ผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ของเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย

นายคำรน สุทธิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

IMPACTS OF AIR INFILTRATION ON COOLING ENERGY USE OF THAI HOUSE

Mr. Khamron Sutthi

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2011
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย
โดย	นายคำรน สุทธิ
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ วัฒนสินธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิ่นรัชฎ์ กาญจนัษฐิติ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร)

.... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ณรงค์วิทย์ อารีมิตร)

คำรน สุทธิ : ผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย. (IMPACTS OF AIR INFILTRATION ON COOLING ENERGY USE OF THAI HOUSE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร, 271 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวัดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารเรือนไทย เปรียบเทียบกับบ้านร่วมสมัยทั่วไป และนำผลการวัดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศไปคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ เพื่อวิเคราะห์ว่าอัตราการรั่วซึมของอากาศมีผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากน้อยเพียงใด และอาคารเรือนไทยที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ จะประหยัดหรือสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าบ้านร่วมสมัย โดยการทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ ด้วยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 จากอาคารกรณีศึกษาจำนวน 4 หลัง คือ 1) เรือนไทยจุฬา 2) เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี 3) เรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์ และ 4) บ้านร่วมสมัย จากนั้นจึงนำเอาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่ได้จากการทดลอง นำไปจำลองและคำนวณหาค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยกำหนดให้ตัวแปรต้น คืออัตราการรั่วซึมของอากาศ (ACH) ตัวแปรตาม คือ ค่าพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ (kWh/m^2/yr)

จากการศึกษาและทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 สามารถสรุปได้ว่า อาคารเรือนไทยมีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัย โดยที่เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี มีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ 1.89 ACH รองลงมาเป็น เรือนไทยจุฬา 1.03 ACH, บ้านร่วมสมัย 0.56 ACH และเรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์ มีอัตราการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ 0.55 ACH ตามลำดับ

ผลการจำลองและคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ พบว่า บ้านร่วมสมัยมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุด คือ 58.25 kWh/m^2/yr รองลงมาเป็น เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี 41.79 kWh/m^2/yr, เรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์ 39.20 kWh/m^2/yr และเรือนไทยจุฬามีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศน้อยที่สุด คือ 37.96 kWh/m^2/yr ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าเรือนไทยที่ติดตั้งระบบปรับอากาศ ประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยประมาณ 28.25 - 34.83% ถึงแม้ว่าเรือนไทยจะมีอัตราการรั่วซึมอากาศมากกว่าก็ตาม แสดงให้เห็นว่าการรั่วซึมของอากาศมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศน้อยมาก โดยเฉพาะอาคารที่อยู่ในเขตร้อนชื้นอย่างเมืองไทย สิ่งที่มีผลต่อการใช้พลังงานมากกว่าคือ การออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี โดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดี การใช้วัสดุที่ไม่ดูดซับความร้อน จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานมากกว่า ในการลดอัตราการรั่วซึมของอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วซึมในอาคาร ก็ช่วยให้ประหยัดพลังงานลงได้บ้าง แต่ไม่มากเท่ากับการออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดีอย่างอาคารเรือนไทย

ภาควิชา......สถาปัตยกรรมศาสตร์…………….....	ลายมือชื่อนิสิต..
สาขาวิชา....สถาปัตยกรรม………………………	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก…………….
ปีการศึกษา...2554………………………………..	

5374255625: MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORDS : AIR INFILTRATION / BLOWER DOOR / COOLING / ENERGY USE / THAI HOUSE

KHAMRON SUTTHI: IMPACTS OF AIR INFILTRATION ON COOLING ENERGY USE OF THAI HOUSE. ADVISOR: ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 271 pp.

This paper presents the results of a study aimed at measuring and assessing the air infiltration rates of traditional Thai houses in order to compare them with those of modern houses. The air infiltration rates are used to simulate the amount of cooling energy required for the two types of housing. The objective of this study is to investigate if the air infiltration rates could significantly contribute to the necessary cooling energy required by traditional Thai houses and if installation of air conditioners on traditional Thai houses would result in excessive energy demands when compared with modern houses. The Fan Pressurization Tests, based on the ASTM E779-03 Standard Test Method, were performed on 4 test houses: 1) a traditional Thai house located on Chulalongkorn University campus, 2) the traditional Thai house of Dr. Pinyo Suwankiri, 3)a traditional Thai house at the Arsom Silp Institute, and 4) a modern house in Bangkok. The measured air infiltration rates from the test houses were entered into the DOE-2.1E energy simulation program, in terms of the Air-change Rates (ACH), and the results of cooling energy consumption in kWh/m^2.yr were analyzed.

From the Fan Pressurization Test (or Blower Door Test) results, it was found that traditional Thai houses have higher air infiltration rates than the modern houses do. Dr. Pinyo's house had the highest infiltration rate of 1.89 ACH. the traditional Thai house located on Chulalongkorn University campus had a rate of 1.03 ACH, while the modern house and the house from the Arson Silp Institute had similar air infiltration rates: 0.56 and 0.55 ACH respectively.

The results from the energy simulation indicate that the modern house consumes the greatest amount of cooling energy at 58.25 kWh/m^2.yr; followed by Dr. Pinyo's house at 41.79 kWh/m^2.yr; the house from the Arsom Silp Institute at 39.20 kWh/m^2.yr; and the house located on Chulalongkorn University campus at 37.96 kWh/m^2.yr. It can be concluded that even with the higher air infiltration rates, traditional Thai houses equipped with air-conditioners still consume less cooling energy than modern houses do. Air leakage in housings in tropical climates is not the major factor affecting energy consumption, whereas tropical design elements found in most traditional houses such as shading and low-thermal absorption materials play a greater role. While reducing air leakage in traditional Thai houses could help save cooling energy, the results are not significant when compared with using architectural design elements that are suited for tropical environments.

Department : Architecture .... Student's Signature ....

Field of Study : Architecture .... Advisor's Signature ....

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้สั่งสอนให้ความรู้ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมถึงให้ทุนสนับสนุนการวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขานวัตกรรมการออกแบบนิเวศน์สถาปัตยกรรม รุ่นที่ 3 ทุกท่านที่ช่วยเหลือทั้งแรงกายและแรงใจจนทำให้การทดลองภาคสนามผ่านไปอย่างราบรื่น และขอบคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือและสนับสนุนในทุกๆด้าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย…………………………………………………………………………	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..	จ
กิตติกรรมประกาศ...	ฉ
สารบัญ..	ช
สารบัญตาราง……………………………………………………………………………	ฎ
สารบัญภาพ……………………………………………………………………………...	ณ
สารบัญแผนภูมิ………………………………………………………………………….	ป
บทที่ 1 บทนำ………………………………………………………………………….	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……………………………………...	1
1.2 คำถามการวิจัย………………………………………………………………	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย…………………………………………………………	2
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย………………………………………………………	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย……………………………………………………………	3
1.6 ระเบียบวิธีวิจัย………………………………………………………………….	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……………………………………………………..	8
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง………………………………………………….	9
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมอากาศ……………………………..	9
2.1.1 การระบายอากาศและการรั่วซึมของอากาศ…………………………….	9
2.1.2 อัตราการไหลเวียนของอากาศ…………………………………………..	14
2.1.3 ค่าTime Constant………………………………………………………….	16
2.1.4 ระบบกลศาสตร์การเคลื่อนที่……………………………………………	17
2.2 วิธีการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ………………………………………………..	18
2.2.1 มาตรฐานวิธีการทดสอบเพื่อกำหนดอัตราการรั่วซึมของอากาศ ด้วยพัดลมแรงดัน ASTM E 779-03……………………………………	21

หน้า

2.2.2 มาตรฐานการทดสอบการวัดการรั่วซึมอากาศ
ผ่านกรอบประตูหน้าต่าง ASTM E783-93…………………………….... 31
2.2.3 การคำนวณค่าการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่าง
และประตู สำหรับประเทศไทย………………………………………….. 41
2.3 แนวคิดของการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ……… 47
2.3.1 การคำนวณหาภาระการทำความเย็น (Cooling Load)
ที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ…………………………………………. 50
2.3.2 การคำนวณหาภาระการทำความเย็น (Cooling Load)
ที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ โดยใช้โปรแกรม DOE 2.1E…………… 51
2.4 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยภาคกลาง…………………………… 55
2.5 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของบ้านร่วมสมัย…………………………………… 59
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมอากาศและการใช้พลังงานในอาคาร……….... 61
2.7 สรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……………………………………………. 66

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย……………………………………………………………….. 68
3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดวิธีการวิจัย…………….. 68
3.1.1 การกำหนดมาตรฐานวิธีการทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ……….... 68
3.1.2 การกำหนดอาคารกรณีศึกษา…………………………………………… 70
3.1.3 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารกรณีศึกษา……………………… 72
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย……………………………………………………….. 81
3.2.1 เครื่องมือวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ……………………………………. 81
3.2.2 เครื่องมือจำลองและคำนวณการใช้พลังงาน…………………………… 91
3.3 การทดลองภาคสนาม………………………………………………………. 96
3.3.1 วิธีการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03….. 97
3.3.2 การรายงานผลการทดสอบ……………………………………………… 98

บทที่ 4 ผลการทดลองวัดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ…………………………………… 104
4.1 การทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ อาคารกรณีศึกษา
“เรือนไทยจุฬา” ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย………. 105

หน้า

4.2 การทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ อาคารกรณีศึกษา
"เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี"…………………………………… 125
4.3 การทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ อาคารกรณีศึกษา
"เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"………………………………. 144
4.4 การทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ อาคารกรณีศึกษา
"บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"………………………………..... 165
4.5 การรวบรวมข้อมูลผลการทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ……………...….. 184

บทที่ 5 ผลการจำลองค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ
เพื่อคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ………………………………..…. 198
5.1 ผลการจำลองค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อ
คำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา
"เรือนไทยจุฬา" ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย………. 199
5.2 ผลการจำลองค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อ
คำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา
"เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี"…………………………………. 208
5.3 ผลการจำลองค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อ
คำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา
"เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"………………………………. 217
5.4 ผลการจำลองค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อ
คำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา
"บ้านร่วมสมัย"……………………………………………………………… 226
5.5 การรวบรวมข้อมูลผลการจำลองการรั่วซึมอากาศ
และการคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ………………………….. 236
5.5.1 ผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงาน
โดยมีการใช้งานอาคารแบบ
Residence Schedule (18.00 – 6.00 น)……………………………. 236
5.5.2 ผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงาน
โดยมีการใช้งานอาคารแบบ Office Schedule (6.00 – 18.00 น)…….. 237

หน้า

5.6 สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยด้านต่างๆ.......... 239

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.. 259
6.1 สรุปผลการวิจัย.. 259
6.1.1 ผลการศึกษาและวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ
ในอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย.. 259
6.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศ
ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ... 261
6.2 อภิปรายผลการวิจัย.. 262
6.2.1 การป้องกันการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา.......................... 262
6.2.2 อัตราการรั่วซึมของอากาศต่อผลการใช้พลังงาน
ในระบบปรับอากาศในอาคารเรือนไทย... 266
6.3 ข้อเสนอแนะ... 267

รายการอ้างอิง.. 268
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์... 270

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงสรุปวัตถุประสงค์ วิธีการวิจัยและ
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย... 8
ตารางที่ 2.1 แสดงวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบของมาตรฐาน
การวัดค่ารั่วซึมของอากาศ... 19
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การให้คะแนนของกรอบหน้าต่าง/ประตู คิดตามปริมาณของการรั่ว
ของอากาศสำหรับประเทศไทย.. 42
ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบอัตราอากาศรั่วซึม ที่แรงดันแตกต่าง 75 Pa.................. 45
ตารางที่ 2.4 อัตราอากาศรั่วซึมของอากาศที่ลดลง
กรณีใช้แผ่นยางเสริมเพื่อลดอัตราการรั่วซึม.................................... 46
ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการทดสอบการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐาน
ASTM International (American Society for Testing and
Materials)... 69
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารกรณีศึกษา.............. 80
ตารางที่ 3.3 แบบฟอร์มในการทดสอบการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ ตามาตรฐาน
ASTM E779-03... 103
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูล Measured Pressurization Data Point
ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”... 112
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูล Measured Depressurization Data Point
ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”... 112
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลการใช้สมการถดถอยเชิงเส้น y = 594.5x + 151.5 ในการ
คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) จากการทดลองอัด
อากาศเข้า (Pressurization) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”......... 114
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลการใช้สมการถดถอยเชิงเส้น y = 594.5x + 151.5 ในการ
คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) จากการทดลองดูด
อากาศออก (Depressurization) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”.... 115
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Pressurization เป็น
ลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”............. 117

หน้า

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Depressurization เป็น ลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”……………. 118

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูล Measured Pressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา“เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”…………... 132

ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูล Measured Depressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”………….... 133

ตารางที่ 4.9 แสดงการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Pressurization เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”…………………………….... 136

ตารางที่ 4.10 แสดงการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Depressurization เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”…………………………...…. 137

ตารางที่ 4.11 แสดงข้อมูล Measured Pressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา“เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”………... 151

ตารางที่ 4.12 แสดงข้อมูล Measured Depressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา“เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”……….. 152

ตารางที่ 4.13 แสดงข้อมูลการใช้สมการถดถอยเชิงเส้น y = 281.78x + 474.96 ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) จากการทดลองอัดอากาศเข้า (Pressurization) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”……………………………………………...…. 154

ตารางที่ 4.14 แสดงข้อมูลการใช้สมการถดถอยเชิงเส้น y = 281.78x + 474.96 ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) จากการทดลองดูดอากาศออก (Depressurization) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”………………………………………..…….. 155

ตารางที่ 4.15 แสดงข้อมูลการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Pressurization เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”…………………………..….. 157

หน้า

ตารางที่ 4.16 แสดงข้อมูลการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Depressurization เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”……………………………..... 158
ตารางที่ 4.17 แสดงข้อมูล Measured Pressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา“บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”…………….… 172
ตารางที่ 4.18 แสดงข้อมูล Measured Depressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”………..….... 173
ตารางที่ 4.19 ตารางที่ 4.19 แสดงการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Pressurization เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”………………………………… 176
ตารางที่ 4.20 แสดงการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Depressurization เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”……………………………….... 177
ตารางที่ 4.21 ตารางรวบรวมข้อมูลการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของอากาศ โดยวิธี Pressurization ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคาร กรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร……………………………………………….... 185
ตารางที่ 4.22 ตารางรวบรวมข้อมูลการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของอากาศ โดยวิธี Depressurization ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคาร กรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร……………………………………………….... 186
ตารางที่ 4.23 แสดงผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากความดัน แตกต่างในระดับต่างๆ ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร……………..…. 189
ตารางที่ 4.24 แสดงผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากแรงดันของ พัดลมที่ 50 Pa ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร……………………….… 191
ตารางที่ 4.25 แสดงผลการแปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร…………………………………..…. 194
ตารางที่ 4.26 แสดงผลการแปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร…………………………………….... 195

หน้า

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการตรวจสอบสมมุติฐานของการวิจัย…………………………….…. 197
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”……...... 206
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”…………………………….…. 215
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”……………………………… 224
ตารางที่ 5.4 แสดงผลการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย” โดยการจำลองแบบ Residence Schedule โดยใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 น……………………………………….. 233
ตารางที่ 5.5 แสดงผลการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย” โดยการจำลองแบบ Office Schedule โดยใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ตั้งแต่เวลา 6.00 – 18.00 น…………………………………….….. 234
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงานโดยมีการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule (18.00 – 6.00 น)…………………………….…. 236
ตารางที่ 5.7 แสดงผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงานโดยมีการใช้งานอาคารแบบ Office Schedule (6.00 – 18.00 น)……..….. 238
ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืนในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”…………………………………….. 240
ตารางที่ 5.9 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืนในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”………….... 242

หน้า

ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”……..… 244
ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย WWR 30”…………………..……... 246
ตารางที่ 5.12 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”…………………………………..... 248
ตารางที่ 5.13 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”…………..... 250
ตารางที่ 5.14 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”……..… 252
ตารางที่ 5.15 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย WWR 30”…………………….….... 254
ตารางที่ 5.16 แสดงผลการตรวจสอบสมมุติฐานของการวิจัย (ต่อจากบทที่ 4)………….... 258
ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงผลการการศึกษาและทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ……..... 259
ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงผลการการศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ…………………………..…… 261

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	แผนผังแสดงระเบียบวิธีวิจัย…………………………………………………	7
ภาพที่ 2.1	แสดงลักษณะการเกิด Infiltration และ Exfiltration ผ่านส่วนประกอบต่างๆของอาคาร………………………………………...	10
ภาพที่ 2.2	แสดงพื้นที่อาคาร 2 ส่วนที่เกิด Forced Ventilation Infiltration และ Exfiltration…………………………………………………………	11
ภาพที่ 2.3	แสดงบริเวณที่มักเกิดการรั่วซึมของอากาศในอาคาร ในบ้านพักอาศัยที่อยู่ในเขตภูมิอากาศแบบหนาว……………………………	13
ภาพที่ 2.4	แสดงบริเวณที่มักเกิดการรั่วซึมของอากาศ ที่ซ่อนอยู่ในโครงสร้างอาคาร…..	14
ภาพที่ 2.5	Displacement flow within a space……………………………..…....	15
ภาพที่ 2.6	Entrainment flow within a space……………………………………..	16
ภาพที่ 2.7	ภาพที่ 2.7 Distribution of Inside and Outside Pressures over Height of Building……………………………………………………..	17
ภาพที่ 2.8	แสดงวิธีการวัดการรั่วซึมของอากาศโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779-03……………………...….	21
ภาพที่ 2.9	แสดงรายละเอียดของ Blower Door และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบตาม มาตรฐาน ASTM E779……………………………………………………	24
ภาพที่ 2.10	แสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดความดันอากาศภายนอกอาคาร……………...	26
ภาพที่ 2.11	ตัวอย่างกราฟการรั่วซึมอากาศ………………………………………….	28
ภาพที่ 2.12	ตัวอย่างแสดงการทดสอบวัดการรั่วซึมอากาศผ่านกรอบประตูหน้าต่าง ตามมาตรฐาน ASTM E783-93……………………………………....	31
ภาพที่ 2.13	การจัดวางอุปกรณ์และเครื่องมือโดยทั่วไปของการทดลองวัดค่าการรั่วซึม ของอากาศ………………………………………………………………	35
ภาพที่ 2.14	ตัวอย่างการคำนวณหารอยรั่วของประตูหน้าต่าง …………………………...	43
ภาพที่ 2.15	แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือน ที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและและอุณหภูมิให้กับอากาศ…………………..	49
ภาพที่ 2.16	แสดงส่วนประกอบและการทำงานของโปรแกรม DOE-2.1E……………….	52

หน้า

ภาพที่ 2.17 แสดงการใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ เพื่อจำลองการใช้พลังงานงาน
ในโปรแกรม DOE-2.1E………………………………………………………… 54
ภาพที่ 2.18 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี
ในโปรแกรม DOE-2.1E………………………………………………………… 54
ภาพที่ 2.19 แสดงตัวอย่างผลการการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน
ในโปรแกรม DOE-2.1E………………………………………………………… 55
ภาพที่ 2.20 แสดงผังพื้นเรือนไทยขนาดเฉลี่ย……………………………………………….. 56
ภาพที่ 2.21 แสดงรูปด้านเรือนไทยขนาดเฉลี่ย…………………………………….……… 56
ภาพที่ 2.22 รูปตัดแสดงลักษณะโครงสร้างของเรือนไทยขนาดเฉลี่ย…………………….. 58
ภาพที่ 2.23 แสดงรูปแบบบ้านร่วมสมัยในปัจจุบัน……………………………………….. 60
ภาพที่ 3.1 แสดงวิธีการทดลองวัดการรั่วซึมอากาศ โดยการอัดอากาศเข้า
(Pressurization) และดูดอากาศออก (Depressurization)
จากห้องที่ทำการทดลอง ตามมาตรฐานการทดสอบ
ASTM E779-03…………………………………………………………... 70
ภาพที่ 3.2 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยจุฬา………………………… 72
ภาพที่ 3.3 แสดงผังพื้นชั้นบนของเรือนไทยจุฬา……………………………………….... 73
ภาพที่ 3.4 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยหมู่
ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี…………………………………………………… 74
ภาพที่ 3.5 แสดงผังพื้นชั้นบนเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี…………………... 75
ภาพที่ 3.6 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยประยุกต์
ของสถาบันอาศรมศิลป์……………………………………………………… 76
ภาพที่ 3.7 แสดงผังพื้นชั้นบนเรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์………………...… 77
ภาพที่ 3.8 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของบ้านร่วมสมัย………………………… 78
ภาพที่ 3.9 แสดงผังพื้นของบ้านร่วมสมัย………………………………………………... 79
ภาพที่ 3.10 ภาพพัดลมแรงดันสูง (Blower)……………………………………………… 82
ภาพที่ 3.11 ภาพอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของพัดลม (Blower Control Box)………… 83
ภาพที่ 3.12 ภาพเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง (Manometer)……………………...... 84
ภาพที่ 3.13 ภาพเครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ
หรือวัดความเร็วลม (Barometer)…………………………………………… 85

หน้า

ภาพที่ 3.14 ภาพแสดงรูปแบบและการติดตั้ง The Adjustable Door Frame.............. 86
ภาพที่ 3.15 ภาพการออกแบบ The Adjustable Door Frame ขึ้นใหม่ โดยใช้วัสดุเป็นไม้สัก และทำให้มุมทั้งสี่สามารถปรับองศาได้ เพื่อให้สามารถติดตั้งได้กับบานประตูของเรือนไทย.............................. 87
ภาพที่ 3.16 ภาพแสดงรูปแบบการติดตั้ง Blower Door และเครื่องมือในการวัดค่า การรั่วซึมของอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03........................... 88
ภาพที่ 3.17 ภาพแสดงขั้นตอนการผลิต The Adjustable Door Frame...................... 89
ภาพที่ 3.18 ภาพแสดงการทดลองติดตั้ง Blower Door และทดลองใช้อุปกรณ์เครื่องมือ รวมถึงทำการทดสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือ (Calibration) ก่อนการทดลองจริงในอาคารกรณีศึกษา.. 90
ภาพที่ 3.19 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 93
ภาพที่ 3.20 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ในวันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 93
ภาพที่ 3.21 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System ในการใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย (Residence Schedule)............... 94
ภาพที่ 3.22 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 95
ภาพที่ 3.23 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ในวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ..................... 95
ภาพที่ 3.24 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System ในการใช้งานอาคารแบบอาคารสำนักงาน (Office Schedule)................. 96
ภาพที่ 3.25 ภาพแผนผังการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมของอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03... 101
ภาพที่ 3.26 ภาพแผนผังการนำผลการทดสอบมาคำนวณหาค่าการรั่วซึมของอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03... 102

หน้า

ภาพที่ 4.1 ภาพลักษณะทางสถาปัตยกรรมโดยรวมของ “เรือนไทยจุฬา”……………… 105
ภาพที่ 4.2 ภาพอาคารเรือนไทยจุฬา ที่ทำการทดสอบวัดการรั่วซึมอากาศ…………….. 105
ภาพที่ 4.3 ภาพผังอาคารเรือนไทยจุฬา และตำแหน่งที่ทำการทดสอบ วัดค่าการรั่วซึมอากาศ……………………………………………………….. 106
ภาพที่ 4.4 ภาพการสำรวจลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อม ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”………………………………………... 108
ภาพที่ 4.5 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้ง Blower Door และอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”………………………………………... 109
ภาพที่ 4.6 ภาพแสดงการติดตั้ง Blower Door และอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึม อากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา………………………………… 110
ภาพที่ 4.7 ภาพแสดงการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”…………… 111
ภาพที่ 4.8 ภาพลักษณะทางสถาปัตยกรรมโดยรวมของ “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”…………………………………… 125
ภาพที่ 4.9 ภาพอาคาร “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” ที่ทำการทดสอบวัดการรั่วซึมอากาศ………………………………………… 125
ภาพที่ 4.10 ภาพผังอาคารเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี และตำแหน่งที่ทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศ…………………….…. 126
ภาพที่ 4.11 ภาพการสำรวจลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อม ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”…………… 128
ภาพที่ 4.12 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้ง Blower Door และอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”…………..… 129
ภาพที่ 4.13 ภาพแสดง การติดตั้ง Blower Doorและอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึม อากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”…… 130
ภาพที่ 4.14 ภาพแสดงการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”…………………………….… 131

หน้า

ภาพที่ 4.15 ภาพลักษณะทางสถาปัตยกรรมโดยรวมของ
เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์………………………………… 144
ภาพที่ 4.16 ภาพอาคารเรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์
ที่ทำการทดสอบวัดการรั่วซึมอากาศ……………………………………… 144
ภาพที่ 4.17 ภาพตำแหน่งของอาคารเรือนไทยประยุกต์ของ
สถาบันอาศรมศิลป์ ที่ทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศ………………... 145
ภาพที่ 4.18 ภาพการสำรวจลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อม
ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์………… 147
ภาพที่ 4.19 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้ง Blower Door และอุปกรณ์ในการวัดค่าการ
รั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 ในอาคาร
กรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"…………………... 148
ภาพที่ 4.20 ภาพแสดงการติดตั้ง Blower Doorและอุปกรณ์ใน
การวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา
"เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"……………………………….. 149
ภาพที่ 4.21 ภาพแสดงการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization
และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา
"เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"……………………………….. 150
ภาพที่ 4.22 ภาพลักษณะทางสถาปัตยกรรมโดยรวมของ
บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา…………………………………..…. 165
ภาพที่ 4.23 ภาพตำแหน่งของบ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา
ที่ทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศ…………………………………….. 166
ภาพที่ 4.24 ภาพการสำรวจลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อม
ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"……………... 168
ภาพที่ 4.25 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้ง Blower Door และอุปกรณ์ใน
การวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03
ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"…………… 169
ภาพที่ 4.26 ภาพแสดงการติดตั้ง Blower Doorและอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึม
อากาศ ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"……. 170

หน้า

ภาพที่ 4.27 ภาพแสดงการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา".. 171
ภาพที่ 5.1 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยต้นแบบ ที่ใช้สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E.. 199
ภาพที่ 5.2 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยจุฬา ที่สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E.. 200
ภาพที่ 5.3 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System.............. 201
ภาพที่ 5.4 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 202
ภาพที่ 5.5 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ในวันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 203
ภาพที่ 5.6 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 204
ภาพที่ 5.7 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ในวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ.................... 204
ภาพที่ 5.8 แสดงการใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ เพื่อจำลองการใช้พลังงานงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E.. 205
ภาพที่ 5.9 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยต้นแบบที่ใช้สร้างโมเดล ในโปรแกรม DOE-2.1E.. 208
ภาพที่ 5.10 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี ที่สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E.................... 209
ภาพที่ 5.11 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System.............. 210
ภาพที่ 5.12 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 211

หน้า

ภาพที่ 5.13 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ในวันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 212
ภาพที่ 5.14 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 213
ภาพที่ 5.15 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ในวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ.................... 213
ภาพที่ 5.16 แสดงการใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ เพื่อจำลองการใช้พลังงานงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E.. 214
ภาพที่ 5.17 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยประยุกต์ ต้นแบบที่ใช้สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E.............................. 217
ภาพที่ 5.18 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยประยุกต์ของ สถาบันอาศรมศิลป์ ที่สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E..................... 218
ภาพที่ 5.19 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System.............. 219
ภาพที่ 5.20 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 220
ภาพที่ 5.21 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ในวันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 221
ภาพที่ 5.22 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส.. 222
ภาพที่ 5.23 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ในวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ.................... 222
ภาพที่ 5.24 แสดงการใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ เพื่อจำลองการใช้พลังงานงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E.. 223
ภาพที่ 5.25 แสดงรูปแบบบ้านร่วมสมัยในปัจจุบัน.. 226

หน้า

ภาพที่ 5.26 แสดงการสร้างโมเดลอาคารบ้านร่วมสมัย WWR 30 ในโปรแกรม DOE-2.1E………………………………………………………… 227
ภาพที่ 5.27 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System…………… 228
ภาพที่ 5.28 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส……………………………………… 229
ภาพที่ 5.29 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ในวันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส……………………………………… 230
ภาพที่ 5.30 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส……………………………………… 231
ภาพที่ 5.31 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ในวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ………………… 231
ภาพที่ 5.32 แสดงการใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ เพื่อจำลองการใช้พลังงานงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E………………………………………………………… 232
ภาพที่ 6.1 แสดงจุดที่มักเกิดการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา…………………… 264
ภาพที่ 6.2 แสดงจุดที่มักเกิดการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา (ต่อ)……………… 265

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 4.1 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”……………………...………….. 113

แผนภูมิที่ 4.2 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”……………….. 121

แผนภูมิที่ 4.3 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”………… 134

แผนภูมิที่ 4.4 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”……………………………….. 140

แผนภูมิที่ 4.5 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”……. 153

แผนภูมิที่ 4.6 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”…………………...…… 161

แผนภูมิที่ 4.7 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”………… 174

แผนภูมิที่ 4.8 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”………………………………… 180

แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบลักษณะการไหลของอากาศในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร จากการทดลองโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03……………………………..... 187

แผนภูมิที่ 4.10 เปรียบเทียบผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร……. 190

หน้า

แผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานในการใช้กำหนดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคารของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร………………………………………. 192

แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคารของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร………………………………………. 196

แผนภูมิที่ 5.1 เปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”…………………………………..... 207

แผนภูมิที่ 5.2 เปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”………… 216

แผนภูมิที่ 5.3 เปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”…….. 225

แผนภูมิที่ 5.4 เปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย” ทั้ง 4 แบบ………………………… 235

แผนภูมิที่ 5.5 เปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศโดยมีการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule (18.00 – 6.00 น)……………………………….. 237

แผนภูมิที่ 5.6 เปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศโดยมีการใช้งานอาคารแบบ Office Schedule (6.00 – 18.00 น)…………………………………..... 238

หน้า

แผนภูมิที่ 6.1 แสดงผลการวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา
ตามมาตรฐาน ASTM E779-03.. 260

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

“เรือนไทย” เป็นภูมิปัญญาที่บรรพบุรุษไทยได้คิดค้นและปรับปรุงให้มีรูปแบบสถาปัตยกรรมที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และมีเอกลักษณ์โดดเด่นเฉพาะตัว ควรค่าแก่การอนุรักษ์เรือนไทย มีการออกแบบที่สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมในท้องถิ่น ทำให้ในอดีตเรือนไทยมีความร่มเย็นและสภาพอากาศภายในอยู่ในเขตสบาย

ปัจจุบันเรือนไทยได้รับความนิยมมากขึ้นในหมู่บ้านพักตากอากาศ โดยเฉพาะเมืองท่องเที่ยวอย่างเชียงใหม่และภูเก็ต ซึ่งเป็นกระแสความนิยมบ้านที่มีลักษณะเป็นบ้านพักตากอากาศอย่างเรือนไทย นอกจากนี้ยังมีการนำรูปแบบของเรือนไทยมาขยายขอบเขตการใช้งานจากเดิมที่เป็นเพียงบ้านพักอาศัย มาเป็นศูนย์ส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม พิพิธภัณฑ์ สมาคม สาสนสถาน และสถานศึกษา เช่น ศูนย์ส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์ส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมมหาวิทยาลัยกรุงเทพ พิพิธภัณฑ์จิมทอมสัน สยามสมาคม เสถียรธรรมสถาน และสถาบันอาศรมศิลป์ เป็นต้น ทำให้เรือนไทยมีรูปแบบการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น และเป็นที่ต้องการไม่น้อยในตลาดบ้านพักอาศัยในปัจจุบัน

วัสดุก่อสร้างที่ใช้ในเรือนไทยส่วนใหญ่เป็นไม้ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย ส่งผลให้อุณหภูมิภายนอกและภายในมีความใกล้เคียงกัน ทำให้สภาพอากาศภายในเรือนไทยในอดีตอยู่ในเขตสบายคล้อยตามสภาพอากาศภายนอก แต่ปัจจุบันมีการใช้เครื่องปรับอากาศในเรือนไทยมากขึ้น ตามความต้องการสภาวะน่าสบายของรูปแบบการอยู่อาศัยสมัยใหม่ ดังนั้นเรือนไทยในยุคปัจจุบันจึงมีความจำเป็นที่ต้องสร้างเขตสบายให้กับเรือนไทยโดยการใช้ระบบปรับอากาศ (กิติศักดิ์ อนันต์พูนพล, 2546)

ปัญหาหนึ่งที่พบคือ เรือนไทยที่มีการปรับอากาศ จะสูญเสียพลังงานจำนวนหนึ่ง ในการลดความร้อนและความชื้นที่รั่วซึมเข้ามาผ่านผนังไม้ที่มีความหนาแน่นของเปลือกอาคารน้อย ซึ่งความเข้าใจดังกล่าวยังไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับเรือนไทยรับรองชัดเจน ว่าการรั่วซึมอากาศในเรือนไทยมีปริมาณเท่าใด ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากน้อยเพียงใด และเรือนไทยที่มีการปรับอากาศ จะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าบ้านร่วมสมัยทั่วไปจริงหรือไม่

จากการศึกษาเรื่องวัสดุเปลือกอาคาร ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น ที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน พบว่าวัสดุ

เปลือกอาคารมีผลน้อยมากต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ แต่ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นในอาคารพักอาศัยมากที่สุดคือ ขนาดและวัสดุกระจกหน้าต่าง ซึ่งอาคารที่มีช่องเปิดหน้าต่างมาก จะมีการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นมาก เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกเวลากลางวันจะเข้ามาสะสมในตัวอาคารและก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นในเวลากลางคืนต่อมา ดังนั้นประสิทธิภาพการกันความร้อนของวัสดุกระจกหน้าต่างจะมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารที่สูงมาก (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550)

จากการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า บ้านพักอาศัยที่มีพื้นที่ช่องเปิดกระจกน้อยๆ และมีการบังแดดให้กับช่องเปิดในเวลากลางวัน จะช่วยประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศได้มาก ซึ่งสอดคล้องกับการออกแบบเรือนไทย ที่มีการชายคายื่นยาวช่วยบังแดดให้กับผนังอาคารทั้งวัน และประตูหน้าต่างส่วนใหญ่เป็นไม้ ทำให้พื้นที่ Window to Wall Ratio (WWR) น้อยกว่าบ้านร่วมสมัย เรือนไทยจึงควรจะประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศได้ดี แต่สิ่งหนึ่งที่ยังต้องศึกษาต่อคืออัตราการรั่วซึมของอากาศในเรือนไทยมีปริมาณเท่าใด ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากน้อยเพียงใด และเรือนไทยที่มีการปรับอากาศจะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าบ้านร่วมสมัยทั่วไปจริงหรือไม่ จึงเป็นที่มาของงานวิจัย

1.2 คำถามการวิจัย

1.2.1 ค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทยเป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับบ้านร่วมสมัย

1.2.2 ค่าอัตราการรั่วซึมอากาศมีผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศอย่างไร

1.2.3 เรือนไทยที่ติดตั้งระบบปรับอากาศสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยหรือไม่

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ค่าการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทย มีปริมาณมากกว่าบ้านร่วมสมัย

1.3.2 ค่าการรั่วซึมอากาศส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศน้อย

1.3.3 เรือนไทยที่ติดตั้งระบบปรับอากาศสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศน้อยกว่าบ้านร่วมสมัย

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.4.1 เพื่อศึกษาและวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในอาคารเรือนไทยเพื่อเปรียบเทียบกับ

บ้านร่วมสมัยทั่วไป โดยการวัดค่าอัตราการรั่วซึมในอาคารกรณีศึกษา

1.4.2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณการรั่วซึมอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยการจำลองการใช้พลังงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E

1.4.3 เพื่อเปรียบเทียบการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารเรือนไทยกับบ้านร่วมสมัย โดยการจำลองการใช้พลังงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองในลักษณะการเก็บข้อมูลจริง เพื่อวัดอัตราการรั่วซึมอากาศจากตัวอย่างเรือนไทยภาคกลาง และบ้านร่วมสมัยทั่วไปที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแล้ว ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

1.5.2 การทดลองวัดอัตราการรั่วซึมอากาศ ใช้เครื่องมือและวิธีการเก็บข้อมูลแบบเดียวกันตามมาตรฐาน ASTM E779-03 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization

1.5.3 ใช้โปรแกรม DOE-2.1E ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการรั่วซึมอากาศ โดยใช้ไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพ ที่ถูกจัดให้อยู่ในรูป TMY ซึ่งไฟล์ข้อมูลนี้จัดทำโดย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งจะประกอบด้วยข้อมูลอากาศรายชั่วโมงตลอดหนึ่งปี

1.5.4 ตัวแปรที่ทำการศึกษามีดังนี้

1.5.4.1 ตัวแปรต้น คือ อัตราการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทยกรณีศึกษา
ตัวแปรตาม คือ ค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ (kWh/m2/yr)

1.5.4.2 ตัวแปรต้น คือ อัตราการรั่วซึมอากาศของบ้านร่วมสมัยกรณีศึกษา
ตัวแปรตาม คือ ค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ($kWh/m^2/yr$)

1.6 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย ต่อผลการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศ โดยทดลองวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศจากสถานที่จริง และนำผลการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ มาใส่ในโปรแกรม DOE-2.1E เพื่อจำลองและคำนวณค่าการใช้พลังงาน โดยแบ่งวิธีการศึกษาได้ดังนี้

1.6.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1.1 ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมอากาศ (ASHRAE Handbook of Fundamentals 2009)

1.6.1.2 ศึกษาวิธีการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ (Air Infiltration Measurements)

1.6.1.3 ศึกษาทฤษฎีการจำลองการรั่วซึมอากาศและคำนวณค่าการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E

1.6.1.4 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของการรั่วซึมอากาศในอาคารพักอาศัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เพื่อเปรียบเทียบผลการวิจัย

1.6.2 สำรวจและเลือกอาคารกรณีศึกษา

สำรวจและศึกษาลักษณะของอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัยในปัจจุบัน ที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแล้ว ทั้งรูปแบบส่วนประกอบทางสถาปัตยกรรม เทคนิคและคุณภาพการก่อสร้างในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อเป็นอาคารกรณีศึกษาในการวัดการรั่วซึมอากาศและจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

1.6.2.1 การสำรวจเก็บข้อมูลอาคารเรือนไทย โดยการสำรวจเรือนไทยที่ปลูกสร้างในบริเวณ กรุงเทพฯ และปริมณฑล การศึกษาอาคารตัวอย่างมีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ ได้แก่ เป็นเรือนไทยที่มีสภาพสมบูรณ์และยังมีการใช้งานอยู่ รวมถึงมีการติดตั้งระบบปรับอากาศเพื่อการใช้

งานจริง ขนาดอาคารลักษณะพื้นที่ใช้สอย ช่วงเวลาการใช้งานอาคาร สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) วัสดุก่อสร้างเปลือกอาคารและลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคาร

1.6.2.2 การสำรวจเก็บข้อมูลบ้านร่วมสมัย โดยการสุ่มเลือกตัวอย่าง อาคารที่ปลูกสร้างในบริเวณ กรุงเทพฯ และปริมณฑล การศึกษาอาคารตัวอย่างมีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ขนาดอาคารลักษณะพื้นที่ใช้สอย ช่วงเวลาการใช้งานอาคาร สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคาร (WWR) วัสดุก่อสร้างเปลือกอาคารและ ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคาร การเลือกเก็บตัวอย่างอาคารบ้านพักอาศัย 2 ชั้น โดยการสุ่มเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างบ้านที่ก่อสร้างในปัจจุบัน และภายใน 5ปีที่ผ่านมา (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550)

1.6.3 การทดลองภาคสนาม

การทดลองภาคสนามเป็นการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศจากอาคารกรณีศึกษาโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ซึ่งใช้ประตูลม (Blower Door) ในการทดสอบการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร วิธีการทดสอบนี้จะวัดอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคารที่อยู่ภายใต้การควบคุมความดันในระดับต่างๆ โดยการอัดอากาศเข้าไปในห้องที่ทดลอง และดูดอากาศออกจากห้องที่ทำการทดลอง ซึ่งทำการวัดค่าความแตกต่างของความดันอากาศภายนอกและภายใน โดยนำค่าดังกล่าวมาคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศจากสมการ

$$Q = C\,(dP)^{n}$$

เมื่อ

Q = อัตราการรั่วซึมของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

dP = ความดันแตกต่าง, Pa

C = สัมประสิทธิ์การรั่วซึมของอากาศ

n = pressure exponent มีค่าตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.0

สมการดังกล่าวข้างต้นนี้จะใช้เป็นสมการหลักและเป็นสมการพื้นฐานใช้ในการประเมินอัตราการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคารและนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าการใช้พลังงานต่อไป

1.6.4 การจำลองค่าการรั่วซึมอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E เพื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

ใช้โปรแกรม DOE-2.1E ช่วยคำนวณการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปีโดยอาศัยฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งนำมาจัดรูปแบบเป็นไฟล์ชนิดต่าง ๆ เช่น TRY TMY2 WYEC หรืออื่น ๆ ซึ่งจะทำหน้าที่ตั้งแต่การคำนวณภาระการทำความเย็น จนถึงการใช้พลังงานในส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคาร ทั้งในส่วนของระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า DOE 2.1E จะคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) จากปัจจัยภายนอกอาคารซึ่ง ได้แก่ การนำความร้อนจากผนังภายนอก การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านช่องหน้าต่าง และการรั่วซึมของอากาศภายนอกนำมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในอาคารซึ่งได้แก่ ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง และความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อนำภาระการทำความเย็นจากภายนอกมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในแล้ว DOE 2.1E ก็จะสามารถคำนวณขนาดของเครื่องปรับอากาศและปริมาณการใช้พลังงาน (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550)

ในการจำลองค่าการรั่วซึมอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E จะมุ่งเน้นผลการคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเป็นหลัก โดยการนำข้อมูลการรั่วซึมอากาศจากการทดลองภาคสนามมาใส่ในโปรแกรม และสั่งให้โปรแกรมทำการจำลอง และรายงานค่าการใช้พลังงาน โดยกำหนดให้ตัวแปรต้น คืออัตราการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร ตัวแปรตาม คือค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ($kWh/m^2/yr.$) และตัวแปรคงที่ คือ องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัยที่เป็นกรณีศึกษา เช่น การบังแดดของชายคา พื้นที่ช่องเปิด (WWR) ชนิดวัสดุเปลือกอาคาร ลักษณะทิศทางการวางอาคาร

1.6.5 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองภาคสนามและการจำลองการรั่วซึมอากาศเพื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E สามารถรวบรวมและจัดเป็นหมวดตามเรื่องที่ศึกษา ดังนี้

1.6.5.1 ข้อมูลเปรียบเทียบค่าการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทยกับบ้านร่วมสมัย

1.6.5.2 ข้อมูลการจำลองการใช้พลังงาน ค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในระดับต่างๆ ต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากโปรแกรม DOE-2.1E เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าการรั่วซึมที่เหมาะสมต่อไป

1.6.5.3 ข้อมูลเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่เกิดจากการรั่วซึมอากาศในอาคารเรือนไทยกับบ้านร่วมสมัย

1.6.6.วิเคราะห์และประเมินผล

เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นหมวดหมู่แล้ว จึงนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ และประมวลผลโดยการใช้หลักสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถวิเคราะห์ และประมวลผลตามเรื่องที่ศึกษา ดังนี้

1.6.6.1 วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทย

1.6.6.2 วิเคราะห์ค่าการรั่วซึมอากาศในระดับต่างๆ ต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เพื่อนำเสนอค่าการรั่วซึมที่เหมาะสม ในอาคารเรือนไทยและบ้านพักอาศัยทั่วไป

1.6.6.3 วิเคราะห์ถึงองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่แตกต่างกันระหว่างอาคารเรือนไทยกับบ้านร่วมสมัย ที่ส่งผลต่อค่าการรั่วซึมอากาศและค่าการใช้พลังงาน

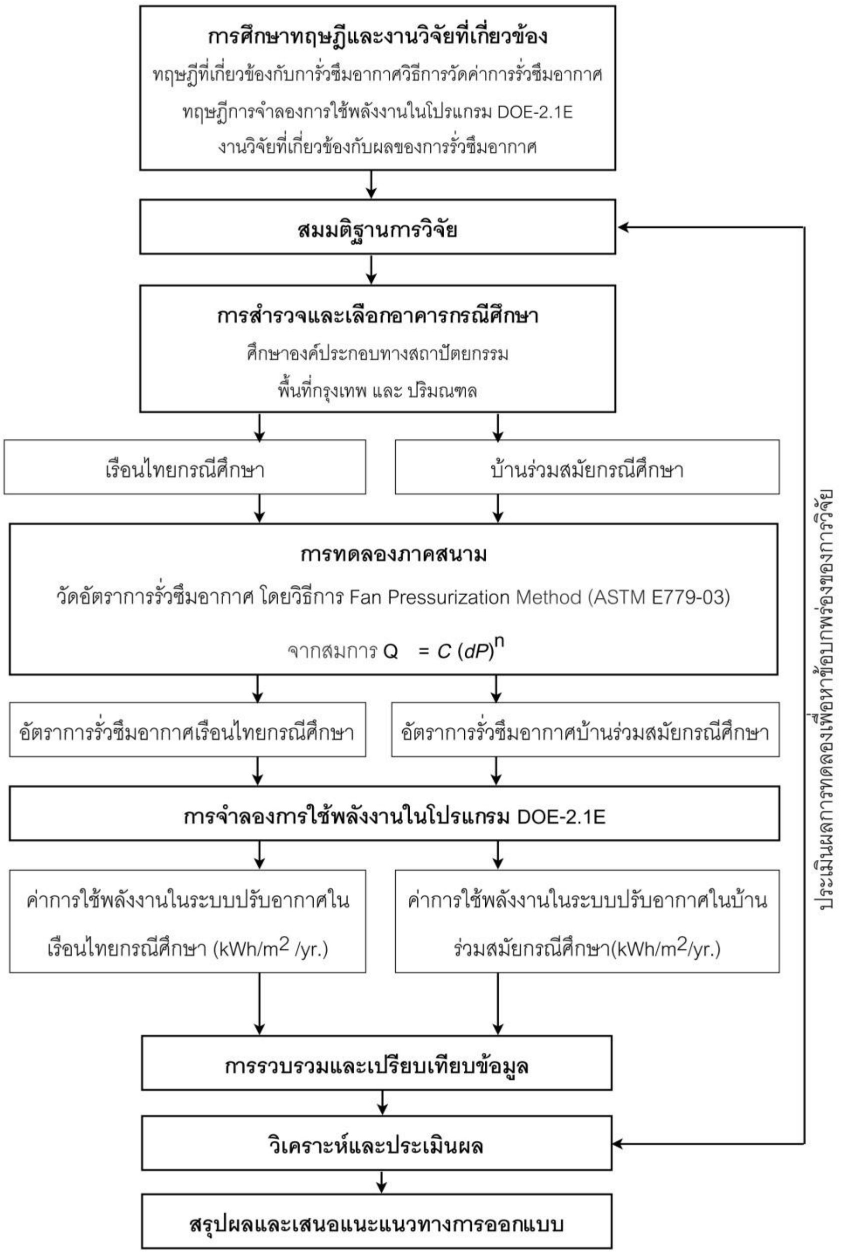
1.6.6.4 วิเคราะห์ถึงแนวทางในการปรับปรุงอาคารเรือนไทยและบ้านพักอาศัยทั่วไปให้มีค่าการรั่วซึมอากาศที่เหมาะสมและส่งเสริมการประหยัดพลังงาน

1.6.6.5 ประเมินผลการทดลองเพื่อหาข้อบกพร่องของการวิจัย เพื่อประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

1.6.7 สรุปผลและเสนอแนะแนวทาง

ทำการสรุปผลและนำเสนอแนวทางการออกแบบบ้านพักอาศัย ทั้งรูปแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมและให้มีค่าอัตราการรั่วซึมอากาศที่เหมาะสม เพื่อส่งเสริมการประหยัดพลังงานในอาคารต่อไป

แผนผังการวิจัย



ภาพที่ 1.1 แผนผังแสดงระเบียบวิธีวิจัย

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ทราบถึงอัตราการรั่วซึมอากาศในอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัยทั่วไป

1.7.2 ทราบถึงอัตราการรั่วซึมอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E ของอาคารเรือนไทย เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านร่วมสมัย

1.7.3 ทราบถึงแนวทางการออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม และค่าอัตราการรั่วซึมอากาศที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร เพื่อส่งเสริมการประหยัดพลังงานในอาคาร

ตารางที่ 1.1 แสดงสรุปวัตถุประสงค์ วิธีการวิจัยและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ลำดับที่	วัตถุประสงค์การวิจัย	วิธีการวิจัย	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
1	เพื่อศึกษาและวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในอาคารเรือนไทยเปรียบเทียบกับบ้านร่วมสมัย	ทดลองวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779-03	ทราบถึงปริมาณการรั่วซึมอากาศในอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย
2	เพื่อศึกษาและวิเคราะห์อัตราการรั่วซึมอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ	จำลองการรั่วซึมอากาศและคำนวณค่าการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E	ทราบถึงการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมอากาศ
3	เพื่อเปรียบเทียบการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมอากาศ ระหว่างอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย	จำลองการรั่วซึมอากาศและคำนวณค่าการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E	ทราบถึงการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมอากาศระหว่างอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในเรื่องของการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร และผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในบ้านพักอาศัย โดยข้อมูลหลักสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ส่วน ดังนี้

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึม

2.2 วิธีการวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศ (Air Infiltration Measurements)

2.3 แนวคิดของการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

2.4 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยภาคกลาง

2.5 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของบ้านร่วมสมัย

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมอากาศและการใช้พลังงานในอาคาร

2.7 สรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมอากาศ

2.1.1 การระบายอากาศและการรั่วซึมของอากาศ (Ventilation and Infiltration)

การแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างอากาศภายนอกและภายใน สามารถที่จำแนกออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ คือ การระบายอากาศ (Ventilation) และการรั่วซึมของอากาศ (Infiltration) โดยมีความหมาย ดังนี้

2.1.1.1 การระบายอากาศ (Ventilation) คือ อากาศภายนอกที่ผ่านเข้าสู่อาคารโดยความตั้งใจหรือถูกออกแบบให้เกิดการไหลเวียนของอากาศเข้าสู่อาคารอย่างตั้งใจและได้มีการคิดคำนวณไว้ก่อนแล้ว สามารถที่จะแบ่งแยกย่อยออกได้อีกเป็น 2 ลักษณะ คือ

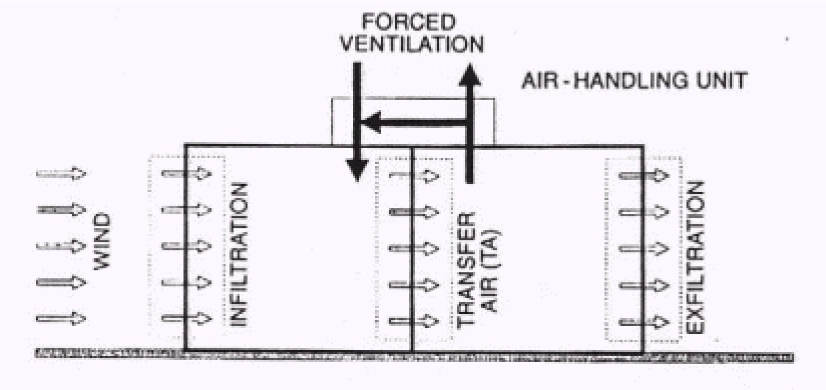
2.1.1.1.1 การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural Ventilation) คือการไหลเวียนของอากาศเข้าอาคารที่เกิดจากธรรมชาติ ผ่านทางช่องเปิดต่างๆ เช่น ประตู หน้าต่าง และกรอบของอาคารที่ได้ถูกออกแบบไว้แล้ว ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศ

2.1.1.1.2 การระบายอากาศแบบบังคับ (Forced Ventilation) คือ การไหลเวียนของอากาศเข้าอาคารโดยการออกแบบ บังคับจากเครื่องกล มีการใช้พัดลมในการนำอากาศเข้าและออกจากอาคารผ่านทางช่องรับลมเข้าและช่องระบายอากาศ (Air Intake and Air Exhaust) หรือสามารถที่จะเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าการไหลเวียนอากาศโดยเครื่องกล (Mechanical Ventilation)

2.1.1.2 การรั่วซึมของอากาศ (Infiltration) คือ การไหลผ่านของอากาศภายนอกเข้าสู่อาคารที่ไม่สามารถควบคุมได้ ผ่านทางรอยแตกหรือช่องเปิดที่ไม่เป็นที่ต้องการให้อากาศไหลผ่านเข้ามา และการรั่วซึมของอากาศผ่านทางการใช้งานปกติของทางเข้า ประตู หน้าต่าง Infiltration หรืออีกนัยหนึ่งคือ การรั่วของอากาศ (Air Leakage) เข้าสู่อาคารนั่นเอง นอกจากนี้ยังมีการไหลของอากาศอีกประเภท คือ การรั่วซึมของอากาศออกนอกอาคาร (Exfiltration) การรั่วซึมของอากาศเกิดจากสองลักษณะ คือ เกิดตามธรรมชาติและเกิดการสร้างความแตกต่างของแรงดันอากาศโดยฝีมือมนุษย์

ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการเกิด Infiltration และ Exfiltration ผ่านส่วนประกอบต่างๆของอาคาร (Chicagoheating-repair, 2011: online)

ในอาคารที่มีการปรับอากาศภายในอาคาร การรั่วซึมของอากาศจะส่งผลกระทบเป็นอย่างมากต่อการใช้พลังงานในอาคาร ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการกำจัด ความร้อนและความชื้นที่เกิดจากอากาศภายนอก หรือการเปิดช่องเปิดเพื่อให้เกิด Natural Ventilation ในอาคารที่มีการปรับอากาศ โดยเฉพาะอาคารที่มีลักษณะผอมสูง และอยู่ภายใต้แรงดันของอากาศ



ภาพที่ 2.2 แสดงพื้นที่อาคาร 2 ส่วนที่เกิด Forced Ventilation Infiltration และ Exfiltration (Ventilation and Infiltration, 2009: 27.1)

2.1.1.3 พื้นฐานของการรั่วซึมอากาศในอาคาร

พื้นฐานการรั่วซึมของอากาศในอาคารเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำความเข้าใจก่อนทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคาร การรั่วซึมอากาศ (Air Leakage) มีอยู่สองลักษณะ คือ การรั่วซึมของอากาศภายนอกเข้ามาภายในตัวอาคาร (Infiltration) และ การรั่วซึมของอากาศภายในออกสู่ภายนอกอาคาร (Exfiltration) ปัจจัยที่ทำให้เกิดการรั่วซึมอากาศ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร และความแตกต่างของความดันอากาศภายในและภายนอกอาคารที่เกิดจากความเร็วลม ซึ่งลักษณะของการรั่วซึมอากาศมีอยู่ 5 ลักษณะ คือ

1) Stack Effect คือ ลักษณะที่มวลของอากาศร้อนลอยตัวขึ้นข้างบน ทำให้เกิดการรั่วซึมอากาศบริเวณส่วนบนสุดของอาคาร และมวลของอากาศเย็นจากภายนอกไหลเข้ามาแทนที่มวลอากาศร้อนบริเวณส่วนล่างของอาคาร (หมายเหตุ: ในกรณีที่อากาศภายนอกร้อนกว่าอากาศภายใน ลักษณะการเกิดจะกลับกัน) ในฤดูหนาวผลจาก Stack Effect จะทำให้เกิดความดันอากาศที่เป็นบวกบริเวณส่วนบนสุดของอาคาร และความดันอากาศที่เป็นลบบริเวณบริเวณส่วนล่างของอาคาร โดยความดันอากาศแบบ Stack Effect เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกับอุณหภูมิภายนอก และระดับความสูงของอาคาร ในบ้านที่อยู่ในเขตสภาพอากาศแบบหนาวจะเกิด Stack Effect มากที่สุดในฤดูหนาว และเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดที่ทำให้เกิดการรั่วซึมอากาศ

2) ความดันอากาศที่เกิดจากกระแสลม (Wind Pressure) กระแสลมที่พัดเข้ามาหาตัวอาคาร จะทำให้อากาศภายนอกไหลเข้าสู่ตัวอาคารด้านที่อยู่เหนือลม และอากาศภายในอาคารจะรั่วซึมออกจากอาคารในด้านที่อยู่ใต้ลม ในสภาพอากาศที่มีลมแรง Wind Pressure จะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการรั่วซึมอากาศ

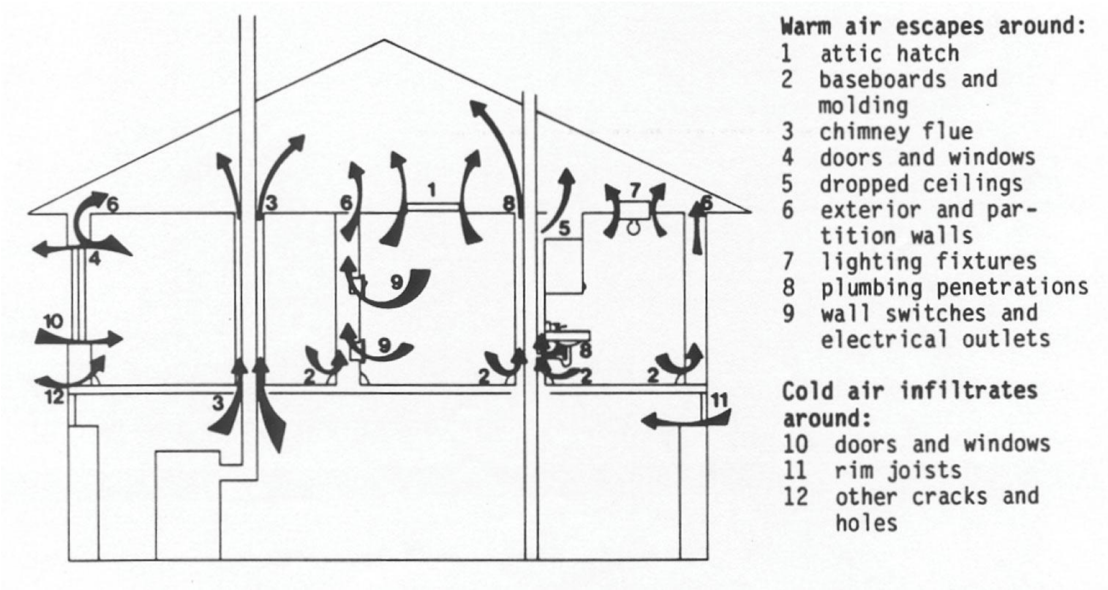
3) จุดของระบบระบายอากาศหรือจุดจ่ายของระบบปรับอากาศ เครื่องดูดควันในห้องครัวและพัดลมระบายอากาศในห้องน้ำ ทำหน้าที่ในการระบายอากาศออกสู่ภายนอก เมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำให้อากาศไหลออกจากตัวอาคาร และทำให้ภายในอาคารเกิดความดันอากาศที่เป็นลบ ส่งผลให้อากาศภายนอกที่มีความดันอากาศมากกว่าไหลหรือรั่วซึมเข้ามาภายในอาคารบริเวณรูหรือรอยรั่วของเปลือกอาคาร ในส่วนของพัดลมที่เป็นจุดจ่ายของระบบปรับอากาศ ทำหน้าที่จ่ายอากาศเข้ามาในอาคาร ส่งผลให้เกิดความดันอากาศที่เป็นบวก และจะดันอากาศภายนอกไม่ให้ไหลเข้ามาบริเวณรูหรือรอยรั่วของเปลือกอาคาร

4) การรั่วบริเวณท่อจ่ายของระบบปรับอากาศ การรั่วบริเวณท่อจ่ายของระบบปรับอากาศสู่ภายนอก ทำให้เกิดความดันที่ส่งผลให้เกิดการรั่วซึมในอาคารมากขึ้น การรั่วบริเวณท่อจ่ายทำหน้าที่เหมือนกับพัดลมระบายอากาศ คือจะทำให้อากาศไหลออกจากตัวอาคาร และทำให้ภายในอาคารเกิดความดันอากาศที่เป็นลบ การรั่วในท่อที่เป็นระบบรีเทิน ทำหน้าที่เหมือนท่อจ่ายอากาศในระบบปรับอากาศ คือทำให้อากาศไหลเข้ามาในอาคาร ส่งผลให้เกิดความดันอากาศที่เป็นบวก

5) การเปิดปิดประตูควบคู่กับแรงลมจากระบบปรับอากาศ การเปิด-ปิดประตูบ่อยๆ ในขณะที่มีการเปิดระบบปรับอากาศ จะทำให้เกิดการรั่วซึมอากาศในลักษณะที่คล้ายกับการรั่วบริเวณท่อจ่ายของระบบปรับอากาศ คือจะทำให้อากาศไหลออกจากตัวอาคาร และส่งผลให้ระบบจ่ายอากาศและระบบรีเทิน ทำงานไม่สมดุลกัน

2.1.1.4 บริเวณที่มักเกิดการรั่วซึมของอากาศในอาคาร

บริเวณที่มักเกิดการรั่วซึมของอากาศในอาคาร สามารถแสดงได้จากภาพที่ 2.3

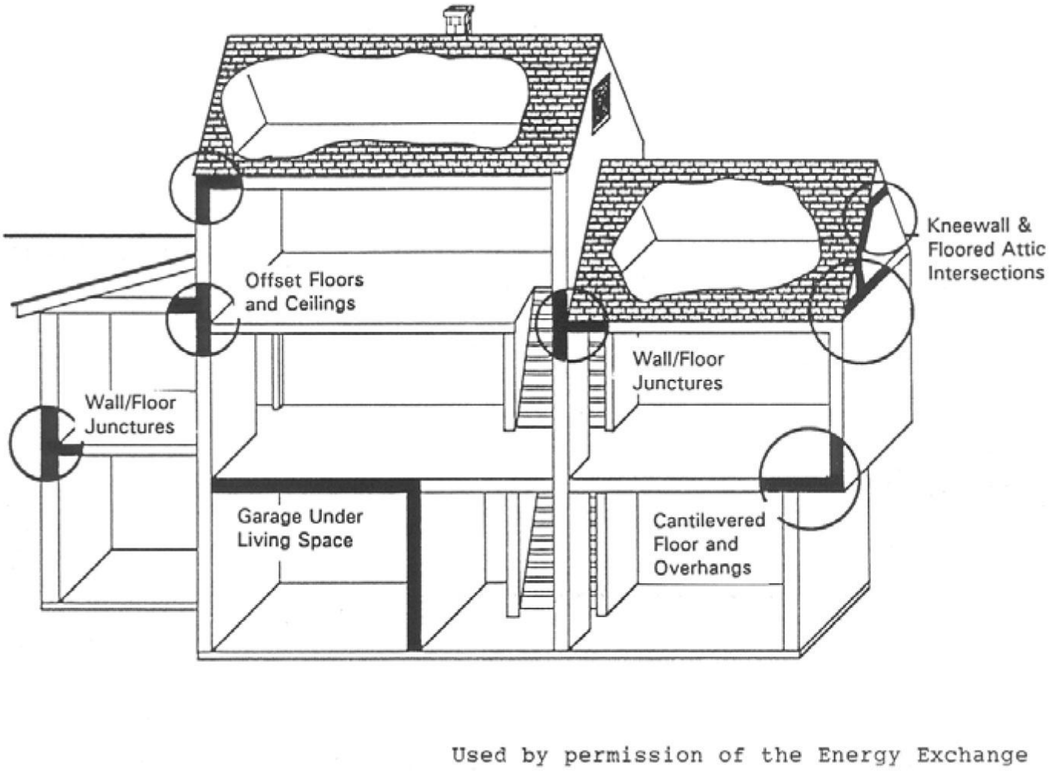


ภาพที่ 2.3 แสดงบริเวณที่มักเกิดการรั่วซึมของอากาศในอาคาร ในบ้านพักอาศัยที่อยู่ในเขตภูมิอากาศแบบหนาว (Energy Conservatory, 2010: online)

จากภาพที่ 2.3 จะเห็นว่าอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้นข้างบนที่เกิดจาก Stack Effect ทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศที่รูและรอยรั่วบริเวณส่วนบนของอาคาร ซึ่งเป็นผลมาจากเกิดความดันอากาศที่เป็นลบบริเวณส่วนล่างของอาคาร ทำให้เกิดการดึงเอาอากาศเย็นจากภายนอกเข้ามาในอาคารผ่านรูหรือรอยรั่วบริเวณชั้นล่างของอาคาร ในการปิดรอยรั่วเพื่อป้องการการรั่วซึมของอากาศ ควรเริ่มจากบริเวณส่วนบนของอาคารก่อน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นจุดที่มีความดันอากาศเป็นบวกมากกว่าจุดอื่นๆ และมีจุดรั่วซึมมากที่สุด

จุดที่สำคัญที่สุดอีกจุดหนึ่งคือ การรั่วซึมบริเวณส่วนล่างสุดของอาคาร ในบริเวณนี้จะมีความดันอากาศเป็นลบปริมาณมาก ทำให้อากาศเย็นจากภายนอกรั่วซึมเข้ามาในอาคาร ควรทำการปิดรอยรั่วบริเวณนี้เช่นกัน

นอกจากนี้บริเวณที่มักมีการรั่วซึมของอากาศอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนของโครงสร้างที่ไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น บริเวณรอยต่อของชายคา พื้นยื่น ซึ่งจำเป็นต้องใช้ช่างผู้เชี่ยวชาญเข้าไปสำรวจ และทำการปิดรอยรั่ว ซึ่งบริเวณที่มักเกิดการรั่วซึมของอากาศ ที่ซ่อนอยู่ในโครงสร้างอาคาร ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงบริเวณที่มักเกิดการรั่วซึมของอากาศ ที่ซ่อนอยู่ในโครงสร้างอาคาร
(Energy Conservatory, 2010: online)

2.1.2 **อัตราการไหลเวียนของอากาศ** (Air Exchange Rate)

อัตราการไหลเวียนของอากาศนี้ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างการไหลของอากาศกับปริมาตร โดยมีสัญลักษณ์ คือ I

$$I = Q / V$$

เมื่อ

Q คือ ปริมาณของอากาศที่ไหลเข้าสู่อาคาร, CFM หรือ m^3/s

V คือ ปริมาตรของห้องภายใน, ft^3 หรือ m^2

อัตราการไหลเวียนของอากาศ เป็นหน่วยที่ต้องใช้ในการเทียบระหว่าง 1 / เวลา อาทิเช่นเมื่อหน่วยเวลาเท่ากับ 1 ชั่วโมง เพราะฉะนั้น อัตราการไหลเวียนของอากาศ ก็จะเรียกว่า Air Change per Hour (ACH) อัตราการไหลเวียนของอากาศ นี้สามารถที่จะจำแนกออกได้เป็น

หลายๆแบบในแต่ละสถานะภาพ เช่น อัตราการไหลเวียนของอากาศ ของอาคารทั้งหลังที่ได้จาก Air Handling Unit (AHU) นั้นคำนวณได้จากปริมาณการไหลเวียนของอากาศที่เข้าสู่อาคาร เปรียบเทียบกับปริมาตรของอาคาร หรือพื้นที่ที่ต้องจ่ายให้ จึงทำให้สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า Nominal Air Exchange Rate หรือ I_N โดยที่

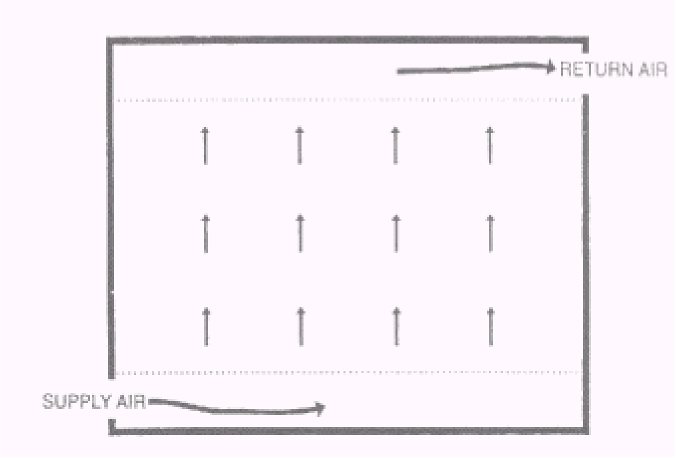
$$I_N = Q_{oa} / V$$

เมื่อ

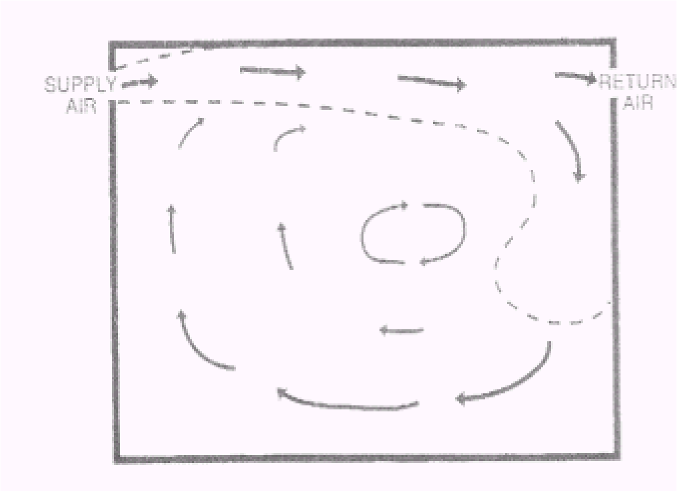
Q_{oa} คือ ปริมาณของอากาศภายนอกที่เข้าสู่อาคาร ซึ่งรวมระหว่าง Ventilationและ Infiltration แต่ทั้งนี้ไม่ได้รวมถึงอากาศที่ใช้ในการไหลเวียน

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

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



ภาพที่ 2.5 Displacement flow within a space (Ventilation and Infiltration, 2009: 27.3)



ภาพที่ 2.6 Entrainment flow within a space (Ventilation and Infiltration, 2009: 27.3)

2.1.3 ค่าTime Constant

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

$$T = 1/I = V/Q$$

ค่า Nominal time constant เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง ปริมาตรของอาคารหรือโซนภายในกับปริมาตรอากาศภายนอก (Outdoor air flow rate)

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

เช่นเดียวกันกับ Nominal air exchange rate ค่า Nominal time constant ไม่สามารถที่จะอธิบายการไหลเวียนของอากาศภายในอาคารได้และยังไม่สามารถแสดงลักษณะของการกระจายอากาศจากภายนอกเข้าสู่พื้นที่ที่ไม่ติดต่อกันภายในอาคารหรือโซนได้

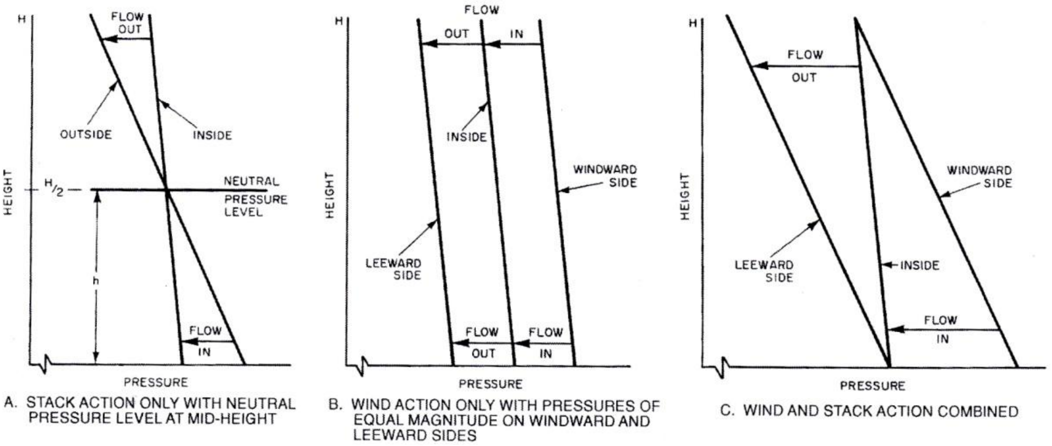
ค่า Space time constant เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างปริมาตรของพื้นที่ภายในกับผลรวมของอากาศดีที่จ่ายให้กับพื้นที่นั้นๆ และเป็นส่วนกลับของ ค่า Space air exchange rate

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

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

2.1.4 **ระบบกลศาสตร์การเคลื่อนที่** (Driving Mechanism)

การไหลเวียนอากาศอากาศธรรมชาติ(Natural Ventilation) และการรั่วซึมของอากาศ (Infiltration) เกิดจากปัจจัยต่างๆ คือ 1) เกิดความดันอากาศที่แตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารผ่านเปลือกอาคารที่เป็นผลมาจากลม 2) ความหนาแน่นของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร เช่น Buoyancy หรือ The Stack Effect) และ 3) การใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องควบคุมการเผาไหม้ ระบบ Leaky forced-air thermal distribution และระบบ Ventilation โดยการใช้เครื่องกล



ภาพที่ 2.7 Distribution of Inside and Outside Pressures over Height of Building

(Ventilation and Infiltration, 2009: 27.7)

2.2 วิธีการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ (Air Infiltration Measurements)

วิธีการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศมีอยู่หลายมาตรฐานและหลายวิธีการด้วยกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการทดสอบ โดยวิธีการทดสอบการรั่วซึมอากาศที่นิยมใช้กัน มีดังนี้ คือ

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

2.2.2 ASTM E783 Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage through Installed Exterior Windows and Doors.

2.2.3 ASTM E741 Standard Test Method for Measuring Air Leakage rate by Tracer Dilution.

2.2.4 ASTM E283 Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors under Specified Pressure Differences Across the Specimen

2.2.5 ISO-9972 Thermal Performance of Buildings Determination of Air Permeability of Buildings Fan Pressurization Method

2.2.6 CGSB Standard 149.10 Determination of the Air tightness of Building Envelope by Fan Pressurization Method

จากวิธีการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศดังกล่าวข้างต้น สามารถเปรียบเทียบวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบได้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงวัตถุประสงค์และวิธีการทดสอบของมาตรฐานการวัดค่ารั่วซึมของอากาศ

ลำดับที่	มาตรฐานการทดสอบ	วัตถุประสงค์ของการทดสอบ	วิธีการทดสอบ
1	ASTM E779	วัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร และวัดความหนาแน่นของเปลือกอาคาร	ใช้ Blower Door อัดอากาศเข้าและดูดอากาศออก โดยให้เกิดความดันแตกต่างระดับต่างๆ และวัดอัตราการไหลของอากาศ
2	ASTM E783	วัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านกรอบประตูหน้าต่าง	ใช้พัดลมเป่าเข้าไปใน Test Chamber ที่สร้างไว้บริเวณประตูหน้าต่าง และวัดอัตราการไหลของอากาศผ่านประตูหน้าต่าง
3	ASTM E741	หาจุดรั่วและวัดอัตราการไหลของอากาศโดยใช้ Tracer Gas	คำนวณอัตราการไหลของอากาศจากอัตราการไหลของ Tracer Gas
4	ASTM E283	วัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านกรอบประตูหน้าต่างและผนัง	ใช้พัดลมทำให้เกิดความดันแตกต่างระดับต่างๆ และวัดอัตราการไหลของอากาศ
5	ISO-9972	วัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร	ใช้ Blower Door อัดอากาศเข้าและดูดอากาศออก โดยให้เกิดความดันแตกต่างระดับต่างๆ และวัดอัตราการไหลของอากาศ
6	CGSB Standard 149.10	วัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร โดยเน้นเฉพาะบ้านพักอาศัย	ใช้ Blower Door อัดอากาศเข้าและดูดอากาศออก โดยให้เกิดความดันแตกต่างระดับต่างๆ และวัดอัตราการไหลของอากาศ

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าวิธีการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคารนิยมใช้วิธีการ Fan Pressurization Testing หรือเรียกว่า Blower Door Test ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ทำได้รวดเร็ว และค่าใช้จ่ายในการทดสอบไม่แพงนัก วิธีการทดสอบนี้ได้แก่ ASTM E779, ISO-9972 และ CGSB Standard 149.10 วิธีการนี้สามารถวัดอัตราการรั่วซึมอากาศของอาคารได้ทั้งหลัง ทำโดยการอัดอากาศเข้าไปในห้องที่ทดลอง และดูดอากาศออกจากห้องที่ทำการทดลอง ซึ่งทำการวัดค่าความแตกต่างของความดันอากาศภายนอกและภายใน และอัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร และสามารถนำไปคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อไป

ส่วนวิธีการวัดการรั่วซึมอากาศผ่านกรอบประตูหน้าต่างนั้น จะวัดการรั่วซึมอากาศเฉพาะบริเวณกรอบและรอยต่อของประตูหน้าต่างและผนังเท่านั้น ไม่สามารถวัดการรั่วซึมอากาศที่เกิดจากส่วนประกอบอื่นๆของอาคารได้ ซึ่งไม่สามารถคำนวณค่าการรั่วซึมอากาศของอาคารได้ทั้งหลัง วิธีการทดสอบนี้ได้แก่ ASTM E783 และ ASTM E283

สำหรับการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศโดยใช้ Tracer Gas ตามมารฐาน ASTM E741 นั้นเป็นวิธีที่ผู้ทดสอบต้องมีความรู้และความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับ Trace Gas ค่อนข้างสูง และค่าใช้จ่ายในการทดสอบค่อนข้างสูงเช่นกัน จึงไม่เป็นที่นิยมมากนักในการวัดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ แต่นิยมนำไปทดสอบเพื่อหาจุดรั่วของเปลือกอาคารที่ขนาดพื้นที่ของห้องไม่กว้างนัก

ในบทนี้จึงขอแสดงเฉพาะรายละเอียดมาตรฐานการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization และ ASTM E783 Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage through Installed Exterior Windows and Doors โดยมีรายละเอียดของมาตรฐานดังต่อไปนี้

2.2.1 มาตรฐานวิธีการทดสอบเพื่อกำหนดอัตราการรั่วซึมของอากาศด้วยพัดลมแรงดัน ASTM E 779-03 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization

ภาพที่ 2.8 แสดงวิธีการวัดการรั่วซึมของอากาศโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779-0 (Infrared diagnostic, 2011: online)

2.2.1.1 ขอบเขต

1) วิธีการทดสอบนี้จะอธิบายถึงเทคนิคที่เป็นมาตรฐานสำหรับการวัดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร ที่อยู่ภายใต้การควบคุมโดยการอัดความดันเข้าและดูดความดันออก

2) วิธีการทดสอบนี้สามารถใช้ได้กับสภาพที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิไม่มากและสภาพที่มีความดันจากกระแสลมต่ำ สำหรับการทดสอบในภาคสนามนั้นจำเป็นต้องตรวจสอบสภาพของพื้นที่ว่าเหมาะสมที่จะทำการทดสอบหรือไม่ ถ้าหากมีกระแสลมแรงและอุณหภูมิภายใน-ภายนอกมีความแตกต่างกันมาก ควรหลีกเลี่ยงการทดสอบในพื้นที่นั้น

3) วิธีการทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัววัดของความหนาแน่นอากาศของเปลือกอาคาร การทดลองนี้ไม่ได้วัดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศภายใต้สภาพอากาศที่ปกติ

4) วิธีการทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดของความหนาแน่นอากาศของเปลือกอาคารของอาคารโซนเดียว และวิธีการทดสอบนี้สามารถใช้กับอาคารหลายโซน เสมือนอาคารโซนเดียวได้โดยการเปิดประตูภายใน หรือทำให้เกิดแรงดันที่เท่าเทียมกันในโซนที่อยู่ติดกัน

