주거용 고층 건물의 풍동실험을 통한 내풍설계 안전성 분석 및 평가

Analysis and Evaluation of Safety of Wind Design Through Wind Tunnel Test of Residential High-rise Building

임태섭* · 변우택** · 박성면*** · 석재왕****

Lim, Taesub* · Byun, Wootae** · Park, Sungmyun***, and Seok, Jaewang****

Abstract

As the social demand for high-rise buildings increases, the construction of high-rise apartment buildings is accelerated. As a result of development of such high-rise buildings, societal needs for the safety of high-rise residential buildings against earthquakes and typhoons are increasing. Therefore, wind tunnel experiments were conducted for the safe design of building structures using vibration displacement and vibration acceleration owing to wind loads, and safety analysis and evaluation based on the data obtained through wind tunnel experiments were performed for the safety of apartment building structures. The safety of design standards was confirmed through estimation using the time history data of the measured wind power and evaluation of the average variation components of response to wind direction through spectrum modal analysis. In addition, items such as the quantity of rebars used in the construction of apartment buildings were determined through the field application of the design conducted in accordance with the 2016 Korean Building Code and the design of actual apartment buildings obtained by applying the results of wind tunnel experiments. In particular, the results showed that a seismic design through wind tunnel experiments is required to improve the seismic performance of high-rise buildings.

Key words : Wind Tunnel Experiment, Wind Load, Design Wind Speed, Overturning Moment, Architecture Structure Standard (2016)

요 지

고층 건물에 대한 사회적 수요와 증가에 따라 공동주택 건축물의 고층화 건설이 가속화 되고 있는 것이 현실이다. 이러한 개발과정에서 최근에 빈번하게 발생하고 있는 지진과 태풍 영향에 의한 주거용 고층 건축물에 대한 안전성이 사회적으로 확대 요구되고 있다. 따라서 공동주택의 구조물에 풍동시험을 통해 얻은 다양한 데이터를 기반으로 안정성 분석 평가를 통하여 풍하중에 의한 진동 변위 및 진동 가속도를 이용하여 건축구조물의 안전한 설계방법을 위해 풍동시험을 실시하였다. 측정된 풍력의 시계열 데이터로 부터 계산되고 풍향응답의 평균성분 변동성분은 스펙트럼의 모드 분석을 통해 평가하였다. 설계기준의 안전성을 확인하였다. 또한 풍동시험 결과를 적용하여 건축구조기준(KBC, 2016)으로의 설계와 실제 공동주택의 설계를 통하여 현장에 적용하여 사용된 철근의 사용량 등을 비교하였다. 특히 고층 건축물의 내진성능을 높이위하여 진동하중에 따른 거동특성을 파악하여 풍동실험을 통한 내진설계의 필요성이 요구되는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 실제 적용 사례를 분석을 통하여 건축구조물 내진설계 분야의 기초 자료로 활용하고자 한다.

핵심용어 : 풍동시험, 풍하중, 설계풍속, 전도모멘트, 건축구조기준(2016)

*정회원, 서일대학교 건축공학과 교수(E-mail: francis9@seoil.ac.kr)

Member, Professor, of Department Architecture Engineering, Seoil University

**정회원, 건국대학교 안보재난관리학과 박사

Member, Ph.D., Department of Disaster & Security Management, Konkuk University

***정회원, 건국대학교 안보재난관리학과 박사

Member, Ph.D., Department of Disaster & Security Management, Konkuk University

****교신저자, 정회원, 건국대학교 안보재난관리학과 교수(Tel: +82-2-450-4183, Fax: +82-2-3437-6610, E-mail: sjwang3670@hanmail.net)

Corresponding Author, Member, Professor, of Department of Security and Disaster Management, Konkuk University

