# บทที่ 2

# การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการรั่วซึมอากาศ

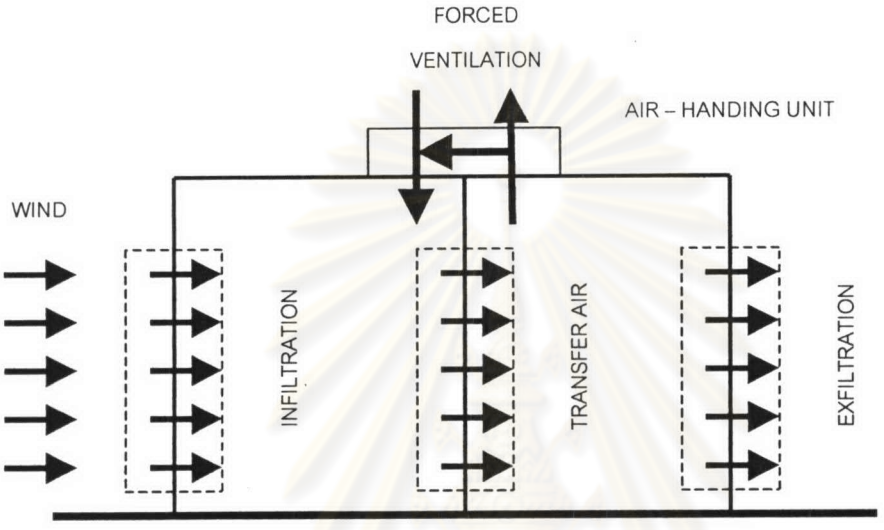
โดยปกติแล้วจุดประสงค์หลักในการนำอากาศภายนอก มาใช้ในอาคารเพื่อระบายอากาศ หรือทำให้อากาศที่สกปรกที่เกิดขึ้นจากการใช้งานอาคารน้อยลงหรือหมดไป สำหรับอาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Hot Humid Climate) อากาศภายนอกยังถูกนำมาใช้ในการสร้างสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ให้กับผู้ใช้อาคาร โดยอาศัยการไหลเวียนอากาศธรรมชาติ (Natural Ventilation) อีกประการหนึ่งด้วย แต่สำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นแล้ว การที่อากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารเป็นจำนวนมาก จะทำให้เครื่องปรับอากาศต้องสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมากในการกำจัดความร้อนและความชื้น ที่เข้าสู่ภายในอาคารพร้อมกับอากาศภายนอก ซึ่งเป็นสาเหตุของการสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมหาศาล ดังนั้นจึงควรทำความเข้าใจในเรื่องการไหลเวียนของอากาศ และการรั่วซึมของอากาศ ตลอดจนปัจจัยที่มีอิทธิพลทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เพื่อนำไปสู่การสร้างแบบประเมินการรั่วซึมของอากาศภายนอกในอาคารปรับอากาศ

## 2.2 การไหลเวียนอากาศ (Ventilation)

คือ อากาศภายนอกที่ผ่านเข้าสู่อาคารโดยความตั้งใจ หรือถูกออกแบบให้เกิดการไหลเวียนของอากาศเข้าสู่อาคารอย่างตั้งใจและได้มีการคิดคำนวณไว้ก่อนแล้ว สามารถที่จะแบ่งแยกย่อยออกได้อีกเป็น 2 ลักษณะ คือ

การไหลเวียนของอากาศธรรมชาติ (Natural Ventilation) คือ การไหลเวียนของอากาศเข้าอาคารที่เกิดจากธรรมชาติ ผ่านทางช่องเปิดต่าง ๆ เช่น ประตู หน้าต่าง และกรอบของอาคารที่ได้ถูกออกแบบไว้แล้ว โดยการเกิดจากธรรมชาติหรือการออกแบบให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศโดยฝีมือมนุษย์

การไหลเวียนอากาศแบบบังคับ (Forced Ventilation) คือ การไหลเวียนของอากาศเข้าอาคารโดยการออกแบบ บังคับจากเครื่องกล มีการใช้พัดลมในการนำอากาศเข้าและออกจากอาคารผ่านทางช่องรับลมเข้าและช่องระบายอากาศ (Air Intake and Air Exhaust) หรือสามารถที่จะเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าการไหลเวียนอากาศโดยเครื่องกล Mechanical Ventilation (Ashrae : 1997)




รูปภาพที่ 2.1 อาคาร 2 ชั้น ที่มีการใช้ forced ventilation infiltration และ exfiltration (ASHRAE 1997 : p25.1)

## 2.3 การรั่วซึมของอากาศ (Infiltration)

คือ การไหลผ่านเข้าสู่อาคารของอากาศภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ ผ่านทางรอยแตกหรือช่องเปิดที่ไม่เป็นที่ต้องการให้อากาศไหลผ่านเข้ามาและการรั่วซึมของอากาศผ่านทางการใช้งานปกติของทางเข้า ประตู หน้าต่าง Infiltration หรืออีกนัยหนึ่ง คือ การรั่วซึมของอากาศ (Air Leakage) เข้าสู่อาคารนั่นเอง นอกจากนี้ยังมีการไหลของอากาศอีกประเภท คือ การรั่วซึมของอากาศภายในออกสู่นอกอาคารหรือ Exfiltration

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่ภายในอาคารสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.3.1 ปัจจัยทางด้านที่ตั้งอาคาร

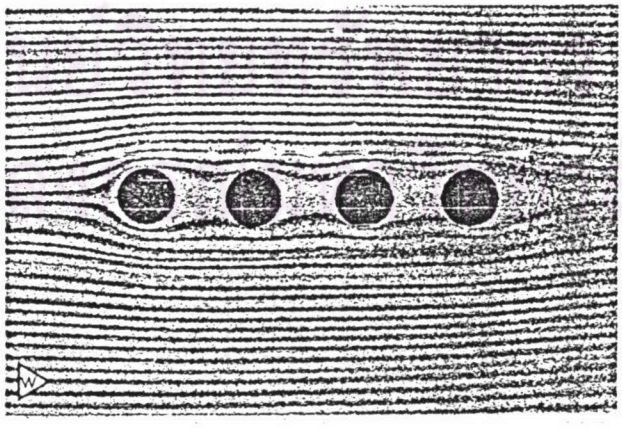
2.3.2 ปัจจัยทางด้านรูปทรงอาคาร ช่องเปิดและผนังอาคาร

