ลิขสิทธิ์ : บริษัท พาร์ค ออริจิ้น พระราม 4 จำกัด
ปี : 2562
ชื่อเรื่อง : การศึกษาแรงลม ของโครงการอาคารพาร์ค ออริจิ้น พระราม 4 โดยการทดสอบในอุโมงค์ลม
เมือง : กรุงเทพฯ
ภาษา : อังกฤษ
สถานที่พิมพ์ : สำนักงานศูนย์วิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
นักวิจัย : รองศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ บุญญภิญโญ
บทคัดย่อ :

อาคาร Park Origin Rama IV ที่ศึกษา สูงเทียบเท่า 205.23 ม. กว้าง 17 ม ลึก 50.33 ม. มีจำนวน 46 ชั้น อาคารตั้งอยู่บน ถนนพระราม 4 อาคารที่ศึกษาต้องมีการทดสอบต้านทานแรงลม เนื่องจากมีลักษณะดังนี้ 1) อาคารที่มีความสูงและอ่อนตัวมาก 2) อาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ ไม่เป็นสี่เหลี่ยม และ 3) สภาพแวดล้อมของอาคารที่ตั้งอยู่ในที่มีอาคารสูงหนาแน่น ลักษณะดังกล่าวข้างต้น ทำให้หน่วยแรงลมที่เกิดขึ้นจริงจะแตกต่างจากการคำนวณโดยใช้มาตรฐานการคำนวณ ดังนั้นการศึกษาแรงลมโดยการทดสอบในอุโมงค์ จึงมีความจำเป็นเพื่อให้ได้อาคารที่แข็งแรง ปลอดภัย และประหยัด เนื่องจากการทดสอบจะได้แรงลมที่กระทำกับรูปทรงอาคารจริงได้อย่างถูกต้อง ภายใต้สภาพแวดล้อมของอาคารจริง รวมถึงการคำนวณการสั่นไหวของอาคารภายใต้แรงลมได้อย่างถูกต้อง เพื่อไม่ให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกไม่สบายหรือเกิดอาการวิงเวียน

การทดสอบอาคารสูงทำโดยการสร้างแบบจำลองอาคารที่ทดสอบให้เหมือนจริง และสร้างแบบจำลองสภาพแวดล้อมอาคารที่เหมือนจริงในรัศมี 400 ม. ในอัตราการย่อส่วน 1 ต่อ 400 แล้วนำแบบจำลองมาวางบนพื้นโต๊ะหมุนในอุโมงค์ลม ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ม. พื้นโต๊ะหมุนนี้สามารถหมุนได้ 360 องศา หลังจากนั้นเปิดลมแล้ววัดแรงลมที่กระทำกับอาคารโดยรวมที่ฐานอาคาร หรือวัดหน่วยแรงลมเฉพาะที่ที่ผนังอาคาร การทดสอบจะทำการหมุนพื้นโต๊ะหมุนครั้งละ 10 องศา เพื่อศึกษาแรงลมที่กระทำกับอาคารทุกทิศทาง การจำลองลักษณะลมในอุโมงค์ลม ให้เหมือนลักษณะลมในสภาพภูมิประเทศจริง ต้องจำลองลักษณะลมดังนี้ 1. ลักษณะความเร็วลมเฉลี่ยที่แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดิน 2. ลักษณะลมที่แปรปรวน (หรือผันผวน) ในรูปของความเข้มข้นของความแปรปรวน ที่แปรเปลี่ยนตามความสูงจากพื้นดิน และ 3. ค่าสเปกตรัมลมที่แปรปรวน การจำลองลักษณะลมได้อ้างอิงตามมาตรฐาน ASCE 7 ของประเทศสหรัฐอเมริกา

ตามมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร ของกรมโยธาธิการและผังเมือง มยผ. 1311-50 ความเร็วลมอ้างอิงสำหรับออกแบบสภาวะจำกัดด้านกำลังของอาคารที่ศึกษา คือค่าความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความสูง 10 เมตรจากพื้นดิน ในสภาพภูมิประเทศโล่ง สำหรับคาบเวลากลับ 50 ปี มีค่าเท่ากับ 25 เมตรต่อวินาที และค่าประกอบไต้ฝุ่นมีค่าเท่ากับ 1.0 ดังนั้นความเร็วลมอ้างอิงที่ยอดอาคารสูงเทียบเท่า 205.23 ม. มีค่าเท่ากับ 31.59 เมตรต่อวินาที ในสภาพภูมิประเทศแบบเมืองใหญ่ แต่ความเร็วลมอ้างอิงสำหรับออกแบบสภาวะจำกัดด้านการใช้งานของอาคารที่ศึกษา คือค่าความเร็วลมเฉลี่ยสำหรับคาบเวลากลับ 10 ปี มีค่าเท่ากับ 20.25 เมตรต่อวินาที และค่าประกอบไต้ฝุ่นมีค่าเท่ากับ 1.0 ดังนั้นความเร็วลมอ้างอิงที่ยอดอาคารสูงเทียบเท่า 205.23 ม. มีค่าเท่ากับ 25.59 เมตรต่อวินาที ในสภาพภูมิประเทศแบบเมืองใหญ่

