

Measuring Efficiency of National R&D Programs within Nanotechnology Field Using DEA Model

Seoung-Hun Bae* · Jun-Hyun Kim* · Jin-Seon Yoon* · Sang-Kyu Kang*
Kwang-Min Shin* · Su-Ji Cho** · Ki-Kwang Lee**†

*Korea Institute of Science and Technology Information

**Department of Business Administration, Dankook University

DEA모형을 활용한 나노기술 분야 국가 R&D 과제의 효율성 분석

배성훈* · 김준현* · 윤진선* · 강상규* · 신광민* · 조수지** · 이기광**†

*한국과학기술정보연구원

**단국대학교 상경대학 경영학부

Recently, nanotechnology has grown as one of the leading science technology along with other converging technologies such as biology, information, medicine etc., bringing the continuous investment of the government in nano-related field. However, it is difficult to measure and evaluate the performance of the national research and development programs because of the multidimensional character of the expected outcomes. This study aims to measuring efficiency of the national nanotechnology research and development programs using DEA model. The decision making units are nine nano-related ministries including the Ministry of Science, ICT and Future Planning. The input variables are total expenditure, number of the programs and average expenditure per program. The output variables are science, technology and economic indicator, and the combination of these outputs are respectively measured as seven different DEA cases. The Ministry of Science, ICT and Future was the first efficient ministry in total technical efficiency. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs and the Ministry of Food and Drug Safety were efficient in pure technical efficiency, when the Ministry of Commerce Industry and Energy took the first in the scale efficiency. The program efficiency was affected by organizational characteristics such as the institution's scale, the concentration of the research paper or the patent, technology transfer or the commercialization. The result of this study could be utilized in development of the policy in the nanotechnology and the related field. Furthermore, it could be applied for the modification of expenditure management or the adjustment of the research and development programs' input and output scale for each ministry.

Keywords : Efficiency, DEA Model, Nanotechnology, R&D Programs

Received 24 March 2016; Finally Revised 25 April 2016;

Accepted 31 May 2016

† Corresponding Author : kikle@ Dankook.ac.kr

1. 서 론

나노기술은 NBIMC(Nanotechnology, Biology, Information and Communications, Medicine, Cognition) 융합기술의 핵심으로 미래 과학기술의 발전에 있어 선도적인 역할을 담당하고 있는 기술이다. 이러한 가운데 우리나라는 2001년 나노기술개발촉진법의 제정을 시작으로 매 5년을 기점으로 나노기술 종합발전계획을 수립하고 있으며, 매년 나노기술발전 시행계획을 수립·추진하고 있다[15]. 국가나노기술정책센터(2015)의 조사에 따르면 지난 14년간('01년~'14년) 나노기술 관련 정부 부처에서 투자한 금액은 총 3조 9,800억 원에 달하는 것으로 집계되었으며, 2008년 기준 우리나라 나노 기술력은 미국 대비 75% 수준으로 성장하는 등 나노기술 4대 강국으로서 자리매김하였다[14].

이렇듯 나노기술 분야에 대한 우리 정부의 지속적인 투자는 매우 주목할 만한 성과를 창출해내고 있으나, 이에 대한 성과 평가 및 점검과 관련한 연구는 아직까지 중점적으로 이루어지지 않은 것이 사실이다. 최근 들어 서야 관련 부처에서 나노기술 실태 조사 연구가 몇 가지 수행되었다. 일례로 국가나노기술정책센터(2014)는 국내 나노기술 기관 현황을 조사하여 민간 나노기업의 사업화 실태를 파악하고자 하였으며[20], 산업통상자원부(2015)는 2012년부터 수행한 국내나노융합산업실태조사를 통해 나노융합산업의 규모 및 매출액, 고용인원 등을 조사하였다[13]. 그러나 이러한 최근의 조사를 제외하고 나노기술 성과 평가와 관련한 연구는 미흡한 실정이며 기존의 연구마저 단순 현황 파악에 그치는 수준으로 연구 결과의 실질적 활용 가능성은 다소 모호한 것으로 판단된다. 따라서 분석 모형을 적용하여 보다 계량적으로 나노기술의 투자 성과를 평가하고 분석 결과를 실제적으로 활용할 수 있는 연구가 필요한 시점이다.

최근 대두되고 있는 나노기술 연구개발의 전주기적 패러다임과 함께[14], 과학기술과 ICT 혁신에 바탕을 둔 현 정부의 '역동적 창조경제 실현' 또한 나노기술 분야 국가 R&D 과제 성과 평가의 필요성을 드러내고 있다. 이러한 맥락에서 본 연구는 DEA 모형의 적용을 통해 각 정부 부처에서 수행한 나노기술 연구개발 과제의 효율성을 점검하고자 하였다. 나아가 부처별 나노기술 과제 효율성의 비교·분석을 통해 향후 나노기술 지원 정책의 방향성을 제시하고자 하였다.

