การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่า โดยวิธีการอย่างง่าย สำหรับอาคารสูงปานกลาง

รศ. ดร.วิโรจน์ บุญญภิญโญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ขอบข่าย การใช้มาตรฐาน

(ก) กำหนดวิธีการคำนวณค่าของแรงลมและผลกระทบในรูปแบบต่างๆ ของลมที่มีต่ออาคาร เพื่อใช้ในการออกแบบระบบโครงสร้างหลักของอาคาร องค์อาคาร และส่วนประกอบอื่นๆ ของอาคาร เช่น ผนังภายนอกตัวอาคาร หลังคา เป็นต้น

(ข) เป็นข้อกำหนดในขั้นต่ำสุดที่จำเป็นต่อการออกแบบอาคาร เพื่อให้อาคารมีความปลอดภัย และเพื่อจำกัดผลกระทบในรูปแบบต่างๆ ของลมที่มีต่ออาคารให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ตามเกณฑ์มาตรฐานสากล

(ค) นำไปใช้ในการออกแบบอาคารทั่วไป ตั้งแต่อาคารเตี้ยจนถึงอาคารสูงที่มีรูปทรงปกติ แต่มาตรฐานนี้ไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบอาคารที่มีลักษณะพิเศษ หรือโครงสร้างอื่นๆ ที่อาจมีการตอบสนองต่อแรงลมรุนแรงกว่าปกติ เช่น ปล่องไฟที่มีความสูงชะลูด สะพานช่วงยาว ฯลฯ

(ง) ไม่ได้ครอบคลุมสภาพภูมิประเทศที่มีลักษณะพิเศษ ที่อาจทำให้เกิดแรงลมที่สูงกว่าปกติ เช่น ช่องลม ผลของอาคารข้างเคียง ฯลฯ

ข้อพิจารณาหลักของการออกแบบอาคารต้านแรงลม

- ระบบโครงสร้างหลักของอาคาร องค์อาคาร และส่วนประกอบอื่นของอาคาร ต้องได้รับการออกแบบให้มีกำลัง (strength) และเสถียรภาพ (stability) ที่สูงเพียงพอที่จะสามารถต้านทางแรงลมหรือผลเนื่องจากแรงลมได้อย่างปลอดภัย โดยไม่เกิดความเสียหายใดๆ
- การโก่งตัวด้านข้าง (lateral deflection) ของอาคารเนื่องจากแรงลมจะต้องมีค่าน้อยเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่องค์อาคารหลักและองค์อาคารรอง
- การสั่นไหวของอาคาร (building motion) ที่เกิดจากแรงลม ทั้งในทิศทางลมและทิศตั้งฉากกับทิศทางลม มีระดับต่ำเพียงพอที่จะไม่ทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกไม่สบาย หรือเกิดอาการวิงเวียน

รูปแบบการคำนวณแรงลมของมาตรฐานฉบับใหม่

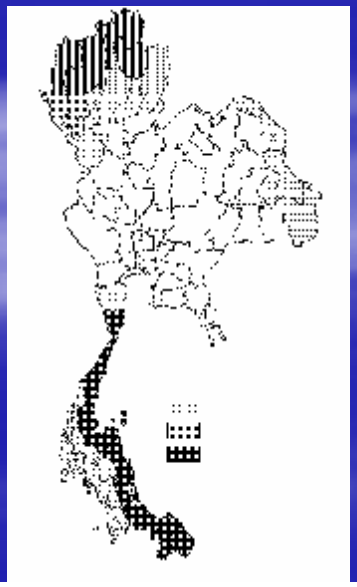
หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า

$$p = I_w q C_e C_g C_p$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม

ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม $\frac{1}{2}\rho\overline{V}^2$



ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ

แบบโล่ง (A)

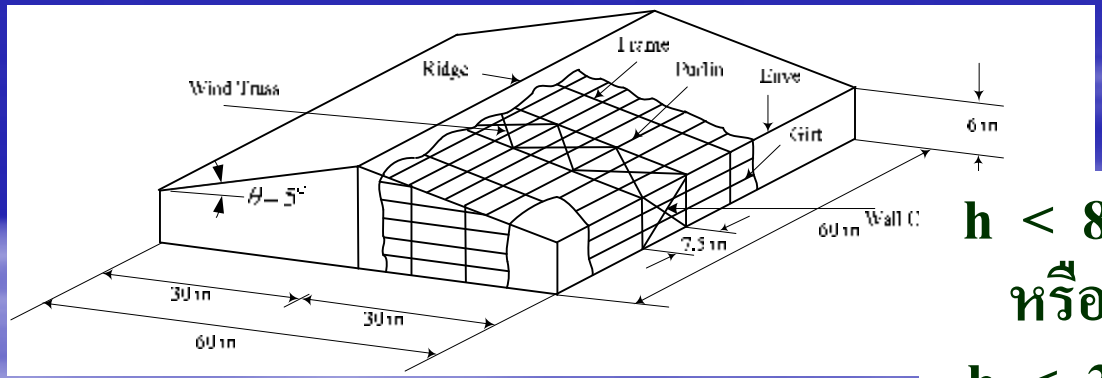
แบบชานเมือง (B)

แบบศูนย์กลางเมืองใหญ่ (C)

วิธีการคำนวณแรงลม 3 วิธี

1) วิธีการอย่างง่าย (Simple Procedure) ใช้สำหรับ

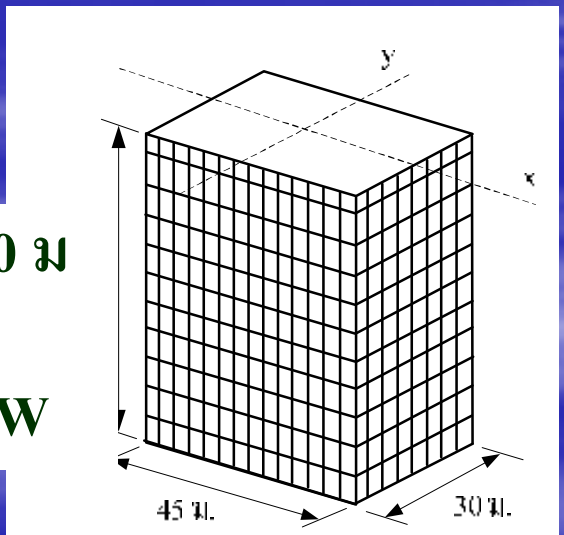
ก) ระบบโครงสร้างหลักต้านแรงลม ของอาคารเตี้ยและอาคารสูงปานกลาง ที่มีความ**สูงไม่เกิน 80 ม.** และมี**ความสูงไม่เกิน 3 เท่าของความกว้าง** ประสิทธิผลที่น้อยที่สุด ยกเว้น อาคารที่สั่นไหวง่าย ได้แก่อาคารที่มีน้ำหนักเบา และมีความถี่ธรรมชาติต่ำ และมีคุณสมบัติความหน่วงของอาคารต่ำ



h < 80 ม

หรือ

h < 3W



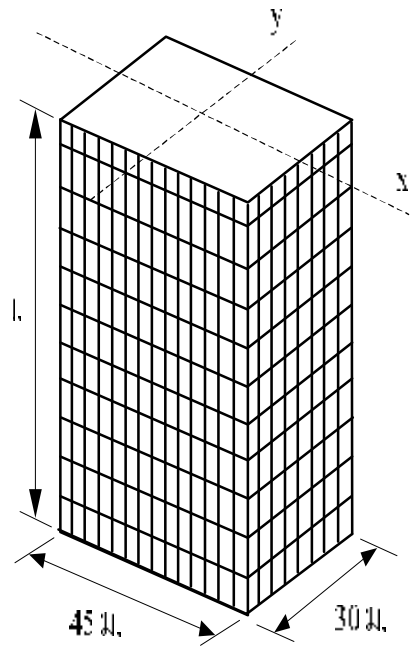
ข) ผนังภายนอก (cladding) ของอาคารที่มีรูปทรงไม่ซับซ้อน ทุกประเภท

วิธีการคำนวณแรงลม 3 วิธี (ต่อ)

2) วิธีการอย่างละเอียด (Detail Procedure) ใช้สำหรับ

ก) ระบบโครงสร้างหลักต้านแรงลม ของอาคาร สูงเกิน 80 ม. หรือมีความสูงเกิน 3 เท่าของความกว้างประสิทธิผลที่น้อยที่สุด

h > 80 ม
หรือ
h > 3W



ข) อาคารที่สั่นไหวง่าย ได้แก่ อาคารที่มีน้ำหนักเบา และความถี่ธรรมชาติต่ำ และมีคุณสมบัติ ความหน่วงของอาคารต่ำ

วิธีการคำนวณแรงลม 3 วิธี (ต่อ)

3) วิธีการทดสอบในอุโมงค์ลม (Wind Tunnel Procedure)

ใช้สำหรับอาคารสูง อาคารรูปทรงซับซ้อน อาคารที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิประเทศที่มีอาคารสูงอยู่หนาแน่น สะพานช่วงยาว(สะพานขึง, สะพานแขวน) และหลังคาขนาดใหญ่ เป็นต้น ซึ่งวิธีการอย่างละเอียดในมาตรฐานไม่สามารถใช้ได้ หรือในกรณีที่ต้องการความถูกต้องสูง

หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q)

$$q = \frac{1}{2}\rho \bar{V}^2$$ นิวตัน/ม^2 หรือ $$q = \frac{1}{2}\left(\frac{\rho}{g}\right)\bar{V}^2$$ กก/ม^2

