

อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด



นายศศิน วิบูลย์บัณฑิตยกิจ

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-1265-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE INFILTRATION EFFECTS ON ENERGY USAGE THROUGH WALL AND WINDOWS
IN AIR-CONDITIONED BUILDING

Mr.Sasin Vibulbandhitkij

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic year 2000

ISBN 974-13-1265-2

| | |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับ อากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด |
| โดย | นาย ศศิน วิบูลย์นันทิตยกิจ |
| สาขาวิชา | เทคโนโลยีอาคาร |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญธิการ |

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญธิการ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วรสันต์ บูรณากาญจน์)

.....กรรมการ
(นาย พรชัย ศรีประเสริฐ)

.....กรรมการ
(นาย ปราโมทย์ เอี่ยมศิริ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศศิน วิบูลย์บัณฑิตยกิจ: อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด.(THE INFILTRATION EFFECTS ON ENERGY USAGE THROUGH WALL AND WINDOWS IN AIR-CONDITIONED BUILDING) อ. ที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ, 340 หน้า. ISBN 974-13-1265-2.

ในปัจจุบันอาคารที่ใช้การปรับอากาศเพื่อสร้างโซนสบายให้กับสภาพแวดล้อมในอาคารมีความจำเป็นต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากในการจัดความร้อนและความชื้นอันเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศ ในทางปฏิบัติยังไม่มีการวิจัยและคำนึงถึงผลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศในภูมิภาคแบบร้อนชื้น ทั้งที่การรั่วซึมของอากาศนั้นส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารอย่างมาก การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาแสวงหาว่าปัจจัยใดที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมของอากาศ และแสวงหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการประเมินการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศจากการรั่วซึมของอากาศ ผลที่ได้จากการวิจัยนำไปใช้ในการประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด

ช่องเปิดที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย ช่องเปิดบานเกร็ด บานเปิด บานเลื่อนและบานติดตาย รวมไปถึงผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด เมื่อสามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แล้ว จึงอาศัยการสร้างสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรงเพื่อการทำนายผลจากข้อมูลที่รวบรวมได้ จากนั้นจึงนำมาใช้ในการประเมินการรั่วซึมของอากาศตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศโดยคำนึงถึง ความร้อน ความชื้นและเอ็นทัลปีตลอดทั้งปี

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า การรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิดนั้น มีปัจจัยสำคัญ คือ ประเภทของช่องเปิดและความเร็วลมภายนอกที่ทำการทำ โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่องเปิดที่ทำการทดลองแล้วพบว่า ช่องเปิดบานเกร็ดมีอัตราการรั่วซึมของอากาศสูงสุดต่อตารางเมตร คือ มีการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศเฉลี่ย 3390 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร อันดับที่ 2 คือ ช่องเปิดบานเปิดโดยเฉลี่ยสูญเสีย 2138 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร อันดับที่ 3 คือ ช่องเปิดบานเลื่อนโดยเฉลี่ยสูญเสีย 192 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตรและอันดับสุดท้าย คือ ช่องเปิดติดตายโดยเฉลี่ยสูญเสีย 178 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร ในขณะที่ผนังก่ออิฐฉาบปูนมีการรั่วซึมของอากาศ ส่งผลให้เกิดอัตราการทำความเย็นโดยเฉลี่ยประมาณ 1.0 ตันชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี สำหรับอิทธิพลของทิศทางนั้น ทิศใต้จะมีแนวโน้มการสูญเสียพลังงานมากที่สุดโดยเฉลี่ยในทุกช่องเปิดและผนังที่ทดลองทั้งนี้เนื่องจากทิศใต้มีแนวโน้มที่จะมีความเร็วลมภายนอกโดยเฉลี่ยสูงที่สุดและสม่ำเสมอตลอดทั้งปี จากผลการวิจัยนี้ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้รับไปใช้ในการออกแบบ เป็นประโยชน์ในการก่อสร้าง สถาปัตยกรรมยุคใหม่เพื่อการประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบเพื่อการลดการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิดได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

| | | |
|------------|-------------------|---------------------------------|
| ภาควิชา | สถาปัตยกรรมศาสตร์ | ลายมือชื่อนิสิต..... |
| สาขาวิชา | เทคโนโลยีอาคาร | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... |
| ปีการศึกษา | 2543 | |

4274165425 :MAJOR BUILDING TECHNOLOGY

KEYWORD: ENERGY USAGE / ENTHALPY / EXTERNAL WIND SPEED / INFILTRATION / WINDOWS

SASIN VIBULBANDHITKIJ: THE INFILTRATION EFFECTS ON ENERGY USAGE THROUGH WALL AND WINDOWS IN AIR-CONDITIONED BUILDING. THESIS ADVISOR: PROFESSOR SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D., 340pp. ISBN 974-13-1265-2.

Currently, the buildings, which use air-conditioning system to create a thermal condition for an interior environment required a large amount of energy to removed heat and humidity from infiltration. At the present time, there is a minimum effort to study the infiltration effects on energy usage in hot conditioned. This research had as its objectives to investigated the cause factors and fined the relationship between these factors that use for infiltration. The results of research is then, use to evaluated the energy loss from infiltration through wall and windows.

The openings in this research consisted of the louver window, hinged window, sliding window and fixed window as well as normal single layer brick masonry wall for comparison. The research included the finding of relationship between external wind speed and rate of infiltration through wall and windows. The non-linear regression equations for predicted infiltration rate was then created from the actual data. The formulated equation is then used to evaluate energy usage from the recorded weather data from the previous year was use for prediction purpose.

The results concluded that infiltration is influenced by important factors. These included the categories of openings and external wind speed. The louver window had the highest rate of infiltration. The energy loss was approximately 3,390 tons- hour/ year/ sq. m. The second highest was the hinged window with an average energy loss of 2,138 tons- hour /year/ sq. m., The third highest was sliding window with an average energy loss of 192 tons-hour/ year/ sq. m. and the last one was fixed window with an average energy loss of 178 tons- hour/ year/ sq. m. For the brick masonry wall was found that the infiltration resulting from a cooling load or energy loss about 1.0 ton-hour / sq. m. /year. Prediction was formulated for 8 orientation and it was found that, a southern wind caused the highest average energy loss for all window types because it had the highest average external wind speed throughout the year. Thus, energy-conserving architecture should consider infiltration, avoiding louver windows and southern windows in air-conditioned buildings.

In conclusion it was found that the louver type window is a very wasteful system for air-conditioned building. The maximum loss energy for 1 sq.m can be as much as 3,390 tons- hour/ year/ sq. m and the infiltration is still occur on opaque masonry wall. However the leakage is quite low and about 1.0 ton- hour/ year/ sq. m. The results of this study will be very useful for all the designers in order to create a building with minimum less of energy usage from the infiltration through wall and windows.

| | | |
|----------------|---------------------|--------------------------|
| Department | ARCHITECTURE | Student's signature..... |
| Field of study | BUILDING TECHNOLOGY | Advisor's signature..... |
| Academic year | 2000 | |

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จและลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้การช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการวิจัยที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ตลอดช่วงเวลากการวิจัย ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ท่านอาจารย์ปราโมทย์ เอี่ยมศิริ ท่านอาจารย์ พรชัย ศรีประเสริฐ ที่กรุณาสละเวลาเพื่อพิจารณาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดี ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.วรสิทธิ์ บุญณากาญจน์ ด้านคำปรึกษาการวิจัย ขอขอบพระคุณ รศ. เลอสม สถาปิตานนท์ ประธานกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์

ทำยนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนด้านการเงินในการวิจัย ให้กำลังใจและกำลังกายแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณกำลังใจจากเพื่อนร่วม รุ่นที่ลำบาก คอยช่วยให้คำปรึกษา กำลังใจและกำลังกายมาด้วยกัน ประกอบด้วยคุณสรญา ประวิ ตรางกูร คุณรุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ คุณสุวิชา เบญจพร คุณอุทัย ศุภิสกุลวงศ์ คุณดิเรก วงศ์พนิชกฤต คุณจตุวัฒน์ วิโรตมพันธ์ คุณณัฐกานต์ เกษประทุม คุณณัฐิยา ทองมี คุณอโณทัย ธนเจริญกิจ คุณชญาณิน จิตรานูเคราะห์ และคุณสมเกียรติ นครไทย สำหรับเครื่องมือเครื่องมื่อที่จัดสร้างให้ และท่านที่มีได้กล่าวถึง ต้องขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ. ที่นี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฅ |
| สารบัญภาพ..... | ณ |
| สารบัญแผนภูมิ..... | ผ |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงการ..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 แนวเหตุผล ทฤษฎีสำคัญ หรือ สมมติฐาน..... | 3 |
| 1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... | 3 |
| 1.5 ระเบียบวิธีวิจัย..... | 4 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 5 |
| 1.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... | 5 |
| 1.8 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยโดยละเอียด..... | 8 |
| 2 การวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 10 |
| 2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย..... | 10 |
| 2.2 แนวคิดพื้นฐานและนิยามของคำศัพท์ที่ใช้(Basic Concepts and Terminology)..... | 10 |
| 2.2.1 การไหลเวียนอากาศและการรั่วซึมของอากาศ(Ventilation และ Infiltration) | 11 |
| 2.3 การรั่วซึมของอากาศ (Infiltration)..... | 12 |
| 2.4 อัตราการไหลเวียนของอากาศ (Air Exchange Rate) | 13 |
| 2.5 ค่าTime Constant..... | 14 |
| 2.5.1 ค่า Outside Air Fraction..... | 15 |
| 2.6 แนวคิดพื้นฐานการเกิดภาระทำความเย็น(Cooling Load)..... | 16 |
| 2.7 คุณภาพของอากาศภายในอาคาร(Indoor Air Quality)..... | 17 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.8 การวัดการทดลองแบบต่างๆ(Measurements) | 18 |
| 2.9 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอากาศในอาคาร(Air Change Effectiveness).21 | |
| 2.9.1 อายุของอากาศ (Age of Air) | 22 |
| 2.9.2 Air change Effectiveness | 22 |
| 2.10 ระบบกลศาสตร์การเคลื่อนที่ (Driving Mechanism)..... | 23 |
| 2.10.1 ความดันลม Wind Pressure..... | 25 |
| 2.11 มาตรฐานการทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (ASTM E783- 93)..... | 27 |
| 2.12 The American Society for Testing and Materials (ASTM E1886-1887)..... | 39 |
| 2.13 สรุปผลของการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิดที่ส่งผลต่อการประหยัด พลังงานในอาคาร..... | 45 |
| 3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย | 49 |
| 3.1 ระเบียบวิธีวิจัย | 49 |
| 3.2 ขั้นตอนการทดลองโดยสรุป | 53 |
| 3.3 สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง..... | 56 |
| 3.4 ตัวอย่างช่องเปิดที่ใช้ในการทดลอง..... | 58 |
| 3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง | 60 |
| 3.6 สรุปขั้นตอนในการทำการวิจัย เรื่อง อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงาน ในอาคารผ่านทางช่องเปิดขณะปิด..... | 62 |
| 3.7 กรณีศึกษาข้อมูลจากสถานที่จริง โรงแรมดุสิต ริสอร์ท พัทยาเมื่อวันที่ 30 กันยายน ถึง 1 ตุลาคม พ.ศ.2543 | 63 |
| 3.8 แสดงตำแหน่งจุดที่ตรวจสอบ ในโรงแรมดุสิตริสอร์ท พัทยา | 63 |
| 3.9 สรุปผลการสังเกตกรณีศึกษา โรงแรม ดุสิต ริสอร์ท พัทยา | 64 |
| 3.10 สรุปผลการสังเกตกรณีศึกษา โรงแรม ดุสิต ริสอร์ท ชะอำ..... | 71 |
| 3.11 ข้อประเด็นที่น่าสนใจ | 71 |
| 3.12 ประเด็นของการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศ..... | 72 |
| 3.13 วิศวกรรมการวัดความเร็วลม (Velocity Measuring Engineering) | 72 |
| 3.13.1 การเลือกหัววัด(Probe Selection) | 72 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.13.2 หัววัดแบบความร้อน | 74 |
| 3.13.3 หัววัดแบบใบพัด | 74 |
| 3.13.4 ตำแหน่งในการวัด | 75 |
| 3.13.5 การวัดโดยการใช้ Volume Flow Funnel | 76 |
| 3.13.6 การวัดแบบPitot Tubes | 78 |
| 3.14 การปรับแต่งเครื่องวัดความเร็วที่ใช้ในการทดลอง (Calibration Methods) | 79 |
| 3.14.1 ขั้นตอนการปรับแต่งเครื่องมือวัดความเร็วลม | 79 |
| 4 ผลการทดลองและการทำนายการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิด | 85 |
| 4.1 อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด | 85 |
| 4.1.1 สรุปผลการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเกร็ดขณะปิด | 94 |
| 4.1.2 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนมกราคม | 97 |
| 4.1.3 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนกุมภาพันธ์ | 100 |
| 4.1.4 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนมีนาคม | 103 |
| 4.1.5 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนเมษายน | 106 |
| 4.1.6 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนพฤษภาคม | 109 |
| 4.1.7 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนมิถุนายน | 112 |
| 4.1.8 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนกรกฎาคม | 115 |
| 4.1.9 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนสิงหาคม | 118 |

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

| | | |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.10 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เกร็ด เดือนกันยายน | 121 |
| 4.1.11 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เกร็ด เดือนตุลาคม | 124 |
| 4.1.12 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เกร็ด เดือนพฤศจิกายน | 127 |
| 4.1.13 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เกร็ด เดือนธันวาคม | 130 |
| 4.2 | อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดบานเปิด | 131 |
| 4.2.1 | สรุปผลการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเปิดขณะปิด..... | 139 |
| 4.2.2 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เปิด เดือนมกราคม..... | 142 |
| 4.2.3 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เปิด เดือนกุมภาพันธ์..... | 145 |
| 4.2.4 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เปิด เดือนมีนาคม | 148 |
| 4.2.5 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เปิด เดือนเมษายน..... | 151 |
| 4.2.6 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เปิด เดือนพฤษภาคม | 154 |
| 4.2.7 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เปิด เดือนมิถุนายน..... | 157 |
| 4.2.8 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เปิด เดือนกรกฎาคม | 160 |
| 4.2.9 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เปิด เดือนสิงหาคม..... | 163 |
| 4.2.10 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เปิด เดือนกันยายน | 166 |

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

| | | |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.11 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนตุลาคม | 169 |
| 4.2.12 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนพฤศจิกายน..... | 172 |
| 4.2.13 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนธันวาคม..... | 175 |
| 4.3 | อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน..... | 176 |
| 4.3.1 | สรุปผลการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดเลื่อนเปิดขณะปิด | 184 |
| 4.3.2 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนมกราคม..... | 187 |
| 4.3.3 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนกุมภาพันธ์..... | 190 |
| 4.3.4 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนมีนาคม | 193 |
| 4.3.5 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนเมษายน..... | 196 |
| 4.3.6 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนพฤษภาคม | 199 |
| 4.3.7 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนมิถุนายน..... | 202 |
| 4.3.8 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนกรกฎาคม | 205 |
| 4.3.9 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนสิงหาคม..... | 208 |
| 4.3.10 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนกันยายน | 211 |
| 4.3.11 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนตุลาคม | 214 |

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

| | | |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.12 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนพฤศจิกายน..... | 217 |
| 4.3.13 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนธันวาคม..... | 220 |
| 4.4 | อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดแบบติดตาย..... | 221 |
| 4.4.1 | สรุปผลการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดติดตาย | 229 |
| 4.4.2 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนมกราคม..... | 232 |
| 4.4.3 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนกุมภาพันธ์..... | 235 |
| 4.4.4 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนมีนาคม | 238 |
| 4.4.5 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนเมษายน..... | 241 |
| 4.4.6 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนพฤษภาคม..... | 244 |
| 4.4.7 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนมิถุนายน..... | 247 |
| 4.4.8 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนกรกฎาคม | 250 |
| 4.4.9 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนสิงหาคม | 253 |
| 4.4.10 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนกันยายน | 256 |
| 4.4.11 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนตุลาคม | 259 |
| 4.4.12 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนพฤศจิกายน..... | 262 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า | |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4.13 | สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน ติดตาย เดือนธันวาคม..... | 265 |
| 4.5 | การทดลองการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรเพื่อเปรียบ เทียบผลการทดลอง | 266 |
| 4.5.1 | สรุปผลการรั่วซึมของอากาศผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร..... | 270 |
| 5 | บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... | 344 |
| 5.1 | บทสรุปของการทดลอง..... | 296 |
| 5.2 | ผลสรุปการสูญเสียพลังงานหรือปริมาณภาระการทำความเย็นที่เพิ่มขึ้นจากการรั่ว ซึมของอากาศผ่านทางวัสดุทดลองต่างๆรายปีโดยแบ่งตามทิศทาง..... | 297 |
| 5.2.1 | ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ทางด้านทิศ เหนือ..... | 298 |
| 5.2.2 | ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ทางด้านทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ | 299 |
| 5.2.3 | ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้าน | 300 |
| | ทิศตะวันออก..... | 300 |
| 5.2.4 | ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้าน | 301 |
| | ทิศตะวันออกเฉียงใต้..... | 301 |
| 5.2.5 | ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้านทิศใต้ | 302 |
| 5.2.6 | ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้านทิศตะวัน ตกเฉียงใต้..... | 303 |
| 5.2.7 | ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้าน | 304 |
| | ทิศตะวันตก..... | 304 |
| 5.2.8 | ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้าน | 305 |
| | ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ | 305 |
| 5.2.9 | ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเกร็ด พื้นที่ 1 ตารางเมตร ตลอด ทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 306 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 5.2.10 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเปิด พื้นที่ 1 ตารางเมตร ตลอด ทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 307 |
| 5.2.11 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเลื่อน พื้นที่ 1 ตารางเมตร ตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 308 |
| 5.2.12 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานติดตาย พื้นที่ 1 ตารางเมตร ตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 309 |
| 5.2.13 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตรตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 310 |
| 5.3 สรุปปริมาณต้นความเย็นที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศทั้งหมด..... | 311 |
| 5.4 การนำผลการทดลองมาประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม..... | 316 |
| 5.5 ข้อจำกัดในการวิจัย..... | 317 |
| 5.6 แนวทางการวิจัยในอนาคต..... | 318 |
| 5.7 ข้อเสนอแนะจากการทดลอง..... | 319 |
| 5.7.1 การออกแบบสถาปัตยกรรมโดยการเลือกใช้ช่องเปิดที่เหมาะสม..... | 319 |
| 5.7.2 ข้อสังเกตเพื่อการนำไปใช้ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมจากการวิจัย..... | 321 |
| 5.8 การประเมินการสูญเสียพลังงานหรือภาระการทำความเย็นที่เพิ่มขึ้นจากการรั่วซึมของ อากาศอย่างง่าย..... | 325 |
| รายการอ้างอิง..... | 327 |
| ภาคผนวก..... | 328 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 340 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 2.1 มลพิษทางอากาศและแหล่งกำเนิด | 18 |
| ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมกราคม จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 95 |
| ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 98 |
| ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 101 |
| ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 104 |
| ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 107 |
| ตารางที่ 4.6 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 110 |
| ตารางที่ 4.7 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 113 |
| ตารางที่ 4.8 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 116 |
| ตารางที่ 4.9 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 119 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 4.10 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน กรณีขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 122 |
| ตารางที่ 4.11 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน กรณีขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 125 |
| ตารางที่ 4.12 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน กรณีขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 128 |
| ตารางที่ 4.13 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 140 |
| ตารางที่ 4.14 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 143 |
| ตารางที่ 4.15 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 146 |
| ตารางที่ 4.16 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 149 |
| ตารางที่ 4.17 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 152 |
| ตารางที่ 4.18 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 155 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 4.19 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 158 |
| ตารางที่ 4.20 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 161 |
| ตารางที่ 4.21 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 164 |
| ตารางที่ 4.22 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 167 |
| ตารางที่ 4.23 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 170 |
| ตารางที่ 4.24 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 173 |
| ตารางที่ 4.25 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 185 |
| ตารางที่ 4.26 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 188 |
| ตารางที่ 4.27 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบาน เลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 191 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

| | | |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 4.28 | แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 194 |
| ตารางที่ 4.29 | แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 197 |
| ตารางที่ 4.30 | แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 200 |
| ตารางที่ 4.31 | แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 203 |
| ตารางที่ 4.32 | แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 206 |
| ตารางที่ 4.33 | แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 209 |
| ตารางที่ 4.34 | แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 212 |
| ตารางที่ 4.35 | แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 215 |
| ตารางที่ 4.36 | แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 218 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 4.37 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 230 |
| ตารางที่ 4.38 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 233 |
| ตารางที่ 4.39 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 236 |
| ตารางที่ 4.40 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 239 |
| ตารางที่ 4.41 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 242 |
| ตารางที่ 4.42 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 245 |
| ตารางที่ 4.43 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 248 |
| ตารางที่ 4.44 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 251 |
| ตารางที่ 4.45 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 254 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 4.46 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 257 |
| ตารางที่ 4.47 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 260 |
| ตารางที่ 4.48 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตาย ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 263 |
| ตารางที่ 4.49 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก้ออิฐฉาบ ปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิ อากาศพ.ศ.2538..... | 271 |
| ตารางที่ 4.50 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก้ออิฐฉาบ ปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 273 |
| ตารางที่ 4.51 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก้ออิฐฉาบ ปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลพ.ศ.2538 | 275 |
| ตารางที่ 4.52 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก้ออิฐฉาบ ปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนเมษายนจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 277 |
| ตารางที่ 4.53 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก้ออิฐฉาบ ปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 279 |
| ตารางที่ 4.54 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก้ออิฐฉาบ ปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 281 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 4.55 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 283 |
| ตารางที่ 4.56 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 285 |
| ตารางที่ 4.57 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกันยายนจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 287 |
| ตารางที่ 4.58 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 289 |
| ตารางที่ 4.59 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 291 |
| ตารางที่ 4.60 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 293 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปภาพที่ 1.1 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบ Hot- Wire และ Hot Film Anemometer 6

รูปภาพที่ 1.2 เครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล 6

รูปภาพที่ 1.3 แสดงตำแหน่ง 9 จุดที่ใช้ในการเก็บข้อมูลบนพื้นที่ หน้าตัด 1 ตารางฟุต 7

รูปภาพที่ 1.4 แสดงภาพการใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลความเร็วลมจากการรั่วซึมของอากาศ ... 8

รูปภาพที่ 2.1 อาคาร 2 ชั้นที่มีการใช้ Forced ventilation infiltration และ exfiltration 12

รูปภาพที่ 2.2 เครื่องปรับอากาศแบบ all air air handling unit with associated airflows 12

รูปภาพที่ 2.3 Displacement flow within a space 14

รูปภาพที่ 2.4 Entrainment flow within a space 14

รูปภาพที่ 2.5 Pressure Differences Caused by stack Effect for typical Structure (Heating) 26

รูปภาพที่ 2.6 การจัดวางอุปกรณ์และเครื่องมือโดยทั่วไปของการทดลองการรั่วซึมของอากาศ ... 31

รูปภาพที่ 3.1 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบการรั่วซึมของอากาศ 51

รูปภาพที่ 3.2 ลักษณะบ้านที่เข้าทำการทดลอง 57

รูปภาพที่ 3.3 ลักษณะสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปของสถานที่ทดลอง 57

รูปภาพที่ 3.4 ลักษณะของช่องเปิดบานเกร็ดที่ทำการทดลอง 58

รูปภาพที่ 3.5 ลักษณะของช่องเปิดบานเปิดที่ทำการทดลอง 58

รูปภาพที่ 3.6 ลักษณะของช่องเปิดบานเลื่อนที่ทำการทดลอง 59

รูปภาพที่ 3.7 ลักษณะของช่องเปิดแบบติดตายที่ทำการทดลอง 59

รูปภาพที่ 3.8 เครื่องมือวัดความเร็วลม Anemometer ของบริษัท EE รุ่น 6135 จำนวน 2 ชุด 60

รูปภาพที่ 3.9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ผ่านการปรับแต่งแล้ว 60

รูปภาพที่ 3.10 ตัวอย่างการติดตั้งถุงรวบรวมการรั่วซึมของอากาศ 61

รูปภาพที่ 3.11 แสดงลักษณะเครื่องรวบรวมข้อมูลและหน้าจอการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ .. 61

รูปภาพที่ 3.12 ท่อทางตั้งในห้อง Mixed Air Chamber สามารถทะลุถึงกันทุกชั้น ทำให้อากาศที่ร้อนและชื้นกว่าผสมกับอากาศที่กลับเข้ามา กลายเป็นลมจ่ายที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง 64

รูปภาพที่ 3.13 แสดงการวัดความเร็วลมเพื่อคำนวณพลังงานที่สูญเสียไปกับการรั่วซึมของอากาศ 65

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปภาพที่ 3.14 แสดงอุปกรณ์วัดความเร็วลมเพื่อคำนวณพลังงานที่สูญเสียไปกับการรั่วซึมของอากาศ66

รูปภาพที่ 3.15 ลักษณะของโรงแรมเป็นห้องติดต่อกัน การกันเสียงจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก67

รูปภาพที่ 3.16 ลักษณะทั่วไปของโรงแรม67

รูปภาพที่ 3.17 เครื่องBoiler ที่ใช้น้ำมันเตาในการผลิตน้ำร้อน.....69

รูปภาพที่ 3.18 เครื่องBoiler พลังงานน้ำมันเตา.....70

รูปภาพที่ 3.19 การใช้น้ำมาระบายความร้อนให้กับChiller นอกจากจะได้น้ำร้อนจากการระบายแล้วยังช่วยในการประหยัดพลังงานในการระบายความร้อนให้กับChiller อีกทางหนึ่งด้วย70

รูปภาพที่ 3.20การใช้ต้นไม้เพื่อให้ร่มเงากับอาคารและบังทิศทางลมที่เข้าปะทะอาคาร ตลอดจนการปรับสภาพแวดล้อมให้เย็นเพื่อให้ผิวอาคารมีอุณหภูมิต่ำ.....71

รูปภาพที่ 3.21 แสดงช่วงความเร็วลมที่เหมาะสมกับหัววัดชนิดต่างๆ.....73

รูปภาพที่ 3.22 แสดงหัววัดความเร็วลมแบบความร้อนที่สามารถวัดได้ทุกทิศทาง (Hot Ball Anemometer)74

รูปภาพที่ 3.23 แสดงหัววัดแบบใบพัด ใบพัดขนาด16มม.เหมาะสมที่จะใช้วัดความเร็วลมที่มากถึง 60 เมตร/วินาทีไปจนถึงความเร็วลมที่พัดไม่แรง.....75

รูปภาพที่ 3.24 การปรับหมุนหัววัดเพื่อให้สามารถวัดความเร็วลมได้ถูกต้องที่สุด.....75

รูปภาพที่ 3.25 แสดงการรับทิศทางลมเพื่อวัดของหัววัดแบบความร้อน76

รูปภาพที่ 3.26 แสดงการใช้เครื่องวัดลมแบบความร้อนกลมเพื่อวัดความเร็วลมในช่องDuctและระยะที่เหมาะสม.....76

รูปภาพที่ 3.27 แสดงการวัดความเร็วลมของช่องเปิดด้วยfunnel.....77

รูปภาพที่ 3.28 แสดงการวัดความเร็วลมที่ช่องด้วยfunnel ที่หน้างานจริง.....77

รูปภาพที่ 3.29 แสดงการเกิดการดูดเข้าและปล่อยลมออกของช่องเปิดขนาดเล็ก78

รูปภาพที่ 3.30 แสดงการวัดความเร็วลมแบบLaminar Flow.....78

รูปภาพที่ 3.31 แสดงการจัดชุดเครื่องมือเพื่อทำการปรับแต่งเครื่องมือในการวัดความเร็วลม79

รูปภาพที่ 3.32แสดงการจัดชุดเครื่องมือเพื่อทำการปรับแต่งเครื่องมือในการวัดความเร็วลม80

รูปภาพที่ 4.1 แสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกับสถานที่ทดลองการวัดการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดแบบบานเกร็ด87

รูปภาพที่ 4.2 แสดงแบบขยายการติดตั้งชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับช่องเปิดแบบ87

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| รูปภาพที่ 4.3 แสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกับสถานที่ทดลองการวัดการรั่วซึมของ อากาศผ่านทางช่องเปิดแบบบานเปิด..... | 132 |
| รูปภาพที่ 4.4 แสดงแบบขยายการติดตั้งชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับช่องเปิดแบบ.... | 132 |
| รูปภาพที่ 4.5 แสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกับสถานที่ทดลองการวัดการรั่วซึมของ อากาศผ่านทางช่องเปิดแบบบานเลื่อน..... | 177 |
| รูปภาพที่ 4.6 แสดงแบบขยายการติดตั้งชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับช่องเปิดแบบ.... | 177 |
| รูปภาพที่ 4.7 แสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกับสถานที่ทดลองการวัดการรั่วซึมของ อากาศผ่านทางช่องเปิดแบบบานติดตาย..... | 222 |
| รูปภาพที่ 4.8 แสดงแบบขยายการติดตั้งชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับช่องเปิดแบบ.... | 222 |
| รูปภาพที่ 4.9 แสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกับสถานที่ทดลองการวัดการรั่วซึมของ อากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร..... | 267 |
| รูปภาพที่ 4.10 แสดงแบบขยายการติดตั้งชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 0.10 เมตร..... | 267 |
| รูปภาพที่ 5.1 แสดงการเกิดการรั่วซึมของอากาศอันเป็นผลมาจากรูปทรงอาคารที่แตกต่างกัน โดยที่อาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีอัตราการเกิดการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด..... | 322 |
| รูปภาพที่ 5.2 แสดงการเกิดการรั่วซึมของอากาศอันเป็นผลมาจากรูปทรงอาคารที่แตกต่างกัน โดยที่อาคารรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีอัตราการเกิดการรั่วซึมของอากาศปานกลาง..... | 322 |
| รูปภาพที่ 5.3 แสดงการเกิดการรั่วซึมของอากาศอันเป็นผลมาจากรูปทรงอาคารที่แตกต่างกัน โดยที่อาคารรูปทรงกระบอกหรือวงกลมมีอัตราการเกิดการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด.... | 323 |
| รูปภาพที่ 5.4 แสดงภาพแปลนอาคารที่สามารถลดการเกิดความแตกต่างของความดันได้มากที่สุด คือ รูปวงกลม..... | 324 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| แผนภูมิที่ 2.1 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วันของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและลดอุณหภูมิให้กับอากาศ (สุนทร บุญญธิการ,2542:59)..... | 46 |
| แผนภูมิที่ 3.1 แสดงสมการที่ใช้ในการปรับแต่งเครื่องมือชุดที่ 1 จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 2511 ชุด..... | 81 |
| แผนภูมิที่ 3.2 แสดงสมการที่ใช้ในการปรับแต่งเครื่องมือชุดที่ 2 จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 2511 ชุด..... | 82 |
| แผนภูมิที่ 4.1 แสดงขั้นตอนในการคำนวณและประเมินพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดแต่ละประเภท | 86 |
| แผนภูมิที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับความเร็วลมภายในที่เกิดขึ้นของช่องเปิดบานเกร็ด วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544..... | 88 |
| แผนภูมิที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเกร็ด วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544..... | 89 |
| แผนภูมิที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ช่องเปิดบานเกร็ด 1 ตารางเมตร วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544 | 90 |
| แผนภูมิที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร 1 ตารางเมตร วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544..... | 91 |
| แผนภูมิที่ 4.6 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเกร็ด มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544 | 92 |
| แผนภูมิที่ 4.7 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเกร็ด | 93 |
| แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 96 |
| แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 96 |
| แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 99 |
| แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 99 |

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 120 |
| แผนภูมิที่ 4.26 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 123 |
| แผนภูมิที่ 4.27 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 123 |
| แผนภูมิที่ 4.28 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 .. | 126 |
| แผนภูมิที่ 4.29 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 126 |
| แผนภูมิที่ 4.30 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 129 |
| แผนภูมิที่ 4.31 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 129 |
| แผนภูมิที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับความเร็วลมภายในที่เกิดขึ้นของช่องเปิดบานเปิด วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544 | 133 |
| แผนภูมิที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับความเร็วลมภายในที่เกิดขึ้นของช่องเปิดบานเปิด วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544 | 134 |
| แผนภูมิที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ช่องเปิดบานเปิด 1 ตารางเมตร วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544 | 135 |
| แผนภูมิที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ให้สอยของอาคาร 1 ตารางเมตร วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544 | 136 |
| แผนภูมิที่ 4.36 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเปิด มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544 | 137 |
| แผนภูมิที่ 4.37 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเลื่อน มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544 | 138 |

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 159

แผนภูมิที่ 4.52 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 162

แผนภูมิที่ 4.53 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 162

แผนภูมิที่ 4.54 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 165

แผนภูมิที่ 4.55 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 165

แผนภูมิที่ 4.56 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 168

แผนภูมิที่ 4.57 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538..... 168

แผนภูมิที่ 4.58 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 ..171

แผนภูมิที่ 4.59 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538..... 171

แผนภูมิที่ 4.60 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 174

แผนภูมิที่ 4.61 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 174

แผนภูมิที่ 4.62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับความเร็วลมภายในที่เกิดขึ้นของช่องเปิดบานเลื่อนวันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544 178

แผนภูมิที่ 4.63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเลื่อนวันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544 179

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| แผนภูมิที่ 4.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ ช่องเปิดบานเลื่อน 1 ตารางเมตรวันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544..... | 180 |
| แผนภูมิที่ 4.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ใช้ สอยอาคาร 1 ตารางเมตร วันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544..... | 181 |
| แผนภูมิที่ 4.66 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเลื่อน มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที วันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544..... | 182 |
| แผนภูมิที่ 4.67 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเลื่อน มีหน่วย เป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีวันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544..... | 183 |
| แผนภูมิที่ 4.68 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตาราง เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 186 |
| แผนภูมิที่ 4.69 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 186 |
| แผนภูมิที่ 4.70 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตาราง เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 ... | 189 |
| แผนภูมิที่ 4.71 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 189 |
| แผนภูมิที่ 4.72 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตาราง เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 192 |
| แผนภูมิที่ 4.73 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 192 |
| แผนภูมิที่ 4.74 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตาราง เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 195 |
| แผนภูมิที่ 4.75 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 195 |

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| แผนภูมิที่ 4.88 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 216 |
| แผนภูมิที่ 4.89 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538..... | 216 |
| แผนภูมิที่ 4.90 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 219 |
| แผนภูมิที่ 4.91 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538 | 219 |
| แผนภูมิที่ 4.92 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับความเร็วลมภายในที่เกิดขึ้นของช่องเปิดติดตายวันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544..... | 223 |
| แผนภูมิที่ 4.93 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับความเร็วลมภายในที่เกิดขึ้นของช่องเปิดติดตายวันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544..... | 224 |
| แผนภูมิที่ 4.94 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ช่องเปิดติดตาย 1 ตารางเมตรวันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544 | 225 |
| แผนภูมิที่ 4.95 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร 1 ตารางเมตรวันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544 | 226 |
| แผนภูมิที่ 4.96 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดติดตาย มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที วันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544 | 227 |
| แผนภูมิที่ 4.97 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดติดตาย มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที วันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544 | 228 |
| แผนภูมิที่ 4.98 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 231 |
| แผนภูมิที่ 4.99 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 231 |
| แผนภูมิที่ 4.100 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538 | 234 |

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| แผนภูมิที่ 4.115 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538..... | 255 |
| แผนภูมิที่ 4.116 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538..... | 258 |
| แผนภูมิที่ 4.117 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538..... | 258 |
| แผนภูมิที่ 4.118 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538.. | 261 |
| แผนภูมิที่ 4.119 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538.. | 261 |
| แผนภูมิที่ 4.120 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538..... | 264 |
| แผนภูมิที่ 4.121 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538..... | 264 |
| แผนภูมิที่ 4.122 แสดงปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรเมื่อเทียบกับความเร็วลมเฉลี่ยภายนอกตลอด 24 ชั่วโมง วันที่ 23-24 มีนาคมพ.ศ.2544..... | 268 |
| แผนภูมิที่ 4.123 แสดงสมการทำนายการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร โดยอาศัยข้อมูลความเร็วลมภายนอกที่เกิดขึ้นวันที่ 23-24 มีนาคมพ.ศ.2544..... | 269 |
| แผนภูมิที่ 4.124 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลพ.ศ.2538..... | 272 |
| แผนภูมิที่ 4.125 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลพ.ศ.2538..... | 272 |
| แผนภูมิที่ 4.126 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลพ.ศ.2538..... | 274 |
| แผนภูมิที่ 4.127 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลพ.ศ.2538..... | 274 |

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| แผนภูมิที่ 4.139 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 286 |
| แผนภูมิที่ 4.140 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลพ.ศ.2538 | 288 |
| แผนภูมิที่ 4.141 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 288 |
| แผนภูมิที่ 4.142 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลพ.ศ.2538 | 290 |
| แผนภูมิที่ 4.143 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลพ.ศ.2538 | 290 |
| แผนภูมิที่ 4.144 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลพ.ศ.2538..... | 292 |
| แผนภูมิที่ 4.145 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 292 |
| แผนภูมิที่ 4.146 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลพ.ศ.2538..... | 294 |
| แผนภูมิที่ 4.147 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538..... | 294 |
| แผนภูมิที่ 5.1 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรทิศเหนือเป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538 | 298 |
| แผนภูมิที่ 5.2 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538..... | 299 |

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| แผนภูมิที่ 5.3 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆที่มีพื้นที่ | |
| 1 ตารางเมตรทิศตะวันออกเป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538 ... | 300 |
| แผนภูมิที่ 5.4 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆที่มีพื้นที่ | |
| 1 ตารางเมตรทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี | |
| พ.ศ.2538..... | 301 |
| แผนภูมิที่ 5.5 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆที่มีพื้นที่ | |
| 1 ตารางเมตรทิศใต้เป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538 | 302 |
| แผนภูมิที่ 5.6 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆที่มีพื้นที่ | |
| 1 ตารางเมตรทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538 | |
| | 303 |
| แผนภูมิที่ 5.7 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆที่มีพื้นที่ | |
| 1 ตารางเมตรทิศตะวันตกเป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538 | 304 |
| แผนภูมิที่ 5.8 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆที่มีพื้นที่ | |
| 1 ตารางเมตรทิศตะวันตกเฉียงเหนือเป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี | |
| พ.ศ.2538..... | 305 |
| แผนภูมิที่ 5.9 ภาระการทำความเย็นที่เพิ่มจากการรั่วซึมอากาศผ่านช่องเปิดบานเกร็ด พื้นที่ขนาด | |
| 1 ตารางเมตรมีหน่วยเป็นตันต่อปีต่อ1ตารางเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538..... | 306 |
| แผนภูมิที่ 5.10 ภาระการทำความเย็นที่เพิ่มจากการรั่วซึมอากาศผ่านช่องเปิดบานเปิด พื้นที่ขนาด | |
| 1 ตารางเมตรมีหน่วยเป็นตันต่อปีต่อ1ตารางเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538..... | 307 |
| แผนภูมิที่ 5.11 ภาระการทำความเย็นที่เพิ่มจากการรั่วซึมอากาศผ่านช่องเปิดบานเลื่อน พื้นที่ขนาด | |
| 1 ตารางเมตรมีหน่วยเป็นตันต่อปีต่อ1ตารางเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538..... | 308 |
| แผนภูมิที่ 5.12 ภาระการทำความเย็นที่เพิ่มจากการรั่วซึมอากาศผ่านช่องเปิดติดตาย พื้นที่ขนาด 1 | |
| ตารางเมตรมีหน่วยเป็นตันต่อปีต่อ1ตารางเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538..... | 309 |
| แผนภูมิที่ 5.13 ภาระการทำความเย็นที่เพิ่มจากการรั่วซึมอากาศผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 | |
| เมตรขนาด 1 ตารางเมตรมีหน่วยเป็นตันต่อปีต่อ1ตารางเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศปี | |
| พ.ศ.2538..... | 310 |
| แผนภูมิที่ 5.14 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ | |
| ตลอดทั้งปีด้านทิศเหนือ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538 | 311 |

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 5.15 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ
ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538312

แผนภูมิที่ 5.16 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ
ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันออก จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538312

แผนภูมิที่ 5.17 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ
ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538313

แผนภูมิที่ 5.18 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ
ตลอดทั้งปีด้านทิศใต้ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538.....313

แผนภูมิที่ 5.19 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ
ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538314

แผนภูมิที่ 5.20 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ
ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันตก จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538314

แผนภูมิที่ 5.21 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ
ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538315

แผนภูมิที่ 5.22 แสดงพลังงานที่สูญเสียในเดือนเมษายน พ.ศ.2538จากช่องเปิดบานเกร็ดจะพบว่า
ทิศใต้สูญเสียพลังงานมากที่สุดโดยเฉลี่ยต่อชั่วโมง มากกว่าทิศที่สูญเสียรองลงมา คือ
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ถึงร้อยละ 38320

แผนภูมิที่ 5.23 แสดงถึงการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดประเภทต่างๆ
ช่องเปิดบานเกร็ดจะสูญเสียพลังงานมากที่สุด โดยเฉลี่ยรายชั่วโมงจากข้อมูลภูมิอากาศปี
พ.ศ. 2538.....321

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

โครงการ **อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศผ่านทางช่องเปิด**
(The Infiltration Effects on Energy Usage through Wall and Windows in Air-conditioned Building)

ความเป็นมาของโครงการ

ปัจจุบันอาคารส่วนใหญ่มีการปรับอากาศเพื่อความสบายในการใช้งานอาคาร แต่เนื่องจากอาคารที่มีการปรับอากาศ จะมีการใช้พลังงานที่สูงมากเนื่องจากการใช้พลังงานไปกับเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นการออกแบบอาคารในยุคใหม่จึงต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานอีกด้วย ในการประหยัดพลังงานมีตัวแปรที่ต้องคำนึงมาก การรั่วซึมของอากาศก็เป็นตัวแปรหนึ่งที่ต้องมีการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์กับการใช้พลังงานและการป้องกันเพื่อให้การใช้พลังงานในอาคารลดลง

การก่อสร้างอาคารโดยทั่วไปในภูมิภาคเขตร้อนชื้น เช่น ในประเทศไทยมักมีสิ่งที่ไม่ดีผลผลิตและเกิดความไม่เหมาะสมเนื่องมาจากการรับแนวทางการก่อสร้างจากตะวันตกที่ไม่เหมาะสมกับภูมิภาคแบบประเทศไทย แต่ความต้องการในการควบคุมสภาพอากาศในอาคารเป็นสิ่งที่ต้องการ เพื่อให้ผู้ที่ใช้อาคารเกิดภาวะสบาย ทั้งในด้านอากาศและระดับแสงสว่าง

แนวทางการออกแบบช่องเปิดของอาคารในปัจจุบัน ก็เป็นส่วนหนึ่งของการนำเอาวิธีการก่อสร้างจากตะวันตกมาใช้ โดยไม่ได้คำนึงถึงความเหมาะสมเป็นสาเหตุที่ทำให้อาคารมีการใช้พลังงานที่มากเกินไปจนความจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับอากาศของอาคารต่างๆและอาคารพักอาศัย การป้องกันความร้อนซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยในการประหยัดพลังงานในอาคารนั้นในปัจจุบัน มักที่จะคำนึงถึงเฉพาะแต่การเพิ่มค่าความเป็นฉนวนของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างหรือมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะทำให้ค่าOTTVและ RTTV ผ่านตามที่กฎหมายกำหนดไว้ คือ 45 วัตต์ต่อตารางเมตรและ 25 วัตต์ต่อตารางเมตรตามลำดับ แต่การที่ค่าเหล่านี้ต่ำไม่ได้หมายความว่าอาคารนั้นๆจะสามารถประหยัดพลังงานได้เสมอไป เนื่องจากการใช้พลังงานในอาคารมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลเข้ามาเกี่ยวข้องมากกว่าการป้องกันความร้อนเพียงอย่างเดียว

ความชื้นก็นับเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเนื่องจากการใช้พลังงานในการปรับอากาศ นั้นนอกจากการลดความร้อนสิ่งที่เครื่องปรับอากาศทำ คือ การลดความชื้นก่อน ภูมิอากาศในประเทศไทยที่เป็นแบบร้อนชื้นนั้น ความชื้นที่มีอยู่ในอากาศจะมีค่าสูงมาก ดังนั้นการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานที่ถูกต้องจึงต้องทั้งป้องกันความร้อนและความชื้นที่เข้าสู่ตัวอาคารได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากการเลือกวัสดุก่อสร้างที่ถูกต้องแล้ว การป้องกันการรั่วซึมของอากาศที่เข้าสู่อาคารผ่านทางช่องเปิดก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารเพื่อการปรับอากาศได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการวิจัยเพื่อทราบถึงปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมของอากาศและผลวิจัยที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารเพื่อลดหรือป้องกันการรั่วซึมของอากาศก็นับได้ว่าเป็นการวิจัยจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษา ถ้าสามารถลดการรั่วซึมของอากาศส่วนนี้ได้ ก็จะเป็นผลทำให้การใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศในอาคารลดน้อยลงตามไปด้วย

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาจากสถานที่จริง ในอาคารขนาดเล็กที่มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 100-1000 ตารางเมตร โดยการวัดและพิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานมากที่สุด เทคนิคในการวัด การรวบรวมข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง การติดตั้ง และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง เป็นต้น
2. เพื่อทราบตัวแปรที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดขณะปิดว่าปัจจัยใดที่ส่งผลมากที่สุดและสามารถจำแนกช่องเปิดที่จะใช้ในการทดลองได้ ตามลักษณะที่เป็นตัวแปรในการทดลอง ผลการทดลองที่ได้รับใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิดได้
3. สามารถประเมินพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารโดยการพิจารณาจากความแตกต่างของเ็นทัลปี(enthalpy)ก่อนและหลังการรั่วซึมของอากาศ จากการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างภายในและภายนอกห้องที่ทำการทดลอง วิธีการทางสถิติใช้ในการทำนายปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดจากตัวแปรที่ศึกษา
4. เสนอแนวทางการเลือกรูปแบบช่องเปิดที่มีความเหมาะสมในการใช้งานสามารถประยุกต์ใช้ในอาคารจริงที่มีการปรับอากาศเพื่อการประหยัดพลังงาน ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นได้

แนวเหตุผล ทฤษฎีสำคัญ หรือ สมมติฐาน

1. การรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดที่มีลักษณะต่าง ๆ กัน ก่อให้เกิดความต้องการในการปรับอากาศ หรือการสร้างภาวะการทำความเย็นแตกต่างกัน โดยที่ช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเกล็ดจะมีการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด
2. ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดมาก คือ ลักษณะของช่องเปิดนั้นๆเอง และความเร็วลมที่กระทำจากภายนอก โดยที่อุณหภูมิและความดันที่เกิดขึ้นระหว่างภายในและภายนอกอาคารที่ทำการทดลอง มีอิทธิพลต่อการเกิดการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิด
3. ช่องเปิดที่ติดตั้งและป้องกันการรั่วซึมอย่างดี มีความเหมาะสมสำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศ เนื่องจากสามารถลดการรั่วซึมของอากาศซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศ ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. การทดลองในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยในลักษณะการเก็บข้อมูลจริง จากตัวอย่างช่องเปิดต่าง ๆ กันเครื่องมือที่ใช้และเก็บข้อมูลเป็นเครื่องมือชุดเดียวกัน
2. สถานที่ที่ใช้ในการทดลองเป็นสถานที่ที่มีลักษณะคล้ายกันเพื่อให้ผลการทดลองที่ได้มีความถูกต้องสูง โดยทำการทดลองในอาคารขนาดเล็กที่มีพื้นที่ใช้สอย ประมาณ 100-1000 ตารางเมตร มีความสูงไม่เกิน 10 .00 เมตร(2 ชั้น)และตรงตามความต้องการในการทดลอง
3. ทำการทดสอบเฉพาะตัวแปรที่ส่งผลจากการรั่วซึมของอากาศจากการศึกษาเบื้องต้นในเรื่องที่เกี่ยวข้อง
4. การทดสอบสมมติฐานในการวิจัยมีระยะเวลาจำกัด ประมาณ 2-4 เดือน (สำหรับการทดลองที่สมบูรณ์ควรที่จะทดลองในสภาพอากาศที่ครบถ้วนทั้งปี)สำหรับช่วงเวลาที่เหลือของรอบปี ใช้การคำนวณจากข้อมูลภูมิอากาศมาประกอบในการคำนวณให้ครบทั้งปี
5. ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคาร Enthalpyเกี่ยวข้องกับการรั่วซึมของอากาศและการใช้พลังงานในอาคารอย่างไร สามารถแบ่งกลุ่มของช่องเปิดได้ ดังนี้
 - 5.1 บานกรอบบานเกล็ด วงกบไม้การก่อสร้างแบบธรรมดาทั่วไป ขนาดกว้าง 1.56 เมตร สูง 1.20 เมตร คาดว่าเป็นช่องเปิดที่มีการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด ให้คะแนนสำหรับการจำแนก ความสำคัญ เท่ากับ 1 หรือไม่ดีมากที่สุด

5.2 บานเปิดบานกรอบไม้ วงกบไม้ การก่อสร้างแบบธรรมดา ขนาดกว้าง 1.56 เมตร สูง 1.20 เมตร คาดว่าเป็นช่องเปิดที่มีการรั่วซึมของอากาศมากรองลงมา ให้คะแนนสำหรับการจำแนก ความสำคัญ เท่ากับ 2 หรือพอใช้

5.3 บานเลื่อนอลูมิเนียม วงกบอลูมิเนียม การก่อสร้างมาตรฐาน มีการป้องกันการรั่วซึม ขนาดกว้าง 1.56 เมตร สูง 1.20 เมตร คาดว่าเป็นช่องเปิดที่มีการรั่วซึมของอากาศน้อย ให้คะแนนสำหรับการจำแนก ความสำคัญ เท่ากับ 3 หรือดี

5.4 บานติดตายอลูมิเนียม วงกบอลูมิเนียม การก่อสร้างแบบดีมาก มีการป้องกันการรั่วซึมอากาศดีมาก ขนาดกว้าง 1.56 เมตร สูง 1.20 เมตร คาดว่าเป็นช่องเปิดที่มีการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด หรือไม่เกิดการรั่วซึมเลย ให้คะแนนสำหรับการจำแนก ความสำคัญ เท่ากับ 4 หรือดีมากที่สุด

6. พิจารณา ประเมินผลของการใช้พลังงานในอาคารที่มีการรั่วซึมของอากาศว่ามีผลอย่างไร อาศัยการคำนวณจากสมการ

$$q = 4.5 * cfm * \Delta h$$

7. ศึกษาแนวทางแก้ไข ป้องกันการรั่วซึมของอากาศของอาคารและการประยุกต์ใช้ในงานจริง

ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อพิจารณาถึงตัวแปรที่ส่งผลต่อการทดลองมาก ทดสอบความน่าเชื่อถือ ปรับแต่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ทำการวัดโดยพิจารณาในเรื่องตัวแปรที่ได้ศึกษา วิธีการวัดการติดตั้ง วิธีการรวบรวมข้อมูล

2. ศึกษาโดยการวัดจริงที่บริเวณช่องเปิดของอาคารที่กำหนด โดยวิธีการใช้วัดความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงจากช่องเปิด ผ่านพื้นที่ 1 ตารางฟุต(เนื่องจากใช้หน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที cubic feet per minute :cfm) ตามลักษณะช่องเปิดที่ได้จำแนกไว้ และตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลองที่ได้ศึกษามา ข้อมูลที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทดลองกับการเกิดรั่วซึมของอากาศ

3. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาประเมินพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารโดยการพิจารณาจากความแตกต่างของเอ็นทัลปี ก่อนและหลังการรั่วซึมของอากาศ วิธีการทางสถิติใช้ในการทำนายปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดจากตัวแปรที่ได้ศึกษา

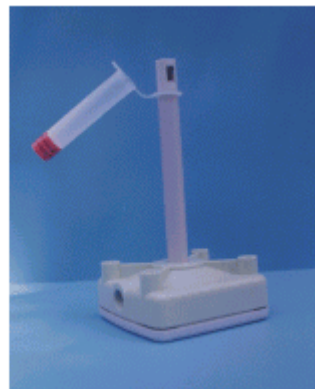
4. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเสนอแนวทางการเลือกรูปแบบช่องเปิดที่มีความเหมาะสมในการใช้งานสามารถประยุกต์ใช้ในอาคารจริงที่มีการปรับอากาศเพื่อการประหยัดพลังงาน ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. จะสามารถระบุตัวแปรที่ส่งผลกระทบที่สุดต่อการรั่วซึมของอากาศ รูปแบบต่างๆของการเกิดการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดอาคารและแนวทางการป้องกันการเกิดการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดอาคาร
2. สามารถที่จะจำแนกชนิดหรือรูปแบบของช่องเปิดที่มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศได้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างการรั่วซึมของอากาศกับตัวแปรที่ได้ศึกษา
3. สามารถประเมินและสร้างสมการทำนายเบื้องต้นของปริมาณการเกิดการรั่วซึมของอากาศจากพื้นที่หรือรูปร่าง ลักษณะของช่องเปิด ความเร็วลมภายนอกหรือจากตัวแปรที่ได้ศึกษา
4. สรุปผลการวิจัยสามารถสร้างแนวทางเบื้องต้นในการออกแบบ (design guideline) หรือแนวทางการเลือกช่องเปิดที่มีความเหมาะสมสำหรับอาคารปรับอากาศในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเพื่อการประหยัดพลังงานได้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความเร็วลมที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ ประกอบไปด้วย
 - 1.1 เครื่อง Multifunction Environmental Instrumental รุ่น SOLOMAT MPM 500e โดยการใช้ หัววัด (probe) เป็นแบบ Hot- Wire Anemometer ซึ่งสามารถที่จะวัดความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0.00 ไปจนถึง 600 fpm สำหรับการวัดความเร็วของลมที่เกิดจากการรั่วซึมผ่านช่องเปิดที่กำหนดเพื่อการทดสอบเบื้องต้น(Pilot Study)
 - 1.2 เครื่องวัดความเร็วลม แบบ Hot Film Anemometer ของบริษัท EE Electronic ประเทศออสเตรเลีย สามารถวัดความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0.00 ไปจนถึง 3936 fpm เพื่อใช้ในการวัดความเร็วลมที่เกิดขึ้นทั้งภายนอกและความเร็วลมจากการรั่วซึมของอากาศ โดยมีการปรับตั้ง (Calibration) เพื่อให้เครื่องมือวัดความเร็วลมทั้งสองชนิดอ่านค่าได้เท่าหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด



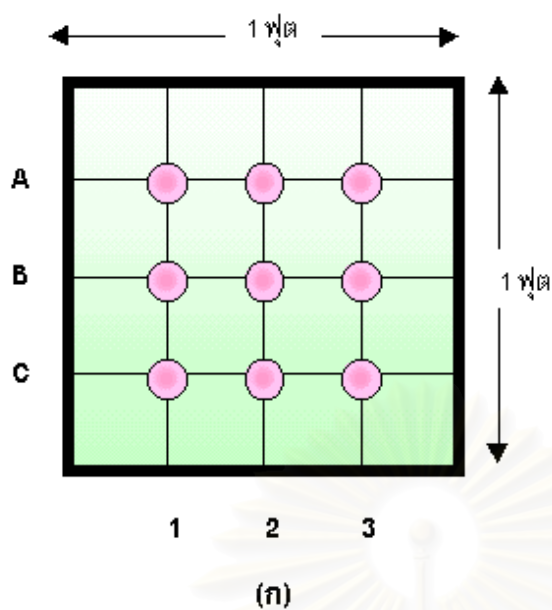
รูปภาพที่ 1.1 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบ Hot-Wire และ Hot Film Anemometer

2. เครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบ ดิจิตอล ของ DIGICON รุ่น TH-03 เพื่อใช้ในการวัด อุณหภูมิและความชื้นในการคำนวณหาค่าที่แตกต่างของ Enthalpy ระหว่างภายนอกและภายใน ห้องปรับอากาศ

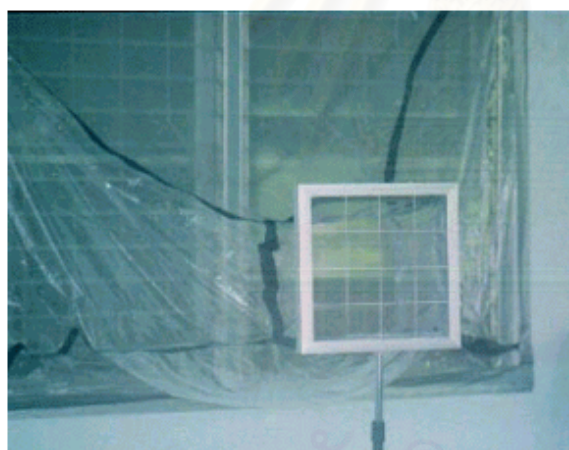


รูปภาพที่ 1.2 เครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล

3. ถุงพลาสติกที่ใช้ในการรวบรวมลมที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ โดยให้ผ่าน พื้นที่หน้าตัดขนาด 1 ตารางฟุต ตัวเลขที่ออกมาจะเป็นค่าเท่ากับ cfm สามารถที่จะนำไปใช้ในการ คำนวณต่อไป ถุงดังกล่าวจะต้องมีการทดสอบว่าถุงไม่มีการรั่วซึมของอากาศก่อนที่จะผ่าน พื้นที่หน้าตัดนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุด บริเวณหน้าตัดได้ทำการแบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็น 9 จุดเท่าๆกันเพื่อใช้ในการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากหลายๆตำแหน่ง แล้วนำมาทำการหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด โดยการใช้มาตรฐานในการตรวจสอบการรั่วซึมของอากาศจาก มาตรฐาน ASTM E 783-93 หัวข้อเรื่อง Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage Through Installed Exterior Windows and Doors ในการวัดปริมาณการรั่วซึมของ อากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิด ดังภาพ



(ข)



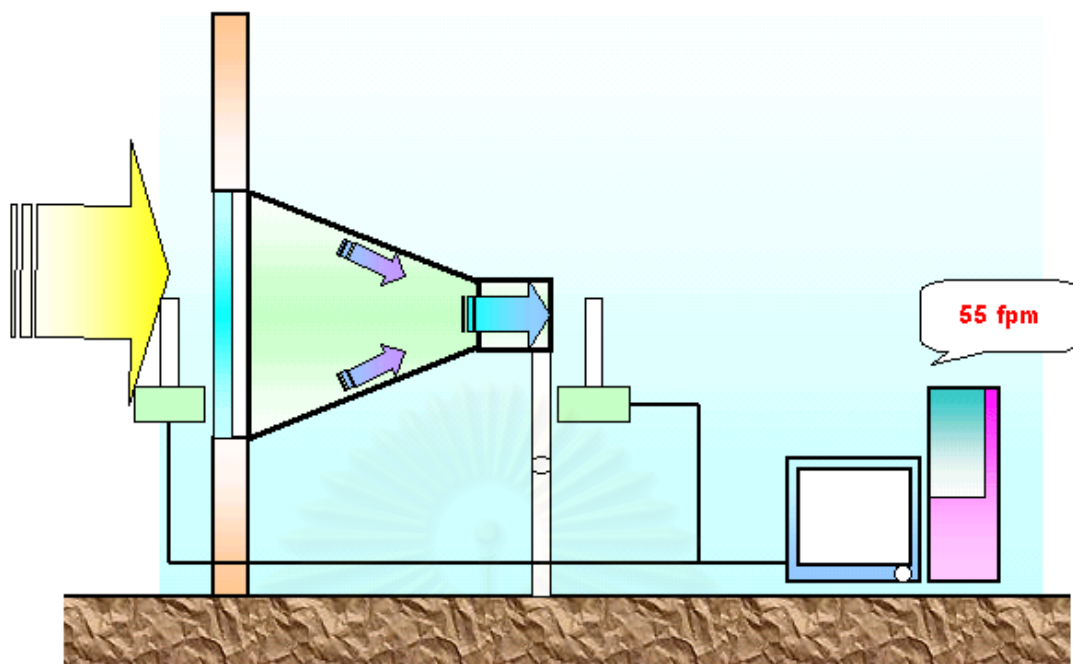
(ค)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปภาพที่ 1.3 (ก)แสดงตำแหน่ง 9 จุดที่ใช้ในการเก็บข้อมูลบนพื้นที่ หน้าตัด 1 ตารางฟุต

(ข)ลักษณะเครื่องมือรวบรวมการรั่วซึมของอากาศ

(ค)แสดงการติดตั้งเครื่องมือรวบรวมการรั่วซึมของอากาศ



รูปภาพที่ 1.3 แสดงภาพการใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลความเร็วลมจากการวัดความดันของอากาศชั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| ขั้นต้น | (เริ่มทำวิทยานิพนธ์เมื่อเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2543) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
|---------|-------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| | | | | | | | | | | | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | สำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | เตรียมและผลิตอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 3 | ทดสอบคุณสมบัติ ปรับตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | การวิจัยเบื้องต้นเพื่อสนับสนุนแนวความคิดและหาข้อปัญหา | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | การวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างช่องเปิดที่ 1 | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 6 | การวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างช่องเปิดที่ 2 | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 7 | การวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างช่องเปิดที่ 3 | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | |
| 8 | การวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างช่องเปิดที่ 4 | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 9 | วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 10 | ทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ทฤษฎีหรือการวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการทดลองเรื่องอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานนั้น จำเป็นที่จะต้องมีความรู้ ความเข้าใจที่เป็นพื้นฐานของการทดลองต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยเรื่องต่างๆ ดังนี้(Ashrae:1997)

1. แนวคิดพื้นฐานและนิยามของคำศัพท์ที่ใช้(basic concepts and terminology)
2. แนวคิดพื้นฐานการเกิดภาระการทำความเย็น(cooling load)
3. คุณภาพของอากาศภายในอาคาร(indoor air quality)
4. การวัดการทดลองแบบต่างๆ(measurements)
5. อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอากาศในอาคาร(air change effectiveness)
6. ระบบกลศาสตร์การเคลื่อนที่(driving mechanism)
7. อากาศที่ไหลผ่านทางช่องเปิด(air flow through openings)
8. การไหลเวียนอากาศธรรมชาติ(natural ventilation)
9. การเกิดการรั่วซึมของอากาศในอาคารพักอาศัย(residential infiltration)
10. รอยรั่วของอากาศในอาคารพักอาศัย(residential air leakage)
11. รอยรั่วของอากาศในอาคารที่ไม่ใช่อาคารพักอาศัย(nonresidential air leakage)
12. การใช้อากาศถ่ายเทในอาคารพักอาศัย(residential ventilation)
13. การสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง(simplified models)
14. การใช้อากาศถ่ายเทในอาคารที่ไม่ใช่อาคารพักอาศัย(nonresidential ventilation)
15. เครื่องหมายและสัญลักษณ์ต่างๆ(symbols and equations)

แนวคิดพื้นฐานและนิยามของคำศัพท์ที่ใช้(Basic Concepts and Terminology)

อากาศภายนอก(outdoor air) โดยส่วนใหญ่แล้วมักจะนำมาใช้ในงานสถาปัตยกรรมเพื่อวัตถุประสงค์หลักที่สำคัญ คือ การ เจือจางหรือการทำให้ความสกปรกของอากาศที่เกิดขึ้นจากการใช้งานอาคารน้อยลงหรือหมดไป ในอาคารที่ตั้งอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น(Hot Humid Climate) อากาศภายนอกยังถูกนำมาใช้ในการสร้างโซนสบาย(comfort zone)ของผู้ใช้อาคารจาก

การไหลเวียนอากาศธรรมชาติ(natural ventilation) อีกประการหนึ่งด้วยแต่อย่างไรก็ดีการนำอากาศจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในอาคารโดยเฉพาะอาคารที่มีการปรับอากาศในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจำเป็นที่จะต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างภาระที่ต้องกำจัด ทั้งความร้อนและความชื้นที่ติดมากับอากาศภายนอกด้วยเครื่องจักรกล ซึ่งเป็นสาเหตุของการสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมหาศาลถ้าขาดความรู้ ความเข้าใจในเรื่องของการเลือกใช้การระบายอากาศในอาคารด้วยอากาศภายนอกตลอดจนถึงการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารผ่านทางช่องเปิด ว่าจะมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารเพื่อการสร้างภาวะสบายอย่างไร นอกจากนี้การไหลผ่านของอากาศในระหว่างเขตต่างๆ ของอาคารยังส่งผลกระทบต่อการใช้ไฟและควันท่อไฟไหม้ในอาคารอีกทางหนึ่งด้วย

การไหลเวียนอากาศและการรั่วซึมของอากาศ(ventilation และ infiltration)

อากาศภายนอกที่เข้ามาแทนที่อากาศที่มีอยู่เดิมภายในอาคาร สามารถที่จำแนกออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ได้ คือ

- การไหลเวียนของอากาศ(ventilation)
- การรั่วซึมของอากาศ(infiltration) โดยที่แต่ละลักษณะมีความหมาย คือ

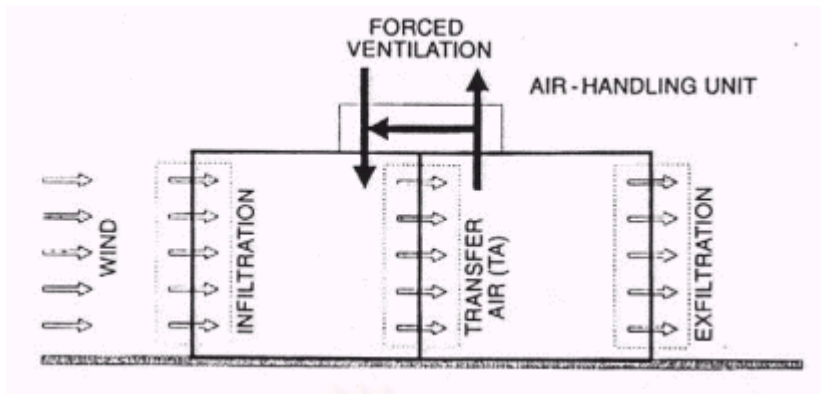
การไหลเวียนของอากาศ

อากาศภายนอกที่ผ่านเข้าสู่อาคารโดยความตั้งใจ หรือถูกออกแบบให้เกิดการไหลเวียนของอากาศเข้าสู่อาคารอย่างตั้งใจและได้มีการคิดคำนวณไว้ก่อนแล้ว สามารถที่จะแบ่งแยกย่อยออกได้อีกเป็น 2 ลักษณะ คือ

การไหลเวียนของอากาศธรรมชาติ(natural ventilation) คือ การไหลเวียนของอากาศเข้าอาคารที่เกิดจากธรรมชาติ ผ่านทางช่องเปิดต่างๆ เช่น ประตู หน้าต่าง และกรอบของอาคารที่ได้ถูกออกแบบไว้แล้ว โดยที่เกิดจากธรรมชาติหรือการออกแบบให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศโดยฝีมือมนุษย์

การไหลเวียนอากาศแบบบังคับ(forced ventilation) คือ การไหลเวียนของอากาศเข้าอาคารโดยการออกแบบ บังคับจากเครื่องกล มีการใช้พัดลมในการนำอากาศเข้าและออกจากอาคารผ่านทางช่องรับลมเข้าและช่องระบายอากาศ(air Intake and air exhaust) หรือสามารถที่จะเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าการไหลเวียนอากาศโดยเครื่องกล

Mechanical Ventilation(Ashrae:1997)

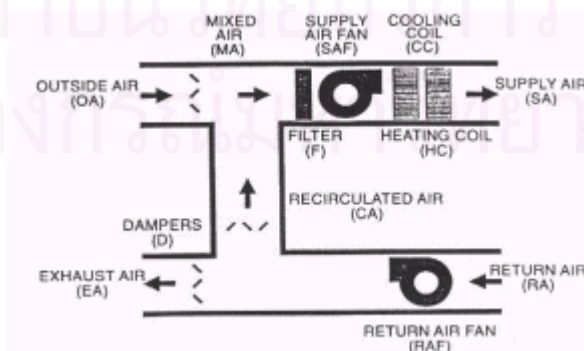


รูปภาพที่ 2.1 อาคาร 2 ชั้นที่มีการใช้forced ventilation infiltrationและ exfiltration(ASHRAE1997:p25.1)

การรั่วซึมของอากาศ (infiltration)

คือ การไหลผ่านเข้าสู่อาคารของอากาศภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ ผ่านทางรอยแตกหรือช่องเปิดที่ไม่เป็นที่ต้องการให้อากาศไหลผ่านเข้ามาและการรั่วซึมของอากาศผ่านทางการใช้งานปกติของทางเข้า ประตู หน้าต่าง infiltration หรืออีกนัยหนึ่ง คือ การรั่วซึมของอากาศ(air leakage)เข้าสู่อาคารนั่นเอง นอกจากนี้ยังมีการไหลของอากาศอีกประเภท คือ การรั่วซึมของอากาศออกนอกอาคารหรือ exfiltration ก็เกี่ยวพันกันกับการทดลองนี้ด้วย เช่นเดียวกันกับการเกิด natural ventilation การรั่วซึมของอากาศก็เกิดจากสองลักษณะ คือ เกิดตามธรรมชาติและเกิดการสร้างความแตกต่างของแรงดันอากาศโดยฝีมือมนุษย์เช่นกัน

ในอาคารปัจจุบันที่มีการปรับอากาศภายในอาคาร การรั่วซึมของอากาศจะส่งผลกระทบเป็นอย่างมากต่อการใช้พลังงานในอาคาร ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการกำจัด ความร้อนและความชื้นที่เกิดจากอากาศภายนอกหรือการเปิดกระจกเพื่อให้เกิด natural ventilation ในอาคารที่มีการปรับอากาศ โดยเฉพาะอาคารที่มีลักษณะผอม สูงและอยู่ภายใต้แรงดันของอากาศ(Ashrae:1997)



รูปภาพที่ 2.2 เครื่องปรับอากาศแบบ all air air handling unit with associated airflows(ASHRAE1997:p25.2)

อัตราการไหลเวียนของอากาศ (air exchange rate)

อัตราการไหลเวียนของอากาศนี้ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างการไหลของอากาศกับ ปริมาตร โดยมีสัญลักษณ์ คือ I

$$I = Q / V$$

โดยที่ Q คือ ปริมาณของอากาศที่ไหลเข้าสู่อาคาร มีหน่วยเท่ากับcfm
V คือ ปริมาตรของห้องภายใน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุต

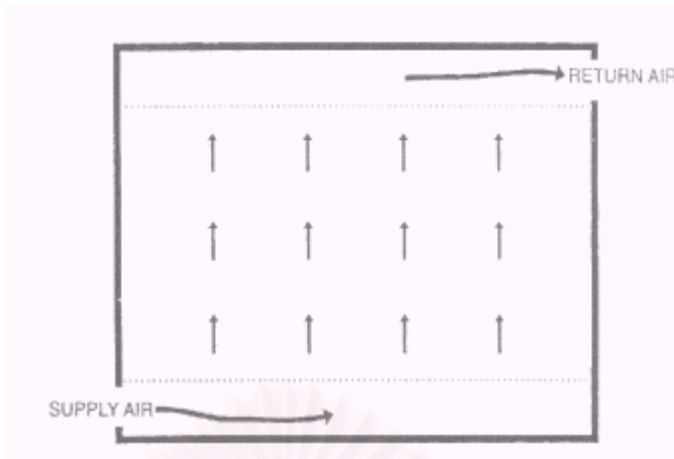
อัตราการไหลเวียนของอากาศ เป็นหน่วยที่ต้องใช้ในการเทียบระหว่าง 1/ เวลา อาทิเช่น เมื่อหน่วยเวลาเท่ากับ 1 ชั่วโมง เพราะฉะนั้น อัตราการไหลเวียนของอากาศ ก็จะเรียกว่า Air change per Hour(AHC) อัตราการไหลเวียนของอากาศ นี้สามารถที่จะจำแนกออกได้เป็นหลายๆ แบบในแต่ละสถานะภาพ เช่น อัตราการไหลเวียนของอากาศ ของอาคารทั้งหมดที่ได้จากAir Handling Unit นั้นคำนวณได้จากปริมาณการไหลเวียนของอากาศที่เข้าสู่อาคารเปรียบเทียบกับ ปริมาตรของอาคารหรือพื้นที่ที่ต้องจ่ายให้ จึงทำให้สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า Nominal Air Exchange Rate หรือ In โดยที่

$$In = Q_{oa} / V$$

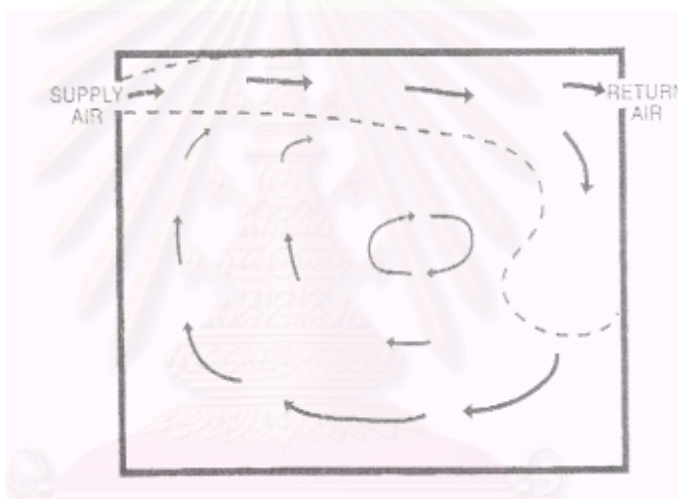
โดยที่ Q_{oa} คือ คือ ปริมาณของอากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคาร ซึ่งรวมระหว่าง Ventilationและ Infiltrationแต่ทั้งนี้ไม่ได้รวมถึงอากาศที่ใช้ในการไหลเวียน

การคำนวณปริมาณอากาศที่รวมการไหลเวียนจะใช้สมการต่อไปนี้ คือ Space Air Exchange Rate หรือ Q_{sa} เป็นการเปรียบเทียบระหว่างอัตราลมจ่าย (Supply Air Flow Rate)ต่อ ปริมาตร และเป็นสมการที่พบได้บ่อยในการคำนวณ ประเมินประสิทธิภาพของSupply Air Diffuser และ Space Air Mixing

$$Is = Q_{sa} / V$$



รูปภาพที่ 2.3 Displacement flow within a space(ASHRAE1997:p25.2)



รูปภาพที่ 2.4 Entrainment flow within a space(ASHRAE1997:p25.2)

ค่าTime Constant

ค่า Time Constant τ คือ หน่วยของเวลา (โดยปกติจะใช้เป็นชั่วโมง หรือวินาที)ที่ใช้ในการอธิบายเรื่องของการรั่วซึมและการVentilation ซึ่งสามารถที่จะอธิบายได้ว่า หนึ่งหน่วยของ Time Constant คือ เวลาที่ต้องใช้ในการเคลื่อนย้ายอากาศปริมาณ 1 Air Change เพื่อแทนที่อากาศที่มีอยู่เดิม ทั้งนี้เป็นส่วนกลับของสมการ เรื่อง อัตราการไหลเวียนของอากาศ

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

ค่า Nominal time constant เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง ปริมาตรของอาคารหรือโซน ภายในกับปริมาตรอากาศภายนอก (Outdoor air flow rate)

$$\tau_n = V/Q_{oa}$$

เช่นเดียวกับกับ Nominal air exchange rate ค่า Nominal time constant ไม่สามารถที่จะอธิบายการไหลเวียนของอากาศภายในอาคารได้และยังไม่สามารถแสดงลักษณะของการกระจายอากาศจากภายนอกเข้าสู่พื้นที่ที่ไม่ติดต่อกันภายในอาคารหรือโซนได้

ค่า Space time constant เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างปริมาตรของพื้นที่ภายในกับผลรวมของอากาศที่จ่ายให้กับพื้นที่นั้นๆ และเป็นส่วนกลับของ ค่า Space air exchange rate

$$\tau_s = V / Q_{sa}$$

ค่า Space time constant นี้เป็นค่าที่รวมถึงอิทธิพลที่เกิดจากอากาศที่ใช้หมุนเวียนภายในพื้นที่ หากมีการเกิด การรั่วซึมของอากาศในพื้นที่ ก็สมควรที่จะใช้การรั่วซึมของอากาศรวมอยู่ในการประเมินทั้งค่า Space air exchange rate และค่า Space time constant

ค่า Outside Air Fraction

อากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคารผ่านทางAHU นั้นสามารถที่จะอธิบายได้ด้วยค่าของ Outside Air Fraction หรือ X_{oa} คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของอากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคารด้วยAHU ต่อผลรวมของปริมาตรลมจ่าย(Total supply air flow rate)

$$X_{oa} = Q_{oa}/Q_{sa} = Q_{oa}/Q_{ma} = Q_{oa}/(Q_{oa}+Q_{ca})$$

ทั้งนี้เมื่อมีการแสดงผลเป็นร้อยละ ค่า outside Air Fraction ก็สามารถที่จะเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า percent outside air ค่า outside air fractionและค่า percent outside air สามารถที่จะใช้ในการอธิบายถึงเรื่องระดับของการหมุนเวียนอากาศภายในได้ กล่าวคือ เมื่อมีค่าน้อยก็แสดงว่าค่าการหมุนเวียนของอากาศต้องมีค่ามากในทางกลับกันเมื่อมีค่า percent outside air มากก็แสดงว่าต้องมีค่าการหมุนเวียนของอากาศมากตามไปด้วยค่าปกติของอาคารที่มีการใช้

เครื่องปรับอากาศแบบปกติซึ่งระบายความร้อนด้วยอากาศและทำความเย็นด้วยอากาศจะมีค่า percent outside air โดยเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 10-40

หากค่า percent outside air มีค่าร้อยละ 100 นั้นหมายความว่าไม่มีการหมุนเวียนของอากาศที่เข้าสู่อาคารเลยจากAHU เป็นการนำลมจ่ายแทนอากาศที่เข้ามาจากภายนอกอาคาร หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า makeup air (ka)และอากาศที่หมุนกลับทั้งหมดถูกขับออกภายนอก ว่า relief air (la) ระบบ AHU ที่จ่ายอากาศภายนอก 100 % จะถูกเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า makeup air unit (MAU)

แนวคิดพื้นฐานการเกิดภาระการทำความเย็น(cooling load)

อากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคารเป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งซึ่งส่งผลต่อภาระการปรับอากาศ(การทำความร้อนในภูมิภาคหนาว การทำความเย็น การไล่ความชื้นและการสร้างความชื้นในภูมิภาคหนาว) ซึ่งทำให้เป็นเหตุผลหนึ่งที่ต้องมีการควบคุมการรั่วไหลของอากาศเข้าสู่อาคารให้น้อยที่สุด การรั่วซึมของอากาศจะส่งผลต่อภาระการทำความเย็นหรือความร้อนในอาคารบ้านพักอาศัยธรรมดา ประมาณร้อยละ 20-40ของภาระการทำความเย็นทั้งหมด แต่ในภูมิภาคแบบร้อนชื้นจะส่งผลโดยเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 60 ของภาระการทำความเย็นทั้งหมด (สุนทร บุญญาธิการ:2540)

อากาศที่รั่วซึมเข้าสู่อาคารจะสร้างภาระการทำความเย็นได้ 3 ทาง คือ

- อากาศที่รั่วไหลเข้ามาจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศภายใน ซึ่งค่าการใช้พลังงานเพื่อใช้กับความร้อนแบบsensible สามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$q_s = 60 Q \rho c_p \Delta t$$

โดยที่ q_s = sensible heat load, Btu/h

Q = air flow rate, cfm

ρ = air density, lb_m/ft³ (ประมาณ 0.075)

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

Δt = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน, F

- ข้อสองอากาศจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Moisture content ของอากาศภายในอาคาร ซึ่งค่าการใช้พลังงานเพื่อใช้กับความร้อนแบบLatent สามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$q_l = 60 Q \rho p h_g \Delta w$$

โดยที่ q_l = latent heat load, Btu/h

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

ΔW = humidity ratio of indoor air minus humidity ratio of outdoor
air, lb_m water/lb_m dry air

- ประการสุดท้ายอากาศที่รั่วไหลเข้าสู่อาคารจะไปเพิ่มภาระการทำความเย็น ได้โดย การก่อให้เกิดการลดประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนให้กับอาคาร จากการเพิ่มอัตราการ ส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งประสิทธิภาพที่ลดลงไปนี้ของระบบฉนวนอาคารยังยากที่จะ อธิบายหรือใช้การคำนวณได้แต่ก็เป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังสามารถ ก่อให้เกิดการควบแน่นของหยดน้ำในอากาศบริเวณภายนอกหรือภายในเนื้อฉนวนได้ อันเป็นผล ให้เกิดเชื้อราและเชื้อโรคได้ต่อไปในที่สุด

คุณภาพของอากาศภายในอาคาร(Indoor Air Quality)

ปัจจุบันคุณภาพอากาศในอาคารยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ว่า ควรที่จะมีระดับในการ ประเมินอย่างไร แต่เป็นที่ทราบจากการศึกษาแล้วว่าปัจจัยที่ก่อให้เกิดมลภาวะที่ส่งผลต่อการเกิด คุณภาพของอากาศที่ต่ำลงก็เนื่องมาจาก ความชื้น คาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่น การสูบบุหรี่ เฟอร์นิเจอร์ สีจากการก่อสร้างและมลพิษที่เกิดจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร รวมไปถึงการ ระบายอากาศที่พอเพียงต่อผู้ใช้อาคาร ซึ่งASHRAE กำหนดให้มีปริมาณ 15 cfm ต่อผู้ใช้อาคาร 1 คน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยในเรื่องของการควบคุมสภาพมลภาวะ ซึ่งสามารถที่จะคำนวณได้ใน กรณีของการควบคุมแบบ Steady state คือ

$$C_i = C_o + S/Q_{oa}$$

โดยที่ C_i = steady state indoor concentration, $\mu\text{g}/\text{ft}^3$

C_o = outdoor concentration, $\mu\text{g}/\text{ft}^3$

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

Q_{oa} = ventilation rate, cfm

จากข้อมูลจะพบว่า การรั่วซึมของอากาศก็มีความจำเป็นต่อการใช้งานในอาคารใน ระดับหนึ่ง เนื่องจากอาคารพักอาศัยจะไม่มีส่วนที่ใช้ระบายอากาศด้วยเครื่องกล หรือ exhaust air ดังนั้นปริมาณอากาศบริสุทธิ์ที่จ่ายให้กับผู้ใช้อาคาร ปริมาณ 15 cfm ต่อคนนั้นจึงจำเป็นที่จะต้อง มากจากการรั่วซึมของอากาศเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการควบคุมการรั่วซึมของอากาศก็จำเป็นที่ จะต้องคำนึงถึงการใช้งานอากาศบริสุทธิ์ของผู้ใช้อาคารอีกทางหนึ่งด้วย

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 ₂ O, 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 | Bioaerosols |
| Coil drain pans | |
| Humidifiers | |

ตารางที่ 2.1 มลพิษทางอากาศและแหล่งกำเนิด(ASHRAE1997:p25.4)

การวัดการทดลองแบบต่างๆ(measurements)

การทดลองด้วยการใช้Tracer Gas

วิธีการที่จะประมาณการของ อัตราการไหลเวียนของอากาศ ให้มีความถูกต้องสูงนั้น วิธีการที่ดีที่สุด คือ การวัด อัตราการไหลเวียนของอากาศ โดยวิธีการแรก คือ การใช้ Tracer Gas ซึ่งคือก๊าซเฉื่อยหรือก๊าซที่ไม่ทำปฏิกิริยา ไม่มีการลอยตัว ไม่เป็นพิษและมีราคาถูก

วิธีการวัดด้วย Tracer Gas นั้นมีวิธีการที่คล้ายคลึงกัน คือ ใช้วิธีการคำนวณระหว่างมวลของ Tracer Gas ที่อยู่ในอาคาร โดยถือว่าอากาศภายนอกมีค่าเป็นศูนย์และอากาศภายในอาคารผสมกันเป็นอย่างดี และคำนวณได้จากสมการ

$$V(dC/d\theta) = f(\theta) - Q(\theta) c(\theta)$$

โดยที่ V = ปริมาตรของอากาศที่ใช้ทดสอบ ft^3
 $c(\theta)$ = tracer gas concentration at time (θ)
 $dC/d\theta$ = time rate of change of concentration, min^{-1}
)
 $f(\theta)$ = tracer gas eject rate at time (θ) , cfm
 $Q(\theta)$ = air flow rate out of building at time (θ) , cfm
 (θ) = time, min

จากสมการ ความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างอากาศภายในและภายนอกจะไม่มีผลต่อการคำนวณถึงสำหรับภูมิอากาศแบบ moderate อย่างไรก็ดี ค่า Q มักที่จะใช้อ้างถึงว่าเป็น airflow rate ที่เข้าสู่อาคาร ในขณะที่เดียวกันก็หมายถึงอากาศที่รั่วซึมเข้าสู่อาคารได้เช่นกัน ในการวัดปริมาณการรั่วซึมของอากาศนี้จะรวมไปถึงการรั่วซึมที่เกิดจากทั้งเครื่องกลและ natural ventilation โดยการผ่านเข้าสู่อาคารทางเปลือกของอาคาร ค่าอัตราส่วนระหว่าง Q กับ V จะถูกทดสอบโดยมีหน่วยเป็น 1/เวลา(โดยปกติจะมีการแปลงหน่วยเป็นACH) และเป็น air change rate (I)

นอกจากนี้สมการที่ใช้ยังตั้งอยู่บนพื้นฐานเหล่านี้ คือ

- ไม่ทราบปริมาณของ Tracer gas ที่มีอยู่เดิม
- ปริมาณอากาศที่ออกจากอาคารหมายถึงปริมาณ Tracer gas ที่ออกจากพื้นที่ทดสอบ ตัวอย่างเช่น Tracer gas จะไม่ทำปฏิกิริยากับอาคาร หรือไม่แทรกซึมเข้าสู่เฟอร์นิเจอร์หรือพื้นผิวภายใน

- ปริมาณ Tracer gas จะต้องแสดงออกมาเป็นค่าเดี่ยว Single value เช่น Tracer gas จะผสมกลมกลืนกับอากาศที่มีอยู่ก่อนแล้ว

การวัดการรั่วซึมของอากาศ ด้วยวิธีการ Tracer gas สามารถกระทำได้ 3 วิธี คือ

1. Decay or Growth

Decay เป็นวิธีการที่เป็นพื้นฐานที่ง่ายที่สุดในการวัดด้วย Tracer gas หรือรู้จักกันในชื่อ ว่า วิธีการ Step down ซึ่งตรงตามกำหนดมาตรฐานของ ASTM E741 โดยการพ่น Tracer gas ปริมาณน้อยเข้าสู่พื้นที่ที่ทดสอบ แล้วปล่อยให้ผสมกับอากาศภายใน กำหนดให้ $F = 0$ สมการที่ได้คือ

$$C(\theta) = C_0 e^{-I\theta}$$

โดยที่ C_0 = concentration at $\theta = 0$

จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ มาคำนวณต่อในสมการ

$$\ln C(\theta) = \ln C_0 - I\theta$$

เช่นเดียวกับกับวิธีการวัดด้วย Tracer gas วิธีอื่นๆ คือ มีข้อที่ได้เปรียบและข้อที่เสียเปรียบ ในส่วนข้อที่ได้เปรียบของวิธีการนี้ คือ เป็นการแก้ปัญหาของสมการเรื่อง gas mass balance ที่มีความแน่นอนแต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อด้อยคือ จำเป็นที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลตลอดเวลาในบริเวณที่ทดลอง หรืออาคารที่วัดและข้อมูลที่ได้จะต้องอยู่ในช่วงที่อุปกรณ์นั้นๆ สามารถที่จะวัดได้ ปัญหาที่สำคัญมากที่สุดในวิธีการวัดแบบนี้ คือ สมการที่ใช้คำนวณทั้งสองสมการจำเป็นที่จะต้องให้ Tracer gas มีความกลมกลืน ผสมกับอากาศอย่างดี ดังนั้นข้อผิดพลาดที่จะเกิดคือ ความผิดพลาดในเรื่องของอากาศที่ผสมกันไม่ดี และการทำนายความผิดพลาดสูงสุดที่จะเกิดขึ้น Growth วิธีการทดลองแบบGrowth หรือ วิธีการstep up มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับวิธีการdecay แตกต่างกันในเรื่องของการวัดgrowth นั้นในตอนเริ่มต้น Tracer gasจะมีปริมาณน้อยแล้วค่อยๆเพิ่มระหว่างการทดลอง

2. Constant Concentration

วิธีการวัดแบบนี้กำหนดให้ปริมาณของ Tracer gas ที่พ่นสู่พื้นที่ทดลองมีค่าคงที่อยู่ตลอดเวลา หากปริมาณของ Tracer gasมีคงที่ตลอดเวลา สมการที่ใช้ในการคำนวณจะมีค่าเท่ากับ

$$Q(\theta) = F(\theta) / C$$

วิธีการวัดแบบนี้ยังไม่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย จึงทำให้ผู้ทำการทดลองขาดประสบการณ์มากกว่าวิธีการแบบ decay แต่เนื่องจากวิธีการนี้ Tracer gas จะมีการพ่นเข้าไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้ไม่จำเป็นต้องกังวลในเรื่องของช่วงเวลาที่จะให้ Tracer gas ผสมกันกับอากาศ นอกจากนี้ การพ่น Tracer gas เข้าไปในพื้นที่ที่ต่างเขตกัน ก็สามารถที่จะควบคุมได้อย่างดี แต่วิธีการนี้ก็มีข้อเสียเปรียบ คือ จำเป็นที่จะต้องมีการวัดปริมาณ Tracer gasและอัตราการพ่น Tracer gas อย่างถูกต้องที่สุด และการไม่ผสมกันอย่างสมบูรณ์ระหว่าง Tracer gasกับอากาศที่มีอยู่เดิมทำให้อาจจะต้องใช้เวลาในการทดลองมากนอกจากนี้ความล่าช้าของการทดสอบยังก่อให้เกิดความเป็นไปได้ยากที่จะรักษาให้ปริมาณ Tracer gasที่ทดสอบมีค่าคงที่ไว้ได้ ดังนั้นสมการที่ใช้ จึงเป็นเพียงการประมาณค่าที่เกิดขึ้นเท่านั้น

3. Constant Injection

วิธีการนี้ คือ การพ่น Tracer gas เข้าไปในอัตราที่คงที่ตลอดเวลา เมื่อประมาณออกมาจะได้สมการ เท่ากับ

$$C(\theta) = (F/Q) (1 - e^{-\theta})$$

เมื่อผ่านไปช่วงระยะเวลาหนึ่งสมการที่ได้จะมีค่าเท่ากับ

$$Q = F / C$$

สมการนี้จะมีค่าที่เชื่อถือได้ เมื่อ ค่า air exchange rate (I) และค่า air flow rate (Q) มีค่าคงที่ วิธีการนี้จะมีประโยชน์อย่างมากในกรณีที่พื้นที่ที่ทดลองมีลักษณะเป็นการระบายอากาศด้วยเครื่องกล หรือ ค่า air change rate มีค่าสูงมากและต้องการการวัดปริมาณที่มีอยู่ของ Tracer gas และอัตราการปนที่ถูกต้อง

การทดลองสามารถทำได้โดยท่อที่ใช้เป็นแหล่งของ Tracer gas ท่อนี้จะพ่น Tracer gas เข้าไปในพื้นที่ทดลองโดยมีอัตราการปนที่สม่ำเสมอคงที่มาก ท่อตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บผลการทดลองจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่ดูดซับ Tracer gas ได้ ภายหลังจากช่วงเวลาการทดสอบประมาณ 1 สัปดาห์หรือมากกว่านั้น ท่อตัวอย่างจะถูกนำออกมาจากสถานที่ทดลอง เพื่อนำมาค่าเฉลี่ยของ Tracer gas ที่ทดสอบในช่วงเวลานั้นๆ (Dietz et al.:1986) สมการที่ใช้ในการคำนวณมีค่าเท่ากับ

$$\langle C \rangle = \langle F / Q \rangle = F \langle 1 / Q \rangle$$

โดยที่ เครื่องหมาย $\langle \dots \rangle$ หมายความว่าถึง ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการทดลอง

4. Multizone Air Exchange Measurement

จากวิธีการข้างต้น ทั้ง 3 วิธี จะพบว่าเป็นวิธีการวัดที่สามารถใช้ได้กับอาคารเพียงเขตเดียว ดังนั้นวิธีการวัดแบบ Multizone Air Exchange Measurement จึงเป็นวิธีการสำคัญในการวัดปริมาณมลพิษที่แพร่กระจายจากห้องหนึ่งของอาคารไปสู่อีกห้องหนึ่ง วิธีการ Multizone Air Exchange Measurement นี้จะใช้ Tracer gas แยกจากกันในแต่ละส่วนที่ทำการทดลองหรือใช้วิธีการ Constant concentration

อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอากาศในอาคาร (Air Change Effectiveness)

Ventilation Effectiveness สามารถที่จะอธิบายได้ว่า ความสามารถของระบบกระจายอากาศที่ใช้ในการนำอากาศที่เกิดเป็นมาฆลภาวะจากภายในออกสู่ภายนอก ในขณะที่ Air change Effectiveness มีความหมายถึง ความสามารถของระบบกระจายอากาศในการนำอากาศที่จะใช้ในการ Ventilation เข้ามาสู่อาคารหรือพื้นที่ต่างๆของอาคารนั้นๆได้ ในรายละเอียดของ Air change Effectiveness แยกออกเป็นหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

อายุของอากาศ (Age of Air)

อายุของอากาศ หรือ θ_{age} (Sandberg:1981) คือ ความยาวของช่วงเวลาที่ยังอากาศภายนอกบางส่วนอยู่ในอาคาร โชนหรือพื้นที่ใดๆของอาคาร อากาศที่มีอายุน้อยที่สุด คือ อากาศบริเวณจุดที่อากาศภายนอกเข้าสู่อาคารไม่ว่าด้วยระบบธรรมชาติหรือใช้ระบบเครื่องกลกระทำ หรือด้วยการรั่วซึมเข้ามาของอากาศ (Grieve:1989) ส่วนอากาศที่มีอายุมากที่สุด คือ อากาศที่อาจจะเป็นบริเวณเดียวกันกับอากาศที่มีอายุน้อยที่สุดในอาคารหรือบริเวณที่ใส่ระบายอากาศเสียออก (exhaust air) ด้วยความแตกต่างของระบบที่ใช้ในการกระจายอากาศอากาศที่มีอายุมาก จะเป็นอากาศที่มีคุณภาพต่ำกว่าอากาศที่มีอายุน้อยกว่าสำหรับในบริเวณเดียวกัน อายุของอากาศจะมีน้อยโดยปกติเป็นนาที หรือวินาที ด้วยเหตุนี้เองทำให้อายุของอากาศไม่ได้เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพหรือตัววัดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นได้ดี แนวคิดเรื่องอายุของอากาศจึงนิยมใช้ใน ประเทศแถบยุโรปและเริ่มแพร่กระจายเข้าสู่ประเทศแถบอเมริกาเหนือต่อมา

การวัดเรื่องอายุของอากาศสำหรับอาคารที่ก่อสร้างแล้วเสร็จสามารถที่จะใช้วิธีการวัดด้วย Tracer gas Method ได้โดยการใช้ทั้งแบบ decay (step-down) และ growth (step-up) ค่าเฉลี่ยของโชนหรือที่เรียกว่า Nominal age of air ($\theta_{age,N}$) สามารถที่จะประมาณได้โดยการวัด ส่วนที่หลงเหลือของ Tracer gas บริเวณ Exhaust air สำหรับ The local age of air ($\theta_{age,L}$) สามารถที่จะประเมินผ่านกรรมวิธีวัดแบบ Tracer gas ในบริเวณจุดใดๆก็ได้ ที่ต้องการทดสอบในพื้นที่ เช่น บริเวณโต๊ะที่ทำงาน เป็นต้น อายุของอากาศสามารถที่จะคำนวณโดยการใส่สมการได้ ดังนี้

$$\theta_{age} = \frac{C_{in} - C}{C_{in} - C_o} d\theta$$

โดยที่ C_o = concentration of tracer gas being injected

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

Air change Effectiveness

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอากาศที่เปลี่ยนแปลง (ϵ) เป็นการคำนวณที่ไม่มีมิติ (Non dimensional) ของอากาศที่ผ่านเข้าสู่อาคาร คำนิยามหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ได้ คือ อัตราส่วนของเวลาต่ออายุของอากาศ หรือ

$$\epsilon = \tau / \theta_{age}$$

Nominal air change effectiveness หรือ $\epsilon_{i,N}$ เป็นการแสดงผลกระทบที่เกิดจากอากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคารทั้งอาคาร พื้นที่หรือ โชน สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\epsilon_{i,N} = \tau_N / \theta_{age,N}$$

The Local air change effectiveness หรือ $\epsilon_{i,L}$ เป็นการแสดงผลกระทบที่เกิดจากอากาศภายนอกที่เข้าสู่จุดใดจุดหนึ่งที่มีการเฉพาะในพื้นที่ สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\epsilon_{i,L} = \tau_L / \theta_{age,L}$$

ระบบกลศาสตร์การเคลื่อนที่ (Driving Mechanism)

การไหลเวียนอากาศอากาศธรรมชาติ(Natural ventilation) และการรั่วซึมของอากาศ จะถูกขับเคลื่อนจากปัจจัยต่าง 1. ความดันที่เปลี่ยนแปลงผ่านเปลือกอาคารจากลม 2. ความหนาแน่นของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร เช่น Buoyancy หรือ การเกิด the stack effect) และ3. การใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องควบคุมการเผาไหม้ ระบบ Leaky forced-air thermal distribution และระบบventilation โดยการใช้เครื่องกล

ความแตกต่างของแรงดันระหว่างภายในและภายนอกในแต่ละที่ตั้ง มักที่จะขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของ Driving Mechanism เช่นเดียวกันกับ ลักษณะเฉพาะของช่องเปิดต่างๆในอาคาร ตัวอย่างเช่น ที่ตั้งของช่องเปิดในอาคาร,ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความดันอากาศและอัตราการไหลของอากาศในแต่ละช่องเปิด

ความดันของอากาศที่แตกต่างไหลผ่านเปลือกของอาคาร จะตั้งอยู่บนฐานของความ ต้องการมวลอากาศที่เข้าสู่อาคารจะต้องมีปริมาณที่เท่ากับมวลอากาศที่ออกจากอาคาร ตามปกติความแตกต่างของความหนาแน่นอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคารสามารถที่จะเพิกเฉยได้ ดังนั้นเรื่องที่ต้องพิจารณาคือ เรื่องของปริมาตรของอากาศที่ไหลเข้าสู่อาคารต้องมีปริมาตรเท่ากับอากาศที่ออกจากอาคาร จากข้อตกลงเบื้องต้นเหล่านี้ พอที่จะกล่าวได้ว่า ความแตกต่างของความดันบริเวณเปลือกอาคารสามารถประมาณได้ แต่อย่างไรก็ตามการประมาณได้นี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ประมาณต้องทราบรายละเอียดในจุดต่างๆอย่างถี่ถ้วน ไม่อย่างนั้นก็จะไม่สามารถที่จะประมาณอย่างถูกต้องได้

เมื่อลมเข้าปะทะเปลือกหรือผิวของอาคารด้านใด ด้านหนึ่งก็จะสร้าง การกระจายของ static pressure บนผิวด้านนอกของอาคารนั้น ขึ้นกับทิศทางของลมที่มากระทำ ความเร็วลม ความหนาแน่นของอากาศ ทิศทางของผิวที่รับ และสภาพโดยรอบพื้นผิวนั้นๆ แต่อย่างไรก็ดีการกระจายของความดันนี้ก็อาจจะไม่เกิดขึ้นได้ เนื่องจาก 1. ไม่มีแรงอื่น ๆ มากระทำกับอาคาร 2. ไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอยู่ก่อนแล้ว 3. ไม่มีอากาศไหลผ่านอาคาร ความแตกต่างของความดันสามารถที่จะประเมินได้จาก static pressure ภายในตามสมการ ดังนี้

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

| | | |
|--------|------------|--------------------------------------------------------------------------|
| โดยที่ | ΔP | ความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกในที่หนึ่งหรือในน้ำ |
| | P_o | static pressure บริเวณความสูงอ้างอิง ที่ไม่มีการรบกวนการไหล in. of water |
| | P_w | ความดันลมในที่หนึ่ง in. of water |
| | P_i | ความดันภายในที่ความสูงของที่ตั้ง in. of water |

ถ้า ไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอยู่ก่อนแล้ว ค่า static pressure ภายใน (P_i) จะลดลงเป็นเส้นตรงจากความสูงในอัตราที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายใน อัตราของความดันที่ลดลง มีค่าเท่ากับ $- \rho_i g$, เมื่อค่า ρ_i มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นอากาศภายในและ ค่า g มีค่าเท่ากับความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงโลก ค่า static pressure ภายใน จะมีค่าเท่ากับ ค่าผลรวมของอากาศที่ไหลเข้าสู่อาคาร มีค่าเท่ากับผลรวมของอากาศที่ไหลออกนอกอาคาร นอกจากนี้ ค่า static pressure ภายในยังสามารถที่จะคำนวณได้จากการนำผลรวมอากาศที่ไหลผ่านช่องเปิดแต่ละช่องในอาคาร ในฐานะของความดันภายใน นำผลรวมที่ได้เหล่านี้มารวมกัน ตั้งให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วนำไปแก้ปัญหาคต่อไป อย่างไรก็ตามการที่จะแก้ปัญหามาตรการของแรงดันที่เกิดขึ้นภายในด้วยวิธีเหล่านี้ จำเป็นที่จะต้องทราบ ที่ตั้งของช่องเปิดแต่ละช่องเปิด ค่าของ P_w ในแต่ละช่องเปิด และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศและความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นในแต่ละช่องเปิดเช่นเดียวกัน

เมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกมีอยู่เดิมแล้ว จะเกิดการลดหลั่นของ ΔP_s ของความแตกต่างของความดันอากาศ การเกิดปรากฏการณ์นี้หรือ Stack

gradient เป็นผลมาจากความสูงและความแตกต่างของความดันตามที่เกิดจากสมการ เรืองลมซึ่งตอนนี้สามารถที่จะเขียนขึ้นเป็นสมการใหม่ได้ ดังนี้

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

ค่าตัวแปร $P_{i,r}$ คือ ค่าของstatic pressure ภายในที่ความสูงอ้างอิงหนึ่ง และเช่นเดียวกันในการแก้ปัญหาสมการที่เกิดขึ้นจะต้องให้มีค่าอากาศที่ไหลเข้าสู่อาคารเท่ากับค่าที่อากาศไหลออกนอกอาคาร ผลรวมทั้งหมดของการไหลของอากาศผ่านทางช่องเปิดสามารถที่จะตั้งให้มีค่าเท่ากับศูนย์ได้เพื่อที่จะใช้ในการแก้สมการหาความดันภายในที่ความสูงอ้างอิงต่อไป

ความดันลม Wind Pressure

ความดันลมที่เกิดขึ้น มีปัจจัยที่เกิดจาก มุมของลมที่มากกระทำ(Wind angle) และรูปร่างของอาคาร (building shape) ความดันของลมหรือความเร็วของลม(Velocity Head) สามารถที่จะนำข้อมูลต่างๆเหล่านี้มาคำนวณได้ (Bernoulli's equation) โดยที่ถือว่าความสูงหรือความดันไม่มีการสูญเสีย จากสมการ

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

โดยที่ P_v ความดันผิวที่เกี่ยวข้องกับ static pressure บริเวณส่วนที่ไม่ถูกรบกวน

ρ air density, kg/m³ ประมาณ 1.20

v ความเร็วลม m/s

C_p surface pressure coefficient, dimensionless

หรือสามารถที่จะเขียนใหม่ได้เป็น

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

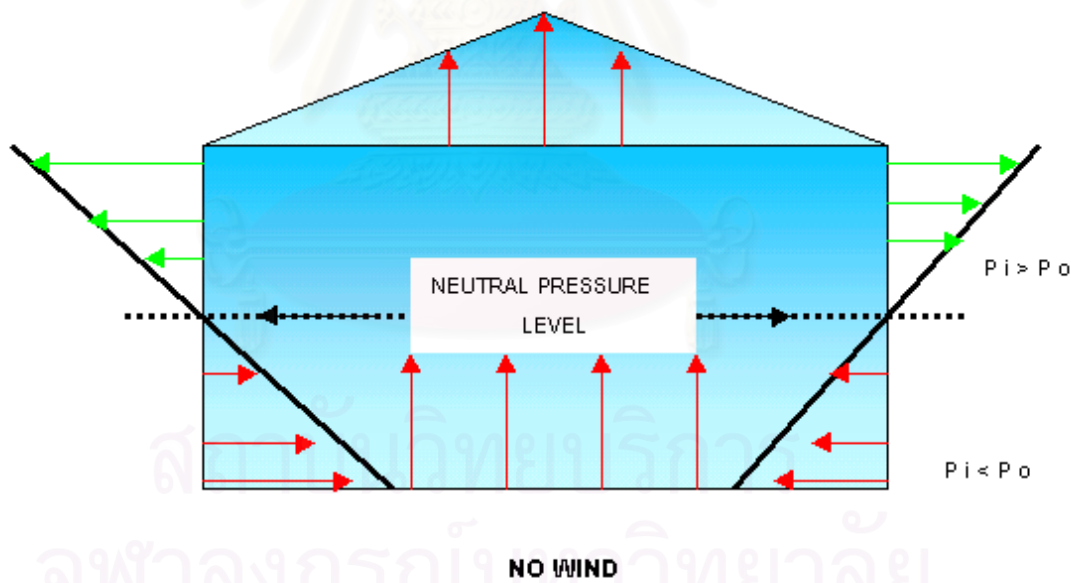
โดยที่ C_p เป็นฟังก์ชันของที่ตั้งอาคารและทิศทางลม

ความดันลมจะมีการเปลี่ยนแปลง ไปได้เนื่องจากความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลง มาจากความสูงหรืออุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1500 เมตร หรืออุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงจาก -30 ถึง 20 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของอากาศจะลดลงประมาณร้อยละ 20 หากความสูงและอุณหภูมิของอากาศยังคงเพิ่มต่อไปอย่างคงที่แล้ว ความหนาแน่นของอากาศอาจที่จะลดลงถึง ร้อยละ 45 ได้

ความเร็วลมจะมีค่าเท่ากับศูนย์ บริเวณที่เป็นผิวดินและมีค่าสูงมากขึ้นเมื่อมีความสูงมากขึ้น จากการทดลองของอาคารที่มีความสูงน้อย 8 อาคารและอาคารที่มีความสูงมาก 1 อาคาร (Swami and Chandra:1988) สามารถที่จะสร้างสมการทำนายผลออกมาได้ โดยที่ค่า Correlation coefficient เท่ากับ 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 2.5 Pressure Differences Caused by stack Effect for typical Structure(Heating) (ASHRAE1997:p25.8)

มาตรฐานการทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (ASTM E783- 93)

การทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริการที่ใช้ในการทดสอบเรื่องการรั่วซึมของอากาศ ที่เกี่ยวข้องกับทดสอบนี้ จะประกอบไปด้วยมาตรฐานหลายตัวส่วนที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วยมาตรฐาน ASTM E783 –93 Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage Through Installed Exterior Windows and Doors ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทดสอบที่ตั้งขึ้น มีรายละเอียดของมาตรฐาน ดังนี้

1. ขอบเขต

1.1 วิธีการทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่ครอบคลุมในเรื่องของกระบวนการทดสอบภาคสนามเพื่อที่จะประมาณอัตราการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านประตูและหน้าต่างภายนอกที่ได้ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

1.2 การทดสอบนี้มีความเหมาะสมกับหน้าต่างและประตูภายนอกเฉพาะการรั่วซึมที่เกิดจากตัวหน้าต่างเอง และไม่เหมาะสมกับการตรวจสอบการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากการรั่วซึมระหว่างตัวช่องเปิดกับการรั่วของการก่อสร้าง นอกจากนี้การทดสอบยังสามารถที่จะปรับเปลี่ยนให้มีความเหมาะสมต่อไปในเรื่องของการหาทิศทางของการเคลื่อนที่อากาศ แหล่งที่ทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศ การควบคุมและการป้องกันการเกิดการรั่วซึมของอากาศ

1.3 การทดสอบนี้กระทำในสภาพแวดล้อมจริง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงมากที่จะเกิดการรั่วซึมของอากาศน้อยกว่าความเป็นจริงเนื่องมาจากการออกแบบและผลที่เกิดจากการอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมจริง

1.4 การทดสอบนี้มุ่งเน้นในเรื่องการตรวจสอบการรั่วซึมของอากาศ ที่เกิดขึ้นในภาคสนามกับช่องเปิดที่ได้ติดตั้งแล้ว สำหรับผู้ที่สนใจการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการสามารถที่จะตรวจสอบวิธีการทดสอบได้จากมาตรฐานการทดสอบ หัวข้อ E 283

1.5 ผู้ทดลองควรมีความรู้ ความเข้าใจในเรื่องของกลศาสตร์ของไหล และการปฏิบัติทางด้านอุปกรณ์เพียงพอ และมีความรู้ทั่วไปในเรื่องขององค์ประกอบและการรั่วซึมของวัสดุ

1.6 ตลอดการทดสอบนี้ หน่วยมาตรฐาน SI จะถูกอ้างอิงก่อน ตามกฎของ E-6

1.7 การทดสอบนี้ ไม่ได้กล่าวถึงปัญหาเรื่องความปลอดภัย เป็นเรื่องที่ทำกรทดสอบต้องมีการระมัดระวังเพื่อป้องกันอันตรายอาจเกิดได้จากการทดสอบเหล่านี้

2. เอกสารที่ใช้ในการอ้างอิง

2.1 ASTM Standard: E 283 Test Method for Determining the Rate of Air Leakage Through Exterior Windows Curtain Walls and Doors Under Specified Pressure Differences Across The Specimen

2.2 ASTM Standard: E 631 Terminology of Building Construction

3. คำจำกัดความ

3.1 คำจำกัดความ ให้อ้างอิงที่ E 631

3.2 คำอธิบายค่าเฉพาะและความหมายที่ใช้ในการทดลองนี้

3.2.1 อัตราการรั่วซึมของอากาศ (Air Leakage Rate) หรือ q_A หรือ q_l คือ การรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ของพื้นที่ทดลอง(A) หรือ ต่อหน่วยของความยาวของรอยแตกที่เกิด(L) โดยแสดงเป็นหน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อ วินาที-ตารางเมตร หรือ ลูกบาศก์ฟุต ต่อนาที (CFM)-ตารางฟุต หรือ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที-เมตร หรือ ลูกบาศก์ฟุต ต่อนาที-ฟุต

3.2.2 Extraneous air leakage (Q_e) คือ ปริมาตรของอากาศที่ไหลผ่านต่อหน่วยของเวลา ผ่านชุดทดลอง โดยเฉพาะอากาศที่ไหลผ่านชุดหน้าต่างที่ทดลองภายใต้สภาวะที่ควบคุมความดันและอุณหภูมิ เพื่อที่จะแปลงไปเป็นหน่วยมาตรฐาน แสดงเป็น หน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อ วินาที หรือ ลูกบาศก์ฟุต ต่อนาที (CFM)

3.2.2.1 Discussion Extraneous air leakage เป็นผลรวมของการรั่วซึมอากาศทั้งหมดที่การทดลองไม่สามารถครอบคลุมไปถึง

3.2.3 Specimen air leakage (Q_s) ปริมาตรของอากาศที่ไหลผ่านต่อหนึ่งหน่วยเวลา ภายใต้สภาวะที่ควบคุมความดันและอุณหภูมิ เพื่อที่จะแปลงไปเป็นหน่วยมาตรฐาน แสดงเป็น หน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อ วินาที หรือ ลูกบาศก์ฟุต ต่อนาที (CFM)

3.2.4 Specimen area (A) พื้นที่ที่ประมาณโดยผลรวมของมิติทั้งหมดของบานกรอบ ที่ได้ทำการติดตั้งแล้ว แสดงเป็นหน่วย ตารางเมตร หรือ ตารางฟุต

3.2.5 Test pressure difference คือ ความแตกต่างที่กำหนดของแรงดันแบบ static air ผ่านช่องเยื่อทดลอง แสดงเป็นหน่วย Pa (lbf/ft^2)

3.2.6 Test specimen คือ หน้าต่างหรือประตูที่กำหนดทำการติดตั้งแล้วกับผนังภายนอกของอาคาร ชุดเยื่อทดลองจะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญของประตูและหน้าต่าง ไม่ว่าจะเป็นธรณี วงกบบน วงกบล่าง

รอยต่อและรอยแตกต่างๆ ตลอดจนpanning receptors extenders mullions หรือ ส่วนอื่นใดที่จำเป็นต่อการติดตั้งและการประกอบ ทั้งนี้ ชุดเยื่อการทดลองไม่รวมถึง รอยต่อและรอยแตกใดๆหรือช่องที่เกิดจากการประกอบกับวัสดุที่อยู่ภายในต่างๆ หรือ ขอบของผนังภายนอก และไม่รวมถึงรอยต่อและรอยแตกใดๆหรือช่องระหว่างตัวประกอบและโครงสร้างของอาคาร

3.2.7 Total air flow (Q) คือ ปริมาตรของอากาศที่ไหลผ่านหนึ่งหน่วยเวลาผ่านห้องที่ทำการทดลอง ผ่านเยื่อทดลองภายใต้สภาวะที่ควบคุมความดันและอุณหภูมิ เพื่อที่จะแปลงไปเป็นหน่วยมาตรฐาน แสดงเป็น หน่วยลูกบาศก์เมตรต่อ วินาที หรือ ลูกบาศก์ฟุต ต่อ นาที (CFM)

3.2.8 Unit length of operable perimeter(L) คือ ผลรวมของขอบเขตทั้งหมดของช่องเปิดที่ใช้ในการทดลอง โดยอยู่บนฐานของมิติในแต่ละชั้นส่วน แสดงหน่วยเป็นเมตรหรือฟุต เมื่อมีรอยต่อแต่ละอันที่เกิดขึ้นร่วมกันให้ถือว่าเป็นรอยต่อเดียว

4. ผลรวมของการทดสอบ

4.1 ในการทดลอง ต้องมีการซีลห้องทดลอง(chamber)ครอบคลุมทั้งภายในและภายนอกของเยื่อทดลอง ลมจ่ายและลมระบายอากาศจากห้อง จะต้องใช้อัตราที่ถูกต้องเหมาะสมเพื่อให้ความดันในชุดทดลองมีความถูกต้องสูงสุด จากนั้นจึงทำการวัดผลของอากาศที่ไหลผ่านชุดทดลอง

5. ข้อบ่งบอกและการใช้งาน

5.1 การทดลองนี้เป็นกระบวนการมาตรฐานในการประมาณการลักษณะเฉพาะของการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจาก หน้าต่างและประตูที่ได้ทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ภายใต้ความดันอากาศที่กำหนด

5.2 อัตราการรั่วซึมของอากาศ ในบางครั้งสามารถที่จะใช้ในการเปรียบเทียบวัสดุประสงค์ได้ แต่การเปรียบเทียบจะไม่สามารถกระทำได้ ทั้งนี้เนื่องจากคู่มือที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะต้องมีขนาดที่เท่ากัน รูปลักษณะและการออกแบบที่เหมือนกัน

5.3 อัตราการรั่วซึมของอากาศที่สามารถบ่งบอกได้อย่างแน่นอนของหน้าต่างและประตูนั้น ควรที่ใช้ในการทดลองที่กระทำในห้องปฏิบัติการ(ดูการทดลองที่ E 283) และผลของการวัดที่เกิดจากการทดลองภาคสนามนี้ ในบางครั้งสามารถที่จะนำมาเปรียบเทียบด้วยกันได้เมื่อมีความประสงค์ที่จะเปรียบเทียบกันในงานวัตถุประสงค์

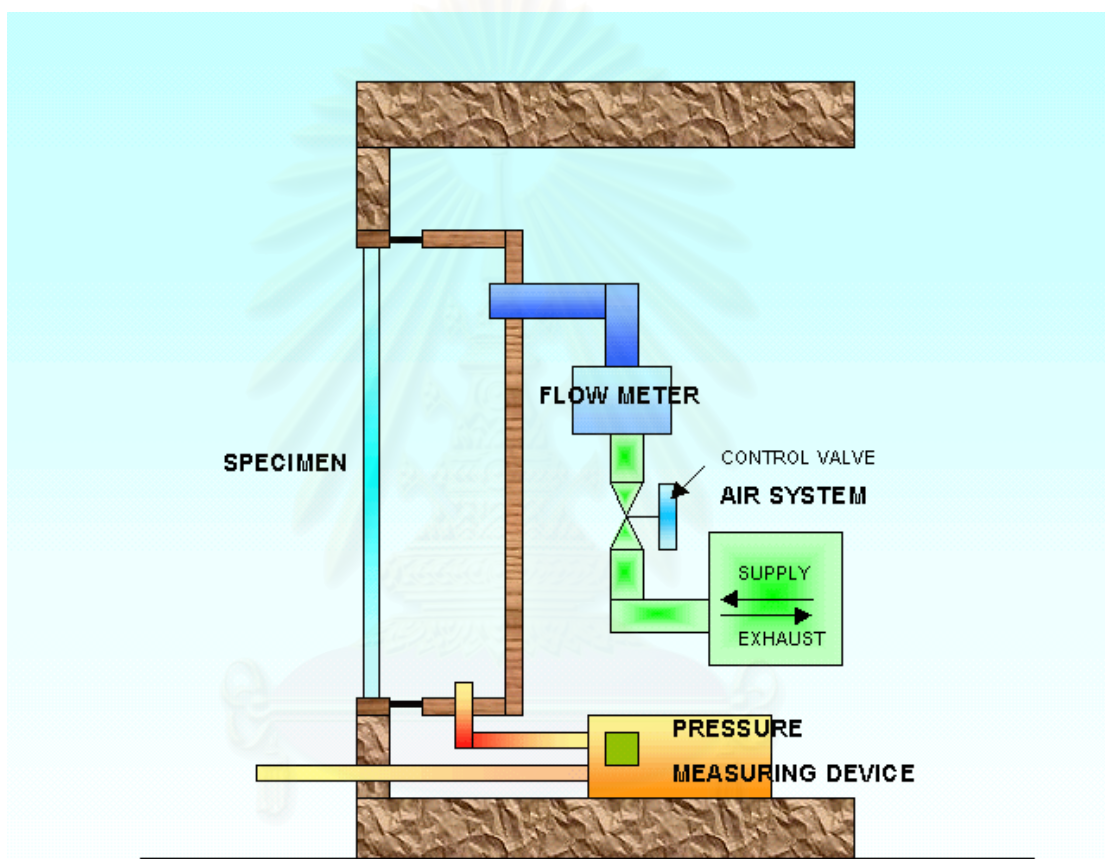
แต่อย่างไรก็ดีความสัมพันธ์ระหว่างการทดลองทั้งสองแบบและการทดลองระหว่างการ
การใช้งานจริงเมื่อมีการก่อสร้างแล้วกับการทดลองนี้ก็ยังไม่สามารถที่จะหา
ข้อสรุปที่ถูกต้องสมบูรณ์ได้เนื่องมาจากการขาดข้อมูลที่เพียงพอ

- 5.4 อัตราการรั่วซึมของอากาศที่ได้รับจากการทดลองนี้ ได้รับอิทธิพลมาจากหลาย
ปัจจัย เช่น อายุการใช้งานของชุดเยื่อทดลอง ประเภทหรือคุณภาพของการติดตั้ง
ความเอาใจใส่ในการติดตั้งชุดทดลอง และการประมาณ Extraneous leakage
ตลอดจนสภาพแวดล้อมในขณะทำการทดลองนั้นๆ ว่าชุดการทดลองสัมผัสกับสิ่ง
ใดบ้าง เช่น อุณหภูมิขณะทำการทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมที่มา
กระทำและอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองผู้ทดลองจะต้องระมัดระวังในเรื่องเหล่านี้ให้
มากและควบคุมตัวแปรที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลองให้ได้มากที่สุดด้วย
- 5.5 อัตราการรั่วซึมของอากาศที่ได้รับจากการทดลองนี้ อาจจะรวมถึงการรั่วซึมของ
อากาศที่โดยปกติไม่อาจเกิดขึ้นได้ อากาศบางครั้งอาจที่จะเกิดจากหรือถูกระบาย
โดยโครงสร้างของอาคาร ช่องว่างในผนังหรือรอยแตกของโครงสร้างที่ไม่ได้คาดคิด
หรือในบางครั้งอาจที่จะผ่านมาจากภายใน รอยต่อภายนอก หรือองค์ประกอบอื่นๆ
ที่โดยปกติไม่ได้มีการเกิดขึ้นในการใช้งานธรรมดา ดังนั้นผู้ทำการทดลองจะต้อง
ระมัดระวังในเรื่องเหล่านี้ให้มากและควบคุมตัวแปรที่อาจส่งผลกระทบต่อการ
ทดลองให้ได้มากที่สุดด้วยในระหว่างการทดลอง
- 5.6 ในการทดลองนี้เป็นกรทดลองในกรณีที่มีการรั่วซึมของอากาศเกิดจากอีกด้านหนึ่ง
ของประตู หน้าต่างที่ ใช้ในการทดลองมีความดันสูงและส่งผ่านชุดทดลองเหล่านั้น
เข้ามาเพียงอย่างเดียว การรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากรอยต่อของโครงสร้าง หรือ
รอยต่อระหว่างธรณีหน้าต่าง ประตู วงกบ ให้ถือว่าเป็นพิจารณาเป็น Extraneous
leakage และไม่ให้ถือว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการทดลอง การรั่วซึมของอากาศ
แบบ Extraneous leakage นี้ผ่านกรอบโดยรอบของชุดทดลองเข้า หรือออกจาก
อาคารได้ หากอาคารนั้นๆ ไม่ได้มีการอุดรอยต่อระหว่างหน้าต่างและประตูเอาไว้
อย่างดี

6. เครื่องมือและอุปกรณ์

- 6.1 คำอธิบายที่ปรากฏในหัวข้อเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบ
ธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการทดลองที่มีสภาวะ
แตกต่างกันออกไปสามารถที่จะยอมรับในผลการทดลองนั้นๆ ได้
- 6.1.1 ห้องทำการทดลอง (Test chamber) ห้องทดลองทำได้จากวัสดุต่างๆ อาทิ
เช่น แผ่นไม้อัด พลาสติกหรือวัสดุอื่นใดที่มีความเหมาะสมกับกรอบของชุด

ทดลอง ห้องทดลองต้องไม่มีการเพิ่มเติมเข้าไปในระหว่างการทดลอง อย่างน้อยเครื่องกำเนิดความดันจะต้องถูกติดตั้งเข้าไปด้านหนึ่งของชุดทดลอง และอีกด้านหนึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ในการวัดความดันภายในห้องทดลองกับความดันภายนอก ทั้งหมดจำเป็นที่จะต้องติดตั้งในพื้นที่ ที่จะไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วลมภายนอกซึ่งจะทำให้การอ่านค่ามีความผิดพลาดไป



รูปภาพที่ 2.6 การจัดวางอุปกรณ์และเครื่องมือโดยทั่วไปของการทดลองการรั่วซึมของอากาศ (ASTM E783-93:p760)

6.1.2 ระบบจ่ายอากาศ(supply air system) เครื่องเป่าลมที่สามารถที่จะควบคุมได้, พัดลมระบายอากาศ หรือ reversible blower ถูกออกแบบเพื่อที่จะใช้ในการทดสอบเรื่องการไหลของลมที่ความดันที่กำหนดไว้ ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนี้ จำเป็นที่จะต้องใช้การไหลของอากาศที่คงที่ในความดันที่

กำหนดในช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อที่จะสามารถอ่านค่าของการไหลอากาศที่ต้องการได้

- 6.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความดัน (pressure measuring apparatus) เครื่องมือที่ใช้จะต้องสามารถที่จะวัดความดันอากาศได้ที่ $\pm 2\%$ ของจุดที่ตั้งไว้ หรือ $\pm 2.5 \text{ Pa}$ (± 0.01 นิ้วของระดับน้ำ) สามารถใช้อันที่ดีกว่าได้
- 6.1.4 เครื่องวัดการไหลของอากาศ (air flow metering system) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดการไหลของอากาศภายในห้องที่จัดตั้งหรือวัดผ่านเยื่อที่ใช้ในการทดลอง เครื่องมือนั้นๆจะต้องมีความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 5\%$ เมื่อการไหลของอากาศมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า $9.44 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{S}$ หรือ $2 \text{ ft}^3/\text{min}$ หรือ $\pm 10\%$ เมื่อการไหลของอากาศมีค่าน้อยกว่า $9.44 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{S}$ หรือ $2 \text{ ft}^3/\text{min}$

7. อันตรายที่อาจเกิดขึ้น

- 7.1 การแตกร้าวของกระจกที่อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการทดสอบในเรื่องความดันที่แตกต่างกัน ควรให้ความสนใจในเรื่องของการป้องกันอันตรายต่อบุคคล ผู้สังเกตการณ์และ ผู้ที่อยู่ใกล้เคียง

8. สภาวะการทดสอบ

- 8.1 เรื่องที่ต้องทดสอบจำเป็นที่จะต้องให้เครื่องมือเหล่านี้ คือ
- 8.1.1 ตัวอย่างช่องเปิดหรือในที่นี้ คือ เยื่อทดสอบ การเลือกตัวอย่างและการระบุให้ตรงกับความต้องการในการทดสอบ
- 8.1.2 ความดันที่ใช้ในการทดสอบ ถ้าไม่ได้ตั้งเอาไว้ให้ใช้ที่ 75 Pa ($1.57 \text{ lb}/\text{ft}^2$)
- 8.1.3 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ อากาศแห้งจะต้องมี
- | | |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|
| ความดัน | 101.3 kPa (29.92 in. Hg) |
| อุณหภูมิ | 20.8 C (69.4F) |
| ความหนาแน่นของอากาศ | $1.202 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($0.075 \text{ lbm}/\text{ft}^3$) |
- 8.1.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ exfiltration หรือ infiltration หากไม่มีการกำหนดการทดสอบ จะเป็นในเรื่องของ infiltration
- 8.2 อัตราการรั่วซึมของอากาศ ในการรายงานเรื่องอัตราการรั่วซึมอากาศควรที่จะเป็นผลรวมของการรั่วซึม m^3/h (ft^3/min) หรือ เป็นหน่วยต่อความยาวรอยแตกที่ใช้ใน

การทดลอง $m^3/h-m$ ($ft^3/min-ft$) หรือเป็นหน่วยต่อพื้นที่ด้านนอกของกรอบช่องเปิด $m^3/h-m^2$ ($ft^3/min-ft^2$)

8.3 ผู้ที่ทำการทดลองจะต้องมีข้อมูลดังต่อไปนี้

8.3.1 ทราบว่าห้องที่ใช้ทำการทดลอง อยู่ติดกับด้านในหรือด้านนอกของเยื่อที่ใช้ในการทดลอง

8.3.2 การทดลองจะมีการนำของความดันอากาศที่เป็นบวกหรือมีค่าเป็นลบ

9. ตัวอย่าง ช่องเปิดที่ใช้ทดลองและหน่วยที่ทดลอง

9.1 ระบุจำนวนของช่องเปิดที่จะใช้ในการทดลอง และกระบวนการที่ใช้ในการทดลอง ตามที่ได้คัดเลือกและระบุเอาไว้ ดังต่อไปนี้

9.1.1 การนำเอาผลการทดลองที่ได้รับมาใช้

9.1.2 ผลการทดลองที่ได้ตั้งหรือคาดหวังเอาไว้จากผลการทดลอง

9.1.3 ระดับความน่าเชื่อถือที่ต้องการในการทำนายผลการทดลองกับตัวอย่างช่องเปิดที่ไม่ได้รับการทดลอง

9.2 การตั้งขอบเขตเรื่องของข้อจำกัด หรือความต้องการในการซ่อมแซม การปรับแต่ง หรือการดัดแปลง ช่องเปิดที่ใช้ในการทดลองตามความสำคัญของการทดลอง

10. การเตรียมการของช่องเปิดที่ใช้ในการทดลอง

10.1 เลือกและทำการระบุช่องเปิดที่จะใช้ในการทดลองตามการทดลองที่ได้ตั้งเอาไว้

10.2 จดรายละเอียดต่างๆที่สามารถมองเห็นได้เกี่ยวกับการทดลอง และการก่อสร้าง รวมไปถึงการบันทึก การสังเกตที่เกิดขึ้น จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อที่จะบันทึกลักษณะสภาวะทางกายภาพของช่องเปิดที่ใช้ในการทดลองและลักษณะการก่อสร้างในช่วงเวลาที่ทดลอง ตัวอย่างข้อสังเกตที่ควรบันทึกได้แก่ ความเสียหาย ส่วนที่หายหรือเสียหาย การปรับตั้งที่ผิดพลาดของส่วนประกอบต่างๆ ความสะอาดของการทดลอง การติดตั้งที่ไม่ได้มาตรฐาน เป็นต้น

10.3 บันทึกการซ่อมแซม การดัดแปลงหรือการปรับแต่งที่มีขึ้น ซึ่งส่วนต่างๆเหล่านี้อาจมีผลต่อผลการทดลองที่จะได้รับ

10.4 มั่นใจว่าช่องเปิดที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนป้องกันการรั่วซึมต่างต้องแห้งในขณะที่มีการทดสอบ เนื่องจากการทดสอบนี้จะได้รับผลกระทบจากปริมาณน้ำที่อยู่ในช่องเปิดที่ทำการทดลอง

11. การเตรียมการเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 11.1 ติดตั้งห้องที่จะทำการทดสอบเข้ากับช่องเปิดที่จะทำการทดสอบ โดยให้แน่ใจว่าสามารถที่จะครอบคลุมพื้นที่ที่เป็นช่องเปิดและต้องการวัดการรั่วซึมของอากาศที่เกิดขึ้น หากเป็นไปได้ให้ไม่รวมกรอบหน้าต่าง ล้างรอยแตกหรือช่องเปิดที่ไม่ต้องการทดสอบออกไป หรือใช้เทปหรือวัสดุอุดอื่นๆ ปิดช่องเหล่านั้น ปิดรอยรั่วต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างห้องที่ใช้ทดลอง ปิดช่องว่างต่างๆระหว่างห้องทดลองกับเครื่องมือกำเนิดลมหรือช่องระบายอากาศ ท่อวัดความดันหรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าอื่นๆให้หมด
- 11.2 วัดความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายนอกห้องทดลอง เครื่องมือทดลอง ช่องเปิดที่ทดลองในการทดลองเรื่องความดันที่เกิดขึ้นให้ใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งที่ได้กล่าวมา
- 11.2.1 สำหรับการทดลองที่เกิดความดันอากาศสูงของด้านหนึ่งของช่องเปิดที่ทำการทดลอง โดยที่ความดันเหล่านั้นไม่ได้รับกวนรบกวนต่อระหว่างทำการทดลอง เครื่องมือที่ใช้วัดหรือ ช่องเปิดให้ทำการอุดช่องเหล่านั้นด้วยแผ่นโพลีเอทิลีนบางๆ แน่ใจว่ามีการปิดรอยรั่วต่างๆที่อาจเกิดขึ้นในการทดลองเรียบร้อยแล้วจึงทำการปรับอัตราการไหลของอากาศจนชุดทดลองส่งผลให้ความดันที่เกิดขึ้น ทำให้ระบบที่ใช้ในการทดลองเป็นกลางหรือมีค่าเท่าๆกัน ทำการวัดและบันทึกอัตราการไหลของอากาศ
- 11.2.2 สำหรับการทดลองที่เกิดความดันต่ำในด้านของการทดลองให้ทำการปิดช่องเหล่านั้นที่อาจเกิดขึ้นด้วยแผ่นโพลีเอทิลีนบางๆ เช่นเดียวกับด้านที่เกิดความดันอากาศสูง
- 11.2.3 สำหรับการทดลองที่เกิดการเกิดของทั้งสองด้านสามารถยอมรับได้ วิธีการวัด extraneous air leakage สามารถที่จะกระทำได้เช่นเดียวกันกับเทคนิคต่างๆที่ได้เคยกล่าวถึง

12. การปรับแต่ง

- 12.1 กระบวนการปรับตั้งที่ใช้กับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดผลการทดลองนี้ได้กล่าวถึงในเอกสารของASTM อีกเล่มหนึ่ง ซึ่งในที่สุดสามารถที่จะใช้เอกสารนั้นในการอ้างอิงต่อไปได้ อย่างไรก็ตามเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทดลองนี้จำเป็นที่จะต้องทำการปรับตั้งในระยะเวลาทุกๆ 6 เดือน ในกระบวนการปรับตั้งนี้ควรที่จะปรับตั้งเครื่องมือให้สามารถวัดได้ใกล้เคียงกับสภาวะตามธรรมชาติ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นและอื่นๆ เนื่องจากภายใต้สภาวะเหล่านี้ผลการทดลองที่ได้จะสามารถนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

13. กระบวนการทดลอง

- 13.1 ปรับเครื่องมือกำเนิดลมที่ผ่านเข้าสู่ห้องที่ทำการทดลอง และช่องเปิดที่ทำการทดลอง เมื่อสภาวะการทดลองมีความคงที่ ให้บันทึกผลที่ได้จากflow meter หรือความแตกต่างของความดันอากาศ อัตราการไหลของอากาศที่สามารถวัดได้จะถูกนำไปเป็นค่า อัตราการไหลของอากาศรวมที่วัดได้ (total metered air flow : Q_t)
- 13.2 วัดความดันอากาศที่เกิดขึ้น อุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นของอากาศที่อยู่ใกล้เคียงกับด้านที่ติดกับช่องเปิดทดลอง หรืออากาศที่ใกล้กับช่องอากาศเข้า หรือช่องระบายอากาศของระบบอากาศ วัดและบันทึกความเร็ว ทิศทางของการเคลื่อนที่อากาศหรือลม ในส่วนที่ใกล้กับช่องเปิดทดลอง การวัดสามารถวัดได้ทันทีหรือระหว่างการทดลอง

14. การคำนวณ

14.1 การแสดงค่า total air flow, Q_t , and extraneous leakage , Q_e , ให้ใช้สมการที่ 1 และที่ 2

$$Q_{st} = Q (W / W_s)^{1/2} \quad (1)$$

$$W = 3.485 * 10^{-3} (B/(t + 273)) \quad (2)$$

เมื่อ

Q = air flow at nonstandard conditions,

Q_{st} = airflow corrected to standard conditions,

W_s = density of air at reference standard conditions, (1.020 kg / m³)

W = density of air at the test site, kg / m³ (lb / ft³)

B = barometric pressure at test site corrected for temperature, Pa,

T = temperature of air at flow meter, C.

