New & Renewable Energy 2024. 12 Vol. 20, No. 4
ISSN 1738-3935 (Print)
ISSN 2713-9999 (Online)
https://doi.org/10.7849/ksnre.2024.0023
[2024-12-RP-001]

Check for updates

시장잠재량 모형과 확산 모형을 결합한 태양광 보급전망 방법론

조상민[1)*] · 장연재[2)] · 윤창열[3)]

A Methodology for Forecasting Photovoltaics Deployment by Combining Market Potential and Diffusion Models

Sangmin Cho[1)*] · Yenjae Chang[2)] · ChangYeol Yun[3)]

Received 4 September 2024 **Revised** 2 October 2024 **Accepted** 14 October 2024 **Published online** 13 November 2024

ABSTRACT In this study, we propose a methodology that combines the diffusion and market potential models in order to forecast the diffusion path of PV deployment. Potential volume (m), a key feature of this approach and one of the main parameters of the diffusion model, is not estimated within the model itself. Instead, the market potential is estimated using the market potential model and then substituted into the diffusion model. A significant difference was found when comparing the two-parameter results projected by this methodology with the three-parameter results estimated within the model. However, the projected results of the two-parameter model, particularly under the current setback regulation scenario, were similar to the solar deployment targets set by the government. The advantage of the model proposed in this study is that it can be used to estimate the impact of changes in influencing factors, such as regulatory and support policies, on the diffusion path of PV deployment. Scenario analysis indicated that changes in municipalities' setback distance regulations, which have recently been identified as having the greatest impact on PV deployment, can affect market potential, and that changes in market potential can, in turn, influence the diffusion path of PV deployment.

Key words Forecasting(전망), Photovoltaics(태양광), Diffusion model(확산 모형), Market potential model(시장잠재량 모형), Setback distance(이격거리)

Nomenclature

GW : gigawatt
MW : megawatt
LCOE : levelized cost of electricity
SMP : system marginal price
REC : renewable energy certificates
CP : capital expenditures (CAPEX)
OM : operational expenditures (OPEX)
LR : land rent
CF : capacity factor
CA : capacity
T : operational term
r : discount rates

1) Senior Research Fellow, Department of Renewable Energy Policy Research, Korea Energy Economics Institute
2) Research Fellow, Department of Renewable Energy Policy Research, Korea Energy Economics Institute
3) Principal Researcher, Renewable Energy Big Data Laboratory, Korea Institute of Energy Research
***Corresponding author:** smin0621@keei.re.kr
Tel: +82-52-714-2110 Fax: +82-52-714-2026

Copyright ⓒ 2024 by the New & Renewable Energy
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

d : degradation rates
sub. : substitution
est. : estimation

Subscript

t : time (year)
n : grid

1. 서 론

탄소중립 실현과 RE100 이행을 위해 재생에너지 사용은 앞으로 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 주요 기관들은 장기적으로 재생에너지의 사용량이 크게 늘어나며, 발전 믹스에서 차지하는 비중 또한 증가하여 주력 전원이 될 것이라고 예측하고 있다. 가령, 국제에너지기구(IEA; International Energy Agency)는 2028년까지 재생에너지가 전 세계 전력 생산의 42%를 차지할 것이고 이 중 대부분을 태양광과 풍력이 담당할 것으로 전망한다.[1]

재생에너지 발전비중을 확대하기 위해 많은 국가들이 다양한 정책수단을 도입 및 개선하고 있다. 대표적인 정책수단으로는 가격기반 정책인 FiT(Feed-in Tariff), FiP(Feed-in Premium)와 수량기반 정책인 RPS(Renewable Portfolio Standard) 등이 있다.[2] 한편, 최근에는 태양광의 낮은 에너지밀도와 주민수용성 하락을 극복하기 위한 다양한 입지 유형들, 예컨대 영농형태양광, 산업단지태양광 등이 개발되고 있다. 풍력의 경우 해상풍력의 도입이 본격화되고 있다. 이러한 정책수단의 도입과 개편, 새로운 기술 및 입지 유형의 개발은 향후 재생에너지 확산 속도를 촉진할 것으로 기대된다.

반면, 재생에너지 비중이 확대되면서 재생에너지 확대를 제약하는 요인들이 등장하기 시작했다. 대표적인 사례가 주민 수용성 하락에 따라 지자체들이 도입하기 시작한 건물 및 도로로부터의 재생에너지 설비 건설 이격거리(Setback Distance) 규제이다.[3] 또한, 계통 접속 지연과 비용 증가도 중요한 제약 요인으로 작용하고 있다. 재생에너지 프로젝트가 늘어나면서 전력망에 접속하기 위한 대기 시간이 길어지고, 접속 비용도 증가하고 있다.[4] 한국의 경우 태양광, 풍력 등 주요 재생에너지원의 생산지가 특정 지역에 밀집되어 있는 반면, 주요 수요처인 수도권이 해당 지역과 멀리 떨어져 있어 송전망 확보에도 어려움을 겪고 있다.

