



[2019-12-PV-007]

에너지 프로슈머 제도를 고려한 태양광 주택의 전력거래 유형별 수익성 비교에 관한 연구

이효석¹⁾ · 이태규²⁾ · 정승원²⁾ · 김정욱³⁾*

Comparison of Profitability according to the Type of Electric Power Transaction in a Solar Powered House Considering Energy Prosumer System

Hyoseok Lee¹⁾ · Taekyu Lee²⁾ · Seungwon Jung²⁾ · Jeonguk Kim³⁾*

Received 18 September 2019 Revised 29 October 2019 Accepted 31 October 2019

ABSTRACT In line with the government's policy to expand renewable energy and vitalize the energy new business, the importance of expanding the private sector's supply of solar energy for housing is also growing. This paper provides basic data in terms of securing economic benefits to lead to the activation of the policy in designing all the rules of the energy prosumer policy. First, the standard housing model was selected and the energy simulation tool was used to derive the annual energy demand and the generation of 5 kW solar power. The economy was then analyzed according to the type of energy prosumer transaction. Three types of models were derived: current energy offset transaction model, optimal selling model through the transaction platform, and best-selling model of surplus power. Among these, the return on the best-selling model of surplus power was found to be the most advantageous. The types of transactions presented in this study will be flexible as the energy market changes in the future, but will be useful in an advance study in designing the rules for rapid institutionalization of energy prosumers.

Key words Photovoltaic(태양광), Economical optimization(경제적 최적화), Energy prosumer(에너지 프로슈머)

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 4차산업혁명이 대한민국의 새로운 성장동력으로 조 명되면서 정부 차원의 다양한 정책 및 제도 지원이 추진되

고 있으며, 에너지 산업 측면에서도 새로운 성장 기회가 도 래하고 있다.

정부는 기후변화 대응 및 에너지 신성장 동력 확보를 위 하여 2030년까지 재생에너지 발전량 비중 20%를 목표로 설정하는 '재생에너지 3020 이행계획(안)'을 발표하였다^[1].

본 계획에 따르면 신규 설비용량의 95% 이상을 태양광, 풍력 등 청정에너지로 공급할 계획이며 주체별 보급계획은 주택 등 자가용 2.4 GW, 협동조합 등 소규모 사업 7.5 GW, 농가 태양광 10 GW, 국민참여형 발전사업 및 대규모 프로 젝트 28.8 GW를 통해 목표를 달성한다는 방침이다.

또한, 기후변화대응, 에너지 안보, 수요관리 등 에너지

1) Mng.Consultant, LG CNS

2) Master Course, Department of Energy-grid, Graduate School, Sangmyung University

3) Professor, Department of Electrical Engineering, Sangmyung University

*Corresponding author: jukim@smu.ac.kr

Tel: +82-2-781-7602

Fax: +82-2-2287-0097

분야의 주요 현안을 효과적으로 해결하기 위하여 신기술, 정보통신기술과의 융합을 통한 에너지산업 활성화를 위한 새로운 제도가 실증되고 있으며^[2] 스마트시티 국가시범 도시와 같은 국책 사업이 적극적으로 추진되면서^[3] 사업 성공의 장애 요소가 될 수 있는 각종 규제에 대한 규제 샌드박스 적용을 통한 신기술, 신규 사업모델에 대한 신속한 적용 의지를 보여주고 있다^[4].

이와 같이 국가 차원에서 신성장 모멘텀 확보를 위해 다양한 정책적 지원이 발표되고 있으나, 신재생 에너지 분야의 주택용 태양광 발전 경제성 분석 연구의 경우 자가 소비에 대한 내용이 주를 이루고 있으며^[5~7] 누진요금제도로 인하여 사용량이 많은 가구가 아니라면 효과가 미미할 수 밖에 없는 한계점이 확인되고 있다^[8].

이에, 에너지 프로슈머 제도 시범도입 등 새로운 외부 환경 변화를 적극 고려하여 주택용 태양광 발전 시스템의 경제성을 추가 수익 확보 측면에서 분석함으로써 태양광 도입의 활성화 가능성을 검토하고 향후 에너지 프로슈머 제도의 도입 검토 시 거래 조건, 인센티브 등 규칙 설계의 기초 자료로 활용될 수 있도록 하고자 한다.

1.2 선행연구 고찰

기존의 선행연구들은 태양광 실제 발전량 데이터, 시뮬레이션 등의 방법을 통한 발전량을 기준으로 현재의 제도 내에서 자가 소비를 기준으로 주로 경제성을 분석하였다. 김태한 외(2017)는 서울시 햇빛지도, RPS 제도 및 장기간 실측 모니터링 자료를 연동한 복합적 관점의 경제성 분석을 제시하였다^[5]. 노상태 외(2015)는 태양광 성능 예측 도구로써 JIS 8907 기준을 적용하여 다수의 국내 농촌지역 소형 태양광 발전량 측정 데이터와 비교 후 충청북도 충주시 지역의 3kW급 태양광 발전설비의 설치사례를 파악한 후 충주시의 가구당 평균 전기사용량 데이터와 예측 발전량 값을 이용하여 산출한 전기요금을 바탕으로 현재가치법 분석을 통해 경제성 분석을 실시하였다^[6]. 김광원 외(2014)는 조사대상지 11가구를 선정 후 태양광발전량을 전력사용량에 합산한 전기요금과 태양광발전량을 합산하지 않은 순수 전력사용량의 전기요금 차이로 태양광시스템 설치 후 1년간 이익을 분석하고, 이를 통해 태양광 내구연한인 25년 동안의 비용편익비(B/C)를 구하여 경제성 평가 결과를 제

시하였다^[7]. 전승호 외(2019)는 에너지저장장치(ESS) 활용 촉진 요금제도를 토대로 계약종별 B/C ratio를 계산하고 편익/비용 구성요소 비중을 분석한 후 0의 순현재가치를 유도하는 수준을 계산하였다^[9].

