บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการของงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในอาคาร ซึ่งมีรายละเอียดของการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติภายในอาคาร

การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ เกิดจากการถ่ายเทอากาศระหว่างภายในห้องกับนอกห้อง ซึ่งจะช่วยควบคุมสภาพแวดล้อมของตัวอาคารไว้ ด้วยวัตถุประสงค์ 3 ประการคือ

1. เพื่อให้มีปริมาณอากาศบริสุทธิ์เพียงพอแก่ความต้องการของผู้อาศัย เป็นการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศ
2. เพื่อเพิ่มอัตราการระเหยของความร้อนออกจากร่างกาย เป็นการระบายอากาศสำหรับความสบายกาย
3. เพื่อทำให้ภายในอาคารเย็น ลง โดยการถ่ายเทความร้อนในตัวอาคารกับอากาศภายนอกที่เย็นกว่า

2.1.2 หลักการเคลื่อนที่ของอากาศ

วัตถุประสงค์ของการระบายอากาศ นำมาสู่การศึกษาสาเหตุที่ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ (คณิน หุตานุวัตร, 2545) โดยอากาศจะเกิดการเคลื่อนได้นั้นเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

1. ความแตกต่างของอุณหภูมิ อากาศจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังที่ที่มีอุณหภูมิสูง นอกจากนั้น อุณหภูมิของอากาศยังมีความเกี่ยวข้องกับคว ามหนาแน่นของอากาศด้วย อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความหนาแน่นน้อย ทำให้เกิดการลอยตัวสู่ด้านบน และอากาศเย็นเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ
2. ความแตกต่างของความดันอากาศ โดยอากาศจะเคลื่อนที่จากที่ที่มีความดันอากาศสูงไปสู่ที่ที่มีความดันอากาศต่ำ

นอกจากสาเหตุการเคลื่อนที่ของอากาศดังกล่าวแล้ว การเคลื่อนที่ของอากาศยังเกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศ หรือความแตกต่างของอุณหภูมิได้อีกด้วย

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในท่อ

จากการที่ทำให้อากาศเคลื่อนที่ด้วยความแตกต่างของอุณหภูมินั้น มักจะทำโดยการสร้างความร้อนให้กับอาคารในพื้นที่จำกัด เช่น Stack Effect (คณิน หุตานุวัตร , 2545) ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของอากาศภายในท่อ มีดังนี้

1. ความดันเริ่มต้นของอากาศภายในท่อ
2. ความดันของแรงลอยตัว ที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกท่อ (หลักการของ Stack Effect จะกล่าวในรายละเอียดต่อไป)
3. การลดลงของความดันอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานที่เกิดจากการมีสิ่งกีดขวาง เช่น วาล์ว ข้อต่อ ข้องอ หรือการเปลี่ยนขนาดของท่ออย่างกะทันหัน ไม่ว่าจะใหญ่ขึ้น หรือเล็กลง

2.1.4 หลักการของการระบายอากาศทางปล่อง

การระบายอากาศทางปล่อง เป็นการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ โดยอาศัยหลักการความแตกต่างของความหนาแน่นของอากาศ ภายในกับภายนอก ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิที่ต่างกัน เมื่ออากาศได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่มีความหนาแน่นน้อยลง จึงเบา และลอยขึ้นสู่ด้านบน ทำให้อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ความหนาแน่นมากกว่า ไหลเข้ามา แทนที่ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยหลักการการระบายอากาศทางปล่อง ได้แก่

1. ความแตกต่างกันของอุณหภูมิ ถ้ามากก็เกิดการลอยตัวมากกว่า
2. ความสูงของช่องเปิดเข้า และช่องเปิดออก ของอากาศตามแนวตั้ง ถ้าสูงมาก การเคลื่อนที่ของอากาศก็จะมีมากตาม
3. พื้นที่หน้าตัด ของช่องเปิดเข้าและช่องเปิดออก

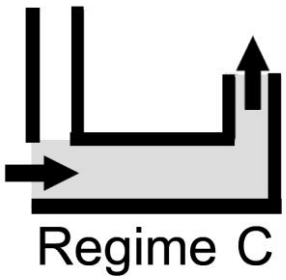
โดยความสัมพันธ์ของอัตราการระบายอากาศกับตัวแปรต่าง ๆ เป็นไปตามสมการ ในหัวข้อ 2.1.5