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근에 발생하고 있는 지진 및 태풍 같은 도시 재난안전 사고에 많은 국민의 들의 관심이 증대되고 있다. 특히 건축물 중에서도 주거용 고층 건축물에 대해 자연재난 지진과 태풍에 의한 건축물의 안전성이 요구되고 있다. 특히 자연재난에 대비하여 안전한 사회 건설 만들기 위해 고층 건물이 자연재난 지진과 풍진동에 대비한 안전성 설계 적용과 시공이 요구되고 있다. 따라서 고층 건축물에 가해지는 풍방향 진동을 견뎌내는 구조적 안정성은 설계를 통해 건축물에 풍진동에 의해 발생하는 거주자의 안전성 및 쾌적성 문제 등에 큰 영향을 받고 있는 것이다. 이와 같은 풍진동에 의한 안전성을 확보를 위해 풍동 테스트의 실험이 증가되고 있다. 연구에서는 서울소재 재건축 단지를 선정하여 풍동실험을 수행하여 건물의 구조와 외장재 등의 내풍설계에 적용된 사례를 분석 평가하여 건축물의 풍진동 안전기준을 제공하는데 목적이 있다.¹⁾

1.2 연구의 방법 및 실험장치

본 연구는 서울시 강동구 소재 공동주택 단지의 동절기 및 하절기의 풍동재현 기류의 특성 등을 고려하여 안전성 확보를 위한 실험으로 주변의 건물 및 지형모형과 함께 풍압, 풍력 실험모형을 축소율 1/300에 맞춰 5개동을 제작하여 실시하였다. 또한 풍동실험은 전문기술과 장비를 보유한 업체를 선정하여 대형 풍동실험장비를 이용하여 실시하였다. 실험대상 건축물의 소재지에 맞는 설계풍동 기준과 지표면 조도구분 등 각종 변수들은 건축구조기준(KBC, 2016)에 따라 풍동실험 모형을 제작하였다. 실험 대상 건축물의 단지의 배치 면적현황은 Table 1과 같다. 실험 대상 건축물은 총 53개동 중 선별된 101동, 114동, 125동, 150동, 152동 5개동을 선정하여 풍력압 실험을 실시하였다. 연구단지의 배치모습은 Fig. 1과 같다. 이렇게 실험모형 기준으로 주변건물 및 지형모형 1세트의 모형을 제작하여 설계도서의 배치 기준으로 주변의 위치별 영향을 고려하여 진행하였다. 이러한 분석 평가 수행을 위해 풍동실험의 크기는 풍동기류의 기하학적 특성 및 기류적인 특징과 계절별 기후를 고려하여 해당지역으로 불어오는 바람과 풍압 등이 중요함으로 지역의 기상자료를 활용하여 건축물의 안전 기준에 반영하여 분석하였다. 또한 설계풍속의 결정은 현지 기상자료와 KBC2016 풍하중기준을 적용하여 설계자와 협의하여 결정하였으며, 최상층 높이에서의 풍속이 8 m/s 전후의 평균한 값으로 축소하여 실험풍속으로 선정하였다. 실험풍향은 360° 전 방위에 대하여 36방위(10°간격)에 대하여 수행하고 풍력실험의 경우 천평을 이용하여 각축에 대한 풍력을 계측

하였다. 구체적인 내용으로 풍 방향(x방향)풍력과 풍 직각방향(y방향)풍력, 풍 방향전도모멘트, 풍 직각방향전도모멘트, 비틀림 모멘트 등의 5가지에 대하여 분석하였다. 실험성능 평가로는 풍력계수, 풍하중 스펙트럼, 건축물의 진동변위 및 진동가속도, 층별 하중평가, 전단력 및 전도모멘트와 거주 성능 평가를 측정할 수 있다. 이러한 풍압실험의 경우 다점풍압계로 건축물 표면에 작용하는 풍압을 동시에 계측하였으며, 실험풍하중 평가로는 풍압계수 평가와 외장재용 풍하중 평가를 측정할 수 있다.