본 연구에서는 복합적 관점의 현실적인 사업성 평가 방법, 현재가치법 분석 등 상기 선행연구들의 경제성 분석 방법론을 참고하여 경제성 분석을 진행하였다. 그러나 다수 선행연구에서 에너지 프로슈머 제도와 연계한 경제성 분석은 부재한 점에 착안하여, 관련 제도 변화와 실증사업 현황을 분석 후 주택용 태양광발전시스템을 통한 발전량의 자가 소비와 더불어 이웃간 거래 등 Case별 거래조건 및 이에 따른 수익률 변화를 제시하고자 한다.

1.3 에너지 프로슈머 현황

1.3.1 에너지 프로슈머 등장 배경

새로운 전력수급 주체로서 에너지 생산자(Producer)와 소비자(Consumer)의 합성인 에너지 프로슈머(Prosumer)라는 새로운 용어가 등장하였다. 에너지 생산자와 소비자가 명확히 구분되었던 과거와는 달리, 중소기업 신재생에너지 기술 발전과 제도 도입에 따라 에너지 소비자가 생산자 역할도 수행할 수 있게 되었다.

2015년 11월 정부는 「2030 에너지 신산업 확산 전략」^[10]을 수립하고 미래 에너지의 핵심 키워드로 에너지 프로슈머와 분산형 청정에너지 확산, ICT 융합, 온실가스 감축을 제시하였다. 누구나 에너지를 생산·판매하는 시장 활성화를 추진전략으로, 2030년까지 E-프로슈머 시장의 전국 확대를 중장기 정책방향으로 제시하였다(총발전량의 12.8% 규모). 이를 위하여 우리나라 전역에 마이크로그리드 확산, 신축 건물 제로에너지빌딩 의무화, 친환경에너지타운 100개소 확산, 전국민 참여 수요자원시장 확대(피크 5% 수준: 6.3 GW / 국민DR 프로그램 신설) 및 E-프로슈머 전력거래 시장 개설을 추진하기로 한 바 있다.

1.3.2 에너지 프로슈머 관련 제도 현황

정부는 2016년 7월 「에너지신산업 성과확산 및 규제개혁 종합대책」^[11]을 발표하였는데, 에너지 프로슈머와 관련하여 1MW 이하 소규모 태양광/풍력 발전설비의 상시 계통접속권 보장, 자가용 태양광 설비에서 생산된 전력을 전력거래

소에서 거래하는 대신 전기요금 차감(상계)에 사용할 수 있는 범위 확대(설비용량 10 kW 이하에서 1,000 kW 이하로 확대), 자가용 태양광에 대한 전력시장 판매 상한 폐지(기존 발전량의 최대 50%까지 판매 가능)가 주요 내용이다.

그러나 진정한 에너지 프로슈머가 활성화되기 위한 개인 간 전력거래는 아직까지 불가능한 상황이다. 우리나라의 전력거래는 전력시장운영규칙에 따라 한국전력거래소에서 이루어지고, 전력거래를 할 수 있는 자격은 한국전력거래소 회원(발전사업자, 전기판매사업자, 구역전기사업자, 대규모 전기사용자, 자가용전기설비를 설치한 자, 수요관리사업자)에게만 주어지며, 1,600여 개 발전사업자들은 생산한 전기를 전기판매사업자인 한전에 공급하고 한전이 전기사용자들에게 전기를 판매할 수 있기 때문에 개인이 전력시장에 참여할 수 있는 법적 권한이 없다. 이에 국내에서는 유사한 모델로 2016년 2월 산업통상자원부 고시 제2016-35호 「소규모 신재생에너지 발전전력 등의 거래에 관한 지침」 개정을 통해 제19조(이웃 간 거래 등) 신설을 통하여 이웃 간 에너지 프로슈머 거래가 등장하였다. 이는 태양광설비 설치자가 생산한 전력 중 남는 전력은 전기판매사업자(한국전력)의 중개로 다른 전기소비자에게 공급하고, 전기판매사업자는 프로슈머에 의해 공급되는 전력의 요금채권을 전기요금에 반영하여 정산하는 것이다. 프로슈머가 생산한 전력은 동일 배전망을 사용하는 소비자에게만 제공 가능하다. 이웃 간 거래는 한전이 중개역할을 하여, 상계거래제와 비슷하게 전기요금을 정산하는 방식으로 P2P(직거래)라고 보기는 어렵다.

1.3.3 이웃 간 에너지 프로슈머 거래 실증사업

2016년 3월, 산업부와 한국전력은 수원 솔대마을과 홍천 친환경에너지타운 2곳에서 “프로슈머 이웃 간 전력거래” 실증사업을 실시하였다. 수원 솔대마을은 전체 18호 중 11호가 태양광을 보유하고 있는 전원마을이다, 홍천 친환경에너지타운은 19호 중 11호가 태양광을 보유하고 있는 친환경에너지타운 시범단지로서 지정된 곳이다^[12].

실증사업의 참여주체별 역할 및 효과는 Table 1과 같고 실증사업 진행 결과 실증사업 첫 달 가구당 평균 편익은 프로슈머 2,116원, 소비자 46,317원으로 프로슈머의 편익이 매력적이지는 않은 것으로 나타났다^[13].

Table 1. Role and effect by participants (참여주체별 역할 및 효과)

구분	Prosumer (프로슈머)	KEPCO (한국전력)	Customer (구매자)
Role (역할)	Surplus electricity sales (잉여전력 판매)	Inter-neighbor trade broker (이웃간 거래 중개)	Purchase of surplus electricity (잉여전력 구매)
Effect (효과)	Sales revenue (판매수익)	Reduced cost of construction and maintenance of grid (망 건설 및 유지비 절감)	Electricity charge reduction (전기요금 절감)

2. 연구의 방법

2.1 연구의 범위 및 절차

본 연구에서는 농림축산식품부와 한국농어촌공사에서 제공하는 「농촌주택 표준설계도」를 기반으로 제작된 3D 건축물 모델링에 TRNSYS 시뮬레이션 툴을 활용하여 시뮬레이션 모델 구현을 통해 해당 주택의 소비량 데이터와 발전량 데이터를 추출한 후 이를 기반으로 경제성 평가를 수행하였다.

