

01

경제통상연구

변동성 재생에너지 발전량 충격에 따른 화석연료 발전의 반응 분석

•

*Impact of Variable Renewable Electricity Shocks
on Fossil Fuel Power Generation*

변동성 재생에너지 발전량 충격에 따른 화석연료 발전의 반응 분석

박경근^a

부산대학교 경제학부
BK21 교육연구단
연수연구원

Impact of Variable Renewable Electricity Shocks on Fossil Fuel Power Generation

Gyoeng-Geun Park

Research Fellow, BK21 Education and Research Program, Department of Economics,
Pusan National University, South Korea

Received 20 April 2026, Revised 12 May 2026, Accepted 17 May 2026

Abstract

This study examines whether an increase in variable renewable electricity (VRE; solar and wind) generation reduces fossil-fuel power generation in the Korean electricity market. Using monthly data from September 2004 to September 2024, a VAR model and impulse response functions are estimated separately for the FIT and RPS periods. The results show that VRE shocks had no statistically significant effect on fossil-fuel generation during the FIT period, whereas under the RPS they were followed by a positive response in coal generation for about five months. In addition, a positive SMP shock increased VRE generation under FIT but reduced it under RPS. These findings suggest that, within Korea's public utility-centered power-sector structure, the RPS may not fully induce fossil-fuel substitution because power companies have incentives to maintain coal generation for supply stability and cost control. Enhancing policy effectiveness therefore requires reducing coal dependence, expanding grid and storage infrastructure, and strengthening financial incentives for renewable power producers.

Keywords: Renewable Energy, Variable Renewable Electricity, Feed-in Tariff, Renewable Portfolio Standard, Fossil Fuel Dependency

I. 서론

1. 연구 배경

기후변화 대응과 탄소중립 달성을 위해 전력산업의 에너지원 전환은 핵심 정책과제로 부상하였다. 주요국은 화석연료 기반 전력생산을 재생에너지로 대체하기 위해 가격 기반 정책인 발전차액지원제도(FIT; Feed-in Tariff)와 수량 기반 정책인 재생에너지 공급의무제도(RPS; Renewable Portfolio Standard)를 운용해왔다. FIT는 재생에너지 전력의 장기 구매가격을 보장하여 투자위험을 낮추는 방식이고, RPS는 일정 비율 이상의 재생에너지 공급의무를 부과하여 공급의무자가 직접 생산하거나 REC(Renewable Energy Certificate)를 구매하게 하는 방식이다.

우리나라는 2002년 FIT를 도입하여 재생에너지시장 초기의 투자 확대를 유도했으나, 보급량 증가에 따른 재정부담과 효율성문제를 이유로 2012년부터 RPS로 전환하였다. RPS는 가격경쟁을 통해 비용효율적 보급을 유도할 수 있지만, 재생에너지 발전사업자의 안정적 수익을 충분히 보장하지 못할 수 있다. 이 차이는 단순히 보급량의 차이를 넘어, 재생에너지발전이 실제 화석연료발전을 대체하는지에도 영향을 미칠 수 있다.

특히 우리나라의 재생에너지 확대는 수력 등 지리적 부존자원의 한계 때문에 태양광과 풍력 같은 변동성재생에너지(VRE; Variable Renewable Electricity)에 크게 의존한다. VRE는 자연조건에 따라 출력이 변하는 간헐성을 지니므로, 계통안정성을 유지하기 위해 보완발전원 또는 유연성자원이 필요하다. 따라서 재생에너지발전량이 증가했다는 사실만으로 화석연료발전 감축을 단정하기 어렵다. 실제 정책효과를 판단하려면 VRE 증가 충격이 석탄·LNG 발전량에 어떤 동태적 반응을 유발하는지를 확인할 필요가 있다.

2. 국내 전력산업 구조와 화석연료 의존성

국내 전력산업은 에너지 안보와 안정적 전력 공급을 중시하는 중앙집중형 체계로 발전해 왔다. 우리나라는 1차 에너지의 대부분을 해외 수입에 의존하고 있기 때문에, 1970년대 석유파동 이후 에너지 안보 강화를 위해 석유 의존도를 줄이고 석탄·LNG·원자력 등을 조합하는 방향으로 전원 구성을 다변화하였다. 이 과정에서 석탄 발전은 상대적으로 낮은 연료비와 장기간 연속 운전이 가능하다는 장점으로 기저부하 전원으로 활용되었으며, LNG 발전은 높은 연료비에도 불구하고 출력 조절이 용이하여

첨두부하와 수요 변동 대응 수단으로 활용되어 왔다.

현재 국내 전력산업은 한국전력공사를 중심으로 운영된다. 송전·배전 및 소매 부문은 한국전력공사가 담당하고 있으며, 발전 부문은 한국전력 산하 발전공기업과 일부 민간 발전사로 구성되어 있다. 특히 한국수력원자력을 제외한 발전공기업은 석탄과 LNG 발전을 주요 공급원으로 운영하고 있다. 이러한 구조는 전력 수급 안정성 확보에는 유리하지만, 시장 경쟁이 제한되고 전력요금에 정부 정책에 의해 결정되는 특징을 가진다. 따라서 발전비용이 상승하더라도 소매요금에 즉시 반영되기 어려우며, 발전공기업은 기존 발전설비를 활용하여 비용을 최소화하려는 유인을 갖게 된다.

이러한 산업구조는 RPS 제도의 실효성에도 영향을 미칠 수 있다. 발전공기업은 법적으로 재생에너지 공급의무를 이행해야 하지만, 동시에 안정적인 전력 공급과 비용 절감을 달성해야 한다. 신규 재생에너지 설비 투자는 입지 확보, 계통 접속, 발전량 변동성, 수익성 불확실성 등의 부담을 수반하는 반면, 기존 석탄·LNG 설비를 활용하거나 REC를 구매하는 방식은 상대적으로 낮은 비용으로 의무를 충족할 수 있다. 또한 ESS(Energy Storage System)와 송배전망 등 전력계통 인프라가 충분히 구축되지 않은 상황에서는 변동성재생에너지(VRE)의 출력 변동을 보완하기 위해 화석연료 발전을 지속적으로 활용할 가능성이 존재한다.

