บทที่ 4

รูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการพัฒนาโปรแกรม เพื่อช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบควบคุมความดันภายในช่องบันไดหนีไฟทำโดยการรวบรวมข้อมูล แล้วนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ผลของโปรแกรม

4.1 รายละเอียดการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์ผลต่างความดันภายในช่องบันไดหนีไฟ รวมถึงปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าไปยังช่องบันได สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองลักษณะการไหลของอากาศภายในช่องบันไดหนีไฟเพื่อทำการคำนวณหาผลต่างความดันและปริมาณอากาศที่ต้องอัดภายในช่องบันไดหนีไฟ

การวิเคราะห์ผลต่างความดัน ปริมาณอากาศที่ต้องอัดรวมถึงแรงที่ต้องใช้ในการเปิดประตูหนีไฟจะทำภายใต้สมมติฐานต่าง ๆ ดังนี้

1. ความหนาแน่นของอากาศภายในช่องบันไดคงที่ไม่เปลี่ยนตามความสูง
2. ไม่มีรอยรั่วในแนวดิ่งระหว่างชั้นในอาคาร
3. ใช้หัวจ่ายอากาศหลาย ๆ หัว (multi – injection) อาจจะติดตั้งทุกชั้น ทุกสองชั้น ทุกสามชั้นหรือมากกว่านั้นเพื่อให้สามารถควบคุมผลต่างความดันตามแนวดิ่งได้อย่างสม่ำเสมอยิ่งขึ้นกว่าการจ่ายอากาศเพียงจุดเดียว ซึ่งจะมีผลให้การไหลของอากาศในแนวดิ่งมีปริมาณน้อยทำให้ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน (friction loss) เกิดขึ้นน้อยตามไปด้วย ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงไม่นำผลของการสูญเสียความดันเนื่องจากการไหลในแนวดิ่งมาพิจารณา
4. ผลของลม (wind effect) กระทำต่ออาคารในแนวดิ่งสม่ำเสมอ

จากสมมติฐานดังกล่าวจะพบว่าผลต่างความดันภายในช่องบันไดหนีไฟมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความสูงของช่องบันไดหนีไฟ หรือเป็นผลต่างความดันแบบ hydrostatic

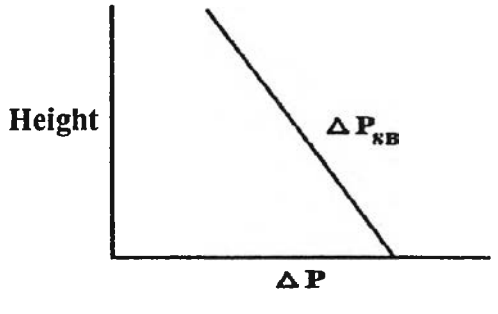
ในการวิเคราะห์หาอัตราการไหลของอากาศ จะใช้สมมติฐานต่อไปนี้

1. การไหลเป็นแบบสม่ำเสมอ (Steady flow)
2. ของไหลอัดตัวไม่ได้ (Incompressible flow) เพราะความดันมีค่าน้อย
3. การไหลไม่มีแรงเสียดทาน (Frictionless flow)
4. ของไหลไหลตามเส้นสตรีมไลน์ (Flow along streamline)
5. ของไหลไหลสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด (Uniform flow at each section)

การวิเคราะห์จะเริ่มต้นโดยทำการคำนวณหาผลต่างความดันสูงสุดที่จะเกิดขึ้นในช่องบันไดหนีไฟ โดยผลต่างความดันสูงสุดนี้จะขึ้นอยู่กับแรงสูงสุดที่ใช้ในการเปิดประตูหนีไฟและขนาดของประตูหนีไฟเป็นหลัก ซึ่งแรงสูงสุดและขนาดประตูนี้สามารถกำหนดได้เองขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบว่าจะยึดตามข้อกำหนดของประเทศใด ค่าผลต่างความดันสูงสุดที่คำนวณได้นี้อาจจะเกิดขึ้นที่ชั้นบนสุดของอาคารหรืออาจจะเกิดขึ้นที่ชั้นล่างสุดของอาคารก็ได้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศภายในช่องบันไดหนีไฟและอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคาร สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

