Check for updates

Journal of Climate Change Research 2026, Vol. 17, No. 1, pp. 121~135
DOI: https://doi.org/10.15531/KSCCR.2026.17.1.121

기술노트

생태계 보전을 고려한 정책기반 공간 시나리오의 기술적 태양광 발전 잠재량 평가

조민균[*] · 박찬[**†] · 최요한[***] · 최재연[****]

[*]서울시립대학교 도시과학연구원 박사후연구원, [**]서울시립대학교 조경학과 교수,
[***]서울시립대학교 도시과학연구원 연구원, [****]서울시립대학교 도시공학과 박사후연구원

Assessment of technical solar power potential under policy-based spatial scenarios considering ecosystem conservation

Cho, Mingyun[*] · Park, Chan[**†] · Choi, Yohan[***] and Choi, Jaeyeon[****]

[*]*Ph.D. Researcher, Institute of Urban Science, University of Seoul, Seoul, Korea*
[**]*Professor, Dept. of Landscape Architecture, University of Seoul, Seoul, Korea*
[***]*Researcher, Institute of Urban Science, University of Seoul, Seoul, Korea*
[****]*Ph.D. Researcher, Dept. of Urban Planning and Design, University of Seoul, Seoul, Korea*

ABSTRACT

This study aims to evaluate the potential of solar power generation based on socioeconomic scenarios that integrate ecosystem conservation and renewable energy expansion. The spatial scope covers the entire territory of South Korea, where areas with ecological sensitivity, physical instability, and limited land developability were excluded as avoidance zones. Potentially available areas were classified into two land-use types—degraded land and agricultural land—and combined with three socioeconomic options: (a) minimum installation area, (b) setback distance from roads and residential areas, and (c) proximity to major demand centers. Based on these criteria, sixteen scenarios were developed to estimate potential solar capacity (GW) and electricity generation (TWh), while quantitatively assessing the sensitivity of solar potential to individual and combined policy-driven spatial constraints. The results show that the maximum potential generation reaches 411.6 TWh on degraded land and 955.0 TWh on agricultural land, which substantially exceeds South Korea's national solar generation targets for 2030 and 2040 and represents a significant contribution toward 2050 carbon neutrality scenarios. When all spatial constraints are applied simultaneously, the potential decreases by approximately 67% for degraded land and 58% for agricultural land, highlighting the strong limiting effects of cumulative policy restrictions. The national average capacity factor is estimated at 14.35% for degraded land and 14.54% for agricultural land, indicating more stable supply conditions on agricultural land. Overall, the findings demonstrate that solar deployment outcomes are strongly shaped by spatial policy design rather than technical potential alone. This study provides a policy-relevant, spatially explicit framework to support sustainable solar siting strategies that balance ecosystem protection with long-term national energy goals in South Korea.

Key words : Solar Power, Renewable Energy Siting, Ecosystem Conservation, Socioeconomic Scenario, Spatial Analysis, National Renewable Energy Target

†Corresponding author : chaneparkmomo7@uos.ac.kr (Baebong Hall #6223,163 Seoulsiripdaero, Dongdaemun-gu, Seoul, 02504, Korea. Tel. +82-2-6490-2849)

ORCID 조민균 0000-0003-4102-0430 최요한 0009-0009-9826-2749
박 찬 0000-0002-4994-6855 최재연 0000-0001-5837-6279

Received: October 27, 2025 / Revised: January 16, 2026 1st, January 28, 2026 2nd / Accepted: February 13, 2026

1. 서론

최근 들어 기후변화 위기와 에너지 안보 불안정이 동시에 부각되면서, 재생에너지는 전 세계적으로 더 이상 선택이 아닌 필수 전략으로 자리 잡고 있다(Belaïd and Massié, 2023; Gielen et al., 2019). 태양광과 풍력은 그 중에서도 가장 빠르게 확산되는 기술로, 화석연료 기반 전력을 대체하며 온실가스 감축의 주력 수단이 되고 있다. 2023년 UNFCCC 제28차 당사국총회(COP28)에서는 2030년까지 전 세계 재생에너지 발전용량을 세 배로 늘리자는 합의가 이루어졌다(IRENA, 2024). 이런 합의는 재생에너지가 단순한 에너지 기술을 넘어, 파리협정의 글로벌 감축 목표를 실현하는 핵심 열쇠임을 보여준다.

하지만 이상과 현실은 차이가 있다. 국토가 좁거나 인구가 많은 국가에서는 대규모 발전단지를 지을 땅이 부족하다. 그래서 옥상이나 유휴지를 활용하는 시도도 늘고 있지만, 구조적 안전성이나 비용 문제로 발전량 확보에는 한계가 있다. 결국 재생에너지 시설이 들어설 자리는 기존 생태계와 충돌하는 경우가 많다. 무분별하게 입지를 정하면 생물다양성이 줄어들고, 서식지가 잘리며, 생태계 기능이 약화될 수 있다(Chock et al., 2021; Pratiwi and Juerges, 2020). 실제 조사에서도 대규모 재생에너지 시설 중 약 17.4%가 보호구역이나 핵심 생물다양성 지역 안에 위치한 것으로 나타났다(Rehbein et al., 2020). 이는 재생에너지 확대가 생태적 가치와 충돌하는 사례로 볼 수 있다.

한국 또한 에너지 전환을 위해 신재생에너지 확대 정책을 추진해왔고, 특히 태양광 설비 보급이 빠르게 늘고 있다. 2022년 국내 신재생에너지 발전 비중은 약 9.22%였고, 그중 태양광이 대부분을 차지한다(Lee, 2023). 산업통상부(MOTIR)는 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 세워 2030년까지 발전 비중을 20%로 끌어올리겠다고 밝혔다. 이후에는 RPS 비율 상향, RE100 제도 도입, 예산 확대 같은 후속 정책들이 이어졌다(MOTIR, 2017, 2023b).

그러나 빠른 보급 과정은 환경적 부작용도 낳았다. 정부는 2018년 이후 산지 태양광 규제를 강화했는데, 허용경사도를 25도에서 15도로 낮추고, 산지전용을 한시적 허가로 제한했으며, REC 가중치도 1.2에서 0.7로 조정했다. 또 광역 지자체가 적정 입지를 먼저 발굴하고 중앙정부의 승인을 거쳐 민간에 공급하는 ‘계획입지제도’를 도입했다. 이런 조치들은 입지 갈등을 줄이고 환경성과 주민 수용성을 동시에 확보하려는 정책적 전환으로 평가된다.

그럼에도 입지 갈등은 완전히 해소되지 않았다. 아직도 환경적으로 민감한 지역에서 발전소가 추진되면서 생물다양성 손실과 서식지 단절, 주민 반발이 반복되고 있다(Jo et al., 2022; Zhu et al., 2020). 환경영향평가나 국토환경성평가 같은 기존 제도와 실제 입지 선정이 제대로 연결되지 못한 탓이 크다. 따라서 초기 단계에서부터 생태적으로 민감한 지역은 회피하는 전략이 필요하다.

이런 맥락에서 본 연구는 생태계 보전과 재생에너지 보급을 조화롭게 연결하는 방안을 찾고자 한다. 구체적으로는 생태적 가치와 정책 조건을 반영해 태양광 입지 가능지역을 시나리오별로 분석하고, 각 전략에 따른 잠재 발전량을 정량적으로 평가한다. 이 과정에서 기존 자연 생태계에서 훼손지로 변화한 지역을 대상으로 분석하여 활용 가능한 토지 중 생태적 가치를 훼손하지 않는 토지를 구분하여 분석하였다. 또한 이러한 토지를 활용하여 국가 재생에너지 목표를 달성할 수 있는지를 검토하여 생태계 훼손을 최소화하면서도 국가 재생에너지 목표 달성이 가능한지 검토하고, 이를 통한 정책기반 공간 입지 전략의 토대를 마련하고자 한다.

2. 연구방법

2.1. 분석 대상지 및 자료

본 연구의 공간적 범위는 대한민국 전역으로 설정하였다. 지자체 권역별 태양광 발전 잠재력을 종합적으로 평가하기 위해 지형·생태·정책 정보를 포함하는 다양한 공간자료를 활용하였다. 구체적으로는 법정보호구역, 토지피복도, 지형, 생태자연도 등을 사용하였다. 모든 자료는 토지피복지도 생산년도(2024년) 기준으로 가장 최신에 생산된 자료를 사용하였다.