2. DEA 분석 모형

2.1 이론적 배경

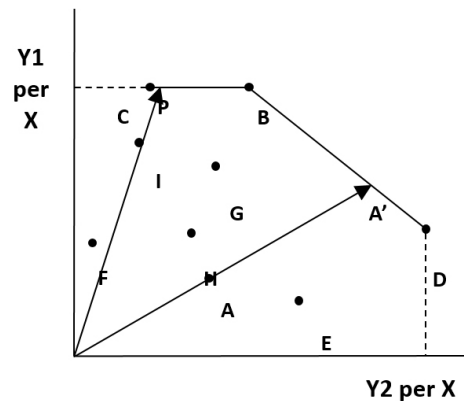
자료포락분석방법(Data Envelopment Analysis; DEA)의

효율성 개념은 비모수적인 선형계획법을 사용하여 효율성을 평가하고자 한 Farrell[7]의 연구에서 시작되었으며, 1970년대 Charnes et al.[4]가 도입하고 Banker et al.[2]가 분석영역을 확대하면서 하나의 분석틀로 활용되었다. DEA는 동일한 목적을 가지고 운영되며 동일한 다수의 투입물로 다수의 산출물을 생산하는 대상에 대하여 각 개체의 상대효율성(relative efficiency)을 평가하는데 사용될 수 있다.

DEA 모형은 상대적 효율성을 평가하기 때문에 평가 대상들은 성격이 유사하고 충분한 자유도를 가져야 하며, 이를 의사결정단위(Decision Making Unit; DMU)라고 지칭한다. 공공기관은 비영리적 운영을 전제로 하며 투자 성과 또한 매우 다차원적으로 나타나기 때문에, 기존의 모수적 분석이나 함수로는 그 효율성을 평가하기 어려워 DEA 모형을 적용하는 것이 적합하다고 할 수 있다.

<Figure 1>은 각 DMU가 단일 투입물(X)로 두 개의 산출물(Y1, Y2)을 생산하는 경우 DEA 모형의 효율성을 어떻게 측정하는가를 나타낸다. 여기서 점선과 점 C, B, D를 연결하는 선은 효율적 프론티어(efficient frontier)로 이 선상에 존재하는 3개의 점은 효율적 DMU이다[17]. 반면 점 A, E, F, G, H, I들은 비효율적인 DMU로서 투입물을 줄이거나 산출물을 증가시킴으로써 효율적 상태로 전환되어질 수 있다[8].

효율성 범주로는 기술적 효율성, 배분적 효율성, 전체 효율성이 있으며, 기술적 효율성은 순수 기술적 효율성과 규모 효율성으로 구분할 수 있다[1].



<Figure 1> Measuring Efficiency of DMU[8]

2.1.1 CCR 모형

CCR 모형은 기술 효율성을 측정하는 모형으로 규모에 대한 보수불변성(Constant Returns to Scale; CRS)을 가정한다. 다시 말해, 어떤 관측치가 존재할 때 그 관측치를 동일비율로 확장하거나 축소한 점은 모두 생산 가능함을 가정한다[11].

DEA 모형에는 주어진 산출물을 생산하기 위하여 투입물을 최소화하는 투입기준 모형과, 주어진 투입물을 사용하여 산출물을 최대화하는 산출기준 모형이 있으며 이들을 수식으로 제시하면 다음 <Figure 2>, <Figure 3>과 같다.

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta^k \\ \text{s.t.} \quad & \theta^k x_m^k \geq \sum_{j=1}^J x_m^j \lambda^j \quad (m = 1, 2, \dots, M) \\ & y_n^k \leq \sum_{j=1}^J y_n^j \lambda^j \quad (n = 1, 2, \dots, N) \\ & \lambda^j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, J) \end{aligned}$$

<Figure 2> Input-based CCR Model

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta^k \\ \text{s.t.} \quad & x_m^k \geq \sum_{j=1}^J x_m^j \lambda^j \quad (m = 1, 2, \dots, M) \\ & \theta^k y_n^k \leq \sum_{j=1}^J y_n^j \lambda^j \quad (n = 1, 2, \dots, N) \\ & \lambda^j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, J) \end{aligned}$$

<Figure 3> Output-based CCR Model

2.1.2 BCC 모형

BCC 모형은 CCR 모형에서 볼록성(convexity)¹⁾ 필요조건을 추가한 모형으로, 이를 통해 순수 기술적 효율성을 측정할 수 있다. BCC 모형은 규모에 대한 보수가변(Variable Returns to Scale; VRS)을 가정한다. 따라서 BCC 모형에서는 각 DMU에 규모의 경제성(Increasing Returns to Scale; IRS)이나 규모의 불경제성(Decreasing Returns to Scale; DRS)이 존재한다.²⁾ 다음 <Figure 4>, <Figure 5>는 투입기준 및 산출기준 BCC 모형을 수식으로 제시한 것이다.

또한, 규모 효율성의 측정치는 CCR의 효율성 측정치를 BCC의 효율성 측정치로 나눔으로써 도출할 수 있다[16].