본 연구는 Fig. 1과 같은 절차로 진행하였다. 주택용 태양광 발전 시스템 경제성 분석에 관한 선행 연구 조사를 실시하였고, 이에 따른 경제성 분석 방법론을 참고하여 본 연구의 경제성 분석방법을 구상하였다. 이후 경제성 분석 데이터 확보를 위해 농촌주택 표준설계도를 선정하여 에너지 시뮬레이션을 위한 모델링을 진행하고 확보된 데이터를 기

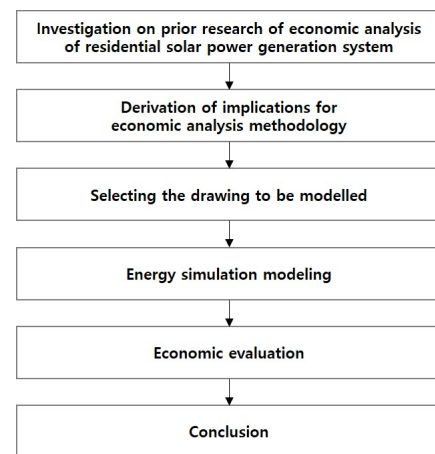


Fig. 1. Research procedure diagram

반으로 자가사용 및 에너지 프로슈머를 통한 부가 수익을 적용하여 경제성 분석을 수행하였다.

2.2 시뮬레이션 정보

2.2.1 시뮬레이션 프로그램 정보

본 연구에서는 에너지해석 소프트웨어인 TRNSYS(Transient Systems Simulation)를 이용하여 단독주택의 에너지 소비량과 태양광설비 설치에 따른 발전량을 시뮬레이션 하고자 한다. TRNSYS는 The University of Wisconsin Madison College of Engineering's Solar Energy Lab(SEL)에서 개발된 상용 소프트웨어 패키지로, 능동형 태양광 설계뿐만 아니라 수동형 건물 시뮬레이션 분야에서 주로 사용된다. TRNSYS는 다양한 재생에너지와 전통적인 에너지원의 시스템 시뮬레이션을 위한 많은 과학 및 기술 출판물에서 널리 사용되고 있다.

2.2.2 주택 모델

시뮬레이션 대상 주택은 농림축산식품부와 한국농어촌공사에서 제공하는 「농촌주택 표준설계도」 중 젊은세대 비농업가구형(농림-12-25-나-1 유형) 도면을 기준으로 하였으며 평면 구조는 Fig. 2와 같고 건물의 전체적인 형태는 Fig. 3과 같다^[14].

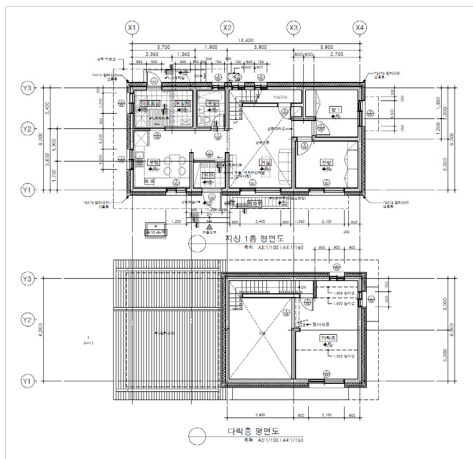


Fig. 2. Target housing plan

실제 주택의 데이터를 활용하여 연구를 하는 것이 바람직하나 데이터 확보의 현실적 제약사항이 있어 주택 신축수

요자가 공간적·경제적·기술적 수준에 따라 적정 주택을 선택할 수 있도록 한 「농촌주택 표준설계도」를 기반으로 시뮬레이션에 활용하였다.

시뮬레이션에 사용하는 주택 면적은 84.32 m²로, 주택법 제2조 6항에 의거한 국민주택규모 85 m² 이하에 해당하도록 선정하였으며, 이는 1976년 국민주택계획에 사용된 각 실의 크기를 종합하여 산정한 이후 현재까지 이어지고 있는 규모이다^[15].

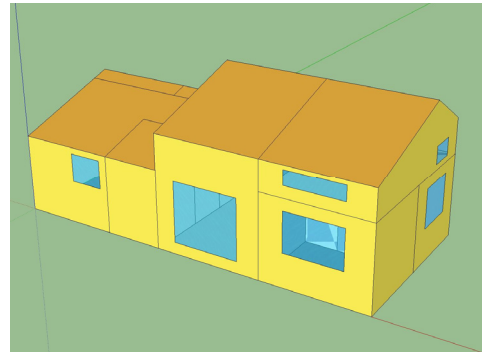


Fig. 3. Simulation Model

시뮬레이션에 사용하는 주택은 전국의 외기 환경을 고려할 수 있도록 「건축물의 에너지절약설계기준 해설서(제 2017-881호)」의 지역 기준에 따라 중부1지역(강원도 철원군), 중부2지역(전북 고창군) 및 남부지역(전남 완도군)의 3개 지역을 검토하고 외벽, 인접벽, 바닥면과 창(로이유리복층창)의 열관류율 기준을 적용하였다.

또한, 태양광 패널은 5 kW(300 W 모듈 16개)급 규모로 설치하는 것을 조건으로 설정하였고 가구 구성원은 국가통계포털의 인구총조사 결과 전국 평균 가구원수 2.4명을 준용하여 3명으로 가정하였다^[16].

