

GIS와 계층분석법을 이용한 태양광 발전소 입지 분석

이기림¹ · 이원희^{1*}

Solar Power Plant Location Analysis Using GIS and Analytic Hierarchy Process

Ki-Rim LEE¹ · Won-Hee LEE^{1*}

요 약

우리나라 뿐만 아니라 전 세계적으로 온실가스를 줄이기 위해 신재생에너지에 대한 관심이 많다. 현재 우리나라에서는 신재생 에너지 중 태양광 발전소의 전기 생산 비율이 가장 높으며, 지금도 태양광 발전소가 많이 설치되고 있다. 하지만 국내의 경우 태양광 기술은 발전하고 있지만, 태양광 발전소의 입지 선정에 대한 연구가 아직 부족하여 여러 가지 문제가 발견되고 있으며 발전된 기술을 제대로 활용하지 못하는 문제도 발생하고 있다. 또한, 무분별한 발전소의 설치로 인해 자연 훼손도 심각하다. 본 연구에서는 태양광 발전소의 입지조건을 사회, 문화, 경제적 등 다방면의 인자들을 고려하고, 다양한 인자들을 이용하여 시각화 및 데이터화를 시킨 후 계층분석법을 통한 가중치를 부여하여 태양광 발전소 입지 분석을 하였다. 이렇게 여러 인자의 영향을 고려했기 때문에 태양광 발전소의 설치로 인한 문제들을 방지할 수 있고, 태양광의 발전된 기술을 최대한 활용할 수 있으며, 현재 설치가 진행 중인 발전소 뿐만 아니라 기존 잘못된 입지들에 대한 대책 마련에 도움이 될 것이라고 기대한다.

주요어 : 신재생에너지, 태양광 발전소, 입지분석, 지리정보시스템, 계층분석법

ABSTRACT

The interest in renewable energy which can reduce greenhouse gas emissions has risen in the world including Korea. In Korea, solar energy generation accounts for a major percentage of electricity production using renewable energy and the solar power plants have been increasingly installed in Korea. The problem is, however, that researches on the location selection of solar power plants are unreasonably insufficient although the photovoltaic technology of the domestic solar power plants has been evolving. Thus, advanced solar energy technology could not be fully used. What is more,

2015년 8월 20일 접수 Received on August 20, 2015 / 2015년 9월 30일 수정 Revised on September 30, 2015 / 2015년 10월 17일 심사완료 Accepted on October 17, 2015

1 경북대학교 융복합시스템공학부 School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University

* Corresponding Author E-mail : wlee33@knu.ac.kr

the indiscriminate installation of the solar power plants seriously damages the nature environment. In this study, conditions of the power plants location are analyzed in consideration of the social, cultural, environmental, economic factors and the optimum location is selected by visualizing and weighing various factors through the analytic hierarchy process. This study shows that the problem caused by the indiscriminate installation of a solar power plant could be prevented by determining the location after considering the influence of several factors. This paper would be helpful not only for the selection of location for solar plant installation in progress, but also for taking follow-up measures on the existing solar power plants placed wrongly.

KEYWORDS : *New Renewable Energy, Solar Power Plant, Location Analysis, Geographic Information System, Analytic Hierarchy Process*

서론

지구온난화와 기후변화 등으로 인해 전 세계적으로 화석연료를 줄이고 있으며, 신재생에너지 사업에 투자를 많이 하고 있다. 우리나라 정부 또한 신재생 에너지에 대한 연구와 투자를 많이 하고 있으며, 특히 신에너지로는 연료전지와 수소에너지, 재생에너지로는 태양열, 태양광, 바이오, 풍력, 수력, 지열에너지에 많은 연구와 투자를 하고 있다. 전 세계적으로 신재생 에너지에 관심을 가지는 이유로는 이산화탄소 배출량을 줄이지 않을 경우 2100년까지 최대 6.4°C의 온도 상승이 예측되며, 이러한 온도 상승은 환경적, 사회적, 경제적 모든 영역에 영향을 미치기 때문이다(Akella *et al.*, 2009). 또한, 지속 가능한 에너지 공급은 경제 성장과 사회 발전에 핵심 요소이다(Ramachandra and Shruthi., 2007; Asakereh *et al.*, 2014; Polo *et al.*, 2015). 화석연료가 부족한 우리나라의 경우 특히 지속 가능한 에너지가 필요로 하다. 국가에너지 위원회에서는 향후 2030년까지 화석에너지 비중을 83%에서 61%로 축소하고, 신재생에너지의 비중을 2.4%에서 11%로 확대하여 탈 화석화를 적극적으로 추진할 계획이다. 태양광 발전소의 경우 현재 대비 공급규모를 44배 정도 늘릴 전망이다. 하지만 태양광의 경우 발전소 설치를 위해서는 많은 면적이 필요

