다양한 변장비를 가진 초고층건축물에 작용하는 풍력의 상관 분석

김 원 술^{1*} · 요시다 아키히토² · 타무라 유키오^{2,3}

¹동경공예대학 풍공학연구센터, ²동경공예대학 건축학과, ³북경교통대학 토목공학과

Correlation Analysis of Aerodynamic Forces acting on Tall Buildings with Various Side Ratios

Wonsul Kim^{1*}, Akihito Yoshida² and Yukio Tamura^{2,3}

¹Wind Engineering Research Center, Tokyo Polytechnic University, Kanagawa, 243-0297, Japan

²Department of Architecture, Tokyo Polytechnic University, Kanagawa, 243-0297, Japan

³School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing, 100044, China

Abstract

The objective of this study is to construct the TPU aerodynamic database with wind tunnel test data of overall wind loads and responses on tall buildings. In this study, wind tunnel tests were conducted to investigate characteristics of wind forces and the effect of wind load combination by cross-correlation analysis among along-wind overturning moment, across-wind overturning moment and torsional moment on a tall building with various side ratios($D/B=0.33, 0.50, 0.77, 0.83, 0.91, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 2.0$ and 3.0) for different terrain roughnesses. The results of wind tunnel tests were compared with those of past literatures. As a result, there was no significant effects of changing of terrain roughnesses on moment coefficients and power spectral densities of across-wind overturning moment coefficients and torsional moment coefficients with various side ratios. Further, these results were good agreement with those of past literatures. From cross-correlation analysis, the across-wind overturning moment coefficients were highly correlated with the torsional moment coefficients. The results of this study will be helpful for practical designers in preliminary design stage.

Keywords : power spectral density, cross-correlation coefficient, coherence, tall buildings, wind tunnel test

1. 서 론

1.1 연구 배경

다년간의 세계 경제 불황에도 불구하고, 아랍 에미리트 두바이의 Burj Khalifa(2010년, 최대높이: 829.8m), 일본 도쿄의 Tokyo Sky Tree(2011년, 최대높이: 634m), 사우디아라비아 메카의 Abraj Al Bait Towers(2011년, 최대높이: 601m), 미국 뉴욕의 One World Trade Center(2014년, 최대높이: 541m) 등이 건설되었으며, 우리나라도 500m이상의 건축물(롯데월드타워)들이 공사 중에 있다.

이런 초고층건축물의 경우, 횡방향으로 작용하는 풍하중에

매우 취약하기 때문에, 초고층 프로젝트에 있어서 우선적으로 검토해야할 요소라고 할 수 있다.

일반적으로 풍하중은 건물의 구조특성 뿐만 아니라, 건물형상, 주변건물의 규모 및 위치에 의해 크게 달라지는 특성이 있다(Kim *et al.*, 2010). 또한 초고층건축물과 같은 세장한 구조물에 작용하는 풍하중은 바람방향(이하, 풍방향)으로 작용하는 하중보다 바람직각방향(이하, 풍직각방향)으로 작용하는 하중이 크기 때문에 초고층건축물의 풍직각방향에 대한 풍하중 평가에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Bae *et al.*, 2008; Choi *et al.*, 2005; Kwok, 1982; Tanaka *et al.*, 2012; You *et al.*, 2006).

최근 Notre Dame 대학의 Kareem 연구실은 2종류의 지

* Corresponding author:

Tel: +81-46-242-9927; E-mail: w.kim@arch.t-kougei.ac.jp

Received November 18 2014; Revised December 26 2014

Accepted January 13 2015

©2015 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

표면조도에 따른 27개 형태의 건축물을 이용하여 풍력데이터베이스(Aerodynamic Loads Database; <http://aerodata.ce.nd.edu/>) 구축하였다. 특히, 동경공예대학의 Tamura 연구실은 다양한 형태를 가진 저층·고층건축물이 단독으로 있을 때, 그룹으로 있을 때에 대한 방대한 풍압실험을 통해, 풍압데이터베이스(TPU Aerodynamic Database; <http://www.wind.arch.t-kougei.ac.jp/system/eng/contents/code/tpu>)를 구축하였다. 이들은 데이터베이스를 통해 다양한 형태를 가진 건축물에 작용하는 풍하중 및 풍압 분포도 등을 웹 접속을 통해 이용할 수 있도록 제공하고 있다. 한편, 풍방향, 풍직각방향 및 비틀림방향에 대한 풍하중이 독립적으로 작용하는 것이 아니라 시간적 공간적으로 동시에 작용하기 때문에, 세 방향에 대한 풍하중을 합리적으로 조합하여야 한다고 몇몇 연구자(Kim, *et al.*, 2014; Tamura *et al.*, 2008)에 의해 보고된 바 있다.