2.2 선행 연구

현만석 외[9]는 공공연구기관의 기술이전을 동질적 업무를 수행하는 주체로서 보고, 이러한 기관들의 기술이전 현황을 파악함과 함께 DEA 모형을 이용하여 상대적 기술이전 효율성을 측정하였다. 분석 결과 국내 공공연

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta^k \\ \text{s.t.} \quad & \theta^k x_m^k \geq \sum_{j=1}^J x_m^j \lambda^j \quad (m = 1, 2, \dots, M) \\ & y_n^k \leq \sum_{j=1}^J y_n^j \lambda^j \quad (n = 1, 2, \dots, N) \\ & \sum_{j=1}^J \lambda^j = 1 \\ & \lambda^j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, J) \end{aligned}$$

<Figure 4> Input-based BCC Model

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta^k \\ \text{s.t.} \quad & x_m^k \geq \sum_{j=1}^J x_m^j \lambda^j \quad (m = 1, 2, \dots, M) \\ & \theta^k y_n^k \leq \sum_{j=1}^J y_n^j \lambda^j \quad (n = 1, 2, \dots, N) \\ & \sum_{j=1}^J \lambda^j = 1 \\ & \lambda^j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, J) \end{aligned}$$

<Figure 5> Output-based BCC Model

구기관은 산출에 필요한 투입요소보다 더 많은 양의 투입물을 사용하여 기술적 비효율성이 큰 것으로 나타났다.

박창제[16]는 국내 지방공사 의료원이 주어진 량의 환자를 치료하기 위하여 임상자원을 얼마나 효율적으로 사용하는지를 알아보기 위하여 DEA 모형을 적용하여 분석하였다. 또한 각 DMU를 효율적 프론티어에 투영하여 실제 값과의 차이를 나타낸 비효율성의 크기를 확인하였으며, 규모가 큰 병원일수록 총 기술적 효율성이 떨어지는 원인이 규모의 비효율성에 기인함을 확인하였다.

유경상 외[18]는 민자 철도사업의 운영 평가를 위해 도시철도 및 경전철 18개 노선을 대상으로 DEA 모형을 적용하여 운영 측면의 효율성을 평가·검증하였고, 조건 외[5]는 광산업체를 생산 품목에 따라 분류하고 DEA 효율성 분석 결과를 통해 비효율적 DMU의 비효율성 원인을 파악하고 종합적인 효율성 평가 프로세스를 제시하였다. 김지혜 외[10]는 우리나라 및 기타 OECD 국가들 간의 연도별 의료서비스 효율성을 DEA 모형을 통해 분석하여 한국의 의료서비스 경쟁력 현황을 파악하였으며, 향후 관련 정책 수립에 활용할 수 있도록 하였다[10].

또한, 전훈 외[6]는 다기준 의사결정(multiple criteria decision making; MCDM)의 상대적 우위를 나타내는 도구로서 DEA를 사용하여 온라인 게임의 비재무적 성과 점수를 측정하는 방법을 제시하였다. DEA는 “Benefit the doubt”, 즉 각 DMU의 성과점수를 최대로 하도록 자동적으로 가중치를 설정하는 방법을 가정한다. 따라서 이와 같이 평가 기준 간의 보편적인 선호도가 존재하지 않을 경우 MCDM 문제에 활용할 수 있다[3].

1) 볼록성은 어떤 두 개의 투입산출조합이 생산가능하다면, 두 관측치의 선형으로 조합된 내분점 역시 생산 가능하다는 것을 의미함. 단, 관측 가능한 투입산출조합들의 임의적인 조합이 모두 생산가능하기 위해서는 투입과 산출의 무한 가분성(divisibility)이 전제되어야 함.
 2) 규모의 경제성은 모든 투입을 1% 늘릴 때 모든 산출이 1% 이상 늘어나는 경우를 의미하고, 반대로 규모의 불경제성은 모든 투입을 1% 늘릴 때 모든 산출이 1% 이하로 늘어남을 의미함.

본 연구에서는 DEA의 CCR 및 BCC 모형을 통해 우리나라 정부 부처의 나노기술 분야 국가 R&D 사업의 효율성을 분석하고, 기술효율성 및 규모효율성의 상대적 정도 및 비효율성의 원인을 고찰하고자 하였다. 나아가 이러한 분석을 통하여 국가 R&D 과제 of 효율성을 증진시킬 수 있는 직·간접적인 방안을 제시하고자 하였다.