하므로 보다 효율적인 입지분석이 필요하다. 기존 태양광 발전소 입지분석 연구로는 GIS를 이용한 신·재생에너지 적지 분석 연구(Park *et al.*, 2010), 공간통계기법을 이용한 태양광발전 시설입지 정확성 향상 방안(Kim, 2010), 상관 분석기법과 GIS를 이용한 신·재생에너지 발전소 적지분석 연구(Park, 2011), 태양광 발전소 설립에 따른 입지분석(Lee *et al.*, 2008), GIS 기술을 활용한 태양광시설 입지선정에 관한 연구(Lee and Kang, 2010)가 있었으며, 지형적인 인자만 있거나 인자들의 개수가 적었다. 환경적, 사회적 영향을 고려한 태양광발전소의 기존 입지 타당성 평가 및 지속가능한 입지 제안(Park and Kim, 2012)에서는 제외지에 축사시설을 넣었는데, 최근 뉴스에서는 축사시설에 영향을 주지 않는 것으로 판명되어 입지선정에 있어 부정확하다고 볼 수 있다. 또한, 선행연구 중 GIS를 활용한 태양광 발전소 최적 입지선정(Sim *et al.*, 2010)을 보면 입지분석에 영향을 미치는 잠재적인 요인들을 크게 기상학적 요인과 지리적인 요인으로 분류하여 입지분석을 시행하였다. 하지만 결과적으로 우리나라에서 최적 입지조건을 갖추고 있는 대표지역인 전라남도, 경상북도 지역이 아닌 경기도 지역에서 높은 점수가 나왔다. 외국논문으로는 Using GIS analytics and social preference data to evaluate utility-scale solar power site suitability(Brewer *et al.*, 2015)를 보면

퍼지이론을 이용한 태양광 발전소 입지분석을 하였는데 인자들이 다양하지 못했으며, 퍼지이론의 경우 인간의 주관에 의해 결정된다는 단점 때문에 최적성이 보장되지 않는다. Solar resources and power potential mapping in Vietnam using satellite-derived and GIS-based information(Polo *et al.*, 2015)를 보면 GIS와 위성을 이용하여 베트남 태양광 에너지의 잠재적 입지 평가를 분석하였으며, Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps (Gastli and Charabi, 2010), Assessment of solar electricity potentials in North Africa based on satellite data and a geographic information system(Broesamle *et al.*, 2001) 또한 GIS를 이용하여 잠재적 입지 평가를 분석하였다.

본 연구에서는 공업지역이 많고, 태양광 발전소 설치의 선호도가 높은 대구광역시와 경상북도 지역을 중심으로 기상학적, 지리학적 요인뿐만 아니라 좀 더 정확한 태양광 발전소 입지선정을 위하여 경제적, 문화적, 환경적 요인들까지 고려하였다. 또한, 계층분석법을 이용하여 여러 인자에 가중치를 부여하여 최적입지선정을 하였다.

연구지역 및 분석방법

1. 연구지역

연구지역은 일사량이 풍부하고 전력이 많이 필요한 공업지역이 많은 대구광역시와 경상북도를 대상으로 분석하였다. 대구·경북 지역은 일사량이 풍부하여 요즘 태양광 발전소 설립지역으로 주목 받고 있다. 하지만 일사량과 일조시간 데이터만으로 태양광 발전소를 설립하는 경우가 많아 문제점이 있다. 그리하여 먼저 태양광발전소 입지에 영향을 주는 요인을 분석하고 DB를 구축한다. 구축한 DB와 계층분석법을 이용한 가중치를 부여하고, 적합지 점수를 계산하여 입지를 선택한다. 그리고 기존의 태양광발

전소 입지선정 방법과 차이점을 비교하였다.

2. 계층분석법

1980년 미국 피츠버그 대학의 T.L. Saaty 교수에 의해 개발된 계층분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP)은 대안의 수가 많은 경우 불분명한 의사결정 문제를 상호 관련된 의사결정 사항들의 계층으로 분류하여 의사결정계층-의사결정모형을 설정하는 방법이다.

방대하고 복잡한 공간정보를 분석, 관리하기 위해 GIS를 이용하여 데이터베이스를 구축한다. 분석의 과정에서 의사 결정 문제에 직면하게 되는데 이 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 방법이 Satty가 개발한 분석적 계층법이다(Park *et al.*, 1998). 본 연구에서는 전문가 의견을 토대로 계층분석법을 실행하여 우선순위를 정하고, 가중치를 구하여 점수를 부여할 것이다.

3. 크리깅(kriging) 보간법

크리깅 보간법은 이미 알고 있는 점 정보들의 선형 조합으로 관심 있는 지점에서의 속성값을 예측하는 지구 통계학적 방법이다. 크리깅 보간법은 주위의 실측값들을 선형으로 조합하며, 통계학적인 방법을 이용하여 값을 추정한다. 즉, 값을 추정할 때 실측값과의 거리뿐만 아니라 주변에 이웃한 값 사이의 상관강도를 반영하므로 정확하다는 특징이 있다. 본 연구에서는 기후인자의 데이터가 기상청에서 몇몇 시/군에 제공되지 않아 크리깅 보간법을 사용했다. 크리깅 보간시에는 정규(Ordinary)크리깅을 사용했으며, 정규 크리깅의 경우 보간 값들의 오차를 최대한 줄이고, 고정 경향이 없어 다른 공간 보간법보다 정확도가 높다.

분석인자 및 적합성

1. 분석인자 결정

입지분석에 있어 분석인자 결정은 중요하며, 분석 결과에 영향을 미친다(Justin Brewer *et al.*, 2015). 아직까지 우리나라에서는 태양광

TABLE 1. Analytical factors

Factor	Details factor
Topography	Slope, Aspect, Shaded relief(Hillshade), Separation distance of the road
Climate	Radiation, Precipitation, Sunshine duration, Number of days with precipitation , Cloud amount, Average temperature, Average humidity, Dust days
Economy	Cost of land
Social	Residence
Culture	Separation distance of the historic site/Cultural assets