Table 1. Current Status of Test Target Complex

Experiment target estate	Site area:2017.889m ² / Building area:14.584.16 m ² / Building coverage:20.00% / Building volume-to-lot rate: 249.68% / 53 Buildings / Maximum height:104.35 m / 4,973 Generation			
Target dong	Block number	Generation (area)	Number of stories	Size (width ×Height)m×m
	101	134(113.39)	35	35.46×104.35
	114	39(97.801)	20	15.92×62.20
	125	109(133.15)	29	23.99×88.75
	150	49(73.873)	25	37.71×73.90
	152	36(59.785)	20	32.49×62.2

Fig. 1. Location Plan

본 단지의 건축물 높이는 상당히 큰 형상비를 갖는 구조물이다. Fig. 2는 공동주택 건축물의 풍동실험전경을 보여주고 있다.

1) <http://www.ccpwind.com>

Fig. 2. A View of Wind Tunnel in Apartment Complex in Gangdong-gu, Seoul

실험 장치는 크게 풍동설비와 계측기기로 나눌 수 있다. 이러한 계측기기는 다시 풍력실험에 사용되는 천평과 증폭기가 있으며, 풍동실험에 사용되는 다점풍압계로 구분할 수 있다. 이것은 건축물에 작용하는 풍압을 평가하기 위하여 CKP 풍공학연구소의 초대형 경계층 풍동장비를 사용하였다. 실험의 형식은 Table 2와 Fig. 3과 같이 Closed-circuit type이며 측정부의 크기는 4 m(W)×2.2 m(H)×30 m(L)이다. 측정부의 높이와 폭은 약 800 m정도의 건축물과 약 1,500 m정도의 장대교량 등의 실험이 가능하도록 된 것이며 측정부의 길이는 대기 경계층의 형성이 용이하도록 설계된 것으로 풍속은 최대 30 m/s이며 난류강도는 1% 이하이며 기류의 비대칭성이 1%이하로 매우 균일한 기류가 생성되는 고성능 초대형 풍동실험 이다.

Table 2. Specification of Super Large Boundary Wind Tunnel of CKP Wind Engineering Research Institute

Boundary Layer Wind Tunnel			
Type	Closed-circuit type	Turbulence Intensity	Less than 1.0%
Total Length	Approx. 102m	Flow Uniformity	More than 99%
Test Area	4 m(W)×2.2 m(H)×30 m(L)	Contraction Ratio	4:1
Wind Speed	0-30 m/s	Turn Table	Φ 3.7 m

Fig. 3. Schematic Diagram of Super Large Boundary Wind Tunnel (CKP wind engineering research institute)

건축물에 작용하는 풍하중의 계측에 사용된 천평과 증폭기 기기는 Fig. 4와 같다. 천평은 실험모형의 밑면에 작용하는 전단력과 전도모멘트의 크기를 직접 계측하는 장비이며, 시간에 따라 변하는 아날로그신호는 증폭기에 의하여 증폭되어 계측용 컴퓨터에 있는 A/D보드에 의하여 디지털데이터로 변환되는 모델 사양으로 CMAS333-10L, CTA-1000을 사용 하였다.

Fig. 4. 5-Component Force Balance and Amplifier

또한 건축물의 표면에 작용하는 압력을 계측하기 위하여 사용된 다점풍압계는 Fig. 5와 같이 모두 256개의 지점에서의 압력을 동시에 계측할 수 있는 장비모델인 Turbulent Flow Instrumentation, Australia사의 TFI-DPMS를 사용하였다. 계측범위 및 특징은 64 channels/module × 4module = 256 channels, ±2 kPa ranges, 0.1% FS static accuracy at 25°C (0.3% over 0° ~ 50°C), ±2%는 주파수 진폭에 대한 정확도 수치이다.

