

2024년 춘계학술발표대회 : 일반부문

# 건물의 옥상층에 설치되는 어레이 배치형 태양광 패널의 풍력계수 분포 특성 분석

## An Analysis of Wind Load Coefficient Distribution Characteristics for Array-placed Solar Panels Installed on Building Rooftops

○박민우\*      남병희\*      백선영\*      유장열\*\*      유기표\*\*\*  
Park, Min-Woo      Nam, Byung-Hee      Peak, Sun-young      You, Jang-Youl      You, Ki-Pyo

### Abstract

In this study, wind tunnel experiments were carried out to analyze the characteristics of wind load coefficient distribution by position for solar panels installed in a 3×2 array on the rooftop of a flat-roofed building. The drag and lift force for each panel position were measured, and the normal force coefficient according to the panel's inclination angle was calculated and then compared with Japan's JIS C 8955:2017. The analysis showed a trend similar to the standard. However, the wind load coefficients for positive and negative pressures on the panels installed in an array were found to be about 40% lower on average than the standard values.

키워드 : 풍동실험, 풍력계수, 태양광 패널, 지붕설치형

Keywords : Wind Tunnel Test, Wind Force Coefficient, PV Panels, Roof-mounted System

### 1. 서론

최근 지구 온난화와 환경 오염 문제가 심각해지면서 전 세계적으로 이를 해결하기 위한 방안을 모색하고 있다. 이에 따라 건축 분야에서는 에너지 효율을 높이고 신재생 에너지를 활용하여 환경문제를 완화시키기 위한 패러다임의 변화가 이루어지고 있다. 건축물에서 활용되는 신재생 에너지 중 태양광에너지는 지속 가능한 에너지원으로서 큰 각광받고 있다. 이에 따라 태양광 발전시스템의 보급이 확장되었고 국내외로 많은 연구가 진행되었다. Gregory A, K et al(2012) 및 Jinxin, C et al(2013)은 풍압실험을 통해 건물의 지붕층에 설치되는 어레이 배치형 태양광 패널의 설치 위치별 풍압계수 특성을 분석하였으며, You et al(2021)은 지상에 설치되는 태양광 패널에 대하여 패널의 경사각에 따른 풍력계수 특성과 어레이로 배치된 위치별 패널의 풍력계수 분포특성을 연구하였으며, Qiong, Z et al(2021)은 태양광 패널의 형태중 파라볼릭형에 대하여 건물의 평지붕에 단독으로 설치된 경우 풍력계수 분포특성

을 연구하여 이를 지상 단독설치형과 비교하여 설치된 건물로 인한 풍력계수의 영향을 분석하였다.

많은 연구를 통해서 태양광 발전시스템은 다양한 설치 형태로 사용되고 있으며, 특히 건물의 옥상층에 태양광 패널을 설치하는 것은 공간 활용성과 경제성을 고려할 때 매우 효과적인 방안으로 여겨진다. 그러나 건물의 옥상층에 설치되는 태양광 발전시스템은 강한 바람에 의해 패널이 손상될 위험이 있으며, 이는 시스템의 안정성과 경제성에 직접적인 영향을 미친다. 일본은 건축물에 설치되는 태양광 패널에 대한 풍하중 기준(JIS C 8955)이 마련되어 활용되고 있으나, 국내 기준에서는 마련되어있지 않은 실정이며 이를 대체하기 위해 독립 평지붕의 풍하중 기준을 활용하고 있다. 또한 도심지역의 건물 옥상층에서는 도심지 내에서의 난류 영향과 옥상층에서 발생하는 와류(대표적으로 원추형와) 등으로 인하여 복잡한 기류의 영향을 받게 된다. 이에 본 연구에서는 풍동실험을 통해 평지붕 건물의 옥상층에 설치되는 어레이 태양광 발전시스템의 패널 위치별 풍력계수 분포 특성을 분석하고 이를 기준과 비교해보고자 한다.

