

농촌 영농형 태양광 잠재적 입지 고려지역 선정 및 함의: 횡성군을 중심으로*

Selection and implication of the potential Site of Agrophotovoltaic:
Focusing on Hoengseong-gun

고도연** · 김은진***

Doyeon Ko · Eunjin Kim

요약: 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위해 전력 소비가 발생하는 국토의 곳곳에 분산형 재생에너지 설비를 배치할 필요가 있다. 하지만, 이 과정에서 수반되는 다양한 갈등은 새로운 설비 형태를 강구하며 이에 관련 가치와 조화로운 합리적 부지 활용 방안을 모색할 필요성이 크다. 영농형 태양광은 적절한 정책 아래 상기 요구를 충족하며 농촌사회의 다양한 현안 해소를 모색할 수 있어 국제적으로 주목받고 있다. 이 연구에서는 국내 농촌 에너지전환 및 활성화 방안으로써 영농형 태양광에 초점을 두고 그 잠재적 입지 고려지역에 주목한다. 이를 위해 설비의 친환경성과 현실성을 담보할 수 있는 다양한 기준을 수립하였다. 이후, GIS를 활용, 관련 지표를 준용하여 횡성군을 대상으로 고려지역을 선정하고 예상되는 편익을 제시하였다. 연구 결과, 다양한 배제 사항을 준용하지만, 고려지역에서의 영농형 태양광 발전 잠재량은 2021년도 횡성군 전력 소비량의 3배를 초과하였다. 이러한 결과는 한국 탄소중립과 농촌지역 현안 해소 측면에서 영농형 태양광의 중요성을 재조명하고 향후 설비 확장을 위한 체계 조성 필요성을 시사한다.

핵심주제어: 에너지전환, 영농형 태양광, 고려지역, 지역 활성화, GIS

Abstract: Achieving carbon neutrality by 2050 requires locating decentralized renewable energy facilities across the country, wherever electricity consumption occurs. However, as a consequence of various conflicts involved throughout this process, a new type of facility is required, combined with the urgent need to find a reasonable site utilization plan in harmony with related values. Agrophotovoltaic systems attract growing international attention as it meets the above requirements under appropriate policies with the ability to solve various problems in rural areas. In this study, we focus on agrophotovoltaics as a means of energy-transition and revitalization in rural areas of Korea, paying attention to the potential location consideration site. To this end, various standards were established to ensure the eco-friendliness and feasibility of facilities. Subsequently, potential sites were selected for Hoengseong-gun by applying the relevant indicators using GIS, presenting expected benefits. As a result of the study, despite the application of various exclusions, the potential for agrophotovoltaic generation in the potential site's capacities exceeded the power consumption of Hoengseong-gun in 2021 by more than three times. These results shed light on the importance of agrophotovoltaics in terms of carbon neutrality in Korea, resolving pending issues in rural areas, suggesting the need to create a system for future facility expansion.

Key Words: Energy Transition, Agrophotovoltaic, Potential Site, Regional Revitalization, GIS

* 본 연구는 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 한국환경연구원(원)이 수행한 연구 과제(2020-006(R))입니다(과제번호: 202030200200450).

** 주저자 겸 교신저자, 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사수료, 한국환경연구원 환경평가본부 위촉연구원

*** 공동저자, 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사수료

I. 서론

1. 에너지전환 필요성

기후변화는 인류가 당면한 주된 범지구적 현안이다(World Economic Forum, 2021). 파리협정(Paris Agreement)에서는 기후변화 완화를 위해 지구 평균온도 상승 폭을 산업화 이전 대비 2℃, 더 나아가 1.5℃ 이내로 제한하도록 함께 노력하는 지구적 장기목표를 설정하였다. 이에 따라 우리나라를 비롯한 각국은 21세기 중반 전후를 목표연도로 한 탄소중립을 선언하고 이를 달성하기 위한 노력을 강화해 나아가고 있다.

산업혁명 이후 견고히 구축되어 온 화석연료 기반의 사회체계 아래에서 탄소중립을 달성하기 위해서는 모든 부문에서 유기적이고 적극적인 움직임이 요구된다. 이 중에서 주요 사항은 화석연료에서 저탄소 에너지원에 기반하는 체계로의 전환인 에너지전환(energy transition)이라고 할 수 있다. 한국의 2019년 온실가스 총배출량 중 약 87%가 에너지 부문에서 기인하지만(온실가스종합정보센터, 2022), 2020년 신·재생에너지 발전 비율은 7.43%로 OECD 회원국 가운데 가장 낮은 수준이다(OECD, 2022; 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2021). 유럽을 비롯한 각국이 재생가능에너지(renewable energy; 이하 재생에너지) 보급을 확대함으로써 범지구적 기후변화 대응 및 지속가능한 발전, 에너지자립과 그린뉴딜 등 다양한 현안에 대응하고 있음을 고려하면 국내에도 관련 대응이 시급한 상황임을 알 수 있다(고도연·송재민·윤순진, 2022).

2. 국내 에너지전환에서 농촌태양광의 역할과 갈등 상황

국내에서 육상태양광 그중 농촌태양광은 에너지전환에서 핵심 수단으로써 역할이 공고하다.¹⁾ 2017년 12월 정부는 『재생에너지 3020 이행계획』

1) 농촌태양광의 대체적 정의는 재생에너지 보급 확대 및 농가소득 증진을 목적으로 농지와 농업생산시설, 산지, 농업용 저수지 등 농촌에 설치한 태양광 설비이다(변재연, 2021).

』을 통해 재생에너지 발전 비중을 2030년까지 20%로 확대하겠다는 목표를 발표했다. 이 계획에서는 염해 간척지와 농업진흥구역 외 농지 등에 태양광 패널을 설치하는 형태의 농촌태양광을 주요 목표 달성 수단으로 언급하고 2030년까지 10GW 설비용량을 보급하겠다는 내용을 담음으로써(산업통상자원부, 2017a) 에너지전환에서 농촌지역의 역할이 중요함을 드러냈다. 이러한 상황에서 2021년 우리나라는 2030 국가 온실가스 감축 목표(Nationally Determined Contribution)를 2030년 총배출량 전망치 대비 40% 감축으로 제고하였다. 또한, 국제적으로도 RE100 등 재생에너지를 통한 신속한 탄소중립을 강조하는 상황임을 고려하면, 앞으로도 한국 에너지전환에서 농촌태양광이 핵심적인 역할을 할 것으로 예상된다.

농지는 대체로 일사량이 좋기 때문에 태양광발전에 적합한 환경을 가진다. 더불어 저렴한 지가로 재무적 측면에서 유리하여 관련 개발 수요가 지속되었다. 하지만, 어떠한 전력 생산 수단이라도 기존 환경에 들어설 경우 이질성을 유발하며 주변에 일정 수준의 영향을 미친다. 그리고 이러한 자연에 대한 인위적 작용은 일반적으로 본연의 상태보다 품질을 저하하는 것으로 인식된다(고도연 등, 2022). 기존의 농촌태양광과 같이 설비가 농지를 전용하는 형태로 들어서는 경우 지역주민에게 경관영향 등 다양한 환경성 우려를 수반하고, 식량자급, 농민으로서 정체성 등의 가치가 상실되는 문제점을 가진다. 또한, 사업이 외지인에 의해 추진됨에 따라 지역주민이 분배적 불의를 인식하는 등 갈등 요소를 가진다. 이는 농촌태양광 사업에 대한 각종 인허가 권한을 가지고 있는 지자체의 규제를 강화하였다(오수빈·신수민·윤순진, 2021; 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2021; 한국태양광산업협회, 2021).

3. 전략적 틈새로써 영농형 태양광

‘영농형 태양광(agrophotovoltaic, 이하 ‘APV’라고 한다)’이란 농민이 영농활동을 지속하면서 태양광발전을 병행하는 방식의 설비를 말한다. 작물을 재배하는 토지의 위쪽 공간에 태양광발전 설비를 설치하여 부지를

복합 용도로 활용하는 구조가 일반적이다. 국내 여러 연구에서는 시나리오 분석을 통해 APV의 경제성을 입증하였다(Son et al., 2019; 순병민·신동원, 2021). APV를 통해 국토를 효율적으로 활용할 수 있기 때문에(Fraunhofer ISE, 2017) 인구밀도가 높아 국토의 집약적 활용이 요구되는 우리나라에 적합하다고 할 수 있다.

