 따라 성과가 어떻게 변화하는지를 평가할 때 유용한 접근 방법이며[20], DMU간 효율성

을 비교하는 경우 다수 기간의 여러 개의 창(Window)으로 분할하여 겹치도록 하는 방식을 이용한다. DEA/Window 분석은 창 분할 및 창 겹침에 대해 투입요소와 산출요소의 기본적인 관계가 변화하지 않는다면 서로 다른 기간에 속한 DMU들을 준거집단으로 하여 개별적인 DMU를 평가할 수 있다. 즉 DEA/Window 분석은 동일한 DMU라 하더라도 윈도우를 설정한 기간이 다르면 다른 DMU로 비교 평가가 가능하다[13].

DEA/Window 분석을 위해서는 분석하고자 하는 DMU의 데이터를 일정기간 동안 수집한 다음 윈도우 폭(p)을 결정해야 한다. 적절하게 윈도우 폭(p)을 결정하는 것은 DMU들의 효율성 변화를 관찰하기 위해 중요하다[16, 18].

〈Table 4〉에서와 같이 윈도우 폭이 p라고 한다면, 윈도우의 수 w는 $k-p+1$ 이다. 처음 p기간을 분석하고 다음 분석은 이전 분석에서 첫 기간을 빼고 다음기간을 추가하여 새로운 윈도우 분석을 하면서, 최종기간인 k까지 이 과정을 반복한다.

DEA/Window 분석을 통해 윈도우별 효율성 평가 결과가 나오면 이를 통해 각 DMU의 효율성 추세, 안정성 등을 분석할 수 있다[12].

3.3 분석 대상

본 연구에서는 NIPA에서 제공하는 SW 국가연구개발사업으로 창출된 성과 정보를 분석 대상으로 선정하였다. 분석에 사용된 데이터는 2008년부터 2018년까지 수행된 1,463개 SW 연구 성과 데이터이며, NIPA에서 분류한 SW 적용별 분류체계에 따른 9개 분야를 DMU로 선정하였다.

〈Table 5〉 Industry Classification by NIPA

Code	original
1000	Communication equipment (ICT)
2000	Home appliance (Smart Home)
3000	Car
4000	Industrial automation (Smart Factory)
5000	Office automation (Smart Office)
6000	Defense/Aerospace/Space
7000	Medical Equipment (Healthcare)
8000	Construction
9000	Shipbuilding/Marine

3.4 변수

DEA모형의 투입변수, 산출변수 선정을 위해, R&D 효율성을 측정한 선행 연구들을 검토하였다. 이를 바탕으로 <Table 6>과 같이 투입 및 산출 변수를 선정하였다.

선행연구들은 투입변수로서 노동과 자본의 대용 지표인 연구원 수와 연구비가, 산출변수로는 특허와 논문 등이 주로 활용되었다. 투입변수는 R&D 활동에 소요되는 요소로서, 연구비, 연구인력, 연구기간 등이 해당된다. 산출변수는 투입변수 간의 상호작용에 의해 나타나는 산출물의 총체로서, 신제품, 보고서, 특허, 논문,

〈Table 6〉 Input and Output Variables

variables		description	reference
Input	R&D Budget	Total project cost	Byun and Han[4] Kim et al.[12] Baek and Lee[1] Park et al.[24]
	R&D Period	Development period	Han and Shin[5] Lee et al.[17]
Output	Patent	Number of patents filed	Byun and Han[4] Baek and Lee[1]
	Certified	Number of certifications	GS, CC, CMMi, Q-Mark, ISO etc.

기술이전, 재무효과(매출, 이익), 고객만족도 등 지표가 다양하다. R&D 유형이나 시간간격에 따라 산출변수가 상이하여 측정방법이 달라지며, 명확한 관리기준이 없어 가중치를 고려한 합의가 요구될 때도 있다[7].

본 연구에서는 연구비와 연구기간을 투입변수로 선정하고 산출변수는 특허와 실질적인 기술 성과로 인증을 산출변수로 선정하였다.

