

편지붕형 지붕면에 작용하는 풍압계수 특성분석

Analysis of the Characteristics of Wind Pressure Coefficient Working on Monosloped Roof Surface

유 기 표*
You, Ki-Pyo

조 슬 기**
Cho, Seul-Gi

김 영 문***
Kim, Young-Moon

요 약

매년 발생하는 태풍이나 강풍에 의해 저층건물의 피해가 증가하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 편지붕에 대한 높이변화에 따른 위치별 풍압계수 분포와 하중부담면적 변화에 따른 풍압계수의 평가를 통하여 현재 풍하중기준과 비교해보고자 한다. 편지붕의 위치별 특징을 알아보기 위해 6개 영역으로 나누어서 분석을 하였으며 지붕에서 각도가 높은(high) 모서리(HC)가 낮은(low) 모서리(LC)보다 25%정도 크게 나타나고 있었다. AIK 하중기준과 위치별 피크 외압계수 분포가 동일한 양상으로 나타나고 있지만 실험결과 HC 영역의 경우 하중기준보다 40%정도 작은 값을, LC영역의 경우 하중기준보다 37%정도 큰 값을 나타내고 있었다.

ABSTRACT

Damage on low-rise buildings caused by typhoons and storms is increasing every year. Thus, this study examined the distribution of wind pressure coefficient at each position according to the height of monosloped roof, and measured wind pressure coefficient according to tributary area and compared it with the current wind load standard. We analyzed six areas in order to analyze characteristics at each position of a half span roof, and found that the wind pressure coefficient was around 25% higher at the high corner (HC) than at the low corner (LC). The distribution pattern of peak pressure coefficient at each position was the same as the AIK load standard, but in the results of our experiment, wind pressure was around 40% lower than the load standard at HC and around 37% higher than the load standard at LC.

키워드: 편지붕, 하중부담면적, 피크외압계수, 하중기준

Keywords: Monosloped roof, Tributary area, Peak pressure coefficients, Wind load

1. 서론

매년 발생하는 태풍에 의한 시설물의 피해는 증가하고 있는 상태이다. 이러한 태풍에 의한 피해가 고층 건물뿐만 아니라 저층건물에서도 증가하고 있는 실정이다. 그 중에서 경기장과 체육관의 지붕이 파손되는 등의 피해가 많이 발생하고 있다. 그러나 국내에서는 고층건물에 비해 저층건물에 대한 내풍안전성 평

가를 위한 연구가 미미한 상태이다. 1965년 Jensen과 Frank¹⁾은 편지붕에 대해 지붕경사각과 폭/길이/높이의 변화에 따른 평균 풍압계수 실험을 실시하였다. 교외지역의 편지붕 경사각이 15°일 때 지붕의 모서리에서 최대 평균풍압계수가 발생하는 것을 풍동실험을 통하여 알아냈다. 그러나 최대/최소 풍압계수에 대한 측정은 하지 않았다. 1985년 Surry and Stathopoulos²⁾은 모형스케일이 1/500인 편지붕의 각도에 따른 부압에 대한 최대 풍압계수를 구하기 위해 7개 풍향각(0°, 40°, 60°, 90°, 120°, 140°, 180°)에 대해서 풍동실험을 실시하였다. 실험결과 지붕경사각이 18.5°일 때 편지붕의 최대 부압 풍압계수와 비교해서 85% 크게 나타나고 있었다. 그리고 1985년

* 교신저자, 정회원 · 전북대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

Tel: 063-270-4057 Fax:063-270-2285
E-mail : youkp@chonbuk.ac.kr

** 학생회원 · 전북대학교 건축공학과 석사과정

*** 정회원 · 전북전북대학교 건축공학과 교수, 공학박사

Stathopoulos는 Mohammadian³⁾과 공동으로 이전 모형 스케일 1/500에서 1/200에 대한 편지붕 풍동실험을 8개 풍향각에서 실시하였다. 지붕의 경사각이 4.8°일 때 건물의 높이와 폭의 변화에 따른 편지붕의 위치별 풍압계수를 구하였다. 이 때 국부풍압계수와 면적평균풍압계수를 구하여 비교 하였다. 지붕경사각이 편지붕의 위치별로 최대부압계수와 평균풍압계수에 영향을 주고 있는 것으로 나타나고 있었다. 일반적으로 풍압계수를 구할 때 국부 풍압계수보다 면적평균(Area-averaged)풍압계수가 적게 나타나게 된다. 1985년 Surry 등은 하중부담면적(tributary area)이 75일 때 국부와 면적평균에 대한 최대 부압계수가 40%의 차이가 나타난다고 하였다.

현재 해외에서는 박공형 지붕 등과 같은 저층건물에 대한 다양한 내풍안전성 평가를 위해 실험들을 많이 실시하며 풍하중 평가를 실시하고 있다.^{4),5),6)} 그러나 국내에서 사용되고 있는 저층건물에 대한 하중기준 평가에 대한 실험은 없는 실정이다.

