

## 신재생에너지 원별 연구개발 효율성 분석

조인경 · 김경희<sup>†</sup>

서울대학교 에너지시스템공학부

(2015년 5월 7일 접수, 2015년 9월 10일 수정, 2015년 9월 15일 채택)

## Analysis of Renewable Energy R&D Efficiency

Inkyung Cho, Kyunghee Kim<sup>†</sup>

Seoul National University

(Received 7 May 2015, Revised 10 September 2015, Accepted 15 September 2015)

### 요 약

신재생에너지 연구개발사업(R&D)은 그 성과가 발전단계 감소에의 기여 등 상업적 측면 위주로 보는 특성으로 인해 학술적 기여에 대한 부분은 간과되어 왔다. 이에 본 연구에서는 기존의 중점 신재생에너지원에 대해 제한적으로 이루어지던 효율성 분석에서 확대하여 2008년부터 2012년까지의 신재생에너지 원별 R&D 과제의 학술적 측면에서의 효율성을 분석하였다. 총연구개발비와 지원과제수를 투입요소로, 특허와 논문 수를 산출요소로 설정하고 DEA 방법론을 적용하여 직접적 효율성을 분석하였다. 분석을 통해, 신재생에너지 원별 연구개발 효율성을 판단하고 비효율 발생의 원인을 살펴보았다. 본 연구는 신재생에너지원 전체를 대상으로 분석했다는 점에 의의를 지니고 있으며, 에너지 정책 포트폴리오 수립 등 정책결정에 주요한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

**주요어 :** 연구개발 효율성, 신재생에너지, 자료포락분석

**Abstract -** The performance in scientific contribution of renewable energy R&D has been overlooked, as it is shown in terms of industrial aspect. This paper analyzed the R&D efficiency of scientific aspects of each renewable energy resource in 2008-2012. Total R&D fund and the number of supported projects are selected as input variables, and the number of patents and papers as output variables to analyze the direct efficiency using DEA method. Through the analysis, it determines the efficiency of each energy resource R&D, and investigated the causes of inefficiency. This study has meaning to include entire renewable energy sources for the analysis, and is expected to serve as an important reference in policy making.

**Key words :** R&D Efficiency, New and Renewable Energy, Data Envelopment Analysis

### 1. 서 론

온실가스에 의한 기후변화 문제가 전 세계가 공동으로 해결해야 할 국제사회 문제로 대두되고 유가의 심한 변동이 국가 경제에 영향을 미침에 따라 친환경적이고 안정적인 에너지 공급 대안으로써 신재생에너

지에 대한 관심과 수요가 증가하였다. 한국은 신재생 에너지 분야에서의 경쟁력 있는 선진기술 확보 및 기술 상용화 촉진을 위해 지속적으로 R&D 투자 규모를 증가시켜왔다. 2003년도에 33억원이던 정부지원 연구개발비가 2013년도에는 약 7.5배 정도인 249억원으로 증가하였다. 또한 민간 투자를 포함한 전체 예산은 2003년도에 510억원에서 2013년도에는 7,795억원으로 약 15배 이상으로 지원 규모가 확대되었다(MOTIE, 2014). 우리나라는 특히 태양광, 연료전지, 풍력 부문에 대한 예산 투자가 집중되어 왔으며, 석탄이용(IGCC)에 대한

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.  
Dept. of Energy Systems Engineering, Seoul National University  
Tel : 02-880-8284 E-mail: kkh30248@snu.ac.kr

투자 규모도 확대되었다. 이들 신재생에너지 기술들에 대한 집중 투자는 국내 여건과 시장잠재력 등을 고려하여 이루어졌으며, 이에 대한 경제적 타당성 평가에 관한 연구가 많이 진행되었다(Lee, 2004; Kim et al., 2005; Kim and Kim, 2008; Oh and Lee, 2014; Choi, 2014).

