

การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่า และการตอบสนอง โดยวิธีการอย่างละเอียด สำหรับอาคารสูง

นคร ภู่วโรดม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



การใช้งาน

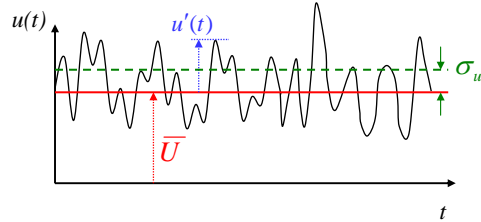
- สำหรับอาคารสูง (สูงตั้งแต่ 80 เมตร ขึ้นไป) อาคารที่มีความสูงเกิน 3 เท่าของความกว้างประสิทธิภาพ หรืออาคารที่สั่นไหวง่าย
- บทที่ 3 การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่า และการตอบสนองในทิศทางลม (Along-wind)
- บทที่ 4 การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าและการตอบสนองในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม (Across-wind) และโมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า (Torsion)

เนื้อหาการนำเสนอ

- แนวคิดพื้นฐาน
- การพิจารณาเพื่อกำหนดวิธีการคำนวณแรงและผลตอบสนอง
- สรุปประเด็นสำคัญในมาตรฐาน

แนวคิดพื้นฐาน

ลักษณะของความเร็วลม



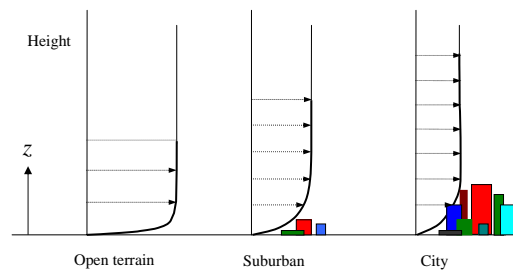
$$u(t) = \bar{U} + u'(t)$$

↓ Mean ↓ Fluctuation

σ_u = แสดงถึงการแปรปรวนของลม (Wind Turbulence)

คุณลักษณะของลม

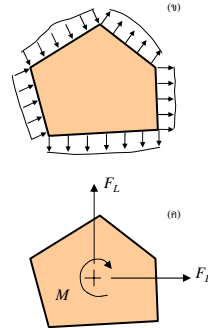
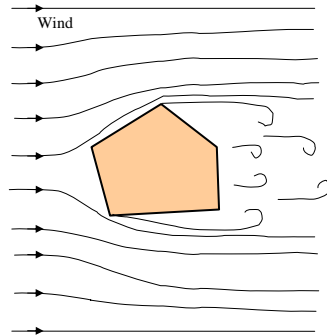
- ความเร็วลมเฉลี่ย (Mean wind speed)
- ความปั่นป่วน (Turbulence)
- แนวการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมเฉลี่ย (Profile of mean wind speed)



$$\bar{U} = \bar{U}_{ref} \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha$$

Exposure A Exposure B Exposure C
 ภูมิประเทศแบบ A ภูมิประเทศแบบ B ภูมิประเทศแบบ C

แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง



Drag force (Along wind)

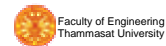
$$\bar{F}_D = \frac{1}{2} \rho \bar{U}^2 A C_D$$

Lift force (Across wind)

$$\bar{F}_L = \frac{1}{2} \rho \bar{U}^2 A C_L$$

Torsion

$$\bar{M} = \frac{1}{2} \rho \bar{U}^2 A B C_M$$

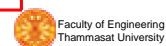


Faculty of Engineering
Thammasat University

ลักษณะของผลตอบสนอง

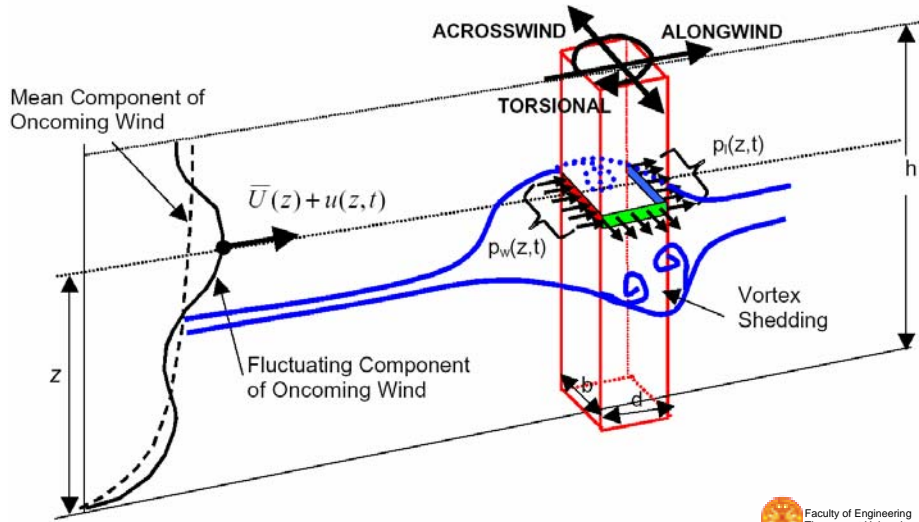
- Along-wind response
 - เกิดจากค่าเฉลี่ยของ Drag force ร่วมกับผลจากความแปรปรวนของลม
 - มีลักษณะเป็น Random (Buffeting)
- Across-wind response
 - แรงเกิดจาก Wake เมื่อลมพัดผ่านโครงสร้าง
 - ปัญหาการสั่นพิเศษ เช่น Vortex excitation และ Galloping
- Torsional response
 - เกิดจาก Aerodynamic moment
 - เกิดจากการเยื้องตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลกับจุดศูนย์กลางความแข็งแรง

พฤติกรรมที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องใช้ทฤษฎีที่แตกต่างกัน



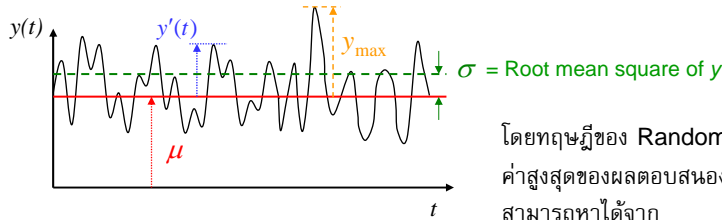
Faculty of Engineering
Thammasat University

ลักษณะของแรงลมและผลกระทบตอโครงสร้าง



Wind-Induced Response: Along-Wind

การตอบสนองสูงสุดของโครงสร้างที่อาจเกิดขึ้น Expected Maximum Response of Structure



$$y_{\max} = \mu + g_p \sigma$$

g_p = Peak Factor

มีค่าประมาณ 3.5-4.0

โดยค่าขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่พิจารณา T และช่วงความถี่ของผลตอบสนอง ν

Davenport (1964):
$$g_p = \sqrt{2 \log_e(\nu T)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \log_e(\nu T)}}$$

(สมการที่ 3-9 หน้า 27)



Gust Response Factor, C_g



$$y_{\max} = \mu + g_p \sigma$$

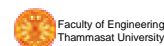
$$y_{\max} = C_g \times \mu$$

Gust Response Factor:
$$C_g = \frac{y_{\max}}{\mu} = 1 + g_p \left(\frac{\sigma}{\mu} \right)$$

Annotations:
 - $\frac{\sigma}{\mu}$ is labeled "RMS/Mean"
 - g_p is labeled "Peak factor"



