

재생에너지 정책수단 전환의 효과성 연구: 한국의 전환 사례 분석***

박인용* · 정재용**

<목 차>

- I. 서론
- II. 이론적 고찰
- III. 연구 설계
- IV. 실증 분석
- V. 결론 및 함의

국문초록 : 재생에너지 육성을 위한 각국의 정책적 개입이 강화되는 가운데 우리나라도 2002년 발전차액지원제도(FIT)를 도입하여 재생에너지에 육성을 직접적으로 지원하였으나 2012년 의무할당제(RPS)를 도입하여 발전차액지원제도를 대체하는 정책수단의 전환이 발생하였다. 이는 현재 우리나라에서만 발견되는 독특한 배경으로, 발전차액지원제도와 의무할당제의 비교를 다룬 기존 논의에서 나아가 정책수단 전환의 성과에 초점을 맞춘 새로운 답이 요구된다. 이에 본 연구에서는 의무할당제 전환이 이루어진 2012년 전후 정책 효율성의 변화를 자료포락분석(DEA)과 맘퀴스트 지수(Malmquist Index)를 사용하여 분석하였다. 그 결과 에너지원에 따라 의무할당제 전환 이후 정책효율성의 제고에 차이가 발생한 것을 알 수 있었다. 이는 재생에너지 사업자들이 기술력 또는 가격경쟁력이 확보된 에너지원에 대해서만 자발적으로 시장에 진입하였고, 이것이 의무할당제 전환 이후의 재생에너지 보급 성과가 특정 에너지원에 편중된 것으로 해석된다. 본 연구의 결과는 재생에너지 정책의 목표가 보급 확대

* 한국과학기술원 기술경영학부 석사, 제1저자 (penguin@kaist.ac.kr)

** 한국과학기술원 기술경영학부 교수, 교신저자 (innovation@kaist.ac.kr)

*** 본 논문은 한국연구재단(NRF-2017R1A2B4007893), 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업(IITP-2020-2018-0-01402)의 지원을 받아 수행된 연구임

와 성장동력화에 있음을 고려할 때 정책수단의 선택에 있어 기술, 시장 등을 고려한 다면적 분석이 필요하며, 이를 바탕으로 각 재생에너지원의 현황에 맞춘 다각화된 개입이 필요함을 시사한다.

주제어 : 정책수단 전환, 발전차액지원제도, 의무할당제, 자료포락분석, 맘퀴스트 지수

A Study on effectiveness of transition of policy instruments for renewable energy:

In the case of shift from FIT to RPS in Korea

Inyong Park · Jae-Yong Choung

Abstract : While the policy intervention of each country for the promotion of renewable energy is strengthened, Korea introduced Feed-in Tariff (FIT) in 2002 to directly support the development of renewable energy. But in 2012, the shift of policy instrument that from FIT to Renewable Portfolio Standard (RPS) is occurred. This is a unique background that is currently found only in Korea, and new answers that focus on the outcomes of the shift of policy instruments are needed in addition to the existing discussion of comparison of FIT and RPS. Therefore, this study analyzed the change of policy efficiency after the shift to RPS using Data Envelopment Analysis(DEA) and Malmquist Index. In the result of analysis, a difference in the improvement of policy efficiency after in shift to RPS is found among each renewable energy source. This result is because renewable energy companies voluntarily entered the market only for energy sources that have secured technology or price competitiveness, and this indicates that the performance of renewable energy after the RPS shift has been concentrated on specific energy sources. As a result of this study, considering that the goal of renewable energy policy is to expand distribution and to drive growth engines, multi-faceted analysis is required in consideration of technology and market in selecting policy instruments.

Key Words : shift of policy instruments, Feed-in Tariff, Renewable Portfolio Standards, Data Envelopment Analysis, Malmquist Index

I. 서론

재생에너지 육성을 위한 정책적 개입은 세계 모든 국가에서 점진적으로 강화되는 추세에 있다. 이는 환경문제가 일부 지역에 한정되지 않는 데 따른 것으로, 기존의 지배적 에너지원인 화석연료의 사용과 관련된 온실가스 배출 문제 인식과 대처 노력이 전 세계에서 공유되는 것과 같은 맥락을 취한다. 1997년 교토의정서로부터 2015년 파리기후협약을 거치면서 협약 당사국은 온실가스 감축 노력을 강화하고 있으며, 화석연료 사용을 재생에너지로 대체함으로써 화석연료 사용 감축을 통한 온실가스 감축 이행을 도모한다.

이러한 배경에서 정부는 다양한 정책수단을 활용하여 재생에너지 육성에 대한 개입을 시도한다. 현재 기술수준에서 재생에너지는 화석연료, 원자력에 비해 가격경쟁력이 낮아 재생에너지 사업자의 자발적인 시장 진입을 기대하기 힘들다. 따라서 정부는 재생에너지 사업자의 시장 진입을 보조하는 방향으로 정책수단을 설계 및 집행한다.

이러한 정책수단 중 가장 널리 활용되는 것이 바로 발전차액지원제도(Feed-in Tariff, FIT)와 의무할당제(Renewable Portfolio Standards, RPS)이다. 두 정책수단은 재생에너지의 생산 확대를 유도하는 공통점이 있으나 접근 방식이 상반된다는 특성이 있으며, 이에 따라 장단점이 뚜렷하게 갈리게 된다. 이에 따라 정부는 둘 중 효용이 더 클 것으로 판단되는 유리한 수단을 선택하게 된다. 2019년 발전차액지원제도와 의무할당제를 시행하는 국가는 93개국으로, 이중 60개국이 발전차액지원제도를 단독 시행하는 데 비해 의무할당제를 단독 시행하는 국가는 한국을 포함하여 8개국에 불과하다(REN21, 2019). 특히 우리나라는 의무할당제를 단독 시행하는 8개 국가 중에서 유일하게 정책수단의 전면적 전환(발전차액지원제도→의무할당제)을 경험한 사례이다. 우리나라는 온실가스 감축 이행과 화석연료 의존도 대치를 목적으로 재생에너지 보급정책을 확장하는 가운데 2002년 발전차액지원제도를 도입하였다. 그러나 발전차액지원제도로 인한 정부재정 소요 증가, 시장경쟁 강화를 이유로 2012년 발전차액지원제도를 중단함과 동시에 의무할당제를 도입하는 정책수단의 전환을 실시하였다(한국에너지공단, 2018).

발전차액지원제도와 의무할당제에 대한 기존 연구는 재생에너지 보급에 대한 효과성을 비교하는 데 초점이 맞춰져 있었다. 대부분의 연구에서는 다국가 패널데이터를 통한 실증분석을 통해 일반론적인 답을 도출하려 하였으나, 연구자의 견해 및 연구모형에 따라 연구결과가 상반되는 경향을 보였다. 또한 이러한 연구는 분석결과로부터 두 정책수단 중 하나를 선택하는 논리에 대한 함의로 연결할 수 있으나, 우리나라의 사례와 같이

기존 정책수단을 포기하고 새로운 수단을 도입하는 전환 사례에는 그대로 적용하기 어렵다는 한계를 지니고 있다. 최근 국내 연구자들이 전환(발전차액지원제도→의무할당제)에 초점을 맞춰 전환 전후의 변화를 분석하고 있으나, 이 역시 두 정책수단의 유효성을 비교하는 데 그쳤다는 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 한국에서 발생한 재생에너지 정책수단의 전환에 대해 전환 전후 발생한 정책 효율성의 변화를 분석함으로써 정책수단 전환의 성과를 검증하고, 전환의 정당성에 대한 함의를 도출하는 데 목적을 둔다. 정책수단의 전환(발전차액지원제도→의무할당제)이 발생한 2012년을 기준으로 전후 기간의 재생에너지 관련 데이터를 수집하여 정책수단 사용에 의한 투입 대비 산출, 즉 효율성의 변동을 전후 시기에서 비교한다. 정책수단의 사용에 따른 효과가 복수의 측면에서 장기간에 걸쳐 발생하는 점에 착안하여 자료포락분석(Data Envelopment Analysis)과 맘퀴스트 지수(Malmquist Index)를 방법론으로 사용하여 정태적 및 동태적 효율성을 동시에 측정하고 정책수단 전환 전후에 발생한 효율성 변동을 검증한다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 제 2장은 이론적 고찰로 재생에너지 보급정책 수단으로써 발전차액지원제도와 의무할당제의 특성 및 우리나라에 두 정책수단이 적용된 과정을 고찰하고 선행연구 검토를 통해 본 연구의 차별점과 당위성을 도출한다. 제 3장의 연구 설계에서는 본 연구에서 사용되는 분석 모형 및 방법론, 연구대상을 제시한다. 제 4장에서는 구성된 데이터 및 방법론을 사용하여 전환 전후의 정책 효율성 변화를 분석하고 이를 토대로 본 연구의 주장에 대한 정당성을 검토한다. 이를 종합하여 제 5장에서는 본 연구에 대한 결론을 내림과 동시에 향후 우리나라의 재생에너지정책에 대한 함의를 제시한다.

Ⅱ. 이론적 고찰

1. 재생에너지 정책수단

재생에너지(Renewable Energy)는 태양빛, 지열, 바람, 조류 등 자연자원에서부터 기술적으로 변환하여 인간·사회에서 사용할 수 있는 에너지를 말한다. 자연자원이 가지는 물리적 에너지를 근원으로 사용하므로 자연자원의 양에 제한이 없고, 변환 및 이용 과정

에서 부산물의 배출이 적다는 특징이 있다. 이 때문에 화석연료·원자력 등 지배적 에너지원의 사용에서 비롯된 경제적 불안정, 오염물질 및 온실가스 배출 문제를 해결할 수 있는 대안으로 부각된다(Wei et al., 2010). 그러나 재생에너지 기술은 아직 기존 에너지원에 비해 기술적·경제적 경쟁력이 열위에 있기 때문에 자발적인 확대를 위해서는 다각적인 정책적 개입이 필요하다(Neij, 1997).

재생에너지 정책수단은 발전차액지원제도와 의무할당제뿐만 아니라 다양한 형태로 재생에너지 육성에 영향을 미친다. 두 정책수단이 상대적으로 많이 논의되기는 하지만, 그 외에도 전력상거래제(Net metering), 재생에너지 공급인증서 거래제(Tradable REC) 등의 규제적 수단과 세금감면, 투자보조 등의 경제적 수단이 다양하게 사용된다(REN21, 2019). 그럼에도 대부분 재생에너지 정책수단 연구의 대상은 발전차액지원제도와 의무할당제에 집중되어 있다. 이에 대한 원인으로 김태은(2011)은 두 정책수단이 상반되는 특성을 드러내고 있으며, 국제적으로 가시성이 매우 높은 것으로 평가하였다. 권태형(2012) 역시 두 정책수단의 차이를 강조하였는데, 특히 상반된 접근 메커니즘을 지니기 때문에 수단의 선택에 따른 장단점이 극명하게 차이가 나는 점을 지적하였다.

1.1. 발전차액지원제도(FIT)

에너지믹스에 재생에너지가 진입하는 데 가장 큰 장애요인은 지배적 에너지원에 비해 불리한 가격경쟁력에 있다. 현재 기술 수준으로는 재생에너지 발전원가가 화석연료, 원자력에 비해 높고, 이는 재생에너지 사업자의 자발적인 신규 진입을 어렵게 만드는 요인이 된다. 따라서 정부는 재생에너지 보급 확대를 위해 가격문제를 해결하기 위한 다양한 정책적 개입을 시도한다. 발전차액지원제도는 발전사업자에게 발전원가 차액 보전을 제공(권태형, 2012)함으로써 가격적 문제 해결을 통한 재생에너지 보급 확대를 도모하는 정책수단이다. 시장에서 재생에너지를 구매하는 기준가격을 거래가격보다 높은 값으로 설정한 다음, 재생에너지로 생산한 전력을 설정한 기준가격에 구매토록 한다. 즉, 가격을 기준으로 정책적 개입이 이루어지는 측면에서 가격지향적(price-driven) 성격을 지니며(Menateau et al., 2003), 경제적 지원을 통해 재생에너지 사업자의 자발적 시장진입을 유도하는 측면에서 경제적 수단으로 인식(Vedung, 1998)된다.