For IP measurement $W_s = 0.075 \text{ lb / ft}^3$

$W = 1.326(B/(t + 460)) t=F$

14.2 แสดงอากาศที่รั่วซึมผ่านช่องเปิดที่ทำการทดลอง ด้วย

$$Q_s = Q_t - Q_e \quad (3)$$

เมื่อ

Q_s = air leakage through the test specimen, m^3 / s (ft^3 / min) at the standard conditions,

14.3 การคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดที่ทำการทดลอง ตามวิธีการทดลองทั้งสองที่กล่าวมาแล้ว

อัตราการรั่วซึมของอากาศต่อหน่วยของความยาวของรอยแตกที่ทดลอง

$$q_L = Q_s / L, m^3 / h - m (ft^3 / min - ft) \quad (4)$$

และอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อหน่วยของพื้นที่เท่ากับ

$$q_A = Q_s / A, m^3 / h - m^2 (ft^3 / min - ft^2) \quad (5)$$

15. รายงาน

15.1 การรายงานต้องรายงานหัวข้อ ดังต่อไปนี้

15.1.1 โดยทั่วไป – ผู้ทำการทดลอง วันที่ เวลา และช่วงเวลาที่ทำการทดลอง วันที่ที่รายงาน ชื่อระบุและที่ตั้งของสถานที่ทำการทดลอง

15.1.2 การบรรยายลักษณะของตัวอย่าง – ผู้ผลิต, รุ่น, รูปแบบการใช้งาน, วัสดุที่ทำ, และข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ ข้อบ่งบอกและที่ตั้งของช่องเปิดที่ทำการทดลองในอาคาร ลักษณะทางกายภาพของช่องเปิดที่ทำการทดลอง คำอธิบายเกี่ยวกับการดัดแปลง ที่ทำกับช่องเปิดทดลอง, อายุของช่องเปิดที่ทำการทดลอง, คำอธิบายลักษณะการใช้งาน การลัดค ความหนาของกระจกที่ใช้ กรรมวิธีการผลิตและชนิดของกระจก, ส่วนที่ต้องปิดเพื่อป้องกันอากาศภายนอก, รูปแบบ, วัสดุอุดรอยรั่ว ความยาวของรอยแตกที่เกิดและพื้นที่ของช่องเปิด

15.1.3 แบบของช่องเปิด – รายละเอียดของแบบช่องเปิดที่ทำการทดลอง ทั้งในเรื่องของกรอบบาน ขนาด อุปกรณ์ที่ติดตั้ง รวมไปถึงแบบก่อสร้างอื่นที่เกี่ยวข้อง

15.1.4 ขั้นตอนการสุ่มเลือก – ถ้าสามารถกระทำได้

15.1.5 ค่าต่างๆที่ทำการทดลอง – รายละเอียดของความดันที่ทดลอง , การทดลองเกิดการ exfiltration หรือ infiltration, ความดันมีค่าเป็นบวกหรือมี

ค่าเป็นลบที่นำมาใช้, ห้องที่ทดลองอยู่ด้านในหรือด้านนอกของช่องเปิดที่ทำการทดลอง, ฯลฯ

15.1.6 สภาพโดยรวมขณะทำการทดลอง – บันทึกอุณหภูมิภายในและภายนอก, ความชื้นสัมพัทธ์, ความดันที่เกิด, ความเร็วและทิศทางของลม, ฯลฯ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องวัดระหว่างการทดลองด้วย

15.1.7 ความแตกต่างของความดันและการรั่วซึม

15.1.8 สภาพวะที่อนุโลม – จะต้องทำการบันทึกเนื่องจากบางสภาพวะอาจส่งผลต่อการทดลองได้

16. ความถูกต้องและการลำเอียงในการทดลอง

16.1 ในปัจจุบัน เนื่องจากความจำกัดในเรื่องของข้อมูลที่สามารถค้นหาได้ในการระบุถึงความถูกต้องและความลำเอียงที่เกิดขึ้นในการทดลอง ทำให้สามารถที่จะยอมรับผลการทดลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายได้ 15 % หรือน้อยกว่านั้น ขึ้นอยู่กับกรณีการทดลองที่แตกต่างกัน

17. คำค้นหา (key words)

17.1 air leakage, doors, fenestration, field methods, static pressure chamber, test method, windows

ANNEX

A1. ERROR IN WINDOW AIR FLOW LEAKAGE

A1.1 คำจำกัดความ

| | | |
|-----------------|---|---------------------------|
| A1.1.1 Q_s | = | air flow through specimen |
| A1.1.2 Q_{ts} | = | total air flow |
| A1.1.3 Q_{es} | = | extraneous air flow |
| A1.1.4 Δ | = | delta |

A1.2 ในเครื่องมือการทดลองที่มีการใช้ระบบจ่ายลม

$$Q_s = Q_e - Q_{es} \quad (A1.1)$$

A1.2.1 extraneous air leakage แสดงถึงการรั่วซึมของอากาศรวมที่ผ่านออกจากห้องทดลอง โดยที่ไม่ได้ผ่านส่วนที่เป็นช่องเปิดทดลอง หรือเยื่อที่ใช้ในการทดลองอย่างเหมาะสม ในกรณีนี้รวมไปถึงอากาศที่รั่วออกจากห้องทดลองผ่านทางผนังที่ใช้ก่อสร้าง และรอบๆช่องเปิดที่ทดลอง เมื่อมีการใช้ panel mounting การรั่วซึมระหว่างห้องทดลองและ panel mounting แสดงถึง extraneous air leakage อีกด้วย extraneous air leakage เป็นฟังก์ชันของความดันอากาศที่แตกต่างระหว่างห้องทดลองกับห้องปกติ รวมไปถึงการทดลองที่เกี่ยวกับช่องเปิดทดลองด้วย

A1.3 ความผิดพลาดรวมที่เกิดจากการประมาณการผ่านของลมผ่านช่องเปิดทดลอง สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Delta Q_s / Q_s = [\Delta Q_{ts} / (Q_{ts} - Q_{es})] + [\Delta Q_{es} / (Q_{ts} - Q_{es})] \quad (A1.2)$$

A1.3.1 การประมาณการไหลของอากาศเมื่อทำการประมาณแล้วไม่ควรมีความผิดพลาดเกินจาก

$$\Delta Q_s / Q_s = 65\% \quad (A1.3)$$

เมื่อค่าของ extraneous air leakage มีค่าความแม่นยำเท่ากับ

$$\Delta Q_{es} / Q_{es} = 610\% \quad (A1.4)$$

และเมื่อ Q_{es} เป็น 10% ของ Q_{ts} ดังนั้นจึงสามารถที่จะช่วยในเรื่อง extraneous air leakage ให้ความผิดพลาดรวมในสมการ A1.2 มีค่าเท่ากับ 61% เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมาจากเครื่องมือ flow meter ที่ส่งผลต่อความผิดพลาดรวมถูกจำกัดอยู่ที่ 4% แต่เนื่องจาก $Q_{ts} = Q_s +$

$Q_{es} = 1.10 Q_s$ ดังนั้นค่าความแม่นยำของเครื่องมือ flow meter จึงมีค่าเท่ากับ

$$\Delta Q_s / Q_s = 4\% / 1.1 = 3.6\% \quad (A1.5)$$

A1.3.2 จะเห็นได้ว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ flow meter คือ ค่าความเหมาะสมของ Q_{es} to Q_s ถ้าค่า $\Delta Q_{es}/q_{es}$ ยังอยู่ระหว่าง 610% แต่ถ้า Q_{ts} เป็น 50% ของ Q_s ค่าความผิดพลาดที่เกิดจาก extraneous leakage จะมีค่าเท่ากับ 5% หากไม่มีการคิดค่า extraneous leakage ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือ flow meter จะสามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 5%

The American Society for Testing and Materials (ASTM E1886-1887)

ในส่วนของการทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกาที่ใช้ในการทดสอบเรื่องการรั่วซึมของอากาศ ที่เกี่ยวข้องกับอาคารทดลองนี้ จะประกอบไปด้วยมาตรฐานหลายตัวส่วนที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย มาตรฐานASTM E1886 –1997(Reapproved 1992) Standard Practices for Air Leakage Sita Detection in Building Envelopes โดยมีรายละเอียดของมาตรฐาน ดังนี้

1. ขอบเขต

1.1 การปฏิบัติการนี้ ใช้อธิบาย เทคนิคที่เป็นมาตรฐานของการหาตำแหน่งที่มีการรั่วซึมของอากาศ ในเปลือกของอาคาร

1.2 การปฏิบัติการนี้ เสนอวิธีการทดลองแบบต่างๆที่ใช้ในการวัด ทดสอบการรั่วซึมของอากาศ โดยในแต่ละวิธีการทดลองมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน

1.3 บางการทดลองจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ในเรื่องของ Infrared scanning, การเพิ่มและลดความดันในอาคาร, เทคนิคการสร้างควันและตรวจสอบควัน, การสร้างและตรวจสอบเสียง, และวิธีการวัดปริมาณTracer gas

1.4 การทดลองที่ได้บรรยายเป็นการทดลองในเชิงคุณภาพเพื่อการตรวจสอบธรรมชาติของการรั่วซึมของอากาศในอาคารมากกว่าการทดสอบปริมาณของการรั่วซึมของอากาศ

1.5 มาตรฐานนี้ไม่ได้บ่งบอกถึงเรื่องอันตรายและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ในการทดลอง ผู้ใช้ควรที่จะมีความเข้าใจในวิธีการทดลองและหาวิธีที่จะป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น รวมไปถึงข้อจำกัดของวิธีการทดลองแบบต่างๆด้วยเช่นกัน

2. เอกสารที่ใช้ในการอ้างอิง

2.1 ASTM Standard: E631 Terminology of Building Constructions

2.2 ASTM Standard: E741 Test Method for Measuring Air Leakage Rate by Tracer Dilution

2.3 ASTM Standard: E779 Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization

2.4 Other standard Ansi-ASHRAE Standard 101 Application of Infrared Sensing Devices to the Assessment of Building Heat Loss Characteristics

2.5 ISO Standard 6781 Thermal Insulation-Qualitative Detection of Thermal Irregularities in Building Envelopes-Infrared Method

3. คำจำกัดความ

- 3.1 Definitions ดูที่ Terminology E 631
- 3.2 Air leakage rate ปริมาณของอากาศที่ผ่านหน่วยหนึ่งเป็นเวลาผ่านเปลือกอาคาร การเคลื่อนที่นี้ยังหมายรวมถึงการไหลผ่านทางข้อต่อ, รอยแตก, และพื้นผิวหรือวัสดุที่ใช้ร่วมกัน พลังที่ขับเคลื่อนให้เกิดการไหลของอากาศรวมไปถึงพลังงานที่เกิดจากเครื่องจักร การสร้างความดันและการลดความดันในอาคาร, สายลมธรรมชาติ, หรือความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคาร หรือที่กล่าวมาแล้วรวมด้วยกันทั้งหมด
- 3.3 Air leakage site สถานที่ของเปลือกอาคารที่มีการเข้ามาของอากาศหรืออากาศมีอยู่ก่อนหน้าแล้ว เป็นเหตุให้เกิดการรั่วซึมของอากาศ
- 3.4 Building envelope ขอบเขตหรือเขตที่กั้นแบ่งแยกระหว่างปริมาตรภายในและสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร เพื่อจุดประสงค์ของการทดลองที่ถูกต้องปริมาตรภายในอาคารในที่นี้ ไม่รวมไปถึงพื้นที่ห้องใต้หลังคา พื้นที่ชั้นใต้ดินและโครงสร้างที่มาติดกับอาคารนอกเสียจากว่าพื้นที่เหล่านี้มาติดต่อกับอาคารในส่วนของการทำงานเย็นและการทำความร้อนของอาคาร อาคารที่มีลักษณะเช่นนี้สามารถที่จะขยายขอบเขตของคำจำกัดความออกไปได้เนื่องจากช่องducting หรือโครงสร้างอื่นๆ

4. ผลรวมของการทดลอง

- 4.1 การทดลองนี้แสดงการทดสอบการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร 5 ประเภท คือ
- 4.1.1 Combined building depressurization (or pressurization) and infrared scanning,
- 4.1.2 Building pressurization (or depressurization) and smoke tracers,
- 4.1.3 Building depressurization (or pressurization) and airflow measurement devices,
- 4.1.4 Generated sound and sound detection to locate air leakage site, and
- 4.1.5 Detection of tracer gas concentration after adding tracer gas upstream of leakage site วิธีการนี้สามารถอธิบายด้วยวิธีการที่ซับซ้อนกว่า ดังนี้

4.1.5.1 building depressurization (or pressurization) and infrared scanning Techniques to detect air leakage sites วิธีการนี้เป็น การพิจารณาถึงอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอก อย่างน้อยที่สุด 5 C ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกเป็น เหตุให้อากาศไหลเข้าสู่อาคาร จากกรณีที่ในอาคารมีการลดความดัน ลงด้วยพัดลม(Test method E779)หรือการใช้ระบบเครื่องกลของ อาคารเอง เพราะอากาศที่ไหลเข้ามามีอุณหภูมิที่แตกต่างจาก อุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารภายในจึงสามารถที่จะใช้เครื่องมือ infrared scanning ตรวจสอบได้ และสรุปออกมาเป็นปริมาณการ รั่วซึมของอากาศในท้ายที่สุด ความดันของอากาศในอาคารเป็นผล ให้รูปแบบของการรั่วซึมของอากาศเปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ดี ภูมิอากาศท้องถิ่นก็มีอิทธิพลเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นแสงอาทิตย์ ลมก็ สามารถทำให้การตรวจสอบมีความยุ่งยากได้ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ก็ จำเป็นที่จะต้องมีความอ่อนไหวต่อการตรวจสอบที่ดี ตาม มาตราฐานของ ANSI-ASHRAE 101 และ ISO STANDARD 6781 ด้วย

4.1.5.2 Smoke Tracer in Conjunction with Building Pressurization or Depressurization ถ้าอาคารมีความดันในอาคาร แหล่งกำเนิด Smoke Tracerมีการเคลื่อนที่ไปในส่วนในของเปลือกอาคาร การ รั่วซึมของอากาศก็จะทำให้ควันเคลื่อนที่จากแหล่งตามตามบริเวณที่ มีการรั่วซึม ในทางกลับกัน อาคารที่ไม่มีความดันเกิดขึ้น อากาศที่มีความเร็วสูงก็จะทำให้ควันเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน เทคนิค เดียวกันนี้สามารถที่จะนำไปประยุกต์เพื่อใช้ภายนอกอาคารได้อีก ด้วย

4.1.5.3 Air Flow Measurement Devices or Anemometers ถ้าอาคารไม่มีความดันเกิดขึ้น ความเร็วลมเป็นตัวที่ใช้ในการทดสอบการรั่วซึมที่ดี ได้ วิธีการนี้เป็นการใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมตรวจสอบความเร็ว ลมที่เพิ่มขั้วสูงสุดบริเวณที่มีการรั่วซึม เมื่อใช้เครื่องมือกวาดไปใน บริเวณผนัง ถ้าอาคารมีความดันเกิดขึ้น อากาศภายในจะเคลื่อนที่ ตามบริเวณที่มีการรั่วซึม ในกรณีที่ความเร็วลมมีค่าสูงสุดจะมีความ แน่นอ่อนน้อยลง เมื่อมีการเคลื่อนเครื่องมือไปบนผิวผนังด้านใน

- 4.1.5.4 Tracer Gas tracer gas จะใช้ปล่อยออกมาจากอีกด้านของบริเวณที่มีการรั่วซึมและมีเครื่องมือตรวจสอบ tracer gas อยู่อีกด้านหนึ่ง เพื่อตรวจสอบความดันของตัวtracer gas เครื่องมือนี้จะช่วยบ่งบอกบริเวณที่มีการรั่วซึมได้ เช่นเดียวกันกับวิธีการวัดก่อนหน้า วิธีการนี้สามารถใช้กับอาคารที่มีความดันและไม่มีความดัน จะทำให้กระบวนการในการตรวจสอบมีความรวดเร็วมากขึ้น
- 4.1.5.5 Generated Sound to Locate Leaks ด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างคลื่นเสียงภายในอาคาร วิธีการนี้เป็นการเคลื่อนเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบเสียงอยู่ด้านนอกของอาคาร ความเข้มข้นของเสียงที่เพิ่มขึ้นบ่งบอกว่าอาคารมีการรั่วซึมของอากาศบริเวณนั้น วิธีการนี้ก็สามารถที่จะกลับด้านกันได้เพื่อตรวจสอบการรั่วซึมของผนังด้านในเช่นกัน
- 4.1.5.6 วิธีการอื่นๆ วิธีการอื่นเช่น การใช้ระเบิดควัน จะไม่มีการอธิบายเนื่องจากต้องมีความชำนาญพิเศษ เครื่องมือที่มีความซับซ้อน และมีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากการทดลองสูงมากนั่นเอง

5. ข้อบ่งบอกและการใช้งาน

- 5.1 การรั่วซึมของอากาศเป็นเหตุให้บริเวณที่มีการปรับอากาศไม่ว่าจะการควบคุมความร้อนหรือความเย็น และส่งผลต่อผู้ใช้อาคารในเรื่องของ กลิ่น โชนสบาย และคุณภาพอากาศภายในเป็นต้น ความแตกต่างของความดันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร การรั่วของอากาศเหล่านี้ก็ก่อให้เกิดการรั่วซึมของอากาศเช่นเดียวกัน
- 5.2 ในอาคารการค้าและอาคารอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ อากาศภายนอกมักที่จะเป็นการใช้อากาศธรรมชาติ และมีการใช้ AHU ในบริเวณที่ไม่สามารถควบคุมการเกิดการรั่วซึมของอากาศได้ สำหรับอาคารที่พักอาศัยโดนส่วนใหญ่ การแลกเปลี่ยนระหว่างอากาศภายในและภายนอกมักที่จะเกิดจากการรั่วของรอยต่อต่างๆ รอยแตก และองค์ประกอบต่างๆของอาคาร Airflow bypasses มักที่จะเกิดระหว่างส่วนที่ใช้เป็นที่พักอาศัยและห้องใต้หลังคา ส่วนมากก่อให้เกิดการรั่วซึมของอากาศมากนั้น มักที่จะตรวจสอบด้วยสายตายากเช่นกัน
- 5.3 บริเวณที่อากาศรั่วมากที่สุดที่จะตรวจสอบได้ยากมากเนื่องจากมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับอากาศในสภาวะปกติ สภาวะของลมปกติจะสามารถช่วยในการ

ตรวจสอบบริเวณที่มีอากาศรั่วด้วยการบังคับให้อากาศเข้าสู่อาคาร อย่างไรก็ตามเมื่ออากาศไหลออก การตรวจสอบก็ทำได้ยากเช่นกันเนื่องจากเปลือกอากาศเป็นสาเหตุ ด้วยเหตุนี้การบังคับให้เกิดความดันและการลดความดันจึงเป็นวิธีการที่แนะนำให้ทดลองมากที่สุด สำหรับวิธีการทดลองที่ต้องการการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ

5.4 เทคนิคที่กล่าวมาทั้งหมดครอบคลุมการทดลองอย่างกว้างและมีความยืดหยุ่นเนื่องจากจำเป็นที่จะต้องเลือกเพื่อให้เหมาะสมกับการทดลองในแต่ละสถานที่

5.5 The Depressurization and Pressurization with infrared scanning เป็นวิธีการสำหรับการตรวจสอบการรั่วของอากาศที่มีข้อได้เปรียบในเรื่องของการทำการทดลองที่รวดเร็ว พื้นผิวทั้งด้านในและด้านนอกสามารถที่จะตรวจสอบได้ด้วยการสแกนเพียงครั้งเดียว รวมไปถึงการที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่สะสมอยู่ในเปลือกอาคารและความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ รายละเอียดของบริเวณที่มีการรั่วซึมของอากาศสามารถที่จะเจาะจงลงไปได้ด้วยการสแกนบริเวณที่ต้องการ

5.6 ความซับซ้อนของการเกิดการรั่วซึมของอากาศในแต่ละอาคาร ก่อให้เกิดความยากง่ายในแต่ละอาคารและวิธีการที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบด้วยเสียงวัสดุที่อยู่ในบริเวณที่ทดลองอาจมีการดูดซับเสียงให้ลดลงไป การตรวจสอบด้วยการเคลื่อนที่ของอากาศ ก็จะมีการสูญเสียความร้อนบางส่วนให้กับอาคารและทำให้การตรวจสอบด้วย Thermographic ยากขึ้นมาอีกด้วย การขาดความเร็วลมที่พอเหมาะก็ทำให้การวัดด้วยเครื่องมือวัดความเร็วลมมีความยากขึ้นเช่นเดียวกัน

5.7 การเกิด Stack Effect ในอาคารที่มีหลายชั้นในอาคารเพื่อการค้า อาจส่งผลให้ damper แบบแรงดึงดูด เปิดอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุม damper ก็จะสามารถทำให้การตรวจสอบมีความละเอียดอ่อนเพื่อมากขึ้น

6. วิธีการทดลอง

6.1 แต่ละวิธีการที่ทำการทดลองหาตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึมของอากาศ มีความผิดพลาด การตรวจสอบบริเวณที่ทดลองอีกครั้งก็มีความจำเป็น ในบางบริเวณที่มีการรั่วซึมก็มีการไหลแบบมีทิศทางดังนั้นจึงต้องมีการเลือกวิธีการทดลองที่เหมาะสมในแต่ละกรณี

6.2 Depressurization or pressurization /infrared Method วิธีการนี้หลักการคือการขึ้นอยู่กับอากาศภายนอกที่ผ่านเข้ามาทางส่วนที่เปิดของเปลือกอาคารในอาคารที่ไม่มีความดันเกิดขึ้น ทำให้ผนังภายในเย็นลง หรือร้อนขึ้น บริเวณรอบๆพื้นที่

อากาศมีการรั่วซึม การตรวจสอบด้วยInfrared Scanning จึงใช้ในการตรวจสอบความแตกต่างของอุณหภูมิของผิวด้านใน

6.3 Smoke Tracer Method วิธีการนี้หลักการ คือ อากาศที่ไหลเข้าสู่อาคารก็จะนำGas เข้าสู่อาคารในบริเวณเดียวกัน การสังเกตใช้การสังเกตด้วยสายตา ในการวัดปริมาณใช้เครื่องมือในการวัดปริมาณgas ที่เกิดด้วยเครื่องมือชนิดพิเศษ

6.4 Anemometer Method หลักการของการทดลองด้วยเครื่องวัดความเร็วลม คือ อากาศที่รั่วซึมเข้ามาบริเวณที่รั่วจะมีความเร็วที่แตกต่างจากอากาศอื่น ๆ ในห้อง ถ้าอาคารไม่มีการเกิดความดัน อากาศที่ไหลเข้ามาจะมีลักษณะเป็น Jet-Like Airflow ด้วยวิธีการนี้เองความเร็วของอากาศที่มากจะค่อยๆลดน้อยลง เป็นผลให้สามารถที่จะตรวจสอบบริเวณที่มีการรั่วได้อย่างรวดเร็ว เครื่องมือที่ใช้ในการวัดบางชนิดจะสามารถทำงานได้บนความเร็วที่แตกต่างกัน ทำให้การตรวจสอบการรั่วซึมของอากาศมีประสิทธิภาพและสามารถวัดได้อย่างถูกต้องและหลากหลาย

6.4.1 **พื้นฐานความเข้าใจ** ความเร็วของอากาศบริเวณที่ใกล้กับพื้นผิวผนังอาคารจะมีความเร็วใกล้เคียง เข้าใกล้ค่าเท่ากับ 0 นอกเสียจากว่าอาคารนั้นเป็นอาคารที่มีระบบกระจายอากาศก็อาจจะทำให้ค่าอากาศที่วัดได้มีความเร็วมากกว่าที่ประมาณไว้ โดยปกติอากาศที่มีการไหลเข้ามาหรือไหลออกไปเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศ จะส่งผลต่อค่าความเร็วที่วัดได้จากอากาศโดยทั่วไปให้มีค่าที่หลากหลาย การสร้างให้อาคารไม่มีหรือมีการเกิดความดันจะช่วยให้การตรวจสอบบริเวณที่เกิดการรั่วซึมของอากาศง่ายขึ้นและรูปแบบของการเกิดการรั่วซึมอากาศเป็นไปอย่างปกติ

6.4.2 **ระบบการอัดความดัน** ระบบเหล่านี้จะประกอบไปด้วย การBlower door window fan และพัดลมที่เกี่ยวข้องกับระบบเครื่องกลของอาคารเหล่านี้จะช่วยให้ความดันที่เกิดแตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกของอาคารลดลง บางระบบสามารถที่จะสร้างความแตกต่างของความดันได้มีค่ามากถึง 50 Pa ก็จะมีผลให้การทดลองมีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ความแตกต่างของความดันอากาศ ประมาณ 20 Paหรือน้อยกว่า โดยปกติก็สามารถที่จะใช้ในการทดลองหาบริเวณที่เกิดการรั่วซึมของอากาศได้

6.4.3 **เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)** เครื่องวัดความเร็วลม มีการออกแบบให้มีรูปร่างแตกต่างกัน เช่น บางประเภทมีลักษณะเป็นเส้น

ลดความร้อนที่มีหน่วยของthermistor อยู่หนึ่งหรือหลายตัว และมี
ความสามารถสูงมากในการจำแนกความถี่ของความร้อนที่เกิดจาก
อากาศเพื่อนำไปคำนวณเป็นความเร็วลมต่อไป มีชื่อเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้
ว่า HOT-WIRE Anemometer

6.4.4 รายละเอียดของวิธีการทดลอง วิธีการนี้ขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของ
อากาศบริเวณที่เกิดการรั่วซึมอากาศ เช่นเดียวกันกับวิธีการTracer Gas
เพื่อให้บริเวณที่มีการรั่วซึม

6.4.5 ข้อจำกัดของการทดลอง วิธีการนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่การอ่านค่าของความเร็ว
ลมที่วัดได้ หมายความว่าถึงทางทิศทางที่ถูกต้องเพื่อการอ่านค่าที่ถูกต้อง
การรวบรวมข้อมูลต้องมีความเที่ยงตรง และปัญหาที่เกิดขึ้นหลักใหญ่ คือ
ยากต่อการวัดในบริเวณที่เข้าถึงได้ยาก เช่น ฝ้าเพดาน โปสเตอร์และอื่นๆ

6.5 Acoustic Method หลักการของวิธีการนี้ คือ การอ่านค่าของเสียงที่ผ่านเปลือก
อาคารเข้ามา บริเวณที่มีการรั่วซึมของอากาศ ค่าของเสียงที่อ่านได้ย่อมที่จะมีค่า
มากกว่าค่าปกติเช่นเดียวกันกับ การอ่านค่าของอากาศที่รั่วซึมเข้ามา

6.6 Tracer Gas วิธีการนี้ มีหลักการ คือ การอ่านค่าของTracer gas ที่ปนเข้ามา
อากาศปกติที่วัดได้ เช่นในกรณีของการทดลอง E741 จากนั้นจึงหาบริเวณที่
อากาศมีการปนเปื้อนของTracer gas ก็จะทราบว่าบริเวณไหนที่มีการรั่วซึมของ
อากาศ

7. ความเที่ยงตรงและการเกิดความลำเอียงในการทดลอง

7.1 กระบวนการในการทดลองที่กล่าวไ้แล้วนั้นมุ่งเน้นในเรื่องของการทดลองแบบ
คุณภาพเพื่อที่จะหาว่าบริเวณใดที่เกิดการรั่วซึมของอากาศมากกว่าการ
ทดลองเพื่อหาปริมาณการรั่วซึมของอากาศในบริเวณที่มีการรั่วซึม เพื่อความ
เหมาะสมควรที่ใช้วิธีการทดลองที่เหมาะสมกับบริเวณที่มีการรั่วซึมขนาดเล็ก

**สรุปผลของการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิดที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน
ในอาคาร**

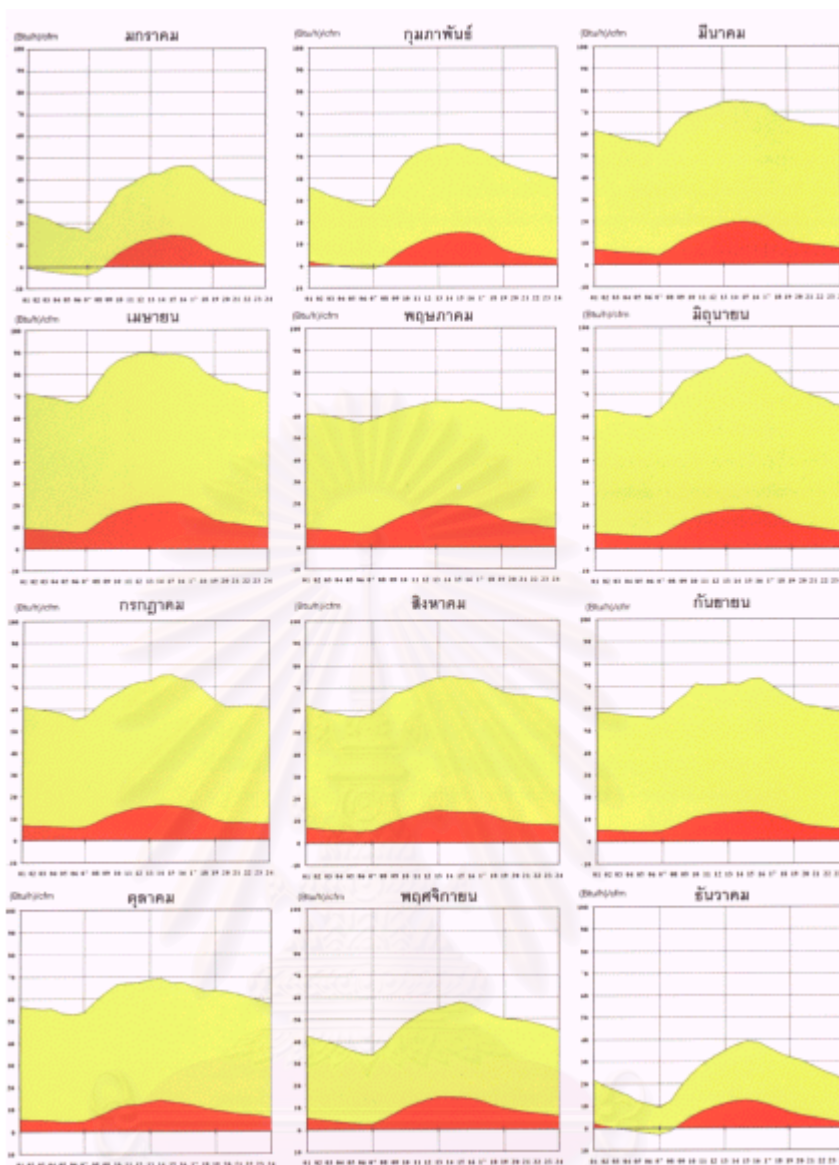
จากความเข้าใจต่างๆที่กล่าวมาในขั้นต้น สามารถที่จะสรุปถึงผลของการรั่วซึมอากาศ
ผ่านทางช่องเปิดว่ามีผลกระทบอย่างไรต่อการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างไร กล่าวคือ

การรั่วซึมของอากาศ เป็นความไม่ต้องการของผู้ออกแบบ ผู้ใช้อาคารเนื่องจากการ
รั่วซึมของอากาศส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศอย่างสูง ดังนั้นจึงไม่เป็นที่
ต้องการในอาคารที่มีการปรับอากาศซึ่งแตกต่างไปจาก

การใช้อากาศระบาย (Cross Ventilation) เนื่องจากในอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศนั้นหนทางที่จะทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเย็นขึ้นมากกว่าอุณหภูมิของอากาศ วิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับภูมิภาคแบบร้อนชื้นนี้ คือ การใช้ความเร็วลมเข้ามาช่วยทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเสมือนหนึ่งว่าอุณหภูมิมีค่าต่ำลงและอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถรับได้ จากการวิจัยพบว่าเมื่อความเร็วลมที่สัมผัสร่างกายของผู้ใช้อาคารมีความเร็วเพิ่มขึ้นในอัตรา 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเสมือนว่าเย็นลง 0.40 องศาเซลเซียส เมื่อมีความเร็วลมเพิ่มมากขึ้นก็จะสามารถทำให้รู้สึกเสมือนว่าเย็นลงไปได้มากขึ้น แต่ก็ต้องอยู่ในข้อจำกัดของความเร็วลมเนื่องจากถ้าความเร็วลมมีค่าที่สูงมากเกินไปก็จะทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกไม่สบาย แทนที่จะรู้สึกสบาย โดยเฉลี่ยความเร็วลมที่ผู้ใช้อาคารอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้ คือประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นั้นหมายความว่าสามารถทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกเสมือนหนึ่งว่าเย็นลงไป 4.00 องศาเซลเซียสนั่นเอง

เนื่องจากอาคารที่มีการปรับอากาศนั้น การรั่วซึมของอากาศไม่เป็นที่ต้องการและเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศอาคารก็เนื่องมาจาก ในความเป็นจริงแล้วจะพบว่าในภูมิภาคแบบร้อนชื้นนั้น ภาวะการปรับอากาศโดยส่วนใหญ่เกิดจากความชื้นมากกว่าความร้อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงปริมาณพลังงาน เฉลี่ยใน 1 วันของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและลดอุณหภูมิให้กับอากาศ (สุนทร บุญญาริการ, 2542:59)

จากภาพจะเห็นได้ว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศโดยรวมนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ 1. ค่าพลังงานที่เครื่องปรับอากาศต้องใช้เพื่อการลดความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคาร (สีแดง) และ 2. ค่าพลังงานที่เครื่องปรับอากาศต้องใช้ในการลดความชื้นที่สะสมอยู่ในอาคาร (สีเหลือง) ในแต่ละเดือนสามารถที่จะบ่งบอกได้ว่าค่าพลังงานที่เครื่องปรับอากาศใช้ในการลดความชื้นที่สะสมอยู่ในอาคารนั้นมีมากกว่าค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการลดความร้อน อยู่โดยเฉลี่ยประมาณ 3 เท่า ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียไปในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในการปรับอากาศ คือ พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นมากกว่าการลดความร้อน ความร้อน จะเห็นได้ว่าความชื้นจากการรั่วซึมของอากาศเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้อาคารปรับอากาศสูญเสียพลังงานได้อย่างมากจากตัวอย่าง “เมื่อพิจารณาถึงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและลด

อุณหภูมิให้กับอากาศต่อ 1 ลิตรต่อ 1 วินาทีของปริมาณอากาศจะค่อนข้างสูงมาก ในเดือนเมษายนมีค่าเฉลี่ยพลังงานสูงถึงชั่วโมงละ 44.7 วัตต์ต่อลิตรต่อวินาที (72 ปีที่อยู่ต่อลูกบาศก์ฟุตต่อนาที:CFM) หมายความว่า หากใช้พัดลมดูดอากาศขนาด 100 ลิตรต่อวินาที(212 CFM) ซึ่งเป็นพัดลมขนาดเล็กที่นิยมใช้กันทั่วไปในห้องน้ำโดยเปิดไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะต้องสูญเสียพลังงานให้กับการลดอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศขนาด 1.3 ตันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เช่นเดียวกันกับเดือนอื่นๆของปีก็ไม่แตกต่างกันมากนัก”(สุนทร บุญญาธิการ:2542 หน้า 57) หรือ”ถ้าเปิดประตูบานขนาด 1 เมตร * 2 เมตรในด้านใต้ลมช่วงบ่ายในเดือนเมษายน โดยมีความเร็วลมภายนอกประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง(546.8 fpm) หากลมนั้นเคลื่อนที่เข้าสู่ตัวบ้านอย่างสะดวกเป็นเวลา 1 นาที จะต้องเพิ่มภาระให้กับเครื่องปรับอากาศลดอุณหภูมิให้อาคารประมาณ 12.6 เมกะจูล(12000 บีทียู)นั่นก็หมายความว่า ถ้าเปิดประตูค้างไว้เพียง 1 นาทีจะต้องใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตันเป็นเวลานาน 1 ชั่วโมงในการลดความชื้นและอุณหภูมิให้กับกระแสลม ที่ผ่านเข้ามาในอาคารโดยผ่านประตูบานดังกล่าว”(สุนทร บุญญาธิการ :2542 หน้า 56) จากตัวอย่างทั้งสองยิ่งทำให้เห็นชัดเจนว่าการรั่วซึมของอากาศเป็นต้นเหตุของการรั่วซึมของความชื้นและความร้อนที่เข้ามาพร้อมกับกระแสลม ซึ่งส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองในอาคารที่มีการปรับอากาศอย่างมาก

ในปัจจุบันวัสดุก่อสร้างที่ผลิตออกมาสามารถผลิตให้มีค่าความเป็นฉนวนสูงและการออกแบบที่ถูกวิธีสามารถที่จะป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารได้มากแต่ขณะเดียวกันการป้องกันความชื้นที่เข้าสู่อาคารก็ยังไม่ประสบผลสำเร็จมากนัก และปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้มีการศึกษาวิจัยฉบับนี้ขึ้นมา ก็เนื่องจากการป้องกันการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดในขณะปิดยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก ทั้งที่การรั่วซึมเป็นปัจจัยสำคัญที่นำพาความชื้นเข้าสู่อาคาร จนเป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศอย่างมาก

หากสามารถที่จะออกแบบและควบคุมการรั่วซึมของอากาศได้อย่างเหมาะสมนั้นย่อมที่จะส่งผลให้ความชื้นเข้าสู่อาคารได้น้อยลง เป็นผลให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศสำหรับภูมิภาคร้อนชื้น เช่น ประเทศไทยได้อย่างสมบูรณ์อีกทางหนึ่งด้วย

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการวิจัยเพื่อศึกษา ค้นคว้าเรื่องผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดลองจากการศึกษาสถานที่จริงเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและการศึกษาโดยการใช้แบบจำลองประกอบการทดลองเพื่อให้ผลการทดลองที่ได้รับมีความถูกต้อง ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการทดลองจึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

1. การทดลองโดยการศึกษาจากสถานที่จริง

การเลือกอาคารที่เหมาะสมในการศึกษา ประกอบไปด้วย

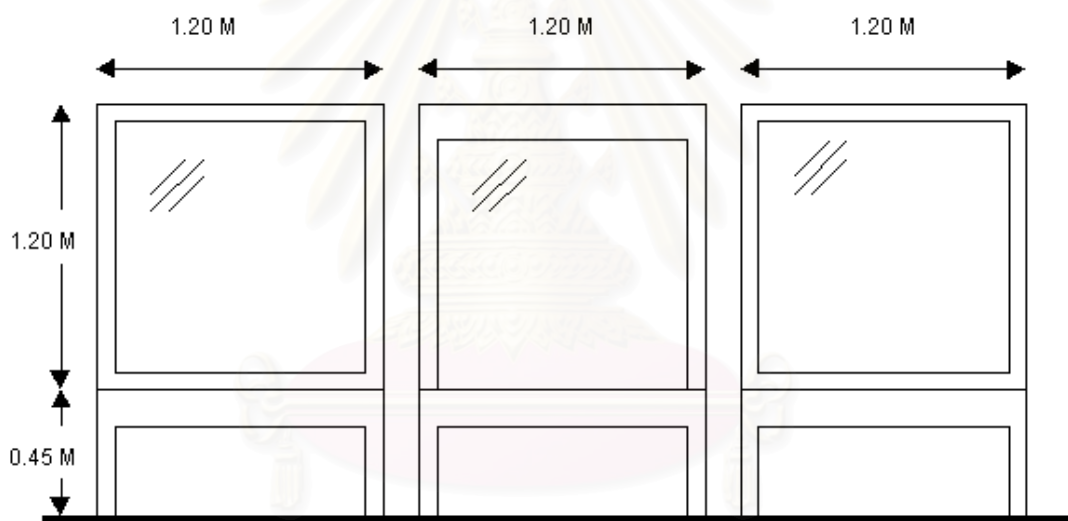
- เป็นอาคารที่มีการปรับอากาศ และมีช่องเปิดที่ติดต่อกับอากาศภายนอก เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการรั่วซึมของอากาศ
- มีช่องเปิดที่เหมาะสมจากการศึกษาการวิจัยที่มีอยู่เดิมแล้ว นำมาคัดเลือกเป็นหมวดหมู่เพื่อให้สามารถจำแนกตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมของอากาศ คือ ขนาดของช่องเปิด และรูปร่างของช่องเปิดที่กำหนด ได้
- เป็นอาคารที่ตั้งอยู่ในสถานที่ที่เหมาะสมเนื่องจากการทดลองจำเป็นที่จะต้องนำเอาเรื่องความเร็วลมและข้อมูลภูมิอากาศเข้ามาคำนวณความเหมาะสมของความเร็วลมตามที่กำหนด
- เป็นอาคารที่มีรูปร่างถูกต้องตามลักษณะที่กำหนด จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการเกิดความดันบวกและความดันลบบริเวณช่องเปิดที่ทำการทดลอง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงดันอากาศเป็นเหตุให้เกิดการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารต่อไป
- เป็นอาคารที่มีจำนวนผู้ใช้เฉลี่ยปกติตามความเป็นจริง เนื่องจากการที่มีผู้ใช้เฉลี่ยของอาคารมาก ทำให้มีการเปิดปิดเข้าสู่อาคารมากกว่าอาคารที่มีผู้ใช้เฉลี่ยน้อยกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการรั่วซึมของอากาศสูงขึ้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการกำหนดให้ตัวแปรทางด้านผู้ใช้อาคารคงที่หรือเหมือนกัน

จากนั้นจึงเข้าทำการทดลองในสถานที่ที่กำหนด โดยทำการทดลองหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่ได้จากการวัดการเกิดการรั่วซึมของอากาศจากช่องเปิดที่ได้จัดกลุ่มและพิจารณา(Defined)แล้วอย่างน้อย เป็นจำนวน 25 ชุด เพื่อให้ผลทางสถิติของชุดทดลองที่เกิดเป็นค่าการกระจายมาตรฐานได้(Normal Distribution) ทั้งนี้ต้องมีการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา อย่างน้อยที่สุด 3 วันเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องมากที่สุดและสามารถเป็นตัวแทนของอาคารที่ผ่านการพิจารณาแล้วได้

2. ส่วนของการทดลองโดยการใช้แบบจำลอง การสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมกับการทดลอง ก็เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาประกอบกับข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาจากสถานที่จริง ซึ่งจะเป็นผลให้การทดลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยลงและสามารถนำไปเป็นข้อมูลเพื่อพิจารณาค่าทางสถิติได้ แบบจำลองที่ใช้จะต้องผ่านขั้นตอนต่างๆ เหล่านี้ก่อนนำไปทดลอง คือ

- การปรับแต่งแบบจำลอง(model calibration) ก่อนการทดลองจะต้องมีการปรับแต่งแบบจำลองเสียก่อน เพื่อให้เกิดความถูกต้องในการทดลอง และเพื่อให้ได้ความเชื่อมั่นว่า ผลที่ได้จากการทดลองเป็นผลที่เกิดจากตัวแปรที่ต้องการทำการทดลองจริง การปรับแต่ง ทำโดยการใช้วัสดุที่เหมือนกันในการทำการสร้างแบบจำลองและนำไปตั้งยังสถานที่ทดลอง จากนั้นทำการวัดความเร็วลมเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง ที่จุดเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบกัน เมื่อพบว่าความเร็วลมที่ได้มีค่าใกล้เคียง เท่ากัน หรือแตกต่างกันน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีคุณสมบัติที่ไม่แตกต่างกันในการทดลองเรื่องการรั่วซึมของอากาศ
- การเลือกชนิดและขนาดของช่องเปิด ต้องมีการจัดกลุ่มและพิจารณาขนาดและชนิดของช่องเปิด โดยพิจารณาชนิดวัสดุของช่องเปิดเป็นประเภทเดียวกัน เป็นกระจกชนิดเดียวกัน เพื่อควบคุมปัจจัยอื่น ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทดลอง โดยเน้นที่ปัจจัยในเรื่องของขนาดและรูปร่าง ทิศทางของช่องเปิดส่งผลอย่างไรต่อการเกิดการรั่วซึม
- การออกแบบการทดลอง ทำการทดลองในแบบจำลองที่สร้างขึ้น ขนาดประมาณ 1:2 โดยถือเอาความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดานของอาคารปกติ สูง 2.40 เมตร แบบจำลองจึงมีขนาดประมาณ 1.20 เมตร ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีขนาดเหมาะสมกับการทดลองและการควบคุมตัวแปรต่างๆ เป็นขนาดที่เหมาะสมกับพื้นที่การทดลองและเป็นตัวแทนของอาคารที่ได้ไปเก็บข้อมูลแล้วจากสถานที่จริง โดยทุกแบบจำลองจะมีการควบคุมตัวแปรต่างๆ ดังนี้

แบบจำลอง ขนาดด้านนอก กว้าง*ยาว*สูง เท่ากับ 1.20*1.20*1.20 เมตร มีผนัง 6 ด้าน ใช้โครงเคร่าไม้ปิดด้วยไม้อัดชนิดทนความชื้น หนา 4 มม. ภายในกรุโฟม 6 ด้าน ด้วยโฟมความหนา 4 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต เพื่อควบคุมตัวแปรด้านความร้อนที่จะเข้าสู่แบบจำลองทาสีขาวทุกด้าน ด้านหนึ่งสามารถที่จะเปลี่ยนลักษณะช่องเปิดที่ได้คัดเลือกมา และสามารถนำเครื่องมือเข้าไปวัดความเร็วลม อุณหภูมิภายในได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปภาพที่ 3.1 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบการรั่วซึมของอากาศ

ฐานรองแบบจำลอง ให้ขอบบนของฐานรองสูงจากพื้นดินระดับที่ใช้ในการอ้างอิงแตกต่างกัน ดังนี้ แบบจำลองที่เป็นตัวแทนของช่องเปิดแบบประตู ติดตั้งอยู่เหนือจากระดับอ้างอิง 10 ซม.ตามมาตรฐานของประตูจริง แบบจำลองที่เป็นตัวแทนของช่องเปิดแบบหน้าต่างติดตั้งที่ความสูงระดับ 45 ซม.ตามมาตรฐานของหน้าต่างจริง

การวางทิศทางของแบบจำลอง เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อปรับเปลี่ยนทิศทางต้องปรับไปทิศเดียวกันทุกชุด โดยทำการทดลอง 4 ทิศทางเพื่อหาผลกระทบจากการวางอาคารประกอบด้วย ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก จัดวางแบบจำลองให้ได้รับลมเหมือนหรือใกล้เคียงกัน

สถานที่ตั้งแบบจำลองและการเตรียมการก่อนการทดลอง

- สถานที่ใช้ทดลองเป็นสถานที่โล่งกว้าง พอดีจะสามารถตั้งแบบจำลอง ภายในสถานที่เดียวกันได้ โดยไม่มีการบังทิศทางลมซึ่งกันและกัน
- การสร้างแบบจำลอง สร้างให้เพียงพอกับตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ จำนวน 5 แบบจำลอง
- เลือกชนิดและรูปร่างของช่องเปิดตามที่แบ่งกลุ่มแล้วมาทดลองกับแบบจำลอง จำนวน 5 ชิ้นแบ่งตามทิศทางต่างๆ 5 ครั้ง เป็นจำนวน 25 การทดลองซึ่งสามารถนำไปประกอบการคำนวณทางสถิติเพื่อให้เห็นการกระจายแบบปกติได้
- ดำเนินการตามรายละเอียดในแต่ละการทดลอง แต่เนื่องจากความต้องการข้อมูลที่มีสภาพจริงมากที่สุดที่มีการแปรเปลี่ยนของตัวแปรสูงมากและเป็นอยู่โดยตลอดเวลาจึงเลือกที่จะใช้วิธีการรวบรวมข้อมูลจากสถานที่จริงเพียงอย่างเดียว เพื่อให้ข้อมูลที่ได้รับสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบได้อย่างดีที่สุด

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความเร็วลม (hot film anemometer)
- เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล
- thermometer ใช้ในการหาอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างของ Enthalpy ที่เกิดขึ้นจริงและในแบบจำลอง ซึ่งผ่านการปรับแต่งค่ามาตรฐานแล้ว

- อุปกรณ์ทดสอบที่กำหนด ปลายด้านหนึ่งเจาะช่องเพื่อวัดความเร็วลมเป็นพื้นที่ 1 ตารางฟุต
- แถบสายวัด
- เครื่องเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของชุดทดลองที่ผ่านการปรับตั้งมาอย่างดีแล้ว

ขั้นตอนการทดลองโดยสรุป

1. ทดสอบความน่าเชื่อถือและปรับแต่งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
2. ศึกษาโดยการวัดจริงและแบบจำลองที่บริเวณช่องเปิดของอาคารที่กำหนด โดยวิธีการ
 - 2.1 การใช้วัดความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงจากช่องเปิด ผ่านพื้นที่ 1 ตารางฟุต(เนื่องจากใช้หน่วยเป็น Cubic feet per minute :CFM)
3. เปลี่ยนประเภทและทิศทางของช่องเปิดต่างๆกันตามอาคารที่ได้เข้าทำการทดลอง โดยแบ่งเป็นกลุ่มของการศึกษา โดยการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้มีการศึกษาไว้ก่อนนี้แล้ว กับการเกิดความดันของรูปร่างของอาคาร เช่น รูปร่างสี่เหลี่ยม วงกลม ฯลฯ เพื่อที่จะสามารถเลือกกลุ่มอาคารและรูปแบบของแบบจำลองที่จะนำมาใช้ในการวิจัย โดยสามารถควบคุมตัวแปรที่เกิดจากรูปร่างของอาคารที่มีผลต่อความดันในบริเวณที่ทำการทดลอง
4. ศึกษาวิจัยและข้อมูลเรื่องความเร็วลมที่เกิดขึ้นบริเวณที่ตั้งจากการศึกษาที่ได้มีการศึกษาไว้แล้ว เพื่อควบคุมตัวแปรเรื่องความเร็วลมบริเวณทำการทดลอง
5. พิจารณาจำนวนผู้ใช้งานอาคารที่เข้าไปศึกษา ให้เป็นไปตามปกติ เนื่องจากอาคารที่มีผู้ใช้มาก โดยเฉลี่ยจะมีการรั่วซึมของอากาศมากกว่าอาคารที่มีผู้ใช้น้อยเนื่องจากการเปิดปิดอาคารมากกว่า
6. แบ่งช่องเปิดออกเป็นกลุ่มๆ เพื่อหา correlation ของกลุ่มกระจกกับparametersต่างๆ(IHVE GUIDE:1970) ศึกษาเรื่องอัตราส่วนของพื้นที่ช่องเปิดกับพื้นที่ของผนังเพื่อที่จะควบคุมตัวแปรด้านความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดกับพื้นที่เปลือกอาคาร ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคาร Enthalpy เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมของอากาศและการใช้พลังงานในอาคารอย่างไร มุ่งเน้นในส่วนช่องเปิดอาคาร เช่น ประตูและหน้าต่าง ช่องแสงติดตาย สามารถแบ่งกลุ่มของช่องเปิดได้ ดังนี้
 - 6.1 บานกรอบบานเกล็ด วงกบไม้การก่อสร้างแบบธรรมดาทั่วไป
 - 6.2 บานเปิดบานกรอบไม้ วงกบไม้ การก่อสร้างแบบธรรมดา

6.3 บานเลื่อนอลูมิเนียม วงกบอลูมิเนียม การก่อสร้างมาตรฐาน มีการป้องกันการรั่วซึม

6.4 บานติดตายอลูมิเนียม วงกบอลูมิเนียม การก่อสร้างแบบดี มีการป้องกันการรั่วซึม

อากาศดี

ทั้งนี้ควบคุมตัวแปรของวัสดุก่อสร้างจากการกำหนดค่า u ของวัสดุให้มีค่าเท่ากัน เพื่อให้ตัวแปรที่มีผลต่อความร้อน q ที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดขณะปิดอื่นเป็นตัวแปรควบคุม

7. การรั่วซึมจะเป็นสัดส่วนระหว่างการรั่วซึมกับพื้นที่ของช่องเปิดนั้นๆ ส่วนผลที่มากที่สุดและน้อยที่สุดนั้นจำแนกโดย จำนวนของรูปแบบของช่องเปิด (Reinhold and Sonderegger:1983) ทดสอบความเร็วลมที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศโดยการวัดความเร็วผ่านถุงพลาสติกที่ปิดทับผ่านช่องเปิดที่ต้องการศึกษา ทำการอุดรอยต่อของช่องเปิดให้มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการก่อสร้างในอาคารจริงตามที่กำหนดในพื้นที่ปลายถุงขนาด 1 ตารางฟุต เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณต่อไปในเรื่องของการใช้พลังงาน

8. การวิจัยที่ใช้แบบจำลองมีการควบคุมตัวแปรที่ส่งผลให้การทดลองไม่ถูกต้อง เช่น แสงอาทิตย์ที่กระทบกับแบบจำลอง โดยการสร้างที่กำบังแดดให้กับแบบจำลองเพื่อควบคุมตัวแปรความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการนำ การพา และการแผ่รังสีให้มีลักษณะเท่าเทียมกันหรือควบคุมให้มีลักษณะเดียวกัน สถานที่ตั้งการทดลอง สภาพของที่ทดลองให้เป็นที่เดียวกันมีลักษณะเดียวกัน เพื่อควบคุมความเร็วลม สภาพภูมิอากาศให้เหมือนกัน และทำการทดลองในลักษณะเดียวกันกับการทดลองโดยการวัดจากสถานที่จริง

9. วัตถุประสงค์ของงานวิจัยและกระเปาะแห้งหรือระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อศึกษาเรื่อง เอนทัลปี ว่าแตกต่างกันอย่างไรจากการรั่วซึมของอากาศเนื่องจากเอนทัลปี เป็นสาเหตุของการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศในอาคาร ยังมีความแตกต่างของเอนทัลปี มากก็ยิ่งจำเป็นต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศมาก หรือมีการนำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมของกรมอุตุนิยมวิทยา มาประกอบเพื่อให้ข้อมูลในขั้นตอนการสรุปผลมีความครอบคลุมต่อการใช้งานอาคารในเรื่องของการใช้พลังงานและการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศได้ในขอบเขตของพื้นที่ที่ต้องการทดลอง เช่น ข้อมูลภูมิอากาศของสถานที่ทดลอง อาทิ กรุงเทพมหานคร หรือตามแต่สถานที่ที่จัดตั้งการทดลองขึ้น

10. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานที่มากขึ้นเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศ โดยการใช้วิธีการทางสถิติให้เป็นประโยชน์ สามารถสร้างสมการทำนายการสูญเสียพลังงานจากปริมาณการรั่วซึมของอากาศ โดยพิจารณาที่ความแตกต่างของเอนทัลปีและเป็นแนวทางในการทำนายเบื้องต้นของปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดจากพื้นที่หรือรูปร่างของช่องเปิดว่าสัมพันธ์กันอย่างไร และรูปแบบของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดขณะปิด

ผลการทดลองจากการวัดความเร็วลมจากสถานที่จริงสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นได้จาก สมการ

$$q = 4.5 * CFM * \Delta h$$

โดยที่ q เท่ากับ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นรวม
 CFM เท่ากับ ค่าความเร็วลมที่วัดได้ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (Cubic foot per minute)
 Δt เท่ากับ ความแตกต่างของ Enthalpy ที่เกิดขึ้นจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิด

และ

$$q = 1.08 * CFM * \Delta t$$

โดยที่ q เท่ากับ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นแบบSensible
 CFM เท่ากับ ค่าความเร็วลมที่วัดได้ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (Cubic foot per minute)
 Δh เท่ากับ ความแตกต่างของ อุณหภูมิ ที่เกิดขึ้นจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิด

และ

$$q = 4840 * CFM * \Delta w$$

โดยที่ q เท่ากับ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นแบบLatent heat
 CFM เท่ากับ ค่าความเร็วลมที่วัดได้ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (Cubic foot per minute)
 Δw เท่ากับ ความแตกต่างของGrain of Moisture ที่เกิดขึ้นจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิด

ทั้งนี้ ความแตกต่างของเอ็นทัลปี ที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณได้จากการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งจากนั้นจึงนำไปเปรียบเทียบกับ Psychrometric Chart ได้ ผลที่ได้จากการทดลองจะสามารถพิสูจน์ให้เห็นได้ว่า พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร โดยการควบคุมตัวแปรต่างๆที่อาจส่งผลกระทบต่อค่าพลังงานรวม เช่น จากการนำความร้อนของวัสดุ การแผ่รังสีผ่านช่องเปิด เมื่อควบคุมตัวแปรที่ไม่ต้องการได้ทั้งหมด จะพบว่า ค่าพลังงานที่ได้จากการทดลองเป็นค่าพลังงานความร้อนที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง คือ ขนาดของช่องเปิด รูปร่างของช่องเปิด ความเร็วลมทิศทางของช่องเปิด กิจกรรมที่เกิดขึ้นกับช่องเปิด การเปิด ปิดเข้าออกอาคาร ความดันลมที่เกิดขึ้นบริเวณที่ทดลอง ล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารผ่านทางช่องเปิดทั้งสิ้น

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาผนวกกับข้อมูลทางภูมิอากาศแล้ว ก็จะเป็นแนวทางในการสร้างสมการเบื้องต้นเพื่อทำนายการเกิดการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิด โดยอาศัยขนาดของช่องเปิด รูปร่างและทิศทางในการทำนาย นอกจากนี้ยังสามารถที่จะขยายผลการทดลองไปเป็นข้อมูลในการทำนายค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคารจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดได้อีกทางหนึ่งด้วย และยังสามารถพิสูจน์ได้ว่าปัจจัยที่เป็นต้นเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นในอาคารในประเทศไทยที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นนี้ นอกจากความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางเปลือกของอาคาร ปัจจัยสำคัญอีกด้านหนึ่งก็คือ ปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิด ซึ่งเป็นสาเหตุในการสิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศให้อาคารสาเหตุหนึ่ง

สถานที่ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากเจ้าของสถานที่อย่างดียิ่ง เพื่อเข้าไปทำการทดลอง ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้เป็นเวลากว่า 2 เดือน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้ด้วย

สถานที่ทดลองมีลักษณะเป็นบ้าน 2 ชั้น การก่อสร้างเป็นแบบก่ออิฐ ฉาบปูนซึ่งนิยมก่อสร้างในประเทศไทย มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 150 ตารางเมตร ความสูงไม่เกิน 10.00 เมตร ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งเอาไว้ โดยช่องเปิดที่ทำการทดลองนั้นพบได้ทั้งหมดในบ้านหลังเดียวกันนี้ โดยมีทิศทางเดียวกัน ยกเว้นช่องเปิดติดตายและช่องเปิดแบบบานเลื่อนที่มีทิศทางแตกต่างกันออกไป สภาพแวดล้อมโดยทั่วไปมีลักษณะร่มรื่น ตั้งอยู่บริเวณถนน พหลโยธิน เขต ลาดพร้าว



รูปภาพที่ 3.2 ลักษณะบ้านที่เข้าทำการทดลอง

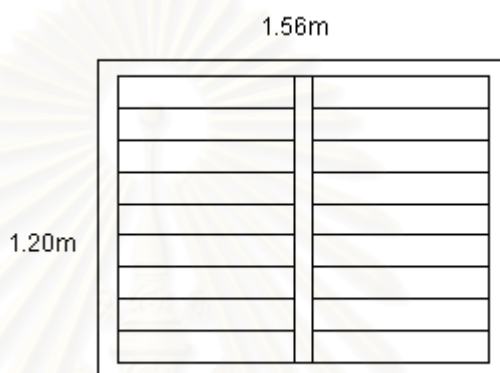


รูปภาพที่ 3.3 ลักษณะสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปของสถานที่ทดลอง

ตัวอย่างช่องเปิดที่ใช้ในการทดลอง

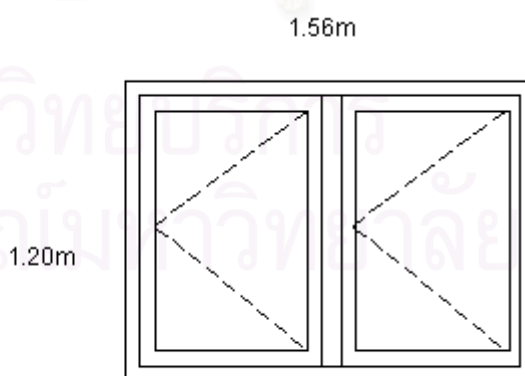
บานเปิดที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยบานเปิด 4 ชนิดที่เป็นที่นิยมใช้ในการก่อสร้างในประเทศไทย ซึ่งประกอบไปด้วย

- บานกรอบบานเกล็ด วงกบไม้การก่อสร้างแบบธรรมดาทั่วไป ขนาดกว้าง 1.56 เมตร สูง 1.20 เมตร คาดว่าเป็นช่องเปิดที่มีการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด ให้คะแนนสำหรับการจำแนก ความสำคัญ เท่ากับ 1 หรือไม่ดีมากที่สุด ติดตั้งอยู่ในทิศใต้



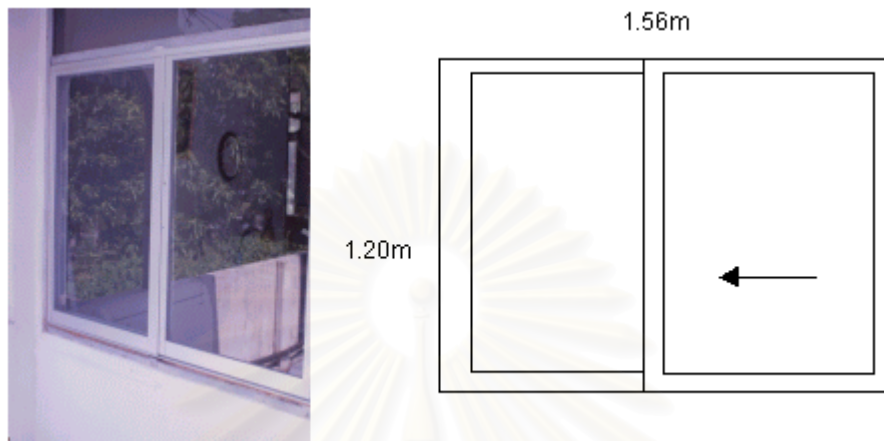
รูปภาพที่ 3.4 ลักษณะของช่องเปิดบานเกร็ดที่ทำการทดลอง

- บานเปิดบานกรอบไม้ วงกบไม้ การก่อสร้างแบบธรรมดา ขนาดกว้าง 1.56 เมตร สูง 1.20 เมตร คาดว่าเป็นช่องเปิดที่มีการรั่วซึมของอากาศมากรองลงมา ให้คะแนนสำหรับการจำแนก ความสำคัญ เท่ากับ 2 หรือพอใช้



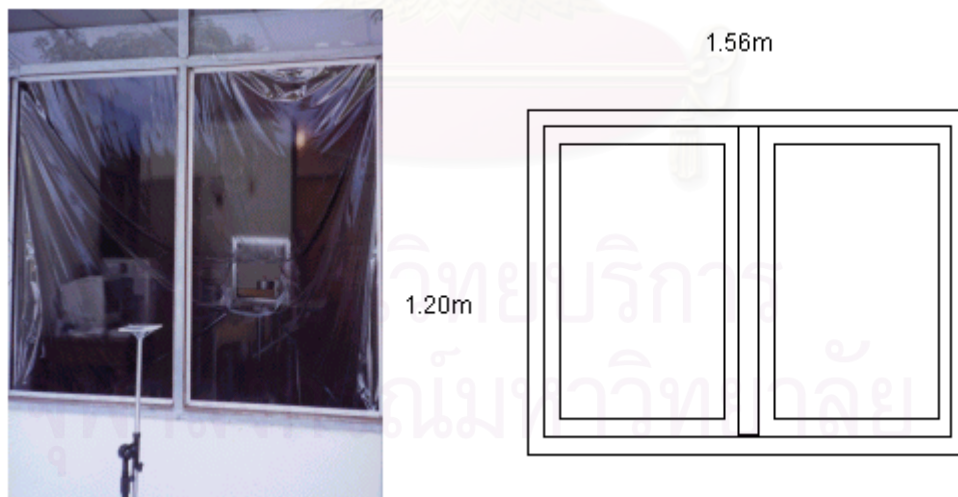
รูปภาพที่ 3.5 ลักษณะของช่องเปิดบานเปิดที่ทำการทดลอง

- บานเลื่อนอลูมิเนียม วงกบอลูมิเนียม การก่อสร้างมาตรฐาน มีการป้องกันการรั่วซึม ขนาดกว้าง 1.56 เมตร สูง 1.20 เมตร คาดว่าเป็นช่องเปิดที่มีการรั่วซึมของอากาศน้อย ให้คะแนนสำหรับการจำแนก ความสำคัญ เท่ากับ 3 หรือดี



รูปภาพที่ 3.6 ลักษณะของช่องเปิดบานเลื่อนที่ทำการทดลอง

- บานติดตายอลูมิเนียม วงกบอลูมิเนียม การก่อสร้างแบบดีมาก มีการป้องกันการรั่วซึมอากาศดีมาก ขนาดกว้าง 1.56 เมตร สูง 1.20 เมตร คาดว่าเป็นช่องเปิดที่มีการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด หรือไม่เกิดการรั่วซึมเลย ให้คะแนนสำหรับการจำแนก ความสำคัญ เท่ากับ 4 หรือดีมากที่สุด

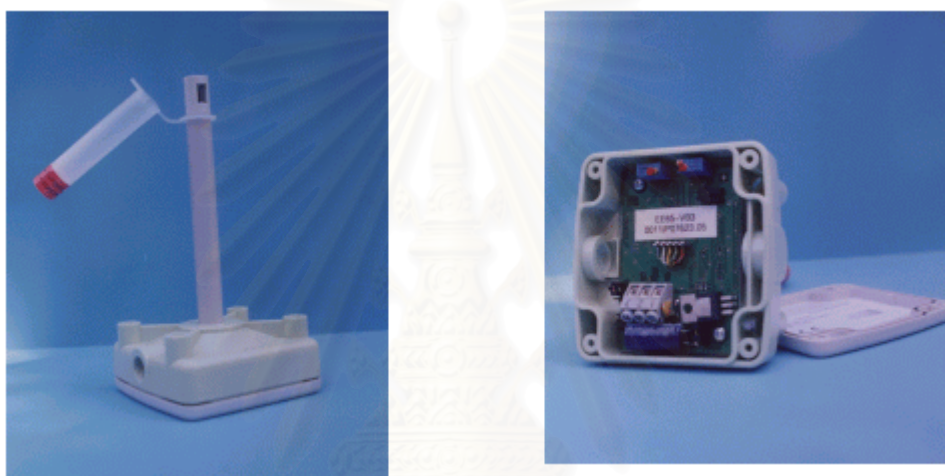


รูปภาพที่ 3.7 ลักษณะของช่องเปิดแบบติดตายที่ทำการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

- เครื่องวัดความเร็วลม แบบ Hot Film Anemometer ของบริษัท EE Electronic ประเทศออสเตรเลีย สามารถวัดความเร็วลมได้ตั้งแต่ 0.00 ไปจนถึง 3936 fpm เพื่อใช้ในการวัดความเร็วลมที่เกิดขึ้นทั้งภายนอกและความเร็วลมจากการรั่วซึมของอากาศ โดยมีการปรับตั้ง (Calibration) เพื่อให้เครื่องมือวัดความเร็วลมทั้งสองเครื่องอ่านค่าได้เท่าหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด



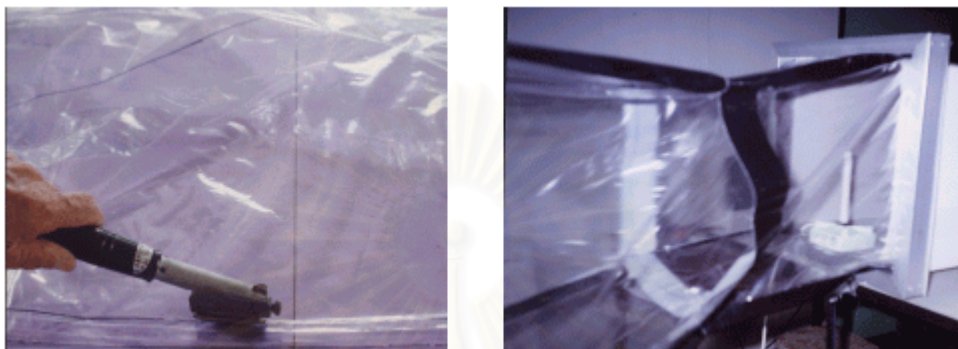
รูปภาพที่ 3.8 เครื่องมือวัดความเร็วลม Anemometer ของบริษัท EE รุ่น 6135 จำนวน 2 ชุด

- เครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบ ดิจิตอล ของ DIGICON รุ่น TH-03 เพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิและความชื้นในการคำนวณหาค่าที่แตกต่างของเอ็นทัลปี ระหว่างภายนอกและภายในห้องปรับอากาศ



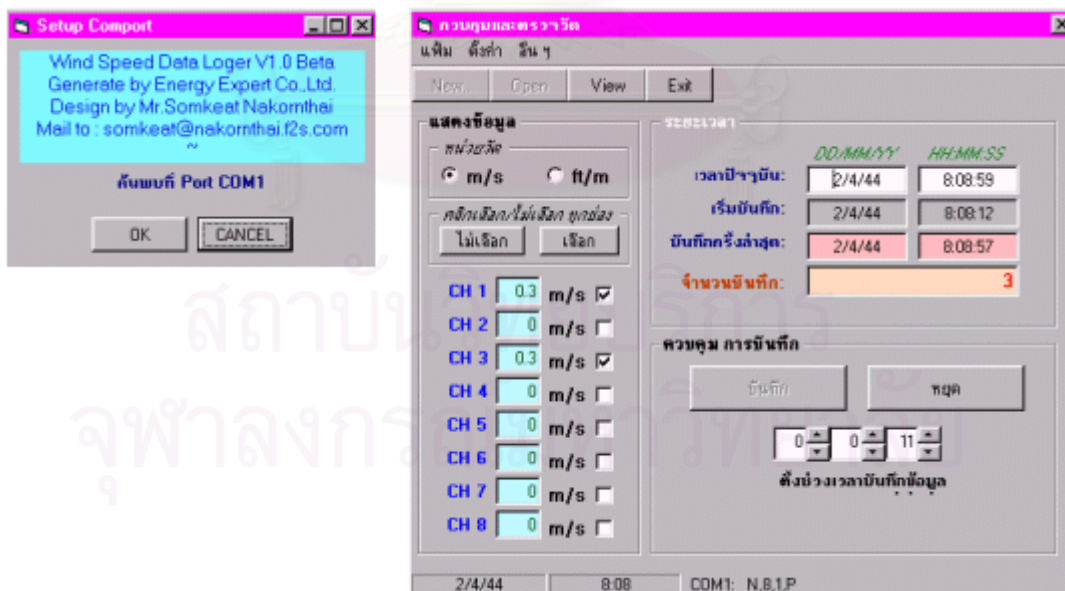
รูปภาพที่ 3.9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ผ่านการปรับแต่งแล้ว

- ถุงพลาสติกที่ใช้ในการรวบรวมลมที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ โดยให้ผ่านพื้นที่หน้าตัดขนาด 1 ตารางฟุต ตัวเลขที่ออกมาจะเป็นค่าเท่ากับ cfm สามารถที่จะนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป ถุงดังกล่าวจะต้องมีการทดสอบว่าถุงไม่มีการรั่วซึมของอากาศก่อนที่จะผ่านพื้นที่หน้าตัดนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุด



รูปภาพที่ 3.10 การประกอบถุงเพื่อรวบรวมความเร็วลมและตัวอย่างการติดตั้งถุงรวบรวมการรั่วซึมของอากาศ

- อุปกรณ์รวบรวมข้อมูลจากเครื่องวัดความเร็วลม (data logger) เป็นแบบพิเศษที่สามารถตั้งเวลาการบันทึกข้อมูลได้ตั้งแต่ 5 วินาทีเป็นต้นไปและมีความแม่นยำสูงเนื่องมาจากการแปลงค่าของไฟฟ้าที่มาในรูปของความต่างศักย์(volt) มาเป็นความเร็วลม สามารถวัดได้ทั้งค่า เป็นเมตรต่อวินาทีและฟุตต่อวินาที



รูปภาพที่ 3.11 แสดงลักษณะเครื่องรวบรวมข้อมูลและหน้าจอการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์

สรุปขั้นตอนในการทำการวิจัย เรื่อง อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดขณะปิด

ศึกษาจากสถานที่จริง โดยพิจารณาตัวแปรต่างๆทั่วไป ว่าตัวแปรใดส่งผลมากที่สุดต่อการรั่วซึมของอากาศมาก

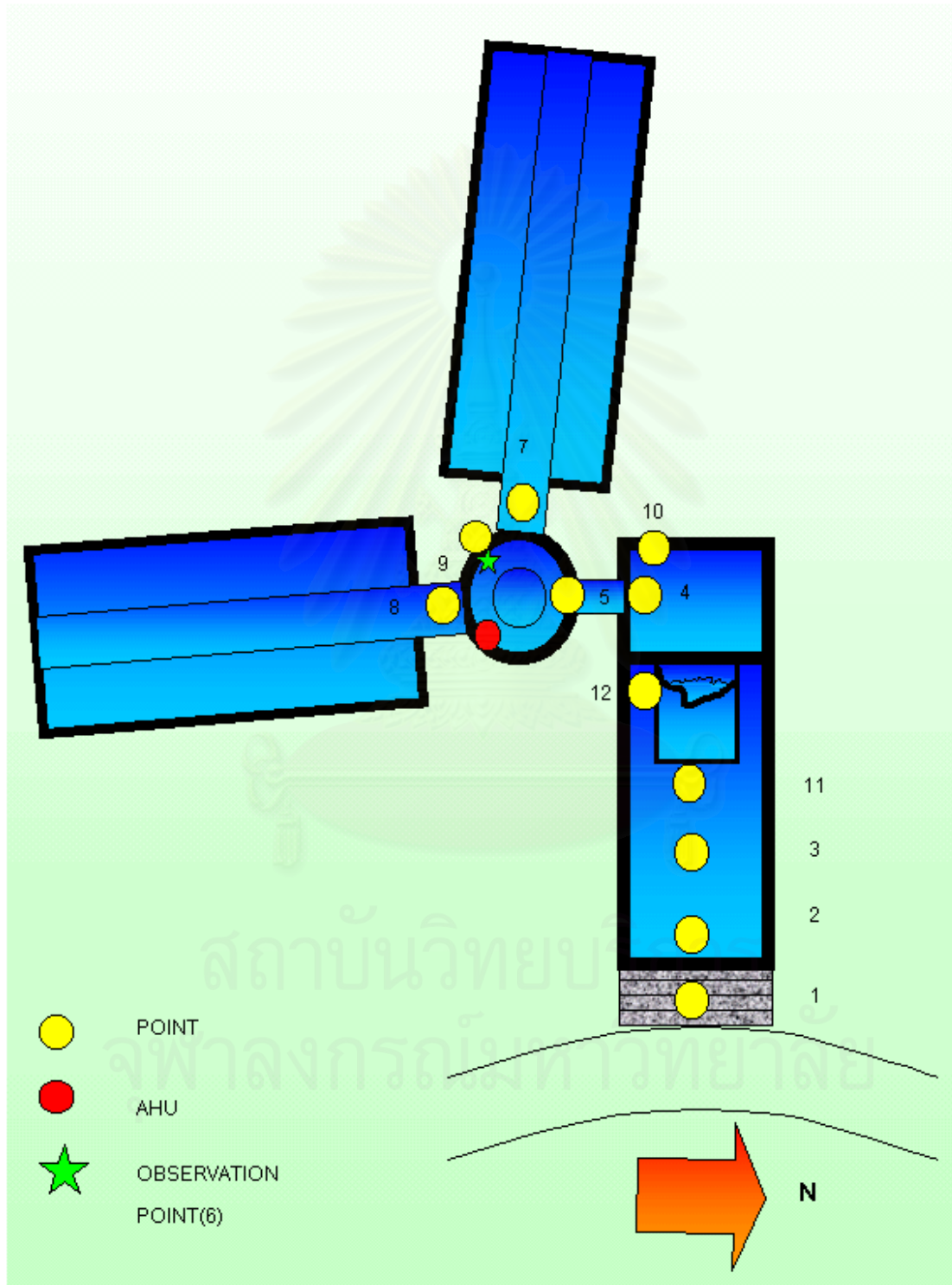
ใช้การวัดความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงจากช่องเปิด ผ่านพื้นที่ 1 ตารางฟุตตามช่องเปิดที่กำหนด ข้อมูลที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทดลองกับการเกิดรั่วซึมของอากาศ

ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาประเมินพลังงาน ที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคาร โดยการวิธีการทางสถิติใช้ในการทำนายปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดจากตัวแปรที่ได้ศึกษา

วิเคราะห์และเสนอแนวทางการเลือกรูปแบบช่องเปิดที่มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในอาคารจริงในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เพื่อการประหยัดพลังงาน

กรณีศึกษาข้อมูลจากสถานที่จริง โรงแรมดุสิต ริสอร์ท พัทยาเมื่อวันที่ 30 กันยายน ถึง 1 ตุลาคม พ.ศ.2543

แสดงตำแหน่งจุดที่ตรวจสอบ ในโรงแรมดุสิตริสอร์ท พัทยา



สรุปผลการสังเกตกรณีศึกษา โรงแรม ดุสิต ริสอท พัทยาซึ่งมีปัญหาการใช้พลังงานในอาคาร
มาก

วันที่ 30 กันยายน ถึง 1 ตุลาคม 2543

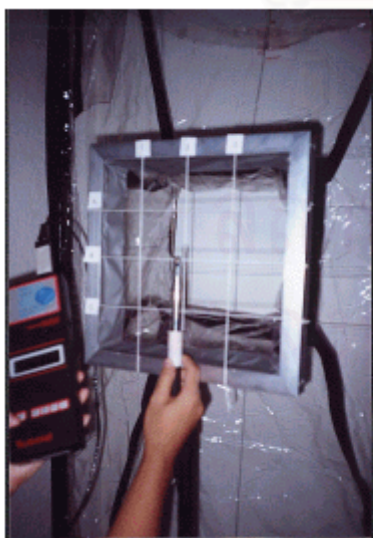
โดยมีประเด็นที่น่าสนใจ ดังนี้

ปัญหาที่เกิดขึ้น 1

พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศสิ้นเปลืองอย่างมากเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศ

ปัญหามีสาเหตุจาก

จากการทดลองพบว่าในห้องพักแต่ละห้อง มีการรั่วซึมของอากาศบริเวณประตูทางเข้าห้องมากกว่าบริเวณที่เปิดออกสู่ระเบียง คือ ที่ทางเข้าห้องจะมีการรั่วซึมของอากาศประมาณ 51.60 cfm ในขณะที่ทางด้านระเบียงจะมีประมาณ 20-25 cfm แต่ขณะที่มีพายุหรือลมแรงจัดซึ่งเกิดขึ้นไม่มากนักทางด้านระเบียงก็จะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศสูงมากถึง ประมาณ 800 cfm บริเวณรอยต่อของประตูแม้ในขณะที่ปิดสนิทก็ตาม ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 79,200 BTU/Hr.หรือคิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 58 บาทต่อชั่วโมง จากการรั่วซึมของอากาศบริเวณประตูทางเข้าห้องนี้เอง ทำให้ต้องสูญเสียพลังงานกับการรั่วซึมเหล่านี้ คิดเป็นค่าไฟฟ้า จำนวน 2831 หน่วยต่อวัน หรือ 7000 บาทต่อวันและ 2.58 ล้านบาทต่อปี เป็นค่าพลังงานที่สูญเสียไปอย่างเปล่าประโยชน์



รูปภาพที่ 3.12 แสดงการวัดความเร็วลมเพื่อคำนวณพลังงานที่สูญเสียไปกับการรั่วซึมของอากาศ

รูปภาพที่ 3.13 แสดงอุปกรณ์วัดความเร็วลมเพื่อคำนวณพลังงานที่สูญเสียไปกับการรั่วซึมของอากาศ

| | |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| แนวทางการแก้ปัญหา | <p>การแก้ปัญหาควรเริ่มที่จุดต้น คือ ต้องการทางป้องกันการรั่วซึมของอากาศ ทางด้านประตูเข้าหน้าห้องที่มีรอยรั่วตามวงกบและบานประตู ยกलयเหนือพื้น โดยการเลือกใช้ช่องเปิดที่มีความเหมาะสม อาทิ เช่น บริเวณที่ไม่มีการเปิดปิดเพื่อใช้งานอยู่แล้วก็ควรที่จะเป็นบานติดตายที่มีการป้องกันการรั่วซึมอย่างดี บริเวณที่ต้องมีการเปิดปิดใช้งานก็เลือกประตู หน้าต่างที่มีคุณภาพสูง เช่น วงกบพีวีซีที่ป้องกันการรั่วซึมได้ดี เนื่องจากมีรายละเอียดที่มีมากกว่าวงกบไม้หรืออลูมิเนียม อีกทั้งยังสามารถป้องกันความร้อนผ่านเข้ามาทางวงกบได้อีกทางหนึ่งด้วย</p> <p>ด้านช่องเปิดระเบียงถึงแม้ว่าจะมีการรั่วซึมน้อยแต่ก็มีการเปิดใช้งานอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ช่องเปิดจึงควรเลือกที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้เฉพาะบริเวณที่จำเป็น กระจกก็ควรเลือกประเภทที่ยอมให้แสงเข้ามา แต่ไม่ให้ความร้อนเข้าเลยหรือเข้ามาน้อยมาก เช่น กระจกฮีทสโตป เป็นต้น</p> |
| ปัญหาที่เกิดขึ้น 2 | <p>อากาศในโรงแรมมีความอับชื้นมาก จนเป็นเหตุที่ทำให้ทางโรงแรมต้องใช้เวลาเปิดเครื่องปรับอากาศเลี้ยงไว้ทุกห้องแม้ว่าห้องนั้นจะไม่มีการใช้งานก็ตามทำให้สูญเสียพลังงานจำนวนมาก</p> |
| ปัญหามีสาเหตุจาก | <p>การที่ระบบปรับอากาศมีความชื้นสูงมากก็เนื่องมาจาก บริเวณที่เป็นห้อง AHUในแต่ละชั้น มีจุดที่เดินท่อทางตั้งที่ทะลุถึงกันหมดทุกชั้น ทำให้อากาศที่มีความชื้นสูงกว่า เข้ามาผสมกับอากาศที่เกิดจากการดึงอากาศreturn เข้าเครื่องบริเวณ mixed air chamber แล้วจ่ายเข้าสู่ระบบปรับอากาศ ทำให้อากาศที่จ่ายออกมามีความชื้นและอุณหภูมิสูง ประมาณ 17 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 98% ความเร็วลมที่หัวจ่ายภายในห้องประมาณ 550 fpm ความเร็วลมบริเวณหัวจ่ายทางเดิน ประมาณ 850 fpm</p> |



รูปภาพที่ 3.14 ท่อทางตั้งในห้องmixed air chamber สามารถทะลุถึงกันทุกชั้น ทำให้อากาศที่ร้อนและชื้นกว่าผสมกับอากาศที่กลับเข้ามา กลายเป็นลมจ่ายที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง

แนวทางการแก้ปัญหา การแก้ปัญหาควรที่จะเริ่มแก้ไขบริเวณ AHU โดยไม่ให้เกิดการรั่วซึมระหว่างชั้น ป้องกันอากาศที่ร้อนและมีความชื้นสูงกว่าเข้ามาผสมกับอากาศที่ต้องจ่ายเข้าสู่ระบบปรับอากาศ ปรับความเร็วลมที่หัวจ่ายให้พอเหมาะกับจุดที่จ่าย วัสดุที่มีการใช้ในห้องต้องเลือกชนิดที่มีการสะสมความร้อนและความชื้นน้อยเพื่อไม่ก่อให้เกิดภาวะการทำความเย็น

ปัญหาที่เกิดขึ้น 3 เสียงที่เกิดระหว่างห้องสูงมากขาดความเป็นส่วนตัว

ปัญหามีสาเหตุจาก เนื่องจากเป็นโรงแรมที่มีขนาดถึง 5 ดาว ดังนั้นความเป็นส่วนตัวจะต้องมีมาก แต่เนื่องจากวัสดุที่ใช้กันระหว่างห้องมีค่าSTC ต่ำมาก และนอกจากนี้ยังมีขนาดที่บางเกินไป เป็นวัสดุที่สะสมความชื้นและส่งผ่านความร้อนระหว่างห้องต่อห้องได้ดี ทำให้ต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศมาก

แนวทางการแก้ปัญหา ควรเลือกใช้วัสดุกันระหว่างห้องที่มีค่าSTC สูงเกิน 55 ขึ้นไป เนื่องจากจะสามารถป้องกันเสียงระหว่างห้องได้ดี และมีการป้องกันความร้อนควบคู่กันไปด้วย



รูปภาพที่ 3.15 ลักษณะของโรงแรมเป็นห้องติดต่อกัน การกันเสียงจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก
ปัญหาที่เกิดขึ้น 4 อากาศทั่วไปของโรงแรมมีความชื้นสูงประมาณ 65-70 %
ตลอดเวลา

ปัญหามีสาเหตุจาก เนื่องจากโรงแรมมีการนำเอา น้ำตกและสวนขนาดใหญ่เข้ามาไว้ใน
 โรงแรม อันเป็นสาเหตุที่ทำให้อากาศมีความชื้นสูงเนื่องจาก น้ำตก
 ได้รับอิทธิพลจากแสงแดดที่ผ่านมาจากช่องแสงด้านบน ทำให้เกิดการ
 ระเหยเป็นไอน้ำอยู่ในโรงแรม ตามสถิติที่ได้รับ คือ มีน้ำที่ระเหยเป็นไอน้ำ
 วันละประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร อีกทั้งต้นไม้ที่อยู่ในสวนมีขนาดใหญ่
 ย่อมที่จะใช้ปริมาณน้ำมากใน 1 วันก็เกิดการคายน้ำออกมาจาก
 กระบวนการสังเคราะห์แสง

แนวทางการแก้ปัญหา หากสามารถออกแบบใหม่ได้ควรหลีกเลี่ยงการนำน้ำและต้นไม้มาไว้
 บริเวณที่มีการปรับอากาศ หรือมีการแบ่งแยกโซนที่มีการปลูกต้นไม้ไม่มี
 น้ำ ไม่ปรับอากาศกับส่วนที่ปรับอากาศและต้องมีการป้องกันการรั่วซึม
 ระหว่างโซนอย่างดียิ่งด้วย



รูปภาพที่ 3.16 ลักษณะทั่วไปของโรงแรม

ปัญหาที่เกิดขึ้น 5 อากาศที่เกิดในห้องน้ำมีกลิ่นเหม็น น้ำไม่สามารถระบายได้และเกิดความชื้นขึ้นสูงมากเป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียพลังงานอย่างเปล่าประโยชน์

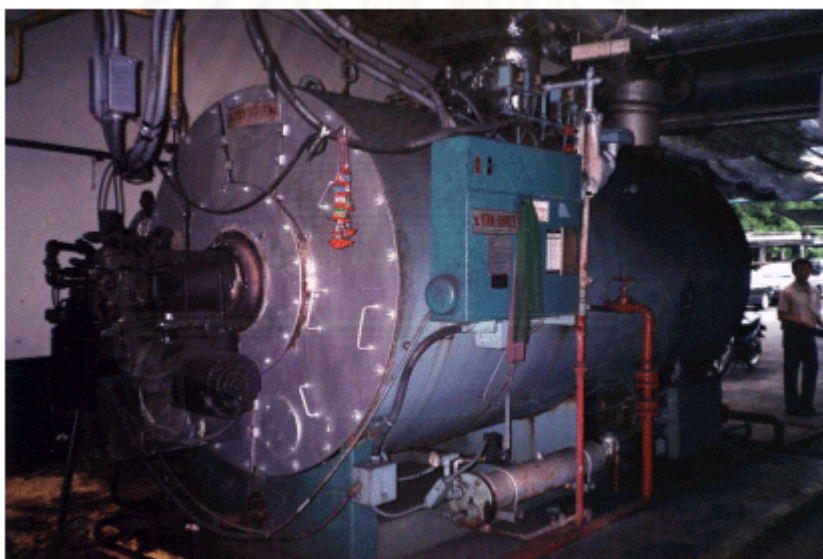
ปัญหามีสาเหตุจาก เนื่องจากห้องน้ำในห้องพักแต่ละห้องไม่ทำท่อระบายอากาศแยก เฉพาะเป็นห้องๆ ความลาดเอียงของพื้นห้องน้ำไม่เพียงพอที่จะระบายน้ำที่ท่วมพื้นอยู่ได้ ส่งผลให้น้ำที่เกิดสร้างความชื้นให้กับห้องและกลิ่น ทำให้คุณภาพอากาศภายในห้องพักต่ำกว่าที่ควรจะเป็นมาก

แนวทางการแก้ปัญหา การแก้ปัญหาควรเริ่มที่จะตรวจสอบความลาดเอียงของพื้นห้องน้ำ การไหลของน้ำต้องสะดวกและมีอัตราที่เร็วเพียงพอ จุดระบายน้ำต้องดูแลไม่ให้มีการอุดตันอยู่อย่างสม่ำเสมอ ในเรื่องของกลิ่นเนื่องจากในแต่ละห้องพักไม่มีการต่อท่อระบายอากาศโดยตรง ใช้การรวมท่อของเสียทุกห้อง ลงไปที่ถังพัก บ่อเกรอะ บ่อซึมชุดเดียวกัน จากนั้นจึงต่อท่อระบายอากาศชุดเดียวจากบ่อเกรอะ บ่อซึมขึ้นไประบายที่ชั้นบนสุด ทำให้อากาศไม่สามารถที่จะระบายออกไปได้ จึงส่งกลิ่นย้อนออกมาทางโถส้วม การแก้ปัญหาจึงควรเริ่มที่การแยกชุดระบายอากาศของห้องน้ำแต่ละห้องออกจากกันเพื่อให้เกิดการระบายที่ดี หรือถ้ามีความจำเป็นต้องใช้ระบบเครื่องกลเข้าช่วยก็ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในเรื่องของการประหยัดพลังงานในกรณีต่อไปด้วย

ปัญหาที่เกิดขึ้น 6 การสูญเสียพลังงานเนื่องจากเครื่องทำน้ำร้อนและถังเก็บมีคุณภาพต่ำ

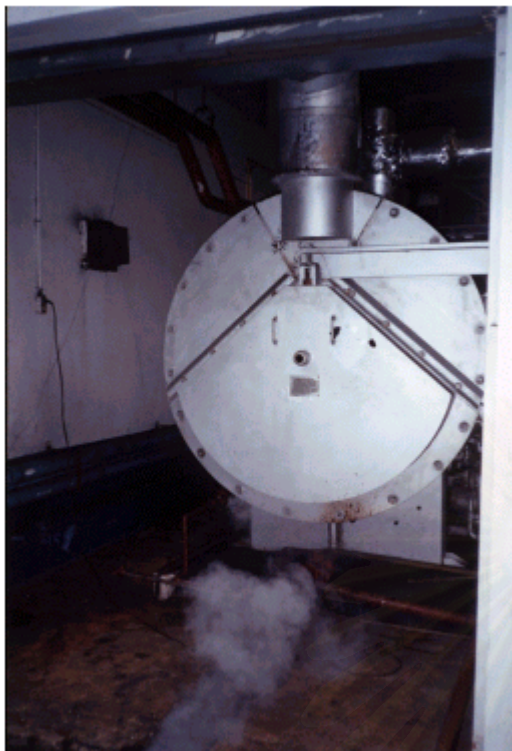
ปัญหามีสาเหตุจาก เครื่องทำน้ำร้อนที่เป็นระบบรวมของโรงแรม โดยจ่ายไปตามห้องพักครัวและหน่วยซักรีด ใช้ร่วมกันมีคุณภาพต่ำและใช้พลังงานจากน้ำมันเตาเป็นหลัก โดยที่อุณหภูมิที่ทำได้ประมาณ 55-56 องศาเซลเซียส แต่เมื่อผ่านถังเก็บและจ่ายไปตามท่อแล้ว อุณหภูมิปลายท่อลดลงเหลือเพียง 48-49 องศาเซลเซียส เนื่องจากถังพักที่เป็นคอนกรีตทำให้น้ำสูญเสียความร้อนให้กับถังเก็บ ท่อที่จ่ายน้ำก็ไม่ได้หุ้มฉนวนอย่างดีเอาไว้ พลังงานที่ต้องทำน้ำร้อนจึงต้องเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนระหว่างท่อจ่าย

แนวทางการแก้ปัญหา การแก้ปัญหาควรเริ่มที่สร้างถังเก็บน้ำที่มีฉนวนหุ้มอย่างดีและไม่เป็นตัวนำความร้อนที่ดีด้วย ท่อที่จ่ายต้องดูแลอย่างสม่ำเสมอ ไม่ให้มีการอุดตันและหุ้มฉนวนอย่างดี ลดการสูญเสียความร้อนระหว่างเส้นทางที่จ่าย หรือแก้ปัญหาโดยการใช้ระบบใหม่ที่ทำน้ำร้อนจากการระบายความร้อนเครื่องchiller ด้วยน้ำ น้ำที่ได้จะมีอุณหภูมิที่สามารถจ่ายเป็นน้ำร้อนให้กับโรงแรม โดยไม่ต้องเสียพลังงานน้ำมันเตาในการผลิตน้ำร้อนอีกทอดหนึ่ง รวมไปถึงค่าพลังงานในการเดินเครื่องcooling tower เพื่อการระบายความร้อนเครื่องchiller อีกทางหนึ่งด้วย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปภาพที่ 3.17 เครื่องBoiler ที่ใช้น้ำมันเตาในการผลิตน้ำร้อน



รูปภาพที่ 3.18 เครื่องBoiler พลังงานน้ำมันเตา



รูปภาพที่ 3.19 การใช้น้ำมาระบายความร้อนให้กับChiller นอกจากจะได้น้ำร้อนจากการระบายแล้วยังช่วยในการประหยัดพลังงานในการระบายความร้อนให้กับChiller อีกทางหนึ่งด้วย



รูปภาพที่ 3.20การใช้ต้นไม้เพื่อให้ร่มเงากับอาคารและบังทิศทางลมที่เข้าปะทะอาคาร ตลอดจนการปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้เย็นเพื่อให้ผู้อาศัยอาคารมีอุณหภูมิต่ำ

สรุปผลการสังเกตกรณีศึกษา โรงแรม ดุสิต รีสอร์ต ชะอำ

กรณีศึกษาข้อมูลจากสถานที่จริง โรงแรมดุสิต รีสอร์ต ชะอำเมื่อวันที่ 7 ถึง 1 ตุลาคมพ.ศ.2543
ข้อประเด็นที่น่าสนใจ

1. มีการรั่วซึมของอากาศมากเนื่องจากพนักงานเปิดประตูต้อนรับโดยไม่มีการปิดเมื่อไม่ได้ใช้งานในพื้นที่ปรับอากาศ
2. มิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบค่าไฟฟ้าในกรณีต่างๆไม่ถูกติดตั้งเอาไว้ มีจุดที่ติดตั้งจุดเดียวบริเวณที่รวมทำให้ยากแก่การตรวจสอบการใช้พลังงานที่เป็นจริงในแต่ละจุด
3. ค่าไฟฟ้าประมาณ 1 ล้านบาทต่อเดือนหรือสูงกว่า เนื่องจากเป็นค่าพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ
4. พื้นที่ทั้งหมดประมาณ 33833 ตารางเมตร พื้นที่ปรับอากาศประมาณ 13656 ตารางเมตร ค่าพลังงานส่วนใหญ่จึงสูญเสียจากระบบปรับอากาศและการรั่วซึมของอากาศ

5. เครื่องทำน้ำเย็นเดินเครื่องตลอดเวลา โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 0.7 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น ซึ่งนับว่าเริ่มเสื่อมประสิทธิภาพแล้ว ส่งผลให้ใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากเกินไป
6. ในห้องพักไม่มีการใช้ Fresh air ในกรณีที่แขกไม่อยู่พักในห้อง
7. Fresh air อาศัยการรั่วซึมและการดึงอากาศเสียออกจากห้องด้วยพัดลมดูดอากาศ(exhaust fan)ในห้องน้ำ การรั่วซึมของอากาศจึงส่งผลต่อการใช้พลังงานในทุกๆห้องพัก

ประเด็นของการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศ

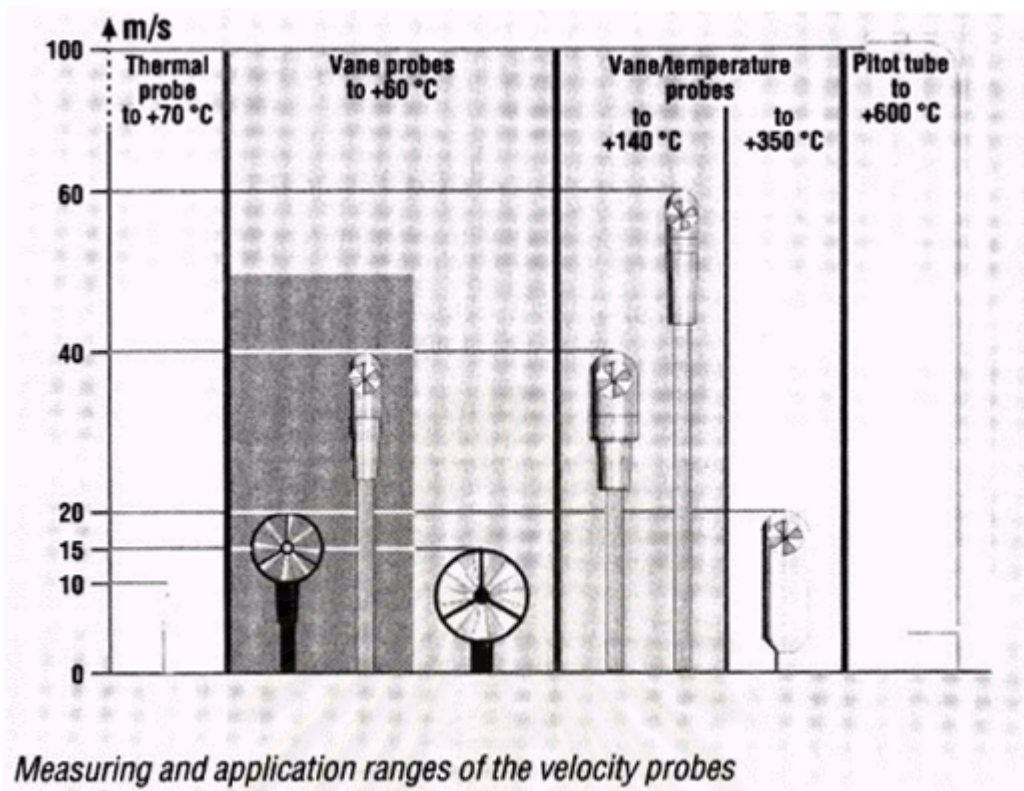
1. อากาศที่มีการรั่วซึมเข้าสู่อาคารมีความชื้นสูงเนื่องจากพัดผ่านพื้นที่สระว่ายน้ำและสวนหย่อม
2. พื้นที่ของกระจกมีปริมาณมาก ถึงประมาณร้อยละ 50 ของพื้นที่ผิวอาคาร
3. ขาดการบังเงาให้กับอาคารด้วยไม้ใหญ่ ซึ่งสามารถลดความเร็วลมที่เข้ามาปะทะได้อย่างดี
4. พื้นที่กระจกเป็นพื้นที่รับแสงแดดโดยตรงและอยู่ทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก
5. มีรอยต่อของกระจกมาก การเชื่อมรอยต่อระหว่างบานมีการเสียหายเนื่องจากกาลเวลาและขาดการดูแลอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารมาก
6. พื้นที่ปรับอากาศมีการเปิด ปิดบ่อยเนื่องจากการกำหนดพื้นที่ปรับอากาศยังไม่ดีนัก
7. ประตูกั้นระหว่างพื้นที่ปิดไม่สนิท อากาศสามารถรั่วซึมเข้ามาได้มาก
8. กระจกที่ใช้ในอาคารเป็นกระจกที่มีประสิทธิภาพต่ำ ไม่สามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีเพียงพอ
9. การใช้งานพื้นที่ไม่ดี เนื่องจากพนักงานต้อนรับเปิดประตูอยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศตลอดเวลา

วิศวกรรมการวัดความเร็วลม (velocity measuring engineering) ประกอบไปด้วย

การเลือกหัววัด(probe selection)

ในการวัดความเร็วที่มีช่วงความเร็วระหว่าง 0 ไปจนถึง 100 เมตร/วินาที (m/s) สามารถที่จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงใหญ่ๆ ได้ดังนี้(TESTO: The Informative Catalogue :P146-148)

1. ช่วงความเร็วต่ำ คือ มีความเร็วประมาณ 0- 5 (m/s)
2. ช่วงความเร็วปานกลาง คือ มีความเร็ว 5 – 40 m/s
3. ช่วงความเร็วสูง คือ มีความเร็ว 40 – 100 m/s



รูปภาพที่ 3.21 แสดงช่วงความเร็วลมที่เหมาะสมกับหัววัดชนิดต่างๆ(TESTO: The Informative Catalogue :P146)

ดังนั้นในการวัดความเร็วลมที่แตกต่างกัน จึงต้องมีการเลือกหัววัดที่มีความเหมาะสมกับช่วงความเร็ว นั้น เพื่อที่ผลที่ได้รับจะมีค่าความถูกต้องสูงสุด โดยสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. หัววัดที่ใช้ความร้อนในการวัด จะมีค่าถูกต้องมากที่สุดเมื่อใช้วัดความเร็วลมที่มีค่า 0-5m/s
2. ในขณะที่หัววัดที่มีลักษณะเป็นใบพัด (vane probe) จะเหมาะสมที่สุดเมื่อใช้วัดความเร็วลม 5-40m/s
3. ค่าหาหัววัดที่เกิดกับการวัดแบบ pitot tube นั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันที่ใช้ ดังนั้นหัววัด รุ่นใหม่เช่น 100 Pa สามารถ ที่จะใช้วัดได้ตั้งแต่ความเร็ว 1 –12 m/s ลักษณะการวัดแบบ pitot tube นี้เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดีที่สุด ความเร็วลมที่วัดควรที่จะมากกว่าที่ได้กล่าวไป

ส่วนสำคัญในการเลือกชนิดของหัววัดที่จะนำมาใช้ในการทดลอง สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ก็คือ อุณหภูมิที่ทำการวัด เนื่องจากหัววัดที่ใช้ความร้อนในการวัด จะต้องใช้อุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมคือ 70 องศาเซลเซียส แต่บางชนิดที่มีความพิเศษก็จะสามารถวัดได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 350 องศาเซลเซียสได้ สำหรับการวัดแบบ pitot tube จะต้องมีอุณหภูมิที่วัดสูงกว่า 350 องศาเซลเซียสจึงจะเหมาะสมที่สุด

หัววัดแบบความร้อน

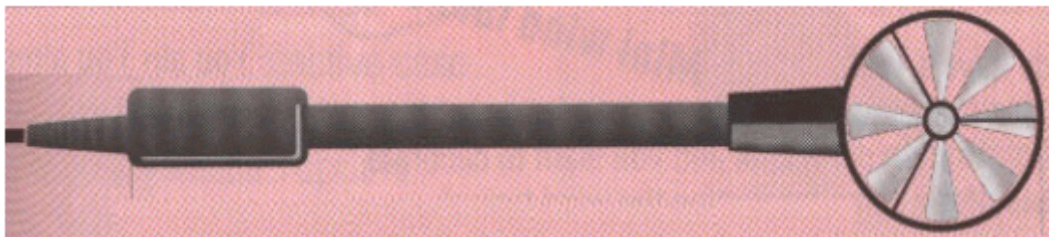
หลักการที่สำคัญในการวัดโดยใช้หัววัดแบบความร้อน คือ “หลักการที่ว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะลดลงเมื่อมีความเย็นเข้ามากระทบ” อุณหภูมิที่เก็บจะมีค่าคงที่ผ่าน regulating switch ตัวควบคุมจะแสดงความเร็วลมที่ถูกต้องในขณะนั้นออกมา เมื่อมีการนำหัววัดแบบความร้อนไปใช้ในการวัดความเร็วลมแบบ turbulent ผลที่ได้จะเกิดจากลมที่มีกระทำกับหัววัดในทุกทิศทาง ดังนั้นในการวัดแบบ turbulent หัววัดที่ใช้ความร้อนจะวัดได้ค่าสูงกว่าหัววัดที่เป็นแบบใบพัด ด้วยหลักการเช่นนี้เมื่อมีการวัดความเร็วลมที่เกิดขึ้นในท่อ ควรที่จะวัดตรงส่วนของท่อที่มีลักษณะตรงมากกว่าส่วนที่โค้งงอไปมา และส่วนท่อที่ตรงจะต้องมีความยาวมากกว่า 10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของภายในท่อก่อนถึงจุดที่วัดและมีความยาวหลังจากจุดที่วัดประมาณ 4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของภายในท่อเองอีกประการหนึ่งด้วย และลมที่ผ่านเข้ามาจะต้องไม่ถูกรบกวนจากอุปกรณ์ต่างก่อนผ่านจุดที่วัด เช่น flaps, dips, angles etc.



รูปภาพที่ 3.22 แสดงหัววัดความเร็วลมแบบความร้อนที่สามารถวัดได้ทุกทิศทาง (hot ball anemometer) (TESTO: The Informative Catalogue :P146)

หัววัดแบบใบพัด

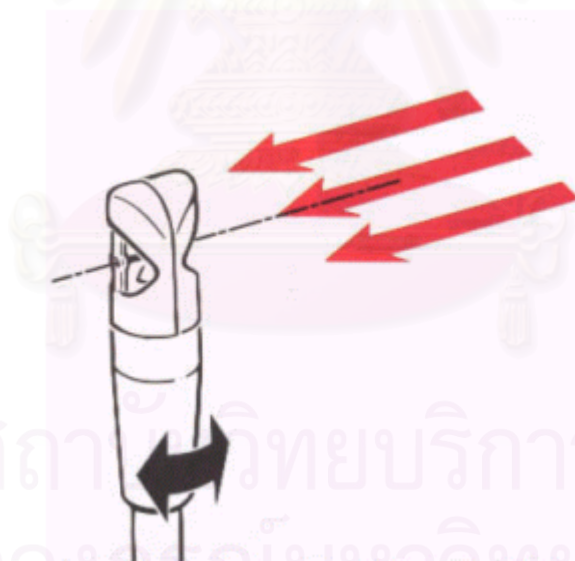
หลักการที่สำคัญของหัววัดแบบใบพัดนี้ คือ หลักการของการหมุนที่ต่อไปถึงสัญญาณไฟฟ้า ความเร็วลมจะทำให้ใบพัดที่ติดกับเครื่องหมุน เครื่องจะทำการวัดสัญญาณที่เกิดจากการหมุนของใบพัดแล้วจึงนำมาแปลงเป็นความเร็วลมออกมา ใบพัดที่มีขนาดใหญ่ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 60 – 100 มิลลิเมตร มีความเหมาะสมในการวัดความเร็วลมที่มีลักษณะเป็นแบบ Turbulent ที่ความเร็วลมต่ำหรือปานกลาง สำหรับใบพัดที่มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับการวัดความเร็วลมภายในท่อที่ภายในท่อต้องมีขนาดหน้าตัดมากกว่า 100 เท่าของขนาดหน้าตัดของหัววัดแบบใบพัด



รูปภาพที่ 3.23 แสดงหัววัดแบบใบพัด ใบพัดขนาด 16 มม.เหมาะสมที่จะใช้วัดความเร็วลมที่มากถึง 60 เมตร/วินาทีไปจนถึงความเร็วลมที่พัดไม่แรง (TESTO: The Informative Catalogue :P155)

ตำแหน่งในการวัด

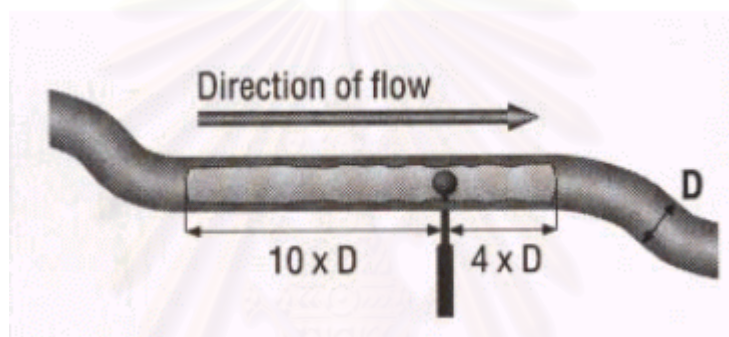
หัววัดแบบใบพัดจะต้องมีการหมุนเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดในการวัดความเร็วลมที่มากจะทำกับหัววัดในลักษณะที่ตั้งฉากกับแนวของหัววัด เมื่อมีการวัดที่เกิดขึ้นในท่อตำแหน่งในการวัดก็ต้องมีลักษณะเช่นเดียวกับกับหัววัดแบบความร้อน คือ มีระยะก่อนหัววัด 10 เท่าของภายในท่อและระยะหลังหัววัด 4 เท่าของภายในท่อแต่ลักษณะการเกิด turbulent นี้จะไม่ส่งผลต่อการวัดด้วยหัววัดแบบใบพัดแบบที่เกิดกับหัววัดแบบ ความร้อนและ pitot tube



รูปภาพที่ 3.24 การปรับหมุนหัววัดเพื่อให้สามารถวัดความเร็วลมได้ถูกต้องที่สุด (TESTO: The Informative Catalogue :P147)



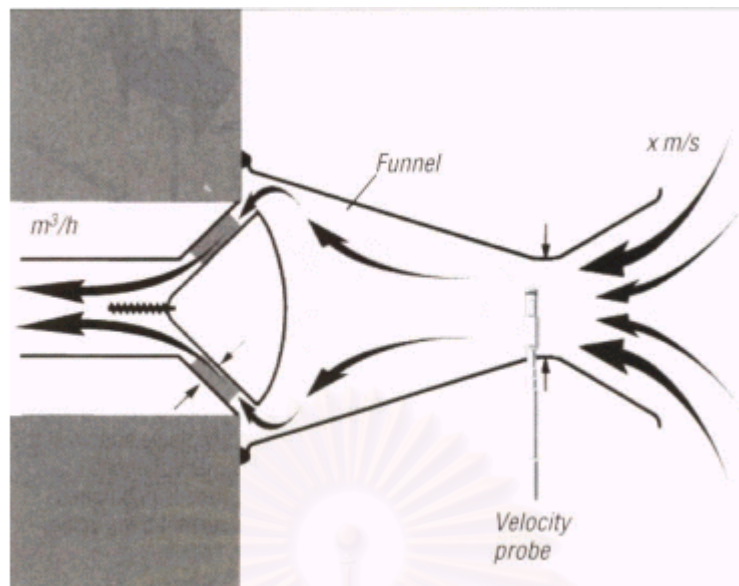
รูปภาพที่ 3.25 แสดงการรับทิศทางลมเพื่อวัดของหัววัดแบบความร้อน(TESTO: The Informative Catalogue :P146)



รูปภาพที่ 3.26 แสดงการใช้เครื่องวัดลมแบบความร้อนกลมเพื่อวัดความเร็วลมในช่องDuctและระยะที่เหมาะสม(TESTO: The Informative Catalogue :P146)

การวัดโดยการใช้ volume flow funnel

การวัดโดยการใช้เครื่องมือแบบ volume flow funnel นี้จะส่งผลต่อค่าความถูกต้องที่เกิดขึ้นได้อย่างมาก เนื่องจากไม่มีการรบกวนจากสิ่งต่างๆที่จะทำให้ความเร็วลมที่เกิดผิดพลาดไป การใช้งาน volume flow funnel สามารถมีได้หลายขนาดเนื่องมาจากงานที่ทำดังนั้น จึงสามารถที่จะสรุปออกมาเป็นภาพและสมการที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้



รูปภาพที่ 3.27 แสดงการวัดความเร็วลมของช่องเปิดด้วยfunnel(TESTO: The Informative Catalogue :P148)

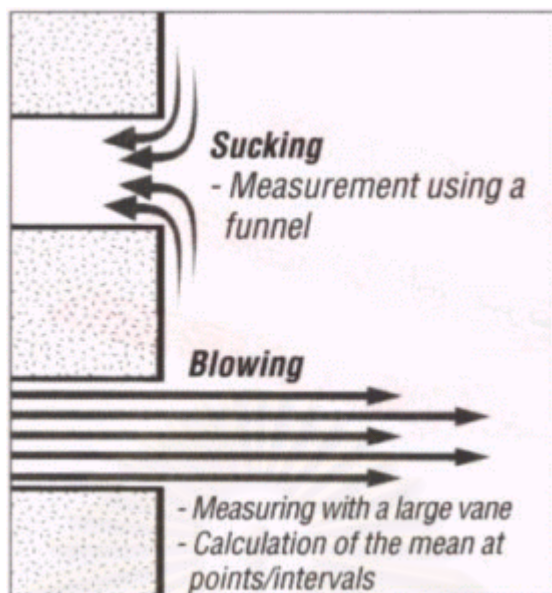
| | | |
|------------|---|---------------|
| $v[m^3/h]$ | = | $x[m/s] * 22$ |
|------------|---|---------------|

โดยที่

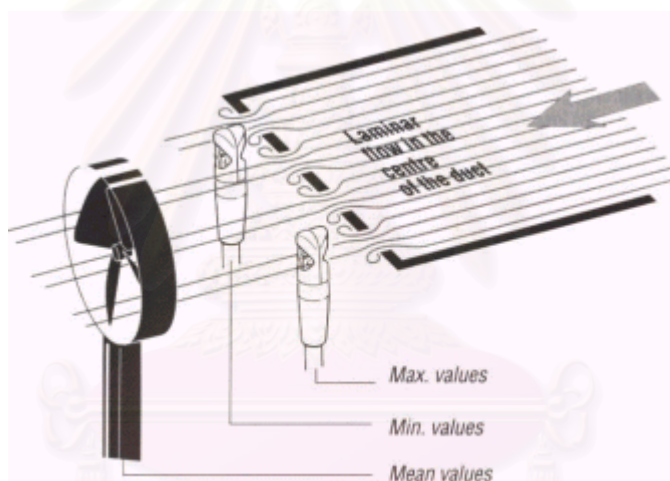
| | | |
|----|---|---------------|
| v | = | volumes |
| x | = | velocity |
| 22 | = | funnel factor |



รูปภาพที่ 3.28 แสดงการวัดความเร็วลมที่ช่องด้วยfunnel ที่หน้างานจริง(TESTO: The Informative Catalogue :P157)



รูปภาพที่ 3.29 แสดงการเกิดการดูดเข้าและปล่อยลมออกของช่องเปิดขนาดเล็ก(TESTO: The Informative Catalogue :P148)



รูปภาพที่ 3.30 แสดงการวัดความเร็วลมแบบ Laminar Flow(TESTO: The Informative Catalogue :P148)

การวัดแบบ Pitot Tubes

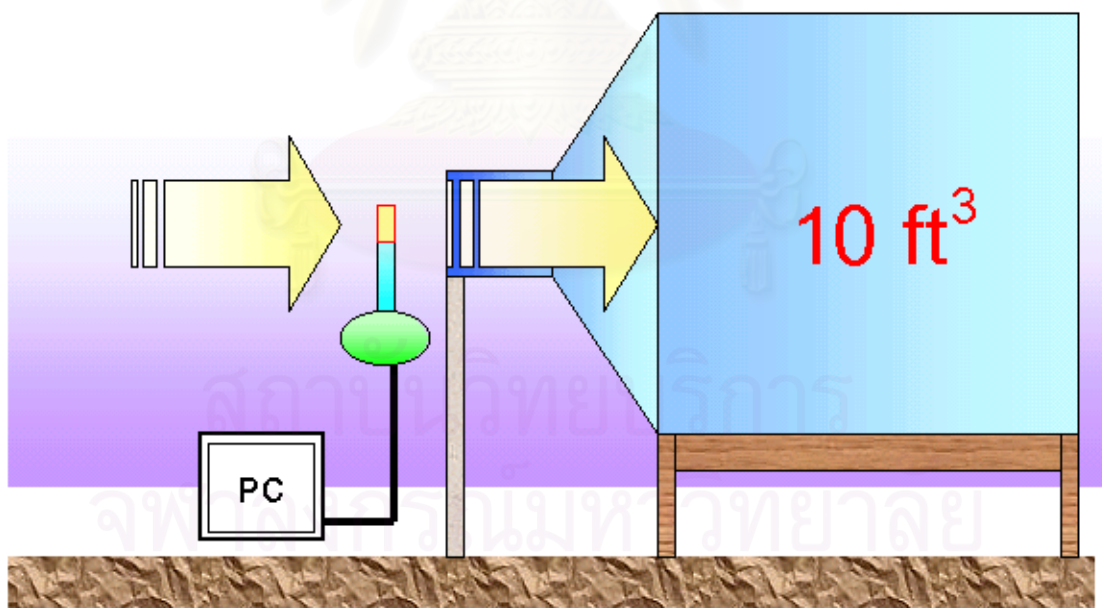
การวัดแบบ pitot tubes นี้อาศัยหลักการของการเกิดความดันที่แตกต่างทำให้อากาศมีการเคลื่อนตัวจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

การปรับแต่งเครื่องวัดความเร็วที่ใช้ในการทดลอง (calibration methods)

ในการทดลองเพื่อการวัดความเร็วลมที่เกิดจากการรบกวนของอากาศ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนั้นจะต้องมีความละเอียดอ่อนมากในการที่จะตรวจวัดความเร็วลมที่เกิดจากการรบกวนเนื่องจากความเร็วลมที่เกิดขึ้นมานั้นจะมีค่าที่น้อยกว่าค่าความเร็วลมภายนอกที่วัดได้ ดังนั้นการปรับแต่งเครื่องมือเพื่อให้มีความละเอียดอ่อนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการทำการทดลองนี้ เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จะต้องนำมาใช้ในการประเมินพลังงานที่สูญเสียจากการรบกวนของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่อไป นอกจากนี้การปรับแต่งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองยังส่งผลต่อ ความน่าเชื่อถือของการทำการทดลองเนื่องจากเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงสูงย่อมให้ผลการทดลองที่มีความถูกต้องและสามารถนำผลการทดลองไปใช้ได้ดียิ่งกว่าเครื่องมือที่ไม่ได้รับการปรับแต่ง

ขั้นตอนการปรับแต่งเครื่องมือวัดความเร็วลม

1. ถังที่สามารถกักเก็บอากาศได้ในปริมาตรที่เชื่อถือได้ เป็นปริมาตรเท่ากับ 10 ลูกบาศก์ฟุต นำมาใช้ในการปรับแต่งเครื่องมือ
2. ที่ปลายหน้าตัดของถังกำหนดให้มีขนาดพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาดพื้นที่ 1 ตารางฟุต เพื่อให้เกิดการคำนวณที่มีค่าใกล้เคียงมากที่สุด

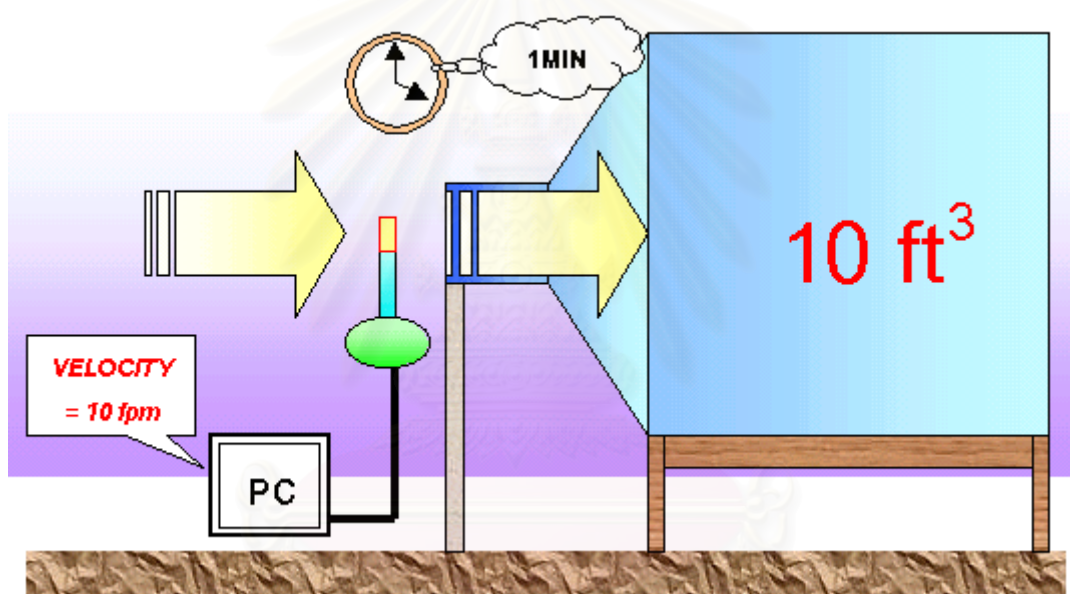


รูปภาพที่ 3.31 แสดงการจัดชุดเครื่องมือเพื่อทำการปรับแต่งเครื่องมือในการวัดความเร็วลม

3. จากสมการที่ว่า อัตราการไหลของอากาศ มีค่าเท่ากับ ความเร็วของลม คูณด้วยพื้นที่หน้าตัดที่ลมไหลผ่าน ดังนั้นสามารถที่จะเขียนขึ้นมาใหม่ได้ ดังนี้

$$10 \text{ ลูกบาศก์ฟุต} = \text{ความเร็วลม} * \text{พื้นที่หน้าตัด 1 ตารางฟุต}$$

4. จากนั้นนำเครื่องมือวัดลมที่ต้องการปรับตั้งจำนวน 2 ชุด มาวัดความเร็วลมที่เข้าสู่ห้องที่จัดเตรียมไว้ สมมุติถ้าห้องตัวอย่างที่จัดเตรียมไว้มีอากาศเข้าไปบรรจุกอยู่เต็ม 10 ลูกบาศก์ฟุตในเวลา 1 นาที หมายความว่า ความเร็วลมที่เข้าสู่ห้องจะต้องมีความเร็วเท่ากับ 10 ฟุตต่อนาทีหรือ 10 fpm นั่นเอง เมื่อทราบดังนี้ก็ใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นตัวเทียบที่ใช้ในการหาสมการเพื่อปรับแต่งเครื่องมือ ทั้ง 2 ชุด

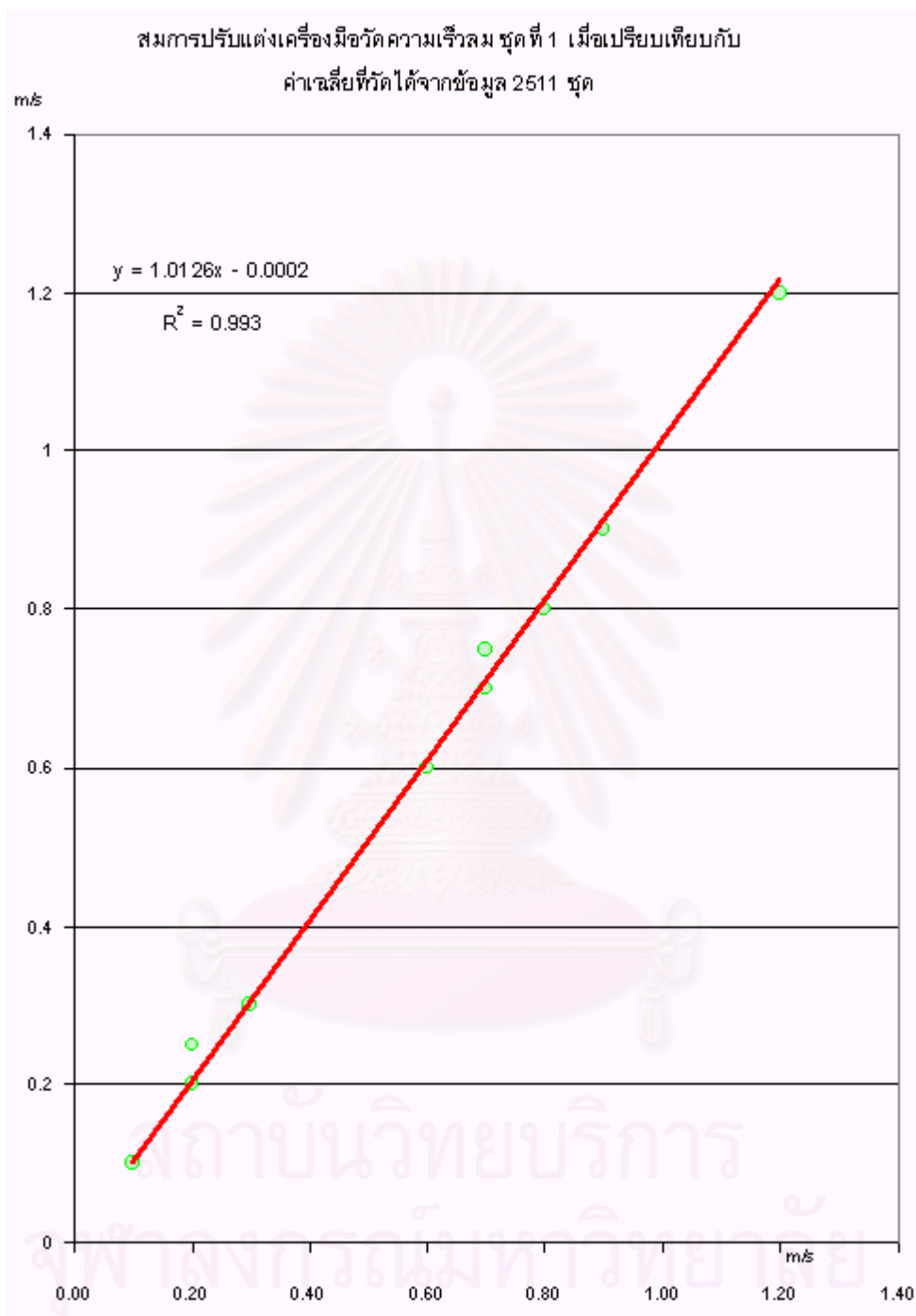


รูปภาพที่ 3.32 แสดงการจัดชุดเครื่องมือเพื่อทำการปรับแต่งเครื่องมือในการวัดความเร็วลม

