연구논문

어안렌즈 카메라를 이용한 캠퍼스 태양광 전기차 주차장 최적 입지 분석

최요순^{1*} · 강부균² · 강민정² · 김민기² · 이상범² · 한상훈² · 하완수³ · 이세원⁴ · 안세룡⁵¹부경대학교 에너지자원공학과 교수, ²부경대학교 에너지자원공학과 학사과정, ³부경대학교 에너지자원공학과 부교수, ⁴부경대학교 경영학부 부교수, ⁵부경대학교 경영학부 조교수

Analysis of Optimal Location for Campus Solar-powered Electric Vehicle Parking Lots Using a Fisheye Lens Camera

Yosoon Choi^{1*}, Bugyun Kang², Minjung Kang², Mingi Kim², Sangbeom Lee², Sanghoon Han², Wansoo Ha³, Se Won Lee⁴ and Seryoong Ahn⁵¹Professor, Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea²Bachelor's Course, Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea³Associate Professor, Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea⁴Associate Professor, Department of Business Administration, Pukyong National University, Busan, Korea⁵Assistant Professor, Department of Business Administration, Pukyong National University, Busan, Korea***Corresponding Author.** Yosoon Choi, energy@pknu.ac.kr, Department of Energy Resources Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

Received

14 July 2021

Final version Received

3 August 2021

Accepted

26 August 2021

Abstract

Sales of electric vehicles (EVs) have recently increased because of growing interest in their environment and technological benefits. To promote the efficient use of solar-powered EVs, a dedicated parking lot can be installed in locations where a significant quantity of solar power is incident. In this study, 16 parking lots (A1-A8, B1-B8) at the Daeyeon Campus of the Pukyong National University were analyzed for their suitability as solar-powered EV parking lots. Images of the sky were captured at each parking lot with a fisheye lens camera, and light-receiving obstacles were analyzed by superimposing the solar path. Subsequently, the solar access values of 16 candidate sites were calculated, and the A1 parking lot was selected as the optimal location for the solar-powered EV parking lot.

Key words : Electric vehicle, Solar power, Parking lot, Location analysis, Fisheye lens camera

요약

최근 환경에 관한 관심 증가와 기술 발달로 인해 전기차 판매가 증가하고 있다. 전기차 보급을 촉진하고 효율적으로 이용하는 방법으로 태양광이 다량으로 입사하는 위치에 태양광 전기차 전용 주차장을 마련할 수 있다. 본 연구에서는 국립 부경대학교 대연캠퍼스의 주차장 16곳(A1-A8, B1-B8)을 대상으로 태양광 전기차 주차장으로서의 적합성을 분석하였다. 이를 위해 어안렌즈 카메라로 각 주차장에서의 하늘 이미지를 촬영하고, 태양 경로를 중첩하여 수광 장애 요인을 분석하였다. 그 결과 16개 후보지의 solar access 값을 계산하고, A1 주차장을 태양광 전기차 주차장의 최적 입지로 도출하였다.

주요어 : 전기차, 태양광 발전, 주차장, 입지분석, 어안렌즈 카메라

서 론

전 세계적으로 온실가스 저감 및 대기 환경 개선을 위한 친환경 전기자동차(전기차)의 보급이 확대되고 있다. COVID-19의 여파로 자동차 산업 시장이 침체한 상황에서도 전 세계적으로 전기차의 판매 규모는 45% 급증하였고, 국내에서도 2020년 한 해 동안 61,193대의 전기차가 판매되면서 전년 대비 46%의 성장률을 기록했다(Korea Automobile Manufacturers Association, 2021). 세계적인 컨설팅 기업인 Deloitte(2021)는 2020년부터 2030년까지 10년 동안 전 세계 전기차 시장이 연평균(CAGR) 29% 성장할 것으로 전망하였다. 전기차 산업의 성장은 인류의 지속가능성과 쾌적한 생활환경 개선에 도움을 줄 뿐만 아니라 전기차 연관 산업의 발전에도 이바지할 수 있어 경제적으로도 큰 파급효과가 예상된다.

현재 테슬라, 폭스바겐, 현대차 등을 비롯한 국내의 많은 완성차 업체들이 새로운 전기차 모델을 발표하고 생산을 확대하고 있다. 그러나 소비자들은 전통적인 내연기관 자동차에 비해 짧은 주행거리와 충전 인프라의 부족 문제로 전기차의 구매를 망설이고 있다. 이중 전기차의 짧은 주행거리 문제는 이차전지 산업의 빠른 성장과 기술 발전으로 인해 가까운 시기에 극복할 수 있을 것이라 예상된다. 또한, 전기차 충전 인프라의 부족 문제도 국가 차원의 적극적인 투자와 기술개발이 진행되고 있으므로 그 해결 방법을 찾을 수 있을 것이다.

전기차 충전 인프라는 전력공급설비, 충전기와 같은 하드웨어(H/W)와 인터페이스, 정보시스템 등의 소프트웨어(S/W)를 총칭한다. 전기차 충전 인프라는 충전방식과 장소에 따라 각기 다른 특징을 가지며, 크게 직접 충전방식, 비접촉 충전방식, 배터리 교환방식으로 구분할 수 있다(Table 1). 현재 지역사회에 적합한 전기차 충전 인프라의 선택, 입지선정, 전력공급원 다변화, 설비 용량 및 수익률 최적화 등을 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며(Huang *et al.*, 2016; Shepero and Munkhammar, 2018; Pagany *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2020), 이러한 연구 결과들은 향후 지역사회의 전기차 충전 인프라 보급 확대를 위한 정책 수립에 반영될 수 있을 것이다.

