

# 한국 RE100 기업의 자가소비 태양광 발전 경제성 비율 분석

이종의 · 김경남\*

에너지환경정책기술학과, 에너지환경대학원(그린스쿨), 고려대학교, 서울, 02841

## Self-Consumption Solar PV Economic Rate Analysis for RE100 Companies in Korea

Jong Yi Lee · Kyung Nam Kim\*

Energy Environment Policy and Technology, Graduate School of Energy and Environment (KU-KIST Green School),  
Korea University, Seoul, 02841, Korea

Received October 13, 2023; Revised December 5, 2023; Accepted December 11, 2023

**ABSTRACT:** Efforts are being made to respond to global warming. Interest in and demand for the private sector-led RE100 campaign is also increasing. Self-built solar power generation, one of the implementation tools for RE100, is not expanding. However, it can be an economical means of implementation in the long run. In this study, we intend to analyze the impact on the optimal ratio of self-solar power generation using HOMER simulation. OPR defines the optimal solar power generation ratio and looks into what changes there are in the optimal solar power ratio when self-power consumption increases and external power purchase price changes. As a result, the optimal rate of self-solar power generation has a low impact even if self-power consumption increases. As the external power unit price increases, the optimal ratio increases, and at a power unit price of 100 KRW/kWh, OPR is 24%; at 200 KRW/kWh OPR is 31%; and at 300 KRW/kWh OPR is 34%. This shows that the electricity price replaced during the life cycle has a high impact on the economic feasibility of solar power generation. However, when the external power unit price reached a certain level, the increase in OPR decreased. This shows that it is difficult for domestic companies to achieve RE100 based on the economic feasibility of solar energy alone. Therefore, efforts are needed to supply renewable energy in the public sector.

**Key words:** RE100, Solar PV economic analysis, Self-generation & consumption, Optimal power generation ratio

### Subscript

RE100 : 100% Renewable Electricity

PPA : Power Purchase Agreement

REC : Renewable Energy Certificate

NPC : Net Present Cost

LCOE : Levelized Cost of Energy

OPR : Optimal solar Power generation Rate

HOMER : Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources

### 1. 서론

지구 온난화에 대한 위협의 국제적인 대응을 위한 기후변화 협약 채택 이후 많은 국가들이 탄소중립 목표를 수립하고 다양한 정책, 투자를 통하여 온실가스 감축을 위한 노력을 하고 있

다. 한국도 2015년 2030 국가온실 가스감축목표(Nationally Determined Contributions, 이하 NDC)를 수립하였다. 21년 12월 2030 NDC 목표를 18년 기준년도 대비 40%감축(436.6백만톤)으로 상향하였다. 이를 위한 실행 전략 중 하나로 차세대 태양 전지를 포함한 탄소중립 에너지 핵심기술 확보와 에너지 투자 활성화를 유도하는 정책을 수립하였다<sup>1)</sup>.

이러한 국가적인 노력과 함께 민간차원의 기업 자발적인 재생에너지 전환을 독려하기 위하여 RE100캠페인도 이루어 지고 있다.

RE100캠페인은 국제 비영리 환경단체인 The Climate Group 주도로 시작되었다. 주요기업에서 사용하는 전력의 100%를 2050년까지 재생에너지로 대체한다는 목표를 가지고 있다. RE100은 23년 9월 기준 418개 Global 기업이 참여하고 있으며, 국내에서도, 기아, LG, 삼성, SK 등의 주요 기업들이 참여하고 있다<sup>2, 3)</sup>.

RE100은 민간 활동이지만 국내 기업에 미치는 영향은 높다. 삼성의 경우 유럽 제조사 및 그린피스로부터 제품 생산 시 재생에너지 사용을 요구 받았고, SK하이닉스나 LG도 공급처로부터

\*Corresponding author: i005034@korea.ac.kr

재생에너지 사용을 요구 받고 있다. 이러한 세계적인 재생에너지 사용확대에 대한 이해관계자들의 관심과 요구가 기업들의 경쟁력을 위한 국제무역규범으로 역할을 하고 있기 때문이다<sup>4)</sup>.

국내 RE100 이행방안 별 20년간 이행단가를 비교한 연구를 보면 REC구매 167.0원/kWh, 제3자 PPA 155.6원/kWh, 직접 PPA 149.4원/kWh, 녹색 프리미엄 141.3원/kWh, 자체건설 100.5원/kWh로 자체건설이 장기적으로 가장 경제적인 방법이라는 연구가 있다. 그러나 21년 기준 전체 Global RE100 기업의 재생에너지 조달량 185 TWh 중에서 자체건설은 4 TWh로 2.16%에 불과하다. 국내 기업이 자체건설 태양광 발전과 PPA를 확대하고 있으나 녹색 프리미엄을 통한 구매가 주요 실행 수단임을 알 수 있다<sup>5)</sup>.

삼성전자의 경우 수원 1.9 MW, 기흥 1.5 MW, 온양 0.28 MW의 태양광 발전을 설치하고 녹색 프리미엄 제도를 활용하여 RE100을 추진하고 있다<sup>6)</sup>. SK하이닉스는 전체 전력사용량의 29.6%를 재생에너지로 조달하였다. 미국 산호세, 중국 우시 및 충칭은 22년 100% 재생에너지로 전환 완료하였으나, 한국은 지리적 한계로 재생에너지 전환에 어려움이 있다고 한다<sup>7)</sup>.

RE100 이행수단에서 자가소비 태양광발전의 경제성이 상대적으로 높다는 연구와 달리 국내 기업은 녹색 프리미엄과 REC 구매를 중심으로 포트폴리오를 운영하고 있는 이유는 여러가지가 있을 수 있다. 다만 RPS 의무 공급비율 확대와 RE100 참여기업 수요가 증가한다면 이러한 재생에너지 조달 비용은 장기적으로 인상가능성이 높다. 따라서 일정 비율은 자가소비 태양광 발전으로의 대체가 필요할 것이다. 다만 외부공급에너지 대비 얼마를 적용하는 것이 가장 합리적인 비율이 되는지에 대한 연구는 잘 이루어지지 않고 있다.

이에 본 연구에서는 자가소비 태양광 발전의 경제성을 자가소비 용량에 따른 외부 전력구매 단가와 비교하여 어느 비율로 대체하는 것이 가장 합리적인지 연구하고자 한다. 이를 통하여 자가소비를 위한 태양광 발전을 검토하는 국내 RE100 기업에게 참조자료를 제공하고, 정책적 시사점을 제시하고자 한다. 이하 자가소비를 위한 태양광 용량을 발전용량, 외부 전력구매단가를 전력단가로 부르기로 한다.