1.กรณีที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารมากกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในช่องบันได

$T_o > T_s$



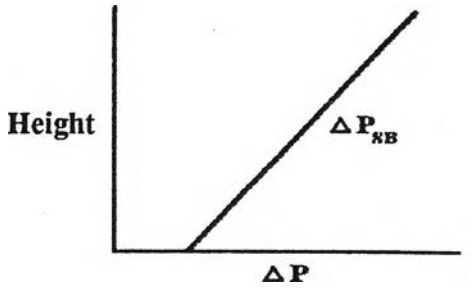
รูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความดันของประตูหนีไฟกับความสูงของช่องบันได

ในกรณีนี้ค่าผลต่างความดันสูงสุดที่คำนวณได้จะเป็นค่าผลต่างความดันชั้นล่างสุดของช่องบันไดหนีไฟ

I20388417

2.กรณีที่อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารน้อยกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในช่องบันได

$T_O < T_S$



รูป 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความดันของประตูหนีไฟกับความสูงของช่องบันได

ในกรณีนี้ค่าผลต่างความดันสูงสุดที่คำนวณได้จะเป็นค่าผลต่างความดันชั้นบนสุดของช่องบันได หนีไฟ

เมื่อคำนวณหาค่าผลต่างความดันสูงสุดได้แล้ว จะทำการวิเคราะห์หาผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟและปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าไปยังช่องบันไดหนีไฟเพื่อให้ได้ผลต่างความดันตามที่ออกแบบ โดยการวิเคราะห์จะแยกเป็น 2 กรณี คือ

1.ไม่มีการเปิดประตูหนีไฟ

ในกรณีนี้จะคำนวณหาผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟแต่ละชั้น โดยพิจารณาจากผลต่างความดันสูงสุดที่คำนวณได้ ชั้นที่มีผลต่างความดันมากที่สุดจะมีผลต่างความดันเท่ากับผลต่างความดันสูงสุดที่คำนวณได้ ผลต่างความดันทุกชั้นที่คำนวณได้จะเป็นผลต่างความดันในขณะที่ยังไม่มีการเปิดประตูหนีไฟ

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟแต่ละชั้น คือ

$$\Delta P_{SB} = \Delta P_{SBb} + \frac{b}{1+(\frac{A_{SB}}{A_{BO}})^2} y \qquad \text{.....(4.1)}$$

กรณี $T_O > T_S$ จะกำหนด ΔP_{SBb} เป็นผลต่างความดันชั้นบนสุดของช่องบันได

กรณี $T_O < T_S$ จะกำหนด ΔP_{SBb} เป็นผลต่างความดันชั้นล่างสุดของช่องบันได

เมื่อได้ผลต่างความดันครบทุกชั้นแล้ว จะนำค่าผลต่างความดันมาคำนวณหาปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าไปยังช่องบันไดเพื่อให้ได้ผลต่างความดันตามที่ออกแบบ
ปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าไปยังช่องบันไดหนีไฟคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q_{SB} = \frac{2}{3} N C A_{SB} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \left[\frac{\Delta P_{SBt}^{3/2} - \Delta P_{SBb}^{3/2}}{\Delta P_{SBt} - \Delta P_{SBb}} \right] \quad .....(4.2)$$