3. DEA 자료 구조

3.1 자료 수집

본 연구에서는 한국과학기술정보연구원 국가과학기술 지식정보서비스(National Science and Technology Service; NTIS) 포털을 이용하여 각 정부 부처에서 수행한 국가 R&D 과제 정보를 추출하였다. 분석 기간은 2010년 1월부터 2014년 12월까지 최근 5년을 대상으로 분석하였으며, 2015년도 수행 과제의 경우 과제 성과 부문 집계 완료되지 않아 분석에서 제외하도록 하였다. 분석 대상은 2015 나노기술발전시행계획 내 9개 유관 부처·청 중 본 연구와의 연관성이 적은 고용노동부를 제외한 8개 부처(미래창조과학부, 교육부, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 보건복지부, 환경부, 식품의약품안전처, 방위사업청, 중소기업청), 그리고 범부처 사업을 추가하여 총 9개 분석 대상을 DMU로 선정하였다. 또한 2013년도 신설 부처인 미래부, 산업부, 식약처, 농림부에 대해서는 각 부처에서 소개한 연혁을 바탕으로 교육과학기술부, 지식경제부, 식품의약품안전처, 농림수산식품부를 전신으로 가정하고 이들 부처의 자료를 통합·분석하였다.

3.2 투입 및 산출변수 정의

DEA 모형을 적용하고자 할 때, 투입 및 산출변수의 선정은 각 DMU의 효율성 정도에 영향을 미치기 때문에 적합한 변수를 선정하는 것은 중요하다[19]. 이 때 투입 변수와 산출변수는 대표성을 띠는 변수를 선정해야 하며, 관리가 가능하고 효율성 평가 연구의 목적과 부합하는 변수를 선정하여야 한다[9]. 본 연구에서는 국가 R&D 과제의 대표적 투입 자원으로 사용되어지는 연구 비용 변수를 사용하였다. 일반적으로 연구 비용은 R&D 과제의 효율성을 판단할 때 가장 우선적으로 고려되는 지표이며, 본 연구의 목적인 계량적 효율성 분석에도 부합한다. 그러나 과제 투입 비용만을 고려할 시 각 부처별 상대적 규모의 차이가 효율성 분석 결과에 직접적으로 영향을 미칠 우려가 있어 과제 건수와 과제당 연구비 변수를 추가적인 투입변수로 사용하였다.

<Table 1> Definition of Input and Output Variables

Item	Variable		Unit
Input (3)	Total R&D Expenditure		Won
	Number of Programs		Number
	Average R&D Expenditure		Won
Output (3)	Science Indicator	Thesis	Number
	Technological Indicator	Patent	Number
	Economical Indicator	Technology Transfer	Number (Sum)
		Commercialization	

<Table 2> Various DEA Models by Manipulating Output Variables

Input Variable	Output Variable	Cases						
		1	2	3	4	5	6	7
• Total R&D Expenditure	Science	●			●	●		●
• Number of Programs	Technology		●		●		●	●
• Expenditure per Programs	Economy			●		●	●	●

<Table 3> Statistics of Input and Output Variables

Item	Input		
	Total R&D Expenditure (10 million won)	Number of Programs	Average R&D Expenditure
Sum	369,408	11,640	322
Average	41,045	1,293	36
Max	181,441	7,637	91
Min	71	7	10
S.D.	69,016	2,482	30

Item	Output		
	Science Ind.	Tech Ind.	Econ Ind.
Sum	48,956	12,642	3,276
Average	5,440	1,405	364
Max	41,176	8,665	1,933
Min	13	1	0
S.D.	13,545	2,918	657

산출변수는 미래창조과학부(2011)가 국가 연구개발 사업 표준성과 지표로서 제시한 네 가지 성과 분야 중 사회·인프라 성과를 제외한 과학적 성과, 기술적 성과, 경제적 성과의 세 가지 분야의 대표적인 질적 변수로 구성하였다[12]. 구체적으로는 논문 성과건수, 특허 성과건수, 기술이전 및 사업화 성과 건수의 세 가지 변수를 선정하였다. <Table 1>은 본 연구에서 사용한 투입 및 산출변수를 정리하여 나타낸 표이다.

또한, 본 연구에서는 <Table 2>에 나타낸 바와 같이

동일한 투입 변수에 대하여 각기 다른 산출변수를 가지는 총 7가지 DEA 모형이 부처별 과제 효율성 결과에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 하였다.

<Table 3>은 본 연구의 분석에 사용한 9개 정부 부처의 투입 및 산출변수의 통계치를 나타내고 있다. 투입요소의 평균값은 총 연구비 금액 41,045천만 원, 과제 건수 1,293건, 평균 연구비 금액 36천만 원이다. 산출요소의 평균값은 과학적 성과 5,440건, 기술적 성과 1,405건, 경제적 성과 364건으로 나타나고 있다.

4. 분석 결과

4.1 CCR 모형

앞서 기술한 바와 같이 총 7개의 서로다른 투입-산출 기준에 따라 DEA의 CCR 모형 및 BCC 모형을 적용하였고 그에 따른 9개 부처의 전체 기술적 효율성, 순수 기술적 효율성 및 규모 효율성을 분석하였다. <Table 4>는 효율성 분석 결과를 정리하여 나타낸 표이다.