แรงลมสถิตเทียบเท่า ของอาคารที่ศึกษา

ผลการศึกษาการออกแบบสภาวะจำกัดด้านกำลังของอาคารที่ศึกษา พบว่าค่าโมเมนต์ที่ฐานสูงสุดสำหรับลมทุกทิศทาง ความเร็วลมอ้างอิงสำหรับคาบเวลากลับ 50 ปี คุณสมบัติทางพลศาสตร์ 3 ชุด ($0.8f_o$, f_o, $1.2f_o$) อัตราส่วนความหน่วงของอาคาร 2 ค่า คือ 0.02 และ 0.01 แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าโมเมนต์ที่ฐานสูงสุด สำหรับลมทุกทิศทาง คุณสมบัติทางพลศาสตร์ 3 ชุด และอัตราส่วนความหน่วงของอาคาร 2 ค่า

Natural Frequency	Damping (ξ)	My (MN-m)		Mx (MN-m)		Mz (MN-m)	
		Peak	Deg.	Peak	Deg.	Peak	Deg.
$0.80f_o$	0.020	-387	20	1,819	160	71	170
	0.010	527	70	2,379	160	85	170
f_o	0.020	-374	20	-1,647	260	-63	190
	0.010	458	70	-1,964	260	-72	190
$1.2f_o$	0.020	-365	20	-1,551	260	60	140
	0.010	-388	20	-1,812	260	65	170

การเปรียบเทียบแรงลมสถิตเทียบเท่า ในทิศทาง X Y และ Z ของอาคารที่ศึกษา สำหรับคุณสมบัติทางพลศาสตร์ 3 ชุด ($0.8f_o$, f_o, $1.2f_o$) อัตราส่วนความหน่วงของอาคาร 2 ค่า คือ 0.02 และ 0.01 แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แรงลมสถิตเทียบเท่า ในทิศทาง X Y และ Z สำหรับคุณสมบัติทางพลศาสตร์ 3 ชุด ($0.8f_o$, f_o, $1.2f_o$) และอัตราส่วนความหน่วงของอาคาร 2 ค่า

Natural Freq	Damping (ξ)	X-direction (kN)	Y-direction (kN)	Rz-direction (kN-m)
$0.80f_o$	0.020	-2,938	-13,608	70,735
	0.010	3,986	-17,669	84,854
f_o	0.020	-2,836	12,611	-63,030
	0.010	3,463	14,889	-72,184
$1.2f_o$	0.020	-2,775	11,932	60,071
	0.010	-2,946	13,796	64,546

การตอบสนองด้านการสั่นไหว (อัตราเร่ง) ของอาคารที่ศึกษา

มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยผ. 1311-50) ของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พศ. 2550 กำหนดให้ค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวราบทั้งในทิศทางลมและทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม จะต้องมีค่าไม่เกินกว่า 0.15 เมตรต่อวินาที^{2} (15 mg) ในกรณีของอาคารที่พักอาศัย (residential buildings) หรือ 0.25 เมตรต่อวินาที^{2} (25 mg) ในกรณีของอาคารพาณิชย์ (commercial buildings)

นอกจากนี้ มาตรฐาน ISO 10137 ปี คศ 1992 กำหนดให้ค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวราบ จะต้องมีค่าไม่เกินกว่า $0.928 f^{-0.412}$ (ใน % ของ g) สำหรับคาบเวลากลับ 5 ปี โดยที่ f คือ ความถี่ธรรมชาติของอาคารที่น้อยสุดในหน่วย *Hz*. ดังนั้นจะมีค่าเท่ากับ 20.38 mg และ 25.09 mg สำหรับคาบเวลากลับ 5 ปี และ 10 ปี ตามลำดับ

การศึกษาการออกแบบสภาวะจำกัดด้านการใช้งานของอาคารที่ศึกษา พบว่าค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวราบ สำหรับลมทุกทิศทาง ความเร็วลมอ้างอิงสำหรับคาบเวลากลับ 10 ปี (V_{10} and $0.85V_{10}$) คุณสมบัติทางพลศาสตร์ 3 ชุด ($0.8f_o$, f_o, $1.2f_o$) และอัตราส่วนความหน่วงของอาคาร 2 ค่า คือ 0.005 และ 0.01 แสดงในตารางที่ 3