전기차 보급 확대를 위한 방안으로 최근에는 태양광 전기차(solar-powered electric vehicle)가 주목받고 있다. 태양광 전기차는 차량의 지붕 등 외관에 태양광 패널이 설치되어 있어 주행 또는 주차 중에 태양광 발전으로 전기를 생산하고 배터리를 충전할 수 있다. 토요타, 포드, 소노모터스(Sono Motors), 하너지(Hanergy), 마힌드라(Mahindra), 라이트이어(Lightyear), 현대차 등 다수의 완성차 업체들이 태양광 전기차 모델을 출시하였다. 태양광 전기차의 시장규모는 2030년 연간 4.5조원 이상이 될 것으로 예상한다(Allied Market Research, 2020).

태양광 전기차 기술 발전과 보급 확대에 따라 최근에는 도로를 주행하는 태양광 전기차의 효율적인 이동 경로 분석에 관한 연구가 진행되고 있다. Jiang *et al.*(2017)은 태양광 발전량과 교통 정보를 고려해 태양광 전기차의 최적 경로를 분석할 수 있는 다중 기준 알고리즘을 연구하였다. Hasicic and Siljak(2020)는 스마트 시티에서 태양광 전기차의 최적 경로 분석하기 위한 SCORE(Solar Car Optimized Route Estimation) 시스템을 개발하였다. Rehman *et al.*(2020)은 뉴질랜드 Invercargill 지역 버스 노선 정보를 바탕으로 버스 지붕에 태양광 발전 시스템을 설치할 경우 예상되는 전력 생산량과 버스의 전력 부하를 분석하였다. Oh *et al.*(2020)은 서울 관악구를 연구지역으로 선정하여 태양광 버스의 전력 생산량을 예측할 수 있는 모델을 개발하고, 검증 실험을 수행하였다.

향후 태양광 전기차의 보급이 확대될 경우 태양광 전기차의 효율적인 이동 경로뿐만 아니라, 주차구역에 관한 관심도 커질 것이라 예상된다. 태양광 전기차는 주차 중에도 태양광 발전을 통해 전기를 생산하여 배터리를 충전할 수 있다. 따라서 태양 빛 에너지가 상대적으로 많이 도달할 수 있는 공간을 태양광 전기차 전용 주차장으로 활용하는 것이 효율적일 것이다. 그러나 제한된 토지의 효율적인 공간 활용을 위한 태양광 전기차 전용 주차장의 입지선정에 관한 연구는 현재까지 수행되지 않았다.

본 논문에서는 부경대학교 대연캠퍼스를 연구지역으로 하여 어안렌즈 카메라를 이용해 태양광 전기차 전용 주차장의 입지선정을 위한 부지 적합성 평가를 수행한 결과를 제시한다. 캠퍼스내 8개 노외 주차장과 8개 노상 주차장을

Table 1. Electric vehicle charging methods

Charging method	Characteristics
Direct charging	Charging by directly connecting the plug to an electric vehicle using a high-speed charger, slow charger, mobile charger, etc.
Contactless charging	Charging electric vehicle batteries through electromagnetic induction using high frequency power supplies buried on the floor
Battery replacement	Lease or exchange full-charged batteries at battery switching stations

후보지로 선정하여 어안렌즈 카메라로 하늘 이미지(sky image)를 촬영하였고, 영상처리 및 태양 경로(Sun path) 분석을 통해 태양광 전기차를 주차했을 때 솔라루프(solar roof, 지붕 태양광 패널)에 도달할 수 있는 상대적인 태양에너지 크기를 비교하였다. 이를 바탕으로 캠퍼스내 16개 후보지 중 태양광 전기차 전용 주차장으로 가장 유리한 장소를 제안하고자 한다.

연구방법

Solar Access의 개념과 계산 방법

Fig. 1과 같이 태양광 패널이 설치된 부지에 수목이 존재할 경우 태양의 위치에 따라 일정 시기에는 태양광 패널에 그림자가 생성될 수 있다. 따라서 태양광 발전 시스템이 설치될 부지의 적합성을 평가할 때 주변의 지형이나 건물 등에 의한 그림자의 영향을 고려해야 한다. 태양광 패널에 그림자가 생성되는 경우 태양광 발전 효율이 급격하게 저하되므로 그림자가 형성되는 지점은 태양광 패널의 설치 후보지로서 적합하지 않다(Song *et al.*, 2013).

본 연구에서는 태양광 전기차 전용 주차장 후보지에 생성될 수 있는 그림자의 영향을 정량적으로 분석하기 위한 지표 값으로 Solar Access(%) 지수를 사용하였다. Solar Access란 일정 기간 태양광 패널을 설치할 부지에 도달할 수 있는 전체 태양 일사량 중 주변의 건물, 수목, 전신주 등 수광장에 요인들의 영향을 받지 않고 태양광 패널에 실제로 도달할 수 있는 태양 일사량의 비율을 나타낸 것이다. Solar Access는 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{Solar Access}(\%) = \frac{I_{\text{non shaded}}}{I} \times 100 \quad (1)$$

Fig. 1. Variation in shadows on a solar panel depending on the position of the sun.