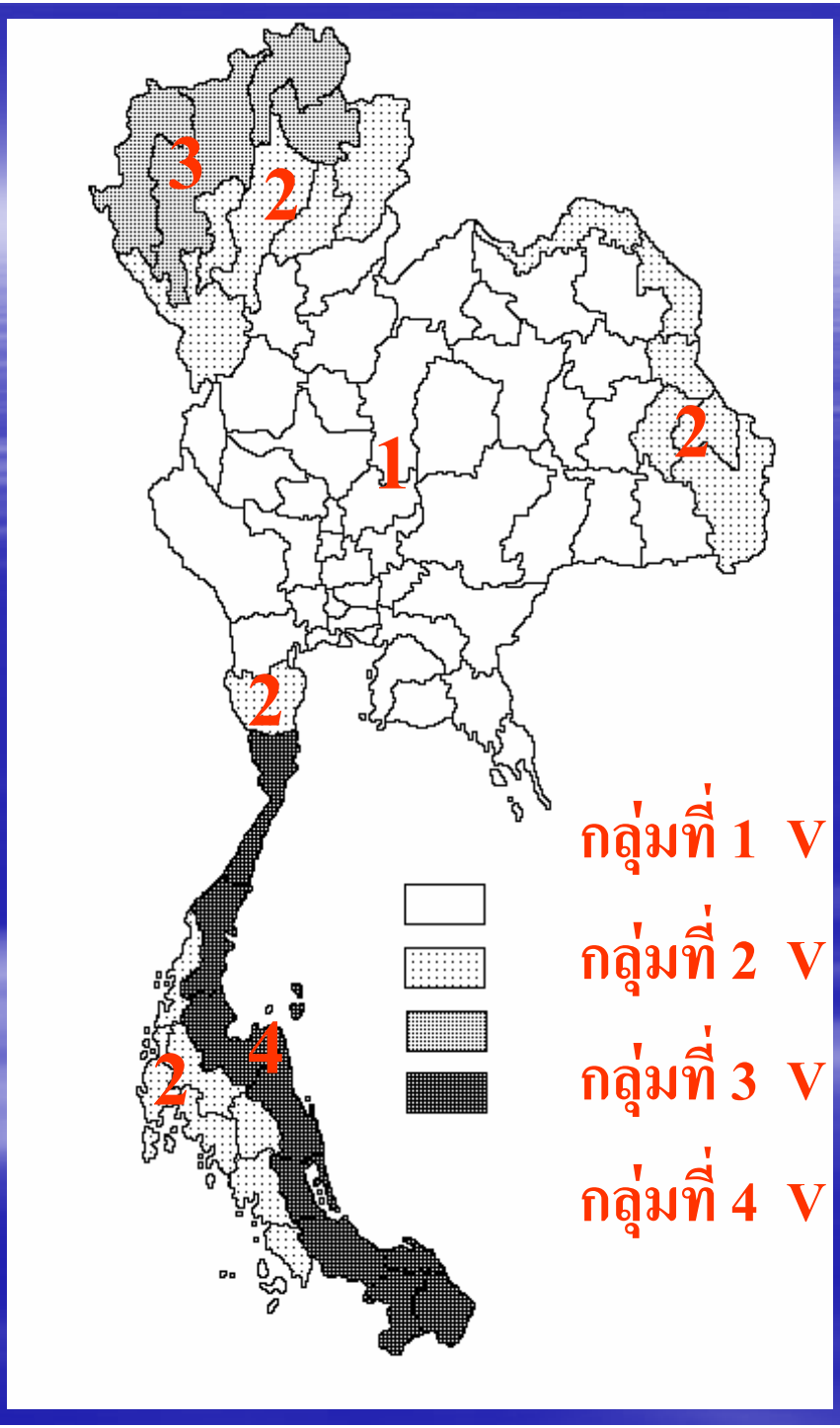
ρ = ความหนาแน่นของมวลอากาศ = 1.25 กก/ม^3

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 ม/วินาที^{2}

$\bar{V}$ = ความเร็วลมอ้างอิง มีหน่วยเป็น ม/วินาที

คือ ความเร็วลมเฉลี่ยในช่วง 1 ชั่วโมง ที่ความสูง 10 ม จากพื้นดิน

ในสภาพภูมิประเทศโล่ง สำหรับคาบเวลากลับ (return period) 50 ปี



แผนที่ความเร็วลมอ้างอิง

กลุ่มที่ 1 V = 25 เมตร ต่อ วินาที

กลุ่มที่ 2 V = 27 เมตร ต่อ วินาที

กลุ่มที่ 3 V = 29 เมตร ต่อ วินาที

กลุ่มที่ 4 V = 30 เมตร ต่อ วินาที

การจำแนกประเภทของอาคาร ตามความสำคัญต่อสาธารณชน

ประเภทของอาคาร	ประเภท ความสำคัญ
1. อาคารหรือส่วนโครงสร้างอื่นที่มีปัจจัยเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตมนุษย์ค่อนข้างน้อยเมื่อเกิดการพังทลายของอาคารหรือส่วนโครงสร้างนั้นๆ เช่น -อาคารที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร -อาคารชั่วคราว -อาคารเก็บของเล็กๆ ซึ่งไม่มีความสำคัญ	น้อย
2. อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่ไม่จัดอยู่ในอาคารประเภทความสำคัญ น้อย มาก และสูงมาก	ปกติ

การจำแนกประเภทของอาคาร ตามความสำคัญต่อสาธารณชน

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ
3.1 อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่หากเกิดการพังทลาย จะเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสาธารณชนอย่างมาก เช่น -อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนในพื้นที่หนึ่งๆ มากกว่า **300** คน -โรงเรียนประถม และมัธยมศึกษาที่มีความจุมากกว่า **250** คน -มหาวิทยาลัย และวิทยาลัย ที่มีความจุมากกว่า **500** คน -สถานรักษาพยาบาลที่มีความจุคนไข้มากกว่า **50** คน แต่ไม่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ -เรือนจำและสถานกักกันนักโทษ **3.2** อาคารและส่วนโครงสร้างอื่นที่มีความจำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน และไม่จัดอยู่ในประเภทความสำคัญสูงมาก เช่น -สถานีจ่ายไฟฟ้า -โรงผลิตน้ำประปา -ศูนย์สื่อสาร	มาก

การจำแนกประเภทของอาคาร ตามความสำคัญต่อสาธารณชน

ประเภทของอาคาร	ประเภทความสำคัญ
4. อาคารและส่วนโครงสร้างที่มีความจำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชนเป็นอย่างมาก เช่น - โรงพยาบาลที่สามารถทำการรักษากรณีฉุกเฉินได้ - สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง และโรงเก็บรถฉุกเฉินต่างๆ - ศูนย์บรรเทาสาธารณภัย - สถานีสื่อสารต่างๆ ที่ต้องการการให้บริการอย่างเร่งด่วนเมื่อเกิดกรณีฉุกเฉินขึ้น - ถังเก็บน้ำและสถานีสูบจ่ายน้ำที่มีความดันสูง - อาคารหรือส่วนโครงสร้างในส่วนของการผลิต การจัดการ การจัดเก็บ หรือการใช้สารพิษ เช่น เชื้อเพลิง หรือสารเคมี อันก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นได้	สูงมาก

ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

ประเภทของอาคารตามความสำคัญ	ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม	
	สภาวะจำกัดด้านกำลัง	สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน
น้อย	0.8	0.75
ปกติ	1	0.75
มาก	1.15	0.75
สูงมาก	1.15	0.75

สภาวะจำกัดด้านกำลัง เช่นกำลังของโครงสร้าง หรือองค์อาคาร

สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน เช่นการโก่งตัวและการสั่นไหว เป็นต้น

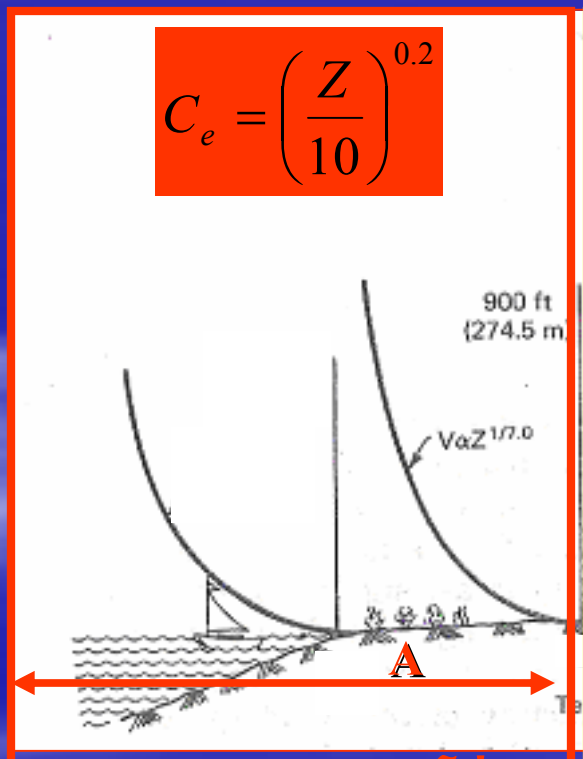
ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)

เป็นค่าประกอบที่นำมาปรับแก้ค่าหน่วยแรงลม ให้แปรเปลี่ยนตาม

ก) ความสูงจากพื้นดิน และ ข) สภาพภูมิประเทศ

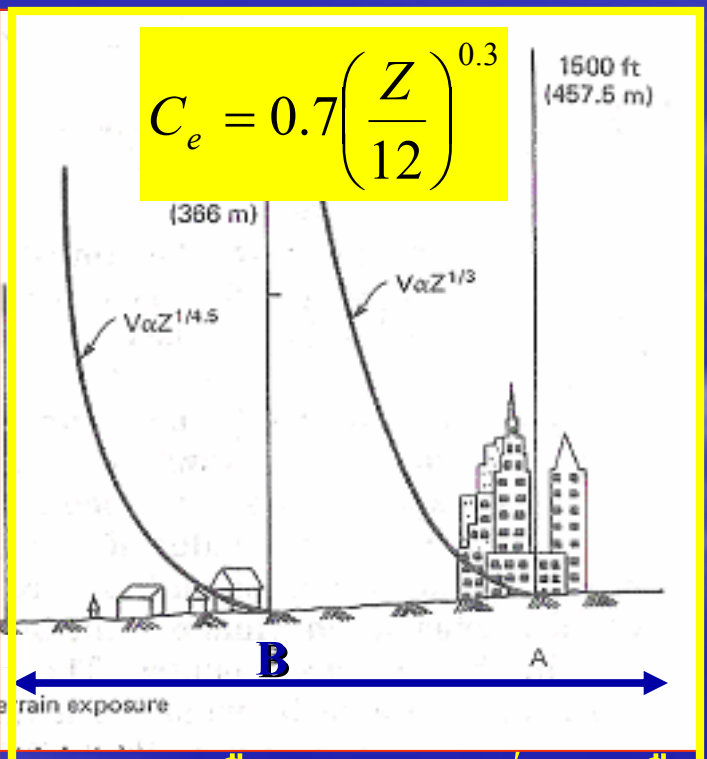
วิธีการอย่างง่าย คำนึงถึงสภาพภูมิประเทศเป็น 2 แบบ

$$C_e = \left(\frac{Z}{10}\right)^{0.2}$$



แบบชายทะเล แบบโล่ง

$$C_e = 0.7\left(\frac{Z}{12}\right)^{0.3}$$



แบบชานเมือง แบบศูนย์กลางเมืองใหญ่

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e) (ต่อ)

