

LiDAR 측량 기반의 지형자료와 기상 데이터 관측시스템을 이용한 태양광 발전량 분석

The analysis of Photovoltaic Power using Terrain Data based on LiDAR Surveying and Weather Data Measurement System

이근상* · 이종조**
Lee, Geun-Sang · Lee, Jong-Jo

Abstract

In this study, we conducted a study to predict the photovoltaic power by constructing the sensor based meteorological data observation system and the accurate terrain data obtained by using LiDAR surveying. The average sunshine hours in 2018 is 4.53 hours and the photovoltaic power is 2,305 MWh. In order to analyze the effect of photovoltaic power on the installation angle of solar modules, we installed module installation angle at 10° intervals. As a result, the generation time was 4.24 hours at the module arrangement angle of 30°, and the daily power generation and the monthly power generation were the highest, 3.37 MWh and 102.47 MWh, respectively. Therefore, when the module arrangement angle is set to 30°, the generation efficiency is increased by about 4.8% compared with the module angle of 50°. As a result of analyzing the influence of the seasonal photovoltaic power by the installation angle of the solar module, it was found that the photovoltaic power was high in the range of 40°~50°, where the module angle was large from November to February when the weather was cold. From March to October, it was found that the photovoltaic power amount is 10°~30° with small module angle.

Keywords: LiDAR Surveying, Weather Data Measurement System, Solar Radiation, Photovoltaic Power

1 서 론

최근 기후변화에 따른 지구온난화를 비롯한 대기오염 등 다양한 환경문제가 대두되고 있으며 정부에서는 태양광 및 풍력발전소와 같은 신재생에너지 정책

을 적극 확대하고 있다. 그러나 신재생에너지 사업을 추진함에 있어 임야훼손 등의 환경 및 미관문제가 현실로 다가오면서 일부 사업진행이 어려운 지역도 발생하고 있다. 신재생에너지 중 태양광 발전은 최근 모듈 설비에 대한 연구개발이 활발해지면서 효율이 많

* 전주비전대학교 지적토목학과 부교수 Department of Cadastre & Civil Engineering, Vision College of Jeonju
(first author: gslee@jvision.ac.kr)

** (주)금강이엔지 대표이사 Kumgang Eng. (ok4494@daum.net)

이 개선되어 화석연료를 대체할 중요한 수단으로 인식되고 있으며, 민간사업자 중심의 투자가 활발히 진행중에 있다(Escobar et al. 2015; Huang et al. 2008).

태양광발전소 사업의 가장 중요한 부분은 일사량 확보가 용이한 태양광발전소 적정 입지를 선정하는 것이다. 특히 태양광발전소 입지 선정시 지형특성 요소가 매우 중요하므로 GIS와 연계한 연구개발이 필요하다. GIS 자료와 연계한 태양광발전소 적지선정 연구로서, 박정일 외(2010)은 경사도, 표고, 사면방향 등 지형자료 특성을 비롯하여 기상 및 토지이용 특성을 고려한 신재생에너지 적지를 선정하여 기존 설치된 발전소의 효율을 검토하였다. 또한 심정보 외(2010)은 태양광발전소 최적입지 선정 연구에서 일사량, 일조 시간, 전운량, 박무일수 등 다양한 기상인자들에 대한 우선순위를 AHP 기법을 활용하여 결정하였다. 그리고 이기림·이원희(2015)는 수치표고모델(DEM; Digital Elevation Model)을 통해 지형인자를 추출하고 이를 다양한 기상인자와 연계하여 대구광역시와 경상북도 지역에 대해 태양광 발전소 입지분석을 수행하였다. 아울러 김호용(2010)은 공간통계기법과 크리깅 보간법을 이용하여 진주시에 대한 태양광 발전시설의 입지 정확성 향상 연구를 수행하였으며 도재형 외(2014)은 농촌 그린빌리지 설계시 일사량과 발전량을 분석하여 태양광 발전의 최적 입지를 분석하였다.

최근 새만금지역 등을 중심으로 대규모 수상 태양광발전소 건설에 대한 관심이 매우 높다. 이기림·이원희(2016)은 지형특성과 기후인자를 기초로 GIS 공간분석을 통한 저수지에 대한 일사량을 계산하여 지역별로 수상 태양광발전소의 적정성을 평가한 바 있다.

최근에는 LiDAR(Light Detection And Ranging)나 드론 기반의 정밀지형자료를 활용하여 태양광발전소의 입지를 분석하고 유지보수 업무에 활용하는 연구도 진행되고 있다. 이근상·이종조(2018a)는 항공 LiDAR 자료를 통해 취득한 3차원 지형자료를 이용하

여 태양광 발전소의 입지를 선정하는 연구를 진행하였으며 이근상·이종조(2018b)는 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)를 활용하여 태양광발전소 부지에 대한 일사량을 분석하였다.