여기서 I_{total} 는 태양광 패널 설치 지점에 도달하는 전체 태양 일사량(W/m^2), $I_{\text{non shaded}}$ 는 태양광 패널에 도달할 수 있는 태양 일사량(W/m^2)을 의미한다. 일정 기간 태양광 패널 전체가 그림자에 가려진다면 해당 기간 Solar Access는 0%가 되고, 그림자의 영향을 전혀 받지 않으면 100%가 될 것이다.

어안렌즈 카메라를 이용한 Solar Access 분석

본 연구에서는 태양광 전기차 전용 주차장 후보지의 Solar Access 분석을 위해 어안렌즈 카메라인 SunEye 210 (Solmetric, CA, USA) 장비를 사용하였다(Fig. 2). SunEye 210은 어안렌즈, 디지털카메라, 경사계, 자력계, 위성항법 장치로 구성된 Windows CE 기반의 계측 장비이다. 어안렌즈는 촬영 각이 180° 이상으로 극단적인 광각 효과를 제공하는 렌즈로서 초점 거리가 짧다. 어안렌즈 카메라로 영상을 촬영하면 마치 물고기 눈으로 사물을 포착한 것처럼 360° 원형으로 나타난다.

SunEye 210 어안렌즈 카메라를 이용한 Solar Access 분석 절차는 Fig. 3과 같다. 먼저 측점 지점의 위/경도 좌표를 장치에 입력하였다. 위/경도 좌표는 조사지점에서의 태양 경로를 계산하는 데 사용된다. 다음으로 조사지점의 현장 상황에 따라 하늘 이미지(sky image)의 촬영 모드를 선택한다. 선택 가능한 모드에는 일반(normal), 구름 및 파란 하늘(clouds and blue sky), 그림자 경계 강조(shaded)가 있다(Solmetric Corporation, 2011). 본 연구에서는 어안렌즈 카메라의 하늘 이미지 촬영 모드를 일반으로 설정하였다. 이어서 차량의 지붕 높이를 고려하여 지면으로부터 1.7 m 높이에서 장치의 경사각과 방위각 정보를 확인하면서 경사각 0° , 방위각 180° (남반구에서는 0°)로 설정되었을 때 셔터를 눌러 하늘 이미지를 촬영하였다(Fig. 4). SunEye210 장비의 경사각 및 방위각 설정 오차는 $\pm 5^\circ$ 이내가 적절하며

Fig. 2. Research equipment used for the measurements (Solmetric Suneye 210).

오차가 그 이상이면 다시 촬영해야 한다(Solmetric Corporation, 2011). 마지막으로 촬영된 하늘 이미지를 처리/분석하여 측정 지점의 시기별 Solar Access 값을 계산하였다.

촬영된 하늘 이미지를 처리/분석하여 Solar Access 값을 계산하는 방법은 다음과 같다. 먼저 조사지점의 위/경도 좌표를 반영하여 시기별 태양 경로를 계산한 후 하늘 이미지와 중첩하여 표시한다. 이어서 하늘 이미지에 건물 등 수광 장애 요인들이 촬영되었는지 식별한다. 수광 장애 요인들은 컴퓨터 비전 기반의 영상처리 기법을 이용하여 하늘 이미지로부터 자동 식별할 수 있다. 만약 자동으로 식별이 되지 않는 수광 장애 요인들이 남아 있다면 사용자가 직접 수광 장애 요인을 식별하여 하늘 이미지에 표시할 수 있다(Fig. 5). 하늘 이미지에서 수광 장애 요인들이 식별되면 태양 경로와 비교한다. 태양 경로상에 수광 장애 요인들이 존재한다면 태양이 해당 위치에 있는 시점에는 조사지점에 그림자가 형성된다고 해석할 수 있다. 이러한 원리에 따라 특정 기간 측정 지점에서 예상되는 태양의 전체 이동 경로 중 수광 장애 요인이 존재하지 않는 이동 경로의 비율을 계산한 후 백분율로 환산하면 Solar Access(%) 값을 산정할 수 있다.

Fig. 3. Procedure used for the analysis of solar access using a fisheye lens camera.

Fig. 4. Process of image capture. (a) View of a field worker. (b) Representative image of the sky.

연구지역 및 조사지점

연구지역인 부경대학교 대연캠퍼스는 부산광역시 남구에 위치하며($35^{\circ}1'N$, $129^{\circ}1'E$), 면적은 약 $359,000 m^2$ 이다. 연구지역의 해발고도는 3 m~10 m이며 캠퍼스 대부분이 매립지에 구성되어 평탄한 지형 특징을 보인다. 지리적으로는 북쪽으로 황령산($427 m a.s.l.$), 남쪽으로는 용호만과 접해있다. 캠퍼스의 동쪽에는 초고층 아파트들이 있어 태양광 전기차 전용 주차장 선정시 고려해야 한다. 캠퍼스 안에는 강의동, 연구동, 기숙사 등 총 37개의 건물이 있으며, 건물의 높이는 5층에서 17층까지 다양하다.

