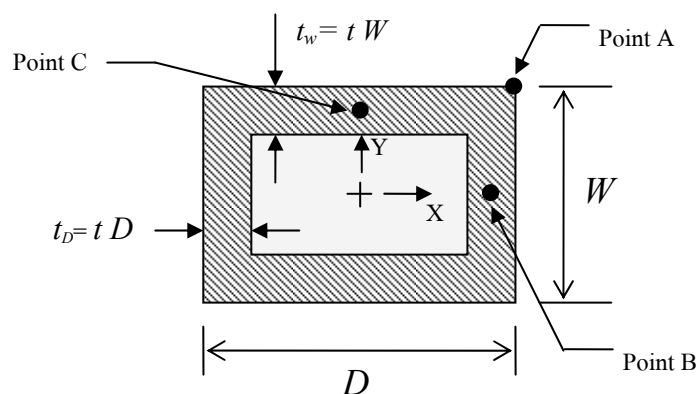


บทที่ 5

การเปรียบเทียบการรวมผลของแรงลม 3 ทิศทางตามแต่ละมาตรฐาน

5.1 ข้อกำหนดการเปรียบเทียบการรวมผลของแรงลม

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลของการรวมผลของแรงลม 3 ทิศทาง คือ ทิศทางลม ทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม และทิศทางบิด ซึ่งกระทำกับอาคารตามรูปแบบที่แตกต่างกันตามแต่ละมาตรฐานนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดข้อกำหนดและขอบเขตของอาคารที่ใช้ในการศึกษาให้ครอบคลุมถึงอาคารสูงรูปร่างสี่เหลี่ยม ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่สามารถใช้ได้ตามมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยผ.1311-50) และเนื่องจากการจำลองโครงสร้างให้มีลักษณะใกล้เคียงกับอาคารจริงเพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองของแรงลมในรูปแบบต่างๆ นั้นใช้เวลาค่อนข้างมาก และยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายแรงในองค์อาคารต่างๆ ที่ต้องคำนึงถึงหลายด้าน เช่น อัตราส่วนของความแข็งแรงของพื้นต่อเสา หรือ ผนังรับแรงเฉือน ขนาดของเสา ขนาดของเสารับแรงเฉือน พฤติกรรมการต้านทานแรงลมร่วมกันของเสาซึ่งเป็นโครงข้อแข็ง ผนังรับแรงเฉือน เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้ใช้แบบจำลองซึ่งมีลักษณะเป็น กล่องรูปร่างสี่เหลี่ยมกลวง ติดอยู่บนฐานรองรับแบบยึดแน่น ดังภาพที่ 5.1 และสามารถคำนวณหน่วยแรงที่จุดต่างๆ ได้ดังสมการที่ 5.1 ถึง 5.3 ซึ่งทำให้ง่ายต่อการคำนวณหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบในแต่ละมาตรฐาน



ภาพที่ 5.1

รูปตัดของแบบจำลองแบบกล่องรูปร่างสี่เหลี่ยมกลวง

$$\text{หน่วยแรงอัดในแนวแกน ที่จุด A; } \sigma_z^A = \frac{M_x W}{2I_x} + \frac{M_y D}{2I_y} \quad (5.1)$$

$$\text{หน่วยแรงเฉือนในทิศทาง X ที่จุด C; } \tau_{zx}^C = \frac{V_x Q_y}{I_y 2t_w} + \frac{T}{2t_w A_m} \quad (5.2)$$

$$\text{หน่วยแรงเฉือนในทิศทาง Y ที่จุด B; } \tau_{zy}^B = \frac{V_y Q_x}{I_x 2t_d} + \frac{T}{2t_d A_m} \quad (5.3)$$

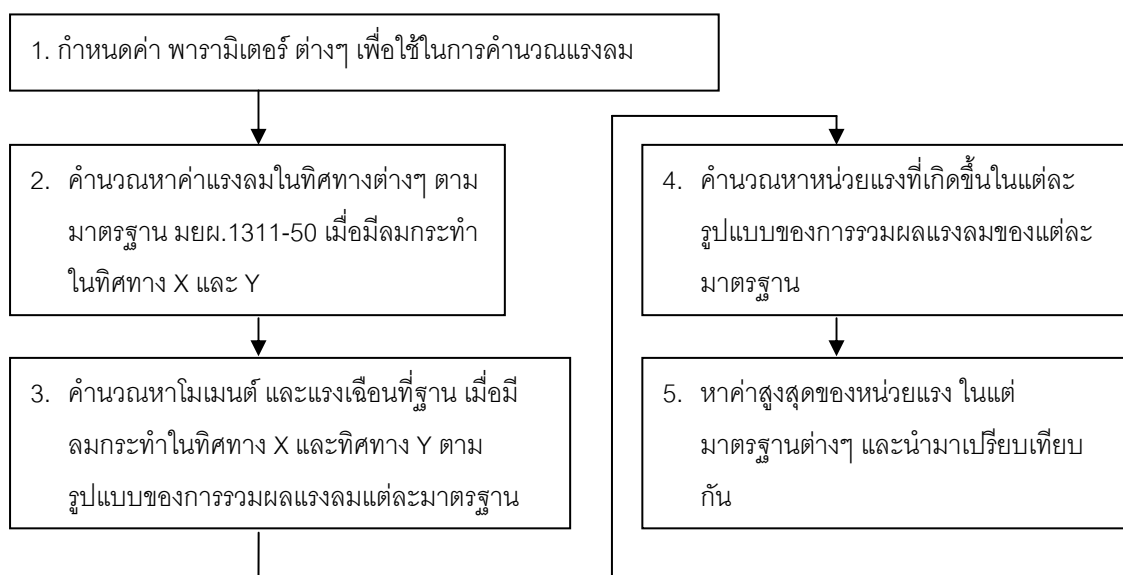
ลักษณะอาคาร และแรงลม ที่ศึกษามีลักษณะดังนี้

1. อาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 3, 4, 5, 6$
2. อาคารมีรูปทรงสี่เหลี่ยม มีอัตราส่วน $\frac{D}{W} = 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5$
3. ความสูงของอาคารที่ศึกษา $H = 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180, 195$ เมตร
4. ขนาดความหนาของแบบจำลอง $t = 0.05$ และ 0.20 เท่าของแต่ละด้านของแบบจำลอง
5. ความเร็วลมอ้างอิงที่ใช้ออกแบบ = 25, 27, 30 m/s (ความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความสูง 10 เมตรจากพื้นดิน ในสภาพภูมิประเทศโล่ง)
6. ลักษณะภูมิประเทศ แบบ A, B, C ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50
7. ประเมินค่าความถี่ธรรมชาติพื้นฐานในทิศทางระนาบเท่ากับ $44/H$
8. ประเมินค่าความถี่ธรรมชาติพื้นฐานในทิศทางระนาบเท่ากับ $55/H$
9. ใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วงของอาคารเท่ากับ 0.015

