บทที่ 5

การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าหน่วยแรงลมสูงสุด และค่าหน่วยแรงลม สำหรับการออกแบบผนังภายนอกจากมาตรฐานการคำนวณแรงลม มยผ.1311-50

ผลการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลมของโครงการอาคารศูนย์พลังงานแห่งชาติ ถูกคำนวณให้อยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม ค่าหน่วยแรงลมสูงสุดที่ได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลม จะได้จากผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด และค่าความดันลมพลวัตที่ระดับความสูงอ้างอิง (ความสูงเกรเดียนต์) ซึ่งนำไปรวมกับค่าหน่วยแรงลมภายในอาคารที่ได้จากการข้อกำหนดของมาตรฐานการคำนวณแรงลม มยผ.1311-50 (2550) จะได้ค่าหน่วยแรงลมสูงสุดสำหรับการออกแบบผนังภายนอก ค่าหน่วยแรงลมสูงสุดขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งมีความเบี่ยงเบนไปจากค่าสูงสูงสุด เนื่องจากความแปรปรวนของค่าความดันลมตลอดระยะเวลาของการเก็บข้อมูลในระหว่างการทดสอบ ซึ่งถือเป็นพฤติกรรมของความดันลมที่เกิดขึ้นบนโครงสร้าง ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงลมสูงสุดที่มีความเหมาะสมจึงต้องทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อทำนายหาค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม โดยพิจารณาจากผลการทดสอบในอุโมงค์ลม และช่วงเวลาเกิดซ้ำ(return period) หรือความน่าจะเป็นสะสมที่พิจารณา($X \le x$) ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแบบสุ่มทั้งในด้านของขนาดของแรง และส่วนผสมของความถี่ที่มีความถี่ในช่วงกว้าง ดังนั้นสมมุติฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าหน่วยแรงลมสูงสุดสำหรับออกแบบผนังภายนอก สำหรับการศึกษานี้สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1.การแปรเปลี่ยนของความเร็วลมตามความสูงจากระดับพื้นดิน ภายในช่วงบาวดารี่เลเยอร์เป็นไปตามตามกฎยกกำลัง

2. ค่าทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม เป็นแบบไม่เคลื่อนที่ (stationary) และเออร์กอดิค (ergodic)

สำหรับโครงการศูนย์พลังงานแห่งชาติ ซึ่งประกอบด้วย อาคาร A เป็นอาคารรูปทรงหยดน้ำมัน 2 หยด วางเชื่อมต่อกัน เป็นอาคารที่มีรูปทรงที่ซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลม และอาคาร Bกับอาคาร C ซึ่งมีลักษณะเป็นอาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งมีด้านตรงจำนวน 3 ด้าน และมีการโค้งมนที่มุมอาคาร ยกเว้นด้านที่ติดกับอาคาร A ซึ่งมีลักษณะโค้งเพื่อให้มีความสอดคล้องกับรูปร่างหยดน้ำของอาคาร A ดังนั้นสำหรับ

5.1 การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด

การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันสูงสุดเฉพาะจุด (largest maximum pressure coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดูดสูงสุดเฉพาะจุด (largest minimum pressure coefficient) ณ ตำแหน่งต่างๆ บนแบบจำลอง ของทั้งหมด 16 ทิศทาง ซึ่งเป็นค่ามากที่สุดของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันลม และค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมดูด โดยแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันลม และค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมดูด สำหรับการศึกษานี้จะพิจารณาวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่พิจารณามีทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่

1. การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด โดยวิธีการกระจายตัวค่าปลายสุดแบบที่ 1 (Extreme value distribution type I)

2.การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด โดยวิธีการกระจายตัวค่าปลายสุดแบบทั่วไป (Generalized extreme value distribution)

3.การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด โดยพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล (prediction of the parent distribution of the largest of the peak)

การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด วิธีที่ 1 และวิธีที่2 จะไม่พิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล ดังนั้น สำหรับวิธีที่ 3 จะเป็นพิจารณาว่าการกระจายตัวของข้อมูลโดยวิธีการหาค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม จะพิจารณาจากผลการการทดสอบด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของพล็อตความน่าจะเป็น (probability plot correlation coefficient, PPCC) สามารถบอกได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมมีลักษณะการกระจายตัวใกล้เคียงแบบเกาส์เซียนหรือแบบแกมม่า และสามารถเลือกใช้วิธีการหาค่าสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมได้อย่างเหมาะสม

5.1.1 การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด โดยวิธีการกระจายตัวค่าปลายสุดแบบที่ 1(Extreme value distribution type I)

การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด $,\hat{C}_p$ โดยวิธีกระจายตัวค่าปลายสุดแบบที่ 1 เสนอโดย Tieleman, Ge และHajj (2003)พิจารณาว่าช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมในแต่ละจุด ซึ่งทำการเก็บเป็นระยะเวลาทั้งสิ้นเท่ากับ 60 วินาทีนั้น

$N = 32$

$$F(C_p) = \exp[-\exp^{-y}] \tag{5.1}$$

จากวิธีการพล็อตค่าความน่าจะเป็น สามารถจัดในรูปจากสมการที่ (5.1) ได้เป็น

$$C_p = \beta + \alpha\left[-\ln\left(-\ln(F(C_p))\right)\right] \tag{5.2}$$

ซึ่งจัดในรูปเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นจากสมการที่ (5.2)

$$X = \beta + \sigma \cdot y \qquad \text{เมื่อ, } y = -\ln\left(-\ln(F(C_p))\right) \tag{5.3}$$

โดยที่ y คือ ตัวแปรลดรูป (reduced variate) จะได้เท่ากับ $y = \frac{1}{\sigma}(C_p - \beta)$ ค่ากำหนดตำแหน่ง (Location factor, β) และค่ากำหนดการกระจายตัว (Scale factor, σ) สำหรับฟังก์ชั่นการแจกแจงสะสม, $F(C_p)$ ของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสอดคล้องกับทฤษฎีค่าปลายสุดแบบที่ 1 วิธีในการคำนวณหาค่าของ β และ σ ได้แก่วิธีที่เสนอโดย Gumbel (1958) โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่า $F(C_p)$ ซึ่งสามารถหาได้จากการจัดเรียงข้อมูลตามลำดับจากน้อยไปหามากจากค่าสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมแต่ละข้อมูล จำนวน $N = 32$ ข้อมูล นั้นคือ $C_{p1} \le C_{p2} \le ....C_{pn}$ จะประมาณได้ว่า

$$F(C_p) = \frac{j}{(N+1)} \tag{5.4}$$

โดยที่ j คือ ลำดับที่ของข้อมูลเมื่อจัดเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