2.3.3 ปัจจัยทางด้านผู้ใช้อาคารและระบบเครื่องกลที่ใช้ภายในอาคาร

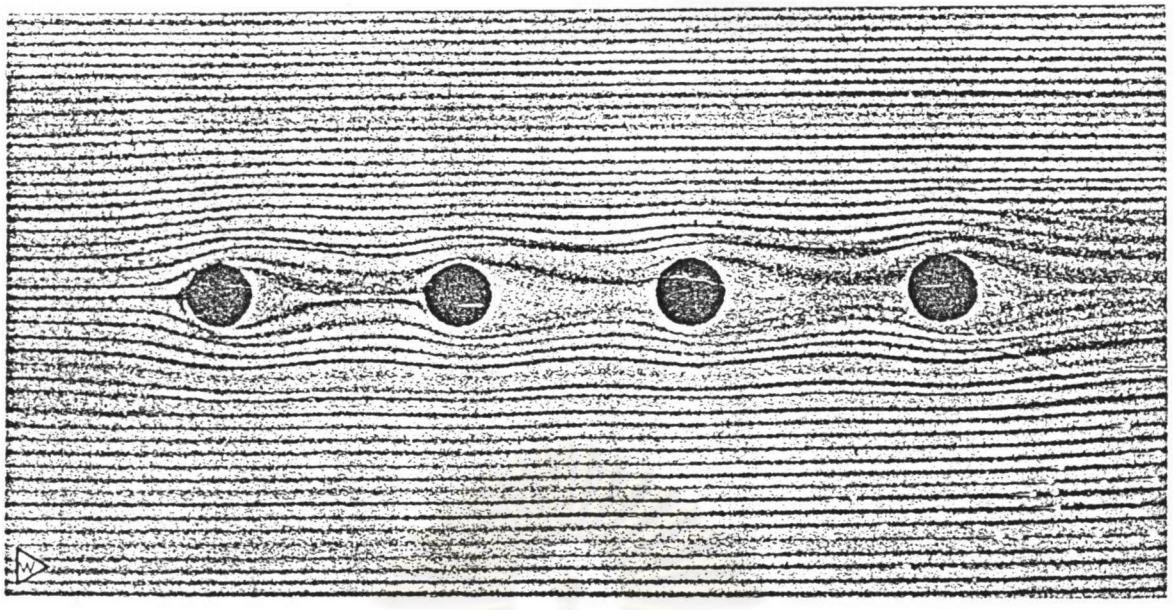
โดยปัจจัยทั้ง 3 นี้ล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศภายในอาคารทั้งสิ้น

### 2.3.1 ปัจจัยด้านที่ตั้งอาคาร

ที่ตั้งอาคารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เนื่องจากสภาพแวดล้อมในปัจจุบันมีอาคารหลากหลายประเภท ซึ่งความสูงของอาคารแตกต่างกัน ถ้าอาคารเหล่านั้นตั้งอยู่ใกล้กันมาก ก็จะส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสลม อาคารที่อยู่ด้านหน้าก็จะได้รับอิทธิพลของลมอย่างเต็มที่ ในขณะที่อาคารด้านหลังก็จะอยู่ในตำแหน่งเงาลม ทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลของลมมากเท่ากับอาคารด้านหน้า ซึ่งจะตรงกันข้ามกับอาคารที่ตั้งอยู่ในที่โล่ง ที่มีระยะห่างจากอาคารแวดล้อมหลายเท่าของความสูงอาคารที่เดียว อาคารเหล่านี้จะได้รับอิทธิพลจากลมอย่างเต็มที่ และถ้ากระแสลมที่พัดมามีความเร็วมากอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศก็จะมีมากตามไปด้วย



รูปที่ 2.2 แสดงอิทธิพลของลมที่มีต่ออาคารที่มีระยะห่างระหว่างอาคารประมาณ 1 เท่าของความยาวของอาคาร (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2543: 122)



รูปที่ 2.3 แสดงอิทธิพลของลมที่มีต่ออาคารที่มีระยะห่างระหว่างอาคารประมาณ 3 เท่าของความยาวของอาคาร (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2543: 122)

### 2.3.2 ปัจจัยด้านรูปทรง ช่องเปิด และผนังอาคาร

**รูปทรงอาคาร**

รูปทรงของอาคารเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณการรั่วซึมของอากาศ อาคารใดๆ ที่มีพื้นที่หน้าตัดด้านที่รับแรงปะทะของกระแสลม เป็นแนวขวางอีกทั้งมีช่องเปิดเป็นจำนวนมาก ย่อมส่งผลให้การรั่วซึมของอากาศมากตามไปด้วย เช่น อาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่หันด้านยาวของอาคารรับแนวกระแสลม จะมีการรั่วซึมมากกว่าอาคารรูปทรงกระบอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.4 แสดงทิศทางกระแสลมที่มากระทบกับอาคารที่มีรูปทรงต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณการรั่วซึมของอากาศที่ต่างกันด้วย

เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวภายนอกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจตุรัส และรูปทรงกระบอก ซึ่งแต่ละอาคารมีพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน จะพบว่าอาคารแต่ละอาคารมีสัดส่วนดังนี้

อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีสัดส่วนเท่ากับ 4.06
อาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัส มีสัดส่วนเท่ากับ 3.79
อาคารรูปทรงกระบอก มีสัดส่วนเท่ากับ 3.56

ดังนั้นในการออกแบบอาคารจึงควรคำนึงถึงรูปทรงของอาคารด้วย อาคารที่ได้รับการออกแบบให้มีสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวภายนอกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารน้อยที่สุด การรั่วซึมก็จะน้อยไปด้วย เมื่อเทียบกับอาคารที่มีขนาดพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน

**ช่องเปิด**

การเลือกใช้ช่องเปิดในอาคาร นอกจากจะพิจารณาตามความเหมาะสมของการใช้งานแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการรั่วซึมของอากาศด้วย จากการศึกษาของศศิน วิบูลบัณฑิตยกิจ (พ.ศ. 2543) พบว่าหน้าต่างบานเกล็ดมีการรั่วซึมมากที่สุด ลำดับต่อมาคือ หน้าต่างบานเปิด หน้าต่างบานเลื่อน และช่องแสงติดตาย ตามลำดับ ดังนั้นถ้าเลือกใช้ช่องเปิดได้อย่างเหมาะสม ก็จะช่วยลดปริมาณการรั่วซึมของอากาศอีกด้วย

| Type of Window or Door | Remarks | Wind Velocity, mph | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 10 | 30 |
| Double-hung wood sash | Average window in wood frame, nonweatherstripped | 0.12 | 0.65 | 1.73 |
| | Same, weatherstripped | 0.07 | 0.40 | 1.05 |
| | Poorly fitted window in wood frame, nonweatherstripped | 0.45 | 1.85 | 4.20 |
| | Same, weatherstripped | 0.10 | 1.57 | 1.53 |
| Steel sash, rolled section | Architectural, projected | 0.25 | 1.03 | 2.30 |
| | Industrial, pivoted | 0.87 | 2.90 | 6.20 |
| | Residential casement | 0.23 | 0.87 | 2.10 |
| | Heavy casement section, projected | 0.13 | 0.63 | 1.53 |
| | Hollow metal, vertically pivoted | 0.50 | 2.40 | 4.00 |
| Ordinary wood or metal door | Well fitted, nonweatherstripped | 0.90 | 1.80 | 4.20 |
| | Same, weatherstripped | 0.45 | 0.90 | 2.10 |
| | Poorly fitted, nonweatherstripped | 0.90 | 3.70 | 8.40 |
| | Same, weatherstripped | 0.45 | 1.85 | 4.20 |
| Glass door | Good installation | 3.20 | 9.60 | 19.0 |
| Factory door | 1/8-in. crack | 3.20 | 9.60 | 19.0 |
| Metal-sash windows | Aluminum, double-hung or sliding, weatherstripped | 0.10 | 0.53 | 1.27 |