결과적으로 RPS가 재생에너지 발전량 증가를 유도하더라도, 그 증가분이 실제 화석연료 발전 감축으로 연결되지 않는다면 온실가스 감축 효과는 제한될 수 있다. 따라서 재생에너지 보급 확대 여부뿐 아니라, 증가한 VRE 발전량이 화석연료 발전을 실제로 대체하는지에 대한 실증적 검증이 필요하다.

3. 연구 목적과 기여

본 연구의 목적은 국내 전력산업의 구조적 특성이 RPS의 실효성에 미치는 영향을 실증적으로 검토하는 것이다. 구체적으로 태양광·풍력 발전량 증가 충격이 석탄 및 LNG 발전량을 감소시키는지, 또는 전력 공급 안정성과 비용 절감 유인에 의해 화석연료 발전과 보완적으로 움직이는지를 분석한다. 이를 위해 2004년 9월부터 2024년 9월까지의 월별 전력시장 자료를 이용하고, 발전원 간 동태적 상호관계를 반영할 수 있는 VAR 모형과 충격반응함수를 적용한다.

본 연구는 기존 연구가 주로 재생에너지 보급 확대 효과 또는 발전연료 간 대체탄력성 추정에 초점을 맞춘 것과 달리, RPS로 증가한 VRE가 실제로 화석연료 발전을 대체했는지를 직접 검토한다. 또한 FIT와 RPS 기간을 비교함으로써 정책 체계가 VRE와 화석연료 발전의 상호작용을 어떻게 바꾸었는지 분석한다. 이를 통해 발전공기업의 의무 이행 방식, 석탄 발전 의존성, 전력시장 구조가 RPS의 실질적 효과를 제약할 수 있는지를 확인하고 정책 보완 방향을 제시한다.

II. 선행연구

재생에너지 보급 정책의 효과를 평가한 연구는 2010년대 이후 데이터 축적과 함께 활발히 진행되었다. Yin and Powers(2010), Schmid(2012), Dong(2012), Zhao et al.(2013), Smith and Urpelainen(2014), Li et al.(2015), Nicolini and Tavoni(2017), 김은성, 허은녕(2016), 임형우, 조하현(2017), 장연재, 공지영(2022) 등은 FIT와 RPS가 재생에너지 설비와 발전량 확대에 미치는 효과를 분석하였다. 다수의 연구는 FIT가 투자 안정성을 높여 재생에너지 확대에 더 강한 효과를 보일 수 있음을 제시했지만, 일부 연구는 국가의 제도·시장 조건에 따라 RPS도 유효할 수 있다고 보았다.

그러나 이러한 연구들은 대체로 “재생에너지 발전량이 증가했는가”에 집중한다. 재생에너지 보급이 궁극적으로 온실가스 감축에 기여하려면 발전 단계에서 화석연료 발전을 대체해야 한다. 국내 전력산업처럼 발전공기업이 비용 절감, 전력 수급 안정성, 기존 설비의 경제적 수명 등을 동시에 고려하는 구조에서는 RPS 의무가 재생에너지 확대와 화석연료 유지라는 두 경로를 동시에 유발할 수 있다. 따라서 보급 확대 효과만으로 정책의 실효성을 판단하기 어렵다.

국내 발전원 간 대체관계에 관한 연구로는 김수일(2006), 김영덕(2017), Kim(2019), 김영덕(2023), 박경근, 김영덕(2024) 등이 있다. 이들 연구는 주로 발전연료 가격 변화 또는 생산함수 접근을 통해 연료 간 대체탄력성을 추정하였다. 이러한 연구는 발전원 간 경제적 대체 가능성을 이해하는 데 기여하지만, 분석 기간이 RPS 도입 이전에 치우치거나, RPS가 유발한 VRE 발전 충격이 실제 화석연료 발전량의 동태적 변화로 이어졌는지를 직접 다루지는 못한다.

VAR 모형은 여러 변수를 내생적으로 취급하여 시계열 변수 간 상호작용을 분석하는 방법으로, 기존 구조 모형보다 유연한 접근을 제공한다(Sims, 1980). 에너지 분야에서는 유가 충격이 거시경제 변수에 미치는 영향을 분석하는 데 사용되어 왔다(Burbidge and Harrison, 1984; Bernanke et al., 1997; 김영덕, 2002, 2003). 본 연구는 이 접근을 발전원 간 관계에 적용하여 VRE 발전량 증가 충격이 석탄·LNG 발전량과 SMP에 미치는 동태적 반응을 추적한다는 점에서 차별성을 가진다.

Ⅲ. 자료 및 분석 방법

1. 자료와 현황

분석 자료는 전력통계정보시스템(EPSIS)의 월별 자료이며, 기간은 태양광 및 풍력 발전이 본격적으로 관측되는 2004년 9월부터 2024년 9월까지이다. 분석 변수는 태양광과 풍력 발전량의 합계인 변동성 재생에너지 발전량(SW), LNG 발전량(GA), 석탄 발전량(CO), 실질 계통한계가격(SM)이다. 발전량 단위는 1GWh이며, SMP는 2012년 1월 기준 전체 발전단가로 실질화하여 만 원/GWh 단위로 사용한다. 추정에서는 해석의 편의를 위해 모든 변수를 로그 변환한다. 전체 표본은 FIT 기간 88개월과 RPS 기간 153개월로 구분된다.

<표 1> 기초통계량

구분	변수	관측치	평균	표준편차	최솟값	최댓값
FIT	SW	88	56.38	43.04	1.62	156.94
	GA	88	5,556.31	1,752.77	2,402.53	11,530.22
	CO	88	13,548.13	2,367.88	9,700.42	17,719.23
	SM	88	15,262.61	2,171.81	9,945.37	20,315.81
RPS	SW	153	537.45	361.96	84.02	1,635.31
	GA	153	11,114.83	2,431.14	5,877.69	16,765.30
	CO	153	16,561.45	2,385.63	9,662.49	22,380.24
	SM	153	12,245.68	3,234.44	7,502.84	20,996.43

주: 발전량 단위는 1GWh, SMP 단위는 만원/GWh. 원자료: 전력통계정보시스템(EPSIS).

