



표면온도 알고리즘을 통한 옥상녹화통합형 태양광시스템의 출력 모니터링 연구

A Study on Output Monitoring of Green Roof Integrated PV System through Surface Temperature Algorithm

김태한* · 박상연**

Kim, Tae-Han* · Park, Sang-Yeon**

* Corresponding author; Dept. of Environmental Landscape Architecture, SangMyung University(taehankim@smu.ac.kr)

** Dept. of Environmental Resources, Graduate School, SangMyung University(dusgisa@naver.com)

ABSTRACT

The centralized power supply system and rainwater treatment system, which are major infrastructure in modern cities, are showing their limitations in accommodating environment load due to climate changes that has aggravated recently. As a result, complex issues such as shortage of reserve power and urban flooding have emerged. As a single solution, decentralized systems such as a model integrating photovoltaic system and rooftop greening system are suggested. When these two systems are integrated and applied together, the synergy effect is expected as the rooftop greening has an effect of preventing urban flooding by controlling peak outflow and also reduces ambient temperature and thus the surface temperature of solar cells is lowered and power generation efficiency is improved. This study aims to compare and analyze the monitoring results of four algorithms that define correlations between micro-climate variables around rooftop greening and the surface temperature of solar cells and generate their significance. By doing so, this study seeks to present an effective algorithm that can estimate the surface temperature of solar cell that has direct impact on the efficiency of photovoltaic power generation by observing climate variables.

KEYWORD

옥상녹화
태양광발전
모니터링
알고리즘
PV 출력모의

Green Roof
Photovoltaic Generation
Monitoring
Algorithm
PV Output Simulation

ACCEPTANCE INFO

Received December 8, 2014

Final revision received February 5, 2015

Accepted February 9, 2015

© 2015 KIEAE Journal

1. 서론**1.1. 연구의 배경 및 목적**

최근 전력 예비율이 10%대로 고착화하면서, 부하가 집중되는 동절기 및 하절기 전력공급부족에 의한 문제가 대두되고 있다. 피크 시간에 유연하게 대응하는 공급 인프라의 단기간 증설이 어렵기 때문에 지속가능한 예비전력 시스템이 요구되는 상황이다.

한편, 부산지방기상청에 따르면 2014년 8월 25일 금정구의 경우 누적강수량이 244.5mm, 오후 2~3시에 시간당 강우량이 130mm를 기록했다. 이로 인하여 5명의 인명피해가 발생했고, 도시기능이 일순간에 마비되어 고도화된 도시의 수해방재시스템에 대한 근원적 문제점이 제기되고 있다.

위와 같은 에너지와 도시홍수에 대한 문제는 기존 중앙집중식 처리시스템이 한계에 도달한 것으로 기후변화로 인한 기상이변은 시스템 부하를 심화시키고 있다. 공통적으로 전력망과 배수관망은 증설에 많은 시간적, 경제적 비용이 발생되어, 이를 최소화하는 분산형 시스템에 대한 논의가 활발하게 진행되고 있다.

이러한 복합적인 문제를 해결할 수 있는 단일 방안으로 태양광과

옥상녹화의 통합시스템이 제시될 수 있다. 태양광발전설비는 시공 기간이 짧고, 전력부하 집중시간대에 생산량이 많은 분산형 전력원으로 예비전력 설비의 좋은 대안이 될 수 있다. 또한 옥상녹화는 식물과 토양의 기작으로 주변기온 및 침투유출량 저감효과를 기대할 수 있는 대표적인 저영향 개발기술로써 분산형 우수처리시스템으로 활용될 수 있다. 개별 기술적용만으로 분산형 시스템의 역할을 수행할 수 있는 태양광과 옥상녹화이지만, 통합적용 될 경우 태양전지의 물성으로 인한 시너지 효과를 기대할 수 있다. 이는 태양광발전시장의 80%이상을 차지하는 결정질 태양전지와 관련된 것으로 표면온도 증가에 따라 발전효율이 1°C 당 0.4~0.5% 저감되는 물리적 특성에 기인한다. 최근 이와 연계하여, 옥상녹화의 주변기온 저감 효과가 태양광 발전효율에 미치는 상관관계에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다.

반면 다수의 연구가 개별 대상지에 대한 단순한 모니터링 결과 제시에 머물고 있어 태양광과 옥상녹화의 상관관계를 규명할 수 있는 실질적 환경변인에 대한 논의가 부족한 상황이다. 따라서, 본 연구는 현재 보고되는 태양광 발전설비와 환경변인 간의 알고리즘을 태양광 통합형 옥상녹화시스템에 적용하여 실제 모니터링 결과에 대한 유의성 분석을 통해 실효적인 상관관계를 규명하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

옥상녹화를 통한 미기상변화가 태양광발전 출력에 미치는 알고리즘을 규명하기 위해 본 연구는 다음과 같은 과정을 통해 적정 모형을 도출하고자 한다.