Fig. 5. Dynamic Pressure Measurement System

2. 실험방법

2.1 설계풍속 및 지표면 조도구분

본 풍동실험을 수행하기 전에 설계풍속을 결정하여야 한다. 가장 바람직한 것은 사업부지내 서울시의 풍속자료를 이용하는 것이 바직하다. 하지만 자료가 없을 경우 관련 기준을 이용하도록 국토교통부 제정 및 공시한 건축구조기준(KBC, 2016)에서 정하고 있다. KBC 2016에 의해 설계풍속을 결정할 때 필요한 것은 기본풍속(V_0)과 풍속고도분포

지수(α)이다. 단지 내 공동주택 건축물에 대한 기본풍속은 연 최대풍속에 의한 재현 기대풍속 100년 기준으로 서울지역은 26 m/sec 선택하여 적용하였다. 풍동실험 지표면 거침도의 조도를 결정하는 방법은 건물높이의 40배와 3 km범위내의 주변의 건물로 판단하였다. 단지 내 공동주택의 건축물 주변지형을 보면 해당부지 주변에는 중층건물이 산재해 있기 때문에 지표면 조도구분 B(건축구조기준 KBC 2016)에 해당하는 조도분포를 가지고 있는 것으로 분석되었다. 해당부지에 의한 지형계수(K_{zt})는 1.0으로 평가할 수 있으며, 풍하중에서의 중요도계수(I_w)는 1.0으로 평가할 수 있었다. 따라서 신축되는 강동구 고덕동 공동주택 건축물에 대한 설계풍속은 다음과 같은 방법으로 산정할 수 있다.

건축구조기준(KBC, 2016)에서는 지표면 조도구분 B인 경우, 건축물의 기준높이(H , 지붕면 평균높이)에서의 설계풍속(V_h)에 대하여 Eq. (1)과 같이 적용하여 계산되었다. Eq. 1의 변수들을 정의하며 지표면조도구분은 건설지점 주변지역의 지표면상태에 따라 지표조도 구분에 의해 정하고 Z_b , Z_g 및 α 값은 지표면조도구분에 따라 높이 3.5 m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역중층건물이 산재해 있는 지역 등에 적용되고, 또한 지표면조도구분 B에서는 Z_b (m) 15 m, Z_g (m) 400 m, α 0.22이다. 지형계수 산, 언덕 및 경사지의 영향을 받지 않는 평탄한 지역에 대한 지형계수 K_{zt} 는 1.0을 기준을 적용하고 있다.

$$\begin{aligned} V_H &= V_0 \times K_{zt} \times K_{zt} \times I_w \\ &= V_0 \times (0.45 \times Z^\alpha) \times K_{zt} \times I_w \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,

V_h = 기준높이 H 에 대한 설계풍속(m/sec)

V_a = 기본풍속(서울 지역 26 m/sec)

K_{zt} = 고도분포계수(지표면조도구분 B: $0.45Z^\alpha$)

K_{zt} = 풍속할증계수(1.0)

I_w = 중요도계수(1.0)

α = 고도분포지수(지표면조도구분 B: 0.22)

또한 Eq. (1)에 의해 건축물의 기준 높이(H 는 지붕면 평균 높이)를 대입하여 설계속도압 Eq. (2)와 같이 계산하였다.

$$q_H = \frac{1}{2} \rho V_H^2 \quad (2)$$

여기서,

q_H = 기준높이 H 에 대한 설계속도 압(N/m^2)

ρ = 공기밀도(kg/m^3)

V_H = 기준높이 H 에 대한 설계풍속(m/sec)

2.2 풍압실험(Choi, Hwang, et al., 2007)

풍압실험에서는 사업단지 현재 고덕주공 2단지 공동주택 건축물의 구조는 Fig. 6과 같다. 본 건설될 위치에 해당되는 지표면조도구분 B에 해당하는 기류를 Fig. 7과 같이 다양한 크기의 조도블록과 스파이어(Park, 2008)를 사용하여 대형 경계층 풍동에서 재현하였다. 이렇게 재현된 기류는 Fig. 8과 같이 풍속과 난류강도의 연직분포가 국토교통부에서 제정한 건축구조기준(KBC, 2016)의 지표면조도 구분 B에 해당하는 분포와 일치하는 것으로 확인 되었다. 풍압실험에서의 실험풍속은 7.0 m/sec이며, 이는 사업단지내 공동주택 건축물의 지붕 상단부에서의 풍속이다. 또한 그림의 수직 분포도 붉은색 점 부분을 건축구조기준(KBC, 2016)과의 비교 분석 결과 평균 풍속 및 난류 강도의 수직 분포도는 안전기준에 적합한 것으로 분석되었다.

