

관통형과 단부형 필로티 천장부의 피크풍압계수 특성 분석

Analysis of Peak Wind Pressure Coefficients of Penetration Type and End Type Pilotis

유 장 열* 김 근 호** 채 명 진*** 김 영 문**** 유 기 표*****
You, Jang-Youl Kim, Geun-Ho Chae, Myung-Jin Kim, Young-Moon You, Ki-Pyo

Abstract

Various pilotis are installed in the lower part of high rise buildings. Strong winds can generate sudden airflow around the pilotis, which can cause unexpected internal airflow changes and may cause damage to the exterior of the piloti ceiling. The present study investigates the characteristics of peak wind pressure coefficient for the design of piloti ceiling exteriors by conducting wind pressure tests on high rise buildings equipped with penetration-type and end-type pilotis in urban and suburban areas. The minimum peak wind pressure coefficient for penetration-type piloti ceilings ranges from -2.0 to -3.3. Minimum peak wind pressure coefficient in urban areas was 30% larger than in suburban areas. In end-type piloti ceilings, maximum peak wind-pressure coefficient ranges from 0.5 to 1.9, and minimum peak wind-pressure coefficient ranges from -1.3 to -3.6. With changes in building height, peak wind pressure coefficient decreases as the aspect ratio increases. Peak wind-pressure coefficient increases with taller pilotis. On the other hand, when piloti height decreases, the absolute value of the minimum peak wind pressure coefficient increases.

Keywords : Pilotis, Peak wind pressure, Penetration type pilotis, End type pilotis, Wind tunnel test

1. 서론

중저층 건물의 저층부를 필로티로 사용하여 근린 생활시설이나 주차장, 기타 편의시설 등으로 활용한다. 이로써 이용자에게 편리하고 쾌적한 환경을 제공해 주기도 한다. 또한 필로티는 건물 일부를 띄움으로써 보행자나 운전자에게 확장된 시야 확보를 가능하게 한다. 뿐만 아니라 필로티의 사용은 밀집된 고층 건물들 속에서 폐쇄된 기류의 흐름을 원활

하게 한다. 이로 인해 도심지 내 풍환경을 개선하여 열섬현상을 방지하기도 한다. 이 때문에 우리나라는 풍환경 개선 및 이용자의 편의를 위해 대규모 건축물에 대해 공개공지의 설치를 의무화하고 있고, 필로티를 사용해 공개공지를 확보하는 쪽으로 유도하고 있다. Zhou, Deng & Mochida(2015)는 건축물 저층부의 필로티 개방률에 따른 건물 주변 기류에 대해 연구했으며, 필로티의 개방률이 증가할수록 풍속이 증가한다는 연구 결과를 도출했다¹⁾. 또한 Kim, Chung & Oh(2007)는 CFD를 통해 도심 오픈스페이스의 형태적 특성이 풍환경에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 이로써 건물면에 불연속 구간이 많고 건물들의 높이가 적절히 높을 경우 도심 오픈스페이스의 통풍이 잘 이루어져 풍환경적으로 보다 쾌적한 도시 공간을 창출한다는 결론을 도출하였다²⁾. 이러한 오픈스페이스는 도심지 내 풍속을 증가시킨다. 이는 도시 개발로 인해 변화된 풍환경³⁾의 정체된 기류 흐름을 원활하게 하여 대기오염 농도를 감소시켜 온도 상승을 방지할 수 있다. 이와 같은 필로티의 이로운 점 때문에 오피스 건물이나 아파

* 정희원, 송원대학교 건축공학과 교수, 공학박사
College of Architecture Engineering, Songwon Univ.
** 학생회원, 전북대학교 건축공학과 대학원, 석사과정
College of Architecture Engineering, Chonbuk National Univ.
*** School of Engineering & Technology, Department of Engineering, Central Connecticut State Univ.
**** 정희원, 전북대학교 건축공학과 교수, 공학박사
College of Architecture Engineering, Chonbuk National Univ.
***** 교신저자, 정희원, 전북대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 장경간철골구조농촌시설물연구센터
College of Architecture Engrg., Chonbuk National Univ., Long-span Steel Frame System Research Center
Tel: 063-270-4057 Fax: 063-270-2285
E-mail: youkp@jbnu.ac.kr

트 등 많은 건축물에서 필로티를 사용하고 있다.