RPS 의무공급비율은 2012년 2.0%에서 시작하여 지속적으로 확대되어 왔다. 의무공급비율은 2024년 13.5% 수준에 도달하였으며, 2026년에는 15.0%까지 확대될 예정이다. 특히 2018년부터 2022년 사이에는 의무공급비율이 5.0%에서 12.5%로 크게 상승하여 재생에너지 보급 확대가 집중적으로 추진되었다.

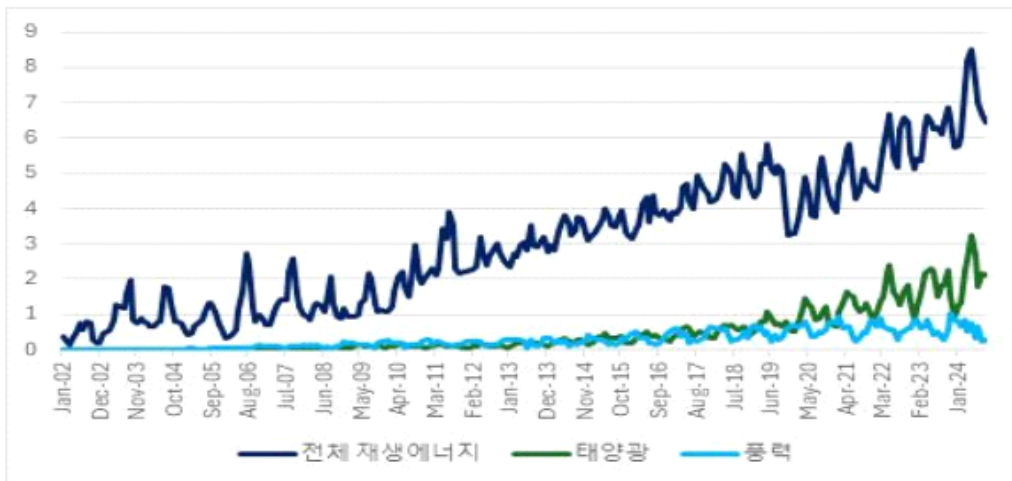
이와 같은 정책 변화와 함께 전체 재생에너지 발전 비중도 증가하였다. 특히 태양광과 풍력을 중심으로 한 변동성 재생에너지 발전 비중이 빠르게 확대되었으며, RPS 시행 이후 증가세가 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이는 최근 재생에너지 보급 확대가 주로 태양광과 풍력을 중심으로 이루어지고 있음을 보여준다.

<표 2> 연도별 RPS 의무 공급비율 및 공급량

연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
비율(%)	2.0	2.5	3.0	3.0	3.5	4.0	5.0	6.5
의무공급량 (GWh)	6,420	9,210	11,577	12,375	15,081	17,039	21,999	26,966
연도	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	-
비율(%)	7.0	9.0	12.5	13.0	13.5	14.0	15.0	-
의무공급량 (GWh)	31,401	39,206	58,673	62,626	63,819	-	-	

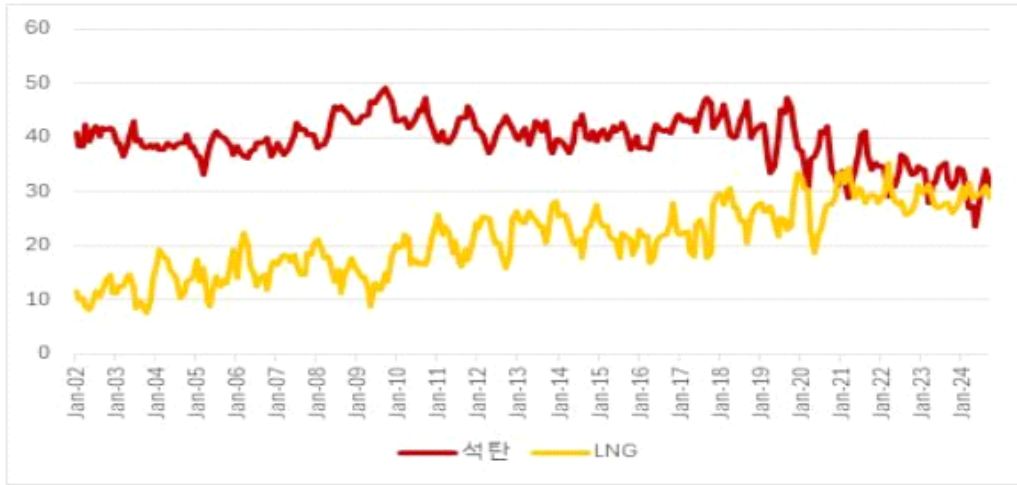
원자료: 한국에너지공단.

아래의 <그림 1>과 <그림 2>는 2002년 1월부터 2024년 9월까지의 전체 전력 생산에서 석탄, LNG, 전체 재생에너지, 태양광, 풍력 발전이 차지하는 비중의 변화를 나타내고 있다. 보시다시피, 석탄 발전 비중은 동 기간 점진적으로 줄어드는 추세를 보이는 반면, LNG 발전은 증가하는 양상을 보이고 있다. 재생에너지 발전도 증가하는 추세를 보이며 RPS가 시행된 2012년 이후 더 가파르게 증가하는 경향이 있다. 재생에너지 발전 증가세는 세부적으로 태양광과 풍력 발전에서 더 뚜렷하게 확인할 수 있다.