Fig. 6. Detailed Diagram of Building Structure (150-F25 73.90 m, 114-F20 62.20, 101-F35 104.35 m)

Fig. 7. Blocks and Spiers for Airflow Reproduction

Fig. 8. Vertical Distribution of Mean Wind Speed and Turbulence Intensity

또한 실험풍향의 경우 구조물 각각의 x방향으로 불어오는 바람을 기준으로 하여 시계방향으로 0°에서 350°까지 10°씩 모두 36개 방향에 대하여 실험을 수행하였다. Fig. 9는 풍동내부에 풍압모형을 설치하여 다점풍압계를 사용하고 동시에 각 풍압계측점에 작용하는 압력을 계측하였다.

Fig. 9. Concept of Wind Pressure Measurement System

2.3 풍력실험

풍력실험 대상건축물은 현행 건축구조기준(KBC, 2016)에서 규정하고 있는 조건인 풍 방향진동 외에 풍 직각방향진동 및 비틀림 진동에 의한 동적 영향을 고려해야 하며 건축물 $H/\sqrt{BD} \geq$ 에 해당하는 바람에 대한 건축물의 안전성 설계 기준에서 제시하는 풍동실험에 의해 설계해야 할 규모의 건축물이다(Ha et al., 2005). 따라서 대상 건축물에 대한 풍력실험을 실시하여 건축물의 동적 영향이 반영된 정확한 풍하중을 분석하여 평가하였다. 이렇게 풍력실험결과에 따라 건축물의 각층 풍하중, 전단력, 전도모멘트, 비틀림 모멘트를 평가하였으며, 풍력실험에서 측정된 변동풍력에 대한 파워 스펙트럼을 구한 후 스펙트럼모드해석법에 의하여 건축물 최상층의 안전한 진동변위 및 진동가속도를 분석 평가하였다. 또한 측정결과를 이용해 풍향별 평균풍력계수 및 변동풍력계수, 풍향별 전단력, 전도모멘트 및 비틀림 모멘트, 풍향별 변위 및 가속도를 산출하였다(Choi, Hwang, et al., 2007). 실험 대상 건축물의 동적특성 값은 Table 3과 같이 동별로 구분하여 분석하였다.

실험풍속과 실험풍향은 풍압실험과 동일하게 책정했으며 Fig. 10과 같은 시스템에 의해 풍력 및 모트를 측정하였다.

Table 3. Dynamic Property Value of the Target Building

Block number	Dynamic property value	x-direction	y-direction	z-direction
101	Natural frequency (Hz)	0.201666	0.249977	0.294459
	Generalized mass ($N \cdot s^2 / m$)	1.54×10^6	1.51×10^6	-
	Generalized mass moment of inertia ($N \cdot s^2 \cdot m$)	-	-	4.55×10^6
	Damping ratio	0.05	0.05	0.05
114	Natural frequency (Hz)	0.22045	0.26216	0.34949
	Generalized mass ($N \cdot s^2 / m$)	9.37×10^6	9.13×10^6	-
	Generalized mass moment of inertia ($N \cdot s^2 \cdot m$)	-	-	1.48×10^6
	Damping ratio	0.05	0.05	0.05
125	Natural frequency (Hz)	0.242362	0.597019	0.665106
	Generalized mass ($N \cdot s^2 / m$)	3.57×10^6	3.08×10^6	-
	Generalized mass moment of inertia ($N \cdot s^2 \cdot m$)	-	-	2.16×10^6
	Damping ratio	0.05	0.05	0.05
150	Natural frequency (Hz)	0.237132	0.54605	0.558516
	Generalized mass ($N \cdot s^2 / m$)	3.60×10^6	3.15×10^6	-
	Generalized mass moment of inertia ($N \cdot s^2 \cdot m$)	-	-	1.89×10^6
	Damping ratio	0.05	0.05	0.05
152	Natural frequency (Hz)	0.260128	0.505712	0.58955
	Generalized mass ($N \cdot s^2 / m$)	2.71×10^6	2.63×10^6	-
	Generalized mass moment of inertia ($N \cdot s^2 \cdot m$)	-	-	1.75×10^6
	Damping ratio	0.05	0.05	0.05

Fig. 10. Wind Measurement System

3. 결과 및 고찰

풍동실험 대상구조물이 위치한 지역에 대한 설계용 기본 풍속 및 지표면 조도구분은 Table 4와 같이 결과를 분석할 수 있었다.

Table 4. Basic Wind Speed for Design And Surface Illumination Classification

Item	Contents	Remarks
Basic Wind Speed	26 m/sec	- The Expected Values of Annual Maximum Wind Speed (100year) - Seoul
terrain category	B	- Criteria for Building Structures (2016)

실험대상 건축구조물에 대한 건축물의 기준높이는 지붕면 평균높이 101동 H = 104.35 m, 114동 H = 62.2 m, 125동 H = 88.75 m, 150동 H = 73.9 m, 152동 H = 62.2 m에서의

설계풍속(V_H), 설계속도 압(q_H)(Choi, Hwang et al., 2007)은 Eq. (3)을 이용하여 계산하였다.

$$V_H = V_0 \times K_{zt} \times K_{zt} \times I_w = V_0 \times (0.45 \times Z^\alpha) \times K_{zt} \times I_w$$

$$q_H = \frac{1}{2} \rho V_H^2 \quad (3)$$

101동: $V_H = 32.53$ m/sec, $q_H = 648.1$ N/m²
 114동: $V_H = 29.03$ m/sec, $q_H = 516.1$ N/m²
 125동: $V_H = 31.39$ m/sec, $q_H = 603.5$ N/m²
 150동: $V_H = 30.15$ m/sec, $q_H = 556.8$ N/m²
 152동: $V_H = 29.03$ m/sec, $q_H = 516.1$ N/m²

여기서,

V_h = 기준높이 H에 대한 설계풍속(m/sec)

V_a = 기본풍속(서울 지역 26 m/sec)

K_{zt} = 고도분포계수(지표면조도구분 B: $0.45Z^\alpha$)

K_{zt} = 풍속할증계수(1.0)

I_w = 중요도계수(1.0)

α = 고도분포지수(지표면조도구분 B: 0.22)

q_H = 기준높이 H에 대한 설계속도 압(N/m²)

ρ = 공기밀도(kg/m³)

풍압실험결과 건축물의 벽면에 작용하는 최대정압과 최대부압의 풍압계수와 풍압력은 Table 5와 같이 확인할 수 있었다. 또한 Figs. 11 ~ 15의 그래프는 풍동실험 결과와 같이 건축구조기준(KBC, 2016)의 풍하중을 비교한 그래프로서 외장재설계용 풍하중산정에 사용된 실재 스토리 포스(Story Force)와 전단 및 전도모멘트에 대해 건축물설계에 적용하였다.

Table 5. Position of Action Where Maximum Static Pressure and Negative Pressure are Created and Wind Pressure

Block number	Division	Point number to a pressure anemometer	wind pressure coefficient	wind pressure force (N/m ²)	direction of the wind
101	maximum static pressure	25	2.05	1518.1	260°
	maximum negative pressure	72	-2.85	-1846.5	80°
114	maximum static pressure	68	2.19	1266.1	60°
	maximum negative pressure	83	-1.51	-780.8	270°
125	maximum static pressure	55	1.98	1368.7	300°
	maximum negative pressure	236	-2.53	-1524.7	80°
150	maximum static pressure	64	1.85	1198.4	130°
	maximum negative pressure	36	-1.36	-757.6	340°
152	maximum static pressure	65	1.88	1122.1	40°
	maximum negative pressure	30	-1.24	-641.2	270°

(a)

(b)

(c)

Fig. 11. 101-(a), (b), (c) Wind Tunnel Test Results Building Structure Standards (KBC 2016) Wind Load Comparison Graph (cont)

(a)

(b)

