철도연구개발 효율성분석

The analysis of efficiency for the railway R&D

박만수* 이희성** 문대섭***

Park Man Soo Lee Hi Sung Moon Dae Seop

ABSTRACT

Each nation of the world is competing aiming for the growth of economy and quality of life, and, knowledge based economic system is accelerated. So, R&D is continuously propelled for possesion of technology is core in the knowledge based economic system. Our government is investing R&D but efficiency is the continuous theme of the study. Also, government's railway R&D made visible fruits and analyze that.

---

1. 서론

세계 각국은 경제성장과 삶의 질 향상을 목표로 치열한 경쟁하고 있으며 각국은 지식기반경제체제가 가속되고 있다. 따라서 지식기반경제체제의 핵심인 기술을 확보하기 위해서 연구개발을 지속적으로 추진하고 있다. 우리 정부도 각 분야에 연구개발투자를 하고 있으나 여기에 대한 효율성에 대해서는 계속적으로 연구과제가 되고 있다. 철도부문에서도 정부주도의 연구개발을 추진하여 가시적인 성과를 이루고 있으며 이에 대한 효율성을 분석하고자 한다.

---

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 철도학회정회원
서울산업대학교철도전문대학원 박사과정
E-mail : parkms627@hanmail.net
TEL : (031)460-5574 FAX : (031)460-5509

** 서울산업대학교 철도전문대학원 교수, 철도학회정회원
E-mail : hslee@snut.ac.kr
TEL : (02)970-6877

*** 한국철도기술연구원 책임연구원, 철도학회정회원
E-mail : dsmoon@krri.re.kr
TEL : (031)460-5460 FAX (031)460-5499

2. 연구목적

우리나라는 실물자본에 대한 투자를 증대시킴으로써 높은 경제성장을 달성한 대표적인 나라로 평가되고 있다. Krugman(1994)은 동아시아의 성장에 대해 자본과 노동의 요소투입에 의해 성장했으며 이러한 성장에는 한계가 있다는 주장을 하고 Lau(1996)는 '자본집약도가 어느 수준에 이른 후에는 주어진 토지와 천연자원, 완만하게 증가하는 노동 투입 하에서 물적 자본의 한계생산성이 체감하는 것은 불가피하다. 이럴 때에는 무형자본에 대한 필요성이 유형자본에 비해 상대적으로 증가하게 된다. 이런 경향은 무형 및 유형자본간의 보완관계 때문에 더욱 증가하게 된다. 따라서 기술진보는 경제가 개도국에서 선진국으로 진보함에 따라 그 중요성이 점차 증가하게 된다. 경제성장의 초기단계에서는 물적 자본축적이 가장 중요한 경제성장의 근원이 되지만 충분한 자본축적이 이루어진 후에는 기술변화가 보다 중요한 역할을 한다'는 주장한다.

신성장이론가인 Romer(1986, 1990)에 의하면 일국의 경제는 연구개발 부문, 중간재 부문 및 최종재 부문 등 세 부문으로 이루어진다고 가정한다. 연구개발부문은 인적자본과 기존 지식스톡을 이용하여 새로운 지식을 생산한다고 생각하며, 연구개발에는 수확체증의 경향이 보인다고 주장한다.

우리경제는 그 동안 노동, 자본 등 요소 투입의 양적 확대를 통하여 고도성장을 추구하여 왔으나 이러한 성장전략은 이제 기술혁신과 시스템의 혁신없이는 한계에 봉착할 수밖에 없게 되었다. 더욱이 저출산, 고령화가 급속하게 진전되면서 노동공급 증가율도 둔화되고 있다. 따라서 1980년 이후 경제의 구조적 전환이 불가피해지고 고부가가치 제품 및 첨단산업으로 산업구조 전환이 요구되면서 연구개발투자의 중요성이 강조되고 있다.

이에 정부에서는 그동안 연구개발투자를 지속적으로 증가시켜 2006년도 정부와 민간부문을 합한 국가 총 R&D 투자는 27조 3457억원으로 국내총생산(GDP) 대비 3.23%로 2005년도 OECD 평균2.26%보다 높지만 규모면에서는 2006년도 미국 3,300억$, 일본 1,300억$, 중국 1,360억$에는 크게 작다. 그러나 새 정부에서는 2012년까지 연구개발투자를 GDP 대비 5%까지 높이겠다는 계획이지만 연구개발투자 규모를 선진국 수준으로 끌어 올리는 데는 한계가 있다.