이러한 상황에서 합리적 재생에너지 목표 설정과 목표 달성을 위한 최적의 경로를 설정하는 작업의 중요도가 높아지고 있다. 대부분의 국가들은 국제 사회에 국가 온실가스 감축목표(NDC)를 제시하여야 하며, 이러한 목표 달성을 위한 정책수단의 발굴과 제도개선을 병행하여야 한다. 보다 장기적인 관점에서, 대부분의 국가들이 탄소중립을 선언하였고 탄소중립 실현을 위한 온실가스 감축 및 청정에너지의 확대와 이를 위한 인프라 개편을 추구하고 있다.[5] 그런데, 온실가스 감축 목표를 설정함에 있어 가장 주요한 요소는 재생에너지 공급 능력에 대한 분석과 전망, 그리고 이에 기반한 적정한 보급목표의 설정이다. 그 이유는 재생에너지가 온실가스 감축 목표 달성에 있어 가장 핵심적인 수단이기 때문이다.

본 연구에서는 확산 모형과 시장잠재량 모형을 결합하여 재생에너지, 그 중에서 태양광의 확산 경로를 전망하는 방법론을 제안한다. 해당 방법론은 태양광 보급에 영향을 미치는 요인들을 식별하고 이러한 영향요인들의 변화가 시장잠재량, 그리고 태양광의 확산 경로에 미치는 영향을 분석할 수 있다는 점에서 기존의 연구들과 차별적이다. 이러한 방법론의 특성 상 핵심요인을 기반으로 하여 시나리오 분석이 가능하다. 본 논문에서는 이렇게 개발된 방법론을 한국의 태양광 보급 실적에 적용하여 실증 분석을 수행하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 우선 제2장에서는 선행연구를 분석하고 본 논문의 차별성을 제시한다. 제3장에서는 본 논문에서 구축한 방법론에 대해 설명하고 분석에 활용된 데이터를 제시한다. 제4장에서는 재생에너지 확산 경로 전망을 위한 시나리오를 제시하고, 시나리오에 따른 추정 및 전망 결과를 제시한다. 마지막으로 제5장에서는 결론과 정책적 시사점을 제시한다.

2. 선행연구

2.1 확산 모형(Diffusion Models)

확산 모형은 새로운 기술이 시장에 도입된 후 그 성장 추

이를 예측하기 위해 활용되는 모형으로, 재생에너지 분야를 비롯한 다양한 분야에서 사용되고 있다. 대표적인 확산 모형으로는 Logistic 성장 모형(Logistic Growth Model)과 Bass 확산 모형(Bass Diffusion Model), Gompertz 확산 모형(Gompertz Diffusion Model) 등이 있다.

Mansfield(1961)에 의해 최초로 제안된 Logistic 성장 모형은 내부영향 모형 중 하나로, 대칭적 S자형 성장 곡선을 보여주는 것이 특징이다.[6] Radomes and Arango(2015)는 콜롬비아의 태양광 시스템 확산을 해당 모형을 통해 분석하였으며 정부의 지원 정책이 확산에 미치는 영향을 분석하였다.[7] Li *et al.*(2023)은 호주의 주택용 태양광의 확산을 5-파라미터 Logistic 모형을 통해 분석하고 태양광 확산의 지역적 격차를 줄이는 방안을 논의하였다.[8] Bass(1969)에 의해 제안된 Bass 확산 모형은 확산 과정을 내부영향과 외부영향으로 구분하여 설명하며, 혁신자(innovators)와 모방자(imitators) 간의 상호작용을 통한 기술 확산을 분석한다.[9] Rao and Rao and Kishore(2009)는 인도의 풍력 발전의 확산 경로를 Bass 확산 모형을 통해 분석하였다.[10] Dong *et al.*(2017)은 캘리포니아 주택용 태양광 발전의 보급 속도를 분석하였고[11], Bunea, *et al.*(2022)은 Bass 모형을 활용하여 2010년부터 2021년까지의 주택용, 상업용, 유틸리티용 태양광의 보급 과정을 분석하였다.[12] Gompertz(1825)에 의해 제안된 Gompertz 확산 모형은 Logistic 성장 모형과 동일한 내부영향 모형이지만 Logistic 성장 모형과 달리 비대칭 S자형 곡선을 보여준다.[13] 이 모형은 특히 초기 도입이 늦고, 확산 속도가 점진적으로 증가하는 기술에 적합하다. Zhu and Du(2018)은 Gompertz 모델을 사용하여 베이징에서의 전기차의 확산을 예측하였다.[14] Chandrasekaran and Tellis(2007)는 Gompertz 모형을 사용하여 신기술의 시장 확산을 분석하면서, 기술 도입 초기의 느린 확산과 후속 시장 성장의 패턴을 설명하였다.[15]

이러한 연구들은 확산 모형이 새로운 기술이나 제품의 확산 경로 전망에 유용하다는 것을 보여주지만 정책 환경이나 시장의 여건의 변화가 확산 경로에 미치는 영향을 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있다. 따라서, 보다 정교하고 정책적 활용도가 높은 보급 전망을 위해서는 이러한 여건 변화를 반영할 수 있는 모형과의 결합이 요구되며 본 논문에서는 이러한 방법론을 제안하고자 한다.