2.2. 입지 가능지역 산정

본 연구에서는 태양광 발전의 잠재적 설치 후보지를 도출하기 위하여 생태적 민감성, 물리적 안정성, 그리고 토지개발여건의 세 가지 기준으로 입지 가능지역을 판단하였다. 이를 통해 개발을 회피할 지역을 입지 제한지역으로 설정하고, 그 외 지역을 입지 가능지역으로 산정하였다. 제한지역의 세부 기준은 「육상태양광발전사업 환경성 평가 협의지침(MCEE, 2023)」을 참고하여 설정하였다.

첫째, 생태적 민감성은 생태계 보전이 요구되는 법정보호구역 여부, 생태자연도 등급, 식생보전등급, 법정보호종 서식 여부 등으로 입지 제한지역의 기준으로 설정하였다.

Table 1. Criteria for site restriction areas

Category		Criteria	Data (Source)
Restriction Areas	Ecological Sensitivity	• Baekdudaegan and major ridges • Legally protected areas • Habitats of legally protected species	Korea Database on Protected Areas (KDPA)
		• Ecological and Natural Map Grade 1 • Ecological and Natural Map Grade 2 & Vegetation Conservation Grade 3 areas • Ecological and Natural Map Grade 2 & Vegetation Conservation Grade 4 areas	Ecological and Natural Map (Environmental Geographic Information System)
	Physical Stability	• Landslide Risk Map Grade 1 & 2 areas	Landslide Risk Map (Korea Forest Service)
		• Areas with slope over 15°	DEM (National Geographic Information Institute)
	Land Development Conditions	• Areas already developed, where new solar power facility installation is unlikely	2024 Land Cover Map (Environmental Geographic Information System)

구체적 기준은 백두대간 및 정맥, 법정보호지역, 법정보호종 서식지, 생태자연도 1등급 지역, 그리고 생태자연도 2등급이면서 식생보전등급 3등급 이상 지역이 포함된다.

둘째, 물리적 안정성은 태양광 설치에 있어 물리적 안정성이 확보되는 지형 조건을 기준으로 설정하였다. 경사도 15도 이상 지역과 산사태위험지도상 1·2등급 지역을 개발을 회피해야하는 지역으로 설정하였다.

셋째, 토지개발여건은 기존 개발 여부를 중심으로 평가하였다. 본 연구에서는 새로운 육상 태양광 설치를 위한 토지를 찾고, 이를 통해 추가적으로 달성 가능한 태양광 발전량을 평가하기 위함이기 때문에, 이미 개발이 완료된 토지는 새로운 태양광 발전시설의 설치 가능성이 낮다고 판단하였다. 그래서 기개발지는 입지 가능지역에서 제외하였다. 기개발지는 토지피복도의 시가화 건조지역으로 판단하고 입지 제한지역으로 설정하였다. Table 1은 입지 제한지역의 세부 기준과 자료 출처를 정리한 것이다.

상기 기준을 모두 충족하지 않는 지역은 입지 가능지역에서 제외하였다. 최종적으로 산정된 입지 가능지역은 물리적 조건을 만족하고 생태적·사회적 충돌 가능성이 상대적으로 낮은 지역으로 정의되며, 이후 시나리오별 태양광 발전 잠재량 분석의 기초 자료로 활용되었다.

2.3. 시나리오 구성

본 연구는 생태계 보전과 재생에너지 보급의 조화를 도모하기 위하여, 입지 가능지역을 대상으로 토지기반 입지 유형과 정책기반 옵션을 결합한 시나리오 기반 분석을 수행하였다. 이를 통해 다양한 조건 조합이 태양광 발전의 입지 가능성과 발전 잠재량에 미치는 영향을 비교·평가하였다.

첫째, 토지기반 입지 유형은 대상지를 토지이용 특성에 따라 두 가지로 구분하였다. 각 입지 유형은 토지피복지도 세분류를 기준으로 분류하였다. 훼손지는 시기별 피복의 변화에 따라 생태적 가치가 변화된 지역으로 판단하였다. 피복 변화는 과거 자연지역 중에서 훼손이 발생된 것으로 판단되는 피복 유형을 중심으로 훼손지를 정의하였다. 훼손된 지역과 자연지역을 정의하는 기준은 Lee and Son (2024)에서 활용한 훼손지 기준을 사용하였다. 해당 기준을 활용하여 과거 산림, 초지, 습지에서 기타나지 또는 기타초지로 변화한 지역으로 훼손지를 정의하였다. 훼손지 탐색에 사용된 과거 토지피복지도는 1980년대말 대분류 토지피복지도를 사용하였고, 현재는 2024년 세분류 토지피복지도를 사용하였다.

농경지 기반 유형은 현재 식생이 존재하나 일정 조건하에서 태양광 발전이 가능한 농경지를 활용하는 유형이다. 농경지 또한 세분류 토지피복지도를 활용하여 탐색하였다. 다만 농업진흥지역(APA)에 해당하는 농경지는 농업 생산기능 보전을 고려하여 농업진흥지역과 그렇지 않은 농경지를 구분하여 태양광 잠재량을 산정하였다.

둘째, 정책기반 옵션은 행정적·공간적·사회적 제약 요소를 반영하여 세 가지로 구성하였다.

최소 설치면적 기준 적용(a)은 태양광 발전의 경제성을 확보함과 동시에 파편화된 태양광 발전 시설 설치를 방지하기 위해 발전용량 최소 100 kW를 기준으로 설정하였다. 분

Table 2. Definitions and data sources by site type

Site Type	Definition	Data and Source
Degraded Land	Areas that have changed from forest, grassland, or wetland to bare land or other grassland	1980 Land Cover Map (Level 1 Classification); 2024 Land Cover Map (Level 3 Classification) (Ministry of Environment, Korea)
Agricultural Land	Areas used for farming such as rice paddies and dry fields	2024 Land Cover Map (Level 3 Classification) (Ministry of Environment, Korea)
Agricultural Land (except APA)	Agricultural Promotion Areas (APA): Areas designated as prime farmland for efficient use and conservation of agricultural land	Agricultural Promotion Areas (Vworld)

Table 3. Socioeconomic options and criteria for scenario

Socioeconomic Option	Criteria	Data and Source
(a) Minimum Area Requirement	Eligible sites must have an area of at least 2,700 m^2	Degraded land (Ministry of Environment)
		Agricultural land (Ministry of Environment)
(b) Maintain Buffer Distance from Roads and Residential Areas	At least 100 m from road boundaries	Road network: National Standard Node-Link (National Transport Information Center)
	At least 100 m from urban residential areas	Residential areas: Urban zoning districts (Ministry of Land, Infrastructure and Transport)
(c) Proximity to Major Demand (Urban Areas)	Within 10 km from major urban areas* *Major urban areas: patches larger than 10 km^2	

Table 4. Scenarios based on site types and socioeconomic options

Scenario		(a) Minimum Area Requirement	(b) Maintain Buffer Distance from Roads and Residential Areas	(c) Proximity to Major Demand (Urban Areas)
Degraded Land	Base	X	X	X
	a	O	X	X
	b	X	O	X
	c	X	X	O
	a+b	O	O	X
	a+c	O	X	O
	b+c	X	O	O
	a+b+c	O	O	O
Agricultural Land	Base	X	X	X
	a	O	X	X
	b	X	O	X
	c	X	X	O
	a+b	O	O	X
	a+c	O	X	O
	b+c	X	O	O
	a+b+c	O	O	O

석 단위인 30 m 격자를 기준으로 최소 3칸(2,700 m^2) 이상이 연속적으로 확보될 때 개발 가능 지역으로 간주하였다.

도로 및 주거지 이격거리 유지 (b)는 도로 및 주거지로부터 이격거리는 태양광 설치에 따른 경관저해, 빛반사, 전자파 피해 등 영향을 방지하기 위한 이격거리 규제의 유지로 설정하였다. 현재 이격거리 규제는 100 m에서 1,000 m까지 지자체별로 다양하다. 산업통상부(MOTIR)는 지자체별 상이한 이격거리에 대한 기준을 통일하여 적용하거나 제한을 해제하는 논의가 진행 중에 있으며, 이를 위한 재생에너지 발전시설 입지 가이드라인(MOTIR, 2023a)을 발표하였다. 이를 고려하여 본 연구에서는 모든 이격거리를 100 m로 통일하는 것으로 진행하였으며, 유지조건으로는 모든 이격거리 제한을 100 m로 유지하는 것으로 설정하였다.