2.มีการเปิดประตูหนีไฟ

ขณะที่ประตูหนีไฟเปิด ผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟของชั้นที่ประตูเปิดจะลดลงมาก เนื่องจากพื้นที่ที่อากาศไหลผ่านเพิ่มขึ้นมาก ในการออกแบบ Klote[6] แนะนำว่าควรจะพิจารณาจากผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟต่ำสุดของชั้นประตูปิด โดยผลต่างความดันต่ำสุดนี้จะต้องสามารถป้องกันควันไม่ให้แทรกซึมเข้ามายังช่องบันไดได้ จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า ผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟที่สามารถป้องกันควันรวมถึงไม่ทำให้เกิดความลำบากในการเปิดหรือปิดประตูควรอยู่ในช่วง 12.5 ถึง 100 พาสคัล (0.05 ถึง 0.4 นิ้ว WG.) เนื่องจากผลต่างความดันของชั้นประตูเปิดจะต่ำมาก ในการหาปริมาณอากาศที่เพียงพอจะป้องกันควัน สำหรับชั้นประตูเปิดไม่สามารถหาจากผลต่างความดันระหว่างประตุหนีไฟได้ จะต้องคำนวณหาโดยใช้ผลต่างความดันระหว่างช่องบันไดกับภายนอกอาคารแทน
สำหรับผลต่างความดันในช่องบันไดหนีไฟและปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าไปยังช่องบันไดหนีไฟในกรณีที่มีการเปิดประตูหนีไฟสามารถคำนวณได้โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนประตูปิด

ผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟแต่ละชั้นหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta P_{SB} = \Delta P_{SBb} + \frac{b}{1+\left(\frac{A_{SB}}{A_{BO}}\right)^2} y \quad .....(4.3)$$

เมื่อได้ผลต่างความดันในส่วนของประตูปิดแล้วจะนำมาหาปริมาณอากาศในส่วนของประตูปิดแต่ละชั้นจากสมการต่อไปนี้

$$Q_{SB}(i) = \frac{2}{3} C A_{SB} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \left[\frac{\Delta P_{SBt}^{3/2}(i) - \Delta P_{SBb}^{3/2}(i)}{\Delta P_{SBt}(i) - \Delta P_{SBb}(i)} \right] \quad .....(4.4)$$

เมื่อ $Q_{SB}(i)$ คือ อัตราการไหลของอากาศจากช่องบันไดหนีไฟไปยังภายในอาคารของชั้นที่ (i) ในขณะที่ไม่มีการเปิดประตูหนีไฟ

หน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที , CFM)

$\Delta P_{SBt}(i)$ คือ ผลต่างความดันระหว่างช่องบันไดหนีไฟกับภายในอาคารที่ด้านบนสุดของชั้นที่ (i)

หน่วย พาสคัล (นิ้ว WG.)

$\Delta P_{SBb}(i)$ คือ ผลต่างความดันระหว่างช่องบันไดหนีไฟกับภายในอาคารที่ด้านล่างสุดของชั้นที่ (i)

หน่วย พาสคัล (นิ้ว WG.)

2. ส่วนประตูเปิด

ผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟแต่ละชั้นหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta P_{SBO} = \Delta P_{SBOb} + \frac{b}{1+(\frac{A_{SBO}}{A_{BO}})^2} y \qquad \text{.....(4.5)}$$

เมื่อ ΔP_{SBO} คือ ผลต่างความดันระหว่างช่องบันไดหนีไฟกับภายในอาคารที่ความสูง y เมตร (ฟุต) ขณะที่ประตูหนีไฟเปิด

หน่วย พาสคัล (นิ้ว WG.)

ΔP_{SBOb} คือ ผลต่างความดันระหว่างช่องบันไดหนีไฟกับภายในอาคารที่ด้านล่างสุดของช่องบันไดหนีไฟ ขณะที่ประตูหนีไฟเปิด

หน่วย พาสคัล (นิ้ว WG.)

A_{SBO} คือ พื้นที่ระหว่างช่องบันไดหนีไฟกับอาคารที่อากาศไหลผ่านต่อ 1 ชั้น ขณะที่ประตูหนีไฟเปิด

หน่วย ตารางเมตร (ตารางฟุต)

เมื่อได้ผลต่างความดันในส่วนของประตูเปิดแล้วจะนำมาหาปริมาณอากาศในส่วนของประตูเปิดแต่ละชั้นจากสมการต่อไปนี้

$$Q_{SBO}(i) = \frac{2}{3} C A_{SBOe} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \left[\frac{\Delta P_{SOt}^{3/2}(i) - \Delta P_{SOb}^{3/2}(i)}{\Delta P_{SOt}(i) - \Delta P_{SOb}(i)} \right] \quad .....(4.6)$$

เมื่อ $Q_{SBO}(i)$ คือ อัตราการไหลของอากาศจากช่องบันไดหนีไฟไปยังภายในอาคารของชั้นที่ (i) ซึ่งเป็นชั้นที่มีการเปิดประตูหนีไฟ

หน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที , CFM)

$\Delta P_{SOt}(i)$ คือ ผลต่างความดันระหว่างช่องบันไดหนีไฟกับภายนอกอาคารที่ด้านบนสุดของชั้นที่ (i)

หน่วย พาสคัล (นิ้ว WG.)

