연구논문

어안 렌즈 카메라와 SOLPOS 계산기를 이용한 태양광 발전 시스템 부지 적합성 평가

송진영¹⁾ · 최요순^{1)*} · 정영욱²⁾ · 임길재²⁾ · 박현성³⁾

Site Suitability Assessment for Installing Photovoltaic Systems using Fisheye-lens Camera and SOLPOS Calculator

Jinyoung Song, Yosoon Choi*, Young-Wook Cheong, Gil-Jae Yim and Hyn-Sung Park

Abstract : This study performed a site suitability assessment for installing photovoltaic (PV) systems at the Samma-taejung mine water treatment facility. A fisheye-lens camera (Solmetric's SunEye210) and the SOLPOS calculator developed by National Renewable Energy Laboratory (NREL), USA were used to quantitatively evaluate the suitability of four candidate points for PV installations. Three indices including *SA* (Solar Access), *TOF* (Tilt and Orientation Factor) and *TSRF* (Total Solar Resource Fraction) were calculated at the four candidate points (Points 1-4). As a result, we could know that Point 2 has higher *TSRF* (81%) than other three candidate points. Although Point 3 has the highest *SA*, its *TSRF* is lower than that of Point 1 due to terrain gradient. Therefore, it is recommended that Point 2 is the most suitable location to install PV systems in the study area.

Key words : Photovoltaic systems, Site suitability assessment, Mine water treatment, Fisheye-lens

요 약 : 본 연구에서는 삼마태정 광산배수 자연정화시설을 대상으로 태양광 발전 시스템 부지 적합성 평가를 수행하였다. 태양광 발전 시스템 설치 후보지의 적합성을 정량적으로 평가하기 위해 미국 Solmetric에서 개발한 어안 렌즈 카메라(SunEye210)를 사용하여 *SA*(Solar Access) 지수를 산정하였고, 미국 신재생에너지연구소에서 개발한 SOLPOS 계산기를 사용하여 *TOF*(Tilt and Orientation Factor)를 산정하였다. 또한, *SA*와 *TOF*를 이용하여 *TSRF*(Total Solar Resource Fraction)를 계산하였다. 연구지역에서 4개의 후보지점을 선정하여 분석을 수행한 결과 2번 후보지점이 *TSRF*가 81%로 가장 높게 산정되었다. 3번 후보지점은 *SA*는 높았으나 정남향 설치가 어려운 지형조건으로 인해 *TSRF*는 상대적으로 낮았다. 따라서 연구지역에서는 2번 후보지점에 태양광 발전 시스템을 설치하는 것이 가장 적합한 것으로 판단된다.

주요어 : 태양광 발전 시스템, 부지 적합성 평가, 광산배수처리, 어안 렌즈

서 론

전 세계적으로 태양열, 태양광, 풍력, 수력, 지열, 조력, 파력, 바이오매스 등 지속가능하고, 환경 친화적인 재생 에너지 기술들이 많은 연구자들에 의해 개발되고 있으

며, 산업 전 분야에서 광범위하게 활용되고 있다(Choi *et al.*, 2011; Song and Choi, 2012). 광업 분야에서는 최근 들어 오지(해안이나 도시에서 멀리 떨어진 내륙의 깊숙한 땅) 또는 극지에서 가행 광산의 전력 수급 문제를 해결하고, 폐광산 지역의 버려진 부지를 활용하여 대체산업을 육성하기 위해 재생에너지 기술들이 현장에 도입되고 있다(Choi, 2013). 국내의 경우에는 석공신성, 석공함백, 석공함태 광산배수 수질정화시설 등 한국광해관리공단에서 운영하고 있는 광해방지 시설들을 중심으로 태양광 발전 기술을 현장에 도입하여 활용하고 있으며, 광해방지 시설에서 태양광 발전 기술의 활용은 향후에도 지속적으로 확산될 것이라 예측된다(Choi, 2013).

