

태양열 집열판에 작용하는 풍압계수 분포 특성

Characteristics of Wind Pressure Distributions Acting on Solar Collector Plate

유 기 표* 김 영 문** 유 장 열***
You, Ki-Pyo Kim, Young-Moon You, Jang-Youl

Abstract

The exhaustion and appreciation of existing fossil energy coupled with the increased effects of environmental pollution have caused the demand on solar system to increase. Equipment used in the collection of solar energy are faced with enough challenges. Cases of solar collectors being damaged by strong wind such as typhoon are existent. Although the design of solar collectors should consider wind load in structure design, there is little information on this subject. This can be attributed to the lack of many studies on this subject. This paper attempted to bridge this gap by identifying the number of flat-plate solar collectors. The characteristics of wind pressure coefficients acting on flat-plate solar collectors which are most widely used were investigated for various wind direction. Findings from this study found that the location where the maximum wind pressure coefficient occurred in the solar collector was the edge of the collector. Regarding the characteristics according to the number of collectors, the paper found that downward wind pressure coefficient of the lower edge of the collector was higher than the upward wind pressure coefficient of the upper edge of the collector in the basic module (1 piece). However, as the number of collectors increases, the upward wind pressure coefficient of the upper edge become higher than the downward wind pressure coefficient of the lower edge. Finally yet important, it was found that the location of the maximum wind pressure coefficient was changed according to the number of solar collectors.

Keywords : Solar Collector, Wind Pressure Coefficient, Downward, Upward, Maximum Wind Pressure Coefficient

1. 서 론

태양광 집열판은 태양 일사를 효과적으로 수집, 이용하기 위하여 설치하는 시설물이다. 현재 많은 단독주택이나 고층건물, 발전소 등 여러 분야에서 사용되어지고 있다. 1988년부터 대체에너지 개발 촉진법에 따라 정부차원에서 기술개발이 시작되었으며 요소기술개발과 시스템 통합 및 최적화 기술

개발, 보급형 zero net energy 태양광 건물 개발에 따라 대체에너지원으로 사용되고 있다. 이로 인해 국내 태양광 시스템에 대한 지원과 보급이 확대되고 있다. 그러나 건물지붕에 설치되는 태양광 집열판의 경우는 강풍에 의해 파괴되는 사례들이 빈번히 발생되고 있다. 특히, 집열판자체의 파괴와 지붕과 집열판의 연결부에서의 파괴가 주로 발생하고 있다. 이러한 태양광 집열판주변의 파괴는 집열판 작용하는 정확한 풍하중 평가가 이루어지지 않기 때문이다¹⁾²⁾³⁾. 사진 1은 국내외에서 발생한 강풍에 의해 집열판이 파손된 예를 보여주고 있다. 사진 1(a)는 2007년 태풍 나리(최고풍속 48m/s), 사진1(b)는 2010년 태풍 곤파스(최소풍속 40m/s), 사진 1(c)는 국외(타이완)사례로 2005년 태풍의 사례들이다. 모두가 건물의 옥상에 설치된 집열판들의 파손들이다. 특히, 국내에서는 태양광 집열판의 설치가 용의

* 전북대학교 건축공학과 부교수
Associate Professor, Architectural Engineering,
Chonbuk National University. Ph.D.
Long-span Steel Frame System Research Center
Tel: 063-270-4057 Fax: 063-270-2285
E-mail : youkp@jbnu.ac.kr
** 전북대학교 건축공학과 교수
Professor, Architectural Engineering,
Chonbuk National University. Ph.D.
*** 전북대학교 KOCED 풍동센터 책임연구원
Senior Researcher, KOCED Wind Tunnel Center,
Chonbuk National University. Ph.D.

한 저층건물들이 많은 중소도시이나 해안가 등에 많이 설치되어 있어 태풍이나 강풍 발생 시에 많은 피해⁴⁵⁾가 예상되고 있지만 아직도 정확한 태양광 집열판에 대한 풍하중 기준이 마련되어 있지 않은 상태이다. 따라서 본 논문에서는 태양광 시스템에 가장 많 사용되고 있는 평판형 집열판 개수와 풍향 각 변화에 따른 태양열 집열판의 풍압계수분포 특성을 알아보려고 한다.