Wind Resistant Design Standards



ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่า σ/μ



จากทฤษฎี Random Vibration

- กระบวนการสุ่ม (เช่น ความเร็วลม หรือ ผลตอบสนอง) สามารถพิจารณาในรูปของสัดส่วนพลังงานที่องค์ประกอบคลื่นที่ผสมอยู่ในกระบวนการสุ่มนั้นมีอยู่
- ฟังก์ชันที่แสดงสัดส่วนพลังงานกับความถี่ของคลื่นเรียกว่า Power Spectral Density (PSD) Function
- ความแปรปรวนของกระบวนการสุ่ม ในรูปของ Variance (σ^2) สามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของ PSD
- RMS (σ) หาได้จาก รากที่สองของพื้นที่ใต้กราฟของ PSD

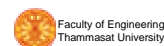


ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่า σ/μ

(ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ PSD ของผลตอบสนอง)



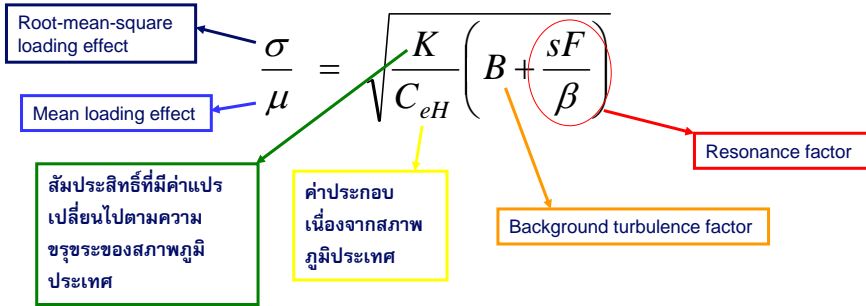
- ลักษณะของความเร็วลม (ความปั่นป่วน PSD ของความเร็วลม)
- ผลของขนาดอาคาร (Aerodynamic Admittance Function)
- ผลเนื่องจากคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร (ความถี่ธรรมชาติ อัตราส่วนความหน่วง)
- การหาพื้นที่ใต้กราฟของ PSD ของผลตอบสนอง แยกเป็น 2 ส่วน คือ
 - ส่วนพื้นหลัง หรือ ส่วนกึ่งสถิต (Background or Quasi-static)
 - ส่วนพลศาสตร์ หรือ ส่วนกำทอน (Dynamic or Resonant)



ค่าประกอบเนื่องจากการกระชอกของลม



$$C_g = 1 + g_p \left(\frac{\sigma}{\mu} \right)$$



Wind-Induced Response: Across-Wind & Torsion



Acrosswind & Torsional Responses



- Across-wind response
 - เกิดขึ้นจากความปั่นป่วนของลมและระลอกลมที่เกิดเมื่อลมพัดผ่าน โครงสร้างแล้วทำให้เกิดความผันผวนของแรงในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม
 - พฤติกรรมในการตอบสนองขึ้นอยู่กับรูปทรงของอาคารเป็นสำคัญ
- Torsional response
 - เกิดขึ้นจากความไม่สม่ำเสมอของแรงดัน (หรือแรงดูด) ที่เวลาขณะใดขณะหนึ่งเนื่องจากลมที่กระทำต่ออาคารในแต่ละด้าน เนื่องจากความปั่นป่วนของลมและระลอกลมที่เกิดเมื่อลมพัดผ่าน โครงสร้าง
 - พฤติกรรมในการตอบสนองขึ้นอยู่กับรูปทรงของอาคารเป็นสำคัญ

Vortex Shedding

01:13:21:07



www.mecaconsulting.com

Wind-Induced Motion: Across wind



Wind-Induced Motion: Across wind



New concept for Gust Response Factor

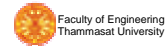


$$M_{\max} = \bar{M} + g_p \sigma_M$$

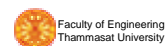
Peak base moment of building Mean base moment Peak factor RMS of fluctuation of base moment

σ_M คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟของ PSD ของ Base Moment of Building
PSD ของ Base Moment ได้จาก PSD ของ Aerodynamic Base Moment
และ คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร

PSD ของ Aerodynamic Base Moment ได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลม



การพิจารณาเพื่อกำหนดวิธีการคำนวณแรงและผลตอบสนอง



การพิจารณาเพื่อกำหนดวิธีการคำนวณแรงและ ผลตอบสนอง



- การศึกษามาตรฐานจากต่างประเทศ และงานวิจัยที่เป็นสากล ทั้งด้านความถูกต้องและรูปแบบการคำนวณ
 - AIJ, Japan (*Alongwind, Acrosswind and Torsion*)
 - ASCE 7, USA (*only Alongwind*)
 - AS/NZS, Australia & New Zealand (*Alongwind and Acrosswind*)
 - NBC, Canada (*only Alongwind*)
 - งานวิจัยที่สำคัญ
- การทดสอบในอุโมงค์ลม
- การศึกษาด้านคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคารในประเทศ



การทดสอบในอุโมงค์ลมด้วยวิธีการวัดแรง

วิธี High Frequency Force Balance

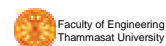
สำหรับการทดสอบเพื่อหาแรงลมและผลการตอบสนองของโครงสร้าง

หลักการ

- สร้างแบบจำลองให้มีรูปร่างลักษณะเหมือนโครงสร้าง มีน้ำหนักเบาและมีสติฟเนสสูง
- ไม่ต้องจำลองคุณสมบัติด้าน มวล สติฟเนส และความหน่วง ให้สอดคล้องกับค่าของโครงสร้างจริง

ข้อดีของวิธี

- สามารถสร้างแบบจำลองได้โดยสะดวกและประหยัดค่าใช้จ่าย
- ดำเนินการทดสอบได้ก่อนการออกแบบระบบโครงสร้างแล้วเสร็จ
- การวิเคราะห์ผลทดสอบสามารถปรับเปลี่ยนได้หากคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของโครงสร้างถูกแก้ไขเนื่องจากขั้นตอนการออกแบบ








การทดสอบในอุโมงค์ลมด้วยวิธีการวัดแรง

ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ผล

1. สร้างแบบจำลองแข็ง ที่มีรูปร่าง สัดส่วน เหมือนกับโครงสร้างจริง รวมทั้งจำลองลักษณะสภาพแวดล้อมของโครงสร้าง
2. จำลองสภาพลมในอุโมงค์ลมให้มีลักษณะใกล้เคียงธรรมชาติ
3. ทดสอบในอุโมงค์ลมโดยวัดผลของลมที่เกิดขึ้นที่ฐานของแบบจำลอง คือแรงและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นตาม 3 แกนหลักของแบบจำลอง โดยเครื่องมือวัดแรงที่ฐานที่มีความละเอียดสูง
4. วิเคราะห์ผลของการทดสอบด้วยหลักพลศาสตร์โครงสร้าง
 - หาค่า Modal Wind Load: Mean, RMS, PSD of forces and moments
 - คำนวณผลตอบสนองของโครงสร้าง จากข้อมูล Modal Wind Load และใช้ ิภูมิลักษณะปฏิบัติของโครงสร้าง โดย Gust loading factor concept

แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

Model	1	2	3	4	5
D:B:H	1:1:5	1:1.5:6	1.5:1:6	1:3:8	3:1:8
Full scale height (m)	150	180	180	120	120
Shape					
	↑	↑	↑	↑	↑