태양광 발전 시스템은 반도체, 염료, 고분자 등의 물질

2013년 10월 4일 접수, 2013년 11월 8일 심사완료
2013년 12월 12일 게재확정

- 1) 부경대학교 에너지자원공학과
- 2) 한국지질자원연구원 지질재해연구실
- 3) 한국광해관리공단 기술연구소

*Corresponding Author(최요순)

E-mail; energy@pknu.ac.kr, yspower7@gmail.com

Address; Dept. of Energy Resources Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

로 이루어진 태양전지를 이용하여 태양에너지를 직접 전기에너지로 변환할 수 있는 장치이다. 비교적 시공이 간편하며, 무인시스템으로 작동이 가능하기 때문에 시스템 운영 및 유지 관리에 필요한 각종 비용을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 그러나 태양광 발전 시스템이 항상 기대했던 것만큼의 전력을 생산할 수 있는 것은 아니다. 태양광 발전 시스템이 설치된 장소의 위도/경도뿐만 아니라 계절적인 기후변화, 태양광 패널의 시공방법, 주변의 산, 건물, 나무 등의 수광 장애 요인들에 의한 그림자, 새의 분비물이나 황사 등 다양한 특성들이 발전 효율과 전력 생산량에 영향을 줄 수 있기 때문이다(Galli and Hoberg, 2009). 최근 언론 보도를 통해 소개된 ‘선풍기도 못 돌리는 태양광 발전 시스템(<http://durl.me/5ky3ki>)’의 사례는 설치 후보지의 적합성 평가 없이 태양광 발전 시스템을 설치했을 경우에 나타날 수 있는 문제점을 보여준다. 주차장 관리 부스 위에 80 W 용량의 태양광 발전 시스템을 설치했으나 가로수 아래에 위치하고 있어 실제 전력 생산량은 20 W 정도로 떨어져 40 W의 전력이 필요한 선풍기를 돌리지 못하는 것이다. 이와 같은 문제의 발생을 사전에 방지하기 위해서는 태양광 발전 시스템의 설치에 앞서 설치 후보지의 적합성을 평가하는 것이 매우 중요하다.

태양광 발전 시스템 설치 후보지의 적합성을 정량적으로 평가할 때 일반적으로 Eq. (1)-(3)과 같은 세 가지 지수들이 사용된다(Galli and Hoberg, 2009).

$$SA(\%) = \frac{I_{non\ shaded}}{I_{total}} \times 100 \quad (1)$$

$$TOF(\%) = \frac{I_{actual}}{I_{optimal}} \times 100 \quad (2)$$

$$TSRF(\%) = \frac{SA \times TOF}{100} \quad (3)$$

SA(Solar Access, %)는 태양광 패널(panel)에 입사할 수 있는 전체 태양 일사량(I_{total} , kW/m²) 중 주변의 수광 장애요인들에 의한 그림자 영향을 받지 않은 태양 일사량($I_{non\ shaded}$, kW/m²)의 비율을 나타낸다. 즉, 주변에 수광 장애요인들이 존재하지 않아서 태양광 패널 표면에 그림자가 형성되지 않는다면 SA는 100%이며, 태양광 패널 표면 일부에 그림자가 형성된다면 SA는 100%보다 작아진다. 태양광 패널 전체가 그림자에 가려져 태양 복사에너지를 받지 못한다면 SA는 0%가 된다.

TOF(Tilt and Orientation Factor, %)는 태양광 패널이 최적의 경사와 방향으로 설치되었을 때 입사할 수 있는 태양 일사량($I_{optimal}$, kW/m²)을 기준으로, 현장에서 시공 조건의 제약으로 인해 태양광 패널이 최적의 경사와 방향으로 설치되지 못했을 때(즉, 실제 설치 조건) 입사할 수 있는 태양 일사량(I_{actual} , kW/m²)과의 비율을 나타낸다. 태양광 패널이 최적의 경사와 방향으로 설치될 수 있다면 TOF는 100%로 산정되며, 현장에서의 시공 여건이 좋지 못할수록 TOF가 작아진다.