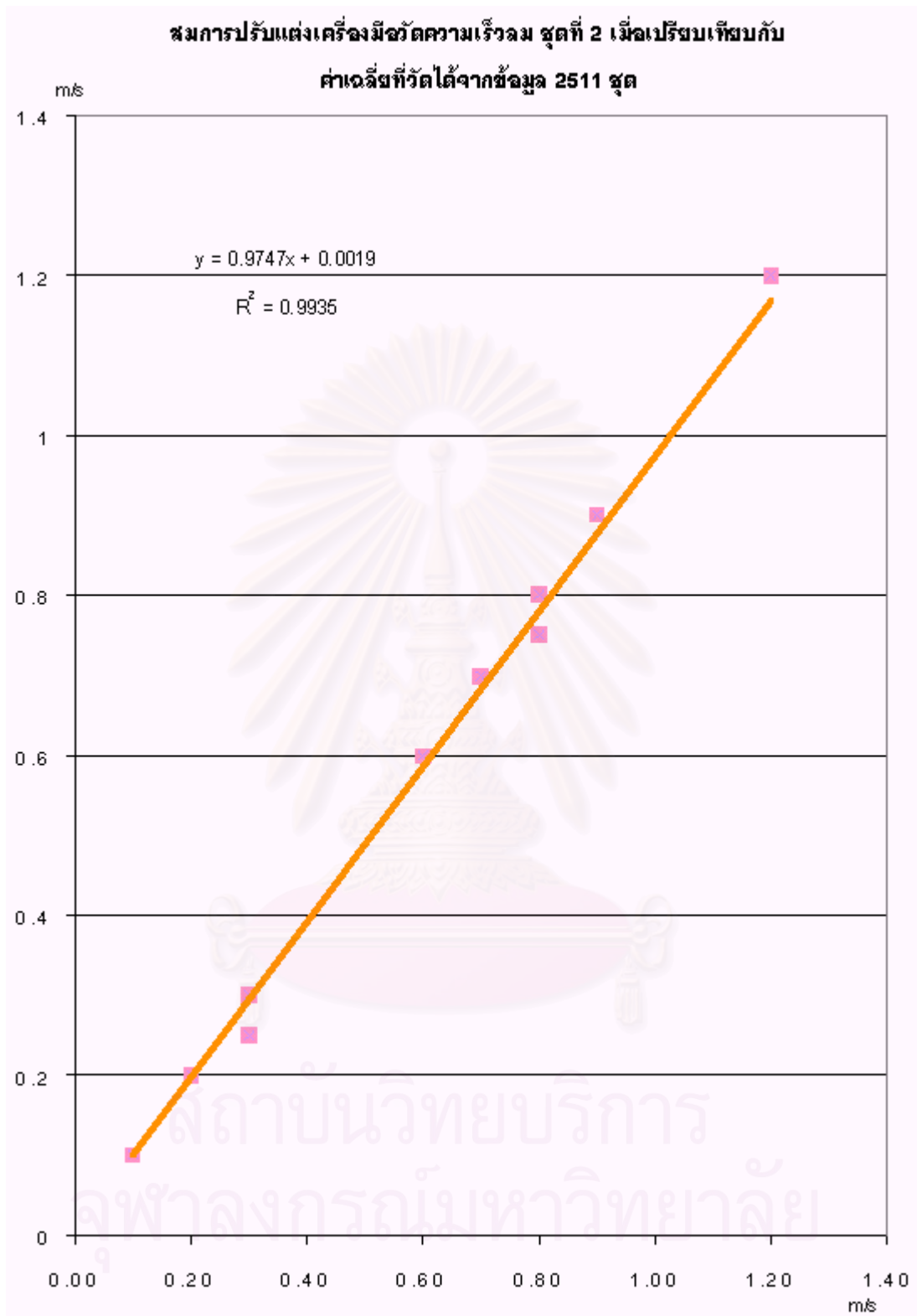
5. นำข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องวัดความเร็วลมทั้ง 2 ชุด จำนวน 500 ข้อมูลมาหาสมการถดถอยแบบเส้นตรง (linear regression) เพื่อที่จะนำสมการที่ได้ไปปรับแต่งเครื่องมือทั้ง 2 ชุดให้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำ

แต่เนื่องจากข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในการทดลอง ไม่ว่าจะจากทั้งเครื่องมือและสถานที่ ดังนั้นในการวิจัยจึงได้เลือกการปรับแต่งเครื่องมือโดยวิธีการนำเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองทั้งสองชนิดมาทำการวัดความเร็วลมที่ได้จากตำแหน่งติดกัน จากนั้นเมื่อได้ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในการปรับแต่งมาเป็นจำนวนเพียงพอแล้วก็นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองมาทำการหาสมการปรับแต่ง ด้วยวิธีการสมการถดถอยแบบเส้นตรง แล้วนำสมการที่ได้ไปใช้ในการปรับแต่งเครื่องมือทั้งสองให้มีความแม่นยำเท่าเทียม

กัน จนสามารถที่จะกล่าวได้ว่าเครื่องมือทั้งสองเป็นเครื่องมือชนิดเดียวกันผลการปรับแต่งเครื่องมือแสดงเป็นแผนภูมิได้ ดังนี้



แผนภูมิที่ 3.1 แสดงสมการที่ใช้ในการปรับแต่งเครื่องมือชุดที่ 1 จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 2511 ชุด



แผนภูมิที่ 3.2 แสดงสมการที่ใช้ในการปรับแต่งเครื่องมือชุดที่ 2 จากข้อมูลที่รวบรวมได้ 2511 ชุด

จากแผนภูมิทั้งสอง จะเห็นได้ว่าค่า R2 มีค่าถึง 0.997 ซึ่งในทางสถิติสามารถที่จะยอมรับได้ว่าเครื่องมือทั้งสอง เปรียบเสมือนเครื่องมือชุดเดียวกัน ดังนั้นในเครื่องมือชุดที่ 1 จึงใช้สมการในการปรับแต่งค่าที่วัดได้ คือ

$$Y = 1.0126X - 0.0002$$

และสมการที่ใช้ในการปรับแต่งเครื่องมือชุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ

$$Y = 0.9747X + 0.0019$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการทำนายการรั่วซึมของอากาศ ผ่านทางช่องเปิดขณะปิด

จากข้อมูลพื้นฐานต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น จะเห็นได้ถึงความสำคัญของการป้องกันการเกิดการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารที่มีการปรับอากาศผ่านทางช่องเปิดในขณะที่ปิด เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้อาคารสูญเสียพลังงานหรือใช้พลังงานมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น การทดลองจึงจัดตั้งขึ้นโดยต้องสามารถตอบข้อวัตถุประสงค์ คือ

1. สามารถพิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานมากที่สุดได้
2. เพื่อทราบตัวแปรที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดขณะปิดว่าปัจจัยใดที่ส่งผลมากที่สุดและสามารถจำแนกช่องเปิดที่จะใช้ในการทดลองได้ ตามลักษณะที่เป็นตัวแปรในการทดลอง ผลการทดลองที่ได้รับใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิดได้
3. สามารถประเมินพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารโดยการพิจารณาจากความแตกต่างของEnthalpy ก่อน และหลังการรั่วซึมของอากาศ จากการวัดอุณหภูมิ กระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างภายในและภายนอกห้องที่ทำการทดลอง วิธีการทางสถิติใช้ในการทำนายปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดจากตัวแปรที่ได้ศึกษา
4. เสนอแนวทางการเลือกรูปแบบช่องเปิดที่มีความเหมาะสมในการทำงานสามารถประยุกต์ใช้ในอาคารจริงที่มีการปรับอากาศเพื่อการประหยัดพลังงาน ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นได้

และสามารถตอบสมมติฐานที่ตั้งขึ้นไว้ได้อย่างถูกต้องและเชื่อถือได้

1. การรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดที่มีลักษณะต่างๆกัน ก่อให้เกิดความต้องการในการปรับอากาศ หรือการสร้างภาระการทำความเย็นแตกต่างกัน โดยที่ช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเกล็ดจะมีการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด
2. ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดมาก คือ ลักษณะของช่องเปิดนั่นเอง และความเร็วลมที่กระทำจากภายนอก โดยที่อุณหภูมิและความดันที่เกิดขึ้นระหว่างภายใน

และภายนอกอาคารที่ทำการทดลอง มีอิทธิพลต่อการเกิดการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิด

- ช่องเปิดที่ติดตั้งและป้องกันการรั่วซึมอย่างดี มีความเหมาะสมสำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศ ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นได้

การทดลองจึงจัดตั้งขึ้นโดยพิจารณาตัวแปรที่ส่งผลต่อการรั่วซึมของอากาศเป็นอันดับแรก คือ ความเร็วลมที่มากระทำกับช่องเปิดที่ทำการทดลอง สองลักษณะเฉพาะของช่องเปิดนั้น โดยควบคุมขนาดของพื้นที่ของช่องเปิดที่ใช้ในการทดลองและทิศทางของช่องเปิดนั้นๆ ให้มีลักษณะเดียวกัน ในส่วนของการสรุปผลการทดลองสามารถที่จะนำผลการทดลองที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานในอาคารจากการรั่วซึมและแนวทางการออกแบบอาคาร เลือกช่องเปิดที่เหมาะสมกับภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในประเทศไทย

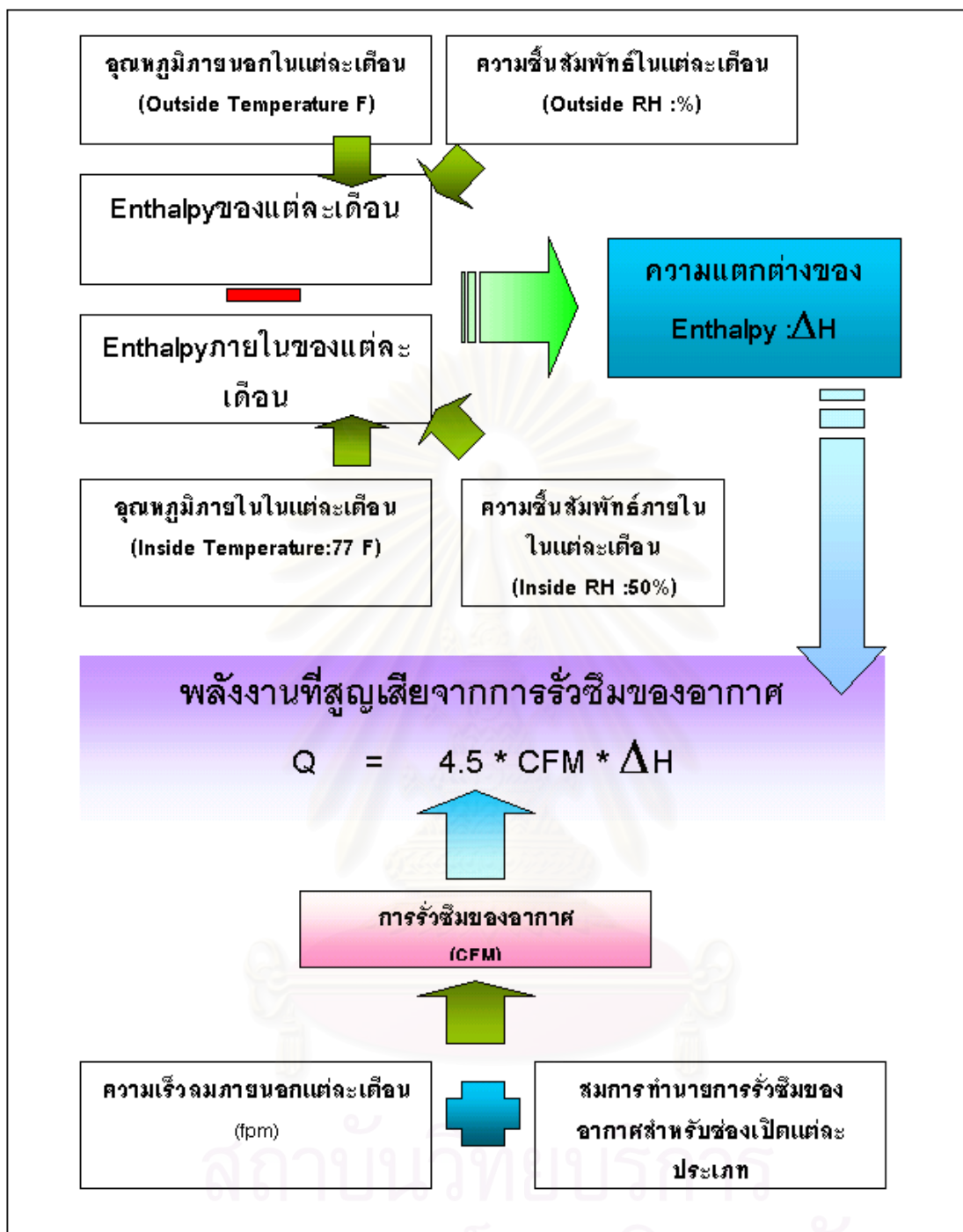
หัวข้อการทดลองที่จัดขึ้นเพื่อหาข้อสรุป ตัวแปรที่ทำการทดสอบและขั้นตอนการดำเนินการทดลอง รวมทั้งผลการทดลองมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

4.1 อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด

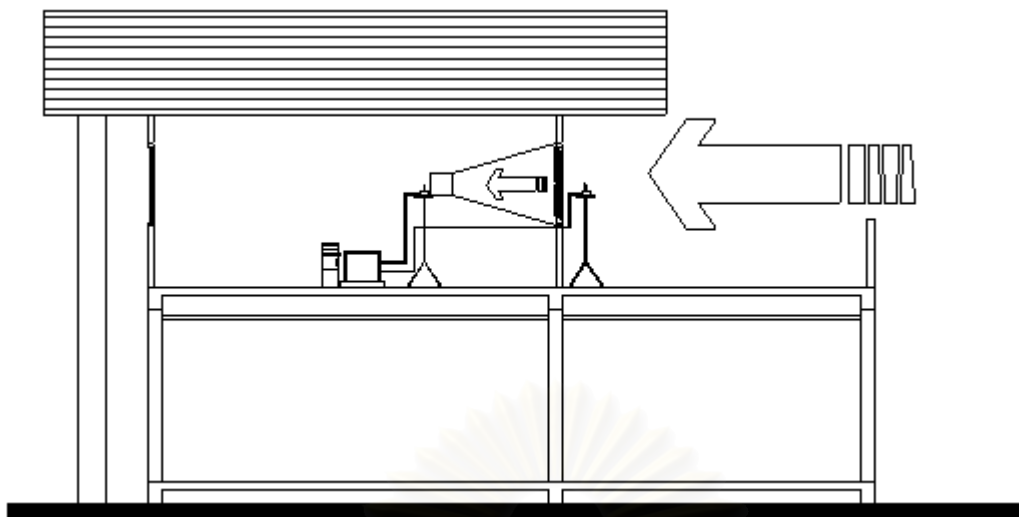
การทดลองนี้เพื่อพิจารณาถึงปริมาณการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเกร็ด โดยยังคงนิยมใช้ในอาคารประเภทบ้านพักอาศัย และประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางบานเกร็ดตลอดทั้งปี รวมถึงพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกใช้ช่องเปิดชนิดนี้ในอาคารที่มีการปรับอากาศต่อไป

ผลการทดลองจะประกอบไปด้วย

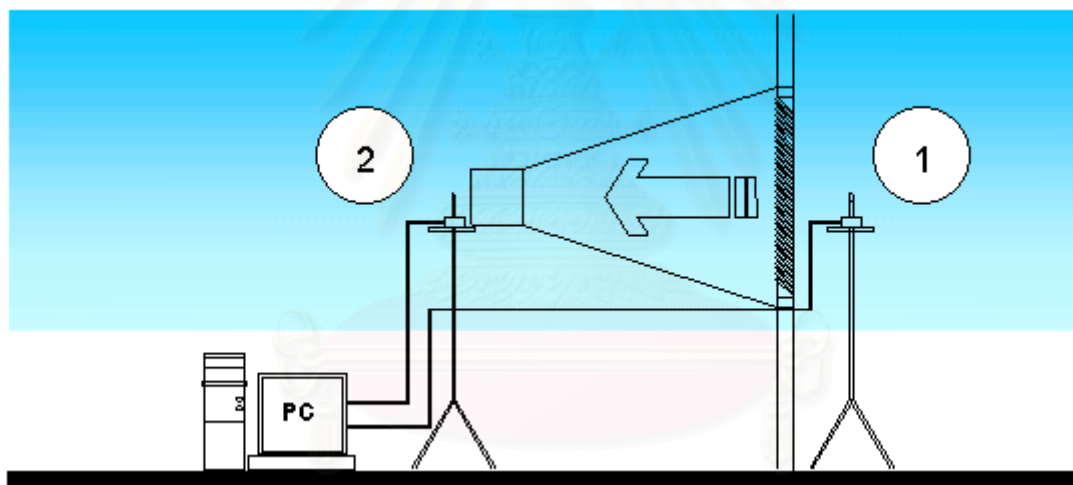
1. ความเร็วลมภายนอกที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมที่รั่วซึมคิดค่าเป็นความเร็วเมตรต่อวินาที
2. ผลของการรั่วซึมของอากาศ คิดเป็นค่า ลูกบาศก์ฟุตต่ออนาที
3. สมการที่ใช้ในการทำนายหรือประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
4. ผลการประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯประจำปี พ.ศ.2538 ตามทิศทางตลอดช่วงเวลา 1 วันซึ่งเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ
5. ผลการประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯประจำปี พ.ศ.2538 ตามทิศทางเฉลี่ยช่วงเวลา 1 ชั่วโมงซึ่งเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงขั้นตอนในการคำนวณและประเมินพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดแต่ละประเภท

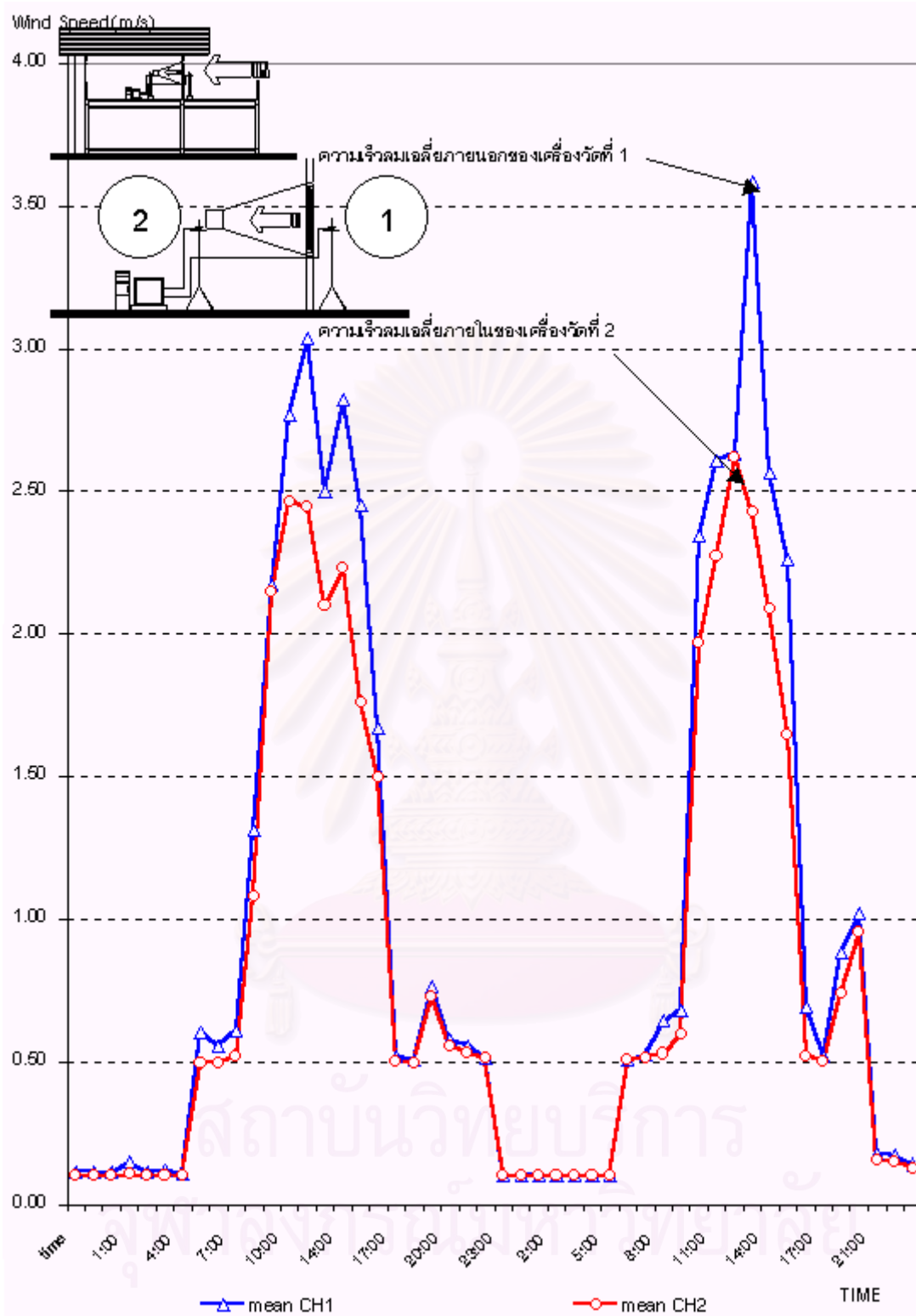


รูปภาพที่ 4.1 แสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกับสถานที่ทดลองการวัดการรั่วซึมของอากาศ
ผ่านทางช่องเปิดแบบบานเกร็ด

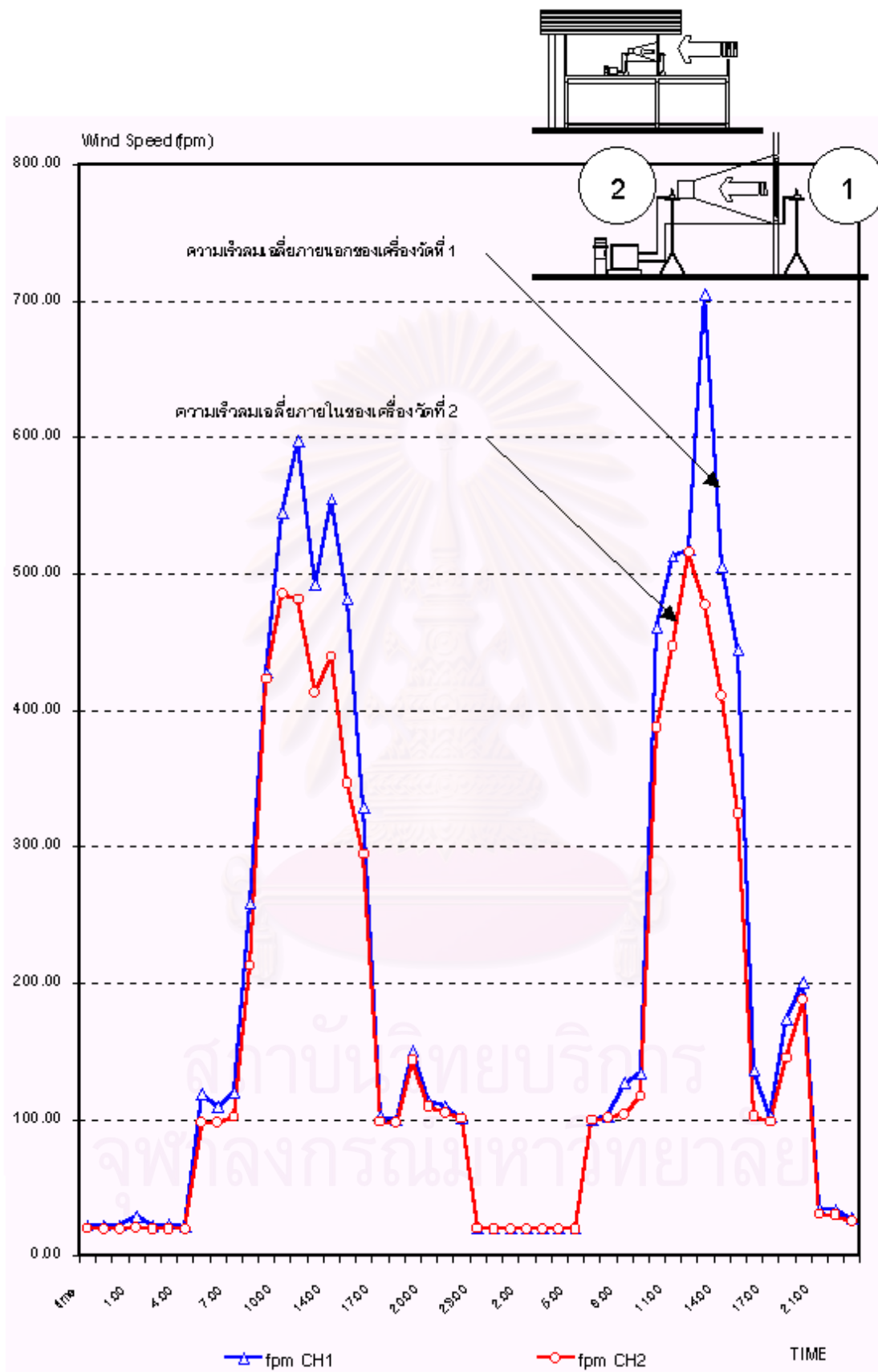


รูปภาพที่ 4.2 แสดงแบบขยายการติดตั้งชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับช่องเปิดแบบ
บานเกร็ด

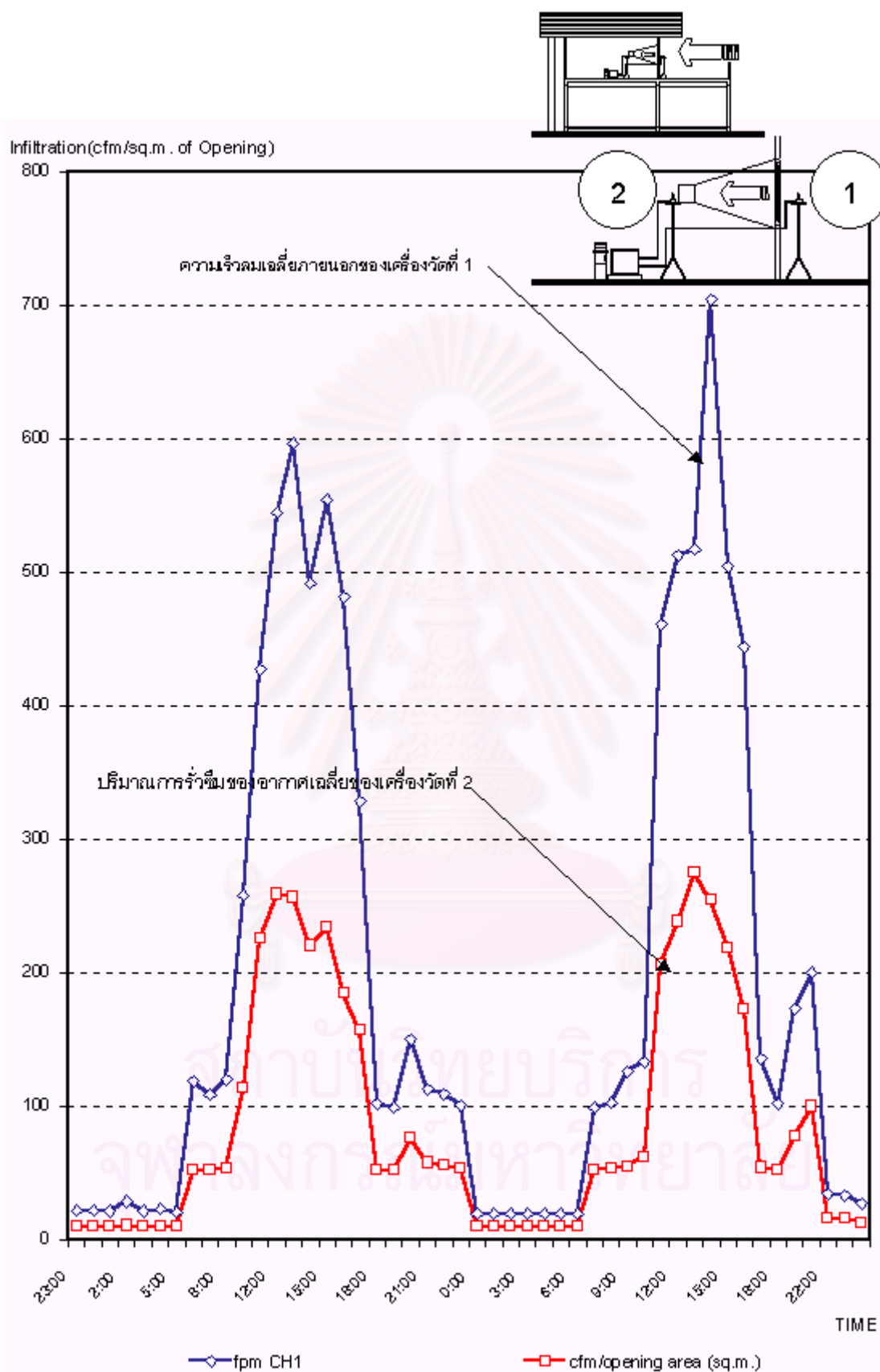
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



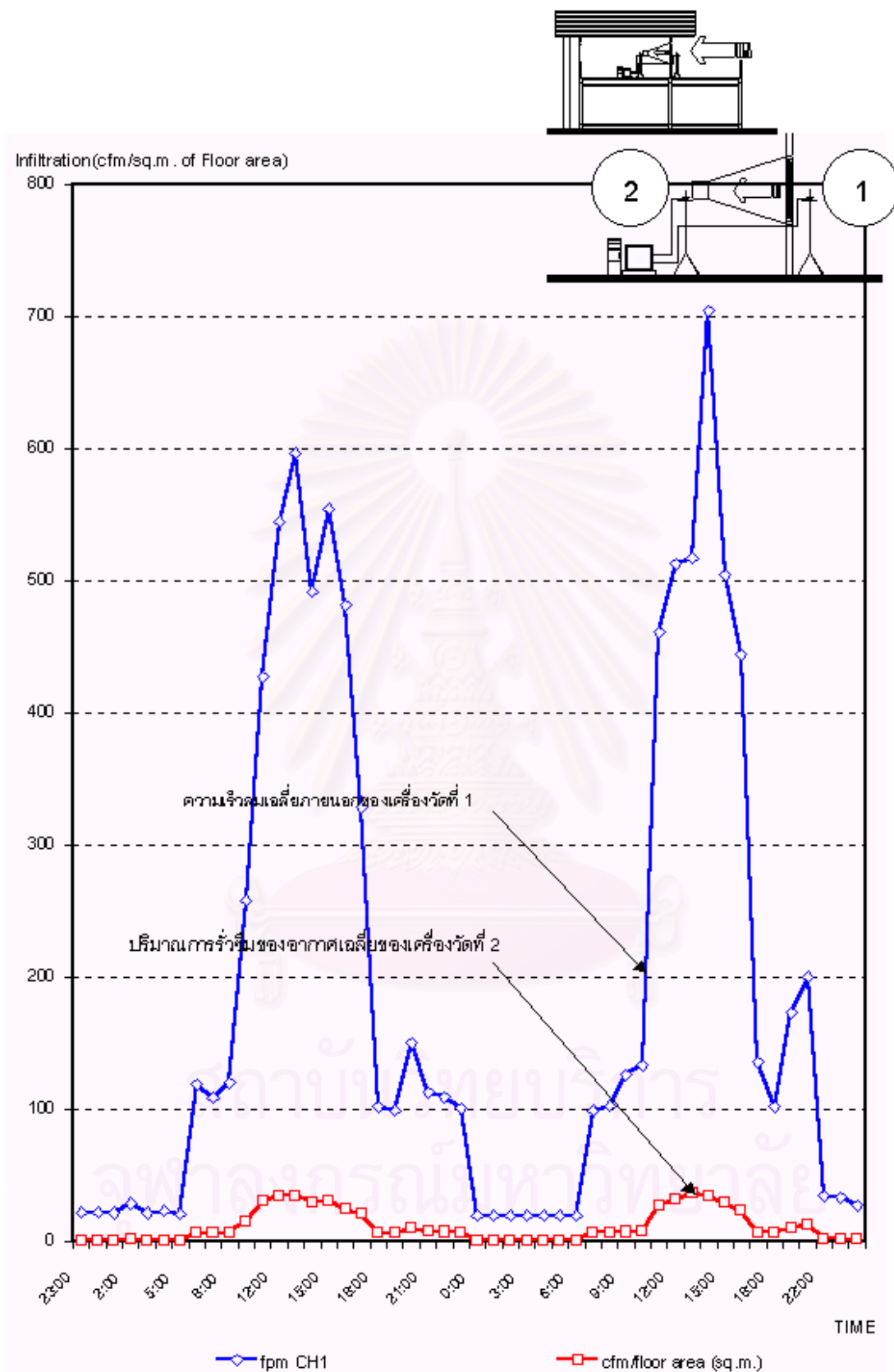
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับความเร็วลมภายในที่เกิดขึ้นของช่อง
เปิดบานเกร็ด วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมวลอากาศนอกกับการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิด
บ้านเกร็ด วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544

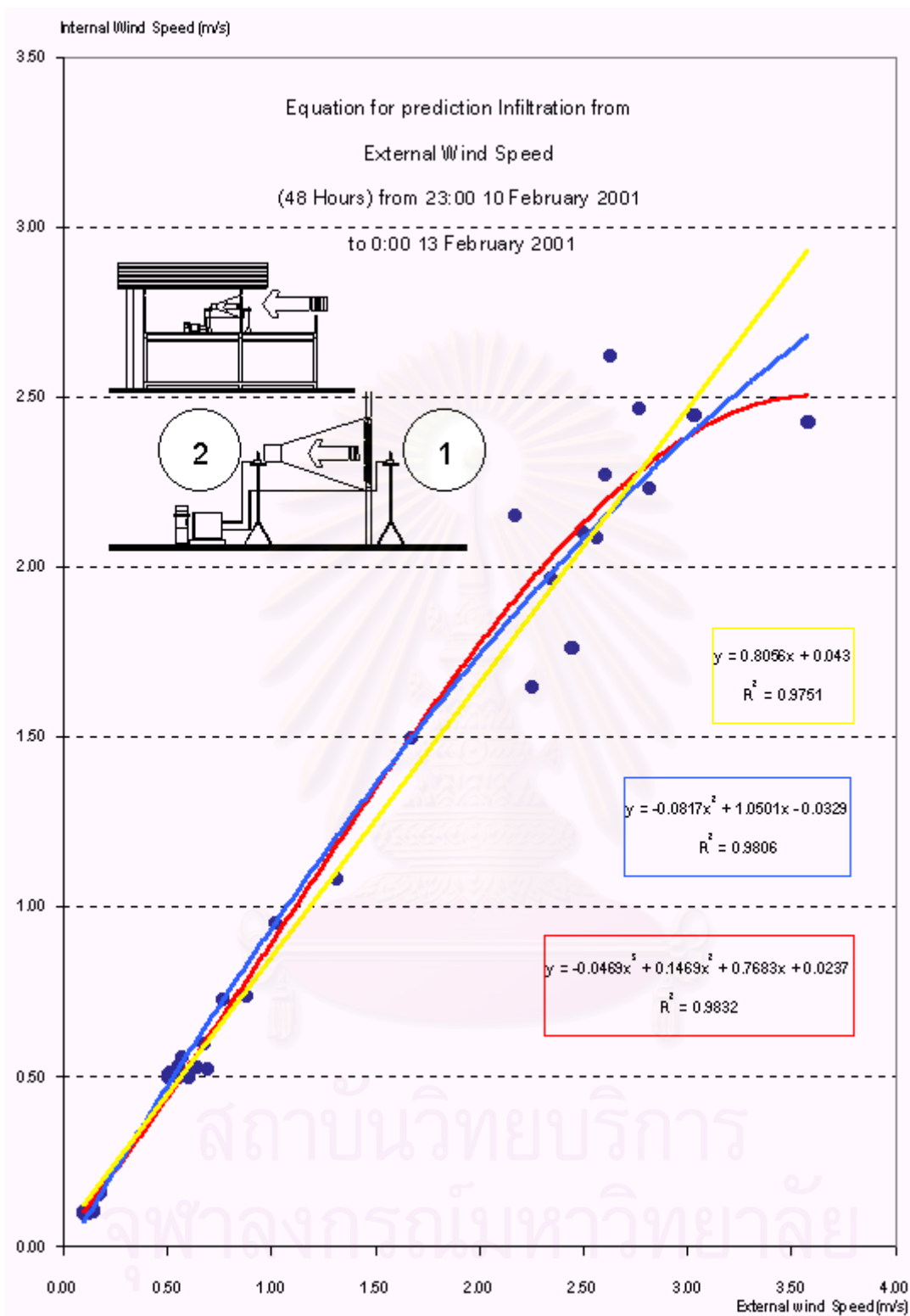


แผนภูมิที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ช่องเปิดบานเกร็ด 1 ตารางเมตร วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544

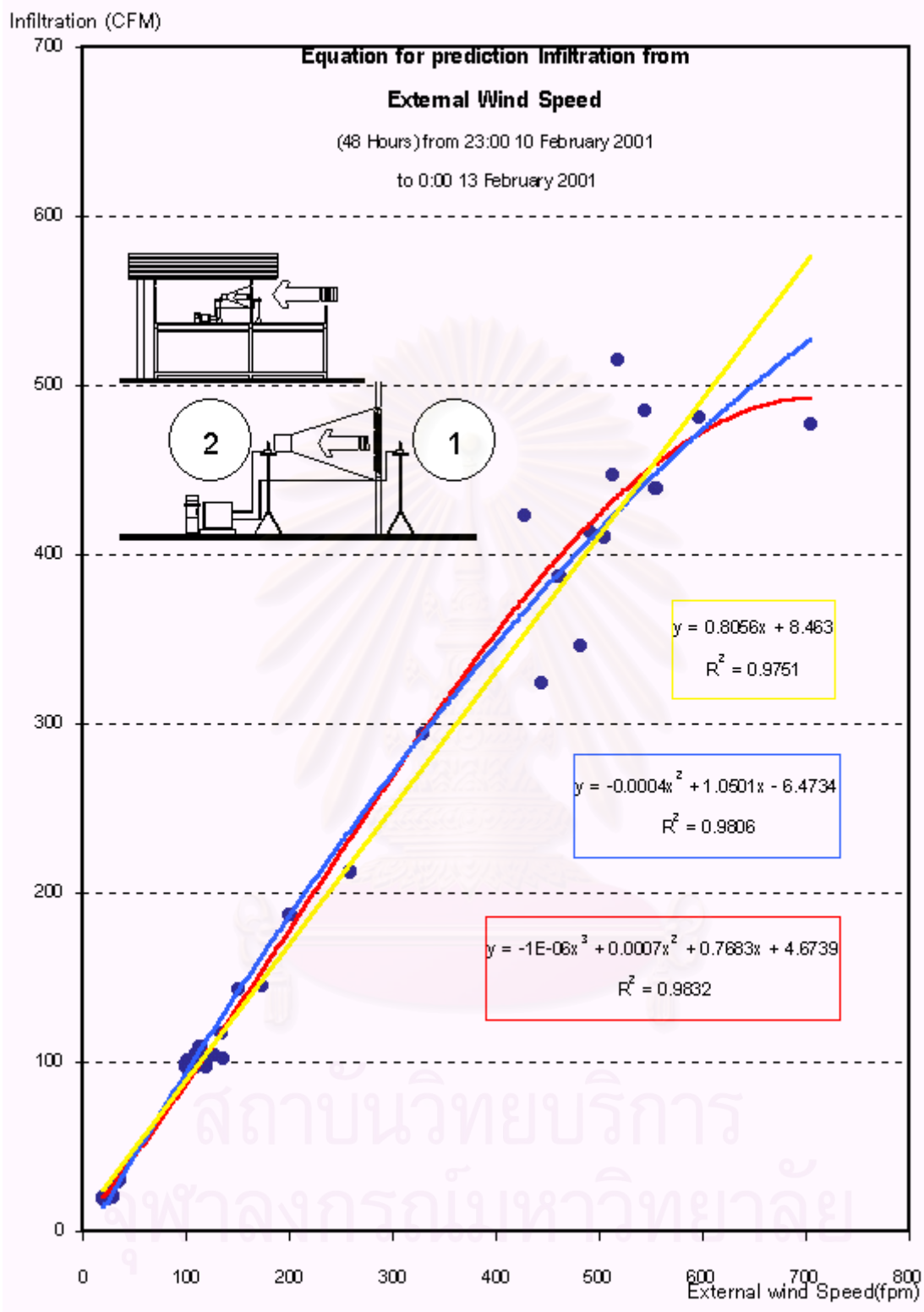


แผนภูมิที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ใช้สอย

อาคาร 1 ตารางเมตร วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเกร็ด มีหน่วยเป็นเมตร ต่อวินาที วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเกร็ด
มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่ออนาที วันที่ 10-13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544

4.1.1 สรุปผลการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเกร็ดขณะปิด

จากผลการทดลองการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเกร็ดขนาดกว้าง 1.56 เมตรและสูง 1.20 เมตร พื้นที่เท่ากับ 1.872 ตารางเมตรและพื้นที่ห้องที่ทำการทดลองขนาด กว้าง 3.46 เมตร ยาว 4.0 เมตรพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 13.84 ตารางเมตร ได้ผลวิเคราะห์ในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

ลักษณะการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด อากาศสามารถที่จะรั่วซึมเข้าได้ถึงประมาณร้อยละ 80 ของความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายนอกเมื่อนำมาคูณกับพื้นที่หน้าตัดเพื่อที่จะหาอัตราการไหลก็สามารถสรุปผลออกมาได้ ดังแผนภูมิที่ 4.2 ถึงแผนภูมิที่ 4.5 อัตราการรั่วซึมของอากาศเมื่อมีค่าสูงสุดมีค่าสูงถึงประมาณ 255 CFMต่อชั่วโมง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาทำการคำนวณทางสถิติโดยใช้วิธีการทางสมการถดถอยลักษณะเป็นเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรงเพื่อทำนายค่าการรั่วซึมของอากาศที่เกิดขึ้นจากความเร็วลมภายนอกจะพบว่า ลักษณะของสมการมีความเป็นสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงมากกว่า (Non-Linear Regression Equation) ดังนั้นในการคำนวณเพื่อที่จะประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538จึงเลือกใช้สมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง ดังนี้

$$Y = -0.004X^2 + 1.0501X - 6.4734$$

$$R^2 = 0.9806$$

หรือเมื่อเป็นสมการที่ใช้ต่อพื้นที่ช่องเปิด 1 ตารางเมตรจะมีค่าเท่ากับ

$$Y = -0.0021X^2 + 0.5609X - 3.4580$$

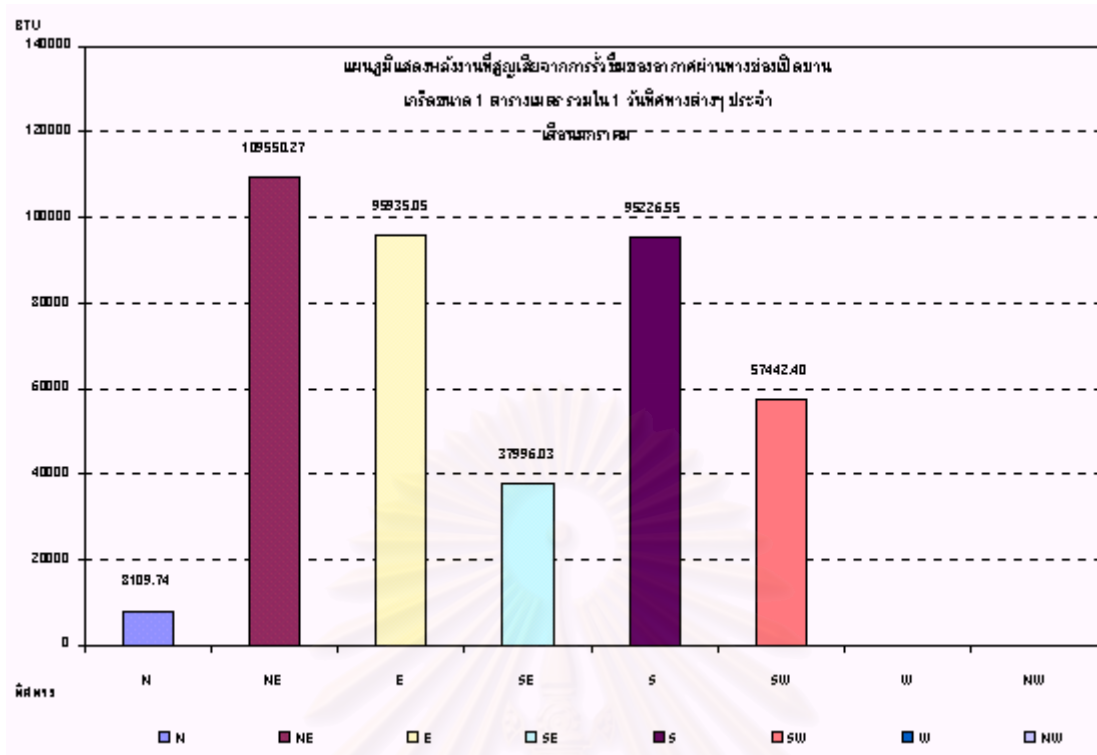
$$R^2 = 0.9806$$

ในการคำนวณนี้ไม่นำสมการที่มีกำลัง 3 มาใช้เนื่องจาก ยากแก่การคำนวณและตรวจสอบ อีกทั้งรูปแบบของสมการมีความไม่เหมาะสมมากกว่าและค่า ความเชื่อมั่นทางสถิติก็สูงกว่ากันเพียงไม่มาก ดังนั้นการเลือกใช้สมการแบบกำลัง 2 จึงมีความเหมาะสมกว่าในการคำนวณ

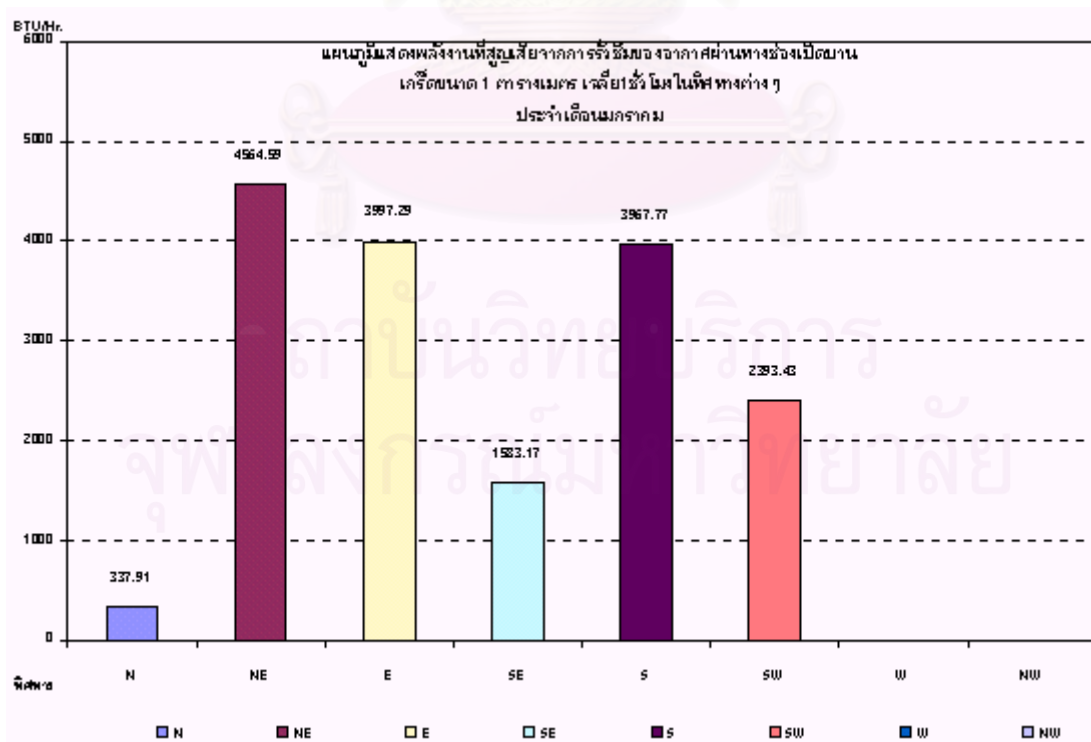
เมื่อได้สมการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศสำหรับช่องเปิดบานเกร็ดแล้ว จึงนำสมการที่ได้มาคำนวณการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี โดยมีค่าเฉลี่ยใน 1 วันเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆมาใช้ในการคำนวณค่าพลังงานต่อไป

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| 1:00 | 135.28527 | 4621.0319 | 5290.6835 | 0 | 4621.0319 | 0 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 5093.0877 | 4448.4462 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 41.585817 | 0 | 2787.949 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 69.240931 | 0 | 3839.3204 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 5.0041358 | 3605.8221 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 131.11545 | 2132.6307 | 2733.4173 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 311.03644 | 0 | 3297.0981 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 230.28597 | 4905.2906 | 4905.2906 | 0 | 6231.8961 | 3198.3503 | 0 | 0 |
| 10:00 | 1025.6734 | 6117.2905 | 6745.2206 | 0 | 6429.7647 | 5615.9375 | 0 | 0 |
| 11:00 | 841.94098 | 7386.2615 | 6699.9309 | 2553.2079 | 6511.1276 | 3708.0423 | 0 | 0 |
| 12:00 | 1150.5816 | 7463.6193 | 10415.424 | 7463.6193 | 7840.2178 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 998.60578 | 7072.7411 | 6694.9067 | 5948.9263 | 5226.6855 | 6811.0082 | 0 | 0 |
| 14:00 | 298.94548 | 5905.4716 | 5689.0326 | 6513.4523 | 6513.4523 | 4754.3372 | 0 | 0 |
| 15:00 | 2027.3362 | 6837.0957 | 7742.3508 | 6400.5304 | 5506.6087 | 0 | 0 | 0 |
| 16:00 | 293.10251 | 6760.9067 | 4070.7841 | 0 | 5080.838 | 6243.3371 | 0 | 0 |
| 17:00 | 205.02381 | 5719.9373 | 8271.0178 | 4244.8737 | 4244.8737 | 0 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 5054.5306 | 0 | 0 | 8959.2693 | 6508.3069 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 5910.9475 | 6423.0292 | 0 | 6221.9276 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 198.57491 | 4718.6552 | 0 | 0 | 3961.5644 | 6075.8275 | 0 | 0 |
| 21:00 | 72.851128 | 5364.3988 | 0 | 4871.4182 | 2617.0176 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 5703.2455 | 0 | 0 | 5703.2455 | 5703.2455 | 0 | 0 |
| 23:00 | 73.549915 | 5828.0338 | 0 | 0 | 6207.7601 | 4531.2046 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0 | 3349.2721 | 5881.146 | 0 | 3349.2721 | 4292.8005 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมกราคม จากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกิร์ตขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกิร์ตขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538

4.1.2 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดเดือนมกราคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนมกราคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนมกราคม พ.ศ.2538 (บีทียู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมกราคม พ.ศ.2538 (บีทียู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 8109.74 | 337.91 |
| NE | 109550.27 | 4564.59 |
| E | 95935.05 | 3997.29 |
| SE | 37996.03 | 1583.17 |
| S | 95226.55 | 3967.77 |
| SW | 57442.40 | 2393.43 |
| W | 0.00 | 0.00 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

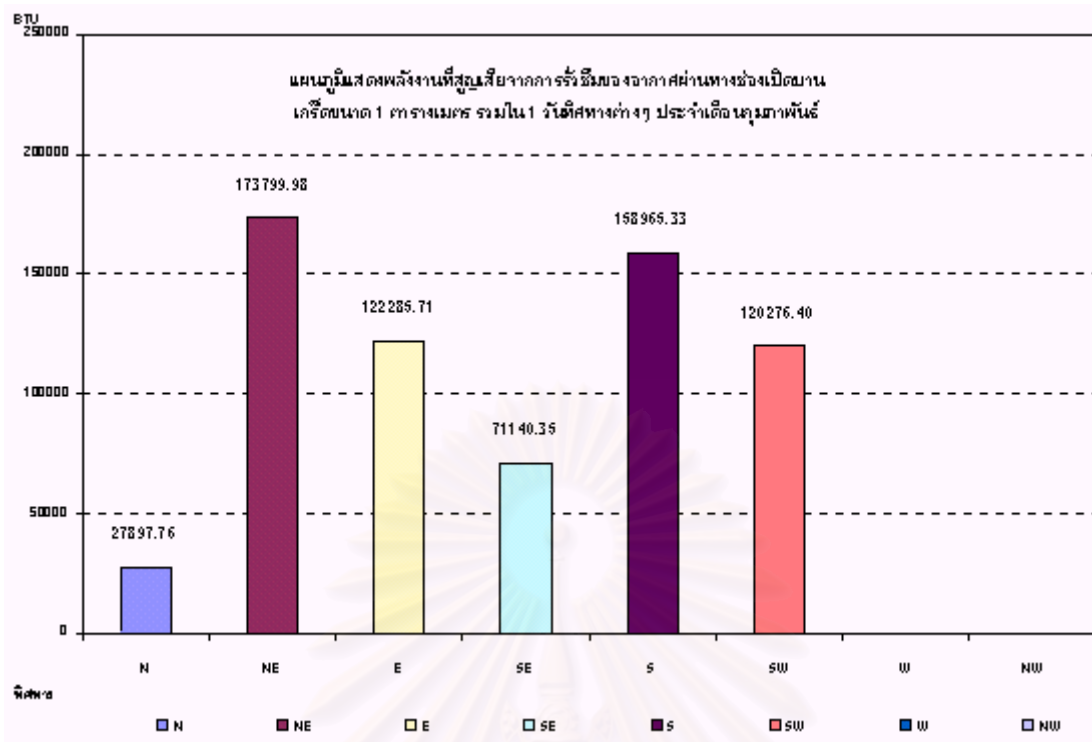
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 4564.59 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 109550 บีทียูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 337.91 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 8109.74 บีทียูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากที่สุด
- ทิศทางที่มีการรั่วซึมของอากาศน้อยมากหรือไม่มีเลย คือ ทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เนื่องมาจากมีความเร็วลมมากหรือน้อยมากหรือไม่มีเลย

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมกราคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

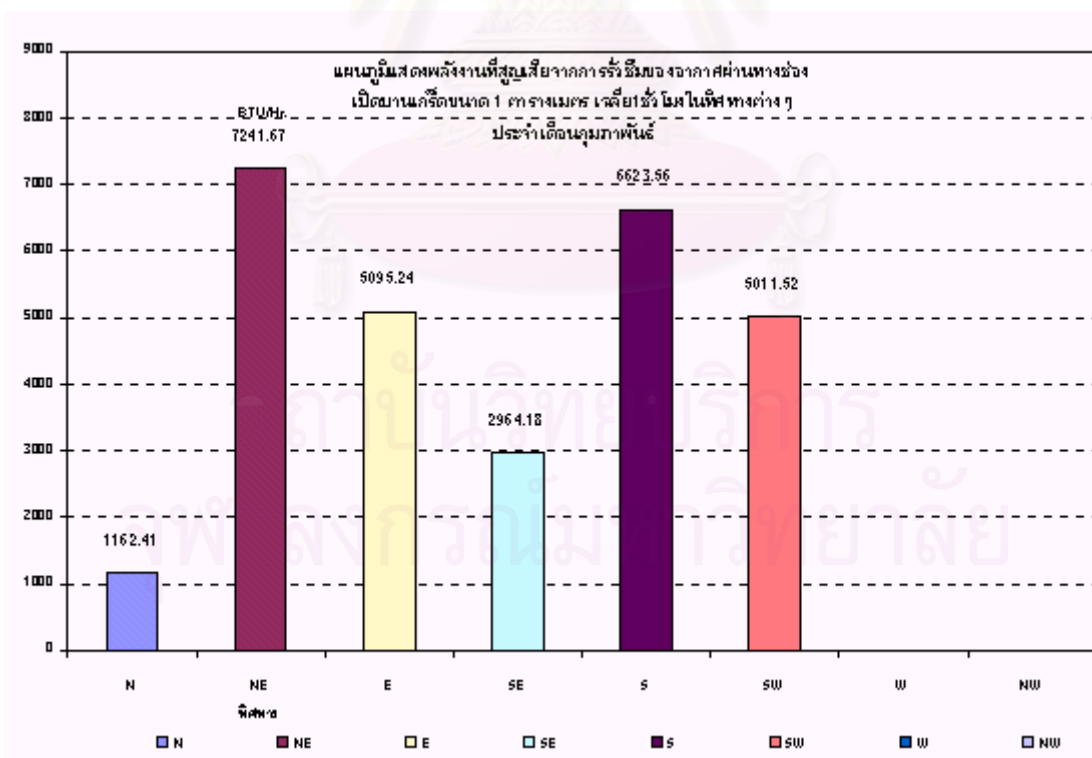
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| 1:00 | 879.9731 | 7626.9622 | 0 | 0 | 5204.368 | 6130.5012 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 8063.3653 | 0 | 0 | 6205.4438 | 4138.3018 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 6451.1253 | 0 | 5015.6484 | 4750.9483 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 6189.2304 | 0 | 0 | 5298.9998 | 5758.0668 | 0 | 0 |
| 5:00 | 176.09126 | 5463.656 | 0 | 3908.7046 | 5463.656 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 147.36155 | 3416.7897 | 8021.5007 | 0 | 3416.7897 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 146.21961 | 6894.4913 | 4345.4021 | 0 | 3880.456 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 544.28056 | 6594.4592 | 8782.6249 | 0 | 4661.0991 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 1802.7931 | 6868.2526 | 8798.5386 | 3209.5361 | 5974.3552 | 0 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0 | 9648.0781 | 10651.675 | 0 | 6906.8595 | 7737.7259 | 0 | 0 |
| 11:00 | 0 | 14416.341 | 13150.366 | 0 | 9727.5371 | 11137.192 | 0 | 0 |
| 12:00 | 4764.3099 | 12180.905 | 8123.5056 | 0 | 8533.4007 | 7696.1019 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 11281.96 | 10866.853 | 8195.5855 | 9082.0589 | 6849.0691 | 0 | 0 |
| 14:00 | 2666.3361 | 9951.8912 | 10756.836 | 0 | 8839.8247 | 8839.8247 | 0 | 0 |
| 15:00 | 2764.9632 | 8376.7683 | 0 | 5815.1949 | 8049.7207 | 9836.4115 | 0 | 0 |
| 16:00 | 7713.3609 | 7713.3609 | 10618.134 | 0 | 7034.8537 | 8831.1338 | 0 | 0 |
| 17:00 | 2359.0334 | 6844.6942 | 0 | 0 | 7040.6568 | 6953.9818 | 0 | 0 |
| 18:00 | 533.78343 | 6147.3084 | 0 | 0 | 6416.5873 | 9062.437 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 7160.5949 | 12894.016 | 11042.983 | 6230.0946 | 8021.9847 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 10154.078 | 0 | 9150.7739 | 8145.7859 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 473.12793 | 0 | 8859.0297 | 8501.9198 | 7405.8794 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 744.82582 | 5006.764 | 6417.2268 | 8066.3021 | 7315.9802 | 10570.618 | 0 | 0 |
| 23:00 | 941.35936 | 7348.9006 | 0 | 0 | 6716.4551 | 5484.3697 | 0 | 0 |
| 0:00 | 1239.9389 | 0 | 0 | 8233.8973 | 6663.5241 | 3228.679 | 0 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเก็ร็ดขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเก็ร็ดขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.3 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดเดือนกุมภาพันธ์

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนกุมภาพันธ์สามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

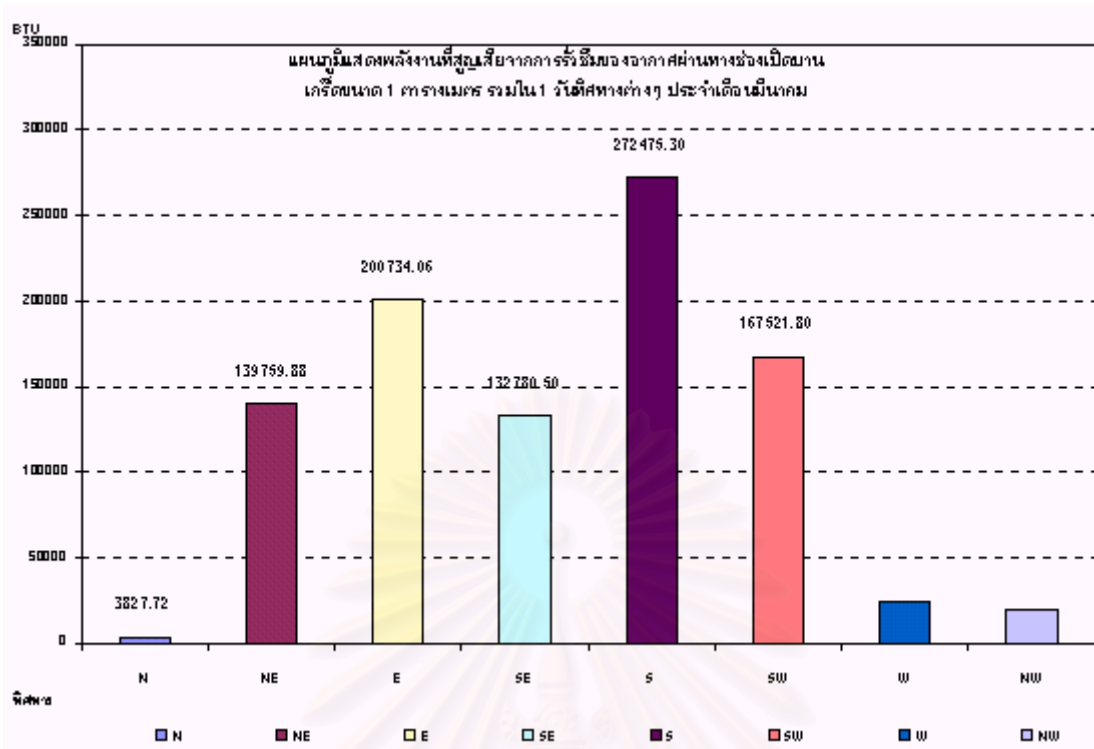
| | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง |
|-----|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| ทิศ | เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
| N | 27897.76 | 1162.41 |
| NE | 173799.98 | 7241.67 |
| E | 122285.71 | 5095.24 |
| SE | 71140.35 | 2964.18 |
| S | 158965.33 | 6623.56 |
| SW | 120276.40 | 5011.52 |
| W | 0.00 | 0.00 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 7241.67 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 173799 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 1162.41 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 27897.76 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด
- ทิศทางที่มีการรั่วซึมของอากาศน้อยมากหรือไม่มีเลย คือ ทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ เนื่องมาจากมีความเร็วลมมากกระทำน้อยมากหรือไม่มีเลย

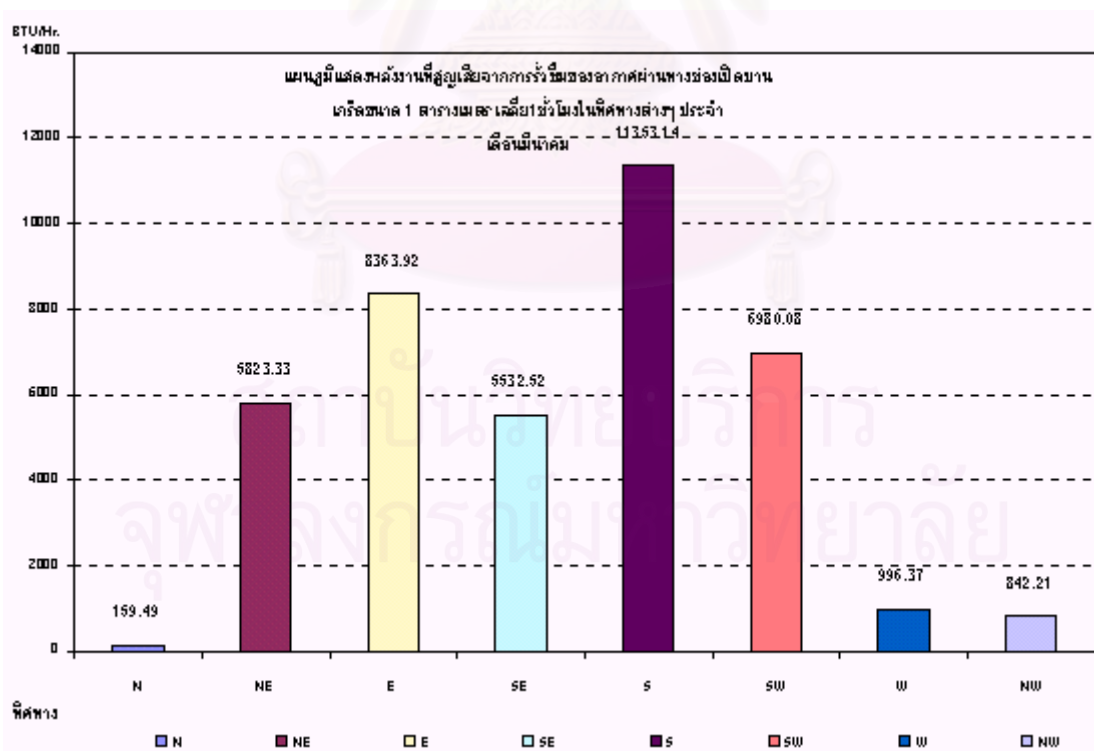
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกุมภาพันธ์นอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 16968.332 | 11694.757 | 0 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 11443.242 | 0 | 10797.238 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 11285.884 | 11285.884 | 0 | 10692.097 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 784.12739 | 0 | 10964.063 | 0 | 9373.3246 | 12552.907 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 10066.586 | 10938.682 | 0 | 8412.851 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 9994.6472 | 13797.669 | 0 | 8246.9729 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 259.73597 | 12055.431 | 10529.553 | 0 | 6350.0618 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 739.06216 | 14735.33 | 9692.9497 | 0 | 10673.862 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 2044.7918 | 13946.538 | 15475.656 | 12181.299 | 11334.751 | 10179.939 | 0 | 7942.4574 |
| 10:00 | 0 | 0 | 13010.451 | 14048.823 | 11843.176 | 0 | 0 | 12270.638 |
| 11:00 | 0 | 12907.925 | 14531.766 | 12008.713 | 11410.8 | 12008.713 | 12008.713 | 0 |
| 12:00 | 0 | 11960.999 | 13282.712 | 13694.313 | 13342.402 | 12979.844 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 16614.925 | 13818.682 | 10086.613 | 13428.186 | 14854.734 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 14405.23 | 11904.147 | 11904.147 | 13079.825 | 13629.223 | 11904.147 | 0 |
| 15:00 | 0 | 11786.383 | 0 | 9849.9062 | 12146.251 | 14973.937 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 7699.5263 | 11808.717 | 13225.843 | 12974.971 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12369.621 | 13761.728 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 13587.379 | 0 | 11699.834 | 10593.273 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11894.532 | 7701.5121 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12037.545 | 11855.417 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 18771.696 | 12553.276 | 12553.276 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 7676.3585 | 12396.273 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12469.822 | 11838.158 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11002.003 | 7617.446 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขณะเปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกิร์ตขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกิร์ตขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.4 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดเดือนมีนาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนมีนาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

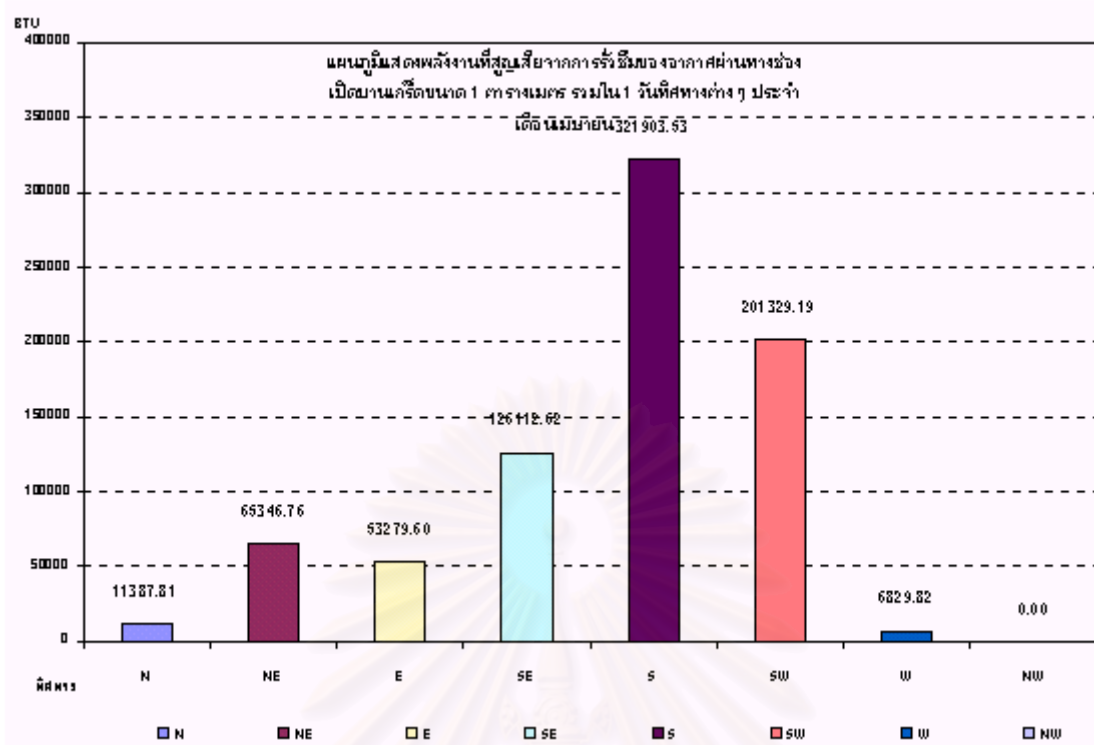
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนมีนาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมีนาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 3827.72 | 159.49 |
| NE | 139759.88 | 5823.33 |
| E | 200734.06 | 8363.92 |
| SE | 132780.50 | 5532.52 |
| S | 272475.30 | 11353.14 |
| SW | 167521.80 | 6980.08 |
| W | 23912.86 | 996.37 |
| NW | 20213.09 | 842.21 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 11353.14 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 272475.30 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 159.49 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 3827.72 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

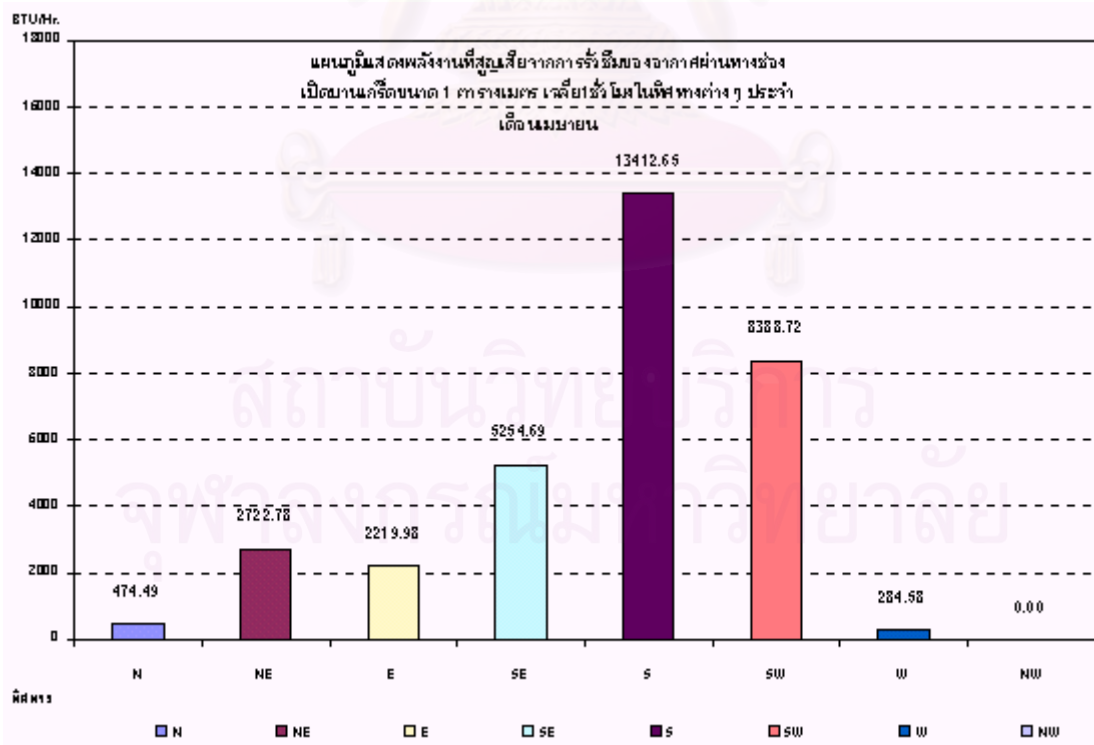
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมีนาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|
| 1:00 | 1169.59 | 0 | 0 | 0 | 12905.278 | 12621.461 | 0 | 0 |
| 2:00 | 425.48135 | 0 | 0 | 0 | 11784.017 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 303.00222 | 0 | 0 | 13096.003 | 8538.8632 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 13016.817 | 11979.039 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12153.066 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13678.332 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 0 | 11024.11 | 0 | 0 | 8601.0854 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 313.7452 | 9222.6448 | 14144.715 | 0 | 12724.374 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 0 | 0 | 0 | 14778.206 | 13635.983 | 12350.18 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14493.839 | 14816.616 | 6829.8242 | 0 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15553.217 | 16754.196 | 0 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14707.879 | 17559.053 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 0 | 23295.268 | 15246.217 | 15975.832 | 17455.606 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 14962.974 | 0 | 0 | 16298.767 | 18106.722 | 0 | 0 |
| 15:00 | 3353.3233 | 0 | 9652.9043 | 0 | 15043.941 | 17781.591 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 9597.9635 | 0 | 12301.82 | 16957.886 | 16346.965 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 14752.826 | 15221.789 | 18742.636 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 14111.213 | 13608.301 | 16776.97 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12694.033 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12618.135 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 6186.7137 | 0 | 12842.636 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 2647.8169 | 20539.07 | 0 | 15362.253 | 13209.073 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 2204.1499 | 0 | 0 | 13447.266 | 13124.326 | 8767.8936 | 0 | 0 |
| 0:00 | 970.70027 | 0 | 0 | 0 | 13653.835 | 13249.3 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขณะเปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.14 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนเมษายน จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.15 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนเมษายน จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.5 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนเมษายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
ผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนเมษายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนเมษายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนเมษายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 11387.81 | 474.49 |
| NE | 65346.76 | 2722.78 |
| E | 53279.60 | 2219.98 |
| SE | 126112.62 | 5254.69 |
| S | 321903.53 | 13412.65 |
| SW | 201329.19 | 8388.72 |
| W | 6829.82 | 284.58 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

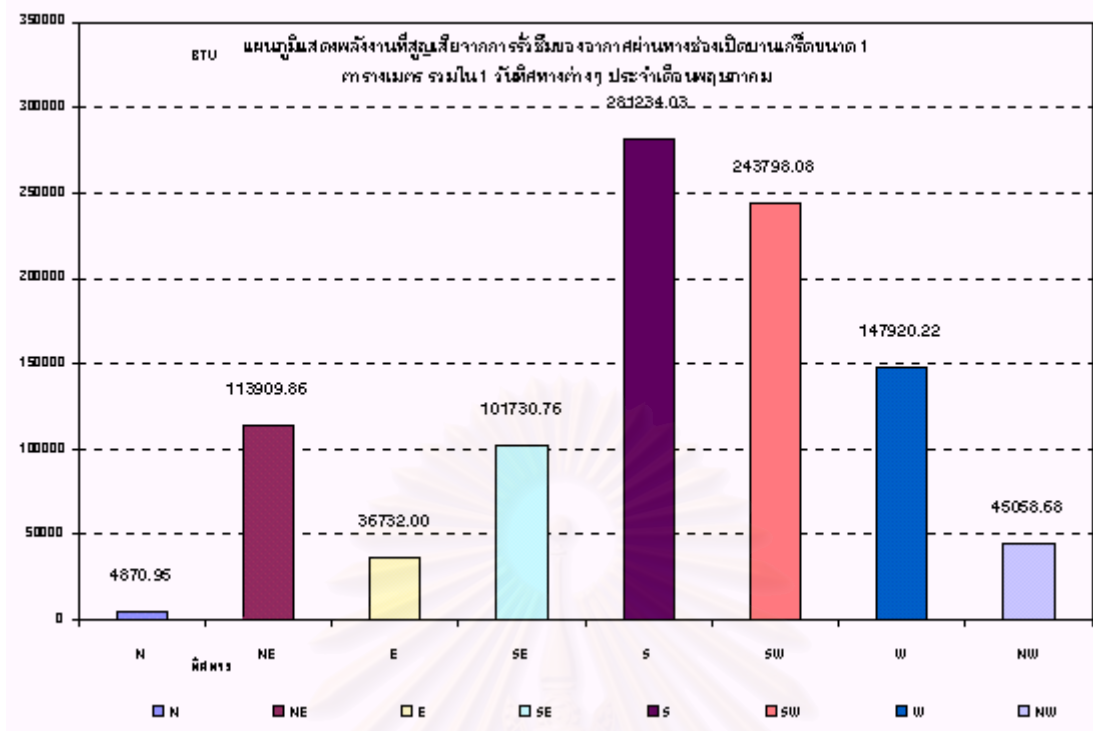
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 13412.65 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 321903.53 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 284.58 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 6829.82 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนเมษายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

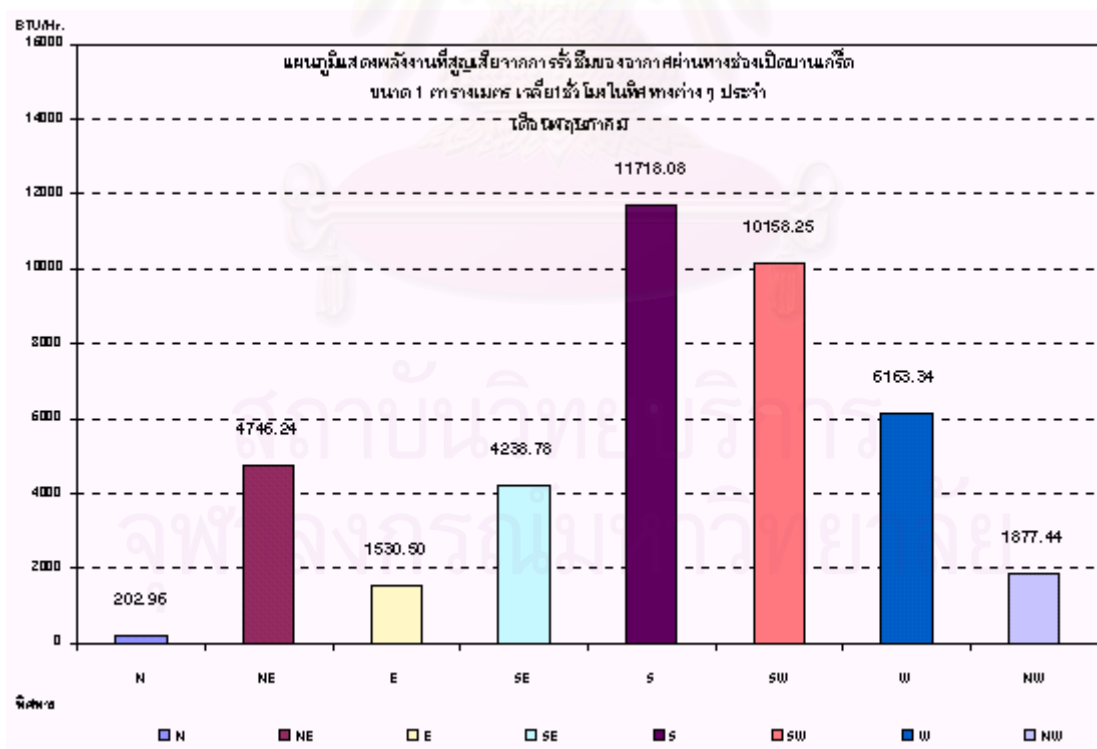
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10639.373 | 8524.3006 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7846.3837 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11994.922 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10667.776 | 14614.877 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10385.255 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 23.949772 | 0 | 0 | 0 | 7920.6135 | 0 | 15433.094 | 0 |
| 7:00 | 32.512322 | 10501.487 | 0 | 0 | 12566.064 | 0 | 12566.064 | 0 |
| 8:00 | 111.71919 | 10934.178 | 0 | 1575.8641 | 9764.251 | 13083.821 | 10934.178 | 0 |
| 9:00 | 848.73269 | 0 | 17300.676 | 13617.821 | 10981.876 | 11380.443 | 13617.821 | 0 |
| 10:00 | 0 | 13930.506 | 0 | 13930.506 | 11641.755 | 13930.506 | 12819.884 | 0 |
| 11:00 | 2110.4586 | 0 | 0 | 0 | 12403.764 | 14255.373 | 15663.263 | 14255.373 |
| 12:00 | 0 | 18416.325 | 0 | 22189.431 | 13248.455 | 13100.697 | 15047.476 | 0 |
| 13:00 | 0 | 12183.891 | 0 | 14579.225 | 13923.664 | 17333.394 | 14579.225 | 0 |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 12230.553 | 14483.583 | 14635.061 | 16755.884 | 0 |
| 15:00 | 0 | 14271.616 | 0 | 0 | 14428.503 | 16339.771 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 11932.76 | 0 | 13680.183 | 15956.205 | 0 | 14278.723 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 14433.034 | 14433.034 | 15161.295 | 0 | 16524.581 |
| 18:00 | 1125.3198 | 0 | 0 | 9174.3234 | 12163.055 | 17026.864 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 13552.848 | 0 | 0 | 11863.313 | 13552.848 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 11385.534 | 0 | 0 | 12963.298 | 16486.321 | 0 | 0 |
| 21:00 | 427.09458 | 0 | 7498.567 | 0 | 10936.847 | 13561.984 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 8733.4729 | 0 | 0 | 9498.8953 | 0 | 20503.328 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10842.549 | 14854.316 | 0 | 0 |
| 0:00 | 191.16041 | 0 | 0 | 0 | 11956.617 | 0 | 0 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.17 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.6 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนพฤษภาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
ผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนพฤษภาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 4870.95 | 202.96 |
| NE | 113909.86 | 4746.24 |
| E | 36732.00 | 1530.50 |
| SE | 101730.76 | 4238.78 |
| S | 281234.03 | 11718.08 |
| SW | 243798.08 | 10158.25 |
| W | 147920.22 | 6163.34 |
| NW | 45058.68 | 1877.44 |

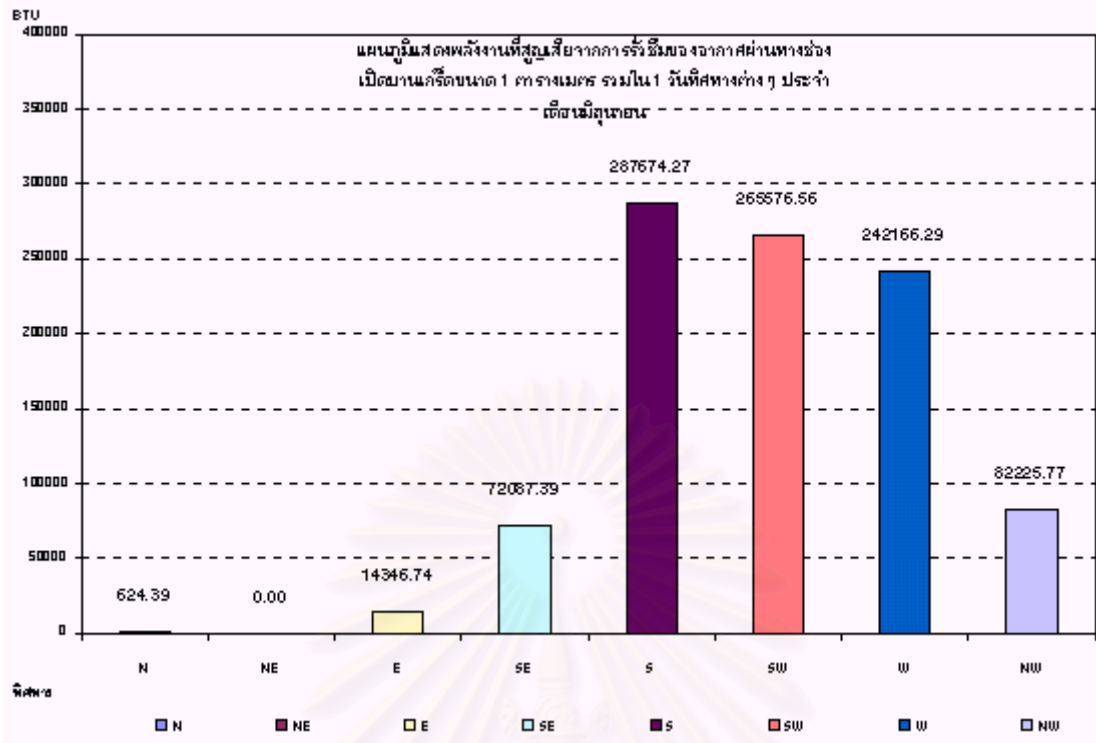
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 11718 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 281234.03 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 202.96 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 4870.95 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนพฤษภาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

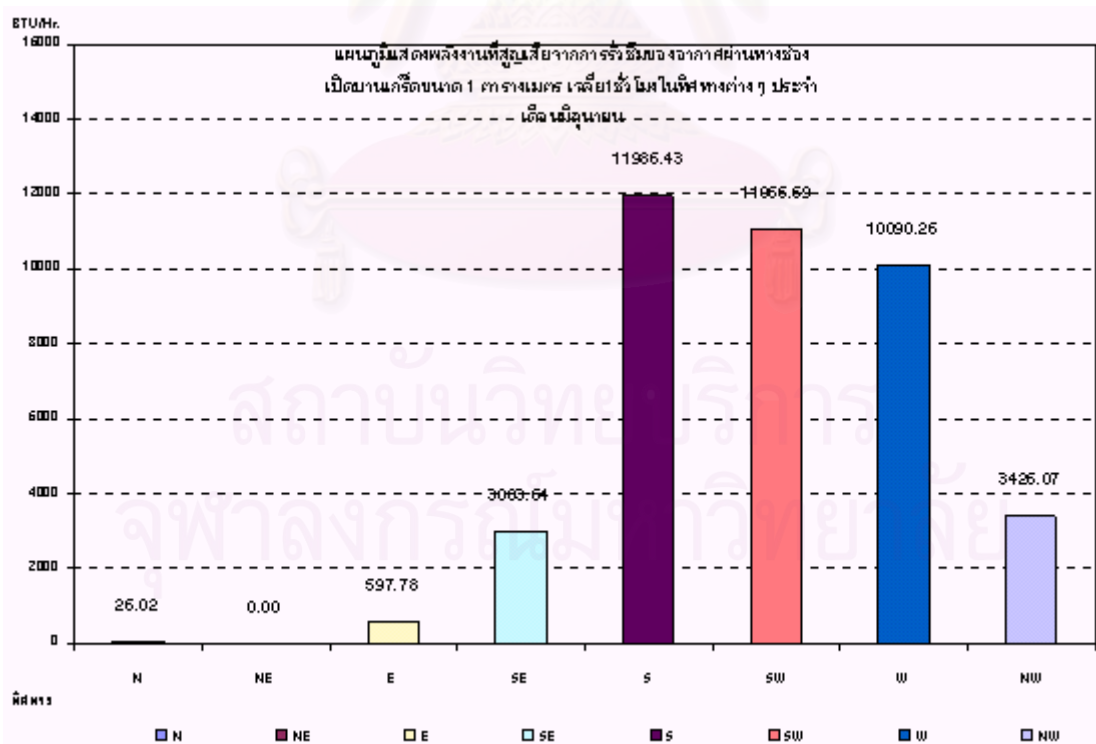
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|----------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13655.956 | 11927.497 | 9967.8356 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9963.5935 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7642.5997 | 11721.409 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10521.576 | 9554.6584 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9637.8029 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9564.8394 | 0 |
| 7:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5471.1337 | 0 | 10184.181 | 0 |
| 8:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8528.9342 | 12037.898 | 10931.633 | 0 |
| 9:00 | 0 | 0 | 0 | 9164.3943 | 12934.799 | 12546.129 | 11746.109 | 6310.2311 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14707.088 | 10135.847 | 16221.214 | 6360.823 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 9392.1008 | 14404.609 | 14404.609 | 10305.07 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 14346.742 | 14346.742 | 12965.826 | 13202.935 | 15070.648 | 14346.742 |
| 13:00 | 0 | 0 | 0 | 6700.8375 | 16349.055 | 14140.137 | 18061.267 | 17088.31 |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 12502.045 | 13942.044 | 14491.541 | 14959.928 | 0 |
| 15:00 | 0 | 0 | 0 | 14010.145 | 16045.651 | 16829.802 | 15223.883 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15620.859 | 15773.491 | 18643.324 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14615.173 | 15608.638 | 0 | 23167.717 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14214.903 | 14899.417 | 17610.221 | 0 |
| 19:00 | 624.3906 | 0 | 0 | 5971.1282 | 14053.028 | 16503.752 | 11114.89 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15201.641 | 13059.456 | 13059.456 | 14951.952 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14738.083 | 12469.621 | 14738.083 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11134.112 | 13154.792 | 14509.105 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9947.1588 | 12270.638 | 10254.599 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11378.647 | 10844.29 | 0 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.18 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.19 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.7 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดเดือนมิถุนายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนมิถุนายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนมิถุนายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมิถุนายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 624.39 | 26.02 |
| NE | 0.00 | 0.00 |
| E | 14346.74 | 597.78 |
| SE | 72087.39 | 3003.64 |
| S | 287674.27 | 11986.43 |
| SW | 265576.56 | 11065.69 |
| W | 242166.29 | 10090.26 |
| NW | 82225.77 | 3426.07 |

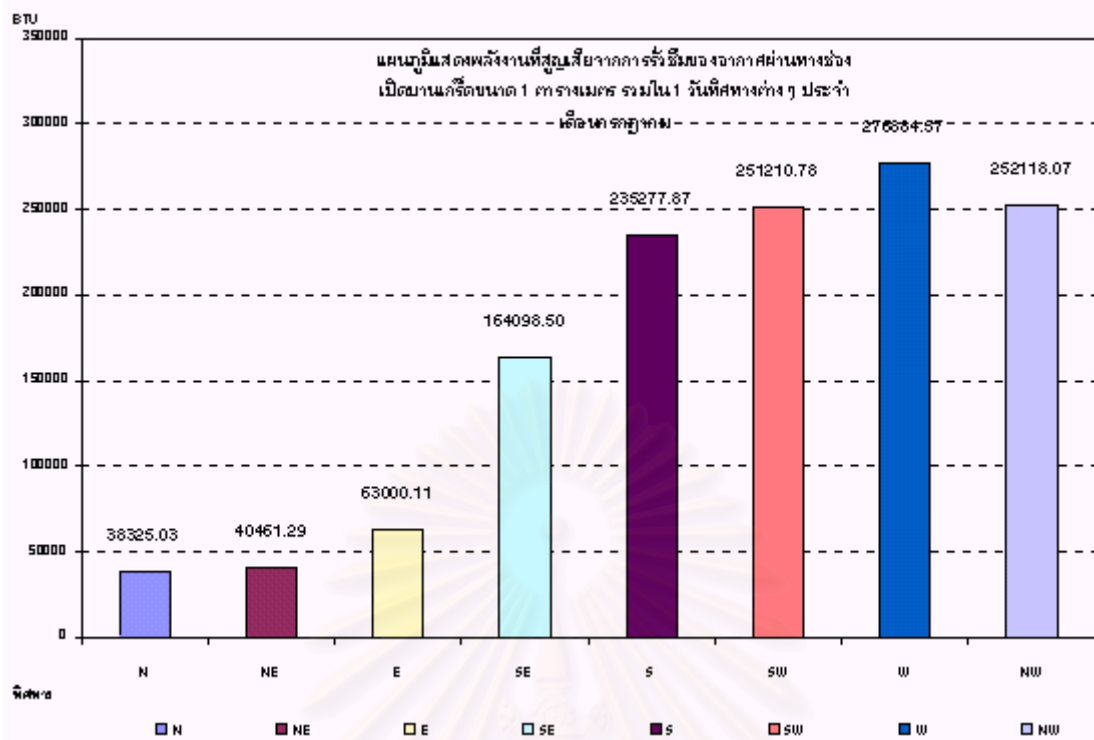
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 11986.43 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 287674.27 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 26.02 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 624.39 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมิถุนายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

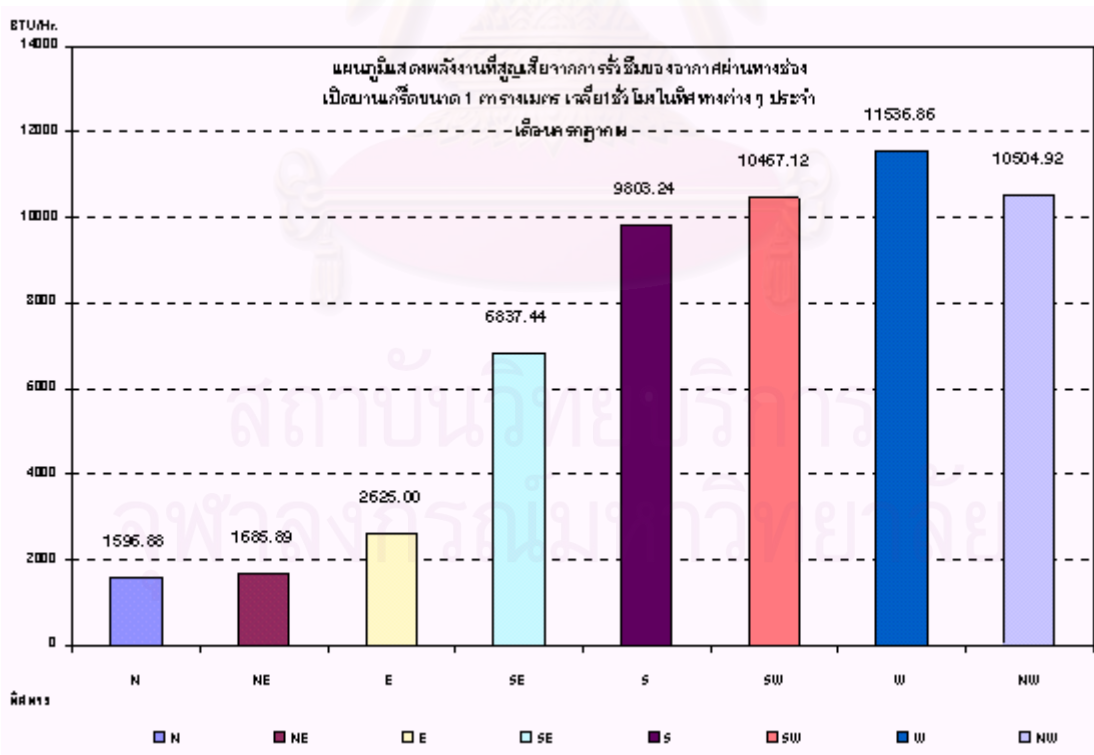
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 776.48072 | 0 | 0 | 0 | 8237.3454 | 10277.916 | 9285.5297 | 15850.477 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 9499.5116 | 9499.5116 | 8998.1762 | 9499.5116 | 9499.5116 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 9419.7607 | 0 | 11271.671 | 10764.836 | 12905.093 |
| 4:00 | 315.3408 | 0 | 0 | 11213.804 | 0 | 0 | 10187.611 | 0 |
| 5:00 | 740.05901 | 0 | 9171.1757 | 0 | 0 | 0 | 10396.826 | 6436.2066 |
| 6:00 | 0 | 0 | 4732.7645 | 0 | 8809.7517 | 0 | 8187.0024 | 8187.0024 |
| 7:00 | 103.65155 | 0 | 0 | 0 | 8906.4708 | 6948.889 | 8276.8846 | 9363.5787 |
| 8:00 | 1216.2669 | 7342.08 | 0 | 0 | 11260.504 | 9410.4282 | 8913.7942 | 9410.4282 |
| 9:00 | 5244.1535 | 9761.6712 | 11680.801 | 9761.6712 | 11222.236 | 10749.538 | 11315.081 | 9761.6712 |
| 10:00 | 3251.3298 | 11929.527 | 0 | 9969.5324 | 9969.5324 | 11618.914 | 12333.669 | 11929.527 |
| 11:00 | 4186.3285 | 0 | 0 | 9184.66 | 11122.583 | 13449.805 | 13522.668 | 12307.185 |
| 12:00 | 2814.5491 | 0 | 0 | 0 | 12805.362 | 12149.044 | 13943.264 | 15493.787 |
| 13:00 | 8577.0231 | 0 | 0 | 15785.2 | 13884.648 | 14225.497 | 12182.942 | 10383.558 |
| 14:00 | 9175.006 | 0 | 0 | 0 | 13218.613 | 12826.973 | 13383.426 | 15027.693 |
| 15:00 | 1924.8402 | 0 | 0 | 0 | 14229.723 | 13975.147 | 14885.699 | 18301.869 |
| 16:00 | 0 | 0 | 14663.694 | 0 | 11867.315 | 15227.19 | 15498.601 | 15763.101 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13162.356 | 13980.925 | 16469.918 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 18026.086 | 12318.352 | 14103.452 | 14338.972 | 14906.461 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 15078.408 | 11061.066 | 11868.615 | 14110.721 | 12757.335 |
| 20:00 | 0 | 11428.013 | 0 | 13084.091 | 12823.456 | 11622.948 | 8875.3105 | 13084.091 |
| 21:00 | 0 | 0 | 13118.961 | 11458.47 | 11235.287 | 13118.961 | 9970.1462 | 9575.8687 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 9647.1354 | 11344.059 | 12527.051 | 10623.412 | 9647.1354 |
| 23:00 | 0 | 0 | 9632.7124 | 16867.31 | 13196.837 | 10920.043 | 9227.1376 | 11526.489 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 5102.8606 | 5102.8606 | 11939.594 | 10691.607 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขณะ
ปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.18 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.19 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.8 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดเดือนกรกฎาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนกรกฎาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 38325.03 | 1596.88 |
| NE | 40461.29 | 1685.89 |
| E | 63000.11 | 2625.00 |
| SE | 164098.50 | 6837.44 |
| S | 235277.87 | 9803.24 |
| SW | 251210.78 | 10467.12 |
| W | 276884.57 | 11536.86 |
| NW | 252118.07 | 10504.92 |

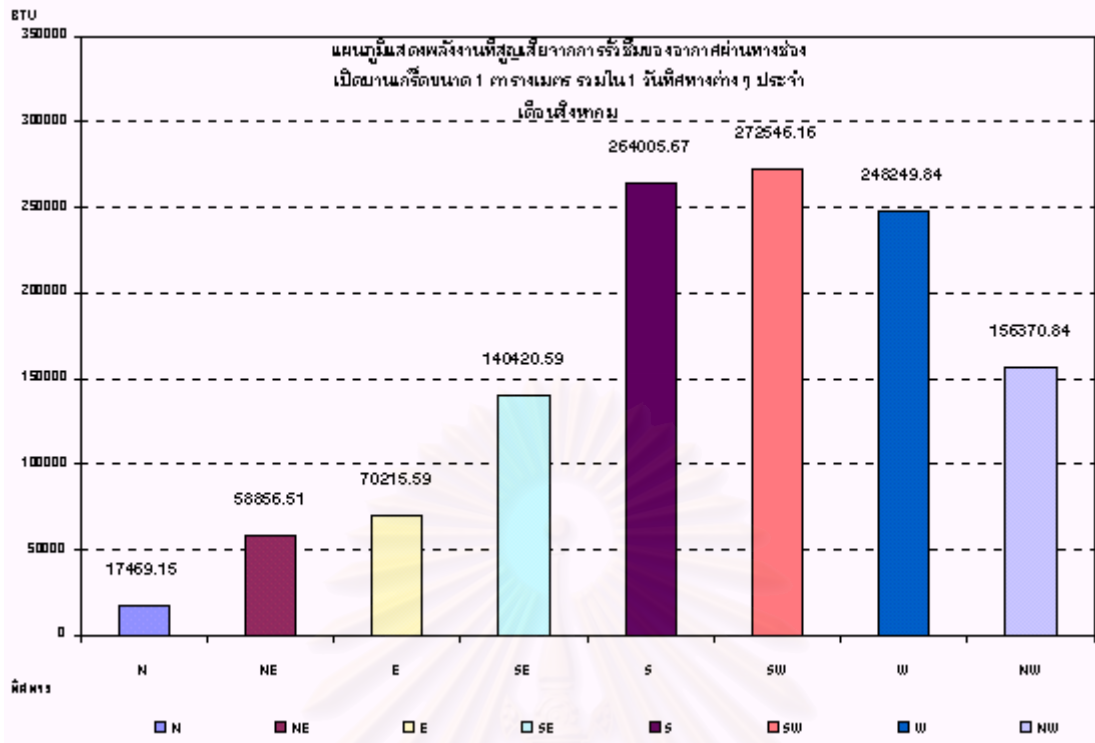
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 11536.86 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 276884.57 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 1596.88 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 38325.03 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกรกฎาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

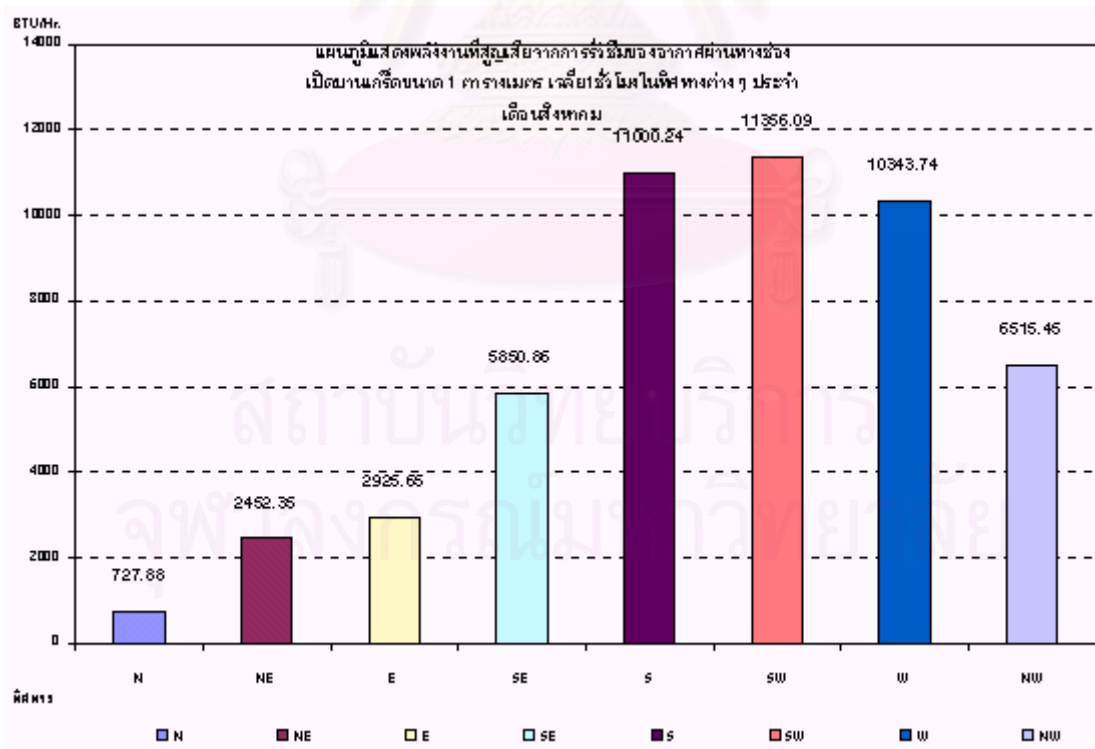
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1:00 | 0 | 5265.575 | 5265.575 | 9801.547 | 10793.45 | 8752.808 | 9209.212 | 7647.233 |
| 2:00 | 85.64804 | 0 | 7488.368 | 0 | 9597.927 | 10569.22 | 8036.618 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 5018.996 | 0 | 7289.125 | 8342.927 | 11743.37 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 6162.063 | 0 | 10558.41 | 9313.709 | 8822.179 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15229.98 | 6117.157 | 7213.664 | 0 |
| 6:00 | 208.6673 | 0 | 4985.724 | 0 | 12714.47 | 9280.621 | 6697.204 | 4985.724 |
| 7:00 | 0 | 0 | 5090.554 | 7393.049 | 7393.049 | 9475.756 | 7393.049 | 5090.554 |
| 8:00 | 115.5888 | 0 | 7749.172 | 0 | 7167.406 | 9932.202 | 7749.172 | 0 |
| 9:00 | 378.1735 | 5643.876 | 0 | 8196.641 | 7204.756 | 11221.27 | 11120.71 | 0 |
| 10:00 | 847.8864 | 0 | 0 | 8197.965 | 9383.16 | 11664.41 | 10817.45 | 12079.57 |
| 11:00 | 4053.967 | 10660.14 | 0 | 10660.14 | 9752.583 | 11738.93 | 12182.33 | 12755.91 |
| 12:00 | 1003.016 | 0 | 0 | 9642.272 | 13411.93 | 13358.08 | 12632.43 | 17786.05 |
| 13:00 | 0 | 11142.04 | 0 | 11142.04 | 13703.05 | 14468.22 | 12049.25 | 13332.55 |
| 14:00 | 2374.728 | 15130.95 | 0 | 11044.47 | 14205.4 | 15712.4 | 12316.59 | 14205.4 |
| 15:00 | 0 | 11013.93 | 0 | 11579.2 | 11973.2 | 15526.65 | 12421.41 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 5888.631 | 13516.78 | 14098.46 | 12284.81 | 9788.495 |
| 17:00 | 2948.38 | 0 | 0 | 0 | 13016.82 | 13348.71 | 11252.13 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 6477.504 | 12057.48 | 13976.23 | 14649.61 | 13668.86 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 5601.944 | 11010.76 | 11987.89 | 12952.46 | 17748.25 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 8095.365 | 11571.03 | 11168.87 | 9939.055 | 15024.4 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 6901.322 | 11579.64 | 10431.07 | 9543.013 | 12481.8 |
| 22:00 | 684.1348 | 0 | 0 | 0 | 9158.9 | 13191.64 | 9383.12 | 8002.032 |
| 23:00 | 4349.635 | 0 | 8097.351 | 14218.52 | 11428.75 | 11085.34 | 8690.186 | 0 |
| 0:00 | 419.3253 | 0 | 13880.29 | 0 | 8368.884 | 7110.205 | 10131.58 | 5442.875 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.20 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.21 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.9 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดเดือนสิงหาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนสิงหาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนสิงหาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนสิงหาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 17469.15 | 727.88 |
| NE | 58856.51 | 2452.35 |
| E | 70215.59 | 2925.65 |
| SE | 140420.59 | 5850.86 |
| S | 264005.67 | 11000.24 |
| SW | 272546.16 | 11356.09 |
| W | 248249.84 | 10343.74 |
| NW | 156370.84 | 6515.45 |

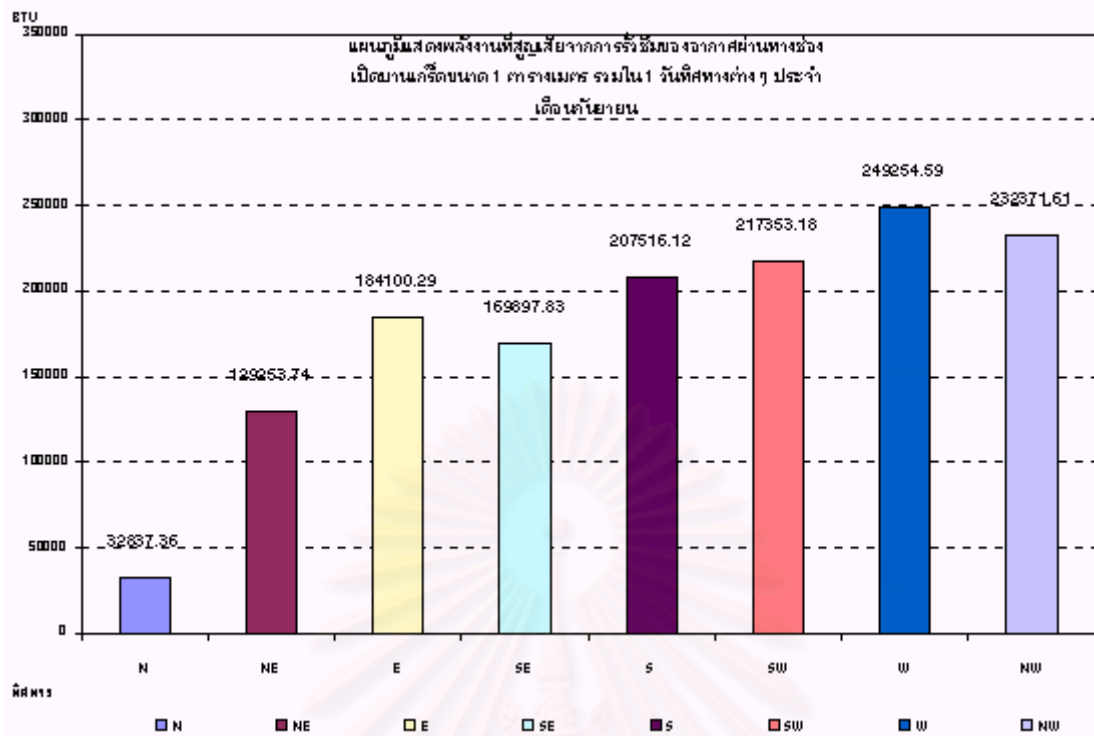
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 11356.09 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 272546.16 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 727.88 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 17469.15 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนสิงหาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้เนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

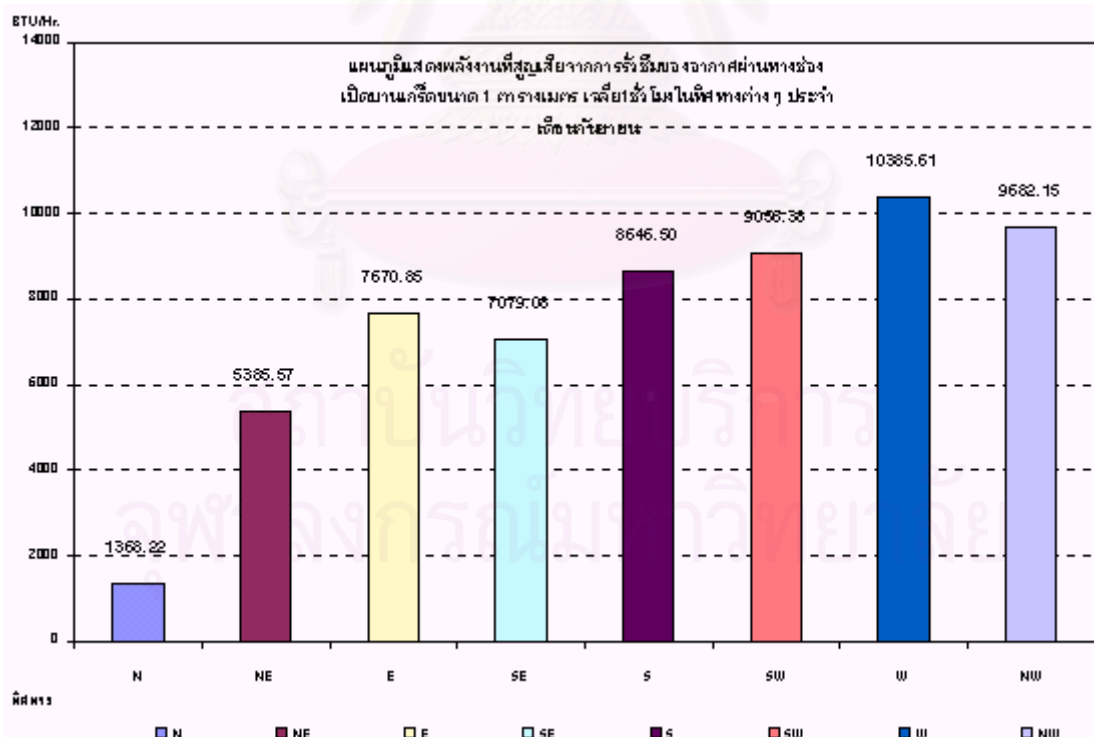
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1:00 | 0 | 3191.728349 | 3191.728349 | 6012.097999 | 6695.219555 | 5396.18746 | 6621.705122 | 4627.488209 |
| 2:00 | 302.2716807 | 0 | 4531.366894 | 0 | 6687.201141 | 6646.339589 | 4875.007116 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 3042.264579 | 0 | 4410.790949 | 5076.770217 | 7414.404106 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 3721.037589 | 0 | 6652.984164 | 5712.666548 | 5388.483385 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10413.13613 | 3893.990314 | 4395.129099 | 0 |
| 6:00 | 399.3242157 | 0 | 3022.09664 | 0 | 8169.309689 | 6682.570879 | 4046.221204 | 3022.09664 |
| 7:00 | 0 | 0 | 3095.639462 | 4473.677505 | 4473.677505 | 5812.263286 | 4473.677505 | 3095.639462 |
| 8:00 | 327.1468001 | 0 | 4689.174111 | 0 | 4330.301532 | 6082.239438 | 4689.174111 | 0 |
| 9:00 | 482.5405486 | 3421.086066 | 0 | 4959.946799 | 4360.949276 | 6926.537149 | 6657.980673 | 0 |
| 10:00 | 734.4653902 | 0 | 0 | 4990.747902 | 5709.764416 | 7231.668946 | 6652.63963 | 7522.321429 |
| 11:00 | 2607.691329 | 6638.744166 | 0 | 6638.744166 | 5943.049486 | 7270.630169 | 7990.313482 | 7989.007824 |
| 12:00 | 625.6803803 | 0 | 0 | 6667.438677 | 6460.440039 | 8410.767028 | 7885.697421 | 12180.794 |
| 13:00 | 0 | 6694.332362 | 0 | 6694.332362 | 8619.607827 | 9190.225568 | 7447.636862 | 8360.166146 |
| 14:00 | 1578.984038 | 9721.94739 | 0 | 6774.466168 | 9006.686747 | 10190.77112 | 7640.13664 | 9006.686747 |
| 15:00 | 0 | 6756.751694 | 0 | 7135.731677 | 7404.952926 | 10046.30268 | 7716.92226 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 3659.393733 | 8806.100043 | 8998.882949 | 7625.062904 | 6666.416468 |
| 17:00 | 1882.077831 | 0 | 0 | 0 | 8162.414723 | 8393.540342 | 6923.074636 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 3926.338632 | 7395.846871 | 8713.165462 | 9196.773883 | 8436.4036 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 3395.617927 | 6788.444624 | 7495.227393 | 8160.941406 | 12361.46372 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 4688.662448 | 7177.669117 | 6899.930449 | 6075.66414 | 9791.870809 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 4167.516386 | 7179.037189 | 6398.236679 | 5815.341654 | 7817.336206 |
| 22:00 | 639.7786397 | 0 | 0 | 0 | 5573.286633 | 8363.944417 | 5717.906309 | 4842.184713 |
| 23:00 | 2670.666807 | 0 | 4899.664102 | 9135.694052 | 7078.712846 | 6842.632009 | 5271.461289 | 0 |
| 0:00 | 494.5652421 | 0 | 8918.399567 | 0 | 6073.771114 | 4294.467245 | 6214.533654 | 3299.188801 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขณะ
ปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.22 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.23 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.10 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดเดือนกันยายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนกันยายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนกันยายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกันยายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 32837.36 | 1368.22 |
| NE | 129253.74 | 5385.57 |
| E | 184100.29 | 7670.85 |
| SE | 169897.83 | 7079.08 |
| S | 207516.12 | 8646.50 |
| SW | 217353.18 | 9056.38 |
| W | 249254.59 | 10385.61 |
| NW | 232371.61 | 9682.15 |

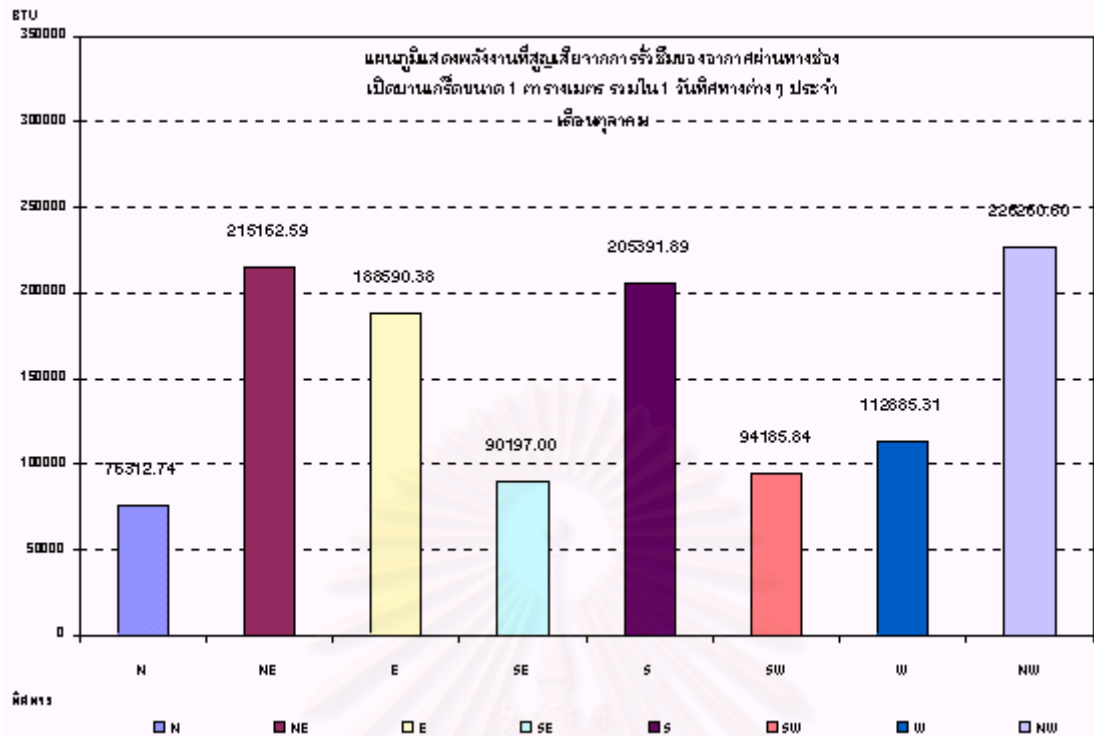
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 10385.61 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 249254.59 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 1368.22 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 32837.36 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกันยายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

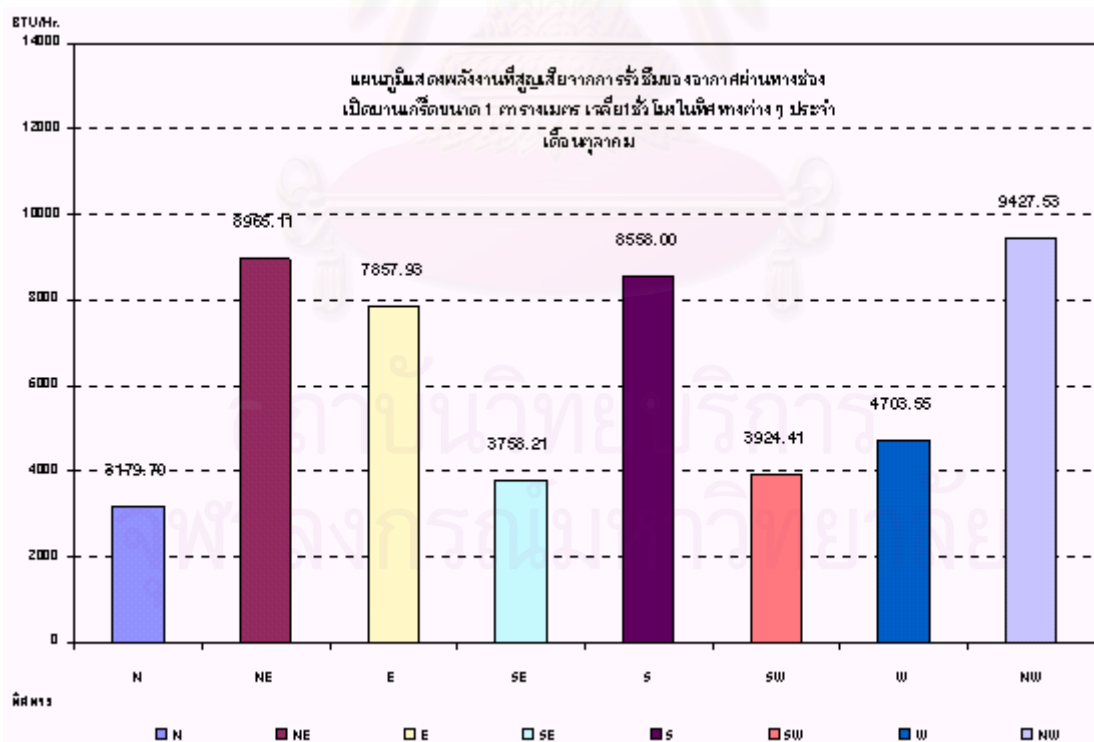
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1:00 | 911.2671781 | 0 | 3087.02028 | 6814.665295 | 0 | 6465.904911 | 7104.575928 | 5373.958888 |
| 2:00 | 0 | 0 | 7084.229543 | 492.2925387 | 5798.212436 | 0 | 5136.704118 | 4121.310146 |
| 3:00 | 0 | 3041.159487 | 5728.478801 | 0 | 0 | 0 | 4676.987955 | 4408.188744 |
| 4:00 | 0 | 0 | 6886.734083 | 0 | 0 | 6886.734083 | 0 | 4384.755113 |
| 5:00 | 412.6861476 | 6886.030389 | 0 | 0 | 5019.602486 | 6886.030389 | 6300.406262 | 4361.122696 |
| 6:00 | 0 | 2965.184373 | 0 | 0 | 4948.142846 | 0 | 4733.080669 | 4299.037132 |
| 7:00 | 0 | 5327.788158 | 4437.227385 | 5764.906725 | 5764.906725 | 4437.227385 | 5764.906725 | 3080.488807 |
| 8:00 | 0 | 4700.389548 | 3733.904872 | 0 | 5410.084911 | 4700.389548 | 3877.684688 | 7461.273479 |
| 9:00 | 460.6763325 | 6708.086879 | 6626.317984 | 0 | 4136.689807 | 7759.475175 | 6626.317984 | 8443.610099 |
| 10:00 | 2461.897953 | 9589.013612 | 7429.953475 | 6881.654643 | 6881.654643 | 10957.31649 | 7281.475787 | 7676.164984 |
| 11:00 | 555.8668688 | 8808.686636 | 6626.774916 | 7974.38386 | 6883.878007 | 8677.354014 | 7498.062294 | 8808.686636 |
| 12:00 | 3437.687718 | 7912.073058 | 4984.380429 | 7200.8115 | 5287.068316 | 7912.073058 | 8838.989916 | 7439.419799 |
| 13:00 | 3914.710449 | 6524.683309 | 7013.239128 | 0 | 7255.206181 | 5529.08248 | 9808.659667 | 6524.683309 |
| 14:00 | 1804.532977 | 9302.234808 | 7919.702562 | 6482.020364 | 6482.020364 | 8200.613083 | 7919.702562 | 7207.756488 |
| 15:00 | 2514.621787 | 6864.681385 | 6864.681385 | 6804.319077 | 6085.727347 | 8142.877355 | 9214.680437 | 8623.003551 |
| 16:00 | 0 | 0 | 6706.833928 | 6706.833928 | 7827.636258 | 6868.710945 | 8194.379141 | 7704.681385 |
| 17:00 | 894.413338 | 0 | 0 | 9273.108847 | 6945.556646 | 6704.396586 | 5971.770589 | 6461.724885 |
| 18:00 | 2241.550129 | 0 | 7636.12522 | 4810.541169 | 5895.054388 | 8630.710318 | 7048.541306 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5887.983048 | 3217.974297 | 9787.737405 | 8888.804622 |
| 20:00 | 844.7832774 | 3147.524646 | 5252.422649 | 4553.400889 | 4761.549212 | 5692.197666 | 5704.758652 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 6382.900468 | 10820.52057 | 6941.652986 | 5131.789304 | 5486.69082 | 7286.711178 |
| 22:00 | 918.1177073 | 0 | 0 | 7788.986886 | 6122.440182 | 5190.183888 | 7996.556364 | 9807.268488 |
| 23:00 | 601.6629307 | 0 | 3772.620364 | 8311.952101 | 8311.952101 | 4458.068004 | 6440.443881 | 7076.688649 |
| 0:00 | 329.2367107 | 0 | 7736.413348 | 8360.786717 | 5377.80621 | 5156.145318 | 4931.086932 | 6819.028808 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.24 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ดาววางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.25 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ดาววาง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.11 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดเดือนตุลาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนตุลาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนตุลาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนตุลาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 76312.74 | 3179.70 |
| NE | 215162.59 | 8965.11 |
| E | 188590.38 | 7857.93 |
| SE | 90197.00 | 3758.21 |
| S | 205391.89 | 8558.00 |
| SW | 94185.84 | 3924.41 |
| W | 112885.31 | 4703.55 |
| NW | 226260.60 | 9427.53 |

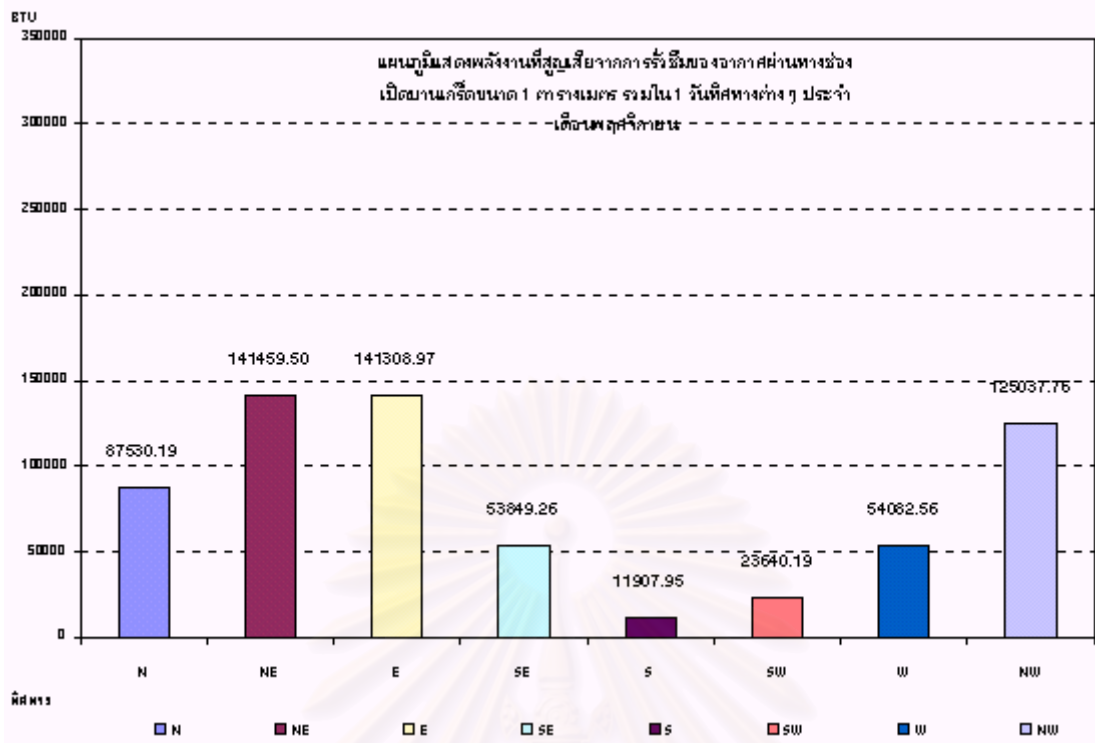
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 9427.53 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 2262260.60 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 3179.70 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 76312.74 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนตุลาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