2.2 시장잠재량 모형(Market Potential Models)

시장잠재량 모형은 특정 국가나 지역에서 경제적으로 공급가능한 재생에너지의 양을 산정하기 위해 도입된 모형이다. 이 모형은 해당 지역의 자연적 특성, 지리적 특성, 지원 정책과 규제 정책, 그리고 경제성 등을 종합적, 정량적으로 분석하여 재생에너지 보급 가능성을 평가하는 데 사용된다. 신뢰할만한 수준의 시장잠재량 모형을 갖추고 있는 연구기관이나 연구자는 많지 않은데, 미국의 NREL(National Renewable Energy Laboratory)은 GIS에 기반하여 미국 내 다양한 재생에너지 자원의 시장잠재량을 평가하는 모형을 개발하였고, 현재까지 지속적으로 모형을 발전시키고 있다.[16] 이 연구는 태양광과 풍력 자원의 경제성을 평가하기 위해 지역별로 일사량과 풍속, 전력망 접근성, 경제성 등을 종합적으로 고려하여 잠재량을 산정하였다. KIER and KEEI(2017)도 NREL과 유사한 방법으로 지리적, 규제적, 경제적, 정책적 요인을 반영한 태양광 보급 가능성을 제시하였다.[17] 지가 등 경제성 영향요인과 규제정책 영향요인을 보다 상세하게 반영했다는 점은 NREL과 차별적이다. 해당 모형의 장점은 영향요인의 변화가 시장잠재량에 미치는 영향을 쉽게 파악할 수 있다는 점이다. 해당 연구는「제5차 신재생에너지 기본계획(2020~2034)」[18] 등 정부의 재생에너지 목표 설정을 위한 참고자료로 널리 활용되어왔다. 본 논문에서는 KIER and KEEI(2017)가 제안한 시장잠재량 모형을 활용하되, 주요 영향요인을 연구 목적에 맞게 설정하고 입력자료들을 최신(2023년) 자료로 업데이트 하였다.

본 논문에서는 재생에너지 보급 목표 설정이나 정책 수립 시 참고자료의 용도로 활용되던 시장잠재량을 확산 모형과 결합한다. 이를 통해 재생에너지 보급 전망과 목표 설정에 시장잠재량을 정량적으로 활용하는 방안을 제안한다는 점에서 정책적 기여가 있을 것으로 기대된다.

3. 모형 및 데이터

본 논문에서는 Logistic 성장 모형(Logistic Growth Model)과 Bass 확산 모형(Bass Diffusion Model), Gompertz 확산 모형(Gompertz Diffusion Model)을 채택하여 전망 결과를 비교하고자 한다. 해당 모형들은 잠재적 보급량과 보

Table 1. Model equations and parameters description

Logistic	Bass
$Y(t)=\frac{m}{1+e^{(-a(t-b))}}$ (1)	$Y(t)=m\frac{1-e^{(-(p+q)t)}}{1+\frac{q}{p}e^{(-(p+q)t)}}$ (2)
Gompertz	**Parameters**
$Y(t)=me^{-e^{(-a(t-b))}}$ (3)	$Y(t)$: Cumulative amount at time t m: Potential volume a: Growth rate, b: Inflection point, p: Innovation coefficient, q: Imitation coefficient

급속도, 내·외부 영향계수 등의 매개변수로 구성된다. 과거 실적을 활용하여 이러한 매개변수들의 계수를 추정하고 추정된 계수를 활용하여 미래 확산 경로를 전망할 수 있다. 각각의 모형의 추정식은 Table 1의 (1)~(3)과 같다.

일반적으로 잠재적 보급량, 혹은 포화점으로 불리우는 m이 알려져 있지 않기 때문에 m을 다른 매개변수와 함께 추정하게 된다. 하지만 m을 다른 방식으로 추정할 수 있다면, 따로 추정된 m을 모형식에 대입하고 나머지 2개의 매개변수만 추정할 수 있다. 만약 m을 정확하게 도출할 수 있다면 다른 매개변수 추정 결과와 전망 결과의 정확도를 높일 수 있을 것이고 m에 대한 합리적인 시나리오를 설정할 수 있다면 시나리오 분석도 가능할 것이다.