반면, 강풍 발생 시 필로티풍(개구부 바람)으로 인해 필로티 내부에 갑작스런 기류의 유입이 발생한다. 이로 인해 예상치 못한 내부의 기류 변화가 생기며 필로티 내부의 외장재 파손을 유발하기도 한다. 최근 건축물 안전 강화를 위해 건축구조기준(KBC2016)이 개정되면서 건축물의 내풍 설계가 강화되고 있지만, 건축구조기준에는 풍하중에 대해 건축물 외벽이나 지붕 등의 외장재 설계에 대한 지침만 마련되어 있고 필로티 천장 외장재에 대한 지침은 미비한 상태이다⁴⁾. Jo & Gil(2014)은 CFD를 이용하여 필로티 공간의 깊이에 따른 풍영향을 비교하였다. 연구 결과, 깊이가 깊어질수록 풍속이 빠른 특성이 나타나고 부압의 크기가 커지는 것을 분석했다. 이로 인해 필로티 깊이가 필로티 천장부 및 기류 특성에 영향을 미친다는 결과를 도출하였다⁵⁾. Cho(2006)는 CFD를 이용하여 아파트 단지에서 주동의 배치 유형과 필로티 개방에 따른 통풍 분석을 통해 통풍 계획에 영향을 미치는 요소를 분석하였다. 탑상형 배치가 관상격자형 배치보다 풍속비가 높게 나온다는 결과를 도출하였고, 건폐율과 차폐율이 작아질수록 풍속비가 증가한다는 결과를 도출하였다. 건폐율과 차폐율, 즉 개방률이 아파트 단지의 통풍 성능 향상에 효과적인 요소로서 분석된다고 제안하였다⁶⁾. Jun et al.(2002)과 Cho & Yang(2002)은 국내 아파트 단지에 적용되고 있는 필로티의 유형과 계획 특성을 파악하고 필로티의 이용 실태와 외부 공간 활성화를 위한 분석을 하였다. 이로서 필로티를 평면 구성 요소와 기능적 요소에 따라 나뉘며, 고층고밀의 주거단지에서 외부 공간의 동선 연결과 공간적 폐쇄감을 해소할 수 있는 건축 요소 중 하나가 필로티 방식이라는 결론을 도출하였다⁷⁾. 이에 본 연구에서는 필로티 내부의 외장재 설계용 풍압계수의 제안은 매우 중요하다고 생각되어 교외 지역과 도심 지역에 건설되는 관통형 필로티와 단부형 필로티가 설치된 고층 건축물을 대상으로 풍압 실험을 실시하여 필로티 천장 외장재에 설계를 위한 피크풍압계수의 특성을 분석해보고자 한다.

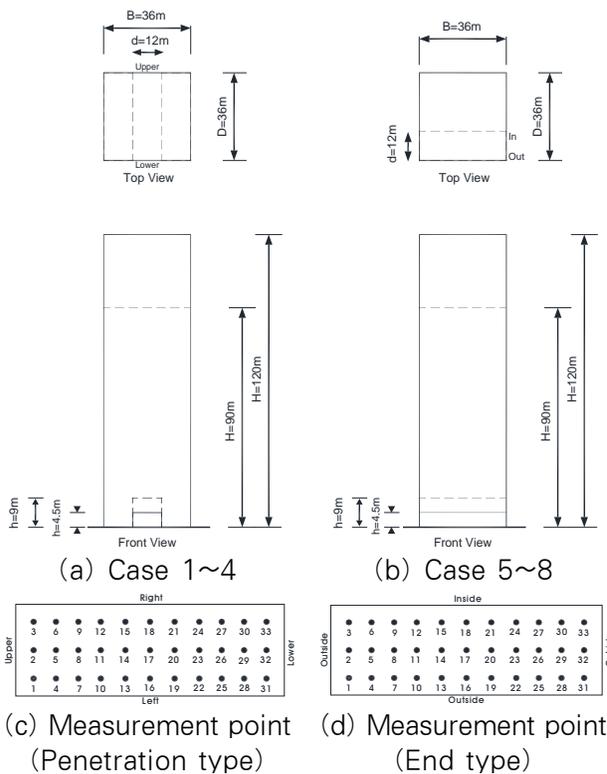
2. 풍동 실험

필로티의 형태와 높이가 필로티 천장면의 풍압계수에 미치는 영향을 알아보기 위해서 총 8가지 실험 모형을 선정하였다. 우리나라에서 고층 건물로 주로 사용되는 20~30층의 정방형 건축물을 실험 대상으로 하였다. 실험은 길이(B)와 폭(D)이 36m이고 높이(H)가 90m와 120m인 정방형 건축물을 대상으로 하였다. 변장비는 1이고 종횡비는 2.5와 3.3에 해당하는 고층 건물이다. 저층부에 설치되는 필로티의 종류는 건물 중앙을 관통하는 관통형 필로티와 한쪽 면 전체에 설치되는 단부형 필로티를 사용하였다. 필로티의 높이는 주로 1개 층 또는 2개 층을 많이 사용한다. 때문에 필로티의 높이(h)는 4.5m와 9m에 대해서 실험을 실시하였다. 풍압 모형의 스케일 1/300로 제작하였다. 필로티 천장면의 풍압계수를 측정하기 위해서 관통형 필로티(Case 1~4), 단부형 필로티(Case 5~8) 각각의 천장에 33개 풍압공을 설치하였다. <Fig. 1>과 <Table 1>은 대상 건축물의 실제 치수와 풍압공의 설치 위치를 나타내고 있다. 고층 건축물 필로티의 천장과 벽면에 대한 풍압 실험은 전북대학교 경계층 풍동연구실에서 보유한 Eiffel형 경계층 풍동 장치를 이용하였다. 풍동의 측정부의 제원은 길이(L) 18m×폭(W) 2.1m×높이(H) 1.7m로 풍속 범위는 0.3~12m/s이다. 실험에서 적용된 난류경계층은 지표면 조도 구분 A($\alpha=0.33$)와 지표면 조도 구분 C($\alpha=0.15$)를 사용하였다. 풍동 내에 형성된 평균 풍속과 난류 강도의 수직 분포는 <Fig. 2>와 같다. 실선은 KBC2016 기준에 의한 이론식을 나타내며 지수법칙과 난류 강도를 사용하여 구하였다. <Table 2>는 풍동 실험에 사용된 상사법칙을 나타내고 있다. 풍동 내 기류는 열선풍속계(IFA-300)를 사용하여 측정하였다. 실험 풍속은 4m/s, 4.4m/s, 5.6m/s, 5.9m/s를 사용하였으며, 실험 각도는 0°에서 90°까지 15° 간격으로 총 7개 방향에 대해서 풍압 실험을 실시하였다. <Fig. 3>은 실험 풍향각을 나타내고 있다. 실험에 사용된 튜브의 길이 120cm를 사용하였다. 압력 튜브에 의해 풍압력을 측정하는 경우 압력튜브내 공기의 공진현상의 영향을 주의해야 한다. 이 현상을 억제하기 위해 튜브의 특정