Table 2. Building Information

Category	Condition
Area	84.32 m ²
Room	2 Rooms, LDK
Orientation	Full southern aspect
Location	Gangwon-do, KR Jeollabuk-do, KR Jeollanam-do, KR

2.2.3 시뮬레이션 기상데이터

본 연구에서는 한국패시브건축협회에서 제공하는 EPW

Table 3. EPW Data

Region (지역)	Month (월)	Temperature (평균 외기온도) [°C]	Humidity (평균 상대습도) [%]	Solar radiation (직달일사량) [W/m ² K]
Central 1 (Cholwon-gun, Gangwon-do) (중부1지역 (강원 철원군))	1	-5	63	365,571
	2	-2	51	402,739
	3	4	67	476,020
	4	10	58	497,126
	5	17	62	531,832
	6	21	71	485,811
	7	24	85	323,682
	8	23	78	363,645
	9	19	72	414,827
	10	12	70	422,577
	11	5	70	293,913
	12	-3	63	306,752
Central 2 (Gochang-gun, Jeollabuk-do) (중부2지역 (전북 고창군))	1	-1	66	377,301
	2	2	69	398,652
	3	7	53	536,164
	4	12	59	482,106
	5	19	66	450,365
	6	23	73	471,912
	7	26	84	331,770
	8	26	80	368,156
	9	22	75	435,462
	10	16	76	442,377
	11	10	72	357,092
	12	3	67	360,296
Southern (Wando-gun, Jeollanam-do) (남부지역 (전남 완도군))	1	2	61	410,386
	2	4	61	406,860
	3	8	54	499,516
	4	14	68	458,076
	5	18	68	474,542
	6	22	76	384,656
	7	25	88	230,165
	8	26	86	335,732
	9	23	77	395,906
	10	16	70	443,321
	11	12	76	348,798
	12	5	63	367,263

(Energy Plus Weather) 데이터를 활용하여 시뮬레이션을 진행하였으며, EPW 기상데이터의 값으로 Table 3과 같이 평균 외기온도, 평균 상대습도 및 직달일사량을 인자로 활용하였다.

2.3 에너지 거래 방식 비교

에너지 프로슈머로서 생산한 전력에 대한 거래 방식에 따라 수익성이 달라지며, 이는 곧 주택용 태양광 보급률에 결정적 영향을 미칠 수 있다. 이러한 수익성은 거래 규칙을 어떻게 설정하는지에 따라 결정되며, 본 연구의 목적인 에너지 프로슈머의 최적의 경제성 방안 도출을 위하여 3가지의 거래 방식을 자체 기준에 따라 설정하고 이에 대한 예상 수익 변화를 살펴보고자 한다.

Case 1은 현행 태양광 상계거래 제도와 같이 생산된 에너지를 자가 소비하고 잉여 전력은 한전에 송출하는 방식이다. 송출된 잉여 전력은 이월, 적립했다가 전력 사용량이 생산량보다 많은 월에 추가 상계하여 처리하나, 적립된 전력에 대해서는 보상하지 않는다. 수익은 발전에 따른 전기요금 절감량 및 누진요금을 적용하여 계산하였고 비용은 태양광 시스템 설치비는 산업부의 2019년 태양광 시스템 설치비 기준과 용량에 따른 보조금 기준에 따라 계산하였다^[17].

Case 2는 적극적인 전력 판매 방안으로, 태양광 시스템으로부터 생산된 전량을 P2P 방식으로 판매하고 에너지 소비는 한전으로부터 수전받는 방식이다. 거래는 에너지 프로슈머 플랫폼을 통해 판매자와 구매자가 자동으로 매칭되는 방식이며, 거래 시점에 누진단계가 높은 가구를 자동 연결하여 경제성을 최대로 확보할 수 있다. 이 경우 판매자는 플랫폼 사업자와 한전에 매출의 일정 비율로 수수료를 제공하게 된다.

수익은 발전된 전량을 누진 3단계 단가로 판매하고 비용은 태양광 시스템 설치비는 Case 1과 동일하며 프로슈머 플랫폼 수수료 및 한전 송전 수수료가 각 5%씩 발생하는 것으로 가정하였다.

Case 3은 생산된 에너지의 자가 소비 후 잉여 전력에 대하여 일정 단가로 한전에 판매하는 방식이다. 판매 단가는 규칙에 따라 달라질 수 있으나, 본 연구에서는 Table 4와 같이 산업부의 프로슈머 이웃간 전력거래 실증사업 실시

관련 보도자료의 예시 단가인 300원/kWh를 적용하여 계산하며, Case 2와 동일하게 한전에 일정 수수료를 제공하게 된다.

수익은 발전에 따른 전기요금 절감 및 잉여 전력의 한전 판매 대금이며, 이때 판매 단가는 산업부의 프로슈머 이웃간 전력거래 실증사업 단가를 준용하였고 비용은 태양광 시스템 설치비의 경우 Case 1과 동일하며 한전 송전 수수료를 5%로 가정하였다.

Table 4. Example unit price of prosumer inter-neighbor trade case study (MOTIE, 2016) (프로슈머 이웃간 전력 판매 예시(산업부, 2016))¹⁾

Category	Before trade	After trade
Supply from KEPCO (한전 수전량) (kWh)	300	300
Surplus amount (남는 전력량) (kWh)	100	100
Settlement amount (한전에 대한 정산량) (kWh)	200	300
Charges (KRW) (전기요금(원))	19,570	39,050
Transaction amount (kWh) (Sales) 이웃간 거래량 (판매)	0	100
Settlement (KRW) (Revenue) 이웃간 정산(원) (수익)	0	30,000 (Unit price (단가): 300 KRW/kWh)
Final charges (KRW) 최종 전기요금 (원)	19,570	9,050

▶ Transaction benefit: 10,524 KRW (이웃간 거래 편익: 10,524원)

각 Case별 주요 수익과 비용항목 구성과 항목별 산출 내역을 각각 Table 5와 같이 정리하였다.