시장가격보다 높은 거래단가를 정부에서 보장하기 때문에 재생에너지 사업자 입장에서는 투자의 안정성을 확보할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 방식의 차액지원은 특히 규모의 한계로 인해 발생하는 가격경쟁력 문제를 직접적으로 해결할 수 있기 때문에 영

세업자, 지역단위, 협동조합 등 소규모 사업자의 진입장벽을 낮추는 효과가 있다. 또한, 에너지원 별 기술역량, 가격경쟁력 등을 고려하여 기준가격을 설정하며, 발전차액지원은 15년 이상 장기간에 걸쳐 이루어진다. 따라서 에너지기술 개발에 대한 투자를 장기간 지속할 수 있다(Grinlinton and Paddock, 2010; Yi et al., 2013). 즉 발전차액지원제도를 통해 재생에너지 시장의 자발적 확대와 보급/기술 측면의 동시 확산을 장기적으로 뒷받침할 수 있다는 것이다.

그러나, 발전차액지원제도를 통한 차액의 직접보조는 정부예산을 통해 지급이 이루어지기 때문에 재생에너지 설비가 확대 또는 재생에너지 생산이 증가할수록 정부재정 부담이 함께 증가하는 단점이 있다. 또한 고정적인 수입이 발생하기 때문에 경쟁이 발생하지 않고, 재생에너지 사업자가 사업성 확보를 위한 노력을 하지 않을 가능성이 있다. 이는 우리나라가 발전차액지원제도에서 의무할당제로 전환을 결정하게 된 요인이 되었으며, 독일, 영국, 일본 등의 여러 국가들은 발전차액 지원을 축소하거나 차액을 변동가격으로 지원하는 FIP(Feed-in Premium)로 소폭 변화를 시도한다.

1.2. 의무할당제(RPS)

의무할당제는 에너지를 공급하는 사업자가 총 공급량 중 법적으로 정해진 일정 비율 또는 일정량을 재생에너지로 공급하도록 의무를 부과하는 정책수단이다. 발전차액지원제도가 발전원가와의 차액을 보조함으로써 재생에너지 사업자의 수익보장을 통한 보급 확대를 유도하는 것과 달리 의무할당제는 정책집행자가 재생에너지 확대 목표를 먼저 제시한 뒤 지정된 사업자에게 일정량 또는 비율 이상 재생에너지를 통해 공급할 의무를 부과한다. 지정된 공급의무자는 직접 재생에너지 발전을 수행하거나 타 재생에너지 생산자로부터 전력을 구입하는 형태로 부과된 의무량을 충족한다. 만약 이를 이행하지 못했을 경우 벌금을 납부해야 한다. 보통 재생에너지 의무량 충족과 생산자 간 거래를 활성화하기 위해 의무할당제를 시행하는 국가들은 재생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificate, REC)를 시장장치로써 실행하고 있다. 공급인증서는 재생에너지 발전 전력량을 계산하여 정부에서 발급하여, 시장에서 재생에너지 의무량의 거래수단으로 사용된다. 즉, 의무할당제 하에서의 재생에너지 가격은 공급인증서 시장의 변화에 따라 결정되며, 재생에너지 사업자는 인증서 가격 및 발전원가의 변동에 따라 시장진입을 결정하게 된다.

이를 정리하면 의무할당제에서 정책집행자는 목표량을 설정하고, 그에 맞춰 의무대상자와 재생에너지 발전사업자가 행동을 취하고, 그에 따라 시장에서 가격이 결정되는 메

커니즘을 지닌다. 이러한 점에서 의무할당제는 재생에너지 보급정책에서 대표적인 수량 지향적(quantity-driven) 정책수단으로 인식된다(Menateau et al., 2003). 또한 공급의무자가 의무를 충족하지 못했을 시 벌금의 형태로 제재가 가해지는 점에서 명령지시적(command and control) 규제수단(Vedung, 1998)의 대표적 사례로 꼽힌다. 의무할당제의 시장기능에 주목하는 학자들은 의무공급자들이 의무량을 충족하는 과정에서 재생에너지 확대 목표를 원활하게 달성할 수 있고, 가격경쟁력 확보를 위해 기술개발과 비용절감에 투자하여 결과적으로 보급 목표 달성에 필요한 비용 절감을 기대한다(Verhaegen et al., 2009; Bergek and Jacobsson, 2010). 또한 인증서 시장을 통해 재생에너지 가격이 조정되므로, 가격에 직접적으로 개입하는 발전차액지원제도와 구별된다(이수진·윤순진, 2011).

그러나 의무할당제는 투자의 불확실성이 존재하여 소규모 사업자의 신규 진입이 이루어지기 어렵다는 한계가 존재한다(이수진·윤순진, 2011; 권태형, 2012; 2014). 이는 의무할당제가 가지는 시장기능의 부작용으로 정책대상(재생에너지 사업자)이 기술개발에 투자를 통한 비용절감 노력보다는 현 시점에서 가격경쟁력이 확보된 에너지를 탐색하는 행태에 따른다. 이런 상황에서는 기술/가격 경쟁력이 확보된 특정 재생에너지원이 집중적으로 확대되는 부작용이 발생하게 된다. 특히 우리나라와 같이 공공부문이 큰 비중을 차지하는 에너지구조에서 의무할당제가 지속됨에 따라 발생하는 가격적 불리는 공공부문의 부담과 직결되는 것 또한 부정적 영향으로 작용한다.

<표 1> 발전차액지원제도와 의무할당제의 속성 비교

	발전차액지원제도(FIT)	의무할당제(RPS)
정책수단 유형	경제적 유인	명령지시적 규제
특징	가격지향적 수단	수량지향적 수단
정책 대상	재생에너지 발전사업자 전반	대규모 전력발전사업자, 전력판매사업자
발전 형태	소규모, 분산형	대규모, 집중형
수익구조	계통한계가격(SMP) + 차액지원금	계통한계가격(SMP) + 공급인증서(REC)
장점	사업자의 신규 시장진입 용이 시장분산화 및 고용창출 효과	경쟁 상황에서 기술개선과 비용절감을 위한 정책대상의 자발적 노력 공급량 예측 및 관리 가능 정부 재정부담 없음
단점	지속적인 FIT 자원부담 경쟁유인 없음 공급량 예측 어려움	소규모 사업자의 시장진입 불확실 공기업 재정부담 심화

1.3. 한국의 발전차액지원제도와 의무할당제

한국에서 발전차액지원제도는 재생에너지 발전 전력의 거래가격이 정부에서 고시한 기준가격보다 낮을 경우 정부가 재생에너지 발전사업자에게 차액을 보조금 형태로 지원하는 방식으로 집행된다. 2011년 말을 끝으로 신규 지원이 종료되었지만 법적 근거인 신재생에너지법 17조(신·재생에너지 발전전력의 고시 및 차액지원)에 의해 기존 차액지원은 계약기간 내 지속된다. 우리나라에서 규정된 재생에너지원 중 태양광, 수력, 풍력, 조력, LFG(매립지가스), 폐기물, 연료전지에 대하여 기준가격을 산정하고, 이 기준가격은 각 에너지원의 기술적 수준뿐만 아니라 각 재생에너지원의 보급목표, 시장규모 등을 고려하여 지속적으로 조정된다.

발전차액지원제도가 2002년 시행된 이후, 현재까지 차액지원금의 규모 추이는 <표 2>와 같다. 2002년 시행 이후 2011년까지 발전차액지원을 받는 재생에너지 설비는 총 2,108개소, 약 1,042MW에 달한다. 시기별로는 발전용량의 경우 2007~2010년 가장 증가세가 컸는데, 이 시기에 재생에너지 발전시설 수는 544% 증가하였으며, 발전용량 역시 176% 증가하였다. 다만, 이에 따른 차액지원금 역시 2008년 1,000억 원을 돌파한 이후 2010년대에는 매해 3,000억 원 이상 사용되었다. 2012년부터 신규 지원이 중단됨에 따라 지원 규모도 점차 감소하고 있으나 현재까지 차액지원금으로 연 3,000억 원 이상이 소요되고 있으며, 2018년 기준 2,033개소, 약 926MW에 대해 지원금이 집행되고 있다. 현재까지 누적된 차액지원금은 3조 5,259억 원으로 집계되는데 이 중 2012년부터의 차액지원금이 2조 3,849억 원으로 67.6%를 차지하고 있다. 특히 발전차액 지원대상 중 태양광의 비중은 발전시설 수의 97.2%, 발전용량 52.7%를 차지하고 있을 만큼 특정 에너지원에 대한 몰림 현상이 현재 지원정책 및 의무할당제 전환 이후 재생에너지 보급에도 영향이 남아 있다. 2000년대 후반 지원규모가 급증하는 시기에 신설된 발전시설의 지원기간이 끝나는 2025년까지는 매해 2,000억 원 이상이 차액지원에 소요될 것으로 예상된다. 이 수치는 중앙정부에 재정적 부담으로 작용하였으며, 재생에너지 보급 확대에 있어 효율성 문제가 제기되는 근거가 되었다. 정부는 이러한 이유를 들어 2005년 이후부터 의무할당제의 도입을 추진하였다.

<표 2> 주요 재생에너지원별 발전차액지원 집행 현황

구분		'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	계	비중(%)
수력	발전량	2,032,332	336,565	339,740	273,463	245,023	236,029	103,968	74,016	3,641,136	15.4
	금액	26,448	2,311	2,887	2,905	2,858	2,689	1,192	787	42,076	1.2
	발전소수	63	-1	-	-2	-1	-26	-1	-2	30	1.5
	발전용량	89,171	-	-	-5,960	-1,485	-40,138	-1,200	-1,900	38,488	4.2
풍력	발전량	3,142,118	741,316	811,519	690,149	685,409	693,502	764,674	526,037	8,054,724	34.1
	금액	26,152	-	-	-	5,470	17,955	16,212	7,416	73,205	2.1
	발전소수	15	-	-	-	-	-	-	-	15	0.7
	발전용량	320,250	-	-	-	-	-	-	-	320,250	34.6
태양광	발전량	1,908,877	660,628	691,345	665,277	667,869	653,425	707,058	484,871	6,439,350	27.2
	금액	987,653	292,873	314,854	310,610	340,187	350,500	373,890	251,654	3,222,221	91.4
	발전소수	1,991	-11	-	-2	-1	-	-1	-	1,976	97.2
	발전용량	496,624	-20	695	-60	-12	-	-194	-	497,033	53.7
연료 전지	발전량	559,970	307,462	160,189	40,666	28,490	34,772	29,348	17,659	1,178,557	5.0
	금액	84,474	33,756	18,887	5,367	4,932	6,911	5,711	3,248	163,286	4.6
	발전소수	20	-2	-2	-11	-2	-	-	-	3	0.1
	발전용량	50,500	-	-5,200	-34,200	-3,600	-	-	-	7,500	0.8
바이오 매스	발전량	37,208	24,359	22,629	13,140	1,789	4,105	2,544	3,621	109,394	0.5
	금액	186	76	88	61	9	21	13	18	471	0.0
	발전소수	1	-	-	-	-	-	-	-	1	0.0
	발전용량	5,500	-	-	-	-	-	-	-	5,500	0.6
계	발전량	10,129,362	2,459,169	2,320,565	1,926,582	1,872,010	1,854,478	1,844,712	1,248,622	23,655,500	100.0
	금액	1,140,976	330,373	337,967	320,214	354,838	379,379	398,282	263,872	3,525,092	100.0
	발전소수	2,108	-14	-4	-18	-5	-27	-3	-4	2,033	100.0
	발전용량	1,041,871	-20	-11,123	-44,521	-6,097	-46,138	-2,394	-5,750	925,828	100.0

발전량: MWh. 금액: 백만 원, 발전용량: kW

자료 : 한국에너지공단(2018)

이후 정부과제 용역(산업자원부, 2006; 지식경제부, 2009) 및 재생에너지 자발적 공급 협약(Voluntary Agreement) 등을 통해 준비기간을 거친 후 2012년 1월 의무할당제를 공식적으로 시행하였다. 우리나라에서 의무할당제는 발전설비 용량 500MW를 초과하는 발전사업자 및 발전공기업을 공급의무자로 지정하고, 이들에게 총 발전량의 일정비율 이상을 재생에너지를 통해 충당하도록 의무를 부여한다. 공급의무자들은 매 해 총 발전량과 연도별로 조정되는 비율을 곱한 값을 할당받고, 이에 대한 재생에너지 공급인증서(REC)를 확보함으로써 의무를 이행한다. 이 때, 공급의무자는 자체적으로 재생에너지설비를 확보하여 발전을 수행하거나(자체조달), 인증서 거래시장에서 인증서를 구매(외부조달)하는 방법으로 필요한 의무공급량을 확보한다. 당해 의무공급량을 이행하지 못했을 경우 평균 거래가격의 150%이내 범위에서 과징금을 부과한다. 그러나 의무이행의 유연성을 부여하는 차원에서 당해 의무공급량의 20% 이내에서 3년까지 의무이행을 연기할 수 있으며, 반대로 초과이행분을 다음 해 의무이행에 활용할 수 있다.