รูปแบบการรวมผลของแรงลมในแต่ละมาตรฐาน อาจแบ่งได้เป็น 2 แบบหลัก คือ 1. การรวมผลของแรงลม ซึ่งใช้แต่แรงในทิศทางลมกระทำกับอาคารในรูปแบบต่างๆ 4 รูปแบบ เพื่อคำนวณหาผลตอบสนองสูงสุดของโครงสร้าง ซึ่งได้แก่ มาตรฐาน ASCE7-05, NBC 2005 และ 2. แบบมาตรฐาน AIJ-2004 ซึ่งใช้แรงลมทั้ง 3 ทิศทางที่คำนวณได้ กระทำกับอาคารในสัดส่วนที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ โดยพิจารณาให้แรงในทิศทางหนึ่งมีค่ามากที่สุดและใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมในการคำนวณอัตราส่วนของแรงในอีกสองทิศทาง สำหรับมาตรฐานของไทย (มยผ.1311-50) นั้นได้ใช้รูปแบบการรวมผลของแรงลมในอาคารสูงเหมือนกับมาตรฐาน AIJ-2004 แต่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างแรงลมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม และทิศทางบิดแตกต่างกัน คือใช้เท่ากับ 1 ในทุกกรณี นั่นคือกำหนดให้แรงในสองทิศทางนี้เกิดค่าสูงสุดพร้อมกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบรูปแบบการรวมผลของแรงลมของมาตรฐาน 3

มาตรฐาน คือ ASCE7-05, AIJ-2004 และ มยผ.1311-50 โดยหาค่าหน่วยแรงสูงสุดเมื่อมีลมมากระทำกับอาคารทั้งด้าน X และ Y ที่ตำแหน่ง A B และ C ในภาพที่ 5.1 ตามรูปแบบการรวมผลของแรงลมในแต่ละมาตรฐานมาเปรียบเทียบกัน แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงในภาพที่ 5.2 และรูปแบบการรวมผลของแรงแต่ละแบบของแต่ละมาตรฐานแสดงในตารางที่ 5.1

การคำนวณผลตอบสนองของอาคารตัวอย่างภายใต้ข้อกำหนดด้านบน แสดงตัวอย่างการคำนวณไว้ในหัวข้อ 5.2 ส่วนผลการเปรียบเทียบแสดงในหัวข้อ 5.3 ผลความแตกต่างของการรวมผลแรงลมของอาคารทุกกรณีความสูงที่ศึกษาในแต่ละมาตรฐานแสดงไว้ในภาคผนวก ก ผลความแตกต่างของการรวมผลแรงลมของอาคารสูงสุดทุกกรณีความสูงที่ศึกษาแสดงไว้ในภาคผนวก ข



ภาพที่ 5.2

ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบการรวมผลของแรงลม 3 ทิศทางตามแต่ละมาตรฐาน

ตารางที่ 5.1

รูปแบบการรวมผลของแรงแต่ละแบบของแต่ละมาตรฐาน

มาตรฐาน	รูปแบบ	ทิศทางลม	ชื่อย่อ
มยผ.1311-50	1	X	THA 1X
		Y	THA 1Y
	2	X	THA 2X
		Y	THA 2Y
AIJ-2004	1	X	AIJ 1X
		Y	AIJ 1Y
	2	X	AIJ 2X
		Y	AIJ 2Y
	3	X	AIJ 3X
		Y	AIJ 3Y
ASCE 7-05	1	X	ASCE 1X
		Y	ASCE 1Y
	2	X	ASCE 2X
		Y	ASCE 2Y
	3	XY	ASCE 3XY
	4	XY	ASCE 4XY

5.2 การคำนวณผลตอบสนองของอาคารเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการรวมผลของแรงลม

หัวข้อนี้แสดงตัวอย่างของการคำนวณแรงลม 3 ทิศทางตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 และการเปรียบเทียบการรวมผลของแรงลม ระหว่างมาตรฐาน ASCE7-09, AIJ-2004 และ มยผ. 1311-50

1. กำหนดค่า พารามิเตอร์ ต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณแรงลม

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของอาคารตัวอย่างในตารางที่ 5.2 ค่าความถี่ธรรมชาติพื้นฐาน ในทิศทางระนาบและทิศทางบิด เท่ากับ 0.2256 และ 0.2821 Hz . ตามลำดับ อัตราส่วนความหน่วงในทุกทิศทางเท่ากับ 0.015

ตาราง 5.2

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณแรงลมของอาคารตัวอย่าง

Exposure	Velocity (m/s)	Air density (kg/m^3)	$\frac{H}{\sqrt{WD}}$	D/W	$H(m)$	$W(m)$	$D(m)$	I_w
B	30	1.25	6	1.5	195	26.54	39.8	1

2. คำนวณหาค่าแรงลมในทิศทางต่างๆ ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 เมื่อมีลมกระทำในทิศทาง X และ Y

2.1 แรงลมในทิศทางลม (Along wind force)

ความดันลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกของอาคารในทิศทางลม คำนวณได้จากสมการที่ 5.4 โดยรายละเอียดการคำนวณแสดงในบทที่ 3 ค่าพารามิเตอร์สำหรับคำนวณค่า C_g แสดงในตารางที่ 5.3 และค่าแรงลมที่กระทำกับอาคารในทิศทางลมเมื่อรวมแรงด้านหน้าลมและด้านหลังลมที่ความสูงต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.4

$$p = I_w q C_e C_g C_p \quad (5.4)$$

ตารางที่ 5.3

ผลการคำนวณพารามิเตอร์สำหรับค่า C_g ของอาคารตัวอย่าง

	B	F	s	σ/μ	g_p	C_g
Wind X dir.	0.618	0.277	0.114	0.372	3.78	2.41
Wind Y dir.	0.562	0.277	0.088	0.334	3.78	2.26

ตารางที่ 5.4

ค่าแรงลมรวม ($P_{(w+l)}$) แรงเฉือน (V) และ โมเมนต์ (M) ที่กระทำกับอาคาร
ในทิศทางลมที่ความสูงต่างๆ