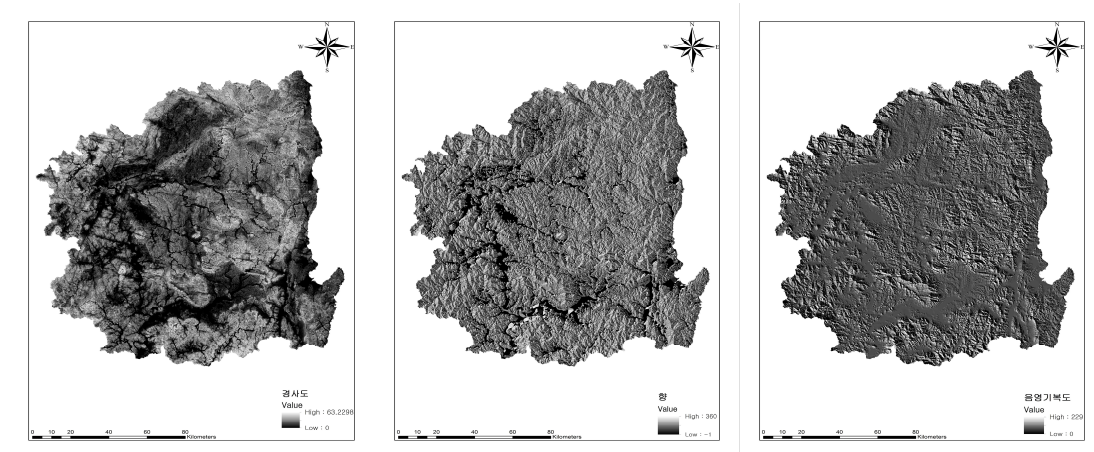
발전소 입지분석에 환경적, 사회적 영향을 분석에 반영하지 않고 있다(Park and Kim, 2012). 본 연구에서는 태양광 발전소의 기본적 조건인 지형, 기후와 환경적·문화적·경제적 요인을 고려한 다방면의 자료를 이용하여 태양광 입지 분석을 하였다. 분석 인자 및 세부인자는 다음 표 1과 같다.

1) 지형 인자

지형 인자의 경우 경사도, 향, 음영기복도, 도로와의 떨어진 거리로 지정하였다. 경사도의 경우 일반적으로 태양광 발전소 설치 시 경사

도 10도 이내의 구역에 설치된다(Kwon *et al.*, 2008). 또한 환경부 사전환경성검토 업무 매뉴얼 기준으로 볼 때 경사가 20도 이상일 경우 겨울철 결빙현상과 사면붕괴가 우려되며 또한 임야에 발전소가 위치한 경우 주변 도로에서부터 수직적인 경관으로 인해 운전자 시선을 방해할 수 있다(Lee *et al.*, 2008). 환경부 기준 경사도 분류는 다음 표 2와 같다.

향의 경우 햇빛이 잘 드는 남, 남동, 남서, 평지 지형이 좋다. 음영기복도의 경우 한국천문연구원의 동짓날(양력 12월 22일)을 기준으로 Azimuth는 230°, Altitude는 10°로 값을 적



(a) Slope

(b) Aspect

(c) Shaded relief (Hillshade)

FIGURE 1. Terrain factors of solar power plants

TABLE 2. Gradient classification based on the Ministry of Environment

Classification	Flat land	Gentle slope land	Slope land	Steep slope land(20~25°)	Steep slope land(25~30°)	Steep slope land(>30°)
Slope	5°	5~15°	15~20°	20~25°	25~30°	>30°

용했다. 동짓날의 경우 1년 중 해가 가장 짧은 날인데, 이 때 해가 잘 비치면 365일 동안 해가 잘 비친다. 도로와의 떨어진 거리의 경우 태양광 시설 재질이 실리콘 재질로써 먼지가 많은 지역은 피해야하므로 도로로부터 떨어진 거리를 유지하는 것이 좋다. 경사도, 향, 음영기복도의 경우 디지털 표고 모델(Digital Elevation Model: DEM) 자료를 이용하여 만들었으며, DEM의 경우 ㈜Biz-gis에서 제공하는 지형 등고선을 이용하여 TIN 생성 후 DEM 자료를 만들었다. DEM의 해상도는 10 by 10이다. 도로의 경우 환경부 환경공간정보서비스에서 환경

지도 중 중분류 토지피복도(06.06.~07.12) 과 일을 받아 도로 데이터를 추출하였다. 지형인자의 경우 다음 그림 1과 같다.

2) 기후 인자

태양광 발전소에 있어서 가장 중요한 것은 바로 기후이다. 입지분석에 사용될 인자는 일사량, 강수량, 일조시간, 강수일수, 전운량, 평균기온, 평균습도, 황사일수로 지정하였다. 기후 인자의 경우 기상청에서 제공되는 태양기상자원지도의 태양자원분포도 자료와 기상청 국내기후자료 중 평년값 자료를 이용하였다. 일사량의

