

태양광 발전소의 음영 분석과 발전량 상관관계 분석

오원욱^{1†} · 전성근² · 윤아영³ · 김대장³ · 최훈주⁴

¹(주)에스테코, 연구소장

²(주)에스테코, 주임연구원

³(주)에스테코, 연구원

⁴(주)에스테코, 대표이사, 건국대학교 전기공학과 박사과정

Correlation Analysis between Shading Analysis and Power Output in a Photovoltaic System

Oh Wonwook^{1†} · Jeon Seonggeun² · Yoon Ayoung³ · Kim Daejang³ · Choi hoonjoo⁴

¹R&D Director, STECO Corporation

²Assistant Researcher, STECO Corporation

³Researcher, STECO Corporation

⁴CEO, STECO corporation, Ph.D. Candidate, Department of Electrical Engineering Konkuk University

[†]Corresponding author: oh@s-teco.co.kr

Abstract

A photovoltaic (PV) string consists of PV modules that are connected in series. When partial shading occurs in the PV modules, the total PV string current is lowered. When the partial shading becomes severe, the bypass diode operates. Most PV systems are exposed to partial shading by nearby terrain, rather than an actual shaded flat environment. In this study, shading analysis was performed at 19 points of a 33.2 kWp solar power plant installed on the roof of a building, and the shaded irradiance ratio at the PV module location was estimated using this result. We compared the results of the performance ratio monitored for one year. As a result, the expected output ratio of the shading analysis compared to normal was found to be 89.6%, and the annual performance ratio was 90.2%.

Keywords: 부분음영(Partial shading), 발전량 손실(Power output loss), 모니터링(Monitoring), 발전성능(Performance ratio), 음영 분석(Shading analysis)



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.41, No.2, pp.1-8, April 2021
<https://doi.org/10.7836/kjes.2021.41.2.001>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 6 January 2021

Revised: 16 February 2021

Accepted: 19 February 2021

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

정부는 재생에너지 발전 비중 목표는 2030년까지 20% 수준에서 2040년까지 30 ~ 35% 확대를 추진하는 장기 목표를 수립하였다^{1,2)}. 그린 뉴딜 전략에서는 3020이행계획의 태양광 및 풍력이 2025년까지 중기 목표를 29.9 GW에서 42.7 GW로 상향 조정하여 재생에너지 확산을 위한 노력을 기울이고 있다³⁾. 제5차 신재생에너지 기본 계획에 의해 2034년 발전량 중 신재생에너지 비중은 25.8%이고 이는 제3차 에너지 기본 계획과 그린뉴딜, 제9

차 전력 수급 계획에 따른 신재생에너지 설비 전망이 적용되어 공표되었다. 이러한 정부의 중장기 목표의 성공적인 달성을 위해 5가지 추진전략을 발표하고 있다^{3,4)}.

최근 몇 년간 태양광 발전시설은 도심 지역의 아파트 베란다, 건물 옥상 등에서 쉽게 접할 수 있을 정도로 확산 보급되었다. 대부분의 도심 지역 발전시설은 매전을 위한 용도보다는 공용전기를 상계하는 용도로 설계되어 운영중이다. 이러한 공용 발전시설은 민간 발전사업자에 비하여 관리의 집중도가 떨어지고, 건물의 경우 전체 전기안전관리자가 태양광 발전시설까지 추가적으로 관리하게 되어 전문성이 부족하다. 건물 옥상이라는 한정적인 공간에 설치되어 주변 환경과의 조화로우미 중요시 되고, 건물 옥상에 의무 설치와 설치비 지원 등으로 발전시설 본연의 목적인 발전량을 높이기 위한 설계와 시공이 반영되지 못하는 실정이다. 또한, 도심 환경에서 주변 건물에 의한 음영, 설치 환경이 협소함으로 인한 건물 파라펫 및 지형물에 의한 음영이 발생되어 발전량 손실이 예상된다. 특정 모듈에 부분 음영이 발생하면 전류가 낮아지고, 직렬연결된 스트링은 낮은 전류값으로 매칭되어 스트링의 출력이 저하된다. 또한, 부분음영에 의한 바이패스 다이오드가 동작하게 되고, 반복적인 바이패스 다이오드의 동작에 따른 고장이 발생한 사례가 빈번히 관찰된다.