Wind

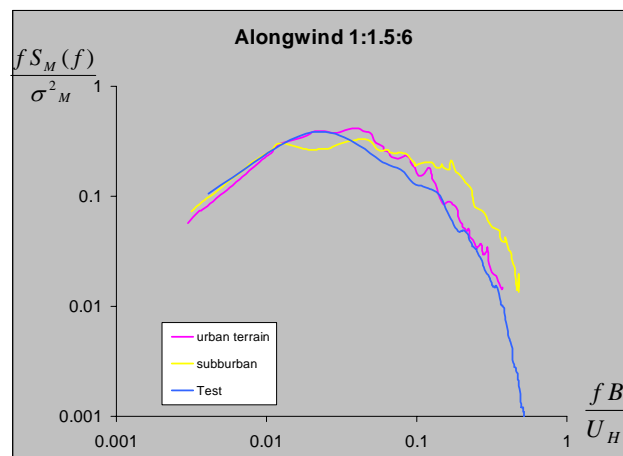


Spectrum of Alongwind Response

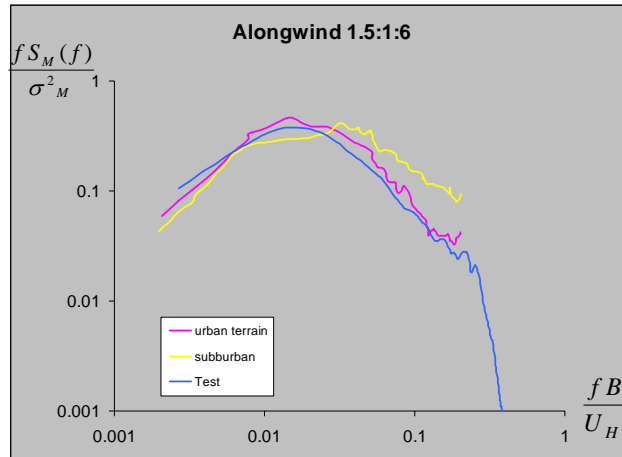


- PSD of alongwind response from TU-AIT wind tunnel
- PSD of alongwind response from Zhou et. al. (2003)
 - Suburban terrain
 - Urban terrain

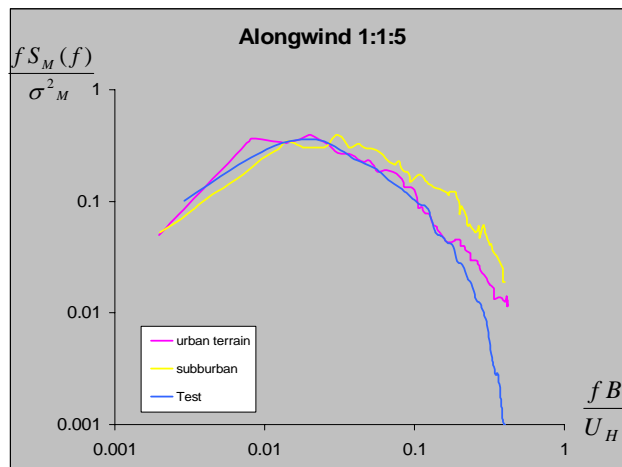
Along wind spectrum: 1-1.5-6



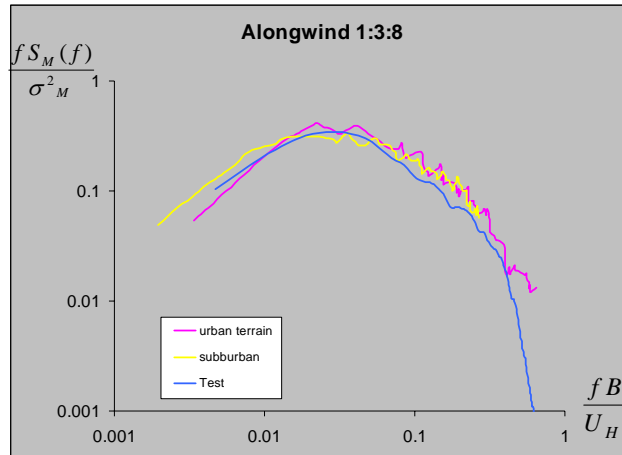
Along wind spectrum: 1.5-1-6



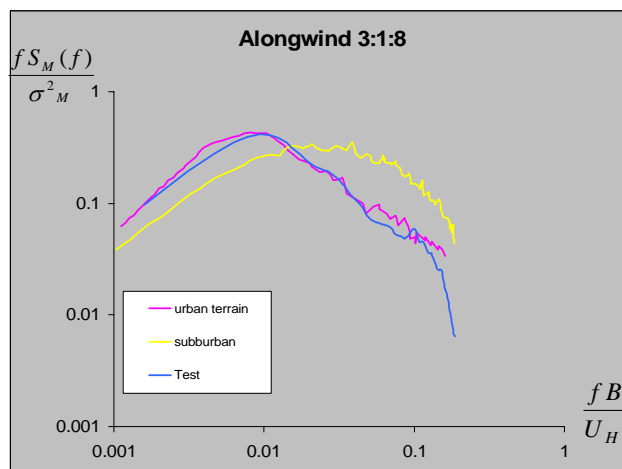
Along wind spectrum: 1-1-5



Along wind spectrum: 1-3-8



Along wind spectrum: 3-1-8

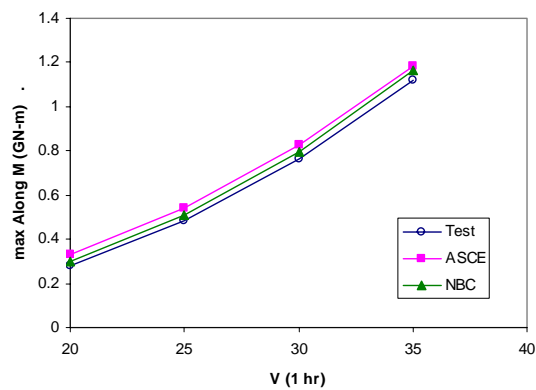


Example: comparison with NBC & ASCE 7



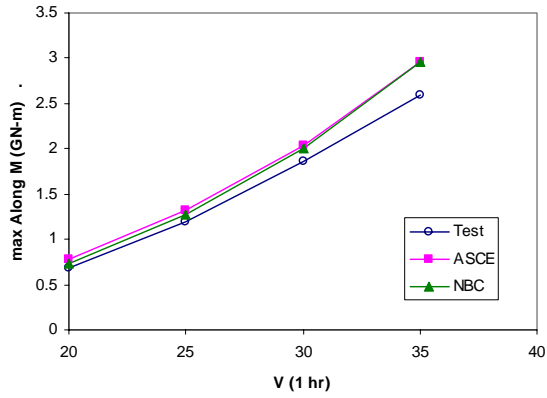
- Hourly mean wind speed for design 20, 25, 30, 35 m/s
- Terrain type for NBC: Type B (suburban)
- Terrain type for ASCE 7: Type B (suburban)

Max. Alongwind Overturning M: 1-1-5



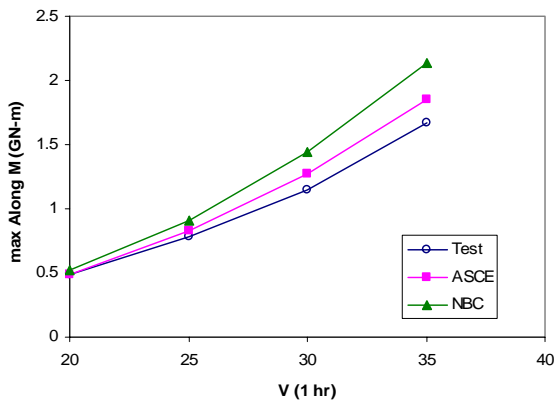
V 1 Hr. (m/s)	Test	ASCE	NBC
20	0.278	0.330	0.301
25	0.485	0.543	0.509
30	0.762	0.824	0.793
35	1.122	1.185	1.162