2.1.5 <u>แบบจำลองทางคณิตศาสตร์</u>

จากปรากฏการณ์ที่เกิดจากความดันที่แตกต่างกันนั้น เป็นผลอันเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ต่างกันระหว่างภายในอาคารและภายนอกอาคาร อุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าภายนอก มักเกิดขึ้นจากผู้ใช้งานอาคาร และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งพื้นที่ที่เชื่อมต่อกันและมีผลต่อทิศทางการระบายอากาศ ได้แก่ พื้นที่สำนักงาน และโถงอาคาร เป็นต้น มีงานวิจัยหลายประเภทที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์นี้ ได้แก่ การมีทางเข้าของอากาศเย็น ในระนาบที่ตั้งฉากกัน จากช่องเปิดล่าง และช่องเปิดบน (Chenvidyakarn & Woods, 2004) การมีทางเข้าของอากาศเย็นในระนาบที่ขนานกัน คือพื้นและผนัง (Livermore & Woods, 2006) และการมีทางเข้าของอากาศจากด้านบน เหนือห้องภายในอาคาร

Chenvidyakarn & Woods (2004) ศึกษาความสัมพันธ์ของช่องเปิดและทิศทางการระบายอากาศของช่องเปิดในโถงอาคาร ที่มีปล่องระบายอากาศ 2 ปล่องด้านบน และช่องเปิดล่าง ทำให้เกิดการระบายอากาศได้ 3 กรณี

ภาพที่ 2.1
ลักษณะหนึ่งที่เกิดขึ้นของการระบายอากาศที่เกิดจากช่องเปิด



ที่มา: Chenvidyakarn & Woods, 2004.

ปัจจัยที่เกิดจากข้อ 2.1.4 นำมาสู่หลักการสร้าง ในการสร้า งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เริ่มจากการที่มีอากาศไหลเข้าสู่อาคารและออกสู่ภายนอกอาคาร ทำให้มี การสูญเสียแรงดันในขณะที่อากาศไหลผ่านช่องเปิด ซึ่งแรงดัน ทั้งหมดที่สูญเสียไปจะเท่ากับแรงดันที่ขับเคลื่อนภายในอาคารทั้งหมด โดยความดันอากาศที่เข้าสู่อาคารด้านล่างจะเกิดจากพลังงานจลน์ที่เคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดในแนวราบ ทำให้เกิดสมการ ดังนี้

$$P_2 = \frac{1}{2}\rho\left(\frac{Q}{A}\right)^2 \qquad \text{(สมการ 2.1)}$$

โดยที่ P_2 = แรงดันอากาศที่ช่องเปิดด้านล่างอาคาร (kg/ms^2)

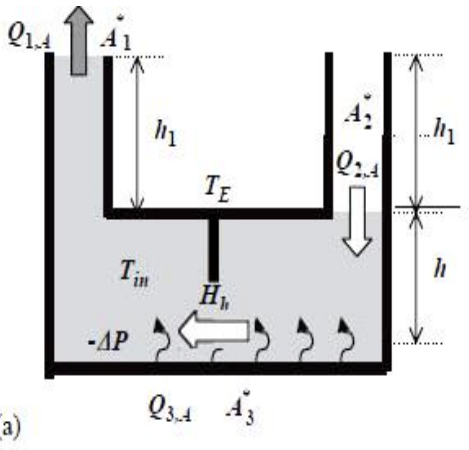
ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3)

Q = อัตราการระบายอากาศ (m^3/s)

A = ผลคูณของพื้นที่หน้าตัดช่องเปิดกับสัมประสิทธิ์ความฝืดของช่องเปิด (m^2)

ภาพที่ 2.2

การจำลองการไหลของอากาศจากภายนอกเข้าสู่อาคาร



ที่มา: Chenvidyakarn & Woods, 2004. (ดัดแปลง)

ความดันที่สูญเสียไปทั้งหมดจะเกิดเป็นพลังง านศักย์ภายในอาคาร ดังสมการ (ดูคำอธิบายตัวแปร ในตารางที่ ข.1)

$$P_{total} = (\rho_{IN} - \rho_E)g(h + h_1) \qquad \text{(สมการ 2.2)}$$

โดยที่ P_{total} = แรงดันอากาศทั้งหมดในอาคาร (kg/ms^2)