(a) Typhoon "Nari" by 2007



(b) Typhoon "Kompasu" by 2010



(c) Foreign country(Taiwan) by 2005

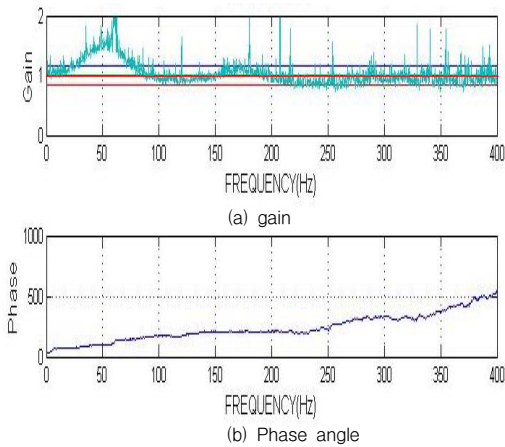
<Photo. 1> The typhoon damage of solar collector plate

2. 실험모형

본 논문에 사용된 직사각형 태양광 집열판의 크기는 현재 풍력발전시설(기본모듈(1000mm×2000mm))에서 사용되고 있는 실물크기를 기준으로 하여 제작하였다. 집열판 실험모형에 대한 스케일은 1/15이며 아크릴을 사용하여 제작 하였다. 실험에 사용된 집열판의 크기와 모형의 제원은 표 1과 같다. 집열판의 풍압력을 측정하기 위한 측압공은 모형 전체에 일정한 간격으로 설치를 하였다. 본 논문의의 풍압실험에 사용된 튜브의 길이 120cm이며 튜브의 특정위치에 저항관(restrictor)을 이용하여 풍압력 신호를 보정하였다.⁶⁾⁷⁾ 그림 1은 풍압실험에서 사용될 튜브길이 120cm에 대한 계인과 위상각에 대한 압력전달특성에 대한 저항관의 보정효과를 나타내고 있다. 계인에서 파랑색 신호는 튜브에서 발생하는 저항관이 설치되기 전의 튜브에 의한 풍압신호 50Hz부근에서 공진형상을 나타내고 있으며, 저항관 설치 후 보정된 신호인 빨간색 신호는 모든 해석 주파수대에서 일정한 값을 하고 있었다. 튜브관에 대한 풍압신호의 보정이 되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

<Table 1> Specification of model unit : mm

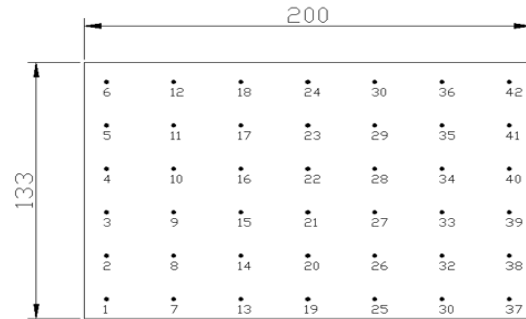
	Standard	Model	Scale
Section (mm ²)	3000*2000	200*133	1/15
Thickness (mm)	50	3	
Vertical array Distance (mm)	50	0	
Height (mm)	1155	77	
Inclination (°)	30	30	



