

หลักการพื้นฐานสำหรับการออกแบบอาคาร เพื่อต้านทานแรงจากแผ่นดินไหว

นคร กว๋โรดม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

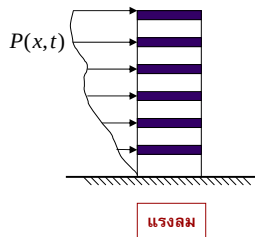


เนื้อหาของการนำเสนอ

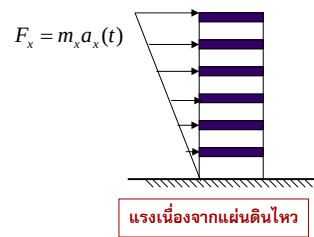
- ส่วนนำ
- แผ่นดินไหวที่มีผลกระทบต่อประเทศไทย
- หลักพลศาสตร์โครงสร้างที่สำคัญ
- ลักษณะการตอบสนองของโครงสร้างเนื่องจากแผ่นดินไหว
 - สเปกตรัมสำหรับการออกแบบ
 - พลศาสตร์โครงสร้างในมาตรฐานการออกแบบ
- กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (พ.ศ. 2550)
- ตัวอย่างการคำนวณแรงโดยใช้กฎกระทรวงฯ พ.ศ. 2550

ความแตกต่างระหว่างแรงลมกับแรงจากแผ่นดินไหว

- แรงจากแผ่นดินไหวเกิดในระยะเวลาสั้น ๆ
- ความถี่หลักของคลื่นแผ่นดินไหวโดยทั่วไปมีค่าสูงกว่าค่าความถี่หลักในลมประมาณ 10-50 เท่า
- แรงจากแผ่นดินไหวเกิดขึ้นที่ทุกตำแหน่งของโครงสร้างพร้อมกัน แต่แรงลมในขณะเวลาหนึ่งอาจมีค่าแตกต่างกันที่ตำแหน่งต่าง ๆ



แรงลม



แรงเนื่องจากแผ่นดินไหว

ความแตกต่างระหว่างแรงลมกับแรงจากแผ่นดินไหว การวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง

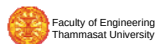
- แรงลม เป็นประเภทที่เกิดจากแรงภายนอก
 - เรียกว่า ปัญหาที่ควบคุมด้วยแรง
 - ผลจากความเหนียวของโครงสร้าง (หรือพฤติกรรมการรับแรงหลังการคราก) ไม่เกิดประโยชน์ต่อการรับแรงมากนัก
- แรงจากแผ่นดินไหว เป็นประเภทที่เกิดจากการขจัดภายนอก
 - เรียกว่า ปัญหาที่ควบคุมด้วยการขจัด
 - ผลจากความเหนียวของโครงสร้างเกิดประโยชน์ต่อการตอบสนองต่อผลการขจัดอย่างมาก

ความแตกต่างระหว่างแรงลมกับแรงจากแผ่นดินไหว

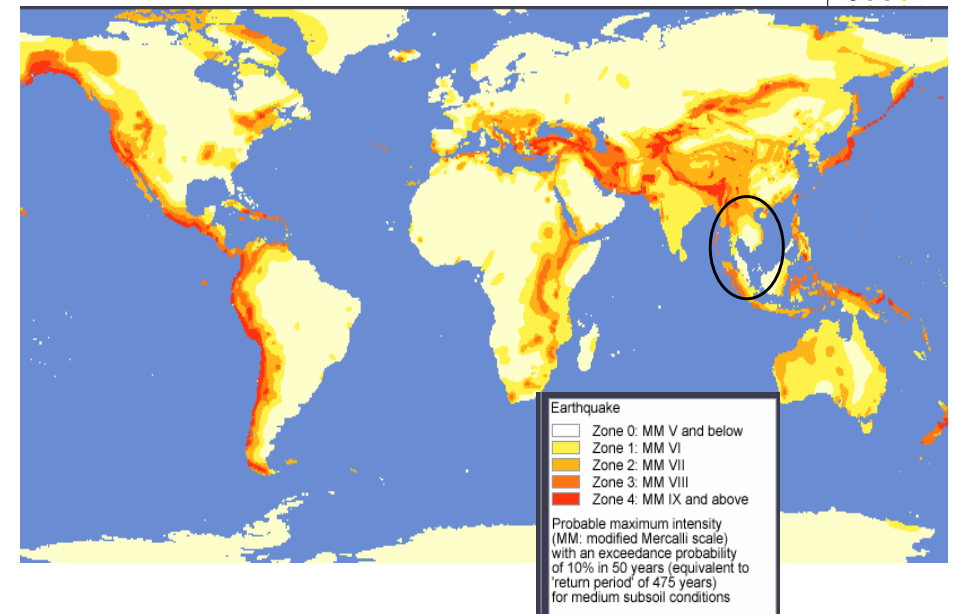
การออกแบบรับแรงลมและแรงแผ่นดินไหว

- แรงลม พิจารณาแรงที่อาจเกิดขึ้นสูงสุดภายในช่วงอายุการใช้งานของโครงสร้าง ดังนั้น ต้องออกแบบให้โครงสร้างรับแรงโดยไม่เกิดการเสียหาย
- แรงจากแผ่นดินไหว พิจารณาแรงที่อาจเกิดขึ้นสูงสุดภายในหลายร้อยปี ดังนั้น จึงยอมให้โครงสร้างเกิดการโยกตัวจนองค์อาคารเสียหายได้ แต่ต้องไม่พังทลายลงมา

ดังนั้น แรงที่ใช้ออกแบบต้านทานแผ่นดินไหวจึงมีค่าลดลง



แผนที่แสดงความเสี่ยงต่อแผ่นดินไหว



แผ่นดินไหวที่รู้สึกได้ที่เกิดในบริเวณจังหวัดต่าง ๆ ระหว่างปี พ.ศ. 2443-7 ก.ย. 2548

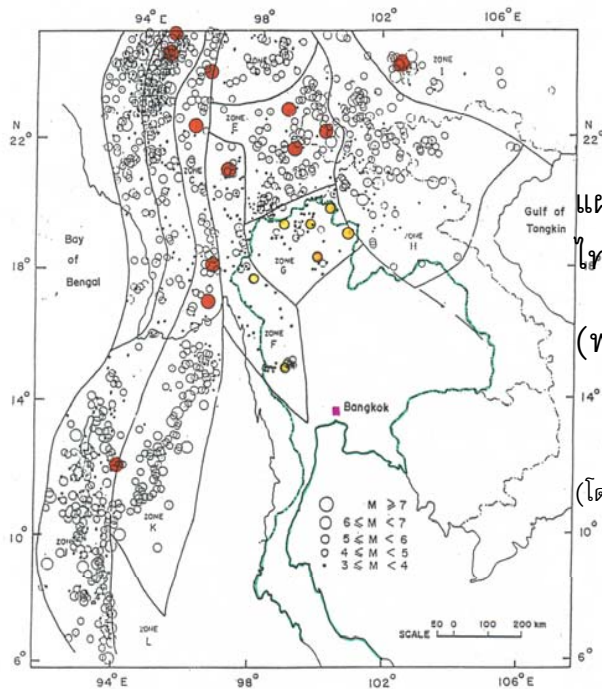
จังหวัด	จำนวนครั้ง	ร้อยละ
เชียงใหม่	34	41.0
กาญจนบุรี	13	15.7
เชียงราย	12	14.5
แพร่	5	6.0
อุดรดิตถ์	4	4.8
พะเยา	3	3.6
ตาก	3	3.6
แม่ฮ่องสอน	3	3.6
ลำพูน	2	2.4
เพชรบูรณ์	2	2.4
ลำปาง	1	1.2
นครราชสีมา	1	1.2
รวม	83	100

(โดย คุณบุรินทร์ เวชบัณฑิต กรมอุตุนิยมวิทยา)

แผ่นดินไหวที่รู้สึกได้จากบริเวณต่าง ๆ นอกประเทศ ระหว่างปี พ.ศ. 2443- 7 ก.ย. พ.ศ. 2548

บริเวณ	จำนวนครั้ง	ร้อยละ
พม่า	41	35.7
สุมาตรา	22	19.1
พม่า-ไทย	17	14.8
อันดามัน	10	8.7
พม่า-ลาว	8	7.0
พม่า-จีน	6	5.2
ลาว	6	5.2
ไทย-ลาว	2	1.7
พม่า-อินเดีย	1	0.9
จีน-เวียดนาม	1	0.9
ลาว-เวียดนาม	1	0.9
รวม	115	100

(โดย คุณบุรินทร์ เวชบัณฑิต กรมอุตุนิยมวิทยา)



แผ่นดินไหวใกล้ประเทศไทยที่บันทึกได้

(พ.ศ. 2453-2543)

(โดย รศ.ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย, AIT)

ปัญหาความเสี่ยงภัยแผ่นดินไหวของประเทศไทย

- ความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินไหวขนาดกลาง (ขนาดเล็กกว่า 6 ริกเตอร์)

วัน เดือน ปี	สถานที่เกิด	ขนาด (ริกเตอร์)
13 พ.ค. 2478	จ.น่าน	6.5
17 ก.พ. 2518	อ.ท่าสองยาง จ.ตาก	5.6
15-22 เม.ย. 2526	อ.ศรีสวัสดิ์ จ.กาญจนบุรี	5.3, 5.9, 5.2 (3 ครั้ง)
1 ต.ค. 2532	พรมแดนไทย-พม่า	5.3
11 ก.ย. 2537	อ.พาน จ.เชียงราย	5.1
9 ธ.ค. 2538	อ.ร้องกวาง จ.แพร่	5.1
21 ธ.ค. 2538	อ.พร้าว จ.เชียงใหม่	5.2
22 ธ.ค. 2539	พรมแดนไทย-ลาว	5.5

ตัวอย่างเหตุการณ์ความเสียหายรุนแรงจากแผ่นดินไหวขนาดกลางที่เกิดขึ้นทั่วโลก

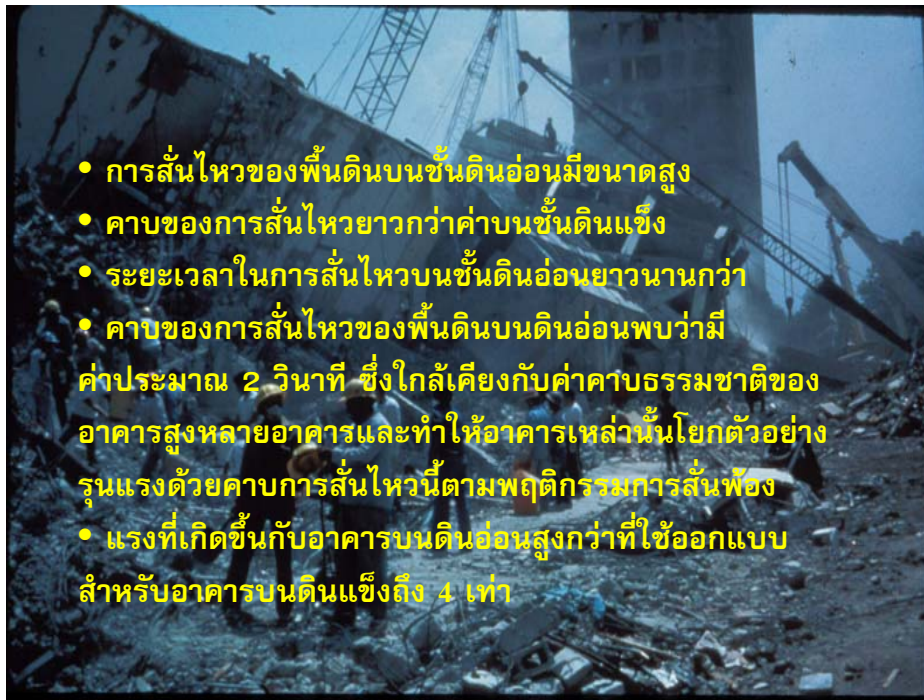
สถานที่เกิด	ขนาด (ริกเตอร์)	ปีเกิด พ.ศ.	ความเสียหาย
เมือง Agadir ประเทศ Morocco	5.7	2503	เสียชีวิต 12,000 คน อาคารจำนวนมากพังทลาย
ตอนเหนือของ Yemen	5.8	2525	เสียชีวิต 2,800 คน หมู่บ้านประมาณ 300 แห่งได้รับความเสียหายรุนแรง
เมือง San Salvador ประเทศ El Salvador	5.4	2529	เสียชีวิต 1,000 คน บาดเจ็บ 10,000 คน ไร้ที่อยู่อาศัย 200,000 คน
เมือง Dushanbe สหภาพโซเวียตรัสเซีย	5.5	2532	เสียชีวิต 1,000 คน
เมือง Newcastle ประเทศ Australia	5.6	2532	เสียชีวิต 12 คน และอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสมัยใหม่พังทลาย ความเสียหายหลายพันล้านเหรียญออสเตรเลีย
เมือง Timisoara ประเทศ Romania	5.5	2534	เสียชีวิต 1 คน บาดเจ็บ 28 คน ไร้ที่อยู่อาศัย 3,700 คน บ้านเรือนเสียหาย 2,800 หลัง
ห่างจากกรุง Cairo ประเทศ Egypt ประมาณ 20 กม.	5.2	2535	เสียชีวิต 593 คน บาดเจ็บกว่า 600 คน อาคารเสียหายรุนแรง 14,000 หลัง
เมือง Yongheng มณฑล Gansu ประเทศจีน	5.8	2539	เสียชีวิต 13 คน บาดเจ็บ 52 คน บ้านเรือนเสียหาย 4,500 หลัง
เกาะ Qeshm ประเทศอิหร่าน	5.9	2548	เสียชีวิตอย่างน้อย 10 คน บาดเจ็บจำนวนมาก และบ้านเรือนประมาณ 50-90% ของ 12 หมู่บ้านเสียหาย

การขยายคลื่นของชั้นดินอ่อนในกรุงเทพมหานคร

ตัวอย่างบทเรียนจากแผ่นดินไหวระยะไกล

แผ่นดินไหว Michoacan, Mexico วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2528 (ค.ศ. 1985)

- เกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ($M_s=8.1$ ริกเตอร์) ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ห่างจากกรุงเม็กซิโกซิตีถึง 350 กิโลเมตร
- เกิดการพังทลายของอาคารประมาณ 500 หลัง
- มีผู้เสียชีวิตถึงประมาณ 10,000 คน
- อาคารที่ได้รับความเสียหายส่วนใหญ่เป็นอาคารสูงในบริเวณเหนือชั้นดินตะกอนหนา (อาคารบนชั้นดินแข็งเสียหายน้อย)



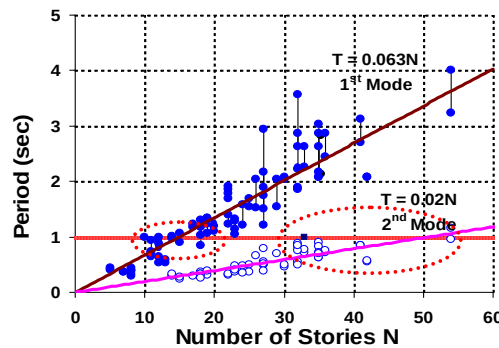
- การสั่นไหวของพื้นดินบนชั้นดินอ่อนมีขนาดสูง
- คาบของการสั่นไหวยาวกว่าคาบชั้นดินแข็ง
- ระยะเวลาในการสั่นไหวบนชั้นดินอ่อนยาวนานกว่า
- คาบของการสั่นไหวของพื้นดินบนดินอ่อนพบว่ามีความใกล้เคียงกับคาบธรรมชาติของอาคารสูงหลายอาคารและทำให้อาคารเหล่านั้นโยกตัวอย่างรุนแรงด้วยคาบการสั่นไหวนี้ตามพฤติกรรมการสั่นพ้อง
- แรงที่เกิดขึ้นกับอาคารบนดินอ่อนสูงกว่าที่ใช้ออกแบบสำหรับอาคารบนดินแข็งถึง 4 เท่า

การขยายคลื่นของชั้นดินอ่อนในกรุงเทพมหานคร

- พ.ศ. 2529 Dr. Paul C. Thenhaus ได้เขียนบทความเกี่ยวกับความเสี่ยงภัยของกรุงเทพมหานครเนื่องจากแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่เกิดระยะไกล และการขยายขนาดของคลื่นเนื่องจากสภาพชั้นดินของกรุงเทพมหานครเป็นชั้นดินอ่อนหนา
- พ.ศ. 2539 Ashford และคณะศึกษาคุณสมบัติของดินกรุงเทพมหานคร พบว่ามีความสามารถในการขยายขนาดคลื่นได้ประมาณ 3-6 เท่า การขยายที่เด่นชัดที่สุดบริเวณคาบธรรมชาติของดินอ่อนที่มีคาบประมาณ 1 วินาที ซึ่งผลวิจัยสอดคล้องกับงานของ เป็นหนึ่ง และคณะในปี พ.ศ. 2543 โดยคาดว่าอาคารและโครงสร้างใดที่มีคาบธรรมชาติใกล้เคียง 1 วินาทีจะมีโอกาสที่ให้เกิดการโยกตัวอย่างรุนแรงเนื่องจากผลของการสั่นพ้อง
- พ.ศ. 2548 นคร และคณะทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กในกรุงเทพมหานคร

Resonant Natural Period

Periods of translational modes



- Long period effects felt in high-rise buildings in Bangkok
- Many people rushed out from buildings to ground level
- 15 to 20-story and more 30-story buildings are most susceptible

These buildings were most susceptible to long-distance earthquake

Near-Periodic amplified ground motion and the amplification of building responses at this predominant period



