บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลม

อากาศเมื่อได้รับความร้อนจะลอยตัวขึ้นสู่เบื้องสูง ซึ่งจะช่วยทำให้อุณหภูมิของอากาศบนพื้นโลกลดต่ำลง การเคลื่อนไหวของอากาศดังกล่าวเรียกว่า " กระแส " (Current) ในขณะที่อากาศบริเวณใดบริเวณหนึ่งลอยตัวให้สูงขึ้น อากาศที่อยู่โดยรอบซึ่งเย็นกว่าจะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ การเคลื่อนไหวของอากาศที่ขนานไปกับผิวโลกเรียกว่า " ลม " ลมที่พัดอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของโลกจะเกิดขึ้นเนื่องจาก ความแตกต่างเกี่ยวกับความกดดันของอากาศ และลมจะพัดจากบริเวณหย่อมความกดอากาศสูง ไปสู่บริเวณที่เป็นหย่อมความกดอากาศต่ำ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาเกี่ยวกับแรงที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับลมแล้ว จะมีทั้งแรงผลักดันทำให้ลมพัดและขณะเดียวกันก็มีแรงต้านทานที่ทำให้ลมพัดช้าลง หรือมีทิศทางการพัดเบี่ยงเบนไปจากที่คาดหวังได้ แรงเกี่ยวกับลมที่สำคัญคือ

ก. แรงเนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศ (Pressure Gradient Force) เป็นแรงที่มีอิทธิพลต่อความเร็วของลมที่พัด ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของหย่อมความกดดันของอากาศที่เกิดขึ้น ถ้าหากค่าความแตกต่างของความกดดันอากาศของสองแห่งมีค่ามากแรงเนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศจะมีค่าสูง และจะทำให้ลมพัดอย่างรุนแรง แต่ถ้าความแตกต่างของความกดดันของอากาศทั้งสองบริเวณมีน้อย ค่าของแรงเนื่องจากความแตกต่างของความกดอากาศจะต่ำ ซึ่งจะทำให้ลมพัดเบา ๆ

ข. แรงคอริโอลิส (Coriolis Forces) เป็นแรงที่มีอิทธิพลต่อทิศทางการพัดของลม อันเนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลกที่เกิดขึ้นตลอดเวลา จึงทำให้เกิดแรงเหวี่ยงขึ้น ซึ่งทำให้ทิศทางของลมที่พัดบนพื้นโลกเบี่ยงเบนไป

ค. แรงฝืด (Friction Forces) เป็นแรงที่เกิดจากการเสียดสีระหว่างมวลอากาศที่เคลื่อนที่กับพื้นผิว และจะมีอิทธิพลต่อความเร็วลมมาก แรงฝืดจะปรากฏอยู่ในบริเวณที่สูงจากผิวโลกขึ้นไปไม่เกิน 600-900 เมตร (2000-3000 ฟุต) ทั้งนี้เพราะลมเมื่อพัดใกล้กับผิวโลกจะถูกลักษณะภูมิประเทศและพื้นดินต้านทานไว้ จึงทำให้ความเร็วของลม

ที่พัดลดลง แต่ถ้าหากลมพัดผ่านภูมิประเทศที่เป็นที่ราบหรือน้ำ ความเร็วลมจะไม่ลดลงมากเพราะมีแรงฝืดเกิดขึ้นน้อยมาก ส่วนบริเวณที่อยู่สูงจากพื้นโลกเกินกว่า 900 เมตร ขึ้นไป ลมที่พัดจะไม่ได้รับอิทธิพลจากความฝืดบนพื้นผิว

2.2 พายุไต้ฝุ่น

พายุไต้ฝุ่นเป็นพายุหมุน (Cyclone) ที่เกิดขึ้นในบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือเส้นศูนย์สูตร เกิดจากมวลอากาศร้อนในพายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm) ในทะเลพัดเข้าสู่บริเวณความกดอากาศต่ำอย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกันมวลอากาศดังกล่าวจะถูกยกตัวขึ้นเบื้องบน จากผลของการคายความร้อนแฝงของเมฆและความหนาวเย็นของอากาศเบื้องบน ประกอบกับการหมุนของลม จากผลของแรงคอริโอลิสยังผลให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ เพิ่มความเร็วลมจนเป็นพายุไต้ฝุ่น

การจำแนกชนิดของพายุหมุนโดยใช้ความเร็วลมรอบศูนย์กลางเป็นเกณฑ์ จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

ก. พายุดีเปรสชั่น (Tropical Depression) มีความเร็วใกล้ศูนย์กลางระหว่าง 20-34 นอต (37.1-63 กม./ชม.)

ข. พายุโซนร้อน หรือ พายุเขตร้อน (Tropical Storm) มีความเร็วใกล้ศูนย์กลางระหว่าง 34-64 นอต (63-118.6 กม./ชม.)

ค. พายุไต้ฝุ่น (Typhoon) มีความเร็วใกล้ศูนย์กลางเกิน 64 นอต (118.6 กม./ชม.)