따라서 한정된 재원을 어떻게 효율적으로 사용할 것인지가 중요한 정책적 관심사로 부각되고 있어 연구개발투자에 있어서 효율성, 즉 투입대비 성과에 대한 관심이 높아지고 있다. 전체적인 국가연구개발 투자에 대한 여러 효율성연구[1)]가 있었으나 개별산업에 대한 분석은 없었으며 이에 철도연구개발에 대한 효율성을 분석하고자 한다.

---

1)조윤애외(혁신역량강화를 위한 연구개발투자의 효율성제고 방안,2005)
이장재외(정부 연구개발투자 효율화방안 연구,2004)
김인철외(연구개발투자의 효율성 분석,2003)

3. 연구방향

3-1 연구개발의 효율성 개념

효율성이란 최소의 노력과 시간으로 최대의 산출을 추구하는 측정의개념을 가리킨다. 효율성 접근방법은 균질적인 조건을 가진 산출물을 관리하는 생산관리 등에서 정확히 적용될 수 있으나 질적인 차원이 고려되는 산출물의 경우는 제한적이라는 한계를 갖는다. 따라서 효율성 접근방법은 산출물의 질적 차원을 적절히 반영하지 못하는 동시에 측정에서의 타당성(Validity)과 신뢰성(Reliability)을 결여하기 쉽다는 한계를 가진다. 경우에 따라 효율성 접근방법은 실제로 연구개발 특히 공공연구개발이 추구하고 있는 궁극적인 목표나 성과와 반대되는 결과를 초래할 수도 있다.

이러한 효율성 측면에서 연구개발을 측정하는 문제를 보완하기 위한 타협적 대안으로 나타난 것이 효율성과 효과성의 관점을 함께 사용하는 생산성 개념이다. 생산성이란 자원을 최소로 사용하여 최고의성과를 달성하는 것뿐만 아니라 일련의 결과에 도달하기 위해 자원이 조직 내에 얼마만큼 잘 유입되고 사용되었느냐를 측정하는 척도라는 주장이다(Paul, 1978) 따라서 최고의 성과를 달성한다는 의미에서 계획된 목표나 임무 또는 필요한 가치를 달성하고자 하는 효과성(Effectiveness)을 반영하며, 또한 자원의 유입과 사용의 정도를 나타내는 과정을 중시하는 측면에서 효율성(Efficiency)을 내포하고 있다. 이러한 주장에 따르면 생산성지수는 다음과 같이 나타난다.

생산성 = 산출(Output obtained)/투입(Input expended)
= 성과(Performance achieved)/투입자원(Resources consumed)
= 효과성(Effectiveness)/효율성(Efficiency)

3-2 투입요소

투입요소(input factor)는 연구개발 활동을 위해 사용되는 요소를 의미하며, 양적 질적인 연구비(fund), 연구인력(manpower), 시설(facility), 시간(man-hour, month), 정보(information) 등이 여기에 포함된다. 투입요소는 정량화가 비교적 쉽고 명확한 정의가 가능하므로 산출요소에 비해 상대적으로 요소의 확인과 측정이 용이하다. 그러나 이는 효율성과 관련한 투입요소의 측정에 문제가 없다는 것을 의미하는 것은 아니다(Falk, 1982). 투입요소의 양적, 질적 측면, 세부정보의 부족 그리고 측정이 불가능한 투입요소로 인해 문제점이 지적되고 있다.

3-3 산출요소

산출요소(output factor)는 투입요소들 간의 상호작용에 의해 나타난 산출물의 총체를 의미한다. 산출요소는 투입요소의 상호작용의 결과물이라는 인과적 관계가 우선적으로 요구된다. 이러한 인과관계가 효율성 개념에서 산출요소의 조건으로 요구되는 중요한 사항이다. 주요지표로는 새로운 지식, 기술보고서, 논문발표, 인용분석, 특허, 신제품과 신공정, 기술이전, 상업적 이익, 고객만족도 등 다양한 지표가 개발되어 있다(이장재,2004). 그럼에도 불구하고 산출요소는 투입요소에 비해 지표의 확인 및 측정을 위한 보편적이고 만족스러운 방법이 결여되어 있으며 산출지표

의 활용 및 해석에는 많은 한계가 있는 것으로 평가되고 있다.