우선 연구대상기간 중 가장 양호한 일사량을 확보하는 대표실측 기간을 설정한다. 다음으로 기존 연구의 태양광모듈 표면온도 알고리즘 중에서 비녹화 대조구의 미기상 데이터를 적용하여 실측값과 가장 유의한 모형을 선정한다. 마지막으로 선정된 모형의 모듈표면온도를 도입하여 녹화와 비녹화 공간의 태양광 출력 모의결과와 실측값과의 유의성을 규명하고자 한다. (Figure 1)

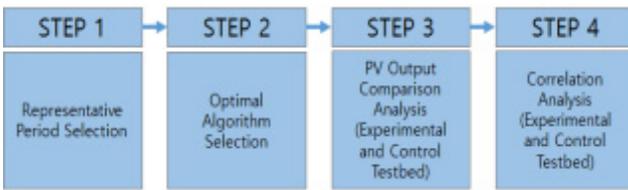


Figure 1. Study Process

이를 통해 기존 알고리즘이 녹화와 비녹화 옥상공간의 공기중 온도 변화에도 유의한지를 파악하여, 옥상녹화 통합형 태양광 발전설비의 전력생산효율을 사전에 모의할 수 있는 이론적 기반으로 활용하고자 한다.

실측모니터링을 위해 옥상녹화가 적용된 실험구와 일반 비녹화 옥상공간인 대조구에 일사량(I : W/m^2 , SP-110), 모듈표면 온도(T_c : $^{\circ}C$, UE-T100), 주변대기 온도(T_a : $^{\circ}C$, UE-H100), 풍속(v : m/s , UE-6410) 등의 환경변인 및 계측센서를 데이터로거(ZF-10R)에 연결한 네트워크를 구축하였다. (Figure 2)

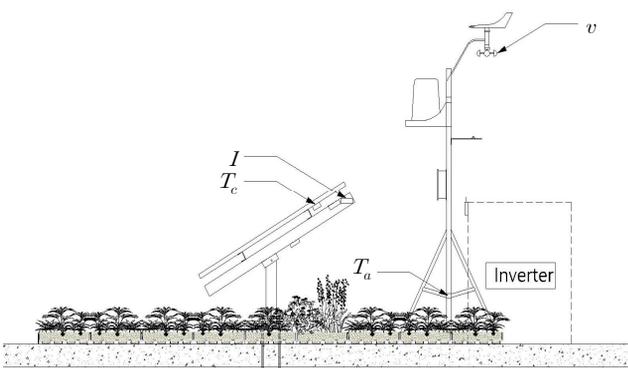


Figure 2. Set Up Testbed of Sensor Network

녹화와 비녹화 공간에 동일하게 A사의 250W급 단결정 태양광 모듈(SS-BM250M)을 6열 1.5kW 씩 총 3kW를 설치하였다. 해당모듈의 단위모듈면적은 $1.62m^2$, 순 태양전지면적은 $1.44m^2$ 으로 약 11%의 비수광 면적비를 가진다. 순간전력, 전력, 전압 등이 실시간으로 모니터링 되는 B사의 인버터를 사용하여 10분단위로 데이터를 기록하였다.

2. 이론적 고찰 및 선행연구 분석

2.1. 선행연구 고찰

연구진행을 위해 결정질 태양전지의 발전효율과 옥상녹화를 통한 기온저감효과 간의 상관관계를 규명하기 위해 우선 영향력 있는 환경인자인 모듈표면온도에 관한 이해가 필요하다. 모듈표면온도와 발전효율에 관한 대표적 연구는 다음과 같다. 대기온도에 따른 태양전지 모듈의 열적 특성에 관한연구(김종필 등 2008), 수직형 태양광발전모듈의 계절별 일사획득 및 온도 변화에 따른 출력 특성 변화에 관한 연구(박경은 등 2008), 여름철 기후변화에 따른 태양광 모듈별 특성에 관한 연구(최홍규 등 2009), 태양광발전시스템의 모듈온도와 일사량에 따른 전력 패턴 분석 연구(홍정희 등 2009) 등이 있다.

또한, 옥상공간의 녹화를 통해 발생하는 기온 및 표면온도 저감효과에 대한 객관적인 이해도 요구되며, 관련연구는 다음과 같다. 관리조방형 옥상녹화의 식재모델별 표면온도의 온도저감효과 모니터링 연구(윤희정 등 2013), 초화류와 세덤류의 식재식생 간 인공지반 경사지 녹화에 따른 피복 및 표면온도 변화특성에 관한 연구(장하경 등 2014), 옥상녹화의 온도저감과 열수지 해석 연구(김세창 등 2012) 등이 있다.

본 연구는 이와 같은 옥상녹화와 태양광발전시스템 간의 상관관계와 더불어 통합 운용할 때 발생하는 순기능을 정량화하는데 있으며, 이와 관련된 연구는 다음과 같다. 옥상녹화와 PV의 복합적용사례를 조사 및 분석연구(김지수 등 2010), 옥상녹화와 PV 복합 설치 시 이점 분석 및 옥상녹화와 PV발전 효율 향상과의 상관관계 연구(이용직 2013), 현장 모니터링을 통한 옥상녹화가 태양광발전 효율에 미치는 영향에 관한 연구(박효선 등 2011), 옥상녹화의 미기상조절효과가 태양광발전효율에 미치는 영향에 대한 전산모의 연구(김태한 등 2013), 모니터링을 통한 옥상녹화와 비 옥상녹화 평지붕에 설치된 PV모듈의 표면온도 변화 연구(유동철 등 2011) 등이 있다.