N คือ จำนวนของข้อมูล

สำหรับวิธีในการคำนวณหาค่า β และ σ สามารถหาได้จากวิธีการกำลังสองเชิงถดถอย (linear regression) ซึ่งจัดในรูปเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นจากสมการที่ (5.3) โดยที่ σ คือความชันของกราฟ และคือ β จุดตัดแกน ซึ่งหาได้จากสมการที่ (5.5) และ (5.6)

$$\sigma = \frac{n\sum(y\ X) - \sum y \sum X}{n\sum(y^2) - (\sum y)^2} \tag{5.5}$$

$$\beta = \frac{\sum X - \alpha \sum y}{n} \tag{5.6}$$

สำหรับการศึกษานี้จะพิจารณา $F(C_p)_{99\%} = 0.99$ ในการทำนายหาค่าสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่มีความน่าจะเป็นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 99% จะได้เท่ากับ

$$\hat{C}_{p99\%} = \beta + \sigma\left[-\ln\left[-\ln(0.99)\right]\right] \tag{5.7}$$

โดยนำเอาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดมีความน่าจะเป็นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 99% มาพิจารณาร่วมกันค่าความเร็วลมสูงสุด ,$\bar{V}_{50}$ สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จะได้ค่าหน่วยแรงลมสูงสุดมีความน่าจะเป็นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 99%

5.1.2 <u>การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด โดยวิธีการกระจายตัวค่าปลายสุดแบบทั่วไป (Generalized extreme value distribution)</u>

การวิเคราะห์ทางสถิติวิธีนี้ สำหรับหาทำนายค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด ,C^*_p ที่ได้จากผลการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม โดยใช้วิธีกระจายตัวค่าปลายสุดแบบทั่วไป มีอัตราการเก็บข้อมูล 400 ข้อมูลต่อวินาที พิจารณาว่าช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมในแต่ละจุด ซึ่งทำการเก็บเป็นระยะเวลาทั้งสิ้นเท่ากับ 60 วินาทีนั้น มีระยะเวลานานจนสามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน โดยเป็นตัวแทนของการเก็บข้อมูล 2 ครั้ง และ ทำการแบ่งข้อมูลในแต่ละครั้งออกเป็น 16 ข้อมูล ทำให้มีข้อมูลทั้งสิ้น 32 ข้อมูล ($N = 32$) ทำการหาค่าสูงสุดของข้อมูลแต่ละส่วนเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูล ในกรณีค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงดันลมให้หาค่าสูงสุด และกรณีค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมดูดให้ค่าต่ำสุด ค่าฟังก์ชั่นการแจกแจงสะสมของทฤษฎีค่าปลายสุดแบบทั่วไปได้จากสมการที่ (3.32) และ(3.33) จะได้เท่ากับ

$$F(C_p) = \exp[-\exp^{-(\frac{1}{\sigma}(C_p-\beta))}] \qquad \text{เมื่อ, } k = 0 \qquad (5.8)$$

$$F(C_p) = \exp[-\left(1-\frac{k}{\sigma}\left(C_p-\beta\right)\right)^{1/k}] \qquad \text{เมื่อ, } k \neq 0 \qquad (5.9)$$

สำหรับการศึกษานี้เลือกใช้วิธี Probability weighted moment, (PWM) ในการประมาณ ค่ากำหนดตำแหน่ง (Location factor, β) ค่ากำหนดการกระจายตัว (Scale factor, σ) และค่ากำหนดรูปร่าง(Shape factor , k) ซึ่งเสนอโดย Hosking (1985)

$$k = 7.859c + 2.9554c^2 \qquad (5.10)$$

$$\sigma = \frac{\left(2b_1 - b_0\right)k}{\Gamma\left(1+k\right)\cdot\left(1-2^{-k}\right)} \qquad (5.11)$$

$$\beta = b_0 + \frac{\sigma\left[\Gamma\left(1+k\right)-1\right]}{k} \qquad (5.12)$$

โดยที่ b_0 และ b_1 ได้จากสมการที่ (5.13) และ(5.14)

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} C_{pi}}{N} \qquad (5.13)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^{N-1}\left(N-i\right)\cdot C_{pi}}{N\left(N-1\right)} \qquad (5.14)$$

สำหรับการการคำนวณหาค่า b_2 และ c ได้จากสมการที่ (5.15) และ(5.16)

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^{N-1}\left(N-i\right)\cdot\left(N-i-1\right)\cdot C_{pi}}{N\left(N-1\right)\cdot\left(N-2\right)} \qquad (5.15)$$

$$c = \frac{2b_1 - b_0}{2b_2 - b_0} - \frac{\ln 2}{\ln 3} \qquad (5.16)$$

สำหรับการศึกษานี้จะพิจารณา $F(C_p)_{99\%} = 0.99$ ในการทำนายหาค่าสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่มีความน่าจะเป็นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 99% จะได้เท่ากับ

$$C_p^* = \beta + \alpha\left[-\ln\left(-\ln(0.99)\right)\right] \qquad \text{เมื่อ, } k = 0 \qquad (5.17)$$

$$C_p^* = \beta + \frac{\sigma}{k}\cdot\left[1-\left(-\ln\left(0.99\right)\right)^k\right] \qquad \text{เมื่อ, } k \neq 0 \qquad (5.18)$$

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด $,C_p^*$ มาพิจารณาร่วมกันค่าความเร็วลมสูงสุด $,\bar{V}_{50}$ สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จะได้ค่าหน่วยแรงลมสูงสุดมีความน่าจะเป็นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 99%

5.1.3 <u>การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด โดยพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล (prediction of the parent distribution of the largest of the peak)</u>

การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด โดยพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล ค่าความถูกต้องของการใช้วิธีนี้ขึ้นอยู่กับทฤษฎีแจกแจงความน่าจะเป็นที่นำมาใช้ โดยลักษณะการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมจะขึ้นอยู่กับสภาวะการไหลของลม และผลกระทบจากอาคารข้างเคียง ดังนั้นวิธีนี้จะพิจารณาว่าการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบใด และเลือกทฤษฎีแจกแจงความน่าเป็นให้เหมาะสมกัน การศึกษานี้จะเลือกใช้ ทฤษฎีแจกแจงความน่าเป็น 2 แบบ คือ แบบเกาส์เซียน และแบบแกมม่า โดยวิธีการเลือกใช้จะพิจารณาจากผลการทดสอบด้วยวิธี PPCC ว่าทฤษฎีแจกแจงความน่าเป็นมีการกระจายตัวใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม

สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด โดยพิจารณาการกระจายตัวเป็นแบบเกาส์เซียน สามารถหาค่าสูงสุดได้โดยวิธีการของDavenport (1964) ได้ จากสมการที่ (3.36)

$$F\left(C_p\right) = \exp\left[-\nu T\cdot\exp\left(-\frac{C_p^{\,2}}{2}\right)\right] \qquad (5.19)$$

สามารถจัดรูปใหม่ ได้เป็น

$$C_p = \sqrt{2\ln\frac{-\nu T}{\ln(F(C_p))}} \tag{5.20}$$

จากสมการที่ (5.20) สามารถจัดรูปให้อยู่ในรูปของค่าประกอบการกระโชกของลม ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึง ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด ที่คาดว่าจะเกิดในระยะเวลาหนึ่ง จะมีค่าเท่ากับ ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ย และผลคูณของค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยให้เป็นค่าสูงสุด กับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม จะได้จากสมการที่ (5.21)

$$C'_p = \bar{C}_p + g_{peak}\sigma_{C_p} \tag{5.21}$$

$$g_{peak} = \sqrt{2\cdot\ln(\nu T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2\cdot\ln(\nu T)}} \tag{5.22}$$

โดยที่

$\bar{C}_p$	คือค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบภายในอุโมงค์ลม
g_{peak}	คือค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยให้เป็นค่าสูงสุด (peak factor)
σ_{C_p}	คือค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมแปรปรวนที่ได้จากการทดสอบภายในอุโมงค์ลม
C'_p	คือค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดที่ได้จาการวิเคราะห์ทางสถิติ
ν	คือ rate of zero upcrossing of the Gaussian process
T	คือ ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

สำหรับค่าประกอบเชิงสถิติเพื่อปรับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยให้เป็นค่าสูงสุดที่ได้จากสมการที่ (5.22) จะมีค่า 3.0 ถึง 5.0 และค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดที่ได้จาการวิเคราะห์ทางสถิติ, C'_p มาพิจารณาร่วมกันค่าความเร็วลมสูงสุด ,$\bar{V}_{50}$ สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จะได้ค่าหน่วยแรงดันลมสูงสุด โดยพิจารณาว่ามีการกระจายตัวแบบเกาส์เซียน

การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด โดยพิจารณาว่าการกระจายตัวแบบแกมม่าขึ้นอยู่กับรูปแบบของการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่มีพฤติกรรมเป็นหน่วยแรงดูด ซึ่งเกิดจากสภาวะการไหลของลมมีความปั่นป่วนสูงมาก (high peak or spiking) ทำให้ลักษณะการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมเกิดเบี่ยงเบนออกไป โดย

$$f(X)=\frac{\left(\frac{X-\mu}{\beta}\right)^{\gamma-1}\exp\left[-\frac{(X-\mu)}{\beta}\right]}{\beta\Gamma(\gamma)} \qquad \text{เมื่อ } ; X-\mu>0 \qquad (5.23)$$

โดยที่

μ คือค่ากำหนดตำแหน่ง (location factor) หรือค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม

β คือค่ากำหนดการกระจายตัว (Scale factor)

γ คือ ค่ากำหนดรูปร่าง (shape factor)

$\Gamma(\cdot)$ คือ ฟังก์ชั่นแกมม่า(gamma fuction)

สามารถแบ่งวิธีขั้นตอนการคำนวณแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของทฤษฎีแจกแจงแบบแกมม่า ซึ่งประกอบด้วย ค่ากำหนดตำแหน่ง, μ ค่ากำหนดการกระจายตัว, β และค่ากำหนดรูปร่าง, γ ส่วนที่สองจะเป็นการหาค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่ มีการกระจายตัวแบบแกมม่า โดยวิธี standard translation processes approach และแสดงวิธีการคำนวณทั้งหมดในรูปที่ 5.1 และ 5.2

การหาค่ากำหนดรูปร่าง, γ_* โดยทำการประมาณค่ากำหนดรูปร่างเริ่มต้น และหาค่า U_i คือ ฟังก์ชั่นแจกแจงสะสมของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม จะนิยามได้ดังนี้คือ

$$U_i=F_p\left(C_p\right)=\frac{i}{n+1} \qquad (5.24)$$

โดยที่

i คือ ลำดับที่ของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมจากค่าน้อยไปค่ามาก

n คือ จำนวนของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม

โดยวิธีการประมาณค่ากำหนดรูปร่างเริ่มต้นจะใช้การทดสอบด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของพล็อตความน่าจะเป็น (PPCC) ผลการทดสอบด้วยวิธี PPCC นี้จะพิสูจน์ว่ามีค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมกับค่า $N(i)=\Phi_{gam}^{-1}\left(U_i\right)$ ซึ่งได้มาจากการคำนวณค่า U_i กับค่า Φ_{gam}^{-1} คือ ค่าฟังก์ชั่นของทฤษฎีการแจงแจกแบบแกมม่าผกผัน(inverse-gamma distribution) ซึ่งค่า Φ_{gam}^{-1} จะขึ้นอยู่กับค่า

ρ_i

$,\gamma_*$

$$\rho_i = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(C_{pi}-\bar{C}_p\right)\left(N_i-\bar{N}\right)}{\left[\sum_{i=1}^{n}\left(C_{pi}-\bar{C}_p\right)^2\sum_{i=1}^{n}\left(N_i-\bar{N}\right)^2\right]^{1/2}} \tag{5.25}$$

โดยที่

$\bar{N}$ คือค่าเฉลี่ยของ $N(i)$

$\bar{C}_p$ คือค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม

ค่ากำหนดตำแหน่ง, μ และค่ากำหนดการกระจายตัว, β สามารถหาได้จากวิธีการพล็อตของความน่าจะเป็นของค่า $N(i)=\Phi_{gam}^{-1}\left(U_i\right)$ กับค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม จะแสดงแนวโน้มเป็นเส้นตรงโดยประมาณ ดังนั้นค่าความชันและจุดตัดแกนของกราฟเส้นตรง คือค่ากำหนดตำแหน่งและค่ากำหนดการกระจายตัว ใช้ค่ากำหนดรูปร่างที่ดีที่สุดสำหรับหาค่า $N(i)$