Max. Alongwind Overturning M: 1-1.5-6



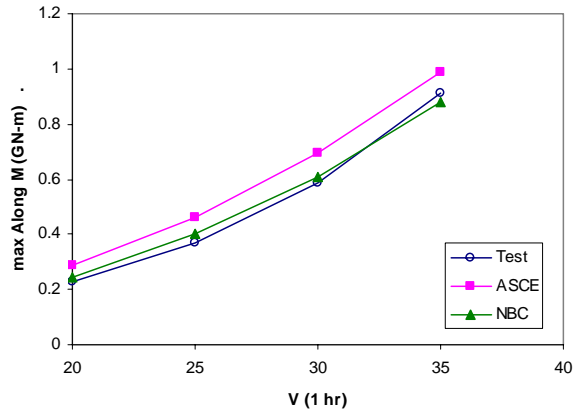
V 1 Hr. (m/s)	Test	ASCE	NBC
20	0.684	0.786	0.736
25	1.190	1.316	1.272
30	1.868	2.033	2.006
35	2.591	2.958	2.963

Max. Alongwind Overturning M: 1.5-1-6



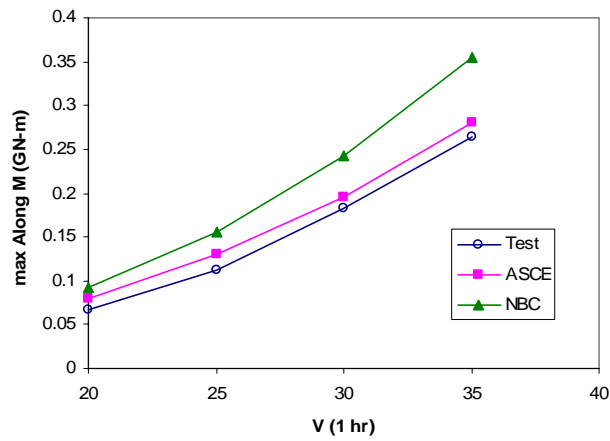
V 1 Hr. (m/s)	Test	ASCE	NBC
20	0.489	0.493	0.525
25	0.779	0.826	0.912
30	1.151	1.274	1.442
35	1.672	1.850	2.131

Max. Alongwind Overturning M: 1-3-8



V 1 Hr. (m/s)	Test	ASCE	NBC
20	0.225	0.285	0.242
25	0.371	0.462	0.400
30	0.588	0.693	0.611
35	0.912	0.987	0.882

Max. Alongwind Overturning M: 3-1-8



V 1 Hr. (m/s)	Test	ASCE	NBC
20	0.066	0.079	0.092
25	0.113	0.130	0.156
30	0.183	0.196	0.242
35	0.264	0.280	0.354

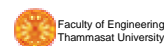
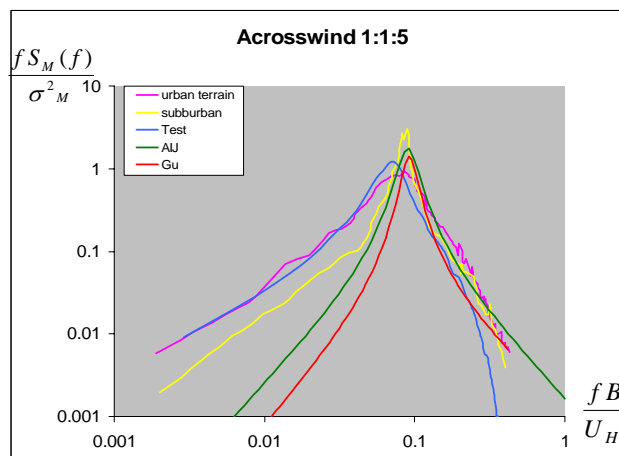
Spectrum of Acrosswind Response



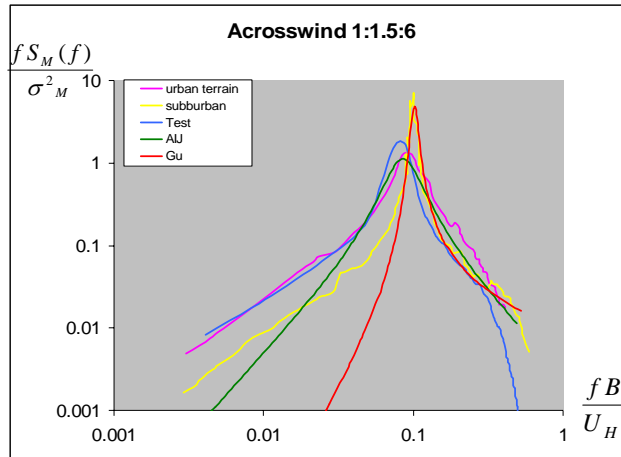
- Test results from TU-AIT wind tunnel
- Results from Zhou et. al. (2003)
 - Suburban terrain
 - Urban terrain
- Proposed curve from AIJ 2004 (Architectural Institute of Japan)
- Proposed curve from Gu et. al (2004)