이에 본 논문에서는 편지붕에 대한 높이변화에 따른 위치별 풍압계수 분포와 하중부담면적 변화에 따른 풍압계수의 평가를 통하여 기존 하중기준과 비교해보고자 한다.

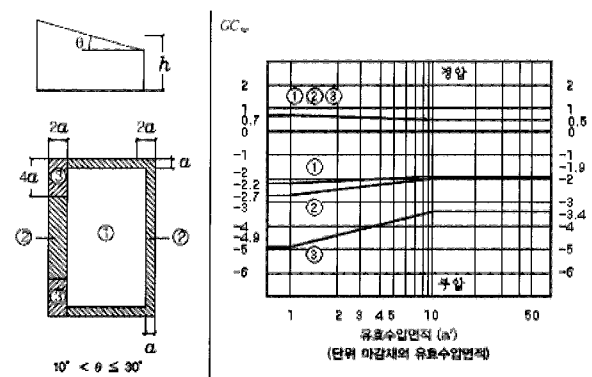
2. 풍동실험

2.1. 하중기준

현재 국내의 하중기준에서 편지붕면에 대한 최대 부압계수는 지붕각과 위치별 유효수압면적으로 나타내고 있다. 특히 지붕각이 10° 이상일 경우 최소풍압계수가 위치별로 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. <그림 1>은 2000년 제정된 풍하중기준에서 편지붕의 지붕각이 10° $\theta \le 30^\circ$ 일 때의 위치별 풍압계수 분포를 나타내고 있다.

2.2. 풍동실험

본 풍동실험은 전북대학교의 경계층 풍동에서 실시되었고, 풍동의 측정부의 제원은 실험부 길이 12m, 폭 1.5m, 높이 1.2m로 가변 풍속의 범위는 0.5~20m/s이다. 풍동실험을 위한 상사법칙에서는 기하학적 상사법칙과 운동역학적 상사법칙을 구현하게 되

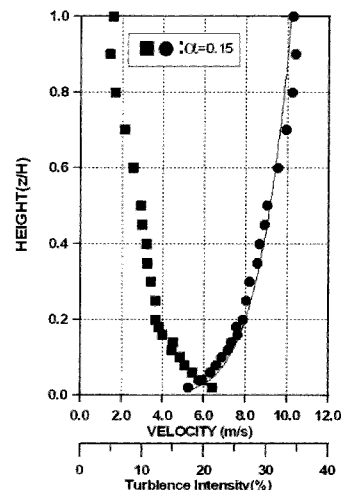


<그림 1> 편지붕의 하중기준

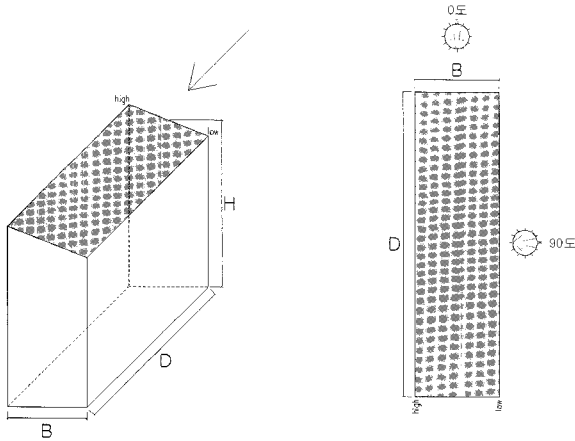
어 있다. 기하학적 상사법칙은 실험대상의 크기를 풍동실험이 가능한 모형으로 축소 하는 것이며 운동역학적 상사법칙은 건물주변의 기류특성(풍속, 난류)을 풍동 내에서 유사하게 구현하는 것이다.

풍동실험에 적용된 경계층은 국내의 하중기준에서 제시하고 있는 교외지역의 지수계수(지표면 조도 C)를 사용하였다. <그림 2>는 풍동 내 기류상태에 따른 평균풍속과 난류강도의 수직분포를 나타내고 있다. 풍동실험 풍향각은 10° 씩 36개 방향에서 실험을 실시하였다. <그림 3>은 풍동실험 풍향각을 나타내고 있다. 튜브를 이용한 변동풍압력을 측정하는 경우 튜브 내 공기의 공명현상의 영향으로 풍압력에 영향을 줄 수 있다. 이때는 튜브길이에 따른 압력전달함수를 확인한 후 제거 해주어야 한다.

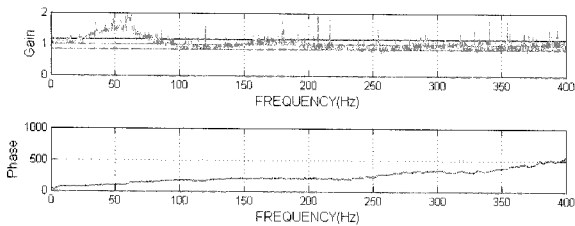
본 논문에서는 저항관(restrictor)을 이용하여 풍압력 신호를 보정하였다. <그림 4>는 실험에 사용된 튜브에 대한 계인과 위상각에 대한 압력전달특성을 나타내고 있다.