이상의 선행 연구들은 대부분 옥상녹화와 태양광발전의 개별적인 환경변인, 시스템 성능 또는 물리적 특성을 모니터링하여 제시하고 있다. 반면, 통합시스템과 환경변인 간의 상관관계를 사전에 예측하고 설계하는데 필요한 수치해석 및 전산해석 관련 국내연구는 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구는 현재 보고되는 태양광 발전설비와 환경변인 간의 알고리즘을 태양광 통합형 옥상녹화시스템에 적용하여 실제 모니터링 결과에 대한 유의성을 분석하여 보다 실효적인 상관관계를 규명하고자 한다.

2.2. 모듈동작온도를 고려한 출력예측

태양광발전시스템의 모듈표면온도는 가장 영향력이 큰 환경손실인 자로써 온도변화에 따라 출력 특성분석이 가능하다. 이는 옥상녹화를 통한 모듈표면 온도 저감 효과가 태양광발전의 출력에 미치는 상관관계를 규명하는 구체적인 논리를 제공하게 된다. 우선, Standard Test Condition ($1,000W, 25^{\circ}C, 1.5AM$)에서 정격최대 출력 값을 확보한 경우 다음과 같은 산식으로 출력을 산출할 수 있다.

$$P = P_{(25)} [1 - \beta_{ref} (T_C - 25)] \quad [1]$$

β_{ref} : 온도계수

T_C : 모듈 온도(°C)

P : 모듈의 동작온도를 고려한 상태에서의 출력(W)

P_{max} : 모듈의 온도가 25°C일 때의 출력(W)

이를 바탕으로 모듈의 온도변화에 따른 성능변화를 감안한 동작 온도를 고려하여 보다 실질적인 출력예측이 가능하며, 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$P = G_T \cdot \eta_{T_{ref}} A [1 - \beta_{ref} (T_C - T_{ref})] \quad [2]$$

G_T : 단위 면적당 일사강도 (W/m²)

A : 에너지를 받는 면적(m²)

$\eta_{T_{ref}}$: 태양전지 변환효율(%)

T_{ref} : 성능기준 온도(25°C)

T_C : 실제 모듈 동작 온도(°C)

β_{ref} : 온도계수

2.3. 태양광 모듈표면온도 알고리즘

태양광발전설비의 전력변환손실은 열손실 (Thermal Loss), 입사각손실(Incidence Angle Modifier Loss)과 같은 환경손실, 저항 배선 손실(Ohmic Wiring Loss), 모듈품질손실(Module Quality Loss), 부정합손실(Mismatch Loss)과 같은 기계손실로 구분된다.

현재 태양광 시장의 80% 이상을 차지하는 결정질 태양전지의 경우 환경인자 중에서 열손실이 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 이와 같은 중요성으로 인해 모듈표면온도를 유추할 수 있는 다양한 알고리즘이 연구되었으며, 주요모형을 다음과 같이 정리할 수 있다.(Table 1)

3. 조사대상 및 분석

3.1. 실험지 개요

본 연구의 대상지는 1984년 6월 29일 준공한 4층 벽돌조의 상명대학교 천안캠퍼스 상록관 옥상으로 건물은 중심축이 진북에서 12° 동편으로 기울어져 있으며 맞은편에는 상록관과 유사한 3층 벽돌조의 청록관이 위치해 있다. 우선 태양광환경분석을 통해 적지를 도출하여 실험구와 대조구에 동일한 태양광발전설비 및 모니터링설비를 구



Figure 3. Experimental(A) and Control(B) Testbed

축하였다. 실험구는 녹화공간을 조성하기 위해 C사의 관리조방형 녹화유닛에 토심 10cm의 펠라이트, 코코피트, 혼합유기물로 구성된 인공토양에 돌나물, 섬기린초, 금강애기기린초, 흰꽃세덤, 분홍세덤 등 세덤류를 식재하여 조성했다. 반면 대조구는 기존 옥상의 우레탄 방수층을 기반으로 비녹화 옥상공간을 조성하였다. (Figure 3)

3.2. 태양광 모듈 조건

본 연구에서 사용된 A사의 태양광 모듈은 결정질 단결정 태양전지 모듈로서 태양광 모듈 한판에 60개의 태양전지로 구성되어 있다. 단결정으로 개별전지의 크기는 156x156mm, 면적은 235.8cm²이며 정격출력은 4.397W이다. 다음은 태양광모듈의 기본 물성치에 관한 정보이다.(Table 2)

Table 2. Properties of Solar Module

Image	Legend	
	Solar Cell Type	single crystal
	Module Efficiency (%)	15.32
	Module Size	1,664x992x40mm
	Temperature Coefficient	
	$\alpha \Delta ISC$	0.0431 %/°C
	$\beta \Delta Voc$	-0.3136 %/°C
	$\gamma \Delta Pmax$	-0.4328 %/°C