ส่วนที่สองเป็นวิธีที่ใช้ในการหาค่าสูงสุดของค่าสัมประสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมโดยพิจารณาว่ามีการกระจายตัวของข้อมูลไม่เป็นแบบเกาส์เซียน โดยใช้วิธี standard translation processes approach โดยที่ $x(t)$, คือค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม $F_x(x)$, คือค่าฟังก์ชั่นแจกแจงสะลมของ $x(t)$ วิธีนี้จะใช้การแปลงค่าระหว่าง $y(t)$ ไปยัง $x(t)$ ซึ่งค่าสูงสุดของสัมประสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลม ที่มีการกระจายตัวแบบเกาส์เซียน $,y_{pk}$ ได้จากสมการที่ (5.21) โดยที่ $F'_{ypk}\left(y_{pk}\right)$ คือค่าฟังก์ชั่นแจกแจงสะสมของ y_{pk} ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการแปลงค่าระหว่าง $y(t)$ ไปยัง $x(t)$ ดังนี้

1) กำหนดค่าความน่าเป็นไปได้ของฟังก์ชั่นแจกแจงสะสมของค่าสูงสุด เท่ากับ 99%

$$F'_{ypk}\left(y_{pk}\right)=99\% \tag{5.26}$$

2) หาค่าสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่ มีการกระจายตัวแบบเกาส์เซียน $,y_{pk}$

$$y_{pk} = \sqrt{2\ln\frac{-\upsilon_0 T}{\ln F'_{ypk}}} \tag{5.27}$$

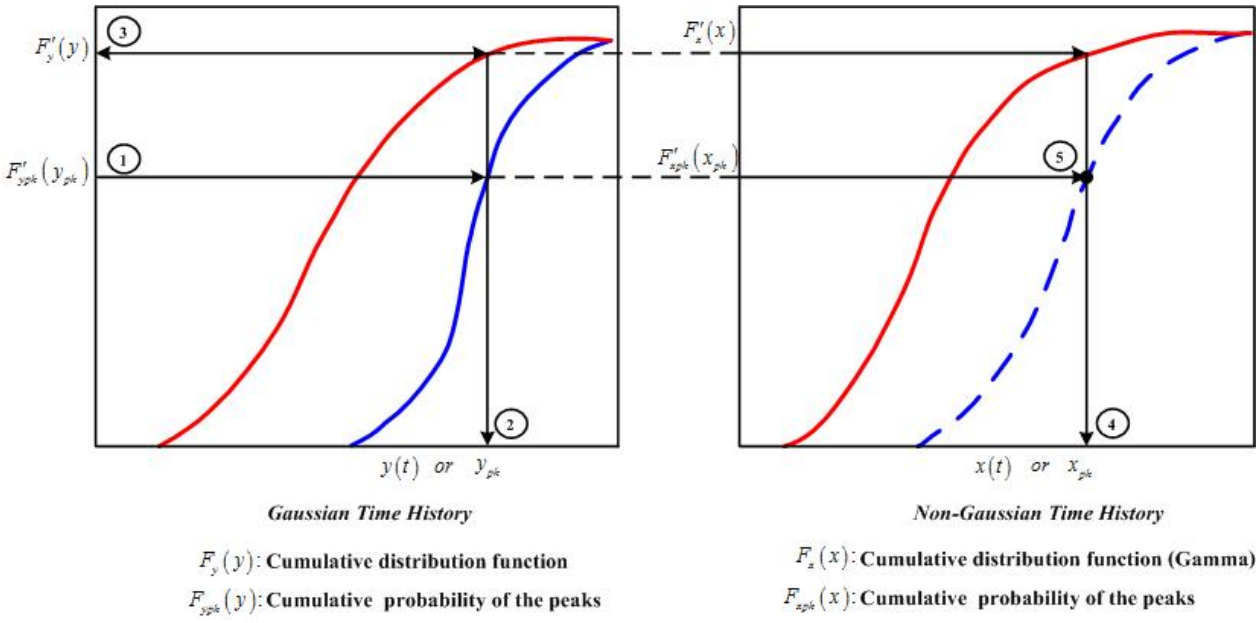
3) หาค่าฟังก์ชั่นแจกแจงสะสมที่มีการกระจายตัวแบบเกาส์เซียน โดยที่ Φ_{nor} คือ ฟังก์ชั่นแปลงค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดให้เป็นค่าฟังก์ชั่นแจกแจงสะสมที่มีการกระจายตัวเป็นแบบเกาส์เซียน

$$F_y(y) = \Phi_{nor}\left(y_{pk}\right) \tag{5.28}$$

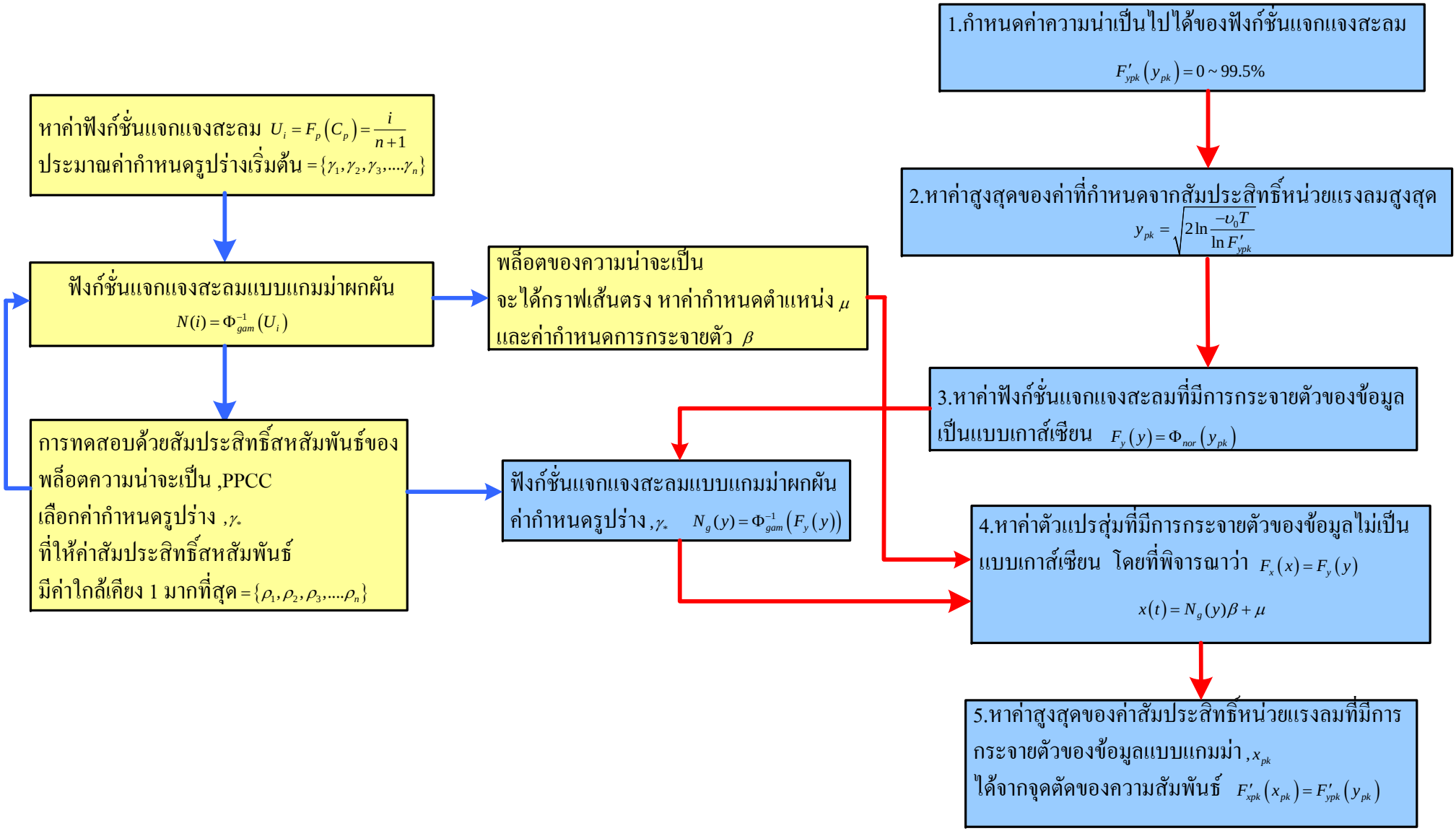
4) หาค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่มีการกระจายตัวแบบแกมม่า, $x(t)$ จากการพิจารณาว่าค่า $F_x(x) = F_y(y)$ โดยที่ $F_x(x)$ คือค่าฟังก์ชั่นแจกแจงสะสมที่มีการกระจายตัวเป็นแบบแกมม่า ค่า $N_g(x) = \Phi^{-1}_{gam}\left(F_x(x)\right)$ และ Φ^{-1}_{gam} คือค่าฟังก์ชั่นแจกแจงสะสมแบบแกมม่าผกผัน