일반적으로 선정된 변수가 DMU 수보다 너무 많으면 효율성 평가가 비현실적으로 수행될 수 있어, 투입과 산출요소 수를 최소한으로 선정할 필요가 있다. 또한 DMU의 숫자가 DEA의 투입변수와 산출변수의 곱한 수보다 2배 이상 클 경우 변별력이 있다고 알려져 있다[3, 23]. 본 연구는 투입요소가 2개, 산출요소가 2개, DMU 수가 9개로 변별력 조건을 만족한다.

4. SW 연구성과 효율성 분석

본 절에서는 연구성과의 효율성 분석을 정태적 관점과 동태적 관점에서 제시하였다. 정태적 효율성 분석은 DMU의 각 연도별 SW 연구성과를 비교할 수 있다는 장점이 있으나, DMU의

연구성과에 대한 효율성 변화 추이나 변동의 안정성을 비교하는 데는 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 정태적 분석에 대한 한계점을 극복하기 위해 윈도우 모형분석을 통한 동태적 효율성을 측정하였다[18].

또한 동태적 효율성 분석 결과를 바탕으로 효율성과 안정성에 기반한 전략적 매트릭스 모형을 구성하였다. 이를 통해 각 부문에 위치한 DMU들의 특성 및 관계에 따라 대응모형을 제시하였다.

4.1 정태적 효율성

본 절에서는 SW 적용별 분류체계에 따른 9개 분야의 정태적 효율성 분석을 제시하였다.

본 연구의 투입요소는 산출요소에 비해 통제가 용이하다. 따라서 효율성 개선을 위해서는 투입량을 개선하는 것이 용이하므로 투입중심모형을 사용하였다.

분석결과는 <Table 7>에 요약하였다. 분석결과, BCC 모형 기준으로 2009년, 2018년에 효율적인 DMU 수가 8개로 효율비율이 가장 높았고(89%), 2017년은 효율적인 DMU가 2개로 효율비율이 가장 낮았다(22%). BCC 값이 1임에도 불구하고 CCR 값이 비효율인 DMU는 국방항공(2009, 2013, 2015), 건설(2008, 2009, 2012, 2014, 2016), 스마트오피스(2008, 2010, 2012, 2013, 2014, 2016), 스마트팩토리(2016), 스마트홈(2009, 2010, 2016, 2018), 자동차(2009), 통신기기(2008, 2010, 2014, 2015, 2018), 조선해양(2014), 헬스케어(2014, 2016) 분야이다. 이 분야들은 규모의 경제로 비효율을 상쇄하고 있다고 볼 수 있다.

BCC효율성 값과 CCR효율성 값이 모두 0.3

~0.6(건설, 2013년, 2017년/스마트오피스, 2015년/스마트팩토리, 2017년/통신기기, 2017년)임에도 불구하고 규모효율성 값이 0.9 이상으로 나타난 DMU는 비효율적인 운영을 하였으나, 규모 면에서 유리한 상황이었던 것으로 해석이 가능하다.

<Table 8>에서는 심층 분석을 위해 2017년도 효율성 결과를 제시하였다. CCR 효율성(TE) 결과, 2개 분야(스마트오피스, 스마트홈)가 효율적 DMU로 분석되었다. 평균 기술효율성(TE)은 0.539(53.9%)로, 전체 투입량 수준을 46.1% 감소시켜도 현재와 같은 수준의 성과를 올릴 수 있다는 것을 의미한다[9].

규모의 효율성(SE) 분석결과 규모의 효율성이 1보다 작은 경우는 규모의 비효율성이 존재하는 것을 의미하고, 규모의 효율성이 1인 경우는 현재의 생산규모가 최적이라는 것을 의미한다. CCR 모형의 기술효율성(TE)과 BCC 모형의 순수기술효율성(PTE)을 통해 규모의 효율성($SE=TE/PTE$)을 구할 수 있으며, 순수기술효율성과 규모의 효율성 관계를 통해 DMU의 비효율성 원인이 순수기술적 측면에서 발생하는 것인지 또는 규모 측면에서 발생하는 것인지를 파악하여 효율성 개선 방향을 제시할 수 있다. 즉, 규모의 효율성 값보다 순수기술효율성 값이 클 경우에는 비효율성의 원인이 생산규모 측면에 있으며, 반대로 순수기술효율성 값보다 규모의 효율성 값이 클 경우에 비효율성의 원인은 주어진 투입을 최대의 산출로 전환하는 기술적 측면에 있다고 할 수 있다[19].