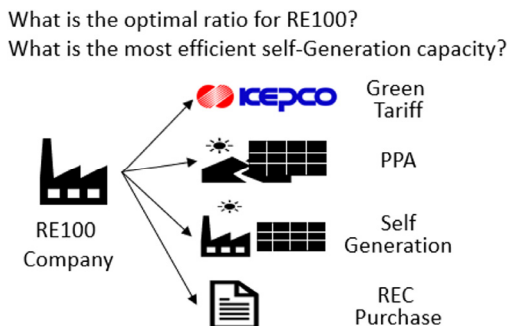


Fig. 1. RE100 Company's alternatives

## 2. 선행 연구 조사

### 2.1 연구 사례

기존 연구를 살펴보면 국내 기업의 RE100 대응에 있어서 자가발전의 경쟁력이 있다는 사실과, 발전용량에서 경제성을 가지는 용량의 비율이 있고, 전기요금과 경제성이 관련되어 있음을 알 수 있다.

#### 2.1.1 자가발전의 경쟁력

먼저 신훈영 & 박종배(2021)는 RE100 참여 관점에서 자가발전은 명시적 증명이 가능하고, 높은 공급 신뢰도 확보가 가능한 장점이 있다. 다만 초기투자비용을 감당 하는 것이 소비자에게 부담이 될 수 있다고 한다<sup>8)</sup>.

양원창 & 이재승(2022)은 한국 RE100은 녹색프리미엄 위주로 기업들의 재생에너지 요구에 대응하고 있다. 다만 RPS공급 의무 비율의 확대로 기업과 의무공급자간에 재생에너지 확보 경쟁으로 가격이 상승할 것이라고 한다<sup>9)</sup>.

문필준(2022)은 RE100 가입기업의 이행 장애요인으로 시장 구조와 재생에너지 도입비용을 지적하고 있으며, 재생에너지 구입비용이 기업의 산업용전기 구입 비용 이하로 하락된다면 RE100의 확산이 기대된다고 하였다<sup>10)</sup>. 이는 자가발전이 RE100 이행 수단에서 경쟁력이 있음을 시사하고 있다.

#### 2.1.2 경제적 용량과 전기요금

강준혁 & 서동현(2022)은 대학 캠퍼스 태양광 발전시스템 적정용량 설계에서 계약용량 대비 태양광 설비용량을 증가시켜 가면 일정 설치 면적에서 최적의 경제성을 나타낸다고 한다<sup>11)</sup>.

문용마(2023)는 태양광 발전과 ESS저장장치 운영을 통한 전기요금 경제적 효과분석에서 최대 수요의 약 11.1% 수준의 출력까지 ESS용량을 산정하는 것이 최대의 효율을 얻을 수 있다고 한다. 그 이상일 경우 절대절감 비용은 커지지만 단위당 절감 비용을 줄어든다고 한다<sup>12)</sup>.

Alvaro Rodriguez-Martinez & Carlos Rodriguez-Monroy (2021)는 산업의 자가소비 태양광 발전에 있어서 옥상 태양광 발전은 투자비용이 적고, 유연성, 효율성, 환경보호라는 장점을 갖고 있다. 설치가 가능한 최대 전력은 사용 면적에 따라 선형적으로 증가한다고 한다. LCOE 계산의 단순화는 오류를 가질 수 있으나 해당 시설의 개발의 경제적 타당성에 대한 예비 결정을 내릴 수 있다고 한다<sup>13)</sup>.

G. Jimenez-Castillo, F.J. Munoz-Rodriguez, C. Rus-Casas, D.L. Talavera (2020)는 자가발전 태양광 발전의 용량선정에서 경제성에 영향을 미치는 영향 순위는 자체 소비 전기가격, 시스템 비용, 가중평균 자본비용, 수명주기 및 운영유지보수 비용이라고 하였다<sup>14)</sup>.

Sandy Rodrigues, Roham Torabikalaki, Fabio Faria, Nuno

Cafoto, Xiaoju Che 외(2016) 태양광 발전 시스템의 경제적 타당성 분석에서 프로젝트 실행가능성은 투자비용, 전기요금, 정부 인센티브 및 일사량 간의 조합에 따라 달라진다고 하였다<sup>15)</sup>.

Rasmus Luthander, Joakim Widén, Daniel Nilsson, Jenny Palm (2015)은 빌딩의 자가 소비 태양광 발전과 관련하여 태양광 전기 자가 소비에 대한 관심은 증가하였지만 기술의 잠재력에 대한 일반적인 결론을 위하여 관련 연구가 필요하다고 하였다<sup>16)</sup>.

이를 종합하면 태양광 발전의 경제적 용량 비율이 있으며 전력단가가 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

**2.2 기존 연구와의 차별성**

앞서 연구들은 자가발전의 경제성이나 특정 Case의 최적용량에 대하여는 있으나 단가 변화에 따른 최적용량에 대하여는 찾을 수 없었다. 따라서 본 연구는 이러한 전기요금과 소비 전력량의 변화가 태양광의 경제성에 미치는 상관관계를 최적 발전 용량 비율관점에서 분석해 보고자 한다. 이를 통하여 자가발전 확대에 영향을 미치는 변수를 분석해 보고 이에 대한 방향성을 고찰해 보고자 한다.

**3. 연구 방법론**

**3.1 분석 방법 및 데이터 입력**

**3.1.1 분석 방법**

태양광의 경제성 분석은 Table 1과 같이 다양한 방법이 있다. 수명주기동안의 비용, 이익을 모두 산정하고, 현재가치로 환산하여 경제성을 분석하는 방법이 많이 사용되고 있다.

본 연구는 전력단가와 발전용량의 상관관계로서 다음의 방법으로 분석한다.