กฎกระทรวงว่าด้วยการออกแบบอาคารเพื่อต้านแรงจากแผ่นดินไหว

- พ.ศ. 2526 มีคำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการร่างกฎกระทรวงเกี่ยวกับแผ่นดินไหว
- พ.ศ. 2528 มีการตั้งคณะกรรมการแผ่นดินไหวแห่งชาติขึ้น
- พ.ศ. 2529 เสนอร่างกฎกระทรวงว่าด้วยแรงแผ่นดินไหวสำหรับประเทศไทย โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน Uniform Building Code ค.ศ. 1982 (พ.ศ. 2525) กำหนดแบ่งเขตที่อาจได้รับความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวเป็น 2 เขต โดย กทม. จัดอยู่ในเขตที่มีระดับความรุนแรงแผ่นดินไหวต่ำ
- พ.ศ. 2530 คณะรัฐมนตรีได้พิจารณาร่างดังกล่าวแล้ว มีมติให้กระทรวงมหาดไทยนำกลับไปพิจารณาทบทวน โดยมีให้รายละเอียดว่าจะให้ทบทวนในประเด็นใดบ้าง
- พ.ศ. 2530-2532 คณะกรรมการควบคุมอาคารได้มีการประชุมพิจารณาทบทวนร่างกฎกระทรวงแผ่นดินไหวหลายครั้ง
- พ.ศ. 2533 แต่งตั้งผู้เชี่ยวชาญเป็นอนุกรรมการเพิ่มเติม สอบถามความเห็นเกี่ยวกับร่างกฎกระทรวงนี้จากสถาบันและหน่วยงานราชการต่าง ๆ

ข้อคิดเห็นต่อร่างกฎกระทรวง



- ลักษณะที่แตกต่างกันของภาษาที่ใช้สำหรับกฎหมายและการคำนวณตามหลักวิชาการ โดยกฎหมายต้องกระชับและตีความได้ชัดเจน ส่วนการคำนวณต้องยึดหลักวิชาการ ตามที่เกิดขึ้นได้ทั่วไปตามสภาพธรรมชาติ
- ขอบข่ายการบังคับใช้ มีความเห็นที่เสนอให้บังคับเฉพาะอาคารสาธารณะที่มีศักยภาพ การทำลายสูง ส่วนอาคารอื่นให้เป็นความรับผิดชอบของเจ้าของเอง
- ความสิ้นเปลือง ข้อโต้แย้งข้อนี้ มาจากความเชื่อที่ว่า การออกแบบอาคารสูงให้ ทานแผ่นดินไหว ทำให้สิ้นเปลืองอย่างมหาศาล
- ความซ้ำซ้อน ข้อโต้แย้งข้อนี้ มาจากความเชื่อที่ว่า ถ้าอาคารสูงได้รับการออกแบบ ให้รับแรงลมตามข้อกำหนดของแล้ว ย่อมจะสามารถทนทานต่อแรงกระทำจาก แผ่นดินไหวได้

กฎกระทรวงว่าด้วยการออกแบบอาคารเพื่อต้านแรงจากแผ่นดินไหว



- พ.ศ. 2535 เปิดโอกาสให้ผู้เกี่ยวข้องทั่วไปได้ร่วมแสดงความคิดเห็นในรูปของ Public Hearing
- พ.ศ. 2537 ถึง 2538 เกิดแผ่นดินไหวทางภาคเหนือบ่อยครั้ง เช่น
 - วันที่ 11 กันยายน 2537 มีศูนย์กลางที่อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย ขนาด 5.1 ริกเตอร์
 - วันที่ 9 ธันวาคม 2538 มีศูนย์กลางที่อำเภอร้องกวาง จังหวัดแพร่ ขนาด 5.1 ริกเตอร์
 - วันที่ 21 ธันวาคม 2538 มีศูนย์กลางที่อำเภอพัว จังหวัดเชียงใหม่ ขนาด 5.2 ริกเตอร์
- 5 พฤศจิกายน 2540 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยลงนาม และ ประกาศใช้ในราชกิจจานุเบกษา เป็นกฎกระทรวงฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ออก ตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 แต่ไม่รวม กทม.

กฎกระทรวงว่าด้วยการออกแบบอาคารเพื่อต้านแรงจากแผ่นดินไหว

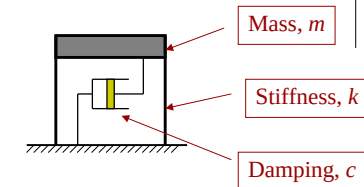


- จากผลการศึกษาพบว่าพื้นที่บริเวณ กทม. และใกล้เคียงเป็นชั้นดินอ่อน จึงส่งผล ให้เกิดการขยายแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้
- พื้นที่ภาคใต้บางส่วนตั้งอยู่ใกล้รอยเลื่อนทั้งจากในและต่างประเทศ ที่มีการ สั่นสะเทือนบ่อยครั้ง
- การปรับปรุงกฎกระทรวงฉบับที่ 49 เป็น กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการ ต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (พ.ศ. 2550)
- กรมโยธาธิการฯ จัดทำ มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทาน การสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (มยผ. 1301-50 พ.ศ. 2550)

หลักพลศาสตร์โครงสร้างที่สำคัญ



ระบบโครงสร้างอย่างง่าย
Single-Degree-of-Freedom



คาบธรรมชาติ (Natural Period) $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$ หรือ $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

คือจังหวะของการสั่นไหวของโครงสร้างตามธรรมชาติ

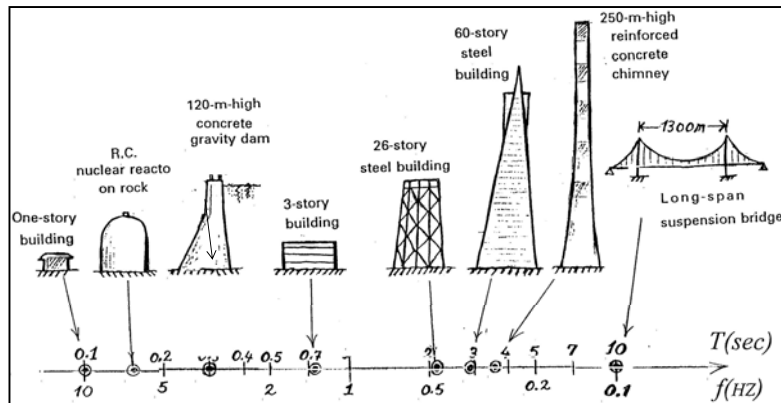
อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) $\xi = \frac{c}{2m\omega}$ ทั่วไปมีค่า 0.01-0.05

คือความสามารถในการสลายพลังงานจากการสั่นไหวของโครงสร้าง

Natural Frequency and Natural Period

Natural Frequency $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$

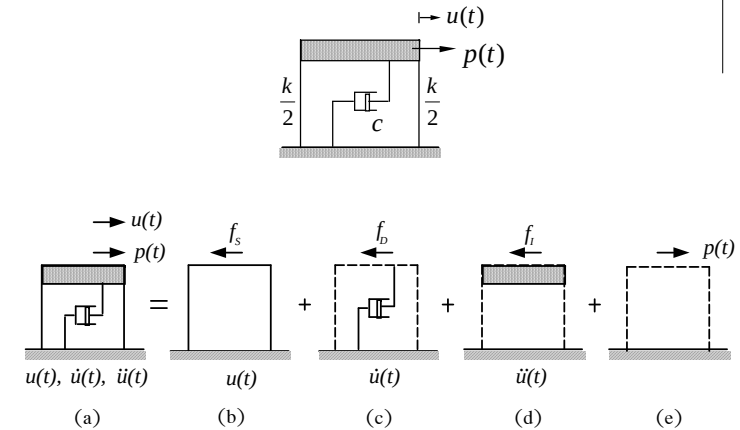
Natural Period $T = \frac{1}{f}$



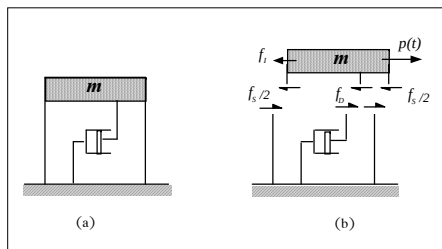
โครงสร้าง Rigid
ความถี่สูงหรือคาบสั้น

โครงสร้าง Flexible
ความถี่ต่ำหรือคาบยาว

แบบจำลองสำหรับระบบ SDOF



สมการของการเคลื่อนที่



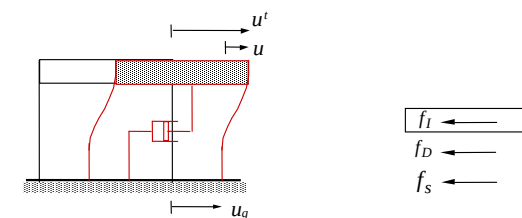
จาก Free Body Diagram ของมวล m

ดังนั้น $f_I + f_D + f_s = p(t)$

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t)$$

Dynamic Equilibrium $\Rightarrow$ Equation of Motion

สมการของการเคลื่อนที่สำหรับ โครงสร้างภายใต้แผ่นดินไหว



• การขจัดรวมของมวล m $u^t(t) = u(t) + u_g(t)$

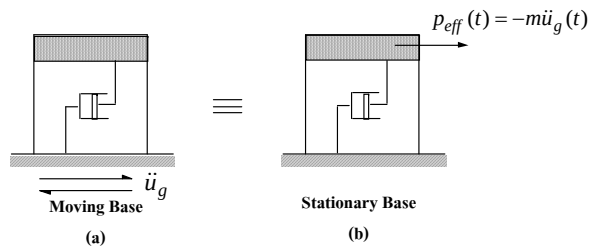
• สมดุล $f_I + f_D + f_s = 0$

• แรงเฉื่อย $f_I = m\ddot{u}^t$

• สมการของการเคลื่อนที่ $m(\ddot{u} + \ddot{u}_g) + c\dot{u} + ku = 0$

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t)$$

แรงแผ่นดินไหวประสิทธิผล



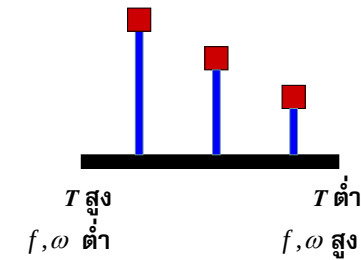
Effective Earthquake Force $p_{eff}(t)$

$$p_{eff}(t) = -m\ddot{u}_g(t)$$

แรงจากแผ่นดินไหว มีค่าตามมวล (หรือน้ำหนักของโครงสร้าง) และความเร่งของพื้น

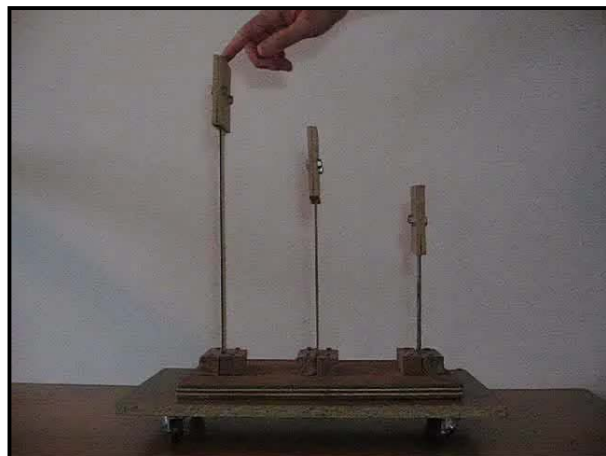
การสั่นพ้อง (การกำทอน) (Resonance)

Example



$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

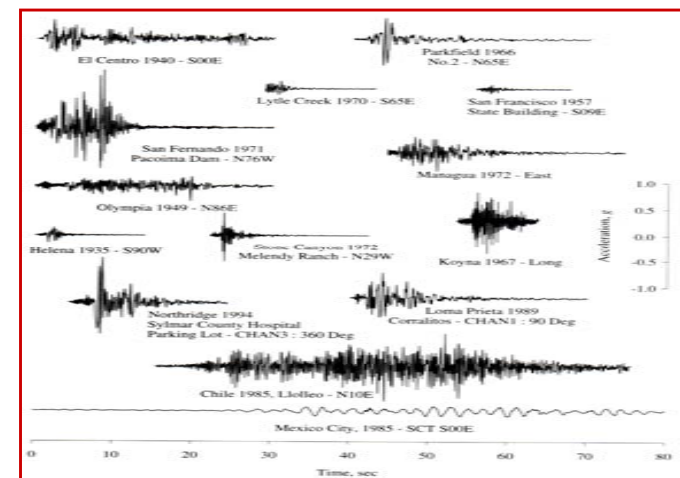
การตอบสนองของแบบจำลองอาคารต่อแผ่นดินไหว



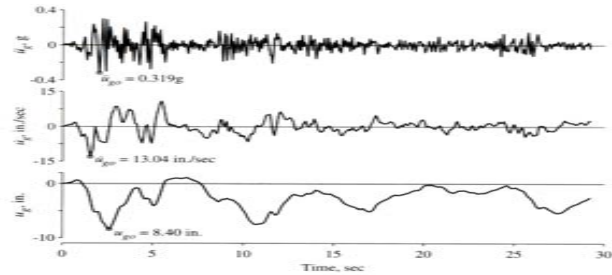
การตอบสนองเนื่องจากแผ่นดินไหว

(Earthquake Response of Linear System)

ตัวอย่างของความเร่งของพื้นเนื่องจากแผ่นดินไหว $\ddot{u}_g$



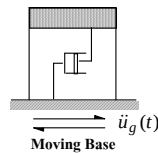
ลักษณะคลื่นแผ่นดินไหว El Centro (ค.ศ. 1940)



$$\ddot{u} + 2\xi\omega\dot{u} + \omega^2u = -\ddot{u}_g(t)$$

ω (or T), ξ

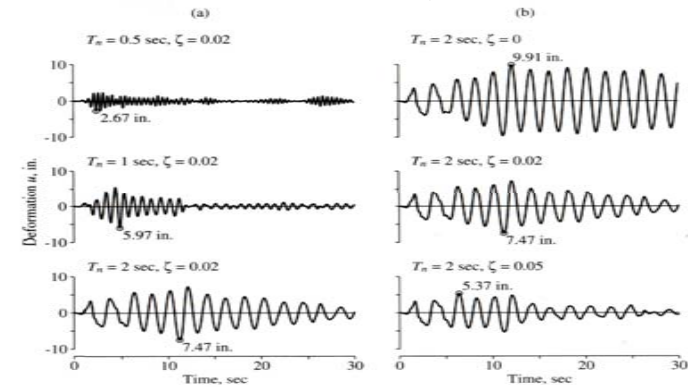
Important Parameters



ตัวอย่างผลตอบสนองของโครงสร้างต่อคลื่นแผ่นดินไหว

ระบบมีค่า T ต่างกัน และค่า ξ เท่ากัน

ระบบมีค่า T เท่ากัน และค่า ξ ต่างกัน

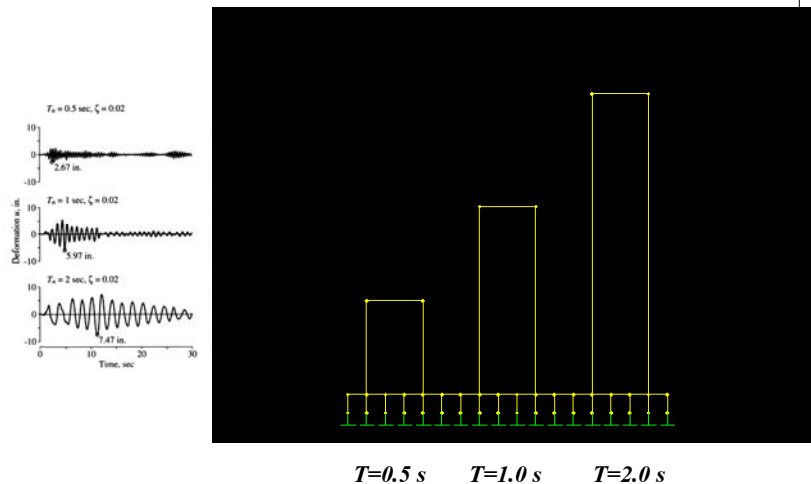


- คาบของการสั่นมีค่าใกล้เคียงกับคาบธรรมชาติ
- ระบบที่มีคาบธรรมชาติเท่ากับ 2 วินาที มีค่าการขจัดสูงสุด

- ค่าการขจัดสูงสุดของแต่ละกรณีจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มค่า ξ ให้กับระบบ

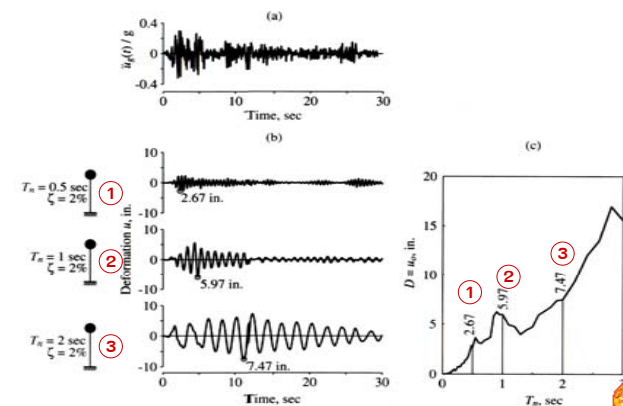
การตอบสนองของระบบที่มี T ต่างกัน ต่อคลื่นแผ่นดินไหว

ระบบมีค่า T ต่างกัน และค่า ξ เท่ากัน ตอบสนองต่อแผ่นดินไหว El Centro



สเปกตรัมผลตอบสนอง (Response Spectrum)

Response Spectrum คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูงสุดของการตอบสนองต่อแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว กับคาบธรรมชาติของระบบนั้น โดยพิจารณาที่ค่าอัตราส่วนความหน่วงที่คงที่ค่าหนึ่ง



สเปกตรัมผลตอบสนองเสมือน (Pseudo)

$u_0 = D =$ ค่าสูงสุดของระยะจัดสำหรับระบบใด ๆ

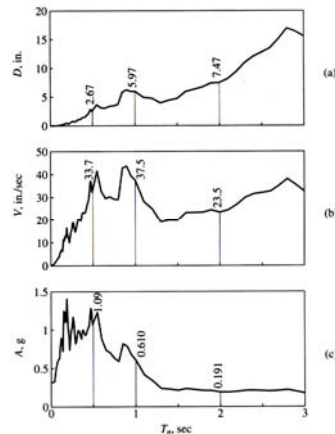
$$\text{จาก } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad k = \omega^2 m \quad f_{S0} = ku_0 = kD$$

$$f_{S0} = m\omega^2 D = mA$$

นิยาม

Pseudo-velocity $V = \omega D$

Pseudo-acceleration $A = \omega^2 D$

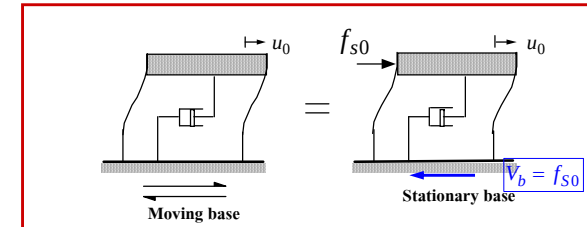


แรงสถิตยเทียบเท่า (Equivalent Static Force)