5) มาตรฐานนี้วัตถุประสงค์ไม่ได้ครอบคลุมถึงมาตรการด้านความปลอดภัย ซึ่งเป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐานนี้ เพื่อความปลอดภัยควรปฏิบัติตามคำแนะนำในการป้องกันอันตราย ในหัวข้อที่ 2.2.1.7

2.2.1.2 เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐานการทดสอบและวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา ASTM Standard:

E 741 วิธีการทดสอบเพื่อกำหนดค่าการเปลี่ยนอากาศ (Air Change) ในพื้นที่โซนเดียว โดยวิธีการใช้ก๊าซเจือจาง (Tracer Gas Dilution)

E 1258 วิธีการทดสอบ เพื่อเทียบมาตรฐานการไหลเวียนอากาศของอุปกรณ์พัดลมแรงดัน

2.2.1.3 คำศัพท์

1) ความหมายของคำที่เฉพาะเจาะจงตามมาตรฐานนี้:

1.1) อัตราอากาศเปลี่ยนอัตรา (Air Change Rate) คือ อัตราการรั่วซึมของอากาศในหน่วย ปริมาตร/ชั่วโมง หรือเรียกว่า การเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง (Air Change per Hour), ACH

1.2) กราฟการรั่วซึมของอากาศ (Air-Leakage Graph) คือ กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของอากาศกับ ความแตกต่างความดันที่วัดได้ มักจะนำมาสร้างกราฟโดยการทำเป็น log - log scale

1.3) อัตราการรั่วซึมของอากาศ (Air Leakage Rate) คือ ปริมาตรการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารต่อหนึ่งหน่วยเวลา การไหลของอากาศนี้ รวมถึงการไหลของอากาศผ่าน รอยต่อ, รอยแตก, และผนังที่มีรูพรุน, หรือทั้งหมดรวมกัน ที่ส่งผลทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศ จากความดันทางกล, ความดันจากกระแสลม, หรือความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร, หรือทั้งหมดรวมกัน

1.4) เปลือกอาคาร (Building Envelope) คือ แนวแบ่งเขตหรือแนวกั้นเพื่อแยกปริมาตรภายในอาคารออกจากสภาพแวดล้อมรอบนอกอาคาร สำหรับวัตถุประสงค์ของวิธีการทดสอบนี้ พื้นที่ภายในอาคาร คือ พื้นที่ภายในทั้งหมดที่มีการปรับอากาศ ซึ่งไม่รวมถึง ห้อง

ใต้หลังคา, ชั้นใต้ดิน, ส่วนที่เป็นโครงสร้าง เช่น ที่จอดรถ และส่วนที่เชื่อมต่อกับระบบปรับอากาศ เช่น ช่องท่อระบบปรับอากาศใต้ฝ้าเพดาน

1.5) โซนเดี่ยว (Single Zone) คือ พื้นที่ที่มีความแตกต่างของความดันที่จุดใดๆสองจุด มีค่าต่างกันไม่เกิน 5% ของค่าความดันต่างจากภายในสู่ภายนอก สำหรับพื้นที่หลายห้องที่มีการเชื่อมต่อกันโดยมีประตูเปิดอยู่ที่ผนังหรือพื้น ถือว่าเป็นพื้นที่โซนเดี่ยว ถ้าค่าอัตราการไหลของอากาศโดยใช้พัดลม วัดได้น้อยกว่า 3 m^3/s (6 X 10^3 ft^3 /min)

1.6) การทดสอบความดันต่าง (Test Pressure Difference) คือ การวัดค่าความดันแตกต่างข้ามเปลือกอาคาร มีหน่วยเป็นปาสคาล (Pascal) หรือ in of water หรือ pounds-force/ft^3 หรือ in of mercury

2.2.1.4 **สรุปสาระสำคัญของวิธีการทดสอบ**

วิธีการทดสอบนี้ประกอบด้วยการเพิ่มและลดความดันของอาคารโดยใช้วิธีกล และวัดค่าอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) ที่เกิดจากความแตกต่างของความดันของภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งความสัมพันธ์ของค่าอัตราการไหลของอากาศและค่าความดันแตกต่าง สามารถนำมาประเมินลักษณะการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคารได้

2.2.1.5 **นัยสำคัญและการใช้งาน**

1) การรั่วซึมอากาศเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อภาระการทำงานของระบบปรับอากาศ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อสภาวะน่าสบายและคุณภาพอากาศภายในอาคารอีกด้วย

2) ในอาคารเพื่อการพาณิชย์และอุตสาหกรรม การออกแบบควรคำนึงถึงสภาพอากาศภายนอก การรั่วซึมอากาศจึงเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญมากขึ้นในการออกแบบ โดยส่วนใหญ่อาคารประเภทที่พักอาศัย มีการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างภายในและภายนอก จากการรั่วซึมของอากาศผ่านรอยแตกหรือรอยต่อของการก่อสร้าง และสามารถเกิดจากความแตกต่างของความดันอากาศ ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ กระแสลม การทำงานของพัดลม เช่น เครื่องดูดควันในห้องครัว พัดลมดูดอากาศในห้องน้ำ และการทำงานของอุปกรณ์การเผาไหม้ภายในอาคาร

3) การทดสอบโดยการใช้พัดลมแรงดัน เป็นวิธีที่ง่ายกว่าการวัดโดยการใช้ก๊าซเฉื่อย (Tracer Gas) สามารถบอกลักษณะความหนาแน่นของเปลือกอาคาร เพื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของอาคารที่มีลักษณะคล้ายกันได้ ใช้เพื่อหาแหล่งที่ทำให้เกิดการรั่วซึม และหาค่า

อัตราการรั่วซึมจากองค์ประกอบต่างๆของอาคาร และใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงอาคารเดิม เพื่อให้ค่าการรั่วซึมอากาศลดลง

2.2.1.6 อุปกรณ์

การทดสอบนี้มีอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

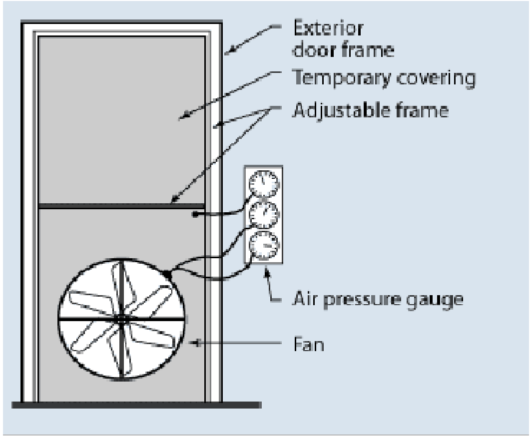
1) อุปกรณ์ที่ทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ เช่น พัดลม Blower หรือ Blower Door ที่สามารถทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ทั้งเคลื่อนที่เข้าและออกจากพื้นที่ห้องปรับอากาศ เพื่อวัดค่าอัตราการไหลของอากาศภายใต้ช่วงของความดันแตกต่างหลายๆช่วง ระบบจะสามารถบอกค่าการไหลของอากาศในแต่ละความดันต่าง ในช่วงความดันที่กำหนด

2) เครื่องมือวัดความดัน เช่น Manometer หรือ อุปกรณ์วัดความดันที่สามารถวัดความดันต่าง และมีความแม่นยำในการวัดความดัน ±5%

3) ระบบการวัดการไหลของอากาศ เช่น เครื่องมือวัดวัดการไหลของอากาศ มีความแม่นยำในการวัด ±5% เครื่องมือวัดควรมีการปรับเทียบค่าโดยใช้วิธีการ ASTM E 1258

4) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เช่น เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิ มีความแม่นยำในการวัด ± 1°C (2° F)

5) เครื่องมือวัดความเร็วลม (ซึ่งเป็นทางเลือก) เช่น เครื่องมือวัดความเร็วลม ที่มีความแม่นยำ ±0.25 m/s (0.56 mph) ที่ 2.5 m/s (5.6 mph) สมรรถนะในการวัดความเร็วลมที่ระยะห่าง 3-5 ช่วงอาคาร อยู่สูงจากอาคารในตำแหน่งที่เหมาะสม และอยู่สูงจากพื้นที่ใช้ในการวัดความเร็วลม



ภาพที่ 2.9 แสดงรายละเอียดของ Blower Door และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ
ตามมาตรฐาน ASTM E779 (Nachi, 2011: online)

2.2.1.7 อันตรายที่อาจเกิดขึ้น

1) การป้องกันดวงตา ไม่ควรมีกระจกของอาคารแตก ขณะที่มีความดันแตกต่างปกติ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยควรใช้อุปกรณ์ป้องกันสายตา

2) ชุดเซฟตี ควรใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายในสถานที่ทดสอบ ซึ่งรวมถึง รองเท้าเซฟตี และหมวกเซฟตี

3) อุปกรณ์ที่ทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ ควรมีตะแกรงป้องกันใบพัด เพื่อไม่ให้เกิดอุบัติเหตุกับชิ้นส่วนต่างๆของพัดลม หรือ Blower

4) การป้องกันเสียง ผู้ทำการทดลองควรใช้อุปกรณ์ป้องกันเสียง เพื่อป้องกันเสียงที่เกิดจากการทำงานปกติของพัดลม

5) ในช่วงทำการทดลอง พัดลม หรือ Blower จะทำให้เกิดแรงดันสูงทั้งเข้าสู่และออกจากอาคาร ควรมีการฝึกทดลองเพื่อป้องกันความเสียหายกับพืช สัตว์เลี้ยง ผู้ใช้งานอาคารหรือวัสดุพื้นผิวภายในอาคาร

2.2.1.8 ขั้นตอน

1) ทำพื้นที่ทดสอบให้เป็นพื้นที่โซนเดี่ยว (single zone) ควรเปิดประตูภายในให้มีการเชื่อมต่อกันทั้งหมด ยกเว้นตู้เสื้อผ้าควรปิด ในพื้นที่ปรับอากาศควรเปิดประตูเชื่อมต่อกัน เพื่อให้มีความดันที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ โดยมีค่า ±10% ในการวัดความดันต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ที่ความดันสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง ทำการวัดระดับจุดที่อยู่สูงสุดและจุดต่ำสุดของอาคาร และวัดจุดที่อยู่เหนือลมและจุดที่อยู่ใต้ลม

2) ในระบบ HVAC ควรปิดปล่องดูดควัน Damper และอื่นๆ จนกว่าจะทำการเป่าความดันเข้าและดูดความดันออกจากอาคารแล้วเสร็จ

3) ทำการสำรวจสภาพทั่วไปของอาคาร และบันทึกสภาพของประตู หน้าต่างหลังคาผนัง และพื้น

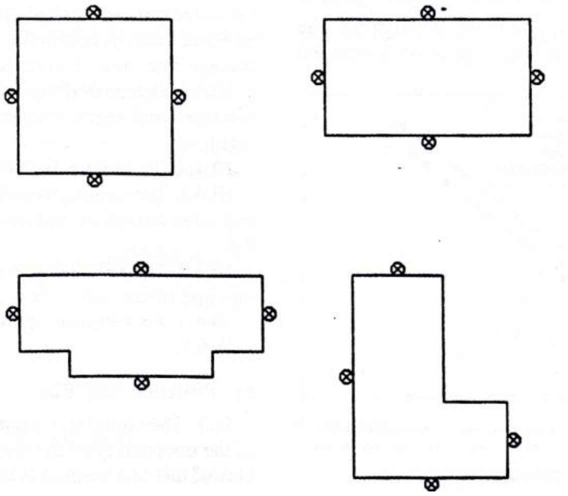
4) ทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกอาคาร ตั้งแต่การเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง และคำนวณหาค่าเฉลี่ย ถ้าผลการวัดอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิคูณด้วยความสูงของอาคาร มีค่ามากกว่า 200 m°C (1180 ft°F) ไม่ควรทำการทดลอง เพราะความดันแตกต่างที่เกิดจาก Stack Effect มีปริมาณมากเกินไป ส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้ไม่แม่นยำเท่าที่ควร

5) การทดสอบนี้ พื้นที่ทดสอบควรมีความเร็วลม 0-2 m/s (0-4 mph) และอุณหภูมิภายนอกควรอยู่ในช่วง 5-35 C (41-95 F)

6) ทำการติดตั้งท่ออากาศ หรือ Blower Door เข้ากับเปลือกอาคารโดยใช้หน้าต่าง ประตู หรือช่องระบายอากาศที่เป็นบานเปิด ทำการปิดผนึกหรือปิดเทปรอบๆบานประตูเพื่อป้องกันการรั่วซึมในจุดนี้

7) ในกรณีที่มีการใช้งาน Damper ควรปิดให้สนิท เพื่อให้การวัดความดันมีค่าเป็นศูนย์

8) ติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันโดยรอบเปลือกอาคาร ควรทำการติดตั้งมากกว่าหนึ่งตำแหน่ง เพื่อวัดค่าความดัน ตัวอย่างการติดตั้งตามรูปภาพที่ 2.10 เป็นภาพแสดงตำแหน่งที่ควรติดตั้งเครื่องวัดความดันสำหรับภายนอกอาคาร เพื่อหลีกเลี่ยงความดันอากาศจากภายนอก (บริเวณมุมภายนอกอาคาร) ตำแหน่งที่ดีที่สุดควรหลีกเลี่ยง บริเวณมุมภายนอกอาคาร และบริเวณที่งานสถาปัตยกรรมมีความซับซ้อน และควรอยู่ใกล้จุดกึ่งกลางของผนังภายนอก นอกจากนี้อาคารที่มีความสูงเกิน 3 ชั้น หรือสูง 7.5 เมตร (25.5 ft) ในส่วนของความสูงของผนัง ควรติดตั้งเครื่องวัดความดัน ในแนวตั้งของผนังภายนอกมากกว่า 1 ตำแหน่ง ค่าความดันในแต่ละตำแหน่งควรหาค่าเฉลี่ย ช่วงเวลาในการหาค่าเฉลี่ยควรมีระยะเวลาอย่างน้อย 10 วินาที



ภาพที่ 2.10 แสดงตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดความดันอากาศภายนอกอาคาร

(ASTM E779-03, 2003: 1056)

9) ให้ค่าความดันเป็นศูนย์ เมื่อปิดพัดลม ค่าความดันอากาศของเปลือกอาคารที่ค่าศูนย์ เป็นค่าที่วัดก่อนและหลังการวัดการไหล แรงดันอากาศที่เป็นศูนย์จะต้องถูกหักออกจากค่าความดันอากาศที่วัดได้ในช่วงการทดสอบอัดความดันเข้าและดูดความดันออก

10) ช่วงของความดันต่างที่ใช้ในการทดสอบ ควรเริ่มจาก 10 ถึง 60 Pa (0.04 ถึง 0.24 in. H_2O) ขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ เนื่องจากความสามารถของอุปกรณ์ ความหนาแน่นของอาคาร และสภาพอากาศ มีผลต่อการวัดการรั่วซึมอากาศ ในกรณีนี้การทดสอบควรวัดค่าความดันต่างให้ครอบคลุมอย่างน้อย 5 ช่วงของความดันต่าง

11) ในการทดสอบให้เพิ่มความดัน 5 ถึง 10 Pa (0.02 ถึง 0.04 in. H_2O) ในแต่ละช่วงของความดันต่างที่ทดสอบ

12) ในแต่ละความดันต่าง ให้วัดค่าอัตราการไหลของอากาศ และความดันต่างผ่านเปลือกอาคาร หลังจากที่พัดลมและเครื่องมือที่มีเสถียรภาพ การหาค่าเฉลี่ยควรอยู่ในช่วงเวลาไม่น้อยกว่า 10 วินาที

13) ในแต่ละการทดสอบ ให้เก็บข้อมูลทั้งการทดสอบอัดความดันเข้าและดูดความดันออกจากอาคาร

14) การทดสอบนี้กำหนดความสูงของพื้นที่ทดสอบ, E (m หรือ ft) โดยกำหนดให้พื้นที่ทดสอบมีความสูงไม่เกิน 100 m (330 ft) เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

2.2.1.9 **การวิเคราะห์ข้อมูลและการคำนวณ**

1) ในกรณีที่ระบบวัดการไหลของอากาศ สามารถให้ค่าปริมาตรของการไหล ที่ความดันและอุณหภูมิของอากาศ โดยไหลผ่านเครื่องวัดการไหลในระหว่างการทดสอบ การอ่านค่าเหล่านี้จะต้องถูกแปลงค่า โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตในการแปลงค่า

2) การแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศ เป็นอัตราการรั่วซึมของอากาศ ที่เกิดจากการดูดความดันอากาศออก ให้ใช้สมการที่

$$Q_0 = Q\ (P_{in} / P_{out})$$

เมื่อ

P_{in} = ความหนาแน่นของอากาศภายใน, kg/m^3 (lb/ft^3) และ

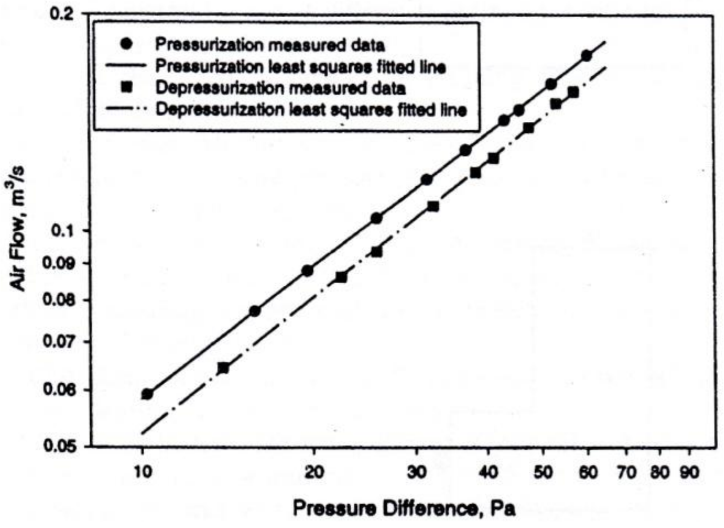
P_{out} = ความหนาแน่นของอากาศภายนอก, kg/m^3 (lb/ft^3)

3) การแปลงค่าอัตราการไหลของอากาศ เป็นอัตราการรั่วซึมของอากาศ ที่เกิดจากการอัดความดันอากาศเข้า ให้ใช้สมการ

$$Q_0 = Q\ (P_{out} / P_{in})$$

4) ค่าเฉลี่ยของความดันอากาศเปลือกอาคารที่ค่าศูนย์ เป็นค่าที่วัดก่อนและหลังการวัดการไหล ให้หักค่าออกจากเฉลี่ยที่ได้จากการวัดความดันของเปลือกอาคารขณะทำการทดลอง เพื่อกำหนดค่าที่ถูกต้องของค่าความดันเปลือกอาคาร

5) การสร้างกราฟการรั่วซึมของอากาศ ให้นำผลการวัดค่าการรั่วซึมอากาศและค่าความดันต่างมาทำให้เป็นรูปแบบ log – log scale ทั้งค่าที่ได้จากการทดสอบอัดความดันเข้าและดูดความดันออก



ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างกราฟการรั่วซึมอากาศ (ASTM E779-03, 2003: 1057)

6) นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่า สัมประสิทธิ์การรั่วซึมของอากาศ (Air Change Coefficient, *C*) และเลขชี้กำลังของความดัน (Pressure Exponent, *n*) ในสมการ $Q = C\ (dP)^n$ ให้แยกกันคำนวณระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบอัดความดันเข้าและดูดความดันออก จากสมการ

$$Q = C\ (dP)^n$$

เมื่อ

Q = อัตราการรั่วซึมของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

dP = ความดันแตกต่าง, Pa

C = สัมประสิทธิ์การรั่วซึมของอากาศ

n = pressure exponent มีค่าตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.0

ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงกลุ่มในรูปของตัวแบบล็อกลิเนียร์ เทคนิคการถดถอยเชิงเส้น โดยที่ Q คือ อัตราการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็น m^3/s (ft^3 /min หรือ CFM) และ dP คือ ความดันแตกต่าง มีหน่วยเป็น Pa ในการกำหนดแบบของสมการข้างต้นที่ช่วงความเชื่อมั่นของค่าสัมประสิทธิ์การไหลของอากาศ C และเลขชี้กำลังของความดัน n จำเป็นต้องคำนวณ การคำนวณหาค่า C และ n ต้องคำนวณแยกระหว่างการทดสอบอัดความดันเข้าและดูดความดันออก ถ้าในกรณีที่เลขชี้กำลังของความดัน n มีค่าน้อยกว่า 0.5 หรือมากกว่า 1 แสดงว่าการทดสอบไม่ถูกต้องจำเป็นต้องมีการทดสอบใหม่อีกครั้ง

6) ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของอากาศ C ที่สภาวะมาตรฐาน (20° C และอยู่เหนือระดับทะเลปานกลาง E = 0 m. (68° F E = 0 ft.) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C_0 = C\,(u/u_0)^{2n-1}\,(p/p_0)^{1-n}$$

เมื่อ

$\boldsymbol{u}$ = ความต้านทานการไหลของอากาศ kg/m.s (lb/ft/h)

$\boldsymbol{p}$ = ความหนาแน่นของอากาศ kg/m^3 (lb/ft^3)

พื้นที่รอยรั่ว (Leakage Area, A_L) สามารถคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์การไหลของอากาศ C และเลขชี้กำลังของความดัน n จากความดันแตกต่างอ้างอิง (dP_r) จากสมการที่ 5 ให้แยกกันคำนวณระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบอัดความดันเข้าและดูดความดันออก

$$A_L = C_o\,(p_o/2)^{1/2}\,(dP_r)^{(n-1/2)}$$

ค่าความดันอ้างอิงปกติเท่ากับ 4 Pa แต่อาจใช้ค่าที่วัดได้จากการทดลอง

2.2.1.10 **การรายงานผลการทดสอบ**

1) การรายงานข้อมูลทางกายภาพเบื้องต้น ควรมีข้อมูลดังต่อไปนี้

1.1) การบรรยายลักษณะอาคารและสถานที่ตั้งอาคาร ได้แก่ ที่อยู่ และความสูงของที่ตั้งจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

1.2) ลักษณะการก่อสร้าง รวมถึงอายุของอาคาร (ประมาณการ ถ้าไม่ทราบข้อมูล) พื้นที่ในการปรับอากาศ, พื้นที่ห้องใต้หลังคา, พื้นที่ชั้นใต้ดินหรือพื้นที่ใต้ถุน, ปริมาตรพื้นที่ปรับอากาศ, ปริมาตรห้องใต้หลังคา, ปริมาตรชั้นใต้ดินและปริมาตรใต้ถุนอาคาร

1.3) ลักษณะช่องเปิดของเปลือกอาคาร ได้แก่ ประตู ปิดเรียบร้อยแล้ว, หน้าต่าง ปิดเรียบร้อยแล้ว, ช่องเปิดเพื่อการระบายอากาศ หรือ Damper ปิดเรียบร้อยแล้ว, ปล่องควัน ปิดเรียบร้อยแล้ว, ประตูกั้นแต่ละโซน ปิดหรือเปิดอยู่ เป็นต้น

1.4) ระบบ HVAC โดยบอกตำแหน่งและขนาดของท่อดัก

2) การรายงานข้อมูลเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ ยี่ห้อ รุ่น หรือหมายเลขเครื่อง และผลการเทียบมาตรฐานของเครื่องมือวัดทุกประเภท

3) การรายงานข้อมูลการวัด ได้แก่

3.1) ผลการวัดความดันแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร อุณหภูมิแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร โดยวัดตอนเริ่มและสิ้นสุดการทดลองตารางแสดงผลการวัดและคำนวณการรั่วซึมของอากาศ เวลาที่ใช้ในการทดลอง ผลการวัดความดันแตกต่าง ความหนาแน่นของอากาศ อัตราการไหลของอากาศปกติ อัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากพัดลม อัตราการรั่วซึมของอากาศ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง

3.2) ผลการวัดความเร็วลมภายนอก โดยไม่เกินกว่า 0-2 m/s

4) การรายงานข้อมูลการคำนวณ ได้แก่

4.1) สัมประสิทธิ์การไหลของอากาศ C และเลขชี้กำลังของความดัน n ทั้งการทดสอบอัดความดันเข้าและดูดความดันออก

4.2) การคำนวณพื้นที่รั่วซึม

4.3) การคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศ

2.2.1.11 ความแม่นยำและความคลาดเคลื่อน

ความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนของข้อมูลขึ้นอยู่กับ ความถูกต้องในวิธีการทดลอง ความเที่ยงตรงของอุปกรณ์เครื่องมือ และความถูกต้องของการเก็บข้อมูลการทดลอง

2.2.1.12 คำค้นหา (Keywords)

Air Leakage, Air Leakage Rate, Blower Door Test, Building Envelope, Depressurization, Energy Conservation, Fan Pressurization Test, Infiltration Pressurization, Ventilation

2.2.2 มาตรฐานการทดสอบการวัดการรั่วซึมอากาศผ่านกรอบประตูหน้าต่าง ASTM E783-93 Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage through Installed Exterior Windows and Doors

ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างแสดงการทดสอบวัดการรั่วซึมอากาศผ่านกรอบประตูหน้าต่าง ตามมาตรฐาน ASTM E783-93 (Archtest, 2011: online)

2.2.2.1 ขอบเขต

1) วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองที่ครอบคลุมในเรื่องของกระบวนการทดสอบภาคสนามเพื่อที่จะประมาณอัตราการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านประตูและหน้าต่างภายนอกที่ได้ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

2) การทดลองนี้มีความเหมาะสมกับหน้าต่างและประตูภายนอกเฉพาะการรั่วซึมที่เกิดจากตัวหน้าต่างเอง และไม่เหมาะสมกับการตรวจสอบการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากการรั่วซึมระหว่างตัวช่องเปิดกับการรั่วของการก่อสร้าง นอกจากนี้การทดลองยังสามารถที่จะปรับเปลี่ยนให้มีความเหมาะสมต่อไปในเรื่องของการหาทิศทางของการเคลื่อนที่อากาศ แหล่งที่ทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศ การควบคุมและการป้องกันการเกิดการรั่วซึมของอากาศ

3) การทดลองนี้กระทำในสภาพแวดล้อมจริง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงมากที่จะเกิดการรั่วซึมของอากาศน้อยกว่าความเป็นจริงเนื่องมาจากการออกแบบและผลที่เกิดจากการอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมจริง

4) การทดลองนี้มุ่งเน้นในเรื่องการตรวจสอบการรั่วซึมของอากาศ ที่เกิดขึ้นในภาคสนามกับช่องเปิดที่ได้ติดตั้งแล้ว สำหรับผู้ที่สนใจการทดลองภายในห้องปฏิบัติการสามารถที่

จะตรวจสอบวิธีการทดลองได้จากมาตรฐานการทดสอบ หัวข้อ E 283

5) ผู้ทดลองควรมีความรู้ ความเข้าใจในเรื่องของกลศาสตร์ของไหล และการปฏิบัติทางด้านอุปกรณ์เพียงพอ และมีความรู้ทั่วไปในเรื่องขององค์ประกอบและการรั่วซึมของวัสดุ

6) ตลอดการทดลองนี้ หน่วยมาตรฐาน SI จะถูกอ้างอิงก่อน ตามกฎของ E-6

7) การทดลองนี้ ไม่ได้กล่าวถึงปัญหาเรื่องความปลอดภัย เป็นเรื่องที่ผู้ทำการทดลองต้องมีการระมัดระวังเพื่อป้องกันอันตรยมราอาจเกิดได้จากการทดลองเหล่านี้

2.2.2.2 เอกสารที่ใช้ในการอ้างอิง

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) ASTM Standard: E 631 Terminology of Building Construction

2.2.2.3 คำจำกัดความ

1) คำจำกัดความ ให้อ้างอิงที่ E 631

2) คำอธิบายค่าเฉพาะและความหมายที่ใช้ในการทดลองนี้

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

2.2) Extraneous air leakage (Q_e) คือ ปริมาตรของอากาศที่ไหลผ่านต่อหน่วยของเวลา ผ่านชุดทดลอง โดยเฉพาะอากาศที่ไหลผ่านชุดหน้าต่างที่ทดลอง ภายใต้สภาวะที่ควบคุมความดันและอุณหภูมิ เพื่อที่จะแปลงไปเป็นหน่วยมาตรฐาน แสดงเป็น หน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อ วินาที หรือ ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM)

2.2.1) Discussion Extraneous air leakage เป็นผลรวมของการรั่วซึมอากาศทั้งหมดที่การทดลองไม่สามารถครอบคลุมไปถึง

2.3) Specimen air leakage (Q_S) ปริมาตรของอากาศที่ไหลผ่านต่อหนึ่งหน่วยเวลา ภายใต้สภาวะที่ควบคุมความดันและอุณหภูมิ เพื่อที่จะแปลงไปเป็นหน่วยมาตรฐาน แสดงเป็น หน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อ วินาที หรือลูกบาศก์ฟุต ต่อนาที (CFM)

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

2.5) Test pressure difference คือ ความแตกต่างที่กำหนดของแรงดันแบบ Static Air ผ่านช่องเยื่อทดลอง แสดงเป็นหน่วย Pa (lbf/ft^2)

2.6) Test specimen คือ หน้าต่างหรือประตูที่กำหนดทำการติดตั้งแล้วกับผนังภายนอกของอาคาร ชุดเยื่อทดลองจะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญของประตูและหน้าต่าง ไม่ว่าจะเป็นธรณี วงกบบน วงกบล่างรอยต่อและรอยแตกต่างๆ ตลอดจน panning receptors extenders mullions หรือ ส่วนอื่นใดที่จำเป็นต่อการติดตั้งและการประกอบ ทั้งนี้ ชุดเยื่อการทดลองไม่รวมถึง รอยต่อและรอยแตกใดๆหรือช่องที่เกิดจากการประกอบกับวัสดุที่อยู่ภายในต่างๆ หรือ ขอบของผนังภายนอก และไม่รวมถึงรอยต่อและรอยแตกใดๆหรือช่องระหว่างตัวประกอบและโครงสร้างของอาคาร

2.7) Total air flow (Q_t) คือ ปริมาตรของอากาศที่ไหลผ่านหนึ่งหน่วยเวลาผ่านห้องที่ทำการทดลอง ผ่านเยื่อทดลองภายใต้สภาวะที่ควบคุมความดันและอุณหภูมิ เพื่อที่จะแปลงไปเป็นหน่วยมาตรฐาน แสดงเป็น หน่วยลูกบาศก์เมตรต่อ วินาที หรือ ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM)

2.8) Unit length of operable perimeter (L) คือ ผลรวมของขอบเขตทั้งหมดของช่องเปิดที่ใช้ในการทดลอง โดยอยู่บนฐานของมิติในแต่ละชิ้นส่วนแสดงหน่วยเป็นเมตรหรือฟุต เมื่อมีรอยต่อแต่ละอันที่เกิดมารวมกันให้ถือว่าเป็นรอยต่อเดียว

2.2.2.4 ผลรวมของการทดสอบ

1) ในการทดลอง ต้องมีการซีลห้องทดลอง (Chamber) ครอบคลุมทั้งภายในและภายนอกของเยื่อทดลอง ลมจ่ายและลมระบายอากาศจากห้อง จะต้องมีอัตราที่ถูกต้องเหมาะสมเพื่อให้ความดันในชุดทดลองมีความถูกต้องสูงสุด จากนั้นจึงทำการวัดผลของอากาศที่ไหลผ่านชุดทดลอง

2.2.2.5 ข้อบ่งบอกและการใช้งาน

1) การทดลองนี้เป็นกระบานการมาตรฐานในการประมาณการลักษณะเฉพาะของการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจาก หน้าต่างและประตูที่ได้ทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ภายใต้ความดันอากาศที่กำหนด

2) อัตราการรั่วซึมของอากาศ ในบางครั้งสามารถที่จะใช้ในการเปรียบเทียบ

วัตถุประสงค์ได้ แต่การเปรียบเทียบจะไม่สามารถกระทำได้ ทั้งนี้เนื่องจากคู่ที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะต้องมีขนาดที่เท่ากัน รูปลักษณ์และการออกแบบที่เหมือนกัน

3) อัตราการรั่วซึมของอากาศที่สามารถบ่งบอกได้อย่างแน่นอนของหน้าต่างและประตูนั้น ควรที่ใช้ในการทดลองที่กระทำในห้องปฏิบัติการ(ดูการทดลองที่ E 283) และผลของการวัดที่เกิดจากการทดลองภาคสนามนี้ ในบางครั้งสามารถที่จะนำมาเปรียบเทียบด้วยกันได้เมื่อมีความประสงค์ที่จะเปรียบเทียบกันในบางวัตถุประสงค์ แต่อย่างไรก็ดีความสัมพันธ์ระหว่างการทดลองทั้งสองแบบและการทดลองระหว่างการใช้งานจริง เมื่อมีการก่อสร้างแล้วกับการทดลองนี้ก็ยังไม่สามารถที่จะหาข้อสรุปที่ถูกต้องสมบูรณ์ได้เนื่องมาจากการขาดข้อมูลที่เพียงพอ

4) อัตราการรั่วซึมของอากาศที่ได้รับจากการทดลองนี้ ได้รับอิทธิพลมาจากหลายปัจจัย เช่น อายุการใช้งานของชุดเยื่อทดลอง ประเภทหรือคุณภาพของการติดตั้งความเอาใจใส่ในการติดตั้งชุดทดลอง และการประมาณ Extraneous leakageตลอดจนสภาพแวดล้อมในขณะที่ทำการทดลองนั้นๆ ว่าชุดการทดลองสัมผัสกับสิ่งใดบ้าง เช่น อุณหภูมิขณะที่ทำการทดลองความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมที่มากระทำและอื่นๆ ดังนั้นในการทดลองผู้ทดลองจะต้องระมัดระวังในเรื่องเหล่านี้ให้มากและควบคุมตัวแปรที่อาจส่งผลกระทบต่อการทดลองให้ได้มากที่สุดด้วย

5) อัตราการรั่วซึมของอากาศที่ได้รับจากการทดลองนี้ อาจจะรวมถึงการรั่วซึมของอากาศที่โดยปกติไม่อาจเกิดขึ้นได้ อากาศบางครั้งอาจที่จะเกิดจากหรือถูกระบาย โดยโครงสร้างของอาคาร ช่องว่างในผนังหรือรอยแตกของโครงสร้างที่ไม่ได้คาดคิด หรือในบางครั้งอาจที่จะผ่านมาจากภายใน รอยต่อภายนอก หรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่โดยปกติไม่ได้มีการเกิดขึ้นในการใช้งานธรรมดา ดังนั้นผู้ทำการทดลองจะต้องระมัดระวังในเรื่องเหล่านี้ให้มากและควบคุมตัวแปรที่อาจส่งผลกระทบต่อการทดลองให้ได้มากที่สุดด้วยในระหว่างการทดลอง

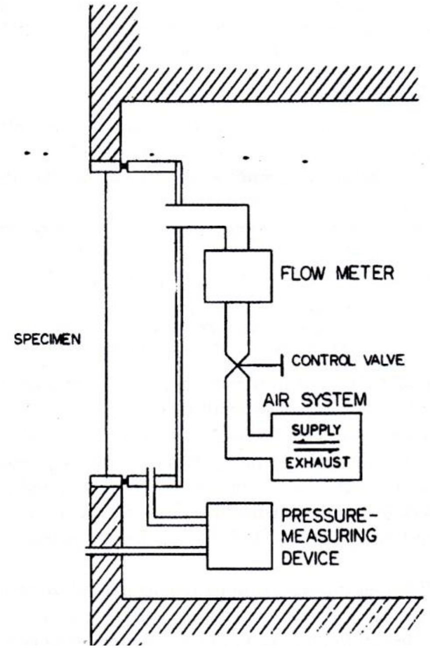
6) ในการทดลองนี้เป็นการทดลองในกรณีที่การรั่วซึมของอากาศเกิดจากอีกด้านหนึ่งของประตู หน้าต่างที่ใช้ในการทดลองมีความดันสูงและส่งผ่านชุดทดลองเหล่านั้น เข้ามาเพียงอย่างเดียว การรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากรอยต่อของโครงสร้าง หรือรอยต่างระหว่างธรณีหน้าต่างประตู วงกบ ให้ถือว่าพิจารณาเป็น Extraneous Leakage และไม่ถือว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการทดลอง การรั่วซึมของอากาศแบบ Extraneous Leakage นี้ผ่านกรอบโดยรอบของชุดทดลองเข้า หรือออกจากอาคารได้ หากอาคารนั้นๆไม่ได้มีการอุดรอยต่อระหว่างหน้าต่างและประตูเอาไว้อย่างดี

2.2.2.6 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) คำอธิบายที่ปรากฏในหัวข้อเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบ

ธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการทดลองที่มีสภาวะแตกต่างกันออกไป สามารถที่จะยอมรับในผลการทดลองนั้นๆได้

1.1) ห้องทำการทดลอง (Test chamber) ห้องทดลองทำได้จากวัสดุต่างๆ อาทิเช่น แผ่นไม้อัด พลาสติกหรือวัสดุอื่นใดที่มีความเหมาะสมกับกรอบของชุดทดลอง ห้องทดลองต้องไม่มีการเพิ่มเติมเข้าไปในระหว่างการทดลอง อย่างน้อยเครื่องกำเนิดความดันจะต้องถูกติดตั้งเข้าไปด้านหนึ่งของชุดทดลองและอีกด้านหนึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ในการวัดความดันภายในห้องทดลองกับความดันภายนอก ทั้งหมดจำเป็นที่จะต้องติดตั้งในพื้นที่ ที่จะไม่ได้รับผลกระทบจากความเร็วลมภายนอกซึ่งจะทำให้การอ่านค่ามีความผิดพลาดไป



ภาพที่ 2.13 การจัดวางอุปกรณ์และเครื่องมือโดยทั่วไปของการทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ (ASTM E783-93, 2003: 760)

1.2) ระบบจ่ายอากาศ (Supply Air System) เครื่องเป่าลมที่สามารถที่จะควบคุมได้, พัดลมระบายอากาศ หรือ Reversible Blower ถูกออกแบบเพื่อที่จะใช้ในการทดสอบเรื่องการไหลของลมที่ความดันที่กำหนดไว้ ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนี้ จำเป็นที่จะต้องใช้การไหลของอากาศที่คงที่ในความดันที่กำหนดในช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อที่จะสามารถอ่านค่าของการไหลอากาศที่ต้องการได้

1.3) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความดัน (Pressure Measuring Apparatus) เครื่องมือที่ใช้จะต้องสามารถที่จะวัดความดันอากาศได้ที่ ± 2% ของจุดที่ตั้งไว้ หรือ ±2.5 Pa (±0.01 นิ้วของระดับน้ำ) สามารถใช้อันที่ดีกว่าได้

1.4) เครื่องวัดการไหลของอากาศ (Air flow Metering System) เครื่องมือที่ใช้ในการวัดการไหลของอากาศภายในห้องที่จัดตั้งหรือวัดผ่านเยื่อที่ใช้ในการทดลอง เครื่องมือนั้นๆจะต้องมีความผิดพลาดไม่เกิน ±5% เมื่อการไหลของอากาศมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 9.44 $*10^{-4}$ m^3/s หรือ 2 ft^3/ min หรือ ±10% เมื่อการไหลของอากาศมีค่าน้อยกว่า 9.44 * 10^{-4} m^3/s หรือ 2 ft^3/ min

2.2.2.7 อันตรายที่อาจเกิดขึ้น

1) การแตกร้าวของกระจกที่อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการทดสอบในเรื่องความดันที่แตกต่างกัน ควรให้ความสนใจในเรื่องของการป้องกันอันตรายต่อบุคคล ผู้สังเกตการและ ผู้ที่อยู่ใกล้เคียง

2.2.2.8 สภาวะการทดสอบ

1) เรื่องที่ต้องทดสอบจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือเหล่านี้ คือ

1.1) ตัวอย่างช่องเปิดหรือในที่นี้ คือ เยื่อทดสอบ การเลือกตัวอย่างและการระบุให้ตรงกับความต้องการในการทดสอบ

1.2) ความดันที่ใช้ในการทดสอบ ถ้าไม่ได้ตั้งเอาไว้ให้ใช้ ที่ 75 Pa (1.57 lb/ft^2)

1.3) สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ อากาศแห้งจะต้องมี

ความดัน 101.3 kPa (29.92 in. Hg)

อุณหภูมิ 20.8°C (69.4° F)

ความหนาแน่นของอากาศ 1.202 kg/m^3 (0.075 lbm/ft^3)

1.4) ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ Exfiltration หรือ Infiltration หากไม่มีการกำหนดการทดสอบ จะเป็นในเรื่องของ Infiltration

2) อัตราการรั่วซึมของอากาศ ในการรายงานเรื่องอัตราการรั่วซึมอากาศควรที่จะเป็นผลรวมของการรั่วซึม m^3/h (ft^3/min) หรือ เป็นหน่วยต่อความยาวรอยแตกที่ใช้ในการทดลอง m^3/h-m (ft^3/min-ft) หรือเป็นหน่วยต่อพื้นที่ด้านนอกของกรอบช่องเปิด $m^3/h - m^2$ ($ft^3/min - ft^2$)

3) ผู้ที่ทำการทดลองจะต้องมีข้อมูลดังต่อไปนี้

3.1) ทราบว่าห้องที่ใช้ทำการทดลอง อยู่ติดกับด้านในหรือด้านนอกของเยื่อที่ใช้ในการทดลอง

3.2) การทดลองจะมีการนำของความดันอากาศที่เป็นบวกหรือมีค่าเป็นลบ

2.2.2.9 **ตัวอย่างช่องเปิดที่ใช้ทดลองและหน่วยที่ทดลอง**

1) ระบุจำนวนของช่องเปิดที่จะใช้ในการทดลอง และกระบวนการที่ใช้ในการทดลองตามที่ได้คัดเลือกและระบุเอาไว้ ดังต่อไปนี้

1.1) การนำเอาผลการทดลองที่ได้รับมาใช้

1.2) ผลการทดลองที่ได้ตั้งหรือคาดหวังเอาไว้จากผลการทดลอง

1.3) ระดับความน่าเชื่อถือที่ต้องการในการทำนายผลการทดลองกับตัวอย่างช่องเปิดที่ไม่ได้รับการทดลอง

2) การตั้งขอบเขตเรื่องของข้อจำกัด หรือความต้องการในการซ่อมแซม การปรับแต่งหรือการดัดแปลง ช่องเปิดที่ใช้ในการทดลองตามความสำคัญของการทดลอง

2.2.2.10 **การเตรียมการของช่องเปิดที่ใช้ในการทดลอง**

1) เลือกและทำการระบุช่องเปิดที่จะใช้ในการทดลองตามการทดลองที่ได้ตั้งเอาไว้

2) จดรายละเอียดต่างๆที่สามารถมองเห็นได้เกี่ยวกับการทดลอง และการก่อสร้างรวมไปถึงการบันทึก การสังเกตที่เกิดขึ้น จุดประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อที่จะบันทึกลักษณะสภาวะทางกายภาพของช่องเปิดที่ใช้ในการทดลองและลักษณะการก่อสร้างในช่วงเวลาที่ทดลอง ตัวอย่างข้อสังเกตที่ควรบันทึกได้แก่ ความเสียหาย ส่วนที่หายหรือเสียหาย การปรับตั้งที่ผิดพลาดของส่วนประกอบต่างๆ ความสะอาดของการทดลอง การติดตั้งที่ไม่ได้มาตรฐาน เป็นต้น

3) บันทึกการซ่อมแซม การดัดแปลงหรือการปรับแต่งที่มีขึ้น ซึ่งส่วนต่างๆเหล่านี้อาจมีผลต่อผลการ ทดลองที่จะได้รับ

4) มั่นใจว่าช่องเปิดที่ใช้ในการทดสอบ ส่วนป้องกันการรั่วซึมต่างต้องแห้งในขณะที่มีการทดสอบ เนื่อง จากการทดสอบนี้จะได้รับผลกระทบจากปริมาณน้ำที่อยู่ในช่องเปิดที่ทำการทดลอง

2.2.2.11 **การเตรียมการเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง**

1) ติดตั้งห้องที่จะทำการทอสอบเข้ากับช่องเปิดที่จะทำการทดสอบ โดยให้แน่ใจว่าสามารถที่จะครอบคลุมพื้นที่ที่เป็นช่องเปิดและต้องการวัดการรั่วซึมของอากาศ ที่เกิดขึ้น หากเป็นไปได้ให้ไม่รวมกรอบหน้าต่างล่าง รอยแตกหรือช่องเปิดที่ไม่ต้องการทดสอบออกไป หรือใช้เทปหรือวัสดุอุดอื่นๆปิดช่องเหล่านั้น ปิดรอยรั่วต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างห้องที่ใช้ทดลอง ปิดช่องว่างต่างๆระหว่างห้องทดลองกับเครื่องมือกำเนิดลมหรือช่องระบายอากาศ ท่อวัความดันหรือเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าอื่นๆให้หมด

2) วัดความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายนอกห้องทดลอง เครื่องมือทดลอง ช่องเปิดที่ทดลองในการทดลองเรื่องความดันที่เกิดให้ใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งที่ได้กล่าวมา

2.1) สำหรับการทดลองที่เกิดความดันอากาศสูงของด้านหนึ่งของช่องเปิดที่ทำการทดลอง โดยที่ความดันเหล่านั้นไม่ได้รบกวนรอยต่อระหว่างการทดลอง เครื่องมือที่ใช้วัดหรือ ช่องเปิดให้ทำการอุดช่องเหล่านั้นด้วยแผ่นโพลีเอททิลีนบางๆ แน่ใจว่ามีการปิดรอยรั่วต่างๆที่อาจเกิดขึ้นในการทดลองเรียบร้อยแล้วจึงทำการปรับอัตราการไหลของอากาศจนชุดทดลองส่งผลให้ความดันที่เกิดขึ้น ทำให้ระบบที่ใช้ในการทดลองเป็นกลางหรือมีค่าเท่าๆกัน ทำการวัดและบันทึกอัตราการไหลของอากาศ

2.2) สำหรับการทดลองที่เกิดความดันต่ำในด้านของการทดลองให้ทำการปิดช่องเหล่านั้นทีอาจเกิดขึ้นด้วยแผ่นโพลีเอททิลีนบางๆ เช่นเดียวกับด้านที่เกิดความดันอากาศสูง

2.3) สำหรับการทดลองที่การเกิดของทั้งสองด้านสามารถยอมรับได้วิธีการวัด Extraneous Air Leakage สามารถที่จะกระทำได้เช่นเดียวกันกับเทคนิคต่างๆที่ได้เคยกล่าวถึง

2.2.2.12 การปรับแต่ง

1) กระบวนการปรับตั้งที่ใช้กับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดผลการทดลองนี้ได้กล่าวถึงในเอกสารของ ASTM อีกเล่มหนึ่ง ซึ่งในที่สุดสามารถที่จะใช้เอกสารนั้นในการอ้างอิงต่อไปได้อย่างไรก็ดีเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทดลองนี้จำเป็นที่จะต้องทำการปรับตั้งในระยะเวลาทุกๆ 6 เดือน ในกระบวนการปรับตั้งนี้ควรที่จะปรับตั้งเครื่องมือให้สามารถวัดได้ใกล้เคียงกับสภาวะตามธรรมชาติ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นและอื่นๆ เนื่องจากภายใต้สภาวะเหล่านี้ผลการทดลองที่ได้ จะสามารถนำผลไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

2.2.2.13 กระบวนการทดลอง

1) ปรับเครื่องมือกำเนิดลมที่ผ่านเข้าสู่ห้องที่ทำการทดลอง และช่องเปิดที่ทำการทดลอง เมื่อสภาวะการทดลองมีความคงที่ ให้บันทึกผลที่ได้จาก Flow Meter หรือความแตกต่างของความดันอากาศ อัตราการไหลของอากาศที่สามารถวัดได้จะถูกนำไปเป็นค่า อัตราการไหลอากาศรวมที่วัดได้ (Total Metered Air flow: Q_t)

2) วัดความดันอากาศที่เกิดขึ้น อุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นของอากาศที่อยู่ใกล้เคียงกับด้านที่ติดกับช่องเปิดทดลอง หรืออากาศที่ใกล้กับช่องอากาศเข้าหรือช่องระบายอากาศของระบบอากาศ วัดและบันทึกความเร็ว ทิศทางของการเคลื่อนที่อากาศหรือลม ในส่วนที่ใกล้กับช่องเปิดทดลอง การวัดสามารถวัดได้ทันทีหรือระหว่างการทดลอง

2.2.2.14 การคำนวณ

1) การแสดงค่าTotal Air flow, Q_t, and Extraneous Leakage, Q_e, ให้ใช้สมการที่ 1 และที่ 2

$$Q_{st} = Q\ (W/W_s)^{½} \qquad (1)$$

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

เมื่อ

Q = Airflow at Nonstandard Conditions

Q_{st} = Airflow Corrected to Standard Conditions

W_s = Density of Air at Reference Standard Conditions, (1.020 kg / m^3)

W = Density of Air at the Test Site, kg / m^3 (lb / ft^3)

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 lb / ft^3

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

2) แสดงอากาศที่รั่วซึมผ่านช่องเปิดที่ทำการทดลอง ด้วยสมการที่ 3

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

เมื่อ

Q_s = Air Leakage through the Test Specimen, m_3 / s (ft_3 / min) at the Standard Conditions

3) การคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านช่องเปิดที่ทำการทดลอง ตามวิธีการทดลองทั้งสองที่กล่าวมาแล้ว
อัตราการรั่วซึมของอากาศต่อหน่วยของความยาวของรอยแตกที่ทดลอง

$$q_L = Q_s/L \qquad (4)$$

$$q_A = Q_s/A \qquad (5)$$

2.2.2.15 **รายงาน**

1) การรายงานต้องรายงานหัวข้อ ดังต่อไปนี้

1.1) โดยทั่วไป – ผู้ทำการทดลอง วันที่ เวลา และช่วงเวลาที่ทำการทดลอง วันที่ ที่รายงาน ข้อระบุและที่ตั้งของสถานที่ทำการทดลอง

1.2) การบรรยายลักษณะของตัวอย่าง – ผู้ผลิต, รุ่น, รูปแบบการใช้งาน, วัสดุที่ทำ, และข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ ข้อบ่งบอกและที่ตั้งของช่องเปิดที่ทำการทดลองในอาคาร ลักษณะทางกายภาพของช่องเปิดที่ทำการทดลองคำอธิบายเกี่ยวกับการดัดแปลง ที่ทำกับช่องเปิดทดลอง อายุของช่องเปิดที่ทำการทดลอง, คำอธิบายลักษณะการใช้งาน การล็อค ความหนาของกระจกที่ใช้ กรรมวิธีการผลิตและชนิดของกระจก ส่วนที่ต้องปิดเพื่อป้องกันอากาศภายนอก รูปแบบ วัสดุอุดรอยรั่ว ความยาวของรอยแตกที่เกิดและพื้นที่ของของช่องเปิด

1.3) แบบของช่องเปิด – รายละเอียดของแบบช่องเปิดที่ทำการทดลอง ทั้งในเรื่องของกรอบบาน ขนาด อุปกรณ์ที่ติดตั้ง รวมไปถึงแบบก่อสร้างอื่นที่เกี่ยวข้อง

1.4) ขั้นตอนการสุ่มเลือก – ถ้าสามารถกระทำได้

1.5) ค่าต่างๆที่ทำการทดลอง – รายละเอียดของความดันที่ทดลอง การทดลองเกิดการ Exfiltration หรือ Infiltration ความดันมีค่าเป็นบวกหรือมีค่าเป็นลบที่นำมาใช้ ห้องที่ทดลองอยู่ด้านในหรือด้านนอกของช่องเปิดที่ทำการทดลอง ฯลฯ

1.6) สภาพโดยรอบขณะทำการทดลอง – บันทึกอุณหภูมิภายในและภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันที่เกิด ความเร็วและทิศทางของลม ฯลฯ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องวัดระหว่างการทดลองด้วย

1.7) ความแตกต่างของความดันและการรั่วซึม

1.8) สภาวะที่อนุโลม – จะต้องทำการบันทึกเนื่องจากบางสภาวะอาจส่งผลต่อการทดลองได้

2.2.2.16 ความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

1) ในปัจจุบัน เนื่องจากความจำกัดในเรื่องของข้อมูลที่สามารถค้นหาได้ในการระบุถึงความถูกต้องและความลำเอียงที่เกิดขึ้นในการทดลอง ทำให้สามารถที่จะยอมรับผลการทดลองที่มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายได้ 15 % หรือน้อยกว่านั้น ขึ้นอยู่กับกรณีการทดลองที่แตกต่างกัน

2.2.2.17 คำค้นหา (key words)

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

2.2.3 การคำนวณค่าการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่างและประตู สำหรับประเทศไทย (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551)

2.2.3.1 รายละเอียดการคำนวณค่าการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่างและประตู

1. เกณฑ์คะแนนสมรรถนะการรั่วซึมของกรอบหน้าต่างสำหรับประเทศไทย

ระดับคะแนนของการรั่วซึมของอากาศผ่านกรอบหน้าต่างและประตู จะแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ระดับคะแนนเท่ากับ 1 จะเป็นกรอบหน้าต่างหรือประตูที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศสูง (สมรรถนะต่ำ) ระดับคะแนนเท่ากับ 2 จะมีการรั่วซึมระดับปานกลาง และระดับคะแนนเท่ากับ 3 คือกรอบหน้าต่างหรือประตูที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศต่ำ (สมรรถนะสูง) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 หากนอกเหนือจากนี้แล้วจะถือว่าหน้าต่าง/ประตูนั้น ๆ มีสมรรถนะที่แย่ (ไม่มีคะแนน)

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การให้คะแนนของกรอบหน้าต่าง/ประตู คิดตามปริมาณของการรั่วของอากาศสำหรับประเทศไทย

คะแนนที่ได้	ปริมาณอากาศรั่ว
	l/s-m of crack
1	0.6-0.9
2	0.3-0.59
3	<0.3

หากนอกเหนือจากระดับคะแนนที่กำหนดข้างต้นแล้ว เช่น มากกว่า 0.9 จะไม่มีคะแนนให้ (มีค่าเท่ากับ 0)

2.2.3.2 วิธีการคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ย

อัตราการรั่วซึมเฉลี่ยของอากาศผ่านกรอบหน้าต่างและประตูสามารถคำนวณได้ จากผลรวมของการรั่วซึมของหน้าต่างและประตูแต่ละแบบต่อความยาวเส้นรอยรั่ว (Crack length) ทั้งหมดของหน้าต่างและประตูดังสมการข้างล่าง

$$AL_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} CL_i \times AL_i}{\sum_{i=1}^{n} CL_i}$$

เมื่อ

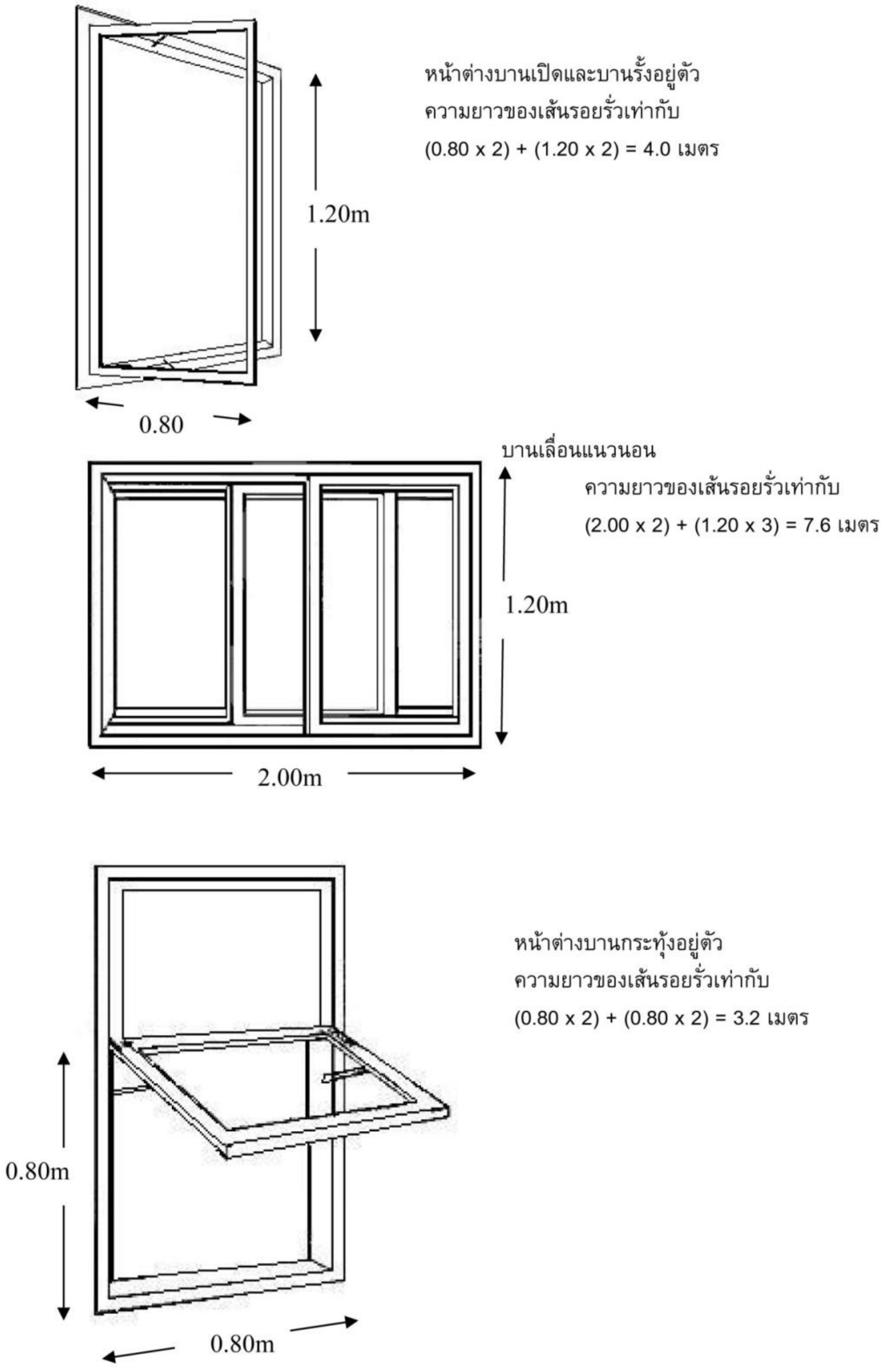
AL_{avg} = อัตราการรั่วของอากาศเฉลี่ย [l/s-m]

CL_i = ความยาวของเส้นรอยรั่วของหน้าต่าง/ประตูบานที่ i [m]

AL_i = อัตราการรั่วซึมของหน้าต่าง/ประตูบานที่ i [l/s-m]

2.2.3.3 การคำนวณหาความยาวของเส้นรอยรั่วของหน้าต่าง/ประตู

ตัวอย่าง



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างการคำนวณหารอยรั่วของประตูหน้าต่าง

(จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551)

2.2.3.4 ตัวอย่างการคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ยและระดับคะแนนที่ได้

สมมติบ้านชั้นเดียวมีรายละเอียดหน้าต่างและประตูดังนี้

1) หน้าต่างกรอบอลูมิเนียมแบบบานเลื่อน-แนวนอน ขนาดกว้าง 1.10 x สูง 1.05 จำนวน 8 บาน

2) ประตูกรอบไม้บานเปิดชนิด 2 บาน ขนาดกว้าง 1.20 x สูง 2.00 จำนวน 1 บาน

3) ประตูกรอบไม้บานเปิดชนิด 1 บาน ขนาดกว้าง 0.80 x สูง 2.00 จำนวน 1 บาน

2.2.3.4.1 คำนวณหาเส้นรอยรั่ว

1) หน้าต่างกรอบอลูมิเนียมแบบบานเลื่อน-แนวนอน

ความยาวเส้นรอยรั่ว = {(1.10 x 2) + (1.05 x 3)} x 8

= 42.8 เมตร

2) ประตูกรอบไม้บานเปิดชนิด 2 บาน

ความยาวเส้นรอยรั่ว = {(1.20 x 2) + (2.00 x 3)} x 1

= 8.4 เมตร

3) ประตูกรอบไม้บานเปิดชนิด 1 บาน

ความยาวเส้นรอยรั่ว = {(0.8 x 2) + (2.00 x 2)} x 1

= 5.6 เมตร

ความยาวเส้นรอยรั่วทั้งหมด คือ 42.8 + 8.4 + 5.6

= 56.8 เมตร

2.2.3.4.2 คำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศของหน้าต่าง/ประตูแต่ละแบบ

จาก คุณสมบัติของหน้าต่างที่ได้การทดสอบ ที่ความดันแตกต่าง 75 Pa จากตารางที่ 2.3

1) หน้าต่างกรอบอลูมิเนียมแบบบานเลื่อน-แนวนอน = 0.72 l/s - เมตร

2) ประตูกรอบไม้บานเปิดชนิด 2 บาน = 1.93 l/s - เมตร

3) ประตูกรอบไม้บานเปิดชนิด 1 บาน = 1.93 l/s – เมตร

หมายเหตุ กรณีที่มีแผ่นยางช่วยเพื่อลดรอยรั่ว จะทำให้อัตราการรั่วของอากาศเดิมลดลงเฉลี่ย40% จากอัตราการรั่วเดิม (ดังตารางที่ 2.3) ให้ใช้แฟกเตอร์ **0.60** คูณด้วยอัตราการรั่วของหน้าต่างและประตู นั้นๆ

2.2.3.4.3 คำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศเฉลี่ยของหน้าต่าง/ประตูทุกบาน

= <u>(42.8* 0.72) (8.4 *1.93) (5.6 *1.93)</u>

(42.8 8.4 5.6)

= 1.02 l/s – เมตร

2.2.3.4.4 คำนวณหาระดับคะแนนที่ได้ (ตารางที่ 2.2)

จากตารางที่ 2.2 อัตราการรั่วซึม ที่ **1.02 l/s – เมตร** มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดดังนั้นบ้านหลังนี้ มีคะแนนของกรอบหน้าต่าง/ประตูเท่ากับ 0 **(ไม่มีคะแนน)**

ตารางที่ 2.3 ผลการทดสอบอัตราอากาศรั่วซึม ที่แรงดันแตกต่าง 75 Pa

	ประเภทกรอบ	อุปกรณ์เพิ่มเติม	ชนิด/แบบ	ปริมาณอากาศรั่วซึม (l/s-m)
หน้าต่าง	อลูมิเนียม	มีแผ่นยางกันซึม	บานเปิด	0.73
	อลูมิเนียม	มีแผ่นยางกันซึม	บานเปิดบานรั้ง	0.94
	อลูมิเนียม		บานเลื่อน(แนวนอน)	0.72
	อลูมิเนียม	มีแผ่นยางกันซึม	บานกระทุ้ง	0.67
	อลูมิเนียม	มีแผ่นยางกันซึม	บานรั้ง	0.67
	อลูมิเนียม	มีแผ่นยางกันซึม	บานเลื่อน (แนวตั้ง)	0.80
	อลูมิเนียม		ปิดตาย (Curtain wall)	0.37
	ไม้		บานเปิด	0.67
	ไม้		บานเปิดบานรั้ง	0.87
	ไม้		บานเลื่อน (แนวนอน)	1.00
	ไม้		บานพลิก	1.00

ตารางที่ 2.3. ผลการทดสอบอัตราอากาศรั่วซึม ที่แรงดันแตกต่าง 75 Pa (ต่อ)

	ประเภทกรอบ	อุปกรณ์เพิ่มเติม	ชนิด/แบบ	ปริมาณอากาศรั่วซึม (l/s-m)
	ไม้		บานกระทุ้ง	0.65
	ไม้		บานรั้ง	0.64
	ไม้		บานเลื่อน (แนวตั้ง)	0.75
	ไม้		บานเกล็ด	1.60
	PVC		บานเปิด	0.72
	PVC		บานเปิดบานรั้ง	0.87
	PVC		บานเลื่อน (แนวนอน)	0.74
	PVC		บานพลิก	0.90
	PVC		บานกระทุ้ง	0.65
	PVC		บานรั้ง	0.64
	PVC		บานเลื่อน (แนวตั้ง)	0.74
	เหล็ก		บานเปิด (เหล็ก)	1.16
ประตู	ไม้		บานเปิด	1.93
	อลูมิเนียม		บานเปิด (สวิง)	1.93

ตารางที่ 2.4 อัตราอากาศรั่วซึมของอากาศที่ลดลง กรณีใช้แผ่นยางเสริมเพื่อลดอัตราการรั่วซึม

ประเภทกรอบ	ปริมาณอากาศรั่วซึม (l/s-m)		ลดลง (%)
	เดิม	หลัง	
หน้าต่างบานเปิด (เหล็ก)	1.16	0.65	44
ประตูบานเปิด (ไม้)	1.93	1.2	38

2.3 แนวคิดของการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

จากการศึกษา (สุนทร บุญญาธิการ, 2540) พบว่า ระดับความชื้นในประเทศไทยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก ความชื้นจึงกลายเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร ในเกือบตลอดทั้งปีพบว่า เมื่อนำเอาอากาศจากภายนอกมาปรับสภาพให้อยู่ในเขตสบายภายในห้องปรับอากาศ จะต้องใช้พลังงานจำนวนมหาศาลในการลดความชื้นในรูปของความร้อนแฝง (Latent Heat) และลดอุณหภูมิในรูปของความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)

หากจะเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ เมื่อนำเอาอากาศจากภายนอกมาปรับสภาพให้อยู่ในระดับที่ต้องการภายในอาคารโดยใช้ระบบปรับอากาศพบว่า พลังงานส่วนใหญ่ที่ต้องใช้ในการลดความชื้นมากกว่าลดอุณหภูมิให้กับอากาศหลายเท่า โดยมีพลังงานที่ใช้ในเวลากลางวันและกลางคืนแตกต่างกันไม่มากนัก เนื่องจากอิทธิพลของความชื้นที่สะสมอยู่ในอากาศ ด้วยเหตุนี้การประหยัดพลังงานในอาคารจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการรั่วซึมของอากาศ และการกำหนดปริมาณอากาศภายนอกที่จะนำเข้ามาภายในบ้าน ในเชิงปฏิบัติจะพบว่าบ้านพักอาศัยทั่วๆไปในประเทศไทย มีการรั่วซึมของอากาศสูงมาก ความชื้นของอากาศจากภายนอกบ้านสามารถทะลุทะลวงผ่านเข้ามาภายในอาคารได้หลายทาง ตัวอย่างเช่น

ความชื้นที่ซึมผ่านผนัง

ในกรณีที่ผนังก่ออิฐฉาบปูนทั่วไปพบว่าผนังดังกล่าวไม่สามารถป้องกันความชื้นได้ดีนัก เมื่อผนังภายนอกเปียกชื้น ความชื้นจะค่อยๆซึมผ่านผนังเข้าสู่ภายในอาคารในสภาพของไอน้ำ ซึ่งเป็นความชื้นที่ยากต่อการควบคุม

ความชื้นที่รั่วซึมผ่านขอบประตูหน้าต่างและช่องเปิด

ในระบบการก่อสร้างทั่วไปในประเทศไทยส่วนใหญ่ มักจะมีช่องว่าง รูรั่ว และรอยแตกที่อยู่ระหว่างขอบประตูหน้าต่างกับส่วนประกอบของอาคารค่อนข้างมากถึงแม้จะปิดประตูหน้าต่างสนิทแล้วก็ตาม เมื่อมีความแตกต่างของแรงดันอากาศระหว่างบริเวณใต้ลมและเหนือลมเกิดขึ้นจะทำให้อากาศรั่วซึมผ่านผนังและรอยแยกต่างๆเข้ามาในอาคารเป็นปริมาณมหาศาล ในบ้านหลายๆหลังพบว่า พลังงานที่ต้องสูญเสียในการรีดความร้อนและความชื้นเหล่านี้อาจมากกว่าครึ่งหนึ่งของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการปรับอากาศ

ความชื้นจากการเปิด-ปิดประตูหน้าต่าง

เมื่อมีการเปิดประตูหน้าต่างรับลมหรือเปิดเข้า-ออกจากตัวบ้าน ในขณะที่ภายนอกมีลมแรงพบว่า จะต้องสูญเสียพลังงานไปในการยอมให้อากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคารเป็นปริมาณมากจนคาดไม่ถึง ตัวอย่างเช่น ถ้าเปิดประตูขนาด 1 เมตร x 2 เมตร ในด้านใต้ ลมช่วงบ่ายของเดือนเมษายนโดยมีความเร็วลมภายนอกประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หากลมนั้นเคลื่อนเข้าสู่ภายในตัวบ้านอย่างสะดวกเป็นเวลา 1 นาที จะต้องเพิ่มภาระในการลดอุณหภูมิในอาคารประมาณ 12.6 เมกะจูล (หรือคิดเป็น 12.000 บีทียู) นั่นหมายความว่า ถ้าเปิดประตูค้างไว้เพียง 1 นาที จะต้องใช้ระบบปรับอากาศประมาณ 1 ตัน เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ในการลดความชื้นและอุณหภูมิให้กับอากาศที่ผ่านเข้ามาในอาคารโดยผ่านบานประตูบานดังกล่าว

ความชื้นจากการสะสมของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

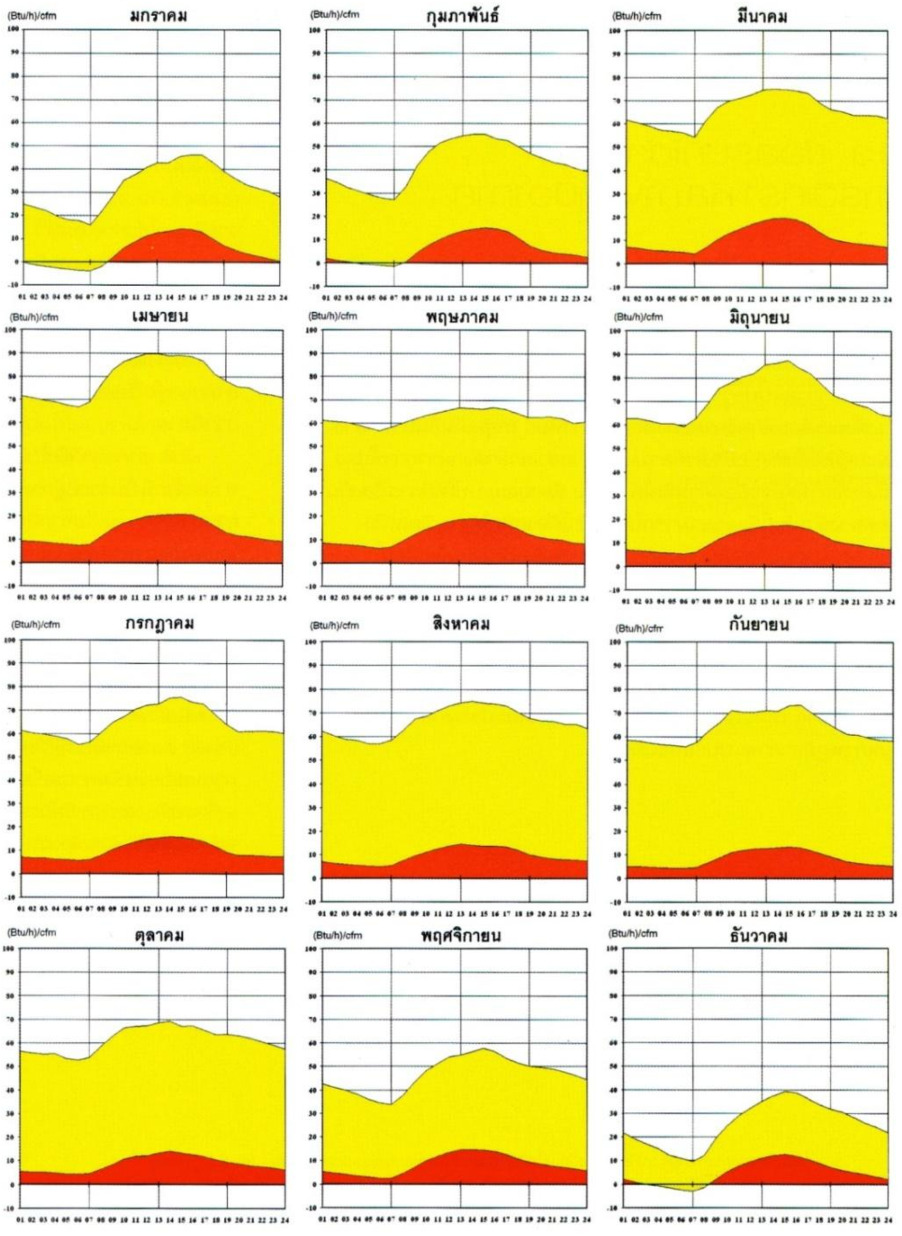
ในกรณีที่เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนหรือผนังอิฐจะพบว่า เมื่อเปิดบ้านทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ ความร้อนและความชื้นจากภายนอกบ้านจะสะสมอยู่ในเนื้อวัสดุต่างๆ ภายในบ้าน เช่น ผนัง พื้น และวัสดุภายในอื่นๆ และต้องใช้พลังงานมหาศาลเพื่อลดความร้อนและความชื้นที่สะสมอยู่ในวัสดุก่อสร้างเหล่านั้น

ความชื้นที่สะสมในวัสดุตกแต่งภายในและเครื่องเรือน

การใช้วัสดุตกแต่งภายในบ้านตลอดจนเครื่องเรือนและเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เช่นพรมบางชนิด ผ้าม่าน โซฟาหนังสือเก่าและอุปกรณ์ที่มีค่าดูดซับความชื้นสูงจะพบว่า เมื่อเปิดบ้านทิ้งไว้ความชื้นจะสะสมในวัสดุประเภทนี้เป็นจำนวนมาก และเนื่องจากประเทศไทยมีความชื้นสูง ถ้าเปิดหน้าต่างทิ้งไว้นาน ระดับความร้อนภายในและภายนอกจะใกล้เคียงกัน ทำให้เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานมาก

ทั้งหมดที่กล่าวข้างต้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของอิทธิพลของความร้อนและความชื้นที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารอย่างมาก จากการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศจริงของกรุงเทพมหานครในเดือนที่แตกต่างกัน 4 เดือน เมื่อพิจารณาถึงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและอุณหภูมิให้กับอากาศต่อ 1 ลิตรต่อวินาทีของปริมาณอากาศจะค่อนข้างสูงมาก ในเดือนเมษายนมีค่าเฉลี่ยของพลังงานสูงถึงประมาณชั่วโมงละ 44.7 วัตต์ต่อลิตรต่อวินาที (72 บีทียูต่อลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) หมายความว่า หากใช้พัดลมดูดอากาศขนาด 100 ลิตรต่อวินาที (212 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ซึ่งเป็นพัดลมขนาดเล็กที่นิยมใช้กันทั่วไปในห้องน้ำ โดยเปิดไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะต้องสูญเสียพลังงานให้กับการลดอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศขนาด 1.3 ตันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เช่นเดียวกัน ในเดือนอื่นๆของปีก็ไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นในฤดูหนาวที่อิทธิพลของความร้อนและความชื้นจะค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะเมื่อลมพัดมาจากทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ถ้ากระแสลมพัดมาจากทิศอื่นๆ ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการรีดความชื้นและอุณหภูมิให้กับอากาศก็ไม่แตกต่างไปจากเดือนอื่นมากนัก



ภาพที่ 2.15 แสดงปริมาณพลังงานเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละเดือนที่ต้องใช้ในการลดความชื้นและและอุณหภูมิให้กับอากาศ (สุนทร บุญญาธิการ, 2540)

2.3.1 การคำนวณหาภาระการทำความเย็น (Cooling Load) **ที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ**

อากาศที่รั่วซึมเข้าสู่อาคารจะสร้างภาระการทำความเย็นได้ดังนี้ คือ

2.3.1.1 อากาศที่รั่วไหลเข้ามาจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศภายใน ซึ่งค่าการใช้พลังงานเพื่อใช้กับความร้อนแบบ Sensible สามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

$$q_s = 60\ Q\ p\ cp\ \Delta t$$

เมื่อ

q_s = Sensible Heat Load, Btu/h

Q = Airflow Rate, CFM

p = Air Density, lb_m/ft^3 (ประมาณ 0.075)

cp = Specific Heat of Air, Btu/lb . F (ประมาณ 0.24)

Δt = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน, F

2.3.1.2 อากาศจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Moisture Content ของอากาศภายในอาคาร ซึ่งค่าการใช้พลังงานเพื่อใช้กับความร้อนแบบ Latent สามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังนี้

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

เมื่อ

ql = 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_mdry air

2.3.1.3 การวัดความเร็วลมจากสถานที่จริงที่ผ่านทางช่องเปิด สามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น ได้จากสมการ

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

เมื่อ

q = พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นรวม, Btu/h

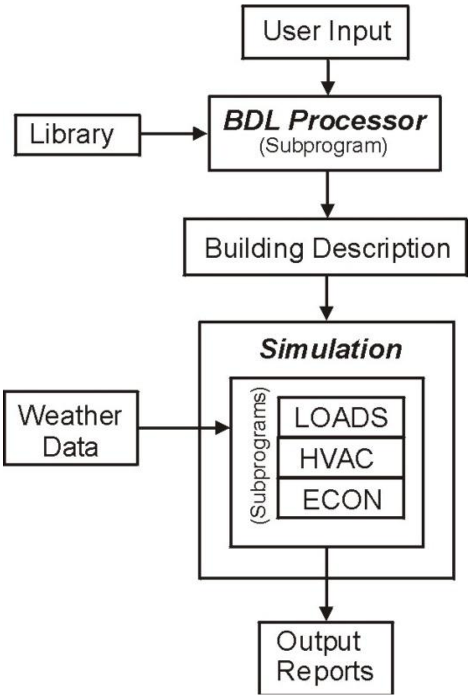
CFM = ค่าความเร็วลมที่วัดได้ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

Δh = ความแตกต่างของ Enthalpy ที่เกิดขึ้นจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องเปิด

ทั้งนี้ ความแตกต่างของ Enthalpy ที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณได้จากการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งจากนั้นจึงนำไปเปรียบเทียบใน Psychometric Chart

2.3.2 การคำนวณหาภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ที่เกิดจากการรั่วซึมของอากาศ โดยใช้โปรแกรม DOE 2.1E

ใช้โปรแกรม DOE-2.1E ช่วยคำนวณการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี โดยอาศัยฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งนำมาจัดรูปแบบเป็นไฟล์ชนิดต่าง ๆ เช่น TRY TMY2 WYEC หรืออื่น ๆ ซึ่งจะทำหน้าที่ตั้งแต่การคำนวณภาระการทำความเย็น จนถึงการใช้พลังงานในส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคาร ทั้งในส่วนของระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า DOE 2.1E จะคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) จากปัจจัยภายนอกอาคารซึ่งได้แก่ การนำความร้อนจากผนังภายนอก การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านช่องหน้าต่าง และการรั่วซึมของอากาศภายนอก นำมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในอาคารซึ่งได้แก่ ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง และความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อนำภาระการทำความเย็นจากภายนอกมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในแล้ว DOE-2.1E ก็จะสามารถคำนวณขนาดของเครื่องปรับอากาศและปริมาณการใช้พลังงาน (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550)



ภาพที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของโปรแกรม DOE-2.1E
(Gundog, 2011: online)

จากภาพที่ 2.14 สามารถอธิบายส่วนประกอบต่างๆของโปรแกรม DOE-2.1E ได้ดังนี้

BDL Processor (The Building Description Language) เป็นหน่วยประมวลผลกลางในการรองรับข้อมูลต่างๆของอาคารที่เราป้อนเข้าไปในคอมพิวเตอร์ จากนั้นจะแปลงค่ามาเป็นรูปฟอร์มของอาคาร และสามารถคำนวณค่าความร้อนเบื้องต้นจากผนังและส่วนประกอบอื่นๆของอาคารได้