TSRF(Total Solar Resource Fraction, %)은 SA와 TOF를 곱한 후 백분율로 환산한 지수이다. 따라서 TSRF를 이용하면 태양광 발전 시스템 부지의 적합성을 수광 장애 요인과 시공 조건 측면에서 종합적으로 평가할 수 있다. TSRF가 100%인 경우 태양 일사량이 태양광 발전 시스템의 전력 생산을 위해 모두 활용될 수 있다는 것을 의미하며, TSRF가 작아질수록 수광 장애요인들이나 시공 상의 제약 조건들로 인해 태양광 발전 시스템이 그 지역의 태양 일사량을 충분히 활용할 수 없다는 것을 의미한다.

본 논문에서는 삼태정 광산배수 자연정화시설을 연구지역으로 선정하여 태양광 발전 시스템 부지 적합성 평가를 수행한 사례연구 결과를 제시한다. 어안 렌즈 카메라(fisheye-lens camera)를 이용하여 SA를 측정하고, 미국 신재생에너지연구소(National Renewable Energy Laboratory, NREL)에서 개발한 SOLPOS 계산기(<http://www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html>)를 이용하여 TOF 값을 계산한다. 최종적으로 TSRF 지수를 산정하여 연구지역에서 태양광 발전 시스템 설치 후보지의 적합성을 평가하고, 후보지 중 가장 유리한 설치 지점을 선정하는 것을 목표로 한다.

태양광 발전 시스템 부지 적합성 평가 방법

어안 렌즈 카메라를 이용한 Solar Access 산정 방법

본 연구에서는 태양광 발전 시스템 설치 후보지의 SA를 정량적으로 산정하기 위해 미국 Solmetric(www.solmetric.com)에서 개발한 어안 렌즈 카메라(SunEye210)를 사용하였다. SunEye210 장비는 어안 렌즈, 디지털카메라, 전자 경사계 및 컴퍼스, GPS(Global Positioning System), Windows CE 운영체제 기반의 모바일 컴퓨터, 컬러 액정 디스플레이로 구성되어 있으며 한손에 들고 다닐 수 있는 크기이다(Fig. 1(a)). 어안 렌즈란 극단적인 광각 효과(촬영각이 180° 이상)를 나타내는 렌즈로서 초점 거리가 극도로 짧다. 따라서 어안 렌즈 카메라로 촬영된 영상

은 물고기 눈으로 사물을 포착한 것처럼 360° 원형으로 나타난다(Fig. 1(b)).

어안 렌즈 카메라(SunEye210)를 이용한 SA 측정 방법은 4단계로 구분된다.

- 1) 위치좌표 설정: SA 측정 지점의 위/경도 좌표를 기록하기 위해 내장되어 있는 GPS를 작동 시키거나 사용자가 직접 좌표를 입력할 수 있다.
- 2) Sky type 설정: 어안 렌즈 카메라로 촬영된 영상의 전처리 방법에 대해 설정한다. 일반(normal), 구름 및 창공(clouds and blue sky), 그림자 경계 강조(shaded) 모드 중 하나를 선택할 수 있다. 구름 및 창공 모드를 선택하면 촬영된 영상에서 너무 밝거나 어둡게 표현된 구름이나 진청색의 하늘이 건물, 나무 등과 같은 수광 장애 요인들로 잘못 분류되지 않도록 해당 부분의 색상을 보정하는 작업을 수행한다. 또한, 그림자 경계 강조 모드를 선택하면 나뭇가지와 같이 가늘고 긴 형태의 수광 장애 요인들에 대한 경계선을 강조하는 처리 작업을 수행하여 영상에서 보다 효과적으로 수광 장애 요인들을 탐지할 수 있다.

Fig. 2는 세 가지 서로 다른 Sky type 모드로 촬영된

어안 렌즈 영상을 보여준다. Fig. 2(a)의 일반 모드 촬영 영상과 Fig. 2(b)의 구름 및 창공 모드 촬영 영상을 비교하면 좌측 원형부분에서 차이점을 볼 수 있다. 일반 모드 영상에서는 진청색의 하늘이 수광 장애 요인으로 잘못 분류되었으나 구름 및 창공 모드에서는 올바르게 보정되어 있는 것을 확인할 수 있다. 그림자 경계 강조 모드의 효과는 Fig. 2(c)의 오른쪽 사각형 부분에서 확인할 수 있다. Fig. 2(b)의 구름 및 창공 모드 촬영 영상에서 수광 장애 요인으로 분류되지 않았던 사각형 부분이 Fig. 2(c)의 결과에서는 수광 장애 요인으로 올바르게 분류되는 것을 볼 수 있다. 따라서 촬영 지점의 현장 상황에 따라 적절한 촬영 모드를 선택하는 것이 보다 정확한 SA 산정을 위해 매우 중요하다.

