

REVIEW

Selection of candidate sites for agrivoltaics in Chungnam Province: utilizing AHP analysis and ArcGIS

Byung Min Soon^{1*}, Su Min Cho², Hee Dong Koo³, Hyun Seon Lee¹

¹Department of Agricultural Economics, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Livestock Outlook Team, Center for Agricultural Outlook, Korea Rural Economic Institute, Cheongju 28165, Korea

³Department of Regional Environment and Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

*Corresponding author: soonbm@cnu.ac.kr

Abstract

As the importance of renewable energy diffusion spreads, promotion of sustainable renewable energy projects such as agrivoltaics is expected to accelerate. Furthermore, to promote agrivoltaics projects, it must be considered the legislation related to agrivoltaics and Chungnam Province's local policy. This research focuses on the selection of the most suitable sites for agrivoltaics installations in Chungnam Province in South Korea. Therefore, the process of this research was as follows. First, the legislation related to agrivoltaics and local policy in Chungnam Province were identified. Second, it employs an analytic hierarchy process (AHP) to consider important criteria and their weights for site selection. Third, based on the weights calculated AHP, geographic information system (GIS) was performed to select most suitable location selection of agrivoltaics installations in Chungnam Province. The analysis identified approximately 60 promising most suitable location for agrivoltaics installations in Chungnam Province, primarily in the northern part of Chungnam Province. These areas are expected to meet electricity demands in nearby regions since these are relatively adjacent to Gyeonggi Province. According to the results of research, policy suggestions related to agrivoltaics were presented separately into the agricultural sector and the electricity power sector. The study's results serve as a valuable resource for future national-level candidate site selection for agrivoltaics projects.



OPEN ACCESS

Citation: Soon BM, Cho SM, Koo HD, Lee HS. Selection of candidate site for agrivoltaics location in the Chungnam province: using AHP analysis and arcGIS. Korean Journal of Agricultural Science 50:953-966. <https://doi.org/10.7744/kjoas.500429>

Received: October 26, 2023

Revised: November 26, 2023

Accepted: November 27, 2023

Copyright: © 2023 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Keywords: agrivoltaics, AHP (analytic hierarchy process), arcGIS (geographic information system), Chungnam province, location selection

Introduction

재생에너지 확산의 중요성이 더욱 커지면서 태양광과 같은 지속가능한 재생에너지 사업 추진이 가속화되고 있다. 기존 농지나 산지에 설치하는 농촌 태양광은 식량안보와 국토 파괴라는 문제점이 있다. 이를 최소화하기 위해 태양광 패널 하부에 영농활동을 하면서 에너

지 생산을 병행할 수 있는 영농형 태양광 보급이 대안으로 모색되고 있다. 이에 따라 영농형 태양광 사업 추진을 통해 재생에너지 보급 확산 필요성이 제기되었다. 농림축산식품부는 2020년 「영농형 태양광 재배모델 실증지원 사업」을 통해 도 농업기술원·시군농업기술센터를 대상으로 실증연구를 지원하였다. 많은 기업 및 기관에서 영농형 태양광 실증연구 및 시범사업을 추진 중에 있으며, 2021년 말 영농형 태양광은 65개가 설치되었다(Jeong et al., 2023). 다양한 시범사업이 진행되고 있지만 아직까지 영농형 태양광 최적 입지 선정에 대한 연구 진행은 부족한 실정이다.

영농형 태양광 사업을 추진하기 위해서는 최적 입지 선정이 무엇보다 중요하다. 최적 입지 선정을 위해서는 지형적인 요인, 기후적인 요인, 사회·제도적인 요인이 고려될 수 있다. 지형적인 요인으로 경사도, 향, 음영기복도, 도로와의 이격거리 등 영농형 태양광 설치 시 고려해야 할 사항이 존재하며, 기후적인 요인으로 일사량, 강수량, 일조시간, 강수일수, 평균기온 등이 고려되어야 한다. 사회·제도적인 요인으로는 영농형 태양광은 농지에 설치되기 때문에 영농 활동이 가능한 농지를 대상으로 최적 입지가 선정될 수 있다.

영농형 태양광 사업 활성화를 위해 농지법 개정에 따른 사업 추진 전략도 중요하다. 현행 '농지의 보전과 이용에 관한 법률(농지법)'에서 영농형 태양광 발전 설비를 설치할 수 있는 사업기간은 최대 8년임을 명시하고 있다. 2020년 박정 의원 등 13인이 발의한 농지법 제 개정안(의안번호: 2100053)을 살펴보면, 농업진흥지역 내에서 일시사용허가를 통해 설치가 가능하다. 영농형 태양광 설치와 관련된 법적 조치에 따라 사업 입지 조건이 바뀔 수 있기 때문에 법 개정안에 따른 입지 선정도 고려될 필요가 있다.

본 연구의 목적은 영농형 태양광 설치를 위한 최적 입지 후보지를 선정하는 것이다. 충남지역을 대상으로 고려할 수 있는 요인을 이용하고 과학적인 분석을 통해 최적 입지 후보지를 제시한다. 이를 위해 먼저 충남지역 영농형 태양광 설치에 고려되어야 하는 요인을 파악하고, 설문조사를 통해 얻은 조사 자료를 바탕으로 계층분석법(analytic hierarchy process, AHP)을 활용하여 입지요인의 가중치를 산출한다. 이를 통해 산출된 가중치를 바탕으로 지리정보시스템(geographic information system, arcGIS)을 활용하여 충남지역 내 영농형 태양광 최적 입지 후보지를 선정한다. 본 연구 결과가 향후 전국단위 영농형 태양광 입지 후보지 선정을 위한 분석으로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

Literature review

신재생에너지(풍력, 태양광) 발전소 설치를 위한 입지 선정을 위해 다양한 선행연구를 검토했다(Table 1). Lee와 Lee (2015)는 국내 태양광 발전소의 입지 선정에 대한 연구의 필요성을 제시하였으며, 태양광 발전소 최적 입지를 위해 다방면의 인자들을 고려하고, 다양한 인자들을 이용하여 시각화 및 데이터화 후 계층분석법을 통한 가중치를 부여하여 태양광 발전소 입지를 분석했다. Lee와 Kang (2010)은 태양광 시설을 설치하는 데 있어 입지분석을 위한 방법론을 계획단계에서 제시하고자 제약기준과 입지 기준을 설정하고, AHP 기법을 사용하여 가중치를 부여하였으며, 부산시를 대상으로 도심지 내 태양광 시설 입지를 분석했다. Asakereh 등(2014)은 이란 Shodirwan 지역 최적 태양광 에너지 부지 선정을 위해 지리 정보 시스템(GIS)과 퍼지 분석 계층법(fuzzy AHP)을 사용했다. Park 등 (2010)은 대한민국 전역을 대상으로 신재생에너지 중 지형 및 기후 요인과 관련이 높은 태양광, 풍력의 입지 선정에 초점을 맞추어 입지요인 선정, 기준 수립, 적지분석을 위해 GIS를 활용했다. Tegou 등(2010)은 풍력 발전단지 부지에 대한 토지 적합성을 평가하고자 다중 기준 분석(multi criteria analysis, MCA)과 GIS를 결합한 통합적인 체계를 개발했다.