$D =$ ค่าสูงสุดของระยะจัดสำหรับระบบ

V ใช้ในการหาค่าพลังงานสูงสุดจากการสั่นไหวที่สะสมภายในระบบ

A ใช้ในการหาค่าสูงสุดของแรงสถิตเทียบเท่าและแรงเฉือนที่ฐาน



$$\text{Base Shear } V_b = f_{S0} = mA = \frac{A}{g} W$$

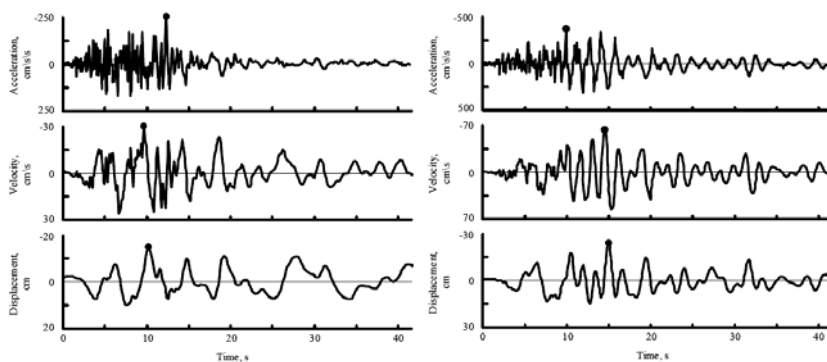
$$\frac{A}{g} \equiv \text{Base Shear Coefficient} \quad W = \text{Weight}$$

การตอบสนองเนื่องจากแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหว San Fernando ปี ค.ศ. 1971 ขนาด M 6.4

บันทึกแผ่นดินไหวที่พื้น

ผลตอบสนองของอาคารสูง 7 ชั้น

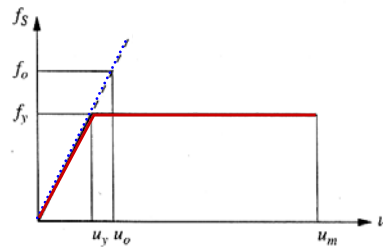
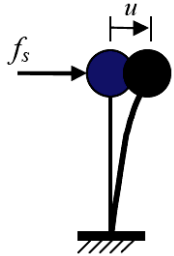


ผลตอบสนองอาจทำให้เกิดแรงประสิทธิผลมีค่ามหาศาล $V_b = mA$

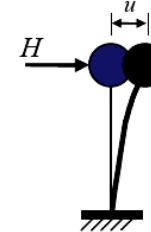
การออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงจากแผ่นดินไหว

- หากการออกแบบที่ต้องให้โครงสร้างต้านทานแรงมากขนาดนี้ได้โดยพฤติกรรมแบบอีลาสติกของโครงสร้างจะต้องการหน้าตัดของชิ้นส่วนขนาดใหญ่มาก
- หลักการออกแบบที่ใช้คือ ยอมให้โครงสร้างบางส่วนเกิดการวิบัติจากการครากของหน้าตัดเพื่อให้โครงสร้างมีพฤติกรรมแบบอินอีลาสติกได้แต่ไม่เกิดการพังทลายของโครงสร้าง และมีเสถียรภาพ
- สามารถสลายพลังงานการสั่นไหวได้อย่างมากและลดค่าแรงที่ใช้ในการออกแบบได้หลายเท่าตัว
- การพิจารณาผลตอบสนองของโครงสร้างแบบอินอีลาสติกนำไปสู่การสร้างสเปกตรัมผลตอบสนองแบบอินอีลาสติกสำหรับการออกแบบต่อไป

ผลตอบสนองแบบอีลาสติก VS อินอีลาสติก



Force Controlled VS. Displacement Controlled System



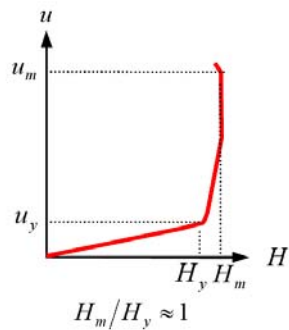
ระบบภายใต้แรงทางด้านข้าง

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
แรง H และการขจัด u ในรูปของ

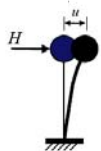
แกนตั้งเป็นตัวแปรตาม

แกนนอนเป็นตัวแปรต้น

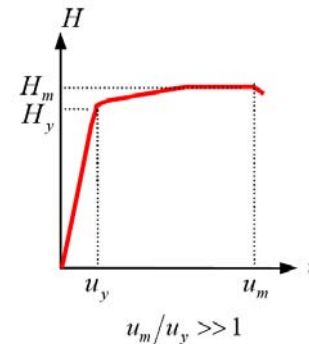
Force Controlled System



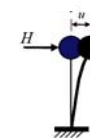
- เมื่อเพิ่มแรงในแนวราบ ค่าการขจัดจะเพิ่มตามจนถึงจุดคราก
- หากเพิ่มค่า H ขึ้นจากจุดนี้ก็จะเกิดจุดหมุนพลาสติกขึ้นในโครงสร้างและการขจัดที่มีค่ามาก
- แรงที่ทำให้ระบบพังทลาย H_m มีค่าไม่ต่างกับแรงที่ทำให้เกิดการครากเริ่มต้น H_y
- คุณสมบัติความเหนียวของระบบไม่ได้ช่วยด้านการเพิ่มความสามารถในการรับแรงมากนัก



Displacement Controlled System



- เมื่อเพิ่มการขจัดในแนวราบ จะทำให้เกิดการเพิ่มของแรงภายในระบบ เช่นโมเมนต์ที่ฐาน จนกระทั่งถึงจุดคราก
- หากเพิ่มค่า u ขึ้นจากจุดนี้ก็จะค่าโมเมนต์ที่ฐานจะเพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย
- สำหรับระบบที่มีความเหนียว ค่าการขจัดสูงสุด u_m อาจมีค่ามากกว่าการขจัดที่จุดเริ่มคราก u_y ได้หลายเท่าตัวก่อนที่ระบบจะพังทลาย
- โครงสร้างที่มีความเหนียว สามารถทนต่อการเคลื่อนตัวเนื่องจากแผ่นดินไหวได้ดี



มาตรฐานการออกแบบต้านทานแรงจากแผ่นดินไหว

กฎกระทรวงฉบับที่ 49

Uniform Building Code (UBC) 1985

แรงเฉือนในแนวราบที่ระดับพื้นดิน V

$$V = Z I K C S W$$

น้อยกว่า 1 สำหรับ
โครงสร้างที่มีความเหนียว

สัมประสิทธิ์ของ
ความเข้มของแผ่นดินไหว

ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้งาน

สัมประสิทธิ์ของโครงสร้าง
อาคารที่รับแรงตามแนวราบ

สัมประสิทธิ์ของคาบธรรมชาติ

น้ำหนักของตัวอาคาร

สัมประสิทธิ์ของการประสาน
ความถี่ธรรมชาติ
ระหว่างอาคารและชั้นดิน

มาตรฐานการออกแบบต้านทานแรงจากแผ่นดินไหว

International Building Code (IBC) 2006

แรงเฉือนในแนวราบที่ระดับพื้นดิน V

$$V = \frac{CIW}{R}$$

น้ำหนักของตัวอาคาร

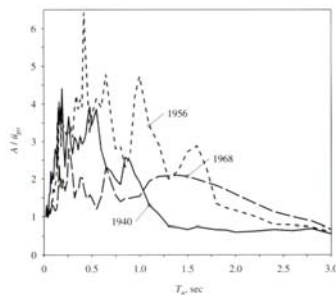
สัมประสิทธิ์ที่ขึ้นกับ คาบธรรมชาติ
ตำแหน่งของโครงสร้าง และสภาพดิน

ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้งาน

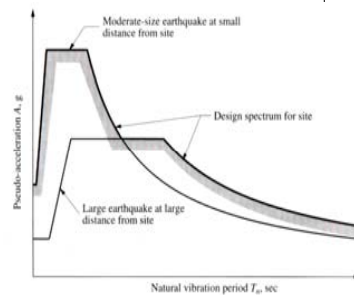
ค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบสนอง
ขึ้นกับความเหนียว และประสิทธิภาพในการ
ตอบสนองแบบอินอีลาสติกของโครงสร้าง

มีค่าตั้งแต่ 1.5 ถึง 8

สเปกตรัมเพื่อการออกแบบ

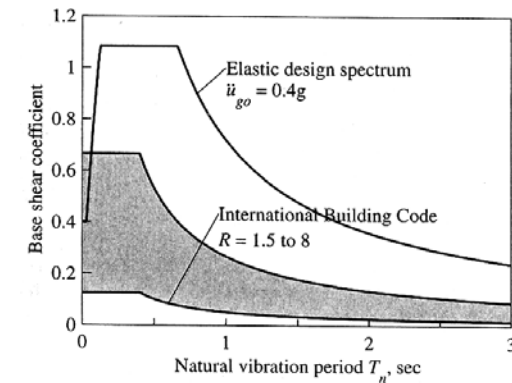


Pseudo-acceleration response spectrum
สำหรับแผ่นดินไหวหลายเหตุการณ์



Pseudo-acceleration design spectrum

การออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงจากแผ่นดินไหว



Base Shear $V_b = \frac{A}{g} W$

$\frac{A}{g} \equiv$ Base Shear Coefficient $W =$ Weight



กฎกระทรวง

กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร
และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

พ.ศ. ๒๕๕๐

พื้นที่ควบคุม (ข้อ ๒)



- **บริเวณเฝ้าระวัง** หมายถึง พื้นที่หรือบริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกระบี่ ชุมพร พังงา ภูเก็ต ระนอง สงขลา และสุราษฎร์ธานี
- **บริเวณที่ ๑** หมายถึง พื้นที่หรือบริเวณที่เป็นดินอ่อนมากที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวระยะไกล ได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดนนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ และสมุทรสาคร
- **บริเวณ ๒** หมายถึง พื้นที่หรือบริเวณที่อยู่ใกล้รอยเลื่อนที่อาจได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี เชียงราย เชียงใหม่ ตาก น่าน พะเยาแพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง และลำพูน

ประเภทของอาคารควบคุม (ข้อ ๓)



- (ก) อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน เช่น สถานพยาบาลที่รับผู้ป่วยไว้ค้างคืน สถานีดับเพลิง อาคารศูนย์บรรเทาสาธารณภัย อาคารศูนย์สื่อสาร ท่าอากาศยาน โรงไฟฟ้าโรงผลิตและเก็บน้ำประปา
- (ข) อาคารเก็บวัตถุดิบอันตราย เช่น วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุมีพิษ วัตถุแก๊มมันตรังสี หรือวัตถุที่ระเบิดได้
- (ค) อาคารสาธารณะ ได้แก่ โรงมหรสพ หอประชุม หอศิลป์ พิพิธภัณฑ์สถาน หอสมุด ศาสนสถาน สนามกีฬา อัฒจันทร์ ตลาด ห้างสรรพสินค้า ศูนย์การค้า สถานีรถ โรงแรมสถานบริการ และอาคารจอดรถ

ประเภทของอาคารควบคุม (ข้อ ๓)



- (ง) สถานศึกษา
- (จ) สถานรับเลี้ยงเด็กอ่อน
- (ฉ) อาคารที่มีผู้ใช้อาคารได้ตั้งแต่ห้าพันคนขึ้นไป
- (ช) อาคารที่มีความสูงตั้งแต่สิบห้าเมตรขึ้นไป
- (ซ) สะพานหรือทางยกระดับที่มีช่วงระหว่างศูนย์กลางตอม่อยาวตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป
- (ณ) เขื่อนเก็บกักน้ำ เขื่อนทดน้ำหรือฝายทดน้ำ ที่ตัวเขื่อนหรือตัวฝายมีความสูงตั้งแต่สิบเมตรขึ้นไป

ข้อที่ต้องคำนึงในการออกแบบ (ข้อ ๔)



- การจัดรูปแบบเรขาคณิตให้มีเสถียรภาพในการต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว
- การกำหนดรายละเอียดปลั๊กย่อยขึ้นส่วนโครงสร้าง รวมทั้งบริเวณรอยต่อระหว่างปลายชิ้นส่วนโครงสร้างต่าง ๆ และการจัดให้โครงสร้างทั้งระบบอย่างน้อยให้มีความเหนียวเทียบเท่าความเหนียวจำกัด (Limited Ductility)
- การคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารแต่ละชิ้นส่วนให้ใช้ค่าหน่วยแรงของผลจากแผ่นดินไหว หรือผลจากแรงลมตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ฉบับที่ ๖ (พ.ศ. ๒๕๒๗) ที่มีต่อชิ้นส่วนโครงสร้างนั้น ค่าใดค่าหนึ่งที่สูงกว่า

มาตรฐานประกอบกรออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวของกรมโยธาธิการและผังเมือง
มยผ. 1301-50

การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (ข้อ ๕ และ ๖)



- ข้อ ๕ การออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีรูปทรงไม่สม่ำเสมอ หรือโครงสร้างอาคารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่อาคารตามที่กำหนดในข้อ ๖ และไม่อยู่ในบริเวณเฝ้าระวัง ผู้คำนวณออกแบบต้องเป็นสามัญวิศวกรขึ้นไป และต้องคำนวณโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงพลศาสตร์หรือวิธีอื่นที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานทางทฤษฎีเชิงพลศาสตร์ และต้องเป็นไปตาม

1. มาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่สภาวิศวกรรับรอง
2. หรือที่จัดทำโดยส่วนราชการ
3. หรือนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ซึ่งมีวิศวกรระดับวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษาและลงลายมือชื่อรับรองวิธีการคำนวณนั้น

การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (ข้อ ๕ และ ๖)



- ข้อ ๖ การออกแบบอาคารที่มีลักษณะเป็นตึก บ้าน เรือน โรง หรือสิ่งก่อสร้างอย่างอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน (และมีรูปทรงสม่ำเสมอ) และไม่อยู่ในบริเวณเฝ้าระวัง ให้คำนวณแรงเฉือนตามวิธีการที่ระบุในกฎกระทรวง หรือวิธีอื่นได้ แต่วิธีการคำนวณออกแบบต้องเป็นไปตาม
1. มาตรฐานว่าด้วยการออกแบบอาคารต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่สภาวิศวกรรับรอง
 2. หรือที่จัดทำโดยส่วนราชการ
 3. หรือนิติบุคคลซึ่งได้รับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ซึ่งมีวิศวกรระดับวุฒิวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ตามกฎหมายว่าด้วยวิศวกร เป็นผู้ให้คำแนะนำปรึกษาและลงลายมือชื่อรับรองวิธีการคำนวณนั้น

การคำนวณแรงเฉือนในแนวนอนที่ระดับพื้นดิน V

กฎกระทรวง พ.ศ. 2550

(Uniform Building Code, UBC 1985)

$$V = Z I K C S W$$

สัมประสิทธิ์ของ
ความเข้มของแผ่นดินไหว

น้ำหนักของตัวอาคาร

ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้งาน

สัมประสิทธิ์ของการประสาน
ความถี่ธรรมชาติ
ระหว่างอาคารและชั้นดิน

สัมประสิทธิ์ของโครงสร้าง
อาคารที่รับแรงตามแนวนอน

สัมประสิทธิ์ของคาบธรรมชาติ

เปรียบเทียบความแตกต่างกับ UBC 1997

สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว Z



● UBC 1985

- ใช้ค่าเท่ากับ 1.0 สำหรับเขตที่แผ่นดินไหวรุนแรงที่สุด และใช้ค่าลดเป็นสัดส่วนลงมาสำหรับเขตที่มีความรุนแรงของแผ่นดินไหวต่ำลง โดยที่ไม่มีความหมายทางกายภาพ

● UBC 1997

- เป็นค่าเทียบเท่ากับความเร่งสูงสุดในแนวราบของพื้นดินที่มีโอกาสเกิดขึ้นในเขตนั้น และค่าอยู่ในรูปร้อยละของความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก

สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว Z



กฎกระทรวง (ข้อ ๗) กำหนดให้ใช้ค่า

สำหรับบริเวณที่ ๑; $Z = 0.19$

สำหรับบริเวณที่ ๒; $Z = 0.38$

เขตเสี่ยงภัยแผ่นดินไหว	ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว	
	UBC 1985	UBC 1988 ถึง UBC 1997
4	1	0.4
3	3/4	0.3
2B	3/8 = 0.375	0.2
2A	3/8	0.15
1	3/16 = 0.1875	0.075

ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้งาน I



กฎกระทรวง (ข้อ ๘)	ชนิดของอาคาร	ค่าของ I
(๑) อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน ตามข้อ ๓		๑.๕๐
(๒) อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนครั้งหนึ่ง ๆ ได้มากกว่าสามร้อยคน		๑.๒๕
(๓) อาคารอื่น ๆ		๑.๐๐

ชนิดของอาคาร	ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้งาน	
	UBC 1985	UBC 1997
อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน	1.5	1.25
อาคารเก็บวัตถุดิบทราย	-	1.25
อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนครั้งหนึ่ง ๆ ได้มากกว่า 300 คน	1.25	1.0
อาคารอื่น ๆ	1.0	1.0

สำหรับอาคารเก็บวัตถุดิบทราย ที่ไม่ได้จัดกลุ่มไว้ใน UBC 1985 และกฎกระทรวง

หากไปเลือกใช้เป็นอาคารอื่น ๆ จะมีค่าตัวคูณเกี่ยวกับการใช้งานน้อยกว่าค่าใน UBC 1997

ค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ K



● UBC 1985

- ค่าสัมประสิทธิ์ไม่มีความหมายทางกายภาพ และกำหนดนิยามประเภทของโครงสร้างไว้เพียง 3 ประเภท