각 Case별 상세 거래조건은 Table 6과 같이 전력 판매 대금과 수수료를 변화시켜 Base, Alt 1, Alt 2의 3가지 거래조건에 따른 수익률의 변화를 살펴보고자 하였다.

2.4 경제적 타당성 분석 방법

본 연구에서 각 Case별 경제적 타당성 분석은 내부수익률(IRR: Internal Rate of Return)법을 활용하여 비교하

1) 산업부 프로슈머 이웃간 전력거래 실증사업(2016) 기준 준용

Table 5. Income and cost by case (유형별 수익/비용 항목)

Category (항목)	Case 1	Case 2	Case 3
Income (수익)	- Electricity charge reduction (전기요금 절감)	- Sales revenue (전력 판매 대금)	- Electricity charge reduction (전기요금 절감) - Sales revenue (전력 판매 대금)
Cost (비용)	- System installation cost (태양광 시스템 설치비)	- System installation cost (태양광 시스템 설치비) - Platform fee (플랫폼 이용 수수료) - Transmission fee (KEPCO) (송전 수수료 (한전)) - Electricity charge (전기요금)	- System installation cost (태양광 시스템 설치비) - Transmission fee (KEPCO) (송전 수수료 (한전))

Table 6. Income and cost details (수익/비용 항목별 산출 내용)

Category (항목)	Condition (상세내용)
Income (수익)	- Electricity charge reduction: Calculation of unit price for progressive electricity billing system 3 phase (전기요금 절감: 한전 주택용 전력(저압) 단가 기준)
	- Unit price of power sale
	Base 1) Case 2: P2P transactions through energy prosumer platform / Assumption for autoconnect with 3 phase home → 280.6 KRW/kWh (에너지 프로슈머 플랫폼을 통한 P2P 거래로 누진 3단계인 가구와 자동 연결 → 280.6원/kWh) 2) Case 3: Unit price of 「Prosumer inter-neighbor trade case study」 of MOTIE → 300 KRW/kWh (산업부 「프로슈머 이웃간 전력거래 실증사업」 예시 단가 → 300원/kWh)
	Alt 1 1) Case 2.: 250원/kWh 2) Case 3.: 250원/kWh
Alt 2 1) Case 2.: 220원/kWh 2) Case 3.: 220원/kWh	
Cost (비용)	- System installation cost: 7,620,000 KRW (태양광 시스템 설치비: 762만원)
	1) Installation cost: Applied unit price of upper limit of support 「Renewable energy supply project, 2019」 of MOTIE - 9,300,000 KRW (설치비: 산업부 「2019년 신재생에너지보급 (주택 지원) 사업」 지원 상한액 - 930만원)
	2) Upper limit of subsidy: 3kW * 560,000 KRW/kW = 1,680,000 KRW (보조금 상한: 3kW * 56만원/kW = 168만원)
	- Platform fee: Platform operating fee (플랫폼 운영 수수료)
	- Transmission fee (KEPCO): Network usage fee (한전 송전망 이용 수수료)
Base	5%
Alt 1	7%
Alt 2	10%

고자 한다.

내부수익률(IRR)은 투자로부터 기대되는 총 편익의 현재가와 총비용의 현재가를 같게 하는 할인율을 말하며, 어떤 사업(투자안)의 순현재가치(NPV; Net Present Value)를 0으로 만드는 할인율로 아래의 식으로 나타낼 수 있다^[18].

$$\sum \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- B_t : 연차별 총편익
- C_t : 연차별 총비용
- r : 할인율(내부수익률)
- t : 기간

일반적으로 사업 진행 전에 내부수익률이 자본비용보다 크다면 해당 사업을 진행하는 것으로 결정하며, 보통의 경우 자본비용은 기준금리를 기준으로 삼는 것이 통상적이다. 즉, 기준금리보다 내부수익률이 더 높다면 해당 사업을 진행하는 것으로 결정하는 것이 일반적이다.

3. 연구의 내용

3.1 시뮬레이션 결과

3.1.1 시뮬레이션 조건

건축물에 사용된 재질에 대한 열적 특성, 창 특성 및 벽체 열적 특성은 Table 7, 8, 9와 같다.

시뮬레이션을 위한 건축물 내부 운영환경은 Table 10과 같이 난방온도는 20℃, 냉방온도는 26℃로 설정하였으며

Table 7. Building Thermal Properties

Material	Cond. [kJ/hmK]	Cap. [kJ/kgK]	Den. [kg/m ³]
PLASTER BOARD	0,576	0,84	950
RFDC_ASHRAE	0,504	0,9	530
FBRGLS_ASHRAE	0,144	0,84	12
WD_SIDN_ASHRAE	0,504	0,9	530
CONCRETE_SLAB	4,068	1	1400
POLY_URETHAN	0,07	2,09	40

환기는 1시간에 0.3회로 설정하였다. 이는 1시간에 실내 전체 공기 체적의 30%가 환기된다는 것을 의미한다.

또한, 건축물의 재실 환경을 고려하여 주거 건물의 내부 발열 및 시스템 가동 행태 분석 연구 결과를 바탕으로 냉난방 가동율 및 가전기기 가동율을 Fig. 4와 같이 설정하였다^[19].