영국의 microgeneration certification의 가이드라인에서는 발전소의 설계에서 부분음영에 대한 영향성을 파악하기 위해 shading factor (SF) 지표를 반영하고 있다⁵⁾. Fig. 1과 같이 설치 환경에서 음영분석을 수행하여 1년간 태양의 위치와 주변 음영 환경 등을 표현하고, 전체 맵을 84개 섹터로 구분하여 개별 섹터에 음영이 발생하는 경우 1개 섹터당 0.01로 반영하여 1에서 차감하는 형태로 SF 지표를 표현하고 있다. 이 값을 반영하여 발전량 시뮬레이션을 활용하기보다는 발전시설의 성능을 평가할 때 SF 지표를 문서화해서 제공하고 있다.

발전소 설계에서 발전량 시뮬레이션은 미국의 National Renewable Energy Laboratory (NREL)에서 제공하는 SAM, PVsyst 등 다양한 솔루션이 사용되고 있고, 이러한 솔루션에서는 부분 음영을 반영할 수 있는 기능

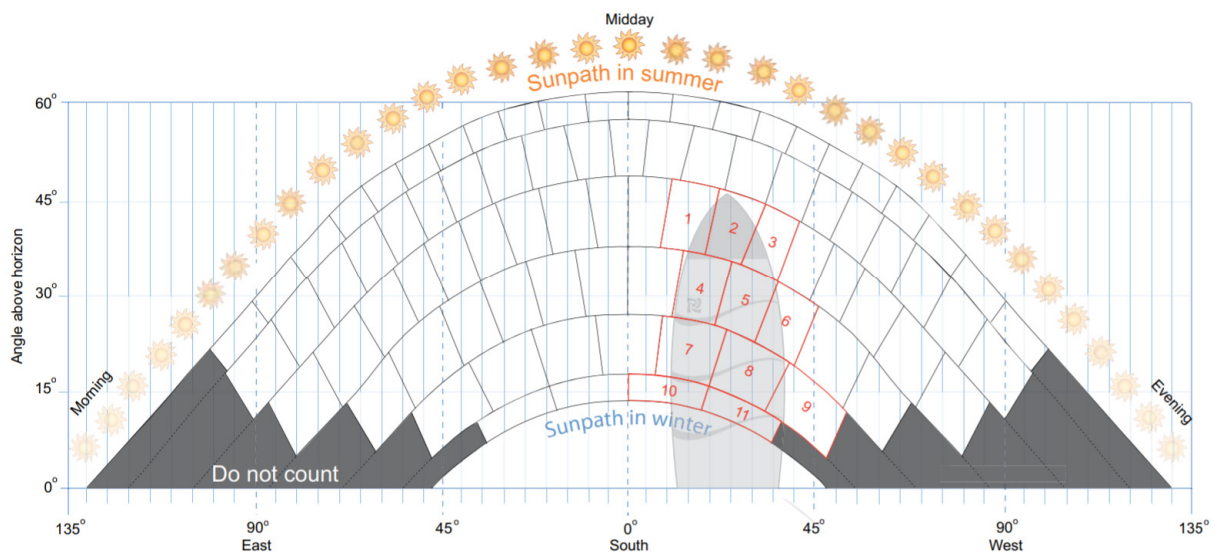


Fig. 1 Diagram to calculate the shading factor⁵⁾

이 제공되고 있다^{6,7)}. 그러나, 실제 시뮬레이션이 복잡해지고 부분 음영을 반영하기 위한 지표를 생성해야 하고, 분석을 수행해야하는 번거로움에 의해 제외하고 사용된다. 그로 인하여 실제 시뮬레이션 결과는 예상 발전량의 참고자료로 활용된다.

본 논문에서는 2017년 설치된 33.2 kWp 도심 건물 옥상 태양광 발전소의 19개 포인트에서 음영분석과 경사 일사량 시뮬레이션 결과와 그리고 1년간의 발전량 모니터링 분석을 수행한 결과를 비교 분석 하였다. 그리고 음영분석 결과와 실제 모니터링된 발전성능 값을 비교하였다.

