연구논문 「환경정책」 제27권 제4호 2019. 12: 1-22
DOI http://dx.doi.org/10.15301/jepa.2019.27.4.1
ISSN 1598-835X

시스템다이내믹스를 이용한 한국의 신재생에너지 정책 발전 방향에 관한 연구

A Study on Development Direction of Renewable Energy Policies Using System Dynamics

이동성* · 문태훈**
DongSung Lee · Tae-Hoon Moon

요약: 전 세계적으로 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도 중 어떠한 신재생에너지 정책이 신재생에너지 발전량 극대화 측면에서 우위에 있는지 활발히 논의되고 있는 시점에서, 본 연구는 신재생에너지 발전량 측면에서 우리나라에 적합한 신재생에너지 정책을 살펴보는 것을 목적으로 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 시스템다이내믹스 방법론을 활용하였다. 시스템다이내믹스 시뮬레이션 분석결과, 우리나라는 신재생에너지 발전량 측면에서 의무할당제도보다 발전차액지원제도가 더 적합한 것으로 나타났다. 또한 발전차액지원제도와 더불어 전력시장가격의 조정 및 지역별 차별화 정책을 함께 실시했을 경우 발전차액지원제도의 예산부담문제 해결 및 신재생에너지 발전량 극대화가 가능할 것으로 나타났다.
핵심주제어: 신재생에너지, 발전차액지원제도, 신재생에너지 의무할당제도, 시스템다이내믹스, 기후변화

Abstract: With increasing concerns on climate change in recent years, there has been a worldwide debate on policy choice between the FIT and the RPS. This study is aimed at finding a better policy alternative under budget constraints that can promote renewable energy production more effectively. Thus, the system dynamics simulation method was used. The simulation result shows that the FIT policy could produce more renewable energy than the RPS policy. Moreover, if the market price of electricity is adjusted by using some kind of tax system to reflect the cost associated with supplying renewable energy and customized policies for each region are implemented together with the FIT, then the budgetary burden of implementing FIT could be solved, and renewable electricity generation could be maximized.
Key Words: Renewable Energy, Feed-In Tariff, Renewable Energy Portfolio Standard, System Dynamics, Climate Change

* 주저자, 인천연구원 협약사업연구단 연구원
** 교신저자, 중앙대학교 도시계획·부동산학과 교수

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

21세기에 접어들어 온실가스로 인한 기후변화가 가속화되고 있고, 화석에너지의 고갈 문제도 심각히 거론되고 있다. 그리고 이러한 문제들을 해결하기 위해 신재생에너지의 중요성은 점점 더 커지게 되었다. 많은 국가들은 신재생에너지의 보급을 확대시키기 위해 다양한 신재생에너지 정책을 시행하고 있는데, 전 세계적으로 가장 많이 시행하고 있는 신재생에너지 정책은 가격정책의 성격인 발전차액지원제도(FIT, Feed-in Tariff)와 수량정책의 성격인 신재생에너지 의무할당제도(RPS, Renewable energy Portfolio Standard)이다. 신재생에너지 보급 측면에서 이 두 정책의 우위를 가리려는 노력은 학자들 사이에서 끊임없이 이뤄지고 있지만, 아직까지 어떠한 정책이 더 우위에 있다고 판단할 수 없는 상황이다.

우리나라는 2000년대 초 발전차액지원제도를 시행하여 신재생에너지 보급확산 및 신재생에너지 시장형성 등 신재생에너지 발전 측면에서 많은 성과를 이루었다. 하지만 발전소의 건설이 급격하게 증가하면서 정부 예산상 제약이 발생하였고, 결국 2012년 신재생에너지 의무할당제도로의 정책 전환을 선언하였다. 신재생에너지 의무할당제도 정책 초기인 현재, 발전 설비 용량과 사업자 수의 폭발적인 증가 등 많은 정책적 효과를 보고 있지만 이와 함께 의무공급량 과징금 증가와 같은 다양한 문제점을 야기하기도 하였다. 또한 최근 연구들을 살펴보면 신재생에너지 정책의 최종 목표인 신재생에너지 발전량 극대화를 달성하기 위해서는 장기적으로 우리나라에는 발전차액지원제도가 더 적합하다고 주장하기도 하였다(이동성·문태훈; 2015).

하지만 기존 연구들은 대부분 문헌연구를 통해 신재생에너지 정책을 비교하였을 뿐, 신재생에너지 정책의 기본 메커니즘과 더불어 발전차액지원제도의 정부 예산제약, 의무할당제도의 과징금 등 정책에서 발생할 수 있는 다양한 문제점들을 함께 고려하여 비교한 연구는 미흡한 상태이다.

따라서 본 연구는 발전차액지원제도 및 신재생에너지 의무할당제도의 기본 메커니즘과 함께 각 정책의 문제점을 모두 고려한 시스템다이내믹스 모델을 구축하고, 시뮬레이션 분석을 진행하여 장기적으로 우리나라에 어떠한 신재생에너지 정책이 신재생에너지 발전량 측면에서 적합한지 파악하고자하는 것을 목적으로 하였다. 또한 신재생에너지 발전량을 극대화시킬 수 있는 추가 정책방안을 모색하고자 하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 전국으로 설정하였다. 또한 전국을 시·도로 분류하여 지역별 정책분석을 실시하였다. 연구의 시간적 범위는 과거 데이터 구득가능 연도와 신재생에너지 의무할당제도에서 설정한 연도별 공급의무량 기간을 고려하여 2008년부터 2024년까지로 설정하였다. 모델 구축에 있어 신재생에너지 정책을 통한 연간 신재생에너지 발전량 증감효과를 비교하기 위해 통계청 및 한국전력거래소에서 2008년부터 2015년도까지의 시계열 자료를 활용하였으며, 신재생에너지 산업의 고용 창출효과와 경제 성장 정도를 파악하기 위해 에너지관리공단에서 제공하는 2008년부터 2015년까지의 시계열 자료를 활용하였다. 2016년부터 2024년까지는 시뮬레이션된 데이터를 이용하여 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도 하에서의 신재생에너지 발전량 추이를 비교하였다.

본 연구의 방법은 먼저 문헌연구를 통해 신재생에너지 정책인 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도의 메커니즘 및 인과관계를 파악하고, 이를 시스템다이내믹스 모델로 구현하여 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도 제도하에서의 신재생에너지 발전량을 비교하였다. 또한 시뮬레이션 분석을 통해 발전차액지원제도의 재도입 시 예산제약 문제를 해결하고, 신재생에너지 발전량을 극대화시킬 수 있는 정책방안을 모색하고 정책적 시사점을 도출하였다.