신재생에너지 기술개발사업은 정부 주도하에 진행되었으며, 기술개발사업의 수행으로 인해 발생하는 성과물이 발전단가와 보급량 변화를 중심으로 고려되어짐에 따라, 사업이 예산 투입 측면에서 효율적으로 운영되었는지에 대해서는 크게 고려되고 있지 않은 상황이라고 할 수 있다. 2000년대 중반 이후 국가 R&D 사업에 대한 투자 및 성과 효율성에 대한 관심이 증가함에 따라 동 분야에서도 관련 연구가 진행되었다(Lee et al., 2011; Kim, 2012; Kim et al., 2014). Kim(2012)은 신재생에너지 R&D 투자로 인한 산업에의 효과를 살펴보았다. R&D와 산업 부문 투자에 관한 기초자료 및 실적자료를 이용하였으며, 인력고용, 매출액 등에 있어 상당한 투자 효과가 있음을 보였다. Lee et al. (2011)은 수소에너지 기술의 효율성을 분석하였다. Fuzzy AHP를 이용하여 EI(Economic Impact), CP(Commercial Potential), IC(Inner Capacity), TS(Technical Spin-off)의 가중치를 산정하고 DEA를 통해 13개 수소에너지 기술의 상대적 효율성을 분석하였다. Kim et al.(2014) 역시 DEA를 이용하여 신재생에너지 원별 투자 효율성을 분석하였다. 보급사업 예산과 R&D 예산을 투입요소로, 특허와 공급량, 발전단가를 산출요소로 선정하였다. Lee et al.(2011)은 수소에너지라는 단일 에너지원의 기술개발 연구과제들의 상대적 효율성을 분석한 것에 비해 Kim et al.(2014)은 태양광, 풍력, 연료전지 등 신재생에너지 원별 R&D 투자의 상대적 효율성을 분석하였다. 신성장동력으로 주목받은 이들 3개 에너지 부문에 대한 연구비 비중이 54.9%<sup>1)</sup>로 투자 규모가 크지만, 규모가 효율적 추진 여부를 결정하는 것은 아니다. 국가 차원에서 투자된 예산에 대한 성과 분석이나 에너지 정책 포트폴리오를 수립하는 등의 의사결정에 있어서는 전체 신재생에너지 원별 R&D를 모두 고려할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 정부에서 지원하는 신재생에너지 원별 연구개발 효율성을 분석함을 목표로 하며, 분석결과를 통해 동 분야 R&D 사업의 추진에 있어 효율성을 개선시킬 수 있을

것으로 기대한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 효율성의 개념과 측정에 관한 이론을 살펴보고, 제3장에서는 실증분석에 활용되는 자료를 설명하였고, 제4장에서는 실증분석 결과를 제시하였으며, 마지막으로 결론 및 연구의 시사점, 한계점을 제시하였다.

## 2. 연구개발 효율성과 측정

### 2-1. 연구개발 효율성

효율성(efficiency)이란 일반적으로 투입에 대한 산출의 비율로 정의될 수 있다. 일정한 투입요소를 사용하여 산출물 생산을 최대화하거나 일정한 산출물을 생산하기 위해 투입요소를 최소화하게 되면 효율성은 높아진다. Farrell(1957)은 일정한 기술 수준에서 주어진 투입요소로 산출 가능한 최대치를 달성하지 못하는 것을 기술적 비효율성(technical inefficiency)이라고 하였다. 이러한 의미에서 연구개발 효율성(R&D efficiency)은 연구개발 활동에 대한 생산요소, 즉 연구개발비, 인력, 장비 등의 투입 대비 발생 성과라고 정의할 수 있다.

공공기관 또는 공공부문에서 진행되는 사업 등은 민간부문에서 진행되는 사업에 비해 그 성과를 평가하는 것이 쉽지 않다. 민간부문의 경우 수익의 극대화 또는 기업가치의 극대화를 목표로 추구하고 그 성과가 연간수익률이나 주가 등에 의해 즉각적으로 반영되고 거의 단일하게 화폐의 가치로 표현되기 때문에 달성도를 평가하는 것이 용이하다. 반면 공공부문의 활동은 목표가 불명확한 경우가 많거나 목표가 명확하더라도 다차원적인 경우가 많기 때문에, 여기서의 산출은 그 형태가 매우 다양하다.

효율성을 측정하기 위해서는 투입요소와 산출요소를 결정해야 한다. 일반적으로 연구개발 활동에서의 투입요소는 연구개발을 위해 필요로 하는 연구비, 인력, 장비, 연구시설, 시간, 지식 스톡 등이 있고, 비교적 정량화 및 측정이 용이하다. 연구개발 활동에 의한 성과에 관한 지표는 ‘산출’과 ‘결과’의 관점으로 나눌 수 있다. 산출은 연구개발 활동으로 발생하는 직접적 성과로 논문과 특허 등이 있고, 결과는 연구개발의 파급효과 측면에서의 성과로 부가가치 발생, 매출액 증가, 기술료 수입, 인력 창출 등의 형태로 표현될 수 있다. 즉,

1) 1988년부터 2013년까지의 지원 기준이며, 2014 신재생에너지 백서(MOTIE, 2014)의 자료 활용함.

산출은 연구개발의 직접적 성과로, 결과는 파급되는 경제적 성과로 볼 수 있다. 연구개발 활동의 효율성 측정을 위한 투입과 산출요소의 선정은 상대적으로 어려울 수 있기 때문에 신중을 기해야 한다(Hwang et al., 2009).