PTE가 SE보다 큰 적용분야(자동차, 조선해양, 헬스케어)는 규모가 작아 비효율적으로 나타난 것으로, 규모를 확장하면 효율성이 개선될 수 있음을 의미한다.

〈Table 7〉 Results of Static Efficiency Analysis by Year

category	2008			2009			2010			2011			2012			2013		
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE
Defense/Aerospace/Space	1.000	1.000	1.000	0.682	1.000	0.682	1.000	1.000	1.000	0.791	0.825	0.959	0.717	0.755	0.950	0.001	1.000	0.001
Construction	0.914	1.000	0.914	0.850	1.000	0.850	0.742	0.801	0.926	1.000	1.000	1.000	0.639	1.000	0.639	0.505	0.550	0.918
Smart Office	0.867	1.000	0.867	0.809	0.919	0.880	0.947	1.000	0.947	0.906	0.922	0.983	0.878	1.000	0.878	0.917	1.000	0.917
Smart Factory	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.700	0.966	0.725
Smart Home	0.804	0.975	0.825	0.849	1.000	0.849	0.952	1.000	0.952	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.658	0.777	0.847
Car	1.000	1.000	1.000	0.919	1.000	0.919	1.000	1.000	1.000	0.687	0.823	0.835	0.899	0.902	0.997	1.000	1.000	1.000
Communication equipment	0.853	1.000	0.853	1.000	1.000	1.000	0.898	1.000	0.898	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Shipbuilding/Marine	0.720	0.822	0.876	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Healthcare	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.905	0.998	0.907	0.733	0.842	0.871	0.264	0.547	0.483	1.000	1.000	1.000
No. of Efficiency	4.000	7.000	4.000	4.000	8.000	4.000	4.000	7.000	4.000	5.000	5.000	5.000	4.000	6.000	4.000	4.000	6.000	4.000
Ratio	44%	78%	44%	44%	89%	44%	44%	78%	44%	56%	56%	56%	44%	67%	44%	44%	67%	44%
category	2014			2015			2016			2017			2018					
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE			
Defense/Aerospace/Space	1.000	1.000	1.000	0.370	1.000	0.370	0.115	0.347	0.331	0.228	0.303	0.752	1.000	1.000	1.000			
Construction	0.850	1.000	0.850	0.466	0.835	0.558	0.654	1.000	0.654	0.389	0.410	0.949	1.000	1.000	1.000			
Smart Office	0.601	1.000	0.601	0.596	0.624	0.955	0.330	1.000	0.330	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
Smart Factory	0.169	0.278	0.608	1.000	1.000	1.000	0.451	1.000	0.451	0.644	0.671	0.960	0.996	1.000	0.996			
Smart Home	0.391	0.676	0.578	1.000	1.000	1.000	0.895	1.000	0.895	1.000	1.000	1.000	0.005	1.000	0.005			
Car	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.211	0.281	0.751	0.228	0.512	0.445	1.000	1.000	1.000			
Communication equipment	0.209	1.000	0.209	0.606	1.000	0.606	0.373	0.574	0.650	0.467	0.487	0.959	1.000	1.000	0.649			
Shipbuilding/Marine	0.831	1.000	0.831	0.605	0.969	0.624	1.000	1.000	1.000	0.548	0.905	0.606	0.257	0.357	0.720			
Healthcare	0.713	1.000	0.713	1.000	1.000	1.000	0.918	1.000	0.918	0.345	0.791	0.436	1.000	1.000	1.000			
No. of Efficiency	2.000	7.000	2.000	4.000	6.000	4.000	1.000	6.000	1.000	2.000	2.000	2.000	5.000	8.000	5.000			
Ratio	22%	78%	22%	44%	67%	44%	11%	67%	11%	22%	22%	22%	56%	89%	56%			

〈Table 8〉 Static Efficiency Analysis of 2017

DMU	CCR Efficiency (TE)	BCC Efficiency (PTE)	Scale Efficiency (SE)	Cause of Inefficiency	
				PTE	SE
Defense/Aerospace/Space	0.228	0.303	0.752	★	
Construction	0.389	0.410	0.949	★	
Smart Office	1.000	1.000	1.000		
Smart Factory	0.644	0.671	0.960	★	
Smart Home	1.000	1.000	1.000		
Car	0.228	0.512	0.445		★
Communication equipment	0.467	0.487	0.959	★	
Shipbuilding/Marine	0.548	0.905	0.606		★
Healthcare	0.345	0.791	0.436		★
Average	0.539	0.675	0.790		

반면 PTE가 SE보다 작은 분야(국방항공우주, 건설, 스마트팩토리, 통신기기)는 비효율의 원인이 기술적 측면에 있다고 해석된다.