본 연구에서는 캠퍼스 내에서 현재 운영되고 있는 주차장 중 8개의 노외 주차장과 8개의 노상 주차장을 후보지로 선정하여 태양광 전기차 전용 주차장으로서의 부지 적합성 평가를 수행하였다. 후보지로 선정된 8개의 노외 주차장 구역(A1-A8)과 35개의 조사지점의 위치는 Fig. 6과 같다. 구역의 형태에 따라 주차장 별로 4~6개의 조사지점을 포함하였다. Fig. 7은 8개 노외 주차장의 모습을 보여준다. A6 구역(23대)을 제외한 나머지 구역에는 50대 이상의 차량 주차가 가능하다.

Fig. 5. Variations in images of the sky as a function of the solar path. (a) Automatic and (b) manual discrimination of objects that cast shadows.

Fig. 6. Eight off-street parking lots (A1-A8) as candidate sites and their corresponding survey points.

Fig. 7. Photographs of eight off-street parking lots in the studied area. (a) A1, (b) A2, (c) A3, (d) A4, (e) A5, (f) A6, (g) A7, and (h) A8.

Fig. 8. Eight street parking areas (B1-B8) used as candidate sites and their corresponding survey points.

Fig. 8은 태양광 전용 주차장 후보지로 선정된 8개 노상 주차장 구역(B1-B8)과 조사지점을 보여준다. 노상 주차장

Fig. 9. Photographs of eight street parking areas used as candidate sites. (a) B1, (b) B2, (c) B3, (d) B4, (e) B5, (f) B6, (g) B7, and (h) B8.

에서는 도로변에 단방향 또는 양방향으로 일렬주차한다 (Fig. 9). 노상 주차장 중 B2 구역(34대), B3 구역(25대), B4 구역(30대), B5 구역(25대)을 제외한 나머지 연구지역은 20대 미만 차량 주차가 가능하다. 8개 노상 주차장 후보지에서는 도로를 따라 20 m~40 m 간격으로 조사지점을 포함 하였다.

연구결과

노외 주차장 구역(A1-A8) Solar Access 분석 결과

노외 주차장 구역(A1-A8)에 설정한 총 35개의 조사지점에서 SunEye 210 어안렌즈 카메라를 이용해 하늘 이미지 촬영하였고, 그 결과를 구역별로 한 개씩 Fig. 10에 제시하

Fig. 10. Fisheye-lens images of the studied area. (a) A1, (b) A2, (c) A3, (d) A4, (e) A5, (f) A6, (g) A7, and (h) A8.

였다. 이미지에서 노란색 영역으로 표시된 것은 태양 경로를 나타내며, 녹색으로 표시된 영역은 태양 경로상에 존재하는 건물, 수목 등 수광 장애 요인들을 인식한 결과이다. 조사지점 주변의 다양한 수광 장애 요인들이 시기별 태양

경로상에 나타나는 것을 볼 수 있다. 노외 주차장 구역(A1-A8)별로 4~6개의 조사지점에서 측정된 Solar Access 값은 Table 2와 같다. Fig. 11은 노외 주차장 구역(A1-A8)에서 나타나는 월별 Solar Access 값의 변화를 보여준다.

Table 2. Solar access measured at eight off-street parking lots (A1-8) in the study area

