

농어촌형 펜스 태양광 발전사업의 수익성 분석

이재욱¹⁾ · 황규원^{2),3)*} · 이철용^{4)**}

Financial Analysis of Rural Fence-Type Solar Power Generation Projects

Jae-Wook Lee¹⁾ · Kyu-Won Hwang^{2),3)*} · Chul-Yong Lee^{4)**}

Received 21 January 2025 Revised 11 April 2025 Accepted 15 April 2025 Published online 17 June 2025

ABSTRACT Solar power systems are being installed and operated in diverse spaces to achieve net-zero goals and advance energy transitions. In rural areas, agrivoltaics—which combine agriculture with energy production—have the potential to enhance land-use efficiency and generate financial benefits. This study aims to conduct a financial feasibility analysis by establishing and operating a pilot site for rural fence-type solar power systems. The target areas were classified into coastal salt flats and inland rice paddies. Solar panels were installed with two directional alignments—southwest-northeast and southeast-northwest—to compare the operational conditions within the same area. The study analyzed the Profitability Index (PI), Net Present Value (NPV), and Internal Rate of Return (IRR) using empirical data for one year from the pilot site. The results revealed that the PI ranged from 1.21 to 1.27, with the NPV amounting to approximately 54.3 million KRW per 100 kW and the IRR ranging from 8.40% to 9.43%, demonstrating financial viability. The findings of this study are expected to serve as foundational policy data for enhancing the adoption of solar power systems in South Korea, where mountainous terrain, high population, and building density limit the availability of suitable installation sites.

Key words Climate change(기후변화), Agrivoltaic(농어촌형 태양광 발전), Fence-type bifacial PV systems(양면형 펜스 태양광), Financial analysis(수익성 분석)

Nomenclature

PI : Profitability Index

NPV : Net present value

IRR : Internal rate of return

Subscript

Agrivoltaic : Both agriculture and solar energy generation

Bifacial Solar Fence : Fence-type bifacial PV systems

- 1) Senior Manager, Renewable Energy Business Divison, Korea Southern Power Company
- 2) Ph.D. Candidate, School of Business, Pusan National University
- 3) Researcher, Ocean Law and Policy Institute, Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST)
- 4) Associate Professor, School of Business and Institute for Future Earth, Pusan National University

*Co-Corresponding author: hwangkw@kiost.ac.kr
Tel: +82-51-664-3757 Fax: +82-51-719-9663

**Corresponding author: cylee7@pusan.ac.kr
Tel: +82-51-510-2568 Fax: +82-51-581-3142

1. 서론

전세계적 산업화와 인구 증가로 인하여 에너지 수요가 지속적으로 증대하고 있다. 특히 에너지원 측면에서 화석 연료에 대한 의존이 아직도 높은 실정이다. 한반도는 온실 가스 배출로 인한 기후변화 현상으로 인해 174년 기상관측

역사상 2023년에 가장 더운 날씨를 기록했으며, 해양열용량(Ocean heat content)도 65년 관측 기간 최고치를 보였다.^[1]

선진국을 비롯한 대부분의 국가에서 온실가스 저감을 위해 신·재생에너지에 대한 지원과 발전 비중을 확대하고 있는 가운데, 태양광 발전시설이 지속적으로 증가하고 있다.^[2] 2026년경에 태양광 발전량이 원자력 발전량을 추월하고, 2028년에는 신·재생에너지원이 전세계 발전량의 42% 이상 차지할 것으로 전망된다. 또한 비용 측면에서 태양광 발전 비용이 기존 석탄 및 천연가스 발전비용보다 저렴하여 재무적으로 유리할 것으로 전망된다.^[3,4]

태양광 발전시스템은 산간 지역, 농지, 산업건물, 빌딩 등 다양한 공간에 설치되어 운영된다. 한국은 좁은 면적의 한계로 토지 이용강도가 높으며, 이로 인한 환경오염, 기회비용 발생 가능성이 존재한다. 기존 태양광 발전시스템보다 적은 면적을 사용하며 다른 산업과 공존이 가능한 농어촌 펜스형 태양광 발전시스템은 이러한 한계를 극복할 수 있는 대안으로 알려져 있다.^[5] 특히 농어촌형 태양광 발전은 농어촌의 재무적 가치를 증대시키고, 농어촌 지역에서 전력 공급 측면에서 분산 및 독립에 기여할 수 있다.^[6]

또한 최근 공간이용 밀집 향상 대안으로 유럽에서는 에너지 전환, 농업과 환경, 연구혁신 등과 관련된 정책으로써 양면형 패널의 농어촌 태양광 발전시스템이 부각되고 있다.^[7] 최근까지 연구된 농어촌형 태양광 발전시스템은 태양광 패널 방향, 높이, 간격, 기울기, 패널기술 등에 의해 농산물 생산량과 발전량에 영향을 받는 것으로 알려져 있다.^[8] 태양광 발전의 확대가 예상되는 가운데, 공간 활용과 발전 이용률에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 양면 패널로 구성된 농어촌형 태양광 발전이 최근 부각되고 있는 가운데, 농어촌 지역의 실질적인 운영 결과를 기반으로 한 객관적인 수익성 분석을 수행하여 농어업인을 비롯한 정부 정책의 기초 활용자료를 제공하고자 한다. 본 연구는 논(농촌)과 염전(어촌)에 펜스형 태양광을 설치하는 것을 목표로 하기 때문에 기존 영농형 태양광과 유사하지만 타켓지역이 넓은 특징이 있다.¹⁾