<Table 4> Efficiency Score by DEA Model*

Case	Ministry*	Total Technical Efficiency	Pure Technical Efficiency	Scale Efficiency	Case	Ministry*	Total Technical Efficiency	Pure Technical Efficiency	Scale Efficiency
1	MAFRA	0.366	1.000	0.366	5	MAFRA	0.366	1.000	0.366
	MSIP	1.000	1.000	1.000		MSIP	1.000	1.000	1.000
	DAPA	0.737	0.775	0.951		DAPA	0.737	0.775	0.951
	CMP	0.102	0.211	0.483		CMP	0.626	0.760	0.824
	MW	0.154	0.460	0.335		MW	0.154	0.460	0.335
	MOTIE	0.654	0.656	0.997		MOTIE	1.000	1.000	1.000
	MFDS	0.809	1.000	0.809		MFDS	0.809	1.000	0.809
	SMBA	0.049	0.603	0.081		SMBA	1.000	1.000	1.000
	ME	0.492	0.509	0.967		ME	1.000	1.000	1.000
2	MAFRA	0.468	1.000	0.468	6	MAFRA	0.468	1.000	0.468
	MSIP	1.000	1.000	1.000		MSIP	1.000	1.000	1.000
	DAPA	0.116	0.343	0.338		DAPA	0.118	0.343	0.344
	CMP	0.471	0.624	0.755		CMP	0.784	0.923	0.849
	MW	0.137	0.460	0.298		MW	0.137	0.460	0.298
	MOTIE	1.000	1.000	1.000		MOTIE	1.000	1.000	1.000
	MFDS	0.296	1.000	0.296		MFDS	0.296	1.000	0.296
	SMBA	0.263	0.630	0.417		SMBA	1.000	1.000	1.000
	ME	0.823	0.839	0.981		ME	1.000	1.000	1.000
3	MAFRA	0.000	1.000	0.000	7	MAFRA	0.468	1.000	0.468
	MSIP	0.066	0.452	0.146		MSIP	1.000	1.000	1.000
	DAPA	0.014	0.342	0.041		DAPA	0.737	0.775	0.951
	CMP	0.584	0.748	0.781		CMP	0.784	0.923	0.849
	MW	0.000	0.460	0.000		MW	0.154	0.460	0.335
	MOTIE	0.456	0.458	0.996		MOTIE	1.000	1.000	1.000
	MFDS	0.000	1.000	0.000		MFDS	0.809	1.000	0.809
	SMBA	1.000	1.000	1.000		SMBA	1.000	1.000	1.000
	ME	0.759	0.783	0.969		ME	1.000	1.000	1.000
4	MAFRA	0.468	1.000	0.468	Average	0.587	0.803	0.685	
	MSIP	1.000	1.000	1.000	Max	1.000	1.000	0.001	
	DAPA	0.737	0.775	0.951	Min	0	0.211	0	
	CMP	0.471	0.624	0.755	S.D.	0.357	0.241	0.339	
	MW	0.154	0.460	0.335	N. of efficient DMU	18	32	18	
	MOTIE	1.000	1.000	1.000	* MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), MSIP(Ministry of Science, ICT and Future Planning), DAPA(Defense Acquisition Program Administration), CMP(Cross-Ministry Programs), MW(Ministry of Health and Welfare), MOTIE(Ministry of Trade, Industry and Energy), MFDS (Ministry of Food and Drug Safety), SMBA(Small and Medium Business Administration), ME(Ministry of Environment).				
	MFDS	0.809	1.000	0.809					
	SMBA	0.263	0.630	0.417					
	ME	0.823	0.839	0.981					

먼저 CCR 모형의 분석 결과를 살펴보면 과학적 성과의 지표인 논문 성과건수를 단일 산출변수로 가정한 케이스 1의 경우, 미래부가 100%로 효율적인 부처로 나타났다. 그 뒤 식약처 80.9%, 방위청 73.7%, 산업부 65.4%의 효율성을 나타내었다. 상대적으로 범부처(10.2%), 보건부(15.4%)는 비효율적으로 분석되었으며 특히 중기청은 투입 대비 산출의 효율성이 4.9%로 가장 비효율적인 것으로 나타났다. 다음으로 기술적 성과의 지표로서 특히 성과건수를 단일 산출변수로 가정한 케이스 2의 경우, 미래부와 산업부가 각 100%로 가장 효율적인 사업부처로 분석되었다. 여기서 환경부(82.3%)를 제외한 나머지 6개 부처가 모두 50% 미만의 상대적 효율성 정도를 나타내었다. 케이스 3은 기술로 성과 및 사업화 성과를 나타내는 경제적 성과를 단일 산출변수로 설정한 모형이며, 이 경우 중기청(100%)을 제외한 모든 부처가 비효율적인 것으로 나타났다.

케이스 4와 같이 과학적 성과와 기술적 성과를 모두 산출기준으로 설정한 경우 미래부와 산업부가 효율적인 부처로 분석되었다. 또한, 과학적 성과와 경제적 성과를 산출기준으로 한 케이스 5와 기술적 성과와 경제적 성과를 산출기준으로 한 케이스 6의 경우 모두 미래부, 산업부, 중기청, 환경부가 상대적 기준에 의해 효율적인 것으로 나타났다.