1.2 연구의 목적 및 범위

본 연구는 고층건축물의 기본설계 단계에서 평면형태를 결정할 때, 응용할 수 있도록 다양한 형상을 가진 고층건축물에 작용하는 풍력 및 풍응답에 대한 데이터베이스를 구축하는데 목적이 있다. 따라서 본 논문에서는 풍력 데이터베이스 초기단계로서 높이 200m이상의 고층건축물을 대상으로 변장비 변화에 따른 풍력의 특성을 조사하였고, 기존 문헌과의 비교·검토를 통해 실험결과를 검증하였다. 또한 풍하중조합의 관점에서 풍방향-풍직각방향, 풍방향-비틀림방향 및 풍직각방향-비틀림방향의 변동모멘트의 상호상관에 대해서 검토하였다.

2. 풍동실험

2.1 실험모형 및 기류의 특성

풍동실험은 동경공예대학의 풍공학 연구센터에 소재한 폭, 2.2m, 높이 1.8m인 대형경계층풍동(open-circuit type)에서 수행되었다(Fig. 1). 풍동 내 기류는 개활지 또는 농작물 정도의 장애물이 있는 지역, 저층건축물이 밀집해 있는 지역 및 4~9층 정도의 중층건축물이 주로 있는 도심지 등의 3가지의 지표면상태를 재현하였다. Fig. 2는 풍동 내 기류의 평균풍속 및 난류강도의 연직분포 및 변동풍속의 파워스펙트럼 밀도를 나타낸 것이다. 실험에서 측정된 변동풍속의 파워스펙트럼은 Karman Type과 잘 부합되는 것을 알 수 있다. Table 1은 대상건축물의 최상층높이에서의 풍속과 난류강도

Fig. 1 Example of experimental model installed in wind tunnel

(a) Mean wind speed and turbulence intensity profiles

(b) Power spectrum densities of wind velocities

Fig. 2 Simulated wind parameters for difference terrain roughnesses

Table 1 Characteristics of wind simulated in wind tunnel

Length Scale(1/400)		Terrain roughness (Power law index, α)		
		(0.15)	(0.20)	(0.27)
Wind tunnel	Mean wind speed(m/s)	11.5	11.2	10.7
	Turbulence intensity(%)	12.3	12.6	14.4
	Turbulence scale(m)	1.633	1.295	1.190
Turbulence scale(KBC 2009)(m)		0.645		

Table 2 Experimental models and wind forces

	Dimensions ($B \times D \times H$) (mm)	Aspect ratio ($H/\sqrt{BD}$)	Wind Directions
	100×100×500	5.0	0-90° (5° steps)
	100×110×500	4.8	
	100×120×500	4.6	
	100×130×500	4.4	
	70×141×500	5.0	
	57×173×500	5.0	

및 난류스케일을 나타낸 것이다. 본 실험에서의 난류스케일은 건축구조기준 및 해설(KBC2009)에서 제시하는 값과 비교하였다.

본 실험에서의 모형 축척율은 1/400로, 장방형 단면을 가진 고층건축물을 대상으로 변장비(D/B)를 변화시켜 모형을 제작하였다. Table 2는 실험대상건축물의 제원 및 풍력의 정의를 나타낸 것이다. 실험모형에 대한 형상비($H/\sqrt{BD}$)는 4.4, 4.6, 4.8, 5.0(3가지 타입)으로 변화시킨 6개의 형상으로 하였다. 풍력실험의 특성상 실험모형의 재질은 발사제로 최대한 가볍게 제작하였다.