Z(m)		195	173	151	130	108	86	65	43	21	0
Wind X dir.	$P_{(w+l)} (Kgf/m^2)$	312	300	287	273	257	240	221	198	168	151
	$V (Ton)$	0	176	345	506	658	801	933	1,054	1,160	1,249
	$M (Ton.m)$	0	1,920	7,574	16,799	29,418	45,239	64,047	85,603	109,615	135,721
Wind Y dir.	$P_{(w+l)} (Kgf/m^2)$	293	282	269	256	241	225	207	186	158	142
	$V (Ton)$	0	248	485	712	926	1,128	1,315	1,484	1,633	1,758
	$M (Ton.m)$	0	2,703	10,666	23,657	41,427	63,705	90,192	120,546	154,361	191,123

2.2 แรงลมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม (Across wind force)

หน่วยแรงลมที่กระทำบนพื้นผิวภายนอกของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม คำนวณได้จากสมการที่ 5.5 โดยรายละเอียดการคำนวณแสดงในบทที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับคำนวณค่า P_L แสดงในตารางที่ 5.5 และค่าแรงลมที่กระทำกับอาคารในทิศทางลมตั้งฉากกับทิศทางลมที่ความสูงต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.6

$$P_L = 3I_w q_H C_L' A \frac{z}{H} g_L \sqrt{1 + R_L} \quad (5.5)$$

2.3 แรงลมในทิศทางบิด (Torsion)

แรงบิดที่กระทำกับอาคาร คำนวณได้จากสมการที่ 5.6 โดยรายละเอียดการคำนวณแสดงในบทที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับคำนวณค่า M_T แสดงในตารางที่ 5.7 และค่าแรงลมที่กระทำกับอาคารในทิศทางลมตั้งฉากกับทิศทางลมที่ความสูงต่างๆ แสดงในตารางที่ 5.8

$$M_T = 1.8I_w q_H C_T' A W \frac{z}{H} g_T \sqrt{1 + R_T} \quad (5.6)$$

ตารางที่ 5.5

ผลการคำนวณพารามิเตอร์สำหรับค่า P_L ของอาคารตัวอย่าง

	V_H	$q_H (Kgf/m^2)$	C_L'	g_L	F_L	R_L
Wind X dir.	41.99	112.34	0.1979	3.82	0.1606	8.41
Wind Y dir.	41.99	112.34	0.1175	3.82	0.1298	6.80

ตารางที่ 5.6

ค่าแรงลมรวม ($P_{(w+l)}$) แรงเฉือน (V) และ โมเมนต์ (M) ที่กระทำกับอาคาร
ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลมที่ความสูงต่างๆ

Z(m)		195	173	151	130	108	86	65	43	21	0
Wind X dir.	$P_{(w+l)} (Kgf/m^2)$	521	463	405	347	289	232	174	116	58	0
	$V (Ton)$	0	424	799	1,123	1,398	1,622	1,797	1,922	1,997	2,021
	$M (Ton.m)$	0	2,523	10,454	24,333	44,700	72,096	107,063	150,141	201,870	262,791
Wind Y dir.	$P_{(w+l)} (Kgf/m^2)$	634	563	493	422	352	282	211	141	70	0
	$V (Ton)$	0	344	648	911	1,133	1,315	1,457	1,558	1,619	1,639
	$M (Ton.m)$	0	2,046	8,477	19,731	36,246	58,461	86,815	121,745	163,691	213,090

ตารางที่ 5.7

ผลการคำนวณพารามิเตอร์สำหรับค่า M_T ของอาคารตัวอย่าง

	V_H	$q_H (Kgf/m^2)$	C_T'	G_T	F_T	R_T
Wind X dir.	41.99	112.34	0.0818	3.88	0.1918	10.05
Wind Y dir.	41.99	112.34	0.0343	3.88	0.0739	3.87

ตารางที่ 5.8

ค่าโมเมนต์บิดที่กระทำ (m_T) และโมเมนต์ที่เกิดขึ้น (M_T) กับอาคารที่ความสูงต่างๆ

Z(m)		195	173	151	130	108	86	65	43	21	0
Wind X dir.	$m_T; Ton.m$	150	133	117	100	83	67	50	33	17	0
Wind Y dir.	$m_T; Ton.m$	94	84	73	63	52	42	31	21	10	0
Wind X dir.	$M_T; Ton.m$	0	3,069	5,777	8,124	10,110	11,735	12,999	13,902	14,443	14,624
Wind Y dir.	$M_T; Ton.m$	0	1,925	3,624	5,096	6,342	7,361	8,154	8,720	9,060	9,173

3. คำนวณหาโมเมนต์ และแรงเฉือนพื้นฐาน เมื่อมีลมกระทำในทิศทาง X และทิศทาง Y ตามรูปแบบของการรวมผลแรงลมแต่ละมาตรฐาน

3.1 รูปแบบของการรวมผลแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50

การรวมผลของแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 แบ่งเป็น 2 แบบ ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9

รูปแบบการรวมผลของแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50

แบบที่	แรงในทิศทางลม (W_D)	แรงในทิศทางตั้งฉากกับแรงลม (W_L)	โมเมนต์บิด (W_T)
1	W_D	$0.4 W_L$	$0.4 W_T$
2	$\left(0.4 + \frac{0.6}{C_g}\right) W_D$	W_L	$1.0 W_T$

ค่า C_g สำหรับการคำนวณแรงลมแต่ละทิศทางแสดงในตารางที่ 5.3 เมื่อพิจารณาแรงลมกระทำทางด้าน X และ Y จะได้รูปแบบการรวมผลรวมทั้งหมด 4 รูปแบบ ซึ่งแสดงค่าแรงพื้นฐานของการรวมผลของแรงลมแต่ละแบบไว้ในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10

แรงลัพธ์พื้นฐานของการรวมผลของแรงลม ตามมาตรฐาน มยผ.1311-50

Case	Direction	$M_x (T.m)$	$M_y (T.m)$	$M_z (T.m)$	$V_x (T)$	$V_y (T)$
THA 1X	Factor	0.40	1.00	0.40	1.00	0.40
	Reaction	105,117	135,721	5,850	1,249	809
THA 1Y	Factor	0.40	1.00	0.40	1.00	0.40
	Reaction	191,123	85,236	3,669	656	1,758
THA 2X	Factor	1.00	0.65	1.00	0.65	1.00
	Reaction	262,791	88,082	14,624	810	2,021
THA 2Y	Factor	0.67	1.00	1.00	1.00	0.67
	Reaction	127,140	213,090	9,173	1,639	1,170