2. 실험

2.1 발전소 정보

세종시 소재 건물 옥상, 9층 높이에 설치된 33.2 kWp 태양광 발전소는 다결정 실리콘 태양광 모듈 335 W 99개로 구성되었고, 36 kW급 인버터에 연결되었다. 2017년 가동을 시작하여 3.5년 운영되었고, 방위각은 164도, 경사각 11도, 위도 36.49도, 경도 127.26도에 설치되었다. Fig. 2와 같이 발전소는 옥상에 위치해 있으나 파라펫(난간)과 배기관, 주변 20층 아파트에 의해 부분 음영에 노출되어 있다. 특히 파라펫보다 낮게 설치되는 규정에 의해서 어레이간의 이격거리의 최소화를 위해 모듈의 경사 각도는 저각으로 설치되었다. 또한 의무 설치 용량으로 인하여 파라펫과 근접하게 설치하여 이로 인하여 발전소 외곽 지역에 부분 음영이 분포된다.

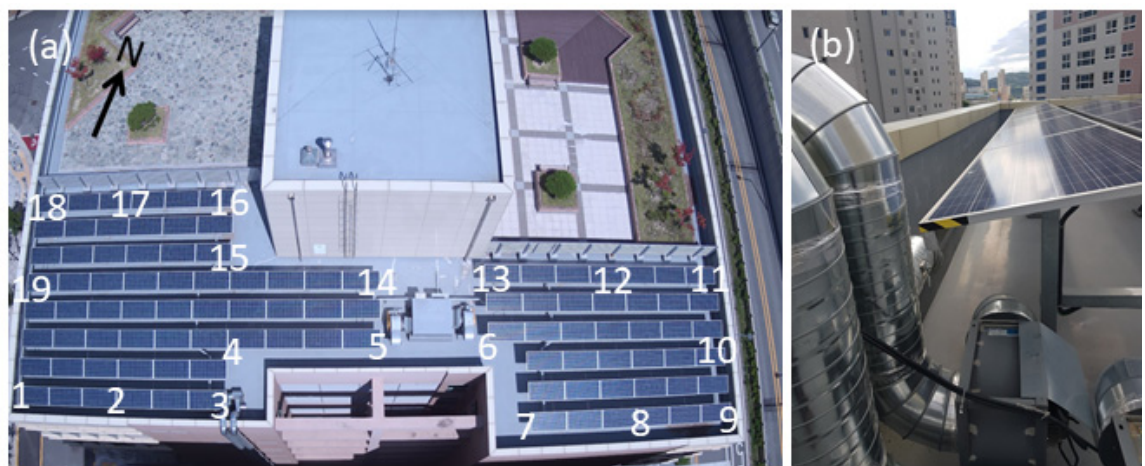


Fig. 2 PV system images, (a) top view and 19 points of shading analysis measurement, (b) Shaded PV module by outer wall and pipe at 2 position of (a)

2.2 분석 절차

발전소의 음영분석은 solmetric 사의 suneye 210 장치를 이용하여 Fig. 1(a)와 같이 발전소의 19군데 포인트에서 측정을 수행하였다. 음영분석한 결과는 PV designer 소프트웨어로 월단위의 연간 발전량 시뮬레이션을 수

행하였다. 태양광 발전소의 모니터링 장치는 2020년 1월에 설치하여 1년간 발전량을 모니터링 하였다. 경사일사량과 모듈온도를 모니터링하여 성능비율의 분석도 수행하였다. 인근에 위치한 옥상 태양광 발전소 8개소 동시에 연간 모니터링을 관찰하여 발전량을 파악하였다.

3. 본론

3.1 음영 분석

음영 분석을 수행한 결과는 Fig. 3과 같고, 설치된 모듈 환경에서 연간 태양의 고도와 지형물이 표시되고, 과거 기상데이터를 적용되어 월단위 연간 발전량 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 1(a)의 2번 위치에서는 Fig. 1(b)와 같이 동쪽방향의(모듈에서 태양을 바라보는 방향의 왼쪽) 관과 남쪽 방향의 파라펫에 의한 음영과 서쪽의 고층 아파트 영향을 받고 있다. 그 외 파라펫 부근 남쪽과 외곽에 위치한 지역은 모듈이 낮게 설치되어 부분 음영의 영향을 받아 발전량 시뮬레이션 결과가 낮게 분석되었다.