Table 1. Surface Temperature Algorithms of Solar Module

Model	Formula	Symbol
Standard [14], [19]	$T_c = T_a + \frac{I}{I_{NOCT}} \cdot (T_{NOCT} - T_{a,NOCT})$	T_c : cell/module temperature(°C) β : temperature coefficient of maximal power of the solar cells
Mattei Model [14],[18]	$T_c = \frac{U_{PV}(v) T_a + I \cdot [\tau \cdot \alpha - \eta_{SIC}(1 - \beta_{SIC} T_{SIC})]}{U_{PV}(v) + \beta_{SIC} \cdot \eta_{SIC} \cdot I}$	T_a : ambient temperature(°C) η : efficiency of the solar cells(%)
	$U_{PV}(v_w) = 26.6 + 2.3 v_w$ (called here Mattei 1)	I : irradiance(W/m ²) v : wind speed(m/s)
Koehl Model [14], [17]	$T_c = T_a + \frac{I}{U_0 + U_1 \cdot v_w}$	U_{PV} : heat exchange coefficient NOCT : nominal operation cell temperature(°C)
Skoplaki Model [14],[20]	$T_c = T_a + \frac{I}{I_{NOCT}} \cdot (T_{NOCT} - T_{a,NOCT}) \cdot \frac{h_{w,NOCT}}{h_w(v)}$	τ : transmittance of the cover system STC : standard test conditions
	$\cdot [1 - \frac{\eta_{w,NOCT}}{\tau \cdot \alpha} (1 - \beta_{SIC} T_{SIC})]$	α : ambient v_w : local wind speed close to the module(m/s) U_0, U_1 : Faimann coefficients h_w : wind convention coefficient

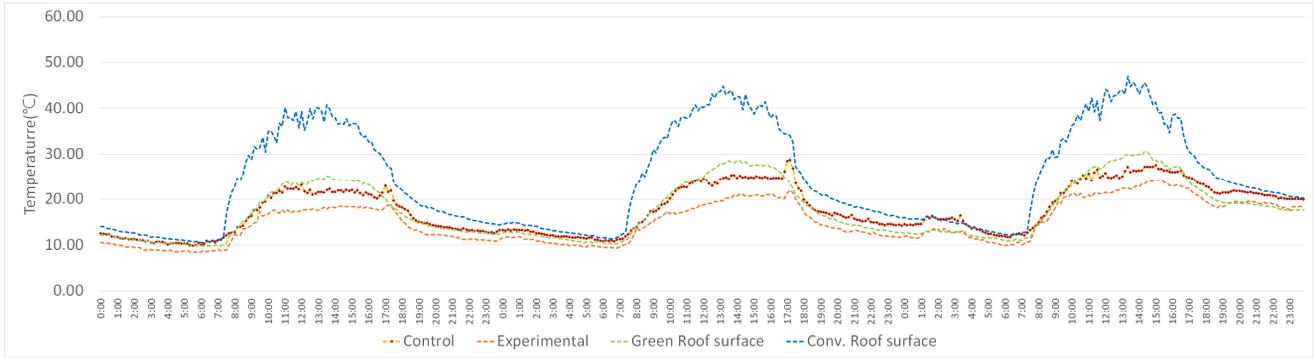


Figure 4. Temperature Monitoring in Experimental(A) and Control(B) Testbed (3rd-5th October, 2013)

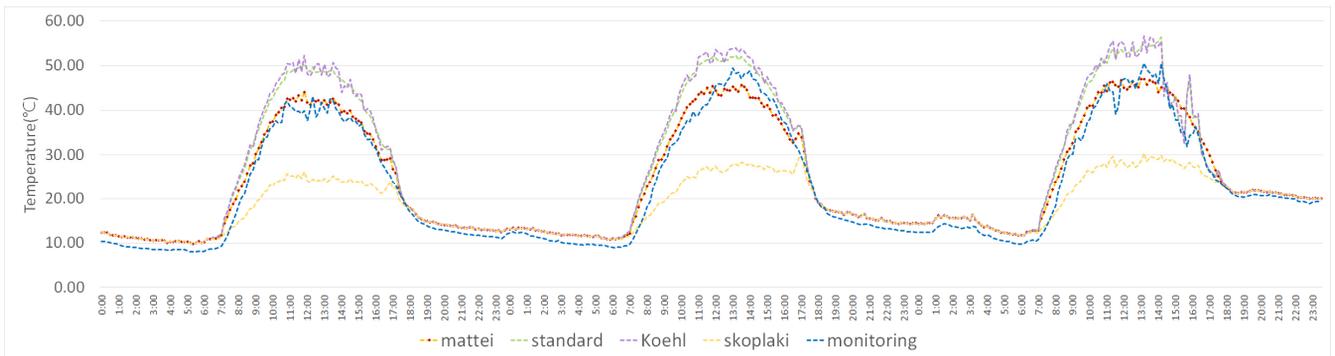


Figure 5. Comparison of Module Temperature Algorithms(3rd-5th October, 2013)

3.3. 대표실측기간 선정 및 미기상분석

선행 알고리즘을 검증하기 위한 실측기간은 2013년 8월에 11월 중 일사량이 가장 양호한 10월로 하였으며, 3일간 지속적으로 높은 일사량을 유지한 3, 4, 5일로 설정하였다. (Table 3)

Table 3. Representing Period for Validation Algorithms (Cheonan, 2013)

Month	August	September	October	November
Month Average Irradiation(Wh)	26,659	24,338	27,261	17,748
Month Total Irradiation(Wh)	799,780	730,144	817,854	532,467