- 3) Skyline 촬영: 내장되어 있는 경사계와 컴퍼스로부터 측정되는 경사각과 방위각 정보를 화면상에서 확인하면서 경사각 0°, 방위각 180°(남반구에서는 0°)로 설정되었을 때 셔터를 눌러 영상을 촬영한다. SunEye210 장비의 경사각 및 방위각 설정 오차는 $\pm 5^\circ$ 이내가 적절하며 오차가 그 이상인 경우에는 다시 촬영해야 한다(Solmetric Corporation, 2011). 내장되어 있는 경사계와 컴퍼스는 주변의 자기장에 민감하게 반응하기 때문에 촬영 지점에 자기장을

(a)

(b)

Fig. 1. (a) View of the Solmetric SunEye210 fisheye-lens camera (b) Example of image captured from a fisheye-lens camera(<http://www.eso.org/public/images/potw1049a/>).

생성할 수 있는 물체가 존재할 경우에는 자기장의 영향을 받지 않는 지점으로 이동하여 촬영해야 한다.

- 4) *SA* 산정: 촬영된 어안 렌즈 영상을 분석하여 다음과 같이 *SA*를 산정한다. 측정 지점의 위/경도 좌표를 반영하여 계산된 태양의 궤적(sun path) 차트가 어안 렌즈 영상위에 중첩되어 기기의 화면상에 나타난다. 또한, 영상으로부터 수광 장애 요인들이 자동으로 식별되어 화면에 나타난다. 만약, 측정 지점에서 태양광 발전 시스템이 그림자의 영향을 전혀 받지 않는다면 중첩된 태양 궤적 차트 상에 수광 장애 요인들이 나타나지 않으며 이때의 *SA*는 100%로 산정된다. 반면, 태양광 발전 시스템이 그림자의 영향을 받는다면 태양 궤적 차트 상에 그림자의 원인이 되는 수광 장애 요인들이 표시된다. 이러한 원리에 의해 태양 궤적 차트에서 수광 장애 요인이 나타나는 부분을 제외한 나머지 영역의 면적을 전체 태양 궤적 차트의 면적으로 나눈후 백분율로 환산하여 *SA*를 산정할 수 있다. 어안 렌즈 영상으로

부터 자동으로 식별된 수광 장애 요인들에 오류가 있는 경우에는 사용자가 수동으로 수광 장애 요인 식별 결과를 수정 가능하다. 예를 들어, Fig. 3(a)와 같이 측정자의 신체 일부가 어안 렌즈 촬영 영상에 포함되어 수광 장애 요인으로 식별된 경우에는 Fig. 3(b)와 같이 수정하여 *SA* 산정시 반영되지 않도록 할 수 있다.

SOLPOS 계산기를 이용한 Tilt and Orientation Factor 산정 방법

본 연구에서는 고정형으로 설치된 태양광 발전 시스템을 기준으로 *TOF*를 산정하였다. 보급형 태양광 발전 시스템에서 태양광 패널의 고정형 설치 방식이 일반적으로 사용되고 있기 때문이다. 이론적으로 고정형 태양광 패널 표면에 실제 도달하는 일사량(I_{panel} , kW/m^2)은 태양광 패널이 설치된 조건(경사각, 방위각)에 따라 다음과 같이 산정할 수 있다(Honsberg and Bowden, 2013).

Fig. 2. Fisheye-lens images captured by using three different modes (a) Normal (b) Clouds and blue sky (c) Shaded.