위치에 저항관(Restrictor)을 이용하여 풍압력 신호를 보정하였다. <Fig. 4>는 실험에 사용된 튜브에 대한 게인(Gain)과 위상각에 대한 압력 전달 특성에 대한 보정 효과를 나타내고 있다. 여기서 게인(Gain)은 신호 증폭의 정도를 나타낸다. <Fig. 4>에서 파랑색 신호는 튜브에서 발생하는 저항관이 설치되기 전의 공진현상을 나타내고 있으며, 저항관 설치 후 보정된 신호는 빨간색 신호를 나타내고 있다. 풍압 실험에서 측정된 각 풍압은 무차원화 되어 표기된다. 최대/최소 피크풍압계수는 아래 식 (1), 식 (2)와 같이 정의된다. 여기서 C_{Pmax} 는 최대 피크 풍압계수, C_{Pmin} 는 최소 피크풍압계수, P_{max} 는 풍압력의 최대치, P_{min} 은 풍압력의 최소치, q_H 는 모형 높이에서의 속도압을 나타낸다.

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

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



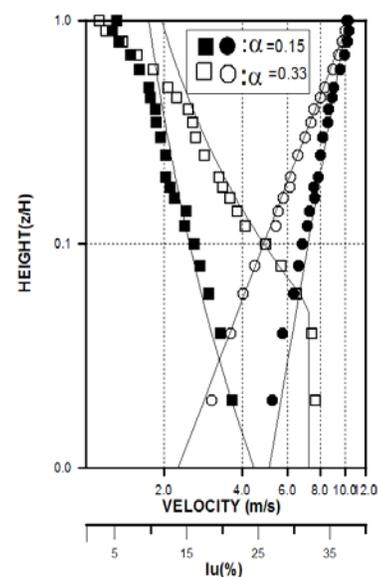
<Fig. 1> Case of test model and measurement point

<Table 1> Specifications of experimental model(unit : m)

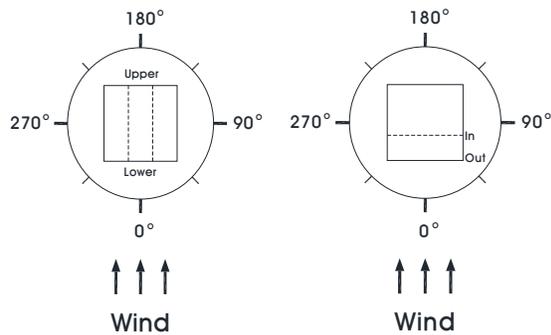
		B	D	H	d	h
Penetration type	90H4.5h	36	36	90	12	4.5
	90H9.0h	36	36	90	12	9
	120H4.5h	36	36	120	12	4.5
	120H9.0h	36	36	120	12	9
End type	90H4.5h	36	36	90	12	4.5
	90H9.0h	36	36	90	12	9
	120H4.5h	36	36	120	12	4.5
	120H9.0h	36	36	120	12	9

<Table 2> The similarity law of the wind tunnel experiment

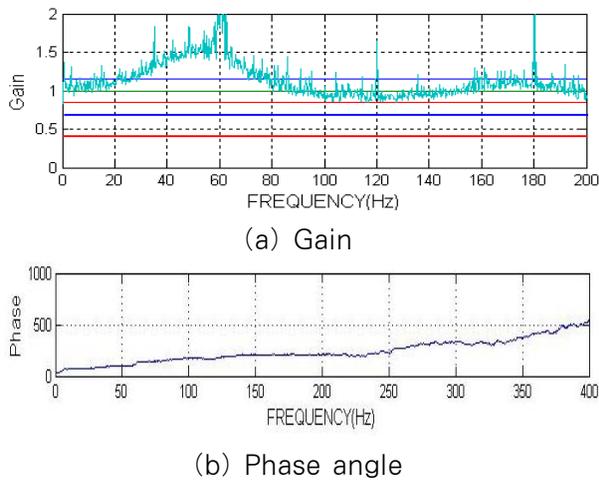
Basic wind velocity (m/s)	24.3	Experiment velocity (m/s)	4
	26.7		4.4
	51.1		5.6
	53.5		5.9
Model scale	1/300		
Velocity scale	1/9.1		
Time scale	1/33.1		
Ensemble average	10 times		
Moving average time	1 sec		
Sampling frequency	500Hz(A), 333Hz(C)		
Wind direction	7 direction(0° to 90°, 15° interval)		
Roughness division	Roughness A, C		