본 연구는 충남지역의 영농형 태양광 최적 입지 선정을 위해 AHP 분석을 통해 입지요인 가중치를 도출하고 arcGIS를 활용하여 최적 입지를 선정하였다는 점에서 선행연구와 차별성을 지닌다. 풍력과 태양광 발전을 대상으로 한 최적 입지 선정 연구는 기존에 다수 수행되었으나, 영농형 태양광 발전을 대상으로 한 연구는 드물었다. 본

Table 1. Literature review on wind and solar power location selection.

Sector	Authors	Factors
Solar	Lee and Lee (2016)	Geographical factors: Direction, shading, and river Climatic factors: Average temperature, average humidity, days with precipitation, fog days, precipitation, solar radiation, sunshine hours
	Lee and Lee (2015)	Geographical factors: Slope, direction, shading, and distance from road Climatic factors: Solar radiation, precipitation, hours of sunshine, days with precipitation, total cloud cover, average temperature, average humidity, and number of yellow dust days Economic factors: Land purchase cost Social factors: Residential area Cultural factors: Distance from historic sites/cultural assets
	Lee and Kang (2010)	Constraints: Site under construction, historic site, and reserved land Location conditions: Land use, elevation, direction, slope, road, and river
	Tegou et al. (2010)	Environmental/social factors: Visual impact, visibility from settlements, and visibility from archaeological sites Economic factors: Land value, distance from electricity grid, and distance from road network Technical factors: Slope, and wind potential Environmental factors: Land cover, and electricity demand
	Park et al. (2010)	Slope, elevation, slope direction, solar radiation, wind speed, and temperature distribution
	Asakereh et al. (2014)	Land cover, land use, location of roads, transmission lines, topography, and accessibility to the grid
Wind	Kwon et al. (2014)	Climate factors: Average wind speed Geographical factors: Sloe, altitude, and landslide hazard rating Social factors: Residential area, and access roads Ecological factors: Forest type, Baekdudaegan protected area, forest protected area, and national park
	Lee et al. (2010)	Climate factors: Wind speed, and wind direction Geographical factors: Elevation, slope, slope direction, proximity to rivers, proximity to roads, and land use status

연구는 영농형 태양광 설치에 부합하는 지형적인 요인, 기후적인 요인, 사회·제도적인 요인을 선정하여 영농형 태양광 설치에 부합하는 최종 입지후보지를 선정했다.

Legal conditions for agrivoltaics

영농형 태양광 설치 입지 선정에 앞서 입지후보지 선정에 중요한 요인으로 작용할 수 있는 농지 태양광 시설 설치와 관련된 법·제도를 검토했다. 영농형 태양광 발전설비를 농지에 설치하기 위해서는 「농지법」 등 관련 법률에 근거한 대상 지역 선정, 사업수행 대상자, 토지 이용방법, 사업허가 및 사후관리 방안 등이 요구된다. 현재 「농지법」에서는 농지를 전용하여 장기적인 관점에서 영농형 발전설비를 설치할 수 없도록 하고 있다. 현행 법적 근거에 따라 농지는 농업진흥지역과 한계농지인 농업진흥지역 외로 구분되며, 농업진흥지역 외에서는 농지전용을 통해서만 영농형 태양광 설치가 가능하다(Table 2). 농업진흥지역은 농업진흥구역과 농업보호구역으로 다시 구분되는데, 농업보호구역에서는 3년(연장 시 최대 8년)의 일시사용허가를 통해 전용없이 농지에 영농형 태양광 설비를 도입할 수 있으나, 안정적인 발전설비 운용의 법적 기틀을 마련하여 영농형 발전설비 경제수명(20 - 25년) 불일치 문제를 해결해야 한다. 2020년에 발의된 농지법 일부개정법률안(의안번호: 2100053)에서는 농지의 타용도일시 사용기간을 10년 이내로 하고, 10년을 초과하지 않는 범위에서 연장할 수 있도록 하는 법률을 개정하였다. 영농형 태양광 설치 농지를 농업생산 또는 농지개량 용도와 동일하게 간주하는 것이 법체계상 가능한지 필수적으로 논의되어야 하며, 비농업인에게 사업 참여기회가 제공될 경우 영농수행 지속성을 담보할 수 없고 영농형 태양광의 취지에 부합되지 않으므로 영농형 태양광 설치/투자 주체 및 농지 소유자/농업인에 대한 법적 근거가 필요하다(Shin et al., 2021).

Table 2. Farmland classification and availability of agrivoltaics installation.

Farmland classification	Installed after farmland conversion	Installation without farm land conversion
Agricultural promotion area		
Agricultural promotion zone (absolute farmland)	Impossible	Only salt reclamation is possible (temporary use permit up to 20 years)
Agricultural protection zone	Possible	Permission to use Japanese books up to 8 years
Outside agricultural promotion area	Possible	Impossible

Methodology

본 연구는 충남지역 내 영농형 태양광 최적 입지 선정을 위해 AHP와 arcGIS를 활용했다(Fig. 1). 의사결정모델인 AHP 분석을 통해 과학적으로 영농형 태양광 입지선정 요인의 가중치를 산출했으며, 산출된 입지 선정 가중치를 공간계획시스템인 arcGIS에 대입하여 충남지역 내 영농형 태양광 입지 후보지를 선정하였다.

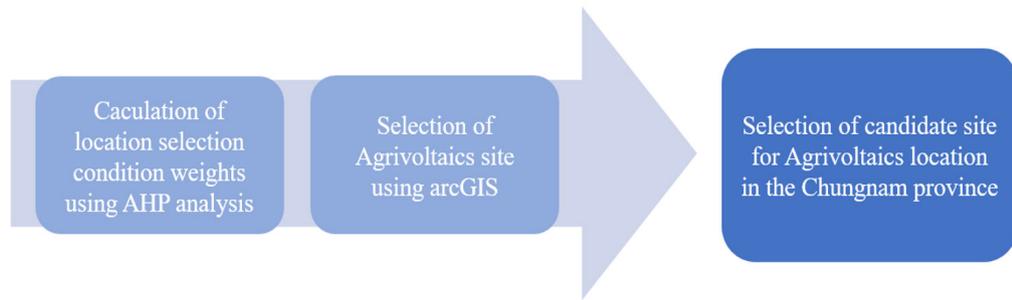


Fig. 1. Research direction.