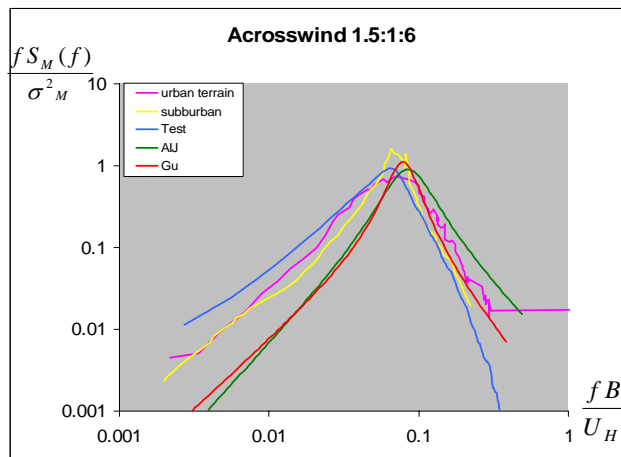
Across wind spectrum: 1-1-5



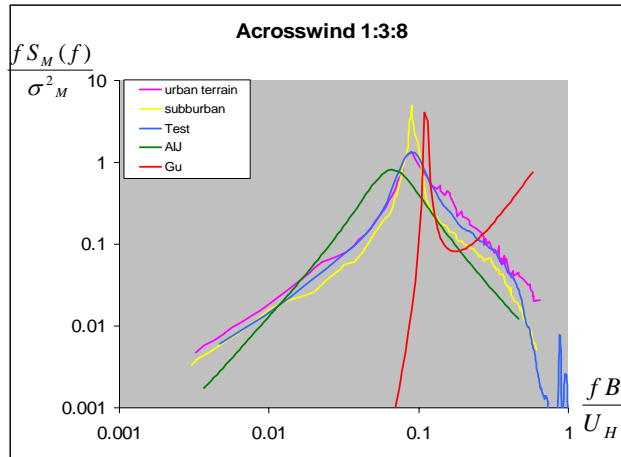
Across wind spectrum: 1-1.5-6



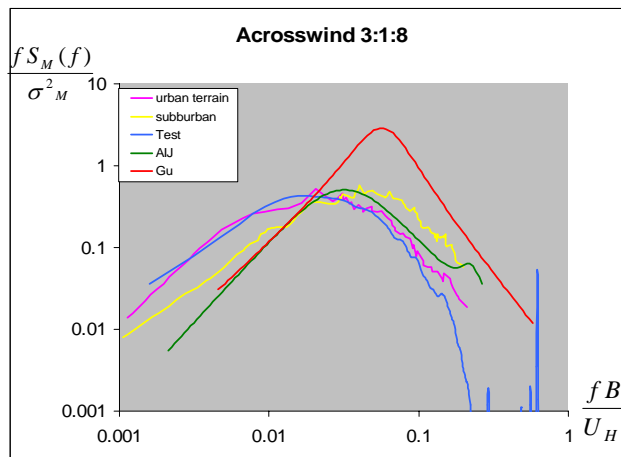
Across wind spectrum: 1.5-1-6



Across wind spectrum: 1-3-8



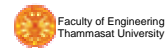
Across wind spectrum: 3-1-8



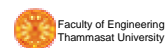
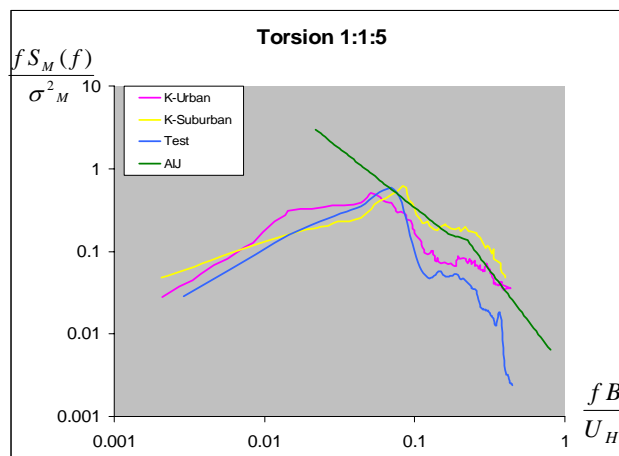
Spectrum of Torsional Response



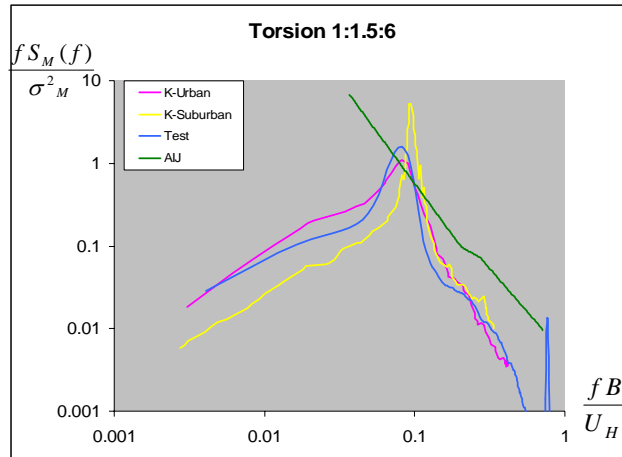
- Test results from TU-AIT wind tunnel
- Results from Zhou et. al. (2003)
 - Suburban terrain
 - Urban terrain
- Proposed curve from AIJ 2004 (Architectural Institute of Japan)



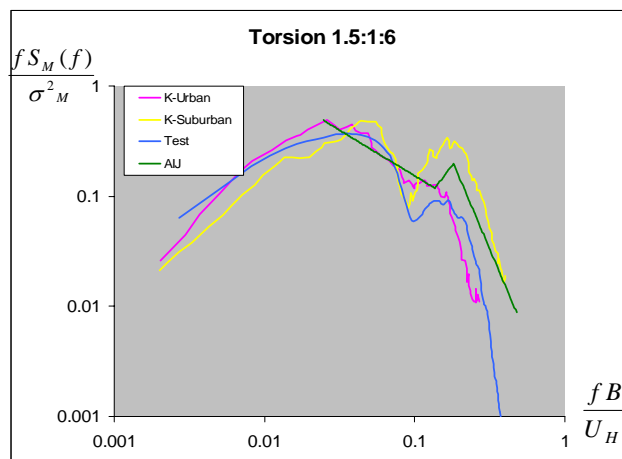
Torsional spectrum: 1-1-5



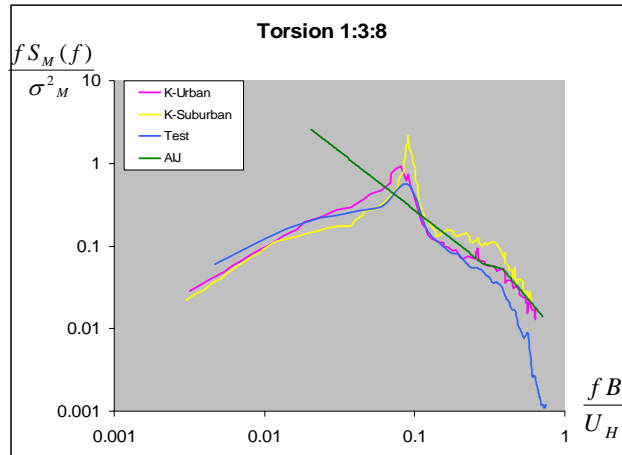
Torsional spectrum: 1-1.5-6



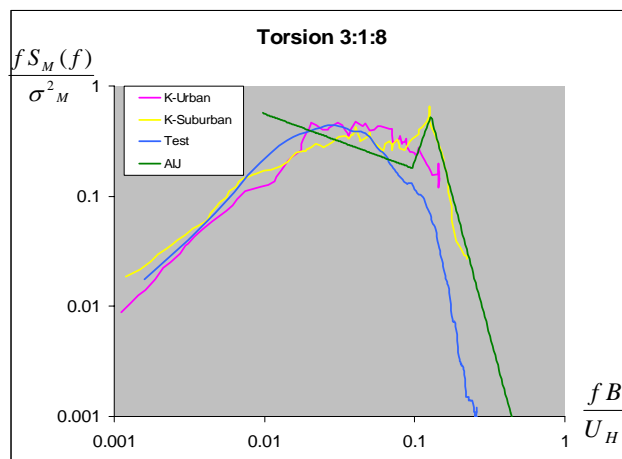
Torsional spectrum: 1.5-1-6



Torsional spectrum: 1-3-8



Torsional spectrum: 3-1-8



การพิจารณาเพื่อกำหนดวิธีการคำนวณแรงและ ผลตอบสนอง



- ใช้มาตรฐาน NBC ของ Canada เป็นต้นแบบสำหรับแรงในทิศทางลม
- ใช้มาตรฐาน AIJ ของประเทศญี่ปุ่น เป็นต้นแบบสำหรับแรงในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิด

คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคารคอนกรีตเสริม เหล็กในกรุงเทพมหานคร

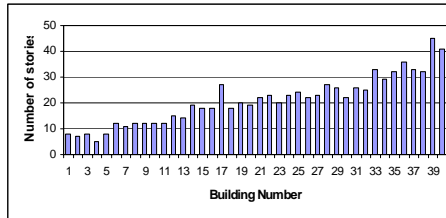




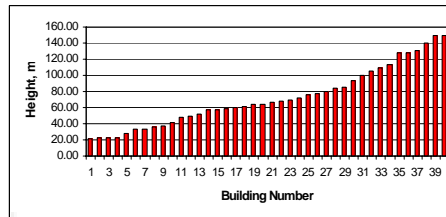
50 Reinforced Concrete Buildings



Number of stories: 5-42



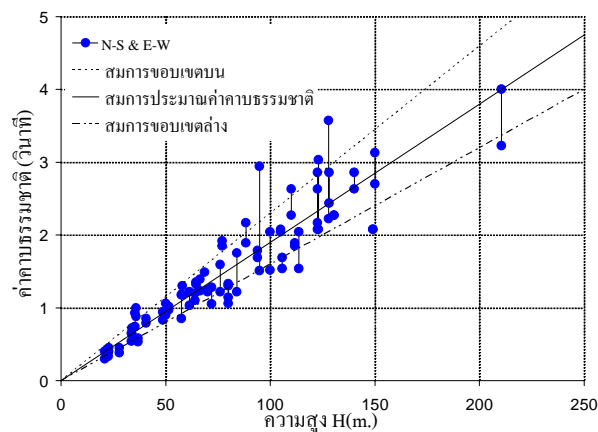
Height: 20-210 m.