태양광발전소 사업에서 가장 중요한 것은 시설이 입지할 대상지역의 발전량을 정확히 예측하는 것이다. 이는 태양광발전소를 시공하여 판매하는 기업뿐 아니라 소비자 측면에서도 매우 관심있는 부분이다. 태양광 발전량은 계절변화에 따른 태양의 고도와 천정각의 차이로 인해 시간과 장소에 따라 많은 차이를 보이게 된다. 따라서 지역별 고도별 태양광발전소의 일사량 변화 및 모듈 설치 각도에 따른 발전량을 예측하는 기술이 요구된다. 태양광발전소의 발전량에 영향을 주는 요소에는 설비, 지형, 그리고 기상요소가 있다. 설비요소는 모듈의 설치방향과 각도, 그리고 고정식 또는 추적식 등의 발전설비형식과 모듈, 인버터, 변압기 등의 효율에 따른 영향을 의미한다. 또한 지형요소는 대상지역의 사면방향과 고도에 따른 영향을 의미하며 기상요소는 태양광발전에 가장 크게 영향을 주는 것으로서 일사량, 일조시간, 박무 등이 있다.

태양광발전량 예측에 관한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 이강혁·김우제(2016)는 불확실한 기상상태를 고려하여 단기간의 태양광 발전량을 예측하기 위해 서포트 벡터 회귀를 이용하여 24시간 앞의 태양광 발전량을 예측하는 연구를 수행하였다. 또한 이창성·지평식(2015)은 현재 운용 중에 있는 태양광 발전시스템에서 1년간 실측된 발전량 자료와 기상정보를 분석하여 상관성 높은 입력인자를 도출하고, 선정된 입력인자들을 바탕으로 최상학습기계(ELM: Extreme Learning Machine)를 이용한 태양광발전량 예측 모델을 구축하였다. 그리고 이대종 외(2015)은 학습 데이터와 검증 데이터 간에 상관성이 저하될 경우 과 학습으로 인한 성능 저하 문제가 발생할 수 있는 다층 신경회로망 알고리즘을 개선하고자 퍼지 개념을 적용한 뉴로-퍼지 모델을 활용하여 태양광 예측 모델을 개발

하였다.

태양광 발전량을 예측하기 위해 많은 프로그램들이 활용되고 있다. 먼저 RETScreen은 캐나다 Canmet ENERGY 연구 센터에 의해 개발된 프로그램으로 신재생에너지의 효율 및 비용 등을 분석할 수 있는 경제성 분석 프로그램이다. 또한 HOMER는 미국 HOMER ENERGY에서 개발된 프로그램으로 미국 국립 신·재생 에너지 연구소 (NREL)에서 인증된 프로그램이며 신·재생에너지 작업을 단순화 하는 장점을 가지고 있다. PV SYST는 스위스에서 개발된 프로그램으로 에너지 및 시뮬레이션에 대한 이익, 손실을 보여줄 수 있으며, SAM(System Advisor Model)은 미국 국립 신·재생에너지 연구소(NREL)에 의해 개발된 프로그램으로 Excel 또는 TRNSYS와 연동하여 사용할 수 있다. 또한 SOLAR PRO는 모듈설정, 지역영향, 모듈의 동작, 모듈의 그림자를 포함한 태양광 발전 시뮬레이션 프로그램으로 실제데이터를 활용하여 그림자 분석, 경제성 분석, 발전량을 계산할 수 있다(노상태 2014).

기존의 태양광 발전량 예측 연구들은 주로 단순한 형태의 모듈 배치를 기본으로 하여 기상요소 등 입력인자들의 영향을 비교하거나 다양한 모델이나 시나리오를 가정한 예측모델 개발에 대한 연구들이 주를 이루고 있다. 최근 대규모 태양광발전소가 주로 임야지역을 중심으로 이루어지고 있고 환경 및 지반훼손의 문제로 임야 지형을 그대로 유지하는 수준에서 개발 인허가가 추진되고 있는 실정이다. 따라서 복잡한 지형 형상을 정확하게 모델링하여 태양광발전량 예측에 활용하는 기술이 적용되어야 하며, 특히 해당 지역의 기상요소를 정확하게 반영하기 위한 센서기반의 기상자료 취득도 매우 중요하게 되었다.

본 연구에서는 임야지역에 설치된 태양광발전소의 발전량을 효과적으로 예측하기 위해 지상 LiDAR 측량을 통해 정밀지형자료를 구축하였으며 해당 지역의 온도, 습도, 일사량 등을 효과적으로 반영하기 위한 센서 기반의 기상자료 구축시스템을 개발하였다. 특히

다양한 시나리오별 태양광발전량을 예측하고자 다양한 모듈 설치 각도를 적용하여 월별 혹은 계절별 태양광발전량을 분석하여 업무에 활용하고자 하였다.