4.2 동태적 효율성

본 절에서는 시간에 따른 효율성 변화를 측정하기 위해 동태적 효율성 분석을 수행하였다. 분석 기간은 2008년에서 2018년까지 11년(odd)으로 윈도우의 폭(p)은 계산식 $(k+1)/2$ 을 적용하여 6으로 설정하고, 총 6개의 윈도우를 통해 SW R&D 과제들의 효율성 변화

를 측정하였다. 윈도우 평균은 각 SW R&D 9개 적용분류별 과제의 6년간 효율성을 평균 낸 것이다. 전체 평균은 6개 윈도우의 평균값이다.

〈Table 9〉에서 각 윈도우 점수는 DMU의 효율성 점수의 평균값을 의미한다. 효율성 전체 평균은 0.708이고, 1윈도우(2008~2013)는 0.833으로 6개 윈도우 중 가장 높은 효율성을 보였다. 6개 윈도우(2008~2018년)의 적용 분야별 SW R&D 과제들의 효율성 변화추세를 그래프로 나타낸 결과 평균 효율성은 하락하고 있음을 확인할 수 있다.

〈Table 9〉 DEA/Window Analysis

Window	Communication equipment	Smart Home	Car	Smart Factory	Smart Office	Defense/Aerospace/Space	Healthcare	Construction	Ship-building/Marine	Overall Mean
2008~2013	0.795	0.934	0.800	0.756	0.927	0.707	0.735	0.905	0.935	0.833
2009~2014	0.729	0.880	0.808	0.659	0.865	0.736	0.705	0.862	0.832	0.786
2010~2015	0.644	0.846	0.722	0.730	0.789	0.596	0.634	0.866	0.700	0.725
2011~2016	0.569	0.830	0.567	0.712	0.758	0.447	0.622	0.872	0.709	0.676
2012~2017	0.486	0.830	0.516	0.660	0.760	0.396	0.568	0.781	0.607	0.622
2013~2018	0.394	0.801	0.447	0.831	0.752	0.370	0.571	0.770	0.493	0.603
Average	0.603	0.853	0.643	0.725	0.809	0.542	0.639	0.843	0.713	0.708

분석기간동안 투입변수인 예산과 개발기간은 큰 변화가 없었지만, 특허와 인증 실적이 나아짐에 따라, 전체평균 효율성 추세가 하락한 것으로 분석된다.

LDY(Largest Difference between scores in the same Year)는 각 SW 적용 분야별 동일 연도 효율성 값 차이 중 최대값을 의미하고, LDP(Largest Difference between scores across the entire Period)는 전체 기간 효율성 값의 최대값과 최소값의 차이를 의미한다. SD(표준편차), LDY, LDP 분석을 통해 SW R&D 분류체계별 성과 효율성에 대한 안정성을 파악할 수 있다.

<Table 10>에서 분석기간의 전체평균을 살펴보면 스마트홈 DMU가 0.853으로 가장 높은 효율성을 기록하였으며, 국방항공우주 DMU는 0.542로 전체평균이 가장 낮게 측정되었다.

<Table 10> Dynamic Efficiency Analysis Results

DMU	Overall Mean	SD	LDY	LDP
Communication equipment	0.603	0.137	0.283	0.831
Smart Home	0.853	0.043	0.613	0.996
Car	0.643	0.140	0.333	0.929
Smart Factory	0.725	0.059	0.651	0.935
Smart Office	0.809	0.065	0.383	0.758
Defense/Aerospace/Space	0.542	0.146	0.161	0.997
Healthcare	0.639	0.063	0.176	0.826
Construction	0.843	0.049	0.449	0.774
Shipbuilding/Marine	0.713	0.143	0.176	0.850

SD관점에서 가장 안정적인 것으로 평가된 DMU는 스마트홈 영역이며, 국방항공우주는 효율성의 연도별 변동이 가장 큰 것으로 나타났다.