NPC (Net Present Cost)(식 (1))는 수명기간동안 총 발전비용(초기투자, 유지보수, 전력구입비용)과 수입(전력대체)을 현재 가치화 한 것으로 낮을수록 경제적이다. RE100기업의 자가발전은 판매가 없으므로 NPV나 IRR 등의 평가 방법보다는 NPC 비교가 직접적이다. NPC에서 C<sub>total</sub>은 총비용, CRP는 자본회수율로서 i는 연간 이자율, N은 프로젝트 기간을 나타낸다.

$$NPC = \frac{C_{total}}{CRP(i, N)} \tag{1}$$

**Table 1.** Financial output indicators<sup>17)</sup>

Indicators	Content
LCOE	Levelized Cost Of Electricity in life
NPC	Net Present Cost in life cycle
NPV	Net Present Value in life cycle
IRR	Internal Rate of Return at NPV Zero
BCR	Benefit-Cost Ratio

LCOE (Levelized Cost of Electricity)(식 (2))는 전기생산을 위한 초기투자비 IC (Initial investment Cost)와 유지보수비용 OC (Operating and maintenance Cost), 잔존가치 SV (Salvage Value)를 수명기간동안 생산되는 총 전력량(Total product electricity) Total kWh로 나눈 값을 할인현금흐름 방식을 통하여 계산한다.

$$LCOE = \frac{\sum IC + OC - SV}{Total\ kWh} \tag{2}$$

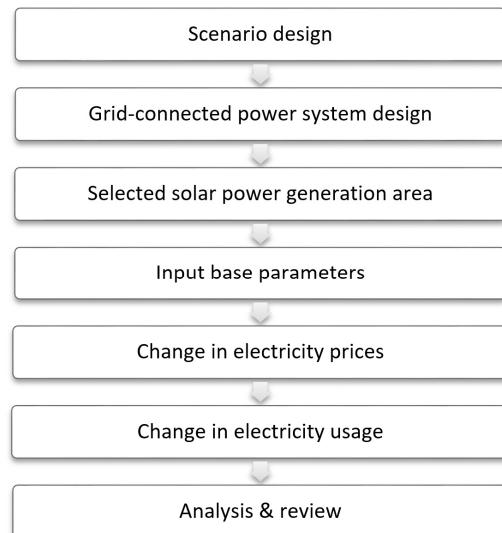
최적 태양광비율(Optimal solar Power generation Ratio)(식 3)은 태양광 발전량(Solar generation amount)을 설비 전력소비량(Total consumption electricity)로 나눈 값으로 전력소비량의 태양광 발전량 비율이다.

$$OPR(\%) = \frac{\sum Solor\ generation\ kWh}{\sum Total\ consumption\ kWh} \tag{3}$$

RE100관점에서는 OPR을 높이고자 한다. 다만 경제적관점에서 높은 OPR이 효율적인지 판단할 필요가 있다. 이는 임의의 OPR에서 가장 낮은 NPC와 LCOE 값이 나타난다면 이 지점이 최적 OPR임을 알 수 있다.

본 연구에서는 HOMER Pro Software로 이 값을 구한다. National Renewable Energy Laboratory의 시뮬레이션 기반 기술경제성 평가 등에 활용하는 소프트웨어이다<sup>18, 19)</sup>.

최적 OPR은 각 전력단가, 전력소비량에 따라 다르게 된다. 이 변화에 따른 예상 시나리오 기반으로 상호관계를 검토한다. 이후 시뮬레이션 결과를 보고 OPR에 미치는 영향이 높은 인자를 찾고자 한다. 또한 태양광 발전 확대를 위한 개선점을 고찰하는 순서로 Fig. 2와 같이 연구를 실시한다.



**Fig. 2.** OPR decision process

OPR 변수는 전력단가와 전력소비량이며, 데이터 입력은 다음과 같다.

**3.1.2 데이터 입력**

자가 태양광 발전은 독립전원형(Off-Grid System)과 계통연계형(Grid Connected System), 하이브리드형(Hybrid System)으로 분류된다<sup>20, 21</sup>. RE100 기업은 대부분 대용량 전기소비자로 태양광만으로 100% 소비량을 충당하기 어렵다. 따라서 전력 공급 Grid의 연결로 전력소비량을 보완하는 계통연계형 시스템으로 Fig. 3과 같이 구성하였다.

또한 RE100 기업들의 소유 부지에 설치할 경우를 가정하여 토지구매 비용 등은 제외한다.

태양광 경제성은 일조량에 따른 발전량이 차이에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 Table 2에서와 같이 국내 도시지역 평균 일조량 선행연구에서 국내 평균 일조량과 유사한 위치의 구미 산업단지를 지정하였다. 위도와 경도는 36°07'38" N and 128°24'42" E이다. 일조량 데이터는 소프트웨어의 NASA Surface meteorology and solar energy를 사용한다. 일사량과 발전량은 상관관계가 있으며, 일사량의 증가는 고려하지 않았다.

분석을 위한 기본 파라미터값은 Table 3과 같이 가정하였다. 초기투자비는 에너지 경제 연구원의 기본연구보고서를 기반으로 직접비와 간접비를 모두 포함한 발전비용인 121.2백만원/kW으로 설정하였다. 운영비용은 동일 보고서에서 설비비의 1.6%로 되었으나, 기업의 태양광 발전설비는 사내 기존 전기설

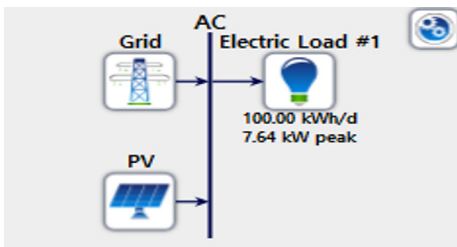


Fig. 3. Grid-connected solar power (HOMER)

Table 2. Average solar radiation in Korea<sup>22</sup>  
\* 20-year average

Location	Solar Radiation (MJ)	Location	Solar Radiation (MJ)
<b>Average</b>	<b>4,657</b>	Andong	4,603
Chuncheon	4,597	Pohang	4,737
Gangneung	4,531	<b>Daegu</b>	<b>4,672</b>
Seoul	4,143	Jeonju	4,505
Incheon	4,734	Gwangju	4,864
Wonju	4,608	Busan	4,668
Suwon	4,378	Mokpo	5,110
Seosan	4,812	Heuksando	4,980
Cheongju	4,709	Jeju	4,535
Daejeon	4,820	Gosan	4,702

비관리자를 활용, 선임비를 제외한 설비비의 1.02%를 입력한다<sup>23</sup>. RE100 기업 규모를 고려하여 자체 투자를 가정하여 이자율은 제외하였다.