출처: 전력통계정보시스템(EPIS)

<그림 1> 재생에너지 발전 비중 변화(단위: %)



출처: 전력통계정보시스템(EPSS)

<그림 2> 화석연료 발전 비중 변화(단위: %)

2. 분석 방법

분석에 사용될 모형은 VAR(Vector Autoregression)으로 여러 변수 간의 상호작용을 동시에 분석할 수 있는 장점이 있다. 발전원 간의 동태적 상호 관계를 분석하기 위해 VAR 모형을 다음과 같은 식(1)으로 구성할 수 있다.

$$Y_t = \sum_{i=1}^l a_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^m b_i X_{1,t-i} + \sum_{i=1}^n c_i X_{2,t-i} + \sum_{i=1}^o d_i X_{3,t-i} + \sum_{i=1}^{11} e_i M_i + fT + C + u_t \quad (1)$$

여기서 Y_t 는 종속변수로 간주될 변수로써 t 기의 석탄, LNG, 변동성 재생에너지 발전량과 SMP가 각각 사용될 때 나머지 타 변수들이 설명변수로써 $X_{1,t}, X_{2,t}, X_{3,t}$ 로 취급된다. l, m, n, o 은 해당 설명변수에 설정된 시차이고, 이전 시기 설명변수들의 계수들($b_i, \dots, c_i, \dots, d_i$)이 포함되며, 경우에 따라 추가적으로 시간 추세(T)와 상수항(C)이 포함되어 구성될 수 있다. 오차항(u_t)들은 연속적으로 상관되지 않아야 한다. 또한 분석 과정에서 월별 더미변수(M_i)를 사용하여 월별 고정효과를 통제한다. 발전량은 냉난방 수요로 인해 계절에 따라 크게 달라지는 경향이 있다. 가령, 여름철에는 더운 날씨로 인해 냉방 수요가 급증하고, 겨울철에는 추운 날씨로 인해 난방 수요가 급증한다. 이와 같은 계절적인 변화는 전력 소비와 그로 파생되는 공급에 큰 영향을 미치기 때문에, 이러한 영향을 통제해주지 않으면 계절적 요인에 의한 편향이 발생할 수 있다.

IV. 분석 결과

1. FIT 시행 기간

정책 시행 시기별 패턴을 비교하기 위해, 먼저 FIT 시행 기간에 대한 분석을 수행한다. 분석에 사용될 자료는 시계열성이 강하게 존재하므로, 회귀 분석 시 오차항의 분산이 불 안정해지고 추정치에 편의가 발생할 가능성이 있다. 이러한 문제는 가성회귀(Spurious Regression) 문제로 알려져 있으며, 이를 방지하기 위해 자료의 시계열적 안정성을 확인하는 단위근 검정(Unit Root Test)이 필요하다.

본 연구에서는 ADF(Augmented Dickey-Fuller) 검정과 PP(Phillips-Perron) 검정을 활용하여 변수들의 단위근 여부를 검토한다. ADF 검정은 기존 DF(Dickey-Fuller) 검정의 한계를 보완하여 차분 항을 추가함으로써 자기상관의 영향을 제거할 수 있는 장점이 있다. PP 검정은 ADF 검정과 유사하지만, 오차항에 자기상관과 이분산이 존재하는 경우에도 보다 안정적인 검정통계량을 제공하는 장점이 있다. 두 검정의 귀무가설은 해당 변수에 단위근이 존재한다는 것이며, 이를 기각하면 해당 변수는 시계열적으로 안정적임을 의미한다. 단위근 검정 결과는 <표 3>에 제시하였다.

<표 3> FIT 시행 기간의 단위근 검정 결과

변수	검정	Constant	Trend	Noconstant	Drift
lnSW	ADF	-2.554	-3.925**	0.748	-2.554***
	PP	-5.926	-21.536**	0.563	
lnGA	ADF	-2.554	-3.915**	0.598	-2.554***
	PP	-17.599**	-34.553***	0.131	
lnCO	ADF	-1.592	-5.141***	0.855	-1.592*
	PP	-7.053	-47.227***	0.060	
lnSM	ADF	-2.444	-2.757	0.466	-2.444***
	PP	-11.920**	-15.823	0.024	

주: 1) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 수준에서의 통계적 유의성을 나타냄.

2) ADF는 Z(t), PP는 Z(rho) 통계량 값을 나타냄.

3) 해석상의 편의를 위해 로그 변환한 변수들을 사용함.

단위근 검정 결과, trend를 가정할 경우 lnSM을 제외한 모든 변수에서 귀무가설(단위근 존재)을 기각했고, drift를 가정할 경우 lnSM을 포함한 모든 변수가 안정적임을 확인했다. 이에 따라 VAR 모형에는 시간 추세와 상수항을 포함하여 분석한다.

FIT 시행 기간 동안을 분석한 VAR 결과는 <표 4>에 제시되어 있다. 변동성 재생에너지 발전량(lnSW)에 대해 분석한 결과를 살펴보면, lnSW 추정 식에서 이전 기 lnSM의 추정 계수가 0.7927 값을 통계적으로 유의하게 가지는 것으로 나타나, 이전 기의 계통한계 가격이 상승하면 변동성 재생에너지 발전량이 증가하는 관계가 확인된다. 계통한계가 격의 상승은 전체 전력 수요의 증가를 의미함으로 높아진 전력 수요로 인해 전력 공급이 증가하고 그러한 현상에 동반하여 변동성 재생에너지 발전량이 증가했을 가능성을 암시한다. 반면, lnCO 추정 식에서 이전 기 lnGA의 계수가 통계적으로 유의하게 -0.0625로 추정되어 LNG와 석탄 발전 간의 대체관계가 존재할 가능성이 확인된다.