3-4 연구방향

세계 각국은 심화되는 국제경쟁과 세계화 속에서 기술의 개발과 혁신을 위한 노력에 국가의 역량을 집중시키고 있다. 특히 기술개발과 관련하여 핵심적인 역할을 하는 연구개발투자의 경우 각국 정부는 민간부문과 공공부문의 연구개발투자를 확대하고, 다양한 제도와 정책의 수립을 통해 연구개발의 효율성과 질적 향상을 도모하고 있다.

그럼에도 불구하고, 연구개발투자는 그 성과와 효율성 면에서 국가마다 큰 차이를 보이고 있다. 세계지식재산권기수(WIPO)의 국제특허출원 건수에 의해 측정된 연구개발성과를 보면, 미국은 2003년 현재 자국민이 국제특허출원의 첫째 번 출원자로서 특허를 출원한경우가 4만 1,065건에 달하는 반면 우리나라는 2,950건에 불과한 것으로 나타나 미국과의 차이가 14배에 달하는 것으로 나타나고 있다.

이러한 연구개발성과 차이의 1차적인 원인은 무엇보다도 미국과 우리나라의 연구개발 지출규모와 연구개발 인력 등 투입요소 규모의 차이에 있다.2003년 미국의 연구개발비는 2,845억$이고 우리나라는 160억$로 미국의 17분의 1이며, 연구인력의 수는 미국의 경우 1999년에 126만명을 초과한 반면, 한국은 2003년에 약 15만 명에 불과한 수준이다.

이러한 투입요소 규모의 차이에 따른 연구개발성과의 차이에도 불구하고 선진국들과 비교하여 얼마나 효율적으로 이루어지고 있느냐이다. 하준경(2004)은 우리나라의 연구개발투자 집중도가 OECD국가들 중 상위권에 속하고 있지만 생산성 증가율의 연구개발 탄력성은 0.264로 미국의 5.460에 비해 낮은 것으로 나타나 연구개발투자의 생산성 향상에 대한 기여가 선진국 수준에 미흡하다고 주장하고 있다.

본 연구에서는 산출요소 중 OECD평균의 특허 출원함수를 적용하여 추정 특허건수를 산출하고 실제건수와 비교하여 분석한다.

4.철도연구개발투자의 효율성 분석

4-1 연구개발투자 효율성 분석방법

1) 회귀분석 모형

조윤애외(2005)는 OECD 국가의 연구개발투자 효율성을 분석하기 위한 모형으로 OLS(ordinary least square) 모형을 이용하여 연구개발투자의 집중도, 정부의 연구개발투자 비중, 연구 인력의 집중도, 자본시장의 발달 정도, 산·학·연 기술협동 정도, 기술의 응용개발 정도, 특허권의 보장 정도 등을 나타내는 변수들과 회귀분석을 한 실증분석모형은 다음과 같다.

특허출원함수 : $\ln(wipo) = \alpha + \beta_1 \ln(gerd) + \beta_2 \ln(totres) + U$

효율성함수 : $U = \gamma + \delta_1 \ln(res1000) + \delta_2 pgerd + \delta_3 pggerd + \delta_4 pbgerd + \delta_5 collaboration + \delta_6 application + \delta_7 pprotection + \delta_8 vcapital + W$

ln(wipo)는 연구개발의 성과를 나타내는 변수로서 각국의 연구개발 국제특허출원 건수를 나타낸다. gerd는 각국의 총연구개발지출규모(gross expenditure on R&D), totres는 정규직 연구인력 수, res1000은 인구 천명당 연구원 수, pgerd는 총연구개발 지출이 GDP에서 차지하는 비중, pggerd는 연구개발 지출에서 정부지출이 차지하는 비중, pbgerd는 연구개발 지출에서 민간기업 지출이 차지하는 비중, collaboration은 산·학 기술이전이 쉽게 이루어지는 정도(10점 만점), application은 기술개발과 응용이 법적환경에 의해 지원되는 정도(10점 만점), pprotection은 특허 및 저작권의 보호가 법에 의해 적절하게 이루어지는 정도(10점 만점), vcapital은 벤처자본이 사업개발에 쉽게 활용되는 정도(10점 만점), U는 추정치와 실제값 간의 차이를 나타내는 각국의 연구개발 효율성 정도를 나타내는 오차항이며 이를 각국의 성과차이(효율성차이)를 설명할 것으로 예상되는 설명변수들과 회귀분석을 시행하였다.