Ⅱ. 선행연구 검토

발전차액지원제도는 신재생에너지 발전에 의해 공급한 전기의 전력거래가격이 일정 기준가격보다 낮은 경우, 기준가격과 전력거래가격의 차액(발전차액)만큼을 전력사업기반기금에서 지원해주는 제도이다(「신에너지 및 재생에너지 개발이용보급 촉진법」 제17조 제2항). 반면, 신재생에너지 의무할당제도는 일정규모(500MW) 이상의 발전설비(신재생에너지 설비는 제외)를 보유한 발전사업자(의무공급자)에게 총 발전량의 일정비율 이상을 신재생에너지로 공급토록 의무화한 제도이다(한국에너지관리공단 신재생에너지센터).

현재까지 국내외 연구들은 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도의 장·단점 및 정책 효과성에 대해 활발하게 논의하고 있다. 발전차액지원제도를 주장하는 학자들은 발전차액지원제도의 경우 정부가 일정기간 가격을 보장해주기 때문에 투자에 대한 불확실성이 낮고, 시장 확대에 유리하다는 장점이 있다고 주장한다(Lipp, 2007; Rickerson et al., 2007; Toke, 2007; Fouquet et al., 2008; Begek et al., 2010; Haas et al., 2011; Woodman et al., 2011; Wood et al., 2011; Batlle et al., 2012; 최인호, 2011). 반면, 신재생에너지 의무할당제도를 주장하는 학자들은 발전차액지원제도의 적정 가격수준 책정의 어려움 및 정부의 재정부담 문제를 지적하면서, 신재생에너지 의무할당제도의 경우 의무공급자별로 신재생에너지 의무공급량을 설정하기 때문에 공급규모 예측 및 시장원리 적용을 통한 비용절감 유인, 정부의 재정부담 완화라는 장점이 있다고 주장한다(Frondel et al., 2010; 김태은, 2009; 김현제·김윤경, 2009; 권태형, 2012).

우리나라에서는 신재생에너지 정책으로 2001년 10월 발전차액지원제도를 처음 도입하여 신재생에너지 보급확산 및 신재생에너지 시장형성이라는 성과를 이루었지만, 정부의 예산부담으로 인해 2012년 1월 1일부터 발전차액지원제도를 중단하고 신재생에너지 의무할당제도를 현재까지 시행하고 있다. 신재생에너지 의무할당제도 시행 후 우리나라에서는 발전

설비 용량과 관련 사업체의 증가 등 많은 정책 효과를 보고 있다. 하지만 몇몇 연구들에서는 신재생에너지 발전량을 극대화하기 위해서는 현재 시행 중인 신재생에너지 의무할당제도와 기존 발전차액지원제도를 혼합하여 활용하는 정책이 필요하다고 주장하고 있다(이동성·문태훈, 2015; 권승문·전의찬, 2017). 이러한 논의에 대해 구체적으로 살펴보면, 이동성·문태훈(2015)은 시스템다이내믹스 기법을 활용하여 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도를 평가하였는데, 분석결과 발전차액지원제도가 신재생에너지 발전량 측면에서 우위에 있는 정책으로 나타났고, 지역별로 우위에 있는 정책이 상이하게 나타나서 지역별 특성에 적합한 정책을 적용하는 것이 바람직하다고 주장하였다. 또한 권승문·전의찬(2017)은 신재생에너지 의무할당제도만으로는 신재생에너지 보급 확대에 한계가 있음을 지적하고 소규모 발전차액지원제도의 필요성을 인과지도를 통해 살펴보았다. 분석결과, 발전차액지원제도의 문제인 예산부담은 발전차액지원제도의 기준금액을 인하함으로써 해결가능하고, 발전차액을 정부보조금과 함께 일반 전기사용자가 일부 부담하는 방안이 필요하다고 주장하였다.

본 연구는 시스템다이내믹스를 활용하여 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도를 비교하고, 우리나라의 신재생에너지 발전량을 극대화시킬 수 있는 정책조합을 모색한다는 측면에서 이동성·문태훈(2015)과 유사하다. 하지만 본 연구는 이동성·문태훈(2015)에서 고려하지 못한 발전차액지원제도의 예산제약 메커니즘과 신재생에너지 의무할당제도의 과징금 메커니즘을 추가적으로 고려하였고, 발전차액지원제도 재도입 시 필요한 정책방안을 모색했다는 측면에서 차별성을 가지고 있다.

Ⅲ. 시스템다이내믹스를 이용한 시뮬레이션 분석

1. 분석방법 – 시스템다이내믹스

시스템다이내믹스는 동태적이고 순환적인 인과관계의 시각으로 현상을 이해하고 설명하거나, 이러한 이해에 기초한 컴퓨터모델을 구축하여 복잡한 인과관계로 구성된 현상이 어떻게 동태적으로 변해나가는지를 컴퓨터상에서 실험해 보는 방법론이자 현상을 바라보는 시각이며 준거틀이다(문태훈, 2007).