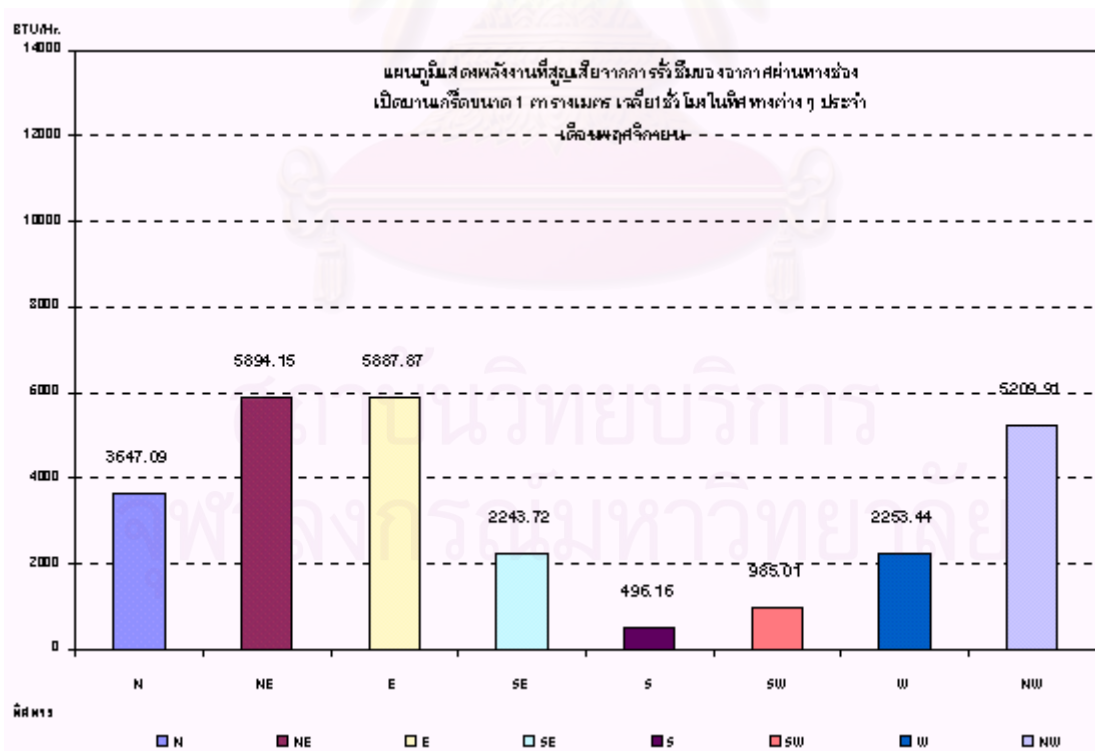
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1:00 | 931.528883 | 4689.431749 | 4259.382552 | 0 | 3604.483371 | 0 | 10180.87714 | 5533.848339 |
| 2:00 | 921.8051994 | 4534.573658 | 5476.083743 | 4214.921357 | 3856.88818 | 0 | 0 | 4214.921357 |
| 3:00 | 599.3198085 | 2878.71088 | 2878.71088 | 0 | 4173.684571 | 0 | 0 | 6625.184246 |
| 4:00 | 989.2818622 | 6653.140525 | 3329.484422 | 0 | 2890.866896 | 0 | 5445.390088 | 4191.288629 |
| 5:00 | 1030.516802 | 3641.763461 | 6438.857854 | 0 | 2797.762849 | 0 | 0 | 5664.803638 |
| 6:00 | 1205.057827 | 3386.402231 | 0 | 4015.847354 | 0 | 0 | 0 | 4921.200894 |
| 7:00 | 981.946757 | 4087.168271 | 2825.94271 | 0 | 0 | 0 | 4087.168271 | 4087.168271 |
| 8:00 | 1199.309441 | 4367.931958 | 5674.87219 | 0 | 4367.931958 | 0 | 4367.931958 | 5027.440007 |
| 9:00 | 2537.61928 | 6095.686395 | 6013.138389 | 6013.138389 | 6013.138389 | 4628.290312 | 0 | 6095.686395 |
| 10:00 | 2928.446267 | 5896.042554 | 6448.744088 | 6170.820105 | 7539.479894 | 3275.991657 | 0 | 6170.820105 |
| 11:00 | 4361.437914 | 6170.289703 | 7538.844088 | 0 | 5819.953758 | 0 | 7538.844088 | 5702.442801 |
| 12:00 | 4965.805748 | 6630.54283 | 7554.103658 | 7554.103658 | 9722.720214 | 8872.813575 | 3282.345939 | 7554.103658 |
| 13:00 | 4483.750635 | 6734.222393 | 5474.639112 | 0 | 6642.378407 | 8215.883053 | 0 | 7089.247999 |
| 14:00 | 3140.182716 | 5882.729612 | 0 | 0 | 7223.3477 | 0 | 0 | 7481.157231 |
| 15:00 | 2807.656551 | 7355.72861 | 6020.423894 | 0 | 8639.805879 | 3196.148719 | 4633.88803 | 6369.045173 |
| 16:00 | 2485.049463 | 6642.251806 | 6096.516019 | 0 | 7170.621639 | 6096.516019 | 4884.768047 | 6767.988879 |
| 17:00 | 1890.205836 | 7540.919361 | 0 | 5980.57779 | 6406.884646 | 5980.57779 | 0 | 3682.446239 |
| 18:00 | 1189.28776 | 6849.94805 | 0 | 0 | 5535.749488 | 0 | 5888.987079 | 5199.404199 |
| 19:00 | 2544.886917 | 8481.18879 | 5916.884042 | 5916.884042 | 3141.170354 | 5916.884042 | 4554.188319 | 6805.827319 |
| 20:00 | 2031.637349 | 6254.727799 | 6375.890061 | 5931.435291 | 7885.869454 | 3148.906012 | 4855.403756 | 7247.000618 |
| 21:00 | 2287.543051 | 5213.236099 | 10804.90197 | 0 | 5884.889132 | 4529.354137 | 0 | 6780.271652 |
| 22:00 | 1827.057811 | 5749.294672 | 8250.712889 | 5083.367297 | 4872.002896 | 0 | 0 | 3052.210412 |
| 23:00 | 1259.090305 | 4396.771653 | 5712.346146 | 4396.771653 | 5712.346146 | 0 | 0 | 10488.62272 |
| 0:00 | 0 | 4311.654774 | 4311.654774 | 0 | 8099.36297 | 4311.654774 | 19088.68083 | 4311.654774 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.26 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.27 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.12 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดเดือนพฤศจิกายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนพฤศจิกายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

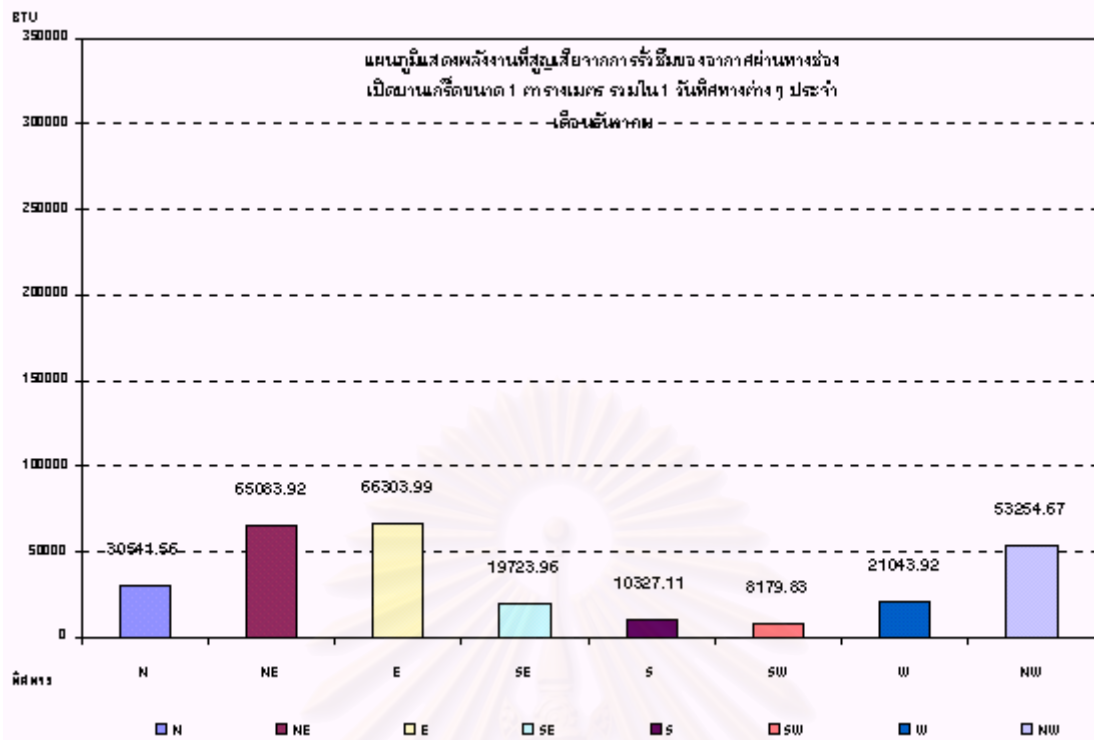
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 87530.19 | 3647.09 |
| NE | 141459.50 | 5894.15 |
| E | 141308.97 | 5887.87 |
| SE | 53849.26 | 2243.72 |
| S | 11907.95 | 496.16 |
| SW | 23640.19 | 985.01 |
| W | 54082.56 | 2253.44 |
| NW | 125037.76 | 5209.91 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 5894.16 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 141459.50 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 496.16 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 11907.95 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

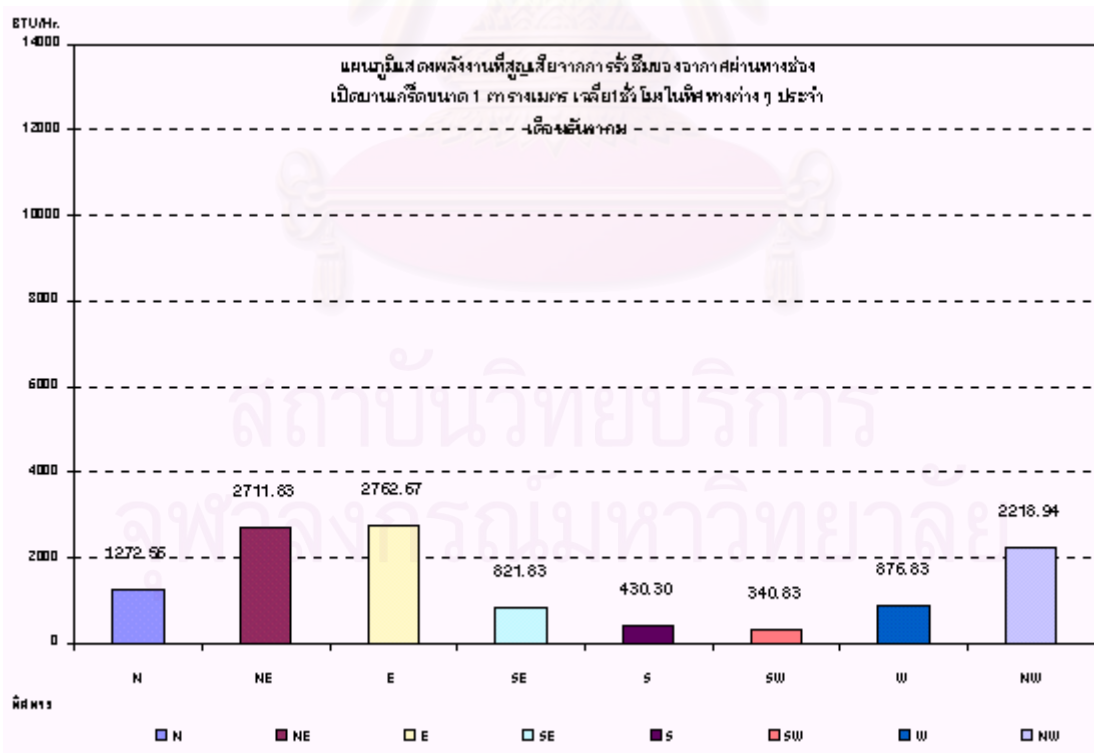
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนพฤศจิกายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1:00 | 232.18 | 2116.74 | 3928.52 | 2116.74 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2422.77 |
| 2:00 | 324.41 | 1594.60 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3:00 | 488.82 | 2058.87 | 1664.64 | 0.00 | 0.00 | 1664.64 | 0.00 | 1664.64 |
| 4:00 | 449.76 | 2010.32 | 1794.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1037.27 |
| 5:00 | 381.40 | 2030.28 | 1698.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6:00 | 217.38 | 1412.60 | 1131.78 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 779.30 | 0.00 |
| 7:00 | 377.52 | 1903.03 | 1662.65 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2131.04 |
| 8:00 | 619.75 | 1550.86 | 1338.89 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 9:00 | 865.19 | 1882.97 | 2384.33 | 1806.96 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 10:00 | 2634.22 | 2468.26 | 2496.26 | 2795.35 | 0.00 | 0.00 | 2180.95 | 2180.95 |
| 11:00 | 1592.21 | 3805.82 | 3721.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2840.22 |
| 12:00 | 2370.68 | 3209.36 | 4379.79 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2736.98 |
| 13:00 | 2555.88 | 4086.77 | 4459.18 | 3826.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3416.78 |
| 14:00 | 2698.74 | 3144.07 | 4437.60 | 4029.79 | 3598.62 | 0.00 | 0.00 | 3817.12 |
| 15:00 | 2966.88 | 4554.87 | 2846.90 | 5148.94 | 0.00 | 3357.22 | 4302.98 | 3936.64 |
| 16:00 | 2659.14 | 3730.50 | 4716.95 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3341.99 | 3980.68 |
| 17:00 | 2401.12 | 4377.18 | 4843.36 | 0.00 | 0.00 | 3157.97 | 0.00 | 3343.40 |
| 18:00 | 1740.67 | 3623.44 | 3825.32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3416.03 | 2530.88 |
| 19:00 | 1283.82 | 2948.14 | 4860.11 | 0.00 | 2948.14 | 0.00 | 4521.54 | 3778.66 |
| 20:00 | 980.78 | 3780.36 | 0.00 | 0.00 | 3780.36 | 0.00 | 2501.13 | 4523.57 |
| 21:00 | 1051.39 | 1871.81 | 1871.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2718.45 |
| 22:00 | 833.00 | 1728.24 | 2872.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2128.41 |
| 23:00 | 588.10 | 3095.98 | 2319.96 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1967.32 |
| 0:00 | 228.50 | 2098.87 | 3049.66 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2098.87 |

ตารางที่ 4.12 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.28 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.29 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.1.13 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดเดือนธันวาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ด เดือนธันวาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดรวมใน 1 วัน เดือนธันวาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเกร็ดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนธันวาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 30541.56 | 1272.56 |
| NE | 65083.92 | 2711.83 |
| E | 66303.99 | 2762.67 |
| SE | 19723.96 | 821.83 |
| S | 10327.11 | 430.30 |
| SW | 8179.83 | 340.83 |
| W | 21043.92 | 876.83 |
| NW | 53254.67 | 2218.94 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออก มีค่าเท่ากับ 2762.67 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 66303.99 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 340.83 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 8179.83 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนธันวาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

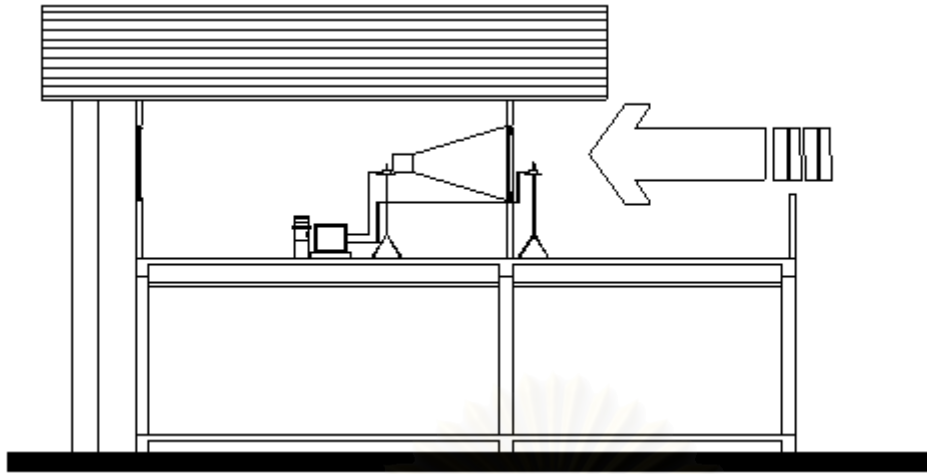
จากข้อมูลที่ได้พิจารณามาทั้งหมดโดยตลอดทั้งปีจะเห็นได้ว่าการออกแบบอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศจะสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาทิศทางและขนาดของช่องเปิดด้วยเป็นปัจจัยหนึ่ง ข้อมูลที่ได้รับแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการออกแบบอาคารเพื่อลดการรั่วซึมของอากาศ โดยเลือกใช้ช่องเปิดแบบบานเกร็ดนั้น ควรที่จะหลีกเลี่ยงทิศใต้เป็นสำคัญเนื่องจากมีอัตราการสูญเสียพลังงานมากที่สุดตลอดทั้งปีหรือไม่ใช้ช่องเปิดนี้ในอาคารเลย

4.2 อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดบานเปิด

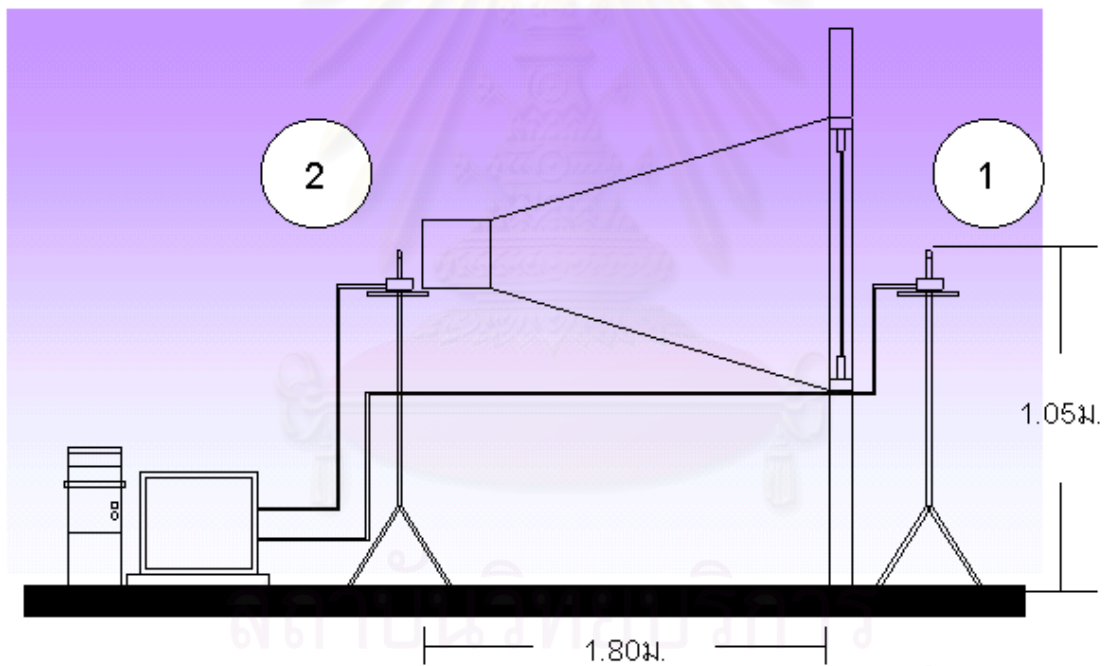
การทดลองนี้เพื่อพิจารณาถึงปริมาณการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเปิด ที่นิยมใช้ในอาคารประเภทบ้านพักอาศัย และประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางบานเปิดตลอดทั้งปี รวมถึงพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกใช้ช่องเปิดชนิดนี้ในอาคารที่มีการปรับอากาศต่อไป

ผลการทดลองจะประกอบไปด้วย

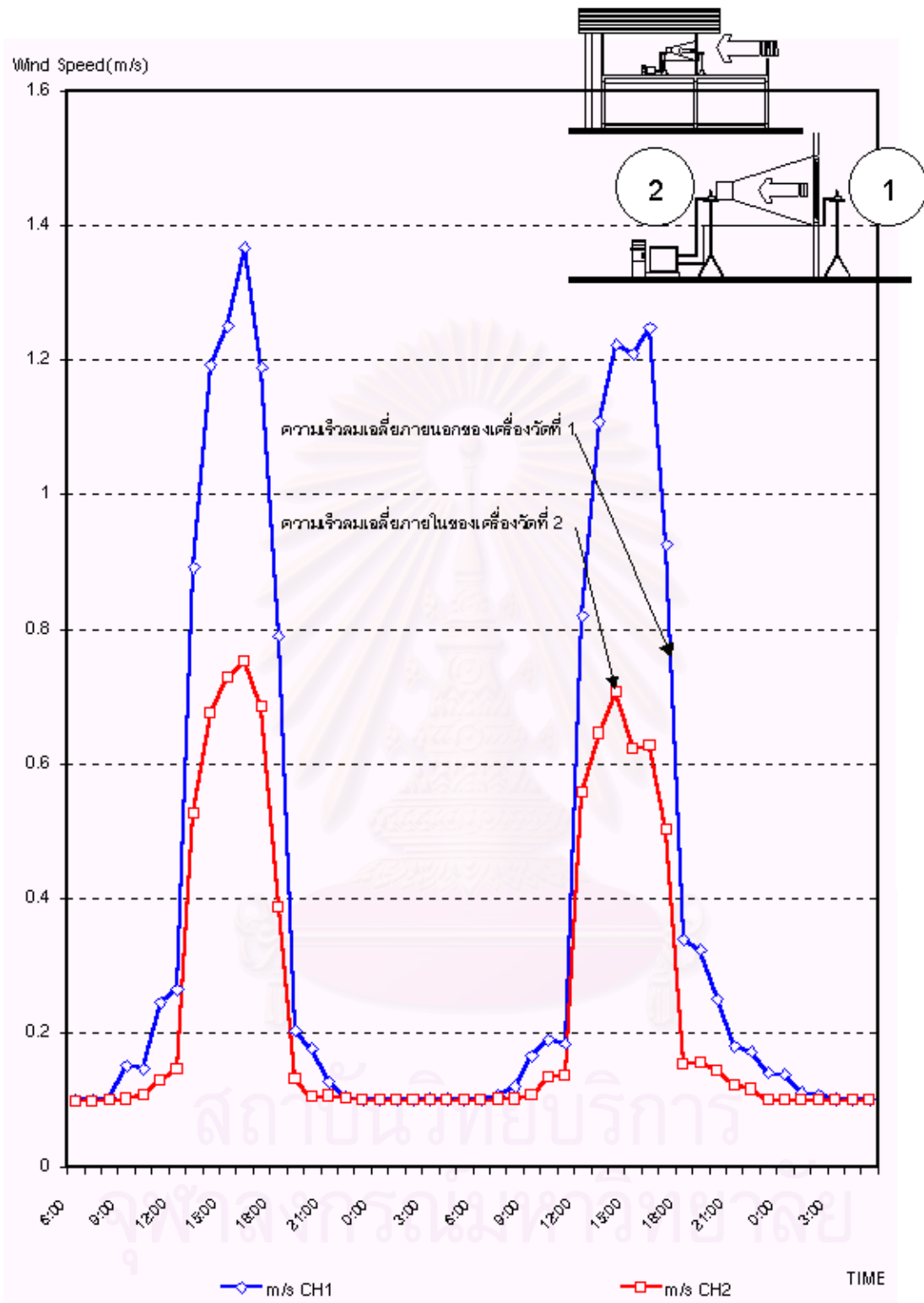
1. ความเร็วลมภายนอกที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมที่รั่วซึมคิดค่าเป็นความเร็วเมตรต่อวินาที
2. ผลของการรั่วซึมของอากาศ คิดเป็นค่า ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
3. สมการที่ใช้ในการทำนายหรือประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
4. ผลการประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯประจำปี พ.ศ.2538 ตามทิศทางตลอดช่วงเวลา 1 วันซึ่งเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ
5. ผลการประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯประจำปี พ.ศ.2538 ตามทิศทางเฉลี่ยช่วงเวลา 1 ชั่วโมงซึ่งเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ



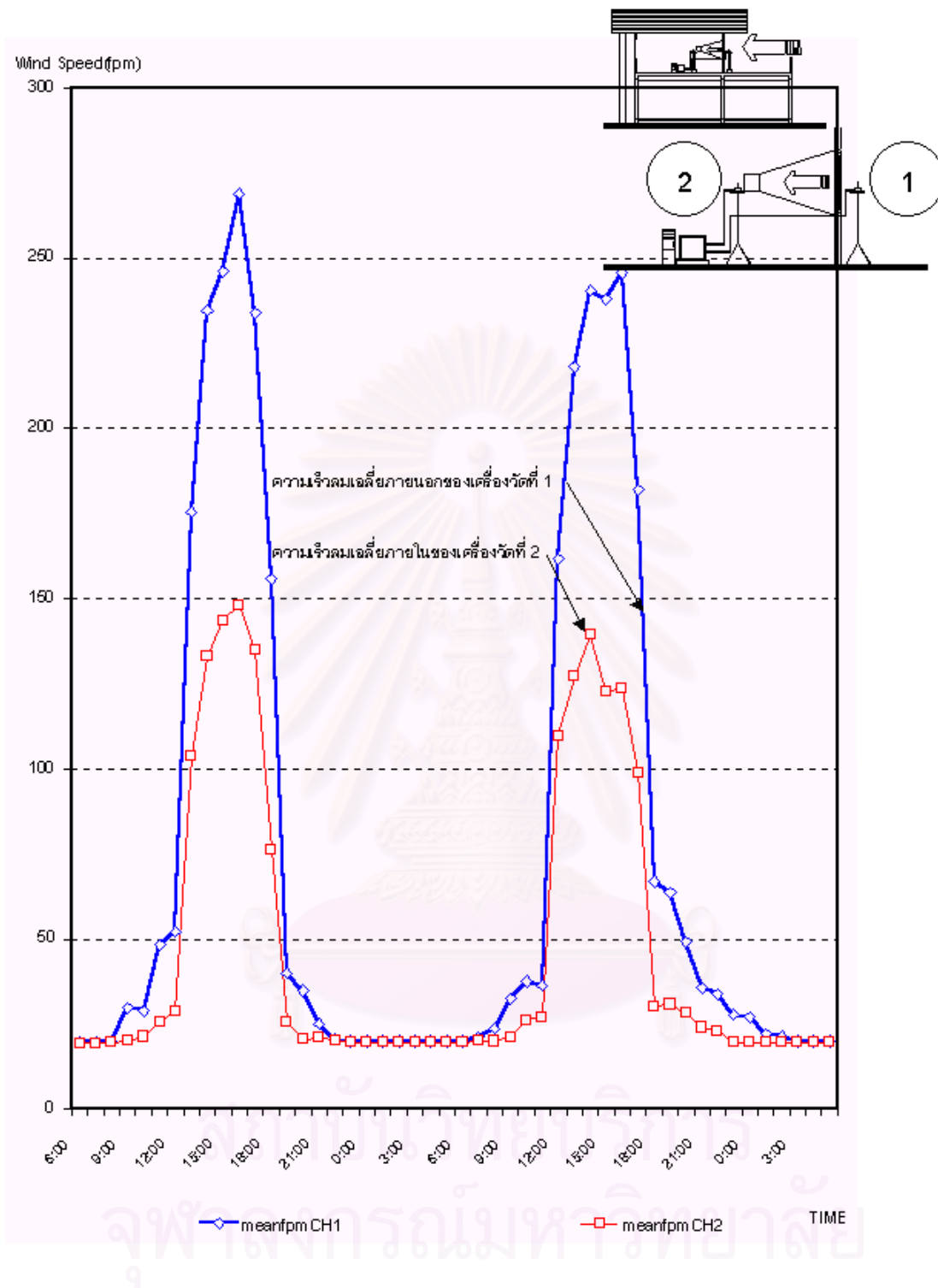
รูปภาพที่ 4.3 แสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกับสถานที่ทดลองการวัดการร่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดแบบบานเปิด



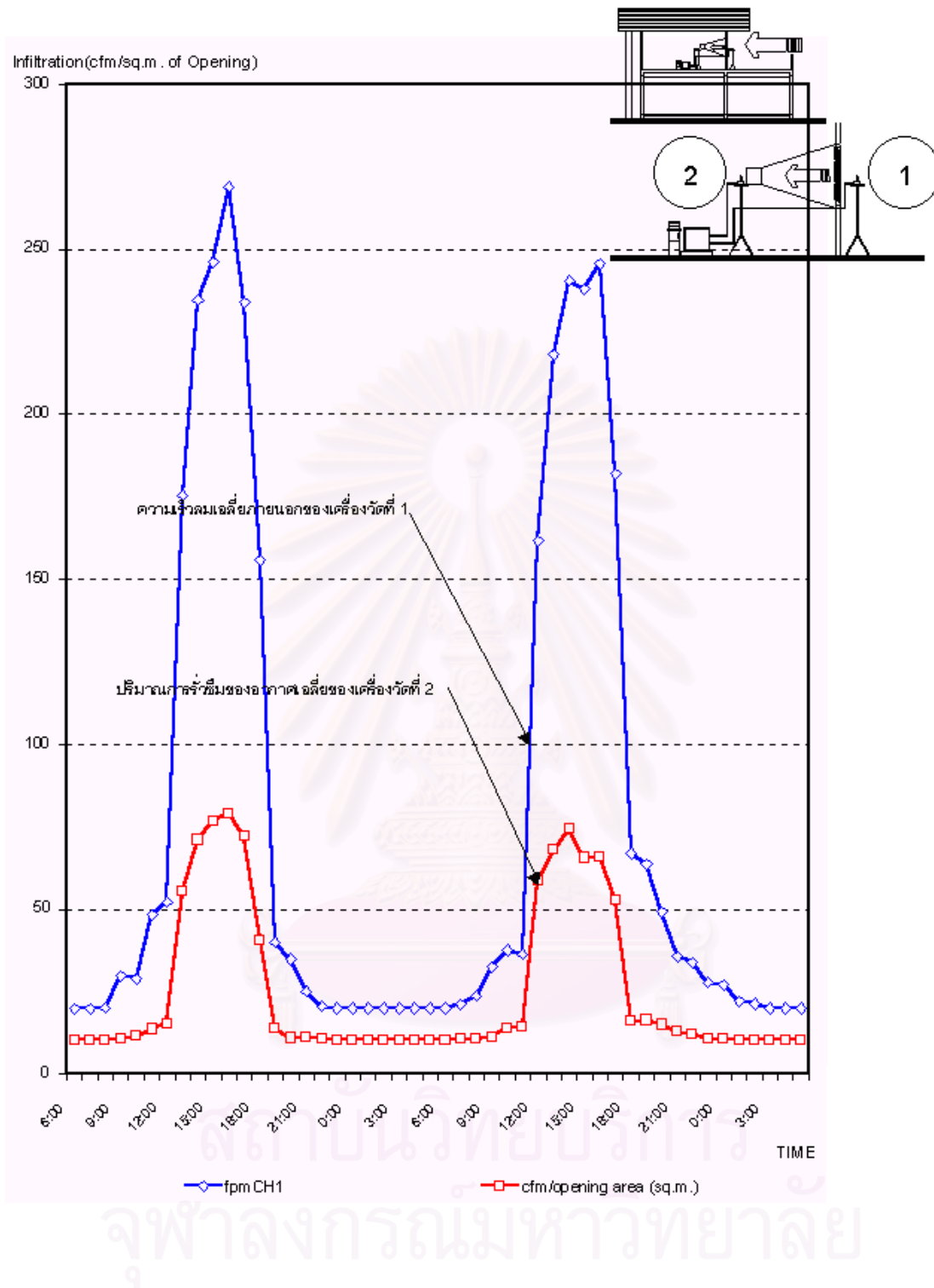
รูปภาพที่ 4.4 แสดงแบบขยายการติดตั้งชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับช่องเปิดแบบบานเปิด



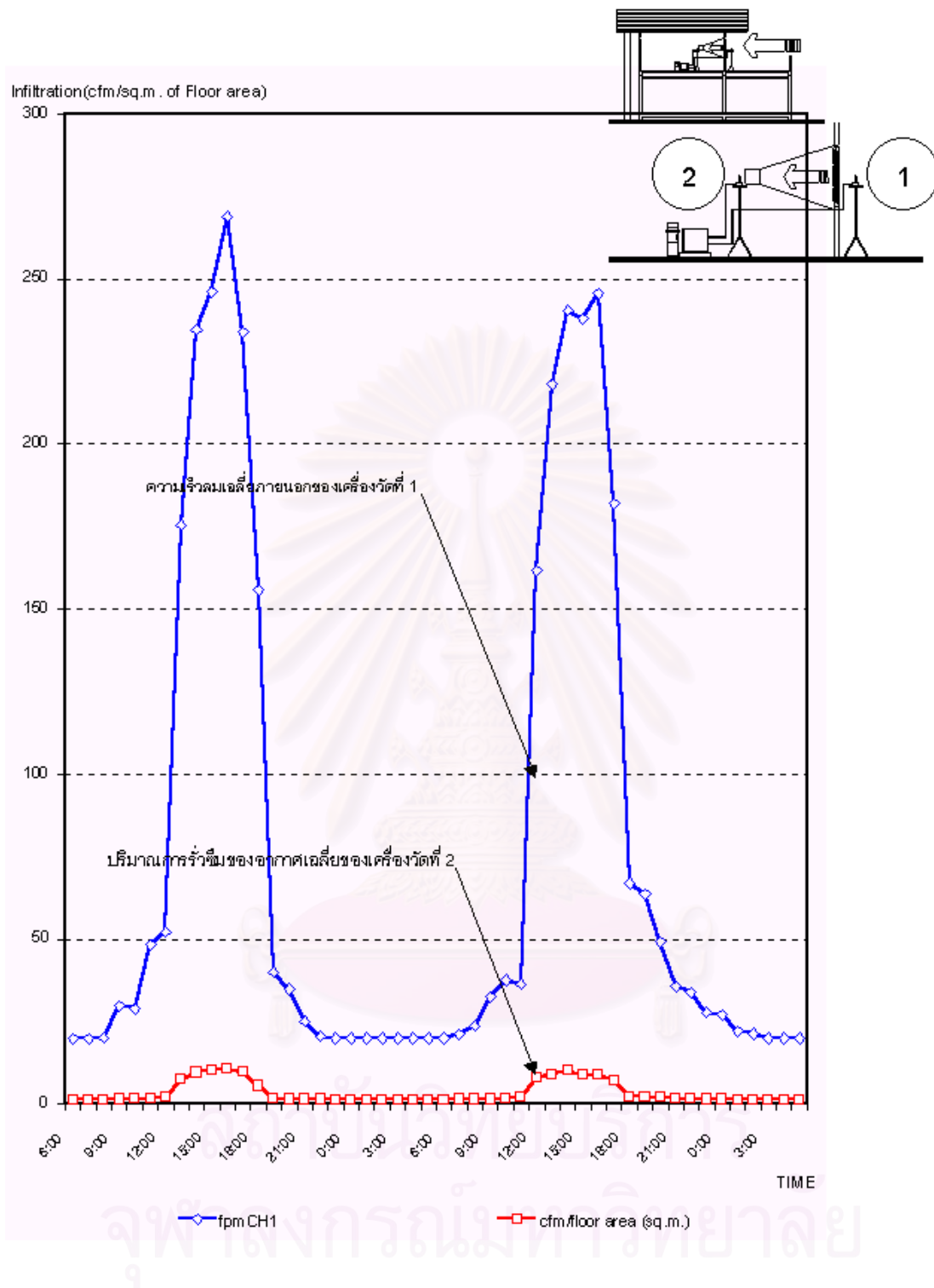
แผนภูมิที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมวลอากาศภายนอกกับความเร็วมวลอากาศภายในที่เกิดขึ้นของช่องเปิดบานเปิด วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544



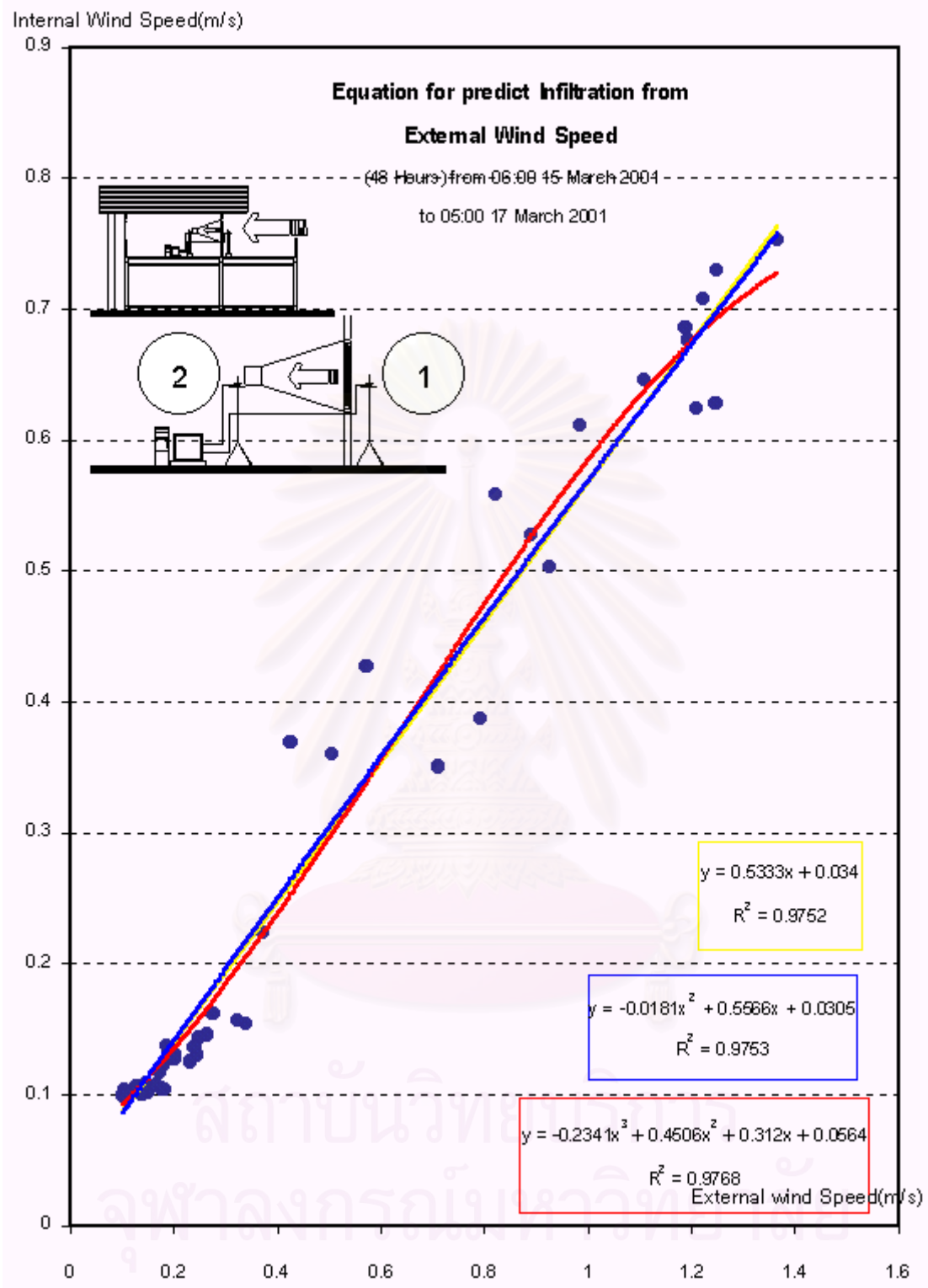
แผนภูมิที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับความเร็วลมภายในที่เกิดขึ้นของห้องเปิดบานเปิด วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544



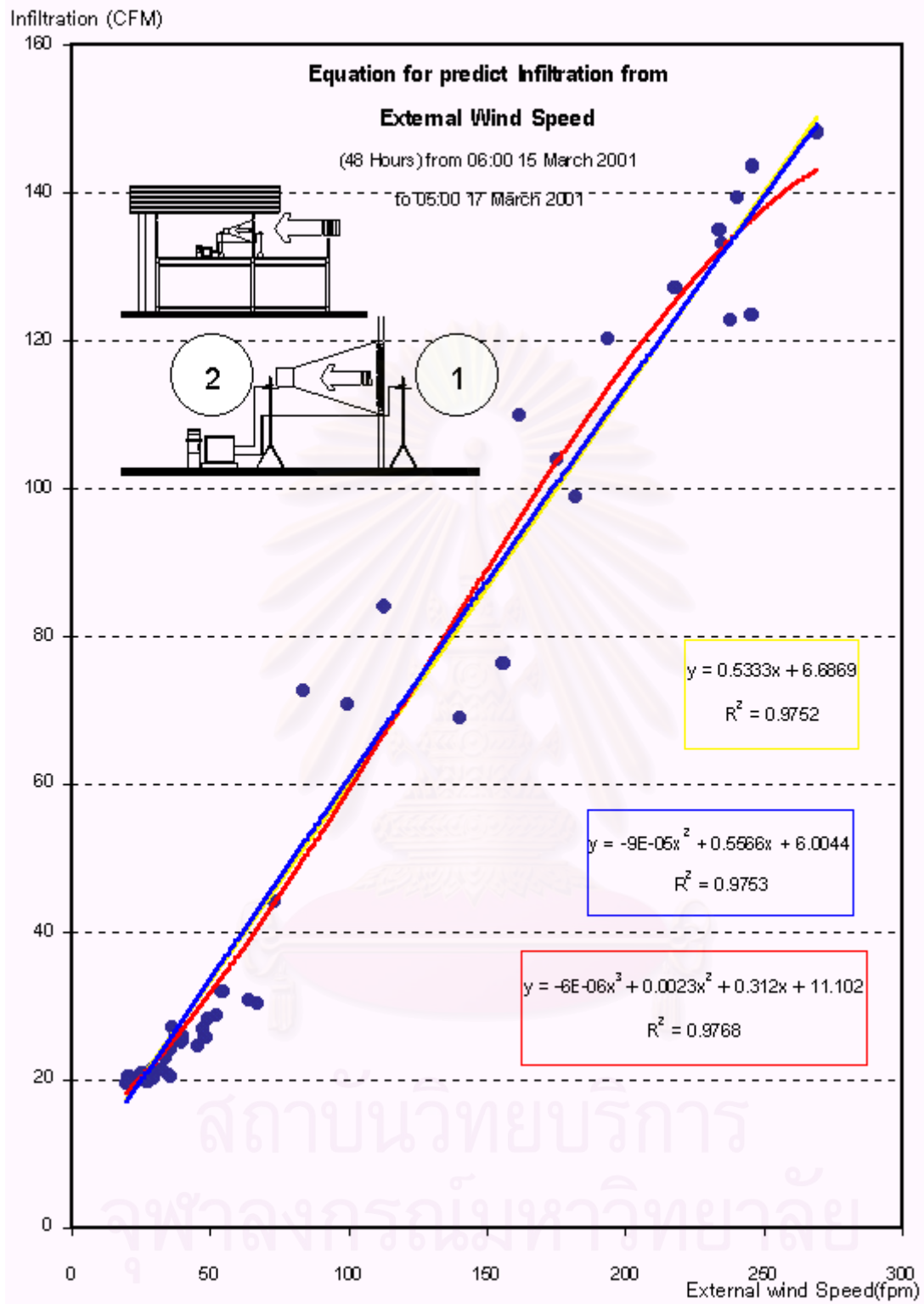
แผนภูมิที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมวลอากาศนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ช่องเปิดบานเปิด 1 ตารางเมตร วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544



แผนภูมิที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคาร 1 ตารางเมตร วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544



แผนภูมิที่ 4.31 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเปิด มีหน่วยเป็นเมตร ต่อวินาที วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544



แผนภูมิที่ 4.32 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเลื่อน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที วันที่ 15-17 มีนาคม พ.ศ.2544

4.2.1 สรุปผลการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเปิดขณะปิด

จากผลการทดลองการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเปิดขนาดกว้าง 1.56 เมตรและสูง 1.20 เมตร พื้นที่เท่ากับ 1.872 ตารางเมตรและพื้นที่ห้องที่ทำการทดลองขนาด กว้าง 3.46 เมตร ยาว 4.0 เมตรพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 13.84 ตารางเมตร ได้ผลวิเคราะห์ในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

ลักษณะการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด อากาศสามารถที่จะรั่วซึมเข้าได้ถึง ประมาณร้อยละ 50 ของความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายนอกเมื่อนำมาคูณกับพื้นที่หน้าตัดเพื่อที่จะหาอัตราการไหลก็สามารถสรุปผลออกมาได้ ดังแผนภูมิที่ 4.44ถึงแผนภูมิที่ 4.47 อัตราการรั่วซึมของอากาศเมื่อมีค่าสูงสุดมีค่าสูงถึงประมาณ 80 CFMต่อชั่วโมง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาทำการคำนวณทางสถิติโดยใช้วิธีการทางสมการถดถอยลักษณะเป็นเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรงเพื่อทำนายค่าการรั่วซึมของอากาศที่เกิดขึ้นจากความเร็วลมภายนอกจะพบว่า ลักษณะของสมการมีความเป็นสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงมากกว่า(Non-Linear Regression Equation) ดังนั้นในการคำนวณเพื่อที่จะประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538จึงเลือกใช้สมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง ดังนี้

$$Y = -9E-05X^2 + 0.5566X + 6.0044$$

$$R^2 = 0.9753$$

หรือเมื่อคำนวณต่อตารางเมตรของช่องเปิดบานเปิดจะได้สมการ ดังนี้

$$Y = -5E-05X^2 + 0.2973X + 3.2075$$

$$R^2 = 0.9753$$

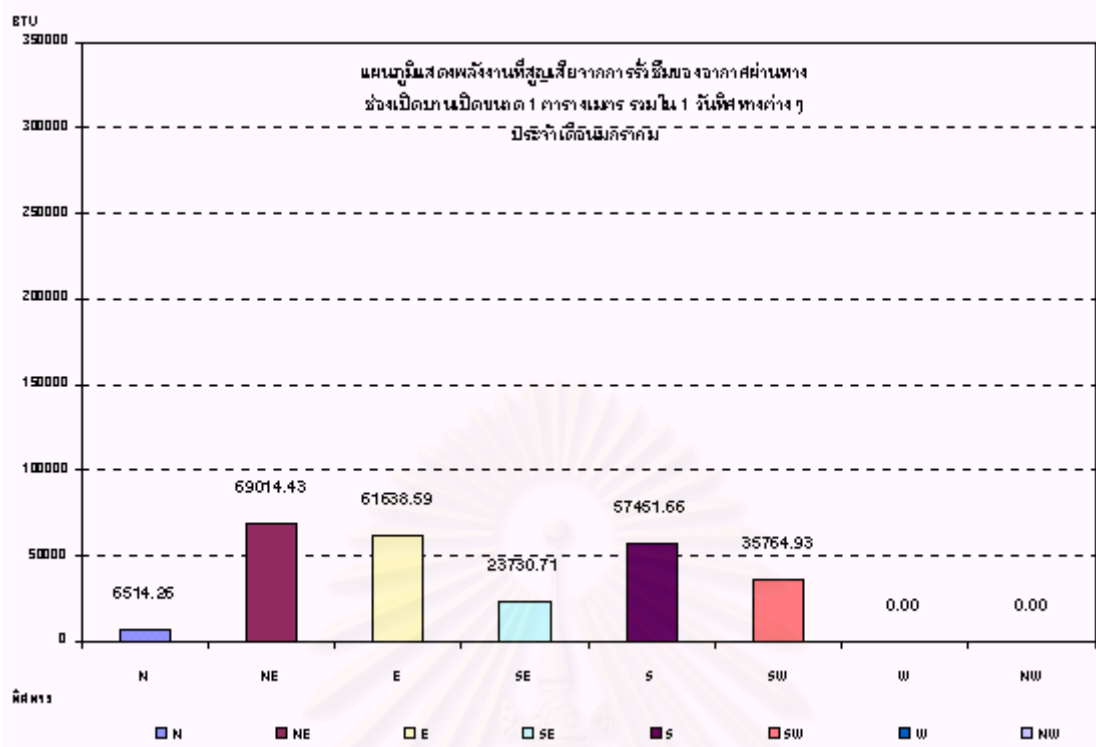
ในการคำนวณนี้ไม่นำสมการที่มีกำลัง 3 มาใช้เนื่องจาก ยากแก่การคำนวณและตรวจสอบ อีกทั้งรูปแบบของสมการมีความไม่เหมาะสมมากกว่าและค่า ความเชื่อมั่นทางสถิติก็สูงกว่ากันเพียงไม่มาก ดังนั้นการเลือกใช้สมการแบบกำลัง 2 จึงมีความเหมาะสมกว่าในการคำนวณ

เมื่อได้สมการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศสำหรับช่องเปิดบานเปิดแล้ว จึงนำสมการที่ได้มาคำนวณการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี โดยมีค่าเฉลี่ยใน 1 วันเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆมาใช้ในการคำนวณค่าพลังงานต่อไป

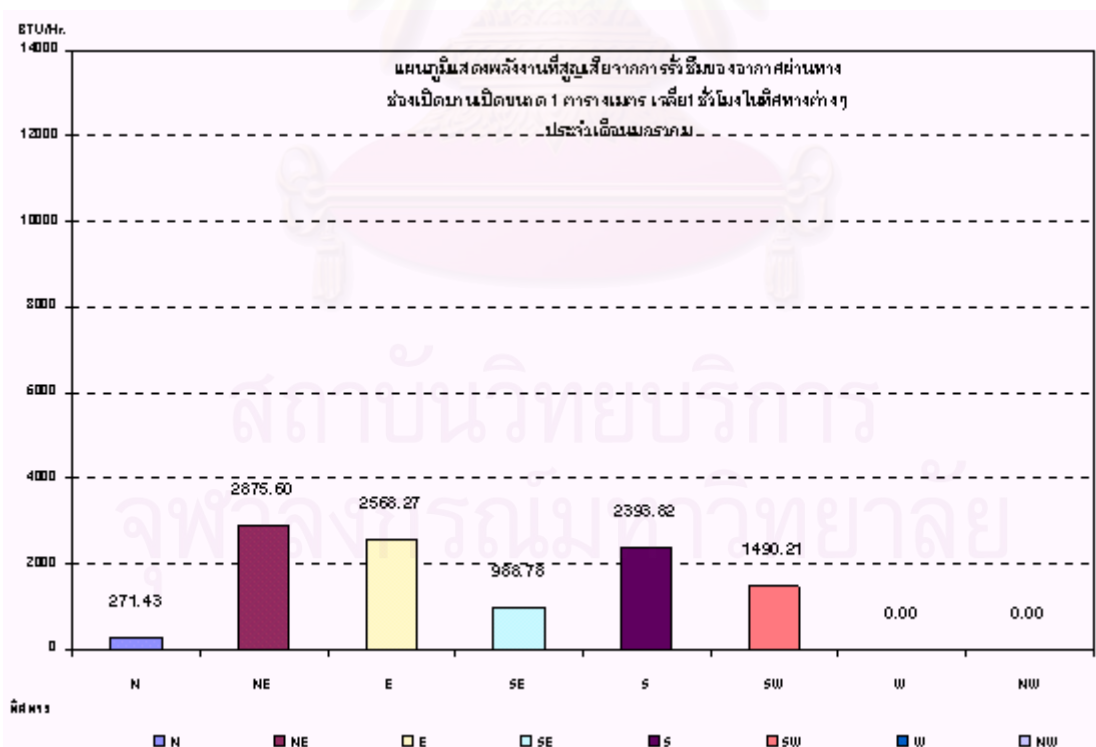
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| 1:00 | 175.38546 | 2894.146 | 3399.3732 | 0 | 2894.146 | 0 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 3272.4139 | 2786.0558 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 117.69957 | 0 | 1687.042 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 122.68026 | 0 | 2404.5611 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 83.260643 | 2258.3215 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 143.05051 | 1290.4962 | 1676.6304 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 261.31449 | 0 | 2011.2066 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 232.56173 | 3072.1769 | 3072.1769 | 0 | 4123.3946 | 1935.3838 | 0 | 0 |
| 10:00 | 680.0841 | 3888.5898 | 4386.8997 | 0 | 4131.2563 | 3517.254 | 0 | 0 |
| 11:00 | 580.79733 | 4925.8663 | 4335.0982 | 1547.6269 | 4183.5337 | 2243.8083 | 0 | 0 |
| 12:00 | 787.18706 | 4674.4546 | 7171.1108 | 4674.4546 | 4950.0732 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 672.1091 | 4587.2483 | 4284.8807 | 3725.8045 | 3220.9679 | 4376.2131 | 0 | 0 |
| 14:00 | 286.80925 | 3720.8549 | 3563.0334 | 4185.0273 | 4185.0273 | 2916.2274 | 0 | 0 |
| 15:00 | 1249.4603 | 4373.0765 | 5123.1239 | 4041.0987 | 3403.6328 | 0 | 0 | 0 |
| 16:00 | 295.99903 | 4292.7699 | 2463.3105 | 0 | 3109.7221 | 3910.1936 | 0 | 0 |
| 17:00 | 254.80174 | 3524.9365 | 5472.5992 | 2568.6555 | 2568.6555 | 0 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 3083.2281 | 0 | 0 | 6125.689 | 4076.1438 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 3661.1079 | 4022.7345 | 0 | 3878.9214 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 241.66338 | 2878.3465 | 0 | 0 | 2397.2195 | 3805.2825 | 0 | 0 |
| 21:00 | 169.06094 | 3322.5879 | 0 | 2988.0429 | 1586.3051 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 3571.9349 | 0 | 0 | 3571.9349 | 3571.9349 | 0 | 0 |
| 23:00 | 160.33664 | 3695.1686 | 0 | 0 | 3988.6138 | 2779.3618 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0 | 2026.7095 | 3778.7575 | 0 | 2026.7095 | 2633.1289 | 0 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะ
ปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.33 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.34 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538

4.2.2 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือน

มกราคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนมกราคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนมกราคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมกราคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 6514.26 | 271.43 |
| NE | 69014.43 | 2875.60 |
| E | 61638.59 | 2568.27 |
| SE | 23730.71 | 988.78 |
| S | 57451.66 | 2393.82 |
| SW | 35764.93 | 1490.21 |
| W | 0.00 | 0.00 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

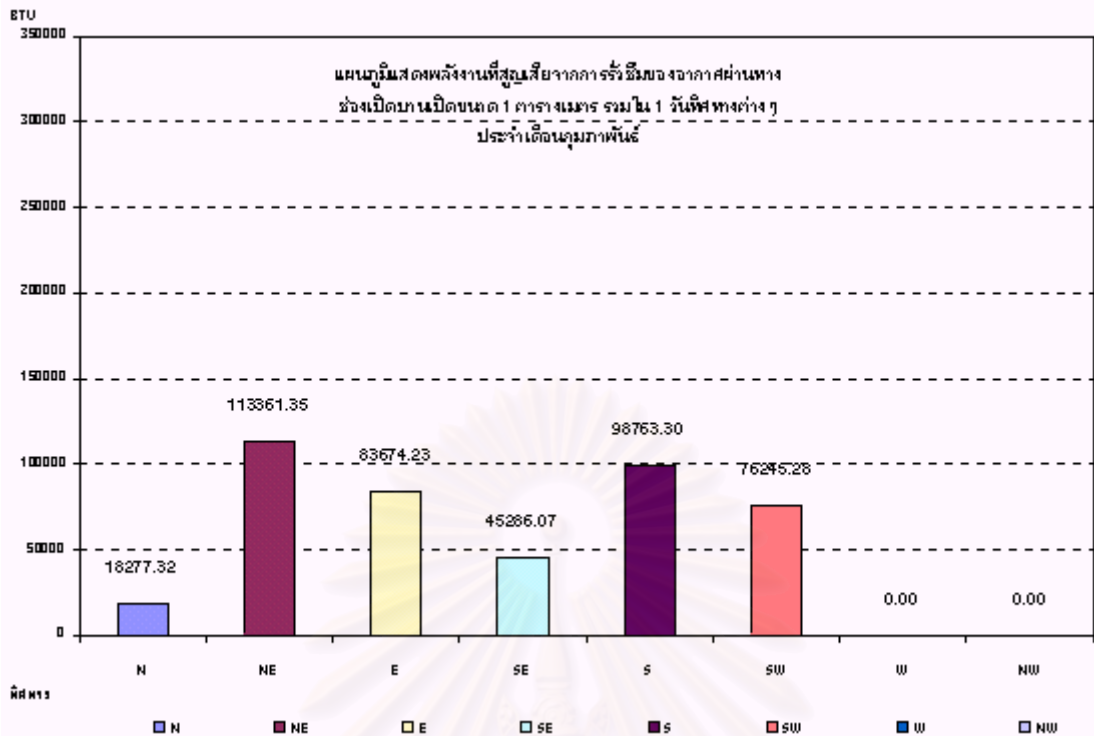
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 2875.60 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 69014.43 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 271.43 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 6514.26 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมกราคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

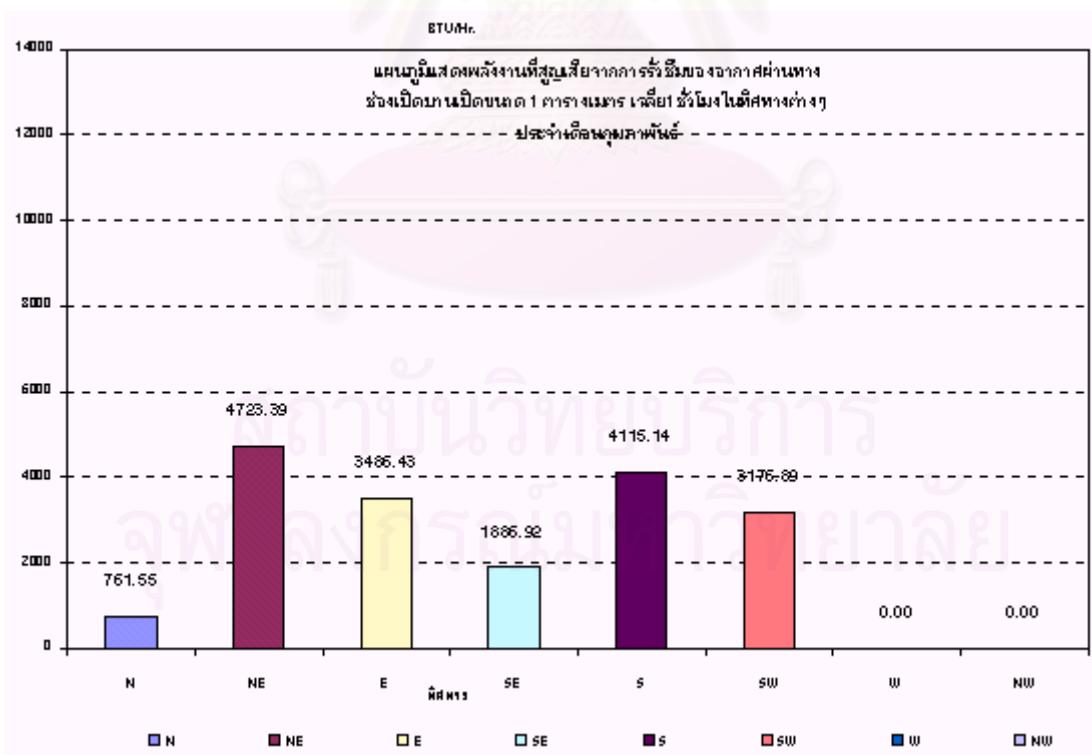
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| 1:00 | 622.34796 | 4900.4804 | 0 | 0 | 3175.8833 | 3797.0945 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 5335.2039 | 0 | 0 | 3873.6507 | 2504.1667 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 4090.2295 | 0 | 3076.5112 | 2901.8287 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 3924.1794 | 0 | 0 | 3282.0813 | 3606.2695 | 0 | 0 |
| 5:00 | 215.99073 | 3421.8804 | 0 | 2373.3363 | 3421.8804 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 195.65523 | 2067.5658 | 5918.1198 | 0 | 2067.5658 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 194.13905 | 4635.2808 | 2665.3938 | 0 | 2361.3035 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 425.84182 | 4199.2251 | 6226.5344 | 0 | 2843.2376 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 1141.3741 | 4277.0721 | 5762.6971 | 1945.4602 | 3664.5652 | 0 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0 | 6344.5936 | 7282.8315 | 0 | 4263.388 | 4846.1273 | 0 | 0 |
| 11:00 | 0 | 10319.35 | 8914.9656 | 0 | 6092.3433 | 7155.8755 | 0 | 0 |
| 12:00 | 2877.5786 | 8805.4518 | 5087.7406 | 0 | 5387.7276 | 4783.8079 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 7713.7739 | 7305.9656 | 5132.8841 | 5793.4709 | 4201.0994 | 0 | 0 |
| 14:00 | 1646.6378 | 6485.9595 | 7192.9029 | 0 | 5604.745 | 5604.745 | 0 | 0 |
| 15:00 | 1701.2341 | 5271.4935 | 0 | 3530.943 | 5034.1923 | 6410.6977 | 0 | 0 |
| 16:00 | 4830.8675 | 4830.8675 | 7259.8988 | 0 | 4352.7023 | 5674.1855 | 0 | 0 |
| 17:00 | 1465.3947 | 4218.0728 | 0 | 0 | 4351.827 | 4292.4751 | 0 | 0 |
| 18:00 | 462.37401 | 3749.8148 | 0 | 0 | 3926.0814 | 5822.8026 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 4420.0109 | 10428.856 | 7550.3789 | 3800.3138 | 5024.1581 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 6718.544 | 0 | 5879.5609 | 5116.8492 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 425.82018 | 0 | 5692.1092 | 5413.8593 | 4609.5441 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 571.04133 | 3029.69 | 3936.2149 | 5092.8159 | 4550.8504 | 7227.4109 | 0 | 0 |
| 23:00 | 670.54393 | 4602.6065 | 0 | 0 | 4156.6901 | 3337.304 | 0 | 0 |
| 0:00 | 830.47641 | 0 | 0 | 5290.3202 | 4130.5771 | 1957.0637 | 0 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะ
ปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.35 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.36 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.3 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนกุมภาพันธ์

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนกุมภาพันธ์สามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 18277.32 | 761.55 |
| NE | 113361.35 | 4723.39 |
| E | 83674.23 | 3486.43 |
| SE | 45286.07 | 1886.92 |
| S | 98763.30 | 4115.14 |
| SW | 76245.28 | 3176.89 |
| W | 0.00 | 0.00 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

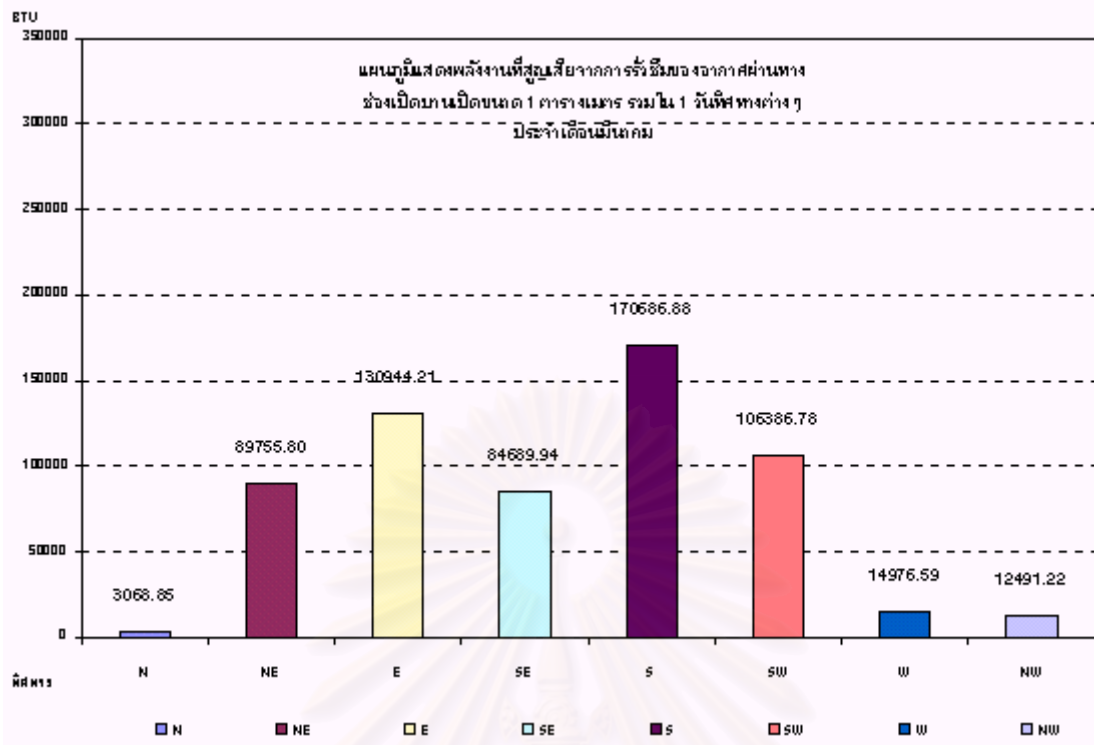
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 4723.39 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 113361.35 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 761.55 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 18277.32 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกุมภาพันธ์นอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

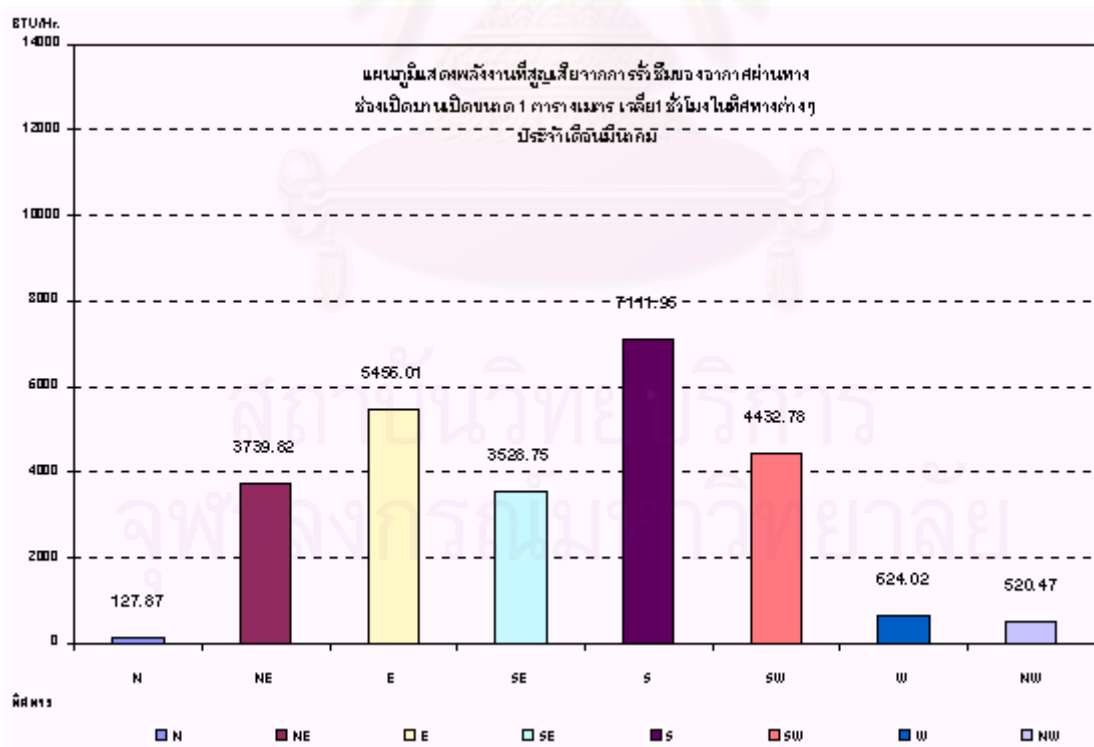
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 12029.878 | 7334.0071 | 0 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 7166.8867 | 0 | 6707.9634 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 7068.3339 | 7068.3339 | 0 | 6646.0841 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 664.55133 | 0 | 6866.7776 | 0 | 5761.0914 | 8065.5017 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 6235.0169 | 6850.8819 | 0 | 5128.5444 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 6190.4596 | 9129.3619 | 0 | 5023.4599 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 373.71877 | 7745.8629 | 6594.6447 | 0 | 3836.49 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 654.3415 | 9749.7741 | 5945.4861 | 0 | 6611.1502 | 164.90161 | 0 | 0 |
| 9:00 | 1376.242 | 8960.9383 | 10239.618 | 7629.1311 | 7029.7544 | 6244.1968 | 0 | 4806.1351 |
| 10:00 | 0 | 0 | 8228.1329 | 9026.6584 | 7379.6822 | 0 | 0 | 7685.0837 |
| 11:00 | 0 | 8184.0568 | 9470.8075 | 7521.041 | 7095.5429 | 7521.041 | 7521.041 | 0 |
| 12:00 | 0 | 7491.1572 | 8476.8323 | 8798.8784 | 8523.0404 | 8244.8069 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 11360.063 | 8878.7881 | 6186.9526 | 8573.0288 | 9729.2671 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 9388.3399 | 7455.5511 | 7455.5511 | 8328.9818 | 8757.0565 | 7455.5511 | 0 |
| 15:00 | 0 | 7381.7954 | 0 | 6041.7605 | 7643.6261 | 9907.6507 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 4659.1328 | 7395.7836 | 8455.9379 | 8262.2122 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7782.3902 | 8842.194 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 8730.171 | 0 | 7312.1286 | 6538.8954 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7457.5077 | 4660.3344 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7556.9656 | 7425.0315 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 15182.804 | 7959.1973 | 7959.1973 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 4645.1135 | 7829.8821 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7876.9159 | 7414.2225 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6833.5063 | 4609.4644 | 0 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.37 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.38 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.4 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนมีนาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนมีนาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนมีนาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมีนาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 3068.85 | 127.87 |
| NE | 89755.80 | 3739.82 |
| E | 130944.21 | 5456.01 |
| SE | 84689.94 | 3528.75 |
| S | 170686.88 | 7111.95 |
| SW | 106386.78 | 4432.78 |
| W | 14976.59 | 624.02 |
| NW | 12491.22 | 520.47 |

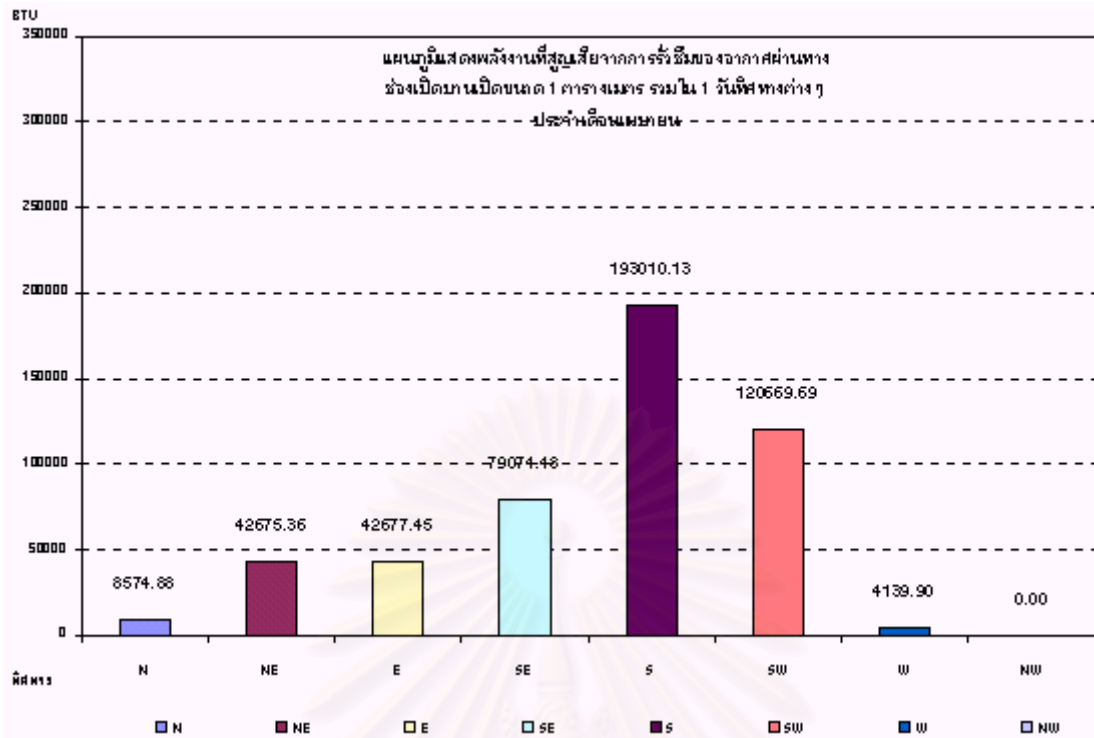
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 7111.95 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 170686.88 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 127.87 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 3068.85 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมีนาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากการรั่วซึมสูงที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

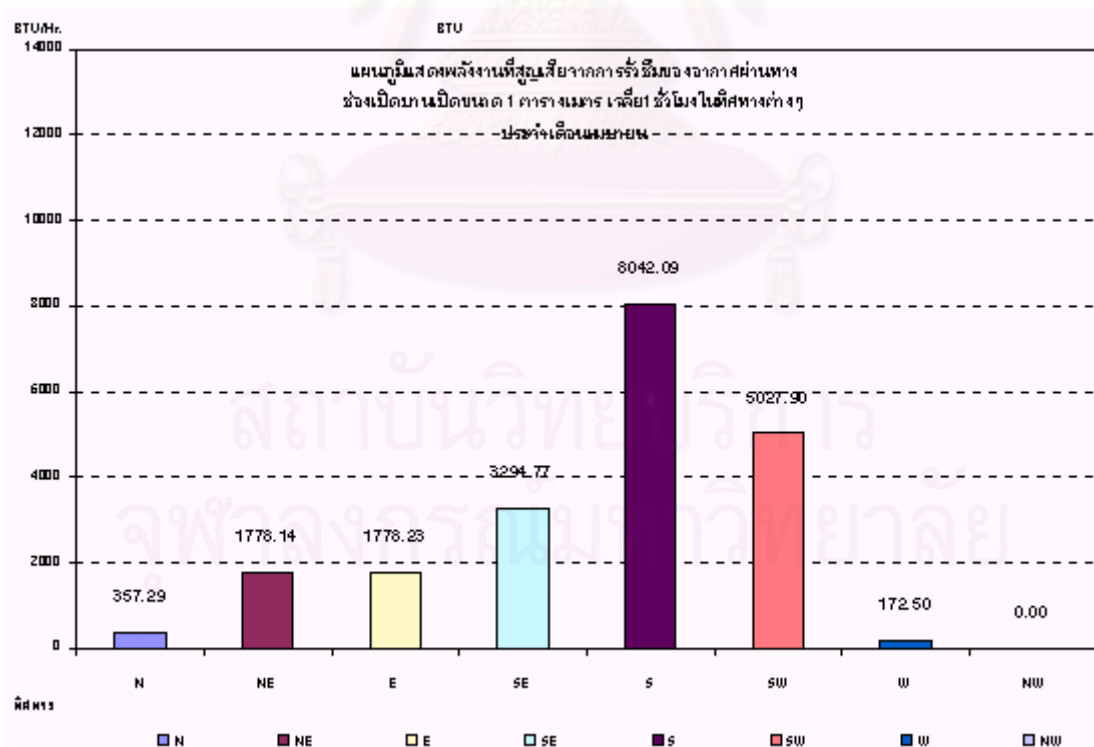
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|
| 1:00 | 924.42066 | 0 | 0 | 0 | 8045.5064 | 7845.3541 | 0 | 0 |
| 2:00 | 521.88863 | 0 | 0 | 0 | 7273.9044 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 454.11059 | 0 | 0 | 8202.009 | 5167.0318 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 8152.4147 | 7419.5475 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7554.2053 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8672.5209 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 0 | 6761.9965 | 0 | 0 | 5204.6837 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 483.25957 | 5580.8013 | 8858.8158 | 0 | 7860.9399 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 0 | 0 | 0 | 9255.5703 | 8379.2806 | 7575.3845 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9015.7835 | 9244.0406 | 4139.8978 | 0 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9771.1706 | 10668.751 | 0 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9156.836 | 11282.053 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 0 | 24227.398 | 9548.6854 | 10082.248 | 11215.586 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 9371.2903 | 0 | 0 | 10360.669 | 11800.718 | 0 | 0 |
| 15:00 | 2151.9438 | 0 | 5841.1597 | 0 | 9445.5198 | 11564.641 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 5807.9139 | 0 | 7545.7216 | 10911.659 | 10432.393 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 9239.6746 | 9581.0041 | 12401.247 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 8837.8335 | 8478.6035 | 10881.23 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7851.7641 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7819.7097 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 3750.0764 | 0 | 7966.4516 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 1733.6129 | 15153.359 | 0 | 9870.5645 | 8253.6439 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 1490.1154 | 0 | 0 | 8422.0043 | 8190.608 | 5305.6226 | 0 | 0 |
| 0:00 | 815.52516 | 0 | 0 | 0 | 8592.3474 | 8298.0185 | 0 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.39 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.40 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.5 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนเมษายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนเมษายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนเมษายน พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนเมษายน พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 8574.88 | 357.29 |
| NE | 42675.36 | 1778.14 |
| E | 42677.45 | 1778.23 |
| SE | 79074.48 | 3294.77 |
| S | 193010.13 | 8042.09 |
| SW | 120669.69 | 5027.90 |
| W | 4139.90 | 172.50 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

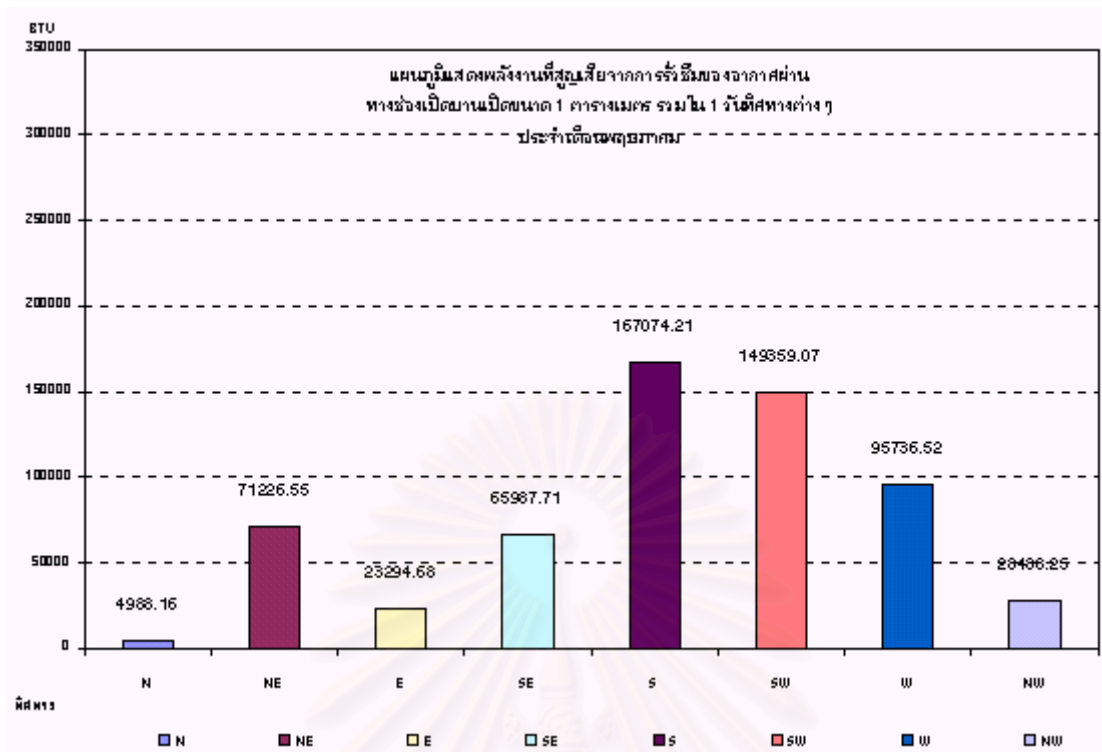
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 8042.09 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 193010.13 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 172.50 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 4139.90 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนเมษายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

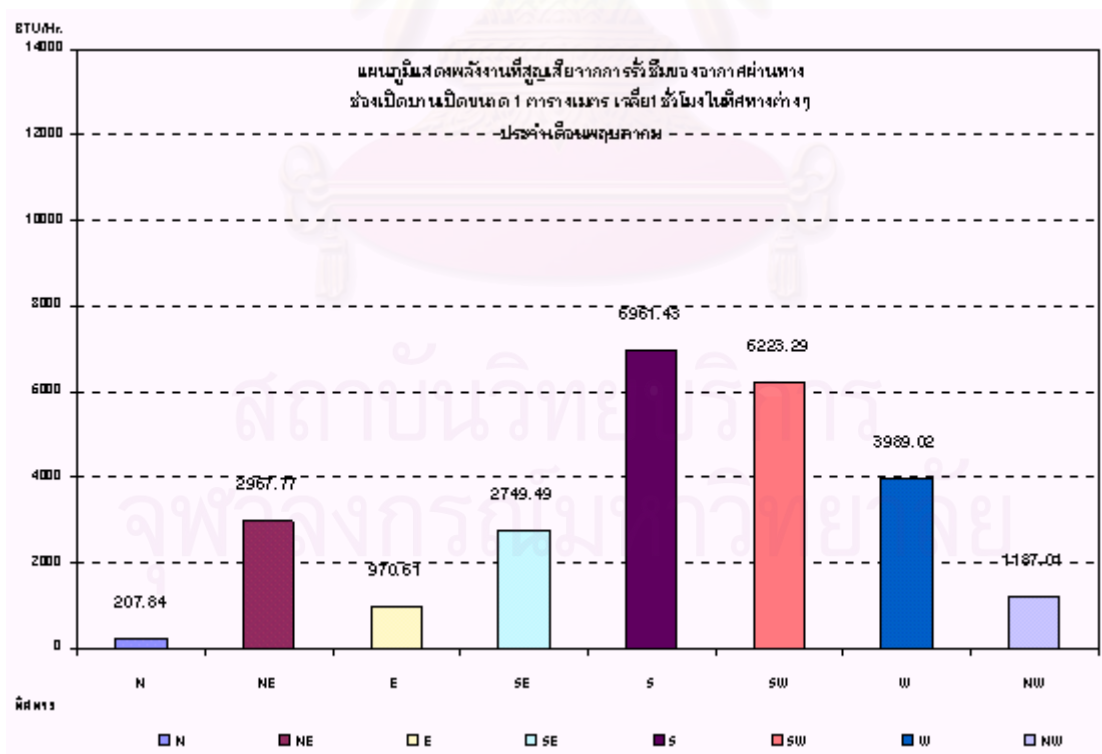
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6511.8181 | 5158.2197 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4740.5165 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7429.3848 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6543.4278 | 9390.3595 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6370.134 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 284.27007 | 0 | 0 | 0 | 4792.9169 | 0 | 10211.456 | 0 |
| 7:00 | 298.17218 | 6441.429 | 0 | 0 | 7870.1086 | 0 | 7870.1086 | 0 |
| 8:00 | 351.88438 | 6706.8339 | 0 | 1139.3617 | 5941.6625 | 8194.3791 | 6706.8339 | 0 |
| 9:00 | 758.04575 | 0 | 11447.161 | 8528.8228 | 6716.7428 | 6980.5653 | 8528.8228 | 0 |
| 10:00 | 0 | 8724.6568 | 0 | 8724.6568 | 7140.849 | 8724.6568 | 7940.3474 | 0 |
| 11:00 | 1455.8606 | 0 | 0 | 0 | 7636.4903 | 8928.1206 | 9974.0652 | 8928.1206 |
| 12:00 | 0 | 12185.34 | 0 | 16370.965 | 8199.2245 | 8097.5355 | 9480.9492 | 0 |
| 13:00 | 0 | 7473.3857 | 0 | 9130.9486 | 8663.836 | 11242.117 | 9130.9486 | 0 |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 7502.0078 | 9056.9752 | 9165.919 | 10766.001 | 0 |
| 15:00 | 0 | 8938.2938 | 0 | 0 | 9051.8023 | 10498.64 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 7319.3468 | 0 | 8515.9191 | 10196.619 | 0 | 8942.7446 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 9039.3899 | 9039.3899 | 9572.3769 | 0 | 10617.384 |
| 18:00 | 916.98731 | 0 | 0 | 5551.5611 | 7483.5381 | 11096.941 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 8488.1301 | 0 | 0 | 7308.0891 | 8488.1301 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 6983.6877 | 0 | 0 | 8062.3594 | 10744.652 | 0 | 0 |
| 21:00 | 530.78928 | 0 | 4528.1749 | 0 | 6689.2025 | 8493.8525 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 5284.7939 | 0 | 0 | 5765.3537 | 0 | 15126.989 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6650.6305 | 9544.2043 | 0 | 0 |
| 0:00 | 392.15262 | 0 | 0 | 0 | 7405.6595 | 0 | 0 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะเปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.41 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.42 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.6 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนพฤษภาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนพฤษภาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

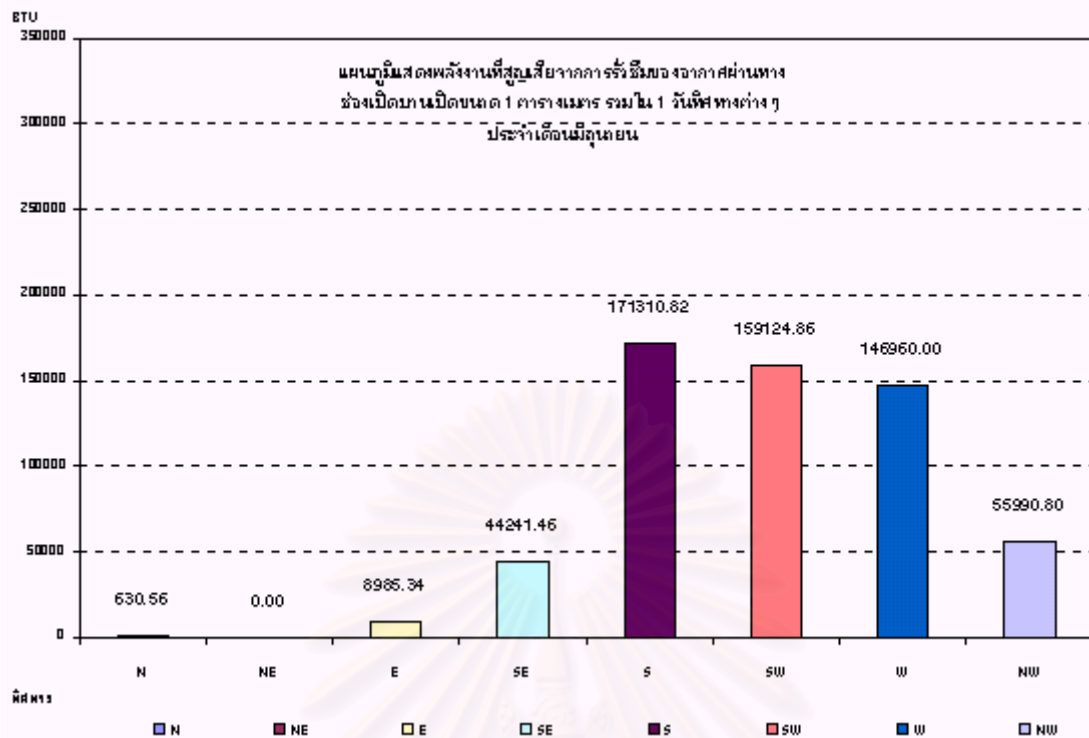
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 4988.16 | 207.84 |
| NE | 71226.55 | 2967.77 |
| E | 23294.68 | 970.61 |
| SE | 65987.71 | 2749.49 |
| S | 167074.21 | 6961.43 |
| SW | 149359.07 | 6223.29 |
| W | 95736.52 | 3989.02 |
| NW | 28488.25 | 1187.01 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 6961.43 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 170686.88 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 207.84 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 4988.16 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

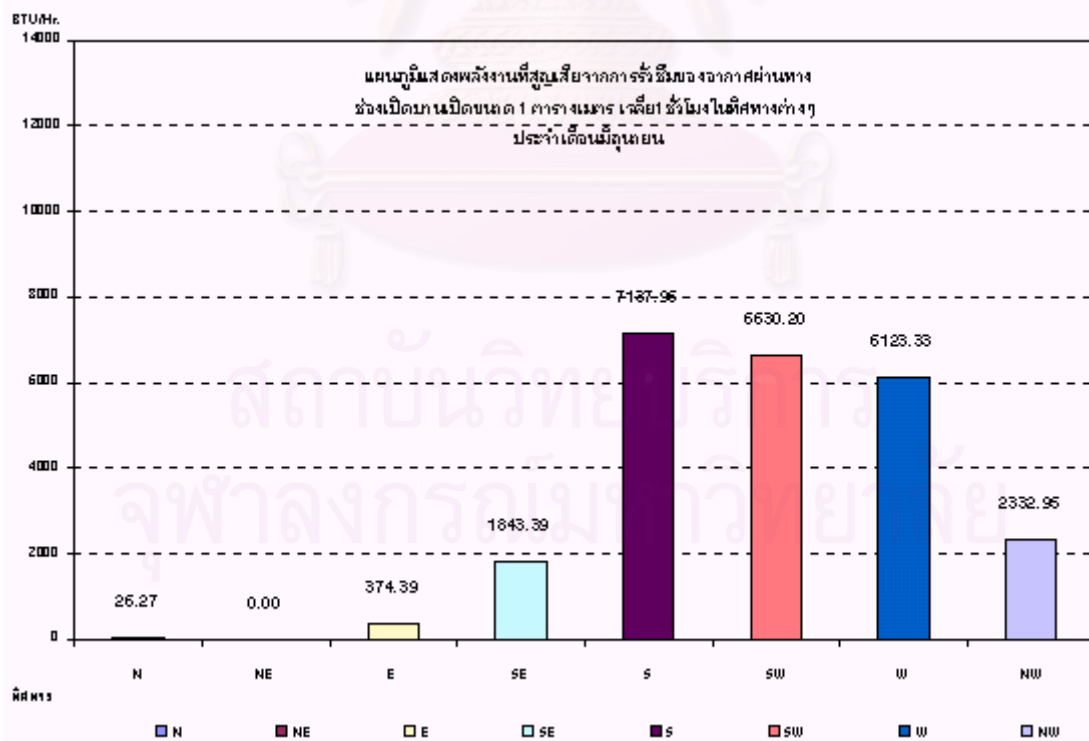
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนพฤษภาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากการรั่วซึมสูงที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8774.2334 | 7470.175 | 6114.0963 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6111.4943 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4624.6853 | 7341.1026 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6516.8276 | 5860.6607 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5911.66 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5866.9055 | 0 |
| 7:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3316.3275 | 0 | 6246.7988 | 0 |
| 8:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5161.0236 | 7456.0035 | 6705.2727 | 0 |
| 9:00 | 0 | 0 | 0 | 5545.5528 | 8011.5234 | 7744.3326 | 7204.8584 | 3824.9464 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9266.4811 | 6154.4106 | 10422.464 | 3855.6127 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 5683.3425 | 9021.5868 | 9021.5868 | 6257.162 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 8985.3448 | 8985.3448 | 8014.1715 | 8177.6007 | 9515.1452 | 8985.3448 |
| 13:00 | 0 | 0 | 0 | 4061.7125 | 10404.267 | 8789.3458 | 11771.094 | 10979.591 |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 7668.5364 | 8648.4284 | 9034.4266 | 9369.3828 | 0 |
| 15:00 | 0 | 0 | 0 | 8677.5687 | 10136.755 | 10730.36 | 9534.6972 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9886.151 | 10000.922 | 12335.536 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9173.1663 | 9910.5482 | 0 | 18738.366 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8938.1929 | 9446.7296 | 11651.973 | 0 |
| 19:00 | 630.56101 | 0 | 0 | 3619.3992 | 8881.9002 | 10836.452 | 6817.6795 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9806.2596 | 8179.1194 | 8179.1194 | 9606.9372 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9469.5224 | 7773.9059 | 9469.5224 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6861.4454 | 8288.4271 | 9322.3989 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6086.3125 | 7685.0837 | 6289.9921 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7062.6358 | 6693.8402 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.18 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.48 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.49 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.7 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนมิถุนายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนมิถุนายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนมิถุนายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมิถุนายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 630.56 | 26.27 |
| NE | 0.00 | 0.00 |
| E | 8985.34 | 374.39 |
| SE | 44241.46 | 1843.39 |
| S | 171310.82 | 7137.95 |
| SW | 159124.86 | 6630.20 |
| W | 146960.00 | 6123.33 |
| NW | 55990.80 | 2332.95 |

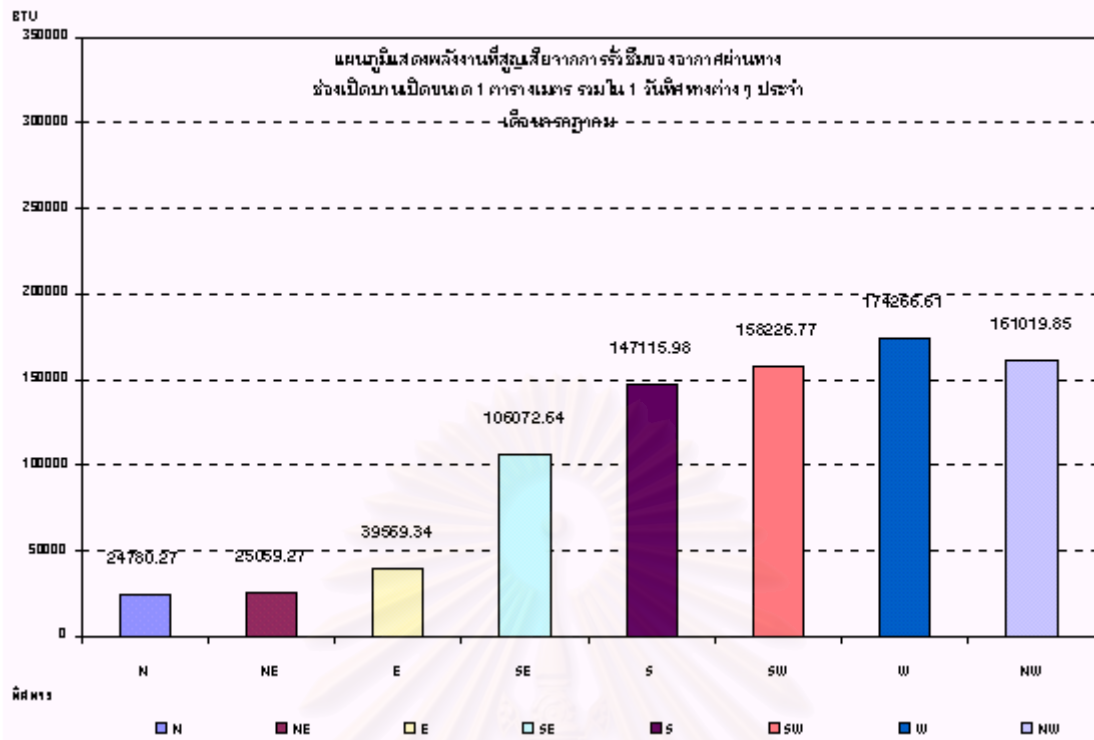
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 7137.95 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 171310.82.54 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 26.27 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 630.56 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมิถุนายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

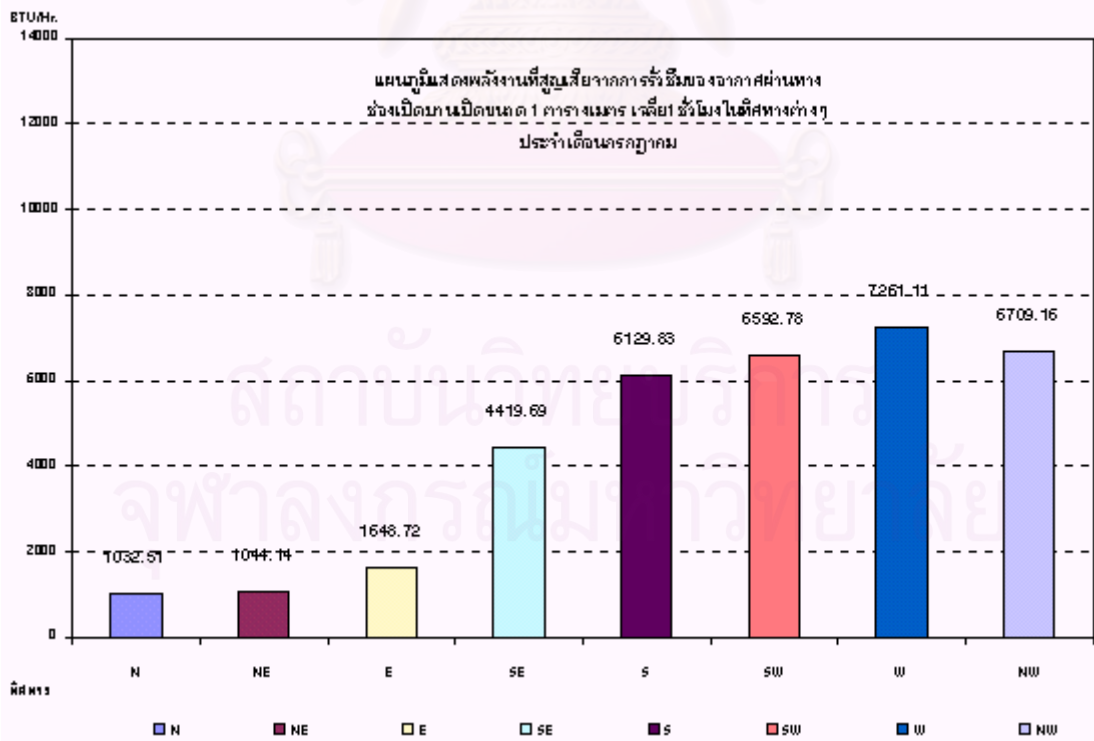
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 672.60331 | 0 | 0 | 0 | 5001.6548 | 6344.2355 | 5679.2224 | 10837.39 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 5826.8345 | 5826.8345 | 5495.9903 | 5826.8345 | 5826.8345 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 5777.9168 | 0 | 7059.4324 | 6698.2924 | 8291.788 |
| 4:00 | 418.68505 | 0 | 0 | 7023.1904 | 0 | 0 | 6300.6385 | 0 |
| 5:00 | 641.05409 | 0 | 5625.4391 | 0 | 0 | 0 | 6462.5468 | 3887.3815 |
| 6:00 | 149.87617 | 0 | 2868.765 | 0 | 5403.7479 | 0 | 4994.0139 | 4994.0139 |
| 7:00 | 293.36306 | 0 | 0 | 0 | 5463.0737 | 4204.9076 | 5048.8413 | 5770.3465 |
| 8:00 | 904.57976 | 4442.8351 | 0 | 0 | 7052.4383 | 5772.1923 | 5444.4607 | 5772.1923 |
| 9:00 | 3178.7435 | 5987.6387 | 7315.6697 | 5987.6387 | 6988.4315 | 6658.0222 | 7054.1338 | 5987.6387 |
| 10:00 | 2040.666 | 7471.4467 | 0 | 6115.1371 | 6115.1371 | 7249.0038 | 7765.7759 | 7471.4467 |
| 11:00 | 2575.7757 | 0 | 0 | 5588.9746 | 6874.8637 | 8555.2352 | 8610.9756 | 7707.9734 |
| 12:00 | 1806.1937 | 0 | 0 | 0 | 8058.4036 | 7583.8495 | 8918.2547 | 10188.742 |
| 13:00 | 5199.959 | 0 | 0 | 10444.431 | 8872.8157 | 9140.175 | 7608.1096 | 6369.0932 |
| 14:00 | 5570.9551 | 0 | 0 | 0 | 8318.4626 | 8033.5155 | 8439.9057 | 9709.6742 |
| 15:00 | 1327.8152 | 0 | 0 | 0 | 9054.0197 | 8860.711 | 9564.3685 | 12660.658 |
| 16:00 | 0 | 0 | 9421.7259 | 0 | 7356.2967 | 9876.072 | 10100.924 | 10324.212 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8276.3615 | 8887.2813 | 10935.435 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 12779.783 | 7714.9675 | 9061.7589 | 9249.7701 | 9715.0078 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 9976.775 | 6861.3205 | 7433.2972 | 9151.9509 | 8088.578 |
| 20:00 | 0 | 7157.3494 | 0 | 8406.7982 | 8202.0139 | 7298.6286 | 5413.8769 | 8406.7982 |
| 21:00 | 0 | 0 | 8429.2028 | 7176.4241 | 7016.3097 | 8429.2028 | 6138.2115 | 5873.6707 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 5917.3844 | 7086.4891 | 7957.1924 | 6579.9022 | 5917.3844 |
| 23:00 | 0 | 0 | 5908.5376 | 11958.257 | 8479.2397 | 6787.7726 | 5640.4024 | 7219.0243 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 3093.0988 | 3093.0988 | 7538.294 | 6639.77 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.50 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.51 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.8 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนกรกฎาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
ผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนกรกฎาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 24780.27 | 1032.51 |
| NE | 25059.27 | 1044.14 |
| E | 39569.34 | 1648.72 |
| SE | 106072.64 | 4419.69 |
| S | 147115.98 | 6129.83 |
| SW | 158226.77 | 6592.78 |
| W | 174266.61 | 7261.11 |
| NW | 161019.85 | 6709.16 |

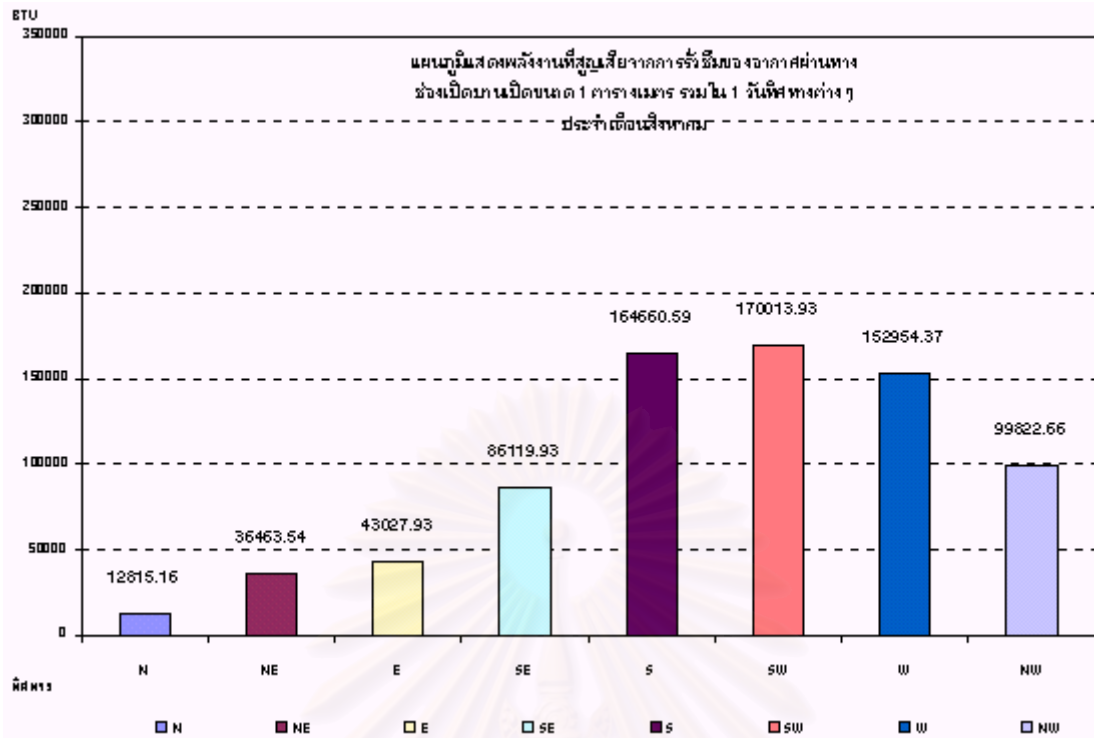
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 7261.11 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 174266.61 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 1032.51 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 24780.27 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกรกฎาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

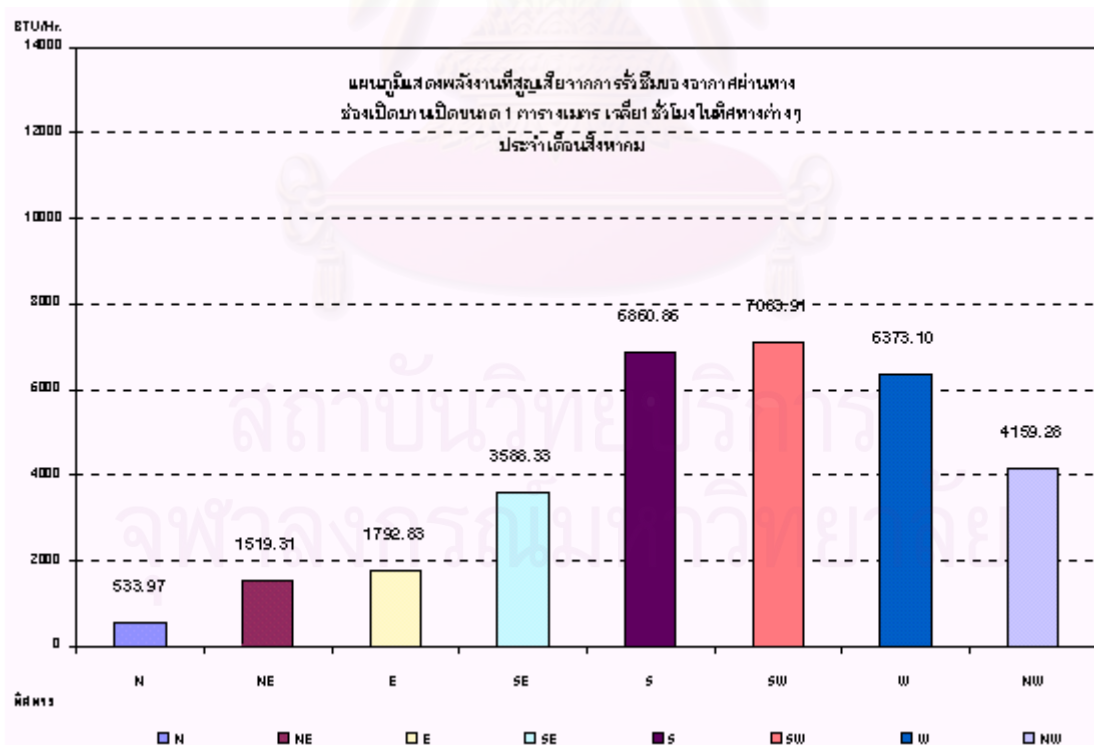
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 3191.7283 | 3191.7283 | 6012.0976 | 6685.2196 | 5326.1875 | 5621.7051 | 4627.4892 |
| 2:00 | 302.27156 | 0 | 4531.3569 | 0 | 5887.2011 | 6546.3396 | 4875.0071 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 3042.2646 | 0 | 4410.7909 | 5076.7702 | 7414.4041 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 3721.0976 | 0 | 6562.9842 | 5712.8665 | 5388.4934 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10413.136 | 3693.9803 | 4365.1281 | 0 |
| 6:00 | 359.32422 | 0 | 3022.0966 | 0 | 8169.3096 | 5692.5709 | 4046.2212 | 3022.0966 |
| 7:00 | 0 | 0 | 3085.6395 | 4473.6775 | 4473.6775 | 5812.2633 | 4473.6775 | 3085.6395 |
| 8:00 | 327.1488 | 0 | 4689.1741 | 0 | 4330.3015 | 6092.2394 | 4689.1741 | 0 |
| 9:00 | 482.54055 | 3421.0351 | 0 | 4959.9468 | 4350.9493 | 6926.5371 | 6857.9807 | 0 |
| 10:00 | 734.45639 | 0 | 0 | 4960.7479 | 5709.7644 | 7231.5889 | 6652.6396 | 7522.3214 |
| 11:00 | 2507.6913 | 6538.7442 | 0 | 6538.7442 | 5943.0495 | 7270.8302 | 7580.3135 | 7989.0078 |
| 12:00 | 825.68038 | 0 | 0 | 5867.4367 | 8450.4401 | 8410.787 | 7885.5974 | 12160.794 |
| 13:00 | 0 | 6834.3324 | 0 | 6834.3324 | 8619.5078 | 9190.2256 | 7447.6367 | 8350.1561 |
| 14:00 | 1578.984 | 9721.9474 | 0 | 6774.4862 | 9006.6967 | 10190.771 | 7640.1356 | 9006.6967 |
| 15:00 | 0 | 6755.7517 | 0 | 7135.7317 | 7404.9529 | 10046.303 | 7715.9223 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 3569.3937 | 8506.1 | 8938.8929 | 7625.0829 | 5956.4155 |
| 17:00 | 1892.0778 | 0 | 0 | 0 | 8152.4147 | 8393.5403 | 6923.0745 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 3926.3386 | 7395.8459 | 8713.1655 | 9196.7737 | 8496.4035 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 3395.6179 | 6788.4446 | 7465.2274 | 8160.9414 | 12351.454 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 4898.6624 | 7177.6591 | 6899.9604 | 6075.5864 | 9791.8708 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 4167.5154 | 7179.0372 | 6398.2357 | 5815.3417 | 7817.3352 |
| 22:00 | 639.77864 | 0 | 0 | 0 | 5573.2995 | 8363.9444 | 5717.9053 | 4842.1847 |
| 23:00 | 2670.6556 | 0 | 4899.8641 | 9135.6941 | 7078.7128 | 6842.632 | 5271.4613 | 0 |
| 0:00 | 494.55524 | 0 | 8918.3696 | 0 | 5073.7711 | 4294.4672 | 6214.5339 | 3299.1986 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.52 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.53 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.9 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนสิงหาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนสิงหาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนสิงหาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนสิงหาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 12815.16 | 533.97 |
| NE | 36463.54 | 1519.31 |
| E | 43027.93 | 1792.83 |
| SE | 86119.93 | 3588.33 |
| S | 164660.59 | 6860.86 |
| SW | 170013.93 | 7083.91 |
| W | 152954.37 | 6373.10 |
| NW | 99822.66 | 4159.28 |

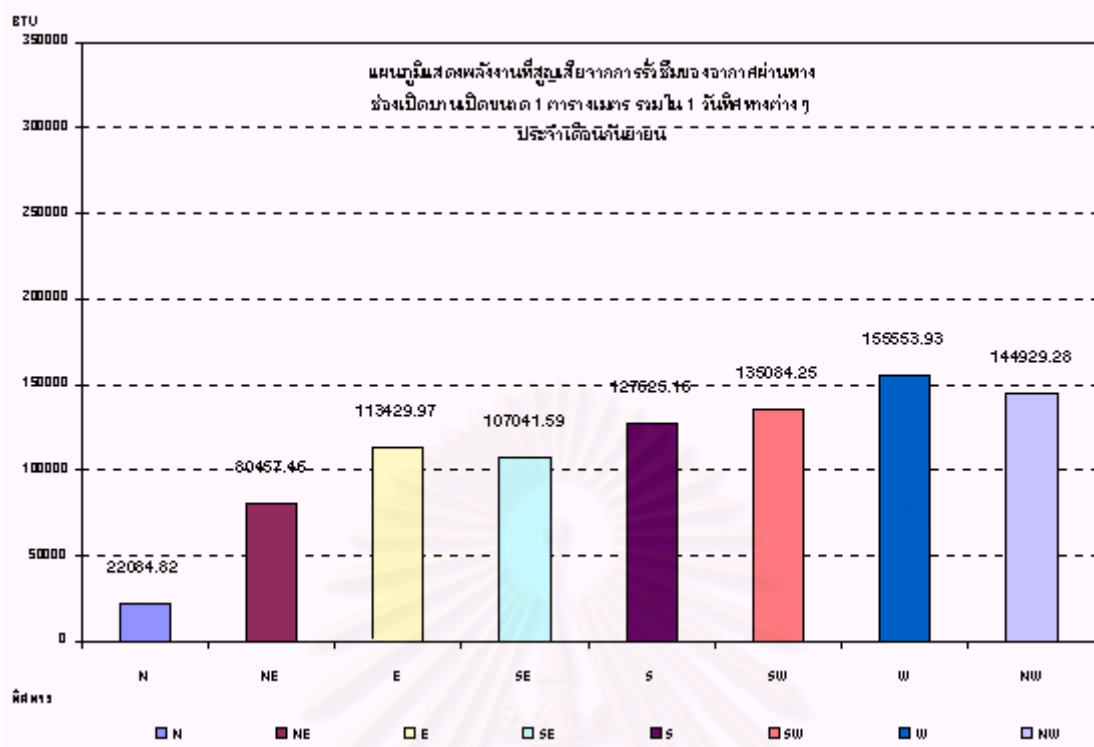
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 7083.91 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 170013.93 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 533.97 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 12015.16 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนสิงหาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

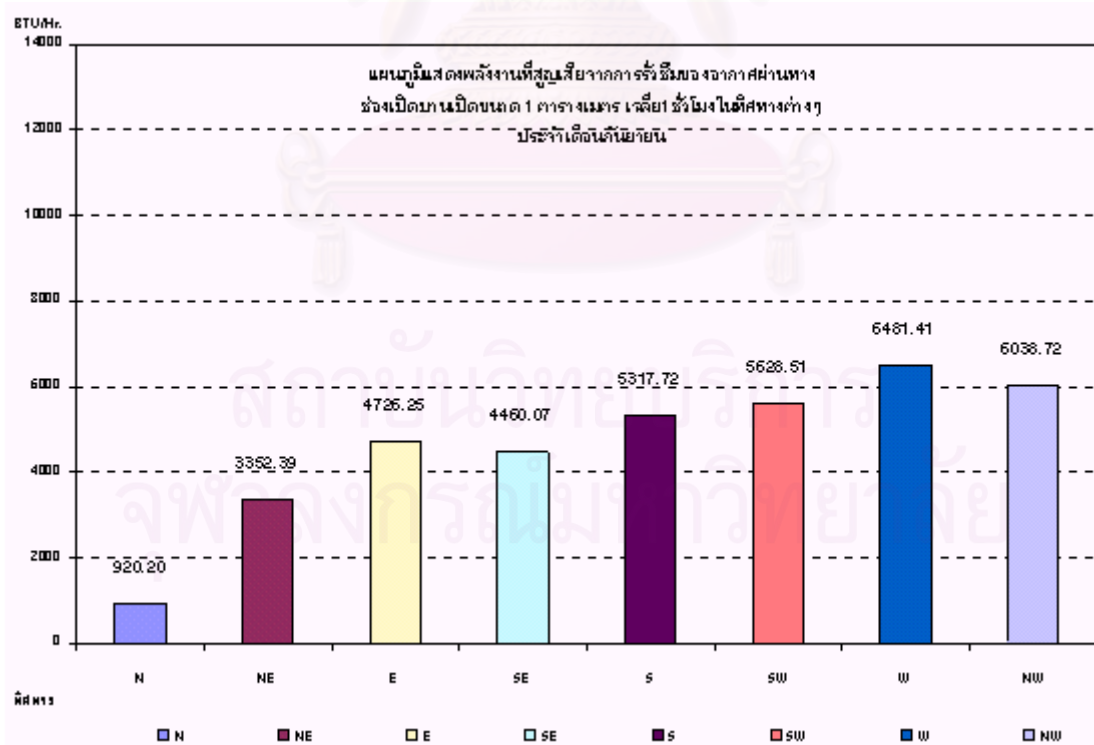
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 911.26718 | 0 | 3087.0208 | 5814.8653 | 0 | 6465.9049 | 7104.5759 | 5373.9587 |
| 2:00 | 0 | 0 | 7084.2295 | 492.29254 | 5798.2124 | 0 | 5136.7041 | 4121.3101 |
| 3:00 | 0 | 3041.1595 | 5728.4786 | 0 | 0 | 0 | 4676.938 | 4409.1887 |
| 4:00 | 0 | 0 | 5696.7341 | 0 | 0 | 5696.7341 | 0 | 4384.7551 |
| 5:00 | 412.69615 | 5666.0304 | 0 | 0 | 5019.6025 | 5666.0304 | 6300.4063 | 4361.1226 |
| 6:00 | 0 | 2965.1844 | 0 | 0 | 4948.1428 | 0 | 4733.0901 | 4299.0371 |
| 7:00 | 0 | 5327.7882 | 4437.2273 | 5764.9067 | 5764.9067 | 4437.2273 | 5764.9067 | 3060.4986 |
| 8:00 | 0 | 4700.3895 | 3733.9049 | 0 | 5410.0949 | 4700.3895 | 3977.6946 | 7461.2735 |
| 9:00 | 450.67633 | 6708.0869 | 5626.318 | 0 | 4136.6695 | 7759.4752 | 5626.318 | 8443.5101 |
| 10:00 | 2451.898 | 9589.0135 | 7429.9635 | 6681.8546 | 6681.8546 | 10957.316 | 7281.4758 | 7676.165 |
| 11:00 | 556.86599 | 8908.5965 | 6526.7749 | 7974.3839 | 6893.876 | 8677.364 | 7498.0082 | 8908.5965 |
| 12:00 | 3437.8877 | 7912.0731 | 4984.3804 | 7200.8115 | 5287.0583 | 7912.0731 | 8838.9859 | 7439.4198 |
| 13:00 | 3914.7104 | 6524.6933 | 7013.2391 | 0 | 7255.2062 | 5529.0825 | 9908.5596 | 6524.6933 |
| 14:00 | 1604.533 | 9302.2348 | 7919.703 | 6482.0204 | 6482.0204 | 8200.6131 | 7919.703 | 7207.7555 |
| 15:00 | 2514.6218 | 6664.6814 | 6664.6814 | 5904.3191 | 6095.7273 | 8142.8774 | 9214.6804 | 8623.0036 |
| 16:00 | 0 | 0 | 6706.8339 | 6706.8339 | 7827.8353 | 6958.7109 | 8194.3791 | 7704.8614 |
| 17:00 | 894.41334 | 0 | 0 | 9273.1088 | 6945.5556 | 6704.3966 | 5971.7706 | 6461.7247 |
| 18:00 | 2241.5501 | 0 | 7636.1252 | 4810.5412 | 5895.0544 | 8530.7103 | 7048.5413 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5667.933 | 3217.9743 | 9787.7374 | 8698.8046 |
| 20:00 | 844.78328 | 3147.5246 | 5252.4226 | 4563.401 | 4761.5492 | 5592.1977 | 5704.7599 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 6392.9005 | 10920.521 | 6941.6629 | 5131.7893 | 5496.5991 | 7266.7112 |
| 22:00 | 918.11771 | 0 | 0 | 7788.9959 | 6122.4402 | 5190.1836 | 7996.5554 | 9607.2585 |
| 23:00 | 601.56293 | 0 | 3772.6204 | 8311.9521 | 8311.9521 | 4458.056 | 6440.4436 | 7076.5996 |
| 0:00 | 329.23571 | 0 | 7736.4133 | 8350.7867 | 5377.8062 | 5155.1453 | 4931.0959 | 5819.0285 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.54 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.55 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.10 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนกันยายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนกันยายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนกันยายน พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกันยายน พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 22084.82 | 920.20 |
| NE | 80457.46 | 3352.39 |
| E | 113429.97 | 4726.25 |
| SE | 107041.59 | 4460.07 |
| S | 127625.16 | 5317.72 |
| SW | 135084.25 | 5628.51 |
| W | 155553.93 | 6481.41 |
| NW | 144929.28 | 6038.72 |

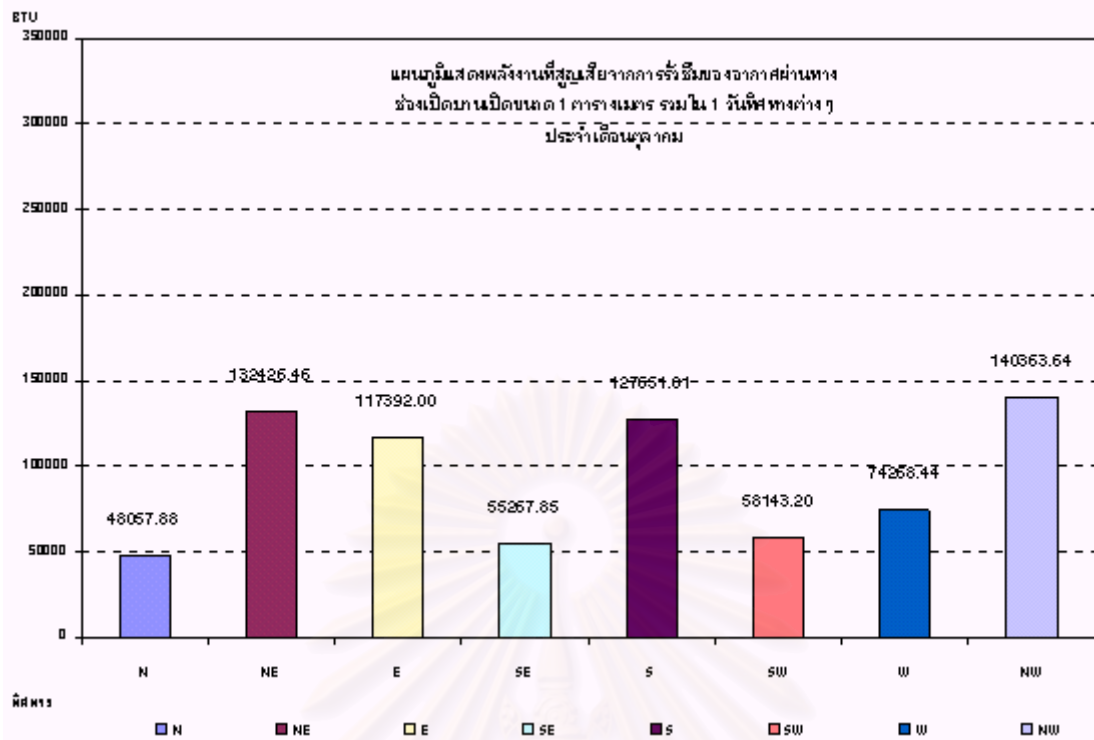
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 6481.41 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 155553.93 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 920.20 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 22084.82 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกันยายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

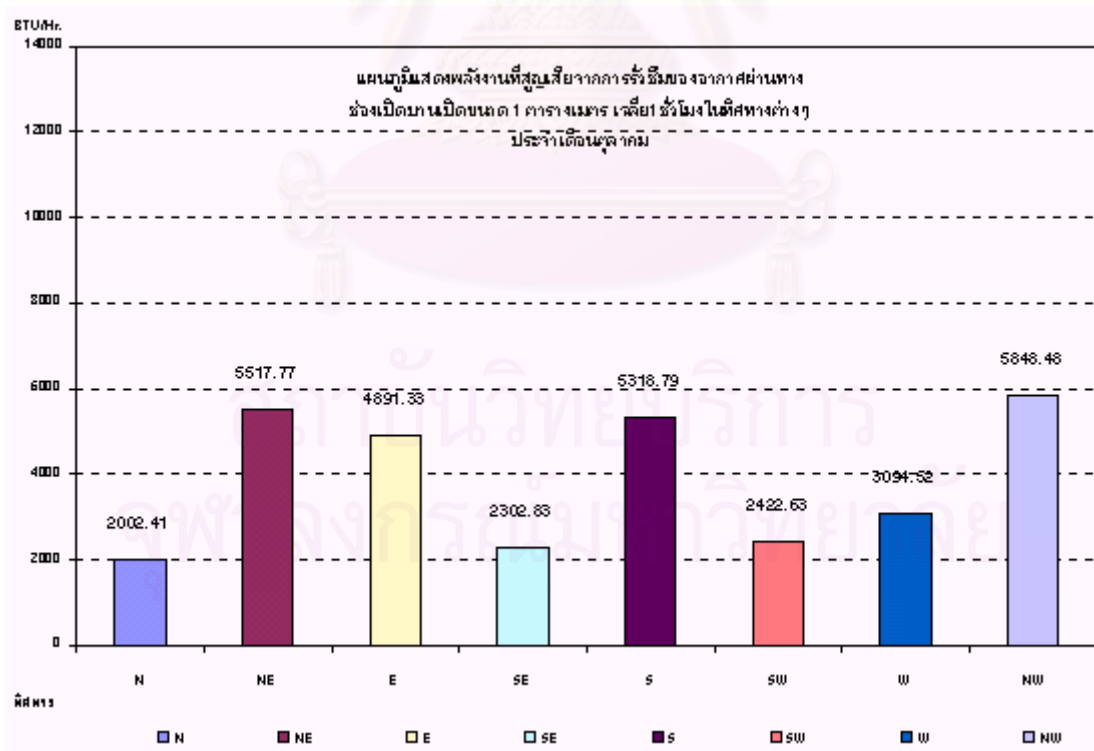
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 931.52888 | 4689.4317 | 4259.3826 | 0 | 3604.4934 | 0 | 10160.877 | 5533.8483 |
| 2:00 | 921.8052 | 4534.5737 | 5476.0837 | 4214.9214 | 3566.8682 | 0 | 0 | 4214.9214 |
| 3:00 | 599.31981 | 2878.7109 | 2878.7109 | 0 | 4173.6646 | 0 | 0 | 6625.1642 |
| 4:00 | 969.28186 | 6653.1405 | 3329.4844 | 0 | 2890.8669 | 0 | 5445.38 | 4191.2888 |
| 5:00 | 1030.5165 | 3641.7635 | 6438.8677 | 0 | 2797.7628 | 0 | 0 | 5664.6038 |
| 6:00 | 1205.0578 | 3398.4022 | 0 | 4015.8474 | 0 | 0 | 0 | 4921.2007 |
| 7:00 | 981.94676 | 4097.1593 | 2825.9427 | 0 | 0 | 0 | 4097.1593 | 4097.1593 |
| 8:00 | 1199.3094 | 4367.932 | 5674.8772 | 0 | 4367.932 | 0 | 4367.932 | 5027.44 |
| 9:00 | 2537.6193 | 5095.5863 | 6013.1384 | 6013.1384 | 6013.1384 | 4628.2903 | 0 | 5095.5863 |
| 10:00 | 2928.4463 | 5996.0426 | 6448.7441 | 6170.8201 | 7539.4799 | 3275.9917 | 0 | 6170.8201 |
| 11:00 | 4361.4379 | 6170.2997 | 7538.8441 | 0 | 5819.9538 | 0 | 7538.8441 | 5702.4426 |
| 12:00 | 4965.5057 | 6530.5428 | 7554.1039 | 7554.1039 | 9722.7202 | 8872.8136 | 3282.3459 | 7554.1039 |
| 13:00 | 4483.7506 | 6734.2224 | 5474.6391 | 0 | 6642.3784 | 8215.8831 | 0 | 7099.248 |
| 14:00 | 3140.1927 | 5932.7296 | 0 | 0 | 7223.3477 | 0 | 0 | 7491.1572 |
| 15:00 | 2507.6556 | 7355.7266 | 6020.424 | 0 | 8639.8059 | 3196.1487 | 4633.898 | 6359.0452 |
| 16:00 | 2485.0495 | 6542.2516 | 6086.515 | 0 | 7170.6216 | 6086.515 | 4684.768 | 6767.9689 |
| 17:00 | 1690.2058 | 7540.9193 | 0 | 5960.5778 | 6406.8846 | 5960.5778 | 0 | 3882.4452 |
| 18:00 | 1169.2878 | 6849.9481 | 0 | 0 | 5535.7495 | 0 | 5868.9871 | 5199.4042 |
| 19:00 | 2544.6969 | 8491.1888 | 5916.864 | 5916.864 | 3141.1704 | 5916.864 | 4554.1883 | 6905.8273 |
| 20:00 | 2031.6373 | 5254.7278 | 6375.5601 | 5931.4353 | 7885.8585 | 3148.906 | 4565.4038 | 7247.0006 |
| 21:00 | 2287.5431 | 5213.2351 | 10804.902 | 0 | 5884.5991 | 4529.3541 | 0 | 6760.2719 |
| 22:00 | 1827.0678 | 5749.2947 | 8250.7129 | 5093.3673 | 4872.0029 | 0 | 0 | 3052.2104 |
| 23:00 | 1259.0203 | 4396.7717 | 5712.3461 | 4396.7717 | 5712.3461 | 0 | 0 | 10488.623 |
| 0:00 | 0 | 4311.8548 | 4311.8548 | 0 | 8039.363 | 4311.8548 | 15068.661 | 4311.8548 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.56 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.57 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.11 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนตุลาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
ผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนตุลาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

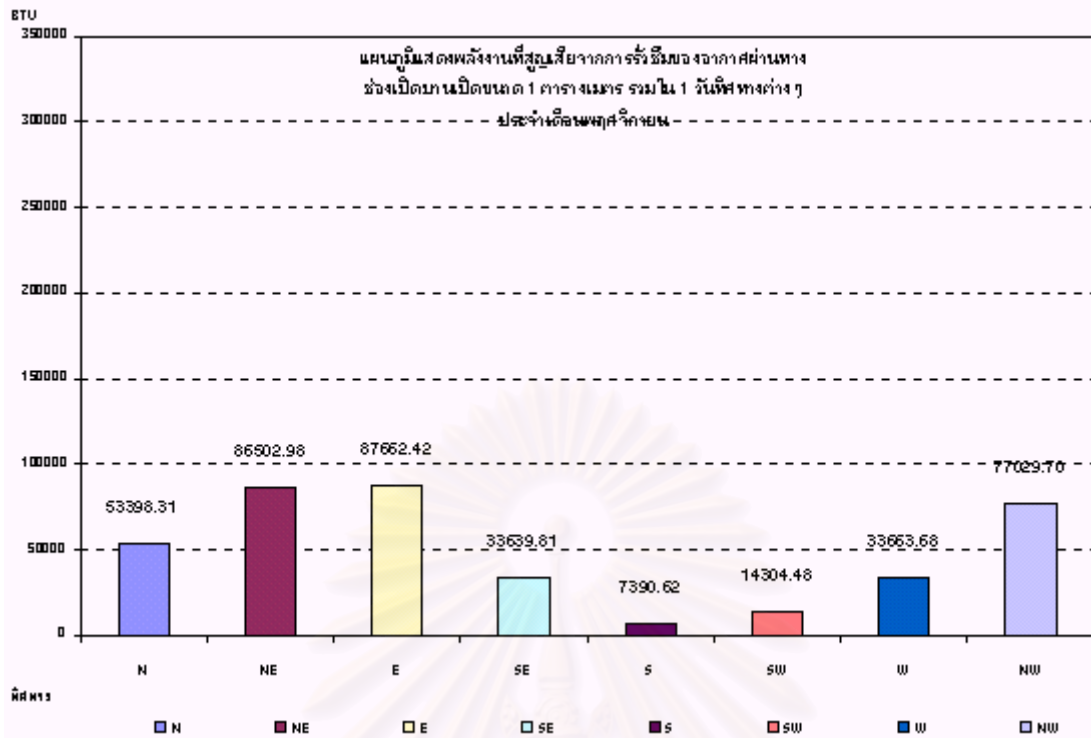
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนตุลาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนตุลาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 48057.88 | 2002.41 |
| NE | 132426.46 | 5517.77 |
| E | 117392.00 | 4891.33 |
| SE | 55267.85 | 2302.83 |
| S | 127651.01 | 5318.79 |
| SW | 58143.20 | 2422.63 |
| W | 74268.44 | 3094.52 |
| NW | 140363.64 | 5848.48 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 5848.48 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 140363.64 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 2002.41 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 48057.88 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