วิธีการอย่างง่าย

1. สภาพภูมิประเทศแบบ A คือสภาพภูมิประเทศแบบโล่ง ซึ่งมีอาคาร ต้นไม้ หรือสิ่งปลุกสร้างอยู่กระจัดกระจายห่างๆกัน หรือเป็นบริเวณชายฝั่งทะเล

$C_e = (Z / 10)^{0.2}$ โดยที่ C_e ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.9

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e) (ต่อ)

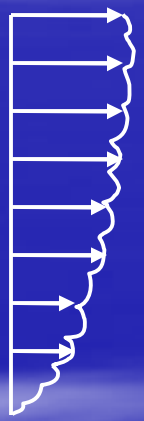
2. **สภาพภูมิประเทศแบบ B** คือสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง หรือพื้นที่ที่มี ต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือบริเวณศูนย์กลางของเมืองขนาดเล็ก

$$C_e = 0.7(Z / 12)^{0.30}$$ โดยที่ C_e ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.7

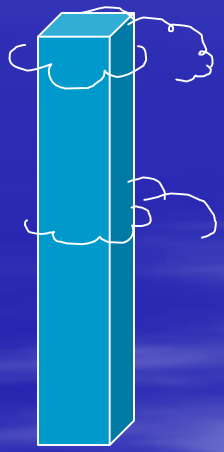
สภาพภูมิประเทศใดๆ จะจัดอยู่ในสภาพภูมิประเทศแบบ B ได้ ก็ต่อเมื่อมีลักษณะภูมิประเทศในลักษณะนั้นๆ สม่ำเสมอในทิศทางต้นลม เป็นระยะทางไม่ต่ำกว่า 1 กิโลเมตร หรือ 10 เท่าของความสูงของอาคาร โดยใช้ค่าที่มากกว่า

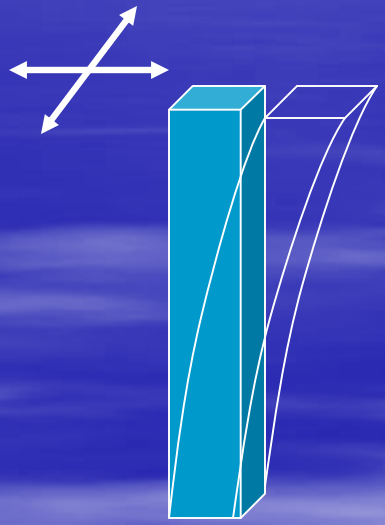
ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม (C_g)

คือค่าอัตราส่วนระหว่าง ผลของแรงลมสูงสุด(เชิงสถิติ) ต่อผลของแรงลมเฉลี่ย เป็นค่าประกอบที่นำมาปรับค่าหน่วยแรงลม โดยรวมผลที่เกิดจาก



2) หน่วยแรงลมผันผวน จากผลของระลอกลมโดยรอบอาคาร (wake-induced pressures)





1) การแปรปรวนของความเร็วลม (random wind gusts) ที่พัดเข้าหาอาคาร

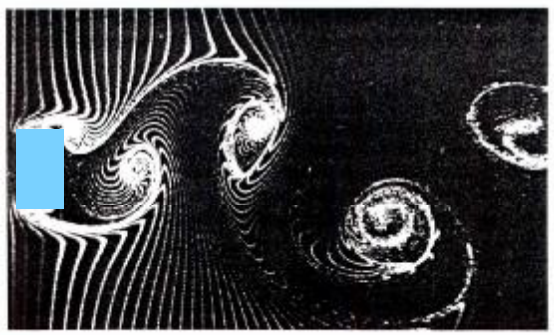


FIGURE 4.5.11. Flow around rectangular cylinder (b/h = 0.4, (R_e = 200). From Y. Nakamura, "Bluff-Body Aerodynamics and Turbulence," *J. Wind Eng. Ind. Aerod.* 49 (1993), 65–78.

3) การตอบสนองด้านพลศาสตร์ของอาคาร

ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม (C_g) (ต่อ)

วิธีการอย่างง่าย

ก. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่าเท่ากับ 2.0 ในการออกแบบโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม ยกเว้นป้ายและกำแพง ให้ใช้ค่าเท่ากับ 2.35

ข. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่าเท่ากับ 2.5 ในการออกแบบผนังภายนอกอาคาร (cladding) ที่มีขนาดเล็ก (ประมาณขนาดของหน้าต่าง)

ค. สำหรับหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำกับพื้นผิวภายในอาคาร ให้ใช้ค่าเท่ากับ 2.0 หรือค่าที่คำนวณจากสมการ

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม (Cp)

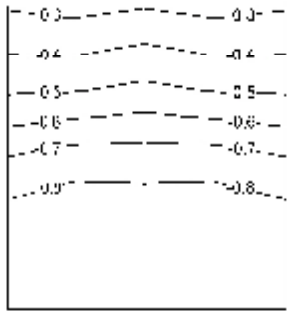
- ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก ขึ้นอยู่กับรูปทรงของอาคาร ทิศทางลม และลักษณะการแปรเปลี่ยนของความเร็วลมตามความสูงอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร สำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคารและระบบโครงสร้างหลักของอาคาร แบ่งออกเป็น 3 หมวด ดังนี้
  - ก. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับอาคารเตี้ยที่มีความสูงต่อความกว้าง น้อยกว่า 1 และมีความสูงอ้างอิง (reference height) น้อยกว่า 23 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมได้ถูกนำมารวมกับค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม ดังแสดงในรูปที่ ข.1 ถึง ข.8 ในภาคผนวก ข.1
  - ข. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับอาคารสูง ดังแสดงในรูปที่ ข.9 ในภาคผนวก ข-2
  - ค. ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายนอก สำหรับโครงสร้างพิเศษ ดังแสดงในรูปที่ ข.10 ถึง ข.18 ในภาคผนวก ข-3

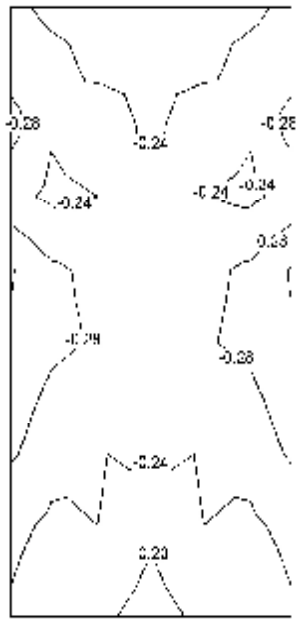
การทดสอบด้วยแบบจำลองแข็ง ในอุโมงค์ลม

เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมเฉลี่ยที่กระทำภายนอกอาคาร ด้วยการวัดความดันลม

- อาคารที่ศึกษามีลักษณะสม่ำเสมอ และมีอัตราส่วนความกว้าง ความลึก และความสูง ที่เป็นตัวแทนของอาคารเตี้ย สูงปานกลาง และสูง เท่ากับ 45:45:45 ม. (1:1:1), 45:45:90 ม. (1:1:2) และ 30:45:180 ม. (1:1.5:4 ถึง 6) ตามลำดับ

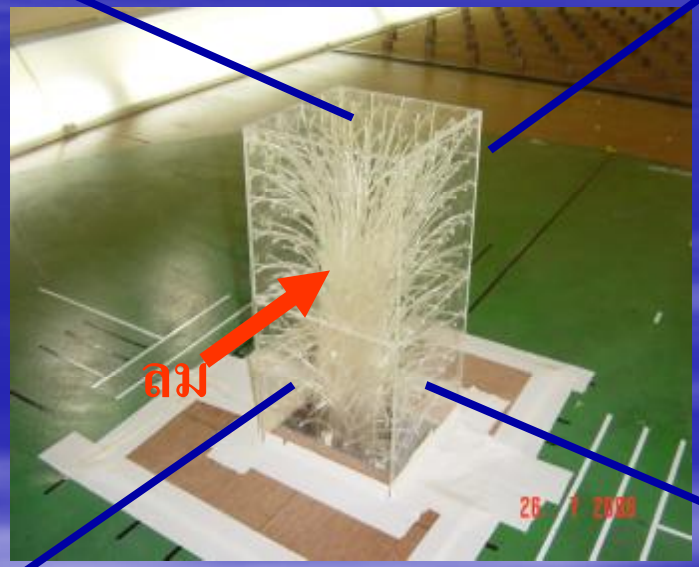
ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมเฉลี่ยที่กระทำภายนอกอาคาร





