

신재생에너지 분야 정부 R&D 투자 효율성 분석

백철우[†]

덕성여자대학교 국제통상학과

(2014년 2월 7일 접수, 2014년 8월 11일 수정, 2014년 8월 13일 채택)

Analysis on Efficiency of Government's R&D investment in Renewable Energy

Chulwoo Baek[†]

Department of International Trade, Duksung Women's University

(Received 7 February 2014, Revised 11 August 2014, Accepted 13 August 2014)

요약

정부는 국가연구개발사업을 통해 매년 4,000억원 이상 신재생에너지 분야 R&D에 투자하고 있다. 본 연구는 신재생에너지 분야 정부 R&D 투자의 효율성을 측정하고, 비효율성의 원인을 파악하는데 있다. 이를 위해 2009-2011년 동안 정부가 신재생에너지 분야에 지원한 4,213개 R&D 과제를 대상으로 자료포락분석(DEA)과 통계검증을 실시하였다. 분석결과에 따르면 수소, 바이오, 연료전지, 태양광 등이 다른 신재생에너지에 비해 상대적으로 R&D 효율성이 높게 나타났다. 또한 대학이 기업에 비해 보다 효율적으로 R&D 과제를 수행하였으며, 기업 내에서도 중소기업이 대기업에 비해 R&D 효율성이 높은 것으로 분석되었다. 마지막으로, R&D 비효율성은 과도한 총사업비나 논문실적 저조보다는 주로 국내외 특허실적 저조에 기인한 것으로 확인되었다.

주요어 : 신재생에너지, 국가연구개발사업, 자료포락분석(DEA), R&D 효율성

Abstract - Korean government has been investing more than 400 billion KRW in R&D on renewable energy. This paper aims to measure the R&D efficiency of national R&D program in the field of renewable energy, and to identify the sources of inefficiency. 4,213 R&D projects supported by Korean government during 2009-2011 are analyzed by using Data Envelopment Analysis and statistical tests. Results implies as follows. First, hydrogen, bio, fuel cell, photovoltaic have higher R&D efficiency than other renewable energies. Second, universities conducted national R&D program more efficiently than firms did, and small and medium sized enterprises are more efficient than large sized enterprises. Third, R&D inefficiency is mainly caused by the lacks of patent performance rather than excessive R&D investment or academic paper performance.

Key words : Renewable energy, National R&D program, Data Envelopment Analysis, R&D efficiency

1. 서 론

경제성장 모형이 노동과 자본 투입에 의한 요소투

입형에서 R&D 투자에 근간한 혁신주도형으로 전환됨에 따라 정부는 국가연구개발사업을 통해 과학기술 경쟁력 제고를 도모하고 있다. 정부는 국가연구개발 사업을 통해 민간의 투자를 견인하고 국가의 중장기 산업육성 방향을 제시한다는 점에서 국가연구개발사업의 투자 추이는 많은 시사점을 제공한다.

2007년 8조 7,704억원에 불과했던 국가연구개발사

[†]To whom corresponding should be addressed.
Department of International Trade, Duksung Women's University
33, Samyangro 144-gil, Dobong Gu, Seoul 132-714, Korea
Tel : 02-901-8747 3 E-mail : chulwoo100@duksung.ac.kr

Table 1. Trend of government's R&D investment in renewable energy

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Investment in billion KRW	188.9	257.9	368.8	504.0	531.7	468.8
Ratio to total national R&D investment	2.2%	2.6%	3.3%	4.0%	3.9%	3.2%

Source : Survey and analysis of national R&D programs, each year

업 예산이 2012년 14조 6,795억원으로 연평균 10.9%의 증가율로 지속적으로 증가하였다. Table 1에 제시된 바와 같이 국가연구개발사업 예산 확대 추세에 따라 신재생에너지 부문의 예산도 2007년 1,889억원(2.2%)에서 2010년 5,040억원(4.0%)으로 불과 3년 새 2.7배 가까이 증가하여 신재생에너지 부문 지원에 대한 정부의 강한 의지를 엿볼 수 있었다. 하지만 2011년 이후, 증가세가 주춤하면서 2012년에는 전년대비 예산규모 자체가 감소하였고, 전체 국가연구개발사업 예산대비 비중도 3.2%로 큰 폭으로 하락하였다. 글로벌 금융위기와 셰일가스의 등장으로 인해 전 세계적으로 신재생에너지 산업이 위축되면서 국가연구개발사업에서 신재생에너지가 차지하는 비중 또한 크게 감소하고 있다.