Fig. 3. Fisheye-lens images with the Sun path chart (a) without and (b) with a manual adjustment.

$$I_{panel} = I_{total} \times [\cos\alpha \times \sin\beta \times \cos(\psi - \theta) + \sin\alpha \times \cos\beta] \quad (4)$$

여기서 α 는 태양의 고도각(sun elevation angle), β 는 패널이 설치된 경사각(panel tilt angle), ψ 는 패널이 설치된 방위각(panel orientation angle), θ 는 태양의 방위각(sun azimuth angle)을 의미한다. α 와 θ 는 시간, 계절에 따라 지속적으로 변화한다.

일반적으로 북반구에서는 ψ 가 180°(남향), β 가 설치 지점의 위도로 설치되었을 때 고정형 태양광 발전 시스템이 최적의 성능을 보이는 것으로 알려져 있다(Honsberg and Bowden, 2013). 따라서 이러한 방위각, 경사각 설치 조건에서 Eq. (4)에 의해 산정되는 I_{panel} 값은 TOF 산정 시 필요한 $I_{optimal}$ 값을 의미하게 된다(Eq. (2)). 만약, 현장의 지형, 가용부지의 형태 등의 여건에 따라 고정형 태양광 발전 시스템을 최적 방위각, 경사각 조건으로 설치하기 어려운 경우에는 ψ , β 값들이 달라질 수 있으며 이때 산정되는 I_{panel} 값은 I_{actual} 로서 TOF 산정시 사용된다(Eq. (2)).

Fig. 4. Web version of the NREL SOLPOS calculator (www.nrel.gov/midc/solpos/solpos.html).

본 연구에서는 미국 신재생에너지연구소에서 개발한 SOLPOS 계산기(Fig. 4)를 이용하여 $I_{optimal}$, I_{actual} 값을 한 시간 단위로 계산한 후 Eq. (2)에 대입하여 TOF를 산정하였다. SOLPOS 계산기는 태양광 발전 시스템이 설치될 지점의 위도와 경도를 입력하면 시간 단위로 태양의 고도각과 방위각을 계산해주며, 태양광 패널의 경사각과 방위각 정보를 추가로 입력하면 Eq. (4)에 따라 I_{panel} 값을 한 시간 단위로 계산해 준다. 본 연구에서는 시간 단위로 계산된 TOF 값들을 통계적으로 분석하여 연평균 TOF와 1월부터 12월까지의 월평균 TOF를 산정하였다.

연구지역 및 측정지점

연구지역은 강원도 삼척시 도계읍이 위치하고 있는 삼마태정 자연정화시설이다(37° 15'N, 129° 02'E). 삼마태정 탄광에서는 1962년 2월부터 1992년 12월까지 약 30년간 석탄을 채굴하였다. 이후 갱내수 처리를 위해 자연정화처리시설을 설치하였다. SAPS조, 산화조, 소택지로 구성되어 있으며 하루 처리 용량은 400m³이다.

현장에서의 육안 판단을 통해 태양광 패널의 설치가 용이한 4개의 후보지점들을 결정하였고(Fig. 5), 이들 후보지점들 중 상대적으로 설치 조건이 가장 유리한 지점을 선정하기 위해 어안 렌즈 카메라와 SOLPOS 계산기를 이용한 태양광 발전 시스템 부지 적합성 평가를 수행하였다. 1번 후보지점은 시설물 관리소로 사용되는 컨테이너 박스의 상부이다(Fig. 6(a)). 컨테이너 박스의 높이는 약 2.6 m이다. 2번 후보지점은 컨테이너 박스 서쪽에 위치한 공터이며 지형기복이 완만하고 1번 후보지점보다 상대적으로 넓은 부지를 활용할 수 있다(Fig. 6(b)). 3번 후보지점은 SAPS조 서쪽 부지이며 현재 시설물 안내 게시판이 설치되어 있다. 3번 후보지점은 서쪽 방향

Fig. 5. Aerial view of the study area. Four candidate points (1-4) were selected for site assessment (image source: Daum map, <http://map.daum.net>).

으로 지형이 경사져 있어 정남향으로 태양광 패널을 설치하기 어려운 조건이다(Fig. 6(c)). 마지막으로 4번 후보지점은 산화조 동쪽 부지로서 다량의 초목들이 인접해 있어서 그림자의 영향이 클 것으로 예상되는 지점이다(Fig. 6(d)).