2. 지상 LiDAR 측량 기반의 지형자료 구축

2.1. 연구 대상지

본 연구에서는 지상 LiDAR를 기반으로 3차원 지형 모델링 자료를 취득하고 이를 통해 다양한 시나리오별 발전량을 예측하기 위해 Figure 1과 같이 전북 순창군 동계면 서호리 지역을 연구대상지로 선정하였다.



Figure 1. Study site

2.2. 지상 LiDAR 측량 기반의 지형자료 구축

기존의 태양광발전량 예측 연구에서는 지형자료 구축을 위해 수치지형도의 등고자료를 주로 활용하였으나 수목에 의한 지반의 지형 묘사가 어려운 한계가 있었다. 본 연구에서는 이를 개선하고자 LiDAR 측량을 통한 정밀 지형자료를 취득하기 위해 오스트리아 RIEGL사의 VZ-400 LiDAR 장비를 활용하였으며, 주요 사양은 Table 1과 같다.

Figure 2는 RIEGL사의 VZ-400 LiDAR 장비를 활용하여 현장에서 측량을 수행하는 화면이다. 지상 LiDAR 스캔 시 실사진과의 접합을 위해 고해상도

Table 1. Specification of LiDAR VZ-400

Category	Specifications
Laser Grade	Class 1(Eye safe)
Velocity	125,000 point/sec
Camera	DSLR Color
Weight	9.8kg
Range	500m
Accuracy	100°(+60/-40)~360°



Figure 2. LiDAR equipment

DSLR 카메라를 설치하여 영상 촬영도 동시에 실시하였다.

지상 LiDAR 측량은 측량지점이 중첩되도록 10개 지점을 선택하여 데이터를 취득한 후 프로젝트로 저장하였으며, 이를 RISCANPRO SW를 통해 로딩한 후 포지션별로 스캔 완성도를 검토하였다. 또한 각 포지션별 스캔 데이터를 확인한 후 이미지 보정 및 정합과정을 통해 3차원 지형모델링을 구현하였으며, 이를 통해 CAD나 GIS 프로그램에서 연동될 수 있도록 하였다. 스캔 데이터와 실사진과의 캘리브레이션을 위해 Reflector가 촬영된 이미지 중점에 포인트를 생성하였다. 또한 스캔 데이터와 실사진과의 보정을 위해 두 포인트 간의 동일 지점을 인식시키는 과정을 수행하였으며 Link Tiepoint Together를 통해 속성자료를 연결하였다.

다중 스캔 포지션별 정합과정을 통해 하나의 뷰어

를 생성하기 위해서는 기준이 되는 스캔 포지션을 3D 뷰어 창으로 구축한 후 다른 스캔 포지션을 동일한 방법으로 생성하여 기준 스캔 포지션에 등록하는 과정을 수행해야 한다.

다음 단계인 Multi station adjustment 계산을 위해 각 스캔 포지션들에 대해 평면 지형 필터링 작업을 진행하여 폴리곤을 생성하였다. 그리고 계산에 이용할 기준 스캔 포지션의 폴리곤을 선택하여 분석을 진행하였으며, 정합 오차를 확인하여 캘리브레이션에 따른 오차를 mm 단위로 확보하였다.

3차원 지형모델링 과정에서 산지형이나 굴곡이 있는 지형에서 풀이나 나무에 의한 지형 왜곡을 제거하기 위해 지형 필터링 작업을 실시하였다. 이를 통해 보정된 포인트 데이터에 대해 절대좌표 및 스캐너 높이 값을 입력하여 실세계 좌표로의 변환을 실시하였다. Figure 3은 대상지역에 대한 3차원지형모델링 결과이다.



Figure 3. 3D topographic modeling data

3. 지형자료와 기상관측시스템을 이용한 태양광발전량 분석

3.1. 태양광발전량 분석 과정

본 연구에서는 태양광발전소 모듈 설치에 따른 발전량을 예측하기 위해 ArcGIS 프로그램을 이용하여 지상 LiDAR 측량을 통해 취득한 3차원 지형모델링로

부터 등고선을 추출하였다. 또한 SketchUp 프로그램을 이용하여 지상 LiDAR를 통해 추출한 등고선 자료를 Figure 4와 같이 Drop 기능을 이용하여 대상지 폴리곤과 일치한 후 태양광 모듈을 배치하였다. 특히 배치 완료 후 굴곡에 의한 음영 여부와 어레이간 높낮이 차이를 확인하여 완성도 높은 태양광발전소 설계도를 제작하였다.