마지막으로 케이스 7은 앞서 언급한 세 가지 성과 변수, 즉 과학적 성과, 기술적 성과, 경제적 성과를 모두 산출기준으로 설정한 DEA 모형이다. 이 경우 미래부, 산업부, 중기청, 환경부가 100%로 효율적인 것으로 나타났다. 전체 7개 DEA 케이스를 기준으로 할 때, 총 63개의 DMU 중 18개가 효율적으로 사업을 운영하고 있음이 분석되었다.

4.2 BCC 모형

BCC 모형은 포락곡면에 규모에 대한 보수가변 가정을 적용하여 효율성을 평가하는 방법이다. CCR 모형이 전체 기술적 효율성을 측정하여 순수 기술적 효율성과 규모 효율성을 구분할 수 없었던 것과 달리 BCC 모형은 순수한 기술적 효율성만을 나타낼 수 있다는 장점이 있다.

과학적 성과를 단일 산출변수로 가정한 케이스 1의 경우, 농림부, 미래부, 식약처가 100%로 효율적인 부처로 나타났다. 기술적 성과를 단일 산출변수로 가정한 케이스 2의 경우 농림부, 미래부, 산업부, 식약처가 100%로 효율적인 것으로 나타났으며, 경제적 성과를 단일 산출변수로 가정할 경우 케이스 3의 결과와 같이 농림부, 식약처, 중기청이 효율적인 것으로 분석되었다.

케이스 4와 같이 과학적 성과와 기술적 성과를 모두

산출기준으로 설정한 경우 농림부와 미래부, 산업부, 식약처가 효율적인 부처로 분석되었다. 또한, 과학적 성과와 경제적 성과를 산출기준으로 한 케이스 5와 기술적 성과와 경제적 성과를 산출기준으로 한 케이스 6의 경우 농림부, 미래부, 산업부, 식약처, 중기청, 환경부가 100%로 효율적인 것으로 나타났으며, 위의 세 가지 성과 변수를 모두 산출기준으로 한 케이스 7의 DEA 모형에서도 동일한 결과가 도출되었다. 다만, 케이스 7에서는 범부처 92.3%, 방위청 77.5%, 보건부 46%로 케이스 4, 5, 6과 같이 산출기준 변수를 두 가지로 제한한 경우와 비교하여 가장 높은 수준의 효율성 점수를 기록하였다.

전체적인 분석 결과를 살펴보면, 총 7가지 케이스의 63개 DMU 중 32개의 부처가 효율적인 것으로 나타났으며, 이는 앞선 CCR 모형으로 분석한 결과에 비하여 14개의 부처가 효율성의 증가를 보였음을 나타낸다. 즉 총 기술적 효율성에서 규모 효율성을 제외하면 부처의 효율성 정도가 증가함을 의미하며, 각 효율성의 평균값 또한 전체 기술적 효율성 58.7%, 순수 기술적 효율성 80.3%, 규모 효율성 68.5%로 동일한 결과를 나타내고 있다.

또한 평균적으로 순수 기술적 효율성이 규모 효율성보다 높게 측정되었는데, 이는 사업 과제 비효율성의 원인이 전체 중 가장 효율적인 부처에 비하여 단순히 기술적으로 열등하기 때문에 발생하는 순수 기술적 비효율성보다 부처별 수행 과제가 적정규모에 미치지 못하거나 또는 초과하여 발생하는 규모의 비효율성에서 기인함을 의미한다. 구체적으로는 농림부, 방위청, 보건부, 식약처, 중기청이 이러한 경우에 해당하였다.

반대로 범부처 사업, 환경부, 산업부의 경우 모든 케이스에서 순수 기술적 효율성보다 규모 효율성이 높게 측정되었다. 미래부는 모든 케이스에서 순수 기술적 효율성과 규모효율성이 모두 100%로 측정되었으나, 기술로 및 사업화 성과를 단일 산출 변수로 가정한 케이스 3에서는 비효율성을 나타내었다.

산출변수를 두 가지 이상으로 가정한 케이스 4부터 케이스 7까지의 효율성 결과값은 각 산출변수중 단일 산출 케이스의 결과값에서 보다 높은 효율성을 가지는 값이 동일하게 측정되었다.

5. 종합 및 결론

본 연구에서는 CCR 모형과 BCC 모형을 통해 최근 5년간 9개 정부 부처에서 수행한 나노기술 분야 국가 R&D 과제의 상대적인 효율성을 분석하였다. 이러한 과정에서 각 부처의 특성 및 업무 목적에 따라 R&D 과제의 산출물이 상이할 수 있음을 감안하여 국가 표준 성과

지표를 활용하였으며, 구체적으로는 과학적, 기술적, 경제적 측면의 세 가지 성과를 분석하였다.