Area ID	Sample ID	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
A1	A1-1	78.0	87.0	92.0	95.0	97.0	99.0	98.0	97.0	94.0	90.0	83.0	76.0
	A1-2	81.0	88.0	88.0	83.0	94.0	99.0	98.0	87.0	85.0	88.0	85.0	76.0
	A1-3	72.0	72.0	69.0	74.0	89.0	90.0	90.0	83.0	67.0	70.0	72.0	70.0
	A1-4	75.0	78.0	81.0	81.0	85.0	88.0	87.0	82.0	82.0	80.0	76.0	73.0
	AVERAGE	76.5	81.3	82.5	83.3	91.3	94.0	93.3	87.3	82.0	82.0	79.0	73.8
A2	A2-1	84.0	87.0	91.0	98.0	100.0	100.0	100.0	99.0	95.0	89.0	86.0	82.0
	A2-2	15.0	23.0	39.0	86.0	99.0	99.0	99.0	98.0	61.0	29.0	18.0	12.0
	A2-3	31.0	32.0	46.0	56.0	72.0	73.0	74.0	65.0	51.0	35.0	33.0	25.0
	A2-4	62.0	66.0	71.0	98.0	98.0	98.0	98.0	99.0	86.0	69.0	63.0	61.0
	AVERAGE	48.0	52.0	61.8	84.5	92.3	92.5	92.8	90.3	73.3	55.5	50.0	45.0
A3	A3-1	42.0	48.0	78.0	94.0	93.0	95.0	94.0	92.0	90.0	62.0	44.0	42.0
	A3-2	0.0	22.0	47.0	66.0	91.0	100.0	100.0	76.0	62.0	34.0	8.0	0.0
	A3-3	32.0	33.0	40.0	57.0	83.0	87.0	86.0	66.0	49.0	35.0	33.0	30.0
	A3-4	54.0	78.0	81.0	78.0	69.0	62.0	61.0	72.0	83.0	78.0	68.0	52.0
	AVERAGE	32.0	45.3	61.5	73.8	84.0	86.0	85.3	76.5	71.0	52.3	38.3	31.0
A4	A4-1	57.0	65.0	76.0	92.0	84.0	81.0	81.0	87.0	87.0	70.0	59.0	57.0
	A4-2	36.0	42.0	55.0	77.0	84.0	87.0	85.0	82.0	68.0	47.0	39.0	35.0
	A4-3	0.0	1.0	76.0	89.0	95.0	96.0	95.0	93.0	86.0	37.0	0.0	0.0
	A4-4	55.0	57.0	64.0	76.0	91.0	91.0	89.0	87.0	67.0	61.0	56.0	55.0
	AVERAGE	37.0	41.3	67.8	83.5	88.5	88.8	87.5	87.3	77.0	53.8	38.5	36.8
A5	A5-1	37.0	69.0	88.0	87.0	78.0	73.0	74.0	83.0	87.0	86.0	53.0	28.0
	A5-2	0.0	1.0	33.0	61.0	69.0	81.0	73.0	65.0	55.0	10.0	0.0	0.0
	A5-3	0.0	0.0	1.0	10.0	27.0	41.0	34.0	19.0	4.0	0.0	0.0	0.0
	A5-4	0.0	1.0	4.0	21.0	46.0	75.0	62.0	32.0	7.0	4.0	0.0	0.0
	A5-5	0.0	30.0	88.0	92.0	94.0	93.0	93.0	94.0	92.0	72.0	2.0	0.0
	A5-6	0.0	0.0	40.0	97.0	95.0	90.0	92.0	96.0	80.0	7.0	0.0	0.0
	AVERAGE	6.2	16.8	42.3	61.3	68.2	75.5	71.3	64.8	54.2	29.8	9.2	4.7
A6	A6-1	55.0	73.0	79.0	73.0	71.0	70.0	69.0	77.0	76.0	79.0	62.0	59.0
	A6-2	14.0	29.0	46.0	75.0	77.0	69.0	73.0	78.0	68.0	35.0	19.0	8.0
	A6-3	1.0	26.0	45.0	68.0	64.0	57.0	60.0	64.0	68.0	31.0	11.0	0.0
	A6-4	50.0	76.0	81.0	78.0	70.0	65.0	62.0	75.0	82.0	83.0	62.0	46.0
	AVERAGE	30.0	51.0	62.8	73.5	70.5	65.3	66.0	73.5	73.5	57.0	38.5	28.3
A7	A7-1	56.0	54.0	66.0	67.0	72.0	73.0	71.0	69.0	69.0	57.0	54.0	53.0
	A7-2	56.0	59.0	75.0	85.0	86.0	90.0	90.0	84.0	87.0	61.0	59.0	54.0
	A7-3	58.0	69.0	83.0	90.0	84.0	82.0	83.0	87.0	88.0	77.0	62.0	53.0
	A7-4	74.0	75.0	88.0	86.0	89.0	93.0	92.0	84.0	87.0	84.0	73.0	76.0
	AVERAGE	61.0	64.3	78.0	82.0	82.8	84.5	84.0	81.0	82.8	69.8	62.0	59.0
A8	A8-1	50.0	50.0	51.0	56.0	49.0	63.0	60.0	48.0	53.0	54.0	51.0	49.0
	A8-2	41.0	49.0	54.0	56.0	58.0	59.0	56.0	53.0	57.0	49.0	51.0	34.0
	A8-3	60.0	80.0	85.0	81.0	80.0	79.0	77.0	80.0	83.0	84.0	70.0	53.0
	A8-4	68.0	79.0	74.0	83.0	83.0	86.0	84.0	83.0	78.0	77.0	75.0	67.0
	A8-5	74.0	75.0	67.0	84.0	91.0	93.0	93.0	91.0	75.0	73.0	74.0	74.0
	AVERAGE	58.6	66.6	66.2	72.0	72.2	76.0	74.0	71.0	69.2	67.4	64.2	55.4

Fig. 11. Monthly averaged solar access calculated for the studied areas. (a) A1, (b) A2, (c) A3, (d) A4, (e) A5, (f) A6, (g) A7, and (h) A8.

Fig. 12. Average solar access (Annual, May-October, and November-April) calculated for each studied area.

A6 구역을 제외한 7개 구역에서는 하절기에 Solar Access 값이 크고, 동절기에 작아지는 전형적인 패턴을 보였다. A6 구역은 6월과 7월에 Solar Access 값이 작아지는 패턴을 보였는데 이는 주차장의 남쪽과 동쪽 방향에 인접한 건물의 영향인 것으로 판단된다.

노외 주차장 구역(A1-A8)의 Solar Access 값을 연간, 하절기(5~10월), 동절기(1~4월, 11~12월)로 구분하여 평균한 결과는 Fig. 12와 같다. A1 구역은 연평균 Solar Access 가 84%로 계산되었고, 하절기, 동절기 모두 8개 노외 주차장 후보 구역 중 가장 높은 Solar Access 평균값을 나타냈다. A2 구역의 경우 하절기는 Solar Access가 82%로 비교적 높은 값을 보였으나 동절기에 Solar Access가 57.8%로 크게 낮아지는 것으로 나타났다. 남서쪽으로 건물이 인접해 있는 A5 구역 주차장(Fig. 10(e))의 경우 8개 노외 주차장 후보 구역 중 전 기간에 걸쳐 가장 낮은 Solar Access 값

을 보였다. Solar Access 분석 결과를 기준으로 할 때, 8개 노외 주차장 구역(A1-A8) 후보지 중에서는 A1 구역에 태양광 전기차 전용 주차장으로 가장 적합하다고 판단된다.