효율성 측정에는 다양한 방법이 있는데, 최근 들어 자료포락분석(Data Envelopment Analysis: DEA) 방법이 자주 활용되고 있다. DEA는 병원이나 학교, 법원, 은행, 노동조합 등 비교적 경영효율성을 측정하기 어려운 조직의 효율성 또는 생산성을 측정하는데 사용되었으며, 최근에는 R&D의 투자 효율성 측정 연구에도 많이 사용되고 있다(Seema and Thomas, 2008; Lee et al., 2009; Eric and Weichiao, 2007, Kim et al., 2009; Byun and Han, 2009; Park et al., 2011; Kim et al., 2013).

**2-2. 자료포락분석**

DEA는 동일한 목적을 가진 의사결정단위(Decision Making Unit: DMU)의 상대적 효율성을 평가하기 위한 분석법으로, Farrell(1957)이 제시한 효율성 개념으로부터 발전하였다. Farrell(1957)은 조직의 효율성을 물리적 요소와 경제적 요소에 의해 결정되는 것으로 보고, 기술효율성(technical efficiency)과 가격효율성(price efficiency)로 구성된다고 정의하였다. 기술효율성은 일정한 투입에서 산출을 최대화하는 능력을, 가격효율성은 조직이 요소 가격의 관점에서 최적의 투입결합을 가정하는 능력을 반영한다.

DEA는 다음과 같은 장점들 때문에 많은 응용분야에서 적용되고 있다. 첫째, 주어진 DMU의 투입, 산출 요소간의 관계를 규정하는 생산함수에 대한 가정이 필요없는 비모수적 기법이다. 다른 측정방법과는 달리 구체적 함수형태를 가정하여 모수를 추정하는 것이 아닌 선형계획법에 근거하여 경험적 효율 프론티어를 도출한 후 평가대상이 효율적인 프론티어로부터 얼마나 떨어져 있는지 여부를 파악하여 비효율성을 측정한다. 둘째, 다수의 투입요소와 산출요소가 존재하여 하나의 효율성 지수로 종합하기 어려운 경우에 유용하다. 또한 각 요소의 측정단위가 다르거나 화폐단위로 표현할 수 없는 경우에도 적용이 가능하다. 셋째, 효율적·비효율적인 DMU를 판별할 수 있으며 비효율적인 DMU에 대해서는 벤치마킹 대상과 함께 개선방향을 제안할 수도 있다.

DEA모형들은 투입과 산출 중 어느 것을 고정시키고, 나머지 요소에 대해 비효율적인 부분을 찾는냐에 따라 투입지향 모형과 산출지향 모형으로 나뉘어진다. 투입지향 기술효율성은 산출량을 고정한 상태에서 투입량을 비례적으로 감소시켜 효율적인 상태에 도달하도록 하는데 초점을 맞춘다. 반면 산출지향 기술효율성은 투입량을 고정한 상태에서 같은 투입으로 가장 많은 산출을 내는 상태에 도달하도록 하는데 초점을 맞춘다.

또한 효율성 측정에서 있어서 규모의 효과 고려 여부에 따라 CCR(Charnes, Cooper & Rhodes) 모형과 BCC(Banker, Charnes & Cooper) 모형으로 구분할 수 있다.

Charnes et al.(1978)이 발전시킨 CCR 모형은 규모가 변해도 효율이 변하지 않는 규모수익불변(Constant Returns to Scale: CRS)의 가정하에 기술효율성을 측정할 수 있다. 평가대상이 되는 DMU들의 투입요소의 가중합계에 대한 산출요소의 가중합계의 비율이 1을 초과해서는 안되며, 각 투입요소와 산출요소의 가중치들은 0보다 커야 한다는 제약조건하에서 DMU의 투입요소의 가중합계에 대한 산출요소의 가중합계의 비율을 최대화시키고자 하는 선형계획모형이다.

그러나 CCR 모형에서 가정하는 규모수익불변은 실증연구에 있어 지나치게 강한 가정이어서, 이를 극복하기 위해 Banker et al.(1984)은 규모수익가변(Variable Returns to Scale: VRS)의 가정을 적용하여 BCC 모형으로 확장하였다.

$$Min h_0 = \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}$$

$$s.t \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}} \geq 1, (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \text{ for all } r \text{ and } i$$

여기에서  $y_{rj}$ 는  $j$ 번째 DMU의  $r$ 번째 산출요소의 산출량을,  $x_{ij}$ 는  $j$ 번째 DMU의  $i$ 번째 투입요소의 투입량을 의미한다. 또한  $u_r$ 은  $r$ 번째 산출요소의 가중치를,  $v_i$ 는  $i$ 번째 투입요소의 가중치를 의미한다.