또한 DEA 모형의 투입 및 산출변수 조합에 따라 총 7가지 케이스로 구분한 효율성 분석 결과를 살펴보았으며, 이에 따라 부처별 전체 효율성 순위를 매긴 결과는 아래 <Table 5>에 제시하였다.

<Table 5> Total Ranking of Efficiency

Efficiency/ Ministry	Total Technical		Pure Technical		Scale	
	Ave.	Fin.	Ave.	Fin.	Ave.	Fin.
MAFRA	6.7	8	1.0	1	6.9	7
MSIP	1.6	1	2.0	3	1.6	2
DAPA	6.4	7	7.4	8	5.4	6
CMP	5.6	6	7.3	7	5.3	5
MW	8.1	9	8.1	9	8.3	9
MOTIE	1.9	2	2.4	4	1.3	1
MFDS	5.1	5	1.0	1	7.0	8
SMBA	4.0	4	3.3	5	3.9	4
ME	2.3	3	3.4	6	2.1	3

전체 기술 및 규모 효율성의 경우 미래부가 7개 케이스에서 평균 1.6위로 가장 높은 순위를 기록하였다. 순수 기술적 효율성의 경우 농림부와 식약처가 가장 효율적인 것으로 나타났으며, 규모 효율성의 경우 산업부가 가장 높은 것으로 나타났다.

이상의 분석 결과를 종합하여 살펴보면, 나노기술 분야 국가 R&D 과제의 사업 운영 효율성 측면에서 미래부, 중기청, 산업부가 상대적으로 높은 효율성을 보였다. 미래부는 전반적으로 타 부처에 비하여 나노분야 R&D 과제를 효율적으로 수행하고 있는 것으로 분석되었다. 특히 과제 수행에 따른 연구 논문 및 특허 실적이 높아 상대적으로 취약한 기술료 및 사업화 부문, 즉 낮은 경제적 성과를 상쇄하는 것으로 나타났다. 그러나 이와 같은 논문 및 특허 성과가 과제 종료 이후 실제 사업화에 얼마나 기여했는가는 판단할 수 없다는 문제점이 도출되었다. 실제로 미래부에서는 이와 같은 추적조사가 이루어지지 않고 있으며, 관련 지표 자체가 진무한 실정이다. 따라서 논문 및 특허 실적에서 나아가 향후 기술이전 및 나노기술 사업화로 연결될 수 있는 보완된 성과를 창출할 때에 실질적으로 효율성이 있는 사업 운영이 가능할 것으로 기대된다.

다음으로 산업부의 경우, 상대적으로 규모의 효율성이 매우 크며 과학적 성과 및 기술적 성과보다는 경제적 성과에 특화된 양상을 보였다. 중기청은 9개 부처중 중간 정도의 효율성을 나타내었으며, 특히 기술적 성과에 초

점을 맞추어 사업의 성과를 나타내는 것을 확인하였다. 반면 농림부와 식약처는 순수 기술적 효율성은 높았으나, 규모의 효율성 측면에서 매우 낮은 수준에 그치는 것으로 보아 사업의 투입 및 산출 단위를 확장함으로써 본 연구에서 분석된 바와 같은 비효율적 사업의 운영 효율성을 증진할 수 있을 것으로 판단하였다.

또한 주목할 만한 결과는 나노분야 범부처 R&D 과제의 효율성 분석 결과이다. 일반적으로 범부처 사업 과제는 성과 창출의 극대화를 목적으로 전체 과제 수는 적지만 한 과제당 상당한 비용이 투입되는 특성이 있다. 그러나 분석 결과 투입물에 비해 과제의 성과는 적어 단일 부처 사업보다 사업 운영이 효율적이지 못한 것으로 나타났다. 이는 과제 수행 과정에서 부서 간 연계가 제대로 이루어지지 않고 있음을 의미하는 것으로, 나노분야 범부처 사업에 대한 전반적인 프로세스 점검 및 업무 연계 방안의 효율성 제고 노력이 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서는 보다 계량적인 관점에서 다수의 투입과 다수의 산출이 존재하는 국가 R&D 과제의 효율성을 분석하고자 DEA 모형을 적용하였다. 이를 통해 나노기술 분야 연구개발 과제의 부처별 현황 및 특성을 파악하고 이를 바탕으로 과제 효율성을 증진시킬 수 있는 방안을 모색하고자 하였다. 본 연구의 분석결과를 통하여 나노기술 분야 국가 R&D 과제에 투입 및 산출되는 자원의 효율성을 제고시킨다면, 이는 결과적으로 각 부처별 과제 수행을 위한 재정의 확충이 이루어진 것과 동일한 효과를 가질 것으로 기대할 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 향후 나노기술 관련 과제의 수행에 있어서 보다 효율적인 계획 및 실행을 도와 실질적인 생산성 향상을 가져올 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 본 연구 결과는 최근 5년간의 국가 R&D 사업 자료를 통합하여 분석한 것으로, 연도별 투입 및 산출변수의 변화를 반영하지 못하였다는 한계점이 존재한다. 또한 자료 획득의 제약으로 인해 보다 다양한 투입 및 산출변수를 고려하지 못하였다는 점에서도 한계가 있어, 향후 이러한 점을 개선하여 발전된 연구를 수행한다면 정부 부처가 수행하는 과제의 효율성을 증진시켜 우리나라 나노기술의 국가경쟁력을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Ahn, T., Efficiency and Related issues in higher education : A data envelopment analysis approach, [Ph.d., Thesis] : University of Texas at Austin, 1987.
- [2] Banker, R.D., Charnes, A., and Cooper, W.W., Some models for estimating technical and scale inefficiencies