<Fig. 1> Gain and phase angle for the tube used experiment

그리고 태양광 집열판의 경사각은 계절과 지역 등에 따라 일사량데이터를 근거로 한 2008년 대한 설비공학회에서 발표되어진 “지역별 일사량 및 집열판 경사각의 영향”⁸⁾에 근거하면 우리나라의 경우는 정남이 유리하고 여름의 최적 경사각은 7° ~ 8°, 겨울의 최적 경사각은 56° ~ 58°, 연간 최적 경사각은 29° ~ 32° 로 제안을 하고 있다. 본 논문에서는 기본 경사각을 30° 로 하여 실험을 실시하였다. 집열판의 배치는 기본모형을 기준으로 하여 단독(측압공 42개), 2개(측압공 84개), 3개(측압공 126개)를 수평으로 배치하여 풍압계수를 알아보았다. 그림2는 단독배치 집열판에 설치된 측압공의 위치를 나타내고 있다. 태양광 집열판의 풍하중을 평가하기 위해서 내압과 외압을 측정하여 최대/최소 풍압계수는 식(1)-식(2)을 이용하였고 전체 풍압계수는 식(3)-식(4)를 이용하여 구하였다. 풍압계에서 구한 데이터에 대한 이동평균시간은 실시간 1초 평균시간을 사용하였다. 오픈형태의 구조물에 대한 풍압계수를 구하기 위해서는 구조물의 아래부분과 위부분에 대한 풍압계수를 동시에 구해야 풍압계수를 평가해야 한다. 그러나 모형제작상의 어려움등으로 인해 아래부분과 위부분의 별도의 모형을 제작한후 풍동실험을 실시한다. 태양열판의 아래부분과 위부분에 대한 풍압계수를 구한후 전체풍압계수를 구하게 된다. 그림3은 전체풍압계수의 개념도를 나타내고 있다. 태양열 아래면과 위면에서 동시에 작용하는 풍압력에 대해서 하향은 태양열 집열판을 아래로 내려누는

힘을 의미하고 상향은 들어오리는 힘을 의미한다. 사진 2-사진3은 풍동내에 설치된 내압 및 외압모형의 배치별 모습을 나타내고 있다.



<Fig. 2> The position of pressure taps of solar collector plate

$$\text{최대 피크풍압계수} : C_{P_{\max}} = P_{\max} / q_H \quad (1)$$

$$\text{최소 피크풍압계수} : C_{P_{\min}} = P_{\min} / q_H \quad (2)$$

여기서 : P_{\max} : 풍압력의 최대치

P_{\min} : 풍압력의 최소치

$$q_H : \left(= \frac{1}{2} \rho V_H^2 \right) : \text{설계속도압}$$

ρ = 공기밀도(0.125kg/s²/m⁴)

V_H = 모형높이에서의 풍속

$$\text{하향전체풍압계수} = C_{P_{(ext)Max}} - C_{P_{(int)Min}} \quad (3)$$

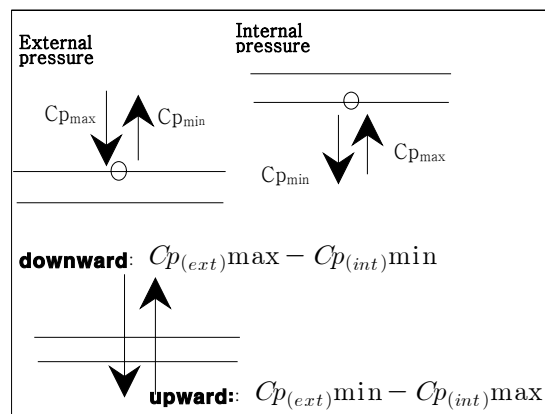
$$\text{상향전체풍압계수} = C_{P_{(ext)Min}} - C_{P_{(int)Max}} \quad (4)$$