본 연구의 기존 연구 대비 기여점으로, 첫째 본 연구는 양면형 태양광 패널을 이용한 농어촌 펜스형 태양광 발전시스템에 대한 수익성 분석을 최초로 시도했다는 점이다. 둘째 태양광 발전시스템의 토지 용도와 설치 방향을 구분함으로써 다양한 농어촌 지역의 조건들을 적용하여 분석하였다는 점이다. 셋째 기존 농어촌 태양광 발전시스템 관련 연구는 대부분 밭, 논, 과수원 등에 집중되어 있지만 본 연구에서는 염전에서 태양광 발전시스템 실증결과를 분석함으로써 연안 지역에서의 태양광 설치의 수익성을 분석하였다. 본 연구를 통해 농어촌형 태양광 발전시스템 도입 활성화에 기여하고자 한다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 2장에서는 본 연구와 관련된 국내외 연구 사례들을 고찰하고 분석 방법론을 기술하고자 한다. 3장에서는 본 연구의 전제조건과 수익성 분석자료들을 제시하고, 4장에서는 각각의 분석 방법론에 관한 결과를 기술하고자 한다. 5장에서는 종합적인 결론과 시사점을 제시하였다.

2. 선행연구 및 이론적 배경

2.1 선행연구

본 연구 대상인 농어촌형 태양광 발전시스템에 대한 수익성 분석 선행연구는 국내외에서 다양한 조건으로 수행되었다.

일본과 미국은 농어촌 지역의 태양광 발전을 적극적으로 추진하고 있으며, 유럽연합(EU, European Union)과 독일은 주민 수용성 문제를 해결하기 위한 다양한 사례를 제시하고 있다. 이러한 해외 사례는 우리나라의 태양광 발전시스템 개발에 중요한 참고 자료가 될 수 있다. 해외에서는 일본과 미국이 농어촌형 태양광의 선도국으로 꼽히며, EU와 독일은 주민 수용성 해결 사례로 주목받고 있다. 일본은 2011년 후쿠시마 원전 사고 이후 재생에너지에 대한 관심이 증가하면서, 농어촌형 태양광을 적극적으로 확대하였다.^[9]

미국은 2015년부터 농어촌형 태양광에 대한 연구와 보

1) 영농형 태양광은 농촌 태양광의 하부개념 또는 별개의 개념으로 분류된다.^[15,20,23] 농촌 태양광은 농지 또는 축사 등 발전설비가 설치된 토지의 지목이나 구축물을 활용한 태양광이며, 영농형 태양

광은 농지를 농작물 재배와 발전 두 가지 용도로 활용함으로써 토지의 이용 효율을 높인 태양광이다. 따라서 본 연구의 농어촌형 태양광은 영농형 태양광과 가까운 개념이다.

급을 시작하였으며, 현재까지 약 2.9 GW의 설치 용량을 달성하였다. 미국은 농어촌형 태양광에 대한 정부 지원과 세제 혜택을 제공하고 있으며, 다양한 작물과 동물과의 복합적인 운영 방식을 시도하고 있다. 미국은 농어촌형 태양광의 장점으로 에너지 안정성, 농업 생산성 증대, 농업 인프라 개선 등을 들고 있다.^[10]

유럽연합(EU)은 2018년부터 농어촌형 태양광에 대한 연구 프로젝트를 진행하고 있으며, 12개국의 25개 기관이 참여하고 있다. 유럽연합(EU)은 농어촌형 태양광의 장점으로 농업과 에너지의 융합, 농업의 다양성과 지속가능성, 농업의 사회적 가치 등을 들고 있다. 특히 농어촌형 태양광의 주민 수용성을 높이기 위해, 지역사회와의 소통과 협력, 지역 주민의 참여와 이익공유, 지역문화와 조화 등의 방안을 제시하고 있다.^[11,12]

독일은 2019년부터 농지에 태양광 발전시설을 설치할 수 있는 법적인 기반을 마련하였다. 농어촌형 태양광을 통해 농업과 에너지의 공간 활용을 최적화하고, 농업의 기후 변화에 대한 적응력을 강화하며, 농업의 부가 가치를 창출하는 등의 장점을 얻고자 한다. 농어촌형 태양광에 대한 주민의 동의를 얻기 위해 지역 주민의 의견을 수렴 및 정보를 공개하고, 지역 주민과 수익을 공유, 지역 주민에게 교육과 홍보를 실시하는 등의 방법을 적용하고 있다. 독일은 농사와 태양광 발전을 병행하는 농어촌형 태양광 개념을 최초로 제안한 국가이며, 농어촌형 태양광(Agrivoltaics)이라는 용어와 기술을 최초로 개발하였다. 프라운호퍼 태양에너지시스템연구소(Fraunhofer ISE)는 농어촌형 태양광 보급 확대를 위해 다양한 실증 연구를 수행하였다. 그 외 유럽 국가의 경우, 프랑스에서는 최근 기록적인 폭염이 지속됨에 따라 대표 작물인 포도 재배에 많은 어려움을 겪고 있으며, Sun'agri사의 실증 사이트에서는 오히려 일사량이 증가하는 시간대에 의도적으로 시스템 하부에 음영을 발생시켜 고온과 높은 일사량을 회피하는 방식으로 와인용 포도 생육 재배 환경을 제어하고 있다. 이탈리아에서는 Piacenza 대학에서 RemTec사와 협력하여 Montcelli 지역 2011년부터 실증 사업을 수행하고 있다.^[13]

국내에서는 농촌 지역에 태양광 발전시설이 지속적으로 보급되고 있으며, 2020년 기준으로 3.6 GW의 설치용량을 달성하였다.^[9] 한편 농어촌형 태양광 발전시스템은 농산물