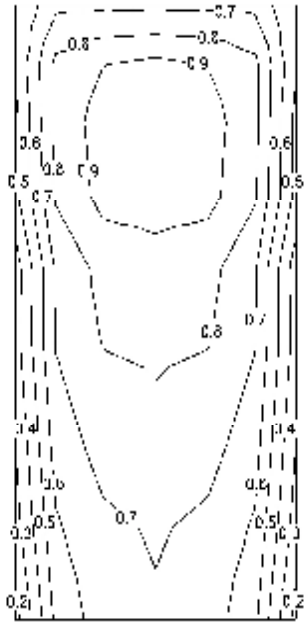
หลังคา

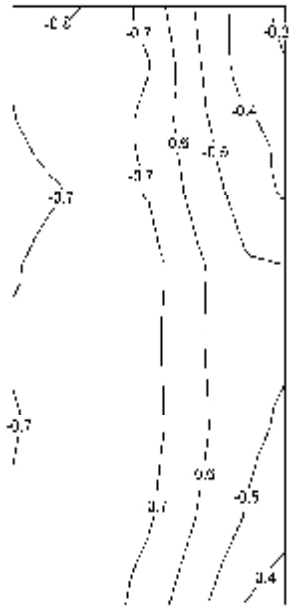
ผนังด้านท้ายลม



ผนังด้านต้นลม

ผนังด้านข้าง

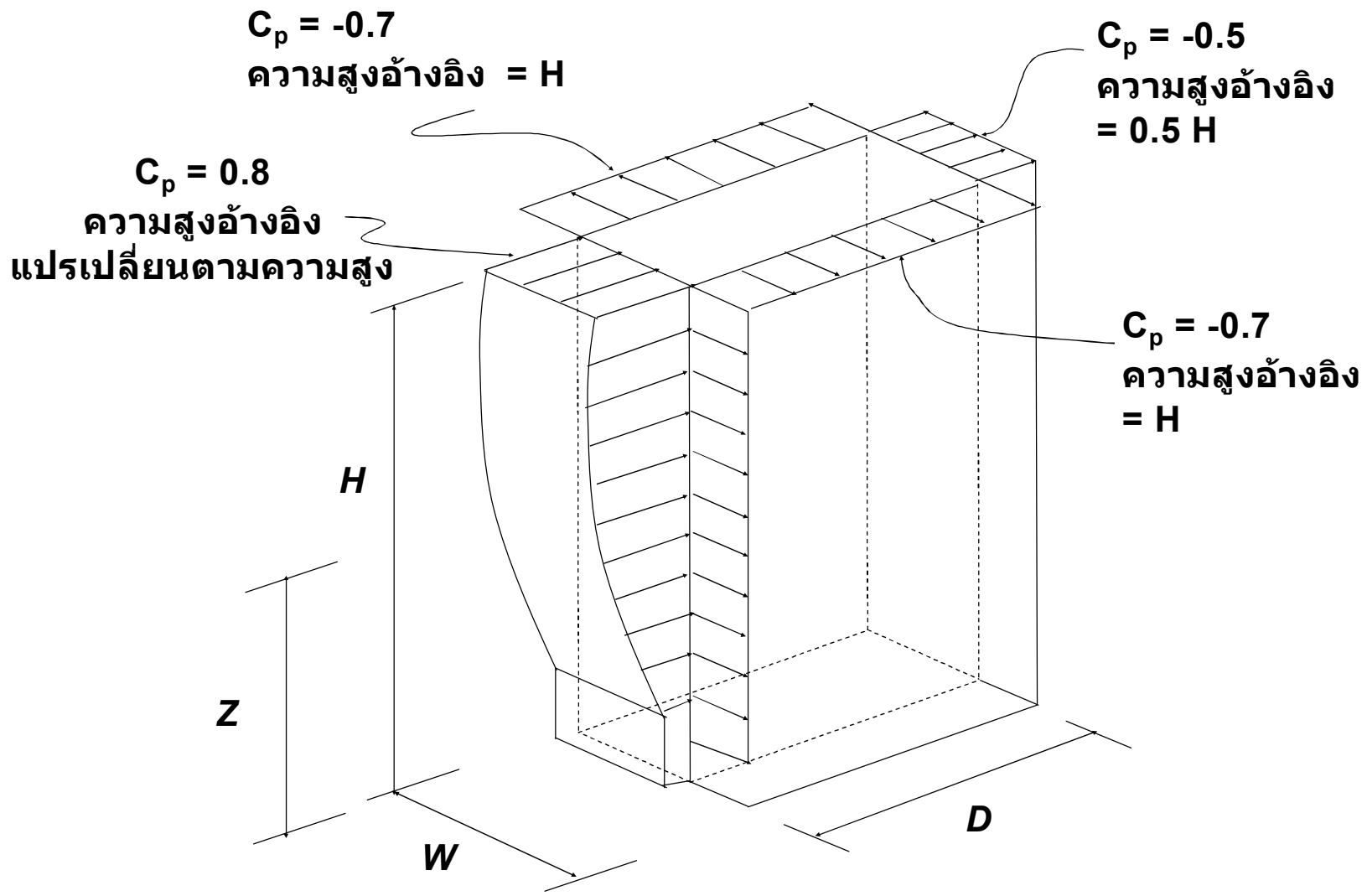




อาคารมีขนาด

กว้าง: ลึก: สูง = 45:45:90 ม.

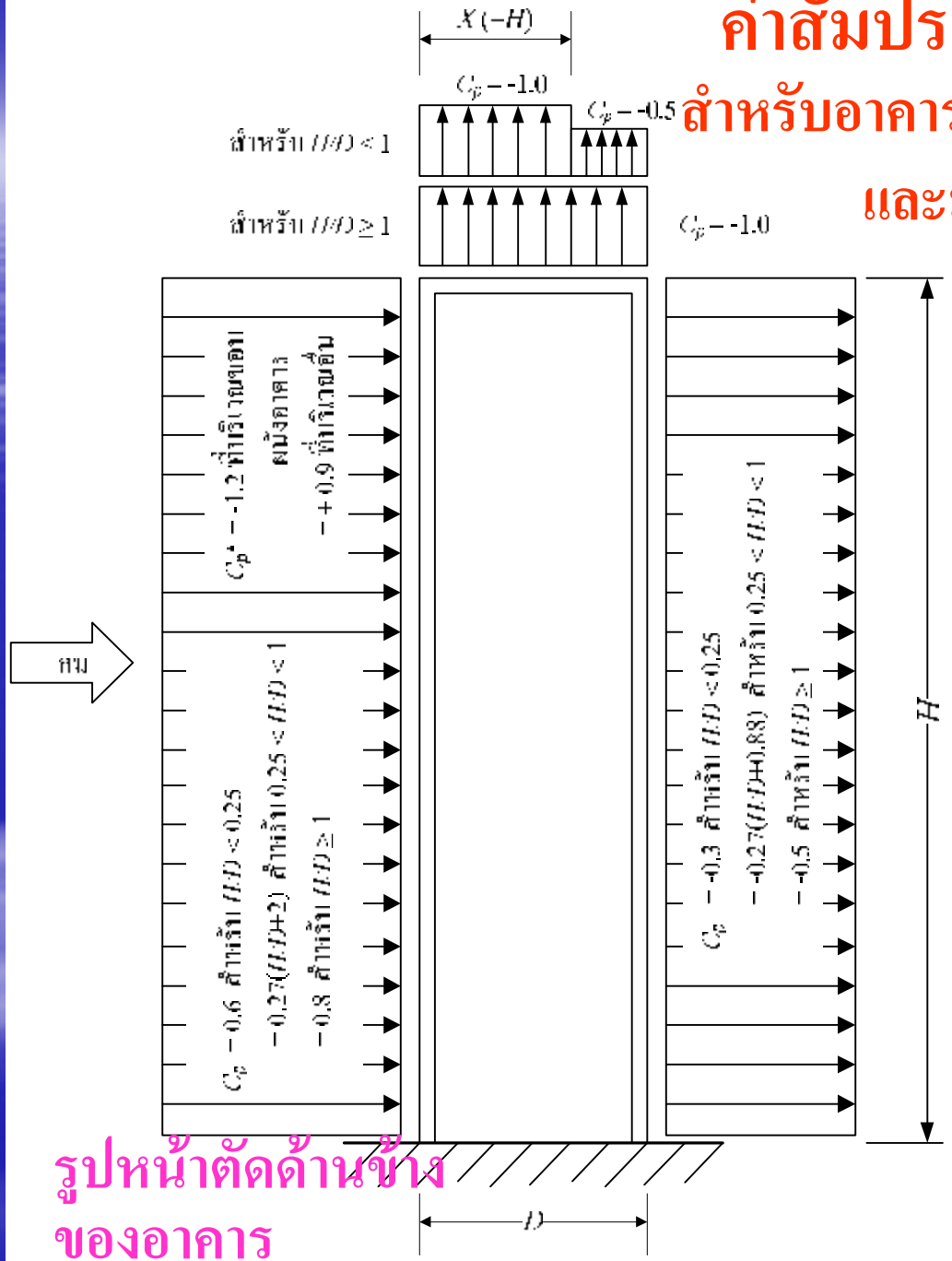
ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ที่กระทำภายนอกอาคาร (C_p)



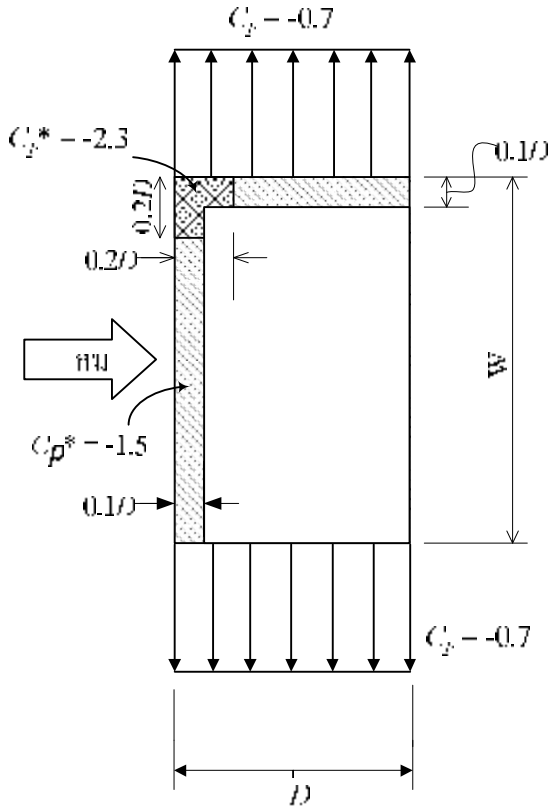
ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม

สำหรับอาคารที่มีความสูงมากกว่าความกว้าง และมีหลังคาอยู่ในแนวราบ

(C_p C_p^*)



รูปหน้าตัดด้านข้างของอาคาร



รูปด้านบนของอาคาร

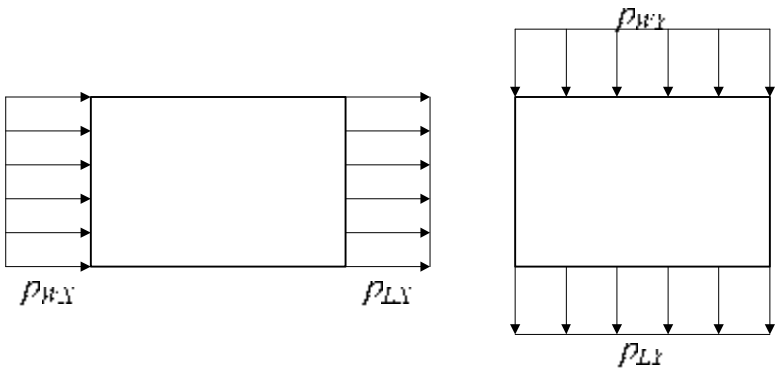
การรวมผลของแรงลมในทิศทางลม ตั้งฉากกับทิศทางลม และการบิด