대표 실측기간동안 녹화, 비녹화 공간에서 가장 높은 공기 중 온도차는 4일 17시 00분에 7.1°C를 기록하였으며, 일조집중시간인 12시에서 15시까지 평균 4.4°C의 기온차를 보였다. 반면, 표면온도차는 5일 13시 20분에 최고 17.1°C를 기록하였으며, 일조집중시간에 평균 13.4°C의 온도차를 보였다. 이로 인한 실측표면온도차는 5일 13시 00분에 8.4°C를 기록하였으며, 일조집중시간에서 평균 5.8°C의 온도차를 보였다. 이로써 옥상녹화의 주변기온조절능이 태양광 모듈표면온도 저감에 긍정적인 영향을 미쳤음을 확인할 수 있었다. (Figure 4)

3.4. 최적 모듈표면온도 알고리즘 도출

선정된 대표 실측기간동안 모니터링 데이터와 가장 유의한 알고리즘을 도출하기 위해 일조시간을 6시부터 18시로 설정하고 대조구의 미기상데이터를 Standard, Mattei, Koehl, Skoplaki 모형에 적용하여 태양광모듈 표면온도를 모의하였다.

대표 실측기간동안 대조구 실측값은 3일간 일조시간 평균 32.2°C

와 일조집중시간 평균 42.5°C를 기록했다. Standard는 3일간 일조시간 평균 35.7°C, 일조집중시간 평균 47.9°C를 나타내어 실측값과 각각 4.8°C, 5.0°C의 차이를 기록했다. Mattei는 3일간 일조시간 평균 32.2°C, 일조집중시간 평균 42.5°C를 나타내어 실측값과 각각 1.4°C, 0.4°C의 차이를 기록했다. Koehl은 3일간 일조시간 평균 36.2°C, 일조집중시간 평균 48.4°C를 나타내어, 실측값과 각각 5.3°C, 5.5°C의 차이를 기록했다. Skoplaki는 3일간 일조시간 평균 22.2°C, 일조집중시간 평균 25.6°C를 나타내어, 실측값과 각각 8.7°C, 16.2°C의 차이를 기록했다. 이와 같은 비교분석을 통해 Mattei 모형이 실측값과 가장 유의한 모듈표면온도 알고리즘으로 해석됐다. (Figure 5)

3.5. 태양광 출력 비교분석

대표 실측기간동안 실험구와 대조구의 실측값은 일조시간 평균 0.04kW, 일조집중시간 평균 0.07kW 실험구가 높게 기록되어 각각 6.2%, 6.9%의 녹화로 인한 태양광출력 개선효과가 확인되었다. 이렇게 개선효과가 확인된 태양광출력 실측값과 모듈동작온도가 고려된 출력 예측식을 사용하여 Mattei 모형이 적용된 출력의 유의성을 다음과 같이 비교 분석하였다.

우선 Mattei 모형을 적용한 실험구의 태양광 최대출력은 4일 13시 10분에 1.32kW를 기록하였으며, 3일간 일조시간 평균 0.69kW와 일조집중시간 평균 1.09kW를 나타냈다. 이는 일조시간 평균 0.70kW와 일조집중시간 평균 1.09kW를 기록한 실측값에 비해 1.4% 낮고 일조집중시간 평균은 동일하였다.

반면 Mattei 모형을 적용한 대조구의 태양광 최대출력은 5일 14시 10분에 1.28kW를 기록하였으며, 3일간 일조시간 평균 0.68kW와 일조집중시간 평균 1.01kW를 기록한 실측값에 비해 각각 4.6%, 4.0% 높게 나타났다. 이를 통해 옥상녹화의 미기상환경변인 조절효과가 태양광

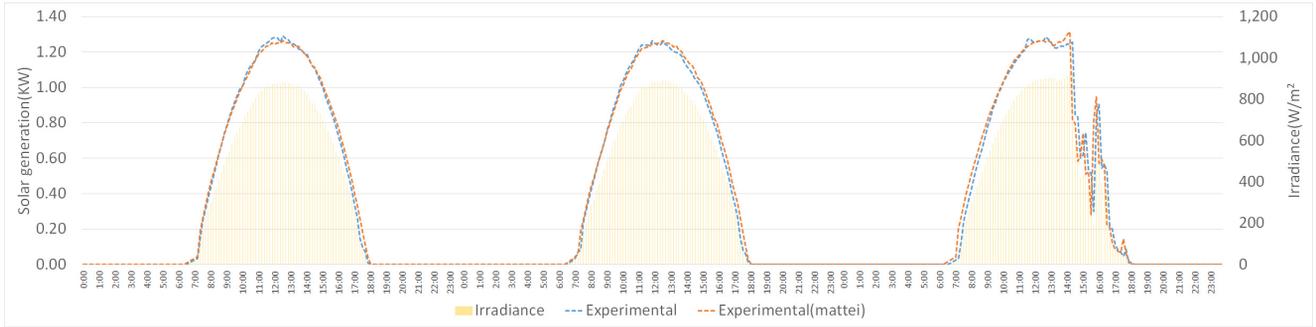


Figure 6. PV Output Comparison of "Mattei Model" and Monitoring in Experimental(A) Testbed (3rd~5th October, 2013)