Table 8. Properties of Windows

Window Type	Region	Glazings	Thickness [m]	SHGC	U-value [W/m ² K]
SG_COOL-LITE_KNT164_57/Ar90	Central 1	3	6/12/4/12/4	0,38	0,86
GU_SunGuard_SNX_60/Ar90	Central 2	2	6/16/4	0,28	1
GU_SunGuard_HPsilver_43/Ar90	Southern	2	6/16/4	0,31	1,15

Table 9. Thermal Properties of Wall

Wall Type	Region	Total Thickness [m]	U-value [W/m ² K]
Adjacent Ceiling	Central 1	0,261	0,210
	Central 2	0,238	0,240
	Southern	0,200	0,310
Adjacent Wall	Central 1	0,203	0,210
	Central 2	0,179	0,240
	Southern	0,141	0,310
Exterior Roof	Central 1	0,408	0,150
	Central 2	0,408	0,150
	Southern	0,364	0,180
Exterior Wall	Central 1	0,412	0,150
	Central 2	0,382	0,170
	Southern	0,292	0,220
Ground Floor	Central 1	0,415	0,170
	Central 2	0,380	0,200
	Southern	0,341	0,250

Table 10. Internal Environment

Category	Condition
Heating	20℃
Cooling	26℃
Ventilation	0,3[AC/h]

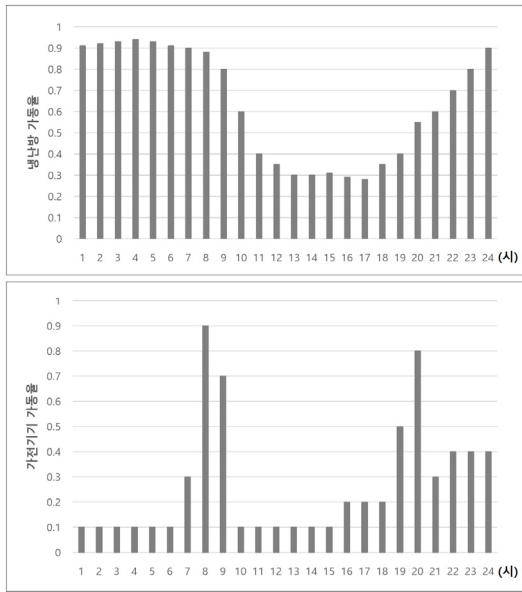


Fig. 4. Time Schedule

3.1.2 연간 에너지 수요

시뮬레이션 결과 건축물의 냉방 및 환기 에너지 수요는 Table 11과 같이 예측되었으며 난방 에너지의 경우 우리나라의 특성상 난방 에너지원으로 가스나 등유를 주로 사용하므로 난방 수요에 대한 전력 사용은 고려하지 않도록 한다.

또한, 가전 및 조명 사용량은 외기의 영향과는 큰 상관성이 없으므로 연간 사용량을 월 평균값으로 환산하여 매월 동일하게 적용하였다.

연간 가전 사용량은 Table 12와 같이 전력거래소의 2013년 가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사 자료에 따라 2,704 kWh로 나타났다^[20]. 단, 본 연구에서는 단독주택 특성을 고려하여 냉장고와 TV를 2대씩 사용하는 것으로 조정하여 산출하였다.

조명 사용량의 경우 한국광산업진흥회 연구결과 평균 5 W/m²이며 본 연구의 대상 주택 면적은 84.3 m², 에너지관리공단 연구결과 주택부문 평균 점등시간 3.4시간을 감안하였을 때 연간 523.1 kWh로 산출되었다^[21,22].

연간 가전 사용량과 조명 사용량의 합은 3,227.1 kWh이고 이를 월 평균으로 환산 시 268.9 kWh로 계산되었다.

3.1.3 월별 에너지 수요와 발전량 비교

Table 13은 태양광 패널의 주요 특성을 나타내었으며,

Table 11. Annual Energy Demand

Region (지역)	Month (월)	Cooling (냉방) (kWh)	Ventilation (환기) (kWh)	Appliance / Lighting (가전/조명) (kWh)	Total (합계) (kWh)
Central 1 (Cholwon-gun, Gangwon-do) (중부1지역 (강원 철원군))	1	0.0	0.0	268.9	268.9
	2	0.0	0.3		269.2
	3	0.0	0.0		268.9
	4	0.0	1.1		270.0
	5	0.0	3.8		272.7
	6	24.5	32.5		325.9
	7	70.3	127.4		466.6
	8	95.2	88.4		452.5
	9	64.9	28.5		362.3
	10	12.3	3.1		284.4
	11	0.0	0.1		269.0
	12	0.0	0.0		268.9
Central 2 (Gochang-gun, Jeollabuk-do) (중부2지역 (전북 고창군))	1	0.0	0.0	268.9	268.9
	2	0.0	0.4		269.3
	3	0.0	0.6		269.5
	4	0.0	0.7		269.6
	5	3.3	14.5		286.8
	6	36.7	61.8		367.4
	7	123.4	180.8		573.1
	8	167.4	147.4		583.8
	9	106.1	55.3		430.3
	10	21.6	18.7		309.2
	11	0.0	1.5		270.4
	12	0.0	0.0		268.9
Southern (Wando-gun, Jeollanam-do) (남부지역 (전남 완도군))	1	0.0	0.0	268.9	268.9
	2	0.0	0.3		269.2
	3	0.0	2.1		271.0
	4	0.0	18.4		287.3
	5	0.0	39.6		308.6
	6	2.6	90.6		362.0
	7	23.6	191.6		484.1
	8	71.0	191.6		531.5
	9	29.7	94.7		393.4
	10	0.0	24.7		293.8
	11	0.0	11.5		280.4
	12	0.0	0.0		268.9

이를 통해 시뮬레이션 된 발전량과 에너지 수요량을 비교하여 Table 14와 같이 제시하였다.