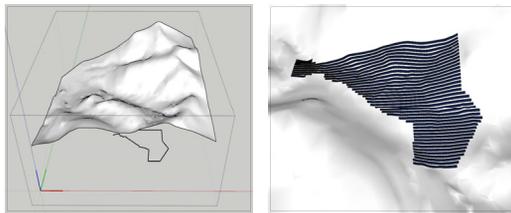


Figure 4. PV module arrangement using Drop function

최적의 태양광 발전량을 예측하기 위해서는 음영, 적설, 오염원 등 다양한 요인에 따른 효율 저하 문제를 고려해야 한다. 태양광발전소에 대한 최적의 설계 및 시공을 위해서는 Figure 5와 같이 태양광 모듈의 이격 거리와 경사각, 직병렬 연결 수 등의 여러 요인을 검토해야 한다.

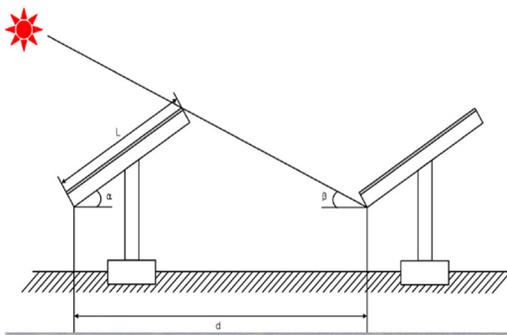


Figure 5. Condition setting for PV module arrangement

태양광 이격거리는 식 (1)과 같이 계산되어진다 (Escobar et al. 2015).

$$d = L \times \frac{\sin(180^\circ - \alpha - \beta)}{\sin\beta} \quad (1)$$

여기서 α는 모듈 경사각, β는 태양 고도각, L은 모듈 길이, 그리고 d는 이격거리를 나타낸다.

모듈과 인버터의 MPPT 범위와 효율, 온도 등을 검토하여 개방전압(Voc)과 최대출력전압(Vmp)을 계산할 수 있으며, 이는 온도에 따라 전압범위가 변화하여 최고와 최저온도에 대한 전압변화가 모듈 및 인버터의 전압 허용범위를 만족하기 위함이다.

참고로 개방전압(Voc)는 하나의 전원이 출력할 수 있는 최대의 전압을 의미하여, 회로가 구성이 되면 태양전지처럼 출력이 약한 소자는 전압과 전류가 약해지기 때문에 회로가 개방된 조건인 태양전지에 아무 것도 연결하지 않은 상태에서 태양전지의 양 단에서 발생하는 전압을 측정하게 된다. 또한 최대출력전압(Vmp)은 전압과 전류의 곱이 최대인 곳을 의미한다.

발전량은 태양광 모듈의 방위각 변화에 따라 손실이 발생하기 때문에 Figure 6과 같이 방위각을 고려한 손실을 계산이 필요하다.

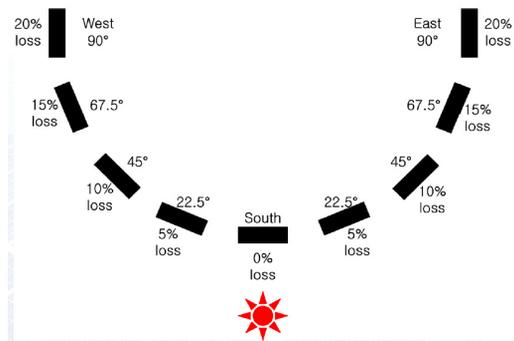


Figure 6. Loss ratio according to PV module azimuth angle

본 연구에서는 발전량을 예측하기 위해 SketchUp의 Skelion 프로그램을 이용하였다. SketchUp의 Skelion 프로그램은 LiDAR 측량을 통해 취득한 지형 자료를 비롯하여 모듈설치 방향, 모듈각도, 모듈패널 유형, 모듈 방향별 이격거리, 모듈 상하 개수, 모듈 설치 정밀도, 그림자 영향 등을 고려한 태양광발전소 발전량을 예측하였다. 태양광발전소는 시스템 간 손실율이 있는데 이는 연간 손실율과 전력의 흐름 간 손실, 내부 전력 사용 등에 의한 손실이며 시스템 손실율에 대한 설정을 통해 정밀한 발전량 예측이 가능하게 된다. 기상조건은 태양광 발전량을 예측하는데 매우 중요한 요소이며, 일반적으로 기상청에서 예보하는 기상 데이터를 활용하고 있으나 기상관측소와 태양광발전소간의 거리가 멀 경우 발전량을 효과적으로 예측하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 개선하고자 현장에서 직접 온도, 습도, 일사량을 센서를 통해 취득한 후 웹페이지에서 실시간으로 확인할 수 있는 시스템을 Figure 7과 같이 개발하였다.

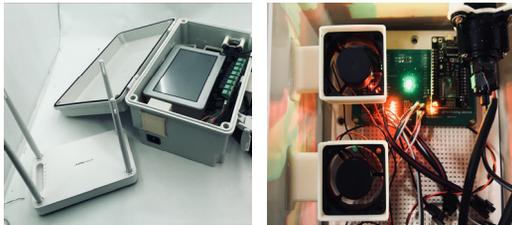


Figure 7. Real-time weather data observation system

통신 컨트롤러를 통해 수집된 데이터는 무선네트워크를 통해 웹서버로 전송되며, 웹서버에서 데이터베이스 형태로 저장된 자료를 사용자가 엑셀 형태로 다운로드 받아 발전량 예측에 활용할 수 있도록 하였다.