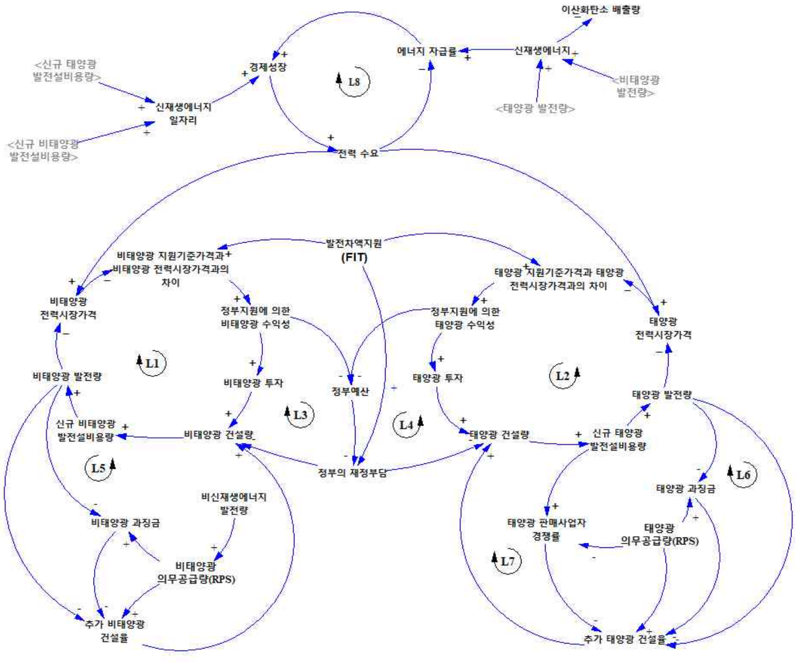
김도훈 등(1999)이 제시한 시스템다이내믹스 모델링을 절차는 다음과 같다. 먼저 시스템다이내믹스 모델링의 첫 단계는 문제를 인식하고 정의하는 것이다. 그리고 이를 인과지도(causal loop diagram)로 표현한다. 인과지도 작성단계에서는 정의된 문제를 야기시키는 다양한 원인들을 파악하고 각각 어떻게 상호 연결되어 있는지 피드백 시각에서 개념화(conceptualization)시킨다. 인과지도 구축 후에는 준거모드를 설정한다. 준거모드란 주요변수들의 행태를 시간의 흐름에 따라 동태적으로 그린 그래프로서, 시스템 문제의 정의와 개념화 과정을 도와줄 뿐만 아니라, 후에는 모델의 타당도를 실험하는 준거기준이 된다. 그다음 단계에서는 작성한 인과지도를 바탕으로 정책분석에 활용될 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 구축하고 시뮬레이션 분석을 실시하여 주요변수들의 행태를 중심으로 모델의 타당성을 평가한 후 결과를 확인한다. 마지막 단계에서는 타당성이 입증된 모델을 활용하여 정책대안 마련을 위한 분석을 진행한다. 정책분석은 구축된 모델을 통해 각종 모의실험을 실시하여 최적의 대안을 찾아내는데 중점을 둔다.

2. 인과지도 구축

신재생에너지 정책 비교를 위한 발전차액지원제도 및 신재생에너지 의무할당제도 메커니즘 관련 인과지도는 〈그림 1〉과 같다. 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도의 인과지도는 기본적으로 김현실 등

(2006)과 이동성·문태훈(2015)의 인과지도를 활용하여 작성하였다. 신재생에너지 정책이 처음 수립되었을 때부터 태양광, 비태양광 등 발전유형에 따라 정책이 상이하였기 때문에, 본 연구에서는 신재생에너지를 태양광 부문과 비태양광 부문[1]으로 구분하여 인과지도를 작성하였다. 먼저 발전차액지원제도의 인과지도를 살펴보면, 발전차액지원제도의 기준가격과 전력시장가격 차이만큼 정부는 보조금을 지원해주고, 이러한 지원은 신재생에너지 발전 수익으로 나타나게 된다. 그리고 신재생에너지 발전 수익은 신재생에너지 사업에 투자하는 투자자들의 증가를 초래하고, 신재생에너지 건설 및 발전량 증가를 촉진시킨다. 신재생에너지 발전량 증가는 수요-공급의 법칙에 의해 전력시장가격을 떨어뜨리게 되고, 지원 기준가격과의 차이가 더 커져 정부지원에 의한 수익성을 더 증가하게 되는 양(+)의 피드백루프를 형성한다(L1, L2). 반면, 신재생에너지 의무할당제도의 경우

〈그림 1〉 신재생에너지 정책 인과지도



1) 바이오, 풍력, 수력, 연료전지, 해양, 폐기물 등.

의무공급자들에게 신재생에너지 공급을 의무화하여 신재생에너지 시장 메커니즘과는 상관없이 신재생에너지 건설량과 발전량을 의도적으로 증가시킨다.

본 연구에서는 김현실 등(2006)과 이동성·문태훈(2015)의 기본적인 신재생에너지 정책 인과지도에 발전차액지원제도의 예산제약 문제 및 신재생에너지 의무할당제도의 과징금 문제에 관한 인과지도를 추가로 작성하였다. 발전차액지원제도의 메커니즘에는 기존 양(+)의 피드백루프(L1, L2)뿐만 아니라 예산제약이라는 음(-)의 피드백루프(L3, L4)도 존재한다. 발전차액지원제도라는 정부의 보조금 지원으로 신재생에너지 수익을 증가시켜 신재생에너지 건설량을 증가시키기도 하지만, 신재생에너지 수익 및 신재생에너지 관련 사업체 증가는 그만큼 정부의 예산 지원부담을 가중시킨다. 그리고 정부의 지원예산이 한계에 도달하게 된다면, 더 이상 신재생에너지 건설이 증가하지 못하게 된다.

한편, 신재생에너지 의무할당제도의 경우 추가적으로 의무공급 과징금 메커니즘이 존재한다. 기존에 논의했던 바와 같이 신재생에너지 의무공급량의 증가는 신재생에너지 발전량을 의도적으로 증가시키는 효과를 가져온다. 하지만 의무공급자가 정부가 고시하는 의무공급량을 충당하지 못한다면 의무공급자로 설정된 해당기업이 과징금을 부담해야하고, 이는 신규 신재생에너지 건설에 부담으로 작용할 수 있다(L6, L7). 실제로 현재 우리나라에서는 의무공급자들이 할당받은 의무공급량을 충당하지 못해서 막대한 과징금을 지불하고 있다. 이는 신재생에너지 건설을 가로막는 요인으로 작용하고, 그 다음해의 의무공급량을 또 충족시키지 못하는 요인으로 작용하고 있다.

인과지도를 전체적으로 살펴보았을 때, 발전차액지원제도는 신재생에너지에 대한 정부지원으로 투자자를 끌어들여 신재생에너지 건설량과 발전량을 지속적으로 증가시키는 양(+)의 루프와 정부의 예산부족 문제와 같은 발전차액지원제도의 효과를 억제하는 음(-)루프가 동시에 존재한다. 반면, 신재생에너지 의무할당제도의 경우 강제적으로 공급해야 할 발전량

을 정부가 설정하는 것이기 때문에 신재생에너지 발전사업자가 더 많은 발전량을 생산할 능력이 있음에도 정부가 설정한 발전량만큼만 생산하게 된다. 또한 발전사업자들의 의무할당량 불충족으로 인한 과징금 지불 및 태양광 판매사업자의 경쟁률이 지속적으로 상승하여 건설량(발전소)이 실질적인 신재생에너지 발전량이 의무공급량보다 부족하게 된다. 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도를 비교하였을 경우 신재생에너지 의무할당제도의 현재까지 신재생에너지 발전량과 고용창출효과는 기존의 발전차액지원제도가 시행됐을 때보다 나아졌다는 평가가 우세하다. 하지만 인과지도에서 나타난 신재생에너지 의무할당제도의 구조적인 측면을 보면 신재생에너지 발전량이 최종적으로 의무공급량을 수렴하는 균형루프를 형성하는 것에 반해, 발전차액지원제도는 정부의 예산문제를 해결할 시 지속적으로 신재생에너지 발전량이 상승할 가능성이 높은 정책으로 발전차액지원제도가 신재생에너지 발전량을 극대화시키는데 더 적합한 정책이라고 판단된다.