노상 주차장 구역(B1-B8) Solar Access 분석 결과

Fig. 13은 노상 주차장 구역(B1-B8)에서 촬영한 하늘 이미지를 보여준다. 앞서 노외 주차장 구역에서 촬영한 이미지와 유사하게 시기별로 태양 경로상에 다양한 수광 장애 요인들이 존재함을 확인할 수 있다. Table 3은 노상 주차장 구역(B1-B8)별로 2~5개의 조사지점에서 측정된 Solar Access 값을 보여준다. 노상 주차장 구역(B1-B8)에서 나타나는 월별 Solar Access 값의 변화 패턴은 Fig. 14와 같다. B3-B5 구역은 Solar Access가 6월에는 80% 이상이지만 12월에는 20% 미만으로 나타나 월별로 Solar Access의 변동성이 큰 것을 확인할 수 있다. B1 구역은 6월과 7월에

Fig. 13. Fisheye-lens images of the studied area. (a) B1, (b) B2, (c) B3, (d) B4, (e) B5, (f) B6, (g) B7, and (h) B8.

Table 3. Solar access measured at eight street parking lots (B1-8) in the study area

Area ID	Sample ID	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
B1	B1-1	75.0	81.0	86.0	85.0	85.0	85.0	85.0	84.0	84.0	84.0	76.0	73.0
	B1-2	43.0	62.0	69.0	66.0	60.0	54.0	57.0	62.0	71.0	65.0	50.0	41.0
	B1-3	69.0	74.0	79.0	82.0	83.0	83.0	84.0	83.0	80.0	77.0	70.0	66.0
	B1-4	54.0	61.0	60.0	78.0	76.0	71.0	72.0	80.0	73.0	57.0	58.0	49.0
	AVERAGE	60.3	69.5	73.5	77.8	76.0	73.3	74.5	77.3	77.0	70.8	63.5	57.3
B2	B2-1	59.0	65.0	70.0	74.0	82.0	88.0	86.0	78.0	73.0	66.0	62.0	58.0
	B2-2	59.0	64.0	71.0	70.0	72.0	72.0	71.0	72.0	65.0	70.0	58.0	60.0
	B2-3	62.0	69.0	73.0	67.0	63.0	62.0	62.0	65.0	73.0	70.0	68.0	66.0
	AVERAGE	60.0	66.0	71.3	70.3	72.3	74.0	73.0	71.7	70.3	68.7	62.7	61.3
B3	B3-1	30.0	46.0	53.0	77.0	95.0	96.0	98.0	86.0	70.0	48.0	34.0	28.0
	B3-2	14.0	16.0	35.0	77.0	84.0	94.0	90.0	82.0	61.0	20.0	13.0	12.0
	B3-3	15.0	27.0	46.0	60.0	78.0	89.0	83.0	67.0	53.0	32.0	19.0	13.0
	B3-4	26.0	52.0	88.0	98.0	100.0	100.0	100.0	100.0	94.0	72.0	36.0	24.0
	B3-5	2.0	21.0	56.0	70.0	77.0	99.0	89.0	74.0	62.0	44.0	6.0	0.0
	AVERAGE	17.4	32.4	55.6	76.4	86.8	95.6	92.0	81.8	68.0	43.2	21.6	15.4
B4	B4-1	30.0	35.0	61.0	89.0	98.0	98.0	98.0	96.0	79.0	47.0	29.0	30.0
	B4-2	0.0	2.0	27.0	39.0	57.0	71.0	67.0	49.0	33.0	12.0	0.0	0.0
	B4-3	2.0	24.0	65.0	88.0	96.0	99.0	99.0	94.0	78.0	51.0	7.0	1.0
	AVERAGE	10.7	20.3	51.0	72.0	83.7	89.3	88.0	79.7	63.3	36.7	12.0	10.3
B5	B5-1	27.0	44.0	80.0	87.0	95.0	95.0	94.0	92.0	84.0	69.0	33.0	21.0
	B5-2	37.0	69.0	88.0	87.0	78.0	73.0	74.0	83.0	87.0	86.0	53.0	28.0
	B5-3	2.0	9.0	19.0	62.0	99.0	99.0	99.0	90.0	37.0	12.0	6.0	2.0
	AVERAGE	22.0	40.7	62.3	78.7	90.7	89.0	89.0	88.3	69.3	55.7	30.7	17.0
B6	B6-1	18.0	51.0	93.0	97.0	97.0	96.0	96.0	97.0	96.0	83.0	27.0	18.0
	B6-2	15.0	67.0	94.0	96.0	97.0	96.0	96.0	97.0	96.0	88.0	40.0	0.0
	B6-3	10.0	51.0	90.0	94.0	95.0	93.0	93.0	95.0	93.0	82.0	23.0	0.0
	AVERAGE	14.3	56.3	92.3	95.7	96.3	95.0	95.0	96.3	95.0	84.3	30.0	6.0
B7	B7-1	41.0	61.0	75.0	93.0	98.0	98.0	98.0	98.0	84.0	66.0	50.0	41.0
	B7-2	62.0	75.0	84.0	94.0	97.0	96.0	97.0	96.0	91.0	78.0	69.0	60.0
	AVERAGE	51.5	68.0	79.5	93.5	97.5	97.0	97.5	97.0	87.5	72.0	59.5	50.5
B8	B8-1	61.0	55.0	53.0	56.0	66.0	72.0	69.0	63.0	53.0	54.0	59.0	60.0
	B8-2	60.0	62.0	74.0	90.0	97.0	92.0	95.0	95.0	80.0	70.0	60.0	60.0
	B8-3	31.0	34.0	41.0	41.0	47.0	47.0	48.0	45.0	37.0	44.0	28.0	34.0
	AVERAGE	50.7	50.3	56.0	62.3	70.0	70.3	70.7	67.7	56.7	56.0	49.0	51.3