일조시간은 적설, 비, 안개, 황사 등의 조건을 반영한 기상조건으로 태양광발전소의 발전량은 발전용량에 일조시간을 곱하여 구하기 때문에 정확한 일조시간 분석이 매우 중요하다. 일조시간은 지형의 방향과

경사에 따른 태양의 천정각 변화에 영향을 받게 되며 일반적으로 일사량에 의해 결정된다(이근상·이종조 2018a).

본 연구에서는 순창군 동계면 서호리 지역을 대상으로 2018년 1월부터 12월까지 1분단위로 기상 데이터를 취득한 후 실시간 처리 시스템을 통해 데이터를 저장하였다. 이를 기초로 월평균 혹은 연평균 일조시간을 계산할 수 있었다. 순창군 동계면 서호리의 연평균 일조시간은 4.53시간으로 나타났다. 일반적으로 국내에서는 태양광발전소의 발전량 예측에 평균 3.5시간의 일조시간을 적용한다. 따라서 대상지역의 경우 약 1.03시간의 일조시간 차이를 보이고 있으며, 지역 특성에 맞는 정확한 태양광 발전량을 예측하기 위해서는 실시간 기상 데이터 처리 시스템을 통해 얻어진 일조시간을 적용하는 것이 필요하다. Figure 8은 현지에서 관측한 온도, 습도, 일조시간 등의 기상 조건을 SketchUp의 Skelion 프로그램에 적용하여 분석한 발전량 예측 결과를 보여주고 있다.

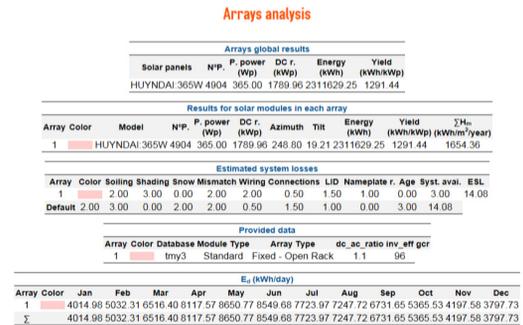


Figure 8. Prediction result of PV power

3.2. 태양광발전량 결과 분석

순창군 동계면 서호리 지역은 1.8 MW급의 모듈이 설치되어 있으며, 실시간 기상 데이터를 활용하여 예측한 월별 발전량은 Table 2와 같다. 실시간 기상 데이터 처리 시스템 활용 결과, 일평균 발전시간은 4.53 시

간으로 나타났으며, 2018년 1년 동안의 발전량은 2,305 MWh로 나타났다. 국내에서 일반적으로 적용하고 있는 일평균 발전시간 3.5시간을 적용할 경우 2018년 1년 동안의 발전량은 1,404 MWh로 계산되어지며 실제 발전시간 4.53 시간을 적용한 결과와 비교할 경우 약 901 MWh의 차이를 보였다.

이를 정확도 측면에서 살펴보면 약 39%의 오차로서 지역적 특성을 반영한 기상 조건을 적용하는 것이 매우 중요하다는 것을 보여준다.

일반적인 발전량 예측 공식은 1년 단위로 진행하기 때문에 월간으로 분류하기가 어려우며 실질적인 발전시간의 차이로 인해 용량이 클수록 발전량의 차이와 이로 인한 수익의 차이가 크게 발생하고 있음을 검증하였다. 따라서 각 지역별 기상조건과 이를 반영한 최적의 태양광발전소 설계가 예측 발전량의 정확성을 높이고 실질적인 수익 증대에 기여할 수 있음을 확인할 수 있었다.

또한 본 연구에서는 발전량 예측에 많은 영향을 미치는 모듈 설치 각도에 따른 발전량 변화를 분석하였다. 이를 위해 모듈의 각도를 10°~50°까지 10° 간격으로 설계한 후 발전량을 분석하였다. 모듈의 각도가 커짐에 따라 이격거리는 늘어나며 그에 따른 사업부지도 늘어나게 된다. 본 연구에서는 같은 용량에 따른 발전량의 변화를 분석하기 위해 사업부지의 크기는 고려하지 않고 각도별 1MW 기준으로 발전량을 분석하였다. 또한 대상지역의 지형기복에 따른 음영 등의 오차를 제거하기 위해 평지로 가정한 기상의 대상지를 설정하여 분석을 진행하였다.