2.2 데이터 계측 및 해석 방법

장방형 고층건축물에 작용하는 풍력은 6분력계를 이용하여 측정하였다. 일반적으로 실험풍속의 결정은 무차원주파수($n^* = n_0 B / U_H$)를 이용하여 결정한다. 여기에서 n_0 는 건물的高유진동수, B 는 건물의 폭, U_H 는 건물높이에서의 평균풍속이다. 따라서 본 실험에서의 풍속스케일은 1/7, 시간스케일은 모형스케일과 풍속스케일의 비로 0.0175, 10분에 해당되는 데이터 계측시간은 10.5초, 계측 샘플링 주파수는 800Hz로, 총 10개의 샘플을 계측하였다. 계측된 모멘트의 시간이력 데이터를 건축물 밀면에 작용하는 모멘트로 변환하였다. 풍방향(풍직각방향) 평균 및 변동전도모멘트계수($C_{MD(L)}$, $C'_{MD(L)}$) 및 비틀림방향 평균 및 변동모멘트계수(C_{MT} , C'_{MT}) 정의는 다음 식과 같다.

$$C_{MD(L)} = \frac{\overline{M_{D(L)}}}{q_H B H^2}, \quad C'_{MD(L)} = \frac{M'_{D(L)}}{q_H B H^2} \quad (1)$$

$$C_{MT} = \frac{\overline{M_T}}{q_H B D H}, \quad C'_{MT} = \frac{M_T}{q_H B D H} \quad (2)$$

여기서, $\overline{M_{D(L)}}$, $\overline{M_T}$ 와 $M'_{D(L)}$, M_T 는 각각, 풍방향(풍직각방향) 및 비틀림방향에 대한 평균모멘트와 변동모멘트; B ,

D , H 는 각각 건물의 폭, 깊이, 높이; q_H 는 모형높이에서의 속도압이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 지표면조도 및 변장비에 따른 풍력계수의 분포

Fig. 3는 지표면조도 및 변장비에 따른 풍방향 평균전도모멘트계수와, 풍방향, 풍직각방향 및 비틀림방향에 대한 변

(a) C_{MD}

(b) C'_{MD}

(c) C_{ML}

(d) C'_{MT}

Fig. 3 Mean and RMS along-wind, across-wind and torsional moment coefficients with various side ratios for different terrain roughness

동모멘트계수의 분포를 나타낸 것이다. 풍직각방향 및 비틀림방향에 대한 평균전도모멘트계수는 0에 가깝기 때문에, 본문에서는 제외하였다.

Fig. 3(a)에서, C_{MD} 는 변장비가 커짐에 따라 점차적으로 감소하는 경향이 나타났다. 한편, Fig. 3(b)에서, C'_{MD} 는 변장비의 변화와는 상관없이, 일정한 범위의 값(0.1~0.15) 내에 있는 것을 알 수 있다. Fig. 3(c), (d)에서 C'_{ML} 와 C'_{MT} 는 변장비가 커짐에 따라, 점차적으로 증가하는 경향이 나타났다. 더욱이, 본 실험결과는 Asami 등(2002)의 결과와 잘 부합되는 것을 알 수 있으며, 풍방향, 풍직각방향 및 비틀림방향에 대한 평균 및 변동모멘트계수는 건축물의 변장비에 의존되는 것을 알 수 있다. 따라서, 위의 결과를 토대로 풍방향 평균 전도모멘트계수(C_{MD}), 풍방향, 풍직각방향 변동전도모멘트계수 및 변동비틀림모멘트계수(C'_{MD} , C'_{ML} , C'_{MT})를 식 (3)~(6)식과 같이, 변장비의 함수로 표현할 수 있다.

$$C_{MD} = 0.0226(D/B)^2 - 0.147(D/B) + 0.6691 \quad (3)$$

$$C'_{MD} = -0.0049(D/B)^2 + 0.0078(D/B) + 0.1291 \quad (4)$$

$$C'_{ML} = 0.0179(D/B)^3 - 0.091(D/B)^2 + 0.2374(D/B) \quad (5)$$

$$C'_{MT} = -0.021(D/B)^3 + 0.106(D/B)^2 - 0.131(D/B) + 0.099 \quad (6)$$

한편, 풍방향 및 풍직각방향에 대한 평균 및 변동 모멘트계수는 지표면조도의 변화에 따라 다소 증가하거나 감소하는 경향이 나타났지만, 그래프의 형상이 비슷하고 값의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 즉, 평균 및 변동모멘트계수에 대한 지표면조도의 영향은 미미한 것으로 판단된다. 또한 이와 비슷한 결과는 Choi 등(2005)에 의해 보고된 바 있다.