<Fig. 2> Distribution of wind velocities and turbulence intensities in wind tunnel



(a) Penetration type piloti (b) End type piloti
 <Fig. 3> Test wind direction



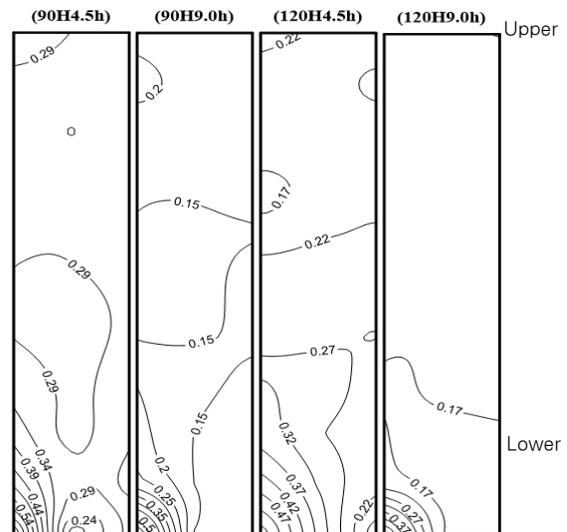
(a) Gain
 (b) Phase angle
 <Fig. 4> Tube calibration

3. 실험 결과

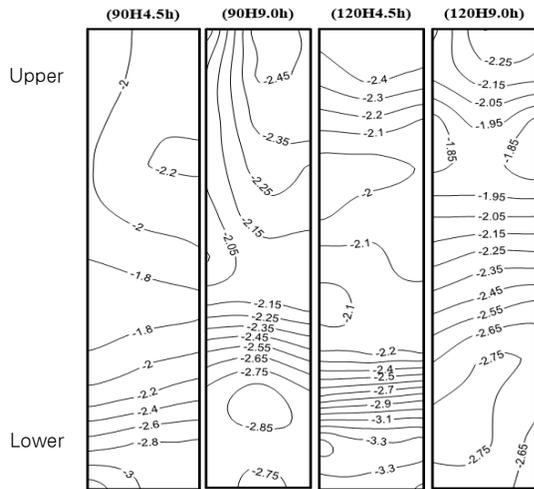
3.1. 관통형 필로티

<Fig. 5~6>은 지표면 조도(A, C) 변화에 따른 관통형 필로티 천장의 최대/최소 피크풍압계수 분포를 나타낸다. 관통형 필로티의 실험 풍향각은 0~90°이며 <Fig. 5~6>에서 Lower는 실험 풍향각의 변화에 따라 바람이 유입되는 부분을 의미하고, Upper는 실험 풍향각 반대편에 있어 실험에 의해 유입된 바람이 빠져나가는 곳을 의미한다. 실험 풍향각 0~90°에 대한 관통형 필로티 천장의 최대/최소 피크풍압계수 분포는 필로티와 건물의 높이 변화에 따라 다르게 나타났다. 관통형 필로티 천장 부분의 최대 피크풍압계수에서는 필로티 높이와 관계없이

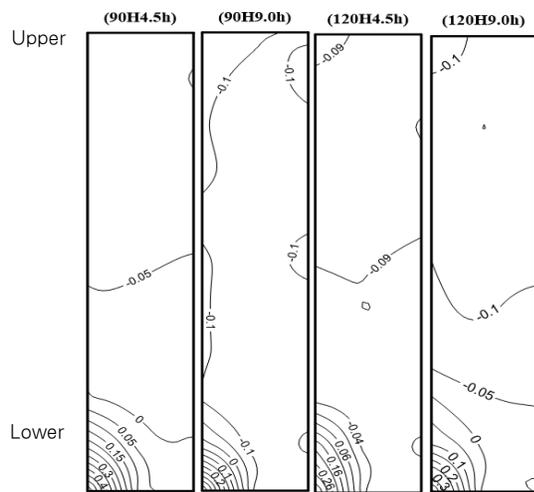
0.2~0.4 범위에서 분포하였다. 바람이 유입되는 Lower 부분의 전면 모서리에서 최대 피크풍압계수가 나타났다. 그리고 최대 피크풍압계수는 관통형 필로티 중앙 부분에서 작아지고 있지만 반대 방향인 Upper의 모서리 방향에서 다시 최대 피크풍압계수가 증가하였다. 그리고 건물과 필로티의 높이 변화에 따른 최대 피크풍압계수의 변화는 필로티의 높이가 낮을수록 크게 나타났다. 관통형 필로티 천장 부분의 최소 피크풍압계수는 -2.0~-3.3 범위에서 분포하였다. 최소 피크풍압계수도 최대 피크풍압계수와 동일하게 분포하였다. 바람이 유입되는 Lower의 유입구에서 절대값 기준으로 최대값의 최소 피크풍압계수가 분포하다가 내부 중앙에서 감소하고, 다시 바람이 빠져나가는 유출구가 있는 Upper 방향에서 최소 피크풍압계수는 증가였다. 지표면 조도 구분에 따른 최대/최소 피크풍압계수 분포 특성에서는 도심 지역에 해당하는 지표면 조도 A가 교외 지역에 해당하는 지표면 조도 C보다는 크게 나타났다. 특히 최소 피크풍압계수에서 지표면 조도 A가 C보다 절대값 기준으로 최대 20% 이상 크게 나타났다. 이러한 차이는 필로티가 위치하는 저층부의 풍속 변화보다는 난류의 변화가 지표면 조도 C보다 지표면 조도 A에서 크기 때문이라 판단된다.