재배와 태양광 발전을 동시에 할 수 있는 방식으로, 재생에너지와 식량 안보를 동시에 추구할 수 있다는 장점이 있다.^[14] 다만 농어촌형 태양광은 발전사업허가를 받아야 하는 등 인허가 절차가 복잡하고, 작물 품질과 수량이 영향 미칠 수 있어 농업인의 진입장벽이 존재하며, 주변 지역 주민의 반발도 존재한다.^[15]

농어촌형 태양광 발전시스템에 대한 수익성 분석의 선행 연구를 종합해 보면 미국과 독일, 스웨덴 등 선진국에서 대부분 수행되었으며, 다양한 지역의 농작물을 대상으로 일조량과 설치각도 등의 변수를 활용하여 수익성이 분석되었다. 본 연구는 선행연구에서 분석한 방법론과 활용했던 변수들을 고려하여 수익성을 분석하였으며, 특히 일반 농어촌형 태양광 발전시스템이 아닌 대한민국 염전과 논에 실제 설치되어 운영되고 있는 펜스형 태양광 발전시스템에서의 발전량, 설치비용, 운영비용 등 실증을 통한 실적을 활용하여 재무적 타당성을 분석한 것은 세계 최초이다. 또한 농어촌형 태양광 발전시스템을 연안과 내륙, 태양광 패널 설치 방향별로 구분하여 다양한 측면에서 수익성을 분석한 것이 선행연구와의 차별점이라 볼 수 있다.

2.2 이론적 배경

본 연구의 재무적 분석은 태양광 발전시스템에 대한 설치 및 운영 비용과 생산되는 전력 현금유입을 재무적 가치로 환산하는 방법이다. 수익성 분석 방법은 일반적으로 수익성지수(PI, Profitability Index), 순현재가치(NPV, Net Present Value), 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return) 등이 있다.^[16,17]

먼저 수익성지수(PI) 방법은 투입되는 현금유출 대비 현금유입의 비율을 의미하고, 미래에 예상되는 현금유입과 현금유출을 현재가치로 산정할 수 있다. 수식 (1)과 같이 미래 가치에 대해 일정한 할인율을 적용하여 현재가치로 환산한다. 여기서 B_t 는 t 기 당해연도 현금유입, C_t 는 t 기 당해연도 현금유출, r 은 할인율이고, n 은 분석기간에 해당하며, 태양광 발전의 경제수명을 의미한다.

$$PI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

두 번째 순현재가치 방법(NPV)은 현금유출과 현금유입 간의 차이를 산정하는 분석하는 방법이다. 만약 현금유출과 현금유입이 동일하다면, 수익성지수(PI)는 1이 되며, 순현재가치(NPV)는 0이 된다. 순현재가치는 수식 (2)와 같이 미래 가치 현금유입에서 미래 현금유출의 차이를 현재가치로 환산하여 계산한다. 여기서 B_t 는 t 기 당해연도 현금유입, C_t 는 t 기 당해연도 현금유출, r 은 할인율, n 은 분석기간을 뜻한다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

세 번째 내부수익률은 현금유입과 현금유출이 동일할 때의 할인율을 의미하며, 수식 (3)에 의해 계산된다. 여기서 B_t 는 t 기 당해연도 현금유입, C_t 는 t 기의 현금유출, R 은 내부수익률을 의미한다.

$$IRR : \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+R)^t} \quad (3)$$

본 연구의 수익성 분석 시 할인율은 매우 중요한 고려 요소이며, 본 연구에서는 기획재정부의 할인율 4.5%를 적용하였다.

또한 수익성 분석에 대한 신뢰와 타당성을 확보하기 위해 한국개발연구원의 전력산업 예비타당성조사 지침에 의거하여 재무적 차원의 현금유입을 추정하였다. 발전시설의 현금유입은 전력판매와 신재생에너지 공급인증서(REC, Renewable Energy Certificate)로 산정할 수 있으며, 전력판매 수입은 아래의 수식 (4)와 같이 계산한다.^[16]

$$ESR_{Annual} = SMP \times EG + REC \times EG \quad (4)$$

$$EG = GC \times CF \times (1 - CR) \times 8,760$$

수식에서 ESR은 1년 동안의 전력판매 수입(Electricity and REC Sales Revenue)을 의미하고, SMP는 계통한계가격(System Marginal Price), EG은 연간 전력생산량(Electricity Generation)을 의미한다. 전력생산량(EG)은 발전설비용량(GC, Generation Capacity), 이용률(CF, Capacity

Factor), 소내소비율(CR, Consumption Rates) 등을 활용하여 산정한다. 경제수명기간은 선행연구에 따라 상이하며, 본 연구에서는 20년으로 가정하였다.^[18]

3. 연구방법론

3.1 농어촌형 태양광 발전시스템 제원

본 연구의 실증단지인 농어촌 펜스형 태양광 발전시스템의 위치는 대한민국의 중앙내륙과 서해 연안에 위치하고 있다.

내륙에는 논 주변을 활용하고 연안에는 염전 주변 공간을 활용하여 펜스형 태양광 발전시스템을 설치하였다.