การรวมผลของแรงลมในทิศทางลม ตั้งฉากกับทิศทางลม และการบิด เพื่อคำนึงถึงการกระจายที่ไม่สมมาตรของหน่วยแรงลม และผลของลมกระทำที่มุมปะทะต่างๆ กับอาคาร ซึ่งบางกรณีมีผลมากกว่าลมกระทำตั้งฉากกับอาคาร

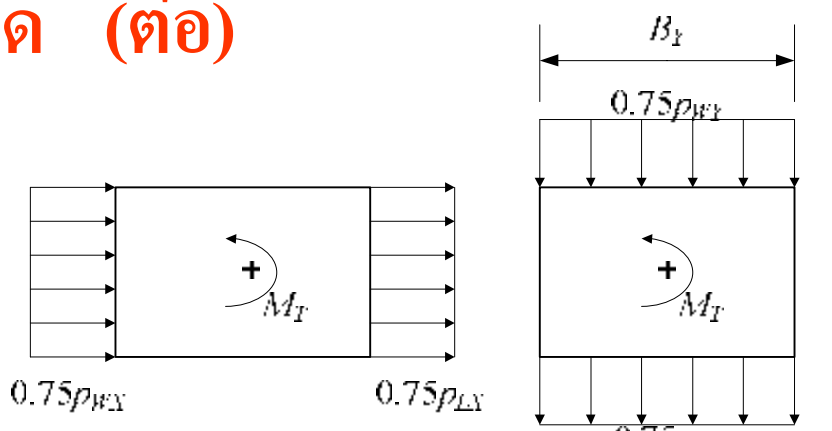
การรวมผลของแรงลมในหัวข้อนี้ ใช้กับโครงสร้างต่อไปนี้

- อาคารสูงปานกลาง ตามที่กำหนดสำหรับวิธีการอย่างง่าย
- อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีความสมมาตรทางโครงสร้าง กล่าวคือจุดศูนย์กลางแรงเฉือน และจุดศูนย์กลางมวลของแต่ละชั้นจะอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน หรือห่างกันเล็กน้อย

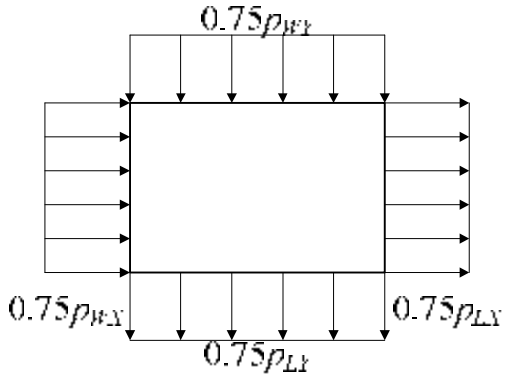
การรวมผลของแรงลมในทิศทางลม ตั้งฉากกับทิศทางลม และการบิด (ต่อ)



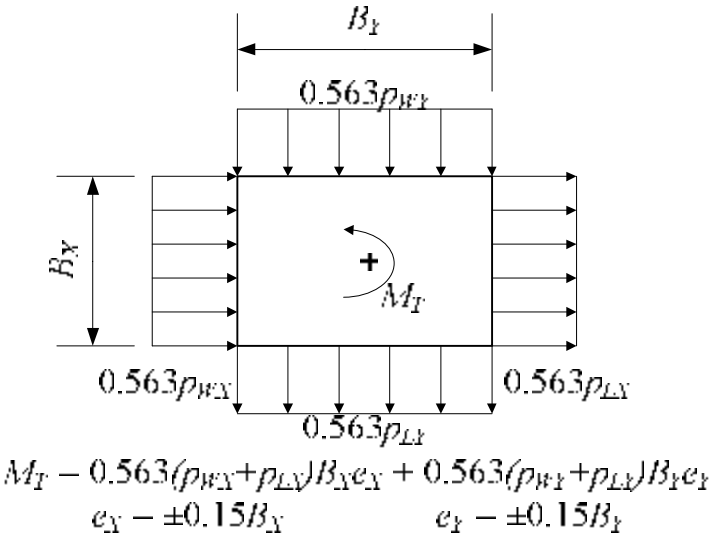
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

การรวมผลของแรงลม (ต่อ)

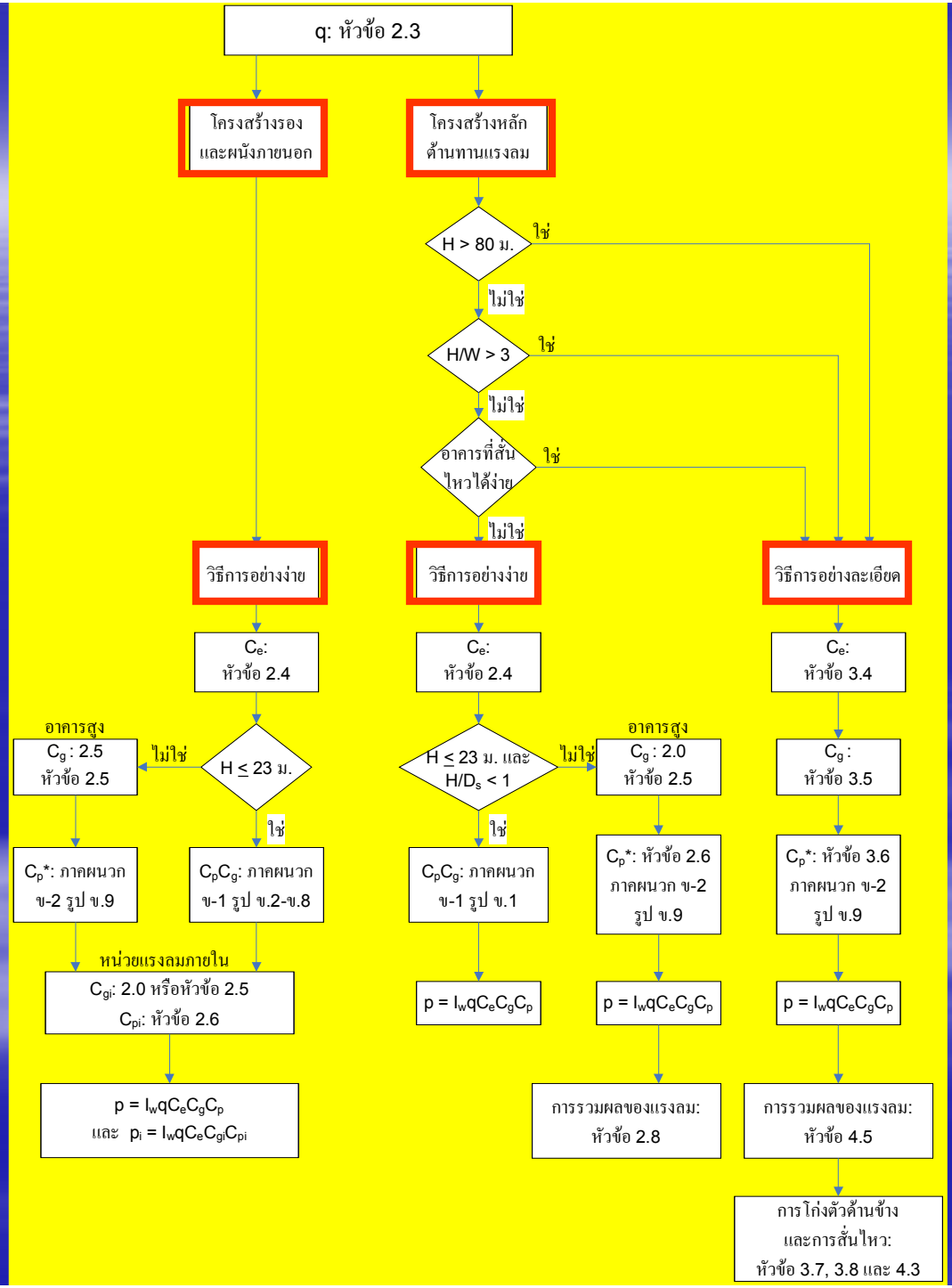
อาคารและองค์อาคาร จะต้องออกแบบให้สามารถรับแรงต่างๆที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำของแรงลมในรูปที่ ข.9 ในลักษณะต่างๆดังต่อไปนี้

ก. หน่วยแรงลมกระทำร้อยละ 100 เต็มพื้นผิวด้านต้นลมและท้ายลม โดยพิจารณาแรงลมที่กระทำทีละทิศทางตามแกนหลักของอาคาร (แกน X และแกน Y) ตามรูปที่ 2.2(ก)

ข. หน่วยแรงลมกระทำร้อยละ 75 เต็มพื้นผิวด้านต้นลมและท้ายลม พร้อมกับโมเมนต์บิด ตามรูปที่ 2.2(ข) โดยพิจารณาหน่วยแรงลมและโมเมนต์บิดกระทำทีละทิศทาง ตามแกนหลักของอาคาร

ค. หน่วยแรงลมกระทำเหมือนข้อ ก. แต่กระทำร้อยละ 75 เต็มพื้นผิวด้านต้นลมและท้ายลม และพิจารณาหน่วยแรงลมกระทำพร้อมกันทั้ง 2 ทิศทางตามแกนหลักของอาคาร ตามรูปที่ 2.2(ค) ทั้งนี้เพื่อคำนึงถึงผลของลมที่กระทำในทิศทางที่ไม่อยู่ในแนวตั้งฉากกับผนังของอาคาร

ง. กระทำด้วยแรงเหมือนข้อ ข. แต่กระทำร้อยละ 75 เต็มพื้นผิวด้านต้นลมและท้ายลม และพิจารณาหน่วยแรงลมและโมเมนต์บิดกระทำพร้อมกันทั้ง 2 ทิศทาง ตามแกนหลักของอาคาร ตามรูปที่ 2.2(ง)