● UBC 1997

- มีความหมายทางกายภาพที่เหมาะสม และเพิ่มประเภทของโครงสร้างจาก เป็น 6 ประเภทหลัก และอีกหลายประเภทย่อยที่มีคำอธิบายวิธีจำแนกประเภทโครงสร้างอย่างสมบูรณ์ขึ้น

ค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ

K

ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวราบ	ค่าของ K
(๑) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall) หรือ โครงแบบแกน (Braced Frame) ด้านแรงทั้งหมดในแนวราบ	๑.๓๓
(๒) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงสร้างดัดที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame) ด้านแรงทั้งหมดในแนวราบ	๐.๖๗
(๓) โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวร่วมกับ กำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแบบแกนด้านแรงในแนวราบ โดยมีข้อกำหนด ในการคำนวณออกแบบ ดังนี้	๐.๘๐
(ก) โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ ไม่น้อยกว่าร้อยละ ๒๕ ของแรงในแนวราบทั้งหมด	
(ข) กำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแบบแกนเมื่อแยกเป็นอิสระจาก โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด	
(ค) โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือ โครงแบบแกนต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด โดยสัดส่วน ของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแต่ละระบบ ให้เป็นไปตามสัดส่วนความคงตัว (Rigidity) โดยคำนึงถึงการถ่ายของแรงแหว่างโครงสร้างทั้งสอง	
(๔) หอถังน้ำ รองรับด้วยเสาไม้เนื้อแข็ง ๔ ต้น และมีแกนแข็งและไม่ได้ตั้งอยู่ บนอาคาร	๒.๕
หมายเหตุ ผลคูณระหว่างค่า K กับค่า C ให้ใช้ค่าต่ำสุดเท่ากับ ๐.๑๒ และ ค่าสูงสุดเท่ากับ ๐.๒๕	
(๕) โครงสร้างดัดที่มีความเหนียวจำกัดและโครงสร้างระบบอื่น ๆ นอกจาก โครงอาคารตาม (๑) (๒) (๓) หรือ (๔)	๑.๐



สัมประสิทธิ์ของคาบธรรมชาติ C



UBC 1997 ได้ปรับปรุงสมการในการคำนวณผลของค่าธรรมชาติต่อ แรงเนื่องจากแผ่นดินไหวจากรูปแบบของ UBC 1985 โดยใช้ผลที่ พัฒนาจากข้อมูลของการวิจัยและข้อมูลการตรวจวัดจาก แผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น

C สัมประสิทธิ์ของคาบธรรมชาติ ตาม กฎกระทรวง และ UBC 1985



แสดงผลของคาบธรรมชาติต่อแรงเฉือน
$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12$$

ค่าคาบธรรมชาติ (วินาที) T โดยประมาณ (UBC-85)

1. สำหรับโครงสร้างทั่วไป
$$T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}}$$

สำหรับโครงสร้างที่มีความเหนียว
$$T = 0.1N$$

2. จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่เหมาะสมและใกล้เคียงพฤติกรรมจริง

h_n คือ ความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุดวัดจากระดับพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร

D คือ ความกว้างของโครงสร้างของอาคารในทิศทางขนานกับแรงแผ่นดินไหว มี หน่วยเป็นเมตร

N คือ จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

การประมาณค่า T ตาม UBC-97



Method A : สำหรับอาคารทั่วไป
$$T = C_t(h_n)^{3/4}$$

Method B : ค่าประมาณค่า T จากการวิเคราะห์โครงสร้าง

สูตรของ Rayleigh
$$T = 2\pi \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2 \right) / \left(g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i \right)}$$

สำหรับเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวต่ำถึงปานกลาง (เขต 1, 2 และ 3) ค่า T ได้จากวิธี B จะต้องไม่เกิน 1.4 เท่าของค่าที่คำนวณจากวิธี A

สำหรับเขตพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินไหวสูง ๆ (เขต 4)

ค่า T ได้จากวิธี B จะต้องไม่เกิน 1.3 เท่าของค่าที่คำนวณจากวิธี A

ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร S



● UBC 1985

- กำหนดค่าตามสภาพของชั้นดินเพียงอย่างเดียว
- จำแนกชั้นดินเป็น 4 ชนิด

● UBC 1997

- กำหนดค่าตามสภาพของชั้นดิน และระดับความรุนแรงของแผ่นดินไหว
- จำแนกชั้นดินเป็น 6 ชนิด โดยมีหลักการจำแนกชนิดที่ชัดเจนขึ้น

ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร S ตามกฎกระทรวง (ข้อ ๑๒)



ลักษณะของชั้นดิน	ค่าของ S
หิน (Rock)	1.0
ดินแข็ง (Stiff soil)	1.2
ดินอ่อน (Soft to medium stiff clay and sand)	1.5
ดินอ่อนมาก (Very soft soil)	2.5

และ $CS \leq 0.14$

สำหรับดินอ่อนมาก $CS \leq 0.26$

น้ำหนักของตัวอาคาร W



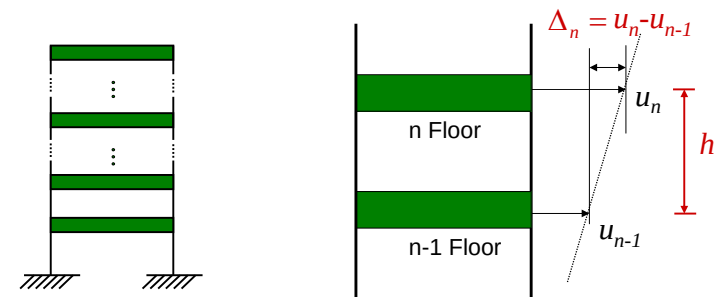
W คือ น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ซึ่งยึดตรึงกับที่โดยไม่รวมน้ำหนักบรรทุกทุกจรสำหรับอาคารทั่วไป

หรือน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมกับร้อยละ ๒๕ ของน้ำหนักบรรทุกทุกจรสำหรับโกดังหรือคลังสินค้า

การเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกัน (Story drift)

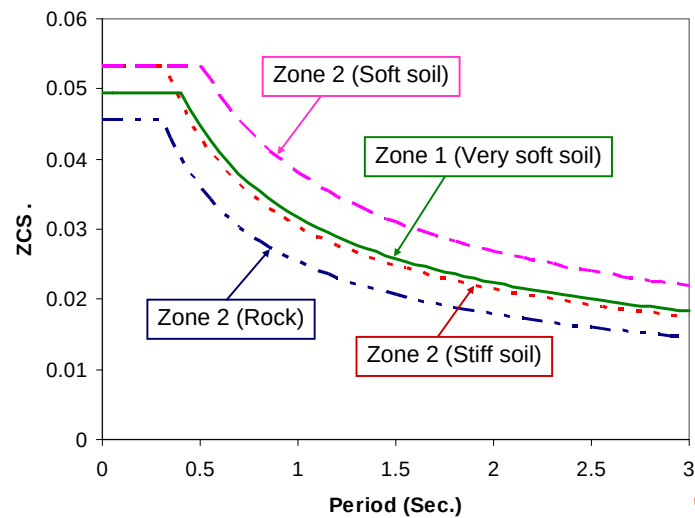


Story drift $\Delta_i \leq 0.005h_i$



แรงเฉือนสำหรับการออกแบบ $V = ZICKSW$

สัมประสิทธิ์ ZCS (พิจารณา $I = I, K = I$)



การกระจายแรงเฉือนในแนวดิ่ง

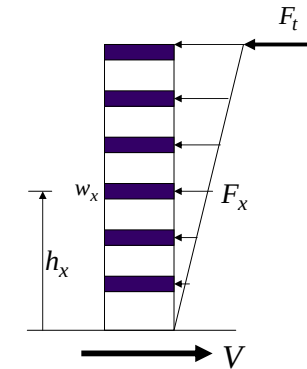
แรงเฉือนที่ฐาน V กระจายตลอดความสูงของอาคาร

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i$$

$$F_t = 0.07TV < 0.25V$$

$$F_t = 0 \text{ if } T \leq 0.7 \text{ s}$$

$$F_x = \frac{(V - F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$$



มาตรฐานประกอบกรอบการออกแบบอาคาร
เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

มยพ. 1301-50
กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย

เนื้อหาหลัก

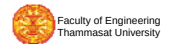
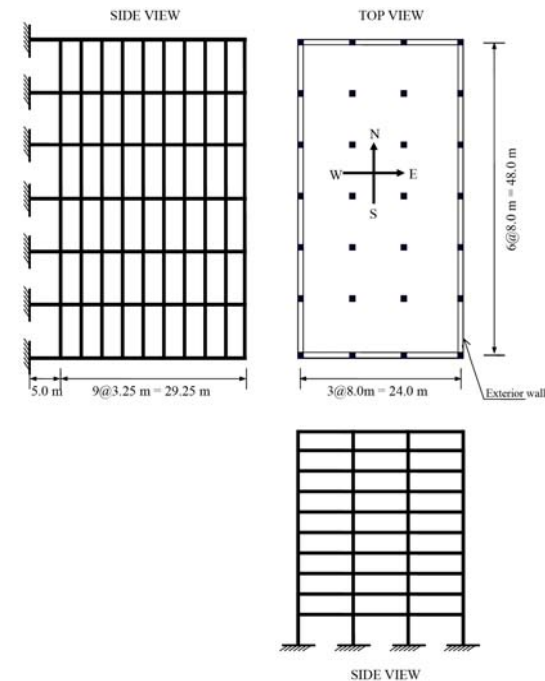
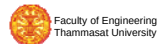
- เกณฑ์การจำแนกประเภทอาคารตามลักษณะและรูปทรงของโครงสร้าง
 - รูปทรงและลักษณะสม่ำเสมอ ---- ใช้ กฎกระทรวง ออกแบบได้
 - รูปทรงและลักษณะไม่สม่ำเสมอ ---- ต้องใช้วิธีเชิงพลศาสตร์ออกแบบ
- รายละเอียดการเสริมเหล็กโครงสร้างดัดที่มีความเหนียวจำกัดสำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตัวอย่างการคำนวณแรงเฉือน ตามกฎกระทรวง ฯ (พ.ศ. 2550)



อาคารที่พักอาศัย สูง 10 ชั้น

- ออกแบบอาคารเป็นลักษณะโครงสร้างดัดที่มีความเหนียวจำกัด
- พื้นมีความหนา 0.25 m เสามีขนาด 0.7 m x 0.7 m
- น้ำหนักบรรทุกคงที่จากคอนกรีตเท่ากับ 2400 kg/m^3
- น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ส่วนเพิ่ม 200 kg/m^2
- น้ำหนักกำแพง 180 kg/m^2
- อาคารตั้งอยู่ในบริเวณที่ 2 และสภาพดินเป็นประเภท ดินอ่อน



1. คำนวณน้ำหนักอาคาร

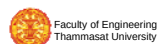
พิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่ สำหรับอาคารที่ไม่ใช่โกดังเก็บสินค้า

- น้ำหนัก DL พื้น + Superimposed DL $= (2.4 \times 0.25 + 0.2) \times 24.7 \times 48.7$
 $= 962.3 \text{ Ton}$
- น้ำหนักเสาต่อชั้น $= 28 \times 0.7 \times 0.7 \times 3.0 \times 2.4$
 $= 98.8 \text{ Ton}$
- น้ำหนักเสาชั้นแรก $= 28 \times 0.7 \times 0.7 \times 4.75 \times 2.4$
 $= 156.4 \text{ Ton}$
- กำแพงรอบอาคารต่อชั้น $= 0.18 \times (48 + 96) \times 3.0$
 $= 77.8 \text{ Ton}$
- กำแพงรอบอาคารชั้นแรก $= 0.18 \times (48 + 96) \times 4.75$
 $= 123.1 \text{ Ton}$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักทั้งหมด} &= 962.3 \times 10 + 98.8 \times 9 + 156.4 + 77.8 \times 9 + 123.1 \\ &\cong 11500 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\text{น้ำหนักรวมชั้นแรก} = 962.3 + 156.4 + 123.1 = 1241.8 \text{ Ton}$$

$$\text{น้ำหนักรวมชั้นอื่น ๆ} = 962.3 + 98.8 + 77.8 = 1138.9 \text{ Ton}$$



2. แรงเฉือนที่ฐาน

$$V = ZIKCSW$$

$$Z = 0.38 \quad \text{สำหรับบริเวณที่ 2}$$

$$I = 1.0 \quad \text{สำหรับอาคารทั่วไป}$$

$$K = 1.0 \quad \text{สำหรับโครงสร้างแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด}$$

$$S = 1.5 \quad \text{สำหรับดินอ่อน}$$

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

$$T = 0.09h/\sqrt{D} \quad \text{สำหรับอาคารทั่วไป}$$

$$\text{ทิศทาง N-S} \quad T = 0.09 \times 34.25 / \sqrt{48.7} = 0.44 \text{ sec.}$$

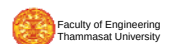
$$\text{ทิศทาง E-W} \quad T = 0.09 \times 34.25 / \sqrt{24.7} = 0.62 \text{ sec.}$$

$$\text{ค่า } C \text{ ทิศทาง N-S} \quad C = 1 / (15\sqrt{0.44}) \quad 0.10 < 0.12 \quad \text{ใช้ค่า } 0.10$$

$$\text{ค่า } C \text{ ทิศทาง E-W} \quad C = 1 / (15\sqrt{0.62}) \quad 0.085 < 0.12 \quad \text{ใช้ค่า } 0.085$$

$$\text{แรงเฉือน ทิศทาง N-S} \quad V = 0.38 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.10 \times 1.5 \times 11500 = 655.5 \text{ Ton}$$

$$\text{แรงเฉือน ทิศทาง E-W} \quad V = 0.38 \times 1.0 \times 1.0 \times 0.085 \times 1.5 \times 11500 = 557.2 \text{ Ton}$$



3. แรงเฉือนที่ฐาน และโมเมนต์พลิกคว่ำ สำหรับทิศทาง N-S

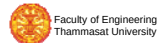
เนื่องจาก $T < 0.7$ sec ดังนั้น $F_i = 0$

จาก $V = 655.5$ Ton

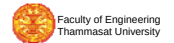
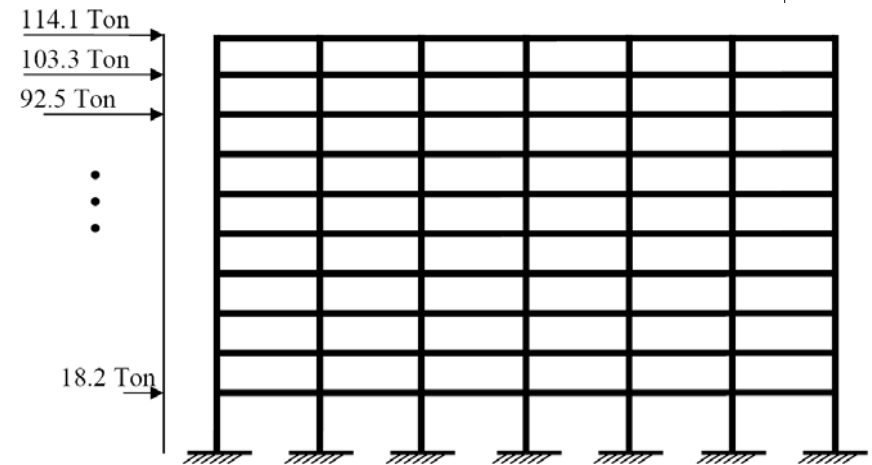
กระจายเป็นแรงในแต่ละชั้น $F_i = \frac{V_x W_i h_i}{\sum_{i=1}^N W_i h_i}$

Floor	W_i (Ton)	h_i (m)	$W_i h_i$	F_i (Ton)	V_i (Ton)	M_i (Ton-m)
10 (Roof)	1138.9	34.25	39007	114.1	114	
9	1138.9	31.00	35306	103.3	217	371
8	1138.9	27.75	31604	92.5	310	1078
7	1138.9	24.50	27903	81.6	392	2085
6	1138.9	21.25	24202	70.8	462	3357
5	1138.9	18.00	20500	60.0	522	4860
4	1138.9	14.75	16799	49.2	572	6558
3	1138.9	11.50	13097	38.3	610	8415
2	1138.9	8.25	9396	27.5	637	10397
1	1241.8	5.00	6209	18.2	656	12469
Base		0.00	224024			15746

โมเมนต์พลิกคว่ำ = 15746 Ton-m



แรงในแนวนราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ เพื่อการวิเคราะห์โครงสร้าง (ทิศ N-S)



4. การคำนวณการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคาร (Story Drift) และ คาบธรรมชาติ

ประมาณค่า Modulus of Elasticity of Concrete $E = 2.5 \times 10^4$ ksc
 คำนวณ Moment of Inertia of Column $I = 70^4 / 12 = 2.00 \times 10^6$ cm⁴
 Lateral Stiffness ของชั้นแรก $k = 28(12EI/h^3) = 134.4$ Ton/mm
 Stiffness ของชั้นอื่น ๆ ($h=3.25$ m) $k = 489.4$ Ton/mm
 Story Drift $\Delta_i = V_i / \text{Stiffness of the } i\text{-th floor}$

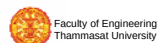
Floor	Δ_i (mm.)	δ_i (mm.)	W_i (Ton)	f_i (Ton)	$W_i \delta_i^2$	$f_i \delta_i$
10 (Roof)	0.23	12.72	1138.9	114.1	184168	1451
9	0.44	12.48	1138.9	103.3	177475	1290
8	0.63	12.04	1138.9	92.5	165066	1113
7	0.80	11.41	1138.9	81.6	148157	931
6	0.94	10.61	1138.9	70.8	128100	751
5	1.07	9.66	1138.9	60.0	106294	579
4	1.17	8.59	1138.9	49.2	84104	422
3	1.25	7.43	1138.9	38.3	62798	285
2	1.30	6.18	1138.9	27.5	43490	170
1	4.88	4.88	1241.8	18.2	29539	89
Base					1129192	7082

สำหรับชั้นแรก ($h=5$ m) $0.005h_i = 25$ mm

สำหรับชั้นอื่น ๆ ($h=3.25$ m) $0.005h_i = 16.25$ mm

$\Delta_i \leq 0.005h_i$ OK

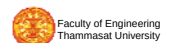
คาบธรรมชาติ $T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i \delta_i^2}{g \sum f_i \delta_i}} = 2\pi \sqrt{\frac{1129192}{9.81 \times 7082 \times 1000}} = 0.801$ sec