주요 도시지역으로부터 인접성(c)은 에너지 수요가 많은 도시 인접지역 일수록 송전망 등 구성에 필요한 비용이 적게들 수 있는 점을 감안하여 주요 도시지역에서부터 10 km 이내 지역을 기준으로 개발 가능 지역(주요 수요로부터 인접성)으로 설정하였다. 주요 도시지역은 도시지역의 그룹화된 패치 중 규모가 10 km^2 이상인 지역을 주요 수요처로 설정하였다.

이와 같이 토지기반 입지 유형(2종)과 정책기반 옵션(최대 8종)을 결합하여 총 16개 시나리오를 구성하였다. 각 시나리오는 입지 가능면적과 태양광 발전 잠재량을 산정하는 데 활용되었으며, 그 구체적인 구성은 Table 4와 같다.

총 시나리오 수는 토지기반 입지 유형(2종)과 정책기반 옵션 조합(최대 8종)의 결합을 통해 최소 16개로 구성되었으며, 각 시나리오에 따른 입지 가능면적과 발전 잠재량을 비교·분석하였다.

2.4. 발전량 산정

본 연구에서는 각 시나리오별 입지 가능지역을 대상으로, 해당 지역에 설치 가능한 태양광 설비용량과 발전 잠재량을 추정하였다. 산정은 (1) 태양광 잠재용량 산정, (2) 잠재발전효율 산정 및 적용 (3) 발전 잠재량 산정의 세 단계로 구성된다.

첫번째 단계로 태양광 잠재용량은 입지 조건을 반영하여 도출된 설치 가능지역에 단위면적당 설비용량을 적용하여 산정하였다. 이는 입지 조건만을 고려했을 때 설치 가능한 최대 용량을 의미한다. 앞서 입지 제한 조건과 시나리오별 정책적 가정을 반영하여 도출된 입지 가능지역은 지형 및 물리적 제약에 따라 활용 가능한 면적이 상이할 수 있으나, 본 연구에서는 모든 지역에서 입지 가능지역의 면적 100%를 태양광 설치에 활용 가능한 것으로 가정하였다. 단위면적당 설비용량의 경우, 1 MW급 태양광 발전소 건설 시 필요한 부지 면적을 참조하였다. 참조한 자료는 KOPIA의 필요면적을 9,900 m^2로 제출한 의견서(2050 CNC, 2021; Lee, 2021)와 DoE (United States Department of Energy)에서 제시한 9400 m^2(Ong et al., 2013)를 참고하였다. 이에 본 연구에서는 태양광 설비 이외 시설 관리공간 등을 고려하여 1 ha 당 최대 1 MW의 태양광 설비를 설치할 수 있는 것으로 가정하였다. 이에 따라 100 m 해상도의 격자 단위로 입지 가능지역별 잠재용량을 산정하였다.

잠재용량(MW) = 설치 가능한 부지면적(ha) × 단위 설비용량 면적(MW/ha)

두번째 단계로 설치 가능지역별 잠재 발전효율을 산정하였다. 잠재 발전효율은 각 입지 가능지역 격자에 해당하는 경사면에 주어지는 일평균 일사량(W/m^2)을 기준 일사량인 1,000 W/m^2로 나눈 값을 이론적 발전효율에 곱하여 보정하는 방식으로 산정하였다. 이때 일사량 자료는 기상청(KMA)에서 제공하는 태양광자원지도(Solar Resources Maps)에서 제공하는 오전 6시부터 오후 6시까지의 관측값 평균을 활용하였으며, 이론적 발전효율은 KNREC (2023)의 신재생에너지 백서(New & Renewable Energy White Paper) 기준에 따라 표준시험(STC, Standard Test Condition)을 통해 일사량 1,000 W/m^2, 모듈 온도 25℃)에서의 태양광 모듈의 최대 출력량을 기준으로 설정하였다. 모든 잠재 발전효율은 입지별 입사량의 공간별 차이를 반영하기 위해 100 m 해상도의 격자 단위로 계산하였다. 발전 잠재량 산정은 100 m 격자별 잠재용량과 잠재 발전효율을 종합하여 연간 발전 잠재량(MWh)은 다음과 같이 계산하였다. 이후 태양광 입지 가능지역과 분석 해상도를 맞추기 위해서 30 m 단위로 resampling하였다:

잠재 발전효율(%) = 일평균 경사면 일사량(W/m^2)/1,000(W/m^2)

발전잠재량(MWh) = 잠재용량(MW)×8,760(시간/년)×잠재 발전효율(%)

2.5. 국가목표 달성 가능성

각 시나리오와 입지유형에 따라 산정된 잠재용량 및 발전잠재량을 기반으로 국가 재생에너지 정책 목표와 비교하여 목표 달성도를 분석하였다. 국가 재생에너지 목표 중 태양광 발전에 따른 발전 목표를 중점으로 검토하였다. 목표 발전량은 국가 기본계획 및 전략에 따라 2038년과 2050년 태양광 발전 목표량을 기준으로 분석하였다. 2038년 목표 분석에 사용된 국가 정책은 '제11차전력수급기본계획(MOTIR, 2025)'을 사용하였으며, 2050년은 '2050탄소중립 시나리오(2050 CNC, 2021)'를 중심으로 검토하였다.

목표 달성도(%) = 발전잠재량(TWh)/목표 발전량(TWh)× 100%

제11차전력수급기본계획은 태양광 설비용량 목표(GW)를 제시하고 있기에, 이를 본 연구에서 산정한 발전효율을 기반으로 발전량(TWh)으로 환산하여 달성 가능성을 검토하였다. 2050 탄소중립 시나리오 A·B안에 제시된 재생에너지 목표는 태양광과 풍력을 포괄한다. 본 연구는 태양광 발전의 기여도를 독립적으로 산정하는 데 목적이 있으므로, 국가에너지기본계획상의 풍력 목표치인 42 GW를 전체 시나리오에서 배제하는 방식을 취하였다. 이에 따라 조정된 태양광 발전 목표량을 산출하고, 이를 바탕으로 태양광 설비의 목표 달성도를 분석하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 입지가능 지역 면적 및 공간분포

3.1.1. 입지 제한지역

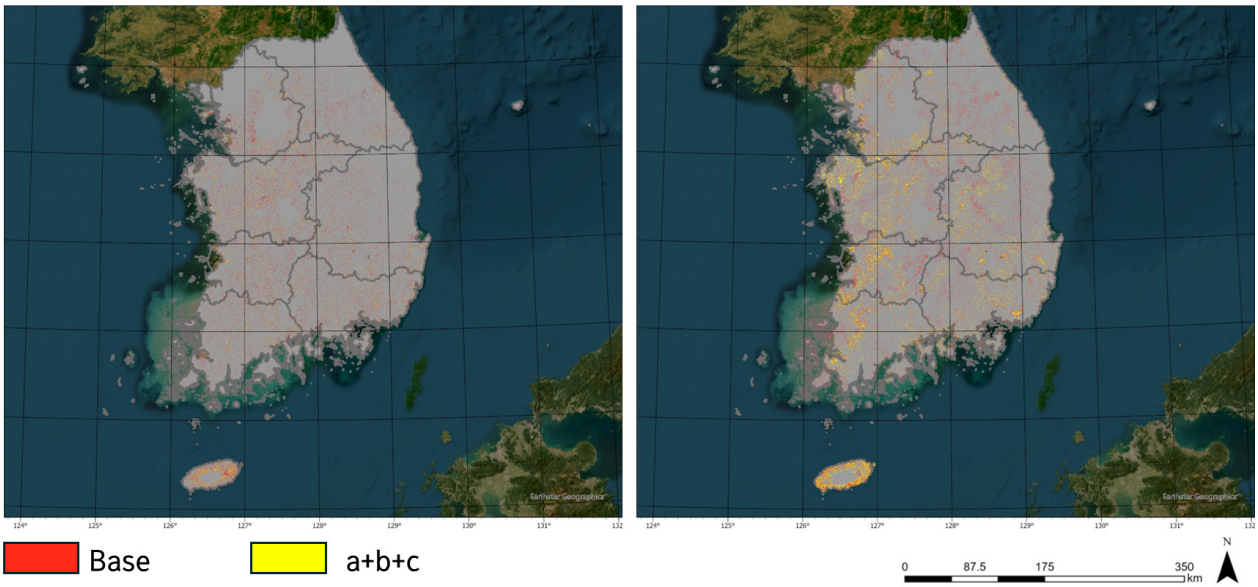
생태적 민감성과 물리적 안정성을 기준으로 설정한 입지 제한지역의 총 면적은 67,681.9 km^2으로 나타났다. 백두대간 및 정맥은 입지 제한지역 총 2,903.7 km^2으로 국토 2.9% 면적을 차지하며, 법정 보호구역이 17,446.6 km^2로 17.4%, 생태자연도 1등급 지역은 8,402.5 km^2로 8.4%, 생태자연도 2등급 및 식생보전등급 3등급 지역은 32,209.9 km^2로 전체 면적의 32.2%을 차지한다. 물리적 안정성 기준에 따른 제한지역은 산사태위험지도 1, 2등급 기준