본 논문에서 제안하는 모델은 이 m을 시장잠재량 모형을 통해 추정하여 대입하는 것이 특징이다. 여기서 시장잠재량은 KIER and KEEI(2017)에서 제시한 「격자–LCOE 연산 기반 잠재량 산정 모델 (이하 GLCPE 모델)」을 활용하여 추정된다. 해당 모델은 국토를 일정한 크기($1\,km \times 1\,km$)의 격자로 나누고, 격자별로 잠재량 영향요인 데이터베이스를 구축한 후 격자별로 영향요인 분석과 LCOE 연산을 수행함으로써 시장잠재량을 산정할 수 있도록 개발된 모델이다. 이 모델은 잠재량 영향요인의 추가나 제외, 혹은 수정이 간편하여 영향요인의 변화에 따른 시나리오 분석이 용이하며, 국토 전체 뿐만 아니라 지역별(보다 정확히는 격자별)로 잠재량과 LCOE를 분석할 수 있다는 점이 장점이다.[17] GLCPE 모델을 활용한 시장잠재량 산정 절차는 다음과 같으며, 이를 도식화 하면 Fig. 1과 같다.

① 전 국토를 1 km^2 의 격자 약 10만 개로 나눔

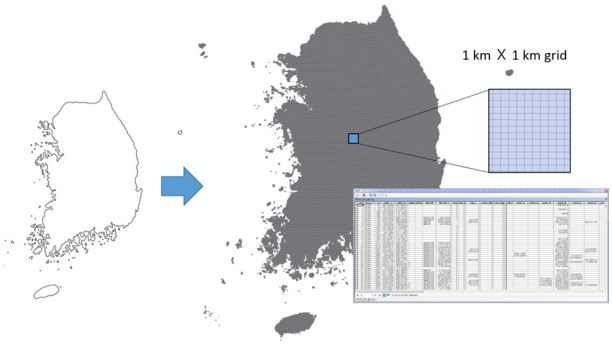


Fig. 1. Visualization of the GLCPE model[17]

② 격자별로 이론적, 지리적, 기술적, 규제정책, 경제적, 지원정책 영향요인 정보를 입력하여 영향요인 DB를 구축함

③ 격자별로 LCOE 산정식을 구축함

④ 구축된 DB를 활용하여 격자별로 잠재량 및 LCOE를 산정

⑤ 격자별 결과를 취합·분석하여 국토 전체 및 지역별 시장잠재량을 산정

⑥ 격자별 결과를 취합하여 태양광 공급곡선 도출

이처럼 GLCPE 모델을 통해 시장잠재량을 산정함으로써 확산 모형의 주요 변수 중 하나인 m을 결정할 수 있다. 또한 시장잠재량을 영향을 미치는 요인를 변화시켜가면서 이러한 영향요인들, 특히 주요 정책적 영향요인들의 변화에 따라 시장잠재량이 어떻게 변화하는지 분석할 수 있다. 그리고 이렇게 변화된 시장잠재량을 확산 모형에 대입함으로써 시장잠재량의 변화가 태양광 확산 경로에 어떠한 영향을 미치는 지도 분석할 수 있다. 태양광의 시장잠재량 산정에 반영된 주요 영향요인들을 정리한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Market potential factors

Classification	Factors
Theoretical	Solar radiation
Geographical	Mountainous areas, Steep slopes, etc.
Technical	Module efficiency
Regulatory	National parks, Grade 1 ecological and natural areas, Local government setback regulations, etc.
Economic	SMP, LCOE
Support	REC

격자 n에서의 태양광 LCOE는 (4)의 식을 통해 산정되었다. 이 중 일사량 및 이에 따른 이용률과 공시지가에 따른 부지임대료가 격자별로 차등적이고 이로 인해 격자별로 태양광 LCOE는 차등적이다. 격자들 중 $LCOE < SMP + REC$인 격자, 즉 현재 한국에서 운영 중인 RPS 제도 하에서 사업성을 확보할 수 있는 입지만을 시장잠재량 산정 시 포함하고 그렇지 않은 입지는 시장잠재량에서 배제한다.

$$LCOE_n = \frac{CP + \sum_{t=1}^{T} \frac{OM_t + LR_{n,t}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{T} \frac{(1-d)^t \times CF_n \times 8{,}760 \times CA}{(1+r)^t}} \quad (4)$$

LCOE 산정 시의 주요 변수를 정리한 결과는 Table 3과 같다. 주요 변수들의 값은 Lee and Lim(2023)에서 인용하였고,[19] 필요한 경우 별도로 조사하였다.