2.3 กฎยกกำลัง

Davenport (1960) ศึกษาและรวบรวมลักษณะภูมิประเทศแบบต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการกระจายความเร็วลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ พบว่า ความเร็วลมเหนือพื้นดินจะเพิ่มขึ้นตามความสูง จนถึงระดับความสูงหนึ่งจะมีค่าคงที่ เรียกความสูงที่ระดับนี้ว่า ความสูงเกรเดียนต์ (Gradient Height) ความเร็วลมที่ระดับใด ๆ สามารถหาโดยใช้กฎยกกำลัง สมการที่ (2-1) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมที่ระดับความสูงใด ๆ กับความเร็วลมเกรเดียนต์

$$\frac{V}{V_g} = \left(\frac{Z}{Z_g}\right)^{\alpha} \qquad (2\text{-}1)$$

โดยที่ V = ความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน Z

V_g = ความเร็วลมเกรเดียนต์ที่ระดับความสูงเกรเดียนต์ Z_g

α = ค่าเลขยกกำลังขึ้นอยู่กับสภาพความขรุขระของลักษณะภูมิประเทศที่ลมพัดผ่าน

Davenport ได้แบ่งลักษณะความขรุขระของลักษณะภูมิประเทศต่าง ๆ ออกเป็น 8 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 การแบ่งลักษณะความขรุขระของลักษณะภูมิประเทศ,ค่าความสูงเกรเดียนต์และค่าตัวเลขยกกำลัง (Davenport 1960)

แบบ	ลักษณะภูมิประเทศ	α	$\frac{Z_g}{(เมตร)}$
1	พื้นที่ผิวราบเรียบมาก เช่น สภาพผืนน้ำเปิดกว้างโล่ง	1/8.5	245
2	พื้นที่ราบ มีสิ่งบดบังผิวหน้าขนาดต่ำ เช่น ทุ่งหญ้ากว้าง,ทะเลทราย	1/7.5	275
3	พื้นที่ราบหรือลุ่มดอน มีสิ่งบดบังขนาดใหญ่ขึ้น เช่น พื้นที่การเกษตรที่มีต้นไม้และสิ่งปลูกสร้างกระจัดกระจายห่างกันมาก ๆ	1/6.5	300
4	พื้นที่ราบหรือลุ่มดอน มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางทางลมขนาดเตี้ย ทุ่งนาโล่งมีแนวต้นไม้เตี้ย ๆ และมีสิ่งปลูกสร้างกระจัดกระจาย	1/5.5	335
5	พื้นที่ราบหรือลุ่มดอน พื้นผิวกระจายไปด้วยสิ่งกีดขวางทางลมขนาดต่างๆ จำนวนมาก เช่นพื้นที่การเกษตรที่มีพื้นที่โล่งน้อย มีแนวต้นไม้กีดขวางทางลมหนาแน่นกว่าแบบที่ 4 หรือมีอาคารขนาด 2 ชั้น กระจัดกระจาย	1/4.5	365
6	พื้นที่ลุ่มดอนหรือพื้นที่ราบ มีสิ่งกีดขวางทางลมขนาดใหญ่จำนวนมากและสม่ำเสมอ เช่น ป่า,ป่าแคระ หรืออุทยานป่า	1/3.5	410
7	พื้นที่กระจายเต็มไปด้วยสิ่งกีดขวางทางลมขนาดใหญ่ เช่น พื้นที่เมือง หรือบริเวณรอบ ๆ เมืองขนาดใหญ่ ๆ	1/3.0	460
8	พื้นที่เต็มไปด้วยสิ่งกีดขวางทางลมขนาดใหญ่โตมาก เช่น บริเวณกลางเมืองหลวงขนาดใหญ่	1/2.5-1/1.5	550

2.4 ข้อกำหนดแรงลม National Building Code 1990

ตามข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงลมของมาตรฐาน National Building Code 1990 (NBC 1990) กำหนดว่าหน่วยแรงลม ที่กระทำตั้งฉากต่อผิวอาคารภายนอก สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$p = qC_eC_gC_p \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ p = หน่วยแรงดันลมสถิตเทียบเท่า (Equivalent Static Wind Pressure) ซึ่งกระทำในแนวตั้งฉากกับผิวอาคาร

q = หน่วยแรงดันลมอ้างอิง (Reference Wind Pressure)

C_e = ตัวประกอบลักษณะภูมิประเทศ (Exposure Factor)

C_g = ตัวประกอบผลการกระโชก (Gust Effect Factor)

C_p = สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดัน (Pressure Coefficient)

ข้อกำหนด NBC 1990 ได้กล่าวถึงการคำนวณหาแรงลม เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างไว้ 3 แบบ (ดูรูปที่ ก-1 ประกอบ) คือ

วิธีการอย่างง่าย (Simple Procedure) สำหรับอาคารที่มีความสูงน้อย หรือปานกลาง หรือโครงสร้างที่ค่อนข้างแข็ง (Rigid) ซึ่งการตอบสนองต่อแรงลมไม่มีผลทางพลศาสตร์ (Dynamic Effect) มากนัก สามารถคิดแรงลมที่กระทำเป็นเสมือนแรงกระทำสถิตเทียบเท่า

วิธีการอย่างละเอียด (Detailed Procedure) สำหรับอาคารที่สูงและอ่อนตัว เมื่ออาคารมีอัตราส่วนความสูงต่อความกว้าง (ด้านที่น้อยที่สุด) มากกว่า 4 หรือมีความสูง 120 เมตรขึ้นไป หรืออาคารที่ไวต่อการสั่นไหวจากแรงลม ในกรณีเหล่านี้จำเป็นต้องพิจารณาผลทางพลศาสตร์ อันเนื่องมาจากการกระโชกของลมในการคิดแรงลม