Table 2. Prediction result of PV power

Hour (hr)	PV power(MWh)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Sum
4.53	124	140	202	243	268	256	239	224	201	166	125	117	2,305
3.5	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	1,404

Table 3은 10°~50°까지 10° 간격으로 모듈의 각도를 설치한 후 예측된 발전시간, 일 발전량, 월 발전량을 보여주고 있다. 분석 결과 모듈 설치 각도 30°에서 발전시간은 4.24 시간으로 나타났으며, 일 발전량과 월 발전량이 각각 3.37 MWh와 102.47 MWh로 가장 높게 평가되었다.

Table 3. Analysis of PV power to PV module angle

Angle	Hour (hr)	Daily PV power (MWh)	Monthly PV power (MWh)
10°	4.11	3.22	97.92
20°	4.26	3.34	101.62
30°	4.29	3.37	102.47
40°	4.24	3.33	101.18
50°	4.08	3.21	97.55

따라서 모듈 설치 각도를 30°로 설계시 모듈 설치 각도 50°에 비해 발전효율이 약 4.8% 상승하는 것으로 분석되었다.

계절별 태양광 발전량을 예측하는 것은 태양광 발전소 유지 및 관리 측면에서 매우 중요한 자료가 될 수 있다. 본 연구에서는 다양한 모듈 설치 각도를 고려하여 월별 태양이동 경로특성을 고려한 태양광 발전량을 Table 4와 같이 분석하였다.

먼저 전체적으로는 모듈 설치 각도 30°에서 가장 높은 태양광 발전량을 보였으며, 월별 태양광 발전량을 살펴보면 4월과 5월에 대부분의 모듈 설치 각도에서

높게 나타났으며 다만 50°에서는 3월이 5월에 비해 약간 높게 분석되었다. 또한 날씨가 추워지는 11월~2월까지의 특성을 살펴보면 모듈 설치 각도가 큰 40°~50°가 10°~30°에 비해 태양광 발전량이 높게 나타났다. 이것은 늦가을부터 겨울까지 동안에 태양의 고도각이 낮기 때문에 상대적으로 모듈 설치 각도가 큰 40°~50°에서 일사량이 많이 유입되는 특성을 보이는 것으로 해석된다.

반면 상대적으로 날씨가 따뜻한 3월~10월까지지는 10°~30°의 모듈 설치 각도가 40°~50°에 비해 태양의 고도각이 높기 때문에 일사량이 많이 유입되어 태양광 발전량이 높게 나타났다. 모듈 설치 각도 20°와 30°를 비교해보면 봄부터 여름기간인 4월~8월까지 기간에서는 20°가 30°에 비해 태양광 발전량이 더 높게 나타났으며 나머지 기간에서는 30°가 더 높게 나타났다. 따라서 해당지역의 지형특성과 기상조건을

고려한 모듈 설치 각도별 시뮬레이션을 수행하는 것이 태양광 발전소의 수익을 예상하는데 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

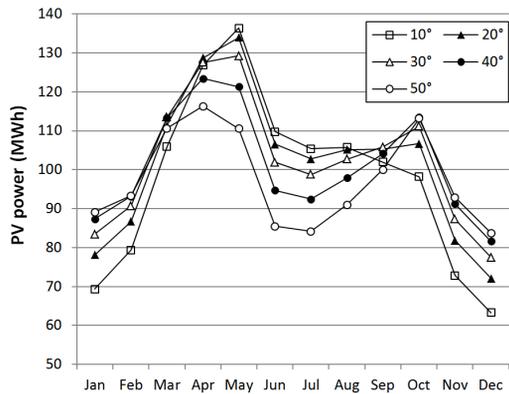


Figure 9. Analysis of monthly PV power to PV module angle

Table 4. Analysis of Photovoltaic power to Phtovoltaic module angle

Month	Photovoltaic Power (MWh)					Season
	10°	20°	30°	40°	50°	
Dec	63.32	72.09	77.50	81.62	83.77	Winter
Jan	69.32	78.13	83.45	87.36	89.15	
Feb	79.34	86.69	90.73	93.14	93.36	
SUM(Dec~Feb)	211.98	236.91	251.68	262.12	266.28	
Mar	105.89	111.37	113.48	113.34	110.59	Spring
Apr	126.82	128.71	127.54	123.40	116.32	
May	136.36	133.96	129.25	121.33	110.58	
SUM(Mar~May)	369.07	374.04	370.27	358.07	337.49	
Jun	109.73	106.55	101.88	94.70	85.44	Summer
Jul	105.42	102.81	98.77	92.42	84.19	
Aug	105.77	105.20	102.73	97.93	91.04	
SUM(Jun~Aug)	320.92	314.56	303.38	285.05	260.67	
Sep	102.00	105.32	105.85	104.14	100.04	Fall
Oct	98.21	106.69	111.16	113.54	113.20	
Nov	72.82	81.87	87.28	91.20	92.91	
SUM(Sep~Nov)	273.03	293.88	304.29	308.88	306.15	
SUM	1,175.00	1,219.39	1,229.62	1,214.12	1,170.59	

4. 결론

본 연구에서는 LiDAR 측량을 활용하여 취득한 정밀 지형자료와 센서 기반의 기상데이터 관측시스템을 구축하여 태양광 발전량을 예측하는 연구를 수행하였으며, 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, RIEGL사의 VZ-400 LiDAR 장비를 활용하여 지상측량을 수행하였으며, 스캔 데이터에 대해 캘리브레이션을 통한 오차 조정을 통해 태양광 발전량 분석에 활용할 3차원 지형자료를 구축할 수 있었다.