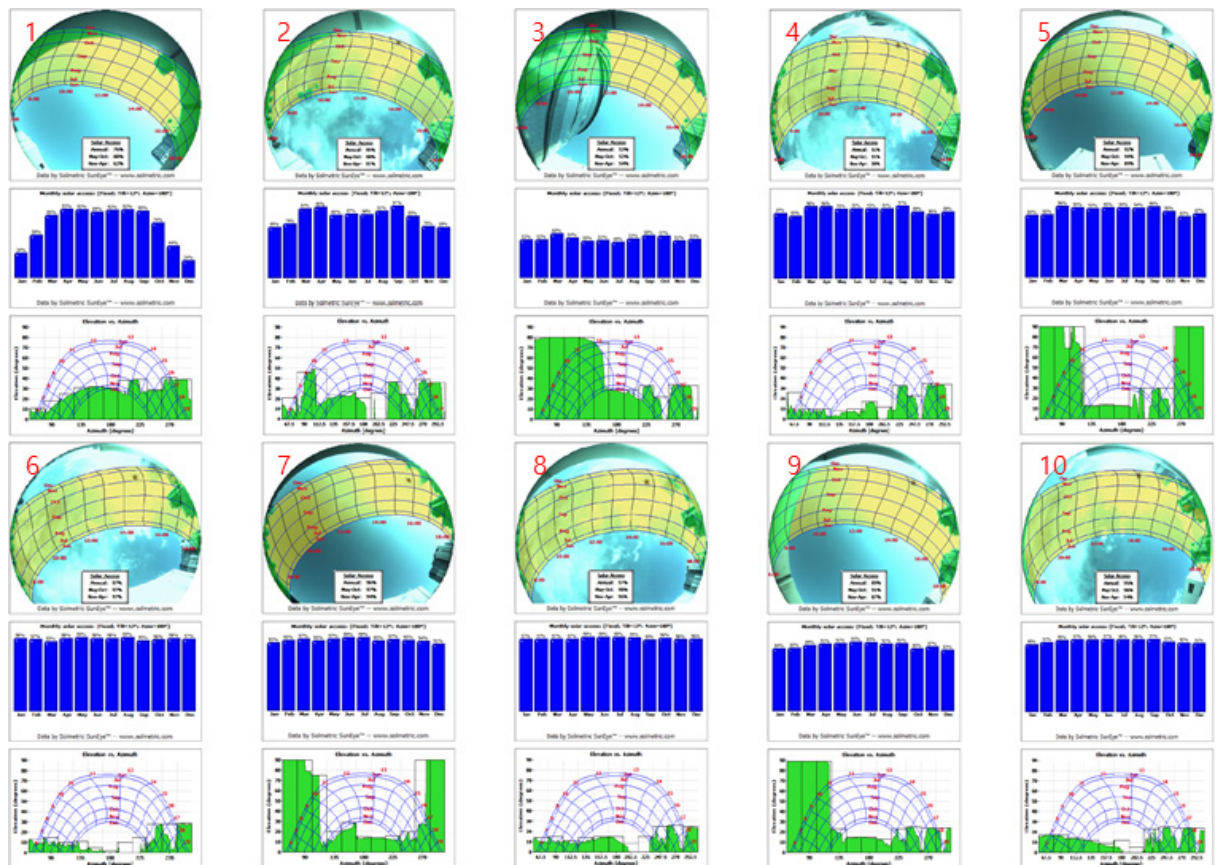


Fig. 3 Shading analysis results at 19 position in Fig. 2

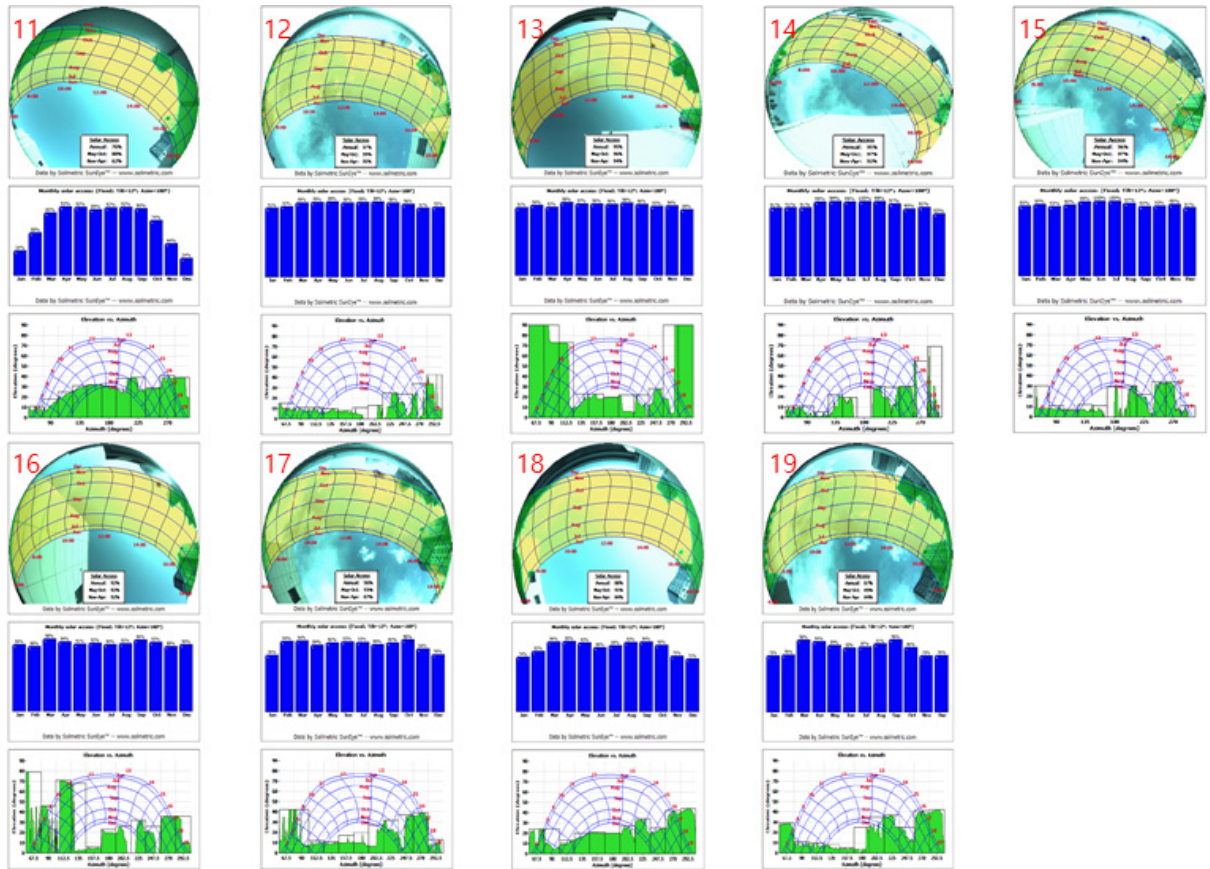


Fig. 3 Shading analysis results at 19 position in Fig. 2 (Continued)

부분 음영에 의한 19개 포인트에서의 정상대비 경사일사량 비율은 연간, 여름 기간(5월 ~ 10월), 겨울 기간(11월 ~ 4월)으로 구분하여 Fig. 4와 같이 분석되었다. 3번 위치에서는 정상대비 53%의 경사일사량을 보이고, 1번의 경우 여름철은 88%, 겨울철은 62%의 수준이다. 평균적으로 연간 89.6%, 여름철 91.6%, 겨울철 87.1%의 비율로 음영분석 되었다.