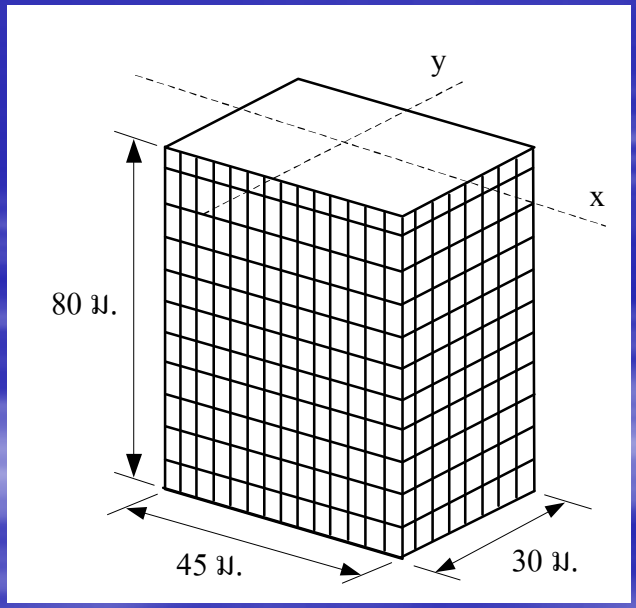
แผนภาพขั้นตอนการคำนวณแรงลมและการตอบสนองโดยวิธีการอย่างง่ายและวิธีการอย่างละเอียด

ตัวอย่างการคำนวณ

ให้คำนวณหน่วยแรงลมสำหรับ**ออกแบบโครงสร้างหลัก**ของอาคารพักอาศัย ที่มีขนาด 30x45 เมตร และ**สูง 80 เมตร** โดยวิธีการอย่างง่าย ในกรณีดังต่อไปนี้

ก. อาคารตั้งอยู่บริเวณริมหาด จังหวัดภูเก็ต

ข. ให้ทำตารางหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า สำหรับออกแบบโครงสร้างหลักของอาคาร สำหรับความเร็วลมอ้างอิงเท่ากับ 25, 27, 29 และ 30 ม./วินาที และสภาพภูมิประเทศแบบ A และ B



หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าภายนอก

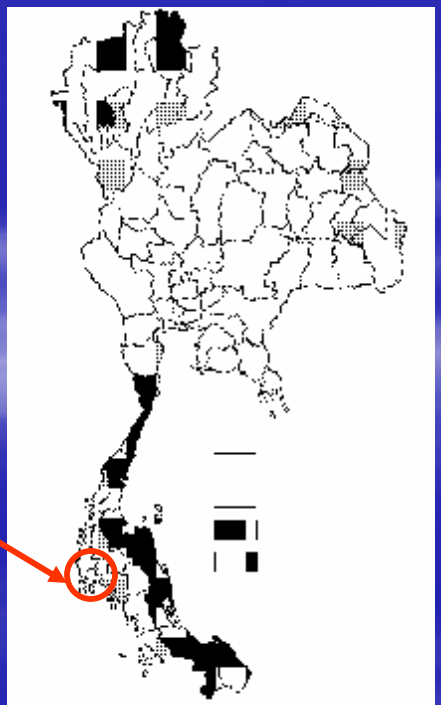
$$p = I_w q C_e C_g C_p$$

ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม = 1 (อาคารพักอาศัย)

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ

หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม

$$\frac{1}{2}\rho\overline{V}^2$$



จังหวัดภูเก็ต

$\overline{V}$ = 27 ม./วินาที

C_e ด้านต้นลม $= \left(\frac{z}{10}\right)^{0.2} = 0.63z^{0.2}$

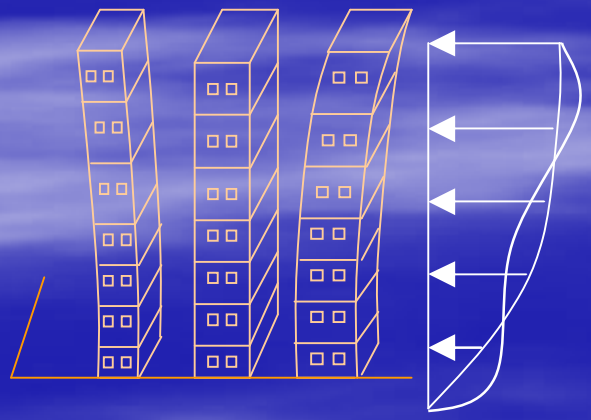
C_e ด้านท้ายลม $= \left(\frac{H/2}{10}\right)^{0.2} = 1.32$

แบบโล่ง (A)

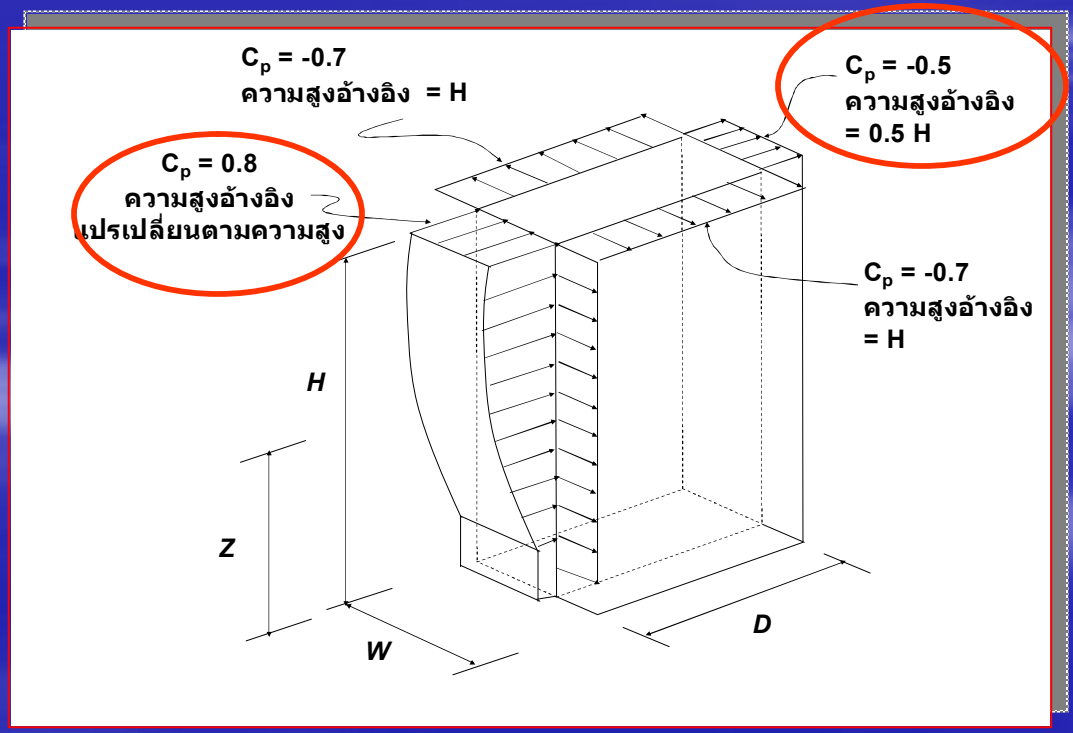
หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า

$$P = I_W q C_e C_g C_p$$

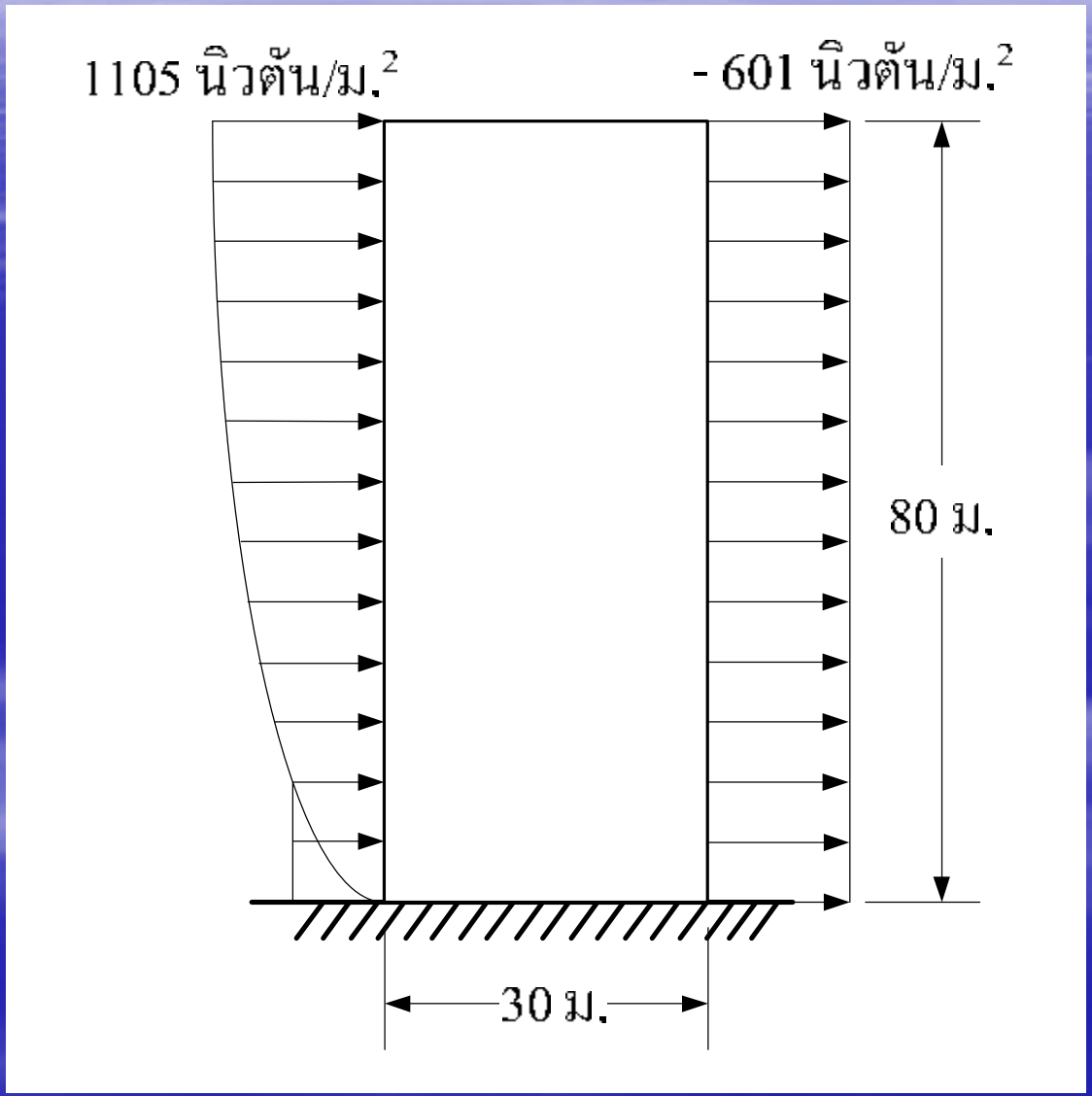
ค่าประกอบเนื่องจาก
ผลการกระโชกของลม = 2
(สำหรับโครงสร้างหลัก)



ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม



หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า ด้านต้นลม และท้ายลม



หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า ด้านต้นลม ท้ายลม และรวมหน่วยแรงลม

ความสูงจากพื้นดิน (เมตร)	หน่วยแรงลมด้านต้นลม (นิวตัน/ม.^{2})	หน่วยแรงลมด้านท้ายลม (นิวตัน/ม.^{2})	รวมหน่วยแรงลมด้านต้นลมและท้ายลม (นิวตัน/ม.^{2})
0 – 10	729	- 601	1330
10 – 20	837	- 601	1439
20 – 30	908	- 601	1509
30 – 40	962	- 601	1563
40 – 60	1043	- 601	1644
60 – 80	1105	- 601	1706

หน่วยแรงลมออกแบบ สำหรับโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม สำหรับความเร็วลมอ้างอิง 25 ม./วินาที

ความสูงจากพื้นดิน, เมตร	หน่วยแรงลม, นิวตัน/ม.^{2} (กก./ม.^{2})
	สภาพภูมิประเทศแบบ A
0 - 10	1140 (115)
10 - 20	1235 (125)
20 - 40	1340 (135)
40 - 60	1410 (145)
60 - 80	1465 (150)

หน่วยแรงลมออกแบบ สำหรับโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม สำหรับความเร็วลมอ้างอิง 27 ม./วินาที

ความสูงจากพื้นดิน, เมตร	หน่วยแรงลม, นิวตัน/ม.^{2} (กก./ม.^{2})	
	สภาพภูมิประเทศแบบ A	สภาพภูมิประเทศแบบ B
0 - 10	1330 (135)	965 (100)
10 - 20	1440 (145)	1055 (110)
20 - 40	1565 (160)	1190 (120)
40 - 60	1645 (170)	1285 (130)
60 - 80	1705 (175)	1360 (140)

หน่วยแรงลมออกแบบ สำหรับโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม สำหรับความเร็วลมอ้างอิง 29 ม./วินาที

ความสูงจากพื้นดิน, เมตร	หน่วยแรงลม, นิวตัน/ม.^{2} (กก./ม.^{2})	
	สภาพภูมิประเทศแบบ A	สภาพภูมิประเทศแบบ B
0 - 10	1535 (155)	1115 (115)
10 - 20	1660 (170)	1215 (125)
20 - 40	1805 (185)	1375 (140)
40 - 60	1900 (195)	1480 (150)
60 - 80	1970 (200)	1570 (160)

หน่วยแรงลมออกแบบ สำหรับโครงสร้างหลักต้านทานแรงลม สำหรับความเร็วลมอ้างอิง 30 ม./วินาที

ความสูงจากพื้นดิน, เมตร	หน่วยแรงลม, นิวตัน/ม.^{2} (กก./ม.^{2})	
	สภาพภูมิประเทศแบบ A	สภาพภูมิประเทศแบบ B
0 - 10	1640 (165)	1195 (120)
10 - 20	1775 (180)	1300 (135)
20 - 40	1930 (195)	1470 (150)
40 - 60	2030 (205)	1585 (160)
60 - 80	2105 (215)	1680 (170)

หมายเหตุการใช้ตาราง

- หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าได้รวมหน่วยแรงลมด้านต้นลม และท้ายลมมากระทำที่ด้านต้นลม
- สามารถนำตารางมาใช้สำหรับออกแบบหน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าสำหรับอาคารสูงปานกลางที่มีความสูงไม่เกิน 80 ม. และมีความสูงไม่เกิน 3 เท่าของความกว้างประสิทธิผลที่น้อยที่สุดได้ โดยให้ค่าที่ปลอดภัย เนื่องจากแรงลมด้านท้ายลมคิดที่ความสูง 80/2 = 40 ม. ทั้งนี้อาคารดังกล่าวต้องมีความสูงมากกว่าความกว้าง
- ในกรณีที่ประเภทของอาคารที่มีความสำคัญแตกต่างไปจากที่กำหนด ให้ใช้ค่าประกอบความสำคัญของแรงลมไปคูณค่าที่ได้จากตาราง

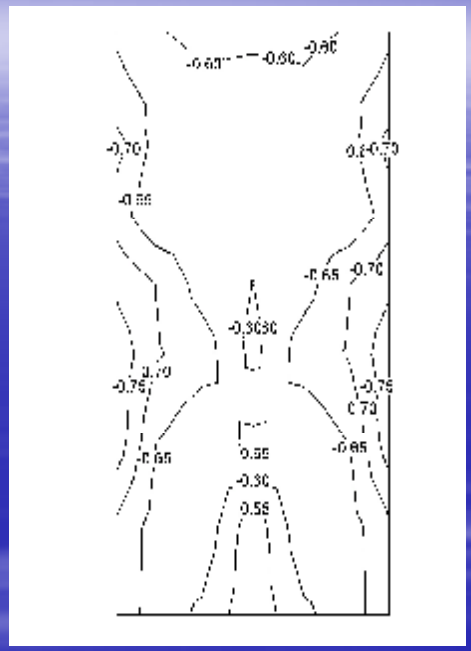
ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมสูงสุดที่กระทำภายนอกอาคาร

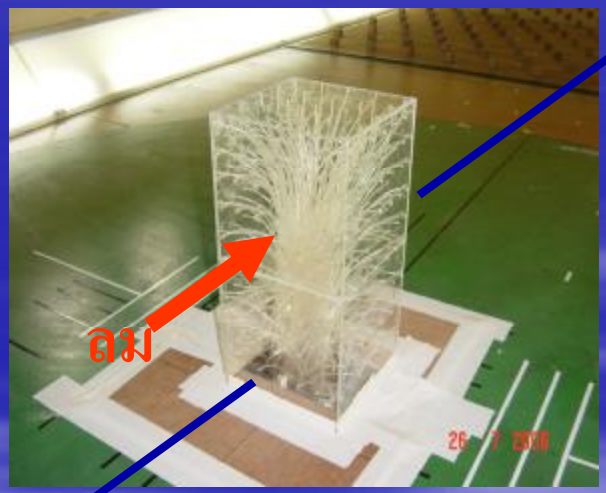
(จากผลการทดสอบร่วมกับการคำนวณ)

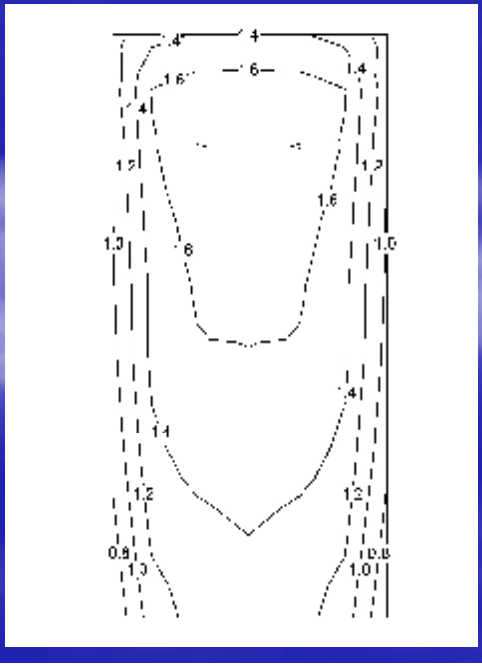
$$C_{p,\max} = C_{p,\mathrm{mean}} + g_{\mathrm{peak}}(\mathrm{rms})$$

3.75

ผนังด้านท้ายลม

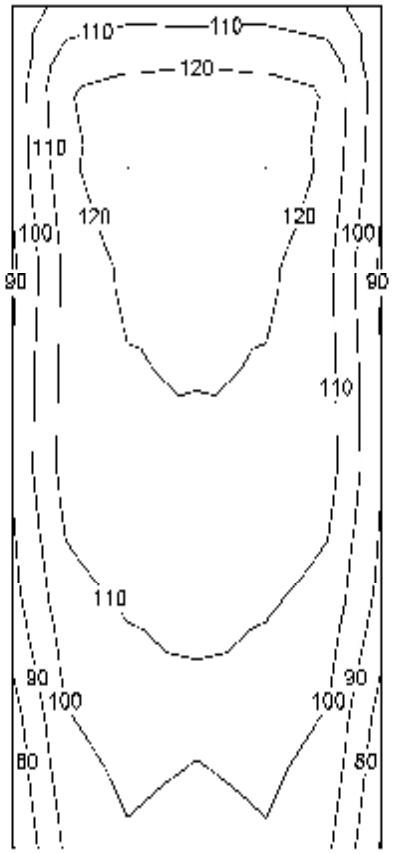






ผนังด้านต้นลม

หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าที่กระทำภายนอกอาคาร

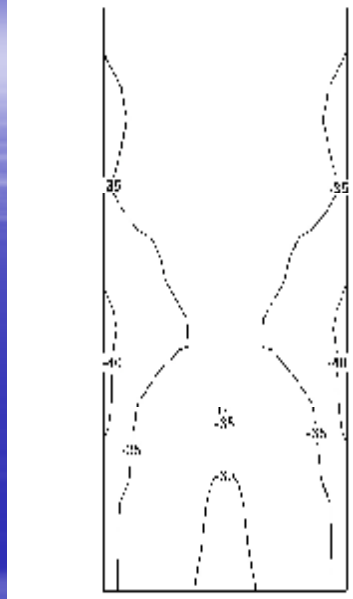


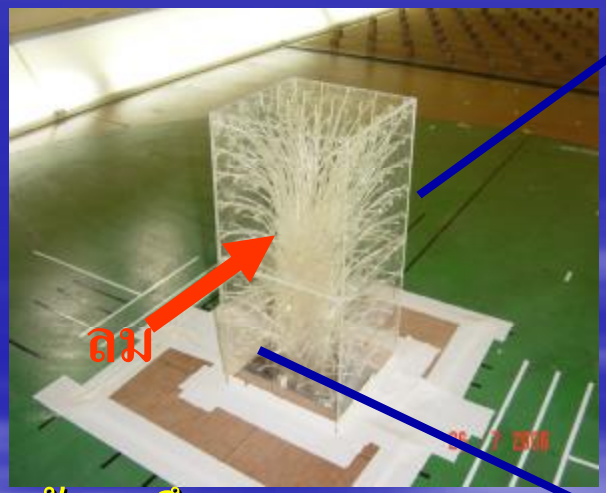
หน่วยแรงลมสุทธิ

(V อ้างอิงเฉลี่ยใน 1 ชม = 25 ม/วินาที

สภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง)

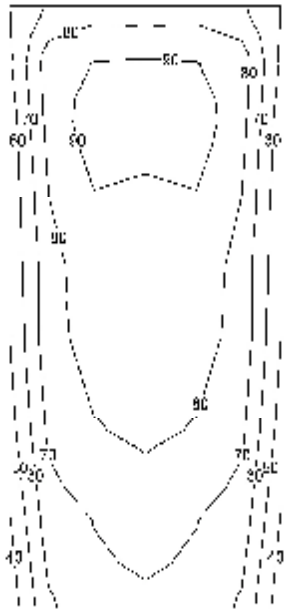
ผนังด้านท้ายลม





กว้าง: ลึก: สูง = 45:45:90 ม.