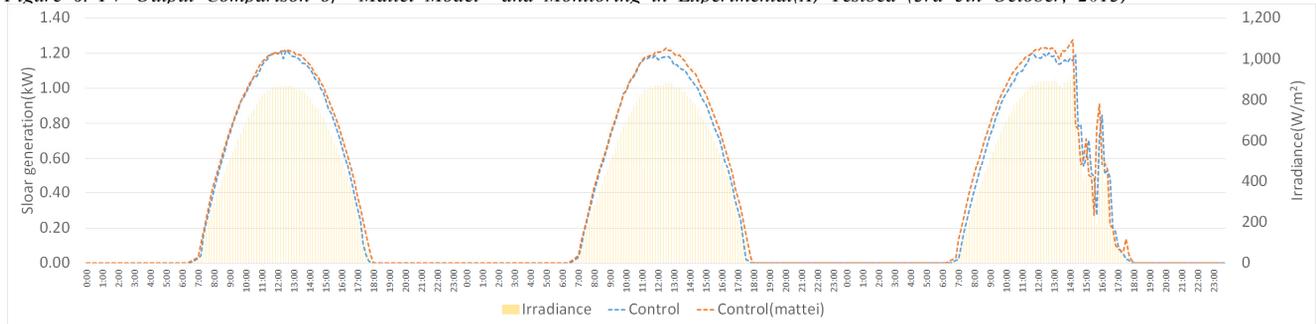


Figure 7. PV Output Comparison of "Mattei Model" and Monitoring in Control(B) Testbed (3rd~5th October, 2013)

모듈 표면온도에 영향을 미치는 알고리즘을 규명할 수 있었고, 결과적으로 태양광발전 출력이 개선되는 효과를 검증할 수 있었다. 따라서, 옥상녹화공간의 환경모니터링을 통해 태양광발전설비 적용 시 출력

Mattei 모델이 적용된 출력 모의결과와 실측값의 상관관계 유무에 대한 관계강도 분석을 다음과 같이 수행하였다.

통계분석은 실험구와 대조구로 구분하여 실시하였다. 상관관계

<Table. 4> Correlation Analysis of Experimental Testbed(A)

		Monitoring	Mattei
Monitoring	Pearson coefficient of correlation	1	.990(**)
	p -value (both sides)		.000
	N	429	429
Mattei	Pearson coefficient of correlation	.990(**)	1
	p -value (both sides)	.000	
	N	429	429

** Correlation is significant at the 0.01 level (both sides).

<Table. 5> Correlation Analysis of Control Testbed(B)

		Monitoring	Mattei
Monitoring	Pearson coefficient of correlation	1	.991(**)
	p -value (both sides)		.000
	N	429	429
Mattei	Pearson coefficient of correlation	.991(**)	1
	p -value (both sides)	.000	
	N	429	429

** Correlation is significant at the 0.01 level (both sides).

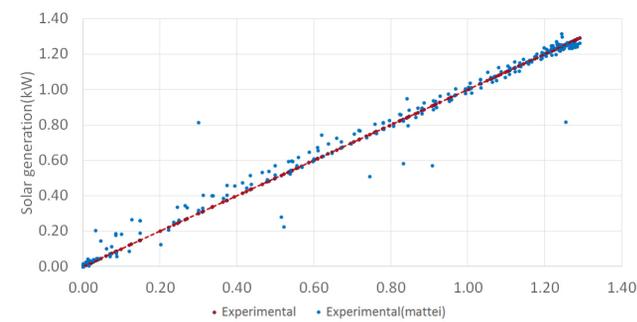


Figure 8. Correlation Analysis of Experimental Testbed(A)

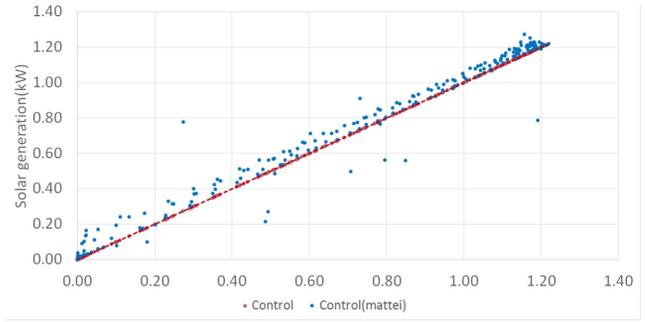


Figure 9. Correlation Analysis of Control Testbed(B)

개선효과를 보다 객관적으로 예측할 수 있었다.(Figure 6, 7)

3.6. 유의성 분석

태양광 모듈 온도변화에 따른 성능변화를 감안한 동작온도가 적용된 출력예측 알고리즘과 실측값의 통계적 유의성 규명을 위해

분석에 활용된 데이터 사례수(N)는 각각 429개를 적용하였으며 실측된 태양광 출력을 종속변수로 선정하고 Mattei 모형이 적용된 출력 모의결과를 독립변수로 설정하여 분석한 결과 모두 0.99의 상관관계가 도출되었다. 여기서, 음(-)의 상관계수를 나타 낸 항목은 도출되지 않았으며, Mattei 모형이 적용된 출력 모의결과가 실측값과 매우 유의함이 검증되었다. (Table 4, 5), (Figure 8, 9),

두 변량의 변화가 선형적인 관계에 있는지를 나타내는 Pearson 상관계수는 4가지 분석요인들이 모두 정(正)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

4. 결론

최근 에너지, 내수피해 등 다양한 도시사회문제에 대하여 기존 중앙집중형에 비해 유연하게 대응할 수 있는 분산형 시스템이 활발히 논의되고 있다.