예측 결과, 연간 수요량 대비 태양광 발전량이 3개 지역

Table 12. Annual usage by appliance

Category	Usage (kWh)
Rice cooker (heat keeping)	604
Refrigerator (2EA)	700
Rice cooker (cooking)	342
TV (2EA)	510
PC	155
Kimchi refrigerator	155
Vaccum cleaner	109
Washing machine	51
Electric iron	43
Microwave	35
Sum	2,704

Table 13. Properties of PV Panels

Category	Condition
Manufacturer	Sharp
Type	Poly
Dimensions	994 × 1652 × 46[mm]
Capacity	300[W]
Array Slope	30°
No. of Cells and Connections	72
Voc	45.14[V]
Isc	8.74[V]
Vmpp	37.01[V]
Impp	8.12[A]
Max System Voltage	DC 1000[V]

평균 576 kWh 가량 초과하는 잉여전력이 발생하는 것으로 나타났으며, 에너지 수요에 의한 전기 사용요금은 한전 요금표에 의한 주택용 전력(저압) 기준표의 사용량과 기본요금 및 누진단계 적용 시 3개 지역 평균 연간 617,763원으로 계산되었다(7월, 8월은 누진요금 단계 사용량이 완화된 별도 하계 요금 적용).

3.2 예상 수익 변화

태양광의 내구연한인 25년간의 타당성 분석 결과는 Table 15와 같이 나타났다.

현행 제도 기준으로 분석한 Case 1의 경우 5% 내외의 수익률을 보여주고 있으며, Case 2의 경우 거래조건이 불리해질수록 급격한 수익률 악화를 확인할 수 있었다. Case 3

Table 14. Monthly energy demand and generation

Region (지역)	Month (월)	Generation (발전량) (kWh)	Demand (수요)	
			Usage (사용량) (kWh)	Charges (사용요금) (KRW) (원)
Central 1 (Cholwon-gun, Gangwon-do) (중부1지역 (강원 철원군))	1	276.6	268.9	37,760
	2	308.5	269.2	37,760
	3	404.3	268.9	37,760
	4	443.9	270.0	37,980
	5	491.0	272.7	38,620
	6	476.3	325.9	49,940
	7	406.4	466.6	58,420
	8	417.7	452.5	73,110
	9	405.0	362.3	57,630
	10	373.0	284.4	40,970
	11	263.2	269.0	37,760
	12	242.3	268.9	37,760
Sum	4,508.2	3,779.3	545,470	
Central 2 (Gochang-gun, Jeollabuk-do) (중부2지역 (전북 고창군))	1	292.7	268.9	37,760
	2	323.7	269.3	37,760
	3	443.4	269.5	37,980
	4	449.8	269.6	37,980
	5	489.2	286.8	41,610
	6	462.7	367.4	58,710
	7	392.3	573.1	111,400
	8	425.4	583.8	114,910
	9	418.5	430.3	81,810
	10	386.9	309.2	46,310
	11	302.3	270.4	37,980
	12	278.1	268.9	37,760
Sum	4,665.1	4,167.1	681,970	
Southern (Wando-gun, Jeollanam-do) (남부지역 (전남 완도군))	1	312.4	268.9	37,760
	2	330.8	269.2	37,760
	3	421.2	271.0	38,200
	4	423.1	287.3	41,610
	5	457.9	308.6	46,310
	6	420.8	362.0	57,630
	7	357.4	484.1	83,010
	8	400.7	531.5	98,320
	9	405.8	393.4	64,260
	10	393.4	293.8	43,110
	11	303.1	280.4	40,120
	12	294.2	268.9	37,760
Sum	4,520.6	4,019.2	625,850	

Table 15. IRR and Payback Period by case

Category		Case 1	Case 2	Case 3	Base rate (19.8)
IRR	Central 1 (Cholwon-gun, Gangwon-do) (중부1지역(철원군))	Base		5.9%	9.1%
		Alt 1	5.1%	2.7%	8.4%
		Alt 2		-1.5%	7.9%
	Central 2 (Gochang-gun, Jeollabuk-do) (중부2지역(고창군))	Base		4.2%	10.8%
		Alt 1	7.5%	-0.2%	10.2%
		Alt 2		-5.3%	9.7%
	Southern (Wando-gun, Jeollanam-do) (남부지역(완도군))	Base		4.5%	9.7%
		Alt 1	6.5%	1.0%	9.1%
		Alt 2		-4.1%	8.7%
PP	Central 1 (Cholwon-gun, Gangwon-do) (중부1지역(철원군))	Base		12.8%	9.7%
		Alt 1	14.0%	18.0%	10.3%
		Alt 2		30.7%	10.8%
	Central 2 (Gochang-gun, Jeollabuk-do) (중부2지역(고창군))	Base		15.4%	8.5%
		Alt 1	11.2%	25.6%	9.0%
		Alt 2		54.8%	9.3%
	Southern (Wando-gun, Jeollanam-do) (남부지역(완도군))	Base		14.8%	9.3%
		Alt 1	12.2%	22.0%	9.7%
		Alt 2		44.9%	10.1%

며 제도화에 따른 운영기준 확정 등에 따라 수익률과 투자 회수기간은 유동적일 수 있다.

종합적인 분석 결과 수익률에 가장 큰 영향을 주는 요인은 판매 단가로, 향후 에너지 프로슈머 제도 설계 시 판매 단가, 거래 수수료를 등에 따라 거래 활성화, 주택용 태양광 확산의 선순환 구조정착 여부가 판가름 날 것으로 판단된다.

4. 결론

TRNSYS를 활용한 5 kW급 주택용 태양광 시뮬레이션 결과 중부1지역, 중부2지역 및 남부지역 평균 연간 약 576 kWh의 잉여 전력이 발생하는 것으로 확인되었다.

이에 대하여 아직 에너지 프로슈머 제도가 정착되지 않은 상황에서 3가지 Case로 규칙을 설정하고 3가지 거래조건(거래단가, 거래수수료)에 따라 분석한 결과 수익률은 아래와 같은 결과를 보였다.