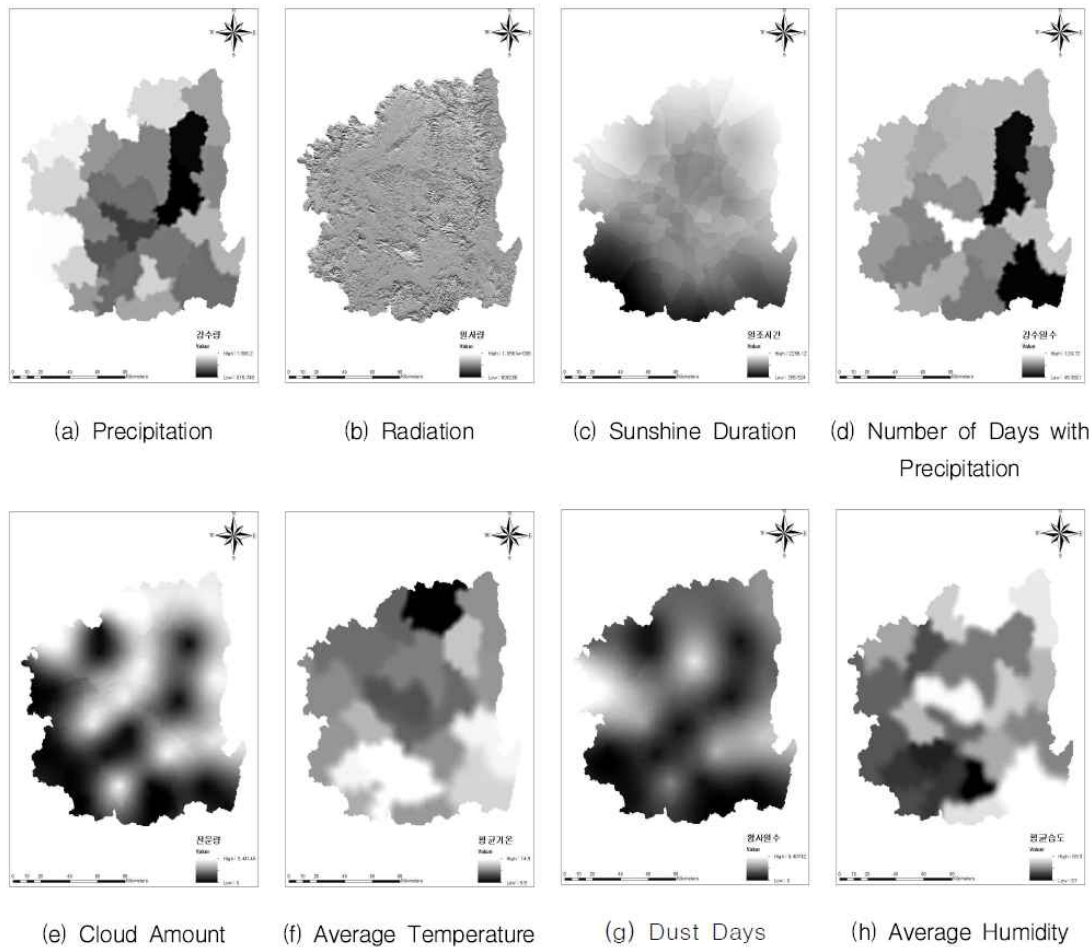


FIGURE 2. Climate factors of solar power plants

경우 단위면적당 단위시간에 받는 일사에너지의 양이며, 태양광 발전소 입지분석에서 가장 중요하다. 강수량과 강수일수, 전운량, 평균습도, 황사일수의 경우 일사량에 영향을 미치는 요인들이며 값이 작을수록 좋은 지역이라고 할 수 있다. 평균기온은 태양광 모듈과 관련이 있는데 태양광 모듈의 경우 기온이 높아지게 되면 모듈의 전선이 열로 인해 효율이 저하되며, 셀 온도 기준으로 25° C일 때 100%의 효율을 내며 온도가 1도 상승할 때마다 0.5%씩 효율이 저하된다. 그러므로 기온은 낮으면서 일사량이 많은 조건을 갖춘 지역이 좋다. 태양광 입지 선정 가이드라인에 따르면 기온은 25도 이하의 지역이 적절하며, 일조시간은 3.5시간 이상이 최적조건으로 제시되어 있다(Kwon *et al.*, 2008).

일사량 데이터 경우 ArcMap의 Area Solar Radiation Tool을 이용하여 365일 1년 전체의 일사량을 추정하여 값을 얻었다. 위도 값은 대구광역시와 경상북도의 평균위도를 넣었다. 강수량과 강수일수, 평균습도, 평균기온의 경우 모든 지역의 자료를 얻을 수 있어 래스터 자료

를 만들었으며, 전운량, 일조시간, 황사일수는 모든 지역의 값을 알 수 없어 크리깅 보간법을 이용하여 값을 추정, 래스터자료를 얻었다. 기후인자의 데이터는 다음 그림 2와 같다.

3) 경제적 인자

태양광 발전소 효율을 극대화하기 위해서는 일사량, 평균기온 등 기후 인자가 제일 중요하지만 많은 전기를 생산하기 위해서는 많은 태양광 판이 설치되어야 하므로, 넓은 토지가 필요하기 때문에 토지매입비도 중요하다. 토지매입비의 경우 국토교통부의 공시지가 기준을 토대로 한 (주)Biz-gis의 인문사회 GIS DB 점 자료(2011년 기준)를 이용하여 크리깅 보간 기법을 이용하여 표현하였다. 경제적 인자의 데이터는 다음 그림 3과 같다.