본 연구는 이와같은 복합적인 문제에 효과적으로 대처할 수 있는 융합적 해결방안인 옥상녹화 연계형 태양광발전시스템의 미기상 환경과 태양광 출력 간의 알고리즘을 규명하고자 하였으며, 결과는 다음과 같다.

1) 대표 실측기간 중 4일 17시 00분에 7.1°C로 녹화와 비녹화간 최고 공기중 온도를 기록하였으며, 일조집중시간인 12시에서 15시까지 평균 4.4°C의 온도차를 보였다. 반면, 옥상표면온도차는 5일 13시 00분에 최고 17.1°C를 기록하였으며, 일조집중시간에 평균 13.4°C의 온도차를 보였다. 이로 인한 실측모듈표면온도차는 5일 13시 00분에 8.4°C를 기록하였으며, 일조집중시간에서 평균 5.8°C의 온도차를 보였다. 이로써 옥상녹화의 주변기온조절능이 태양광 모듈표면온도 저감에 긍정적인 영향을 미쳤음을 확인할 수 있었다.

2) Standard, Mattei, Koehl, Skoplaki 모형중에서 실측값과 가장 유의한 태양광모듈 표면온도 알고리즘으로 일조시간 평균 1.4°C, 일조집중시간 평균 0.4°C의 차이를 기록한 Mattei 모형으로 선정되었다.

3) 대표 실측기간동안 태양광출력 실측값은 일조시간 평균 6.2%, 일조집중시간 평균 6.9% 실험수가 높게 나타났다. Mattei 모형과의 차이는 실험수는 각각 1.4% 낮고 일조집중시간 평균은 동일하였으며, 대조구는 각각 4.6%, 4.0%로 Mattei 모형이 거의 동일 혹은 근소하게 높은 결과를 기록했다. 따라서, 옥상녹화로 인한 태양광출력 개선효과가 모니터링을 통해 확인되었고 해당효과가 Mattei 모형에 의해서도 유추 가능한 것으로 사료된다.

4) 통계적 측면에서도 Mattei 모형이 적용된 출력 모의결과와 실측값과 0.99의 높은 상관관계를 기록하여 유의한 것으로 확인되었다. 이를 통해 옥상녹화의 미기상환경변인 조절효과가 태양광모듈 표면온도에 영향을 미치는 알고리즘을 규명할 수 있었고, 결과적으로 태양광발전 출력이 개선되는 효과를 검증할 수 있었다. 따라서, 옥상녹화공간의 환경모니터링을 통해 태양광발전설비 적용 시 객관적인 출력개선효과 예측이 가능했다.

본 연구는 미기상 환경변인에 의한 태양광 모듈온도 및 출력 예측과 옥상녹화를 통해 기대되는 태양광발전 효율개선에 대한 이론적 근거를 제공할 것으로 사료된다. 또한, 옥상에 녹화가 시공된 대상지의 태양광발전설비 적용성을 경제적 관점에서 해석하여, 해당 시스템의 타당성 분석 등에 활용될 것으로 예상된다.

반면, 본 연구는 제한된 대표 실측기간으로 인해 보다 면밀한 알고리즘 규명에 한계를 지니고 있으며, 추후 장기 모니터링에 의한 검증과 식생 및 토양 기작이 주변기온 및 모듈표면온도에 미치는 메커니

즘에 대한 후속연구가 요구된다.