### 2. 실험개요

본 연구에서는 평지붕 건물의 옥상층에 태양광 어레이 설치시 위치별 태양광 패널에 미치는 풍력의 영향과 풍력계수 분포 특성을 분석하기 위해 풍동실험을 진행하였다.

\* 전북대학교 건축공학과 대학원 박사수료

\*\* 송원대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 전북대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : Department of Architect Engineering,  
Jeonbuk National University, [youk@jbnu.ac.kr](mailto:youk@jbnu.ac.kr))

이 연구는 2024년도 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일  
부임. 과제번호: 2020R1A2C1014044

## 2.1 실험모형

태양광 발전시스템이 설치되는 건물은 평지붕 형태로 1:1 평면 타입이다. 태양광 어레이에 설치되는 패널은 1개의 모듈당 생산 전력은 300w로 1m\*2m 크기의 모듈이며 14개 모듈(4m\*7m)로 이루어져 있다. 풍동실험은 3\*2 어레이 배치에 대하여 진행하였으며 각 행을 순서대로 A, B, C로 해당 위치를 명칭 하였다. 그림 1은 태양광 어레이 배치의 위치와 풍향각을 나타내고 있다. 태양광 어레이 설치 시 태양광에 의해 생기는 그림자로 인한 손실을 막기 위한 최소 이격거리를 두고 설치해야 하며 이는 태양광 시스템이 설치되는 지역의 위도(lat)와 태양광의 경사각에 따라서 달라진다. 대상지역은 도심지역을 대상으로 하여 전라북도 전주시로 가정하여 위도(lat)는 35.7도로 가정하였다. 그림 2는 태양광 어레이의 최소 이격거리를 구하기 위한 개념도를 나타내고 있으며, 표 1은 실험대상 건물 및 태양광패널의 제원을 나타내고 있다.

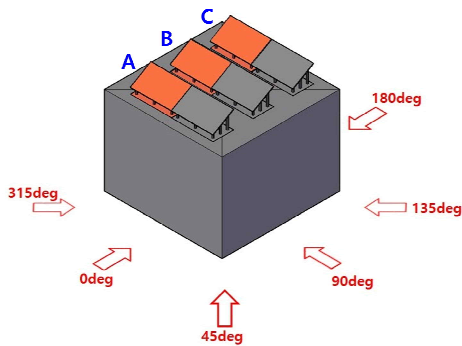
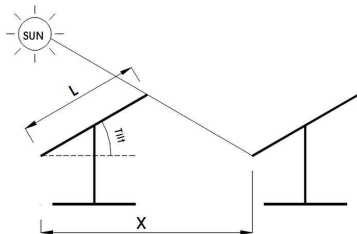


그림 1. 태양광 패널의 위치와 풍향각



$$X = L \times [\cos(\text{tilt}) + \sin(\text{tilt}) \times \tan(\text{lat} + 23.5)]$$

그림 2. 태양광 어레이의 최소 이격거리

여기서, L : 태양광 패널의 길이, tilt : 패널의 경사각, lat : 대상 지역의 위도

표 1. 실험 대상 건물 및 태양광 패널의 제원

구분	Scale	B	D	H
건물	1:1	20m	20m	20m
	1:40	50cm	50cm	50cm
패널	1:1	7m × 4m × 2m(W × L × H)		
	1:40	17.5cm × 10cm × 5cm(W × L × H)		

## 2.2 실험조건

풍동실험은 전북대학교 풍동연구실의 측정부 2.1m(폭)

× 1.7m(높이) × 18m(길이)의 OPEN형 풍동장치에서 실시되었다. 측정기기는 KYOWA사의 LAT-1010KA-1을 이용하였다. 대상지역은 도심지역을 대상으로 하여 전라북도 전주시로 가정하여 이에 따라 지표면조도 B( $\alpha=0.22$ )에 해당되는 난류계층 기류를 풍동 내에 재현하였다. 풍동실험의 기준높이는 건물에 설치되는 태양광 패널의 중앙높이에서 기준풍속은 5.0m/s로 하였다. 풍향각은 10도 간격이며, 원추형 와가 발생하는 45, 135, 225, 315도에서 측정하여 총 40개 풍향각에서 측정하였다. 표 2는 풍동실험 조건을 나타내며, 그림 3은 풍동 내에 설치된 모형의 모습을 나타내고 있다.