AHP 분석을 이용한 입지선정 요인 분석

영농형 태양광 설치 입지요인은 각기 기준과 단위가 다르고, 분석 목적에 따라 각 요인의 중요도가 다르므로, AHP를 활용하여 영농형 태양광 발전에 영향을 미치는 각 요인들에 대한 관련 전문가 의견을 수렴했다. AHP 분석 방법은 정량적 판단이 어려운 다기준 분석(MCA) 시 일관된 평가체계하의 결론을 도출하기 위한 다기준 의사결정 기법으로, 하나의 문제를 계층화한 뒤 각 계층별로 평가항목 중요도를 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 도출하는 이론이다. 다수의 속성을 계층적으로 분류하여 각 속성의 중요도를 파악하고, 최적 대안을 찾아내는 기법으로 조사를 위한 응답자는 다수의 전문가로 구성된다. 행렬을 활용한 가중치 산정법이라고 볼 수 있으며, 본 연구에서도 요인의 가중치 산정을 위한 방법으로 활용된다.

AHP 분석은 일관성의 유지가 중요한 분석 기법으로, 설문 결과의 논리적 모순을 검증하기 위하여 아래 식(1)과 같이 일관성 지수(consistency index, CI)와 일관성 비율(consistency ratio, CR)을 활용하였다. CR 값이 낮을수록 응답이 일관적이라고 평가할 수 있는데, Saaty (1995)에 의하면 $CR \leq 0.1$ 이면 일관성이 있다고 판단하며, 0.2 미만일 경우 용인 가능한 수준의 일관성을 가지는 것으로 간주한다.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}, CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

영농형 태양광 최적 입지 선정을 위한 입지요인 중요도를 판별하기 위해 영농형 태양광 입지요인을 다음과 같이 계층화하였으며, 하위 항목(대안)에 대해 쌍대비교로 평가했다(Fig. 2). 영농형 태양광 설치를 위한 입지조건을 지형적인 요인(geographical factors), 기후적인 요인(climatic factors), 사회·제도적인 요인(social and institutional factors)으로 구분했다. 각 요인과 하위 계층은 태양광 입지 선정 관련 다수의 선행연구 검토(Table 1)와 전문가 면담을 바탕으

로 선정하였다. 제1계층에서는 지형적인 요인, 기후적인 요인, 사회·제도적인 요인의 중요도를 평가했으며, 제2계층에서는 지형적인 요인 중 경사도, 음영기복도, 향의 중요도를, 기후적인 요인 중 평균기온, 일사량, 일조시간, 풍속의 중요도를, 사회·제도적인 요인 중 도로와의 이격거리, 주택과의 이격거리, 농지 구분의 중요도를 평가했다.

AHP 분석을 위한 전문가 설문조사는 미응답 건을 제외하고 연구원, 대학, 관련 기관 등에서 근무하는 총 30인을 대상으로 2023년 1월 12일 - 2023년 1월 26일까지 총 2주간 전자메일을 통해 실시했다(Table 3). 응답 일관성을 판별하는 일관성지수는 0.2점을 기준으로 하였으며, 미통과 수량이 0으로 최종 분석 수량은 총 30건이다. AHP 분석은 설문 참여 집단 특성이 실무지식과 전문적 경험 면에서 동질적이라면 소규모 인원으로도 유의미한 결과를 도출한다(Lee and Chae, 2009; Woo, 2011). 선행연구에서는 최소 12인(Jeon et al., 2011)에서 최대 30인(Yun and Lee, 2010)의 전문가를 대상으로 설문을 실시하였으며, 본 연구의 전문가 응답자는 30인으로 충분히 유의미한 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

실제 가중치 계산 과정은 다음과 같이 계산된다. 제1계층과 제2계층의 각 항목별 기준행렬, 표준행렬을 산출했다. 제1계층의 기준행렬과 표준행렬(Supplementary Table 1), 제2계층 중 지형적인 요인의 기준행렬과 표준행렬(Supplementary Table 2), 기후적인 요인의 기준행렬과 표준행렬(Supplementary Table 3), 사회·제도적인 요인의 기준행렬과 표준행렬을 산출(Supplementary Table 4)하여 최종적으로 항목별 신뢰도 지수를 산출했다(Supplementary Table 5). 또한 각 요인별 행렬값을 활용하여 각 요인별 항목 내 중요도(Supplementary Table 6)와 요인별 중요도 및 순위를 산출했다(Supplementary Table 7).

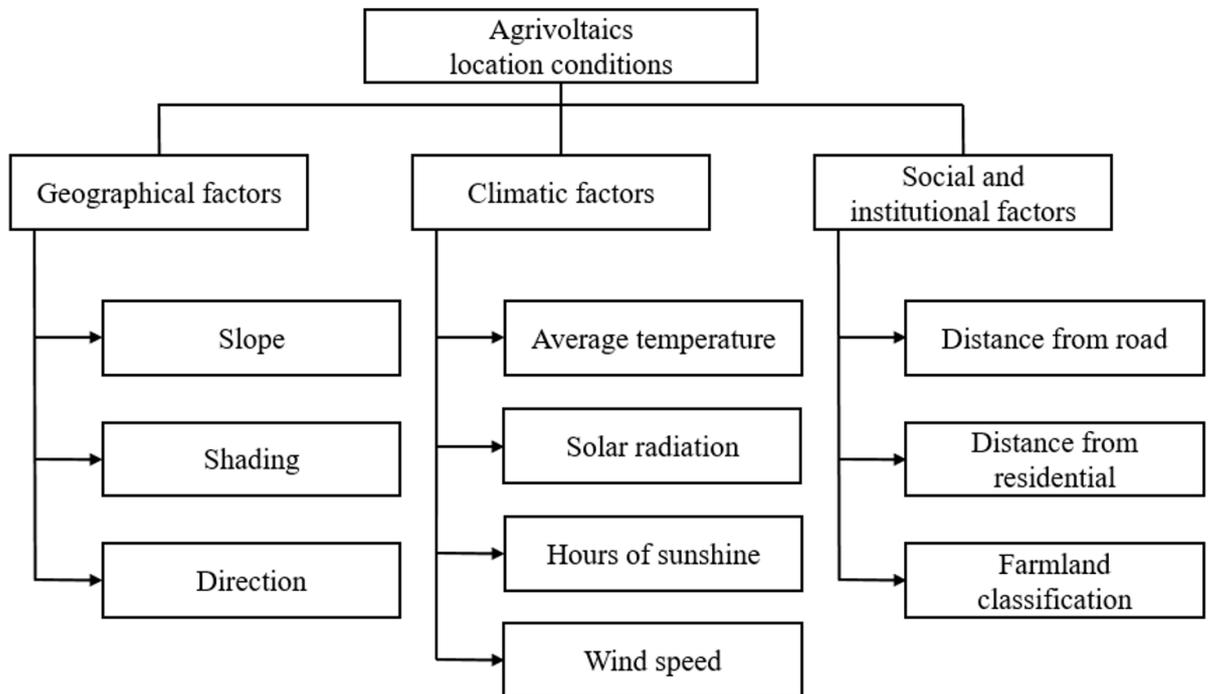


Fig. 2. AHP (analytic hierarchy process) analysis structure diagram.

Table 3. Status of expert survey respondent.