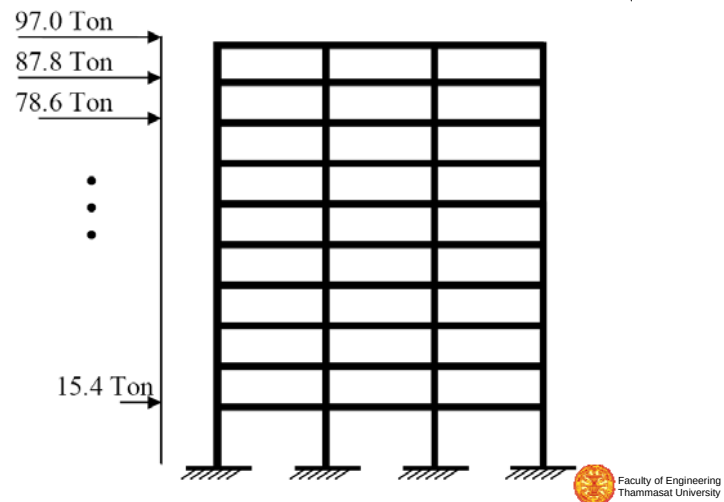
5. แรงเฉือนที่ฐาน และโมเมนต์พลิกคว่ำ สำหรับทิศทาง E-W และคาบธรรมชาติ

Floor	W_i (Ton)	h_i (m)	$W_i h_i$	F_i (Ton)	V_i (Ton)	M_i (Ton-m)
10 (Roof)	1138.9	34.25	39007	97.0	97	
9	1138.9	31.00	35306	87.8	185	315
8	1138.9	27.75	31604	78.6	263	916
7	1138.9	24.50	27903	69.4	333	1772
6	1138.9	21.25	24202	60.2	393	2854
5	1138.9	18.00	20500	51.0	444	4131
4	1138.9	14.75	16799	41.8	486	5574
3	1138.9	11.50	13097	32.6	518	7153
2	1138.9	8.25	9396	23.4	542	8838
1	1241.8	5.00	6209	15.4	557	10599
Base		0.00	224024			13385

โมเมนต์พลิกคว่ำ = 13385 Ton-m



แรงในแนวนอนที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ เพื่อการวิเคราะห์โครงสร้าง (ทิศ E-W)



การคำนวณการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของอาคาร (Story Drift) และ คาบธรรมชาติ

Floor	Δ_i (mm.)	δ_i (mm.)	W_i (Ton)	f_i (Ton)	$W_i \delta_i^2$	$f_i \delta_i$
10 (Roof)	0.20	10.81	1138.9	97.0	133073	1049
9	0.38	10.61	1138.9	87.8	128237	932
8	0.54	10.23	1138.9	78.6	119271	804
7	0.68	9.70	1138.9	69.4	107053	673
6	0.80	9.02	1138.9	60.2	92561	543
5	0.91	8.21	1138.9	51.0	76804	419
4	0.99	7.30	1138.9	41.8	60770	305
3	1.06	6.31	1138.9	32.6	45376	206
2	1.11	5.25	1138.9	23.4	31425	123
1	4.15	4.15	1241.8	15.4	21344	64
Base					815914	5117

คาบธรรมชาติ $T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i \delta_i^2}{g \sum f_i \delta_i}} = 2\pi \sqrt{\frac{815914}{9.81 \times 5117 \times 1000}} = 0.801 \text{ sec}$

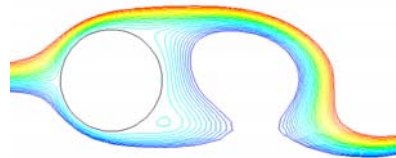
หลักการพื้นฐานสำหรับการคำนวณแรงลมและ ผลตอบสนองสำหรับการออกแบบอาคาร

นคร ภู่วโรดม

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



เนื้อหาของการนำเสนอ

- ข้อมูลพื้นฐานของลมในประเทศไทย
 - ลักษณะของลมที่เกิดขึ้นในประเทศ
 - ความเสียหายเนื่องจากลม
 - การศึกษาด้านความเร็วลมในอดีต
- ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับผลของแรงลมต่อโครงสร้าง
- การออกแบบอาคารต้านทานแรงลม
 - กฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527)
 - มาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคาร โดย วสท. (พ.ศ. 2546)
 - มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร โดย กรมโยธาธิการและผังเมือง (พ.ศ. 2550)
- มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร
 - รายละเอียดและการใช้มาตรฐาน

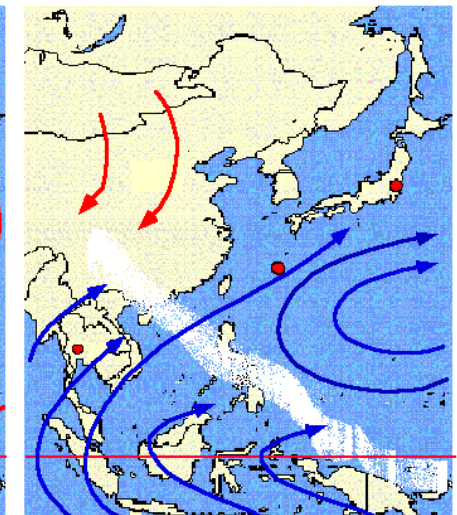
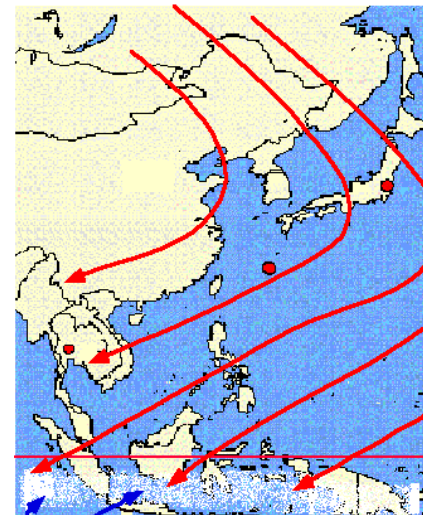
Some common types of wind events

- **Monsoons** – ลมมรสุม คือพายุที่เกิดขึ้นตามฤดูกาล
- **Tropical Cyclones** (also called Hurricanes and Typhoons) – คือพายุหมุนเขตร้อน หรือพายุไซโคลน (cyclone) ที่มีถิ่นกำเนิดเหนือนมหาสมุทรในเขตร้อนจำแนกได้ดังนี้
 - พายุดีเปรสชันเขตร้อน (tropical depression) ความเร็วลมใกล้ศูนย์กลางน้อยกว่า 63 กม./ชม.
 - พายุโซนร้อน (tropical storm) ความเร็วลมใกล้ศูนย์กลาง 63 ถึง 118 กม./ชม.
 - ไต้ฝุ่น (typhoon) ความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางมากกว่า 118 กม./ชม.
- **Thunderstorms** – คือพายุฝนฟ้าคะนอง เกิดจากการเคลื่อนตัวขึ้นของอากาศร้อนชื้น แล้วรวมตัวกันเป็นฝนตก และมีอากาศเย็นเคลื่อนมาแทนที่อย่างรวดเร็ว
- **Tornadoes** – คือพายุหมุนรูปร่างคล้ายกรวย มีความรุนแรงมาก

ลมมรสุม

NE monsoon (Nov.-Jan.)

SW monsoon (May-Oct.)



Monthly Path of Tropical Cyclone

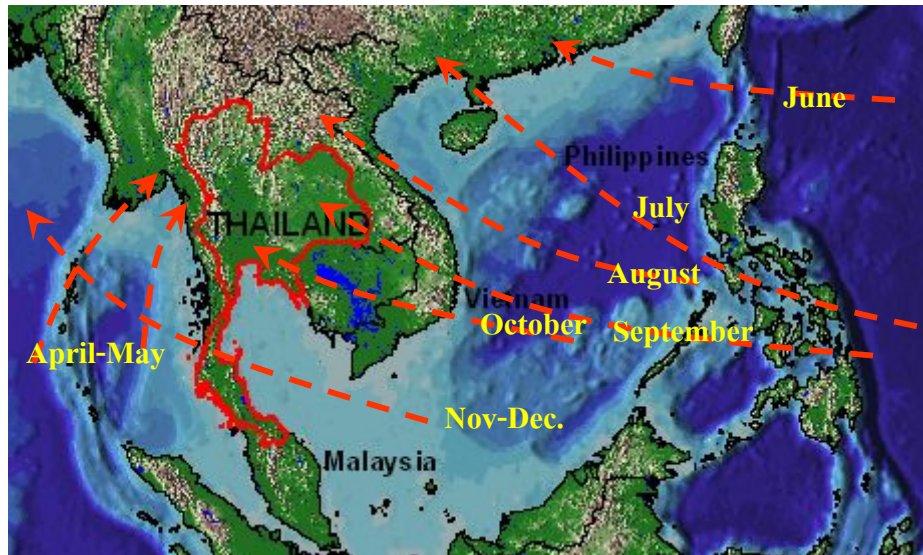
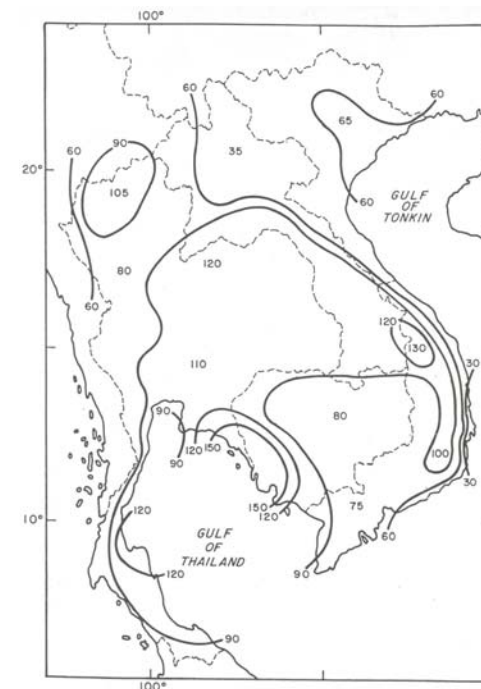
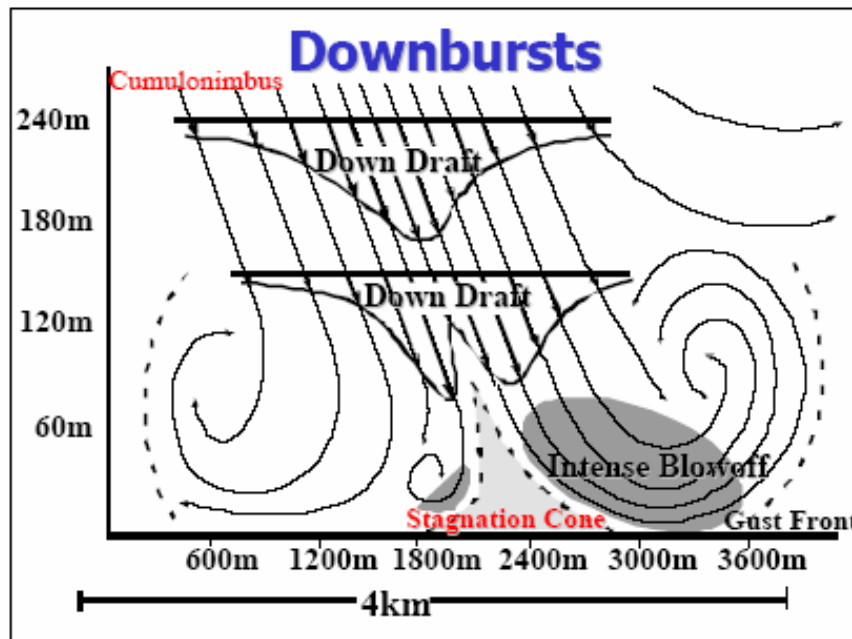
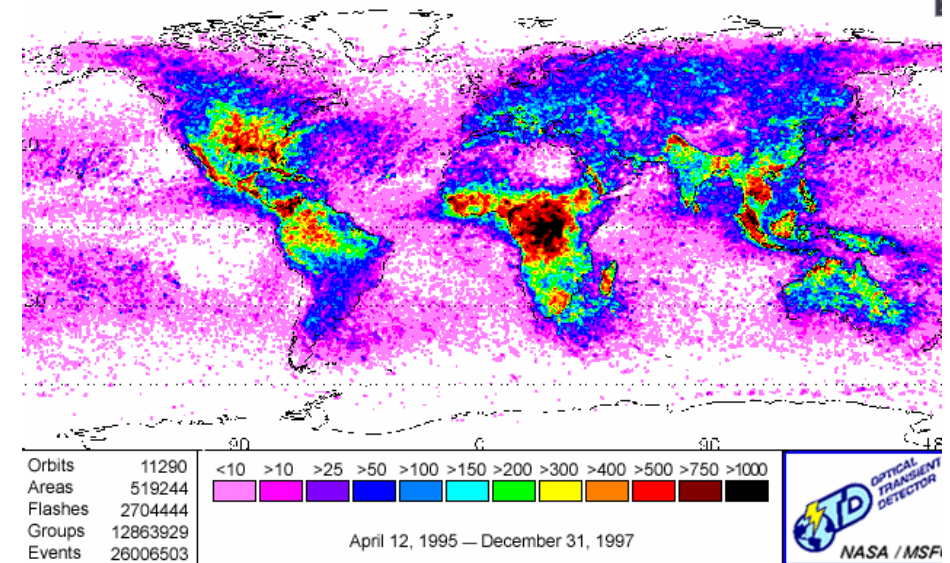


Figure from www.gquest.org

World Map of Lightning Hazard



Mean annual number of
thunderstorm days
(Atkinson 1971)

Thunderstorm day คือ จำนวนวันที่
ได้ยินเสียงฝนฟ้าคะนองที่ตำแหน่ง
หนึ่งใน 1 ปี

ข้อมูลความเสียหายเนื่องจากพายุในประเทศไทย

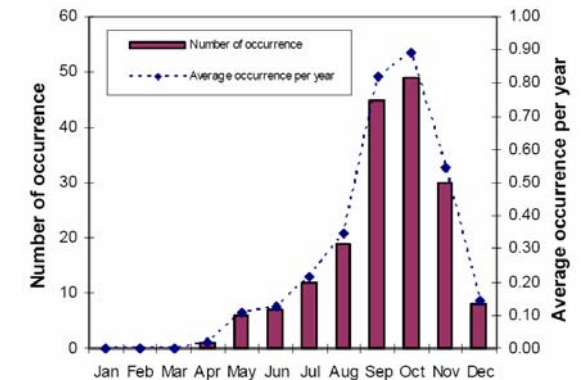
- ความเสียหายเนื่องจากพายุหมุนเขตร้อน
- ความเสียหายเนื่องจากพายุอื่น ๆ (มรสุม พายุฝนฟ้าคะนอง พายุฤดูร้อน)

สถิติพายุหมุนเขตร้อนในประเทศไทย

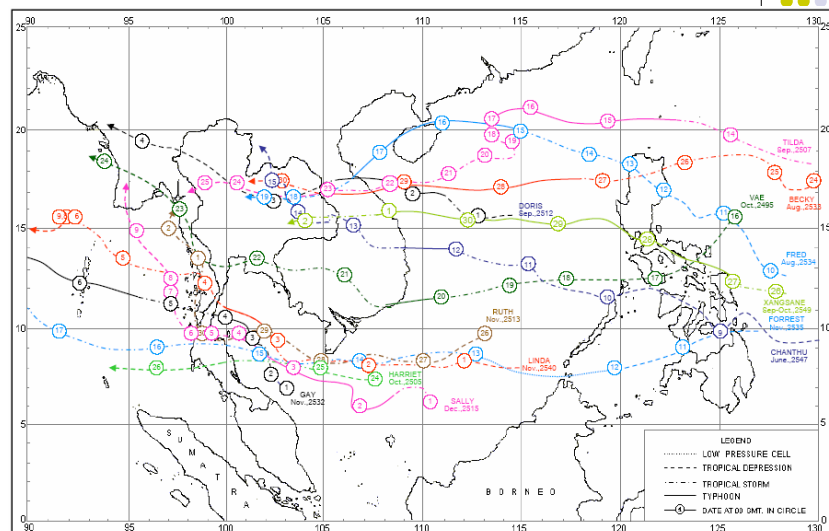
From 1951-2006

164 Tropical depression
12 Tropical storm
1 Typhoon

Total 177 storms
Average 3.16 per year

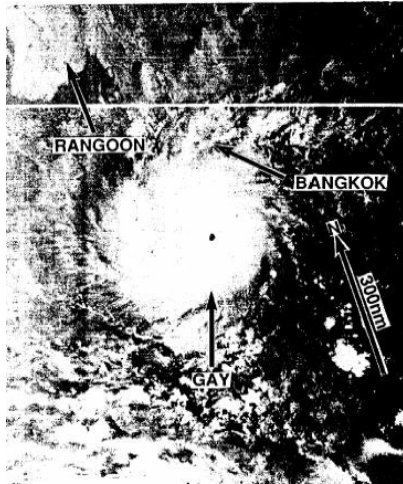


เส้นทางของพายุหมุนเขตร้อน



Date	Name	Type	Origin	Entrance	Effects
22/10/1952	Vae (5218)	Tropical storm	Pacific Ocean	Trad (East)	Several dead, some damage in Bangkok
25/10/1962	Harriet (6225)	Tropical storm	South China Sea	Nakhon Sri Thamarat (South)	Wind speed of 93 Km/hr, storm surge, 12 provinces were affected, 935 deaths, 50,000 houses were damaged, loss about 1320 M. Baht
23/09/1964	Tilda (6419)	Tropical storm	Pacific Ocean	Nakhon Panom (North-East)	
03/09/1969	Doris (6910)	Tropical storm	South China Sea	Nakhon Panom (North-East)	
30/11/1970	Ruth (7026)	Tropical storm	South China Sea	Surat Thani (South)	
05/12/1972	Sally (7299)	Tropical storm	South China Sea	Surat Thani (South)	
04/11/1989	Gay (8929)	Typhoon	Thai Gulf	Chumphon (South)	602 deaths, 46,000 houses were damaged, loss 11,739 M. Baht
30/08/1990	Becky (9016)	Tropical storm	Pacific Ocean	Nong Kai (North-East)	
1990	Ira & Loa	Tropical depression			38 Deaths, loss 7,326 M. Baht
17/08/1991	Fred (9111)	Tropical storm	Pacific Ocean	Nakhon Panom (North-East)	27 Deaths, loss 1,745 M. Baht
15/11/1992	Forrest (9229)	Tropical storm	Pacific Ocean	Nakhon Sri Thamarat (South)	Loss 3,000 M. Baht
04/11/1997	Linda (9728)	Tropical storm	South China Sea	Prachuab Kirikhan (South)	58 Deaths, loss 211 M. Baht
13/06/2004	Chanthu (0405)	Tropical storm	Pacific Ocean	Ubon Ratchatani (North-East)	2 deaths, loss 74 M. Baht
02/10/2006	Xangsane (0615)	Tropical storm	Pacific Ocean	Ubon Ratchatani (North-East)	