<표 4> FIT 시행 기간의 변동성 재생에너지 발전 부문 VAR 결과

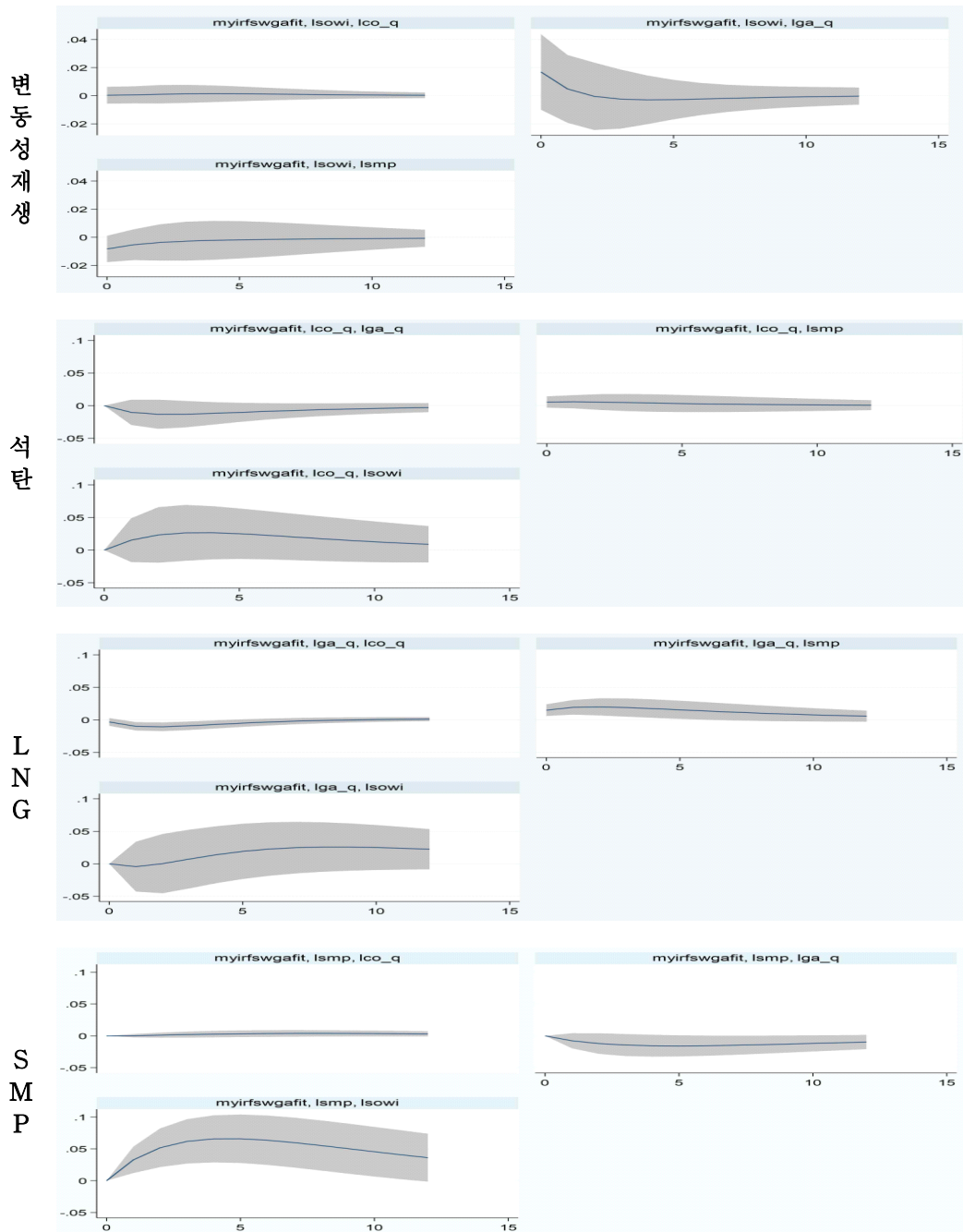
종속변수	설명변수	Coefficient	Std. err.
lnSW	lnSW(lag 1)	0.6806***	0.0683
	lnGA(lag 1)	-0.1175	0.1565
	lnCO(lag 1)	0.3849	0.5842
	lnSM(lag 1)	0.7927***	0.2499
	trend	0.0075	0.0049
	constant	-16.7143**	7.6046
	monthly dummies F test chi2		33.80***
lnGA	lnSW(lag 1)	-0.0280	0.0401
	lnGA(lag 1)	0.5642***	0.0919
	lnCO(lag 1)	-0.3240	0.3429
	lnSM(lag 1)	-0.1873	0.1467
	trend	0.0076***	0.0029
	constant	10.2490**	4.4632
	monthly dummies F test chi2		78.11***
lnCO	lnSW(lag 1)	0.0069	0.0089
	lnGA(lag 1)	-0.0625***	0.0205
	lnCO(lag 1)	0.6368***	0.0766
	lnSM(lag 1)	0.0056	0.0328
	trend	0.0025***	0.0006
	constant	3.7985***	0.9971
	monthly dummies F test chi2		290.22***
lnSM	lnSW(lag 1)	0.0049	0.0140
	lnGA(lag 1)	0.0503	0.0322
	lnCO(lag 1)	0.0393	0.1201
	lnSM(lag 1)	0.8716***	0.0514
	trend	-0.0007	0.0010
	constant	1.5673	1.5627
	monthly dummies F test chi2		54.75***

주: 1) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 수준에서의 통계적 유의성을 나타냄.

2) 월별 고정효과를 통제하기 위해 월별 더미변수들을 포함하였고, 월별 더미변수들의 효과가 통계적으로 유의미한지 확인하는 F-검정의 카이제곱 통계량의 값을 제시함.

3) 순서는 SW → GA → CO → SM으로 설정함.

<그림 3>은 충격 반응 함수 분석 결과를 나타낸다. 변동성 재생에너지 발전량을 대상으로 분석한 결과에서 변동성 재생에너지 발전량의 1% 충격 발생이 타 변수(석탄 발전량, LNG 발전량, SMP)에 미치는 영향은 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다.



<그림 3> FIT 시행 기간의 변동성 재생에너지 발전 부문 충격 반응함수 결과

석탄 발전량 충격의 경우, 변동성 재생에너지 발전량 충격에 대한 결과와 마찬가지로 타 변수(LNG 발전량, 전체 재생에너지 발전량, SMP)에 통계적으로 유의한 영향이 확인되지 않았지만, 1%의 LNG 발전량의 증가하는 충격이 발생할 때 통계적으로 유의하게 석탄 발전량에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나며, 그 영향은 대략 5개월 정도 지속되며 그 이후엔 0으로 수렴한다. LNG와 석탄 발전 간 대체관계가 있다면 이러한 현상이 설명된다.

또한, 통계적으로 유의하게 1%의 LNG 발전량 증가 충격으로 인해 SMP가 상승하는 영향이 대략 5개월 정도 지속되는 것으로 나타났다. 즉, 전력 수요가 높은 시기에 첨두부하인 LNG 발전량이 증가하여 SMP 상승이 동반되는 현상으로 해석할 수 있다.

SMP 충격의 경우에서 1%의 상승 충격이 발생할 때 변동성 재생에너지 발전량을 증가시키는 양(+)의 영향이 통계적으로 유의하게 대략 10개월 이상 지속되는 것으로 나타났다. 즉, FIT 정책 시행 기간에서는 변동성 재생에너지 발전 사업자의 안정적인 수익성이 보장되어 전력 수요가 상승하면, 타 발전 부문보다 변동성 재생에너지 발전이 더 민감하게 반응하여 증가하는 현상이 존재하는 것으로 확인된다.