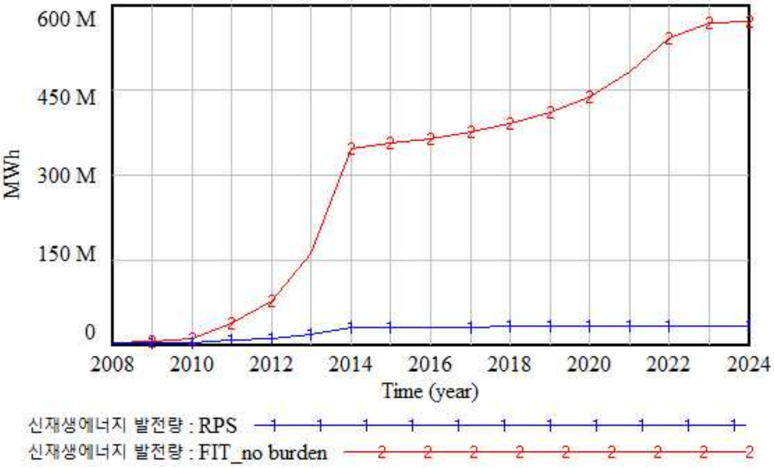
3. Base Run

앞서 구축한 인과지도를 Stork-Flow 다이어그램으로 변환하여 시뮬레이션 분석을 실시하였다.[2] 시뮬레이션 분석은 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무공급제도로 구분하여 시행하였고, 신재생에너지 발전량을 비교대상으로 설정하였다. 신재생에너지 인과지도를 통해 구축한 신재생에너지 Stork-Flow 다이어그램을 활용하여 분석한 시뮬레이션 결과 값은 〈그림 2〉, 〈그림 3〉과 같다. 〈그림 2〉와 〈그림 3〉은 발전차액지원제도에서 정부의 예산부담 유무에 따른 신재생에너지 발전량을 각각 나타내고 있다. 시뮬레이션 분석결과에서 1번은 신재생에너지 의무할당제도에 대한 시뮬레이션 결과이고, 2번은 발전차액지원제도에 대한 시뮬레이션 결과이다.

---

2) 구체적인 Stork-Flow 다이어그램 및 수식은 〈부록 1〉과 〈부록 2〉에 제시.

〈그림 2〉 신재생에너지 정책 시뮬레이션 결과
(예산제약 & 과징금 無)

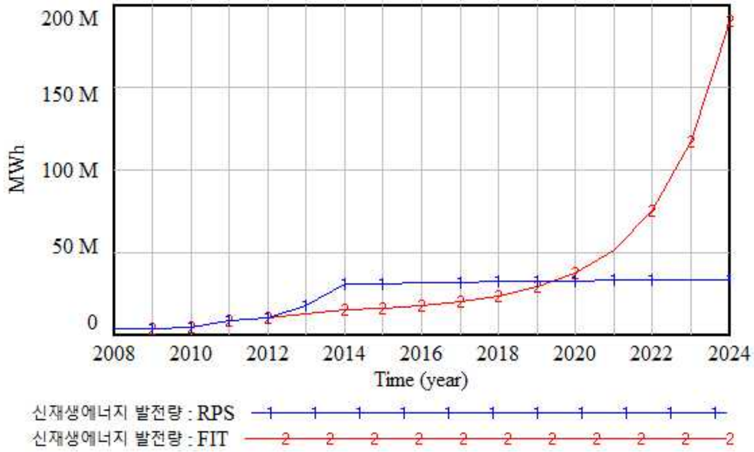


〈그림 2〉에서처럼 발전차액지원제도에 대한 정부의 지원예산이 무한하다고 가정한다면 앞서 인과지도에서도 추정했듯이 신재생에너지에 대한 투자와 그에 따른 신재생에너지 건설이 급속도로 증가하게 되어 의무할당제도 정책을 실시했을 경우보다 훨씬 많은 양의 신재생에너지 발전이 가능하게 한다. 하지만 현실은 〈그림 3〉과 같이 정부의 지원예산이 한정되어 있기 때문에 〈그림 2〉에서처럼 신재생에너지 발전량이 급속도로 증가하지 않는다. 의무할당제도 역시 과징금에 대한 영향 때문에 〈그림 2〉보다 적은 발전량을 생산할 것으로 나타났다. 즉, 〈그림 3〉이 〈그림 2〉보다 현실을 제대로 반영한 모델이라고 할 수 있다. 〈그림 3〉을 보다 자세히 살펴보면, 인과지도에서 지적했듯이 2012년 의무할당제도로 정책이 전환되었을 경우 과징금 및 경쟁률 문제 등으로 발전량 증가폭은 점점 더 줄어들게 되고, 2024년 발전량은 33,720GWh[3)]으로 나타났다. 반면에 지속적으로 발전차액지원제도를 시행한 경우에는 2019년까지는 의무할당제도보다 신재생에너지 발전 측면에서 우리나라에 적합하지 않은 정책으로 나타났지만, 그 이후에는 신재생에너지 발전 증가폭이 상승하게 되어, 2024년

3) 1,000MWh = 1GWh.

의 발전량이 190,300GWh로 의무할당제도 시행 때보다 약 5.6배 발전량을 더 공급하는 것으로 나타났다. 즉, 시뮬레이션 분석결과를 통해 살펴봤을 때, 발전차액지원제도가 신재생에너지 의무할당제도보다 장기적인 신재생에너지 발전량 측면에서 더 유리한 정책이라고 판단할 수 있다.