둘째, 지상 LiDAR 장비를 통해 취득한 지형자료에 대해 태양광 모듈을 배치하였으며, SketchUp의 Skelion 프로그램을 이용하여 모듈배치 방향, 모듈각도, 모듈패널 유형, 모듈 방향별 이격거리, 모듈 상하개수, 모듈 배치 정밀도, 그림자 영향 등의 다양한 옵션을 고려하여 태양광 발전량을 예측하는 기법을 제시하였다.

셋째, 본 연구에서는 태양광 발전량 예측에 매우 중요한 태양광 발전소 주변의 기상조건을 정확하게 반영하기 위해 온도, 습도, 일사량 정보를 취득할 수 있는 센서기반의 실시간 기상정보 관측 시스템을 개발하였다. 이를 통해 분석한 대상지역의 일조시간은 일반적인 태양광 발전소 일조시간 기준인 3.5시간보다 1.03시간이 더 많은 4.53시간으로 분석되었으며, 따라서 정확한 태양광 발전량 예측을 위해서는 해당 지역의 실시간 기상 데이터 관측 시스템을 통해 얻어진 일조시간을 활용하는 것이 매우 중요할 것으로 판단된다.

넷째, 실시간 기상 데이터 처리 시스템을 통해 취득한 일평균 발전시간 4.53시간을 적용하여 2018년의 태양광 발전량을 분석한 결과 2,305 MWh로 계산되었으며, 이는 국내에서 일반적으로 적용하고 있는 일평균 발전시간 3.5시간을 적용할 경우 발전량인 1,404 MWh과 비교해 볼 때 정확도 측면에서 약 39%의 태양광 발전량 오차를 나타내었다.

다섯째, 본 연구에서는 태양광 모듈의 설치각도에 따른 태양광 발전량의 영향을 분석하고자 모듈 설치각도를 10°~50°까지 10° 간격으로 배치한 결과, 모듈배치 각도 30°에서 발전시간은 4.24시간으로 나타났으며, 일 발전량과 월 발전량이 각각 3.37 MWh와 102.47 MWh로 가장 높게 평가되었다. 따라서 모듈배치 각도를 30°로 설계시 모듈 각도 50°에 비해 발전효율이 약 4.8% 상승하는 것을 알 수 있었다.

여섯째, 태양광 모듈의 설치각도에 따른 계절별 태양광 발전량의 영향을 분석한 결과, 날씨가 차가운 11월~2월까지의 낮은 태양의 고도각으로 모듈 각도가 큰 40°~50°가 10°~30°에 비해 일사량이 많이 유입되어 태양광 발전량이 높게 나타났으며 날씨가 따뜻한 3월~10월까지의 모듈 각도가 작은 10°~30°가 40°~50°에 비해 오히려 일사량이 많이 유입되어 태양광 발전량이 높게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 태양광 발전소 설계시 계절별로 달라지는 태양의 고도각 변화에 따른 일사량 유입 특성을 고려하여 모듈의 설치각도를 고려하는 것이 중요함을 알 수 있었다.

참고문헌

References

- 김호용. 2010. 공간통계기법을 이용한 태양광발전시설 입지 정확성 향상 방안. *한국지리정보학회지*. 13(2):146-156.
- Kim HY. 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.
- 노상태. 2014. 태양광 발전량 예측 도구별 입력 요소 분석 및 실제 발전량 비교에 관한 연구. *한국생태환경건축학회 논문집*. 14(6):87-92.
- No ST. 2014. Comparison of Measured and Predicted

