

국가연구개발사업 질적 효율성의 동태적 분석*

김 경 수**·조 남 욱***

Dynamic Analysis of National R&D Projects' Qualitative Efficiency

Kim Kyungsoo · Cho Namwook

〈Abstract〉

Korea's R&D investment has significantly increased in recent years. However, the efficiency of R&D investment is still in question. In order to examine the ways to improve the efficiency of R&D investment, this paper presents dynamic analysis on both quantitative and qualitative efficiency of R&D projects. A Data Envelopment Analysis(DEA)/Window method is used to analyze static and dynamic efficiencies of Industrial Material R&D projects in Korea from 2012 to 2016. As a result, statistically significant differences between quantitative and qualitative efficiency have been found. It has been observed that characteristics of Decision Making Units(DMUs) have an impact on both static and dynamic efficiencies. In particular, textile and ceramic projects showed relatively stable qualitative efficiency for a short-term perspective, while steel and chemical projects showed such stability for a long-term perspective. Among the types of project principals, universities showed relatively stable efficiency, compared with private sectors and research institutes. The results of this paper can be used as a guideline to manage the performance and stability of R&D projects' efficiency.

Key Words : Data Envelopment Analysis(DEA), Efficiency, R&D Investment, Stability, Dynamic Efficiency, DEA-Window

I. 서론

주요 선진국들은 국가 경쟁력 제고를 위해 과학기술에 대한 투자를 확대하고 있다[1], 국제 정세 및 환경 변화 등 다양한 변화에 직면하면서[2], 우리나라 국민들은 과학기술의 사회적 기여도에 긍정적으로

인식하고 있으며, 앞으로의 기술발전에 대해서도 긍정적으로 전망하고 있다[3].

2016년 우리나라 총 연구개발비는 전년 대비 3조 4,462억 원 증가한 69조 4,055억 원으로 세계 5위 수준이며, 국내총생산(GDP) 대비 연구개발비 비중은 전년 대비 0.03% 상승한 4.24%로 세계 2위 수준이다[4]. 국가연구개발사업 집행액은 2017년 기준 19조 3,927억 원으로 전년 대비 2.0% 증가하였으며, 2013년부터 연평균 3.5%로 신장하였다[5].

* 이 연구는 서울과학기술대학교 교내학술연구비 일부지원으로 수행되었습니다.

** 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 박사과정

*** 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과 교수(교신저자)

국가연구개발사업의 대표적인 연구성과인 SCI논문 의 경우, 우리나라는 2016년 기준 59,628건으로 세계 총 논문 수 대비 2.6%를 기록하며 세계 12위 수준으로 상대적으로 높은 반면, SCI논문 피인용 횟수는 논문 1편당 1.74회로 세계 평균 1.68회 보다는 높은 수준이나, 논문수 상위 50개 국가 중 33위 수준으로 상대적으로 낮은 수준이다[6].

우리나라는 활발한 연구개발 투자에 따른 연구성과의 양적 수준은 증가한 반면 연구성과의 질적 수준은 주요국 수준에 미치지 못하고 있다. 정부의 지속적인 연구개발사업에 대한 투자와 함께 연구개발투자 효율성 제고 및 성과분석에 대한 중요성이 높아졌다[1]. 연구개발투자 효율 제고를 위해서는 정책에 따른 중복 투자를 줄이는 것이 중요하며[7], 연구개발사업 예산 대비 연구성과가 제대로 창출되고 있는가에 대한 이슈가 꾸준히 제기되고 있다[8]. 따라서 연구개발사업의 질적 효율성에 대한 분석과 투자의 효율성 향상에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 기존연구와 다음과 같은 차별성을 가진다. 첫째, 국가연구개발사업의 양적효율성과 질적효율성 분석 모델을 제시하고, 차이점을 분석하였다. 둘째, 동태적 분석 모형을 적용하여 연구개발 투자성과의 안정성을 분석하였다. 셋째, 양적/질적 효율성과 정태적/동태적 분석 결과를 사업영역과 사업주체별로 분석하여 연구개발 투자 효율성 제고방안을 모색하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 산업소재핵심기술개발사업 사례(2012~2016년)를 토대로 연구개발과제의 양적 성과와 질적 성과를 비교 분석하고 정태적/동태적 분석을 실시하여 국가연구개발사업의 효율성 제고를 위한 시사점을 도출하였다. 연구개발 과제의 정태적 효율성 분석은 자료포락분석(Data Envelopment Analysis; 이하 DEA)을 활용하였으며, 동태적 효율성은 DEA/Window 모형을 활용하였다.

본 연구 구성은 다음과 같다. 제2장에서 이론적 배경과 정태적 효율성 분석, 동태적 효율성 분석 선행

연구에 대해 살펴보았다. 제3장에서 연구 방법 및 연구 모형에 대해 논의하였으며, 제4장에서 국가연구개발사업 사례 분석을 통해 결과를 제시하였다. 마지막으로 제5장에서 연구 결론 및 한계점을 제시하였다.

II. 이론적 배경

2.1. 국가연구개발사업

정부는 과학기술기본법 제12조에 따라 매년 국가연구개발사업의 사업 정보, 과제 정보, 성과 정보 등 총 20개 항목에 대해 조사·분석을 실시하고 있다. 국가연구개발사업 조사·분석의 대상은 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」에 따른 연구개발사업으로, 정부 예산 및 공공기금 중 연구개발예산으로 편성된 모든 국가연구개발사업을 의미한다[5].