의무할당제의 적용대상이 되는 에너지원은 태양광, 풍력, 수력, 바이오, 연료전지, 조력 등으로 명시하고 있으나, 사실상 신재생에너지법에 명시된 에너지원 중 화석연료 기반 에너지원(중질잔사유, 석탄액화 등)을 제외한 대부분이 적용 대상이 된다. 이 때 에너지원 간 기술력 및 규모의 차이를 고려하여 정부는 공급인증서에 가중치를 에너지원별로 다르게 적용하여 보급이 부진한 에너지원의 신규진입을 촉진한다. 발전차액지원제도에서 기준가격을 조정할 것과 마찬가지로 공급의무화제도에서도 기술력 및 보급 수준에 따라 가중치를 조정한다.

의무할당제의 도입 이후 의무이행 대상이 된 발전사업자들은 지속적으로 재생에너지 발전량을 확충하여 발전차액지원제도에 비해 보급 측면의 성과는 빠르게 확보되는 발생 하는 것으로 나타났다. 연도별 의무공급 비율이 2023년 이후 10%에 이르기까지 매해 1.0%씩 증가함에 따라 총 의무공급량은 2012년 6,420GWh에서 2018년 21,999GWh까지 증가하였다. 그럼에도 불구하고 공급의무자들의 의무이행률은 2015년 90%를 돌파한 이후 현재까지 90% 이상을 유지하고 있다. 또한, 의무할당제 시행 이후 2018년 9월까지 신규 설치된 재생에너지 발전설비는 32,200개소, 발전용량 11,561MW로 집계되었다(한국에너지공단, 2018). 이는 발전차액지원제도 하에서 10년간 건설된 발전설비 용량의 11배에 달한다.

<표 3> 의무할당제 시행 이후 의무이행량(비율) 추이

연도	자체건설	자체계약	선정계약	현물	계
2012	1,727(41.6%)	2,124(51.1%)	120(2.9%)	184(4.4%)	4,155(64.7%)
2013	2,930(40.0%)	3,664(50.0%)	220(3.0%)	511(7.0%)	7,325(67.2%)
2014	5,486(54.4%)	3,322(33.0%)	507(5.0%)	763(7.6%)	10,078(78.1%)
2015	6,161(49.4%)	3,383(27.1%)	937(7.5%)	1,993(16.0%)	12,474(90.1%)
2016	7,061(46.0%)	4,674(30.4%)	1,277(8.3%)	2,343(15.3%)	15,356(90.5%)
2017	7,031(39.9%)	5,629(31.9%)	2,238(12.7%)	2,728(15.5%)	17,626(92.9%)

단위 : 1,000REC / (괄호) - 조달형태: 형태별 비중, 계: 전체이행률

자료 : 한국에너지공단(2018)

2. 선행연구 탐색

발전차액지원제도와 의무할당제는 재생에너지 보급 확대라는 같은 목적을 지니면서도 상반된 접근 메커니즘을 취하고 있으며, 두 정책수단이 가지는 장단점이 상반되어 있다. 이 때문에 많은 연구자들이 재생에너지 보급 확대에 어떤 수단이 더욱 효과적인지에 대한 연구를 수행하였다. 그러나 현재까지 이 질문에 상정할 수 있는 답인 “① 발전차액지원제도가 더욱 유효하다, ② 의무할당제가 더욱 유효하다, ③ 명확한 우열관계가 없다” 라는 선택지가 연구자의 관점에 따라 모두 제시되고 있는 상황이다.

첫째, 발전차액지원제도가 더욱 효과적이라는 주장은 비용적인 측면에서 가지는 유리함을 근거로 제기된다. Battle et al.(2012)과 Woodman and Mitchell(2011)은 의무할당제 하에서 작동하는 시장기능의 리스크를 줄이고 발전사업자들의 수익성을 보장하는 측면에서 발전차액지원제도가 보급 확대에 더 유리함을 주장하였다. Dong(2012), Zhao et al.(2013), 임형우·조하현(2017)은 수십 개 이상 국가의 패널데이터를 기반으로 한 실증분석에서 발전차액지원제도가 재생에너지 확산에 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 또한 기술혁신 측면에서도 발전차액지원제도가 강점을 지니는 것으로 주장하고 있다. 김은성·허은녕(2016)은 재생에너지 정책의 영향에 있어 기술혁신을 또 하나의 변수로 고려한 실증분석을 수행하였고, 그 결과 발전차액지원제도가 의무할당제보다 재생에너지 보급 및 기술혁신에 모두 유리한 것을 밝혔다.

둘째, 의무할당제가 더욱 효과적이라는 연구들은 발전차액지원제도의 작동 과정에서 발생하는 위험 문제와 시장 기능의 측면에서 주장을 제시한다. Verbruggen (2009)은 발전사업자의 수익 측면에서 의무할당제가 더 유리함을 주장하였다. Frondel et al.(2010)은 독일의 발전차액지원제도 시행 과정에서 각각의 에너지원에 대한 발전가격 보장이 시장경쟁을 왜곡시켜 결과적으로는 효율성이 떨어지는 것으로 평가하였다. 이는 상대적으로 저렴한 비용을 가지는 에너지원의 선택, 시장기능 등을 통한 이익조정에 의무할당제가 더 유리하다고 본 것이다.

셋째, 두 정책수단이 모두 유의한 효과를 발휘하지 못한다는 주장은 상대적으로 에너지정책이 작동되는 다양한 측면을 모두 반영한 연구에서 제기된다. 김태은(2011)은 150여개 국가를 대상으로 한 실증분석에서 정책수단(의무할당제)이 재생에너지 발전비중에 영향을 미치지 않는다고 지적하였는데, 이 주장에는 정책수단과 함께 정책환경, 국제/경제/사회적 맥락을 종합적으로 고려해야 한다는 점이 반영되어 있다. Yin and Powers(2010), Doris and Gelman(2011) 역시 경제수준, 환경 등의 변수를 함께 고려하였을 때 재생에너지

지 정책수단이 보급 확대에 미치는 영향이 유의하지 않은 것으로 주장하였다.

한편, 우리나라의 전환(발전차액지원→의무할당제)에 관한 연구는 의무할당제의 법제도적 분석에서 최근 전환 이후에 대한 실증분석으로 경향성이 확대되었다. 의무할당제의 적용에 대한 법제도적 분석은 도입 전후 시점에 활발하게 이루어졌다. 이수진·윤순진(2011)은 외국의 의무할당제 도입사례 분석을 통해 우리나라의 재생에너지 환경에서 의무할당제 시행의 효과를 얻기 위해서는 많은 제도적 보완과 함께 발전차액지원제도를 지속할 필요가 있음을 주장하였다. 신정희(2011)는 의무할당제 하에서 의무자들이 가격적 측면만을 고려하여 선택적으로 시장에 진입할 가능성이 높고, 이에 따라 가격경쟁력이 약한 재생에너지원과 소규모 사업자의 진입장벽이 발생할 수 있음을 주장하였다. 반면 구민교(2013)는 발전차액지원제도가 시행되는 동안 재생에너지산업 경쟁력이 오히려 저하된 한계를 보였으며, 의무할당제 도입이 이를 극복할 방안이 될 수 있다고 주장하였다. 이성호(2014)는 의무할당제 도입 이후 2014년 보완조치에 이르기까지의 제도적 변화를 검토하였으며, 그 과정에서 정부가 의무할당제의 당위성을 강조하는 것 외에 재생에너지 보급을 위한 제반사항의 점검이 매우 미흡함을 지적하였다. 한편, 의무할당제로의 전환 이후 시기의 실증 데이터가 누적됨에 따라 두 정책수단의 효과에 대한 실증분석을 시도한 연구도 점차 등장하고 있다. 김준영 외(2016)는 의무할당제 도입 이후 우리나라의 재생에너지 확대에 관한 실증분석에서 태양광과 바이오를 중심으로 의무할당제가 유의한 효과가 있음을 주장하였다. Kwon(2015)은 의무할당제 도입 이후 우리나라 재생에너지 확대에 관한 정책 효과성을 보급 확대, 기술혁신, 발전원가, 시장리스크의 측면에서 분석하였고, 그 결과 의무할당제가 보급 및 시장 확대에는 효과가 있었으나 정책비용이 상승하는 부작용이 함께 발생하였다는 복합적인 답을 제시하였다.

기존 연구가 다양한 분야에서 이루어졌음에도 본 연구의 초점을 발전차액지원제도와 의무할당제에 맞춘 것은 우리나라에서 발생한 정책수단의 전환이 현재 시점에서는 유일한 사례라는 특수성을 고려하여 기존 논의의 답이 그대로 적용되는지를 탐색해야 할 필요성이 있기 때문이다. 두 정책수단에 관한 실증분석은 대부분 다국가 패널데이터를 기반으로 이루어져 있고, 다국가의 특성이 한 모형으로 반영되는 가운데 일반론적인 결과의 도출을 지향한다. 이러한 구조에서는 각각의 재생에너지원이 지니는 기술력 또는 가격경쟁력의 차이가 고려되지 않는 한계를 지닌다. 우리나라에 초점을 맞춘 연구들은 이러한 한계를 인식하고 의무할당제로의 전환 이후의 영향을 분석함으로써 향후 에너지정책에 대한 함의를 도출하는 데 의의를 지니고 있다. 그러나 기존의 연구들은 의무할당제 시행 이후의 정책효과성을 검증(김준영 외, 2016; Kwon, 2015)하거나 재생에너지의 경제

성 변화(Choi et al., 2018) 등에 초점이 맞춰져 있다. 실질적으로 의무할당제로의 전환 전후에서 전환 자체가 갖는 효과성에 초점을 맞춘 연구는 찾기 어렵다.

본 연구는 이러한 한계에서 출발하여 발전차액지원제도에서 의무할당제로 정책수단이 전환된 전후 분석기간을 설정하고 전환 전후에서 발생한 재생에너지 보급 정책의 효과성의 변화를 측정하여 우리나라에서 발생한 정책수단 전환이 가지는 정당성을 밝히는 데 목적을 둔다. 두 재생에너지 정책수단의 전환(발전차액지원제도→의무할당제) 전후 기간을 5년 이상으로 하는 실증데이터를 기반으로 정책투입에 대한 보급 측면의 산출을 측정하고 그 효율성의 변화를 재생에너지원별로 비교한다. 그 변화로부터 재생에너지 정책의 효율성 변화, 그로부터 정책수단 전환의 효과성과 영향에 대응하는 방안에 관한 함의를 제시하는 것이 궁극적 목표가 된다.