ρ_{IN} = ความหนาแน่นของอากาศภายในอาคาร (kg/m^3)

ρ_E = ความหนาแน่นของอากาศภายนอกอาคาร (kg/m^3)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก (9.81m/s^2)

h = ระยะระหว่างช่องเปิดด้านล่างและฐานปล่องระบายอากาศ (m)

h_1 = ความสูงปล่องระบายอากาศ (m)

เมื่อความดันที่สูญเสียไปทั้งหมดมีค่าเท่ากับความดันภายในอาคารจึงทำให้ความดัน ณ ช่องเปิดอากาศเข้า รวมกันกับช่องเปิดอากาศออก มีค่าเท่ากับความดันที่เกิดจากพลังงานศักย์ภายในอาคาร ดังสมการ (จิฐิพร วงศ์วัชรไพบูลย์, 2551)

$$P_1 + P_2 + P_3 = \int_0^z P_{total} dz \qquad \text{(สมการ 2.3)}$$

$$\rho Q^2 \left(\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} \right) = \frac{\Delta\rho}{\rho} g\left(h + h_1\right) \qquad \text{(สมการ 2.4)}$$

$$Q_v = A^* \sqrt{\frac{g\Delta\rho(h + h_1)}{\rho}} \qquad \text{(สมการ 2.5)}$$

$$g' = g\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right) = g \cdot \infty \cdot \Delta T = g\left(\frac{\Delta T}{T}\right) \qquad \text{(สมการ 2.6)}$$

จากสมการ 2.6 เมื่อแทนค่า $g\left(\frac{\Delta T}{T}\right)$ ลงในสมการ 2.5 จะได้ว่า

$$Q_v = A^* \sqrt{\frac{g\Delta T(h + h_1)}{T}} \qquad \text{(สมการ 2.7)}$$

$$A^* = \frac{\sqrt{2} a_1 c_1 a_2 c_2 a_3 c_3}{\sqrt{(a_1 c_1)^2 + (a_2 c_2)^2 + (a_3 c_3)^2}} \qquad \text{(สมการ 2.8)}$$

โดยที่ Q_v = อัตราการระบายอากาศ

A^* = ค่าความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดและสัมประสิทธิ์ช่องเปิด

a_1 = พื้นที่หน้าตัดช่องเปิดบน เหนือห้องที่ 1

a_2 = พื้นที่หน้าตัดช่องเปิดล่างระหว่างห้องที่ 1 และห้องที่ 2

a_3 = พื้นที่หน้าตัดช่องเปิดบน เหนือห้องที่ 2

c_1 = สัมประสิทธิ์ช่องเปิดบน เหนือห้องที่ 1

c_2 = สัมประสิทธิ์ช่องเปิดล่างระหว่างห้องที่ 1 และห้องที่ 2

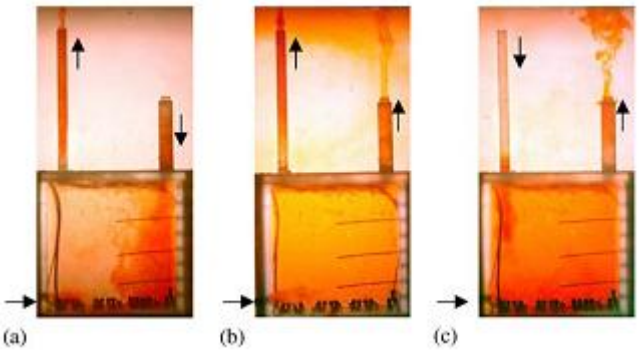
c_3 = สัมประสิทธิ์ช่องเปิดบน เหนือห้องที่ 2

ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการที่ 2.7 และ 2.8 ในการคำนวณหาค่าอัตราการระบายอากาศ และประมาณค่าอัตราการระบายอากาศในอาคารขนาดจริง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chenvidyakarn & Woods (2004) ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการเกิดการระบายอากาศภายในห้องเดี่ยว แหล่งความร้อนอยู่ที่พื้น มีปล่องระบายอากาศ 2 ปล่องที่มีความสูงที่แตกต่างกัน ด้านล่างเป็นทางเข้าอาคาร ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศจะเกิดได้3 กรณี ดังภาพ ที่ 2.3

ภาพที่ 2.3
ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ 3 กรณี



ที่มา: Chenvidyakarn & Woods, 2004.