LOADS เป็นโปรแกรมย่อยในการจำลองและคำนวณค่าความร้อนจากส่วนประกอบต่างๆของอาคารเป็นรายชั่วโมง และคำนวณภาระการทำความเย็นและพลังงานในส่วนต่างๆของอาคาร โดยคำนวณจากข้อมูลสภาพอากาศ อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ จำนวนและรูปแบบของผู้ใช้งานในอาคาร ระบบแสงสว่าง อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ค่าการรั่วซึมของอากาศ การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง หลังคา และหน้าต่าง และผลจากการบังแสงแดด

HVAC เป็นโปรแกรมย่อยลำดับที่สองของระบบ ช่วยคำนวณประสิทธิภาพของ Plant และอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ เช่น พัดลม คอยล์ และ ท่อลมเย็นต่างๆ ทำการปรับอุณหภูมิและคำนวณพลังงานในระบบปรับอากาศ โดยคำนวณจากปริมาณความต้องการอากาศภายนอก ชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ การตั้งค่าอุณหภูมิ ซึ่งผลที่ได้

จากการคำนวณ คือ ปริมาณอัตราการไหลของอากาศ และ พลังงานที่ใช้ในระบบคอยล์ ในระบบ Plant จะคำนวณหาขนาดของหม้อต้ม Chiller, Cooling Tower, ถังเก็บน้ำและอื่นๆ ในการสร้างสภาวะน่าสบายส่วนของระบบนี้จะคำนวณพลังงานในการทำความร้อนและการทำความเย็นจากข้อมูลที่ได้จากการระบบย่อยในส่วนแรก (LOADS) ด้วย

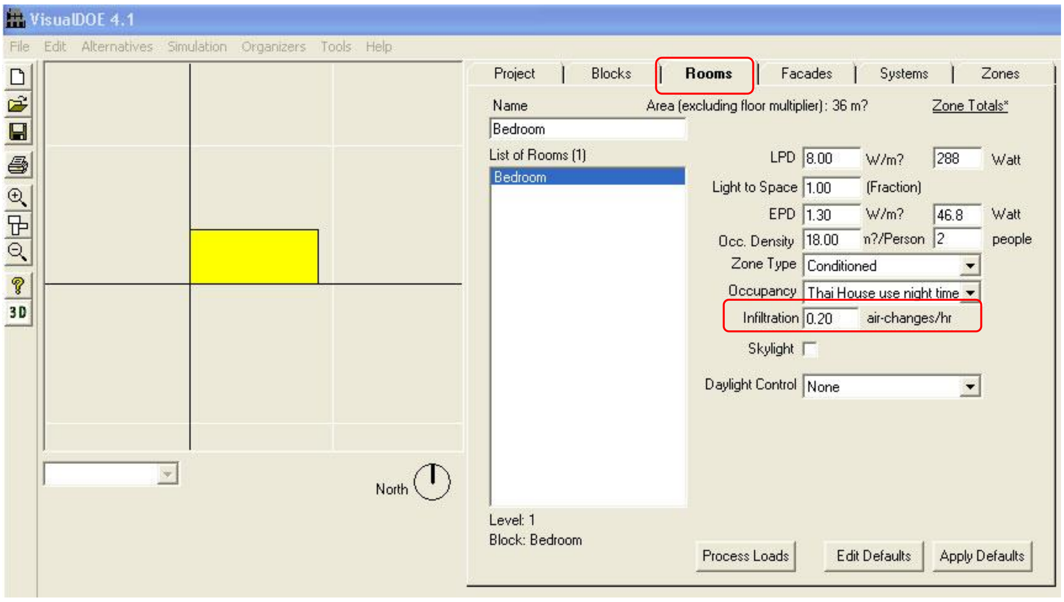
ECON (Economics) เป็นโปรแกรมย่อยในการคำนวณค่าใช้จากพลังงานที่สูญเสีย สามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์จากการใช้พลังงานจากอาคารรูปแบบต่างๆได้ สามารถคำนวณหาการลดลงหรือการประหยัดพลังงานในอาคารแบบต่างๆได้

Weather Data เป็นข้อมูลของสภาพอากาศรายชั่วโมงของที่ตั้งอาคาร โดยมีอุณหภูมิภายนอกที่เป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะปียก ความดันของบรรยากาศ ทิศทางและความเร็วลม ปริมาณก้อนเมฆ และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ โดยอาศัยฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งนำมาจัดรูปแบบเป็นไฟล์ชนิดต่าง ๆ เช่น TRY TMY2 WYEC หรืออื่น ๆ

Library ในโปรแกรม DOE-2.1E จะมีการเก็บรวมข้อมูลส่วนประกอบต่างๆของอาคารในคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้แก่ วัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆของ พื้น ผนัง ประตูหน้าต่าง ฝ้าเพดาน หลังคา เป็นต้น และสามารถนำวัสดุก่อสร้างดังกล่าวมาประกอบกันเป็นส่วนประกอบอาคารตามลักษณะการก่อสร้างได้

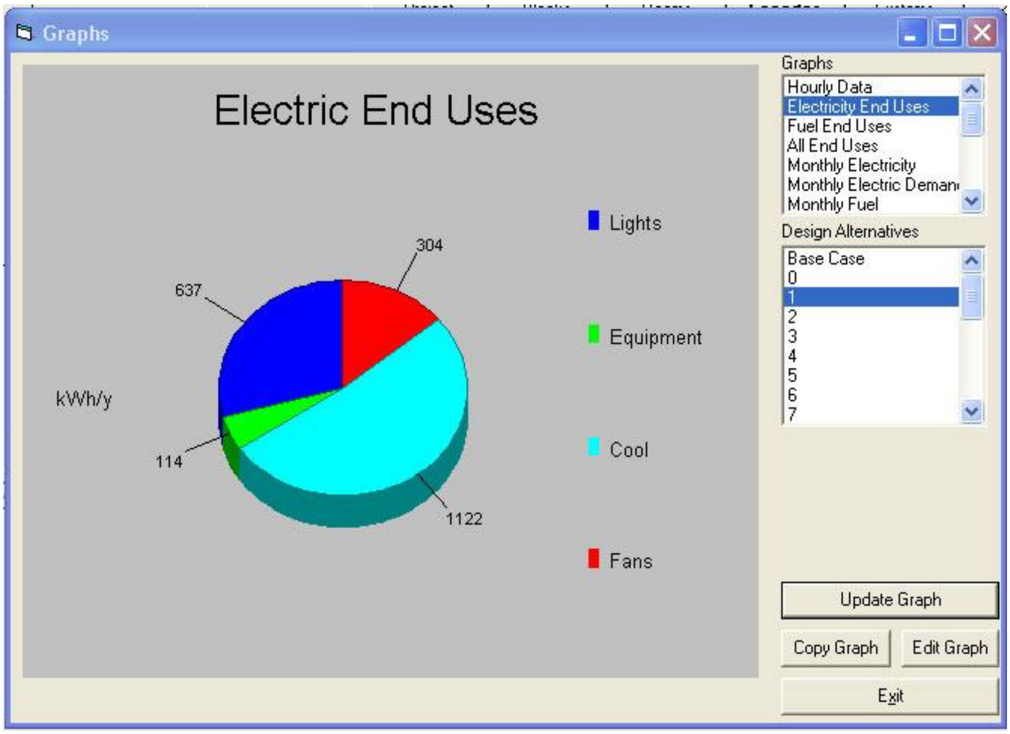
2.3.2.1 **การจำลองการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในโปรแกรม** DOE-2.1E

เมื่อทำการสร้างโมเดลอาคาร และกำหนดวัสดุก่อสร้าง พื้น ผนัง ประตูหน้าต่าง ฝ้าเพดานหลังคา รวมถึงเลือกระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคาร ตารางการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า แสงสว่าง และระบบปรับอากาศเรียบร้อยแล้ว การใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) เพื่อจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E ทำได้โดยการเข้าไปในหมวดของ Rooms และใส่ค่า Infiltration ซึ่งมีหน่วยเป็น Air Change per Hour ตามรูปภาพที่ 2.17 หลังจากนั้นจึงสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณการใช้พลังงาน เมื่อโปรแกรมคำนวณเรียบร้อยแล้วสามารถดูผลการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายรายปี รายเดือน หรือรายชั่วโมงได้ ตามตัวอย่างในภาพที่ 2.18 และภาพที่ 2.19



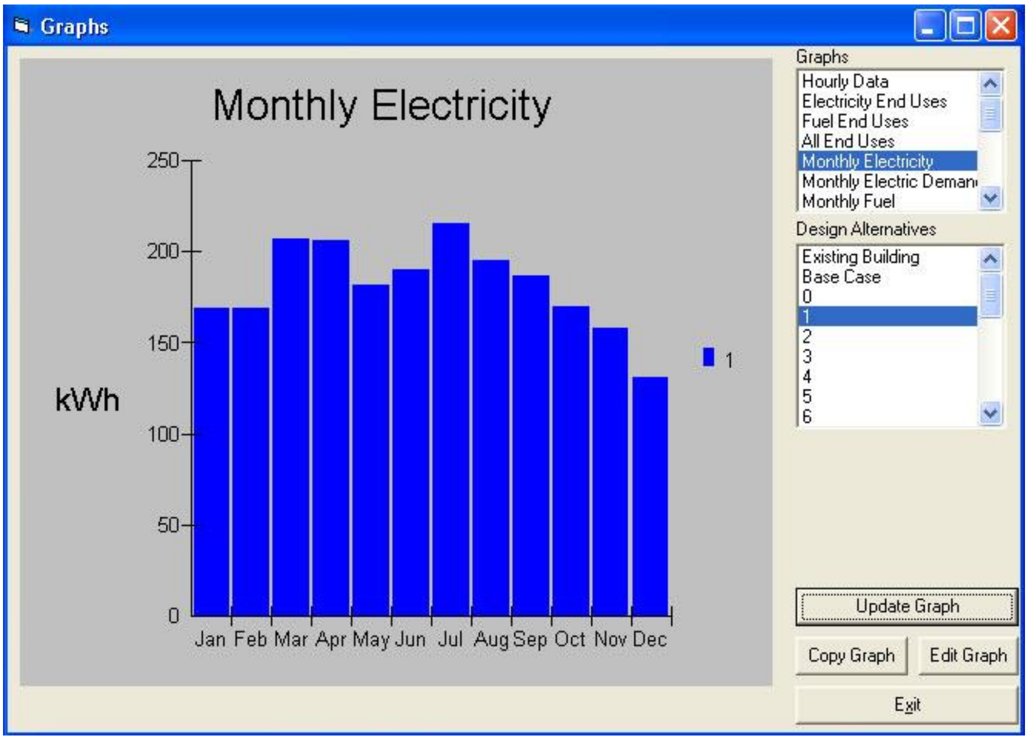
ภาพที่ 2.17 แสดงการใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ เพื่อจำลองการใช้พลังงานงาน

ในโปรแกรม DOE-2.1E



ภาพที่ 2.18 แสดงตัวอย่างผลการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี

ในโปรแกรม DOE-2.1E



ภาพที่ 2.19 แสดงตัวอย่างผลการการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน
ในโปรแกรม DOE-2.1E

2.4 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยภาคกลาง

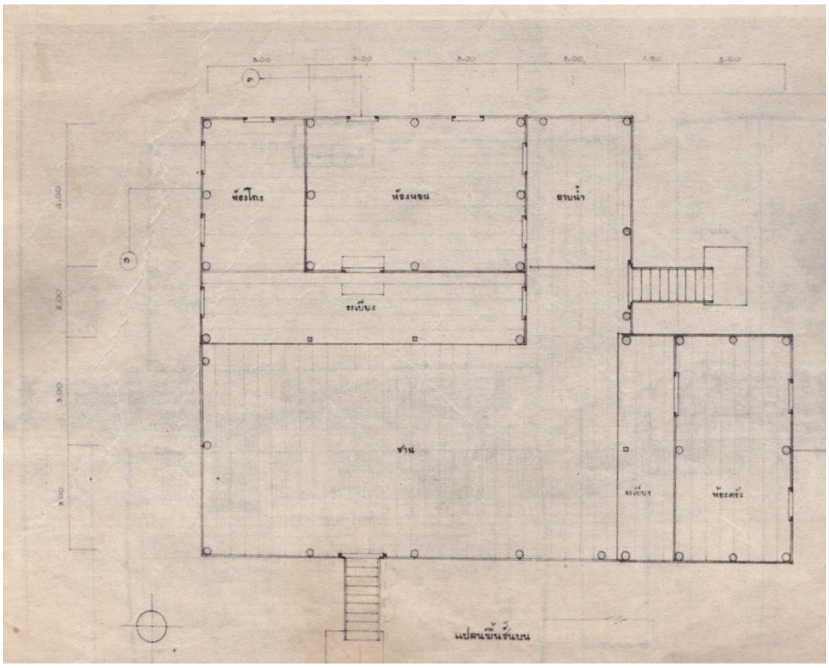
ลักษณะโดยทั่วไปของเรือนไทยภาคกลาง (ฤทัย ใจจงรัก, 2539:165-174)

เรือนไทยโดยเฉพาะเรือนไทยภาคกลาง มีลักษณะทางสถาปัตยกรรมที่เด่นชัดคือ พื้นเรือนยกสูงขึ้นจากระดับพื้นดิน รวมทั้งพื้นชานก็ยกสูงด้วย การยกพื้นสูงนี้มีระดับลดหลั่นกัน เช่น พื้นห้องนอนสูง 2.60 เมตร จากระดับพื้น ระดับระเบียงลดลง 0.40 เมตร และพื้นชายลดจากระเบียงอีก 0.40 เมตร เป็นต้น

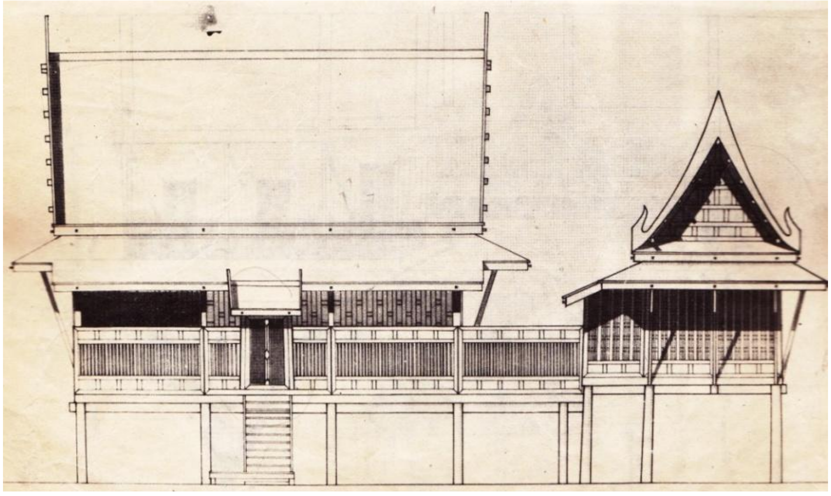
หลังคาทรงจั่ว หลังคาเรือนไทยแต่ดั้งเดิมเป็นลักษณะทรงจั่วสูง เนื่องจากเครื่องวัสดุมุงเป็น แฝก จาก กระเบื้องดินเผา มีโครงหลังคาเป็นไม้ วัสดุมุงเหล่านี้ต้องการความสูงชันของหลังคาโดยมีความชันของหลังคาประมาณ 50 องศา ถึง 60 องศา มีชายคาที่ยื่นยาว ที่สามารถช่วยบังแสงแดดที่จะมากระทบผนังได้เกือบตลอดทั้งวัน และไม่นิยมทำฝ้าเพดาน เพื่อให้ได้ใช้ประโยชน์ของการระบายอากาศและการระบายความร้อนออกจากเรือนได้

พื้นชาน เรือนไทยจะมีพื้นที่ของพื้นชานกว้างมากคือประมาณ 40% ของพื้นที่ทั้งหมด (ห้อง ระเบียง และชาน) และถ้ารวมพื้นที่ของระเบียงเข้าไปด้วย พื้นที่ภายนอกจะเป็น 60% ของ

พื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ที่อยู่อาศัยจะมีเพียง 40% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยที่ชานจะมีหน้าที่ในการเชื่อมเรือนแต่ละหลังเข้าด้วยกัน



ภาพที่ 2.20 แสดงผังพื้นเรือนไทยขนาดเฉลี่ย (ฤทัย ใจจงรัก, 2539)



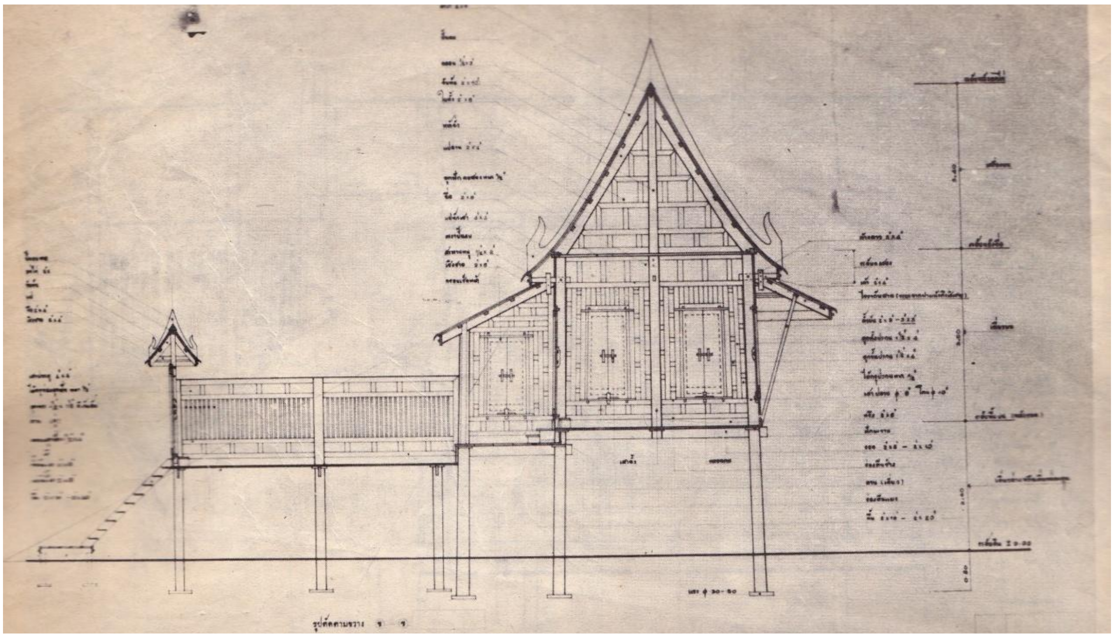
ภาพที่ 2.21 แสดงรูปด้านเรือนไทยขนาดเฉลี่ย (ฤทัย ใจจงรัก, 2539)

การสร้างเรือนไทยนั้นมีคติความเชื่อในเรื่องของโชคลาง โดยที่แฝงเหตุผลในการวางตำแหน่งอาคารให้ถูกต้องตามทิศทางลมแดด ที่มีเหตุผล คือถ้าปลูกเรือนขวางตะวัน คือหันด้าน

ยาว ไปแนวทิศตะวันออก และตะวันตก ด้านยาวของเรือนจะถูกแดดตะวันออกและตะวันตกรบกวน ส่วนด้านแคบของเรือนซึ่งมักมีหน้าต่าง 1 ถึง 2 ช่อง จะหันไปทางด้านเหนือและใต้ การรับลมตามฤดูกาล ซึ่งมักมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศใต้จึงได้น้อย ถ้าวางเรือนตามตะวัน และมีระเบียงอยู่ทางทิศเหนือ ด้านแคบของเรือนหันทางด้านตะวันออก และตะวันตก ด้านยาวของตัวเรือนที่มีหน้าต่างอยู่ด้านทิศใต้ ด้านที่มีประตูและระเบียงอยู่ทิศเหนือ ซึ่งการวางเรือนแบบนี้ก็จะเหมาะสมกับทิศทางของการรับลมกันแดด เพราะด้านยาวของเรือนได้รับลมตามฤดูกาลจากทิศใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ด้านแคบของเรือนหันไปทางด้านตะวันออกและตะวันตก มีเนื้อที่ผนังที่รับแดดน้อยกว่าด้านยาว ส่วนด้านระเบียงที่อยู่ด้านทิศเหนือซึ่งร่มตลอดวัน ก็จะใช้ประโยชน์ได้เต็มที่และได้รับลมประจำที่เข้าจากหน้าต่างด้านทิศใต้ และตะวันตกเฉียงใต้และผ่านออกประตูไปยังระเบียง –ชาน เพราะเรือนไทยมีการเจาะช่องประตู-หน้าต่างตรงกัน เป็นการรับลมและการไหลเวียนอากาศแบบ Cross Ventilation นอกจากนี้ช่องแมวรอด ซึ่งเกิดจากการลดระดับที่ต่างกันของตัวเรือนกับชานจะเป็นช่องที่ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศจากใต้ถุนผ่านมาที่ชาน

นอกจากนี้ยังนิยมวางเรือนไปตามสภาพแวดล้อมและความเชื่อท้องถิ่น เช่น อยู่ริมน้ำหรือลำคลองตัวเรือนจะวางยาวไปตามลำน้ำด้วย ถึงแม้ว่าลักษณะการวางผังจะไม่ได้คำนึงถึงทิศทางลม แต่การที่เรือนแต่ละหลังมีการเว้นระยะห่างกันพอสมควร ก็จะทำให้ลมพัดผ่านห้องของแต่ละเรือนได้สะดวก

ลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบของเรือนทำด้วยไม้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไม้สัก เว้นแต่โครงสร้างที่สำคัญและต้องทำหน้าที่รับน้ำหนักจะใช้ไม้ชนิดอื่นๆ เช่น เต็ง รัง แดง และมะค่า เป็นต้น โครงสร้างทั้งหมดเป็นระบบเสาคาน มีการล้มสอบบนทั้ง 2 ด้าน คือ ด้านสกัดและด้านยาวช่วงของระเบียงมีทั้งแบบไม่ลดระดับพื้นโดยใช้รอดตัวเดียวโดยตลอดและแบบลดระดับพื้นโดยแยกรอดออกเป็น 2 ตัว ตัวหนึ่งรับพื้นส่วนนอน และอีกตัวหนึ่งรับพื้นระเบียง ลักษณะโครงสร้างส่วนนี้มี 2 แบบคือ ใช้เจาะเสาส่วนบนให้รอดรับพื้นห้องนอนผ่านและเจาะเสาส่วนล่างห่างกันประมาณ 0.40 –0.45เมตรให้รอดรับพื้นระเบียงผ่าน หรืออีกแบบหนึ่งตั้งเสาคู่รับรอดระเบียงโดยไม้องเจาะเสา 2 แห่ง แต่เสารับระเบียงมีความสูงเพียงรับรอดเท่านั้น ไม่สูงเลยพื้นและตั้งห่างเสาส่วนนอนประมาณ 0.50 เมตร โครงสร้างของพื้นชานเป็นอิสระจากตัวเรือนอื่นๆ เสาที่ตั้งรับพื้นชานห่างจากเสาเรือนประมาณ 0.50 เมตร วิธีการก่อสร้างทำทีละส่วนไป โดยสร้างเรือนนอนและเรือนครัวก่อน ส่วนชานสร้างภายหลัง



ภาพที่ 2.22 รูปตัดแสดงลักษณะโครงสร้างของเรือนไทยขนาดเฉลี่ย (ฤทัย ใจจงรัก, 2539)

รายละเอียดของเปลือกอาคารเรือนไทย

พื้น ไม้สักเหลี่ยมแบนหนาประมาณ 2.5 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 0.40-0.50 เมตร เรือนไทยนิยมใช้พื้นกว้างมากนิยมปูบนตงหรือรอด ระหว่างแผ่นต่อแผ่นของพื้นมีเดือยไม้ตอกยึดพื้น ระยะห่างเดือยประมาณ 1-2 เมตร บางแห่งใช้เดือยแบนขนาด 1 เซนติเมตร*2.5เซนติเมตร เรียกว่าลิ้นกระบือ สำหรับพื้นนอกชานนั้น ปูเว้นร่องให้สามารถระบายน้ำเพื่อป้องกันพื้นผุ ร่องพื้นชานมีความกว้างประมาณ 1 เซนติเมตร

ฝาผนัง เป็นผืนผนังที่ประกอบกันเข้าเป็นแผ่นจากชิ้นส่วนเล็กๆ ของไม้หรือใบไม้บางชนิด โดยมีโครงขอบฝาเป็นไม้จริง ฝาส่วนด้านสกัดหัวท้าย เรียกว่าฝาอุดหน้ากลองหรือฝาหุ้มกลอง ส่วนฝากั้นห้องภายใน ระหว่างห้องนอนกับโถง เรียกว่าฝาประจันห้อง ไม่ว่าจะเป็นฝาของห้อง ฝาของระเบียง หรือฝาของชาน มีหลากหลายประเภทดังนี้ ฝาปะกน ฝาปะกนกระดานดุน ฝาลูกฟัก ฝาลูกฟักกระดานดุน ฝาสายบัว (ฝาตีตามแนวตั้ง) ฝาสำหรวด (ฝาตีแบบเว้นช่องโปร่ง) ฝากระแชงอ่อน ฝาขัดแตะ ฝากระดานเรียบ ฝาเฟี้ยม ฝาลำแพน (ฝาไม้ไผ่หลาวแบนคล้ายตอกแล้วสานเป็นแผ่น)

หน้าจั่ว เป็นแผงไม้รูปสามเหลี่ยม สร้างขึ้นจากองค์ประกอบของชิ้นไม้ในลักษณะต่างๆ ใช้ประโยชน์เพื่อประกบปิดส่วนที่เป็นโครงของหลังคาทางด้านสกัดมีหลายลักษณะดังนี้

1. จั่วลูกฟัก หรือจั่วพรหมพักตร์ แบ่งหน้าจั่วโดยมีแนวนอนและแนวตั้งสลับกันคล้ายฝาปะกนแต่ขนาดใหญ่กว่าและขยายส่วนไปตามแนวนอน

2. จั่วรูปพระอาทิตย์ มีรูปคล้ายพระอาทิตย์ครึ่งดวง เส้นรัศมีพระอาทิตย์ทำด้วยไม้แบนและเว้นช่องให้ระบายอากาศ นิยมใช้กับจั่วเรือนครัวไฟ

3. จั่วใบปรือ จั่วชนิดนี้มีตีแผงประกอบด้วย แผ่นไม้นาดเล็กเรียงซ้อนทางแนวนอน นิยมใช้กับเรือนนอนและเรือนครัวไฟ ถ้าเป็นครัวไฟส่วนบนมักมีช่องให้ระบายอากาศได้

หลังคา เป็นชิ้นส่วนที่กันแดดกันฝนให้กับตัวเรือน ใช้วัสดุหลายอย่างประกอบกันเข้า (มุง) โดยวัสดุที่ใช้มุงได้แก่

1. กระเบื้อง มีหลายแบบและหลายขนาด ทำจากดินเผาสุก และมักมีชื่อเรียกตามลักษณะตามรูปร่างของกระเบื้องเช่น กระเบื้องหางมน กระเบื้องหางตัด และกระเบื้องขอ เป็นต้น ความหนาโดยประมาณ 0.05-0.08 เมตร มีชนิดตัวผู้และตัวเมีย

2. จาก แฝก และหญ้าคา โดยแผ่และจัดเข้าเป็นตับ โดยมีไม้ไผ่เหลาเป็นแกน ตับหนึ่งๆมีขนาดกว้างประมาณ 0.35 เมตร ยาว 1.10 เมตร ซ้อนกันหนา ประมาณ 7-20 เซนติเมตร

ลักษณะเด่นของบ้านไทยคือ มีชายคายื่นออกมามากและทำมุมกดช่วยทำให้ผนังอาคารเกือบตลอดทั้งวันไม่โดนแดดเลย จึงช่วยลดอุณหภูมิผนังที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ (Sol-Air-Effect) การที่ชายคาทำมุมกดนั้นทำให้พื้นผิวผนังส่วนใหญ่ไม่หันหน้าสู่ท้องฟ้า ดังนั้นผนังจึงไม่ได้รับรังสีสะท้อนจากเมฆ (Diffused Radiation) ทำให้ผนังบ้านไทยอุณหภูมิผิวผนังภายนอกไม่สูง

ผนัง-หลังคาบ้านไทยมีลักษณะเป็นวัสดุมวลเบา (Light Weight Mass) ทำให้การกักเก็บความร้อนในมวลของอาคาร และ Thermal Mass แทบไม่มี ในส่วนของการวางผังอาคารบ้านไทยภาคกลาง เน้นการมีเรือนเชื่อมต่อกันระหว่างเรือนแต่ละหลัง เพื่อการขยายเรือนในอนาคต และช่วยในการระบายอากาศ ระบายความร้อน โดยอาศัย ความเย็นจากลม จากสภาพแวดล้อมโดยรอบ

2.5 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของบ้านร่วมสมัย

จากการศึกษาบ้านร่วมสมัยในท้องตลาดปัจจุบัน (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550) พบว่าลักษณะโดยรวมส่วนใหญ่ของอาคารบ้านจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีส่วนที่ว่างชั้นล่างสำหรับจอดรถ บางหลังอาจมีระเบียงห้องชั้นบน ทำโดยการยื่นส่วนของพื้นออกจากโครงสร้างหลัก (Cantilevered Beam) หรือถอยช่วงผนังเข้าไป ในตัวโครงสร้างหลัก ชั้นล่างมีที่ว่างใต้อาคารสำหรับจอดรถ และมีระเบียงด้านบนของส่วนห้องนอนด้านหน้า สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนัง

พื้นที่อาคาร (WWR) ประมาณ 20-30 % มีพื้นที่ใช้สอยรวม 255 ตารางเมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอยภายใน (Net area) 209 ตารางเมตร รูปแบบทางสถาปัตยกรรมและแปลนอาคาร แสดงในรูปภาพที่ 2.23

ภาพที่ 2.23 แสดงรูปแบบบ้านร่วมสมัยในปัจจุบัน (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550)

รายละเอียดองค์ประกอบอาคารของบ้านร่วมสมัย

โครงสร้าง : เสาคาน คอนกรีตเสริมเหล็ก หลังคาโครงสร้างเหล็ก

หลังคา : กระเบื้องโมเนียร์

ผนัง : ก่ออิฐมอญ ฉาบปูนเรียบทาสี ผนังหนา 10 cm

พื้น : ค.ส.ล. สำเร็จรูป

หน้าต่าง : กระจกใส วงกบไม้เนื้อแข็ง

ฝ้าเพดาน : ยิปซัมบอร์ด หนา 9 มม.

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมอากาศและการใช้พลังงานในอาคาร

2.6.1 การศึกษาลักษณะการรั่วซึมอากาศของหน้าต่างและประตู โดย กูสกานา กูบาฮา, สุทธิพงศ์ เนื่องเยาว์ (พ.ศ. 2550)

การศึกษานี้เป็นการศึกษาลักษณะการรั่วซึมของอากาศผ่านรอยรั่วของหน้าต่างและประตูนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รวมทั้งเป็นการตรวจวิเคราะห์อัตราการรั่วซึมของหน้าต่างและประตูที่มีใช้และจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปในเมืองไทย การทดสอบจะกระทำโดยการเป่าหรืออัดอากาศผ่านกรอบหน้าต่างหรือประตูภายในอุโมงค์ลมขนาด 0.6 x 0.8 x 2.0 เมตร อ้างอิงหลักการทดสอบของ ASTM E283, E779-03 และ E783-02

ลักษณะของหน้าต่างที่ทำการศึกษานี้จะมีประมาณ 8 ประเภท คือ (1) ช่องแสงปิดตาย (2) หน้าต่างแบบบานเปิด (3) หน้าต่างแบบบานเลื่อน (4) หน้าต่างแบบบานกระทุ้งอยู่ตัว (5) หน้าต่างแบบบานรั้งอยู่ตัว (6) หน้าต่างแบบบานเปิดและบานรั้งอยู่ (7) หน้าต่างแบบบานพลิก และ (8) หน้าต่างประเภทบานเกร็ด สำหรับประตูตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจะมี 2 แบบ คือ ประตูแบบบานเปิดไม้ และประตูแบบบานสวิงอลูมิเนียม นอกจากนี้แล้วได้ทำการทดสอบเพิ่มกรณีของหน้าต่างแบบบานเปิดชนิดกรอบทำด้วยเหล็ก

จากผลการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การรั่วซึมอากาศพบว่าสมการสหสัมพันธ์ถดถอยซึ่งแสดงในรูปของแรงดันแตกต่างยกกำลัง 0.85 สามารถใช้งานได้ดีเป็นที่น่าพอใจ เมื่อนำแบบจำลองที่พัฒนานี้ไปประเมินอัตราการรั่วซึมอากาศของหน้าต่างและประตูตัวอย่าง พบว่าที่ระดับความดันแตกต่าง 75 Pa ปริมาณอากาศรั่วอยู่ที่ประมาณ 0.15-1.60 ลิตร/วินาที-เมตรของรอยรั่ว โดยส่วนใหญ่แล้วพบว่าสูงกว่า (แย่กว่า) ค่าเกณฑ์มาตรฐานของหน้าต่างที่มีสมรรถนะเชิงพลังงานที่ดี

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

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาแสวงหาว่าปัจจัยที่ก่อให้เกิดการรั่วซึมของอากาศและหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการประเมินการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศจากการรั่วซึมของอากาศ

การสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด ช่องเปิดที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย ช่องเปิดบานเกร็ด บานเปิด บานเลื่อนและบานติดตาย รวมไปถึงผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่าง

ความเร็วลมภายนอกกับอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด เมื่อสามารถหาความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แล้ว จึงอาศัยการสร้างสมการถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง เพื่อการทำนายผลจากข้อมูลที่รวบรวมได้ จากนั้นจึงนำมาใช้ในการประเมินการรั่วซึมของอากาศตลอดทั้งปี จากข้อมูลภูมิอากาศโดยคำนึงถึง ความร้อน ความชื้นและ Enthalpy ตลอดทั้งปี

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า การรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิดนั้น มีปัจจัยสำคัญ คือ ประเภทของช่องเปิดและความเร็วลมภายนอกที่มากระทำ โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่องเปิดที่ทำการทดลองแล้วพบว่า ช่องเปิดบานเกร็ดมีอัตราการรั่วซึมของอากาศสูงสุดต่อตารางเมตร คือ มีการสูญเสียพลังงานในการปรับอากาศเฉลี่ย 3390ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร อันดับที่ 2 คือ ช่องเปิดบานเปิดโดยเฉลี่ยสูญเสีย 2138 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร อันดับที่ 3 คือ ช่องเปิดบานเลื่อนโดยเฉลี่ยสูญเสีย 192 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร และอันดับสุดท้าย คือ ช่องเปิดติดตายโดยเฉลี่ยสูญเสีย 178 ตันชั่วโมงต่อปีต่อตารางเมตร ในขณะที่ผนังก่ออิฐฉาบปูนมีการรั่วซึมของอากาศ ส่งผลให้เกิดอัตราภาระการทำความเย็นโดยเฉลี่ยประมาณ 1.0 ตันชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี สำหรับอิทธิพลของทิศทางนั้น ทิศใต้จะมีแนวโน้มการสูญเสียพลังงานมากที่สุดโดยเฉลี่ยในทุกช่องเปิดและผนังที่ทดลองทั้งนี้เนื่องจากทิศใต้มีแนวโน้มที่จะมีความเร็วลมภายนอกโดยเฉลี่ยสูงที่สุดและสม่ำเสมอตลอดทั้งปี จากผลการวิจัยนี้ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้รับไปใช้ในการออกแบบ เป็นประโยชน์ในการก่อสร้างสถาปัตยกรรมยุคใหม่เพื่อการประหยัดพลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบเพื่อการลดการรั่วซึมของอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิดได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

2.6.3 แนวทางการสร้างแบบประเมินค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านทางประตู - หน้าต่างและผนังของอาคารพักอาศัยที่มีการปรับอากาศ โดย สมพงษ์ นามทวีสุข (พ.ศ. 2546)

การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบประเมินค่าการรั่วซึมของอากาศโดยศึกษาอิทธิพลของตัวแปรและหาความสัมพันธ์ของตัวแปรกับพลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นเนื่องจากการรั่วซึมของอากาศ

ขั้นตอนในการวิจัยประกอบด้วย การทดลองเก็บข้อมูลและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมของอากาศ ประตู-หน้าต่าง ผนังที่ทำการศึกษา ได้แก่ ประตูกระจกเปลือย หน้าต่างบานเกล็ด ประตู-หน้าต่างบานเปิด ประตู-หน้าต่างบานเลื่อน ช่องแสงบานติดตาย ผนังไม้ตีซ้อนเกล็ด ผนังไม้อัด ผนังคอนกรีตมวลเบา ผนังก่ออิฐ และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ต่อจากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมภายนอกกับอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านทางประตู-หน้าต่าง และผนัง และนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาสร้างสมการถดถอยแบบเป็นเส้นตรง และ

ไม่เป็นเส้นตรงเพื่อทำนายค่าการรั่วซึมของอากาศ นำข้อมูลภูมิอากาศกรุงเทพฯ พ.ศ. 2543 มาคำนวณหาพลังงานตลอดทั้งปีที่สูญเสียจากการรั่วซึมของอากาศ

ผลการศึกษาที่ได้ นำมาสร้างแบบประเมินโดยแบ่งค่าระดับเป็น 5 ระดับ โดยค่าระดับ 1 มีการสูญเสียพลังงานมากที่สุดและค่าระดับ 5 มีการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด ประตู-หน้าต่างที่มีการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมมากที่สุดคือ ประตูกระจกเปลือย (1666.83 Btu/hr.-m^2) ค่ระดับ 2 คือหน้าต่างบานเกล็ด (955.39 Btu/hr.-m^2) ค่าระดับ 3 คือ ประตู-หน้าต่างบานเปิด (590.37 Btu/hr.-m^2) ค่าระดับ 4 คือประตู-หน้าต่างบานเลื่อน (95.10 Btu/hr.-m^2) ค่าระดับ 5 คือช่องแสงบานติดตาย (93.12 Btu/hr.-m^2) และผนังที่มีการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมมากที่สุด คือผนังไม้ตีซ้อนเกล็ด (955.39 Btu/hr.-m^2) ค่าระดับ 2 คือ ผนังไม้อัด (50.73 Btu/hr.-m^2) ค่าระดับ 3 คือ ผนังคอนกรีตมวลเบา (5.9 Btu/hr.-m^2) ค่าระดับ 4 คือ ผนังก่ออิฐ (0.13 Btu/hr.-m^2) ค่าระดับ 5 คือ ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (0.05 Btu/hr.-m^2)

ในการทดสอบแบบประเมิน ได้เลือกบ้านพักอาศัยทั่วไปซึ่งใช้ผนังคอนกรีตมวลเบา หน้าต่างบานเปิด และบ้านไทยเดิมซึ่งใช้ผนังไม้ตีซ้อนเกล็ด หน้าต่างบานเปิด มาเป็นกรณีศึกษา พบว่า บ้านพักอาศัยทั่วไปมีค่าระดับอยู่ที่ 3 บ้านไทยเดิมมีค่าระดับอยู่ที่ 1 เมื่อเปลี่ยนผนังและหน้าต่างชุดเดิมของอาคารทั้งสอง มาเป็นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกและหน้าต่างบานเลื่อน แล้วทำการประเมินอีกครั้งพบว่า บ้านพักอาศัยทั่วไปและบ้านไทย มีค่าระดับอยู่ที่ 5 ผลการทดสอบนี้สรุปได้ว่าการใช้ประตู หน้าต่างบานเลื่อน ช่องแสงบานติดตาย และผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานจากการรั่วซึมของอากาศได้ดีกว่าประตู-หน้าต่าง และผนังประเภทอื่นๆ

2.6.4 การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว โดย อรรจน์ เศรษฐบุตร, ธนิต จินดาวณิค (พ.ศ. 2550)

การศึกษานี้มุ่งเน้นศึกษาเรื่องวัสดุเปลือกอาคาร ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น ที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน โดยการสำรวจบ้านในท้องตลาดในระยะ 5 ปีที่ผ่านมา เพื่อเป็นบ้านกรณีศึกษาพบ โดยทำการจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-21.E ว่าวัสดุเปลือกอาคารมีผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้นหรือไม่ ผลการศึกษาพบว่าวัสดุเปลือกอาคารมีผลน้อยมากต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ แต่ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นในอาคารพักอาศัยมากที่สุดคือ ขนาดและวัสดุกระจกหน้าต่าง ซึ่งอาคารที่มีช่องเปิดหน้าต่างมาก จะมีการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นมาก เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกเวลากลางวันจะเข้ามา

สะสมในตัวอาคารและก่อให้เกิดภาระการทำความเย็นในเวลากลางคืนต่อมา ดังนั้นประสิทธิภาพการกันความร้อนของวัสดุกระจกหน้าต่างจะมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารที่สูงมาก

2.6.5 ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร โดย ประวิตร กิตติชาญธีระ (พ.ศ. 2553)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดพลังงานในระบบปรับอากาศของบ้านพักอาศัย ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น, ฉนวนกันความร้อนและกระจกอนุรักษ์พลังงาน พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์กันแดด เพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารในเวลากลางวัน จากผลการศึกษาโดยจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม VisualDOE4.1 พบว่า การติดตั้งแผงกันแดดแบบ 100% สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการใช้กระจก Double Low-E ถึง 38% และประหยัดพลังงานกว่าการใช้ผนังที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน และผลการวิเคราะห์ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์พบว่า Life Cycle Cost ของการใช้แผงกันแดดแบบ 100% มีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 17 ปี ซึ่งเร็วกว่าการใช้กระจก Double Low-E ถึง 6 ปี

2.6.6 แนวทางการใช้รูปแบบการไหลเวียนกระแสลมของเรือนไทยในบ้านพักอาศัย โดย นายสุบิน วงศ์ฝั้น, (พ.ศ.2547)

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาแนวคิดอันสะท้อนถึงภูมิปัญญาในการสร้างสรรค์ส่วนประกอบทางกายภาพที่เอื้อให้เกิดการไหลเวียนของกระแสลมในเรือนไทยเดิม รวมถึงเพื่อศึกษาส่วนประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีผลต่อการไหลเวียนของกระแสลมในเรือนไทยเดิมและเพื่อศึกษาแนวทางออกแบบส่วนประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีแนวทางจากเรือนไทยเดิม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไหลเวียนของกระแสลม สำหรับบ้านพักอาศัยที่มีลักษณะการวางอาคารแบบล้อมชานในปัจจุบัน

ในการวิจัยได้ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องต่างๆ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามผ่านการ Simulation ด้วยโปรแกรม CFD (Computation Fluid Dynamic) โดยตัวแปรต้น คือส่วนประกอบทางสถาปัตยกรรม ตัวแปรตาม คือความเร็วลมและลักษณะการไหลเวียนกระแสลมภายในอาคาร และตัวแปรคงที่ คือรูปแบบของกรณีศึกษาและความเร็วลมภายนอกอาคาร แบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน คือ (1) การทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการไหลเวียนกระแสลมในเรือนไทยเดิม โดยศึกษาจาก 6 ปัจจัยได้แก่ ช่องเปิดที่พื้น ช่องเปิดที่ผนัง หลังคาทรงสูง ใต้ถุนโล่ง ชายคาและชานโล่ง (2) การนำปัจจัยที่ได้ศึกษาจากการทดลองร่วมกับปัจจัยจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มากำหนดตัวแปรในการทดลอง รวมทั้งหมด 12 ปัจจัย 33 ตัวแปร ได้แก่ ปัจจัยกลุ่ม อาคาร ปัจจัยทิศทา กระแส

ลม ปัจจัยระยะห่างระหว่างอาคารที่บังลมกัน ปัจจัยปริมาณช่องเปิด ปัจจัยระดับช่องเปิด ปัจจัยตำแหน่งช่องเปิด ปัจจัยช่องเปิดที่พื้น ปัจจัยช่องลม ปัจจัยใต้ถุนโล่ง ปัจจัยรูปทรงหลังคา ปัจจัยรูปแบบชายคา และปัจจัยระยะยื่นของชายคา วิเคราะห์เปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรในแต่ละปัจจัย เพื่อสรุปหาตัวแปรที่ทำให้การไหลเวียนกระแสลมมีประสิทธิภาพสูงสุด (3) นำข้อสรุปจากการทดลองมาเสนอแนวทางสำหรับการออกแบบบ้านพักอาศัยในปัจจุบัน

ผลการวิจัย พบว่าเรือนไทยเดิมมีระบบการระบายอากาศแบบลมพัดผ่านตลอด การกระจายตัวของกระแสลมภายในอาคารค่อนข้างดี ไม่ว่ากระแสลมจะพัดมาในทิศทางใด กระแสลมในทิศตั้งฉากกับชานทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยภายในบ้านทุกพื้นที่สูงที่สุด โดยเฉพาะบริเวณใต้ถุนและปัจจัยชายคาบ้านช่วยทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยในบ้านเรือนไทยเพิ่มขึ้น รวมถึงการวางกลุ่มบ้านแบบไม่ต่อเนื่อง และกลุ่มบ้านแบบต่อเนื่องบางส่วน เมื่อทิศทางกระแสลมภายนอกกระทำ 45 องศากับพื้นที่ชาน จะทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยภายในบ้านสูงที่สุดและอยู่ในระดับที่รู้สึกสบาย องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ช่วยเพิ่มความเร็วลมและอยู่ในสภาวะน่าสบายได้ เช่น การวางระยะห่างระหว่างบ้านให้เท่ากับ 2 เท่าของความสูงห้อง, มีปริมาณช่องเปิด 60%, ชายคาราบเหนือหน้าต่างมีระยะยื่น 1.60 ม. การมีช่องเปิดระหว่างพื้นชานกับพื้นชั้นบน, ความสูงของช่องเปิดสูงกว่าพื้นห้อง 0.40 ม. เป็นต้น

2.6.7 **การรั่วซึมของอาคาร, การรั่วซึมของอากาศ และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในบ้านเดี่ยวที่สร้างเสร็จแล้ว โดย** Juha Jokisalo, JarekKurnitski, MinnaKorpi, TargoKalamees, JuhaVinha (ค.ศ. 2008)

การศึกษานี้มุ่งเน้นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ความแน่นหนาของเปลือกอาคาร การรั่วซึมอากาศ และการใช้พลังงาน ในบ้านเดี่ยวที่สร้างเสร็จแล้ว ในสภาพอากาศแบบหนาวเย็นของประเทศฟินแลนด์ ได้ศึกษาและดำเนินการสังเกตอัตราไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารในบ้านเดี่ยว พบว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อ อัตราไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคาร เช่น สภาพอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่น อัตราความเร็วลม ความสมดุลของระบบระบายอากาศ และการกระจายตัวของพื้นที่รั่วซึมของเปลือกอาคาร การวัดค่าการรั่วซึมอากาศใช้วิธีการ Fan Pressurization Method และหาค่าเฉลี่ยจากบ้านเดี่ยวที่ทำการจำลองจำนวน 170 หลัง จากสมการ $Q = C\,(dP)^n$ และศึกษาอัตราการรั่วซึมอากาศต่อผลลการใช้พลังงานในระบบทำความร้อนในอาคาร โดยการการจำลองในโปรแกรม IDA-ICE Simulation model

จากผลการจำลองพบว่า ค่าอัตราการรั่วซึมอากาศมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบทำความร้อนในอาคาร ประมาณ 15 - 30% ของพลังงานที่ใช้ในการทำความร้อนและพลังงานในการระบายอากาศในอาคารบ้านเดี่ยว ค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมอากาศมีความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรง

กับค่าพลังงานที่ใช้ในระบบทำความร้อนในอาคาร โดยที่เปลือกอาคารมีการรั่วซึมในอัตรา n_5 ประเทศฟินแลนด์สามารถแบ่งโซนได้เป็น 2 โซนตามค่าเฉลี่ยการรั่วซึมอากาศของบ้านเดี่ยว

2.6.8 การตรวจสอบระยะสั้น เพื่อวินิจฉัยปัญหาที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย ของบ้านพักอาศัยแห่งหนึ่ง ในเทกซัสตอนกลาง โดย V. Kootin-Sanwa, A. Sreshthaputra, J.S.Haberl (**ค.ศ.** 1999)

การศึกษานี้ นำเสนอผลการแก้ปัญหาสภาวะน่าสบาย ที่เกิดจากความชื้นภายในอาคารที่มีปริมาณสูงเกินไป ของบ้านหลังหนึ่งที่มีพื้นที่ 3,400 sq. ft. ที่เมืองบไรอัน, เทกซัส บ้านกรณีศึกษาเคยได้รับประกาศนียบัตรจากหน่วยงานท้องถิ่นว่าเป็นบ้านที่มีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ผู้อยู่อาศัยกลับมีความรู้สึกว่า ภายในบ้านมีความชื้นมากจนรู้สึกไม่สบาย และคิดว่าต้องมีการซ่อมบำรุงระบบปรับอากาศเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว และได้จ้างผู้รับเหมาระบบปรับอากาศมาซ่อมหลายครั้ง แต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จ

การตรวจวัดเริ่มจากการสำรวจสภาพทั่วไปของอาคาร วัดอุณหภูมิ ความชื้น และใช้ประตูอัดอากาศ (Blower Door) ในการทดลองเพื่อวัดความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ทั้งชั้นบนและชั้นล่างของบ้าน และใช้อุปกรณ์ Portable Data Logger ในการตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของระบบ Supply และ Return ของระบบปรับอากาศ รวมถึงอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ เป็นระยะเวลา 2 อาทิตย์ ตามมาตรฐาน ASHRAE, 1997 และนำมาเปรียบเทียบกับผลของการวัดค่าจากการทดลองโดยใช้ประตูอัดอากาศ (Blower Door) ผลการตรวจวัดมีความเป็นไปได้ว่ามีการรั่วซึมที่ท่อลม Return ของระบบปรับอากาศ

ต่อมาจึงได้มีการแนะนำให้กับเจ้าของบ้านทราบ และจ้างผู้รับเหมารายใหม่มาซ่อมในจุดที่สงสัยว่าทำให้เกิดปัญหา รวมถึงการทำความสะอาดท่อต่างๆในระบบปรับอากาศหลังจากนั้นจึงมีการตรวจวัดค่าอีกครั้ง พบว่าปัญหาดังกล่าวได้รับการแก้ไขเรียบร้อย

2.7 สรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า บ้านพักอาศัยที่มีพื้นที่ช่องเปิดกระจกน้อยๆ และมีการบังแดดให้กับช่องเปิดในเวลากลางวัน จะช่วยประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการออกแบบเรือนไทย ที่มีการชายคายื่นยาวช่วยบังแดดให้กับผนังอาคารทั้งวัน และประตูหน้าต่างส่วนใหญ่เป็นไม้ ทำให้ พื้นที่ Window to Wall Ratio (WWR) น้อยกว่าบ้านร่วมสมัย เรือนไทยจึงควรจะประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศได้ดี แต่สิ่งหนึ่งที่ยังต้องศึกษาต่อไป คือค่าการรั่วซึมอากาศในเรือนไทย มีผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากน้อยเพียงใด

จากการศึกษาการวิจัยเกี่ยวกับการรั่วซึมอากาศพบว่า การวิจัยในประเทศไทยส่วนใหญ่

จะมุ่งเน้นเพื่อวัดค่าการรั่วซึมอากาศผ่านประตูหน้าต่างและผนังเป็นส่วนๆ ตามมาตรฐาน ASTM E783 ซึ่งยากต่อการประมวลผลโดยรวม เนื่องจากยังมีส่วนประกอบอื่นทางสถาปัตยกรรมที่ยังไม่ได้วัดค่าการรั่วซึมอากาศ เช่น การรั่วซึมอากาศผ่านฝ้าเพดาน พื้น รวมถึงรอยต่อระหว่างผนังกับฝ้าเพดาน และรอยต่อระหว่างพื้นกับผนัง เป็นต้น ทำให้ค่าที่ได้จากการวัดยังไม่ครบถ้วนเท่าที่ควร ซึ่งแตกต่างจากการวิจัยในต่างประเทศ ที่นิยมวัดค่าการรั่วซึมอาการผ่านเปลือกอาคารโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779 ซึ่งใช้พัดลมอัดอากาศ (Blower Door) ในการทดสอบการรั่วซึมอากาศ วิธีการทดสอบนี้จะวัดอัตราการรั่วไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารที่อยู่ภายใต้การควบคุมความดันในระดับต่างๆ โดยการอัดอากาศเข้าไปในห้องที่ทดลอง และดูดอากาศออกจากห้องที่ทำการทดลองทำให้ได้ค่าการรั่วซึมอากาศที่เป็นผลรวมทั้งห้อง เป็นวิธีที่ค่อนข้างสะดวก ใช้เวลาในการทดลองประมาณ 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง โดยไม่ต้องคำนึงถึงสภาพอากาศภายนอก

การวิจัยที่ผ่านมาในประเทศไทย ยังไม่มีการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคารเรือนไทย โดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779 และยังไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับเรือนไทยรับรองชัดเจน ว่าการรั่วซึมอากาศในเรือนไทยมีปริมาณที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศมากน้อยเพียงใด และเรือนไทยที่มีการปรับอากาศ จะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าบ้านร่วมสมัยทั่วไปจริงหรือไม่ และยังไม่มีการการวิจัยเกี่ยวกับการรั่วซึมอากาศที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองค่าการใช้พลังงานในอาคาร เช่น โปรแกรม DOE-2.1E ช่วยในการคำนวณ จึงเป็นเรื่องที่ควรศึกษาต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย ต่อผลการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศ โดยทดลองวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศจากสถานที่จริง และนำผลการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ มาใส่ในโปรแกรม DOE-2.1E เพื่อจำลองและคำนวณค่าการใช้พลังงาน โดยแบ่งวิธีการศึกษาได้ดังนี้

3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดวิธีการวิจัย

3.1.1 การกำหนดมาตรฐานวิธีการทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ

3.1.2 การกำหนดอาคารกรณีศึกษา

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 การทดลองภาคสนาม

3.4 การจำลองค่าการรั่วซึมอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E เพื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดวิธีการวิจัย

3.1.1 การกำหนดมาตรฐานวิธีการทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ

ในการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร มีมาตรฐานและวิธีการทดสอบที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้กันอยู่ 3 มาตรฐาน คือ ASTM Standard, CGSB standard และ ISO Standard (ASHRAE, 2009) เนื่องจากเอกสารอ้างอิงเกี่ยวกับวิธีการทดสอบวัดการรั่วซึมของอากาศในประเทศไทยมีค่อนข้างจำกัด ทางผู้วิจัยจึงเลือกมาตรฐานการทดสอบที่ประเทศไทยมีข้อมูลเพียงพอและได้มีใช้มาตรฐานดังกล่าวในการวิจัยมาแล้ว จึงเลือกใช้มาตรฐาน ASTM Standard ในงานวิจัยนี้

จากการศึกษามาตรฐานการทดสอบการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM Standard พบว่ามาตรฐานในการทดสอบหลักมีอยู่ 3 มาตรฐาน คือ ASTM E779, ASTM

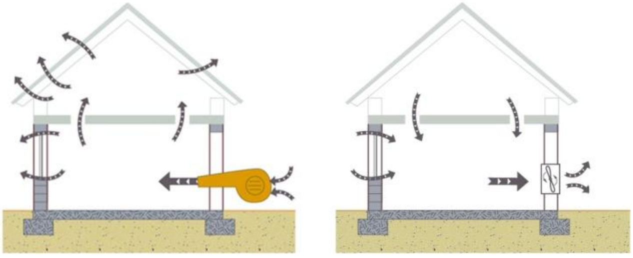
E783 และ ASTM E741โดยแต่ละมาตรฐานมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ในการทดสอบของแต่ละมาตรฐานได้ตาม ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการทดสอบการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM International (American Society for Testing and Materials)

ลำดับที่	มาตรฐาน	วัตถุประสงค์ในการทดสอบ
1	ASTM E779	วัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร วัดความหนาแน่นของเปลือกอาคาร และหาจุดรั่วซึมของอาคาร โดยสามารถวัดการรั่วซึมอากาศได้ทั้งหลัง
2	ASTM E783	วัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านกรอบประตูหน้าต่าง
3	ASTM E741	หาจุดรั่วและวัดอัตราการเปลี่ยนของอากาศตามธรรมชาติ โดยใช้ Tracer Gas

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการรั่วซึมอากาศพบว่า งานวิจัยในประเทศไทยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นเพื่อวัดค่าการรั่วซึมอากาศผ่านประตูหน้าต่างและผนังเป็นส่วนๆ ตามมาตรฐาน ASTM E783 ซึ่งยากต่อการประมวลผลโดยรวม เนื่องจากยังมีส่วนประกอบอื่นทางสถาปัตยกรรมที่ยังไม่ได้วัดค่าการรั่วซึมอากาศ เช่น การรั่วซึมอากาศผ่านฝ้าเพดาน พื้น รวมถึงรอยต่อระหว่างผนังกับฝ้าเพดาน และรอยต่อระหว่างพื้นกับผนัง เป็นต้น ทำให้ค่าที่ได้จากการวัดยังไม่ครบถ้วนเท่าที่ควร ซึ่งแตกต่างจากการวิจัยในต่างประเทศ ที่นิยมวัดค่าการรั่วซึมอาการผ่านเปลือกอาคารโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779 โดยใช้พัดลมอัดอากาศ (Blower Door) ในการทดสอบวัดการรั่วซึมอากาศ วิธีการทดสอบนี้จะวัดอัตราการรั่วไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารที่อยู่ภายใต้การควบคุมความดันในระดับต่างๆ โดยการอัดอากาศเข้าไปและดูดอากาศออกจากห้องที่ทำการทดลอง ทำให้ได้ค่าการรั่วซึมอากาศที่เป็นผลรวมทั้งห้อง เป็นวิธีที่ค่อนข้างสะดวก ใช้เวลาในการทดลองประมาณ 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง โดยไม่ต้องคำนึงถึงสภาพอากาศภายนอกมากนัก และเป็นวิธีที่ง่ายกว่าการทดสอบโดยใช้ Trace Gas ซึ่งต้องมีความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของ Tracer Gas

งานวิจัยนี้จึงเหมาะสมในการใช้วิธีการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization ซึ่งสามารถแสดงวิธีการทดสอบโดยสังเขป จากภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงวิธีการทดลองวัดการรั่วซึมอากาศ โดยการอัดอากาศเข้า (Pressurization) และดูดอากาศออก (Depressurization) จากห้องที่ทำการทดลอง ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 (Save on energy, 2011: online)

3.1.2 การกำหนดอาคารกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะวัดค่าการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทย และผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศจากการรั่วซึมอากาศ และนำมาเปรียบเทียบกับบ้านร่วมสมัย ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งอาคารกรณีศึกษาออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้คือ 1) เรือนไทยเดิม 2) เรือนไทยประยุกต์ และ 3) บ้านร่วมสมัย

3.1.2.1 การเลือกอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยเดิม"

เกณฑ์ในการเลือก

1) เป็นเรือนไทยที่ปลูกสร้างในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

2) เป็นเรือนไทยที่มีสภาพสมบูรณ์ และยังมีการใช้งานอยู่ปกติ

3) เป็นเรือนไทยที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และใช้งานจริง

4) เป็นเรือนไทยที่มีรูปแบบใกล้เคียงกับเรือนไทยขนาดเฉลี่ย (ฤทัย ใจจงรัก, 2539) เพื่อสามารถเป็นตัวแทนของเรือนไทยภาคกลางได้

จากเกณฑ์ในการเลือกและการสำรวจเรือนไทยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทำให้สามารถเลือกอาคารเรือนไทยกรณีศึกษาได้จำนวน 2 หลัง คือ

1) เรือนไทยหมู่ ศูนย์ส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) เรือนไทยหมู่ของ ดร. ภิญโญ สุวรรณคีรี

3.1.2.2 การเลือกอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์"

เกณฑ์ในการเลือก

1) เป็นเรือนไทยประยุกต์ที่ปลูกสร้างในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

2) เป็นเรือนไทยที่มีสภาพสมบูรณ์ และยังมีการใช้งานอยู่ปกติ

3) เป็นเรือนไทยที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และใช้งานจริง

4) เป็นเรือนไทยประยุกต์ที่มีการออกแบบโดยใช้แนวทางการออกแบบอย่างเรือนไทย เช่น หลังคาทรงสูง ลักษณะการยื่นชายคาที่ยาว วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารน้อย เป็นต้น

จากเกณฑ์ในการเลือกและการสำรวจเรือนไทยประยุกต์ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทำให้สามารถเลือกอาคารกรณีศึกษาเรือนไทยประยุกต์ ได้จำนวน 1 หลัง คือ เรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์

3.1.2.3 การเลือกอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย"

เกณฑ์ในการเลือก

1) เป็นบ้านพักเดี่ยว ค.ส.ล.2 ชั้นที่ปลูกสร้างในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

2) เป็นบ้านเดี่ยวที่มีสภาพสมบูรณ์ และยังมีการใช้งานอยู่ปกติ

3) เป็นบ้านเดี่ยวที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และใช้งานจริง

4) เป็นบ้านเดี่ยวที่มีรูปแบบใกล้เคียงกับบ้านเดี่ยวที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัยเรื่องการพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550) เช่น พื้นที่ใช้สอยไม่ต่ำกว่า 150 ตารางเมตร โครงสร้าง ค.ส.ล. ผนังก่ออิฐมอญ หนา 10 ซม. WWR20-30 และประตูหน้าต่างเป็นกระจกใสวงกบไม้เนื้อแข็ง เป็นต้น เพื่อสามารถเป็นตัวแทนของบ้านร่วมสมัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลได้

จากเกณฑ์ในการเลือกและการสำรวจบ้านร่วมสมัยในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทำให้สามารถเลือกอาคารกรณีศึกษาบ้านร่วมสมัยได้จำนวน 1 หลัง คือ บ้านของคุณกัดดาฟี่ กามีฮา

3.1.3 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารกรณีศึกษา

3.1.3.1 เรือนไทยหมู่ ศูนย์ส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (เรือนไทยจุฬา)

ลักษณะอาคาร : เรือนไทยเดิม แบบเรือนเครื่องสับ

โครงสร้าง : ใต้ถุนเสาคาน ค.ส.ล. ชั้นบนเป็นโครงสร้างไม้เนื้อแข็ง

พื้นภายใน : ไม้เนื้อแข็ง ขนาด 1” x 6” เข้าลิ้น

พื้นภายนอก : พื้น ค.ส.ล.ปูกระเบื้องดินเผา

ผนัง : ฝาปะกนไม้เนื้อแข็ง

ประตูหน้าต่าง : บานไม้แบบฝังเดือยบนล่าง

ฝ้าเพดาน : ไม่มี

หลังคา : กระเบื้องดินเผาเกล็ดปลา

พื้นที่อาคาร : 585 ตารางเมตร (ไม่รวมพื้นที่ใต้ถุน)

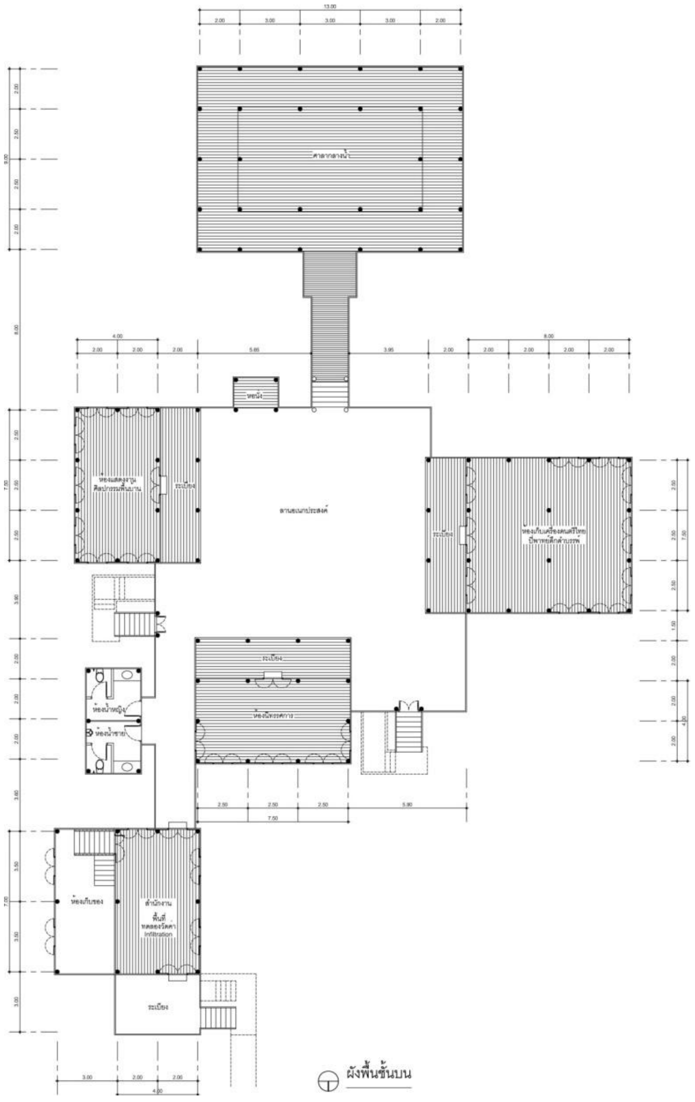
พื้นที่ภายใน : 227 ตารางเมตร

WWR : 0

อายุอาคาร : 24 ปี

ภาพที่ 3.2 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยจุฬา

ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยจุฬา เป็นเรือนไทยหมู่แบบเรือนเครื่องสับ หลังคาทรงจั่วสูง วัสดุมุงเป็นกระเบื้องดินเผาเกล็ดปลา มีโครงหลังคาเป็นไม้ โดยมีความชันของหลังคาประมาณ 60 องศา มีชายคาที่ยื่นยาว ที่สามารถช่วยบังแสงแดดที่จะมากระทบผนังได้เกือบตลอดทั้งวัน ผนังเป็นฝาปะกนไม้ หน้าต่างเป็นบานไม้ (WWR0) และไม่ทำฝ้าเพดาน เพื่อให้ได้ประโยชน์จากการระบายอากาศและการระบายความร้อนออกจากเรือนได้ เรือนไทยจุฬามีพื้นที่ของพื้นชานกว้างมากคือประมาณ 60% ของพื้นที่ทั้งหมด (ห้อง ระเบียง และชาน) และพื้นที่ใช้สอยภายในจะมีเพียง 40% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยที่ชานจะมีหน้าที่ในการเชื่อมเรือนแต่ละหลังเข้าด้วยกัน ซึ่งลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสัดส่วนของพื้นที่อาคารใกล้เคียงกับเรือนไทยขนาดเฉลี่ย (ฤทัย ใจจงรัก, 2539) ค่อนข้างมาก จึงสามารถเป็นตัวแทนของเรือนไทยภาคกลางได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 3.3 แสดงผังพื้นชั้นบนของเรือนไทยจุฬา

3.1.3.2 เรือนไทยหมู่ ของ ดร. ภิญโญ สุวรรณคีรี

ลักษณะอาคาร : เรือนไทยเดิม แบบเรือนเครื่องสับ

โครงสร้าง : ใต้ถุนเสาคาน ค.ส.ล. ชั้นบนเป็นโครงสร้างไม้เนื้อแข็ง

พื้นภายใน : ไม้สัก ขนาด 1” x 12” เข้าลิ้น

พื้นภายนอก : พื้น ค.ส.ล.ปูกระเบื้องดินเผา

ผนัง : ฝาไม้สัก 1” x 12”

ประตูหน้าต่าง : บานไม้สักแบบฝังเดือยบนล่าง ลูกฟักกระจกใส 6 mm.

ฝ้าเพดาน : ไม้สัก ขนาด 1” x 6” เข้าลิ้นร่องวี

หลังคา : กระเบื้องดินเผาเกล็ดปลา

พื้นที่อาคาร : 240 ตารางเมตร (ไม่รวมพื้นที่ใต้ถุน)

พื้นที่ภายใน : 96 ตารางเมตร

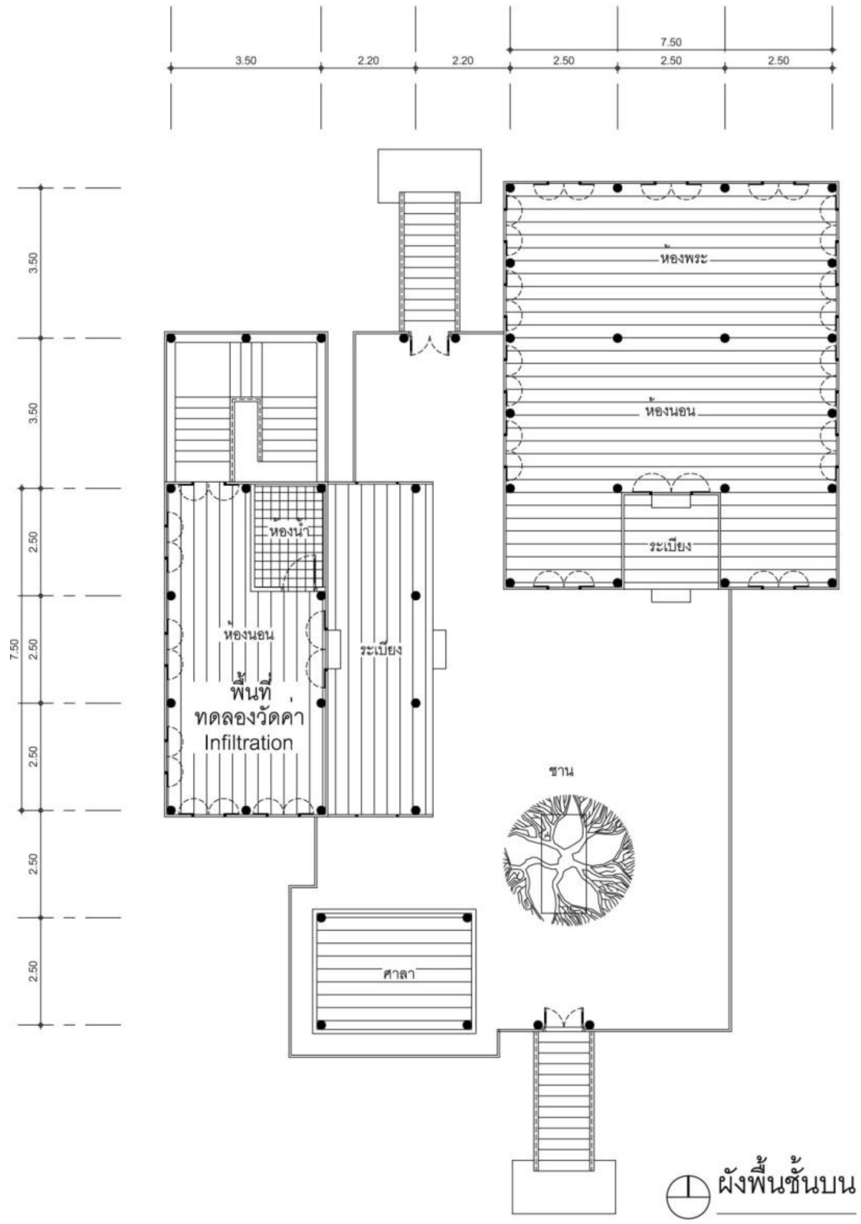
WWR : 10

อายุอาคาร : 8 ปี

ภาพที่ 3.4 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี

ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สวรรณคีรี เป็นเรือนไทยหมู่แบบเรือนเครื่องสับ หลังคาทรงจั่วสูง วัสดุมุงเป็นกระเบื้องดินเผาเกล็ดปลา มีโครงหลังคาเป็นไม้ โดยมีความชันของหลังคาประมาณ 60 องศา มีชายคาที่ยื่นยาว ที่สามารถช่วยบังแสงแดดที่จะมากระทบผนังได้เกือบตลอดทั้งวัน ฝาผนังเป็นไม้ หน้าต่างเป็นบานไม้ลูกฟักกระจกใส

(WWR10) และทำฝ้าเพดาน มีการออกแบบเพื่อรองรับการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ โดยมีการตีคิ้วปิดรอยต่อระหว่างพื้นกับผนัง และรอยต่อระหว่างผนังกับฝ้าเพดาน มีพื้นที่ของพื้นชานประมาณ 60% ของพื้นที่ทั้งหมด (ห้อง ระเบียง และชาน) และมีพื้นที่ใช้สอยภายใน 40% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยที่ชานจะมีหน้าที่ในการเชื่อมเรือนแต่ละหลังเข้าด้วยกัน ซึ่งลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสัดส่วนของพื้นที่อาคารใกล้เคียงกับเรือนไทยขนาดเฉลี่ย (ฤทัย ใจจงรัก, 2539) ค่อนข้างมาก จึงสามารถเป็นตัวแทนของเรือนไทยภาคกลางได้เป็นอย่างดีเช่นเดียวกับเรือนไทยจุฬา



ภาพที่ 3.5 แสดงผังพื้นชั้นบนเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี

3.1.3.3 เรือนไทยประยุกต์ของ สถาบันอาศรมศิลป์

ลักษณะอาคาร : เรือนไทยประยุกต์

โครงสร้าง : เสาคาน ค.ส.ล. โครงสร้างหลังคาไม้เนื้อแข็ง

พื้นภายใน : ไม้เนื้อแข็ง ขนาด 1” x 6” เข้าลิ้น

พื้นภายนอก : ไม้เนื้อแข็ง ขนาด 1½” x 4” เว้นร่อง

ผนัง : ฝาไม้เนื้อแข็ง 1” x 6” สองชั้น ตีคิ้วปิดตามรอยต่อ

ประตูหน้าต่าง : บานไม้ ลูกฟักกระจกใส 6 mm.

ฝ้าเพดาน : กระจกฝ้า กรอบอลูมิเนียมแบบสไลด์ เปิด-ปิดได้

หลังคา : ตับจาก / สังกะสีแผ่นเรียบ / ฝ้าไม้เนื้อแข็ง ½” x 6”

พื้นที่อาคาร : 2,038 ตารางเมตร

พื้นที่ภายใน : 1,100 ตารางเมตร

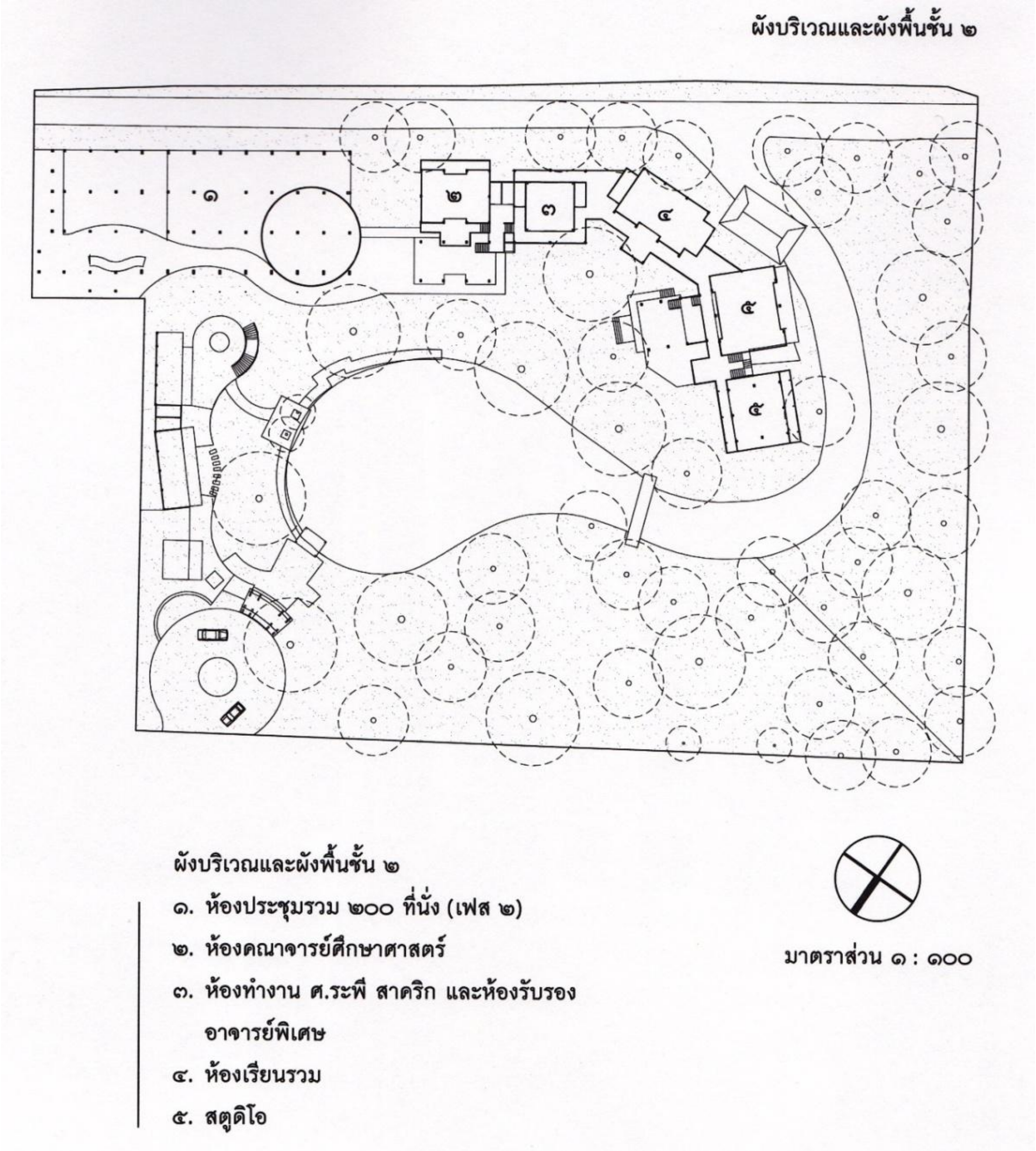
WWR : 40

อายุอาคาร : 6 ปี

ภาพที่ 3.6 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยประยุกต์ของ สถาบันอาศรมศิลป์
(Arsomsilp, 2011: online)

ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของเรือนไทยประยุกต์ของ สถาบันอาศรมศิลป์ เป็นเรือนไทยประยุกต์แบบปูนผสมไม้ มีการออกแบบตามแนวทางการออกแบบอย่างเรือนไทย คือ มีหลังคาทรงจั่วสูง วัสดุมุงเป็นตับจากคล้ายเรือนไทยเดิมในอดีต มีโครงหลังคาเป็นไม้ โดยมีความชันของหลังคาประมาณ 60 องศา มีชายคาที่ยื่นยาว ที่สามารถช่วยบังแสงแดดที่จะมากระทบผนัง

ได้เกือบตลอดทั้งวัน หน้าต่างเป็นบานไม้ลูกฟักกระจกใส (WWR40) และทำฝ้าเพดานเป็นกระจกฝ้ากรอบอลูมิเนียมแบบสไลด์ เปิด-ปิดได้ เพื่อใช้ประโยชน์ในการระบายอากาศและการระบายความร้อนออกจากเรือนได้ ออกแบบเพื่อรองรับการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ โดยมีการตีคิ้วปิดรอยต่อของผนังไม้ รอยต่อระหว่างพื้นกับผนัง และรอยต่อระหว่างผนังกับฝ้าเพดาน มีพื้นที่ของพื้นชานประมาณ 50% ของพื้นที่ทั้งหมด (ห้อง ระเบียง และชาน) และมีพื้นที่ใช้สอยภายใน 50% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยที่ชานจะมีหน้าที่ในการเชื่อมเรือนแต่ละหลังเข้าด้วยกัน ซึ่งลักษณะทางสถาปัตยกรรมและแนวคิดในการออกแบบสอดคล้องกับการออกแบบอย่างเรือนไทย



ภาพที่ 3.7 แสดงผังพื้นชั้นบนเรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์

(a+A หนังสือเผยแพร่ผลงานออกแบบดีเด่น ลำดับที่ 7, 2553: 83)

3.1.3.4 บ้านร่วมสมัยของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา

ลักษณะอาคาร : บ้านพักอาศัย ค.ส.ล. 2 ชั้น 3 ห้องนอน

โครงสร้าง : เสาคาน ค.ส.ล. โครงสร้างหลังคาเหล็ก

พื้นภายใน : พื้น ค.ส.ล.สำเร็จรูป

พื้นภายนอก : พื้น ค.ส.ล.