การทดสอบในอุโมงค์ลม (Wind Tunnel Testing) เหมาะสำหรับโครงสร้างที่คำนึงถึงผลทางพลศาสตร์เป็นพิเศษ ซึ่งจะให้ค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก ใช้กับโครงสร้างที่มีลักษณะทางสถาปัตยกรรมที่ค่อนข้างแปลก หรือใช้กับอาคารที่สภาพแวดล้อมโดยรอบสลับซับซ้อน

2.4.1 รายละเอียดในการคำนวณค่าหน่วยแรงลมทั่วไป

ในการคำนวณหาค่าหน่วยแรงลม มีรายละเอียดและสิ่งที่ต้องใช้ในการคำนวณดังนี้

ก. ความเร็วลมอ้างอิง (Reference Wind Speed) V คือความเร็วลมเฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมง ที่ระดับความสูง 10 เมตรจากพื้นดินในลักษณะภูมิประเทศเปิดโล่ง โดยมีคาบเวลากลับ 30 ปี

ข. หน่วยแรงลมอ้างอิง (Reference Wind Pressure) q คือหน่วยแรงลมที่ระดับความสูงอ้างอิง 10 เมตร ในลักษณะภูมิประเทศเปิดโล่ง หน่วยแรงลมอ้างอิงสามารถหาได้จากค่า V คำนวณได้จาก

$$q = \rho V^2/2 \qquad (2\text{-}3)$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่นอากาศ โดยทั่วไปมีค่า 1.25 กก./ม^3 ที่อุณหภูมิ 30 ^{0}C ดังนั้น

$$q = 0.0637V^2 \quad \text{กก./ม}^2 \text{ เมื่อ V มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที} \qquad (2\text{-}4)$$

ง. ตัวประกอบลักษณะภูมิประเทศ (Exposure Factor) C_e คือตัวประกอบที่ใช้ในการคำนวณหาการกระจายแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างตามระดับความสูงต่างๆจากระดับพื้นดิน ในการคำนวณอย่างง่าย (NBC 1990) กำหนดให้คำนวณ C_e จาก

$$C_e = \left(\frac{Z}{10}\right)^{0.2} \geq 0.9 \qquad (2\text{-}5)$$

โดยที่ Z = ความสูงจากระดับพื้นดิน ในหน่วยเมตร

ตารางที่ 2-2 ค่าตัวประกอบลักษณะภูมิประเทศ C_e สำหรับการคำนวณอย่างง่าย

ความสูง (เมตร)	C_e
0-6	0.9
6-12	1.0
12-20	1.1
20-30	1.2
30-44	1.3
44-64	1.4
64-85	1.5
85-120	1.6

ในวิธีการอย่างละเอียด (NBC 1990) แบ่งลักษณะภูมิประเทศออกเป็น 3 แบบคือ

แบบ A : ได้แก่ลักษณะภูมิประเทศเปิดโล่ง มีอาคารหรือต้นไม้กระจัดกระจาย เช่น พื้นที่เป็นพื้นน้ำเปิดโล่งหรือบริเวณชายฝั่งที่ราบเรียบ เป็นลักษณะภูมิประเทศที่ใช้อ้างอิงสำหรับการกำหนดความเร็วลมอ้างอิง ค่า α สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ A นี้เท่ากับ 0.14 และตัวประกอบลักษณะภูมิประเทศหาได้จากสมการ

$$C_e = \left(z/10\right)^{0.28} \geq 1.0 \qquad (2\text{-}6)$$

แบบ B : ได้แก่ลักษณะภูมิประเทศแบบชานเมืองหรือนอกเมืองใหญ่ หรือพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุม (Wooded Terrain) หรือบริเวณใจกลางเมืองเล็ก ๆ ค่า α สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ B นี้เท่ากับ 0.25 และตัวประกอบลักษณะภูมิประเทศหาได้จากสมการ

$$C_e = 0.5\left(z/12.7\right)^{0.5} \geq 0.5 \qquad (2\text{-}7)$$

แบบ C : ได้แก่ลักษณะภูมิประเทศบริเวณใจกลางเมืองใหญ่ โดยที่ต้องมีอาคารสูงหนาแน่นอย่างน้อย 50 % ของอาคารต้องมีความสูงเกิน 4 ชั้น ค่า α สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ C นี้เท่ากับ 0.36 และตัวประกอบลักษณะภูมิประเทศหาได้จากสมการ