2.2. DEA(Data Envelopment Analysis)

연구개발투자 효율성 분석을 위한 선행 연구는 주로 DEA 모형이 활용되었다[9]. DEA 모형은 선형계획법(linear programming)을 근거로 다수의 투입요소와 산출요소를 갖는 DMU(Decision Making Unit; DMU)의 상대적 효율성을 측정하는 분석 방법이다[10]. DEA 모형 중 Charnes, Cooper, and Rhodes(1978)의 CCR 모형과 Banker, Charnes, and Cooper(1984)의 BCC 모형이 가장 많이 활용된다[11]. DEA 모형은 투입요소와 산출요소 중 중점을 두는 요소에 따라 투입지향(input-oriented) 모형과 산출지향(output-oriented) 모형으로 구분된다[11].

DEA 모형에 활용되는 변수 선정은 이론적으로 타당해야 하며, 투입변수와 산출변수 간 충분한 설명력이 요구된다[12]. DEA 모형을 활용한 효율성 연구 대부분은 DMU 수가 투입요소의 수와 산출요소의 수의

합보다 2배 이상 커야 변별력이 있다는 기준을 적용하고 있다[11].

DEA 모형을 활용한 효율성 분석 시 의사결정에 산출요소에 비해 투입요소가 보다 영향을 미치는 경우, 투입지향 모형을 선택하며, 반대로 산출요소가 영향을 더 미치는 경우 산출지향 모형을 선택하는 경향이 있다[11]. 정부는 연구개발투자의 효율성 및 책임성 향상을 목적으로 「국가연구개발사업 등의 성과평가 및 성과관리에 관한 법률」 등 연구성과 관리를 위한 법률을 제정·운영 중인 것으로 보아 국가연구개발사업에 있어 투입요소인 예산뿐만 아니라 산출요소인 연구성과 또한 중요한 요소임을 알 수 있다.

본 연구에서는 CCR 모형과 BCC 모형 중 BCC 모형을 선택하였으며, 국가연구개발사업을 분석 대상으로 하므로 산출지향 모형을 적용하였다.

2.3. DEA/Window

기존 DEA 모형은 특정 시점의 투입요소와 산출요소를 기준으로 효율성을 측정하기 때문에 환경 변화에 따른 효율성을 측정하기 어렵다는 단점을 보완하기 위한 방법으로 DEA/Window 모형이 개발되었다[13]. 이 모형은 특정 DMU에 대해 시간의 변화에 따른 효율성의 동태적인 변화 추이를 확인할 수 있으며 [10], 분석 결과를 통해 각 DMU의 효율성 추세(trend), 안정성(stability), 계절적 변동(seasonal

behaviour) 등을 파악할 수 있다[14]. 동태적 분석의 관찰할 기간을 윈도우라고 부르는데, 윈도우 폭이 너무 작으면 정태적 분석과 큰 차이가 없으며, 폭이 너무 크면 윈도우 분석기간이 길어지므로 추세 파악이 어렵다[15].

DEA/Window 분석에서 윈도우의 의미는 DMU 간 효율성 비교 시 여러 기간의 창(window)으로 분할하여 겹치도록 구성하는 것에서 시작되었다[16]. 동일한 DMU일지라도 윈도우 폭이 다르다면 다른 DMU로 간주된다. n개의 DMU에 대해 k기간 동안 DEA/Window 분석을 수행할 경우, 윈도우 기간은 k, 윈도우 폭은 p, 윈도우 수는 $w(k-p+1)$ 로 나타내며, 각 윈도우의 DMU 개수는 pn개가 된다[17]. 효율성 분석 시 첫 번째 윈도우는 기간 1부터 p까지 pn개의 DMU를 대상으로 하고, 두 번째 윈도우는 2부터 p+1까지 pn개를 대상으로 하며, 동일한 방법으로 마지막 윈도우까지 분석한다[13].

동태적 효율성의 안정성은 표준편차(Standard Deviation;SD), 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값(Largest Difference between scores in the same Year;LDY), 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이(Largest Difference between scores in the entire Period;LDP)로 파악할 수 있다[18].

윈도우 분석에 관한 연구를 살펴보면, 윈도우 폭은 시행착오를 통해 적절한 폭을 결정하고 있다[13].

본 연구에서는 일반적으로 연구개발 과제가 종료

<표 1> DEA/Window 분석의 틀

윈도우 \ 기간	1	2	3	·	·	·	·	·	·	·	k
1	1	·	·	p							
2		2	·	·	p+1						
3			3	·	·	p+2					
·				·	·	·					
·					·	·					
w							k-p+1	·	·	·	k

되는 기간을 고려하여[15] 윈도우 폭을 3년으로 설정하였으며, 윈도우 수는 3개, 윈도우 기간은 5년으로 설정하였다.

2.4. 비모수적 검정

DEA 모형에 의한 효율성 값은 통계적 분포에 따른 값이 아니므로 비모수적 검정을 사용하여 분석해야 한다. 일반적으로 사용되는 방법으로는 윌콕슨-만-위트니 검정법(wilcoxon-mann-whitney test)과 크러스컬-왈리스 검정법(kruskal-wallis test)이 있다.

본 연구에서는 연구개발과제 특성별 양적 효율성과 질적 효율성 차이를 검정하기 위해 크러스컬-왈리

스 검정법을 사용하였다.