ผนัง : ก่ออิฐมอญ ฉาบปูนเรียบทาสี หนา 10 cm.

ประตูหน้าต่าง : บานไม้ ลูกฟักกระจกใส 6 mm.

ฝ้าเพดาน : ยิปซัมบอร์ด หนา 9 mm.

หลังคา : กระเบื้องโมเนียร์

พื้นที่อาคาร : 160 ตารางเมตร

พื้นที่ภายใน : 118 ตารางเมตร

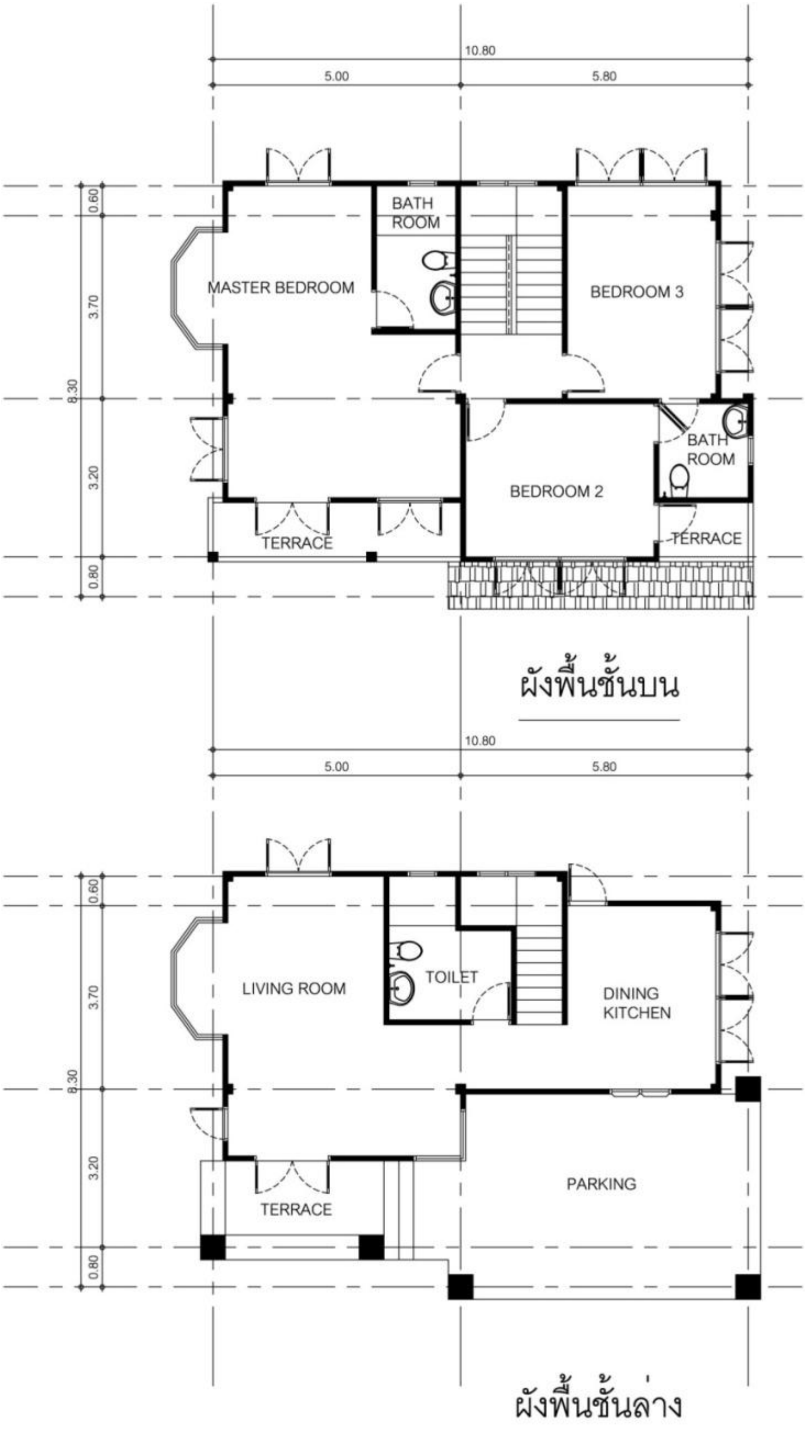
WWR : 30

อายุอาคาร : 6 ปี

ภาพที่ 3.8 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของบ้านร่วมสมัย

ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของบ้านร่วมสมัย เป็นบ้านพักอาศัย ค.ส.ล.2 ชั้น ตามลักษณะบ้านในท้องตลาดปัจจุบัน (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550) กล่าวคือ มีผังอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผนังก่ออิฐมอญ หลังคาทรงจั่วเตี้ย วัสดุมุงเป็นกระเบื้องโมเนียร์ โครงหลังคาเป็นเหล็ก โดยมีความชันของหลังคาประมาณ 30 องศา มีลักษณะการยื่นชายคาค่อนข้างสั้น ทำให้

ช่วยบังแดดได้ค่อนข้างน้อย หน้าต่างเป็นบานไม้ลูกฟักกระจกใส (WWR30) และฝ้าเพดานเป็นยิปซัมบอร์ด 9 mm



ภาพที่ 3.9 แสดงผังพื้นของบ้านร่วมสมัย

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารกรณีศึกษา

อาคารกรณีศึกษา	พื้นที่ m^2	WWR	โครงสร้าง	หลังคา	พื้น	ผนัง	เพดาน	หน้าต่าง
1. เรือนไทยจุฬา	585	0	ใต้ถุนเสา คาน ค.ส.ล. ชั้นบนเสา คานไม้ โครงสร้าง หลังคาไม้	กระเบื้อง ดินเผา เกล็ดปลา	ไม้เนื้อ แข็ง 1"x6" เข้าลิ้น	ฝาปะ กนไม้ เนื้อแข็ง 1" x6"	-	บานไม้
2. เรือนไทยหมู่ ดร. ภิญโญ สุวรรณคีรี	240	10	ใต้ถุนเสา คาน .ค.ส.ล. ชั้นบนเสา คานไม้ โครงสร้าง หลังคาไม้	กระเบื้อง ดินเผา เกล็ดปลา	ไม้สัก 1"x12"	ฝาไม้ สัก 1"x12"	ไม้สัก 1"x6" เข้าลิ้น	บานไม้ ลูกฟัก กระจกใส 6mm
3. เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	2038	40	เสาคาน ค.ส.ล. โครงสร้าง หลังคาไม้	ตับจาก / สังกะสี แผ่นเรียบ	ไม้เนื้อ แข็ง 1"x6" เข้าลิ้น	ฝาไม้ เนื้อแข็ง 1/2"x6" ตีคิ้วไม้ ตาม รอยต่อ	กระจก ฝ้ากรอบ อลูมิ เนียม แบบ สไลด์ เปิดปิด ได้	บานไม้ ลูกฟัก กระจกใส 6mm
4. บ้านร่วมสมัย	160	30	เสาคาน ค.ส.ล. โครงสร้าง หลังคา เหล็ก	กระเบื้อง โมเนียร์	ค.ส.ล. สำเร็จ รูป	ก่ออิฐ มอญ ฉาบปูน เรียบ หนา 10 cm	ยิปซัม บอร์ด หนา 9 mm	บานไม้ ลูกฟัก กระจกใส 6mm

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดค่าอัตราการรั่วซึมของอาการในอาคารเรือนไทยเพื่อเปรียบเทียบกับบ้านร่วมสมัยทั่วไป และเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณการรั่วซึมอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

3.2.1 เครื่องมือวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ (ASTM E779-03)

3.2.2 เครื่องมือจำลองและคำนวณการใช้พลังงาน (DOE-2.1E)

3.2.1 เครื่องมือวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับวิธีการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศที่ผ่านมา พบว่าเครื่องมือที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ คือ มาตรฐาน **ASTM E779-03** Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization

วิธีการทดลองวัดการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 หรือเรียกวิธีการทดสอบนี้ว่า Fan Pressurization Method อุปกรณ์หลักที่ใช้ คือ Blower Door ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้วัดความหนาแน่นของอากาศและวัดอัตราการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร รวมถึงการหาจุดรั่วซึมของอาคารได้ด้วย ซึ่งอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 มีดังนี้

3.2.1.1 Blower Door

Blower Door คือ ประตูที่มีพัดลมแรงดันสูง สามารถเคลื่อนย้ายและนำไปติดตั้งกับประตูหลักภายนอกของอาคาร เพื่อเป่าลมเข้าหรือดูดลมออกจากตัวอาคาร ทำหน้าที่สร้างความดันอากาศแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งเมื่อเกิดความดันแตกต่าง จะทำให้อากาศที่มีแรงดันอากาศสูงกว่าไหลผ่านรูหรือรอยแตกของเปลือกอาคารไปหาอากาศที่มีแรงดันอากาศน้อยกว่า หรือเรียกว่าการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 จะใช้ Blower Door ในการสร้างความดันแตกต่างจาก 10 ถึง 60 Pa และวัดอัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ ซึ่ง Blower Door มีอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) พัดลมแรงดันสูง
2) อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของพัดลม
3) เครื่องมือวัดความดันแตกต่าง
4) เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ หรือวัดความเร็วลม
5) บานประตูแบบปรับขนาดได้ (The Adjustable Door Frame)

โดยสามารถอธิบายรายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ดังนี้

3.2.1.1.1 **พัดลมแรงดันสูง** (Blower)

พัดลมแรงดันสูง (Blower) เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่โดยการเป่าลมเข้าหรือดูดลมออกจากตัวอาคาร เพื่อสร้างความดันอากาศแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคาร สามารถปรับความเร็วของมอเตอร์ได้ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 พัดลมแรงดันสูงควรสร้างอัตราการไหลของอากาศได้หลายระดับค่าไปจนถึง 1.4 m^3/s (3,000 CFM)

รายละเอียด

ชนิด : พัดลมท่อ ขนาด 20”

ยี่ห้อ / รุ่น : BO –V2203D ขนาด 20”

มอเตอร์ : 3 HP 380 V. 3Phase

ปริมาณลม: 6,480 CFM

ภาพที่ 3.10 ภาพพัดลมแรงดันสูง (Blower)

3.2.1.1.2 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของพัดลม (Blower Control Box)

อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของพัดลม (Blower Control Box) ทำหน้าที่ในการเปิด-ปิด ปรับเพิ่มและลดความเร็วของมอเตอร์ รวมถึงสั่งให้พัดลมเป่าลมเข้าหรือดูดลมออก อุปกรณ์ภายใน Control Box ประกอบด้วย

1) Circuit Breaker ทำหน้าที่ในการต่อและตัดกระแสไฟฟ้าจากปลักเข้าสู่ระบบของ Control Box รวมถึงทำหน้าที่ในการป้องกันอุปกรณ์อีเลกทรอนิกส์เสียหายจากสาเหตุของกระแสไฟฟ้าเกินหรือต่ำกว่าปกติ

2) Control Switch ทำหน้าที่ในการสั่งให้มอเตอร์ของพัดลมหมุน (Run) และหยุดหมุน (Stop) รวมถึงสั่งให้พัดลมเป่าลมเข้า (FWD) หรือดูดลมออก (REV)

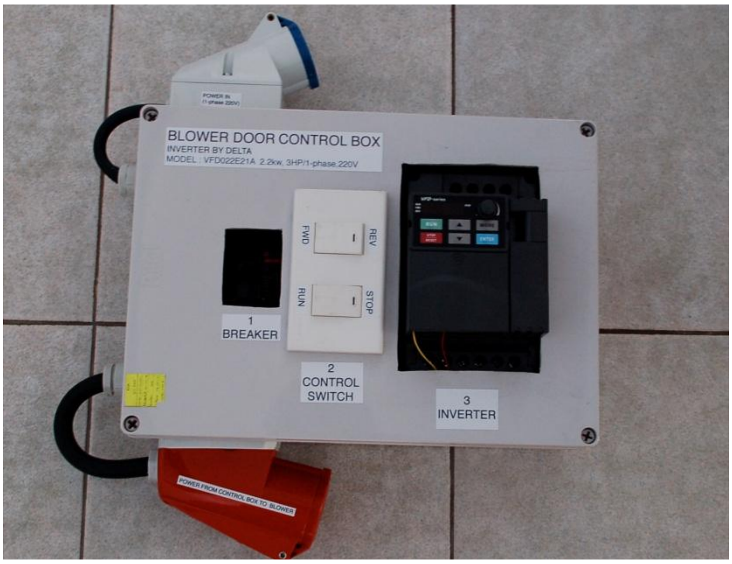
3) Inverter ทำหน้าที่ในการปรับความเร็วของมอเตอร์พัดลม ซึ่งสามารถปรับความเร็วจาก 0 ถึง 60 Speed โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ ดังนี้

รายละเอียด

ชนิด : Inverter

ยี่ห้อ / รุ่น : Delta / VFD22E21A

Spec : 2.2 kW, 3HP/1phase, 220 V.



ภาพที่ 3.11 ภาพอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของพัดลม (Blower Control Box)

3.2.1.1.3 **เครื่องมือวัดความดันแตกต่าง** (Manometer)

เครื่องวัดความดันแตกต่าง เป็นอุปกรณ์วัดความดันที่สามารถวัดความดันแตกต่าง ใช้ในการวัดความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกห้องทดลอง ในหน่วยปาสคาล (Pa) โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือ ดังนี้

รายละเอียด

ยี่ห้อ : Testo รุ่น 510

ชนิดของเซนเซอร์ : Differential Pressure Sensor

หน่วยของการวัด : Pa, hPa, mbar, mmH_2O, mmHg, inHg, inH_2O, psi, m/s,fpM

ช่วงการวัด : 0 ถึง 100 hPa

ความละเอียด : 0.01 hPa

ความคลาดเคลื่อน : ±0.03 hPa

ความถี่ในการวัดค่า : 0.5 วินาที

อุณหภูมิที่ใช้ในการวัด : 0 ถึง 50 C

ขนาดและน้ำหนัก : 119x46x25 mm / 90 g.

ภาพที่ 3.12 ภาพเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง (Manometer)

3.2.1.1.4 เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ
หรือวัดความเร็วลม (Barometer)

เครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ หรือวัดความเร็วลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลของอากาศ หรือวัดความเร็วลมที่เกิดจากแรงดันของวัดลม ในหน่วย m/s โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือ ดังนี้

รายละเอียด

ยี่ห้อ : Testo รุ่น 350 XL

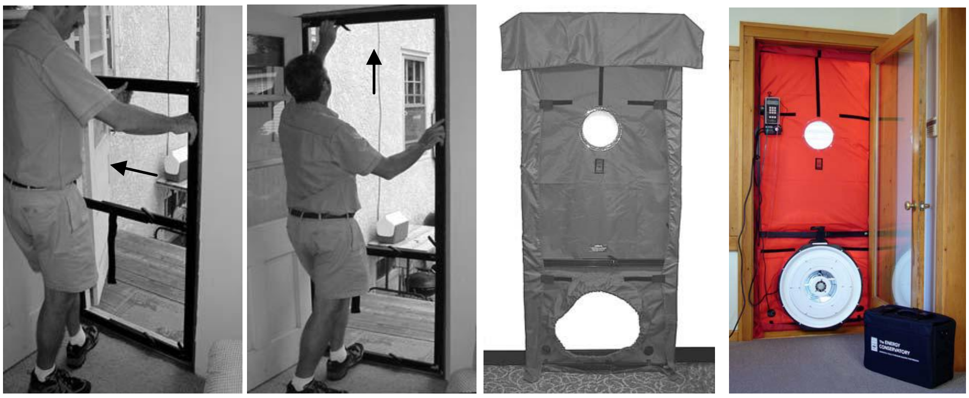
ความสามารถในการวัด : วัดความเร็วลม, m/s
อุณหภูมิ, C
ความดันอากาศ, Pa
ความชื้นสัมพัทธ์, %

ภาพที่ 3.13 ภาพเครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ หรือวัดความเร็วลม (Barometer)

3.2.1.1.5 **บานประตูแบบปรับขนาดได้** (The Adjustable Door Frame)

บานประตูแบบปรับขนาดได้ (The Adjustable Door Frame) เป็นประตูที่ใช้ติดตั้งพัดลมแรงดันสูง (Blower) สามารถยืดหดหรือปรับขนาดเพื่อให้เข้ากับบานประตูที่ใช้ในการทดลอง สามารถถอดเก็บเพื่อประโยชน์ในการเคลื่อนย้ายไปทดลองในสถานที่ต่างๆ ทำหน้าที่ในการป้องกันการไหลเข้าและไหลออกของอากาศ

เนื่องจากบานประตูประเภทนี้ยังไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย และในกรณีที่สั่งซื้อจากต่างประเทศ จะมีราคาสูงมากและใช้เวลาในการสั่งซื้อค่อนข้างนาน ทางผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องออกแบบและผลิตขึ้นเอง โดยการศึกษารูปแบบจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง (The Energy Conservatory, 2010) เพื่อเป็นบานประตูกรณีศึกษาในการออกแบบและผลิต ซึ่งสามารถสรุปรูปแบบได้ตามรูปภาพที่ 3.14

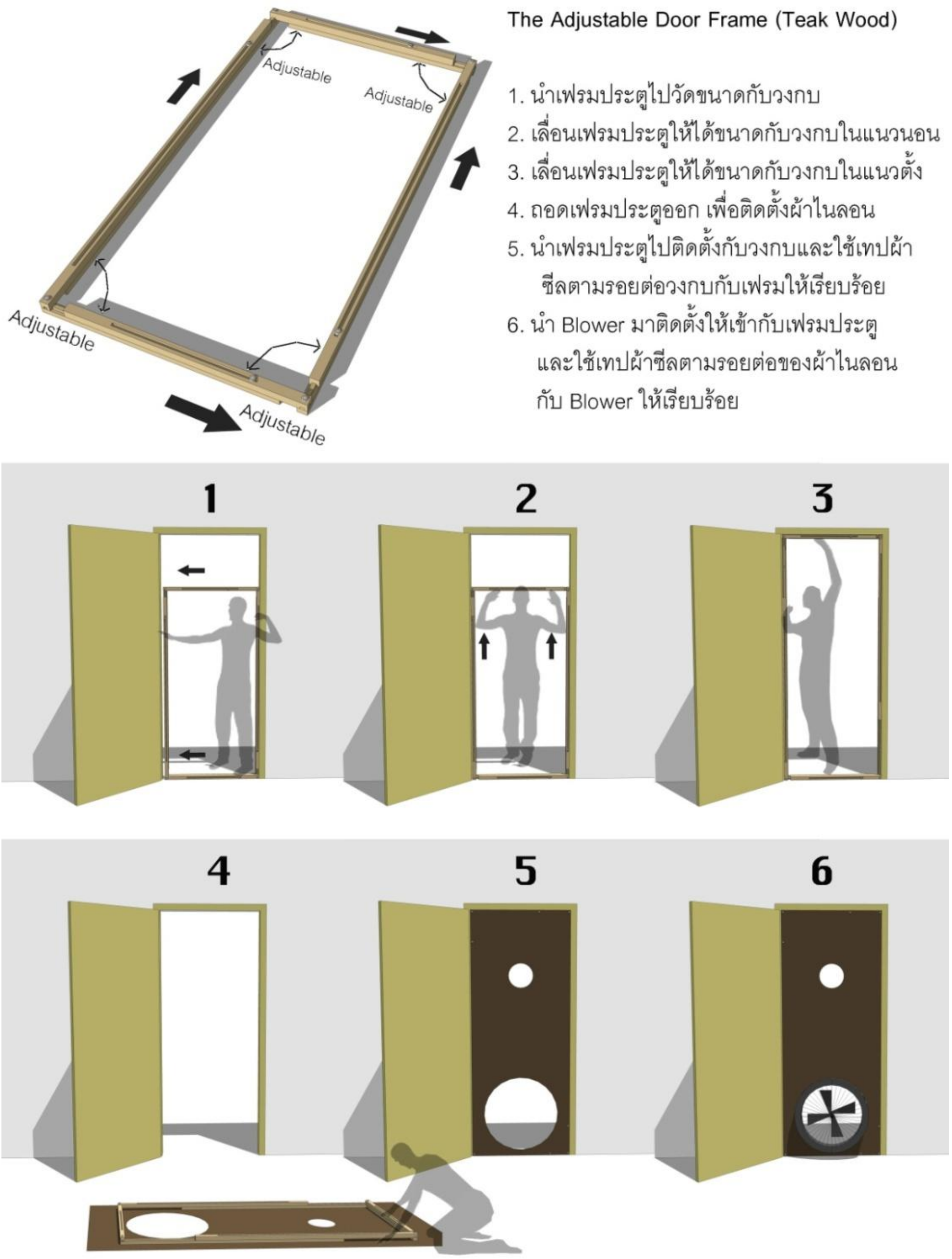


ภาพที่ 3.14 ภาพแสดงรูปแบบและการติดตั้ง The Adjustable Door Frame
(The Energy Conservatory, 2010)

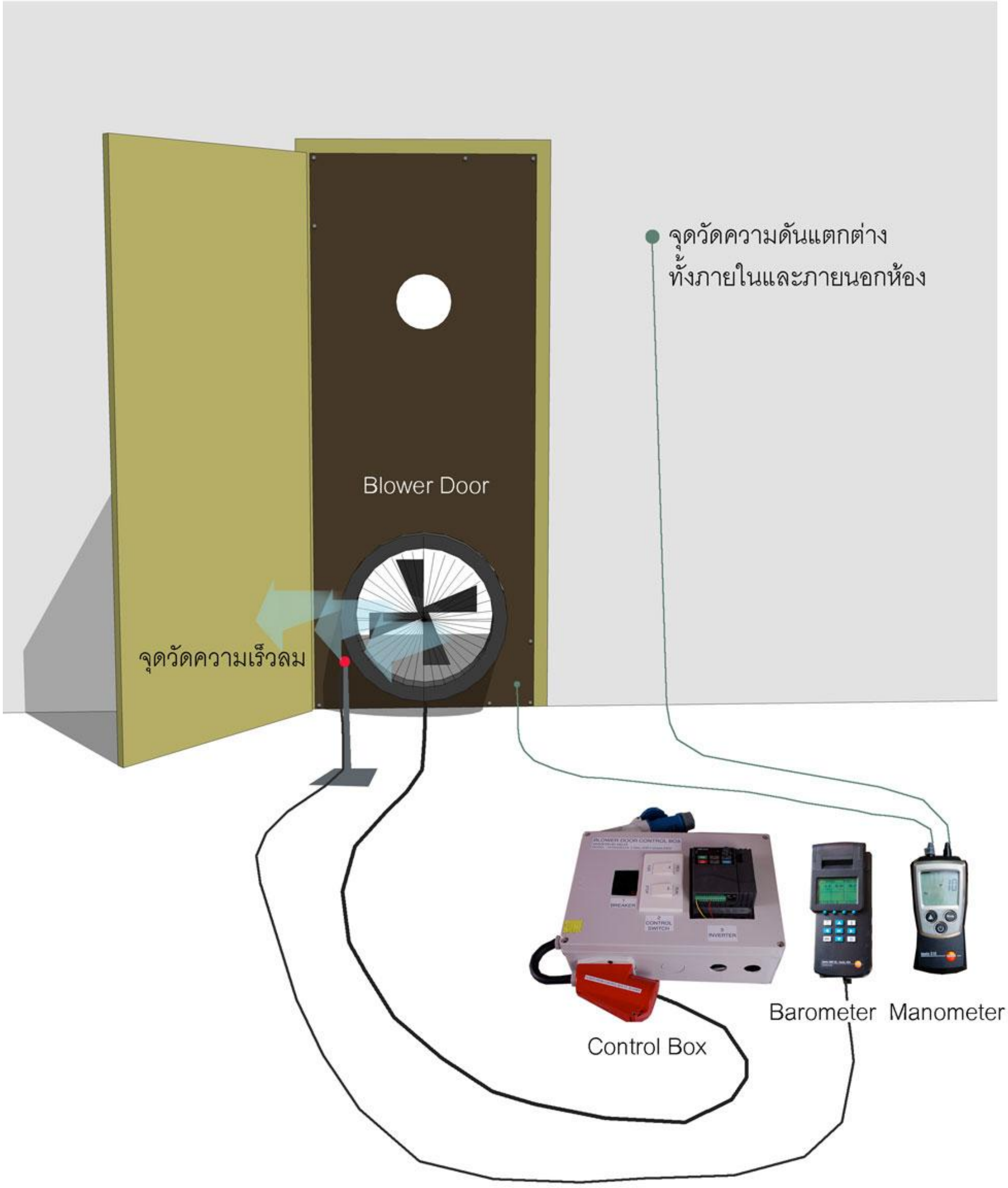
จากรูปภาพที่ 3.14 จะเห็นว่า The Adjustable Door Frame ในต่างประเทศจะผลิตจากอลูมิเนียม สามารถเลื่อนออกได้ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ในการติดตั้งจะนำเฟรมไปเทียบกับขนาดของวงกบประตูก่อน เมื่อได้ขนาดจึงถอดออกมาติดบานประตูซึ่งทำจากผ้าไนลอน และนำกลับไปติดตั้งกับวงกบเดิมอีกครั้ง ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก และสามารถผลิตเฟรมประตูดังกล่าวในประเทศไทยได้

ปัญหาหนึ่งที่พบคือ เฟรมประตูที่ทำจากอลูมิเนียม จะไม่สามารถปรับองศาให้สอบขึ้นตามรูปแบบบานประตูของเรือนไทยได้ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้วัสดุดังกล่าวในการ

ทำเป็นเฟรมประตูในงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยจึงได้เปลี่ยนเฟรมจากอลูมิเนียมเป็นไม้สัก และออกแบบให้มุมทั้งสี่ของเฟรมประตูสามารถปรับองศาได้ตามต้องการ โดยการทำให้มุมทั้งสี่มุมมีจุดหมุน ซึ่งแบบของเฟรมประตูที่ออกแบบขึ้นใหม่ ได้แสดงไว้ในรูปภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 ภาพการออกแบบ The Adjustable Door Frame ขึ้นใหม่โดยใช้วัสดุเป็นไม้สัก และทำให้มุมทั้งสี่สามารถปรับองศาได้ เพื่อให้สามารถติดตั้งได้กับบานประตูของเรือนไทย



ภาพที่ 3.16 ภาพแสดงรูปแบบการติดตั้ง Blower Door และเครื่องมือในการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03

เมื่อทำการออกแบบ The Adjustable Door Frame และรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการทดลองในประเทศไทยแล้ว จึงทำการผลิต ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนการผลิต วิธีการจัดเก็บ และการประกอบเฟรมประตูได้ในรูปภาพที่ 3.17

ภาพที่ 3.17 ภาพแสดงขั้นตอนการผลิต The Adjustable Door Frame

เมื่อผลิต Blower Door เสร็จแล้ว จึงทำการทดลองติดตั้งและทดลองใช้อุปกรณ์เครื่องมือ รวมถึงทำการทดสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือ (Calibration) ก่อนการทดลองจริงในอาคารกรณีศึกษา สามารถแสดงขั้นตอนนี้ได้ในรูปภาพที่ 3.18

ขั้นตอนการติดตั้ง Blower Door

1.เทียบขนาดเฟรมประตูกับวงกบ 2.เลื่อนเฟรมประตูให้ได้ขนาดในแนวนอน 3.เลื่อนเฟรมประตูให้ได้ขนาดในแนวตั้ง

4.ติดตั้งผ้าไนลอน 5.ติดตั้งเฟรมประตูที่วงกบ 6.ติดตั้ง Blower

7.ซีลรอยต่อวงกบด้วยเทปผ้า 8.ซีลรอยต่อ Blower ด้วยเทปผ้า 9.ติดตั้ง Control Box และเครื่องมือวัดและทดสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือ

ภาพที่ 3.18 ภาพแสดงการทดลองติดตั้ง Blower Door และทดลองใช้อุปกรณ์เครื่องมือ รวมถึงทำการทดสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือ (Calibration) ก่อนการทดลองจริงในอาคารกรณีศึกษา

3.2.2 เครื่องมือจำลองและคำนวณการใช้พลังงาน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในต่างประเทศพบว่า เครื่องที่นิยมใช้ในการคำนวณได้แก่ โปรแกรม DOE-21.E หรือ Visual DOE 4.1, Energy Plus และ IDA-ICE เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ประหยัดเวลา และสามารถแสดงผลการใช้พลังงานเป็นรายชั่วโมง รายเดือน และรายปีได้ ส่วนเครื่องมือที่นิยมใช้ในการจำลองและคำนวณพลังงานในอาคารในประเทศไทย คือ โปรแกรม DOE-21.E หรือ Visual DOE 4.1

ในงานวิจัยนี้จึงเลือกโปรแกรม DOE-21.E เป็นเครื่องมือในการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เนื่องจากมีการใช้กันอย่างแพร่หลายและสามารถหาข้อมูลอ้างอิงได้ง่าย โดยมีรายละเอียดของโปรแกรมดังนี้

3.3.2.1 โปรแกรม DOE 2.1E

โปรแกรม DOE 2.1E เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งพัฒนาโดย Lawrence Berkeley Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้ช่วยคำนวณการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี โดยอาศัยฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งนำมาจัดรูปแบบเป็นไฟล์ชนิดต่าง ๆ เช่น TRY TMY2 WYEC หรืออื่น ๆ DOE 2.1E เป็นโปรแกรมที่ได้รับการพัฒนาและทดสอบความแม่นยำโดยนักวิจัยจากทั่วโลกมาตลอดระยะเวลากว่า 20 ปี ตั้งแต่โปรแกรมได้รับการเขียนขึ้นมา ซึ่ง DOE 2.1E ยังได้ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยพัฒนามาตรการและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการใช้พลังงานในหลายประเทศทั่วโลกอีกด้วย องค์ประกอบหลักของ DOE 2.1E จะมีทั้งสิ้น 4 ส่วนได้แก่ LOADS SYSTEM PLANT และ ECONOMIC ซึ่งจะทำหน้าที่ตั้งแต่การคำนวณภาระการทำความเย็น จนถึงการใช้พลังงานในส่วนประกอบต่าง ๆ ของอาคารทั้งในส่วนของระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า(อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550)

โปรแกรม DOE 2.1E จะคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) จากปัจจัยภายนอกอาคารซึ่งได้แก่ การนำความร้อนจากผนังภายนอก การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านช่องหน้าต่าง และการรั่วซึมของอากาศ นำมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในอาคารซึ่งได้แก่ ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง และความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อนำภาระการทำความเย็นจากภายนอกมารวมกับภาระการทำความเย็นภายในแล้ว DOE 2.1E ก็จะสามารถคำนวณขนาดของเครื่องปรับอากาศและปริมาณการใช้พลังงาน (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550)

3.3.2.2 ฐานข้อมูลสภาพอากาศเพื่อการจำลองการใช้พลังงาน

ในการจำลองการใช้พลังงานด้วย DOE 2.1E นี้ ได้ใช้ไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพ ที่ถูกจัดให้อยู่ในรูป TMY ซึ่งไฟล์ข้อมูลนี้จัดทำโดย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สมศักดิ์ ไชยะภินันท์, 2542) ซึ่งจะประกอบด้วยข้อมูลอากาศรายชั่วโมงตลอดหนึ่งปีได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb temperature) อุณหภูมิหยดน้ำค้าง (dew point temperature) ความเร็วลม ทิศทางลม ความกดอากาศ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550)

3.3.2.3 ฐานข้อมูลการใช้งานอาคารเพื่อการจำลองการใช้พลังงาน

จากการศึกษาการกำหนดฐานข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารเพื่อจำลองการใช้พลังงาน (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550) สามารถแบ่งข้อมูลการใช้อาคารได้ดังนี้

1) **การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย** (Residence Schedule)

การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย เป็นการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน โดยมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1 จำนวนผู้อาศัย 2 คนต่อห้องนอน หรือ 6 คนต่อหลัง

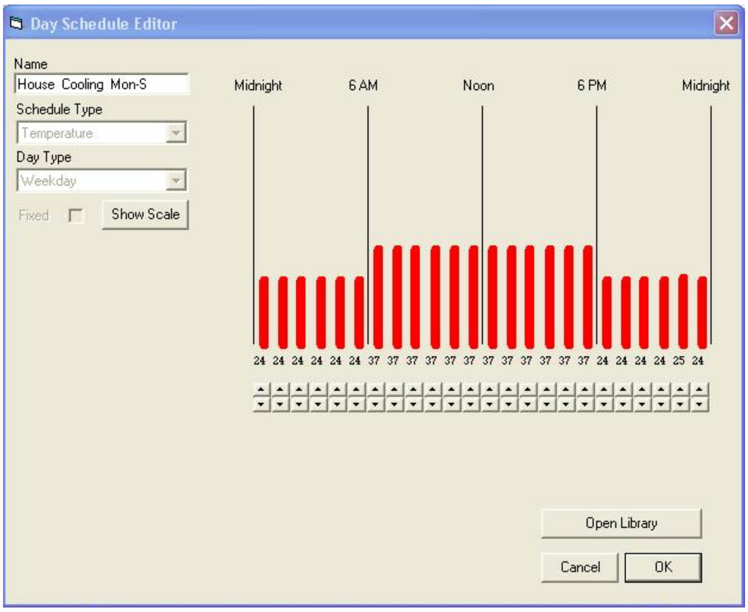
1.2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 24 องศาเซลเซียส

1.3 การกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็นการวันจันทร์-วันเสาร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

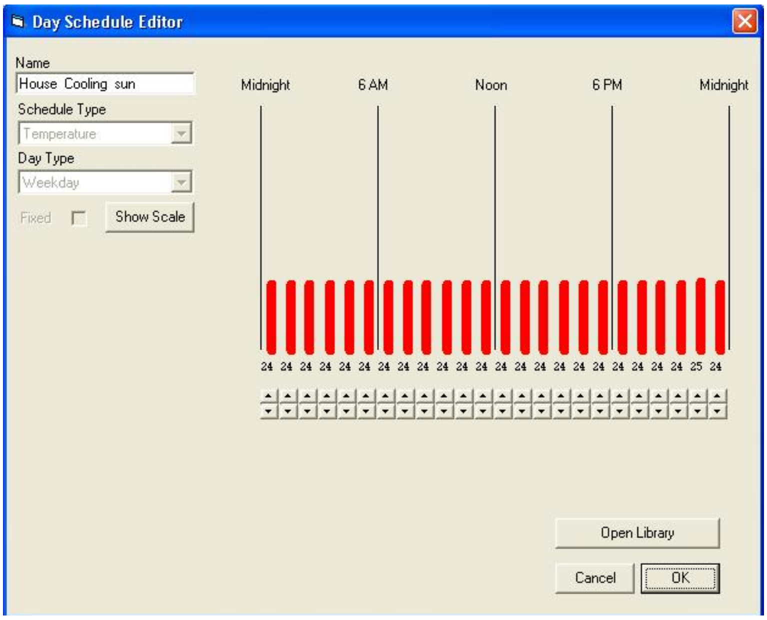
1.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 7.53 $Watt/m^2$

1.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ คิดเป็น 8.00 $Watt/m^2$

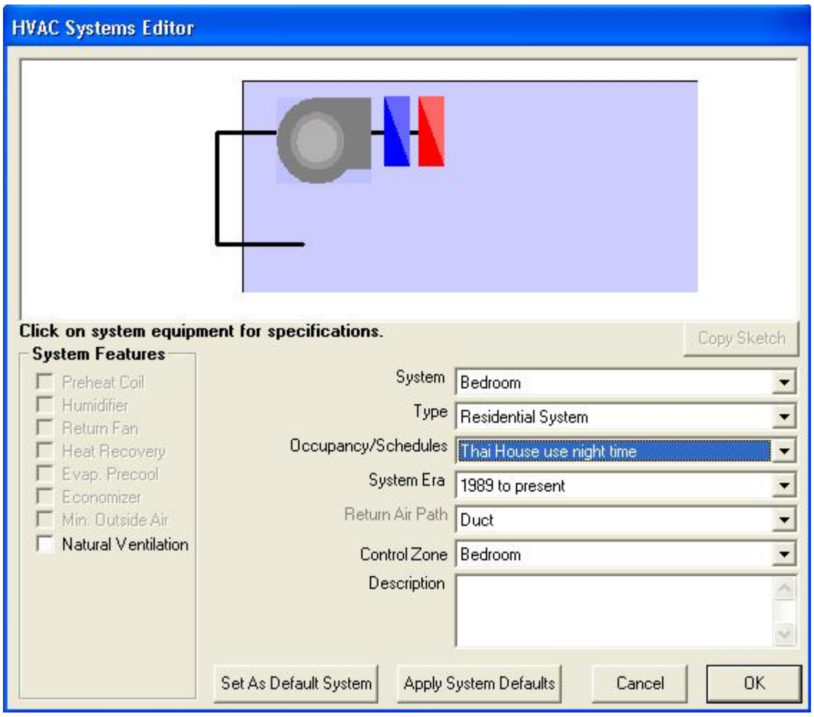
สามารถแสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยแยกเป็นวันวันจันทร์-วันเสาร์และวันหยุดสุดสัปดาห์ ได้ตามรูปภาพที่ 3.19 และรูปภาพที่ 3.20 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.19 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย
ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.20 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย
ในวันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง
โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.21 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System
ในการใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย (Residence Schedule)

2) **การใช้งานอาคารแบบอาคารสำนักงาน** (Office Schedule)

การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย เป็นการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน โดยมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1 จำนวนผู้ใช้งาน คิดเป็น 15 m^2/Person

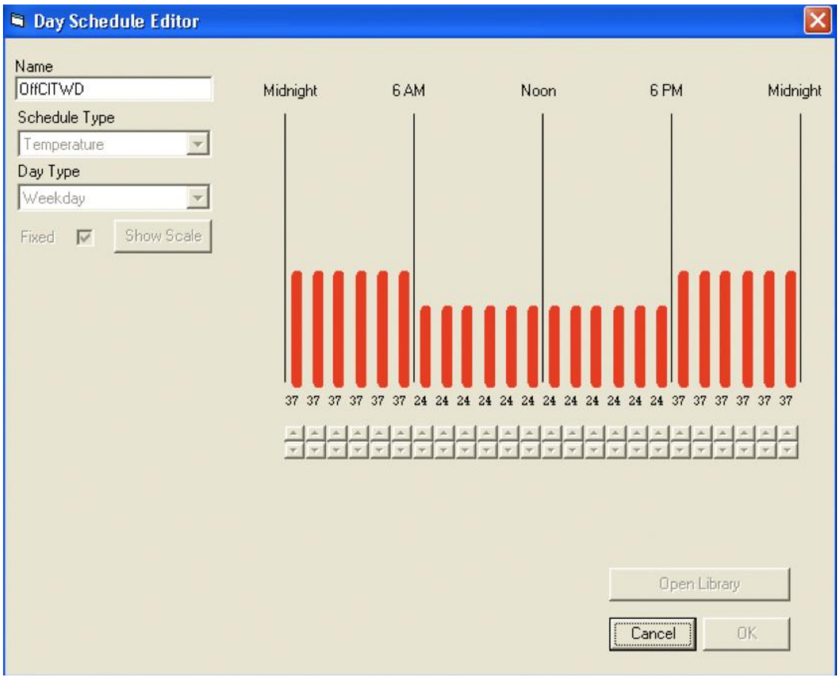
1.2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 24 องศาเซลเซียส

1.3 การกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็นการวันจันทร์-วันเสาร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์ไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

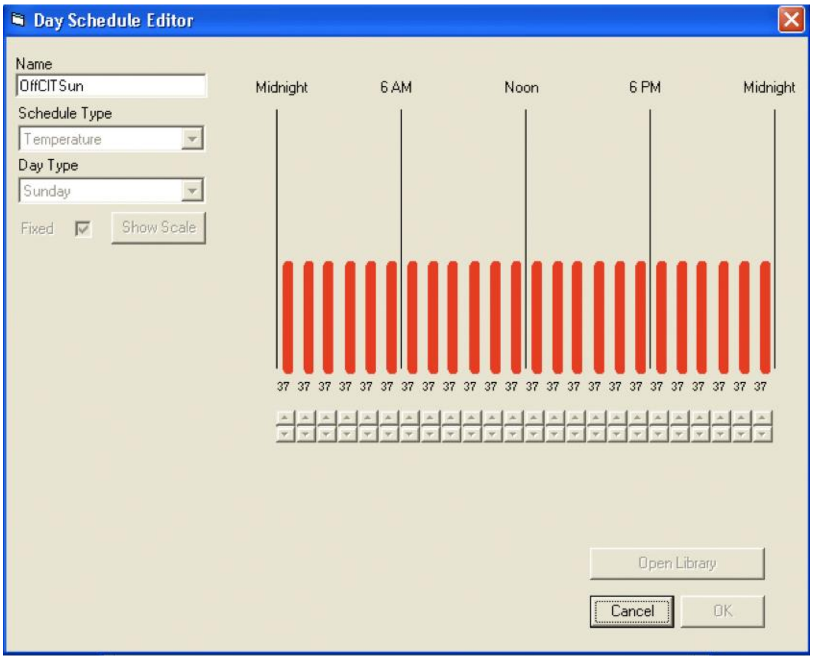
1.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 8.00 Watt/m^2

1.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ คิดเป็น 1.30 Watt/m^2

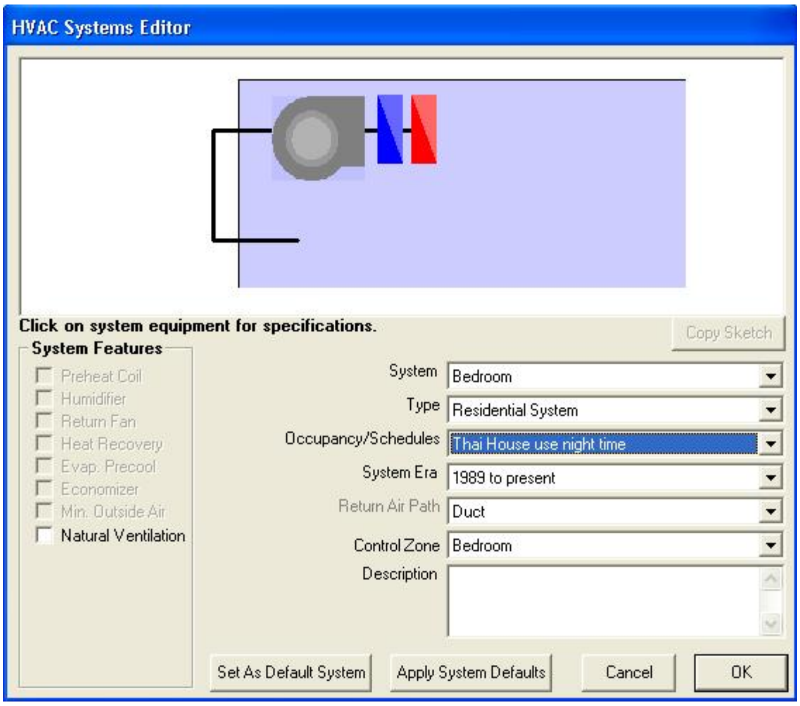
สามารถแสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยแยกเป็นวันจันทร์-วันเสาร์และวันหยุดสุดสัปดาห์ ได้ตามรูปภาพที่ 3.22 และรูปภาพที่ 3.23 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.22 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน
ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.23 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน
ในวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 3.24 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System ในการใช้งานอาคารแบบอาคารสำนักงาน (Office Schedule)

3.3 การทดลองภาคสนาม

การทดลองภาคสนามเพื่อวัดค่าการรั่วซึมอากาศของอาคารกรณีศึกษาตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 ซึ่งอาคารกรณีศึกษาที่เลือกเพื่อทำการทดสอบ ได้แก่

1) เรือนไทยหมู่ ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (เรือนไทยจุฬา)

2) เรือนไทยหมู่ ของ ดร. ภิญโญ สุวรรณคีรี

3) เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์

4) บ้านร่วมสมัยของคุณกัดดาฟี่ กามาฮา

สามารถสรุปวิธีการทดสอบมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization ได้ดังนี้

3.3.1 วิธีการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามาตรฐาน ASTM E779-03

1) ทำพื้นที่ทดสอบให้เป็นพื้นที่โซนเดี่ยว (single zone) เปิดประตูภายในให้มีการเชื่อมต่อกันทั้งหมด ยกเว้นตู้เสื้อผ้าควรปิดเอาไว้ ในพื้นที่ปรับอากาศควรเปิดประตูเชื่อมต่อกันเพื่อให้มีความดันที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ โดยมีค่า ±10% ในการวัดความดันต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ที่ความดันสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง ทำการวัดระดับจุดที่อยู่สูงสุดและจุดต่ำสุดของอาคาร และวัดจุดที่อยู่เหนือลมและจุดที่อยู่ใต้ลม

2) ในระบบ HVAC ควรปิดปล่องดูดควัน Damper และอื่นๆ จนกว่าจะทำการเป่าความดันเข้าและดูดความดันออกจากอาคารแล้วเสร็จ

3) ทำการสำรวจสภาพทั่วไปของอาคาร และบันทึกสภาพของประตู หน้าต่าง ผนัง พื้น และหลังคา

4) ทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกอาคาร ตั้งแต่การเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง และคำนวณหาค่าเฉลี่ย ถ้าผลการวัดอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิคูณด้วยความสูงของอาคาร มีค่ามากกว่า 200 m$^\circ$C (1180 ft$^\circ$F) ไม่ควรทำการทดลอง เพราะความดันแตกต่างที่เกิดจาก Stack Effect มีปริมาณมากเกินไป ส่งผลให้ผลการทดลองที่ได้ไม่แม่นยำเท่าที่ควร

5) การทดสอบนี้ พื้นที่ทดสอบควรมีความเร็วลม 0-2 m/s (0-4 mph) และอุณหภูมิภายนอกควรอยู่ในช่วง 5-35 C (41-95 F)

6) ทำการติดตั้งท่ออากาศ หรือ Blower Door เข้ากับเปลือกอาคารโดยใช้หน้าต่าง ประตู หรือช่องระบายอากาศที่เป็นบานเปิด ทำการปิดผนึกหรือปิดเทปรอบๆบานประตู Blower Door เพื่อป้องกันการรั่วซึมในจุดนี้

7) ในกรณีที่มีการใช้งาน Damper ควรปิดให้สนิท เพื่อให้การวัดความดันมีค่าเป็นศูนย์

8) ให้ค่าความดันเป็นศูนย์ เมื่อปิดพัดลม ค่าความดันอากาศของเปลือกอาคารที่ค่าศูนย์ เป็นค่าที่วัดก่อนและหลังการวัดการไหล แรงดันอากาศที่เป็นศูนย์จะต้องถูกหักออกจากค่าความดันอากาศที่วัดได้ในช่วงการทดสอบอัดความดันเข้าและดูดความดันออก

9) ช่วงของความดันต่างที่ใช้ในการทดสอบ ควรเริ่มจาก 10 ถึง 60 Pa (0.04 ถึง 0.24 in. H_2O) ขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ เนื่องจากความสามารถของอุปกรณ์ ความหนาแน่นของอาคาร และสภาพอากาศ มีผลต่อการวัดการรั่วซึมอากาศ ในกรณีนี้การทดสอบควรวัดค่าความดันแตกต่างให้ครอบคลุมอย่างน้อย 5 ช่วงของความดันต่าง

10) ในการทดสอบให้เพิ่มความดัน 5 ถึง 10 Pa (0.02 ถึง 0.04 in. H_2O) ในแต่ละช่วงของความดันต่างที่ทดสอบ

11) ในแต่ละความดันต่าง ให้วัดค่าอัตราการไหลของอากาศ และความดันต่างผ่านเปลือกอาคาร หลังจากที่พัดลมและเครื่องมือที่มีเสถียรภาพ การหาค่าเฉลี่ยควรอยู่ในช่วงเวลาไม่น้อยกว่า 10 วินาที

12) ในแต่ละการทดสอบ ให้เก็บข้อมูลทั้งการทดสอบอัดความดันเข้า (Pressurization) และดูดความดันออกจากอาคาร (Depressurization)

3.3.2 การรายงานผลการทดสอบ

1) การรายงานข้อมูลทางกายภาพเบื้องต้น ควรมีข้อมูลดังต่อไปนี้

1.1) การบรรยายลักษณะอาคารและสถานที่ตั้งอาคาร ได้แก่ ที่อยู่ และความสูงของที่ตั้งจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

1.2) ลักษณะการก่อสร้าง รวมถึงอายุของอาคาร (ประมาณการ ถ้าไม่ทราบข้อมูล) พื้นที่ในการปรับอากาศ, พื้นที่ห้องใต้หลังคา, พื้นที่ชั้นใต้ดินหรือพื้นที่ใต้ถุน, ปริมาตรพื้นที่ปรับอากาศ, ปริมาตรห้องใต้หลังคา, ปริมาตรชั้นใต้ดินและปริมาตรใต้ถุนอาคาร

1.3) ลักษณะช่องเปิดของเปลือกอาคาร ได้แก่ ประตู ปิดเรียบร้อยแล้ว, หน้าต่าง ปิดเรียบร้อยแล้ว, ช่องเปิดเพื่อการระบายอากาศ หรือ Damper ปิดเรียบร้อยแล้ว, ปล่องควัน ปิดเรียบร้อยแล้ว, ประกั้นแต่ละโซน ปิดหรือเปิดอยู่ เป็นต้น

1.4) ระบบ HVAC โดยบอกตำแหน่งและขนาดของท่อดัก (ถ้ามี)

2) การรายงานข้อมูลเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ ยี่ห้อ รุ่น หรือหมายเลขเครื่อง และผลการเทียบมาตรฐานของเครื่องมือวัดทุกประเภท

3) การรายงานข้อมูลการวัด ได้แก่

3.1) ผลการวัดความเร็วลมภายนอก โดยไม่เกินกว่า 0-2 m/s

3.2) ผลการวัดความดันแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร อุณหภูมิแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร โดยวัดตอนเริ่มและสิ้นสุดการทดลองตารางแสดงผลการวัดและคำนวณการรั่วซึมของอากาศ เวลาที่ใช้ในการทดลอง ผลการวัดความดันแตกต่าง ความหนาแน่นของอากาศ อัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากพัดลม อัตราการรั่วซึมของ

อากาศ กราฟแสดงลักษณะการรั่วซึมของอากาศ สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และค่า R^2 โดยที่ค่า $R^2 \geq 0.95$ รวมถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง

4) การรายงานข้อมูลการคำนวณ ได้แก่

4.1) การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลของอากาศ *C* และเลขชี้กำลังของความดัน *n* ทั้งการทดสอบอัดความดันเข้าและดูดความดันออก โดยใช้สมการ

$$n = \frac{S_{\mathrm{Log}(dP)\mathrm{Log}(Q)}}{S^2_{\mathrm{Log}(dP)}} \qquad (1)$$

$$C = \exp\,(\bar{y} - n * \bar{x}) \qquad (2)$$

เมื่อ

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ (Air Pressure Exponent)

C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (Air Leakage Coefficient)

dP = ค่าความดันแตกต่าง, Pa

Q = อัตราการไหลของอากาศ, CFM

S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

S^2 = ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง (Variance)

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของความดันแตกต่างที่ได้จากการทดลอง

$\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการทดลอง

4.2) การคำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศ

มีวิธีการคำนวณดังนี้

1) คำนวณหาค่าความเร็วลม ที่เกิดจากความดันของพัดลมหรือ Blower ที่แรงดัน 50 Pa โดยใช้สมการ

$$P = ½\rho v^2 \qquad (3)$$

เมื่อ

P = ความกดอากาศที่เกิดจากแรงดันลม (ที่ 50 Pa), kg/m^2

v = ความเร็วลม, m/s

p = ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3

2) แปลงค่าความเร็วลม (v) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 5 แปลงเป็นอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้สมการที่ 4 และนำค่าอัตราการไหลของอากาศ มาแทนในสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาค่าความดันอากาศแตกต่าง (*dP*)

$$Q = AV \qquad (4)$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

V = ความเร็วลม, m/s

A = พื้นที่หน้าตัดของ Blower หรือพัดลม, m^2 หรือ ft^2

3) เมื่อได้ค่าความดันอากาศแตกต่าง หรือ *dP* แล้ว ให้นำมาแทนค่าในสมการที่ 5 ซึ่งเป็นสมการหลักในการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ

$$Q_0 = C(dP)^n \qquad (5)$$

เมื่อ

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

dP = ความดันอากาศแตกต่าง, Pa

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ (Air Pressure Exponent)

C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (Air Leakage Coefficient)

4) แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่ายเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) โดยการนำเอาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ คูณด้วย 60 นาที และหารด้วยปริมาตรอาคาร ตามสมการที่ 6

$$ACH = \frac{Q_0 * 60}{\text{House Volume}} \qquad (6)$$

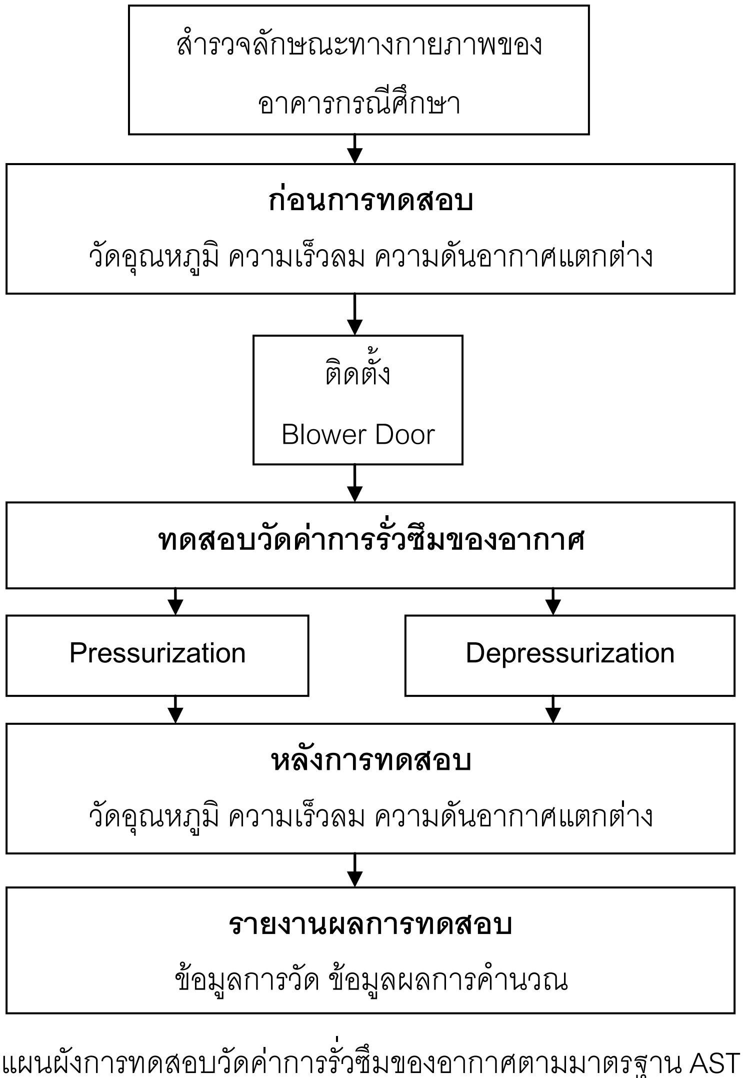
เมื่อ

ACH = ค่าการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

สามารถสรุปขั้นตอนการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมของอากาศได้จากแผนผังในภาพที่ 3.25 และการนำผลการทดสอบมาคำนวณหาค่าการรั่วซึมของอากาศจากแผนผังในภาพที่ 3.26

แผนผังการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ



ภาพที่ 3.25 ภาพแผนผังการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมของอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03

แผนผังการนำผลการทดสอบมาคำนวณหาค่าการรั่วซึมของอากาศ

จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E779-03 จะได้ข้อมูล

Pressure Difference (*dP*) และ Airflow Rate (*Q*)

สร้างกราฟการรั่วซึมอากาศเพื่อหาสมการ

Linear Regression

ตรวจสอบค่า $R^2 \geq 0.95$ ตามข้อกำหนด

ของมาตรฐาน ASTM E779-03

แปลงข้อมูลการทดสอบเป็น

Logarithms

Log (*dP*) และ Log (*Q*)

คำนวณหาค่า *n*, *C*

$$n = \frac{S_{Log(dP)Log(Q)}}{S^2_{Log(dP)}}$$

$$C = \exp^{(\bar{y} - n * \bar{x})}$$

คำนวณหาอัตราการรั่วซึมของอากาศ

$$Q_0 = C(dP)^n$$

แปลงค่าเป็น ACH (Air Change per Hour)

$$ACH = \frac{Q_0 * 60}{\text{House Volume}}$$

ภาพที่ 3.26 ภาพแผนผังการนำผลการทดสอบมาคำนวณหาค่าการรั่วซึมของอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03

เพื่อความสะดวกในการทดสอบและความครบถ้วนในการเก็บข้อมูลการทดลอง จึงได้จัดทำแบบฟอร์มในการทดสอบการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ ตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แบบฟอร์มในการทดสอบการวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ ตามาตรฐาน ASTM E779-03

แบบฟอร์มการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03

วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท ปีการศึกษา 2554

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ชื่อและที่อยู่เจ้าของอาคาร</u>

ชื่อ : .... ที่อยู่ : ....

Tel : .... e-mail : ....

<u>ลักษณะทางกายภาพของอาคารและสภาพแวดล้อมที่ทำการทดสอบ</u>

วันที่ : .... เวลาเริ่มต้น : .... เวลาสิ้นสุด : ....

ชื่ออาคาร : .... ประเภทอาคาร : ....

พื้นที่อาคาร : .... พื้นที่ที่ทำการทดลอง : ....

พื้นที่พื้น (ตรม.) : .... วัสดุ : ....

พื้นที่ผนัง (ตรม.) : .... วัสดุ : ....

พื้นที่ฝ้าเพดาน (ตรม.) : .... วัสดุ : ....

ปริมาตรอาคาร (ลบ.ม.) : .... WWR : ....

อุณหภูมิภายใน ก่อนทดสอบ : .... หลังทดสอบ : .... ค่าเฉลี่ย : ....

อุณหภูมิภายนอก ก่อนทดสอบ : .... หลังทดสอบ : .... ค่าเฉลี่ย : ....

ความดันอากาศต่าง ก่อนทดสอบ : .... หลังทดสอบ : .... ค่าเฉลี่ย : ....

ความเร็วลมภายนอก ก่อนทดสอบ : .... หลังทดสอบ : .... ค่าเฉลี่ย : ....

<u>การทดสอบที่</u> <u>1Pressurization</u>

Pre- Test Baseline Pressure : ...... Pa Fan Model : ....

การทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pressure Difference, Pa									
Airflow Rate, CFM									

<u>การทดสอบที่</u> <u>2 Depressurization</u>

Pre- Test Baseline Pressure : ...... Pa Fan Model : ....

การทดสอบ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pressure Difference, Pa									
Airflow Rate, CFM									

<u>ผลการทดสอบ</u>

CFM 50: .... ACH 50: ....

บทที่ 4

ผลการทดลองวัดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในอาคารเรือนไทยเพื่อเปรียบเทียบกับบ้านร่วมสมัยทั่วไป โดยการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E779-03 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization ในบทนี้จะมุ่งเน้นการแสดงขั้นตอนและวิธีการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร รวมถึงการนำผลการทดลองมาคำนวณหาอัตราการรั่วซึมอากาศ เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อไป ซึ่งขั้นตอนในการทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1) ขั้นตอนการสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารและสภาพแวดล้อมในอาคารกรณีศึกษา ได้แก่ องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม วัสดุที่ใช้ในอาคาร พื้นที่และปริมาตรอาคาร รวมถึงสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกอาคารก่อนการทดสอบ เพื่อตรวจสอบว่าอยู่ในข้อกำหนดและสามารถทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้
2) ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ
3) ขั้นตอนการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization
4) ขั้นตอนการรายงานผลการทดสอบ รวมถึงตรวจสอบว่าผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือตามเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนด
5) ขั้นตอนการนำผลการทดสอบมาคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมอากาศ

โดยอาคารกรณีศึกษาที่ทำการทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศมีทั้งหมด 4 อาคารดังต่อไปนี้

4.1 “เรือนไทยจุฬา” ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี

4.3 เรือนไทยประยุกต์ของ สถาบันอาศรมศิลป์

4.4 บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา

4.1 การทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

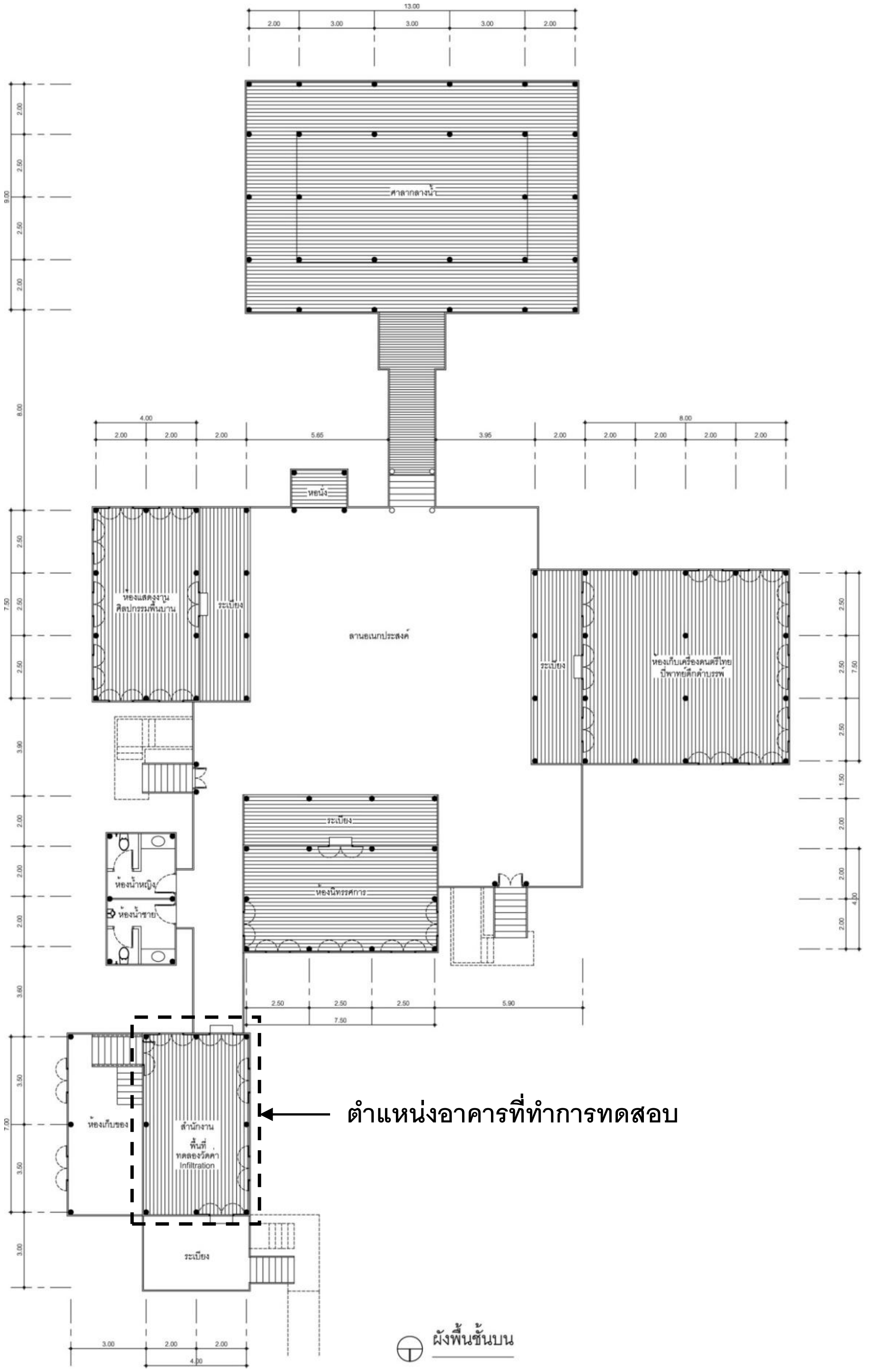
ชื่อ : “เรือนไทยจุฬา” ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่อยู่ : ถ.พญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10300

Tel : 02-2183635

ภาพที่ 4.1 ภาพลักษณะทางสถาปัตยกรรมโดยรวมของ “เรือนไทยจุฬา”

ภาพที่ 4.2 ภาพอาคารเรือนไทยจุฬา ที่ทำการทดสอบวัดการรั่วซึมอากาศ



ภาพที่ 4.3 ภาพผังอาคารเรือนไทยจุฬา และตำแหน่งที่ทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศ

4.1.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารและสภาพแวดล้อม ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา"

วันที่ทดสอบ : 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555

เวลาเริ่มต้น : 10.00 น. เวลาสิ้นสุด : 14.30 น.

ชื่ออาคาร : เรือนไทยจุฬา

ประเภทอาคาร : อาคารสำนักงาน

พื้นที่อาคาร : 585.00 m^2 (ไม่รวมใต้ถุน)

พื้นที่ที่ทำการทดลอง : 28.00 m^2

พื้นที่พื้น : 28.00 m^2 วัสดุ : ไม้เนื้อแข็ง ขนาด 1" x 6" เข้าลิ้น

พื้นที่ผนัง : 75.60 m^2 วัสดุ : ฝาปะกนไม้เนื้อแข็ง

พื้นที่หน้าต่าง : 3.60 m^2 วัสดุ : บานไม้เนื้อแข็ง

พื้นที่ฝ้าเพดาน : 0 m^2 วัสดุ : ไม่มี

WWR : 0 (หน้าต่างบานไม้)

ปริมาตรอาคาร : 85.14 m^3 (3,006.53 ft^3)

อายุอาคาร : 24 ปี

อุณหภูมิภายใน ก่อนทดสอบ : 29 °C หลังทดสอบ : 31 °C ค่าเฉลี่ย : 30 °C

อุณหภูมิภายนอก ก่อนทดสอบ : 30 °C หลังทดสอบ : 32 °C ค่าเฉลี่ย : 31 °C

ความดันอากาศต่าง ก่อนทดสอบ : 1 Pa หลังทดสอบ : 1 Pa ค่าเฉลี่ย : 1 Pa

ความเร็วลมภายนอกก่อนทดสอบ : 0.30 m/s หลังทดสอบ : 0.10 m/s ค่าเฉลี่ย : 0.20 m/s

ความหนาแน่นอากาศที่อุณหภูมิ 30°C: 1.164 kg/m^3

จากข้อมูลการสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารเรือนไทยจุฬา และสภาพแวดล้อมของอาคาร เพื่อตรวจสอบว่าสามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้หรือไม่ ซึ่งพบว่า

1) วัดอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิคูณด้วยความสูงของอาคาร มีค่าเท่ากับ 3 m°C ซึ่งมีค่าไม่เกินกว่า 200 m°C จึงสามารถทำการทดสอบได้
2) พื้นที่ทดสอบมีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 m/s ซึ่งไม่เกินกว่า 0-2 m/s จึงสามารถทำการทดสอบได้

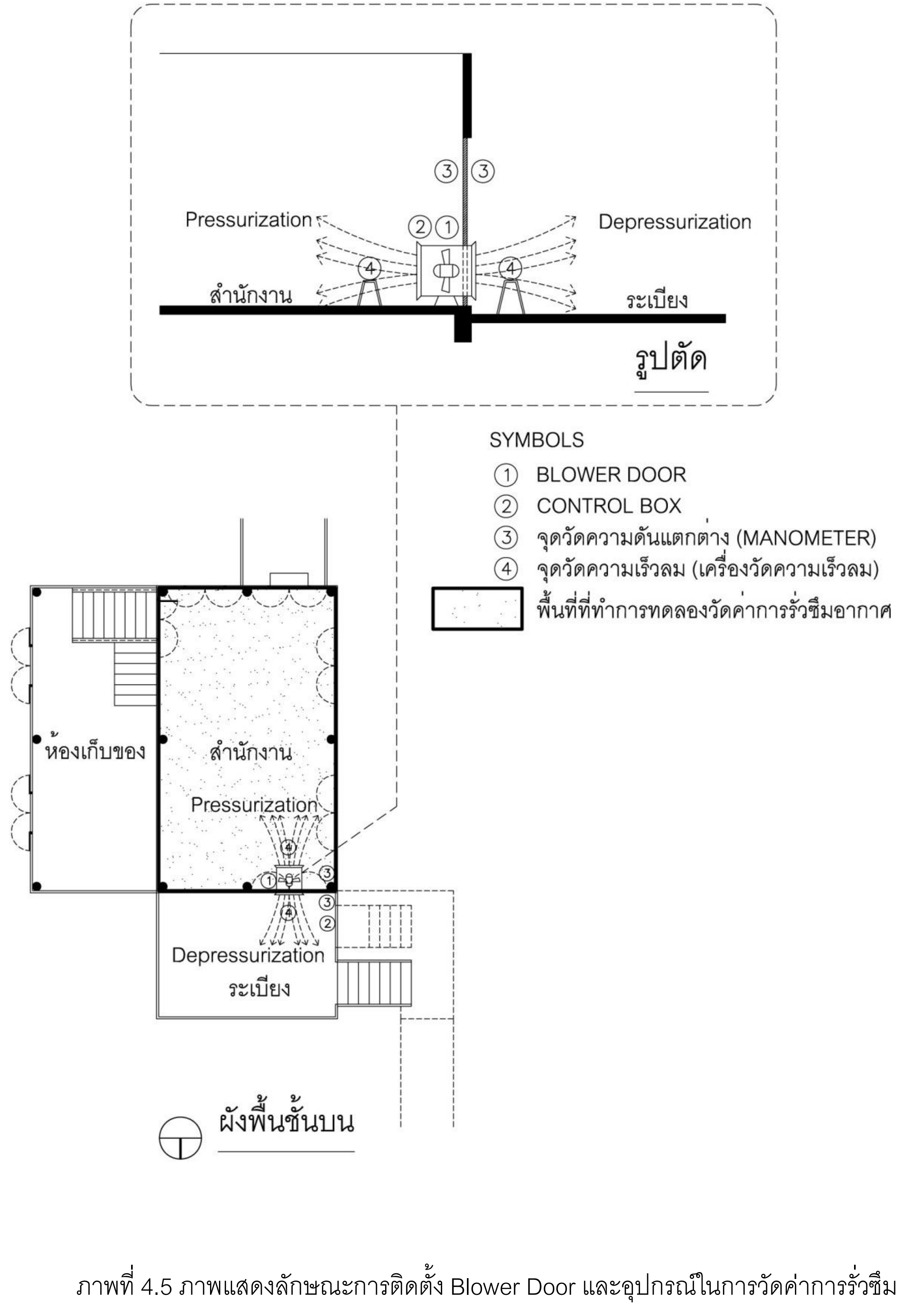
3) อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเท่ากับ 31 °C ซึ่งอยู่ในช่วง 5-35 °C จึงสามารถทำการทดสอบได้

จึงสรุปได้ว่าอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” สามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้

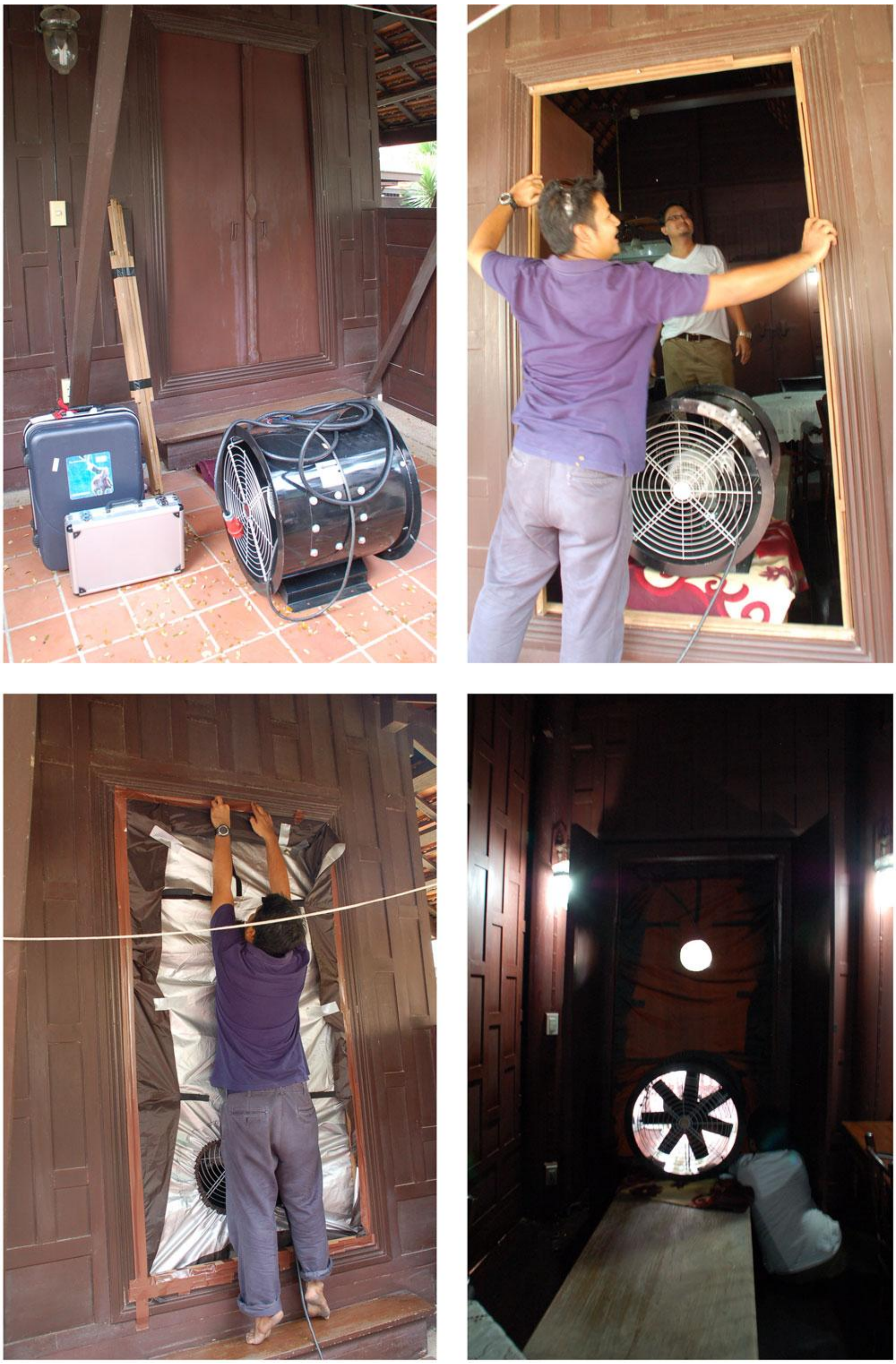
ภาพที่ 4.4 ภาพการสำรวจลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อม
ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

4.1.2 ขั้นตอนการติดตั้ง Blower Door **ในอาคารกรณีศึกษา“เรือนไทยจุฬา”**

เมื่อทำการสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารเรือนไทยจุฬา และสภาพแวดล้อมของอาคาร และพบว่าสามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้ ขั้นตอนต่อไป คือ การติดตั้ง Blower Door ในพื้นที่ที่จะทำการทดลอง สามารถแสดงภาพการติดตั้งในภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.5 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้ง Blower Door และอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”



ภาพที่ 4.6 ภาพแสดงการติดตั้ง Blower Door และอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา

4.1.3 ขั้นตอนการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา"

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบวัดค่าการรั่วซึม ซึ่งจะวัดอัตราการรั่วไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารที่อยู่ภายใต้การควบคุมความดันในระดับต่างๆ โดยการอัดอากาศเข้าไป (Pressurization) และดูดอากาศออก (Depressurization) จากห้องที่ทำการทดลอง เพื่อสร้างความดันอากาศแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งเมื่อเกิดความดันแตกต่าง จะทำให้อากาศที่มีแรงดันอากาศสูงกว่าไหลผ่านรูหรือรอยแตกของเปลือกอาคารไปหาอากาศที่มีแรงดันอากาศน้อยกว่า หรือเรียกว่าการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 จะใช้ Blower Door ในการสร้างความดันแตกต่างจาก 10 ถึง 60 Pa และทำการวัดอัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในแต่ละระดับ สามารถแสดงวิธีการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศได้ในรูปภาพที่ 4.7

ภาพที่ 4.7 ภาพแสดงการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา"

4.1.4 ผลการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization **และ** Depressurization **ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”**

จากการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 โดยวิธี Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2

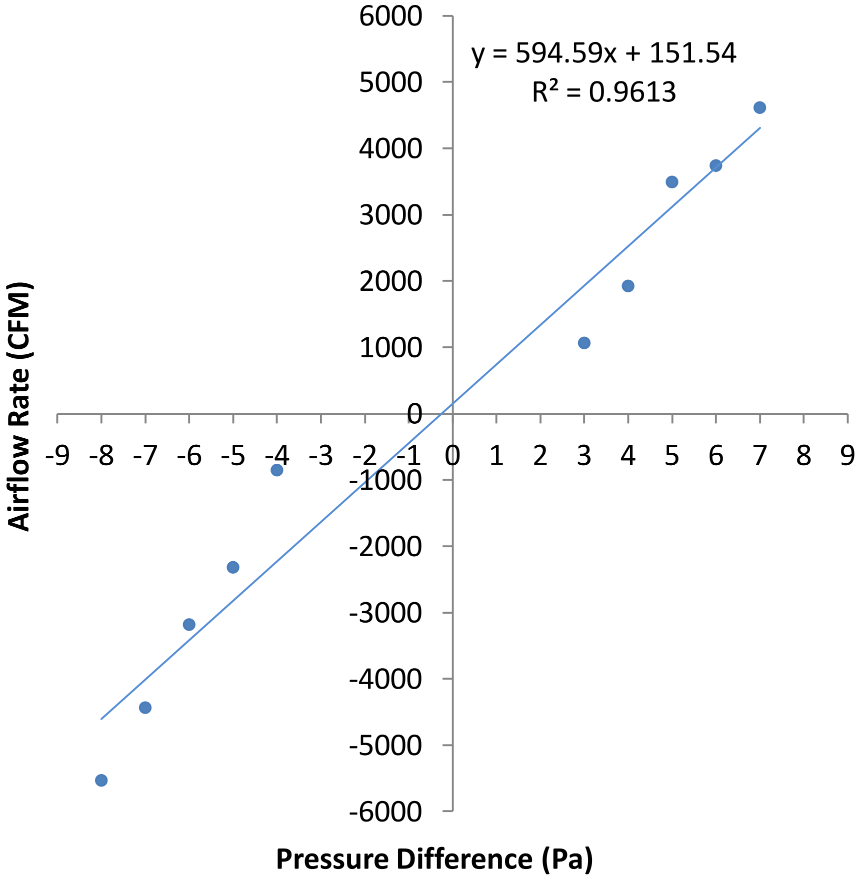
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูล Measured Pressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	3	1068
2	4	1927
3	5	3495
4	6	3743
5	7	4617

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูล Measured Depressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	-4	850
2	-5	2316
3	-6	3180
4	-7	4432
5	-8	5529

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 สามารถนำข้อมูลมาสร้างกราฟ เพื่อหาสมการการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เพื่อตรวจสอบว่า ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้หรือไม่ โดยกำหนดให้ค่า $R^2 \geq 0.95$ ซึ่งสามารถแสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา" ได้ตามแผนภูมิที่ 4.1



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา"