Table 5. National solar power supply targets

Target Year	Capacity (GW)	Power Generation (TWh)	Source
2038 Target	77.2	103.48	The 11th Basic Plan for Electricity Supply and Demand
2050 Target	488.2 - 602.9	654.5 - 808.3	2050 Carbon Neutrality Scenario

Table 6. Site restriction areas by region

Region	National Land Area (km^2)	Restriction Areas							
		Total Restriction Areas (km^2)	Baekdudaegan & Ridges	Protected Area	Ecological and Natural Map Grade 1	Ecological and Natural Map Grade 2		Landslide Risk (Grade 1 & 2)	Slope ≥ 15°
						Vegetation Conservation Grade 3	Vegetation Conservation Grade 4		
Capital Region	11,861.1	6,552.1	41.4	2,526.8	599.9	3,066.5	375.7	962.5	3,624.3
Gangwon	16,629.0	14,147.5	1,349.7	4,387.8	3,447.4	4,315.5	312.1	4,009.5	11,220.9
Chungcheong	16,651.3	9,984.6	428.3	2,283.6	631.7	4,953.8	336.5	2,263.4	6,991.6
Jeonnam	12,786.7	8,232.5	89.2	2,470.4	463.0	4,087.7	267.3	1,633.5	5,605.9
Jeonbuk	8,066.8	4,520.3	212.5	1,339.6	410.7	1,847.0	111.9	1,215.9	3,435.9
Gyeongnam	12,345.9	8,763.5	270.9	1,720.0	823.1	4,961.5	137.4	1,422.5	7,006.6
Gyeongbuk	19,899.2	14,874.2	511.7	2,497.6	1,890.5	8,759.3	285.6	3,328.0	11,566.6
Jeju	1,846.7	607.2	0	220.8	136.2	218.6	43.7	0.5	111.9
Total	100,443.0	67,681.9	2,903.7	17,446.6	8,402.5	32,209.9	1,870.2	14,835.8	49,563.7



(a) Damaged Land (b) Agricultural Land

Fig. 1. National map of potential solar power facility sites by land use type

Table 7. Available areas by site type and socioeconomic options (km^2)

	Available Areas	Minimum Area	Buffer Distance	Proximity to Demand				
	base	a	b	c	a+b	a+c	b+c	a+b+c
Degraded Land	3,266.4	2,277.6	2,045.0	2,484.1	1,491.9	1,739.1	1,478.2	1,083.7
Agricultural Land	14,254.2	13,738.7	8,759.4	10,897.2	8,494.5	10,521.4	6,618.3	6,437.7
Agricultural Land (except APA)	7,517.7	7,032.0	4,474.3	5,743.9	4,224.4	5,389.7	3,348.0	3,178.1

14,835.8 km^2로 국토 14.8%의 면적을 차지하며, 경사도 15% 이상 기준에서는 49,563.7 km^2로 국토 49.5%가 입지 제한지역으로 나타났다.

3.1.2. 시나리오별 태양광 발전시설의 입지 가능지역

시나리오를 구분하여 산정한 태양광 발전시설의 입지 유형별 가능지역은 다음과 같이 나타났다. 훼손지는 기본(base) 조건에서는 태양광 발전 시설을 설치가능한 면적이 3,266.4 km^2로 도출되었으며, 모든 사외경제 옵션이 반영된 경우(a+b+c) 가능한 면적이 1,083.7 km^2로 감소한다. 농경지는 기본(base) 시나리오에서 14,254.2 km^2의 면적에 설치 가능하지만, 모든 사외경제 옵션이 반영된 경우(a+b+c)에 6,437.7 km^2로 감소한다. 농업진흥지역를 포함하는 경우에는 기본(base) 시나리오에서 7,517.7 km^2의 면적에 설치 가능하지만, 모든 사외경제 옵션이 반영된 경우(a+b+c)에 3,178.1 km^2로 감소한다.

훼손지 유형의 권역별 데이터를 살펴보면 가장 많은 입지 면적을 보유한 권역은 충청권으로 763.5 km^2의 기본(base) 입지 면적이 존재하는 것으로 나타났으며, 모든 제약 조건을 반영한 시나리오(a+b+c)에서도 가장 많은 271.3 km^2의 입지 면적이 존재하는 것으로 나타났다. 반면, 가장 적은 입지 면적을 보유한 권역은 제주권으로 241.1 km^2의 기본(base) 입지 면적이 존재하는 것으로 나타났으나, 모든 제약 조건을 반영한 시나리오(a+b+c)에서는 134.6 km^2의 입지 면적이 존재하는 것으로 나타났다. 모든 옵션을 반영한 시나리오(a+b+c)에서 가장 적은 입지를 보유한 권역은 강원권으로 제약 조건에 따른 영향을 가장 크게 받은 권역으로 나타났다. 수도권 또한 기본(base) 시나리오 대비 모든 제약 조건을 모두 고려한 시나리오(a+b+c)의 입지 면적이 작게 나타나 제약 조건에 따

Table 8. Scenario-based available areas for solar power facility in degraded land (km^2)

Region	Available Areas	Minimum Area	Buffer Distance	Proximity to Demand				
	base	a	b	c	a+b	a+c	b+c	a+b+c
Capital Region	276.8	190.9	125.7	252.6	92.2	174.0	109.2	80.2
Gangwon	317.4	224.8	214.1	162.8	161.1	114.9	98.5	74.0
Chungcheong	763.5	534.0	491.2	597.7	356.4	417.1	374.4	271.3
Jeonnam	413.5	269.2	279.6	309.1	189.1	207.5	199.2	139.7
Jeonbuk	337.1	227.8	211.4	228.7	150.9	150.2	137.3	94.7
Gyeongnam	444.5	317.7	260.8	360.8	194.3	258.2	200.7	149.7
Gyeongbuk	462.7	306.4	285.6	336.5	196.1	224.1	195.3	134.0
Jeju	241.1	198.3	168.6	228.7	144.8	186.7	157.7	134.6
Others	9.72	8.30	7.80	7.31	6.78	6.54	5.97	5.48
Total	3,266.4	2,277.6	2,045.0	2,484.1	1,491.9	1,739.1	1,478.2	1,083.7

Table 9. Scenario-based available areas for solar power facility siting in agricultural land by region (km^2)