2. RPS 시행 기간

여기서부터 RPS 시행 기간에 대한 분석 결과를 살펴본다. <표 5>는 RPS 기간의 단위근 검정 결과를 보여주고 있다. 검정 결과, lnSM을 제외한 모든 변수들이 trend를 가정하는 경우 통계적으로 유의하게, drift를 가정하는 경우에는 모든 변수에서 통계적으로 유의하게 단위근이 존재한다는 귀무가설을 기각할 수 있다.

<표 5> RPS 시행 기간의 단위근 검정 결과

변수	검정	Constant	Trend	Noconstant	Drift
lnSW	ADF	-2.554	-3.925**	0.748	-2.554***
	PP	-5.926	-21.536**	0.563	
lnGA	ADF	-2.554	-3.915**	0.598	-2.554***
	PP	-17.599**	-34.553***	0.131	
lnCO	ADF	-1.592	-5.141***	0.855	-1.592*
	PP	-7.053	-47.227***	0.060	
lnSM	ADF	-2.444	-2.757	0.466	-2.444***
	PP	-11.920**	-15.823	0.024	

주: 1) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 수준에서의 통계적 유의성을 나타냄.

2) ADF는 Z(t), PP는 Z(rho) 통계량 값을 나타냄.

3) 해석상의 편의를 위해 로그 변환한 변수들을 사용함.

RPS 시행 기간동안 변동성 재생에너지 발전량에 대해 분석한 VAR 결과는 <표 6>에 제시되어 있다. 결과를 살펴보면, lnGA 추정 식에서는 자신 이외의 변수에서 통계적으로 유의한 계수 값들이 추정되지 않은 반면에 lnSW 추정 식에서 이전 기 lnSM의 계수 값이 통계적으로 유의하게 -0.1467로 나타났다. 이는 이전 기의 SMP가 상승하면 현재의 변동성 재생에너지 발전량이 감소한다는 것을 의미한다. RPS하에서 SMP는 변동성 재생에너지 발전 수익 구조에 포함되기에 SMP 상승은 변동성 에너지 발전량을 증가시킬 것으로 예상되지만, 기대와는 다른 결과가 나타났다. 만약, SMP가 높은 시점에서 화석연료 발전이 더 높은 수익을 보장받을 수 있게 되고, 발전사들의 변동성 재생에너지 발전 선택에서 수익 달성보다 의무 이행으로 인한 유인이 더 크게 작용한다면 이러한 결과가 설명될 수 있다.

lnCO 추정 식에서 이전 기 lnSW의 계수 값이 통계적으로 유의하게 0.0938로 나타났다. 이는 이전 기의 재생에너지 발전량이 증가하면 현재의 석탄 발전량이 증가한다는 것을 뜻하고, RPS로 인해 경제성이 낮은 재생에너지 발전을 의무적으로 이행해야 하는 상황에서 발전사업자들의 비용 절감 유인이 강화되어 가장 저렴한 석탄 발전에 더 의존하게 되는 현상이 존재할 수 있음을 암시한다. lnSM 추정 식에서 이전 기 lnGA의 계수 값이 통계적으로 유의하게 0.0825로 나타나, LNG 발전량이 많아질수록 SMP가 상승하게 되는 국내 전력산업의 구조를 보여주고 있다.

<그림 4>은 RPS 시행 기간을 대상으로 수행된 충격 반응함수 분석 결과를 나타낸다. 변동성 재생에너지 발전량을 대상으로 분석한 결과에서 변동성 재생에너지 발전량의 1% 충격이 발생하면 통계적으로 유의하게 석탄 발전량에 대략 5개월 정도 지속되는 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 RPS 상황에서 단기적으로는 변동성 재생에너지와 석탄 발전이 동조적으로 증가할 수 있는 가능성을 시사하며, 발전사업자들이 전력 수급 안정성을 고려하여 석탄 발전을 보완적으로 활용할 수 있음을 의미한다. 변동성 재생에너지는 간헐적인 특성으로 인해 발전 단계에서 우선적으로 활용되는 경향이 있으나, 밤이나 무풍기와 같은 조건에서는 발전량이 급격히 감소하여 전력 수급에 영향을 미칠 수 있으며, 이러한 변동성을 보완하기 위해 경제성이 높은 석탄 발전이 가동될 가능성이 있다.

한편, SMP에 1%의 충격이 발생할 경우, 석탄 발전량은 통계적으로 유의한 음(-)의 반응을 보였으며, 그 영향은 약 1년간 지속되는 것으로 나타났고, 변동성 재생에너지 발전량 또한 감소하는 경향이 통계적으로 유의하게 나타났으며, 이 영향은 약 1년간 지속되는 것으로 나타났다. 이는 SMP 상승이 전력 수요 증가에 기반하여 발생하였고, 석탄 발전과 변동성 재생에너지가 전력 수요가 증가할 때 투입 후순위로 밀려나는 현상이 존재할 가능성을 시사한다. 분석 기간 동안의 석탄 발전 비용 상승, 정부의 환경 정책 변화 등과, 수익성이 낮아지고 전력 수요에 맞춰 즉각적으로 발전량을 조정할 수 없는 변동성 재생에너지의 특성에 기인한 것일 수 있다.