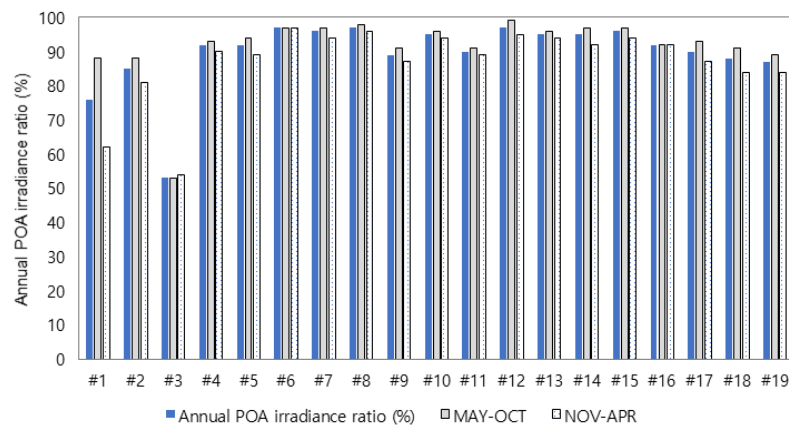


Fig. 4 Annual plane of array (POA) irradiance ratio

3.2 모니터링 분석

2020년 1월부터 12월까지 1년동안 발전량, 경사일사량, 모듈 온도를 모니터링 하였다. Fig. 5는 월단위 평균 발전시간과 발전성능(Performance ratio)을 분석하였다. 연간 발전시간은 3.28시간으로 해당 위치에서 음영 요소를 배제한 연간 발전량 예측 결과인 3.59시간에 비하여 91.3% 수준이고, 연간 발전성능은 76.7%로 85.0% 수준이 정상으로 가정한다면 90.2% 수준으로 평가되었다. 19개 포인트에서 측정된 경사일사량의 평균 비율은 89.6% 수준과 유사한 결과를 보인다.