이와 더불어, 최근 복지 부문 예산 증가 및 재정건전화에 대한 요구 등으로 인해 정부의 R&D 투자재원이 한계를 보임에 따라 국가연구개발사업 예산에 대한 압박이 가중되고 있어 신재생에너지 R&D에 대한 정부지원이 예전 수준을 회복할 수 있는지에 대해서 회의적인 시각도 많은 실정이다.

국가연구개발사업의 예산 제약 하에서 신재생에너지 부문 R&D를 지속하기 위해서는 R&D 투자의 R&D 효율성을 제고하는 것이 무엇보다 중요하다. 신재생에너지별, 연구주체별, 부처별 정부 R&D 투자의 효율성 분석은 정부 R&D 투자 효율성 제고를 위한 중요한 기초자료로 활용될 수 있다.

기존 연구는 대부분 신재생에너지 부문의 생산효율성에 주로 초점을 맞추었다(김홍희 외, 2012; Chien and Hu, 2007; Cristóbal, 2011; Madlener et al., 2009). 얼마나 적은 비용으로 많은 에너지를 생산하느냐의 관점에서 효율성을 분석하였기 때문에 R&D 투자는 투입요소의 하나로만 역할을 할 뿐, R&D 자체의 효율성과는 괴리가 존재하였다.

또한 지난 20여 년간 국가/연구소/프로그램 수준에서 정부 R&D 투자 효율성에 대한 연구가 다각도로 수행되었지만, 신재생에너지 분야를 대상으로 한 과제 단위의 정부 R&D 투자 효율성 연구는 극히 미미

한 것으로 파악된다. 이는 2000년 중반 이후에 신재생에너지 산업이 부각되면서, 신재생에너지가 R&D 투자효율성 관련 기존 논의에 포함되지 못한 이유도 일부 있으며, 한편으로는 과제수준에서 신재생에너지 부문의 정부 R&D 투자에 대한 유의미한 데이터가 구축되지 못한 이유도 크게 작용하였다. R&D 투입에 대한 정보는 비교적 신뢰할 만한 정보가 가용하였으나, R&D 산출에 해당하는 특허나 논문실적에 대한 정보가 이전까지 체계적으로 신뢰할 만한 수준으로 축적되지 못하였기 때문이다.

본 연구에서는 국가과학기술위원회가 한국과학기술기획평가원을 통해 매년 조사하는 「국가연구개발사업 조사·분석」 자료를 활용하여 신재생에너지 부문 정부 R&D 투자의 효율성을 분석하고자 한다. 2009-2011년 기간 동안 과제별 특허 및 논문실적까지 추적하여 산출변수화 함으로써 선행연구가 다루지 못했던 연구영역을 시도하고, 정부 R&D 투자의 효율성 제고를 위한 정책적 시사점을 제공하고자 한다.

2. 선행연구

R&D 효율성에 대한 연구가 비교적 활발히 진행되었음에도 불구하고 신재생에너지 부문의 R&D 효율성 연구 관련 선행연구는 현재까지 파악되지 않고 있다. 대신 전통적 에너지원과 마찬가지로 생산의 효율성 측면에서 신재생에너지를 분석한 연구는 일부 확인된다.

국내 연구로는 김홍희 외(2012)가 자료포락분석(DEA, Data envelopment analysis)을 활용하여 2007-2009년 기간의 태양광, 풍력, 연료전지의 생산 효율성을 분석하였다. 투입변수로는 R&D 투자비용, 지원금을, 산출변수로는 특허 수, 공급량, 발전단가 등을 활용하였으며, 분석결과 2007년 풍력의 효율성이 가장 높으며, 태양광은 높은 지원금에 비해 공급량과 특허 수 증가율이 미비하여 효율성이 낮은 것으로 나타났다. 이 연구는 플랜트 단위가 아닌 각 원별 단위의 통합자료(aggregate data)를 사용하여 분석하였다.

해외 연구사례로 Madlener et al.(2009)은 자료포락분석(DEA)과 다기준 의사결정분석(MCDM, Multi-criteria decision analysis) 방법론을 결합하여 오스트리아 41개 바이오가스 플랜트의 경제적, 환경적, 사회적 성과를 분석하였다. 정확한 효율성 수치보다는 경영적 관점의 선호도를 반영하여 플랜트 효율성을 4등급으로 구분하였다.

Cristóbal(2011)도 자료포락분석(DEA)을 변형한 MCDEA(Multiple criteria DEA)을 활용하여 풍력, 수력, 바이오매스의 효율성을 추정하였다.