표 2. 풍동실험 조건

측정기기	LAT-1010KA-1		
조도구분	B ( $\alpha=0.22$ )		
스케일	1:40		
측정주파수	200Hz		
기준풍속	5m/s		
기준높이	55cm		
실험 풍향각	10도 간격		
태양광 모듈 경사각(tilt)	45	30	15
태양광 이격거리(m)	7.5	6.8	5.6

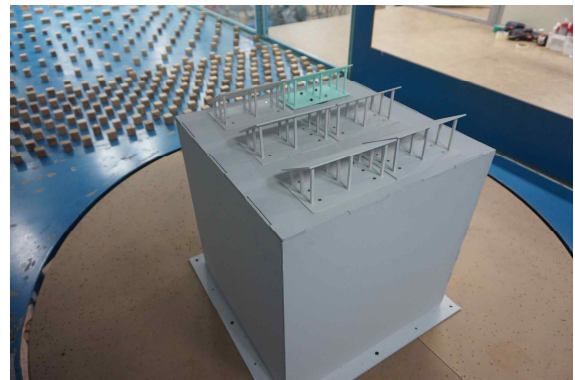


그림 3. 풍동 내에 설치된 실험 모형

## 3. 실험결과

풍동실험은 태양광 패널에 작용하는 풍력계수를 구하기 위하여 풍력실험을 실시하였다. 실험결과는 항력계수(Drag force), 양력계수(Lift force)를 구하여 패널의 경사각에 따라 패널에 수직으로 작용하는 수직력계수(Normal force)를 산정하였다. 각 풍력은 다음 식(1)-(3)으로 정의된다. 그림 4는 각 풍력의 정의를 나타내고 있다.

$$\text{항력계수(Drag force)} : C_D = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho V_H^2 A_{ref}} \quad (1)$$

$$\text{양력계수(Lift force)} : C_L = \frac{F_z}{\frac{1}{2} \rho V_H^2 A_{ref}} \quad (2)$$

$$\text{수직력계수(Normal force)} : C_{FN} = \frac{F_N}{\frac{1}{2} \rho V_H^2 A_{ref}} \quad (3)$$

여기서,  $F_x$  : x방향 수평력,  $F_z$  : z방향 수직력

$\rho$  : 공기밀도( $1.225\text{kg}/\text{m}^3$ ),

$A_{ref}$  : 태양광 패널의 면적

$\bar{V}_H$  : 기준 높이에서의 기준 풍속

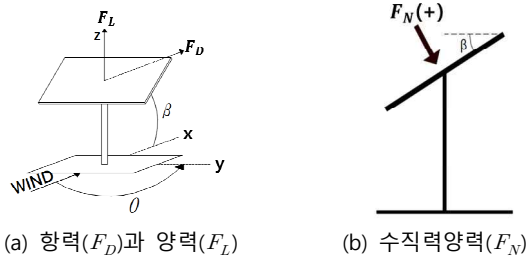


그림 4. 각 풍력의 정의

### 3.1 경사각에 따른 풍력계수 분포

그림 5는 태양광 어레이 설치시 태양광 패널의 경사각에 따른 풍향별 항력(Drag force), 양력(Lift force), 수직력(Normal force)계수를 나타내고 있다. 항력계수는 전체적으로 0-90도는 다른 열에 위치한 패널에 의해 바람의 차폐 효과로 인하여 계수값이 낮게 나타나며 180도 이후부터 차폐효과가 적어지며 점점 항력계수가 부압으로 작용하면서 원추형화가 발생하는 315도 근처에서 정압이 크게 작용하고 있다. 항력계수(Drag force)는 전체적으로 원추형화가 발생하는 315도 근처에서 높은 정압을 나타내며, 양력계수(Lift force)는 항력계수와 반대의 경향을 나타내고 있다. 이에 따라 수직력계수(Normal force)는 225도 인근에서 높은 부압(끌어올리는 힘)이 나타나며, 315도에서는 높은 정압(누르는 힘)이 작용하고 있는 것을 알 수 있다.