〈그림 3〉 신재생에너지 정책 시뮬레이션 결과
(예산제약 & 과징금 有)



4. 정책실험

지금까지 인과지도와 시뮬레이션 분석을 통해 장기적인 신재생에너지 발전량 측면에서 발전차액지원제도가 의무할당제도보다 우위에 있는 정책이라는 것을 파악하였다. 따라서 국내의 신재생에너지 발전량을 극대화 시키기 위해서는 발전차액지원제도를 재도입되어야만 할 필요가 있다. 하지만 이러한 주장은 기존에 도입되었던 발전차액지원제도의 정부 예산부족 문제 등을 해결하지 않고서는 논의될 수 없을 것이다. 또한 인과지도를 통해 설명할 수 있듯이 발전차액지원제도에 대한 문제를 해결한다면 신재생에너지 발전량을 보다 증가시킬 수 있다고 판단된다. 이에 이번 장에서는 발전차액지원제도가 재도입된 후 신재생에너지 분야의 선진 국가들이 활용하고 있는 발전차액지원 예산 저감방안을 함께 적용하였을 때의 신재

생에너지 발전량의 변화를 시뮬레이션을 통해 살펴보고, 우리나라에 적합한 신재생에너지 정책을 모색해보고자 하였다.

1) 발전차액지원제도 기준가격 조정

Klein et al.(2007)은 발전차액지원제도의 성공을 위해서는 적정한 이윤을 보전하는 장기적인 지원금 보장, 시간이 경과함에 따라 인센티브 강도 감소(tariff degression)가 중요한 요인이라고 주장하였다. 그리고 발전차액지원제도의 기준가격을 낮춤으로써 인센티브 강도 감소가 가능하다고 주장하였다. 이러한 요인은 독일의 발전차액지원제도에 내재되어 있다. 독일의 발전차액지원제도 운영방식을 살펴보면, 매년 발전차액지원제도의 기준가격을 인하하면서 전력 생산업체들의 기술개발을 촉진시키고, 발전효율 개선을 유도하고 있다. 이러한 맥락에서, 한국경제연구원(2016)과 권승문·전의찬(2017)은 우리나라에서도 신재생에너지 시장형성과 활성화를 위해 발전차액지원제도의 회귀가 필요하고 정부의 예산 부담을 기준가격 조정을 통해 해결해야한다고 주장하였다.

본 연구의 모델에서 기준가격을 낮췄을 경우 발전사업자들에게 배분되는 지원금이 줄어들게 되고, 정부의 지원예산 부담을 줄여줘서 장기적으로 신재생에너지 건설량을 증가시킬 수 있는 방안이 될 수 있다고 판단하였다. 하지만 반대로 기준가격이 낮아지게 된다면, 신재생에너지 산업에 대한 투자도 줄어들게 되어 건설량이 감소하는 반대 루프도 작용하게 될 수 있다.

<표 1> 기준가격 변화에 따른 발전량

구분	현재	1% 감소	5% 감소	10% 감소
태양광(원/GWh)	500,598	495,592	475,568	450,538
비태양광(원/GWh)	9,545	9,450	9,068	8,591
발전량(GWh, 2024년 기준)	190,300	174,400	121,900	83,130

〈표 1〉은 발전차액지원제도의 기준가격을 변경하였을 때의 발전량과 이에 대한 추세선을 보여주고 있다. 태양광과 비태양광의 기준가격을 각각 1~10%씩 감소시켰을 경우 2024년을 기준 신재생에너지 발전량은 점점 더 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 시뮬레이션 결과를 통해 살펴봤을 때, 우리나라에서는 발전차액지원제도의 기준가격을 낮췄을 경우 신재생에너지 투자 감소 효과가 커지게 되어, 신재생에너지 발전량은 감소하게 되는 것으로 판단된다. 즉, 발전차액지원제도의 기준가격 조정은 우리나라에 적합하지 않은 정책으로 판단된다.

2) 전력시장가격 조정

독일연방에너지·수도연합회(BDEW, Bundesverband der Energie-und Wasserwirtschaft)에 따르면 독일의 가정용 전기요금은 2000년을 기준으로 2012년에 1.8배 이상 상승하였다. 이렇게 독일의 전기요금이 상승하는 이유는 전력단가 등 요금의 경우 큰 변화가 없지만, 세금 및 신재생에너지 도입 관련 비용을 전기요금에 포함시키고 증가시켰기 때문이다. 즉, 독일은 발전차액지원제도에서 발생하는 지원예산을 전기사용자에게 세금을 부과하여 충당하는 시스템을 가지고 있다는 것이다. 국내 연구에서도 우리나라의 전력시장가격을 조정하여 발전차액지원제도의 정부보조금의 일부를 일반 전기사용자가 부담한다면, 발전차액지원제도의 예산 제약 문제를 해결할 수 있을 것이라고 주장하였다(권승문·전의찬, 2017).

〈표 2〉 전력시장가격 변화에 따른 발전량

구분	현재	1% 증가	5% 증가	10% 증가
태양광(원/GWh)	151,356	152,869	158,923	166,491
비태양광(원/GWh)	125,709	126,966	131,994	138,280
발전량(GWh, 2024년 기준)	190,300	190,300	206,700	305,400

〈표 2〉는 발전차액지원제도의 전력시장가격을 변경하였을 때의 발전량과 이에 대한 추세선을 나타내고 있다. 태양광과 비태양광의 전력시장가

격을 각각 1~10%씩 증가시켰을 경우 2024년을 기준으로 하였을 때 신재생에너지 발전량은 증가하는 것을 파악하였다. 즉, 발전차액지원제도의 예산을 늘릴 목적으로 전력시장가격을 증가시켰을 경우, 신재생에너지 발전량은 오히려 증가하게 된다. 즉, 발전차액지원제도를 시행하였을 경우 전력시장가격 조정 정책이 함께 시행된다면, 발전차액지원제도의 예산부담 문제를 일정수준 해소할 뿐만 아니라 신재생에너지 발전량까지 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3) 지역별 차별화 정책