태양광 설비의 수명기간은 패널 수명과 같다고 볼 수 있으며, 제조업체, 환경 등에 따라 다르지만 타 연구들을 참조하여 수명 20년, 할인율 5.5%, 성능저하율 0.6%로 한다<sup>24, 25</sup>. 인플레이션율은 2011~2021년 평균 물가상승율 1.57% 대비 기후변화, 경제분쟁 등 외부 환경요인으로 인하여 과거 10년보다 높다는 전제하에 2.0%로 설정한다<sup>26</sup>.

Table 3. Financial parameters in economic analysis

Parameters	Conditions
Initial capital	121.2 million KRW/kW
O&M	1.02% of Initial capital
Cycle life	20 Year
Degradation rate	0.6%
Discount	5.5%
Inflation rate	2.0%

**3.2 시나리오 설계**

본 연구는 전력단가와 설비용량에 따른 OPR Trend를 통하여 태양광의 경제성 영향을 분석하고자 한다.

Table 4와 같이 전력소비량 1,000 kW, 전력단가 100원/kWh에서 전력단가를 10원/kWh단위로 300원/kWh까지 증가시킨다. 동일 방법으로 전력소비량을 1,000 kW 단위로 20,000 kW까지 증가하여 OPR 시뮬레이션을 실시한다.

전체 범위에서 전력단가 16개, 전력소비량 20개 구간으로 제

Table 4. Detailed conditions of each scenario

	ConditionsScenario
Change in electricity price	From 100 KRW/kWh to 10 KRW/kWh unit increases to 300 KRW/kWh *OPR condition $100 + 10X$ ( $X=0\sim 29$ ) (KRW/kWh)
Change in electricity Usage	From 1,000 kW to 1,000 kW unit increases to 20,000 kW *OPR condition $1000 + 1000X$ ( $X=0\sim 19$ ) (kW)

한하고 320개의 OPR을 수집한다. 이 OPR Trend는 비연속 또는 연속의 일정한 형태를 가질 수 있다. 비연속 Trend는 각각에 따르며 일반화할 수 없다는 의미로 제외한다.

전력 단가에 따른 OPR시나리오는 Fig. 4와 같이 4가지로 분류한다.

① 시나리오1 : 수렴형(Convergence)

OPR 수렴은 전력단가증가시 경제성 감소를 의미하며, 발전 용량 증가는 한계가 있다.

② 시나리오2 : 선형(Linearity)

OPR 선형은 전력단가와 경제성은 연동되어 있다.

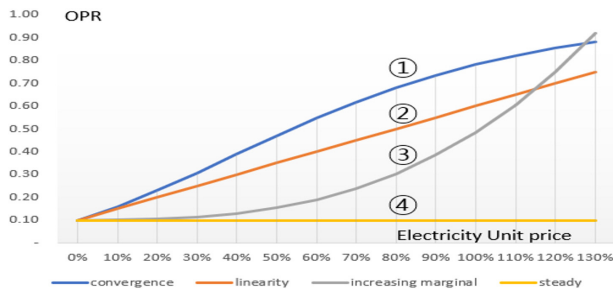


Fig. 4. OPR scenario in electricity price

③ 시나리오3 : 증가형(Increasing marginal)

OPR 증가형은 전력단가의 경제성영향이 높다.

④ 시나리오4 : 고정형(Steady)

OPR 고정형은 전력단가는 경제성에 영향이 없다.

전기사용량 OPR도 Fig. 5와 같이 4가지로 분류한다.

① 시나리오1 : 수렴형(Convergence)

OPR 수렴은 전력소비량 증가시 경제성 감소를 의미하며, 발전 용량 증가는 한계가 있다.

② 시나리오2 : 선형(Linearity)

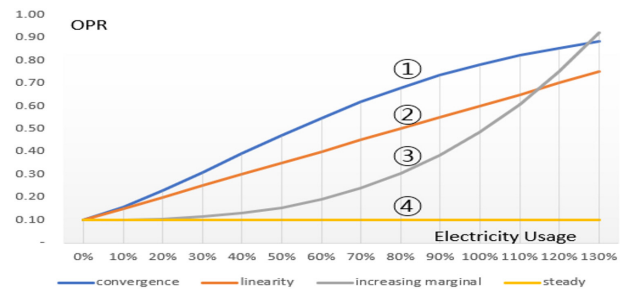


Fig. 5. OPR scenario in electricity usage

Table 5. Combined scenarios of Electricity price and usage

Combination Scenario	Electricity price OPR Trend	Electricity Usage OPR Trend	Feature	Policy direction
Scenario 1	Convergence	Convergence	Economic limits of increase in electricity price, electricity usage	Need for a policy to impose a solar duty rate (involuntary)
Scenario 2	Convergence	Linearity	Economic limits of increase in electricity price, Electricity usage linked	Need for photovoltaic expansion policy for large-capacity power use companies
Scenario 3	Convergence	Increasing marginal	Economic limits in electricity price, Economical depending on electricity usage	Need for photovoltaic expansion policy for large-capacity power use companies
Scenario 4	Convergence	Steady	Economic limits in electricity price, Low impact on electricity usage	Need for photovoltaic expansion policy centered on electricity price
Scenario 5	Linearity	Convergence	Electricity price linked, Economic limits in electricity usage	Need for photovoltaic expansion policy centered on electricity t price
Scenario 6	Linearity	Linearity	Electricity prices, usage linked,	Comprehensive policy on electricity price and usage
Scenario 7	Linearity	Increasing marginal	Electricity price linked, Economical depending on electricity usage	Need for photovoltaic expansion policy for large-capacity power use companies
Scenario 8	Linearity	Steady	Electricity price linked, Low impact on Electricity usage	Need for photovoltaic expansion policy centered on electricity price
Scenario 9	Increasing marginal	Convergence	Economical depending on electricity price, limits on the economics of electricity usage	Need for photovoltaic expansion policy centered on electricity price
Scenario 10	Increasing marginal	Linearity	Economical depending on electricity price, Electricity usage linked	Need for photovoltaic expansion policy centered on electricity price
Scenario 11	Increasing marginal	Increasing marginal	Economical depending on electricity price, usage	Voluntary expansion of the market
Scenario 12	Increasing marginal	Steady	Economical depending on electricity price, Low impact on Electricity usage	Need for photovoltaic expansion policy centered on electricity price
Scenario 13	Steady	Convergence	Low impact on Electricity price, limits on the economics of electricity usage	Need for a policy to impose a solar duty rate (involuntary)
Scenario 14	Steady	Linearity	Low impact on Electricity price, Electricity usage linked	Need for photovoltaic expansion policy for large-capacity power use companies
Scenario 15	Steady	Increasing marginal	Low impact on Electricity price, Economical depending on electricity usage	Need for photovoltaic expansion policy for large-capacity power use companies
Scenario 16	Steady	Steady	Low impact on Electricity price, Low impact on Electricity usage	Need for a policy to impose a solar duty rate (involuntary)



OPR 선형은 전력소비량과 경제성은 연동되어 있다.