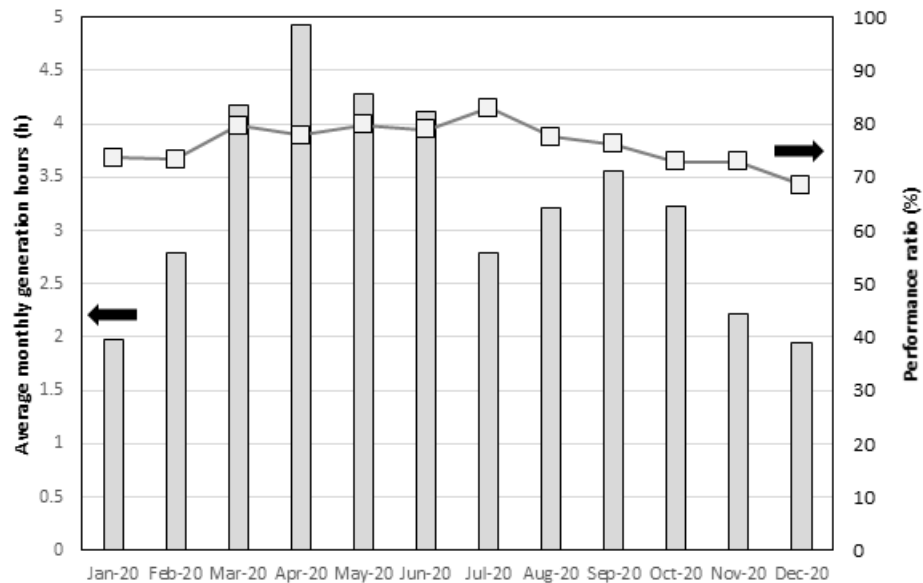


Fig. 5 Average monthly generation hours and performance ratio in 2020

발전시간은 직관적으로 파악하기는 쉬우나, 기상 환경에 따라 변화가 반영되기 때문에 발전소의 성능 평가를 위해 정량적인 분석 방법으로는 부적합하다. 발전성능의 경우 일반적으로 여름보다는 겨울철의 값이 높게 형성된다⁸⁾. 그러나 해당 발전소의 경우 겨울철 음영 지표가 여름철보다도 약 93.9% 수준으로 겨울의 발전성능이 낮은 값을 보인다.

모든 모듈 위치에서의 음영 분석을 수행할 수 없기 때문에 예상되는 설치지역의 옛지부분과 지형물에 의해 부분음영이 발생하는 부분에서 분석이 필요하다. 또한 이를 토대로 경사일사량 시뮬레이션이 가능하고, 발전소 설계 단계에서부터 음영 분석 자료를 확인하고 발전량 손실을 줄일 수 있는 위치 선정이 필요하다.

3.3 고찰

세종시의 행정중심복합도시건설청 건축위원회 운영세칙의 제6조(친환경계획)의 “⑦ 태양광/태양열발전설비 설치 시 그림자에 의한 영향이 최소화되도록 계획하고, 해당 설비의 설치 적정성을 검토한 자료(패널의 입면

도, 단면도, 일영검토자료 등)를 제출하여야 한다. 또한 도시경관을 고려하여 파라펫 높이보다 높지 않게 계획하여야 한다.” 조항이 있다⁹⁾. 세종시의 도심 내 대부분의 건물 옥상에 태양광 발전소가 의무적으로 설치되어 있다. 위의 도시 경관을 고려하여 파라펫 높이 보다 높지 않게 계획하는 조항 때문에 모듈의 부분 음영으로 인한 출력 손실과 부하에 따른 접속반과 인버터의 동작에 영향을 줄 수 있다. 또한, 좁은 옥상 면적에 의무 설치 용량을 설계로 파라펫에 근접하고, 옥상 다른 지형물이 있음에도 설치되는 사례가 빈번하다. 기존 세칙 중 파라펫과 옥상 다른 지형물과의 이격거리 기준을 마련하고, 설계 때 설치 지역의 모서리 부분에서 음영분석을 통해 발전량 시뮬레이션이 필요하다. 그래서 발전량의 확보가 된 공간에 설치하여 부분 음영에 의한 미스매치 손실을 줄이고, 바이패스 다이오드, 모듈 및 스트링, 접속반, 인버터 등의 부하를 낮출 수 있다.