Survey respondent	Related expert	Academia
Number of responses (ratio)	14 (0.46)	16 (0.54)
Sum		30

arcGIS를 이용한 충남지역 영농형 태양광 최적 입지 후보지 선정

arcGIS를 활용하여 해당 지역 지형, 지리적 특성, 교통 체계, 인구 분포 등의 정보를 수집했다. 이를 위해 위성 영상, 지형도, 도로망, 인구 통계 등 여러 종류의 지리 데이터 소스를 활용했다. 분석을 위한 지역 설정을 위해 arcGIS를 활용하여 원하는 영역을 지정하거나, 지도를 확대/축소하여 분석 대상 지역을 설정했다. 입지 분석에 필요한 변수를 선정하는 데 있어 해당 지역의 특성을 변수에 반영했다. 예를 들어, 인구 밀도, 거주민의 소득 수준, 교통 체계 등의 지역 특성이 입지 분석에 필요한 변수에 반영될 수 있다.

각 변수에 대한 가중치를 설정하고, 이들이 입지 분석에 미치는 영향에 반영했다. 예를 들어, 인구 밀도 변수에 대해 가중치를 높게 설정하면 인구 밀도가 높은 지역이 더 높은 점수를 받도록 하여 지역별 점수를 산출했다. 이를 위해 arcGIS의 분석 도구 중 하나인 suitability modeling을 활용할 수 있다. suitability modeling은 입지 분석에 적합한 도구로, 특정 지역에서 특정 활동을 수행하기 위해 적합한 위치를 식별하는 데 사용된다. 최종 결과를 시각화하여 분석 결과를 쉽게 이해할 수 있도록 하는 것에 목적이 있다. 이를 위해 arcGIS의 다양한 시각화 도구를 활용할 수 있으며, 히트맵, 도표, 차트 등을 활용할 수 있다.

공간분석은 arcGIS Pro 2.5 (ESRI, USA)를 활용하였으며, 해당 프로그램을 통해 평가요인 자료를 구축했다. 지형적 요인은 국토교통부 개방자료인 DEM (digital elevation model) 지도를 활용했으며, 기후적 요인은 기상청 자료를 1차 가공하여 활용했다. 사회·제도적 요인은 국토교통부 개방자료인 도로도, 주택지도, 토지피복도를 활용했다. 또한 격자단위 분석을 위해 각 지도는 100 m 단위로 격자를 생성하여 분석에 활용하였다. 영농형 태양광 최적 입지 선정을 위한 평가지표로는 AHP 분석에 쓰인 구조도를 활용했다(Fig. 2).

요인별 등급 및 점수를 설정하여 평가 단위 및 점수화 방안을 도출하였으며(Table 4), 이를 기준으로 지도를 재분류하여 분석하였다. 먼저, 지형적인 요인 중 음영기복도는 연중 해가 가장 짧은 날인 동짓날(양력 12월 22일) 기준이며, 이때 방위각은 230°, 고도는 10°를 기준으로 한다. 경사도는 환경부 사전환경성검토 업무매뉴얼을 기준으로 20° 이상은 사면 붕괴현상, 겨울철 결빙현상 등으로 부적합하다(Lee et al., 2008). 경사향의 경우, 해가 잘 드는 남향과 평지가 좋으며, 북향의 경우 좋지 않다. 기후적인 요인 중 평균기온은 충남지역의 ASOS (automated synoptic observing system, 종관기상관측) 및 AWS (automatic weather stations, 방재기상관측)로 관측하는 자료를 바탕으로 최근 10년 기후평년값(2011 - 2020년)을 사용하였다(Table 5). 일사량은 단위시간에 따른 단위면적당 일사에너지 양

Table 4. Evaluation indicators and scoring plan for selecting suitable sites for agrivoltaics facilities.

Evaluation			Grading and Scoring Scheme					
Indicators	Unit	Standard	Rate	1st grade	2nd grade	3rd grade	4th grade	5th grade
			5 scale	10	8	6	4	2
			2 scale	10	-	-	-	2
Geographical factors	Shading	Meter (m)	Natural breaks	>95	67-95	47-67	24-47	24>
	Slope	Percentage (%)	Reclassify	<9	9-27	27-37	37-47	47<
	Direction	Defense	Reclassify	Flat, south	Southeast, southwest	East, west	Northeast, northwest	North
Climatic factors	Average temperature	Celsius (°C)	Geometry	>12.6	12.4-12.6	12.1-12.4	11.9-12.1	11.9>
	Solar radiation	WH/m ²	Natural breaks	>1,335,209.7	1,275,355.0-1,335,209.7	1,218,825.8-1,275,355.0	1,129,043.8-1,218,825.8	1,129,043.8>
	Hours of sunshine	Time (hours)	Geometry	>2,349.2	2,294.1-2,349.2	2,228.3-2,294.1	2,149.4-2,228.3	2,149.4>
	Wind speed	Initial speed (m/s)	Geometry	<1.52	1.52-1.68	1.68-1.92	1.92-2.30	2.30<
Social and institutional factors	Distance form road	Meter (m)	Reclassify	>400	300-400	200-300	100-200	100>
	Distance form residential	Meter (m)	Reclassify	>400	300-400	200-300	100-200	100>
	Farmland classification	Farmland classification	Reclassify	Agricultural promotion zone	<	-	>	Agricultural protection zone

Table 5. Average annual climate values by observation point in Chungnam Province.

Place name	Average temperature (°C)	Precipitation (mm)	Sunshine hours (hours)	Average wind speed (m/sec)	Latitude (Y)	Hardness (X)
Sesan	12.3	1,156.5	2,395.2	2.1	36.77658	126.4939
Cheonan	12.3	1,178.8	2,283.1	1.7	36.76217	127.2928
Boryeong	12.9	1,135.4	2,225.9	1.7	36.32724	126.5574
Buyeo	12.6	1,310.5	2,125.5	1.3	36.27242	126.9208
Geumsan	12.0	1,267.0	2,083.5	1.2	36.10563	127.4818
Hongbuk	12.0	1,229.6	-	1.9	36.62774	126.6451
Gongju	12.5	1,197.4	-	1.2	36.48284	127.1365
Seocheon	12.7	1,236.9	-	1.7	36.06248	126.7041
Nonsan	12.7	1,221.1	-	1.8	36.21164	127.1082
Dangjin	12.1	1,063.1	-	1.6	36.88936	126.6174
Cheongyang	11.3	1,310.8	-	0.9	36.42371	126.7791
Taeon	12.7	1,130.3	-	2.0	36.75851	126.2964
Yesan	12.6	1,136.0	-	2.0	36.74213	126.8144
Asan	12.6	1,083.9	-	2.3	36.84578	126.8654
Gyeryong	11.3	1,383.1	-	1.2	36.31320	127.2407
Average	12.31	1,202.69	2,222.64	1.64	-	-

(WH/m^2)을 의미하며, 3D 공간분석 중 area solar radiation과 충청남도 DEM을 활용하여 연중 일사량을 모의했다. 일조량과 풍속은 크리깅보간법을 통해 geometry 분류 방식을 채택했으며, 일조시간은 일조량과 밀접한 관련이 있으므로 일조량 자료를 활용했다. 사회·제도적인 요인 평가지표 및 점수화 방안을 도출하기 위해 도로로부터 이격거리, 주택과의 이격거리는 유클리드(기하학적) 거리 알고리즘에 의해 분석했으며, 유클리드 거리는 소스 셀의 중심에서 주변 각 셀의 중심까지 계산된다.