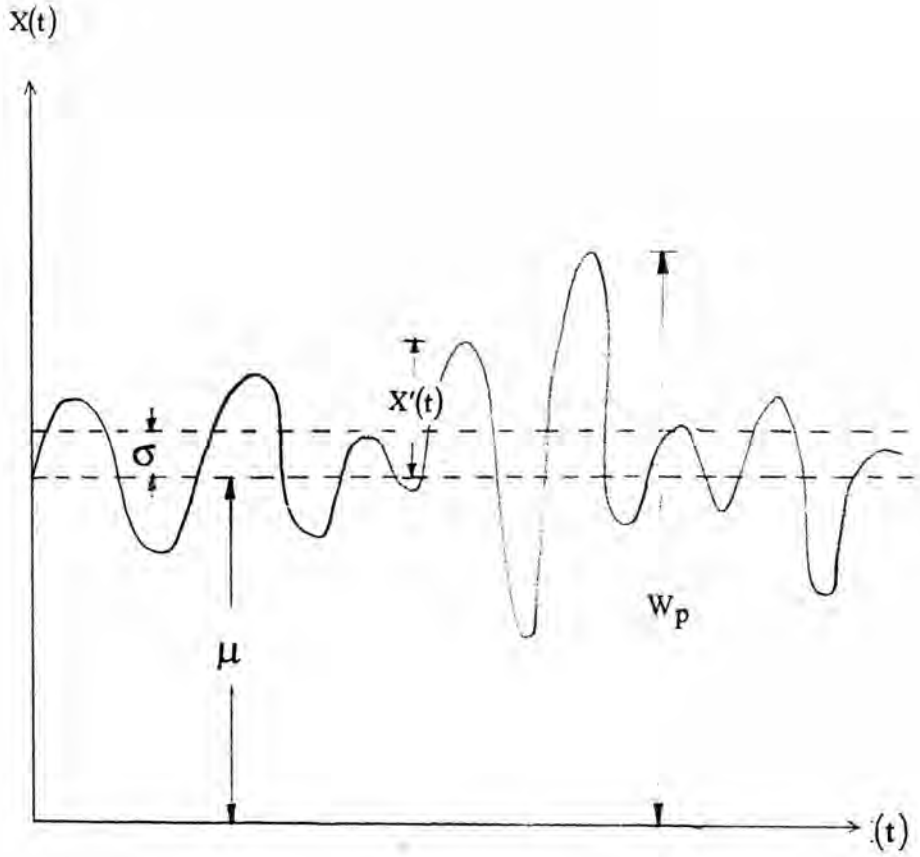
$$C_e = 0.4\left(z/30\right)^{0.72} \geq 0.4 \qquad (2\text{-}8)$$

อนึ่งสำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ B และ C นั้น จะใช้ได้ต่อเมื่อลักษณะภูมิประเทศดังกล่าวเป็นจริง เป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 1.5 กิโลเมตร ที่ต้นลม

ง. ตัวประกอบผลการกระโชก (Gust Effect Factor) C_g

ในวิธีการอย่างง่าย C_g มีค่าเท่ากับ 2.0 สำหรับส่วนของโครงสร้างทั้งหมด หรือเท่ากับ 2.5 สำหรับส่วนประกอบขนาดเล็กของโครงสร้าง

ในวิธีการอย่างละเอียด สามารถหาตัวประกอบผลการกระโชก C_g ได้รายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 2-1 ผลตอบสนองทางพลศาสตร์ (Dynamic Response) เนื่องจากแรงลมกระทำกับโครงสร้าง

รูปที่ 2-1 แสดงผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของแรงลมกระทำกับโครงสร้าง ที่ขณะใดขณะหนึ่ง ผลตอบสนอง X(t) เป็นผลรวมของผลเฉลี่ยจากแรงกระทำ (Mean Loading Effect) , μ กับส่วนกวัดแกว่งของการตอบสนอง (Fluctuating Component) , $X'(t)$ อันเนื่องมาจากผลของการกระโชกของแรงลม (เทียบกับแรงลมเฉลี่ย) นั่นคือ

$$X(t) = \mu + X'(t) \qquad (2\text{-}9)$$

ผลตอบสนองสูงสุดเนื่องจากแรงลมก็จะเป็นผลรวมของผลเฉลี่ยและส่วนกวัดแกว่งสูงสุด ซึ่งสามารถใช้ทฤษฎีการสั่นไหวแบบสุ่ม (Random Vibration Theory) เขียนในรูปของตัวประกอบผลสูงสุดทางสถิติ (Statistical Peak Factor) , g_p คูณกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลตอบสนองจากแรงลม (Root Mean Square) , σ นั่นคือ

$$W_p = \mu + g_p \sigma \qquad (2\text{-}10)$$

โดยที่ W_p= ผลสูงสุดจากแรงกระทำ (Peak Loading Effect)

เมื่อนำค่า μ หารตลอด จะได้

$$W_p/\mu = 1 + g_p(\sigma/\mu) \qquad (2\text{-}11)$$

นิยาม ตัวประกอบผลการกระโชก (C_g) เป็นอัตราส่วนของผลสูงสุดต่อผลเฉลี่ยของการรับแรงของโครงสร้าง

$$C_g = \frac{W_p}{\mu} \qquad (2\text{-}12)$$

จะได้

$$C_g = 1 + g_p(\sigma/\mu) \qquad (2\text{-}13)$$

โดยการใช้ทฤษฎีการสั่นไหวแบบสุ่ม จะเขียน ค่า σ/μ ได้เป็นผลรวมของสองส่วนคือ ส่วนพื้นหลัง (Background Component) ซึ่งเป็นผลตอบสนองซึ่งปราศจากผลการขยายทางพลศาสตร์ของโครงสร้างและส่วนกำธร (Resonant Component) ซึ่งเป็นผลการตอบสนองเนื่องจากส่วนประกอบของแรงลมที่มีความถี่ใกล้กับความถี่พื้นฐานตามธรรมชาติของโครงสร้าง ดังนี้

$$\sigma/\mu = \sqrt{(K/C_{eH})(B + sF/\beta)} \qquad (2\text{-}14)$$

โดยที่ K = ตัวประกอบซึ่งมีความสัมพันธ์กับลักษณะความขรุขระของลักษณะภูมิประเทศ มีค่าดังนี้