LDY값이 가장 작은 DMU는 국방항공우주로 0.161을 기록하여, 연도별 변동이 큰 것과는 대조적으로 동일 연도 효율성 측면에서 가장 안정적인 운영을 한 것으로 나타났다. LDY값이 가장 큰 스마트팩토리 DMU는 0.651을 기록하여 연도별 효율성이 가장 불안정했던 것으로 나타났다.

‘분석 전체 기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이’인 LDP값이 작은 DMU는 스마트오피스 DMU와 건설 DMU로 각각 0.758, 0.774로 11년간의 효율성 변화가 가장 작았다. 반면에 국방항공우주 DMU 경우 0.997로 분석기간 동안 효율성 변화가 가장 컸다.

4.3 포트폴리오 매트릭스 모형

동태적 효율성 분석 결과를 바탕으로 전략적 포트폴리오 매트릭스를 <Figure 2>와 같이 구성하였다.



<Figure 2> Quadrant Analysis Result

R&D 사업의 성과평가는 주로 효율성 중심의 평가로 이루어졌다. 본 연구는 효율성과 함께 안정성(LDP 값)을 포함한 매트릭스 모형의 제안으로 새로운 관점에서 SW R&D 사업별 특성과 개선 방향을 제시하였다. 또한 매트릭스

모형을 통해 각 DMU들의 위치가 쉽게 파악되고 DMU들 간의 비교 및 특성 파악도 가능해진다.

<Figure 2>의 안정성-효율성 매트릭스는 <Table 10>의 DMU 효율성 평균을 X축(0.5~1.0), LDP 값(0.76~1.0)의 안정성을 Y축으로 하여 매트릭스를 구성하였다. DMU의 상대값 측정으로 LDP값의 최소값 0.758과 최대값 0.997 사이의 중간값으로 0.88(0.76~1.00)로 구분하여 매트릭스를 구성하였다.

LDP 값이 낮은 DMU(0.76~0.88)는 상대적으로 안정적인 DMU로 SW 적용이 성숙한 분야라고 판단되며 LDP 값이 높은 DMU(0.88~1.0)는 상대적으로 불안정한 DMU로 SW 적용이 미성숙하거나 과제에 적합하지 않은 SW를 적용했다고 판단된다.

1사분면은 평균효율성과 안정성이 모두 높은 경우로 경쟁력을 갖춘 DMU이고 융·복합 R&D 지원 등 사업 고도화를 위한 추가 지원이 필요한 분야로 판단되며, 건설, 스마트오피스 분야가 이에 해당된다.

2사분면과 4사분면의 DMU는 평균 효율성과 안정성 어느 한쪽만 강점을 가지고 있어, 낮게 평가된 부분에 대해 집중적인 관리 노력이 요구되는 분야로 판단된다.

3사분면에 포함된 DMU는 평균 효율성과 안정성이 모두 낮아 경쟁력이 떨어지는 분야이다. 따라서 국방항공우주, 스마트팩토리, 자동차 분야는 기술 및 운용 등 관련 기관의 적극적 관심과 노력이 필요한 분야로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 DEA를 활용하여 SW 국가연

구개발 사업에 대한 효율성을 분석하고, SW R&D 적용 분야별 효율성 및 비효율성의 원인 분석과 효율성 개선 방안을 제시하였다.

본 연구결과의 요약은 다음과 같다. 정태적 효율성 분석의 BCC 모형을 기준으로 2009년과 2018년의 효율적 DMU 비율이 가장 높았다. 반면, 2017년은 효율적인 DMU 비율이 가장 낮았는데, 이는 투입요소 대비 산출요소인 특허와 인증 성과가 상대적으로 낮았기 때문이다.

DEA/Window 모형을 이용한 동태적 효율성 분석 결과 SW R&D 성과 평균 효율성은 분석기간 동안 하향 추세를 나타내었다. 이는 SW 연구개발 투자 규모는 그대로인데 반해 산출변수인 특허와 인증이 감소한 것에 기인한다. 또한 스마트오피스 분야가 0.758로 효율성 변화가 가장 작은 안정적 분야이고, 국방항공우주 분야가 0.997로 효율성 변화가 가장 컸다.