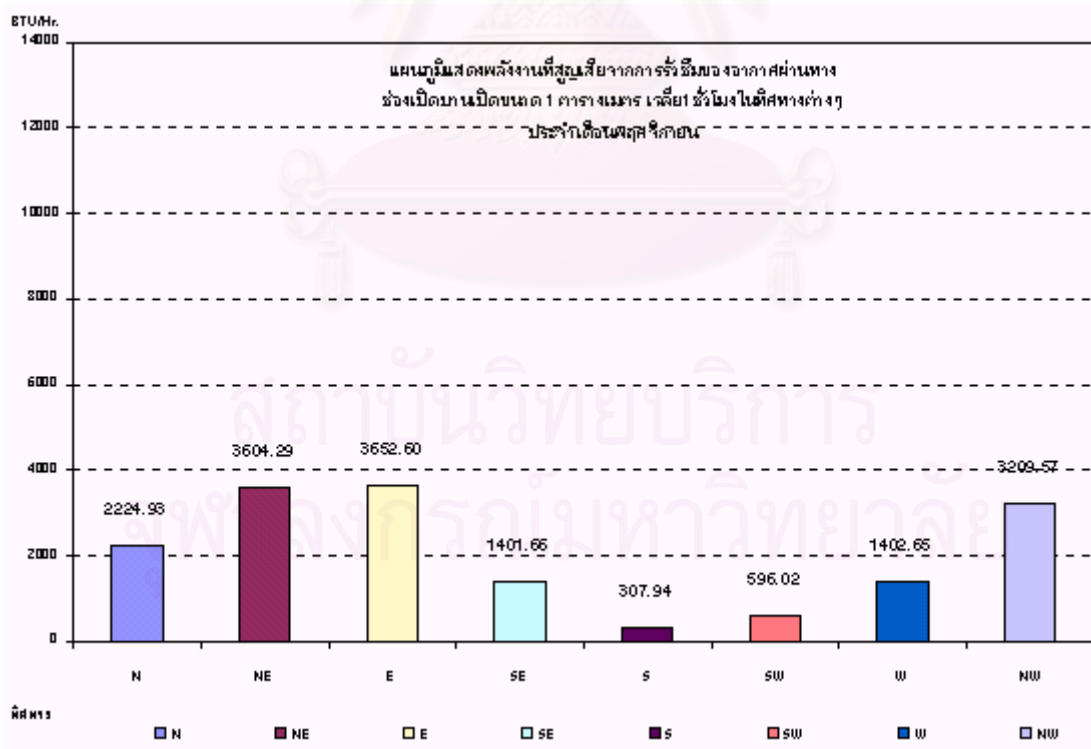
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนตุลาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 1626.3085 | 2853.9762 | 3904.4704 | 0 | 0 | 3005.2564 | 0 | 3005.2564 |
| 2:00 | 1418.4981 | 3268.3456 | 4211.9985 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2915.5329 |
| 3:00 | 996.00935 | 2626.1895 | 4312.3004 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 787.38089 | 2749.7047 | 4364.8081 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2749.7047 |
| 5:00 | 1099.975 | 2258.0474 | 5023.8478 | 0 | 0 | 0 | 3378.3442 | 0 |
| 6:00 | 1580.6046 | 2319.1756 | 4127.8925 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 692.28525 | 3649.5665 | 3081.4156 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2464.9127 |
| 8:00 | 2001.5612 | 3434.5476 | 3304.7428 | 0 | 0 | 2237.1058 | 0 | 0 |
| 9:00 | 2711.2656 | 3133.9786 | 4541.5856 | 0 | 2025.0269 | 0 | 0 | 2025.0269 |
| 10:00 | 2388.1737 | 3735.8391 | 4451.0699 | 642.2799 | 0 | 0 | 6698.0627 | 4990.4594 |
| 11:00 | 3180.44 | 4074.738 | 4250.0172 | 2256.2675 | 0 | 0 | 0 | 6099.1258 |
| 12:00 | 3077.3881 | 4969.2467 | 4381.6788 | 4381.6788 | 0 | 0 | 2326.1646 | 0 |
| 13:00 | 4324.4346 | 4712.5039 | 6205.921 | 4324.4346 | 0 | 0 | 2295.7746 | 5283.5745 |
| 14:00 | 3532.0686 | 4837.2663 | 4935.9104 | 5423.4559 | 0 | 0 | 5423.4559 | 4688.592 |
| 15:00 | 3022.4893 | 4640.3185 | 5920.6465 | 5669.52 | 0 | 0 | 0 | 4640.3185 |
| 16:00 | 2924.9253 | 4886.5235 | 4546.1258 | 6524.0661 | 0 | 0 | 4546.1258 | 4546.1258 |
| 17:00 | 2637.1584 | 3841.2733 | 3607.1029 | 4418.1069 | 0 | 0 | 0 | 4418.1069 |
| 18:00 | 2327.2697 | 3374.1642 | 0 | 0 | 0 | 3374.1642 | 4383.7604 | 4383.7604 |
| 19:00 | 2631.4332 | 2840.4647 | 2315.1137 | 0 | 0 | 3356.5399 | 0 | 3099.6567 |
| 20:00 | 2785.4526 | 3173.4058 | 0 | 0 | 5365.5959 | 2331.4138 | 0 | 4391.5665 |
| 21:00 | 2210.6853 | 3023.5829 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2322.8493 | 4621.5321 |
| 22:00 | 2239.1836 | 3984.9959 | 4311.945 | 0 | 0 | 0 | 2289.144 | 3820.0024 |
| 23:00 | 1580.8338 | 5157.6813 | 2749.6219 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4537.4781 |
| 0:00 | 1622.4865 | 2957.4417 | 3114.2063 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4348.9712 |

ตารางที่ 4.23 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.58 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.59 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.12 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนพฤศจิกายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
ผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนพฤศจิกายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 53398.31 | 2224.93 |
| NE | 86502.98 | 3604.29 |
| E | 87662.42 | 3652.60 |
| SE | 33639.81 | 1401.66 |
| S | 7390.62 | 307.94 |
| SW | 14304.48 | 596.02 |
| W | 33663.68 | 1402.65 |
| NW | 77029.70 | 3209.57 |

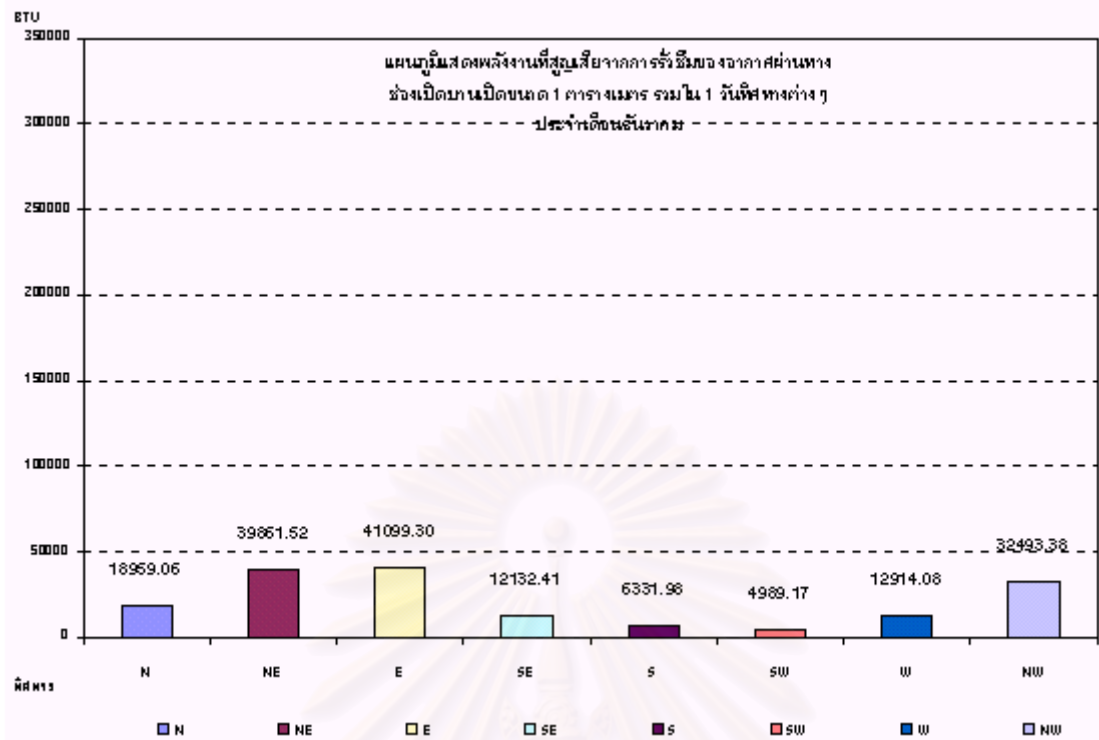
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออก มีค่าเท่ากับ 3604.29 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 87662.42 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 307.64 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 7390.62 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนพฤศจิกายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

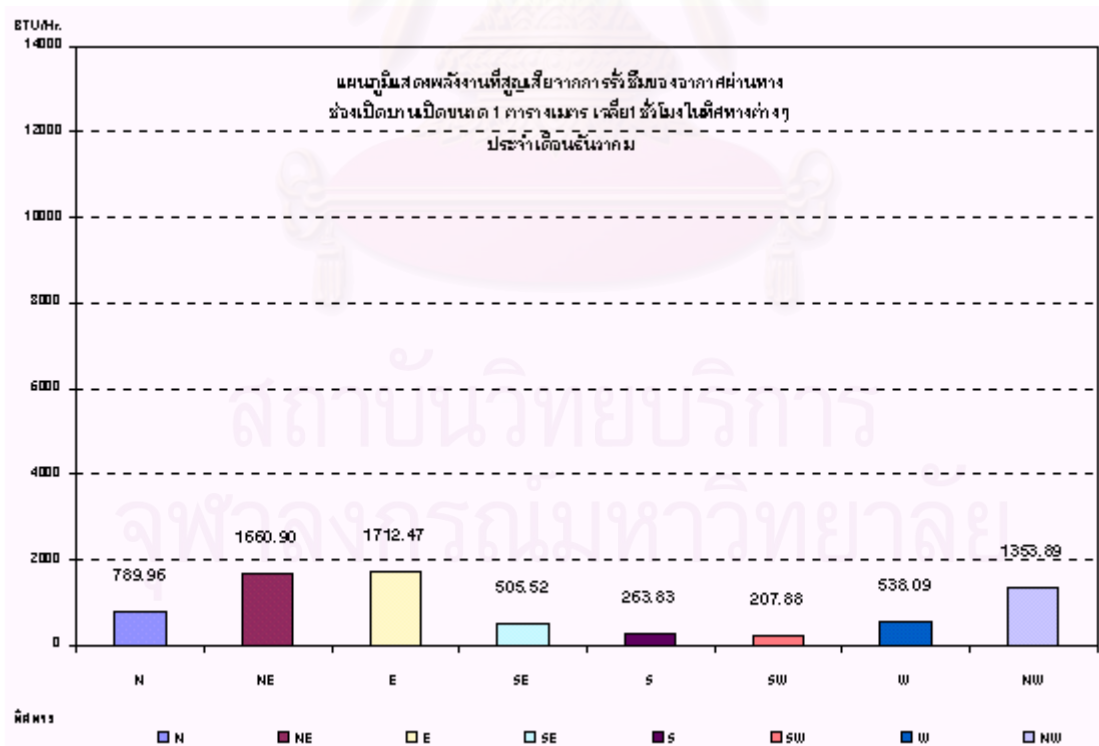
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 196.77237 | 1280.883 | 2560.3399 | 1280.883 | 0 | 0 | 0 | 1474.2818 |
| 2:00 | 238.67892 | 962.93374 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 321.59034 | 1259.2453 | 1007.3064 | 0 | 0 | 1007.3064 | 0 | 1007.3064 |
| 4:00 | 295.10856 | 1237.6707 | 1094.5296 | 0 | 0 | 0 | 0 | 628.74242 |
| 5:00 | 249.71644 | 1281.8561 | 1046.4655 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 155.67971 | 864.58142 | 684.86264 | 0 | 0 | 0 | 472.37182 | 0 |
| 7:00 | 260.42464 | 1158.0152 | 1006.1048 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1307.1452 |
| 8:00 | 380.89552 | 954.19187 | 814.73223 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 535.99764 | 1140.9028 | 1466.3439 | 1093.425 | 39.400988 | 39.400988 | 39.400988 | 39.400988 |
| 10:00 | 1608.3693 | 1501.0338 | 1519.0017 | 1714.6198 | 0 | 0 | 1319.7365 | 1319.7365 |
| 11:00 | 967.77744 | 2383.5789 | 2322.7777 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1728.3093 |
| 12:00 | 1431.5915 | 1955.7272 | 2762.0004 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1656.1996 |
| 13:00 | 1543.4095 | 2522.636 | 2782.0708 | 2346.9079 | 0 | 0 | 0 | 2079.1531 |
| 14:00 | 1629.6787 | 1902.5386 | 2748.5506 | 2471.8043 | 2189.8003 | 0 | 0 | 2331.4567 |
| 15:00 | 1791.7448 | 2808.921 | 1719.1662 | 3224.7748 | 0 | 2031.5161 | 2639.3737 | 2398.9207 |
| 16:00 | 1606.4815 | 2267.0252 | 2921.572 | 0 | 0 | 0 | 2022.3035 | 2428.184 |
| 17:00 | 1451.6231 | 2705.53 | 3033.3916 | 0 | 0 | 1910.9502 | 0 | 2026.9932 |
| 18:00 | 1063.1799 | 2213.161 | 2346.3875 | 0 | 0 | 0 | 2078.6921 | 1528.3285 |
| 19:00 | 802.38852 | 1783.9754 | 3081.4751 | 0 | 1783.9754 | 0 | 2831.8352 | 2317.7654 |
| 20:00 | 633.20623 | 2318.8062 | 0 | 0 | 2318.8062 | 0 | 1510.3633 | 2833.1069 |
| 21:00 | 665.65297 | 1134.5985 | 1134.5985 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1644.9841 |
| 22:00 | 537.94205 | 1047.5725 | 1748.1336 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1285.2901 |
| 23:00 | 396.96195 | 1906.0701 | 1403.8522 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1188.007 |
| 0:00 | 194.18827 | 1270.0681 | 1895.6358 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1270.0681 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.24 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.60 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.61 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเปิดขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.2.13 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนธันวาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเปิด เดือนธันวาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดรวมใน 1 วัน เดือนธันวาคม พ.ศ.2538 (ปีที्่यू ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเปิดเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนธันวาคม พ.ศ.2538 (ปีที्่यू ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 18959.06 | 789.96 |
| NE | 39861.52 | 1660.90 |
| E | 41099.30 | 1712.47 |
| SE | 12132.41 | 505.52 |
| S | 6331.98 | 263.83 |
| SW | 4989.17 | 207.88 |
| W | 12914.08 | 538.09 |
| NW | 32493.38 | 1353.89 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออก มีค่าเท่ากับ 1712.47 ปีที्่यूต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 41099.30 ปีที्่यूต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตกใต้ มีค่าเท่ากับ 207.88 ปีที्่यूต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 4989.17 ปีที्่यूต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนธันวาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

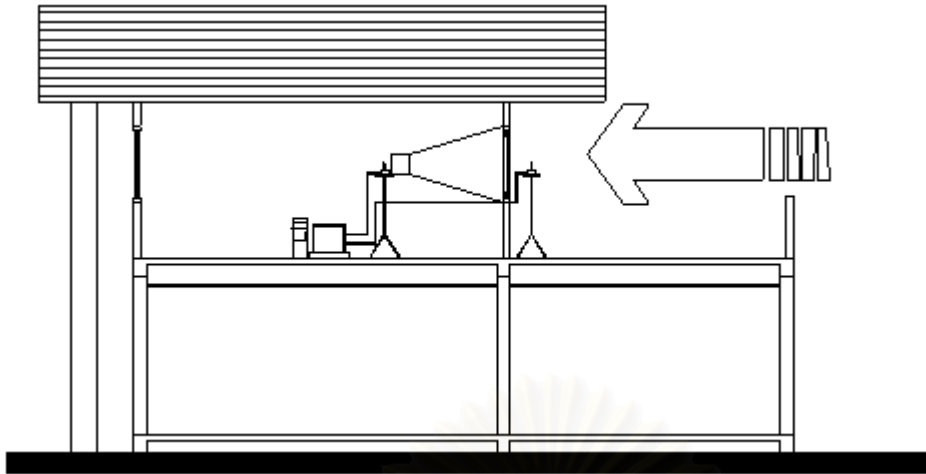
จากข้อมูลที่ได้พิจารณามาทั้งหมดโดยตลอดทั้งปีจะเห็นได้ว่าการออกแบบอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศจะสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาทิศทางและขนาดของช่องเปิดด้วยเป็นปัจจัยหนึ่ง ข้อมูลที่ได้รับแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการออกแบบอาคารเพื่อลดการรั่วซึมของอากาศ โดยเลือกใช้ช่องเปิดแบบบานเปิดนั้น ควรที่จะหลีกเลี่ยงทิศใต้เป็นลำดับเนื่องจากมีอัตราการสูญเสียพลังงานมากที่สุดตลอดทั้งปี

4.3 อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน

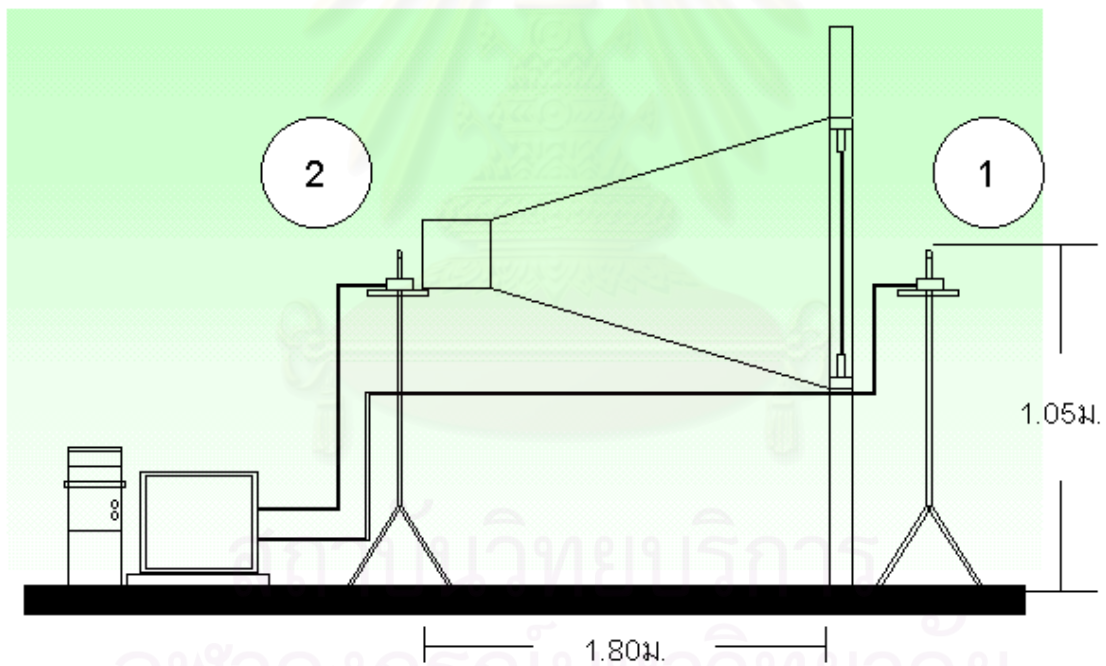
การทดลองนี้เพื่อพิจารณาถึงปริมาณการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเลื่อน ที่นิยมใช้ในอาคารประเภทบ้านพักอาศัย และประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางบานเลื่อนตลอดทั้งปี รวมถึงพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกใช้ช่องเปิดชนิดนี้ในอาคารที่มีการปรับอากาศต่อไป

ผลการทดลองจะประกอบไปด้วย

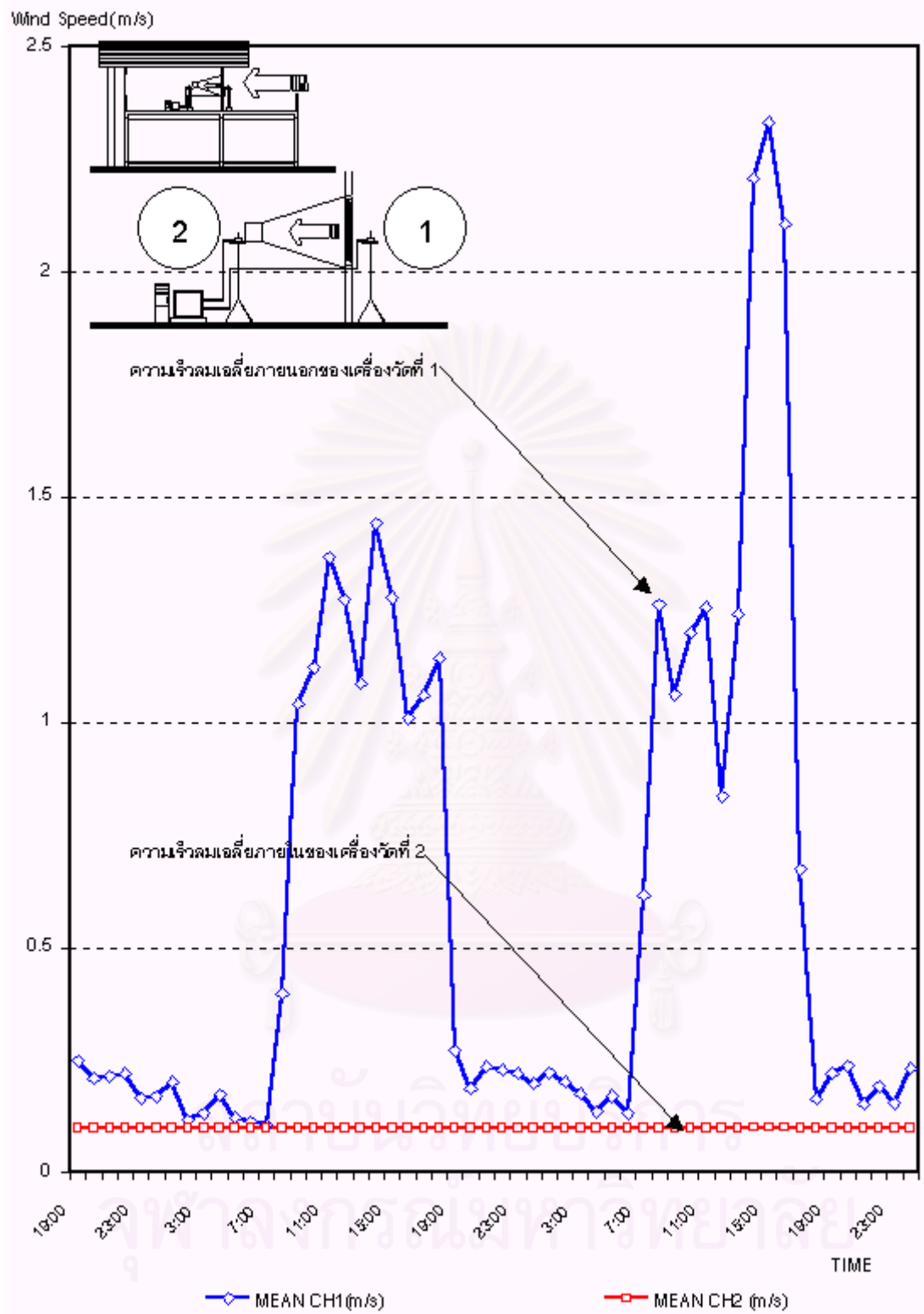
1. ความเร็วลมภายนอกที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมที่รั่วซึมคิดค่าเป็นความเร็วเมตรต่อวินาที
2. ผลของการรั่วซึมของอากาศ คิดเป็นค่า ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
3. สมการที่ใช้ในการทำนายหรือประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
4. ผลการประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯประจำปี พ.ศ.2538 ตามทิศทางตลอดช่วงเวลา 1 วันซึ่งเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ
5. ผลการประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯประจำปี พ.ศ.2538 ตามทิศทางเฉลี่ยช่วงเวลา 1 ชั่วโมงซึ่งเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ



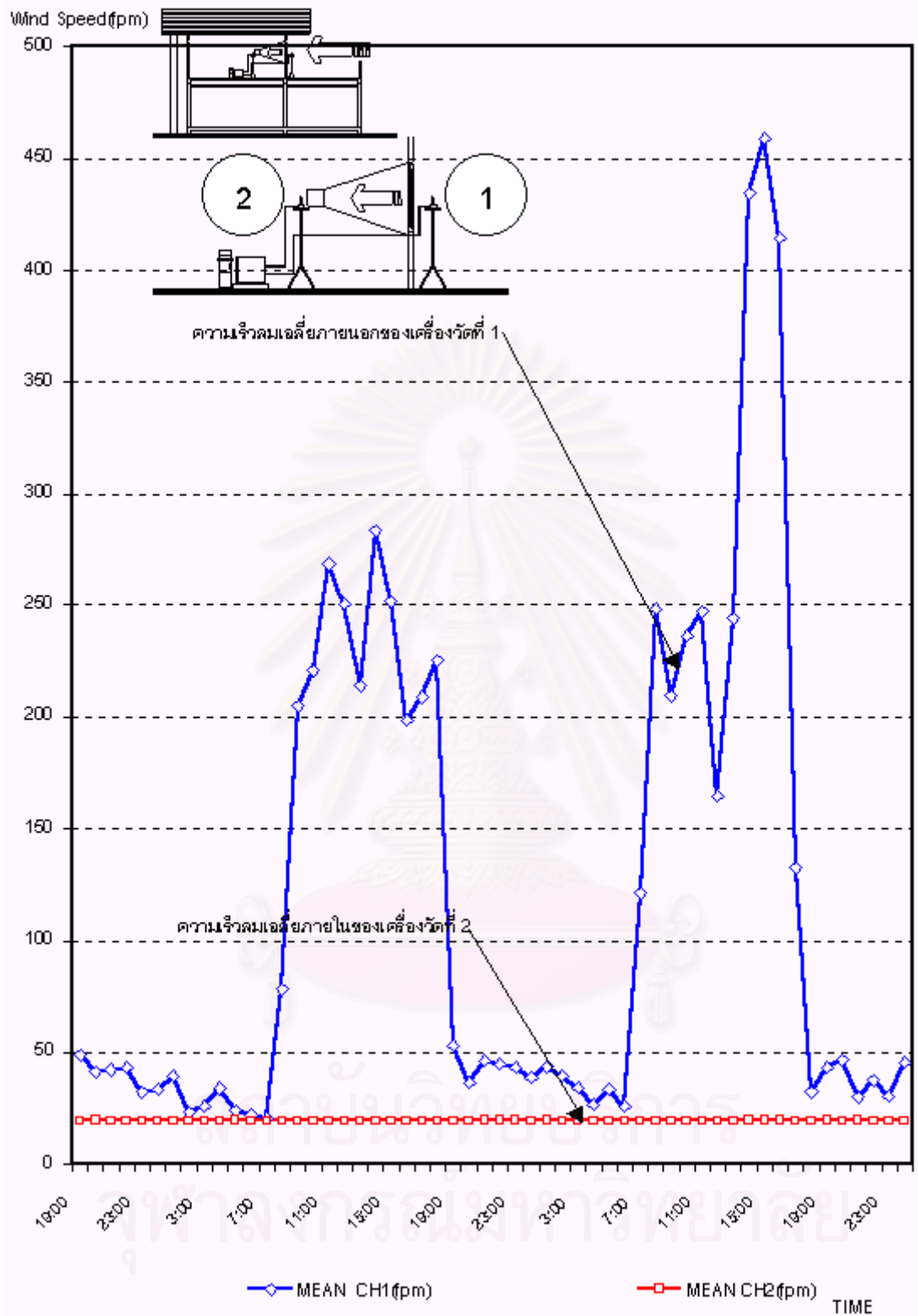
รูปภาพที่ 4.5 แสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกับสถานที่ทดลองการวัดการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดแบบบานเลื่อน



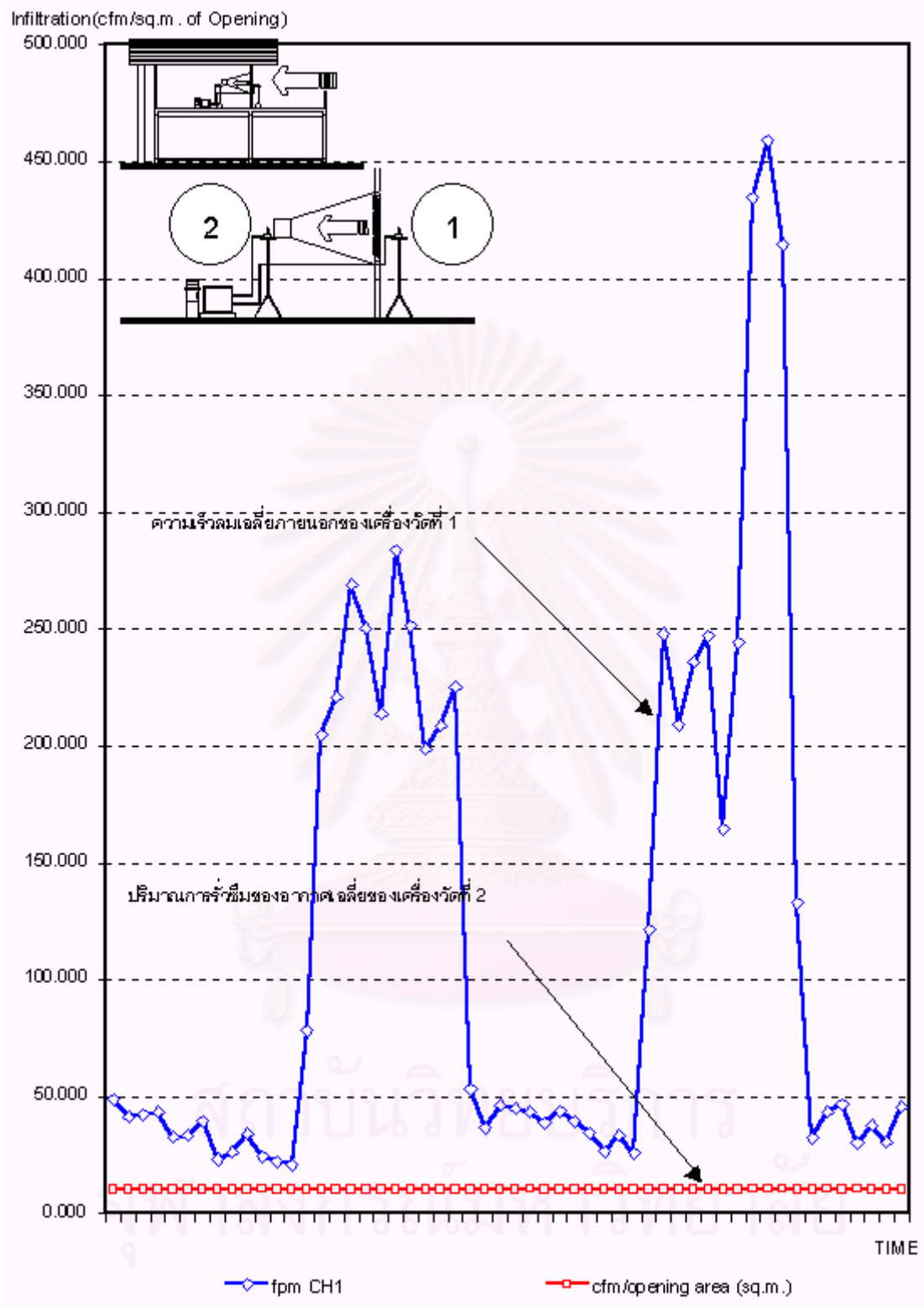
รูปภาพที่ 4.6 แสดงแบบขยายการติดตั้งชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับช่องเปิดแบบบานเลื่อน



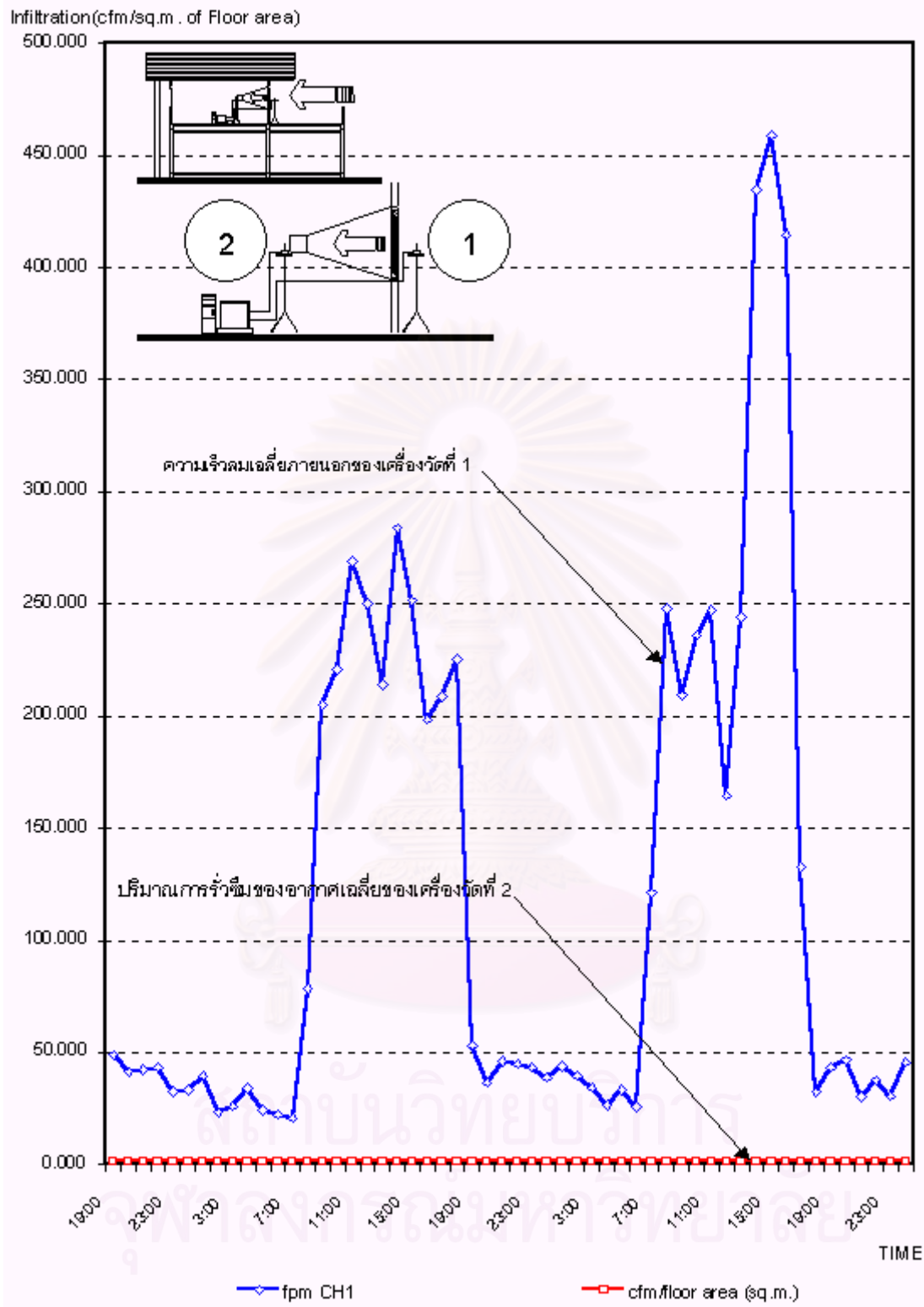
แผนภูมิที่ 4.62 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์ภายนอกกับความเร็วมอเตอร์ภายในที่เกิดขึ้นของช่องเปิดบานเลื่อนวันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544



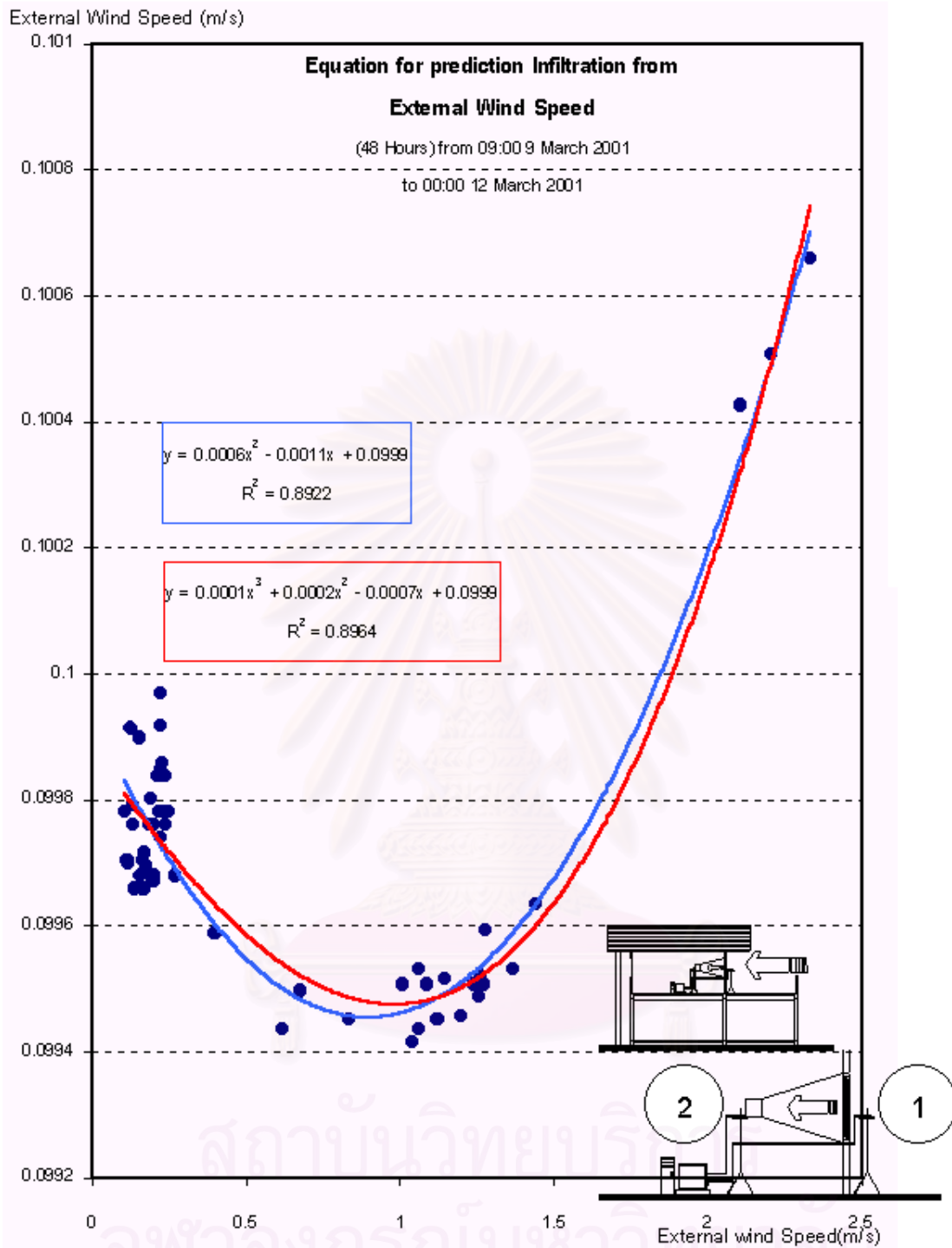
แผนภูมิที่ 4.63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิด บานเลื่อนวันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544



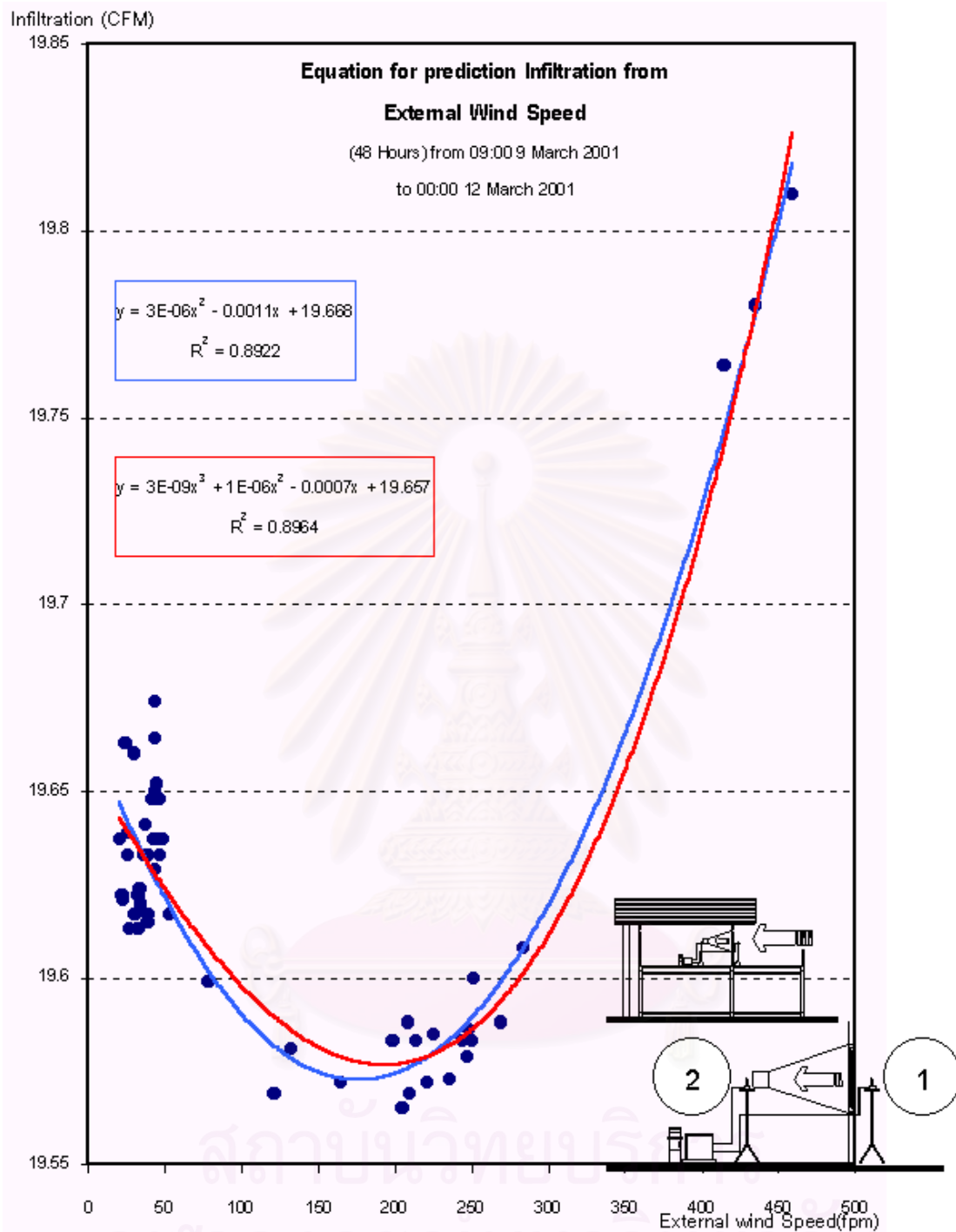
แผนภูมิที่ 4.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ช่องเปิดบานเลื่อน 1 ตารางเมตรวันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544



แผนภูมิที่ 4.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมวลภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร 1 ตารางเมตร วันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544



แผนภูมิที่ 4.66 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเลื่อน มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที วันที่ 9 -12 มีนาคม พ.ศ.2544



แผนภูมิที่ 4.67 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดบานเลื่อน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาทีวันที่ 9-12 มีนาคม พ.ศ.2544

4.3.1 สรุปผลการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดเลื่อนเปิดขณะปิด

จากผลการทดลองการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเลื่อนขนาด กว้าง 1.56 เมตรและสูง 1.20 เมตร พื้นที่เท่ากับ 1.872 ตารางเมตรและพื้นที่ห้องที่ทำการทดลองขนาด กว้าง 3.46 เมตร ยาว 4.0 เมตรพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 13.84 ตารางเมตร ได้ผลวิเคราะห์ในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

ลักษณะการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน อากาศสามารถที่จะรั่วซึมเข้าได้ถึง ประมาณร้อยละ 8.73 ของความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายนอกเมื่อนำมาคูณกับพื้นที่หน้าตัดเพื่อที่จะหาอัตราการไหลก็สามารถสรุปผลออกมาได้ ดังแผนภูมิที่ 4.86ถึงแผนภูมิที่ 4.89 อัตราการรั่วซึมของอากาศเมื่อมีค่าสูงสุดมีค่าสูงถึงประมาณ 33 CFMต่อชั่วโมง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาทำการคำนวณทางสถิติโดยใช้วิธีการทางสมการถดถอยลักษณะเป็น เส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรงเพื่อทำนายค่าการรั่วซึมของอากาศที่เกิดขึ้นจากความเร็วลมภายนอกจะ พบว่า ลักษณะของสมการมีความเป็นสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงมากกว่า(Non-Linear Regression Equation) ดังนั้นในการคำนวณเพื่อที่จะประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538จึงเลือกใช้สมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง ดังนี้

$$Y = 3E-06X^2 - 0.0011X + 19.668$$

$$R^2 = 0.8922$$

หรือเมื่อคำนวณเพื่อหาสมการต่อพื้นที่ช่องเปิดบานเลื่อน 1 ตารางเมตรจะเท่ากับ

$$Y = 2E-06X^2 - 0.0006X + 10.506$$

$$R^2 = 0.8922$$

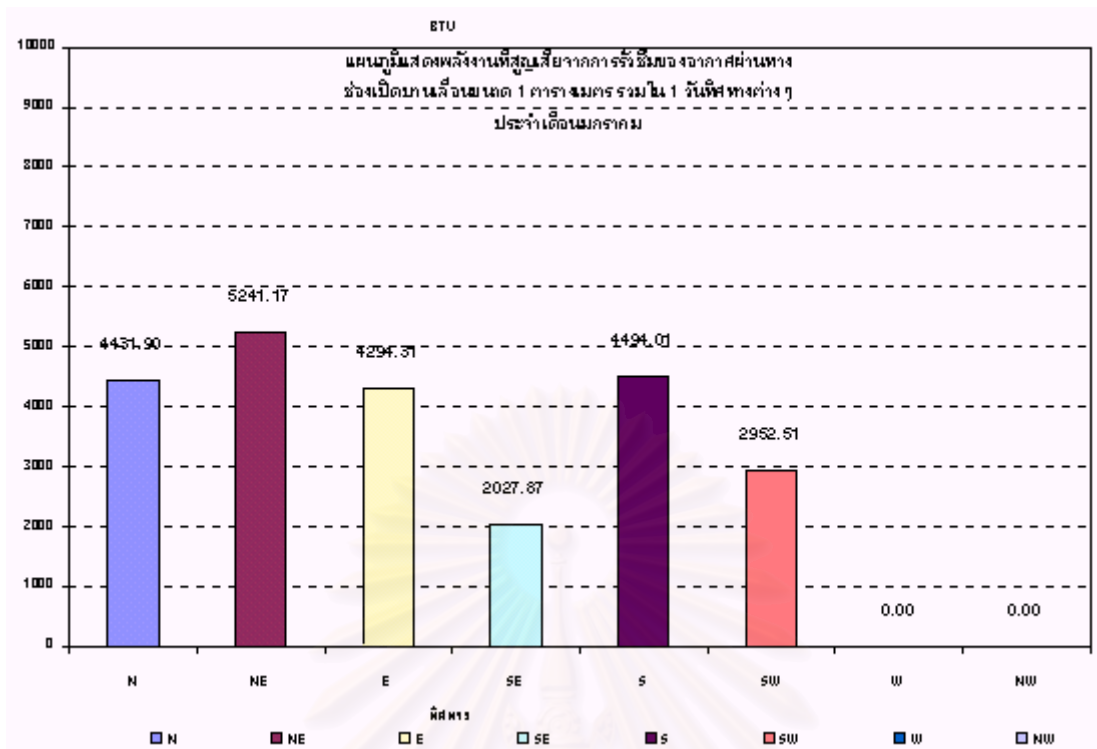
ในการคำนวณนี้ไม่นำสมการที่มีกำลัง 3 มาใช้เนื่องจาก ยากแก่การคำนวณและตรวจสอบ อีกทั้งรูปแบบของสมการมีความไม่เหมาะสมมากกว่าและค่า ความเชื่อมั่นทางสถิติก็สูงกว่ากันเพียงไม่ มาก ดังนั้นการเลือกใช้สมการแบบกำลัง 2 จึงมีความเหมาะสมกว่าในการคำนวณ

เมื่อได้สมการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศสำหรับช่องเปิดบานเลื่อนแล้ว จึงนำสมการที่ได้มาคำนวณการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี โดยมีค่าเฉลี่ยใน 1 วันเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆมาใช้ในการคำนวณค่าพลังงานต่อไป

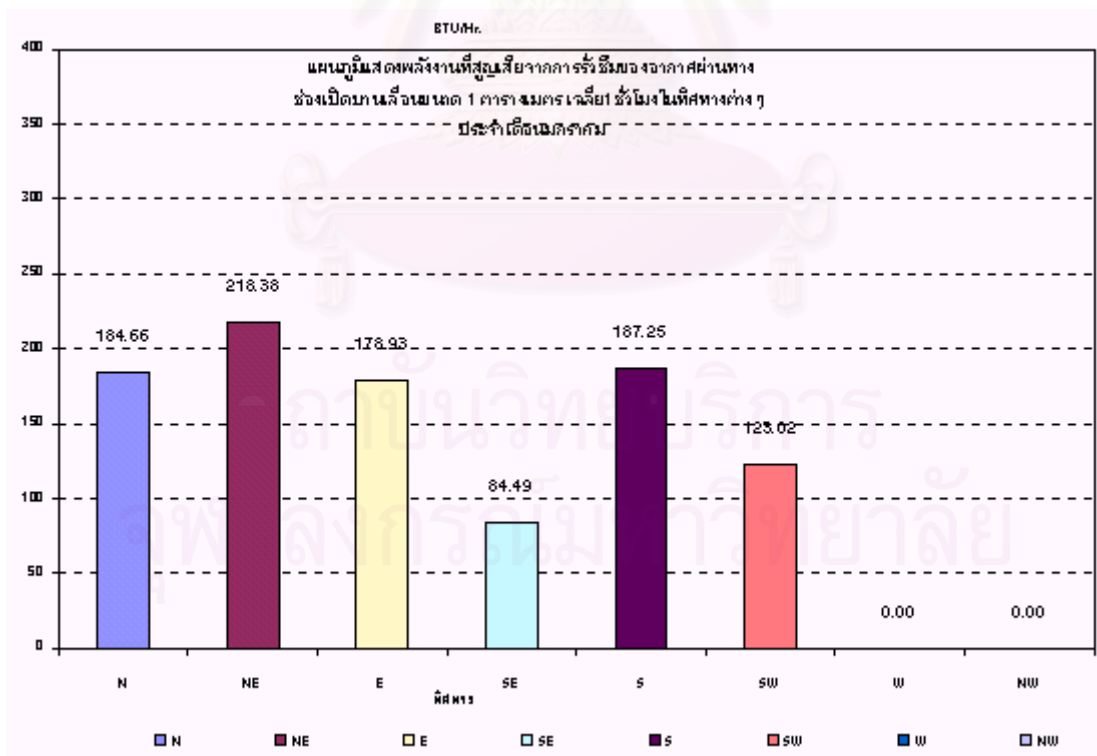
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| 1:00 | 214.99716 | 217.51369 | 219.99106 | 0 | 217.51369 | 0 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 211.77487 | 209.39002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 199.0195 | 0 | 198.54656 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 178.66923 | 0 | 180.71824 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 167.86287 | 169.72739 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 152.14322 | 151.87742 | 152.67991 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 197.35056 | 0 | 197.75817 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 228.14111 | 230.89385 | 230.89385 | 0 | 236.86652 | 227.7737 | 0 | 0 |
| 10:00 | 260.60438 | 266.05272 | 268.89525 | 0 | 267.35502 | 264.34426 | 0 | 0 |
| 11:00 | 264.03144 | 275.71185 | 271.62953 | 263.50339 | 270.73816 | 264.07192 | 0 | 0 |
| 12:00 | 346.48323 | 351.31533 | 367.93888 | 351.31533 | 352.52853 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 276.11227 | 284.46271 | 282.69885 | 280.01817 | 278.19377 | 283.20744 | 0 | 0 |
| 14:00 | 264.56316 | 268.46981 | 267.78488 | 270.83482 | 270.83482 | 265.56201 | 0 | 0 |
| 15:00 | 282.35634 | 289.46443 | 294.23204 | 287.79424 | 285.26908 | 0 | 0 | 0 |
| 16:00 | 290.37257 | 295.62362 | 289.90494 | 0 | 291.19563 | 293.8762 | 0 | 0 |
| 17:00 | 302.8848 | 304.44742 | 314.37096 | 302.30291 | 302.30291 | 0 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 303.16803 | 0 | 0 | 319.65442 | 306.34842 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 300.96282 | 302.33437 | 0 | 301.75773 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 282.66292 | 283.0224 | 0 | 0 | 282.12675 | 285.99146 | 0 | 0 |
| 21:00 | 271.30027 | 273.13465 | 0 | 272.10178 | 270.08886 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 268.45389 | 0 | 0 | 268.45389 | 268.45389 | 0 | 0 |
| 23:00 | 252.34727 | 256.57195 | 0 | 0 | 258.12388 | 253.09853 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0 | 238.52175 | 244.54299 | 0 | 238.52175 | 239.78205 | 0 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.68 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.69 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.2 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนมกราคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนมกราคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนมกราคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมกราคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 4431.90 | 184.66 |
| NE | 5241.17 | 218.38 |
| E | 4294.31 | 178.93 |
| SE | 2027.87 | 84.49 |
| S | 4494.01 | 187.25 |
| SW | 2952.51 | 123.02 |
| W | 0.00 | 0.00 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

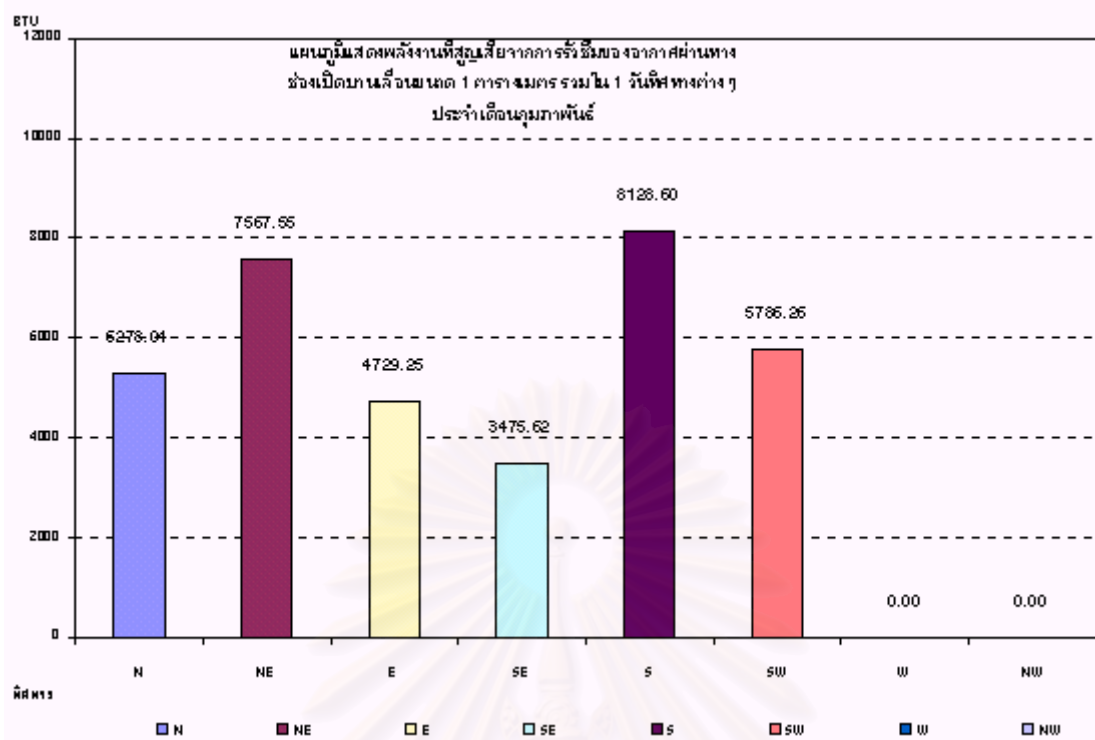
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 218.38 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 5241.17 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 84.49 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 2027.87 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมกราคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

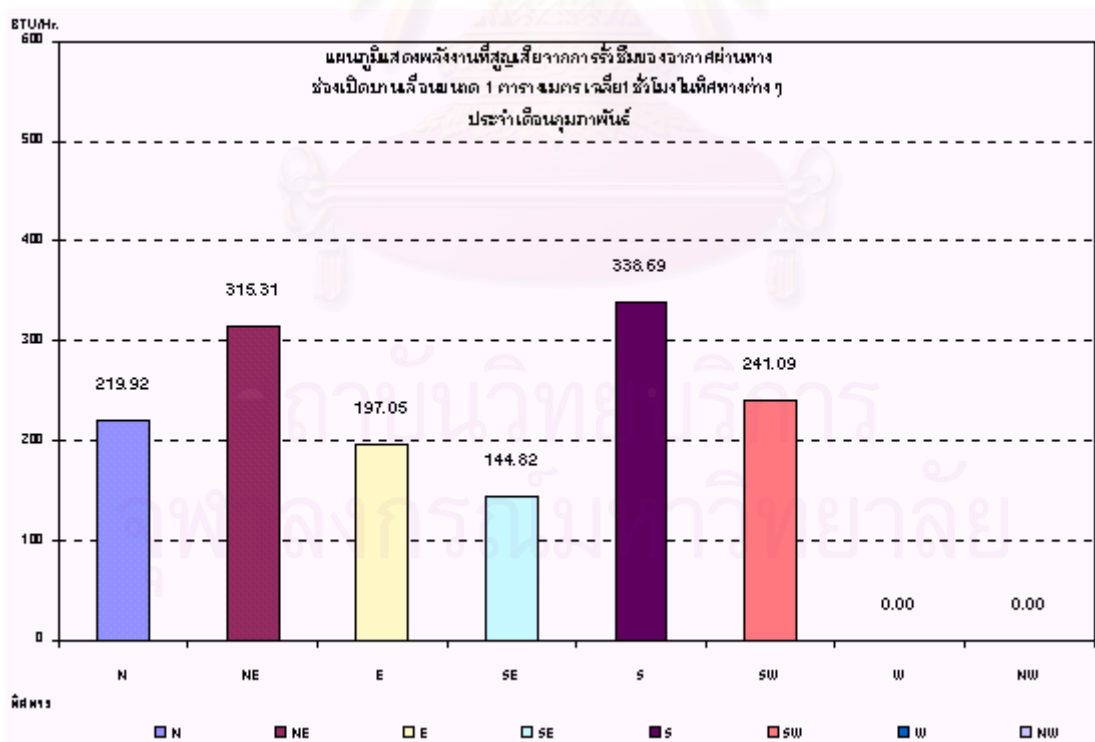
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| 1:00 | 309.35555 | 317.1355 | 0 | 0 | 310.35521 | 312.14166 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 306.47835 | 0 | 0 | 298.33961 | 294.71328 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 284.00278 | 0 | 280.15801 | 279.70808 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 272.47318 | 0 | 0 | 269.80479 | 271.03435 | 0 | 0 |
| 5:00 | 254.18551 | 257.17632 | 0 | 254.05958 | 257.17632 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 243.81536 | 243.33008 | 268.32853 | 0 | 243.33008 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 241.92597 | 253.13826 | 242.72021 | 0 | 241.98784 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 278.90551 | 284.55114 | 300.6085 | 0 | 279.57021 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 331.47667 | 335.70581 | 343.46659 | 331.23963 | 333.70829 | 0 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0 | 372.49441 | 380.03713 | 0 | 362.07707 | 364.21764 | 0 | 0 |
| 11:00 | 0 | 489.80925 | 475.62292 | 0 | 457.87879 | 463.0938 | 0 | 0 |
| 12:00 | 376.80731 | 411.27459 | 382.37643 | 0 | 383.69689 | 381.18716 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 402.52483 | 398.98757 | 385.76926 | 388.8748 | 382.567 | 0 | 0 |
| 14:00 | 381.12099 | 394.16907 | 399.25466 | 0 | 389.16231 | 389.16231 | 0 | 0 |
| 15:00 | 376.66916 | 383.39236 | 0 | 377.97841 | 382.38221 | 389.59521 | 0 | 0 |
| 16:00 | 363.07076 | 363.07076 | 378.84045 | 0 | 361.27438 | 367.20596 | 0 | 0 |
| 17:00 | 361.07831 | 364.31334 | 0 | 0 | 364.74022 | 364.54735 | 0 | 0 |
| 18:00 | 367.99247 | 368.71225 | 0 | 0 | 369.13956 | 376.82375 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 375.37859 | 432.19322 | 393.99845 | 373.67772 | 377.5978 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 385.94369 | 0 | 380.49687 | 376.68403 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 359.77587 | 0 | 368.3659 | 366.85812 | 363.28151 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 356.80344 | 356.56168 | 358.44568 | 362.69421 | 360.42869 | 377.14515 | 0 | 0 |
| 23:00 | 341.2944 | 345.91548 | 0 | 0 | 344.23656 | 342.00898 | 0 | 0 |
| 0:00 | 333.76567 | 0 | 0 | 342.36405 | 337.08177 | 333.21527 | 0 | 0 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.26 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.70 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.71 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.3 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนกุมภาพันธ์

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนกุมภาพันธ์สามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

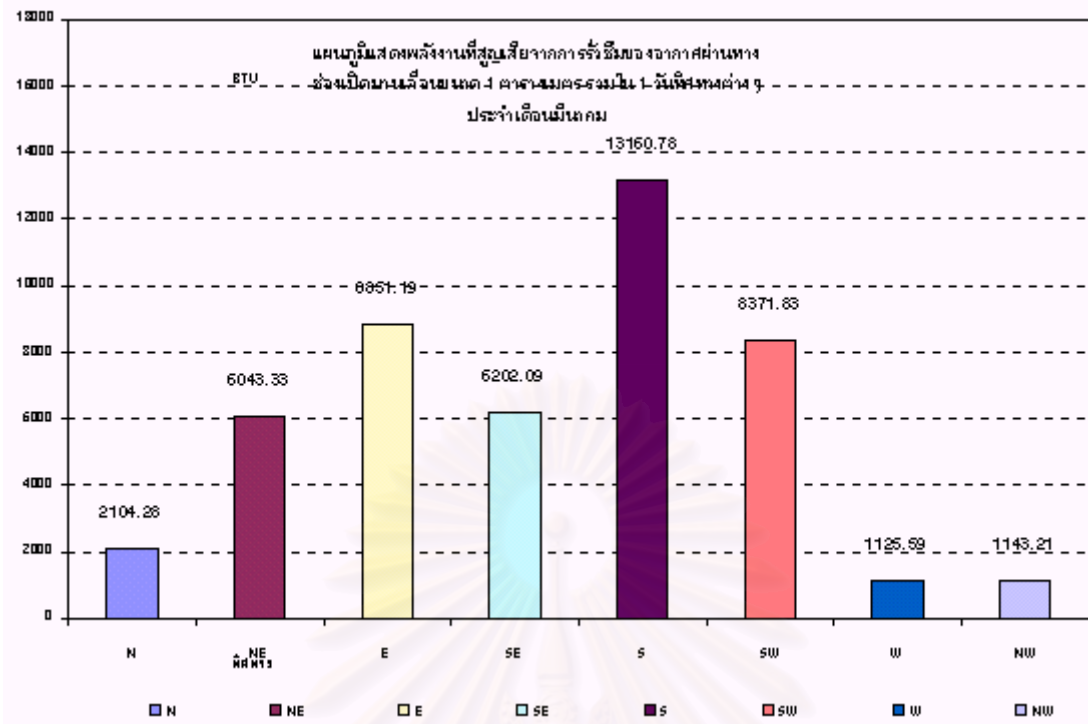
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 5278.04 | 219.92 |
| NE | 7567.55 | 315.31 |
| E | 4729.25 | 197.05 |
| SE | 3475.62 | 144.82 |
| S | 8128.60 | 338.69 |
| SW | 5786.26 | 241.09 |
| W | 0.00 | 0.00 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 338.69 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 8128.60 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 144.82 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 3475.62 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

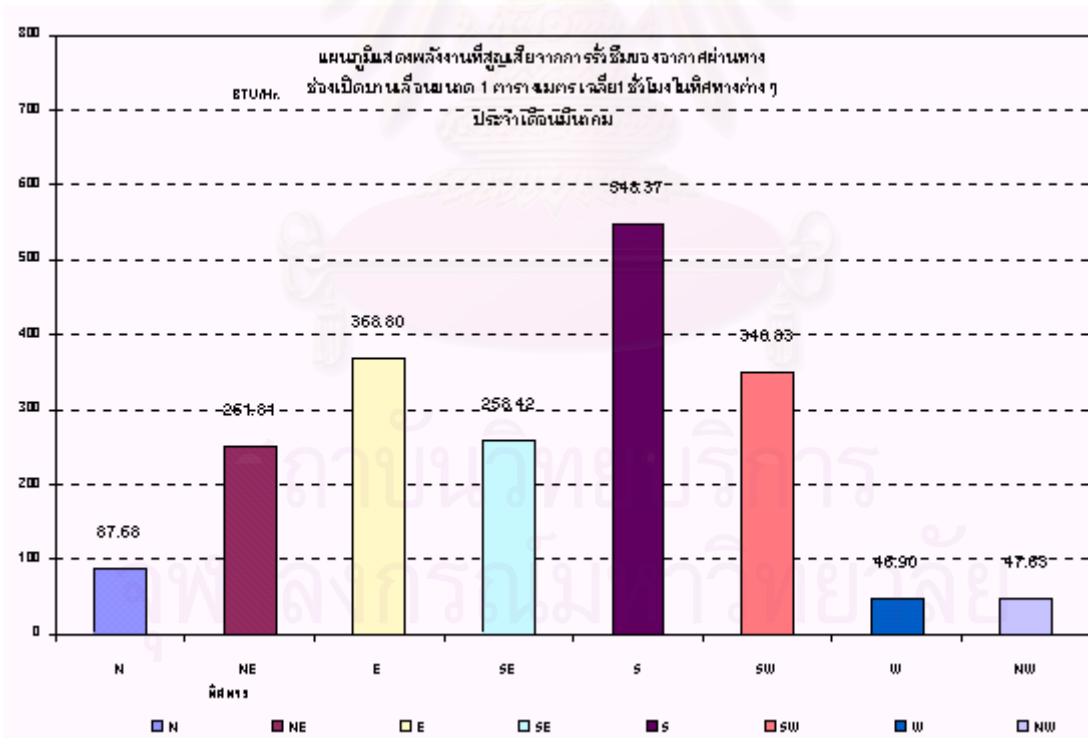
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกุมภาพันธ์นอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 580.78591 | 546.10667 | 0 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 538.63764 | 0 | 536.84979 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 531.23076 | 531.23076 | 0 | 529.57852 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 509.68864 | 0 | 516.0825 | 0 | 512.19578 | 521.96043 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 512.55203 | 514.88785 | 0 | 509.42098 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 508.88918 | 524.43202 | 0 | 506.62945 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 489.94245 | 501.27495 | 495.62997 | 0 | 488.52566 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 539.26438 | 560.07132 | 541.41704 | 0 | 543.47222 | 540.15136 | 0 | 0 |
| 9:00 | 565.38037 | 579.90878 | 588.21018 | 573.37828 | 571.07804 | 568.61869 | 0 | 565.63001 |
| 10:00 | 0 | 0 | 580.00075 | 584.16187 | 576.36384 | 0 | 0 | 577.58347 |
| 11:00 | 0 | 568.25537 | 575.56625 | 565.25461 | 563.58425 | 565.25461 | 565.25461 | 0 |
| 12:00 | 0 | 563.00865 | 567.65489 | 569.42104 | 567.90056 | 566.45991 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 592.7977 | 574.59242 | 563.40583 | 572.91205 | 579.88093 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 570.55447 | 560.33262 | 560.33262 | 564.39489 | 566.71453 | 560.33262 | 0 |
| 15:00 | 0 | 554.78941 | 0 | 550.18412 | 555.91605 | 569.14046 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 548.32943 | 555.84071 | 560.89268 | 559.87042 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 566.87294 | 572.22422 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 564.97463 | 0 | 558.11943 | 555.32925 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 556.23464 | 548.47085 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 558.59685 | 558.03888 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 629.20656 | 552.64237 | 552.64237 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 546.67951 | 556.18257 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 559.2699 | 557.22651 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 548.03581 | 542.484 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.27 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.72 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.73 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.4 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนมีนาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนมีนาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

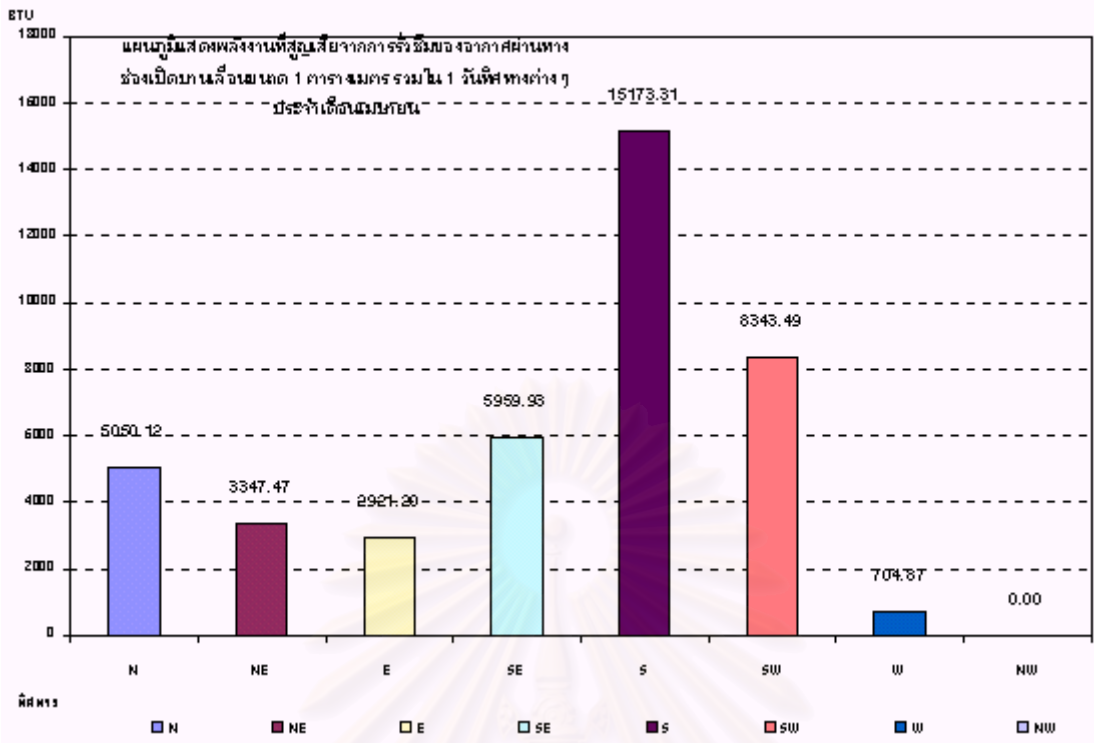
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนมีนาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมีนาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 2104.28 | 87.68 |
| NE | 6043.33 | 251.81 |
| E | 8851.19 | 368.80 |
| SE | 6202.09 | 258.42 |
| S | 13160.78 | 548.37 |
| SW | 8371.83 | 348.83 |
| W | 1125.59 | 46.90 |
| NW | 1143.21 | 47.63 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 368.80 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 13160.78 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 46.90 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 1125.59 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

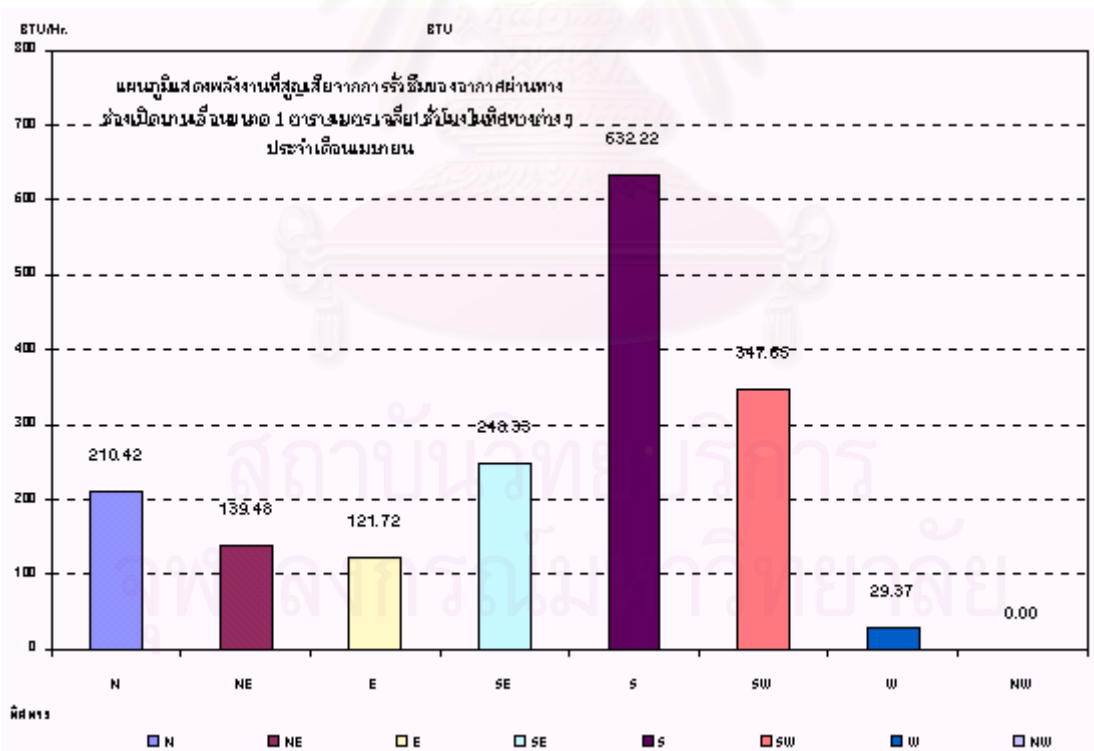
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมีนาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|
| 1:00 | 619.13641 | 0 | 0 | 0 | 626.89403 | 625.1397 | 0 | 0 |
| 2:00 | 614.17694 | 0 | 0 | 0 | 617.75142 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 609.37937 | 0 | 0 | 616.43374 | 608.10364 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 612.70641 | 609.92683 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 601.94015 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 602.1716 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 0 | 615.77137 | 0 | 0 | 612.53485 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 658.19084 | 656.79983 | 665.79699 | 0 | 662.10177 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 0 | 0 | 0 | 695.61564 | 692.30868 | 689.84136 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 714.0527 | 714.92389 | 704.87086 | 0 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 718.68121 | 722.94414 | 0 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 720.11984 | 730.12017 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 0 | 929.46167 | 717.64512 | 719.98677 | 725.81875 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 704.31275 | 0 | 0 | 708.86471 | 717.16115 | 0 | 0 |
| 15:00 | 686.63342 | 0 | 687.44118 | 0 | 697.59217 | 708.85529 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 683.52852 | 0 | 687.14015 | 701.25814 | 698.60992 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 694.42098 | 695.8918 | 712.38397 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 664.22004 | 662.78676 | 674.76275 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 653.62483 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 639.60851 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 638.49875 | 0 | 646.08879 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 622.52842 | 687.05579 | 0 | 638.7754 | 630.96993 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 624.17358 | 0 | 0 | 632.9678 | 632.03219 | 624.41427 | 0 | 0 |
| 0:00 | 615.90288 | 0 | 0 | 0 | 624.91595 | 623.64947 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.28 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.74 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.75 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.5 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนเมษายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนเมษายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

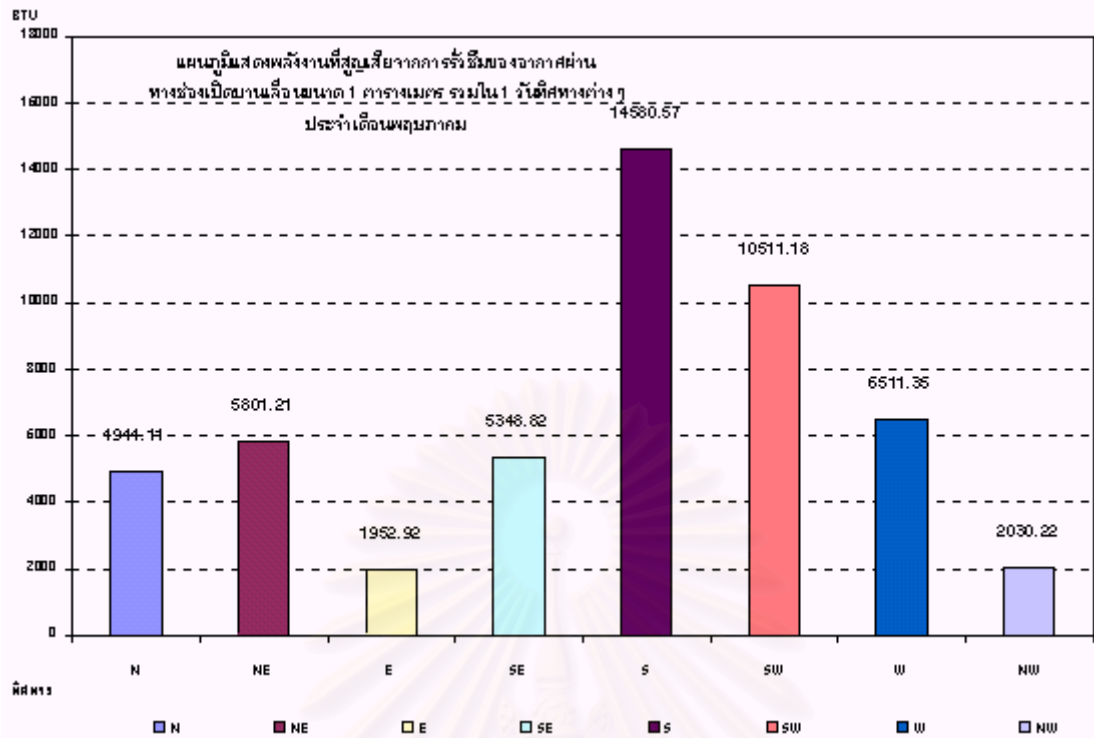
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนเมษายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนเมษายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 5050.12 | 210.42 |
| NE | 3347.47 | 139.48 |
| E | 2921.20 | 121.72 |
| SE | 5959.93 | 248.33 |
| S | 15173.31 | 632.22 |
| SW | 8343.49 | 347.65 |
| W | 704.87 | 29.37 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 632.22 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 15173.31 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 29.37 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 704.87 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

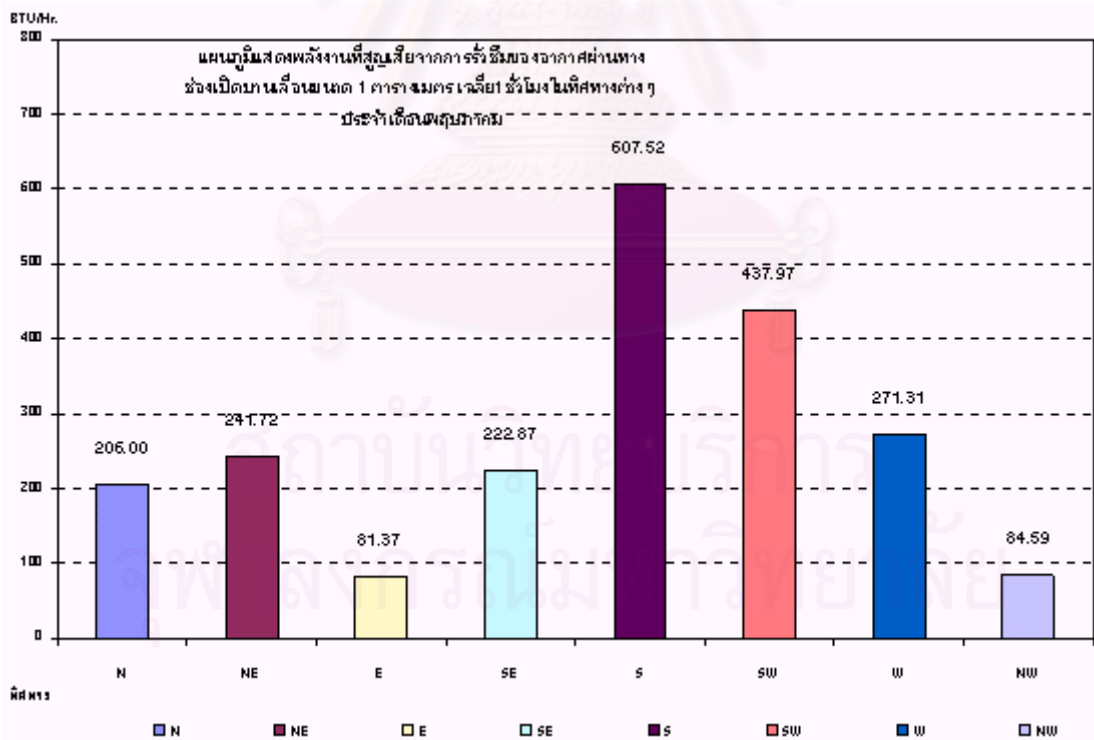
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนเมษายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 609.76927 | 607.06655 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 603.64133 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 610.73551 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 595.86773 | 607.69885 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 580.08698 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 565.51269 | 0 | 0 | 0 | 564.07437 | 0 | 586.59244 | 0 |
| 7:00 | 584.97629 | 586.57936 | 0 | 0 | 591.48929 | 0 | 591.48929 | 0 |
| 8:00 | 609.00063 | 610.74807 | 0 | 607.70836 | 608.90525 | 615.8603 | 610.74807 | 0 |
| 9:00 | 633.16443 | 0 | 657.57691 | 640.9959 | 634.98066 | 635.67502 | 640.9959 | 0 |
| 10:00 | 0 | 655.71408 | 0 | 655.71408 | 650.27102 | 655.71408 | 652.7394 | 0 |
| 11:00 | 661.83668 | 0 | 0 | 0 | 666.38388 | 671.00569 | 675.87032 | 671.00569 |
| 12:00 | 0 | 699.9813 | 0 | 742.26228 | 679.01931 | 678.67975 | 684.0763 | 0 |
| 13:00 | 0 | 680.55299 | 0 | 686.24952 | 684.40562 | 687.14189 | 686.24952 | 0 |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 683.15942 | 688.43035 | 688.87777 | 696.72375 | 0 |
| 15:00 | 0 | 671.77027 | 0 | 0 | 672.24794 | 679.42141 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 666.52566 | 0 | 670.41401 | 678.06264 | 0 | 672.10478 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 679.3683 | 679.3683 | 681.71436 | 0 | 687.10597 |
| 18:00 | 654.0008 | 0 | 0 | 653.35857 | 657.585 | 674.39073 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 637.93757 | 0 | 0 | 633.68923 | 637.93757 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 635.95935 | 0 | 0 | 639.43371 | 652.9812 | 0 | 0 |
| 21:00 | 630.95332 | 0 | 628.8168 | 0 | 632.37708 | 638.36765 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 621.96296 | 0 | 0 | 622.74447 | 0 | 685.86017 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 605.62999 | 617.65495 | 0 | 0 |
| 0:00 | 604.66806 | 0 | 0 | 0 | 608.78518 | 0 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.29 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.76 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.77 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.6 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนพฤษภาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนพฤษภาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

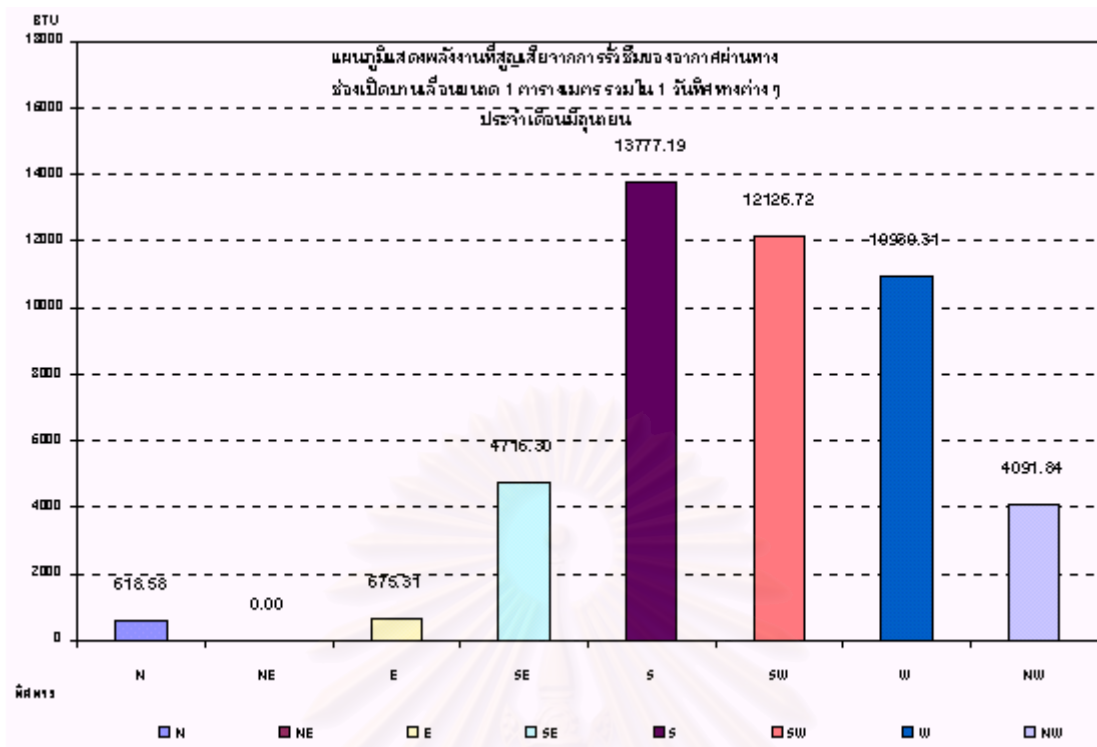
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2538 (ปีที्่यू ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2538 (ปีที्่यू ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 4944.11 | 206.00 |
| NE | 5801.21 | 241.72 |
| E | 1952.92 | 81.37 |
| SE | 5348.82 | 222.87 |
| S | 14580.57 | 607.52 |
| SW | 10511.18 | 437.97 |
| W | 6511.35 | 271.31 |
| NW | 2030.22 | 84.59 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 607.52 ปีที्่यूต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 14580.57 ปีที्่यूต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออก มีค่าเท่ากับ 81.37 ปีที्่यूต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 1952.92 ปีที्่यूต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

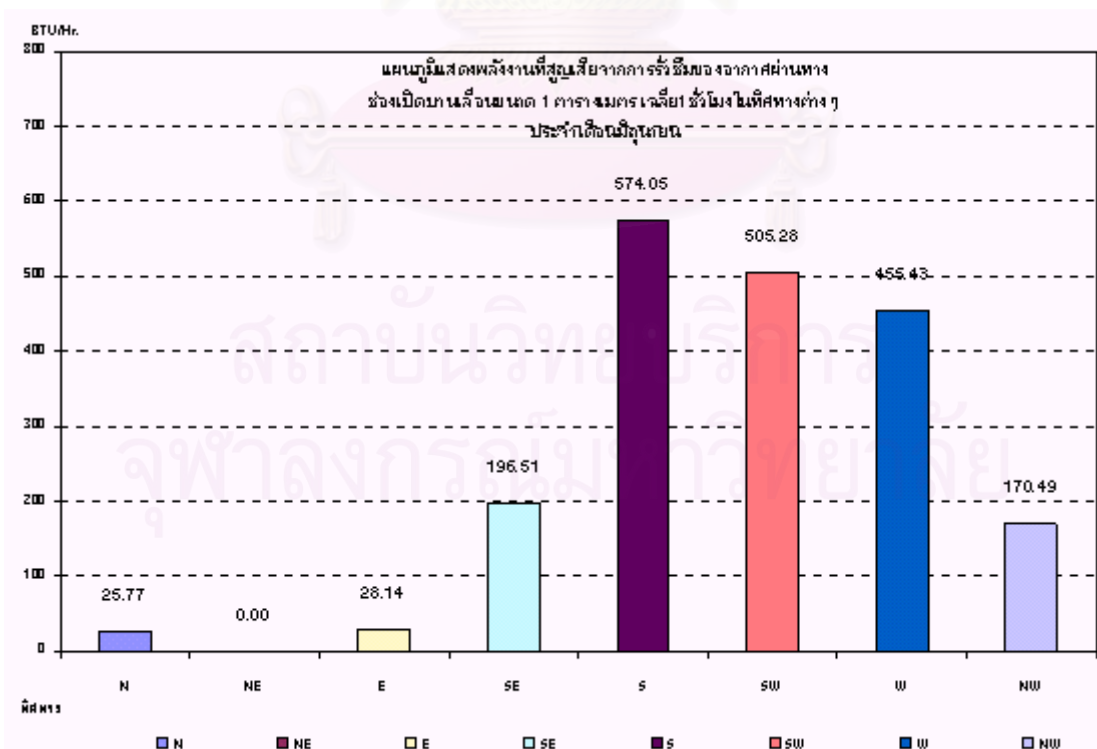
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนพฤษภาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 567.82614 | 561.4317 | 556.77128 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 556.53433 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 544.27534 | 551.73108 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 535.71839 | 533.69253 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 538.33672 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 534.26121 | 0 |
| 7:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 564.64743 | 0 | 568.85564 | 0 |
| 8:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 607.39653 | 612.92371 | 610.6059 | 0 |
| 9:00 | 0 | 0 | 0 | 652.65146 | 658.59045 | 657.7036 | 656.09995 | 651.24634 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 668.60184 | 658.8139 | 674.49169 | 656.46767 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 668.86781 | 678.03028 | 678.03028 | 669.81317 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 675.30646 | 675.30646 | 671.69275 | 672.2429 | 677.63849 | 675.30646 |
| 13:00 | 0 | 0 | 0 | 691.55881 | 707.43946 | 700.35959 | 715.36081 | 710.54629 |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 698.32411 | 701.39792 | 702.82632 | 704.16939 | 0 |
| 15:00 | 0 | 0 | 0 | 713.34296 | 719.25456 | 722.19768 | 716.59383 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 693.85183 | 694.40837 | 708.60924 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 679.07624 | 682.49455 | 0 | 776.55635 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 653.56316 | 655.92834 | 669.34229 | 0 |
| 19:00 | 618.57508 | 0 | 0 | 616.24928 | 628.48603 | 639.78561 | 620.84206 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 622.86987 | 614.71343 | 614.71343 | 621.71472 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 612.82189 | 604.76507 | 612.82189 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 592.62042 | 598.03258 | 603.30077 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 572.24964 | 577.58347 | 572.78898 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 569.73838 | 568.48826 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.30 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.78 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.79 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.7 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนมิถุนายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนมิถุนายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

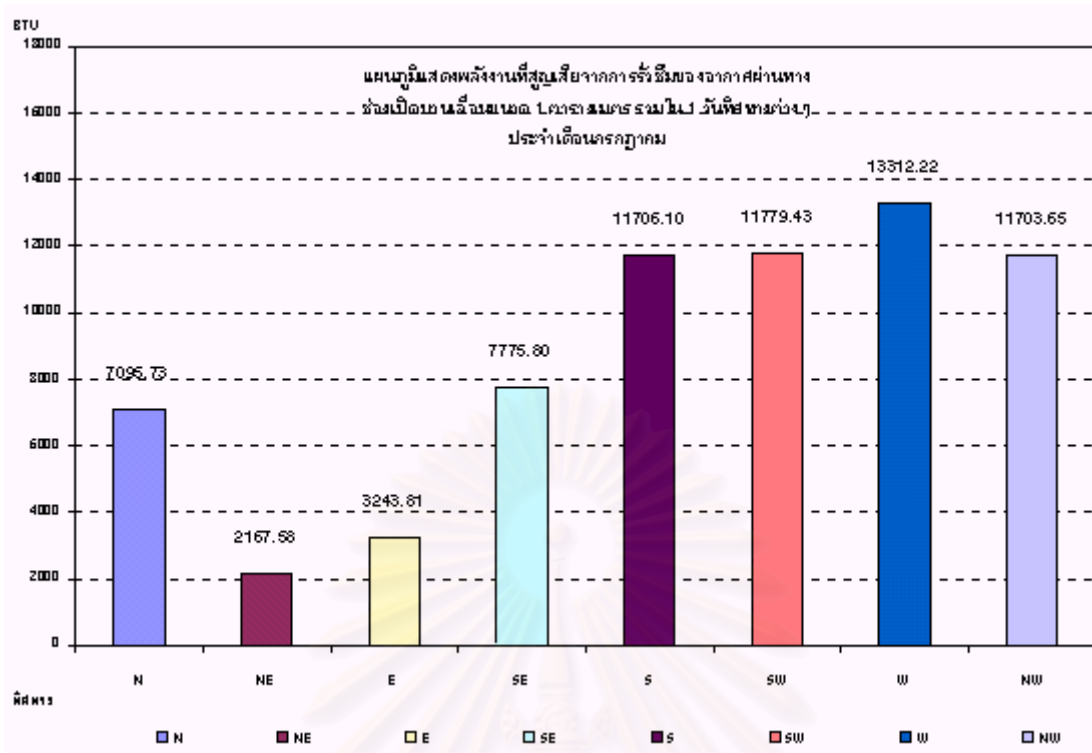
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนมิถุนายน พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมิถุนายน พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 618.58 | 25.77 |
| NE | 0.00 | 0.00 |
| E | 675.31 | 28.14 |
| SE | 4716.30 | 196.51 |
| S | 13777.19 | 574.05 |
| SW | 12126.72 | 505.28 |
| W | 10930.31 | 455.43 |
| NW | 4091.84 | 170.49 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 574.05 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 13777.19 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 25.77 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 618.58 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

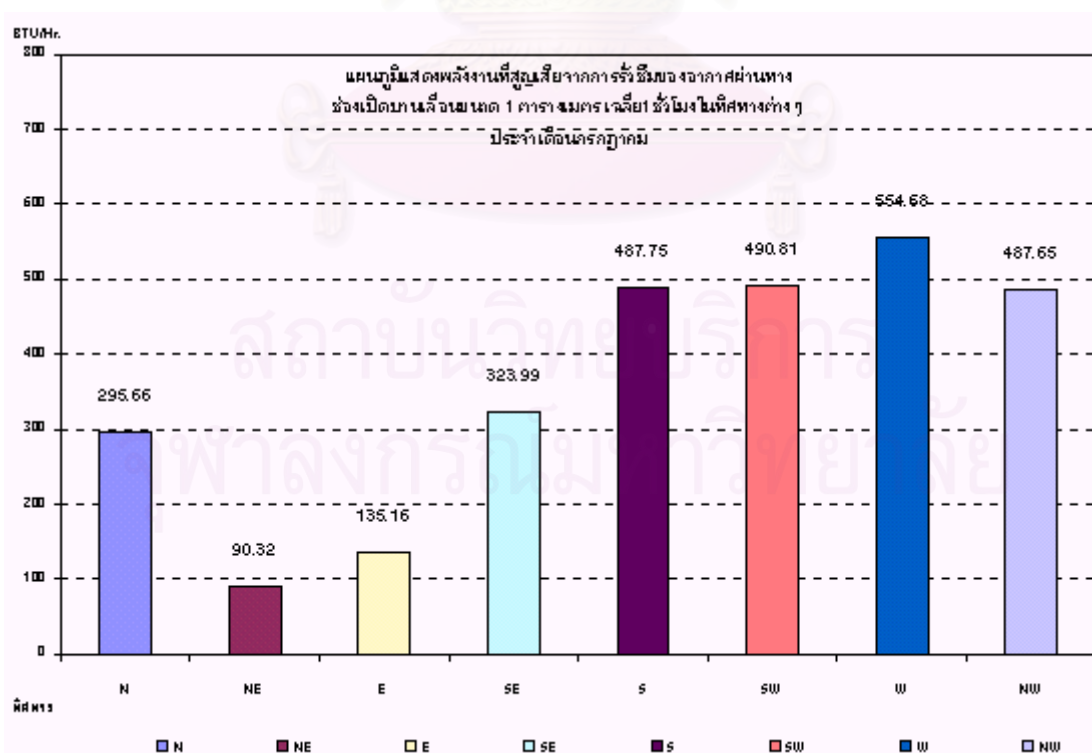
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมิถุนายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 535.30897 | 0 | 0 | 0 | 535.41434 | 538.79735 | 536.89661 | 565.52326 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 530.61221 | 530.61221 | 529.76004 | 530.61221 | 530.61221 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 526.15758 | 0 | 530.56175 | 529.13617 | 536.60459 |
| 4:00 | 521.74351 | 0 | 0 | 527.83793 | 0 | 0 | 525.13454 | 0 |
| 5:00 | 510.19969 | 0 | 512.27242 | 0 | 0 | 0 | 514.95375 | 509.03692 |
| 6:00 | 490.93408 | 0 | 488.44416 | 0 | 492.08444 | 0 | 491.052 | 491.052 |
| 7:00 | 496.05084 | 0 | 0 | 0 | 497.48685 | 494.87205 | 496.44308 | 498.38263 |
| 8:00 | 523.12869 | 522.87353 | 0 | 0 | 530.0361 | 525.6363 | 524.79212 | 525.6363 |
| 9:00 | 541.22198 | 545.2556 | 549.81963 | 545.2556 | 548.5194 | 547.32535 | 548.77095 | 545.2556 |
| 10:00 | 553.04118 | 561.52728 | 0 | 556.86606 | 556.86606 | 560.62995 | 562.79859 | 561.52728 |
| 11:00 | 570.30085 | 0 | 0 | 572.76157 | 576.2038 | 583.2178 | 583.50359 | 579.30378 |
| 12:00 | 576.3129 | 0 | 0 | 0 | 586.08256 | 584.09053 | 590.32069 | 598.1864 |
| 13:00 | 577.40891 | 0 | 0 | 599.97556 | 590.03135 | 591.50811 | 584.14134 | 579.9922 |
| 14:00 | 596.45154 | 0 | 0 | 0 | 604.99648 | 603.77037 | 605.54482 | 612.24607 |
| 15:00 | 603.62703 | 0 | 0 | 0 | 616.20652 | 615.23847 | 618.95987 | 642.57441 |
| 16:00 | 0 | 0 | 609.72874 | 0 | 600.32133 | 612.43125 | 613.86013 | 615.34064 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 605.16987 | 608.05729 | 620.86761 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 616.99033 | 579.82943 | 586.4334 | 587.52301 | 590.40695 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 573.11128 | 556.46133 | 558.6601 | 567.52733 | 561.62585 |
| 20:00 | 0 | 537.92084 | 0 | 544.0475 | 542.91099 | 538.5195 | 532.33634 | 544.0475 |
| 21:00 | 0 | 0 | 545.49742 | 539.35443 | 538.70367 | 545.49742 | 535.63942 | 534.87727 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 538.858 | 542.78443 | 546.69935 | 540.90346 | 538.858 |
| 23:00 | 0 | 0 | 538.05238 | 577.32819 | 548.73556 | 540.86865 | 537.3527 | 542.55611 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 526.63987 | 526.63987 | 536.85341 | 533.14681 | 0 |

ตารางที่ 4.31 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.80 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.81 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.8 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนกรกฎาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนกรกฎาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

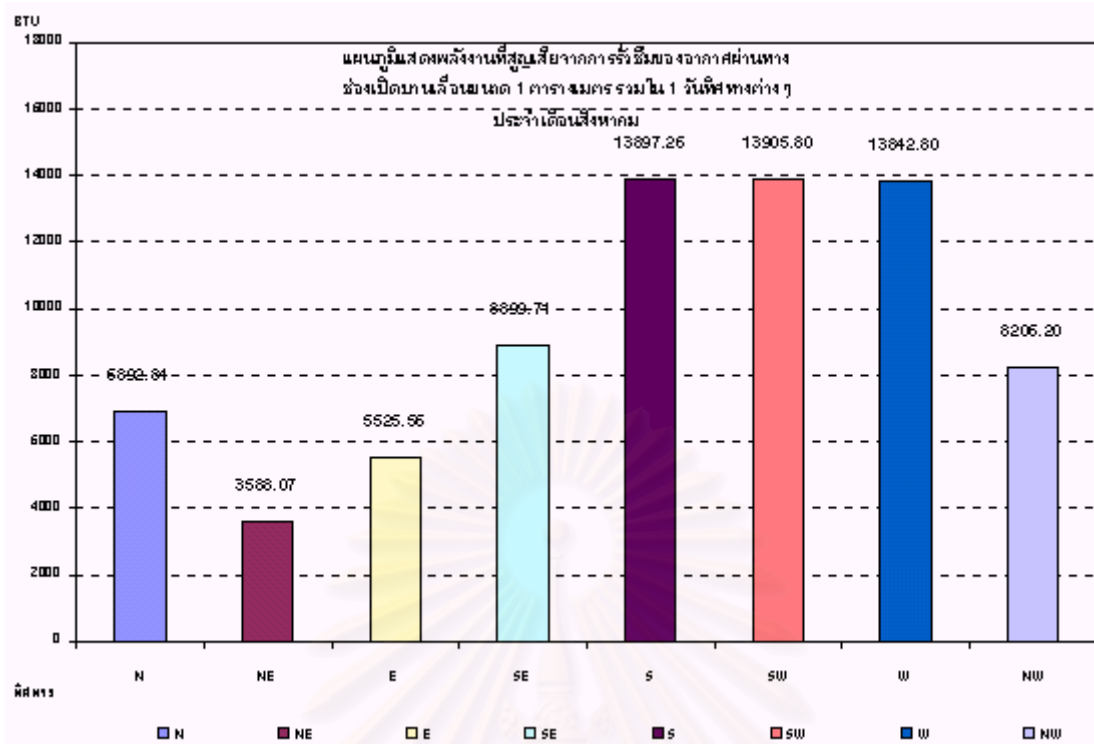
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 7095.73 | 295.66 |
| NE | 2167.58 | 90.32 |
| E | 3243.81 | 135.16 |
| SE | 7775.80 | 323.99 |
| S | 11706.10 | 487.75 |
| SW | 11779.43 | 490.81 |
| W | 13312.22 | 554.68 |
| NW | 11703.65 | 487.65 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 554.68 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 13312.22 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 90.32 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 2167.58 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

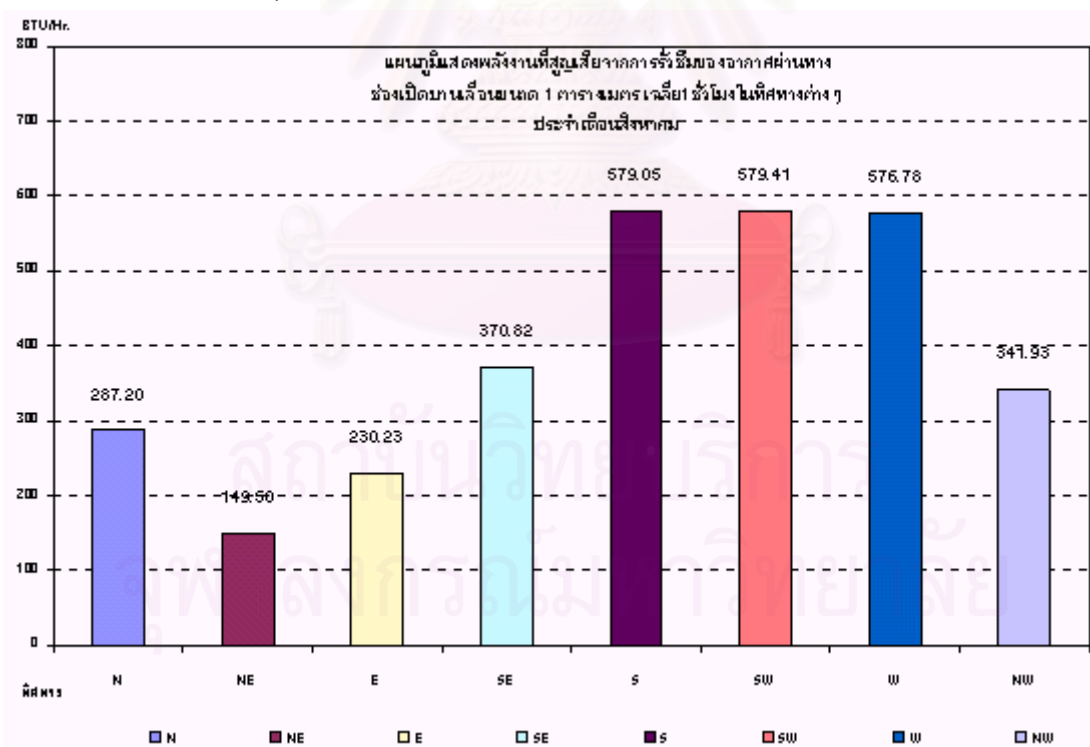
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกรกฎาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 543.43282 | 543.43282 | 547.48291 | 549.56112 | 545.83098 | 546.48673 | 544.60532 |
| 2:00 | 534.58794 | 0 | 533.29159 | 0 | 536.1094 | 538.14443 | 533.8395 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 517.98469 | 0 | 519.10229 | 520.27055 | 528.03037 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 516.73991 | 0 | 522.95688 | 520.23388 | 519.39837 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 543.38459 | 512.9742 | 513.72826 | 0 |
| 6:00 | 516.78986 | 0 | 514.55084 | 0 | 528.67838 | 518.38568 | 515.23212 | 514.55084 |
| 7:00 | 0 | 0 | 525.36982 | 526.50335 | 526.50335 | 529.2853 | 526.50335 | 525.36982 |
| 8:00 | 553.17952 | 0 | 551.86497 | 0 | 551.40594 | 554.78092 | 551.86497 | 0 |
| 9:00 | 584.87249 | 582.47523 | 0 | 583.73198 | 583.00996 | 588.25053 | 588.03321 | 0 |
| 10:00 | 584.53636 | 0 | 0 | 583.82626 | 585.14019 | 589.36414 | 587.50098 | 590.42422 |
| 11:00 | 591.16135 | 595.44122 | 0 | 595.44122 | 593.9668 | 597.70147 | 598.81203 | 600.42533 |
| 12:00 | 600.56391 | 0 | 0 | 601.29854 | 609.72226 | 609.54362 | 607.33046 | 634.58194 |
| 13:00 | 0 | 622.35853 | 0 | 622.35853 | 628.72333 | 631.41496 | 624.20969 | 627.56795 |
| 14:00 | 613.29573 | 629.15762 | 0 | 616.90872 | 625.37491 | 631.94625 | 619.62417 | 625.37491 |
| 15:00 | 0 | 615.2027 | 0 | 616.31043 | 617.175 | 629.48343 | 618.25796 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 607.73521 | 618.64323 | 620.66699 | 615.11063 | 610.41714 |
| 17:00 | 603.71646 | 0 | 0 | 0 | 612.70641 | 613.73802 | 608.33659 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 668.50967 | 673.49194 | 677.83405 | 679.80842 | 677.01713 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 578.14764 | 583.6062 | 585.94294 | 588.83414 | 618.68101 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 576.51948 | 582.11677 | 581.17291 | 578.81204 | 595.07812 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 578.73288 | 585.08125 | 582.64602 | 581.20328 | 587.52302 |
| 22:00 | 570.69347 | 0 | 0 | 0 | 571.15518 | 580.74576 | 571.46519 | 589.87266 |
| 23:00 | 575.45189 | 0 | 576.6609 | 591.21813 | 581.90839 | 581.12471 | 577.25336 | 0 |
| 0:00 | 563.99094 | 0 | 577.15393 | 0 | 563.39688 | 562.34316 | 565.91748 | 561.73101 |

ตารางที่ 4.32 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.82 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.83 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.9 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนสิงหาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนสิงหาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

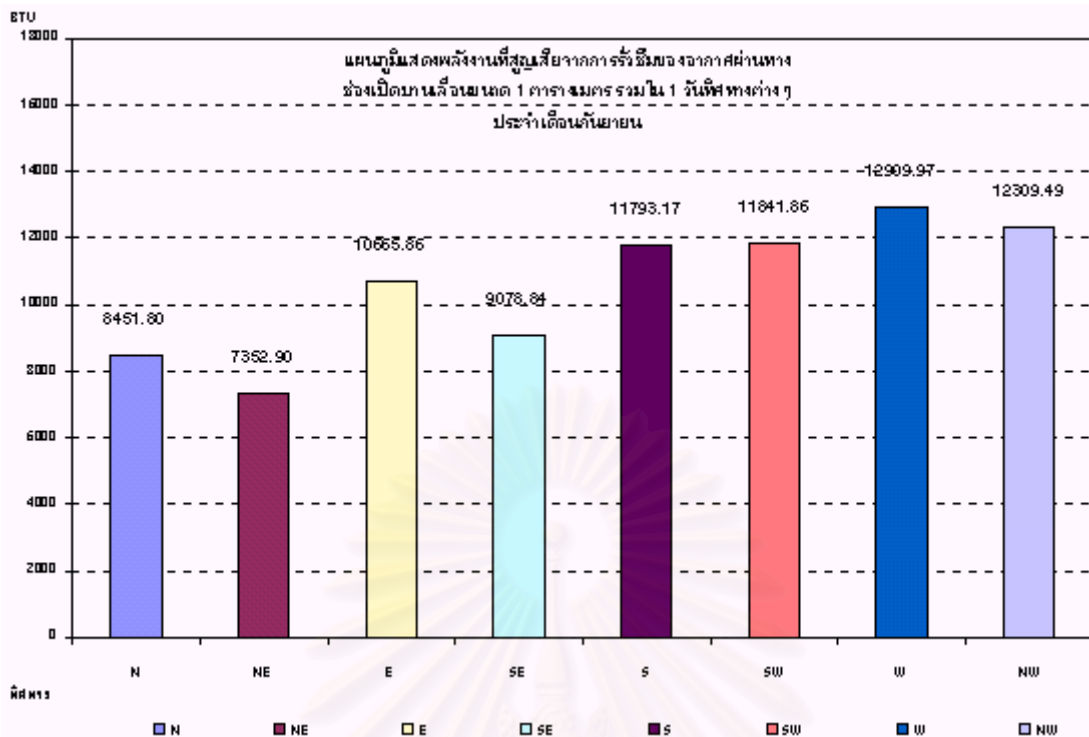
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนสิงหาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนสิงหาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 6892.84 | 287.20 |
| NE | 3588.07 | 149.50 |
| E | 5525.56 | 230.23 |
| SE | 8899.71 | 370.82 |
| S | 13897.26 | 579.05 |
| SW | 13905.80 | 579.41 |
| W | 13842.80 | 576.78 |
| NW | 8206.20 | 341.93 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 579.41 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 13905.80 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 149.50 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 3588.07 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

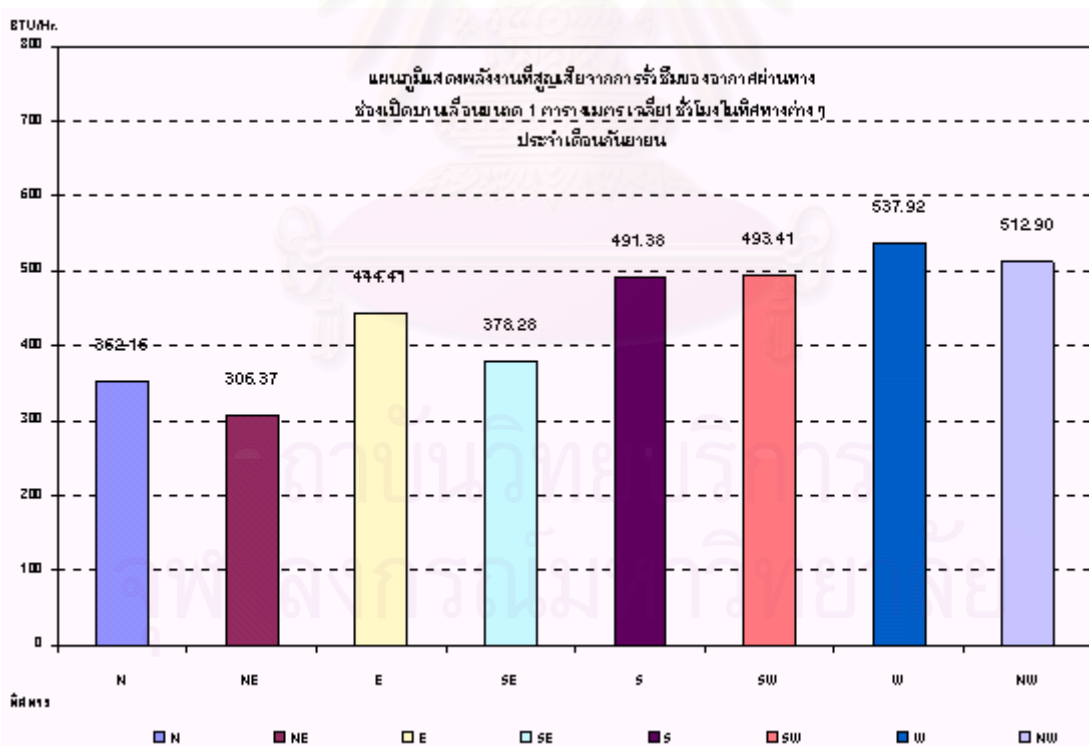
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนสิงหาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 526.9961 | 0 | 525.60501 | 529.52224 | 0 | 531.53227 | 533.95458 | 528.41126 |
| 2:00 | 0 | 0 | 532.42542 | 526.154 | 528.00578 | 0 | 526.41261 | 524.79369 |
| 3:00 | 0 | 517.79653 | 521.65557 | 0 | 0 | 0 | 519.33211 | 518.91373 |
| 4:00 | 0 | 0 | 518.7648 | 0 | 0 | 518.7648 | 0 | 516.03815 |
| 5:00 | 514.28045 | 515.96881 | 0 | 0 | 514.41197 | 515.96881 | 517.92739 | 513.25686 |
| 6:00 | 0 | 504.86079 | 0 | 0 | 507.08874 | 0 | 506.66517 | 505.95007 |
| 7:00 | 0 | 523.8714 | 522.21356 | 524.97284 | 524.97284 | 522.21356 | 524.97284 | 521.08927 |
| 8:00 | 0 | 553.1849 | 552.19848 | 0 | 554.42987 | 553.1849 | 552.37292 | 560.7627 |
| 9:00 | 576.46256 | 579.37491 | 576.58855 | 0 | 574.44939 | 583.17447 | 576.58855 | 586.27036 |
| 10:00 | 604.15613 | 620.55478 | 610.78308 | 608.47337 | 608.47337 | 629.43804 | 610.28323 | 611.65823 |
| 11:00 | 592.26206 | 603.67121 | 594.35126 | 599.32624 | 595.42145 | 602.50788 | 597.46221 | 603.67121 |
| 12:00 | 585.34462 | 594.64318 | 586.60755 | 591.94556 | 587.08051 | 594.64318 | 598.9542 | 592.79371 |
| 13:00 | 589.94103 | 594.1617 | 595.61388 | 0 | 596.41709 | 591.87413 | 609.23179 | 594.1617 |
| 14:00 | 586.7154 | 601.99585 | 595.21662 | 590.27575 | 590.27575 | 596.42536 | 595.21662 | 592.51639 |
| 15:00 | 602.56728 | 606.90951 | 606.90951 | 605.07827 | 605.49175 | 611.98961 | 617.04205 | 614.10299 |
| 16:00 | 0 | 0 | 610.74807 | 610.74807 | 614.40389 | 611.46799 | 615.8603 | 613.94484 |
| 17:00 | 585.79687 | 0 | 0 | 600.11095 | 589.86572 | 589.12116 | 587.19298 | 588.42755 |
| 18:00 | 565.1311 | 0 | 573.90393 | 566.14855 | 568.22593 | 578.06459 | 571.64516 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 550.98056 | 547.90153 | 569.90196 | 562.94475 |
| 20:00 | 537.45011 | 535.90657 | 538.27152 | 537.06284 | 537.36528 | 539.03349 | 539.31084 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 542.93033 | 569.86124 | 544.84855 | 539.69616 | 540.47026 | 546.14009 |
| 22:00 | 530.95784 | 0 | 0 | 540.82454 | 534.26318 | 531.89322 | 541.86877 | 551.88457 |
| 23:00 | 525.39956 | 0 | 523.89475 | 537.90952 | 537.90952 | 524.66487 | 529.43921 | 531.85198 |
| 0:00 | 528.34048 | 0 | 537.1735 | 540.42271 | 528.78958 | 528.30248 | 527.8612 | 529.90136 |

ตารางที่ 4.33 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.84 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.85 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.10 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนกันยายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนกันยายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

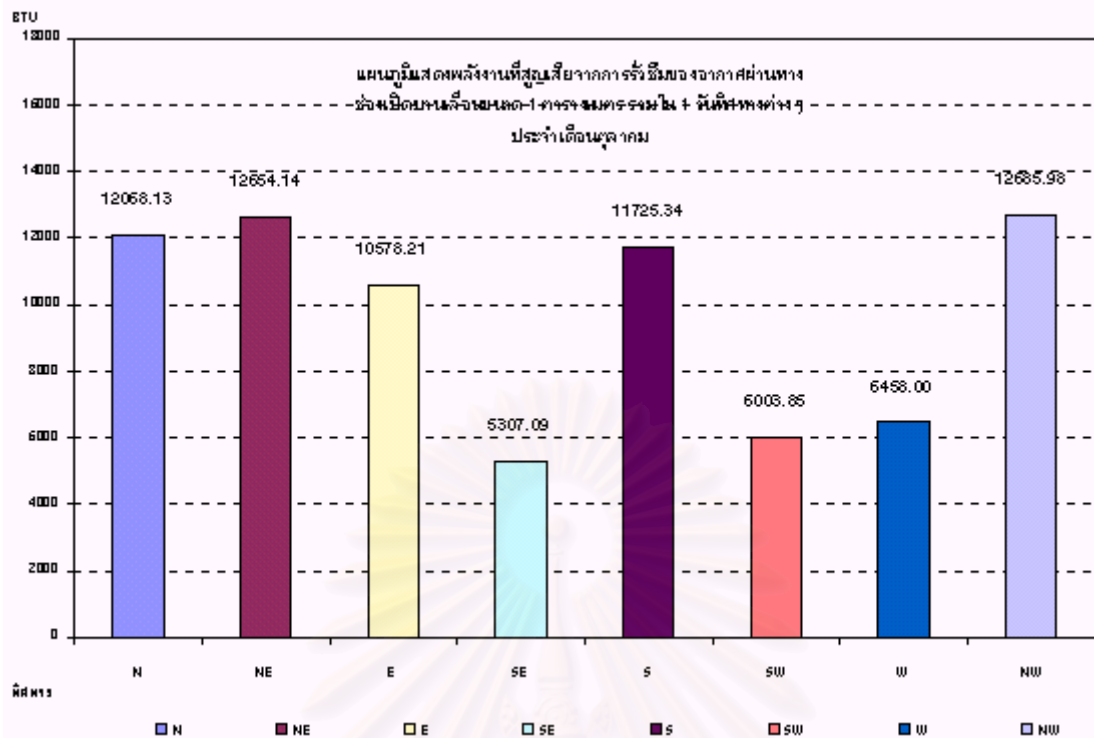
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนกันยายน พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกันยายน พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 8451.80 | 352.16 |
| NE | 7352.90 | 306.37 |
| E | 10665.86 | 444.41 |
| SE | 9078.84 | 378.28 |
| S | 11793.17 | 491.38 |
| SW | 11841.86 | 493.41 |
| W | 12909.97 | 537.92 |
| NW | 12309.49 | 512.90 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 537.92 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 12909.97 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 306.37 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 7352.90 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

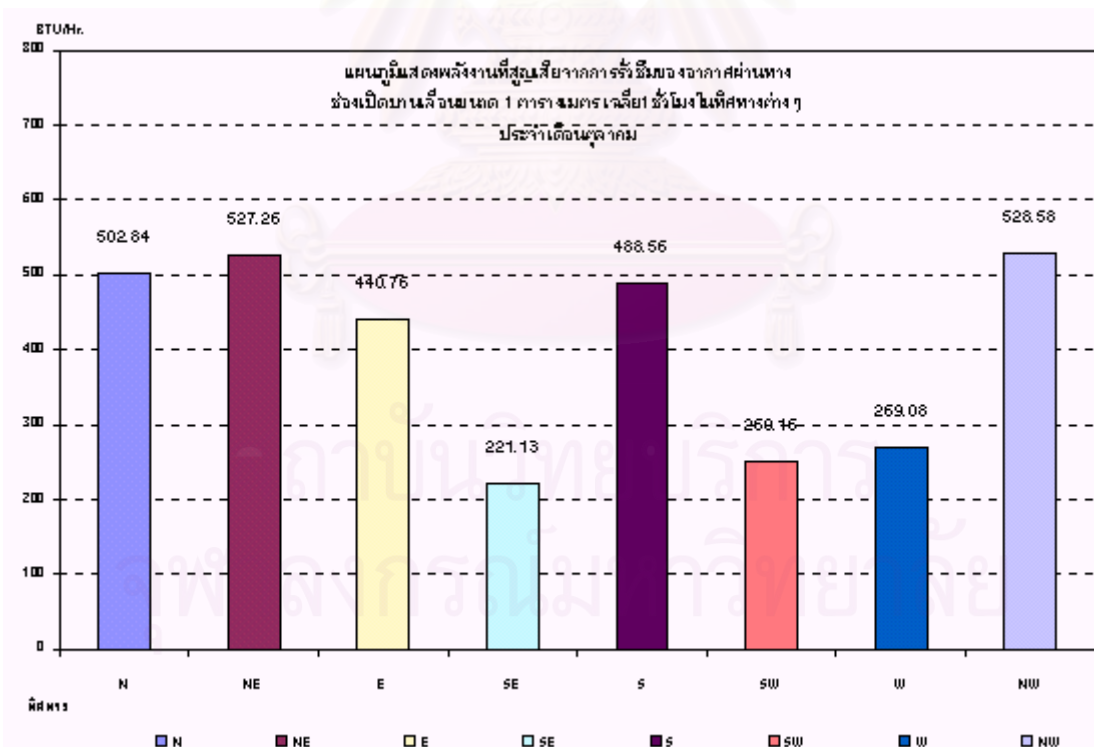
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกันยายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 501.43679 | 501.99166 | 501.28316 | 0 | 500.54736 | 0 | 530.22106 | 503.93184 |
| 2:00 | 496.20159 | 496.56021 | 498.6716 | 496.05056 | 495.32244 | 0 | 0 | 496.05056 |
| 3:00 | 491.82299 | 490.13757 | 490.13757 | 0 | 491.19508 | 0 | 0 | 497.92371 |
| 4:00 | 493.34646 | 500.02631 | 492.38968 | 0 | 492.20728 | 0 | 495.87561 | 493.26927 |
| 5:00 | 477.3347 | 476.87423 | 483.92232 | 0 | 476.35512 | 0 | 0 | 481.07823 |
| 6:00 | 472.3489 | 471.92798 | 0 | 472.62171 | 0 | 0 | 0 | 474.3559 |
| 7:00 | 482.22012 | 482.19124 | 481.15311 | 0 | 0 | 0 | 482.19124 | 482.19124 |
| 8:00 | 513.89347 | 514.05825 | 516.77443 | 0 | 514.05825 | 0 | 514.05825 | 515.21516 |
| 9:00 | 543.5531 | 545.46947 | 547.57769 | 547.57769 | 547.57769 | 544.69961 | 0 | 545.46947 |
| 10:00 | 557.75054 | 561.47184 | 562.73745 | 561.93675 | 566.64041 | 557.77973 | 0 | 561.93675 |
| 11:00 | 558.44404 | 561.88936 | 566.59262 | 0 | 560.98696 | 0 | 566.59262 | 560.71046 |
| 12:00 | 560.38282 | 564.0405 | 567.7395 | 567.7395 | 579.49073 | 574.20577 | 558.86163 | 567.7395 |
| 13:00 | 559.42509 | 564.41621 | 561.0444 | 0 | 564.11776 | 570.46521 | 0 | 565.68788 |
| 14:00 | 554.1848 | 557.80941 | 0 | 0 | 561.93482 | 0 | 0 | 563.00865 |
| 15:00 | 544.22184 | 552.83017 | 548.24115 | 0 | 559.12663 | 544.18544 | 545.35957 | 549.22831 |
| 16:00 | 550.21321 | 555.61428 | 554.25963 | 0 | 557.83303 | 554.25963 | 551.34642 | 556.36356 |
| 17:00 | 539.30396 | 548.44625 | 0 | 542.79134 | 544.11796 | 542.79134 | 0 | 539.14587 |
| 18:00 | 531.56018 | 537.64989 | 0 | 0 | 533.59243 | 0 | 534.45077 | 532.83816 |
| 19:00 | 534.83727 | 549.50885 | 538.81061 | 538.81061 | 534.82467 | 538.81061 | 535.9786 | 542.03583 |
| 20:00 | 536.39223 | 538.50775 | 541.45766 | 540.13752 | 547.55013 | 536.14176 | 537.29854 | 544.65871 |
| 21:00 | 532.00663 | 534.25556 | 563.82795 | 0 | 535.87246 | 533.05589 | 0 | 538.67731 |
| 22:00 | 520.02193 | 523.55115 | 533.94641 | 521.97143 | 521.53543 | 0 | 0 | 519.67809 |
| 23:00 | 517.22399 | 517.45237 | 520.18649 | 517.45237 | 520.18649 | 0 | 0 | 547.32368 |
| 0:00 | 0 | 507.45857 | 507.45857 | 0 | 520.26886 | 507.45857 | 605.76691 | 507.45857 |

ตารางที่ 4.34 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.86 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.87 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.11 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนตุลาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
ผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนตุลาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

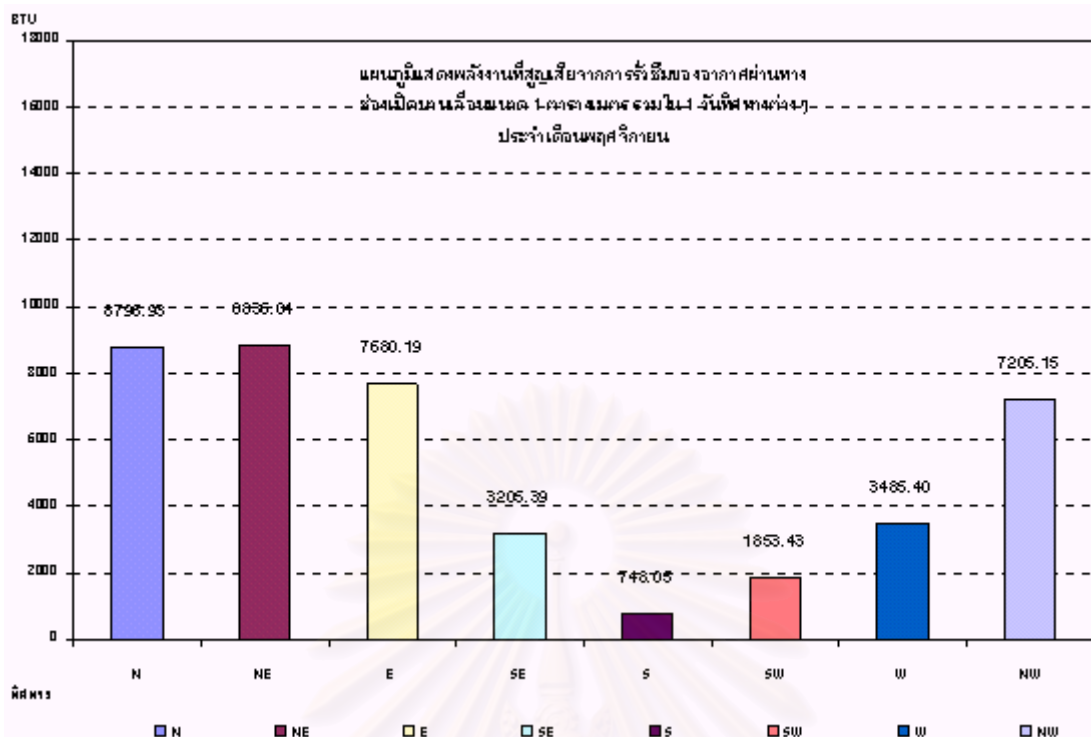
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนตุลาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนตุลาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 12068.13 | 502.84 |
| NE | 12654.14 | 527.26 |
| E | 10578.21 | 440.76 |
| SE | 5307.09 | 221.13 |
| S | 11725.34 | 488.56 |
| SW | 6003.85 | 250.16 |
| W | 6458.00 | 269.08 |
| NW | 12685.98 | 528.58 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 528.58 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 12685.98 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 221.13 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 5307.09 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

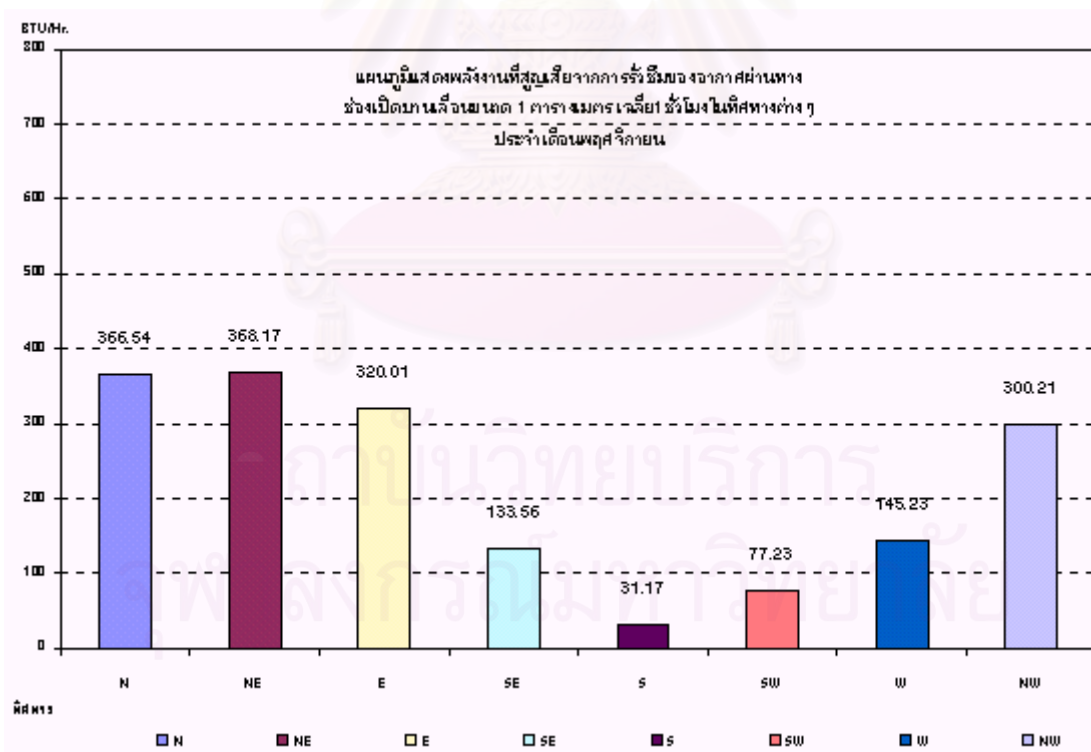
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนตุลาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 352.94824 | 353.48453 | 355.55491 | 0 | 0 | 353.6861 | 0 | 353.6861 |
| 2:00 | 342.47712 | 343.72291 | 346.249 | 0 | 0 | 0 | 0 | 343.12662 |
| 3:00 | 334.3441 | 334.41008 | 338.47086 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 323.46761 | 323.61043 | 328.0434 | 0 | 0 | 0 | 0 | 323.61043 |
| 5:00 | 305.55046 | 305.62732 | 314.78536 | 0 | 0 | 0 | 307.644 | 0 |
| 6:00 | 294.90919 | 295.31597 | 300.21899 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 289.98168 | 293.0455 | 291.30776 | 0 | 0 | 0 | 0 | 290.0935 |
| 8:00 | 310.5099 | 312.76208 | 312.42045 | 0 | 0 | 310.66152 | 0 | 0 |
| 9:00 | 345.24339 | 345.84301 | 349.78241 | 0 | 344.78688 | 0 | 0 | 344.78688 |
| 10:00 | 369.27706 | 371.08284 | 373.05807 | 370.17412 | 0 | 0 | 384.76715 | 375.06513 |
| 11:00 | 384.86226 | 386.5621 | 387.02163 | 384.15857 | 0 | 0 | 0 | 394.70605 |
| 12:00 | 396.54302 | 400.866 | 399.0112 | 399.0112 | 0 | 0 | 396.05945 | 0 |
| 13:00 | 393.79835 | 394.96967 | 401.61732 | 393.79835 | 0 | 0 | 390.88516 | 397.09461 |
| 14:00 | 402.27333 | 405.4264 | 405.75847 | 407.6076 | 0 | 0 | 407.6076 | 404.95191 |
| 15:00 | 419.72585 | 422.56385 | 427.19077 | 426.1009 | 0 | 0 | 0 | 422.56385 |
| 16:00 | 411.17709 | 414.99814 | 413.98633 | 422.20615 | 0 | 0 | 413.98633 | 413.98633 |
| 17:00 | 399.46301 | 400.96667 | 400.5365 | 402.32848 | 0 | 0 | 0 | 402.32848 |
| 18:00 | 396.24761 | 397.10255 | 0 | 0 | 0 | 397.10255 | 399.20076 | 399.20076 |
| 19:00 | 394.30317 | 394.44853 | 394.17789 | 0 | 0 | 395.02836 | 0 | 394.69979 |
| 20:00 | 397.16774 | 397.53872 | 0 | 0 | 403.25904 | 396.95319 | 0 | 399.91161 |
| 21:00 | 395.47735 | 395.92598 | 0 | 0 | 0 | 0 | 395.49498 | 399.15996 |
| 22:00 | 389.74668 | 391.83715 | 392.66099 | 0 | 0 | 0 | 389.75622 | 391.47621 |
| 23:00 | 381.67087 | 387.63292 | 381.83341 | 0 | 0 | 0 | 0 | 385.35474 |
| 0:00 | 365.76607 | 366.29945 | 366.50833 | 0 | 0 | 0 | 0 | 369.3454 |