③ 시나리오3 : 증가형(Increasing marginal)

OPR 증가형은 전력소비량의 경제성영향이 높다.

④ 시나리오4 : 고정형(Steady)

OPR 고정형은 전력소비량은 경제성에 영향이 없다.

상기 전력단가, 전기소비비용량의 OPR 시나리오를 종합하면 Table 5와 같이 16가지로 분류된다.

전력단가와 전기사용량의 수렴형, 선형, 증가형, 고정형조합에 따른 시나리오별로 각각의 특징과 태양광 발전 확대를 위한 정책방향에 대한 가설을 수립하였다.

예를 들어 시뮬레이션 결과 전력단가 증가형, 전기사용량 고정형의 OPR Trend의 결과일 경우(Scenario 12), 태양광 발전의 경제성은 전기사용량과는 영향이 낮으며 전력단가와 강하게 결합되어 있다고 볼 수 있다.

이 경우 RE100 기업은 전력단가의 인상에 따라 태양광 발전의 경제성을 주로 검토할 것이다. 따라서 태양광 발전 확대를 위한 정책은 전력단가 중심으로 가져가는 것이 효율적이다.

이와는 반대로 전력단가 고정형, 전기사용량 증가형의 결과라면(Scenario 15) 경제성은 전기사용량의 증가와 관련이 높다. 이런 경우 전기사용량이 큰 RE100 기업일 수록 태양광 발전이 경제적이므로 보다 도입에 적극적일 수 있다. 태양광 발전 확대를 위하여는 대용량 전기 수용가 중심의 정책을 수립하는 것이 효과적임을 알 수 있다. 위와 같은 예상 시나리오를 수립하고 실행한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

### 4. 연구 결과 분석

OPR시뮬레이션결과를 보면, 전반적으로 Table 5의 4번 시나리오(전력단가 수렴형, 전기사용량 고정형)의 궤적 양상을 나타낸다. 즉, 전력단가는 경제성에 영향이 있으나 증가할수록 경제성에 미치는 영향이 낮아지고, 전기사용량은 경제성에 미치는 영향이 낮다.

#### 4.1 OPR 시뮬레이션 결과

전기사용량 및 전력단가에 따른 OPR은 Fig. 6과 같다.

X축 전기사용량, Y축 OPR, Z축은 전력단가를 나타낸다.

Table 6은 OPR에 대한 상세 데이터이다. 전체 OPR 결과 값의 평균은 30.11%, 표준편차는 0.09%이다.

이를 전기소비비용량과 전력단가로 구분하여 살펴본다.

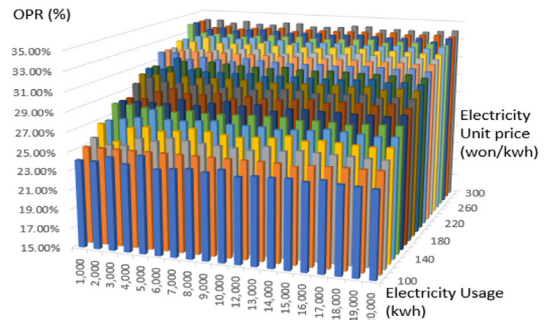


Fig. 6. OPR simulation result

Table 6. Electricity price and usage OPR results

(unit : %)

Price (KRW)	Usage (kWh)																			
	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	12,000	13,000	14,000	15,000	16,000	17,000	18,000	19,000	20,000	
100	24.15	24.15	24.70	24.15	25.12	23.80	24.00	24.15	23.95	24.35	23.80	24.01	24.00	24.08	23.89	24.21	23.95	23.87	23.80	
110	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12	24.87	25.12	25.12	25.12	25.12	25.12	
120	25.73	25.12	25.12	26.02	25.84	26.30	26.14	26.02	25.92	25.84	25.73	26.21	25.89	26.07	26.02	25.97	25.92	25.88	25.84	
130	26.84	25.12	26.66	26.84	26.52	26.66	27.06	26.84	26.66	26.52	26.66	26.71	27.06	26.66	26.84	26.74	26.66	26.58	26.68	
140	26.84	27.10	27.35	28.29	27.35	27.35	27.49	27.59	27.35	27.35	27.35	27.19	27.28	27.35	27.59	27.46	27.35	27.24	27.35	
150	28.29	28.29	28.06	28.29	27.83	28.06	27.90	27.95	27.98	28.06	28.06	28.08	27.90	27.98	27.95	27.80	27.98	28.05	28.06	
160	28.29	28.29	28.29	28.29	28.81	28.29	28.66	28.94	28.58	28.81	28.29	28.62	28.66	28.58	28.62	28.55	28.58	28.52	28.81	
170	28.29	28.29	29.15	29.55	29.15	29.15	29.38	28.94	29.24	29.15	29.15	29.27	29.38	29.15	29.35	29.34	29.24	29.49	29.15	
180	29.55	30.31	29.94	29.84	29.78	29.94	29.72	29.84	29.68	29.78	29.94	29.88	29.72	29.78	29.84	29.89	29.68	29.82	29.78	
190	30.31	30.31	30.67	30.31	30.23	30.31	30.36	30.31	30.19	30.23	30.31	30.34	30.36	30.38	30.31	30.42	30.19	30.44	30.31	
200	30.67	30.67	31.96	30.75	30.67	30.67	30.67	30.75	30.51	30.67	30.67	30.67	30.67	30.67	30.75	30.91	30.67	30.78	30.67	
210	30.67	30.67	31.34	30.67	31.47	31.34	31.25	31.18	31.12	31.34	31.18	31.14	31.25	31.21	31.18	31.15	31.12	31.31	31.08	
220	31.96	31.96	31.34	31.66	31.47	31.34	31.79	31.66	31.55	31.47	31.50	31.58	31.52	31.55	31.66	31.60	31.55	31.71	31.47	
230	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.96	31.89	31.96	31.96	31.90	31.96	
240	31.96	31.96	31.96	31.96	32.20	32.25	32.30	31.96	31.96	32.20	32.25	32.14	32.30	32.43	32.33	32.24	32.35	32.27	32.25	
250	32.54	32.54	33.08	32.54	32.54	32.54	32.77	32.54	32.72	32.54	32.54	32.67	32.77	32.72	32.54	32.64	32.60	32.57	32.54	
260	32.54	32.95	33.08	32.95	32.87	33.08	32.77	32.95	32.72	32.87	32.90	32.92	32.77	32.87	32.85	33.02	32.90	32.86	33.08	
270	34.04	33.14	33.08	33.14	32.87	33.08	33.22	33.14	33.19	33.08	33.08	33.16	33.22	33.28	33.01	33.20	33.19	33.13	33.08	
280	34.04	33.33	33.57	33.33	33.48	33.57	33.51	33.33	33.41	33.48	33.33	33.43	33.51	33.41	33.33	33.37	33.47	33.13	33.57	
290	34.04	33.33	33.57	33.33	33.48	33.57	33.64	33.33	33.57	33.57	33.57	33.61	33.64	33.57	33.69	33.55	33.60	33.65	33.57	
300	34.04	34.04	33.73	34.04	33.76	33.73	34.04	34.04	33.73	33.76	33.81	34.04	34.04	33.73	33.87	33.82	33.73	33.90	34.04	