<표 6> RPS 시행 기간의 변동성 재생에너지 발전 부문 VAR 결과

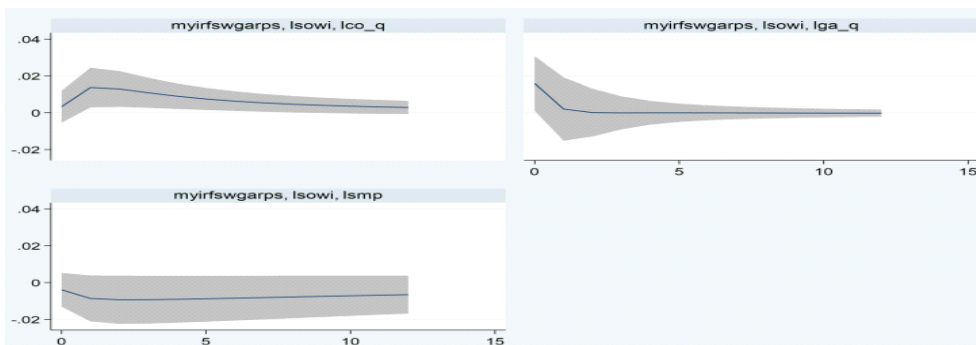
종속변수	설명변수	Coefficient	Std. err.
lnSW	lnSW(lag 1)	0.1845**	0.0809
	lnGA(lag 1)	0.0549	0.0844
	lnCO(lag 1)	0.1283	0.1101
	lnSM(lag 1)	-0.1467**	0.0586
	trend	0.0131***	0.0013
	constant	3.7605**	1.9063
	monthly dummies F test chi2		111.80***
lnGA	lnSW(lag 1)	-0.0660	0.0627
	lnGA(lag 1)	0.6256***	0.0655
	lnCO(lag 1)	0.0405	0.0853
	lnSM(lag 1)	0.0147	0.0454
	trend	0.0025**	0.0010
	constant	2.7861*	1.4775
	monthly dummies F test chi2		163.91***
lnCO	lnSW(lag 1)	0.0938**	0.0364
	lnGA(lag 1)	-0.0222	0.0380
	lnCO(lag 1)	0.7538***	0.0495
	lnSM(lag 1)	-0.0413	0.0264
	trend	-0.0019***	0.0006
	constant	3.0554***	0.8580
	monthly dummies F test chi2		379.72***
lnSM	lnSW(lag 1)	-0.0511	0.0386
	lnGA(lag 1)	0.0825**	0.0403
	lnCO(lag 1)	-0.0172	0.0525
	lnSM(lag 1)	0.9310***	0.0280
	trend	0.0004	0.0006
	constant	0.9924	0.9094
	monthly dummies F test chi2		107.89***

주: 1) ***는 1%, **는 5%, *는 10% 수준에서의 통계적 유의성을 나타냄.

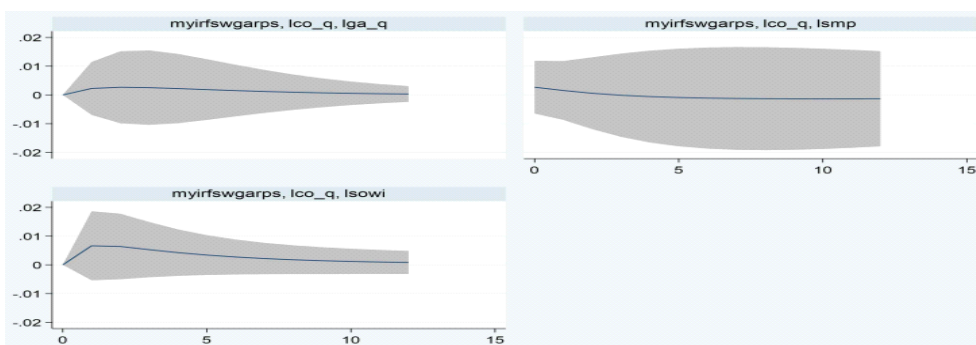
2) 월별 고정효과를 통제하기 위해 월별 더미변수들을 포함하였고, 월별 더미변수들의 효과가 통계적으로 유의미한지 확인하는 F-검정의 카이제곱 통계량의 값을 제시함.

3) 순서는 SW → GA → CO → SM으로 설정함.

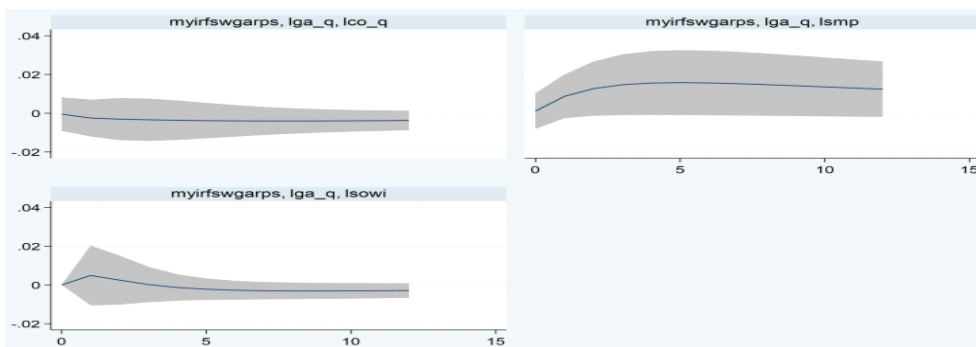
변
동
성
재
생



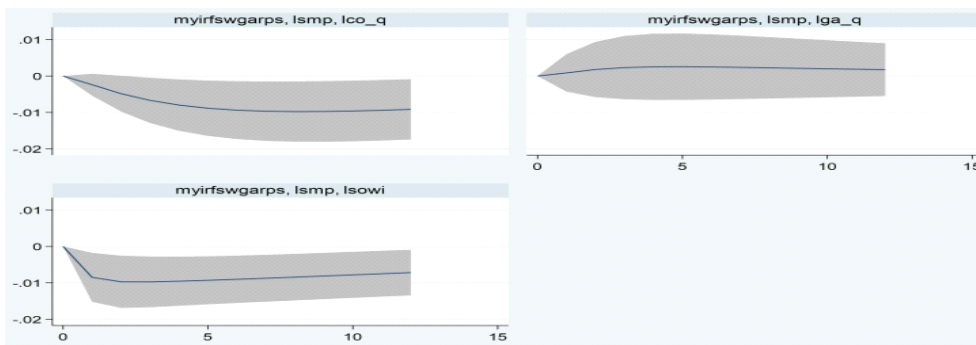
석
탄



L
N
G



S
M
P



<그림 4> RPS 시행 기간의 변동성 재생에너지 발전 부문 충격 반응함수 결과

V. 결론

본 연구는 국내 전력산업의 구조적 특성이 RPS(재생에너지 공급의무제도)의 실효성에 미치는 영향을 실증적으로 분석하고, 변동성 재생에너지 발전 증가가 실제로 화석연료 발전 감축으로 이어지는지를 평가하였다. 이를 위해 2004년 9월부터 2024년 9월까지의 월별 시계열 데이터를 구축하고, 발전원 간의 동태적 상호작용을 분석하기 위해 VAR 모형을 활용하여 FIT와 RPS 시행 기간을 비교하여 살펴보았다.