จากแผนภูมิที่ 4.1 จะได้สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) y = 594.5x + 151.5 และค่า <u>$R^2 = 0.961$</u> มาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้โดยให้ค่า $R^2 \geq 0.95$ <u>แสดงว่าผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ</u>

เนื่องจากการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา" ไม่สามารถทำให้ความดันแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกมีค่าถึง 60 Pa ได้ อาจเป็นผลมา

จากอาคารกรณีศึกษามีการรั่วซึมของอากาศมาก จึงจำเป็นต้องใช้สมการถดถอยเชิงเส้น y = 594.5x + 151.5 ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) ที่ความดันแตกต่างในระดับต่างๆ ซึ่งสมการถดถอยเชิงเส้นดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า ที่ความดันแตกต่างในระดับต่างๆสามารถอธิบายอัตราการไหลของอากาศได้ 96.1% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASTM E779-03 ยอมรับได้ (≥ 95%) จากสมการถดถอยเชิงเส้น y = 594.5x + 151.5 สามารถคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆได้ในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลการใช้สมการถดถอยเชิงเส้น y = 594.5x + 151.5 ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) จากการทดลองอัดอากาศเข้า (Pressurization) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	5	3124
2	10	6097
3	15	9069
4	20	12042
5	25	15014
6	30	17987
7	35	20959
8	40	23932
9	45	26904
10	50	29877
11	55	32849
12	60	35822
13	65	38794
14	70	41767

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลการใช้สมการถดถอยเชิงเส้น y = 594.5x + 151.5 ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) จากการทดลองดูดอากาศออก (Depressurization) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	-5	-2821
2	-10	-5794
3	-15	-8766
4	-20	-11739
5	-25	-14711
6	-30	-17684
7	-35	-20656
8	-40	-23629
9	-45	-26601
10	-50	-29574
11	-55	-32546
12	-60	-35519
13	-65	-38491
14	-70	-41464

จากตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารมีมากขึ้นตาม เนื่องจากในการทดสอบอัดอากาศเข้า (Pressurization) ในห้องทดลอง จะทำให้ความดันอากาศภายในห้องทดลองเป็นบวก และความความดันอากาศภายนอกห้องทดลองเป็นลบ ส่งผลให้มวลอากาศภายในห้องที่มีความดันเป็นบวก จะพยายามไหลหรือซึมผ่านรูหรือรอยรั่วของเปลือกอาคารไปหามวลอากาศภายนอกห้องที่มีความดันอากาศเป็นลบ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Exfiltration

ในทางกลับกับเมื่อทำการทดสอบดูดอากาศออก (Depressurization) จากห้องทดลอง จะทำให้ความดันอากาศภายในห้องทดลองเป็นลบ และความความดันอากาศ

ภายนอกห้องทดลองเป็นบวก มวลอากาศภายนอกห้องที่มีความดันเป็นบวก จะพยายามไหลหรือซึมผ่านรูหรือรอยรั่วของเปลือกอาคารไปหามวลอากาศภายในห้องที่มีความดันอากาศเป็นลบ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Infiltration

เมื่อได้ผลการคำนวณอัตราการไหลของอากาศ จากสมการถดถอยเชิงเส้น y = 594.5x + 151.5 ทั้งการทดสอบแบบ Pressurization และ Depressurization แล้ว จึงนำเอาผลการคำนวณดังกล่าวไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (***C***, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (***n***, Air Pressure Exponent) ต่อไป

4.1.5 การคำนวณหาค่าการรั่วซึมของอากาศจากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา"

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศมีขั้นตอนดังนี้

1) การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (***C***, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (***n***, Air Pressure Exponent) จากการแปลงข้อมูลการทดลองเป็นเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทั้งการทดสอบแบบ Pressurization และ Depressurization

2) คำนวณหาค่าความดันแตกต่าง (***dP***) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ที่ได้จากการทดลอง

3) คำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ (Q_0) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการ $Q_0 = C(dP)^n$

4) แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ (Q_0) จากหน่วย CFM ให้เป็นหน่วย ACH (Air Change per Hour) โดยการนำเอาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ คูณด้วย 60 นาที และหารด้วยปริมาตรอาคาร

สามารถนำข้อมูลมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ได้ตามตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Pressurization เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

Point	Log(Pressure Difference Across Building Envelope, Pa)	Log(Airflow Rate, CFM)
1	0.699	3.4947
2	1.000	3.7851
3	1.176	3.9576
4	1.301	4.0807
5	1.398	4.1765
6	1.477	4.2549
7	1.544	4.3214
8	1.602	4.3790
9	1.653	4.4298
10	1.699	4.4753
11	1.740	4.5165
12	1.778	4.5541
13	1.813	4.5888
14	1.845	4.6208
AVERAGE	1.4804	4.2597
STDEV	0.3362	0.3311
VARIANCE	0.1130	0.1097

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ **Depressurization** เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา"

Point	Log(Pressure Difference Across Building Envelope, Pa)	Log(Airflow Rate, CFM)
1	0.6990	3.4505
2	1.0000	3.7630
3	1.1761	3.9429
4	1.3010	4.0697
5	1.3979	4.1677
6	1.4771	4.2476
7	1.5441	4.3151
8	1.6021	4.3735
9	1.6532	4.4250
10	1.6990	4.4710
11	1.7404	4.5126
12	1.7782	4.5505
13	1.8129	4.5854
14	1.8451	4.6177
AVERAGE	1.4804	4.2494
STDEV	0.3362	0.3415
VARIANCE	0.1130	0.1166

จากการนำข้อมูลการทดลองมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศได้ในขั้นตอนต่อไป

4.1.5.1 การคำนวณหา *C* และ *n* จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา"

1) การคำนวณหา *C* และ *n* จากการทดสอบ Pressurization

จากการนำข้อมูลการทดลองมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (*C*, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (*n*, Air Pressure Exponent) ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$n = \frac{S_{\mathrm{Log}(dP)\mathrm{Log}(Q)}}{S^2_{\mathrm{Log}(dP)}} \quad \ldots\ldots\ldots.. (1)$$

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \qquad (2)$$

เมื่อ

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ (Air Pressure Exponent)

C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (Air Leakage Coefficient)

dP = ค่าความดันแตกต่าง, Pa

Q = อัตราการไหลของอากาศ, CFM

S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

S^2 = ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง (Variance)

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของความดันแตกต่างที่ได้จากการทดลอง

$\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการทดลอง

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Pressurization จากตารางที่4.5 มาแทนค่าในสมการที่ 3 เพื่อคำนวณหาค่า *n* ได้ดังนี้

$$n = \frac{S_{\mathrm{Log}(dP)\mathrm{Log}(Q)}}{S^2_{\mathrm{Log}(dP)}} \quad \ldots\ldots.. (1)$$

$$n = \frac{0.33 * 0.34}{0.113}$$

n = 0.98

<u>ค่า n ของการทดสอบ Pressurization มีค่า = 0.98</u> ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 แสดงว่าผลการทดลองได้ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Pressurization จากตารางที่4.5 มาแทนค่าในสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่า C ได้ดังนี้

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \text{ .... (2)}$$

$$C = \exp^{(4.26 - 0.98 * 1.48)}$$

$$C = 16.47$$

<u>ค่า C ของการทดสอบ Pressurization มีค่า = 16.47</u>

2) การคำนวณหา C และ n จากการทดสอบ Depressurization

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Depressurization จากตารางที่ 4.6 มาแทนค่าในสมการที่ 3 เพื่อคำนวณหาค่า n ได้ดังนี้

$$n = \frac{S_{\text{Log}(dP)\text{Log}(Q)}}{S^2_{\text{Log}(dP)}} \text{ ....(1)}$$

แทนค่าในสมการที่ 1

$$n = \frac{0.33 * 0.33}{0.113}$$

n = 0.99

<u>ค่า n ของการทดสอบ Depressurization มีค่า = 0.99</u> ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 แสดงว่าผลการทดลองได้ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Depressurization จากตารางที่ 3.10 มาแทนค่าในสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่า C ได้ดังนี้

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \text{..................(2)}$$

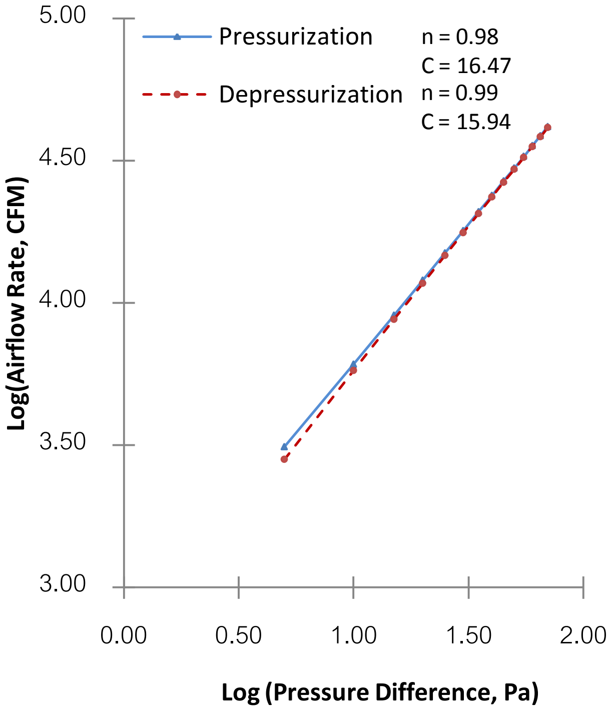
แทนค่าในสมการที่ 2

$$C = \exp^{(4.25 - 1.00 * 1.48)}$$

$$C = 15.94$$

<u>ค่า *C* ของการทดสอบ Depressurization มีค่า = 15.94</u>

จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 สามารถแสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” ได้ในแผนภูมิที่ 4.2



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

จากแผนภูมิที่ 4.2 สามารถอธิบายได้ว่าลักษณะการรั่วซึมอากาศ จะแปรผันตรงกับค่าความดันแตกต่าง กล่าวคือ เมื่อมีค่าความดันแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกมากขึ้น ก็จะทำให้อัตราการรั่วซึมอากาศมีปริมาณเพิ่มขึ้นตาม ในการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” โดยวิธี Pressurization และ Depressurization ลักษณะการรั่วซึมอากาศของทั้งสองวิธี มีลักษณะการรั่วซึมอากาศที่คล้ายกันหรือมีความแตกต่างกันน้อยมาก

โดยการทดสอบแบบวิธี Pressurization จะมีการรั่วซึมอากาศมากกว่าการทดสอบแบบวิธี Depressurization เล็กน้อย ซึ่งหมายความว่าในกรณีที่ทำให้ภายในห้องมีความดันอากาศเป็นบวกจะมีการรั่วซึมอากาศมากว่ากรณีที่ทำให้ให้ภายในห้องมีความดันอากาศเป็นลบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.1.5.2 คำนวณหาค่าความดันแตกต่าง (*dP*) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลม ที่ 50 Pa ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา"

มีวิธีการคำนวณดังนี้

1) คำนวณหาค่าความเร็วลม ที่เกิดจากความดันของพัดลมหรือ Blower ที่แรงดัน 50 Pa โดยใช้สมการ

$$P = \tfrac{1}{2} p v^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

เมื่อ

P = ความกดอากาศที่เกิดจากแรงดันลม (ที่ 50 Pa) = 5.0985 kg/m^2

v = ความเร็วลม, m/s

p = ความหนาแน่นของอากาศ = 1.164 kg/m^3

แทนค่าในสมการที่ 3

$$5.0985 = \tfrac{1}{2} * 1.164 * v^2$$

$$v^2 = 5.0985 * 2 / 1.164$$

$$v = 2.959 \text{ m/s}$$

ค่าความเร็วลมที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ที่แรงดัน 50 Pa = 2.959 m/s

2) แปลงค่าความเร็วลม (v) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 3 แปลงเป็นอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้สมการที่ 4 และนำค่าอัตราการไหลของอากาศ มาแทนในสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาค่าความดันอากาศแตกต่าง (*dP*)

$$Q = AV \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

V = ความเร็วลม = 2.959 m/s

A = พื้นที่หน้าตัดของ Blower หรือพัดลม = 0.229 m^2

แทนค่าในสมการที่ 4

Q = 0.229 * 2.959

Q = 0.6779 m/s (1,436 CFM)

อัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลมที่แรงดัน 50 Pa = 1,436 CFM

จาการทดลองภาคสนามตามมาตรฐาน ASTM E779-03 เมื่อทำแรงดันของ Blower หรือพัดลมที่แรงดัน 50 Pa จะทำให้เกิดการไหลของอากาศ 1,436 CFM ซึ่งสามารถวัดความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ 3.30 Pa

อัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ที่แรงดัน 50 Pa ทำให้เกิดความดันแตกต่าง (*dP*) = 3.30 Pa

4.1.5.3 **คำนวณหาค่าการรั่วซึมอากาศ ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยจุฬา"**

เมื่อได้ค่าความดันอากาศแตกต่าง หรือ *dP* แล้ว ให้นำมาแทนค่าในสมการที่ 5 ซึ่งเป็นสมการหลักในการคำนวรหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ

$$Q_0 = C(dP)^n \text{.............. (5)}$$

เมื่อ

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

dP = ความดันอากาศแตกต่าง = 3.30 Pa

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ = 0.98

C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ = 16.47

แทนค่าในสมการที่ 5

$Q_0 = 16.47 * 3.30^{0.98}$

$\mathbf{Q_0 = 51.82\ CFM}$

อัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” มีค่าเท่ากับ 51.82 CFM

4.1.5.4 แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่ายเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

การแปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่ายเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) โดยการนำเอาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ คูณด้วย 60 นาที และหารด้วยปริมาตรอาคาร ตามสมการที่ 6

$$ACH = \frac{Q_0 * 60}{\text{House Volume}} \quad \text{.................... (6)}$$

เมื่อ

ACH = ค่าการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง, ACH

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ = 51.82 CFM

House Volume = 85.14 m^3 (3,006.53 ft^3)

แทนค่าในสมการที่ 6

$$ACH = \frac{51.82 * 60}{3,006.53}$$

ACH = 1.03 ACH

อาคารกรณีศึกษา
“เรือนไทยจุฬา”
มีค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ
1.03 ACH

4.2 การทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ อาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

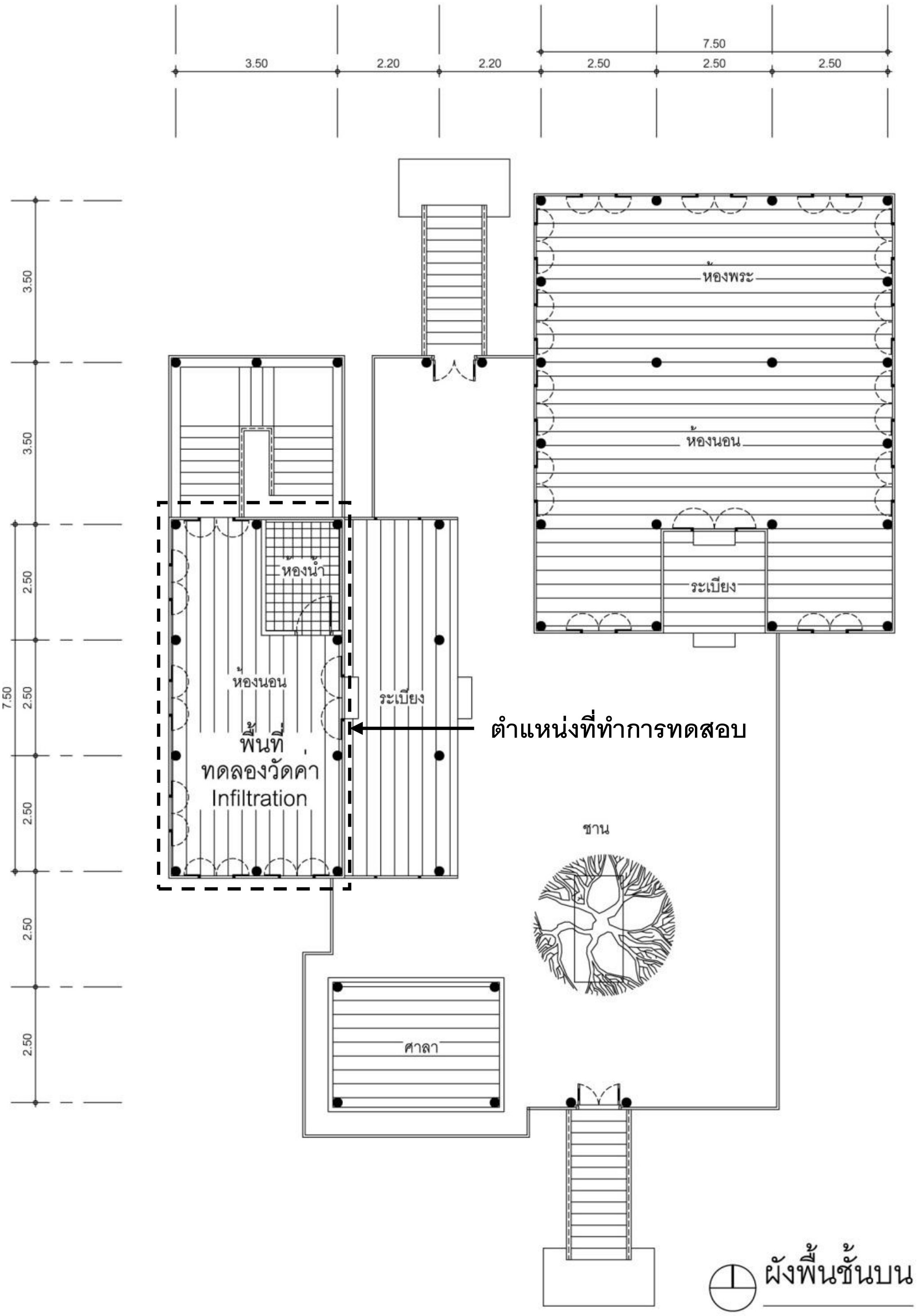
ชื่อ : “เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

ที่อยู่ : ถ.พระราม 9 เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10240

Tel : 02-3744455

ภาพที่ 4.8 ภาพลักษณะทางสถาปัตยกรรมโดยรวมของ
“เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

ภาพที่ 4.9 ภาพอาคาร “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”
ที่ทำการทดสอบวัดการรั่วซึมอากาศ



ภาพที่ 4.10 ภาพผังอาคารเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี
และตำแหน่งที่ทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศ

4.2.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารและสภาพแวดล้อมในอาคาร กรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี"

วันที่ทดสอบ : 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555

เวลาเริ่มต้น : 10.00 น. เวลาสิ้นสุด : 13.00 น.

ชื่ออาคาร : เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี ประเภทอาคาร : บ้านพักอาศัย

พื้นที่อาคาร : 585.00 m^2 (ไม่รวมใต้ถุน)

พื้นที่ที่ทำการทดลอง : 26.25 m^2

พื้นที่พื้น : 26.25 m^2 วัสดุ : ไม้สัก ขนาด 1" x 12"

พื้นที่ผนัง : 62.70 m^2 วัสดุ : ฝาไม้สัก 1" x 12"

พื้นที่หน้าต่าง : 4.50 m^2 วัสดุ : บานไม้สัก ลูกฟักกระจกใส

พื้นที่ฝ้าเพดาน : 26.25 m^2 วัสดุ : ไม้สัก ขนาด ½" x 6" เข้าลิ้น

WWR : 10

ปริมาตรอาคาร : 78.75 m^3 (2,766.80 ft^3)

อายุอาคาร : 8 ปี

อุณหภูมิภายใน ก่อนทดสอบ : 30 °C หลังทดสอบ : 31 °C ค่าเฉลี่ย : 30.5 °C

อุณหภูมิภายนอก ก่อนทดสอบ : 31 °C หลังทดสอบ : 33 °C ค่าเฉลี่ย : 32 °C

ความดันอากาศต่าง ก่อนทดสอบ : 2 Pa หลังทดสอบ : 1 Pa ค่าเฉลี่ย : 1.5 Pa

ความเร็วลมภายนอกก่อนทดสอบ : 0.21 m/s หลังทดสอบ : 0.25 m/s ค่าเฉลี่ย : 0.23 m/s

ความหนาแน่นอากาศที่อุณหภูมิ 30 °C : 1.164 kg/m^3

จากข้อมูลการสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารเรือนไทยหมู่ ของ ดร. ภิญโญ สุวรรณคีรี และสภาพแวดล้อมของอาคาร เพื่อตรวจสอบว่าสามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้หรือไม่ ซึ่งพบว่า

1) วัดอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิคูณด้วยความสูงของอาคาร มีค่าเท่ากับ 3.05 m°C ซึ่งมีค่าไม่เกินกว่า 200 m°C จึงสามารถทำการทดสอบได้
2) พื้นที่ทดสอบมีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 0.23 m/s ซึ่งไม่เกินกว่า 0-2 m/s จึงสามารถทำการทดสอบได้

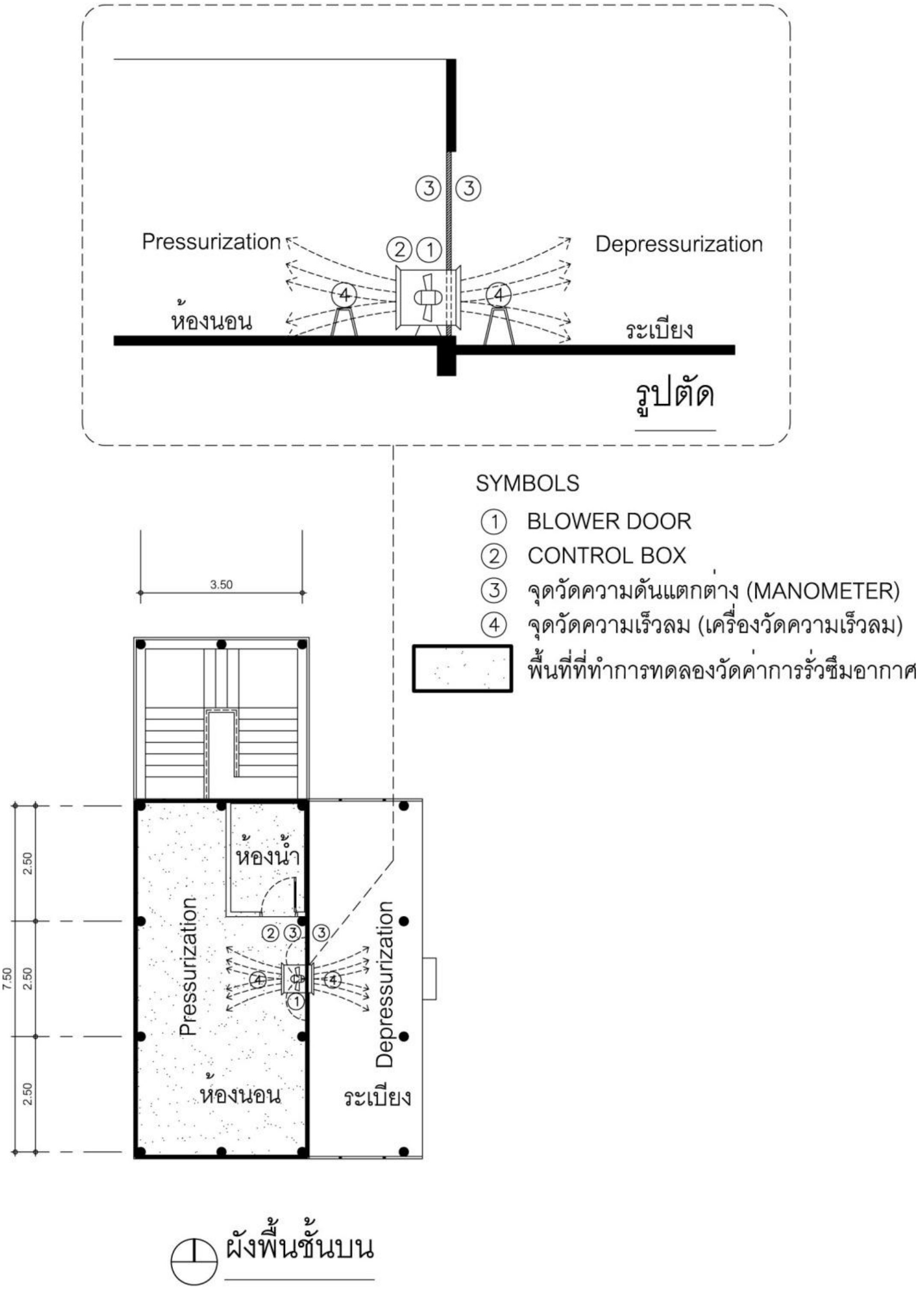
3) อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเท่ากับ 30.5 °C ซึ่งอยู่ในช่วง 5-35 °C จึงสามารถทำการทดสอบได้

จึงสรุปได้ว่าอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” สามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้

ภาพที่ 4.11 ภาพการสำรวจลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อม
ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

4.2.2 ขั้นตอนการติดตั้ง Blower Door ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

เมื่อทำการสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคาร“เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” และสภาพแวดล้อมของอาคาร และพบว่าสามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้ ขั้นตอนต่อไป คือ การติดตั้ง Blower Door ในพื้นที่ที่จะทำการทดลอง สามารถแสดงภาพการติดตั้งในรูปภาพที่ 4.12 และ รูปภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.12 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้ง Blower Door และอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

ภาพที่ 4.13 ภาพแสดง การติดตั้ง Blower Doorและอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

4.2.3 ขั้นตอนการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี"

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบวัดค่าการรั่วซึม ซึ่งจะวัดอัตราการรั่วไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารที่อยู่ภายใต้การควบคุมความดันในระดับต่างๆ โดยการอัดอากาศเข้าไป (Pressurization) และดูดอากาศออก (Depressurization) จากห้องที่ทำการทดลอง เพื่อสร้างความดันอากาศแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งเมื่อเกิดความดันแตกต่าง จะทำให้อากาศที่มีแรงดันอากาศสูงกว่าไหลผ่านรูหรือรอยแตกของเปลือกอาคารไปหาอากาศที่มีแรงดันอากาศน้อยกว่า หรือเรียกว่าการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 จะใช้ Blower Door ในการสร้างความดันแตกต่างจาก 10 ถึง 60 Pa และทำการวัดอัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในแต่ละระดับ สามารถแสดงวิธีการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศได้ในรูปภาพที่ 4.14

ภาพที่ 4.14 ภาพแสดงการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี"

4.2.4 ผลการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี"

จากการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 โดยวิธี Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี" ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.8

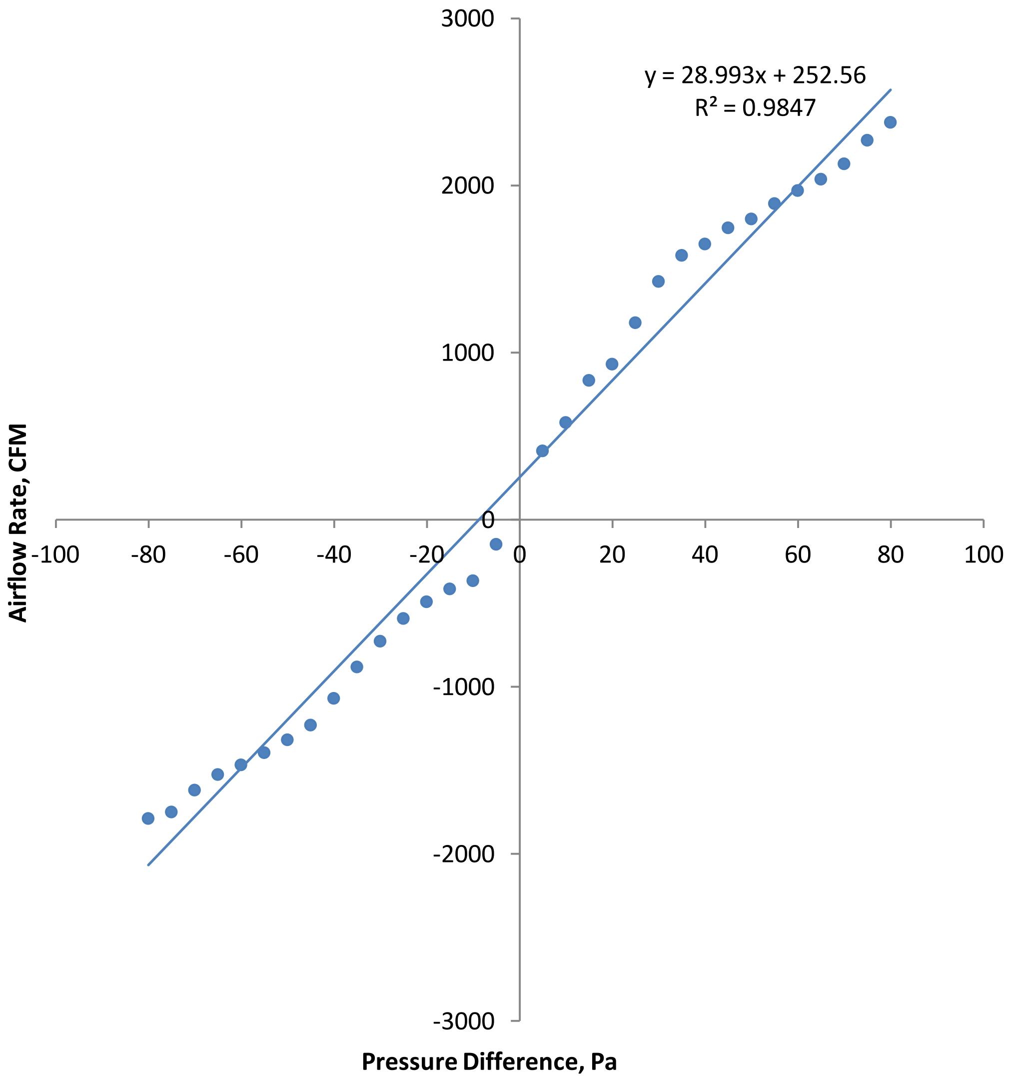
ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูล Measured Pressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี"

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	5	413
2	10	583
3	15	835
4	20	932
5	25	1180
6	30	1427
7	35	1583
8	40	1651
9	45	1748
10	50	1801
11	55	1893
12	60	1971
13	65	2039
14	70	2131
15	75	2272
16	80	2379

ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูล Measured Depressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	-5	-146
2	-10	-364
3	-15	-413
4	-20	-490
5	-25	-590
6	-30	-726
7	-35	-880
8	-40	-1068
9	-45	-1228
10	-50	-1316
11	-55	-1393
12	-60	-1466
13	65	-1524
14	-70	-1617
15	-75	1748
16	-80	-1787

จากข้อมูลในตารางที่ 4.7 และ ตารางที่ 4.8 สามารถนำข้อมูลมาสร้างกราฟ เพื่อหาสมการการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เพื่อตรวจสอบว่า ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้หรือไม่ โดยกำหนดให้ค่า $R^2 \geq 0.95$ ซึ่งสามารถแสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” ได้ตามแผนภูมิที่ 4.3



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

จากแผนภูมิที่ 4.3 จะได้สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) y = 28.99x + 252.5 และค่า $\underline{R^2 = 0.984}$ สามารถอธิบายได้ว่า ที่ความดันแตกต่างในระดับต่างๆ สามารถอธิบายอัตราการไหลของอากาศได้ 98.4% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASTM E779-03 ยอมรับได้ ($\geq$ 95%) <u>แสดงว่าผลการทดลองนี้มีความน่าเชื่อถือ</u>

เมื่อได้ผลการทดลอง ทั้งการทดสอบแบบ Pressurization และ Depressurization แล้ว จึงนำเอาผลการทดลองดังกล่าวไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึม

อากาศ (*C*, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (*n*, Air Pressure Exponent) ต่อไป

4.2.5 การคำนวณหาค่าการรั่วซึมของอากาศจากการทดสอบตามาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี"

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศมีขั้นตอนดังนี้

1) การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (*C*, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (*n*, Air Pressure Exponent) จากการแปลงข้อมูลการทดลองเป็นเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทั้งการทดสอบแบบ Pressurization และ Depressurization

2) คำนวณหาค่าความดันแตกต่าง (*dP*) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ที่ได้จากการทดลอง

3) คำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ (Q_0) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการ $Q_0 = C(dP)^n$

4) แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ (Q_0) จากหน่วย CFM ให้เป็นหน่วย ACH (Air Change per Hour) โดยการนำเอาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ คูณด้วย 60 นาที และหารด้วยปริมาตรอาคาร

สามารถนำข้อมูลมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ได้ตามตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 แสดงการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ **Pressurization** เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา“เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

Point	Log(Pressure Difference Across Building Envelope, Pa)	Log(Airflow Rate, CFM)
1	0.6990	2.6160
2	1.0000	2.7657
3	1.1761	2.9217
4	1.3010	2.9694
5	1.3979	3.0719
6	1.4771	3.1544
7	1.5441	3.1995
8	1.6021	3.2177
9	1.6532	3.2425
10	1.6990	3.2555
11	1.7404	3.2772
12	1.7782	3.2947
13	1.8129	3.3094
14	1.8451	3.3286
15	1.8751	3.3564
16	1.9031	3.3764
AVERAGE	1.5315	3.1473
STDEV	0.3427	0.2219
VARIANCE	0.1175	0.0492

ตารางที่ 4.10 แสดงการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ **Depressurization** เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา“เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

Point	Log(Pressure Difference Across Building Envelope, Pa)	Log(Airflow Rate, CFM)
1	0.6990	2.1644
2	1.0000	2.5611
3	1.1761	2.6160
4	1.3010	2.6902
5	1.3979	2.7709
6	1.4771	2.8609
7	1.5441	2.9445
8	1.6021	3.0286
9	1.6532	3.0892
10	1.6990	3.1193
11	1.7404	3.1440
12	1.7782	3.1661
13	1.8129	3.1830
14	1.8451	3.2087
15	1.8751	3.2425
16	1.9031	3.2521
AVERAGE	1.5315	2.9401
STDEV	0.3427	0.3080
VARIANCE	0.1175	0.0948

จากการนำข้อมูลการทดลองมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศได้ในขั้นตอนต่อไป

4.2.5.1 การคำนวณหา *C* และ *n* จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี"

1) การคำนวณหา *C* และ *n* จากการทดสอบ Pressurization

จากการนำข้อมูลการทดลองมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (*C*, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (*n*, Air Pressure Exponent) ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$n = \frac{S_{\text{Log}(dP)\text{Log}(Q)}}{S^2_{\text{Log}(dP)}} \quad \text{..........(1)}$$

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \qquad (2)$$

เมื่อ

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ (Air Pressure Exponent)

C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (Air Leakage Coefficient)

dP = ค่าความดันแตกต่าง, Pa

Q = อัตราการไหลของอากาศ, CFM

S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

S^2 = ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง (Variance)

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของความดันแตกต่างที่ได้จากการทดลอง

$\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการทดลอง

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Pressurization จากตารางที่4.9 มาแทนค่าในสมการที่ 3 เพื่อคำนวณหาค่า ***n*** ได้ดังนี้

$$n = \frac{S_{\text{Log}(dP)\text{Log}(Q)}}{S^2_{\text{Log}(dP)}} \quad \text{......... (1)}$$

แทนค่าในสมการที่ 1

$$n = \frac{0.3427 * 0.2219}{0.1175}$$

n = 0.65

ค่า ***n*** ของการทดสอบ Pressurization มีค่า = 0.65 ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 แสดงว่าผลการทดลองได้ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Pressurization จากตารางที่ 3.12 มาแทนค่าในสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่า ***C*** ได้ดังนี้

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \text{ ………….. (2)}$$

แทนค่าในสมการที่ 2

$$C = \exp^{(3.147 - 0.65 * 1.53)}$$

$$C = 8.63$$

ค่า *C* ของการทดสอบ Pressurization มีค่า = 8.63

2) การคำนวณหา*C* และ *n* จากการทดสอบ Depressurization

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Depressurization จากตารางที่ 4.10 มาแทนค่าในสมการที่ 3 เพื่อคำนวณหาค่า ***n*** ได้ดังนี้

$$n = \frac{S_{Log(dP)Log(Q)}}{S^2_{Log(dP)}} \text{……….(1)}$$

แทนค่าในสมการที่ 1

$$n = \frac{0.343 * 0.308}{0.118}$$

n = 0.89

ค่า ***n*** ของการทดสอบ Depressurization มีค่า = 0.89 ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 แสดงว่าผลการทดลองได้ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Depressurization จากตารางที่ 4.10 มาแทนค่าในสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่า *C* ได้ดังนี้

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

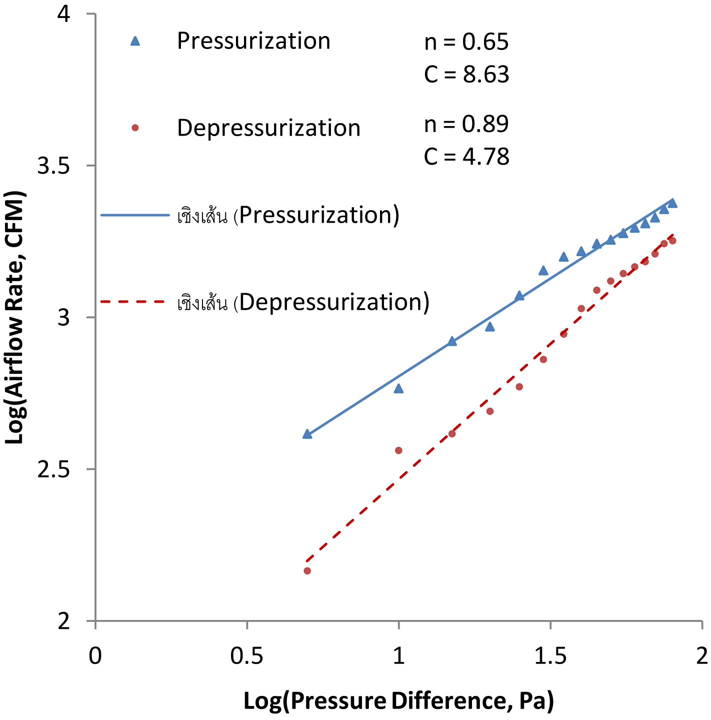
แทนค่าในสมการที่ 2

$$C = \exp^{(2.940 - 0.98 * 1.532)}$$

$$C = 4.78$$

<u>ค่า *C* ของการทดสอบ Depressurization มีค่า = 4.78</u>

จากข้อมูลในตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10 สามารถแสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” ได้ในแผนภูมิที่ 4.4



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

จากกราฟที่ 4.4 สามารถอธิบายได้ว่าลักษณะการรั่วซึมอากาศ จะแปรผันตรงกับค่าความดันแตกต่าง กล่าวคือ เมื่อมีค่าความดันแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกมากขึ้น ก็จะทำให้อัตราการรั่วซึมอากาศมีปริมาณเพิ่มขึ้นตาม ในการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” โดยวิธี Pressurization และ Depressurization ลักษณะการรั่วซึมอากาศของทั้งสองวิธี มีลักษณะการรั่วซึมของอากาศค่อนข้างแตกต่างกัน โดยการทดอบแบบวิธี Pressurization จะมีการรั่วซึมอากาศมากกว่าการทดอบแบบวิธี Depressurization ซึ่งหมายความว่าในกรณีที่ทำให้ภายในห้องมีความดันอากาศเป็นบวกจะมีการรั่วซึมอากาศมากกว่ากรณีที่ทำให้ให้ภายในห้องมีความดันอากาศเป็นลบ

4.2.5.2 คำนวณหาค่าความดันแตกต่าง (*dP*) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

มีวิธีการคำนวณดังนี้

1) คำนวณหาค่าความเร็วลม ที่เกิดจากความดันของพัดลมหรือ Blower ที่แรงดัน 50 Pa โดยใช้สมการ

$$P = \frac{1}{2} p v^2 \text{........................ (3)}$$

เมื่อ

P = ความกดอากาศที่เกิดจากแรงดันลม (ที่ 50 Pa) = 5.0985 kg/m^2

v = ความเร็วลม, m/s

p = ความหนาแน่นของอากาศ = 1.164 kg/m^3

แทนค่าในสมการที่ 3

$$5.0985 = \frac{1}{2} * 1.164 * v^2$$

$$v^2 = 5.0985 * 2 / 1.164$$

$$v = 2.959 \text{ m/s}$$

ค่าความเร็วลมที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ทีแรงดัน 50 Pa = 2.959 m/s

2) แปลงค่าความเร็วลม (v) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 3 แปลงเป็นอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้สมการที่ 4 และนำค่าอัตราการไหลของอากาศ มาแทนในสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาค่าความดันอากาศแตกต่าง (*dP*)

$$Q = AV\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

V = ความเร็วลม = 2.959 m/s

A = พื้นที่หน้าตัดของ Blower หรือพัดลม = 0.229 m^2

แทนค่าในสมการที่ 4

Q = 0.229 * 2.959

Q = 0.6779 m/s (1,436 CFM)

<u>อัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ที่แรงดัน 50 Pa = 1,436 CFM</u>

จากการทดลองภาคสนามตามมาตรฐาน ASTM E779-03 เมื่อทำแรงดันของ Blower หรือพัดลมที่แรงดัน 50 Pa จะทำให้เกิดการไหลของอากาศ 1,436 CFM ซึ่งสามารถวัดความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ 35.10 Pa

<u>อัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ที่แรงดัน 50 Pa ทำให้เกิดความดันแตกต่าง (*dP*) = 35.10 Pa</u>

4.2.5.3 คำนวณหาค่าการรั่วซึมอากาศ ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

เมื่อได้ค่าความดันอากาศแตกต่าง หรือ *dP* แล้ว ให้นำมาแทนค่าในสมการที่ 5 ซึ่งเป็นสมการหลักในการคำนวรหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ

$$Q_0 = C(dP)^n\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

เมื่อ

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

dP = ความดันอากาศแตกต่าง = 35.10 Pa

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ = 0.65

C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ = 8.63

แทนค่าในสมการที่ 5

$Q_0 = 8.63 * 35.10^{0.65}$

$\mathbf{Q_0 = 87.19\ CFM}$

อัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา“เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”มีค่าเท่ากับ 87.19 CFM

4.2.5.4 แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

การ แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) โดยการนำเอาค่าอัตราการรั่วซึมของ อากาศ คูณด้วย 60 นาที และหารด้วยปริมาตรอาคาร ตามสมการที่ 6

$$ACH = \frac{Q_0 * 60}{House\ Volume} \quad \text{................ (6)}$$

เมื่อ

ACH = ค่าการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง, ACH

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ = 87.19 CFM

House Volume = 2766.80 ft^3

แทนค่าในสมการที่ 6

$$ACH = \frac{95.33 * 60}{2766.80}$$

ACH = 1.89 ACH

อาคารกรณีศึกษา

“เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

มีค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ

1.89 ACH

4.3 การทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ อาคารกรณีศึกษา เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์

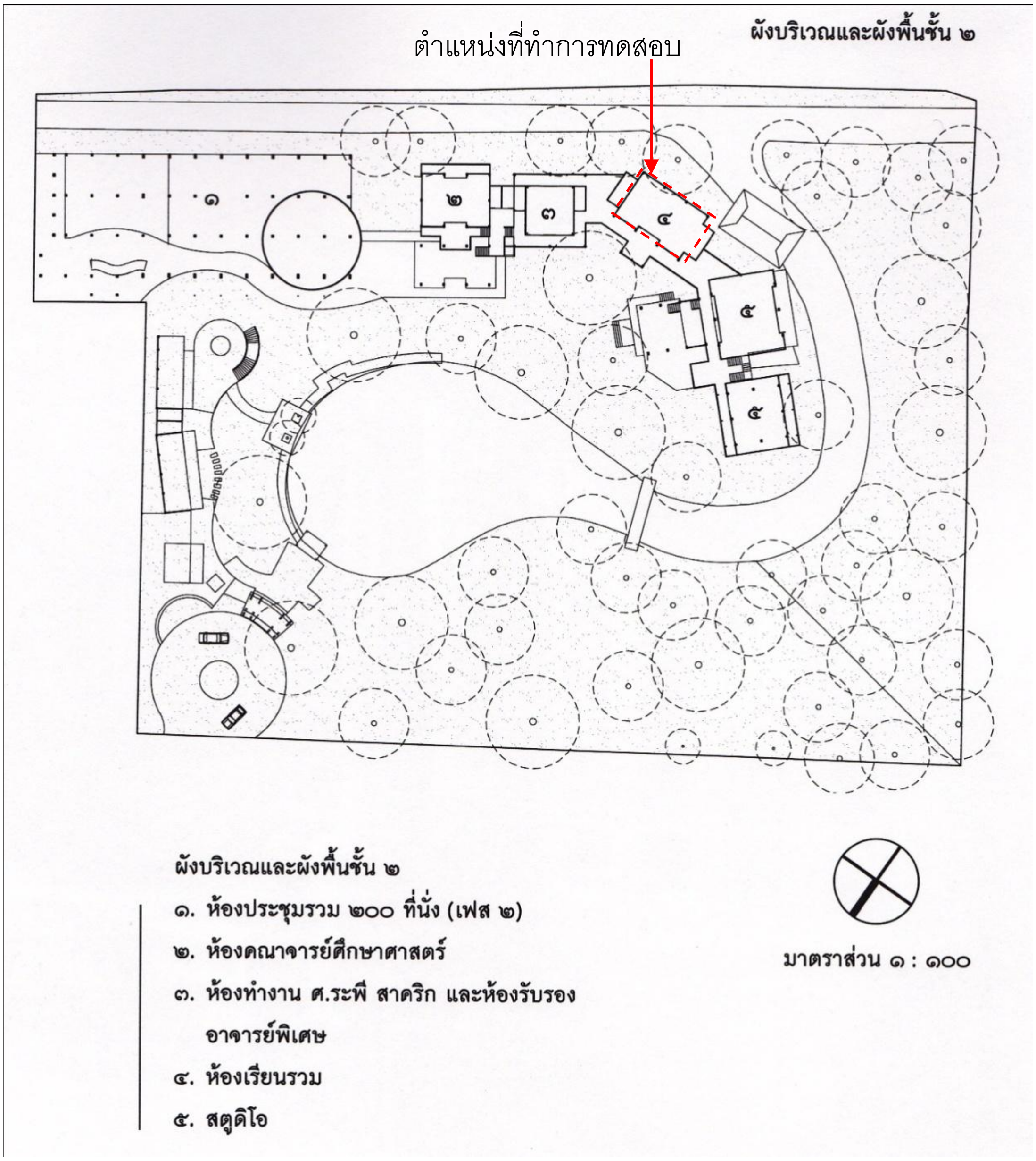
ชื่อ : เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์

ที่อยู่ : เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150

Tel : 02-4904748-54

ภาพที่ 4.15 ภาพลักษณะทางสถาปัตยกรรมโดยรวมของ เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์ (Arsomsilp, 2011: online)

ภาพที่ 4.16 ภาพอาคารเรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์ ที่ทำการทดสอบวัดการรั่วซึมอากาศ



ภาพที่ 4.17 ภาพตำแหน่งของอาคารเรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์
ที่ทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศ
(a+A หนังสือเผยแพร่ผลงานออกแบบดีเด่น ลำดับที่ 7, 2553: 83)

4.3.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารและสภาพแวดล้อมในอาคาร กรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

วันที่ทดสอบ : 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555

เวลาเริ่มต้น : 10.00 น. เวลาสิ้นสุด : 12.00 น.

ชื่ออาคาร : "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

ประเภทอาคาร : สถานศึกษา

พื้นที่อาคาร : 2,038 m^2

พื้นที่ที่ทำการทดลอง : 84.00 m^2

พื้นที่พื้น : 84.00 m^2 วัสดุ : ไม้เนื้อแข็ง ขนาด 1" x 6"

พื้นที่ผนัง : 73.72 m^2 วัสดุ : ฝาไม้เนื้อแข็ง ขนาด 1" x 6" ตีคิ้วตามรอยต่อ

พื้นที่หน้าต่าง : 49.16 m^2 วัสดุ : บานไม้เนื้อแข็ง ลูกฟักกระจกใส

พื้นที่ฝ้าเพดาน : 84.00 m^2 วัสดุ : กระจกฝ้า กรอบอลูมิเนียมแบบสไลด์เปิด-ปิดได้

WWR : 40

ปริมาตรอาคาร : 268.80 m^3 (9,492.40 ft^3)

อายุอาคาร : 6 ปี

อุณหภูมิภายใน ก่อนทดสอบ : 30 °C หลังทดสอบ : 30 °C ค่าเฉลี่ย : 30 °C

อุณหภูมิภายนอก ก่อนทดสอบ : 30 °C หลังทดสอบ : 30 °C ค่าเฉลี่ย : 30 °C

ความดันอากาศต่าง ก่อนทดสอบ : 2 Pa หลังทดสอบ : 1 Pa ค่าเฉลี่ย : 1.5 Pa

ความเร็วลมภายนอกก่อนทดสอบ : 0.19 m/s หลังทดสอบ : 0.17 m/s ค่าเฉลี่ย : 0.18 m/s

ความหนาแน่นอากาศที่อุณหภูมิ 30 °C : 1.164 kg /m^3

จากข้อมูลการสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารเรือนไทยหมู่ ของ ดร. ภิญโญ สุวรรณคีรี และสภาพแวดล้อมของอาคาร เพื่อตรวจสอบว่าสามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้หรือไม่ ซึ่งพบว่า

1) วัดอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิคูณด้วยความสูงของอาคาร มีค่าเท่ากับ 3.00 m°C ซึ่งมีค่าไม่เกินกว่า 200 m°C จึงสามารถทำการทดสอบได้

2) พื้นที่ทดสอบมีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 m/s ซึ่งไม่เกินกว่า 0-2 m/s จึงสามารถทำการทดสอบได้

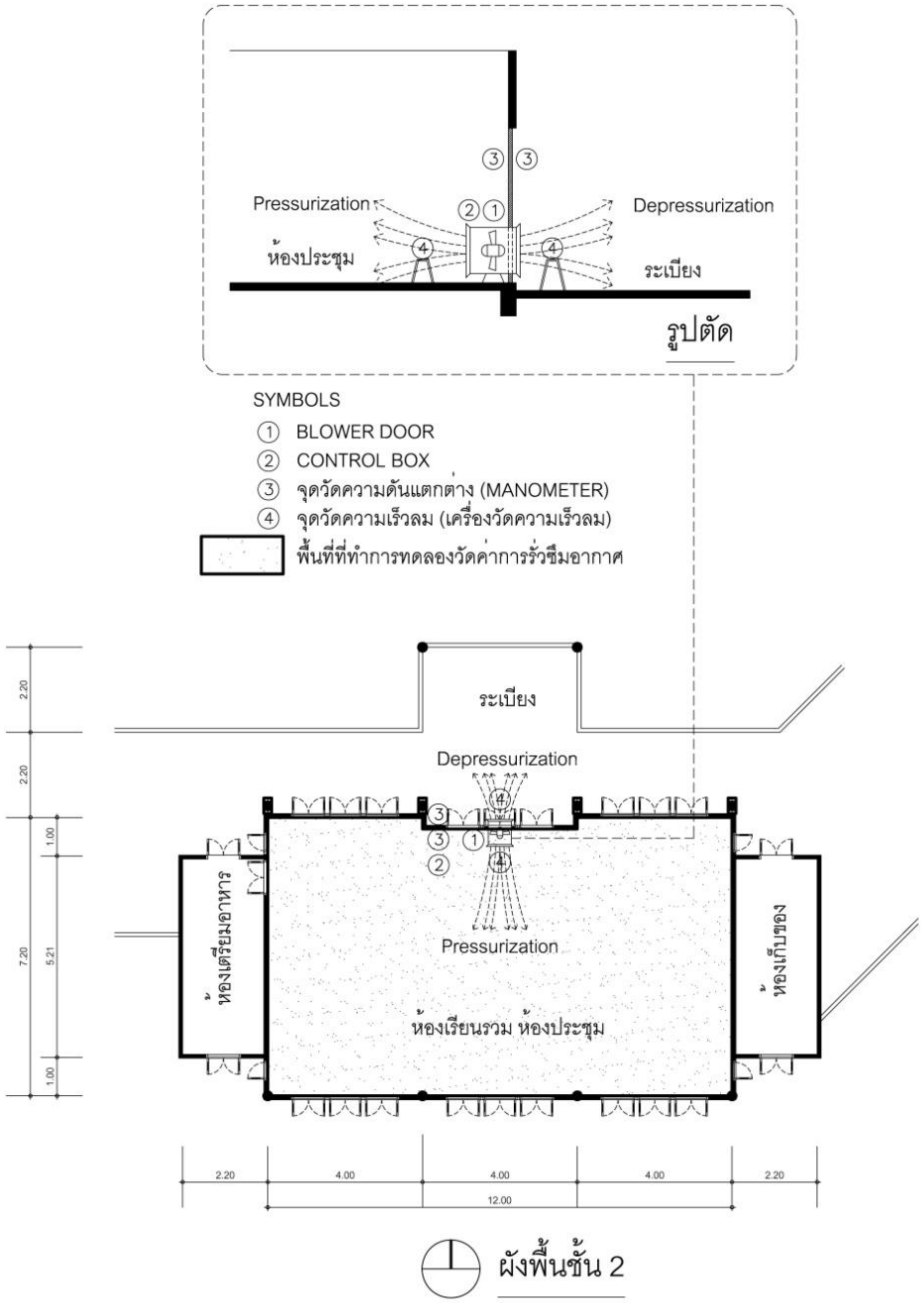
3) อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเท่ากับ 30 °C ซึ่งอยู่ในช่วง 5-35 °C จึงสามารถทำการทดสอบได้

จึงสรุปได้ว่าอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์” สามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้

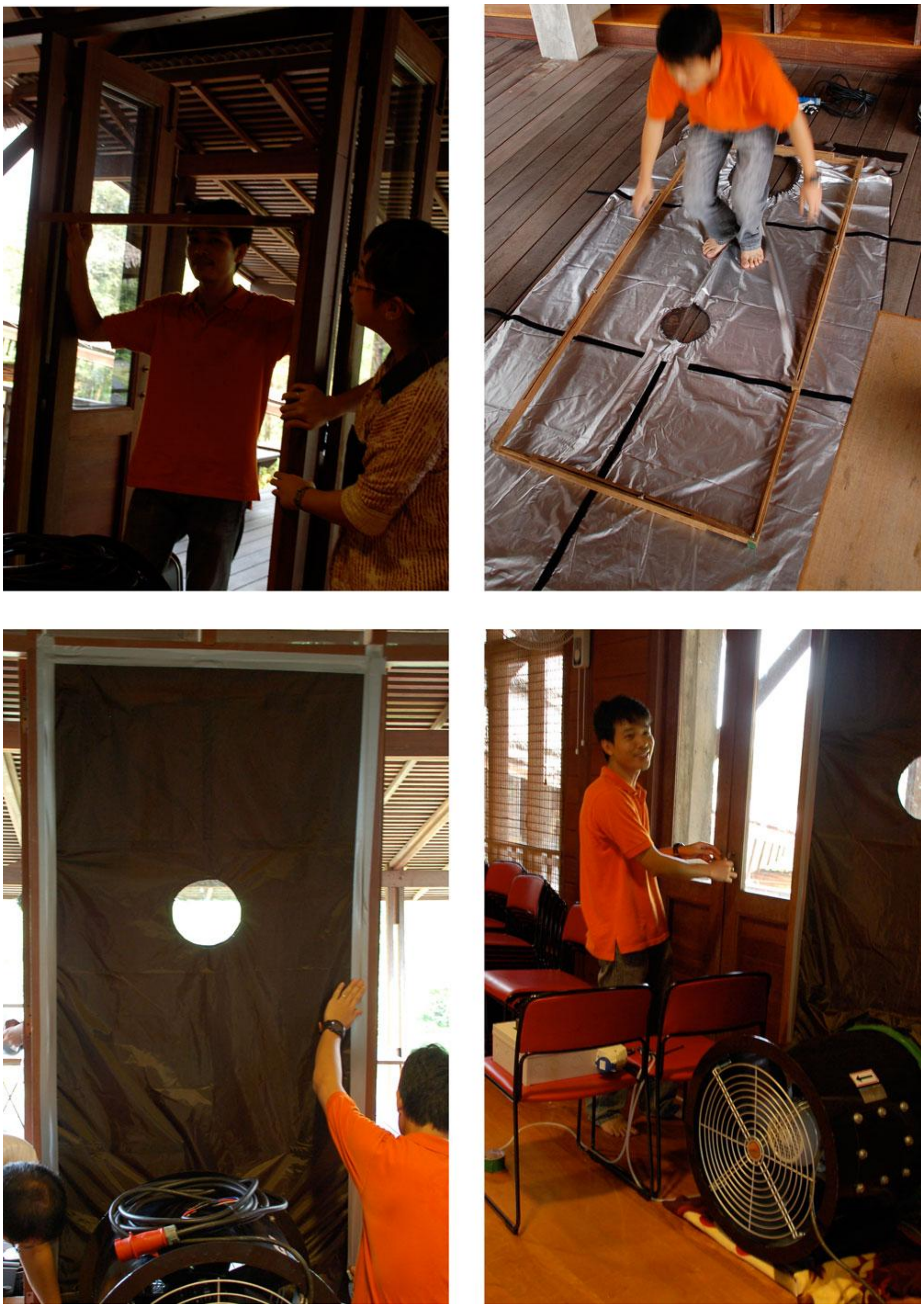
ภาพที่ 4.18 ภาพการสำรวจลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อม ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์

4.3.2 ขั้นตอนการติดตั้ง Blower Door ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

เมื่อทำการสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคาร“เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์” และสภาพแวดล้อมของอาคาร และพบว่าสามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้ ขั้นตอนต่อไป คือ การติดตั้ง Blower Door ในพื้นที่ที่จะทำการทดลอง สามารถแสดงภาพการติดตั้งในรูปภาพที่ 4.19 และ รูปภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.19 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้ง Blower Door และอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”



ภาพที่ 4.20 ภาพแสดงการติดตั้ง Blower Doorและอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

4.3.3 ขั้นตอนการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบวัดค่าการรั่วซึม ซึ่งจะวัดอัตราการรั่วไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารที่อยู่ภายใต้การควบคุมความดันในระดับต่างๆ โดยการอัดอากาศเข้าไป (Pressurization) และดูดอากาศออก (Depressurization) จากห้องที่ทำการทดลอง เพื่อสร้างความดันอากาศแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งเมื่อเกิดความดันแตกต่าง จะทำให้อากาศที่มีแรงดันอากาศสูงกว่าไหลผ่านรูหรือรอยแตกของเปลือกอาคารไปหาอากาศที่มีแรงดันอากาศน้อยกว่า หรือเรียกว่าการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 จะใช้ Blower Door ในการสร้างความดันแตกต่างจาก 10 ถึง 60 Pa และทำการวัดอัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในแต่ละระดับ สามารถแสดงวิธีการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศได้ในรูปภาพที่ 4.21

ภาพที่ 4.21 ภาพแสดงการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

4.3.4 ผลการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

จากการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 โดยวิธี Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์" ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.11 และ ตารางที่ 4.12

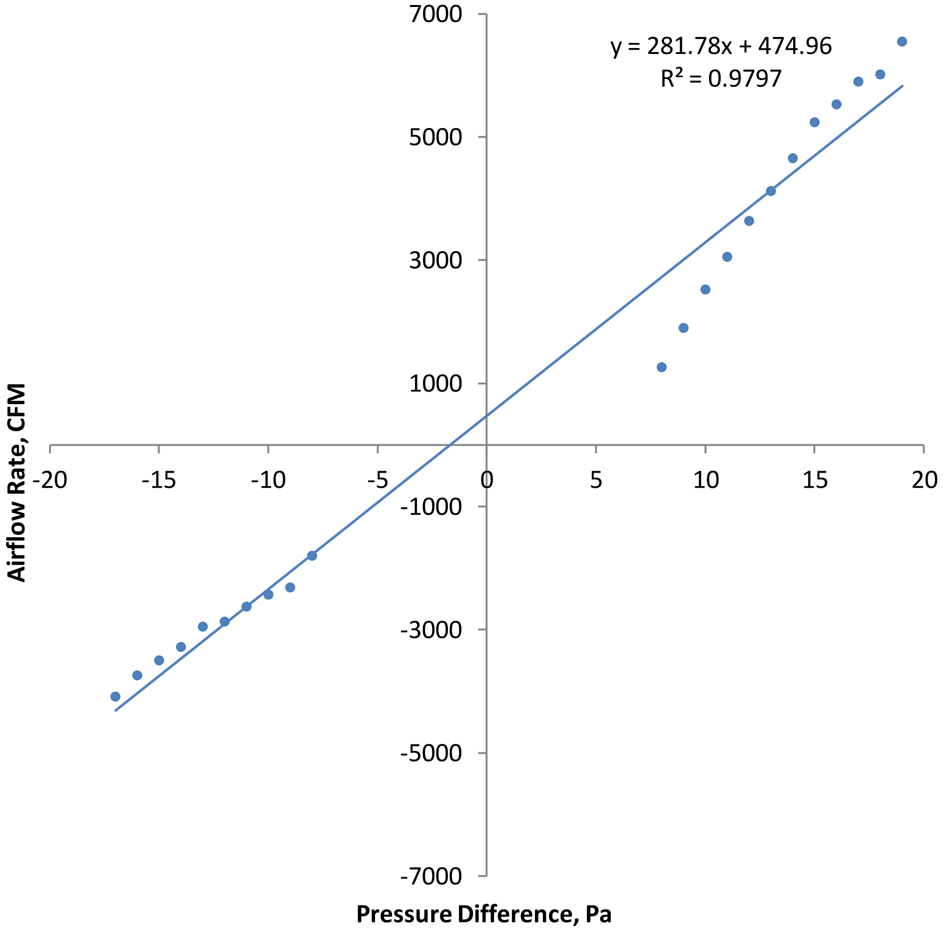
ตารางที่ 4.11 แสดงข้อมูล Measured Pressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	8	1266
2	9	1903
3	10	2528
4	11	3058
5	12	3641
6	13	4126
7	14	4660
8	15	5243
9	16	5534
10	17	5903
11	18	6020
12	19	6554

ตารางที่ 4.12 แสดงข้อมูล Measured Depressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา“เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	8	1796
2	9	2311
3	10	2427
4	11	2622
5	12	2865
6	13	2947
7	14	3277
8	15	3495
9	16	3738
10	17	4083

จากข้อมูลในตารางที่ 4.11 และ ตารางที่ 4.12 สามารถนำข้อมูลมาสร้างกราฟ เพื่อหาสมการการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เพื่อตรวจสอบว่า ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้หรือไม่ โดยกำหนดให้ค่า $R^2 \geq 0.95$ ซึ่งสามารถแสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์” ได้ตามแผนภูมิที่ 4.5



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

จากแผนภูมิที่ 4.5 จะได้สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) y = 281.78x + 474.96 และค่า R^2 = 0.979 มาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้โดยให้ค่า $R^2 \geq 0.95$ แสดงว่าผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ

เนื่องจากการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์” ไม่สามารถทำให้ความดันแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกมีค่าถึง 60 Pa ได้ อาจเป็นผลมาจากอาคารกรณีศึกษาปริมาตรห้องที่ค่อนข้างมาก จึงจำเป็นต้องใช้สมการถดถอยเชิงเส้น y = 281.78x + 474.96 ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) ที่ความดันแตกต่างในระดับต่างๆ ซึ่งสมการถดถอยเชิงเส้นดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า ที่ความดันแตกต่างในระดับต่างๆสามารถอธิบายอัตราการไหลของอากาศได้ 97.9% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASTM E779-03 ยอมรับได้ ($\geq$ 95%) จากสมการถดถอยเชิงเส้น y =

281.78x + 474.96 สามารถคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆได้ในตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 แสดงข้อมูลการใช้สมการถดถอยเชิงเส้น y = 281.78x + 474.96 ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) จากการทดลองอัดอากาศเข้า (Pressurization) ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	5	1884
2	10	3293
3	15	4702
4	20	6111
5	25	7519
6	30	8928
7	35	10337
8	40	11746
9	45	13155
10	50	14564
11	55	15973
12	60	17382
13	65	18791
14	70	20200

ตารางที่ 4.14 แสดงข้อมูลการใช้สมการถดถอยเชิงเส้น y = 281.78x + 474.96 ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) จากการทดลองดูดอากาศออก (Depressurization) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	-5	-934
2	-10	-2343
3	-15	-3752
4	-20	-5161
5	-25	-6570
6	-30	-7978
7	-35	-9387
8	-40	-10796
9	-45	-12205
10	-50	-13614
11	-55	-15023
12	-60	-16432
13	-65	-17841
14	-70	-19250

จากตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารมีมากขึ้นตาม เนื่องจากในการทดสอบอัดอากาศเข้า (Pressurization) ในห้องทดลอง จะทำให้ความดันอากาศภายในห้องทดลองเป็นบวก และความความดันอากาศภายนอกห้องทดลองเป็นลบ ส่งผลให้มวลอากาศภายในห้องที่มีความดันเป็นบวก จะพยายามไหลหรือซึมผ่านรูหรือรอยรั่วของเปลือกอาคารไปหามวลอากาศภายนอกห้องที่มีความดันอากาศเป็นลบ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Exfiltration

ในทางกลับกับเมื่อทำการทดสอบดูดอากาศออก (Depressurization) จากห้องทดลอง จะทำให้ความดันอากาศภายในห้องทดลองเป็นลบ และความความดันอากาศ

ภายนอกห้องทดลองเป็นบวก มวลอากาศภายนอกห้องที่มีความดันเป็นบวก จะพยายามไหลหรือซึมผ่านรูหรือรอยรั่วของเปลือกอาคารไปหามวลอากาศภายในห้องที่มีความดันอากาศเป็นลบ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Infiltration

เมื่อได้ผลการคำนวณอัตราการไหลของอากาศ จากสมการถดถอยเชิงเส้น y = 281.78x + 474.96 ทั้งการทดสอบแบบ Pressurization และ Depressurization แล้ว จึงนำเอาผลการคำนวณดังกล่าวไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (***C***, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (***n***, Air Pressure Exponent) ต่อไป

4.3.5 การคำนวณหาค่าการรั่วซึมของอากาศจากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศมีขั้นตอนดังนี้

1) การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (***C***, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (***n***, Air Pressure Exponent) จากการแปลงข้อมูลการทดลองเป็นเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทั้งการทดสอบแบบ Pressurization และ Depressurization

2) คำนวณหาค่าความดันแตกต่าง (***dP***) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ที่ได้จากการทดลอง

3) คำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ (Q_0) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการ $Q_0 = C(dP)^n$

4) แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ (Q_0) จากหน่วย CFM ให้เป็นหน่วย ACH (Air Change per Hour) โดยการนำเอาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ คูณด้วย 60 นาที และหารด้วยปริมาตรอาคาร

สามารถนำข้อมูลมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ได้ตามตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.15 แสดงข้อมูลการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Pressurization เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

Point	Log(Pressure Difference Across Building Envelope, Pa)	Log(Airflow Rate, CFM)
1	0.6990	3.2750
2	1.0000	3.5176
3	1.1761	3.6723
4	1.3010	3.7861
5	1.3979	3.8762
6	1.4771	3.9508
7	1.5441	4.0144
8	1.6021	4.0699
9	1.6532	4.1191
10	1.6990	4.1633
11	1.7404	4.2034
12	1.7782	4.2401
13	1.8129	4.2739
14	1.8451	4.3053
AVERAGE	1.4804	3.9620
STDEV	0.3362	0.3066
VARIANCE	0.1130	0.0940

ตารางที่ 4.16 แสดงข้อมูลการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ Depressurization เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

Point	Log(Pressure Difference Across Building Envelope, Pa)	Log(Airflow Rate, CFM)
1	0.6990	2.9703
2	1.0000	3.3697
3	1.1761	3.5742
4	1.3010	3.7127
5	1.3979	3.8175
6	1.4771	3.9019
7	1.5441	3.9725
8	1.6021	4.0333
9	1.6532	4.0865
10	1.6990	4.1340
11	1.7404	4.1768
12	1.7782	4.2157
13	1.8129	4.2514
14	1.8451	4.2844
AVERAGE	1.4804	3.8929
STDEV	0.3142	0.3575
VARIANCE	0.113	0.1425

จากการนำข้อมูลการทดลองมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศได้ในขั้นตอนต่อไป

4.3.5.1 การคำนวณหา *C* และ *n* จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

1) การคำนวณหาค่า *C* และ *n* จากการทดสอบ Pressurization

จากการนำข้อมูลการทดลองมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (*C*, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (*n*, Air Pressure Exponent) ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$n = \frac{S_{\mathrm{Log}(dP)\mathrm{Log}(Q)}}{S^2_{\mathrm{Log}(dP)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

เมื่อ

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ (Air Pressure Exponent)

C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (Air Leakage Coefficient)

dP = ค่าความดันแตกต่าง, Pa

Q = อัตราการไหลของอากาศ, CFM

S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

S^2 = ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง (Variance)

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของความดันแตกต่างที่ได้จากการทดลอง

$\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการทดลอง

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Pressurization จากตารางที่4.15 มาแทนค่าในสมการที่ 3 เพื่อคำนวณหาค่า ***n*** ได้ดังนี้

$$n = \frac{S_{\mathrm{Log}(dP)\mathrm{Log}(Q)}}{S^2_{\mathrm{Log}(dP)}} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

แทนค่าในสมการที่ 1

$$n = \frac{0.34 * 0.31}{0.113}$$

$$\boldsymbol{n = 0.91}$$

<u>ค่า ***n*** ของการทดสอบ Pressurization มีค่า = 0.91</u> ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 แสดงว่าผลการทดลองได้ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Pressurization จากตารางที่ 4.15 มาแทนค่าในสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่า *C* ได้ดังนี้

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \text{ .... } (2)$$

แทนค่าในสมการที่ 2

$$C = \exp^{(3.96 - 0.91 * 1.48)}$$

$$C = 13.62$$

<u>ค่า *C* ของการทดสอบ Pressurization มีค่า = 13.62</u>

2) **การคำนวณหา *C* และ *n* จากการทดสอบ** Depressurization

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Depressurization จากตารางที่ 4.16 มาแทนค่าในสมการที่ 3 เพื่อคำนวณหาค่า *n* ได้ดังนี้

$$n = \frac{S_{\text{Log}(dP)\text{Log}(Q)}}{S^2_{\text{Log}(dP)}} \text{ .... } (1)$$

แทนค่าในสมการที่ 1

$$n = \frac{0.3142 * 0.3575}{0.113}$$

$$n = 0.99$$

<u>ค่า ***n*** ของการทดสอบ Depressurization มีค่า = 0.99</u> ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 แสดงว่าผลการทดลองได้ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Depressurization จากตารางที่ 4.16 มาแทนค่าในสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่า *C* ได้ดังนี้

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \text{ .... } (2)$$

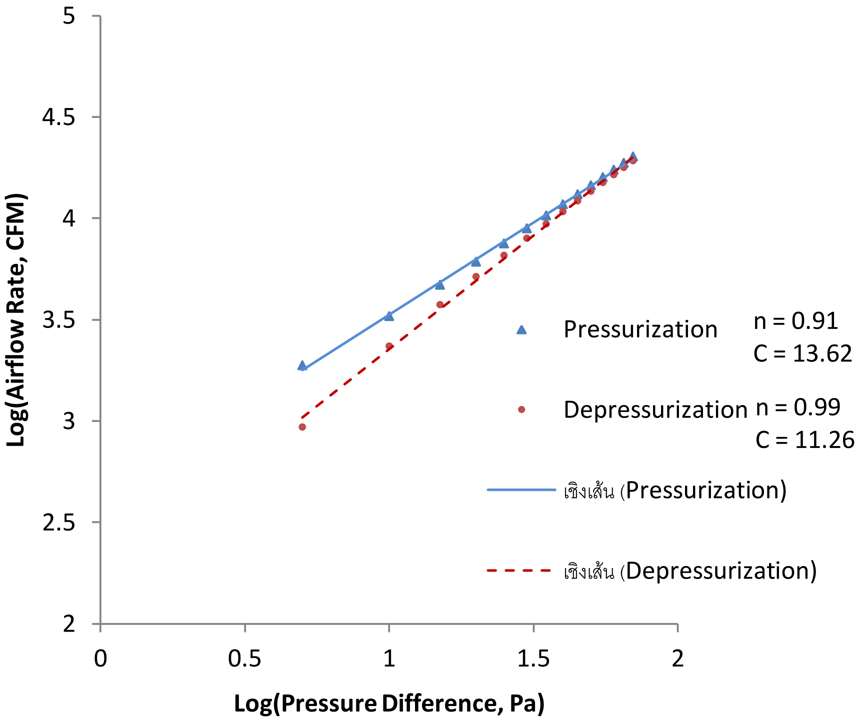
แทนค่าในสมการที่ 2

$$C = \exp^{(3.8929 - 0.99 * 1.48)}$$

$$C = 11.26$$

<u>ค่า *C* ของการทดสอบ Depressurization มีค่า = 11.26</u>

จากข้อมูลในตารางที่ 4.15 และตารางที่ 4.16 สามารถแสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์” ได้ในแผนภูมิที่ 4.6



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

จากแผนภูมิที่ 4.6 สามารถอธิบายได้ว่าลักษณะการรั่วซึมอากาศ จะแปรผันตรงกับค่าความดันแตกต่าง กล่าวคือ เมื่อมีค่าความดันแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกมากขึ้น ก็จะทำให้อัตราการรั่วซึมอากาศมีปริมาณเพิ่มขึ้นตาม ในการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์” โดยวิธี Pressurization และ Depressurization ลักษณะการรั่วซึมอากาศของทั้งสองวิธี มีลักษณะการรั่วซึมของอากาศค่อนข้างแตกต่างกัน โดยการทดอบแบบวิธี Pressurization จะมีการรั่วซึมอากาศมากกว่าการทดสอบแบบวิธี Depressurization ซึ่งหมายความว่าในกรณีที่ทำให้ภายในห้องมีความดันอากาศเป็นบวกจะมีการรั่วซึมอากาศมากกว่ากรณีที่ทำให้ให้ภายในห้องมีความดันอากาศเป็นลบ

4.3.5.2 คำนวณหาค่าความดันแตกต่าง (*dP*) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

มีวิธีการคำนวณดังนี้

1) คำนวณหาค่าความเร็วลม ที่เกิดจากความดันของพัดลมหรือ Blower ที่แรงดัน 50 Pa โดยใช้สมการ

$$P = \frac{1}{2} p v^2 \text{ .... (3)}$$

เมื่อ

P = ความกดอากาศที่เกิดจากแรงดันลม (ที่ 50 Pa) = 5.0985 kg/m^2

v = ความเร็วลม, m/s

p = ความหนาแน่นของอากาศ = 1.164 kg/m^3

แทนค่าในสมการที่ 3

$$5.0985 = \frac{1}{2} * 1.164 * v^2$$

$$v^2 = 5.0985 * 2 / 1.164$$

$$v = 2.959 \text{ m/s}$$

<u>ค่าความเร็วลมที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ที่แรงดัน 50 Pa = 2.959 m/s</u>

2) แปลงค่าความเร็วลม (v) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 3 แปลงเป็นอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้สมการที่ 4 และนำค่าอัตราการไหลของอากาศ มาแทนในสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาค่าความดันอากาศแตกต่าง (*dP*)

$$Q = AV \text{ .... (4)}$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

V = ความเร็วลม = 2.959 m/s

A = พื้นที่หน้าตัดของ Blower หรือพัดลม = 0.229 m^2

แทนค่าในสมการที่ 4

$$Q = 0.229 * 2.959$$

Q = 0.6779 m/s (1,436 CFM)

<u>อัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ที่แรงดัน 50 Pa = 1,436 CFM</u>

จากการทดลองภาคสนามตามมาตรฐาน ASTM E779-03 เมื่อทำแรงดันของ Blower หรือพัดลมที่แรงดัน 50 Pa จะทำให้เกิดการไหลของอากาศ 1,436 CFM ซึ่งสามารถวัดความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ 7.60 Pa

<u>อัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ที่แรงดัน 50 Pa ทำให้เกิดความดันแตกต่าง (*dP*) = 7.60 Pa</u>

4.3.5.3 คำนวณหาค่าการรั่วซึมอากาศ ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

เมื่อได้ค่าความดันอากาศแตกต่าง หรือ *dP* แล้ว ให้นำมาแทนค่าในสมการที่ 5 ซึ่งเป็นสมการหลักในการคำนวรหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ

$$Q_0 = C(dP)^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

เมื่อ

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

dP = ความดันอากาศแตกต่าง = 7.60 Pa

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ = 0.91

C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ = 13.62

แทนค่าในสมการที่ 5

$$Q_0 = 13.62 * 7.60^{0.91}$$

Q_0 = 86.24 CFM

<u>อัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"มีค่าเท่ากับ 86.24 CFM</u>

4.3.5.4 แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

การแปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) โดยการนำเอาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ คูณด้วย 60 นาที และหารด้วยปริมาตรอาคาร ตามสมการที่ 6

$$ACH = \frac{Q_0 * 60}{\text{House Volume}} \quad \text{............... (6)}$$

เมื่อ

ACH = ค่าการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง, ACH

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ = 86.24 CFM

House Volume = 9,492.40 ft^3

แทนค่าในสมการที่ 6

$$ACH = \frac{86.24 * 60}{9,492.40}$$

ACH = 0.55 ACH

อาคารกรณีศึกษา

<u>"เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"</u>

มีค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ

<u>0.55 ACH</u>

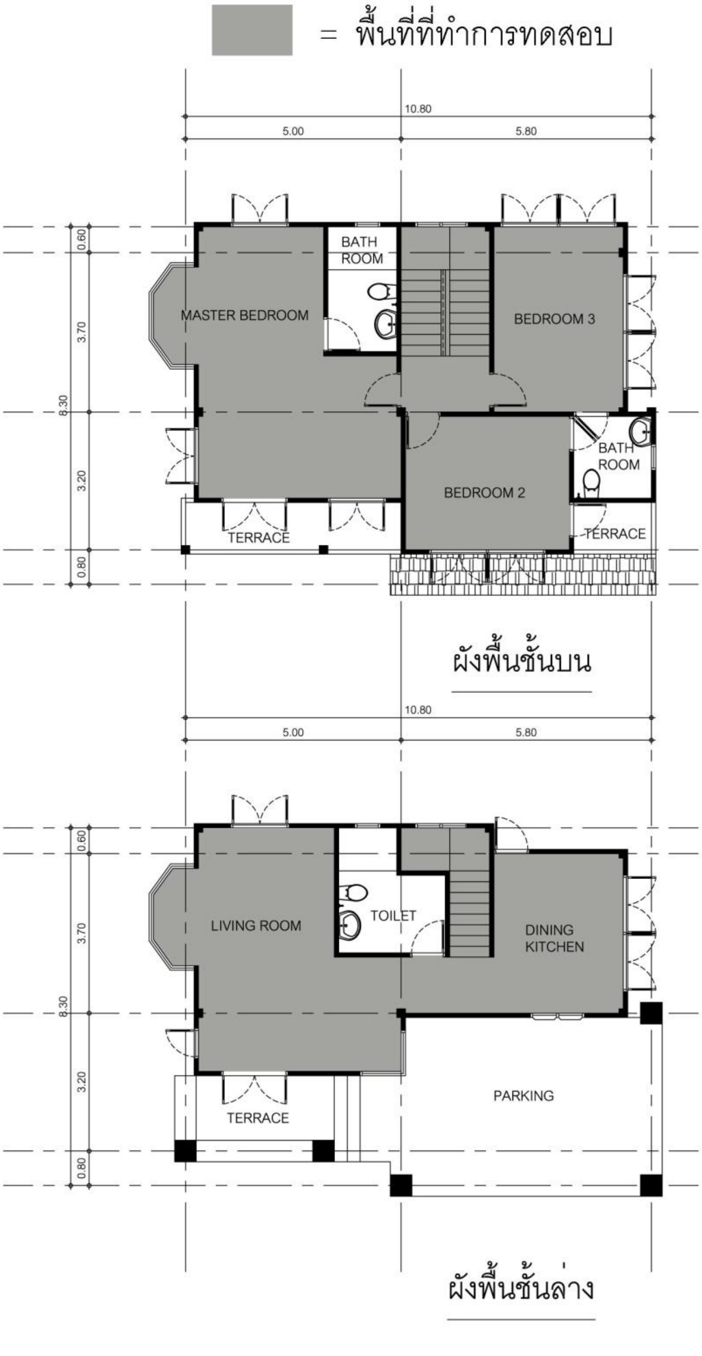
4.4 การทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ อาคารกรณีศึกษา บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา

ชื่อ : บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา

ที่อยู่ : เขตมีนบุรี กรุงเทพฯ 10510

Tel : 089-4453747

ภาพที่ 4.22 ภาพลักษณะทางสถาปัตยกรรมโดยรวมของ
บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา



ภาพที่ 4.23 ภาพตำแหน่งของบ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา ที่ทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศ

4.4.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารและสภาพแวดล้อมในอาคาร กรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"

วันที่ทดสอบ : 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555

เวลาเริ่มต้น : 15.00 น. เวลาสิ้นสุด : 17.00 น.