먼저 Fig. 7은 Fig. 6에서 전기사용량과 OPR만을 분리한 결과이다. 즉, 전력단가를 상수화하고 전기 사용량만을 변화시켜 보면, Fig. 4의 시나리오 4번의 고정형 모습을 보인다. 전기사용량이 증가하면 발전 용량도 증가하지만 OPR은 100원/kWh을 기준으로 보면 1,000 kW-24.15%, 5,000 kW-25.12%, 10,000 kW-24.35%, 20,000 kW-23.80%로 일정하였다. OPR의 고정은 발전용량과 전기사용량의 비율이 일정하다는 것으로 전기사용량이 높을 수록 큰 용량의 태양광 설비를 설치하는 것이 경제적인 것이 아니라는 것을 보여준다.

다음으로 전기사용량을 상수화하고 전력단가와 OPR 만을 분리해 본 결과는 Fig. 8과 같다. 전력 단가와 OPR 간의 상관관

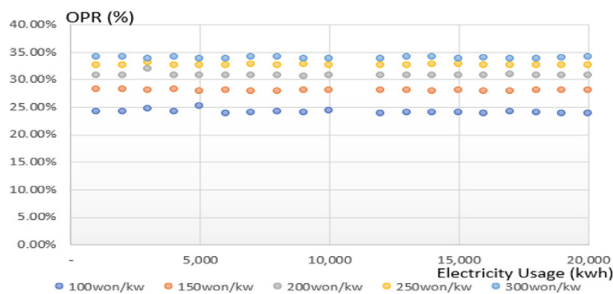


Fig. 7. Derived OPR pattern in electricity usage

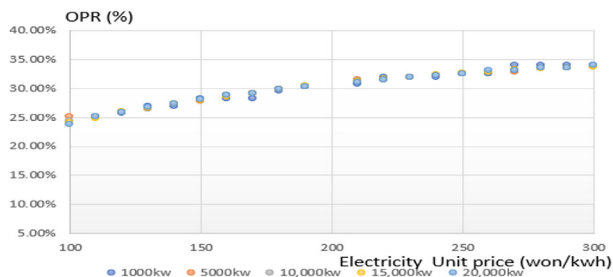


Fig. 8. Derived OPR pattern in electricity price

계를 분석하면 전력단가는 Table 5의 시나리오 1번의 수렴형을 보여주고 있다. OPR은 10,000 kW기준으로 100원/kWh-24.35%, 200원/kWh-31.34%, 270원/kWh-33.08%로 증가하다 280원/kWh-33.48%, 290원/kWh-33.57%, 300원/kWh-33.76%로 OPR의 증가세는 낮아진다. 이는 전력단가가 경제성에 유의미 한 영향을 미치나 전력단가가 증가할수록 대체할 수 있는 OPR의 증가세는 줄어드는 수렴형을 의미한다.

#### 4.2 OPR 시나리오 결과 분석

지금부터 시뮬레이션 결과를 상세히 살펴본다. HOMER는 가능조합의 발전량을 산정하고, 비용과 이자율 등의 경제성모델을 통하여 NPC를 산정하고 가장 낮은 NPC를 최적 용량으로 결정한다. NPC는 초기투자비, 전력구매, 설비운영비용을 포함하여 계산되었다.

Table 7은 시뮬레이션의 최소, 최대, 최적OPR 결과이다. 먼저 전기사용량 1,000 kW를 기준으로 보면 연간 전력량 8,760 MWh/년이며 전력단가 100원/kWh에서 최적 태양광 사용량 2,377 MWh/년(OPR 24%), 최소사용량 1,053 MWh/년(OPR 12%), 최대사용량 4,120 MWh/년(OPR 47%)을 보였다. 전력단가 200원/kWh에서 최적 태양광 사용량 2,686 MWh/년(OPR 30%), 최소사용량 1,954 MWh/년(OPR 22%), 최대사용량 4,120 MWh/년(OPR 47%) 대체율이다.

OPR이 높으면 CAPEX가 증가하고, OPR이 낮으면 전력대체비용이 낮아 OPEX(운영비용)이 증가되었다. 따라서 시뮬레이션 결과를 보면 NPC와 LCOE가 최소가 되는 비율을 OPR로 산정 가능함을 알 수 있다.

한편 전기사용량 10,000 kW기준으로 분석해 보면, 전력 단가 100원/kWh에서 필요 전력량은 87,600 MWh/년이다.