การออกแบบที่ประหยัดควรพิจารณาค่าตัวประกอบทิศทางลม เพื่อพิจารณาลดแรงลมในการออกแบบ ซึ่งเกิดมาจาก 2 ปัจจัย คือ 1. โอกาสในการลดความน่าจะเป็นของความเร็วลมสูงสุดที่มาในแต่ละทิศทาง และ 2. โอกาสในการลดความน่าจะเป็นของการเกิดแรงลมสูงสุดที่กระทำกับอาคารจากลมในแต่ละทิศทาง ปัจจัยแรกจากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่สถานีดอนเมือง กรุงเทพมหานคร ค่าตัวประกอบทิศทางลมมีค่าเท่ากับ 0.93 ปัจจัยที่ 2 มาตรฐาน ASCE-7 (2005) แนะนำให้ใช้ค่า 0.85 สำหรับการต้านทานแรงลมหลักของอาคาร กล่าวคือปัจจัยที่ 2 ค่าเฉลี่ยของแรงลมและผลตอบสนองมีค่าลดลง 15% ดังนั้นเมื่อทำการรวมผลของปัจจัยทั้ง 2 ส่งผลให้ค่าตัวประกอบทิศทางลมมีค่าเท่ากับ $0.93\sqrt{0.85} = 0.85$ ค่าตัวประกอบทิศทางลมดังกล่าวจะนำไปใช้ สำหรับการออกแบบสภาวะจำกัดด้านการใช้งานของอาคาร ที่ V10 เท่านั้น เช่น การโก่งตัวและอัตราเร่งที่ยอดอาคาร

ผลการศึกษาการออกแบบสภาวะจำกัดด้านการใช้งานของอาคารที่ศึกษา พบว่าค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวราบ สำหรับความเร็วลมอ้างอิงสำหรับคาบเวลากลับ 10 ปี ค่าตัวประกอบทิศทางลม 0.85 ($0.85V_{10}$) คุณสมบัติทางพลศาสตร์ f_o และอัตราส่วนความหน่วงของอาคาร 0.01 มีค่าเท่ากับ 10.14 mg. ค่าดังกล่าวต่ำกว่าเป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับค่าที่กำหนด ตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 (คือ 15 mg ในกรณีของอาคารที่พักอาศัย) และตามมาตรฐาน ISO 10137 (คือ 25.09 mg) ดังนั้น อาคารที่ศึกษาผ่านข้อกำหนดการออกแบบสภาวะจำกัดด้านการใช้งานตามมาตรฐาน มยผ. 1311-50 และมาตรฐาน ISO 10137

ตารางที่ 3 ค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวราบ สำหรับลมทุกทิศทาง คุณสมบัติทางพลศาสตร์ 3 ชุด (0.8 f_o, f_o, 1.2 f_o) และอัตราส่วนความหน่วงของอาคาร 2

Natural Freq.	Wind Speed	Damping (ξ)	Total acc, (mg)	
			Peak	Deg.
0.8 f_o	V10	0.01	25.01	190
	V10	0.005	35.37	190
	0.85V10	0.01	14.29	190
	0.85V10	0.005	20.21	190
f_o	V10	0.01	17.45	190
	V10	0.005	24.67	190
	0.85V10	0.01	10.14	190
	0.85V10	0.005	14.34	190
1.2 f_o	V10	0.01	14.43	260
	V10	0.005	20.41	260
	0.85V10	0.01	8.66	260
	0.85V10	0.005	12.25	260

Copyright : Park Origin Rama4 Co.,Ltd.

Year : 2019

Title : Wind Load Study for Park Origin Rama IV Building Project by Wind Tunnel Test: Overall Wind Load

City : Bangkok

Language : English

Publisher : Thammasat University Research and Consultancy Institute

Researcher : Associate Professor Dr. Virote Boonyapinyo

Abstract :

PARK ORIGIN Rama IV project is the high-rise buildings. The project is developed on Soi Charoenkij, Rama 4 Road in Bangkok. PARK ORIGIN Rama IV has 46 stories and 205.23 m. roof high, 17.00 m. equivalent width and 50.33 m. equivalent depth. This building has the following special characteristics: a) the very flexible and high-rise buildings, b) the irregular geometry of the floor area, and c) close spacing of many high-rise buildings. These special characteristics result in pressure distributions significantly different from those specified in the building codes. Accordingly, the wind-tunnel tests are essential to achieve structural designs that are not overly costly and for which the risk of wind damage is realized at the lever chosen for the design.