$$x(t) = N_g(x)\beta + \mu \tag{5.29}$$

5) หาค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่มีการกระจายตัวแบบแกมม่า, x_{pk} ได้จากจุดตัดของความสัมพันธ์ $F'_{xpk}\left(x_{pk}\right) = F'_{ypk}\left(y_{pk}\right)$



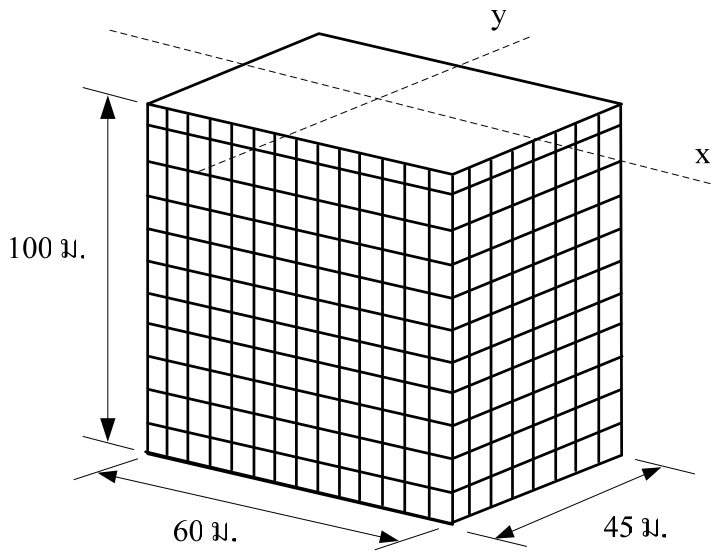
รูปที่ 5.1 วิธีการ และขั้นตอนของวิธี standard translation processes approach


1.กำหนดค่าความน่าเป็นไปได้ของฟังก์ชั่นแจกแจงสะสม
$F'_{ypk}(y_{pk}) = 0 \sim 99.5\%$
2.หาค่าสูงสุดของค่าที่กำหนดจากสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุด
$y_{pk} = \sqrt{2\ln\frac{-\upsilon_0 T}{\ln F'_{ypk}}}$
3.หาค่าฟังก์ชั่นแจกแจงสะลมที่มีการกระจายตัวของข้อมูล
เป็นแบบเกาส์เซียน $F_y(y) = \Phi_{nor}(y_{pk})$
4.หาค่าตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายตัวของข้อมูลไม่เป็น
แบบเกาส์เซียน โดยที่พิจารณาว่า $F_x(x) = F_y(y)$
$x(t) = N_g(y)\beta + \mu$
5.หาค่าสูงสุดของค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมที่มีการ
กระจายตัวของข้อมูลแบบแกมม่า , x_{pk}
ได้จากจุดตัดของความสัมพันธ์ $F'_{xpk}(x_{pk}) = F'_{ypk}(y_{pk})$
พล็อตของความน่าจะเป็น
จะได้กราฟเส้นตรง หาค่ากำหนดตำแหน่ง μ
และค่ากำหนดการกระจายตัว β
ฟังก์ชั่นแจกแจงสะลมแบบแกมม่าผกผัน
ค่ากำหนดรูปร่าง , γ_* $N_g(y) = \Phi^{-1}_{gam}(F_y(y))$
การทดสอบด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ
พล็อตความน่าจะเป็น ,PPCC
เลือกค่ากำหนดรูปร่าง , γ_*
ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
มีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด $= \{\rho_1, \rho_2, \rho_3, \ldots \rho_n\}$
ฟังก์ชั่นแจกแจงสะลมแบบแกมม่าผกผัน
$N(i) = \Phi^{-1}_{gam}(U_i)$
หาค่าฟังก์ชั่นแจกแจงสะลม $U_i = F_p(C_p) = \frac{i}{n+1}$
ประมาณค่ากำหนดรูปร่างเริ่มต้น $= \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \ldots \gamma_n\}$

สำหรับวิธีนี้เลือกใช้ $F'_{ypk}\left(y_{pk}\right)=99\%$ ค่าสัมประสิทธิ์หน่วยแรงลมสูงสุดมีความน่าจะเป็นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 99% มาพิจารณาร่วมกันค่าความเร็วลมสูงสุด ,$\bar{V}_{50}$ สำหรับคาบการกลับ 50 ปี จะได้ค่าหน่วยแรงลมดูดสูงสุด โดยพิจารณาการกระจายตัวแบบแกมม่า

5.2 <u>การหาค่าหน่วยแรงลมสำหรับออกแบบผนังภายนอก จากข้อกำหนดของมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยผ.1311-50)</u>