최적 태양광 사용량 21,328 MWh/년(OPR 24%), 최소사용량 10,122 MWh/년(OPR 12%), 최대사용량 33,807 MWh/년

Table 7. Derived OPR and financial output indicators

No	Electricity Usage (kW)	Electricity price (KRW/kWh)	Required Electricity (MWh/year)	Category	Power generation (MWh/year)	ORP (%)	NPC (Billion KRW)	LCOE (KRW/kWh)
1	1,000	100	8,760	Min	1,053	12%	118	95
				Optimal	2,377	24%	114	91
				Max	4,120	47%	399	319
2	1,000	200	8,760	Min	1,954	22%	212	169
				Optimal	2,686	30%	205	164
				Max	4,120	47%	466	372
3	10,000	100	87,600	Min	10,122	12%	1,191	95
				Optimal	21,328	24%	1,145	91
				Max	33,807	39%	1,436	115
4	10,000	200	87,600	Min	16,416	19%	2,174	174
				Optimal	26,863	31%	2,049	164
				Max	39,970	45%	3,584	286

(OPR 39%)였다. 전력단가 200원/kWh일 때는 최적 태양광 사용량 26,863 MWh/년(OPR 31%),최소사용량 16,416 MWh/년(OPR 19%), 최대사용량 39,970 MWh/년(OPR 45%) 이다.

1,000 kW전기 사용량과 동일하게 전력단가에 연동하는 결과를 보이고 있다.

반면에 전기사용량 10배 증가하면 최적 태양광 사용량도 동일 비율로 증가하여 OPR이 24% 동일하다. OPR에서 전기사용량은 유의미한 영향관계를 보이고 있지 않고 있다.

그 원인을 보면 태양광발전은 초기설치 비용은 높고, 운영비용은 낮다. 초기비용차이는 전력구매비용과 발전

비용의 차이만큼 상쇄해 나간다. 따라서 전력단가가 상승하면 대체 전력비용이 증가한다는 의미이므로 발전용량을 크게 할 수 있어 OPR이 높게 되는 경향이 나타난다. 그리고 OPR은 NPC와LCOE가 최소인 값과 같았다. OPR은 식 (4)와 같이 대체 전력 비용(RPC)에서 초기투자비 CAPEX와 운영유지비 OPEX를 제외한 비용이 최대가 되는 지점을 보였다.

$$OPR(\%) = \text{Max}(RPC - CAPEX - OPEX) \quad (4)$$

RPC : Replace electric Power Cost

CAPEX : Solar power Capital Expenditures

OPEX : Solar power Operating Expenditure

**Table 8.** OPR increase rate in electricity price

Electricity price (KRW/kWh)	OPR (%)	OPR increase rate (%)	LCOE (KRW/kWh)
100	24	-	91
110	25	4.1	99
120	26	3.2	106
130	27	3.2	114
140	27	3.0	121
150	28	2.7	128
160	29	2.2	136
170	29	2.5	143
180	30	2.8	150
190	30	2.1	157
200	31	1.8	164
210	31	1.6	171
220	32	1.9	177
230	32	1.5	184
240	32	0.9	191
250	33	1.9	198
260	33	1.1	204
270	33	1.2	211
280	33	1.2	218
290	34	0.5	225
300	34	1.3	231

따라서 동일전기사용량에서 전력단가가 상승한다면 대체 전력비용이 커져서 OPR이 증가한다. 동일 전력 단가에서 전기사용량이 높다면 대체전력비용도 크지만 초기투자비도 증가하므로 OPR의 변화가 크지 않게 된다. 이 결과로OPR에 미치는 영향이 전기사용량은 낮고, 전력단가는 높은 Table 5의 OPR시나리오 4번의 모습을 보이게 된다.

또한 전력단가 증가시 OPR Trend는 Table 8과 같다. 전력단가에 따른 OPR과 OPR 증가율, LCOE를 정리하였다. 전력단가가 10%씩 증가할 때 OPR증가율은 4.1%에서 1.3%까지 감소하는 경향을 볼 수 있다. 그리고 이러한 OPR의 변화는 전력 단가 300원/kWh OPR 34%에서 정체되는 모습을 보이고 있다. 이는 외부구입 전력 단가의 상승이 임계점을 넘어서면 자체건설의 유인이 줄어든다는 의미이다. 즉 단가가 증가할수록 대체 전력 비용 증가비율보다 초기투자비 증가비율이 더 크게 되기 때문에 경제성이 반감되는 현상을 가져온다.

### 4.3 연구결과에 대한 해석

태양광 발전의 경제성은 수명기간동안 태양광 발전이 대체하는 외부구매 전력비용과 태양광 초기 투자비용의 경제성 영향 차이가 최대화가 되는 지점에서 OPR이 결정된다. 본 연구에서는 300원/kWh OPR 34%이 최대를 나타내는 임계점으로 나타났다. 또한 태양광 발전량이 증가하더라도 대체할 수 있는 외부 전력구매의 한계를 확인할 수 있었다. 경제적인 관점과 주간 시간에만 발전할 수 있는 태양광의 특징, 사내 태양광을 설치할 수 있는 부지의 한계 등의 요인도 영향을 끼친다. 또한 연구결과를 해석해 보면 ESS(에너지저장장치) 등을 활용할 경우에도 이는 대체전력 대비 초기 투자비용 증가를 초래하여 OPR증가를 크게 가져와 큰 변화는 없게 될 것이다. 즉, RE100을 실천하는 한국기업의 실질적인 한계점이 본 연구에서는 증명된다. 다만 태양광 발전량, 판넬 비용감소, 시간대별 전력소비량의 차이 등의 변수는 상존함을 유의해야한다.

### 5. 결론

본 연구는 RE100 기업의 자체건설용 자가소비태양광 발전의 경제적 비율 관점에서 전력단가와 전기사용량의 관계에 대한 연구를 수행하였다. 결과는 16개 시나리오 중 4번 시나리오의 패턴이 나타났다.

1. 자가소비를 위한 태양광 최적 비율인 OPR은 사용자 전기 사용량의 변화에 영향이 낮았다.
2. OPR에 있어서 전력구매단가는 영향이 크다. 이는 태양광 발전이 대체하는 전력구매비용이 증가하기 때문이다. 전력단가 100원/kWh, OPR 24%, 200원/kWh OPR 31%, 300 원/kW OPR 34%이다.



### 3. OPR은 전력단가가 증가할수록 감소되며 300원/kWh OPR 34%에서 한계를 보였다.

이는 전기요금이 높은 국가일수록 태양광 보급 비중이 높은 이유를 설명한다. 태양광 발전에 최적화된 환경적인 요인과 정책 이외에 대체되는 전력구매비용이 경제성에 미치는 영향도 있기 때문이다. 전력가격 요인이 태양광 보급의 중요 요인 중 하나이며, 높은 전기 요금을 가진 국가일수록 태양광 전원의 비율이 높다는 선행 연구도 있다<sup>27)</sup>.