본 연구의 실증단지는 태양광 패널을 양면 펜스형으로 구성한 것이 특징이다. 양면형 구조로 앞면과 뒷면에 패널을 설치함으로써 최적의 일조량을 확보하고자 하였다. 양면형 패널은 동쪽에서 서쪽으로 지는 태양의 고도에 따른 일사량을 최대한으로 흡수가 가능할 것이며, 양면형 태양광 발전시스템은 패널 방향에 의해 발전량에 상당한 영향을 받는다고 알려져 있어 본 연구에서 실제 논과 염전 지역에 양면 펜스형 태양광 발전시스템을 설치하고, 남서와 남동으로 패널 방향을 달리하여 실증의 현실성을 높였다. 태양광 모듈의 최대출력 평균값은 431.71 W이고 절연 시험, 습윤 누설 전류시험, 자외선 시험, 고온고습 시험, 기계적 하중 시험을 모두 통과하여 KS C 8561 기준에 부합하였다.

또한 풍향풍속계 1기([Lufft] WS200-UMB), 일사량 5기([KIPP&ZONEN]RT-1), 외기 온도 센서, 모듈 온도 센서, 디바이스서버([SYSTEMBASE] SG-2021), 무선라우터를 설치하여 모니터링 하였고, Dbeaver를 이용하여 발전 데이터를 수집하였다. 발전량 수집 기간은 2022년 9월 1일부터 2023년 8월 31일까지이다.

먼저 염전에 설치된 펜스형 태양광 발전시스템의 경우, Fig. 1(a)와 Table 1과 같이 서해 연안(35.1316523, 126.324220)에 위치하고 있으며, 주로 염전으로 형성되어 있다. 일조량을 높이기 위해 일자형과 사선형의 혼합 구조로 남서 북동향과 남동 북서향으로 설치하였다.

설치용량은 총 48.45 kW이며, 114여개의 모듈로 구성되어 있다. 펜스 42칸 사선형 1라인, 36칸의 일자형과 사선형

Table 1. Specifications of the agrivoltaics installed on the saltern and paddy

Category	Saltern	Paddy
Demonstration site	937-35 Manpung-ri, Haeje-myeon, Muan, Jeollanam-do	715-1 Hagberry, Hyoryeong-myeon, Gunwi, Gyeongsangbuk-do
Location	35.1316523/126.324220	36.1149164/128.6380972
Installed capacity	48.45 kW	51.0 kW
Installation orientation	Southeast-northwest and southwest-northeast	Southeast-northwest and southwest-northeast



(a) Saltern



(b) Paddy

Fig. 1. Agrivoltaics installed on the saltern and paddy

의 혼합형 1라인, 18칸의 일자형 1라인으로 설치하였다. 펜스는 울타리 형태를 기본으로 중앙에 1라인을 추가하였다.

논에 설치된 경우, Fig. 1(b)과 같이 경북 내륙(36.1149164, 128.6380972)에 위치하며, 주변은 대부분 논으로 형성되어 있다. 배치는 울타리에 사선형으로 남서 북동향, 남동 북서향으로 설치하였다. 설치 용량은 총 51.0 kW이며, 120여 개의 모듈로 42칸 사선형 2라인, 18칸 사선형 2라인으로 설치되었다.

3.2 현금유출과 현금유입의 항목 결정 및 전제

농어촌 펜스형 태양광 발전시스템의 수익성분석에서 현금유출분석을 위한 항목으로는 태양광 제작 및 설치비, 인허가비, 설계 및 감리비 등 태양광 발전시스템의 운영을 위한 EPC 비용 전체와 시설 운영 유지보수비용 등에 대해 부담될 수 있는 현금유출을 포함한다. 현금유입분석을 위한 항목으로는 태양광 발전을 통해 공급하는 전력공급수익과 동시에 REC 판매 수익을 합한 금액을 포함한다.

이 사업의 수익성을 평가할 때 간접적인 현금유출은 고려하지 않는다. 건설기간 동안 발생하는 환경문제와 관련된 민원, 지역일자리 창출과 같은 경제활성화, 산업안전보

건비 등의 간접적 현금유출과 현금유입은 제외된다.

국민경제 측면과 사업자 측면은 각각 다른 관점을 가지고 있으므로, 수익성 분석에서는 이를 고려하여 현금유출과 현금유입 항목을 조정해야하고 국민경제 측면에서는 사회적 비용과 혜택을 고려하는 반면, 사업자 측면에서는 주로 직접적인 수익과 비용을 고려해야 한다. 본 연구는 농어촌 펜스형을 직접 설치하고 운영하는 이용자 측면에서 수익성 분석을 수행하고자 한다.

본 연구에서 고려하는 농어촌 펜스형 태양광 발전시스템 사업의 현금유출과 현금유입 항목은 Table 2와 같다.

Table 2. Cash inflow and outflow items of agrivoltaics

Category		Description
Cash In flow	Generation	Sales revenue from generation
	REC	REC sales from generation
Cash Out flow	CAPEX	Installation cost
	OPEX	Operating costs (labor costs, maintenance costs)
	Corporate tax	Corporate tax on sales
	Decommissioning cost	Costs incurred when solar power is decommissioned

본 연구에서는 농어촌 펜스형 태양광 발전시스템을 대상으로 토지 용도와 패널 방향을 구분하여 재무적 타당성을 분석한다. 염전과 논을 각각 남서 방향과 남동 방향의 패널 배치를 고려하여 총 4가지 유형으로 구분하여 실증단지를 운영하였다.

염전의 경우, 남서 방향에서는 33.15 kW 규모의 발전소를 운영하였고 남동 방향으로는 2.55 kW 규모의 발전소를 6개 운영하였다. 논인 경우, 남서 방향에서는 35.70 kW 규모의 발전소를 운영하였고 남서 방향에서 15.3 kW 규모의 발전소를 운영하였다.