본 연구에서는 조윤애외(2005)에서 적용한 특허 출원함수와 효율성함수를 사용하고 gerd(총연구개발비)는 과제별 정부투자액, totress(연구원수)는 과제별 참여 연구원의 인원을 적용하였으며 민간 부담분은 현물부담분이 대부분이고 실제 연구내용이 제품설계와 제작으로 특허 등 지식재산권과 논문 등은 거의 영향이 없으므로 제외하였다. U(효율성)는 우리나라 평균값으로 조윤애외(2005)에서 분석한 값을 사용한다.

특허출원함수에 대한 회귀분석 결과는 표1과 같다.

표1 특허출원함수에 대한 회귀분석 결과

lnwipo(피설명변수)	coefficient(Std. Err.)
lngerd(총연구비지출,β_1)	1.608(0.301) *
lntotres(총연구원수,β_2)	1.167(0.097) *
상수항(α)	-6.127(1.103) *
조정결정계수(Adj. R-squared)	0.926
표본수	85
1차 자기상관계수(ρ)	0.923

주1. * 유의수준 1%를 의미함

자료 : 조윤애외(2005,혁신역량강화를 위한 연구개발투자의 효율성 제고방안

OECD 15개 국가의 연구개발효율성 지표는 표2와 같다.

표2 OECD 15개 국가의 연구개발효율성 지표(U,1995 ~ 2001년 평균)

국가	지표	국가	지표	국가	지표
터키	-1.47	스페인	-0.14	영국	0.35
한국	-1.00	벨기에	-0.07	독일	0.58
이탈리아	-0.54	오스트리아	0.01	헝가리	0.78
일본	-0.33	캐나다	0.03	네덜란드	0.89
프랑스	-0.15	미국	0.04	핀란드	1.30

자료 : 조윤애외(2005,혁신역량강화를 위한 연구개발투자의 효율성 제고방안

2) 우리나라 전체 평균과의 비교

이장재외(2004,정부연구개발 투자 효율화 방안 연구)는 우리나라 정부연구개발투자 1억원당 특허 및 논문수를 분석하였다. 철도연구개발은 공공기술에 해당되므로 본 연구에서도 같은 방법으로 분석하여 우리나라 공공기술 평균과 비교한다.

표3 정부연구개발 투자 1억원당 성과 비율

분야		정부투자금액 (억원)	특허		논문	
			출원	등록	국내	국외
원천 공공 복지기술	원천기술	8,604	0.05	0.01	0.88	0.71
	공공기술	17,141	0.10	0.05	0.58	0.25
	복지기술	5,496	0.16	0.05	0.48	0.27
	합계	31,241	0.10	0.04	0.64	0.38
※ 2000년부터 2003년 4개년 정부투자금액 대비 성과 건수로 나눠 비율을 구함						

자료 : 이장재외(2004,정부연구개발 투자 효율화 방안 연구)

4-2 철도연구개발투자 및 참여연구원 현황

정부의 철도연구개발 투자는 1995년부터 시작하여 지속적으로 증가해 왔으며 투자금액 및 참여 연구원은 표 4와 같다.

표4 철도연구개발 투자금액 및 참여연구원

과제	기간	참여 연구원(명)	투자금액		평균환율(원/$)
			(억원)	(백만$)	
도시철도 표준화연구개발사업	'95 ~'05	98	543	49	1,104
경량전철 기술개발사업	'99 ~ '05	80	370	31	1,175
철도기술 연구개발사업	'01 ~ '06	65	400	35	1,143
고속철도 연구개발사업	'02 ~ '06	64	381	34	1,113

4-3 연구개발 성과 효율성 추정 결과

1) 회귀분석 모형 및 우리나라 전체 평균함수에 의한 추정결과

회귀분석 모형에 의한 추정은 회귀분석 모형 식에 의하고 우리나라 전체 평균함수에 의한 추정식은 다음과 같다.