하지만, 높은 초기 투자 비용에 대한 부담과 기존 농촌태양광에서 불거져 온 환경문제에 대한 보수적이며 일부 과도한 우려가 APV의 수용성을 저해하는 상황이다(김연중 등, 2019; 신동원·정예민·이창훈, 2021). 이러한 인식과는 다르게 실제로 APV는 입지 기준, 사업 참여 대상, 보조금 등에 대한 적절한 정책 설계 아래 기존 농촌태양광에서 확인되는 경관영향, 토사유출, 농지감소 등 환경·사회적 문제를 해소하거나 내재화할 수 있다. 또한, 지역에 추가적인 경제적 편익을 제공함으로써(손희철·박현준·김영신, 2019; 순병민·신동원, 2021) 다양한 농촌사회 현안(인구 감소, 고령화 등) 해소를 모색할 수 있다는 점에서 수용성을 갖춘 사업으로 주목받고 있다. 이에 따라 국내외에서는 설비에 대한 실증과 분석이 활발히 이뤄지고 있다(조영혁·조석진·권혁수·유동희, 2019).

즉, APV를 활용하여 농촌 지역 현안 해소를 도모할 수 있으며, 국가 탄소중립 달성 및 국제사회의 지속가능발전 흐름을 견지하기 위한 역할을 수행할 수 있다. 따라서 향후 재생에너지 보급 및 농촌지역 활성화 수단으로서 APV의 역할이 기대된다고 할 수 있다(신동원 등, 2021).

4. APV 확산 지연 상황

APV는 다양한 장점을 가진 국토 활용 수단으로 여겨진다. 하지만, 앞선 절에서 간략히 살펴보았듯이, 현존하는 APV에 대한 다양한 수용성 저하 요인과 정책 상황은 이를 근시일에 실현하기 어렵게 한다.

최근 영농인의 APV에 대한 인식 설문 결과를 참고하면 농촌태양광에 대해 부정적 인식이 많지만, APV에 한정해서는 찬성 측이 다수인 것으로 확인된다. APV의 수용성을 저하하는 요인으로는 초기 투자 비용에 대한

부담과 기존 농촌태양광에서 불거져 온 환경문제에 대한 보수적이며 일부 과도한 우려가 있다(김연중 등, 2019; 신동원 등, 2021). 특히, 기존의 농촌태양광에서 기인하는 것으로 APV로 인해 농지가 사라지고 식량안보 문제까지 발생한다는 인식과 분배적 불의가 발생하는 상황에 대한 우려가 있다(한국태양광산업협회, 2021).

국내 현행 정책상 제약사항도 존재한다. 농지법상 농업보호구역 내 농지에서의 태양광 설치 가능 기간은 최대 8년으로 제한된다. 장기간의 운영을 통해 투자비를 회수해야 하는 태양광사업과 용도를 유지한다는 APV의 특성을 반영하여 법 개정이 필요하다(신동원 등, 2021). 그리고, 재생에너지 입지에서 경관영향과 환경영향 등 수용성 저하 문제에 대한 바람직한 대응은 현장별로 이에 대한 사전적 검토를 수행하는 것이지만, 허가 주체인 지자체의 인력 부족은 이에 대한 합리적 판단보다는 편의상 보수적인 입지규제를 일괄 준용하는, 국제적으로 유례없는, 체계를 생성하여 적지에도 입지를 제한하는 실정이다. 하지만, 다양한 가치와 조화로운 합리적 부지 활용 방안으로서 APV의 확산 가능성을 염두하고 설비 확산을 위한 기초 자료 생산 등 고민이 지속될 필요가 있다.

5. 연구 필요성 및 목적

농촌은 재생에너지를 통해 지속가능한 에너지의 생산 주체로서 역할을 할 수 있고, 이를 통해 발생하는 편익을 영위함으로써 각종 현안 해소를 도모할 수 있다. 하지만 상기 문제점으로 인해 현재 국내에서 농촌태양광 보급에는 상당한 제약이 존재한다. 따라서 향후 농촌태양광에서 나타났던 문제의 소지가 적은 태양광 보급 방안을 지속 탐구할 필요가 있다.

APV는 적절한 설계 아래 다양한 가치와 조화로운 합리적인 청정 에너지원이 될 수 있고 추가적인 편익을 도모할 수 있으므로 국제적으로 중요하게 여겨진다. APV가 국내에서 합리적으로 확산하기 위해서는 아직 체계적인 보완이 필요하지만, 국내외에서 이에 대한 실증과 분석이 본격적으로 이뤄지고 있음을(조영혁 등, 2019) 고려할 때, 향후 지속적으로 관심

을 둘 필요가 있다.

태양광 등 재생에너지는 기후변화에 대응하기 위한 친환경 에너지이지만, 국토가 좁고 산지 비중이 높은 한국에서 관련 설비 입지로 인한 생물다양성 저하, 경관 훼손과 토양 안정성 저하 등의 우려가 제기되는 양면성이 존재한다. 사업에서 나타나는 이러한 환경적 우려 및 수용성 저하 문제는 입지에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. 즉, 재생에너지 발전사업의 핵심은 환경성 확보를 전제로 한 사업 입지를 선정하는 것에 있으며, 그 과정에서의 판단기준은 환경 측면으로 엄격한 수준에서 입지규제 요소에 대한 관련 정책과의 정합성을 면밀하게 검토하는 것이다(고도연 등, 2022; 이영준·박종윤, 2021).

이러한 상황에서 본 연구에서는 농촌 지역에서 APV 입지 고려지역을 선정 및 그 편익을 제시함으로써 설비 확산의 함의를 정리해 보고자 한다. 이를 위해 우선, 문헌 검토를 통해 환경성과 계획적 현실성 그리고 경제성 원칙을 만족하는 다양한 기준 및 지표를 수립하였다. 이후 지리정보체계(Geographic Information Systems, GIS)를 활용하여 관련 지표를 준용하는 APV 고려지역을 도출 및 발전 잠재량을 산정한다.²⁾

II. 선행연구

국내외에서 탄소중립 및 에너지 자립 요구가 급박해짐과 마찬가지로 재생에너지 관련 다양한 연구가 꾸준히 수행되고 있으며, 설비 유형별 적정 고려지역 선정 및 그 편익을 제시하는 연구 또한 그러하다. 이를 위해서는 해당 지역에 대한 다양한 공간 정보를 활용하여 분석하는 것이 필수적이다. 국내외에서는 GIS 기반의 분석을 통해 관련 공간적 변동성을 반영하여 특정 설비 유형 및 다양한 유희부지 종류에 대한 고려지역 선정 및 편

2) 재생에너지 부문에서 발전 잠재량이란, 특정 부지와 기술 유형에 따라 실질적으로 호
락용 가능한 에너지량의 의미로 사용됨

의 산정 연구가 수행되고 있다. 아래는 수행되어 온 관련 연구를 정리한 것이다.