Region	Available Areas	Minimum Area	Buffer Distance	Proximity to Demand				
	base	a	b	c	a+b	a+c	b+c	a+b+c
Capital Region	1,480.4 (769.8)	1,423.8 (716.5)	903.5 (433.5)	1,228.7 (658.8)	880.2 (411.5)	1,179.4 (612.1)	727.1 (363.2)	707.7 (345.0)
Gangwon	941.2 (616.1)	879.7 (556.4)	541.1 (349.5)	363.5 (261.4)	509.6 (318.9)	333.1 (231.9)	188.3 (135.1)	174.5 (121.6)
Chungcheong	3,206.5 (1,544.9)	3,092.5 (1,438.1)	2,090.2 (971.2)	2,621.8 (1,265.7)	2,027.3 (911.9)	2,532.1 (1,181.5)	1,712.8 (788.8)	1,664.9 (743.7)
Jeonnam	2,240.4 (932.8)	2,168.9 (868.3)	1,425.6 (556.1)	1,586.1 (686.1)	1,387.6 (522.1)	1,535.7 (640.4)	978.4 (395.4)	954.1 (373.7)
Jeonbuk	1,958.2 (968.0)	1,908.0 (920.3)	1,195.9 (551.3)	1,652.6 (765.4)	1,171.5 (528.1)	1,616.7 (731.6)	1,022.5 (436.4)	1,005.8 (420.7)
Gyeongnam	1,423.5 (764.5)	1,361.3 (705.1)	784.7 (425.3)	1,182.3 (624.0)	754.8 (397.0)	1,132.8 (576.8)	635.3 (332.9)	613.4 (312.2)
Gyeongbuk	2,380.5 (1,298.2)	2,292.5 (1,215.3)	1,429.0 (797.8)	1,660.7 (881.0)	1,379.4 (750.8)	1,601.2 (825.0)	984.9 (527.1)	953.3 (497.3)
Jeju	610.5 (610.5)	599.2 (599.2)	377.2 (377.2)	599.4 (599.4)	371.9 (371.9)	588.4 (588.4)	367.6 (367.6)	362.5 (362.5)
Others	13.0 (13.0)	12.8 (12.8)	12.3 (12.3)	2.0 (2.0)	12.2 (12.2)	2.0 (2.0)	1.5 (1.5)	1.4 (1.4)
Total	14,254.2 (7,517.7)	13,738.7 (7,032.0)	8,759.4 (4,474.3)	10,897.2 (5,743.9)	8,494.5 (4,224.4)	10,521.4 (5,389.7)	6,618.3 (3,348.0)	6,437.7 (3,178.1)

Values in parentheses represent available areas excluding Agricultural Promotion Areas (APA)

른 영향을 크게 받은 권역으로 나타났다.

농경지의 경우 기본 시나리오에서 입지 가능한 면적은 14,254.2 km^2이며, 모든 제약 조건을 고려했을 때, 45.2%인 6,437.7 km^2의 면적이 입지 가능한 것으로 나타났다. 수도권은 기본(base) 시나리오 입지 면적이 1,480.4 km^2으로 나타났고, 모든 제약 조건을 반영할 경우 설치 가능 면적은 약 707.7 km^2로 감소한다. 강원권의 경우 제약 조건의 영향을 많이 받아 제약 조건에 따른 입지 면적이 크게

감소하였다. 농업진흥지역을 제외한 경우, 충청권과 경북권이 기본 시나리오에서 각각 1,544.9 km^2, 1298.2 km^2의 부지 면적이 존재하고, 모든 제약 조건에서는 743.7 km^2, 589.5 km^2의 부지 면적이 존재하는 것으로 나타났다. 제약 조건을 고려했을 때 남는 부지 면적의 비율이 높은 권역은 제주권을 제외하고, 충청권(48.14%), 경북권(45.41%), 수도권(44.82%)로 다른 권역에 비해서 제약 조건의 영향이 적은 것으로 나타났다.

3.2. 시나리오별 잠재발전효율

3.2.1. 훼손지

입지유형에 따른 시나리오별 잠재발전효율은 다음과 같이 나타났다. 일사조건을 고려한 입지가 가능지역의 전국 평균 잠재발전효율은 14.40%로 나타났으며, 모든 옵션을 반영한 시나리오에서는 14.35%로 나타났다. 입지 가능지역의 기본 시나리오에서는 권역별 중 전남권이 14.91%로 가장 높았고, 강원권이 가장 낮은 잠재발전효율로 나타났다.

훼손지에서 시나리오에 따른 잠재발전효율의 변화를 보면, 최소 면적 기준(a)과 도로 및 주거지 이격거리 유지(b) 조건을 적용하면 잠재발전효율은 각각 14.38%와 14.35%로 낮아지며, 두 조건을 모두 적용한 경우 14.33%로 더 감소한다. 즉 제약 조건은 설치 공간을 제한하며, 잠재발전효율 또한 낮게 만들 수 있다.

3.2.2. 농경지

농지의 전국 평균 잠재발전효율은 14.53%로, 전력통계시스템이 제시한 2024년 평균 잠재발전효율인 13.4%보다 높게 나타났다. 이는 농경지가 다른 입지 유형에 비해 상대적으로 안정적인 공급 조건을 가진다는 점을 보여준다. 각종 제약 조건을 적용해도 전국 평균이 14.53%에서

Table 10. Scenario-based potential solar power generation efficiency by region in degraded land sites (%)

Region	Available Areas	Minimum Area	Buffer Distance	Proximity to Demand				
	base	a	b	c	a+b	a+c	b+c	a+b+c
Capital Region	14.55	14.55	14.47	14.59	14.47	14.60	14.53	14.53
Gangwon	13.69	13.67	13.65	13.73	13.64	13.72	13.69	13.68
Chungcheong	14.39	14.36	14.35	14.39	14.32	14.37	14.35	14.32
Jeonnam	14.91	14.87	14.86	14.85	14.80	14.81	14.76	14.72
Jeonbuk	14.51	14.50	14.45	14.61	14.43	14.61	14.55	14.55
Gyeongnam	14.64	14.62	14.59	14.67	14.57	14.65	14.61	14.59
Gyeongbuk	14.41	14.39	14.36	14.45	14.34	14.43	14.40	14.38
Jeju	14.08	14.06	14.06	14.08	14.05	14.06	14.06	14.04
National average	14.40	14.38	14.35	14.42	14.33	14.40	14.37	14.35

Table 11. Scenario-based potential solar power generation efficiency by region in agricultural land sites (%)

Region	Available Areas	Minimum Area	Buffer Distance	Proximity to Demand				
	base	a	b	c	a+b	a+c	b+c	a+b+c
Capital Region	14.59	14.60	14.61	14.60	14.61	14.60	14.61	14.61
Gangwon	13.81	13.81	13.80	13.81	13.81	13.81	13.78	13.78
Chungcheong	14.60	14.60	14.62	14.60	14.63	14.60	14.62	14.63
Jeonnam	15.12	15.13	15.14	15.05	15.15	15.06	15.06	15.07
Jeonbuk	14.70	14.71	14.70	14.73	14.71	14.73	14.73	14.73
Gyeongnam	14.76	14.76	14.75	14.79	14.75	14.79	14.78	14.78
Gyeongbuk	14.48	14.49	14.48	14.52	14.48	14.53	14.52	14.52
Jeju	14.19	14.19	14.17	14.19	14.17	14.19	14.17	14.17
National average	14.53	14.53	14.53	14.54	14.54	14.54	14.53	14.54

14.54%로 사실상 변동이 없었다.

권역별로 살펴보면, 전남권이 가장 높은 잠재발전효율로 나타났다. 기본(base) 시나리오에서 15.12%였으며, 모든 옵션을 반영한 시나리오(a+b+c)에서도 15.07%로 거의 차이가 없었다. 반면, 강원권은 base 시나리오에서 13.81%, 모든 옵션을 반영한 시나리오(a+b+c)에서 13.78%로 소폭 하락했지만 여전히 전국에서 가장 낮은 수준을 유지했다.

반면 수도권은 모든 조건에서 14.61%로 동일한 값을 나타내, 시나리오 간 차이가 없는 것으로 나타났다. 충청권은 base 시나리오에서 14.60%, 모든 옵션을 반영한 시나리오(a+b+c)에서는 14.63%로 소폭 상승했고, 전북권(14.73%)과 경남권(14.78%) 역시 모든 시나리오에서 안정적인 잠재발전효율을 유지하였다. 경북권은 base에서 14.48%였으며, 모든 조건을 반영한 경우 14.52%로 약간 증가하였다. 마지막으로 제주권은 base와 모든 옵션을 반영한 시나리오(a+b+c) 모두에서 14.19%로 변동이 없었다.