<그림 2> 평균풍속과 난류강도의 수직분포($\alpha=0.15$)



〈그림 3〉 풍동실험 풍향각



〈그림 4〉 실험에 사용한 튜브의 압력전달특성

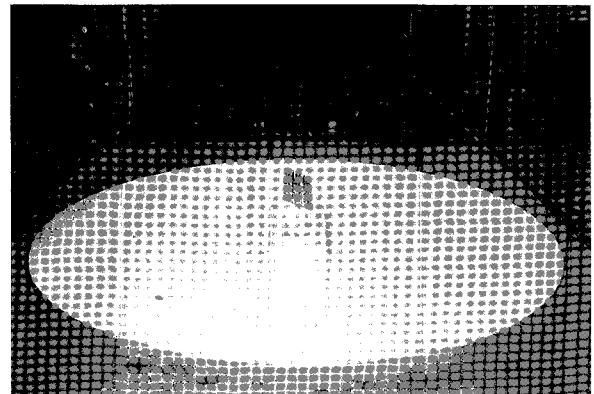
2.3. 실험모형

편지붕은 모형스케일 1/100을 사용하여 1983년 Holmes(1/200)와 1992년 Stathopolpus(1/400)보다 큰 모형으로 측정지점에 따른 풍압계수 특성을 알아보았다. 일반적으로 저층건물은 지붕경사각에 따라 풍압계수의 변화가 있는데 현재 국내의 풍하중기준에서는 편지붕의 지붕경사각(θ)을 $\theta \leq 10^\circ$, $10^\circ < \theta \leq 30^\circ$ 2개로 제안 하고 있으며 지붕경사각이 클수록 피크 외압계수가 큰 것으로 나타내고 있다. 본 논문에서의 지붕경사각 21° 는 Stathopolpus의 15° 와 Holmes의 20° 를 참고하여 결정하였다. 실험에 사용된 모형의 제원은 <표 1>과 같다. 건물의 높이 변화에 따른 풍압계수의 특성을 알아보기 위하여 실물 높이 7m와 11.6m 2개 종류에 대해서 실험을 실시하였으며, <사진 1>은 경계층 풍동 내에 설치된 모형을 나타내고 있다. 그리고 모형의 풍압계수를 측정하는 측압공의 수는 240개로 하여 기존 실험의 60개 보다 4배 이상 증가시켜 위치별 특성을 분석하였다. <그림 5>는 모형의 측압공 배치를 나타내고 있다. 그림에서 High는 편지붕의 가장 높은 높이를, Low는 낮은 높이를 의미한다. 측압공의 위치는 풍압계수가 가장 클 것으로 예상되는 모서리 부분과 하중기준 등에서 제

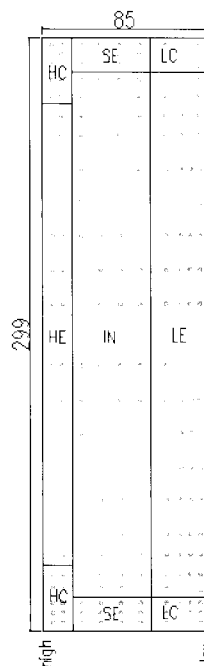
안하고 있는 가장 큰 피크 외압계수 영역(HC)에 많이 배치하였다. 그리고 유효수압면적 변화에 따른 풍압계수 분포에 대해 알아보기 위하여 하중부담면적(tributary area)에 따른 분석을 실시하였다. <그림 6>은 HC 및 LC영역에 대한 하중부담면적을 나타내고 있다. <표 2>는 풍압실험의 상사법칙을 나타내고 있다. <표 3>은 풍압실험에 사용된 풍압계의 제원을 나타내고 있다.

〈표 1〉 모형의 제원

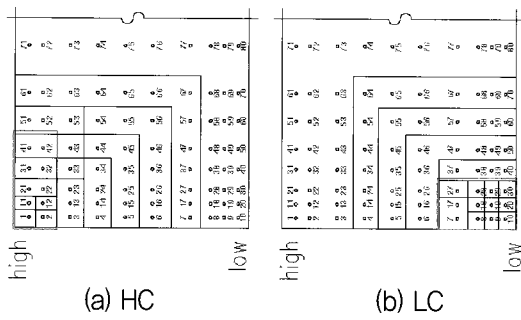
	실물(cm)	모형(cm)
높이(H)	700, 1160	7, 11.6
폭(B)	850	8.5
깊이(D)	2990	29.9



〈사진 1〉 풍동내 설치된 풍압모형



〈그림 5〉 모형내 탭의 배치도 (단위 : mm)



〈그림 6〉 HC 및 LC 영역의 하중부담면적

〈표 2〉 상사법칙과 계측데이터 측정방법

풍속스케일	1/5.7	설계풍속 40m/sec	풍동풍속 7m/sec
모형스케일	1/100		
시간스케일	1/17.54		
Sampling Frequency	100Hz (0.01sec)		

측정기기명	PSI(Model 9038)
입력범위	±254mmAg
Accuracy	+/- 0.05%

〈표 3〉 풍압계의 제원

3. 실험결과 분석

실험데이터는 풍향각 변화에 따른 풍압계수 분포와 하중부담면적법을 이용하여 최대 풍압계수가 발생하는 HC에 대한 하중기준값과의 비교를 통해 분석하였다. 그리고 풍압계수는 피크외압계수를 중심으로 해석을 실시하였다.