Table 3. Variables for solar LCOE calculation

CAPEX (thousand KRW/kW)	CP	1,432
OPEX (KRW/kW/yr.)	OM_t	20.8
Land Rent	LR_t	5% of the land cost
Av. Capacity Factor (%)	CF	15.38
Discount Rates (%)	r	4.5
Operational Term (yr.)	T	20
Degradation Rates (%)	d	0.45
SMP (KRW/kWh)	–	H1 2023 Competitive Bidding Announcement (106.320)
REC (KRW/kWh)	–	H1 2023 Competitive Bidding Result (1REC 45.298)
REC Multiplier	–	1.0

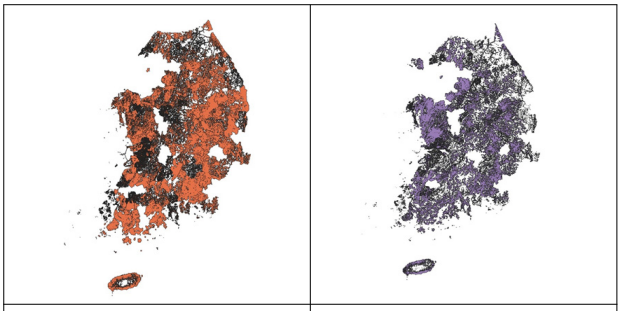
본 논문에서 사용된 태양광 보급실적 데이터는 2005년부터 2023년까지의 한국의 연도별 사업용 태양광 누적 보급실적이다. 해당 자료는 RPS 제도를 운영하고 있는 한국에너지공단 신재생에너지센터 자료실의 각 연도별 자료를 취합하여 구축하였다.[20]

4. 분석 결과

4.1 시나리오 설정

세 모형에 공통적으로 적용되는 잠재적 보급량 m의 경우 GLCPE 모형에서 도출한 후 대입하는 방식과 모형 내에서 직접 추정하는 방식을 택하였다. 전자는 2-파라미터 모형(2-Para), 후자는 3-파라미터 모형(3-Para)으로 구분한다. 2-Para에서 잠재적 보급량은 현재 한국에서 태양광 보급에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 평가받고 있는 지자체의 이격거리 규제 정도에 따라 크게 두 가지로 시나리오로 구분하였다. 첫 번째 시나리오는 250개 기초지자체의 현행(2023년) 이격거리 규제를 그대로 반영한 시나리오이며, 두 번째 시나리오는 산업통상자원부가 기초지자체에 권고하는, 과거와 현재의 이격거리 규제 가이드라인을 결합한 시나리오이다. 전자가 후자에 비해 평균적인 이격거리 규제 정도가 강하기 때문에 전자를 강규제(High-Reg) 시나리오로 정의하고, 후자는 반대로 약규제(Low-Reg) 시나리오로 구분하였다.

기초지자체의 최소 이격거리는 0 m이며, 최대 이격거리는 도로와 건물 모두 1,000 m이다.[3] 이를 적용할 경우 시장잠재량 연산에서 배제되는 지역은 Fig. 2와 같으며 흰색으로 표시된 지역은 이격거리 규제가 존재하지 않는 지역이다. Low-Reg 시나리오의 이격거리 규제는 Table 4에



(a) Road (b) Building

Fig. 2. Road and building setback area : High-Reg

Table 4. Comparison of setback regulation by scenario (m)

	Road	Building
High-Reg	Varied by Municipality, 0~1,000	Varied by Municipality, 0~1,000
Low-Reg	100	100

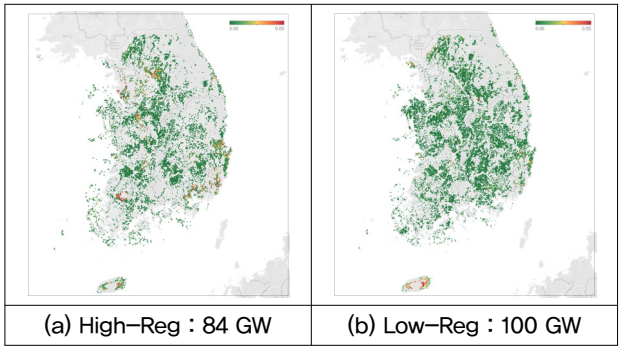
Table 5. Example of setback regulation comparison by municipality (m)

Metropolitan	Municipality	Road	Building
Gwangwon	Gangneung	200	200
	Goseong	500	500
	Donghae	200	500
	Pyeongchang	300	200
	Sokcho	–	–
	Inje	100	300
	Yangyang	300	400
	Chuncheon	100	100
	…	…	…
…	…	…	…

제시한 바와 같이 모든 지자체에서 도로와 건물로부터 100 m 이격하는 것으로 가정했으며 도식화는 생략한다. 지자체별 이격거리 규제 예시는 Table 5에 제시하였다.

이상의 이격거리 규제를 적용하여 산정한 시장잠재량은 High-Reg 기준 84 GW이고, Low-Reg 기준 100 GW이다. 다만, KIER and KEEI(2017)의 GLCPE 모델의 특성상 시장잠재량을 최대한 보수적으로 산정한다는 점을 밝혀둔다.[17] 시장잠재량 산정 결과를 도식화하면 Fig. 3과 같다. 규제의 강도가 강한 지자체의 경우 정부 가이드라인으로 규제 수준을 변경할 경우 시장잠재량이 증가하지만, 규제가 없거나 약한 지자체의 경우에는 오히려 시장잠재량이 감소하기도 한다. 정부의 현행 이격거리 가이드라인인 주거밀집지역으로 부터의 이격거리 100 m를 적용하면 시장잠재량은 앞서 제시한 수치들 보다 크게 증가할 수 있으나 본 논문에서는 해당 시나리오를 별도로 분석하지는 않았다.