Ⅲ. 연구 설계

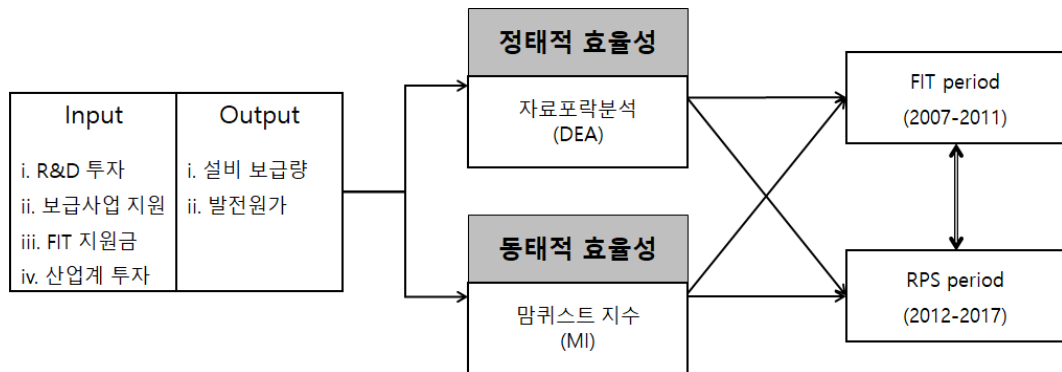
1. 분석대상 및 변수

1.1. 분석 대상

본 연구는 재생에너지 정책수단의 전환(FIT to RPS) 전후로 재생에너지 확대를 위한 자원 투입에 대한 효율성의 변화를 측정하고, 이를 통해 정책수단 전환의 효과성과 정당성을 도출하는 데 목적이 있다. 이를 위해 우리나라의 재생에너지원을 대상으로 투입과 산출 요소를 선정한 다음, 전환 전후 일정기간에 해당하는 패널데이터를 구축한다. 그 다음 정책수단 전환 전(FIT period)과 전환 후(RPS period)에 에너지원별 효율성을 산출하고, 이를 비교하여 정책수단 전환 이후 정책 효율성의 제고 여부를 살펴본다.

이를 위해 연구 범위 및 연구 대상을 적절한 범위에서 설정해야 할 필요가 있다. 우선, 본 연구의 시간적 범위는 전환 전후 5년 이상에 대한 자료를 균등하게 확보할 수 있는 2007년부터 2017년까지로 설정하였다. 이 안에서 재생에너지 정책적 개입에 관한 자료원으로써 신재생에너지백서, 신재생에너지 보급통계, 신재생에너지 산업통계(이상 한국에너지공단 제공) 및 에너지통계연보(에너지경제연구원 제공)를 이용하여 패널데이터를 구성하였다. 이 과정에서 결측이 발생하는 부분을 최소화해야 한다는 점을 고려하였다. 일반적으로 패널데이터를 구축할 때, 특정 시점의 자료가 제공되지 않을 경우 개체 간

시간 간격이 불일치하는 불균형 패널데이터가 되고, 분석 과정에서 결측치가 발생해 연구결과의 해석을 어렵게 한다. 이에 본 연구에서는 재생에너지원 중 태양광, 풍력, 바이오, 연료전지를 분석 대상으로 삼고, 각 에너지원에 대해 정책적 투입과 산출에 관한 자료를 수집하여 분석에 활용한다.



<그림 1> 본 연구의 흐름

1.2. 분석 변수

본 연구에서 각각의 투입변수가 가지는 의미는 재생에너지 확대를 위한 정책개입 과정에서 발생하는 재원 투입으로 크게 기술개발과 보급사업 그리고 산업 투자의 세 가지 측면에서 선정하였다. 투입변수를 재원투입에 관한 변수로 한정된 것은 정성적 변수의 경우 DEA 모형에 적용하는 과정에서 인위적 요소가 개입될 가능성이 있기 때문이다. 또한 FIT가 RPS로 전환되는 과정에서 정부재정의 과다 투입이 주된 논리로 작용한 만큼 전환 전후에 발생할 수 있는 정책적 자원투입의 변화는 정책의 생산성 변화에 영향을 미치는 것으로 가정한다.

첫째, 기술개발 투입으로는 연도별 기술개발 투자액을 변수로 설정하였다. 기술개발은 재생에너지 보급 확대에 직접적으로 연관이 있지는 않으나, 재생에너지원의 단가 하락에 기여하여 신규 사업자의 시장 진입을 촉진한다. 이는 의무할당제를 통해 정부가 의도하는 자발적인 진입 방향 중의 하나이다. 본 연구에서는 기술개발 투입변수로 연도별로 각각의 재생에너지원에 대한 R&D 투자액을 신재생에너지백서로부터 취하여 모형에 활용하였다. 둘째, 보급사업 투입에 관한 변수로는 일반적인 보급사업의 투자액 합계, 그리고 FIT에 의한 차액 지원금을 설정하였다. 두 사업은 직접 재원을 투입하여 재생에너지 확대를 보조한다는 공통점을 지니고 있으며, 정부의 직접개입을 계량적으로 측정하는 하나

의 지표로써 의의가 있다. 발전차액지원제도의 신규지원이 2012년부터 중단되었으나, 기존 지원을 받는 설비에 있어서는 계약기간 종료 시점까지 계속지원이 이루어진다. 이 때문에 3장에도 살펴보았듯이 발전차액 지원금은 2017년까지 2,000억 원 이상을 유지하고 있었다. 이는 즉, 발전차액지원제도가 재생에너지 보급정책의 투입대비 효율성에 아직 영향관계가 남아있는 것으로 가정하는 근거가 된다. 보급사업 투입 변수에 관한 데이터는 신재생에너지 백서에서 그 값을 취하였으며, 일반 보급사업 투자액은 주택지원, 건물지원, 지역지원사업의 투자액의 합으로, 발전차액 지원금은 당해연도 지원금액으로 모형에 투입한다. 특히 발전차액 지원금의 경우 신규지원이 중단된 2012년 이후에도 유의한 수준의 금액이 투입됨을 고려하여 분석기간 전체에 대한 값을 취하였다. 셋째, 재생에너지 산업계의 투자를 추가적인 투입변수로 설정하였다. 산업계 투자는 정부의 직접개입에 의한 것은 아니지만, 정부의 재생에너지 육성 의지와 보급, REC 시장 상황에 따른 재생에너지 발전사업자의 확대와 영향 관계가 있는 것으로 가정한다. 본 연구에서는 신재생에너지 산업통계로부터 재생에너지원별 산업계 투자액을 추출하여 모형에 투입하였다.

한편, 본 연구에서 설정하는 산출변수로는 보급성과와 비용감소를 함께 모형에 투입한다. 이는 재생에너지 정책개입의 효과가 단순한 보급 확대로 그치지 않는 데 따른 것으로, 기존 논의와의 차별점과 연관된다. 첫째, 보급성과 측면의 변수로는 신규 설치된 발전설비의 용량을 설정하였다. 이는 신규설비 용량이 보급정책에 따른 자원의 투입에 대한 직접적 산출의 의미가 크기 때문이다. 특히 투입요소 중 보급사업 지원이 신규 설비에 대해 이루어지는 것을 고려했을 때, 재생에너지 보급과 정책개입에 대한 산출의 의미에 모두 부합한다. 둘째, 재생에너지 비용감소의 측면에 있어서는 발전단가¹⁾를 변수로 설정한다. 일반적으로 기술이 발전되고 사용이 확대됨에 따라 발전단가는 낮아진다. 발전단가가 낮을수록 재생에너지의 기술적·경제적 경쟁력이 확보된 것으로 볼 수 있으며, 신규 사업자의 진입을 촉진하여 재생에너지의 확대를 도모할 수 있는 것이다. 그러나 발전원가는 값이 높을수록 부정적 의미를 내포하기 때문에 본 연구에서는 발전단가의 역수를 취하여 모형에 투입한다. 분석에 사용한 도구는 통계패키지인 STATA 12.0을 사용하였다.

1) 발전단가를 지칭하는 용어에 대해 발전원가, 발전단가, 구입단가, 판매단가 등 다양한 단어가 지칭하는 범위가 중복된 채 무분별하게 사용되고 있다. 전력거래소에서는 이들 용어의 정의와 범위를 구분해서 사용하는데, 본 연구에서는 에너지생산자 관련 단계 중 공식 통계자료가 공개되는 범위로 정산단가를 사용한다. 이는 전력거래 시 전력공급자 즉, 생산자가 받아야 할 금액으로, 정산단가가 낮을수록 그만큼 해당 에너지원이 기술적으로 성숙하고 가격이 안정화되었음을 의미한다.

<표 4> 본 연구모형의 분석 변수

변수	설명	정의	단위	자료원	
투입	RnD	기술개발 투자액	에너지원 별 각년도 R&D 정부투자액	백만 원	신재생에너지 백서
	Diss	보급사업 투자액	에너지원 별 각년도 보급사업(주택, 건물, 지역) 투자액 합	백만 원	
	FIT	발전차액 지원금	에너지원 별 각년도 FIT 지원금	백만 원	
	InD	산업계 투자액	에너지원 별 각년도 산업 투자액	백만 원	신재생에너지 산업통계
산출	NewCap	신규 발전설비	에너지원 별 각년도 발전설비 신규설치 용량	MW	신재생에너지 백서
	CostInv	발전단가	에너지원 별 각년도 전력거래소 정산단가의 역수	kWh/원	전력통계시스템 (EPSIS)

2. 방법론

2.1. 자료포락분석(Data Envelopment Analysis)

자료포락분석(DEA)법은 다수 투입 - 다수 산출물 간 발생하는 생산의 효율성을 측정하는 비모수적 선형계획법이다. 자료포락분석은 Farrell(1957)의 효율성 연구를 Charnes, Cooper and Rhodes(1978)가 발전시킨 것으로 다수의 투입 요소와 다수의 산출요소를 동시에 고려하여 비교 대상이 되는 DMU(의사결정단위, Decision Making Unit)의 상대적 효율성을 측정하는 분석기법이다. 비슷한 성질을 지닌 DMU 사이에서 절대적 틀을 적용한 효율성 평가가 어렵기 때문에 가장 효율적이라 판단되는 DMU를 기준으로 다른 DMU의 상대적 효율성을 측정한다. 이 때문에 자료포락분석에서는 투입과 산출 요소에 관한 데이터를 그대로 사용할 수 있으며, 다수 투입 - 다수 산출의 결과를 하나의 단일 척도로 제시할 수 있다. DEA 모형은 투입요소와 산출요소에 대한 가중치에 따라 투입지향(input-oriented) 모형과 산출지향(output-oriented) 모형으로 구분된다. 투입지향모형은 산출수준을 유지하면서 투입요소의 감소를 통해 효율성을 계산하고, 산출지향모형은 투입수준이 유지되는 가운데 최적의 생산규모를 산출한다. 또한 규모에 대한 수익의 변화 여부에 따라 규모에 대한 수익불변(Constant Return to Scale)을 가정한 CCR 모형과 규모에 대한 수익가변(Variable Return to Scale)을 가정한 BCC 모형이 있으며, 효율성

측정 연구에서는 대부분 두 모형을 모두 활용한다.