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศในทิศทางที่ต่างกัน เกิดจากความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดทางเข้า ต่อ พื้นที่หน้าตัดของปล่องสูง ที่เป็นสัดส่วนต่าง ๆ กัน โดยต้องนำมาเทียบเคียงกับความสูงจากจุดอ้างอิงถึงฐานปล่องทั้งสอง และความสูงของปล่องทั้งสอง มีสมการเชื่อมโยงที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดล่างต่อพื้นที่หน้าตัดของ

ปล่องสูง จะอยู่ระหว่าง 0.38 ถึง 1 ส่งผลต่ออุณหภูมิภายในและทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ แต่ทั้งนี้ ไม่ได้ศึกษาที่อัตราส่วนที่มากกว่า 1

Livermore & Woods (2006) ศึกษาการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติภายในห้อง 2 ห้องที่ติดต่อกัน ห้องหนึ่งอยู่ข้างบน ห้องหนึ่งอยู่ข้างล่าง เชื่อมต่อกันด้วยปล่องระบายอากาศหลาย ๆ ปล่อง แหล่งความร้อนอยู่ที่พื้น ห้องบน โด ยมีช่องเปิดที่พื้นห้องของทั้ง 2 ห้อง ศึกษาความสัมพันธ์ของจำนวนปล่องระบายอากาศ อัตราการระบายอากาศและอุณหภูมิภายในห้อง พบว่าจำนวนปล่องสัมพันธ์กับอัตราการระบายอากาศอุณหภูมิภายในห้อ ง โดย จำนวนปล่องที่เหมาะสมคือ 2 และ 3 ปล่อง (พื้นที่หน้าตัดล่าง 3.5 ตร.ซม.) เมื่อจำนวนปล่องมากกว่า 3 ปล่อง ประสิทธิภาพการระบายอากาศจะดีขึ้นไม่มากนัก

การทดลองข้างต้นมีจุดร่วมกันคือ ทำให้เห็นความสัมพันธ์ของพื้นที่ช่องเปิดและความสูงที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอากาศ อัตราการระบายอากาศ และอุณหภูมิภายใน แต่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้กับอาคารที่ด้านข้างถูกประกบด้วยอาคารทั้งสองข้าง ซึ่งเป็นลักษณะอาคารและพื้นที่ห้องที่เกิดขึ้นจริงได้มากกว่า

Tovar, Linden & Thomas (2007) ศึกษาการระบายอากาศแบบผสมผสานระหว่างห้อง 2 ห้อง เชื่อมด้วยช่องเปิด 2 ระดับ และมีช่องเปิดบน เหนือห้องทั้ง 2 ห้อง จำลองอากาศที่อุณหภูมิปกติด้วยน้ำ และอากาศเย็นด้วยน้ำเกลือ มีช่องเปิดกลาง 3 ระดับ เพื่อสังเกตทิศทางการไหลของอากาศเย็น การแบ่งระดับชั้น และการผสมกันของอากาศ ตามลักษณะของช่องเปิด แต่เป็นการจำลองการแทนที่ของอากาศในตอนกลางคืน จึงไม่มีการนำความร้อนมาพิจารณาในการทดลองนี้ ไม่มีการนำความสูงของปล่องอาคารมาใช้ ซึ่งน่าจะมีผลต่อการระบายอากาศ

หากมีการจำลองเป็นเหตุการณ์ที่ใกล้เคียงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในอาคาร จะทำให้เกิดความเข้าใจถึงอิทธิพลของอัตราส่วนจำนวนช่องเปิดและปริมาณความร้อนที่มีต่อการระบายอากาศ นำไปสู่การออกแบบองค์ประกอบขอ งอาคารทั้งขนาดของช่องเปิด และความสูง เพื่อให้เหมาะสม สำหรับ การใช้งานจริงต่อไป เพื่อนำไปสร้างสภาวะน่าสบายให้เกิดแก่ผู้ใช้งานพื้นที่ทั้งสอง ผู้วิจัยจึงได้จำลองอาคารดังกล่าวโดยให้มีห้อง 2 ห้อง เชื่อมกันด้วย ประตู ติดตั้งปล่องระบายอากาศไว้เหนือห้องทั้งสอง ปัจจัย ที่สมมติขึ้นคือ ทั้งสองห้องมีการใช้งานในแต่ละเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณความร้อนและอุณหภูมิ ทำการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศในห้องดังกล่าว