3.1. 풍압계수분포

위치별 풍압계수분포를 알아보기 위하여 편지봉을 6개 구역으로 나누어서 해석을 실시하였다. 〈그림 7〉과 〈그림 8〉은 지붕높이(h)에 따른 HC와 LC영역에 포함되어 있는 측압공에서 계측된 피크외압계수분포를 나타내고 있다. 풍향각 변화 및 지붕 높이에 따른 변화를 알아보았다. 풍향각 변화에서는, HC영역에서 풍향각이 230° 일 때 가장 크게 나타나고 있었다. 풍향각 230°는 HC영역에서 지붕모서리부분에 해당되며 최대 피크외압계수가 나타나고 있는 램 21

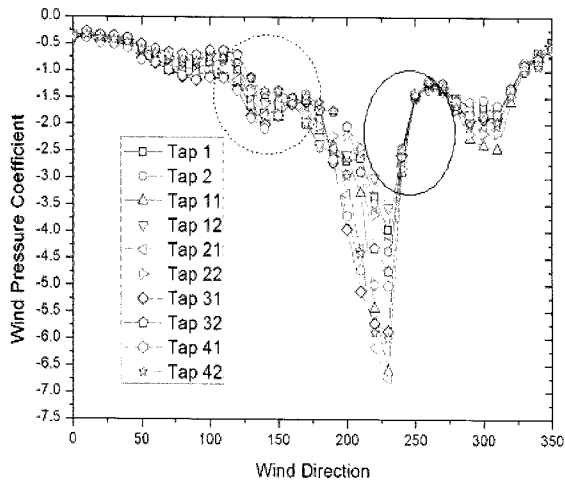
번도 모서리부분에 위치하고 있다. LC영역에서도 모서리 풍향각인 160° 부근에서 최대 피크외압계수가 나타나고 있었다. 두 영역에서의 최대 피크외압계수의 크기는 HC영역이 -6.75로 LC영역의 -3.75보다 40%정도 크게 나타나고 있었다. 풍향각 변화에 따른 풍압계수 분포는 HC와 LC부분 모두 최대값을 중심으로 변화에 차이가 있었다. LC의 경우, 풍향각 100°~130° 부근(그래프의 점선 원형)에서 변화의 폭이 HC영역보다 크게 나타나고 있었다. 그리고 HC영역의 최대 피크외압계수가 나타나는 풍향각 210° 이후(그래프 실선 원형)에서는 갑자기 풍압계수가 증가하지만 LC영역에서는 최대 피크외압계수가 나타나는 풍향각 150° 이후의 변화율이 HC영역보다 적게 나타나고 있었다. 이러한 변화의 차이는 편지봉의 높이에 따른 영향으로 판단된다. HC영역은 높은 지붕높이 때문에 최대 풍향각 이후 대부분의 바람이 지붕위에서 아래로 불어오고 지붕 윗부분 모서리의 박리에 의한 와의 영향이 LC영역의 낮은 높이에 따른 측면에서의 와보다 크기 때문으로 판단된다.

편지봉의 지붕높이에 따른 최대 피크외압계수 값의 분포는 영역에 따라 다르게 나타나고 있었다. HC영역에서는 낮은 지붕높이인 7cm 경우가 -6.75로 11.6cm의 -5.75보다 최대 15%정도 크게 나타나고 있었다. 그러나 LC영역에서는 지붕높이 11.6cm에서 -4.25로 7cm의 -3.75보다 최대 10%정도 크게 나타나고 있었다.

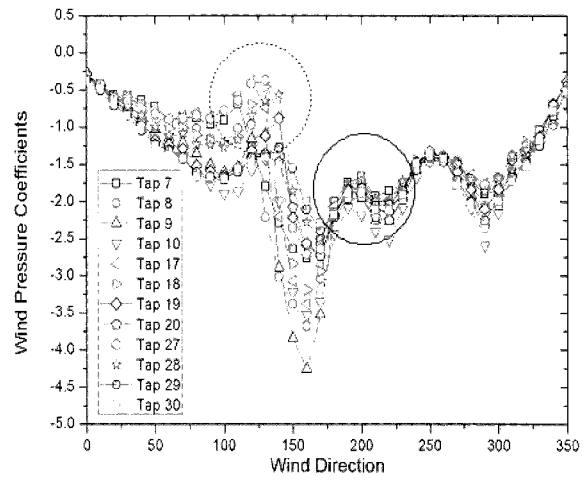
변동풍압분포는 〈그림 9〉 및 〈그림 10〉과 같다. 변동풍압계수와 피크외압계수의 상관관계에 대해서 알아보았다. 최대 피크외압계수가 발생한 위치에서 최대 변동풍압계수가 발생하고 있어 서로의 상관관계가 큰 것을 알 수 있었다. 그리고 최대값에 대한 풍향각에 대해서도 동일하게 분포하고 있었다. 높이변화에 따른 최대 변동풍압계수의 분포도 지붕높이 7cm는 HC영역에서, 11.6cm는 LC영역에서 동일하게 나타나고 있어 변동풍압계수 분포와 피크외압계수가 매우 큰 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

3.2. 지붕 영역별 풍압계수분포

편지봉에 대한 영역별 풍압계수의 분포특성을 알아보기 위하여 지붕면을 6개 영역으로 나누어서 해

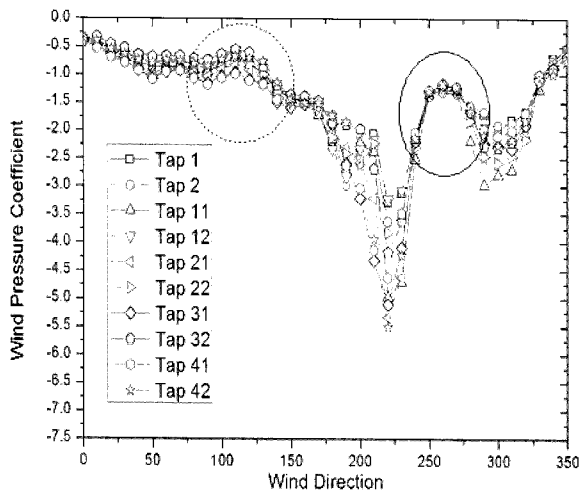


(a) h=7cm

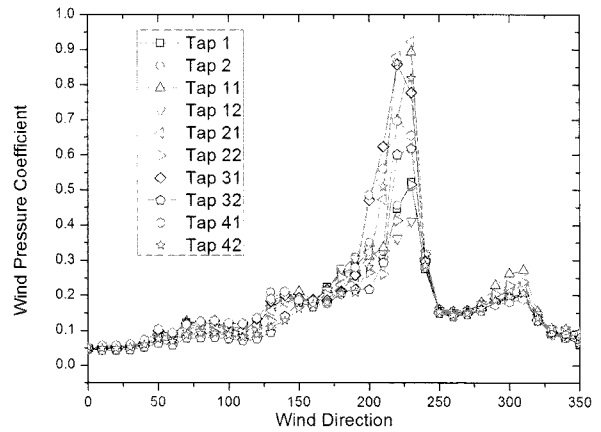


(b) h=11.6cm

<그림 8> 높이별 피크외압계수(LC영역)

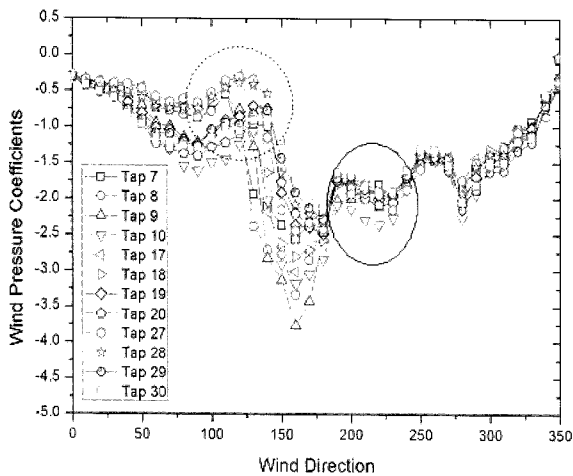


(b) h=11.6cm

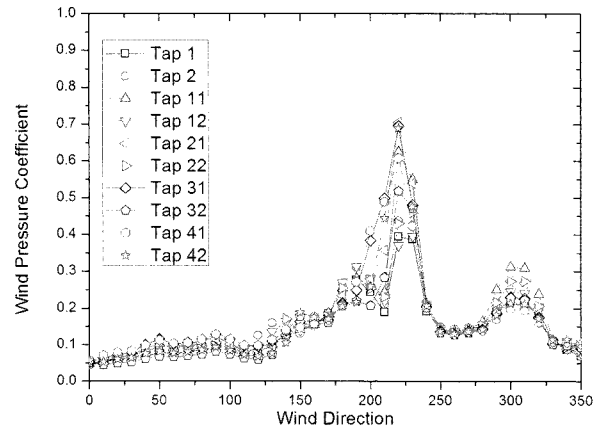


(a) h=7cm

<그림 7> 높이별 피크외압계수(HC영역)