K=0.08 สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ A

K=0.10 สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ B

K=0.14 สำหรับลักษณะภูมิประเทศแบบ C

C_{eH}= ตัวประกอบลักษณะภูมิประเทศที่ระดับสูงสุดของอาคาร

β = อัตราส่วนความหน่วงวิกฤติ (Critical Damping Ratio) หาได้จากการทดสอบในโครงสร้างจริงมีค่าเท่ากับ 0.01 สำหรับโครงสร้างเหล็ก และมีค่าเท่ากับ 0.02 สำหรับโครงสร้างคอนกรีต (NBC 1990)

ค่า B ในสมการ (2-14) สามารถหาได้จากสมการ (2-15)

$$B = 4/3 \int_{0}^{914/H} [1/(1+xH/457)][1/(1+xW/122)]\left[x/\left(1+x^2\right)^{4/3}\right]dx \qquad (2\text{-}15)$$

โดยที่ B = ตัวประกอบความแปรปรวนพื้นหลัง (Background Turbulence Factor) เป็นฟังก์ชันของความสูงของอาคาร และอัตราส่วนความกว้างด้านรับลมต่อความสูงของอาคาร สามารถหาได้จากสมการที่ (2-15) หรือ จากรูปที่ 2-2

H = ความสูงของอาคารด้านปะทะลม

W = ความกว้างของอาคารด้านปะทะลม

ค่า s , F ในสมการ (2-14) สามารถหาได้จากสมการ (2-16) และ (2-17) ตามลำดับ นั่นคือ

$$s = \pi/3[1/(1+8n_0H/3V_H)]\left[1/\left(1+10n_0W/V_H\right)\right] \qquad (2\text{-}16)$$

$$F = x_0^2/\left(1+x_0^2\right)^{4/3} \qquad (2\text{-}17)$$

$$x_0 = 1220n_0/V_H \qquad (2\text{-}18)$$

โดยที่ s = ตัวประกอบลดขนาด (Size Reduction Factor) เป็นฟังก์ชันของ W/H และ n_0 และ V_H ตัวประกอบนี้สามารถหาได้จากสมการ (2-16) หรือจากรูปที่ 2-3

n_0 = ความถี่ธรรมชาติของการสั่นไหว (Fundamental Natural Frequency) ของอาคาร หน่วยเป็น เฮิร์ตซ์

F = อัตราส่วนพลังงานกระโชก (Gust Energy Ratio) ที่ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง สามารถหาได้จากสมการ (2-17) หรือได้จากรูปที่ 2-4

V_H = ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงบนยอดสูงสุดของอาคารมีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

ค่า g_p เป็นตัวประกอบผลสูงสุดทางสถิติ สามารถหาได้จากรูปที่ 2-5 หรือจากสมการ (2-19)

$$g_p = \sqrt{2\ln(vT)} + 0.577/\sqrt{2\ln(vT)} \qquad (2\text{-}19)$$

$$v = n_0\sqrt{sF/(sF+\beta B)} \qquad (2\text{-}20)$$

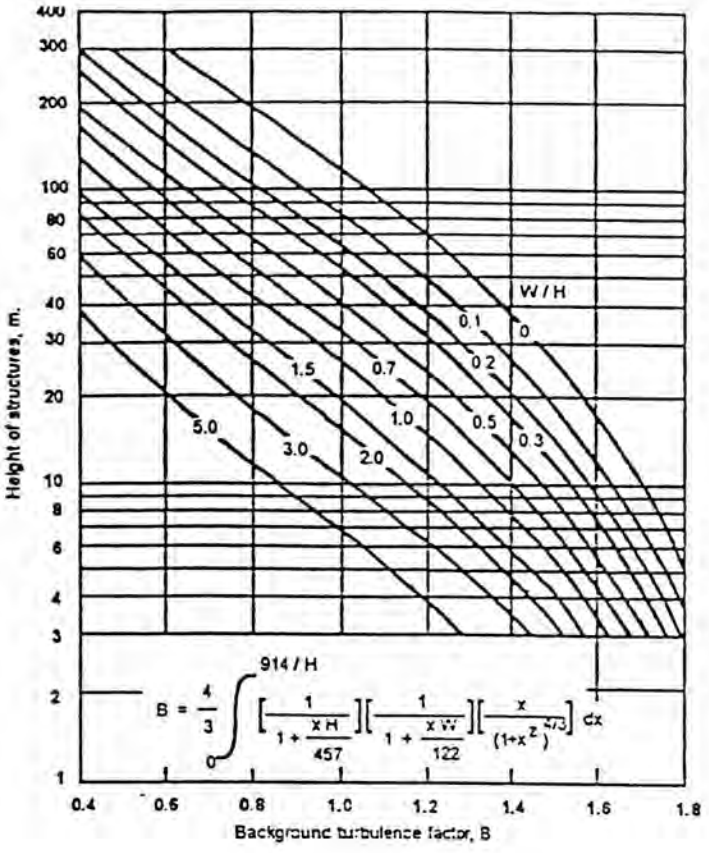
โดยที่ T = จำนวนเฉลี่ยของเวลาค่าเฉลี่ยของผลแรง ซึ่งจะใช้เวลาเฉลี่ยหนึ่งชั่วโมง (3600 วินาที)

v = อัตราการกวัดแกว่งเฉลี่ย (Average Fluctuation Rate) ซึ่งประมาณได้โดยสมการ (2-20)