ตารางที่ 4.35 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.88 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเล็กขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.89 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเล็กขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.12 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนพฤศจิกายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
ผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนพฤศจิกายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

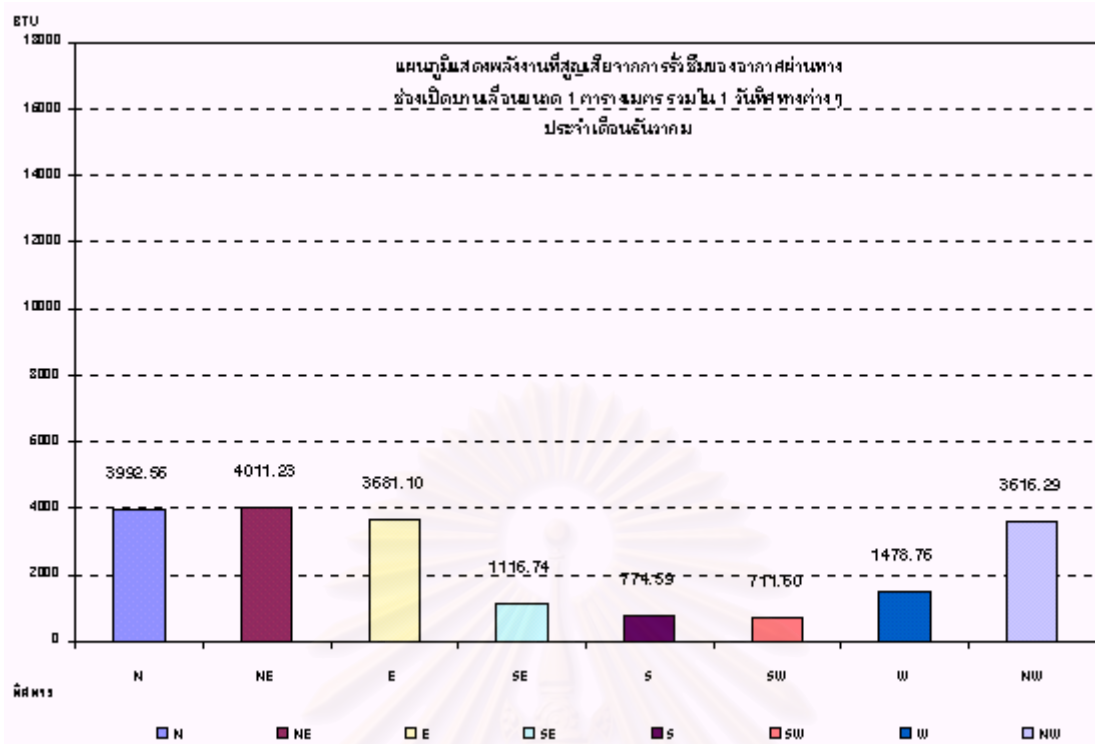
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 8796.93 | 366.54 |
| NE | 8836.04 | 368.17 |
| E | 7680.19 | 320.01 |
| SE | 3205.39 | 133.56 |
| S | 748.05 | 31.17 |
| SW | 1853.43 | 77.23 |
| W | 3485.40 | 145.23 |
| NW | 7205.15 | 300.21 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศ
ตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 368.17 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 8836.04 ปีทีู่้
ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ
31.17 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 748.05 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจาก
เป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

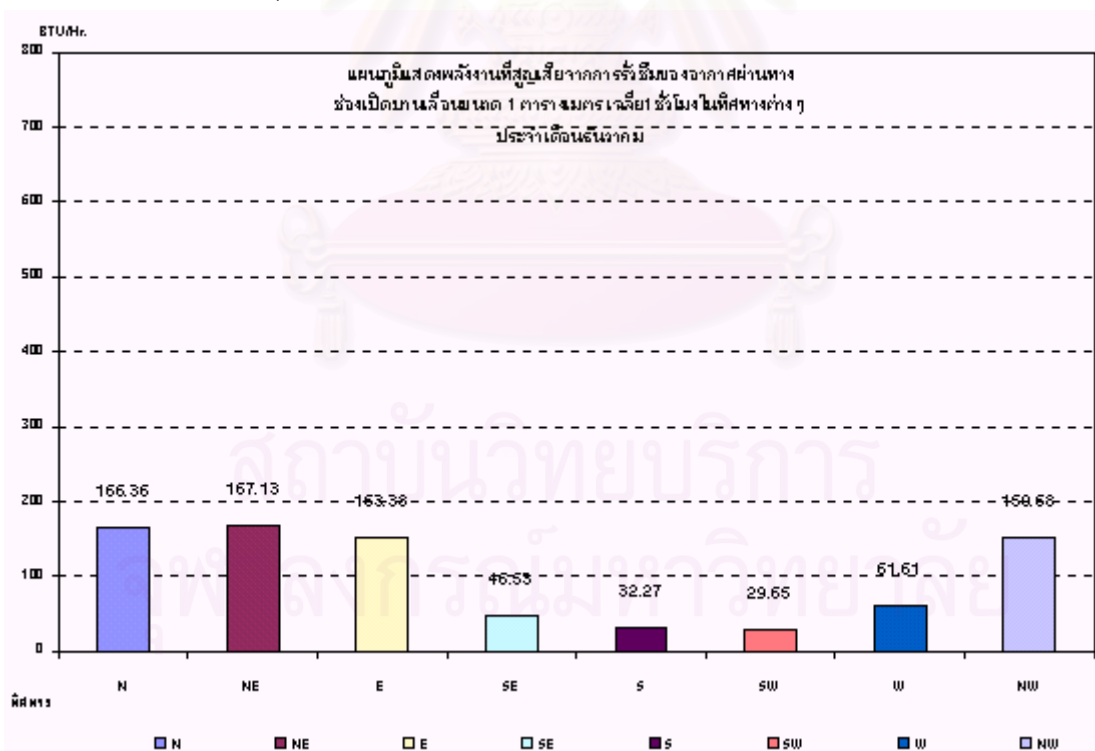
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนพฤศจิกายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้า
สู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้าน
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจกมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการ
ปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 150.91783 | 150.74604 | 155.59869 | 150.74604 | 0 | 0 | 0 | 151.08531 |
| 2:00 | 133.9721 | 133.7203 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 118.45915 | 119.04526 | 118.54905 | 0 | 0 | 118.54905 | 0 | 118.54905 |
| 4:00 | 107.19673 | 108.00299 | 107.62304 | 0 | 0 | 0 | 0 | 107.05149 |
| 5:00 | 89.671448 | 91.289727 | 90.382828 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 80.617232 | 80.959752 | 80.600909 | 0 | 0 | 0 | 80.42738 | 0 |
| 7:00 | 118.38948 | 118.67411 | 118.40763 | 0 | 0 | 0 | 0 | 119.03327 |
| 8:00 | 83.133687 | 83.84567 | 83.494262 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 128.43866 | 128.75674 | 129.49423 | 128.68427 | 129.06179 | 129.06179 | 129.06179 | 129.06179 |
| 10:00 | 155.8673 | 155.63142 | 155.66823 | 156.13935 | 0 | 0 | 155.31868 | 155.31868 |
| 11:00 | 176.33083 | 179.14129 | 178.89496 | 0 | 0 | 0 | 0 | 177.1182 |
| 12:00 | 194.65623 | 195.46144 | 198.1675 | 0 | 0 | 0 | 0 | 194.91674 |
| 13:00 | 212.29467 | 214.24009 | 215.16228 | 213.71775 | 0 | 0 | 0 | 213.0729 |
| 14:00 | 223.59597 | 223.90818 | 225.94569 | 225.09126 | 224.41209 | 0 | 0 | 224.72976 |
| 15:00 | 238.80087 | 240.84915 | 238.73649 | 242.36257 | 0 | 239.08743 | 240.35072 | 239.75557 |
| 16:00 | 237.5788 | 238.4168 | 240.16898 | 0 | 0 | 0 | 238.0032 | 238.75877 |
| 17:00 | 224.46068 | 226.75892 | 227.97889 | 0 | 0 | 224.89813 | 0 | 225.07945 |
| 18:00 | 212.08365 | 213.3272 | 213.67036 | 0 | 0 | 0 | 213.02565 | 212.23532 |
| 19:00 | 209.59492 | 209.95457 | 213.96048 | 0 | 209.95457 | 0 | 212.83063 | 211.06393 |
| 20:00 | 209.82487 | 211.15871 | 0 | 0 | 211.15871 | 0 | 209.74054 | 212.9262 |
| 21:00 | 193.31836 | 193.18 | 193.18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 193.5968 |
| 22:00 | 178.55779 | 178.3627 | 179.14981 | 0 | 0 | 0 | 0 | 178.48516 |
| 23:00 | 165.15128 | 166.3279 | 165.21819 | 0 | 0 | 0 | 0 | 164.97568 |
| 0:00 | 149.64507 | 149.47325 | 151.04954 | 0 | 0 | 0 | 0 | 149.47325 |

ตารางที่ 4.36 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน
ขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.90 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.91 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.3.13 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อนเดือนธันวาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน เดือนธันวาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนรวมใน 1 วัน เดือนธันวาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานเลื่อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนธันวาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 3992.56 | 166.36 |
| NE | 4011.23 | 167.13 |
| E | 3681.10 | 153.38 |
| SE | 1116.74 | 46.53 |
| S | 774.59 | 32.27 |
| SW | 711.60 | 29.65 |
| W | 1478.76 | 61.61 |
| NW | 3616.29 | 150.68 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 167.13 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 4011.23 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 29.65 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 711.60 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนธันวาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

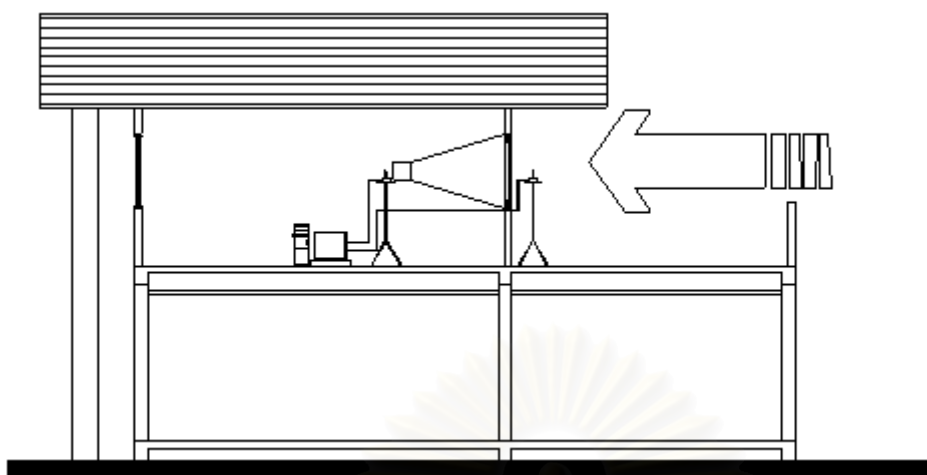
จากข้อมูลที่ได้พิจารณามาทั้งหมดโดยตลอดทั้งปีจะเห็นได้ว่าการออกแบบอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศจะสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาทิศทางและขนาดของช่องเปิดด้วยเป็นปัจจัยหนึ่ง ข้อมูลที่ได้รับแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการออกแบบอาคารเพื่อลดการรั่วซึมของอากาศ โดยเลือกใช้ช่องเปิดแบบบานเลื่อนนั้น ควรที่จะหลีกเลี่ยงทิศได้เป็นสำคัญเนื่องจากมีอัตราการสูญเสียพลังงานมากที่สุดตลอดทั้งปีหรือไม่ใช้ช่องเปิดนี้ในอาคารเลย

4.4 อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารผ่านทางช่องเปิดแบบติดตาย

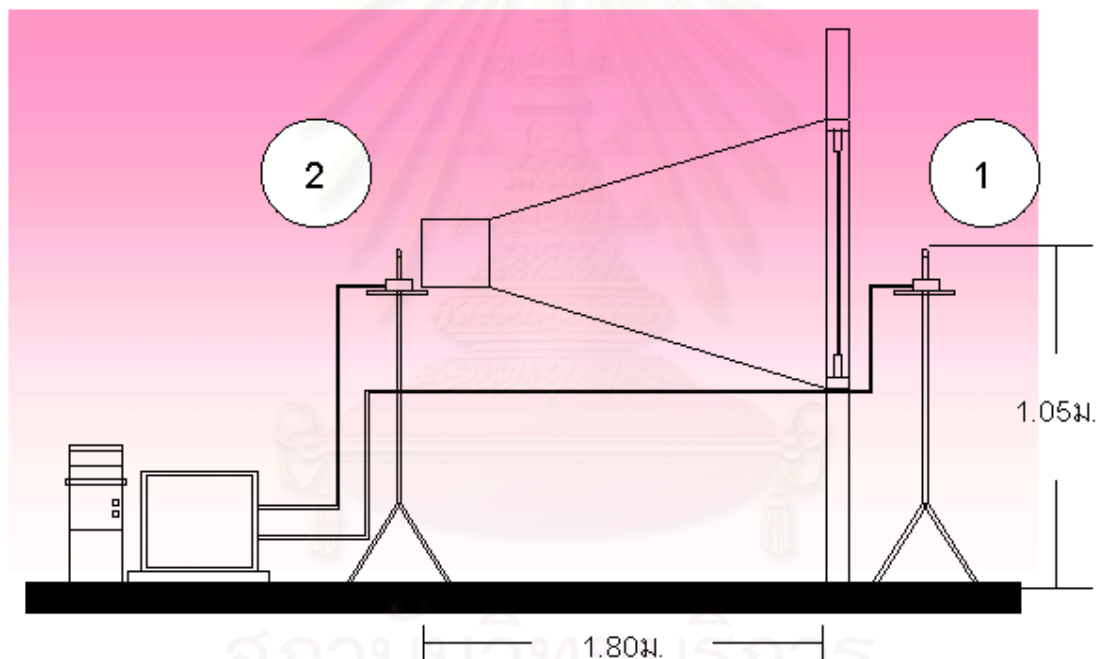
การทดลองนี้เพื่อพิจารณาถึงปริมาณการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานติดตาย ที่นิยมใช้ในอาคารประเภทบ้านพักอาศัย และประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางบานติดตายตลอดทั้งปี รวมถึงพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกใช้ช่องเปิดชนิดนี้ในอาคารที่มีการปรับอากาศต่อไป

ผลการทดลองจะประกอบไปด้วย

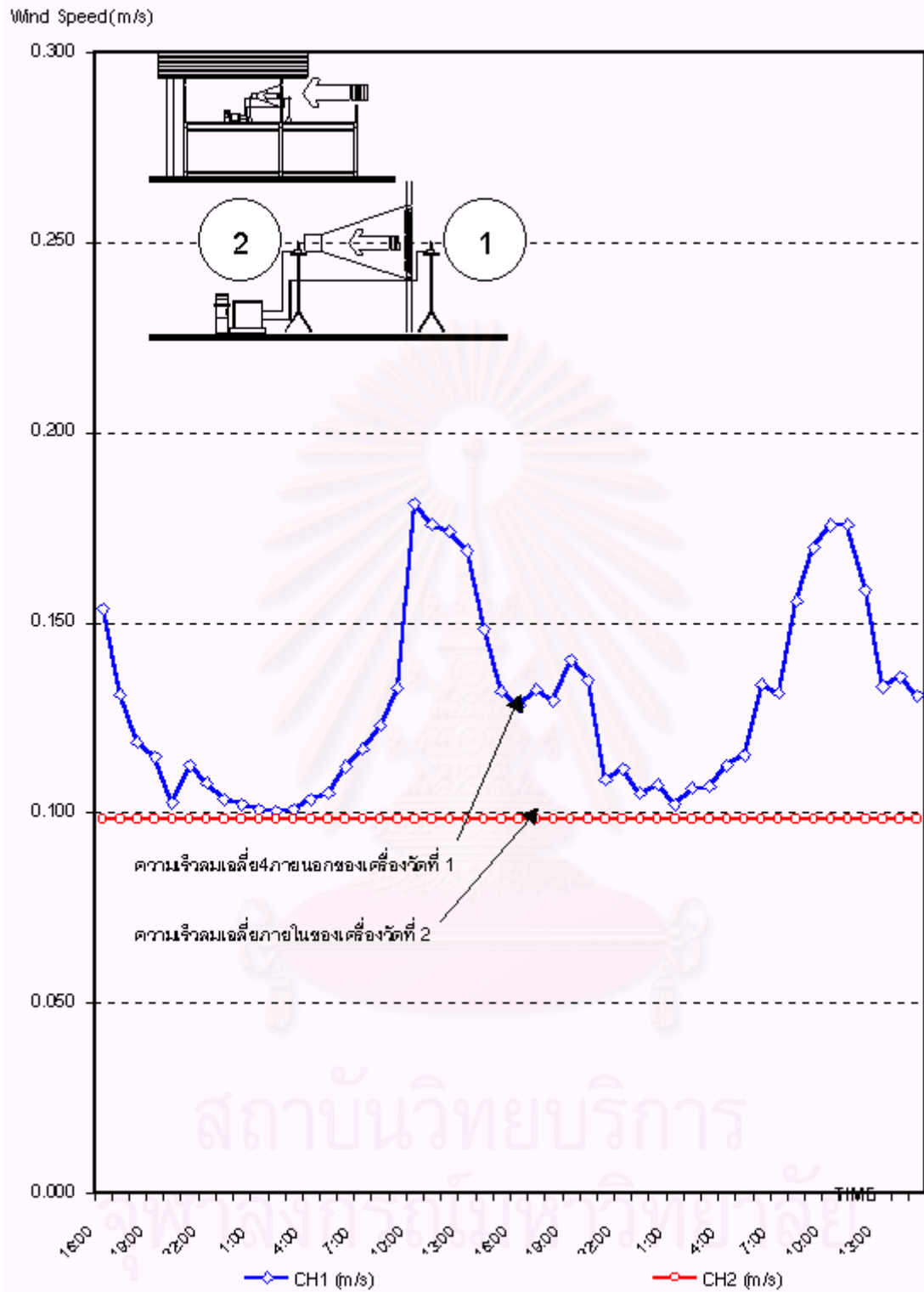
1. ความเร็วลมภายนอกที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมที่รั่วซึมคิดค่าเป็นความเร็วเมตรต่อวินาที
2. ผลของการรั่วซึมของอากาศ คิดเป็นค่า ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
3. สมการที่ใช้ในการทำนายหรือประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
4. ผลการประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯประจำปี พ.ศ.2538 ตามทิศทางตลอดช่วงเวลา 1 วันซึ่งเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ
5. ผลการประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯประจำปี พ.ศ.2538 ตามทิศทางเฉลี่ยช่วงเวลา 1 ชั่วโมงซึ่งเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ



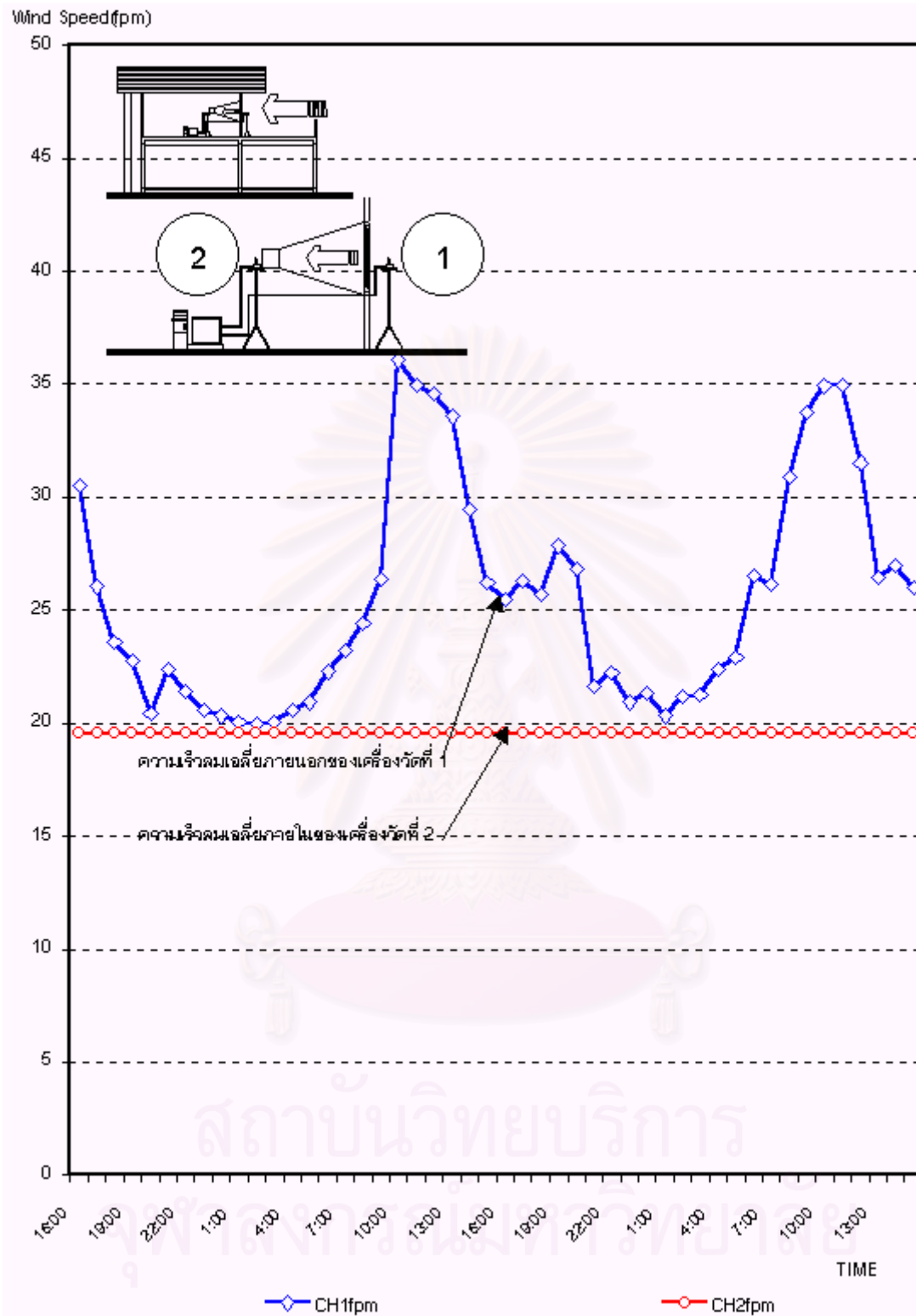
รูปภาพที่ 4.7 แสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกับสถานที่ทดลองการวัดการร่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดแบบบานติดตาย



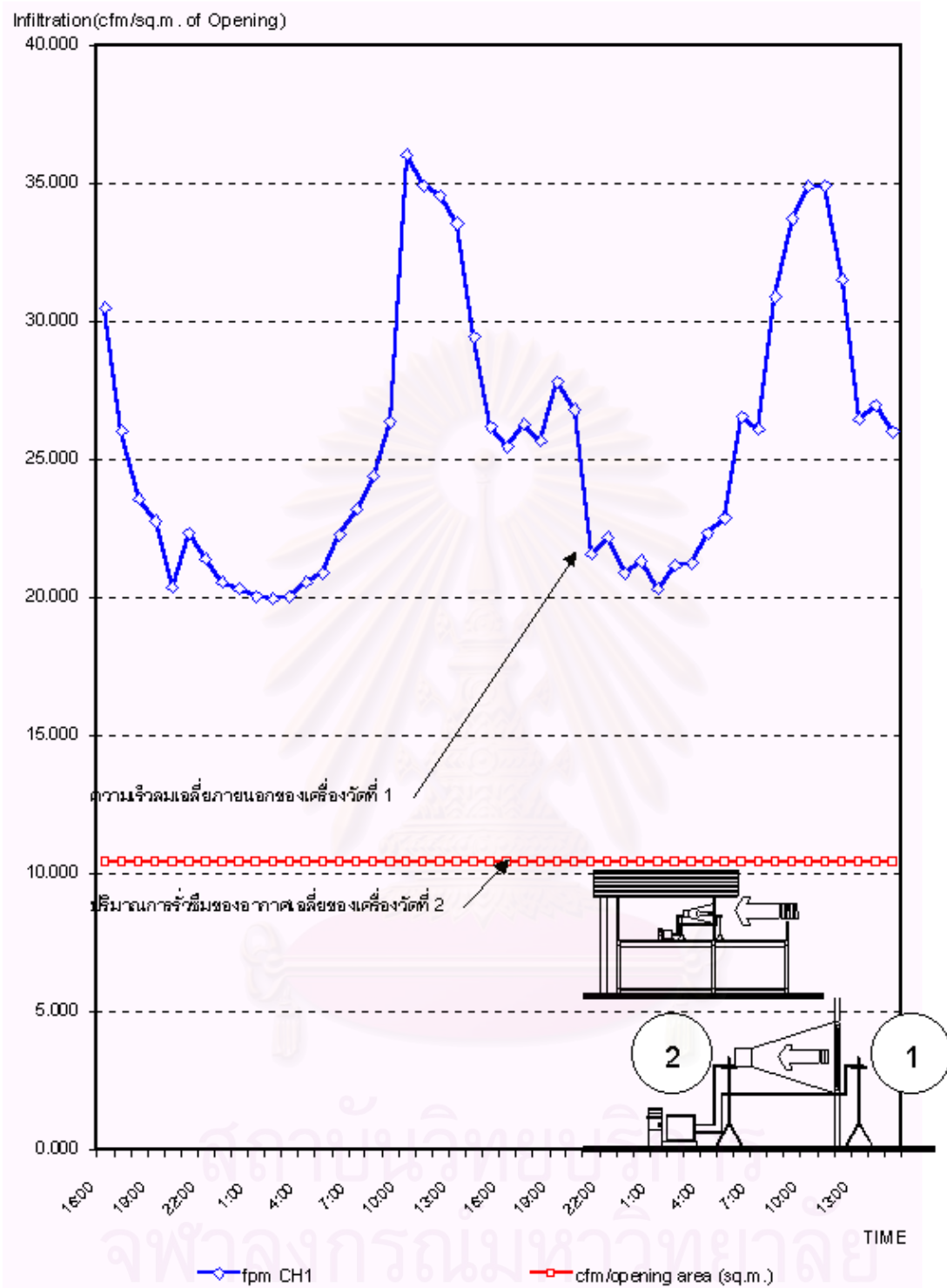
รูปภาพที่ 4.8 แสดงแบบขยายการติดตั้งชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับช่องเปิดแบบบานติดตาย



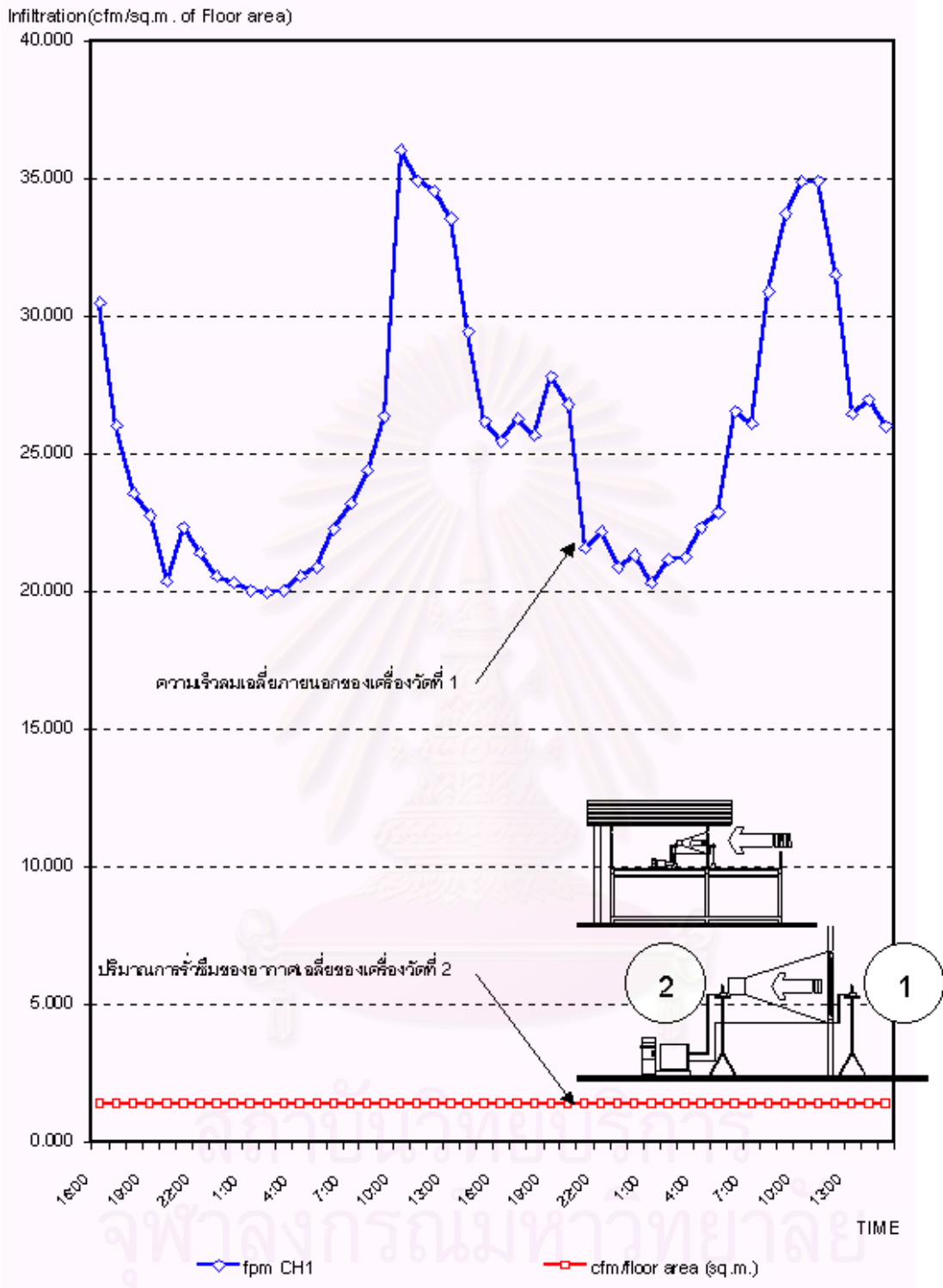
แผนภูมิที่ 4.92 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับความเร็วลมภายในที่เกิดขึ้นของช่องเปิดติดตายวันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544



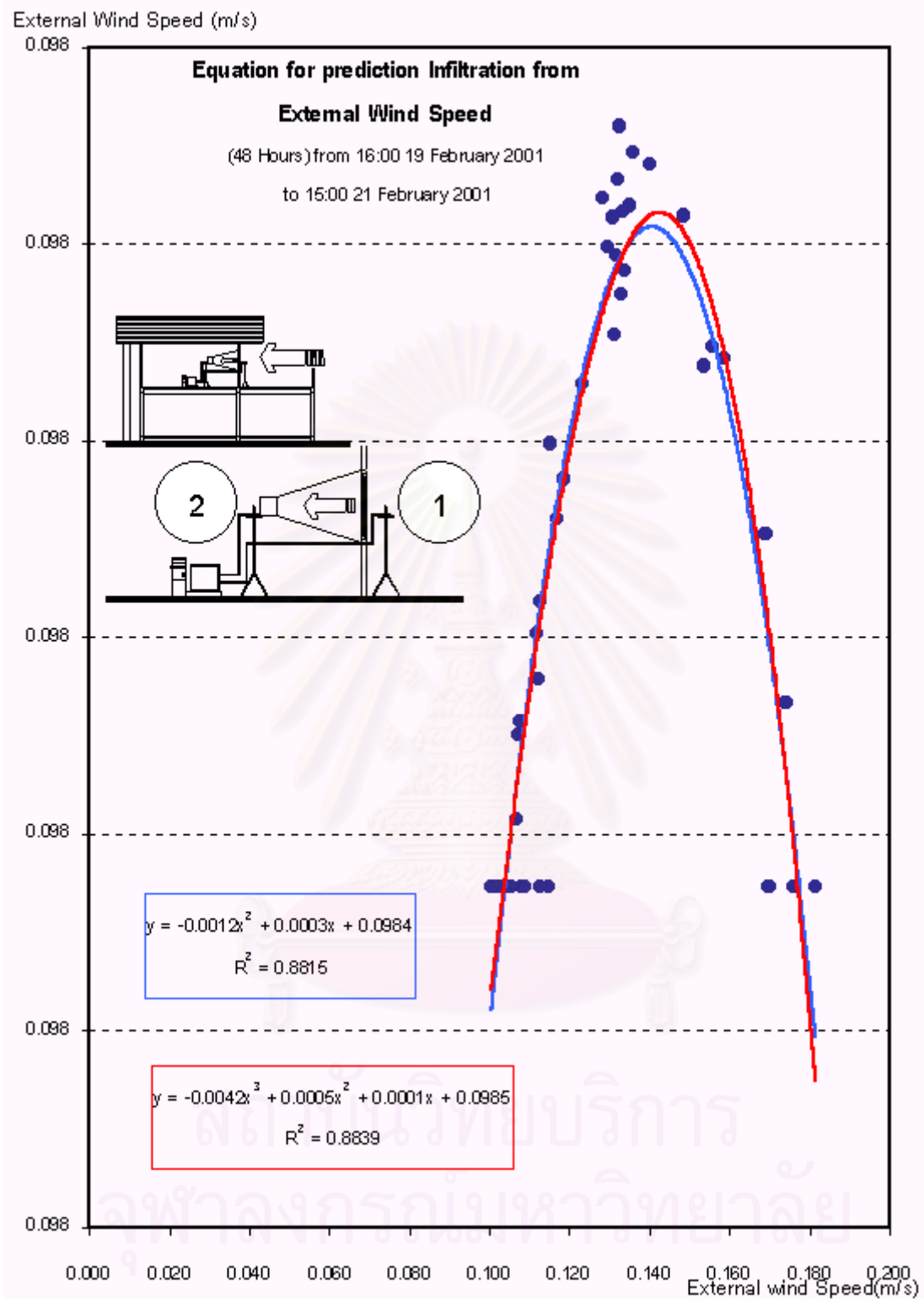
แผนภูมิที่ 4.93 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมวลอากาศภายนอกกับความเร็วมวลอากาศภายในที่เกิดขึ้นของช่องเปิดติดตายวันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544



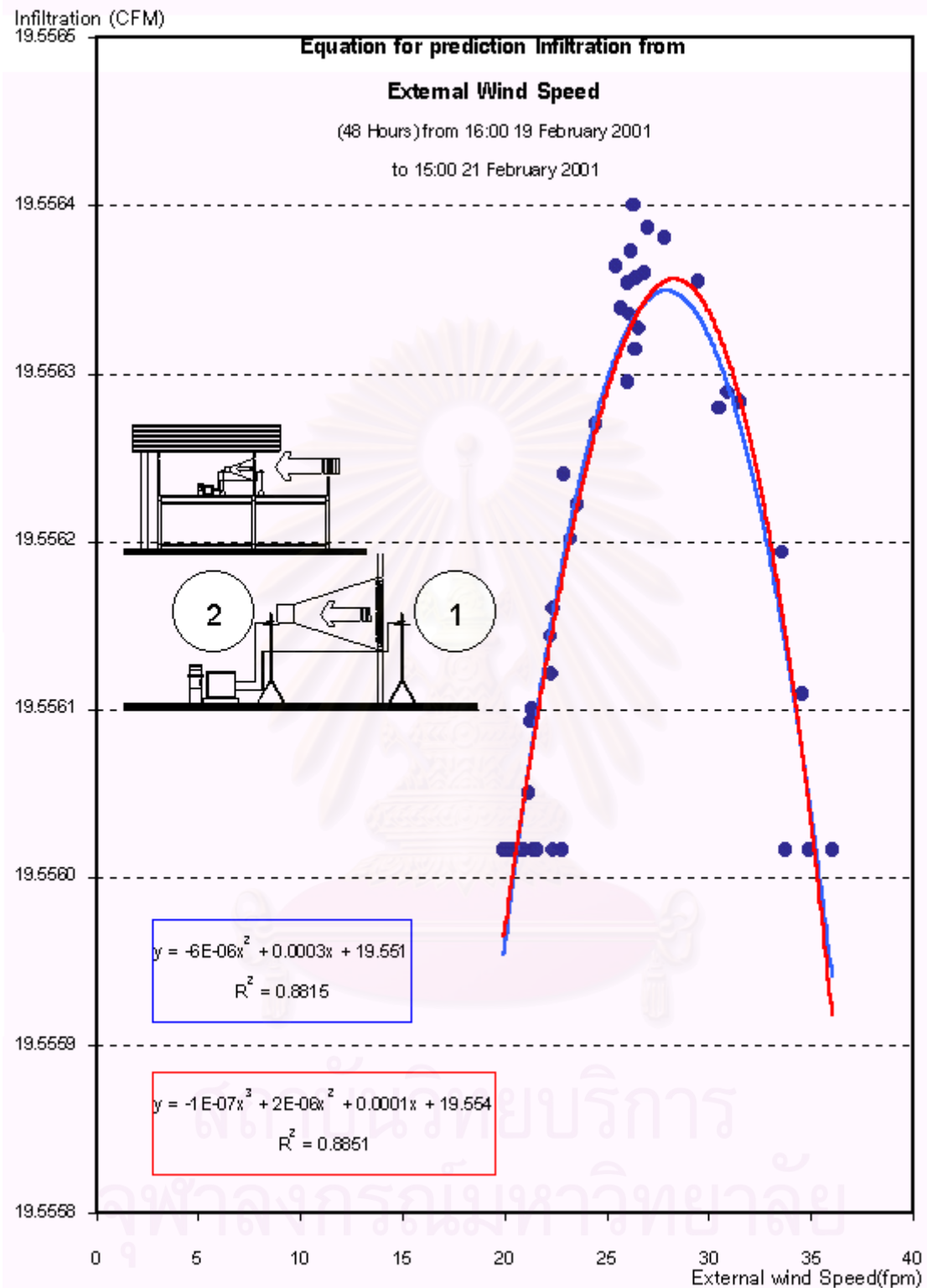
แผนภูมิที่ 4.94 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมวลภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ช่องเปิดติดตาย 1 ตารางเมตรวันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544



แผนภูมิที่ 4.95 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับการรั่วซึมของอากาศต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร 1 ตารางเมตรวันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544



แผนภูมิที่ 4.96 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดติดตาย มีหน่วยเป็นเมตร ต่อวินาที วันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544



แผนภูมิที่ 4.97 แสดงสมการการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดติดตาย มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที วันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2544

4.4.1 สรุปผลการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดติดตาย

จากผลการทดลองการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานติดตายขนาดกว้าง 1.56 เมตรและสูง 1.20 เมตร พื้นที่เท่ากับ 1.872 ตารางเมตรและพื้นที่ห้องที่ทำการทดลองขนาดกว้าง 3.46 เมตร ยาว 4.0 เมตรพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 13.84 ตารางเมตร ได้ผลวิเคราะห์ในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

ลักษณะการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย อากาศสามารถที่จะรั่วซึมเข้ามาเมื่อนำมาคูณกับพื้นที่หน้าตัดเพื่อที่จะหาอัตราการไหลก็สามารถสรุปผลออกมาได้ ดังแผนภูมิที่ 4.128 ถึงแผนภูมิที่ 4.131 อัตราการรั่วซึมของอากาศเมื่อมีค่าสูงสุดมีค่าประมาณ 19 CFMต่อชั่วโมง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาทำการคำนวณทางสถิติโดยใช้วิธีการทางสมการถดถอยลักษณะเป็นเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรงเพื่อทำนายค่าการรั่วซึมของอากาศที่เกิดขึ้นจากความเร็วลมภายนอกจะพบว่า ลักษณะของสมการมีความเป็นสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงมากกว่า (Non-Linear Regression Equation) ดังนั้นในการคำนวณเพื่อที่จะประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538จึงเลือกใช้สมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง ดังนี้

$$Y = -6E-06X^2 + 0.0003X + 19.551$$

$$R^2 = 0.8815$$

หรือมีสมการต่อพื้นที่ช่องเปิดติดตาย 1 ตารางเมตรเท่ากับ

$$Y = -3E-06X^2 + 0.0002X + 10.444$$

$$R^2 = 0.8815$$

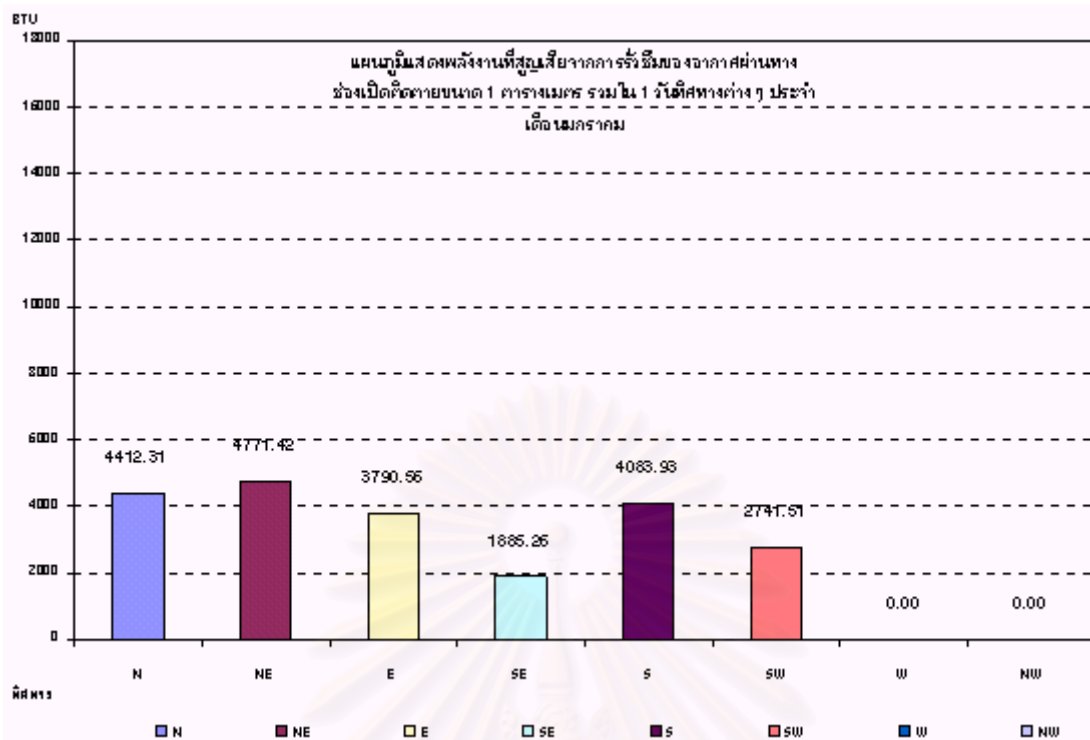
ในการคำนวณนี้ไม่นำสมการที่มีกำลัง 3 มาใช้เนื่องจาก ยากแก่การคำนวณและตรวจสอบ อีกทั้งรูปแบบของสมการมีความไม่เหมาะสมมากกว่าและค่า ความเชื่อมั่นทางสถิติก็สูงกว่ากันเพียงไม่มาก ดังนั้นการเลือกใช้สมการแบบกำลัง 2 จึงมีความเหมาะสมกว่าในการคำนวณ และสมการมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำ ซึ่งสามารถที่จะวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อความเร็วลมภายนอกมีความเร็วถึงระดับหนึ่ง การรั่วซึมของอากาศจะสามารถเกิดขึ้นได้ แต่เมื่อความเร็วลมภายนอกสูงกว่าจุดที่เป็นยอดระฆังคว่ำแล้วการรั่วซึมของอากาศก็จะลดน้อยลงจนอาจไม่สามารถตรวจสอบได้เนื่องมาจากข้อจำกัดของเครื่องมือ

เมื่อได้สมการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศสำหรับช่องเปิดบานติดตายแล้ว จึงนำสมการที่ได้มาคำนวณการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี โดยมีค่าเฉลี่ยใน 1 วันเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆมาใช้ในการคำนวณค่าพลังงานต่อไป

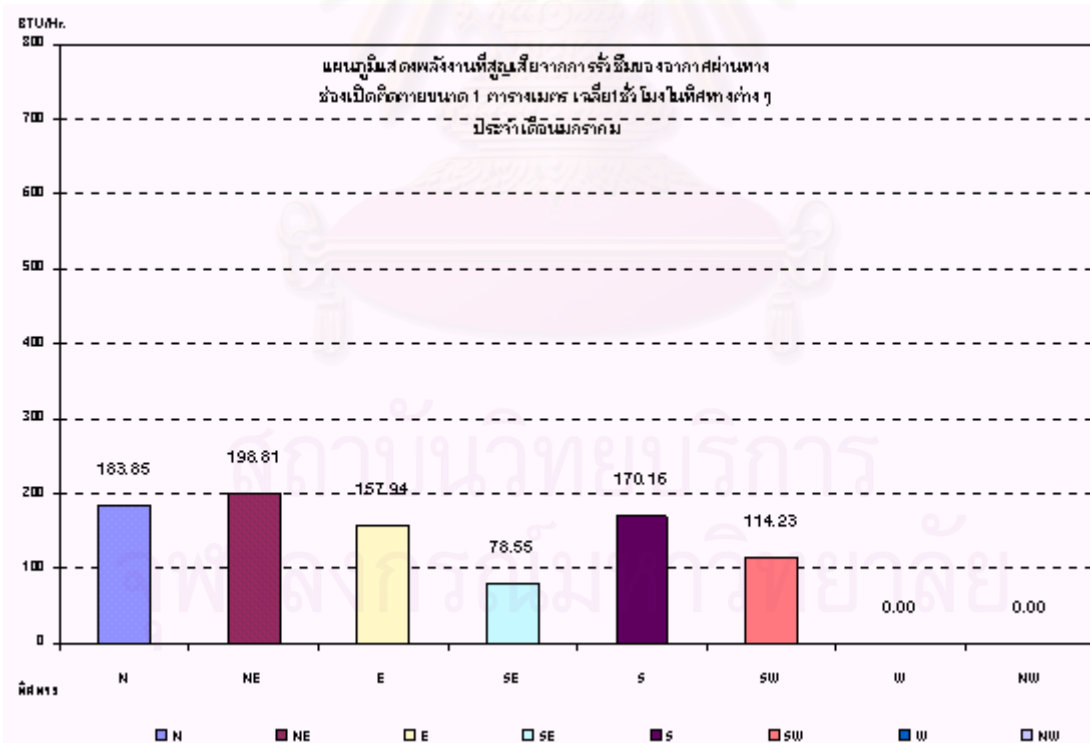
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| 1:00 | 213.96153 | 198.78888 | 191.73111 | 0 | 198.78888 | 0 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 184.57036 | 191.36454 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 197.96898 | 0 | 193.27164 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 177.76237 | 0 | 165.16099 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 166.941 | 155.11629 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 151.4456 | 147.84239 | 144.74887 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 196.56478 | 0 | 189.35532 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 227.12654 | 211.0172 | 211.0172 | 0 | 194.6071 | 221.72228 | 0 | 0 |
| 10:00 | 259.77021 | 236.63764 | 228.8349 | 0 | 233.01071 | 241.58801 | 0 | 0 |
| 11:00 | 263.17612 | 222.77671 | 233.52947 | 260.78135 | 235.95925 | 257.05614 | 0 | 0 |
| 12:00 | 345.36817 | 321.07212 | 276.95568 | 321.07212 | 317.51351 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 275.23065 | 243.41377 | 248.2307 | 255.91262 | 261.59195 | 246.82674 | 0 | 0 |
| 14:00 | 263.4151 | 242.71532 | 244.73244 | 236.04349 | 236.04349 | 251.76725 | 0 | 0 |
| 15:00 | 280.80686 | 254.48214 | 241.70619 | 259.20898 | 266.8474 | 0 | 0 | 0 |
| 16:00 | 289.08125 | 263.50434 | 282.20284 | 0 | 277.13532 | 268.57767 | 0 | 0 |
| 17:00 | 301.44063 | 286.27886 | 258.28395 | 294.27142 | 294.27142 | 0 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 290.28625 | 0 | 0 | 244.47848 | 279.97622 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 280.51238 | 276.30772 | 0 | 278.04564 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 281.32251 | 270.99663 | 0 | 0 | 274.6313 | 261.37169 | 0 | 0 |
| 21:00 | 269.88687 | 254.57514 | 0 | 257.9673 | 267.29879 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 245.34385 | 0 | 0 | 245.34385 | 245.34385 | 0 | 0 |
| 23:00 | 251.03922 | 229.30304 | 0 | 0 | 224.9654 | 239.9512 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0 | 232.18478 | 213.1291 | 0 | 232.18478 | 227.32644 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.37 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.98 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.99 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศพ.ศ.2538

4.4.2 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนมกราคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนมกราคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนมกราคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมกราคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 4412.31 | 183.85 |
| NE | 4771.42 | 198.81 |
| E | 3790.56 | 157.94 |
| SE | 1885.26 | 78.55 |
| S | 4083.93 | 170.16 |
| SW | 2741.51 | 114.23 |
| W | 0.00 | 0.00 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

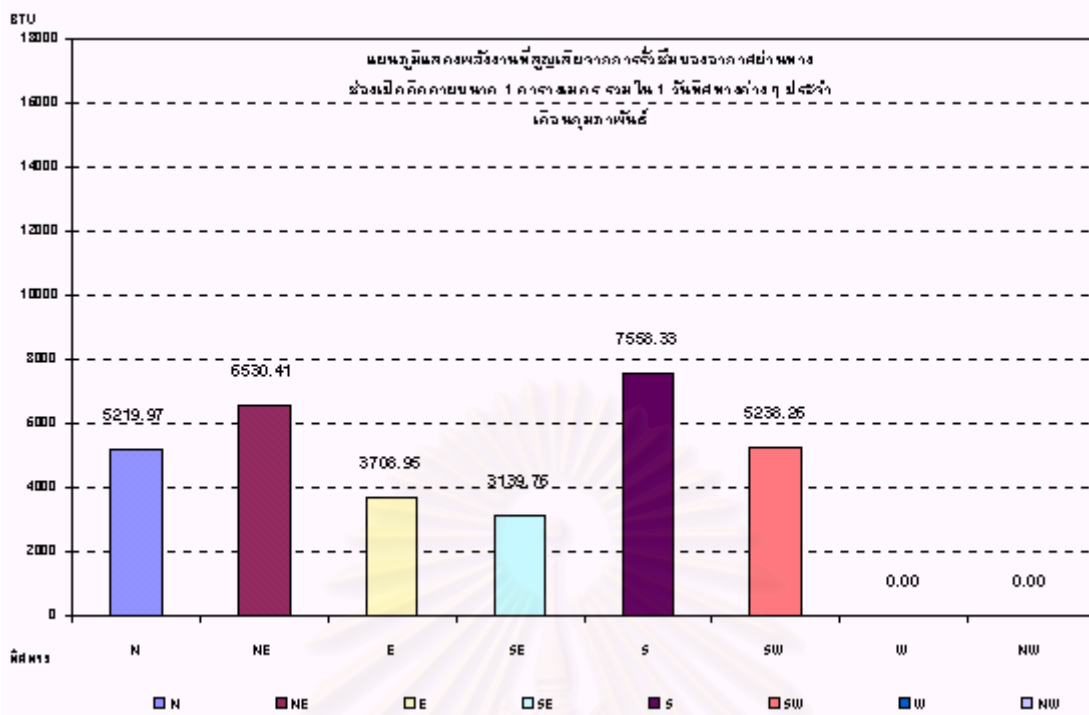
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 198.81 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 4771.42 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 78.55 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 1885.26 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมกราคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

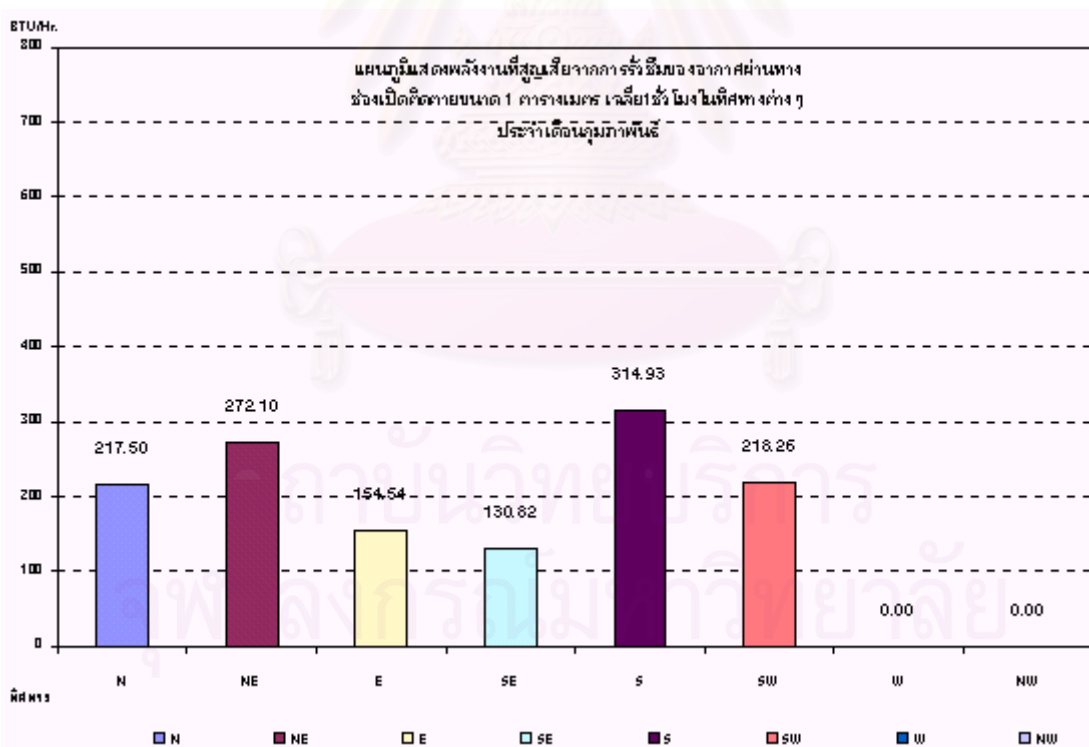
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| 1:00 | 308.3274 | 276.39641 | 0 | 0 | 296.95318 | 290.93161 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 251.79947 | 0 | 0 | 274.26651 | 286.88343 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 253.81847 | 0 | 265.60506 | 267.18779 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 243.51426 | 0 | 0 | 251.47154 | 247.70217 | 0 | 0 |
| 5:00 | 252.97763 | 235.03712 | 0 | 245.41478 | 235.03712 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 242.63464 | 236.86537 | 170.17449 | 0 | 236.86537 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 240.7544 | 200.99357 | 230.11198 | 0 | 232.75989 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 277.86496 | 252.26654 | 211.04724 | 0 | 267.69113 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 330.23538 | 309.93854 | 288.18121 | 327.81787 | 316.37364 | 0 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0 | 309.97161 | 290.66046 | 0 | 339.49248 | 332.86372 | 0 | 0 |
| 11:00 | 0 | 335.78642 | 370.79956 | 0 | 418.46199 | 403.60497 | 0 | 0 |
| 12:00 | 369.22388 | 275.02654 | 349.4593 | 0 | 345.58607 | 353.0702 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 307.85952 | 316.79895 | 352.56005 | 343.61381 | 362.69436 | 0 | 0 |
| 14:00 | 379.12236 | 334.0452 | 320.7551 | 0 | 347.80146 | 347.80146 | 0 | 0 |
| 15:00 | 374.51762 | 347.38383 | 0 | 365.11707 | 350.37519 | 330.16901 | 0 | 0 |
| 16:00 | 331.81558 | 331.81558 | 289.74521 | 0 | 337.33902 | 320.03484 | 0 | 0 |
| 17:00 | 359.3831 | 342.57215 | 0 | 0 | 341.18658 | 341.80868 | 0 | 0 |
| 18:00 | 366.49259 | 353.04546 | 0 | 0 | 351.5047 | 328.41713 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 351.96433 | 210.34568 | 301.33837 | 357.79995 | 345.09204 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 317.08737 | 0 | 331.61841 | 342.42682 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 358.27086 | 0 | 321.04577 | 325.23515 | 335.69638 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 355.50058 | 347.08866 | 339.82603 | 326.68948 | 333.4138 | 288.4486 | 0 | 0 |
| 23:00 | 340.1507 | 316.13712 | 0 | 0 | 321.29584 | 328.96683 | 0 | 0 |
| 0:00 | 332.70045 | 0 | 0 | 298.38412 | 313.7321 | 329.7731 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.38 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.100 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.101 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.3 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนกุมภาพันธ์

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนกุมภาพันธ์สามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

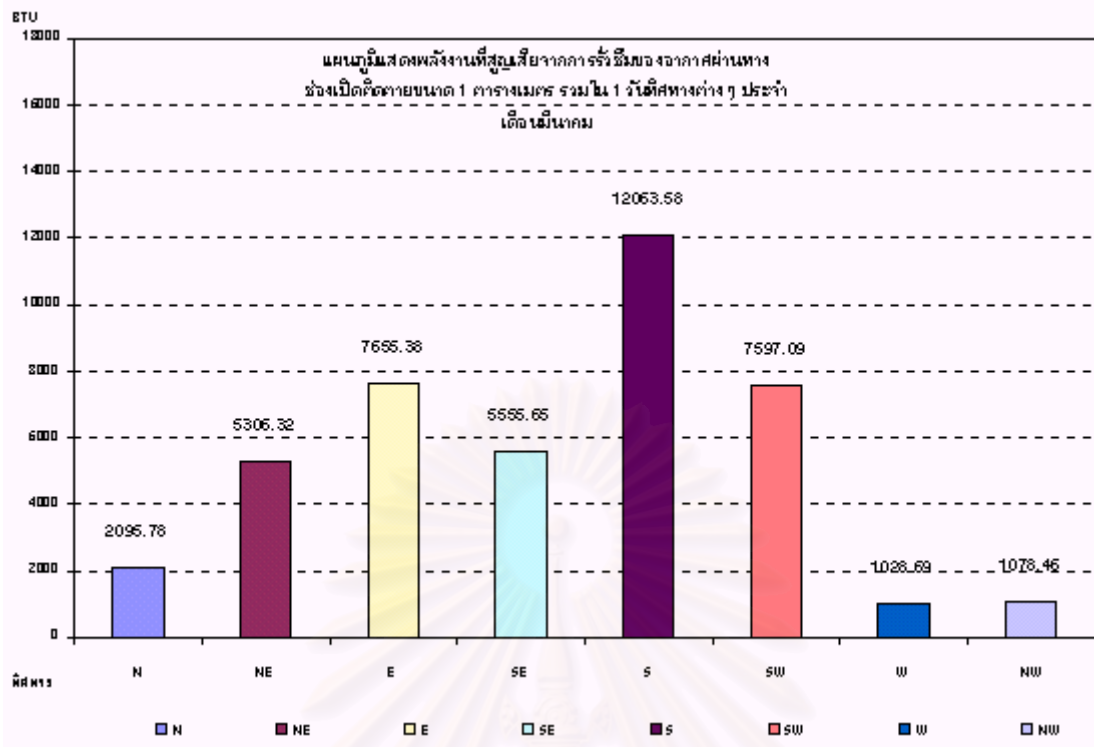
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 5219.97 | 217.50 |
| NE | 6530.41 | 272.10 |
| E | 3708.95 | 154.54 |
| SE | 3139.76 | 130.82 |
| S | 7558.33 | 314.93 |
| SW | 5238.26 | 218.26 |
| W | 0.00 | 0.00 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 314.93 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 7558.33 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 130.82 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 3139.76 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

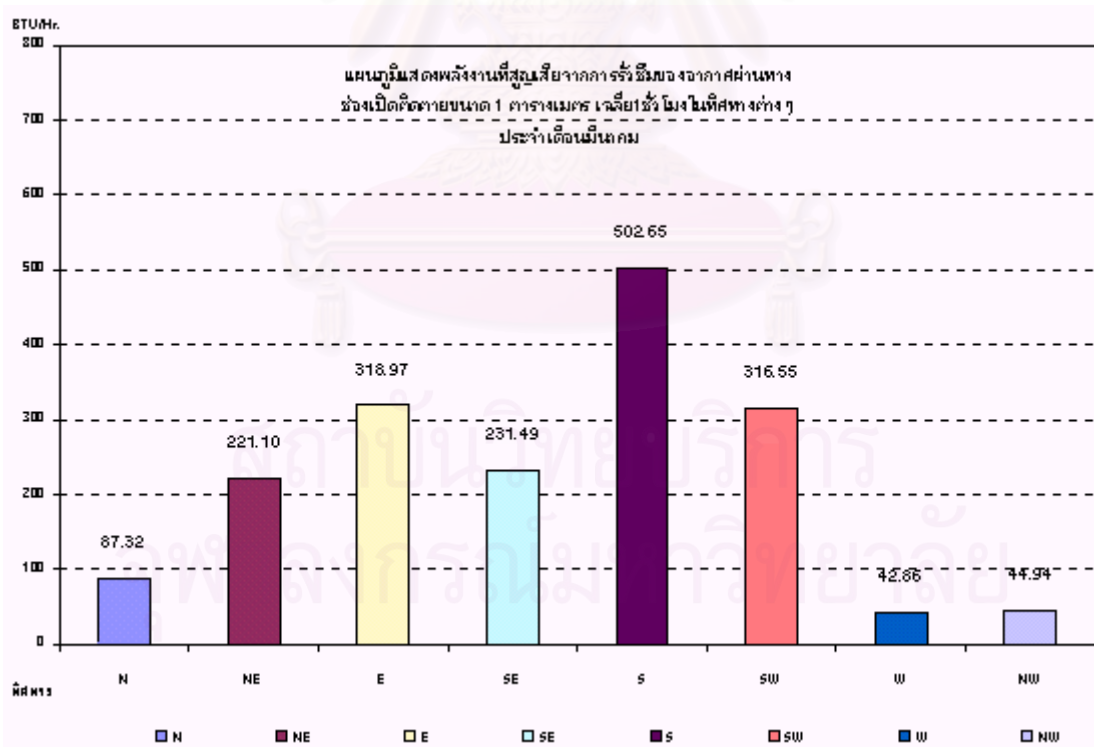
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกุมภาพันธ์นอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 407.7605 | 497.92425 | 0 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 492.26866 | 0 | 497.70428 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 485.49941 | 485.49941 | 0 | 490.51599 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 507.64513 | 0 | 471.6552 | 0 | 483.86399 | 454.90962 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 477.72409 | 470.56338 | 0 | 488.34214 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 474.31013 | 430.86797 | 0 | 485.41917 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 487.53154 | 436.88139 | 462.96333 | 0 | 477.95392 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 537.03262 | 460.14885 | 513.29285 | 0 | 506.54325 | 536.93814 | 0 | 0 |
| 9:00 | 563.57512 | 505.41395 | 483.26745 | 524.01863 | 531.0445 | 539.08149 | 0 | 550.60253 |
| 10:00 | 0 | 0 | 520.79354 | 509.12069 | 531.54207 | 0 | 0 | 527.86181 |
| 11:00 | 0 | 507.8602 | 487.77329 | 516.59429 | 521.66086 | 516.59429 | 516.59429 | 0 |
| 12:00 | 0 | 514.54168 | 501.16665 | 496.27347 | 500.48091 | 504.52865 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 453.38424 | 500.78052 | 534.13941 | 505.43371 | 486.54162 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 483.52598 | 512.09601 | 512.09601 | 500.3598 | 493.91463 | 512.09601 | 0 |
| 15:00 | 0 | 507.02999 | 0 | 521.60452 | 503.70395 | 467.59997 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 533.76159 | 507.99079 | 493.48987 | 496.34866 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 513.84738 | 498.71654 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 492.39824 | 0 | 512.0006 | 520.69055 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 507.37631 | 533.89925 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 508.34428 | 509.99973 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 306.23082 | 493.90658 | 493.90658 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 532.1555 | 500.55821 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 503.26909 | 509.25729 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 508.29302 | 528.07146 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.39 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.102 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.103 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.4 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนมีนาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนมีนาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

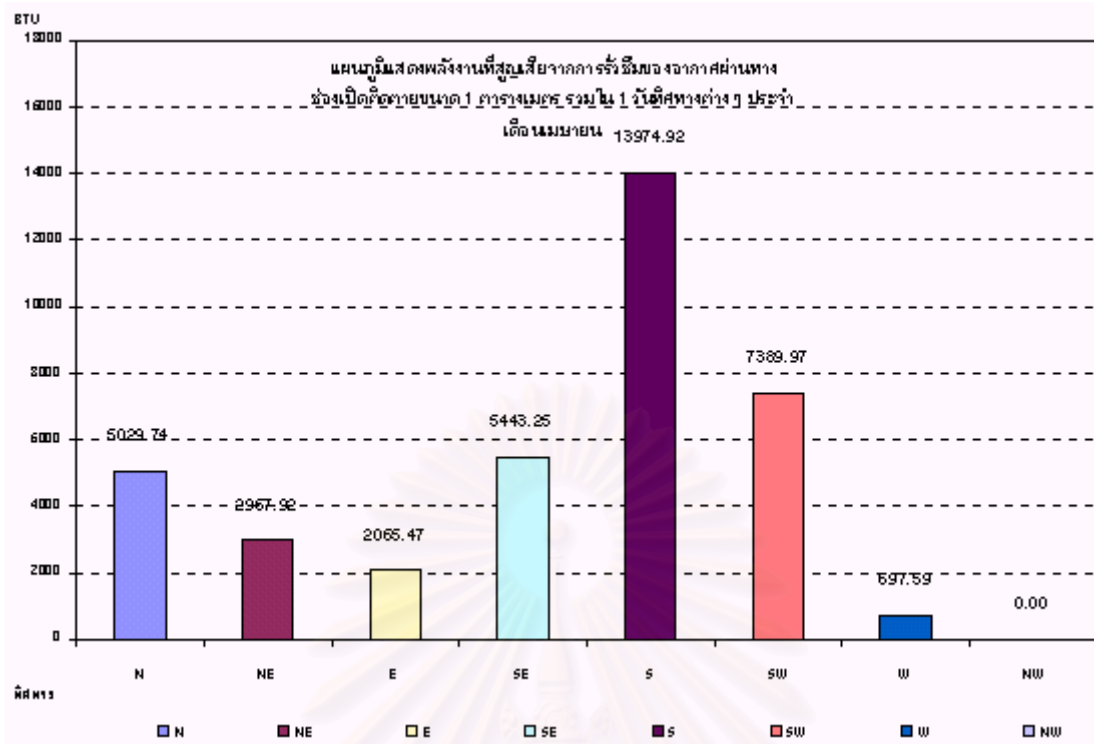
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนมีนาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมีนาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 2095.78 | 87.32 |
| NE | 5306.32 | 221.10 |
| E | 7655.38 | 318.97 |
| SE | 5555.65 | 231.49 |
| S | 12063.58 | 502.65 |
| SW | 7597.09 | 316.55 |
| W | 1028.69 | 42.86 |
| NW | 1078.46 | 44.94 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 502.65 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 12063.58 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 42.86 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 1028.69 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากที่สุด

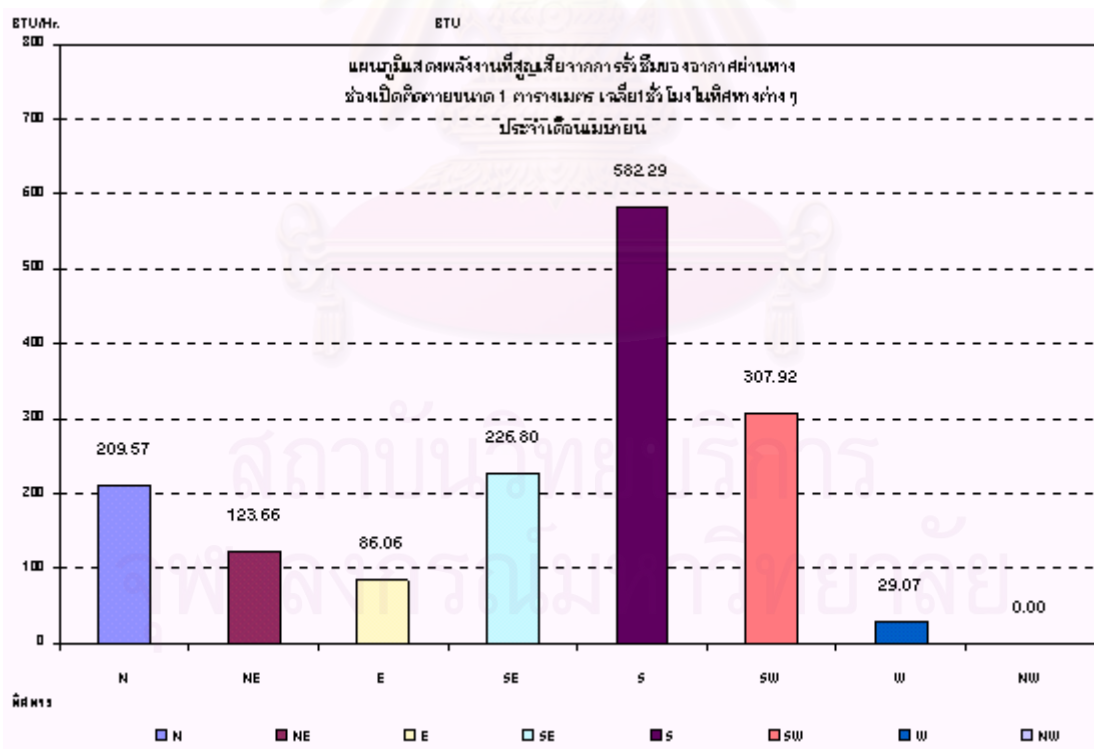
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมีนาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|
| 1:00 | 616.80269 | 0 | 0 | 0 | 576.71135 | 579.02842 | 0 | 0 |
| 2:00 | 611.2584 | 0 | 0 | 0 | 579.21913 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 606.3593 | 0 | 0 | 563.36763 | 591.94774 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 559.96117 | 568.48227 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 557.54011 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 538.17175 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 0 | 583.7848 | 0 | 0 | 596.26122 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 654.9143 | 639.35018 | 608.48141 | 0 | 619.89512 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 0 | 0 | 0 | 635.7331 | 645.88683 | 654.00718 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 660.53294 | 657.86743 | 697.58942 | 0 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 653.16737 | 640.92037 | 0 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 665.13039 | 636.32925 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 0 | 155.90935 | 655.86616 | 648.99181 | 632.58039 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 643.68151 | 0 | 0 | 630.49187 | 607.77028 | 0 | 0 |
| 15:00 | 684.26808 | 0 | 669.17747 | 0 | 634.69121 | 603.24914 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 665.36875 | 0 | 651.44629 | 609.45934 | 616.78319 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 634.64129 | 630.30094 | 585.28736 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 607.04021 | 611.36635 | 577.39217 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 610.65554 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 595.57019 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 631.90295 | 0 | 600.59655 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 620.508 | 435.73214 | 0 | 556.71859 | 579.04662 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 622.17805 | 0 | 0 | 578.47834 | 581.29107 | 607.82503 | 0 | 0 |
| 0:00 | 613.45057 | 0 | 0 | 0 | 566.22332 | 569.96219 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.40 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.104 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดที่ตายขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.105 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดที่ตายขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนเมษายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.5 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนเมษายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนเมษายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

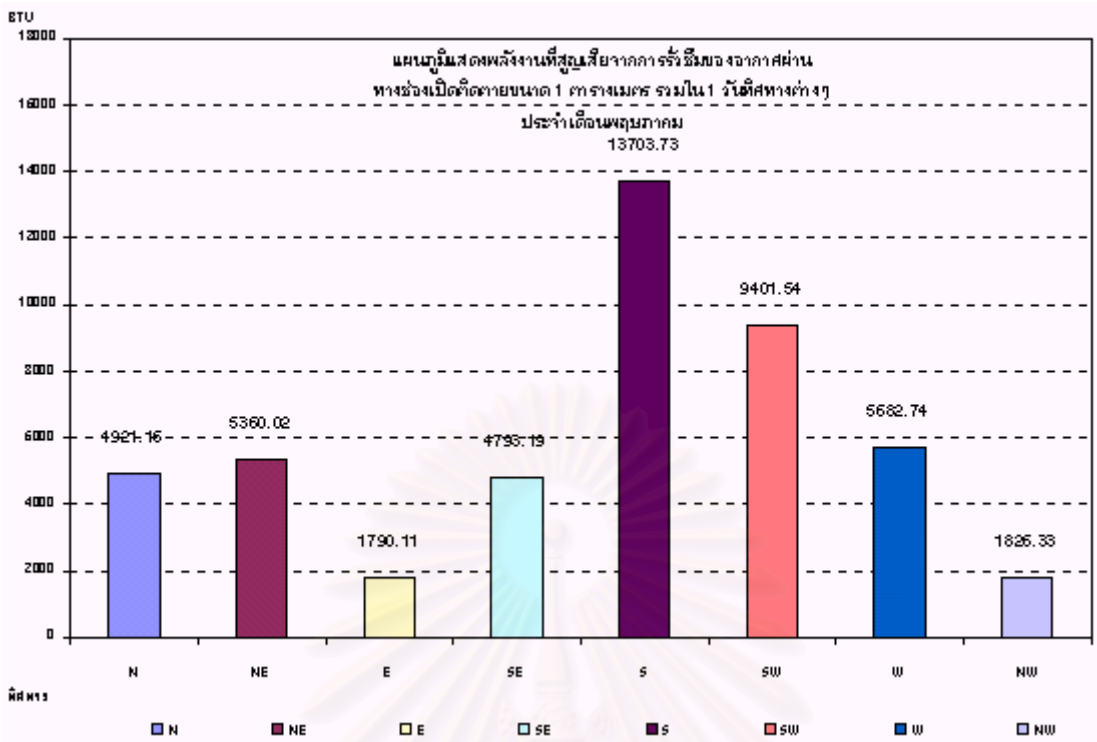
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนเมษายน พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนเมษายน พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 5029.74 | 209.57 |
| NE | 2967.92 | 123.66 |
| E | 2065.47 | 86.06 |
| SE | 5443.25 | 226.80 |
| S | 13974.92 | 582.29 |
| SW | 7389.97 | 307.92 |
| W | 697.59 | 29.07 |
| NW | 0.00 | 0.00 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 582.29 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 13974.92 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 29.07 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 697.59 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

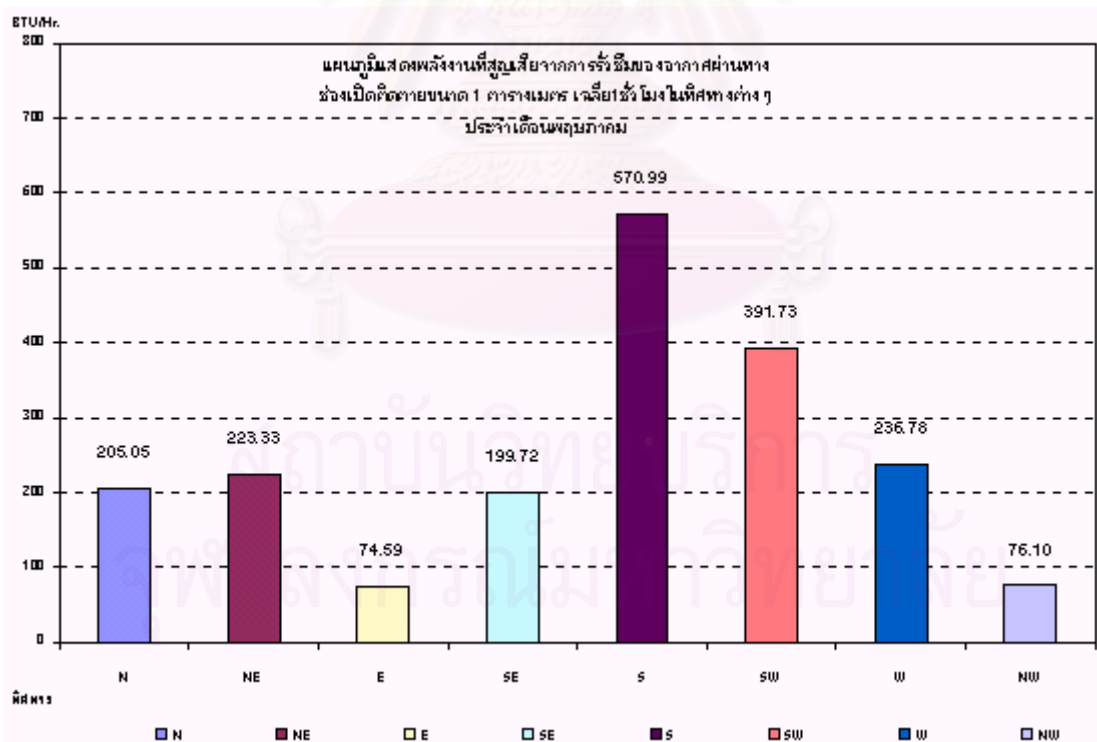
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนเมษายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 580.3267 | 590.9382 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 590.57847 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 569.236 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 564.91506 | 529.63412 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 549.95405 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 562.41563 | 0 | 0 | 0 | 549.08822 | 0 | 481.93833 | 0 |
| 7:00 | 581.78202 | 556.10918 | 0 | 0 | 540.57054 | 0 | 540.57054 | 0 |
| 8:00 | 605.76791 | 579.02244 | 0 | 605.63558 | 585.68529 | 562.84356 | 579.02244 | 0 |
| 9:00 | 630.52882 | 0 | 540.25844 | 585.81534 | 605.07617 | 602.65454 | 585.81534 | 0 |
| 10:00 | 0 | 599.26649 | 0 | 599.26649 | 616.49235 | 599.26649 | 608.38572 | 0 |
| 11:00 | 659.69268 | 0 | 0 | 0 | 627.67546 | 613.24172 | 599.18745 | 613.24172 |
| 12:00 | 0 | 575.09745 | 0 | 470.74421 | 633.76789 | 634.85299 | 618.45239 | 0 |
| 13:00 | 0 | 645.20131 | 0 | 627.17328 | 632.75683 | 596.54193 | 627.17328 | 0 |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 647.67234 | 630.91415 | 629.57527 | 607.22292 | 0 |
| 15:00 | 0 | 613.94048 | 0 | 0 | 612.52128 | 592.14323 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 631.90263 | 0 | 619.36061 | 597.13193 | 0 | 614.24619 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 620.88442 | 620.88442 | 614.00285 | 0 | 598.84064 |
| 18:00 | 651.46357 | 0 | 0 | 636.00035 | 620.07677 | 571.52376 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 583.02029 | 0 | 0 | 596.2615 | 583.02029 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 602.92411 | 0 | 0 | 591.68297 | 553.37989 | 0 | 0 |
| 21:00 | 627.9449 | 0 | 617.94512 | 0 | 602.5952 | 583.41334 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 605.43885 | 0 | 0 | 602.04694 | 0 | 434.97388 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 574.17022 | 538.31126 | 0 | 0 |
| 0:00 | 601.55066 | 0 | 0 | 0 | 567.41818 | 0 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.41 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.106 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดที่ตายขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.107 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดที่ตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.6 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนพฤษภาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนพฤษภาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

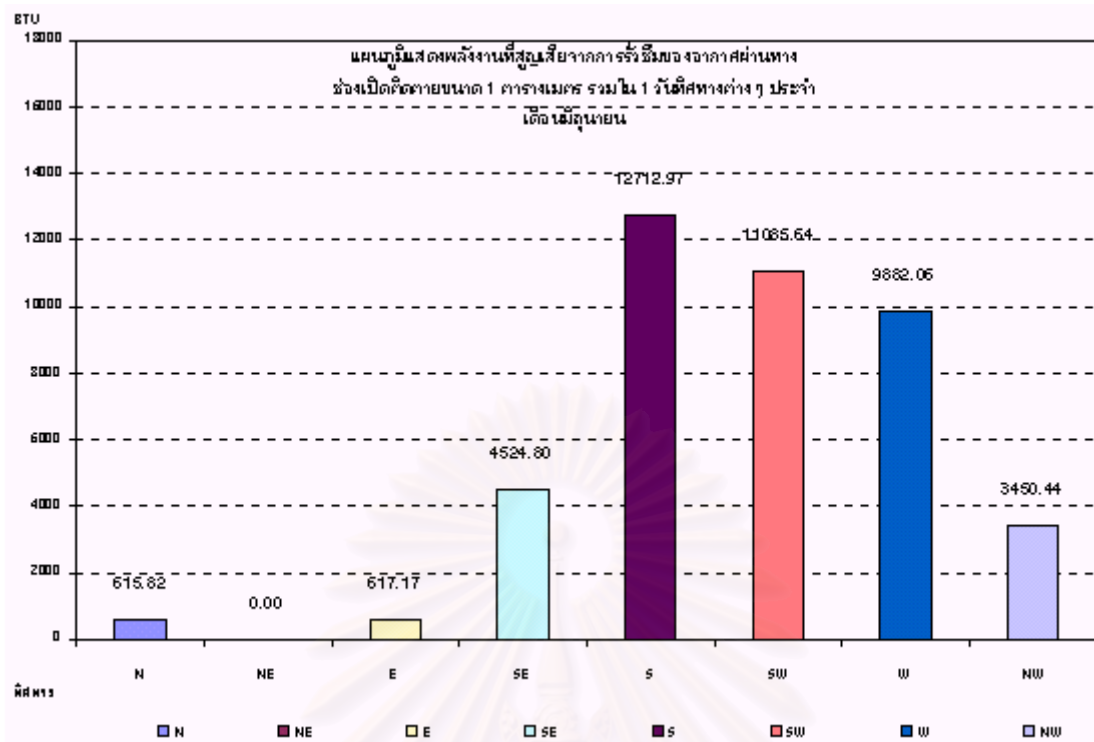
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 4921.15 | 205.05 |
| NE | 5360.02 | 223.33 |
| E | 1790.11 | 74.59 |
| SE | 4793.19 | 199.72 |
| S | 13703.73 | 570.99 |
| SW | 9401.54 | 391.73 |
| W | 5682.74 | 236.78 |
| NW | 1826.33 | 76.10 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 570.99 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 13703.73 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออก มีค่าเท่ากับ 74.59 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 1790.11 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

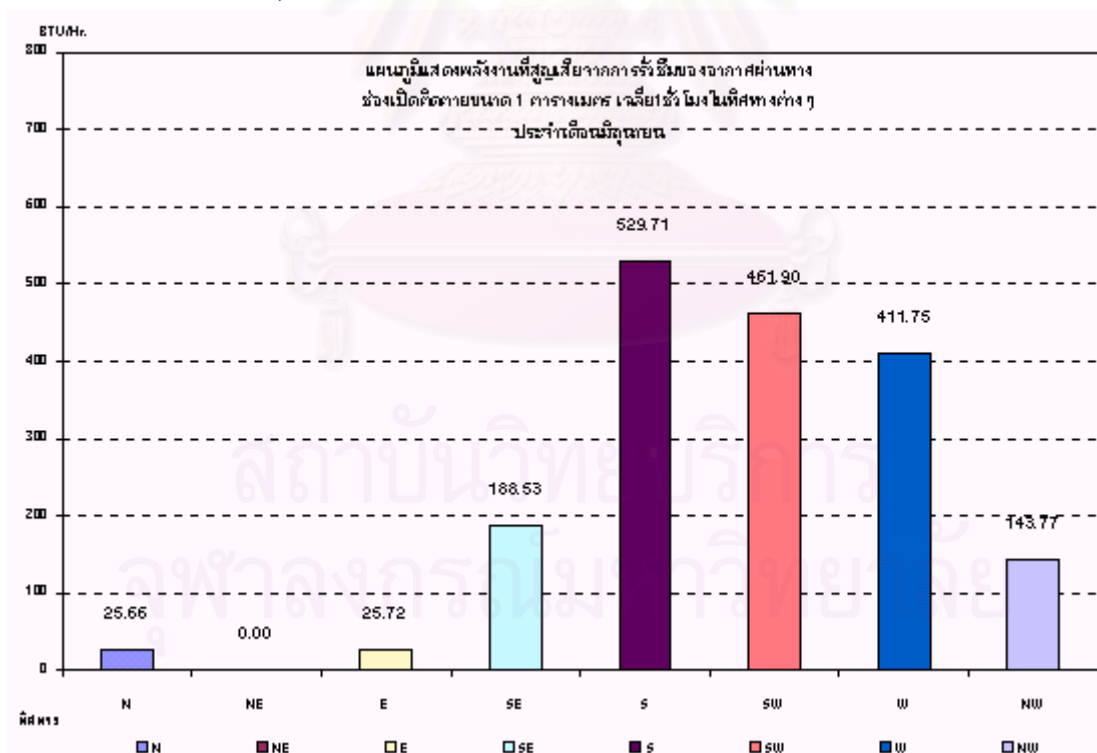
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนพฤษภาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 494.88344 | 513.10048 | 527.8495 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 527.62486 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 529.81521 | 504.23495 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 499.31629 | 505.96959 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 510.37253 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 506.50872 | 0 |
| 7:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 558.81452 | 0 | 539.30613 | 0 |
| 8:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 591.25942 | 571.27551 | 578.88765 | 0 |
| 9:00 | 0 | 0 | 0 | 635.31203 | 613.83919 | 616.6792 | 622.01848 | 644.51885 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 604.46241 | 636.39666 | 587.84678 | 649.68624 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 651.09754 | 619.66159 | 619.66159 | 647.02167 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 617.17225 | 617.17225 | 628.31719 | 626.56396 | 610.33182 | 617.17225 |
| 13:00 | 0 | 0 | 0 | 684.41488 | 627.9094 | 648.69998 | 606.24454 | 619.26983 |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 662.04929 | 652.01128 | 647.59831 | 643.5505 | 0 |
| 15:00 | 0 | 0 | 0 | 664.87127 | 647.10954 | 638.74889 | 654.90537 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 622.19556 | 620.60544 | 582.18608 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 618.22656 | 608.34206 | 0 | 377.94502 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 593.0483 | 586.21513 | 549.92475 | 0 |
| 19:00 | 615.82419 | 0 | 0 | 609.88331 | 564.98153 | 534.05974 | 588.59209 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 538.69016 | 561.79541 | 561.79541 | 541.84951 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 534.09906 | 557.24271 | 534.09906 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 557.25451 | 540.6629 | 525.80102 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 544.91163 | 527.86181 | 543.03515 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 529.05419 | 533.02876 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.42 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.108 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.109 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.7 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนมิถุนายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนมิถุนายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

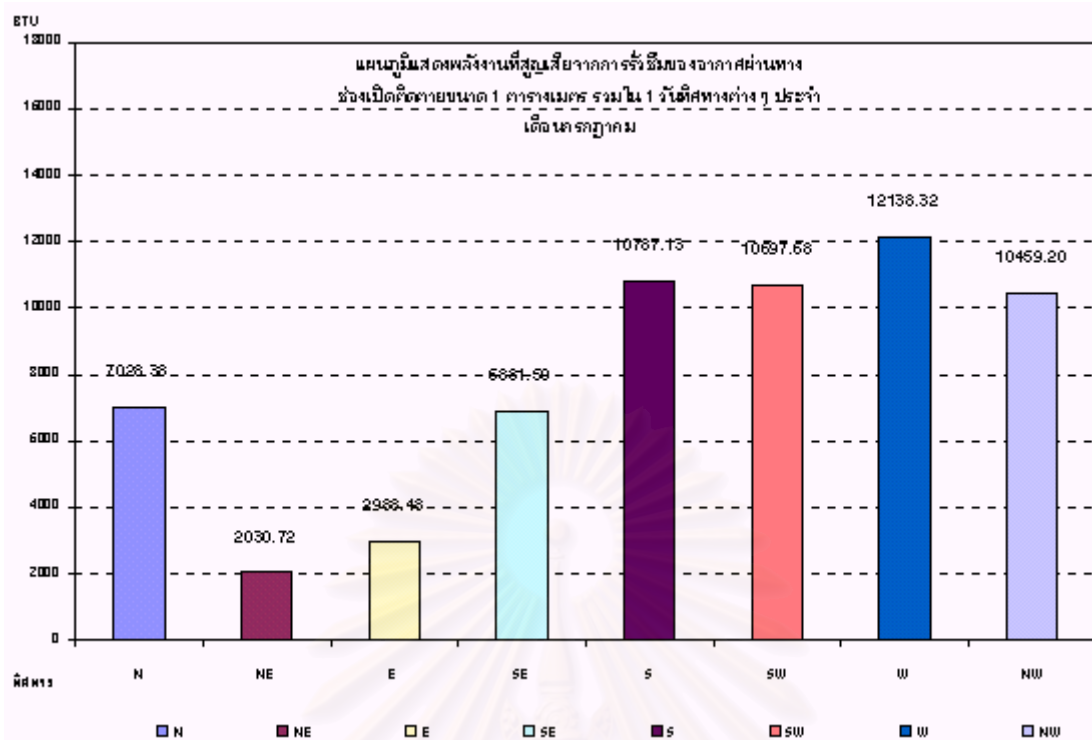
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนมิถุนายน พ.ศ.2538 (บีทียู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนมิถุนายน พ.ศ.2538 (บีทียู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 615.82 | 25.66 |
| NE | 0.00 | 0.00 |
| E | 617.17 | 25.72 |
| SE | 4524.80 | 188.53 |
| S | 12712.97 | 529.71 |
| SW | 11085.64 | 461.90 |
| W | 9882.06 | 411.75 |
| NW | 3450.44 | 143.77 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 529.71 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 12712.97 บีทียูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 25.66 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 615.82 บีทียูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

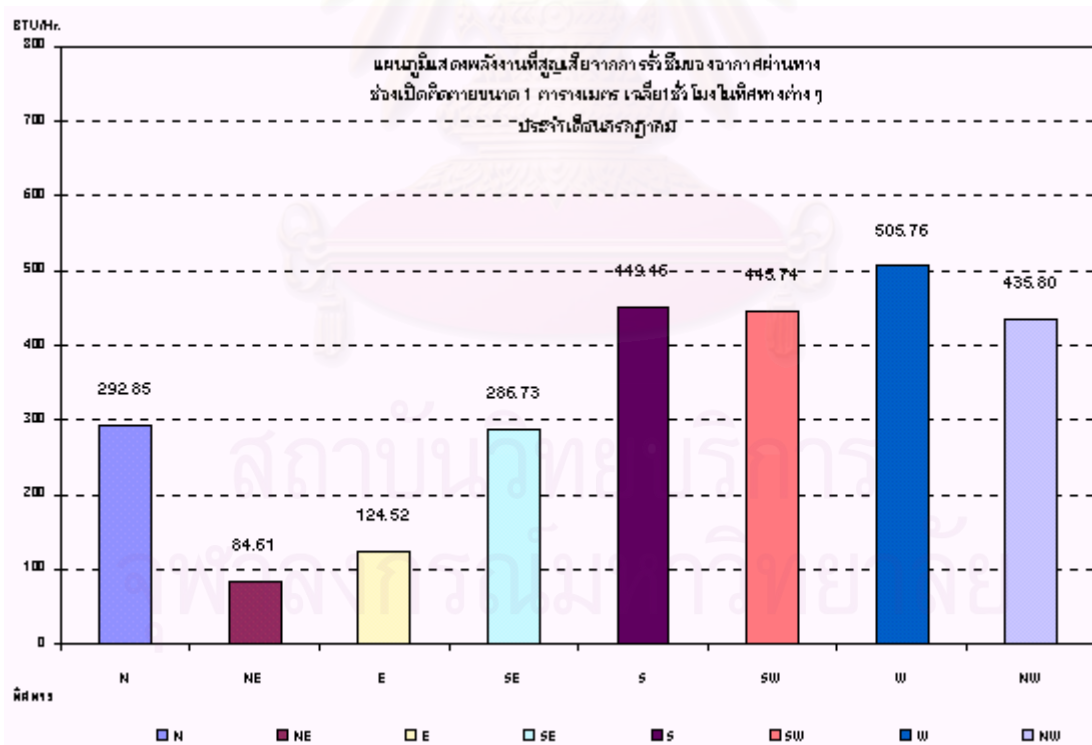
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนมิถุนายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศใต้เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 533.12714 | 0 | 0 | 0 | 517.19598 | 505.18983 | 511.61139 | 432.52417 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 503.04927 | 503.04927 | 506.04693 | 503.04927 | 503.04927 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 498.82605 | 0 | 484.88799 | 489.20482 | 467.6726 |
| 4:00 | 519.21688 | 0 | 0 | 482.39865 | 0 | 0 | 490.72167 | 0 |
| 5:00 | 508.12021 | 0 | 485.66216 | 0 | 0 | 0 | 476.96996 | 498.79231 |
| 6:00 | 488.01364 | 0 | 483.39844 | 0 | 466.52285 | 0 | 470.18693 | 470.18693 |
| 7:00 | 493.43245 | 0 | 0 | 0 | 471.64464 | 481.72444 | 475.34895 | 468.64056 |
| 8:00 | 521.28325 | 508.982 | 0 | 0 | 484.40759 | 498.33184 | 501.30138 | 498.33184 |
| 9:00 | 535.63106 | 516.93201 | 502.48804 | 516.93201 | 506.41751 | 510.13456 | 505.6486 | 516.93201 |
| 10:00 | 550.79064 | 513.18783 | 0 | 527.93936 | 527.93936 | 515.88734 | 509.43876 | 513.18783 |
| 11:00 | 567.04328 | 0 | 0 | 550.91991 | 538.99458 | 518.10543 | 517.30046 | 529.43403 |
| 12:00 | 574.3276 | 0 | 0 | 0 | 531.03719 | 536.96012 | 518.97939 | 497.78144 |
| 13:00 | 559.55446 | 0 | 0 | 492.93377 | 519.60769 | 515.52324 | 536.61818 | 549.8642 |
| 14:00 | 576.16474 | 0 | 0 | 0 | 548.1747 | 551.79439 | 546.57763 | 527.83799 |
| 15:00 | 601.67159 | 0 | 0 | 0 | 547.10692 | 549.84986 | 539.44856 | 478.41319 |
| 16:00 | 0 | 0 | 531.40325 | 0 | 558.73704 | 524.05532 | 520.22609 | 516.29364 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 549.13585 | 540.82982 | 506.38244 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 433.16841 | 529.91443 | 511.10042 | 508.12036 | 500.3503 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 470.86235 | 517.27992 | 510.56747 | 485.63119 | 501.93528 |
| 20:00 | 0 | 491.61357 | 0 | 474.15939 | 477.29923 | 489.83843 | 509.71709 | 474.15939 |
| 21:00 | 0 | 0 | 475.42305 | 492.92375 | 494.87711 | 475.42305 | 504.52559 | 507.09279 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 510.86674 | 498.34408 | 486.92852 | 504.14904 | 510.86674 |
| 23:00 | 0 | 0 | 510.10296 | 405.32294 | 478.24523 | 500.97334 | 512.55147 | 495.84981 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 521.19959 | 521.19959 | 483.53026 | 494.60748 | 0 |

ตารางที่ 4.43 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.110 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดที่ตายขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.111 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดที่ตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.8 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนกรกฎาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนกรกฎาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

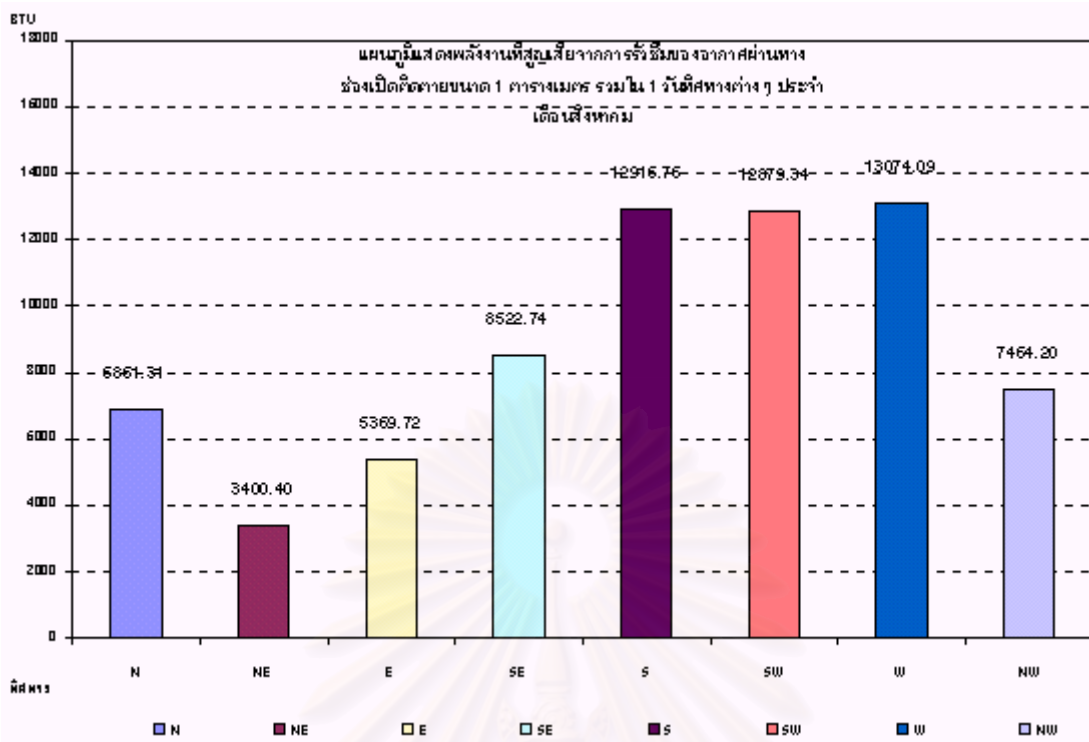
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2538 (บีทียู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2538 (บีทียู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 7028.38 | 292.85 |
| NE | 2030.72 | 84.61 |
| E | 2988.48 | 124.52 |
| SE | 6881.50 | 286.73 |
| S | 10787.13 | 449.46 |
| SW | 10697.68 | 445.74 |
| W | 12138.32 | 505.76 |
| NW | 10459.20 | 435.80 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 505.76 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 12138.82 บีทียูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 84.61 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 2030.72 บีทียูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

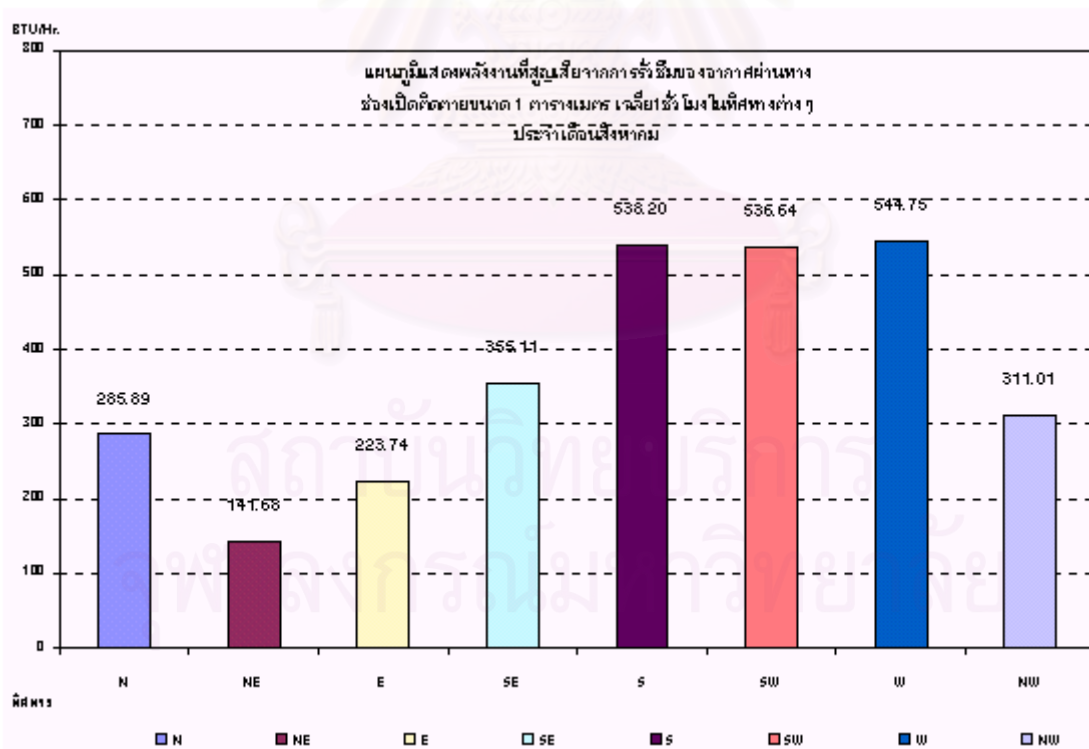
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกรกฎาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 537.81906 | 537.81906 | 519.04362 | 512.21841 | 525.01629 | 522.56105 | 530.13642 |
| 2:00 | 531.73563 | 0 | 519.12327 | 0 | 508.26091 | 501.57749 | 516.72079 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 512.63381 | 0 | 505.31094 | 500.43058 | 475.58357 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 507.80593 | 0 | 484.38277 | 493.21005 | 496.14907 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 415.59205 | 504.10533 | 500.0797 | 0 |
| 6:00 | 514.1761 | 0 | 509.23543 | 0 | 460.76458 | 491.45786 | 504.08244 | 509.23543 |
| 7:00 | 0 | 0 | 519.94266 | 512.51538 | 512.51538 | 501.79129 | 512.51538 | 519.94266 |
| 8:00 | 550.25958 | 0 | 537.2032 | 0 | 539.47347 | 525.96253 | 537.2032 | 0 |
| 9:00 | 582.06566 | 576.45816 | 0 | 568.22358 | 571.9561 | 551.55836 | 552.26543 | 0 |
| 10:00 | 582.15389 | 0 | 0 | 568.31535 | 562.82648 | 548.39647 | 554.42646 | 545.10591 |
| 11:00 | 588.16394 | 564.51071 | 0 | 564.51071 | 569.78168 | 557.08762 | 553.62257 | 548.73731 |
| 12:00 | 598.21302 | 0 | 0 | 578.36865 | 551.23119 | 551.75181 | 558.32481 | 485.34171 |
| 13:00 | 0 | 590.02978 | 0 | 590.02978 | 570.12938 | 562.38214 | 583.90042 | 573.54334 |
| 14:00 | 611.33541 | 548.33631 | 0 | 584.86307 | 558.90898 | 540.75424 | 575.99536 | 558.90898 |
| 15:00 | 0 | 583.24566 | 0 | 579.53077 | 576.73057 | 541.18907 | 573.31833 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 601.4572 | 560.53974 | 554.70142 | 571.18647 | 587.13953 |
| 17:00 | 601.63676 | 0 | 0 | 0 | 559.96117 | 556.91066 | 573.63745 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 661.60385 | 638.50704 | 624.56994 | 618.6514 | 627.07929 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 572.17527 | 548.35231 | 540.96859 | 532.34688 | 454.19774 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 561.20269 | 541.12892 | 544.12708 | 552.09727 | 504.30896 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 568.7271 | 544.41129 | 552.38016 | 557.53786 | 536.94571 |
| 22:00 | 568.25086 | 0 | 0 | 0 | 549.37478 | 519.02309 | 548.19629 | 554.73246 |
| 23:00 | 571.97917 | 0 | 561.34036 | 515.27051 | 542.36768 | 544.87702 | 558.7425 | 0 |
| 0:00 | 561.33962 | 0 | 503.01299 | 0 | 545.97571 | 551.02574 | 536.5206 | 555.92823 |

ตารางที่ 4.44 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.112 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดที่ตายขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคม จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.113 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดที่ตายขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.9 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนสิงหาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนสิงหาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

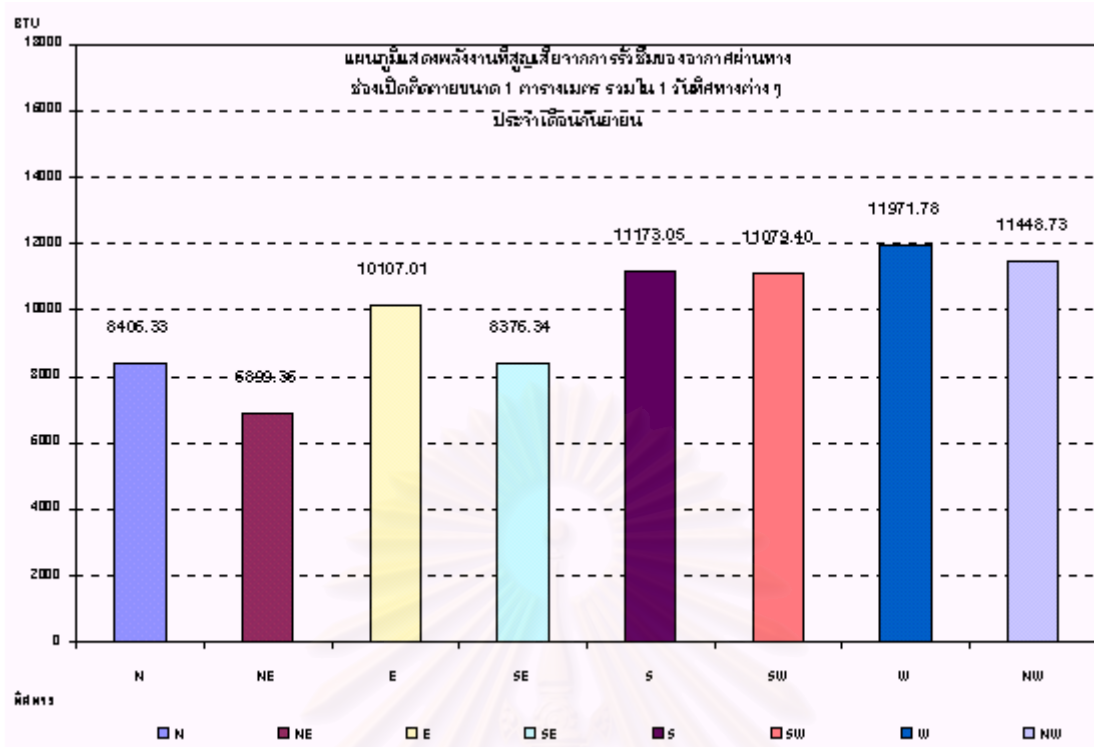
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนสิงหาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนสิงหาคม พ.ศ.2538 (ปีที่ยู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 6861.31 | 285.89 |
| NE | 3400.40 | 141.68 |
| E | 5369.72 | 223.74 |
| SE | 8522.74 | 355.11 |
| S | 12916.76 | 538.20 |
| SW | 12879.34 | 536.64 |
| W | 13074.09 | 544.75 |
| NW | 7464.20 | 311.01 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 544.75 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 13074.09 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 141.68 ปีที่ยูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 3400.40 ปีที่ยูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

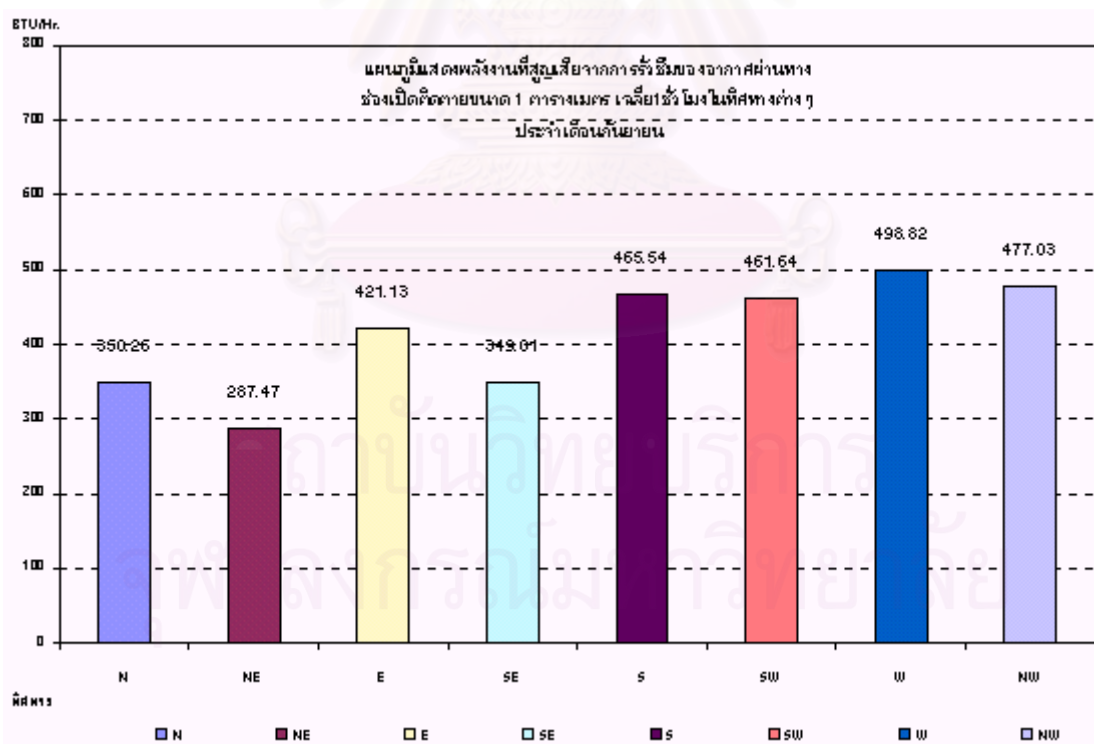
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนสิงหาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 525.13702 | 0 | 520.17542 | 502.01593 | 0 | 495.41462 | 487.98874 | 505.95878 |
| 2:00 | 0 | 0 | 486.59122 | 523.7371 | 500.57824 | 0 | 506.33842 | 513.4371 |
| 3:00 | 0 | 512.4476 | 494.55789 | 0 | 0 | 0 | 503.27349 | 505.12739 |
| 4:00 | 0 | 0 | 491.81728 | 0 | 0 | 491.81728 | 0 | 502.32822 |
| 5:00 | 511.78996 | 489.16654 | 0 | 0 | 494.79541 | 489.16654 | 482.73419 | 499.62082 |
| 6:00 | 0 | 499.64549 | 0 | 0 | 487.75144 | 0 | 489.42505 | 492.50816 |
| 7:00 | 0 | 501.61182 | 508.33956 | 497.70285 | 497.70285 | 508.33956 | 497.70285 | 515.70632 |
| 8:00 | 0 | 538.48806 | 544.07541 | 0 | 533.28727 | 538.48806 | 542.82288 | 512.48906 |
| 9:00 | 573.64761 | 544.79946 | 554.60095 | 0 | 564.51767 | 532.97151 | 554.60095 | 523.96053 |
| 10:00 | 601.31969 | 540.83858 | 569.28034 | 576.86589 | 576.86589 | 517.13983 | 570.87328 | 566.54137 |
| 11:00 | 589.54636 | 535.1799 | 563.47737 | 547.73284 | 559.88838 | 538.47229 | 553.39247 | 535.1799 |
| 12:00 | 579.2979 | 543.45293 | 571.02275 | 551.72282 | 568.927 | 543.45293 | 530.99808 | 549.06833 |
| 13:00 | 581.66937 | 563.29765 | 558.46242 | 0 | 555.89052 | 571.73463 | 519.2378 | 563.29765 |
| 14:00 | 584.8209 | 524.66372 | 543.977 | 559.61356 | 559.61356 | 540.40859 | 543.977 | 552.25487 |
| 15:00 | 599.59985 | 575.38327 | 575.38327 | 582.00425 | 580.4377 | 559.30608 | 544.76189 | 553.107 |
| 16:00 | 0 | 0 | 579.02244 | 579.02244 | 567.24501 | 576.59024 | 562.84356 | 568.65932 |
| 17:00 | 583.61136 | 0 | 0 | 523.02096 | 553.0728 | 555.51806 | 562.24283 | 557.86137 |
| 18:00 | 562.57512 | 0 | 524.49903 | 551.1073 | 542.79101 | 512.47856 | 531.39463 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 526.85813 | 542.24161 | 472.00588 | 490.62911 |
| 20:00 | 535.47145 | 530.37056 | 517.7451 | 522.79432 | 521.43749 | 514.90528 | 513.91192 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 509.06501 | 435.84195 | 503.02843 | 520.46165 | 517.50539 | 499.12525 |
| 22:00 | 529.08478 | 0 | 0 | 483.34476 | 503.22928 | 511.61004 | 480.38944 | 453.4227 |
| 23:00 | 523.17055 | 0 | 514.83708 | 468.80989 | 468.80989 | 510.72574 | 493.46379 | 486.06715 |
| 0:00 | 525.58798 | 0 | 480.08176 | 471.00024 | 506.32102 | 508.15622 | 509.89984 | 502.37535 |

ตารางที่ 4.45 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.114 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.115 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกันยายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.10 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนกันยายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนกันยายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

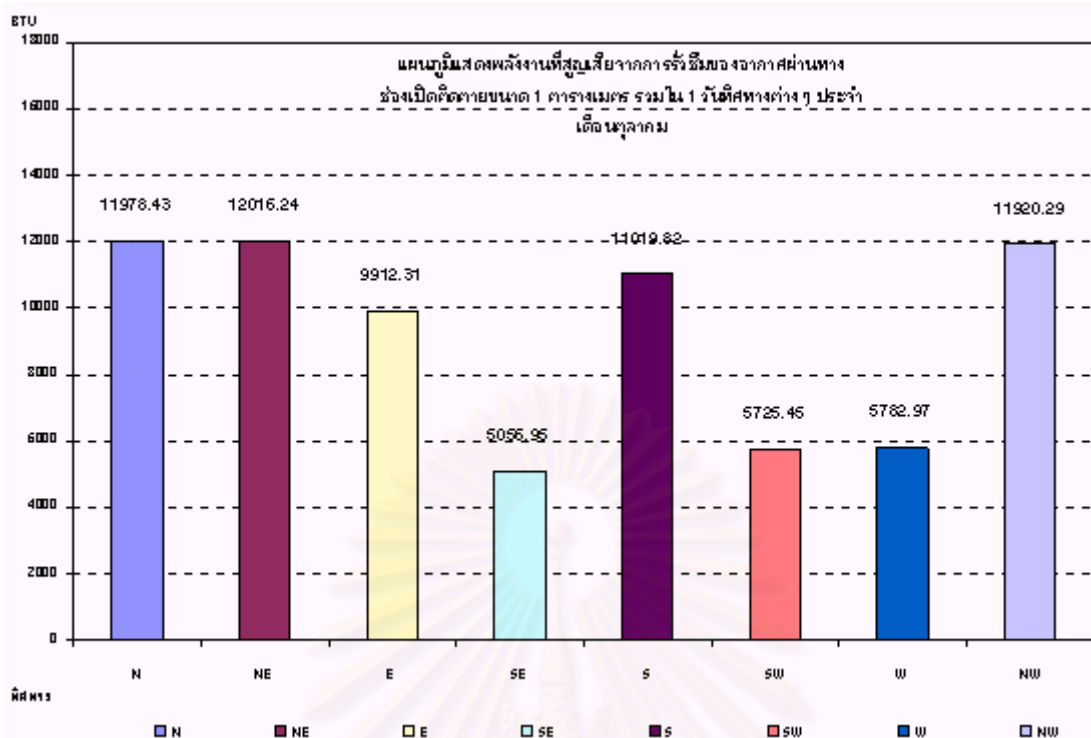
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนกันยายน พ.ศ.2538 (บีทียู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนกันยายน พ.ศ.2538 (บีทียู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 8406.33 | 350.26 |
| NE | 6899.35 | 287.47 |
| E | 10107.01 | 421.13 |
| SE | 8376.34 | 349.01 |
| S | 11173.05 | 465.54 |
| SW | 11079.40 | 461.64 |
| W | 11971.78 | 498.82 |
| NW | 11448.73 | 477.03 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันตก มีค่าเท่ากับ 498.82 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 11971.28 บีทียูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 287.47 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 6899.35 บีทียูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

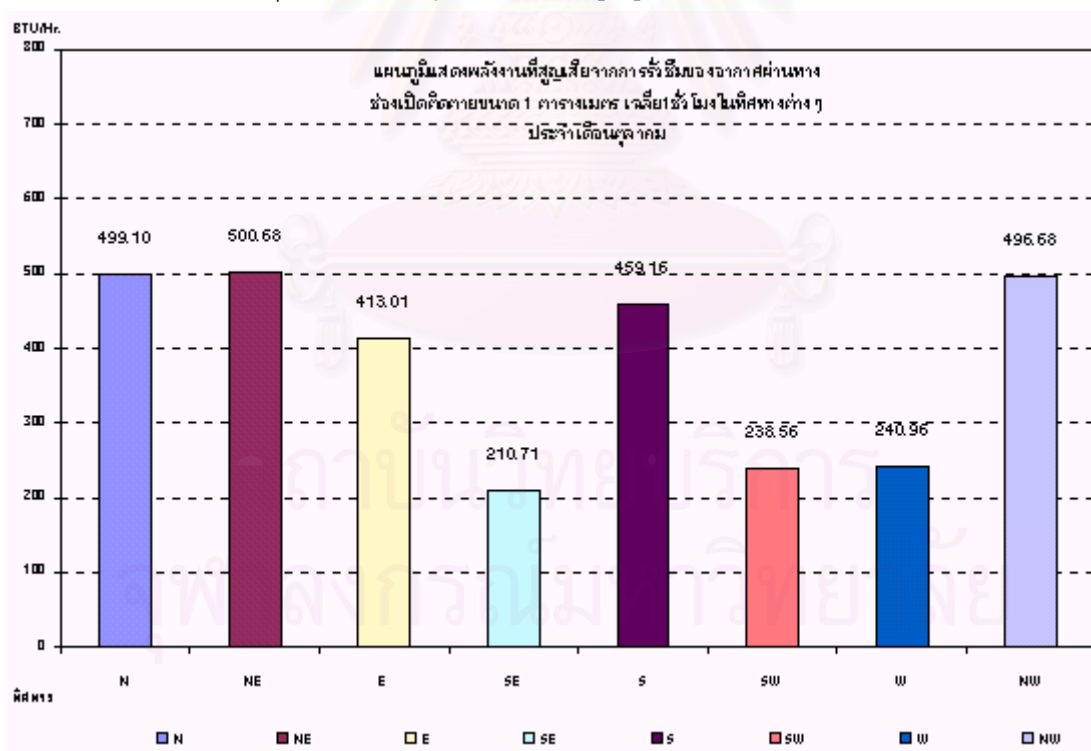
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนกันยายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันตกเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 499.71923 | 484.91056 | 487.96523 | 0 | 491.89334 | 0 | 405.52431 | 477.75484 |
| 2:00 | 494.50295 | 480.63694 | 472.76783 | 482.87165 | 486.75876 | 0 | 0 | 482.87165 |
| 3:00 | 489.79132 | 485.07436 | 485.07436 | 0 | 478.14517 | 0 | 0 | 455.05961 |
| 4:00 | 491.69323 | 456.98121 | 485.14642 | 0 | 487.1227 | 0 | 470.11708 | 480.16425 |
| 5:00 | 475.78135 | 467.27691 | 442.26355 | 0 | 471.43429 | 0 | 0 | 451.07094 |
| 6:00 | 470.84013 | 463.76876 | 0 | 460.06525 | 0 | 0 | 0 | 453.12279 |
| 7:00 | 480.62387 | 469.38054 | 476.18271 | 0 | 0 | 0 | 469.38054 | 469.38054 |
| 8:00 | 512.24647 | 500.40091 | 489.93031 | 0 | 500.40091 | 0 | 500.40091 | 495.56797 |
| 9:00 | 540.23249 | 526.90897 | 519.13348 | 519.13348 | 519.13348 | 530.2282 | 0 | 526.90897 |
| 10:00 | 553.34046 | 534.3613 | 530.04957 | 532.74665 | 517.86079 | 552.01777 | 0 | 532.74665 |
| 11:00 | 546.53129 | 532.70172 | 517.81712 | 0 | 535.87607 | 0 | 517.81712 | 536.88558 |
| 12:00 | 543.77278 | 530.38016 | 518.86526 | 518.86526 | 486.21423 | 500.44355 | 553.08849 | 518.86526 |
| 13:00 | 546.66012 | 527.9682 | 539.64956 | 0 | 528.93087 | 509.83517 | 0 | 523.96186 |
| 14:00 | 548.9384 | 531.16125 | 0 | 0 | 517.77805 | 0 | 0 | 514.54168 |
| 15:00 | 540.98549 | 505.23942 | 519.76247 | 0 | 487.30147 | 538.56391 | 530.87063 | 516.45192 |
| 16:00 | 547.07038 | 520.9578 | 525.46832 | 0 | 513.99858 | 525.46832 | 536.69843 | 518.55862 |
| 17:00 | 537.44616 | 496.93572 | 0 | 514.59576 | 510.17857 | 514.59576 | 0 | 529.82452 |
| 18:00 | 529.8382 | 496.3823 | 0 | 0 | 509.70777 | 0 | 506.68844 | 512.51894 |
| 19:00 | 531.43771 | 478.91918 | 510.82181 | 510.82181 | 529.29984 | 510.82181 | 521.7389 | 500.43159 |
| 20:00 | 534.12938 | 517.97233 | 507.6842 | 512.07979 | 489.35555 | 530.60332 | 523.02376 | 497.7714 |
| 21:00 | 529.24148 | 513.88228 | 431.22757 | 0 | 508.03627 | 518.89383 | 0 | 498.94364 |
| 22:00 | 518.03033 | 496.35501 | 465.35589 | 502.0666 | 503.78933 | 0 | 0 | 514.30973 |
| 23:00 | 515.5725 | 503.70486 | 493.16512 | 503.70486 | 493.16512 | 0 | 0 | 418.60475 |
| 0:00 | 0 | 493.97658 | 493.97658 | 0 | 453.43535 | 493.97658 | 247.6244 | 493.97658 |

ตารางที่ 4.46 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.116 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.117 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.11 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนตุลาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนตุลาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

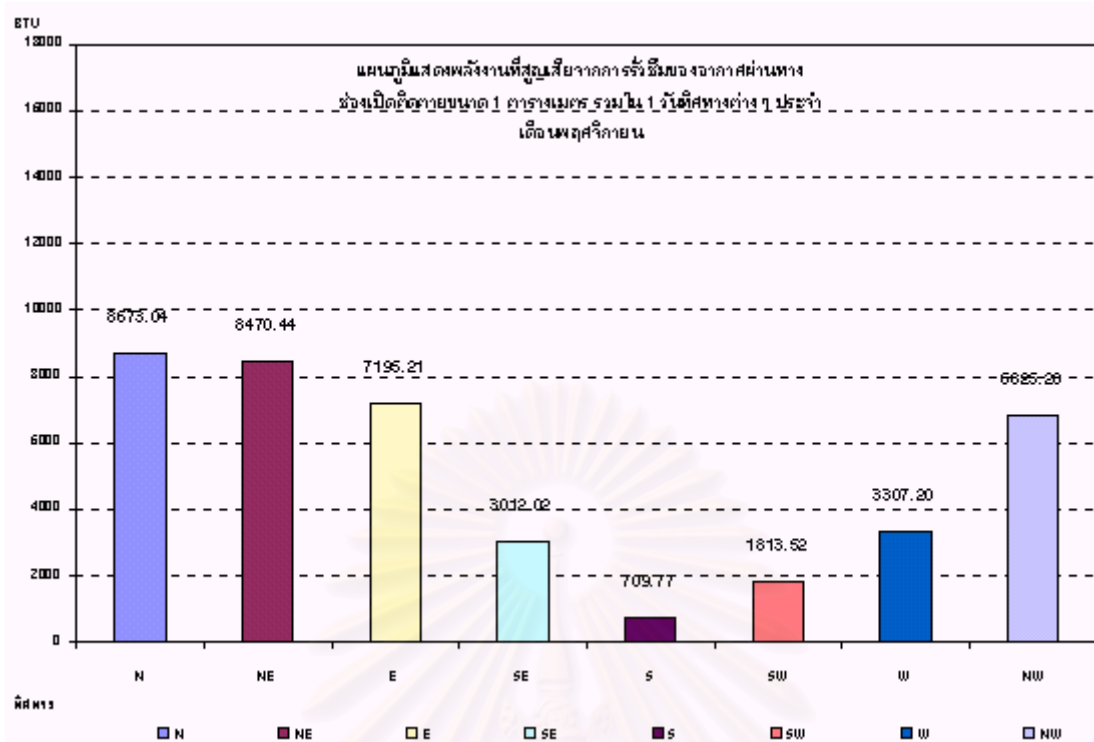
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนตุลาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนตุลาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 11978.43 | 499.10 |
| NE | 12016.24 | 500.68 |
| E | 9912.31 | 413.01 |
| SE | 5056.95 | 210.71 |
| S | 11019.82 | 459.16 |
| SW | 5725.45 | 238.56 |
| W | 5782.97 | 240.96 |
| NW | 11920.29 | 496.68 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าเท่ากับ 500.68 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 12016.24 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 210.71 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 5056.95 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

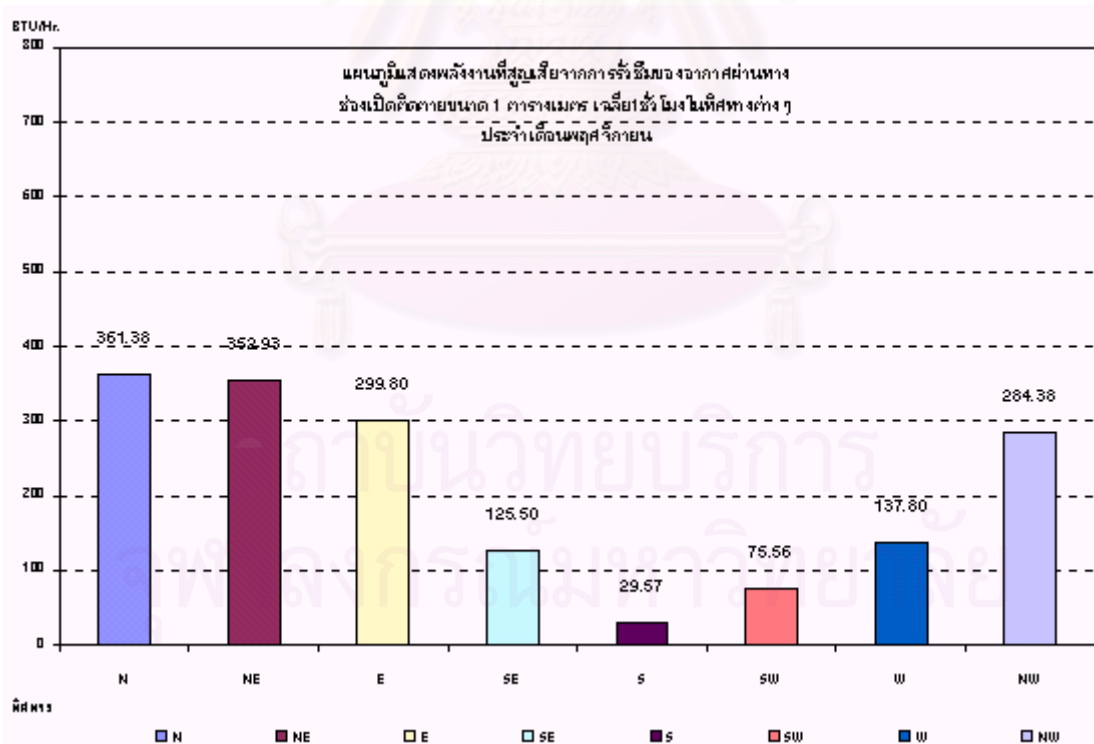
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนตุลาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 350.84935 | 345.26354 | 337.08542 | 0 | 0 | 344.28949 | 0 | 344.28949 |
| 2:00 | 340.81257 | 331.47279 | 322.72136 | 0 | 0 | 0 | 0 | 334.01054 |
| 3:00 | 333.22803 | 327.17341 | 312.49136 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 322.43478 | 315.01286 | 299.80357 | 0 | 0 | 0 | 0 | 315.01286 |
| 5:00 | 304.34583 | 299.98142 | 270.63205 | 0 | 0 | 0 | 291.66327 | 0 |
| 6:00 | 292.46321 | 288.9253 | 272.02217 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 289.05459 | 271.86226 | 277.58858 | 0 | 0 | 0 | 0 | 282.38639 |
| 8:00 | 306.46494 | 296.51549 | 297.70696 | 0 | 0 | 305.29046 | 0 | 0 |
| 9:00 | 337.77229 | 334.97386 | 321.55838 | 0 | 341.22517 | 0 | 0 | 341.22517 |
| 10:00 | 364.42661 | 355.72818 | 348.96729 | 368.87019 | 0 | 0 | 316.12074 | 342.77739 |
| 11:00 | 375.35259 | 368.52269 | 366.91758 | 380.19014 | 0 | 0 | 0 | 344.00229 |
| 12:00 | 388.22232 | 372.24074 | 378.28435 | 378.28435 | 0 | 0 | 391.96809 | 0 |
| 13:00 | 373.34228 | 369.46392 | 350.02574 | 373.34228 | 0 | 0 | 386.84724 | 362.91046 |
| 14:00 | 390.63097 | 379.24539 | 378.18716 | 372.51843 | 0 | 0 | 372.51843 | 380.78553 |
| 15:00 | 412.46916 | 400.61355 | 386.21006 | 389.41972 | 0 | 0 | 0 | 400.61355 |
| 16:00 | 404.28876 | 389.1126 | 392.48159 | 367.96973 | 0 | 0 | 392.48159 | 392.48159 |
| 17:00 | 393.93477 | 386.39435 | 388.15125 | 381.42931 | 0 | 0 | 0 | 381.42931 |
| 18:00 | 392.1543 | 386.55246 | 0 | 0 | 0 | 386.55246 | 378.46407 | 378.46407 |
| 19:00 | 388.69393 | 387.62886 | 390.10596 | 0 | 0 | 384.53338 | 0 | 386.15845 |
| 20:00 | 390.75257 | 388.56244 | 0 | 0 | 368.54422 | 392.8526 | 0 | 379.13799 |
| 21:00 | 391.85366 | 387.95778 | 0 | 0 | 0 | 0 | 391.40945 | 375.33923 |
| 22:00 | 385.93138 | 375.18778 | 372.26401 | 0 | 0 | 0 | 385.72997 | 376.54768 |
| 23:00 | 379.81582 | 354.26328 | 375.23185 | 0 | 0 | 0 | 0 | 361.31821 |
| 0:00 | 363.74942 | 357.78042 | 356.77106 | 0 | 0 | 0 | 0 | 346.30745 |