이상에서 정의한 시나리오를 정리하면 Table 6과 같다.



(a) High-Reg : 84 GW | (b) Low-Reg : 100 GW

Fig. 3. Market potential analysis results

Table 6. Scenario distinction

Model	m	Setback distance	Scenarios
Logistic	sub.: 2-Para	High-Reg	L-2P-h
		Low-Reg	L-2P-l
	est.: 3-Para	–	L-3P
Bass	sub.: 2-Para	High-Reg	B-2P-h
		Low-Reg	B-2P-l
	est.: 3-Para	–	B-3P
Gompertz	est.: 3-Para	–	G-3P

확산 모형, 잠재적 보급량 추정 방식, 지자체 이격거리 수준 및 시장잠재량에 따라 총 7개의 시나리오로 구분된다.

4.2 모형 추정 및 전망 결과

시나리오별 모형 추정 결과는 Table 7과 같다. 추정된 계수들은 1% 유의수준에서 모두 유의하게 추정되었고 모형의 설명력도 높게 나타났다. m을 모형에서 추정하는 3-Para 모형들의 m 추정 결과를 살펴보면, Logistic과 Bass 모형은 30.6 GW로 거의 유사하게 추정되었고, Gompertz 모형은 56.9 GW로 다른 두 모형에 비해 약 두 배 가량 높게 추정되었다. 추세가 감소했다고는 하나 2021년 이후에도 신규 보급이 매년 3 GW 내외 수준으로 유지되고 있는 점, 선행지표라 할 수 있는 발전사업허가가 2022년 3 GW, 2023년 4 GW를 초과하는 점 등을 고려하면[21] 30 GW 수준의 3-Para 모형들(Logistic, Bass)의 m 추정 결과는 합리적인 것으로 판단되지 않는다.

위에서 추정된 계수를 바탕으로 수행한 시나리오별 전망 결과를 도식화하면 Fig. 4와 같다. 결과에서 확인할 수 있는 것은 3-Para 모형들에 비해 2-Para 모형들의 확산 속

Table 7. Estimation results for each scenario

Scenario	a (p)	b (q)	m	adj-R^2
L-2P-h	0.2993***	21.6965***	84,000	0.9908
L-2P-l	0.2898***	22.6103***	100,000	0.9897
L-3P	0.4787***	16.2675***	30,589	0.9990
B-2P-h	0.0005***	0.2931***	84,000	0.9914
B-2P-l	0.0005***	0.2830***	100,000	0.9905
B-3P	0.0002***	0.4780***	30,600	0.9990
G-3P	17.9823***	0.1685***	56,934	0.9970

*** 1% significant level

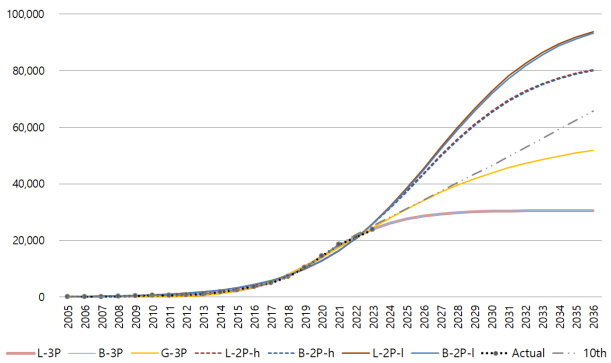


Fig. 4. Forecast results for each scenario (MW)

도가 더 빠를 것으로 전망된다는 것이다. 이는 앞서 추정 결과에서 확인할 수 있듯 3-Para 모형들에서 추정된 m 보다 2-Para 모형들에 대입된 m 즉, 시장잠재량이 더 크기 때문이다.

3-Para 모형들의 경우 신규 보급량 기준으로는 2020년을 정점으로 하락하는 것으로 나타났다. 이는 2021년 이후 한국의 태양광 신규 보급 추세가 하락하여 아직까지 과거 수준을 회복하지 못하고 있기 때문인 것으로 보인다. 해당 결과는 태양광 확산 속도, 특히 최근의 추세가 「제10차 전력수급기본계획(2022~2036)」[22](이하 10차 전기본)의 태양광 보급 계획을 실현함에 있어서 충분하지 못하고 이러한 추세를 고려할 때 시장잠재량을 최대한 활용하는데 어려움이 있다는 것을 의미하는 것으로 판단된다.