Chien and Hu(2007)은 2001-2002년간 45개국을 대상으로 신재생에너지 사용이 거시경제적 효율성에 미치는 효과를 자료포락분석과 이차회귀를 통해 분석한 결과, 신재생에너지의 활용이 거시경제적 효율성을 제고시킴을 확인하였고, 거시경제적 효율성 제고를 위해 총에너지 소비는 감소키면서 전통적인 에너지를 신재생에너지로 대체할 것을 제안하고 있다.

신재생에너지에 국한되지 않은 일반적인 생산효율성 분석 관련 선행연구는 주로 자료포락분석(DEA), 확률경계분석(SFA), 회귀분석 방법론 등을 다양하게 활용하고 있다. 하지만, R&D 효율성 분석에 있어서 상기 방법론 중 자료포락분석이 가장 적합한 방법론으로 인정받고 있다. 첫째, R&D는 논문, 특허 등 다중 산출을 수반하는데 자료포락분석은 다중 산출의 문제를 용이하게 다룰 수 있다. 둘째, R&D 투입-산출간 함수형태에 대한 사전정보가 없는 상황에서 비모수적 접근법인 자료포락분석이 분석의 오차를 최소화할 수 있다. 셋째, R&D 효율성 분석이 순위매김을 위한 평가에 그치지 않고 비효율성 제거를 위한 컨설팅 목적까지 가지고 있기 때문에 다양한 효율성 분석 방법론 중에서 벤치마킹 정보를 제공하는 자료포락분석이 가장 적합하다(백철우·이순배, 2010).

이상의 선행연구 분석을 통해서 신재생에너지 분야 정부 R&D 투자의 효율성 분석은 실증적 측면에서 의미가 있으며, 자료포락분석(DEA)이 이를 수행하기 위해 가장 적합한 분석방법론임을 확인할 수 있다.

3. 분석방법론

3.1 자료포락분석(DEA)

자료포락분석은 다양한 세부 모형이 존재하는데, 생산경계(Production frontier)의 규모수익불변(Constant returns to scale)을 가정하면 CRS 모형이

되고, 규모수익가변(Variable returns to scale)을 가정하면 VRS 모형이 된다. VRS 모형이 보다 유연한 생산경계를 묘사하기 때문에 규모수익불변에 대한 강한 근거가 뒷받침되지 않은 경우 일반적으로 VRS 모형을 주로 사용한다.

CRS, VRS 두 모형 모두 비효율성을 개선시키기 위하여 투입과 산출 중 어느 요소를 고려할 것인가에 따라서 투입지향 모형(input-based model)과 산출지향 모형(output-based model)으로 세분화된다. 투입지향 모형은 현재 수준의 산출물을 생산하기 위해서 모든 투입요소를 동일한 비율로 얼마나 감소시킬 수 있는지를, 산출지향 모형은 반대로 현재의 투입 수준하에서 모든 산출요소를 동일 비율로 얼마나 추가적으로 늘릴 수 있는지를 통해 비효율성의 정도를 측정한다.

한편, Cooper et al.(1999)가 제안한 RAM(Range adjusted Measure) 모형은 Fig. 1에 제시된 바와 같이 규모수익가변 가정 하에서 생산경계를 구축하면서, 투입지향이나 산출지향과는 달리 방향성의 제한을 두지 않고 효율성을 측정하는 모형이다. 규모수익가변을 가정함으로써 보다 유연한 생산경계를 묘사할 수 있고, 투입지향이나 산출지향처럼 방향성에 대한 사전적 가정없이 비효율성을 최대한 제거하는 방향으로 효율성을 측정한다는 점에서 R&D 효율성 분석에 가장 적합한 모형이라 할 수 있다(백철우·이순배, 2010).

RAM 모형은 다음과 같이 각 의사결정단위와 생산경계와의 거리를 투입과 산출의 여유변수들(s_i^-, s_r^+)의 합으로 표현하는데, 이를 각 변수들의 범위(R_i^-, R_j^+)로 나눠줌으로써 0에서 1사이의 값을 갖도록 정규화한다(Cooper et al., 1999).