Hofierka and Suri(2002)는 지역의 태양광 복사량에 관해 영향을 미치는 세 가지 요인을 고려한 모델을 제시하고 GIS 분석을 통해 슬로바키아 산지에서 태양광 부지 및 발전 잠재량 평가에 활용하였다. Hofierka and Kaňuk(2009)는 GRASS GIS 소프트웨어와 태양광발전 잠재량 평가 프로그램을 이용하여 슬로바키아 도심지 건물의 옥상 면적에 대한 태양광 발전 잠재량을 평가하였다. 송진영·최요순(2012)은 GIS와 SAM(System Advisor Model) 소프트웨어를 이용하여 대학교 옥상 태양광발전 설비의 도입 잠재량을 검토하였다. 최영민·최요순·서장원·박형동·장미향·고와라(2013)는 지역 폐광산 부지에 태양광 발전 시스템을 도입할 경우 기대할 수 있는 전력 생산량과 경제적 효과를 분석하였다. 김진솔·서장원·박형동·강용혁·윤창열(2014)은 GIS와 RETScreen 소프트웨어를 활용하여 울릉도를 대상으로 태양광 발전 잠재량을 평가하였다. 용도지역, 수치지형도, 토지피복 지도를 활용하여 개발가능지를 추출하고 이에 표고, 경사도, 일조시간을 통해 지형적 기준의 적지를 추출하였다. 이기림·이원희(2015)는 수치표고 모델(DEM; Digital Elevation Model)을 통해 지형인자를 추출하고 이를 다양한 기상인자와 연계하여 대구광역시와 경상북도 지역에 대해 태양광 발전소 입지분석을 수행하였다. 다른 연구에서는 경상북도와 대구광역시를 중심으로 GIS를 이용하여 수상태양광 입지 적지를 선정하였다. 우선 영향을 미치는 지형 및 기후인자를 수집 및 분석 및 크리깅 보간법을 이용하여 자료를 구축하고 AHP 가중치를 적용하여 입지에 대한 적합도 점수를 산정 및 시각화하였다(이기림·이원희, 2016). 박종윤·이영준·이후승·이병권(2019)과 조상민·이석호(2018)는 토지 용도를 고려하여 개략적인 태양광 잠재량을 산정하였다. 이기현·이건주·강성우(2018)는 네 가지 기상요인(대기청정, 전천일사, 직달일사, 산란일사)과 토지요인(토지가격, 임야 비율)에 기초한 AHP 분석을 통해 전국을 대상으로 최적 태양광 발전소의 입지를 분석하였다. 이근상·이종조(2018)는 DEM 자료를 이용, 태양광 발전소 입

지 선정시 중요한 사면방향 및 경사도를 고려하여 태양광 발전소 부지에 대한 일사량을 계산하였다. 윤성욱 등(2019)은 다섯가지 기상자료와 음영 기복도를 나타내는 지표틀 고려하여 태양광발전시설 적지를 구분하였다. 이영준·박종윤(2019)은 육상풍력 및 육상태양광과, 수상태양광의 입지와 관련된 주요 제약사항 및 환경평가 단계에서 요구되는 고려사항들을 도출하고 지역별 가용 면적 분포를 분석하여, 이를 기반으로 계획입지제도 등에서 활용 가능한 권역별 환경적 가용입지를 분석 및 잠재용량을 추정하였다. 이창훈(2019)은 간단한 계산을 통해 2050년 탄소중립 달성에 요구되는 태양광 발전설비 용량을 APV로 충당할 경우, 2050년 예상되는 전체 태양광 설치용량 305GW 중 약 229GW 수준을 농지의 20%를 이용하여 보급 가능함을 개진하였다. 한국에너지공단 신·재생에너지센터(2021)에서는 규제요인을 반영하여 광역지자체별 태양광 설비용량 및 발전량을 추산하였다. 허재·박범수·정운화·정재훈·김병일·한상욱(2020)은 6개의 기상데이터를 사용한 태양광 발전량 추정모델을 제시하고 유휴부지인 고속도로 주변부에 초점을 두어 발전량 측면의 적지를 탐색하였다. 김한진·구지윤·박형동(2021)은 폐채석장 부지를 대상으로, 파이썬과 발전잠재량 산정 소프트웨어를 이용하여 사면에 직접 부착하는 방식과 낙석 방지 시설에 부착하는 방식의 두 가지 설비 유형의 태양광발전 잠재량을 추산하였다. 이영준·박종윤(2021)은 육상풍력 및 육상태양광 발전사업에 대한 현황 및 환경적 가용입지에 대한 분석을 수행하고 이를 바탕으로 잠재 규모를 분석·평가하였다.

기존 다양한 태양광 설비 유형을 대상으로 입지 잠재량이 평가되어왔다. 기존 태양광 적정부지 평가에서는 재무적 합리성 확보에 초점을 두고 다양한 기상인자들을 확보할 수 있는 지형특성 요소를 고려한 연구가 주를 이루고 있다. 하지만, 현재 국내에서 나타나는 태양광 설비에 대한 다양한 환경성 우려를 면밀히 검토하여 이를 해소할 수 있는 적정 기준 및 지표를 수립하고 이에 부합하는 입지 고려지역을 선정 및 편익 제시를 통해 지역 확산의 함의를 살펴보는 연구는 아직 많지 않은 실정이며, APV에

초점을 두고 수행된 연구는 찾아보기 어렵다. 향후 APV가 다양한 가치 실현에 전략적으로 중요하게 여겨지는 만큼 관련 연구가 신속히 수행될 필요가 있다.

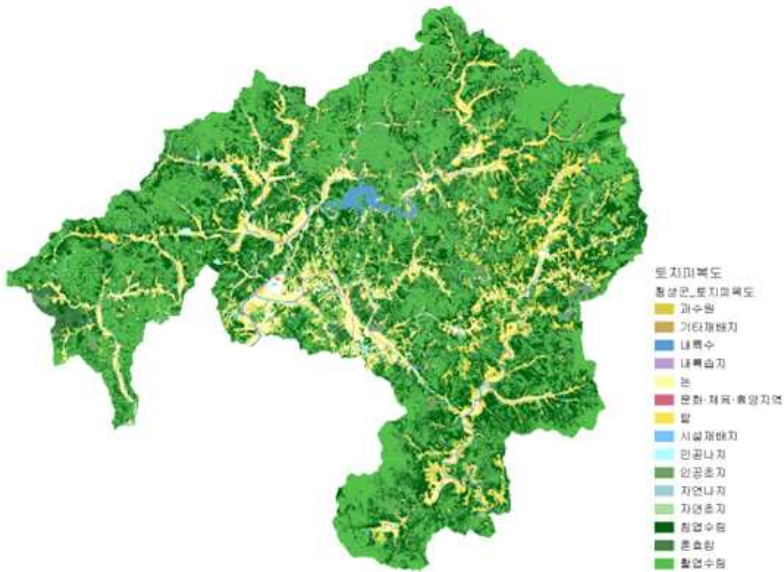
III. 연구방법

이 절에서는 우선 연구 대상 지역에 관해 설명한다. 이후 원칙별 부합하는 다양한 선별 기준 및 지표를 제시하고, 도출된 고려지역을 대상으로 편익을 도출하는 방법에 관해 설명한다.

1. 연구지역: 황성

강원도 서남부에 위치하는 황성군은 1읍 8면으로 구성되어 있고, 군을 등글게 감싸는 산세를 가진 내륙 산간이다. 2019년 기준 황성군 전체 면적에서 임야는 약 76%, 전과 답의 비율은 약 14%를 차지한다. 다양한 농축산물을 생산하며 현재까지 주요 산업은 농업이지만 농지 면적과 농업 종사자 수는 점차 낮아지고 있다(황성군, 2021). 이는 낮고 불안정한 농업 소득이 농가 인구 감소로 이어지는 것으로 볼 수 있다. 이처럼 황성에서는 주요 경제 활동원인 농업에서 제공되는 경제적 편익이 제한되고 안정적인 일자리로 여겨지지 못하는 상황이다. 더군다나 근로 소득이 국내에서 가장 낮은 수준으로(노기섭, 2022) 새로운 편익 창출 산업이 절실하다. 농촌이 활기를 찾으려면 인구가 유입되고 빠져나가지 않아야 하며 이에 안정적인 소득 보장이 핵심이다. 향후 황성군 살림의 주축이 되어온 농경지를 활용하여 지역에 활력을 증진할 수 있는 지속가능한 방안을 모색할 필요가 있다.

〈그림 1〉 토지피복도로 나타난 횡성군 그린인프라



재생에너지는 현재의 화석연료 기반 사회 체계에서 미세먼지와 기후변화 등 환경문제를 해소할 방안으로 꼽힌다. 특히 APV는 환경 품질의 저하가 적으며 새로운 먹거리가 필요한 농촌지역에 추가적인 경제적 및 사회적 편익을 제공함으로써 인구감소와 고령화 등 현안 해소에 도움을 줄 수 있어 수용성이 있는 사업으로 주목된다. 하지만, 안정적인 직업이 부족한 횡성에서는 임야를 전용하는 태양광 설비에 대한 환경영향 우려 및 주민 수용성 문제를 방지하기 위해 태양광 설비 입지에 대한 보수적인 규제를 두고, 정책적으로도 APV 확산 논의가 부재하여 관련 편익을 영위하는 것이 제한되는 상황이다. 향후 기후변화 대응 수단의 농업현장 접목 및 편익 향유는 농촌이 나아가야 할 방향임을 조명할 필요가 있으며 이에 본 연구에서는 횡성군을 APV 입지 고려지역 선정 대상으로 정하고 기대 효과를 제시하였다.