สำหรับการหาค่าหน่วยแรงลมสำหรับออกแบบผนังภายนอก จากข้อกำหนดของมาตรฐานการคำนวณแรงลม มยผ.1311-50 (2550) สามารถหาค่าหน่วยแรงลมได้เฉพาะอาคารB กับอาคาร C เท่านั้นและสมมุติให้ส่วนโค้งของอาคารมีลักษณะเป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 5.3 อาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และอาคารมีความสูงมากกว่าความกว้าง ดังนั้นการคำนวณค่าหน่วยแรงลมสำหรับออกแบบผนังภายนอกอาคารและหลังคาโดยวิธีการอย่างง่าย เมื่อลมกระทำในทิศทาง xx และ yy จะให้ผลลัพธ์เหมือนกัน ในตัวอย่างนี้ จะแสดงเมื่อลมกระทำในทิศทาง yy วิธีการคำนวณและมาตรฐานการคำนวณแรงลม มยผ.1311-50 (2550) อยู่ในภาคผนวก จ



รูปที่ 5.3 ขนาดของอาคาร

พิจารณาลมกระทำในทิศทาง yy

ความกว้างของอาคารในทิศทางตั้งฉากกับลม (W) = 60 เมตร

ความลึกของอาคารในทิศทางขนานกับลม (D) = 45 เมตร

ขั้นตอนที่1 คำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้

สำหรับอาคารสำนักงาน อยู่ในประเภทความสำคัญปกติ ดังนั้น ค่าประกอบความสำคัญของแรงลม $(I_w) = 1$

สำหรับกรุงเทพมหานคร ค่าความเร็วลมอ้างอิง $(\overline{V}) = 26.5$ ม./วินาที

หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม (q)

$$q = \frac{1}{2}\frac{\rho}{g}\overline{V}^2 \quad = \quad \frac{1}{2}\times\frac{1.25}{9.807}\times 26.5^2 \quad = \quad 44.754 \quad \text{กก./ม.}^2$$

ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม (C_g) สำหรับคำนวณหน่วยแรงลมภายนอก

C_g เท่ากับ 2.5 สำหรับคำนวณหน่วยแรงลมภายนอกในการออกแบบผนังภายนอกอาคาร

ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมภายใน (C_{pi}) และค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม (C_{gi}) สำหรับการคำนวณหน่วยแรงลมภายใน

เนื่องจากอาคารที่ปราศจากช่องเปิดขนาดใหญ่ มีช่องเปิดเล็ก ๆ กระจายสม่ำเสมอ โดยมีพื้นที่ช่องเปิดรวมน้อยกว่า 0.1% ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ดังนั้นเป็นไปตามกรณีที่ 1 ในมาตรฐาน มีค่า $C_{pi} = 0$ ถึง -0.15 และ $C_{gi} = 2.0$ ทั้งนี้ให้ใช้ค่า C_{pi} ที่ทำให้เกิดแรงสูงสุดในองค์อาคาร (ผนังภายนอก ตัวยึด และอื่นๆ)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหน่วยแรงลมภายใน

ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศแบบ B

$$C_e = 0.7(\frac{Z}{12})^{0.3} \quad = 0.7(\frac{50}{12})^{0.3} \quad = \quad 1.07 \qquad (\text{คิดที่ความสูงอ้างอิง} = 0.5H \ = 50 \text{ ม.})$$

คำนวณค่าหน่วยแรงลมภายใน

$$p_i = I_w q C_e C_{gi} C_{pi} \quad = \quad 1 \times 44.754 \times 1.07 \times 2 \times (\text{ -0.15 หรือ 0 })$$

$$= \text{-14.42} \quad \text{กก./ม.}^2 \quad (\text{เมื่อ } C_{pi} = \text{-0.15})$$

$$= 0 \quad \text{กก./ม.}^2 \quad (\text{เมื่อ } C_{pi} = 0)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหน่วยแรงลมภายนอก และหน่วยแรงลมสุทธิ สำหรับผนังด้านต้นลมและท้ายลม

C_e ด้านต้นลม $\quad = \quad 0.7(\frac{Z}{12})^{0.3}$ ดังแสดงในตารางที่ 5.1

(ค่า C_e ต้องไม่น้อยกว่า 0.7)

C_e ด้านท้ายลม $\quad = \quad 0.7(\frac{H/2}{12})^{0.3} \quad = \quad 0.7(\frac{50}{12})^{0.3} = 1.07$

C_p^* ด้านต้นลม = +0.9 (สำหรับออกแบบผนังภายนอกอาคาร ตามรูปที่ จ.3 ในภาคผนวก จ)

C_p ด้านท้ายลม = -0.5

ตารางที่ 5.1 ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)

ความสูงจากพื้นดิน (เมตร)	ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ (C_e)
0 – 10	0.70
10 – 20	0.82
20 – 30	0.92
30 – 40	1.00
40 – 60	1.13
60 – 80	1.24
80 – 100	1.32

หน่วยแรงลมภายนอกที่กระทำกับอาคารด้านต้นลม

$$p = I_w q C_e C_g C_p^* = 1 \times 44.754 \times \left[0.7 \left(\frac{Z}{12} \right)^{0.3} \right] \times 2.5 \times 0.9$$

$= 33.447\ Z^{0.3}$ กก./ม^2

ดังแสดงในตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.4

หน่วยแรงลมภายนอกที่กระทำกับอาคารด้านท้ายลม

$$p = I_w q C_e C_g C_p = 1 \times 44.754 \times 1.07 \times 2.5 \times (-0.5)$$

$= -60.087$ กก./ม.^{2}

ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.4

คำนวณค่าหน่วยแรงลมสุทธิ

$$p_{net} = I_w q C_e C_g C_p^* - I_w q C_e C_{gi} C_{pi}$$

หน่วยแรงลมสุทธิด้านต้นลม

$p_{net} = 33.447\ Z^{0.3}$ - (-14.42) (เมื่อ C_{pi} = -0.15)

$= 33.447\ Z^{0.3}$ - (0) (เมื่อ C_{pi} = 0)

ดังแสดงในตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.4

หน่วยแรงลมสุทธิด้านท้ายลม

p_{net} = -60.087 - (-14.42) = -45.666 กก./ม.^{2} (เมื่อ C_{pi} = -0.15)

= -60.087 - (0) = -60.087 นิวตัน/ม.^{2} (เมื่อ C_{pi} = 0)