3.2 파워스펙트럼의 특성

Fig. 4는 지표면조도 $\alpha=0.15$ 일 때, 변장비 변화에 따른 풍직각방향 및 비틀림방향에 대한 변동모멘트계수의 파워스펙트럼밀도(이하, 풍직각방향 또는 비틀림방향 파워스펙트럼)를 나타낸 것이다. Fig. 4(a)의 풍직각방향 파워스펙트럼을 살펴보면, 변장비가 증가함에 따라 피크 무차원주파수가 낮은 주파수 측으로 이동하는 경향이 나타났다. 풍직각방향의 파워스펙트럼의 피크값은 변장비가 0.33에서 1.3까지 증가할 때, 무차원주파수 0.1 부근에서 발생하며, 특히 변장비가 0.77일 때, 최대 피크가 발생하였다. 위와 같은 이유는 점근류가 건축물의 풍상측 모서리로부터 박리되면서 잘 발달되는 와류진동(vortex shedding) 때문인 것으로 판단된다. 그러나 변장비

(a) across-wind direction (b) torsional direction
Fig. 4 Power Spectral densities of across-wind and torsional moment coefficients with various side ratios for terrain roughness of $\alpha=0.17$

(a) across-wind direction (b) torsional direction
Fig. 5 Power Spectral densities of across-wind and torsional moment coefficients with side ratios of 1.0 for different terrain roughnesses

가 2.0이상 증가하면서, 파워스펙트럼의 분포는 협대역에서 광대역으로 변하는 것을 알 수 있다. 또한 높은 주파수 부근에서 파워스펙트럼이 증가하는 경향을 보였다. 이는 건축물의 풍상측 모서리로부터 박리된 기류가 건축물에 재부착 되면서 발생하는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 전체적인 구조물의 거동에 미치는 영향은 미미하지만, 거주성능 관점에서는 응답가속도를 증가시키는 요인이기도 하다.

Fig. 4(b)의 비틀림방향 파워스펙트럼을 살펴보면, 대부분의 파워스펙트럼에서 2개의 피크가 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 비틀림방향에 대한 피크 파워스펙트럼의 무차원주파수의 분포는 풍직각방향의 파워스펙트럼과 비슷한 경향을 보이는 부분도 있었지만, 반드시 일치하지는 않았다.

Fig. 5는 변장비가 1.0일 때, 지표면조도의 변화에 따른

다른 풍직각방향 및 비틀림방향 변동모멘트계수의 파워스펙트럼을 나타낸 것이다. Fig. 5(a)에서 풍직각방향 파워스펙트럼은 일본건축물하중지침 및 동해설(AIJ2004)에서 제시하는 파워스펙트럼과도 잘 부합되는 것을 알 수 있다.

한편, 지표면조도가 도시지역(고도분포계수 $\alpha=0.27$)에서 개활지(고도분포계수 $\alpha=0.15$)로 변화함에 따라 풍직각방향 및 비틀림방향 파워스펙트럼의 피크값은 다소 증가하는 경향이 나타났다. 하지만 전체적인 파워스펙트럼의 분포 및 형태는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 즉, 풍직각방향 및 비틀림방향 변동전도모멘트계수에 대한 지표면조도의 영향은 미비한 것으로 판단된다.

3.3 풍력 조합의 위상 평면

본 절에서는 풍하중조합의 관점에서 풍방향, 풍직각방향 및 비틀림 모멘트간의 상호상관을 조사하였다. Fig. 6은 지표면조도 $\alpha=0.15$ 일 때, 다양한 변장비(0.33, 0.77, 1.0, 1.3, 2.0) 변화에 따른 각 풍력 성분의 조합의 예를 위상 평면(phase-plane)으로 나타낸 것이다. Fig. 6(a)의 풍방향-풍직각방향의 모멘트계수($C_{MD}-C_{ML}$)의 경우, 변장비에 상관없이 원점을 기준으로 하는 타원형의 형상을 보였다. 즉, $C_{MD}-C_{ML}$ 에 대한 상관은 낮은 것으로 판단된다. Fig. 6(b)

의 풍방향-비틀림방향의 모멘트계수($C_{MD}-C_{MT}$)의 경우, 변장비 0.33~1.0 일 때, 원점을 기준으로 하는 타원형의 형상을 갖지만, 변장비가 1.3와 2.0인 경우, 원점 부근에서 꼭지점을 갖는 썩기형으로 C_{MD} 가 최대가 될 때, C_{MT} 도 정(正) 또는 부(負)의 최대치에 근접한 값을 갖는 것을 알 수 있다. 특히, Fig. 6(c)의 풍직각방향-비틀림방향의 모멘트계수($C_{ML}-C_{MT}$)의 경우, 대각선 방향으로 기울어진 타원형(正(正)의 상관)으로 높은 상관을 보였다.