ตาราง 2.1 แสดงการรั่วซึมอากาศผ่านประตู-หน้าต่างประเภทต่างๆ (อัครเดช สินธุภัค, 2543: 189)

จากตารางข้างต้นนี้ จะพบว่าประตู-หน้าต่างแบบเดียวกัน ประตู-หน้าต่างแบบที่มี Weathers tripped จะมีปริมาณการรั่วซึมอากาศที่น้อยกว่า แบบที่ไม่มี Weathers tripped ดังนั้น การเลือกใช้ประตู-หน้าต่างที่มี Weathers tripped จะช่วยลดการรั่วซึมของอากาศได้อย่างมาก

ตำแหน่งช่องเปิดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศ ถ้าประตู-หน้าต่างอยู่ในแนวตั้งฉากกับกระแสลม ก็จะได้รับอิทธิพลจากกระแสลมมาก ทำให้การรั่วซึมอากาศมากตามไปด้วย แต่ถ้าประตู-หน้าต่างอยู่ในแนวที่ไม่ตั้งฉากกับกระแสลม ก็จะได้รับอิทธิพลจากกระแสลมน้อยตามไปด้วย ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ประตู-หน้าต่าง ที่ทำกับทิศทางของกระแสลม

**ผนังอาคาร**

สำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศแล้ว การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างทำผนังอาคารมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการป้องกันการรั่วซึมอากาศผ่านผนัง เนื่องจากพื้นที่ส่วนที่เป็นผนังอาคารมีมากกว่าส่วนที่เป็นช่องเปิด ถ้าผนังภายนอกอาคารเป็นผนังไม้ตีซ้อนเกล็ด โดยไม่มีวัสดุปิดด้านใน ก็จะทำให้การรั่วซึมอากาศมีปริมาณที่มาก เมื่อเทียบกับผนังก่ออิฐ

จากการศึกษาของ Dickerhoff et al. และ Harrje and Born พบว่าการรั่วซึมอากาศในอาคารส่วนใหญ่ คิดเป็นเปอร์เซนต์ในแต่ละส่วนของอาคารได้ดังนี้

1. รอยต่อของวัสดุที่ใช้เป็นผนัง เช่นยิปซั่มบอร์ด มีการรั่วซึมอากาศประมาณ 35 %
2. ประตู-หน้าต่าง มีการรั่วซึมอากาศประมาณ 15 %
3. รูพรุนหรือช่องในเนื้อผนังที่เป็นโครงสร้าง มีการรั่วซึมอากาศน้อยกว่า 1 %

ดังนั้นการเลือกใช้ผนังไม้ตีซ้อนเกล็ดหรือวัสดุอื่นๆ ที่มีรอยต่อวัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อนำมาใช้ในอาคารปรับอากาศ ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศเป็นจำนวนมาก ย่อมทำให้เกิดการรั่วซึมอากาศได้มาก แต่ถ้ามีวัสดุปิดด้านใน ก็จะช่วยลดการรั่วซึมได้ในระดับหนึ่ง และจากการศึกษาของ St. Louis, MO utility company, Union Electric พบว่า การติดวัสดุกันการรั่วซึมบริเวณด้านในของผนังที่มีรอยต่อ จะช่วยลดปริมาณการรั่วซึมได้ 50 % ของผนังที่ไม่ได้ใช้วัสดุกันการรั่วซึม

จากการศึกษาของสุวิชา เบญจพร (พ.ศ. 2543) พบว่าวัสดุที่เป็นเซลล์เปิด ซึ่งมีความพรุนในเนื้อวัสดุเป็นจำนวนมาก ย่อมทำให้อากาศสามารถรั่วซึม และพาความชื้นแทรกซึมในเนื้อวัสดุ จนถึงผิวผนังภายในได้ ซึ่งตรงกันข้ามกับผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ที่ใช้วัสดุที่เป็นเซลล์กึ่งปิด หรือเซลล์ปิด เช่นโฟม เป็นฉนวนป้องกันการถ่ายเทความร้อน และความชื้นเข้าสู่ภายในอาคาร อีกทั้งยังช่วยในการป้องกันการรั่วซึมของอากาศอีกด้วย

### 2.3.3 ปัจจัยทางด้านผู้ใช้อาคารและระบบเครื่องกลที่ใช้ภายในอาคาร

#### ผู้ใช้อาคาร

ในอาคารปรับอากาศ ที่มีผู้ใช้สอยอาคารเป็นจำนวนมาก การเปิด-ปิดประตูทางเข้าอาคาร แต่ละครั้งจะเกิดการรั่วซึมอากาศเป็นจำนวนมาก ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศเป็นปริมาณมหาศาล เช่น"ถ้าเปิดประตูบาน ขนาด 1เมตร x2 เมตร ในด้านใต้ลมช่วงบ่ายของเดือนเมษายน โดยมีความเร็วลมภายนอกประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถ้าลมเคลื่อนเข้าสู่ตัวอาคารเป็นเวลา 1 นาที จะต้องเพิ่มภาระในการลดอุณหภูมิให้กับอาคารประมาณ 12.6 เมกะจูล(12,000 บีทียู) นั่นก็หมายความว่า ถ้าเปิดประตูค้างไว้เพียง 1 นาทีจะต้องใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตันเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงในการลดความชื้นและอุณหภูมิให้กับกระแสลม ที่ผ่านเข้ามาในอาคารโดยผ่านประตูบานดังกล่าว" (สุนทร บุญญาธิการ: 2542 หน้า56)

**ตาราง 8-17 การแทรกซึมเนื่องจากการเปิดประตู**

| Application | CFM per Person entering Room per Door | | |
|---|---|---|---|
| | 72-in. Revolving Door | 36-in. Swinging Door | |
| | | No Vestibule | Vestibule |
| Bank | 6.5 | 8.0 | 6.0 |
| Barber shop | 4.0 | 5.0 | 3.8 |
| Candy and soda | 5.5 | 7.0 | 5.3 |
| Cigar store | 20.0 | 30.0 | 22.5 |
| Department store (small) | 6.5 | 8.0 | 6.0 |
| Dress shop | 2.0 | 2.5 | 1.9 |
| Drug store | 5.5 | 7.0 | 5.3 |
| Hospital room | | 3.5 | 2.6 |
| Lunch room | 4.0 | 5.0 | 3.8 |
| Men's shop | 2.7 | 3.7 | 2.8 |
| Restaurant | 2.0 | 2.5 | 1.9 |
| Shoe store | 2.7 | 3.5 | 2.6 |