Fig. 14. Monthly average solar access calculated in the studied areas. (a) B1, (b) B2, (c) B3, (d) B4, (e) B5, (f) B6, (g) B7, and (h) B8.

Fig. 15. Average solar access (Annual, May-October, and November-April) calculated for each studied area.

Solar Access 값이 작아지는 패턴을 보였다. 그 원인은 B1 구역 남서쪽으로 다수의 수목이 존재하기 때문으로 판단된다(Fig. 13(a)).

Fig. 15는 노상 주차장 구역(B1-B8)의 연간, 하절기(5~10월), 동절기(1~4월, 11~12월) Solar Access 평균 값을 보여준다. B7 구역은 연평균 Solar Access가 79%로 계산되었다. 또한, 동절기에도 68% 정도로 8개의 후보지 중 가장 높은 Solar Access를 보였다. B6 구역은 하절기에는 93.7%로 가장 높은 Solar Access를 보였으나, 동절기에는 Solar Access가 낮게 나타났다. 남서쪽과 북쪽으로 건물이 인접해 있는 B4 구역(Fig. 13(d))은 연평균 Solar Access값이 8개 후보지 중 가장 낮았다. Solar Access 분석 결과를 기준으로 할 때, 8개 노상 주차장 구역(B1-B8) 후보지 중에서는 B7 구역이 태양광 전기차 전용 주차장으로 가장 적합하다고 판단된다.

토 의

연구지역 노외 주차장 구역(A1-A8) 8개소와 노상 주차장 구역(B1-B8) 8개소를 대상으로 어안렌즈 카메라를 이용하여 Solar Access를 분석한 결과를 종합하면 Table 4와 같다. Solar Access 분석결과만을 고려하였을 때 연평균 Solar Access가 84%로 가장 높은 A1 구역이 캠퍼스 내 태양광 전기차 전용 주차장 부지로 가장 적합할 것으로 판단된다. 만약, 태양광 전기차 전용 주차장을 하절기와 동절기로 나누어 가변적으로 지정한다면 하절기에는 B6 구역(평균 Solar Access 93.7%)을 사용하고, 동절기에는 A1 구역(평균 Solar Access 79.8%)을 사용하는 것이 유리할 것이다. 후보지 구역별 Solar Access 분석결과와 주차 가능 공간 규모를 함께 고려할 때도 A1 구역이 태양광 전기차 전용 주차장으로 가장 유리한 조건이라 판단된다. A8 구역은 주차

Table 4. Summary of solar access survey results for candidate sites of campus solar electric vehicle parking lot

Type	Area ID	Number of survey points	Average solar access (%)			Number of parking spaces
			Annual	May-October	November-April	
Off-street parking	A1	4	84.0	88.0	79.8	89
	A2	4	69.8	82.0	57.8	61
	A3	4	61.3	74.8	48.0	69
	A4	4	65.8	79.5	52.3	83
	A5	6	42.0	59.5	25.0	58
	A6	4	58.3	67.8	48.5	23
	A7	4	74.3	80.5	68.5	72
	A8	5	67.6	71.4	64.0	98
Street parking	B1	4	71.3	74.8	67.8	18
	B2	3	68.7	71.7	65.7	34
	B3	5	57.0	76.8	38.0	25
	B4	3	51.3	72.3	31.3	30
	B5	3	61.3	79.3	43.7	25
	B6	3	72.0	93.7	51.7	12
	B7	2	79.0	91.0	68.0	12
	B8	3	59.3	64.7	53.3	13

가능 공간의 규모는 98대로 가장 컸지만, 연평균 Solar Access가 67.6%로 분석되어 태양광 전기차 주차장으로서 유리한 입지 조건이라 보기 어렵다.

결 론

본 연구에서는 부경대학교 대연캠퍼스를 대상으로 태양광 전기차 전용 주차장의 입지선정을 위한 부지 적합성 평가를 제시하였다. 노외 주차장 8개 구역(A1-A8)과 노상 주차장 8개 구역(B1-B8)에 설정한 총 61개의 조사지점에서 어안렌즈 카메라를 이용해 하늘 이미지를 촬영하였고, 영상처리를 통한 수광 장애 요인의 식별과 태양 경로 중첩을 통해 Solar Access 값을 분석하였다. 노외 주차장 8개 구역 중에서는 A1 구역이 연평균 84%로 가장 높은 Solar Access를 보였고, 하절기와 동절기로 나누어 평균값을 계산할 때에도 높은 수치를 기록하였다. 노상 주차장 8개 구역 중에서는 B7 구역에서 연평균 Solar Access 값이 79%로 가장 높게 나타났다. 구역별 연평균 Solar Access와 주차 가능 공간 규모를 함께 고려할 때 본 연구에서 분석한 총 16개 후보지 구역 중 A1 구역이 태양광 전기차 전용 주차장으로 사용하기에 가장 유리한 입지조건을 가진 것으로 판단된다.