ชื่ออาคาร : "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา" ประเภทอาคาร : บ้านพักอาศัย

พื้นที่อาคาร : 160.00 m^2

พื้นที่ที่ทำการทดสอบ : 90.00 m^2

พื้นที่พื้น : 90.00 m^2 วัสดุ : พื้น ค.ส.ล. สำเร็จรูป

พื้นที่ผนัง : 280.00 m^2 วัสดุ : ก่ออิฐมอญ ฉาบปูนเรียบทาสี หนา 10 cm

พื้นที่หน้าต่าง : 160.00 m^2 วัสดุ : บานไม้ ลูกฟักกระจกใส 6 mm.

พื้นที่ฝ้าเพดาน : 90.00 m^2 วัสดุ : ยิปซัมบอร์ด หนา 9 mm.

WWR : 30

ปริมาตรอาคาร : 195 m^3 หรือ 6,886.23 ft^3 (ได้หักปริมาตรของเฟอร์นิเจอร์ออกแล้ว)

อายุอาคาร : 6 ปี

อุณหภูมิภายใน ก่อนทดสอบ : 30 °C หลังทดสอบ : 30 °C ค่าเฉลี่ย : 30 °C

อุณหภูมิภายนอก ก่อนทดสอบ : 31 °C หลังทดสอบ : 31 °C ค่าเฉลี่ย : 31 °C

ความดันอากาศต่าง ก่อนทดสอบ : 1 Pa หลังทดสอบ : 1 Pa ค่าเฉลี่ย : 1 Pa

ความเร็วลมภายนอกก่อนทดสอบ : 0.20 m/s หลังทดสอบ : 0.22 m/s ค่าเฉลี่ย : 0.21 m/s

ความหนาแน่นอากาศที่อุณหภูมิ 30 °C : 1.164 kg/m^3

จากข้อมูลการสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคารเรือนไทยหมู่ ของ ดร. ภิญโญ สุวรรณคีรี และสภาพแวดล้อมของอาคาร เพื่อตรวจสอบว่าสามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้หรือไม่ ซึ่งพบว่า

1) วัดอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิคูณด้วยความสูงของอาคาร มีค่าเท่ากับ 3.00 m°C ซึ่งมีค่าไม่เกินกว่า 200 m°C จึงสามารถทำการทดสอบได้
2) พื้นที่ทดสอบมีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 0.21 m/s ซึ่งไม่เกินกว่า 0-2 m/s จึงสามารถทำการทดสอบได้

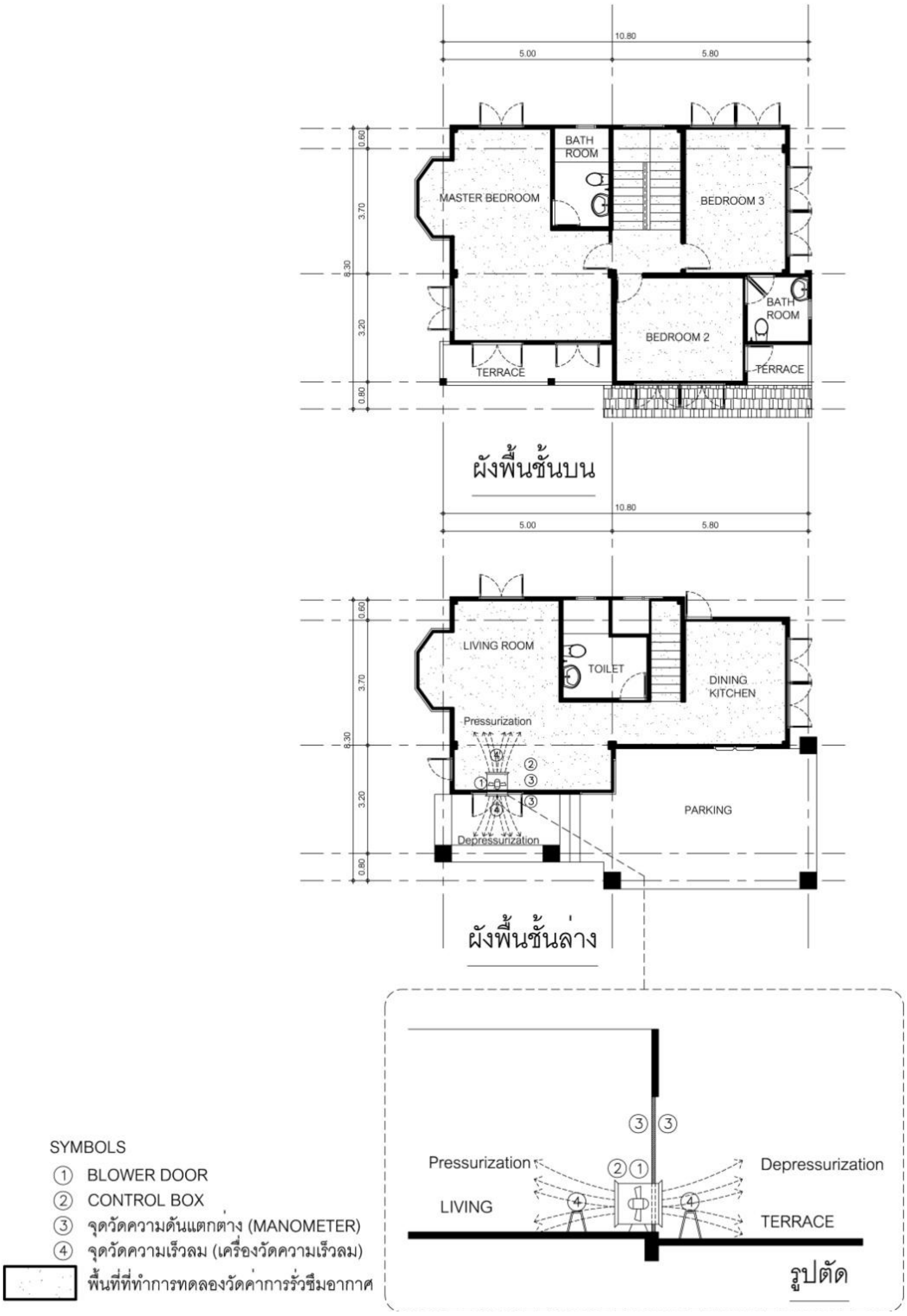
3) อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเท่ากับ 30 $^{\circ}$C ซึ่งอยู่ในช่วง 5-35 $^{\circ}$C จึงสามารถทำการทดสอบได้

จึงสรุปได้ว่าอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”สามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้

ภาพที่ 4.24 ภาพการสำรวจลักษณะทางกายภาพและสภาพแวดล้อม
ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”

4.4.2 ขั้นตอนการติดตั้ง Blower Door ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”

เมื่อทำการสำรวจลักษณะทางกายภาพของอาคาร“บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา” และสภาพแวดล้อมของอาคาร และพบว่าสามารถทำการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้ ขั้นตอนต่อไป คือ การติดตั้ง Blower Door ในพื้นที่ที่จะทำการทดลอง สามารถแสดงภาพการติดตั้งในรูปภาพที่ 4.25 และ รูปภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.25 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้ง Blower Door และอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัยของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”

ภาพที่ 4.26 ภาพแสดงการติดตั้ง Blower Doorและอุปกรณ์ในการวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”

4.4.3 ขั้นตอนการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบวัดค่าการรั่วซึม ซึ่งจะวัดอัตราการรั่วไหลของอากาศผ่านเปลือกอาคารที่อยู่ภายใต้การควบคุมความดันในระดับต่างๆ โดยการอัดอากาศเข้าไป (Pressurization) และดูดอากาศออก (Depressurization) จากห้องที่ทำการทดลอง เพื่อสร้างความดันอากาศแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งเมื่อเกิดความดันแตกต่าง จะทำให้อากาศที่มีแรงดันอากาศสูงกว่าไหลผ่านรูหรือรอยแตกของเปลือกอาคารไปหาอากาศที่มีแรงดันอากาศน้อยกว่า หรือเรียกว่าการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 จะใช้ Blower Door ในการสร้างความดันแตกต่างจาก 10 ถึง 60 Pa และทำการวัดอัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในแต่ละระดับ สามารถแสดงวิธีการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศได้ในรูปภาพที่ 4.27

ภาพที่ 4.27 ภาพแสดงการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"

4.4.4 ผลการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ โดยวิธีการ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"

จากการทดลองวัดค่าการรั่วซึมอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 โดยวิธี Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา" ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.17 และ ตารางที่ 4.18

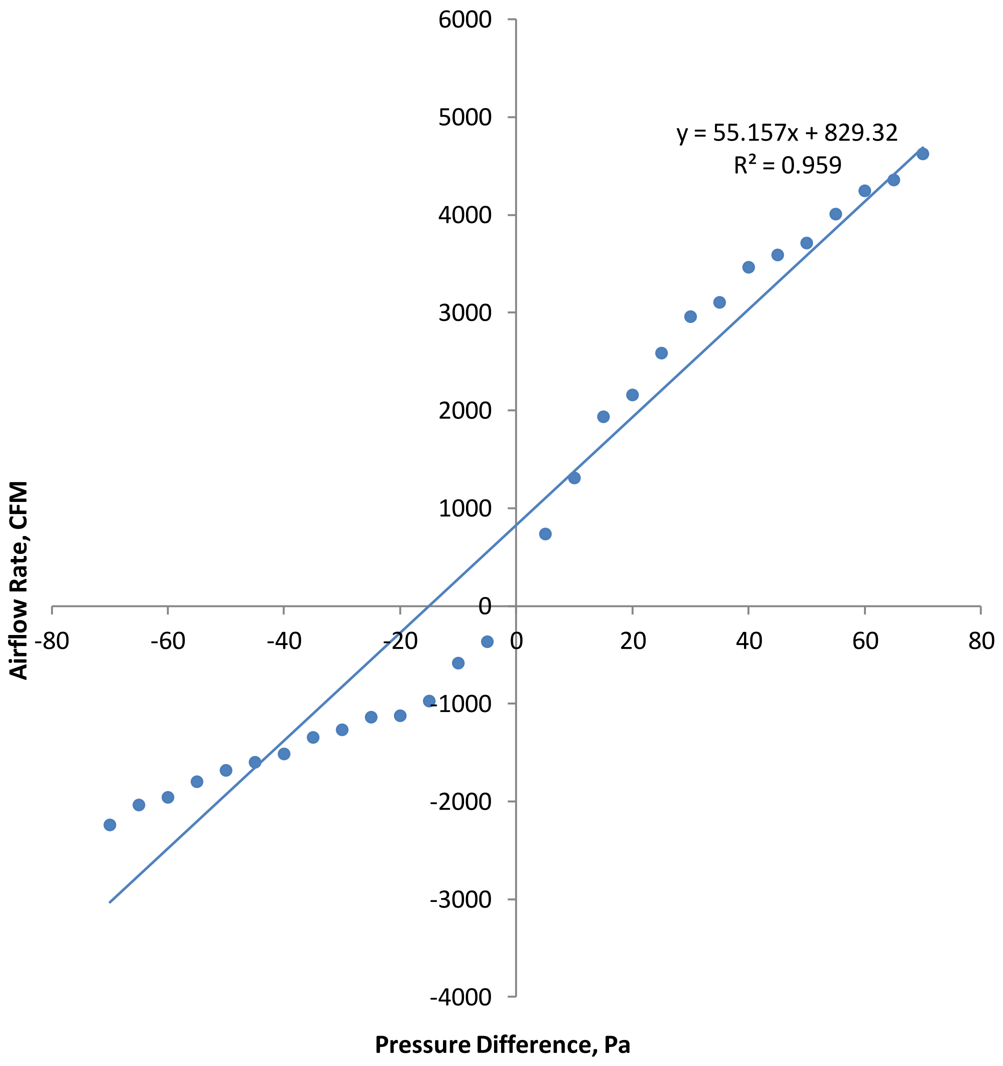
ตารางที่ 4.17 แสดงข้อมูล Measured Pressurization Data Point ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	5	738
2	10	1311
3	15	1937
4	20	2160
5	25	2588
6	30	2961
7	35	3107
8	40	3466
9	45	3592
10	50	3714
11	55	4010
12	60	4248
13	65	4359
14	70	4626

ตารางที่ 4.18 แสดงข้อมูล Measured Depressurization Data Point ในอาคาร กรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”

Point	Pressure Difference Across Building Envelope, Pa	Airflow Rate, CFM
1	-5	-364
2	-10	-583
3	-15	-971
4	-20	-1121
5	-25	-1136
6	-30	-1265
7	-35	-1343
8	-40	-1512
9	-45	-1597
10	-50	-1680
11	-55	-1796
12	-60	-1956
13	-65	-2034
14	-70	-2238

จากข้อมูลในตารางที่ 4.17 และ ตารางที่ 4.18 สามารถนำข้อมูลมาสร้างกราฟ เพื่อหาสมการการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เพื่อตรวจสอบว่า ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้หรือไม่ โดยกำหนดให้ค่า $R^2 \geq 0.95$ ซึ่งสามารถแสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา” ได้ตามแผนภูมิที่ 4.7



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศผ่านเปลือกอาคาร
ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”

จากแผนภูมิที่ 4.7 จะได้สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) y = 55.157x + 829.32 และค่า R^2 = 0.959 สามารถอธิบายได้ว่า ที่ความดันแตกต่างในระดับต่างๆสามารถอธิบายอัตราการไหลของอากาศได้ 95.9% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐาน ASTM E779-03 ยอมรับได้ (≥ 95%) แสดงว่าผลการทดลองนี้มีความน่าเชื่อถือ

เมื่อได้ผลการทดลอง ทั้งการทดสอบแบบ Pressurization และ Depressurization แล้ว จึงนำเอาผลการทดลองดังกล่าวไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึม

อากาศ (*C*, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (*n*, Air Pressure Exponent) ต่อไป

4.4.5 การคำนวณหาค่าการรั่วซึมของอากาศ จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศมีขั้นตอนดังนี้

1) การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (*C*, Air Leakage Coefficient) และเลขยกกำลังของความดันอากาศ (*n*, Air Pressure Exponent) จากการแปลงข้อมูลการทดลองเป็นเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทั้งการทดสอบแบบ Pressurization และ Depressurization

2) คำนวณหาค่าความดันแตกต่าง (*dP*) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ที่ได้จากการทดลอง

3) คำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ (Q_0) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ที่ได้จากการทดลองโดยใช้สมการ $Q_0 = C(dP)^n$

4) แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ (Q_0) จากหน่วย CFM ให้เป็นหน่วย ACH (Air Change per Hour) โดยการนำเอาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ คูณด้วย 60 นาที และหารด้วยปริมาตรอาคาร

สามารถนำข้อมูลมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ได้ตามตารางที่ 4.19 และตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.19 แสดงการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ **Pressurization** เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"

Point	Log(Pressure Difference Across Building Envelope, Pa)	Log(Airflow Rate, CFM)
1	0.6990	2.8681
2	1.0000	3.1176
3	1.1761	3.2871
4	1.3010	3.3345
5	1.3979	3.4130
6	1.4771	3.4714
7	1.5441	3.4923
8	1.6021	3.5398
9	1.6532	3.5553
10	1.6990	3.5698
11	1.7404	3.6031
12	1.7782	3.6282
13	1.8129	3.6394
14	1.8451	3.6652
AVERAGE	1.4804	3.4418
STDEV	0.3362	0.2258
VARIANCE	0.1130	0.0510

ตารางที่ 4.20 แสดงการแปลงข้อมูลการทดลองแบบ **Depressurization** เป็นลอการิทึม (Logarithms) ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”

Point	Log(Pressure Difference Across Building Envelope, Pa)	Log(Airflow Rate, CFM)
1	0.6990	2.5611
2	1.0000	2.7657
3	1.1761	2.9872
4	1.3010	3.0496
5	1.3979	3.0554
6	1.4771	3.1021
7	1.5441	3.1281
8	1.6021	3.1796
9	1.6532	3.2033
10	1.6990	3.2253
11	1.7404	3.2543
12	1.7782	3.2914
13	1.8129	3.3084
14	1.8451	3.3499
AVERAGE	1.4804	3.1044
STDEV	0.3362	0.2182
VARIANCE	0.1130	0.0476

จากการนำข้อมูลการทดลองมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศได้ในขั้นตอนต่อไป

4.4.5.1 การคำนวณหา *C* และ *n* จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

1) การคำนวณหา *C* และ *n* จากการทดสอบ Pressurization

จากการนำข้อมูลการทดลองมาแปลงค่าเป็นลอการิทึม (Logarithms) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (***C***, Air Leakage Coefficient) และเลข

ยกกำลังของความดันอากาศ (*n*, Air Pressure Exponent) ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$n = \frac{S_{Log(dP)Log(Q)}}{S^2_{Log(dP)}} \quad \text{........... (1)}$$

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \quad \text{........... (2)}$$

เมื่อ

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ (Air Pressure Exponent)

C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ (Air Leakage Coefficient)

dP = ค่าความดันแตกต่าง, Pa

Q = อัตราการไหลของอากาศ, CFM

S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

S^2 = ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง (Variance)

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของความดันแตกต่างที่ได้จากการทดลอง

$\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการทดลอง

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Pressurization จากตารางที่ 4.19 มาแทนค่าในสมการที่ 3 เพื่อคำนวณหาค่า *n* ได้ดังนี้

$$n = \frac{S_{Log(dP)Log(Q)}}{S^2_{Log(dP)}} \quad \text{...... (1)}$$

แทนค่าในสมการที่ 1

$$n = \frac{0.335 * 0.226}{0.113}$$

$$\mathbf{n = 0.67}$$

<u>ค่า *n* ของการทดสอบ Pressurization มีค่า = 0.67</u> ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 แสดงว่าผลการทดลองได้ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Pressurization จากตารางที่ 4.19 มาแทนค่าในสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่า ***C*** ได้ดังนี้

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \text{ .... } (2)$$

แทนค่าในสมการที่ 2

$$C = \exp^{(3.442 - 0.67 * 1.480)}$$

$$C = 11.56$$

ค่า *C* ของการทดสอบ Pressurization มีค่า = 11.56

2) **การคำนวณหา*C* และ *n* จากการทดสอบ** Depressurization

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Depressurization จากตารางที่ 4.20 มาแทนค่าในสมการที่ 3 เพื่อคำนวณหาค่า ***n*** ได้ดังนี้

$$n = \frac{S_{\mathrm{Log}(dP)\mathrm{Log}(Q)}}{S^2_{\mathrm{Log}(dP)}} \text{ ....}(1)$$

แทนค่าในสมการที่ 1

$$n = \frac{0.336 * 0.218}{0.113}$$

$$n = 0.65$$

ค่า ***n*** ของการทดสอบ Depressurization มีค่า = 0.65 ซึ่งอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.0 แสดงว่าผลการทดลองได้ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 กำหนดเอาไว้

สามารถนำข้อมูลจากการทดสอบ Depressurization จากตารางที่ 3.13 มาแทนค่าในสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่า ***C*** ได้ดังนี้

$$C = \exp(\bar{y} - n * \bar{x}) \text{ .... } (2)$$

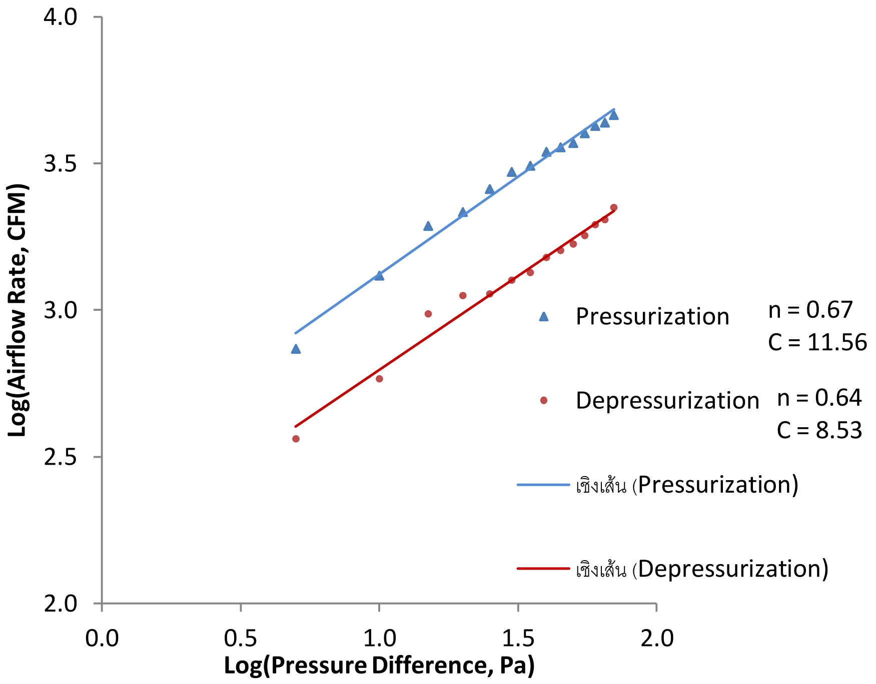
แทนค่าในสมการที่ 2

$$C = \exp^{(3.104 - 0.65 * 1.480)}$$

$$C = 8.53$$

ค่า *C* ของการทดสอบ Depressurization มีค่า = 4.78

จากข้อมูลในตารางที่ 4.19 และตารางที่ 4.20 สามารถแสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา” ได้ในแผนภูมิที่ 4.8



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงลักษณะการรั่วซึมอากาศจากการทดสอบ Pressurization และ Depressurization ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา”

จากแผนภูมิที่ 4.8 สามารถอธิบายได้ว่าลักษณะการรั่วซึมอากาศ จะแปรผันตรงกับค่าความดันแตกต่าง กล่าวคือ เมื่อมีค่าความดันแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกมากขึ้น ก็จะทำให้อัตราการรั่วซึมอากาศมีปริมาณเพิ่มขึ้นตาม ในการทดสอบวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา” โดยวิธี Pressurization และ Depressurization ลักษณะการรั่วซึมอากาศของทั้งสองวิธี มีลักษณะการรั่วซึมของอากาศค่อนข้างแตกต่างกัน โดยการทดอบแบบวิธี Pressurization จะมีการรั่วซึมอากาศมากกว่าการทดสอบแบบวิธี Depressurization ซึ่งหมายความว่าในกรณีที่ทำให้ภายในห้องมีความดันอากาศเป็นบวกจะมีการรั่วซึมอากาศมากกว่ากรณีที่ทำให้ให้ภายในห้องมีความดันอากาศเป็นลบ

4.4.5.2 คำนวณหาค่าความดันแตกต่าง (*dP*) ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"

มีวิธีการคำนวณดังนี้

1) คำนวณหาค่าความเร็วลม ที่เกิดจากความดันของพัดลมหรือBlower ที่แรงดัน 50 Pa โดยใช้สมการ

$$P = \tfrac{1}{2}pv^2 \qquad (3)$$

เมื่อ

P = ความกดอากาศที่เกิดจากแรงดันลม (ที่ 50 Pa) = 5.0985 kg/m^2

v = ความเร็วลม, m/s

p = ความหนาแน่นของอากาศ = 1.164 kg/m^3

แทนค่าในสมการที่ 3

$$5.0985 = \tfrac{1}{2} * 1.164 * v^2$$

$$v^2 = 5.0985 * 2 / 1.164$$

$$\mathbf{v = 2.959\ m/s}$$

<u>ค่าความเร็วลมที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ที่แรงดัน 50 Pa = 2.959 m/s</u>

2) แปลงค่าความเร็วลม (v) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 3 แปลงเป็นอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้สมการที่ 4 และนำค่าอัตราการไหลของอากาศ มาแทนในสมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาค่าความดันอากาศแตกต่าง (*dP*)

Q = AV.......................... (4)

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

V = ความเร็วลม = 2.959 m/s

A = พื้นที่หน้าตัดของ Blower หรือพัดลม = 0.229 m^2

แทนค่าในสมการที่

$Q = 0.229 * 2.959$

Q = 0.6779 m/s (1,436 CFM)

อัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ที่แรงดัน 50 Pa = 1,436 CFM

จาการทดลองภาคสนามตามมาตรฐาน ASTM E779-03 เมื่อทำแรงดันของ Blower หรือพัดลมที่แรงดัน 50 Pa จะทำให้เกิดการไหลของอากาศ 1,436 CFM ซึ่งสามารถวัดความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ 13.00 Pa

อัตราการไหลของอากาศที่เกิดจากความดันของ Blower หรือพัดลม ที่แรงดัน 50 Pa ทำให้เกิดความดันแตกต่าง (*dP*) = 13.00 Pa

4.4.5.3 **คำนวณหาค่าการรั่วซึมอากาศ ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"**

เมื่อได้ค่าความดันอากาศแตกต่าง หรือ *dP* แล้ว ให้นำมาแทนค่าในสมการที่ 5 ซึ่งเป็นสมการหลักในการคำนวรหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ

$$Q_0 = C(dP)^n \qquad (5)$$

เมื่อ

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

dP = ความดันอากาศแตกต่าง = 13.00 Pa

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ = 0.67

C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ = 11.56

แทนค่าในสมการที่ 5

$Q_0 = 11.56 * 13.00^{0.67}$

$\mathbf{Q_0 = 64.46}$ **CFM**

อัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"มีค่าเท่ากับ 64.46 CFM

4.4.5.4 แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัยของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"

แปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) โดยการนำเอาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ คูณด้วย 60 นาที และหารด้วยปริมาตรอาคาร ตามสมการที่ 6

$$ACH = \frac{Q_0 * 60}{\text{House Volume}} \quad \text{.................. (6)}$$

เมื่อ

ACH = ค่าการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง, ACH

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ = 64.46 CFM

House Volume = 6,886.23 ft^3

แทนค่าในสมการที่ 6

$$ACH = \frac{64.46 * 60}{6,886.23}$$

ACH = 0.56 ACH

อาคารกรณีศึกษา
<u>"บ้านร่วมสมัย ของ คุณกัดดาฟี่ กามีฮา"</u>
มีค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ
<u>0.56 ACH</u>

4.5 การรวบรวมข้อมูลผลการทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ

จากข้อมูลผลการทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร โดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 สามารถรวบรวมข้อมูลผลการทดลองได้เป็น 3 ข้อมูล ดังนี้

4.5.1 ข้อมูลผลการทดลองภาคสนาม

ในขั้นตอนนี้จะได้ข้อมูล อัตราการไหลของอากาศ (Q, Airflow Rate, CFM) ที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ จากการทดลองภาคสนาม

4.5.2 ข้อมูลผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ

ในขั้นตอนนี้จะได้ข้อมูล อัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร (Q_0, Air Leakage Rate, CFM) ที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ และค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร ที่เกิดจากความดันของพัดลมที่ 50 Pa ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานในการใช้วัดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ

4.5.3 ข้อมูลผลการแปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour)

ในขั้นตอนนี้จะได้ข้อมูล อัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น ACH (Air Change per Hour) ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบว่าอาคารกรณีศึกษาใดที่มีการรั่วซึมของอากาศมากกว่ากัน และสามารถนำข้อมูลการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น ACH ของอาคารกรณีศึกษาไปจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อไป

4.5.1 ข้อมูลผลการทดลองภาคสนาม

จากข้อมูลผลการทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร โดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในขั้นตอนนี้จะได้ข้อมูลอัตราการไหลของอากาศ (Q, Airflow Rate, CFM) ที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ สามารถรวบรวมข้อมูลผลการทดลองภาคสนามได้ ดังนี้

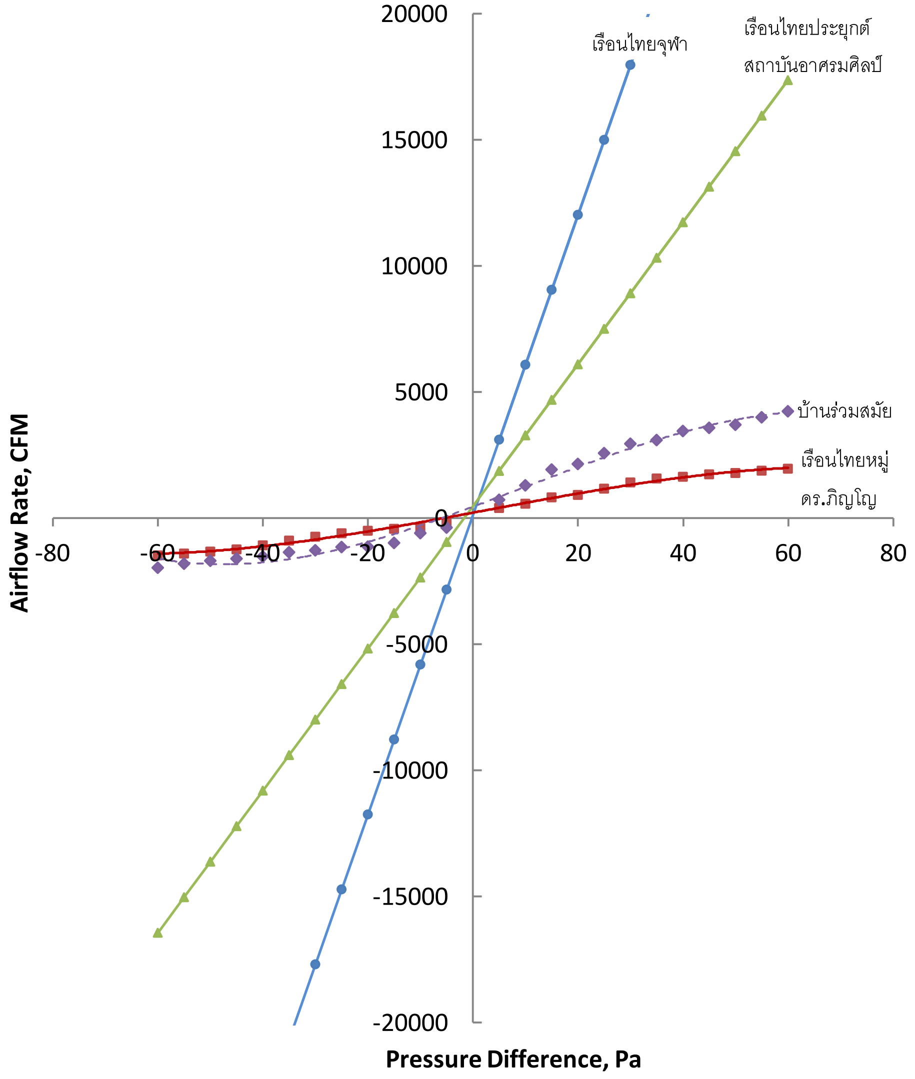
ตารางที่ 4.21 ตารางรวบรวมข้อมูลการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของอากาศ โดยวิธี Pressurization ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

	Airflow Rate, CFM			
Pressure Difference across Building, Pa	เรือนไทยจุฬา	เรือนไทยหมู่ ดร.ภิญโญ	เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	บ้านร่วมสมัย
5	3124	413	1884	738
10	6097	583	3293	1311
15	9069	835	4702	1937
20	12042	932	6111	2160
25	15014	1180	7519	2588
30	17987	1427	8928	2961
35	20959	1583	10337	3107
40	23932	1651	11746	3466
45	26904	1748	13155	3592
50	29877	1801	14564	3714
55	32849	1893	15973	4010
60	35822	1971	17382	4248
MAX	35822.00	1971.00	17382.00	4248.00
MIN	3124.00	413.00	1884.00	738.00
AVERAGE	19473.00	1334.75	9632.83	2819.33
STDEV	10717.54	533.04	5079.82	1097.56

ตารางที่ 4.22 ตารางรวบรวมข้อมูลการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของอากาศ โดยวิธี Depressurization ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

	Airflow Rate, CFM			
Pressure Difference across Building, Pa	เรือนไทยจุฬา	เรือนไทยหมู่ ดร.ภิญโญ	เรือนไทย ประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	บ้านร่วมสมัย
-5	-2821	-146	-934	-364
-10	-5794	-364	-2343	-583
-15	-8766	-413	-3752	-971
-20	-11739	-490	-5161	-1121
-25	-14711	-590	-6570	-1136
-30	-17684	-726	-7978	-1265
-35	-20656	-880	-9387	-1343
-40	-23629	-1068	-10796	-1512
-45	-26601	-1228	-12205	-1597
-50	-29574	-1316	-13614	-1680
-55	-32546	-1393	-15023	-1796
-60	-35519	-1466	-16432	-1956
MAX	-2821.00	-146.00	-934.00	-364.00
MIN	-35519.00	-1466.00	-16432.00	-1956.00
AVERAGE	-19170.00	-840.00	-8682.92	-1277.00
STDEV	10717.54	448.93	5079.78	477.49

จากตารางที่ 4.21 และตารางที่ 4.22 สามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบลักษณะการไหลของอากาศในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคารได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบลักษณะการไหลของอากาศในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร จากการทดลองโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E779-03

จากแผนภูมิที่ 4.9 สามารถอธิบายลักษณะการไหลของอากาศ ที่เกิดจากความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ว่า เมื่อมีความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารเพิ่มขึ้น การไหลของอากาศก็จะมีมากขึ้นตาม และถ้าเปรียบเทียบลักษณะการไหลของอากาศในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร ในกรณีที่มีระดับของความดันแตกต่างที่เท่ากัน จะพบว่า 1) เรือนไทยจุฬา จะมีการไหลอากาศมากที่สุด รองลงมาคือ 2) เรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์ 3) บ้านร่วมสมัย และ 4) เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี ตามลำดับ

จากแผนภูมิที่ 4.9 ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าอาคารกรณีศึกษาทั้งสี่ อาคารใดมีการรั่วซึมอากาศมากกว่ากัน จำเป็นต้องนำข้อมูลจากการทดลองไปคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อไป

4.5.2 ข้อมูลผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ

จากผลการทดลองภาคสนาม สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร (Q_0, Air Leakage Rate, CFM) ที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ (วิธีการคำนวณได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.1.5, 4.2.5, 4.3.5 และ 4.4.5) ในการกำหนดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ จะใช้ผลการคำนวณการรั่วซึมอากาศที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa (ASTM Standard, 2009) ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานในการใช้กำหนดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร (Air Leakage Rate) ในขั้นตอนนี้ คือ

$$Q_0 = C(dP)^n \;\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\; (5)$$

เมื่อ

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ, m^3/s หรือ CFM

dP = ความดันอากาศแตกต่าง , Pa

n = เลขยกกำลังของความดันอากาศ

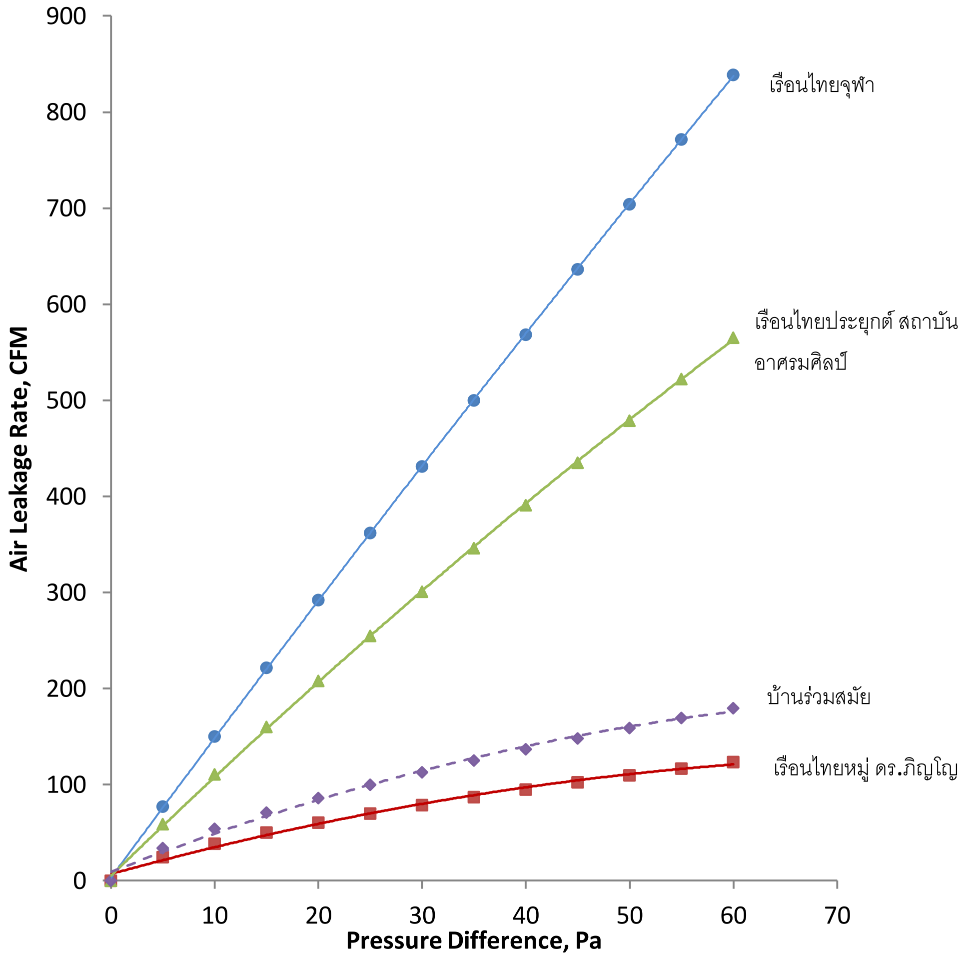
C = ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมอากาศ

จึงสามารถแสดงผลการคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร ได้ในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 แสดงผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

	เรือนไทยจุฬา	เรือนไทยหมู่ ดร.ภิญโญ	เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	บ้านร่วมสมัย
n	0.96	0.65	0.91	0.67
C	16.47	8.63	13.62	11.56
dP, Pa	Air Leakage Rate, CFM			
5	77.22	24.57	58.92	33.98
10	150.21	38.55	110.71	54.07
15	221.69	50.17	160.11	70.95
20	292.20	60.49	208.02	86.03
25	362.01	69.93	254.86	99.90
30	431.25	78.73	300.86	112.88
35	500.03	87.03	346.16	125.17
40	568.42	94.92	390.89	136.88
45	636.47	102.47	435.11	148.12
50	704.21	109.73	478.89	158.95
55	771.69	116.75	522.28	169.43
60	838.92	123.54	565.32	179.61
MAX	838.92	123.54	565.32	179.61
MIN	77.22	24.57	58.92	33.98
AVERAGE	462.86	79.74	319.34	114.66
STDEV	-249.12	-31.72	-165.14	-46.74

จากตารางที่ 4.23 สามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคารได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4.10 เปรียบเทียบผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ ของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

จากแผนภูมิที่ 4.10 สามารถอธิบายอัตราการรั่วซึมของอากาศ ที่เกิดจากความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารในระดับต่างๆ ได้ว่า เมื่อมีความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคารเพิ่มขึ้น อัตราการรั่วซึมของอากาศก็จะมีมากขึ้นตาม และถ้าเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร ในกรณีที่มีระดับของความดันแตกต่างที่เท่าๆกัน จะพบว่า 1) เรือนไทยจุฬา จะมีการไหลอากาศมากที่สุด รองลงมาคือ 2) เรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์ 3) บ้านร่วมสมัย และ 4) เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี ตามลำดับ

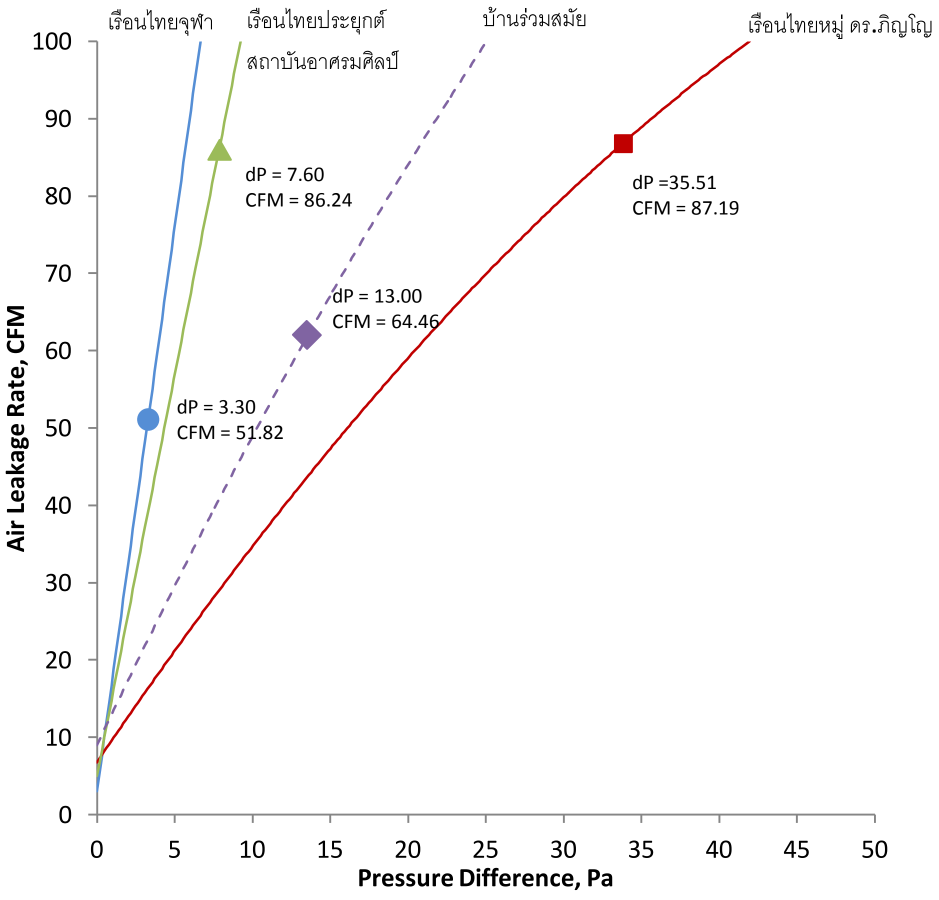
จากแผนภูมิที่ 4.10 ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าอาคารกรณีศึกษาทั้งสี่ อาคารใดมีการรั่วซึมอากาศมากกว่ากัน จำเป็นต้องนำข้อมูลจากการทดลองไปคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของ

อากาศ ที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานในการใช้กำหนดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคาร ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณตามตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

	เรือนไทยจุฬา	เรือนไทยหมู่ ดร.ภิญโญ	เรือนไทย ประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	บ้านร่วมสมัย
n	0.96	0.65	0.91	0.67
C	16.47	8.63	13.62	11.56
dP@50	3.30	35.10	7.60	13.00
Air Leakage Rate, CFM	51.81	87.19	86.24	64.46

จากตารางที่ 4.24 สามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานในการใช้กำหนดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคารของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 ได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 4.11 เปรียบเทียบผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากแรงดันของพัดลมที่ 50 Pa ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานในการใช้กำหนดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคารของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

จากแผนภูมิที่ 4.11 ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าอาคารกรณีศึกษาทั้งสี่ อาคารใดมีการรั่วซึมอากาศมากกว่ากัน จำเป็นต้องนำข้อมูลจากการคำนวณไปแปลงค่าจากหน่วย CFM ให้เป็นหน่วย ACH (Air Change per Hour) ซึ่งสามารถแสดงผลการแปลงค่าในขั้นตอนต่อไป

4.5.3 ข้อมูลผลการแปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour)

เมื่อได้ผลการคำนวณอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM แล้ว จำเป็นต้องนำข้อมูลมาแปลงค่าให้เป็นหน่วย ACH (Air Change per Hour) โดยใช้สมการ

$$ACH = \frac{Q_0 * 60}{\text{House Volume}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (6)$$

เมื่อ

ACH = ค่าการเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมง, ACH

Q_0 = อัตราการรั่วซึมของอากาศ, CFM

House Volume = ปริมาตรอาคารที่ทำการทดสอบ, ft^3

ในขั้นตอนนี้จะได้ข้อมูล อัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น ACH (Air Change per Hour) ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบว่าอาคารกรณีศึกษาใดที่มีการรั่วซึมของอากาศมากกว่ากัน และสามารถนำข้อมูลการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น ACH ของอาคารกรณีศึกษาไปจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อไป

จึงสามารถแสดงผลนำข้อมูลอัตราการรั่วซึมของอากาศที่เกิดจากความดันแตกต่างในระดับต่างๆ มาแปลงค่าให้เป็นหน่วย ACH (Air Change per Hour) ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร ได้ในตารางที่ 4.25 และ ตารางที่ 4.26

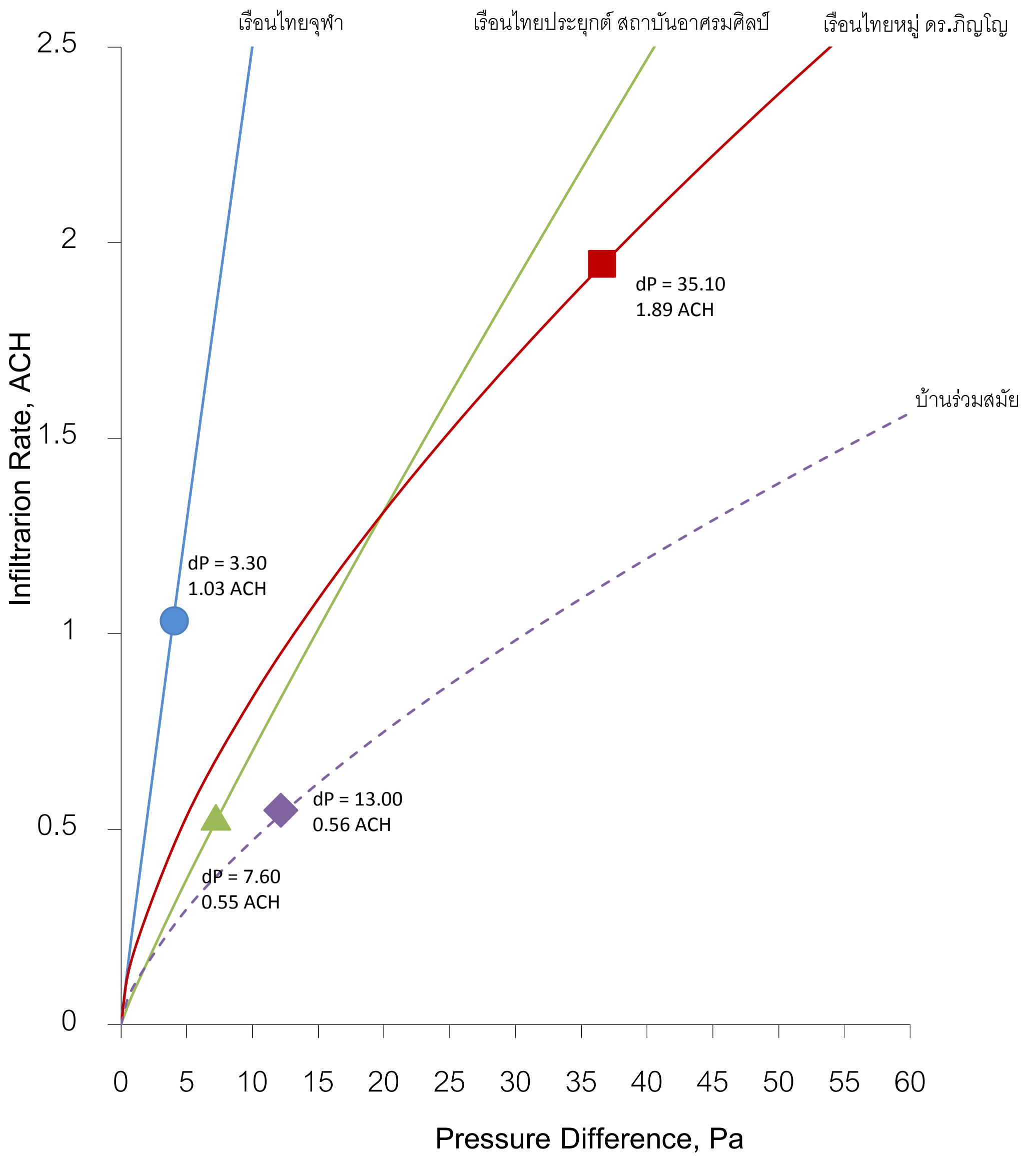
ตารางที่ 4.25 แสดงผลการแปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

	เรือนไทยจุฬา	เรือนไทยหมู่ ดร.ภิญโญ	เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	บ้านร่วมสมัย
House Volume, m^2	3,620.03	2,766.80	9,492.40	6,886.23
n	0.96	0.65	0.91	0.67
C	16.47	8.63	13.62	11.56
dP, (Pa)	**Infiltration Rate, ACH**			
5	0.27	0.19	0.09	0.10
10	1.29	0.53	0.37	0.30
15	2.50	0.84	0.70	0.47
20	3.69	1.09	1.01	0.62
25	4.87	1.31	1.31	0.75
30	6.03	1.52	1.61	0.87
35	7.18	1.71	1.90	0.98
40	8.33	1.89	2.19	1.09
45	9.47	2.06	2.47	1.19
50	10.60	2.22	2.75	1.29
55	11.73	2.38	3.03	1.38
60	12.85	2.53	3.30	1.48
MAX	12.85	2.53	3.30	1.48
MIN	0.27	0.19	0.09	0.10
AVERAGE	6.57	1.52	1.73	0.88
STDEV	4.15	0.75	1.06	0.44

ตารางที่ 4.26 แสดงผลการแปลงค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศที่มีหน่วยเป็น CFM ให้เป็น ACH (Air Change per Hour) ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

	เรือนไทยจุฬา	เรือนไทยหมู่ ดร.ภิญโญ	เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	บ้านร่วมสมัย
House Volume, ft^2	3,620.03	2,766.80	9,492.40	6,886.23
n	0.96	0.65	0.91	0.67
C	16.47	8.63	13.62	11.56
dP, Pa	3.30	35.10	7.60	13.00
Air Leakage Rate, CFM	51.81	87.19	86.24	64.46
Infiltration Rate, ACH	**1.03**	**1.89**	**0.55**	**0.56**

สามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศ ในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร ตามแผนภูมิที่ 4.12



แผนภูมิที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านเปลือกอาคารของอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร

จะเห็นได้ว่าการรั่วซึมของอากาศในอาคารแต่ละอาคารมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเกิดจากปัจจัยหลักคือ ค่าของความดันแตกต่างระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร ความหนาแน่นของเปลือกอาคาร และปริมาตรของอาคาร จากตารางแสดงผลการคำนวณจะเห็นได้ว่า 1) เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี มีอัตราการรั่วซึมอากาศมากที่ คือ 1.89 ACH รองลงมาคือ 2) เรือนไทยจุฬา 1.03 ACH, 3) บ้านร่วมสมัย 0.56 ACH และ 4) เรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์ 0.55 ACH ตามลำดับ

จึงสามารถสรุปได้ว่า อาคารเรือนไทยส่วนใหญ่ มีอัตราการรั่วซึมอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัย ซึ่งตรงตามสมมุติฐานของการวิจัยที่ตั้งเอาไว้

ตารางที่ 4.27 แสดงผลการตรวจสอบสมมุติฐานของการวิจัย

สมมุติฐาน	ผลการศึกษา	ตรวจสอบสมมุติฐาน
1. ค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทย มีปริมาณมากกว่าบ้านร่วมสมัย	ค่าการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทย มีปริมาณมากกว่าบ้านร่วมสมัย	**สมมุติฐาน <u>ถูกต้อง</u>**
2. ค่าการรั่วซึมอากาศส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศน้อย	ขั้นตอนต่อไป	ขั้นตอนต่อไป
3. เรือนไทยที่ติดตั้งระบบปรับอากาศสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศน้อยกว่าบ้านร่วมสมัย	ขั้นตอนต่อไป	ขั้นตอนต่อไป

จากการรวบรวมข้อมูลผลการทดลองและการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษาทั้ง 4 อาคาร สามารถนำข้อมูลไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์ ว่าทำไมอาคารเรือนไทยส่วนใหญ่จึงมีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัย และจะมีวิธีการป้องกันการรั่วซึมอากาศอย่างไร รวมถึงการนำข้อมูลผลการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศไปจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่อไป

บทที่ 5
ผลการจำลองค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ เพื่อคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์อัตราการรั่วซึมของอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ และเพื่อเปรียบเทียบการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารเรือนไทยกับบ้านร่วมสมัย โดยการจำลองการใช้พลังงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองภาคสนามและการคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 มาจำลองและคำนวณการใช้พลังงาน สามารถแบ่งขั้นตอนวิธีการจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E ได้ดังนี้

1) ขั้นตอนการสร้างโมเดลอาคาร
2) ขั้นตอนการกำหนดวัสดุเปลือกอาคาร
3) ขั้นตอนการเลือกระบบปรับอากาศ
4) ขั้นตอนการกำหนดการใช้งานอาคาร
5) ขั้นตอนการใส่ค่าการรั่วซึมของอากาศและสั่งให้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงาน
6) ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลผลการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

อาคารกรณีศึกษาที่นำมาจำลองการใช้พลังงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E แบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะอาคาร ดังนี้

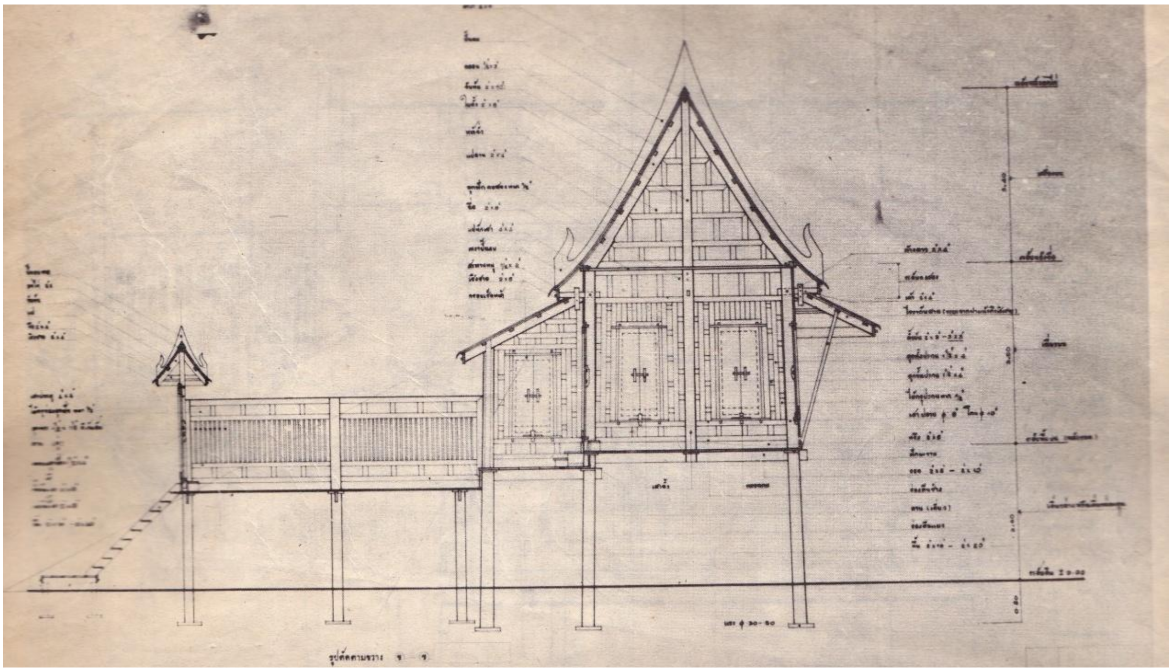
5.1 “เรือนไทยจุฬา” ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5.2 เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี
5.3 เรือนไทยประยุกต์ของ สถาบันอาศรมศิลป์
5.4 บ้านร่วมสมัย

5.1 ผลการจำลองค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” ศูนย์ส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สามารถแสดงวิธีการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ตามขั้นตอนดังนี้

5.1.1 ขั้นตอนการสร้างโมเดลอาคาร

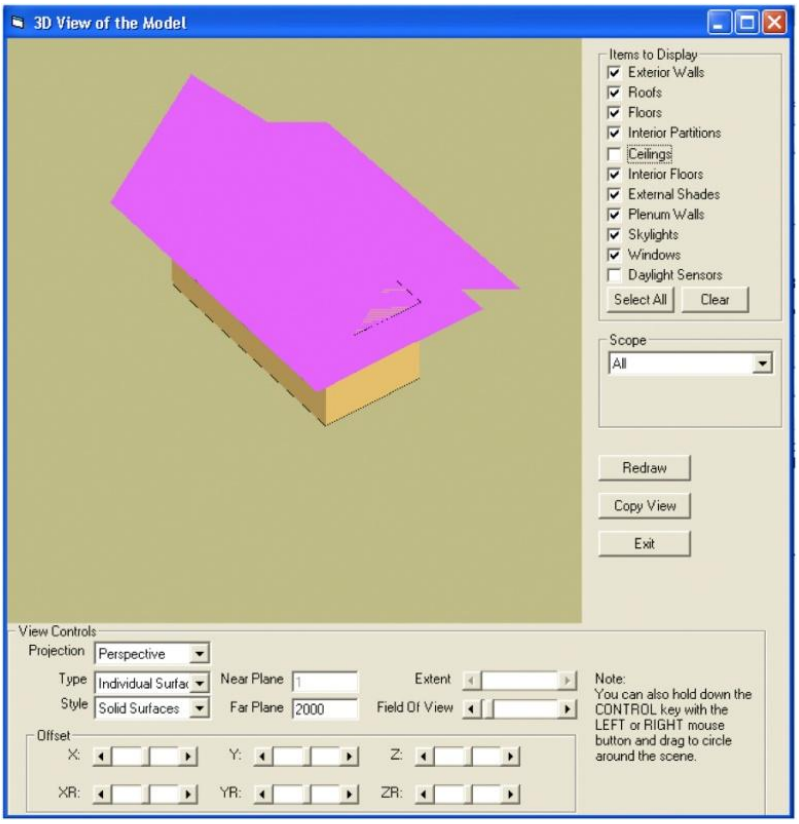
ต้นแบบโมเดลที่ใช้สร้างในโปรแกรม DOE-2.1E เป็นเรือนไทยจุฬา ซึ่งมีองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมคล้ายกับเรือนไทยเดิมขนาดเฉลี่ย โดยมีผังอาคารเป็นรูปผืนผ้าลักษณะทางสถาปัตยกรรม เป็นเรือนไทยหมู่แบบเรือนเครื่องสับ หลังคาทรงจั่วสูง วัสดุมุงเป็นกระเบื้องดินเผา โดยมีความชันของหลังคาประมาณ 60 องศา มีชายคาที่ยื่นยาวประมาณ 1.50 ม.ที่สามารถช่วยบังแสงแดดที่จะมากระทบผนังได้เกือบตลอดทั้งวัน ผนังเป็นฝาปะกนไม้ หน้าต่างเป็นบานไม้ (WWR0) สามารถแสดงลักษณะอาคารต้นแบบของโมเดลได้ดังนี้



ภาพที่ 5.1 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยต้นแบบที่ใช้สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E (ฤทัย ใจจงรัก, 2539)

เมื่อทำการศึกษาอาคารต้นแบบแล้วจึงทำการสร้างโมเดลอาคารเรือนไทยในโปรแกรม DOE-2.1E โดยมีขนาดอาคาร กว้าง 4 เมตร ยาว 7 เมตร ความสูงของผนัง 3.65 เมตร

หน้าต่างเป็นบานไม้ WWR0 หลังคามีความชัน 60 องศา มีชายคายื่นยาว 1.5 เมตร ในส่วนที่เป็นระเบียงมีชายคายื่นยาว 3.00 เมตร สามารถแสดงภาพโมเดลที่สร้างในโปรแกรม DOE-2.1E ตามรูปภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยจุฬา ที่สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E

5.1.2 ขั้นตอนการกำหนดวัสดุเปลือกอาคาร

การกำหนดวัสดุเปลือกอาคารมีรายละเอียดดังนี้

วัสดุหลังคา : หลังคากระเบื้องดินเผา ซ้อนกัน 3 ชั้น หนา1” มีค่า U-factor = 6.55 W/m^2-K

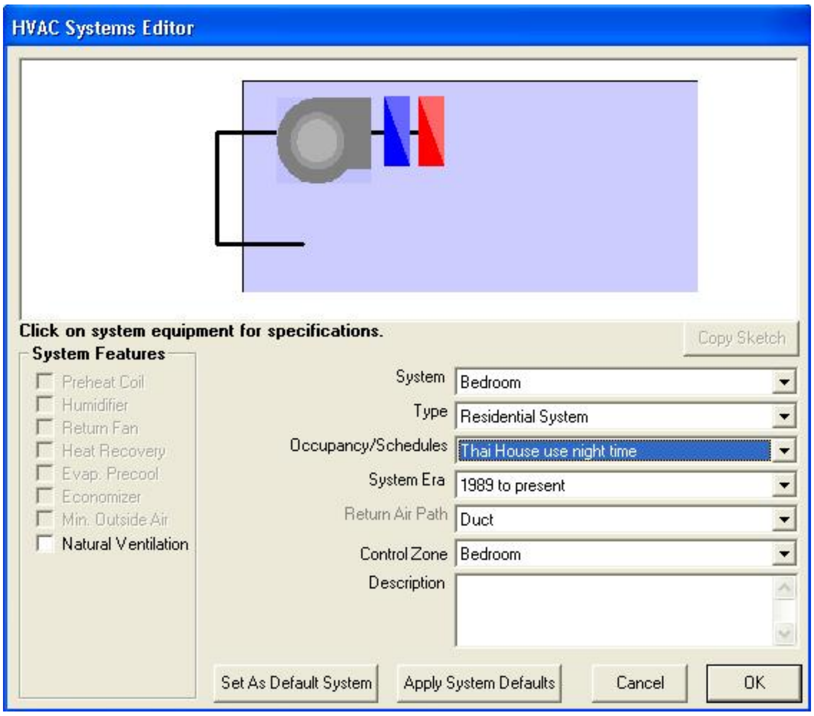
วัสดุผนัง : ผนังฝาไม้ หนา 1” มีค่า U-factor = 3.886 W/m^2-K, Emissivity = 0.9 และ Absorptance = 0.7

วัสดุหน้าต่าง : ไม่มี เนื่องจากเป็นบานไม้

วัสดุพื้น : ไม้เนื้อแข็ง หนา 1” มีค่า U-factor = 3.886 W/m^2-K ค่า Emissivity = 0.9 และ ค่า Absorptance = 0.7

5.1.3 ขั้นตอนการเลือกระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศที่เลือกใช้ในการจำลองการใช้พลังงานเป็นระบบปรับอากาศที่ใช้กันในบ้านพักอาศัยทั่วไป ซึ่งไม่มีระบบการเติมอากาศหรือ Fresh Air เข้าไปในระบบปรับอากาศ ซึ่งเรียกระบบปรับอากาศประเภทนี้ว่าเป็นระบบปรับอากาศแบบ Residential System สามารถแสดงรูปแบบการเลือกระบบในโปรแกรม DOE-2.1E ได้ดังนี้



ภาพที่ 5.3 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System

5.1.4 ขั้นตอนการกำหนดการใช้งานอาคาร

การกำหนดการใช้งานอาคาร กำหนดให้มีการใช้งาน 2 รูปแบบดังนี้

1) การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย (Residence Schedule)

การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย เป็นการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน โดยมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1 จำนวนผู้อาศัย 2 คนต่อห้องนอน หรือ 6 คนต่อหลัง

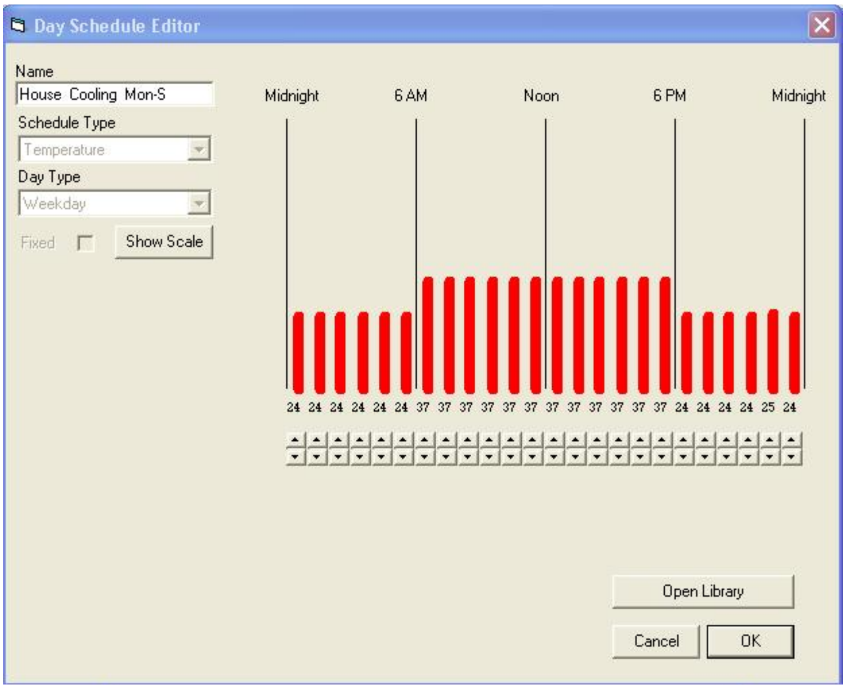
1.2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 24 องศาเซลเซียส

1.3 การกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็นวันจันทร์-วันเสาร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

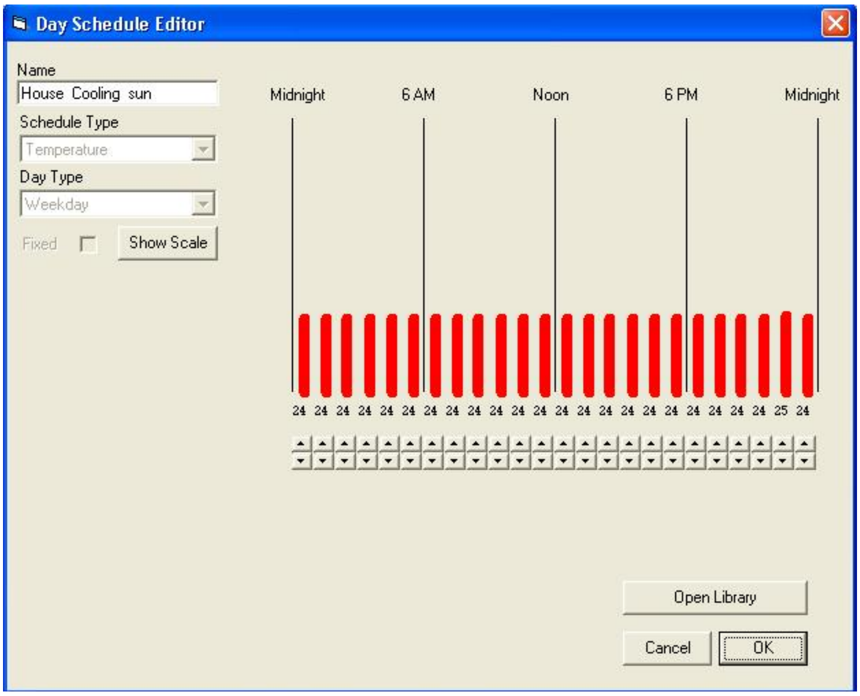
1.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 7.53 Watt/m^2

1.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ คิดเป็น 8.00 Watt/m^2

สามารถแสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยแยกเป็นวันวันจันทร์-วันเสาร์และวันหยุดสุดสัปดาห์ ได้ตามรูปภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 5.4 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5.5 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ในวันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส

2) การใช้งานอาคารแบบอาคารสำนักงาน (Office Schedule)

การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย เป็นการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน โดยมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1 จำนวนผู้ใช้งาน คิดเป็น 15 m^2/Person

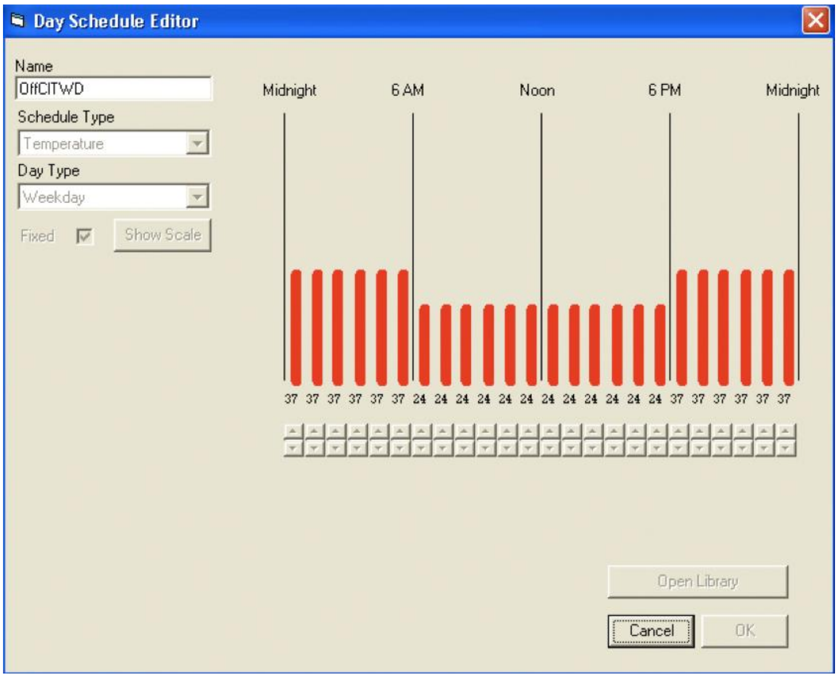
1.2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 24 องศาเซลเซียส

1.3 การกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็นวันจันทร์-วันเสาร์ ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์ไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

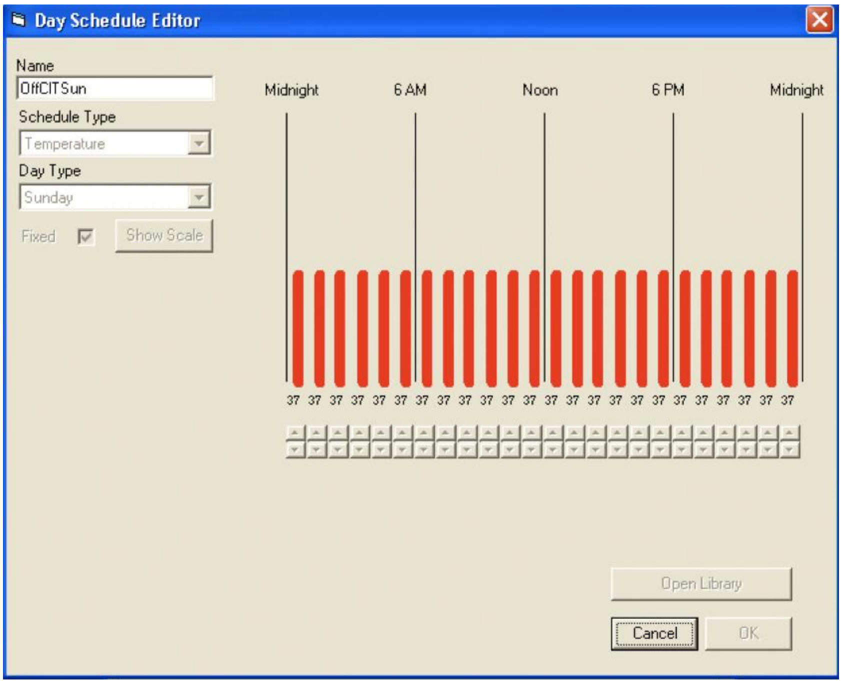
1.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 8.00 Watt/m^2

1.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ คิดเป็น 1.30 Watt/m^2

สามารถแสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยแยกเป็นวันจันทร์-วันเสาร์และวันหยุดสุดสัปดาห์ ได้ตามรูปภาพต่อไปนี้



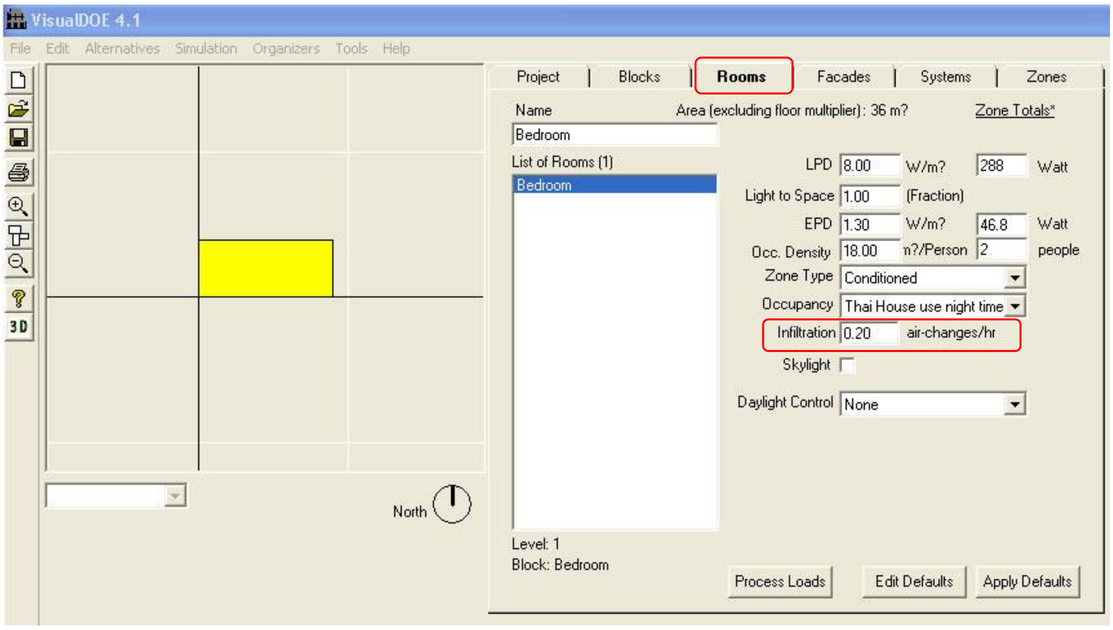
ภาพที่ 5.6 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5.7 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ในวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

5.1.5 ขั้นตอนการใส่ค่าการรั่วซึมของอากาศและสั่งให้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงาน

การใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) เพื่อจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E ทำได้โดยการเข้าไปในหมวดของ Rooms และใส่ค่า Infiltration ซึ่งมีหน่วยเป็น Air Change per Hour ตามรูปภาพที่ 5.8 ในการจำลองนี้จะใส่ค่าInfiltration ตั้งแต่ 0 ถึง 20 ACH หลังจากนั้นจึงสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณการใช้พลังงาน เมื่อโปรแกรมคำนวณเรียบร้อยแล้ว สามารถดูผลการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายรายปี



ภาพที่ 5.8 แสดงการใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ เพื่อจำลองการใช้พลังงานงานในโปรแกรม DOE-2.1E

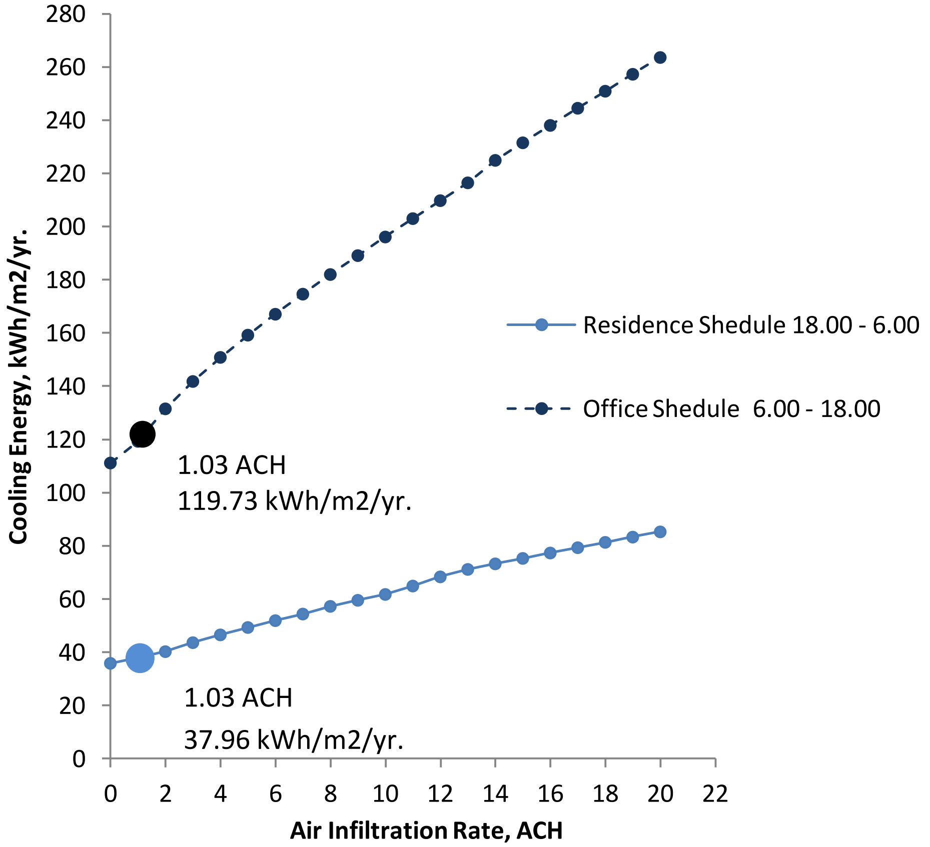
5.1.6 ผลการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

จากการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อคำนวณหาการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยแยกการจำลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) การใช้งานแบบบ้านพักอาศัย (Residence Schedule) มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น และ 2) การใช้งานแบบอาคารสำนักงาน (Office Schedule) มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น สามารถแสดงผลการจำลองการใช้พลังงานได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

Air Infiltration Rate, ACH	Cooling Energy, kWh/m^2/yr. Residence Schedule 18.00 – 6.00	Office Schedule 6.00 – 18.00
0	35.92	111.22
1	37.89	119.36
2	40.31	131.58
3	43.69	141.86
4	46.61	150.92
5	49.39	159.28
6	51.97	167.14
7	54.44	174.69
8	57.33	182.06
9	59.61	189.17
10	61.81	196.17
11	64.97	203.08
12	68.42	209.83
13	71.22	216.53
14	73.31	224.97
15	75.36	231.58
16	77.39	238.11
17	79.39	244.56
18	81.39	250.97
19	83.36	257.33
20	85.33	263.64
1.03 ACH	**37.96**	**119.73**

จากตารางที่ 5.1 สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” ได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 5.1 เปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