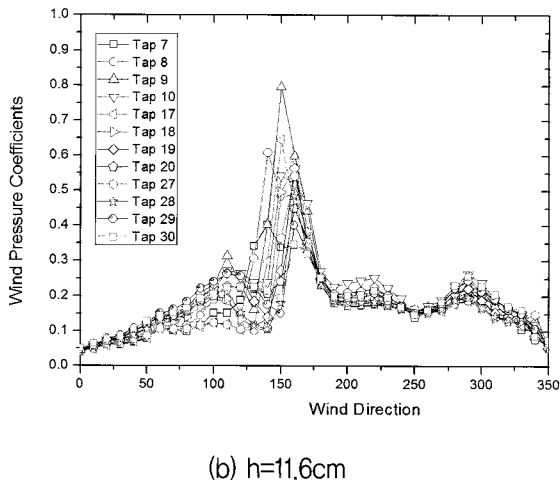
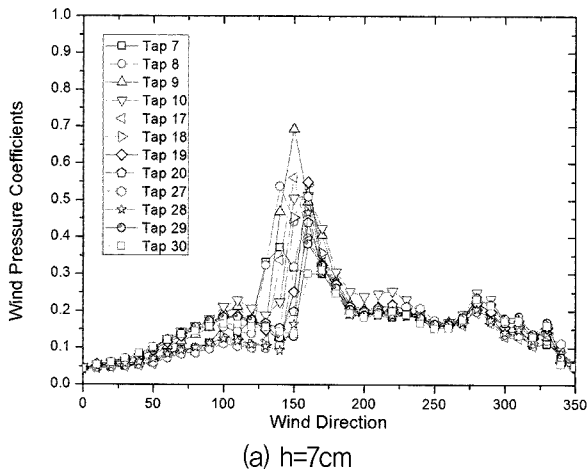


(a) h=7cm



(b) h=11.6cm

<그림 9> 높이별 변동풍압계수(HC영역)



〈그림 10〉 높이별 변동풍압계수(LC영역)

석 하였다. 해석은 각 영역에 속한 측압공에서 최대 값을 중심으로 풍압계수를 분석하였다. 〈표 4〉와 〈표 5〉는 지붕의 높이와 영역별 풍압계수분포를 나타내고 있다.

영역별로 풍압계수의 분포가 다양하게 나타나고 있었다. 지붕면의 기울기가 가장 큰 부분의 모서리 영역인 HC와 HE부분에서 최대 부압계수가 나타나고 있었다. 그리고 지붕면의 기울기가 가장 작은 LE, LC부분 중 LE부분에서 부압계수가 가장 작게 나타나고 있었다. 지붕면의 모서리부분에서 최대 부압계수가 발생하지만 지붕면의 기울기가 10° 이상일 경우 지붕면의 기울기가 큰 부분인 HE부분이 SE와 LC보다 피크외압계수(min)에서 30%정도 큰 부압을 나타내고 있었다. 그러나 같은 높이의 모서리와 내부와의 부압의 차이는 40%이상 크게 나타나고 있어 모서리 부분에서 큰 부압이 나타나는 것을 알 수 있었다. 지붕높이에 따른 풍압계수의 분포는 영역별로 다르게

나타나고 있었다. 지붕면의 기울기가 가장 큰 High 부분(HC, HE)은 지붕높이가 낮은 7cm에서 부압이 크게 나타나고 있지만 기울기가 낮은 Low 부분(LC, LE)에서는 11.6cm에서 큰 부압이 나타나고 있었다. 이러한 부압분포의 특성은 모든 종류의 풍압계수(mean 등)에서 대체로 동일하게 나타나고 있었다.

3.3. 전체 지붕면의 풍압계수 특성

편지붕의 전체지붕면에 작용하는 풍압계수의 피크외압계수와 변동풍압계수의 분포는 〈그림 11〉 및 〈그림 12〉와 같다. 지붕면 전체에 분포된 피크외압계수는 지붕면의 중앙을 중심으로 좌우 대칭을 이루면서 분포를 하고 있었다. 부압의 크기는 지붕의 테두리 부분에서 나타나고 있었으며, 특히 지붕의 기울기가 높은 곳에서 크게 나타나고 있었다. 지붕면이 낮은 부분에서 중간 위치까지는 일정한 하중분포를 하고 있어 모서리 부분의 하중분포와 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