4) 환경적 인자

주거지역의 경우 주거지역과 가까울 경우 토지매입비의 비용이 높고, 주민들의 발전소에 대한 부정적 인식을 고려하였다. 주거지역 데이터의 경우 환경부 환경공간정보서비스에서 제공

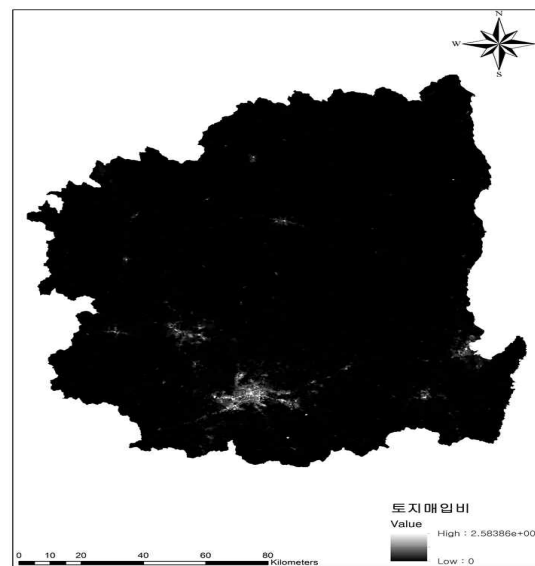


FIGURE 3. Economic factors of solar power plants

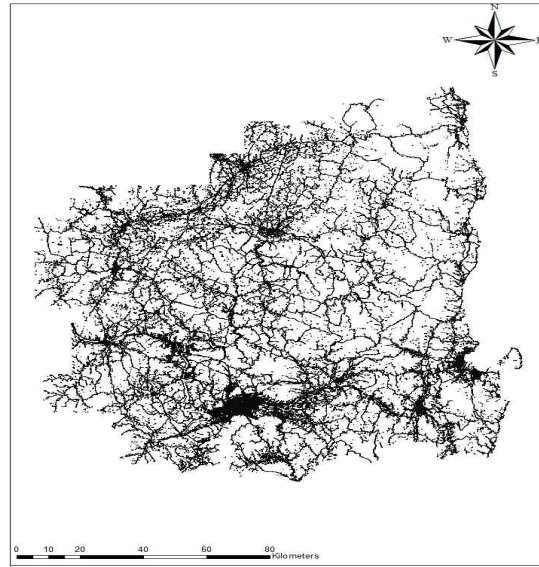


FIGURE 4. Forceland

하는 중분류 토지피복도(06.06.~07.12) 파일에서 주거지역 데이터를 추출하였다. 축사시설과 농작물지역의 경우 태양광 발전소로 인해 피해가 있다고 가정하지만 실제 태양광 발전소 주변 농작물과 축사시설에서 피해가 발생했다는 사례는 발견되지 않았으며, 축사시설 천장에 태양광판을 소규모로 설치하는 축사에서 또한 피해가 발생했다는 사례가 없어 환경적 인자에서 제외했다.

5) 문화적 인자

문화유적지의 장소가 태양광 발전소의 입지 지역이 되는 경우를 피하기 위해 문화유적지와 떨어진 거리를 고려하였다. 문화유적지의 데이터는 환경부 환경공간정보서비스에서 제공하는 중분류 토지피복도(06.06.~07.12) 파일에서 문화·체육·휴양지역 데이터를 추출하였다.

6) 제외지

제외지는 태양광 발전소분석인자 중 지형 인자의 도로와의 떨어진 거리, 환경적 인자의 주거지역, 문화적 유적과의 떨어진 거리를 합친

결과이다. 제외지의 경우 buffering을 이용하여 떨어진 거리를 만든 후 데이터를 합하여 제외지 데이터를 만들었다. 제외지 데이터는 다음 그림 4와 같다.

2. 적합성

계층분석법을 통해 가중치를 부여하기 전 각 분석인자들에 대한 적합여부가 필요하다. 각 분석인자들을 적합여부에 따라 1. 매우 좋음, 2. 좋음, 3. 보통, 4. 나쁨, 5. 매우 나쁨으로 나누어 분류하였다. 적합성 분류의 기준은 전문가와 연구원에 따라 다르므로 선행연구를 토대로 하였으며, 선행연구에 없는 요소들은 ArcMap의 Reclassify 재분류 기능을 토대로 적합성 분류를 하였다.

경사도와 향은 전문가의 견해를 토대로 분류하였다(Lee *et al.*, 2008; Kwon *et al.*, 2008; Sim *et al.*, 2010). 일사량은 기상청에서 제공하는 ‘태양에너지 최적 활용을 위한 기상자원 분석 보고서’의 평균일사량을 토대로 분류하였으며, 나머지 데이터의 경우 선행연구를 참고하였다. 만약 선행연구의 결과가 없는 경우는

TABLE 3. Suitability classification

Suitability \ Factor	Slope	Aspect	Shaded relief(Hillshade)	precipitation
1. Very Good	20° >	South, Flatland	> 177.6	913.84 >
2. Good	20.1° ~30°	Southeast, Southwest	133.2 - 177.5	913.85 - 1011.93
3. Normal	30° ~40°	East, West	88.8 - 133.1	1011.94 - 1110.02
4. Bad	40.1° ~45°	Northeast, Northwest	44.4 - 88.7	1110.03 - 1208.11
5. Very Bad	> 45.1°	North	0 - 44.3	> 1208.12
Suitability \ Factor	Radiation	Sunshine duration	Number of days with precipitation	Cloud amount
1. Very Good	> 4049.64	> 1883.60	59.69 >	4.7 >
2. Good	3452.44 - 4049.63	1479.08 - 1883.59	59.68 - 77.74	4.71 - 4.8
3. Normal	2855.24 - 3452.43	1074.56 - 1479.07	77.73 - 92.98	4.81 - 4.9
4. Bad	2258.04 - 2855.23	670.04 - 1074.55	92.97 - 109.16	4.91 - 5.00
5. Very Bad	2258.03 >	670.03 >	> 109.15	> 5
Suitability \ Factor	Average temperature	Average humidity	Dust days	Cost of land
1. Very Good	13° C >	67.4 >	4.5 >	15000.00 >
2. Good	13.1 - 13.5° C	67.5 - 67.9	4.6 - 5.5	15000.01 - 40443.61
3. Normal	13.6 - 14° C	68 - 68.4	5.6 - 6.5	40443.62 - 101075.17
4. Bad	14.1 - 14.5° C	68.5 - 68.9	6.6 - 7.5	101075.18 - 202022.51
5. Very Bad	14.6 - 15° C	69 - 69.4	7.6 - 8.5	> 202022.52

등 간격으로 분류하였다(Park and Kim, 2012). 적합성 분류표는 다음 표 3과 같다.