다만, 2021년 이후의 한국에서의 태양광 신규 보급량 감소는 코로나로 인한 건설 및 투자 지연, 고금리와 인플레이션으로 인한 프로젝트 비용 상승 등 외부 충격이 중첩된 영향으로 판단된다. 따라서 최근의 신규 보급 감소가 추세적인 것인지, 혹은 일시적인 것인지는 시간을 두고 판단할 필요가 있을 것이다. 향후 지속적으로 실적을 업데이트하며 전망을 수행하여 기존 결과와 비교하는 노력이 필요해 보인다.

2-Para 모형의 경우 3-Para와 마찬가지로 Logistic과 Bass 모형 사이에는 전망 결과의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 시나리오 분석을 통해 최근 태양광 보급에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 부각되고 있는 지자체의 이격거리 규제를 변화시킬 경우 시장잠재량이 변화할 수 있고 이러한 시장잠재량의 변화가 태양광 보급 경로에 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인하였다. 이를 통해 우리가 목표로 하는 태양광 보급 경로를 실현하기 위해서는 이러한 규제요인들을 개선하여 시장잠재량을 확대하는 것이 중요하다는 것을 확인할 수 있다. 만약, 이격거리 규제를 정부의 가이드라인 수준으로 완화하는 등 태양광 보급과 관련한 주요 장애요인을 개선하여 시장잠재량을 추가적으로 확보한다면 태양광 확산 속도는 더욱 빨라질 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 2-Para 모형과 3-Para 모형의 추정 결과를 비교해보면 시장잠재량 모형에 반영되지 못한 요인들 가령, 시장제도의 한계나 전력망 확보의 문제, 규제에 완전히 반영되지 않은 주민수용성 이슈 등이 태양광 확산에 영향을 미치는 것으로 추정할 수 있다. 향후 태양광 목표 달성을 위해서는 이러한 장애요인들을 명확하게 파악하고 해결하는 노력이 요구된다.

5. 결론 및 시사점

본 논문의 주요 결과를 요약하면 다음과 같다. 본 논문에서는 태양광 보급의 확산 경로를 전망하기 위해 확산 모형과 시장잠재량 모형을 결합하는 방법론을 제안하였다. 확산 모형의 주요 매개변수 중 하나인 잠재적 보급량 m을 모형 내에서 추정하는 것이 아닌, GLCPE 모형을 통해 산정된 시장잠재량을 대입하는 것이 주요 특징이다. 해당 방법론을 통해 전망한 2 파라미터 결과와 m을 모형 내에서 추정하는 3 파라미터 결과를 비교한 결과 큰 차이가 있음을 확인하였다. 다만, 2 파라미터 모형, 특히 강규제 시나리오의 전망 결과가 10차 전기본의 태양광 보급 계획과 상대적으로 유사한 것으로 나타났다. 본 논문에서 제안한 2 파라미터 모형의 장점은 규제정책이나 지원정책 등의 영향요인이 태양광의 확산 경로에 미치는 영향을 추정할 수 있다는 점이다.

시나리오 분석을 통해 이격거리 규제를 변화시킬 경우 시장잠재량이 변화할 수 있고 이러한 시장잠재량의 변화가 태양광 보급 경로에 영향을 미칠 수 있다는 것을 보였다. 이를 통해 우리가 목표로 하는 태양광 보급 경로를 실현하기 위해서는 이러한 규제요인들을 개선하여 시장잠재량을

확대하는 것이 중요하다는 것을 확인할 수 있다. 한편, 시장잠재량 모형에 반영하지 못한 투자여건 악화, 전력망 확보 문제, 주민수용성 문제 등을 해소하는 것이 태양광 보급에 영향을 미칠 가능성도 제기하였다.

다양한 장점과 정책적 활용 가능성에도 불구하고 본 논문에서 제안한 방법론은 일부 한계가 존재하는데, 대표적으로 해당 방법론이 모듈효율 향상, 이격거리 규제의 단계적 개편과 같은 영향요인의 변화를 동태적으로 반영하지 못했다는 것이다. 가령, 본 연구에서는 모듈효율이 현재 수준을 유지하는 것으로 가정하였다. 그러나 모듈효율은 과거에도 지속적으로 향상되었고 앞으로도 향상될 전망이다. 모듈효율 향상을 모형에 반영하면 시장잠재량이 변화하고 이는 확산경로 전망 결과에도 영향을 미치게 된다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법론은 이러한 모듈 효율 향상을 매 시점 동태적으로 반영하지는 못한다. 이는 다른 시장잠재량 영향요인들 예컨대, 이격거리 규제에도 동일하게 적용되는 한계이다. 본 연구에서는 이격거리 규제에 대한 시나리오 분석을 시행하였지만 시나리오별로는 규제의 강도가 과거 실적과 향후 전망 모든 시점에 동일하게 적용된다. 이격거리 규제는 과거 지속적으로 변화해 왔고 향후 정부나 지자체가 이를 개편해 나갈 것인데 이러한 변화를 동태적으로 반영하지는 못한다는 것이다. 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로는 2 파라미터 모형에 대입되는 시장잠재량 즉, m을 상수가 아니라 함수로 구성하는 것을 고려할 수 있다. 해당 부분에 대해서는 추후 추가적인 연구가 요구된다.