특허 또는 논문 수 = 투자금액 ×공공기술 1억원당 성과비율

회귀분석 모형 및 우리나라 전체 평균함수에 의한 추정결과는 표 5과 같다.

표5 특허 추정결과

과제	회귀분석 모형에 의한 추정	우리나라 전체 평균함수에 의한 추정			
		특허		논문	
	특허	출원	등록	국내	국외
도시철도 표준화연구개발사업	88	54	27	315	136
경량전철 기술개발사업	33	37	19	215	93
철도기술 연구개발사업	32	40	20	232	100
고속철도 연구개발사업	30	38	19	221	95

4-4 철도연구개발 성과

정부의 철도연구개발 투자 결과 과학 기술적 성과는 표6과 같으며 경제적 성과는 대표적으로 VVVF 전동차, 고속전철, 경량전철 등이 상용화가 되었거나 현재 상용 제작 및 시험 중에 있다.

표 6 철도연구개발 성과

과제	지식재산권(건) ※괄호안은 출원건수임						논문게제(건)			
	특허	실용신안	디자인	프로그램	신기술 기타	계	국내	국외		계
								SCI	비SCI	
도시철도 표준화연구개발사업	47 (69)	7	4	264	-	322	100	3	21	124
경량전철 기술개발사업	36 (41)	5	5	19	2	67	165	2	15	182
철도기술 연구개발사업	40 (79)		4	39	4	87	197	9	2	208
고속철도 연구개발사업	44 (48)	1		42		87	162	8	8	178

자료 : 건설교통연구개발 성과 총람(2005)

5.철도연구개발 효율성 분석 및 결론

철도연구개발 성과 효율성 추정 결과(표5)와 실제 성과(표6)와 비교하면

1) 도시철도 표준화 연구개발사업은 특허의 경우 실제 성과(69건)는 회귀분석 모형(88건)과 비교해서는 약간 낮지만 우리나라 전체 평균함수에 의한 추정(54건)에 비해서는 높고, 논문의 경우 국내외의 전부 실적이 저조하였다. 이것은 장기간의 연구와 철도연구개발의 처음 시작으로 인한 것으로 추정된다.

2) 경량전철 기술개발사업은 특허의 경우 회귀분석 모형(33건) 및 우리나라 전체 평균함수에 의한 추정(37건)과 비교해서 실제 성과(41건)가 우수하며, 논문의 경우 국내의 경우 약간 낮았으며 국외의 경우 저조하였으나 본 사업의 특성상 추격형 연구개발의 성격으로 국외 논문은 낮은 것으로 추정된다.

3) 철도기술 연구개발사업은 특허와 논문 모두 회귀분석 모형(32건) 및 우리나라 전체 평균함수에 의한 추정(40건)과 비교해서 실제 성과(79건)가 우수하며 이것은 틸팅열차 개발 시 독자적인 기술개발로 인하여 실적이 우수한 것으로 추정된다.

4) 고속철도 연구개발사업은 특허의 경우 회귀분석 모형(30건) 및 우리나라 전체 평균함수에 의한 추정(38건)과 비교해서 실제 성과(48건)가 우수하며, 논문의 경우 국내의 경우 약간 낮았으며 국외의 경우 저조하였으나 본 사업의 특성상 추격형 연구개발의 성격으로 국외 논문은 낮은 것으로 추정된다.

본 연구에서 회귀분석 모형에 의한 추정은 미국의 특허 출원을 분석한 회귀모형을 철도연구개발사업에 적용해서 국내에 출원한 것과 비교한 결과 거의 일치하였으며 우리나라 전체 평균과 비교해서 타 연구와 대등한 수준에 도달되었다는 것을 알 수 있다. 그리고, 상기결과를 보면 철도기술연구개발사업과 같이 추격형 연구개발에서도 독자적인 기술을 어느 정도 확보 하느냐에 따라 과학 기술적 성과가 다르게 나온다는 것을 알 수 있으며 본 분석 방법 외에도 다양한 방법으로 분석이 가능 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 조윤애외(혁신역량강화를 위한 연구개발투자의 효율성제고 방안,2005)
2. 이장재외(정부 연구개발투자 효율화방안 연구,2004)
3.건설교통연구개발 성과 총람(한국건설교통기술평가원,2005)