여기서 $C_{P_{(ext)Max}}$: 외압의 최대 풍압계수

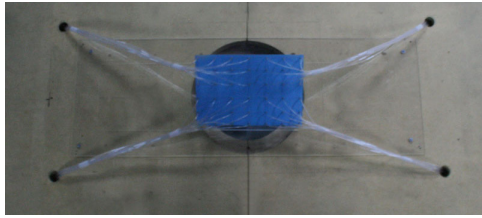
$C_{P_{(ext)Min}}$: 외압의 최소 풍압계수

$C_{P_{(int)Max}}$: 내압의 최대 풍압계수

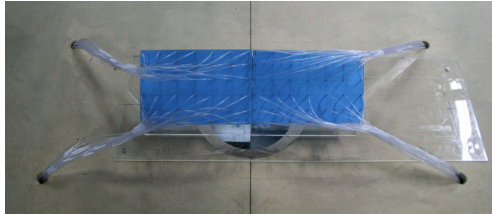
$C_{P_{(int)Min}}$: 내압의 최소 풍압계수



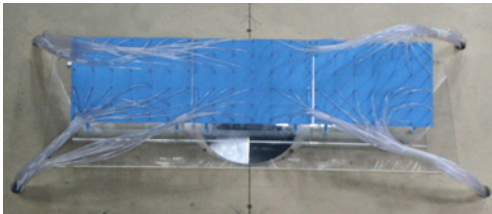
<Fig. 3> The directions of upward and downward wind pressure to the membrane structure



(a) Single

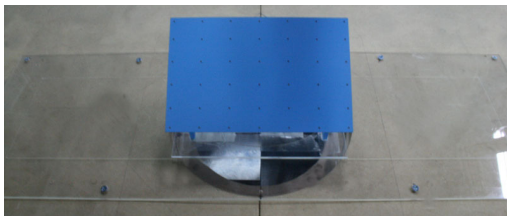


(b) Double

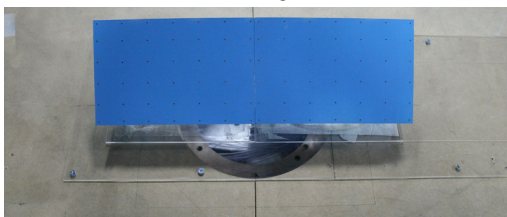


(c) Triple

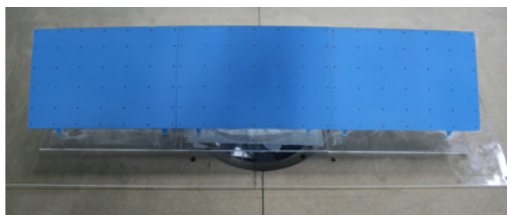
<Photo. 2> Internal pressure models within the wind tunnel



(a) Single



(b) Double



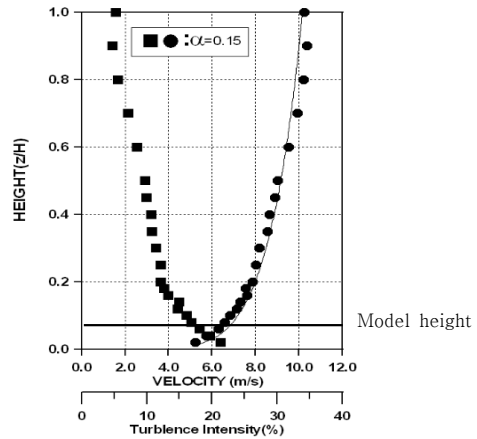
(c) Triple

<Photo. 3> External pressure models within the wind tunnel

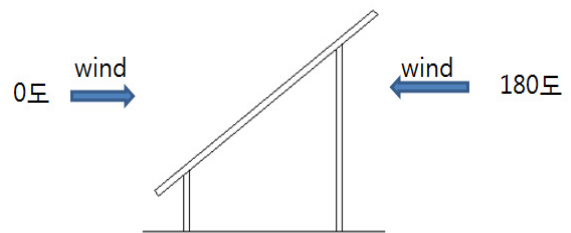
3. 풍동실험

본 풍동실험은 경계층 풍동에서 실시되었고, 풍동의 측정부의 제원은 실험부 길이 12m, 폭 2.1m, 높이 1.7m로 풍동실험장치의 실험풍속의 범위는 0.5-10m/s이다.

국내의 풍하중기준에서 제시하고 있는 교외지역의 지수계수 $\alpha=0.15$ (지표면 조도 C)를 사용하였다. 그림 4는 풍동 내 기류상태에 따른 평균풍속과 난류강도의 수직분포를 나타내고 있다. 실험풍향각 0° 는 태양열집열판이 앞면을 중심으로 $45^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ 에서 실험을 실시하였다. 그림 5는 실험 풍향각을 나타내고 있다.