3.2 รูปแบบของการรวมผลแรงลมตามมาตรฐาน AIJ-2004

การรวมผลของแรงลมตามมาตรฐาน AIJ-2004 แบ่งเป็น 3 แบบ ดังตารางที่

5.11

ตารางที่ 5.11

รูปแบบการรวมผลของแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50

แบบที่	แรงในทิศทางลม (W_D)	แรงในทิศทางตั้งฉากกับแรงลม (W_L)	โมเมนต์บิด (W_T)
1	W_D	$0.4 W_L$	$0.4 W_T$
2	$W_D \left(0.4 + \frac{0.6}{G_D} \right)$	W_L	$(\sqrt{2 + 2\rho_{LT}} - 1) W_T$
3	$W_D \left(0.4 + \frac{0.6}{G_D} \right)$	$(\sqrt{2 + 2\rho_{LT}} - 1) W_L$	W_T

ค่า C_g สำหรับการคำนวณแรงลมแต่ละทิศทางแสดงในตารางที่ 5.3 ค่า ρ_{LT} เมื่อลมกระทำทิศทาง X และ Y คำนวณได้จากรายละเอียดในบทที่ 3 และมีค่าเท่ากับ 0.2 และ 0.31 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแรงลมกระทำทางด้าน X และ Y จะได้รูปแบบการรวมผลรวมทั้งหมด 6 รูปแบบ ซึ่งแสดงค่าแรงพื้นฐานของการรวมผลของแรงลมแต่ละแบบไว้ในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12

แรงลัพธ์พื้นฐานของการรวมผลของแรงลม ตามมาตรฐาน AIJ-2004

Case	Direction	$M_x (T.m)$	$M_y (T.m)$	$M_z (T.m)$	$V_x (T)$	$V_y (T)$
AIJ 1X	Factor	0.40	1.00	0.40	1.00	0.40
	Reaction	105,117	135,721	5,850	1,249	809
AIJ 1Y	Factor	0.40	1.00	0.40	1.00	0.40
	Reaction	191,123	85,236	3,669	656	1,758
AIJ 2X	Factor	1.00	0.65	0.55	0.65	1.00
	Reaction	262,791	88,082	8,031	810	2,021
AIJ 2Y	Factor	0.67	1.00	0.62	1.00	0.67
	Reaction	127,140	213,090	5,671	1,639	1,170
AIJ 3X	Factor	0.55	0.65	1.00	0.65	0.55
	Reaction	144,323	88,082	14,624	810	1,110
AIJ 3Y	Factor	0.67	0.62	1.00	0.62	0.67
	Reaction	127,140	131,729	9,173	1,013	1,170

3.3 รูปแบบของการรวมผลแรงลมตามมาตรฐาน ASCE7-05

การรวมผลของแรงลมตามมาตรฐาน ASCE7-05 แบ่งเป็น 4 แบบ 2 แบบแรกพิจารณาให้ลมกระทำทางทิศทาง X และ Y ตามลำดับ ส่วน 2 แบบหลังพิจารณาให้ลมกระทำทางด้าน X และ Y พร้อมกัน รวมเป็นทั้งหมด 6 รูปแบบ การรวมผลของแรงลมตามมาตรฐาน ASCE7-05 นั้นใช้แค่แรงลมในทิศทางลม มากระทำกับโครงสร้างในรูปแบบต่างๆ กัน และการคำนวณหาโมเมนต์บิดที่กระทำกับโครงสร้างก็ใช้แรงในทิศทางลมกระทำเยื้องศูนย์กลางเป็นระยะ e ซึ่งคำนวณได้จากรายละเอียดในบทที่ 4 อย่างไรก็ตามพบว่า วิธีการคำนวณค่า e ขึ้นกับลักษณะภูมิ

ประเทศ และความเร็วลม ซึ่งมาตรฐาน มยผ.1311-5 และ มาตรฐาน ASCE7-05 ได้มีการนิยามค่าทั้ง 2 นี้ไว้แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ใช้นิยามลักษณะภูมิประเทศจาก มาตรฐาน มยผ.1311-50 เป็นหลัก ดังนั้นในการหาค่า e จากมาตรฐาน ASCE7-05 นั้นจำเป็นต้องมีการแปลงค่าที่นิยามจากมาตรฐาน มยผ.1311-50 ให้สอดคล้องกับมาตรฐาน ASCE7-05 เสียก่อน โดยลักษณะภูมิประเทศที่นิยามจากมาตรฐาน มยผ.1311-50 สามารถเทียบเท่ากับมาตรฐาน ASCE7-05 ได้ดังตารางที่ 5.13 และสำหรับความเร็วลมอ้างอิงที่นิยามจากมาตรฐาน มยผ.1311-50 ซึ่งเป็นความเร็วเฉลี่ยในระยะเวลา 1 ชั่วโมง (หน่วย เมตร ต่อ วินาที) สามารถเปลี่ยนให้สอดคล้องกับนิยามในมาตรฐาน ASCE7-05 ซึ่งใช้ความเร็วกรรโชกในระยะเวลา 3 วินาที (หน่วย เมตร ต่อ วินาที) ได้จากสมการที่ 5.7

$$V_{3\text{sec}} = 1.5V_{hr} \quad (5.7)$$

โดย $V_{3\text{sec}}$ = ความเร็วกรรโชกในระยะเวลา 3 วินาที (หน่วย เมตร ต่อ วินาที)
 V_{hr} = ความเร็วเฉลี่ยในระยะเวลา 1 ชั่วโมง (หน่วย เมตร ต่อ วินาที)

ตารางที่ 5.13

การเปรียบเทียบลักษณะภูมิประเทศตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 และ ASCE7-05

มยผ. 1311-50	คำอธิบาย	ASCE7- 05	คำอธิบาย
A	สภาพแบบเปิดโล่ง มีอาคารต้นไม้กระจัดกระจายห่างๆ	C	สภาพแบบเปิดโล่ง มีอาคารต้นไม้กระจัดกระจายห่างๆ
B	สภาพชานเมือง หรือมีต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือศูนย์กลางเมืองขนาดเล็ก	B	สภาพศูนย์กลางเมืองใหญ่หรือชานเมือง
C	สภาพศูนย์กลางเมืองใหญ่	B	สภาพศูนย์กลางเมืองใหญ่หรือชานเมือง