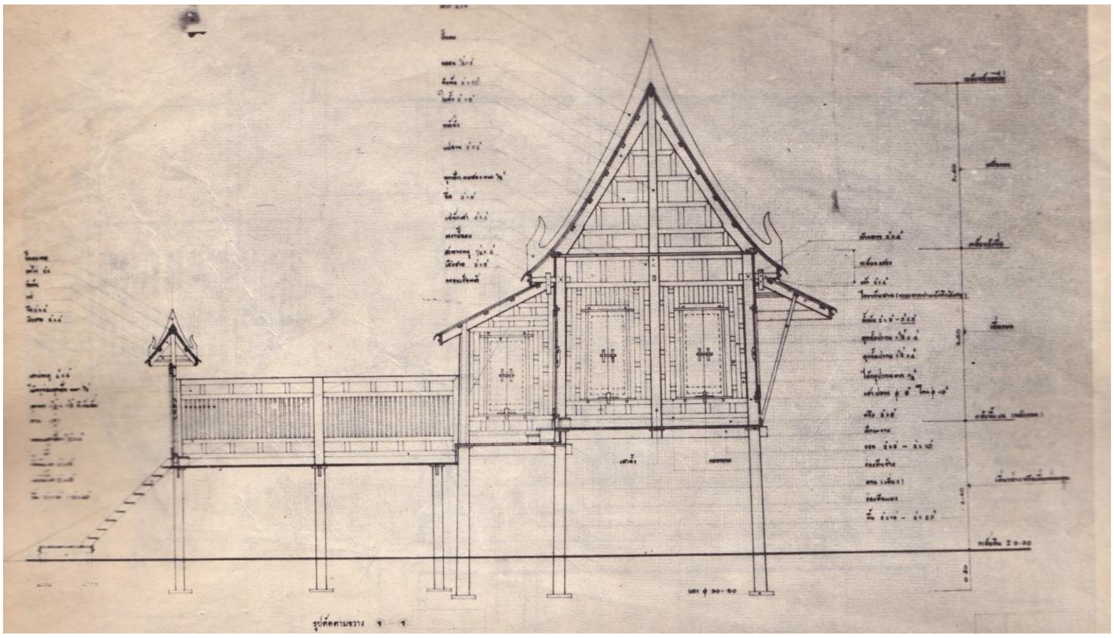
จากแผนภูมิที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในเวลากลางวันมากกว่าเวลากลางคืน กล่าวคือ เมื่อมีการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน แบบ Office Schedule (6.00 -18.00 น) จะมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ 119.73 kWh/m^2/yr ส่วนการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน แบบ Residence Schedule (18.00 - 6.00 น) จะมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเพียง 37.96 kWh/m^2/yr ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าแบบ Office Schedule ถึงประมาณ 68.30%

5.2 ผลการจำลองค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี

สามารถแสดงวิธีการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ตามขั้นตอนดังนี้

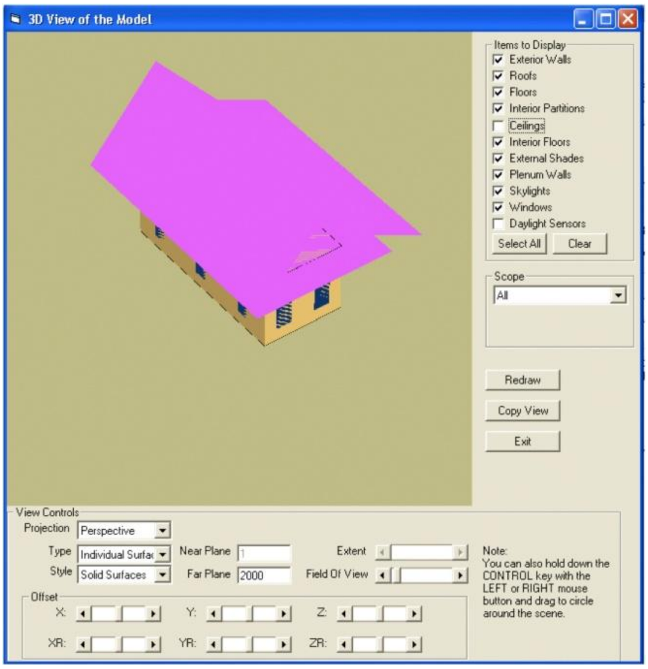
5.2.1 ขั้นตอนการสร้างโมเดลอาคาร

ต้นแบบโมเดลที่ใช้สร้างในโปรแกรม DOE-2.1E เป็นเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ ซึ่งมีองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมคล้ายกับเรือนไทยเดิมขนาดเฉลี่ยเช่นเดียวกับเรือนไทยจุฬา โดยมีผังอาคารเป็นรูปผืนผ้า ลักษณะทางสถาปัตยกรรม เป็นเรือนไทยหมู่แบบเรือนเครื่องสับ หลังคาทรงจั่วสูง วัสดุมุงเป็นกระเบื้องดินเผา โดยมีความชันของหลังคาประมาณ 60 องศา มีชายคาที่ยื่นยาวประมาณ 1.50 ม.ที่สามารถช่วยบังแสงแดดที่จะมากระทบผนังได้เกือบตลอดทั้งวัน ผนังเป็นฝาปะกนไม้ หน้าต่างเป็นบานไม้ลูกฟักกระจกใส (WWR10) สามารถแสดงลักษณะอาคารต้นแบบของโมเดลได้ดังนี้



ภาพที่ 5.9 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยต้นแบบที่ใช้สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E (ฤทัย ใจจงรัก, 2539)

เมื่อทำการศึกษาอาคารต้นแบบแล้วจึงทำการสร้างโมเดลอาคารเรือนไทยในโปรแกรม DOE-2.1E โดยมีขนาดอาคาร กว้าง 4 เมตร ยาว 7 เมตร ความสูงของผนัง 3.65 เมตร หน้าต่างเป็นบานไม้ ลูกฟักกระจกใส WWR10 หลังคามีความชัน 60 องศา มีชายคายื่นยาว 1.5 เมตร ในส่วนที่เป็นระเบียงมีชายคายื่นยาว 3.00 เมตร สามารถแสดงภาพโมเดลที่สร้างในโปรแกรม DOE-2.1E ตามรูปภาพที่ 5.10



ภาพที่ 5.10 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยหมู่ ของดร. ภิญโญ สุวรรณคีรี ที่สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E

5.2.2 ขั้นตอนการกำหนดวัสดุเปลือกอาคาร

การกำหนดวัสดุเปลือกอาคารมีรายละเอียดดังนี้

วัสดุหลังคา : หลังคากระเบื้องดินเผา ซ้อนกัน 3 ชั้น หนา1” มีค่า U-factor = 6.55 W/m^2-K

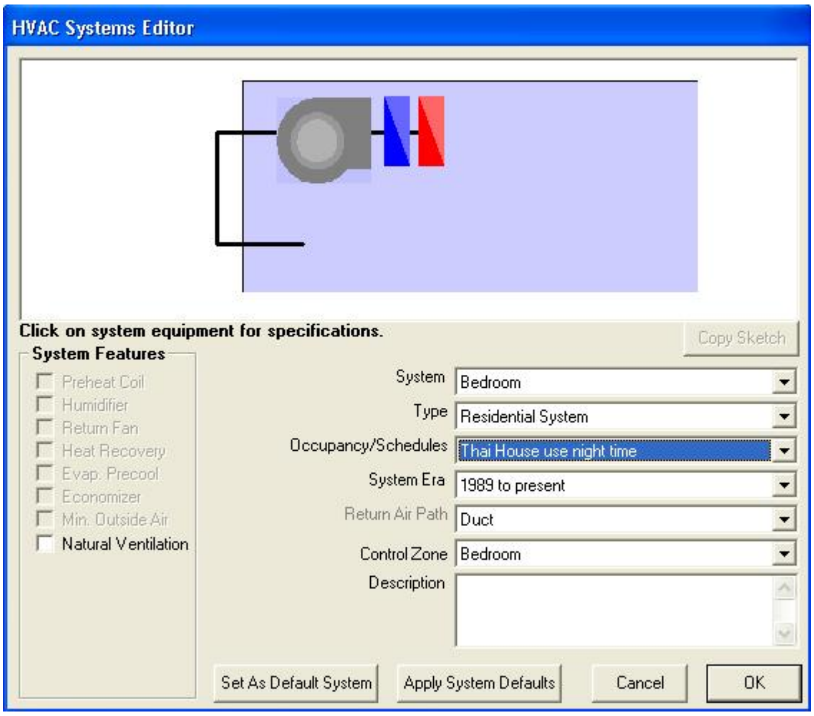
วัสดุผนัง : ผนังฝาไม้ หนา 1” มีค่า U-factor = 3.886 W/m^2-K, Emissivity = 0.9 และ Absorptance = 0.7

วัสดุหน้าต่าง : กระจกใส 6 มม. มีค่า SC = 0.95, SHGC 0.815, U-factor = 6.172 W/m^2-K

วัสดุพื้น : ไม้เนื้อแข็ง หนา 1” มีค่า U-factor = 3.886 W/m^2-K ค่า Emissivity = 0.9 และ ค่า Absorptance = 0.7

5.2.3 ขั้นตอนการเลือกระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศที่เลือกใช้ในการจำลองการใช้พลังงานเป็นระบบปรับอากาศที่ใช้กันในบ้านพักอาศัยทั่วไป ซึ่งไม่มีระบบการเดิมอากาศหรือ Fresh Air เข้าไปในระบบปรับอากาศ ซึ่งเรียกระบบปรับอากาศประเภทนี้ว่าเป็นระบบปรับอากาศแบบ Residential System สามารถแสดงรูปแบบการเลือกระบบในโปรแกรม DOE-2.1E ได้ดังนี้



ภาพที่ 5.11 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System

5.2.4 ขั้นตอนการกำหนดการใช้งานอาคาร

การกำหนดการใช้งานอาคาร กำหนดให้มีการใช้งาน 2 รูปแบบดังนี้

1) **การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย** (Residence Schedule)

การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย เป็นการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน โดยมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1 จำนวนผู้อาศัย 2 คนต่อห้องนอน หรือ 6 คนต่อหลัง

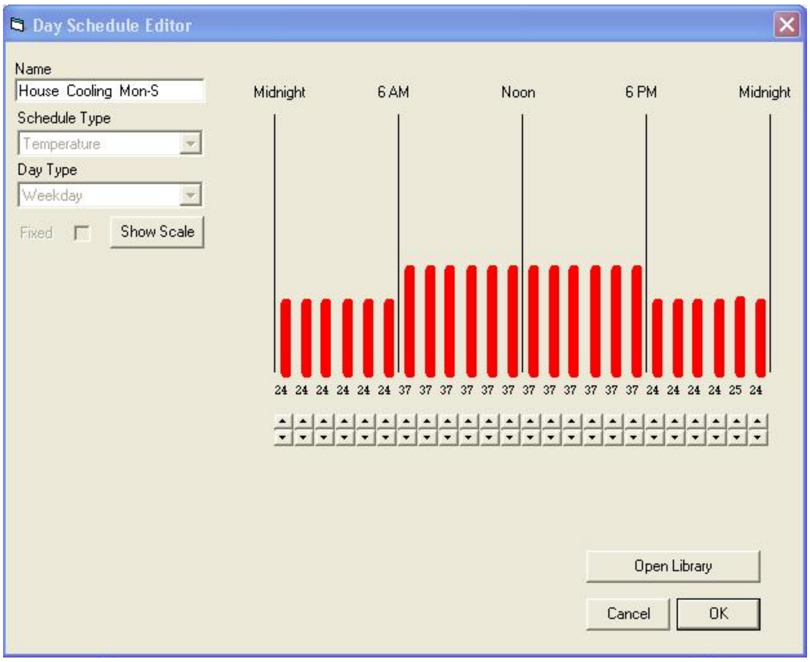
1.2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 24 องศาเซลเซียส

1.3 การกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็นวันจันทร์-วันเสาร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

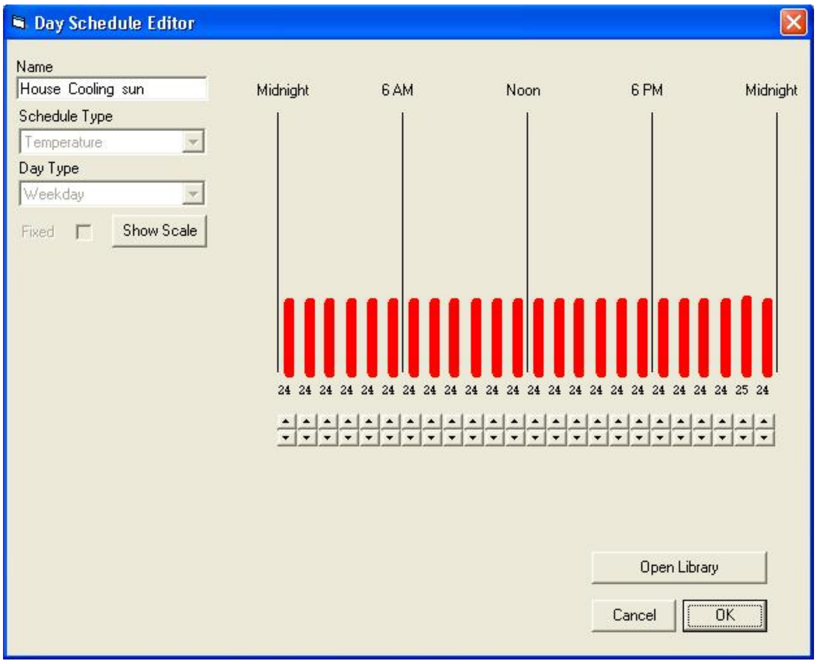
1.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 7.53 Watt/m^2

1.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ คิดเป็น 8.00 Watt/m^2

สามารถแสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยแยกเป็นวันวันจันทร์-วันเสาร์และวันหยุดสุดสัปดาห์ ได้ตามรูปภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 5.12 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย
ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5.13 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ในวันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส

2) **การใช้งานอาคารแบบอาคารสำนักงาน** (Office Schedule)

การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย เป็นการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน โดยมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1 จำนวนผู้ใช้งาน คิดเป็น 15 m^2/Person

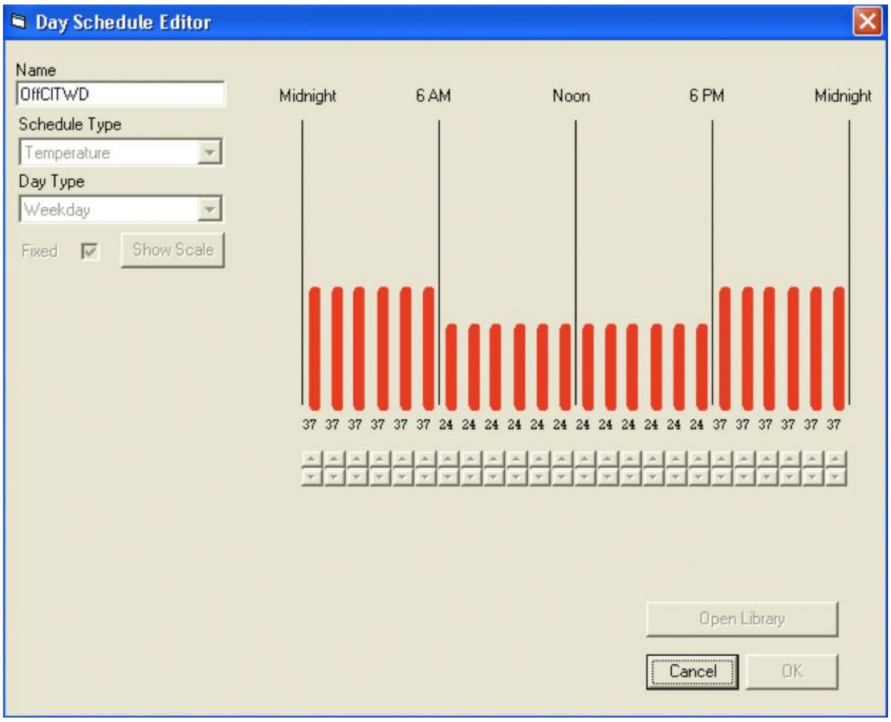
1.2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 24 องศาเซลเซียส

1.3 การกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็นวันจันทร์-วันเสาร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์ไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

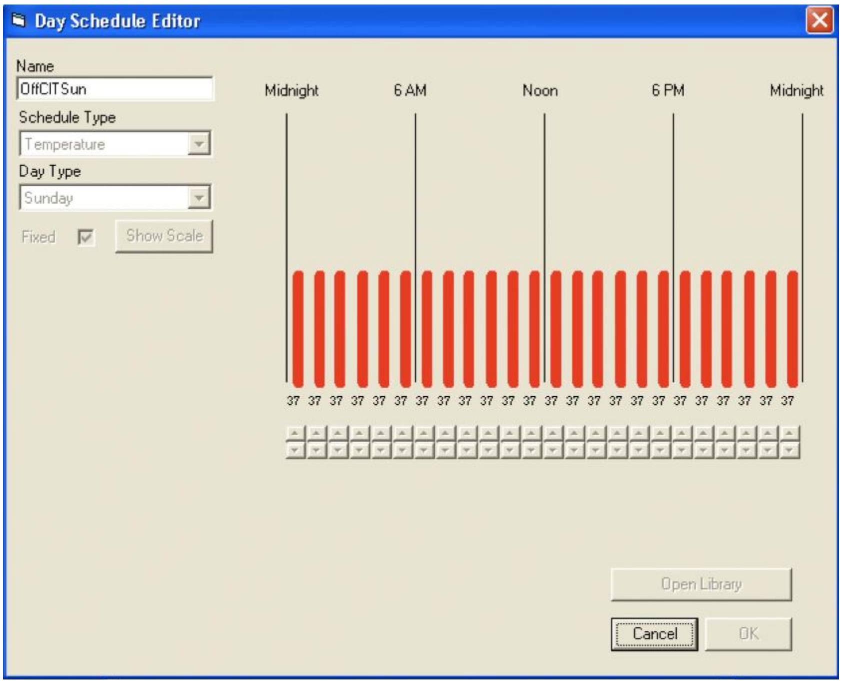
1.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 8.00 Watt/m^2

1.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ คิดเป็น 1.30 Watt/m^2

สามารถแสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยแยกเป็นวันจันทร์-วันเสาร์และวันหยุดสุดสัปดาห์ ได้ตามรูปภาพต่อไปนี้



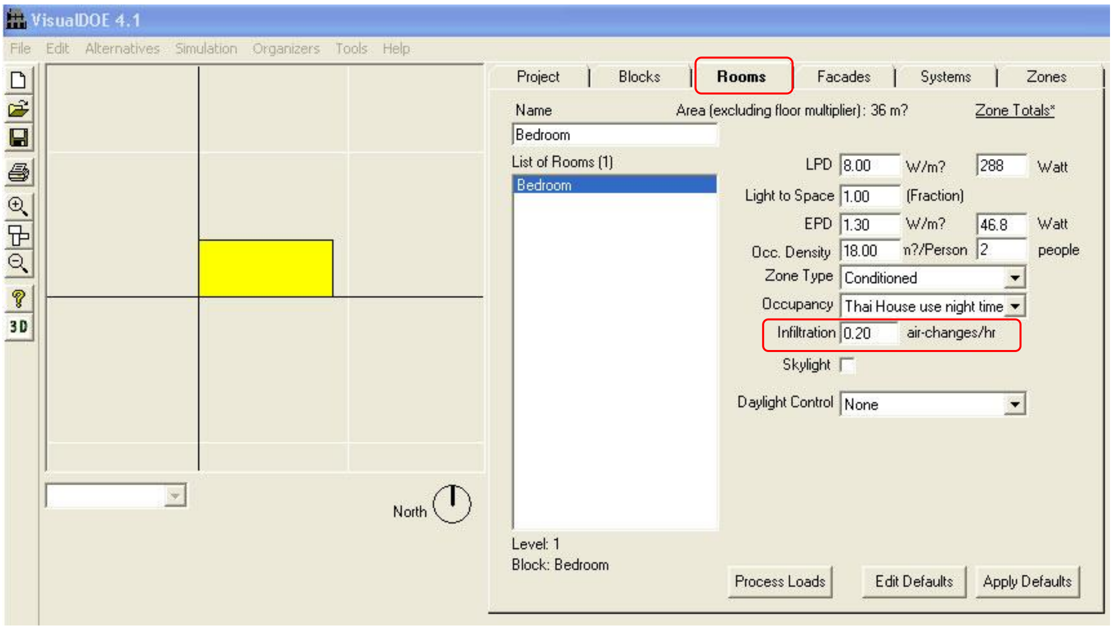
ภาพที่ 5.14 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5.15 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน ในวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

5.2.5 ขั้นตอนการใส่ค่าการรั่วซึมของอากาศและสั่งให้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงาน

การใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) เพื่อจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E ทำได้โดยการเข้าไปในหมวดของ Rooms และใส่ค่า Infiltration ซึ่งมีหน่วยเป็น Air Change per Hour ตามรูปภาพที่ 5.16 ในการจำลองนี้จะใส่ค่าInfiltration ตั้งแต่ 0 ถึง 20 ACH หลังจากนั้นจึงสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณการใช้พลังงาน เมื่อโปรแกรมคำนวณเรียบร้อยแล้ว สามารถดูผลการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายรายปี



ภาพที่ 5.16 แสดงการใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ เพื่อจำลองการใช้พลังงานงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E

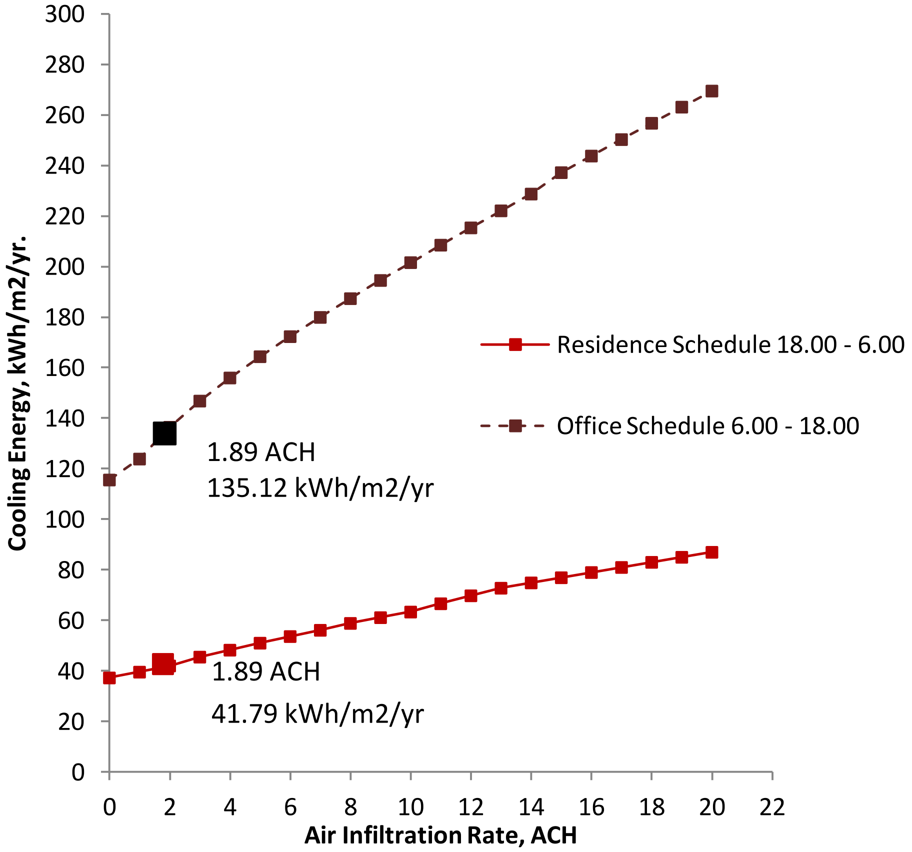
5.2.6 ผลการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

จากการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อคำนวณหาการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยแยกการจำลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) การใช้งานแบบบ้านพักอาศัย (Residence Schedule) มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น และ 2) การใช้งานแบบอาคารสำนักงาน (Office Schedule) มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น สามารถแสดงผลการจำลองการใช้พลังงานได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

	Cooling Energy, $kWh/m^2/yr.$	
Air Infiltration Rate, ACH	Residence Schedule 18.00 – 6.00	Office Schedule 6.00 – 18.00
0	37.31	115.64
1	39.61	123.92
2	42.06	136.5
3	45.56	146.86
4	48.31	156
5	51.08	164.42
6	53.69	172.36
7	56.17	179.97
8	58.89	187.39
9	61.17	194.58
10	63.39	201.64
11	66.67	208.56
12	69.83	215.39
13	72.83	222.14
14	74.92	228.78
15	76.97	237.25
16	79.03	243.81
17	81.03	250.33
18	83.06	256.78
19	85.06	263.17
20	87.03	269.53
1.89 ACH	**41.79**	**135.12**

จากตารางที่ 5.2 สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” ได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 5.2 เปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

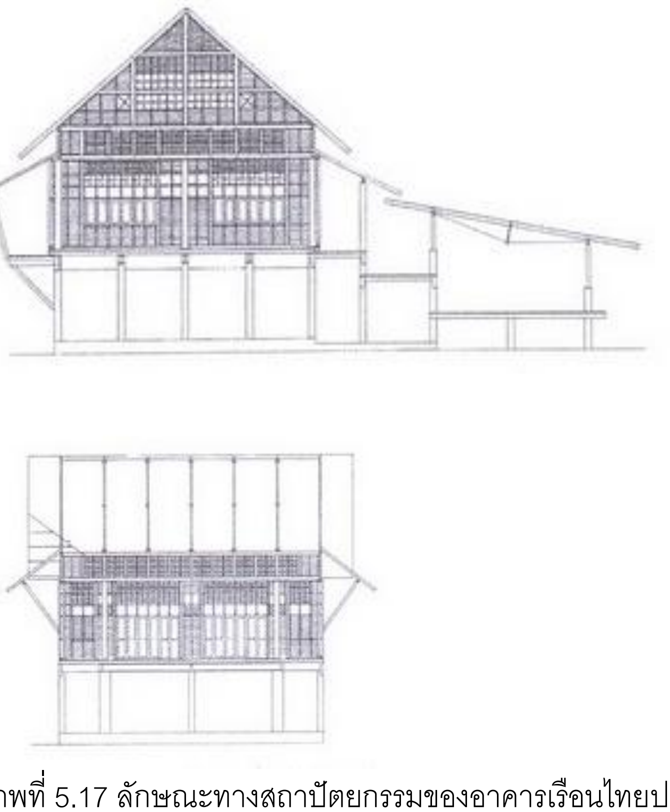
จากแผนภูมิที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษาเรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในเวลากลางวันมากกว่าเวลากลางคืน กล่าวคือ เมื่อมีการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน แบบ Office Schedule (6.00 -18.00 น) จะมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ 135.12 kWh/m^2/yr ส่วนการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน แบบ Residence Schedule (18.00 - 6.00 น) จะมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเพียง 41.79 kWh/m^2/yr ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าแบบ Office Schedule ถึงประมาณ 69.80%

5.3 ผลการจำลองค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

สามารถแสดงวิธีการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ตามขั้นตอนดังนี้

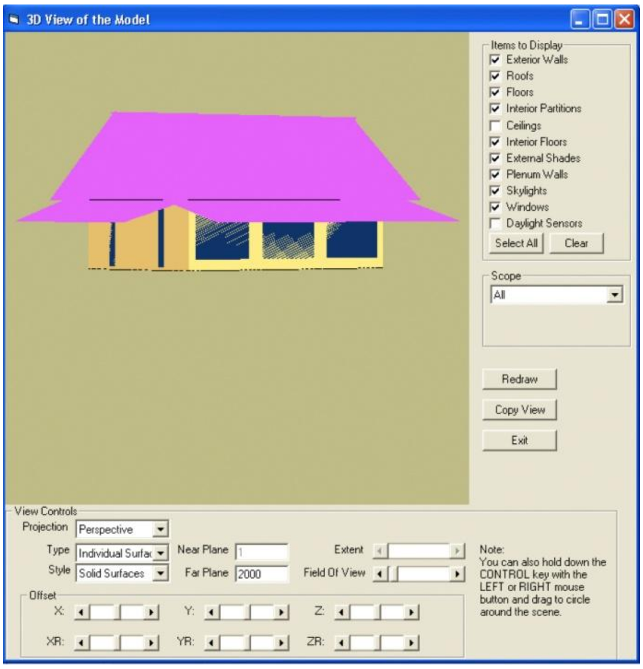
5.3.1 ขั้นตอนการสร้างโมเดลอาคาร

ต้นแบบโมเดลที่ใช้สร้างในโปรแกรม DOE-2.1E เป็นเรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์ ซึ่งมีองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมคล้ายกับเรือนไทย โดยมีผังอาคารเป็นรูปผืนผ้า ลักษณะทางสถาปัตยกรรม เป็นเรือนไทยประยุกต์ครึ่งปูนครึ่งไม้ หลังคาทรงจั่วสูง วัสดุมุงเป็นตับจาก โดยมีความชันของหลังคาประมาณ 60 องศา มีชายคาที่ยื่นยาวประมาณ 2.50 ม. ที่สามารถช่วยบังแสงแดดที่จะมากระทบผนังได้เกือบตลอดทั้งวันเช่นเดียวกับเรือนไทย ผนังเป็นฝาไม้ มีการตีคิ้วปิดตามรอยต่อไม้ทุกจุด หน้าต่างเป็นบานไม้ลูกฟักกระจกใส (WWR40) สามารถแสดงลักษณะอาคารต้นแบบของโมเดลได้ดังนี้



ภาพที่ 5.17 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยประยุกต์ ต้นแบบที่ใช้สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E (a+A หนังสือเผยแพร่ผลงานออกแบบดีเด่น ลำดับที่ 7, 2553: 76)

เมื่อทำการศึกษาอาคารต้นแบบแล้วจึงทำการสร้างโมเดลอาคารเรือนไทยประยุกต์ในโปรแกรม DOE-2.1E โดยมีขนาดอาคาร กว้าง 7 เมตร ยาว 12 เมตร ความสูงของผนัง 3.20 เมตร หน้าต่างเป็นบานไม้ ลูกฟักกระจกใส WWR40 หลังคามีความชัน 60 องศา มีชายคายื่นยาว 2.5 เมตร ในส่วนที่เป็นระเบียงมีชายคายื่นยาว 4.00 เมตร สามารถแสดงภาพโมเดลที่สร้างในโปรแกรม DOE-2.1E ตามรูปภาพที่ 5.18



ภาพที่ 5.18 แสดงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารเรือนไทยประยุกต์ ของสถาบันอาศรมศิลป์ ที่สร้างโมเดลในโปรแกรม DOE-2.1E

5.3.2 ขั้นตอนการกำหนดวัสดุเปลือกอาคาร

การกำหนดวัสดุเปลือกอาคารมีรายละเอียดดังนี้

วัสดุหลังคา : ตับจากหนา 2” มีค่า U-fact = 3.581 W/m^2-K

วัสดุผนัง : ผนังฝาไม้ หนา 1” มีค่า U-factor = 3.886 W/m^2-K,

Emissivity = 0.9 และ Absorptance = 0.7

วัสดุหน้าต่าง : กระจกใส 6 มม. มีค่า SC = 0.95, SHGC 0.815,

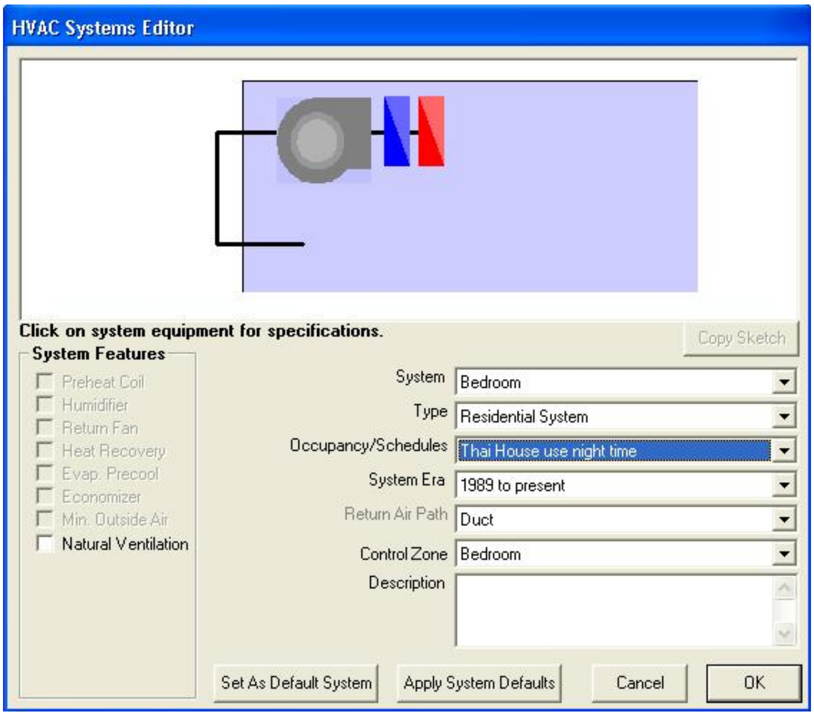
U-factor = 6.172 W/m^2-K

วัสดุพื้น : ไม้เนื้อแข็ง หนา 1” มีค่า U-factor = 3.886 W/m^2-K ค่า

Emissivity = 0.9 และ ค่า Absorptance = 0.7

5.3.3 **ขั้นตอนการเลือกระบบปรับอากาศ**

ระบบปรับอากาศที่เลือกใช้ในการจำลองการใช้พลังงานเป็นระบบปรับอากาศที่ใช้กันในบ้านพักอาศัยทั่วไป ซึ่งไม่มีระบบการเติมอากาศหรือ Fresh Air เข้าไปในระบบปรับอากาศ ซึ่งเรียกระบบปรับอากาศประเภทนี้ว่าเป็นระบบปรับอากาศแบบ Residential System สามารถแสดงรูปแบบการเลือกระบบในโปรแกรม DOE-2.1E ได้ดังนี้



ภาพที่ 5.19 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System

5.3.4 **ขั้นตอนการกำหนดการใช้งานอาคาร**

การกำหนดการใช้งานอาคาร กำหนดให้มีการใช้งาน 2 รูปแบบดังนี้

1) **การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย** (Residence Schedule)

การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย เป็นการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน โดยมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1 จำนวนผู้อาศัย 2 คนต่อห้องนอน หรือ 6 คนต่อหลัง

1.2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 24 องศาเซลเซียส

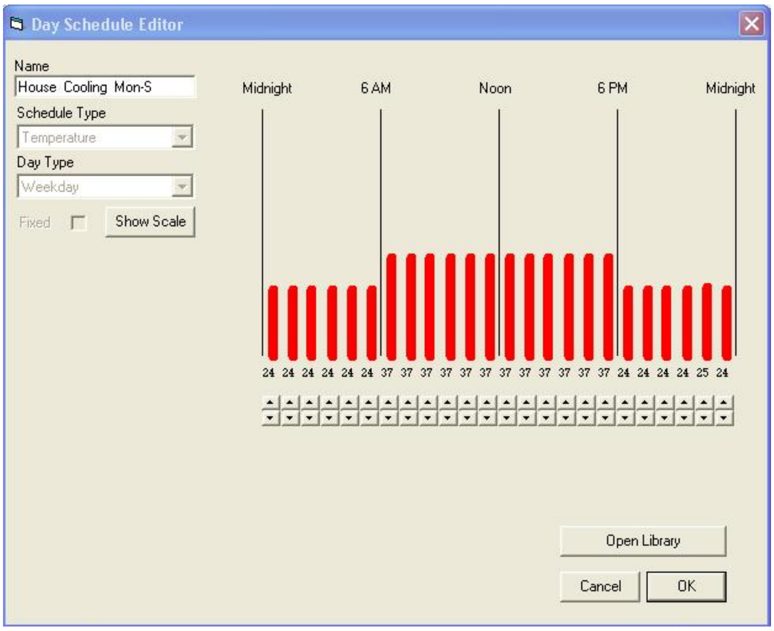
1.3 การกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็น

วันจันทร์-วันเสาร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

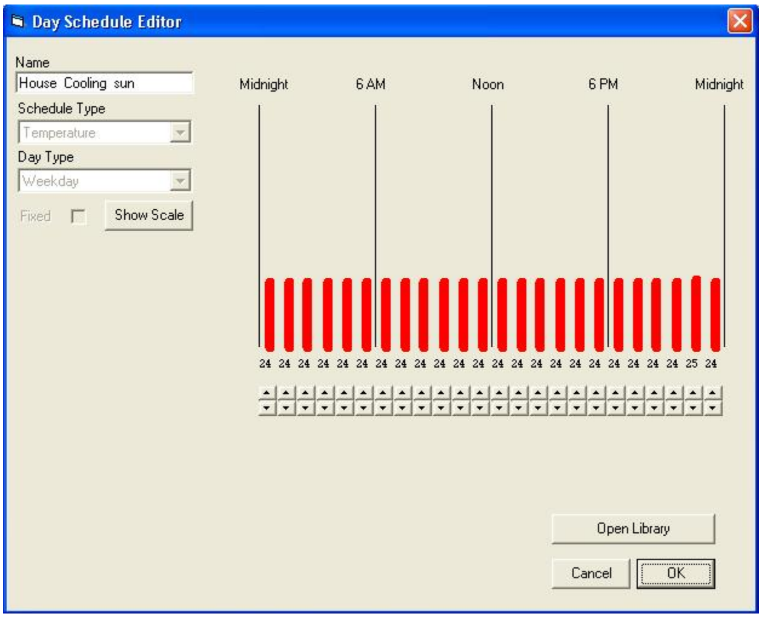
1.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 7.53 Watt/m^2

1.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ คิดเป็น 8.00 Watt/m^2

สามารถแสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยแยกเป็นวันวันจันทร์-วันเสาร์และวันหยุดสุดสัปดาห์ ได้ตามรูปภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 5.20 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย
ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5.21 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย ในวันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส

2) **การใช้งานอาคารแบบอาคารสำนักงาน** (Office Schedule)

การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย เป็นการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน โดยมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1 จำนวนผู้ใช้งาน คิดเป็น 15 m^2/Person

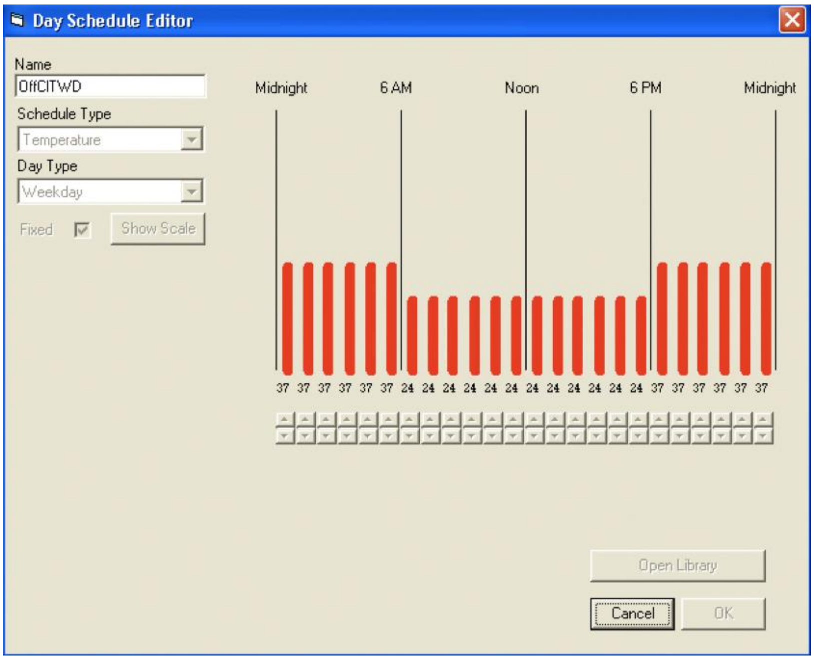
1.2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 24 องศาเซลเซียส

1.3 การกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็นวันจันทร์-วันเสาร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์ไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

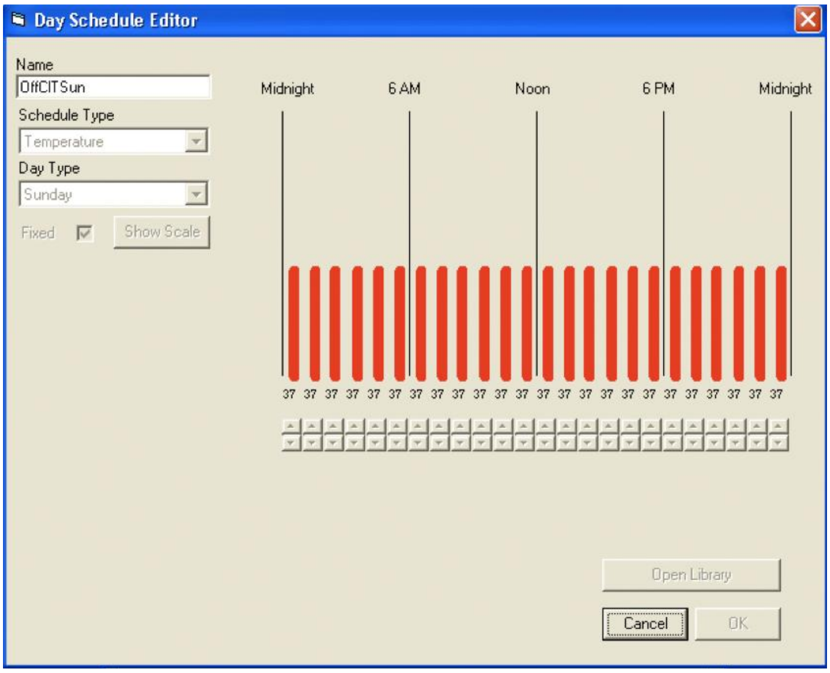
1.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 8.00 Watt/m^2

1.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ คิดเป็น 1.30 Watt/m^2

สามารถแสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยแยกเป็นวันจันทร์-วันเสาร์และวันหยุดสุดสัปดาห์ ได้ตามรูปภาพต่อไปนี้



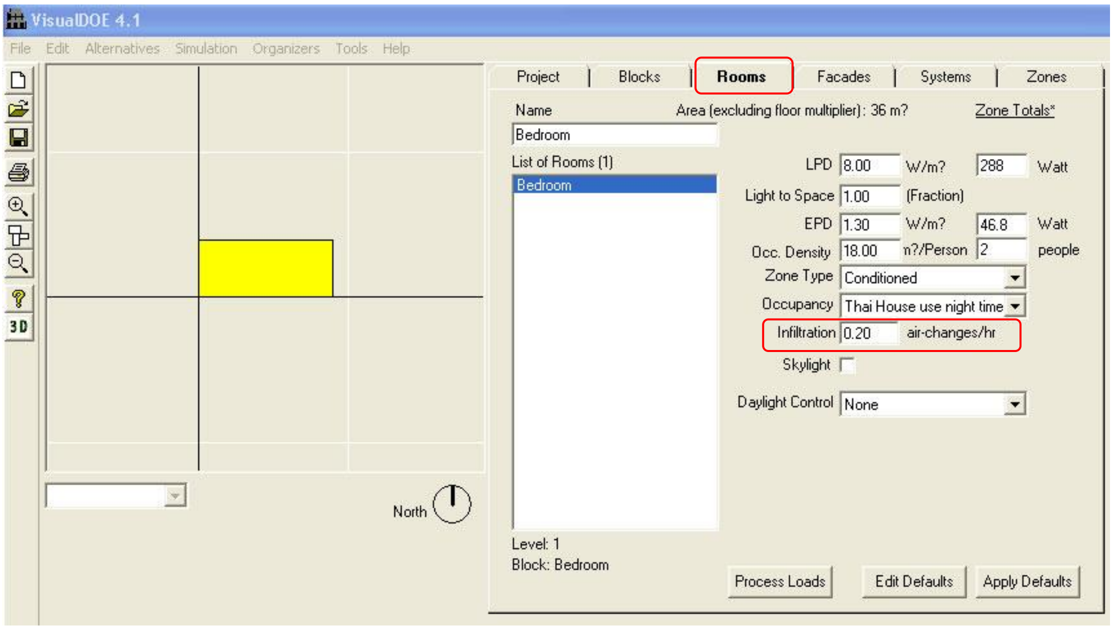
ภาพที่ 5.22 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน
ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5.23 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน
ในวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

5.3.5 ขั้นตอนการใส่ค่าการรั่วซึมของอากาศและสั่งให้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงาน

การใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) เพื่อจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E ทำได้โดยการเข้าไปในหมวดของ Rooms และใส่ค่า Infiltration ซึ่งมีหน่วยเป็น Air Change per Hour ตามรูปภาพที่ 5.16 ในการจำลองนี้จะใส่ค่าInfiltration ตั้งแต่ 0 ถึง 20 ACH หลังจากนั้นจึงสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณการใช้พลังงาน เมื่อโปรแกรมคำนวณเรียบร้อยแล้ว สามารถดูผลการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายรายปี



ภาพที่ 5.24 แสดงการใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ เพื่อจำลองการใช้พลังงานงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E

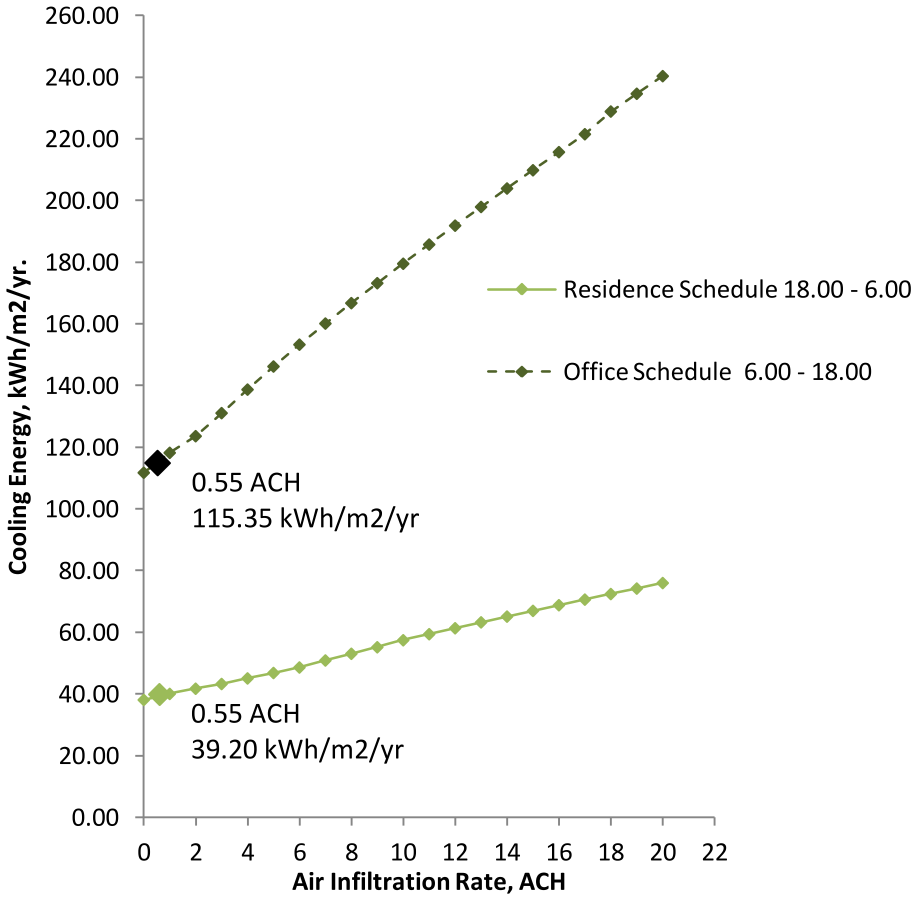
5.2.6 ผลการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

จากการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อคำนวณหาการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยแยกการจำลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) การใช้งานแบบบ้านพักอาศัย (Residence Schedule) มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น และ 2) การใช้งานแบบอาคารสำนักงาน (Office Schedule) มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น สามารถแสดงผลการจำลองการใช้พลังงานได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

	Cooling Energy, kWh/m^2/yr.	
Air Infiltration Rate, ACH	Residence Schedule 18.00 – 6.00	Office Schedule 6.00 – 18.00
0	40.07	111.80
1	41.76	118.26
2	43.29	123.67
3	45.10	131.14
4	46.86	138.77
5	48.65	146.26
6	50.92	153.35
7	53.09	160.19
8	55.20	166.81
9	57.48	173.27
10	59.44	179.59
11	61.37	185.81
12	63.28	191.94
13	65.15	198.00
14	67.01	203.99
15	68.84	209.91
16	70.66	215.78
17	72.47	221.59
18	74.24	228.95
19	76.03	234.71
20	40.07	240.43
0.55 ACH	**39.20**	**115.35**

จากตารางที่ 5.3 สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์” ได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 5.3 เปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

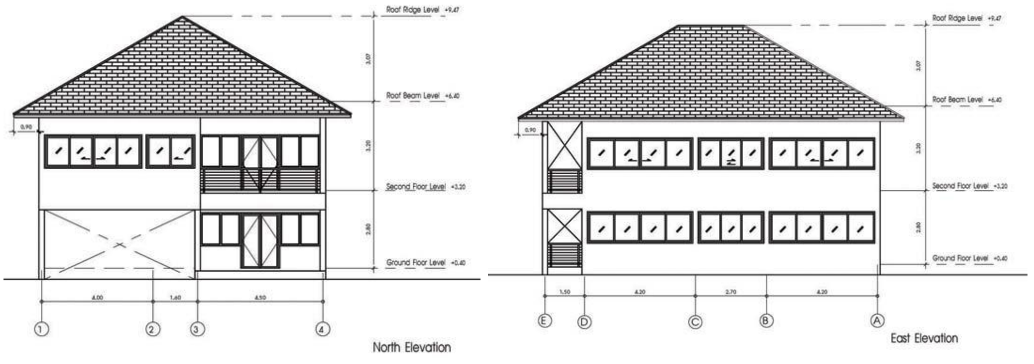
จากแผนภูมิที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์” ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในเวลากลางวันมากกว่าเวลากลางคืน กล่าวคือ เมื่อมีการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน แบบ Office Schedule (6.00 -18.00 น) จะมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ 115.35 kWh/m^2/yr ส่วนการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน แบบ Residence Schedule (18.00 - 6.00 น) จะมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเพียง 39.20 kWh/m^2/yr ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าแบบ Office Schedule ถึงประมาณ 66.02%

5.4 ผลการจำลองค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย"

สามารถแสดงวิธีการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E ได้ตามขั้นตอนดังนี้

5.4.1 ขั้นตอนการสร้างโมเดลอาคาร "บ้านร่วมสมัย"

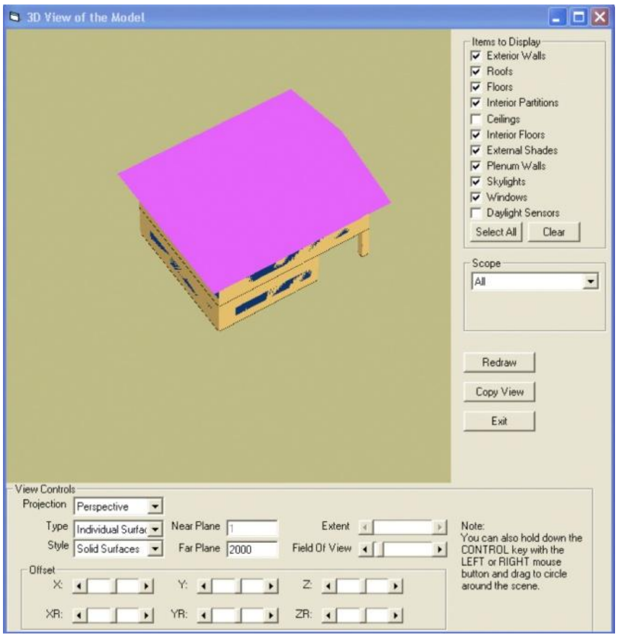
บ้านร่วมสมัยที่ใช้เป็นต้นแบบในการสร้างโมเดลอ้างอิงจากการศึกษาบ้านร่วมสมัยในท้องตลาดปัจจุบัน (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550) ซึ่งลักษณะโดยรวมส่วนใหญ่ของอาคารบ้านจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีส่วนที่ว่างชั้นล่างสำหรับจอดรถ บางหลังอาจมีระเบียงห้องชั้นบน ทำโดยการยื่นส่วนของพื้นออกจากโครงสร้างหลัก (Cantilevered Beam) หรือถอยช่วงผนังเข้าไป ในตัวโครงสร้างหลัก ชั้นล่างมีที่ว่างใต้อาคารสำหรับจอดรถ และมีระเบียงด้านบนของส่วนห้องนอนด้านหน้า สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังพื้นที่อาคาร (WWR) ประมาณ 30 % มีพื้นที่ใช้สอยรวม 255 ตารางเมตร คิดเป็นพื้นที่ใช้สอยภายใน (Net area) 209 ตารางเมตร รูปแบบทางสถาปัตยกรรมและแปลนอาคาร แสดงในรูปภาพที่ 5.25



ภาพที่ 5.25 แสดงรูปแบบบ้านร่วมสมัยในปัจจุบัน (อรรจน์ เศรษฐบุตร, 2550)

รายละเอียดองค์ประกอบอาคารของบ้านร่วมสมัย โครงสร้างเสาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก หลังคาโครงสร้างเหล็ก หลังคาเป็นกระเบื้องโมเนียร์ ผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนเรียบทาสี ผนังหนา 10 cm พื้นเป็น ค.ส.ล. สำเร็จรูป หน้าต่างกระจกใส วงกบไม้เนื้อแข็ง ฝ้าเพดานเป็นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม

เมื่อทำการศึกษาอาคารต้นแบบแล้วจึงทำการสร้างโมเดลอาคารบ้านร่วมสมัย ในโปรแกรม DOE-2.1E โดยมีขนาดอาคาร กว้าง 10 เมตร ยาว 12 เมตร ความสูงของผนังของแต่ละชั้นสูง 3.00 เมตร หน้าต่างเป็นบานไม้ ลูกฟักกระจกใส WWR 30% หลังคามีความชัน 30 องศา มีชายคายื่นยาว 0.90 เมตร สามารถแสดงภาพโมเดลที่สร้างในโปรแกรม DOE-2.1E ตามรูปภาพที่ 5.26



ภาพที่ 5.26 แสดงการสร้างโมเดลอาคารบ้านร่วมสมัย WWR 30 ในโปรแกรม DOE-2.1E

ในการศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จะใช้บ้านร่วมสมัย WWR 30 เป็นอาคารอ้างอิงในการการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อให้เห็นภาพรวมในมุมกว้าง ทางผู้วิจัยได้สร้างอาคารร่วมสมัยเพิ่มขึ้นอีก 3 แบบ โดยมีรูปแบบเดียวกับอาคารบ้านร่วมสมัย WWR 30 เพียงแต่เพิ่มเฉพาะพื้นที่หน้าต่างให้มีพื้นที่มากขึ้น จึงสามารถแบ่งแบบบ้านร่วมสมัยได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

1) บ้านร่วมสมัย WWR 30 (อาคารอ้างอิง)

2) บ้านร่วมสมัย WWR 40

3) บ้านร่วมสมัย WWR 50

4) บ้านร่วมสมัย WWR 60

5.4.2 ขั้นตอนการกำหนดวัสดุเปลือกอาคาร

การกำหนดวัสดุเปลือกอาคารของบ้านร่วมสมัยทั้ง 4 บบ มีรายละเอียดดังนี้

วัสดุหลังคา : กระเบื้องโมเนียร์ หนา1”

มีค่า U-factor = 6.55 W/m^2-K

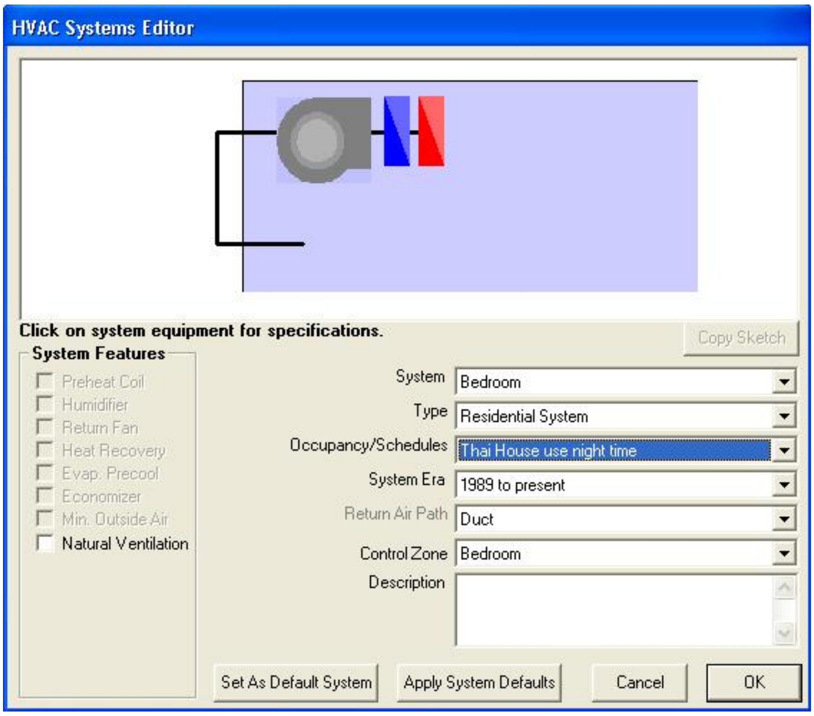
วัสดุผนัง : ก่ออิฐมอญฉาบเรียบหนา 10 cm. มีค่า U-factor = 0.35 W/m^2-K

วัสดุหน้าต่าง : กระจกใส 6 มม. มีค่า SC = 0.95, SHGC 0.815, U-factor = 6.172 W/m^2-K

วัสดุพื้น : ค.ส.ล. หนา 10 cm. มีค่า U-Value = 3.886 W/m^2-K

5.4.3 ขั้นตอนการเลือกระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศที่เลือกใช้ในการจำลองการใช้พลังงานเป็นระบบปรับอากาศที่ใช้กันในบ้านพักอาศัยทั่วไป ซึ่งไม่มีระบบการเดิมอากาศหรือ Fresh Air เข้าไปในระบบปรับอากาศ ซึ่งเรียกระบบปรับอากาศประเภทนี้ว่าเป็นระบบปรับอากาศแบบ Residential System สามารถแสดงรูปแบบการเลือกระบบในโปรแกรม DOE-2.1E ได้ดังนี้



ภาพที่ 5.27 ภาพแสดงระบบปรับอากาศที่ใช้ เป็นแบบ Residential System

5.4.4 ขั้นตอนการกำหนดการใช้งานอาคาร

การกำหนดการใช้งานอาคาร กำหนดให้มีการใช้งาน 2 รูปแบบดังนี้

1) การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย (Residence Schedule)

การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย เป็นการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน โดยมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1 จำนวนผู้อาศัย 2 คนต่อห้องนอน หรือ 6 คนต่อหลัง

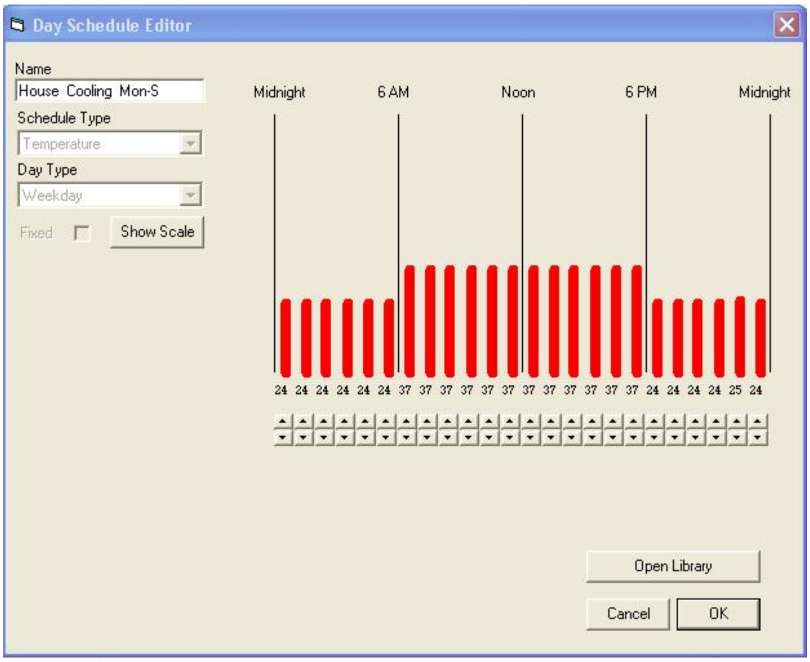
1.2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 24 องศาเซลเซียส

1.3 การกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็นวันจันทร์-วันเสาร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

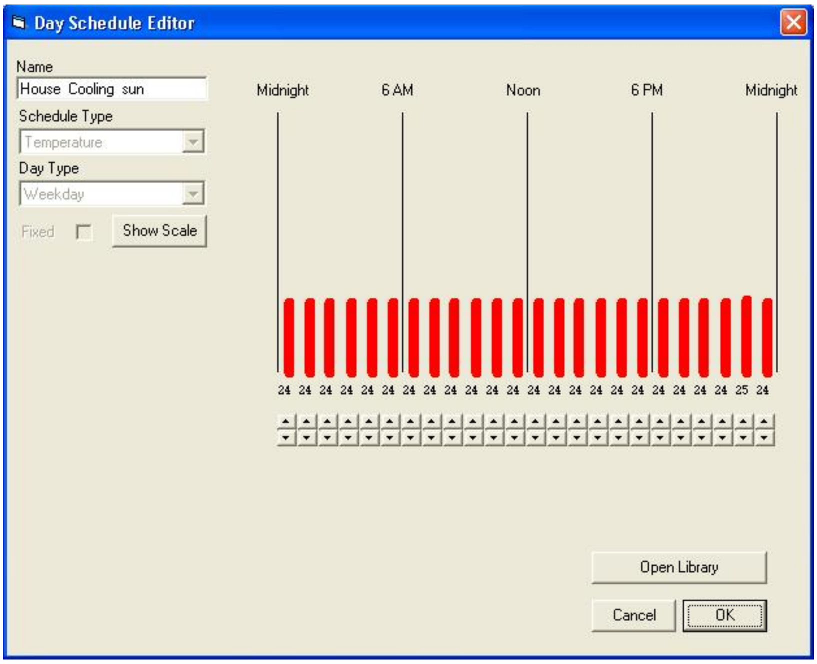
1.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 7.53 Watt/m^2

1.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ คิดเป็น 8.00 Watt/m^2

สามารถแสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยแยกเป็นวันวันจันทร์-วันเสาร์และวันหยุดสุดสัปดาห์ ได้ตามรูปภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 5.28 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย
ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5.29 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบบ้านพักอาศัย
ในวันหยุดสุดสัปดาห์กำหนดให้มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง
โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส

2) **การใช้งานอาคารแบบอาคารสำนักงาน** (Office Schedule)

การใช้งานอาคารแบบบ้านพักอาศัย เป็นการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน โดยมีลักษณะการใช้งานดังนี้

1.1 จำนวนผู้ใช้งาน คิดเป็น 15 m^2/Person

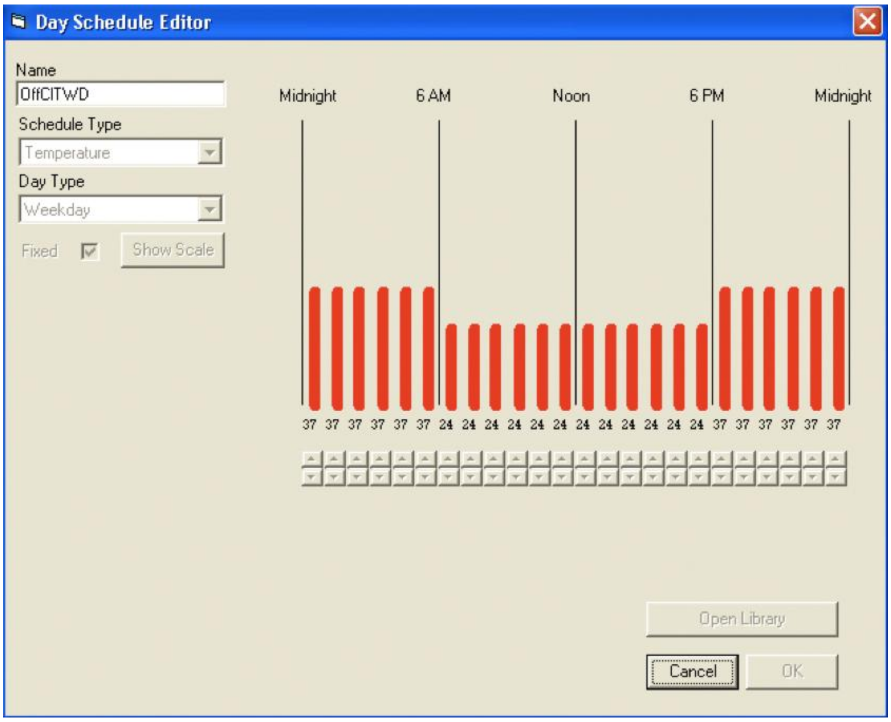
1.2 ตั้งค่าอุณหภูมิปรับอากาศ 24 องศาเซลเซียส

1.3 การกำหนดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ แบ่งเป็นวันจันทร์-วันเสาร์ใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์ไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

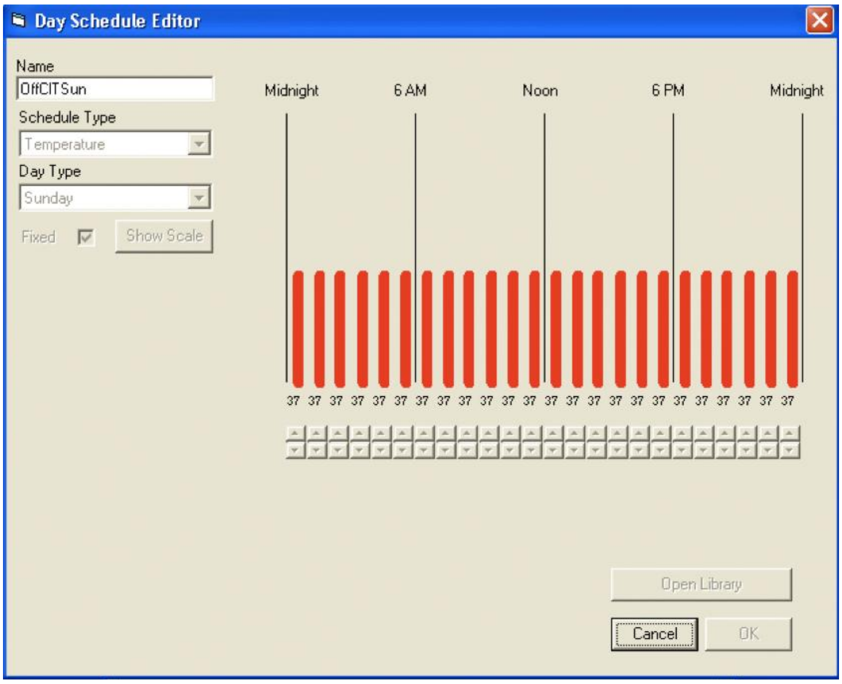
1.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง คิดเป็น 8.00 Watt/m^2

1.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าอุปกรณ์ คิดเป็น 1.30 Watt/m^2

สามารถแสดงการตั้งค่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E โดยแยกเป็นวันจันทร์-วันเสาร์และวันหยุดสุดสัปดาห์ ได้ตามรูปภาพต่อไปนี้



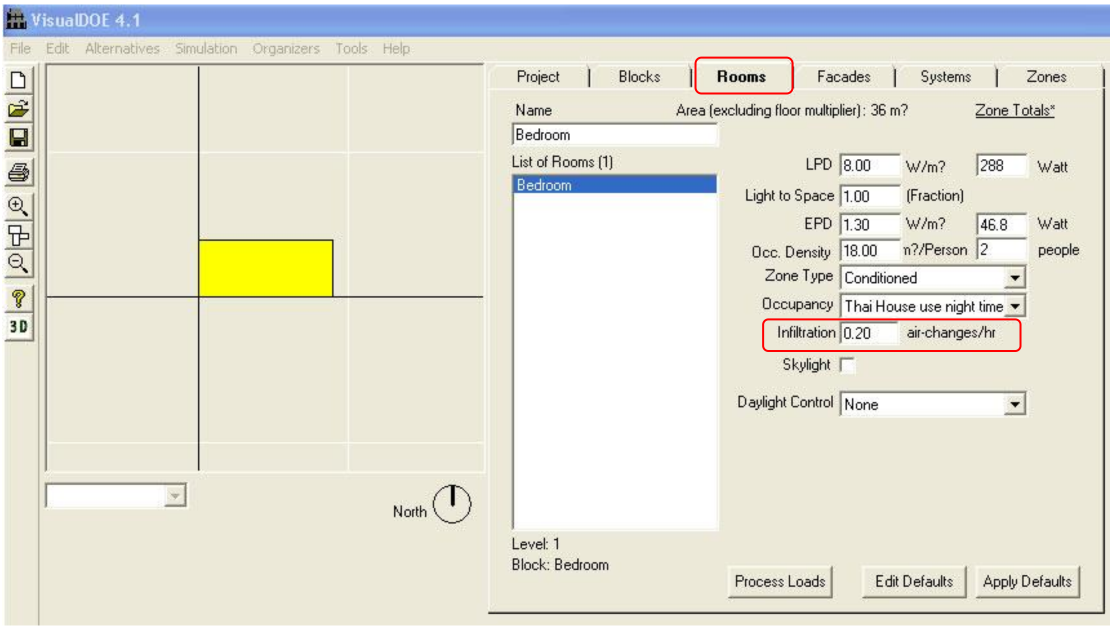
ภาพที่ 5.30 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน
ตั้งแต่วันจันทร์-วันเสาร์ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 18.00 นาฬิกา โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5.31 ภาพแสดงการตั้งค่าการใช้เครื่องปรับอากาศแบบอาคารสำนักงาน
ในวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

5.4.5 ขั้นตอนการใส่ค่าการรั่วซึมของอากาศและสั่งให้โปรแกรมคำนวณการใช้พลังงาน

การใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ (Infiltration) เพื่อจำลองการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E ทำได้โดยการเข้าไปในหมวดของ Rooms และใส่ค่า Infiltration ซึ่งมีหน่วยเป็น Air Change per Hour ตามรูปภาพที่ 5.31 ในการจำลองนี้จะใส่ค่าInfiltration ตั้งแต่ 0 ถึง 20 ACH หลังจากนั้นจึงสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณการใช้พลังงาน เมื่อโปรแกรมคำนวณเรียบร้อยแล้ว สามารถดูผลการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายรายปี



ภาพที่ 5.32 แสดงการใส่ค่าการรั่วซึมอากาศ เพื่อจำลองการใช้พลังงานงาน ในโปรแกรม DOE-2.1E

5.4.6 ผลการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในอาคารกรณีศึกษา "บ้านร่วมสมัย"

จากการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศเพื่อคำนวณหาการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยแยกการจำลองออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) การใช้งานแบบบ้านพักอาศัย (Residence Schedule) มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น และ 2) การใช้งานแบบอาคารสำนักงาน (Office Schedule) มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ตั้งแต่เวลา 6.00 - 18.00 น สามารถแสดงผลการจำลองการใช้พลังงานได้ดังนี้

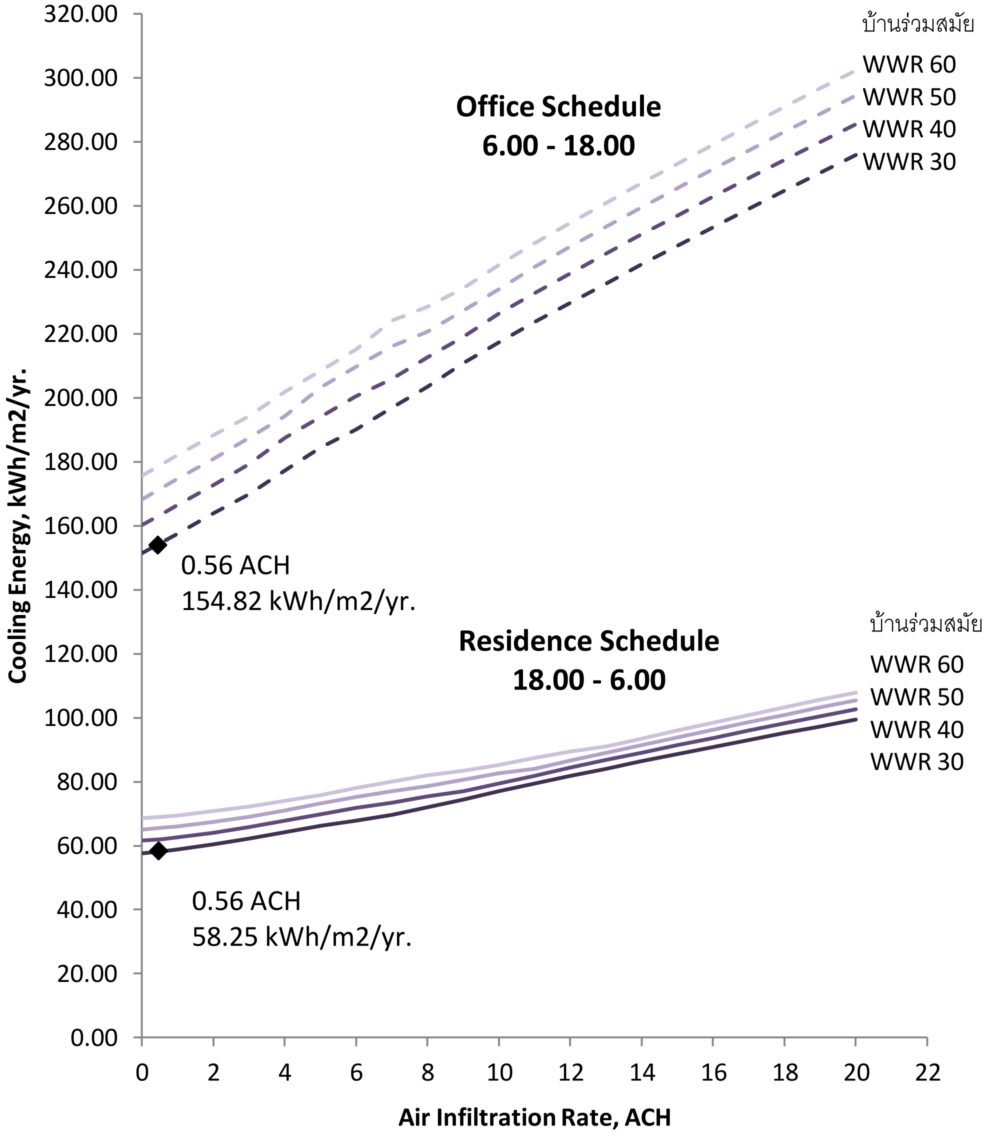
ตารางที่ 5.4 แสดงผลการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย” โดยการจำลองแบบ Residence Schedule โดยใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ตั้งแต่เวลา 18.00 – 6.00 น

	Cooling Energy, kWh/m^2/yr.			
Air Infiltration Rate, ACH	บ้านร่วมสมัย WWR 30	บ้านร่วมสมัย WWR 40	บ้านร่วมสมัย WWR 50	บ้านร่วมสมัย WWR 60
0	57.55	61.57	65.11	68.59
1	58.80	62.52	66.00	69.40
2	60.49	63.96	67.43	70.76
3	62.20	65.73	68.97	72.13
4	64.16	67.82	71.04	74.02
5	66.27	69.76	73.13	75.85
6	67.81	71.84	75.22	77.93
7	69.59	73.38	77.10	79.98
8	72.08	75.36	78.65	82.03
9	74.43	76.98	80.63	83.43
10	76.93	79.38	82.60	85.27
11	79.37	81.88	84.05	87.40
12	81.75	84.33	86.56	89.51
13	84.07	86.73	89.03	91.02
14	86.36	89.09	91.46	93.51
15	88.62	91.41	93.85	95.97
16	90.85	93.70	96.22	98.39
17	93.05	95.98	98.56	100.79
18	95.14	98.24	100.88	103.18
19	97.32	100.48	103.19	105.54
20	99.48	102.71	105.48	107.90
0.56 ACH	**58.25**	**62.10**	**65.61**	**69.04**

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการจำลองอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย” โดยการจำลองแบบ Office Schedule โดยใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ตั้งแต่เวลา 6.00 – 18.00 น

	Cooling Energy, $kWh/m^2/yr.$			
Air Infiltration Rate, ACH	บ้านร่วมสมัย WWR 30	บ้านร่วมสมัย WWR 40	บ้านร่วมสมัย WWR 50	บ้านร่วมสมัย WWR 60
0	151.44	160.25	168.36	175.70
1	157.47	166.50	174.64	182.04
2	163.90	172.64	180.95	188.34
3	169.86	179.29	187.55	194.34
4	177.28	187.40	194.33	201.89
5	184.47	194.11	203.20	208.57
6	190.07	200.52	209.76	215.00
7	196.93	205.86	216.04	224.14
8	203.58	212.60	220.63	228.42
9	210.87	219.15	227.35	234.32
10	217.34	226.33	233.83	241.48
11	223.62	232.72	240.93	248.31
12	229.76	238.96	247.26	254.73
13	235.79	245.08	253.45	260.99
14	241.71	251.08	259.53	267.14
15	247.56	257.00	265.53	273.19
16	253.33	262.84	271.43	279.16
17	259.04	268.62	277.26	285.05
18	264.68	274.33	283.03	290.88
19	270.32	280.00	288.75	296.65
20	275.90	285.61	294.43	302.37
0.56 ACH	**154.82**	**163.75**	**171.88**	**179.25**

จากตารางที่ 5.4 และตารางที่ 5.5 สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย” ทั้ง 4 แบบ ได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 5.4 เปรียบเทียบอัตราการการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule และ Office Schedule ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย” ทั้ง 4 แบบ

จากแผนภูมิที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย” ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในเวลากลางวันมากกว่าเวลากลางคืน กล่าวคือ เมื่อมีการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน แบบ Office Schedule (6.00

-18.00 น) จะมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ 154.82 kWh/m^2/yr ส่วนการใช้งานอาคารส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน แบบ Residence Schedule (18.00 - 6.00 น) จะมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเพียง 58.25 kWh/m^2/yr ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าแบบ Office Schedule ถึงประมาณ 62.38%

5.5 การรวบรวมข้อมูลผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

จากการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E สามารถรวบรวมผลการศึกษาได้ดังนี้

1) ผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงาน โดยมีการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule (18.00 – 6.00 น)

2) ผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงาน โดยมีการใช้งานอาคารแบบ Office Schedule (6.00 – 18.00 น)