3.4 풍력의 상호상관계수

하중의 조합에 있어서, 각 성분별 하중의 부호는 작용하는 하중의 방향을 나타내는 것으로 큰 의미는 없기 때문에, 조합에 있어서 각 성분별 하중의 절대치와의 비교가 중요하다(Tamura *et al.*, 2008). Fig. 7은 지표면조도분포계수 $\alpha=0.15$ 일 때, 변장비 변화에 따른 각 풍력 성분의 절대값에 대한 상호상관계수(cross-correlation coefficient)를 나타낸 것이다. 그리고 Table 3은 변장비 변화에 따른 최대상호상관계수를 정리한 것이다. Fig. 7(a)의 $|C_{MD}|-|C_{ML}|$ 의 경우, 상호상관계수는 변장비 변화에 상관없이 0.2 정도로 낮은 상관을 보였다. 또한 Fig. 6(a)의 $C_{MD}-C_{ML}$ 의 결과와도 잘 부합하는 것을 알 수 있다. Fig. 7(b)의 $|C_{MD}|-$

Fig. 6 Trajectories of $C_{MD}-C_{ML}$, $C_{MD}-C_{MT}$ and $C_{ML}-C_{MT}$ with various side ratios
(from left side, side ratios are 0.33, 0.77, 1.0, 1.3 and 2.0)

Fig. 7 Cross-correlation coefficients of absolute values of moment coefficients with various side ratios

Table 3 Maximum cross-correlation coefficients

Side ratios (D/B)	Cross-correlation coefficients		
	$ C_{MD} - C_{ML} $	$ C_{MD} - C_{MT} $	$ C_{ML} - C_{MT} $
0.33	0.207	0.250	0.513
0.50	0.153	0.221	0.489
0.77	0.224	0.192	0.474
0.83	0.255	0.177	0.416
0.90	0.268	0.176	0.410
1.00	0.188	0.131	0.264
1.10	0.231	0.151	0.241
1.20	0.272	0.195	0.287
1.30	0.259	0.281	0.283
2.00	0.195	0.405	0.204
3.00	0.239	0.217	0.185

$|C_{MT}|$ 의 경우 변장비 2.0에서 상호상관계수가 다소 높게 나타나는 경향을 보였다. 위와 같은 현상은 Fig. 6(b)의 풍력 조합의 위상평면(췌기형)에서도 잘 나타난다. 그러나 변장비 2를 제외한 나머지 건축물에 대한 상호상관계수는 0.2 내외로 낮은 상관을 보였다.

Fig. 7(c)의 $|C_{ML}| - |C_{MT}|$ 의 상호상관계수는 $|C_{MD}| - |C_{ML}|$

와 $C_{MD} - C_{ML}$ 에 비해 높게 나타났으며, 또한 변장비가 커짐에 따라 상호상관계수는 전반적으로 감소하는 경향이 나타났다. 위의 결과는 Fig. 6(c)의 풍력조합의 위상평면의 결과와도 잘 부합되는 것을 알 수 있다. 즉, 변장비가 0.33일 때, $C_{ML} - C_{MT}$ 의 위상평면 형상은 정(正)의 상관으로 높게 나타났지만, 변장비가 커짐에 따라 상관이 낮아지는 경향이 나타났다.

3.5 풍력의 코히런스 및 위상차

다음은 주파수영역에서 풍방향-풍직각방향, 풍방향-비틀림방향, 풍직각방향-비틀림방향의 모멘트계수에 대한 주파수 성분별 상호상관 및 위상차를 조사하였다. 주파수영역에서의 상호상관은 식 (7)의 루트코히런스(Root Coherence)의해 평가할 수 있다.

$$\sqrt{Coh(n)} = \frac{|S_{CMD(CML),CMT}(n)|}{\sqrt{S_{CMD(CML)}(n) \cdot S_{CMT}(n)}} \quad (7)$$

여기서, $S_{CMD(CML)}(n)$, $S_{CMT}(n)$ 는 풍방향(풍직각방향)변동전도모멘트계수 및 변동비틀림계수의 파워스펙트럼밀도, $S_{CMD(CML),CMT}(n)$ 은 크로스 스펙트럼밀도(cross spectral density)이다.