실증기간은 2022년 9월 1일부터 2023년 8월 31일까지이며 이 기간 동안의 현금유출과 현금유입 각각의 실증 값을 활용하여 일반적인 태양광 발전시스템 운영 기간인 20년(분석의 편의상 1차 연도 하반기부터 21차 연도 상반기까지)을 가정하여 재무적 타당성을 분석하였다.

3.3 현금유출 및 현금유입 산정방법

본 연구에서 농어촌 펜스형 태양광 발전시스템의 현금유출 항목은 설치공사비(CAPEX), 운영비(OPEX), 이자, 세금으로 구성된다. 먼저 설치공사비는 기자재비, 설치시공비, 인허가비, 기타 경비 등을 포함한 현금유출이다. 염전과 논 설치된 펜스형 태양광 발전시스템의 실제 설치비용의 평균단가는 1,350,973원/kW 규모이다. 운영비는 인건비, 설비 유지보수비, 보험료 등을 포함한 비용이다. 1년간의 실제 운영기간 동안 지출한 비용의 평균단가는 29,010 원/kW 수준이다.

이자 비용은 한국개발연구원(2024)의 가이드라인에 따라 현금흐름 추정에 포함시키지 않는다. 할인율이 이자 비용을 포함하기 때문이다. 법인세는 연간 발생하는 전력 및 REC 판매 수익에서, 운영 비용, 이자 비용, 감가상각비용 등을 제외하고 남은 금액의 9.9%를 지급하는 것으로 가정하였다. 정부 또는 지자체 정책상 사업지에 따라 법인세를 감면받는 경우가 있을 수 있으나 일반적인 경우 발전으로 발생하는 소득에 대해 일정한 비율의 법인세를 납부해야 하므로 2023년에 개정된 국내의 법인세 9.9%로 가정하였다.

철거 비용은 태양광 운영 기간 20년이 끝난 후 설치되어 있던 태양광 설비들을 해체하는 비용으로 김보람 외(2019)가 조사한 사업용 태양광 철거비용 69,000원/kW를 이용

하였다. 단, 이 수치를 2024년 가격으로 전환하기 위해서 2019년 및 2024년 소비자물가 지수 각각 99.5와 114.2를 이용하여 2024년 철거비용 79,194원/kW를 적용하였다.^[23]

농어촌 펜스형 태양광 발전시스템 재무적 타당성 분석에 활용된 비용 항목들을 정리하면 Table 3과 같다. 농어촌 펜스형 태양광 발전시스템의 현금유입 항목은 전력판매수익과 REC 판매 수익으로 구분할 수 있다. 전력 판매 수익은 발전사업자가 발전소에서 생산하는 시간당 전력량을 한국 전력거래소에 판매하여 그 해당 시간대의 SMP를 곱한 값으로 정산받아 발생하는 수익이다.

REC 판매 수익은 정부지침인 신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료의무화제도 관리·운영지침에 따라 신·재생에너지별로 가중치를 부여하고 그 가중치를 발전소에서 생산된 시간당 전력량을 곱한 뒤 REC를 발급받아 이를 판매하여 얻는 수익이다. 현재 일반부지 소규모(100 kW 미만) 태양광은 가중치가 1.2로 산정된다.

본 연구에서는 최근 5개년 SMP 육지 가중 평균값과 REC 기준가격을 분석하였고 이는 Table 4와 같다. 2022년과 2023년은 글로벌 유가 상승에 따른 비정상적인 SMP상승으로 2021년 SMP 93.98 kWh와 REC 62.48 kWh로 가정하여 분석하였다.

Table 3. Fence-type solar demonstration complex cost

Category	Saltern		Paddy	
	SW	SE	SW	SE
CAPEX (Thousand won)	44,780	20,670	48,230	20,670
OPEX (Thousand won/year)	961.7	443.8	1,035.7	443.9
Corporate tax (%)	9.9			
Decommissioning cost (Thousand won/year)	155.8	71.9	167.8	71.9

SW: Southwest, SE : Southeast

Table 4. Price trend SMP and REC

Year	SMP	REC	Weight	SMP+1,2REC
2023	167.00	66.59	1.20	246.91
2022	196.04	57.44	1.20	253.48
2021	93.98	62.48	1.20	168.96
2020	68.52	66.17	1.20	134.69
2019	90.09	66.66	1.20	156.75

unit: won/kWh

위에서 분석한 현금유출과 현금유입 외에 본 연구에서 농어촌 펜스형 태양광 발전시스템 재무적 타당성 분석에 활용되는 데이터에는 할인율, 성능저하율, 물가상승률이 있다. 할인율은 한국개발연구원(KDI)이 제시하는 적정 사회적 할인율인 4.5%로 가정하였다.^[15] 성능저하율은 0.2%에서 0.8% 수준으로 각 태양광 설비별로 상이하나, 본 연구에서는 0.6%로 가정하였다.

물가상승률은 코로나 기간 전 2010년부터 2019년 10년 평균 1.72%로 가정하였다.^[19] 본 연구에 활용되는 전체 입력 데이터를 정리하면 Table 5와 같다.

Table 5. Results of calculation of cash inflow and outflow of agrivoltaics

Category	Saltern		Paddy	
	SW	SE	SW	SE
Installed Capacity (kW)	33,15	15,30	35,70	15,30
Capacity Factor (%)	14.15	14.19	14.20	13.47
CAPEX (Won/kW)	1,350,973			
OPEX (Won/(kW×year))	29,010			
Debt Fraction (%)	80			
Corporate tax (%)	9.9			
SMP+1,2REC (Won/kWh)	168.96			
Discount rate (%)	4.5			
Degradation Rate (%)	0.6			
Inflation Rate (%)	1.72			

4. 분석결과

일반적으로 전력 생산량은 태양광 패널의 설치 위치에 따른 일조량 및 주변 환경 등 발전 여건에 따라 달라진다고 알려져 있다.^[8] 본 연구의 실증단지 중 남서 방향의 염전 태양광 발전시스템의 현금흐름을 살펴보면 Table 6과 같이 내부수익률(IRR)은 9.36%, 순현재가치(NPV)는 17.75백만원, 수익성지수(PI)는 1.27로 수익성이 타당한 것으로 분석되었다. 남동 방향의 염전 태양광 발전시스템의 현금흐름을 살펴보면 내부수익률(IRR)은 9.41%, 순현재가치(NPV)는 8.29백만원, 수익성지수(PI)는 1.27로 수익성이 타당한 것으로 분석되었다.

논의 경우, 남서 방향 태양광 발전시스템의 현금흐름을 살펴보면 Table 6과 같이 내부수익률(IRR)은 9.43%, 순현재가치(NPV)는 19.41백만원, 수익성지수(PI)는 1.27로 수익성이 타당한 것으로 분석되었다. 남동 방향 태양광 발전시스템의 현금흐름을 살펴보면 내부수익률(IRR)은 8.40%, 순현재가치(NPV)는 6.50백만원, 수익성지수(PI)는 1.21으로 수익성이 타당한 것으로 분석되었다.

분석 방법에 따른 결과로 수익성지수(PI) 기준으로 남동 및 남서 방향의 염전과 남서 방향의 논이 1.27이며, 반면 남동 방향의 논이 1.21로 분석되었다. 결과적으로 논에 설치된 태양광 발전의 남동 남서 방향에 따른 수익성 차이는

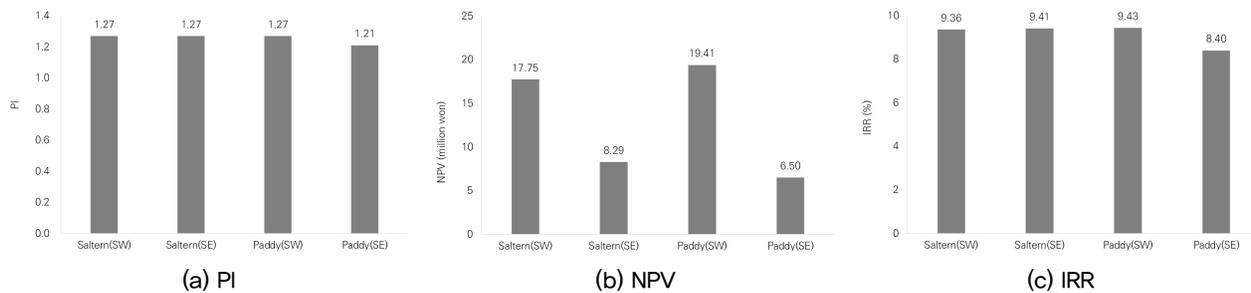


Fig. 2. Final results of financial feasibility analysis of agrivoltaics

Table 6. Final results of financial feasibility analysis of agrivoltaics

Category	Criteria	Saltern		Paddy	
		Southwest	Southeast	Southwest	Southeast
PI	> 1,00	1,27	1,27	1,27	1,21
NPV (Million won)	> 0	17,75	8,29	19,41	6,50
IRR (%)	> 4,50	9,36	9,41	9,43	8,40

미미한 것으로 분석되었다.

순현재가치(NPV) 기준으로는 설치장소별로 용량이 상이하므로 비교할 수가 없다. 내부수익률(IRR)의 경우 순현재가치(NPV)와 유사하게 남서 방향의 논이 가장 재무적으로 유리하며, 다음 남동 방향 염전, 남서 방향 염전 등의 순으로 분석되었다.

각각의 발전소 실증자료를 바탕으로 재무적 타당성을 분석한 결과 전체 발전소에서 재무적 타당성이 확보됨을 알 수 있다.

내륙이 연안에 설치된 태양광에 비해 수익성이 높으며 남동 방향에 비해 남서 방향에 태양광을 설치한 발전소가 상대적으로 수익성이 더 높은 것으로 나타났으나 그 차이는 미미하다.

통상 태양광 사업 진행시 100 kW 프로젝트를 진행하므로 본 연구에서는 100 kW를 표준설비로 전환하여 수익성 분석을 추가 수행하였다. 또한 기존 Kim & Cho(2024)의 루프탑 영농 태양광의 경제성 결과와 비교하여 Table 7에 정리하였다.^[20] Table 7과 같이 염전과 논 의 현금유출 대비 수익성지수(PI)는 각각 1.27인데 반해 기존 루프탑 영농형은 1.12로 수익성이 대폭 개선된 것을 확인할 수 있다. 염전과 논 의 NPV는 각각 54.2백만 원, 54.4백만 원인데 반해, 기존 루프탑 영농형의 NPV는 29.5백만 원으로 약 24백만 원 차이가 발생하며 본 연구의 결과가 84% 개선율을 보였다. 염전의 내부수익률(IRR)은 9.41%이고, 논 의 내부수익률(IRR)은 9.43%인데 반해 기존 루프탑 영농형은 6.5%로 약 2.93%p의 개선율을 보였다.

최근 논, 밭, 과수원 등에서 농어촌형 태양광 발전시스템이 운영되고 있는 가운데, 설치 방향, 설치 형태, 운영 지역 등이 상이하어 본 연구결과와 직접적인 비교는 어렵다. 다만 공통적으로 태양광 발전시설 설치로 인한 공간적 손실과

생산량 감소는 미미하며, 발전수익으로 인한 농가소득이 증대된다고 볼 수 있다.^[21] 또한 Ahn *et al.*(2022)의 포도 과수원의 실증 태양광 발전시설을 운영하여, 시설 유무에 따른 차이를 분석한 결과에서도 생산량의 영향은 미미하였다.^[22] 결론적으로 농어촌 지역의 소득 증대를 위해서는 농어가의 영농형 태양광 발전에 대한 인식을 제고하고, 시설 설치 및 운영 관련 법제도를 정비할 필요가 있다. 또한 실제 현장에 운용하기 위해 설치 공법, 설비 형태, 운영기법 등을 사전에 면밀하게 검토할 필요가 있다고 판단된다.

5. 결론 및 함의

지구온난화로 인한 기후위기 극복을 위해 탄소배출을 줄이고자 하는 시도는 전세계적으로 추진되고 있다. 특히 화석연료의 사용을 저감하기 위한 재생에너지 발전시스템 도입이 활발히 진행되고 있으며, 재생에너지 중에서도 태양광 발전시스템의 보급계획이 가장 높은 수준이다.

본 연구에서는 2023년 기준 태양광 모듈 가격 440원/W를 적용하였는데, 2024년 8월 기준 370원/W를 적용할 경우 남서 방향 염전과 남서 방향 논 의 PI 값은 개선된다.

해외와 달리 국내의 지형적인 여건으로 인해 태양광 발전의 개발 형태는 대부분 산간지방, 일반농지, 산업건물에 설치가 되고 있으나 적은 면적을 가진 한계로 인해 환경과 괴, 농지 감소 등의 문제점이 발생되고 있다. 적은 면적을 사용하며 다른 산업과 연계하여 태양광 발전량을 늘릴 수 있는 농어촌형 펜스형 태양광 발전시스템은 이러한 한계를 극복할 수 있는 대안으로 판단된다.

해외에서도 농어촌형 태양광 발전시스템의 장점 때문에 연구를 활발히 하고 있으나, 실증보다는 시뮬레이션에 의한 예측 위주의 연구결과를 도출했다.^[10~12] 이와 다르게 본 연구에서는 농어촌 펜스형 태양광 발전시스템의 수익성 분석을 연안의 염전과 내륙의 논으로 지역을 나누고 지역 내에서도 태양광 패널의 방향을 다르게 하여 4개의 실증단지에서의 데이터를 활용한 점이 특징으로 볼 수 있다.

수익성 분석 결과, 남서 및 남동 방향 염전 및 논 모두 수익성이 타당한 것으로 도출되었다. 다만 설치지역과 태양광 패널의 위치와 방향에 따라 상이한 결과가 나타났는데,

Table 7. Final results of financial feasibility analysis based on 100 kW

Category	Criteria	Saltern (SE)	Paddy (SW)	Rooftop Agrivoltaics*
PI	> 1.00	1.27	1.27	1.12
NPV (Million won)	> 0	54.2	54.4	29.5
IRR (%)	> 4.50**	9.41	9.43	6.5

*Kim & Cho (2024), **Discount rate

먼저 설치지역을 비교해 보면 연안에 위치한 염전에 설치했을 경우의 수익성지수(PI)가 남서, 남동 모두 1.27로 유사하게 도출되었다. 또한 논에서는 남서 방향에서의 수익성지수(PI)가 1.27, 남동 방향은 1.21로 도출되어 남서와 남동 방향에 따른 차이는 미미한 것으로 분석되었다. 따라서 이는 매우 미미한 차이이므로 남서 방향이 남동 방향보다 월등하다고 결론을 내릴 수는 없을 것으로 판단된다.

본 사업을 다른 지역에도 설치하여 추가적인 실험을 해야겠지만, 현재까지 상황으로는 남동, 남서 방향의 발전량 차이가 거의 없는 것으로 판단된다.

분석 결과를 종합하면 모든 수익성의 지표가 사업추진이 타당함을 나타냈으며, 기존에 생산 가능했던 농작물 등의 현금유입을 고려하면 수익성은 더욱 개선될 것으로 보인다.

본 연구 결과를 통해 지형적인 한계를 가진 국내에서의 태양광 발전시스템 보급률 향상과 농어촌 펜스형 발전시스템의 도입을 위한 정책기초자료로 활용되는데 기여할 것으로 기대된다.

본 연구의 한계로는 농어촌 연계형 태양광 발전시스템의 특성상 염전 및 논에서 발생하는 농작물, 소금 등 별도의 현금유입 요소가 존재하며 태양광 패널로 인해 발생하는 농작물과 소금 등의 생산량 손실이 발생할 수 있다. 또한, 실제 염전과 농지에서의 건설과 운영 실적 데이터를 가지고 수익성을 분석하였지만 펜스형 태양광을 설치할 수 있는 밭, 과수원 등 다른 농어촌 부지에서의 실증 데이터는 부족한 상황이다. 본 연구에서 고려한 발전매출단가, 이자율은 상당한 불확실성을 포함하고 미래 상황에 따라 오차가 커질 수 있음을 고려해야 한다. 또한 본 연구는 연평균 실증 데이터와 고정가격 168.96원/kWh를 이용하여 수익성 분석을 수행하였으나, 시간당 발전량을 기반으로 동시간대 SMP를 적용한다면 수익성 분석의 정밀성과 현실성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 향후에는 이러한 점들을 종합적으로 고려한 수익성 분석 연구를 추가적으로 수행할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 한국에너지기술평가원(grant number 20213030010140) 및 환경부 「기후변화특성화대학원사업」 및