지금까지의 신재생에너지 정책분석은 국가 전체를 대상으로 하여 정책 관련 파라미터를 변경함으로써 진행되었다. 하지만 신재생에너지 정책을 시행하는 국가 중에는 발전차액지원제도 및 의무할당제도 등 신재생에너지 정책을 혼합사용하는 국가도 존재한다. 대표적으로 미국의 경우 신재생에너지 정책은 연방정부 단위로 진행되고 있다. DSIRE(Database of State Incentives for Renewable & Efficiency)에 따르면, 2016년을 기준으로 의무할당제도를 시행하고 있는 주가 32개 존재하고, 독일 등 유럽 발전차액지원제도의 성공사례를 바탕으로 6개의 주가 발전차액지원제도를 도입하여 시행하고 있었다. 우리나라 또한 이러한 지역별로 차별화된 신재생에너지 정책을 시행한다면 정부의 발전차액지원 예산을 현재보다 줄일 수 있으며, 신재생에너지 발전량은 더욱 증가할 것으로 판단된다. 일반적으로 신재생에너지 발전은 풍량, 일사량 등과 같은 지형적인 요소에 의해 많은 영향을 받는다. 하지만 지역별 신재생에너지 발전량은 이러한 지형적 영향뿐만 아니라 신재생에너지 정책에 의해서도 많은 영향을 받게 된다. 한 가지 예로, 신재생에너지 의무할당제도의 경우 정책 특성상 의무공급자가 많은 양의 신재생에너지를 공급하도록 규제받기 때문에 대규모 발전소만을 건설하기 위해 노력한다. 하지만 이러한 경우 상대적으로 서울시는 비싼 부지 임대료, 넓은 공장이나 물류창고 등의 부재, 불리한 일사조건 등으로 의무공급량을 충족시키기 위해 대규모 신재생에너지 발전시설을 건설해야

하는 신재생에너지 의무할당제도가 적합하지 않아 전력생산에 한계가 존재하게 될 수가 있다(서울연구원, 2013).

따라서 시뮬레이션을 통해 지역별 발전차액지원제도와 의무할당제도에 따른 신재생에너지 발전량을 비교하여, 발전량 측면에서 우위에 있는 정책을 지역별로 파악해보고, 지방자치단체별 차별화된 신재생에너지 정책에 대한 효과를 파악해보았다.

〈표 3〉 신재생에너지 정책에 따른 전력량 비교

Type	지역	발전차액지원제도(GWh)	신재생에너지 의무할당제도(GWh)
Type 1	서울	898	871
	강원	28,380	6,573
	호남	58,070	10,220
Type 2	경기	22,800	24,600
	충청	153,100	196,100
	영남	307,100	574,700
Type 3	인천	14,750	14,750
	제주	116,600	116,600

〈표 3〉은 2024년을 기준으로 발전차액지원제도와 의무할당제도에 따른 시도별 신재생에너지 발전량을 나타낸 것이다. Type 1은 발전차액지원제도가 우위에 있는 지역을 나타내고, Type 2는 의무할당제도가 우위에 있는 지역을 나타내며, Type 3은 두 신재생에너지 정책과는 상관없이 동일한 발전량을 생산하는 지역을 나타낸다. Type 1에 해당하는 지역으로는 서울, 강원, 호남 지역이 포함되는데, 발전차액지원제도에 따른 신재생에너지 발전량은 의무할당제도에 비교하여 서울의 경우 약 1.03배, 강원의 경우 약 4.31배, 호남의 경우 약 5.68배 우위에 있는 것으로 나타났다. 반면에 Type 2에 해당하는 지역으로는 경기와 충청, 영남 지역이 포함되어 있다. 경기의 경우 의무할당제도에 따른 신재생에너지 발전량은 발전차액지원제도와 비교하여 약 1.07배 우위에 있다고 분석결과를 통해 확인할 수 있었고, 충청의 경우 약 1.28배, 영남의 경우 1.87배 우위에 있는 것으로 나타났다.

Ⅴ. 결론 및 제언

전 세계적으로 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도 중 어떠한 신재생에너지 정책이 신재생에너지 발전량 극대화 측면에서 우위에 있는지 활발히 논의되고 있다. 이러한 배경하에 본 연구는 어떠한 신재생에너지 정책이 신재생에너지 발전량 측면에서 우리나라에 적합한지 살펴보고 신재생에너지 발전량을 극대화시킬 수 있는 정책방안을 모색하는 것을 목적으로 하였다. 이에 본 연구는 시스템다이내믹스 방법론을 활용하여 발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도의 메커니즘을 살펴보고 이를 통해 신재생에너지 발전량 비교 및 발전차액지원제도 시행 시 신재생에너지 발전량을 극대화시킬 수 있는 정책방안을 모색하였다.

발전차액지원제도와 신재생에너지 의무할당제도를 비교한 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 발전차액지원의 예산제약이 없다고 가정하였을 때의 신재생에너지 발전량은 의무할당제도를 시행했을 경우보다 현저하게 높은 것을 확인하였다. 또한 현실을 반영하여 발전차액지원제도의 예산제약이 존재하였을 경우에도 신재생에너지 발전량은 의무할당제도를 시행했을 경우보다 2024년을 기준으로 5.6배 우위에 있었다.

다음으로 발전차액지원제도 재도입 시 신재생에너지 발전량을 극대화시킬 수 있는 정책분석은 크게 발전차액지원제도의 기준가격 조정, 전력시장가격의 조정, 지역별 차별화 정책으로 구분하여 실시하였다. 발전차액지원제도의 기준가격을 1~10%씩 감소시키는 정책분석을 실시하였을 경우 정부의 예산부담 감소보다 신재생에너지 산업 투자 억제 요인이 더 크게 작용하여 신재생에너지 발전량은 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 반면에 전력시장가격을 1~10%씩 증가시키는 정책분석을 실시하였을 경우 신재생에너지 발전량은 증가하는 것으로 나타났다. 마지막으로 지역별로 발전차액지원제도와 의무할당제도를 각각 적용해봤을 경우 신재생에너지 발전량 측면에서 발전차액지원제도가 우위에 있는 지역, 의무할당제도가 우위에 있는 지역, 그리고 두 신재생에너지 정책에 상관없이 동일한

발전량 값을 갖는 지역으로 구분되었다.

분석결과를 토대로 도출한 본 연구의 정책적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 우리나라의 신재생에너지 메커니즘을 고려하였을 때, 발전차액지원제도가 의무할당제도보다 신재생에너지 발전량 측면에서 우위에 있다는 사실을 도출하였다. 또한 발전차액지원제도의 예산제약 문제를 해결한다면 그 우위 정도는 더 커질 것이라는 사실 또한 도출하였다. 이러한 분석결과를 통해 우리나라에서 현재 시행하고 있는 의무할당제도는 예산 제약이라는 문제를 해결한 발전차액지원제도로의 회귀가 필요하다.