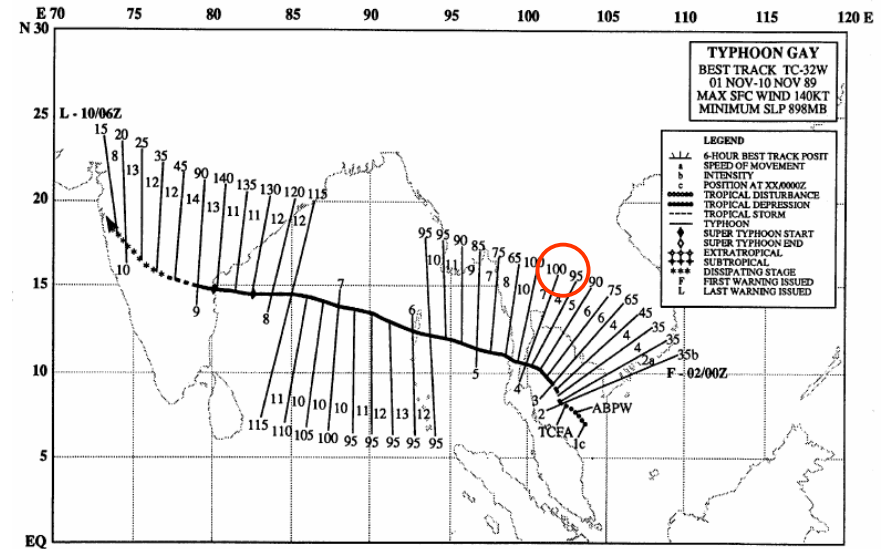
Typhoon Gay



Joint Typhoon Warning Center (1989)

eye passage. Gay's intensification continued, reaching 100 kt (51 m/s) at 040600Z just before it crashed into Champhun, Thailand which is located 210 nm (390 km) south-southwest of Bangkok. The radar at Champhun (WMO 48517) had tracked Gay for 18 hours, before its reports abruptly ceased shortly before the typhoon (Figure 3-32-1) came inshore. At least four hundred and fifty-eight people were died and over 600 fishermen were reported missing at sea. In addition, two hundred fishing vessels were lost or missing.

Path of Typhoon Gay



ความเสียหายเนื่องจากพายุฝนฟ้าคะนอง



- บ้านเรือนเสียหายรวมกว่า 3000 หลังคาเรือน ระหว่างเดือน มีนาคม-เมษายน ของทุกปี
- ป้ายโฆษณาขนาดใหญ่จำนวนมากเกิดความเสียหายหรือวิบัติ
- ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Wind Shear หรือลักษณะที่ลมพายุพัดเปลี่ยนทิศทางหรือความเร็วลมอย่างรวดเร็ว เป็นสาเหตุของอุบัติเหตุที่เกิดกับเครื่องบิน

Collapse of a large billboard at Bangna on April 2002

Size 47 m X 82 m





การศึกษาความเร็วลมในประเทศไทย

- Atkinson, 1966
- ศ.ดร. พิสิทธิ์ การสุทธิ, 1970's

Analysis for wind speed in Bangkok, design pressure for building up to 100 m.

- ศ.ดร. ปณิธาน ลักษณะประสิทธิ์, 1990's

Extreme value study for all parts of the country, design wind speed map

- ผศ.ดร. นเรศ ลิ้มสัมพันธุ์เจริญ, 2007

Revision of wind speed map

Wind speed data

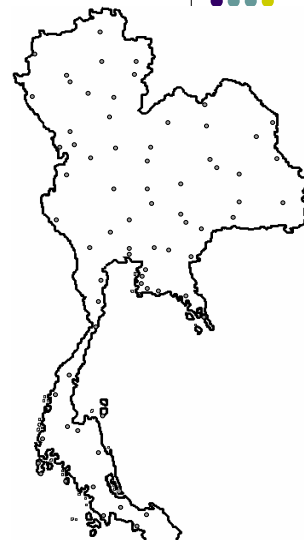
Source: สถานีตรวจอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา 73 สถานี

Data: ความเร็วลมพื้นผิวสูงสุดในรอบปี

Period: พ.ศ. 2494 ถึง ปัจจุบัน

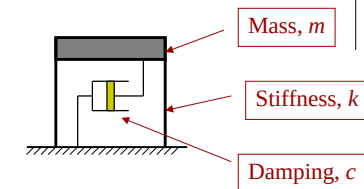
Data characteristic:

- ค่าสูงสุดในรอบปีของความเร็วเฉลี่ยใน 5 วินาที,
- สภาพแวดล้อมสถานี,
- ระดับความสูงของหัวตรวจวัด



หลักพลศาสตร์โครงสร้างที่สำคัญ

ระบบโครงสร้างอย่างง่าย
Single-Degree-of-Freedom



คาบธรรมชาติ (Natural Period)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency)

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{หรือ} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

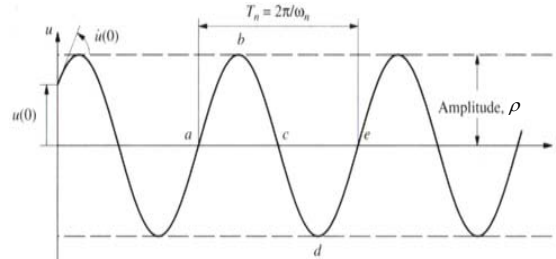
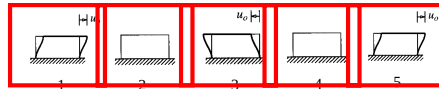
คือจังหวะของการสั่นไหวของโครงสร้างตามธรรมชาติ

อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio)

$$\xi = \frac{c}{2m\omega} \quad \text{ทั่วไปมีค่า } 0.01-0.05$$

คือความสามารถในการสลายพลังงานจากการสั่นไหวของโครงสร้าง

องค์ประกอบของระบบพลวัต



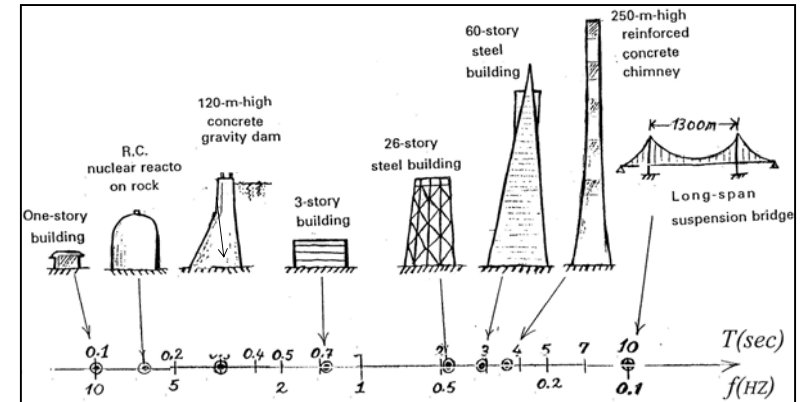
คาบธรรมชาติ (Natural Period) $T = \frac{2\pi}{\omega}$

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$

Natural Frequency and Natural Period

Natural Frequency $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$

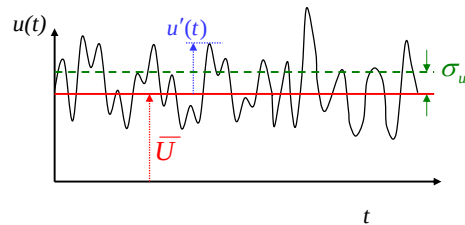
Natural Period $T = \frac{1}{f}$



โครงสร้าง Rigid
ความถี่สูงหรือคาบสั้น

โครงสร้าง Flexible
ความถี่ต่ำหรือคาบยาว

ลักษณะของความเร็วม



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

Mean Fluctuation

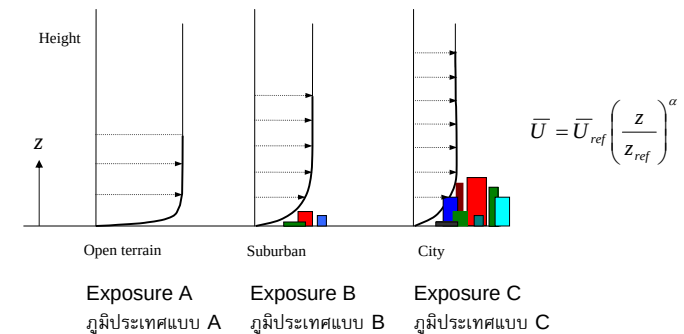
σ_u = การแปรปรวนของลม (Wind Turbulence)

Turbulence Intensity: อธิบายพลังงานของส่วนการแปรปรวนของลม $I_u = \frac{\sigma_u}{\bar{U}}$

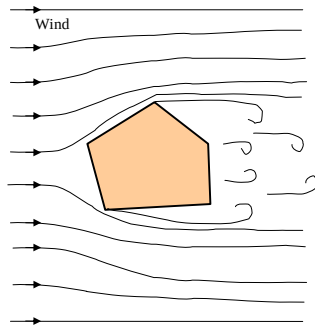
Turbulence length scale: อธิบายขนาดโดยเฉลี่ยของการแปรปรวนของลม

คุณลักษณะของลม

- ความเร็วมเฉลี่ย (Mean wind speed)
- ความปั่นป่วน (Turbulence)
- แนวการเปลี่ยนแปลงของความเร็วมเฉลี่ย (Profile of mean wind speed)



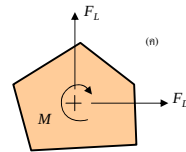
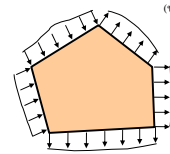
แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง



Drag force (Along wind)

Lift force (Across wind)

Torsion

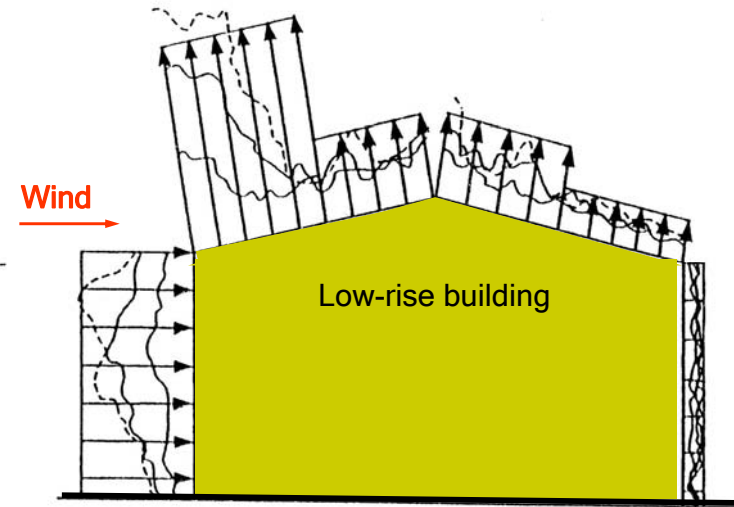


$$\bar{F}_D = \frac{1}{2} \rho \bar{U}^2 A C_D$$

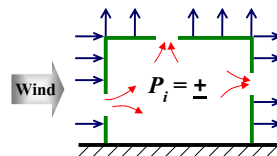
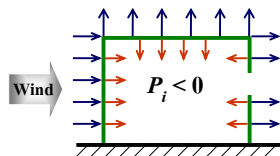
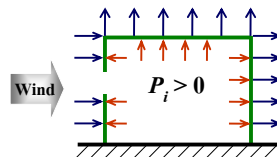
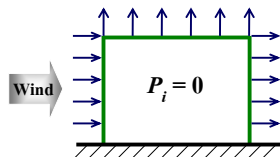
$$\bar{F}_L = \frac{1}{2} \rho \bar{U}^2 A C_L$$

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

แรงดันลมภายนอกอาคารที่ผันผวนตามเวลา และแนวทางการประมาณค่าในการออกแบบ



ความดันลมภายใน (Internal Pressure, P_i)



ลักษณะของผลตอบสนอง

Along-wind response

- เกิดจากค่าเฉลี่ยของ Drag force ร่วมกับผลจากความแปรปรวนของลม
- มีลักษณะเป็น Random (Buffeting)

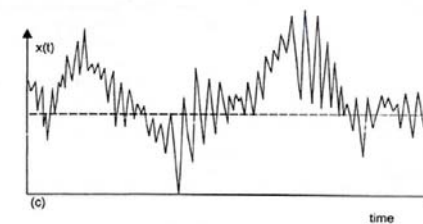
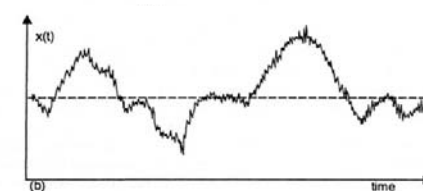
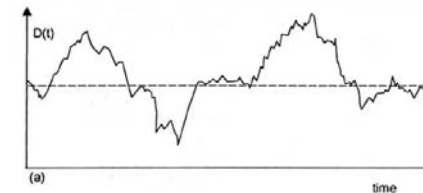
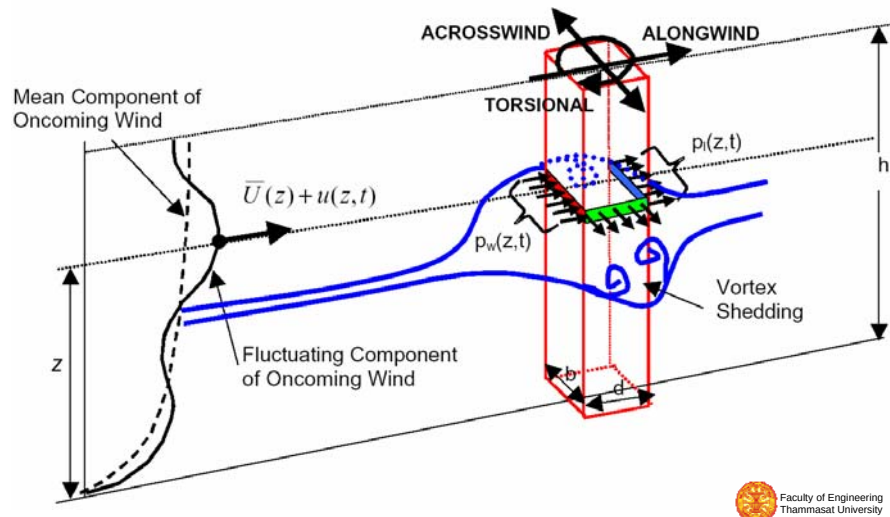
Across-wind response

- แรงเกิดจาก Wake เมื่อลมพัดผ่านโครงสร้าง
- ปัญหาการสั่นแบบ Vortex excitation
- ปัญหาการสั่นแบบ Galloping

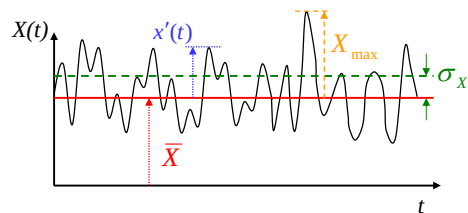
Torsional response

- เกิดจาก Aerodynamic moment
- เกิดจากการเอียงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลกับจุดศูนย์กลางความแข็งแรง

ลักษณะของแรงลมและผลกระทบต่อโครงสร้าง



Expected Maximum Response of Structure



$$X_{\max} = \bar{X} + g_p \sigma_X$$

g_p = Peak Factor

มีค่าประมาณ 3.5-4.0

โดยค่าขึ้นอยู่กับช่วงเวลาพิจารณา T และช่วงความถี่ของผลตอบสนอง ν

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

โดยทฤษฎีของ Random Vibration
ค่าสูงสุดของผลตอบสนองที่เกิดขึ้น $X_{\max}$
สามารถหาได้จาก

Gust Response Factor, G

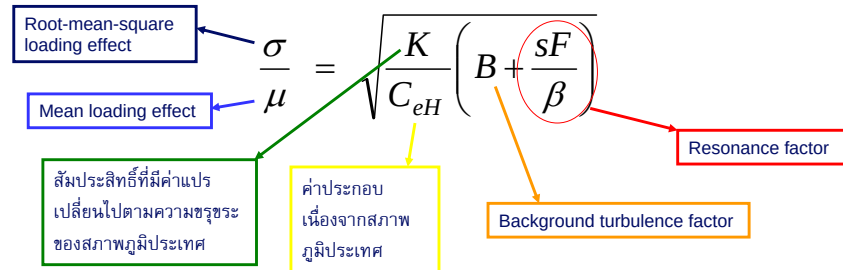
$$X_{\max} = \bar{X} + g_p \sigma_X$$

Gust Response Factor:
$$G = \frac{X_{\max}}{\bar{X}} = 1 + g_p \frac{\sigma_X}{\bar{X}}$$