분석 결과, FIT 시행 기간에서는 변동성 재생에너지 발전량 증가 충격이 화석연료 발전에 유의미한 영향을 미치지 않은 반면, RPS 시행 기간에서는, 동기간 정부의 환경 정책으로 재생에너지 발전 확대와 석탄 발전 비중이 감소하고 국제 유연탄 가격 상승으로 석탄 발전 비용이 증가했음에도 불구하고, 변동성 재생에너지 발전량 증가 충격 발생 시 석탄 발전량이 동조적으로 증가하는 현상이 관찰되었다. 이는 RPS 시행 이후 재생에너지 발전이 확대되었음에도 불구하고, 단기적으로는 의무 이행 당사자인 발전공기업들의 전력 공급 안정성 추구하고 비용 절감 유인으로 인해 발전 단계에서 석탄 사용을 오히려 증가하는 방향으로 반응했을 가능성을 시사한다.

또한 SMP가 상승하는 충격이 발생할 경우, FIT 기간에서는 변동성 재생에너지 발전량을 증가하는 방향으로 영향을 미쳤지만, RPS 기간에서는 오히려 반대로 SMP 상승 충격은 변동성 재생에너지 발전량을 감소시키는 영향이 확인되었다. 즉, FIT 정책 시행 시에는 변동성 재생에너지 발전사업자의 안정적인 수익성이 보장되어 전력 수요가 증가할 때 타 발전 에너지원보다 변동성 재생에너지 투입이 더 증가했고, RPS 정책 시행 시에는 수익성이 낮아진 변동성 재생에너지 투입을 줄이는 현상이 존재할 수 있음을 시사한다.

이러한 결과는 현행 RPS는 기대한 재생에너지 확대 효과를 충분히 실현하지 못할 가능성이 있으며, 발전공기업들의 비용 절감과 전력 안정성 추구로 인한 석탄 발전에 대한 높은 의존성이 정책 실효성을 제한하는 요인으로 작용할 수 있음을 시사한다. 따라서, RPS 정책의 실효성을 높이기 위해서는 전력망 인프라 확충, 발전공기업의 재생에너지 투자 유도 방안 마련 등 정책적 보완이 필요할 것으로 사료된다. 본 연구는 이러한 정책 개선을 위한 실증적 근거를 제공한다는 점에서 의미를 가진다.

References

1. 논문

- 김수일(2006), 계량경제모형을 통한 발전부문의 연료대체에 관한 연구(기본연구보고서 06-06), 에너지경제연구원.
- 김영덕(2002), 유가변동 충격의 파급경로에 관한 연구(기본연구보고서 02-07), 에너지경제연구원.
- _____(2003), “유가변동에 대한 거시경제의 반응: 도입단가와 국제현물유가의 차이를 중심으로,” 에너지경제연구, 2(2), 1-29.
- _____(2017), “전력 수요가 발전연료 수요에 미치는 영향에 대한 실증 분석,” 에너지경제연구, 16(2), 57-88.
- _____(2023), “재생발전량 확대에 대한 실증 분석: 한국전력의 발전자회사를 중심으로,” 한국자료분석학회, 25(1), 221-233.
- 김은성, 허은영(2016), “동적 패널 모형을 이용한 재생에너지 정책의 OECD 국가 재생에너지 보급 효과 분석,” 자원환경경제연구, 25(2), 229-253.
- 박경근, 김영덕(2024), “발전 에너지원간 대체탄력성에 대한 실증 분석: 한국전력의 발전공기업을 중심으로,” 경제연구, 42(1), 69-88.
- 임형우, 조하현(2017), “RPS 및 FIT 제도가 재생에너지 보급에 미치는 효과 분석: 104개국 패널토빗분석,” 에너지경제연구, 16(2), 1-31.
- 장연재, 공지영(2022), 국제 재생에너지 정책변화 및 시장분석(기본연구보고서 22-26), 에너지경제연구원.
- Bernanke, B. S., M. Gertler and M. Watson (1997), “Systematic Monetary Policy and the Effects of Oil Price Shocks,” *Brookings Papers on Economic Activity*, 1997(1), 91-157.
- Burbidge, J. and A. Harrison (1984), “Testing for the Effects of Oil-Price Rises Using Vector Autoregression,” *International Economic Review*, 25(2), 459-484.
- 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, 476-485.
- Kim, K. (2019), “Elasticity of Substitution of Renewable Energy for Nuclear Power: Evidence from the Korean Electricity Industry,” *Nuclear Engineering and Technology*, 51(6), 1689-1695.
- Li, S., H. K. Yoo, M. Macauley, K. Palmer and J. S. Shih (2015), “Assessing the Role of Renewable Energy Policies in Landfill Gas to Energy Projects,” *Energy Economics*, 49, 687-697.

- Nicolini, M. and M. Tavoni (2017), “Are Renewable Energy Subsidies Effective? Evidence from Europe,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 412–423.
- Schmid, G. (2012), “The Development of Renewable Energy Power in India: Which Policies Have Been Effective?,” *Energy Policy*, 45, 317–326.
- Sims, C. A. (1980), “Macroeconomics and Reality,” *Econometrica*, 48(1), 1–48.
- Smith, M. G. and J. Urpelainen (2014), “The Effect of Feed-in Tariffs on Renewable Electricity Generation: An Instrumental Variables Approach,” *Environmental and Resource Economics*, 57(3), 367–392.
- Yin, H. and N. Powers (2010), “Do State Renewable Portfolio Standards Promote In-State Renewable Generation?,” *Energy Policy*, 38(2), 1140–1149.
- Zhao, Y., K. K. Tang and L. L. Wang (2013), “Do Renewable Electricity Policies Promote Renewable Electricity Generation?,” *Energy Policy*, 62, 887–897.

2. 웹페이지

- 전력거래소(2026), 전력통계정보시스템(EPStS). Available from <https://epsis.kpx.or.kr/> (접속일 06, 14, 2026)
- 한국에너지공단 신·재생에너지센터(2026), RPS 제도. Available from <https://www.knrec.or.kr/> (접속일 06, 14, 2026)