Results

AHP 분석을 이용한 입지선정 요인 분석

AHP 분석 제1계층은 지형적인 요인, 기후적인 요인, 사회·제도적인 요인으로 구분되며, 가중치 분석 결과, 지형적인 요인과 사회·제도적인 요인에 비해 기후적인 요인의 중요도가 상대적으로 낮게 나타났다(Fig. 3). 중요도가 높은 순서대로 지형적인 요인의 중요도가 0.37, 사회·제도적인 요인의 중요도가 0.35, 기후적인 요인의 중요도가 0.24로 나타났다. 지형적인 요인과 사회·제도적인 요인은 비슷한 수준으로 중요도가 평가된 반면, 기후적인 요인의 중요도는 상대적으로 낮게 평가되었다. 이는 농지 상부에 패널을 설치해야 하는 영농형 태양광 발전 특성의 영향으로 보인다.

AHP 분석 제2계층-지형적인 요인에는 경사도, 음영기복도, 향이 포함되며 세 요인 중 향이 가장 중요한 것으로 나타났다(Fig. 3). 중요도가 높은 순서대로 향 0.52, 경사도 0.25, 음영기복도 0.24로 나타났다. 경사도와 음영기복도의 중요도는 비슷한 수준으로 평가되었고, 햇빛이 드는 방향(정남향, 남동향, 남서향)을 결정짓는 향의 중요도가 가장 높게 평가된다.

AHP 분석 제2계층-기후적인 요인에는 평균기온, 일사량, 일조시간, 풍속이 포함되며 네 요인 중에는 일조시간이 가장 중요한 것으로 나타났다(Fig. 3). 중요도가 높은 순서대로 일조시간 0.48, 일사량 0.35, 평균기온 0.11, 풍속 0.07로 나타났다. 태양광 발전량에 직접적인 영향을 미치는 일조시간과 일사량의 중요도가 높게 평가되었으며, 평

균기온과 풍속의 중요도는 상대적으로 낮게 평가되었다.

AHP 분석 제2계층-사회·제도적인 요인에는 도로와의 이격거리, 주택과의 이격거리, 농지 구분이 포함되며 세 요인 중에는 농지 구분이 가장 중요한 것으로 나타났다(Fig. 3). 중요도가 높은 순서대로 농지 구분 0.43, 주택과의 이격거리 0.37, 도로와의 이격거리 0.2로 나타났다. 영농형 태양광 발전의 수익성 및 설치 여부에 영향을 미치는 농지 구分的 중요도가 높고, 주민수용성과 관련 있는 주택과의 이격거리가 다음으로 중요하게 평가된다.

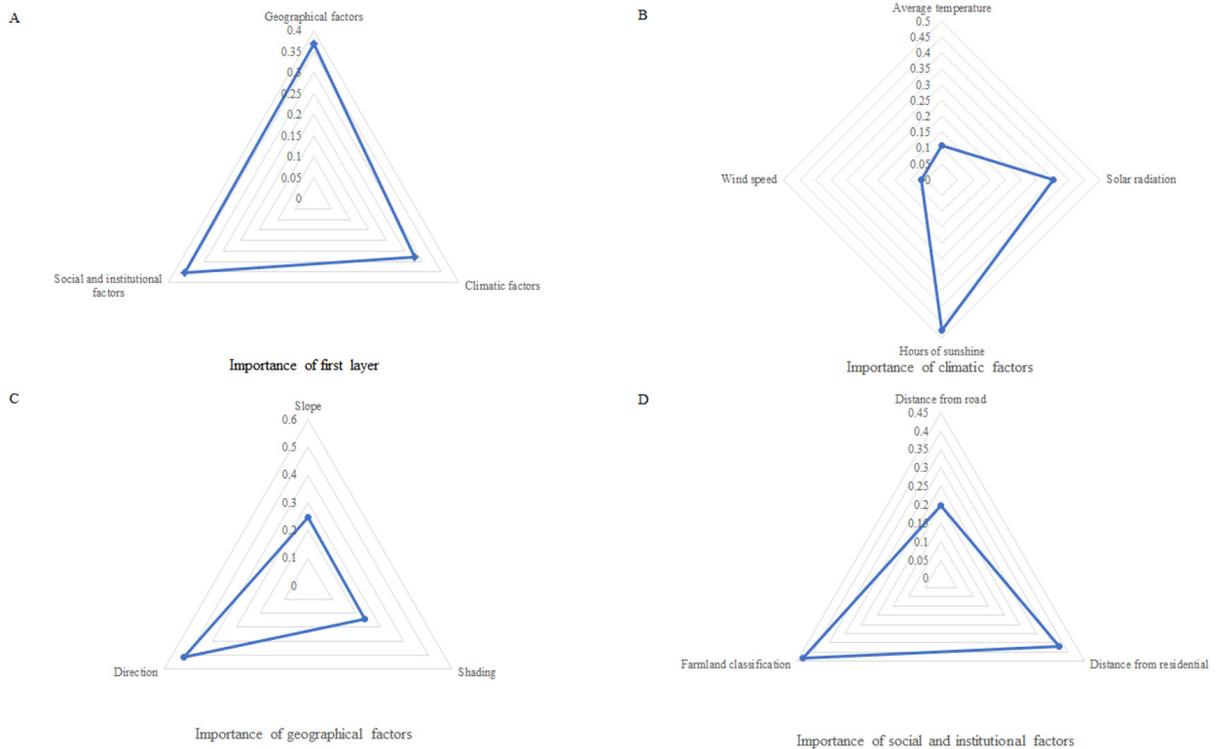


Fig. 3. Importance of first layer and second layer. A, Importance of first layer; B, Importance of climatic factors; C, Importance of geographical factors; D, Importance of social and institutional factors.

지형적인 요인 제2계층인 ‘향’이 모든 요인 중 가장 중요한 것으로 평가되었는데, 태양광 발전량에 영향을 미치는 절대적인 요소가 햇빛이 드는 정도이므로 이는 타당한 결과이다(Kwon et al., 2008). 사회·제도적인 요인 제2계층인 ‘농지 구분’이 두 번째로 중요한 것으로 평가되었으며, 농지 구분은 농가에서 실제로 영농형 태양광 발전 패널 설치 유무에 직접적인 영향을 미치고, 수익성과 관련이 높은 요소이므로 타당한 결과로 보인다. 기후적인 요인 제2계층인 ‘일조시간’이 세 번째로 중요한 것으로 평가되었는데, 태양광 발전량에 직접적 영향을 미치는 요소가 햇빛이며, 일조시간은 길수록 좋으며 3.5시간 이상이 최적이므로 적절한 평가로 보인다(Kwon et al., 2008).