연구결과

SA 분석 결과

어안 렌즈 카메라를 이용하여 연구지역의 후보지점 4 곳에 대한 Skyline 촬영을 수행하였다. 효과적인 분석을 위해 영상 촬영시 1-3번 후보지점에서는 Solar Type을 구름 및 창공 모드로 설정하였고, 4번 후보지점에서는 주변에 나무들이 많이 있었기 때문에 Solar Type을 그림자 경계 강조 모드로 설정하였다. 어안 렌즈 카메라의 높이는 1번 후보지점에서는 2.8 m, 나머지 후보지점들에서는 1.8 m에서 촬영하였다. 각 후보지점별로 영상을 3

회씩 반복 촬영한 후 3장의 어안 렌즈 영상들의 분석 결과를 평균하여 SA를 결정하였다.

촬영된 어안 렌즈 영상과 태양의 궤적 차트를 중첩한 결과는 Fig. 7과 같다. 월별로 산정된 SA 값들은 Fig. 8에 제시하였다. 1번 후보지점에서의 결과를 살펴보면, 태양 고도가 높은 여름철에는 SA가 100%에 가깝게 나타나고 있다. 그러나 12월에는 SA 값이 22%로 나타나는 등 전반적으로 겨울철에는 SA가 크게 작아지는 것을 확인할 수 있다. 연 평균 SA는 76%로 산정되었다. 2번 후보지점의 월별 SA 산정 결과에서는 여름철의 경우 1번 후보지점의 결과와 유사한 패턴을 보이고 있으나 겨울철의 경우 값이 다소 높아진 것을 확인할 수 있다. 연 평균 SA는 80%로 산정되었다. 2번 후보지점의 SA가 상대적으로 높게 나타난 것은 주변 초목들에 의한 그림자의 영향이 비교적 적기 때문인 것으로 판단된다.

3번 후보지점은 연평균 SA가 82%로 4개의 후보지점들 중 가장 높게 산정되었다. 어안 렌즈 촬영영상에서 볼

(a)

(b)

(c)

(d)

Fig. 6. Views of the candidate points for site assessment (a) Point 1 (b) Point 2 (c) Point 3 (d) Point 4.

Fig. 7. Fisheye-lens images captured at (a) Point 1, (b) Point 2, (c) Point 3 and (d) Point 4 in the study area. Sun path chart is drawn on the images.

Fig. 8. Monthly solar access calculated at (a) Point 1, (b) Point 2, (c) Point 3 and (d) Point 4 in the study area.

수 있듯이 3번 후보지점은 주변의 초목, 전신주에 의한 그림자의 영향이 상대적으로 적기 때문이다. 비교적 멀리 떨어져 있는 지형들이 수광 장애 요인들로 작용하고 있다. 봄, 가을에도 70%이상의 SA 를 나타내고 있으며, 12월에도 비교적 다른 지역보다 높은 SA 값(44%)을 보이고 있다. 4번 후보지점에서는 주변의 수목들이 수광 장애 요인들로 작용하여 연평균 SA 가 48%로 산정되었으며, 여름철인 6월에도 다른 후보지들 보다 약 10% 낮은 90%의 SA 를 나타내었다. 또한, 겨울철에는 SA 가 0%까지 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

TOF 분석 결과

TOF 산정은 3번 후보지점에 대해서만 실시하였다. 현장조사 결과 1, 2, 4번 후보지점의 경우 태양광 패널의 정남향 설치가 가능하지만, 3번 후보지점의 경우 서쪽 방향의 지형 경사로 인해 정남향 설치가 어려울 것으로 판단되었기 때문이다. 따라서 3번 지점에서 태양광 패널들을 40° 경사각, 180° 방위각(정남향)으로 설치했을 경우를 최적의 조건이라고 가정하고, 40° 경사각, 270° 방위각(정서향)을 실제 시공 조건으로 설정하여 SOLPOS 계산기를 이용해 TOF 를 계산하였다. 3번 지점에서의 월 평균 TOF 값의 산정 결과는 Table 1과 같다. 여름철의 경우 태양의 고도가 높기 때문에 태양광 패널의 방위각의 영향이 크지 않으나, 겨울철에는 그 영향이 매우 크다는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 1월과 12월의 경우에는 태양광 패널에 도달하는 태양 복사 에너지의 절반 정도 밖에 활용할 수 없는 것으로 나타났다. 연평균, 5-10월 평균, 11-4월 평균 TOF 는 각각 78%, 95%, 62%로 분석

되었다.