Acknowledgement

본 연구는 2013학년도 상명대학교 교내연구과제지원으로 수행된 결과임

Reference

- [1] 김지수, 이용직 “PV발전과 옥상녹화 복합 적용사례 연구” 한국태양에너지학회, 춘계학술발표대회 논문집, VOL. 30, NO. 1, 2010.
Kim, Ji-su, Lee, Eung-jik “A Case Study on the Integrated Application of PV on Green roofs” Journal of The Korean Solar Energy Society spring conference, VOL. 30, NO. 1, 2010.
- [2] 김종필, 전충환, 장영준 “대기온도에 따른 태양전지 모듈의 열적 특성에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, 2008.
Kim, Jong-Pil, Jeon, Chung-Hwan, Chang, Young-June “Effect of Ambient Temperature on the Thermal Characteristics of Photovoltaic Modules” Journal of the Korean Solar Energy Society autumn conference 2008.
- [3] 김세창, 이현정, 박봉주 “한국잔디식재 경량박층형 옥상녹화의 열수지해석” 한국조경학회지 VOL. 40, NO. 6, 2012
Kim, Se-Chang Lee, Hyun-Jeong Park, Bong-Ju “Heat Budget Analysis of Light Thin Layer Green Roof Planted with Zoysia japonica” The Korean Institute of landscape architecture VOL. 40, NO. 6, 2012
- [4] 김태환, 박성은 “옥상녹화시스템의 기온조절효과와 태양광발전효율 간의 상호연관성 규명을 위한 전산해석연구” 한국태양에너지학회 논문집, VOL. 33, NO. 4, 2013.
Kim, Tae-Han, Park, Sung-Eun “A Study on Computer Simulation to Investigate Correlations between Temperature Controlling Effect of GreenRoof System and the Photovoltaic Power Generation Efficiency” Journal of the Korean Solar Energy Society VOL. 33, NO. 4, 2013.
- [5] 박경은, 강기환, 김현일, 유권중, 김준태 “수직형 태양광발전모듈의 계절별 일사확득 및 온도변화에 따른 출력특성 변화에 관한 연구” 한국태양에너지학회 춘계학술대회 논문집, 2008
Park, Kyung-Eun, Kang, Gi-Hwan, Kim, Hyun-Il, Yu, Gwon-Jong, Kim, Jun-Tae “Study on variation of electrical characteristics of vertical PV module according to the change of irradiance and temperature” Journal of the Korean Solar Energy Society autumn conference, 2008.
- [6] 박효선, 배상환 “옥상녹화가 태양광발전 효율에 미치는 영향에 관한 연구” 한국생태환경건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 2011.
Park, Hyo-Sun, Bae, Sang-Hwan “Research on the Efficiency Improvement of PV affected by Green Roof” Korea Institute of Ecological Architecture and Environment autumn conference 2011.
- [7] 유동철, 이용직, 이두호 “옥상녹화와 비 옥상녹화 평지붕에 설치된 PV모듈의 표면온도 변화 고찰” 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, VOL. 31, NO. 2, 2011
Yoo, Dong-Chul, Lee, Eung-Jik, Lee, Doo-Ho “Study on Surface Temperature Change of PV Module Installed on Green Roof System and Non-green Roof System” Journal of the Korean Solar Energy Society VOL. 31, NO. 2, 2011.
- [8] 윤희경, 장성완, 이은희 “관리조방형 옥상녹화의 식재모델별 표면온도 모니터링” 한국생태환경건축학회 논문집, VOL. 13, NO. 5, 2013.
Youn, Hee-Jung Jang, Seong-Wan Lee, Eun-Heui “Temperature Monitoring of Vegetation Models for the Extensive Green Roof” Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment VOL. 13, NO. 5 Oct. 2013.
- [9] 이용직 “공공건물 옥상녹화와 설치태양광(PV)의 효율향상 상관관계 연구” 한국생태환경건축학회 논문집, VOL. 13, NO. 5, 2013.
Lee, Eung Jik “A Study on Correlation between Improvement in Efficiency of PV and Green roof of Public Building” Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, VOL. 13, NO. 5 Oct. 2013.
- [10] 장하경, 한승원, 김재순, 정명일 “녹화식물의 인공지반 경사지 녹화

- 에 따른 피복 및 표면온도 변화특성” 한국인간식물환경학회지, VOL. 17, NO. 1, 2014.
- Jang, Ha-Kyung, Han, Seung-Won, Kim, Jae-Soon, Jeong, Myung-Il “Characteristics of Coverage Ratio and Surface Temperature of Plants Planting on the Sloped Artificial Ground” J. Korean Soc. People Plants Environ. VOL. 17 NO. 1, 2014.
- [11] 최홍규, 최신권, 최대원, 이근무 “여름철 기후변화에 따른 태양광 모듈별 특성에 관한 연구” 조명·전기설비학회 논문지 VOL. 23, NO. 12, 2009.
- Choi, Hong-Kyoo, Choi, Shin-Gwon, Choi, Dae-Won, Lee, Guen-Moo “Summer, A Study on Characteristic by Photovoltaic Module by Climate Fluctuation” Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers VOL. 23, NO. 12, 2009.
- [12] 홍정희, 최용성, 이경섭 “태양광 발전시스템의 모듈온도와 일사량에 따른 전력패턴 분석” 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, 2009, Hong, Jung-Hee, Choi, Yong-Sung, Lee, Kyung-Sup “Power Pattern Analysis According to Irradiation and Module Temperature for Photovoltaic Systems” Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers autumn conference 2009.
- [13] C. Schwingshackla, M. Petitta^{a,b}, J.E. Wagner, G. Belluardo, D. Moser, M. Castellia^d, M. Zebischa and A. Tetzlaff “Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation” European Geosciences Union General Assembly, EGU \Division Energy, Resources & the Environment, ERE VOL. 40, pp 77–86, 2013.
- [14] S. Jacques, A. Caldeira, Z. Ren, A. Schellmanns and N. Batut “Impact of the cell temperature on the energy efficiency of a single glass PV module: thermal modeling in steady-state and validation by experimental data” International Conference on Renewable Energies and Power Quality Bilbao (Spain), 20th to 22th March, 2013
- [15] E. Skoplaki, J.A. Palyvos “ On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations” International Solar Energy Society Solar Energy 83 pp 614–624, 2009.
- [16] Michael Koehl n, Markus Heck, Stefan Wiesmeier, Jochen Wirth “Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering ” Solar Energy Materials & Solar Cells 95 pp 1638–1646, 2011.
- [17] M. Mattei, G. Notton, C. Cristofari, M. Muselli, P. Poggi “Calculation of the polycrystalline PV module temperature using a simple method of energy balance” Renewable Energy VOL. 31, NO. 4, pp 553-567, 2006.
- [18] T. Markvart(editor). Chichester, Wiley, “Solar electricity. 2nd edition.” 2000.
- [19] E. Skoplaki, A.G. Boudouvis, J.A. Palyvos “A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting” Solar Energy Materials & Solar Cells 92 pp 1393-1402, 2008.