2. 잠재적 APV 입지 고려지역 선정

횡성군에서 APV 입지를 고려하기에 적합한 장소는 어디일까? 새로운 기술을 환경에 도입할 경우 신중한 접근이 요구된다. 관련하여 APV의 입지에서도 다각도의 논의가 존재한다. APV를 합리적으로 실현하기 위해서는 적지 선정에서 설비의 환경영향과 토지이용 측면에서의 현실성 등 고려해야 할 요소가 다양하다. 이 연구에서는 APV의 실재를 고찰함으로써 설비 입지에서 준용할 다양한 기준 및 지표를 수립하여 이를 만족하는 부지를 잠재적 APV 고려지역으로 선정한다.

기준은 크게 설비 입지로 인한 환경적 우려를 최소화하는 것을 목적으로 하는 환경성과, 부지 이용 가능성에 대한 계획적 현실성, 그리고 사업자의 재무적 이익에 초점을 둔 경제성 원칙으로 범주화하였으며, 이러한 기준 및 지표들을 모두 만족하는 지역이 고려지역으로 선정되는 구조이다. 물론 하나의 지표를 준용함으로써 다양한 기준 및 원칙에 복합적인 영향을 미칠 수 있다. 이 연구에서는 원칙별 주요 이슈를 우선하여 기준 및 지표를 선별하고 이를 통해 달성할 수 있는 복합적인 요소를 서술하였다. 연구에서 이용된 주요 원칙과 기준 및 지표는 아래 <표 1, 2>와 같다.

1) 환경성 원칙

<표 1> APV 고려지역 선정에 활용한 환경성 원칙 관련 기준 및 지표

원칙	기준	지표
환경성	생물다양성 및 서식지 보전	-생태·자연도 1, 2등급 권역 배제 -관련 환경 보전지역 배제
	토지 안정성 및 수환경	-산사태위험 1, 2등급 지역 배제 -수환경 관련 환경 보전지역 배제
	경관영향	-경사도 15° 이하 지역 -별도관리지역, 경관지구 등 경관적 보전가치가 있는 지역 배제
	작물 성장성	-차광률 30% 미만

기본적으로 APV는 기후변화 완화와 일부 적응에도 역할을 하여 친환경적

측면이 있음이 알려져 있다(Adeh et al., 2018; 강민석·손승원·박주한·김종호·최성원·조성식, 2021; 김우람·남재우·김근호·김덕성·임철현, 2021). 하지만, 환경성을 결정하는 요인은 다양하므로 입지를 선정하기에 앞서 다각도의 검증이 필요하다.

국내에서 기존 산림에 들어서는 농촌태양광의 생물다양성 저하 등이 크게 이슈화되었지만, APV는 기본적으로 농지를 활용한다. 따라서, 생물다양성과 관련하여서는 APV 복합 용도와 작물 생산 단일 용도로 이용되는 부지의 그것을 비교해야 하지만 아직 이에 대한 공신력 있는 자료가 가용하지 않은 실정이다. 따라서 향후 다양한 환경의 APV에 대한 연구를 통해 비교 결과를 제시함으로써 설비의 생물다양성 영향 정도를 검증할 필요가 있을 것으로 생각된다. 다만, 초원과 유사한 지대를 장기간 유지하는 태양광발전단지가 경관다양성이 빈약한 농지 대비 생물다양성이 높음이 알려져 있으므로(Peschel et al., 2019) APV가 농지의 생물다양성을 저하한다고 단언하기는 어렵다.³⁾ APV는 기본적으로 토지 면적의 일부만을 활용하므로 생물다양성에 미치는 영향이 크지 않을 것으로 생각되지만, 예방적 차원에서 접근할 필요가 있다.

생태·자연도는 자연환경을 생태적, 자연성, 경관적 가치 등에 따라 등급화(1~3등급 및 별도관리지역)하여 작성된 지도를 말한다. 1등급 권역은 자연환경의 가치가 뛰어나 보전 및 복원을 우선한다. 2등급 권역은 1등급에 준하여 보전 가치가 있는 지역으로서 자연환경의 보전 및 개발·이용에 따른 훼손을 최소화할 필요가 있다. 별도관리지역은 자연공원, 생태·경관보전지역 등 역사적, 문화적, 경관적 가치가 있는 지역이다. 3등급 권역은 1, 2등급과 별도관리지역을 제외한 지역으로 체계적인 개발 대상이 된다. 이 연구에서는 자연환경 가치를 보전하고자 생태 자연도 1, 2등급 권역을

3) 농지는 화학약품의 시비와 단순하고 인위적인 경관으로 인해 생물다양성이 적은 공간이다. 반면 태양광 단지는 생물다양성이 비교적 높은 유형인 초원과 비슷한 환경을 장기간 유지하기 때문에 농지와 비교하여 대부분의 중 유형에서 생물다양성과 개체수가 풍부하게 형성된다. 이때, 모듈 행 사이 등 설비의 공간 설계에 따라 생물다양성에 미치는 영향의 정도가 다를 수 있다(Peschel et al., 2019).

배제하였다. 또한 현재 임야를 전용하여 들어서는 농촌태양광에 관한 생물다양성 파괴 등 논란이 발생하고 있으므로 용도지역 중 산림을 제외하였으며, 횡성군에 존재하는 생태적·경관적 가치가 높은 관련 법령에 따라 지정된 환경 보전지역을 제외하였다.

기존 설비 하부가 나진인 농촌태양광에서 빈번히 찾아볼 수 있는 우려 사항으로는 토지안정성 저하 및 산사태가 있다. 또한, 설비 하부에 농약 사용 등과 결부한 토사 유출은 간접적으로 수환경에도 악영향을 미칠 수 있다. 우리나라에서는 초기 태양광 설비에서 빈발했던 토지안정성 및 산사태 문제에 따라 2018년 『육상태양광발전사업 환경성 평가 협의 지침(이하 ‘지침’)』을 수립하고 국내 상황에 맞추어 나아가고 있다. 실제 산사태 피해를 본 시설은 대부분 설비 입지 기준이 강화되기 전인 2018년 이전에 허가되었다는 공통점이 있어 현재 지침에 따르는 사업의 경우 토지안정성 감소에 따른 문제 발생 우려가 상당히 해소되었다고 할 수 있다(기재홍, 2021; 김영은, 2020; 이상범 등, 2018). 이에 본 연구에서는 상기 지침을 준용하여 경사도 기준인 15°와 산사태위험지도의 1, 2등급 지역을 제외함으로써 관련 문제를 해소하고자 하였다. 이처럼 설비가 완경사지에 입지함으로써 토사유출 및 수환경에 영향을 저감할 수 있다. 이러한 완경사지대에서 예상되는 토사 유출은 침사지 설치 및 관리 등의 적정 대책을 적용하여 저감할 수 있다. 추가로 상수원보호구역과 수변구역 등을 배제함으로써 이러한 영향을 최소화하고자 하였다.

재무적 측면에 치중하여 산지 경사면이나 인공 농지를 집약적으로 이용하여 들어서는 농촌태양광과는 달리 APV는 산지를 전용하지 않고 규모나 패널의 크기가 작고 행렬 간격이 넓어 시야를 확보할 수 있다(신동원 등, 2021). 또한, 자경농지에서의 설비는 전봇대 수준의 송전선을 요구한다. 경관영향 측면에서 APV의 대조군으로 들 수 있는 비닐하우스와 삼 재배지의 경우, 농지를 전용하고 많은 폐기물이 발생하지만, 합리적 토지이용 방안으로써 현재 국내에서 농촌의 익숙한 경관이다. 이를 통해 국토를 합리적으로 활용할 수 있는 방안인 APV 역시 향후 농촌 경관에 편입할 수

있는 여지가 있을 것으로 생각된다.