ค่า e สำหรับหาค่าโมเมนต์บิดที่ได้จากเมื่อมีลมกระทำกับอาคารในทิศทาง X (e_x) และ Y (e_y) มีค่าเท่ากับ 3.29 และ 5.02 เมตร ตามลำดับ และสามารถคำนวณโมเมนต์บิดที่กระทำกับโครงสร้าง ที่ระดับความสูงต่างๆ สำหรับใช้ในการรวมผลแบบ ASCE7-05 ได้ตาม

สมการที่ 5.8 และแสดงในตารางที่ 5.14 และผลค่าแรงพื้นฐานของการรวมผลของแรงลมแต่ละแบบตามมาตรฐาน ASCE7-05 แสดงไว้ในตารางที่ 5.15

$$M_T = W_D B e \quad (5.8)$$

W_D = แรงดันลมรวมในทิศทางลม
 B = ความกว้างของอาคารด้านที่รับลม
 e = ระยะเยื้องศูนย์กลาง

ตารางที่ 5.14

ค่าโมเมนต์บิดที่กระทำ (m_T) และโมเมนต์ที่เกิดขึ้น (M_T) กับอาคารที่ความสูงต่างๆ เพื่อใช้ในการรวมผลตามรูปแบบของ มาตรฐาน ASCE7-05

Z(m)		195	173	151	130	108	86	65	43	21	0
Wind X dir.	$m_T; \text{Ton.m}$	27	26	25	24	22	21	19	17	15	13
Wind Y dir.	$m_T; \text{Ton.m}$	59	56	54	51	48	45	41	37	31	28
Wind X dir.	$M_T; \text{Ton.m}$	0	580	1,135	1,665	2,167	2,638	3,075	3,472	3,820	4,112
Wind Y dir.	$M_T; \text{Ton.m}$	0	1,243	2,434	3,570	4,646	5,656	6,593	7,444	8,190	8,818

4. คำนวณหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบของการรวมผลแรงลมของแต่ละมาตรฐาน

จากค่า M_x , M_y , M_z , V_x , V_y ในขั้นตอนที่ 3 เมื่อกำหนดค่า t จากภาพที่ 5.1 เท่ากับ 0.05 สามารถคำนวณหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบของการรวมผลแรงลมของแต่ละมาตรฐานได้จากสมการที่ 5.1 ถึง 5.3 และได้แสดงในตารางที่ 5.16

5. หาค่าสูงสุดของหน่วยแรง ในแต่ละมาตรฐานต่างๆ และนำมาเปรียบเทียบกัน

จากขั้นตอนที่ 4 นำหน่วยแรงที่ตำแหน่งต่างๆ ของอาคารตัวอย่างมาเปรียบเทียบกัน ในรูปของ เปอร์เซนต์ความแตกต่างระหว่างหน่วยแรงที่เกิดจากการรวมแรงตาม

มาตรฐาน A และ B ซึ่งหาได้จากสมการที่ 5.9 จากนั้นทดลองเปลี่ยนความสูง H และทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 จะได้ค่าความแตกต่างของหน่วยแรงที่เกิดจากการรวมผลแรงจาก 2 มาตรฐานที่ความสูงต่างๆ สำหรับอาคารที่มีค่า $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 6$ และค่า $\frac{D}{W} = 1.5$ ที่ $V = 30 \text{ m/s}$ และสภาพภูมิประเทศแบบ B ดังตารางที่ 5.17

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่าง มาตรฐาน } A-B = \left(1 - \frac{A}{B}\right) \times 100 \quad (5.9)$$

ตารางที่ 5.15

แรงลัพธ์พื้นฐานของการรวมผลของแรงลม ตามมาตรฐาน ASCE7-05

Case	Direction	$M_x \text{ (T.m)}$	$M_y \text{ (T.m)}$	$M_z \text{ (T.m)}$	$V_x \text{ (T)}$	$V_y \text{ (T)}$
ASCE 1X	Factor	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00
	Reaction	0	135,721	0	1,249	0
ASCE 1Y	Factor	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	Reaction	191,123	0	0	0	1,758
ASCE 2X	Factor	0.00	0.75	0.75	0.75	0.00
	Reaction	0	101,790	3,084	936	0
ASCE 2Y	Factor	0.75	0.00	0.75	0.00	0.75
	Reaction	143,342	0	6,614	0	1,319
ASCE 3XY	Factor	0.75	0.75	0.00	0.75	0.75
	Reaction	143,342	101,790	0	936	1,319
ASCE 4XY	Factor	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
	Reaction	107,602	76,411	7,280	703	990

ตารางที่ 5.16

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบของการรวมผลแรงลมของแต่ละมาตรฐาน

Case	σ_Z^A ; T/m ²	τ_{ZY}^B ; T/m ²	σ_{ZX}^C ; T/m ²
THA 1X	121.75	10.59	16.28
THA 1Y	154.34	20.64	8.79
THA 2X	200.13	26.48	14.85
THA 2Y	167.57	15.51	21.97
Max	200.13	26.48	21.97
AIJ 1X	121.75	10.59	16.28
AIJ 1Y	154.34	20.64	8.79
AIJ 2X	200.13	24.74	12.24
AIJ 2Y	167.57	14.58	20.59
AIJ 3X	126.39	16.28	14.85
AIJ 3Y	133.80	15.51	14.97
Max	200.13	24.74	20.59
ASCE 1X	56.32	0.00	13.97
ASCE 1Y	118.97	19.68	0.00
ASCE 2X	42.24	0.81	11.70
ASCE 2Y	89.23	16.50	2.61
ASCE 3XY	131.47	14.76	10.48
ASCE 4XY	98.69	13.00	10.74
Max	131.47	19.68	13.97