결 과

1. 계층분석법(AHP)에 의한 가중치 부여

1) 계층분석법에 의한 가중치 분석 방법
계층분석법에 의한 가중치 분석 방법은 다음과 같다.

첫째, 계층구조를 설정한다.

둘째, 인자들 간의 쌍대비교를 통해 중요도가 높을 경우 높은 점수를 부여하고, 중요도가 낮을 경우 역수의 값으로 점수가 부여된다. 쌍대비교를 통해 우선순위 결정하고, 비교 행렬 표를 작성한다.

셋째, 우선순위에 따른 가중치 산정 후 '일관성 지수(Consistency Index: C.I)'를 산정한다. C.I란 평가자의 주관으로 판단한 우선순위가 일관성 있게 답하였는지에 대한 척도를 보여주는 지표이다. C.I 산정은 다음과 같다.

$$C.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$C.R = \frac{C.I}{R.I}$$

C.R: 일관성 비율

R.I(Random Index): 임의 지수

λ_{\max} : 고유치중 가장 큰 값

n : 행렬의 최대고유치, 행 또는 열의 수

Satty는 C.I와 C.R의 비율이 0.1 이하일 때만 일관성이 있는 답변으로 판단했다.

2) 우선순위 결정

우선 계층분석법(AHP)에 의한 가중치 결과를 얻기 위해 우선순위를 정한다. 우선순위의 경우 위의 설명과 쌍대비교를 통해 순위를 매겼다. 쌍대비교는 두 개의 인자를 비교하여 첫 번째 인자가 두 번째 인자보다 중요도가 높으면 두 번째 인자가 첫 번째 인자보다 높으면 역수의 값으로 점수가 부여된다. 같은 인자끼리는 1을 부여한다. 쌍대비교는 선행연구와 태양광 발전소에 있어 가장 필요한 요인들을 토대

TABLE 4. Priority using the analytic hierarchy process

	Radiation	Sunshine duration	Aspect	Shaded relief (Hillshade)	Cost of land	Average temperature	Cloud amount	Number of days with precipitation	Precipitation	Average humidity	Dust days	Slope
Radiation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sunshine duration	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Aspect	0.333	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Shaded relief (Hillshade)	0.25	0.333	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cost of land	0.2	0.25	0.333	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8
Average temperature	0.167	0.2	0.25	0.333	0.5	1	2	3	4	5	6	7
Cloud amount	0.143	0.167	0.2	0.25	0.333	0.5	1	2	3	4	5	6
Number of days with precipitation	0.125	0.143	0.167	0.2	0.25	0.333	0.5	1	2	3	4	5
Precipitation	0.111	0.125	0.143	0.167	0.2	0.25	0.333	0.5	1	2	3	4
Average humidity	0.1	0.111	0.125	0.143	0.167	0.2	0.25	0.333	0.5	1	2	3
Dust days	0.091	0.1	0.111	0.125	0.143	0.167	0.2	0.25	0.333	0.5	1	2
Slope	0.083	0.091	0.1	0.111	0.125	0.143	0.167	0.2	0.25	0.333	0.5	1

TABLE 5. Weights result of the analytic hierarchy process

	Radiation	Sunshine duration	Aspect	Shaded relief (Hillshade)	Cost of land	Average temperature	Cloud amount	Number of days with precipitation	Precipitation	Average humidity	Dust days	Slope
Weighing	0.262	0.203	0.153	0.113	0.083	0.059	0.042	0.029	0.021	0.015	0.011	0.009

로 전문가의 조언을 받아 비교를 하여 순위를 매겼다. 선행연구와 전문가 조언을 통해 얻은 가장 중요한 인자는 태양에너지(일사량, 일조시간, 향, 음영기복도 등)와 관련된 인자이며, 그 다음으로는 경제적 인자, 기후, 지형 순이었다. 본 연구에서도 태양에너지와 관련하여 일사량과 일조시간, 향, 음영기복도를 중요한 순으로 쌍대비교 하여 순위를 매겼다. 그다음으로는 경제적 인자인 토지매입비, 다음으로는 태양광 모듈의 효율적인 작동을 위해 평균기온을 기후 중에서 가장 중요한 요소로 정했다. 우선순위는 다음 표 4와 같다.

3) 계층분석법에 의한 가중치 결과

계층분석법에 의한 가중치 결과는 앞서 설명한 계층분석법에 의한 가중치 분석 방법을 종합화하여 결정된다. 만약 종합한 결과에서 일관성 지수가 0.1 이상을 경우에는 일관성 있는 답변이 아니므로 다시 우선순위를 매겨야 한다. 가중치 결과는 다음 표 5와 같다.