〈그림 2〉 영농형 태양광과 다른 농업생산기반시설과의 경관영향 비교



자료: (a) 김태호, 2017, (b) 이현욱, 2022, (c) 남정현, 2020

국내에서는 이전부터 경사지나 경관자원에 인접한 태양광에서 경관 훼손 이슈가 있었다. 이 연구에서는 별도관리지역과 경관지구, 연속지적도 중 유원지와 유지를, 토지피복지도 중 문화체육휴양지역을 제외함으로써 역사적, 문화적 그리고 경관적 가치를 보전하고자 하였다. 또한, 이 연구에서와 같이 환경사지에 설비가 입지하는 경우 평지에서 설비에 대한 조망을 최소화할 수 있으며, 차폐림 등 적정 저감방안을 적용할 수도 있음이다.

APV는 기본적으로 하부에서 작물을 지속 생산하면서 상부에 추가로 태양광 패널을 설치 및 전기를 생산/판매하여 추가적인 편익을 창출하는 구조이다. 부지에 APV를 설치하는 형태에 따라 작물 생산량과 발전량은 달라질 수 있지만, 기본적으로 부지 이용 효율이 높아진다(Fraunhofer ISE, 2017; 신동원 등, 2021). 국내에서 이뤄진 다양한 작물 생장 실험에서는 APV 설비로 인한 수확량에 영향이 적거나 없음을 확인하였다(강민석 등, 2021; 김우람 등, 2021; 안규남·윤창용·신서호·김선곤·조재일, 2021; 윤창용·안규남·정부덕·김선곤·조재일, 2020; 조영혁 등, 2019).⁴⁾ 오히려 건

조한 환경에서는 작물의 수분 스트레스를 줄이고(Adeh et al., 2018), 폐경지 등에서 작물을 생산하도록 함으로써 식량 자립에 긍정적인 영향 요소도 있다. 다만, 생장에 필요한 햇빛이 줄어들 경우 작물에 따라 영향이 있을 수 있다. 기본적으로 국가 식량자립 및 탄소중립과 농업 가치 보전을 위해 APV에서 농작물 생산량이 저하하지 않도록 할 필요가 있다. 이에 농작물의 생육에 적합한 일조량을 유지할 수 있도록(설비가 광포화점 이상의 빛을 이용) 환경별 작물 종류 및 시설의 태양광 패널 각도 및 간격이 적절히 설계되어야 한다. 2021년 발간된 신재생에너지 백서에서는 이에 대한 국내 기준을 찾아볼 수 있는데, 바로 농산물 생산량을 보장하기 위해 설비의 차광률이 30% 미만인 되도록 설계하여야 한다는 것이다(한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2021). 본 연구에서는 이를 준용함으로써 작물 생산 기준을 고려하였다.⁵⁾

2) 계획적 현실성과 경제성 원칙

〈표 2〉 APV 고려지역 선정에 활용한 계획적 현실성과 경제성 원칙 관련 기준 및 지표

원칙	기준	지표
계획적 현실성	입지 가능지역	-용도지역 중 APV 입지 가능 지역
	입지 불가능지역	-수치지형도, 토지피복도, 연속지적도 상 불가능 지역 배제 -관련 보전지역 배제
	이격거리	-현재 지자체의 이격거리 조례는 국토의 합리적 활용 차원에서 준용하지 않음 -도로, 건물 등에 안전·재산권 측면의 이격거리 적용
경제성	일사량	-사면방향 고려

우리나라는 국토를 합리적으로 활용하기 위해 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 따라 토지 용도를 구분하고 개발행위를 제한한다. 소규모 환경영향평가는 동 법 제6조에 근거하여 관리지역, 농림지역, 자연환경

- 4) 이론적으로 작물은 광포화점을 초과하는 태양광을 생장에 이용하지 못한다. 농작물 생육에 필요한 적정 광포화점을 유지하도록 APV의 구조를 설계하는 것이 필요하다.
- 5) 작물 생장을 최적화하기 위해 실제 설비 입지에서는 설비 형태와 패널 간 행렬 간격 등 고려해야 할 요소가 다양하다.

보전지역 등 용도지역의 면적에 따라 일괄적으로 시행된다. 이 연구에서는 용도지역 중 관리지역에서 생산관리지역과 계획관리지역을, 농림지역 중 농업진흥지역을 APV 입지가 가능한 지역으로 보았다. 이를 통해 다른 용도지역을 제외하고 지목 중 논과 밭 등 재배지가 포함된다. 또한, 연속 지적도 중 학교용지, 체육용지, 유원지, 유지 그리고 토지피복지도 중 공공시설지역, 공업지역, 내륙수, 내륙습지, 주거지역, 상업지역에는 APV가 들어서기 적합하지 않은 지역으로 배제하였다.

태양광발전을 위해서는 기본적으로 지면에 의한 음영효과를 배제하고 충분한 발전량을 확보하기 위해 사면 방향과 경사도를 고려해야 한다. 현재 태양광설비 시공기준은 『신·재생에너지 설비 지원 등에 관한 지침』을 따른다. 동 지침에서는 [별표1] 『신·재생에너지 설비 원별 시공기준』에서 모듈설치 기준각도와 일조시간을 명시한다. 이에 따르면 패널은 정남향 기준 동쪽 또는 서쪽으로 일정 수준(45° , RPS(Renewable Energy Portfolio Standard)의 경우 60° 이내, 벽면이나 방음벽 태양광 등의 경우 90° 이내) 이상 벗어나지 않도록 설치되어야 한다. 물론 이 지표는 패널을 대상으로 하지만, 결과적으로 설비가 들어서는 지면의 향이 해당 지표에 따른 발전량을 결정하기 때문에 DEM 자료를 이용하여 지면의 향을 분석함으로써 이를 준용하였다. 이때, APV는 RPS를 적용 가능하다고 보아 60° 이내 기준을 적용하였고, 이외 향이지만 경사도 5도 이내 지형은 일사량에 차이가 작아 경험적으로 입지를 제한하지 않는 것으로 보았다.

국내 지자체 차원에서는 민원 방지, 행정 편의 차원에서 거주지, 도로에서부터 일괄적인 이격거리 규제를 도입하였으며 횡성도 그러하다. 해당 원인으로 발생한 이격거리 자체가 태양광에 대한 불허 근거가 되는 경우는 국외에서 찾아보기 어렵다. 국외에서는 안전·개인재산권 등의 이유로 거주지와 도로에서 10m 정도의, 국내에 비해 매우 제한적인, 이격거리 규제를 두고 있다(김지홍, 2020). 국내에서 이러한 이격거리 기준은 태양광 사업에 대한 주요 불허 근거가 되고 있으며 산업부는 관련 가이드라인에서 이격거리를 원칙적으로 두지 않도록 하였다(산업통상자원부, 2017b).

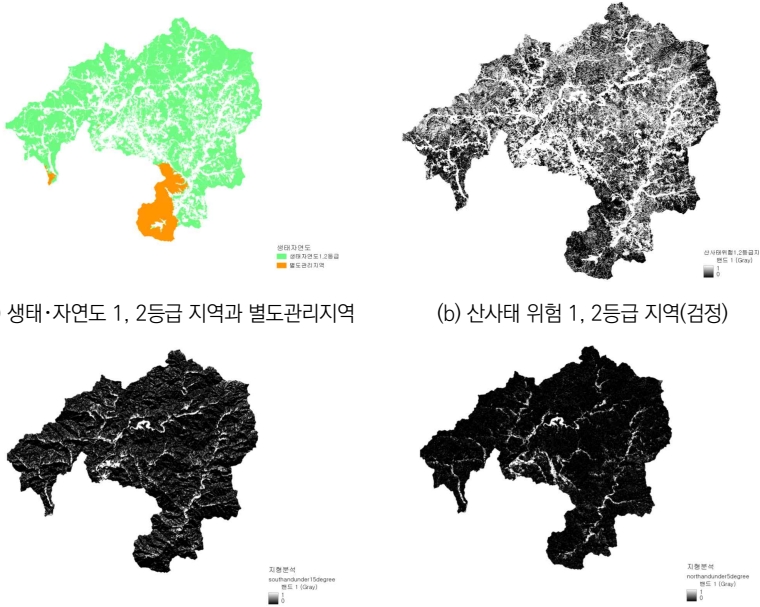
규제는 더욱 합리적인 바탕에서 도입되는 것이 바람직하다. 횡성군에 설치된 몇몇 농촌태양광은 거주지 인근에 있으며, 단일 사례이지만, 현장 답사 결과 해당 거주지 주민은 사업 초기와는 달리 부정적 영향에 대한 우려가 없다고 하였다. 이 연구에서는 가능성을 열어두고 고려지역을 판단하고자 상기 규제는 준용하지 않았다. 다만, 수치지형도 상의 도로나 건물, 수계와 연속지적도의 하천으로부터 10m 거리를 두어 안전상 거리를 확보하고 실제 설비 입지가 불가능한 지역을 제외함으로써 합리적인 부지 이용 선택의 폭을 넓히고자 하였다.