설계에서 음영 분석이 반영되어 부분 음영을 최소화하고 발전량 손실을 줄이는 방향으로 설치가 이루어져야 하지만, 설치 이후 설계를 변경할 수 없기 때문에 이러한 부분 음영에 의한 미스매치 손실을 줄이기 위해서는 module level power electronics (MLPE) 장치가 활용된다. MLPE는 모듈에 별도의 장치를 부착하는 DC-DC 컨버터 형태의 옵티마이저와 모듈 단위로 DC-AC 변환하는 마이크로 인버터로 구분된다. 국내에서는 가격과 성능 측면에서 옵티마이저의 활용 사례가 증가하고 있다. 부분음영에 의한 미스매치 발생했을 때 MLPE로 손실을 20 ~ 25% 보상해주는 연구 결과도 발표되었다^{10,11)}.

4. 결론

태양광 발전소의 부분 음영에 대한 미스매치 손실은 발전소에서 흔히 발생된다. 본 논문에서는 세종시에 2017년 9층 건물 옥상에 설치된 33.2 kWp 태양광 발전시설의 19개 포인트에서 음영 분석을 수행하였다. 특정 포인트에서는 파라펫과 외부 지형물에 의해 발전량 손실이 최대 47%까지 발생한 것으로 분석되었다. 발전소의 설계시 발전량 시뮬레이션 예측을 통해서 연간 발전량 분석을 수행중이다. 그러나 실제 음영 분석 결과가 미반영되어 실제 발전량과 예측 발전량의 차이가 발생한다. 실제 해당 발전소의 발전량 예측 시뮬레이션 결과는 발전시간 3.59시간, 발전성능 85.0%로 예상되었으나, 2020년도 1년간의 실제 모니터링 결과에서 발전시간 3.28시간, 발전성능은 76.6%로 분석되었다. 음영 분석 결과를 활용하여 개별 모듈의 정상대비 예상 연간 경사일사량 비율을 환산한 결과 정상 대비 발전량은 89.6%로 예상되었고, 실제 연간 모니터링 결과는 정상대비 발전성능 비율 90.2%로 평가되어 유사한 결과를 보였다. 간단한 음영분석 결과를 통해서 예상 경사일사량을 유추하고, 발전소의 설계에서부터 부분음영에 의한 손실을 최소화하도록 음영분석이 필요하다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 국가혁신융복합단지사업의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다(P0016225). 본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제 입니다(NO. 20203040010330).

REFERENCES

1. Ministry of Trade, Industry and Energy, Renewable Energy 3020 Implementation Plan, 2017.
2. Ministry of Trade, Industry and Energy, The 3rd Basic Energy Plan, 2019.
3. Ministry of Trade, Industry and Energy, The 9th Basic Plan for Electricity Supply and Demand, 2020.
4. Ministry of Trade, Industry and Energy, The 5th New and Renewable Energy Basic Plan, 2020.
5. Scheme, Microgeneration Certification, Guide to the Installation of Photovoltaic Systems, Microgeneration Certifica, 2012.
6. Gilman, P., SAM Photovoltaic Model Technical Reference. No. NREL/TP-6A20-64102, National Renewable Energy Lab. (NREL), United States, 2015.
7. Mermoud, A. and Wittmer B., PVSYST User's Manual, Switzerland, 2014.
8. Dierauf, T., Growitz, A., Kurtz, S., Cruz, J. L. B., Riley, E., and Hansen, C., Weather-corrected Performance Ratio (No. NREL/TP-5200-57991), National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO, United States, 2013.
9. National Agency for Administrative City Construction, www.naacc.go.kr (Accessed 2021).
10. Deline, C., Meydbray, J., and Donovan, M., Photovoltaic Shading Testbed for Module-level Power Electronics: 2016 Performance Data Update, No. NREL/TP-5J00-62471, National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2016.
11. Deline, C., Meydbray, J., and Donovan, M., Photovoltaic Shading Testbed for Module-level Power Electronics: 2014 Update, National Renewable Energy Laboratory, 2014.