- in data envelopment analysis, *Management Science*, 1984, Vol. 30, No. 9, pp. 1078-1092.
- [3] Cerchye, L., Moesen, W., Rogger, N., and van Puyenbroeck, T., An Introduction to ‘Benefit of the Doubt’ Composite Indicators, *Social Indicators Research*, 2007, Vol. 82, No. 1, pp. 111-145.
- [4] Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E., Measuring the efficiency of decision making units, *European Journal of Operational Research*, 1978, Vol. 2, No. 6, pp. 429-444.
- [5] Cho, G. and Jung, K.H., A Study on evaluating the efficiency of the photonics industry in Gwangju using a DEA Model, *Journal of Korean Society for Quality Management*, 2011, Vol. 39, No. 2, pp. 244-255.
- [6] Chun, H. and Lee, H.Y., A DEA-based portfolio model for performance management of online games, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2013, Vol. 39, No. 4, pp. 260-270.
- [7] Farrell, M.J., The measurement of productive efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society*, 1957, Vol. 120, No. A-3, pp. 253-281.
- [8] Han, D.O. and Hong, B.Y., Efficiency of University Libraries in Seoul by DEA, *Journal of the Korean Library and Information Science Society*, 2002, Vol. 36, No. 3, pp. 275-286.
- [9] Hyun, M.S. and Yoo, W.J., A Study on the Technology Transfer Efficiency for Public Institutes Using DEA Model, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2008, Vol. 31, No. 2, pp. 94-103.
- [10] Kim, J.H., Kim, H.S., Leem, B.N., and Yoon, J.H., Analyzing the national medical service efficiency of OECD countries using DEA and Malmquist productivity index, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, 2012, Vol. 37, No. 4, pp. 125-138.
- [11] Lee, J.D. and Oh, D.H., Theory of efficiency analysis-Data Envelopment Analysis, 1st ed. Seoul, Korea : JIPHIL MEDIA, 2012, pp. 1-34.
- [12] Ministry of Science, ICT and Future Planning, The fourth Standard Performance Evaluation Index of National R&D Programs, Seoul, Korea, 2014.
- [13] Ministry of Trade, Industry and Energy, Organization for Nano-convergence Industrial Cooperation, Korea Institute for Industrial Economics and Trade, Survey on Nano-converged Industry 2014, Seoul Korea, 2015.
- [14] National Nanotechnology Policy Center, Korea Nanotechnology Annual 2014, Seoul, Korea, 2015.
- [15] National Science and Tehcnology Commission, The Third Nanotehcnology Master Plan(‘11~’20), Seoul Korea, 2011.
- [16] Park, C.J., Measuring production efficiency using Data Envelopment Analysis : The case of public corporation medical centers, *Korean Journal of Health Policy and Administration*, 1996, Vol. 6, No. 2, pp. 91-114.
- [17] Seiford, L.M. and Thrall, R.M. Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis, *Journal of Econometrics*, 1990, Vol. 46, No. 1-2, pp. 7-38.
- [18] Yoo, G.S. and Kim, S.J., A Study on the operational efficiency of urban railway system based on data envelopment analysis, *Seoul Studies*, 2012, Vol. 13, No. 4, pp. 237-246.
- [19] Yoo, K.R., Ranking analysis of efficient decision-making units in data envelopment analysis for evaluating the efficiency of the public sector, *Korean Journal of Public Administration*, 2006, Vol. 44, No. 1, pp. 155-185.
- [20] Yoon, J.S., Bae, S.H., Lim, J.S., Shin, K.M., Kang, S.K., and Kim, C.W., Survey Report on Nanotechnology Field Institutions in Korea 2013, 2014, National Nanotechnology Policy Center.

ORCID

Seoung-Hun Bae | <http://orcid.org/0000-0002-0819-4386>

Jun-Hyun Kim | <http://orcid.org/0000-0001-6184-7924>

Jin-Seon Yoon | <http://orcid.org/0000-0001-6781-1834>

Sang-Kyu Kang | <http://orcid.org/0000-0002-5155-0980>

Kwang-Min Shin | <http://orcid.org/0000-0001-5879-6003>

Su-Ji Cho | <http://orcid.org/0000-0003-1511-5348>

Ki-Kwang Lee | <http://orcid.org/0000-0003-2291-8376>