<Fig. 4> The vertical distribution of the mean wind speed and turbulence intensity($\alpha=0.15$)

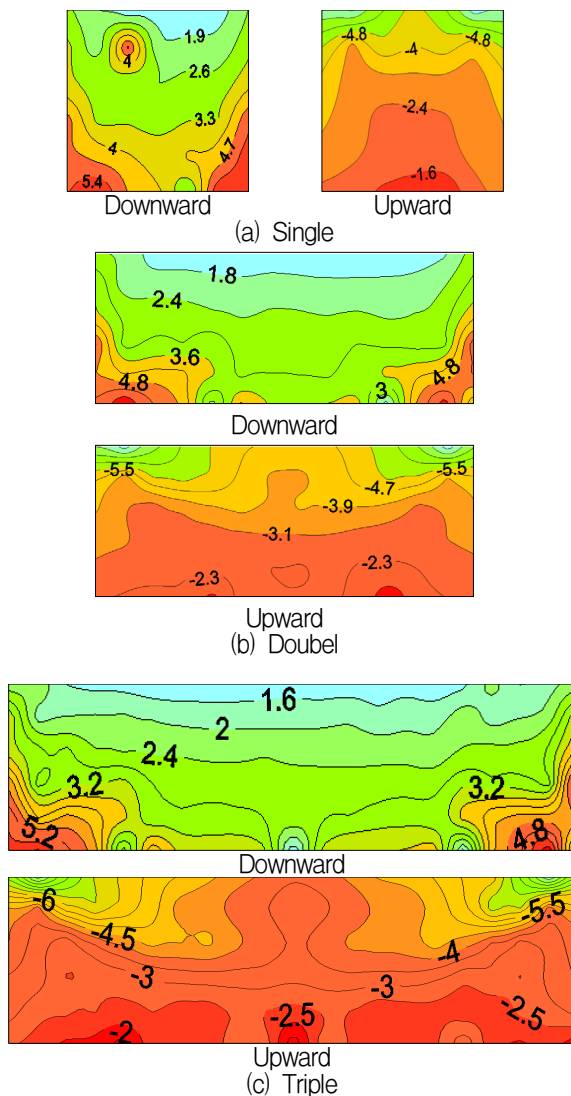


<Fig. 5> Wind direction angle of model

4. 실험결과 및 분석

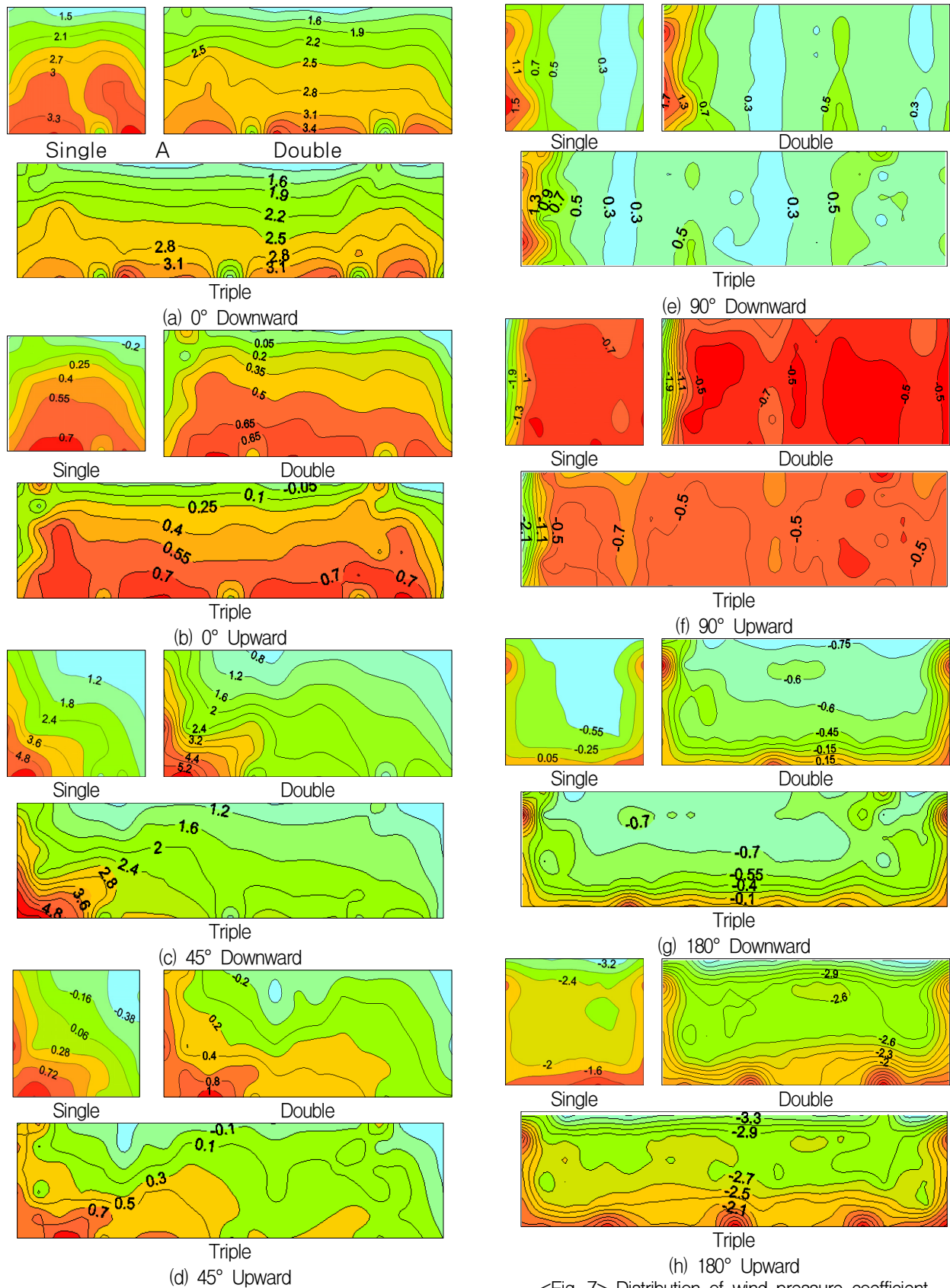
그림 6은 풍향각 변화에 따른 집열판에 작용하는 전체풍압계수의 분포를 나타내고 있다. 전체풍압계수는 실험 풍향각($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 180^\circ$)별 측압공별

의 최대/최소 풍압 계수에서 최대/최소를 구하여 하향과 상향풍압계수를 구하였다. 집열판의 테두리 코너 주변에서 큰 풍압계수가 측정되고 있었다. 집열판이 1개일 때는 하부 테두리의 하향(내려 누르는 힘) 풍압계수가 상부 테두리 상향(들어 올리는 힘) 풍압계수보다 크게 분포하고 있었지만 집열판의 개수가 증가하면 상향풍압계수가 하향풍압계수보다 크게 나타나고 있었다. 실제로 지붕에 건설되는 집열판의 경우 기본모듈을 여러개 설치하면서 집열판의 경사각을 유지하기 위한 고정 틀을 이용하기 때문에 집열판의 풍하중을 정확하게 파악해야 강풍에 대한 피해를 예방할 수 있다.