태양광 전기차 전용 주차장은 캠퍼스 공간 운영 정책에

따라 한 구역이 아닌 다수의 구역에 지정할 수도 있으며, 월별로 지정 구역을 변경하면서 탄력적으로 운영하는 것도 가능할 것이다. 이러한 경우에는 각 구역별 Solar Access 분석결과를 기초자료로 사용하여 다양한 운영 시나리오를 검토하고, 최적의 운영 방안을 도출할 필요가 있다. 또한, 접근성, 이용률, 경제성, 충전 인프라 등 Solar Access 이외의 다른 요인들도 태양광 전기차 전용 주차장 입지 분석을 위해 함께 고려할 필요가 있다. 이를 위한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

사 사

본 연구는 2021학년도 부경대학교국립대학육성사업 지원비에 의하여 수행되었다.

References

- Allied Market Research, 2020., 2021.07.05. <https://www.openpr.com/news/2035028/solar-car-market-growth-to-hit-4-087-6-million-by-2030-solar>
- Deloitte, 2021., 2021.07.05. <https://www2.deloitte.com/kr/ko/pages/consumer/articles/2021/20210322.html>
- Hasicic, M. and Harun, S., 2020. Putting the SC in SCORE:

- Solar Car Optimized Route Estimation and Smart Cities, *Modeling and Optimization in Green Logistics*, p.75-86.
- Huang, K., Kanaroglou, P., and Zhang, X., 2016. The design of electric vehicle charging network, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49, p.1-17.
- Jiang, L., Hua, Y., Ma, C., and Liu, X., 2017. SunChase: Energy-efficient route planning for solar-powered EVs, *2017 IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, IEEE, Atlanta, GA, USA, p.383-393.
- Korea Automobile Manufacturers Association, 2021., 2021. 07.05. <http://www.kama.or.kr/AdminController>
- Li, M., Lenzen, M., Wang, D., and Nansai, K., 2020. GIS-based modelling of electric-vehicle-grid integration in a 100% renewable electricity grid, *Applied Energy*, 262, p.1-11.
- Oh, M., Kim, S.M., and Park, H.D., 2020. Estimation of photovoltaic potential of solar bus in an urban area: Case study in Gwanak, Seoul, Korea, *Renewable Energy*, 160, p.1335-1348.
- Pagany, R., Ramirez Camargo, L., and Dorner, W., 2019. A review of spatial localization methodologies for the electric vehicle charging infrastructure, *International Journal of Sustainable Transportation*, 13(6), p.433-449.
- Rehman, N.U., Hijazi, M., and Uzair, M., 2020. Solar potential assessment of public bus routes for solar buses, *Renewable Energy*, 156, p.193-200.
- Shepero, M. and Munkhammar, J., 2018. Spatial Markov chain model for electric vehicle charging in cities using geographical information system (GIS) data, *Applied energy*, 231, p.1089-1099.
- Solmetric Corporation, 2011., 2021.07.05. http://resources.solmetric.com/get/Solmetric%20SunEye%20200%20Series%20Users%20Guide_en.pdf
- Song, J., Choi, Y., Cheong, Y.W., Yim, G.J., and Park, H.S., 2013. Site suitability assessment for installing photovoltaic systems using Fisheye-lens camera and SOLPOS calculator, *Journal of Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 50(6), p.789-798.

최 요 순

현재 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과 교수
(本學會誌 第56卷 第5号 参照)

강 민 정

현재 부경대학교 환경해양대학 학사과정
(E-mail; kgr5020@naver.com)

이 상 범

현재 부경대학교 환경해양대학 학사과정
(E-mail; znsxkznls@naver.com)

하 완 수

2006년 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공학사
2008년 서울대학교 대학원 에너지시스템공학부 공학석사
2011년 서울대학교 대학원 에너지시스템공학부 공학박사

현재 부경대학교 환경해양대학 에너지자원공학과 부교수
(E-mail; wansooaha@pknu.ac.kr)

안 세 룡

2007년 아주대학교 경영대학 경영학사
2012년 아주대학교 대학원 경영학과 경영학박사
2013년 캐나다 캘거리대학교 경영대학 Post-Doc

현재 부경대학교 경영대학 경영학부 조교수
(E-mail; sahn@pknu.ac.kr)

강 부 균

현재 부경대학교 환경해양대학 학사과정
(E-mail; kbg199703@naver.com)

김 민 기

현재 부경대학교 환경해양대학 학사과정
(E-mail; rlaals23456@naver.com)

한 상 훈

현재 부경대학교 환경해양대학 학사과정
(E-mail; tkdgns7015@naver.com)

이 세 원

1998년 성균관대학교 공과대학 산업공학과 공학사
2003년 성균관대학교 대학원 산업공학과 공학석사
2008년 성균관대학교 대학원 산업공학과 공학박사

현재 부경대학교 경영대학 경영학부 부교수
(E-mail; swlee@pknu.ac.kr)