2. 분석인자 매핑 및 결과

ArcMap을 이용하여 Reclassify를 통해 분류한 래스터 데이터를 벡터 데이터로 변환한다. 그 다음 분류표에 따라 각각의 벡터파일 속성 정보에 점수를 부여한다. 점수부여는 1. 매우



FIGURE 5. Final result

좋음, 2. 좋음, 3. 보통, 4. 나쁨, 5. 매우 나쁨 순으로 5점, 4점, 3점, 2점, 1점을 부여한다. 점수를 부여한 데이터는 모두 매핑을 시킨 후 매핑 된 분석인자 데이터에서 제외지(환경적, 문화적, 도로와의 떨어진 거리) 데이터를 빼준다. 그 다음 계층분석법을 통해 구해진 가중치를 Raster Calculator를 이용하여 태양광 발전소 입지 점수를 구하고 시각화를 시켜 최적지를 확인한다. 여러 인자들을 고려한 태양광 발전소 입지분석의 실험 결과는 경상북도 북부지역 특히 울진군, 봉화군, 영덕군, 상주시, 문경시에서 적합지역이 많이 나왔으며, 경상북도 중부지역은 청송군과 영덕군에서 적합지가 많이 나왔다. 최근의 경상북도 신재생 에너지 보도자료 등을 통해 보면 문경시의 경우 태양광을 통한 전력생산으로 에너지 자립도가 높으며, 경상북도지역에서는 신재생에너지 중심도시이다. 상주시 또한 신재생에너지의 메카로 도약하고 있다. 본 실험을 통해 나온 적합지역의 경우 신재생에너지 중심 지역, 태양광 발전소가 활발히 설치되는 지역과 일치하고 있다. 본 연구를 통

해 적합지역의 결과가 잘 나왔음을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 적합지역은 북쪽 지역 많았는데 그 이유로는 기후의 변화로 옛날에 비해 북쪽지방의 일사량과 일조시간 등이 상승하였고, 토지매입비가 대도시 근교에 비해 저렴하기 때문일 것으로 사료된다. 대구광역시의 경우 일사량과 일조시간은 좋았지만 토지매입비와 다른 인자들의 점수가 높지 않아 결과 값이 낮은 것으로 보인다. 또한 도시 지역 특성상 주거지와 도로가 많아 제외지 영향을 많이 받은 것으로 보인다. 결과는 다음 그림 5와 같다.

결론

기존의 연구 중 전국단위로 태양광 발전소를 분석한 연구들이 있는데 태양광 발전소 최적입지 이론으로는 경상북도와 평야가 넓은 전라남도 지역이 나와야하는데 이 지역이 아닌 경기도 지역이 나오는 등 현실과 잘 맞지 않았다. 맞지 않는 이유 중 하나가 지형인자만을 고려하거나 다른 인자들이 부족하였기 때문인 것으

로 판단된다. 본 연구에서는 지형인자뿐만 아니라 음영기복도, 토지매입비, 다양한 기후 인자들을 고려하였고, 과학적으로 근거가 없는 인자들은 제외를 시켜 기존의 연구보다 정확한 입지선정이 되었을 것으로 사료된다.

본 연구는 태양광 발전소의 전력 생산을 보다 효율적으로 증가시켜, 무분별한 태양광 발전소 설치로 인한 자연훼손과 지역사회의 피해를 줄이기 위함이다. 여러 요인들을 고려하지 않은 무분별한 태양광 발전소 설치로 인해 산림과 자연환경이 훼손되었기 때문에 무분별한 개발을 막고자 여러 인자들을 고려한 태양광 발전소 입지분석을 하였다.

본 연구를 통해 태양광 발전소 입지 선정에 있어 몇 가지 기대를 해본다. 첫 번째로 지형, 기후, 환경적, 문화적 다양한 요소를 고려하여 분석하였기 때문에 자연훼손, 지역주민과의 갈등 등 태양광 발전소 설치에 있어 여러 문제가 해결될 것으로 기대하며, 태양광 발전소의 전력 생산 효율이 높아지길 기대한다.

두 번째로 태양광 발전소 입지 분석 결과 경제적 인자인 토지매입비가 중요한 요소임을 알 수 있다. 경제적 인자를 고려하여 국가와 민간인 투자자들의 설치비용을 줄이면 더 많은 태양광 발전소가 설치됨으로써 화석연료의 의존도가 줄어들고, 신재생에너지 생산 증가와 환경에 도움이 될 것으로 예상된다.

세 번째로 연구 분석 결과 경상북도 북쪽 지역에 적합지가 많이 나왔다. 태양광 발전소 신규 설치 시 경상북도 북쪽 지역을 고려하여 설치한다면 태양광 발전소의 전력 생산 효율뿐만 아니라 경제적 측면 등 다방면에 걸쳐 도움이 될 것으로 사료된다.

마지막 네 번째로 본 연구에서는 데이터의 취득이 쉽지 않고, 자료 또한 많지 않아 고려할 인자들을 더 사용하지 못하였다. 이 연구를 통해 국가 기관과 기업에서 데이터 취득을 정확하고 쉽게 얻을 수 있도록 시스템 구축에 관심을 가져주길 기대한다.

앞에서 말했듯이 데이터 취득의 문제로 인해 몇 가지 인자들을 더 고려하지 못했다. 하지만

대구·경북 지역을 중심으로 태양광 발전소 입지분석을 최초로 시도했으며, 선행연구에서 고려하지 못한 인자들을 추가했을 뿐만 아니라 과학적·사회적으로 맞지 않는 인자(축사시설 등)들을 제외시킴으로써 보다 정확한 입지선정 연구가 되었을 것으로 기대한다.