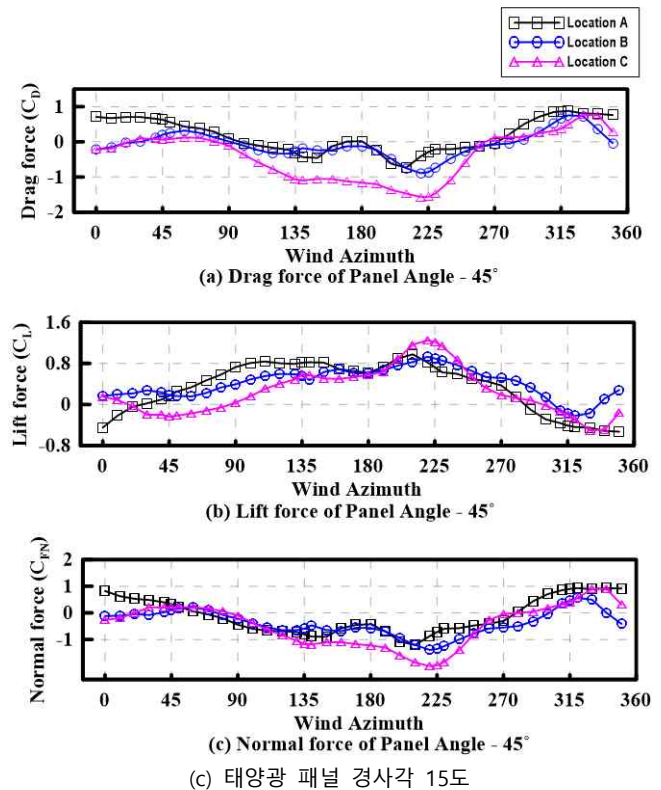
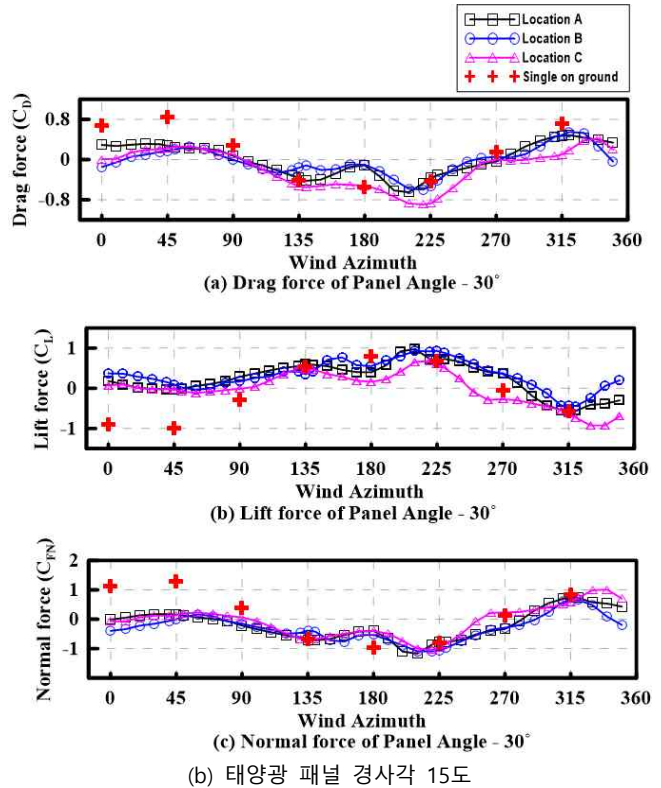