2.5. 선행 연구

국가연구개발 사업 효율성 분석에 관한 선행 연구와 동태적 효율성 분석에 관한 선행연구를 <표 2>에 요약하였다. 국가연구개발 사업 효율성 분석은 대부분 정량적, 정태적 분석을 위주로 수행되어왔다. 국가연구개발사업 효율성에 대한 동태적 분석 연구는 아직까지 보고된 바 없으며, 산업 측면의 동태적 효율성 분석이 DEA/Window 모형 중심으로 이루어져왔다.

<표 2> 선행 연구

국가연구개발사업 효율성 선행연구					동태적 효율성 분석 선행연구			
연구자	연도	투입변수	산출변수	DEA 모형	연구자	연도	연구 내용	DEA 모형
박석중 외	2011	총 투자비	SCI논문, 국내특허(출원, 등록)	투입 중심 CCR, BCC	박경삼 외	2005	대구모 종합병원의 시대별 경영효율성	DEA/Window
이철행 외	2014	연구비, 연구인력, 연구기간	SCI논문, 특허출원등록, IF 평균	산출 중심 CCR, BCC	이형석 외	2006	해운업체의 정태적 동태적 효율성 분석	DEA/Window
이형진 외	2014	R&D비용, R&D인력, R&D기간	특허, 논문, 실용화	산출 중심 CCR, BCC	이형석 외	2008	국내 생명보험산업의 상대적 효율성 분석	DEA/Window
이형진 외	2015	R&D비용, R&D인력	특허, 논문, 실용화	산출 중심 CCR	임병학 외	2009	부산광역시 지방 자치단체 시대별 효율성 변화	DEA/Window
이성희 외	2015	연구비, 연구원	특허, 논문, 기술이전, 유상 기술이전, 기술료	산출 중심 BCC	문경주	2009	공공기관의 동태적 효율성과 정태적 효율성 평가	DEA/Window
임인중 외	2015	연구비, 연구인력, TLO 인력, TLO 운영비	기술이전 계약건수, 기술이전 수입료	산출 중심 BCC	임병학 외	2009	지방 자치단체의 시대별 효율성 변화에 관한 연구	DEA/Window
조인경 외	2015	총 연구개발비, 지원과제 수	논문, 특허	산출 중심 BCC	김성식 외	2012	국내 대형 건축사무소의 효율성 분석	DEA/Window
엄익천 외	2016	총 연구개발비	SCI논문, 국내 특허출원, 해외 특허출원, 기술료	산출 중심 BCC	이광배 외	2013	지역연구개발투자의 생산성과 동태적 효율성	DEA/Window
김홍영 외	2016	투입예산, 인건비 비중	SCI논문, 국내특허(출원, 등록), 국외특허(출원, 등록)	산출 중심 BCC	유종훈 외	2013	일반산업단지 효율성 측정	DEA/Window
김홍영 외	2016	투입예산	SCI논문, 국내외 특허	산출 중심 CCR, BCC	유영명 외	2014	부산 유통산업의 효율성 변화와 안정성 분석	DEA/Window
엄익천 외	2016	총 연구개발비	SCI논문, 국내외 특허 출원, 기술료	RAM	박홍균 외	2014	광주지역 금형산업의 정태적-동태적 효율성 분석	DEA/Window
이수철 외	2017	연구비, 연구인력	논문, 특허, 기술료	DEA/AR	전훈 외	2014	국내 온라인 게임 기업의 운영 효율성 평가	DEA/Window
김경수 외	2018	연구비, 연구기간	SCI논문, SCI논문 IF	산출 중심 CCR, BCC	이성희 외	2015	정부출연연의 연구개발 사업화 동태적 효율성 분석	DEA/Window

III. 연구 방법

3.1. 연구 설계

본 연구는 국가연구개발사업 과학적 성과의 질적 효율성의 동태적 분석을 위해 양적 효율성과 질적 효율성을 비교하고, 정태적 분석과 동태적 분석을 비교함으로써 연구개발투자 효율성 제고 방안을 모색하는 것을 목적으로 하고 있다. 효율성 분석의 투입변수는 선행연구에서 주로 활용된 정부출연금과 연구기간으로 설정하였으며, 산출변수는 양적 모형의 경우 SCI논문 건수, 질적 모형의 경우 SCI논문의 IF(Impact Factor) 평균값으로 설정하였다.

3.2. 분석 대상

산업통상자원부에서 지원한 산업소재핵심기술개발사업을 분석 대상으로 선정하였으며, 국가과학기술 지식정보서비스(National Science & Technology Information Service;이하 NTIS)를 통해 데이터를 확보하였다. 동 사업은 화학, 금속, 섬유, 세라믹 등의 핵심원천기술개발지원을 통해 전방산업에 핵심소재를 공급하고, 뿌리기술의 첨단화 지원을 통해 관련 산업의 경쟁력 제고 및 성장 잠재력을 확충하는 것을 목적으로 한다.