감사의 글

본 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구입니다(1415186671, 100 m×100 m 격자형 국내 태양광 시장잠재량 분석모델 및 데이터 플랫폼 개발).

References

[1] International Energy Agency (IEA), 2023, Renewables 2023, Accessed 29 August 2024, https://www.iea.org/reports/renewables-2023.

[2] Chang, Y., and Gong, J.Y, 2022, “Analysis of International New and Renewable Energy Policy and Market”, Korea Energy Economics Institute (KEEI), https://www.keei.re.kr/pdfOpen.es?bid=0001&list_no=82174&seq=1.

[3] Chang, Y., and Cho, I.H., 2023, “Assessment of setback regulation policies on solar photovoltaic deployment”, Korea Energy Economics Institute (KEEI), https://www.keei.re.kr/pdfOpen.es?bid=0001&list_no=82236&seq=1.

[4] Kim, S.H., Lee, H.Y., Yoon, T.Y., and Kang, S.J., 2021, “Calculation and application of actual capacity credit through analysis of the output pattern of renewable energy considering various environmental factors”, Proc. The Korean Institute of Electrical Engineer Conference, July 14.

[5] Wang, F. Harindintwali, J.D., Yuan, Z., Wang, M., Wang, F., Li, S., Yin, Z., Huang, L., Fu, Y., and Li, L., *et al.,* 2021, “Technologies and perspectives for achieving carbon neutrality”, The Innovation, **2**(4), 100180.

[6] Mansfield, E., 1961, “Technical change and the rates of imitation”, Econometrica, **29**(4), 741-766.

[7] Radomes, A.H., and Arango, S., 2015, “Diffusion of solar photovoltaics in Colombia: A study using a diffusion model”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, **49**, 416-426.

[8] Li, X., Chang, R., Zuo, J., and Zhang, Y., 2023, “How does residential solar PV system diffusion occur in Australia?-A logistic growth curve modeling approach”, Sustain. Energy Technol. Assess., **56**.

[9] Bass, F., 1969, “A new product growth for model consumer durables”, Management Science, **15**(5), 215-227.

[10] Rao, K.U., and Kishore, V.V.N., 2010, “A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies”, Renew. Sustain. Energy Rev., **14**(3), 1070-1078.

[11] Dong, C.G., Sigrin, B., and Johnson, J., 2017, “Using the Bass model to analyze the diffusion of residential photovoltaic systems in California”, Journal of Renewable and Sustainable Energy, **9**(2), 025904.

[12] Bunea, A.M., Guidolin, M., Manfredi, P., and Della Posta, P., 2022, “Diffusion of solar PV energy in the UK: A comparison of sectoral patterns”, Forecasting, **4**(2), 456-476.

[13] Gompertz, B., 1825, “On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of

determining the value of life contingencies", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, **115**, 513-585.

[14] Zhu, Z., and Du, H., 2018, "Forecasting the number of electric vehicles: A case of Beijing", IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., **170**, 042037.

[15] Chandrasekaran, D., and Tellis, G.J., 2007, "A critical review of marketing research on diffusion of new products", Malhotra, N.K. (Ed.) Review of Marketing Research (Review of Marketing Research, Vol. 3), Emerald Group Publishing Limited, Leeds, 39-80.

[16] National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2016, "Estimating renewable energy economic potential in the United States: Methodology and initial results", https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/64503.pdf.

[17] Korea Institute of Energy Research (KIER), and Korea Energy Economics Institute (KEEI), 2017, "Development of technology for advanced renewable energy resource map and market potential analysis".

[18] Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), 2020, "The 5th basic plan for new and renewable energy (2020-2034)", Accessed 29 August 2024, https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156429610.

[19] Lee, G.D., and Lim, D.O., 2023, "Establishment and operation of Long-Term LCOE forecast system for expansion of renewable energy(4/5)", Korea Energy Economics Institute (KEEI), https://www.keei.re.kr/pdfOpen.es?bid=0001&list_no=82229&seq=1.

[20] Korea New and Renewable Energy Center (KNREC), "Statistical data", Accessed 29 August 2024, https://www.knrec.or.kr/biz/pds/statistic/list.do.

[21] Energy Economy, 2024, "The volume of permits that had been drastically reduced has recovered to 89% of its peak", Accessed 29 August 2024, https://m.ekn.kr/view.php?key=20240331027565303.

[22] Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), 2023, "The 10th basic plan for long-term electricity supply and demand (2022-2036)", Accessed 29 August 2024, https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156547521.