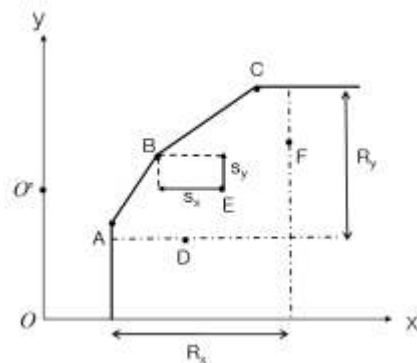


Fig. 1. Example of RAM (single input & single output)

$$RAM = \left\{ \min \left[1 - \frac{1}{m+s} \left(\sum_{i=1}^m \frac{s_{io}^-}{R_i^-} + \sum_{r=1}^s \frac{s_{ro}^+}{R_r^+} \right) \right] \right\}$$

$$|(x_o - s_o^-, y + s_o^+) \in P_{VRS}$$

$$R_i^- = \max_j(x_{ij}) - \min_j(x_{ij})$$

$$R_r^+ = \max_j(y_{rj}) - \min_j(y_{rj})$$

$$s_j^- = (s_{ij}^-) \in R^m$$

$$s_j^+ = (s_{rj}^+) \in R^s$$

$$P_{VRS} = \{(x,y) | x \geq X\lambda, y \leq Y\lambda, e\lambda = 1, \lambda \geq 0\}$$

여기서, 투입(x)과 산출(y)은 각각 m, s 차원의 벡터이고, X, Y 는 전체 관측치에 대한 투입과 산출행렬이 되며, e 는 n 차원의 단위행렬이 되며, 상기 식을 통해 규모수익불변 가정하에서의 생산경계 P_{VRS} 를 구축할 수 있게 된다.

효율적인 관측치는 목적식이 1의 값을 가지게 되며, 비효율성이 커질수록 그 값이 작아지면서 완전히 비효율적인 관측치는 0의 값을 가지게 된다.

3.2 분산분석(ANOVA)

자료포락분석을 통해 각 과제별 R&D 효율성을 측정하였을 때, 신재생에너지별/수행주체별/주관부처별로 효율성 차이가 통계적으로 유의미하게 존재하는지를 통계적으로 검증할 필요가 있으며, 이 때 사용하는 통계기법이 분산분석(ANOVA, Analysis of Variance)이다.

분산분석은 R&D 효율성을 종속변수로, 집단을 나누는 기준(신재생에너지, 수행주체, 주관부처)을 독립변수로 하였을 때, 설명변수의 유의성을 F-검정을 통해 확인할 수 있다. 모집단이 n 개의 집단으로 구분되고, 각 집단의 R&D 효율성 평균이 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ 이라 하면, F-검정의 귀무가설(H_0)과 대립가설(H_1)은 각각 다음과 같다.

$$H_0 : \theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_n$$

$$H_1 : \text{적어도 한 집단의 평균이 다르다.}$$

F-검정을 통해 귀무가설이 기각되면, 집단간 R&D 효율성 평균의 차이가 존재함을 검증할 수 있다.

3.3 Scheffé 사후검증

분산분석을 통해 귀무가설이 기각되는 경우, 대립

가설에 의해 적어도 한 집단의 R&D 효율성 평균이 상이함을 통계적으로 확인할 수는 있으나, 세부적으로 집단간 R&D 효율성의 대소 여부를 통계적으로 검증하지는 못한다. 즉, R&D 효율성이 집단간 상이하다는 사실만을 확인할 뿐, A집단이 B집단에 비해 R&D 효율성이 높고 낮은지는 통계적으로 검증하지는 못한다.

이 경우, 사후검증(post-hoc test)을 통해 집단간 R&D 효율성 평균의 대소를 통계적으로 확인할 수 있다. 사후검증으로 Bonferroni, Scheffé, Šidák 검증 등이 있는데, 일반적으로 Scheffé 검증이 널리 활용되고 있다. Scheffé 검증법은 각 집단이 동수의 R&D 과제를 가지고 있지 않아도 계산이 가능하며, 타 사후검증에 비해 보수적인 관점에서 R&D 효율성의 차이를 검증한다는 장점을 가지고 있다(Scheffé, 1959).

4. 분석자료 및 변수

4.1 분석자료

국가과학기술위원회(現 국가과학기술심의회)와 한국과학기술기획평가원은 과학기술기본법 제12조에 따라 1999년부터 「국가연구개발사업 조사·분석」을 시행하고 있다. 정부예산(일반+특별회계) 및 기금 중 연구개발예산으로 편성된 모든 국가 R&D 사업이 조사대상이 되며, 2012년 기준으로 31개 정부부처가 추진한 529개 사업, 49,948개 세부 연구과제, 총 투자액 15조 9,064억원에 대해 연구비, 기술분야, 연구인력 등 투입 항목과 논문, 특허 등 성과항목 21개를 조사하였다.