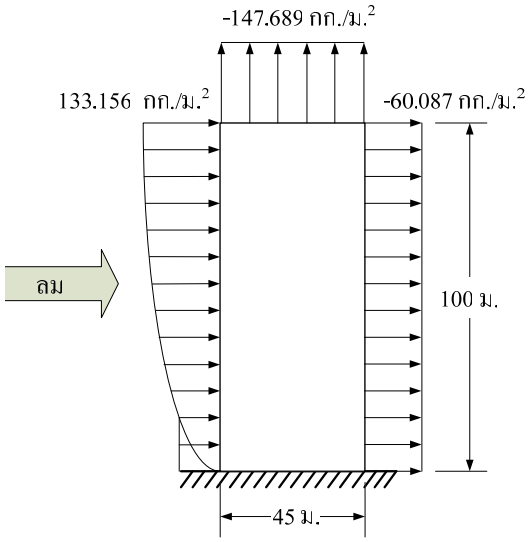
ดังแสดงในตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.4

ตารางที่ 5.2 หน่วยแรงลมภายนอก และหน่วยแรงลมสุทธิด้านต้นลม เมื่อลมกระทำในทิศทาง yy

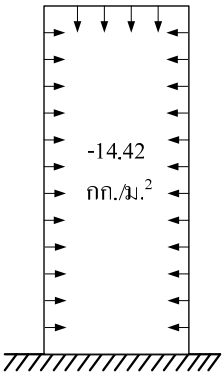
ความสูงจากพื้นดิน (ม.)	หน่วยแรงลมภายนอก (กก./ม.^{2})	หน่วยแรงลมสุทธิ (กก./ม.^{2})	
		หน่วยแรงลมภายในเป็นลบ	หน่วยแรงลมภายในเป็นศูนย์
0 - 10	70.488	84.909	70.488
10 - 20	82.162	96.583	82.162
20 - 30	92.789	107.210	92.789
30 - 40	101.153	115.574	101.153
40 - 60	114.237	128.658	114.237
60 - 80	124.534	138.955	124.534
80 - 100	133.156	147.577	133.156

ตารางที่ 5.3 หน่วยแรงลมภายนอก และหน่วยแรงลมสุทธิด้านท้ายลม เมื่อลมกระทำในทิศทางyy

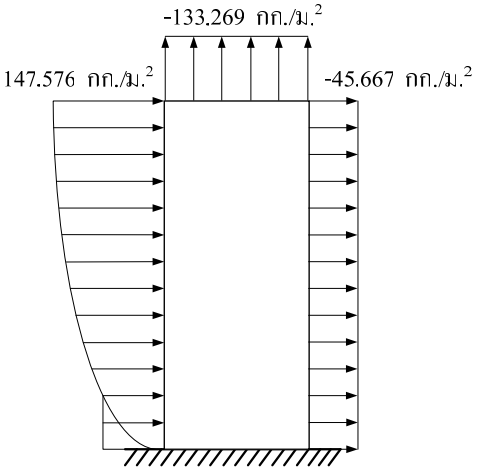
ความสูงจากพื้นดิน (ม.)	หน่วยแรงลมภายนอก (กก./ม.^{2})	หน่วยแรงลมสุทธิ (กก./ม.^{2})	
		หน่วยแรงลมภายในเป็นลบ	หน่วยแรงลมภายในเป็นศูนย์
0 - 100	-60.087	-45.666	-60.087



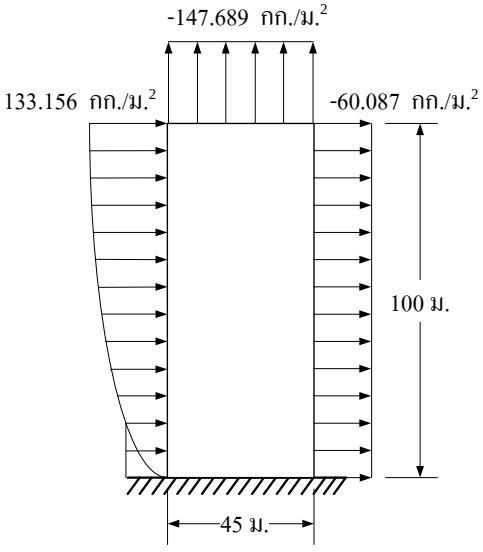
ก. หน่วยแรงลมภายนอก



ข. หน่วยแรงลมภายในเป็นลบ



ค. หน่วยแรงลมสุทธิ เมื่อหน่วยแรงลมภายในเป็นลบ



ง. หน่วยแรงลมสุทธิเมื่อหน่วยแรงลมภายในเป็นศูนย์

รูปที่ 5.4 หน่วยแรงลมภายนอก หน่วยแรงลมภายใน และหน่วยแรงลมสุทธิ ด้านต้นลมและท้ายลม

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหน่วยแรงลมภายนอก และหน่วยแรงลมสุทธิ สำหรับผนังด้านข้าง

C_e ด้านข้าง $= 0.7(\frac{H}{12})^{0.3} = 0.7(\frac{100}{12})^{0.3} = 1.32$ (คิดที่ความสูงอ้างอิง H)

หน่วยแรงลมภายนอกที่กระทำกับบริเวณกลางผนังด้านข้าง

C_p^* บริเวณกลางผนังด้านข้าง = -0.9

$p = I_w q C_e C_g C_p^* = 1 \times 44.754 \times 1.32 \times 2.5 \times (-0.9)$

= -133.156 กก./ม.^{2}

ดังแสดงในตารางที่ 5.4

คำนวณค่าหน่วยแรงลมสุทธิที่บริเวณกลางผนังด้านข้าง

$p_{net} = I_w q C_e C_g C_p^* - I_w q C_e C_{gi} C_{pi} = -133.156 - (-14.42)$

= -118.735 กก./ม.^{2} (เมื่อ C_{pi} = -0.15)

= -133.156 - (0) = -133.156 กก./ม.^{2} (เมื่อ $C_{pi} = 0$)

ดังแสดงในตารางที่ 5.4

หน่วยแรงลมภายนอกที่กระทำกับบริเวณขอบผนังด้านข้าง ที่บริเวณ 10% ของความลึกของอาคาร

C_p^* ขอบผนังด้านข้าง = -1.2

$p = I_w q C_e C_g C_p^* = 1 \times 44.754 \times 1.32 \times 2.5 \times (-1.2)$

= -177.542 กก./ม.^{2}

คำนวณค่าหน่วยแรงลมสุทธิที่ขอบผนังด้านข้าง

p_{net} = -177.542 - (-14.42) = -163.121 กก./ม.^{2} (เมื่อ C_{pi} = -0.15)

= -177.542 - (0) = -177.542 กก./ม.^{2} (เมื่อ C_{pi} = 0)

ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 หน่วยแรงลมภายนอก และหน่วยแรงลมสุทธิด้านข้างอาคาร เมื่อลมกระทำในทิศทาง yy