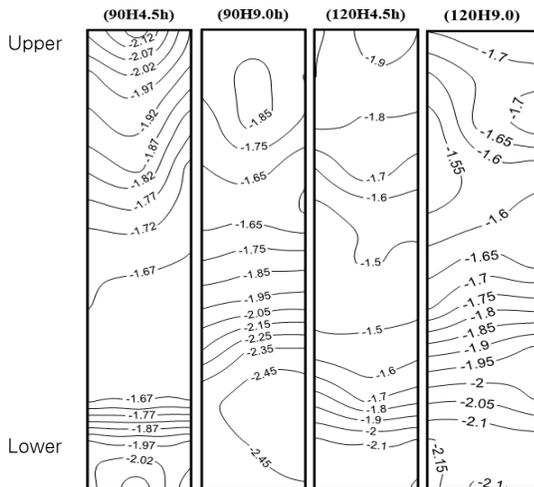
(a) Maximum peak pressure coefficient



(b) Minimum peak pressure coefficient
 <Fig. 5> Distribution of peak pressure in penetration type piloti(Roughness A)



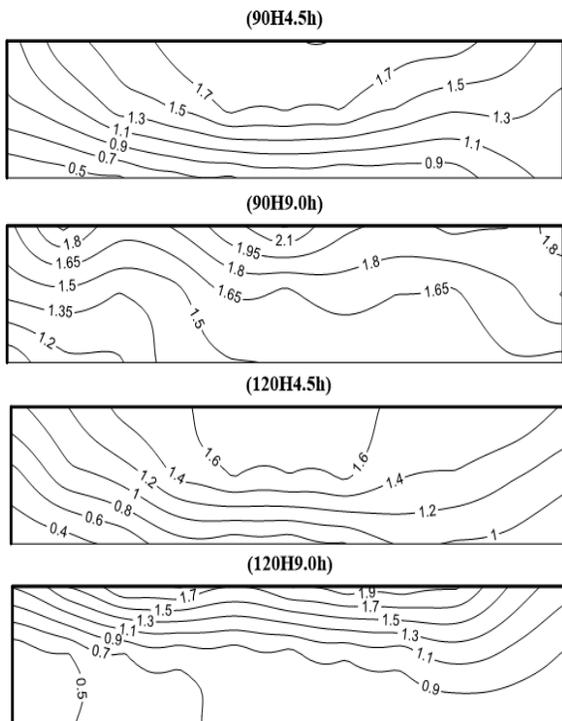
(a) Maximum peak pressure coefficient



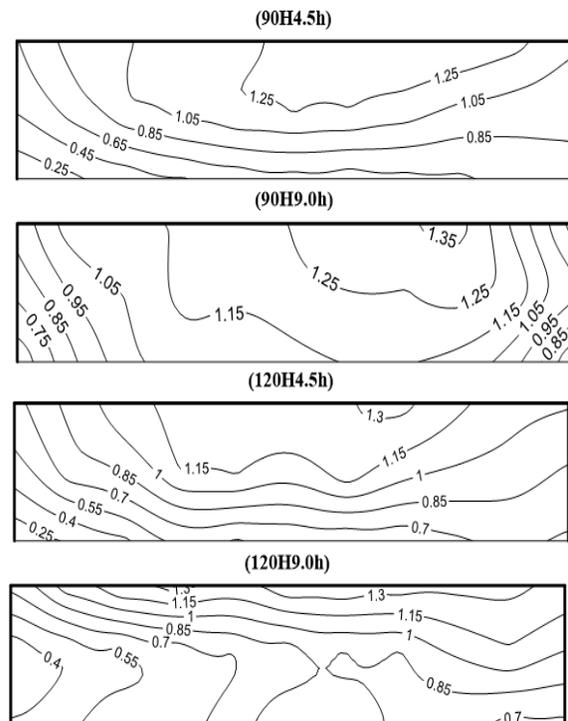
(b) Minimum peak pressure coefficient
 <Fig. 6> Distribution of peak pressure in penetration type piloti(Roughness C)