Fig. 8, 9, 10은 지표면조건 $\alpha=0.15$ 일 때, 무차원주파수

Fig. 8 Coherence and phase for $C_{MD} - C_{ML}$ with various side ratios

Fig. 9 Coherence and phase for $C_{MD} - C_{MT}$ with various side ratios

Fig. 10 Coherence and phase for $C_{ML} - C_{MT}$ with various side ratios

에 따른 풍방향-풍직각방향, 풍방향-비틀림방향, 풍직각방향-비틀림방향의 모멘트에 대한 루트 코히런스(이하, 코히런스) 및 위상차를 나타낸 것이다. Fig. 8과 9에서 $C_{MD} - C_{ML}$ 및 $C_{MD} - C_{MT}$ 에 대한 코히런스 및 위상차를 살펴보면, 주파수영역에서의 상호상관은 거의 없는 것을 알 수 있다. 특히, 변장비

2.0 일 때, 코히런스가 무차원주파수 3.5 이후에 높게 나타나는 경향이 보이는데, 이것은 실험모형의 진동수의 간섭에 의해 발생하는 것으로, 응답 해석 시에는 반영되지 않는다. Fig. 10에서 $C_{ML} - C_{MT}$ 에 대한 코히런스 및 위상차를 살펴보면, 칼만와(karman vortex)의 방출주파수(풍직각 방향의 스펙트럼이 피크가 발생하는 무차원주파수, 약 0.1, Fig. 4 참조) 전후에 피크 코히런스가 나타났다. 그러나 무차원주파수 0.1 이후에 코히런스가 급격히 감소하고, 위상차 또한 거의 $\pm 180^\circ$ 로 변화하는 경향이 나타났다. 또한 변장비가 2.0이상 커지게 되면, 코히런스는 낮아지고, 위상차 또한 커지는 경향이 나타났다. 위와 같은 현상은 풍직각방향 변동전도모멘트의 파워스펙트럼(Fig. 4)에서 보이는 것과 같이, 와류진동에 의해 발생하는 파워스펙트럼의 분포가 협대역에서 광대역으로 바뀌는 현상과도 관련이 있는 것으로 판단된다.

위의 결과를 간략하게 정리하면, $C_{MD} - C_{ML}$ 의 상호상관은 시간영역 뿐만 아니라, 주파수 영역에서도 매우 낮은 것으로 나타났다. $C_{MD} - C_{MT}$ 의 상호상관은 변장비가 2.0인 경우, 시간영역에서는 상호상관계수가 다소 높게 나타났지만, 다른 건축물에 대한 상호상관은 주파수 영역에서의 상호상관의 결과와 유사하게 매우 낮은 것으로 나타났다. $C_{ML} - C_{MT}$ 의 상호상관은 시간영역뿐만 아니라, 주파수 영역에서도 상호상관이 매우 높게 나타나는 경향이 나타났다. 따라서 고층건축물에 대한 풍하중을 평가할 시에는 풍직각방향-비틀림방향에 대한 적절한 풍하중 조합이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 높이 200m이상의 고층건축물을 대상으로 변장비 변화에 따른 풍력의 특성을 조사하고 기존 문헌과의 비교·검토를 통해 실험결과를 검증하였다. 또한 풍하중조합의 초기단계로써, 풍방향-풍직각방향, 풍방향-비틀림방향 및 풍직각방향-비틀림방향의 변동모멘트의 상호상관에 대해서 검토하였다. 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 풍방향 및 풍직각방향에 대한 평균 및 변동 모멘트계수와 풍직각방향 및 비틀림방향 변동모멘트계수의 파워스펙트럼밀도의 결과는 기존 연구결과와 잘 부합되는 것으로 나타났다. 또한, 지표면조도 변화에 따른 풍력의 특성은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.
- (2) 시간영역과 주파수영역에서의 풍력의 상호상관계수 분석결과, 풍방향-풍직각방향, 풍방향-비틀림방향에 대한 변동모멘트계수의 상호상관은 전반적으로 상관이 낮은 것으로 나타났다.

(3) 한편, 풍직각방향-비틀림방향 변동모멘트계수의 상호 상관은 시간영역 뿐만 아니라, 주파수영역에서도 매우 높은 상관을 보였다.

본 논문의 연구 결과는 고층건축물의 기본설계 단계에서 평면형태를 결정할 때, 유용하게 이용될 것으로 판단된다. 또한, 추후 연구에서는 풍하중 조합을 위해 풍력의 상관뿐만 아니라, 응답의 상관을 면밀하게 검토할 예정이다.