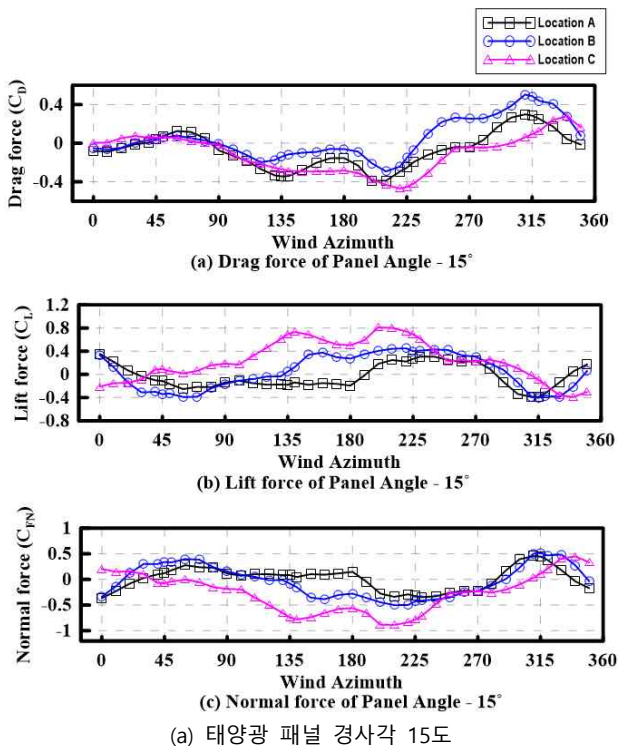
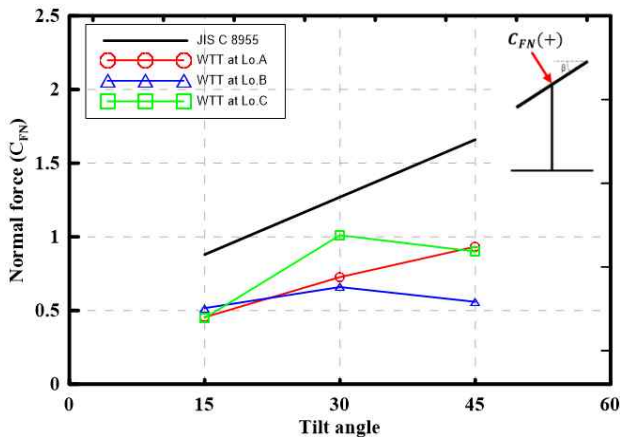