전략적 포트폴리오 매트릭스 분석을 통해 국방항공우주, 스마트팩토리, 자동차 분야는 관련 기관의 적극적 관심이 필요한 분야로, 건설, 스마트오피스 분야는 사업 확대 지원이 필요한 분야로 제시하였다.

본 연구는 최초로 SW 국가연구개발사업 전체를 대상으로 효율성 분석을 수행했다는 점에 의의가 있으며, SW 적용 분야에 따른 전략적 매트릭스 모델은 향후 SW 국가연구개발사업 기획 시 기초자료로 활용이 가능할 것으로 예상된다. 또한 도출된 시사점을 통해 연구개발사업의 성과관리에 활용하고 효율성(Efficiency)과 더불어 안정성(Stability)을 고려한 다양한 관점에서의 성과 측정으로 한정된 자원의 효율적 활용과 성과 제고를 위한 사업 기획에 시사점을 제시하였다는데 의의가 있다.

본 연구는 SW R&D의 특성 및 다양한 적용

산업군의 분야별 특성을 반영하지 못하고 일반적인 R&D 성과 평가의 투입 및 산출요소로 분석을 수행한 한계점을 가지고 있다. 추후 SW R&D 및 SW 적용 산업군에 대한 특성이 고려되어 투입과 산출지표가 추가로 개발된다면 보다 의미 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Baek, C. W. and Lee, S. B., "A Study on R&D efficiency with the consideration of qualitative performance Development Using DEA," *Journal of Digital Convergence*, Vol. 9, No. 6, pp. 1-11, 2011.
- [2] Ban, S. H. and Han, D. H., "An Efficiency Analysis of Korean Software Companies using DEA," *The e-Business Studies(Tebs)*, Vol. 15, No. 3, pp. 197-213, 2014.
- [3] Boussofiane, A., Dyson, R. G., and Thanassoulis, E., "Applied Data Envelopment Analysis," *European Journal of Operational Research*, Vol. 52, No. 1, pp. 1-15, 1991.
- [4] Byun, S. K. and Han, J. H., "Efficiency Estimations for the government driven R&D projects in IT industries," *Institute for Law of Science & Technology*, Vol. 15, No. 2, pp. 179-206, 2009.
- [5] Han, D. S. and Shin, M. C., "Evaluation of the effectiveness of academic research support projects", *Journal of Governmental Studies*, Vol. 16, No. 3, pp. 185-215, 2010.
- [6] Hsu, F. M. and Hsueh, C. C., "Measuring relative efficiency of government -sponsored R&D projects: A three-stage approach," *Evaluation and Program Planning*, Vol. 32, No. 2, pp. 78-186, 2009.
- [7] Jeon, S. J., Lee, J. S and Hong, J. B, "R&D Efficiency Analysis Case of the Machine Tools Industry by Using DEA," *Journal of Technology Innovation*], Vol. 24, No. 4, pp. 27-54, 2016.
- [8] Kim, C. B., "Efficiency Determinants of Banking Industry and Financial Policy in Korea," *Journal of Industrial Economics and Business*, Vol. 25, No. 1, pp. 801-825, 2012.
- [9] Kim, J. M. and Cho, N. W., "An Analysis of Efficiency in Korea IT industry using DEA," *Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Journal of Spring Conference*, pp. 32-39, 2010.
- [10] Kim, K. J., "Productivity Analysis of Software Industry in Korea," *Productivity Review*, Vol. 19, No. 1, pp. 95-111, 2005.
- [11] Kim, K. S. and Cho, N. W., "A Case Study on Qualitative Efficiency of National R&D Projects on Technical Performances : Focused on Livestock Quarantine," *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol. 42, No. 4, pp. 8-15, 2019.
- [12] Kim, T. H., Kim, I. H., Ahn, S. B., and Lee, K. S., "A Way to Enhance Efficiency of Nuclear Program in Korean R&D Program by Data Envelopment Analysis,"