ตำแหน่งของผนังด้านข้าง	ความสูงจากพื้นดิน (ม.)	หน่วยแรงลมภายนอก (กก./ม.^{2})	หน่วยแรงลมสุทธิ (กก./ม.^{2})	
			หน่วยแรงลมภายในเป็นลบ	หน่วยแรงลมภายในเป็นศูนย์

บริเวณกลาง	0 - 100	-133.156	-118.735	-133.156
บริเวณขอบ	0 - 100	-177.542	-163.121	-177.542

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหน่วยแรงลมภายนอก และหน่วยแรงลมสุทธิ สำหรับหลังคา

C_e หลังคา $= 0.7(\frac{H}{12})^{0.3}$

$= 0.7(\frac{100}{12})^{0.3} = 1.32$ (คิดที่ความสูงอ้างอิง H)

หน่วยแรงลมภายนอกที่กระทำกับบริเวณกลางหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 5.5

C_p หลังคา $= -1.0$

$p = I_w q C_e C_g C_p = 1 \times 44.754 \times 1.32 \times 2.5 \times (-1.0)$

$= -147.689$ กก./ม^2

คำนวณค่าหน่วยแรงลมสุทธิที่กระทำกับบริเวณกลางหลังคา

$p_{net} = I_w q C_e C_g C_p - I_w q C_e C_{gi} C_{pi}$

$= -147.689 - (-14.42) = -133.269$ (เมื่อ $C_{pi} = -0.15$)

$= -147.689 - (0) = -147.689$ (เมื่อ $C_{pi} = 0$)

ดังแสดงในตารางที่ 5.5

หน่วยแรงลมภายนอกที่กระทำกับขอบหลังคา ที่บริเวณ 10% ของความกว้างและความลึกของหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 5.5

C_p^* ขอบหลังคา $= -1.5$

$p = I_w q C_e C_g C_p^* = 1 \times 44.754 \times 1.32 \times 2.5 \times (-1.5)$

$= -221.534$ กก./ม^2

คำนวณค่าหน่วยแรงลมสุทธิที่ขอบหลังคา

$p_{net} = -221.534 - (-14.42) = -207.114$ (เมื่อ $C_{pi} = -0.15$)

$= -221.534 - (0) = -221.534$ (เมื่อ $C_{pi} = 0$)

ดังแสดงในตารางที่ 5.5

หน่วยแรงลมภายนอกที่กระทำกับมุมหลังคา ที่บริเวณ 20% ของความกว้างและความลึกของหลังคา

C_p^* มุมหลังคา $= -2.3$

$p = I_w q C_e C_g C_p^*$

$= 1 \times 44.754 \times 1.23 \times 2.5 \times (-2.3) = -316.525$ กก./ม^2

คำนวณค่าหน่วยแรงลมสุทธิที่มุมหลังคา

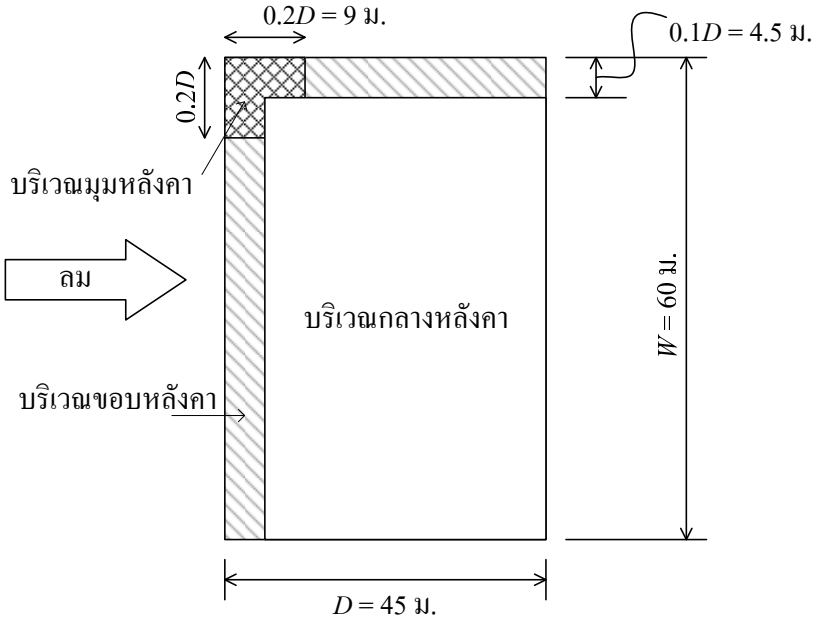
p_{net} = -316.525 - (-14.42) = -302.105 (เมื่อ C_{pi} = -0.15)

= -316.525 - (0) = -316.525 (เมื่อ C_{pi} = 0)

ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 หน่วยแรงลมภายนอก และหน่วยแรงลมสุทธิที่หลังคา เมื่อลมกระทำในทิศทาง yy

ตำแหน่งบนหลังคา	หน่วยแรงลมภายนอก (กก./ม.^{2})	หน่วยแรงลมสุทธิ (กก./ม.^{2})	
		หน่วยแรงลมภายในเป็นลบ	หน่วยแรงลมภายในเป็นศูนย์
มุมหลังคา	-316.525	-302.105	-316.525
ขอบหลังคา	-221.534	-207.114	-221.534
กลางหลังคา	-147.689	-133.269	-147.689



รูปที่ 5.5 รูปด้านบนของอาคาร

สรุปการออกแบบผนังภายนอกอาคารและหลังคา ใช้ค่าหน่วยแรงลมสูงสุดในการออกแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.6 และ 5.7

ตารางที่ 5.6 หน่วยแรงลมสุทธิสำหรับการออกแบบผนังภายนอกอาคาร

ความสูงจากพื้นดิน (ม.)	หน่วยแรงลมสุทธิสูงสุด (กก./ม.^{2})		
	หน่วยแรงดันลม	หน่วยแรงลมดูด	
		กลางผนัง	ขอบผนัง
0 - 10	84.90903	-133.156	-177.542
10 - 20	96.58283	-133.156	-177.542
20 - 30	107.2102	-133.156	-177.542
30 - 40	115.5741	-133.156	-177.542
40 - 60	128.658	-133.156	-177.542
60 - 80	138.9551	-133.156	-177.542
80 - 100	147.5772	-133.156	-177.542

ตารางที่ 5.7 หน่วยแรงลมสุทธิสำหรับการออกแบบหลังคา

ตำแหน่งบนหลังคา	หน่วยแรงลมสุทธิสูงสุด (กก./ม.^{2})
มุมหลังคา	-316.525
ขอบหลังคา	-221.534
กลางหลังคา	-147.689