ตาราง 2.2 การรั่วซึมอากาศอันเนื่องจากการเปิดประตูของผู้ใช้อาคาร(อัครเดช สินธุภัค, 2543: 173)

**ระบบเครื่องกลภายในอาคาร**

ในอาคารที่มีการปรับอากาศ การใช้พัดลมดูดอากาศในการนำอากาศจากภายนอกเข้ามาภายในอาคาร เพื่อระบายอากาศนั้น เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องสูญเสียพลังงานในการลดอุณหภูมิของอากาศที่เข้ามา จากการศึกษา(สุนทร บุญญาธิการ: 2542 หน้า57) หากใช้พัดลมดูดอากาศขนาด 100 ลิตรต่อวินาที ( 212 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ซึ่งเป็นพัดลมขนาดเล็กที่นิยมใช้กันทั่วไปในห้องน้ำ โดยเปิดเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ในเดือนเมษายน ซึ่งมีปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดความชื้น และอุณหภูมิอากาศให้กับอากาศต่อ 1 ลิตรต่อวินาทีของปริมาณอากาศค่อนข้างสูงมาก คือมีค่าเฉลี่ยพลังงานสูงถึงชั่วโมงละ 44.7 วัตต์ ต่อลิตรต่อวินาที (72 บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) จะทำให้ต้องสูญเสียพลังงานให้กับการลดอุณหภูมิ ของเครื่องปรับอากาศขนาด 1.3 ตัน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

**ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมอากาศ**

**2.4 อัตราการไหลเวียนของอากาศ** (Air Exchange Rate)

อัตราการไหลเวียนของอากาศนี้ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างการไหลของอากาศกับปริมาตร โดยมีสัญลักษณ์ คือ I

$$I = Q / V$$

โดยที่ Q คือ ปริมาณของอากาศที่ไหลเข้าสู่อาคาร มีหน่วยเท่ากับ cfm
V คือ ปริมาตรของห้องภายใน มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุต

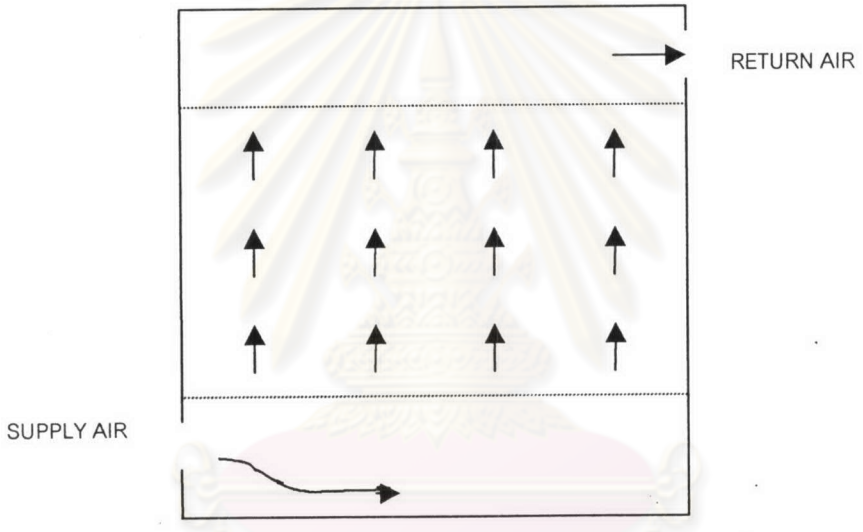
อัตราการไหลเวียนของอากาศ เป็นหน่วยที่ต้องใช้ในการเทียบระหว่าง 1/ เวลา อาทิเช่น เมื่อหน่วยเวลาเท่ากับ 1 ชั่วโมง เพราะฉะนั้น อัตราการไหลเวียนของอากาศ ก็จะเรียกว่า Air Change per Hour (AHC)อัตราการไหลเวียนของอากาศนี้สามารถที่จะจำแนกออกได้เป็นหลาย ๆ แบบในแต่ละสถานะภาพ เช่น อัตราการไหลเวียนของอากาศของอาคารทั้งหลังที่ได้จาก Air Handling Unitนั้นคำนวณได้จากปริมาณการไหลเวียนของอากาศที่เข้าสู่อาคารเปรียบเทียบกับปริมาตรของอาคารหรือพื้นที่ที่ต้องจ่ายให้ จึงทำให้สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า Nominal Air Exchange Rate หรือ In ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$In = Qoa / V$$

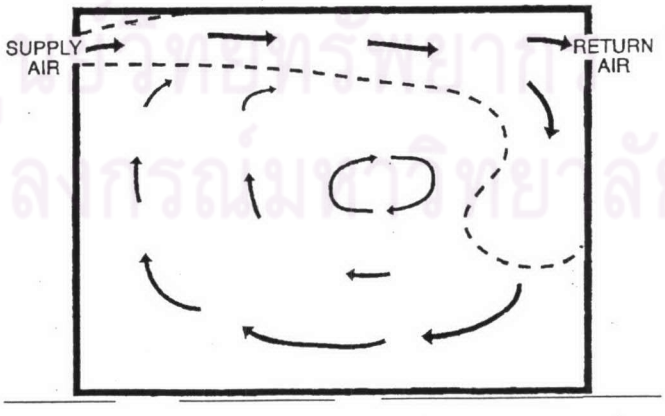
โดยที่ Qoa คือ ปริมาณของอากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคาร ซึ่งรวมระหว่าง Ventilation และ Infiltration แต่ทั้งนี้ไม่ได้รวมถึงอากาศที่ใช้ในการไหลเวียน

การคำนวณปริมาณอากาศที่รวมการไหลเวียนจะใช้สมการต่อไปนี้ คือ Space Air Exchange Rate หรือ Qsa เป็นการเปรียบเทียบระหว่างอัตราลมจ่าย (Supply Air Flow Rate) ต่อปริมาตร และเป็นสมการที่พบได้บ่อยในการคำนวณ ประเมินประสิทธิภาพของ Supply Air Diffuser และ Space Air Mixing

$$Is = Qsa / V$$




รูปภาพที่ 2.5 Displacement flow within a space (ASHRAE 1997 : p25.2)




รูปภาพที่ 2.6 Entrainment flow within a space (ASHRAE 1997 : p25.2)