The studied building was specially constructed by a light-weight rigid model, such as balsa wood model, and the studied model was mounted on a high-frequency base balance. The 1:400 scale models of studied building and its surrounding buildings within 400 m radius from the studied building were mounted on a 2-m diameter turntable, allowing any wind direction to be simulated by rotating the model to the appropriate angle in the wind tunnel. The studied building model and its surroundings were tested in a boundary layer wind tunnel where the mean wind velocity profile, turbulence intensity profile, and turbulence spectrum density function of the winds approaching the study site are simulated. In this study, overall wind load obtained from a wind tunnel test were measured on a direction-by-direction basis for 36 directions at 10-degree intervals, on the 1:400 scale model of the building exposed to an approaching wind.

According to the DPT Standard 1311-50, the reference velocity pressure, *q*, for the design of main structure and cladding shall be based on a probability of being exceeded in any one year of 1 in 50 (50-year return period) corresponding to reference wind speed of 25 m/s at the height of 10 m in open terrain. Because the proposed building is in the Urban terrain, the exposure C was applied in this study, and the typhoon factor = 1.00. Then, design wind speed is $\bar{V} = T_F \square V_{50}$ = 1.0 * 25 = 25 m/s, and corresponding to design wind

speed of 31.59 m/s at the 205.23 m. equivalent roof height in the exposure C. For the serviceability design, the reference velocity pressure, *q*, shall be based on 10-year return period corresponding to reference wind speed of 20.25 m/s at the height of 10 m. in open terrain. Therefore, corresponding design wind speed is 25.59 m/s at the 205.23 m equivalent roof height in the exposure C.

Equivalent Static Wind Loads of Studied Building

For strength consideration with three natural frequencies ($0.8f_o$, f_o, $1.2f_o$), two damping ratio ξ (0.02, 0.01), and V50, the results are shown in Table 1 and can be summarized as follows.

Table 1 Comparisons of the expected peak base moments and torques from all wind-direction for three sets of dynamic properties, and two values of damping ratios.

Natural Frequency	Damping (ξ)	My (MN-m)		Mx (MN-m)		Mz (MN-m)	
		Peak	Deg.	Peak	Deg.	Peak	Deg.
$0.80\,f_o$	0.020	-387	20	1,819	160	71	170
	0.010	527	70	2,379	160	85	170
f_o	0.020	-374	20	-1,647	260	-63	190
	0.010	458	70	-1,964	260	-72	190
$1.2\,f_o$	0.020	-365	20	-1,551	260	60	140
	0.010	-388	20	-1,812	260	65	170

1. For natural frequency f_o, and damping ratio = 0.020, the peak base moments Mx of -1,647 MN-m, My of -374 MN-m and torque Mz of -63 MN-m occur at wind direction 260, 20, and 190 degree, respectively. It should be noted that the peak base moments Mx and My are caused by the alongwind load.

2. For natural frequency f_o, and damping ratio = 0.010, the peak base moments Mx of -1,964 MN-m, My of 458 MN-m and torque Mz of -72 MN-m occur at wind direction 260, 70, and 190 degree, respectively. Unlike damping 0.020, the peak base moments Mx is caused by the alongwind while My is caused by the arosswind load.

3. For studied building, the peak base moments Mx and My are significantly reduced when damping ratio is increased from 0.010 to 0.020 because increasing damping ratio results in significantly reducing resonant moment parts.

4. For studied building, the peak base moments are significantly reduced when building natural frequencies are increased from $1.0f_o$ to $1.2f_o$. In contrast, the peak base

moments are significantly increased when building natural frequencies are reduced from f_o to $0.80f_o$.

Comparisons of the summation of equivalent static wind load of building along X-, Y- and Rz- directions for three sets of dynamic properties, and two values of damping ratios are shown in Table 2. For natural frequency f_o, and damping ratio = 0.02, the summation of equivalent static wind load (total base shear) for study building along X-, Y- and Z- directions are -2,836 kN, 12,611 kN and -63,030 kN-m, respectively. They were obtained from the largest (100%) base moments and torques in Table 4.5.1a to 4.5.1c and from the procedure in Appendix A. Details of equivalent static wind loads with height are shown in Table 4.7, Fig. 4.5, and wind load combinations are shown in Table 4.9.

Table 2 Comparisons of the summation of equivalent static wind load of building along X-, Y- and Rz- directions for three sets of dynamic properties, and two values of damping ratios.