<표 3> 사례 분석대상 사업 개요

구분	내용
사업명	산업소재핵심기술개발사업
사업내용	주력산업의 기간인 산업소재(화학, 금속, 섬유, 세라믹) 분야의 핵심원천기술개발 지원을 통해 전방산업에 핵심소재 공급 및 뿌리기술의 첨단화 지원을 통하여 관련 산업의 산업 경쟁력 제고 및 성장 잠재력을 확충
사업기간	2009년 ~ 2018년(계속)
총사업비	6,841억원(2009~2016년)

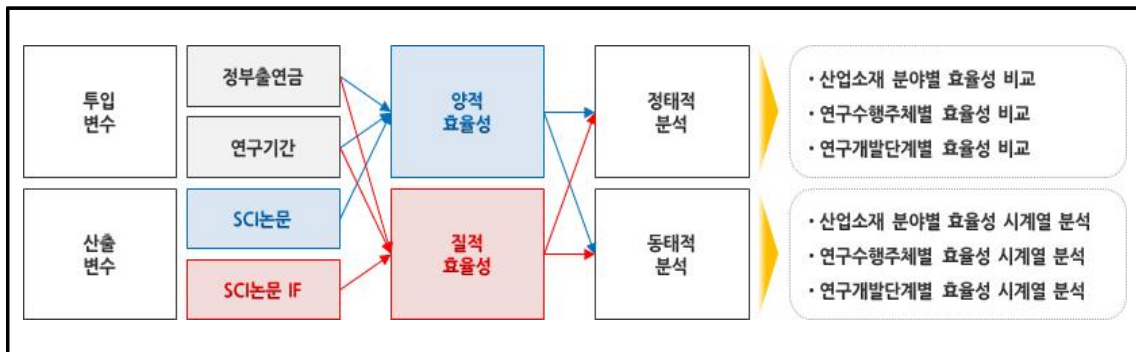
* 출처 : 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)

분석 대상 사업의 2012년부터 2016년까지 수행된 전체 과제 중 순수연구개발 유형에 해당하는 과제로 특정하였으며, 연구개발 성과 중 SCI논문 성과가 발생한 과제를 대상으로 함으로써 DMU 간 동질성을 확보하였다.

<표 4> DMU 조건

구분	내용
과제 조건	순수 연구개발과제
성과 조건	SCI 논문 성과 발생 과제

분석 대상 사업의 2012년부터 2016년까지 과제 수는 총 720개이며, DMU 조건에 해당하는 순수 연구개발과제이면서 SCI논문 성과가 발생한 과제 수는 총 192개이다.



<그림 1> 연구 모형

<표 5> 분석 대상 과제 및 DMU 수 현황

구분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년	합계
과제 수	171	142	119	112	176	720
DMU 수	41	36	35	34	46	192

3.3. 변수 선정

투입요소와 산출요소를 선정하기 위해 선행연구에서 활용된 변수를 참고하였다. 선행연구에 따르면, 투입변수는 정부출연금, 연구기간, 연구인력 등이 주로 활용되었으며, 산출요소는 논문, 특허, 실용화, 기술이전, 기술료 등이 활용되었다. 또한, 국가연구개발사업 논문 성과의 질적 수준 분석으로 피인용횟수, IF 등 IF를 기반으로 한 질적 지표를 사용하고 있다.

본 연구에서 투입요소는 정부출연금, 연구기간으로 설정하였으며, 산출요소는 과학적 성과를 중심한 효율성 분석이므로 SCI논문 성과로 선정하였다. 과학적 성과의 양적 수준을 위한 지표는 SCI논문 성과 건수, 질적 수준을 위한 지표는 SCI논문의 IF를 활용하였다.

<표 6> DEA 모형 투입변수 및 산출변수

모형	구분	변수	변수 정의
양적 모형	Input	정출금(백만원)	총 사업비 중 정부출연금
		연구기간(개월)	연구기간
	Output	SCI논문(건)	SCI논문 합계
질적 모형	Input	정출금(백만원)	총 사업비 중 정부출연금
		연구기간(개월)	연구기간
	Output	SCI논문 IF(평균)	SCI논문 IF 평균

IV. 분석 결과

4.1. 정태적 효율성 분석

분석 대상 사업의 대해 양적 효율성과 질적 효율성이 어떠한 차이가 있는지 분석하였다. 산업소재 분야별로 철강화학 분야, 연구수행주체별로 대학, 연구개발

발단계별로 개발연구의 양적·질적 효율성이 높은 것으로 나타났다. 산업소재 분야별, 연구수행주체별, 연구개발단계별 그룹 간 비교 결과, 산업소재 분야별로 양적 효율성과 질적 효율성 간 통계적으로 유의미한 차이가 존재하는 것으로 분석되었다.

<표 7> 전체 산업소재 양적·질적 효율성 분석

구분	대분류	중분류	효율성	p-value
양적 효율성	분야	철강화학	0.257	0.09816*
		섬유세라믹	0.183	
	연구수행주체	대기업	0.274	0.1284
		중소/중견	0.191	
		출연연구소	0.182	
		대학	0.395	
		기타	0.150	
	연구개발단계	기초연구	0.345	0.17
		응용연구	0.207	
개발연구		0.232		
질적 효율성	분야	철강화학	0.355	0.04563**
		섬유세라믹	0.280	
	연구수행주체	대기업	0.345	0.3205
		중소/중견	0.308	
		출연연구소	0.327	
		대학	0.439	
		기타	0.293	
	연구개발단계	기초연구	0.414	0.1539
		응용연구	0.263	
개발연구		0.349		

*** p<0.01; ** p<0.05; * p<0.1

산업소재 분야별로 그룹 간 유의미한 차이가 나타나며 따라 산업소재 분야별로 양적 효율성과 질적 효율성이 어떠한 차이가 있는가를 추가적으로 분석하였다.

철강화학 분야는 연구수행주체별로 대학, 연구개발단계별로 기초연구의 양적·질적 효율성이 높은 것으로 나타났다. 연구수행주체별, 연구개발단계별 그룹 간 비교 결과, 연구수행주체별로는 양적 효율성과 질적 효율성 간 통계적으로 유의미한 차이가 있었으며, 연구개발단계별로는 양적 효율성에서만 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다.