2.5 ค่า Time Constant

ค่า Time Constant $\tau$ คือ หน่วยของเวลา (โดยปกติจะใช้เป็นชั่วโมง หรือวินาที) ที่ใช้ในการอธิบายเรื่องของการรั่วซึมและการ Ventilation ซึ่งสามารถที่จะอธิบายได้ว่า หนึ่งหน่วยของ Time Constantคือ เวลาที่ต้องใช้ในการเคลื่อนย้ายอากาศปริมาณ 1 Air Change เพื่อแทนที่อากาศที่มีอยู่เดิม ทั้งนี้เป็นส่วนกลับของสมการ เรื่อง อัตราการไหลเวียนของอากาศ

$$\tau = 1/ / = V/Q$$

ค่า Nominal time constant เป็นการเปรียบเทียบระหว่างปริมาตรของอาคารหรือโซนภายในกับปริมาตรอากาศภายนอก (Outdoor air flow rate)

$$\tau_N = V/Qoa$$

เช่นเดียวกันกับ Nominal air exchange rate ค่า Nominal time constant ไม่สามารถที่จะอธิบายการไหลเวียนของอากาศภายในอาคารได้และยังไม่สามารถแสดงลักษณะของการกระจายอากาศจากภายนอกเข้าสู่พื้นที่ที่ไม่ติดต่อกันภายในอาคารหรือโซนได้

ค่า Space time constant เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างปริมาตรของพื้นที่ภายในกับผลรวมของอากาศดีที่จ่ายให้กับพื้นที่นั้น ๆ และเป็นส่วนกลับของค่า Space air exchange rate

$$\tau s = V / Qsa$$

ค่า Space time constant นี้เป็นค่าที่รวมถึงอิทธิพลที่เกิดจากอากาศที่ใช้หมุนเวียนภายในพื้นที่ หากมีการเกิดการรั่วซึมของอากาศในพื้นที่ ก็สมควรที่จะใช้การรั่วซึมของอากาศรวมอยู่ในการประเมินทั้งค่า Space air exchange rate และค่า Space time constant

## 2.6 แนวคิดพื้นฐานการเกิดภาระการทำความเย็น (cooling load)

อากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคาร เป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งที่ส่งผลต่อภาระการปรับอากาศ (การทำความร้อนในภูมิอากาศหนาว การทำความเย็น การไล่ความชื้นและการสร้างความชื้นในภูมิอากาศหนาว) ซึ่งทำให้เป็นเหตุผลหนึ่งที่ต้องมีการควบคุมการรั่วไหลของอากาศเข้าสู่อาคารให้น้อยที่สุด การรั่วซึมของอากาศจะส่งผลต่อภาระการทำความเย็นหรือความร้อนในอาคารบ้านพักอาศัยธรรมดา ประมาณร้อยละ 20-40 ของภาระการทำความเย็นทั้งหมด แต่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจะส่งผลโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 60 ของภาระการทำความเย็นทั้งหมด (สุนทร บุญญาธิการ : 2540)

อากาศที่รั่วซึมเข้าสู่อาคารจะสร้างภาระการทำความเย็นได้ 3 ทาง คือ

1. อากาศที่รั่วซึมเข้ามาจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศภายใน ซึ่งค่าการใช้พลังงานเพื่อใช้กับความร้อนแบบ sensible สามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$qs = 60\ Q\ \rho\ cp\ \Delta t$$

โดยที่ qs = sensible heat load, Btu/h

Q = air flow rate, cfm

$\rho$ = air density, $lb_m/ft^3$ (ประมาณ 0.075)

cp = specific heat of air, Btu/lb. F (ประมาณ 0.24)

$\Delta t$ = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน, F

2. อากาศจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Moisture content ของอากาศภายในอาคาร ซึ่งค่าการใช้พลังงานเพื่อใช้กับความร้อนแบบ Latent สามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$ql = 60\ Q\ \rho\ p\ h_{fg}\ \Delta W$$

โดยที่ ql = latent heat load, Btu/h

$h_{fg}$ = latent heat of vapor at appropiate air temperature, Btu/$lb_m$ (ประมาณ 1000)

$\Delta W$ = humidity ratio of indoor air minus humidity ratio of outdoor air, $lb_m$ water/$lb_m$ dry air

3. ประการสุดท้ายอากาศที่รั่วไหลเข้าสู่อาคารจะไปเพิ่มภาระการทำความเย็นได้โดยการก่อให้เกิดการลดประสิทธิภาพของวัสดุ ที่ใช้เป็นฉนวนให้กับอาคารจากการเพิ่มอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งประสิทธิภาพที่ลดลงไปนี้ของระบบฉนวนอาคารยังยากที่จะอธิบายหรือใช้การคำนวณได้ แต่ก็เป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถก่อให้เกิดการควบแน่นของหยดน้ำในอากาศ บริเวณภายนอกหรือภายในเนื้อฉนวนได้ อันเป็นผลให้เกิดเชื้อราและเชื้อโรคได้ต่อไปในที่สุด

## 2.7 คุณภาพของอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality)

ปัจจุบันคุณภาพอากาศในอาคารยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ว่า ควรที่จะมีระดับในการประเมินอย่างไร แต่เป็นที่ทราบจากการศึกษาแล้วว่าปัจจัยที่ก่อให้เกิดมลภาวะที่ส่งผลต่อการเกิดคุณภาพของอากาศที่ต่ำลงก็เนื่องมาจาก ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่น การสูบบุหรี่ เฟอร์นิเจอร์ สีจากการก่อสร้างและมลพิษที่เกิดจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร รวมไปถึงการระบายอากาศที่พอเพียงต่อผู้ใช้อาคาร ซึ่ง ASHRAE กำหนดให้มีปริมาณ 15 cfm ต่อผู้ใช้อาคาร 1 คน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยในเรื่องของอากรควบคุมสภาพมลภาวะ ซึ่งสามารถที่จะคำนวณได้ในกรณีของการควบคุมแบบ Steady state คือ

$$Ci = Co + s/Qoa$$

โดยที่ Ci = steady state indoor concentration, $\mu g/ft^3$

Co = outdoor concentration, $\mu g/ft^3$

S = total pollutant source strength, $\mu g/min$

Qoa = ventilation rate, cfm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากข้อมูลจะพบว่า การรั่วซึมของอากาศก็มีความจำเป็นต่อการใช้งานในอาคารในระดับหนึ่ง เนื่องจากอาคารพักอาศัยจะไม่มีส่วนที่ใช้ระบายอากาศด้วยเครื่องกล หรือ exhaust air ดังนั้นปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่จ่ายให้กับผู้ใช้อาคาร ปริมาณ 15 cfm ต่อคนนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมาก จากการรั่วซึมของอากาศเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการควบคุมการรั่วซึมของอากาศก็จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงการใช้งานอากาศบริสุทธิ์ของผู้ใช้อาคารอีกทางหนึ่งด้วย

Table 1 Indoor Air Pollutants and Sources

| Sources | Pollutant Types |
|---|---|
| OUTDOOR | |
| Ambient air | $SO_2$, NO, $NO_2$, $O_3$, hydrocarbons, CO, particulates, bioaerosols |
| Motor vehicles | CO, Pb, hydrocarbons, particulates |
| Soil | Radon, organics |
| INDOOR | |
| Building construction materials | |
| Concrete, stone | Radon |
| Particleboard, plywood | Formaldehyde |
| Insulation | Formaldehyde, fiberglass |
| Fire retardant | Asbestos |
| Adhesives | Organics |
| Paint | Mercury, organics |
| Building contents | |
| Heating and cooking combustion appliances | CO, NO, $NO_2$, formaldehyde, particulates, organics |
| Furnishings | Organics |
| Water service: natural gas | Radon |
| Human occupants | |
| Metabolic activity | $H_2O$, $CO_2$, $NH_3$, odors |
| Human activities | |
| Tobacco smoke | CO, $NO_2$, organics, particulates, odors |
| Aerosol spray devices | Vinyl chloride, organics |
| Cleaning and cooking products | Organics, $NH_3$, odors |
| Hobbies and crafts | Organics |
| Damp organic materials, stagnant water<br>Coil drain pans<br>Humidifiers | Bioaerosols |

ตารางที่ 2.3 มลพิษทางอากาศและแหล่งกำเนิด (ASHRAE 1997 : p25.4)

## 2.8 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอากาศ (Air Change Effectiveness)

Ventilation Effectiveness หมายถึง ความสามารถของระบบกระจายอากาศที่ใช้ในการนำอากาศที่เกิดเป็นมลภาวะจากภายในออกสู่ภายนอก ในขณะที่ Air change Effectiveness หมายถึงความสามารถของระบบกระจายอากาศในการนำอากาศที่จะใช้ในการ Ventilation เข้ามาสู่อาคารหรือพื้นที่ต่าง ๆ ของอาคารนั้น ๆ ได้ ในรายละเอียดของ Air change Effectiveness แยกออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ได้ดังนี้

### 2.8.1 อายุของอากาศ (Age of Air)

อายุของอากาศ หรือ $\theta$age (Sandberg : 1981คือ ความยาวของช่วงเวลาที่อากาศภายนอกบางส่วนอยู่ในอาคาร โซนหรือพื้นที่ใด ๆ ของอาคาร อากาศที่มีอายุน้อยที่สุด คือ อากาศบริเวณจุดที่อากาศภายนอกเข้าสู่อาคารไม่ว่าด้วยระบบธรรมชาติหรือใช้ระบบเครื่องกลกระทำหรือด้วยการรั่วซึมเข้ามาของอากาศ (Grieve : 1989) ส่วนอากาศที่มีอายุมากที่สุด คือ อากาศที่อาจจะเป็นบริเวณเดียวกันกับอากาศที่มีอายุน้อยที่สุดในอาคารหรือ บริเวณที่ใช้ระบายอากาศเสียออก (exhaust air) ด้วยความแตกต่างของระบบที่ใช้ในการกระจายอากาศที่มีอายุมาก จะเป็นอากาศที่มีคุณภาพต่ำกว่าอากาศที่มีอายุน้อยกว่าสำหรับในบริเวณเดียวกัน อายุของอากาศจะมีน้อยโดยปกติเป็นนาที หรือวินาที ด้วยเหตุนี้เองทำให้อายุของอากาศไม่ได้เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพหรือตัววัดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นได้ดี แนวคิดเรื่องของอายุของอากาศจึงนิยมใช้ในประเทศแถบยุโรปและเริ่มแพร่กระจายเข้าสู่ประเทศแถบอเมริกาเหนือต่อมา

การวัดเรื่องอายุของอากาศสำหรับอาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ สามารถที่จะใช้วิธีการวัดด้วย Tracer gas Method ได้โดยการใช้ทั้งแบบ decay (step-down) และ growth (step-up) ค่าเฉลี่ยของโซนหรือที่เรียกว่า Nominal age of air ($\theta$age, N) สามารถที่จะประมาณได้โดยการวัดส่วนที่หลงเหลือของ Tracer gas บริเวณ Exhaust air สำหรับ The local age of air ($\theta$age, L) สามารถที่จะประเมินผ่านกรรมวิธีวัดแบบ Tracer gas ในบริเวณจุดใด ๆ ก็ได้ ที่ต้องการทดสอบในพื้นที่ เช่น บริเวณโต๊ะที่ทำงาน เป็นต้น อายุของอากาศสามารถที่จะคำนวณโดยการใช้สมการได้ดังนี้

$$\theta age = \frac{C\,in - C}{C\,in - C\,o}\, d\theta$$

โดยที่ $C_o$ = concentration of tracer gas being injected

เนื่องจากการประมาณอายุของอากาศ จำเป็นที่จะต้องใช้การคำนวณ integration ของเวลาที่ระยะอนันต์ ดังนั้น exponential จึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มเข้าไปท้ายสมการ เพื่อให้ทราบ concentration data (Farrington et al. : 1990)

2.8.2 Air change Effectiveness

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรอากาศที่เปลี่ยนแปลง ($\varepsilon_{/}$) เป็นการคำนวณที่ไม่มีมิติ (Non dimensional) ของอากาศที่ผ่านเข้าสู่อาคาร คำนิยามหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้คือ อัตราส่วนของเวลาต่ออายุของอากาศ หรือ

$$\varepsilon_{/} = \tau / \theta \text{ age}$$

Nominal air change effectiveness หรือ $\varepsilon_{/,N}$ เป็นการแสดงผลกระทบที่เกิดจากอากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคารทั้งอาคาร พื้นที่หรือโซน สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\varepsilon_{/,N} = \tau_N / \theta \text{ age, N}$$

The Local air change effectiveness หรือ $\varepsilon_{/,L}$ เป็นการแสดงผลกระทบที่เกิดจากอากาศภายนอกที่เข้าสู่จุดใดจุดหนึ่งที่เป็นการเฉพาะในพื้นที่ สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\varepsilon_{/,L} = \tau_L / \theta \text{ age, L}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.9 ระบบกลศาสตร์การเคลื่อนที่ (Driving Mechanism)

การไหลเวียนอากาศธรรมชาติ (Natural ventilation) และการรั่วซึมของอากาศ จะถูกขับดันจากปัจจัยต่างๆ ดังนี้ 1.ความดันที่เปลี่ยนแปลงผ่านเปลือกอาคารจากลม 2. ความหนาแน่นของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายใน และภายนอกอาคาร เช่น Buoyancy หรือ การเกิด the stack effect และ 3. การใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องควบคุมการเผาไหม้ ระบบ Leaky forced-air thermal distribution และระบบ ventilation โดยการใช้เครื่องกล