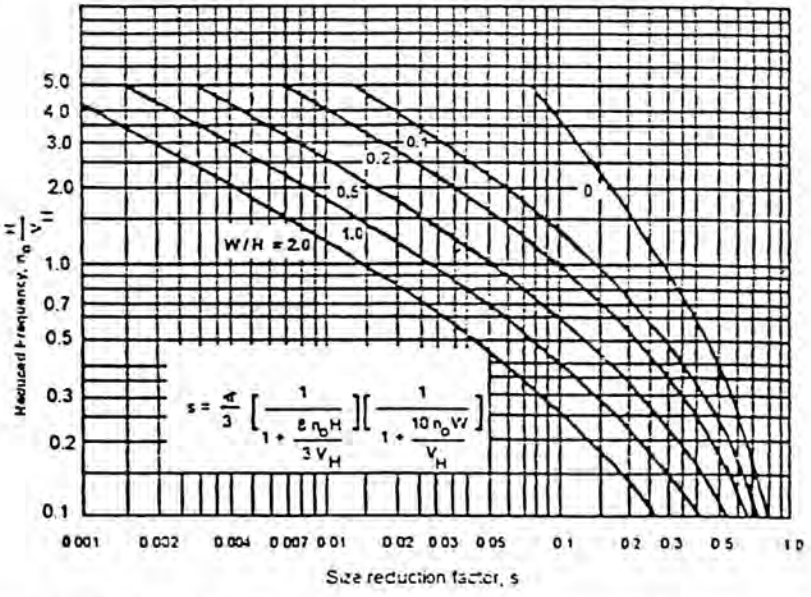
จ. **สัมประสิทธิ์หน่วยแรงดัน** (Pressure Coefficient) C_p **คือ อัตราส่วนไร้มิติของหน่วยแรงดันที่เกิดจากลมบนผิวของอาคาร (p) ต่อแรงดันเนื่องจากความเร็ว** (Velocity Pressure) **ที่ระดับความสูงอ้างอิง** (Cook 1985)

$$C_p = \frac{p}{\frac{1}{2}\rho V^2} \qquad (2\text{-}21)$$

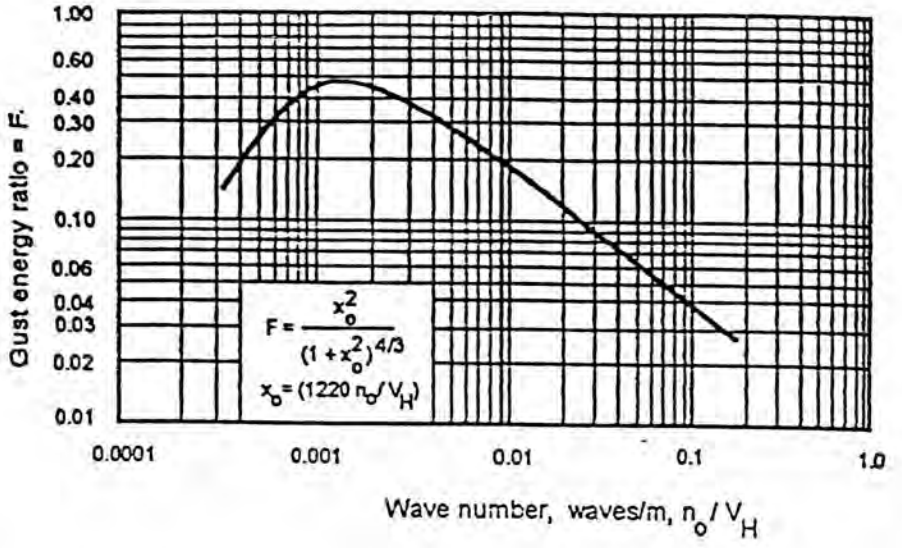
แรงดันที่กระทำต่อพื้นที่ผิวโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับรูปร่าง , ทิศทางลม และการกระจายความเร็วลม ค่า C_p นี้สามารถหาได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลม สำหรับอาคารที่มีรูปร่างในแปลนเป็นรูปสี่เหลี่ยม เช่นที่แสดงในรูปที่ 2-6 C_p ในด้านปะทะลมมีค่าเท่ากับ 0.8 ที่ทุกระดับความสูง ด้านหลบลม C_p มีค่าเท่ากับ -0.5 ทุกระดับความสูง และด้านข้าง C_p มีค่าเท่ากับ -0.7 ทุกระดับความสูงของอาคาร โดยที่การกระจายหน่วยแรงดันลมที่กระทำต่อผนังด้านข้างและด้านหลบลมของอาคารมีค่าคงที่ทุกระดับความสูง ซึ่งความสูงที่ใช้คำนวณหน่วยแรงลมของผนังด้านข้างใช้ค่า H ส่วนที่ผนังด้านหลบลมใช้ค่า H/2 นั่นคือ ใช้ค่า C_e ที่ระดับความสูง H และ H/2 ในการคำนวณหน่วยแรงดันลมบนผนังด้านข้างและด้านหลบลมตลอดความสูง ตามลำดับ สำหรับการกระจายหน่วยแรงลมที่กระทำต่ออาคารด้านปะทะลมนั้น ให้ใช้ค่า C_e ที่ระดับความสูง z ที่พิจารณา แต่ C_e ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในสมการ (2-5) ถึง (2-8)