그림 5. 태양광 패널의 경사각에 따른 풍향각별 풍력계수

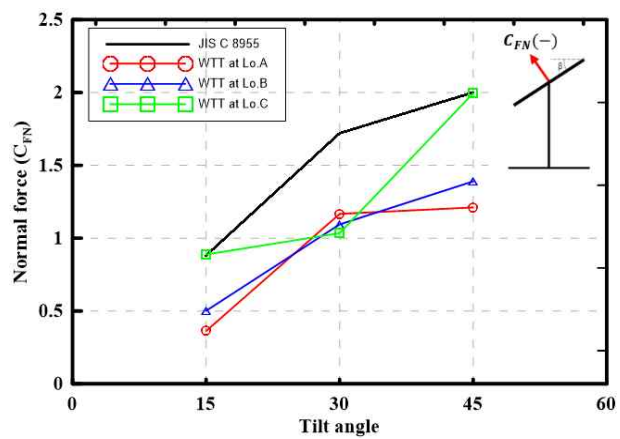
### 3.2 최대 풍력계수 비교

그림 6은 태양광 어레이 설치 시 패널의 경사각에 따른 최대 수직력계수와 기준비교를 나타내고 있다. 그래프에서의 검은색 실선은 일본 JIS C 8955:2017의 평지붕의 어레이 설치시 단부의 태양광 패널의 수직력계수를 나타내고 있다. JIS C 8955에서는 어레이 설치시 어레이의 단부와 중앙부로 구분하며, 패널의 경사각에 따라 구분하고 있다. 하지만 본 풍동실험에서는 2열 3행 배치로써 최대 수직력계수가 나타나는 풍향각에서는 실험대상 패널은 기준상 단부에 위치하기 때문에 단부의 기준을 적용하였다. 정압의 경우 JIS C 8955에 비해 풍동실험 결과가 작게 나타나고 있으며, A에서는 최대 48%, B에서는 최대 66%, C에서는 최대 49% 작게 나오고 있다. 부압의 경우는 C 위치의 15.45도 경사각에서 기준값과 유사하게 나오고 있으나 그 이외에는 기준값보다 작게 나타나며, A에서는 최대 48%, B에서는 최대 43%, C에서는 최대 40% 작게 나타나고 있었다.

태양광 패널은 모든 위치에서 경사각이 증가함에 따라 계수값이 절대값 기준으로 증가하고 있어 기준과 유사한 경향성을 나타내고 있으나 정압과 부압 모두 기준값보다 평균 40%정도 작게 나타나고 있었다.



(a) 정압



(b) 부압

그림 6. 태양광 패널의 경사각에 따른 최대 수직력계수의 기준비교(JIS C 8955:2017)

### 4. 결론

평지붕 건물의 옥상층에 태양광 어레이 설치 시 위치별 태양광 패널에 작용하는 풍력계수 분포 특성을 분석하기 위해 풍동실험을 수행하였으며 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 태양광이 어레이로 설치된 경우 인접한 패널의 영향을 받게 되며 이에 따라 분포특성이 달라지는 것을 알 수 있었다. 항력계수는 전체적으로 0-90도는 인근에 위치한 패널에 의해 바람의 차폐 효과로 인하여 계수값이 낮게 나타나며 180도 이후부터 차폐효과가 적어지며 점점 항력계수가 부압으로 작용하면서 원추형화가 발생하는 315도 근처에서 정압이 크게 작용하고 있다. 항력계수는 전체적으로 원추형화가 발생하는 315도 근처에서 높은 정압을 나타내며, 양력계수는 항력계수와 반대의 경향을 나타내고 있다. 이에 따라 수직력계수는 225도 인근에서 높은 부압이 나타나며, 315도에서는 높은 정압이 작용하고 있는 것을 알 수 있다.

2) 풍동실험 결과를 통한 어레이 위치별 패널의 수직력계수(Normal force)의 정압과 부압의 최대값을 일본의 JIS C 8955:2017 기준상 평지붕에 어레이 설치시 단부의 태양광 패널의 수직력계수와 비교하였다. 경사각이 증가함에 따라 계수값이 절대값 기준으로 증가하고 있어 기준과 유사한 경향성을 나타내고 있으나 정압과 부압 모두 기준값보다 평균 약 40% 작게 나타나고 있었다.

### 참고문헌

- Gregory A, K., Steve F. & Murray J. M. (2012). Aerodynamic mechanisms for wind loads on tilted, roof-mounted, solar arrays, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 111, 40-52.
- Jinxin, C., Akihito, Y., Proshit Kumar, S. & Yukio, T. (2013). Wind loading characteristics of solar arrays mounted on flat roofs, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 123, 214-225.
- Japanese Standards Association, JIS C 8955, 2017
- Qiong, Z., Chao, W., Xuan, Z., Ming, S., Yulong, Z., Yichao, L. & Haoyu, T. (2021). Experimental study on wind tunnel force measurement of flat roof Trough Condenser(FRTC), *Solar Energy*, 224, 1302-1312.
- You, J.Y., Bang, W. & You, K.P. (2021). Wind coefficient distribution by location of array-placed Photovoltaic panel installed on the ground, *journal of the regional association of architectural institute of korea*, 23(2), 149-157.