본 연구결과에 따르면 국내기업의 RE100이행에 있어서 자 가소비를 위한 태양광 발전이 경제성을 가지고 있지만 100% 태양광 자가발전-소비는 구조적인 한계가 있음을 증명한다. 하지만 한국의 여건을 고려할 때, 국내 기업의 RE100 달성을 위하여는 태양광 발전의 직접투자 외 녹색 프리미엄, 인증서구매, PPA 등 다양한 K-RE100이행 수단의 활용이 불가피 하다고 보인다.

따라서 국내기업의 Global 경쟁력 확보를 위하여는 전력단가 상승에 따른 기업의 자발적인 태양광 발전 확대 이외에 적극적으로 공공부문의 신재생 공급정책이 선행적으로 필요한 시점이다. 이에 대한 사전 준비가 되지 않으면 향후 국내 기업의 RE100목표 시점인 2030이후부터 신재생 에너지 공급 부족이라는 어려움이 발생할 수도 있기 때문이다.

## 후 기

본 연구는 정부(환경부)의 재원으로 한국환경산업 기술원의 탄소중립 특성화대학원 사업의 지원, 그리고 KU-KIST 스텔 운 영사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## References

- National Strategy for Carbon Neutral Green Growth and the 1st National Basic Plan, pp. 24-34 (2023).
- Climate group RE100, "there100.org/re100-members"
- K-RE100, "https://www.k-re100.or.kr/bbs/board.php?bo\_table=sub2\_2\_1"
- Yeji Lee, Min Sun Cho, Ho Jin Chae, Jae Chang Kim, Soo Chool Lee, "The Status of RE100 and Its Implications in Korea," J OF ENERGY & CLIMATE CHANGE, pp. 48-51 (2019).
- Sang Hyo An, JongRoul Woo, "Comparative Economic Analysis of RE100 Implementation Methods in South Korea", KPVS, pp. 43-46 (2022).
- SAMSUNG Electronics Sustainability report 2023, "https://www.samsung.com/sec/sustainability/digital-library/sustainability-report/"
- SK Hynix Sustainability Report 2023, "https://www.skhyunx.com/sustainability/UI-FR-SA01/"
- Hunyoung Shin, Jong-Bae Park, "Analysis of Global RE100 Operation Status and Suggestions for Expanding RE100 in South Korea," KIEE, p. 1647 (2021).
- Wonchang Yang, Changmo Sung, Jae Seung Lee, "A Study on the Impact of Renewable Portfolio Standard (RPS) System on the Korean RE100 System," KOTIS, p. 970 (2022).
- Piljun Moon, Kyung Nam Kim, "Current status of RE100 campaign Implementation plan linking carbon emissions rights, KPVS, p. 40 (2020).
- Kang Jun-Hyeok, Seo Dong-hyun, "Photovoltaics System Sizing and Economic Analysis of an University Campus Based on Actual Electricity Use Data," Korea Facility Management Association, pp25-26 (2022)
- Yong ma Moon, "Economic Analysis of Electricity Fees for a University Building with a PV System Considering Optimal ESS Operations," J of Adv. Eng. and Tech, 16(1), 47 (2023).
- Alvaro Rodriguez-Martinez, Carlos Rodriguez Monroy "Economic Analysis and Modelling of Rooftop Photovoltaic Systems in Spain for Industrial Self-Consumption," Energies, pp. 5-7 (2021).
- G. Jimenez-Castillo, F.J. Munoz-Rodriguez, C. Rus-Casas, D.L. Talavera, "A new approach based on economic profitability to sizing the photo voltaic generator in self-consumption systems without storage," Renewable Energy, 148, 1017-1033 (2020).
- Sandy Rodrigues, Roham Torabikalaki, Fábio Faria, Nuno Cafôfo, Xiaoju Chen, Ashkan Ramezani Ivaki, Herlander Mata-Lima, F.Morgado-Dias, "Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries," Solar Energy, 131, 81-95 (2016).
- Rasmus Luthander, Joakim Widén, Daniel Nilsson, Jenny Palm, "Photovoltaic self-consumption in buildings: A review," Applied Energy, 142, 80-94 (2015).
- Davide Fioriti, Salvatore Pintus, Giovanni Lutzemberger, Davide Poli, "Economic multi-objective approach to design off-grid microgrids: A support for business decision making," Renewable Energy, 159, 693-704 (2020).
- Yazhini K, Aarthi N, "Optimal Sizing of Rural Microgrid using HOMER Pro Software," IEEE (2022).
- Dilyana Gospodinova, Peter Dineff, Kostadin Milanov, "Greenhouse Gas Emissions Assessment After Renewable Energy Sources Implementation In Bulgarian Grid-Connected Single-Family Houses By HOMER Pro Software," IEEE (2020).
- Byun Soo young, "A study on the development of performance evaluation program for the urban Hybrid application of renewable energy ststems," Chung-ang University, pp. 16-17 (2011).
- Ahmed G. Abo-Khalil, Khairy Sayed, Ali Radwan, IbrahimI.A. El-Sharkawy, "Analysis of the PV system sizing and economic feasibility study in a grid-connected PV system," Case studies in thermal engineering, 45, 102903 (2023).
- Jin young Kim, "Small-scale urban area based on digital maps Decision-making on optimal location for solar power generation," Pusan University, p. 19 (2017).

23. Lee Geun-dae, Kim Ki-hwan, "To expand renewable energy supply Mid- to long-term power generation cost (LCOE) forecast System construction and operation, KEEI (2020).
24. Md. Sazal Miah, Md. Abdul Momen Swazal, Sazib Mitro, Md. Morshedul Islam, "Design of A Grid-Tied Solar Plant Using Homer Pro and an Optimal Home Energy Management System," IEEE (2020).
25. Kang, Seongmin, Jeon, Youngjae, Cho, Sung Heum, Lee Daekyeom, Jeon Eui-Chan, "Economic Evaluation of Unused Space PV System Using the RETScreen Model- A Case Study of Busan, Gangseo-gu," J of Climate change research (2017).
26. Statistics KOREA Government Official Work Conference," <https://www.index.go.kr/enara>"
27. Kwangsu kim, Jinsoo Choi, Yongbeum Yoon, Soojin Park, "A Study on Determinants of Photovoltaic Energy Growth : Panel Data Regression with Auto regressive Disturbance," KPVs, p. 19 (2022).