$\Delta P_{SOb}(i)$ คือ ผลต่างความดันระหว่างช่องบันไดหนีไฟกับภายนอกอาคารที่ด้านล่างสุดของชั้นที่ (i)

หน่วย พาสคัล (นิ้ว WG.)

ค่า A_{SBOe} หาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$A_{SBOe} = \frac{A_{SBO} A_{BO}}{\sqrt{\left(A_{SBO}^2 + A_{BO}^2\right)}} \quad .....(4.7)$$

ผลต่างความดันที่ใช้ในการหาปริมาณอากาศในกรณีประตูเปิดนี้จะให้ผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟกับภายนอกอาคาร โดยสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta P_{SO} = \Delta P_{SBO} \left(1 + \frac{A_{SBO}^2}{A_{BO}^2}\right) \quad .....(4.8)$$

3. ส่วนประตูเปิดชั้นล่างสุด

ประตูในกรณีนี้หมายถึงประตูที่เปิดจากในอาคารไปยังภายนอกอาคาร เมื่อมีการเปิดประตูจากในอาคารไปยังภายนอกจะมีปริมาณอากาศส่วนหนึ่งไหลออกไปยังภายนอกอาคารผ่านประตูเปิดนี้ ดังนั้นในการออกแบบระบบควบคุมความดันในช่องบันไดจึงจำเป็นต้อง

พิจารณาถึงปริมาณอากาศที่สูญเสียไปในส่วนนี้ด้วย โดยปริมาณอากาศในส่วนนี้จะคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$Q_{SO} = KCA_{SO}\sqrt{\frac{2\Delta P_{SO}}{\rho}} \qquad .....(4.9)$$

โดยที่ ΔP_{SO} ที่นำมาคำนวณในสมการนี้จะเป็นผลต่างความดันที่ความสูงครึ่งหนึ่งของความสูงของชั้นล่างสุด ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

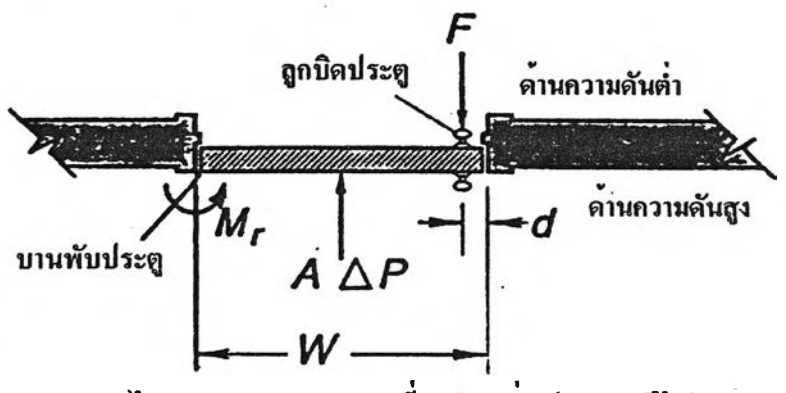
$$\Delta P_{SO} = (\Delta P_{SBb} + \frac{b}{1+(\frac{A_{SB}}{A_{BO}})^2} y)*(1 + \frac{A_{SBO}^2}{A_{BO}^2}) \qquad .....(4.10)$$

โดย y ในกรณีนี้คือ ระยะที่วัดจากด้านล่างสุดของอาคารไปจนถึงครึ่งหนึ่งของความสูง 1 ชั้น ของอาคาร

ปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าไปยังช่องบันไดหนีไฟขณะที่มีการเปิดประตูหนีไฟจะเท่ากับปริมาณอากาศทั้งสามส่วนรวมกัน