ArcGIS를 이용한 충남지역 영농형 태양광 최적 입지 후보지 선정

앞서 진행한 AHP 분석 결과를 바탕으로 각 요인의 중요도를 요인별 가중치로 활용해 arcGIS 분석을 실시했다. 10개 평가지표를 등급화하고 가중치를 적용하여 중첩분석을 시행했다(Fig. 4). 분석은 평가의 용이성을 위하여 스케일을 100단위로 설정하였으며, 구체적으로 1등급 10점, 2등급 8점, 3등급 6점, 4등급 8점, 5등급 2점으로 분류하

여 분석에 활용하였다. 이때, 각 지도 격자에 최대 100점부터 최소 20점까지 할당하여 최종 입지후보지 도출에 용이하도록 하였다. 분석 결과, 격자값이 최소 22점부터 최대 91점까지 부여되었고, 이를 바탕으로 배제지역을 제외하는 과정을 거치고 이를 등급화하여 지도에 표현했다.

영농형 태양광 입지후보지 분석 후, 배제지역을 제외하는 분석을 실시했다(Fig. 5). 배제지역은 농업진흥지역 내 농업진흥구역이므로, 농업보호구역에서 입지후보지를 도출할 수 있다. 배제지역을 제외하면 5등급 지역은 없는 것으로 분석되며, 1등급부터 4등급까지 분석된다.

GIS analysis of agricultural solar power candidate areas

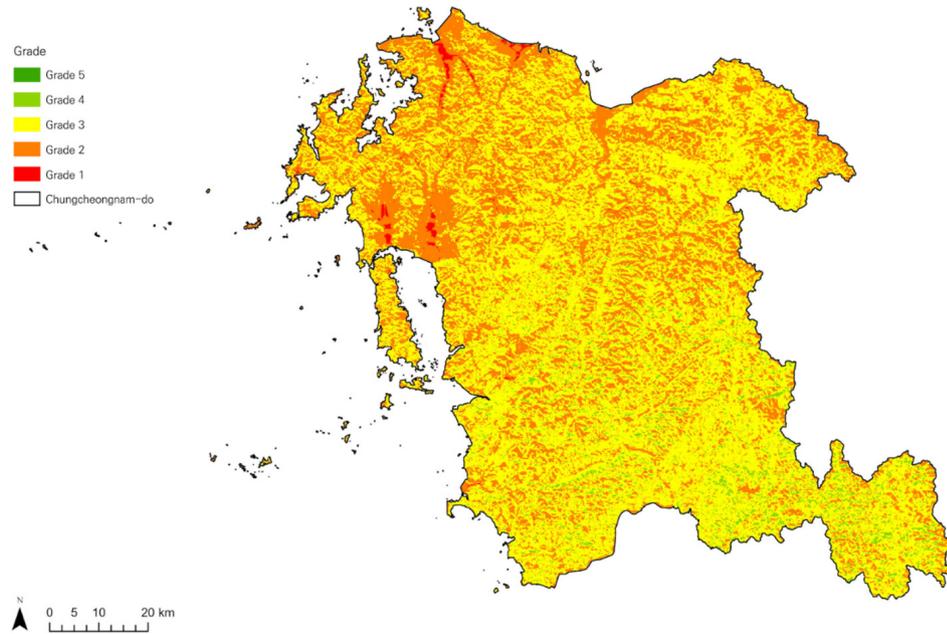


Fig. 4. Overlay analysis results of agrivoltaics site candidates: Overlay analysis results.

GIS analysis of agricultural solar power candidate areas applying exclusion areas

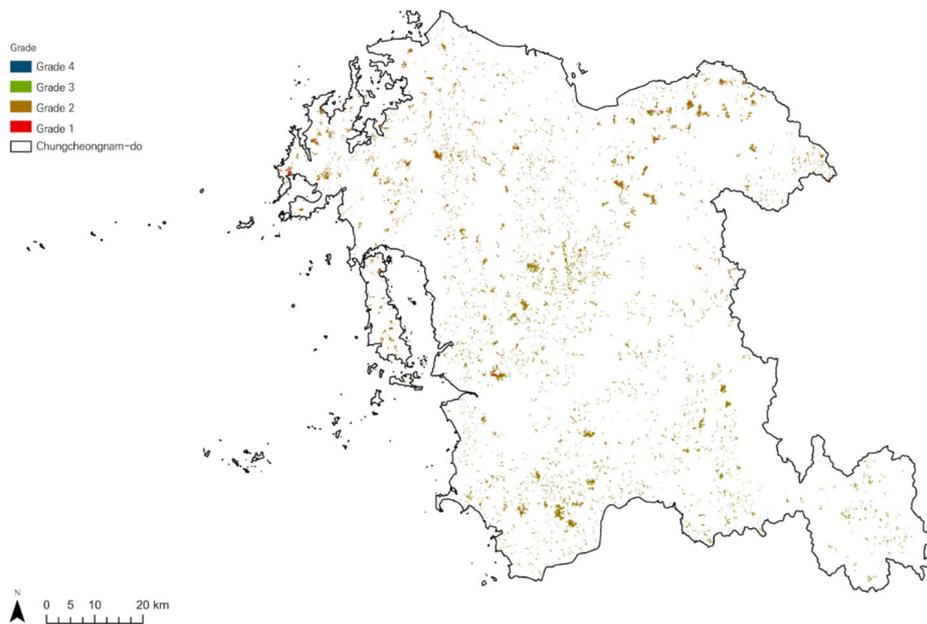


Fig. 5. Overlay analysis results of agrivoltaics site candidates: Excluding excluded areas.

Conclusion

본 연구결과는 영농형 태양광 설치 시 고려해야 할 요인을 선정하고, 충남지역 내 영농형 태양광 설치가 가장 적합한 지역을 GIS 기법을 이용하여 선정했다. 충남지역 시군별 영농형 태양광 입지후보지 우수지점은 총 36개로 선정되었으며(Fig. 6), 이 중 산, 도로 등을 제외하고, 현장답사를 통해 영농형 태양광 설치가 불가능한 지역을 제외함으로써 총 60여 개 지역이 영농형 태양광 입지 후보지로 선정되었다. 선정된 입지 후보지는 대부분 충남의 북쪽 지역에 위치하고 있는 것이 특징이다. 이들 지역이 경기도권에 근접함을 감안하면, 전력을 생산해서 근접 지역에 수요가 충분한 것으로 판단된다. 충남의 남쪽 지역은 대체적으로 산지가 위치해 입지 선정에 고려해야 할 환경적, 기후적 요인에서 낮은 점수를 얻었다. 영농형 태양광 설치에 우수한 지역으로 선정되었더라도 해당 지역 대부분이 농업보호구역이다. 농업보호구역에서는 농업진흥구역에서 허용되는 토지이용행위 및 농업인 소득 증대에 필요한 시설의 설치, 농업인의 생활여건을 개선하기 위해 필요한 시설 설치행위만이 허용된다. 따라서 묘, 타운하우스 등 필요 시설이나 농업인의 생활 여건 개선을 위한 시설이 있는 경우가 다수 존재한다.