5-7월의 분석 결과에서 TOF 값이 100% 이상으로 산정된 것은 고정형 태양광 패널이 경사각이 40°로 비교적 급하고, 5-7월의 태양 고도각이 높기 때문이다. 이 경우 패널의 경사각과 태양의 고도각의 기하학적 관계에 의해 정남향 패널보다 정서향 패널에 도달하는 일사량의 양이 일시적으로 증가할 수 있다.

TSRF 분석 결과

4개의 후보지점들에 대한 $TSRF$ 산정 결과는 Fig. 9와 같다. 1, 2, 4번 후보지점은 TOF 가 100%이기 때문에 SA 값과 $TSRF$ 값이 동일하다. 산정된 $TSRF$ 를 비교할 때 2번 후보지점이 연구지역에서 태양광 발전 시스템을 설치하기에 가장 유리한 것으로 판단된다. 2번 지점에서는 연구지역에 도달하는 태양 일사량 중 연평균 81% 정도를 태양광 발전 시스템에 활용할 수 있으며, 11-4월에는 평균 67%를 활용할 수 있는 것으로 나타났다. 12월의 경우에도 연구지역에 도달하는 태양 일사량 중 약 30% 정도를 태양광 발전을 위해 사용할 수 있는 것으로 분석되었다.

반면 3번 지점의 경우에는 SA 만 볼 때에는 가장 유리한 설치 조건이었으나 남향 설치가 불가능한 지형적 조건으로 인해 $TSRF$ 가 2번 지점에 비해 낮게 평가되었다. $TSRF$ 가 가장 낮게 산정된 곳은 4번 후보지점으로서 연평균 50%로 분석되었다. 특히, 11월부터 4월까지의 기간에서는 $TSRF$ 가 26%로 매우 작게 산정되었다. 따라서 4번 후보지점은 태양광 발전 시스템 설치 장소로서 부적합한 것으로 판단된다.

Table 1. Monthly tilt and orientation factor (TOF) calculated at Point 3 in the study area

Month	$I_{optimal}$ (MW/m ² /month, tilt=40°, orientation=180°)	I_{actual} (MW/m ² /month, tilt=40°, orientation=270°)	TOF (%)
1	0.310	0.150	48%
2	0.291	0.171	59%
3	0.328	0.238	73%
4	0.303	0.272	90%
5	0.292	0.314	107%
6	0.271	0.306	113%
7	0.284	0.311	109%
8	0.302	0.294	97%
9	0.308	0.244	79%
10	0.323	0.201	62%
11	0.303	0.161	53%
12	0.306	0.147	48%

Fig. 9. Annual, summer solstice, winter solstice average TSRFs calculated at each site.

어안렌즈 카메라의 적용성에 대한 고찰

본 연구에 사용된 어안렌즈 카메라는 촬영시 자기장을 발생하는 주변 물체에 민감하게 반응한다. 카메라에 내장된 방위각 및 경사각 측정 장치가 자기장에 영향을 받기 때문이다. 따라서 촬영 지점 주변에 자기장을 유발할 수 있는 물체가 존재할 경우에는 충분한 이격거리를 확보한 후 촬영해야 한다. 만약 자기장에 영향을 받아 방위각 및 경사각 측정에 오차가 발생할 경우 어안 렌즈 촬영 영상에 중첩되는 태양 궤적과 Skyline이 달라질 수 있으므로 주의해야 한다.