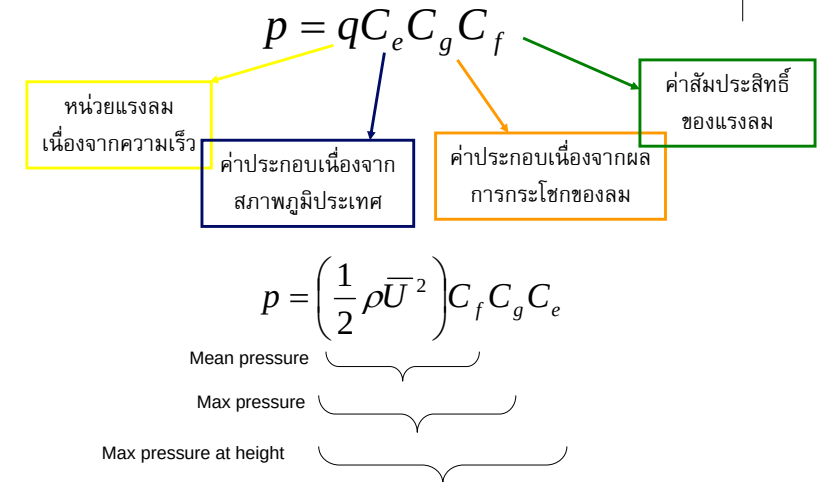
Wind Resistant Design Standards

ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม NBC 1995

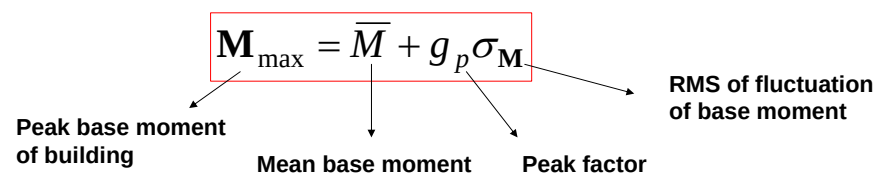
$$C_g = 1 + g_p \left(\frac{\sigma}{\mu} \right)$$



หน่วยแรงลมสำหรับการออกแบบ (p)



New concept for Gust Response Factor



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

การออกแบบอาคารต้านแรงลม

กฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ.(2527)

ข้อ ๑๗ ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคาร ให้คำนึงถึงแรงลมด้วย หากจำเป็นต้องคำนวณ และไม่มีเอกสารที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้ ให้ใช้หน่วยแรงลม ดังต่อไปนี้

ความสูงของโครงสร้าง	หน่วยแรงลม (กิโลกรัมต่อตารางเมตร)
(1) ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50
(2) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	80
(3) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	120
(4) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 40 เมตร	160

ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย รวบรวมข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา คำนวณเป็นแรงที่อาจเกิดขึ้นต่อโครงสร้างปายพบว่า หน่วยแรงลมสูงสุดมีค่า 107-193 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

สถานีตรวจอากาศ	ความสูง* (เมตร)	ความเร็วลมสูงสุด (กม. ต่อชั่วโมง)	หน่วยแรงลมสูงสุด (กก. ต่อ ตร.ม.)
----------------	--------------------	--------------------------------------	-------------------------------------



ปราจีนบุรี	11	130	117
------------	----	-----	-----



แพร่	12	126	110
------	----	-----	-----

พิษณุโลก	13	124	107
----------	----	-----	-----

อุตรธานี	13	130	117
----------	----	-----	-----



นครสวรรค์	14	130	117
-----------	----	-----	-----



* ความสูงของตำแหน่งอุปกรณ์วัดลมเหนือพื้นดิน



กฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ.(2527)

กฎกระทรวงฉบับนี้ไม่ได้คำนึงถึง

- ความเร็วลมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่
- สภาพภูมิประเทศที่มีผลต่อความเร็วลม
- คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร
- รูปทรงและลักษณะทางกายภาพของอาคาร
- อิทธิพลจากพายุไต้ฝุ่น
- แรงดันลมหรือแรงดูดที่เฉพาะตำแหน่งบนอาคาร สำหรับการออกแบบผนังและกระเบื้องอาคาร

มาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคาร

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2546

(based on the details from the National Building Code of Canada 1995)

$$P = q C_e C_g C_p$$

หน่วยแรงลม
สถิตเทียบเท่า

หน่วยแรงลม
อ้างอิงเนื่องจาก
ความเร็วลม

ค่าประกอบ
เนื่องจากสภาพ
ภูมิประเทศ

ค่าประกอบ
เนื่องจากการ
กระโชกของลม

ค่าสัมประสิทธิ์
ของหน่วย
แรงลม

ข้อจำกัดในการใช้มาตรฐาน ค่าที่คำนวณได้เป็นค่าที่กำหนดไว้ในขั้นต่ำสุด และใช้ในการออกแบบอาคารที่มีรูปทรงปกติ แต่ไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบอาคารที่มีลักษณะพิเศษ หรือ โครงสร้างอื่นๆ ที่อาจมีผลตอบสนองต่อลมรุนแรงมากกว่าปกติ



Engineering Institute of Thailand

EIT standard 1018-46 (2003)

Wind load calculation for buildings



โครงการการวิเคราะห์หน่วยแรงลมที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร
ตามสภาพแวดล้อม เพื่อปรับปรุงกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ข้อ 17



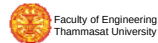
คณะผู้วิจัย

รศ. ดร. วิโรจน์ บุญญภิญโญ
ศ. ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์
ศ. ดร. สมชาย ชูชีพสกุล
รศ. ดร. เป็นหนึ่ง วานิชชัย
รศ. ดร. นคร กุ้าวโรดม
ผศ. ดร. สุกิตย์ เทพมังกร
ผศ. ดร. นเรศ ลิ้มสัมพันธุ์เจริญ
ผศ. ดร. สุทัศน์ สีสาทวิวัฒน์

สังกัด

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Hong Kong University of Science and Technology
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

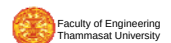
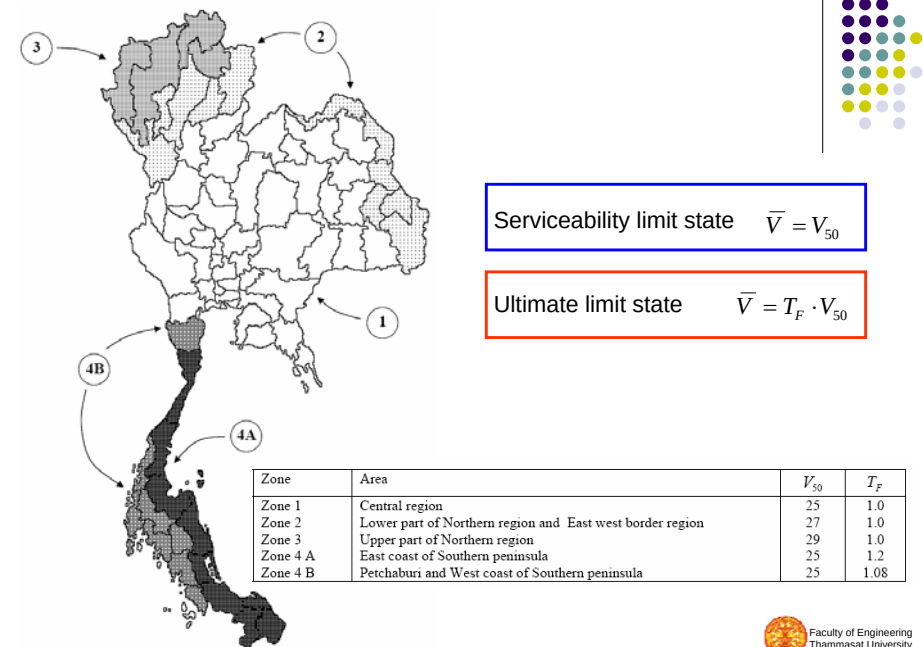
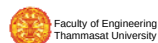
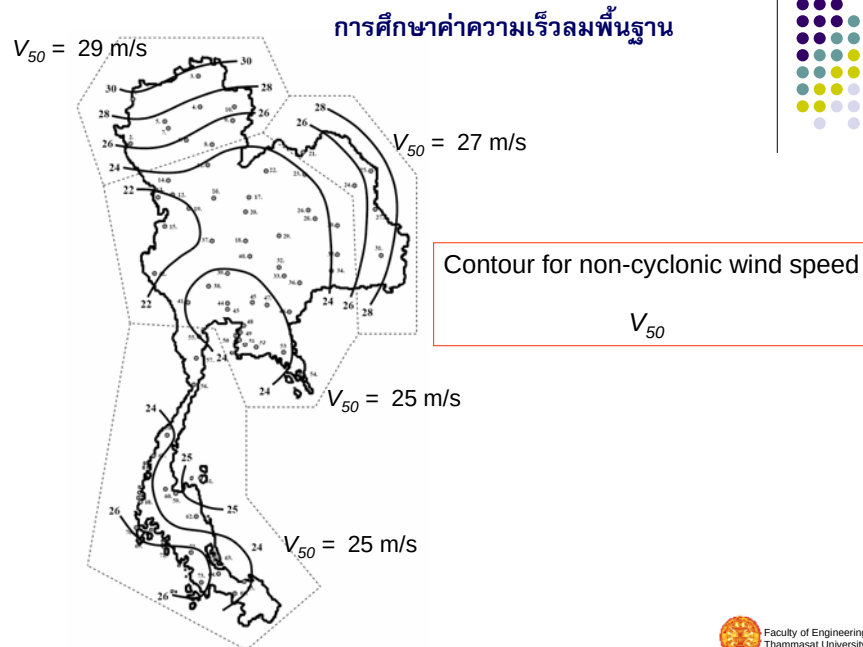
ในนามสถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
เสนอสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง
พฤษภาคม 2550



ขอบเขตของการศึกษา



- การปรับปรุงข้อมูลความเร็วลมพื้นฐานสำหรับการออกแบบอาคารของประเทศไทย
- การทดลองสำหรับตรวจสอบวิธีการออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแรงลม
 - การทดสอบโดยอุโมงค์ลม
 - การตรวจวัดคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร
- การกำหนดมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านทานแรงลมสำหรับประเทศไทย



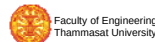
1-hour average wind speed at 500 years return period

	Min. V (m/s)	Max. V (m/s)
Thailand	31.6	36.7
Japan (AIJ 2004)	32	45

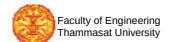
Australian standard (AS 1170.2)

V_{500} Zone B ~ 37.3 m/s (Non-cyclonic zone)

V_{500} Zone C ~ 43.1 m/s (Cyclonic zone)

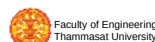


มาตรฐานการคำนวณหน่วยแรงลม
และการตอบสนองของอาคาร
มยพ. 1311 - 50
กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
(พ.ศ. 2550)



มยพ. 1311 – 50 (พ.ศ. 2550)

- มาตรฐานการออกแบบจำนวน 6 บท และ 3 ภาคผนวก
 - วิธีการอย่างง่ายสำหรับอาคารเตี้ยและสูงปานกลาง
 - วิธีการอย่างละเอียดสำหรับอาคารสูง
 - วิธีการทดสอบในอุโมงค์ลม
- คำอธิบายมาตรฐาน
- ตัวอย่างการคำนวณหน่วยแรงลมและการตอบสนองจำนวน 6 ตัวอย่าง



ข้อพิจารณาหลักของการออกแบบอาคารต้านแรงลม

- ระบบโครงสร้างหลักของอาคาร องค์อาคาร และส่วนประกอบอื่นของอาคารต้องได้รับการออกแบบให้มีกำลัง (strength) และเสถียรภาพ (stability) ที่สูงเพียงพอที่จะสามารถต้านทานแรงลมหรือผลเนื่องจากแรงลมได้อย่างปลอดภัย โดยไม่เกิดความเสียหายใดๆ
- การโก่งตัวด้านข้าง (lateral deflection) ของอาคารเนื่องจากแรงลมจะต้องมีค่าน้อยเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ส่วนต่างๆ ของอาคารที่ไม่ใช่ส่วนโครงสร้าง
- การสั่นไหวของอาคาร (building motion) ที่เกิดจากแรงลม มีระดับต่ำเพียงพอที่จะไม่ทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกไม่สบาย หรือเกิดอาการวิงเวียน



วิธีการคำนวณแรงลม



1) วิธีการอย่างง่าย (Simple Procedure) ใช้สำหรับ

ก) ระบบโครงสร้างหลักด้านแรงลม ของอาคารเดี่ยวและอาคารสูงปานกลางที่มีความสูงไม่เกิน 80 ม. และมีความสูงไม่เกิน 3 เท่าของความกว้างที่น้อยที่สุด

ยกเว้น อาคารที่มีน้ำหนักเบา และมีความถี่ธรรมชาติต่ำ และมีคุณสมบัติความหน่วงอาคารต่ำ

ข) ผนังภายนอก (cladding) ของอาคารที่มีรูปทรงไม่ซับซ้อนทุกประเภท

วิธีการคำนวณแรงลม



2) วิธีการอย่างละเอียด (Detail Procedure) ใช้สำหรับ

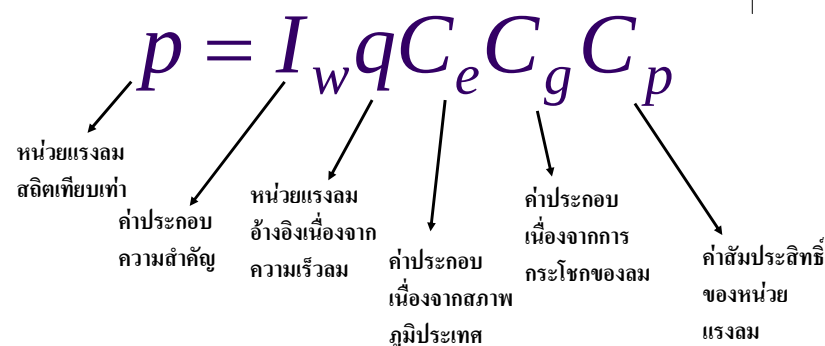
ก) ระบบโครงสร้างหลักด้านแรงลม ของอาคารสูงเกิน 80 ม. หรือมีความสูงเกิน 3 เท่าของความกว้างที่น้อยที่สุด

ข) อาคารที่สั่นไหวง่าย เช่น มีน้ำหนักเบา หรือ ความถี่ธรรมชาติต่ำ หรือมีคุณสมบัติความหน่วงของอาคารต่ำ

3) การทดสอบด้วยอุโมงค์ลม

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

การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าและการตอบสนองในทิศทางลม



ข้อจำกัดในการใช้มาตรฐาน ค่าที่คำนวณได้เป็นค่าที่กำหนดไว้ในขั้นต่ำสุด และใช้ในการออกแบบอาคารที่มีรูปทรงปกติ แต่ไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบอาคารที่มีลักษณะพิเศษ หรือโครงสร้างอื่นๆ ที่อาจมีผลตอบสนองต่อลมรุนแรงมากกว่าปกติ

ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม I_w



ประเภทความสำคัญ ของอาคาร	ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม	
	สภาวะจำกัดด้านกำลัง	สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน
น้อย	0.8	0.75
ปกติ	1	0.75
มาก	1.15	0.75
สูงมาก	1.15	0.75

สภาวะจำกัดด้านกำลัง

ใช้เมื่อออกแบบโครงสร้างเพื่อต้านทานแรง

สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน

ใช้เมื่อตรวจสอบการโก่งตัวและการสั่นไหวของอาคาร

$$p = I_w q C_e C_g C_p$$

หน่วยแรงลมเนื่องจากความเร็วลม (q)



$$q = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2$$

หน่วยเป็น นิวตัน ต่อ ตารางเมตร

$$q = \frac{1}{2} \left(\frac{\rho}{g} \right) \bar{V}^2$$

หน่วยเป็น กิโลกรัม (แรง) ต่อ ตารางเมตร

ρ คือความหนาแน่นของอากาศ (1.25 kg/m^3)

g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$\bar{V}$ คือความเร็วลมอ้างอิง (m/s)

$$p = I_w q C_e C_g C_p$$

ความเร็วลมอ้างอิง ($\bar{V}$)



- ความเร็วลมอ้างอิง คือ ค่าความเร็วลมเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความสูง 10 เมตรจากพื้นดิน ในสภาพภูมิประเทศโล่ง (open exposure) สำหรับคาบเวลากลับ (return period) 50 ปี (V_{50})

สำหรับการออกแบบที่สภาวะจำกัดด้านการใช้งาน

$$\bar{V} = V_{50}$$

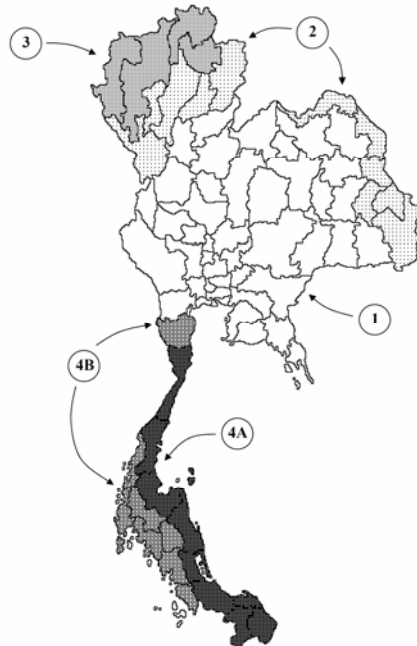
สำหรับการออกแบบที่สภาวะจำกัดด้านกำลัง

$$\bar{V} = T_F V_{50}$$

โดยที่ T_F = ค่าประกอบได้ฝุ่น

แผนที่ความเร็วลมอ้างอิง

กลุ่มที่ 1	$V_{50} = 25$ เมตร ต่อ วินาที: $T_F = 1.0$
กลุ่มที่ 2	$V_{50} = 27$ เมตร ต่อ วินาที: $T_F = 1.0$
กลุ่มที่ 3	$V_{50} = 29$ เมตร ต่อ วินาที: $T_F = 1.0$
กลุ่มที่ 4A	$V_{50} = 25$ เมตร ต่อ วินาที: $T_F = 1.2$
กลุ่มที่ 4B	$V_{50} = 25$ เมตร ต่อ วินาที: $T_F = 1.08$



ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)

เป็นค่าประกอบที่นำมาปรับแก้ค่าหน่วยแรงลม ให้แปรเปลี่ยนตาม

- ก) ความสูงจากพื้นดิน (z หน่วย เมตร)
- ข) สภาพภูมิประเทศ ในวิธีการอย่างละเอียดคำนึงถึงสภาพภูมิประเทศเป็น 3 แบบ
- 1) สภาพภูมิประเทศแบบ A คือสภาพภูมิประเทศแบบโล่งซึ่งมีอาคาร ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้างอยู่กระจัดกระจายห่าง ๆ กัน หรือเป็นบริเวณชายฝั่งทะเล