3.3. 시나리오별 태양광 발전 잠재량

3.3.1. 토지 유형별 태양광 발전 잠재량

시나리오별 태양광 발전 잠재량(TWh)을 입지 유형별로 제시한 결과는 다음과 같다. 훼손지의 경우, 기본(base) 시나리오에서 연간 411.6 TWh의 발전잠재량이 산정되었으며, 이는 생태적·물리적 제약을 고려하더라도 상당한 수준의 기술적 잠재력이 존재함을 보여준다. 최소 설치면적 기준(a)을 적용한 경우 발전잠재량은 286.2 TWh로 나타났으며, 도로 및 주거지 이격거리 조건(b)을 적용할 경우 256.5 TWh로 산정되었다. 주요 수요(도시) 인접성 조건(c)을 반영한 경우에는 313.8 TWh의 발전잠재량이 도출되었다. 모든 조건을 동시에 적용한 시나리오(a+b+c)에서는 발전잠재량이 135.8 TWh로 나타났다.

농경지의 경우, 전체 농경지를 기준으로 한 발전잠재량은 1,824.1 TWh로 훼손지에 비해 매우 높은 기본 잠재력을 보였다. 또한 농업진흥지역을 제외한 농경지에서도 955.0 TWh의 발전잠재량이 산정되어, 우량농지를 보전하더라도 재생에너지 공급 여지가 상당함을 확인할 수 있다. 최소 설치면적 기준(a)을 적용한 경우 발전잠재량은 전체 농경지에서 1,758.7 TWh, 농업진흥지역 제외 농경지에서 893.4 TWh로 나타났다. 도로 및 주거지 이격거리 조건(b)을 적용할 경우에는 각각 1,121.3 TWh와 567.3 TWh의 발전잠재량이 도출되었으며, 주요 수요(도시) 인접성 조건(c)을 반영한 경우에는 1,397.8 TWh와 732.4 TWh로 산정되었다. 모든 조건을 동시에 적용한 시나리오(a+b+c)에서는 전체 농경지의 발전잠재량이 826.4 TWh, 농업진흥지역을 제외한 농경지에서는 404.9 TWh로 나타났다.

기본 시나리오를 기준으로 산정한 시나리오별 태양광 발전잠재량 감소율을 비교한 결과, 정책 변수의 유형에 따라 발전잠재량에 미치는 영향이 뚜렷하게 구분되는 것으로 나타났다. 전반적으로 모든 입지 유형에서 단일 조건 적용 시와 복합 조건 적용 시 감소율의 차이가 크게 나타났으며, 이는 태양광 보급이 개별 제약보다는 정책 변수의 조합에 의해 구조적으로 제한될 수 있음을 시사한다.

훼손지의 경우, 단일 정책 변수 중에서는 도로 및 주거지 이격거리 조건(b)이 가장 높은 감소율을 보였으며, 최소 설치면적 기준(a) 역시 비교적 큰 감소율을 나타냈다. 반면 주요 수요(도시) 인접성 조건(c)은 다른 변수에 비해 상대적으로 낮은 감소율을 보여, 훼손지에서는 공간적 접근성보다는 입지 자체의 물리적·형태적 제약이 더 중요한 요인으로 작용함을 알 수 있다. 특히 a+b, b+c와 같은 복합 시나리오에서는 감소율이 급격히 증가하며, 모든 조건을 동시에 적용한 시나리오(a+b+c)에서는 가장 높은 감소율이 나타나 정책 변수 간 중첩 효과가 뚜렷하게 확인되었다.

농경지의 경우, 전체 농경지와 농업진흥지역을 제외한 농경지 모두에서 감소율의 상대적 순서는 유사하게 나타났다. 최소 설치면적 기준(a)은 두 경우 모두에서 가장 낮은 감소율을 보여, 농경지가 비교적 연속적이고 대규모

Table 12. Potential solar power generation by scenario (TWh)

	Available Areas	Minimum Area	Buffer Distance	Proximity to Demand				
	base	a	b	c	a+b	a+c	b+c	a+b+c
Degraded Land	411.59	286.18	256.49	313.84	186.50	219.14	185.78	135.76
Agricultural Land	1,824.1 (955.0)	1,758.7 (893.4)	1,121.3 (567.3)	1,397.8 (732.4)	1,087.8 (535.7)	1,350.0 (687.4)	849.3 (426.4)	826.4 (404.9)

Values in parentheses represent available areas excluding Agricultural Promotion Areas (APA)

필지를 유지하고 있음을 반영하였다. 반면 도로 및 주거지 이격거리 조건(b)은 전체 농경지와 농업진흥지역 제외 농경지 모두에서 가장 큰 감소율을 나타내, 농경지 기반 태양광 입지에서 핵심적인 제약 요인으로 작용함을 확인할 수 있다. 주요 수요(도시) 인접성 조건(c)은 중간 수준의 감소율을 보였으나 발전잠재량 자체를 제한하는 효과는 이격거리 조건에 비해 상대적으로 제한적인 것으로 나타났다.

입지 유형 간 비교 결과, 훼손지는 최소 설치면적 기준에 대한 감소율이 농경지에 비해 상대적으로 크게 나타났는데, 이는 훼손지 입지 가능지역이 공간적으로 파편화되어 있고, 소규모 필지가 다수 분포하기 때문으로 해석된다. 반면 농경지는 농업진흥지역 여부와 관계없이 정책 변수에 대한 감도 구조가 유사하게 나타나, 농업진흥지역을 제외하더라도 태양광 보급을 제약하는 핵심 정책 요인은 크게 달라지지 않음을 시사한다.

종합하면, 감소율 분석을 통해 태양광 발전잠재량에 가장 큰 영향을 미치는 정책 변수는 입지 유형과 관계없이 도로 및 주거지 이격거리 조건으로 확인되었다. 이는 태양광 보급 확대의 주요 장애 요인이 단순한 토지 가용성 부족이 아니라, 공간·계획적 규제의 설정 방식, 특히 이격거리 기준에 있음을 정량적으로 보여준다. 이러한 결과는 생태계 보전을 전제로 재생에너지 목표 달성을 도모하기 위해서는, 이격거리 규제의 합리적 조정이나 지역 특성을 반영한 차등 적용과 같은 정책적 검토가 중요함을 시사한다.

3.3.2. 지역별 태양광 발전잠재량

Table 13은 훼손지를 대상으로 한 태양광 발전잠재량을 광역 지자체 단위로 제시한 결과이다. 기본(base) 시나리오 기준으로 보면, 충청권(96.2 TWh)이 가장 높은 발전잠재량을 보였으며, 그 다음으로 경남권(57.0 TWh), 경북권(58.4 TWh), 전남권(54.0 TWh) 순으로 나타났다. 반면 수도권(35.3 TWh)과 제주권(29.7 TWh)은 상대적으로 낮은 잠재량을 보였다. 이러한 결과는 훼손지가 특정 지역에 균등하게 분포하기보다는, 중부·영남권을 중심으로 상대적으로 넓은 면적과 연속성을 갖고 분포하고 있음을 시사한다.

시나리오별 변화를 살펴보면, 모든 권역에서 도로 및 주거지 이격거리 조건(b)을 적용할 경우 발전잠재량이 크게 축소되는 공통적인 패턴이 나타났다. 특히 수도권과 강원권에서는 b 시나리오에서의 잠재량이 각각 15.9 TWh, 25.6 TWh로 감소하여, 훼손지가 존재하더라도 주변 토지 이용 밀도와 접근성 조건에 의해 실제 활용 가능한 잠재량이 제한됨을 보여준다. 이는 인구 밀도가 높거나 지형적 제약이 큰 지역에서 훼손지 기반 태양광 입지가 구조적으로 불리할 수 있음을 의미한다.

한편, 주요 수요(도시) 인접성 조건(c)을 적용한 결과는 권역별로 상이한 양상을 보였다. 충청권과 경남·경북권에서는 c 시나리오에서도 비교적 높은 잠재량이 유지되어, 이들 지역이 중·대도시 인접 훼손지를 일정 규모 이상 확보하고 있음을 시사한다. 반면 강원권의 경우 c 시나리오에서 19.6 TWh로 크게 감소하여, 훼손지가 존재하더라도 주요 수요처와의 공간적 거리로 인해 실제 전력 공급 측면에서는 제약이 클 가능성을 보여준다. 복합 조건이 적용된 a+b+c 시나리오에서도 이러한 공간적 패턴은 유지된다. 충청권은 34.0 TWh로 여전히 가장 높은 잠재량을 보였으며, 경남권(19.1 TWh), 경북권(16.9 TWh), 전남권(18.0 TWh)이 그 뒤를 이었다. 반면 수도권과 강원권은 각각 10.2 TWh, 8.9 TWh로 낮은 수준에 머물렀다. 이는 훼손지 기반 태양광 발전이 국가 전체적으로 균등하게 분포하기 보다는, 중부·영남권 일부 지역에 상대적으로 집중되는 경향을 보임을 의미한다.