Natural Freq	Damping (ξ)	X-direction (kN)	Y-direction (kN)	Rz-direction (kN-m)
$0.80\,f_o$	0.020	-2,938	-13,608	70,735
	0.010	3,986	-17,669	84,854
f_o	0.020	-2,836	12,611	-63,030
	0.010	3,463	14,889	-72,184
$1.2\,f_o$	0.020	-2,775	11,932	60,071
	0.010	-2,946	13,796	64,546

Acceleration Response of Studied Building

According to the DPT Standard 1311-50 [DPT 2007] and NBCC code [NBCC 2005], the recommended serviceability design for human comfort criteria for the studied building is that the peak acceleration under a 10 years return period should be less than 15 mg and 25 mg for residential buildings and commercial buildings, respectively.

Other criteria have also been published that depend on the building's lowest natural frequency (not depend on types of buildings). The ISO criteria [ISO 1992] can be expressed as a peak acceleration not exceeding $0.928f^{-0.412}$ (in % of g) once every 5 years, where f is the lowest natural frequency in Hz. This results in a 5-year criteria of 2.03 % of g (or 20.38 mg) when natural frequencies of studied building = f_o (see section 4.1). Then, based on the above various standards, the recommendation for human comfort criteria of the studied

building should be below 20.38 mg and 25.09 mg ((0.81/0.73)^2*20.38) for 5- and 10-year return periods, respectively.

For serviceability consideration, three natural frequencies ($0.8f_o$, f_o, and $1.2f_o$), two damping ratios ξ (0.010 and 0.005), and two wind speeds (V10 and 0.85V10), the results are shown in Table 3 and can be summarized as follows.

1. For studied building, the peak accelerations are significantly reduced when damping ratio is increased from 0.005) to (0.010 This is because the peak acceleration responses are mainly caused by the resonant parts of acrosswind and alongwind loads.

2. For studied building, the peak accelerations are moderately reduced when building natural frequencies are increased from f_o to $1.2f_o$. In contrast, the peak accelerations are moderately increased when building natural frequencies are reduced from f_o to $0.8f_o$.

Table 3 Comparisons of the predicted peak accelerations from all wind-direction for three sets of dynamic properties, and two values of damping ratios.

Natural Freq.	Wind Speed	Damping (ξ)	Total acc, (mg)	
			Peak	Deg.
$0.8f_o$	V10	0.01	25.01	190
	V10	0.005	35.37	190
	0.85V10	0.01	14.29	190
	0.85V10	0.005	20.21	190
f_o	V10	0.01	17.45	190
	V10	0.005	24.67	190
	0.85V10	0.01	10.14	190
	0.85V10	0.005	14.34	190
$1.2f_o$	V10	0.01	14.43	260
	V10	0.005	20.41	260
	0.85V10	0.01	8.66	260
	0.85V10	0.005	12.25	260

The acceleration responses are calculated at 46F (193.33). Details of RMS and peak acceleration responses are shown in Tables 4.11-4.12 and Figs. 4.6 without wind directionality factor and Figs. 4.7 with wind directionality factor. The predicted peak accelerations calculated with V10 and damping ratio of 0.01 (without considering wind

directionality factor) indicates that the predicted peak accelerations of 17.45 mg occur at wind direction 190 degree. This value is slightly higher than the recommended criteria of 15 mg. [NBCC 2005; DPT 2007] but extremely lower than the recommended criteria of 25.09 mg [ISO 1992], respectively.

For serviceability consideration with economic design, the acceleration response of the studied building shall consider the wind directionality factor. This factor accounts for two effects: (1) The reduced probability of maximum winds coming from any given direction and (2) the reduced probability of the maximum pressure coefficient occurring for any given direction. For the first effect, according to wind climate analysis at the Don Muang Station in Bangkok with wind directionality, a value of wind directional factor is 0.93. For the second effect, the ASCE-7 Standard [2005] recommends a value of 0.85 for main wind force resisting system of buildings. In other words, for the second effect, the average value of reduced wind load and response is assumed to be about 15 percent. Therefore, the combined two effects for wind directionality factor for the wind velocity are $0.93\sqrt{0.85} =$ 0.85. This wind directionality factor is applied only for calculation of acceleration response with V10.

When considering damping ratio of .010 and wind directionality factor of 0.85 with V10, the predicted peak accelerations of 10.14 mg occur at wind direction 190 degree. This value is moderately and extremely lower than the recommended criteria of 15 mg [NBCC 2005; DPT 2007] and the recommended criteria of 25.09 mg [ISO 1992], respectively. Therefore, the studied building is acceptable for human comfort criteria of DPT [DPT 2007], NBCC [NBCC 2005] and ISO [ISO 1992].