ผนังด้านต้นลม

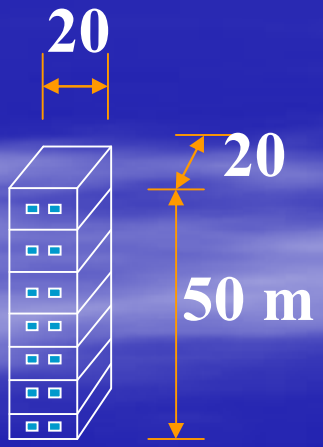


การเปรียบเทียบหน่วยแรงลมตามมาตรฐาน ฉบับใหม่ กับ พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร (กฎกระทรวงฯฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527)

Building Examples (V = 26.5 m/s)

ρ_B = 200 กก/ม^3
W = 4,120 ตัน

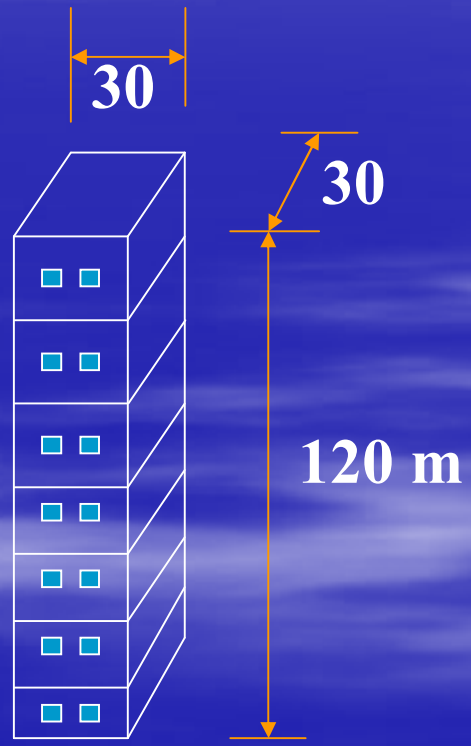
n_D = 0.63 Hz
β = 0.015



(1) 15 ชั้น

ρ_B = 200 กก/ม^3
W = 21,870 ตัน

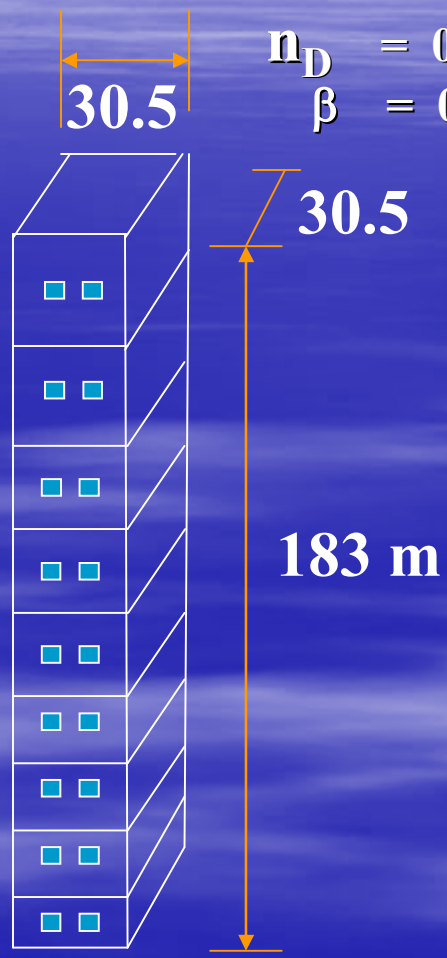
n_D = 0.37 Hz
β = 0.015



(2) 34 ชั้น

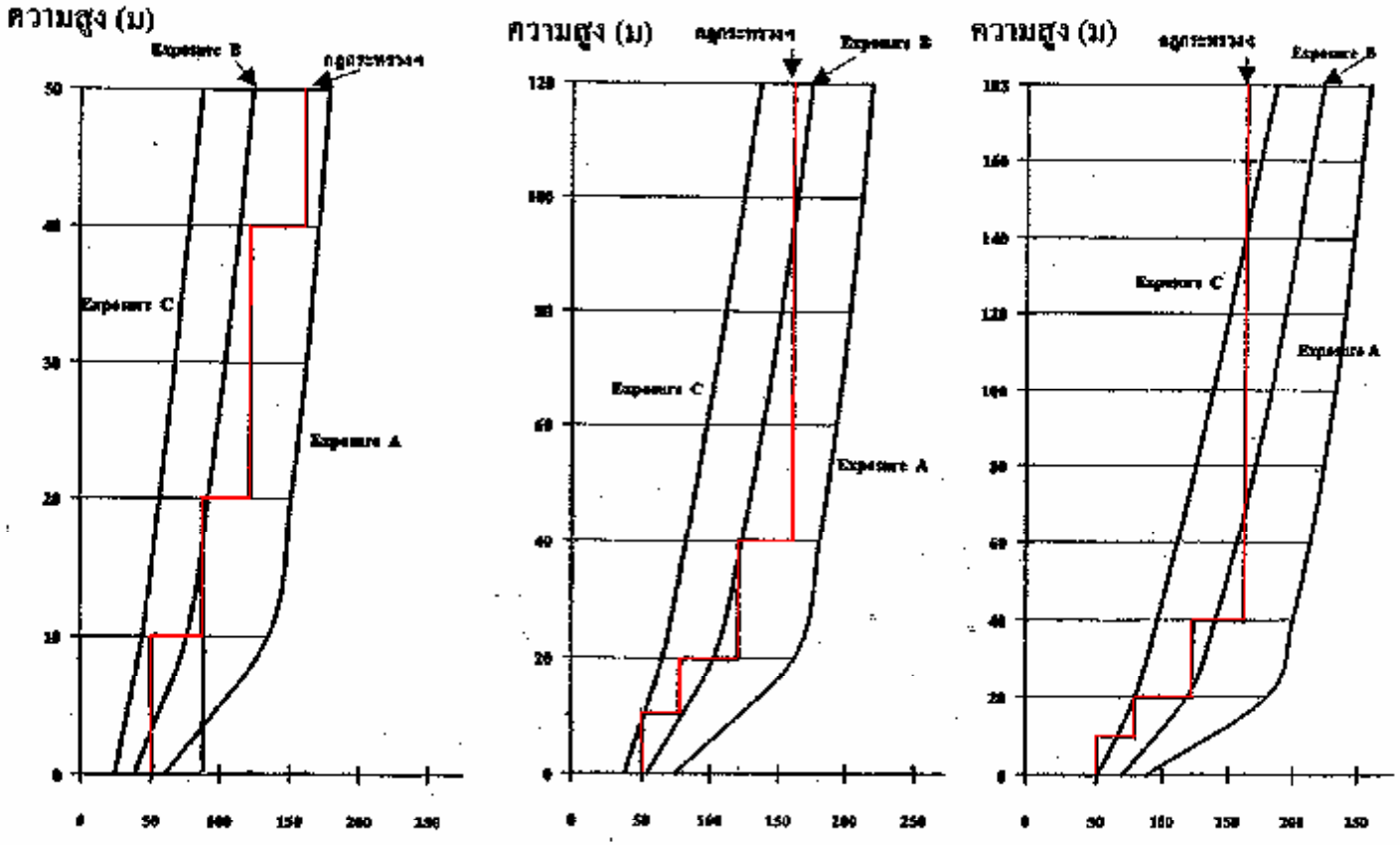
ρ_B = 200 กก/ม^3
W = 34,326 ตัน

n_D = 0.24 Hz
β = 0.015



(3) 52 ชั้น

การเปรียบเทียบหน่วยแรงลม(ต่อ)



ก) อาคารสูง 50 เมตร

ข) อาคารสูง 120 เมตร

ค) อาคารสูง 183 เมตร

สรุป
มาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคาร

- ใช้มาตรฐาน National Building Code of Canada 2005 ประกอบเป็นหลักในการร่าง และประยุกต์บางส่วนของมาตรฐานประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศญี่ปุ่น

- ได้ทำการวิจัยการทำมาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารในประเทศไทย
  - ใช้สภาพลมในประเทศไทย ในการทำแผนที่ความเร็วลมอ้างอิง
  - ใช้ผลการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลมของประเทศไทย เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสม และการนำไปประยุกต์ใช้งาน
  - ใช้การตรวจวัดอาคารจำนวนมากในประเทศไทย เพื่อหาความถี่ธรรมชาติ และอัตราส่วนความหน่วงของอาคาร

สรุป (ต่อ)

- ให้ค่าแรงลมในการคำนวณระบบโครงสร้างหลักต้านแรงลม และผนังภายนอกอาคาร รวมทั้งให้คำนวณการโก่งตัวทางด้านข้าง และการสั่นไหวของอาคาร

- มาตรฐานนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบอาคารทั่วไป ตั้งแต่อาคารเตี้ย จนถึงอาคารสูงที่มีรูปทรงปกติ และออกแบบโครงสร้างพิเศษแบบต่าง ๆ

สรุป (ต่อ)

- วิธีการอย่างง่าย ใช้สำหรับอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 80 ม. และมีความสูงไม่เกิน 3 เท่าของความกว้าง เป็นวิธีที่ง่ายมากในการคำนวณ มีความถูกต้องและเหมาะสมกว่ากฎกระทรวงฯ ฉบับที่6 เนื่องจากได้พิจารณาถึง ความเร็วลมอ้างอิง และสภาพภูมิประเทศของตำแหน่งที่ตั้งอาคาร

Thank You