감사의 글

This study was funded by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan, through the Joint Usage / Research Center of Wind Engineering, Tokyo Polytechnic University, 2013-2019. The authors gratefully acknowledge their support.

References

Architectural Institute of Japan (2004) Recommendations for Loads on Building.

Asami, Y., Kondo, K., Hibi, K. (2002) Experimental Research of Aerodynamic Force on Rectangular Prism, *J. Wind Eng. (In Japanese)*, 91, pp.83~88.

Architectural Institute of Korea (2010) Korean Building Code and Commentary (KBC 2009)

Bae, J.S., Hwang, S.K., Kim, D.W., Ha, Y.C. (2008) Comparison of the Dynamic Responses between Along Wind and Across Wind Square Buildings with Various Aspect Ratios under Wind Actions, *J. Archit. Inst. Korea, Struct. & Constr.*, 24(10), pp.29~36.

Choi, S.G., Kil, Y.S., Kim, D.W., Ha, Y.C. (2005) Characteristics of the Across-Wind Force of Rectangular Tall Buildings with Various Roughness, *J. Wind Eng. Isnt. Korea*, 9(1), pp.79~85.

Kim, Y.C., Kim S.D., Yoon, S.W. (2014) Reasonable Wind Load Evaluation of Atypical Super-tall Buildings, *J. Archit. Inst. Korea, Struct. & Constr.*, 30(4), pp.35~41.

Kim, W.S., Tamura, Y., Yoshida, A. (2010) Interference Effects of an Adjacent Building on Local Peak Wind Pressure on a High-rise Building, *J. Archit. Inst. Korea, Struct. & Constr.*, 26(1), pp.19~27.

Kwok, K.C.S. (1982) Corss-wind Response of Tall Buildings, *Eng. Struct.*, 4, pp.256~262.

Tamura, Y., Kikuchi, H., Hibi, K. (2008) Peak normal Stresses and Effects of Wind Direction on Wind Load Combinations for Minium-rise Buildings, *J. Wind Eng. & Ind. Aerodyn.*, 96, pp.1043~1057.

Tanaka, H., Tamura, Y., Ohtake, K., Nakai, M., Kim, Y. (2012) Experimental Investigation of Aerodynamic Forces and Wind Pressures Acting on Tall Buildings with Various Unconventional Configurations, *J. Wind Eng. & Ind. Aerodyn.*, 107-108, pp.179~191.

You, K.P., You, J.Y., Ko, N.H., Kim, Y.M. (2006) The Characteristic of Dynamic Response according to Shape Type in Tall Buildings to Wind Load, *Proc. Annual Conf. Archit. Inst. Korea*, 26(1), pp.26~27.

요 지

본 연구는 고층건축물의 기본설계 단계에서 평면형태를 결정할 때, 응용할 수 있도록 다양한 형상을 가진 고층건축물에 작용하는 풍력 및 풍응답에 대한 데이터베이스를 구축하는데 목적이 있다. 따라서 본 논문에서는 풍력데이터베이스의 초기 단계로, 높이 200m이상의 고층건축물의 변장비($D/B=0.33, 0.50, 0.77, 0.83, 0.91, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 2.0, 3.0$) 변화에 따른 풍력의 특성을 조사하고 기존 문헌과의 비교·검토를 통해 실험결과를 검증하였다. 또한 풍하중조합의 관점에서 풍방향-풍직각방향, 풍방향-비틀림방향 및 풍직각방향-비틀림방향 간의 풍력의 상호상관에 대해서 검토하였다. 실험결과, 풍방향 및 풍직각방향에 대한 평균 및 변동 모멘트계수와 풍직각방향 및 비틀림방향 변동모멘트계수의 파워스펙트럼밀도의 결과는 기존 연구결과와 잘 부합되는 것으로 나타났다. 또한, 지표면조도의 변화에 따른 풍방향, 풍직각방향 및 비틀림방향에 대한 풍력의 특성은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 시간영역과 주파수영역에서의 변동모멘트의 상호상관계수 분석결과, 풍직각방향-비틀림방향 변동모멘트계수의 상호상관계수가 높게 나타나는 경향을 보였다.

핵심용어 : 파워스펙트럼밀도, 상호상관계수, 코히런스, 고층건축물, 풍동실험