IV. 연구결과

1. 입지 고려지역 선정 결과

아래 <그림 3, 4, 5>는 상기 원칙에 따른 기준 및 지표를 준용한 결과를 GIS상에서 구현한 것이다. 횡성군의 생태·자연도는 국립생태원의 생태정보 포털시스템(<https://www.nie-ecobank.kr/cmmn/Index.do>)를 통해 취득하였고, 산사태위험지도는 산림청에서 제공하는 자료를 활용하였다(<https://www.data.go.kr/data/15074817/fileData.do>). 경사도는 국토정보 플랫폼에서 제공하는 DEM 정보를 통해 5m × 5m 해상도의 래스터(raster) 자료를 생성하여 분석하였다. 아래 <그림 3-(c),(d)>에서는 경사도 기준에 따른 고려지역을 경제성 원칙의 사면방향 제약(정남향 기준 60°이내의 사면방향에서는 경사도 15°이내, 이외 사면방향의 경우 경사도 5°이내)과 통합하여 나타내었다.

〈그림 3〉 환경성과 경제성 원칙에 따른 지표의 시각화



(a) 생태·자연도 1, 2등급 지역과 별도관리지역

(b) 산사태 위험 1, 2등급 지역(검정)

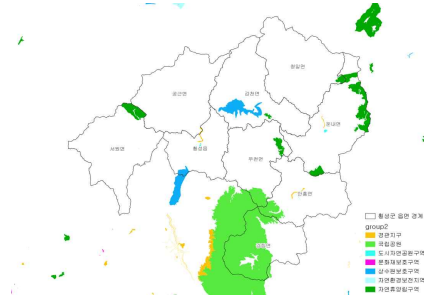
(c) 정남향 기준 60° 이내 향과 경사도 15° 이내의 교차지역(흰)

(d) 이외 향과 경사도 5° 이내의 교차지역(흰)

주: 하천 등 수면은 포함하지 않음

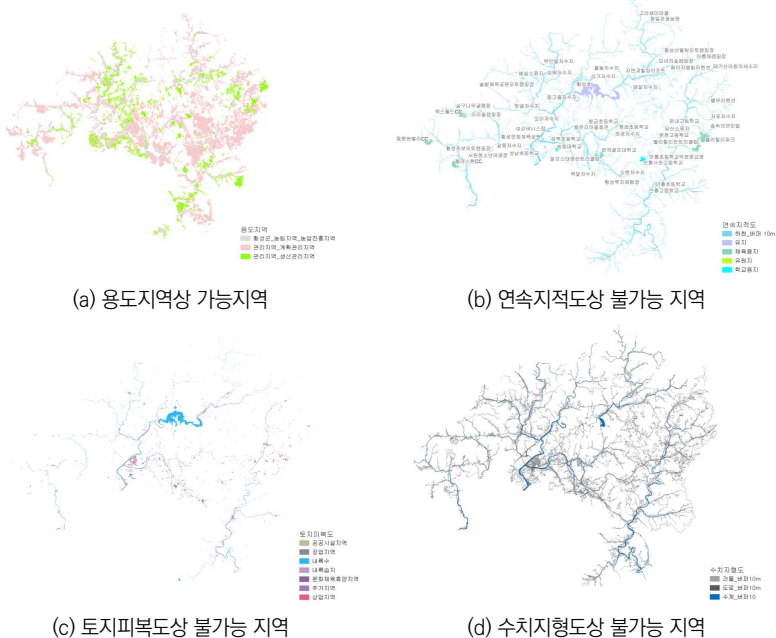
횡성군에 존재하는 다양한 법정 보전지역을 제외함으로써 환경성과 계획적 현실성을 반영하고자 하였다. 횡성군에 존재하는 보전지역에는 〈그림 4〉와 같이 국립공원, 문화재보호구역, 자연환경보전지역 등이 있다. 이외 공원보호구역, 도립·군립 공원, 백두대간보호지역, 습지보호지역, 생태경관보전지역(핵심·완충·전이), 생태계보호지구, 야생생물특별보호구역 등은 존재하지 않는다.

〈그림 4〉 횡성군에 존재하는 법정 보전지역



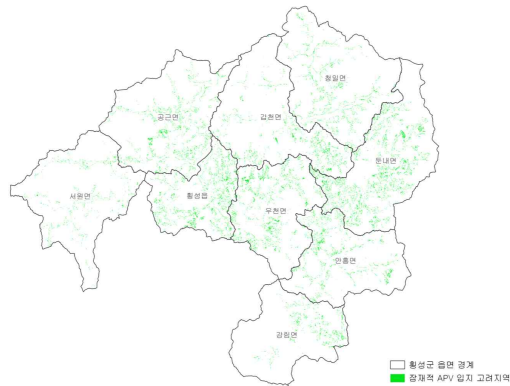
아래는 계획적 현실성 원칙을 반영하여 용도지역 중 가능한 지역(관리지역에서 생산관리지역과 계획관리지역, 농림지역 중 농업진흥지역), 연속지적도와 토지피복도 그리고 수치지형도 상 적합하지 않은 지역을 나타낸 것이다. 이때, 국외 사례를 참고하여, 수치지형도 상 도로와 건물 그리고 하천에는 10m 이격거리를 두어 안전·재산권 측면을 고려하도록 하였다.

〈그림 5〉 계획적 현실성 원칙의 지표 시각화



상기 입지 기준을 종합하여 <그림 6>과 같이 횡성군에서 약 35.7km²에 해당하는 잠재적 APV 입지 고려지역을 도출하였다.

<그림 6> 도출된 잠재적 APV 입지 고려지역



2. 발전 잠재량 계산

선정된 잠재적 입지 고려지역 면적에 APV를 실현할 경우 기대할 수 있는 편익으로는 추가적으로 생산되는 발전 잠재량으로 보았다. 계산은 아래 식을 이용하여 수행하였다.

$$\text{연간 발전잠재량} \left(\frac{kWh}{year} \right) = \text{부지면적} (m^2) \times \text{연평균 일사량} \left(\frac{m^2}{day} \right) \quad (1)$$

$$\times \text{부지활용비율} (\%) \times \text{발전효율} (\%) \times 365 (day/year)$$

앞서 언급하였듯이 식량 생산을 유지하기 위해 APV는 부지에 도달하는 빛의 30%를 활용하도록 설계한다. 이에 따라 연평균 일사량 값은 법선면 직달 일사량 자료를 활용하였다.⁶⁾ 이때 상세한 일사량 측정 자료는 가용

6) 지표면상에 떨어질 때까지 직각인 방향으로 입사하여 그 방향이 변하지 않고 직접 도달하는 성분(Lunde, 1980; 조덕기 등, 2005, 재인용), 자료: 신재생에너지 데이터센터, https://kier-solar.org/user/map/map_potential.do

하지 않으므로, 지리적 위치와 조건이 비슷한 강원도 원주의 2021년 값 (2.66kWh/m²/day)으로 대체하였다. 발전효율은 현시점 일반적 태양광 패널의 생애주기 값으로 볼 수 있는 20%를 적용하였다.