(c)

Fig. 12. 114-(a), (b), (c) Wind Tunnel Test Results Building Structure Standards (KBC 2016) Wind Load Comparison Graph (cont)

Fig. 13. 125-(a), (b), (c) Wind Tunnel Test Results Building Structure Standards (KBC 2016) Wind Load Comparison Graph (cont)

Fig. 14. 150-(a), (b), (c) Wind Tunnel Test Results Building Structure Standards (KBC 2016) Wind Load Comparison Graph (cont)

Fig. 15. 152-(a), (b), (c) Wind Tunnel Test Results Building Structure Standards (KBC 2016) Wind Load Comparison Graph (continuation)

Table 6. Dong. Star, Acting on a Building Maximum Bottom Shear Force and Bottom Conduction Moment and Torsional Moments

Block number	x - direction		y - direction		z - direction
	Bottom Shearing force (kN)	Bottom Conduction Moment (kN·m)	Bottom Shearing force (kN)	Bottom Conduction Moment (kN·m)	Bottom Conduction Moment (kN·m)
101	3,925.2 (0°)	254,997.7 (0°)	-5,533.4 (90°)	-370,631.1 (100°)	35,031.7 (320°)
114	893.3 (280°)	40,208.4 (280°)	1,288.1 (280°)	-53,116.1 (70°)	8,549.8 (10°)
125	2,095.6 (10°)	122,926.8 (10°)	3,222.0 (310°)	178,963.3 (300°)	-36,045.6 (300°)
150	-868.0 (150°)	-49,100.2 (150°)	-1,048.5 (130°)	-51,626.6 (130°)	7,756.1 (350°)
152	-519.4 (60°)	-23,223.2 (60°)	-851.2 (90°)	-34,621.2 (90°)	-7,648.4 (270°)

Table 7. Dong. Star, Resident For Vibration Usability Evaluation, the Maximum Vibration Acceleration

Block number	use	x-direction Vibration acceleration (cm/sec ²)	y-direction Vibration acceleration (cm/sec ²)	Building Use
101	Resident	2.99	10.32	Apartment
114	Resident	3.61	7.28	Apartment
125	Resident	2.01	2.07	Apartment
150	Resident	3.00	3.17	Apartment
152	Resident	3.38	4.07	Apartment

Table 8. Rebar Quantity Analysis

Block number	Rebar (kN)			
	Application of seismic design	Without seismic design	Increase	relative height
101,114	3,391	2,318	1,073	146.3%
125,150	1,730	1,147	583	150.8%
152	1,097	770	327	142.5%

NOTES.

1. The wall thickness is assumed to be uniform.
2. The quantity of rebars is that of rebars required for analysis, excluding the quantity of additional rebars such as those used for splices and settlement.

이러한 풍력실험 대상 건축물에 대한 구조물 골조 설계용 기본풍속도(100년 평균 재현기대풍속도)는 26 m/s이며 거주자의 안전성 평가에서 기본풍속(1년 재현기대풍속)은 15.6 m/s 기준하였다. 실험에서 1년 재현기대풍속을 설정할 때 건축구조기준(KBC, 2016)에 의거하여 100년 재현기대풍속에 0.6을 곱한 풍속을 사용하여 거주자의 안전성을 확보하였다. 또한 풍력실험에서의 건축물의 기준높이 H는 지붕면 평균 높이에서의 구조 골조용 설계속도압은 101동 648.1 N/m², 114동 516.1 N/m², 125동 603.5 N/m², 150동 556.8 N/m², 152동 516.1 N/m²이며, 주거용 안전성 평가의 설계속도압은 101동 233.3 N/m², 114동 185.8 N/m², 125동 216.9 N/m², 150동 200.4 N/m², 152동 185.8 N/m²로 적용하여 거주자의 안전성을 확보하였다. 실험의 결과에서 대상 건축물에 작용하는 최대 밀면전단력과 밀면전도모멘트 및 최대 비틀림 모멘트는 Table 6과 같다.