CCR 모형에서는 모든 DMU의 효율성이 1과 같거나 작다는 제약조건에서 상대적 효율성을 측정한다. 투입의 단위가 변화함에 따라 산출도 동일한 비율로 변화하는 규모수익불변을 가정하고 주어진 투입요소에 대한 최대 산출능력인 기술효율성(Technical Efficiency)을 도출하게 된다. 이를 측정하기 위한 식은 아래와 같이 나타난다.

$$\text{Maximize } E_k = \frac{\sum_{r=1}^s y_{kr} u_{kr}}{\sum_{i=1}^m x_{ki} v_{ki}} \quad \text{Subject to } E_{kj} = \frac{\sum_{r=1}^s y_{jr} u_{kr}}{\sum_{i=1}^m x_{ji} v_{ki}} \leq 1, j = [1, n]$$

E_k : DMU k의 효율성

u_r : r번째 산출물의 가중치

v_i : I번째 투입물의 가중치

y_{jr} : DMU j의 r번째 산출물의 양

x_{ji} : DMU j의 i번째 산출물의 양

BCC 모형은 Banker, Charnes and Cooper(1984)가 CCR 모형을 확장하여 수익규모가 변(variable returns to scale)을 가정하여 제시된 모형이다. 이 가정은 효율성 측정에 있어 기술효율성을 측정했던 CCR 모형과 달리 기술효율성(Technical Efficiency, TE)과 규모효율성(Scale Efficiency, SE)을 함께 측정할 수 있다는 점이 구별된다. 다시 말하면 BCC 모형에서는 두 효율성이 함께 측정되고 그 비율로부터 순수기술효율성(Pure Technical Efficiency, PTE)을 구할 수 있다. CCR 모형과 BCC 모형을 동시에 사용하여 DMU의 효율성을 분석할 때 특정 DMU의 효율성 값이 다르게 측정될 경우, 이는 DMU가 규모의 비효율성을 가지고 있다는 것을 의미한다. 따라서 DMU가 비효율적으로 관측될 경우 그 원인이 기술적 요인인지 규모의 요인인지 비교할 수 있다(이찬우, 2001).

이를 식으로 나타내면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Maximize } E_k = \frac{\sum_{r=1}^s y_r u_{r0} + u_0}{\sum_{i=1}^m x_{i0} v_i} \quad \text{Subject to } E_{kj} = \frac{\sum_{r=1}^s y_{ri} u_r + u_0}{\sum_{i=1}^m x_{ji} v_i} \leq 1, j = [1, n]$$

$$SE = \frac{\theta_{CCR}^*}{\theta_{BCC}^*} = \frac{TE}{PTE}$$

효율성을 분석하는 여러 기법 중 DEA를 채택하는 것은 기본적으로 다투입-다산출 구조에 적용 가능한 특성에서 기인한다. 따라서 다양한 목표를 지니는 분석단위의 특성에 부합하며, 특히 정부조직, 정책 등 공공부문의 효율성 분석에 유용한 기법이다. 또한 회귀분석 등 기존의 모형에서는 사전에 하나의 종합적인 비율척도를 산출해야 하고 이를 위한 요소별 가중치를 설정해야 하지만 DEA에서는 다수 산출요소를 그대로 활용한다. 이 때문에 가중치를 자의적으로 부여해야 하는 문제가 발생하지 않으며 투입요소-산출요소 간 함수관계를 모르는 상태에서도 효율성을 평가할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 본 연구에서는 재생에너지 정책개입에 대한 산출을 재생에너지 보급 확대와 함께 기술/가격경쟁력의 두 가지로 제시하며, DEA 분석을 통해 각각 재생에너지원이 가지는 상대적 효율성을 측정할 수 있다는 것에 의의를 둔다. 이를 위해 본 연구에서는 재생에너지 원별로 각 년도에서 발생하는 정책자원(예산) 투입과 발생한 성과(보급, 경쟁력)의 효율성을 측정하고, 전환 전후에서 발생한 효율성을 비교한다. 또한 재생에너지 정책의 목표가 투입된 예산에 대하여 보급실적 및 경쟁력을 확보하는 것을 감안하여 본 연구에서는 산출지향 모형을 기반으로 분석을 수행하였다.

2.2. 맘퀴스트 지수(Malmquist Index)

자료포락 분석의 초점은 각 의사결정단위(본 연구에서는 재생에너지원)의 상대적 효율성을 정태적으로 측정하는 방법으로 시간의 흐름에 따른 변화를 반영하지 못한다는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 시간의 흐름에 따른 동태적 분석을 수행하는 기법으로 활용되는 방법이 맘퀴스트 지수 분석이다. 맘퀴스트 지수는 두 시점 사이에 발생하는 생산성 변화를 측정하는 방법으로, 생산성 변화를 기술변화(Technical Change)와 효율성 변화(Efficiency Change)로 분해하여 설명해주는 지수이다(이경재, 2006).

특정 시점 t 와 미래 시점 $t+1$ 의 투입요소 x 와 산출물 y 의 조합을 각각 (x^t, y^t) , (x^{t+1}, y^{t+1}) 이라 할 때, 각 시점의 기술수준(효율적 프론티어)에서 투입-산출 조합에 대한 거리를 $D(x^t, y^t)$ 로 표현한다. 즉, 시점 t 의 기술수준을 기준으로 t 기의 투입, 산출의 거리는 $D^t(x^t, y^t)$, $t+1$ 의 기술수준을 기준으로 $D^{t+1}(x^t, y^t)$ 이 되는 것이다. 시점 t 를 기준으로

한 생산성의 변화는 t의 효율성 대비 t+1의 효율성의 비율을 시점 t에 맞춘 거리의 비율이 될 것이며, 시점 t+1을 기준으로 한 생산성 변화는 거리의 기준점이 t+1이 되는 것이다. 각각의 시점에 대한 생산성 변화 M은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$M^t = \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)}, \quad M^{t+1} = \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)}$$

맘퀴스트 지수는 두 시점에서 관측된 생산성변화에 대한 기하평균을 취하여 생산성 변화량을 도출한다. 이 때 산출된 값은 1을 기준으로 생산성의 증감을 판단한다. 1보다 크면 생산성 증가를, 1보다 작으면 생산성 감소를 의미한다.

$$MI = (M^t \times M^{t+1})^{\frac{1}{2}} \\ = \left\{ \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \right] \times \left[\frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Fare et al.(1994)은 맘퀴스트 지수를 기술변화(Technical Change)와 기술적효율성변화(Technical Efficiency Change)로 분해하였다. 기술변화는 시점 t와 시점 t+1 사이에서 발생한 전체적 기술수준의 변화를 말한다. 기술수준의 변화 값이 1보다 크다면 에너지원 전반적으로 기술수준의 발전 폭이 증가함을 뜻하며, 반대로 1보다 작다면 기술발전의 폭이 감소함을 의미한다. 기술적효율성변화는 각 DMU가 효율적 생산에 얼마만큼 근접하는지 평가하는 지표이다. 기술적효율성변화가 1보다 클 경우 시점 t보다 시점 t+1에서 더욱 효율적인 생산이 이루어짐을 의미한다.

맘퀴스트 지수(MI)를 기술변화(TC)와 기술적효율성변화(TEC)로 분해하였을 때 그 식은 아래와 같이 유도된다.

$$MI = TEC \times TC \\ = \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \left\{ \left[\frac{D^{t+1}(x^t, y^t)}{D^t(x^t, y^t)} \right] \times \left[\frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

효율성변화는 다시 순수기술효율성변화(Pure Technical Efficiency Change)와 규모효

율성변화(Scale Efficiency Change)로 분해할 수 있다. 순수기술효율성변화는 시점 t와 시점 t+1 사이에 DMU가 효율적 상태에 근접한 정도를 측정하는 것이며, 규모효율성변화는 DMU가 규모의 경제에 접근한 정도를 측정하는 것이다. 이를 종합하면 맘퀴스트 지수는 기술변화와 순수기술효율성변화, 규모효율성변화의 곱으로 나타낼 수 있다.

맘퀴스트 지수는 생산성 변화를 동태적으로 분석하는 데 있어 다음과 같은 장점이 있다. 첫째, 생산성 변화의 요인을 각 DMU의 자체적 효율성(기술효율성)의 변화와 전체의 효율 프론티어의 변화(기술변화)로 분해하여 파악할 수 있다. 둘째, 다수 투입 및 다수 산출변수를 그대로 이용할 수 있다. 본 연구에서도 맘퀴스트 지수를 DEA와 병행하여 분석에 활용함으로써 재생에너지원에 대한 정책개입의 효율성 변화를 시간의 흐름에 따른 동태적 측면에서 분석할 수 있다.

IV. 실증 분석

1. 기술통계

선정한 변수에 대해 기초통계량 분석을 실시한 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 본 연구의 기술통계

에너지원	변수	최소값	최대값	평균	표준편차
태양광	RnD	28,100	124,000	88,581.818	27,475.401
	Diss	48,952	107,400	76,359.455	24,102.287
	FIT	14,580	373,890	269,720.364	109,800.212
	Ind	301,000	4,205,000	1,481,154.545	1,220,408.252
	NewCap	45347	1,362,490	531,914.727	470,255.073
	CostInv	0.005	0.013	0.008	0.003
풍력	RnD	26,500	87,500	60,563.636	19,794.205
	Diss	0	35,799	5,893.546	10,400.207
	FIT	0	17,955	5,022.819	6,678.483
	Ind	12,000	564,000	241,136.364	197,890.764
	NewCap	2,770	207,791	87,539.809	63,513.283
	CostInv	0.006	0.012	0.009	0.002

에너지원	변수	최소값	최대값	평균	표준편차
연료 전지	RnD	35,700	118,700	63,554.545	27,624.604
	Diss	0	15,342	8,947.273	6,131.203
	FIT	393	39,148	14,527.909	14,106.479
	Ind	4,700	117,000	50,072.727	38,047.920
	NewCap	25	67,827	22,707.727	21,063.013
	CostInv	0.006	0.013	0.009	0.003
바이오	RnD	6,600	29,300	20,309.091	7,819.010
	Diss	0	5,875	2,096.455	2,110.706
	FIT	16	202	93.182	61.250
	Ind	5,000	62,000	32,936.364	20,232.908
	NewCap	729	576,261	206,889.182	231,955.569
	CostInv	0.006	0.013	0.009	0.002

먼저 R&D 투자액(RnD)의 경우 태양광의 평균값이 88,581.818백만 원으로 다른 에너지원에 비해 평균적인 지원 규모가 더 크게 나타나고 있다. 풍력은 최대값이 87,500만 원으로 태양광, 연료전지에 비해 낮으나 평균값이 60,563.636백만 원으로 연도별 투자액 분포가 높은 지점에 위치함을 알 수 있다. 바이오는 연도별 분포가 네 에너지원 중 가장 낮은 값에서 발생하며, 평균 투자액 역시 약 20,309백만 원으로 분석기간 간 R&D 투자가 가장 소극적으로 이루어져 왔다고 할 수 있다. 보급사업(Diss)의 경우 태양광은 매해 보급지원사업에 의한 지원이 꾸준히 이루어져 왔지만, 기타 에너지원에 대해서는 보급지원 발생이 0인 연도가 존재했다. 특히 보급사업의 지원이 태양광으로 편중되었음을 기술통계를 통해 알 수 있다. 태양광에 대한 연평균 보급사업 지원액이 약 76,359.455백만 원인 것에 비해 풍력, 연료전지, 바이오는 각각 5,893.546백만, 8,947.273백만, 2,096.455백만 원으로 태양광의 10분의 1에도 미치지 못하였다. 발전차액지원금(FIT)의 경우에도 보급사업과 비슷한 점을 발견할 수 있다. 각 에너지원의 지원금 평균값은 각각 369,720.364백만 원(태양광), 5,022.819백만 원(풍력), 14,527.909백만 원(연료전지), 93.182백만 원(바이오)로 각각 나타났다. 보조금 형태로 직접적인 지원이 이루어진다는 측면에서 보급사업 지원액과도 비교할 수 있는데, 태양광과 연료전지는 발전차액지원금의 평균값이 보급사업 지원액보다 높았으며, 풍력과 바이오는 발전차액지원금의 값이 낮은 것으로 나타났다. 이는 재생에너지 생산과 신규설비라는 기준의 차이에서도 기인하나, 지원기간의 측면에서도 지속 지원(15년 또는 20년)과 당해 신규설치분이라는 차이도 영향을 미친 것을 고

려해야 한다. 산업 투자액(Ind)은 모든 재생에너지원에 대해 투입변수 중 가장 큰 값을 기록하였다. 특히 태양광과 풍력은 평균값이 각각 1,481,155백만 원과 241,136백만 원으로 타 투입변수의 4배 이상을 기록하였다. 연료전지와 바이오의 산업투자액이 타 변수에 비해 높지 않음을 감안할 때, 태양광과 풍력의 평균값이 지나치게 높은 것은 재생에너지 정책에서 태양광과 풍력이 차지하는 비중이 높은 것과 연관지을 수 있다. 실제로 발전차액지원을 받는 발전소 수의 97.2%, 지원금액의 91.4%가 태양광에 집중되어 있는 등 특정 에너지원에 대한 정책적 지원의 편중이 심각한 상황이다. 산업투자 지표의 차이는 이러한 보급정책의 추세를 고려한 산업계의 재생에너지 진입 행태로 이해할 수 있다.