이를 통해 산정된 횡성군 APV 고려지역의 연간 태양광발전 잠재량은 2,080,791,518kWh/year 이다. 2021년 횡성군의 연간 전력사용량은 668,204,686kWh로 고려지역의 32.1%만 활용하여도 횡성군 연간 전력소비량을 충당할 수 있다. 물론 대략적인 기대효과로 격자별 일사량 자료 등은 추가 연구를 통해 보완될 여지가 있지만, 다양한 원칙을 담보하기 위해 관련 기준을 엄밀히 준용하여 보수적으로 접근하였을 뿐만 아니라, 입야의 비율이 높은 지역에서도 상당한 편익이 기대되는 것이다.

V. 결론

이 연구에서는 국내 상황을 반영한 전문가 논의를 바탕으로 마련된 다양한 기준을 준용 및 지리 정보를 활용함으로써, 횡성군을 대상으로, 환경적으로 건전한 APV 고려지역을 선정 및 그 발전 잠재량을 산정하였다. 앞서 언급하였듯이 APV는 세밀한 관리 아래에서 농촌지역에 확산 가능성이 있는 환경문제와 지역 현안 해소 방안이 될 수 있다. 도출된 고려지역을 통해 보면, 횡성과 비슷한 상황의 지역에서는 APV 도입을 통해 지역사회 현안을 해소하고, 자체 전력사용량보다 높은 무탄소 에너지를 생산함으로써 국가 탄소중립에 핵심적인 역할을 수행할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 고려할 경우 우리는 원만한 에너지전환을 위해서 환경성 등 다양한 가치와 조화로운 지역 공존형 APV에 대한 노력이 지속될 필요가 있음을 알 수 있다. 이에 선정 과정에서 정량화가 용이한 지표들을 이용하여 활용성을 갖췄으며, 사용하기 간편한 방법론을 통해 도출된 고려지역은 국내의 계획입지제도와 스크리닝(screening) 제도 등 정책과 연계하여 유용하게 활용할 수 있을 것으로 생각된다.⁷⁾

도출된 고려지역은 현재 준용된 기준에 따른 결과물이다. 각 기준은 분야별 전문가 집단이 국내 상황을 숙의하여 결정한 중론으로 볼 수 있다. 하지만, 환경을 결정하는 요인은 복잡·복합적이므로 전체적 관점에서 설정된 기준을 실제 입지 지역에서 일괄적으로 적용하기에는 필연적으로 간과되는 사항이 존재한다. 어떠한 보수적인 입지 기준을 준용하더라도 도출된 고려지역에 들어서는 설비가 조금의 환경영향도 수반하지 않는다는 무결성을 단언할 수 없는 것이다. 반대로, 고려지역에 포함되지는 못하였지만, 실제로는 APV에 적합한 지역이 존재할 수도 있다. 비록, 이 같은 자료의 한계가 있지만 도출된 고려지역의 면적에 영향을 주는 미시적인 정(+)과 부(-)의 영향은 결과적으로 평탄화될 것으로 생각된다. 이는 본 연구에서 도출된 고려지역을 살펴보기보다는 결과적인 이점을 참고해야 하는 이유이다. 따라서 이러한 APV에 대한 환경적 가용 입지의 지역별 면적 자료는 해당 지자체가 동 발전사업을 추진하는 데 있어 기본적인 현황 자료가 될 수 있을 것이다.

물론, 연구에서 도출된 고려지역을 APV 용지로 활용 가능하다고 단언하기에는 다음과 같은 추가적인 고려사항이 있다. 첫째, APV가 본격적인 확산 궤도에 들어서기 위해서는 공급인증서(renewable energy certificate: REC) 등 보조금 정비, 농업진흥구역의 전용이 아닌 다른 용도에 대한 생애주기적 허가, 이격거리 규제 등 관련 정책 상황을 합리적으로 개선해 나갈 필요가 있다. 둘째, 용도지역 중 계획입지지역을 포함하여 토지이용의 경쟁성이 존재하고 토지가격 등 경제적 가능 요건을 고려해야 한다. 셋째, 이해관계자에 따라 가치의 경중을 다르게 두므로 APV를 통한 편익은 비용과 동등하거나 아니게 여겨질 수 있다. 일례로 농촌 경관은 그대로 보전하는 것이 바람직하다는 주장이 있지만, 기후변화 대응은 시대적 흐름이고 APV의 여러 이점을 고려할 경우 설비가 아름답게 여겨진다는 견해도 공존한다. 또한, 설비 주변 상황에 따라 입지에 대한 판단이 달라질 수 있다.

7) 최근 국내에서는, 국토의 합리적 이용을 위해 환경영향평가 대상 사업을 선별하는, 스크리닝 제도에 대한 관심이 높아지고 있다.

이처럼 설비에 대한 판단 기준이 다양하고 복잡적이므로 모든 경우에 가장 좋은 계획을 수립하는 문제는 간단하지 않다. 이에 따라 정량화하여 나타내기 어려운 현장의 사회환경적 사항(경관영향과 역사적, 문화적, 사회적 맥락 등)을 설비 입지 시 추가로 고려할 필요가 있다. 즉, 사회·환경 요인을 포괄한 합리적인 APV 입지를 위해서는 현장 중심의 세밀한 접근이 이뤄질 필요가 있음을 재차 강조할 필요가 있다.

언급된 한계에도 불구하고 이 연구에서는 최신의 논의를 바탕으로 국내 상황에 적합한 다양한 원칙별 기준 및 지표를 준용, GIS 소프트웨어를 활용하여 APV 입지 우선 고려지역과 그 편익을 확인하였다. 이를 통해 합리적인 지역 에너지 전환 방안으로써 APV의 정책적 활용 필요성에 대한 시사점을 제시하였다는 점에서 학술적, 실천적 기여가 있다.

■ 참고문헌 ■

- 강민석·손승원·박주한·김종호·최성원·조성식, 2021, “영농형 태양광 시설 하부 논에 서의 농업환경 관측 및 시설 외부 환경과의 비교,” 『한국농림기상학회지』, 23(3), pp.141-48.
- 고도연·송재민·윤순진, 2022, “시스템 사고를 통한 지역주민 재생에너지 수용가능성 영향요인 도출 및 구조화,” 『환경정책』, 30(2), pp. 29-66.
- 기재홍, 2021, “국내 사업용 태양광발전의 지역 수용성과 동료효과 분석,” 『환경논총』, 67, pp.125-27.
- 김연중·김수석·채광석·서대석·박지연·송성환 등, 2019, 『농촌 태양광 보급의 문제점과 개선 방안 연구』, 나주시: 한국농촌경제연구원.
- 김영은, 2020.8.13., “[팩트체크] 태양광 발전 급증으로 산사태?…파져보니”, KBS 뉴스, <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=4515983>, [2022.10.17]
- 김우람·남재우·김근호·김덕성·임철현, 2021, “영농형 태양광 구조물 활용 고부가가치 작물의 이상기후 영향 분석,” 『Current Photovoltaic Research』, 9(2), pp.45-50.
- 김지홍, 2020, 『재생에너지 이격거리 제한 규제 현황 및 향후 과제』, 서울: 한국환경산업기술원, https://www.konetic.or.kr/user/P/PA/PA001_L01.do.
- 김진술·서장원·박형동·강용혁·윤창열, 2014, “울릉도 녹색섬 조성을 위한 태양광 발전 잠재량 평가,” 『한국자원공학회지』, 51(4), pp.513-24.
- 김태호, 2017.12.13., “[구석구석 과학사](21) 사시사철 과일·채소, 지속가능 농업인가”,