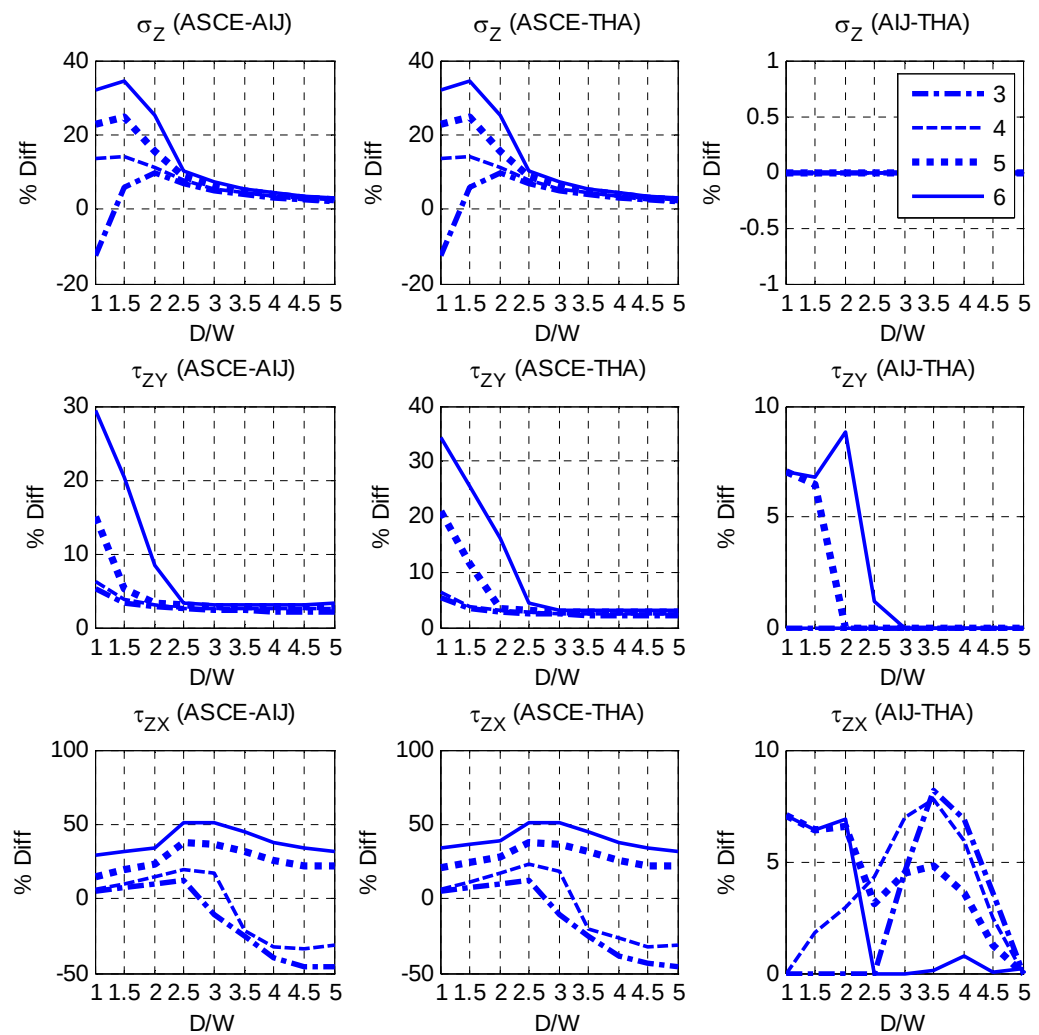
ตารางที่ 5.17

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของหน่วยแรงที่เกิดจากการรวมผลของแรงจาก 2 มาตรฐาน

เมื่อ $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 6$ และค่า $\frac{D}{W} = 1.5$ ที่ $V = 30 \text{ m/s}$ สภาพภูมิประเทศแบบ B และ $t = 0.05$

Code Comparison		ASCE-AIJ			ASCE-THA			AIJ-THA		
Stress; Ton/m^2		σ_Z^A	τ_{ZY}^B	τ_{ZX}^C	σ_Z^A	τ_{ZY}^B	τ_{ZX}^C	σ_Z^A	τ_{ZY}^B	τ_{ZX}^C
$H \text{ (m)}$	45	8.38	3.38	9.08	8.38	3.38	9.08	0.00	0.00	0.00
	60	15.26	3.70	10.21	15.26	3.70	13.72	0.00	0.00	3.91
	75	19.95	3.93	14.12	19.95	3.93	19.56	0.00	0.00	6.34
	90	23.36	4.11	18.49	23.36	8.72	23.68	0.00	4.80	6.37
	105	25.97	6.94	21.78	25.97	13.00	26.77	0.00	6.51	6.38
	120	28.04	10.44	24.35	28.04	16.33	29.18	0.00	6.57	6.38
	135	29.72	13.26	26.44	29.72	19.01	31.14	0.00	6.63	6.38
	150	31.13	15.59	28.20	31.13	21.22	32.77	0.00	6.68	6.38
	165	32.33	17.56	29.70	32.33	23.10	34.17	0.00	6.72	6.37
	180	33.38	19.26	31.01	33.38	24.71	35.40	0.00	6.76	6.36
	195	34.31	20.47	32.13	34.31	25.69	36.40	0.00	6.56	6.30

จากตารางที่ 5.17 พิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มากที่สุดของทุกกรณีความสูง สำหรับภูมิประเทศแบบ B ความเร็วลม 30 m/s และค่า $t = 0.05$ เปรียบเทียบกับอาคารที่มีค่า $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ และ $\frac{D}{W}$ อื่นๆ จะได้ผลดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3

ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มากที่สุดของทุกกรณีความสูงสำหรับภูมิประเทศ