2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 G-랩프(LAMP) 사업(No. RS-2023-00301938)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

- [1] WMO (World Meteorological Organization), 2024, “State of the Global Climate 2023”, Accessed 2 January 2025, <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2023>.
- [2] WMO-IRENA, 2023, “2022 Year in Review: Climate-driven Global Renewable Energy Potential Resources and Energy Demand”, <https://storymaps.arcgis.com/stories/6e4e1e4985eb4a79b9037c258f6acb71>.
- [3] IEA (International Energy Agency), 2024, “Renewables 2023-Analysis and forecast to 2028”, https://managenergy.ec.europa.eu/document/download/f4a40473-214c-4e76-bc6f-05e80196bf7a_en?prefLang=sk.
- [4] IRENA (International Renewable Energy Agency), 2023, “Renewable power generation costs in 2022”, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [5] Amaducci, S., Yin, X., and Colauzzi, M., 2018, “Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production”, *Appl. Energy*, **220**, 545-561.
- [6] Weselek, A., Ehmann, A., Zikeli, S., Lewandowski, I., Schindele, S., and Högy, P., 2019, “Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review”, *Agron. Sustain. Dev.*, **39**, 1-20.
- [7] Chatzipanagi, A., Taylor, N., and Jaeger-Waldau, A., 2023, “Overview of the Potential and Challenges for Agri-Photovoltaics in the European Union”, Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://doi.org/10.2760/208702>.
- [8] Sarr, A., Soro, Y.M., Tossa, A.K., and Diop, L., 2023, “Agrivoltaic, a Synergistic Co-Location of Agricultural and Energy Production in Perpetual Mutation: A Comprehensive Review”, *Processes*, **11**(3), 948.
- [9] Jeong, J.H., 2020, “Current status and prospects of agricultural solar power generation systems”, *Bulletin of the Korea Photovoltaic Society*, **6**(2), 25-33. <https://koreascience.kr/article/JAKO202030060641493.pdf>.

- [10] Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., Barrows, C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., and Allen, M. F., 2014, “Environmental impacts of utility-scale solar energy”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **29**, 766-779.
- [11] Oudes, D., and Stremke, S., 2021, “Next generation solar power plants? A comparative analysis of frontrunner solar landscapes in Europe”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **145**, 111101.
- [12] Jouttijärvi, S., Lobaccaro, G., Kamppinen, A., and Miettunen, K., 2022, “Benefits of bifacial solar cells combined with low voltage power grids at high latitudes”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **161**, 112354.
- [13] Shin, D.W., Lee, C.H., Jeong, Y.M, and Sun, B.M., 2021, “Promoting Agricultural Photovoltaic: A Review of Applications, Challenges, and Opportunities”, Korea Environment Institute, <https://library.kei.re.kr/pyxis-api/1/digital-files/e1ca7cbb-285b-4aed-b268-f739747deb55>.
- [14] Lim, C.H., Kim, G.H., Lee, S.H., Nam, J.W., Jang, Y.S., and Lee, S.R., 2018, “Analysis of domestic and international agricultural solar power generation system promotion trends and value chain”, *The Magazine of Korean Solar Energy Society*, **16**(2), 31-38. https://www.auric.or.kr/user/listview/kses2010/cart_cmag.asp?URL=files/ksesw_201812_009.pdf%3Fnum%3D2.
- [15] Kim, Y.J., Kim, S.K., Chae, G.S., Seo, D.S., Park, J.Y., Song, S.H., and Chu, S.M., 2018, “A study on the problems and improvement measures of rural solar power distribution”, Korea Rural Economic Institute., 1-167. <https://repository.krei.re.kr/bitstream/2018.oak/23593/1/P252.pdf>.
- [16] Korea Development Institute, 2018, “Research on revising and supplementing general guidelines for conducting preliminary feasibility studies for public enterprise and quasi-governmental organizations projects”, https://www.kdi.re.kr/research/reportView?&pub_no=15989.
- [17] Bhattacharyya, S.C., 2019, “Energy economics: concepts, issues, markets and governance”, Springer Nature.
- [18] Hwang, K.W., and Lee, C.Y., 2024, “Estimating the Deterministic and Stochastic Levelized Cost of the Energy of Fence-Type Agrivoltaics”, *Energies*, **17**(8), 1932.
- [19] Statistics Korea, 2024, Consumer Price Index, Accessed on 29 April 2025, <https://www.index.go.kr/unity/potal/indicator/IndexInfo.do?cdNo=2&clasCd=2&idxCd=4226>.
- [20] Kim, J.I., and Cho, S.M., 2024, “Policy Directions to Enhance Economic Feasibility of Agrivoltaics in Korea”, *New. Renew. Energy*, **20**(1), 15-25.
- [21] Soon, B.M., and Shin, D.W., 2019, “Impact of Agricultural Photovoltaic on the Farm Household Income”, *J. Climate Change Res.*, **12**(5-1), 409-419.
- [22] Ahn, S.Y., Lee, D.B., Lee, H.I., Myint, Z.L., Min, S.Y., Kim, B.M., Oh, W., Jung, J.H., and Yun, H.K., 2022, “Grapevine Growth and Berry Development under the Agrivoltaic Solar Panels in the Vineyards”, *J. Bio-Environ. Control*, **31**(4), 356-365.
- [23] Kim, B., Kang, J., Park, S., Jang, J., and Hong, J.H., 2019, “Study of unit cost estimation for the appropriate treatment of end-of-life photovoltaic (PV) module”, *New. Renew. Energy*, **15**(1), 36-46.