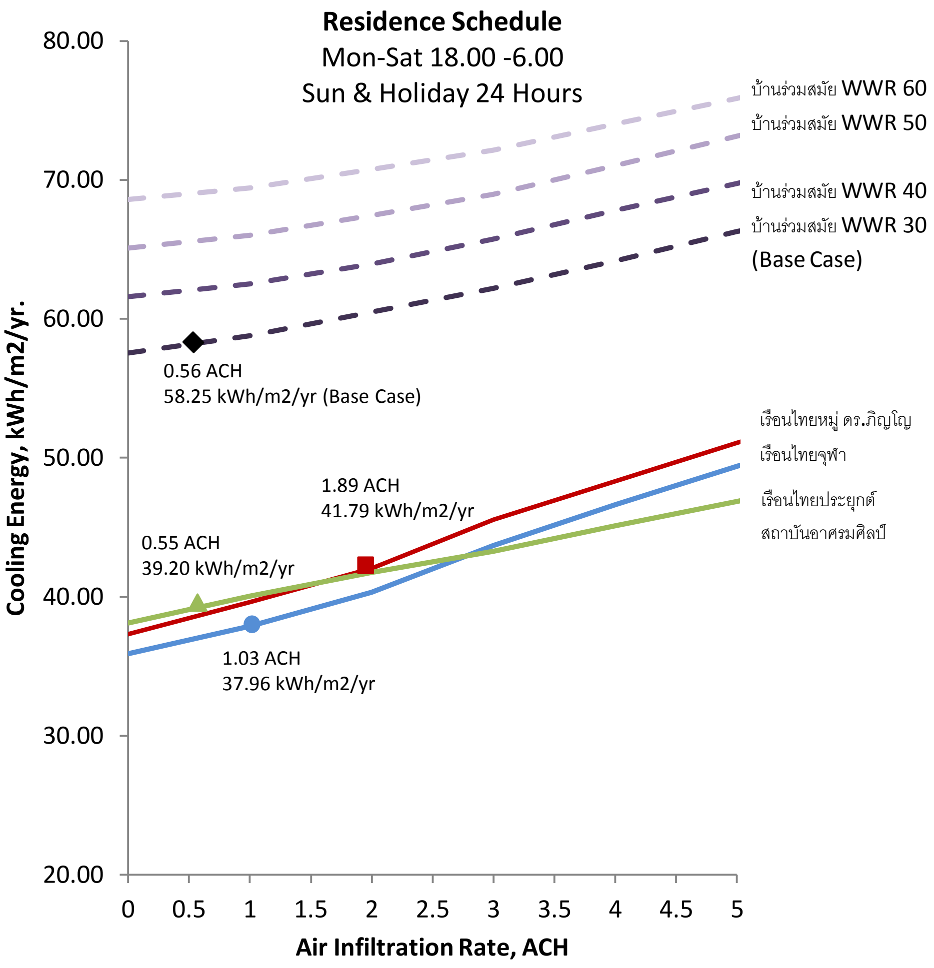
5.5.1 ผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงาน โดยมีการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule (18.00 – 6.00 น)

จากการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสามารถรวบรวมข้อมูลการศึกษาได้ดังนี้

ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงานโดยมีการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule (18.00 – 6.00 น)

อาคารกรณีศึกษา	Air Infiltration, ACH	Cooling Energy, kWh/m^2/yr
เรือนไทยจุฬา	1.03	37.96
เรือนไทยหมู่ ดร.ภิญโญ	1.89	41.79
เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	0.55	39.20
บ้านร่วมสมัย WWR 30 (อาคารอ้างอิง)	0.56	58.25

จากตารางที่ 5.6 สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 5.5 เปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศโดยมีการใช้งานอาคารแบบ Residence Schedule (18.00 – 6.00 น)

จากข้อมูลการศึกษาอัตราการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน แบบ Residence Schedule พบว่า กลุ่มอาคารเรือนไทยจะประหยัดพลังงานมากกว่า บ้านร่วมสมัยประมาณ 28.25 - 34.83% ซึ่งประหยัดพลังงานกว่าในเปอร์เซ็นต์ที่มาก ถึงแม้ว่ากลุ่มอาคารเรือนไทยจะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยก็ตาม แสดงให้เห็นว่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน อัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารเรือนไทยไม่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศมากนัก

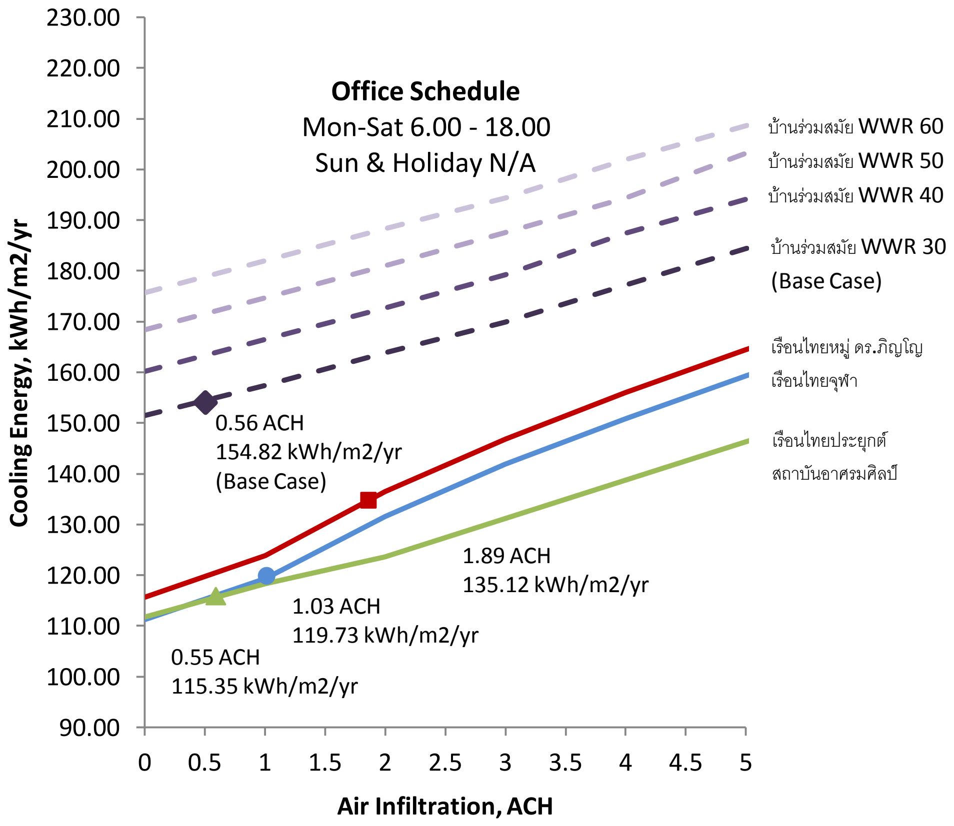
5.5.2 ผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงาน โดยมีการใช้งานอาคารแบบ Office Schedule (6.00 – 18.00 น)

จากการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ สามารถรวบรวมข้อมูลการศึกษาได้ดังนี้

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงผลการจำลองการรั่วซึมอากาศและการคำนวณการใช้พลังงาน โดยมีการใช้งานอาคารแบบ Office Schedule (6.00 – 18.00 น)

อาคารกรณีศึกษา	Air Infiltration, ACH	Cooling Energy, kWh/m^2/yr
เรือนไทยจุฬา	1.03	119.73
เรือนไทยหมู่ ดร.ภิญโญ	1.89	135.12
เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	0.55	115.35
บ้านร่วมสมัย WWR 30 (อาคารอ้างอิง)	0.56	154.82

จากตารางที่ 5. สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 5.6 เปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมของอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศโดยมีการใช้งานอาคารแบบ Office Schedule (6.00 – 18.00 น)

จากข้อมูลการศึกษาอัตราการรั่วซึมอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน แบบ Office Schedule พบว่ากลุ่มอาคารเรือนไทยก็ยังประหยัดพลังงานมากกว่า บ้านร่วมสมัยประมาณ 12.72 – 25.49% ซึ่งประหยัดพลังงานกว่าในเปอร์เซ็นต์ที่มาก ถึงแม้ว่ากลุ่มอาคารเรือนไทยจะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยก็ตาม แสดงให้เห็นว่าการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน อัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารเรือนไทยมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศน้อยมาก ซึ่งได้ผลคล้ายกับการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน แต่การใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน จะมีปริมาณการใช้พลังงานที่มากกว่าการใช้งานในเวลากลางคืน

5.6 สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยด้านต่าง ๆ

จากการจำลองและคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศโดยใช้โปรแกรม DOE 2.1E ในอาคารกรณีศึกษาพบว่า การสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ เกิดจากการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิในรูปของความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) และการลดความชื้นในรูปของความร้อนแฝง (Latent Heat) ซึ่งสามารถแสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อการสูญเสียพลังงานได้ดังนี้

ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) เกิดจากปัจจัยดังต่อไปนี้

1) การถ่ายเทความร้อนจากผนังอาคาร (Wall Conduction)

2) การถ่ายเทความร้อนจากหลังคา (Roof Conduction)

3) การถ่ายเทความร้อนจากกรอบประตูหน้าต่าง (Window Glass + Frm Cond)

4) รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจก (Window Glass Solar)

5) ความร้อนจากผู้ใช้งานอาคาร (Occupants to Space)

6) ความร้อนจากอุปกรณ์แสงสว่าง (Light to Space)

7) ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (Equipment to Space)

8) การรั่วซึมของอากาศ (Air Infiltration)

ความชื้นในรูปความร้อนแฝง (Latent Heat) เกิดจากปัจจัยดังต่อไปนี้

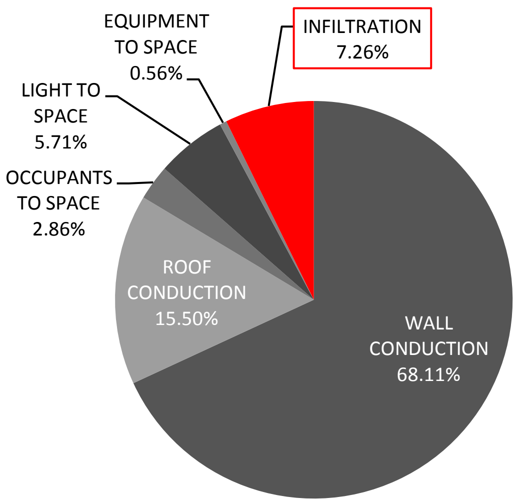
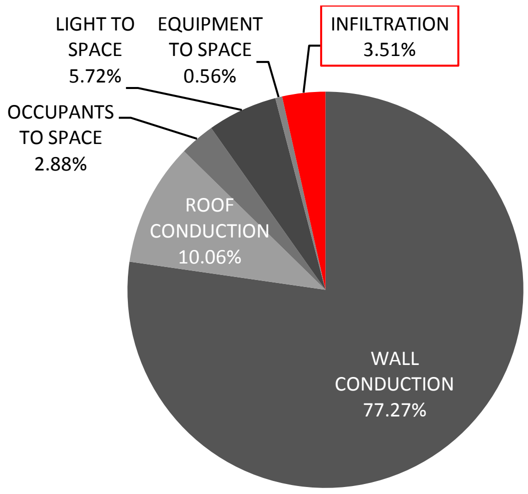
1) ผู้ใช้งานอาคาร (Occupants to Space)

2) การรั่วซึมของอากาศ (Air Infiltration)

สามารถแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยต่างๆ ในอาคารกรณีศึกษาได้ดังนี้

5.6.1 การวิเคราะห์สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยต่างๆ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

เรือนไทยจุฬา Residence Schedule (Mon-Sat 18.00 – 6.00, Sun & Holiday 24 Hours)	
ค่า Air Infiltration ที่วัดได้จริง 1.03 ACH	
	เรือนไทยจุฬา มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 1.03 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 37.96 kWh/m^2/yr โดยมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 7.26% (2.76 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ
การปรับลดตามเกณฑ์ของ Energy Star กำหนดให้ Air Infiltration ≤ 0.50 ACH	
	เมื่อทดลองปรับลด Air Infiltration = 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star พบว่า สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ ลดลงเหลือ 3.51% (1.33 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ ซึ่งมีอัตราการลดลง เท่ากับ 3.75%

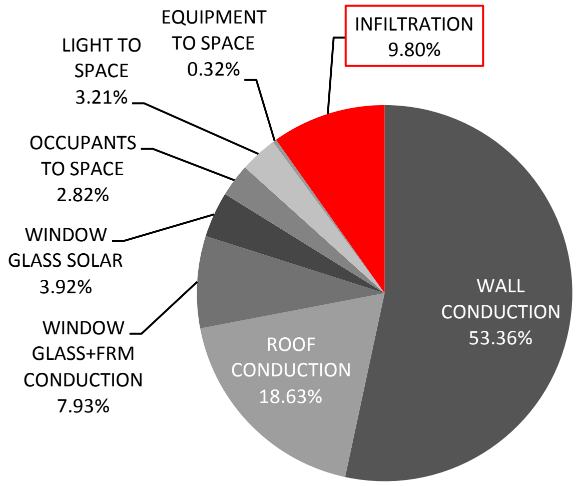
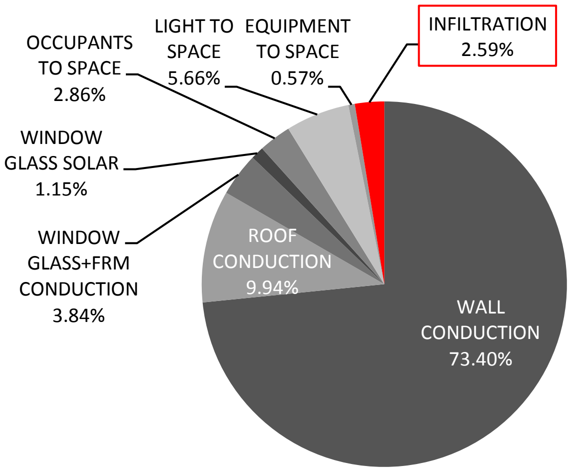
จากตารางที่ 5.8 ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืนแบบ Residence Schedule (Mon-Sat 18.00 – 6.00 และ Sun & Holiday 24 Hours) พบว่าอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” ที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 1.03 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 37.96 kWh/m^2/yr และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 7.26% (2.76 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับการสูญเสียพลังงานจากปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 68.11% (25.84 kWh/m^2/yr) และปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 15.50% (5.58 kWh/m^2/yr)

ในกรณีที่มีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศลดลงเหลือ 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star นั้นพบว่า การสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศลดลงเหลือ 3.51% (1.33 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการการสูญเสียพลังงานลดลง 3.75% (1.42 kWh/m^2/yr) การปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารเพื่อลดอัตราการรั่วซึมของอากาศจึงเป็นวิธีการที่ช่วยลดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้บ้างแต่ไม่มากนัก

เมื่อมองในภาพรวม อาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” ซึ่งมีการบังแดดที่ดี ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารน้อย และมีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง (WWR) น้อยกว่าบ้านร่วมสมัย ทำให้ประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศกว่าบ้านร่วมสมัยถึง 34.83% ถึงแม้จะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยก็ตาม แสดงให้เห็นว่าอัตราการั่วซึมของอากาศส่งผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยด้านอื่นๆ ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้ประมาณ 3.75% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่ไม่มากนัก อย่างไรก็ตามควรมีการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในเรือนไทยจุฬาลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคาร ถึงแม้จะเป็นสัดส่วนการลดลงที่ไม่มาก แต่ก็เป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้อีกวิธีการหนึ่ง

5.6.2 การวิเคราะห์สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยต่างๆ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

ตารางที่ 5.9 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี”

<table>
<tr><th colspan="2">เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี
Residence Schedule (Mon-Sat 18.00 – 6.00, Sun & Holiday 24 Hours)</th></tr>
<tr><td colspan="2">ค่า Air Infiltration ที่วัดได้จริง 1.89 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ มีอัตราการรั่วซึมของอากาศเท่ากับ 1.89 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเท่ากับ 41.79 kWh/m^2/yr โดยมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 9.80% (4.10 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ</td></tr>
<tr><td colspan="2">การปรับลดตามเกณฑ์ของ Energy Star กำหนดให้ Air Infiltration ≤ 0.50 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เมื่อทดลองปรับลด Air Infiltration = 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star พบว่าสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ ลดลงเหลือ 2.59% (1.08 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ <u>ซึ่งมีอัตราการลดลงเท่ากับ 7.21%</u></td></tr>
</table>

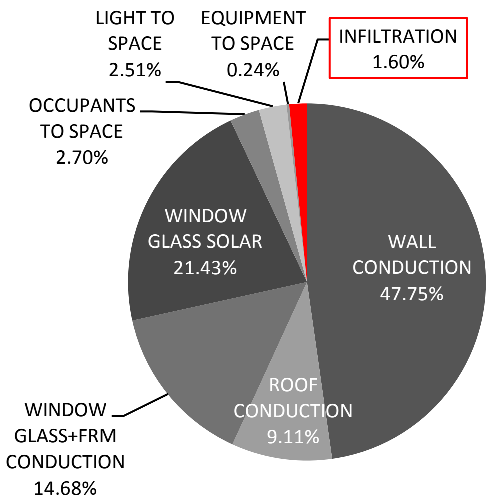
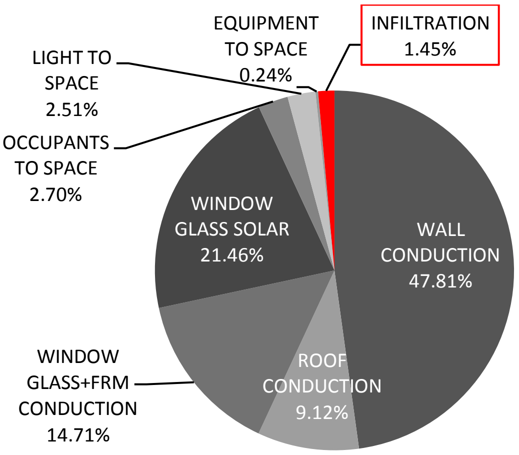
จากตารางที่ 5.9 ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืนแบบ Residence Schedule (Mon-Sat 18.00 – 6.00 และ Sun & Holiday 24 Hours) พบว่าอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” ที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศเท่ากับ 1.89 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 41.79 kWh/m^2/yr และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 9.80% (4.10 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มากพอสมควร แต่ก็ยังน้อยกว่าการสูญเสียพลังงานจากปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 50.34% (21.04 kWh/m^2/yr) และปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 18.63% (7.79 kWh/m^2/yr)

ในกรณีที่มีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศลดลงเหลือ 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star นั้นพบว่า การสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศลดลงเหลือ 2.59% (1.08 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการการสูญเสียพลังงานลดลง 7.21% (2.01 kWh/m^2/yr) การปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารเพื่อลดอัตราการรั่วซึมของอากาศจึงเป็นวิธีการที่ช่วยลดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้มากพอสมควร

เมื่อมองในภาพรวม อาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” ซึ่งมีการบังแดดที่ดี ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารน้อย และมีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง (WWR) น้อยกว่าบ้านร่วมสมัย ทำให้ประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศกว่าบ้านร่วมสมัยถึง 28.26% ถึงแม้จะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยก็ตาม แสดงให้เห็นว่าอัตราการั่วซึมของอากาศส่งผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยด้านอื่นๆ ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้ประมาณ 7.21% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่มากพอสมควร จึงควรมีการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในเรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี ลงโดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคาร ซึ่งเป็นสัดส่วนการลดลงที่มากพอสมควร และเป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้อีกวิธีการหนึ่ง

5.6.3 การวิเคราะห์สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยต่างๆ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์”

ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ ของสถาบันอาศรมศิลป์”

<table>
<tr><td colspan="2">เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์
Residence Schedule (Mon-Sat 18.00 – 6.00, Sun & Holiday 24 Hours)</td></tr>
<tr><td colspan="2">ค่า Air Infiltration ที่วัดได้จริง 0.55 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เรือนไทยประยุกต์ ของสถาบันอาศรมศิลป์ มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 0.55 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 39.20 kWh/m^2/yr โดยมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 1.60% (0.63 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ</td></tr>
<tr><td colspan="2">การปรับลดตามเกณฑ์ของ Energy Star กำหนดให้ Air Infiltration ≤ 0.50 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เมื่อทดลองปรับลด Air Infiltration = 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star พบว่า สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ ลดลงเหลือ 1.45% (0.57 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ <u>ซึ่งมีอัตราการลดลงเท่ากับ 0.15%</u></td></tr>
</table>

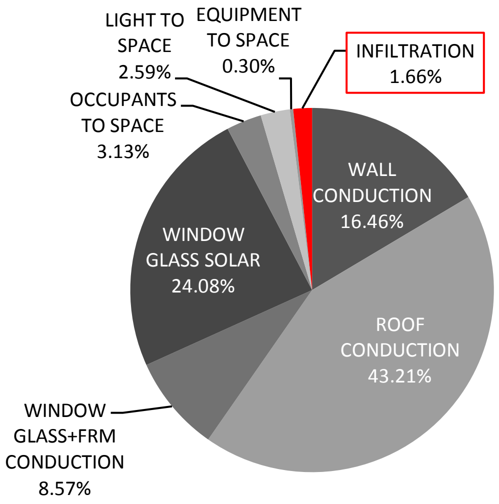
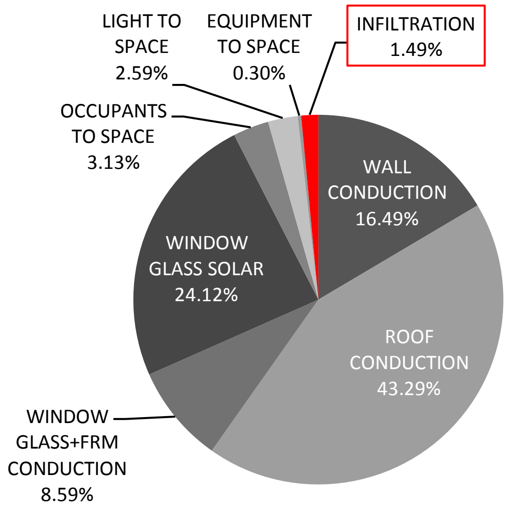
จากตารางที่ 5.10 ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืนแบบ Residence Schedule (Mon-Sat 18.00 – 6.00 และ Sun & Holiday 24 Hours) พบว่าอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์” ที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศเท่ากับ 0.55 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 39.20 kWh/m^2/yr และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 1.60% (0.63 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียพลังงานจากปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 47.75% (18.72 kWh/m^2/yr) และปัจจัยรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจกหน้าต่าง ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 21.43% (8.40 kWh/m^2/yr)

ในกรณีที่มีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศลดลงเหลือ 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star นั้นพบว่า การสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศลดลงเหลือ 1.45% (0.57 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการการสูญเสียพลังงานลดลง 0.15% (0.06 kWh/m^2/yr) การปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารเพื่อลดอัตราการรั่วซึมของอากาศจึงเป็นวิธีการที่ช่วยลดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้บ้างแต่ลดลงในปริมาณที่น้อยมาก

เมื่อมองในภาพรวม อาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์” ซึ่งมีการออกแบบองค์ประกอบอาคารที่ดี มีการบังแดดที่ดี ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารน้อย มีการก่อสร้างส่วนประกอบอาคารที่ค่อนข้างหน้าแน่น ถึงแม้วัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่จะเป็นไม้ก็ตาม ทำให้มีอัตราการรั่วซึมของอากาศน้อยกว่าบ้านร่วมสมัย ส่งผลให้ประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศกว่าบ้านร่วมสมัยถึง 32.70% ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้เพียง 0.15% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่น้อยมาก แสดงให้เห็นว่า เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์ ซึ่งมีค่าอัตราการรั่วซึมอากาศที่น้อยและประหยัดพลังงานอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคาร เพื่อลดค่าการรั่วซึมของอากาศแต่อย่างใด การออกแบบองค์ประกอบอาคารที่ดีโดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดี ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารน้อยอย่างเรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์ จึงเป็นแบบอย่างอาคารประหยัดพลังงานที่ดีแห่งหนึ่ง

5.6.4 การวิเคราะห์สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยต่างๆ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย WWR 30”

ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืน ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย WWR 30”

บ้านร่วมสมัย WWR 30 (อาคารอ้างอิง) Residence Schedule (Mon-Sat 18.00 – 6.00, Sun & Holiday 24 Hours)	
ค่า Air Infiltration ที่วัดได้จริง 0.56 ACH	
	บ้านร่วมสมัย WWR 30 มีอัตราการรั่วซึมของอากาศเท่ากับ 0.56 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเท่ากับ 58.25 kWh/m^2/yr โดยมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 1.66% (0.97 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ
การปรับลดตามเกณฑ์ของ Energy Star กำหนดให้ Air Infiltration ≤ 0.50 ACH	
	เมื่อทดลองปรับลด Air Infiltration = 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star พบว่า สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศลดลงเหลือ 1.49% (0.86 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ <u>ซึ่งมีอัตราการลดลงเท่ากับ 0.17%</u>

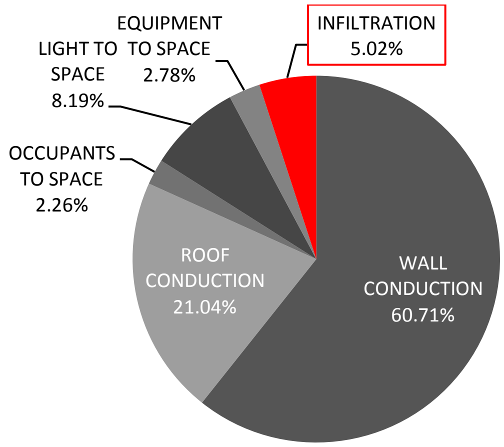
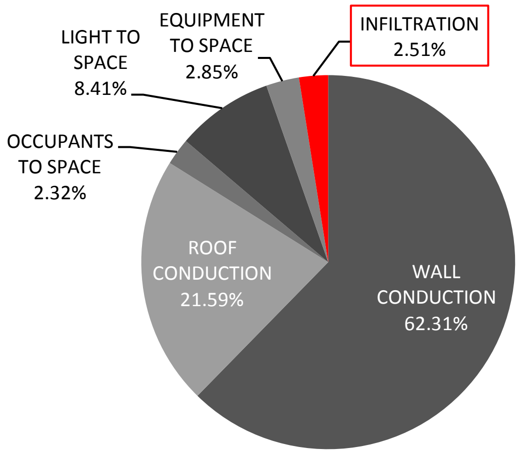
จากตารางที่ 5.11 ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืนแบบ Residence Schedule (Mon-Sat 18.00 – 6.00 และ Sun & Holiday 24 Hours) พบว่าอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย WWR 30” ที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 0.56 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 58.25 kWh/m^2/yr และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 1.66% (0.97 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียพลังงานจากปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 43.21% (25.17 kWh/m^2/yr) ปัจจัยรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจกหน้าต่าง ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 24.08% (14.03kWh/m^2/yr) และปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 16.46% (9.59 kWh/m^2/yr) ตามลำดับ

ในกรณีที่มีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศลดลงเหลือ 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star นั้นพบว่า การสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศลดลงเหลือ 1.49% (0.86 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการการสูญเสียพลังงานลดลง 0.17% (0.10 kWh/m^2/yr) การปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารเพื่อลดอัตราการรั่วซึมของอากาศจึงเป็นวิธีการที่ช่วยลดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้บ้างแต่ลดลงในปริมาณที่น้อยมาก

เมื่อมองในภาพรวม อาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย WWR 30” ซึ่งเป็นอาคารที่มีการออกแบบองค์ประกอบอาคารที่ไม่ดีนัก มีการบังแดดน้อย ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารมาก ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศมากกว่าอาคารเรือนไทยถึง 28.25 - 34.83% ถึงแม้จะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศน้อยกว่าอาคารเรือนไทยก็ตาม ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้เพียง 0.17% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่น้อยมาก แสดงให้เห็นว่าอัตราการั่วซึมของอากาศไม่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศมากมายอย่างที่คนส่วนใหญ่คาดการณ์ไว้ แต่สิ่งที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานมากกว่าคือการออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี โดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดีและการใช้วัสดุที่ไม่ดูดซับความร้อน อย่างการออกแบบอาคารเรือนไทยและเรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์

5.6.5 การวิเคราะห์สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยต่างๆ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

ตารางที่ 5.12 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา”

<table>
<tr><td colspan="2">เรือนไทยจุฬา
Office Schedule (Mon-Sat 6.00 – 18.00, Sun & Holiday N/A)</td></tr>
<tr><td colspan="2">ค่า Air Infiltration ที่วัดได้จริง 1.03 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เรือนไทยจุฬา มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 1.03 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 119.73 kWh/m^2/yr โดยมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 5.02% (6.01 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ</td></tr>
<tr><td colspan="2">การปรับลดตามเกณฑ์ของ Energy Star กำหนดให้ Air Infiltration ≤ 0.50 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เมื่อทดลองปรับลด Air Infiltration = 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star พบว่าสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ ลดลงเหลือ 2.51% (3.01 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ <u>ซึ่งมีอัตราการลดลงเท่ากับ 2.51%</u></td></tr>
</table>

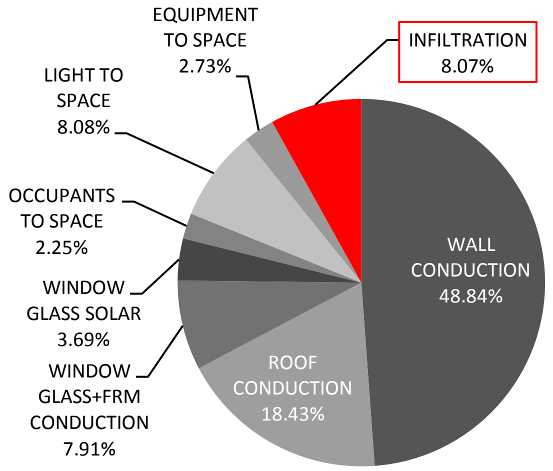
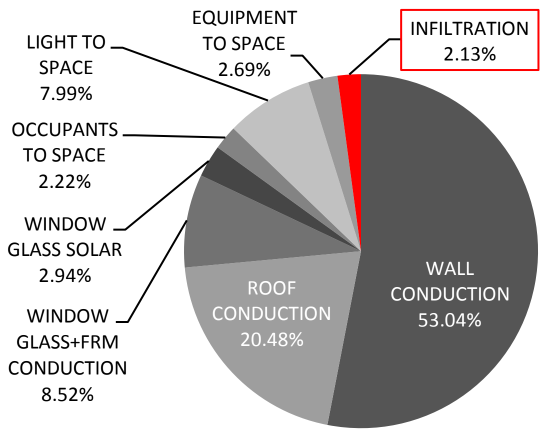
จากตารางที่ 5.12 ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวันแบบ Office Schedule (Mon-Sat 6.00 – 18.00, Sun & Holiday N/A) พบว่าอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” ที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 1.03 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 119.73 kWh/m^2/yr และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 5.02% (6.01 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับการสูญเสียพลังงานจากปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 60.71% (72.69 kWh/m^2/yr) และปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 21.04% (25.19 kWh/m^2/yr)

ในกรณีที่มีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศลดลงเหลือ 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star นั้นพบว่า การสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศลดลงเหลือ 2.51% (3.01 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการการสูญเสียพลังงานลดลง 2.51% (3.01 kWh/m^2/yr) การปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารเพื่อลดอัตราการรั่วซึมของอากาศจึงเป็นวิธีการที่ช่วยลดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้บ้างแต่ไม่มากนัก

เมื่อมองในภาพรวม อาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยจุฬา” ซึ่งมีการบังแดดที่ดี ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารน้อย และมีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง (WWR) น้อยกว่าบ้านร่วมสมัย ทำให้ประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศกว่าบ้านร่วมสมัยถึง 22.67% ถึงแม้จะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยก็ตาม แสดงให้เห็นว่าอัตราการั่วซึมของอากาศส่งผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยด้านอื่นๆ ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้ประมาณ 2.51% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่ไม่มากนัก อย่างไรก็ตามควรมีการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในเรือนไทยจุฬาลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคาร ถึงแม้จะเป็นสัดส่วนการลดลงที่ไม่มากนัก แต่ก็เป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้อีกวิธีการหนึ่ง

5.6.6 การวิเคราะห์สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยต่างๆ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี"

ตารางที่ 5.13 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยหมู่ ของ ดร. ภิญโญ สุวรรณคีรี"

<table>
<tr><td colspan="2">เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี
Office Schedule (Mon-Sat 6.00 – 18.00, Sun & Holiday N/A)</td></tr>
<tr><td colspan="2">ค่า Air Infiltration ที่วัดได้จริง 1.89 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ มีอัตราการรั่วซึมของอากาศเท่ากับ 1.89 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเท่ากับ 135.12 kWh/m^2/yr โดยมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศเท่ากับ 8.07% (10.90 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ</td></tr>
<tr><td colspan="2">การปรับลดตามเกณฑ์ของ Energy Star กำหนดให้ Air Infiltration ≤ 0.50 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เมื่อทดลองปรับลด Air Infiltration = 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star พบว่าสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ ลดลงเหลือ 2.13% (2.88 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ <u>ซึ่งมีอัตราการลดลง เท่ากับ 5.94%</u></td></tr>
</table>

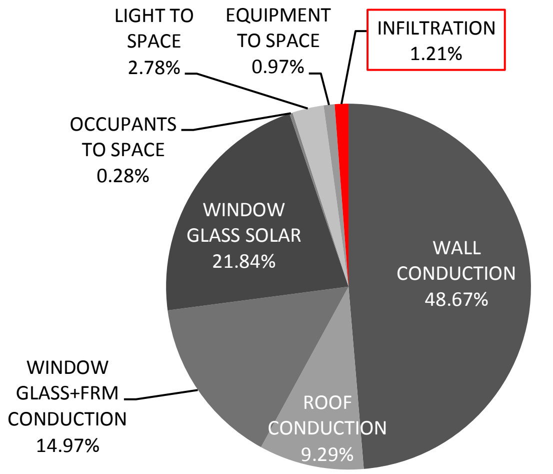
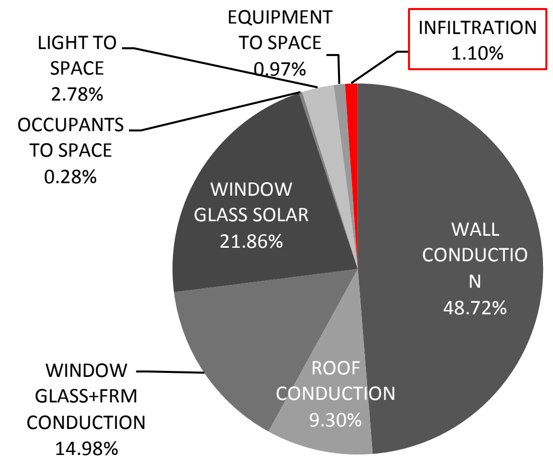
จากตารางที่ 5.13 ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวันแบบ Office Schedule (Mon-Sat 6.00 – 18.00, Sun & Holiday N/A) พบว่าอาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” ที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 1.89 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 135.12 kWh/m^2/yr และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 8.04% (10.90 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มากพอสมควร แต่ก็ยังน้อยกว่าการสูญเสียพลังงานจากปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 48.84% (66.00 kWh/m^2/yr) และปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 18.43% (24.90 kWh/m^2/yr)

ในกรณีที่มีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศลดลงเหลือ 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star นั้นพบว่า การสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศลดลงเหลือ 2.13% (2.88 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการการสูญเสียพลังงานลดลง 5.94% (8.03 kWh/m^2/yr) การปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารเพื่อลดอัตราการรั่วซึมของอากาศจึงเป็นวิธีการที่ช่วยลดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้มากพอสมควร

เมื่อมองในภาพรวม อาคารกรณีศึกษา “เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี” ซึ่งมีการบังแดดที่ดี ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารน้อย และมีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง (WWR) น้อยกว่าบ้านร่วมสมัย ทำให้ประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศกว่าบ้านร่วมสมัยถึง 12.72% ถึงแม้จะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยก็ตาม แสดงให้เห็นว่าอัตรากาารั่วซึมของอากาศส่งผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยด้านอื่นๆ ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้ประมาณ 5.94% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่มากพอสมควร จึงควรมีการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในเรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี ลงโดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคาร ซึ่งเป็นสัดส่วนการลดลงที่มากพอสมควร และเป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้อีกวิธีการหนึ่ง

5.6.7 การวิเคราะห์สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยต่างๆ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

ตารางที่ 5.14 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์"

<table>
<tr><td colspan="2">เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์
Office Schedule (Mon-Sat 6.00 – 18.00, Sun & Holiday N/A)</td></tr>
<tr><td colspan="2">ค่า Air Infiltration ที่วัดได้จริง 0.55 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เรือนไทยประยุกต์ ของสถาบันอาศรมศิลป์ มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 0.55 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 115.35 kWh/m^2/yr โดยมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 1.21% (1.40 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ</td></tr>
<tr><td colspan="2">การปรับลดตามเกณฑ์ของ Energy Star กำหนดให้ Air Infiltration ≤ 0.50 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เมื่อทดลองปรับลด Air Infiltration = 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star พบว่าสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ ลดลงเหลือ 1.10% (1.27 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ <u>ซึ่งมีอัตราการลดลงเท่ากับ 0.11%</u></td></tr>
</table>

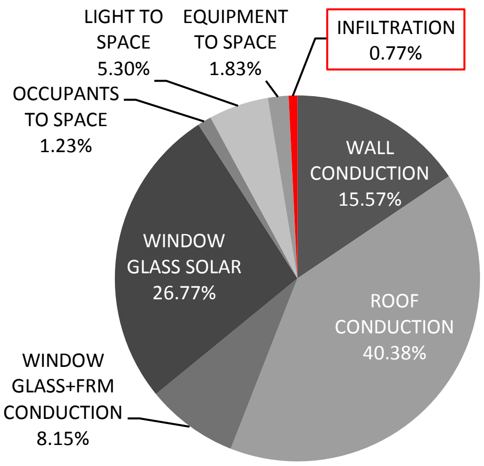
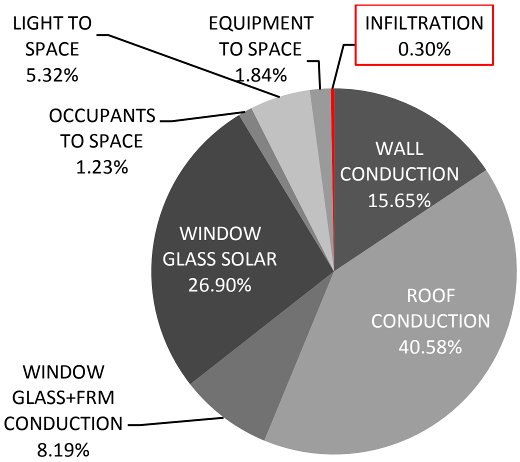
จากตารางที่ 5.14 ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวันแบบ Office Schedule (Mon-Sat 6.00 – 18.00, Sun & Holiday N/A) พบว่าอาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์" ที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 0.55 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 115.35 kWh/m^2/yr และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 1.21% (1.40 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียพลังงานจากปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 48.67% (56.14 kWh/m^2/yr) และปัจจัยรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจกหน้าต่าง ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 21.84% (25.19 kWh/m^2/yr)

ในกรณีที่มีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศลดลงเหลือ 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star นั้นพบว่า การสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศลดลงเหลือ 1.10% (1.27 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการการสูญเสียพลังงานลดลง 0.11% (0.06 kWh/m^2/yr) การปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารเพื่อลดอัตราการรั่วซึมของอากาศจึงเป็นวิธีการที่ช่วยลดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้บ้างแต่ลดลงในปริมาณที่น้อยมาก

เมื่อมองในภาพรวม อาคารกรณีศึกษา "เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์" ซึ่งมีการออกแบบองค์ประกอบอาคารที่ดี มีการบังแดดที่ดี ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารน้อย มีการก่อสร้างส่วนประกอบอาคารที่ค่อนข้างหน้าแน่น ถึงแม้วัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่จะเป็นไม้ก็ตาม ทำให้มีอัตราการรั่วซึมของอากาศน้อยกว่าบ้านร่วมสมัย ส่งผลให้ประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศกว่าบ้านร่วมสมัยถึง 25.49% ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้เพียง 0.11% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่น้อยมาก แสดงให้เห็นว่า เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์ ซึ่งมีค่าอัตราการรั่วซึมอากาศที่น้อยและประหยัดพลังงานอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคาร เพื่อลดค่าการรั่วซึมของอากาศแต่อย่างใด การออกแบบองค์ประกอบอาคารที่ดีโดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดี ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารน้อยอย่างเรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์ จึงเป็นแบบอย่างอาคารประหยัดพลังงานที่ดีแห่งหนึ่ง

5.6.8 การวิเคราะห์สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยต่างๆ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย WWR 30”

ตารางที่ 5.15 ตารางแสดงสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน ในอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย WWR 30”

<table>
<tr><td colspan="2">บ้านร่วมสมัย WWR 0 (อาคารอ้างอิง)
Office Schedule (Mon-Sat 6.00 – 18.00, Sun & Holiday N/A)</td></tr>
<tr><td colspan="2">ค่า Air Infiltration ที่วัดได้จริง 0.56 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>บ้านร่วมสมัย WWR 0 มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 0.56 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 154.82 kWh/m^2/yr โดยมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 0.77% (1.20 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ</td></tr>
<tr><td colspan="2">การปรับลดตามเกณฑ์ของ Energy Star กำหนดให้ Air Infiltration ≤ 0.50 ACH</td></tr>
<tr><td>
</td><td>เมื่อทดลองปรับลด Air Infiltration = 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star พบว่าสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ ลดลงเหลือ 0.30% (0.46 kWh/m^2/yr) ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบปรับอากาศ <u>ซึ่งมีอัตราการลดลงเท่ากับ 0.47%</u></td></tr>
</table>

จากตารางที่ 5.15 ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวันแบบ Office Schedule (Mon-Sat 6.00 – 18.00, Sun & Holiday N/A) พบว่าอาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย WWR 30” ที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 0.56 ACH มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 154.82 $kWh/m^2/yr$ และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 0.77% (1.20 $kWh/m^2/yr$) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการสูญเสียพลังงานจากปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 40.38% (62.52 $kWh/m^2/yr$) ปัจจัยรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจกหน้าต่าง ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 26.77% (41.45 $kWh/m^2/yr$) และปัจจัยจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับ 15.57% (24.11 $kWh/m^2/yr$) ตามลำดับ

ในกรณีที่มีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศลดลงเหลือ 0.50 ACH ตามเกณฑ์ของ Energy Star นั้นพบว่า การสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศลดลงเหลือ 0.30% (0.46 $kWh/m^2/yr$) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งมีอัตราการการสูญเสียพลังงานลดลง 0.47% (0.73 $kWh/m^2/yr$) การปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารเพื่อลดอัตราการรั่วซึมของอากาศจึงเป็นวิธีการที่ช่วยลดพลังงานในระบบปรับอากาศลงได้บ้างแต่ลดลงในปริมาณที่น้อยมาก

เมื่อมองในภาพรวม อาคารกรณีศึกษา “บ้านร่วมสมัย WWR 30” ซึ่งเป็นอาคารที่มีการออกแบบองค์ประกอบอาคารที่ไม่ดีนัก มีการบังแดดน้อย ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารมาก ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศมากกว่าอาคารเรือนไทยถึง 12.72 – 25.49% ถึงแม้จะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศน้อยกว่าอาคารเรือนไทยก็ตาม ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้เพียง 0.47% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่น้อยมาก แสดงให้เห็นว่าอัตราการั่วซึมของอากาศไม่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศมากมายอย่างที่คนส่วนใหญ่คาดการณ์ไว้ แต่สิ่งที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานมากกว่าคือการออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี โดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดีและการใช้วัสดุที่มีมวลสารน้อย อย่างการออกแบบอาคารเรือนไทยและเรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์

สรุปการวิเคราะห์สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศ

จากการวิเคราะห์สัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากปัจจัยด้านต่างๆ เปรียบเทียบกับปัจจัยการรั่วซึมของอากาศที่วัดได้ในอาคารกรณีศึกษา พบว่า

1. เรือนไทยจุฬา เป็นอาคารที่ประหยัดพลังงานอยู่แล้ว ซึ่งประหยัดพลังงานกว่าบ้านร่วมสมัยประมาณ 34.83% แต่ยังคงมีอัตราการรั่วซึมของอากาศในปริมาณที่สูงกว่าคือ 1.03 ACH และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 7.26% (2.76 kWh/m^2/yr) ของพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศทั้งหมด ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้ประมาณ 3.75% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ก็เป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้อีกแนวทางหนึ่ง

2. เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี เป็นอาคารที่ประหยัดพลังงานอยู่แล้วเช่นเดียวกับเรือนไทยจุฬา ซึ่งประหยัดพลังงานกว่าบ้านร่วมสมัยประมาณ 28.26% แต่ยังคงมีอัตราการรั่วซึมของอากาศในปริมาณที่สูงกว่าคือ 1.89 ACH และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 9.80% (4.10 kWh/m^2/yr) ของพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศทั้งหมด ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้ประมาณ 7.21% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่มากพอสมควร จึงควรมีการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในเรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี ลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารเพื่อช่วยการอนุรักษ์พลังงานในอาคารต่อไป

3. เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์ เป็นอาคารที่ประหยัดพลังงานอยู่แล้วเช่นเดียวกับเรือนไทยจุฬาและเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ ซึ่งประหยัดพลังงานกว่าบ้านร่วมสมัยประมาณ 32.70% และยังมีอัตราการรั่วซึมของอากาศในปริมาณที่น้อยกว่าคือ 0.55 ACH และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 1.60% (0.63 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการ

ต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้เพียง 0.15% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่น้อยมาก แสดงให้เห็นว่า เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์ ซึ่งมีค่าอัตราการรั่วซึมอากาศที่น้อยและประหยัดพลังงานอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคาร เพื่อลดค่าการรั่วซึมของอากาศแต่อย่างใด การออกแบบองค์ประกอบอาคารที่ดี โดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดี ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารน้อยอย่าง เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์ จึงเป็นแบบอย่างอาคารประหยัดพลังงานที่ดีแห่งหนึ่ง

4. บ้านร่วมสมัย WWR 30 ซึ่งเป็นอาคารที่มีการออกแบบองค์ประกอบอาคารที่ไม่ดีนัก มีการบังแดดน้อย ใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีมวลสารมาก ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศมากกว่าอาคารเรือนไทยถึง 28.25 - 34.83% ถึงแม้จะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศน้อยกว่าอาคารเรือนไทยก็ตาม (0.56 ACH) และมีสัดส่วนการสูญเสียพลังงานในระบบปรับอากาศจากอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 1.66% (0.97 kWh/m^2/yr) ของพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด ในการลดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศลง โดยการปิดรอยรั่วของเปลือกอาคารด้วยวิธีการต่างๆนั้น พบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานลงได้เพียง 0.17% ซึ่งถือว่าประหยัดพลังงานลงในปริมาณที่น้อยมาก แสดงให้เห็นว่าอัตราการั่วซึมของอากาศไม่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศมากมายอย่างที่คนส่วนใหญ่คาดการณ์ไว้ แต่สิ่งที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานมากกว่าคือ การออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี โดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดีและการใช้วัสดุที่มีมวลสารน้อย อย่างอาคารเรือนไทยและเรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์

จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของการรั่วซึมอากาศส่งต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยด้านอื่นๆ โดยเฉพาะปัจจัยด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและปัจจัยของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจกหน้าต่าง ในการลดอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารลงเพื่อให้ได้เกณฑ์ตามมาตรฐานของ Energy Star คือมีอัตราการรั่วซึมของอากาศไม่เกิน 0.50 ACH พบว่า การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานลดลงเพียง 2.53% ในขณะที่การออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี โดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดี การใช้วัสดุที่ไม่ดูดซับความร้อน อย่างอาคารเรือนไทย ช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานได้มากถึง 28.25 - 34.83% ฉะนั้นในการลดอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคาร โดยการปิดรูหรือ

รอยรั่วซึมบริเวณเปลือกอาคาร สามารถทำให้ประหยัดพลังงานลงได้ แต่ไม่มากเท่ากับการออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี อย่างการออกแบบอาคารเรือนไทย

จึงสามารถสรุปได้ว่า อาคารเรือนไทยส่วนใหญ่ มีอัตราการรั่วซึมอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยจริง แต่ไม่ได้ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากนัก จึงทำให้อาคารเรือนไทยสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า ซึ่งตรงตามสมมุติฐานของการวิจัยที่ตั้งเอาไว้

ตารางที่ 5.16 แสดงผลการตรวจสอบสมมุติฐานของการวิจัย (ต่อจากบทที่ 4)

สมมุติฐาน	ผลการศึกษา	ตรวจสอบสมมุติฐาน
1. ค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทย มีปริมาณมากกว่าบ้านร่วมสมัย	ค่าอัตราการรั่วซึมอากาศของอาคารเรือนไทย มีปริมาณมากกว่าบ้านร่วมสมัย	**สมมุติฐาน ถูกต้อง**
2. ค่าการรั่วซึมอากาศส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศน้อย	ค่าการรั่วซึมอากาศส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศน้อย	**สมมุติฐาน ถูกต้อง**
3. เรือนไทยที่ติดตั้งระบบปรับอากาศสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศน้อยกว่าบ้านร่วมสมัย	เรือนไทยที่ติดตั้งระบบปรับอากาศสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศน้อยกว่าบ้านร่วมสมัย	**สมมุติฐาน ถูกต้อง**

เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลจากการศึกษาเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำข้อมูลไปทำการสรุปผลและอภิปรายผลการศึกษาต่อไป

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

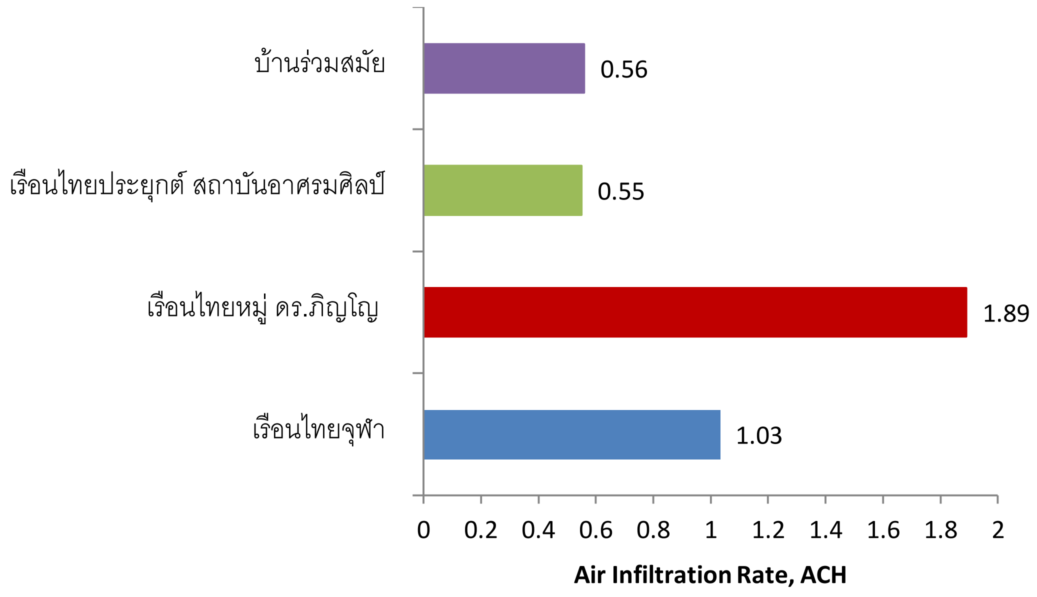
จากการศึกษาเรื่องผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย สามารถสรุปผลการวิจัยได้เป็น 2 เรื่องหลัก คือ 1) ผลการศึกษาและวัดค่าการรั่วซึมอากาศในอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย และ 2) ผลการศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

6.1.1 ผลการศึกษาและวัดค่าการรั่วซึมของอากาศในอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย

จากการศึกษาและทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 สามารถสรุปได้ว่า <u>อาคารเรือนไทยมีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัย</u> โดยที่เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี มีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด คือ 1.89 ACH รองลงมาเป็น เรือนไทยจุฬา 1.03 ACH, บ้านร่วมสมัย 0.56 ACH และเรือนไทยประยุกต์ ของ สถาบันอาศรมศิลป์ มีอัตราการรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด คือ 0.55 ACH ตามลำดับ โดยแสดงไว้ในตารางที่ 6.1 และภาพแผนภูมิที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงผลการการศึกษาและทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศ

อาคารกรณีศึกษา	*n*	*C*	*dP*	Air Leakage Rate, CFM	Infiltration Rate, ACH
เรือนไทยจุฬา	0.96	16.47	3.30	51.82	1.03
เรือนไทยหมู่ ดร.ภิญโญ	0.65	8.63	35.10	87.19	1.89
เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	0.91	13.62	7.60	86.24	0.55
บ้านร่วมสมัย	0.67	11.56	13.00	64.46	0.56



แผนภูมิที่ 6.1 แสดงผลการวัดค่าอัตราการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษาตามมาตรฐาน ASTM E779-03

จากแผนภูมิที่ 6.1 จะเห็นได้ชัดว่า เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี มีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากที่สุด ซึ่งการรั่วซึมอากาศส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบริเวณขอบประตูหน้าต่าง ที่มีการออกแบบให้เป็นบานประตูหน้าต่างแบบเรือนไทยเดิม โดยการฝังเดือยบนล่าง ซึ่งทำให้มีร่องห่างระหว่างบานประตูหน้าต่างกับวงกบค่อนข้างมาก ไม่แนบสนิทเหมือนแบบบานประตูหน้าต่างในท้องตลาดปัจจุบัน จึงส่งผลให้เกิดการรั่วซึมในบริเวณดังกล่าวค่อนข้างมาก ส่วนเรือนไทยจุฬาได้มีการแก้ปัญหาการรั่วซึมอากาศในจุดดังกล่าว โดยการติดตั้งกระจกติดตายด้านนอกของบานหน้าต่างไม้ จึงช่วยลดการรั่วซึมอากาศในจุดดังกล่าวได้ ส่งผลให้อัตราการรั่วซึมของอากาศในเรือนไทยจุฬาน้อยกว่าเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ อย่างเห็นได้ชัด

วัสดุที่ใช้ก่อสร้างเรือนไทยส่วนใหญ่เป็นไม้ ทั้งพื้น ผนัง และฝ้าเพดาน ซึ่งพบว่าจุดที่เป็นสาเหตุในการรั่วซึมอากาศในอาคารเรือนไทย คือ รอยต่อของไม้ โดยเฉพาะรอยต่อของพื้นกับผนัง รอยต่อของผนังไม้กับฝ้าเพดาน รวมถึงรอยต่อของประตูหน้าต่างด้วย จึงทำให้เรือนไทยมีการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยที่เป็นอาคารปูน แต่เมื่อกลับไปพิจารณาเรือนไทยประยุกต์ ของสถาบันอาศรมศิลป์ ซึ่งวัสดุก่อสร้างส่วนใหญ่เป็นไม้เช่นเดียวกับเรือนไทยจุฬาและเรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ กลับมีค่าการรั่วซึมอากาศน้อยกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากเรือนไทยประยุกต์ ของสถาบันอาศรมศิลป์ มีการก่อสร้างองค์ประกอบอาคารค่อนข้างหนาแน่น เช่น การตีคิ้วปิดรอยต่อของผนังไม้ รอยต่อพื้นกับผนัง และรอยต่อของผนังกับฝ้าเพดาน รวมถึงมีการใช้

กระจกทำเป็นฝ้าเพดานและการก่อสร้างประตูหน้าต่างที่ได้มาตรฐาน ทำให้เรือนไทยประยุกต์ ของสถาบันอาศรมศิลป์ มีอัตราการรั่วซึมของอากาศน้อยกว่าเรือนไทยจุฬาและเรือนไทยหมู่ของดร. ภิญโญ อย่างเห็นได้ชัด และมีอัตราการรั่วซึมอากาศเทียบกับบ้านร่วมสมัยในปัจจุบัน

6.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

จากการศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยการจำลองและคำนวณค่าการใช้พลังงานในโปรแกรม DOE-2.1E พบว่า อาคารเรือนไทย ซึ่งมีค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัย แต่กลับใช้พลังงานในระบบปรับอากาศน้อยกว่าบ้านร่วมสมัย จึงสรุปได้ว่า

1) อัตราการรั่วซึมของอากาศมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศในปริมาณที่น้อย
2) เรือนไทยที่ติดตั้งระบบปรับอากาศสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศน้อยกว่าบ้านร่วมสมัย

ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดผลการศึกษาได้ดังนี้

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงผลการการศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

อาคารกรณีศึกษา	Infiltration Rate, ACH	Cooling Energy, kWh/m^2/yr	
		Residence Schedule 18.00 -6.00	Office Schedule 6.00 -18.00
เรือนไทยจุฬา	1.03	37.96	119.73
เรือนไทยหมู่ ดร.ภิญโญ	1.89	41.79	135.12
เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์	0.55	39.20	115.35
บ้านร่วมสมัย	0.56	58.25	154.82

จากตารางที่ 6.2 จะเห็นได้ว่าในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืนแบบบ้านพักอาศัย (Residence Schedule 18.00 – 6.00) บ้านร่วมสมัยมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุด คือ 58.25 kWh/m^2/yr รองลงมาเป็น เรือนไทยหมู่ ของ ดร.

ภิญโญ สุวรรณคีรี 41.79 kWh/m^2/yr, เรือนไทยประยุกต์ ของสถาบันอาศรมศิลป์ 39.20 kWh/m^2/yr และ เรือนไทยจุฬามีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศน้อยที่สุด คือ 37.96 kWh/m^2/yr จึงสามารถสรุปได้ว่า ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางคืนแบบบ้านพักอาศัย อาคารเรือนไทยประหยัดพลังงานมากกว่าบ้านร่วมสมัยประมาณ 28.25 - 34.83% ถึงแม้ว่ากลุ่มอาคารเรือนไทยจะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าบ้านร่วมสมัยก็ตาม

ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวันแบบอาคารสำนักงาน (Office Schedule 6.00 – 18.00 น) บ้านร่วมสมัยก็ยังมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุดเช่นกันคือ 154.82 kWh/m^2/yr รองลงมาเป็น เรือนไทยหมู่ ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี 135.12 kWh/m^2/yr เรือนไทยจุฬา 119.73 kWh/m^2/yr และ เรือนไทยประยุกต์ ของสถาบันอาศรมศิลป์มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศน้อยที่สุด คือ 115.35 kWh/m^2/yr จึงสามารถสรุปได้ว่า ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในเวลากลางวันแบบอาคารสำนักงาน อาคารเรือนไทยประหยัดพลังงานมากกว่าบ้านร่วมสมัยประมาณ 12.72 – 25.49%

แสดงให้เห็นว่า อัตราการรั่วซึมของอากาศมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศน้อยมาก โดยเฉพาะอาคารที่อยู่ในเขตอากาศแบบร้อนอย่างเมืองไทย สิ่งที่มีผลต่อการใช้พลังงานมากกว่า คือ การออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี โดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดี การใช้วัสดุที่ไม่ดูดซับความร้อนอย่างอาคารเรือนไทย จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานได้มากกว่า จึงทำให้ เรือนไทยที่ติดตั้งระบบปรับอากาศสิ้นเปลืองพลังงานในระบบปรับอากาศน้อยกว่าบ้านร่วมสมัย ซึ่งตรงตามสมมุติฐานของการวิจัยที่ตั้งเอาไว้

6.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้เป็น 2 เรื่องหลัก คือ 1) การป้องกันการรั่วซึมอากาศในอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย และ 2) ผลการศึกษาอิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

6.2.1 การป้องกันการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา

สามารถอธิบายจุดที่มักพบการรั่วซึมของอากาศและวิธีการป้องกันการรั่วซึมของอากาศในแต่ละอาคารได้ดังนี้

1) เรือนไทยจุฬา มีการออกแบบให้เป็นเรือนไทยเดิม ที่เน้นการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ไม่ได้ออกแบบเพื่อติดตั้งระบบปรับอากาศตั้งแต่ต้น เมื่อมีการติดตั้ง

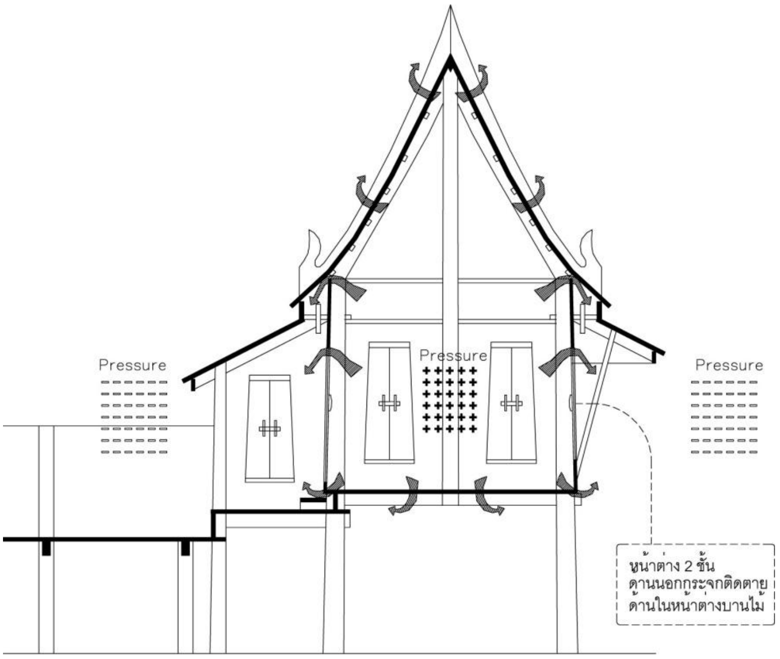
เครื่องปรับอากาศเพื่อใช้งาน จึงมีการปรับปรุงอาคารโดยการติดตั้งกระจกบานติดตายภายนอกของหน้าต่างทุกบาน จึงช่วยลดอัตราการรั่วซึมของอากาศลงได้ การรั่วซึมของอากาศส่วนใหญ่ในเรือนไทยจุฬา จะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของผนังกับหลังคา เนื่องจากไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน รอยต่อพื้นกับผนัง และรอยแตกของผนังไม้ วิธีการลดอัตราการรั่วซึมของอากาศสามารถใช้กรณีศึกษาจากเรือนไทยประยุกต์ของสถาบัน ของอาศรมศิลป์เป็นแบบอย่างได้ โดยการติดตั้งฝ้าเพดาน ตีคิ้วปิดบริเวณรอยต่อของพื้นกับผนัง รอยต่อของผนังกับฝ้าเพดาน และตีคิ้วปิดบริเวณรอยต่อของไม้ทั้งฝาผนังและพื้น รวมถึงโป๊วยาแนวรอยแตกของไม้ ซึ่งจะช่วยลดการรั่วซึมอากาศลงได้

2) เรือนไทยหมู่ของ ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี มีการออกแบบเพื่อติดตั้งระบบปรับอากาศตั้งแต่ต้น ซึ่งมีการติดตั้งฝ้าเพดานไม้แบบเข้าลิ้น มีการตีคิ้วปิดบริเวณรอยต่อของพื้นกับผนัง รอยต่อของผนังกับฝ้าเพดาน และโป๊วยาแนวรอยต่อของไม้ทุกจุด ทำให้เปลือกอาคารมีความแน่นหนาค่อนข้างมาก แต่รูปแบบของประตูหน้าต่างยังมีรูปแบบเดียวกับเรือนไทยเดิมในอดีต ซึ่งทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศในส่วนนี้ค่อนข้างมาก ส่งผลให้มีอัตราการรั่วซึมของอากาศมากกว่าอาคารหลังอื่นมาก วิธีการลดอัตราการรั่วซึมของอากาศสามารถทำได้โดย เปลี่ยนวงกบประตูหน้าต่างให้มีบังใบหรือเพิ่มแผ่นยางเพื่อลดการรั่วซึม (กุสกาน่า กาบาฮา, 2549)

3) เรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์ มีการออกแบบเพื่อรองรับทั้งการระบายอากาศแบบธรรมชาติและการติดตั้งระบบปรับอากาศ โดยการออกแบบให้มีฝ้าเพดานเป็นกระจกฝ้ากรอบอลูมิเนียม สามารถเลื่อนสไลด์เปิด-ปิดได้ มีประตูหน้าต่างเป็นบานไม้ลูกฟักกระจก มีการตีคิ้วปิดบริเวณรอยต่อของพื้นกับผนัง รอยต่อของผนังกับฝ้าเพดาน รอยต่อของไม้ทั้งฝาผนังและพื้น ทำให้มีอัตราการรั่วซึมของอากาศมีเพียง 0.55 ACH) จึงสามารถนำรูปแบบและเทคนิคการก่อสร้างเรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์เป็นต้นแบบในการป้องกันการรั่วซึมของอากาศได้เป็นอย่างดี

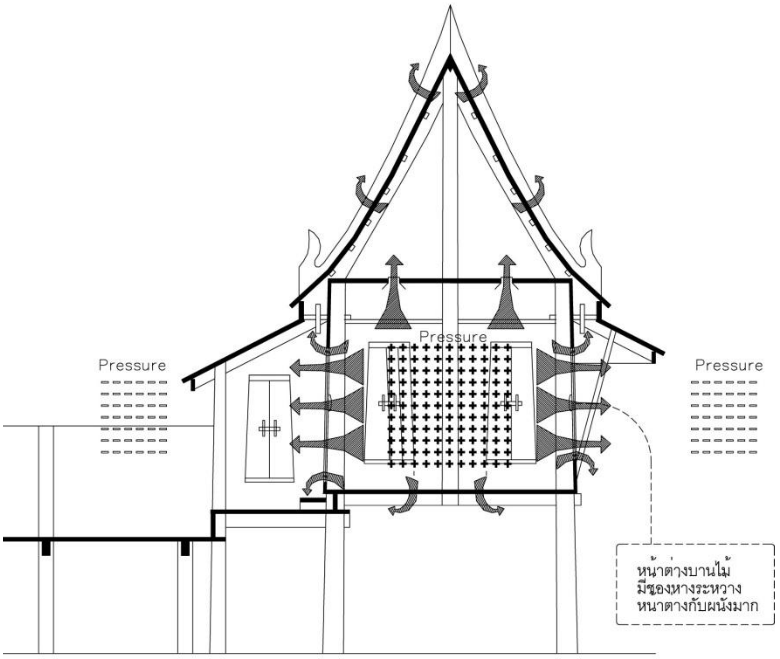
4) บ้านร่วมสมัย WWR 30 ซึ่งเป็นอาคารอ้างอิง มีอัตราการรั่วซึมของอากาศ เท่ากับ 0.56 ACH การรั่วซึมอากาศส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบริเวณ รอยต่อของประตูหน้าต่างกับวงกบ วิธีการลดอัตราการรั่วซึมของอากาศสามารถทำได้โดยการเพิ่มแผ่นยางที่ประตูหน้าต่างเพื่อลดการรั่วซึม

จากการศึกษาสามารถแสดงจุดที่มักเกิดการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษาแต่ละอาคารได้ดังรูปภาพที่ 6.1 และ รูปภาพที่ 6.2



Pressure Difference 3.30 Pa
Air Lakage Rate 51.82 CFM
Air Change per Hour 1.03 ACH

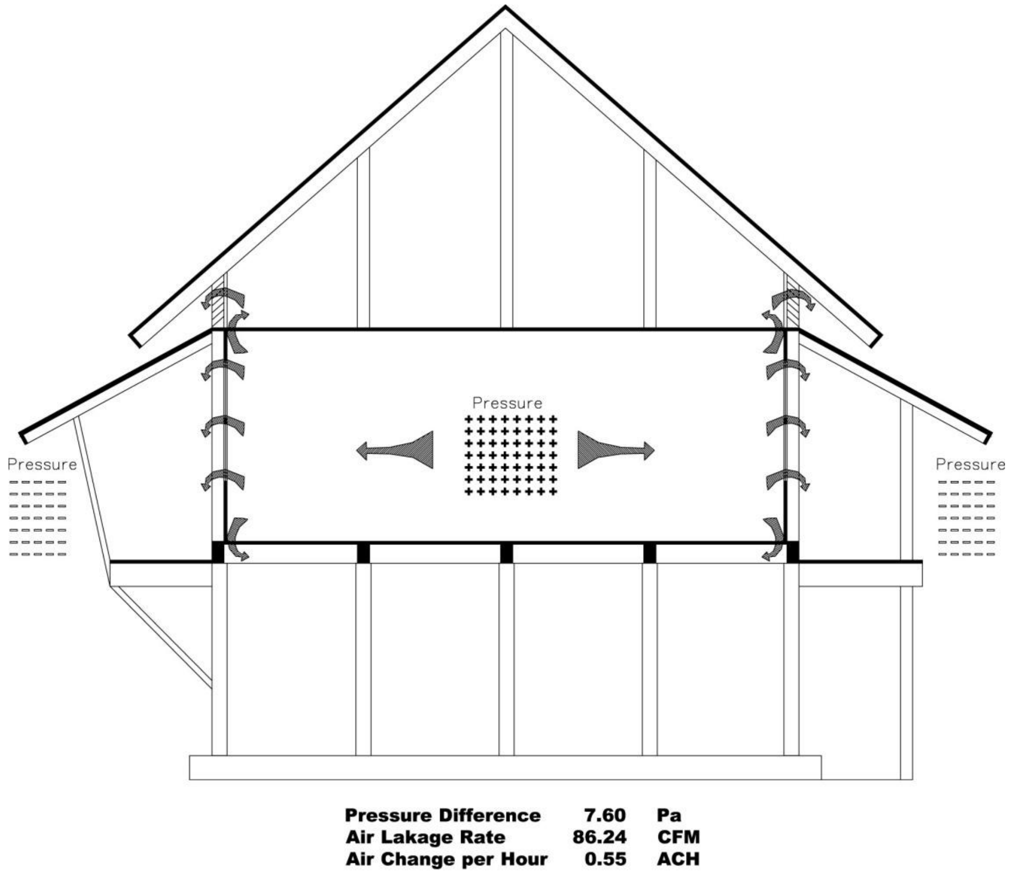
<u>เรือนไทยจุฬา</u>



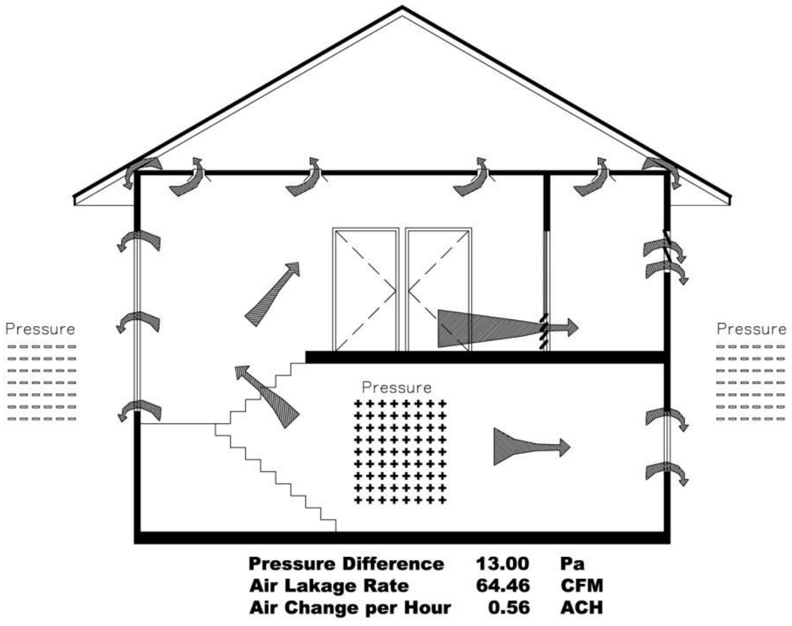
Pressure Difference 35.10 Pa
Air Lakage Rate 87.19 CFM
Air Change per Hour 1.89 ACH

<u>เรือนไทยจุฬาหมู่ ดร.ภิญโญ</u>

ภาพที่ 6.1 แสดงจุดที่มักเกิดการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา



เรือนไทยประยุกต์ สถาบันอาศรมศิลป์



บ้านร่วมสมัย

ภาพที่ 6.2 แสดงจุดที่มักเกิดการรั่วซึมอากาศในอาคารกรณีศึกษา (ต่อ)

จากผลการวัดค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา เมื่อนำไปเทียบกับมาตรฐานของ Energy Star พบว่าอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษา ยังไม่มีอาคารใดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่ง Energy Star กำหนดอัตราการรั่วซึมของอากาศในบ้านพักอาศัยต้องไม่เกิน 0.50 ACH (Energy Star Home Sealing Specification, 2001) มีเพียงบ้านร่วมสมัยและเรือนไทยประยุกต์ของสถาบันอาศรมศิลป์ที่มีอัตราการรั่วซึมของอากาศในอัตราที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานของ Energy Star

อย่างไรก็อัตราการรั่วซึมของอากาศขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมภายนอกที่ส่งผลให้เกิดความดันแตกต่างระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ในประเทศที่เป็นเมืองหนาวจะมีอัตราการรั่วซึมของอากาศที่สูงกว่าเมืองร้อนอย่างประเทศไทย เนื่องจากเมืองหนาวมีอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารแตกต่างกันมาก ประกอบกับมีกระแสลมแรง จึงทำให้ภายในและภายนอกอาคารมีความดันอากาศแตกต่างกันมาก ซึ่งจะทำให้มวลอากาศที่มีความดันเป็นบวกพยายามแทรกซึมผ่านรูหรือรอยแตกของเปลือกอาคารไปหามวลอากาศที่มีความดันเป็นลบ ส่งผลให้เกิดการรั่วซึมอากาศในปริมาณที่มากกว่า ส่วนสภาพภูมิอากาศแบบเมืองร้อนอย่างประเทศไทย ไม่ได้ส่งผลต่อการรั่วซึมของอากาศมากนัก ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากผลการทดลอง ที่วัดค่าการรั่วซึมของอากาศในอาคารกรณีศึกษาได้อยู่ในช่วง 0.5 – 2.0 ACH ในขณะที่บ้านพักอาศัยในเมืองหนาววัดค่าการรั่วซึมของอากาศได้อยู่ในช่วง 2.0 – 5.0 ACH (Juha Jokisalo, 2008)

6.2.2 อัตราการรั่วซึมของอากาศต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในอาคารเรือนไทย

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการรั่วซึมของอากาศมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศน้อยมาก โดยเฉพาะอาคารที่อยู่ในเขตอากาศแบบร้อนชื้นอย่างเมืองไทย สิ่งที่มีผลต่อการใช้พลังงานมากกว่า คือ การออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี โดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดี การใช้วัสดุที่ไม่ดูดซับความร้อน อย่างอาคารเรือนไทย ช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานได้มากกว่า

ในการลดอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคารลงเพื่อให้ได้เกณฑ์ตามมาตรฐานของ Energy Star คือมีอัตราการรั่วซึมของอากาศไม่เกิน 0.50 ACH พบว่า การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ มีค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานลดลงเพียง 2.53% ในขณะที่การออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี โดยเฉพาะเรื่องการบังแดดที่ดี การใช้วัสดุที่ไม่ดูดซับความร้อนอย่างอาคารเรือนไทย ช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานได้มากถึง 28.25 - 34.83% ฉะนั้นในการลดอัตราการรั่วซึมของอากาศในอาคาร โดยการปิดรูหรือรอยรั่วซึมบริเวณเปลือกอาคาร สามารถทำ

ให้ประหยัดพลังงานลงได้ แต่ไม่มากเท่ากับการออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ดี อย่างการออกแบบอาคารเรือนไทย

6.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเรื่องผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารเรือนไทยและบ้านร่วมสมัย โดยการศึกษาและทดลองวัดค่าการรั่วซึมของอากาศโดยวิธีการ Fan Pressurization Method ตามมาตรฐาน ASTM E779-03 และคำนวณการใช้พลังงานจากอิทธิพลของการรั่วซึมอากาศในโปรแกรม DOE-2.1E พบว่ายังมีเรื่องที่ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการรั่วซึมของอากาศในอาคารที่อยู่ในสภาพอากาศเขตร้อนอย่างประเทศไทยอีกมาก เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการนำไปศึกษาต่อไป ได้แก่

1) ควรมีการศึกษาและเก็บข้อมูลการรั่วซึมของอากาศในบ้านร่วมสมัยเพิ่มเติม โดยการแยกประเภทบ้านร่วมสมัย ตามลักษณะของเปลือกอาคาร อายุของอาคาร สัดส่วน WWR ซึ่งปัจจัยดังกล่าวล้วนแล้วแต่มีผลต่อการรั่วซึมของอากาศทั้งสิ้น

2) ควรมีการศึกษาผลกระทบของการรั่วซึมของอากาศ ต่อผลการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในอาคารประเภทอื่น เช่น อาคารสูงหรืออาคารสำนักงาน ที่ได้รับอิทธิพลของกระแสลมมากกว่าบ้านพักอาศัย ซึ่งอาจทำให้เกิดการรั่วซึมอากาศในปริมาณที่มากกว่า

3) ควรมีการพัฒนาอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ทดลองวัดค่าการรั่วการรั่วซึมของอากาศต่อจากอุปกรณ์ที่มีอยู่ เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและการติดตั้ง

4) ควรมีการศึกษาและกำหนดค่ามาตรฐานการรั่วซึมอากาศในอาคารแต่ละประเภท เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบและมาตรฐานในการก่อสร้างอาคารในประเทศไทยต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิติศักดิ์ อนันต์พูนพล. การศึกษารูปแบบของเรือนไทยเพื่อการประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาวะปัจจุบัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

กูสกานา กูบาฮา และ สุทธิพงศ์ เนื่องเยาว์. การศึกษาลักษณะการรั่วซึมอากาศของหน้าต่างและประตู. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3 คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี , 2550.

ประวิตร กิตติชาญธีระ. ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ศศิน วิบูลบัณฑิตยกิจ. อิทธิพลของการรั่วซึมของอากาศต่อการใช้พลังงานในอาคารปรับอากาศผ่านทางผนังและช่องเปิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

สมพงษ์ นามทวีสุข. แนวทางการสร้างแบบประเมินค่าการรั่วซึมของอากาศผ่านทางประตู-หน้าต่าง และผนังของอาคารพักอาศัยที่มีการปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

สมภพ ภิรมย์. บ้านไทยภาคกลาง. กรุงเทพมหานคร, 2554.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

สุบิน วงศ์ฝั้น. แนวทางการใช้รูปแบบการไหลเวียนกระแสลมของเรือนไทยในบ้านพักอาศัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

อรรจน์ เศรษฐบุตร และ ธนิต จินดาวณิค. การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3 ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ฤทัย ใจจงรัก. เรือนไทยเดิม. กรุงเทพมหานคร, 2518.

ภาษาอังกฤษ

American Society for Testing and Materials. ASTM E283 - 04 Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors under Specified Pressure Differences across the Specimen. [Online]. 2004. Available from: http://www.astm.org.

American Society for Testing and Materials. ASTM E741 Standard Test Method for Measuring Air Leakage Rate by Tracer Dilution. [Online]. 1996. Available from: http://www.astm.org.

American Society for Testing and Materials. ASTM E779-03 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization. [Online]. 2003. Available from: http://www.astm.org.

American Society for Testing and Materials. ASTM E783-02 Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage Through Installed Exterior Windows and Doors. [Online]. 2002. Available from: http://www.astm.org.

Chicago heating repair. Fan Pressurization Method. [Online]. 2001. Available from: http://www.chicagoheating-repair.com.

Energy Star. Home Sealing Specification. [Online]. 2001. Available from: http://www.energystar.gov.

Infrared diagnostic. Blower Door Testing. [Online]. 2001. Available from: http://www.infrareddiagnostic.com.

International Organization for Standardization. ISO 9972: 2006 Thermal performance of buildings-Determination of air permeability of buildings- Fan pressurization method. [Online]. 2006. Available from: http://www.iso.org.

J.Jokisalo, J.Kurnitski, M.Korpi,and T.Kalamees. Building leakage, infiltration, and energy performance analyses for Finnish detached houses. [Online]. 2008. Available from: http:// www.sciencedirect.com.

Nachi. Blower Door Test. [Online]. 2001. Available from: http://www.nachi.org-blower-door-test.com.

The 2009 ASHRAE Handbook Fundamentals. Ventilation and Infiltration. [Online]. 1999. Available from: http://www.ashrae.org.

University of California Berkeley. DOE-2 Basic. [Online]. 1991. Available from: http://gundog.lbl.gov/dirsoft/d2whatis.html.

V. Kootin-Sanwa, A. Sreshthaputra ,and J.S. Haberl. Short-term monitoring to diagnose comfort problems in a residence in Central Texas. [Online]. 1999. Available from: http://repository.tamu.edu/handle/1969.1/6773.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายคำรน สุทธิ เกิดเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2519 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาตรี สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2543 เข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553