แบบ B, $V = 30 \text{ m/s}$ และค่า $t = 0.05$

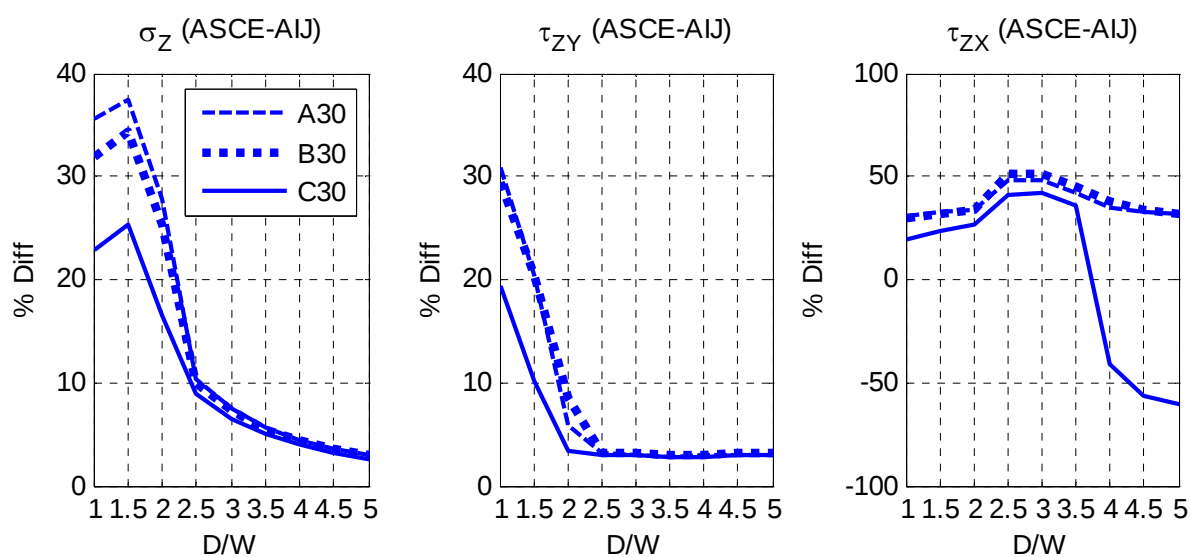
5.3 ผลการเปรียบเทียบการรวมผลของแรงลม

ผลการเปรียบเทียบการรวมผลของแรงลมตามมาตรฐานต่างๆ พบว่าผลของการเปลี่ยนแปลงค่า t (ความหนาของแบบจำลอง) ต่อการเปรียบเทียบหน่วยแรงจากการรวมผลของแรงลมตามมาตรฐานต่างๆ มีค่าน้อยมาก ซึ่งแสดงว่าความหนาของแบบจำลองซึ่งสมมุติขึ้นมาใน

การคำนวณหาหน่วยแรงของแบบจำลองต่อแรงลม เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการรวมผลของแรงลม นั้น มีผลต่อการศึกษการเปรียบเทียบการรวมผลของแรงลมตามมาตรฐานต่างๆ น้อย ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มากที่สุดของทุกกรณีความสูงของอาคารที่ศึกษาทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ก และผลการเปรียบเทียบการรวมผลของแรงลมแบ่งตามพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถแยกเป็น 3 เรื่องหลักดังนี้

1. ผลของการเปลี่ยนแปลง ความเร็วลมอ้างอิง, สภาพภูมิประเทศ

1.1 เมื่อใช้ความเร็วลมอ้างอิงเท่ากัน แต่สภาพภูมิประเทศต่างกัน พบว่า ความแตกต่างของหน่วยแรงจากการรวมผลของแรงลมตามมาตรฐาน ASCE7-05 และ AIJ (2004) ในสภาพภูมิประเทศแบบเปิดโล่ง (A) มีค่าสูงกว่า สภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง (B) และสูงกว่าแบบกลางเมืองใหญ่ (C) ตามลำดับ ตัวอย่างการเปรียบเทียบการรวมผลของแรงลม ในสภาพภูมิประเทศแบบต่างๆ สำหรับอาคารที่มีค่า $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 6$, $V = 30$ m/s แสดงดังภาพที่ 5.4

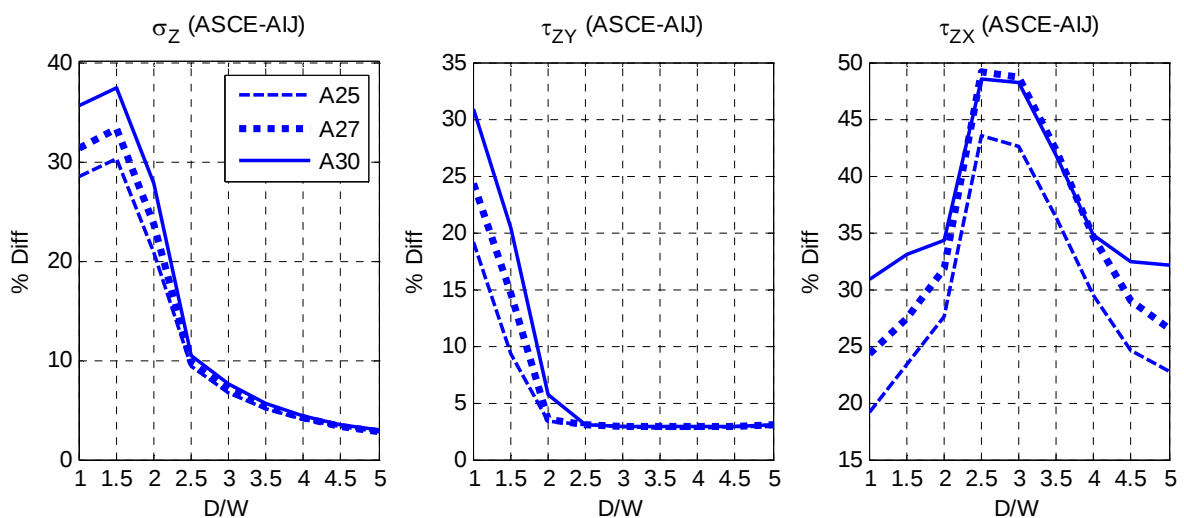


ภาพที่ 5.4

ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มากที่สุดของทุกกรณีความสูงสำหรับภูมิประเทศแบบต่างๆ

$$\text{โดย } \frac{H}{\sqrt{WD}} = 6, V = 30 \text{ m/s และค่า } t = 0.05$$

1.2 เมื่อใช้ความเร็วลมอ้างอิงต่างกัน แต่สภาพภูมิประเทศเหมือนกัน พบว่าความแตกต่างของหน่วยแรงจากการรวมผลของแรงลมตามมาตรฐาน ASCE7-05 และ AIJ2004 มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ความเร็วลมอ้างอิงสูงขึ้น ตัวอย่างการเปรียบเทียบการรวมผลของแรงลม ในสภาพภูมิประเทศแบบ A สำหรับอาคารที่มีค่า $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 6$, $V = 25, 27, 30$ m/s แสดงดังภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.5

ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มากที่สุดของทุกกรณีความสูงสำหรับภูมิประเทศแบบ A

โดย $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 6$, $V = 25, 27, 30$ m/s และค่า $t = 0.05$

2. ผลของหน่วยแรงอัดในแนวแกนที่จุดมุมของอาคาร (σ_Z^A)

2.1 อาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ ไม่เท่ากับ 1 หน่วยแรงอัดในแนวแกนจากการรวมผลตามมาตรฐาน ASCE7-05 มีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน AIJ-2004 และ มยผ.1311-50 และมีค่าน้อยกว่ามากขึ้นเมื่ออาคารมีความสูง (H) และอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ มากขึ้น และสำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ เท่ากับ 1 พบว่า หน่วยแรงอัดในแนวแกนจากการรวมผลตามมาตรฐาน ASCE7-05 อาจมีค่ามากกว่ามาตรฐาน AIJ-2004 และ มยผ.1311-50 เมื่ออาคารมีความสูง (H) และอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ ต่ำ โดยมีค่ามากกว่าไม่เกินร้อยละ 27