- Journal of Korea Technology Innovation Society, Vol. 12, No. 1, pp. 70-87, 2009.
- [13] Lee, C. H., "A Performance Management Model of National Health and Medical R&D Program," doctoral dissertation, Sung KyunKwan University, 2014
- [14] Lee, H. S. and Kim, H. S., "Measuring Relative Efficiency of Korean Life Insurance Companies Employing DEA/Window Model," The Journal of the Korea Contents Association, Vol. 8, No. 5, pp. 192-206, 2008.
- [15] Lee, H. Y., Park, Y. T., and Choi, H. G., "Comparative evaluation of performance of national R&D program with heterogeneous objectives: A DEA approach," European Journal of Operational Research, Vol. 196, No. 3, pp. 847-855, 2009.
- [16] Lee, K. B. and Mo, S. W., "Productivity and Dynamic Efficiency of Regional R&D Investment in Korea," Korean Industrial Economic Association, Vol. 26, No. 1, pp. 333-345, 2013.
- [17] Lee, S. H., Kim, S. H., and Lee, S. J., "Ripple Effect Analysis of Regional Industry Technology Development Using DEA," Journal of Digital Convergence, Vol. 9, No. 6, pp. 1-11, 2011.
- [18] Lee, S. H., Kim, T. S., and Lee, H. Y., "Measuring the Dynamic Efficiency of Government Research Institutes in R&D and Commercialization by DEA Window Analysis," Korean Operations Research and Management Society, Vol. 32, No. 4, pp. 193-207, 2015.
- [19] Lim, Y. H., "Analyzing the Efficiency of Defense Basic Research Projects using DEA," The Korea Academia-Industrial Cooperation Society Vol. 21, No. 7, pp. 517-524, 2020.
- [20] Moon, K. J., "Measuring and Evaluating the efficiency of Public Libraries: the Case of 21 Public Libraries in Busan," Korean Society and Public Administration, Vol. 20, No. 2, pp. 59-92, 2009.
- [21] Moon, K. J., Lee, K. S., and Kwon, H. J., "Benchmarking the Regional Patients Using DEA: Focused on A Oriental Medicine Hospital," The Journal of Society for e-Business Studies, Vol. 19, No. 3, pp. 91-105, 2014.
- [22] Park, H. S., "Measurement of R&D efficiency in NT and BT fields using DEA: A case of Basic Research Programs in Korea," doctoral dissertation, SungKyun Kwan University, 2014.
- [23] Park, S. and Na, J. K., "A Study on the Efficiency analysis of Defense R&D Project by using DEA model: Focusing application and testing technology," Journal of Business Research, Vol. 30, No. 3, pp. 57-84, 2015.
- [24] Park, S. J., Kim, K. H., and Jeong, S. K., "The Study on the Analysis of Efficiency of Governmental R&D Programs Regarding to the S&T Outcomes," Journal of Korea Technology Innovation Society, Vol. 14, No. 2, pp. 205-222, 2011.

- [25] Seo, Y. H. and Kong, Y. I., "Development of SW R&D for Future Growth Power," SPRI, Issue Report 2019-005, 2019.
- [26] Seo, Y. W. and Chae, S. W., "A study of appropriateness evaluation method for quality activity management of Software R&D Project," Journal of Digital Convergence, Vol. 13, No. 8, pp. 91-99, 2015.
- [27] WHITE PAPER OF KOREA SOFTWARE INDUSTRY 2019 , SPRI, 2020.
- [28] Yeo, I. K., "Technological Assesment on public R&D Activities," The Korea Society of Information Technology Applications, pp. 433-439, 2002.

저 자 소 개



노석현 (E-mail: seokhyun.ro@seoultech.ac.kr)
 1995년 성균관대학교 물리학 (학사)
 2017년 성균관대학교 글로벌창업대학원 창업학 (석사)
 2019년 3월 ~ 현재 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원
 산업정보시스템 (박사과정)
 관심분야 Social Network Analysis, Data Mining,
 Business Performance Analysis



조남욱 (E-mail: nwcho@seoultech.ac.kr)
 1994년 서울대학교 산업공학과 (학사)
 1996년 서울대학교 산업공학과 (석사)
 2001년 퍼듀대학교 산업공학과 (박사)
 2004년 ~ 현재 서울과학기술대학교 산업공학과 교수
 관심분야 Social Network Analysis, Business Performance Analysis