<표 8> 철강화학 분야 양적·질적 효율성 분석

분야	대분류	중분류	효율성	p-value
양적 효율성	연구 수행주체	대기업	0.284	0.003683***
		중소/중견	0.213	
		출연연구소	0.164	
		대학	0.543	
		기타	0.149	
	연구 개발단계	기초연구	0.414	0.05885*
		응용연구	0.228	
		개발연구	0.234	
	질적 효율성	연구 수행주체	대기업	0.355
중소/중견			0.310	
출연연구소			0.325	
대학			0.580	
기타			0.314	
연구 개발단계		기초연구	0.449	0.1047
		응용연구	0.269	
		개발연구	0.361	

*** p<0.01; ** p<0.05; * p<0.1

섬유세라믹 분야는 연구수행주체별로 출연연구소의 양적·질적 효율성이 높은 것으로 나타났으며, 연구개발단계별로 개발연구는 양적 효율성, 기초연구는 질적 효율성이 높은 것으로 나타났다. 연구수행주체별, 연구개발단계별 그룹 간 비교 결과, 연구수행주체별로 양적 효율성에서만 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다.

<표 9> 섬유세라믹 분야 양적·질적 효율성 분석

분야	대분류	중분류	효율성	p-value
양적 효율성	연구 수행주체	대기업	0.077	0.08179*
		중소/중견	0.120	
		출연연구소	0.286	
		대학	0.237	
		기타	0.150	
	연구 개발단계	기초연구	0.102	0.3764
		응용연구	0.137	
		개발연구	0.224	

분야	대분류	중분류	효율성	p-value
			양적 효율성	
양적 효율성	연구 수행주체	대기업	0.123	0.3695
		중소/중견	0.302	
		출연연구소	0.339	
		대학	0.286	
		기타	0.236	
	연구 개발단계	0.9776		
양적 효율성	연구 개발단계	기초연구	0.293	0.9776
		응용연구	0.245	
		개발연구	0.291	

*** p<0.01; ** p<0.05; * p<0.1

분석 대상 사업의 정부출연금 대비 성과 발생 비중을 살펴보았다. 철강화학 분야는 2,843억 원이 투자되었으나, 1,048억 원(36.9%)에 대해서만 성과가 발생하였으며, 연구수행주체별로 성과 발생 과제 비중은 대기업이 36.2%로 가장 높았다.

<표 10> 철강화학 분야 연구수행주체별 정출금 비중

수행주체	투자		분석대상과제	
	정출금 (백만원)	비중 (%)	정출금 (백만원)	비중 (%)
대기업	73658	25.9%	37914	36.2%
중소/중견	123322	43.4%	29101	27.8%
출연연구소	40355	14.2%	19366	18.5%
대학	14401	5.1%	6504	6.2%
기타	32584	11.5%	11930	11.4%
합계	284320	100.0%	104815	100.0%

철강화학 분야의 연구수행주체별 정부출연금 대비 성과발생과제 정부출연금 비중은 대기업이 51.5%로 가장 높게 나타났으나, 양적 효율성 및 질적 효율성은 대학이 각각 0.543, 0.580로 높게 나타났다.

<표 11> 철강화학 분야 연구수행주체별 SCI성과 대비 효율성

수행주체	SCI성과 발생율(%)	양적 효율성	질적 효율성
대기업	51.5%	0.284	0.355
중소/중견	23.6%	0.213	0.310
출연연구소	48.0%	0.164	0.325
대학	45.2%	0.543	0.580
기타	36.6%	0.149	0.314
전체	36.9%	0.271	0.377

섬유세라믹 분야는 1,054억 원이 투자되었으나, 304억 원(28.9%)에 대해서만 성과가 발생하였으며, 연구수행주체별로 성과 발생 과제 비중은 중소/중견기업이 36.0%로 가장 높았다.

<표 12> 섬유세라믹 분야 연구수행주체별 정출금 비중

수행주체	투자		분석대상과제	
	정출금 (백만원)	비중 (%)	정출금 (백만원)	비중 (%)
대기업	5749	5.5%	1455	4.8%
중소/중견	57746	54.8%	10944	36.0%
출연연구소	7324	6.9%	2294	7.5%
대학	23853	22.6%	11238	36.9%
기타	10759	10.2%	4500	14.8%
합계	105431	100.0%	30431	100.0%

섬유세라믹 분야의 연구수행주체별 정부출연금 대비 성과발생과제 정부출연금 비중은 대학이 47.1%로 가장 높게 나타났으나, 양적 효율성 및 질적 효율성은 출연연구소가 각각 0.286, 0.339로 높게 나타났다.

<표 13> 섬유세라믹 분야 연구수행주체별 SCI성과 대비 효율성

수행주체	SCI성과 발생율(%)	양적 효율성	질적 효율성
대기업	25.3%	0.077	0.123
중소/중견	19.0%	0.120	0.302
출연연구소	31.3%	0.286	0.339
대학	47.1%	0.237	0.286
기타	41.8%	0.150	0.236
전체	28.9%	0.174	0.257

철강화학 분야는 연구개발단계별로 성과 발생 과제 비중은 개발연구가 59.6%로 가장 높았다.