3.2. 단부형 필로티

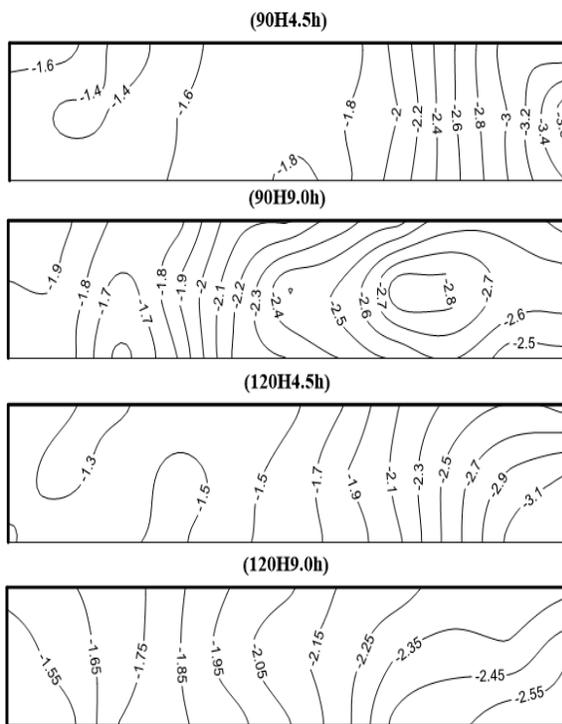
<Fig. 7~8>은 지표면 조도 변화에 따른 단부형 필로티 천장의 최대/최소 피크풍압계수 분포를 나타낸다. 그림에서 두꺼운 실선은 필로티의 면이 내부에 접해 있는 것을 의미한다. 실험 풍향각 0~90°에 대한 단부형 필로티 천장의 최대/최소 피크풍압계수 분포는 필로티의 높이(h)와 건물의 높이(H) 변화에 따라 다르게 나타났다. 그리고 실험 풍향각을 360° 방향에 대해 실험하지 않고 일부 각도를 수행하여 좌우대칭의 형태를 나타냈다. 지표면 조도 변화의 특성에서는 지표면 조도 A일 때 최대 피크풍압계수는 0.5~1.9, 최소 피크풍압계수는 -1.5~3.6 범위에서 분포하였다. 지표면 조도가 C일 때 최대 피크풍압계수는 0.5~1.25, 최소 피크풍압계수는 -1.3~-2.9 범위에서 분포하였다. 지표면 조도 A일 때 지표면 조도 C보다 최소 피크풍압계수가 20% 정도 크게 나타났다. 최대 피크풍압계수 분포는 천장 외부 방향보다는 내부 방향으로 갈수록 증가하였다. 내부 방향이 외부 방향 천장보다 70% 이상 큰 최대 피크풍압계수가 나타났다. 그러나 최소 피크풍압계수는 천장의 우측 영역에서 절대값 기준의 큰 최소 피크풍압계수가 나타났다. 이는 실험 풍향각에 0~90°로 제한되어 한쪽 영역에서는 큰 최소 피크풍압계수가 나타난 것으로 판단된다. 그리고 종횡비 변화에 따른 단부형 필로티의 최대/최소 피크풍압계수의 분포를 분석한 결과 종횡비 2.5일 때 종횡비가 3.3보다 최대/최소 피크풍압계수가 크게 나타났다. 종횡비 증가는 피크풍압계수를 감소시키는 것으로 판단된다. 그리고 동일한 종횡비에서 필로티 높이 변화에 따른 최대/최소 피크풍압계수는 필로티의 높이가 증가할수록 최대 피크풍압계수는 증가하지만 최소 피크풍압계수는 절대값 기준으로 감소하였다. 이는 정압에 대한 평가인 최대 피크풍압계수는 필로티의 높이가 증가하면 바람이 접하는 면적의 증가로 피크풍압계수가 증가하지만, 최소 피크풍압계수는 필로티의 높이가 낮은 경우가 높은 경우보다 골바람의 효과로 인해 부압이 증가를 하는 것으로 판단된다.