둘째, 발전차액지원제도를 활용하고 있는 독일과 일본 등 신재생에너지 선도국가들은 대부분 신재생에너지 발전량 극대화를 위해 발전차액지원제도의 기준가격 및 전력시장가격 조정 정책을 함께 활용하고 있다. 하지만 분석결과를 통해 확인하였듯이 우리나라에서 발전차액지원제도의 예산제약 문제를 해결하고 신재생에너지 발전량을 극대화시키기 위해서는 기준가격의 조정이 아닌 전력시장가격을 조정하는 정책이 추가적으로 실시될 필요가 있고, 이를 통해 예산부담 문제해결 및 신재생에너지 발전량 극대화를 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 분석결과를 토대로 확인하였을 때 장기적으로 신재생에너지 발전량을 극대화시킬 수 있는 개선 방안 중 하나는 지역적 접근이다. 분석결과 지역별로 신재생에너지 발전량 측면에서 발전차액지원제도가 우위에 있는 지역과 의무할당제도가 우위에 있는 지역으로 구분되었다. 즉, 장기적 측면에서 신재생에너지 발전량을 극대화시킬 수 있는 방법으로 중앙정부하의 일괄적인 정책이 아닌 지역 상황이 고려되는 정책이 신재생에너지 분야에서 적용하는 것이 바람직하다.

본 연구의 한계로는 데이터의 한계로 인해 비신재생에너지 발전량 및 지역별 고용인원에 대한 데이터를 환산하여 사용하였다는 점, 세분화의 한계로 비태양광부문을 바이오, 풍력, 수력, 연료전지, 해양, 폐기물 등으로 세분화하지 않고 비태양광이라는 한 부문으로 처리하여 사용하였다는 점, 그리고 민감도 분석을 광범위하게 실시하지 못했다는 점이다. 부족한

데이터를 구축하고, 비태양광부문에 대한 모델의 세분화 작업이 이루어진 다면 보다 나은 연구가 될 것으로 기대한다.

▌참고문헌▐

권승문·전의찬, 2017, “신재생에너지 정책변화를 고려한 인과지도 분석,”『한국시스템다이내믹스 연구』, 18(1), pp.161-175.

권태형, 2012, “신재생에너지 시장 확대를 위한 정책수단의 비교: 거래비용을 중심으로,”『정부학연구』 18(1), pp.217-239.

김도훈·문태훈·김동환, 1999,『시스템다이내믹스』, 서울: 대영문화사.

김태은, 2011, “신재생에너지 성장의 영향요인 연구: FIT와 RPS의 효과성 검증을 중심으로,”『한국행정학보』, 45(3), pp.305-333.

김현실·고경호·안남성·조병옥, 2006, “신재생에너지 보급량 예측을 위한 시스템다이내믹스 모델 개발,”『한국시스템다이내믹스 연구』, 7(2), pp.35-56.

김현제·김윤경, 2009, “신재생에너지 보급 지원정책으로서의 신재생에너지의무할당제도와 발전차액지원제도의 비교 연구,”『한국지구시스템공학회지』, 46(5), pp.625-634.

문태훈, 2007,『시스템사고로 본 지속가능한 도시』, 서울: 집문당.

서울연구원, 2013,『서울형 햇빛발전지원제도 도입방안』, 서울: 서울연구원.

신에너지 및 재생에너지 개발이용보급촉진법, 제17조 제2항, 2019, 법률 제16236호.

이동성·문태훈, 2015, “시스템다이내믹스를 이용한 신재생에너지 정책 비교에 관한 연구: 발전차액지원제도와 의무할당제도를 중심으로,”『국토계획』, 50(6), pp.173-187.

최인호, 2011, “기후변화체제에 대비한 재생가능에너지의 촉진을 위한 국내법제의 연구,”『법과 정책연구』, 11(2), pp.425-488.

한국경제연구원, 2016,『독일 에너지전환 정책의 추이와 시사점』, (KERI brief; 16-04), 서울: 한국경제연구원.

Batlle, C., I. J. Perez, and B. P. Zambrano, 2012, “Regulatory design for RES-E support mechanims: Learning curves, market structure, and burden-sharing,” *Energy Policy*, 41, pp.212-220.

Begek, A. and S. Jacobsson, 2010, “Are tradable green certificates a cost-efficient policy driving technical change or a rent-grenerating machine? Lessons from Sweden 2003-2008,” *Energy Policy*, 38, pp.1255-1271.

Fouquet, D. and T. B. Johansson, 2008, “European renewable energy policy at crossroads-Focus on electricity support mechanisms,” *Energy Policy*, 36(11), pp.4079-4092.

Frondel, M., N. Ritter, C. M. Schmidt, and C. Vance, 2010, "Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The german experience," *Energy Policy*, 38, pp.4048-4056.

Haas, R., G. Resch, C. Panzer, S. Busch, M. Ragwitz, and A. Held, 2011, "Efficiency and effectiveness of promotion systems for electricity generation from renewable energy sources: Lessons from EU countries," *Energy Policy*, 36, pp.2186-2193.

Klein, A., B. Pfluger, A. Held, and M. Ragwitz, 2008, *Evaluation of different feed in tariff design option*, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Lipp, J., 2007, "Lessons for effective renewable electricity policy from Denmark, Germany and the United Kingdom," *Energy Policy*, 35(11), pp.5481-5495.

Rickerson, W. H. and J. L. San, 2007, "If the shoe FITs: Using feed-in tariffs to meet U.S. renewable electricity targets," *Electricity Journal*, 20(4), pp.73-86.

Toke, D., 2007, "Renewable financial support systems and cost-effectiveness," *Journal of Claener Production*, 15, pp.280-287.

Woodman, B. and C. Mitchell, 2011, "Learning from experience the development of the renewables obligation in england and wales 2002-2010," *Energy Policy*, 39, pp.3914-3921.

Wood, G. and S. Dowm, 2011, "What lessons have been learned in reforming the renewable obligation? An analysis of internal and external in UK renewable energy policy," *Energy Policy*, 39(5), pp.2228-2244.