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

โดยที่ C_e ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1 และไม่มากกว่า 2.5

$$p = I_w q C_e C_g C_p$$





ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)

- 2) สภาพภูมิประเทศแบบ B คือสภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง หรือพื้นที่ที่มี ดินไม้ใหญ่หนาแน่น หรือบริเวณศูนย์กลางของเมืองขนาดเล็ก

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

โดยที่ C_e ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.5 และไม่มากกว่า 2.5



ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)

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

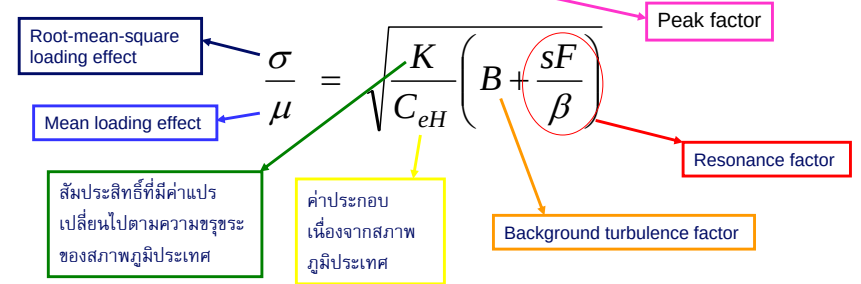
$$C_e = 0.4(z / 30)^{0.72}$$

โดยที่ C_e ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.4 และไม่มากกว่า 2.5



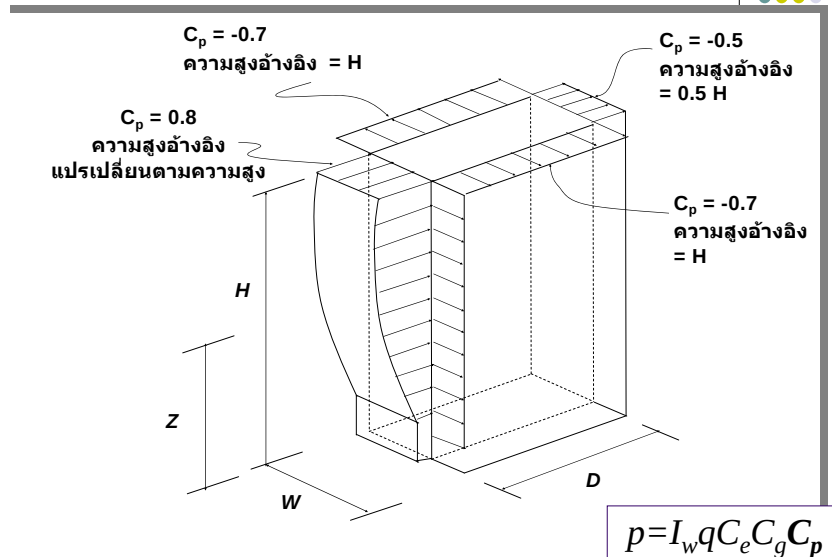
ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม C_g

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



$$p = I_w q C_e C_g C_p$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ที่กระทำภายนอกอาคาร (C_p)



ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ที่กระทำภายในอาคาร (C_{pi})

ในบางกรณี จำเป็นต้องคำนึงถึงผลรวมของหน่วยแรงลม ที่กระทำทั้งจากภายนอกและภายในอาคาร

ลักษณะของอาคาร	C_{pi}	C_g
ไม่มีช่องเปิดขนาดใหญ่	0 ถึง -0.3	1.0
มีช่องเปิดขนาดค่อนข้างใหญ่	0.7 ถึง -0.7	1.0
มีช่องเปิดขนาดใหญ่	0.7 ถึง -0.7	2.0

$$p = q C_e \left((C_p C_g)_{\text{ext}} - (C_p C_g)_{\text{int}} \right)$$

การโก่งตัวด้านข้าง และการสั่นไหวของอาคาร



1) การโก่งตัวด้านข้าง (Lateral deflection)

- อาคารต้องได้รับการออกแบบให้มีการโก่งตัวด้านข้างเนื่องจากแรงลม ไม่เกินค่าพิกัดที่กำหนด โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อการใช้งานของอาคารและ ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับองค์อาคารหลักและองค์อาคารรอง และคำนึงถึงผลของการคืบ การหดตัว และผลอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การโก่งตัวด้านข้าง

$$\Delta = \frac{3 \left(\frac{H^2}{2 + \alpha} \right) I_w q C_{eH} C_g C_p}{4 \pi^2 n_D^2 D \rho_B H^2}$$

I_w = ค่าประกอบความสำคัญของแรงลมในสภาวะจำกัดด้านการใช้งาน
(ตารางที่ 2-2) = 0.75

C_{eH} = ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศที่ระดับยอดอาคาร

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมด้านด้นลมและท้ายลม
= 0.8 - (-0.5) = 1.3

α = ตัวยกกำลังของค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ในสมการ (3-1) ถึง (3-3)

D = ความลึกของอาคารในทิศทางขนานกับทิศทางลม

ρ_B = ความหนาแน่นเฉลี่ยของมวลอาคาร (average density of the building)

การสั่นไหวของอาคาร

อัตราเร่งสูงสุดในทิศทางลม (a_D)

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

อัตราเร่งสูงสุดในแนวราบทั้งในทิศทางลม และ ในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม

0.15 เมตร/วินาที² - - - - - กรณีของอาคารที่พักอาศัย

0.25 เมตร/วินาที² - - - - - กรณีของอาคารพาณิชย์

นอกจากนี้ การคำนวณการโก่งตัวด้านข้าง และอัตราเร่งสูงสุดสามารถใช้ความเร็วลมที่คาบเวลากลับ 10 ปี สำหรับคำนวณได้โดยตรง และไม่ต้องใช้ค่า I_w ในสภาวะจำกัดด้านการใช้งาน

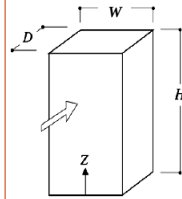
ความเร็วลมเฉลี่ยสำหรับคาบเวลากลับต่าง ๆ V_N

$$V_N = F V_{50}$$

N (ปี)	F
5	0.73
10	0.81
15	0.86
20	0.90
25	0.92
30	0.94
35	0.96
40	0.98
45	0.99
50	1.00
100	1.08
200	1.16
500	1.26
1,000	1.34

การคำนวณแรงลมสถิตเทียบเท่าและการตอบสนอง ในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า

- ก. โครงสร้างที่ต้องพิจารณาแรงลมและผลตอบสนองในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า คือโครงสร้างที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ ตั้งแต่ 3 ขึ้นไป
- ข. ข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ ใช้กับอาคารที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมสม่ำเสมอ ที่มีอัตราส่วน $\frac{H}{\sqrt{WD}}$ ไม่เกิน 6 และอัตราส่วน $\frac{D}{W}$ มีค่าระหว่าง 0.2 ถึง 5
- ค. ข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ใช้กับอาคารที่มีอัตราส่วน $\frac{V_H}{n_w \sqrt{WD}}$ มีค่าไม่เกิน 10 และ $\frac{V_H}{n_T \sqrt{WD}}$ มีค่าไม่เกิน 10



หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่าและ การตอบสนองในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม แรงลมออกแบบ

แรงลมที่กระทำกับอาคารในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม สามารถคำนวณได้จาก

$$P_L = 3I_w q_H C'_L A \frac{z}{H} g_L \sqrt{1 + R_L}$$

ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

พื้นที่รับลม

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

ค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่า
รากกำลังสองเฉลี่ยให้เป็นค่าสูงสุด

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

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

การสั่นไหวของอาคาร

อัตราเร่งสูงสุดในแนวราบในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม (a_w) ที่ความสูง z จากพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที สามารถคำนวณค่าโดยประมาณได้จาก

$$a_w = 3I_w q_H C'_L g_L \frac{W}{(\rho_b WD)} \frac{z}{H} \sqrt{R_L}$$

นอกจากนี้ การคำนวณการโก่งตัวด้านข้าง และอัตราเร่งสูงสุดสามารถใช้ความเร็วลมที่คาบเวลากลับ 10 ปี สำหรับคำนวณได้โดยตรง และไม่ต้องใช้ค่า I_w ในสภาวะจำกัดด้านการใช้งาน

โมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่า

โมเมนต์บิดสถิตเทียบเท่าเนื่องจากลม สามารถคำนวณได้จาก

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

ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม

พื้นที่รับลม

$R_T = \frac{\pi F_T}{4 \beta_T}$

ค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่า
รากกำลังสองเฉลี่ยให้เป็นค่าสูงสุด

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

$C'_T = \{0.0066 + 0.015(D/W)^2\}^{0.78}$

การรวมผลของแรงลมในทิศทางลม แรงลมในทิศ ตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิด



ในการออกแบบของอาคารเพื่อด้านทานแรงลม ให้พิจารณาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นสูงสุดในองค์อาคารจากการพิจารณาผลรวม แรงลมสถิติเทียบเท่าในทิศทางลม แรงลมสถิติเทียบเท่าในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และ โมเมนต์บิดสถิติเทียบเท่า ในกรณีดังต่อไปนี้

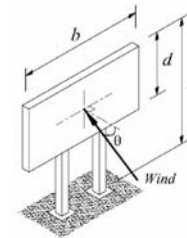
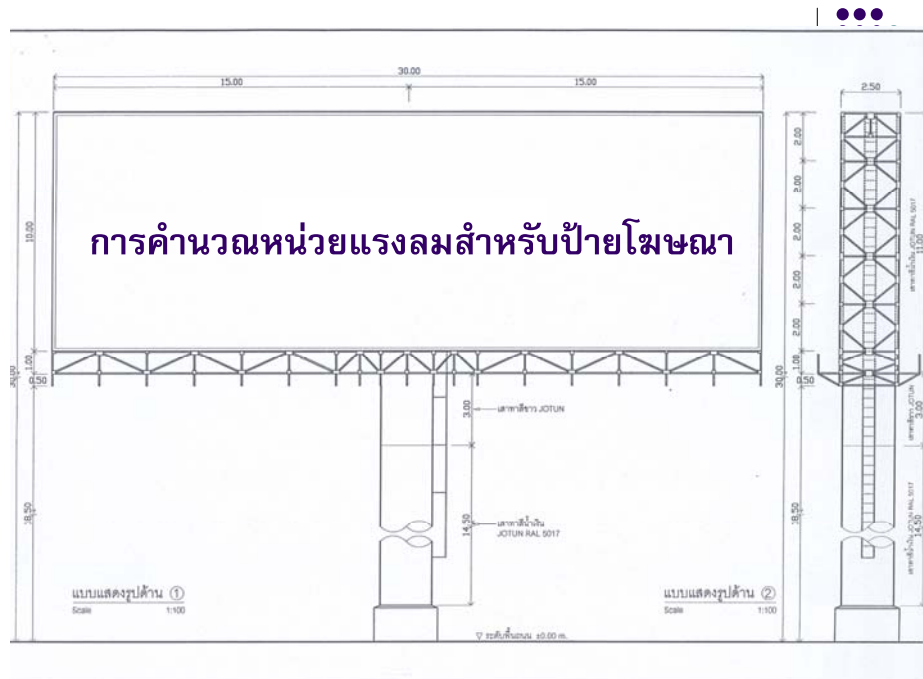
- $(1.0 \times \text{แรงลมสถิติเทียบเท่าในทิศทางลม}) + (0.4 \times \text{แรงลมสถิติเทียบเท่าในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม}) + (0.4 \times \text{โมเมนต์บิดสถิติเทียบเท่า})$
- $\left(0.4 + \frac{0.6}{C_g}\right) \times \text{แรงลมสถิติเทียบเท่าในทิศทางลม}) + (1.0 \times \text{แรงลมสถิติเทียบเท่าในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม}) + (1.0 \times \text{โมเมนต์บิดสถิติเทียบเท่า})$

สรุปขั้นตอนการคำนวณแรงลมสำหรับ

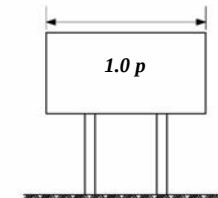
การออกแบบอาคาร

- ข้อมูลพื้นฐานของอาคาร ได้แก่ ขนาด ความสูง ที่ตั้ง ความสำคัญของอาคาร
- เลือกวิธีสำหรับการออกแบบ วิธีอย่างง่าย หรือ วิธีอย่างละเอียด
- กำหนดค่า ความเร็วลมอ้างอิง จาก V_{50} และ T_F
- คำนวณหน่วยแรงลมเนื่องจากความเร็วลม (q)
- คำนวณแรงลมและผลตอบสนองในทิศทางลม
 - ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ ตามความสูงของอาคาร
 - ค่าประกอบเนื่องจากการกระโชกของลม ตามลักษณะทางพลศาสตร์ของอาคาร
 - พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม ที่กระทำภายนอกอาคาร (ด้านหน้า-ด้านหลังลม)
- คำนวณแรงลมและผลตอบสนองในทิศตั้งฉากกับทิศทางลม
- คำนวณโมเมนต์บิดเนื่องจากลม
- รวมผลของแรงและโมเมนต์บิดเพื่อหาผลลัพธ์รวมกระทำต่อโครงสร้าง
- ตรวจสอบการโก่งตัวและความเร่งของอาคาร

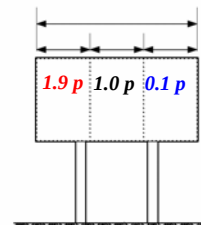
การคำนวณหน่วยแรงลมสำหรับป้ายโฆษณา



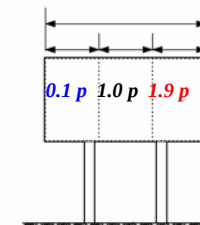
ก. สัดส่วนรูปร่างของป้าย และทิศทางลม (θ)



ข. ค่าสัมประสิทธิ์ C_p ในกรณีทิศทางลมตั้งฉากกับแผ่นป้าย ($\theta = 0$)



ค. ค่าสัมประสิทธิ์ C_p ในกรณีขอบด้านข้างของป้ายรับเข้าลม ($\theta = +45^\circ$)



ง. ค่าสัมประสิทธิ์ C_p ในกรณีขอบด้านข้างของป้ายรับเข้าลม ($\theta = -45^\circ$)

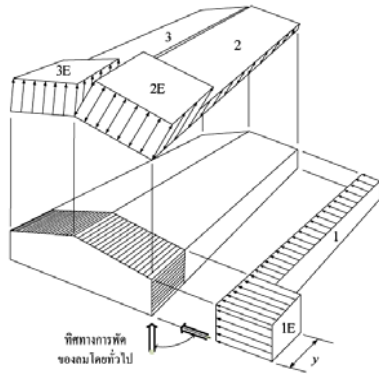
รายละเอียดในร่างมาตรฐาน

ตำแหน่งของแรงลัพธ์

ค่าสัมประสิทธิ์แรง

อัตราส่วน d/h	อัตราส่วน b/d							
	≤ 0.1	0.2	0.5	1	2	3	4	≥ 5
≤ 0.2	1.65	1.60	1.60	1.55	1.55	1.55	1.60	1.60
0.3	1.65	1.60	1.55	1.55	1.50	1.50	1.55	1.55
0.5	1.65	1.55	1.50	1.50	1.45	1.45	1.45	1.45
0.7	1.60	1.50	1.45	1.40	1.35	1.35	1.35	1.30
0.9	1.60	1.45	1.35	1.30	1.25	1.25	1.25	1.25
1.0*	1.55	1.40	1.30	1.25	1.20	1.20	1.15	1.15

* กรณีจากลักษณะ หรือ ชนิดที่ไม่สามารถเห็น



ตารางช่วยการออกแบบ สำหรับอาคารเดี่ยวและหลังคา

ความเร็วลม อ้างอิง (เมตร/วินาที)	ความชัน หลังคา (องศา)	Load case	หน่วยแรงลมสุทธิที่กระทำกับพื้นผิวของอาคารในแต่ละโซน							
			บริเวณกลางผนังและหลังคา				บริเวณขอบผนังและหลังคา			
			1*	2	3	5**	1E*	2E	3E	5E**
25.0	0 ถึง 5	1	507.8	-507.8	-273.4	-	761.7	-781.3	-390.6	-
	10		572.9	-507.8	-299.5	-	859.4	-781.3	-429.7	-
	15		638.0	-507.8	-325.5	-	957.0	-781.3	-468.8	-
	20		703.1	-507.8	-351.6	-	1054.7	-781.3	-507.8	-
	25		693.4	-175.8	-332.0	-	957.0	-175.8	-332.0	-
	30 ถึง 45	1	683.6	273.4	-195.3	-	859.4	312.5	-273.4	-
		2	683.6	156.3	-312.5	-	859.4	195.3	-390.6	-
	90	1	683.6	527.3	-156.3	-	859.4	625.0	-234.4	-
		2	683.6	410.2	-273.4	-	859.4	507.8	-351.6	-
	ความชันทุกค่า	3	-	-507.8	-273.4	507.8	-	-781.3	-390.6	761.7

มยผ. 1311 – 50 (พ.ศ. 2550)

สาระสำคัญในมาตรฐาน

- ความเร็วลมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่/สภาพภูมิประเทศที่มีผลต่อความเร็วลม/คุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของอาคาร/รูปทรงและลักษณะทางกายภาพของอาคาร/อิทธิพลจากพายุไต้ฝุ่น
- การคำนวณแรงลมในทิศทางลม ทิศตั้งฉากกับทิศทางลม และโมเมนต์บิด รวมทั้งวิธีการรวมผลของแรงเหล่านี้
- แรงดันลมหรือแรงดูดที่เฉพาะตำแหน่งบนอาคาร สำหรับการออกแบบผนังและกระเบื้องรอบอาคาร
- สัมประสิทธิ์แรงลมสำหรับโครงสร้างประเภทต่าง ๆ เช่น ป้ายโฆษณา ปล่องควัน ท่อ เป็นต้น
- การคำนวณผลตอบสนองของอาคารต่อแรงลม
- ตารางแรงลมสำหรับการออกแบบ
- คำอธิบายมาตรฐาน
- ตัวอย่างการคำนวณตามมาตรฐาน