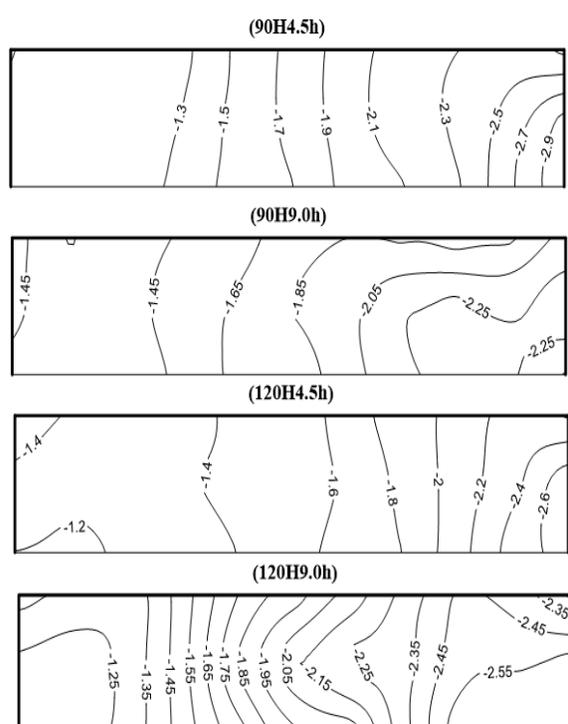
(a) Maximum peak pressure coefficient



(a) Maximum peak pressure coefficient



(b) Minimum peak pressure coefficient



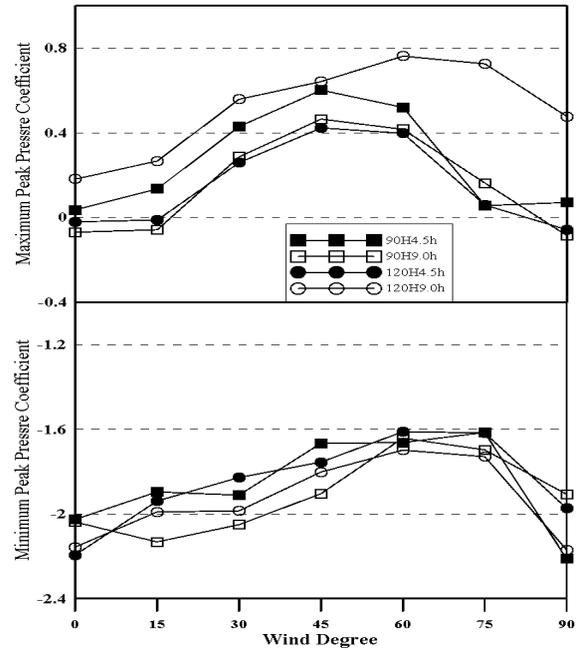
(b) Minimum peak pressure coefficient

〈Fig. 7〉 Distribution of peak pressure in end type piloti(Roughness A)

〈Fig. 8〉 Distribution of peak pressure in end type piloti(Roughness C)

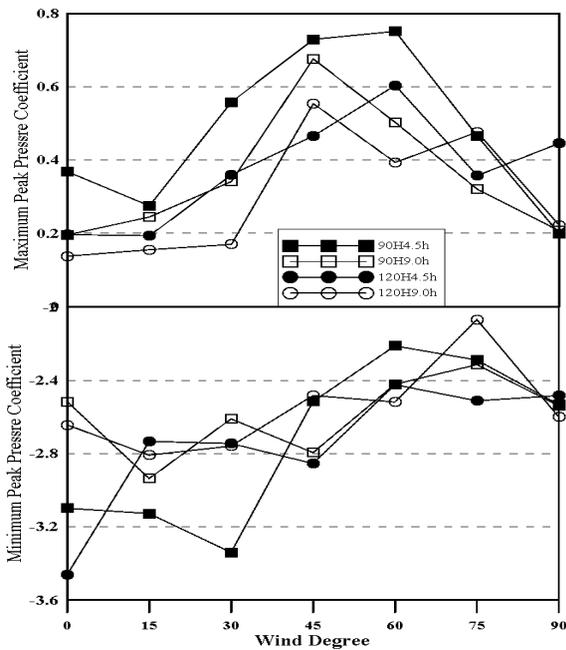
3.3. 풍향각 변화에 따른 피크풍압계수 분포

<Fig. 9~10>은 관통형과 단부형 필로티의 지표면 조도 변화에 따른 실험 풍향각별 천장의 최대/최소 피크풍압계수 분포를 나타낸다. 관통형 필로티의 경우는 45~60° 방향에서 피크풍압계수의 절대값 기준으로 최대값들이 분포하였다. 관통형의 경우 최소 피크풍압계수가 최대 피크풍압계수보다 절대값 기준으로 최대 4~6배 정도 크게 나타났다. 지표면 조도와 각도 변화에 따른 최소 피크풍압계수 분포는 지표면 조도 A가 C보다 크게 나타났다. 그러나 최대 피크풍압계수는 지표면 조도의 영향을 많이 받지 않았다. 이는 지표면 조도 A가 조도 C보다 난류 강도가 크기 때문으로 판단된다. 그리고 단부형의 피크풍압계수의 절대값 기준으로 최대풍압계수는 0°에서, 최소 피크풍압계수는 90°에서 분포하였다. 단부형의 최대/최소 피크값 크기는 절대값 기준으로 최소 피크풍압계수가 최대 풍압계수보다 1.4배 정도 크게 나타났다. 지표면 조도 구분의 각도별 변화에 따른 피크풍압계수의 변화는 큰 차이가 없었다.

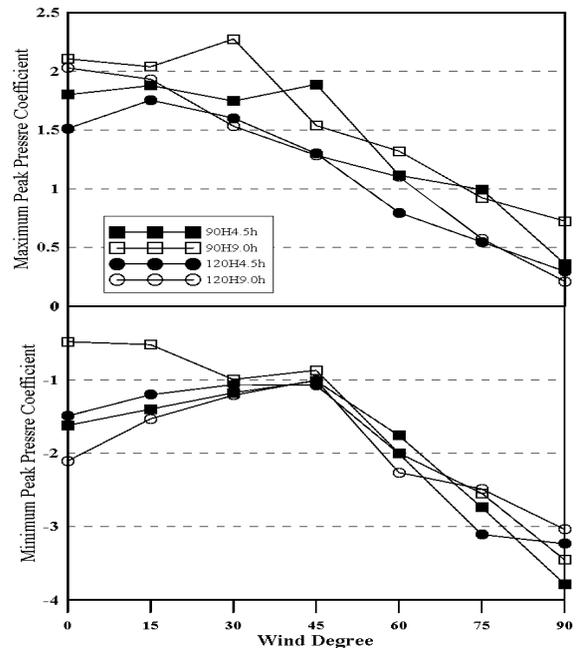


(b) Maximum/Minimum peak pressure distribution of wind direction(Roughness C)