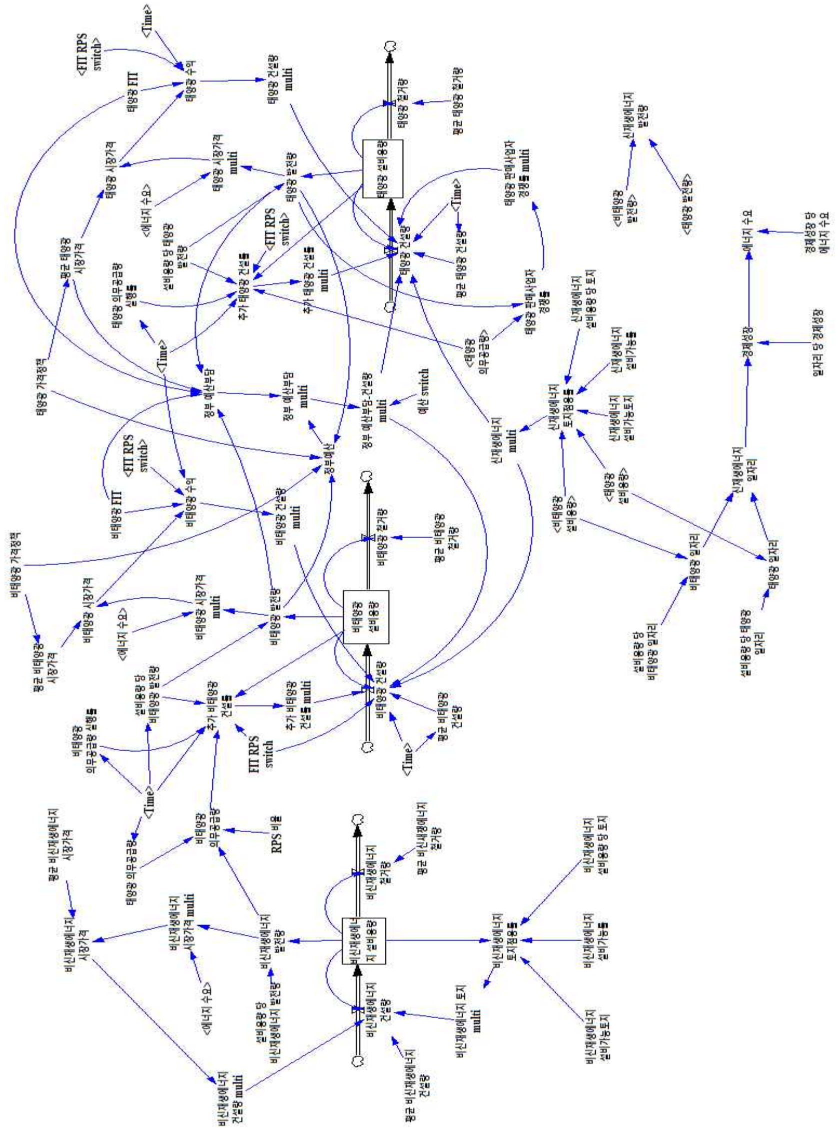
전력거래소, https://www.kpx.or.kr.

한국에너지공단 신재생에너지센터, http://www.knrec.or.kr.

BDEW, http://www.edi-energy.de.

DSIRE, http://programs.dsireusa.org.

〈부록 1〉 Stock-Flow Diagram



〈부록 2〉 주요변수의 설정값 및 출처

변수명	설정값(수식)	자료 출처
태양광 설비용량	275.67(2008년 태양광 설비용량, 초기값)	전력거래소
태양광 발전량	(태양광 설비용량x설비용량 당 태양광 발전량)	-
설비용량 당 태양광 발전량	4,399(2008-2015년 평균 태양광 발전량/2008-2015년 평균 태양광 설비용량)	한국에너지공단 전력거래소
태양광 시장가격 multi	Lookup 함수(에너지 수요/태양광 발전량, ([(0.32,0)-(2.44,10)],(0.32,0.69),(1,1),(2.44,1.46))	한국에너지공단 전력거래소
비태양광 설비용량	137.86(2008년 비태양광 설비용량, 초기값)	전력거래소
비태양광 발전량	(비태양광 설비용량x설비용량 당 비태양광 발전량)	-
설비용량 당 비태양광 발전량	2010년 이전: 17,468, 2011년 이후: 33,785 (평균 비태양광 발전량/평균 비태양광 설비용량)	한국에너지공단 전력거래소
비태양광 시장가격 multi	Lookup 함수(에너지 수요/비태양광 발전량, ([(0.36,0)-(1.88,10)],(0.36,0.74),(1,1),(1.88,1.22))	한국에너지공단 전력거래소
비신재생에너지 설비용량	71,673(2008년 비신재생에너지 설비용량, 초기값)	전력거래소
비신재생에너지 발전량	(비신재생에너지 설비용량x설비용량 당 비신재생에너지 발전량)	-
설비용량 당 비신재생에너지 발전량	6,126.59(2008-2015년 평균 비신재생에너지 발전량/2008-2015년 평균 비신재생에너지 설비용량)	한국에너지공단 전력거래소
비신재생에너지 시장가격 multi	Lookup 함수(에너지 수요/비신재생에너지 발전량, ([(0.99,0)-(1.05,10)],(0.99,0.86),(1,1),(1.05,1.14))	한국에너지공단 전력거래소
태양광 FIT	500,598	한국에너지공단
비태양광 FIT	시장가격+9,545	한국에너지공단
RPS 비율	(step(0.02,2012)+step(0.005,2013)+step(0.005,2014)+step(0.005,2016)+step(0.005,2017)+step(0.005,2018)+step(0.005,2019)+step(0.01,2020)+step(0.01,2021)+step(0.01,2022)+step(0.01,2023)+step(0.01,2024))	한국에너지공단

이동성: 중앙대학교 도시계획부동산학과에서 도시계획부동산학 박사학위를 취득하였으며, 현재 인천연구원 협약사업연구단에 재직하고 있다. 관심분야는 환경정책, 도시계획, 에너지정책 등이다. 주요저술로는 "대기오염요인이 주거만족도에 미치는 영향(2019)", "전기안전119 서비스 활용의 지역 격차에 관한 연구: 환경정의의 관점에서(2018)", "도시특성과 기후특성이 지역 에너지사용량에 미치는 영향에 관한 연구(2017)" 등이 있다(baby8803@gmail.com).

문태훈: 미국 State University of New York at Albany에서 1992년 행정및정책학 박사학위를 취득하였으며, 현재 중앙대학교 도시계획부동산학과 교수로 재직하고 있다. 주된 관심분야는 환경정책, 시스템다이내믹스, 도시정책 등이며 주요저술로는 「환경정책론」, 「시스템사고로 본 지속가능한 도시」, "새정부 환경정책의 과제와 환경정책의 발전방향", "Green Growth Policy in the Republic of Korea: Its Promise and Pitfalls", "인과지도로 본 한국의 성장의 한계: 인구, 경제, 자원, 환경, 식량 위기요인을 중심으로" 등이 있다(sapphire@cau.ac.kr, http://cau.ac.kr/~thmoon).

투 고 일: 2019년 10월 15일
심 사 일: 2019년 10월 19일
게재확정일: 2019년 11월 01일