เมื่อได้ค่าปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าไปยังช่องบันไดหนีไฟ และผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟครบแล้ว ต่อมาจะคำนวณหาแรงที่ใช้ในการเปิดประตูหนีไฟแต่ละชั้น โดยแรงที่คำนวณหานี้จะเป็นแรงที่ต้องใช้ในกรณีที่ยังไม่มีการเปิดประตูหนีไฟเนื่องจากในการออกแบบเรากำหนดให้ผลต่างความดันมีค่าสูงสุดในขณะที่ยังไม่มีการเปิดประตูหนีไฟ ดังนั้นแรงสูงสุดในการเปิดประตูหนีไฟจะคำนวณหาได้ในกรณีที่ยังไม่มีการเปิดประตูหนีไฟ เมื่อมีการเปิดประตูหนีไฟผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟจะลดลง ดังนั้นแรงที่ต้องใช้ในการเปิดประตูก็จะลดลงไปด้วย จึงไม่จำเป็นต้องคำนวณหาเพราะถ้าหากแรงสูงสุดที่ออกแบบไม่ก่อให้เกิดความลำบากในการเปิดประตูหนีไฟแล้ว ประตูหนีไฟก็จะถูกเปิดได้ในทุกกรณี โปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นจะวิเคราะห์แรงที่ใช้ในการเปิดประตูหนีไฟในลักษณะต่อไปนี้

การวิเคราะห์แรงที่ต้องใช้ในการเปิดประตูหนีไฟ



ไดอะแกรม แสดงแรงที่กระทำต่อประตูหนีไฟ

รูป 4.3 แสดงไดอะแกรมของแรงที่กระทำต่อประตูหนีไฟ

จากไดอะแกรมด้านบน เมื่อคิดสมดุลจะได้ผลรวมของโมเมนต์รอบบานพับดังนี้

$$M_r + K_d A\ \Delta P[\frac{w}{2}] - F(w-d) = 0$$

จัดรูปจะได้

$$F = F_r + \frac{K_d w A \Delta P}{2(w-d)} \qquad \text{.....(4.6)}$$

โดยที่

$$F_r = \frac{M_r}{(w-d)} \qquad \text{.....(4.7)}$$

เมื่อ F คือ แรงทั้งหมดที่ต้องใช้ในการเปิดประตูหนีไฟ

หน่วย นิวตัน (ปอนด์)

F_r คือ แรงที่ต้องใช้ในการเอาชนะแรงสปริงดึงประตูกลับ(door closing force)

หน่วย นิวตัน (ปอนด์)

w คือ ความกว้างของประตู

หน่วย เมตร (ฟุต)

A คือ พื้นที่ของประตู

หน่วย ตารางเมตร (ตารางฟุต)

ΔP คือ ผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟ
หน่วย พาสคัล (นิ้ว WG.)

d คือ ระยะห่างระหว่างลูกบิดไปยังขอบประตูด้านใกล้ในแนวระดับ
หน่วย เมตร (ฟุต)

K_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์ เท่ากับ 1.0 (5.2 ,I-P UNIT) ที่มา : เอกสารอ้างอิง (8)

M_r คือ ค่าโมเมนต์ของบานพับ
หน่วย นิวตัน-เมตร (ปอนด์-ฟุต)

โดยปกติแรง F_r จะมีค่าตั้งแต่ 13 นิวตัน (3 ปอนด์) ขึ้นไป ประตูบางบานอาจมากถึง 90 นิวตัน (20 ปอนด์)

เมื่อคำนวณค่าผลต่างความดันระหว่างประตูหนีไฟ ปริมาณอากาศที่ต้องอัดเข้าไปยังช่องบันได หนีไฟ และขนาดของแรงที่ต้องใช้ในการเปิดประตูหนีไฟได้ครบตามต้องการ ก็จะนำค่าต่างๆ เหล่านี้มาแสดงในรูปแบบกราฟฟิกเพื่อความสะดวกในการศึกษาวิเคราะห์และทำความเข้าใจ