<표 14> 철강화학 분야 연구개발단계별 투자액 비중

수행주체	투자		분석대상과제	
	정출금 (백만원)	비중 (%)	정출금 (백만원)	비중 (%)
기초연구	23797	8.4%	12137	11.6%
응용연구	66234	23.3%	30225	28.8%
개발연구	194289	68.3%	62453	59.6%
전체	284320	100.0%	104815	100.0%

철강화학 분야의 연구개발단계별 정부출연금 대비 성과발생과제 정부출연금 비중은 기초연구가 51.0%로 가장 높게 나타났으며, 양적 효율성 및 질적 효율성은 기초연구가 각각 0.414, 0.449로 높게 나타났다.

<표 15> 철강화학 분야 연구개발단계별 SCI성과 대비 효율성

수행주체	SCI성과 발생율(%)	양적 효율성	질적 효율성
기초연구	51.0%	0.414	0.449
응용연구	45.6%	0.228	0.269
개발연구	32.1%	0.234	0.361
전체	36.9%	0.292	0.360

섬유세라믹 분야는 연구개발단계별로 성과 발생 과제 비중은 개발연구가 51.9%로 가장 높았다.

<표 16> 섬유세라믹 분야 연구수행주체별 투자액 비중

수행주체	투자		분석대상과제	
	정출금 (백만원)	비중 (%)	정출금 (백만원)	비중 (%)
기초연구	22091	21.0%	5600	18.4%
응용연구	23416	22.2%	9034	29.7%
개발연구	59924	56.8%	15797	51.9%
전체	105431	100.0%	30431	100.0%

섬유세라믹 분야의 연구개발단계별 정부출연금 대비 성과발생과제 정부출연금 비중은 응용연구가 38.6%로 가장 높게 나타났으나, 양적 효율성은 개발연구, 질적 효율성은 기초연구가 각각 0.224, 0.293로 높게 나타났다.

<표 17> 섬유세라믹 분야 연구개발단계별 SCI성과 대비 효율성

수행주체	SCI성과 발생율(%)	양적 효율성	질적 효율성
기초연구	25.3%	0.102	0.293
응용연구	38.6%	0.137	0.245
개발연구	26.4%	0.224	0.291
전체	28.9%	0.154	0.276

4.2. 동태적 효율성 분석

산업소재 분야의 양적 효율성의 경우, 표준편차는 섬유세라믹 분야가 0.019로 안정적으로 나타났으며, 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값은 철강화학 분야가 0.015로 안정적인 것으로 나타났다. 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이는 섬유세라믹 분야가 0.133로 나타나 5년 동안 효율성 변화가 상대적으로 적었다는 것을 시사한다. 질적 효율성의 경우, 표준편차는 섬유세라믹 분야가 0.041로 안정적으로 나타났으며, 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값 또한 섬유세라믹 분야가 0.178로 안정적인 것으로 나타났다. 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이는 철강화학 분야가 0.321로 나타나 5년 동안 효율성 변화가 상대적으로 적었다는 것을 시사한다.

<표 18> 산업소재 분야별 동태적 분석

구분	산업소재	2012 ~2014	2013 ~2015	2014 ~2016	SD	LDY*	LDP**
양적 효율성	철강화학	0.910	0.909	0.990	0.038	0.015	0.271
	섬유세라믹	1.000	0.965	0.956	0.019	0.133	0.133
질적 효율성	철강화학	0.954	0.769	0.758	0.090	0.203	0.321
	섬유세라믹	0.877	0.818	0.779	0.041	0.178	0.546

* LDY : 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값

** LDP : 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이

연구수행주체의 양적 효율성의 경우, 표준편차는 출연연구소가 0.028로 안정적으로 나타났으며, 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값은 대기업이 0.037로 안정적인 것으로 나타났다. 전체기간 효율성 값의

최댓값과 최솟값의 차이는 출연연구소가 0.382으로 나타나 5년 동안 효율성 변화가 상대적으로 적었다는 것을 시사한다. 질적 효율성은 표준편차는 대학이 0.000로 안정적으로 나타났으며, 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값도 대학이 0.043로 안정적인 것으로 나타났다. 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이는 중소/중견기업이 0.404로 나타나 5년 동안 효율성 변화가 상대적으로 적었다는 것을 시사한다.

<표 19> 연구수행주체별 동태적 분석

구분	연구개발 단계	2012 ~2014	2013 ~2015	2014 ~2016	SD	LDY*	LDP**
양적 효율성	대기업	0.897	0.768	0.661	0.096	0.037	0.578
	중소/중견	0.444	0.505	0.732	0.124	0.103	0.702
	출연연	0.721	0.778	0.783	0.028	0.091	0.382
	대학	0.899	0.745	0.925	0.080	0.284	0.573
	기타	0.926	0.601	0.635	0.146	0.386	0.469
질적 효율성	대기업	0.528	0.601	0.727	0.082	0.057	0.430
	중소/중견	0.505	0.641	0.617	0.059	0.084	0.404
	출연연	0.661	0.839	0.751	0.073	0.075	0.473
	대학	0.743	0.742	0.742	0.000	0.043	0.564
	기타	0.852	0.805	0.650	0.086	0.053	0.560

* LDY : 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값

** LDP : 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이

연구개발단계의 양적 효율성의 경우, 표준편차는 기초연구가 0.000로 안정적으로 나타났으며, 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값도 기초연구가 0.000으로 안정적인 것으로 나타났다. 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이 또한 기초연구가 0.000으로 나타나 5년 동안 효율성 변화가 상대적으로 적었다는 것을 시사한다. 질적 효율성의 경우, 표준편차는 기초연구가 0.012로 안정적으로 나타났으며, 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값은 개발연구가 0.127로 안정적인 것으로 나타났다. 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이는 개발연구가 0.187로 나타나 5년 동안 효율성 변화가 상대적으로 적었다는 것을 시사한다.