훼손지 기반 태양광 발전잠재량은 특정 광역 지자체에 과도하게 편중되기보다는, 훼손지의 공간적 분포 특성과 수요처와의 거리, 그리고 이격거리 규제의 적용 여부에 따라 권역별로 상이한 공간 패턴을 보이는 것으로 나타났다.

Table 14는 농경지를 대상으로 한 태양광 발전잠재량을 광역 지자체 단위로 제시한 결과이다. 기본(base) 시나리오 기준으로 보면, 충청권(412.1 TWh)이 가장 높은 발전잠재량을 보였으며, 그 다음으로 전남권(308.9 TWh),

Table 13. Scenario-based reduction rates in potential solar power generation (%)

Region	Minimum Area	Buffer Distance	Proximity to Demand				
	a	b	c	a+b	a+c	b+c	a+b+c
Degraded Land	-30.5	-37.7	-23.7	-54.7	-46.8	-54.9	-67.0
Agricultural Land	-3.6	-38.5	-23.4	-40.4	-26.0	-53.4	-54.7

Table 14. Regional potential solar power generation by scenario on degraded land (TWh)

Region	Avail-able Areas	Minimum Area	Buffer Distance	Proximity to Demand				
	base	a	b	c	a+b	a+c	b+c	a+b+c
Capital Region	35.29	24.34	15.94	32.29	11.69	22.25	13.90	10.21
Gangwon	38.06	26.92	25.61	19.58	19.25	13.80	11.81	8.86
Chungcheong	96.23	67.19	61.74	75.34	44.71	52.49	47.05	34.03
Jeonnam	54.02	35.07	36.41	40.20	24.52	26.92	25.76	18.02
Jeonbuk	42.86	28.93	26.77	29.26	19.07	19.22	17.51	12.06
Gyeongnam	57.00	40.69	33.33	46.37	24.80	33.14	25.69	19.13
Gyeongbuk	58.41	38.62	35.94	42.59	24.63	28.32	24.63	16.88
Jeju	29.73	24.42	20.77	28.20	17.82	22.99	19.42	16.56

Table 15. Regional potential solar power generation by scenario on agricultural land (TWh)

Region	Avail-able Areas	Minimum Area	Buffer Distance	Proximity to Demand				
	base	a	b	c	a+b	a+c	b+c	a+b+c
Capital Region	190.1 (98.1)	183.0 (91.3)	116.2 (55.2)	158.0 (84.1)	113.3 (52.4)	151.7 (78.2)	93.6 (46.4)	91.1 (44.1)
Gangwon	108.2 (74.3)	101.1 (67.1)	62.1 (42.1)	41.9 (31.6)	58.6 (38.4)	38.3 (28.0)	21.5 (16.3)	20.0 (14.7)
Chungcheong	412.1 (196.3)	397.5 (182.8)	269.3 (123.4)	336.9 (160.9)	261.4 (115.9)	325.5 (150.3)	220.8 (100.3)	214.8 (94.5)
Jeonnam	308.9 (123.2)	299.3 (114.7)	197.1 (73.5)	216.7 (90.2)	191.9 (69.0)	210.0 (84.2)	133.8 (52.0)	130.6 (49.1)
Jeonbuk	255.1 (124.2)	248.8 (118.1)	155.8 (70.7)	216.3 (98.5)	152.8 (67.7)	211.6 (94.1)	133.8 (56.1)	131.6 (54.1)
Gyeongnam	187.0 (98.7)	178.8 (91.1)	103.0 (54.8)	156.0 (80.8)	99.0 (51.2)	149.4 (74.7)	83.6 (43.0)	80.8 (40.3)
Gyeongbuk	301.0 (164.3)	290.0 (153.8)	180.6 (100.8)	211.1 (111.9)	174.4 (94.9)	203.7 (104.8)	125.2 (66.8)	121.2 (63.1)
Jeju	75.9 (75.9)	74.5 (74.5)	46.8 (46.8)	74.5 (74.5)	46.2 (46.2)	73.2 (73.2)	45.6 (45.6)	45.0 (45.0)

경북권(301.0 TWh), 전북권(255.1 TWh) 순으로 나타났다. 수도권(190.1 TWh)과 경남권(187.0 TWh)은 중간 수준의 잠재량을 보였으며, 제주권(74.1 TWh)은 상대적으로 낮은 값을 나타냈다. 이는 농경지가 특정 지역에 집중되기보다는, 중부·호남·영남권 전반에 걸쳐 비교적 광범위하게 분포하고 있음을 시사한다.

시나리오별 변화를 살펴보면, 모든 권역에서 도로 및 주거지 이격거리 조건(b) 적용 시 발전잠재량이 크게 감소하는 공통적인 경향이 확인된다. 특히 수도권, 충청권, 전북권, 전남권에서는 b 시나리오에서의 잠재량 감소 폭이 두드러지게 나타나, 농경지가 충분히 존재하더라도 정주지와의 공간적 관계가 실제 활용 가능성을 크게 제약함을 보여준다. 반면 최소 설치면적 기준(a)은 대부분의 권역에서 base 시나리오와 비교해 상대적으로 유사한 수준의 잠재량을 유지하여, 농경지가 대체로 연속적이고 일정 규모 이상의 필지를 확보하고 있음을 반영한다. 주요 수요(도시) 인접성 조건(c)을 적용한 결과는 권역별로 상이한 공간적 특성을 드러낸다. 충청권과 경북·전북권에서는 c 시나리오에서도 비교적 높은 잠재량이 유지되어, 중·대도시와 인접한 농경지가 일정 수준 확보되어 있음을 시사한

다. 반면 강원권의 경우 c 시나리오에서 41.9 TWh로 감소하여, 농경지 자체는 존재하더라도 주요 수요처와의 공간적 거리로 인해 전력 공급 측면에서의 활용 가능성이 상대적으로 제한됨을 보여준다.

이를 농경지 기반 태양광 발전잠재량은 절대적 규모 측면에서 훼손지에 비해 크지만, 실제 활용 가능성은 권역별 농경지 분포, 수요처와의 거리, 그리고 이격거리 규제에 의해 발전잠재량이 크게 달라진다. 이는 농경지를 활용한 재생에너지 확대 전략이 전국적으로 동일한 기준에 의해 추진되기보다는, 각 권역의 토지 이용 구조와 도시 체계에 기반한 차별화된 계획 접근이 필요함을 시사한다.

3.4. 시나리오별 국가목표 달성 가능성

각 시나리오에서 도출된 발전량을 2038년 및 2050년 국가 태양광 발전 목표와 비교하여 산정한 결과는 다음 Table 16과 같다.

Table 16. Scenario-based achievement rates of solar power supply targets (%)

Scenarios	Degraded Land		Agricultural Land	
	2038	2050	2038	2050
Base	397.8	50.9 - 62.9	1776.5	225.7 - 278.6
a	276.6	35.4 - 43.7	1713.4	217.6 - 268.7
b	247.9	31.7 - 39.2	1092.9	138.7 - 171.3
c	303.3	38.8 - 48.0	1363.9	172.9 - 213.5
a+b	180.2	23.1 - 28.5	1060.7	166.2 - 134.6
a+c	211.8	27.1 - 33.5	1317.5	206.2 - 167.0
b+c	179.5	23.0 - 28.4	829.0	129.8 - 105.1
a+b+c	131.2	16.8 - 20.7	807.0	102.3 - 126.3

훼손지의 경우, base 시나리오에서는 2038년 목표에 대해 비교적 높은 달성도를 보이지만, 2050년 목표에 대해서는 국가 목표 설정 범위에 따라 달성도에 상당한 차이가 나타난다. 최소 설치면적 기준(a), 이격거리 조건(b), 수요지 인접성 조건(c) 등 개별 공간 제약이 적용될수록 목표 달성도는 점진적으로 감소하며, 특히 복수의 제약이 동시에 적용된 시나리오에서는 달성도가 크게 낮아진다. 이는 훼손지 기반 태양광 보급이 정책적·공간적 제약의 누적 효과에 민감하게 반응함을 의미한다.