- Photovoltaic Electricity Generation and Input Options of Various Softwares. *The International Journal of The Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*. 14(6):87-92.
- 도재형, 김대식, 구희동. 2014. GIS를 이용한 태양광 발전시스템의 활용도 높은 농촌 그린빌리지 적정 입지 평가. *농촌계획*. 20(1):51-62.
- Doh JH, Kim DS, Koo HD. 2014. High Utilization of Photovoltaic Power System in Rural Green Village Location Analysis and Evaluation using GIS. *Journal of the Korean Society of Rural Planning*. 20(1):51-62.
- 박정일, 박민호, 임이택. 2010. GIS를 이용한 신-재생 에너지 적지분석 연구. *한국지적정보학회 학술발표논문집*. 129-141.
- Park JI, Park MH, Lim RT. 2010. *A Study on the New Renewable Energy Suitable Position Using GIS*, Proceeding of the Korean Cadastre Information Association. 129-141.
- 심정보, 이진덕, 이성순, 이경엽. 2010. GIS를 활용한 태양광발전소 최적입지선정. *대한토목학회 학술발표논문집*. 1126-1129.
- Sim JB, Lee JD, Lee SS, Lee KE. 2010. *The Better Position of Powerstation Desided by Solar through GIS Analysis*. Proceeding of the Korean Society of Civil Engineering. 1126-1129.
- 이강혁, 김우제. 2016. 서포트 벡터 회귀를 이용한 24 시간 앞의 태양광 발전량 예측. *한국정보기술학회 논문지*. 14(3):175-183.
- Lee KH, Kim WJ. 2016. Forecasting of 24 hour ahead Photovoltaic Power Output using Support Vector Regression. *Journal of Korean Institute of Information Technology*. 14(3): 175-183.
- 이근상, 이종조. 2018a. 항공 LiDAR 자료 기반 태양광 발전소 입지 분석. *한국지적정보학회지*. 20(1): 37-47.
- Lee GS, Lee JJ. 2018a. Analysis of Solar Plant Site based on Airborne LiDAR data. *Journal of the Korean Cadastre Information Association*. 20(1):37-47.
- 이근상, 이종조. 2018b. UAV 공간정보 기반의 태양 광발전소 부지의 일사량 분석. *지적과 국토정보*. 48(1):5-14.
- Lee GS, Lee JJ. 2018b. The Analysis of Solar Radiation to Solar Plant Area based on UAV Geospatial Information System. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 48(1):5-14.
- 이기림, 이원희. 2015. GIS와 계층분석법을 이용한 태양광 발전소 입지 분석. *한국지리정보학회지*. 18(4):1-13.
- 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(4):1-13.
- 이대종, 이종필, 이창성, 임재윤, 지평식. 2015. 적응적 뉴로-퍼지 모델을 이용한 태양광 발전량 예측 알고리즘 개발. *전기학회 논문지*. 64(4):246-250.
- Lee DJ, Lee JP, Lee CS, Lim JY, Ji PS. 2015. Development of PV Power Prediction Algorithm using Adaptive Neuro-Fuzzy Model. *The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers*. 64(4):246-250.
- 이창성, 지평식. 2015. ELM을 이용한 일별 태양광발전량 예측모델 개발. *전기학회 논문지*. 64(3): 164-168.
- Lee CS, Ji PS. 2015. Development of Daily PV Power Forecasting Models using ELM. *The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers*. 64(3):164-168.

Escobar RA, Cortés C, Pino A, Salgado M, Pereira EB, Martins FR, Boland J, and Cardemil JM. 2015. Estimating the potential for solar energy utilization in Chile by satellite derived data and ground station measurements. *Solar Energy*. 121:139-151.

Huang Shengli, Paul M. Rich, Robert Crabtree, Christopher Potter, and Pinde Fu. 2008. Modeling Near-Surface Air Temperature from Solar Radiation and Lapse Rate: Application

over Complex Terrain in Yellowstone National Park, USA. *Physical Geography*. 29(2):158-178.

2019년 01월 08일 원고접수(Received)

2019년 05월 17일 1차심사(1st Reviewed)

2019년 06월 03일 2차심사(2st Reviewed)

2019년 06월 18일 게재확정(Accepted)

초 록

본 연구에서는 LiDAR 측량을 활용하여 취득한 정밀 지형자료와 센서 기반의 기상데이터 관측시스템을 구축하여 태양광 발전량을 예측하는 연구를 수행하였다. 2018년 평균 일조시간은 4.53 시간으로 나타났으며, 태양광 발전량은 2,305 MWh으로 분석되었다. 그리고 태양광 모듈의 설치각도에 따른 태양광 발전량의 영향을 분석하고자 모듈 설치각도를 10° 간격으로 배치한 결과, 모듈 배치 각도 30°에서 발전시간은 4.24 시간으로 나타났으며, 일 발전량과 월 발전량이 각각 3.37 MWh와 102.47 MWh로 가장 높게 평가되었다. 따라서 모듈 배치 각도를 30°로 설계시 모듈 각도 50°에 비해 발전효율이 약 4.8% 상승하는 것을 알 수 있었다. 또한 태양광 모듈의 설치각도에 따른 계절별 태양광 발전량의 영향을 분석한 결과, 날씨가 차가운 11월~2월까지의 모듈 각도가 큰 40°~50°가 태양광 발전량이 높게 나타났으며 날씨가 따뜻한 3월~10월까지의 모듈 각도가 작은 10°~30°가 태양광 발전량이 높게 나타남을 알 수 있었다.

주요어 : LiDAR 측량, 기상 데이터 관측시스템, 일사량, 태양광 발전량