본 연구는 2009-2011년에 집행된 국가연구개발사업 중 한국과학기술기획평가원의 협조를 받아 신재생에너지로 분류된 세부과제 총 4,213개를 분석대상으로 R&D 효율성을 분석하였다. 연도별로는 2009년 1,245개, 2010년 1,335개, 2011년 1,633개의 세부과제로 구성되어 있다.

4.2 변수

자료포락분석을 활용해서 R&D 효율성을 평가한 선행연구에서 사용된 변수를 검토한 결과는 Table 2와 같다. 대부분 연구에서 투입변수로는 R&D 지출, 연구원 수, 산출변수로는 논문 수, 특허 수, 기술료 등을 사용하고 있다.

본 연구에서는 선행연구 검토결과를 토대로 투입

Table 2. Input and output variables of R&D efficiency used in previous literature

Previous literature	Input variables	Output variables
Kocher et al. (2006)	·Population ·R&D investment ·No of universities	·Paper
Wang and Huang (2007)	·Government R&D investment ·R&D stock ·No of Researcher ·No of Technician	·Domestic patent ·US patent ·SCI paper ·EI(Engineering Index) paper
Lee and Park (2005)	·R&D investment ·No of Researcher	·Technology trade balance ·Paper ·Triadic patent
박수동·홍순기 (2004)	·R&D stock ·No of Researcher	·SCI paper ·US patent
남인석 외 (2008)	·No of Researcher ·R&D budget	·SCI paper ·Patent registered ·Royalty
김정호·박성배 (2004)	·R&D investment ·No of Researcher	·Patent ·No of programs ·Paper ·Royalty
백철우·이순배 (2010)	·Government R&D investment ·Matching fund ·No of Researcher	·Patent ·SCI paper ·No of technology transfer

변수로는 총사업비, 산출변수로는 SCI 논문 수, 국내 특허출원 수, 해외 특허출원 수를 각각 사용하였다. 연구인력의 경우, 연구참여율 반영의 어려움 및 연구원 과다입력 관행 등의 문제로 인해 투입변수에서 제외하였다. 기술료의 경우, 착수금으로 납부하는 출연정률 기술료가 대다수를 차지하고 있어 기술이전 성과의 대리지표로 활용하기에 한계가 있어서 산출변수에서 제외하였다.

자료포락분석에 사용되는 투입, 산출변수의 기초통계는 Table 3에 제시하였다.

5. R&D 효율성 분석 결과

5.1 신재생에너지 유형별 R&D 효율성

신재생에너지 유형별로 R&D 효율성을 추정한 결과는 Table 4와 같다. 수소 분야 R&D 효율성이 0.749로 가장 높은 것으로 나타났으나, R&D 효율성이 가장 낮은 수력 분야도 0.701에 달해 신재생에너지 유형간 R&D 효율성이 크지는 않음을 확인할 수 있다.

수소 분야의 R&D 효율성이 가장 높게 나왔는데, 대다수의 과제가 연구성과가 우수한 대학(59.9%) 및 출연연구소(29.1%)에 의해 수행되었기 때문이다. 반면 수력은 17개 과제 중 SCI 논문 실적이 있는 과제가 1개, 국내 특허출원 실적이 있는 과제가 3개에 불과하며, 해외 특허출원 실적은 전무하여 R&D 효율성이 가장 낮게 나온 것으로 분석된다.

분산분석(ANOVA)에 사용된 F-통계치는 9.2로 통계적으로 유의하여 신재생에너지간 R&D 효율성 평

Table 3. Descriptive statistics of variables

Year	Statistics	R&D investment (million KRW)	SCI Paper	Domestic patent	Foreign patent
2009	No. of obs.	1,245	1,245	1,245	1,245
	min	0.6	0.0	0.0	0.0
	mean	432.3	1.3	1.2	0.1
	max	7277.0	94.0	42.0	18.0
2010	No. of obs.	1,335	1,335	1,335	1,335
	min	1.0	0.0	0.0	0.0
	mean	531.8	1.1	1.0	0.1
	max	31561.1	65.0	29.0	10.0
2011	No. of obs.	1,633	1,633	1,633	1,633
	min	4.0	0.0	0.0	0.0
	mean	539.7	1.1	0.8	0.1
	max	96172.0	89.0	22.0	20.0

Table 4. R&D efficiency by renewable energy

Renewable energy	No. of projects	Mean of R&D efficiency	Scheffé test		
			Comparison target	Difference in R&D efficiency	Significance level
Hydrogen	265	0.749	Coal	0.041	0.091
Wind	0.042	0.000			
Bio	611	0.745	Wind	0.037	0.000
Fuel cell	641	0.744	Wind	0.037	0.000
Photovoltaic	1196	0.740	Wind	0.033	0.000
Soalr heat	55	0.735			
Geothermal heat	71	0.734			
Waste	691	0.728			
Ocean	78	0.711			
Coal	69	0.708			
Wind	243	0.707			
Hydroelectric	17	0.701			

(ANOVA) F-value : 9.2 (Prob > F : 0.000)

Statistically insignificant results of Scheffé test are omitted for brevity.

Table 5. R&D efficiency by renewable energy

Player	No. of projects	Mean of R&D efficiency	Scheffé test		
			Comparison target	Difference in R&D efficiency	Significance level
University	1805	0.781	NPRI	0.033	0.000
			Misc	0.057	0.000
			SME	0.081	0.000
			GFRI	0.081	0.000
			LSE	0.120	0.000
NPRI ^a	112	0.749	SME	0.048	0.000
			GFRI	0.049	0.000
			LSE	0.087	0.000
Misc ^b	112	0.725	SME	0.024	0.010
			GFRI	0.025	0.011
			LSE	0.064	0.000
SME ^c	1014	0.701	LSE	0.040	0.000
GFRI ^d	551	0.700	LSE	0.039	0.000
LSE ^e	343	0.661			

a) NPRI : National or public research institute, b) Misc : Miscellaneous organization

c) SMEs : Small and medium sized enterprises, d) GFRI : Government funded research institute, e) LSEs : Large sized enterprises

(ANOVA) F-value : 393.7 (Prob > F : 0.000)

Statistically insignificant results of Scheffé test are omitted for brevity.

균의 차이가 없다는 귀무가설은 기각되었다. Schéffe 검증을 통한 사후검증을 추가적으로 수행한 결과, 수소, 바이오, 연료전지, 태양광은 풍력에 비해 R&D 효율성이 통계적으로 유의하게 높다고 할 수 있으며, 수소는 석탄에 비해서도 R&D 효율성이 높다고 할 수 있다. 하지만 나머지 신재생에너지 간의 R&D 효율성 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 수력의 경우, R&D 효율성 평균이 가장 낮으나 과제 수가 적은 관계로 Schéffe 검증이 통계적 유의하게 나오지 않았다.

5.2 연구주체별 R&D 효율성

대학-국공립연구소(NPRI)-중소기업(SME)-출연연구소(GFRI)-대기업(LSE) 순으로 R&D 효율성이 높게 나타났으며, 연구주체별 R&D 효율성 차이는 분산분석을 통해 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 논문에서 우수한 실적을 낸 대학의 R&D 효율성이 가장 높은 반면 기업이 수행한 과제의 R&D 효율성은 상대적으로 저조한데, 이는 기업이 논문이나 특허로 성과화하기 힘든 공정기술을 주로 다루기 때문

Table 6. R&D efficiency by renewable energy

Ministry	No. of projects	Mean of R&D efficiency	Scheffé test		
			Comparison target	Difference in R&D efficiency	Significance level
MEST ^a	1584	0.784	SMBA	0.032	0.000
			MAFRA	0.042	0.003
			ME	0.064	0.000
			KFS	0.090	0.000
			MLTM	0.098	0.000
			MKE	0.100	0.000
			DAPA	0.112	0.000
RDA ^b	133	0.763	ME	0.043	0.000
			KFS	0.069	0.001
			MLTM	0.077	0.000
			MKE	0.079	0.000
NEMA ^c	1	0.762			
SMBA ^d	624	0.752	ME	0.032	0.000
			KFS	0.059	0.004
			MLTM	0.067	0.000
			MKE	0.068	0.000
			DAPA	0.080	0.004
MAFRA ^e	60	0.742	MKE	0.058	0.000
			DAPA	0.070	0.097
ME ^f	230	0.720	MKE	0.036	0.000
KFS ^g	30	0.694			
MLTM ^h	45	0.686			
MKE ⁱ	1490	0.684			
DAPA ^j	16	0.673			

a) MEST : Ministry of education, science and technology
 b) RDA : Rural development administration
 c) NEMA : National emergency management agency
 d) SMBA : Small and medium business administration
 e) MAFRA : Ministry of agriculture, food and rural affairs
 f) ME : Ministry of environment
 g) KFS : Korea foreset service
 h) MLTM : Ministry of land, transportation and marine
 i) MKE : Ministry of knowledge economy
 j) DAPA : Defense acquisition program administration
 (ANOVA) F-value : 220.5 (Prob > F : 0.000)
 Statistically insignificant results of Scheffe test are omitted for brevity.