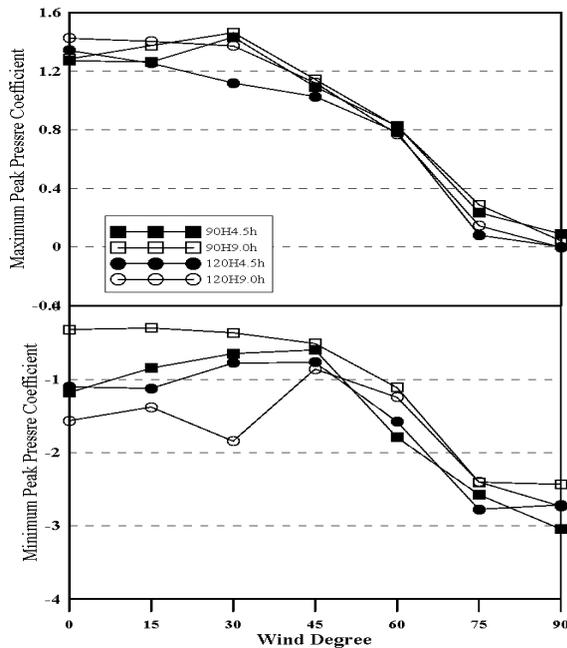
<Fig. 9> Peak pressure distribution of wind direction(Penetration type piloti)



(a) Maximum/Minimum peak pressure distribution of wind direction(Roughness A)



(a) Maximum/Minimum peak pressure distribution of wind direction(Roughness A)



(b) Maximum/Minimum peak pressure distribution of wind direction(Roughness C)

〈Fig. 10〉 Peak pressure distribution of wind direction(End type piloti)

4. 결론

1) 관통형 필로티의 천장에서 피크풍압계수는 최소피크풍압계수가 -2.0~3.3 영역에서 분포하였다. 풍향각이 0~15°일 때 바람이 들어오는 유입구에서 절대값 기준으로 최대값의 최소 피크풍압계수가 분포하였다. 동일한 건물 높이에서 필로티의 높이가 낮은 경우 피크풍압계수는 크게 나타났다. 도심 지역의 관통형 필로티가 교외 지역보다 절대값 기준으로 30% 정도 큰 최소 피크풍압계수가 나타났다.

2) 단부형 필로티의 천장에서 최대 피크풍압계수 0.5~1.9 영역에서, 최소 피크풍압계수는 -1.3~3.6 영역에서 분포하였다. 풍향각이 0°와 90°에서 최대/최소 피크풍압계수가 분포하였다. 도심 지역이 교외 지역보다 20~30% 이상 큰 최소 피크풍압계수가 나타났다. 건물의 높이 변화에서는 중형비가 증가할수록 피크풍압계수는 감소하지만 필로티 높이의 변화에서는 필로티의 높이가 높아지면 최대 피크풍압계수는 증가하고 필로티의 높이가 낮아지면 최소 피크풍압계수는 절대값 기준으로 증가였다.

감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2017R1D1A1B03033289)

References

1. Zhou, Z., Deng, Q., & Mochida, A. (2015). Effect of Piloti on Wind Environment in Residential Area in a Hot and Humid City. The 23rd National Symposium on Wind Engineering, The Meteorological Society of Japan, Japan.
2. Kim, H. K., Chung, J. Y., & Oh, J. K., "Effects of Morphological Characteristics of Urban Open Spaces on Wind Environment", Architectural Institute of Korea, pp.643~646, 2007
3. Kim, S. J., "Change of Wind Environment with Urban Development", Journal of the Wind Engineering Institute of Korea, pp.123~127, 2001
4. Korea Building Code, 2016
5. Jo, J. H., & Gil, Y. S., "Evaluation of Wind Effect for Piloti Space of Buildings using Numerical Analysis Method", The Wind Engineering Institute of Korea, pp.47~50, 2014
6. Cho, C. H., "A Study on the Planning of Wind Flow in Apartment Housing", Journal of the Urban Design Institute Korea, Vol.6, No.1, pp.25~45, 2006
7. Jun, S. H., Kim, H. J., Kwon, S. Y., & Park, C. K., "A Study on the Pilotis in the High-rise Apartment Housing", Architectural Institute of Korea, pp.227~230, 2002
8. Cho, Y. T., & Yang, D. Y., "A Study on Prototypes and Basic Features of Apartment Housing Pilotis Spaces", Journal of the

Architectural Institute of Korea: Planning &
Design, Vol.18, No.9, pp.117~186, 2002

- Received : March 22, 2018
- Revised : April 16, 2018
- Accepted : April 17, 2018