영농형 태양광 관련하여 보급가능 여부, 환경오염 측면, 경제성 측면, 제도적 측면, 주민수용성 측면에서도 고려되어야 한다. 보급가능 여부 측면에서 농업진흥구역 제외 및 이격거리 규제를 고려하면 실제 도입 가능한 면적은 급감하게 된다. 전국 226개 기초자치단체 중 절반 이상이 대부분 도로·주택 이격거리 규제(300 m - 1 km)를 통해 태양광 입지규제 시행 중에 있으며, 농업진흥구역 등 상위법상 입지가 불가능한 지역을 제외하면 설치가능 면적이 부족한 상황이다(Shin et al., 2021). 태양광 발전 시설이 도로와 주택으로부터 500 m 이격거리를 둔 구미시 대상 분석 결과, 대상 면적은 20.28%에서 0.09%로 감소했다(SFOC, 2020).

환경오염 측면에서 경관훼손 문제는 개인차가 크나 우려 수준이 높은 편은 아니며, 토양오염 등은 가이드라인이나 구체적 설치기준 마련으로 해결 가능하다. 경관훼손 문제에 대한 지역주민, 발전사업자 등에 대해서는 이해 당사자 우려 수준이 낮은 편이며, 토양오염 및 농작물 위해도 등 실증(시범)사업 연구결과를 바탕으로 안전성을 확보할 수 있는 것으로 판단한다(Shin et al., 2021).

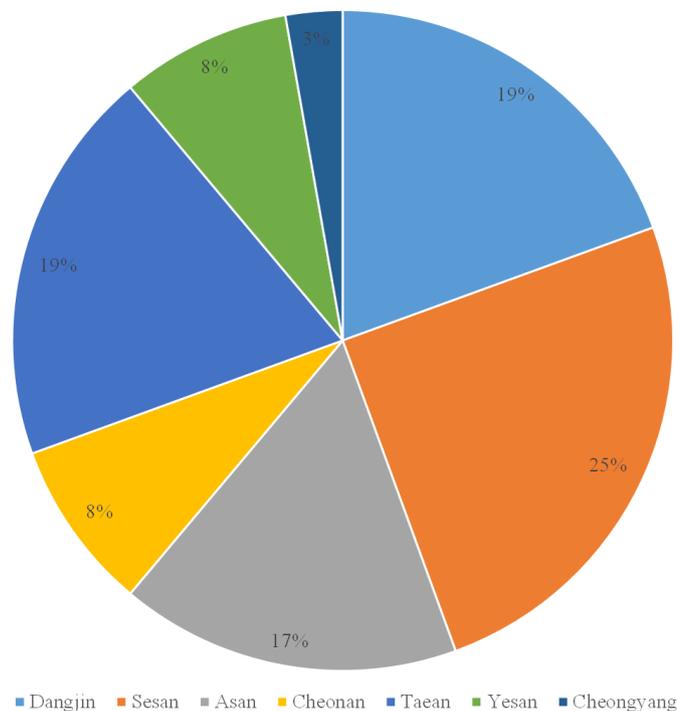


Fig. 6. Distribution of agrivoltaics site candidates in Chungnam Province.

경제성 측면에서는 지역별 및 작물별 차이가 있으나 농업 생산량 감소로 농업소득은 감소하고 농업 외 소득 증가하여 농가소득은 증가할 것으로 예상된다. 영농형 태양광 설치 목표 10 GW 기준 면적은 전체 농지 면적 1.4% (2만 3,000 ha) 수준으로 거시적인 측면에서 피해는 크지 않을 것으로 예상되며, 전력수입 증대로 농외소득이 증가하나 금융지원 및 전력가격 반영 정도에 따라 농외소득은 변동 가능하다(100 kw급 연간 평균적으로 555만 원 수준). 초기투자 비용 및 운영비 부담에 따라 변동 폭이 크며, 소농에 우선적으로 영농형 태양광 설치를 실시할 경우 농가 소득 증가 폭이 큰 것으로 확인된다(Shin et al., 2021).

제도적 측면에서는 농지법 관련 농업진흥구역 밖 농지전용 및 타용도 일시사용기간 변경 등과 영농형 태양광 농지 목적에 합치되는 복합이용(dual land use) 개념 도입 여부, 사후관리 등 논의가 필요하다. 일시사용기간 연장(8년->20년) 및 규정 방안(시행령->법률)과 농업진흥구역 외 활용 방안, 농업진흥구역 내 태양광 설비 집중(낮은 지가에 의한 영향), 2019년 기준 논 1 m² (0.3평)당 평균 공시가격이 농업진흥구역 2만 2,731원, 비농업진흥구역 4만 4,743원으로, 비농업인의 태양광 사업 참여가능성이 높다는 점에서 입법취지의 희석 우려가 있다. 따라서 영농형 태양광 모델의 사후관리 규제화, 영농형 태양광 발전 참여를 위한 기술기준, 참여자격 및 영농인에 대한 지원 방안 등에 대한 노력이 필요하다.

주민수용성 측면에서는 외지인 사업주도, 지역개발 및 보상 방안, 소통협력체계 구축, 이해당사자 의견 반영을 반영하거나, 참여 여부에 따른 사회적 이익 공유 방안을 모색하고 수준을 검토할 필요가 있다. 또한 정부차원에서 영농 지속 요건 불충족 시설에 대해 농지 타용도 일시사용 취소와 같이 페널티를 부여하는 등 사후관리 미흡 시 대처방안이 필요하다.

본 연구는 충남지역 영농형 태양광 입지후보지 선정에 위해 AHP 분석에 반영할 수 있는 요인만을 고려하였으며, 이에 따라 지가(land price)는 반영하지 못하였다는 한계점이 존재한다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 충남지역 내 영농형 태양광을 설치 시 입지 조건에 부합하는 최적 지역 선정 기초자료로 활용 가능하다. 지역을 리 단위까지 세분화하여 제시하였으며, 그 중 해당 지역 내 시설 유무도 파악하였다. 본 연구의 실증적인 분석을 통해 충남지역 영농형 태양광 설치 사업에 있어 입지 후보지 선정에 대한 다양한 정보를 제공함으로써 사업 추진을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

Conflict of Interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

본 연구는 한국중부발전(Korea Midland Power Co., Ltd.) 충남지역 영농형 태양광 발전사업 후보지 선정 연구용역(제C0052220488호)으로 수행되었습니다.