결 론

본 연구에서는 삼마태정 광산배수 자연정화처리시설의 태양광 발전 시스템 부지 적합성을 평가하기 위하여 4개 후보지점들에 대한 SA, TOF, TSRF를 산정하였다. 1번 후보지점인 컨테이너박스 상부는 연평균 76%, 5월에서 10월 사이는 평균 93%, 11월과 4월 사이는 평균 60%의 SA를 보였다. 2번 후보지점의 SA는 연평균 80%로서 컨테이너박스 상부보다 높은 일사량 노출 비율을 보였다. 5월부터 9월사이의 평균 SA는 95%이고 11월과 4월 사이는 67%이다. 3번 후보지점은 연평균 82%의 SA를 나타내었고, 5월과 9월 사이에는 96%, 11월과 4월 사이는 72%로 SA 지수에서는 가장 유리한 설치 조건을 나타내었다. 주변에 수광 장애요소들이 많았던 4번 후보지점에서는 연평균 48%, 5월과 9월 사이는 73%, 11월과 4월 사이는 26%의 SA 지수를 나타내었다. TOF는 3번 후보지점에 대해서만 산정하였다. 그 결과 연평균, 5-10월 평균, 11-4월 평균 TOF 값이 각각 78%, 95%, 62%로 분석되었다.

TSRF를 산정한 결과 2번 후보지점에서 연평균 81%로 가장 높은 값을 나타내었다. 1번 후보지점이 77%로 두 번째로 높은 TSRF를 나타냈으며, SA가 가장 높았던 3번 후보지점의 경우 정남향 설치가 어려운 지형조건으로 인해 TSRF가 64%로 상대적으로 낮게 평가되었다. 따라서 태양광 발전 시스템 설치 후보지의 적합성을 평가한 결과 연구지역에서는 2번 지점이 태양광 패널 설치에 가장 유리한 조건을 가지는 것으로 판단된다.

본 연구에 사용된 어안 렌즈 카메라는 촬영시 자기장을 발생하는 주변 물체에 민감하게 반응하므로, 촬영 지점 주변에 자기장을 유발할 수 있는 물체가 존재할 경우에는 충분한 이격거리를 확보하는 것이 중요하다. 향후 연구로서 촬영 지점의 환경 조건에 따른 어안 렌즈 카메라의 측정 오차 분석이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2013년 한국광해관리공단의 광해방지기술 개발사업<고산도 광산배수 처리를 위한 자연정화 알칼리공급조 개발>의 지원으로 수행되었다.

References

- Choi, Y., 2013, "Utilization of Renewable Energy Technology in the Mining Industry," *J. of the Korean Society for Geosystem Engineering*, Vol. 50, No. 3, pp. 422-429.
- Choi, Y., Rayl, J., Tammineedi, C. and Brownson, J.R.S., 2011, "PV Analyst: Coupling ArcGIS with TRNSYS to assess distributed photovoltaic potential in urban areas," *Solar Energy*, Vol. 85, No. 11, pp. 2924-2939.
- Galli, M. and Hoberg, P., 2009, "Solar site evaluation tools & techniques to quantify & optimize production," *SOLARPRO*, Vol. 2, No. 1, pp. 54-64.
- Honsberg, C. and Bowden, S., 2013, *PVCDROM*, Solar Power Labs at Arizona State University, USA, 2013.9.30, <http://pveducation.org/pvcdrom>.
- Solmetric Corporation, 2011, *Solmetric SunEye 210 User's Guide*, Solmetric Corporation, 2013.9.30, http://resources.solmetric.com/get/Solmetric%20SunEye%20200%20Series%20Users%20Guide_en.pdf.
- Song, J. and Choi, Y., 2012, "Assessment of rooftop photovoltaic potential in the Pukyong National University for establishing a green campus," *J. of the Korean Society for Geosystem Engineering*, Vol. 49, No. 3, pp. 369-378.

송진영

현재 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과, 학사과정
(本學會誌 第49卷 第3号 參照)

정영욱

현재 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 책임연구원
(本學會誌 第50卷 第2号 參照)

박현성

현재 한국광해관리공단 광해기술연구소 수질환경연구팀 연구원
(本學會誌 第50卷 第1号 參照)

최요순

현재 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과 조교수
(本學會誌 第49卷 第6号 參照)

임길재

현재 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 선임연구원
(本學會誌 第50卷 第2号 參照)