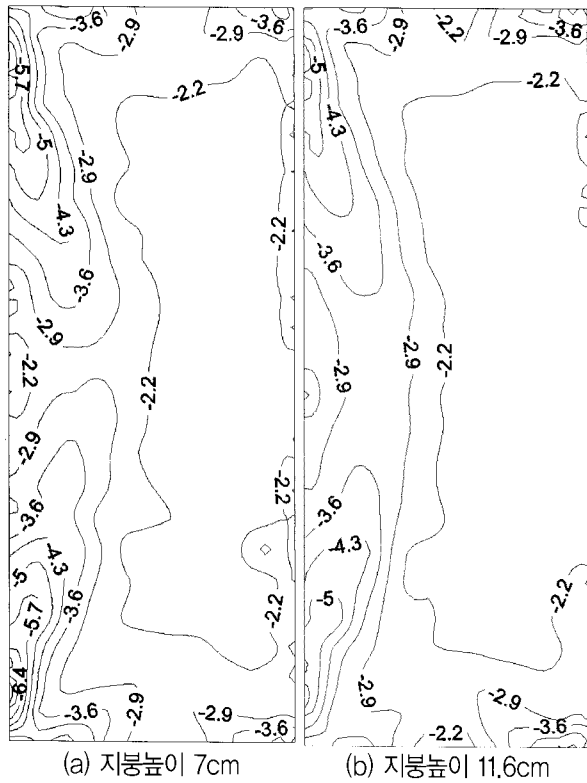
〈표 4〉 지붕높이가 7cm인 지붕면의 영역별 풍압계수 분포

Zone	mean	max	min	rms
HC (High Corner)	-3.168	-1.337	-6.74	0.923
LC (Low Corner)	-1.702	-0.745	-3.766	0.767
HE (High Edge)	-2.844	-1.224	-5.462	0.747
LE (Low Corner)	-1.223	-0.704	-2.328	0.38
SE (Sloped Edge)	-2.059	-1.046	-4.887	0.581
IN (Interior)	-2.146	-0.963	-4.317	0.725

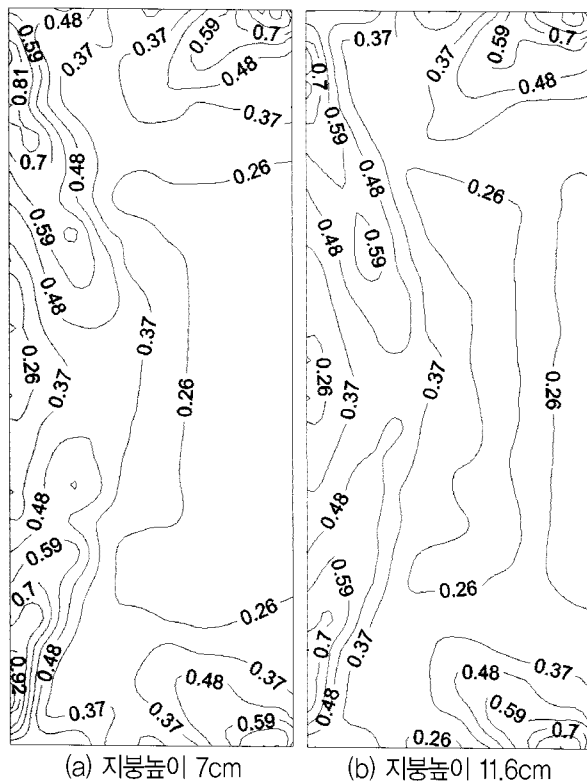
〈표 5〉 지붕높이 11.6cm인 지붕면의 영역별 풍압계수 분포

Zone	mean	max	min	rms
HC (High Corner)	-2.388	-1.066	-5.569	0.775
LC (Low Corner)	-1.934	-0.773	-4.253	0.826
HE (High Edge)	-2.395	-1.106	-4.891	0.631
LE (Low Corner)	-1.205	-0.731	-2.457	0.406
SE (Sloped Edge)	-1.701	-0.813	-4.141	0.533
IN (Interior)	-1.939	-0.837	-4.318	0.64

변동 풍압계수는 전체적으로 중앙을 중심으로 대칭분포를 하고 있었다. 지붕의 기울기가 높은 영역은 모서리 부분에서 크게 나타나고 있다가 모형의 중앙



〈그림 11〉 지붕면 전체에 작용하는 피크 외압계수 분포



〈그림 12〉 지붕면 전체에 작용하는 변동풍압계수 분포

부분으로 진행되면서 작은 변동풍압계수분포를 나타내고 있었다. 그러나 지붕 기울기가 낮은 부분은 모서리만 높은 변동풍압계수 분포를 나타내다가 중앙을 중심으로 넓은 영역에 대해서 동일한 풍압계수 분포를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있었다.

3.4. 하중기준비교

실험결과와 하중기준의 비교를 위해 하중기준은 2000년에 개정된 풍하중기준에서 제안하고 있는 편지붕의 피크 외압계수를 사용하였다.

하중기준에서 제안하고 있는 면적영역별 피크의 압계수는 하중부담면적별로 구하고 있다. 그래서 본 논문의 풍압실험결과를 하중부담면적인 1m²~37m² 범위 내에서 해석하였다. 해석에 사용된 면적은 〈그림 6〉과 같다.