투입변수인 신규설비(NewCap)에서는 바이오의 설비용량이 연평균 206,889kW로 태양광(평균 531, 915kW)에 이어 두 번째로 보급이 크게 확대되었다. 그러나 투입변수를 검토했을 때 정부의 재정투입에 비해 설비용량이 매우 큰 것으로 나타났다. 이는 바이오 에너지의 지원이 목질계(우드칩, 우드펠렛), 목액 등 자연에서 채취되는 원료를 사용하는 기술적 특성, 지역에서 주로 육성되면서 중앙정부의 정책적 지원이 덜한 점 등이 영향을 미친 것으로 판단된다. 풍력과 연료전지는 바이오의 뒤를 이은 평균값(87,540kW, 22,708kW)을 보였으며, 각 연도별 신규설치에 있어서도 분석기간 전체적으로 부진한 결과를 보였다. 발전원가(CostInv) 변수의 기술통계는 에너지원에 따른 차이가 크게 발생하지 않았다. 이는 원래 발전원가의 의미(높을수록 신규진입에 부정적 영향)를 반영하여 본 연구에서는 역수를 반영한 데 따른 것으로 모든 에너지원에 대해 평균값이 0.008~0.009kWh/원으로 나타났다.

2. 정태적 효율성 분석

자료포락분석을 활용한 정태적 분석에서는 CCR 모형과 BCC 모형을 모두 활용하여 각 시점에서 재생에너지원에 관한 투입의 효율성을 분석하였다. CCR 모형을 활용하여 얻는 기술효율성(TE), BCC 모형을 활용하여 얻는 순 기술효율성(PTE)과 규모효율성(SE) 값을 토대로 각 재생에너지원이 연도별로 갖는 효율성을 상대적으로 평가하게 된다. 또한, 총 분석기간 중 의무할당제로의 전환 이전을 FIT period(2007-2011)로, 이후를 RPS period(2012-2017)로 나누어 각 시기에서 발생하는 에너지원별 효율성을 비교하며, 각 시기에서도 재생에너지원 사이에 발생하는 효율성의 차이를 측정할 수 있다.

2.1. FIT period(2007-2011)

태양광, 풍력, 바이오, 연료전지에 대해 FIT 시기(2007-2011)의 연도별 정태적 효율성 분석 결과는 <표 6>과 같다. 기술효율성(TE)의 경우 2011년 풍력, 2009년 연료전지를 제외하고 모든 에너지원, 모든 연도에서 TE 값이 점차 감소하는 추세를 보였다. 이러한 추세는 순 기술효율성(PTE) 값에서도 비슷하게 나타난다. 두 모형에서 측정된 효율성 값은 대부분의 DMU에서 비슷하게 계산되었으나 2008년과 2009년 연료전지의 경우 PTE와 TE의 값이 크게 차이가 발생한 것을 확인할 수 있다(2008년 1, 0.5590; 2009년 1, 0.8049) 효율성 1을 기록한 DMU가 CCR 모형에서는 4개, BCC 모형에서는 6개를 기록하고 있으나, 모두 풍력, 바이오, 연료전지에서만 발견되었다.

에너지원별로 세부적인 모형 값을 살펴보면 태양광은 전반적으로 네 에너지원 중 가장 낮은 효율성을 기록한 것으로 나타났다. 2007년에 TE와 PTE 값이 각각 0.3629, 0.3773으로 최고점을 기록한 이후 2011년 각각 0.0687, 0.0071에 이르기까지 효율성이 지속적으로 감소하였다. 풍력은 2007년 TE와 PTE가 각각 0.6055와 0.6578을 기록한 이후 2010년까지 지속적으로 감소하다 2011년 효율성이 1로 급증하였다. CCR 기준으로 각 DMU 순위에서 풍력은 바이오, 연료전지에 이어 세 번 째로 높은 순위 분포를 보였다. 바이오는 네 에너지원 중 가장 높은 효율성을 보였으나 타 에너지원과 마찬가지로 효율성이 지속적으로 감소하였다. 2007년과 2008년의 TE 값이 각각 1을 기록한 후 2010년과 2011년에는 .5022와 0.4452로 급격히 감소하였다. 마지막으로 연료전지는 2008년과 2009년 CCR 모형의 효율성이 0.5590과 0.8049로 효율성이 증가하는 형세를 보였다. 또한 CCR 모형이 비효율 상태임에 비해 BCC 모형은 효율적 상태(PTE 값 1)인 것으로 나타났다.

<표 6> 재생에너지원별 정태적 효율성 분석결과(2007-2011)

에너지원	연도	효율성			순위 (CCR 기준)
		TE	PTE	SE	
태양광	2007	0.3629	0.3773	0.9618	11
	2008	0.1594	0.1594	1	16
	2009	0.1181	0.1202	0.9825	18
	2010	0.0793	0.0795	0.9975	19
	2011	0.0687	0.0071	0.9676	20

에너지원	연도	효율성			순위 (CCR 기준)
		TE	PTE	SE	
풍력	2007	0.6055	0.6578	0.9205	7
	2008	0.3394	0.3397	0.9991	12
	2009	0.2532	0.2653	0.9544	13
	2010	0.1666	0.1876	0.8881	15
	2011	1	1	1	1
바이오	2007	1	1	1	1
	2008	1	1	1	1
	2009	0.9095	0.9347	0.9730	5
	2010	0.5022	0.5033	0.9978	9
	2011	0.4452	0.5012	0.8883	10
연료전지	2007	1	1	1	1
	2008	0.5590	1	0.5590	8
	2009	0.8049	1	0.8049	6
	2010	0.1422	0.1472	0.9660	17
	2011	0.1947	0.2320	0.8392	14

2.2. RPS period(2012-2017)

2012년 의무할당제로의 전환 이후 각각의 에너지원에 대해 연도별 정태적 효율성 분석 결과는 <표 7>과 같이 나타났다. 모든 에너지원에서 시간이 지남에 따라 CCR 효율성(TE)이 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 BCC 모형의 경우 PTE 값이 16개 DMU에서 1을 기록하였다. 연도별 추이를 비교하였을 때는 전환 후의 효율성이 모든 에너지원에서 절대적으로 높지는 않았다. 풍력은 2012년과 2015년, 바이오는 2012년을 제외하고 CCR 모형 및 BCC 모형에서 모두 효율성이 1을 기록하였다. 반면 태양광과 연료전지는 CCR 모형에서는 상대적으로 낮은 효율성을 보였으나, BCC 모형에서는 2015년 이후 PTE 값이 1을 기록해 정책적 투입에 대한 효율성이 확보된 것으로 관측되었다.

에너지원별로 세부적인 효율성 값을 살펴보면 태양광은 CCR 모형의 경우 FIT 시기와 마찬가지로 네 에너지원 중 가장 낮은 효율성 값을 기록하였다. DMU 순위 분포를 통해 본 에너지원 별 상대효율성 비교에서 태양광은 최하위권에 분포하고 있었다. 태양광은 그러나 2012년 0.1118에서 2017년 0.6435에 이르기까지 점진적으로 효율성 값이 증

가하는 것으로 나타났다. 이에 비해 BCC 모형의 경우 PTE 값이 2013년 0.2209에서 2014년 0.7210으로 급증하였고, 2015년 이후 1을 유지하고 있다. 이러한 현상은 연료전지의 경우에도 비슷하게 발견되며, 이와 함께 규모효율성(SE)은 2014년 이후 0.6 이하로 낮아진 것을 확인할 수 있다. 연료전지의 경우 태양광과 마찬가지로 2015년 이후 효율성이 증가하는 추이를 보였으며, CCR 모형의 경우 효율성 증가의 폭이 태양광보다 큰 것을 확인할 수 있다.

<표 7> 재생에너지원별 정태적 효율성 분석결과(2012-2017)

에너지원	연도	효율성			순위 (CCR 기준)
		TE	PTE	SE	
태양광	2012	0.1118	0.1208	0.9255	24
	2013	0.2181	0.2209	0.9783	20
	2014	0.4282	0.7210	0.5939	18
	2015	0.5933	1	0.5933	14
	2016	0.4895	1	0.4895	15
	2017	0.6435	1	0.6435	13
풍력	2012	0.9475	1	0.9475	11
	2013	1	1	1	1
	2014	1	1	1	1
	2015	0.4752	0.4755	0.9994	17
	2016	1	1	1	1
	2017	1	1	1	1
바이오	2012	0.4855	0.7197	0.6746	16
	2013	1	1	1	1
	2014	1	1	1	1
	2015	1	1	1	1
	2016	1	1	1	1
	2017	1	1	1	1
연료전지	2012	0.1476	0.2059	0.7169	23
	2013	0.1498	0.1896	0.7901	21
	2014	0.1498	0.1879	0.7972	21
	2015	0.7249	1	0.7249	12
	2016	0.3922	1	0.3922	19
	2017	1	1	1	1

전환 전후 두 시기의 효율성 값을 비교하기 위해 추가적으로 각 시기 전체에 대해 에너지원별로 DEA 분석을 수행하였다(<표 8> 참조). 그 결과 태양광, 풍력, 바이오에서 전환 이후 기술효율성(TE, PTE) 값이 증가한 것으로 나타났다. 특히 중앙정부의 보급사업 지원이 적었던 바이오보다 보급지원, 발전차액지원의 규모가 컸던 태양광과 풍력의 기술효율성의 개선 정도가 큰 것으로 나타났다. 세부 수치별로는 태양광은 TE 값이 0.1579에서 0.4137로 1.62배, PTE 값은 0.1615에서 0.6712로 3.16배 증가하여 네 에너지원 중 가장 변화 폭이 컸다. 풍력은 전환 전후 TE 값은 91.1%(0.4729 → 0.9038), PTE 값은 86.2%(0.4901→0.9126) 증가하였다. 전환 이전(FIT 시기)에 가장 효율성이 높았던 바이오는 상대적으로 효율성 개선의 폭은 작았으나, 전환 전후에서 모두 가장 효율성이 높은 것으로 나타났다. 그러나 연료전지는 의무할당제로 전환되기 전보다 전환된 후 오히려 평균적인 효율성이 오히려 낮은 것으로 산출되었다. FIT 시기에서 CCR 효율성과 BCC 효율성이 각각 0.5402와 0.6758에서, RPS로 전환된 이후의 효율성은 각각 0.4274와 0.5972로 20.9%, 11.6% 감소하였다.

<표 8> 전환 전후 재생에너지원별 효율성 비교

구분	효율성(FIT period)			효율성(RPS period)		
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE
태양광	0.1579	0.1615	0.9819	0.4137	0.6712	0.7040
풍력	0.4729	0.4901	0.9524	0.9038	0.9126	0.9911
바이오	0.7714	0.7878	0.9718	0.9142	0.9533	0.9458
연료전지	0.5402	0.6758	0.8338	0.4274	0.5972	0.7369
평균	0.4855	0.5288	0.9350	0.6648	0.7851	0.8444
표준편차	0.3507	0.3775	0.1056	0.3456	0.3394	0.1936

이러한 결과를 종합하였을 때 우리나라에서 의무할당제 전환을 통해 기대했던 효과는 부분적으로만 발생했다는 논의를 이끌어낼 수 있다. 정부는 의무할당제 도입 과정에서 도입의 정당성으로 발전차액 지원금의 급증으로 인한 예산 문제와 목표달성 부진을 의무할당제를 통해 해결할 수 있음을 주장하였다. 일단 의무할당제로의 전환 이후 의무대상자들은 늘어나는 재생에너지 의무생산량을 점차 충족하기 시작하였고, 의무이행 비율이 90%를 넘어가는 2015년부터 대부분 에너지원의 정책투입 대비 효율성이 확보된 것을 연도별 DEA 분석에서 확인하였다.