또한 공동주택 단지에서 동별 거주자의 진동에 의한 사용자 평가를 위해 풍향별 진동가속도 중에서 최대가속도는 Table 7과 같이 확인되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 재건축 고층 대상건물의 설계에서 건축구조기준과 풍동실험을 통한 적용에 대하여 사례를 분석하였다. 실존하는 풍 환경에서 재난사고를 사전에 예방하고자 풍동실험결과와 건축구조기준(KBC, 2016)을 비교 분석하여 안전 기준이상으로 고층 공동주택 내진설계 적용을 통하여 건설현장에 적용된 사례로써 건설재료의 증가를 Table 8과 같이 확인되었다.

이러한 고층 공동주택의 내진설계 적용한 구조설계 물량과 미 적용한 구조설계를 비교한 결과 내진설계에 적용된 설계에서 건축구조물의 재료인 철근 량이 약 50%의 증가하는 것으로 분석 되었다. 또한 건물 안전성 확보를 위해 고층 공동주택에서의 구조물 설계에 대하여 실험모델링 풍동실험

분석을 통하여 건축구조기준 이상으로 내진설계가 필요성이 강조되고 있다. 따라서 실적용 현장 사례와 같이 내진설계에 따른 건설자료와 비용 증가 대하여 기술적 연구의 필요성이 요구되고 있다.

References

- KBC (Korea Building Code). (2016) Ministry of Land, Infrastructure, and Transport AR 2016-317 (May 31, 2016). Retrieved from http://www.molit.go.kr/USR/I0204/m_45/dtl.jsp?idx=14443
- Choi, C.B., Yang, K.S., Lee, S.S., and Ham, H.J. (2007). Numerical simulation of turbulent flow around a building complex for development of risk assessment technique for windstorm hazards. *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, Vol. 11, No. 1, pp. 67-77.
- Choi, U.H., Hwang, S.K., Kil, Y.S., and Ha, Y.C. (2007). Study specific about horizon direction wind force. *Proceedings of 2017 Autumn Conference*, The Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 2007, No. 1, pp. 426-429.
- Ha, Y.C., Kil, Y.S., and Kim, D.W. (2005). Across-wind fluctuating moment coefficient and power spectral density coefficient for estimating across-wind load of tall buildings. *Journal of the Architectural Institute of Korea, Structure & Construction*, Vol. 21 No. 10, pp. 37-46.
- Ha, Y.C., Kim, D.W., and Jung, P.S. (2002). Wind tunnel test study on the effective elevation and plan shapes of super high-rise building resisting wind-induced responses: Focused on the variations of openings for building. *Journal of the Architectural Institute*

- of Korea, *Structure & Construction*, Vol. 18, No. 9, pp. 93-100.
- Joung, J.W., Kim, Y.M., and Sin, S.H. (2015). Study on wind loads for the various cross-sectional shapes of a wind turbine tower through a wind tunnel test and a CFD simulation. *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, Vol. 19 No. 1, pp 3-10.
- Kim, J.U., Roh, P.S., Kang, P.D., and Lee, K.U. (2005). A study on evaluation of the wind load acting on high-rise buildings. *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, Vol. 7, No. 3, pp. 83-90.
- Park, J.H. (2008). Vibration control systems for wind-induced response of tall building. *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, Vol. 12, No. 1. pp. 6-12.
- Park, J.H. (2014). Design and analysis of vibration control system for tall buildings based on wind tunnel test. *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, Vol. 18, No. 2, pp. 71-78.
- Ryi, J.H., Rhee, W., and Choi, J.S. (2013). Effective perceived noise level prediction for a propeller driven UAV by using wind tunnel test data. *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 41, No. 1, pp. 10-16.
- You, K.P., Hwang, J.W., You, J.Y., and Kim, Y.M. (2008). A study on the change of wind velocity on the downtown areas using wind tunnel test. *Journal of the Architectural Institute of Korea, Structure & Construction*, Vol. 24 No. 9, pp. 13-20.

Received	■ June 1, 2018
Revised	■ June 4, 2018
Accepted	■ August 30, 2018