면적평균 풍압계수의 시계열은 식(1)을 사용한 특정 영역안의 풍압 탭에 대한 시계열을 더하여 구하였다.

$$C_{p(area,j)} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{p(i,j)} \times A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

여기서 $C_{p(area,j)}$ =측정시간 j일 때 면적평균

풍압계수

$C_{p(i,j)}$ =측정시간 j일 때 풍압탭 i의

풍압계수

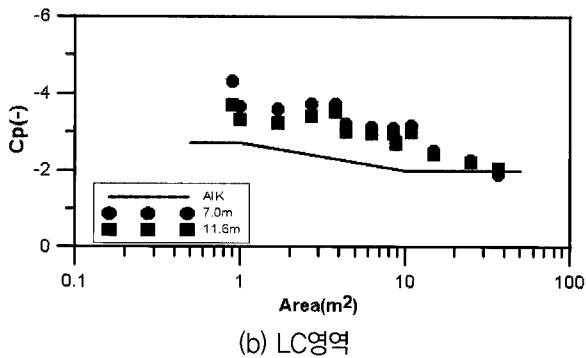
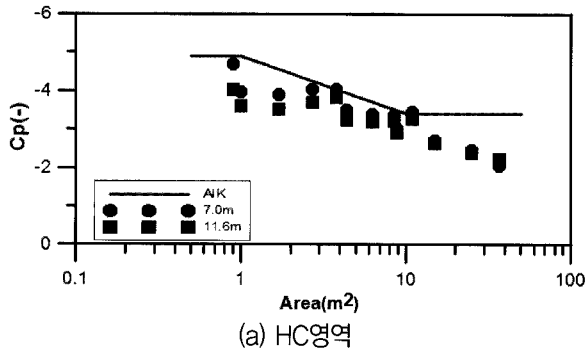
n = 특정면적안에 측압공의 수

A_i = 특정면적안의 i^{th} 탭의 하중부담면적

해석결과는 〈그림 13〉과 같다. 그림에서 실선은 AIK 하중기준에서 제안하고 있는 편지붕의 유효수압 면적에 따른 피크 외압계수를 나타내고 있으며 원형과 정사각형은 편지붕의 높이별 HC영역에서의 하중부담면적별 피크외압계수를 나타내고 있다. 전체적으로 HC영역의 경우는 하중기준보다 작게 나타나고 있었으며, LC영역은 하중기준보다 크게 나타나고 있었다. HC영역에서는 하중부담면적이 증가할수록, 특히 30~40m²에서 -2.1로 하중기준의 -3.4보다 최대 40%의 차이를 나타내고 있었다. LC영역에서는 하중부담면적이 작을 경우에 하중기준과의 차이가 크게 나타나고 있었다. 하중부담면적 0.9m²에서 실험값이

-4.3으로 하중기준의 -2.7보다 최대 37%정도 큰 부압계수를 나타내고 있었다. 하중부담면적이 클 경우에는 실험값과 하중기준이 일치하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

HC영역이나 LC영역이나 편지붕 높이에 따른 차이는 하중부담면적에 따라 다양하게 나타나고 있어 밀접한 관계는 없는 것으로 판단된다.



〈그림 13〉 편지붕의 영역별 AIK하중기준과 피크외압계수의 비교

4. 결론

편지붕에 대한 풍압계수분포를 알아보기 위한 풍압 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

편지붕의 위치별 특징을 알아보기 위해 6개 영역으로 나누어서 분석을 하였다. 실험결과 모서리 부분(HC, LC)에서 가장 큰 피크외압계수가 나타나고 있었다. 그러나 지붕의 각도가 높은 지역(high)의 모서리(HC)가 낮은 지역의(low) 모서리(LC)보다 25%정도 크게 나타나는 것으로 보아 지붕의 각도에 따라 풍압계수 분포에 차이가 나타나는 것을 알 수 있었다.

지붕 높이차별 특징에서는 높이가 40%정도 증가하여도 모든 위치에서 풍압계수는 증가 하지 않고 영역별로 분포하고 있어 높이 증가에 따른 영역별 풍압

계수 변화에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

전체적으로 AIK 하중기준과 위치별 피크 외압계수가 동일한 양상으로 나타나고 있지만 실험결과 HC 영역의 경우 하중기준보다 40%정도 작은 값을, LC 영역의 경우 하중기준보다 37%정도 큰 값을 나타내고 있었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호# '08지역기술혁신 B01-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Jensen, M., and Franck, N. (1965), Model-Scale Tests in Turbulent Wind, Part II, The Danish Technical Press, Copenhagen
2. Surry, D., and Stathopoulos, T. (1985), The Wind Loading of Low Buildings with Mono-Sloped Roofs., University of Western Ontario
3. Stathopoulos, T. and Mohammadian, A. R. (1985a), Code Provisions for Wind Pressure on Low Buildings with Mono-Sloped Roofs., Proc. Asis Pacific Stmp. on Wind Engineering
4. Cui, B. (2006), External Pressure Coefficients on Saw-tooth and Mono-sloped Roofs, Structures
5. Holmes, J. D. (2001), Wind Loading of Structures, Spon Press, London, UK
6. Tieleman, H. W., Surry, D. and Mehta, K. C. (1996) Full/Model-scale comparison of surface pressures on the Texas Tech Experimental Building, Journal of Wind Engineering Industrial Aerodynamic, 61, 1-23

접수일자 : 2009년 11월 4일
 심사완료일자 : 2009년 12월 3일
 게재확정일자 : 2009년 12월 11일