그러나 이러한 효율성 개선은 의무할당제 시행 이후 생산량이 증가한 에너지를 위주로 이루어졌다는 한계 역시 분석결과로부터 도출할 수 있다. 실제 의무할당제 도입 이후 신규 발전설비 실적 중 태양광의 비중은 발전설비 기준 99.6%(총 6,454개소 중 태양광 6,427개소), 발전용량 기준 60.5%(2,210MW 중 태양광 1,336MW)로 대부분 생산량의 증가가 태양광의 주도로 발생하였다. 이는 본 연구의 정태적 분석에서도 전환 전후 효율성의 개선이 태양광에서 가장 크게 이루어진 점과 연결된다. 반면 발전차액 신규 지원이 2012년부터 중단되었음에도 2017년까지 차액지원금이 연 3,000억 원 이상을 기록하였다. 즉, 발전차액지원제도의 신규지원 중단으로 인한 재정투입의 감소는 현재 시점까지는 투입 감소를 통한 효율성 제고에 영향을 미치지 않는다는 것이다. 이러한 점을 종합적으로 고려했을 때, 정태적 관점의 재생에너지정책 효율성 개선은 생산량(생산설비) 확대로 인해 발생하였으며, 재생에너지 사업자의 자발적 진입이 활발한 특정 에너지원에 한정하여 정책수단 전환의 효과성이 발생하고 있음을 의미한다.

3. 동태적 효율성 분석

재생에너지원별로 각 년도에 대한 생산성변화를 측정된 결과 전환 전후의 생산성변화가 에너지원에 따라 다른 양상으로 나타난 것을 알 수 있었다. 생산성 변화의 측정 기간을 전환(FIT to RPS) 전후 전체로 설정하면 어떠한 결과가 도출되는지 맘퀴스트 지수의 계산을 전환 이전(2007-2011, FIT), 전환 이후(2012-2017, RPS)에서 각각 시행하였다. 각 시기의 모든 시점에서 구한 효율성에 대해 기하평균을 취하여 각 시기에 대한 생산성 변화를 도출하였으며, 그 결과는 <표 9>와 같이 나타났다.

<표 9> 재생에너지원별 동태적 효율성 분석 결과

DMU		총생산성지수 (MI)	기술변화 (TC)	기술적효율성 (TEC)	순수효율성 (PTEC)	규모효율성 (SEC)
에너지원	Period					
태양광	FIT	1.175328	1.087217	1.081043	1	1.081043
	RPS	0.710798	0.914189	0.777517	1	0.777517
풍력	FIT	0.166891	0.168392	0.991082	0.999373	0.991703
	RPS	1.623796	1.623795	1.000001	1	0.97527

DMU		총생산성지수 (MI)	기술변화 (TC)	기술적효율성 (TEC)	순수효율성 (PTEC)	규모효율성 (SEC)
에너지원	Period					
바이오	FIT	1.344901	1.344901	1	1	1
	RPS	0.430806	0.430806	1	1	1
연료전지	FIT	3.801121	3.801121	1	1	1
	RPS	0.627399	0.717287	0.874682	1	0.874683

분석 결과 풍력을 제외하고 태양광과 바이오, 연료전지의 정책자원 투입에 대한 총 생산성 변화는 의무할당제로의 전환 이후에 오히려 낮아진 것으로 나타났다. 생산성지수를 기술변화와 기술효율성으로 분해하여 살펴보면 기술효율성이 가장 크게 영향을 미친 에너지원은 태양광이었으며, FIT 시기의 연료전지, 전체 시기의 풍력과 바이오는 기술적 효율성이 총 생산성변화에 전혀 영향을 주지 못했다. 기술적효율성 변화가 유의했던 태양광, RPS 시기의 연료전지는 그 원인이 순수기술효율성(PTEC)이 아닌 규모효율성의 변화(SEC)에 따른 것으로, 이는 규모의 확대에 의한 생산성 확대를 기대하기 어렵다는 것을 의미한다.

한편, 기술변화의 폭은 연료전지에서 가장 컸으며, 풍력, 바이오, 태양광의 순으로 나타났다. 각 에너지원에 대한 평균 신규설비용량이 태양광, 바이오, 풍력, 연료전지의 순으로 큰 사실을 고려하였을 때, 보급량이 확대됨에 따라 추가적으로 생산성이 증대될 여지가 줄어든다는 것을 뜻한다. 그러나 방향성을 함께 고려했을 때 풍력은 유일하게 전환 이후 기술변화가 더욱 증가한 것으로 나타났다. 이는 설치 및 생산에 대해 직접지원이 실행되는 발전차액지원제도와 대규모 설비의 신규진입에 유리한 의무할당제의 특성 차이가 전환 후의 풍력 보급에 유리하게 작용한 것으로 이해된다.

4. 고찰

자원 투입의 측면에서 발전차액지원제도와 의무할당제의 차이는 정부재정의 투입 구조와 재생에너지 공급의무자의 자발적 확보에 있다. 발전차액지원제도가 시행되는 과정에서 발생한 과도한 재정 투입과 목표달성 미흡이라는 문제를 의무할당제가 가지는 시장원리와 강제력에 의해 해결하고, 이에 따라 재생에너지 보급정책의 효율성이 자연스럽게

게 증가할 것으로 정부는 기대하였다. 그러나 본 연구에서 태양광, 풍력, 바이오, 연료전지를 대상으로 정책투입의 성과를 전환 전후에서 비교한 결과, 의무할당제 도입을 통해 기대했던 효율성 개선의 효과가 특정 에너지원에 국한하여 발생하였음을 확인하였다.

의무할당제가 도입된 이후 태양광과 바이오의 보급량이 급증함에 따라 산출 관점에서의 효율성이 증가하였으나, 이는 공급의무자들이 비교적 접근이 쉬운 태양광과 바이오 위주로 의무이행량 확보를 추진한 영향으로 해석할 수 있다. 이는 의무이행량의 97% 이상을 태양광이 차지한 통계로부터도 설명할 수 있다. 또한 제도의 영향 측면에서도 태양광은 타 에너지원에 비해 육성을 위한 정책적 배려가 강하게 작용하였고, 그 영향이 현재 시점까지 유지되고 있는 것으로 해석할 수 있다. 태양광은 발전차액지원제도 시기에 폐기물 위주인 재생에너지 믹스를 개선하기 위한 대안으로 인식되어 차액지원을 위한 기준가격이 별도로 지정되어 있었으며, 의무할당제가 도입된 이후에도 2016년 3월 공급인증서 시장이 통합될 때까지 별도 의무공급량이 부여되었다. 이러한 조치는 시장진입 초기 경제성이 상대적으로 낮은 태양광 산업을 육성하기 위한 조치(김봉주·김건식, 2013)였으나, 이러한 조치들은 오히려 타 재생에너지원의 보급이 상대적으로 더디게 되는 결과를 나타내게 되었다.

또한, 현재의 공급의무화제도는 공급의무자에게 부여되는 재생에너지의 총량만 할당될 뿐이며, 세부 에너지원별 구성 비율을 강제하지는 않는다(박연수, 2018)는 점 또한 본 연구의 결과를 설명하는 하나의 요인이 될 수 있다. 이 때문에 의무할당제 도입 초기 화력발전 공기업들은 의무이행률을 우드펠릿 혼소를 통해 해결하는 경향을 보이기도 했다(이석호·조상민, 2017; 이수일 외, 2015). 공급의무자의 이러한 행태는 일차적으로 의무이행에 관한 비용을 최소화하기 위한 전략에 의한 것이며, 이러한 문제를 해결하기 위해 정부는 공급인증서의 가중치를 조정하는 등의 보완책을 통해 다양한 재생에너지원에 대한 공급참여를 유도한다.

재생에너지 보급 확대를 위한 원별 육성정책 역시 성과 제고를 위해 고려해야 할 요소이다. 본 연구에서 시행한 자료포락분석의 모형이 산출지향임을 감안할 때, 연료전지의 정책효율성이 전환 이후에 오히려 감소한 것은 의무할당제 도입 이후 연료전지 보급을 위한 지원책과 그 성과가 타 재생에너지원에 비해 상대적으로 미흡했음을 의미한다. 실제로 연료전지 발전소는 2008년부터 2012년까지 성장세가 정체되었다가 의무할당제가 도입된 이후 본격적으로 확충되었다. 2013년 경기그린에너지에서 58.8MW 규모의 발전소 가동 이후 연 30~40MW 수준으로 확충(장진영 외, 2019)되었는데, 이 시기 태양광의 매년 신규 발전용량은 300MW 이상을 기록하였다. 이러한 점을 고려하였을 때, 의무할

당제로의 전환 이후 재생에너지원에 따라 정책 효율성의 변화 양상이 다르게 나타난 것은 정책수단의 전환에 따른 지원 구조의 변화와 함께 이에 대한 정책 관련자들의 반응이 결합된 것으로 볼 수 있을 것이다.

V. 결론

우리나라는 재생에너지 육성을 위한 핵심 정책수단으로 2002년부터 발전차액지원제도를 시행하였으나 정부재정의 부담 과다, 재생에너지 보급 목표달성 미흡 등의 이유로 2012년 의무할당제로 전면적 전환을 실행하였다. 이는 현재 시점에 전 세계에서 우리나라에만 남아있는 전환 사례이고, “발전차액지원과 의무할당제 중 더 효과적인 정책수단은 무엇인가?”라는 질문에 대한 새로운 답이 요구된다. 이에 본 연구에서는 한국에서 발생한 정책수단 전환(발전차액지원제도→의무할당제)을 기준으로 전후 기간에 대한 패널 데이터를 수집하여 전환 전후의 정책자원 투입 대비 성과를 측정하고 그 효율성의 변화를 비교분석하였다. 이는 기존 연구에서 두 정책수단의 비교에 대한 일반론적인 결과를 도출한 것과 달리 정책수단의 전환에 따른 변화에 초점을 맞췄으며, 단순한 보급을 넘어 각 에너지원의 기술/가격적 경쟁력 확보 또한 성과요소로 포함하였다는 데 본 연구의 의의가 있다. 태양광, 풍력, 바이오, 연료전지 등 각각 재생에너지원에 대해 정책수단 전환 후 정책투입의 효율성의 변화를 자료포락분석과 맘퀴스트 지수를 활용하여 정태적, 동태적 측면에서 각각 분석하였다. 그 결과는 다음과 같이 정리될 수 있다.

첫째, 의무할당제의 도입으로 인한 효율성 개선 효과가 일부 재생에너지원에서만 발생하였다는 사실이다. 자료포락분석 결과를 각 재생에너지원별로 살펴보았을 때, 연료전지의 효율성은 전환 이후 오히려 저하된 것을 확인하였다. 이는 발전차액지원 규모가 의무할당제 전환 이후에도 일정 수준을 유지했다는 점을 고려하였을 때 전환 이후 발전사업자의 신규 진입이 부진함을 의미한다. 의무할당제 체제에서는 재생에너지원이 기존 에너지원에 비해 가지는 가격적 불리에 대해 정부가 직접적으로 개입하지 않기 때문에 인증서 가중치 조정 등의 소극적인 개입으로 소수 에너지원에 대한 민간의 자발적 시장 진입을 기대하기 힘들기 때문이다. 결국 에너지원 별로 정책투입의 효율성 개선이 상반되는 것은 의무할당제가 작동하는 과정에서 ‘양적 보급 확대’ 외의 측면이 고려되지 않는 과정에서 발생한 한계로 이해된다.