- 주간경향, <https://n.news.naver.com/mnews/article/033/0000036277>. [2022.9.20]
- 김한진·구지운·박형동, 2021, “폐채석장 부지 활용을 위한 유휴 공간의 태양광 발전 잠재량 분석,” 『한국암반공학회』, 31(6), pp.534-548.
- 남정현, 2020.9.28. “인삼 재배와 약용문화, 농경 분야 최초로 문화재 된다,” 뉴시스, https://mobile.newsis.com/view.html?ar_id=NISX20200928_0001181485. [2022.9.20]
- 노기섭, 2022.8.24., “‘전국에서 근로자 연봉 가장 높은 지역은 서울 강남...7440만 원,’” 문화일보, <http://www.munhwa.com/news/view.html?no=2022082401039910021002&mobile=false>. [2022.9.12]
- 박선아·윤순진, 2018, “장소애착 맥락으로 본 태양광 발전시설 입지 갈등과 수용성,” 『ECO』, 22(2), pp.267-317.
- 박종윤·이영준·이후승·이병권, 2019, 『육상태양광 발전사업의 환경평가 현황과 환경적 수용성』, 세종: 한국환경연구원.
- 변재연, 2021, 『농가소득 증진을 위한 농촌태양광 사업 분석』서울: 국회예산정책처.
- 산업통상자원부, 2017a, 『재생에너지 3020 이행계획(안)』, 세종: 산업통상자원부.
- _____, 2017b, 『태양광 발전시설 입지 가이드라인』, 세종: 산업통상자원부.
- 손희철·박현준·김영신, 2019, “한국형 영농태양광 발전의 경제성 분석,” 『지역사회연구』, 27(2), pp.1-12.
- 송진영·최요순, 2012, “그린캠퍼스 조성을 위한 부경대학교 옥상 태양광 발전 시스템의 잠재성 평가,” 『한국지구시스템공학회지』, 49(3), pp.369-378.
- 순병민·신동원, 2021, “영농형 태양광 설치에 따른 농가소득 영향분석,” 『한국기후변화학회지』, 12(5-1), pp.409-19.
- 신동원·정예민·이창훈, 2021, 『영농형 태양광 발전 추진을 위한 현안과 정책방향』, 세종: 한국환경연구원.
- 안규남·윤창용·신서호·김선곤·조재일, 2021, “영농형태양광 하부경지 벼 재식밀도별 생산성,” 『한국태양에너지학회 학술대회논문집』, 175.
- 오수빈·신수민·윤순진, 2021, “에너지전환과 지속가능한 농촌사회를 위한 전략적 틈새로서 영농형 태양광,” 『공간과 사회』, 31, pp.122-70.
- 온실가스종합정보센터, 2022, 『2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서』, 청주: 온실가스 종합정보센터.
- 윤성욱·백이·장재경·최덕규·강동현·손진관 등, 2019, “GIS 를 이용한 태양광시설 설치를 위한 적정지역 선정에 관한 연구,” 『시설원예·식물공장』, 28(3), pp.243-254.
- 윤창용·안규남·정부덕·김선곤·조재일, 2020, “나주지역 모의 영농형 태양광 하부에서 콩 생육 특성,” 『한국태양에너지학회 학술대회논문집』, 125.
- 이근상·이종조, 2018, “항공 LiDAR 자료 기반 태양광 발전소 입지 분석,” 『한국지적정보학회지』, 20(1), pp.37-47 DOI: 10.46416/JKICIA.2018.04.20.1.37.

- 이기림·이원희, 2015, “GIS와 계층분석법을 이용한 태양광 발전소 입지 분석,” 『한국지리정보학회지』, 18(4), pp.1-13.
- 이기림·이원희, 2016, “GIS를 활용한 수상 태양광 발전소 입지 분석,” 『대한공간정보학회지』, 24(1), pp.51-59.
- 이기현·이진주·강성우, 2018, “태양광 에너지의 효율적인 생산을 위한 발전소 입지분석과 선정,” 『에너지경제연구』, 17(2), pp.53-87.
- 이상범·이영재·박지현·하지연, 2018, 『육상 태양광발전사업 환경성 검토 가이드라인 마련 연구』, 세종: 한국환경연구원.
- 이영준·박종운, 2021, “육상풍력 및 육상태양광의 환경적 가용입지 분석,” 『환경영향평가』, 30(6), pp.39-54.
- _____, 2019, 『환경평가 지원을 위한 지역 환경현황 분석 시스템 구축 및 운영: 주요 재생에너지원별 현황 및 환경적 가용 입지 분석』, 세종: 한국환경연구원.
- 이창훈, 2019, 『지속가능발전과 에너지·산업전환: 기후변화 정책목표 1.5℃ 대응을 중심으로』, 세종: 경제·인문사회연구원.
- 이현옥, 2022.9.4, “[‘프로농사’ 발전 두 마리 토끼 잡는 ‘영농형 태양광’… 新농촌 수익모델 “주목”, “뉴데일리경제, <https://biz.newdaily.co.kr/site/data/html/2022/09/04/2022090400050.html>. [2022.9.21]
- 조덕기·강용혁·오정무, 2005, “국내 태양열발전단지 건설을 위한 법선면 직달일사량 자원조사,” 『한국태양에너지학회 논문집』, 25(1), pp.11-18.
- 조상민·이석호, 2018, 『지역별 경제성을 고려한 태양광 시장잠재량 산정 및 이행비용 분석』, 울산: 에너지경제연구원.
- 조영혁·조석진·권혁수·유동희, 2019, “영농형 태양광 발전 시스템 구축 및 활성화 방안 연구,” 『정보시스템연구』, 28(1), pp.115-32.
- 최영민·최요순·서장원·박형동·장미향·고와라, 2013, “전라남도 부곡, 성산, 영광 폐광산의 태양광 발전 잠재성 평가,” 『한국자원공학회지』, 50(6), pp.827-837. DOI: 10.12972/ksmer.2013.50.6.827.
- 한국에너지공단 신·재생에너지센터, 2021, 『2020 신·재생에너지 백서』, 세종: 산업통상자원부.
- 한국태양광산업협회, 2021.9.14, “[‘태양광 이수 진단①] 영농형 태양광 선도국으로 발돋움할 수 있는 기회, 지금이 적기이다!’, 에너지타임뉴스, <http://www.enertopianews.co.kr/news/articleView.html?idxno=24755>. [2022.09.13]
- 허재·박범수·정윤희·정재훈·김병일·한상욱, 2020, “LSTM-RNN 기반 태양광 발전량 추정을 통한 고속도로 주변부 태양광발전 시설의 적지 선별 기술,” 『대한공간정보학회지』, 28(1), pp.25-33. DOI: 10.7319/kogsis.2020.28.1.025.
- 횡성군, 2021, 『횡성군 통계연보』, 횡성: 횡성군, <https://www.hsg.go.kr/life/stat/00003117.web>.

- Adeh, H., E. J. S. Selker, and C. W Higgins, 2018, 'Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency', *PloS One*, 13(11), e0203256
- Fraunhofer ISE, 2017, Harvesting the sun for power and produce - agrophotovoltaics increases the land use efficiency by over 60 percent, Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.
- Jaroslav, H. and J. Kaňuk, 2009, "Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools," *Renewable Energy*, 34(10), pp.2206-14.
- Jaroslav, H. and M. Suri, 2002, "The solar radiation model for open source GIS: implementation and applications," Proceedings of the Open Source GIS-GRASS Users Conference, Italy: Trento, pp.11-13.
- Lunde, P. J, 1980, 'Solar thermal engineering: space heating and hot water systems', United States.
- OECD, 2022, "Renewable energy (indicator)," DOI:10.1787/aac7c3f1-en, [2022.9.12]
- Peschel, R, T Peschel, M. Marchand, and J Hauke, 2019, Solarparks-gewinne für die biodiversität', Berlin: Bundesverband Neue Energiewirtschaft (Bne) EV.
- Son, H.-C., H.-J. Park and Y.-S. Kim, 2019, "Economic analysis of korean agro-photovoltaics power generation," *J. Reg. Stu*, 27, pp.1-12.
- World Economic Forum, 2021, The global risks report 2021 16th edition, Cologny, Switzerland: World Economic Forum.

고도연: 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사과정을 수료하고 현재 한국환경연구원 환경평가본부에서 위촉연구원으로 재직 중이다. 주요 관심 분야는 하향식 온실가스 감축목표 설정, 지속가능한 탄소중립 체계, 시스템 사고 등이다(enviroman@snu.ac.kr).

김은진: 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사과정을 수료했다. 주요 관심 분야는 북한환경개발, 남북환경협력, 남북에너지협력, 환경ODA, 재생에너지, 에너지전환 등이다(branchw@snu.ac.kr).

투 고 일: 2022년 11월 17일
심 사 일: 2022년 12월 13일
게재확정일: 2022년 12월 30일