농경지의 경우, 훼손지에 비해 전반적으로 높은 목표 달성도를 보이며, 이는 농경지가 갖는 상대적으로 큰 기술적 잠재량에 기인한다. base 시나리오와 단일 제약 조건이 적용된 시나리오에서는 2038년과 2050년 목표 모두에 대해 높은 달성도를 유지한다. 반면, 이격거리 조건이나 복합 제약이 적용될수록 달성도는 점차 감소하는 경향을 보인다. 특히 2050 시나리오의 목표 기준으로 달성 가능성을 검토했을 때, 정책 제약의 강도에 따라 달성 가능성이 크게 달라지는 것으로 나타난다.

종합하면, 국가 태양광 공급 목표 달성 여부는 잠재량의 절대적 규모뿐만 아니라 입지 유형과 공간·정책 제약 조건의 설정 방식에 의해 크게 좌우된다. 특히, 농경지는 장기적인 태양광 공급 목표 달성에 있어 핵심적인 역할을 수행하는 잠재 지역으로 볼 수 있으나, 훼손지는 이를 통한 국가 목표 달성보다는 보완적인 역할로 국가 목표에 기여할 수 있을 것으로 해석된다. 이러한 결과는 생태계 보전을 고려한 차별화된 입지 전략과 정책 설계의 중요성을 시사한다.

4. 결론

본 연구는 생태계에 미치는 영향을 고려하여 태양광 발전소 부지를 확보하는 것을 목표로 입지 유형별 정책기반 옵션으로 구성된 시나리오를 탐색하고 분석하였다. 태양광 발전소 입지 가능 부지를 생태적 민감성 및 물리적 안정성을 중심으로 분석하여 입지를 회피할 필요가 있는 입지 제한지역을 도출하고, 이를 기반으로 입지 가능지역을 도출하였다. 그리고 토지기반 입지 유형과 정책기반 옵션을 통해 대한민국의 입지 가능지역의 면적과 기술적 태양광 에너지 잠재량을 분석하였다. 이후, 국가 재생에너지 목표와 비교하여 토지를 활용하였을 때, 달성 가능성을 검토하였다. 이를 통해 정책적 의사결정에 따른 태양광 발전량 확보와 생태적 지속가능성 사이의 가능성을 검토해본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, 입지 제한지역 설정은 생태계 훼손 방지를 위한 효과적인 수단이지만, 동시에 재생에너지 입지의 가용면적을 크게 감소시킬 수 있다. 특히 이격거리 관련 정책이 입지 가용면적을 크게 감소시키는 것으로 나타났으며, 지역별로 조건의 조합에 따라서 발전량 확보 가능성이 다르게 나타났다. 때문에 정책 조건의 유연한 조합을 통해 목표하는 발전량과 생태 보전뿐 아니라 사회, 경제, 기술적 요소를 복합적으로 고려한 입지 대안 분석 모델 개발과 이를 통한 절충안을 도출하는 것이 필요하다. 따라서 향후 태양광 입지 선정 과정에서 사회적 주민 수용성, LCOE 기반 경제성 분석을 포함하는 것 뿐 아니라, 공급

및 수요, 전력계통 문제 등을 결합하여 구체적인 사업단계까지 평가 가능한 모델이 개발될 필요가 있다.

둘째, 기존 토지의 목적이 있는 훼손지 및 농경지와 같은 토지를 전략적으로 활용하는 것도 가능하지만, 사회적인 가치와 충돌하는 경우가 발생한다. 그렇기 때문에 생태적 가치를 훼손하지 않으면서, 기존의 훼손지와 같은 토지를 전략적으로 선택하는 것으로 발전량 확보 가능성과 생태적 지속가능성 간의 균형을 맞추는 전략을 고안할 필요가 있다. 특히 농경지의 경우 국가 목표 달성에서 주요한 역할을 할 것으로 판단되지만, 사회적 가치가 충돌되는 경우에는 훼손지를 보완 수단으로 활용하는 등 생태적 가치를 훼손하지 않는 선에서 토지기반 재생에너지 확장이 필요하다. 다만, 본 연구는 토지유형에 대한 분류를 피복을 기반으로 분석되었다. 때문에 훼손지에 대해서는 토지기반 입지 선정 과정에서 도시생태현황도와 같은 지역생태계 데이터를 고려할 수 있는 데이터를 통한 검토가 필요하다.

따라서 향후에는 생태계 보전 가치를 반영한 공간계획 기반의 재생에너지 보급 전략 수립이 필요하며, 관련 정책 설계 시 생태·사회·에너지 측면을 통합한 복합적 의사결정체계 구축이 요구된다.

사사

이 논문은 2025년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 지원되었음.

연구의 과정에서 많은 도움을 주신 풀씨행동연구소와 전문가분들께 감사드립니다.

Reference

2050 CNC. 2021. Draft 2050 carbon neutrality scenario: Industry and local government (renewable energy) comments; [accessed 2025 May 21]. https://www.2050cnc.go.kr/download/BOARD_ATTACH?storageNo=66

Belaïd F, Massié C. 2023. The viability of energy efficiency in facilitating Saudi Arabia's journey toward net-zero emissions. Energy Econ 124: 106765. doi: 10.1016/j.eneco.2023.106765

Chock RY, Clucas B, Peterson EK, Blackwell BF, Blumstein DT, Church K, Fernández-Juricic E, Francescoli G, Greggor AL, Kemp P, Pinho GM, Sanzenbacher PM, Schulte BA, Toni P. 2021. Evaluating potential effects of solar power facilities on wildlife from an animal behavior perspective. Conserv Sci Pract 3(2): e319. doi: 10.1111/csp2.319

Gielen D, Boshell F, Saygin D, Bazilian MD, Wagner N, Gorini R. 2019. The role of renewable energy in the global energy transformation. Energy Strategy Rev 24: 38-50. doi: 10.1016/j.esr.2019.01.006

IRENA. 2024. World energy transitions outlook 2024: 1.5°C pathway. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

Jo MS, Lee DY, Park JH, Hong NE. 2022. Improvement of renewable energy management policies considering mountainous region conservation. Natl Land Policy Brief 874.

KNREC. 2023. 2022 New & renewable energy white paper. Sejong, Korea: Ministry of Trade and Industry.

Lee GS, Son SW. 2024. Identifying of damaged area based on land cover change for nature restoration: Focused on Seongnam City. J Environ Policy Administration 32(2): 131-155. doi: 10.15301/jepa.2024.32.2.131

Lee SH. 2023. New & renewable energy statistics 2022. Seoul, Korea: Korea Energy Agency.

Lee WH. 2021 Sep 5. Solar panel installation area by 2030 to be half of current levels. Economy Business Newspaper.

MCEE. 2023. Guidelines for environmental impact assessment for ground-mounted solar power generation projects. Sejong, Korea: Ministry of Climate, Energy and Environment.

MOTIR. 2017. Renewable energy 3020 implementation plan. Sejong, Korea: Ministry of Trade and Industry.

MOTIR. 2023a. 2023 guidelines for siting renewable energy facilities. Sejong, Korea: Ministry of Trade and Industry.

MOTIR. 2023b. 10th master plan for long-term electricity. Sejong, Korea: Ministry of Trade and Industry.

MOTIR. 2025. The 11th basic plan for electricity supply and demand (2024 ~ 2038). Sejong, Korea: Ministry of Trade, Industry and Energy.

Ong S, Campbell C, Denholm P, Margolis R, Heath G. 2013. Land-use requirements for solar power plants in the United States. Golden, CO: National Renewable Energy Lab. NREL/TP-6A20-56290.

Pratiwi S, Juerges N. 2020. Review of the impact of renewable energy development on the environment and nature conservation in Southeast Asia. Energy Ecol Environ 5(4): 221-239. doi: 10.1007/s40974-020-00166-2

Rehbein JA, Watson JE, Lane JL, Sonter LJ, Venter O, Atkinson SC, Allan JR. 2020. Renewable energy development threatens many globally important biodiversity areas. Global Change Biol 26(5): 3040-3051. doi: 10.1111/gcb.15067

Zhu YY, Sung HC, Kim YJ, Cha SH, Jeon SW. 2020. Study on location and ecological environmental characteristics of onshore wind and solar generation projects. J Clim Change Res 11(3): 145-153. doi: 10.15531/ksccr.2020.11.3.145