CCR 모형에서 구해지는 기술효율성(Technology Efficiency: TE)은 규모효율성(Scale Efficiency: SE)과 순

수기술효율성(Pure Technology Efficiency: PTE)을 구분하여 측정하지 못한다는 단점이 있다. BCC 모형에서 구해진 상대적 효율은 순수기술효율성이라고도 불리며, BCC 모형과 CCR 모형에서 구해진 효율성을 이용하여 규모효율성을 구할 수 있다.

$$TE_{CRS} = TE_{VRS} \times SE$$

규모수익은 투입요소의 비율을 일정하게 유지하면서 규모를 증가시킬 때 생산량이 어떻게 변화하는지를 의미한다. 모든 투입요소를 동시에  $k$ 배만큼 투입했을 때 산출이 동일하게  $k$ 배만큼 증가하는 경우를 CRS(Constant Returns to Scale), 감소하는 경우를 DRS(Decreasing Returns to Scale), 증가하는 경우를 IRS(Increasing Returns to Scale)라고 한다. IRS인 경우 규모의 경제가, DRS인 경우는 규모의 비경제가 존재한다고 한다.

### 3. 분석자료

#### 3-1. 분석대상의 구분

우리나라 신재생에너지 분야에 대한 정책은 보급지원과 R&D 투자 지원 정책으로 나뉘볼 수 있다. 보급지원 정책은 신재생에너지 보급에 대한 지원을 통해 수요량을 늘리기 위한 방법으로, 수요자 중심의 정책이라고 할 수 있다. 보급지원을 통한 수요량 증가는 민간투자를 유도하여 산업이 자생할 수 있는 기반을 마련한다. 반면 R&D 투자 지원 정책은 연구개발 지원을 통해 관련 기업들의 연구개발 활성화를 유도하여 산업기반을 조성하기 위한 방법으로, 공급자 중심의 정책으로 볼 수 있다(Park et al., 2012).

R&D와 보급사업은 별개로 진행되는 사업인 것처럼 보이지만, R&D를 통한 기술개발 및 기술수준 향상이 보급의 활성화로 연결된다고 볼 수 있다. 따라서 예산 투자의 효율성을 살펴보기 위해서는 전체 통합된 시스템을 기반으로 분석을 해야 마땅할 것이다. 그러나 각 사업으로 인한 성과는 그 특성이 다르다. R&D로 인한 성과는 과학기술적 측면에서의 성과인 논문과 특허, 경제적 측면에서의 성과인 상업화 및 매출 증가, 전문인력 양성 등으로 볼 수 있는 한편 보급사업으로 인한 성과는 보급률 변화, 발전단가의 감소분 등으로 측정할 수 있다. 본 연구에서는 기술개발 분야의 투자의 효율성을 측정하는 측면에서 기술개발

사업 부문에 한정하여 분석하였다.

신재생에너지기술개발은 시너지효과 창출을 위해 범부처 R&D로 추진되고 있으며, 산업통상자원부, 미래창조과학부, 국토교통부, 농림축산식품부, 환경부, 농촌진흥청, 산림청 등의 협력을 통해 추진되고 있다(MKE, 2012). 국가 차원에서 추진된 신재생에너지 R&D의 투자의 효율성을 분석하기 위해서는 모든 부처를 통해 투입된 예산과 인력 및 그에 따른 성과를 모두 고려하여야 하지만, 각기 다른 부처의 R&D 성과를 통합적으로 관리하는 시스템이 부재하기 때문에 모든 부처에서 수행하고 있는 각각의 모든 자료를 얻기가 용이하지 않다. 따라서 본 연구에서는 원자료의 시계열성과 일관성을 갖추고, 또한 신재생에너지 부문 기술개발 투자 비중이 가장 큰 산업통상자원부의 신재생에너지융합원천기술개발사업의 기초 데이터를 획득하여 연구개발 효율성을 분석하였다.

신재생에너지융합원천기술개발사업은 신재생에너지 기술경쟁력의 확보 및 신성장동력산업으로 육성을 목표로 하는 사업이다. 또한 기후변화협약에 대응하고 에너지 저소비형 사회구조로의 전환을 촉진시키는 것을 목표로 하고 있으며 1988년 이래 지속적으로 추진되고 있다. 태양광, 풍력, 연료전지, 석탄이용 등 보급 기여도는 낮지만 수출가능성이 높은 성장동력분야에 대한 R&D 투자를 강화하고, 바이오에너지, 지열, 태양열, 폐기물에너지 등 세계시장의 규모가 크고 수출산업화 가능성이 높은 기술 분야는 단기 상용화 위주의 기술개발에 집중 지원하고 있다(KETEP, 2014).

#### 3-2. 투입 및 산출요소

Freeman and Soete(1997)는 연구개발과 혁신활동을 4단계로 구분하고, 각 단계별 투입과 산출을 정리하였는데, 연구개발단계에서 측정가능한 투입요소로 투자액, 인력, 그리고 시간을 들었다. 연구개발 효율성에 관한 기존의 연구들에서는 투입요소로 사업비와 참여 연구인력의 수 등을 들고 있다(Kim et al., 2009; Lee et al., 2009). 살펴보고자 하는 효율성이 어떠한 성격의 것인가에 따라 각 연구에 있어 투입요소와 산출요소의 결정에 차이가 발생할 수 있다.

신재생에너지융합원천기술개발사업은 학술적인 측면보다는 상용화를 위한 기술 증진을 목적으로 하는 연구개발과제로 이루어져있다. 따라서 논문, 특허 등과 같은 학술적인 성과의 평가가 체계적인 편은 아니다. 그러나 논문과 특허 등은 원천기술 확보를 위한 기반을

마련한다는 점에서 의미를 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 1차 성과를 통한 직접적 효율성을 분석하였다. 투입요소로 총연구개발비와 지원과제수를, 산출요소로 논문과 특허를 설정하였다. 총연구개발비는 연구개발과 관련된 총 지출액을 의미한다. 내부 연구개발과 외부 기술 획득을 위한 예산 지출은 일반적으로 기술 혁신의 성과와 높은 상관관계를 가진다(Chudnovsky et al., 2006). Hwang et al.(2009)은 연구개발에 있어서 연구인력에 대한 인건비가 가장 큰 비중을 차지하므로 연구개발지출에 인건비 포함인 것으로 가정하고 분석을 수행하였으며, 본 연구에서도 이와 동일한 가정을 하고 분석을 수행하였다. 어느 사업에서 지원하고 있는 과제수의 많고 적음에 대해서는 어느 쪽이 성과 산출에 더 좋다고 할 수는 없다. 연구사업 또는 과제의 특성이나 연구기관 등 다양한 조건에 따라 적절한 과제 배분이 일어나는 것이다. 이는 곧 연구사업의 효율적 운영과도 관련이 있다.

연구와 발명단계에서의 산출요소로는 논문과 특허 등을, 개발과 생산단계에서는 신제품과 혁신 건수 등을 들고 있다(Freeman and Soete, 1997). 산출요소인 논문은 연구 활동으로 인해 새로운 지식의 생성이라는 의미를 지니고 있다. 특허 성과의 경우 출원과 등록이 내포하는 의미가 조금 다르다. 출원은 원천기술 확보를 위한 연구개발 활동이 얼마나 활발히 이루어지고 있는지를 나타낼 수 있으며, 등록은 기술력의 확보 여부를 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 출원과 등록 특허의 수를 모두 합산하여 분석에 활용하기로 한다.

데이터는 에너지기술평가원 신재생에너지 수행과제 중 2008년에서 2012년에 완료된 과제를 분석대상으로 하였으며, ‘성과활용조사분석 보고서(KETEP, 2014)’의 자료를 활용하였다.

### 3-3. 분석모형의 선정

투입지향 모형과 산출지향 모형 중 어떤 모형을 선택하느냐가 결과에 문제가 되는 것은 아니다(Park, 2008). 그러나 연구개발은 일반적으로 투입 자원(연구개발비)을 절감하는 것 보다는 주어진 자원으로 산출을 증가시키는 것에 초점을 두기 때문에 산출지향 모형을 이용하는 것이 적합하다. 따라서 본 연구는 신재생에너지기술개발사업의 원별 연구개발 효율성을 분석하기 위해 산출지향 모형을 이용하였다.

연구개발에 투입되는 생산요소가 성과의 산출에 영향을 주는 것이 일반적이나 투입된 만큼의 성과를 산

출한다고 보기는 어렵다. 모든 투입요소를 동시에  $k$  배만큼 투입할 경우  $k$  배만큼 산출에 기여하는 경우도 있지만, 그보다 많게 또는 적게 산출에 기여한다. 즉, 규모수익이 고정되어 있다는 가정을 적용시키는 것은 무리가 있다. 따라서 규모수익가변을 가정하는 BCC 모형을 분석모형으로 선정하였다.

## 4. 분석결과

산출지향 BCC 모형을 이용한 신재생에너지 연구개발 효율성 분석을 다음과 같이 두 가지의 경우로 나누어 각각 분석하였다. 첫 번째는 5년간(2008-2012) 투입된 총연구개발비와 지원과제수를 이용하여 신재생에너지 각 원별 R&D에 대한 효율성을 분석하였다. 두 번째는 각 에너지원의 연도별 효율성 분석을 수행하였다. 두 가지 경우에서 산출요소는 모두 논문과 특허수로 동일하게 하였다.

### 4-1. 원별 연구개발 효율성 분석결과

먼저 첫 번째 경우에 대한 분석결과는 다음과 같다(Table 1). 소수력과 연료전지, 태양광, 해양에너지, 석탄이용 기술에 대한 R&D는 효율적으로 추진되었다. 그 외 기술들에 대한 R&D는 상대적으로 비효율적으로 추진된 것으로 나타났다. 바이오에너지의 비효율성은 적정규모에 미치지 못하거나 초과하여 발생하는 규모적 요인에 의한 것으로, 과제수를 적게 운영할 필요가 있는 것으로 나타났다. 폐기물에너지, 풍력, 지열, 태양열, 수소에너지의 비효율성은 가장 효율적인 DMU들에 비해 성과 산출에 있어 수량적으로 부족하여 발생하는 기술적 요인에 의한 것으로 분석되었다. 풍력과 수소에너지 R&D에서는 특허 성과를, 폐기물에너지와 지열, 태양열 R&D에서는 논문 성과 산출을 더 향상시킬 필요가 있음을 보였다.

비효율성을 보인 기술 분야인 바이오에너지, 폐기물에너지, 풍력, 지열, 태양열, 수소에너지는 태양광과 해양에너지, 연료전지 R&D 부문을 참조집단(Reference set)으로 하고 있다. 소수력과 석탄이용의 경우 효율적으로 운영된 것으로 분석되었지만, 다른 기술 분야의 참조집단으로 활용되지 않은 것은 두 기술 분야의 경우 투입과 산출의 규모가 다른 기술 분야에 비해 매우 작기 때문인 것으로 보인다. 즉, 예산과 과제수가 적은 규모로 투입되었으나 투입 규모에 적절한 성과가 산출된 것으로 볼 수 있다.

**Table 1.** R&D efficiency for each energy source.

DMU	PTE	SE	RTS	Reference set
bioenergy	0.701	0.662	Constant	photovoltaic energy, ocean energy
small hydro power	1	0.724	Increasing	small hydro power
fuel cell	1	1	Constant	fuel cell
photovoltaic energy	1	1	Constant	photovoltaic energy
waste energy	0.538	0.962	Constant	photovoltaic energy, ocean energy
wind energy	0.598	0.781	Constant	fuel cell, photovoltaic energy, ocean energy
ocean energy	1	1	Constant	ocean energy
geothermal energy	0.546	0.989	Constant	photovoltaic energy, ocean energy
solar thermal energy	0.423	0.993	Constant	photovoltaic energy, ocean energy
IGCC	1	1	Constant	IGCC
hydrogen energy	0.700	0.796	Constant	fuel cell, photovoltaic energy, ocean energy

**Table 2.** R&D efficiency for each year.

DMU	PTE	SE	RTS	DMU	PTE	SE	RTS
bioenergy08	0.233	0.630	Decreasing	wind energy08	0.340	0.893	Decreasing
bioenergy09	0.602	0.831	Decreasing	wind energy09	0.729	0.820	Decreasing
bioenergy10	0.256	0.822	Decreasing	wind energy11	0.488	0.917	Decreasing
bioenergy11	1	0.885	Decreasing	wind energy12	0.273	0.896	Decreasing
bioenergy12	0.405	0.801	Decreasing	ocean energy08	1	1	Constant
small hydro power09	0.331	0.882	Decreasing	ocean energy10	0.898	0.928	Decreasing
small hydro power12	1	1	Constant	ocean energy12	1	0.782	Decreasing
fuel cell08	1	0.958	Decreasing	geothermal energy08	0.270	0.837	Decreasing
fuel cell09	0.299	0.888	Constant	geothermal energy10	0.311	0.812	Decreasing
fuel cell10	1	1	Constant	geothermal energy11	0.487	0.837	Decreasing
fuel cell11	1	0.945	Decreasing	geothermal energy12	0.635	0.743	Constant
fuel cell12	1	0.818	Decreasing	solar thermal energy08	0.185	0.788	Decreasing
photovoltaic energy08	0.222	0.887	Constant	solar thermal energy09	0.323	0.767	Decreasing
photovoltaic energy09	0.577	0.749	Decreasing	solar thermal energy11	0.497	0.985	Decreasing
photovoltaic energy10	0.440	0.811	Decreasing	solar thermal energy12	0.437	0.886	Decreasing
photovoltaic energy11	1	1	Constant	IGCC08	1	0.991	Decreasing
photovoltaic energy12	1	0.555	Decreasing	IGCC10	1	1	Constant
waste energy08	0.563	0.904	Decreasing	IGCC12	1	1	Constant
waste energy09	0.194	0.866	Decreasing	hydrogen energy08	0.030	0.763	Constant
waste energy10	0.320	0.900	Decreasing	hydrogen energy09	0.713	0.745	Decreasing
waste energy11	0.462	0.767	Decreasing	hydrogen energy10	1	1	Constant
waste energy12	0.615	1	Constant	hydrogen energy11	0.614	1	Constant
				hydrogen energy12	0.616	0.778	Decreasing

효율적인 R&D 중 소수력 기술 부문에서만 규모수익이 IRS를 보이고 있으며, 이는 모든 투입요소를  $k$  배만큼 투입했을 때  $k$  배 이상의 산출을 보이는 상태를 의미한다. 다른 기술 부문에 비해 투입에 대한 산출 효율성이 상대적으로 높기 때문에 소수력 부문은 투자 규모를 증가시키기에 따라 학술적 산출효과도 상승함을 의미한다.

#### 4-2. 기술 분야별 연구개발 효율성 분석결과

신재생에너지 R&D의 연도별 연구개발 효율성을 분석하였으며, 분석결과는 다음과 같다(Table 2). 특허 또는 논문의 성과가 전혀 발생하지 않은 연도의 경우는 분석과정에서 자동적으로 제외되어 효율성 값이 도출되지 않았다. 폐기물에너지, 풍력, 지열, 태양열 R&D는 모두 효율적으로 운영되지 않은 것으로 나타났다. 바이오에너지와 수소에너지 R&D에서 각각 2011년과 2010년에만 효율적으로 나타난 것을 고려할 때, 앞의 에너지 원별 효율성 분석과 유사한 결과를 보이고 있다. 비효율의 원인은 모두 기술적 요인에 의한 것으로, 학술적 성과가 적게 산출되었기 때문으로 해석할 수 있다. 효율적인 DMU에서는 50%가 CRS의 상태에 있는 것으로, 나머지 50%가 DRS의 상태에 있는 것으로 분석되었다. 비효율적인 DMU의 81% 정도가 DRS의 상태에 있는 것으로 분석되어 연구개발 활동에 있어 전반적으로 비효율적으로 운영된 것으로 나타났다.

### 5. 결론

본 연구는 우리나라에서 시행하고 있는 신재생에너지 분야 연구개발사업의 학술적 측면에서의 연구개발 효율성을 살펴보았으며, 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, 소수력과 연료전지, 태양광, 해양에너지, 석탄 이용 기술 분야에서의 연구개발은 효율적으로 운영이 되었으며, 특히 소수력의 경우 투자 규모를 늘릴 필요가 있다. 그 외 분야에서의 연구개발은 상대적으로 비효율적인 것으로 분석되었는데, 그 원인은 학술적인 성과 창출 노력이 부족했기 때문인 것으로 보인다.

둘째, 연도별 에너지원들의 연구개발 효율성은 대부분 비효율적인 것으로 나타났다. 특히 분석대상 전체 DMU의 71% 가량이 DRS의 규모수익 상태에 있어 연구개발 활동에 있어 전반적으로 비효율적으로 운영된 것으로 분석되었다. 그러나 신재생에너지 연구개발 사업의 목적은 상업화와 원천 기술 확보에 있으

므로 학술적인 성과보다는 기술 효율 향상 또는 상용화를 위해 진행되는 경우가 많으므로 본 결과만으로 효율성에 대하여 평가하는 것은 바람직하지 않다.

기존 연구에서는 태양광, 풍력, 연료전지 등 국가에서 중점적으로 육성하는 에너지 원별 효율성을 비교하는 정도의 연구가 진행되었다. 본 연구는 신재생에너지 전체를 대상으로 각 에너지 원별 연구개발 효율성을 분석하였다는 데 의의가 있다. 따라서 각 에너지 원별 특성에 따라 연구개발사업을 과제수와 과제 규모의 최적의 mix를 통하여 효율성을 제고할 수 있을을 살펴보았다. 그러나 앞서도 언급하였듯 본 연구의 분석결과는 연구개발의 1차적 성과에 의한 직접적 효율성 분석을 대상으로 하였기에 각 원별 추진 정책을 함께 고려해야 할 것이며, 향후 경제적, 산업적 측면에서의 성과는 모두 포함한 종합적 효율성을 분석할 필요가 있다.