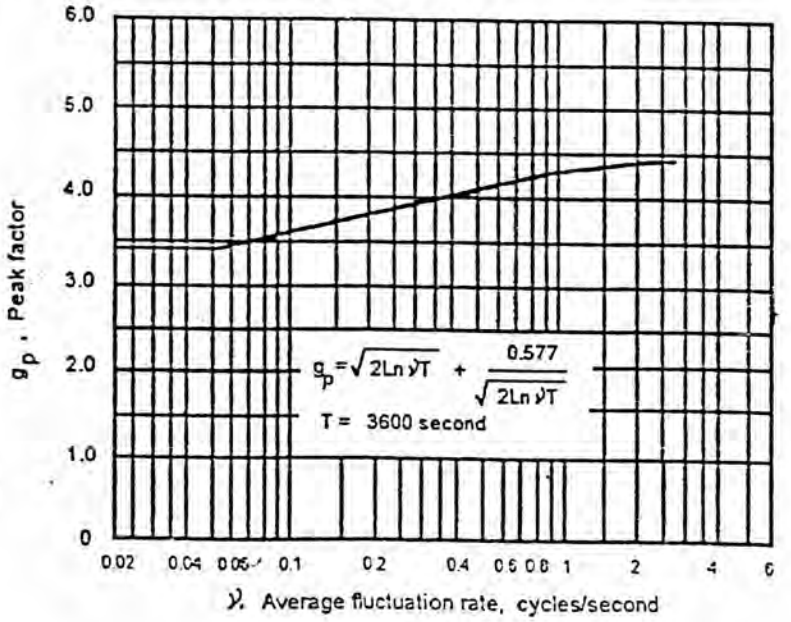
รูปที่ 2-2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความแปรปรวนพื้นหลัง (Background Turbulence Factor), B กับความสูงของโครงสร้าง (NBC 1990)



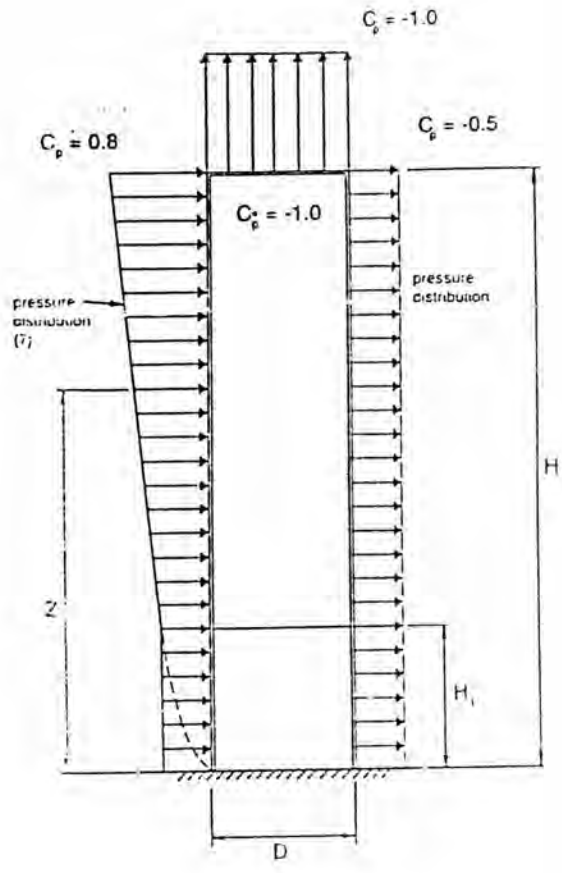
รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบลดขนาด (Size Reduction Factor), s , Reduced Frequency $n_0 \frac{H}{V_H}$ และอัตราส่วนความกว้างต่อความสูง W/H (NBC 1990)



รูปที่ 2-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพลังงานกระโชก (Gust Energy Ratio), F และค่าจำนวนคลื่น (Wave Number) (NBC 1990)



รูปที่ 2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบผลสูงสุดทางสถิติ(Statistical Peak Factor) , g_p กับค่าอัตราการกวัดแกว่งเฉลี่ย (Average Fluctation Rate) , v (NBC 1990)



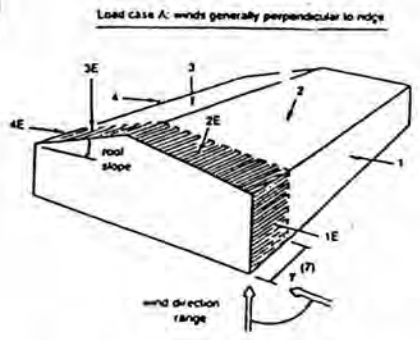
Elevation of building

รูปที่ 2-6 ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดัน C_p และการกระจายหน่วยแรงดันลมที่กระทำต่ออาคารตามระดับความสูง (NBC 1990)

2.4.2 รายละเอียดการคำนวณค่าหน่วยแรงลมสำหรับอาคารเตี้ย

สำหรับอาคารเตี้ย (Low Rise Structure) ใช้การคำนวณอย่างง่ายตามมาตรฐาน NBC 1990 นั้นกำหนดค่าผลคูณระหว่างตัวประกอบผลการกระโชกกับสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันลม $(C_g C_p)$ ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับทิศทางของลมและความชันของหลังคาอาคารดังแสดงในตารางที่ 2-3 และ 2-4