ตารางที่ 4.47 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.118 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตร
ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.119 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตาราง
เมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.12 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนพฤศจิกายน

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนพฤศจิกายนสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

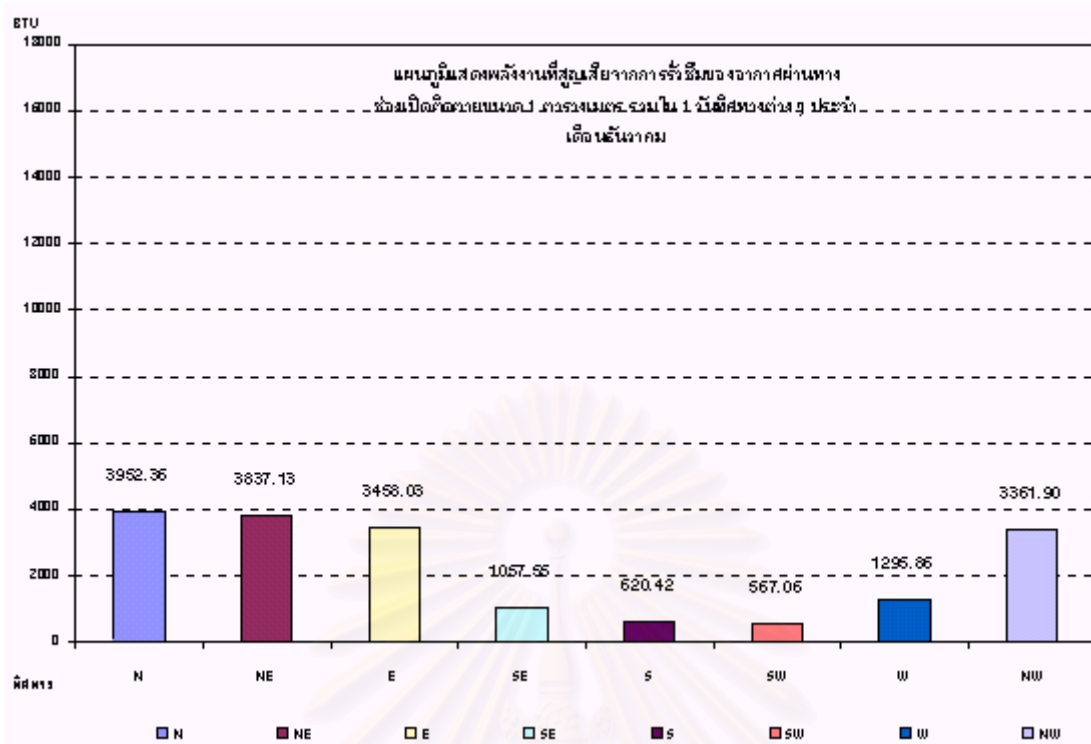
| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2538 (บีทียู ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2538 (บีทียู ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 8673.04 | 361.38 |
| NE | 8470.44 | 352.93 |
| E | 7195.21 | 299.80 |
| SE | 3012.02 | 125.50 |
| S | 709.77 | 29.57 |
| SW | 1813.52 | 75.56 |
| W | 3307.20 | 137.80 |
| NW | 6825.20 | 284.38 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 361.38 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 8673.04 บีทียูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศใต้ มีค่าเท่ากับ 29.57 บีทียูต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 709.77 บีทียูต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

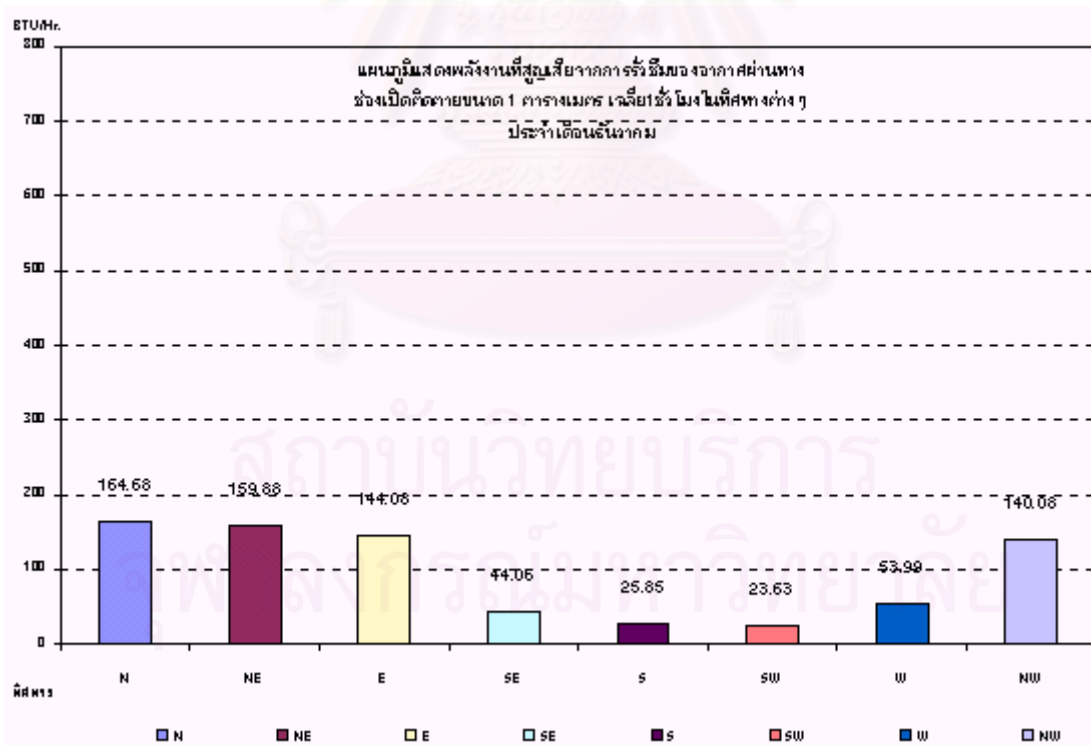
ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนพฤศจิกายนนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศเหนือเนื่องจากการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 150.31275 | 146.74107 | 131.86472 | 146.74107 | 0 | 0 | 0 | 145.32383 |
| 2:00 | 133.5055 | 131.4084 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 118.07733 | 113.43881 | 115.39948 | 0 | 0 | 115.39948 | 0 | 115.39948 |
| 4:00 | 106.84999 | 101.7294 | 103.05008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 105.94562 |
| 5:00 | 89.38042 | 82.222344 | 84.989036 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 80.345365 | 77.05063 | 78.45953 | 0 | 0 | 0 | 79.59655 | 0 |
| 7:00 | 118.00596 | 114.1486 | 115.26181 | 0 | 0 | 0 | 0 | 112.85003 |
| 8:00 | 82.644975 | 79.063166 | 80.310297 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 127.80614 | 124.94032 | 122.2041 | 125.26543 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10:00 | 148.98788 | 149.87481 | 149.73199 | 148.02861 | 0 | 0 | 151.19222 | 151.19222 |
| 11:00 | 174.78421 | 163.71979 | 164.45989 | 0 | 0 | 0 | 0 | 170.36399 |
| 12:00 | 191.10266 | 187.50265 | 178.8702 | 0 | 0 | 0 | 0 | 189.73825 |
| 13:00 | 208.53284 | 200.87685 | 197.99067 | 202.61607 | 0 | 0 | 0 | 204.94759 |
| 14:00 | 219.60799 | 217.95945 | 210.59267 | 213.39878 | 215.85437 | 0 | 0 | 214.67041 |
| 15:00 | 234.20982 | 226.19923 | 234.60895 | 221.49862 | 0 | 232.73543 | 227.86558 | 229.99321 |
| 16:00 | 234.08391 | 229.91974 | 223.84948 | 0 | 0 | 0 | 231.68001 | 228.61378 |
| 17:00 | 221.51239 | 212.11563 | 208.35317 | 0 | 0 | 218.92311 | 0 | 218.11962 |
| 18:00 | 210.5737 | 203.77826 | 202.57114 | 0 | 0 | 0 | 204.90214 | 208.56596 |
| 19:00 | 208.69694 | 204.37657 | 191.22039 | 0 | 204.37657 | 0 | 194.50896 | 200.1001 |
| 20:00 | 209.11943 | 200.18996 | 0 | 0 | 200.18996 | 0 | 206.11431 | 194.59631 |
| 21:00 | 192.59432 | 191.18442 | 191.18442 | 0 | 0 | 0 | 0 | 188.45339 |
| 22:00 | 177.95805 | 176.52018 | 172.31812 | 0 | 0 | 0 | 0 | 175.39931 |
| 23:00 | 164.62356 | 156.66611 | 160.82873 | 0 | 0 | 0 | 0 | 162.1234 |
| 0:00 | 149.04382 | 145.50209 | 139.9079 | 0 | 0 | 0 | 0 | 145.50209 |

ตารางที่ 4.48 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดติดตายขณะปิด เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.120 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.121 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางช่องเปิดติดตายขนาด 1 ตารางเมตรในขณะที่ปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538

4.4.13 สรุปผลการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนธันวาคม

จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานติดตาย เดือนธันวาคมสามารถที่จะสรุปผลออกมาได้ดังนี้

| ทิศ | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายรวมใน 1 วัน เดือนธันวาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ วัน) | พลังงานที่สูญเสียจากช่องเปิดบานติดตายเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง เดือนธันวาคม พ.ศ.2538 (ปีทีู่้ ต่อ ชั่วโมง) |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N | 3952.36 | 164.68 |
| NE | 3837.13 | 159.88 |
| E | 3458.03 | 144.08 |
| SE | 1057.55 | 44.06 |
| S | 620.42 | 25.85 |
| SW | 567.06 | 23.63 |
| W | 1295.86 | 53.99 |
| NW | 3361.90 | 140.08 |

- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ ทิศเหนือ มีค่าเท่ากับ 164.68 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 3952.36 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำสูงที่สุด
- ทิศทางที่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าเท่ากับ 23.63 ปีทีู่้ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร หรือ มีค่าเท่ากับ 567.06 ปีทีู่้ต่อวันต่อตารางเมตร เนื่องมาจากเป็นทิศที่มีค่าความเร็วลมภายนอกมากกระทำต่ำที่สุด

ดังนั้นในการเลือกใช้ช่องเปิดในเดือนธันวาคมนอกจากการพิจารณาถึงความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารยังต้องพิจารณาถึงพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ ควรที่จะหลีกเลี่ยงช่องเปิดด้านทิศเหนือเนื่องจากมีการรั่วซึมสูงสุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

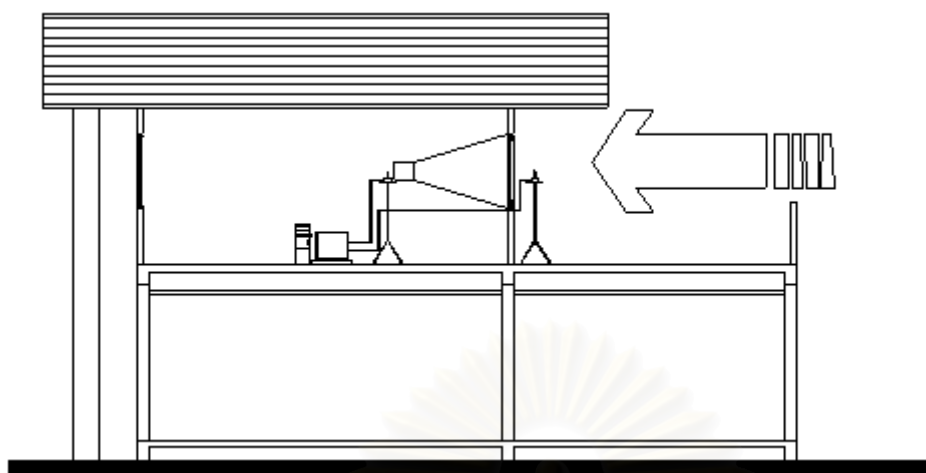
จากข้อมูลที่ได้พิจารณามาทั้งหมดโดยตลอดทั้งปีจะเห็นได้ว่าการออกแบบอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศจะสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาทิศทางและขนาดของช่องเปิดด้วยเป็นปัจจัยหนึ่ง ข้อมูลที่ได้รับแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการออกแบบอาคารเพื่อลดการรั่วซึมของอากาศ โดยเลือกใช้ช่องเปิดแบบบานติดตายนั้น ควรที่จะหลีกเลี่ยงทิศใต้และตะวันตกเป็นสำคัญ เนื่องจากมีอัตราการสูญเสียพลังงานมากที่สุดตลอดทั้งปีหรือไม่ใช้ช่องเปิดนี้ในอาคารเลย

4.5 การทดลองการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง

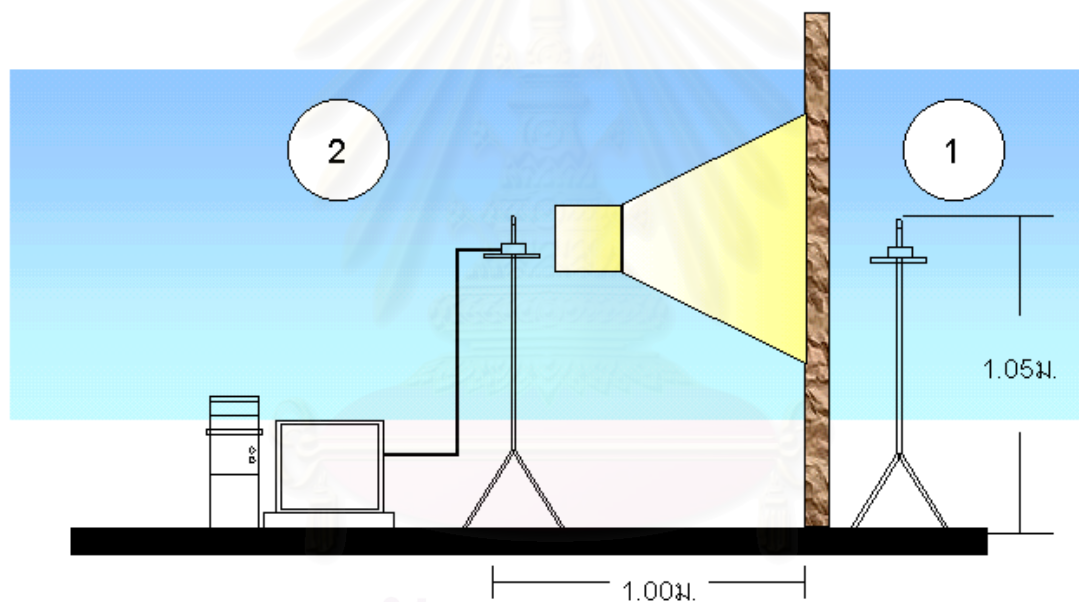
การทดลองนี้เพื่อพิจารณาถึงปริมาณการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านเข้ามาทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ที่นิยมใช้ในอาคารประเภทบ้านพักอาศัย และประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังตัวอย่างนั้นตลอดทั้งปี เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้พลังงานจากการรั่วซึมผ่านผนังที่นั้นกับช่องเปิดว่ามีลักษณะอย่างไรและมีการสูญเสียมาก น้อยเท่าไร

ผลการทดลองจะประกอบไปด้วย

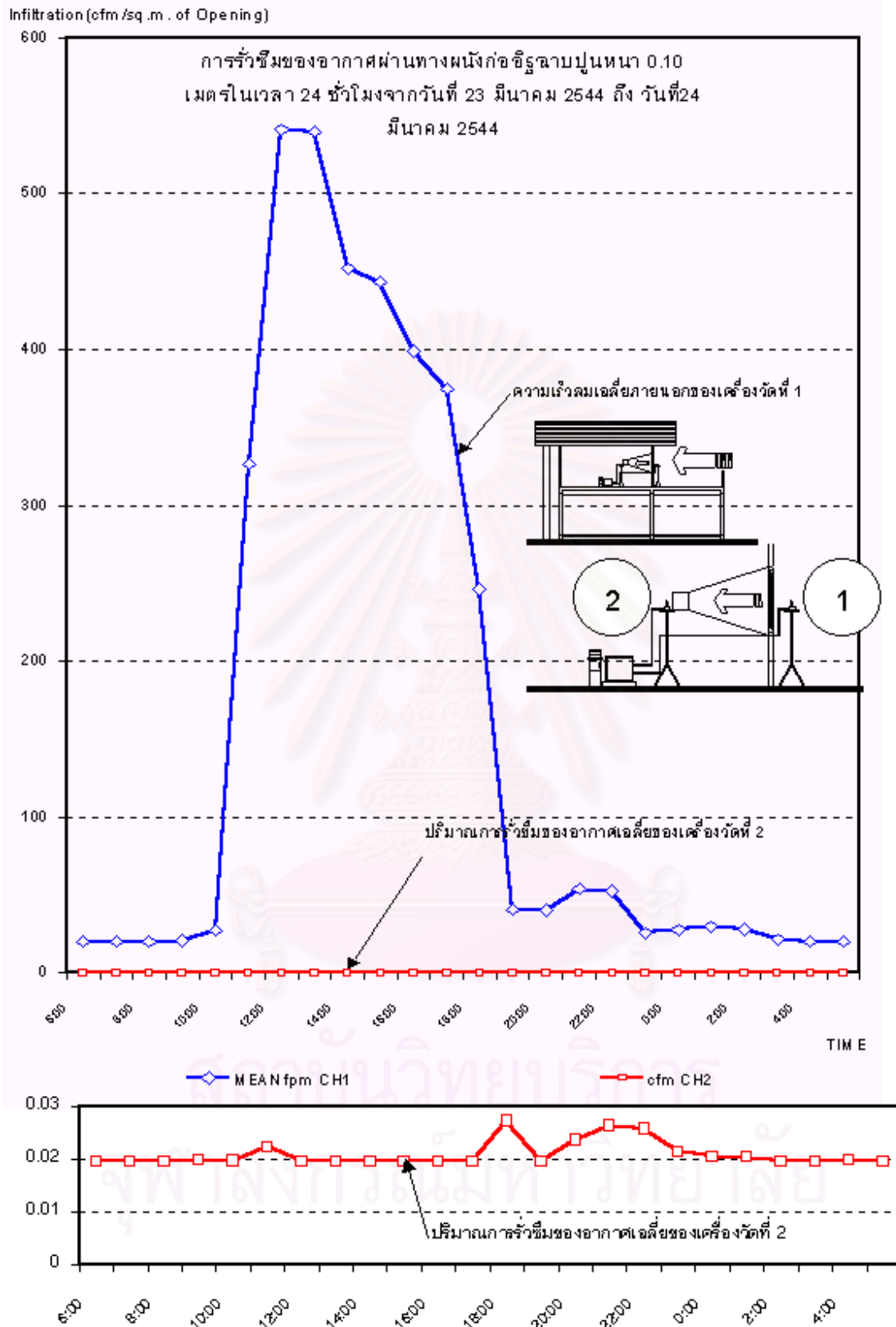
1. ความเร็วลมภายนอกที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วลมที่รั่วซึมคิดค่าเป็นความเร็วเมตรต่อวินาที
2. ผลของการรั่วซึมของอากาศ คิดเป็นค่า ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
3. สมการที่ใช้ในการทำนายหรือประเมินการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ
4. ผลการประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯประจำปี พ.ศ.2538 ตามทิศทางตลอดช่วงเวลา 1 วันซึ่งเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ
5. ผลการประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯประจำปี พ.ศ.2538 ตามทิศทางเฉลี่ยช่วงเวลา 1 ชั่วโมงซึ่งเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ



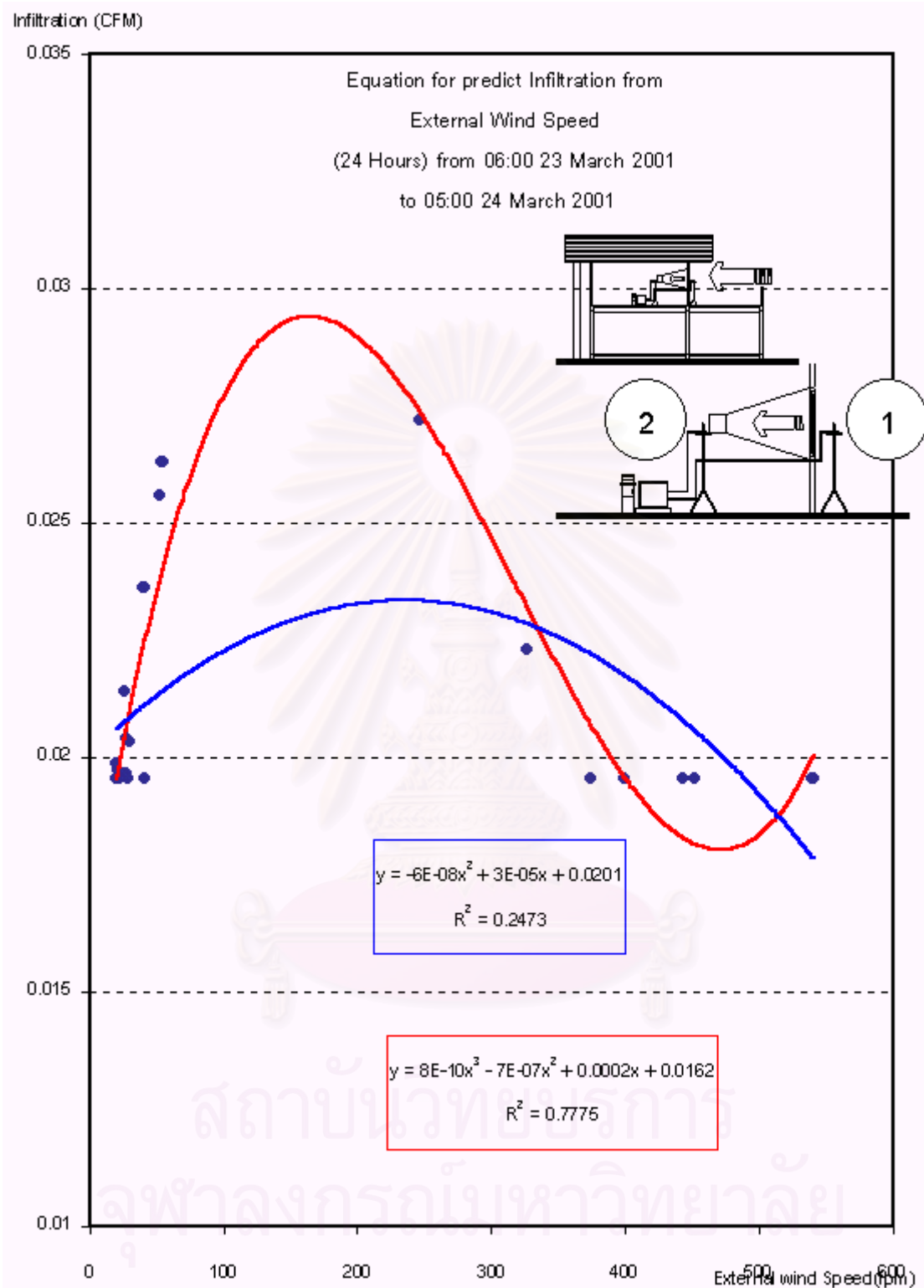
รูปภาพที่ 4.9 แสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกับสถานที่ทดลองการวัดการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร



รูปภาพที่ 4.10 แสดงแบบขยายการติดตั้งชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร



แผนภูมิที่ 4.122 แสดงปริมาณการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรเมื่อเทียบกับความเร็วลมเฉลี่ยภายนอกตลอด 24 ชั่วโมง วันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2544



แผนภูมิที่ 4.123 แสดงสมการทำนายการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร โดยอาศัยข้อมูลความเร็วลมภายนอกที่เกิดขึ้นวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ.2544

4.5.1 สรุปผลการรั่วซึมของอากาศผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร

จากผลการทดลองการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร กว้าง 1.00 เมตร และสูง 1.00 เมตร พื้นที่เท่ากับ 1.00 ตารางเมตร และพื้นที่ห้องที่ทำการทดลองขนาด กว้าง 3.46 เมตร ยาว 4.0 เมตร พื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 13.84 ตารางเมตร ได้ผลวิเคราะห์ในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

ลักษณะการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเลื่อน อากาศสามารถที่จะรั่วซึมเข้าได้ถึงประมาณร้อยละ 0.05 ของความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายนอกเมื่อนำมาคูณกับพื้นที่หน้าต่างเพื่อที่จะหาอัตราการไหลก็สามารถสรุปผลออกมาได้ ดังแผนภูมิที่ 4.170 ถึงแผนภูมิที่ 4.171 อัตราการรั่วซึมของอากาศเมื่อมีค่าสูงสุดมีค่าสูงถึงประมาณ 5.65 CFM ต่อชั่วโมง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาทำการคำนวณทางสถิติโดยใช้วิธีการทางสมการถดถอยลักษณะเป็นเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรงเพื่อทำนายค่าการรั่วซึมของอากาศที่เกิดขึ้นจากความเร็วลมภายนอกจะพบว่า ลักษณะของสมการมีความเป็นสมการแบบไม่เป็นเส้นตรงมากกว่า (Non-Linear Regression Equation) ดังนั้นในการคำนวณเพื่อที่จะประเมินการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538 จึงเลือกใช้สมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง ดังนี้

$$Y = 8E-10X^3 - 7E-07X^2 + 0.0002X + 0.0162$$

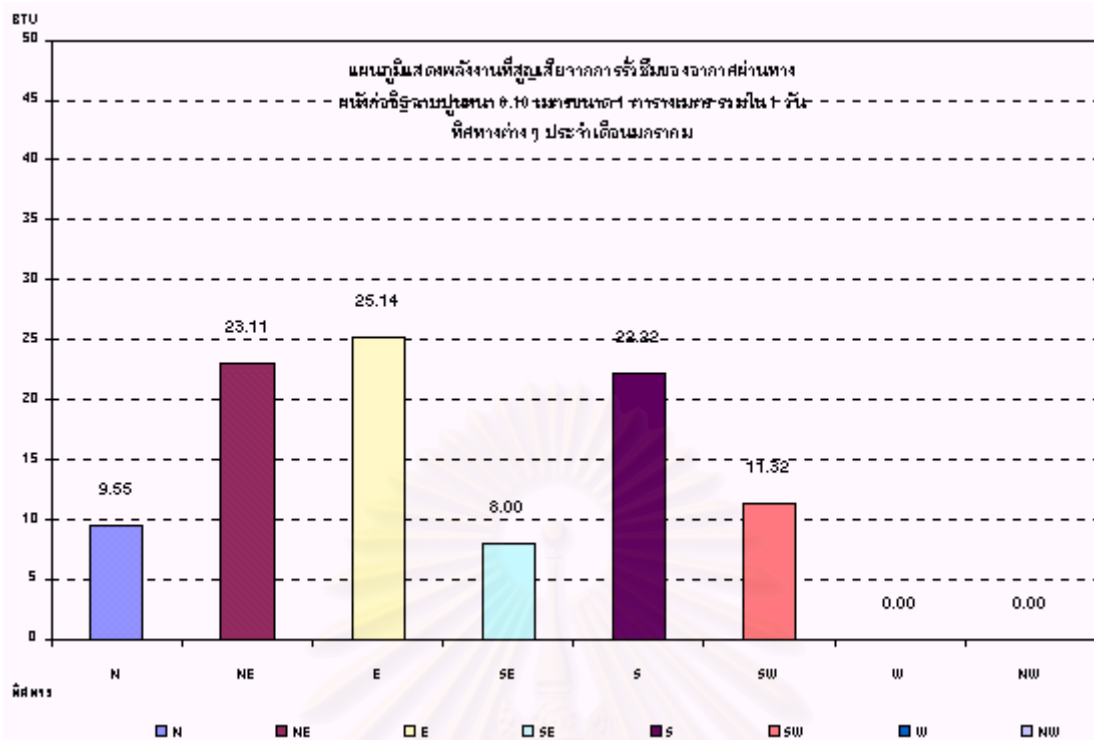
$$R^2 = 0.777$$

ในการคำนวณนี้ไม่นำสมการที่มีกำลัง 4 มาใช้เนื่องจาก ยกแก่การคำนวณและตรวจสอบ อีกทั้งรูปแบบของสมการมีความไม่เหมาะสมมากกว่าและค่า ความเชื่อมั่นทางสถิติก็สูงกว่ากันเพียงไม่มาก ดังนั้นการเลือกใช้สมการแบบกำลัง 3 จึงมีความเหมาะสมกว่าในการคำนวณ

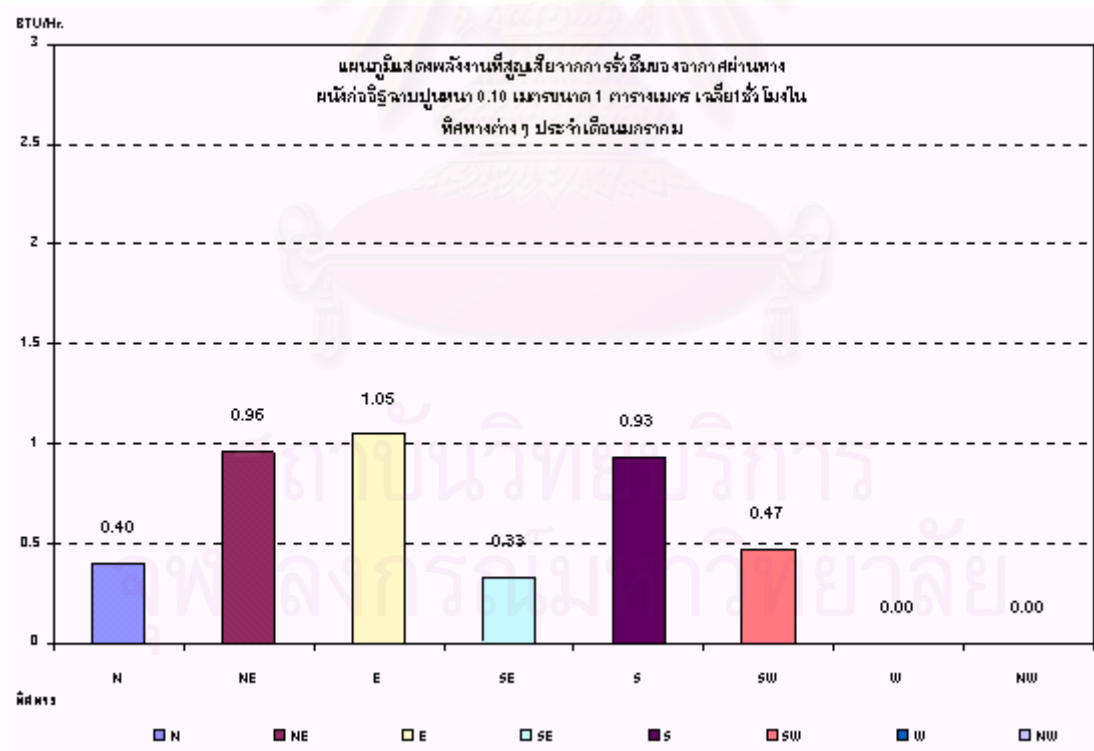
เมื่อได้สมการทำนายผลการรั่วซึมของอากาศสำหรับช่องเปิดบานเลื่อนแล้ว จึงนำสมการที่ได้มาคำนวณการสูญเสียพลังงานตลอดทั้งปี โดยมีค่าเฉลี่ยใน 1 วันเป็นตัวแทนของเดือนนั้นๆ มาใช้ในการคำนวณค่าพลังงานต่อไป

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| 1:00 | 0.4012419 | 0.85611 | 1.2001528 | 0 | 0.85611 | 0 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 1.1553297 | 0.8241361 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0.3440406 | 0 | 0.6593097 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0.3194643 | 0 | 0.7112871 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0.2799671 | 0.6680283 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 0.2950533 | 0.5043364 | 0.5149265 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 0.4243389 | 0 | 0.6567929 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 0.452758 | 0.9087728 | 0.9087728 | 0 | 1.9758998 | 0.7563637 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0.7058073 | 1.2519625 | 1.7485307 | 0 | 1.4585451 | 1.0404299 | 0 | 0 |
| 11:00 | 0.6743026 | 2.5698936 | 1.6389529 | 0.8731049 | 1.4770017 | 0.8768985 | 0 | 0 |
| 12:00 | 0.894833 | 1.3827385 | 5.1957271 | 1.3827385 | 1.5211847 | 0 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0.7302602 | 1.7769353 | 1.4598049 | 1.1021207 | 0.9591049 | 1.5450274 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0.5346436 | 1.130101 | 1.0539718 | 1.477529 | 1.477529 | 0.8956314 | 0 | 0 |
| 15:00 | 0.8933509 | 1.4814385 | 2.4566336 | 1.2418518 | 1.0015783 | 0 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0.5762596 | 1.3701615 | 0.9626817 | 0 | 0.9747917 | 1.1566644 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0.5698521 | 1.0496174 | 2.6224285 | 1.0038514 | 1.0038514 | 0 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 1.0068793 | 0 | 0 | 4.1430041 | 1.2057537 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 1.0719821 | 1.1899548 | 0 | 1.1347719 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0.5340966 | 0.9399718 | 0 | 0 | 0.9368528 | 1.1256309 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0.4744008 | 0.9728625 | 0 | 0.9176873 | 0.8949255 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 1.056605 | 0 | 0 | 1.056605 | 1.056605 | 0 | 0 |
| 23:00 | 0.443187 | 1.167286 | 0 | 0 | 1.4081849 | 0.8535972 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0.7920545 | 1.3340949 | 0 | 0.7920545 | 0.8086862 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.49 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมกราคมจากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



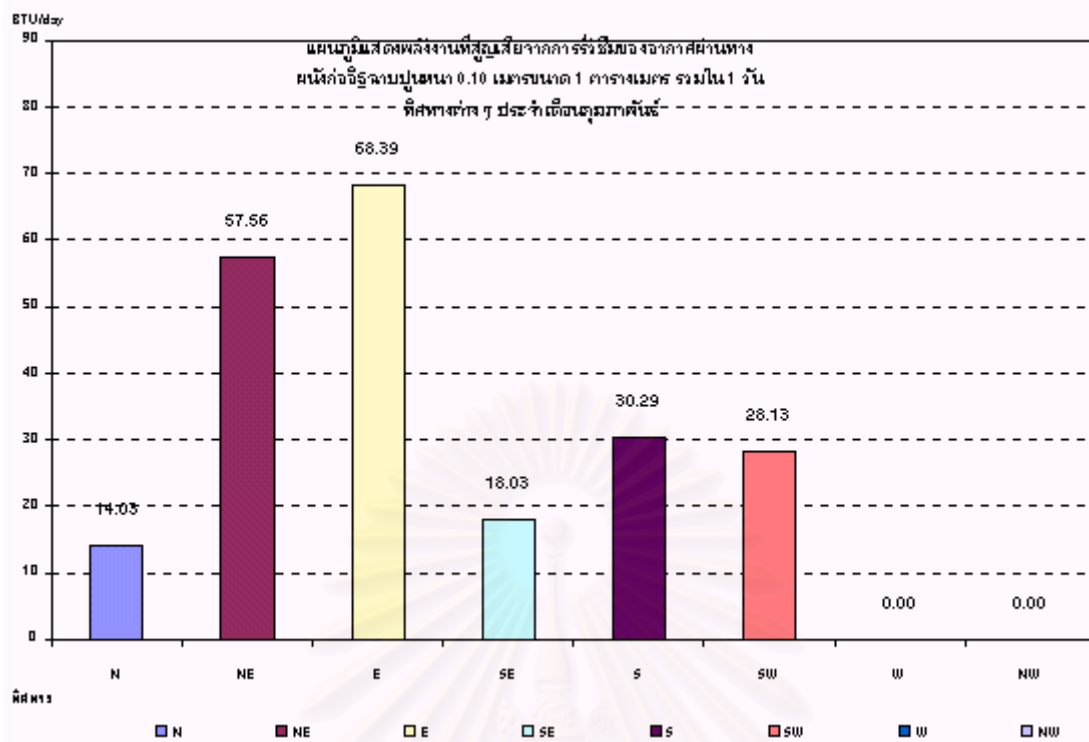
แผนภูมิที่ 4.124 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



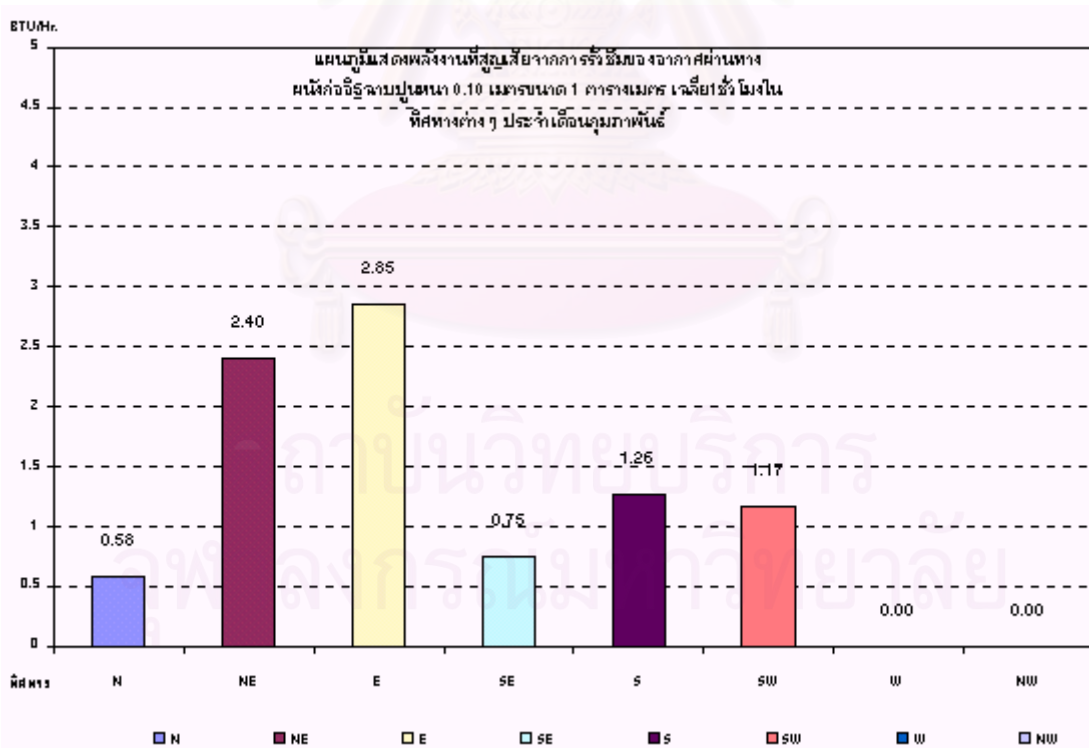
แผนภูมิที่ 4.125 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนมกราคมจากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| 1:00 | 0.7659303 | 1.7301206 | 0 | 0 | 1.0314688 | 1.1117993 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 2.5565897 | 0 | 0 | 1.1357556 | 0.9786487 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 1.2920838 | 0 | 0.9448577 | 0.9313243 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 1.2396294 | 0 | 0 | 0.9610021 | 1.0667614 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0.4795049 | 1.0122177 | 0 | 0.8408537 | 1.0122177 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0.4530901 | 0.8080215 | 7.6728269 | 0 | 0.8080215 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 0.449579 | 2.6361494 | 0.8185954 | 0 | 0.8013494 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 0.6283691 | 1.3705414 | 5.899837 | 0 | 0.9285064 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 0.9814494 | 1.2495947 | 2.4744086 | 1.0975454 | 1.1254607 | 0 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0 | 2.8447111 | 4.9256175 | 0 | 1.2603851 | 1.4335206 | 0 | 0 |
| 11:00 | 0 | 10.601312 | 5.5293801 | 0 | 1.8021605 | 2.5263905 | 0 | 0 |
| 12:00 | 1.2573 | 9.7920181 | 1.5049916 | 0 | 1.6556783 | 1.3963802 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 5.2170779 | 4.1550054 | 1.5183454 | 1.9182473 | 1.290241 | 0 | 0 |
| 14:00 | 1.1992545 | 2.6424221 | 3.8617331 | 0 | 1.770512 | 1.770512 | 0 | 0 |
| 15:00 | 1.1971313 | 1.5909218 | 0 | 1.2509844 | 1.4825454 | 2.6117599 | 0 | 0 |
| 16:00 | 1.4290066 | 1.4290066 | 4.9101074 | 0 | 1.2772935 | 2.0032781 | 0 | 0 |
| 17:00 | 1.1189803 | 1.256012 | 0 | 0 | 1.2806011 | 1.2689841 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0.7781491 | 1.2245642 | 0 | 0 | 1.2346144 | 2.0557475 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 1.3066875 | 23.414355 | 5.1065685 | 1.2410555 | 1.4861834 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 3.2194759 | 0 | 2.0757861 | 1.5311213 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0.7467035 | 0 | 2.0096061 | 1.7669732 | 1.3461802 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0.8166812 | 1.1840275 | 1.2088898 | 1.5650503 | 1.3286007 | 4.8881347 | 0 | 0 |
| 23:00 | 0.8380992 | 1.3614853 | 0 | 0 | 1.2190909 | 1.1325721 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0.8894066 | 0 | 0 | 1.867754 | 1.2078786 | 1.1040916 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.50 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูล พ.ศ.2538



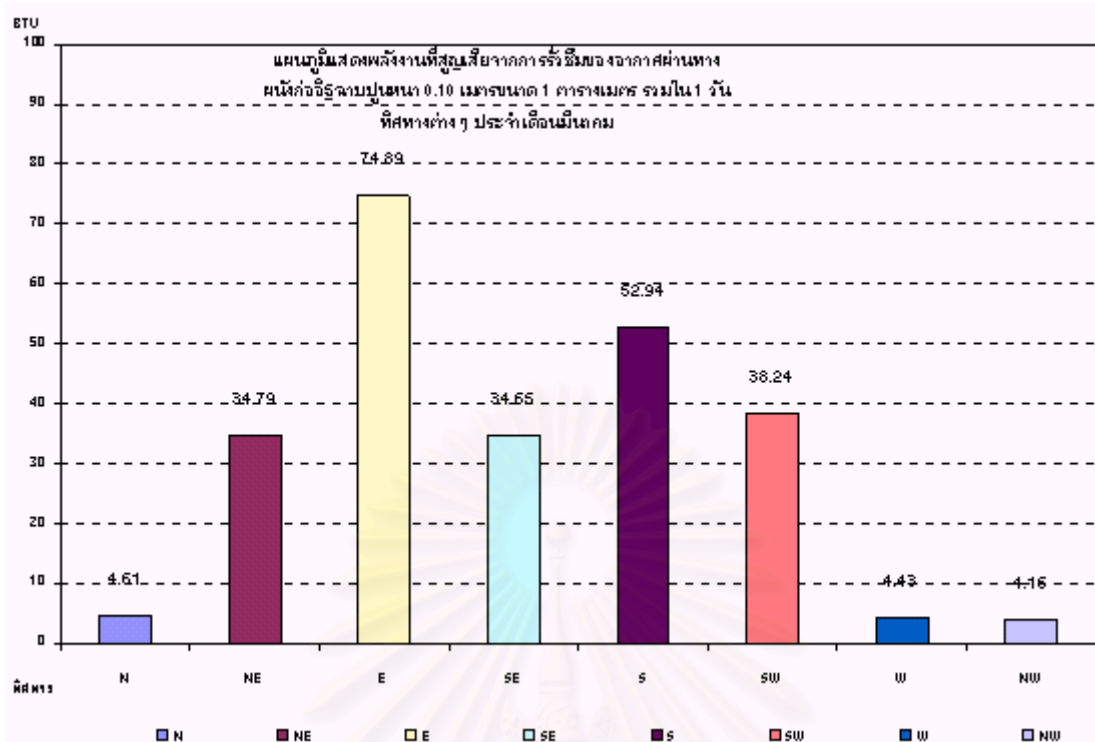
แผนภูมิที่ 4.126 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังท่ออิฐฉนวนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูล พ.ศ.2538



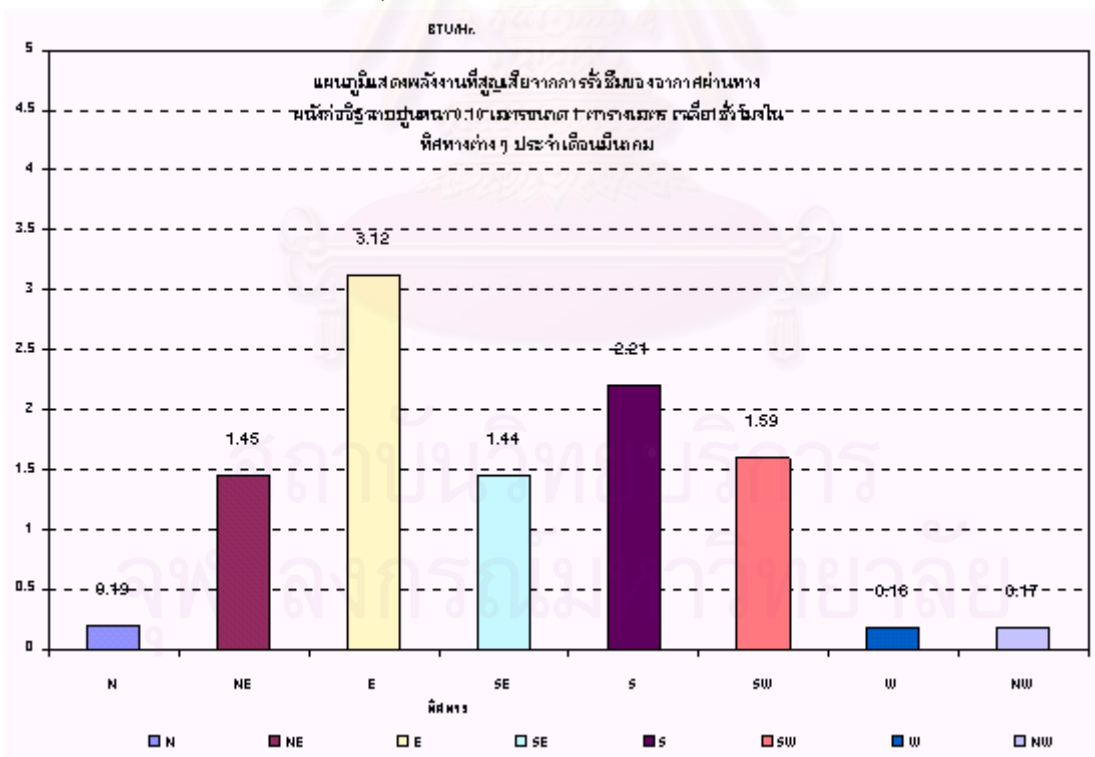
แผนภูมิที่ 4.127 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังท่ออิฐฉนวนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนกุมภาพันธ์จากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 11.398687 | 2.179648 | 0 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 2.1200185 | 0 | 1.9581175 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 2.0908658 | 2.0908658 | 0 | 1.9399734 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 1.0905174 | 0 | 2.031244 | 0 | 1.742258 | 2.8475352 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 1.8256295 | 2.0265419 | 0 | 1.6902207 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 1.812583 | 4.3747217 | 0 | 1.6759526 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 0.898785 | 2.7346863 | 1.950745 | 0 | 1.6283533 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 1.1279046 | 4.6720186 | 1.8259768 | 0 | 1.9357623 | 0.8328679 | 0 | 0 |
| 9:00 | 1.4953149 | 3.1636702 | 4.9067482 | 2.2567538 | 2.054366 | 1.9177168 | 0 | 1.8782766 |
| 10:00 | 0 | 0 | 2.5549512 | 3.1868727 | 2.1574879 | 0 | 0 | 2.273305 |
| 11:00 | 0 | 2.5853042 | 3.8584686 | 2.22478 | 2.0712823 | 2.22478 | 2.22478 | 0 |
| 12:00 | 0 | 2.2159401 | 2.8171386 | 3.1064547 | 2.8554852 | 2.6396253 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 7.6831825 | 3.1346669 | 1.900136 | 2.8585412 | 4.1775894 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 3.8248707 | 2.2054076 | 2.2054076 | 2.7184097 | 3.0916895 | 2.2054076 | 0 |
| 15:00 | 0 | 2.1835901 | 0 | 1.8555446 | 2.3068247 | 4.7476719 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 1.8208269 | 2.1877279 | 2.8543766 | 2.6966175 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.3460034 | 3.1217473 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 3.0821975 | 0 | 2.1496703 | 1.9330932 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.2143518 | 1.8212965 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.255461 | 2.1963796 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 34.087683 | 2.5142722 | 2.5142722 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 1.8153481 | 2.4122241 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.4278033 | 2.1931822 | 0 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.9948972 | 1.8014161 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.51 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



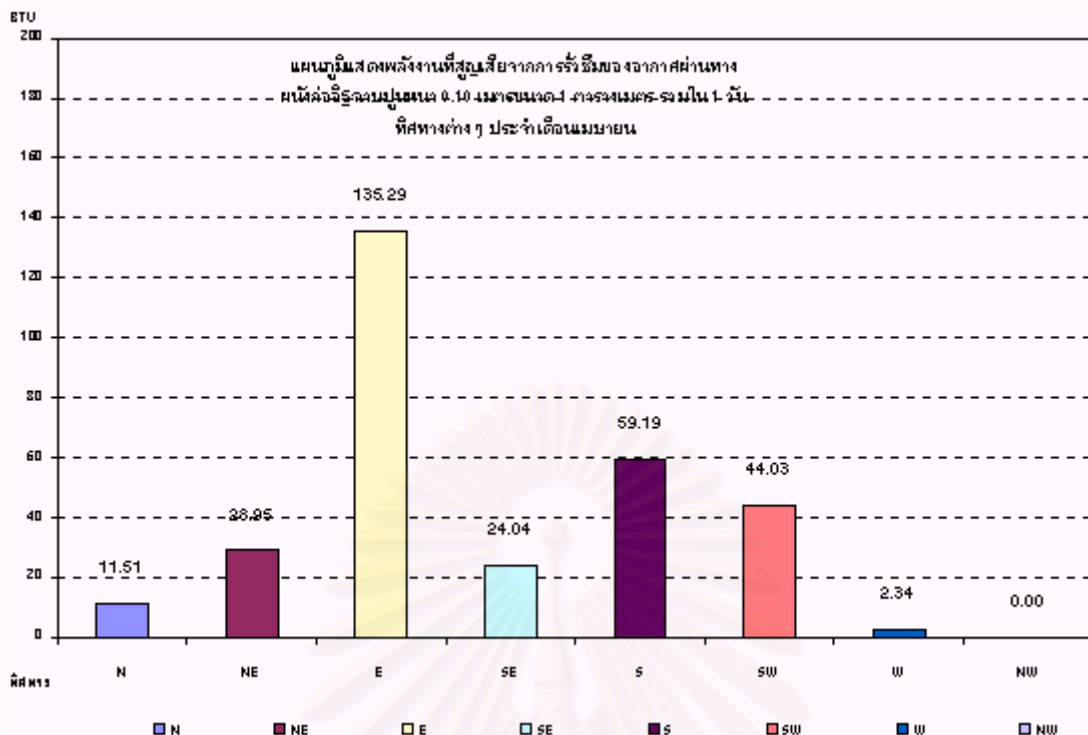
แผนภูมิที่ 4.128 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



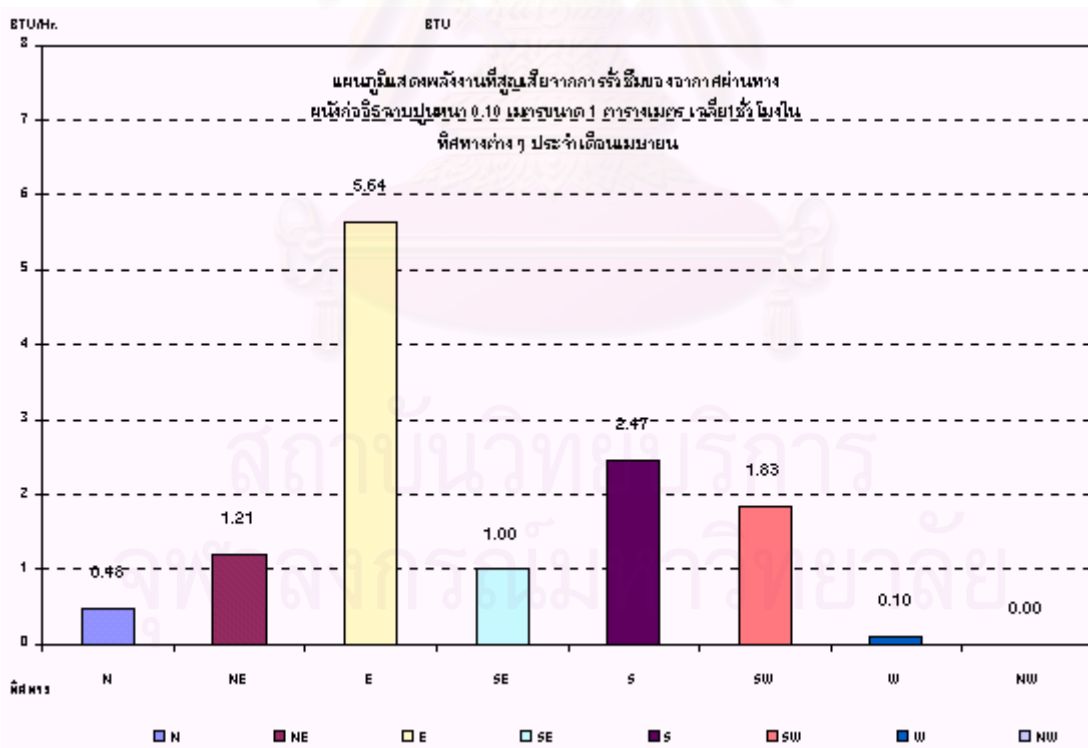
แผนภูมิที่ 4.129 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนมีนาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|
| 1:00 | 1.3845547 | 0 | 0 | 0 | 2.3536994 | 2.2900369 | 0 | 0 |
| 2:00 | 1.158606 | 0 | 0 | 0 | 2.1503839 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 1.1114018 | 0 | 0 | 2.4262154 | 2.019318 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 2.411545 | 2.1724632 | 0 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.2050514 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.7396077 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 0 | 2.0767434 | 0 | 0 | 2.0340326 | 0 | 0 | 0 |
| 8:00 | 1.1960345 | 2.1810225 | 2.6205037 | 0 | 2.3169502 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 0 | 0 | 0 | 2.7378666 | 2.4561435 | 2.326551 | 0 | 0 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.6321183 | 2.7075937 | 2.3355532 | 0 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.9255313 | 3.4820626 | 0 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.6747094 | 3.9831427 | 0 | 0 |
| 13:00 | 0 | 0 | 128.27527 | 2.8245723 | 3.0903237 | 3.9596764 | 0 | 0 |
| 14:00 | 0 | 2.7720975 | 0 | 0 | 3.3356999 | 4.8076894 | 0 | 0 |
| 15:00 | 1.9750208 | 0 | 2.2827726 | 0 | 2.8206206 | 4.6094352 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 2.2697799 | 0 | 2.3174409 | 3.905932 | 3.4670379 | 0 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 2.7331646 | 2.8944782 | 5.9425846 | 0 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 2.614297 | 2.4784309 | 4.2149979 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.3059014 | 0 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.2875175 | 0 | 0 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 2.1156326 | 0 | 2.3276387 | 0 | 0 | 0 |
| 22:00 | 1.7231974 | 19.64629 | 0 | 3.4848148 | 2.4252182 | 0 | 0 | 0 |
| 23:00 | 1.6398174 | 0 | 0 | 2.4912916 | 2.4003203 | 2.0734804 | 0 | 0 |
| 0:00 | 1.3243011 | 0 | 0 | 0 | 2.5931461 | 2.4546157 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.52 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนเมษายนจากข้อมูล พ.ศ.2538



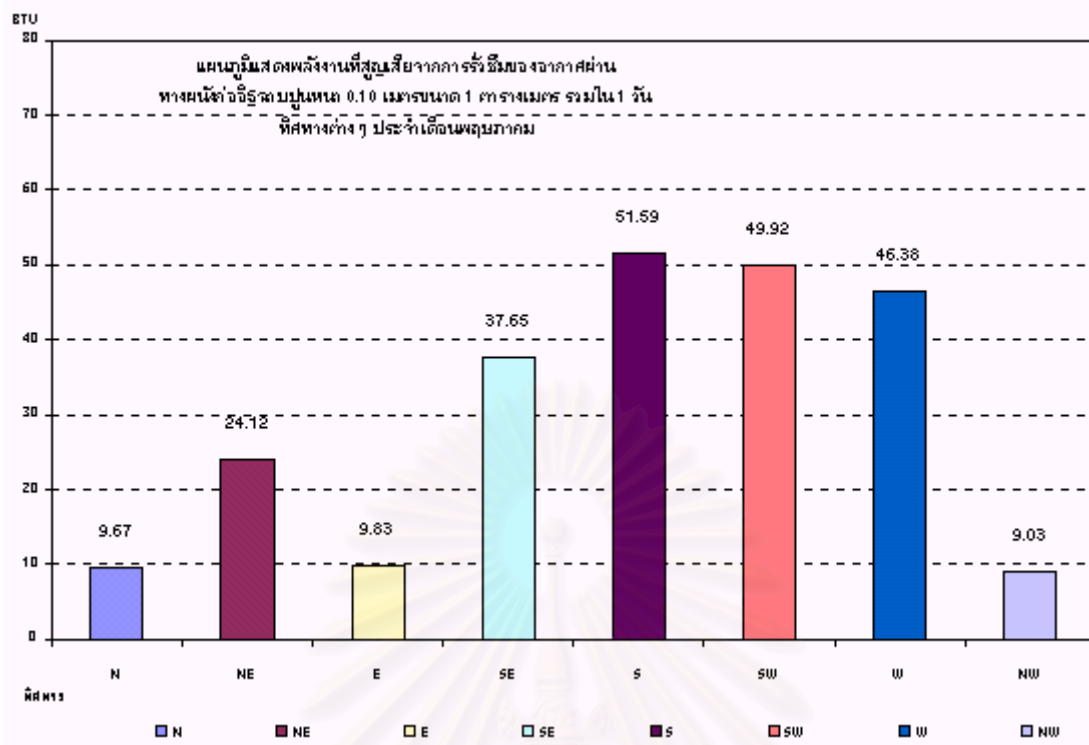
แผนภูมิที่ 4.130 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนเมษายนจากข้อมูล พ.ศ.2538



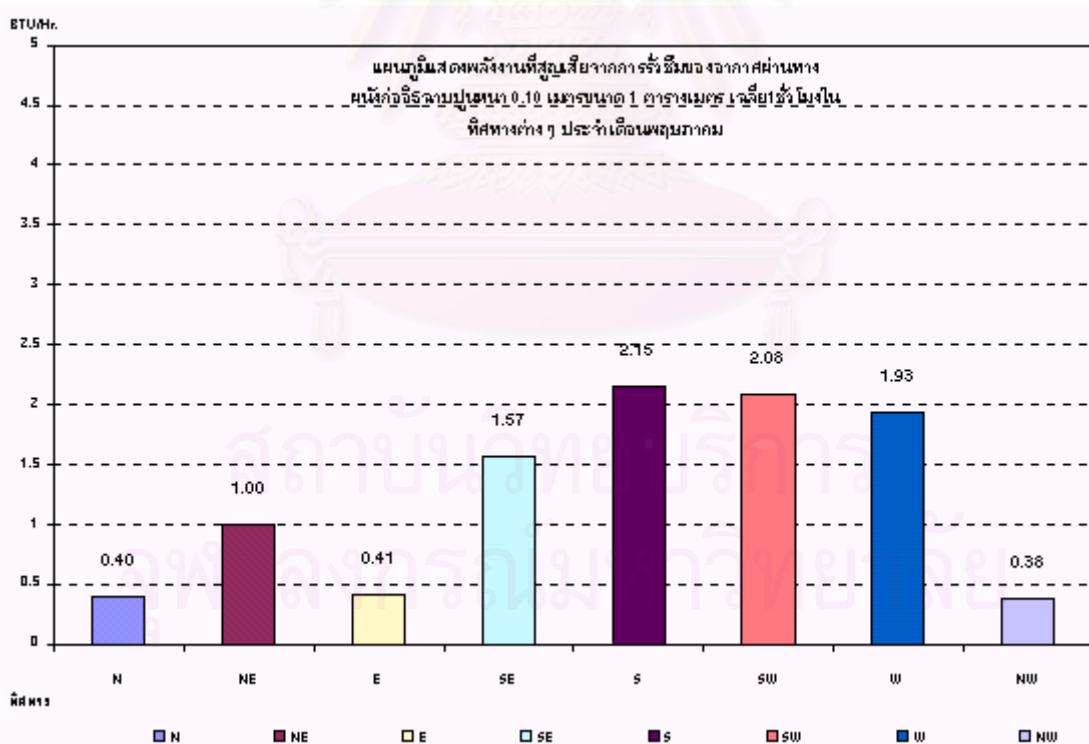
แผนภูมิที่ 4.131 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนเมษายนจากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0412326 | 2.0158741 | 0 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0120568 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.1753436 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0096166 | 3.3152778 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.9563946 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0.9456132 | 0 | 0 | 0 | 1.8731108 | 0 | 4.8932533 | 0 |
| 7:00 | 0.9808098 | 1.9782908 | 0 | 0 | 2.3280368 | 0 | 2.3280368 | 0 |
| 8:00 | 1.0475391 | 2.0598019 | 0 | 1.4683287 | 2.0164064 | 2.4239584 | 2.0598019 | 0 |
| 9:00 | 1.3187906 | 0 | 5.4853935 | 2.5228893 | 2.1213621 | 2.1438702 | 2.5228893 | 0 |
| 10:00 | 0 | 2.5808185 | 0 | 2.5808185 | 2.1930965 | 2.5808185 | 2.3249548 | 0 |
| 11:00 | 1.6902464 | 0 | 0 | 0 | 2.2854966 | 2.6410046 | 3.2553314 | 2.6410046 |
| 12:00 | 0 | 5.8391236 | 0 | 21.224914 | 2.4047017 | 2.3828412 | 2.8795614 | 0 |
| 13:00 | 0 | 2.2952252 | 0 | 2.7010026 | 2.5297508 | 4.3547923 | 2.7010026 | 0 |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 2.3040156 | 2.6665301 | 2.7113471 | 3.8009498 | 0 |
| 15:00 | 0 | 2.6440139 | 0 | 0 | 2.6941185 | 3.7065575 | 0 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 2.2479167 | 0 | 2.487247 | 3.4274359 | 0 | 2.6453305 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 2.6739189 | 2.6739189 | 2.941644 | 0 | 3.7484803 |
| 18:00 | 1.4325396 | 0 | 0 | 2.1695951 | 2.2480199 | 4.520966 | 0 | 0 |
| 19:00 | 0 | 2.5108521 | 0 | 0 | 2.1802351 | 2.5108521 | 0 | 0 |
| 20:00 | 0 | 2.1448292 | 0 | 0 | 2.3536257 | 4.3774412 | 0 | 0 |
| 21:00 | 1.1870852 | 0 | 2.1009561 | 0 | 2.112664 | 2.5125449 | 0 | 0 |
| 22:00 | 0 | 2.0653404 | 0 | 0 | 2.0613128 | 0 | 19.612101 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0425407 | 3.3695929 | 0 | 0 |
| 0:00 | 1.0669084 | 0 | 0 | 0 | 2.1683967 | 0 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.53 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



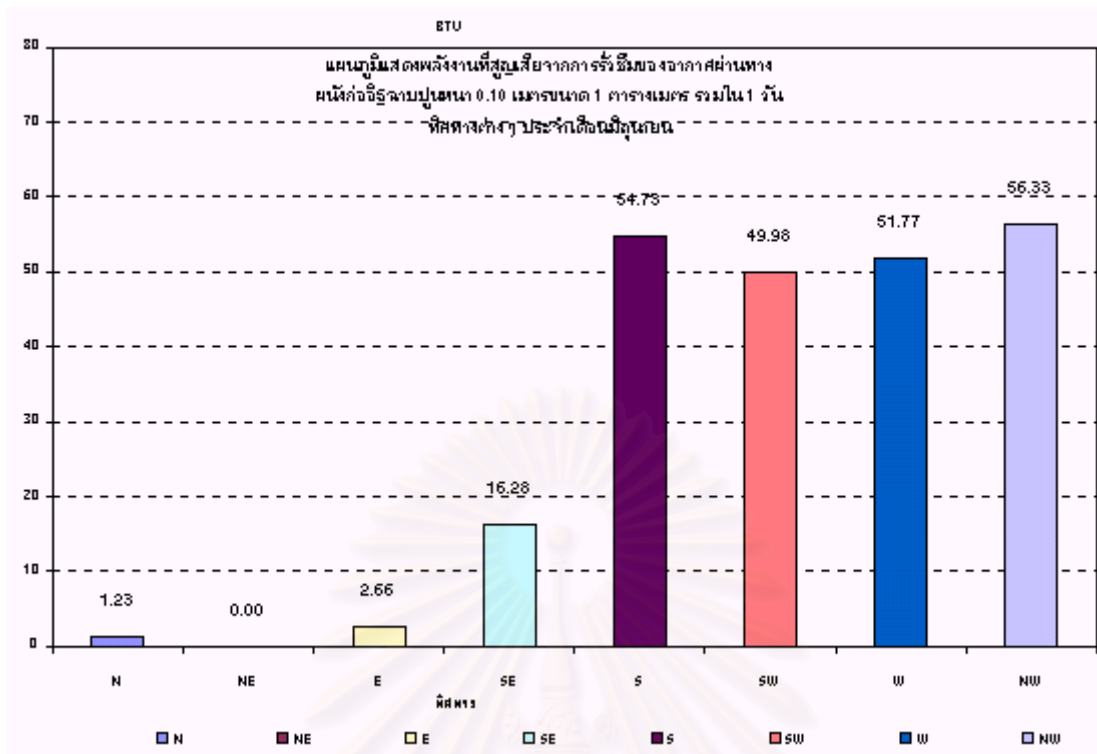
แผนภูมิที่ 4.132 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



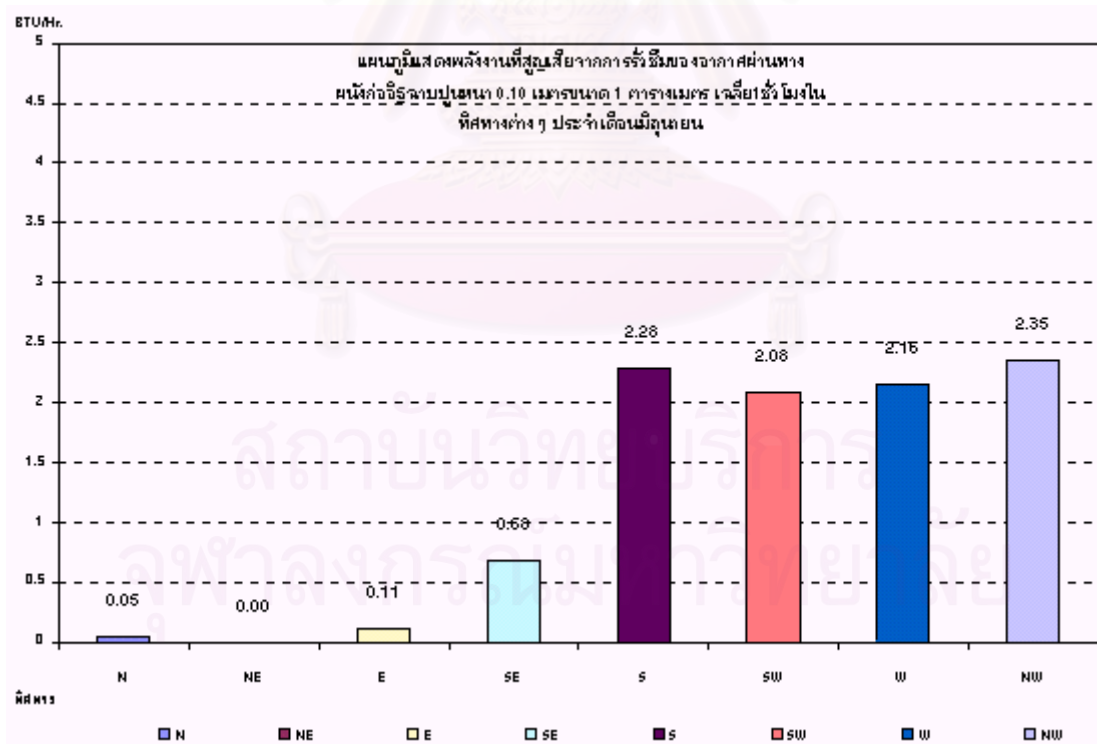
แผนภูมิที่ 4.133 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤษภาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|----|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.0977538 | 2.2097334 | 1.8777604 | 0 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.8769613 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.8073646 | 2.1715529 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.9081444 | 1.7999253 | 0 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.8155882 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.8018432 | 0 |
| 7:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.8709301 | 0 | 1.9185159 | 0 |
| 8:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0169699 | 2.1831376 | 2.0593224 | 0 |
| 9:00 | 0 | 0 | 0 | 2.1672471 | 2.3457953 | 2.2894565 | 2.2127551 | 2.1578711 |
| 10:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.814423 | 2.1804576 | 3.6796636 | 2.1751717 |
| 11:00 | 0 | 0 | 0 | 2.2210964 | 2.6686526 | 2.6686526 | 2.2168616 | 0 |
| 12:00 | 0 | 0 | 2.657932 | 2.657932 | 2.3583099 | 2.3944232 | 2.9240564 | 2.657932 |
| 13:00 | 0 | 0 | 0 | 2.2914444 | 3.3789517 | 2.5655855 | 4.7956203 | 3.8763581 |
| 14:00 | 0 | 0 | 0 | 2.3551598 | 2.5268987 | 2.6430063 | 2.7715333 | 0 |
| 15:00 | 0 | 0 | 0 | 2.5408151 | 3.1263411 | 3.538055 | 2.8204345 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.0842992 | 3.1592431 | 5.9110965 | 0 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.7353641 | 3.1632377 | 0 | 42.070455 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.686905 | 2.9841765 | 5.5835383 | 0 |
| 19:00 | 1.2275946 | 0 | 0 | 2.0419102 | 2.7469528 | 4.779985 | 2.0938447 | 0 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.5971087 | 2.4194444 | 2.4194444 | 3.3917409 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.3432264 | 2.2742431 | 3.3432264 | 0 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0431268 | 2.5173676 | 3.2912843 | 0 |
| 23:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.913931 | 2.273305 | 1.9317815 | 0 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.0624991 | 1.9788995 | 0 | 0 |

ตารางที่ 4.54 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูน
หนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูล พ.ศ.2538



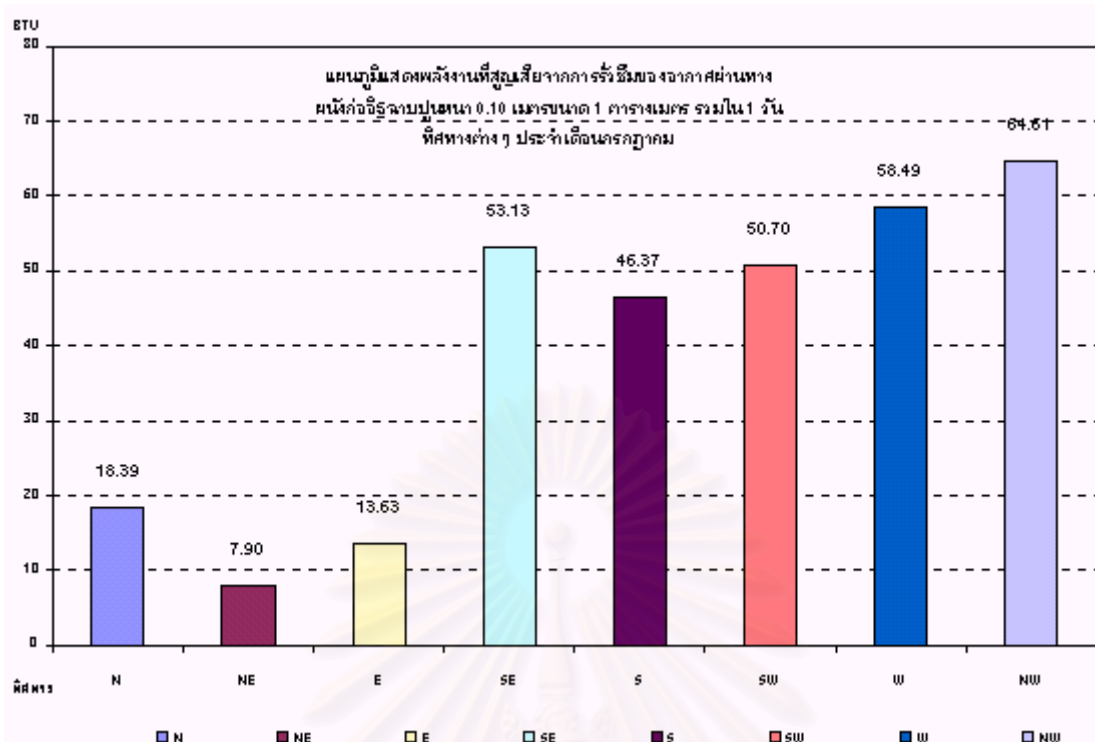
แผนภูมิที่ 4.134 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูล พ.ศ.2538



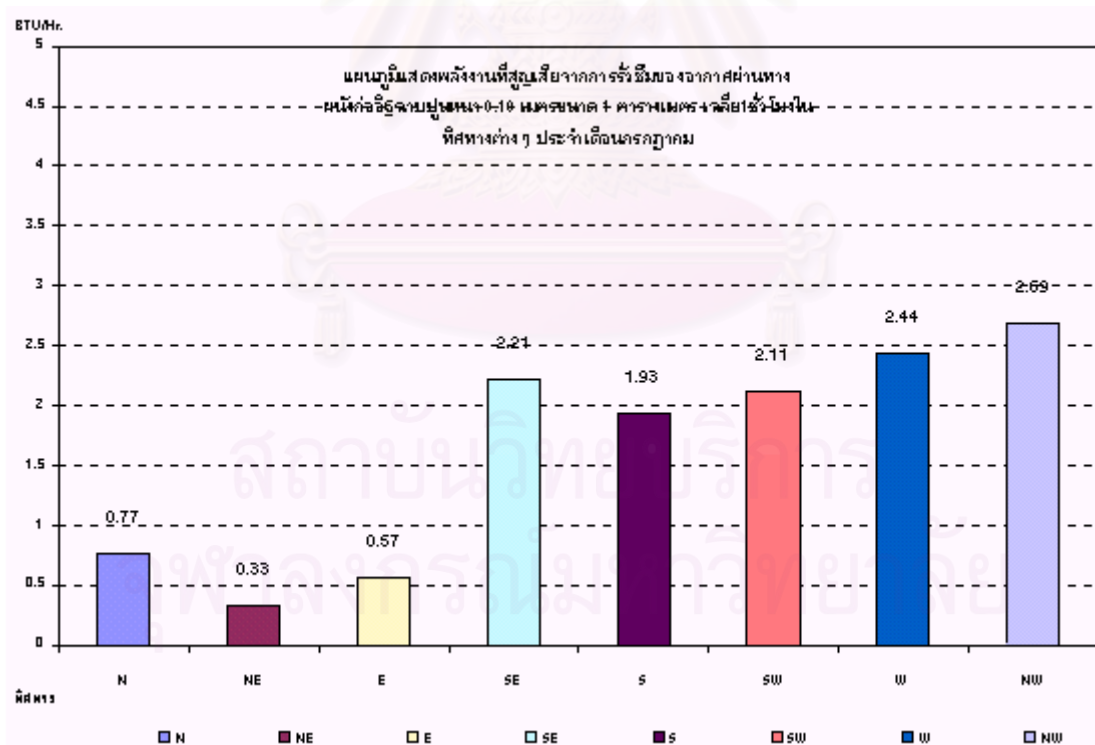
แผนภูมิที่ 4.135 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนมิถุนายนจากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 1.1319531 | 0 | 0 | 0 | 1.7720456 | 1.8755459 | 1.79368 | 7.3296817 |
| 2:00 | 0 | 0 | 0 | 1.7895366 | 1.7895366 | 1.7639047 | 1.7895366 | 1.7895366 |
| 3:00 | 0 | 0 | 0 | 1.774513 | 0 | 2.0882327 | 1.9558323 | 2.9274258 |
| 4:00 | 0.9695732 | 0 | 0 | 2.077512 | 0 | 0 | 1.8509904 | 0 |
| 5:00 | 1.0788576 | 0 | 1.727684 | 0 | 0 | 0 | 1.8863993 | 1.6985131 |
| 6:00 | 0.756979 | 0 | 1.6184345 | 0 | 1.6595983 | 0 | 1.630878 | 1.630878 |
| 7:00 | 0.8575122 | 0 | 0 | 0 | 1.6778184 | 1.643312 | 1.6487828 | 1.7182312 |
| 8:00 | 1.2292873 | 1.736296 | 0 | 0 | 2.0861638 | 1.7727549 | 1.7473633 | 1.7727549 |
| 9:00 | 1.7933111 | 1.8389227 | 2.1640296 | 1.8389227 | 2.0417487 | 1.9494866 | 2.063675 | 1.8389227 |
| 10:00 | 1.6706496 | 2.2101096 | 0 | 1.87808 | 1.87808 | 2.1232443 | 2.3501651 | 2.2101096 |
| 11:00 | 1.8125323 | 0 | 0 | 1.8967156 | 2.0230487 | 2.7683073 | 2.8104468 | 2.280076 |
| 12:00 | 1.6576967 | 0 | 0 | 0 | 2.4320034 | 2.2235871 | 3.0211788 | 4.5683033 |
| 13:00 | 1.9125798 | 0 | 0 | 5.004893 | 2.9824599 | 3.2269499 | 2.2325997 | 1.956075 |
| 14:00 | 1.9740615 | 0 | 0 | 0 | 2.5104885 | 2.3763738 | 2.5758524 | 3.6189677 |
| 15:00 | 1.5415864 | 0 | 0 | 0 | 2.9365122 | 2.799056 | 3.3767119 | 9.600973 |
| 16:00 | 0 | 0 | 3.3263518 | 0 | 2.1511554 | 3.8256357 | 4.1151822 | 4.433049 |
| 17:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.4879523 | 2.8613311 | 5.4408189 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 0 | 12.109246 | 2.2821449 | 3.199265 | 3.3929785 | 3.9579573 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 4.7807958 | 2.0047414 | 2.1988247 | 3.5451372 | 2.5551429 |
| 20:00 | 0 | 2.1171973 | 0 | 2.9680303 | 2.7785425 | 2.180817 | 1.7679913 | 2.9680303 |
| 21:00 | 0 | 0 | 2.9759403 | 2.1228397 | 2.058936 | 2.9759403 | 1.8370824 | 1.8039209 |
| 22:00 | 0 | 0 | 0 | 1.8173463 | 2.0810127 | 2.5475438 | 1.9266128 | 1.8173463 |
| 23:00 | 0 | 0 | 1.8146292 | 11.330825 | 2.9936059 | 1.9813318 | 1.7926091 | 2.1354412 |
| 0:00 | 0 | 0 | 0 | 1.744994 | 1.744994 | 2.3165592 | 1.9384419 | 0 |

ตารางที่ 4.55 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



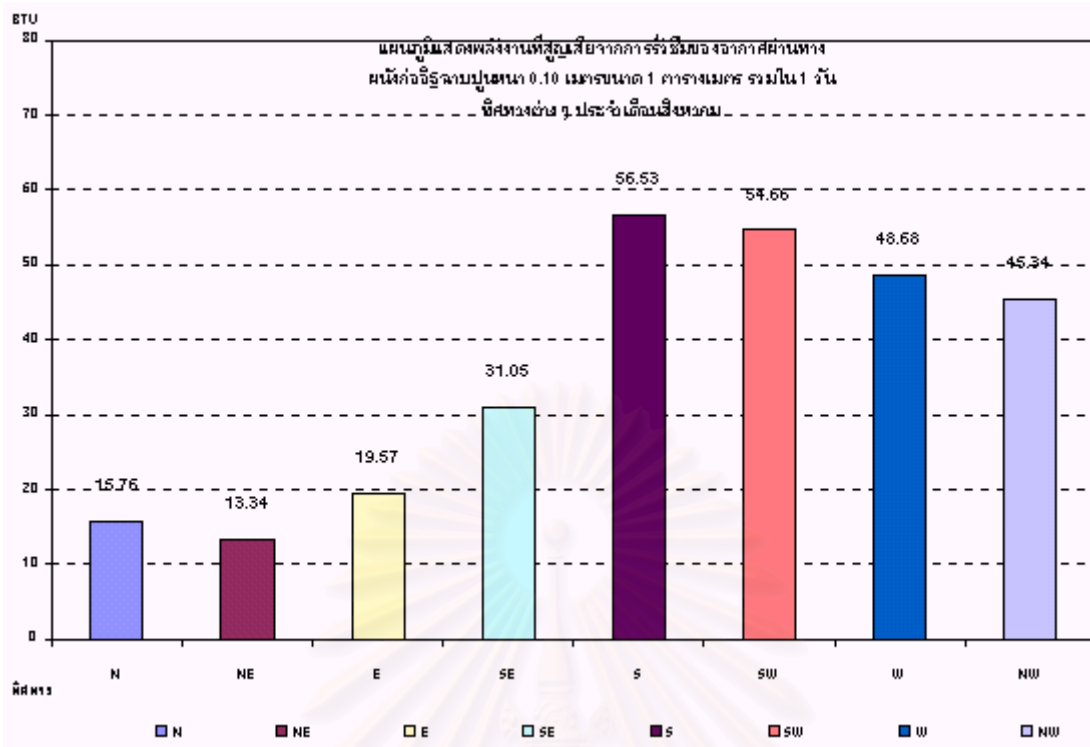
แผนภูมิที่ 4.136 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



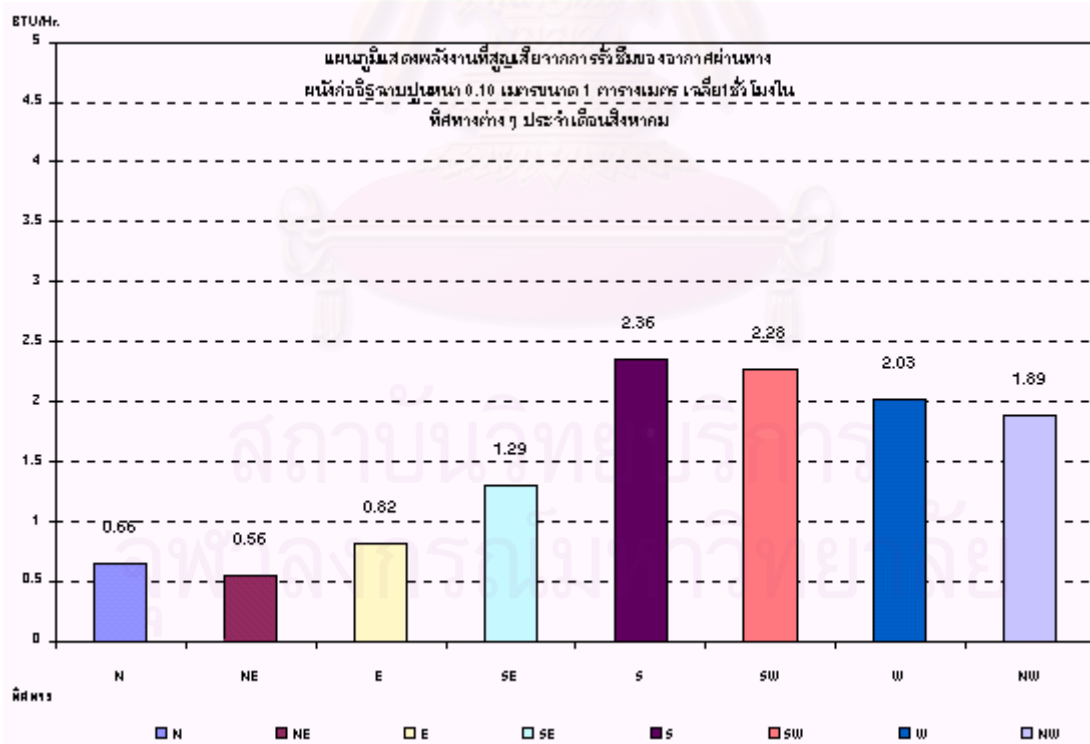
แผนภูมิที่ 4.137 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนกรกฎาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0 | 1.8006366 | 1.8006366 | 1.8464345 | 1.95745 | 1.8075343 | 1.8174459 | 1.8084604 |
| 2:00 | 0.9153505 | 0 | 1.7708911 | 0 | 1.8080764 | 1.9167856 | 1.7675389 | 0 |
| 3:00 | 0 | 0 | 1.7163155 | 0 | 1.7237729 | 1.7228902 | 2.2784871 | 0 |
| 4:00 | 0 | 0 | 1.7264931 | 0 | 1.9157167 | 1.7545348 | 1.7294042 | 0 |
| 5:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.042745 | 1.7139113 | 1.7059275 | 0 |
| 6:00 | 0.9267864 | 0 | 1.7049376 | 0 | 2.8841847 | 1.7483015 | 1.7173713 | 1.7049376 |
| 7:00 | 0 | 0 | 1.7407858 | 1.7483495 | 1.7483495 | 1.7850615 | 1.7483495 | 1.7407858 |
| 8:00 | 0.9562692 | 0 | 1.8325673 | 0 | 1.8379459 | 1.8710477 | 1.8325673 | 0 |
| 9:00 | 1.0947591 | 1.9300016 | 0 | 1.9383875 | 1.9466599 | 2.0476917 | 2.0353996 | 0 |
| 10:00 | 1.2360483 | 0 | 0 | 1.9387006 | 1.9377078 | 2.1142686 | 2.0040099 | 2.1977307 |
| 11:00 | 1.8521322 | 2.0081782 | 0 | 2.0081782 | 1.9697425 | 2.1289183 | 2.2133734 | 2.363208 |
| 12:00 | 1.3070971 | 0 | 0 | 1.9912166 | 2.5665744 | 2.5453655 | 2.3120597 | 8.2247433 |
| 13:00 | 0 | 2.0989592 | 0 | 2.0989592 | 2.5956787 | 2.9423069 | 2.1915971 | 2.4700384 |
| 14:00 | 1.6534161 | 3.4323453 | 0 | 2.0805792 | 2.8451722 | 3.9475388 | 2.2322957 | 2.8451722 |
| 15:00 | 0 | 2.0748255 | 0 | 2.1248008 | 2.1754139 | 3.7981646 | 2.2524281 | 0 |
| 16:00 | 0 | 0 | 0 | 2.0136992 | 2.5671169 | 2.8237533 | 2.2267504 | 2.0214131 |
| 17:00 | 1.7365199 | 0 | 0 | 0 | 2.411545 | 2.5231773 | 2.0796593 | 0 |
| 18:00 | 0 | 0 | 2.2150723 | 2.2714111 | 2.5490219 | 2.7448801 | 2.4800764 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 1.9156624 | 2.017102 | 2.18105 | 2.4786476 | 9.9114676 |
| 20:00 | 0 | 0 | 0 | 1.9144371 | 2.0971692 | 2.0337226 | 1.9309174 | 3.9892718 |
| 21:00 | 0 | 0 | 0 | 1.9336194 | 2.0989043 | 1.9650252 | 1.9274155 | 2.312426 |
| 22:00 | 1.1649667 | 0 | 0 | 0 | 1.891396 | 2.6421298 | 1.8951216 | 1.8923651 |
| 23:00 | 1.839432 | 0 | 1.9149067 | 3.2253679 | 2.0726659 | 2.0228868 | 1.9112819 | 0 |
| 0:00 | 1.072952 | 0 | 3.1486412 | 0 | 1.866167 | 1.876381 | 1.9086067 | 1.8612667 |

ตารางที่ 4.56 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



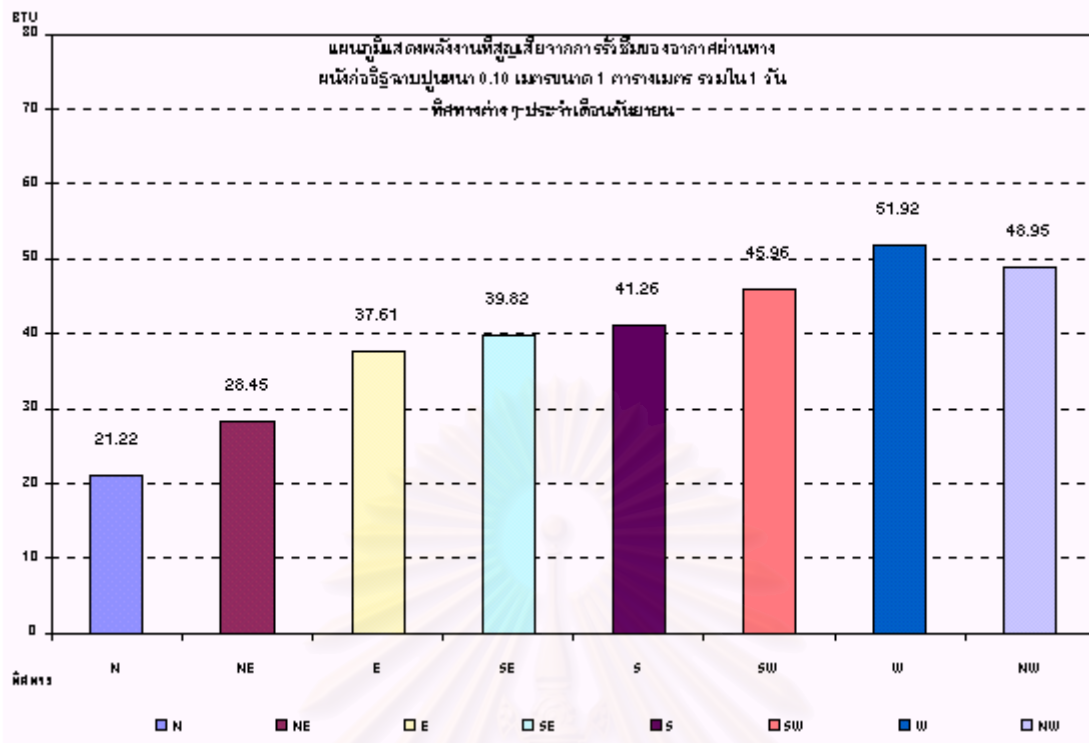
แผนภูมิที่ 4.43 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



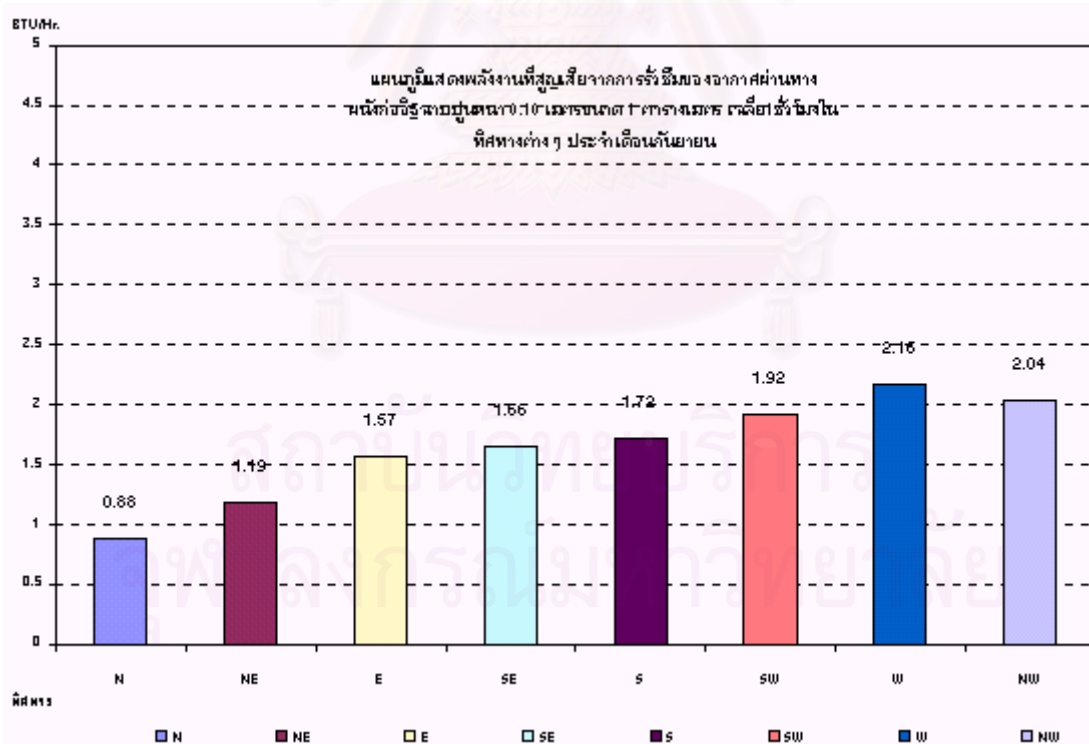
แผนภูมิที่ 4.139 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนสิงหาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 1.2383752 | 0 | 1.7415651 | 1.7858606 | 0 | 1.8932341 | 2.1015865 | 1.7549553 |
| 2:00 | 0 | 0 | 2.0955679 | 1.0189811 | 1.7807462 | 0 | 1.7432298 | 1.7492419 |
| 3:00 | 0 | 1.7156921 | 1.7593295 | 0 | 0 | 0 | 1.7202091 | 1.7231468 |
| 4:00 | 0 | 0 | 1.7495802 | 0 | 0 | 1.7495802 | 0 | 1.7135979 |
| 5:00 | 0.9557043 | 1.7401504 | 0 | 0 | 1.7034893 | 1.7401504 | 1.8447757 | 1.7043621 |
| 6:00 | 0 | 1.6728302 | 0 | 0 | 1.6792382 | 0 | 1.6768953 | 1.6800986 |
| 7:00 | 0 | 1.7398775 | 1.7341045 | 1.7705173 | 1.7705173 | 1.7341045 | 1.7705173 | 1.7266024 |
| 8:00 | 0 | 1.8369504 | 1.8444458 | 0 | 1.8360097 | 1.8369504 | 1.8455474 | 2.2071003 |
| 9:00 | 1.0641108 | 1.9974614 | 1.9093888 | 0 | 1.9193077 | 2.2953106 | 1.9093888 | 2.6672643 |
| 10:00 | 1.8722775 | 3.3854129 | 2.175513 | 2.0521302 | 2.0521302 | 5.2506639 | 2.1427014 | 2.2406511 |
| 11:00 | 1.1485815 | 2.9075842 | 2.0045022 | 2.3588822 | 2.0527837 | 2.7411376 | 2.1886476 | 2.9075842 |
| 12:00 | 1.9395092 | 2.3404502 | 1.9479363 | 2.1084167 | 1.9446155 | 2.3404502 | 2.8848647 | 2.1715458 |
| 13:00 | 1.9695931 | 2.0038629 | 2.0733234 | 0 | 2.1243436 | 1.9589089 | 3.9188634 | 2.0038629 |
| 14:00 | 1.6142789 | 3.2841653 | 2.3427071 | 1.9907572 | 1.9907572 | 2.4749218 | 2.3427071 | 2.1104499 |
| 15:00 | 1.8804032 | 2.046856 | 2.046856 | 2.0037333 | 2.0089764 | 2.4087238 | 3.0625333 | 2.6498964 |
| 16:00 | 0 | 0 | 2.0598019 | 2.0598019 | 2.28699 | 2.0903643 | 2.4239584 | 2.2490275 |
| 17:00 | 1.3197899 | 0 | 0 | 3.2738824 | 2.0533142 | 2.0139695 | 1.9501807 | 1.984524 |
| 18:00 | 1.7410229 | 0 | 2.2588227 | 1.8799985 | 1.8919819 | 2.7842498 | 2.0594436 | 0 |
| 19:00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.832391 | 1.8154434 | 4.4984039 | 3.0711235 |
| 20:00 | 1.2227109 | 1.7756987 | 1.7825009 | 1.7834142 | 1.7810023 | 1.7947818 | 1.8017455 | 0 |
| 21:00 | 0 | 0 | 1.8899327 | 7.3859058 | 2.0280848 | 1.7861868 | 1.7950056 | 2.1495473 |
| 22:00 | 1.2476848 | 0 | 0 | 2.4605064 | 1.8323622 | 1.761379 | 2.6099125 | 4.6037262 |
| 23:00 | 1.0794046 | 0 | 1.7503983 | 2.9345448 | 2.9345448 | 1.7422445 | 1.885779 | 2.0933109 |
| 0:00 | 0.9238662 | 0 | 2.4438958 | 2.9482554 | 1.7562118 | 1.7494881 | 1.7470472 | 1.7871392 |

ตารางที่ 4.57 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนกันยายนจากข้อมูล พ.ศ.2538



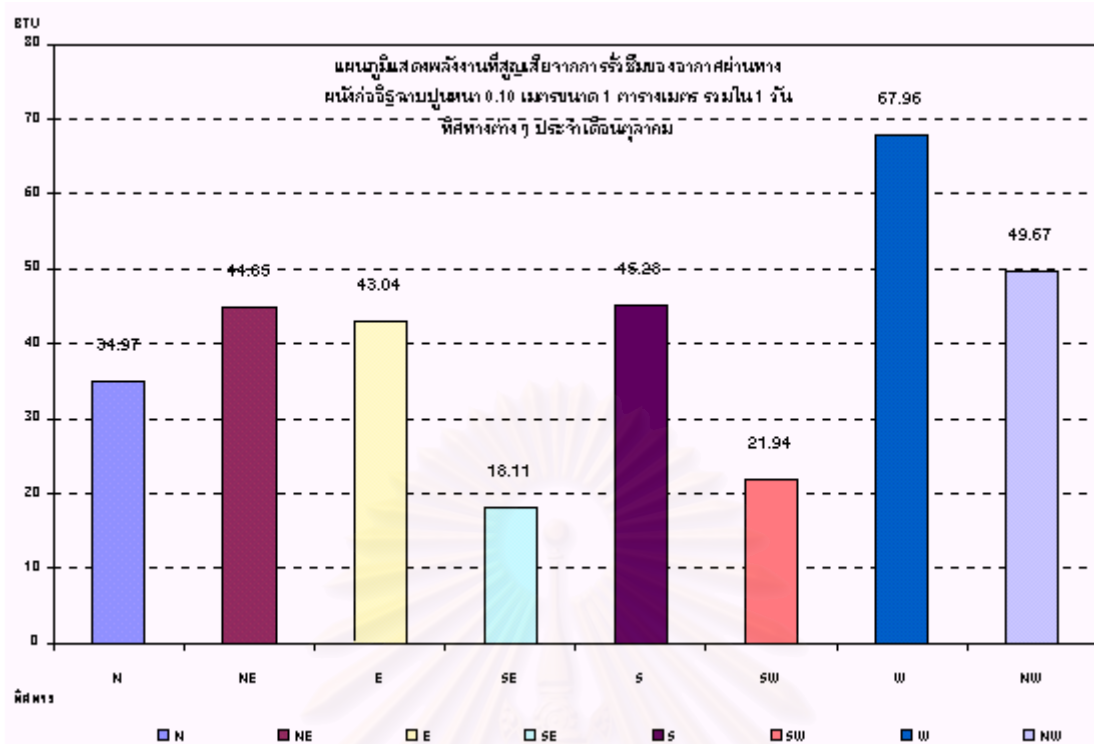
แผนภูมิที่ 4.140 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนกันยายนจากข้อมูล พ.ศ.2538



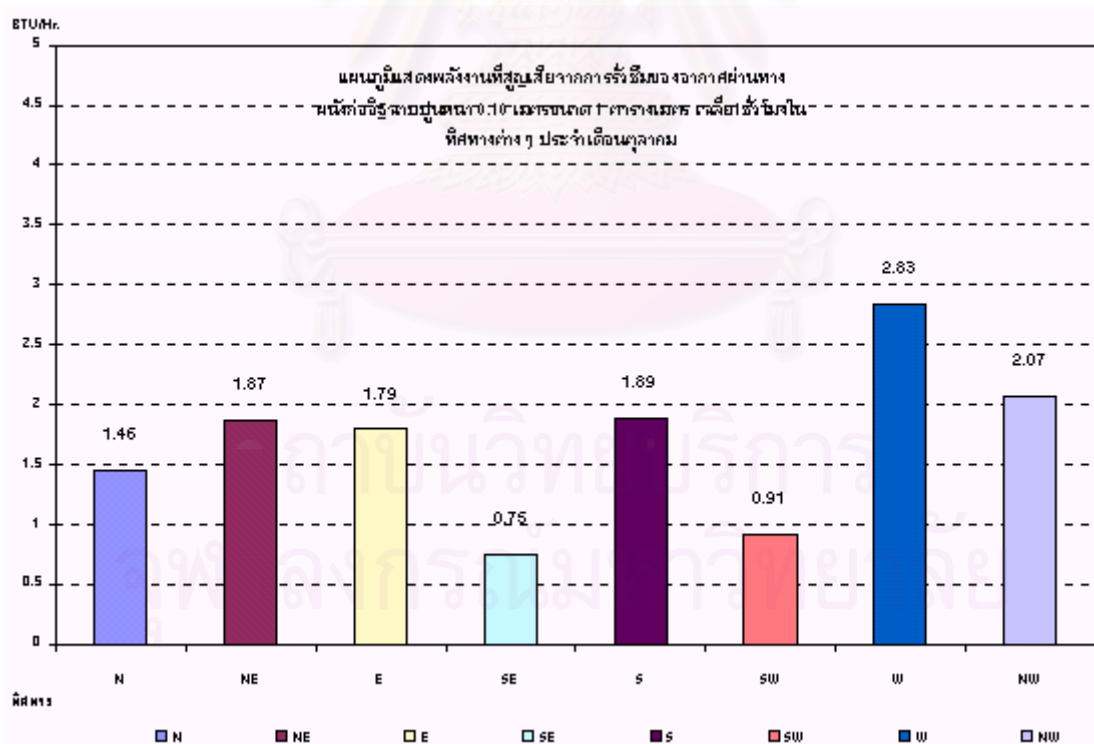
แผนภูมิที่ 4.141 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนกันยายนจากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 1.2077218 | 1.6614275 | 1.6646013 | 0 | 1.6723917 | 0 | 6.872134 | 1.6995547 |
| 2:00 | 1.1951151 | 1.6441074 | 1.6818141 | 1.6472255 | 1.6549346 | 0 | 0 | 1.6472255 |
| 3:00 | 1.0300439 | 1.6240455 | 1.6240455 | 0 | 1.631102 | 0 | 0 | 1.9597729 |
| 4:00 | 1.2114856 | 1.9680485 | 1.6446733 | 0 | 1.6309034 | 0 | 1.6723843 | 1.6379897 |
| 5:00 | 1.2111522 | 1.5911952 | 1.904665 | 0 | 1.5783781 | 0 | 0 | 1.6746265 |
| 6:00 | 1.2694847 | 1.5767708 | 0 | 1.5694257 | 0 | 0 | 0 | 1.5794294 |
| 7:00 | 1.198961 | 1.6012031 | 1.594276 | 0 | 0 | 0 | 1.6012031 | 1.6012031 |
| 8:00 | 1.339568 | 1.7070233 | 1.7428675 | 0 | 1.7070233 | 0 | 1.7070233 | 1.7061491 |
| 9:00 | 1.7395767 | 1.8053248 | 1.8467542 | 1.8467542 | 1.8467542 | 1.8087734 | 0 | 1.8053248 |
| 10:00 | 1.8227174 | 1.8795546 | 1.9300205 | 1.8951814 | 2.2302343 | 1.8481743 | 0 | 1.8951814 |
| 11:00 | 1.8618261 | 1.8950216 | 2.2300462 | 0 | 1.8678788 | 0 | 2.2300462 | 1.8622272 |
| 12:00 | 1.8572898 | 1.9445943 | 2.2345602 | 2.2345602 | 4.1747783 | 3.1325576 | 1.8517591 | 2.2345602 |
| 13:00 | 1.863003 | 1.9816625 | 1.8579139 | 0 | 1.9636859 | 2.595358 | 0 | 2.0722506 |
| 14:00 | 1.8294341 | 1.8656346 | 0 | 0 | 2.1131782 | 0 | 0 | 2.2159401 |
| 15:00 | 1.73702 | 2.1758787 | 1.8489918 | 0 | 3.050294 | 1.8031304 | 1.810965 | 1.8935275 |
| 16:00 | 1.7486897 | 1.9340854 | 1.8692896 | 0 | 2.0977533 | 1.8692896 | 1.8308454 | 1.9816792 |
| 17:00 | 1.5512449 | 2.2758281 | 0 | 1.8306118 | 1.8940669 | 1.8306118 | 0 | 1.8013542 |
| 18:00 | 1.3575368 | 2.0012892 | 0 | 0 | 1.7766651 | 0 | 1.8024825 | 1.7645082 |
| 19:00 | 1.7181645 | 2.9978245 | 1.8171864 | 1.8171864 | 1.7721139 | 1.8171864 | 1.7798138 | 2.017615 |
| 20:00 | 1.632176 | 1.7832832 | 1.8848064 | 1.8216616 | 2.4911048 | 1.7764781 | 1.7841969 | 2.1437168 |
| 21:00 | 1.6721619 | 1.7692019 | 7.3077091 | 0 | 1.8072772 | 1.7701084 | 0 | 1.9733044 |
| 22:00 | 1.5489139 | 1.7657226 | 2.9129242 | 1.7285227 | 1.726111 | 0 | 0 | 1.7219265 |
| 23:00 | 1.3679512 | 1.7182941 | 1.7543749 | 1.7182941 | 1.7543749 | 0 | 0 | 7.0937991 |
| 0:00 | 0 | 1.6851079 | 1.6851079 | 0 | 2.8383069 | 1.6851079 | 43.01724 | 1.6851079 |

ตารางที่ 4.58 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



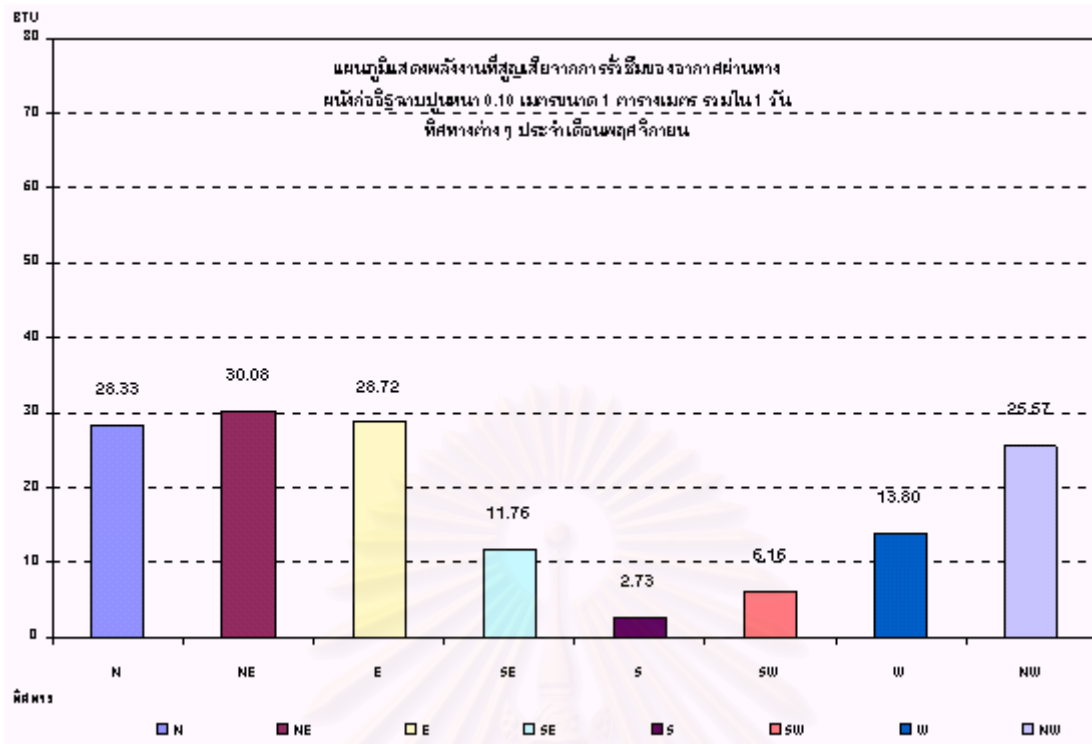
แผนภูมิที่ 4.142 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังท่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



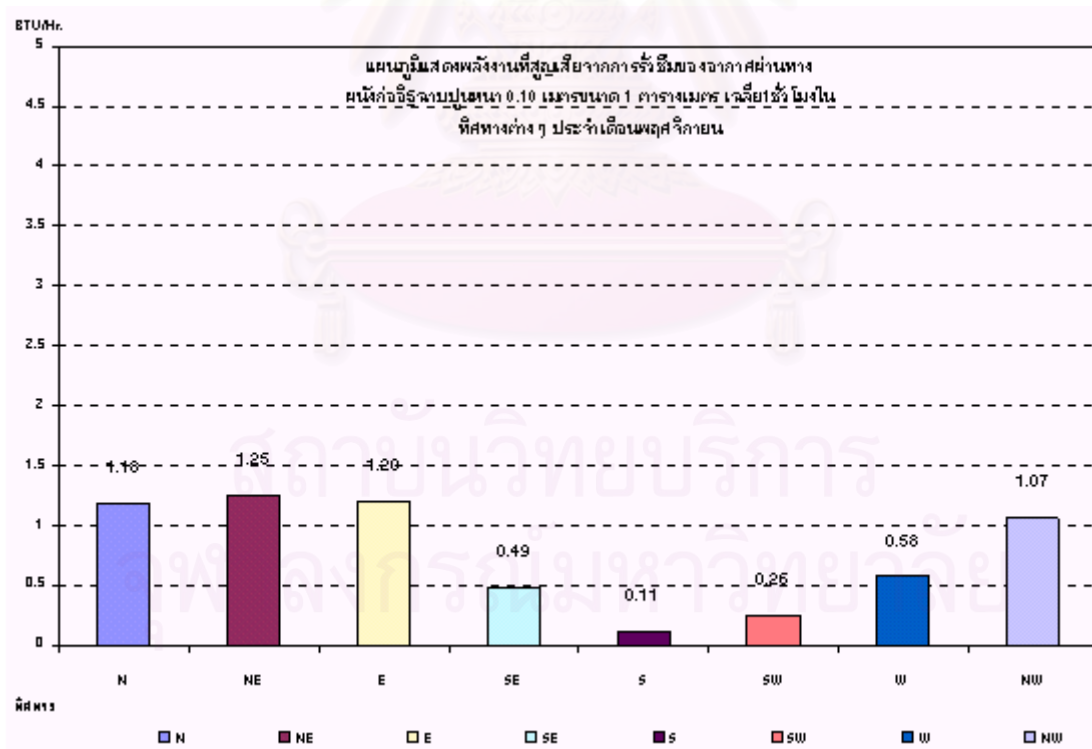
แผนภูมิที่ 4.143 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังท่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะปิด ทิศทางต่างๆ ประจำเดือนตุลาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 1.1265225 | 1.1767747 | 1.1991404 | 0 | 0 | 1.1744786 | 0 | 1.1744786 |
| 2:00 | 1.0667718 | 1.1375907 | 1.2332843 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.1394139 |
| 3:00 | 0.9462034 | 1.1146554 | 1.259887 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4:00 | 0.8555054 | 1.0746069 | 1.2911428 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0746069 |
| 5:00 | 0.9165587 | 1.0207229 | 1.8993456 | 0 | 0 | 0 | 1.0375566 | 0 |
| 6:00 | 0.9666609 | 0.984347 | 1.2457863 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7:00 | 0.7618346 | 1.0654696 | 0.9732095 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9633079 |
| 8:00 | 1.0355567 | 1.0548178 | 1.0437434 | 0 | 0 | 1.0379592 | 0 | 0 |
| 9:00 | 1.150765 | 1.1453281 | 1.3315943 | 0 | 1.1424335 | 0 | 0 | 1.1424335 |
| 10:00 | 1.2317237 | 1.2312251 | 1.309805 | 0.8708781 | 0 | 0 | 3.2096614 | 1.4762151 |
| 11:00 | 1.2797807 | 1.2905666 | 1.3052647 | 1.2728896 | 0 | 0 | 0 | 2.1533038 |
| 12:00 | 1.3223862 | 1.4511674 | 1.3457006 | 1.3457006 | 0 | 0 | 1.3123225 | 0 |
| 13:00 | 1.3281197 | 1.3867366 | 2.191008 | 1.3281197 | 0 | 0 | 1.2951778 | 1.5629207 |
| 14:00 | 1.3337717 | 1.4234501 | 1.4452476 | 1.6042987 | 0 | 0 | 1.6042987 | 1.3961181 |
| 15:00 | 1.4023569 | 1.4251339 | 1.7982235 | 1.6770863 | 0 | 0 | 0 | 1.4251339 |
| 16:00 | 1.373922 | 1.4446026 | 1.3962055 | 2.3033295 | 0 | 0 | 1.3962055 | 1.3962055 |
| 17:00 | 1.3334456 | 1.3271605 | 1.3267166 | 1.3568884 | 0 | 0 | 0 | 1.3568884 |
| 18:00 | 1.312946 | 1.3186507 | 0 | 0 | 0 | 1.3186507 | 1.3463399 | 1.3463399 |
| 19:00 | 1.3166424 | 1.3179022 | 1.3060881 | 0 | 0 | 1.311763 | 0 | 1.315613 |
| 20:00 | 1.3271386 | 1.3241319 | 0 | 0 | 1.5871832 | 1.3152839 | 0 | 1.3487373 |
| 21:00 | 1.3034545 | 1.3210937 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.3104522 | 1.3761497 |
| 22:00 | 1.2885546 | 1.3013665 | 1.3242839 | 0 | 0 | 0 | 1.2914371 | 1.2963842 |
| 23:00 | 1.1888553 | 1.5256806 | 1.2757535 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.3414144 |
| 0:00 | 1.1578801 | 1.2194365 | 1.2170571 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.2856861 |

ตารางที่ 4.59 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูล พ.ศ.2538



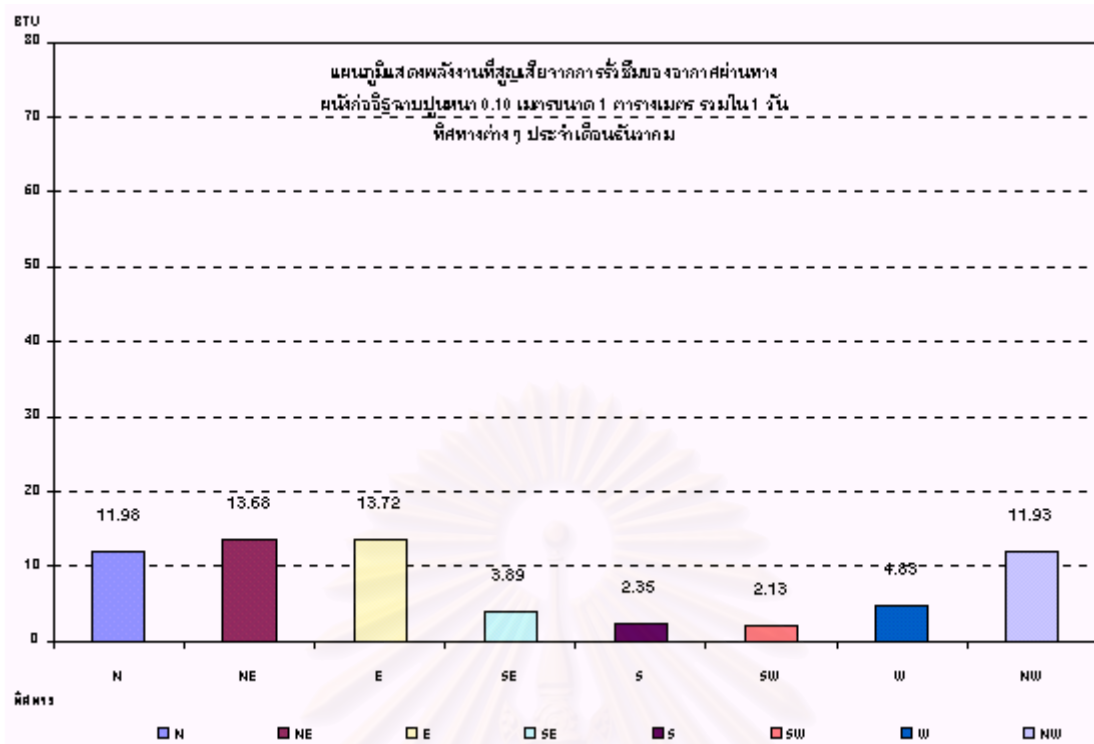
แผนภูมิที่ 4.144 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูล พ.ศ.2538



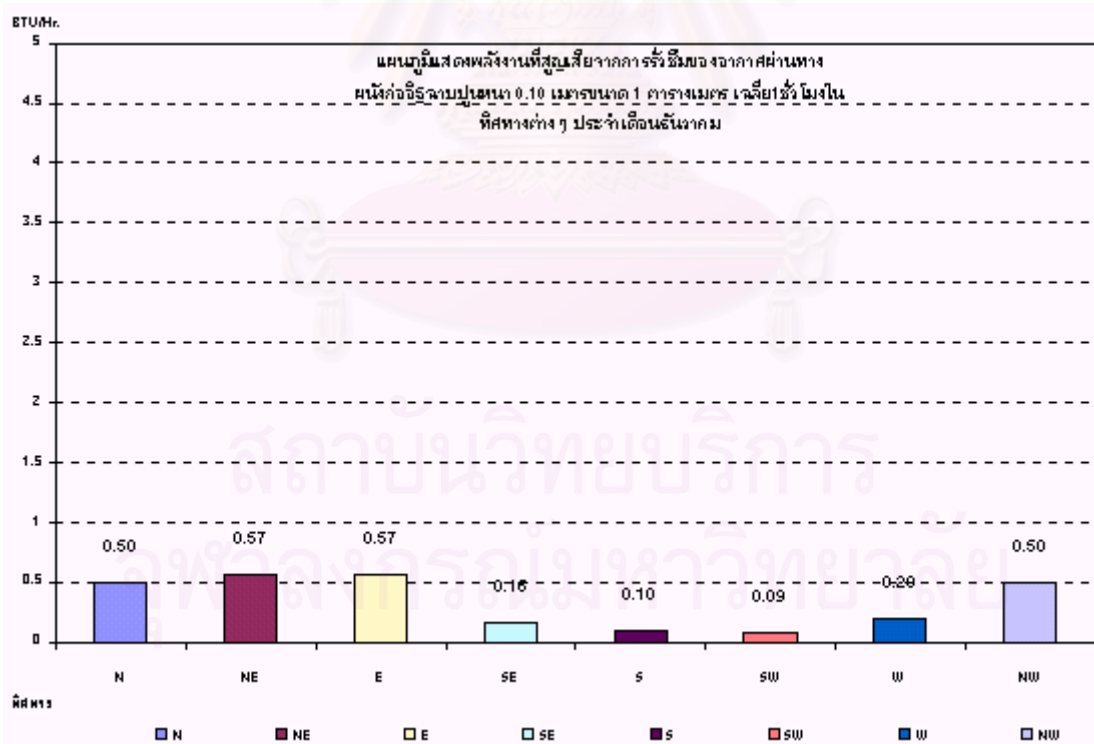
แผนภูมิที่ 4.145 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตรในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนพฤศจิกายนจากข้อมูล พ.ศ.2538

| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1:00 | 0.3229001 | 0.5005795 | 1.0430991 | 0.5005795 | 0 | 0 | 0 | 0.5003231 |
| 2:00 | 0.3180559 | 0.4467764 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3:00 | 0.3251269 | 0.3977099 | 0.3936635 | 0 | 0 | 0.3936635 | 0 | 0.3936635 |
| 4:00 | 0.2955932 | 0.3704178 | 0.3574368 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3547096 |
| 5:00 | 0.2482161 | 0.3939214 | 0.3116052 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6:00 | 0.1967874 | 0.2710168 | 0.2676499 | 0 | 0 | 0 | 0.266492 | 0 |
| 7:00 | 0.3023516 | 0.3929926 | 0.3931939 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4014502 |
| 8:00 | 0.2650264 | 0.2866348 | 0.2764935 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9:00 | 0.4008124 | 0.4267414 | 0.4417145 | 0.4273194 | 0.1990024 | 0.1990024 | 0.1990024 | 0.1990024 |
| 10:00 | 0.5185808 | 0.5151926 | 0.5154996 | 0.5265938 | 0 | 0 | 0.5157637 | 0.5157637 |
| 11:00 | 0.5798418 | 0.7050804 | 0.6810392 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5865318 |
| 12:00 | 0.6501663 | 0.648199 | 0.8429603 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6472562 |
| 13:00 | 0.7092189 | 0.7457667 | 0.8148728 | 0.720782 | 0 | 0 | 0 | 0.7055967 |
| 14:00 | 0.7469451 | 0.7435275 | 0.8047829 | 0.7591402 | 0.7431468 | 0 | 0 | 0.7482689 |
| 15:00 | 0.7972395 | 0.8336676 | 0.7976487 | 0.9539124 | 0 | 0.793933 | 0.8106041 | 0.7950895 |
| 16:00 | 0.7935574 | 0.789068 | 0.855444 | 0 | 0 | 0 | 0.7903326 | 0.7929637 |
| 17:00 | 0.7486887 | 0.7961495 | 0.8972998 | 0 | 0 | 0.7468149 | 0 | 0.7455417 |
| 18:00 | 0.6879075 | 0.7103006 | 0.7206222 | 0 | 0 | 0 | 0.7054403 | 0.7091049 |
| 19:00 | 0.6396357 | 0.6971921 | 0.9734232 | 0 | 0.6971921 | 0 | 0.837678 | 0.7118318 |
| 20:00 | 0.5962975 | 0.7121514 | 0 | 0 | 0.7121514 | 0 | 0.7007695 | 0.8380541 |
| 21:00 | 0.5723844 | 0.640092 | 0.640092 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.6428732 |
| 22:00 | 0.5071648 | 0.5909956 | 0.5932595 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5963414 |
| 23:00 | 0.4348987 | 0.5704576 | 0.5486369 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5512045 |
| 0:00 | 0.3198917 | 0.4963529 | 0.5533308 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4963529 |

ตารางที่ 4.60 แสดงผลของการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูน
หนา 0.10 เมตร เป็นรายชั่วโมงในแต่ละทิศทางประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.146 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 วันผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 4.147 แสดงการสูญเสียพลังงานรวมใน 1 ชั่วโมงผ่านทางผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร ขนาด 1 ตารางเมตร ในขณะปิด ทิศทางต่างๆประจำเดือนธันวาคมจากข้อมูล พ.ศ.2538

จากข้อมูลที่ได้พิจารณามาทั้งหมดโดยตลอดทั้งปีจะเห็นได้ว่าการออกแบบอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศจะสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาทิศทางและขนาดของช่องเปิดด้วยเป็นปัจจัยหนึ่ง นอกจากนี้ยังทำให้ทราบอีกว่าแม้มีการเลือกช่องเปิดที่มีความเหมาะสมแล้วก็ตาม อาคารก็ยังคงมีการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศจากผนังที่ใช้ในการก่อสร้าง

ข้อมูลที่ได้รับแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการออกแบบอาคารเพื่อลดการรั่วซึมของอากาศ นั้นย่อมส่งผลดีต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศและยังต้องพิจารณาถึงวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารที่ดีอีกประการหนึ่งนอกจากป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร สามารถป้องกันความชื้นได้อย่างดีแล้ว ยังต้องมีความสามารถหรือการออกแบบที่ลดการรั่วซึมของอากาศได้อีกทางหนึ่งประกอบเข้าไปด้วยเพื่อให้เกิดอาคารยุคใหม่ที่สามารถประหยัดการใช้พลังงานได้และยังคงสถานะที่ทำให้เกิดไซนสภาพได้อย่างสมบูรณ์ด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สำหรับเนื้อหาในบทนี้เป็นเรื่องเกี่ยวกับการนำผลการทดลองที่ได้จากการวัดการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดขณะปิดมาประมวลผลเป็นข้อสรุป และสามารถนำแนวทางที่เกิดจากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารจริงเพื่อก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานที่สมบูรณ์พร้อมและแก้ไขปัญหาที่เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานได้อย่างถูกต้องจากปัญหาของการรั่วซึมของอากาศได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงแนวทางการทดลอง วิจัยต่อเนื่องในอนาคตที่สมควรแก่การศึกษา และข้อจำกัดต่างๆ ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองครั้งนี้

5.1 บทสรุปของการทดลอง

เพื่อเป็นการเน้นย้ำถึงความสำคัญของการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิดที่เข้าสู่อาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นของการวิจัยว่า ในการใช้พลังงานในอาคารที่ปรับอากาศนั้น พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่สืบเนื่องมาจากการใช้พลังงานเพื่อลดความชื้นมากกว่าการทำความเย็นหรือการลดอุณหภูมิให้กับอากาศภายในห้อง ตามแผนภูมิที่ 2.1 ดังนั้นการที่สามารถลดหรือป้องกันกรรั่วซึมของอากาศได้ย่อมที่จะสามารถลดการรั่วซึมของความชื้นที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด และนำไปสู่การลดการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างเหมาะสมอีกหนทางหนึ่งเช่นกัน เพื่อให้ผลการทดลองเป็นไปตามการก่อสร้างและวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจริงที่มีอยู่ในประเทศไทยและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย การทดลองจึงเลือกช่องเปิดที่มีอยู่ 4 ประเภท คือ

- ช่องเปิดแบบบานเกร็ด
- ช่องเปิดแบบบานเปิด
- ช่องเปิดแบบบานเลื่อน และ
- ช่องเปิดที่มีการติดตายเพื่อการนำแสงและวิวทัศน์เข้าสู่อาคาร
- และผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

มาใช้เพื่อเป็นกรณีศึกษาในการทดลอง และจากผลการทดลองที่ได้รับจะพบว่า การเลือกช่องเปิดที่มีความเหมาะสมในแต่ละทิศทางซึ่งมีความเร็วลมที่ปะทะสู่อันนั้นอย่างเหมาะสมสามารถที่จะลดการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิดได้ โดยพิจารณาจากสมการการทำนายผลที่

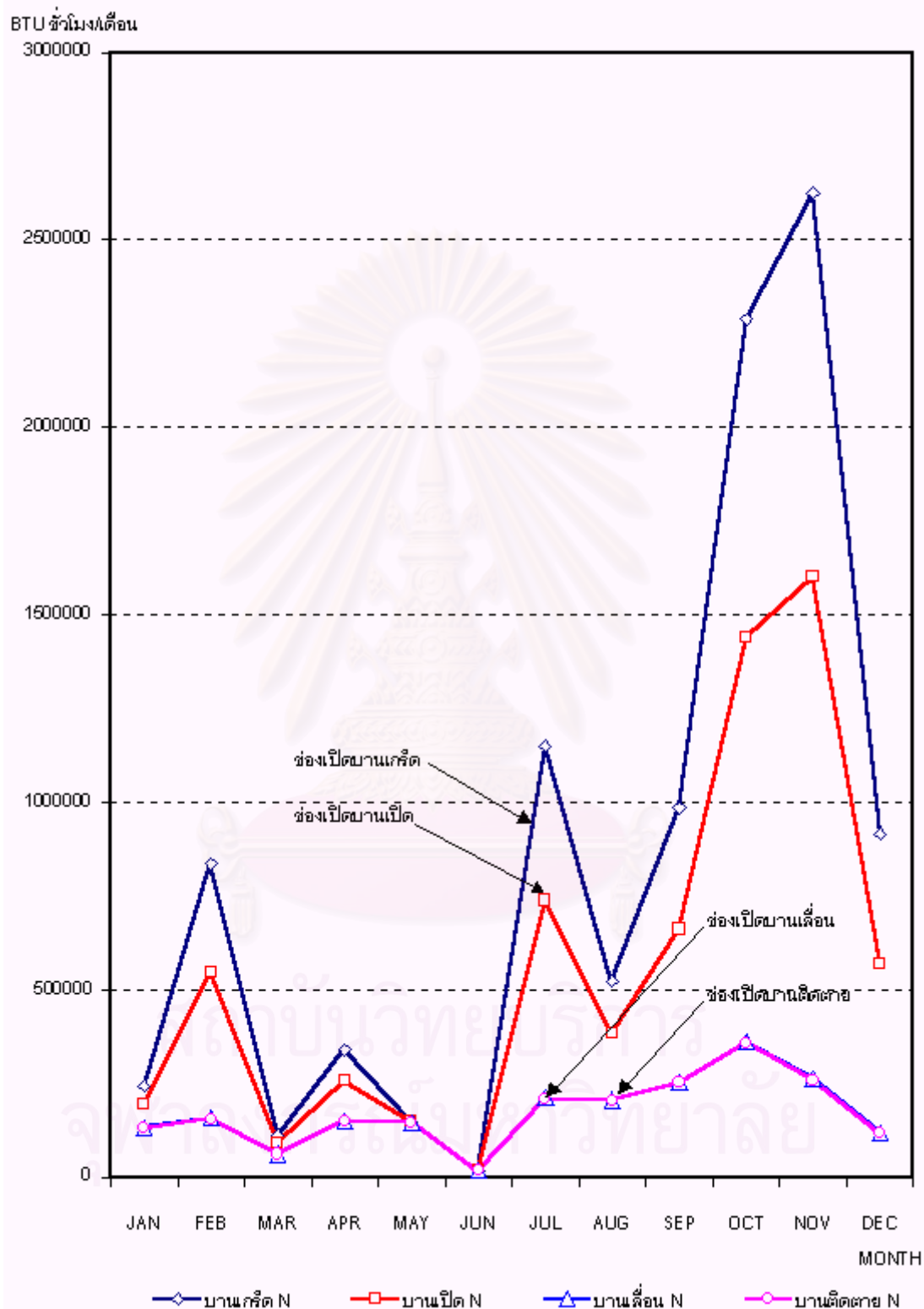
ได้รับจากการวิจัยในแต่ละประเภท ซึ่งความสามารถในการลดการรั่วซึมของอากาศก็มีความแตกต่างกันไปตามลักษณะของช่องเปิด พื้นที่ที่ช่องเปิดนั้นมี และทิศทางของช่องเปิดที่ติดตั้งอยู่

5.2 ผลสรุปการสูญเสียพลังงานหรือปริมาณภาระการทำความเย็นที่เพิ่มขึ้นจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางวัสดุทดลองต่างๆรายปีโดยแบ่งตามทิศทาง