### References

- [1] Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W.: "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Science*, vol. 30, 1078-1092, (1984)
- [2] Byun, S. K., and Han, J. H.: "Efficiency Estimations for the government driven R&D projects in IT industries", *Hannam Journal of Law & Technology*, vol. 15, 179-206, (2009)
- [3] Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E.: "Measuring the efficiency of decision making units", *European Journal of Operational Research*, vol. 2, 429-444, (1978)
- [4] Choi, K. S.: "Analysis of Economical efficiency for renewable energy in Steam Power Plant", *Journal of Environmental Impact Assessment*, vol. 23, 11-17, (2014)
- [5] Chudnovsky, D., Lopez, A., and Pupato, G.: "Innovation and Productivity in Developing Countries" A study of Argentine manufacturing Firms' Behavior(1992-2001)", *Research Policy*, vol. 35, 266-288, (2006)
- [6] Eric C. Wang, and Weichiao Huang: "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)
- [7] Farrell, M. J.: “The measurement of Productive Efficiency”, *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 120, 253-290, (1957)
- [8] Freeman, C. and Soete, L.: “The Economics of Industrial Innovation”, The MIT Press, (1997)
- [9] Hwang, S. W., Ahn, D. H., Choi, S. H., Kwon, S. H., Chun, D. P., Kim, A. R., and Park, J. H.: “Efficiency of national R&D investment”, Science and Technology Policy Institute, (2009)
- [10] Kim, C. M., and Kim, K. Y.: “A study on economic analysis of new renewable energy power (photovoltaic, wind power, small hydro, biogas)”, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, vol. 28, 70-77, (2008)
- [11] Kim, H. H., Lee, D. J., Kim, K. T., and Park, S. J.: “Measuring the Efficiency of Investment in the Deployment and Technology Development of Renewable Energy in Korea Using the DEA”, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, vol. 40, 358-365, (2014)
- [12] Kim, H. K., Kang, W. J., Park, J. H., and Yeo, I. K.: “Comparing Efficiencies of R&D Projects Using DEA : Focused on Core Technology Development Project”, *Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, vol. 36, 126-132, (2013)
- [13] Kim, J. B.: “The Basic Study on the Ripple Effect of Industrial & Technological Policy for New & Renewable Energy”, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, vol. 32, 18-24, (2012)
- [14] 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 Korean Technology Innovation Society*, vol. 12, 70-87, (2009)
- [15] Kim, Z. O., Kim, J. W., and Boo, K. J.: “Analysis of Economic Feasibility of New & Renewable Energies - Photo Voltaics, Wind Power and Small Hydro”, *New & Renewable Energy*, vol. 1, 79-86, (2005)
- [16] Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning: “2013 Energy R&D projects and utilize research and analysis report”, (2014)
- [17] Lee, G. H.: “An Economic Measures of the Renewable Energy considering Environmental Costs”, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, vol. 24, 93-100, (2004)
- [18] Lee, H. Y., Park, Y. T., and Choi, H. G.: “Comparative evaluation of performance of national R&D programs with heterogeneous objectives: A DEA approach”, *European Journal of Operational Research*, vol. 196, 847-855, (2009)
- [19] Lee, S. K., Gento, M., Zhuolin, L., K. S. Hui, Lee, S. K., K. N. Hui, Park, S. Y., Ha, Y. J., and Kim, J. W.: “Measuring the relative efficiency of hydrogen energy technologies for implementing the hydrogen economy: An integrated fuzzy AHP/DEA approach”, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 36, 12655-12663, (2011)
- [20] Ministry of Knowledge Economy: “2012 new and renewable energy technology development and utilization dissemination action plan”, (2012)
- [21] Ministry of Trade, “Industry & Energy: 2014 New & Renewable Energy White Paper”, (2014)
- [22] Oh, S. H., and Lee, C. Y.: “Economic Evaluation for Renewable Energy R&D in South Korea”, *Korean Energy Economic Review*, vol. 13, 171-197, (2014)
- [23] Park, M. H.: “Analysis of efficiency and productivity”, *Korean Studies Information*, (2008)
- [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, 205-222, (2011)
- [25] Park, S. J., Lee, D. J., and Kim, K. T.: “Forecasting the Grid Parity of Solar Photovoltaic Energy Using Two Factor Learning Curve Model”, *IE Interfaces*, vol. 25, 441-449, (2012)
- [26] Seema Sharma and Thomas, V. J.: “Inter-country R&D efficiency analysis: An application of data envelopment analysis”, *Scientometrics*, vol. 76, 483-501, (2008)