로 예상된다. 또한 중소기업이 대기업에 비해 주로 소규모 과제를 수행하기 때문에 투입대비 성과가 좋게 나타나서 R&D 효율성이 높게 나타났다.

분산분석(ANOVA)에 사용된 F-통계치는 393.7로 통계적으로 유의하여 연구주체간 R&D 효율성 평균의 차이가 없다는 귀무가설은 기각되었다. Scheffé 검증을 추가적으로 수행한 결과, 대학은 다른 모든 연구주체에 비해 통계적으로 유의하게 R&D 효율성이 높은 것으로 나타났고, 국립연구원(NPRI)은 중소기업(SME), 출연연연구소(GFRI), 대기업(LSE)에 비해 높게, 중소기업과 출연연구소는 대기업에 비해 높게 나와 연구주체별 R&D 효율성의 격차가 분명하게 존재함을 확인할 수 있다.

5.3 주관부처별 R&D 효율성

10개 부처·청에서 신재생에너지 분야 R&D 투자를 하고 있으나, 소방방재청(NEMA)은 3년간 1개의 과제만 수행하여 실질적으로 9개 부처만이 관여하고 있다. 교과부(MEST), 농진청(RDA), 중기청(SMBA) 순으로 높은 효율성을 보이며, 신재생에너지 개발의 주무부서인 지경부(MKE) 사업의 R&D 효율성은 0.684로 저조한 것으로 분석되었다. 교과부(MEST)의 경우, 585개 세부과제를 포함하는 일반연구자지원 사업이 0.817에 달하는 높은 R&D 효율성을 보임에 따라 교과부 주관사업의 효율성이 높게 나타났다. 교과부 다음으로 많은 세부과제를 지원하는 지경부

Table 7. R&D efficiency by renewable energy

Renewable energy	Mean of R&D efficiency	Sources of R&D inefficiency			
		R&D investment	SCI paper	Domestic patent	Foreign patent
Hydrogen	0.749	0.000	0.271	0.385	0.341
Bio	0.745	0.000	0.244	0.377	0.408
Fuel cell	0.744	0.001	0.225	0.378	0.415
Photovoltaic	0.740	0.000	0.265	0.395	0.380
Solar heat	0.735	0.000	0.257	0.403	0.393
Geothermal heat	0.734	0.000	0.223	0.379	0.466
Waste	0.728	0.000	0.291	0.407	0.369
Ocean	0.711	0.001	0.289	0.469	0.390
Coal	0.708	0.019	0.268	0.472	0.415
Wind	0.707	0.001	0.299	0.482	0.388
Hydroelectric	0.701	0.000	0.377	0.495	0.340

(MKE)는 기업에 대한 지원이 많은 관계로 방위사업청(DAPA) 다음으로 R&D 효율성이 낮다.

분산분석(ANOVA)에 사용된 F-통계치는 220.5로 통계적으로 유의하여 주관부처별 R&D 효율성 평균의 차이가 없다는 귀무가설은 기각되었다. Schéffe 검증을 추가적으로 수행한 결과, 교과부(MEST)는 농진청(RDA)을 제외한 모든 부처보다 통계적으로 유의하게 R&D 효율성이 높게 나타났으며, 농진청(RDA), 중기청(SMBA)도 그 외 부처보다 R&D 효율성이 통계적으로 유의하게 높은 것으로 분석되었다. 다만, R&D 효율성 하위 그룹인 산림청(KFS), 국토부(MLTM), 지경부(MKE), 방사청(DAPA) 간에는 R&D 효율성 차이가 통계적으로 유의하지 않았다.

5.4 비효율성 원인 분석

s_{ij}^-/R_i^- , s_{rj}^+/R_r^+ 값을 통해 R&D 비효율성의 원인을 분석한 결과를 Table 7에 제시하였다. 이 값이 0이면 해당 투입·산출요소에 비효율성이 전혀 없는 것이고, 완전히 비효율적인 투입·산출요소는 1의 값을 가지게 된다.

총사업비가 과다하여 비효율성이 발생한 경우는 전체 4,213개 과제 중 46개에 불과하며, 대부분 논문과 특허성고가 부족하여 R&D 비효율성이 발생하였다. 또한 논문보다는 국내특허와 해외특허에서 비효율성이 상대적으로 크게 발생하였다. 특히 논문의 경우, 수력을 제외하고는 신재생에너지간 비효율성의 정도가 0.223~0.299로 상대적으로 낮은 수준이나, 국내 특허와 해외 특허는 비효율성이 각각 0.377~0.482, 0.341~0.466에 달할 정도로 신재생에너지간 비효율성의 격차도 큰 것으로 분석되었다. 한

편, 논문실적에서는 지열이, 국내 특허에서는 바이오가, 해외 특허에서는 수소가 비교우위를 가지고 있다.