ความแตกต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกในแต่ละที่ตั้ง มักที่จะขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของ Driving Mechanism เช่นเดียวกันกับลักษณะเฉพาะของช่องเปิดต่าง ๆ ในอาคาร ตัวอย่างเช่น ที่ตั้งของช่องเปิดในอาคาร ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความดันอากาศและอัตราการไหลของอากาศในแต่ละช่องเปิด

ความดันของอากาศที่แตกต่างไหลผ่านเปลือกของอาคาร จะตั้งอยู่บนฐานของความต้องการมวลอากาศที่เข้าสู่อาคารจะต้องมีปริมาณที่เท่า ๆ กันกับมวลอากาศที่ออกจากอาคาร ตามปกติความแตกต่างของความหนาแน่นอากาศระหว่างภายใน และภายนอกอาคารสามารถที่จะเพิกเฉยได้ ดังนั้นเรื่องที่ต้องพิจารณาคือ เรื่องของปริมาตรของอากาศที่ไหลเข้าสู่อาคารต้องมีปริมาตรเท่ากับอากาศที่ออกจากอาคาร จากข้อตกลงเบื้องต้นเหล่านี้ พอที่จะกล่าวได้ว่า ความแตกต่างของความดันบริเวณเปลือกอาคารสามารถประมาณได้ แต่อย่างไรก็ตามการประมาณได้นี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ประมาณต้องทราบรายละเอียดในจุดต่าง ๆ อย่างถี่ถ้วน ไม่อย่างนั้นก็จะไม่สามารถที่จะประมาณอย่างถูกต้องได้

เมื่อลมเข้าปะทะเปลือก หรือผิวของอาคารด้านใดด้านหนึ่งก็จะสร้างการกระจายของ static pressureบนผิวด้านนอกของอาคารนั้น ขึ้นกับทิศทางของลมที่มากระทำ ความเร็วลม ความหนาแน่นของอากาศ ทิศทางของผิวที่รับ และสภาพโดยรอบพื้นผิวนั้น ๆ แต่อย่างไรก็ดีการกระจายของความดันนี้ก็อาจจะไม่เกิดขึ้นได้ เนื่องมาจาก 1. ไม่มีแรงอื่น ๆ มากระทำกับอาคาร 2. ไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอยู่ก่อนแล้ว 3. ไม่มีอากาศไหลผ่านอาคาร ความแตกต่างของความดันสามารถที่จะประเมินได้จาก static pressureภายในตามสมการดังนี้

$$\Delta P = P_o + P_w - P_i$$

เมื่อ $\Delta P$ ความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกในที่หนึ่ง หรือในน้ำ

$P_o$ static pressure บริเวณความสูงอ้างอิง ที่ไม่มีการรบกวนการไหล in of water

$P_w$ ความดันลมในที่หนึ่ง in of water

$P_i$ ความดันภายในที่ความสูงของที่ตั้ง in of water

ถ้าไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอยู่ก่อนแล้ว ค่า static pressure ภายใน (P i) จะลดลงเป็นเส้นตรงจากความสูงในอัตราที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายใน อัตราของความดันที่ลดลง มีค่าเท่ากับ $\rho$ i g, เมื่อค่า $\rho$ i มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นอากาศภายในและค่า g มีค่าเท่ากับความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงโลก ค่า static pressure ภายในจะมีค่าเท่ากันกับค่าผลรวมของอากาศที่ไหลเข้าสู่อาคาร มีค่าเท่ากับผลรวมของอากาศที่ไหลออกนอกอาคาร นอกจากนี้ ค่า static pressure ภายในยังสามารถที่จะคำนวณได้จากการนำผลรวมอากาศที่ไหลผ่านช่องเปิดแต่ละช่องในอาคาร ในฐานะของความดันภายใน นำผลรวมที่ได้เหล่านี้มารวมกัน ตั้งให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วนำไปแก้ปัญหาต่อไป อย่างไรก็ตามการที่จะแก้ปัญหาสมการของแรงดันที่เกิดขึ้นภายในด้วยวิธีเหล่านี้ จำเป็นที่จะต้องทราบที่ตั้งของช่องเปิดแต่ละช่องเปิด ค่าของ P w ในแต่ละช่องเปิด และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นในแต่ละช่องเปิดเช่นเดียวกัน

เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกมีอยู่เดิมแล้ว จะเกิดการลดหลั่นของ $\Delta P_s$ ของความแตกต่างของความดันอากาศ การเกิดปรากฏการณ์นี้หรือ Stack gradient เป็นผลมาจากความสูงและความแตกต่างของความดันตามที่เกิดจากสมการ เรื่องลมซึ่งตอนนี้สามารถที่จะเขียนขึ้นเป็นสมการใหม่ได้ ดังนี้

$$\Delta P = P_o + P_w - P_{i,r} + \Delta P_s$$

ค่าตัวแปร P i, r คือ ค่าของ static pressure ภายในที่ความสูงอ้างอิงหนึ่ง และเช่นเดียวกันในการแก้ปัญหาสมการที่เกิดขึ้น จะต้องให้มีค่าอากาศที่ไหลเข้าสู่อาคารเท่ากับค่าที่อากาศไหล

ออกนอกอาคาร ผลรวมทั้งหมดของการไหลของอากาศผ่านทางช่องเปิดสามารถที่จะตั้งให้มีค่าเท่ากับศูนย์ได้เพื่อที่จะใช้ในการแก้สมการหาความดันภายในที่ความสูงอ้างอิงต่อไป

### 2.9.1 **ความดันลม** Wind Pressure

ความดันลมที่เกิดขึ้น มีปัจจัยที่เกิดจาก มุมของลมที่มากระทำ (Wind angel) และรูปร่างของอาคาร (building shape) ความดันของลมหรือความเร็วของลม (Velocity Head) สามารถที่จะนำข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้มาคำนวณได้ (Bernoulli's equation) โดยที่ถือว่าความสูงหรือความดันไม่มีการสูญเสีย จากสมการ

$$P_v = C_p \rho \nu^2 / 2$$

โดยที่ $P_v$ ความดันผิวที่เกี่ยวข้องกับ static pressure บริเวณส่วนที่ไม่ถูกรบกวน

$\rho$ air density, $kg/m^3$ ประมาณ 1.20

$\nu$ ความเร็วลม m/s

$C_p$ surface pressure coefficient, dimensionless

หรือสามารถที่จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\Delta P = P_o + C_p \rho (\nu^2 / 2) - P_i$$

โดยที่ $C_p$ เป็นฟังชั่นของที่ตั้งอาคารและทิศทางลม

ความดันลมจะมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ เนื่องมาจากความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงมาจากความสูงหรืออุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1500 เมตร หรืออุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงจาก –30 ถึง 20 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของอากาศจะลดลงประมาณร้อยละ 20 หากความสูงและอุณหภูมิของอากาศยังคงเพิ่มต่อไปอย่างคงที่แล้ว ความหนาแน่นของอากาศอาจที่จะลดลงถึงร้อยละ 45 ได้