กรณีที่ 1 ทิศทางลมที่กระทำตั้งฉากกับขอบของอาคาร

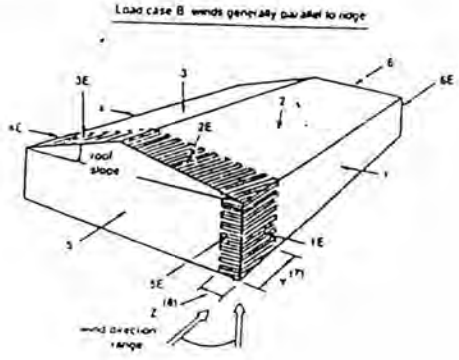


รูปที่ 2-7 แรงลมในทิศทางที่ 1 ที่กระทำตั้งฉากกับขอบของอาคาร (NBC 1990)

ตารางที่ 2-3 ค่า $C_g C_p$ ที่บริเวณต่าง ๆ ของอาคาร เนื่องจากแรงลมทิศทางที่ 1 สำหรับ การคำนวณอย่างง่าย

ความชันของหลังคา	พื้นผิวอาคาร							
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E
0 ถึง 5	0.75	1.15	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.55	-0.8
20	1.0	1.5	-1.3	-2.0	-0.9	-1.3	-0.8	-1.2
30ถึง 45	1.05	1.3	0.4	0.5	-0.8	-1.0	-0.7	-0.9
90	1.05	1.3	1.05	1.3	-0.7	-0.9	-0.7	-0.9

กรณีที่ 2 ทิศทางลมที่กระทำขนานกับขอบของอาคาร



รูปที่ 2-8 แรงลมในทิศทางที่ 2 ที่กระทำขนานกับขอบของอาคาร (NBC 1990)

ตารางที่ 2-4 ค่า C_gC_p ที่บริเวณต่าง ๆ ของอาคาร เนื่องจากแรงลมทิศทางที่ 2 สำหรับ การคำนวณอย่างง่าย

ความชัน ของหลังคา	พื้นผิวอาคาร											
	1	1E	2	2E	3	3E	4	4E	5	5E	6	6E
0 ถึง 90	-0.85	-0.9	-1.3	-2.0	-0.7	-1.0	-0.85	-0.9	0.75	1.15	-0.55	-0.8

ในการหาค่า C_gC_p จากรูปดังกล่าวให้ใช้หลักการและข้อกำหนดเพิ่มเติม ดังนี้

ก. อาคารที่กำลังพิจารณาจะต้องทำการออกแบบให้สามารถรับแรงลม ที่กระทำทุกทิศทุกทางกับตัวอาคาร นอกจากนั้นที่มุมแต่ละมุม จะต้องพิจารณาให้เป็นส่วนที่รับแรงลมด้านหน้าตามลำดับ ดังแสดงใน รูปที่ 2-7 และ 2-8 สำหรับหลังคาทุกหลังนั้น จะต้องพิจารณาทั้งสองกรณี คือ กรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 เพื่อที่จะหาแรงที่กระทำกับหลังคา รวมทั้งการบิด ที่จะต้องต้านทานโดยระบบโครงสร้าง

ข. ผลคูณระหว่างสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดัน (Pressure Coefficient) กับตัวประกอบผลการกระโชก (Gust Effect Factor) สำหรับค่าความชันของหลังคาซึ่งไม่ได้ระบุไว้ในรูป ให้คำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรง (Linearly Interpolation) จากค่าที่กำหนดให้ดังตารางในตารางที่ 2-3 และ 2-4

ค. เครื่องหมายบวกของผลคูณ C_gC_p หมายถึงหน่วยแรงพุ่งเข้าสู่พื้นผิว เป็นหน่วยแรงดัน (Pressure) ส่วนเครื่องหมายลบ หมายถึงหน่วยแรงพุ่งออกจากพื้นผิว เป็นหน่วยแรงดูด (Suction)

ง. H คือ ความสูงอ้างอิง สำหรับความดันที่ความสูงถึงกลางของหลังคา หรือ ความสูง 6 เมตร โดยให้ใช้ค่าที่มากกว่า นอกนั้นอาจจะใช้ความสูงของชายคาแทนความสูงเฉลี่ยได้ ในกรณีที่ความชันของหลังคาน้อยกว่า 10°

จ. y คือ ความกว้างบริเวณส่วนปลาย (End Zone Width) จะต้องใช้ค่ามากกว่าของ 6 เมตร หรือสองเท่าของค่า z โดยที่ระยะ z คือ บริเวณขอบของผนังหน้าจั่ว ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2-7 ในกรณีของอาคารที่ประกอบขึ้นด้วยโครงข้อแข็ง (Frame) ความกว้างของบริเวณส่วนปลาย y อาจใช้เท่ากับระยะห่างระหว่างโครงข้อแข็งริม กับโครงข้อแข็งภายในโครงแรก

ฉ. สำหรับค่า z ให้ใช้ค่าที่น้อยกว่าระหว่าง 10 % ของขนาดที่น้อยที่สุดตามแนวราบ กับ 40 % ของความสูง H แต่ z จะต้องมีค่าอย่างน้อย 4% ของขนาดตามแนวราบ และต้องไม่น้อยกว่า 1 เมตร