6. 결론

본 연구는 신재생에너지 분야 정부 R&D 투자의 효율성을 자료포락분석을 활용하여 분석하였다. 연간 4,000억원 이상이 투입되는 신재생에너지 분야 정부 R&D 투자의 효율성을 다각도로 분석하여 R&D 투자 효율화를 위한 정책기초 자료를 제공하였다는 점에서 실증적 의의를 가진다고 할 수 있다.

분석 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 수소, 바이오, 연료전지, 태양광 등이 타 신재생에너지에 비해 비교적 높은 R&D 효율성을 보이면서 에너지지원간 R&D 효율성의 차이가 유의하게 존재하였다. 둘째, 기업보다는 대학이, 대기업보다는 중소기업이 상대적으로 R&D 효율성이 높게 나타났다. 셋째, 대학 수행비중이 높은 교과부 사업의 R&D 효율성이 비교적 우수하였고, 기업 수행비중이 높은 지경부 R&D 효율성이 저조하였다. 마지막으로, 비효율성이 R&D 투입보다는 산출에서 주로 발생하고 있으며, 산출 중에서도 특허 성과에서 비효율성이 크게 발생하며, 신재생에너지간 격차도 크게 나타났다.

R&D 효율성이 저조한 일부 분야에 대해서는 비효율성 제거를 위한 정책적 노력이 요구된다. 다만 이 경우도 R&D 사업비를 축소하기 보다는 연구성과, 특히 국내의 특허성고를 장려하는 방향으로 추진할 필요가 있다.

다만, 각 신재생에너지간 기술적 특성, 기술성숙도, 연구수행 방식 등이 상이함에도 불구하고, 이러한 점

들이 충분히 반영되지 못하고 있음을 본 연구의 한계점으로 밝히고자 한다.

사 사

본 연구는 덕성여자대학교 2013년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음

References

1. 1. 김정호, 박성배, "국가지정연구실의 기술분야별, 연구주체별 R&D 효율성 비교분석", 과학기술정책, vol. 14, no. 2, 21-36. (2004)
2. 김홍희, 박성준, 이덕주, 한국경영과학회 추계학술대회 논문집, 한국경영과학회, 927-932. (2012)
3. 남인석, 송윤영, 정병호, "DEA 모형을 이용한 정부출연연구기관의 상대적 효율성 분석", 산업경영시스템학회지, vol. 31, no. 1, 1-10. (2008)
4. 박수동, 홍순기, "R&D 효율성과 생산성의 국제 비교 분석", 과학기술정책, vol. 14, 37-49. (2004)
5. 백철우, 이순배, "질적성과를 고려한 R&D 효율성 분석연구", 생산성논문집, vol.24, no. 4, 251-274. (2010)
6. Chien, T. and Hu, J, "Renewable Energy and Macroeconomic Efficiency of OECD and non-OECD economies", Energy Policy, vol. 35, 3606-3615. (2007)
7. Cooper W.W., Park, K., Pastor, J.T., "RAM: A Range Adjusted Measure of Inefficiency for Use with Additive Models, and Relations to Other Models and Measures in DEA", Journal of Productivity Analysis, vol. 11, 5-42. (1999)
8. Cristobal, J.R.S, "A Multi Criteria Data Envelopment Analysis Model to Evaluate the Efficiency of the Renewable Energy Technologies", Energy Policy, vol. 36, 2742-2746. (2011)
9. Kocher, M.G., Luptacik, M., Sutter, M., 2006, "Measuring Productivity of Research in Economics: A Cross-country Study Using DEA", Socio-Economic Planning Sciences, vol.40, 314-332. (2006)
10. Lee, H.Y., Park, Y.T., "An International Comparison of R&D Efficiency: DEA Approach", Asian Journal of Technology Innovation, vol. 13, no. 2, 207-222. (2005)
11. Madlener, R., Antunes, C.A., Dias, L.C., "Assesing the Performance of Biogas Plants with Multi-criteria and Data Envelopment Analysis", European Journal of Operational Research, vol. 197, 1084-1094. (2009).
12. Scheffe, H., The Analysis of Variance, Wiley, New York. (1959)
13. Wang, E. and Huang, W., "Relative Efficiency of R&D Activities: A Cross-country Study Accounting for Environmental Factors in the DEA Approach", Research Policy, vol. 36, 260-273. (2007)