Natural Period (1/Natural Frequency)



Periods of translational modes and height



Natural Periods and Natural Frequencies

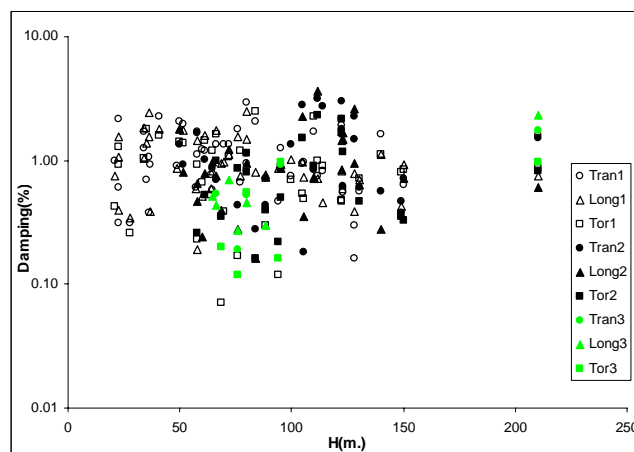


	Natural Period and Natural Frequency		
	ขอบเขตล่าง	ค่าเฉลี่ย	ขอบเขตบน
Period	0.016H	0.019H	0.023H
Frequency	62.5/H	52.6/H	43.5/H

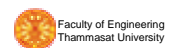
ค่าที่แนะนำให้ใช้ Frequency = 44/H สำหรับการสั่นไหวด้านข้าง
และ Frequency = 55/H สำหรับการสั่นไหวในแนวบิด



Damping Ratio



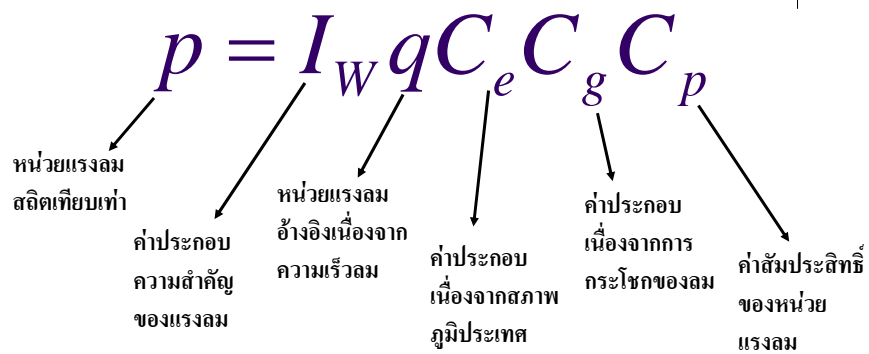
ค่าที่แนะนำให้ใช้ Damping ratio = 0.005 – 0.015





สรุปประเด็นสำคัญในมาตรฐาน

บทที่ 3 การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่า และการตอบสนองในทิศทางลม โดยวิธีการอย่างละเอียด



ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)



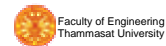
วิธีการอย่างละเอียด

- คำนี้ถึงสภาพภูมิประเทศเป็น 3 แบบ

1) สภาพภูมิประเทศแบบ A คือสภาพภูมิประเทศแบบโล่ง ซึ่งมีอาคาร
ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้างอยู่กระจัดกระจายห่าง ๆ กัน หรือเป็น
บริเวณชายฝั่งทะเล

$$C_e = (Z / 10)^{0.28}$$

โดยที่ C_e ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1 และไม่มากกว่า 2.5



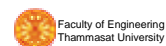
ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)



2) สภาพภูมิประเทศแบบ B คือสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง หรือ
พื้นที่ที่มี ต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือบริเวณศูนย์กลางของเมือง
ขนาดเล็ก

$$C_e = 0.5(Z / 12.7)^{0.50}$$

โดยที่ C_e ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.5 และไม่มากกว่า 2.5



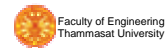
ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)



- 3) สภาพภูมิประเทศแบบ C คือสภาพภูมิประเทศของบริเวณศูนย์กลางเมืองใหญ่ ที่มีอาคารสูงอยู่หนาแน่น โดยที่อาคารไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ต้องมีความสูงเกิน 4 ชั้น

$$C_e = 0.4(Z / 30)^{0.72}$$

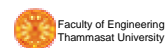
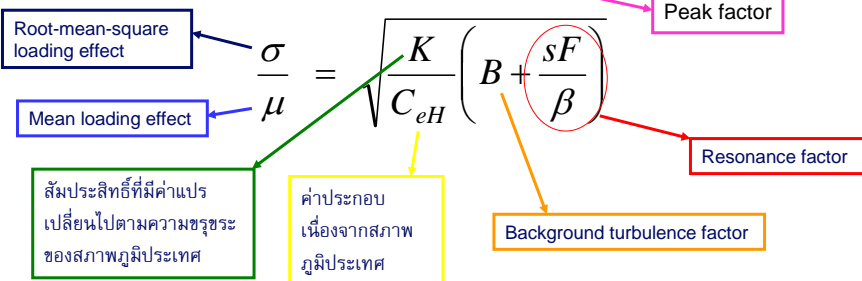
โดยที่ C_e ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.4 และไม่มากกว่า 2.5

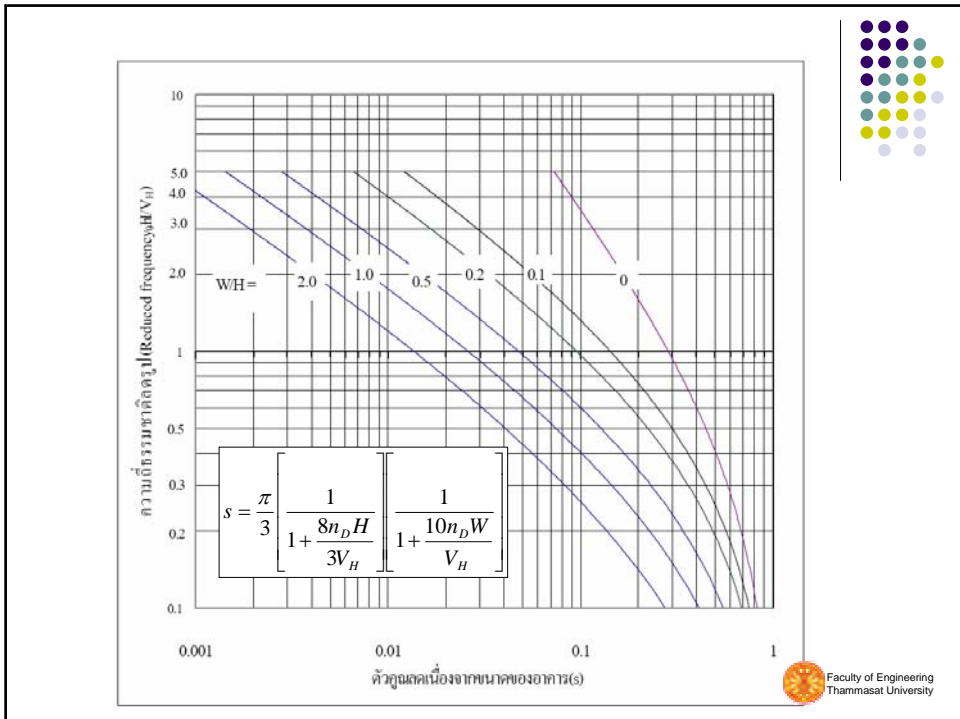
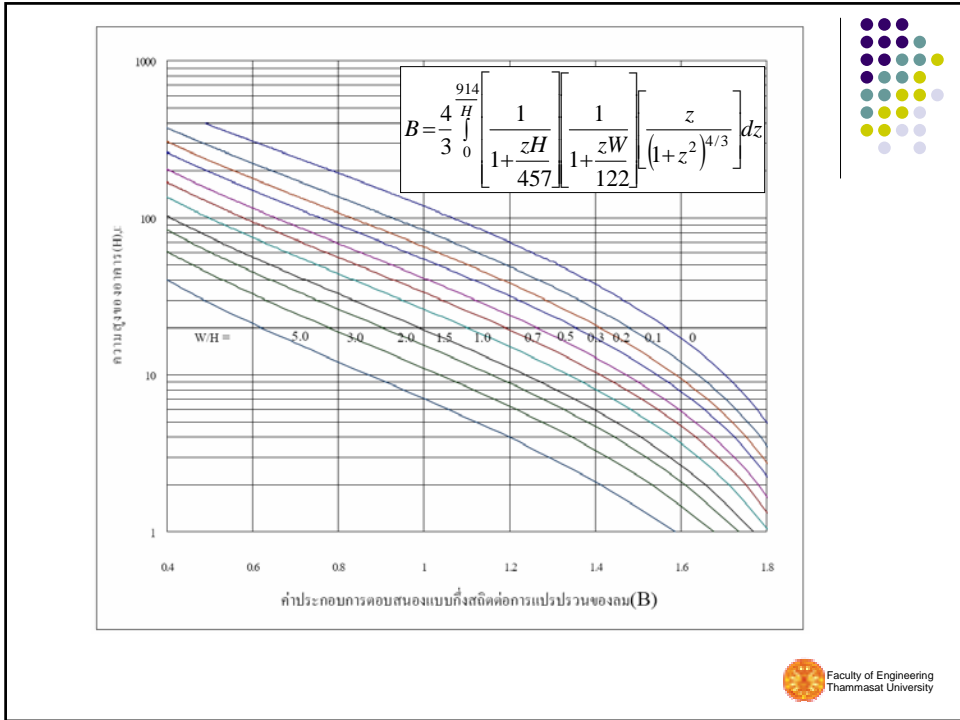


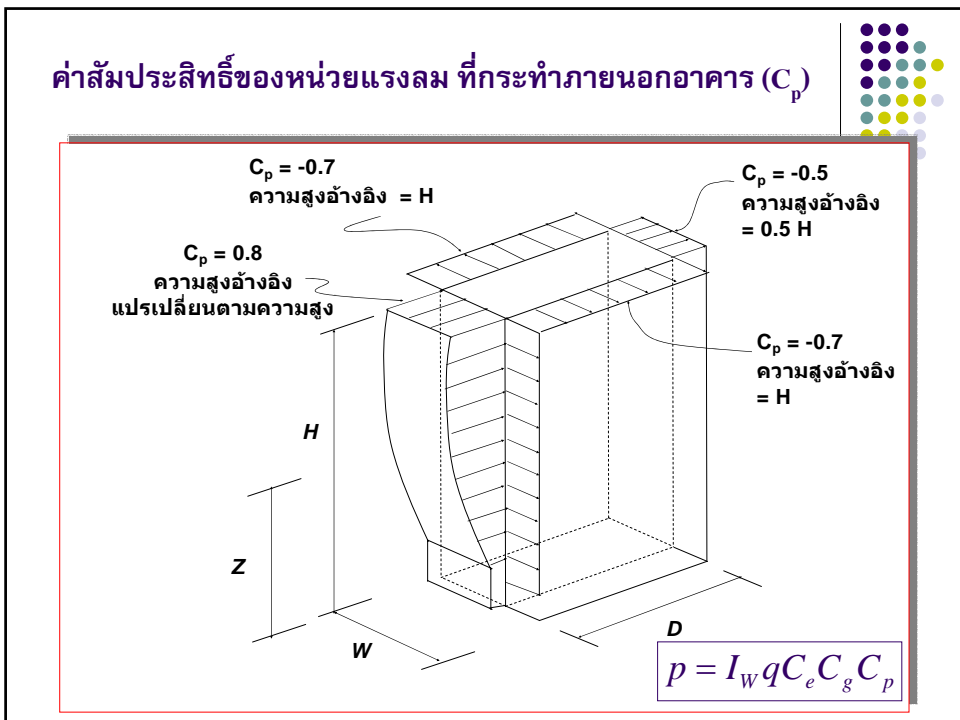
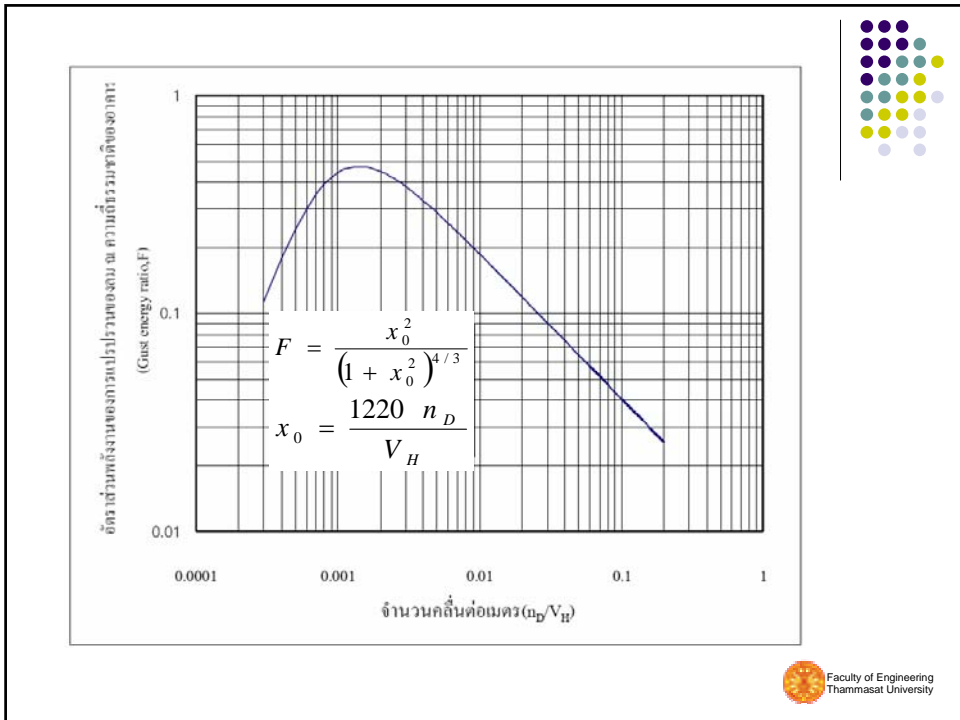
ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม C_g



$$C_g = 1 + g_p \left(\frac{\sigma}{\mu} \right)$$







การสั่นไหวของอาคาร

อัตราเร่งสูงสุดในทิศทางลม (a_D)

$$a_D = 4\pi^2 n_D^2 g_p \sqrt{\frac{K_s F}{C_{eH} \beta} \cdot \frac{\Delta}{C_g}} \quad \dots \text{ ม / วินาที}^2$$

อัตราเร่งสูงสุดในแนวราบทั้งในทิศทางลม และ ในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม

0.15 เมตร/วินาที² - - - - - กรณีของอาคารที่พักอาศัย

0.20 เมตร/วินาที² - - - - - กรณีของอาคารพาณิชย์



บทที่ 4 การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าและการตอบสนอง ในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า

- ก. โครงสร้างที่ต้องพิจารณาแรงลมและผลตอบสนองในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า คือ โครงสร้างที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป
- ข. ข้อกำหนดในบทนี้ ใช้กับอาคารที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมสม่ำเสมอ ที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ ไม่เกิน 6 และอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ มีค่าระหว่าง 0.2 ถึง 5
- ค. ข้อกำหนดในหัวข้อ 4.2 4.3 และ 4.5 ใช้กับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{V_H}{n_w \sqrt{WD}}$ มีค่าไม่เกิน 10
- ง. ข้อกำหนดในหัวข้อ 4.4 และ 4.5 ใช้กับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{V_H}{n_T \sqrt{WD}}$ มีค่าไม่เกิน 10

หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าและ การตอบสนองในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม

แรงลมออกแบบ

แรงลมที่กระทำกับอาคารในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม สามารถคำนวณได้จาก

$$P_L = 3I_w q_H C_L A \frac{z}{H} g_p \sqrt{1 + R_L}$$

ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

พื้นที่รับลม

ค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่า
ราคาล้างสองเฉลี่ยให้เป็นค่าสูงสุด

$$R_L = \frac{\pi F_L}{4\beta_w}$$

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

$$C_L = 0.0082 \left(\frac{D}{W}\right)^3 - 0.071 \left(\frac{D}{W}\right)^2 + 0.22 \left(\frac{D}{W}\right)$$

สเปกตรัมของแรงลมในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางลม F_L

$$F_L = \sum_{j=1}^N \frac{4\kappa_j (1 + 0.6\beta_j) \beta_j}{\pi} \frac{\lambda_j^2}{(1 - \lambda_j^2)^2 + 4\beta_j^2 \lambda_j^2}$$

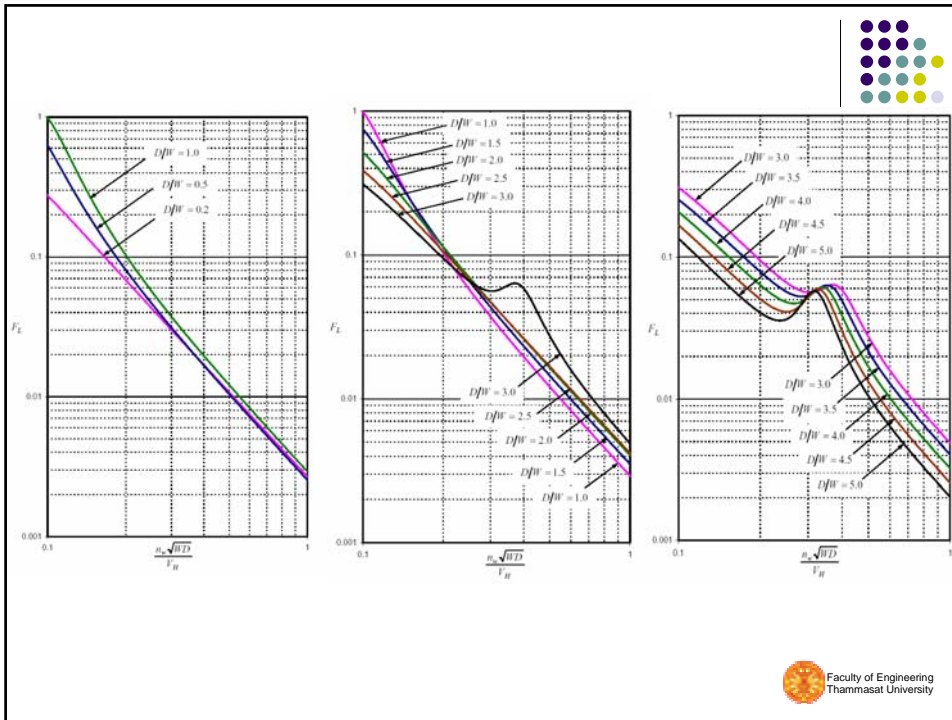
$$N = 1 \quad \text{สำหรับ } (D/W) < 3.0$$

$$N = 2 \quad \text{สำหรับ } (D/W) \geq 3.0$$

$$\kappa_1 = 0.85$$

$$\kappa_2 = 0.02$$

ค่าคงที่ β_j และ λ_j เป็นค่าที่กำหนดรูปร่างของสเปกตรัมของแรงลม



การสั่นไหวของอาคาร

อัตราเร่งสูงสุดในแนวราบในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม (a_w) ที่ความสูง z จากพื้นดิน มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² สามารถคำนวณค่าโดยประมาณได้จาก

$$a_w = 3I_w q_H C_L \frac{W}{(\rho_B W D)} \frac{z}{H} \sqrt{R_L}$$

โมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า

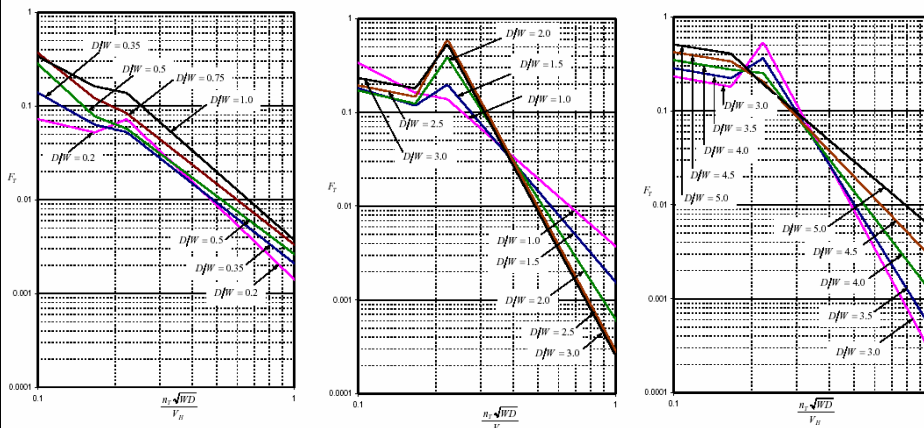
โมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่าเนื่องจากลม สามารถคำนวณได้จาก

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

$q_H = \frac{1}{2} (\rho) V_H^2$
 $C_T' = \{0.0066 + 0.015(D/W)^2\}^{0.78}$
 $R_T = \frac{\pi F_T}{4 \beta_T}$

ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม
 พื้นที่รับลม
 ค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่า
 รากกำลังสองเฉลี่ยให้เป็นค่าสูงสุด

สเปกตรัมของแรงลมในแนวบิดของอาคาร F_T



การรวมผลของแรงลมในทิศทางลม แรงลมในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิด



ในการออกแบบองค์อาคารเพื่อด้านทานแรงลม ให้พิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นสูงสุดในองค์อาคารจากการพิจารณาผลการรวม แรงลมสถิตเทียบเท่าในทิศทางลม แรงลมสถิตเทียบเท่าในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และ โมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า ในกรณีดังต่อไปนี้

- ก. $(1.0 \times \text{แรงลมสถิตเทียบเท่าในทิศทางลม}) + (0.4 \times \text{แรงลมสถิตเทียบเท่าในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม}) + (0.4 \times \text{โมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า})$
- ข. $\left(0.4 + \frac{0.6}{C_g}\right) \times \text{แรงลมสถิตเทียบเท่าในทิศทางลม} + (1.0 \times \text{แรงลมสถิตเทียบเท่าในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม}) + (1.0 \times \text{โมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า})$