향후 연구에서는 인자들을 추가하고, 현재 고려하지 않은 바다와 하천을 중심으로 태양광 발전소의 입지가 가능한지와 적절성에 대해 입지선정을 연구해 볼 것이다. 또한 물위의 태양광 발전소가 육지에서의 태양광 발전소의 단점을 보완할 수 있을지 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Akella, A., R. Saini and M.P. Sharma. 2009. Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems. *Renewable Energy* 34(2):390-396.
- Asakereh, A., M. Omid, R. Alimardani and F. Sarmadian. 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.
- Brewer, J., D.P. Ames, D. Solan, R. Lee and J. Carlisle. 2015. Using GIS analytics and social preference data to evaluate utility-scale solar power site suitability. *Renewable Energy* 81:825-836.
- Broesamle, H., H. Mannstein, C. Schillings and F. Trieb. 2001. Assessment of solar electricity potentials in North Africa based on satellite data and a geographic information system. *Solar Energy* 70(1):1-12.

- Gastli, A. and Y. Charabi. 2010. Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(2): 790-797.
- Kim, H.Y. 2010. A study on the improvement of the accuracy of photovoltaic facility location using the geostatistical analysis. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(2):146-156 (김호용. 2010. 공간통계기법을 이용한 태양광 발전시설 입지 정확성 향상 방안. *한국지리정보학회지* 13 (2):146-156).
- Kwon, S.D., W.Y. Joo, W.K. Kim, J.H. Kim and E.H. Kim. 2014. Analyzing site characteristics and suitability for wind farm facilities in forest lands. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 17(4):186-100 (권순덕, 주우경, 김종호, 김은희. 2014. 산지 내 풍력발전단지 입지 특성 및 적합성 분석. *한국지리정보학회지* 17(4):186-100).
- Kwon, Y.H., J.Y. Kim and M.J. Lee. 2008. Environmental considerations in the siting of solar and wind power plants. *Korea Environment Institute Policy Report*. 2008(02):1-157 (권영환, 김지영, 이민주. 2008. 환경성을 고려한 태양광, 풍력발전소 입지선정 가이드라인. *한국환경정책평가연구원 정책보고서*. 2008(2):1-157).
- Lee, J., H.M. Chung and S.S. Lee. 2008. Analysis on the location of the sunray energy power plants. *Korea Knowledge Information Technology Society* 3(3):31-37 (이정, 정희문, 이상설. 2008. 태양광 발전소 설립에 따른 입지분석. *한국지식정보기술학회지* 3(3):31-37).
- Lee, J.D., S.H. Yeon and S.G. Kim. 2000. A case study on suitability analysis of solid waste landfill site utilizing GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 3(4):33-49 (이진덕, 연상호, 김성길. 2000. GIS를 활용한 폐기물 매립지의 적지분석 사례연구. *한국지리정보학회지* 3(4):33-49).
- Lee, J.Y. and I.J. Kang. 2010. A study of PV system facilities using geo-spatial information system. *Korean Society for Geospatial Information System* 18(2):99-105 (이지영, 강인준. 2010. GIS 기술을 활용한 태양광시설 입지선정에 관한 연구. *한국지형공간정보학회지* 18(2):99-105).
- Park, J.H., I.T. Yang and K.S. Choi. 1998. AHP application method for construction of decision making system by using GIS. *Research Report The Institute of Industrial Technology* 18:27-34 (박재훈, 양인태, 최광식. 1998. GIS에 의한 의사결정 시스템 구축에서 AHP의 적용기법. *산업기술연구* 18:27-34).
- Park, J.I. 2011. A study on the suitability analysis of new and renewable energy power plant using correlation analysis and GIS. Ph.D. Thesis, Univ. of Mokpo, Korea. (박정일. 2011. 상관분석기법과 GIS를 이용한 신·재생에너지 발전소 적지분석 연구. *목포대학교 대학원 박사학위논문*).
- Park, J.I., M.H. Park and R.T. Lim. 2010. A study on the new renewable energy suitable position using GIS. *The Korean Cadastre Information Association Conference* pp.129-141 (박정일, 박민호, 임이택. 2010. GIS를 이용한 신·재생에너지 적지분석 연구. *한국지적정보학회 학술발표대회논문집*. 129-141쪽).

- Park, Y.M. and Y.H. Kim. 2012. An evaluation and suggestion of photovoltaic power plant locations based on environmental and social impacts, and sustainability. *Journal of the Economic Geographical Society of Korea* 15(3): 437-455 (박유민, 김영호. 2012. 환경적, 사회적 영향을 고려한 태양광발전소의 기존 입지 타당성 평가 및 지속가능한 입지 제안. *한국경제지리학회지* 15(3):437-455).
- Polo, J., A. Bernardos, A. Navarro, C. Fernandez-Peruchena, L. Ramírez, M.V. Guisado and S. Martínez. 2015. Solar resources and power potential mapping in Vietnam using satellite-derived and GIS-based information. *Energy Conversion and Management* 98:348-358.
- Ramachandra, T. and B. Shruthi. 2007. Spatial mapping of renewable energy potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(7):1460-1480.
- Sim, J.B., J.D. Lee, S.S. Lee and K.E. Lee. 2010. The better position of powerstation decided by solar through GIS analysis. *Korean Society of Civil Engineers Conference* pp.1126-1129 (심정보, 이진덕, 이성순, 이경엽. 2010. GIS를 활용한 태양광발전소 최적입지선정. *대한토목학회학술대회논문집*. 1126-1129 쪽).
- Environmental Geographic Information Service (환경공간정보서비스): <http://egis.me.go.kr>.
- Korea Astronomy and Space Science Institute(한국천문연구원): <http://www.kasi.re.kr>.
- Korea Meteorological Administration(기상청): <http://www.kma.go.kr>.
- Ministry of Environment(환경부): <http://www.me.go.kr>. **KAGIS**