<Fig. 6> Distribution of wind pressure coefficient

그림 7은 풍향각별 지붕의 풍압계수분포를 나타내고 있다. 지붕의 형태와 위치에 집열판에 다양한 주풍향각이 작용하기 때문에 풍향각 형태에 따른 풍압계수를 평가해 보았다. 풍향각의 변화에 따라 집열판에 작용하는 풍압계수의 형태는 다양하게 나타나고 있었다. 풍향각이 0°, 45° 일 경우에는 하향풍압계수가 집열판 아래모서리에서 가장 큰 풍압계수가 나타나고 있었지만 집열판의 측면에서 바람이 불러오는 풍향각이 90° 가 되면 상향풍압계수와 하향 풍압계수가 거의 동일하게 나타나고 있었다. 풍향각이 180° 로 바뀌면 풍향각 0° 와 반대로 상향 풍압계수분포가 하향풍압계수분포보다 큰 풍압계수를 나타내고 있었다. 이로부터 지붕의 설치위치와 지역의 주풍향각을 고려하여 집열판의 위치를 선정되어야 한다고 판단이 된다. 풍향각 변화와 집열판 개수의 영향은 전체적으로 개수가 증가하면 풍압계수는 증가하고 있었지만 증가의 폭은 10%미만으로 크게 나타나지는 않았다. 최대풍압계수의 위치별 특징에서는 집열판의 모서리부분에서 큰 풍압계수를 나타나고 있었지만 풍향각 변화에 따라 위치가 바뀌고 있었다. 풍향각 0° 에서는 집열판 아래쪽부분, 풍향각 45° 에서는 모서리 끝부분, 풍향각 90° 일 경우 측면 모서리, 풍향각 180° 에서는 모서리 위부분에서 나타나고 있었다. 특히 풍향각 45° 의 모서리 끝부분에서 발생하는 풍압계수의 크기는 다른 풍향각과 비교하여 큰 값으로 이러한 모서리부분의 풍압계수는 일반적으로 저층건물의 모서리방향(45°)에 작용하는 바람에 의해 지붕에서 발생하는 원추형 와에 의한 것으로 판단이 된다. 그리고 90° 일 때 집열판의 측면에서 발생하는 최대풍압계수는 45° 와 비교하여 60%정도 작게 나타나고 있었다. 집열판의 측면 모서리에 의한 바람의 재부착으로 인한 풍압계수 값의 감소에 원인이 있는 것으로 판단이 된다.



<Fig. 7> Distribution of wind pressure coefficient according to the wind direction angle

5. 결 론

태양광 집열판의 개수에 따른 풍압계수분포에 대한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 태양광 집열판의 최대풍압계수가 발생하는 위치는 테두리 모서리에서 발생하고 있었다.
- (2) 집열판의 개수에 따른 특징은 기본모듈(1개)일 때는 집열판 하부테두리의 하향(내려 누르는 힘)풍압계수가 상부테두리의 상향(들어 올리는 힘)풍압계수보다 큰 풍압계수가 분포 있었다. 그러나 집열판 개수가 증가를 하면 상부 테두리 코너의 상향(들어 올리는힘) 풍압계수 분포가 하향(내려 누르는힘)보다 크게 나타나고 있었다. 집열판의 개수에 따라 최대풍압계수의 위치가 다르게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있었다.

6. 유기표,황진택,이후룡,윤현재,김영문, “압력측정을 위한 튜브시스템에서 튜브탭관의 특성”, 대한건축학회 논문집,제25권 제4호,pp117-124, 2009
7. 김영문 역, 실무자를 위한 건축물 풍동실험 가이드북, 한국풍공학회, 1998
8. 김영일, 김정민, “지역별 일사량 및 집열판 경사각의 영향”, 설비저널, 제37권 제12호, 2008

(접 수 일 자 : 2013년 02월 19일)

(심사완료일자 : 2013년 05월 06일)

(게재확정일자 : 2013년 05월 22일)

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No.2011-0028567) 연구지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Chung K, Chang K, Liu Y, Reduction of wind uplift of a solar collector model, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic, 96, pp.1294 ~ 1306, 2008
2. Radu A., Axinte E. Wind Forces on Structures Supporting Solar Collectors. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic, 32, pp.93 ~ 100,1989
3. Wood G.S. et al., Wind Loads on Industrial Solar Panel Arrays and Supportinf Roof Structures. Wind and Structures 4, pp.481 ~ 494,2001
4. 백선영, “아치형 하우스의 풍압분포에 대한 연구”, 한국공간구조공학회 논문집, 제6권제1호, pp123-128,2009
5. 조슬기, “풍동실험을 통한 저층형 농촌시설물 풍압분포 분석”, 한국공간구조학회 논문집, 제6권 제1호, pp157-160, 2009