둘째, 의무할당제로 전환된 이후 동태적 측면에서 효율성의 개선은 오히려 전환 이전보다 부진한 것으로 나타났다. 맘퀴스트 지수 분석을 통해 연도별 효율성 개선을 관측한 결과 분석한 에너지원 전반적으로 전환 발전차액지원제도 시기에 비해 의무할당제 시기에 효율성 개선이 부진한 것으로 확인되었다. 특히 시기 전체로 변화를 종합할 경우 풍력을 제외한 나머지 에너지원이 전환 후 생산성변화가 감소하였다.

이러한 논의를 통해 우리나라에서 발생한 발전차액지원에서 의무할당제로의 전환은 그 성과를 일부분에서만 달성했다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 정책수단의 전환 과정에서 정책수단 선택에 대한 정당성 문제와 연결된다. 정부는 재생에너지 정책수단 전환의 정당성으로 재생에너지 보급과 기술/시장경쟁력 강화를 제시하였다. 의무할당제 전환 이후 재생에너지 보급량의 확대는 의무대상자에게 부여되는 생산량의 증가와 불이행에 대한 강제력을 지니고 있는데 따른 것으로 보는 것이 타당하다. 이는 의무이행량의 97%가 집중된 태양광이 왜 전환 이후 효율성이 가장 크게 증가하였는지 설명하는 근거가 된다. 그러나 보급과 기술경쟁력의 두 측면을 함께 고려한 본 분석의 결과는 이러한 정당성이 모든 에너지원에 그대로 적용되지 않는다는 점을 시사한다. 이는 두 정책수단을 비교한 기존 논의의 결과가 모든 에너지원에 일괄적으로 적용될 수 없으며, 의무할당제의 장점이 그대로 전환의 정당성으로 적용되지 않는다는 함의를 제시할 수 있다.

특히 재생에너지원에 따라 효율성의 변화가 상반되어 있는 현상은 재생에너지 정책수단 전환의 성과가 특정 에너지원에 집중되어 있는 것을 의미한다. 이는 의무할당제 도입 과정에서 양적보급 확대와 함께 강조했던 목표인 산업경쟁력 강화 측면에 있어서는 전환을 통한 성과를 창출하기 어렵다는 것이다. 본 연구의 분석 결과는 이러한 정당성이 모든 에너지원에 그대로 적용되지 않는다는 점을 밝혔다. 재생에너지원의 기술/가격 경쟁력 강화 측면에 있어서는 시장기능을 중시한 의무할당제보다 발전차액지원제도를 비롯한 정부의 직접개입이 더욱 효과적일 수 있다는 가능성을 제시한다. 정부는 의무할당제 하에서 시장기능을 통한 경쟁을 활성화하고, 기술경쟁력의 강화를 통한 재생에너지의 성장을 기대했다, 그러나 의무대상자들은 의무이행 자체에 집중하는 행태를 보였으며, 재생에너지원에 대해 선택적 진입을 통해 재생에너지 믹스가 특정 에너지원으로 편중되는 결과를 낳았다. 이러한 한계를 해결하고 각 재생에너지원의 성장을 강화하기 위해서는 더욱 적극적인 육성 방안의 모색이 필요하다. 즉, 공급인증서 가중치 조정 등 의무할당제 내부적인 개선과 재생에너지원 별 육성정책의 연계성을 강화하기 위한 설계가 필요하다.

물론 본 연구는 정책 자원투입에 대한 효과성 비교에 초점을 맞췄기 때문에 정책적

개입 요소를 재정투입으로 한정하였으며, 공급인증서 거래비용과 같은 시장비용 요소가 반영되지 않아 분석 구도가 의무할당제에 상대적으로 유리하게 형성되었다는 한계가 있다. 또한 방법론 적용 과정에서 최대한 균형된 패널데이터(Balanced panel data)를 구축하는 과정에서 일부 데이터가 제공되지 않은 재생에너지원이 분석 대상에서 제외되었다. 재생에너지 확대를 위한 정책수단의 효과는 그 수단의 직접적 영향과 함께 축적된 기술 역량, 국제 환경이슈와 유가 등 외부적 요인의 영향이 복합적으로 작용한다. 향후 연구에서는 이러한 요소를 추가한 분석을 통해 재생에너지 정책수단의 효과성을 재정적 자원투입에 대한 효율성 차원을 넘어 종합적으로 검증할 수 있을 것이다. 또한 이를 통해 정책수단의 선택과 그로 인해 촉발되는 효과성에 대한 이론적 이해를 심화하는 데 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

(1) 국내문헌

- 구민교 (2013), “우리나라의 발전차액지원제도 사례 분석: 신산업정책론 시각에서”, 「한국행정연구」, 22(1), pp.1-27.
- 권태형 (2012), “신재생에너지 지원정책의 지대발생 효과와 규제: 신재생에너지 공급의무화제도 (RPS)를 중심으로”, 「에너지경제연구」, 11(2), pp.141-163.
- 권태형 (2014), “신재생에너지 시장 확대를 위한 정책수단의 비교 - 가격정책과 수량정책의 정책 결합”, 「한국정책과학학회보」, 18(2), pp.1-23.
- 김봉주·김건식(2013), “신재생에너지 공급의무 제도의 운용 현황과 과제”, 「이슈와 논점」, 753, 국회입법조사처.
- 김은성·허은녕 (2016), “동적 패널 모형을 이용한 재생에너지 정책의 OECD 국가 재생에너지 보급 효과 분석”, 「자원·환경경제연구」, 25(2), pp.229-253.
- 김준영·김성배·박성욱 (2016), “의무할당제의 국내 신재생에너지 발전량에 대한 정책효과 분석”, 「한국사회와 행정연구」, 27(2), pp.131-160.
- 김태은 (2011), “신재생에너지 성장의 영향요인 연구: FIT와 RPS의 효과성 검증을 중심으로”, 「한국행정학보」, 45(3), pp.305-333.
- 박연수(2018), “신재생에너지 공급의무화 제도(RPS)의 현황과 개선과제”, NARS 현안분석, 25, 국회입법조사처.
- 산업자원부 (2006), 「신재생에너지 발전차액지원제도 개선 및 RPS제도와 연계방안」.
- 신정희 (2011), “에너지공급에 있어서 국가의 과제와 지속가능한 재생에너지 보급촉진제도: 현행 발전차액지원제도와 2012년 도입되는 발전비율할당제”, 「법학연구」, 52(4), pp.27-51.
- 이경재 (2006), 「DEA 모형을 활용한 인터넷 기업의 효율성 평가에 관한 연구」, 전남대학교 대학원 박사학위논문.
- 이석호·조상민(2017), 「신재생에너지 RPS제도 개선을 위한 경매제도 도입 방안 연구」, 기본연구 17-22, 에너지경제연구원.
- 이성호 (2014), “한국의 RPS제도 이행 점검과 개선 방향”, 「Current Photovoltaic Research」, 2(4), pp.182-188
- 이수일·노재형·백철우(2015), 「신재생에너지 보급정책의 효율화 방안 연구」, 정책연구 2015-17, 한국개발연구원.
- 이수진·윤순진 (2011), “재생가능에너지 의무할당제의 이론과 실제: RPS 도입국가들에 대한 분석을 바탕으로”, 「환경정책」, 19(3), pp.79-111.
- 이찬우 (2001), 「DEA 모형을 이용한 과학기술계 정부출연연구소 연구부서의 효율성 분석: A정

부출연연구원의 연구사업단 사례를 중심으로」, 연세대학교 대학원 석사학위논문.

임형우·조하현 (2017), “RPS 및 FIT 제도가 신재생에너지 보급에 미치는 효과 분석”, 「에너지 경제연구」, 16(2), pp.1-31.

장진영·엄이슬·임두빈(2019), “연료전지 시장의 현재와 미래”, Issue Monitor, 112, 삼정KPMG 경제연구원.

지식경제부 (2009), 「신재생에너지 의무할당제(RPS) 국내운영방안 수립」.

한국에너지공단 (2018), 「2018 신재생에너지 백서」.

(2) 국외문헌

Banker, R.D., Charnes, A. and Cooper, W.W. (1984), Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, 30(9), pp.1078-1092.

Battle, C., Perez-Arriaga, I.J. and Zambrano-Barragan, P. (2012), Regulatory design for Res-E support mechanism: Learning curves, market structure, and burden-sharing, *Energy Policy*, 41, pp.212-220.

Bergek, A. and Jacobsson, S. (2010), Are tradable green certificates a cost-efficient policy driving technical change or a rent-generating machine? Lessons from Sweden 2003-2008, *Energy Policy*, 38(3), pp.1255-1271.

Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E. (1978), “Measuring the efficiency of decision making units”, *European Journal of Operational Research*, 2(6), pp.429-444.

Choi, G., Huh, S.Y., Heo, E. and Lee, C.Y. (2018), Prices versus quantities: Comparing economic efficiency of feed-in tariff and renewable portfolio standard in promoting renewable electricity generation, *Energy Policy*, 113, pp.239-248.

Dong, C.G. (2012), Feed-in tariff vs. renewable portfolio standard: An empirical test of their relative effectiveness in promoting wind capacity development, *Energy Policy*, 42, pp.476-485.

Doris, E. and Gelman, R. (2011), *State of the states 2010: The role of policy in clean energy market transformation*, National Renewable Energy Laboratory.

Fare, R.S., Grosskopf, S., Norris, M. and Ang, Z. (1994), Productivity growth technical progress and efficiency changes in industrialized countries, *American Economic Review*, 83, pp.66-83.

Farrell, M.J. (1957), The measurement of productive efficiency, *Journal of Royal Statistical Society*, 120, pp.253-281.

Frondel, M., Ritter, N., Schmidt, C.M. and Vance, C. (2010), Economic impacts from the

- promotion of renewable energy technologies: The German experience, *Energy Policy*, 38(8), pp.4048-4056.
- Grinlinton, D. and Paddock, L. (2010), The Role of Feed-in Tariffs in Supporting the Expansion of Solar Energy Production, *University of Toledo Law Review*, 41(4), pp.943-973.
- Kwon, T. (2015), Is the renewable portfolio standard an effective energy policy?: Early evidence from South Korea, *Utilities Policy*, 36, pp.46-51.
- Menanteau, P., Finon D. and Lamy, M. (2003), Prices versus quantities: choosing policies for promoting the development of renewable energy, *Energy Policy*, 31, pp.799-812.
- Neij, L. (1997), Use of experience curves to analyse the prospects for diffusion and adoption of renewable energy technology, *Energy Policy*, 25(13), pp.1099-1107.
- REN21 (2019), *Renewables 2019 Global Status Report*.
- Vedung, E. (1998), Policy Instruments: Typologies and Theories, In Bemelmans-Videc, M., Rist, R.C. and Vedung, E. (ed.), *Carrot, Stick and Sermons: Policy instruments and their evaluation*, New Brunswick NJ. USA.
- Verbruggen, A. (2009), Performance evaluation of renewable energy support policies, applied on Flanders' tradable certificates system, *Energy Policy*, 37(4), pp.1385-1394.
- Verhaegen, K., Meeus, L. and Belmans, R. (2009), Towards an international tradable green certificate system - The challenging example of Belgium, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(1), pp.208-215.
- Wei, M., Patadia, S. and Kammen, D.M. (2010), Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US?, *Energy Policy*, 38(2), pp.919-931.
- Woodman, B. and Mitchell, C. (2011), Learning from experience? The development of the Renewables Obligation in England and Wales 2002-2010, *Energy Policy*, 39, pp.2914-3921.
- Yi, J.Y., Yoon, K.B. and Park, W.S. (2013), The Renewable Portfolio Scheme, *Environment Law Review*, 35(1), pp.279-316.
- Yin, H. and Powers, N. (2010), Do state renewable portfolio standards promote in-state renewable generation?, *Energy Policy*, 38(2), pp.1140-1149.
- Zhao, X., Tang, K.K. and Wang, L. (2013), Do renewable electricity policies promote renewable electricity generation? Evidence from panel data, *Energy Policy*, 62, pp.887-897.

□ 투고일: 2019.11.27. / 수정일: 2020.3.31. / 게재확정일: 2020.5.21.