<표 20> 연구개발단계별 동태적 분석

구분	연구개발 단계	2012 ~2014	2013 ~2015	2014 ~2016	SD	LDY*	LDP**
양적 효율성	기초연구	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000
	응용연구	0.593	0.665	0.706	0.047	0.001	0.629
	개발연구	0.947	1.000	0.934	0.028	0.135	0.135
질적 효율성	기초연구	0.874	0.883	0.904	0.012	0.377	0.377
	응용연구	0.783	0.657	0.558	0.092	0.165	0.462
	개발연구	0.712	0.638	0.669	0.030	0.127	0.187

* LDY : 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값

** LDP : 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이

V. 결론

본 연구에서는 국가연구개발사업의 정태적·동태적 효율성 분석을 위해 DEA 모형과 DEA/Window 모형을 활용하였다. 정태적 효율성 분석에서는 동 사업의 양적 효율성과 질적 효율성은 어떠한 차이가 있는지, 과제 특성에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있는지 살펴보았다. 동태적 효율성 분석에서는 양적 효율성과 질적 효율성은 시계열적으로 안정적인지를 산업소재 분야별, 연구수행주체별, 연구개발단계별로 분석하였다.

정태적 효율성 분석 결과, 분석대상 사업은 양적·질적 효율성 모두 철강화학 분야, 대학, 개발연구에서 높은 것으로 나타났다. 철강화학 분야의 경우, 양적·질적 효율성 모두 대학, 기초연구에서 높은 것으로 나타났으며, 섬유세라믹 분야의 경우, 양적 효율성은 출연연구소, 개발연구, 질적 효율성은 출연연구소, 기초연구에서 높게 나타났다. 정부출연금 대비 성과 발생 비중을 살펴보면, 철강화학 분야가 섬유세라믹 분야에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 정부출연금 대비 성과 발생 비중과 효율성을 살펴보면, 철강화학 분야의 정부출연금 대비 성과 발생 비중은 연구수행주체별로는 대기업이 높게 나타난 반면, 양적·질적 효율성은 대학이 높은 것으로 나타났다. 연구

개발단계별로는 정부출연금 대비 성과 발생 비중, 양적·질적 효율성 모두 기초연구가 높은 것으로 나타났다. 섬유세라믹 분야는 연구수행주체별로는 대학이 높게 나타난 반면, 양적·질적 효율성은 출연연구소가 높게 나타났다. 연구개발단계별로는 응용연구가 높게 나타난 반면, 양적 효율성은 개발연구, 질적 효율성은 기초연구가 높은 것으로 나타났다.

동태적 효율성 분석 결과, 산업소재 분야별로 양적 효율성의 경우 표준편차는 섬유세라믹 분야, 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값은 철강화학, 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이는 섬유세라믹 분야가 낮게 나타났으며, 질적 효율성은 각각 섬유세라믹 분야, 섬유세라믹 분야, 철강화학 분야가 낮게 나타났다. 연구수행주체별로 양적 효율성에서 표준편차는 출연연구소, 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값은 대기업, 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이는 출연연구소가 낮게 나타났으며, 질적 효율성은 각각 대학, 대학, 중소/중견기업이 낮게 나타났다. 연구개발단계별로 양적 효율성에서 표준편차, 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값, 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이 모두 기초연구가 낮게 나타났으며, 질적 효율성은 각각 기초연구, 개발연구, 개발연구가 낮게 나타났다.

본 연구에서 윈도우 폭을 3년, 윈도우 수를 3개, 윈도우 기간을 5년으로 설정한 것으로 볼 때, 동일 연도 효율성 값 차이 중 최댓값은 단기, 표준편차는 중기, 전체기간 효율성 값의 최댓값과 최솟값의 차이는 장기로 해석할 수 있다. 산업소재 분야별로 양적 효율성은 단기적으로 철강화학 분야, 장기적으로 섬유세라믹 분야가 안정적인 것으로 해석할 수 있으며, 질적 효율성은 단기적으로 섬유세라믹 분야, 장기적으로 철강화학 분야가 안정적인 것으로 해석할 수 있다. 연구수행주체별로 양적 효율성은 단기적으로 대기업, 장기적으로 출연연구소가 안정적인 것으로 해석할 수 있으며, 질적 효율성은 단기적으로 대기업,

장기적으로 중소/중견기업이 안정적인 것으로 해석할 수 있다. 연구개발단계별로 양적 효율성은 단기·장기 모두 기초연구, 단기·장기 모두 개발연구가 안정적인 것으로 해석할 수 있다.

분석 결과를 종합적으로 살펴보면, 철강화학 분야 중소/중견기업의 경우, 성과 발생률이 가장 낮게 나타났으나, 전체 사업 기준으로 중소/중견기업의 양적·질적 효율성이 증가하는 것을 볼 때 투자가 가능할 것으로 판단할 수 있다. 철강화학 분야 개발연구의 경우, 성과 발생률이 가장 낮게 나타났으나, 전체 사업 기준으로 개발연구의 양적 효율성이 감소하는 것을 볼 때 투자 여부에 대해 재검토가 필요할 것 판단할 수 있다. 다만, 철강화학 분야의 양적 효율성은 단기적으로 안정적이며, 질적 효율성은 장기적으로 안정적인 것으로 분석된 것으로 보아, 효율성을 제고를 위해서는 단순히 효율성의 시계열적인 변화에 따라 투자 여부를 판단하기 보다는, 양적·질적 효율성 특성뿐만 아니라 효율성의 시계열적인 안정성을 함께 고려하여 투자 여부를 판단해야 함을 시사한다.