- (1) Case 1(현행 상계거래): 5.1% ~ 7.5%
- (2) Case 2(플랫폼 활용 P2P 거래): -4.1% ~ 5.9%
- (3) Case 3(잉여전력 한정 한전 판매): 7.9% ~ 10.8%

정부의 신재생에너지 보급 확대 정책에 부응하기 위해서는 민간 주도의 자발적인 도입 노력이 필수적이며, 이는 경제성 확보를 통해 견인될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 주택용 태양광 시스템을 대상으로 다양한 Case와 거래조건을 설정하고 국내의 대표적인 기후 조건을 반영하여 수익률을 분석하였다. 그 결과 잉여전력 한정 한전 판매의 경우 현행 상계거래에 비해 약 1.5배 이상의 수익률을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

이러한 수익성을 바탕으로 향후 태양광 시스템 가격 하락과 기기 효율 향상을 통한 원가 절감, P2P 최적거래 플랫폼 등 IT 기술 발전을 통한 수익 향상이 예상되며, 이로 인한 민간 주도의 태양광 시스템 확대 보급 활성화 및 정부 신재생 에너지 정책 목표 달성이 가능해 질 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 토대로 보다 구체적인 에너지 프로슈머 제도화 추진을 위하여 제도 규칙 대안 추가 발굴, 최적거래를 위한 플랫폼 개발 등 추가적인 분석 연구가 필요할 것으로 보인다.

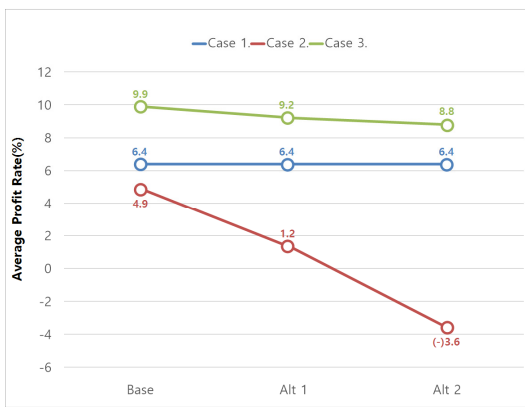


Fig. 5. Average profit rate change by case

의 경우 모든 조건에서 8~10%의 수익률을 거둘 수 있는 것으로 확인되어 가장 유리한 거래유형인 것으로 판단된다.

Case별 누적 수익을 분석한 결과 투자 회수기간은 Case 1의 경우 11~14년, Case 2의 경우 최소 13년에서 최대 55년, Case 3의 경우 9~11년 내 투자 회수가 가능한 것으로 나타났다.

향후 경제적 상황 변화에 따른 원가 변동, 에너지 프로슈

감사의 글

본 연구는 2019년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과입니다(과제번호: No. 20164030300230).

References

- [1] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2017, “3020 Implementation plan for renewable energy”.
- [2] Ministry of Trade, Industry and Energy, “Policy briefing, energy new business”, http://www.motie.go.kr/motie/py/brf/motiebriefing/motiebriefing.do?brf_code=v=1#header
- [3] The Presidential Committee on the 4th Industrial Revolution, 2019, “Announcement of a platform for innovation, smart city to create together”.
- [4] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2019, “Announce of Accelerating regulatory sandboxes and additional approval of regulatory exception”.
- [5] Kim, T.H., Lee, S.D., and Park, J.H., 2017, “Economics analysis of photovoltaic power generation linked with green poof in consideration of seoul solar map-based RPS”, *J. Korea Inst. Ecol. Archit. And Environ.*, **17**(1), 77-82.
- [6] No, S.T., and Kim, J.Y., 2015, “Study on the evaluation of electricity generation system and economic feasibility of small photovoltaic system for rural housing”, *Architectural Research*, **17**(5), 135-141.
- [7] Kim, K.W., Seo, Y.K., and Hong, W.H., 2014, “A study on the economic evaluation of green home applied photovoltaic system – Focused on Dalseung-Gun of Daegu City in South-Korea”, *Architectural Research*, **30**(5), 221-228.
- [8] Korea Energy Economics Institute, 2018, “The effect of the reorganization of electricity coefficients on the new and renewable energy market”.
- [9] Jeon, S.H., and Kim, Y.K., 2019, “Feasibility analysis of tariff system for the promotion of energy storage systems (ESSs)”, *New. Renew. Energy*, **15**(3), 69-76.
- [10] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2015, “Strategies to spread the new energy industry in 2030”.
- [11] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2016, “Comprehensive measures for performance diffusion and regulatory reform in new energy industry”.
- [12] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2016, “Prosumer-neighborhood power trading demonstration project”, http://www.motie.go.kr/common/download.do?fid=bb_s&bb_s_cd_n=81&bb_s_seq_n=158058&file_seq_n=13
- [13] The Seoul Institute, 2018, “Energy prosumer needs to be activated using distributed resource brokerage market as new power supply subject”.
- [14] MAFRA/KRC, 2015, “Rural housing standard blueprint comprehensive guide”.
- [15] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2011, “Study on advancing housing supply system”.
- [16] Korean Statistical Information Service, 2018, “Household Composition and Head of Household”, http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1JC1516&vw_cd=&list_id=&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=E1
- [17] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2019, “Announcement of new renewable energy supply(housing support) project in 2019”, 2019-124.
- [18] Doopedia, 2019, “Net present value”, http://www.doopedia.co.kr/doopedia/master/master.do?method=view&MAS_IDX=161014001541450
- [19] Yoo, S.Y., and Kim, J.Y., 2011, “Analysis of internal heat gain and system operation patterns in residential buildings”, *Proceedings of the SAREK 2011 Summer Annual Conference*, **2011**(7), 683-686.
- [20] KPX, 2014, “Survey on the distribution rate and the consumer power consumption behavior of home appliances”.
- [21] Ministry of Trade, Industry and Energy, 2014, “Survey on the utilization of lighting apparatus and study on saving lighting power consumption”.
- [22] Korea Electric Power Corporation, 2014, “Survey and supply standards of lighting device usage report of research”.