2.2 อาคารที่มีค่า $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 5$ ถึง 6 ในช่วงอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ มีค่าระหว่าง 0.4 ถึง

2.5 ค่าหน่วยแรงอัดในแนวแกน จากการรวมผลของแรงแบบมาตรฐาน ASCE7-05 มีค่าต่ำกว่า มาตรฐาน AIJ-2004 และ มยผ.1311-50 มากเป็นพิเศษ คือประมาณร้อยละ 7 ถึงร้อยละ 37 โดยอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ ใกล้เคียง 1 (อาคารรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส) จะมีความแตกต่างมากที่สุด ส่วนอาคารที่มีค่า $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ หรือ $\frac{D}{W}$ อื่นๆ พบว่า การรวมผลของแรงแบบมาตรฐาน ASCE7-05 มีค่าต่ำกว่า มาตรฐาน AIJ-2004 และ มยผ.1311-50 ไม่เกินร้อยละ 16

2.3 หน่วยแรงอัดในแนวแกน จากการรวมผลของแรงลม แบบมาตรฐาน AIJ-2004 และ มาตรฐานมยผ.1311-50 ไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจาก หน่วยแรงอัดในแนวแกนในงานวิจัยนี้ได้คำนวณมาจาก เฉพาะแรงลมในทิศทางลม และแรงลมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม ซึ่งแรงทั้งสองทิศทางนี้จะมีค่ามากที่สุดจากกรณีการรวมผลในรูปแบบที่ 1 หรือ 2 ของทั้งสองมาตรฐาน ซึ่งการรวมผลของแรงลม ของมาตรฐานทั้งสองนี้ในส่วนของแรงในทิศทางลม และแรงในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลมมีลักษณะเหมือนกัน

3. ผลของหน่วยแรงเฉือนในทิศทางสั้นของอาคาร (τ_{ZY}^B)

3.1 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ หนึ่งๆ ค่า τ_{ZY}^B จากการรวมผลตามมาตรฐาน ASCE7-05 มีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน AIJ-2004 และ มาตรฐาน มยผ.1311-50 ไม่เกินร้อยละ 37 โดยจะมีค่าน้อยกว่ามากขึ้นเมื่ออาคารมีความสูง (H) และอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ มากขึ้น

3.2 เมื่อเปรียบเทียบค่า τ_{ZY}^B จากการรวมผลตามมาตรฐาน ASCE7-05 กับ AIJ-2004 พบว่าในอาคารที่มีค่า $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 5$ ถึง 6 ในช่วงอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ มีค่าระหว่าง 0.25 ถึง 2.5 ค่า τ_{ZY}^B จากการรวมผลของแรงแบบมาตรฐาน ASCE7-05 มีค่าต่ำกว่า มาตรฐาน AIJ-2004 มากเป็นพิเศษ คือประมาณร้อยละ 3 ถึง ร้อยละ 32 โดยอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ ใกล้เคียง 1 (อาคารรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส) จะมีความแตกต่างมากที่สุด ส่วนอาคารที่มีค่า $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ หรือ $\frac{D}{W}$ อื่นๆ พบว่าค่า τ_{ZY}^B จากการรวมผลของแรงแบบมาตรฐาน ASCE7-05 มีค่าต่ำกว่า มาตรฐาน AIJ-2004 ไม่เกินร้อยละ 8

3.3 ค่า τ_{ZY}^B จากการรวมผลของแรงลม แบบมาตรฐาน AIJ-2004 และ มาตรฐาน มยผ.1311-50 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าที่ได้จาก มาตรฐาน มยผ.1311-50 มีค่ามากกว่า ค่าจากมาตรฐาน AIJ-2004 ไม่เกินร้อยละ 10% ในทุกกรณี

4. ผลของหน่วยแรงเฉือนในทิศทางยาวของอาคาร (τ_{ZX}^C)

4.1 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ หนึ่งๆ ความแตกต่างของค่า τ_{ZX}^C จากการรวมผลตามมาตรฐาน ASCE7-05 เทียบกับมาตรฐาน AIJ-2004 หรือ มาตรฐาน มยผ.1311-50 จะมีค่ามากขึ้นเมื่อ อาคารมีความสูง (H) และอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ มากขึ้น

4.2 อาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ เท่ากัน ค่า τ_{ZX}^C จากการรวมผลตามมาตรฐาน ASCE7-05 จะมีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน AIJ-2004 หรือ มาตรฐาน มยผ.1311-50 และมีค่าน้อยกว่ามากขึ้นเมื่อค่า $\left|1 - \frac{D}{W}\right|$ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงค่าหนึ่ง ($\left|1 - \frac{D}{W}\right| \approx 1.0-1.5$ สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 3$ ถึง 4) และ $\left|1 - \frac{D}{W}\right| = 1.5$ สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 5$ ถึง 6) โดยความแตกต่างของค่า τ_{ZX}^C จากการรวมผลตามมาตรฐาน ASCE7-05 และมาตรฐาน AIJ-2004 มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง ร้อยละ 25 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 3$ ถึง 4 และมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 7 ถึงร้อยละ 54 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 5$ ถึง 6 จากนั้นเมื่อค่า $\left|1 - \frac{D}{W}\right|$ เพิ่มขึ้น ความแตกต่างจากการรวมผลของมาตรฐานทั้งสองจะมีค่าลดลง โดย มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 25 ถึงลบร้อยละ 112 สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 3$ ถึง 4 และมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 54 ถึงลบร้อยละ 94% สำหรับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}} = 5$ ถึง 6 ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ค่าร้อยละความแตกต่างของ τ_{ZX}^C จากการรวมผลตามมาตรฐาน ASCE7-05 จะมีค่ามากกว่ามาตรฐาน AIJ-2004 เมื่อ $\left|1 - \frac{D}{W}\right|$ มีค่าสูงขึ้น

4.3 ค่า τ_{ZX}^C จากการรวมผลของแรงลม แบบมาตรฐาน AIJ-2004 และ มาตรฐาน มยผ.1311-50 มีลักษณะคล้ายกัน โดยค่าที่ได้จาก มาตรฐาน มยผ.1311-50 มีค่ามากกว่า ค่าจากมาตรฐาน AIJ-2004 ไม่เกิน 10% ในทุกกรณี