본 연구는 우리나라의 주력산업의 기초가 되는 철강, 화학, 섬유, 세라믹 등 산업소재 R&D의 양적 효율성과 질적 효율성을 비교 분석을 시도했다는 의의가 있다. 또한, 효율성 제고를 위한 분석 결과를 제시하기 위해 양적·질적 효율성 모형을 제시하고, 정태적·동태적 분석을 시도했다는 것에 의의가 있다. 다만, 다음과 같은 한계점을 갖는다. 본 연구의 분석 대상은 산업소재 분야 R&D로 우리나라의 국가연구개발사업을 대표한다고 볼 수 없다. 또한, 본 연구 결과에는 연구수행주체, 연구개발단계별 과제의 특성이 반영되었을 가능성이 존재한다. 예를 들어 대학과 기초연구의 양적·질적 효율성이 높게 나타난 것은 대학이라는 연구수행주체의 특성과 기초연구라는 연구개발단계별 특성 상 산출변수인 SCI논문 성과를 산출하기 용이할 가능성이 있기 때문이다. 따라서 향후 연구에서는 산출변수를 SCI논문으로 한정하기 보다

는 기술적 성과인 특허, 사업화 성과인 매출액 등으로 확장하여 연구를 추진한다면 보다 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 이형진, “국방핵심기술 연구개발사업의 효율성 분석에 관한 연구,” 한국방위산업진흥회 논문지, 국방과 기술, 제448권, 2016.
- [2] 신동근·황찬규, “국가품질상 모델을 적용한 ICT 산업의 인과 관계 분석 연구,” 디지털산업정보학회 논문지, 제14권, 제1호, 2018.3.
- [3] 과학기술정보통신부, 제4차 과학기술기본계획 (2018~2022), 2018.2.
- [4] KISTEP, 2016년 연구개발활동조사보고서, 2018.01.
- [5] KISTEP, 2017년 국가연구개발사업 조사분석 보고서, 2018.8
- [6] KISTEP, 우리나라 과학기술논문(SCI) 발표 현황, KISTEP 통계브리프, 제25호, 2017.
- [7] 이영규·이찬섭, “지역정보화기본계획 수립방향에 대한 연구,” 디지털산업정보학회 논문지, 제1권, 제2호, 2005.9.
- [8] 최지영·강근복, “국가연구개발사업의 기술적 성과창출 영향요인에 관한 연구,” 기술혁신학회지, 제19권, 제1호, 2016.3.
- [9] 김경수·조남욱, “국가연구개발사업의 질적 효율성 분석에 관한 사례연구: 농림축산 분야를 중심으로,” 디지털산업정보학회 논문지, 제14권, 제3호, 2018.9.
- [10] 이성희·이학연, “정부출연연구기관의 산학연 공동연구 성과 평가,” 대한산업공학회지, 제43권, 제3호, 2017.6.

- [11] 박만희, 효율성과 생산성 분석, 한국학술정보, 2008.08.30.
- [12] 홍경효·김자희·김우제, "IT 투자의 우선순위 결정을 위한 평가 기준 연구," 한국IT서비스학회 2009년도 추계학술대회 논문집.
- [13] 이형석·김기석, "DEA 모형을 이용한 우리나라 해운업체의 정태적·동태적 효율성 분석," 대한경영학회지, 제19권, 제4호, 2006.8.
- [14] 김창범, "우리나라 은행산업의 효율성 결정요인과 금융정책, 산업경제연구," 제25권, 제1호, 2012.2.
- [15] 이성희·김태수·이학연, "DEA 윈도우 분석을 이용한 정부출연연구기관의 연구개발 사업화 동태적 효율성 분석," 경영과학, 제32권, 제4호, 2015.12.
- [16] 문경주, "공공기관의 동태적 효율성과 정태적 효율성 평가: 부산광역시 21개 공공도서관을 중심으로," 한국사회와 행정연구 제20권, 제2호, 2009.2.
- [17] 임병학·홍한국·임광혁, "DEA/Window 분석을 통한 지방 자치단체의 시대별 효율성 변화에 관한 연구," 한국콘텐츠학회논문지, 제9권, 제7호, 2009.7.
- [18] 김성식·박정로·김재준·오중근, "DEA/Window 모형을 이용한 국내 대형 건축사사무소의 효율성 분석," 대한건축학회 논문집 - 구조계, 제28권, 제9호, 2012.9.

■ 저자소개 ■



김 경 수
(Kim Kyungsoo)

2017년 3월~현재
서울과학기술대학교
산업정보시스템공학과 (박사과정)
2015년 2월 서울과학기술대학교
정보산업공학과 (석사)
2010년 2월 명지대학교 경영학과 (학사)
관심분야 : 효율성분석, 사회연결망분석
E-mail : ks@seoultech.ac.kr



조 남 옥
(Cho Namwook)

2004년 3월~현재
서울과학기술대학교
글로벌융합산업공학과 교수
2001년 5월 Purdue대학교 산업공학과 (박사)
1996년 2월 서울대학교 산업공학과 (석사)
1994년 2월 서울대학교 산업공학과 (학사)
관심분야 : 사회연결망분석, 비즈니스
프로세스 관리
E-mail : nwcho@seoultech.ac.kr

논문접수일 : 2019년 01월 14일
수 정 일 : 2019년 02월 08일
계재확정일 : 2019년 02월 15일