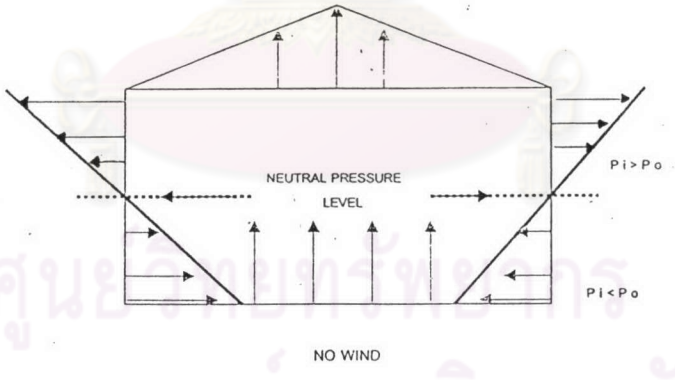
ความเร็วลมจะมีค่าเท่ากับศูนย์ บริเวณที่เป็นผิวดินและจะมีค่าสูงมากขึ้นเมื่อมีความสูงเพิ่มมากขึ้น จากการทดลองของอาคารที่มีความสูงน้อย 8 อาคาร และอาคารที่มีความสูงมาก 1 อาคาร (Swami and Chandra , 1988)สามารถ นำมาสร้างสมการทำนายผลออกมาได้ โดยที่ค่า Correlation coefficientเท่ากับ 0.80 ระหว่างมุมของลม อัตราส่วนของด้านอาคารและค่าเฉลี่ยของความดันบริเวณผิวเปลือกอาคาร มีค่าเท่ากับ

$$C_{p,n} = \ln[1.248 - 0.703\sin(a/2) - 1.175\sin^2(a) + 0.131\sin^3(2aG) + 0.769\cos(a/2) + 0.07G^2\sin^2(a/2) + 0.717\cos^2(a/2)]$$

โดยที่ $C_{p,n}$ ค่าปกติของ $C_p$

a ค่ามุมระหว่างทิศทางของลมกับด้านล่างของผนังที่พิจารณา, degree (angle between wind direction and outward normal of wall under consideration, degrees

G natural log of ratio of width of wall under consideration to width of adjacent wall




รูปภาพที่ 2.6 Pressure Differences Caused by stack Effect foe typical Structure (Heating) (ASHRAE 1997 : p25.8)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด โดย ศศิน วิบูลบัณฑิตยกิจ(พ.ศ. 2543)**

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศ และแสวงหาความสัมพันธ์ของตัวแปร ที่ใช้ในการประเมินการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศจากการรั่วซึมของอากาศ ผลที่ได้จากการวิจัยนำไปใช้ในการประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด

ช่องเปิดที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย หน้าต่างบานเกล็ด หน้าต่างบานเปิด หน้าต่างบานเลื่อน และช่องแสงติดตาย รวมไปถึงผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 10 ซ.ม. เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด แล้วนำมาสร้างสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง เพื่อทำนายผลจากข้อมูลที่รวบรวมได้ จากนั้นจึงนำมาใช้ในการประเมินการรั่วซึมของอากาศตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศโดยคำนึงถึง ความร้อน ความชื้น และเอ็นทัลปีตลอดทั้งปี

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศคือ ประเภทของช่องเปิดและความเร็วลมภายนอกที่มากระทำ โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่องเปิดที่ทำการทดลองแล้ว สามารถสรุปผลได้ดังนี้

| **ประเภทหน้าต่าง** | **พลังงานที่สูญเสีย(บีทียู-ชม.ต่อปีต่อตร.ม.)** |
|---|---|
| หน้าต่างบานเกล็ด | 3390 |
| หน้าต่างบานเปิด | 2138 |
| หน้าต่างบานเลื่อน | 192 |
| ช่องแสงติดตาย | 178 |
| ผนังก่ออิฐ | 1 |

สำหรับทิศที่มีอิทธิพลต่อการรั่วซึมมากที่สุดคือ ทิศใต้ เนื่องจากความเร็วลมภายนอกโดยเฉลี่ยสูงที่สุดและสม่ำเสมอตลอดทั้งปี

## 2.11 สรุปผลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ข้างต้น จะพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศทางด้านที่ตั้งอาคาร และปัจจัยทางด้านผู้ใช้อาคาร มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศอย่างมาก และเป็นการยากที่จะนำปัจจัยทั้งสองนี้ มาพิจารณาในการสร้างเกณฑ์สำหรับประเมินการรั่วซึมของอากาศในอาคารปรับอากาศ เนื่องจากปัจจัยทางด้านที่ตั้งอาคารนั้น มีอิทธิพลต่อความแรงของลม และทิศทางของลม ซึ่งกระแสลมเป็นปัจจัยทางธรรมชาติ และยากที่จะควบคุมได้ และในส่วนของปัจจัยทางทางด้านผู้ใช้อาคาร ก็เป็นปัจจัยที่ยากต่อการควบคุมเช่นกัน เนื่องจากขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้สอยอาคารของคน

ดังนั้นปัจจัยที่นำมาใช้ในการพิจารณา เพื่อสร้างเกณฑ์สำหรับประเมินการรั่วซึมของอากาศในอาคารปรับอากาศจึงจำกัดขอบเขตการศึกษาเฉพาะประตู-หน้าต่าง และผนังอาคาร เท่านั้น และปัจจัยทางด้านรูปทรงอาคารนั้น พิจารณาทางด้านสัดส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย สำหรับทางด้านช่องเปิดนั้น ได้มีการทำวิจัยในส่วนหนึ่งไว้แล้ว โดย ศศิน วิบูลบัณฑิตยกิจ (พ.ศ. 2543) ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

| ประเภทหน้าต่าง | ปริมาณการรั่วซึม |
|---|---|
| หน้าต่างบานเกล็ด | มากที่สุด |
| หน้าต่างบานเปิด | มาก |
| หน้าต่างบานเลื่อน | น้อย |
| ช่องแสงติดตาย | น้อยที่สุด |

ในส่วนของผนังอาคาร ผนังอาคารที่มีการรั่วซึมมากที่สุดได้แก่ผนังที่มีรอยต่อของวัสดุเป็นจำนวนมาก เช่นผนังไม้ตีซ้อนเกล็ด ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับหน้าต่างบานเกล็ดขณะปิด ที่มีปริมาณการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ผนังโครงเคร่าเบาที่มีวัสดุปิดด้านใน และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก เป็นผนังที่มีการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด เนื่องจากใช้วัสดุที่เป็นเซลล์กึ่งปิด และควรหลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่เป็นเซลล์เปิด ที่มีความพรุนในเนื้อวัสดุเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้อากาศสามารถรั่วซึม และพาความชื้นแทรกซึมในเนื้อวัสดุ จนถึงผิวผนังภายในได้