Authors Information

Byung Min Soon, <https://orcid.org/0000-0003-0571-9770>

Su Min Cho, <https://orcid.org/0000-0001-5613-6319>

Hee Dong Koo, <https://orcid.org/0000-0001-5843-5857>

Hyun Seon Lee, <https://orcid.org/0009-0008-1200-6676>

References

- Asakereh A, Omid M, Alimardani R, Sarmadian F. 2014. Developing a GIS-based fuzzy AHP model for selecting solar energy sites in Shodirwan region in Iran. *International Journal of Advanced Science and Technology* 68:37-48.
- Jeon SH, An SM, Choi YJ, Sung HH. 2011. A study on the site selection for wind power using GIS. *New & Renewable Energy* 7:83-91. [in Korean]
- Jeong HK, Rhew CH, Chae GS, Choi JH, Lim JH. 2023. Korean-style small solar power fixed price contract purchase system sunsets! What is the future of agricultural solar power business? *KREI ISSUE+ 2023:Issue3*. KREI (Korea Rural Economic Institute), Naju, Korea. [in Korean]
- Kwon SD, Joo WY, Kim WK, Kim JH, Kim EH. 2014. Analyzing site characteristics and suitability for wind farm facilities in forest lands. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 17:86-100. [in Korean]
- Kwon YH, Kim JY, Lee MJ. 2008. Guidelines for site selection for solar and wind power plants considering the environment. *KEI (Korea Environment Institute) Research Reports 2008:Issue2:1-167*. KEI, Sejong, Korea. [in Korean]
- Lee EC, Chae M. 2009. A study on key success factors of SCM applying AHP. *Korean Journal of Logistics* 17:53-77. [in Korean]
- Lee J, Chung HM, Lee SS. 2008. Analysis on the location of the sunray energy power plants. *Journal of Knowledge Information Technology and Systems* 3:31-37. [in Korean]
- Lee JY, Kang IJ. 2010. A study of PV system facilities using geo-spatial information system. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science* 18:99-105. [in Korean]
- Lee KR, Lee WH. 2015. Solar power plant location analysis using GIS and analytic hierarchy process. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18:1-13. [in Korean]
- Lee KR, Lee WH. 2016. Floating photovoltaic plant location analysis using GIS. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science* 24:51-59. [in Korean]
- Lee SJ, Song SJ, Kang IJ. 2010. Location analysis for wind power system using geo-spatial information system. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science* 18:107-112. [in Korean]
- Park JI, Park MH, Lim RT. 2010. A study on the new renewable energy suitable position using GIS. In *Proceeding of Korean Cadastral Information Society Conference*. [in Korean]
- Saaty TL. 1995. Transport planning with multiple criteria: The analytic hierarchy process applications and progress review. *Journal of Advanced Transportation* 29:81-126.
- SFOC (Solutions for Our Climate). 2020. Nowhere to go: How South Korea's siting regulations are strangling solar. p. 73. SFOC, Seoul, Korea. [in Korean]
- Shin DW, Lee CH, Chung YM, Soon BM. 2021. Research on policy measures to promote agricultural solar power. *KEI (Korea Environment Institute) Research Reports. 2021:Issue5:1-136*. KEI, Sejong, Korea. [in Korean]
- Tegou LI, Polatidis H, Haralambopoulos DA. 2010. Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study. *Journal of Environmental Management* 91:2134-2147.
- Woo HS. 2011. Setting priorities on standardization work items of IPv6 multi-networking using analytical hierarchy process. *Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering* 34:25-32. [in Korean]
- Yun JM, Lee SH. 2010. A study on the location analysis of public service facilities considering spatial efficiency and equity. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13:1-10. [in Korean]

Supplementary Table 1. First-level reference matrix and standard matrix.

Factor	Reference matrix			Factor	Standard matrix		
	Geographical	Climatic	Social and institutional		Geographical	Climatic	Social and institutional
Geographical	1.000	1.484	0.935	Geographical	0.365	0.409	0.333
Climatic	0.674	1.000	0.874	Climatic	0.246	0.276	0.311
Social and institutional	1.069	1.144	1.000	Social and institutional	0.390	0.315	0.356

Supplementary Table 2. Second-level (geographical factors) reference matrix and standard matrix.

Factor	Reference matrix			Factor	Standard matrix		
	Slope	Shading	Direction		Slope	Shading	Direction
Slope	1.000	1.484	0.935	Slope	0.365	0.409	0.333
Shading	0.674	1.000	0.874	Shading	0.246	0.276	0.311
Direction	1.069	1.144	1.000	Direction	0.390	0.315	0.356

Supplementary Table 3. Second-level (climatic factors) reference matrix and standard matrix.

Factor	Reference matrix				Factor	Standard matrix			
	Average Temperature	Solar radiation	Hours of sunshine	Wind speed		Average Temperature	Solar radiation	Hours of sunshine	Wind speed
Average Temperature	1.000	0.244	0.207	2.239	Average Temperature	0.096	0.081	0.103	0.156
Solar radiation	4.094	1.000	0.627	5.243	Solar radiation	0.395	0.330	0.313	0.365
Hours of sunshine	4.834	1.596	1.000	5.887	Hours of sunshine	0.466	0.527	0.499	0.410
Wind speed	0.447	0.191	0.170	1.000	Wind speed	0.043	0.063	0.085	0.070

Supplementary Table 4. Second-level (social and institutional factors) reference matrix and standard matrix.

Factor	Reference matrix			Factor	Standard matrix		
	Distance from road	Distance from residential	Farmland classification		Distance from road	Distance from residential	Farmland classification
Distance from road	1.000	0.455	0.566	Distance from road	0.197	0.161	0.236
Distance from residential	2.198	1.000	0.730	Distance from residential	0.433	0.354	0.323
Farmland classification	1.876	1.370	1.000	Farmland classification	0.370	0.485	0.442

Supplementary Table 5. Reliability index for each factors.

Factors	λ -max	CI	C.Ratio
Location conditions	3.012	0.00595	0.01026
Geographical factors	3.001	0.00067	0.00115
Climatic factors	4.057	0.01900	0.02111
Social and institutional factors	3.025	0.01249	0.02153

CI, consistency index; C.Ratio, consistency ratio.

Supplementary Table 6. Importance within factors.

Factors	Detail factors	Importance (%)	Ranking within factors
Location conditions	Geographical factors	0.369	1
	Climatic factors	0.278	3
	Social and institutional factors	0.354	2
Geographical factors	Slope	0.245	2
	Shading	0.237	3
	Direction	0.517	1
Climatic factors	Average temperature	0.109	3
	Solar radiation	0.351	2
	Hours of sunshine	0.475	1
	Wind speed	0.065	4
Social and institutional factors	Distance from road	0.198	3
	Distance from residential	0.370	2
	Farmland classification	0.432	1

Supplementary Table 7. Importance and ranking of each factors.

Ranking within factors	Detail factors	Importance (%)
1	Direction	0.191
2	Farmland classification	0.153
3	Hours of sunshine	0.132
4	Distance from residential	0.131
5	Solar radiation	0.097
6	Slope	0.091
7	Shading	0.087
8	Distance from road	0.070
9	Average temperature	0.030
10	Wind speed	0.018