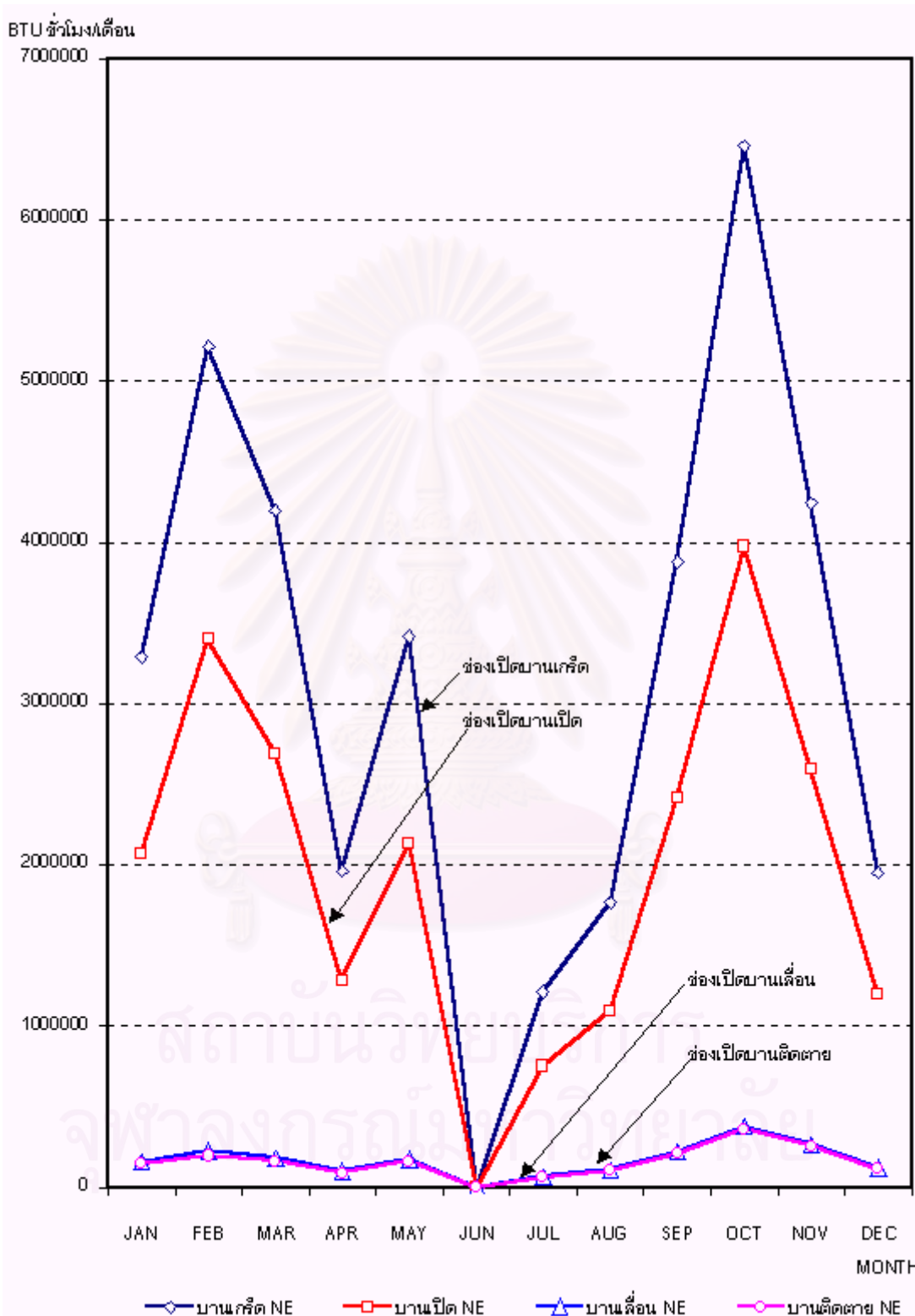
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.1 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ทางด้านทิศเหนือ



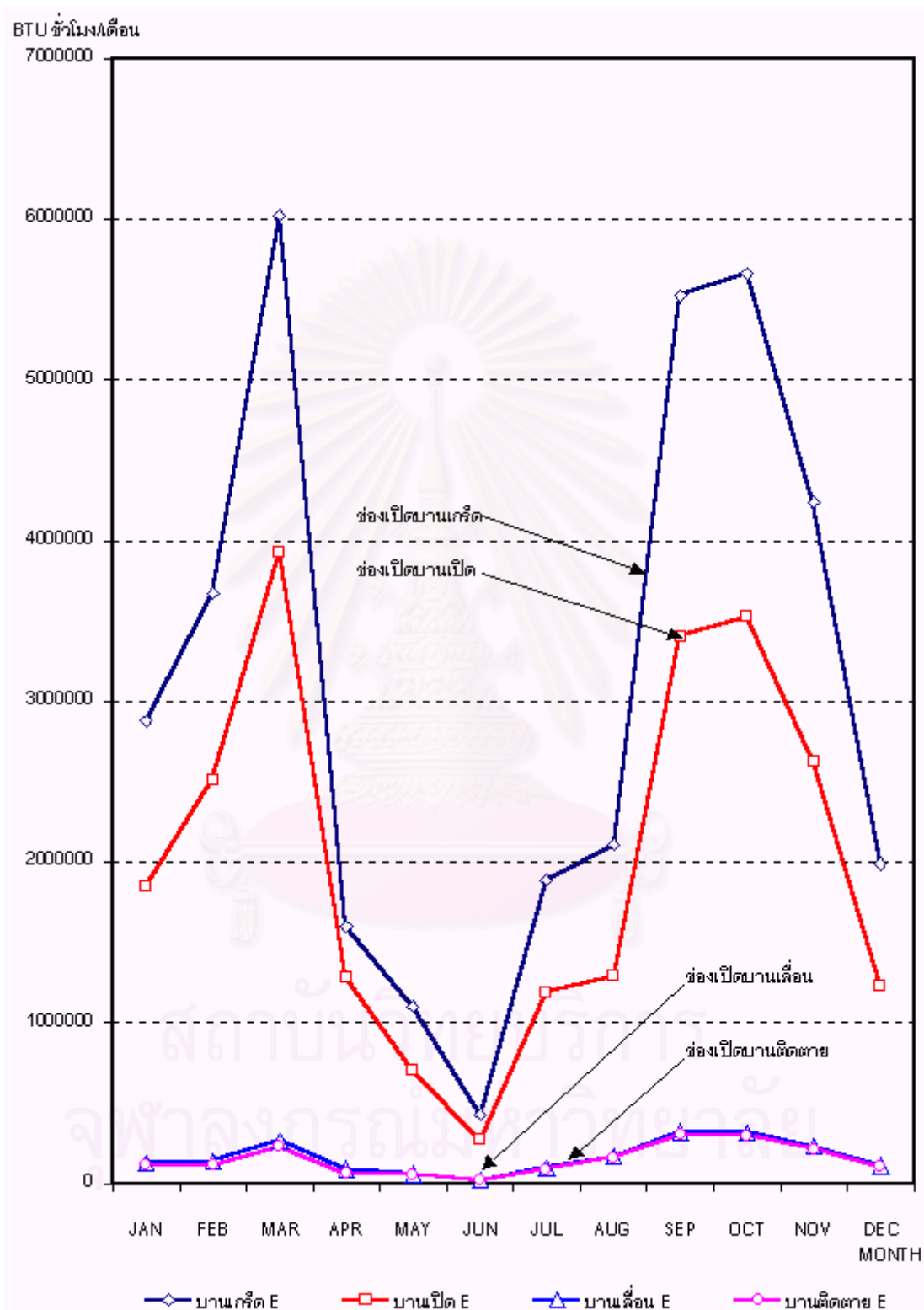
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรทิศเหนือเป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.2 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตร ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



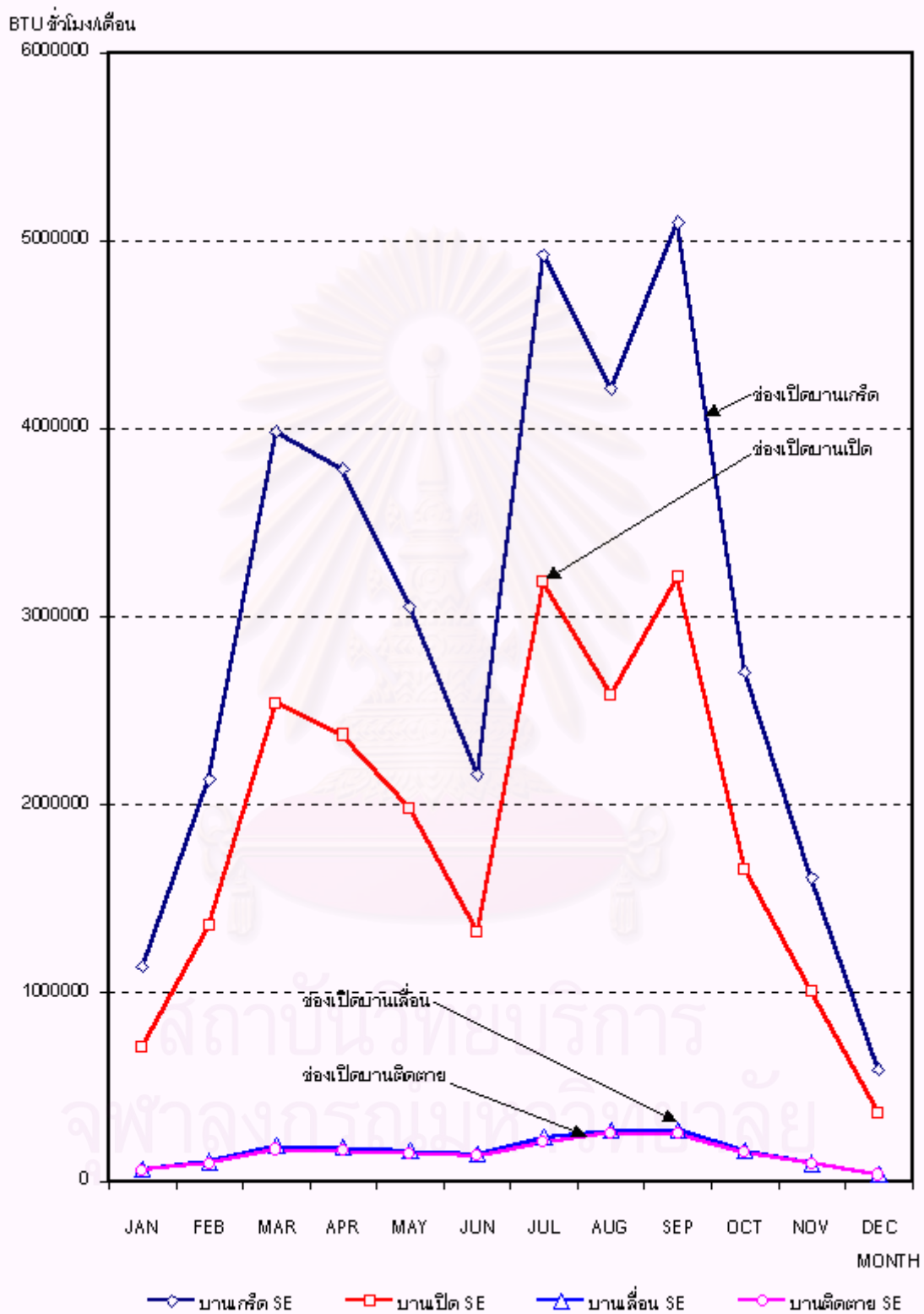
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.3 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้านทิศตะวันออก



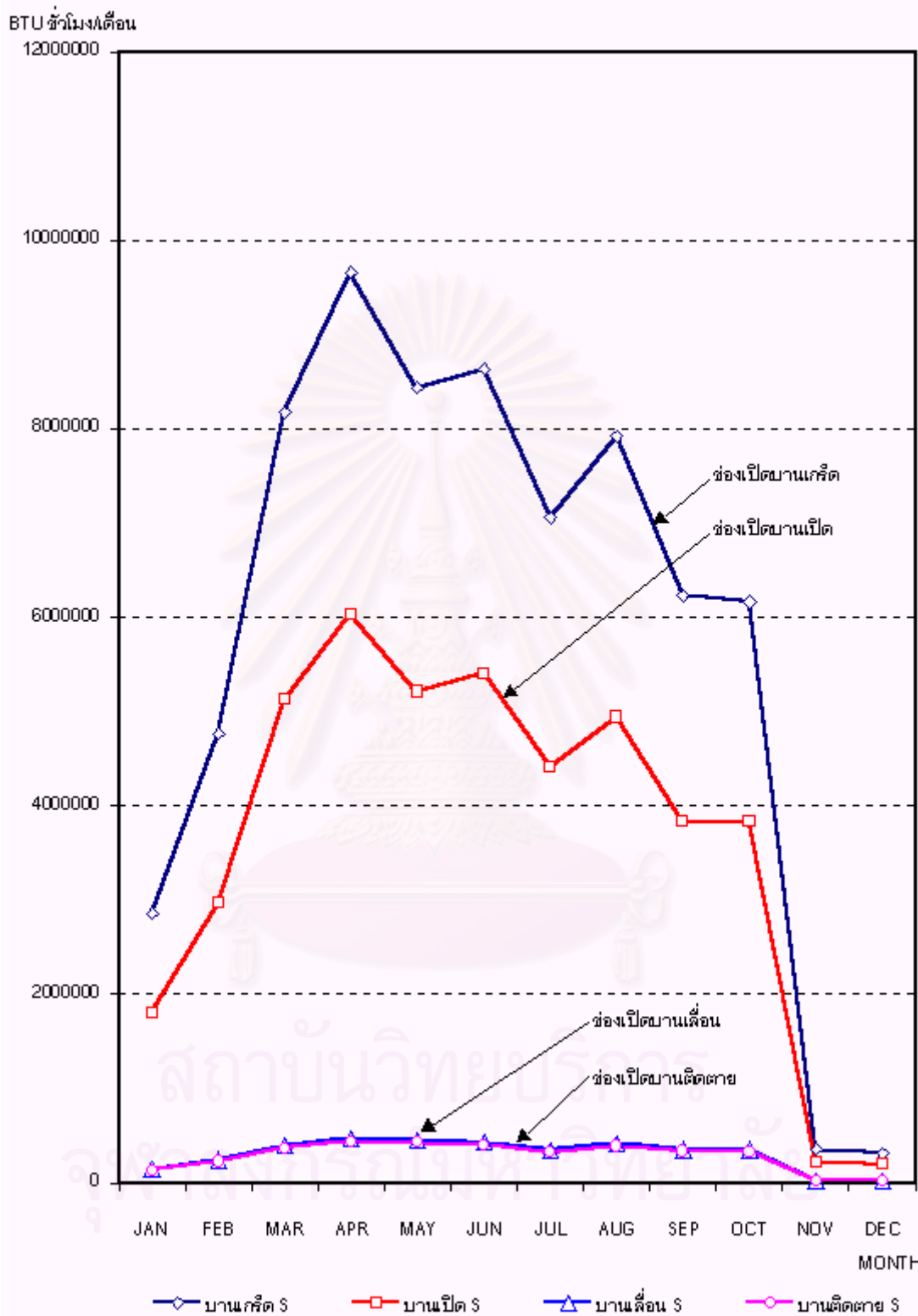
แผนภูมิที่ 5.3 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆ ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรทิศตะวันออกเป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.4 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้



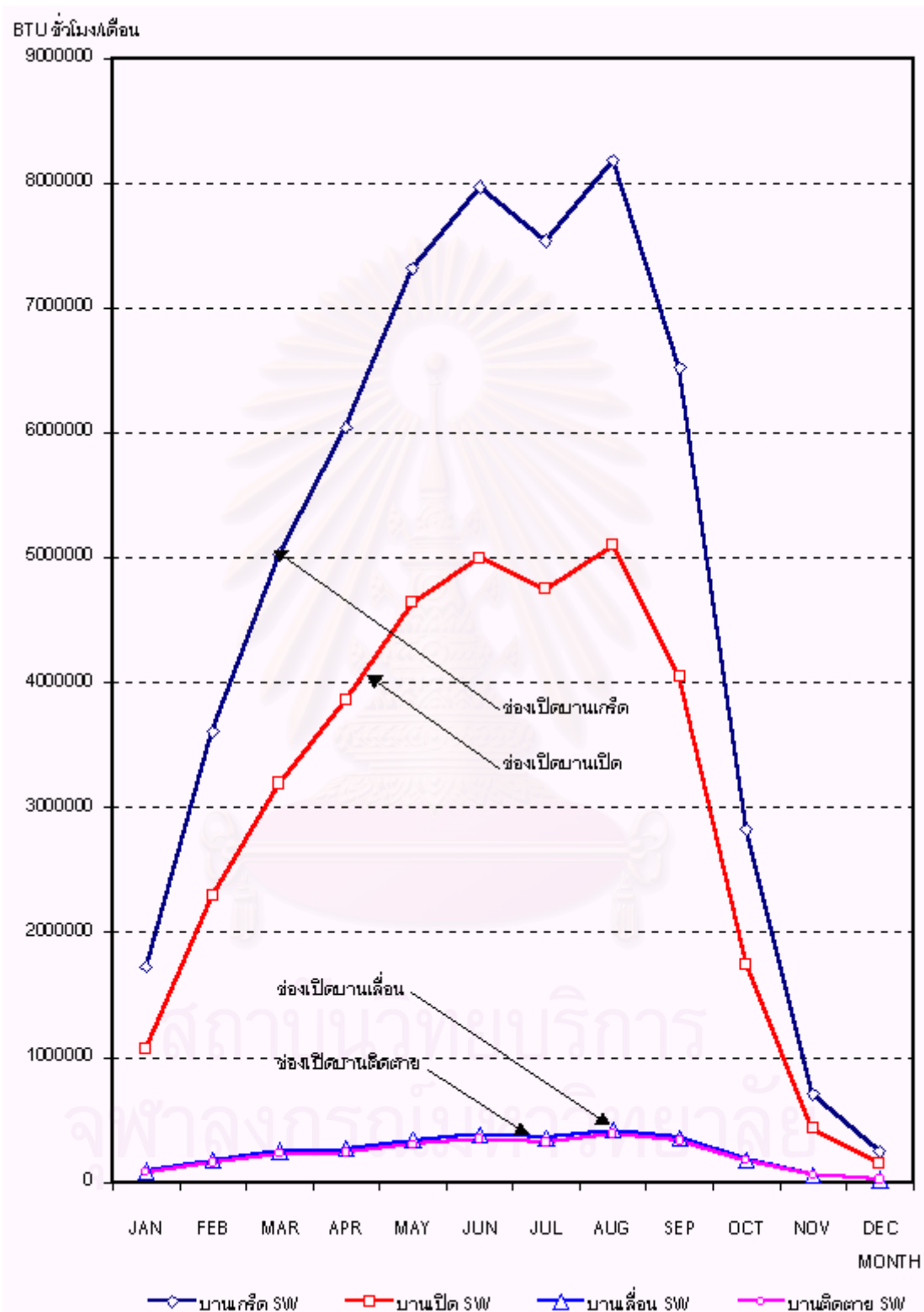
แผนภูมิที่ 5.4 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆ ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรทิศตะวันออกเฉียงใต้เป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.5 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้านทิศใต้



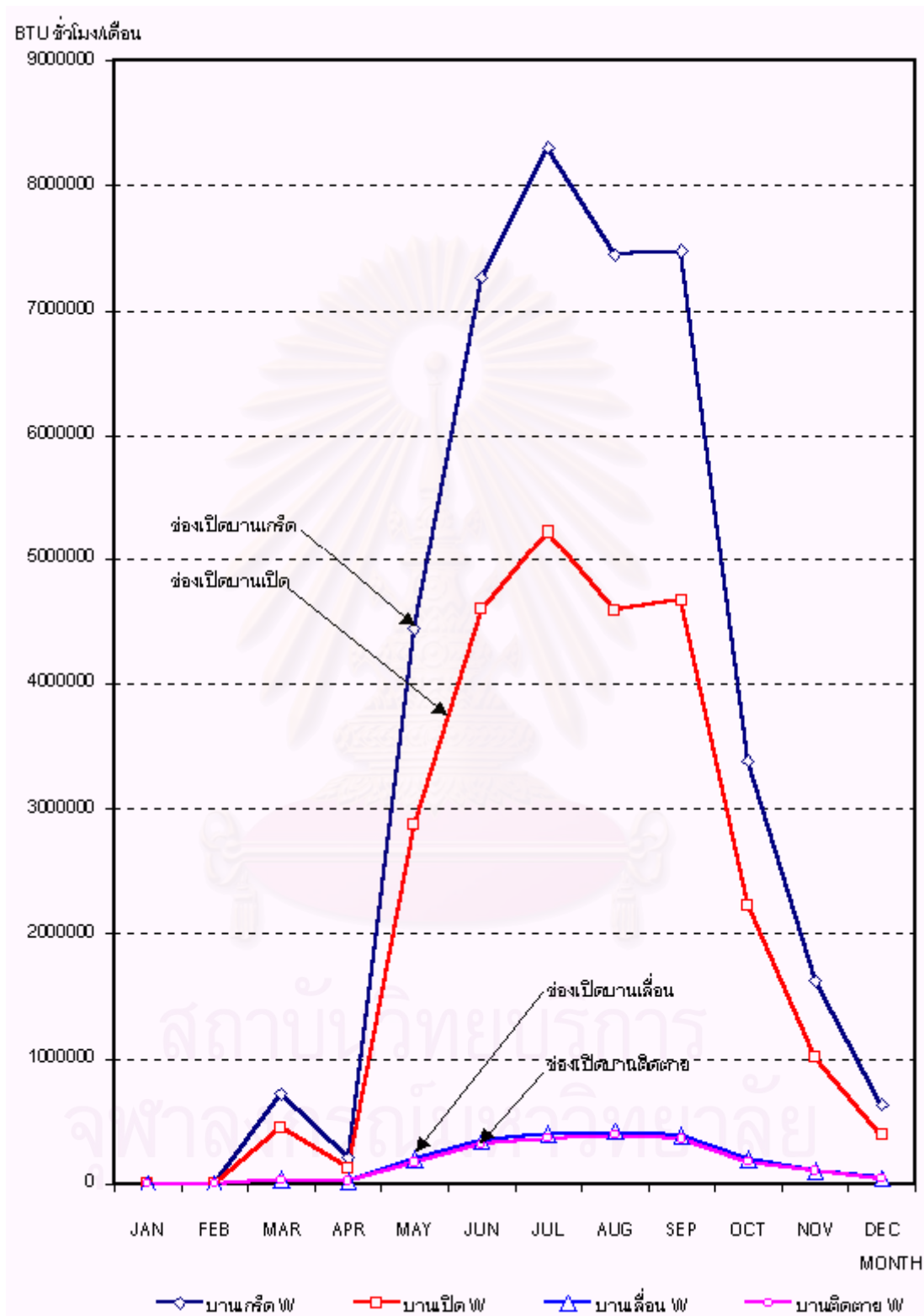
แผนภูมิที่ 5.5 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆ ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรทิศใต้เป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.6 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้



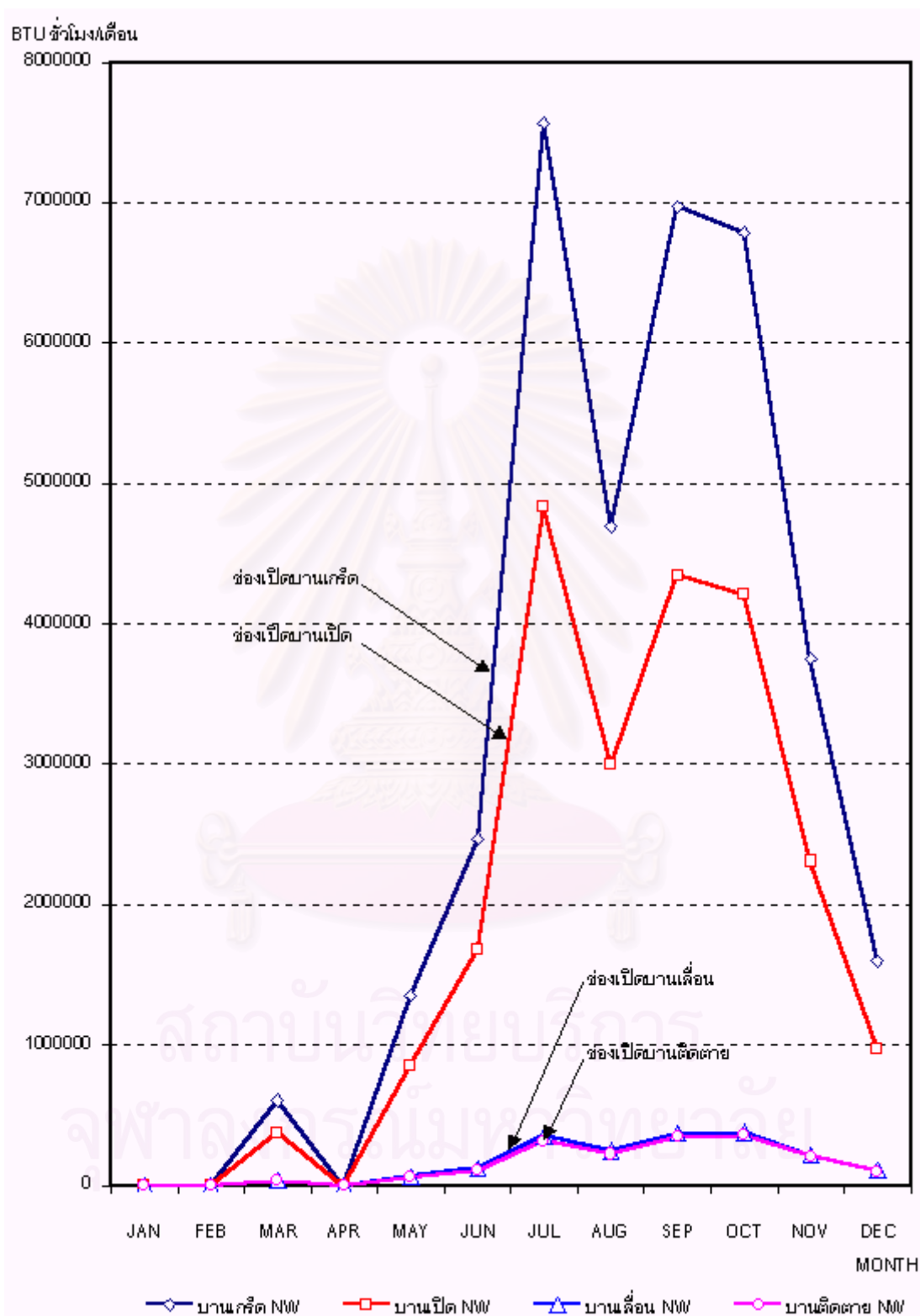
แผนภูมิที่ 5.6 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆ ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.7 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้านทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 5.7 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆ ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรทิศตะวันตกเป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.8 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดพื้นที่ 1 ตารางเมตรทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



แผนภูมิที่ 5.8 แสดงพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆ ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตรทิศตะวันตกเฉียงเหนือเป็นรายเดือนตลอดทั้งปีจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.9 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเกร็ด พื้นที่ 1 ตารางเมตร ตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



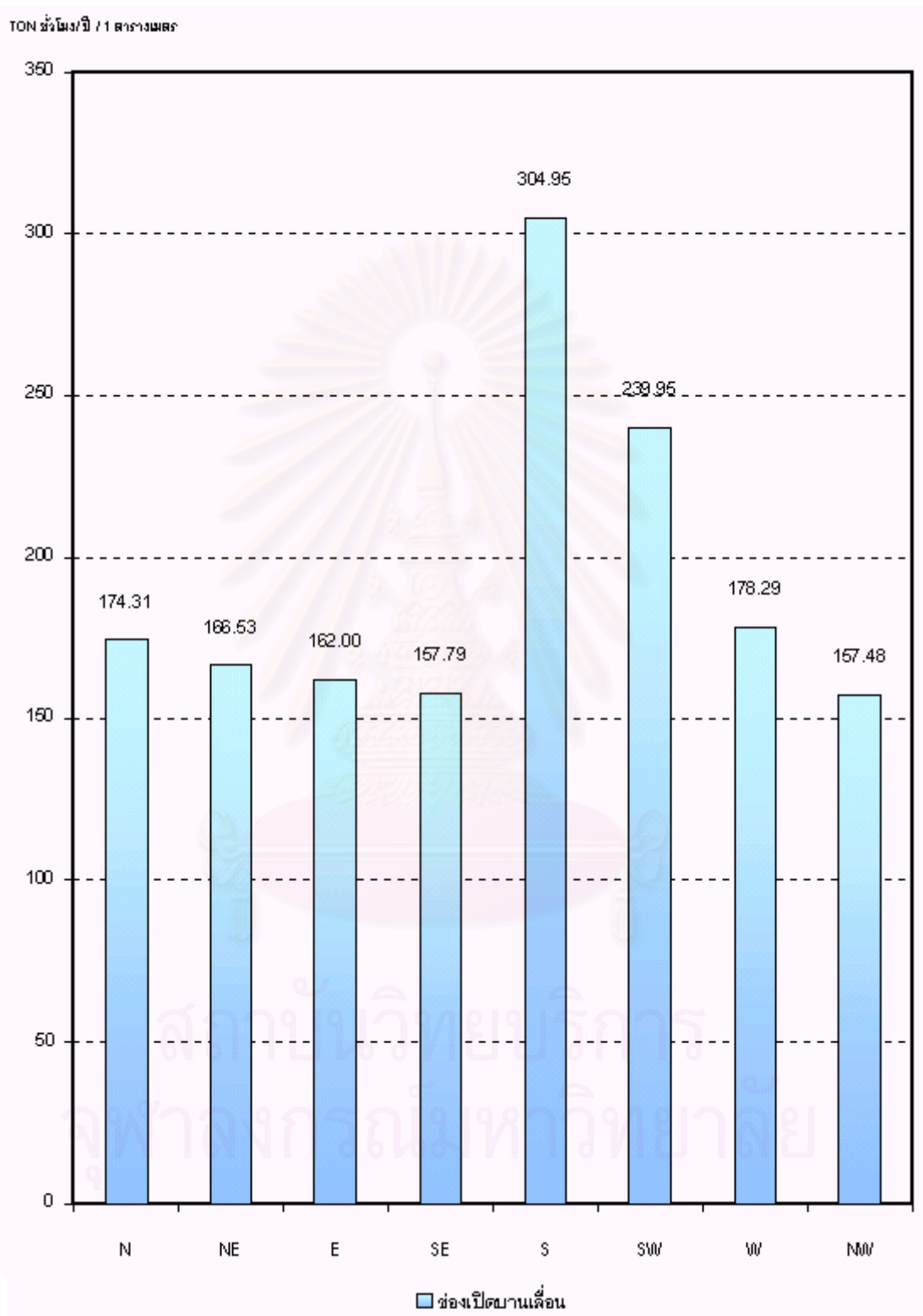
แผนภูมิที่ 5.9 การคาดการณ์ความเย็นที่เพิ่มจากการรั่วซึมอากาศผ่านช่องเปิดบานเกร็ด พื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตรมีหน่วยเป็นตันต่อปีต่อ 1 ตารางเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.10 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเปิด พื้นที่ 1 ตารางเมตร ตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



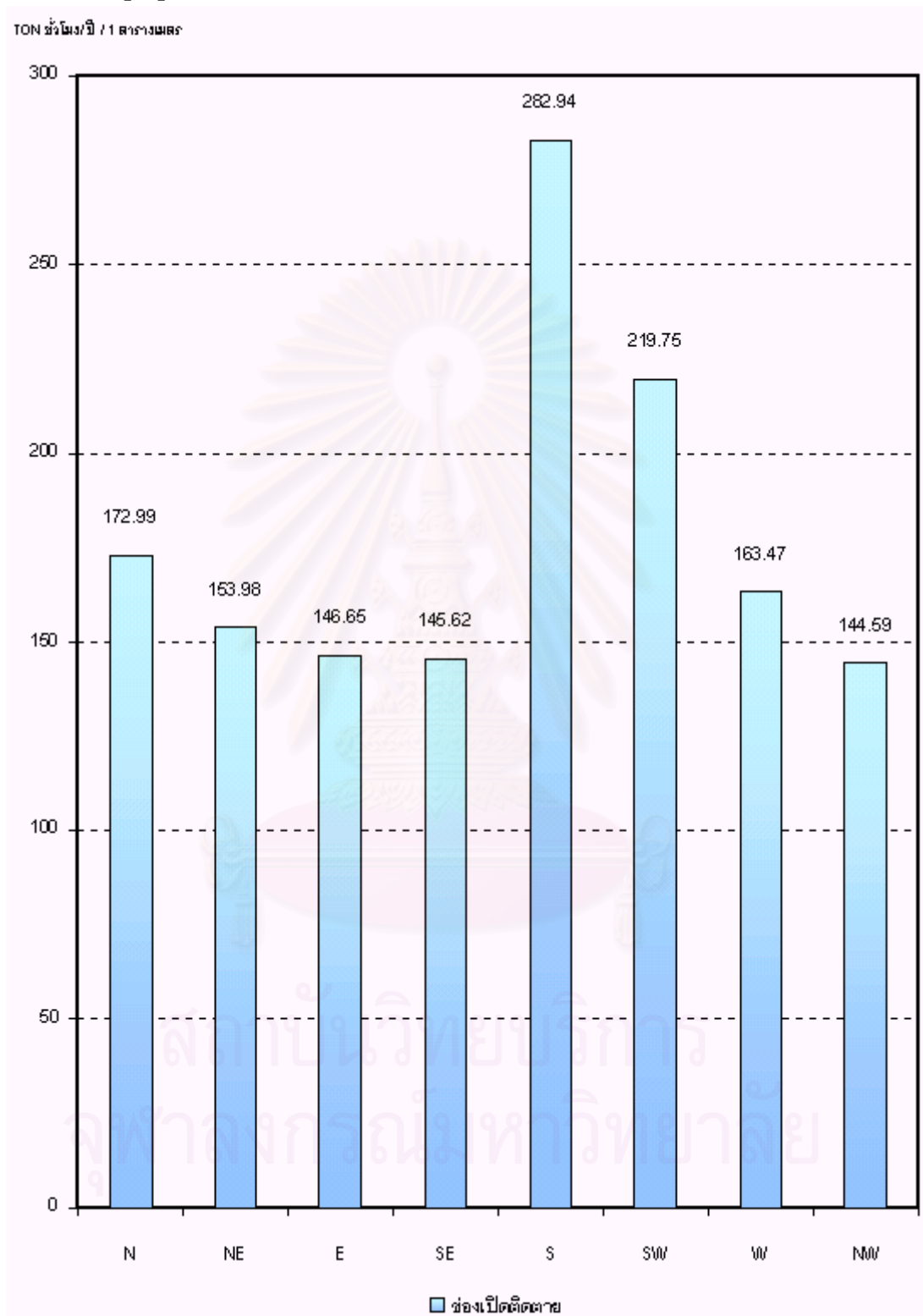
แผนภูมิที่ 5.10 ภาวะการทำความเย็นที่เพิ่มจากการรั่วซึมอากาศผ่านช่องเปิดบานเปิด พื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตรมีหน่วยเป็นตันต่อปีต่อ 1 ตารางเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.11 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานเลื่อน พื้นที่ 1 ตารางเมตร ตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



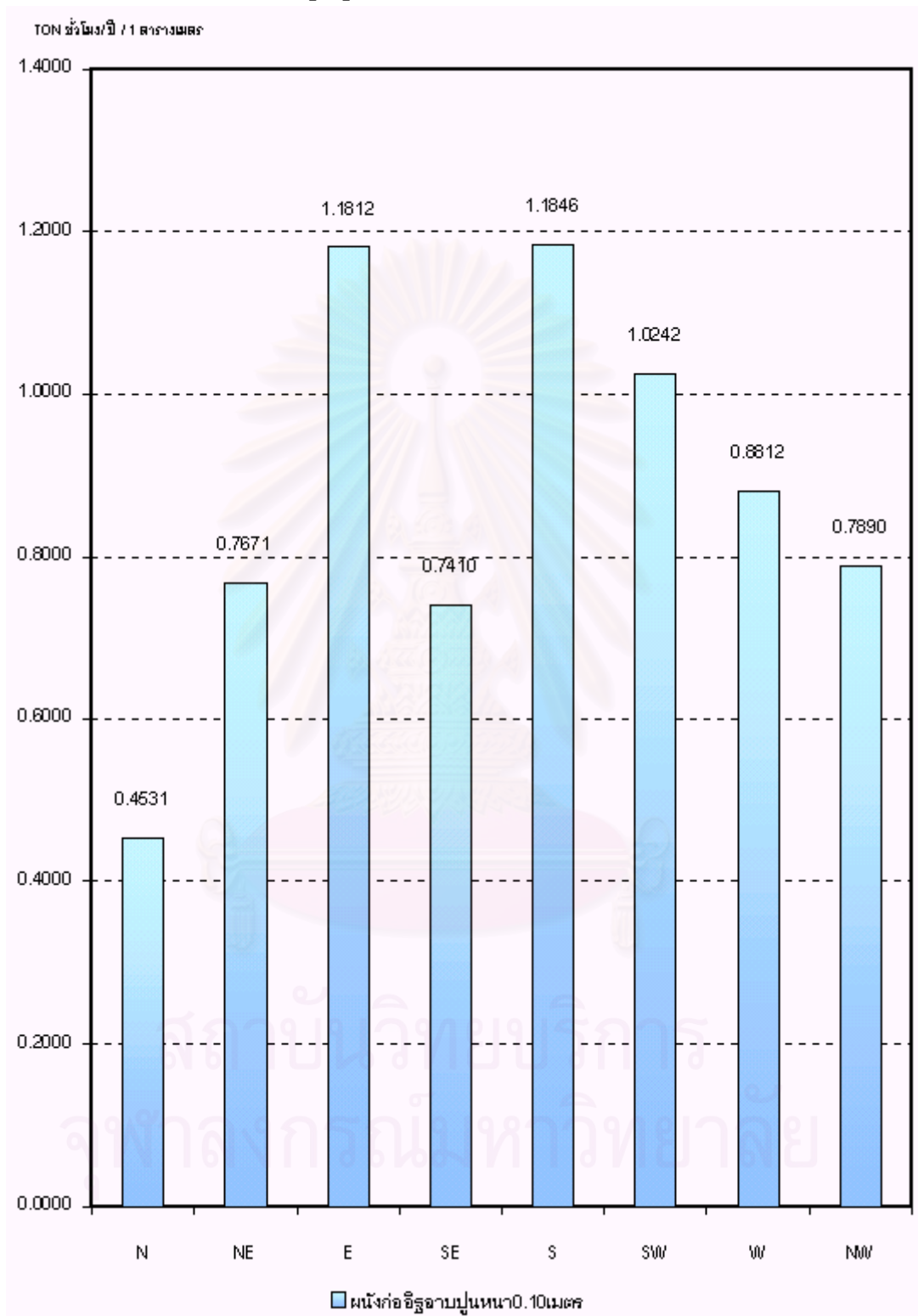
แผนภูมิที่ 5.11 ภาวะการทำความเย็นที่เพิ่มจากการรั่วซึมอากาศผ่านช่องเปิดบานเลื่อน พื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตรมีหน่วยเป็นตันต่อปีต่อตารางเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

5.2.12 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดบานติดตาย พื้นที่ 1 ตารางเมตร ตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 5.12 ภาวะการทำความเย็นที่เพิ่มจากการรั่วซึมอากาศผ่านช่องเปิดติดตาย พื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตรมีหน่วยเป็นตันต่อปีต่อตารางเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

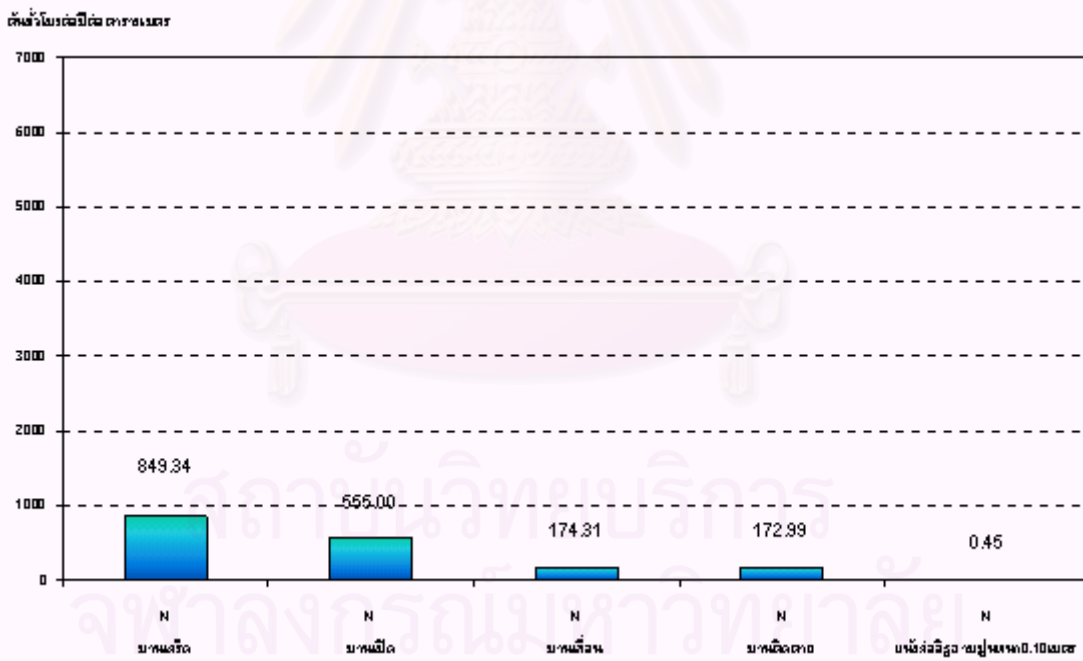
5.2.13 ผลสรุปของการรั่วซึมของอากาศผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร พื้นที่ 1 ตารางเมตรตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศ พ.ศ.2538



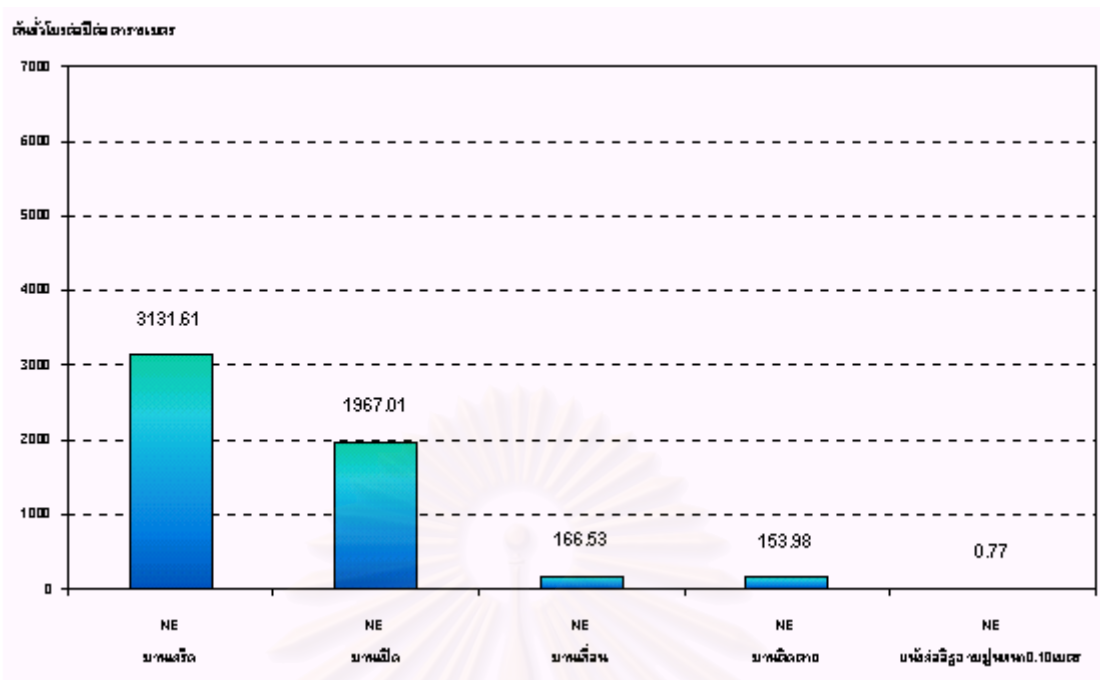
แผนภูมิที่ 5.13 ภาวะการทำความเย็นที่เพิ่มจากการรั่วซึมอากาศผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรขนาด 1 ตารางเมตรมีหน่วยเป็นตันต่อปีต่อ 1 ตารางเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

จากข้อมูลเมื่อสรุปผลพลังงานที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดประเภทต่างและผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรจะเห็นได้ว่า การสูญเสียนั้นมีปริมาณที่มาก โดยสามารถเรียงลำดับได้จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ บานเกร็ด บานเปิด บานเลื่อน บานติดตายและผนังก่ออิฐฉาบปูน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของข้อมูลแล้วจะพบว่าแม้ว่าจะมีการเลือกใช้ช่องเปิดที่มีความเหมาะสมเช่น ช่องเปิดติดตายเพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศแล้วก็ตามแต่ การรั่วซึมของอากาศก็ยังสามารถเกิดขึ้นได้จากผนังของอาคารที่ใช้การก่ออิฐฉาบปูนซึ่งพบมากในการก่อสร้างอาคารในประเทศ โดยมีค่าประมาณ 0.45 - 1.185 ต้นต่อตารางเมตรต่อปี ซึ่งหมายความว่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศอาคารหากคำนวณให้มีปริมาตรที่เพียงพอกับการใช้งานเพื่อให้สภาวะอากาศในอาคารอยู่ในโซนสบายหรือ Comfort Zone นั้น นอกจากการคำนวณปริมาณเครื่องปรับอากาศให้เพียงพอกับพื้นที่อาคาร จำนวนผู้ใช้อาคารสูงสุดและต่ำสุดแล้วยังจำเป็นต้องคำนวณโดยเพิ่มเติมพลังงานที่ต้องใช้จากการรั่วซึมของอากาศเพิ่มเข้ามาอีกทางหนึ่งด้วย เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณจำนวนต้นความเย็นที่จะสูญเสียจากการรั่วซึมของผลการทดลองทุกประเภทจะสามารถสรุป ได้ดังนี้

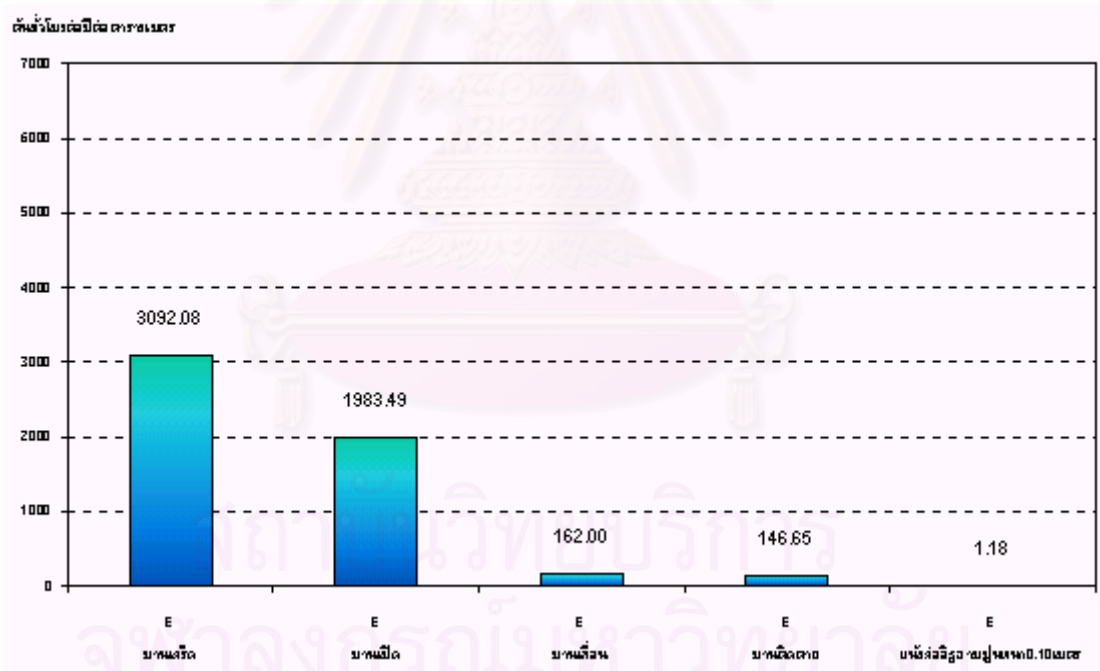
5.3 สรุปปริมาณต้นความเย็นที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศทั้งหมด



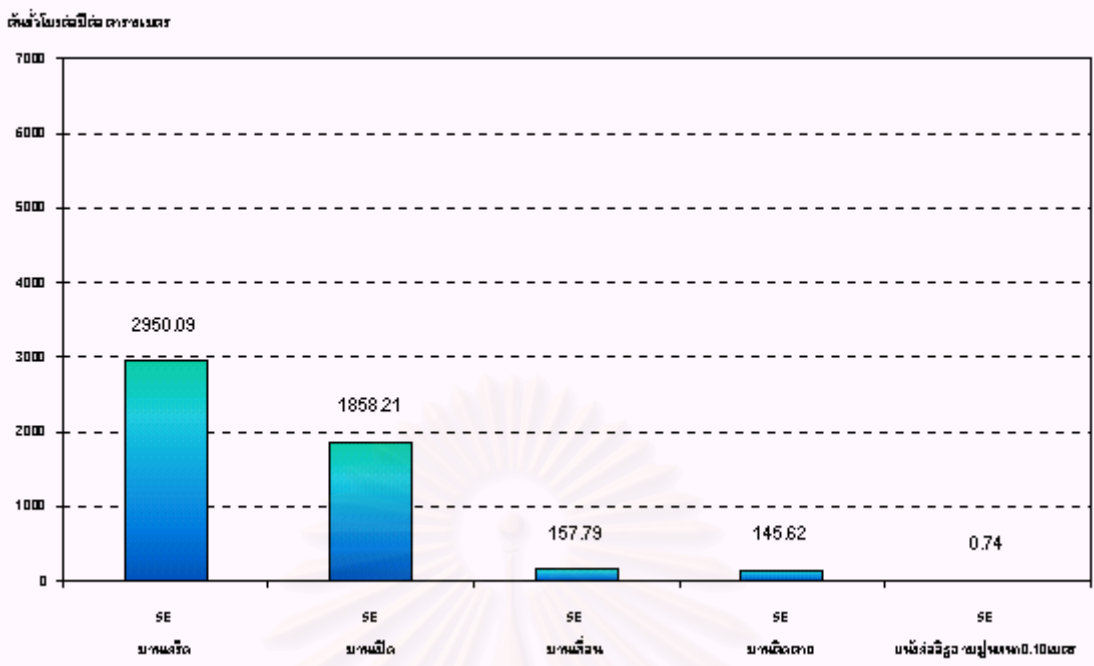
แผนภูมิที่ 5.14 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ ตลอดทั้งปีด้านทิศเหนือ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538



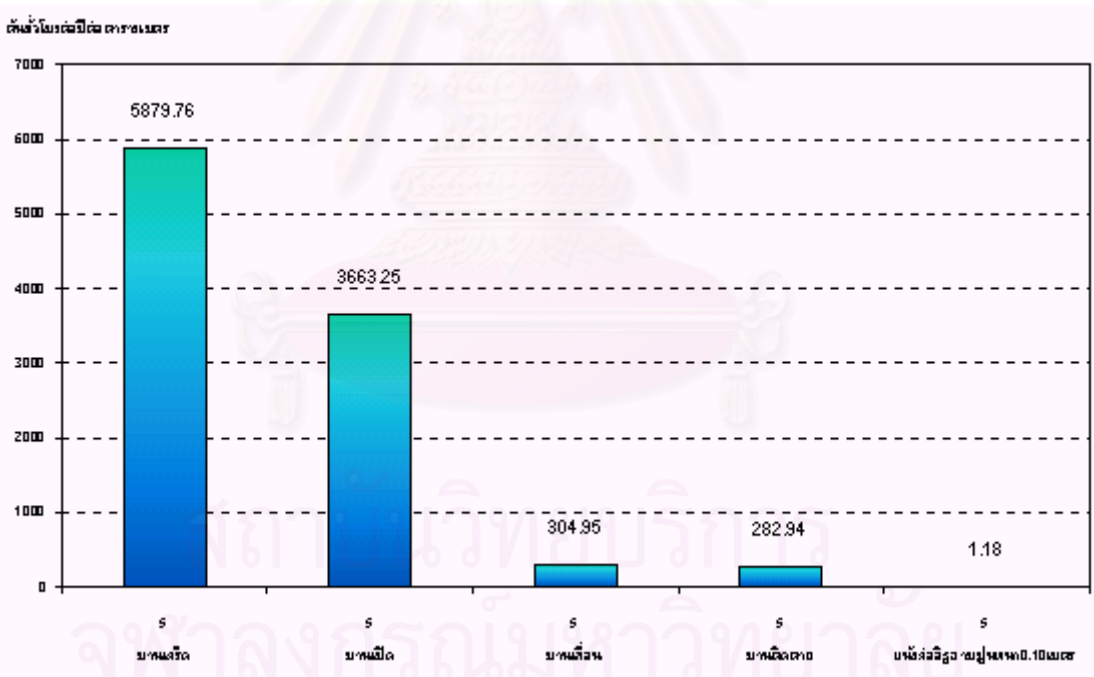
แผนภูมิที่ 5.15 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538



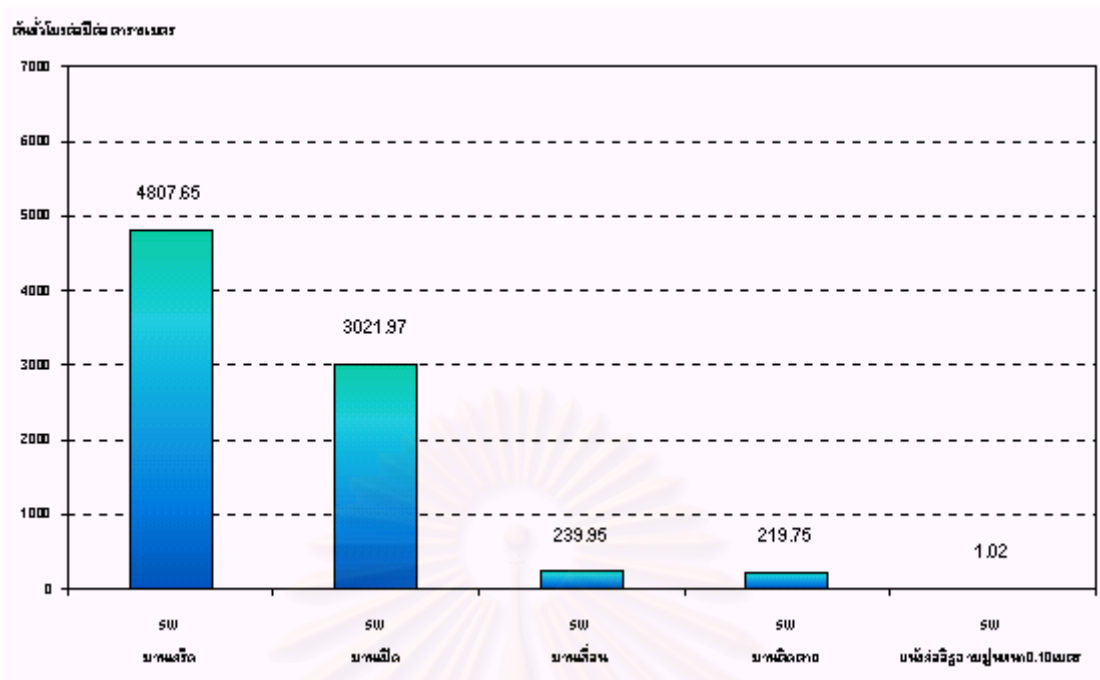
แผนภูมิที่ 5.16 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันออก จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538



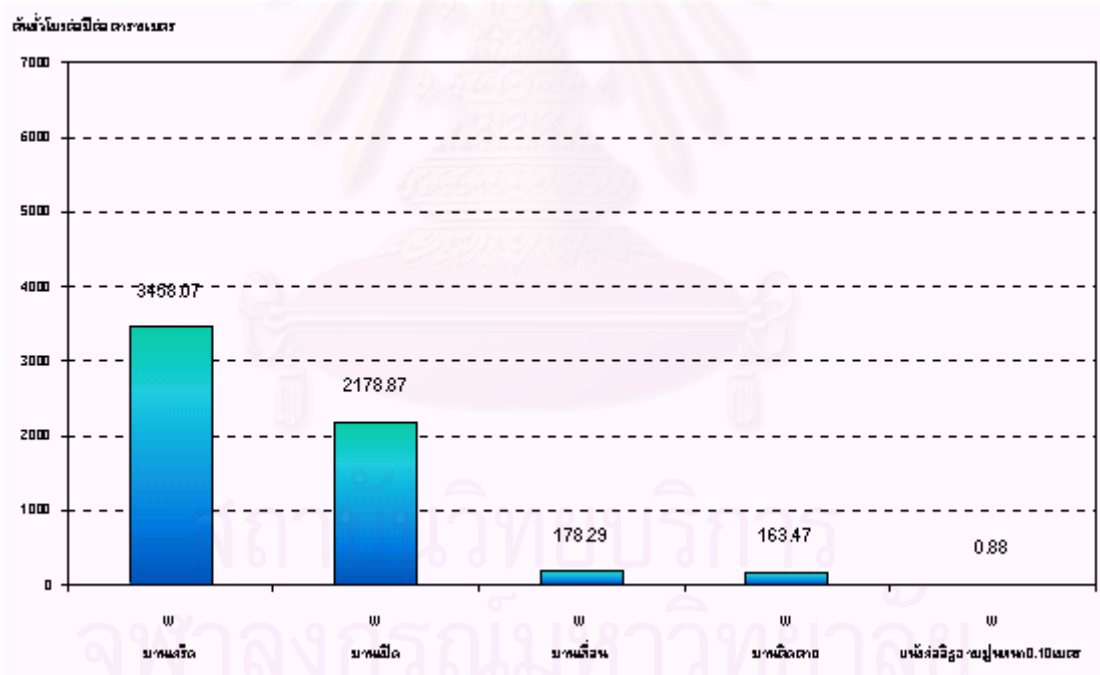
แผนภูมิที่ 5.17 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538



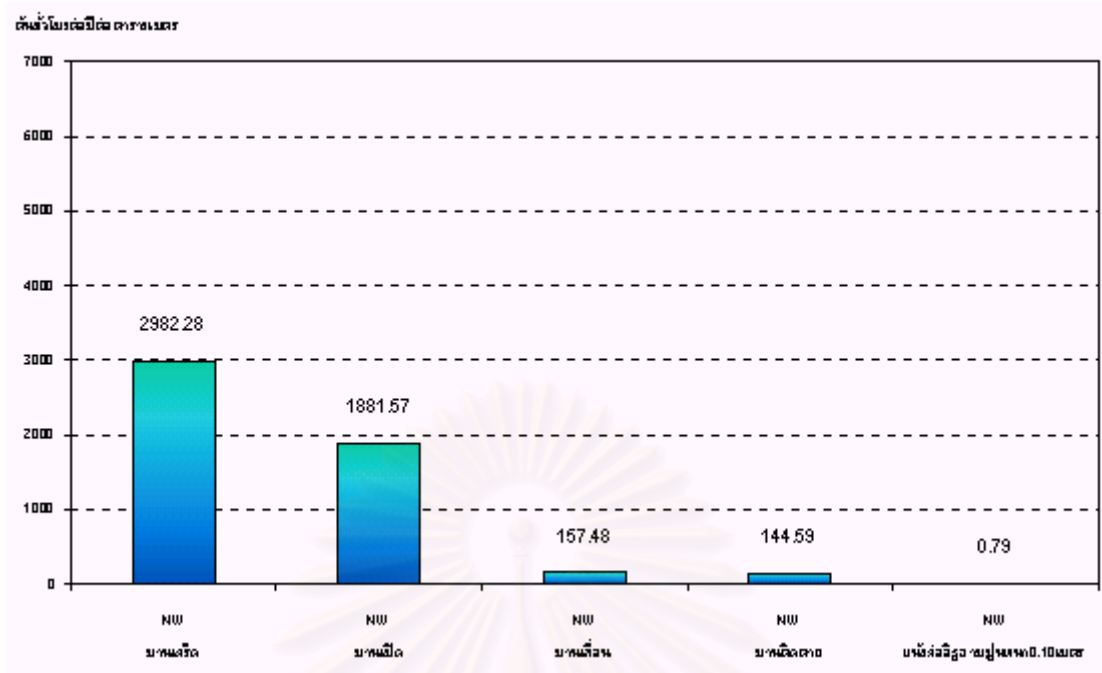
แผนภูมิที่ 5.18 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ ตลอดทั้งปีด้านทิศใต้ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 5.19 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 5.20 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันตก จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538



แผนภูมิที่ 5.21 เปรียบเทียบปริมาณพลังงานของระบบปรับอากาศที่สูญเสียจากวัสดุทดลองต่างๆ ตลอดทั้งปีด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ จากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ.2538

จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาในเรื่องการรั่วซึมของอากาศที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศ สามารถสรุปผลการสูญเสียพลังงานจากการปรับอากาศเนื่องมาจากการรั่วซึมของอากาศได้ดังนี้

ช่องเปิดบานเกร็ดมีอัตราการรั่วซึมของอากาศสูงสุดต่อตารางเมตร คือ มีการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศเฉลี่ย 3390 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร อันดับที่ 2 คือ ช่องเปิดบานเปิดโดยเฉลี่ย 2138 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร อันดับที่ 3 คือ ช่องเปิดบานเลื่อนโดยเฉลี่ย 192 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตรและอันดับสุดท้าย คือ ช่องเปิดติดตายโดยเฉลี่ย 178 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร ในขณะที่ผนังก่ออิฐฉาบปูนมีการรั่วซึมของอากาศ ส่งผลให้เกิดอัตราการระเหยน้ำความชื้นประมาณ 0.9 ตันต่อตารางเมตรต่อปีและเมื่อเปรียบเทียบกับในด้านของความเร็วลมภายนอก ทิศใต้จะมีการสูญเสียพลังงานมากที่สุดโดยเฉลี่ยในทุกช่องเปิดและผนังที่ทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากทิศใต้มีความเร็วลมภายนอกโดยเฉลี่ยสูงที่สุดและต่อเนื่องตลอดทั้งปี

5.4 การนำผลการทดลองมาประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม

ข้อสรุปที่ได้จากการทดลองนั้น เมื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ (Design Guidance) เพื่อที่จะประเมินการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดต่างๆขณะปิดแล้ว ยังสามารถที่จะนำมาใช้ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมด้านต่างๆ ซึ่งกล่าวถึงในหัวข้อที่ 5.6 นอกจากนั้นก็ยังสามารถตอบข้อสมมติฐานที่ได้ตั้งขึ้นตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ ดังนี้

- ช่องเปิดบานเกร็ดได้ข้อสรุปที่เป็นไปตามข้อสมมติฐานข้อแรก คือ การรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดบานเกร็ดขณะปิดก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศของอาคารหรือสร้างภาระการทำความเย็นให้กับอาคารมากที่สุด ดังนั้นในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานนอกจากการออกแบบที่ถูกต้อง การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมแล้วยังต้องคำนึงถึงชนิดช่องเปิดที่เหมาะสมด้วย สมควรที่จะหลีกเลี่ยงการใช้ช่องเปิดบานเกร็ดในอาคารที่มีการปรับอากาศและใช้ช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเลื่อนหรือบานติดตายจะมีความเหมาะสมมากกว่า
- ปัจจัยที่ส่งผลอย่างมากต่อการรั่วซึมของอากาศ คือ ประเภทของช่องเปิดนั้นและทิศทางที่ติดตั้งช่องเปิด ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากความเร็วของลมภายนอกที่แปรตามทิศทางต่างๆ ดังสมมติฐานข้อที่สองที่ตั้งไว้ กล่าวคือ ช่องเปิดบานเกร็ดที่อยู่ในทิศทางใต้โดยเฉลี่ยจะสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมสูงสุด มากกว่าช่องเปิดบานเกร็ดในทิศทางอื่นๆ ในขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบช่องเปิดแต่ละประเภทในทิศทางเดียวกันจะพบว่า ช่องเปิดที่เป็นบานเกร็ดจะส่งผลต่อการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด ด้วยเหตุผลเช่นนี้ จึงสามารถกล่าวได้ว่านอกจากการเลือกช่องเปิดที่เหมาะสมแล้วทิศทางยังเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบ หากเป็นอาคารปรับอากาศการนำอากาศภายนอกที่ร้อนและชื้นเข้าสู่อาคารย่อมไม่เป็นการเหมาะสม จึงสมควรยิ่งที่จะออกแบบอาคารให้มีช่องเปิดที่เกิดการรั่วซึมน้อย เช่น บานติดตายและทิศทางที่เหมาะสม เช่น ทิศเหนือ นอกจากนี้โดยเฉลี่ยแล้วจะสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมน้อยที่สุด ยังสามารถนำเสนอแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสูงจากแสงกระจายทิศเหนือมาใช้ในอาคารได้อีกทางหนึ่งด้วย
- ช่องเปิดที่มีความเหมาะสมกับอาคารที่มีการปรับอากาศมากที่สุด คือ ช่องเปิดแบบติดตาย เนื่องจากมีการรั่วซึมของอากาศต่ำที่สุด ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานต่ำที่สุดเช่นกัน ตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้พิจารณาจากการรั่วซึมของอากาศเพียงอย่างเดียว หากคำนึงถึงการใช้งานแล้วช่องเปิดแบบบานเลื่อนจะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากสามารถเปิดออกสู่ภายนอกอาคารได้และมีอัตราการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมมากกว่าช่องเปิดติดตายเพียงเล็กน้อย

5.5 ข้อจำกัดในการวิจัย

ในการวิจัย ทดลองย่อมมีอุปสรรคที่เกิดขึ้น ทั้งเกิดก่อน เกิดระหว่างการทดลองและเกิดหลัง การทดลอง แต่กระนั้นผลการทดลองที่ได้รับก็มีความสำคัญและสามารถนำมาสรุปถึงผลของการ รั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดขณะปิดได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งจากการทดลองจึงพอที่จะสรุปถึงปัญหา และข้อจำกัดของการทดลองที่ส่งผลต่อผลการทดลองได้ ดังนี้

- การทดลองเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาการทดลองไม่นานนักเพื่อให้เกิดผลการทดลองที่ดีที่สุดควรที่จะทำการทดลองตลอดช่วงระยะเวลาหนึ่ง อาทิ 1 ปี เพื่อให้ทราบถึงการ สูญเสียพลังงานที่แท้จริง
- ความเร็วลมภายนอกที่เกิดขึ้นตามสภาพจริงในขณะที่ทำการทดลอง ซึ่งส่งผลต่อการ รั่วซึมของอากาศอย่างยิ่งยวด ดังนั้นหากนำผลการทดลองไปใช้กับบริเวณที่มีความเร็ว ลมสูงมากอาจให้ผลการคำนวณที่คลาดเคลื่อนได้
- ในการทดลองกำหนดลักษณะของอาคารที่ใช้ในการทดลองไว้สูงไม่เกิน 10.00 เมตรหาก นำข้อมูลที่ได้ไปใช้กับอาคารที่มีความสูงแตกต่างกันไป จำเป็นที่จะต้องทำการทดลอง เพิ่มเติมในภายหลัง เช่น อาคารตีกระฟ้า เป็นต้น
- ลักษณะช่องเปิดที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นช่องเปิดที่สามารถพบได้ทั่วไปในอาคารใน ประเทศ หากมีช่องเปิดที่มีลักษณะพิเศษหรือมีการก่อสร้างแบบพิเศษ ผลการทดลอง นั้นจะต้องประเมินจากการทดลองที่จำเป็นจะต้องทำเพิ่มเติมต่อไป
- การประเมินพลังงานที่สูญเสียประเมินจากการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ เท่านั้น การสูญเสียพลังงานเพื่อการขจัดความร้อนในรูปแบบต่างๆ ไม่ได้ถูกนำมา คำนวณในการประเมินพลังงานครั้งนี้ เช่น ภาวะการทำความเย็นที่เกิดจากความร้อน ผ่านช่องเปิด หรือผลจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ ค่าความเป็นฉนวนของ วัสดุก่อสร้างในที่นี้ใช้จากอาคารทดลองเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนชั้นเดียว
- เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีขีดความสามารถอยู่ในระดับที่น่าพอใจระดับหนึ่ง หาก ต้องการความเที่ยงตรงมากกว่านี้ จำเป็นที่จะต้องจัดหาเครื่องมือที่มีความละเอียดอ่อน มากๆมาใช้ในการทดลอง ซึ่งมีราคาสูงมากเช่นเดียวกัน
- การทดลองเกิดขึ้นในสภาวะจริง หากต้องการความแน่นอนของตัวแปรต่างๆ เช่น ความเร็วลมภายนอก ความดันอากาศจำเป็นที่จะต้องทดลองในลักษณะห้องปฏิบัติการ ที่สามารถควบคุมได้
- ตัวแปรต่างๆที่มีผลเป็นอย่างมาก คือ สถานที่ตั้งเนื่องจากการทดลองจัดตั้งขึ้นบริเวณ กรุงเทพมหานคร ที่ละติจูด 14 องศาเหนือ หากมีการเปลี่ยนแปลงที่ตั้งก็จะส่งผลถึงผลการ

ทดลองที่เปลี่ยนแปลงไปด้วย จากสภาพที่ตั้งต่าง เช่น การถูกบังทิศทางลมของอาคารข้างเคียง การเกิดการหักเหของกระแสลมจากอาคารโดยรอบ เป็นต้น

- การทดลองไม่สามารถจัดตั้งขึ้นและวัดผลการทดลองได้พร้อมกัน เนื่องมาจากข้อจำกัดด้านเครื่องมือและที่ตั้ง ดังนั้นผลการทดลองจึงไม่สามารถนำผลการรั่วซึมของอากาศมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง ดังนั้นจึงใช้วิธีการคำนวณออกมาเป็นพลังงานที่สูญเสียจากข้อมูลภูมิอากาศชุดเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบต่อการใช้พลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดในลักษณะต่างกัน ดังผลการทดลองที่ได้
- สมการที่ได้จากการทดลอง ได้รับจากการศึกษากลุ่มตัวอย่างที่มีความเร็วลมจำกัดหากต้องการนำสมการที่ได้ไปคำนวณการรั่วซึมของอากาศที่มีความเร็วลมภายนอกมากกว่า 1000 fpm หรือ 5.035 เมตรต่อวินาที อาจให้ผลการคำนวณที่คลาดเคลื่อนได้ หากต้องการผลการคำนวณที่ถูกต้องจะต้องทำการศึกษาในกรณีที่มีความเร็วลมภายนอกมีค่าสูงมากต่อไป

5.6 แนวทางการวิจัยในอนาคต

ในการทำการวิจัยและทดลองแต่ละครั้งนั้นย่อมต้องมีสิ่งที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากระยะเวลาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการทดลอง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องตัดทอนบางการทดลองออกไปเพื่อให้เกิดความเหมาะสมที่สุดกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งหากต้องการให้การทดลองมีความสมบูรณ์และครอบคลุมในส่วนรายละเอียดอื่นๆจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก เพื่อที่จะให้ผู้สนใจสามารถทำการทดลองต่อจากการทดลองครั้งนี้ได้อย่างเหมาะสมและครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด ตลอดจนรายละเอียดต่างของการทดลองในเรื่องของการรั่วซึมของอากาศต่อผลการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศแล้ว จึงขอเสนอแนวทางการทดลองเพิ่มเติมและเกี่ยวเนื่องกับการทดลองในครั้งนี้ เพื่อขยายองค์ความรู้ใหม่ให้เพิ่มมากขึ้น ดังตัวอย่างที่นำเสนอต่อไปนี้

- การทำการศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดลักษณะอื่นๆ อาทิ เช่น บานประตูซึ่งมักมีรอยรั่วที่ไม่สามารถป้องกันได้บริเวณธรณีประตูว่าจะมีผลอย่างไรต่อการสูญเสียพลังงานเหมือนหรือแตกต่างจากช่องเปิดบานเปิด
- การศึกษากับอาคารที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น มีรูปทรงกระบอก หรืออาคารที่มีรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า อาคารรูปหลายเหลี่ยม เป็นต้น
- การศึกษาในลักษณะของการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการต่างๆที่นำเสนอในเบื้องต้นเพื่อหาความถูกต้องของการรั่วซึมของอากาศอย่างละเอียด

- การศึกษาในลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกันออกไป สภาพของสถานที่ทำการทดลอง เช่น ศึกษาในสถานที่ที่มีความชื้นสูง ลมแรง ในภาคต่างๆของประเทศเปรียบเทียบกับ ภูมิอากาศแบบอื่นในพื้นที่ต่างกัน
- การทดลองใช้ระยะเวลาที่เหมาะสม เช่นในรอบ 1 ปี หรือ 2 ปีของการทดลองเพื่อให้ได้ กลุ่มตัวอย่างที่มากเพียงพอต่อการคำนวณอย่างชัดเจน
- การทดลองโดยการเพิ่มความสูงของสถานที่ทดลอง เนื่องจากพื้นที่ที่สูงจะมีกระแสลมมา กระทำรุนแรงกว่าในพื้นที่ต่ำเช่น การทดลองในอาคารสูงหรืออาคารที่มีการก่อสร้างแบบ อาคารสูง เช่นการใช้ระบบกระจกผนังแบบต่างๆว่ามีผลรั่วซึมของอากาศในลักษณะ อย่างไร
- การศึกษาในลักษณะของการมีช่องเปิดในทิศทางต่างๆมากกว่า 1 ช่องเปิดในอาคาร เดียวกัน เช่น มีช่องเปิดด้านทิศเหนือและช่องเปิดด้านทิศตะวันออก และมีลักษณะ ประเภทของช่องเปิดเหมือนหรือแตกต่างกันไป โดยรวบรวมการรั่วซึมของอากาศจาก ช่องเปิดทุกๆด้านเพื่อพิจารณาว่ามีพฤติกรรมแตกต่างออกไปจากการทดลองนี้อย่างไร
- การศึกษาในสถานะที่มีความดันของอากาศไม่เท่ากันระหว่างภายในและภายนอกเพื่อ ศึกษาการเกิดการรั่วซึมของอากาศในสภาวะที่กระแสลมไม่รุนแรงแต่มีความดันอากาศ แตกต่างกันอย่างมา
- การนำฐานข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปใช้ในอาคารจริง ปรับปรุงตามแนวทางการแก้ไข ที่ได้จากการทดลอง จากนั้นจึงทำการประเมินผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับอาคาร โดยทั่วไป

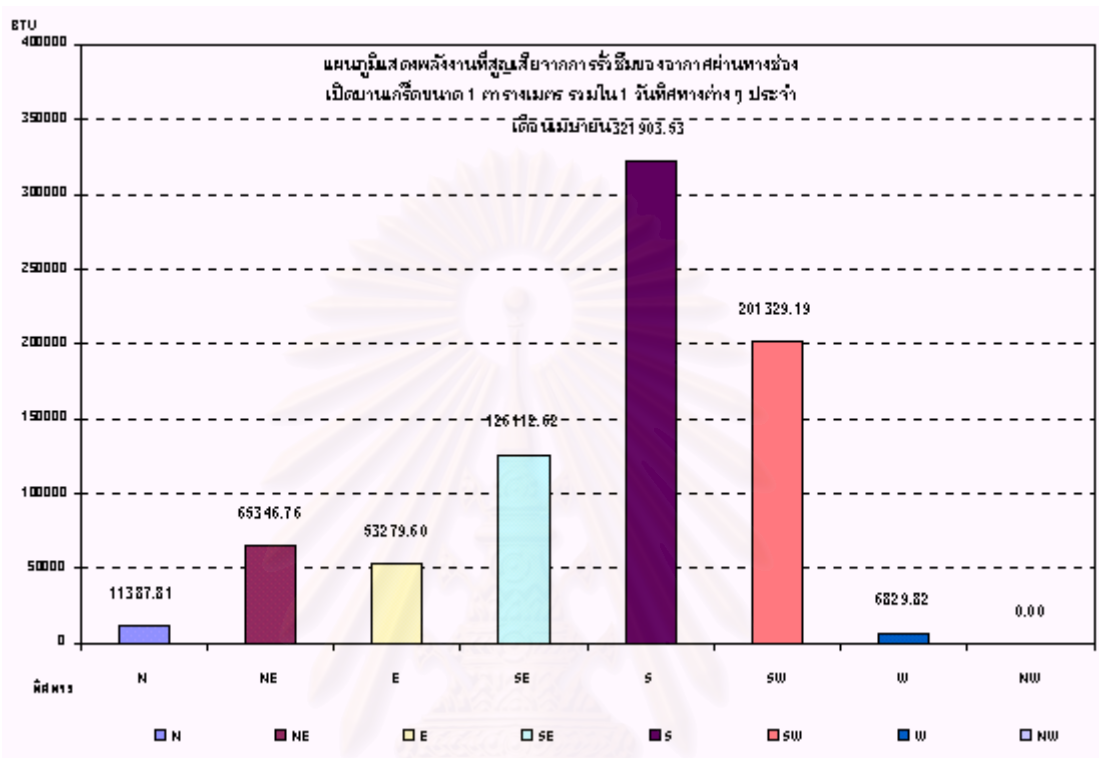
5.7 ข้อเสนอแนะจากการทดลอง

5.7.1 การออกแบบสถาปัตยกรรมโดยการเลือกใช้ช่องเปิดที่เหมาะสม

ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมโดยทั่วไป มักที่จะหลีกเลี่ยงการใช้ช่องเปิดในงานไม่ได้ แต่ทั้งนี้จากผลการทดลองทำให้ทราบถึงความสำคัญของการเลือกใช้ช่องเปิดที่มีความเหมาะสมกับ อาคารได้อย่างมาก โดยมีได้ค่านิ่งตั้งแต่เพียงความสวยงามของอาคารที่เกิด แต่จำเป็นที่จะต้อง คำนึงถึงการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศ อย่างยิ่งกับอาคารที่ใช้พลังงานในการปรับ อากาศอีกทางหนึ่งด้วย นั่นคือ

ทิศทางของช่องเปิด สำหรับอาคารปรับอากาศที่ไม่มีความจำเป็นจะต้องนำเอาอากาศที่มี ทั้งความร้อนและความชื้นสูงเข้ามาสู่อาคาร การเลือกทิศทางการเปิดช่องเปิดนอกจากจะต้องคำนึงถึง ความร้อนที่จะผ่านเข้ามาสู่อาคาร โดยการเลือกหลีกเลี่ยงช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออกและทิศ

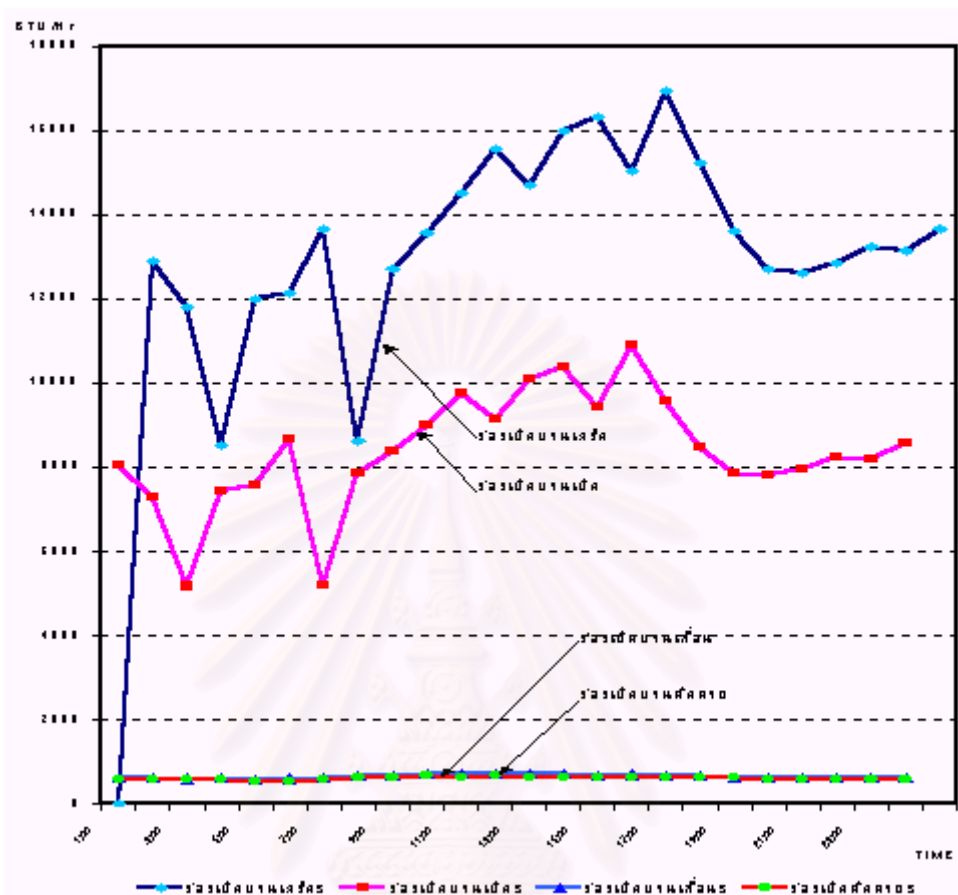
ตะวันตกแล้วการเลือกหลักเฉียงช่องเปิดทางด้านทิศใต้สำหรับอาคารในกรุงเทพฯ นั้น มีความเหมาะสมเนื่องมาจากผลการทดลองที่ได้ทำให้ทราบว่า อาคารสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดในทิศทางใต้โดยเฉลี่ยมากที่สุดถึงแม้ว่าทิศทางลมจะมากกระทำกับอาคารในทุกทิศทางแต่ทิศใต้จะมีค่าการสูญเสียพลังงานมากที่สุดโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปี



แผนภูมิที่ 5.22 แสดงพลังงานที่สูญเสียในเดือนเมษายน พ.ศ.2538 จากช่องเปิดบานเกร็ดจะพบว่าทิศใต้สูญเสียพลังงานมากที่สุดโดยเฉลี่ยต่อชั่วโมง มากกว่าทิศที่สูญเสียรองลงมา คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ถึงร้อยละ 38

ประเภทของช่องเปิดก็มีส่วนในการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศเป็นอย่างมาก นอกจากการป้องกันความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางตัวช่องเปิดเองแล้ว อาทิ การใช้กระจกที่มีค่า SC ต่ำ ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาแต่ยอมให้ความร้อนผ่านเข้ามาน้อยหรือ ค่าDaylight over SC มากนั้นก็เป็นการป้องกันอีกทางหนึ่งด้วย แต่ปัญหาที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศก็ยังไม่ได้แก้ไข นอกจากการใช้วัสดุที่ดีดังกล่าวการเลือกประเภทช่องเปิดก็มีความสำคัญอีกทางหนึ่งด้วย สำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า อาคารที่เลือกใช้ช่องเปิดแบบบานเกร็ดจะสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศโดยเฉลี่ยสูงที่สุด อันดับรองลงมาคือ ช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเปิด อันดับ 3 คือ ช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเลื่อนและน้อยที่สุด คือ ช่องเปิดที่ติดตาย ดังนั้นการออกแบบอาคารปรับอากาศที่ดี ควรที่จะเลือกใช้ช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นบานเลื่อน หรือบานติดตายซึ่งมีอัตราการสูญเสียพลังงานไม่แตกต่างกันมากนัก โดยพิจารณาจากความต้องการการใช้

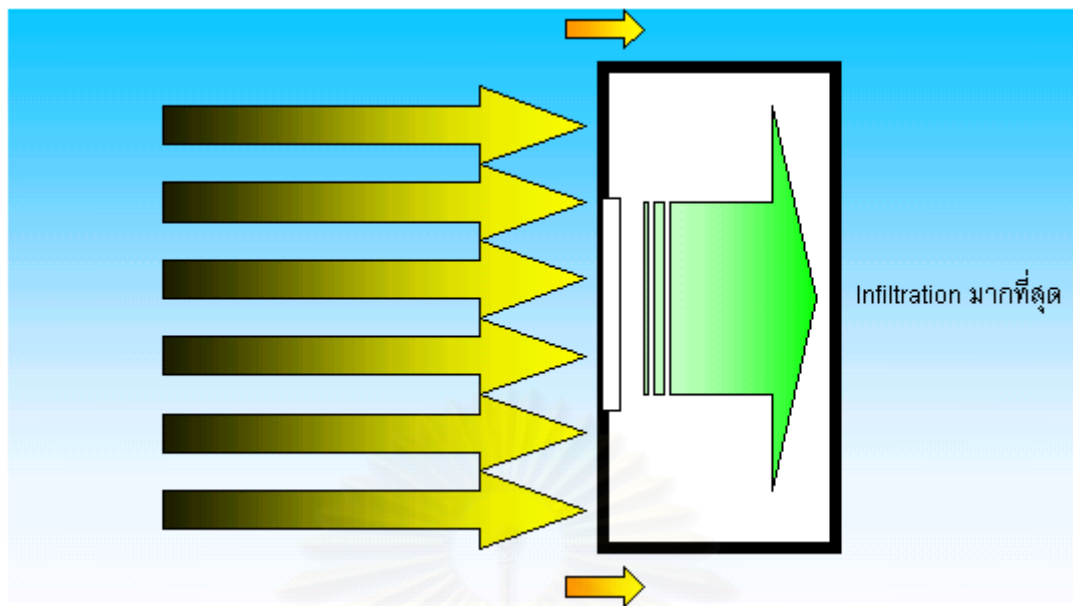
งาน การทำความสะอาดฯลฯ ที่ต้องใช้ช่องเปิดที่สามารถเปิดออกสู่ภายนอกได้ หากไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเปิดออกสู่ภายนอก การเลือกใช้ช่องเปิดที่มีลักษณะติดตายจะเหมาะสมที่สุด



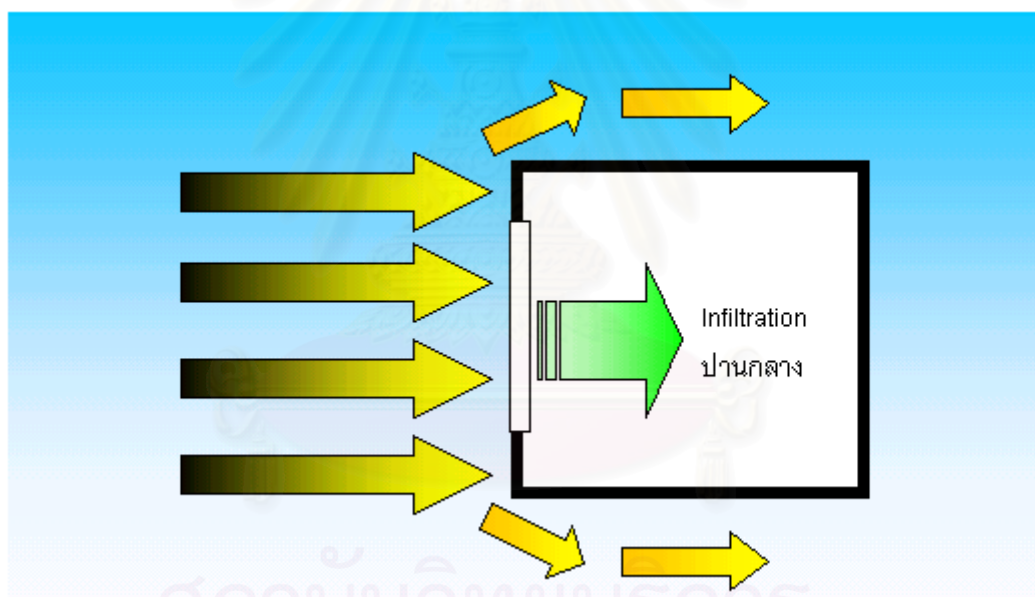
แผนภูมิที่ 5.23 แสดงถึงการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศของช่องเปิดประเภทต่างๆ ช่องเปิดบานเดีร็ดจะสูญเสียพลังงานมากที่สุด โดยเฉลี่ยรายชั่วโมงจากข้อมูลภูมิอากาศปี พ.ศ. 2538

5.7.2 ข้อสังเกตเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมจากการวิจัย

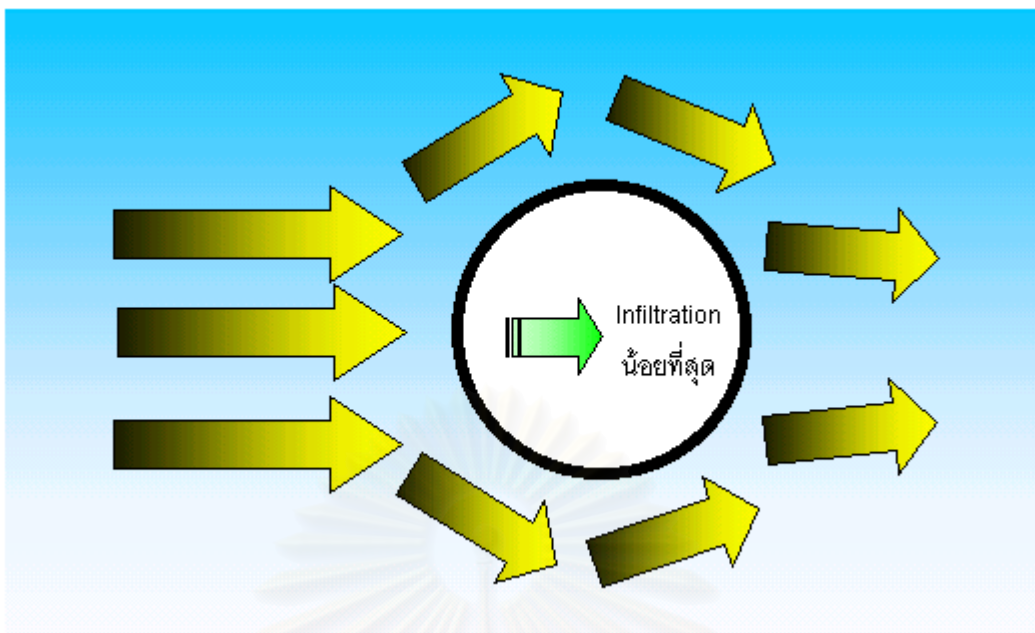
นอกจากการเลือกช่องเปิดและทิศทางที่เหมาะสมต่อการใช้งานในอาคารที่มีการปรับอากาศแล้ว ส่วนสำคัญสำหรับการออกแบบเพื่อลดการรั่วซึมของอากาศ คือ รูปแบบของอาคารนั้นๆ จะเห็นได้ว่าอาคารที่มีพื้นที่หน้าตัดรับลมปะทะจะส่งผลต่ออัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิดอย่างมาก เช่น อาคารที่มีลักษณะหน้าตัดด้านนั้นๆ เป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมหรือมีแปลนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหันด้านปะทะเข้าหาทิศทางลมจะมีการรั่วซึมของอากาศมากกว่าอาคารที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและรูปทรงกระบอกตามลำดับ เนื่องมาจากปริมาณลมที่ผ่านรูปทรงต่างเหล่านั้นมีค่าน้อยแตกต่างกันไป โดยพิจารณาจากการทดลอง ดังนี้



รูปภาพที่ 5.1 แสดงการเกิดการรั่วซึมของอากาศอันเป็นผลมาจากรูปทรงอาคารที่แตกต่างกัน โดยที่อาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีอัตราการเกิดการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด



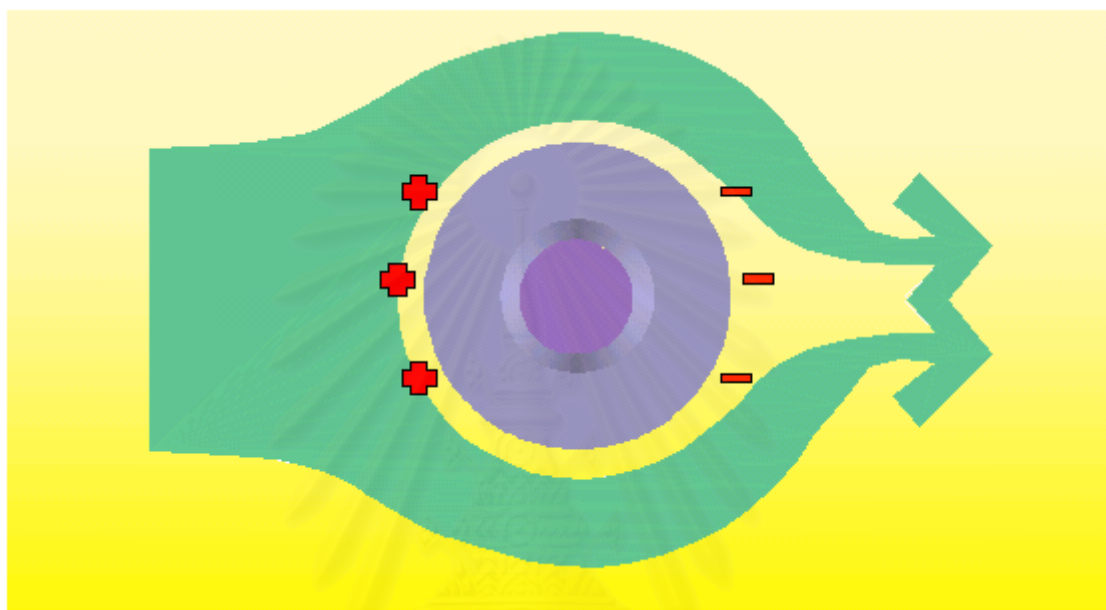
รูปภาพที่ 5.2 แสดงการเกิดการรั่วซึมของอากาศอันเป็นผลมาจากรูปทรงอาคารที่แตกต่างกัน โดยที่อาคารรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีอัตราการเกิดการรั่วซึมของอากาศปานกลาง



รูปภาพที่ 5.3 แสดงการเกิดการรั่วซึมของอากาศอันเป็นผลมาจากรูปทรงอาคารที่แตกต่างกัน โดยที่อาคารรูปทรงกระบอกหรือวงกลมมีอัตราการเกิดการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด

การออกแบบงานสถาปัตยกรรมในยุคใหม่ที่ใส่ใจในเรื่องของการประหยัดพลังงานนั้น การออกแบบที่น่าสนใจที่สุด คือ การออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการรั่วซึมของอากาศ โดยไม่ได้ไม่แก้ปัญหาที่ปลายเหตุอีกต่อไป การออกแบบเพื่อลดการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศนั้น จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การรั่วซึมเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งของการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศ ในสมัยก่อนผู้ออกแบบมักคิดว่าไม่ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียพลังงานมากนัก เนื่องจากโดยส่วนใหญ่ การคำนวณระบบปรับอากาศมักที่จะใช้ความรู้จากต่างประเทศที่มีเขตภูมิอากาศแบบหนาวแห้ง อุณหภูมิโดยเฉลี่ยต่ำกว่าในประเทศไทยอย่างมาก ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ก็มีค่าเพียงประมาณ ร้อยละ 15-20 ดังนั้นสำหรับอาคารที่ออกแบบในเขตหนาวแห้ง จึงมักคำนึงถึงการป้องกันความร้อนออกจากอาคารและการรักษาความชื้นไว้ในอาคาร หรือการป้องกัน Exfiltration แต่สำหรับอาคารในประเทศไทยนั้นมีความมุ่งหมายที่แตกต่างกัน คือ ต้องรักษาความชื้นไว้ในอาคารให้ได้มากที่สุดและป้องกันความชื้นเข้าสู่อาคารให้ได้มากที่สุด การรั่วซึมของอากาศจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเนื่องมาจากเป็นส่วนที่นำความร้อนและความชื้นเข้าสู่อาคารโดยตรง

การแก้ปัญหาที่ถูกควรที่จะเริ่มที่ต้นเหตุคือ ออกแบบอาคารให้มีการรั่วซึมน้อยที่สุด การรั่วซึมของอากาศนั้นเกิดจากความดันที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร เช่นอาคารที่มีลักษณะเป็นวงกลมจะสามารถลดการเกิดความดันแตกต่างกันระหว่างหน้าช่องเปิดกับภายในอาคารได้มากกว่าอาคารที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมมาก ในการออกแบบอาคารแบบนี้ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงทิศทางของการวางอาคารเนื่องจากเป็นอาคารที่มีการเกิดการรั่วซึมของอากาศน้อยมาก การเลือกช่องเปิดที่ถูกจะสามารถป้องกันความร้อนจากวัสดุช่องเปิดได้อีกทางหนึ่งด้วย



รูปภาพที่ 5.4 แสดงภาพแปลนอาคารที่สามารถลดการเกิดความแตกต่างของความดันได้มากที่สุด คือ รูปวงกลม

ดังนั้นการออกแบบที่สามารถลดความดันที่แตกต่างกันเหล่านี้ได้นั้นย่อมเป็นการลดการรั่วซึมของอากาศได้อย่างดีด้วย จากนั้นจึงมาคำนึงถึงการเลือกประเภทของช่องเปิดและทิศทางการติดตั้งที่เหมาะสมต่อไป โดยการหลีกเลี่ยงช่องเปิดบานเกร็ดและช่องเปิดที่เปิดออกสู่ทิศใต้

วิธีการที่น่าสนใจและทำการศึกษาต่อเนื่องในอนาคต คือ การออกแบบอาคารที่มีการปรับอากาศ โดยการออกแบบให้อากาศภายในอาคารมีค่าเอ็นทัลปีแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในอาคารให้น้อยที่สุด จากนั้นจึงนำความเร็วลมที่เกิดในอาคาร เช่น จากพัดลม มาช่วยให้ความรู้สึกของผู้ใช้อาคาร รู้สึกเสมือนหนึ่งว่าอุณหภูมิอากาศมีค่าลดลง จากความรู้ที่ว่า ทุกความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นมา 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจะทำให้มนุษย์รู้สึกเสมือนหนึ่งเย็นลง 0.4 องศาเซลเซียส ดังนี้

$$\begin{aligned} Q &= 4.5 \times \text{CFM} \times h \\ \text{สมมติว่า } Q &= 4.5 \times \text{CFM} \times 10 \\ Q &= 45 \text{ CFM} \end{aligned}$$

ถ้าสามารถลดความแตกต่างของ Enthalpy จากเดิม=10

เหลือความแตกต่างของ Enthalpy = 1

$$\begin{aligned} Q &= 4.5 \times \text{CFM} \times 1 \\ Q &= 4.5 \text{ CFM} \end{aligned}$$

ค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันถึง 10 เท่าตัว

ตัวอย่างการใช้งาน เช่น การตั้งอุณหภูมิระบบปรับอากาศในอาคาร เป็น 27 องศาเซลเซียส จะก่อให้เกิดความแตกต่างของเอ็นทัลปีน้อยกว่า การตั้งอุณหภูมิระบบปรับอากาศในอาคารที่ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงใช้ความเร็วลมประมาณ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผู้ใช้อาคารจะรู้สึกเสมือนว่า เย็นลง 2 องศาเซลเซียส คือ รู้สึกเสมือนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ตามที่ผู้ออกแบบต้องการ การใช้พัดลมสร้างความเร็วลมภายในย้อมที่จะใช้พลังงานน้อยกว่าระบบเครื่องปรับอากาศและจาก เหตุผลเรื่องความแตกต่างของเอ็นทัลปีก็น้อยกว่า ก็จะสามารถลดการสูญเสียพลังงานในอาคารปรับอากาศได้อย่างดีอีกทางหนึ่งด้วย

5.8 การประเมินการสูญเสียพลังงานหรือภาระการทำความเย็นที่เพิ่มขึ้นจากการรั่วซึมของอากาศอย่างง่าย

จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาจากการทดลองทำให้ทราบว่า หากมีการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารที่มีการปรับอากาศโดยตั้งอุณหภูมิปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ ร้อยละ 50 เป็นจำนวน 1 CFM ใน 1 ชั่วโมง จะส่งผลต่อการสูญเสียพลังงาน โดยเฉลี่ยประมาณ 60 บีทียู ซึ่งหากเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในระบบเป็นเครื่องปรับอากาศฉลากประหยัดไฟฟ้า เบอร์ 5 จะมีค่าอีอีอาร์ ประมาณ 10.6 นั่นหมายความว่าเครื่องปรับอากาศสามารถทำความเย็นได้ 10.6 บีทียูต่อชั่วโมงโดยใช้พลังงาน 1 วัตต์ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณขณะทำการทดลอง ประมาณ 2.80 บาทต่อไฟฟ้าหนึ่งหน่วยหรือ 1000 วัตต์ ดังนั้น 60 บีทียูต่อชั่วโมงจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นเท่ากับ 5.67 วัตต์ชั่วโมง ค่าไฟฟ้าที่ใช้จึงมีค่าเท่ากับ 0.0160 บาท

1 CFM สูญเสียพลังงานประมาณ 60 บีทียูต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.0160 บาท

ใน 1 ปี มีจำนวนชั่วโมงเท่ากับ 8760 ชั่วโมง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า หากมีการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารที่มีการปรับอากาศตลอดเวลา เพียง 1 CFM ภายใน 1 ปีจะต้องเสียค่าไฟฟ้าให้กับระบบปรับอากาศอย่างน้อยที่สุด 140.16 บาท หากเครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าค่า อีอีอาร์ 10.6 ก็จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นด้วย นั้นย่อมแสดงให้เห็นว่าการรั่วซึมของอากาศเข้าสู่อาคารที่มีการปรับอากาศส่งผลอย่างยิ่งยวดต่อการใช้พลังงานในอาคาร หากสามารถป้องกันการรั่วซึมของอากาศได้อย่างดีแล้ว นอกจากเป็นการประหยัดพลังงานที่มีค่าแล้ว ยังเป็นการแสดงความรับผิดชอบต่อส่วนรวมของสถาปนิกและวิศวกรผู้ออกแบบได้เป็นอย่างดีด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

สุนทร บุญญาธิการ , รัช. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2540.

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. 1997

ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS SI EDITION .Atlanta.Georgia :

American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
Inc.1997.

American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. Proceedings
of the Asean Special Sessions of the ASHRAE Far east Conference on Air
Conditioning in Hot Climates. Kuala Lumpur.1989

American Society for Testing and Materials .The American Society for Testing and
Materials (ASTM E1886-1887). Philadelphia, PA. 1973

Etheridge David, Sandberg Mats. BUILDING VENTILATION :THEORY and
MEASUREMENT. West Sussex: John Willy and Sons. 1996.

Jones W P. Air Conditioning Engineering. Great Britain:Thomson Litho Ltd. 1985

Olgay,V. DESIGN WITH CLIMATE:BIOCLIMATIC APPROACH TO ARCHITURAL
REGIONALISM. FOURTH Printing. New Jersey:Printon Press. 1961.

Stein, B., and Reynolds, J.S. MECHANICAL AND ELETRICAL EQUIPMENT FOR
BUILDINGS.8th EDITION. NEW YORK : John Willy and Sons. 1992.

Testo : The Informative Catalogue. 2000.

WWW.AVIC.COM



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CFD Simulation of Infiltration Heat Recovery

C. R. Buchanan and M. H. Sherman¹

Energy Performance of Buildings Group
Indoor Environment Department
Environmental Energy Technologies Division
Lawrence Berkeley National Laboratory
University of California



Abstract

Infiltration has traditionally been assumed to affect the energy load of a building by an amount equal to the product of the infiltration flow rate and the sensible enthalpy difference between inside and outside. Results from detailed computational fluid dynamics simulations of five wall geometries over a range of infiltration rates show that heat transfer between the infiltrating air and walls can be substantial, reducing the impact of infiltration. Factors affecting the heat recovery are leakage path length, infiltration flow rate, and wall construction. The classical method for determination of the infiltration energy load was found to over-predict the amount by as much as 95 percent and by at least 10 percent. However, the air flow paths typical of building envelopes give over-predictions at the low end of this range.

Nomenclature

c_p = specific heat capacity of air (1006 J/kg K)
 c_{ps} = specific heat capacity of insulation solid component (1006 J/kg K)
 c_{pw} = specific heat capacity of wall sheathing (1200 J/kg K)
 g = gravity (9.81 m/s²)
 k = air thermal conductivity (0.025 W/m K)
 k_{eff} = effective thermal conductivity of insulation (0.025 W/m K)
 k_s = thermal conductivity of insulation solid component (0.041 W/m K)
 k_w = wall sheathing thermal conductivity (0.13 W/m K)
 Q = total (conduction and convection) heat load (W)
 Q_{inf} = energy load due to infiltration (W)
 Q_{infC} = classical energy load due to infiltration (W)
 Q_o = pure conduction heat load (W)
 m = infiltration mass flow rate (kg/s)
 p = air pressure (Pa)
 t = time (s)
 T = temperature (K)
 T_i = inside air temperature (298 K)

¹ LBNL-42098: This work was supported by the Assistant Secretary for Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of Building Technology of the U.S. Department of Energy under contract no. DE-AC03-76SF00098.

T_o = outside air temperature (274 K)
 T_s = temperature of insulation solid component (K)
 T_w = wall sheathing temperature (K)
 u = air flow velocity in x-direction (m/s)
 v = air flow velocity in y-direction (m/s)
 x = horizontal co-ordinate (m)
 y = vertical co-ordinate (m)

α = insulation permeability (10^{-8} m^2)
 $\Delta T = T_i - T_o$ (24 K)
 ϵ = infiltration heat exchange effectiveness or heat recovery factor (dim)
 ϕ = mass fraction of air in wall insulation material (0.99)
 μ = air viscosity ($1.72 \times 10^{-5} \text{ kg/m s}$)
 ρ = air density (kg/m^3)
 ρ_s = density of insulation solid component (70 kg/m^3)
 ρ_w = wall sheathing density (544 kg/m^3)

Introduction

Air leakage through building envelopes, infiltration, is a common phenomenon, which affects both indoor air quality and building energy consumption. Some researchers have studied the potential of reducing building energy consumption by intentionally incorporating this process into the building design (3,9,15). In this technique, known as dynamic insulation, air is drawn through the building envelope in a direction that opposes the natural conductive flow of energy, so that some portion of the energy ordinarily lost to conduction is recovered.

In the most buildings, however, infiltration is unintentional and uncontrolled. Claridge and Bhattacharyya (7) note that a great deal of work has been devoted to the prediction and measurement of infiltration in building systems, but little effort has been directed toward determining the actual energy impact of infiltration. Infiltration can contribute a significant amount to the overall heating or cooling load of a building, but the actual size of the effect depends on a host of factors, including environmental conditions, building design, and construction quality. Based on experimental measurements taken at 50 residential buildings, Caffey (5) concluded that up to 40 percent of the heating/cooling costs in the homes studied was due to infiltration. In another study of residential buildings, Persily (13) attributed about one-third of the heating/cooling requirements to infiltration. Sherman and Matson (14) examined measured leakage data and concluded that a high fraction of the space conditioning load in U.S. buildings was due to infiltration. The results of a recent study (12) of U.S. office buildings performed by the National Institute of Standards and Technology (NIST) show that air leakage accounts for about 15 percent of the heating load in office buildings nationwide and about 1 or 2 percent of the cooling load. By all measures, the impact of infiltration can be sizeable and, so, should be considered in calculations of building energy consumption.

$$Q_{\text{infC}} = \dot{m}c_p(T_i - T_o) \quad (1)$$

The traditional method of accounting for the extra load due to infiltration is to simply add another term to the energy balance, denoted here as the classical infiltration load. The extra term, shown in equation 1, is the product of the infiltrating air mass flow rate, the specific heat capacity of air, and the temperature difference between inside and outside. This relation does not include the effects of moisture in the air and is strictly valid only if the leaking air does not interact thermally with the building walls. In reality, leaking air exchanges heat with the walls as it enters and leaves the building, which changes the thermal profile in the walls and warms or cools the infiltrating/exfiltrating air. This results in different values for the conduction, infiltration, and total heat losses than are predicted by the traditional method. Some studies have shown that this effect could be quite substantial and that the traditional method incorrectly predicts the energy impact of infiltration (2,6,7,10).

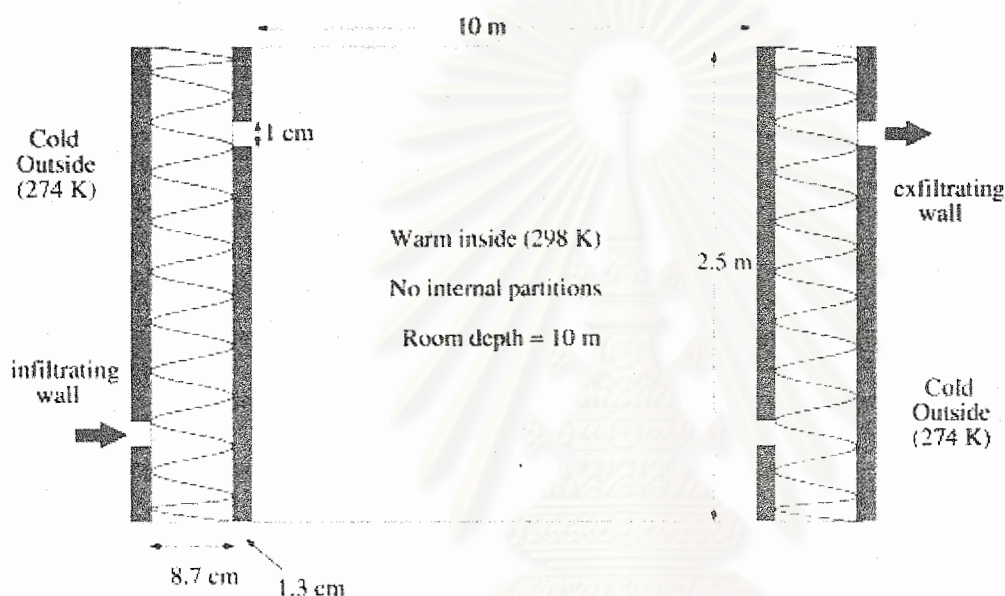


Figure 1: General problem setup; wall geometry 1 shown.

The purpose of this paper is to investigate the potential heat transfer between infiltrating air and room walls, known as heat recovery, and how this process could affect the additional energy requirements due to infiltration. Previous studies have measured lump values experimentally (2,6,7) or simulated the system using simplified modeling, for example, a prescribed Nusselt number for the air-wall heat transfer (10). This study determines the individual contributions of conduction and convection to the total heating load via numerical simulation without making simplifications regarding the basic physical processes involved. A commercial computational fluid dynamics (CFD) package is used to simulate the air flow and heat transfer through a two-dimensional wall section.

The general problem setup is shown in figure 1. Small holes, or cracks, in the outer sheathing (plywood) allow air to leak into the wall cavity and flow through the wall from outside to inside and vice-versa. Five wall configurations, shown in figure 2, are examined under various environmental conditions. Wall geometries 1-3 have insulation in the wall cavity, while geometries 4 and 5 have empty wall cavities. Geometries 1 and 4 provide a long flow path for infiltrating air that could potentially create a displacement flow in the wall cavity. Geometries 2 and 5 provide a short flow path for infiltrating air that could likely isolate air in the top and bottom sections of the wall. Geometry 3 has the possibility for both long and short paths. Pressure differences across the walls are varied from 0.1-10 Pa and the

inside/outside temperature difference remains constant at 24 Kelvin. The pressure differentials are taken to represent wind-induced pressures caused by wind flowing around the building, but they could also be induced by mechanical ventilation systems.

An advantage of CFD simulations over experimental studies is that many important aspects of the problem which are often difficult to determine, like boundary conditions, material properties, and flow paths, are known exactly and can be systematically varied easily. This makes correlations between different variables, for example, air flow path length and heat recovery, much more reliable. A disadvantage of such simulations is that it is difficult to represent the complexity of the true system, especially the variations associated with construction quality and material properties. The systems here are idealized, having homogeneous material properties and perfect construction, and will give conservative results. Though, these results should be representative and of practical value with proper interpretation.

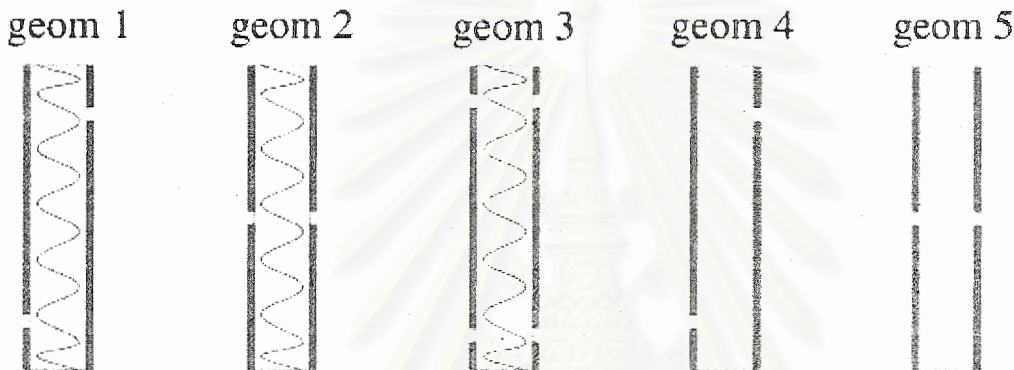


Figure 2: The five wall geometries examined; 1,2, & 3 are insulated and 4 & 5 are empty.

Problem Formulation

The example room in this study represents a row-house inner unit (figure 1) and is composed of an infiltrating wall, a corresponding exfiltrating wall, and a ceiling, floor, front wall, and rear wall with no air leakage. The building envelope is separated into non-interacting wall elements, which are examined individually. Information from the individual walls is added together to determine the overall impact for a complete room system. The windward and leeward walls, both of the same geometry type, are matched by their air leakage rates and have crack lengths that extend the entire depth of the wall (10 m). The bulk air flow within the room is not represented, but this should not be a problem because, as Etheridge (8) notes, the internal room air flow has only a secondary effect on infiltration. The most important influences are wind-induced pressure differences and buoyancy of room air in the vicinity of the wall.

The wall section is modeled as a two-dimensional, time-dependent system. Air flow and energy transport within the air are determined via the Navier-Stokes and energy equations (equations 2-5), respectively. A laminar representation is used for the flow, and solutions show this to be a valid assumption, as the highest predicted Reynolds number is only about 2000. Velocities elsewhere in the flow are much lower and would not provide the

potential for turbulence. The plywood sheathing is represented as an impermeable, solid material. Energy transport within the sheathing is calculated via the conduction equation (equation 6). Insulation in the wall is represented as a porous material. Air flow through the insulation is determined via Darcy's Law (equations 7 & 8), a common model for flow through porous media (4,10). Energy transport through the insulation is determined via a modified form of the energy equation (equation 9). In equation 9, an effective conductivity, given by equation 10, is used in the conduction flux term and the thermal inertia of the solid component is included in the transient term.

$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + g + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] \quad (4)$$

$$c_p \frac{\partial T}{\partial t} + c_p \frac{\partial uT}{\partial x} + c_p \frac{\partial vT}{\partial y} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial p}{\partial t} + u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} \quad (5)$$

$${}_w c_{pw} \frac{\partial T_w}{\partial t} = k_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2} + k_w \frac{\partial^2 T_w}{\partial y^2} \quad (6)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho u \quad (7), \quad \frac{\partial p}{\partial y} = -\rho v \quad (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(c_p T + (1 - \phi) c_{ps} T_s \right) + c_p \frac{\partial uT}{\partial x} + c_p \frac{\partial vT}{\partial y} = k_{eff} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_{eff} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial p}{\partial t} + u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} \quad (9)$$

$$k_{eff} = k + (1 - \phi) k_s \quad (10)$$

Thermal gradients in the system develop due to the difference between indoor and outdoor conditions giving rise to natural convection. As mentioned previously, it is important to represent the effects of buoyancy on the flow to properly determine infiltration rates and the heat flux at the wall, so buoyancy is included in these simulations. A simple, temperature-dependent empirical equation of state for the fluid density, coupled with the body force term in the fluid y-momentum equation introduces the effects of buoyancy into the flow.

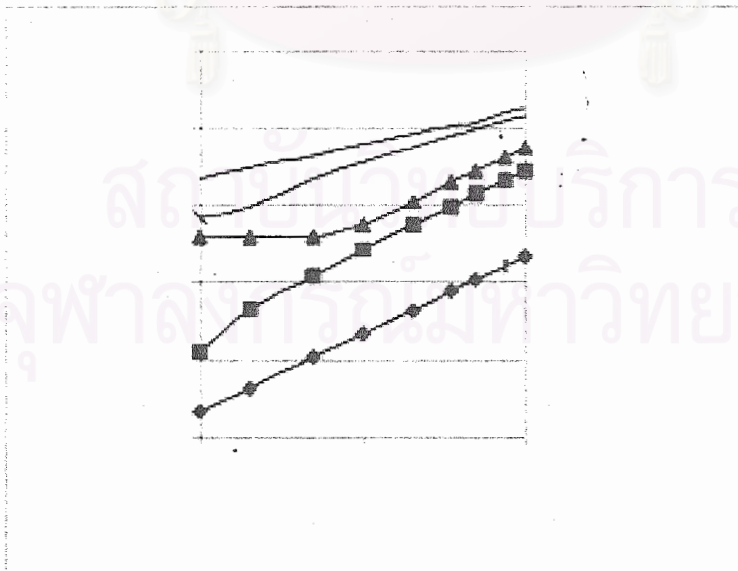
Results and Discussion

Simulations are performed for the five wall geometries under wind-induced pressures ranging from 0.1-10 Pa with a constant temperature difference of 24K between inside and

outside. Due to the complexity of the flow, it was not possible to achieve a converged solution using the steady-state equations. Therefore, the time-dependent equations were integrated in time until steady state was reached. Comparison of results from simulations using a coarse computational grid (33,000 nodes) and a fine grid (140,000 nodes) for two different wall geometries show that the coarse grid is sufficient to provide a grid-independent solution. All results presented here are steady-state solutions from simulations using a 33,000 node grid.

The main point of interest is the extra energy load introduced by infiltration. This is determined by first calculating the heat flux through the room walls with no air leakage, designated as Q_0 . Then, the energy flux is determined for the same wall types with air leakage. The difference between the two values is the infiltration-induced energy load. The convection and conduction energy fluxes across the external (outside) face of each wall are calculated for infiltrating and exfiltrating configurations. Using the external building face as the system control volume boundary is an arbitrary choice, the interior face could be used as well. However, it is important from an organizational standpoint that the energy accounting be performed at a consistent location.

For a given wall geometry, the infiltration air flow rate and energy flux vary with environmental conditions. The infiltration rate versus wind-induced pressure is shown in figure 3. In all cases, infiltration increases with wind pressure, but the actual values vary between geometries due to different flow resistances. The walls containing insulation (geometries 1-3) show a linear relationship between pressure and flow rate at pressures above about 0.5 Pa. This is the expected behavior, because the primary flow resistance in these cases, the insulation, is represented by linear flow-pressure relation, Darcy's Law. The empty walls (4-5) show a power law relationship with a pressure exponent of about 0.5 at pressures above about 0.5 Pa. The literature (1.8.11) shows that for typical residential dwellings pressure exponents range between one half to three quarters with averages typically about two-thirds. Although exponents up to unity are possible, they rarely play a significant role in adventitious leakage.



Below 0.5 Pa, the influence of stack-induced pressure, due to thermal differences in the air, is comparable to that of the wind-induced pressure. It is interesting to note that with geometry 3, there is a low pressure plateau due to the stack effect and leak geometry.

The extra energy load due to infiltration, Q_{inf} , is represented as a fraction of the classical load, given by equation 1. The extra load, calculated via equation 11, uses the infiltration heat exchange effectiveness, ϵ , also known as the heat recovery factor, a non-dimensional factor introduced by Claridge (2,6,7), given in equation 12.

$$Q_{inf} = (1 - \epsilon) \dot{m} c_p (T_i - T_o) \quad (11)$$

$$\epsilon = 1 - \frac{Q - Q_o}{\dot{m} c_p \Delta T} \quad (12)$$

Figure 4 shows ϵ for the five wall geometries at various wind-induced pressures. In all cases, the heat recovery decreases with increasing flow rate. This is true for a given wall geometry over the range of pressures or in a comparison of different wall geometries at a given pressure. The heat transfer becomes less efficient at high flow rates because there is less time for energy to be transported from the walls to the infiltrating air.

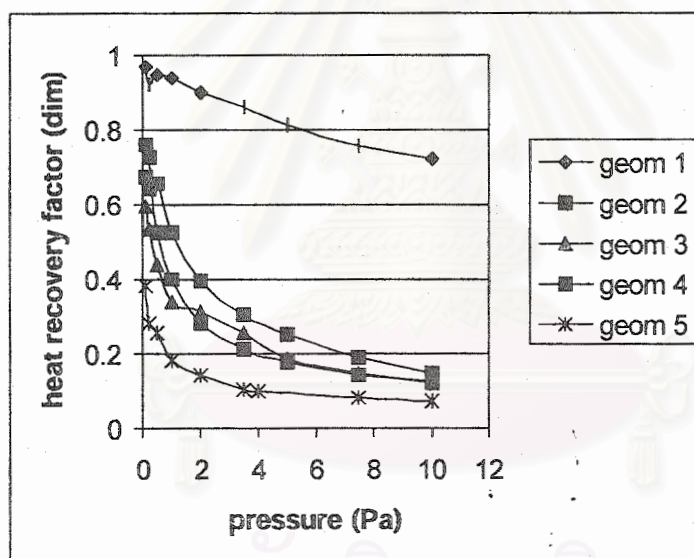


Figure 4: Heat recovery factor vs. wind-induced pressure for the five walls.

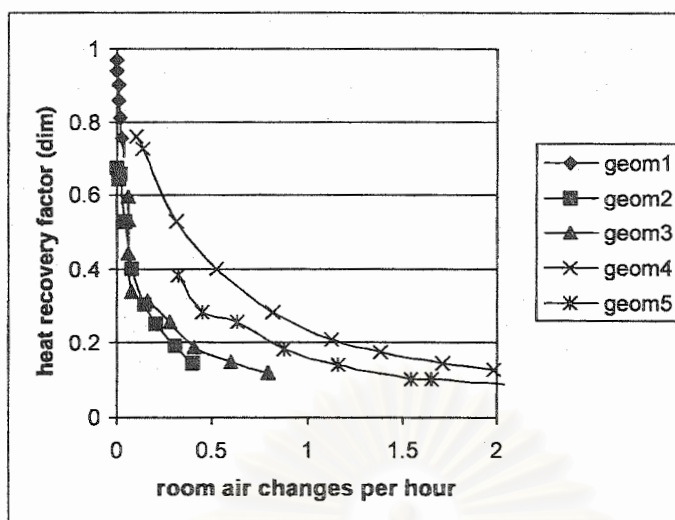


Figure 5: Heat recovery factor vs. infiltration rate in ACH.

Figure 5 shows that for a given infiltration rate (expressed here in room air changes per hour) and wall construction, insulated or empty, the heat recovery increases with infiltration path length. For example, wall geometries 4 and 5 are empty walls with long and short air flow paths, respectively. At a given infiltration rate the configuration with the long air flow path, geometry 4, has a higher heat recovery. Again, the increased heat recovery is due to longer transit times for infiltrating air in the wall. The same trend is true for geometries 1 and 2, but is more difficult to see on the graph. Another comparison can be made between walls with the same leakage configuration but different construction, insulated or empty. A comparison of geometries 2 and 5 at a given flow rate reveals that the empty wall, geometry 5, has a higher heat recovery, suggesting that wall construction, also, has an influence on heat recovery. This is because the thermal properties of the wall and the overall structure of the air flow in the wall cavity change with construction style.

An interesting point is revealed in comparison of geometries 2 and 3. Note that geometry 3 is similar to 2, except there are two holes instead of one. At pressures above about 0.5 Pa, geometry 3 has twice the flow as geometry 2, but nearly the same heat recovery. This indicates that in geometry 3 there is little interaction between the two holes, which is due to the large flow resistance of the insulation separating them. A wall of this design may not need to be modeled in its entirety. However, preliminary studies of this wall with an empty cavity show that there is a significant amount of interaction between the high and low holes, so this may not be a universal trait for all such wall designs. It is also interesting to note that the three insulated walls all seem to fall on a common curve, suggesting that a scaling law may apply. Future work on other configurations will be needed to explore these notions further.

In one sense, our results compare well with the experimental measurements of Claridge and Bhattacharyya (7). They calculated a maximum heat recovery of about 0.8 for a "diffuse" leakage path, which corresponds most closely to our geometry 1. This was nearly the average value determined in this study, as can be seen in figure 4.

In other ways, our results are not entirely comparable. In our simulations, we subjected each configuration to a range of pressures that are representative of the wind-induced pressures that real dwellings experience. For a given pressure, infiltration rates vary depending on the flow resistance (determined by the wall construction and environmental conditions), as can be seen in figures 3 and 5. In contrast, Claridge and Bhattacharyya adjusted the driving pressure to provide the same range of infiltration rates for each configuration. This technique is useful for some purposes, but the flow rates are too low to be representative of infiltration in most real dwellings, like our row-house scenario. When plotted against air change rate, all of their heat recovery values would be at very low air change rates, like our geometry 1 data. The infiltration rates for the configurations with "concentrated" leakage paths would be much higher (orders of magnitude) for realistic driving pressures.

Conclusions

Though still requiring substantiation, these results show the potential importance of infiltration heat recovery. The extent of heat recovery was found to be dependent on leakage path length, infiltration flow rate, and wall construction. In some circumstances, particularly in cases with low flow rates and long leakage paths, the heat recovery can be substantial, up to 95 percent. In these cases, the classical method will greatly over-predict the extra heating load due to infiltration. Even when the heat recovery is at the lowest level calculated, about 0.1, the classical method will over-predict the infiltration load by 10 percent. All leakage paths have not been represented in our simulations, but it seems that some modification should be considered to the classical method to increase its accuracy.

In reality, the importance of infiltration heat recovery will be determined by the particulars of the problem. For example, Sherman and Matson (14) found infiltration rates in typical U.S. housing stock to be around 1 ach. Our results suggest that about 10-20 percent of the heat would be recovered at these flow rates, so it seems unlikely that this mechanism plays a large role in the rather leaky envelopes of existing U.S. housing stock. In new construction, where infiltration rates can be quite low, infiltration heat recovery could be significant, provided the infiltrating air goes through the insulating layers and not just directly through holes. However, this leakage scenario is associated with high pressure exponents, which are not observed in most housing stock. Consequently, we would not expect this leakage scenario to occur, except in cases where it has been included in the design, as in dynamic insulation. So the infiltration heat recovery in most new houses would not be large.

The results in this report are limited to just a few test cases, but future work will include other wall geometries, more diverse environmental conditions, and integration of these findings into whole-building energy analysis models.

References

- 1) Baker, P. H., Sharples, S., Ward, I. C. (1987) "Air flow through cracks", *Building and Environment*, Vol. 22, No. 4, pp. 293-304.
- 2) Bhattacharyya, S., Claridge, D. E. (1995) "The energy impact of air leakage through insulated walls", *Transactions of the ASME*, Vol. 112, pp. 132-139.

- 3) Brunsell, J. T. (1995) "The indoor air quality and the ventilation performance of four occupied residential buildings with dynamic insulation", 16th AIVC Conference: Implementing the results of ventilation research, Palm Springs, USA, September 18-22, Proceedings Vol. 2, pp. 471-482.
- 4) Burns, P. J., Chow, L. C., Tien, C. L. (1977) "Convection in a vertical slot filled with porous insulation", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 20, pp. 919-926.
- 5) Caffey, G. E. (1979) "Residential air infiltration", *ASHRAE Trans.*, Vol. 85, pp. 41-57.
- 6) Claridge, D. E., Liu, M. (1996) "The measured energy impact of infiltration in an outdoor test cell", *Transactions of the ASME*, Vol. 118, pp. 162-167.
- 7) Claridge, D. E., Bhattacharyya, S. (1990) "The measured impact of infiltration in a test cell", *J. Solar Energy Engineering*, Vol. 117, pp. 167-172.
- 8) Etheridge, D. W. (1988) "Modelling of air infiltration in single- and multi-cell buildings", *Energy and Buildings*, Vol. 10, pp. 185-192.
- 9) Jensen, L. (1993) "Energy impact of ventilation and dynamic insulation", 14th AIVC Conference: Energy impact of ventilation and air infiltration, Copenhagen, September 21-23, Proceedings, pp. 251-260.
- 10) Kohonen, R., Virtanen, M. (1987) "Thermal coupling of leakage flow and heating load of buildings", *ASHRAE Trans.*, Vol. 93, pp. 2303-2318.
- 11) Liddament, M. W. (1987) "Power law rules-- OK?", *Air Infiltration Review*, Vol. 8, No. 2, pp. 4-6.
- 12) "NIST estimates nationwide energy impact of air leakage in U. S. buildings" (1996) *J. Research of NIST*, Vol. 101, No. 3, p. 413.
- 13) Persily, A. (1982) "Understanding air infiltration in homes", Report PU/CEES No. 129, Princeton University Center for Energy and Environmental Studies, February, p. 335.
- 14) Sheman, M., Matson, N. (1993) "Ventilation-Energy liabilities in U.S. dwellings", 14th AIVC Conference: Energy impact of ventilation and air infiltration, Copenhagen, September 21-23, Proceedings, pp. 23-41.
- 15) Virtanen, M., Heimonen, I., Kohonen, R. (1992) "Application of the transfer function approach in the thermal analysis of dynamic wall structures", ASHRAE/DOE/BTECC Conference: Performance of the Exterior Envelopes of Buildings, December 7-10, Clearwater Beach, Florida, USA, Proceedings.

USEFUL CONVERSION EQUATIONS

| | General | Approximate |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| LEAKAGE AREA | $ELA = k \cdot P_r^{n-1/2} \cdot \sqrt{\frac{P}{2}}$ | $ELA[m^2] = \frac{Q_{50}}{14}$ |
| NORMALIZED LEAKAGE | $NL = 1000 \frac{ELA}{A_{floor}} \left(\frac{H}{2.5m} \right)^{0.3}$ | $ELA[ft^2] = \frac{CFM_{50}}{2700}$ |
| SPECIFIC LEAKAGE AREA | $SLA = 10,000 \frac{ELA}{A_{floor}}$ | $NL = \frac{ACH_{50}}{20}$ |
| SPECIFIC INFILTRATION [hourly] | $Q[h] = ELA \cdot s[h]$ | $SLA = \frac{ACH_{50}}{2}$ |
| STANDARDS (119, 62&136) | $2000 \geq IDD \cdot NL$ | $w = \frac{N}{\sum_{h=1}^N 1/(s[h])}$ |
| EFFECTIVE INFILTRATION (Seasonal) | Sherman/Wilson Model | $w \cdot NL \geq 0.24$ |
| | | $ACH = 1.44 \cdot w \cdot NL$ |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ศศิน วิบูลย์บัณฑิตยกิจ เกิดเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2518 ที่ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชา สถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2539 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต ในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย