

การออกแบบบ้านแถวเพื่อใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ



นาย ศักดา เชื้อวั้นทวงศ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

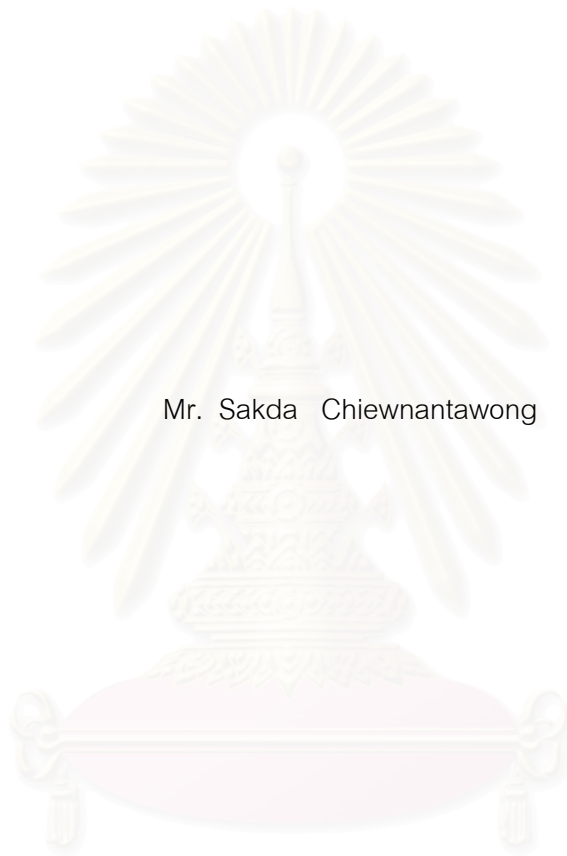
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6512-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TOWNHOUSE DESIGN WITH ENERGY EFFICIENCY



Mr. Sakda Chiewnantawong

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6512-6

ศักดา เชี่ยวนันทวงศ์ การออกแบบบ้านแถวเพื่อใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

(TOWNHOUSE DESIGN WITH ENERGY EFFICIENCY) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วย

ศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงนิค , อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุต

185 หน้า. SIBN : 974-17-6512-6

วัตถุประสงค์สำคัญของการทำวิจัยครั้งนี้ คือการหารูปแบบทางสถาปัตยกรรมของอาคารบ้านแถวที่มีสภาวะน่าสบายเหมาะกับการอยู่อาศัยและมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศไทย การวิจัยครั้งนี้ได้แยกการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการสำรวจ, ประเมินและวิเคราะห์ทางด้านสภาวะน่าสบายภายในอาคาร เช่น เรื่องอุณหภูมิ, ความชื้น และแสงสว่างธรรมชาติภายใน และทางด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยทำการจำลองอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แล้วนำมาใช้เป็นตัวแทนของอาคารกรณีศึกษา เพื่อใช้ประเมินผลสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานในอาคาร ส่วนที่สองเป็นการพิจารณาหาแนวทางการปรับปรุงองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของอาคาร เพื่อหาแนวทางการออกแบบบ้านแถวที่ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการวิจัย พบว่าอาคารกรณีศึกษานี้มีระบบเปลือกอาคาร เช่น ผนังทึบ , กระจกหน้าต่าง และวัสดุผนังหลังคา ที่มีคุณสมบัติและประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการต้านทานความร้อนจากภายนอก จึงทำให้ความร้อนจากภายนอกผ่านเข้ามาภายในอาคารได้มาก ซึ่งจะทำให้สภาวะน่าสบายภายในอาคารลดลงและทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นภายในอาคารมากขึ้น สำหรับการใส่พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดไว้โดยยังมีค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งาน

จากการศึกษาสามารถสรุปแนวทางการออกแบบบ้านแถวเพื่อสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ 2 ส่วน กล่าวคือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบบ้านแถวเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายโดยจะมีแนวทางการออกแบบ 3 วิธี คือ การระบายอากาศในตอนกลางวัน , การติดตั้งฉนวนกันความร้อนให้กับผนังทึบ และ การติดตั้งแผงกันแดดภายนอกอาคาร ซึ่งจะช่วยเพิ่มระดับสภาวะน่าสบายภายในอาคารให้มากกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 10 % ส่วนที่สองเป็นการออกแบบบ้านแถวเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้นจะมีแนวทางการออกแบบ คือ การใช้กระจกสองชั้น ซึ่งจะทำการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารลดลงน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 17 %

ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	การออกแบบเน้นเทคโนโลยี	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2547	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4674173825 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: ENERGY / EFFICIENCY / ARCHITECTURAL DESIGN / THERMAL COMFORT

SAKDA CHIEWNANTAWONG : TOWNHOUSE DESIGN WITH ENERGY EFFICIENCY. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. THANIT CHINDAVANIG, THESIS COADVISOR : DOCTOR. ATCH SRESHTHAPUTRA, 185 pp. ISBN 974-17-6512-6.

The aim of this study is to research an ideal architectural design for housing with an ambient environment and efficient use of energy in Thailand. The study is divided into 2 parts. The first dealt with survey, assessment and analysis of internal ambient environment such as temperature, humidity and natural internal light and internal use of energy. A building model on computer is used as a case study to assess the ambient environment and the use of energy. From this analysis, guidelines are proposed for improving architectural elements to be used in designing a townhouse using energy efficiently.

It was found that the building envelope of the model, including walls, glass windows and roofing materials, could not resist external heat. As a result, a lot of heat penetrated into the building, reducing the ambient environment. In addition, more energy was used for internal cooling. The energy used for the lighting system was in line with the standard required by law and the lighting served its purpose.

The guidelines for designing an ideal townhouse with ambient environment and efficient use of energy can be divided into 2 parts. The first part covers designing a townhouse with an ambient environment provided through natural air conditioning. This can be done in 3 ways: air ventilation at night, installation of insulation in walls and installation of shades outside the building. The 3 methods will increase the ambient environment level inside the building by 10%. The second part covers designing an energy - efficient townhouse with air-conditioning by installing double glass panes, resulting in a reduction in the use of energy by 17%.

Department	ARCHITECTURE	Student's signature.....
Field of study	ARCHITECTURE	Advisor's signature.....
Academic year	2004	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดีครั้งนี้ ทางผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์ , อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร , ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฉันทวิลาสวงศ์ และ กรรมการ ทุกๆท่าน เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำและความรู้ต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอบคุณ ครอบครัวของผู้วิจัย , พี่นุช , นุ้ย , ปอนด์, นิ่ง และ เพื่อนๆร่วมรุ่นที่ให้ คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ทางผู้วิจัยต้องขอพระขอบคุณ มารดา ของผู้วิจัยที่มอบความรักให้กับผู้วิจัย อย่างบริสุทธิ์ใจตลอดมาและตลอดไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
สารบัญแผนภูมิ	ฑ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การถ่ายเทพลังงานความร้อน.....	4
2.1.1 การนำความร้อน	4
2.1.2. การพาความร้อน	4
2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน	5
2.1.4 การระเหยกลายเป็นไอหรือการควบแน่น.....	5
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอาคาร	6
2.2.1 การนำความร้อน	6
2.2.2 ความต้านทานความร้อน.....	6
2.2.3 การแผ่รังสีของพื้นผิววัสดุ.....	6
2.2.4 การพาความร้อนของพื้นผิววัสดุ.....	6
2.2.5 ความจุความร้อน	6
2.3 สภาวะน่าสบาย.....	7
2.4 การคำนวณภาระการทำความร้อน.....	10
2.4.1 External Cooling Load	10
2.4.2 Internal Cooling Load.....	11
2.4.3 Ventilation and Infiltration.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การจัดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น	12
2.6 ทฤษฎีแสงสว่าง	14
2.6.1 การส่องสว่าง.....	14
2.6.2 แสงสว่างธรรมชาติ.....	14
2.6.3 มาตรฐานการส่องสว่าง	15
2.7 ทฤษฎีด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	19
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย.....	19
3.1.1 การศึกษาทฤษฎีแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย.....	19
3.1.2 การสำรวจเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร.....	19
3.1.3 วิธีการเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อระดับสภาวะน่าสบาย.....	21
3.1.4 การสำรวจและเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อระบบแสงสว่าง ภายในอาคาร.....	22
3.1.5 การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคาร.....	23
3.1.6 การวิเคราะห์และประเมินอาคารกรณีศึกษาทางด้านสภาวะ น่าสบายและการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	23
3.1.7 การเสนอแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	24
3.1.8 การประเมินผลแนวทางการปรับปรุงอาคาร.....	24
3.1.9 สรุปผลการดำเนินการที่เหมาะสมในการนำไปปรับปรุงหรือ ออกแบบบ้านแถว.....	24
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	25
3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา.....	25
3.2.2 โปรแกรมการจำลองสภาพการใช้พลังงาน.....	27
บทที่ 4 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษาและการวิเคราะห์ประเมินอาคารกรณีศึกษา.....	30
4.1 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา.....	30
4.1.1. ที่ตั้งและสภาพแวดล้อมอาคารกรณีศึกษา.....	30
4.1.2. ลักษณะทางกายภาพของอาคาร.....	31
4.2. การศึกษาการใช้พลังงานภายในอาคารกรณีศึกษา.....	36
4.2.1. ระบบแสงสว่างประดิษฐ์.....	36
4.2.2. ระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า.....	37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3. ระบบเครื่องปรับอากาศ.....	37
4.3. สภาวะน่าสบายภายในอาคารกรณีศึกษา.....	38
4.3.1. อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	38
4.3.2. ระบบแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร.....	39
4.4. การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษากับอาคารแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	42
4.4.1. การจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	43
4.4.2. การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคาร.....	44
4.5. การวิเคราะห์ประเมินสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคารกรณีศึกษา.....	47
4.5.1. ผลการวิเคราะห์และประเมินสภาวะน่าสบายภายในอาคารบริเวณชั้นล่าง.....	49
4.5.2. ผลการวิเคราะห์และประเมินสภาวะน่าสบายภายในอาคารบริเวณชั้นสอง.....	51
4.5.3 ผลการวิเคราะห์และประเมินสภาวะน่าสบายภายในอาคารบริเวณชั้นสาม.....	59
4.5.4 ผลการวิเคราะห์และประเมินสภาวะน่าสบายภายในบริเวณช่องใต้หลังคา.....	64
4.6 สรุปผลการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและการใช้พลังงาน ภายในอาคารกรณีศึกษา.....	67
4.7 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร.....	68
4.7.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (OTTV).....	68
4.7.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (RTTV).....	68
4.8 สรุปข้อดีและข้อเสียของอาคารกรณีศึกษา.....	69
บทที่ 5 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	71
5.1 การกำหนดขอบเขตของแนวทางการปรับปรุง.....	71
5.1.1. การกำหนดองค์ประกอบของอาคารที่ต้องปรับปรุงเพื่อการใช้พลังงาน อย่างมีประสิทธิภาพ.....	71
5.1.2 การปรับปรุงอาคารเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร.....	74
5.2. รายละเอียดของแนวทางการปรับปรุง.....	75
5.2.1 การปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืน.....	76
5.2.2 การปรับปรุงผนังที่บดด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน.....	96
5.2.3 การปรับปรุงกระจกหน้าต่างของอาคาร.....	129
5.2.4 การปรับปรุงฝ้าเพดานด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน.....	146
5.3 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	148
5.3.1 ผลการวิเคราะห์ของการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	148

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.2 ผลสรุปการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	161
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	163
6.1 การวิเคราะห์และประเมินอาคารกรณีศึกษา	163
6.1.1 ปัญหาภายในอาคารกรณีศึกษา.....	163
6.1.2 องค์ประกอบอาคารที่ต้องทำการปรับปรุง.....	163
6.1.3 แนวทางของการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	163
6.1.4 ผลการประเมินการปรับปรุงในแนวทางต่างๆ.....	164
6.2 แนวทางการออกแบบบ้านแถว.....	166
6.3 แบบตัวอย่างของการออกแบบบ้านแถว.....	166
6.4 ข้อสรุปจากการศึกษาคั้งนี้.....	168
6.5 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยต่อไป.....	169
รายการอ้างอิง.....	170
ภาคผนวก.....	171
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	185

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	แสดงอัตราการใช้พลังงานแต่ละประเภทซึ่งจำแนกตามกิจกรรม เป็นอัตราส่วนร้อยละ.....	1
ตารางที่ 2.1	ค่าความต้านทานความร้อนของเครื่องต่างกาย (ชุด).....	8
ตารางที่ 2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและผลที่เกิดขึ้นทางด้าน อุณหภูมิตามความรู้สึก.....	10
ตารางที่ 2.3	การเปรียบเทียบค่า EER กับเครื่องปรับอากาศเบอร์ต่างๆ	13
ตารางที่ 2.4	มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน.....	16
ตารางที่ 2.5	มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และ IES (USA) และมาตรฐานการ กำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน).....	17
ตารางที่ 4.1	แสดงพฤติกรรมการใช้สอยภายในอาคาร.....	31
ตารางที่ 4.2	แสดงองค์ประกอบอาคารของอาคารกรณี.....	33
ตารางที่ 4.3	แสดงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษา.....	37
ตารางที่ 4.4	แสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารกรณีศึกษาที่ได้จากการวัดจริง.....	38
ตารางที่ 4.5	แสดงค่าการสะท้อนแสงโดยเฉลี่ยของพื้น,ผนังและฝ้าเพดาน ภายในอาคาร.....	39
ตารางที่ 4.6	แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ได้จากการวัดจริง กับจากแบบจำลองในคอมพิวเตอร์.....	47
ตารางที่ 4.7	แสดงเกณฑ์มาตรฐานระดับสภาวะน่าสบายจากงานวิจัย ต่างๆ.....	47
ตารางที่ 4.8	แสดงวันตัวแทนต่างๆที่นำมาใช้ในการศึกษาภายในอาคารกรณีศึกษา ทางด้านต่างๆ.....	48
ตารางที่ 4.9	แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (OTTV) ของอาคาร กรณีศึกษา.....	68
ตารางที่ 4.10	แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (RTTV) ของอาคาร กรณีศึกษา.....	68
ตารางที่ 5.1	ภาระการทำความเย็นสูงสุดของอาคารกรณีศึกษา.....	71
ตารางที่ 5.2	แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อน จากการทดลองด้วย Doe 2.1.....	72
ตารางที่ 5.3	แสดงภาระการทำความเย็นรวมตลอดทั้งปีจำแนกตามแหล่งที่มาของ ความร้อนจากการทดลองด้วย Doe 2.1.....	73
ตารางที่ 5.4	แสดงรายละเอียดของแนวทางการปรับปรุงแต่ละวิธี.....	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5.5 แสดงปริมาณการระบายอากาศภายในอาคาร.....	76
ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะนำสบายตลอดทั้งปีในการ ปรับปรุงด้วยการระบายตอนกลางคืน.....	96
ตารางที่ 5.7 แสดงคุณสมบัติของผนังแต่ละแนวทางการปรับปรุง.....	99
ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะนำสบายตลอดทั้งปี.....	128
ในการปรับปรุงผนังทึบ	
ตารางที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในแนวทางต่างๆ.....	128
ตารางที่ 5.10 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ปรับปรุงแต่ละแนวทาง.....	129
ตารางที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะนำสบายตลอดทั้งปี.....	145
ในการปรับปรุงกระจกหน้าต่าง	
ตารางที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในแนวทางต่างๆ.....	145
ตารางที่ 5.13 แสดงคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน.....	146
ตารางที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในแนวทางต่างๆ.....	147
ตารางที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะนำสบายตลอดทั้งปี.....	162
ของการปรับปรุงอาคาร	
ตารางที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการปรับปรุงอาคาร.....	162

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	คุณสมบัติการสะท้อนรังสี การดูดกลืนรังสีและการส่งผ่านรังสี.....5
	ความร้อนของวัสดุ
รูปที่ 3.1	อุปกรณ์วัดความอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์25
รูปที่ 3.2	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิพื้นผิวระยะไกล.....26
รูปที่ 3.3	อุปกรณ์วัดแสง.....26
รูปที่ 4.1	สภาพแวดล้อมด้านหน้าอาคาร.....30
รูปที่ 4.2	ผังบริเวณอาคารกรณีศึกษา.....30
รูปที่ 4.3	ผังอาคารชั้นล่าง.....31
รูปที่ 4.4	ผังอาคารชั้นสอง.....32
รูปที่ 4.5	ผังอาคารชั้นสาม.....32
รูปที่ 4.6	แสดงผังอาคารชั้นหลังคา.....32
รูปที่ 4.7	แสดง รูปตัดอาคารตามแนวยาว.....33
รูปที่ 4.8	แสดง รูปด้านอาคารกรณีศึกษา.....33
รูปที่ 4.9	แสดงลักษณะดวงโคมภายในอาคาร.....36
รูปที่ 4.10	แสดงลักษณะช่องเปิดหน้าต่างของอาคารกรณีศึกษา.....39
รูปที่ 4.11	แสดงพื้นที่ส่วนต่างๆภายในอาคารกรณีศึกษาที่จำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....43
รูปที่ 4.12	แสดงอาคารแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....43
รูปที่ 5.1.	แสดงการระบายอากาศช่วงเวลากลางคืนของฤดูร้อน.....76
รูปที่ 5.2.	แสดงการระบายอากาศช่วงเวลากลางคืนของฤดูหนาว.....77
รูปที่ 5.3	แสดงรายละเอียดของผนังที่แต่ละแนวทางการปรับปรุง.....99
รูปที่ 5.4	แสดงแบบจำลองอาคารในคอมพิวเตอร์ที่ปรับปรุงด้วยการติดตั้งแผงกันแดด.....130
รูปที่ 6.1	แสดงผังพื้นอาคารชั้นล่าง.....166
รูปที่ 6.2	แสดงผังพื้นอาคารชั้นที่สอง.....167
รูปที่ 6.3	แสดงผังพื้นอาคารชั้นที่สาม.....167
รูปที่ 6.4	แสดงผังชั้นหลังคา.....167
รูปที่ 6.5	แสดงภาพตัดอาคารตามยาว.....168
รูปที่ 6.6	แสดงรูปด้านของอาคาร.....168

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 3.1 แสดงวิธีดำเนินการวิจัย.....	29
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมการใช้สอยภายในอาคารของชั้นล่างที่ได้มาจากการสัมภาษณ์.....	34
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงพฤติกรรมการใช้สอยภายในอาคารของชั้นสองที่ได้มาจากการสัมภาษณ์.....	34
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงพฤติกรรมการใช้สอยภายในอาคารของชั้นสามที่ได้มาจากการสัมภาษณ์.....	35
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่า DF ทุกๆระยะจากช่องแสงภายในอาคารบริเวณชั้นล่าง.....	40
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงค่า DF ทุกๆระยะจากช่องแสงภายในอาคารบริเวณชั้นสอง.....	41
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงค่า DF ทุกๆระยะจากช่องแสงภายในอาคารบริเวณชั้นสาม.....	42
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องรับแขกครั้งที่ 1	44
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน-3 ครั้งที่ 1.....	45
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องรับแขกครั้งที่ 2.....	45
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน-3 ครั้งที่ 2.....	46
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องรับแขก ครั้งที่ 3.....	46
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องนอน -3 ครั้งที่ 3.....	47
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขก ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี.....	49
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขก ในวันตัวแทนของฤดูร้อน.....	49
แผนภูมิที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขก ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี.....	49
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขก ในวันตัวแทนของฤดูหนาว.....	50
แผนภูมิที่ 4.17 แสดงภาวะการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนของ ห้องรับแขก.....	50
แผนภูมิที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงาน ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี.....	51
แผนภูมิที่ 4.19 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงาน ในวันตัวแทนของฤดูร้อน.....	52
แผนภูมิที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงาน ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี.....	52

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.21 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงาน ในวันตัวแทนของฤดูหนาว.....	52
แผนภูมิที่ 4.22 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนของ ห้องทำงาน.....	53
แผนภูมิที่ 4.23 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี.....	54
แผนภูมิที่ 4.24 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1.....	54
แผนภูมิที่ 4.25 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี.....	55
แผนภูมิที่ 4.26 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของฤดูหนาว.....	55
แผนภูมิที่ 4.27 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อน ของห้องนอน-1.....	55
แผนภูมิที่ 4.28 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี.....	57
แผนภูมิที่ 4.29 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-1 ในวันตัวแทนของฤดูร้อน.....	57
แผนภูมิที่ 4.30 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี.....	57
แผนภูมิที่ 4.31 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-1 ในวันตัวแทนของฤดูหนาว.....	58
แผนภูมิที่ 4.32 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อน ของโถงบันได-1.....	58
แผนภูมิที่ 4.33 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-2 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี.....	59
แผนภูมิที่ 4.34 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-2 ในวันตัวแทนของฤดูร้อน.....	60
แผนภูมิที่ 4.35 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-2 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี.....	60

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.36 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-2 ในวันตัวแทนของฤดูหนาว.....	60
แผนภูมิที่ 4.37 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อน ของโถงบันได-2.....	61
แผนภูมิที่ 4.38 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อน ของห้องนอน-2.....	62
แผนภูมิที่ 4.39 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน-2.....	62
แผนภูมิที่ 4.40 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อน ของห้องนอน-3.....	63
แผนภูมิที่ 4.41 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน-3.....	63
แผนภูมิที่ 4.42 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของช่องใต้หลังคา ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี.....	64
แผนภูมิที่ 4.43 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของช่องใต้หลังคา ในวันตัวแทนของฤดูร้อน.....	64
แผนภูมิที่ 4.44 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของช่องใต้หลังคา ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี.....	65
แผนภูมิที่ 4.45 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของช่องใต้หลังคา ในวันตัวแทนของฤดูหนาว.....	65
แผนภูมิที่ 4.46 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อน ของช่องใต้หลังคา.....	65
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงอัตราส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆ.....	71
แผนภูมิที่ 5.2 ภาระการทำความเย็นสูงสุดของอาคารจากการทดลองด้วย DOE2.1.....	72
แผนภูมิที่ 5.3 แสดงภาระการทำความเย็นรวมตลอดทั้งปีของอาคาร.....	73
แผนภูมิที่ 5.4 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด ประจำเดือนมกราคม(เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน).....	77
แผนภูมิที่ 5.5 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด ประจำเดือนกุมภาพันธ์(เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน).....	77
แผนภูมิที่ 5.6 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด ประจำเดือนมีนาคม(เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน).....	78

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 5.52 แสดงอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารโดยการเปรียบเทียบผนังแต่ละชนิด.....	97
แผนภูมิที่ 5.53 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน(R)ของวัสดุต่างๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว.....	98
แผนภูมิที่ 5.54 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด ของปี(การปรับปรุงผนังทึบ).....	100
แผนภูมิที่ 5.55 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่ อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบ).....	100
แผนภูมิที่ 5.56 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังทึบ).....	100
แผนภูมิที่ 5.57 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกใน วันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน(การปรับปรุงผนังทึบ).....	101
แผนภูมิที่ 5.58 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอก ต่ำสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบ).....	101
แผนภูมิที่ 5.59 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี(การปรับปรุงผนัง).....	101
แผนภูมิที่ 5.60 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทน ของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังทึบ).....	102
แผนภูมิที่ 5.61 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังทึบ).....	102
แผนภูมิที่ 5.62 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิ ภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังทึบ).....	103
แผนภูมิที่ 5.63 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่ อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังทึบ).....	104
แผนภูมิที่ 5.64 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวัน ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังทึบ).....	104
แผนภูมิที่ 5.65 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวัน ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังทึบ).....	104
แผนภูมิที่ 5.65 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกใน วันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน(การปรับปรุงผนังทึบ).....	105

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 5.67 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบ).....	105
แผนภูมิที่ 5.68 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว(การปรับปรุงผนังทึบ).....	105
แผนภูมิที่ 5.69 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว(การปรับปรุงผนังทึบ).....	106
แผนภูมิที่ 5.70 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบ).....	107
แผนภูมิที่ 5.71 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบ).....	107
แผนภูมิที่ 5.72 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน(การปรับปรุงผนังทึบ).....	108
แผนภูมิที่ 5.73 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน(การปรับปรุงผนังทึบ).....	108
แผนภูมิที่ 5.74 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน(การปรับปรุงผนังทึบ).....	108
แผนภูมิที่ 5.75 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบ).....	109
แผนภูมิที่ 5.76 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว(การปรับปรุงผนังทึบ).....	109
แผนภูมิที่ 5.77 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว(การปรับปรุงผนังทึบ).....	109
แผนภูมิที่ 5.78 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆ อาคารของห้องรับแขกกรณีไม่มีแผงกันแดด	111
แผนภูมิที่ 5.79 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบ ต่างๆ อาคารของห้องทำงานกรณีมีแผงกันแดด.....	112
แผนภูมิที่ 5.80 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบพร้อมติดตั้งแผงกันแดด).....	112
แผนภูมิที่ 5.81 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบพร้อมติดตั้งแผงกันแดด).....	113

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 5.97 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1
 ในวันที่คุณหมุมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงผนังที่พร้อมติดตั้งแผงกันแดด).....120

แผนภูมิที่ 5.98 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน
 (การปรับปรุงผนังที่พร้อมติดตั้งแผงกันแดด).....120

แผนภูมิที่ 5.99 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1
 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน(การปรับปรุงผนังที่พร้อมติดตั้งแผงกันแดด).....121

แผนภูมิที่ 5.100 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องนอน-1 ในวันที่คุณหมุมิภายนอกต่ำสุดของปี
 (การปรับปรุงผนังที่พร้อมติดตั้งแผงกันแดด).....121

แผนภูมิที่ 5.101 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1
 ในวันที่คุณหมุมิภายนอกต่ำสุดของปี(การปรับปรุงผนังที่พร้อมติดตั้งแผงกันแดด).....121

แผนภูมิที่ 5.102 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูหนาว
 (การปรับปรุงผนังที่พร้อมติดตั้งแผงกันแดด).....122

แผนภูมิที่ 5.103 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1
 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูหนาว(การปรับปรุงผนังที่พร้อมติดตั้งแผงกันแดด).....122

แผนภูมิที่ 5.104 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มี
 ภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-2.....123

แผนภูมิที่ 5.105 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆ
 อาคารของห้องนอน-2.....124

แผนภูมิที่ 5.106 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มีภาระ
 การทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-3.....124

แผนภูมิที่ 5.107 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆ
 อาคารของห้องนอน-3.....125

แผนภูมิที่ 5.108 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร
 (กรณีไม่มีแผงกันแดดบริเวณกระจก).....125

แผนภูมิที่ 5.109 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร
 (กรณีมีแผงกันแดดบริเวณกระจก).....126

แผนภูมิที่ 5.110 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีของอาคาร
 (กรณีไม่มีแผงกันแดดบริเวณกระจก).....126

แผนภูมิที่ 5.111 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีของอาคาร
 (กรณีมีแผงกันแดดบริเวณกระจก).....126

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 5.112 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องรับแขกในวันที่คุณหมุมิ ภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	130
แผนภูมิที่ 5.113 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก ในวันที่คุณหมุมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	131
แผนภูมิที่ 5.114 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทน ของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	131
แผนภูมิที่ 5.115 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	131
แผนภูมิที่ 5.116 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องรับแขกในวันที่ คุณหมุมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	132
แผนภูมิที่ 5.117 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก ในวันที่คุณหมุมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	132
แผนภูมิที่ 5.118 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	132
แผนภูมิที่ 5.119 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	133
แผนภูมิที่ 5.120 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องทำงานในวันที่คุณหมุมิ ภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	134
แผนภูมิที่ 5.121 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานใน วันที่คุณหมุมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	134
แผนภูมิที่ 5.122 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	135
แผนภูมิที่ 5.123 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงาน ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	135
แผนภูมิที่ 5.124 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องทำงาน ในวันที่คุณหมุมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	135
แผนภูมิที่ 5.125 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงาน ในวันที่คุณหมุมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	136

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 5.126 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องทำงานในวันตัวแทน ของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	136
แผนภูมิที่ 5.127 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงาน ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	136
แผนภูมิที่ 5.128 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องนอน-1 ในวันที่ คุณหมุมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	138
แผนภูมิที่ 5.129 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่คุณหมุมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	138
แผนภูมิที่ 5.130 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	138
แผนภูมิที่ 5.131 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	139
แผนภูมิที่ 5.132 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องนอน-1 ในวันที่คุณหมุมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	139
แผนภูมิที่ 5.133 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่คุณหมุมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	139
แผนภูมิที่ 5.134 แสดงคุณหมุมิภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	140
แผนภูมิที่ 5.135 แสดงคุณหมุมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	140
แผนภูมิที่ 5.136 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มี ภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-2(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	141
แผนภูมิที่ 5.137 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆ อาคารของห้องนอน-2(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	142
แผนภูมิที่ 5.138 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มี ภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-3(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	142
แผนภูมิที่ 5.139 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆ อาคารของห้องนอน-3 (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....	143
แผนภูมิที่ 5.140 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร	

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....143

แผนภูมิที่ 5.141 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปี

(การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง).....144

แผนภูมิที่ 5.142 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปี(การปรับปรุงหลังคา).....146

แผนภูมิที่ 5.143 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปี(การปรับปรุงหลังคา).....147

แผนภูมิที่ 5.144 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี

(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....148

แผนภูมิที่ 5.145 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก

ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....149

แผนภูมิที่ 5.146 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน

(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....149

แผนภูมิที่ 5.147 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก

ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....149

แผนภูมิที่ 5.148 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี

(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....150

แผนภูมิที่ 5.149 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก

ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....150

แผนภูมิที่ 5.150 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว

(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....150

แผนภูมิที่ 5.151 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก

ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....151

แผนภูมิที่ 5.152 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี

(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....152

แผนภูมิที่ 5.153 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงาน

ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....152

แผนภูมิที่ 5.154 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน

(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....152

แผนภูมิที่ 5.155 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงาน

ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....153

แผนภูมิที่ 5.156 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	153
แผนภูมิที่ 5.157 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงาน ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	153
แผนภูมิที่ 5.158 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	154
แผนภูมิที่ 5.159 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงาน ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	154
แผนภูมิที่ 5.160 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	155
แผนภูมิที่ 5.161 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	155
แผนภูมิที่ 5.162 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	156
แผนภูมิที่ 5.163 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	156
แผนภูมิที่ 5.164 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	156
แผนภูมิที่ 5.165 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	157
แผนภูมิที่ 5.166 แสดงอุณหภูมิภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	157
แผนภูมิที่ 5.167 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	157
แผนภูมิที่ 5.168 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มี ภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-2(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	158
แผนภูมิที่ 5.169 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆ อาคารของห้องนอน-2 (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	159
แผนภูมิที่ 5.170 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มี ภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-3(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	159

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 5.171 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆ อาคารของห้องนอน-3 (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา).....	160
แผนภูมิที่ 5.172 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร.....	160
แผนภูมิที่ 5.173 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร.....	161



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากรายงานของ USAID โดย Lawrence Berkeley Laboratory เรื่อง Energy Conservation in Building ในปี 1985 ได้แสดงถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยไว้ตามตารางที่ 1.1 ซึ่งแสดงปริมาณการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภทที่มีความแตกต่างกัน โดยในอาคารประเภทพักอาศัยจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับในระบบอื่นๆ

ประเภทอาคาร	ระบบทำความเย็น	ระบบแสงสว่าง	อื่นๆ ⁿ
อาคารพักอาศัย	48.0	18.0	34.0
สำนักงาน	50.0	25.0	25.0
ศูนย์การค้า	60.0	25.0	15.0
โรงแรม	61.0	15.3	23.7

หมายเหตุ : ก. อื่นๆ หมายถึง ระบบการทำความร้อนและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆที่ใช้พลังงานไฟฟ้า
ตารางที่ 1.1 แสดงอัตราการใช้พลังงานแต่ละประเภทซึ่งจำแนกตามกิจกรรมเป็นอัตราส่วนร้อยละ
ที่มา : The use of computer softwares in the design of energy conscious building, 1998

จากจำนวนพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งหากคิดจากจำนวนของอาคารประเภทพักอาศัยในประเทศแล้ว จะพบถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างมาก ทั้งนี้ส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่เกิดมาจากหลาย ๆ สาเหตุ ได้แก่

- 1) การขาดจิตสำนึกในการร่วมมือกันประหยัดพลังงานของคนในประเทศ
- 2) พลังงานไฟฟ้าในประเทศยังมีราคาถูก เพื่อต้องการช่วยเหลือภาคผลิตภายในประเทศให้สามารถเติบโตและแข่งขันกับต่างประเทศได้ จึงไม่เกิดการกระตุ้นให้มีการลงทุนเพื่อประหยัดพลังงานในระยะยาว
- 3) ความเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของเมืองหลวงที่ทำให้พฤติกรรมการใช้ชีวิตเปลี่ยนแปลงไป เพิ่มการบริโภคพลังงานกันอย่างฟุ่มเฟือย
- 4) การออกแบบอาคารที่ไม่ได้พิจารณาถึงการสร้างภาวะน่าสบายในการอยู่อาศัยโดยไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ จึงต้องพึ่งพาพลังงานไฟฟ้ามากเกินความจำเป็นเพื่อนำมาใช้ปรับอุณหภูมิและแสงสว่างให้เหมาะสมในการอยู่อาศัย

“ เนื่องจากที่ดินมีราคาสูงขึ้น ต้นทุนการผลิตที่อยู่อาศัยได้เพิ่มสูงขึ้นกว่าเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการก่อสร้างบ้านเดี่ยว จนทำให้ผู้ที่รายได้ปานกลางที่เคยซื้อบ้านเดี่ยวได้ไม่มีกำลังเงินเพียงพอ จึงหันไปซื้อบ้านประเภทอื่นที่ราคาต่ำกว่า เช่น ทาวน์เฮาส์หรืออาคารชุดแทน ปัจจุบันการอาศัยในกรุงเทพฯ

มหานครได้มีการกระจายตัวออกไปสู่ชานเมืองมากขึ้น ซึ่งทำให้มีราคาถูกลง ดังนั้นนอกจากทวอร์เนสส์จะเป็นที่พักอาศัยสำหรับผู้มีรายได้ปานกลางแล้วยังสามารถตอบสนองความต้องการกับกลุ่มผู้ซื้อที่มีรายได้น้อยด้วย” (ชัยยะ พัฒนเจริญ , 2539 : 3-4)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) ศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลผลสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านแถว
- 2) ออกแบบบ้านแถวที่มีสภาวะน่าสบายและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ศึกษารูปแบบบ้านแถวที่มีความสูง 3 ชั้น ซึ่งตั้งอยู่ช่วงกลางของกลุ่มอาคารโดยไม่ได้ศึกษาหลังที่ตั้งอยู่ทางด้านริม
- 2) ศึกษาบ้านแถวเฉพาะหลังที่หันหน้าทางทิศเหนือ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เท่านั้น
- 3) สำรวจและประเมินอาคารบ้านแถวด้านการอยู่อาศัยในสภาวะความน่าสบายภายในและแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคารรวมทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า
- 4) แนวทางออกแบบและประเมินการออกแบบจะใช้การจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยปรับเทียบกับข้อมูลจริง (calibrated building energy simulation) ซึ่งจะไม่เข้าไปทำการปรับปรุงจริงเพื่อประเมินผล
- 5) แนวทางออกแบบจะพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมในเรื่อง ผนัง ช่องเปิด และ หลังคา เท่านั้น

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางการออกแบบบ้านแถวที่มีสภาวะน่าสบายและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้เลือกบ้านแถวขนาดความสูง 3 ชั้น ที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครเป็นอาคารกรณีศึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้ โดยมีขั้นตอนดำเนินการวิจัยดังนี้

- 1) สำรวจ เก็บข้อมูลอาคารบ้านแถวทางด้านกายภาพของอาคาร สภาพแวดล้อมภายในและภายนอก การจัดพื้นที่ใช้สอย และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารกรณีศึกษา
- 2) วิเคราะห์และประเมินข้อมูลกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องทางด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง
- 3) วิเคราะห์ปัญหาและเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 4) เสนอแนวทางการปรับปรุงบ้านแถวที่มีสภาวะน่าสบายและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพโดยมีการประเมินผลของแนวทางการปรับปรุงต่างๆ ด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

5) สรุปผลแนวทางการปรับปรุงที่มีความเหมาะสมเพื่อสามารถกำหนดแนวทางการออกแบบบ้านแถวที่มีสภาวะน่าสบายและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพื่อทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อสภาวะความน่าสบายและการใช้พลังงานภายในบ้านแถว

2) เพื่อทราบถึงศักยภาพและข้อจำกัดของบ้านแถวในเชิงพฤติกรรมการอยู่อาศัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคาร

3) เพื่อหาแนวทางการออกแบบบ้านแถวที่มีสภาวะน่าสบายและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการออกแบบบ้านแถวเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และการสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร จึงได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ โดยทำการรวบรวมและสรุปเนื้อหาต่างๆ ให้มีความถูกต้องและครอบคลุมมากที่สุดเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการทำวิจัยต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 หลักการการถ่ายเทความร้อน

กระบวนการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกภายในอาคาร สามารถเกิดขึ้นได้ 4 วิธี ได้แก่ การนำความร้อน (conduction), การพาความร้อน (convection), การแผ่รังสีความร้อน (radiation) และ การระเหยกลายเป็นไอหรือการควบแน่น (evaporation or condensation)

2.1.1 การนำความร้อน (conduction)

เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือ วัตถุ 2 ชั้นที่สัมผัสกัน โดยความร้อนจะถ่ายเทจากโมเลกุลของวัสดุที่ร้อนกว่าไปยังโมเลกุลของวัสดุที่เย็นกว่า ซึ่งมีสมการดังนี้

(William T. Meyer,1970)

$$Q = U \cdot A \cdot (T_i - T_o)$$

เมื่อ	Q	=	ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา (btu/h)
	U	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (u-value)(btu./h.*ft ² * °F)
	A	=	พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (ft ²)
	T _i	=	อุณหภูมิที่สูงกว่า (°F)
	T _o	=	อุณหภูมิต่ำกว่า (°F)

2.1.2 การพาความร้อน (convection)

เป็นการถ่ายเทพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของตัวกลางประเภทของไหล (fluid) เช่น อากาศ , ก๊าซต่างๆ หรือ น้ำ โดยจะเคลื่อนที่จากที่ร้อนไปสู่ที่เย็นกว่า เนื่องจากโมเลกุลที่ร้อนและเบาจะลอยตัวขึ้นสูง ส่วนโมเลกุลที่เย็นและหนักกว่าจะตกลงข้างล่าง ซึ่งมีสมการดังนี้

(William T. Meyer,1970)

$$Q = h \cdot A \cdot (T_a - T_s)$$

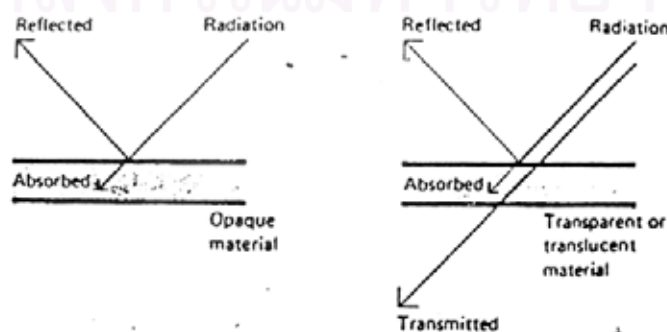
เมื่อ	Q	=	ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา (btu/h)
	h	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ของฟิล์มอากาศบริเวณที่ ของไหลผ่าน (btu./h. *ft ² *°F)
	A	=	พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (ft ²)
	T _a	=	อุณหภูมิอากาศ (°F)
	T _s	=	อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ (°F)

2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน (radiation)

เป็นการถ่ายเทพลังงานทะลุผ่านช่องว่างใดๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าแล้วทะลุผ่านไปยังพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เป็นลักษณะของการกระจายรังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกจากพื้นผิวของวัตถุในทุกทิศทางซึ่งมีสมการดังนี้
(William T. Meyer, 1970)

$$Q = \sigma \cdot U \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

เมื่อ	Q	=	ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามา (btu/h)
	U	=	ค่าคงที่ของ stefan-boitzmann = 1.7135x10 ⁻⁹ (btu./h. *ft ² *°F)
	A	=	ค่าการคายรังสีความร้อนของผิววัสดุ
	T ₁	=	อุณหภูมิผิววัสดุ ที่แผ่รังสี (°F)
	T ₂	=	อุณหภูมิที่ได้รับการแผ่รังสี (°F)



รูปที่ 2.1 คุณสมบัติการสะท้อนรังสี การดูดกลืนรังสีและการส่งผ่านรังสีความร้อนของวัสดุ
(OLGYAY, 1963)

2.1.4 การระเหยกลายเป็นไอหรือการควบแน่น (evaporation or condensation)

เป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ และ จากไอกลายเป็นของเหลว ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นจากการดูดความร้อนหรือคายความร้อน

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอาคาร

2.2.1 การนำความร้อน

ค่าการนำความร้อน หรือ ค่า k คือ ปริมาณความร้อน (Btu/h) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุเนื้อเดียวกันขนาด 1 ตร.ฟุต หนา 1 นิ้ว แล้วทำให้วัสดุมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1°F ในภายใต้สภาวะการถ่ายเทความร้อนที่คงที่ (steady state conditions) หน่วยของค่า k คือ $\text{Btu/h ft}^2^{\circ}\text{F}$ เทียบเท่าในระบบเมตริก คือ $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$

2.2.2 ความต้านทานความร้อน

ค่าความต้านทานความร้อน หรือ ค่า R คือ ระยะเวลา (ชั่วโมง) ของปริมาณความร้อน 1 Btu ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุเนื้อเดียวกันขนาด 1 ตร.ฟุต หนา 1 นิ้ว แล้วทำให้วัสดุมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1°F หน่วยของค่า R คือ $\text{hft}^2^{\circ}\text{F/Btu}$ เทียบเท่าในระบบเมตริก คือ $\text{m}^{\circ}\text{C/W}$ ซึ่งวัสดุที่มีค่า R -value มากนั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นฉนวนของวัสดุให้มากขึ้น

2.2.3 การแผ่รังสีของพื้นผิววัสดุ

พฤติกรรมการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนบริเวณพื้นผิววัสดุนั้นจะมี 3 ลักษณะ ได้แก่ การดูดกลืนรังสีของพื้นผิววัสดุ, การสะท้อนรังสีของพื้นผิววัสดุ และ การคายรังสีของพื้นผิววัสดุ เมื่อรังสีความร้อนตกกระทบกับพื้นผิววัสดุแล้วจะมีความร้อนบางส่วนที่ถูกดูดกลืนและมีบางส่วนที่ถูกสะท้อนกลับออกมาในอัตราส่วนที่แตกต่างกันซึ่งจะขึ้นกับอุณหภูมิ, ลักษณะทางกายภาพเคมีของวัสดุ และ ความยาวของคลื่นรังสีที่ตกกระทบ แต่ผลรวมทั้งหมดของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีและการสะท้อนรังสีจะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ

ในการคายรังสีความร้อนเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของพื้นผิววัสดุ โดยในวัสดุที่มีพื้นผิวหยาบจะสามารถคายรังสีความร้อนออกมาได้ดีกว่าวัสดุที่มีพื้นผิวเรียบมัน และในวัสดุที่มีความหนาแน่นมากและมีพื้นผิวเรียบมันจะสามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้ดีกว่า ส่วนวัสดุที่มีสีเข้มจะสามารถดูดกลืนรังสีความร้อนได้มากกว่าวัสดุสีอ่อน

2.2.4 การพาความร้อนของพื้นผิววัสดุ

การถ่ายเทความร้อนบริเวณพื้นผิววัสดุที่มาจากการพาความร้อนนั้น จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิที่บริเวณพื้นผิววัสดุกับอุณหภูมิของอากาศโดยรอบรวมทั้งทิศทางของพื้นผิววัสดุด้วย เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนและอากาศเย็นที่มีทิศทางแนวดิ่ง

ดังนั้นพื้นผิวที่มีระนาบทางตั้งจะทำให้การเคลื่อนที่ของอากาศเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่าพื้นผิวที่มีระนาบทางนอน นอกจากนี้การพาความร้อนบริเวณพื้นผิวยังต้องขึ้นกับความเร็วลมอากาศที่อยู่ใกล้พื้นผิวนั้นด้วย

2.2.5 ความจุความร้อน (heat capacity)

ค่าความจุความร้อน คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยปริมาตร หรือพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา มีหน่วยเป็น $\text{Kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ สำหรับกรณีที่คิดค่าความจุความร้อนของวัสดุในหน่วยปริมาตร (C_v) และมีหน่วยเป็น $\text{Kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ สำหรับการคิดค่าความจุความร้อนของผนัง (C_w) ค่าความจุความร้อนของวัสดุสามารถหาได้จากสมการ (Givoni, 1969)

$$C = \rho s$$

เมื่อ C = ค่าความจุความร้อนของวัสดุหรือของผนัง ($\text{Kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ / หรือ $\text{Kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
 ρ = ความหนาแน่นของวัสดุหรือของผนัง (kg/m^3 หรือ kg/m^2)
 s = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (specific heat) มีหน่วยเป็น $\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$

จากสูตรการหาค่าความจุความร้อนข้างต้นนี้จะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ และ ค่าความหนาแน่นของวัสดุนั้น โดยค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุส่วนใหญ่จะไม่แตกต่างกันมากนักแต่ค่าความหนาแน่นของวัสดุจะมีค่าแตกต่างกันมากกว่าซึ่งจะขึ้นกับมวลของวัสดุนั้นๆ ดังนั้นค่าความจุความร้อนของวัสดุส่วนใหญ่จึงแปรผันตามมวลสารของวัสดุนั้นๆ

2.3 สภาวะน่าสบาย (thermal comfort)

“ สภาวะน่าสบาย (thermal comfort) หมายถึง การที่ตัวเราไม่รู้สึกรู้ว่าอยู่ในสภาวะไม่น่าสบายหรือไม่รู้สึกตัวเองว่าได้สูญเสียความร้อนหรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อม เป็นสภาวะที่สมดุลทางอุณหภูมิภายในร่างกายกับสภาวะแวดล้อม “ (Reynold and Stein, 1992: 36)

สภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิเป็นสิ่งพึงพอใจของส่วนบุคคล ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามความชอบ ความคุ้นเคย วัฒนธรรม ลักษณะทางกายภาพและจิตใจของแต่ละบุคคล โดยมีตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิอยู่ 6 ตัวแปร แยกเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับด้านบุคคล 2 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (metabolic rate) และ เสื้อผ้าที่สวมใส่ (clo-value) ส่วนตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับด้านสภาพแวดล้อมอีก 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature), อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (mean radiant temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) และ ความเร็วลม (wind speed)

2.3.1 อัตราการเผาผลาญของร่างกาย (metabolic rate)

ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกายมนุษย์เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อความรู้สึกสภาวะน่าสบายของมนุษย์ เพราะว่าปริมาณความร้อนที่ร่างกายผลิตออกมาจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมในชีวิตประจำวัน ความร้อนที่ร่างกายผลิตออกมานี้จะถูกวัดค่าเป็น metabolism rate (MET) โดยค่า 1 Met จะเท่ากับ 58.2 W/m^2 หรือ 18.4 Btu/h ft^2 ดังนั้นการลดกิจกรรมที่เร่งรีบเกินไปในชีวิตประจำวันจะช่วยให้ร่างกายไม่ต้องเผาผลาญพลังงานมากทำให้ร่างกายมีอุณหภูมิเย็นลง

2.3.2 เสื้อผ้าที่สวมใส่ (clo-value)

การสวมใส่เสื้อผ้าจะมีผลต่อความรู้สึกที่ร้อนหนาวของร่างกายค่อนข้างมาก เพราะว่าเสื้อผ้าจะทำหน้าที่เป็นฉนวนที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนจากร่างกายไปสู่สภาพแวดล้อมได้ทั้งวิธี การนำความร้อน, การพาความร้อน, การแผ่รังสีความร้อน และการระเหยกลายเป็นไอ ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าที่สวมใส่จะถูกวัดค่าเป็น clo. unit โดย 1 clo. จะเทียบเท่ากับการสวมสูททำงานโดยทั่วไปของชาวอเมริกาในปี 1941 ดังนั้นลักษณะเครื่องแต่งกายของแต่ละพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีผลมาจากลักษณะภูมิอากาศในพื้นที่นั้นๆ เช่น ในประเทศที่มีอากาศร้อนและความชื้นสูงตลอดทั้งปี คนก็มักนิยมสวมเสื้อผ้าแบบเบาบางที่ห่อหุ้มไม่ค่อยมิดชิดมากนัก เพื่อให้ร่างกายสามารถถ่ายเทความร้อนได้สะดวกและช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการระเหยของเหงื่อได้ดี

รายละเอียดชุดต่างกาย	I_{cl} (clo)	I_t^c (clo)
กางเกงขาสั้น เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.36	1.02
กางเกงขายาว เสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.57	1.20
กางเกงขายาว เสื้อเชิ้ตแขนยาว	0.61	1.21
กางเกงขายาว เสื้อเชิ้ตแขนยาว เสื้อกันหนาวแขนยาวและเสื้อยืด	1.01	1.56
ชุดนอน เสื้อแขนยาว กางเกงขายาว เสื้อคลุม และ สวมรองเท้าแตะ	0.96	1.50
กระโปรงสั้น เสื้อแขนสั้น ชุดชั้นใน และ รองเท้าโปร่ง	0.54	1.10
ชุดหมีแขนยาว เสื้อยืดคอกกลม	0.72	1.30
กางเกงขายาว เสื้อแขนยาว เสื้อยืดคอกกลม	0.89	1.46

ตารางที่ 2.1 ค่าความต้านทานความร้อนของเครื่องแต่งกาย (ชุด)

ที่มา : ASHRAE Handbook of Fundamentals 1997, (Atlanta : The American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer, 1997), p.88

2.3.3 อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature)

อุณหภูมิอากาศ หมายถึง ระดับของอุณหภูมิในอากาศรอบๆตัวเรา ณ.เวลานั้นๆ (ASHRAE Standard, 1995:4) ซึ่งสามารถวัดค่าได้โดยใช้เทอร์มิสเตอร์ อุณหภูมิอากาศในช่วง thermal comfort จะมีค่าอยู่ในระหว่าง 20 องศาเซลเซียส (68 องศาฟาเรนไฮท์) ถึง 26.6 องศาเซลเซียส (80 องศาฟาเรนไฮท์) ซึ่งช่วงสภาวะน่าสบายนี้จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้วิจัยหรือสถาบันวิจัยต่างๆที่กำหนดไว้ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของท้องถิ่นนั้นๆ เช่น ASHRAE ได้กำหนดช่วงอุณหภูมิที่น่าสบายไว้อยู่ที่ 72-79 °F (22.2-26.1 °C) และถ้าอุณหภูมิอากาศอยู่สูงหรือต่ำกว่าช่วงสภาวะน่าสบายแล้วอาจจะมีกรนำปัจจัยอื่นๆ เข้ามาช่วยส่งเสริมสภาวะน่าสบายร่วมด้วยได้ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม หรือ อุณหภูมิผิวโดยรอบ

2.3.4 ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง สัดส่วนระหว่างความชื้นในอากาศ ณ.เวลานั้นเทียบกับความชื้นสูงสุดที่มีได้ในอากาศโดยปราศจากการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ในสภาพอากาศที่เย็นเรื่องของความชื้นสัมพัทธ์จะมีบทบาทต่อสภาวะน่าสบายค่อนข้างน้อย เนื่องจากการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการนำ การพา หรือ การแผ่รังสี จะมีมากกว่า แต่ในสภาพอากาศที่ร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ จะมีความสำคัญมากกว่าในเรื่องของการระเหยของเหงื่อ ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงของ thermal comfort จะอยู่ในช่วง 20-80 เปอร์เซ็นต์ (สุนทร บุญญาธิการและธนิต, 2536)

ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะหาได้จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิจากกระเปาะแห้งกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก โดยแสดงผลในรูปของเปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิธีนี้มีความสะดวกและถูกต้องมากกว่าวิธีอื่นๆ ซึ่งตามมาตรฐานของ ASHRAE ได้ไว้กล่าวว่า “ ความชื้นสัมพัทธ์ในขณะที่ทำกิจกรรมประเภทนอนหรือนั่งนั้นควรจะอยู่ในช่วงประมาณ 30-60% แต่ทั้งนี้การกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมกับสภาวะน่าสบายจะต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆประกอบด้วย เช่น อุณหภูมิ ฯลฯ

2.3.5 ความเร็วลม (wind speed)

ความเร็วลมที่มาปะทะกับร่างกายเป็นส่วนหนึ่งที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย (thermal comfort) เพราะว่าลมจะพัดพาความร้อนและความชื้นที่บริเวณผิวหนังออกไปทำให้ร่างกายมีความรู้สึกเย็นลง แม้ อุณหภูมิอากาศหรือความชื้นสัมพัทธ์ในขณะนั้นจะอยู่สูงกว่าเขตสภาวะน่าสบายก็ตามแต่ถ้ามีลมพัดผ่านมาตลอดเวลาก็จะทำให้ร่างกายรู้สึกสบายขึ้นได้เช่นกัน เพราะว่าลมจะช่วยเร่งการขับเหงื่อในการระบายความร้อนออกจากร่างกายได้ดี

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและผลที่เกิดขึ้นทางด้านอุณหภูมิและความรู้สึก		
ความเร็วลม (fpm)	ความเป็นไปได้ของความรู้สึกของอุณหภูมิที่ลดลง	ผลที่รู้สึก
0-50	ไม่มีความเปลี่ยนแปลง	ไม่สามารถสังเกตได้
50-100	ต่ำลง 2-3 °F	สบาย
100-200	ต่ำลง 4-5 °F	โดยทั่วไปรู้สึกสบาย แต่รับรู้ว่ามี การเคลื่อนไหวของอากาศ
200-300	ต่ำลง 5-7 °F	รู้สึกว่าลมพัดเพียงเล็กน้อย จนถึงรู้สึกถูกรบกวน รบกวนได้
สูงกว่า 300	ต่ำลงมากกว่า 5-7 °F	รู้สึกว่ารบกวนมากจนไม่สามารถทำงานได้

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและผลที่เกิดขึ้นทางด้านอุณหภูมิและความรู้สึก

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8th Edition , P.41

2.3.6 อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (MRT)

อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อสภาวะน่าสบายมากกว่าอุณหภูมิอากาศ เพราะว่าอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบจะมีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาวของผู้อยู่อาศัยได้มากกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องถึง 40% (ธนิต จินดาวณิก, 2540) ถึงแม้ว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องจะอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบายก็ตาม แต่ถ้าหากอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องแล้วก็จะทำให้ผู้ที่อยู่ในห้องจะมีความรู้สึกที่ร้อนได้เช่นกัน กล่าวคือ ถ้าหากลดอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบลง 1 องศาเซลเซียส ก็จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลง 1.4 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นไปตามหลักการของการถ่ายเทความร้อนที่ว่าความร้อนจะถ่ายเทจากที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ

2.4 การคำนวณภาระการทำความเย็น (cooling load)

การคำนวณภาระการทำความเย็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันวิธีหนึ่งคือการคำนวณด้วยวิธี Cooling Load Temperature Difference/Solar Cooling Load Factor (CLTD/SCL/CLF) จากหนังสือ ASHRAE Fundamental Hand Book(SI) (1997) ได้แบ่งการคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยวิธีนี้ออกเป็นรายละเอียดดังนี้

2.4.1 External Cooling Load

2.4.1.1 การคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านเข้ามาทางเปลือกอาคาร (ผนัง, หลังคา และกระจกช่องแสง)

สูตรการคำนวณ : $Q = U \cdot A \cdot CLTD$

Q	=	ภาระการปรับอากาศ (w)
U	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (w/m^2-k)
A	=	พื้นที่ที่พิจารณาตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนถ่ายเทเข้ามา (m^2)
CLTD	=	Cooling Load Temperature Difference ($^{\circ}C$)

ค่า CLTD นี้จะแปรตามละติจูดและช่วงเวลาของการใช้งานภายในอาคารซึ่งในประเทศไทยได้มีการปรับใช้ค่าตามหนังสือคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคารซึ่งจะใช้ค่า Tdeq แทน

2.4.1.2 การคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการนำความร้อนเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกช่องแสงเข้ามาภายในอาคาร

สูตรการคำนวณ :

$$Q = A * SC * SF$$

Q	=	ภาระการปรับอากาศ (w)
A	=	พื้นที่ที่พิจารณาตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนถ่ายเทเข้ามา (m^2)
SC	=	shading coefficient ของวัสดุตัวกลาง
SF	=	solar heat gain factor

2.4.1.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการนำความร้อนเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศในห้อง, ฝ้าเพดาน และ พื้นห้อง

สูตรการคำนวณ :

$$Q = U * A * (T_1 - T_2)$$

Q	=	ภาระการปรับอากาศ (w)
U	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (w/m^2-k)
A	=	พื้นที่ที่พิจารณาตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนถ่ายเทเข้ามา (m^2)
T ₁	=	อุณหภูมิในส่วนที่ต่อเนื่องกับพื้นที่ปรับอากาศ ($^{\circ}C$)
T ₂	=	อุณหภูมิในส่วนพื้นที่ปรับอากาศ ($^{\circ}C$)

2.4.2 Internal Cooling Load

2.4.2.1 การคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร

สูตรการคำนวณ :

$$Q_{\text{sensible}} = N * 250 * CLF$$

$$Q_{\text{latent}} = N * 250 * CLF$$

Q	=	ภาระการปรับอากาศ(w)
N	=	จำนวนผู้ใช้งานภายในอาคาร
CLF	=	Cooling Load Factor

2.4.2.2 การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร

สูตรการคำนวณ :

Q	=	W*Ff*Fs*CLF
Q	=	ภาระการปรับอากาศ(w)
W	=	watt input ของอุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบแสงสว่าง
Ff	=	lighting use factor ของระบบแสงสว่าง
Fs	=	Special allowance factor ของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือระบบแสงสว่าง
CLF	=	cooling load factor มีค่าเท่ากับ 1

2.4.3 Ventilation and Infiltration

การคำนวณภาระการปรับอากาศจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

สูตรคำนวณ

Q_{sensible}	=	$1.08 (v) \Delta T$
Q_{latent}	=	$4840 (v) \Delta W$
Q_{total}	=	$4.5 (v) \Delta H$
Q	=	ภาระการปรับอากาศ(w)
V	=	ปริมาณอัตราการถ่ายเทอากาศภายนอกที่นำเข้ามาภายในอาคาร (CFM)
ΔT	=	ความต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน($^{\circ}\text{C}$)
ΔW	=	ค่าความแตกต่างของความชื้นระหว่างภายในและภายนอก kg.(water) / kg.(dry air)
ΔH	=	ค่าความแตกต่างของ Enthalpy ระหว่างภายในและภายนอก kJ. / kg.(dry air)

2.5 การวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น (COP และ EER)

“เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศจะมีความแตกต่างจากเครื่องยนต์ชนิดอื่นๆ คือ เป็นการใช้กำลังงานแทนการผลิตกำลังงาน ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจึงเป็นการเปรียบเทียบระหว่างความสามารถในการทำความเย็นที่ใช้ประโยชน์ได้กับกำลังงานที่ป้อนเข้าไปกับเครื่องปรับอากาศ

ซึ่งพิจารณาได้ 3 แบบ คือ Coefficient of Performance (COP), Energy Input Ratio (EIR) และ Energy Efficiency Ratio (EER) “ (สุรพล พุกษพานิช, 2529) มีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 Coefficient of Performance (COP)

เป็นการอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่เครื่องปรับอากาศสามารถดึงออกไปได้ต่อปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อดึงความร้อนดังกล่าวโดยมีหน่วยของพลังงานเป็นหน่วยเดียวกัน

$$\text{COP} = \frac{\text{พลังงานความร้อนที่สามารถดึงออก (watt)}}{\text{พลังงานที่ต้องการใช้ดึงความร้อนออก(watt)}}$$

2.5.2 Energy Input Ratio (EIR)

เป็นส่วนกลับของ COP

$$\text{EIR} = \frac{\text{พลังงานที่ต้องการใช้ดึงความร้อนออก(watt)}}{\text{พลังงานความร้อนที่สามารถดึงออก (watt)}}$$

2.5.3 Energy Efficiency Ratio (EER)

เป็นอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อทำความเย็นดังกล่าวโดยมีหน่วยในการเปรียบเทียบที่ต่างกัน

$$\text{EER} = \frac{\text{ความสามารถในการทำความเย็น (Btu/h)}}{\text{พลังงานที่ใช้ (watt)}}$$

เพื่อให้ผู้ใช้อาคารโดยทั่วไปสามารถเข้าใจง่ายขึ้นเกี่ยวกับประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศจึงได้กำหนดเป็นค่าเบอร์ต่างๆซึ่งเปรียบเทียบกับค่า EER ดังตารางที่ 2.3

เบอร์	EER
1	6.6-7.6
2	7.6-8.6
3	8.6-9.6
4	9.6-10.6
5	10.6 ขึ้นไป

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบค่า EER กับเครื่องปรับอากาศเบอร์ต่างๆ

2.6 ทฤษฎีแสงสว่าง

2.6.1 การส่องสว่าง

เมื่อแสงออกจากแหล่งกำเนิดแล้วตกกระทบวัตถุใดๆทำให้แสงสว่างส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตาแล้วเกิดการมองเห็นขึ้น ปริมาณแสงที่ตกกระทบวัตถุนั้นๆ เรียกว่า การส่องสว่าง (illumination)

2.6.1.1 ปริมาณแสง (luminous flux) คือ ปริมาณแสงที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงในหนึ่งหน่วยเวลาเป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆมีหน่วยเป็นลูเมน (lumen)

2.6.1.2 ความส่องสว่าง (illuminance) เมื่อมีแสงตกกระทบบน 1 หน่วยพื้นที่ใดๆ ผลที่ได้คือ ความสว่าง มีหน่วยเป็น ลูเมน ต่อ 1 หน่วยพื้นที่ ถ้าเราพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงในทรงกลมที่มีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่พุ่งไปตกบนพื้นที่ 1 ตร.ฟุต ของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อ ตร.ฟุต หรือ 1 ฟุตแคนเดิล

2.6.2 แสงสว่างธรรมชาติ

การนำแสงสว่างธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคารที่ผ่านทางช่องแสงหรือช่องหน้าต่างนั้นจะช่วยลดการใช้แสงประดิษฐ์จากไฟฟ้าลงได้ในตอนกลางวันและยังช่วยสร้างความรู้สึกลงและบรรยากาศที่ดีให้กับผู้ใช้งานภายในอาคารได้รับรู้ถึงสภาพแวดล้อมรอบๆตัว (productive environment) แต่แสงสว่างธรรมชาติที่นำเข้ามาใช้นี้ก็จะสร้างผลกระทบบางอย่างที่เกิดขึ้นด้วย เช่น ความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้น (heat gain) หรือความร้อนที่สูญเสียไป (heat loss) , ความจ้าของแสง (glare) และความเปรียบต่างของแสงภายในอาคาร (contrast) ดังนั้นควรศึกษาพฤติกรรมต่างๆของแสงสว่างธรรมชาติเพื่อสามารถนำไปใช้ออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.6.2.1 สภาพท้องฟ้า (sky condition) ค่าความสว่างและความจ้าของท้องฟ้าจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติที่มีผลมาจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ปริมาณของเมฆ และอนุภาคในอากาศ ฝุ่น คาร์บอน หรือไอน้ำ โดยทั่วไปสามารถแบ่งสภาพท้องฟ้าออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

- ก) overcast sky คือ สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงหรือดวงอาทิตย์ได้
- ข) clear sky คือ สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม
- ค) partly cloudy sky คือ สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน การหาค่าความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้อาจทำได้ยากเนื่องจากการแปรเปลี่ยนของเมฆมีตลอดเวลา

2.6.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณแสงสว่างภายในอาคารที่ได้รับจากแสงธรรมชาตินั้นจะมี 3 วิธี ได้แก่ Lumen Method , Daylight Factor Method , Flux Transfer Method ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธี Daylight Factor Method เนื่องจากเป็นวิธีการพิจารณาความสว่างภายในอาคารที่ได้รับจากแสงธรรมชาติที่มีความเหมาะสมซึ่งเกี่ยวข้องกับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก

2.6.2.3 Daylight Factor Method เป็นการพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้รับจากแสงธรรมชาติ ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อแสงสว่างธรรมชาติ 3 อย่าง คือ

ก) องค์ประกอบจากท้องฟ้า (sky component) ปริมาณความสว่างจากท้องฟ้า นั้นจะขึ้นกับสภาพท้องฟ้า ณ.เวลานั้นๆ เช่น ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ หรือท้องฟ้ามีเมฆมาก มีเมฆปกคลุม บางส่วน

ข) องค์ประกอบภายนอก (externally reflected component) เป็นการพิจารณา แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรือ อาคารข้างเคียง เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกที่หนึ่ง ปริมาณ แสงจะขึ้นกับทิศทางที่แสงสะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่แสงสะท้อนนั้น

ค) องค์ประกอบภายใน (internally reflected component) เป็นการพิจารณา แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุหรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายใน โดยได้รับแสงจากท้องฟ้าและองค์ประกอบ ภายนอก ปริมาณแสงจะขึ้นอยู่กัทิศทางที่แสงสะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่แสงสะท้อนนั้นๆ

สำหรับ Daylight Factor (D.F.) คือการกำหนดค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ ภายในอาคารแต่ละจุดใดๆต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่แนวระนาบภายนอกของอาคาร ภายใต้สภาพ ท้องฟ้าที่ไม่มีสิ่งกีดขวางและไม่รวมแสงแดดโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ค่าที่ได้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์

$$\text{สูตร } D.F.(%) = \frac{\text{ความสว่างภายใน}}{\text{ความสว่างภายนอก}} \times 100 \%$$

2.6.3 มาตรฐานการส่องสว่าง

ในการกำหนดระดับการส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่างๆนั้น มีการกำหนดโดยหน่วยงานแต่ละ แห่ง เช่น British IES และ American IES เป็นต้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการใช้งานและลักษณะสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดไว้อาจมีความแตกต่างกันได้ ส่วนค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานสากลโดยไม่ ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่งนั้นได้แก่ CIE (Courtesy of Illuminating Engineering) ซึ่งได้กำหนด ความสว่างออกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่นๆ คือ อาจใช้ค่ามากกว่า ค่าเฉลี่ยหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยก็ได้ขึ้นอยู่กัสถานการณ์ต่างๆ เช่น

2.6.3.1 ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิว หรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปกติให้ใช้ความส่อง สว่างมากขึ้น

2.6.3.2 ถ้าความผิดพลาดเนื่องจากการมองอาจทำให้เกิดปัญหาร้ายแรงหรือเสียหายมาก ก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างในตารางมากขึ้น

2.6.3.3 ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมากก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

2.6.3.4 ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาไม่มีหน้าต่างให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

2.6.3.5 ถ้าผู้ใช้งานบริเวณที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

พื้นที่ใช้งาน (ก)	CIE (lx)	IES (lx)	พื้นที่ใช้งาน (ข)
ทางเดิน,พื้นที่ทำงานภายนอก	20 - 30 - 50	20 - 30 - 50 (a)	Public spaces with dark Surrounding
ทางเดินภายในและการแวะผ่านระยะสั้น	50 - 75 - 100	50 - 75 - 100 (a)	Simple orientation for short temporary visits
ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน	100 - 150 - 200	100 - 150 - 200 (a)	Working space where visual tasks are only occasionally performed
งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่น โรงงาน งานชิ้นใหญ่	200 - 300 - 500	200 - 300 - 500 (b)	Performance of visual tasks of high contrast or Large size
งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน	300 - 500 - 750		
งานที่ใช้สายตาตามาก เช่น การเขียนแบบ	500 - 750 - 1000	500 - 750 - 1000 (b)	Performance of visual tasks of medium contrast or Small size
งานที่ใช้สายตาตามากๆ เช่น การประกอบชิ้นส่วน	750 - 1000 - 1500		
งานที่ใช้สายตาตามากเป็นพิเศษ	1000 - 1500 - 2000	1000-1500-2000 (b)	Performance of visual tasks of low contrast or Very small size
งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่น การผ่าตัด	มากกว่า 2000	2000-3000-5000 (x)	Performance of visual tasks of low contrast and very small size ,Prolonged period
		5000-7500-10000 (x)	Performance of very prolonged and exacting visual tasks
		10000 up (x)	Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน

ที่มา : (ก) ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ,เทคนิคการส่องสว่าง, หน้า 1-6

(ข) IES. Illuminating Engineering Society : Reference. 1983,pp A3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน CIE (ก)	ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน IES (ข)	ค่า Daylight Factor (%), (ค)		
			เฉลี่ย	ต่ำ	จุดที่วัด
อาคารทั่วไป	ทางเดิน	50 - 100 - 150	2	0.6	พื้น
	บันได - บันไดเลื่อน	100 - 150 - 200	2	0.6	ลูกนอน
	ที่เก็บของ , ห้องเก็บของ	100 - 150 - 200	1.5	0.5	work plane
	ห้องน้ำ	100 - 150 - 200	1.5	0.5	work plane
สำนักงาน	พื้นที่ทั่วไป , พิมพ์ดีด , คอมพิวเตอร์	300 - 500 - 750	5	2.5	work plane
	เขียนแบบ	500 - 750 - 1000	5	2.5	work plane
	ห้องประชุม	300 - 500 - 750	2	0.6	work plane
	โถงทางเข้า	100 - 150 - 200	2	0.6	work plane
ห้องสมุด	หนังสือ	150 - 200 - 300	5	1.5	vertical
	โต๊ะอ่านหนังสือ	300 - 500 - 750	5	1.5	work plane
	เคาน์เตอร์	200 - 300 - 500	5	2	work plane
ห้องประชุม	เอนกประสงค์	150 - 200 - 300	5	2.5	work plane

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และ IES (USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)

ที่มา : (ก) ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ,เทคนิคการส่องสว่าง, หน้า 1-6

(ข) IES. Illuminating Engineering Society : Reference. 1983

(ค) BSI Draft for Development p.73 อ้างถึงใน Applications Manual Window Design หน้า 31

2.7 ทฤษฎีด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

หลักการศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาจุดพอเหมาะของวิธีการปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยจะพิจารณาความคุ้มค่าที่ได้รับมากที่สุดในการลงทุน ซึ่งมีการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์หลายๆด้าน เช่น ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคาร (life cycle cost) , ระยะเวลาคืนทุน (payback period) ฯลฯ ทั้งนี้การวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์จะมีเรื่องของอัตราดอกเบี้ยและอัตราเงินเฟ้อที่คาดว่าจะเกิดขึ้นมาเกี่ยวข้องด้วย

2.7.1 ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคาร (life cycle cost) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$PWIF = \frac{1+r}{1-r} \frac{(1-(1+r)^n)}{(1+i)}$$

เมื่อ

n	=	อายุการใช้งานของอาคาร
i	=	อัตราดอกเบี้ย (%)
r	=	อัตราการขึ้นราคาของค่าพลังงาน (%)

2.7.2 ระยะเวลาคืนทุน (simple payback period) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปี}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษา เพื่อหารูปแบบของอาคารบ้านแถว (townhouse) ที่มีสภาวะน่าสบายและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเลือกอาคารกรณีศึกษาที่มีลักษณะเป็นบ้านแถวขนาดความสูง 3 ชั้น ที่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร ตัวอาคารมีโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารรวมทั้งหมดประมาณ 195 ตารางเมตร ภายในอาคารมีการปรับอากาศด้วยวิธีธรรมชาติและวิธีเครื่องกล

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 การศึกษาทฤษฎีแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

- 3.1.1.1 หลักการการถ่ายเทความร้อน
- 3.1.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุอาคาร
- 3.1.1.3 สภาวะน่าสบาย (thermal comfort)
- 3.1.1.4 การคำนวณภาระการทำความเย็น (cooling load)
- 3.1.1.5 การวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น (COP และ EER)
- 3.1.1.6 ทฤษฎีแสงสว่าง
- 3.1.1.7 ทฤษฎีด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

3.1.2 การสำรวจเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร

3.1.2.1 การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร

ก) สำรวจข้อมูลสภาพอากาศ

(ก) รังสีดวงอาทิตย์ (solar) ศึกษาผลกระทบแสงอาทิตย์ที่มีต่ออาคารกรณีศึกษาและสภาพที่ตั้ง

(ข) อุณหภูมิ (temperature) ศึกษา สำรวจและเก็บข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ยต่อเดือนและต่อปี , อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของปี , ความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลากลางวันและกลางคืน

(ค) ความชื้น (humidity) ปริมาณความชื้นที่อยู่ในอากาศสามารถวัดออกมา คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)

ข) สำรวจข้อมูลสภาพที่ตั้งโดยรอบอาคาร

(ก) ลักษณะพื้นที่ดินโดยรอบ (landform) สำรวจลักษณะรูปร่างที่ตั้งรอบๆอาคาร

(ข) ลักษณะพืชพรรณแวดล้อม (vegetation) สํารวจชนิด ตำแหน่ง ความสูง และปริมาณของต้นไม้ที่อยู่ใกล้เคียง

(ค) ลักษณะแหล่งน้ำในพื้นที่ (water body) สํารวจ ขนาด ตำแหน่ง และสภาพลักษณะของแหล่งน้ำ ที่อยู่ในบริเวณอาคาร

(ง) ลักษณะสิ่งก่อสร้างข้างเคียง (built form) สํารวจ ขนาด ตำแหน่ง ความสูงของอาคารและสิ่งก่อสร้างที่อยู่ใกล้เคียงว่ามีผลกระทบกับอาคารมากน้อยเพียงใด

ค) สํารวจข้อมูลทางกายภาพของอาคาร

(ก) ลักษณะทิศทางแนวแกนอาคาร (orientation) เพื่อสํารวจหาทิศทางที่แน่นอนของอาคาร

(ข) ลักษณะรูปร่างอาคาร (shape of building) เพื่อกําหนดลักษณะอาคารเป็น แบบ ILD. (internal load dominate) หรือ แบบ ELD.(external load dominate)

(ค) ลักษณะวัสดุที่ใช้ในระบบเปลือกอาคาร เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุ เช่น การนำความร้อนของวัสดุ (wall&roof U-value)

(ง) ลักษณะผังอาคารและการแบ่งพื้นที่ (planning&zoning) สํารวจ ลักษณะการใช้งานและการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร

ง) สํารวจข้อมูลผู้ใช้อาคาร

(ก) ลักษณะพฤติกรรมการใช้งานอาคารของผู้ใช้งาน

(ข) จำนวนผู้ใช้งานอาคารของแต่ละพื้นที่

(ค) ตารางการใช้งานอาคารของแต่ละพื้นที่

3.1.2.2 การสํารวจและเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

ระดับสภาวะน่าสบายเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผู้พักอาศัยภายในอาคารมากและยังมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโดยเฉพาะกับระบบเครื่องปรับอากาศ ตัวแปรที่มีผลต่อระดับสภาวะน่าสบายมีอยู่ 6 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายใน, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม, อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ, เสื้อผ้า และ กิจกรรมของผู้ใช้ภายในอาคาร แต่สำหรับ ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม และ เสื้อผ้าจะไม่นำมาร่วมในการสํารวจครั้งนี้ เพราะมีข้อจำกัดทางด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการทําวิจัยครั้งนี้ ประกอบกับตัวแปรบางตัวไม่สามารถควบคุมได้ เช่น เสื้อผ้า

ก) ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (temperature) ได้วัดค่าโดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือในการบันทึกค่าทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร

ข) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ได้วัดค่าโดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือในการบันทึกค่า ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร

ค) ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ได้วัดค่าโดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือในการบันทึกค่าอุณหภูมิอากาศและค่าอุณหภูมิผิวนั่งอาคารภายในอาคาร แล้วนำมาคำนวณหาค่า MRT

ง) ข้อมูลลักษณะกิจกรรมของผู้ใช้อาคาร ได้ทำการเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์ผู้ใช้อาคาร และหาค่าเฉลี่ยจากข้อกำหนดของมาตรฐาน ASHRAE

3.1.3 วิธีการเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อระดับสภาวะน่าสบาย

3.1.3.1 การเลือกห้องตัวแทนภายในห้องแถวเพื่อบันทึกข้อมูล เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาที่จะทำการวิจัยครั้งนี้มีพื้นที่ใช้สอยหลายๆส่วน ซึ่งไม่สามารถเข้าไปเก็บข้อมูลได้ในทุกๆพื้นที่ ดังนั้นจึงต้องเลือกตัวแทนของกลุ่มห้องเพื่อเข้าไปเก็บข้อมูล โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาเลือกห้องตัวแทนดังนี้

ก) ลักษณะการปรับอากาศภายในห้อง แบ่งออกเป็นห้องที่ปรับอากาศและห้องที่ไม่ปรับอากาศ

ข) ตำแหน่งและทิศทางของห้อง ได้พิจารณาเลือกห้องที่ตั้งอยู่ทางทิศใต้เนื่องจากจะได้รับผลมากกว่าทางทิศอื่น

3.1.3.2 วิธีการบันทึกค่าและเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ข้อมูลของตัวแปรที่มีผลต่อระดับสภาวะน่าสบาย ที่จะต้องทำการบันทึกมีดังนี้

ก) อุณหภูมิอากาศ (temperature) ทำการบันทึกค่าภายในห้อง 1 จุด และ บันทึกภายนอกอาคาร 1 จุด ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ ส่วนเครื่องมือที่ใช้ คือ data logger

ข) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ทำการบันทึกค่าภายในห้อง 1 จุด และ บันทึกภายนอกอาคาร 1 จุด ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากรังสีแสงอาทิตย์ เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล คือ data logger

ค) อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ได้ทำการบันทึกค่าของอุณหภูมิบริเวณผิวของผนัง , ฝ้าเพดานและพื้นด้วยรวมทั้งหมด 6 จุด โดยแต่ละจุดจะไม่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากรังสีแสงอาทิตย์ เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล คือ data logger และ infrared thermometer

3.1.3.3 เวลาที่ใช้บันทึกข้อมูล

การเก็บข้อมูลภายในอาคารกรณีศึกษาได้ใช้เวลาประมาณ 3 สัปดาห์ ตั้งแต่วันที่ 8 - 27 กรกฎาคม พ.ศ.2547 โดยทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 15 วินาที ตลอด 24 ชั่วโมงของทุกวัน

3.1.4 การสำรวจและเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อระบบแสงสว่างภายในอาคาร

3.1.4.1 การสำรวจแสงธรรมชาติ ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ก) องค์ประกอบภายนอกของอาคาร เป็นส่วนประกอบของอาคารที่มีผลกับแสงธรรมชาติก่อนที่จะผ่านเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งได้แก่ แผงกันแดด (shading device) และ รายละเอียดของช่องเปิดหรือช่องแสง

ข) องค์ประกอบภายในอาคาร เมื่อแสงผ่านช่องเปิดเข้ามายังพื้นที่ภายในอาคาร แล้วองค์ประกอบต่างๆที่อยู่ภายในจะมีผลทำให้ปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามา มีการกระจายแสงมากขึ้นหรือลดลง ซึ่งได้แก่ การจัดพื้นที่ใช้สอย และ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ภายในอาคาร

ค) การสำรวจปริมาณการกระจายแสงธรรมชาติภายในอาคาร (daylight factor) เป็นการตรวจสอบแสงธรรมชาติภายในอาคารที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบภายนอกและภายในอาคาร เพื่อต้องการทราบปริมาณของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้ามาในอาคาร การวัดปริมาณแสงที่ส่องผ่านเข้ามา นั้น จะต้องทำการวัดค่า ณ ตำแหน่งต่างๆของพื้นที่ในแต่ละด้านของแต่ละชั้น

3.1.4.2 วิธีการวัดปริมาณแสงธรรมชาติ มีวิธีการวัดดังนี้

ก) วัดปริมาณความสว่างของแสงสว่างธรรมชาติภายนอกอาคาร ห่างจากบริเวณกึ่งกลางของความกว้างช่องเปิดออกไปข้างนอกประมาณ 1.50 ม. ซึ่งจะต้องไม่อยู่ใต้ชายคาหรือกันสาด

ข) วัดปริมาณความสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติเป็นระยะห่างจากช่องเปิดเข้าไปด้านในพื้นที่ที่ต้องการวัดทุกๆระยะ 1.00 ม. ทั้งทางด้านกว้างและด้านยาว ซึ่งจะวัดแต่ละจุดพร้อมกับการวัดความสว่างภายนอกด้วยทุกครั้ง

ค) ระดับความสูงของตำแหน่งที่วัด ได้กำหนดไว้ที่ระดับความสูง 0.80 เมตรจากพื้นห้อง ซึ่งเป็นระดับของระนาบการทำงาน (work plane)

ง) การเก็บค่าระดับความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติ จะบันทึกข้อมูลเป็นค่าประสิทธิภาพของแสงสว่างธรรมชาติ (daylight factor) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการหาค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้าสู่พื้นที่ภายในอาคาร ซึ่งหากสามารถทราบค่าความส่องสว่างภายนอก ณ, ช่วงเวลาใดๆ ก็จะสามารถทราบค่าความส่องสว่างภายในอาคารที่ตำแหน่งต่างๆ โดยอาศัยค่า daylight factor ณ. ช่วงเวลานั้นได้

3.1.5 การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคาร

3.1.5.1 สำรวจข้อมูลของระบบปรับอากาศ

- ก) รูปแบบและชนิดของเครื่องปรับอากาศ
- ข) ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (COP/EER)
- ค) จำนวนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานและขนาดของเครื่อง

ง) การใช้งานของเครื่องปรับอากาศ เช่น ระยะเวลาการใช้งาน, การตั้งค่า thermostat

จ) การจัดกลุ่มและแบ่งพื้นที่ใช้สอยของเครื่องปรับอากาศ

ข) การดูแลและบำรุงรักษาเครื่อง

3.1.5.2 สํารวจข้อมูลของระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์

ก) รูปแบบและชนิดของดวงโคม

ข) จำนวนของดวงโคม

ค) ระยะเวลาของการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์

3.1.5.3 สํารวจข้อมูลของระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร

ก) รูปแบบและชนิดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

ข) จำนวนของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

ค) ระยะเวลาของการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

3.1.6 การวิเคราะห์และประเมินอาคารกรณีศึกษาทางด้านสถานะน่าสบายและการใช้พลังงานไฟฟ้า

3.1.6.1 ประเมินการใช้พลังงานรวมภายในอาคาร (energy consumption) ทำการประเมินว่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดถูกใช้ไปกับระบบใดบ้างเป็นปริมาณเท่าใดของระบบนั้นๆ โดยทำการสำรวจเก็บข้อมูลจากอาคารกรณีศึกษาและการจำลองสภาพอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE 2.1 E

3.1.6.2 ประเมินระดับสถานะน่าสบาย (thermal comfort) ทำการประเมินค่าระดับสถานะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์ภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบภายในอาคารกรณีศึกษา โดยเปรียบเทียบกับช่วงสถานะน่าสบายของเกณฑ์มาตรฐานต่างๆที่มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

3.1.6.3 ประเมินระดับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ทำการประเมินค่า daylight factor ที่ได้จากการวัดแสงธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความส่องสว่างของ CIE. และ IES. พร้อมทั้งตรวจสอบว่าความส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่

3.1.6.4 ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร ทำการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) โดยเปรียบเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารกรณีศึกษากับเกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายการอนุรักษ์พลังงาน

3.1.7 การเสนอแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

แนวทางการปรับปรุงนี้เกิดจากการประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาทางด้านต่างๆซึ่งทำให้พบปัญหาที่เกิดขึ้นจริงภายในอาคารแล้วจึงสามารถเสนอแนวทางการปรับปรุงอาคารนี้ได้ดังนี้

3.1.7.1 แนวทางในการปรับปรุงระบบเปลือกอาคาร เป็นแนวทางการปรับปรุงเพื่อป้องกันความร้อนที่ผ่านมาจากผนัง, ช่องเปิด และหลังคา

3.1.7.2 แนวทางการปรับปรุงระดับสภาวะน่าสบาย เป็นแนวทางการปรับปรุงสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกอาคารเพื่อช่วยปรับระดับอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบายมากที่สุด

3.1.7.3 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแสงสว่าง เป็นแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างธรรมชาติและแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ภายในอาคาร รวมทั้งแนวทางการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ร่วมกับแสงไฟฟ้าประดิษฐ์ด้วย

3.1.7.4 แนวทางในการควบคุมการรั่วไหลของอากาศ เป็นแนวทางการควบคุมการรั่วไหลของอากาศโดยไม่ได้ควบคุมจากรอยรั่วประตูหน้าต่างของอาคารและการปิดเปิดประตูเข้าออกจากห้องปรับอากาศ

3.1.8 การประเมินผลแนวทางการปรับปรุงอาคาร

เมื่อได้แนวทางการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสมแล้วจึงได้นำแนวทางการปรับปรุงเหล่านั้นมาประเมินผลอีกครั้งเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพทางด้านต่างๆ ก่อนที่จะสรุปเป็นแนวทางการปรับปรุงหรือการออกแบบต่อไป โดยได้ใช้แนวทางการประเมินผล 2 แนวทาง ได้แก่

3.1.8.1 การประเมินผลในเชิงเทคนิค

การประเมินผลทางเทคนิคนี้ได้พิจารณาความเป็นไปได้ในการดำเนินการ การสร้างสภาวะน่าสบายและการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารให้ได้มากที่สุด

3.1.8.2 การประเมินผลในเชิงเศรษฐศาสตร์

การประเมินผลในเชิงเศรษฐศาสตร์นี้ได้พิจารณาเรื่องของ ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคาร (life cycle cost) และ ระยะเวลาการคืนทุน (payback period)

3.1.9 สรุปผลการดำเนินการที่เหมาะสมในการนำไปปรับปรุงหรือออกแบบบ้านแถว

เมื่อทำการประเมินผลแนวทางการปรับปรุงอาคารในแต่ละแนวทางแล้ว จึงทำการสรุปแนวทางที่เหมาะสมทั้งในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อกำหนดเป็นแนวทางที่จะนำไปปรับปรุงหรือออกแบบอาคารบ้านแถวต่อไป พร้อมเสนอข้อแนะนำและข้อจำกัดในการนำไปใช้งานจริงด้วย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา

3.2.1.1 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ (data logger)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นในตัวเดียวกัน ข้อมูลที่วัดได้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำซึ่งอยู่ภายในกล่อง data logger การวัดสามารถตั้งค่าได้ตั้งแต่ รายวินาที ,รายนาที่ หรือ รายชั่วโมง ที่มีทั้งหน่วย si และ ip การดึงข้อมูลจากเครื่อง data logger นั้นจะต้องใช้สายดึงข้อมูลควบคู่กับโปรแกรม box car pro ของ data logger ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ สำหรับการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ครั้งนี้ได้ใช้อุปกรณ์ data logger จำนวน 3 ชุด โดยแยกติดตั้งไว้ในอาคารแต่ละจุดที่กำหนดไว้ ได้แก่ ชั้นล่างบริเวณห้องรับแขก ชั้นสามบริเวณห้องนอน3 และช่องใต้หลังคา การปรับค่า (calibration) เครื่อง data logger ให้มีความถูกต้องและเที่ยงตรงนั้นได้เทียบค่ากับเครื่องที่มีการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตโดยตรง เพื่อตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่ใช้



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์วัดความอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (data logger)

3.2.1.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิพื้นผิวระยะไกล ชนิดเป็น (infrared thermometer)

เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิพื้นผิวของอาคารด้วยระบบเลเซอร์ซึ่งจะแสดงผลบนจอของเครื่องทันที เมื่อทำการวัด ค่าของอุณหภูมิสามารถแสดงได้ทั้งหน่วยองศาเซลเซียส หรือ องศาฟาเรนไฮต์



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิพื้นผิวระยะไกล ชนิดปืน (infrared gun)

3.2.1.3 อุปกรณ์วัดแสง

การวัดค่าความแสงสว่างภายในอาคารนี้ได้ใช้อุปกรณ์จำนวน 2 ชุด โดยชุดแรกได้ใช้วัดค่าความสว่างภายในอาคาร ส่วนชุดที่สองได้ใช้วัดค่าความสว่างภายนอกอาคาร เพื่อสามารถเก็บข้อมูลต่างๆได้ครบถ้วนและถูกต้อง เช่น ค่าประสิทธิภาพความส่องสว่าง (daylight factor) , ค่าการสะท้อนแสงและค่าการส่องสว่างผ่านส่วนประกอบอาคาร อุปกรณ์ชุดนี้จะวัดค่าได้ตั้งแต่ 200-50,000 ลักซ์



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดแสง (lux meter)

3.2.2 โปรแกรมการจำลองสภาพการใช้พลังงาน

โปรแกรม Doe 2.1e เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการประเมินการใช้พลังงานและสถานะน่าสบายภายในอาคาร โปรแกรมนี้สามารถนำไปใช้ศึกษากับอาคารที่กำลังออกแบบอยู่หรืออาคารที่ใช้งานแล้วเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพของอาคารทางด้านการใช้พลังงานและสถานะน่าสบายแล้วนำข้อดีข้อด้อยที่ได้จากการวิเคราะห์ไปกำหนดแนวทางการออกแบบหรือปรับปรุงอาคารต่อไป ประสิทธิภาพของโปรแกรม Doe 2.1e จะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ป้อนเข้าในโปรแกรมว่ามีความละเอียดถูกต้องมากน้อยเพียงใด

3.2.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของโปรแกรม Doe 2.1e มีดังนี้

- ก) การคำนวณของโปรแกรมเน้นความถูกต้องแม่นยำทุกขั้นตอน
- ข) การคำนวณภาระการทำความเย็นใช้วิธีแบบ transfer function method
- ค) การคำนวณการใช้พลังงานรายชั่วโมงตลอดปี
- ง) การคำนวณการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้พิจารณาการใช้แสงสว่างธรรมชาติและลักษณะช่องเปิดด้วย
- จ) การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของช่องเปิดในทุกๆ ชั่วโมงได้นำไปคำนวณการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารในแต่ละชั่วโมงด้วย

3.2.2.2 หลักการทำงานของโปรแกรม Doe 2.1e มีดังนี้

- ก) โปรแกรม Doe 2.1e จะแปลความหมายข้อมูลที่ป้อนเข้าไปจากภาษาเขียน ให้เป็นตัวแปร ซึ่งประกอบด้วย
 - (ก) BLD (the building description language processor) คือ ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารที่กำหนดด้วยภาษาที่โปรแกรมสามารถเข้าใจได้ เพื่อใช้คำนวณตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร และประเมินความสำคัญของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอาคาร

ข) ข้อมูลสำคัญๆ ที่จะต้องกรอกเข้าไปในโปรแกรม เพื่อการใช้งานในโปรแกรม Doe 2.1e ประกอบด้วย 4 ส่วนหลักๆ ดังนี้

- (ก) LOADS (the loads simulation subprogram) เป็นคำสั่งที่เขียนเพื่อใช้ในการคำนวณส่วนประกอบทางด้านความร้อนสัมผัส (sensible heat) และความร้อนแฝง (latent heat) หรือความต้องการพลังงานที่ใช้ในอาคาร รวมทั้งภาระการทำความเย็น (cooling load) หรือภาระการทำความร้อน (heating load) ของแต่ละพื้นที่ภายในอาคารที่ต้องการทราบ ข้อมูลนี้มีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ, ตำแหน่งและข้อมูลของรังสีดวงอาทิตย์, ตารางการใช้งานของอาคาร, ระบบแสงสว่าง, อุปกรณ์ไฟฟ้า และการรั่วซึมของอากาศระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

- (ข) SYSTEMS (the secondary HVAC systems simulation subprogram) ขณะที่ส่วน LOADS ทำหน้าที่ประเมินหาค่าพลังงานที่ใช้ในอาคารนั้น ในส่วน SYSTEMS

จะทำหน้าที่ประเมินเกี่ยวกับระบบที่ใช้ในอาคาร รวมทั้งความต้องการอากาศภายนอกที่นำเข้ามาทดแทน จำนวนชั่วโมงทำงานของระบบ และการควบคุมระบบ HVAC ในอาคาร ผลจากการประเมินของ systems จะแสดงเป็นรายการภาระการทำความเย็นหรือภาระการทำความร้อนของเครื่องปรับอากาศ ตามพื้นที่ที่พิจารณา

(ค) PLANT (the primary HVAC systems simulation subprogram) เป็นการจำลองสภาพการใช้งานของ boiler ,turbine}chiller ฯลฯ ที่ทำให้เกิดภาระการทำความเย็นหรือภาระการทำความร้อนภายในอาคารตามระบบ systems ที่กำหนดไว้ โปรแกรมจะคำนวณปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซที่ใช้ในอาคาร

(ง) ECONOMICS (the economics analysis subprogram) เป็นส่วนที่ใช้เพื่อการคำนวณค่าใช้จ่ายของพลังงานภายในอาคาร เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายจริงของอาคาร กรณีศึกษาเพื่อปรับปรุงอาคารให้ดีขึ้นต่อไป

ค) เพิ่มข้อมูลอากาศ ที่กำหนดขึ้นเป็นรายชั่วโมง เป็น File ที่มีนามสกุล TMY (test meteorological year) หรือ TRY (test reference year) สำหรับข้อมูลของประเทศไทยต้องจัดทำขึ้นใหม่เองจากรายงานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงจากกรมอุตุนิยมวิทยา ปี 2547 โดยต้องเขียนให้มีรูปแบบเดียวกัน

ง) การกรอกข้อมูลรายละเอียดในโปรแกรม มีขั้นตอนดังนี้

(ก) ข้อมูลรูปทรงอาคารมีลักษณะ 3 มิติ โดยทำการสร้างองค์ประกอบอาคารขึ้นในโปรแกรม และต้องมีความสัมพันธ์กับข้อมูลในส่วนอื่นๆ ด้วย เช่น ตำแหน่งของอาคาร ได้แก่ ละติจูด และลองจิจูด ,พิกัดของอาคาร ต้องสัมพันธ์กับ ตำแหน่งของอาคาร และ พิกัดของพื้นที่ใช้สอย ต้องสัมพันธ์กับ พิกัดของอาคาร

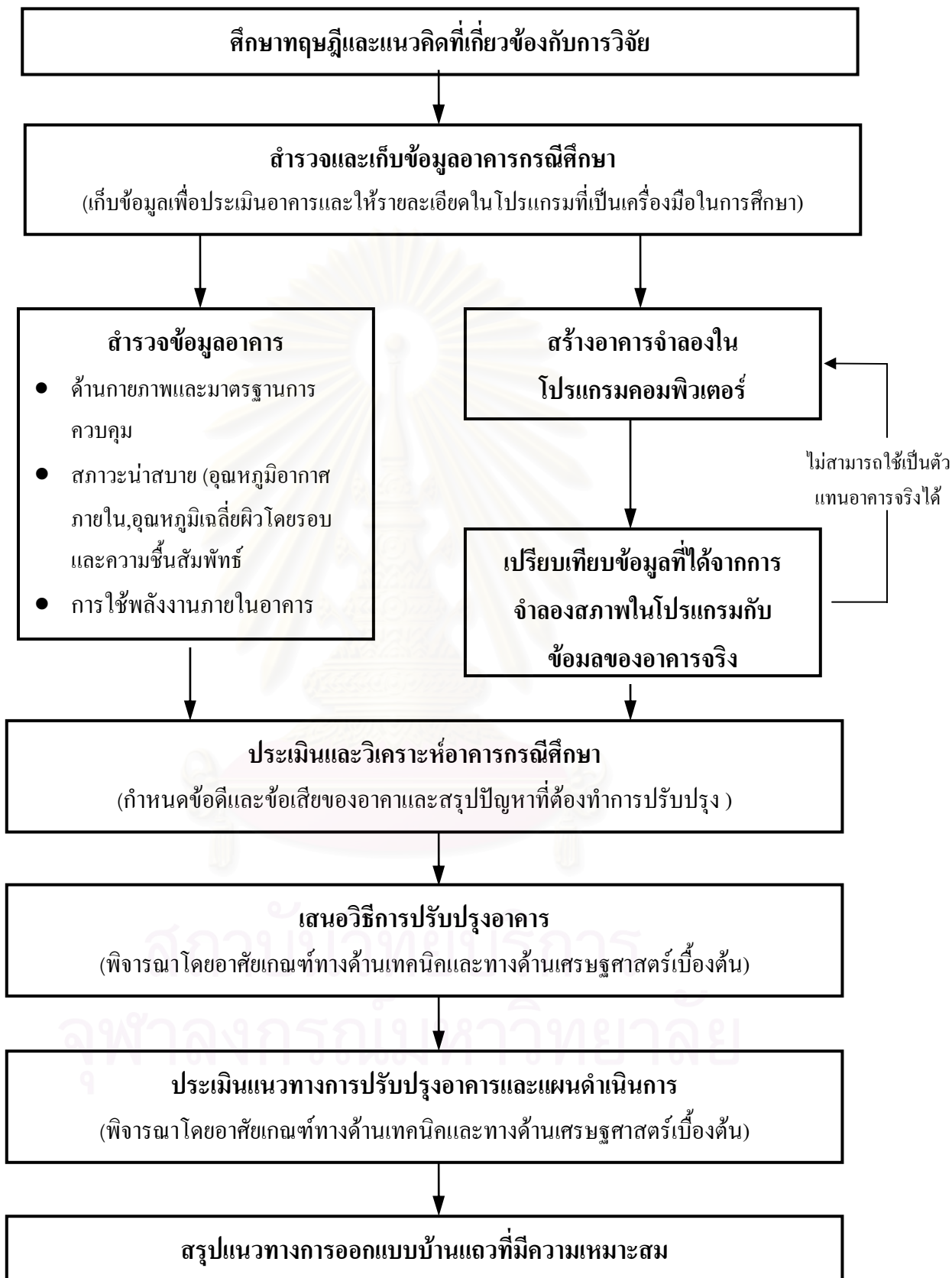
(ข) การป้อนข้อมูลส่วน loads ที่เกี่ยวกับลักษณะอาคารและการใช้งานของอาคาร

(ค) การป้อนข้อมูลส่วน systems ของอาคารเป็นข้อมูลเกี่ยวกับระบบปรับอากาศของอาคาร

(ง) การป้อนข้อมูลส่วน Plant ของอาคาร เป็นข้อมูลเกี่ยวกับระบบเครื่องจักรของระบบพลังงานภายในอาคาร

(จ) การป้อนข้อมูลส่วน economic ของอาคาร เป็นข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์

จะเห็นว่าโปรแกรมนี้ต้องการองค์ประกอบข้อมูลข้างต้นที่มีความละเอียดค่อนข้างมาก ดังนั้น ผู้ใช้ควรพิจารณาความละเอียดถูกต้องของข้อมูลที่จะนำป้อนเข้าไปในโปรแกรม เพื่อโปรแกรมจะสามารถประเมินและแสดงผลใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด



แผนภูมิที่ 3.1 แสดงวิธีดำเนินการวิจัย

บทที่ 4

รายละเอียดอาคารกรณีศึกษาและการวิเคราะห์ประเมินอาคารกรณีศึกษา

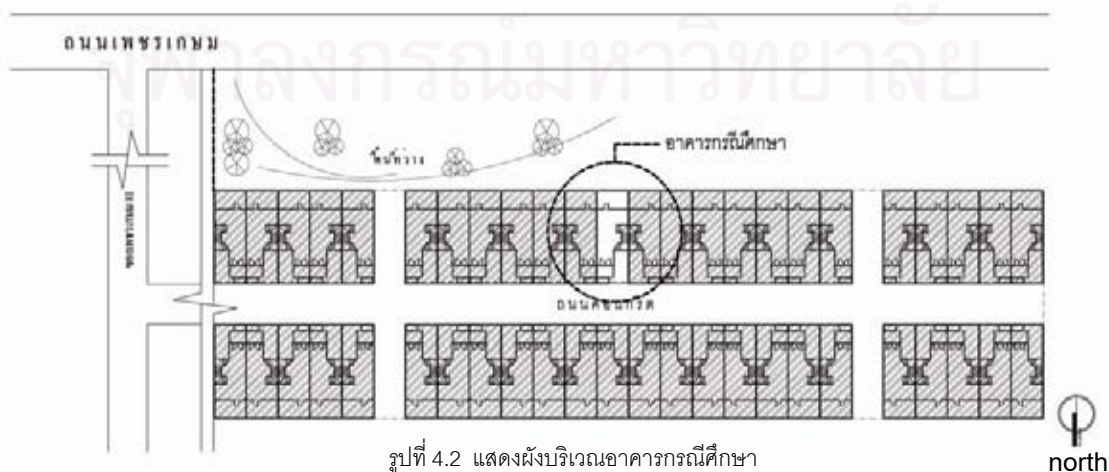
4.1 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา

4.1.1 ที่ตั้งและสภาพแวดล้อมอาคารกรณีศึกษา

อาคารกรณีศึกษาหลังนี้เป็นบ้านแถวขนาดความสูง 3 ชั้น ซึ่งมีความเหมาะสมทางด้านรูปแบบสถาปัตยกรรมที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของบ้านแถวส่วนใหญ่โดยทั่วไปที่มีขนาดความสูง 3 ชั้น ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยที่เพียงพอต่อการอยู่อาศัย นอกจากนี้อาคารหลังนี้ยังสามารถเข้าถึงเพื่อทำการศึกษาและเก็บข้อมูลได้อย่างสะดวกด้วย อาคารกรณีศึกษานี้ได้ตั้งอยู่ในโครงการหมู่บ้านสุชา ซอยเพชรเกษม 81 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร การจัดผังของโครงการมีลักษณะเป็นแนวยาววางขนานไปกับถนนทั้งสองข้าง โดยอาคารที่เรียงต่อเนื่องกันแถวหนึ่งจะมี 14 หลัง (คูหา) อาคารหลังนี้ตั้งอยู่ในช่วงกลางของกลุ่มอาคารซึ่งหันหน้าอาคารไปทางทิศเหนือ ส่วนทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะอยู่ชิดติดกับอาคารข้างเคียงที่มีการใช้ผนังอาคารร่วมกัน



รูปที่ 4.1 แสดงสภาพแวดล้อมด้านหน้าโครงการ



รูปที่ 4.2 แสดงผังบริเวณอาคารกรณีศึกษา

north

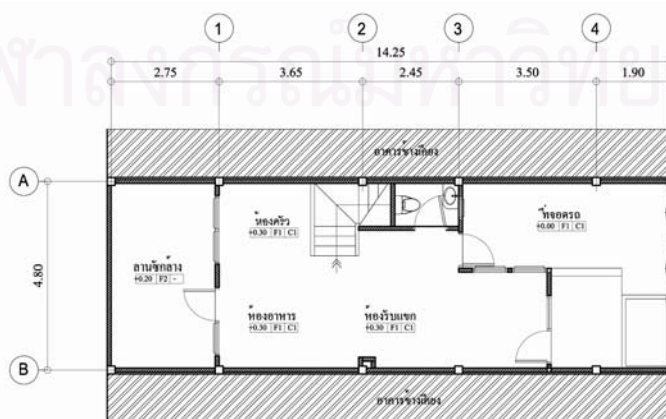
4.1.2 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร

4.1.2.1 ลักษณะอาคารโดยทั่วไป

อาคารกรณีศึกษาหลังนี้มีลักษณะเป็นบ้านแถว ขนาดความสูง 3 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารรวมกันประมาณ 195 ตารางเมตรและมีพื้นที่ภายนอกอาคารอีกประมาณ 15 ตารางเมตร อาคารมีโครงสร้างเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กและมีหลังคาเป็นโครงสร้างเหล็กมุงด้วยกระเบื้องคอนกรีต ระบบเปลือกอาคารเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนและหน้าต่างกระจกใส ผนังของอาคารจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ด้าน คือ ด้านสั้นซึ่งจะอยู่ติดกับสภาพแวดล้อมภายนอกทั้งด้านหน้าและด้านหลังของอาคาร ส่วนทางด้านยาวของอาคารจะมีผนังร่วมกับอาคารข้างเคียงทั้ง 2 ข้าง พื้นที่ที่ใช้สอยภายในอาคารได้แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นล่าง ประกอบด้วย ห้องรับแขก, ห้องอาหาร, ห้องครัว, ห้องน้ำ, ลานซักล้างและที่จอดรถ ชั้นสองประกอบด้วย ห้องนอน-1, ห้องทำงาน, ห้องน้ำ และโถงบันได -1 และ ชั้นสาม ประกอบด้วย ห้องนอน-2, ห้องนอน-3, ห้องน้ำ และโถงบันได-2 สำหรับการปรับอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ปรับอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ได้แก่ บริเวณชั้นล่างและชั้นสอง และส่วนที่ปรับอากาศด้วยวิธีเครื่องกล (เครื่องปรับอากาศ) ได้แก่ บริเวณชั้นสาม

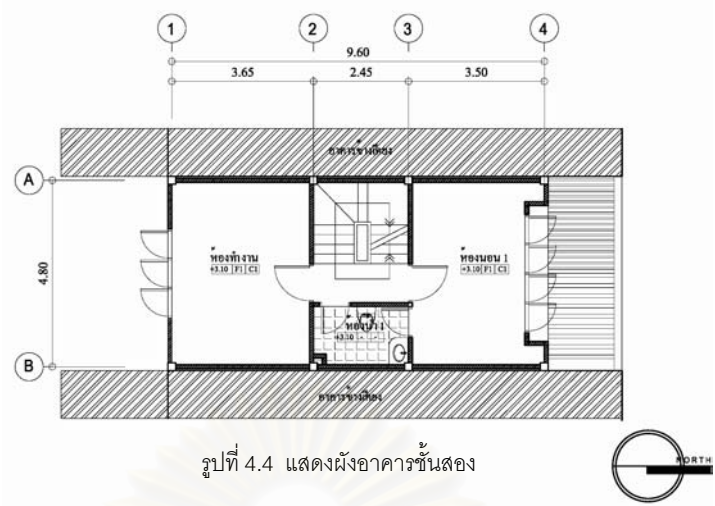
ชั้น	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย(ตร.ม.)
1	ห้องรับแขก	49
2	ห้องทำงาน	18
	ห้องนอน1	18
	โถงบันได1	12
3	ห้องนอน2	19
	ห้องนอน3	18
	โถงบันได2	12
หลังคา	ห้องใต้หลังคา	49
	รวม	195

ตารางที่ 4.1 แสดงพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารกรณีศึกษา

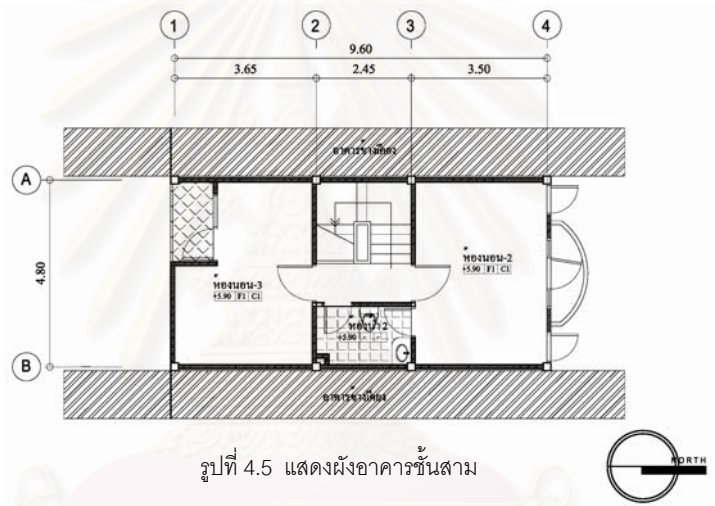


รูปที่ 4.3 แสดงผังอาคารชั้นล่าง

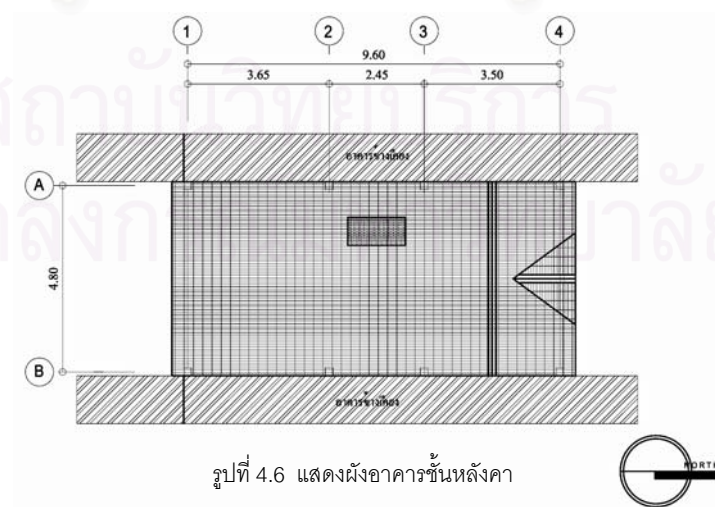




รูปที่ 4.4 แสดงผังอาคารชั้นสอง



รูปที่ 4.5 แสดงผังอาคารชั้นสาม

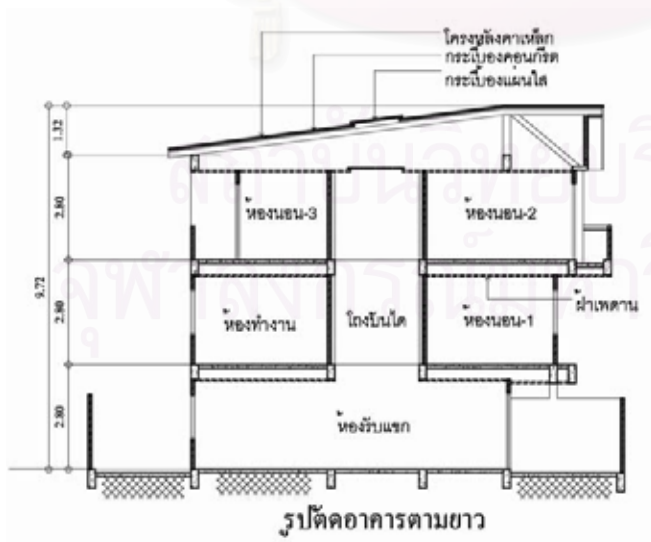


รูปที่ 4.6 แสดงผังอาคารชั้นหลังคา

4.1.2.2 ลักษณะทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม

องค์ประกอบอาคาร	บริเวณ	รายละเอียด
เสา-คาน		คอนกรีตเสริมเหล็ก
พื้น	ชั้นที่ 1	พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร (slab on grade) ปูด้วยกระเบื้องเซรามิก ขนาด 8"x8"
	ชั้นที่ 2 และ 3	พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร (slab on beam) ปูด้วยกระเบื้องเซรามิก ขนาด 8"x8"
ผนัง	ผนังภายนอก	ผนังก่อซีเมนต์บล็อก ขนาด 0.19x0.39x0.07 ม.ผิวฉาบปูนทาสีขาว
	ผนังภายใน	
หลังคา		โครงสร้างเหล็กทาสีกันสนิม มุงด้วยกระเบื้องคอนกรีตสีแดง พร้อมช่อง แสงขนาด 1"x1" บริเวณโถงบันได
ประตู	ภายในอาคาร	บานประตูไม้ขัดทาสีน้ำมันวงกบไม้เนื้อแข็งทาสีน้ำมัน
	ภายนอกอาคาร	บานประตูไม้เนื้อแข็งทาสีน้ำมันพร้อมลูกฟักกระจกสีชา หนา 6 มม.
หน้าต่าง		วงกบและบานกรอบไม้เนื้อแข็งทาสีน้ำมันพร้อมลูกฟัก กระจกสีชา หนา 6 มม.
ฝ้าเพดาน		แผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม.บนโครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสี ผิวฝ้าฉาบเรียบทาสี

ตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบอาคารของอาคารกรณีศึกษา



รูปที่ 4.7 แสดง รูปตัดอาคารตามแนวยาว

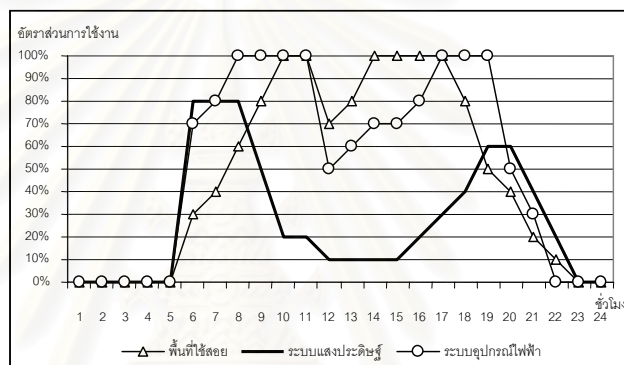


รูปที่ 4.8 แสดง รูปด้านอาคารกรณีศึกษา

4.1.2.3 ลักษณะพฤติกรรมการใช้สอย

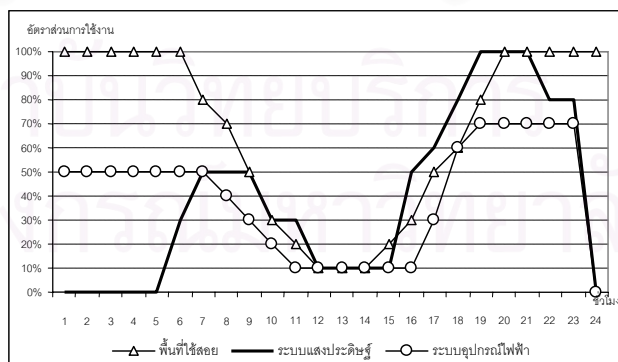
อาคารกรณีศึกษาหลังนี้เป็นบ้านพักอาศัยขนาด 1 ครอบครัวที่มีสมาชิกทั้งหมด 5 คน ได้แก่ พ่อแม่ และลูก 3 คน ลักษณะการใช้งานภายในอาคารสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ การใช้สอยของพื้นที่ , การใช้งานของระบบแสงสว่าง และ การใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่รวมระบบปรับอากาศด้วย ซึ่งในแต่ละประเภทจะมีพฤติกรรมของการใช้งานที่แตกต่างกัน ในการเก็บข้อมูลได้ทำการสัมภาษณ์จากผู้พักอาศัยภายในอาคารโดยจำแนกข้อมูลออกเป็นประเภทต่างๆ ของการใช้งานตลอดระยะเวลา 1 สัปดาห์ ตั้งแต่วันที่จันทร์-วันอาทิตย์ ตามตารางดังนี้

ก) พื้นที่ชั้นล่าง



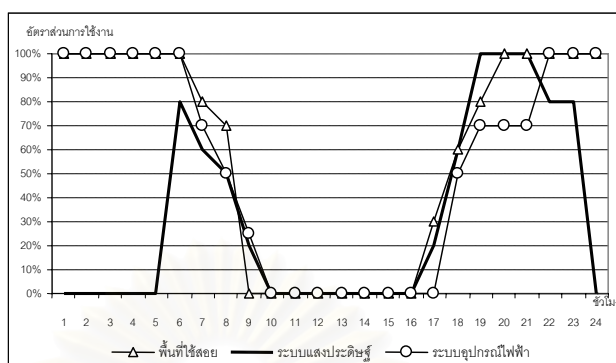
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมการใช้สอยภายในอาคารของชั้นล่างที่ได้มาจากการสัมภาษณ์

ข) พื้นที่ชั้นสอง



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงพฤติกรรมการใช้สอยภายในอาคารของชั้นสองที่ได้มาจากการสัมภาษณ์

ค) พื้นที่ชั้นสาม



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงพฤติกรรมการใช้สอยภายในอาคารของชั้นสามที่ได้มาจากการสัมภาษณ์

จากแผนภูมิที่ 4.1 จะพบว่า บริเวณชั้นล่างของอาคาร ในช่วงเวลากลางวันจะมีการใช้งานพื้นที่บริเวณนี้เป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าค่อนข้างมาก แต่การใช้แสงประดิษฐ์มีปริมาณน้อยกว่ามาก เนื่องจากความสว่างภายในอาคารที่ได้รับจากแสงธรรมชาติมีเพียงพอต่อการใช้งานแล้ว ส่วนในเวลากลางคืนจะไม่มีการใช้งานบริเวณนี้เลย

จากแผนภูมิที่ 4.2 จะพบว่าบริเวณชั้นสองของอาคาร ในช่วงเวลากลางวัน จะมีการใช้งานค่อนข้างน้อย เพราะเป็นพื้นที่ของห้องนอนและห้องทำงานที่มีการใช้งานในเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่ แต่ในห้องทำงานจะมีการใช้งานในเวลากลางวันอยู่บ้าง

จากแผนภูมิที่ 4.3 จะพบว่าบริเวณชั้นสามของอาคาร ในช่วงเวลากลางวัน จะมีการใช้งานค่อนข้างน้อยมาก เพราะเป็นพื้นที่ของห้องนอน ซึ่งจะใช้งานในเวลากลางคืนเป็นส่วนใหญ่ โดยพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะถูกใช้ในระบบเครื่องปรับอากาศ

4.2. การศึกษาการใช้พลังงานภายในอาคารกรณีศึกษา

การใช้พลังงานไฟฟ้าในกิจกรรมต่างๆ ภายในอาคารนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ระบบแสงสว่างประดิษฐ์, ระบบอุปกรณ์ไฟฟ้า และ ระบบปรับอากาศ ซึ่งแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันทั้งเรื่องของชนิดอุปกรณ์และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ดังนี้

4.2.1 ระบบแสงสว่างประดิษฐ์

ระบบแสงสว่างประดิษฐ์ภายในอาคารนี้ได้ใช้ดวงโคมชนิดหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบกลมที่ติดบนฝ้าเพดาน ขนาด 1x32 วัตต์ มีจำนวนทั้งหมด 15 ชุด ซึ่งคิดเป็นจำนวนพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในระบบแสงสว่างของอาคารจะเท่ากับ 480 วัตต์ คิดเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดจะเท่ากับ 2.46 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 16 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะดวงโคมภายในอาคาร

4.2.2 ระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษานี้มีความหลากหลายค่อนข้างมาก ทั้งเรื่องของชนิดและขนาด อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ถูกใช้งานเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับชีวิตประจำวันในชั้นพื้นฐานเท่านั้น เช่น โทรทัศน์ , ตู้เย็น , พัดลม , เตารีด ฯลฯ โดยแสดงรายละเอียดไว้ดังนี้

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า		
ประเภทอุปกรณ์	จำนวน	พลังงานรวม(วัตต์)
โทรทัศน์	2	$63 \times 2 = 126$
ตู้เย็น	1	65
พัดลม	3	$204 \times 3 = 204$
เครื่องเสียง	1	60
เตารีด	1	750
หม้อหุงข้าว	1	700
กระติกน้ำร้อน	1	600
คอมพิวเตอร์	1	230
รวม	11	2,735

ตารางที่ 4.3 แสดงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษา

4.2.3 ระบบเครื่องปรับอากาศ

การปรับอากาศภายในอาคารกรณีนี้ได้ใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จำนวน 2 เครื่องที่ติดตั้งในห้องนอน-2 และ ห้องนอน-3 ในชั้นสามของอาคาร โดยแต่ละเครื่องมีภาระการทำความเย็นประมาณ 12,000 บีทียูต่อชั่วโมง หรือ 1 ตัน ใช้พลังงานรวมทั้งหมด 2,220 วัตต์ ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (EER) จะเท่ากับ 10.82 ซึ่งคิดเป็นกิโลวัตต์ต่อตันความเย็นจะเท่ากับ 1.1 ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1.61 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 สภาวะนำสบายภายในอาคารกรณีศึกษา

การเก็บข้อมูลด้านสภาวะนำสบายภายในอาคารเพื่อไว้ทำการวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียในเบื้องต้นและนำมาใช้เปรียบเทียบกับแบบอาคารจำลองในคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องแล้วสามารถใช้เป็นต้นแบบของอาคารกรณีศึกษาในการทำการวิจัยต่อไปได้ ข้อมูลด้านสภาวะนำสบายภายในอาคารได้พิจารณาเฉพาะเรื่อง อุณหภูมิอากาศภายใน , อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ และ แสงสว่างธรรมชาติ เท่านั้น

4.3.2 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

การสำรวจและเก็บข้อมูลสภาวะนำสบายภายในอาคารได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆไว้ในแต่ละพื้นที่ที่กำหนดไว้ ได้แก่ ห้องรับแขก , ห้องนอน-3 และห้องใต้หลังคา โดยทำการเก็บข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 9 -28 กรกฎาคม 2547 เป็นเวลา 20 วัน ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ระหว่างการเก็บข้อมูลภายในอาคารจะไม่มี การเปิดหน้าต่างและไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศเพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆ ซึ่งจะได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงจริงมากที่สุด ดังตารางที่ 4.5

ตำแหน่ง	อุณหภูมิอากาศภายใน(องศาเซลเซียส)			ความชื้นสัมพัทธ์ภายใน(%)		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
ห้องรับแขก	31.1	28.3	29.8	74.9	57	65
ห้องนอน-3	34.8	28.31	31	71.3	50	61
ห้องใต้หลังคา	36	29.5	31.6	52	36.5	44.5
	อุณหภูมิภายนอก(องศาเซลเซียส)			ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก(%)		
	33.9	24.8	29.2	90	52.0	74.0

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารกรณีศึกษาที่ได้จากการวัด

จากตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกอาคาร โดยสามารถวิเคราะห์ได้ในเบื้องต้นของแต่ละพื้นที่ได้ดังนี้

4.3.2.1 ในห้องรับแขกจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดอยู่ที่ 31.1°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 2.8°C แต่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องรับแขกจะต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายนอกประมาณ 9%

4.3.2.2 ในห้องนอน-3 จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดที่ 34.8°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 1.8°C และมีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกประมาณ 1°C ตามลำดับ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ภายในจะต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกประมาณ 13%

4.3.2.3 ช่องใต้หลังคามีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 36°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 2.1°C ส่วนความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกถึง เกือบ 30%

4.3.2 ระบบแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคาร

ตัวอาคารกรณีศึกษาหลังนี้ได้ถูกตั้งในแนวทิศเหนือและทิศใต้ โดยมีผนังด้านหน้าอาคารหันหน้าไปทางทิศเหนือ ผนังด้านหลังอาคารหันหน้าไปทางทิศใต้ ส่วนทางทิศตะวันออกและตะวันตกจะอยู่ติดอาคารข้างเคียงที่มีผนังร่วมกัน ดังนั้นจึงมีเพียงผนังทางด้านหน้าและด้านหลังเท่านั้นที่จะได้รับผลกระทบจากภายนอก โดยมีพื้นที่ช่องแสงของผนังแต่ละด้านประมาณ 35 % และยังมีช่องแสงด้านบนหลังคาบริเวณโถงบันไดด้วย ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการส่องสว่างภายในอาคารได้แก่ ลักษณะช่องเปิด , ค่าการส่องผ่านของกระจก, แผงกันแดดของอาคาร , ทิศทางของอาคาร และค่าการสะท้อนแสงของพื้น, ผนังและฝ้าเพดาน



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะช่องเปิดหน้าต่างของอาคารกรณีศึกษาบริเวณชั้นสอง

อาคาร	ค่าการสะท้อนแสง (%)		
	พื้น	ผนัง	ฝ้าเพดาน
ชั้น 1	20	45	75
ชั้น 2	21	47	70
ชั้น 3	21	47	70

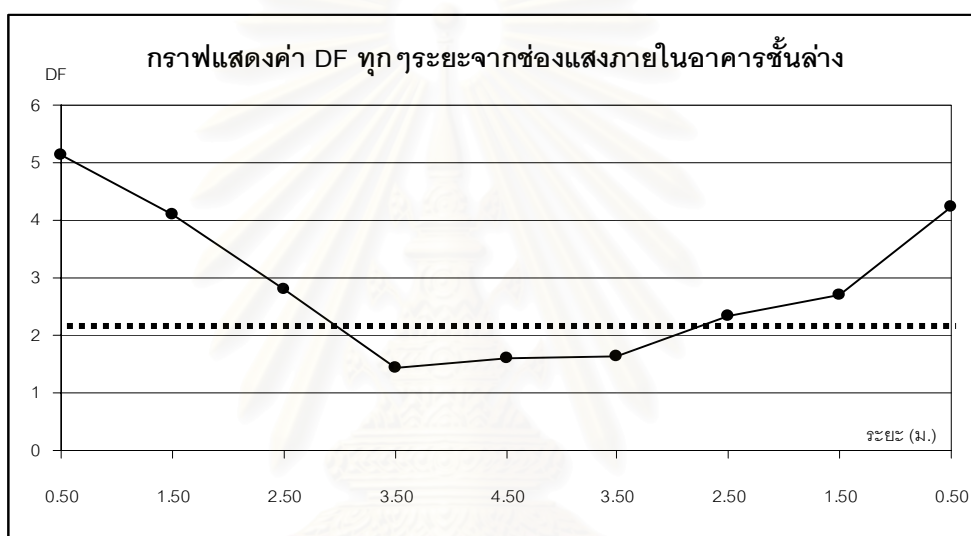
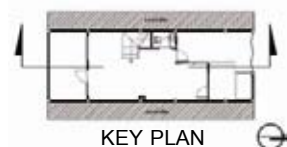
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการสะท้อนแสงโดยเฉลี่ยของพื้น,ผนังและฝ้าเพดาน ภายในอาคาร

4.3.2.1 การวิเคราะห์ระดับความส่องสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติ

การวัดแสงสว่างธรรมชาติภายในอาคารกรณีศึกษานี้ ได้ทำการวัดค่าความส่องสว่างของพื้นที่อาคารในแต่ละชั้น โดยแบ่งพื้นที่วัดแสงออกเป็นจุดๆ ให้มีระยะห่างกันประมาณ 1.00 เมตร ทั้งด้านสั้นและด้านยาวและกำหนดระดับความสูงของการวัดไว้ที่ 0.80 เมตร (ระดับทำงาน) เพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างที่ใกล้เคียงจริง ในการวัดแสงจะใช้อุปกรณ์ ลักซ์มิเตอร์ วัดในแต่ละจุดที่กำหนดไว้ภายในอาคาร

และวัดแสงสว่างภายนอกอาคารด้วยในเวลาเดียว เพื่อนำค่าที่ได้ไปศึกษาการกระจายแสงธรรมชาติภายในอาคารด้วยวิธี daylight factor แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ของ IES (Illuminating Engineer Society) เพื่อประเมินระดับความส่องสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติต่อไป ซึ่งทาง IES ได้กำหนดค่า D.F. สำหรับอาคารพักอาศัยไว้ที่ประมาณ 2 % (ค่าแสงที่วัดไม่ได้รวมแสงแดด)

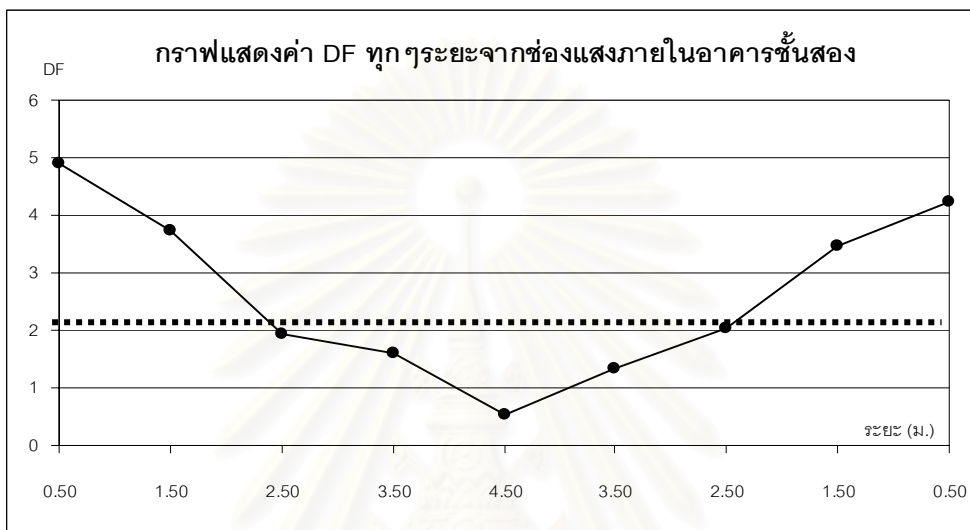
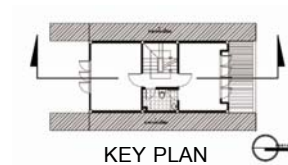
ก) ระดับความส่องสว่างภายในอาคารบริเวณชั้นล่าง



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่า DF ทุกๆระยะ 1 เมตร จากช่องแสงภายในอาคารบริเวณชั้นล่าง

จากแผนภูมิที่ 4.4 จะแสดงค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติ ณ.บริเวณชั้นล่างของอาคาร โดยแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้านี้จะมาจากช่องแสงของผนังทั้งสองด้าน คือ ด้านทิศใต้และด้านทิศเหนือ ซึ่งจะพบว่าทางด้านทิศใต้ ณ.บริเวณริมผนังเข้ามาด้านในอาคารประมาณ 3.00 เมตร จะมีค่า D.F. อยู่ระหว่าง 2-5 % ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของ CIE. ที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 2 % ส่วนทางด้านทิศเหนือ ณ.บริเวณริมผนังเข้ามาด้านในอาคารประมาณ 2.70 เมตร จะมีค่า D.F. อยู่ระหว่าง 2-4.2 %จะแต่ช่วงที่สูงกว่าค่ามาตรฐานของ CIE. ที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 2 % เช่นกัน ในช่วงกลางของอาคารจะมีค่า D.F. ประมาณ 1.5 % ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อยซึ่งพอเพียงต่อการใช้งานสำหรับพื้นที่ทางเดิน

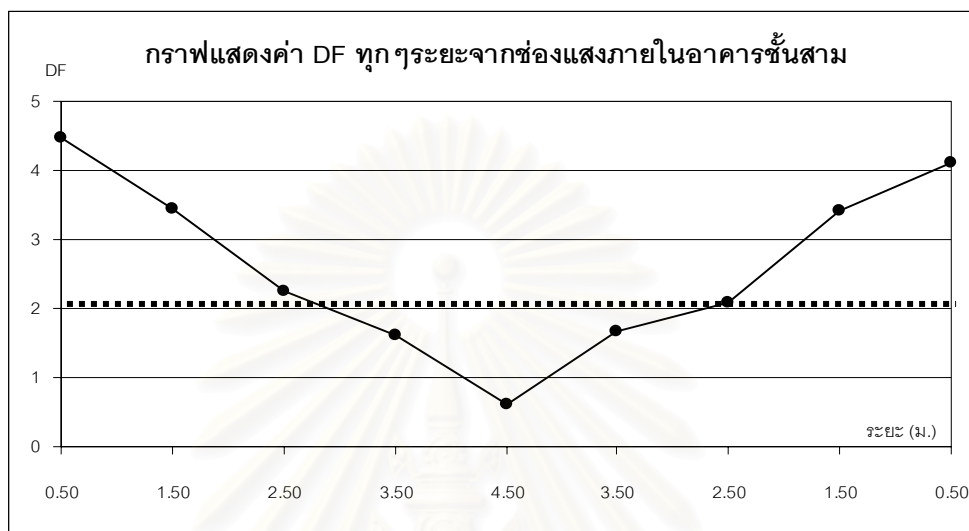
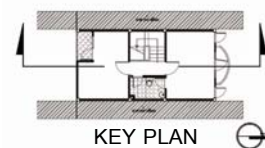
ข) ระดับความส่องสว่างภายในอาคารชั้นสอง



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงค่า DF ทุกๆระยะ 1 เมตร จากช่องแสงภายในอาคารบริเวณชั้นสอง

จากแผนภูมิที่ 4.5 จะแสดงค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติ ณ บริเวณชั้นสองของอาคาร โดยแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้านี้จะมาจากช่องแสงของผนังทั้งสองด้าน คือ ด้านทิศใต้บริเวณห้องทำงาน และด้านทิศเหนือบริเวณห้องนอน-1 ซึ่งจะพบว่า ในห้องทำงาน จะมีค่า D.F. ประมาณ 1.8 - 5 % ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ CIE ที่กำหนดไว้สำหรับห้องทำงานไม่ควรต่ำกว่า 5 % ซึ่งอาจต้องใช้แสงไฟฟ้าประดิษฐ์ช่วยเพิ่มความสว่างในบางบริเวณภายในห้อง ส่วนในห้องนอน-1 จะมีค่า D.F. ประมาณ 1.8-4.2 % ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของ CIE ที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 2 % สำหรับบริเวณช่วงกลางอาคารที่เป็นพื้นที่ของโถงบันไดจะมีค่า D.F. ประมาณ 0.5-1.5 % ซึ่งจะต่ำกว่าค่ามาตรฐานซึ่งอาจต้องใช้แสงไฟฟ้าประดิษฐ์ช่วยเพิ่มความสว่างหรืออาจปรับปรุงช่องแสงด้านบนให้มีประสิทธิภาพดีกว่านี้ในการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร

ค) ระดับความส่องสว่างภายในอาคารชั้นสาม



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงค่า DF ทุกๆระยะ 1 เมตร จากช่องแสงภายในอาคารบริเวณชั้นสาม

จากแผนภูมิที่ 4.6 จะแสดงค่าความส่องสว่างจากแสงธรรมชาติ ณ บริเวณชั้นสามของอาคาร โดยแสงธรรมชาติที่ผ่านเข้านี้จะมาจากช่องแสงของผนังทั้งสองด้าน คือ ด้านทิศใต้บริเวณห้องนอน-3 และด้านทิศเหนือบริเวณห้องนอน-2 ซึ่งจะพบว่า ในห้องนอน-3 จะมีค่า D.F. ประมาณ 1.8 – 4.5 % ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของ CIE ที่กำหนดไว้ 2% ส่วนในห้องนอน-2 จะมีค่า DF. ประมาณ 1.8-4.2 % ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของ CIE ที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า 2 % สำหรับบริเวณช่วงกลางอาคารที่เป็นพื้นที่ของโถงบันไดจะมีค่า D.F. ประมาณ 0.75-1.5 % ซึ่งจะต่ำกว่าค่ามาตรฐานซึ่งอาจต้องใช้แสงไฟฟ้าประดิษฐ์ช่วยเพิ่มความสว่างหรืออาจปรับปรุงช่องแสงด้านบนให้มีประสิทธิภาพดีกว่านี้ในการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร

4.4 การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษากับอาคารแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การสร้างอาคารแบบจำลองในคอมพิวเตอร์จะเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อการศึกษาค้นคว้า เพราะว่าการสร้างอาคารแบบจำลองในคอมพิวเตอร์นี้จะถูกใช้เป็นตัวแทนของอาคารกรณีศึกษาจริง เพื่อนำไปใช้ศึกษาในด้านต่างๆ เช่น สภาพการนำสเปกตรัมและการใช้พลังงานภายในอาคาร ซึ่งจะมีความสะดวกมากกว่าอาคารจริงที่มีข้อจำกัดของการเข้าไปทำการศึกษาหรือการตรวจสอบผลหลังจากการปรับปรุงแล้ว ดังนั้นการสร้างอาคารแบบจำลองในคอมพิวเตอร์จึงมีความใกล้เคียงกับอาคารจริงมากที่สุด ซึ่งจะสามารถตรวจสอบความถูกต้องของอาคารแบบจำลองในคอมพิวเตอร์กับอาคารจริงได้โดยอาศัยข้อมูล

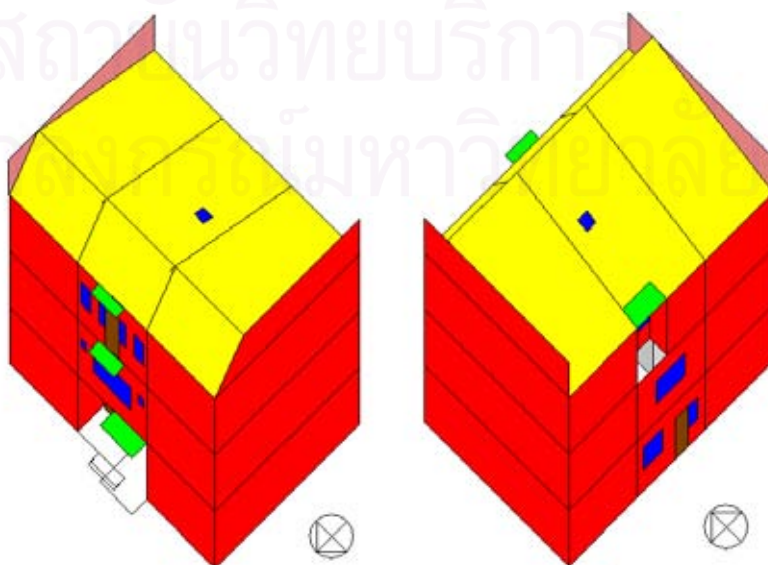
ต่างๆที่จะนำมาเปรียบเทียบกันได้แก่ ข้อมูลทางด้านอุณหภูมิภายในอาคาร , ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารฯลฯ

4.4.1 การจำลองอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การสร้างอาคารแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะต้องอาศัยข้อมูลต่างๆที่เก็บรวบรวมมาจากอาคารกรณีศึกษาจริงแล้วนำไปป้อนให้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสามารถจำลองอาคารกรณีศึกษาได้ใกล้เคียงกับอาคารจริงมากที่สุด ในขั้นตอนแรกของการจำลองอาคารกรณีศึกษานี้ควรต้องจัดแบ่งพื้นที่ของอาคารกรณีศึกษาออกเป็นส่วนๆ ตามลักษณะการใช้งานภายในอาคาร ดังรูปที่ 4.14 แล้วกำหนดรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานในแต่ละส่วนด้วย เช่น ตารางเวลาของการใช้งาน , ปริมาณผู้ใช้งาน , ตารางเวลาและปริมาณของการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบต่างๆ ส่วนองค์ประกอบต่างๆของอาคารควรให้รายละเอียดที่มีความถูกต้องมากที่สุด ทั้งเรื่องของขนาด, รูปทรง และคุณสมบัติทางด้านต่างๆ ของวัสดุอาคาร



รูปที่ 4.11 แสดงพื้นที่ส่วนต่างๆภายในอาคารกรณีศึกษาที่จำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์



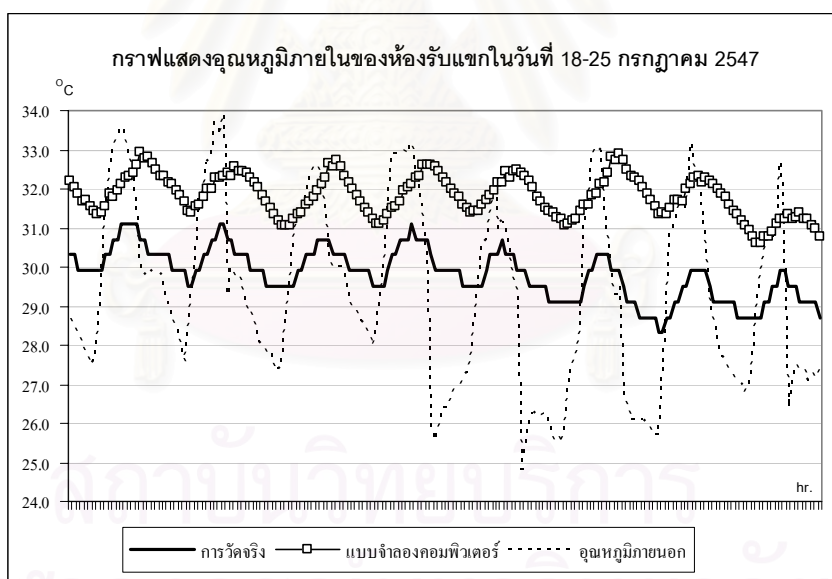
รูปที่ 4.12 แสดงอาคารแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.4.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร

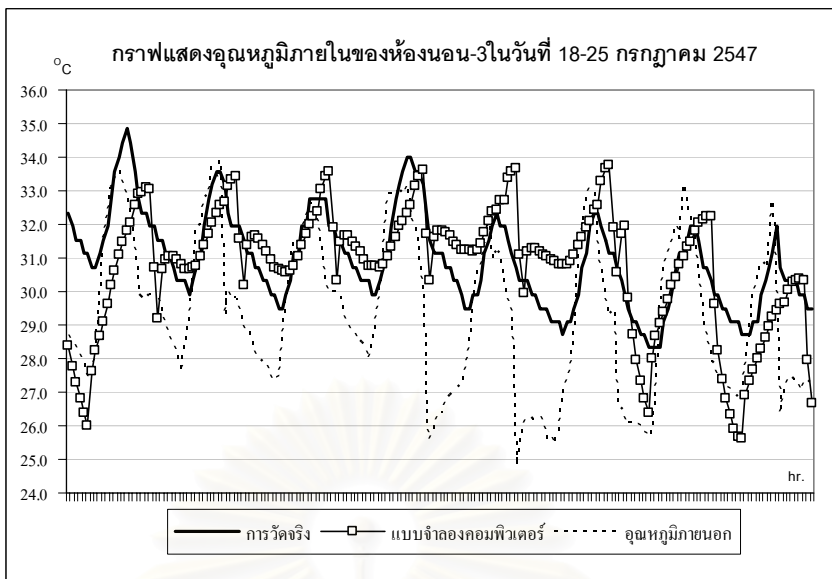
จากการเก็บข้อมูลทางด้านสภาวะน่าสบายของอาคารกรณีศึกษา ตั้งแต่วันที่ 7 – 28 กรกฎาคม 2547 เป็นเวลา 20 วัน จะพบว่าข้อมูลในช่วงวันที่ 18-25 กรกฎาคม 2547 จะมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้เปรียบเทียบกับอาคารแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ ในการเปรียบเทียบได้นำอุณหภูมิอากาศของแต่ละชั่วโมงภายในห้องรับแขกและห้องนอน-3 รวมทั้งหมด 8 วัน มาแสดงในลักษณะแผนภูมิแบบเส้น เพื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างอาคารกรณีศึกษากับอาคารแบบจำลอง แล้วทำการปรับค่าต่างๆของอาคารแบบจำลองเพื่อให้มีค่าอุณหภูมิอากาศภายในให้ใกล้เคียงกับอาคารกรณีศึกษามากที่สุด ดังนี้

4.4.2.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในครั้งที่ 1

จากแผนภูมิที่ 4.7 และ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกและห้องนอน-3 จะพบว่าภายในห้องรับแขกจะมีค่าอุณหภูมิอากาศจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์สูงกว่าจากการวัดจริงประมาณ $3-5^{\circ}\text{C}$ แต่มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ส่วนภายในห้องนอน-3 จะมีอุณหภูมิอากาศจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์สูงกว่าจากการวัดจริงอยู่มากและมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ



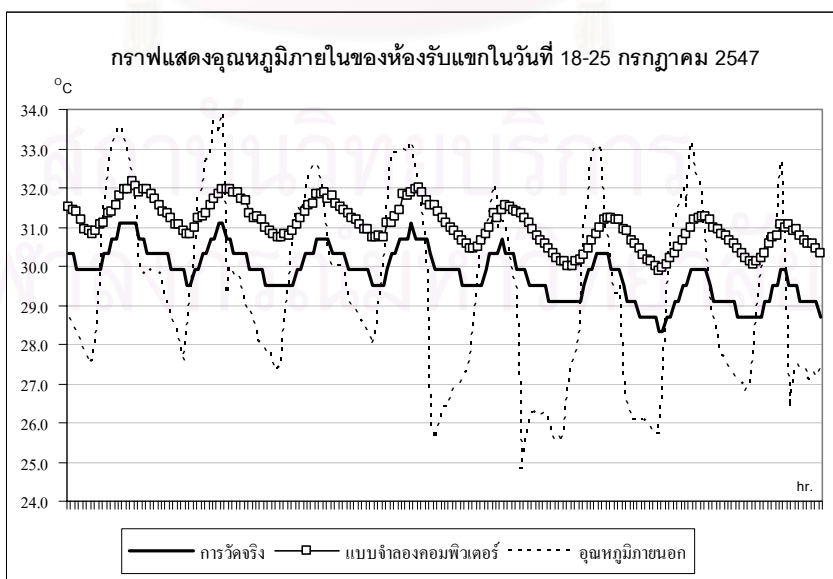
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องรับแขกครั้งที่ 1



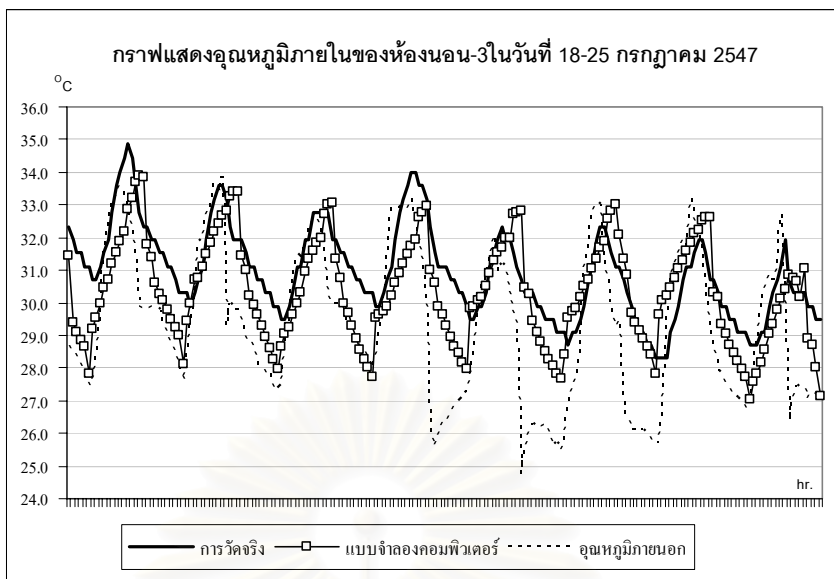
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องนอน-3 ครั้งที่ 1

4.4.2.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในครั้งที่ 2

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในครั้งที่ 1 พบว่าข้อมูลอากาศที่ใช้ในการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นเป็นของปี 1999 ซึ่งแตกต่างกับข้อมูลในปี 2004 ที่เก็บรวบรวมมา ดังนั้นจึงได้ใช้ข้อมูลอากาศในปี 2004 แทน เพื่อให้โปรแกรมประมวลผลให้ใกล้เคียงความเป็นจริง จากแผนภูมิที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าภายในห้องรับแขกจะมีอุณหภูมิอากาศจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์สูงกว่าจากการวัดจริงประมาณ 2-3 °C และภายในห้องนอน-3 จะมีอุณหภูมิอากาศจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์สูงกว่าจากการวัดจริงประมาณ 1-3 °C



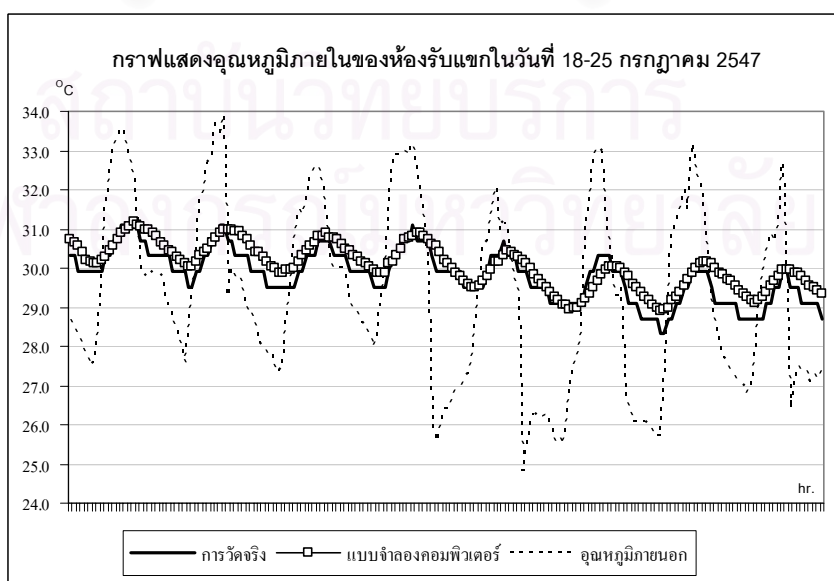
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องรับแขกครั้งที่ 2



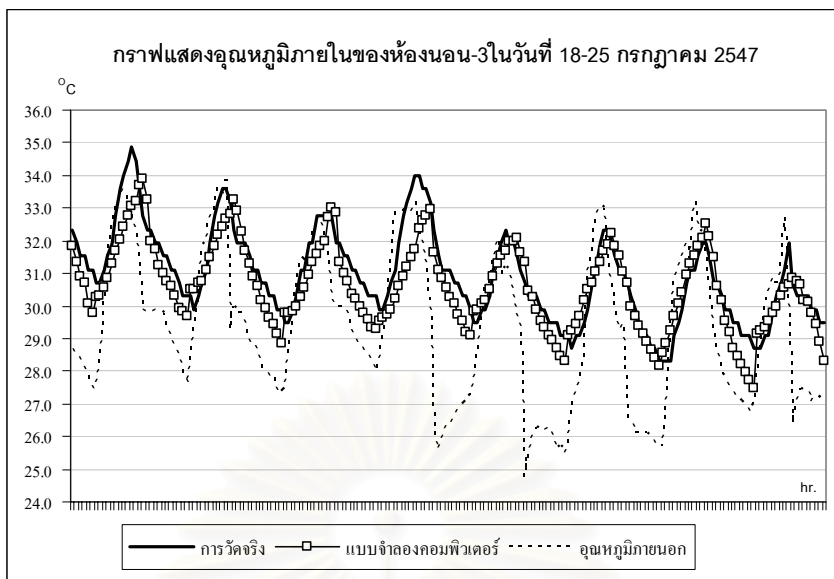
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องนอน-3 ครั้งที่ 2

4.4.2.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในครั้งที่ 3

จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในครั้งที่ 1 และ 2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ได้จากการวัดจริงและจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ยังมีค่าแตกต่างกันอยู่ประมาณ 1-3°C ดังนั้นจึงได้พิจารณาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในส่วนวัสดุอาคารต่างๆ ได้แก่ ค่า Conductivity ของผนัง, ค่า Density ของผนัง, ค่า Absorptance ของผนัง, ค่า Shading-coefficient ของผนังกระจก และค่าการรั่วซึมของอากาศ แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบครั้งที่ 3 จะพบว่า อุณหภูมิอากาศภายในจากการวัดจริงและจากแบบจำลองคอมพิวเตอร์มีความใกล้เคียงกันมาก จึงนำอาคารแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ของการเปรียบเทียบครั้งที่ 3 นี้ไปใช้เป็นตัวแทนอาคารกรณีศึกษาเพื่อทำการศึกษาต่อไป



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องรับแขก ครั้งที่ 3



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในห้องนอน -3 ครั้งที่ 3

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิอากาศที่ได้จากการวัดจริงกับที่ได้จากแบบจำลองในคอมพิวเตอร์

การเปรียบเทียบ	ค่าความคลาดเคลื่อน (°C)	
	ห้องรับแขก	ห้องนอน-3
ครั้งที่ 1	2.077	2.95
ครั้งที่ 2	1.252	1.65
ครั้งที่ 3	0.250	0.345

4.5 การวิเคราะห์และประเมินสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคารกรณีศึกษา

จากการเปรียบเทียบอาคารแบบจำลองในคอมพิวเตอร์กับอาคารกรณีศึกษาจริงในข้อ 4.4 จนสามารถจำลองอาคารในคอมพิวเตอร์ที่มีความใกล้เคียงกับอาคารกรณีศึกษามากที่สุด จากนั้นจึงกำหนดอาคารแบบจำลองนี้เป็นตัวแทนของอาคารกรณีศึกษาจริงเพื่อนำไปใช้ศึกษาในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคาร สำหรับการศึกษาสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมินั้นได้เลือกช่วงสภาวะน่าสบายของ John Franklin Busch ที่กำหนดไว้อยู่ระหว่าง 26.1 - 31 °C มาใช้เป็นเกณฑ์ประเมินสภาวะน่าสบายภายในอาคารกรณีศึกษา เนื่องจากมีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

เกณฑ์มาตรฐาน	ระดับสภาวะน่าสบาย (°C)
Ashrae	22.2 - 29
Baruch Givoni	26 - 27
John Franklin Busch	26.1 - 31
Victor Olgyay	22 - 27

ตารางที่ 4. 7 แสดงเกณฑ์มาตรฐานระดับสภาวะน่าสบายจากงานวิจัยต่างๆ

ในการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคารนี้ได้แบ่งพื้นที่อาคารออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

4.5.1 พื้นที่ที่ปรับอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ได้แก่ ห้องรับแขก, ห้องทำงาน, โถงบันได, ห้องนอน-1 และ ช่องใต้หลังคา พื้นที่ส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ในเรื่องของสภาวะน่าสบาย

4.5.2 พื้นที่ที่ปรับอากาศด้วยเครื่องกล ได้แก่ ห้องนอน-2 และ ห้องนอน-3 ซึ่งมีการเปิดเครื่องปรับอากาศในตอนกลางคืน ตั้งแต่เวลา 22.00-6.00 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พื้นที่ส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ในเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็น

สำหรับข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลนั้นได้นำมาจากอาคารแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ซึ่งได้รายงานผลต่างๆ ที่เกี่ยวกับสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคารตลอดทั้งปี โดยข้อมูลมีนำมาใช้ศึกษานั้นจะมีอยู่ 2 ส่วน คือ ข้อมูลของอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) และ ข้อมูลของการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร สำหรับในการศึกษาจะเลือกวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดและต่ำสุดเป็นวันตัวแทนของสภาพอากาศตลอดทั้งปี ดังตารางที่ 4.10 เพื่อนำไปใช้ศึกษาทางด้านสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคารได้อย่างครอบคลุมและถูกต้องมากที่สุด

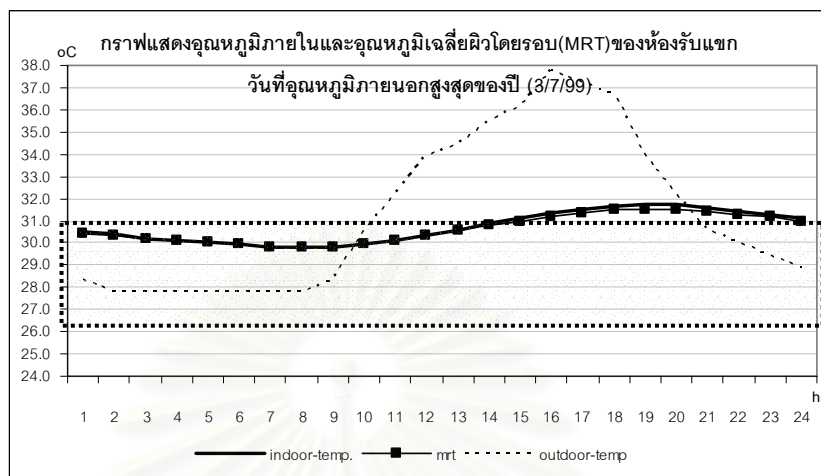
วันตัวแทนต่างๆที่นำมาใช้ในการศึกษาภายในอาคารกรณีศึกษา	
วันตัวแทน	วันที่
วันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด	7 มีนาคม 2542
วันตัวแทนของฤดูร้อน	17 กุมภาพันธ์ 2542
วันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด	25 ธันวาคม 2542
วันตัวแทนของฤดูหนาว	19 พฤศจิกายน 2542
วันที่มีการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-2	17 กรกฎาคม 2542
วันที่มีการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-3	28 พฤศจิกายน 2542

ตารางที่ 4.8 แสดงวันตัวแทนต่างๆที่นำมาใช้ในการศึกษาภายในอาคารกรณีศึกษาทางด้านต่างๆ

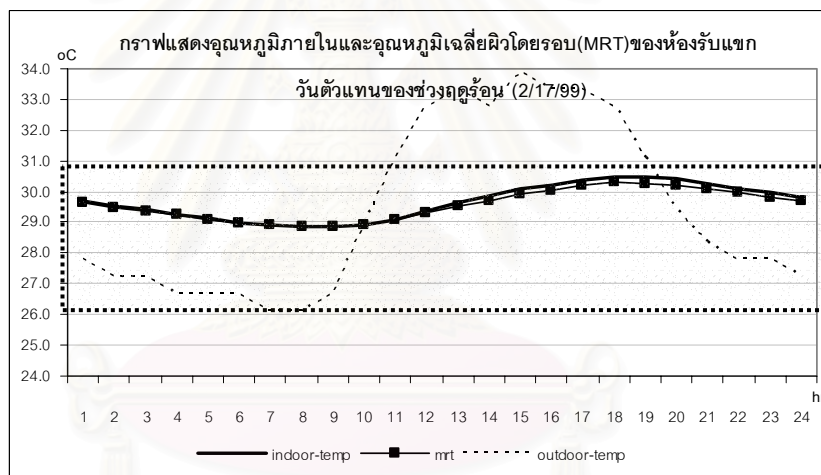
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.1 ผลการวิเคราะห์และประเมินสภาวะน่าสบายภายในอาคารบริเวณชั้นล่าง

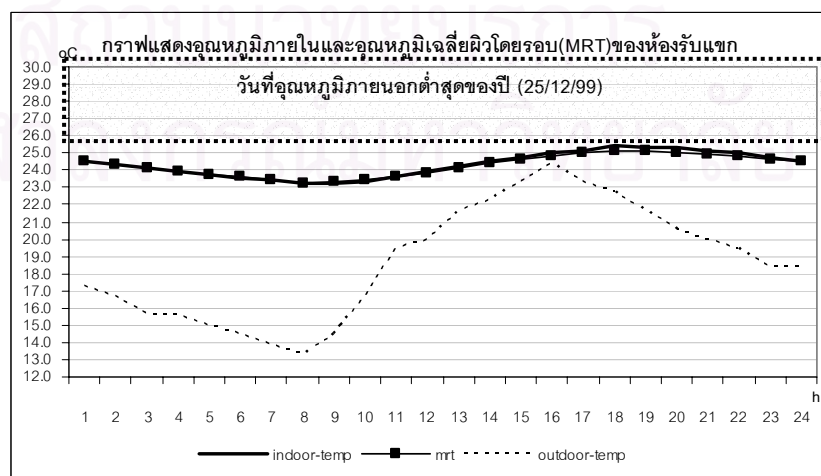
4.5.1.1 ห้องรับแขก



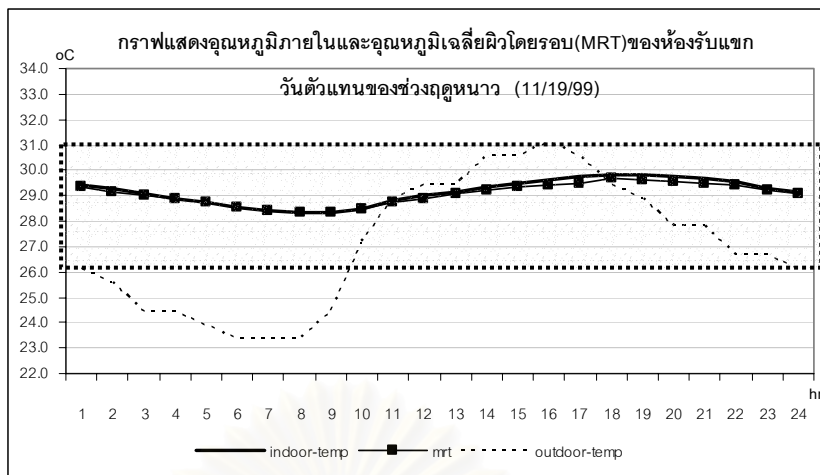
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขก ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขก ในวันที่ตัวแทนของฤดูร้อน

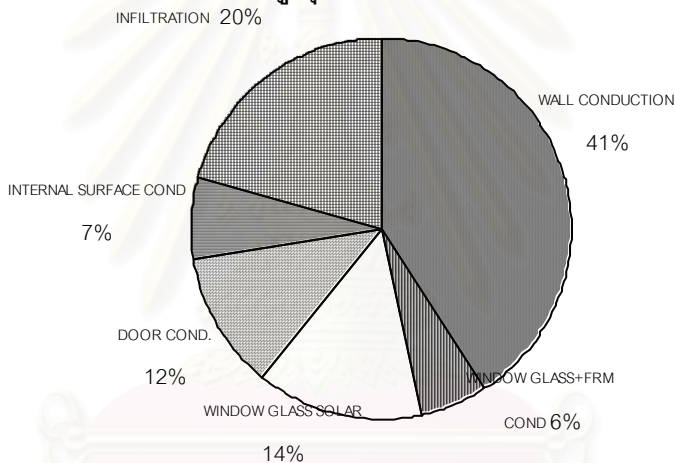


แผนภูมิที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขก ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขก ในวันตัวแทนของฤดูหนาว

ภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคาร: ห้องรับแขก



แผนภูมิที่ 4.17 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนของห้องรับแขก

จากแผนภูมิที่ 4.13 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 30-32 °C โดยในเวลา 14.00-24.00 น. จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าสภาวะน่าสบายประมาณ 1 °C โดยห้องรับแขกจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 7.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง เพราะว่ามีผนังอาคารมีคุณสมบัติของการหน่วงความร้อนที่มากจึงทำให้ในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก

จากแผนภูมิที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT)ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 29-31 °C ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะน่าสบาย โดยห้องรับแขกจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 8.00 น. และมี

อุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

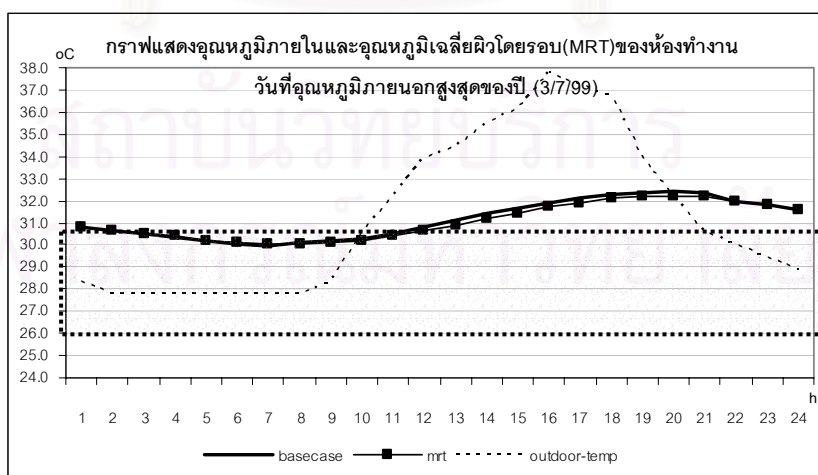
จากแผนภูมิที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 24-25 ซึ่งใกล้เคียงกับสภาวะที่น่าสบาย โดยห้องรับแขกจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 8.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 28-30 °C ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะที่น่าสบาย โดยห้องรับแขกจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 8.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

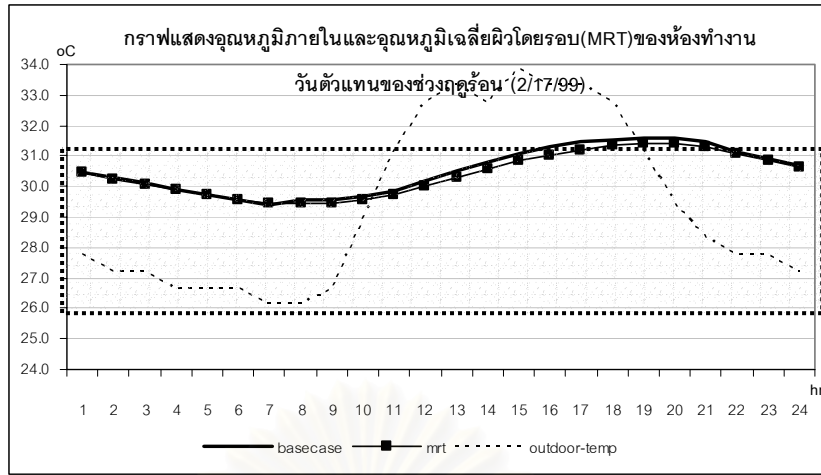
จากแผนภูมิที่ 4.17 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคารของห้องรับแขก จะพบว่าความร้อนส่วนใหญ่จะได้รับมาจากผนังอาคารประมาณ 41% และการรั่วซึมของอากาศทางหน้าต่างประมาณ 20 % โดยผนังทางทิศใต้ของห้องรับแขกจะได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์มากกว่าผนังด้านทิศเหนือเพราะว่าผนังทางทิศใต้ไม่มีองค์ประกอบอาคารที่จะช่วยป้องกันแสงแดดให้กับผนัง

4.5.2. ผลการวิเคราะห์และประเมินสภาวะน่าสบายภายในอาคารบริเวณชั้นสอง

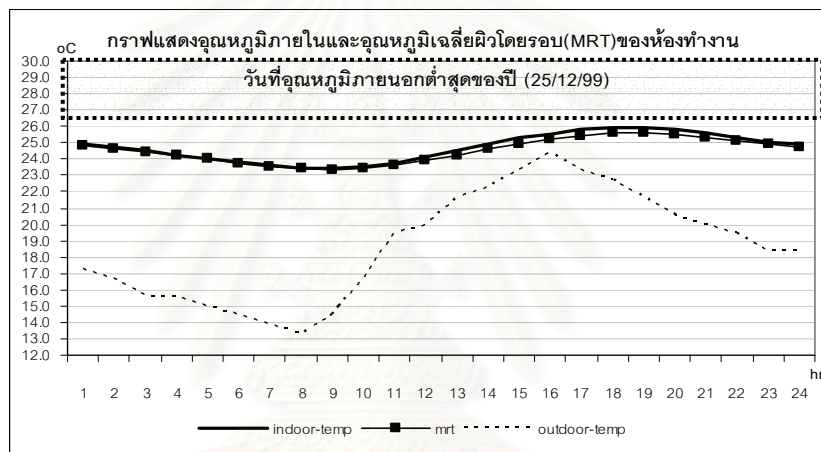
4.5.2.1 ห้องทำงาน



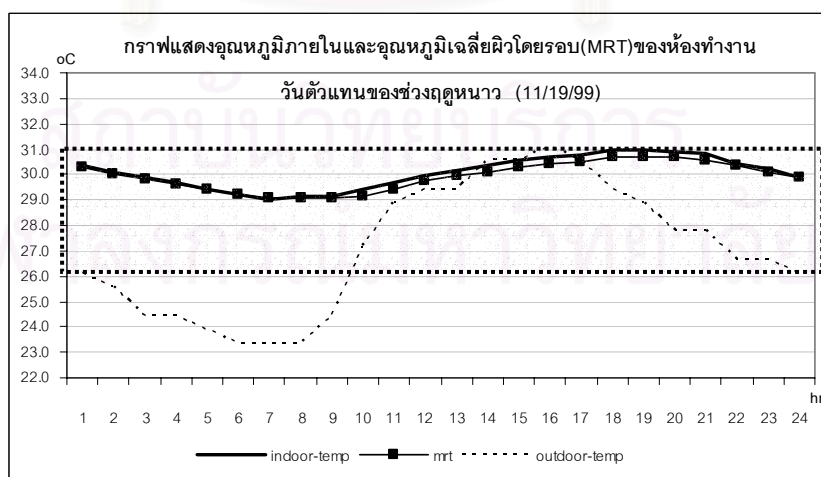
แผนภูมิที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงาน ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.19 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงาน ในวันที่ 2/17/99

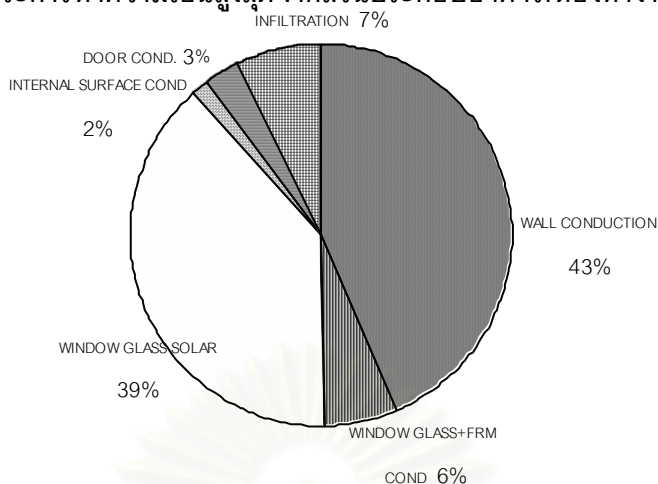


แผนภูมิที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงาน ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.21 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงาน ในวันที่ 11/19/99

ภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคาร:ห้องทำงาน



แผนภูมิที่ 4.22 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนของห้องทำงาน

จากแผนภูมิที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 30-32.5 °C ซึ่งในเวลา 13.00-24.00 น. จะมีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าสภาวะนำสบายประมาณ 1.5 °C โดยห้องทำงานจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 7.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 20.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง เพราะว่าผนังอาคารมีคุณสมบัติการหน่วงความร้อนที่มากจึงทำให้ในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก ส่วนกระจกหน้าต่างของห้องทำงานจะได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงมากเช่นเดียวกัน

จากแผนภูมิที่ 4.19 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องทำงานในวันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 29-31.5 °C ซึ่งในเวลา 14.00-23.00 น. จะมีอุณหภูมิสูงกว่าสภาวะนำสบายประมาณ 0.5-1.0 °C โดยห้องทำงานจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 8.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 20.00 น. ซึ่งเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

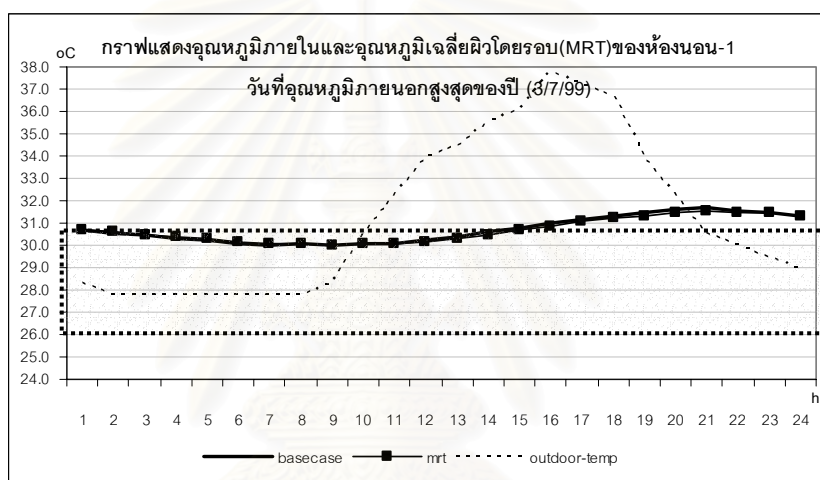
จากแผนภูมิที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 24-25 °C ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะนำสบาย โดยห้องทำงานจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 8.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 4.21 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องทำงานในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 29-31 °C ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับช่วงสภาวะนำสบาย โดยห้องทำงานจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 8.00 น.

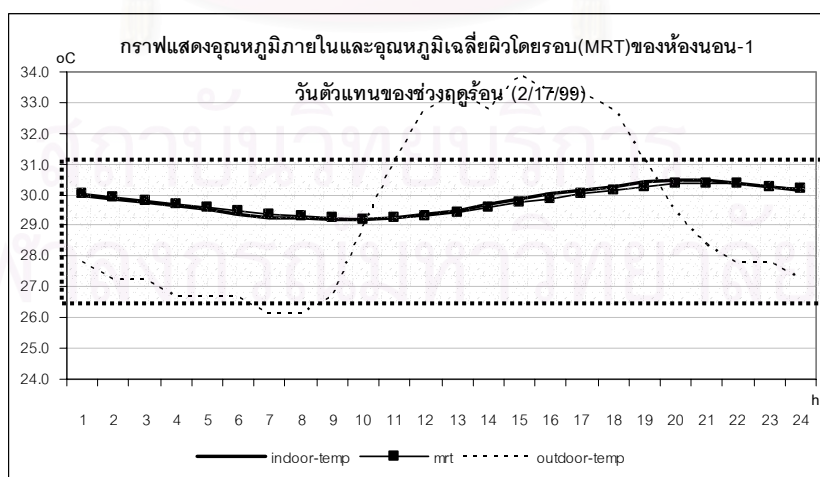
และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 4.22 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคารของห้องทำงาน จะพบว่า ความร้อนส่วนใหญ่จะได้รับมาจากผนังอาคารประมาณ 43 % และได้มาจากผนังกระจกของหน้าต่างประมาณ 39 % เนื่องจากห้องทำงานได้ตั้งอยู่ทางทิศใต้จึงได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ค่อนข้างมากกว่าด้านอื่นๆ อีกทั้งยังไม่มีม็อดประคบอาคารที่จะช่วยป้องกันแสงแดดให้กับผนังด้วย

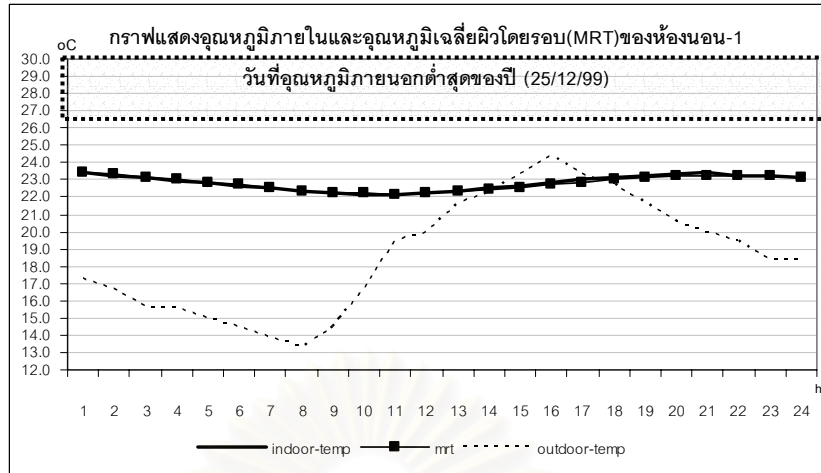
4.5.2.2 ห้องนอน-1



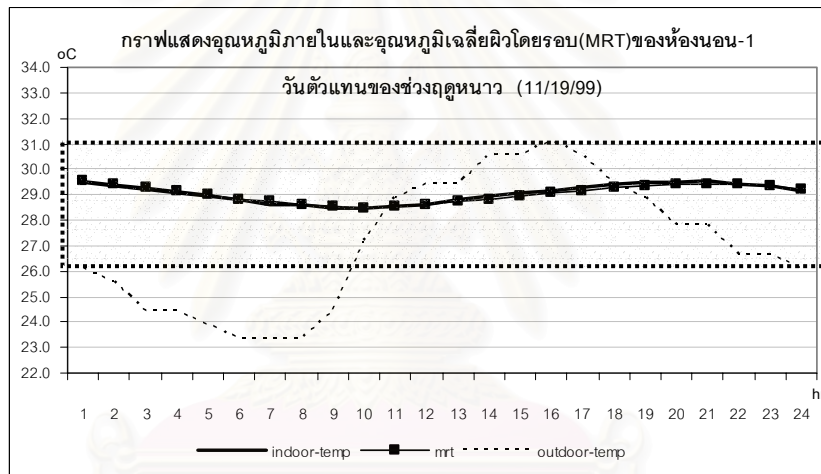
แผนภูมิที่ 4.23 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.24 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของฤดูร้อน

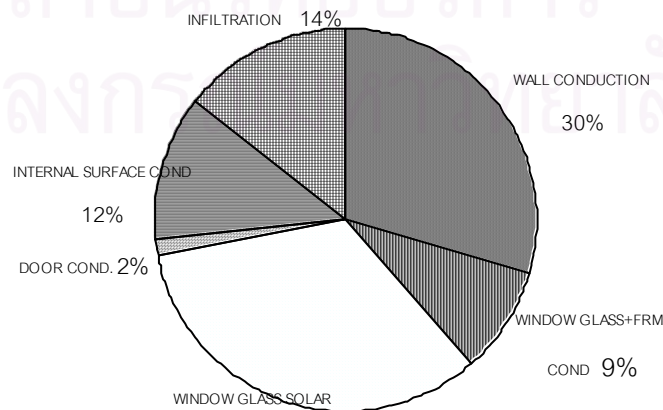


แผนภูมิที่ 4.25 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.26 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของฤดูหนาว

ภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคาร:ห้องนอน-1



แผนภูมิที่ 4.27 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนของห้องนอน-1

จากแผนภูมิที่ 4.23 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วน จะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 30-32 °C ซึ่งในเวลา 17.00-24.00 น. จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าสภาวะนำสบายประมาณ 0.5 °C โดยห้องนอน -1 จะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 8.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 20.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3.5 ชั่วโมง เพราะว่ามีผนังอาคารมีคุณสมบัติการหน่วงความร้อนที่มากจึงทำให้ในตอนกลางวันจะมีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก

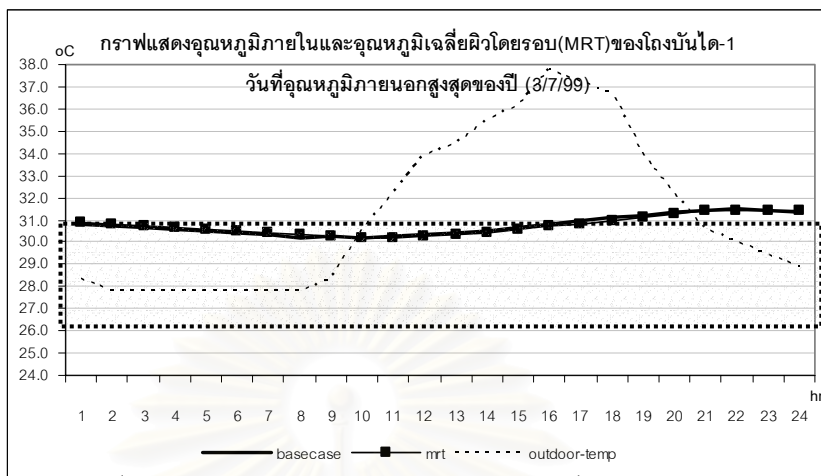
จากแผนภูมิที่ 4.24 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 29-30.5 °C ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะนำสบาย โดยห้องนอน-1 จะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 8.00 น. และมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่เวลา 21.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 4.25 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วน จะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 22-23.5 °C ซึ่งจะต่ำกว่าสภาวะนำสบายประมาณ 2-2.5 °C โดยห้องนอน-1 จะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 10.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 20.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

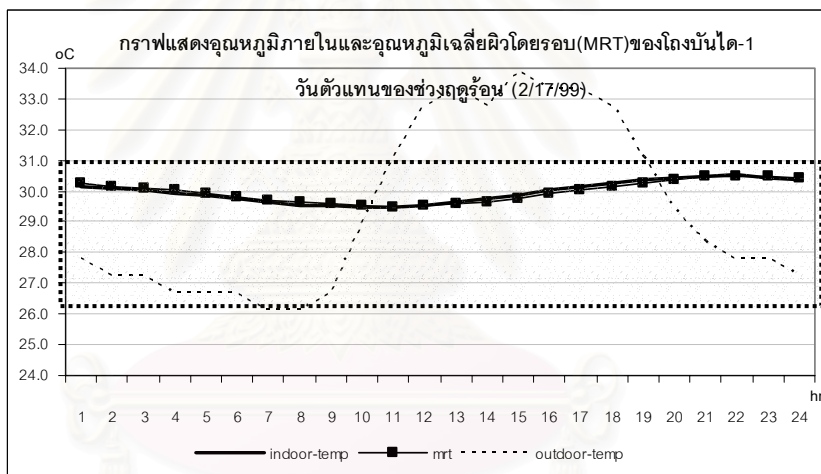
จากแผนภูมิที่ 4.26 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของฤดูหนาว พบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วน จะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 28.5-29.5 °C ซึ่งจะอยู่ในช่วงสภาวะนำสบาย โดยห้องนอน-1 จะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 10.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 20.00 น. ซึ่งเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 4.27 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคารของห้องนอน-1 จะพบว่า ความร้อนส่วนใหญ่จะได้รับมาจากผนังอาคารประมาณ 30 % และได้รับมาจากผนังกระจกของหน้าต่างประมาณ 33 % โดยห้องนอน-1 จะตั้งอยู่ทางทิศเหนือของอาคารจึงได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนกรกฎาคมมากกว่าเดือนอื่นๆ

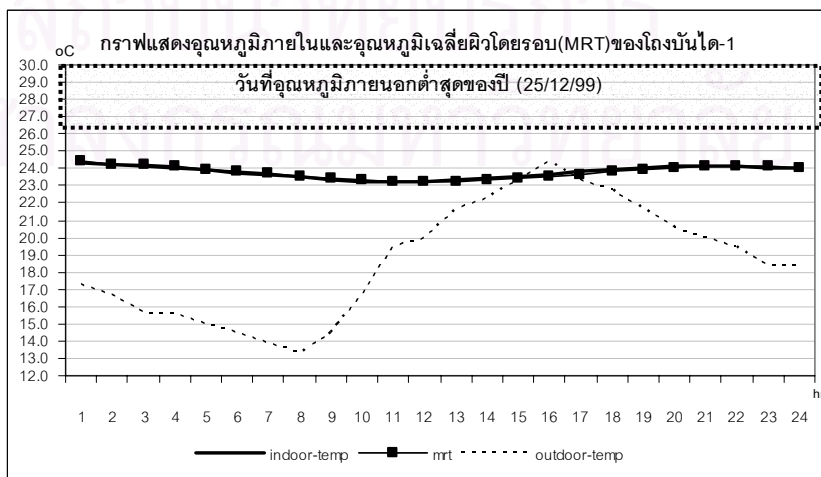
4.5.2.3 โถงบันได-1



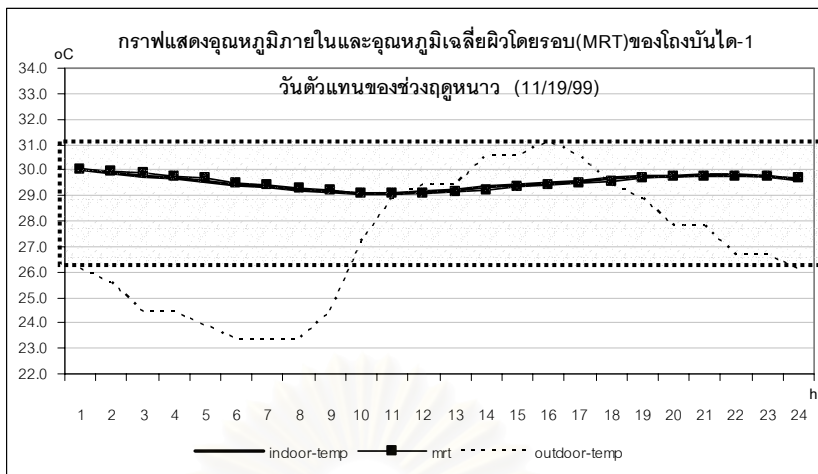
แผนภูมิที่ 4.28 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.29 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-1 ในวันที่ตัวแทนของฤดูร้อน

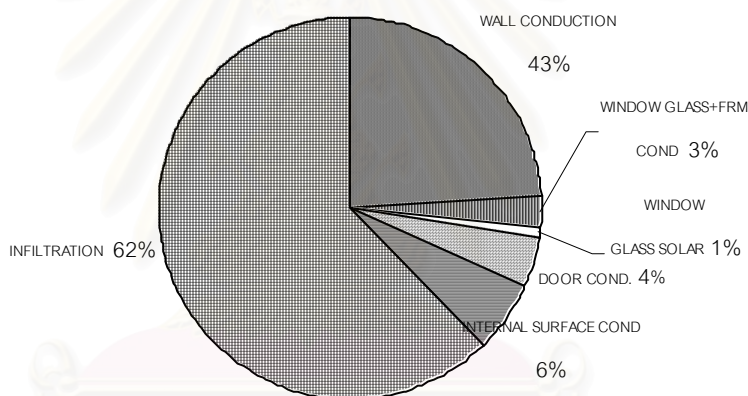


แผนภูมิที่ 4.30 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.31 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-1 ในวันตัวแทนของฤดูหนาว

การกระจายการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคาร:โถงบันได-1



แผนภูมิที่ 4.32 แสดงการกระจายการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนของโถงบันได-1

จากแผนภูมิที่ 4.28 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของโถงบันได-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 30-31.5 °C ซึ่งในเวลา 19.00-24.00 น. จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าสภาวะน่าสบายประมาณ 0.5 °C โดยโถงบันได-1 จะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 10.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 21.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4.5 ชั่วโมง เพราะว่าห้องโถงบันได-1 จะได้รับอิทธิพลจากห้องทำงานและห้องนอน-1 ที่ได้คายความร้อนผ่านผนังเข้ามาภายในห้องในเวลาากลางคืน

จากแผนภูมิที่ 4.29 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของโถงบันได-1 ในวันตัวแทนของฤดูร้อน พบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วน จะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 29.5-30.5 °C ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย โดยโถงบันได-1 จะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 10.00 น. และ

มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 21.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 5 ชั่วโมง

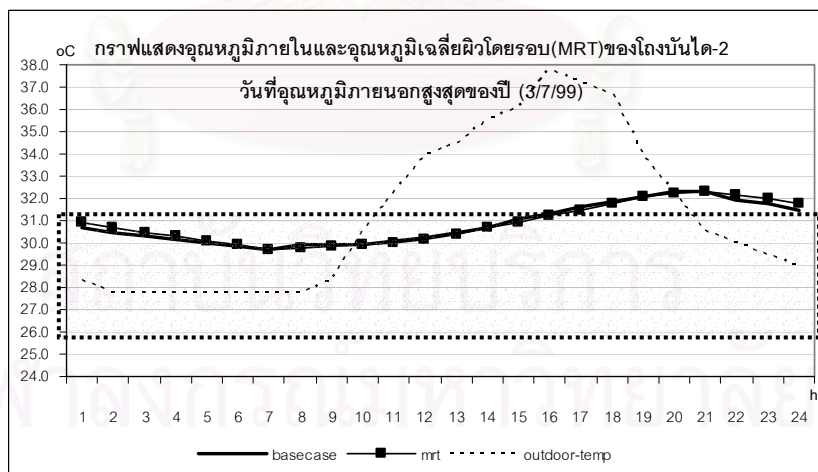
จากแผนภูมิที่ 4.30 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของโถงบันได-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 24-25 °C ซึ่งต่ำกว่าสภาวะนำสบายประมาณ 2-3 °C โดยอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่เวลา 10.00 น. และอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่เวลา 21.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 5 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 4.31 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของโถงบันได-1 ในวันที่ตัวแทนของฤดูหนาว พบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 29-30 °C ซึ่งจะอยู่ในช่วงของสภาวะนำสบาย โดยโถงบันไดจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 10.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 21.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

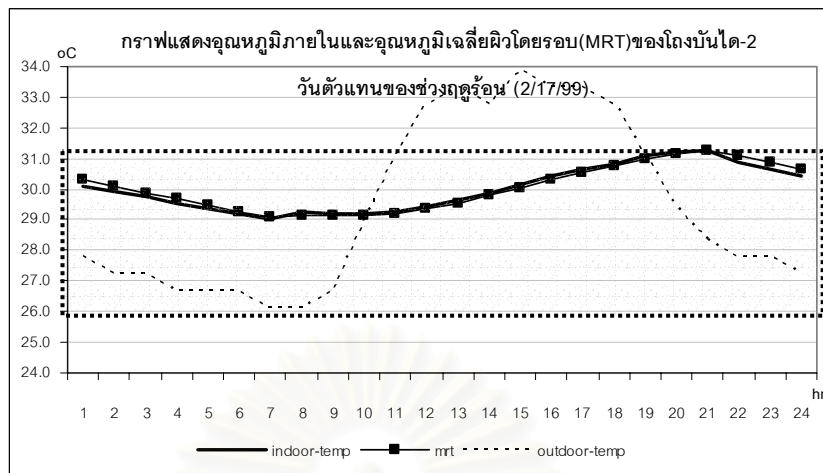
จากแผนภูมิที่ 4.32 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคารของโถงบันได-1 พบว่า ความร้อนส่วนใหญ่จะได้รับมาจากการรั่วซึมของอากาศประมาณ 62% โดยได้รับอิทธิพลมาจากห้องนอน1 ทางทิศเหนือและห้องทำงานทางทิศใต้ รวมทั้งช่องแสงทางด้านบนหลังคาด้วย

4.5.3 ผลการวิเคราะห์และประเมินสภาวะนำสบายภายในอาคารบริเวณชั้นสาม

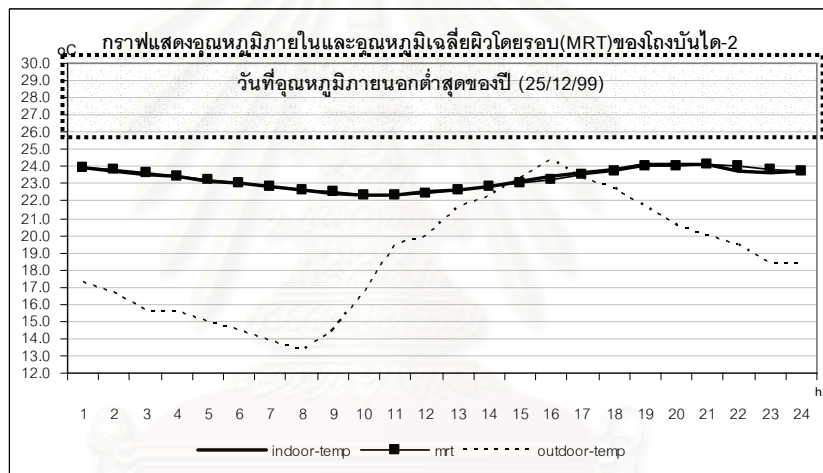
4.5.3.1 โถงบันได-2



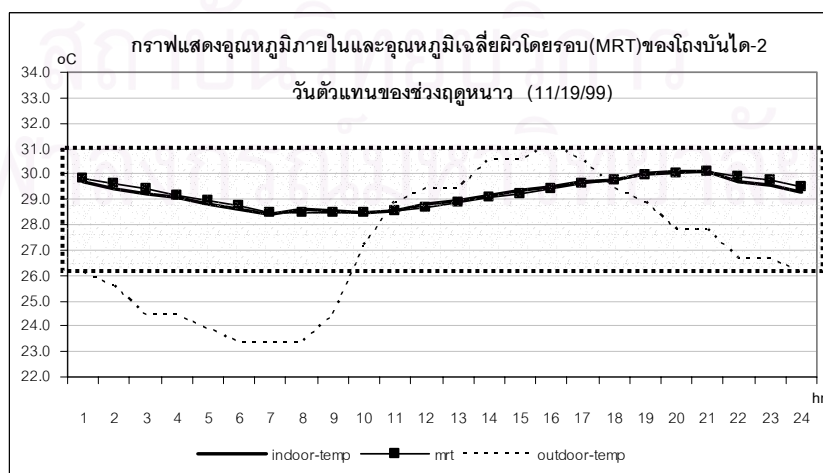
แผนภูมิที่ 4.33 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-2 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.34 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-2
ในวันตัวแทนของฤดูร้อน

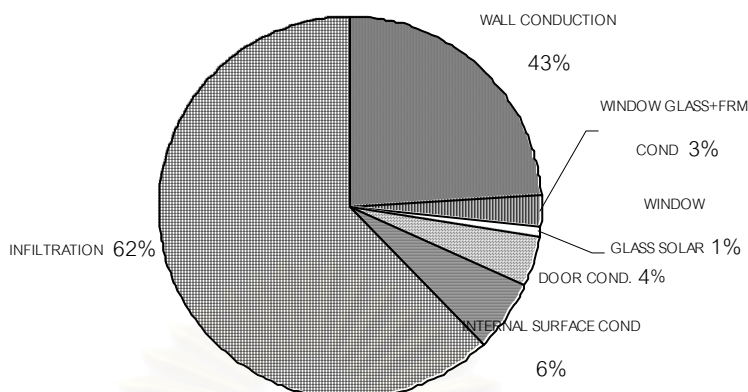


แผนภูมิที่ 4.35 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-2
ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.36 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของโถงบันได-2
ในวันตัวแทนของฤดูหนาว

ภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคาร: โถงบันได-2



แผนภูมิที่ 4.37 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนของโถงบันได-2

จากแผนภูมิที่ 4.33 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของโถงบันได-2 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง $30-31.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งในเวลา 19.00-24.00 น. จะมีค่าอุณหภูมิอากาศสูงกว่าสภาวะนำสบายประมาณ 0.5°C โดยโถงบันได-2 จะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 10.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 21.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง เพราะว่าห้องโถงบันได-2 จะได้รับอิทธิพลจากช่องแสงทางด้านบนหลังคา

จากแผนภูมิที่ 4.34 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของโถงบันได-2 ในวันที่ตัวแทนของฤดูร้อน พบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง $29-31.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าช่วงของสภาวะนำสบายประมาณ 0.5°C โดยโถงบันได-2 จะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 8.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 21.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 4.35 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของโถงบันได-2 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วน จะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง $22-24^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าช่วงของสภาวะนำสบายประมาณ $1-2^{\circ}\text{C}$ โดยโถงบันได-2 จะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 10.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 21.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

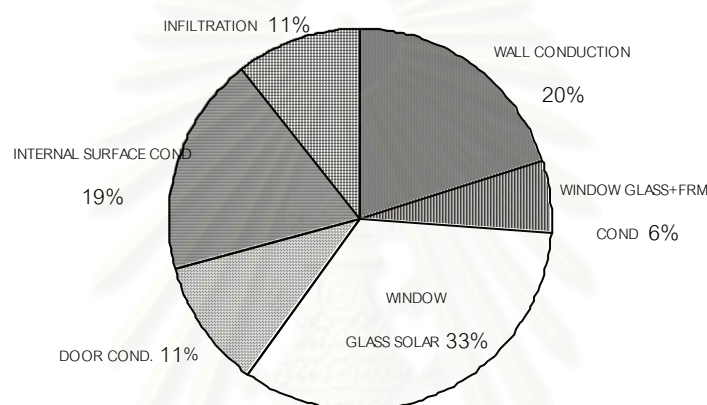
จากแผนภูมิที่ 4.36 .แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของโถงบันได-2 ในวันที่ตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง $28.5-30^{\circ}\text{C}$ ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วงของสภาวะนำสบาย โดยโถงบันได-2 จะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา

9.00 น. และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 20.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

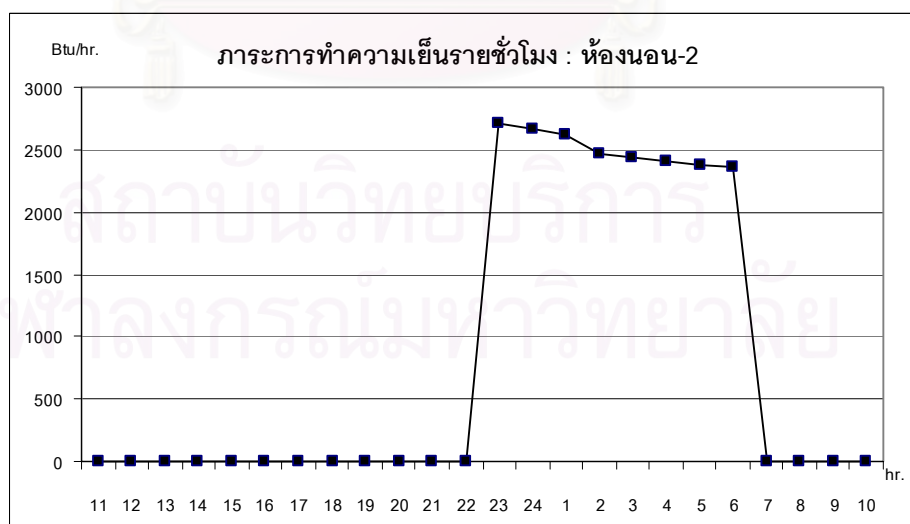
จากแผนภูมิที่ 4.37 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคารของโถงบันได-2 จะพบว่าความร้อนส่วนใหญ่จะได้รับมาจากการรั่วซึมของอากาศประมาณ 62% และผนังอาคารประมาณ 24 % ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากห้องนอน-2 , ห้องนอน-3 และช่องแสงทางด้านบนหลังคา

4.5.3.2 ห้องนอน -2

ภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคาร:ห้องนอน-2



แผนภูมิที่ 4.38 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนของห้องนอน-2



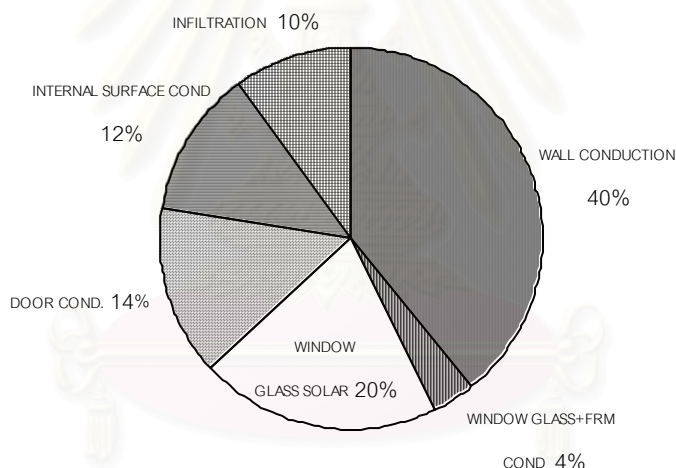
แผนภูมิที่ 4.39 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน-2

จากแผนภูมิที่ 4.38 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคารของห้องนอน-2 จะพบว่า ความร้อนส่วนใหญ่จะได้รับมาจากผนังกระจกของหน้าต่างประมาณ 33 % และได้รับมาจากผนังอาคารประมาณ 20 % เนื่องจากผนังอาคารของห้องนอน-2 นั้นไม่มีแผงกันแดดที่จะช่วยป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีความร้อนบางส่วนจากช่องใต้หลังคาได้ส่งผ่านฝ้าเพดานลงมาภายในห้องด้วย

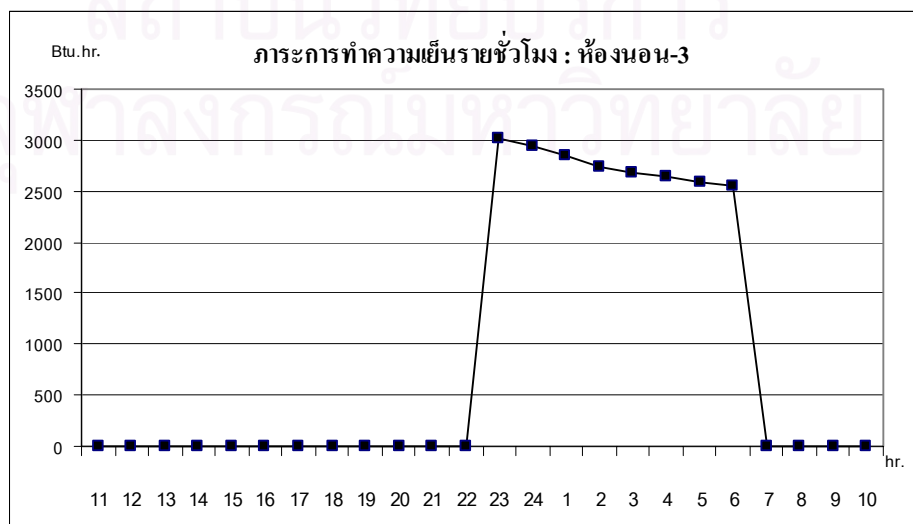
จากแผนภูมิที่ 4.39 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน- 2 จะพบว่าในช่วงแรกของการเปิดเครื่องปรับอากาศจะมีการใช้พลังงานประมาณ 2,700 Btu/hr. แล้วจะปรับลดลงเหลือ 2400 Btu/hr. ในอีก 3 ชั่วโมงต่อมา จากนั้นเครื่องปรับอากาศจะมีการใช้พลังงานอย่างคงที่จนกระทั่งปิดเครื่องปรับอากาศ เพราะว่าความร้อนที่สะสมภายในห้องนอน-2 จะมีปริมาณน้อยกว่าห้องนอน-3 ดังนั้นเครื่องปรับอากาศจึงใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นในสัดส่วนที่น้อยกว่าห้องนอน -3

4.5.3.3 ห้องนอน –3

ภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคาร:ห้องนอน-3



แผนภูมิที่ 4.40 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนของห้องนอน-3

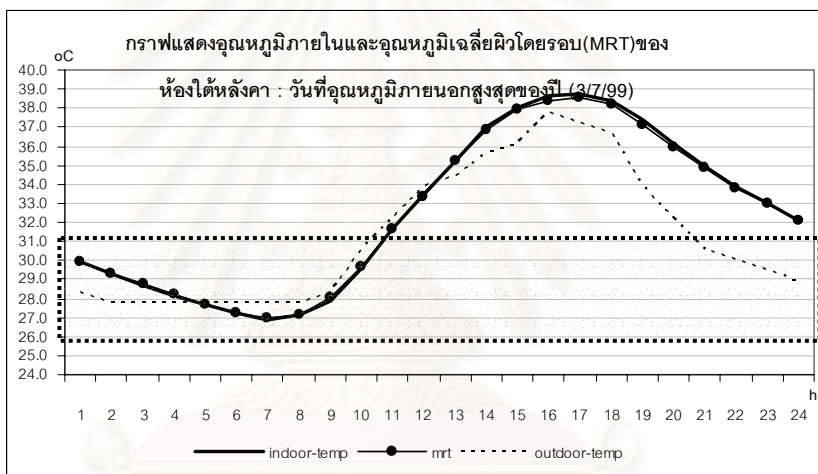


แผนภูมิที่ 4.41 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน-3

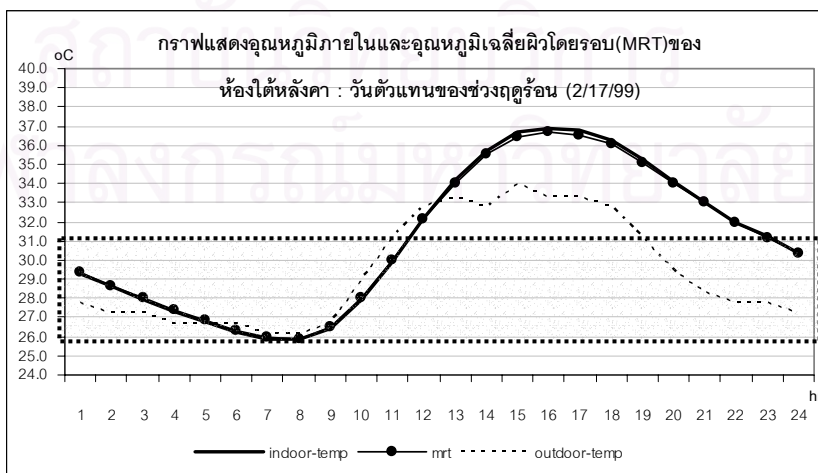
จากแผนภูมิที่ 4.40 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคารของห้องนอน-3 จะพบว่าความร้อนส่วนใหญ่จะได้รับมาจากผนังอาคารประมาณ 40 % และได้รับมาจากผนังกระจกของหน้าต่างประมาณ 20 % เพราะว่าผนังของห้องนอน-3 ตั้งอยู่ทางทิศใต้จึงได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ค่อนข้างมาก

จากแผนภูมิที่ 4.41 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอนพบว่า ในช่วงโมงแรกของการเปิดเครื่องปรับอากาศจะมีการใช้พลังงานประมาณ 3,000 Btu/hr. จากนั้นจะมีการใช้พลังงานลดลงอย่างคงที่จนกระทั่งปิดเครื่องปรับอากาศ การใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นของห้องนอน-3 จะมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าห้องนอน2 เพราะว่ามีปริมาณความร้อนที่สะสมภายในห้องมากกว่า

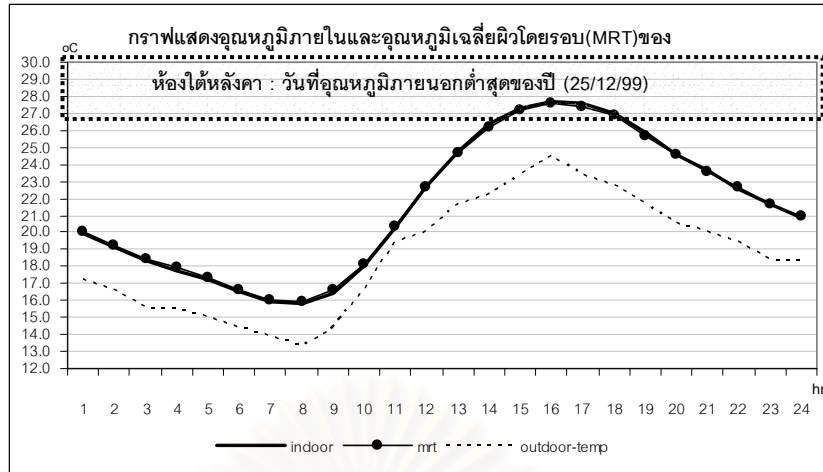
4.5.4 ผลการวิเคราะห์และประเมินสถานะนำสบายภายในบริเวณช่องใต้หลังคา



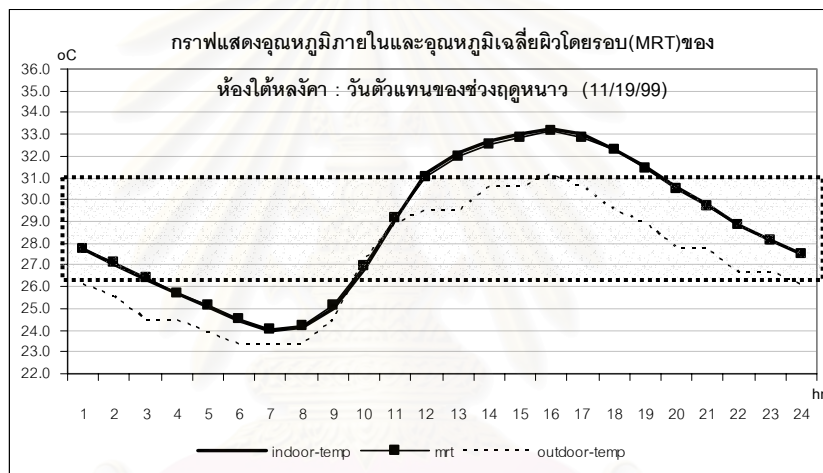
แผนภูมิที่ 4.42 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของช่องใต้หลังคา ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.43 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของช่องใต้หลังคา ในวันที่ตัวแทนของฤดูร้อน

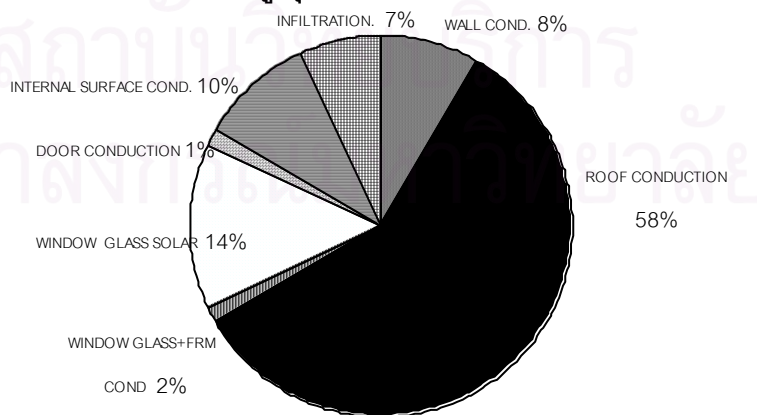


แผนภูมิที่ 4.44 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของช่องใต้หลังคา ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.45 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของช่องใต้หลังคา ในวันที่ตัวแทนของฤดูหนาว

ภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคาร: ห้องใต้หลังคา



แผนภูมิที่ 4.46 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนของช่องใต้หลังคา

จากแผนภูมิที่ 4.42 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของช่องใต้หลังคา ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 27-39 °C ซึ่งในเวลา 10.00-24.00 น.จะมีค่าอุณหภูมิอากาศสูงกว่าในช่วงของสภาวะนำสบายประมาณ 7 °C และมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 2-4 °C โดยช่องใต้หลังคาจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 7.00 น.และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 16.00 น. ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาของอุณหภูมิภายนอกสูงสุด

จากแผนภูมิที่ 4.43 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของช่องใต้หลังคา ในวันที่ตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 26-37 °C ซึ่งในเวลา 11.00-24.00 น.จะมีค่าอุณหภูมิอากาศสูงกว่าในช่วงของสภาวะนำสบายประมาณ 6 °C และมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 3-4 °C โดยช่องใต้หลังคาจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 7.00 น.และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 16.00 น.

จากแผนภูมิที่ 4.44 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของช่องใต้หลังคาในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 16-28 °C ซึ่งในเวลา 14.00-18.00 น.มีค่าอุณหภูมิอากาศสูงกว่าช่วงของสภาวะนำสบายประมาณ 1.5 °C โดยช่องใต้หลังคาจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 8.00 น.และมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่เวลา 15.00 น.

จากแผนภูมิที่ 4.45 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของช่องใต้หลังคาในวันที่ตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 24-33 °C ซึ่งในเวลา 12.00-19.00 น.มีค่าอุณหภูมิอากาศสูงกว่าในช่วงของสภาวะนำสบายประมาณ 2 °C โดยช่องใต้หลังคาจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำสุดอยู่ที่เวลา 7.00 น.และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 16.00 น.

จากแผนภูมิที่ 4.46 แสดงภาวะการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบอาคารของช่องใต้หลังคา จะพบว่าความร้อนส่วนใหญ่จะได้รับมาจากวัสดุผนังหลังคาประมาณ 58 % และช่องแสงประมาณ 14% เนื่องจากวัสดุผนังหลังคาเป็นคอนกรีตที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่ต่ำจึงทำให้ความร้อนจากภายนอกอาคารผ่านเข้ามาภายในช่องใต้หลังคาค่อนข้างมากแล้วมีผลทำให้ความร้อนบางส่วนภายในช่องใต้หลังคาส่งผ่านลงมายังห้องที่อยู่ด้านล่าง ซึ่งได้แก่ ห้องนอน-2 และห้องนอน-3 นอกจากนี้ในบริเวณช่องแสงด้านบนหลังคายังเป็นจุดที่ได้ความร้อนจากภายนอกค่อนข้างมากด้วย เพราะว่ช่องแสงเป็นวัสดุหลังคาที่ทำมาจากวัสดุโปร่งแสงจึงทำให้ความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในได้ง่าย

4.6 สรุปผลการวิเคราะห์สภาวะนำสบายและการใช้พลังงานภายในอาคารกรณีศึกษา

จากการวิเคราะห์สภาวะนำสบายและการใช้พลังงานภายในอาคารกรณีศึกษาทำให้สามารถรับทราบปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นภายในอาคาร โดยสามารถแยกออกเป็นพื้นที่ได้ดังนี้

4.6.1 ห้องรับแขก

อุณหภูมิอากาศภายในห้องรับแขกในช่วงฤดูร้อนจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 29-31 °C และในช่วงฤดูหนาวจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 28-30 °C ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะนำสบายแต่ก็ยังมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงอยู่ ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อนบริเวณผนังอาคารและการรั่วซึมของอากาศ โดยเฉพาะผนังทางด้านทิศใต้ (ด้านหลังอาคาร) ที่ไม่มีส่วนป้องกันแสงแดดให้กับผนังอาคารเลย ดังนั้นจึงควรปรับปรุงผนังอาคารให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร

4.6.2 ห้องทำงาน

อุณหภูมิอากาศภายในห้องทำงานในช่วงฤดูร้อนจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 29-31.5 °C และในช่วงฤดูหนาวจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 29-30 °C ซึ่งจะเกือบสูงกว่าช่วงของสภาวะนำสบาย ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อนบริเวณผนังอาคารและกระจกหน้าต่าง เนื่องจากห้องทำงานตั้งอยู่ทางทิศใต้ จึงได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงควรปรับปรุงผนังอาคารและกระจกหน้าต่างให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นและควรเพิ่มส่วนป้องกันกันแสงแดดให้กับผนังอาคารด้วย

4.6.3 ห้องนอน-1

อุณหภูมิอากาศภายในห้องนอน -1 ในช่วงฤดูร้อนจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 29-31.5 °C และในช่วงฤดูหนาวจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 29-30 °C ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะนำสบายแต่ก็ยังมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงอยู่ ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อนบริเวณผนังอาคารและกระจกหน้าต่าง ดังนั้นจึงควรปรับปรุงผนังอาคารและกระจกหน้าต่างให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และควรเพิ่มส่วนป้องกันกันแสงแดดให้กับผนังอาคารด้วย

4.6.4 ห้องนอน-2 และห้องนอน-3

จะพบว่าความร้อนส่วนใหญ่จะได้รับมาจากผนังอาคารและกระจกหน้าต่างเช่นเดียวห้องอื่นๆ และมีความร้อนบางส่วนที่ได้รับมาจากช่องใต้หลังคาซึ่งจะทำให้เครื่องปรับอากาศต้องพลังงานเพื่อทำความเย็นมากขึ้น ดังนั้นจึงควรปรับปรุงผนังอาคาร , กระจกหน้าต่างและ ฝ้าเพดาน ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

4.6.5 ห้องโถงบันได

จะพบว่าความร้อนส่วนใหญ่จะได้รับมาจากทางช่องแสงด้านบนหลังคาที่นำความร้อนเข้ามาพร้อมแสงสว่าง ดังนั้นจึงควรช่องแสงนี้ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

4.6.6 ช่องใต้หลังคา

อุณหภูมิอากาศภายในช่องใต้หลังคาในช่วงฤดูร้อนจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 26-37 °C และในช่วงฤดูหนาวจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 24-33 °C ซึ่งอยู่สูงกว่าช่วงของสภาวะน่าสบาย ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อนบริเวณวัสดุผนังหลังคา ดังนั้นจึงควรปรับปรุงวัสดุหลังคาให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นหรือการป้องกันความร้อนจากช่องใต้หลังคาผ่านลงไปยังห้องด้านล่าง เช่น การปรับปรุงฝ้าเพดาน

4.7 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคาร

ในการประเมินการใช้พลังงานภายในอาคารนั้น ควรจะต้องพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของเปลือกอาคารด้วย เพราะว่าเปลือกอาคารนั้นมีผลมากต่อการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งกฎหมายการอนุรักษ์พลังงานได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานไว้ คือ ผนังของอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมไม่เกิน 55 วัตต์ต่อตารางเมตร และ หลังคาของอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตร ในอาคารกรณีศึกษาได้คำนวณแยกออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

4.7.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (OTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV)							
ทิศ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (Sq.m.)	U (W/sq.m.°c)	TD (°C)	SF	SC	Q (วัตต์)
เหนือ	ผนังทึบ	33.1	0.941	10	-	-	311.47
	ผนังโปร่งแสง	7.2	5.893	5	111.4	0.238	405.21
	รวม	40.3					716.68
ใต้	ผนังทึบ	29.4	0.941	10.0	-	-	276.84
	ผนังโปร่งแสง	10.9	5.893	5.0	178.2	0.238	783.56
	รวม	40.30					1,060.40
ค่า OTTV รวมของอาคารเท่ากับ				17.77	วัตต์ต่อตารางเมตร		

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (OTTV) ของอาคารกรณีศึกษา

4.7.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (RTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)							
ทิศ	ชนิดหลังคา	พื้นที่ (Sq.m.)	U (W/sq.m.°c)	TD (°C)	SF	SC	Q (วัตต์)
เหนือ	ผนังทึบ	12.9	0.515	12	-	-	79.47
	รวม	12.9					79.47
ใต้	ผนังทึบ	40.5	0.515	12	-	-	250.41
	ผนังโปร่งแสง	1	5.610	5.0	377.4	0.960	390.35
	รวม	41.5					640.76
ค่า RTTV รวมของอาคารเท่ากับ				13.24	วัตต์ต่อตารางเมตร		

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (RTTV) ของอาคารกรณีศึกษา

จากตารางที่ 4.11 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) มีค่าเท่ากับ 17.77 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 55 วัตต์ต่อตารางเมตร แม้ว่าวัสดุของผนังอาคารจะมีค่าความต้านทานความร้อนที่ต่ำกว่าพื้นที่ของผนังที่บและผนังกระจกทางด้านที่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์นั้นมีสัดส่วนน้อยกว่าพื้นที่ของผนังอาคารทั้งหมด ในส่วนตารางที่ 4.12 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (RTTV) มีค่าเท่ากับ 13.77 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตร

4.8 ' สรุปข้อดีและข้อเสียของอาคารกรณศึกษา

เกณฑ์ในการพิจารณา	ผลของการศึกษา
1. มาตรฐานกฎหมายการอนุรักษ์พลังงาน	
- ค่า OTTV	อาคารกรณศึกษามีค่า OTTV 17.77 วัตต์ต่อ ตร.เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 55 วัตต์ต่อ ตร.เมตร
- ค่า RTTV	อาคารกรณศึกษามีค่า RTTV 13.24 วัตต์ต่อ ตร.เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 25 วัตต์ต่อ ตร.เมตร
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง	อาคารกรณศึกษามีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง 2.76 วัตต์ต่อตร.เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 16 วัตต์ต่อตร.เมตร
- มาตรฐานเครื่องปรับอากาศ (ชนิดแยกส่วน)	เครื่องปรับอากาศของอาคารกรณศึกษามีค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (EER) เท่ากับ 10.82 ซึ่งคิดเป็นกิโลวัตต์ต่อตันความเย็น เท่ากับ 1.1 ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 1.61 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น
2. มาตรฐานทางสภาพแวดล้อมภายในอาคาร	
- การควบคุมอุณหภูมิอากาศภายใน	อาคารกรณศึกษามีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยดังนี้ - ทางด้านทิศเหนืออยู่ที่ 31 °C - ทางด้านทิศใต้อยู่ที่ 32 °C - ส่วนโถงบันได (ตรงกลางอาคาร) อยู่ที่ 28 °C
- การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายใน	อาคารกรณศึกษามีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่ 74 %
- การควบคุมแสงสว่างธรรมชาติภายใน	อาคารกรณศึกษามีค่าสัมประสิทธิ์การส่องสว่าง (DF) เฉลี่ยประมาณ 2% :ซึ่งเพียงพอต่อการใช้ภายในบ้านพักอาศัย
3. ระบบเปลือกอาคารต่อสภาวะนำสบายและการใช้พลังงานภายในอาคาร	

- ผนังทึบ	ผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาเป็นผนังซีเมนต์บล็อควางปูนทาสี ซึ่งมีค่าความต้านความร้อนที่ต่ำ จึงทำให้เกิดการนำความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในค่อนข้างมาก
- กระจก	กระจกของอาคารกรณีศึกษาเป็นกระจกใสหนา 6 มม. ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูงมาก จึงทำให้เกิดการนำความร้อนผ่านเข้ามาทางกระจกมากและตัวอาคารก็ไม่มีส่วนที่ช่วยป้องกันแสงแดดให้กับผนังและกระจกด้วยจึงได้รับผลกระทบจากภายนอกมากยิ่งขึ้น
- หลังคา	วัสดุผนังหลังคาของอาคารกรณีศึกษาเป็นคอนกรีตซึ่งมีค่าความต้านความร้อนที่ต่ำ และจึงมีความร้อนสะสมไว้ภายในจำนวนมากซึ่งจะถูกถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานลงมายังด้านล่าง ซึ่งควรเพิ่มฉนวนกันความร้อนให้กับฝ้าเพดานในการป้องกันความร้อนจากช่องใต้หลังคา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

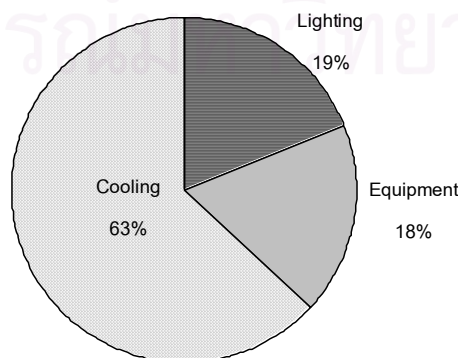
5.1. การกำหนดขอบเขตของแนวทางการปรับปรุง

จากบทที่ 4 ได้ทำการวิเคราะห์และประเมินอาคารกรณีศึกษาทางด้านต่างๆ เช่น ลักษณะกายภาพของอาคาร, ลักษณะพฤติกรรมการใช้สอย, สภาพระนาบสบาย และการใช้พลังงานภายในอาคาร ซึ่งทำให้พบเห็นปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นภายในอาคารกรณีศึกษา โดยเฉพาะในเรื่องที่เกี่ยวกับสภาพระนาบสบายและการใช้พลังงานซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ โดยจะพบว่า องค์ประกอบต่างๆของอาคารส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้ามาสู่ภายใน ซึ่งได้แก่ ฉนวนอาคาร, กระจกหน้าต่าง และ วัสดุผนังหลังคา เป็นต้น ดังนั้นจึงควรปรับปรุงองค์ประกอบต่างๆเหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเพื่อสามารถตอบสนองต่อความต้องการในการสร้างสภาพระนาบสบายและการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาหลังนี้ได้พิจารณาพื้นที่ทั้งด้านทิศเหนือและด้านทิศใต้ตลอดทั้ง 3 ชั้น รวมทั้งช่องใต้หลังคาด้วย เพื่อจะสามารถแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นได้อย่างครอบคลุมมากที่สุดและสามารถนำไปกำหนดเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารบ้านแถวต่อไปได้ โดยได้กำหนดขั้นตอนเบื้องต้นในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาไว้ดังนี้

5.1.1 การกำหนดองค์ประกอบของอาคารที่ต้องปรับปรุงเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

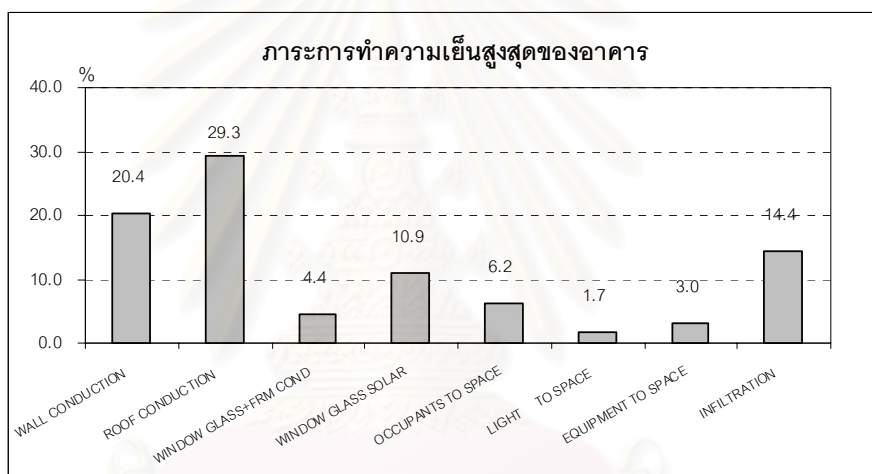
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของอาคาร		
ประเภทการใช้งาน	ปริมาณการใช้พลังงาน (kWh.)	อัตราส่วนการใช้พลังงาน(%)
Cooling	4,513	63
Lighting	934	19
Equipment	1,195	18

ตารางที่ 5.1. ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของอาคาร



แผนภูมิที่ 5.1. แสดงอัตราส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆ

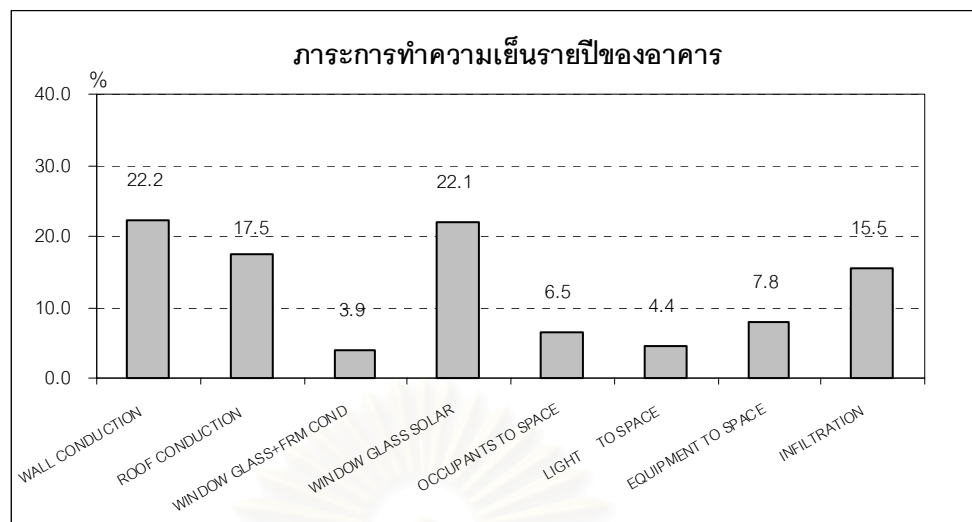
จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลทางด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษา จะพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งหมดประมาณ 4,513 kW^oh.ต่อปี โดยสามารถแยกออกเป็นประเภทของการใช้งานได้ดังแผนภูมิที่ 5.1 ซึ่งพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศจะมีสัดส่วนมากที่สุดประมาณ 62 % และพลังงานที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมีสัดส่วนรองลงมาประมาณ 19% และ 18 % ตามลำดับ สำหรับในระบบแสงสว่างจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่คิดต่อพื้นที่อาคารเท่ากับ 2.76 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 16 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ภายในอาคารจะมีคุณภาพค่อนข้างสูงตามมาตรฐานการควบคุมของผู้ผลิต ดังนั้นในการปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงจะพิจารณาเฉพาะตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นสูงสุด (peak cooling load) และภาระการทำความเย็นรวมรายปี (annual load)



แผนภูมิที่ 5.2. ภาระการทำความเย็นสูงสุดของอาคารจากการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

แหล่งที่มาของความร้อน	ความร้อนสัมผัส (kBtu/hr.)	ความร้อนแฝง (kBtu/hr.)	รวม (kBtu/hr.)	อัตราส่วน (%)
WALL CONDUCTION	5.828	0	8.128	20.38
ROOF CONDUCTION	11.67	0	11.67	29.27
WINDOW GLASS+FRM COND	1.766	0	1.766	4.43
WINDOW GLASS SOLAR	4.358	0	4.358	10.93
OCCUPANTS TO SPACE	1.543	0.912	2.455	6.16
LIGHT TO SPACE	0.687	0	0.687	1.72
EQUIPMENT TO SPACE	1.212	0	1.212	3.04
INFILTRATION	4.448	0.75	5.751	14.42

ตารางที่ 5.2 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนจากการทดลองด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อน



แผนภูมิที่ 5.3. แสดงภาระการทำความเย็นรวมตลอดทั้งปีของอาคาร

แหล่งที่มาของความร้อน	ความร้อนสัมผัส (kBtu/hr.)	ความร้อนแฝง (kBtu/hr.)	รวม (kBtu/hr.)	อัตราส่วน (%)
WALL CONDUCTION	5.828	0	31.5	22.2
ROOF CONDUCTION	11.67	0	24.9	17.5
WINDOW GLASS+FRM COND	1.766	0	5.6	3.9
WINDOW GLASS SOLAR	4.358	0	22.3	15.7
OCCUPANTS TO SPACE	1.543	0.912	18.3	12.9
LIGHT TO SPACE	0.687	0	6.3	4.4
EQUIPMENT TO SPACE	1.212	0	11.1	7.8
INFILTRATION	4.448	7.449	22.0	15.5

ตารางที่ 5.3. แสดงภาระการทำความเย็นรวมตลอดทั้งปีจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนจากการทดลองด้วย

โปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากแผนภูมิที่ 5.2 และ 5.3 แสดงถึงองค์ประกอบของอาคารที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นซึ่งต้องนำมาพิจารณาในการปรับปรุง

5.1.1.1 องค์ประกอบอาคารที่ต้องทำการปรับปรุง

ก) ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังที่อาคาร เนื่องจากผนังของอาคารกรณีศึกษาเป็นผนังอิฐบล็อกฉนวน ที่มีค่าต้านทานความร้อนที่ต่ำ จึงควรต้องเพิ่มค่าความต้านทานความร้อนให้กับผนังอาคารสูงขึ้น

ข) ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจก เนื่องจากกระจกหน้าต่างของอาคารกรณีศึกษาเป็นกระจกใสที่มีค่าต้านทานความร้อนที่ต่ำ จึงควรเพิ่มค่าความต้านทานร้อนให้สูงขึ้นหรือการป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางกระจกหน้าต่าง

ค) ภาวะการทำความเย็นที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา วัสดุหลังคาของอาคารกรณีศึกษาเป็นคอนกรีตที่มีค่าการต้านทานความร้อนที่ต่ำ จึงควรปรับปรุงวัสดุผนังหลังคาให้มีค่าการต้านทานความร้อนสูงขึ้น

ง) ภาวะการทำความเย็นที่เกิดจากการรั่วไหลของอากาศ (infiltration) เนื่องจากการรั่วไหลของอากาศจากรอยรั่วของช่องเปิดหน้าต่างและประตูจะทำให้เกิดการนำอากาศร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในห้อง จึงควรปรับปรุงช่องเปิดหน้าต่างและประตูรวมทั้งรอยต่อต่างๆ ให้สนิทแน่นป้องกันการรั่วไหลของอากาศ

5.1.1.2 องค์ประกอบอาคารที่ไม่ต้องปรับปรุง

ก) ภาวะการทำความเย็นที่เกิดจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างจะมีการใช้พลังงานที่ติดต่อกับพื้นที่อาคารอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้แล้ว ส่วนในระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพเช่นเดียวกันจึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงในระบบนี้

ข) ภาวะการทำความเย็นที่เกิดจากการใช้งานอาคาร เนื่องจากพฤติกรรมการใช้ของผู้พักอาศัยไม่สามารถควบคุมได้ซึ่งอาจต้องเข้ามาตรวจการของกฎระเบียบต่างๆควบคุมแทน

5.1.2 การปรับปรุงอาคารเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาในเรื่องของสภาวะน่าสบาย ได้พิจารณาทั้งทางด้านเทคนิคที่เหมาะสมซึ่งมีความเป็นไปได้ในการปรับปรุงจริงและทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นประกอบกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1.2.1 การลดความร้อนภายในอาคารด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางวัน เป็นวิธีที่ใช้ประโยชน์จากธรรมชาติในตอนกลางวันซึ่งมีอุณหภูมิภายนอกค่อนข้างต่ำกว่าภายในอาคารมาก จึงได้ออกแบบอาคารให้มีการระบายอากาศในเวลากลางวันทั้งทางตั้งและทางราบ

5.1.2.2 การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านทางผนังทึบ ผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาเป็นอิฐบล็อกจากปูนทาสีซึ่งมีค่าความต้านทานความร้อนที่ต่ำ ดังนั้นจึงควรปรับปรุงผนังทึบด้วยการเพิ่มค่าความต้านทานความร้อนของผนังให้สูงขึ้นด้วยการออกแบบผนังอาคารที่ประกอบด้วยวัสดุก่อที่มีความเหมาะสมในก่อสร้างบ้านพักอาศัยและฉนวนกันร้อนประเภทโพลีสไตรีนโฟมที่มีแผ่นยับขั้มบอร์ปิดทับภายในอีกชั้นเพื่อป้องกันการติดไฟของฉนวน

5.1.2.3 การลดการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ผ่านกระจก มีวิธีดังนี้

ก) การติดตั้งแผงกันแดด เนื่องจากลักษณะอาคารกรณีศึกษาไม่มีแผงกันแดดบริเวณช่องเปิดหน้าต่างจึงทำให้รังสีแสงอาทิตย์สามารถผ่านเข้ามาทางกระจกได้ง่าย โดยเฉพาะด้านทิศใต้ซึ่งได้รับอิทธิพลจากภายนอกค่อนข้างมาก แผงกันแดดที่นำมาติดตั้งจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมในการใช้งานและสามารถก่อสร้างได้ง่ายเหมาะสมกับอาคารกรณีศึกษา

ข) การเปลี่ยนผนังกระจก ได้พิจารณาเลือกชนิดกระจกที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงในการป้องกันความร้อนจากภายนอกซึ่งจะไม่ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงมากเกินไป เพราะอาคารกรณีศึกษาจะมีพื้นที่ของกระจกหน้าต่างเพียงสองด้าน คือ ด้านหน้าและด้านหลัง ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารพักอาศัยประเภทอื่น

5.1.2.4 การลดการถ่ายเทความร้อนจากช่องใต้หลังคา หลังคาของอาคารกรณีศึกษาเป็นกระเบื้องคอนกรีตที่มีค่าความต้านความร้อนที่ต่ำมากจึงทำให้ความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในค่อนข้างมากและความร้อนนี้ได้ส่งผ่านลงมาในห้องด้านล่าง ดังนั้นจึงควรปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนประเภทฉนวนใยแก้วที่มีแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ไว้บนฝ้าเพดาน

สำหรับการรั่วไหลของอากาศภายในอาคารกรณีศึกษามีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะว่าผนังมีพื้นที่ของช่องเปิดค่อนข้างน้อยจึงทำให้เกิดการนำความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในมีไม่มากนัก แต่ก็ได้ทำการปรับปรุงโดยการติดตั้งแผ่นยางกันรั่ว (pvc) ตามรอยต่อของหน้าต่างและประตู หรือ ใช้วัสดุยาแนว (silicone sealant) ยาตามรอยต่อของหน้าต่างและประตู

5.2. รายละเอียดของแนวทางการปรับปรุง

จากแนวทางการปรับปรุงเบื้องต้น ใน ข้อ 5.1. ได้นำมากำหนดรายละเอียดเพิ่มเติมของแต่ละแนวทางการปรับปรุงให้มีความเหมาะสมในด้านต่างๆ เพื่อจะสามารถนำไปใช้ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาในการสร้างสภาวะน่าสบายและลดการใช้พลังงานภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ประเภท	วิธีการปรับปรุง	รายละเอียด
การระบายอากาศ	แนวทางที่ 1 (case-1)	การระบายอากาศตอนกลางคืน
ผนัง	แนวทางที่ 2 (case-2)	ผนังอิฐบุลึบค+โพลีสไตรีนโฟม หนา 1 "
	แนวทางที่ 3 (case-3)	ผนังอิฐบุลึบค+โพลีสไตรีนโฟม หนา 2 "
	แนวทางที่ 4 (case-4)	ผนังอิฐบุลึบค+โพลีสไตรีนโฟม หนา 3 "
	แนวทางที่ 5 (case-5)	ผนังอิฐมวลเบา+โพลีสไตรีนโฟม หนา 1 "
	แนวทางที่ 6 (case-6)	ผนังอิฐมวลเบา+โพลีสไตรีนโฟม หนา 2 "
	แนวทางที่ 7 (case-7)	ผนังอิฐมวลเบา+โพลีสไตรีนโฟม หนา 3 "
	กระจกหน้าต่าง	แนวทางที่ 8 (case-8)
แนวทางที่ 9 (case-9)		กระจกสองชั้น
แนวทางที่ 10 (case-10)		กระจกติดฟิล์มสะท้อนแสง
หลังคา	แนวทางที่ 11 (case-11)	ฝ้าเพดาน+ฉนวนกันความร้อนหนา 3.5"

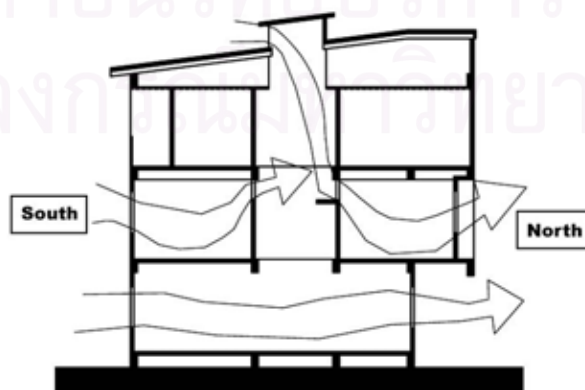
ตารางที่ 5.4 แสดงรายละเอียดของแนวทางการปรับปรุงแต่ละวิธี

5.2.1 การปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืน : Night ventilation (แนวทางที่ 1)

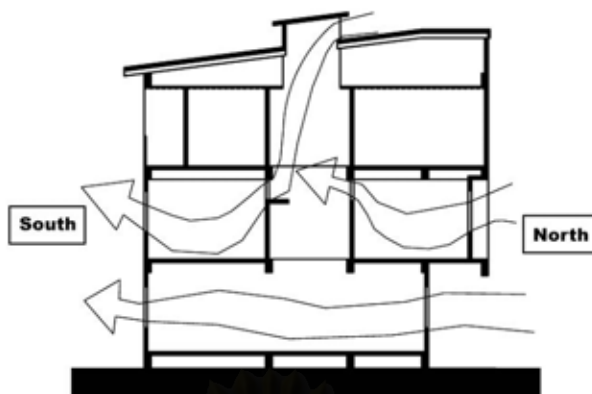
คือ การใช้ประโยชน์จากอากาศภายนอกในตอนกลางคืนที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในมาก ซึ่งสามารถนำมาลดความร้อนภายในอาคารให้มีอุณหภูมิที่ต่ำลงหรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกได้ เนื่องจากอาคารกรณีศึกษามีลักษณะเป็นบ้านแถวขนาดความสูง 3 ชั้นและถูกตั้งในทิศทางของลมเหนือและใต้ ประกอบกับมีโถงบันไดที่มีลักษณะคล้ายปล่องอยู่ตรงกลางอาคารจึงทำให้สามารถออกแบบอาคารที่มีการระบายอากาศได้ทั้งทางตั้งและทางราบ กล่าวคือ การระบายอากาศทางตั้งจะออกแบบปล่องด้านบนของหลังคาบริเวณโถงบันไดให้เป็นทางเข้าของลมภายนอกที่จะพัดผ่านเข้ามาภายในอาคารในเวลากลางคืนได้ ส่วนการระบายอากาศทางราบจะใช้ช่องเปิดของผนังแต่ละด้านเป็นทางเข้าออกของลม ซึ่งจะกำหนดทิศทางและปริมาณของลมที่จะพัดเข้ามาด้วยขนาดช่องเปิด ทิศทางของลมในประเทศไทยจะมีทิศทางที่แตกต่างกันตามฤดูกาล คือในฤดูร้อนกระแสลมจะพัดมาจากทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ตามรูปที่ 5.1. และในช่วงฤดูหนาวกระแสลมจะพัดมาจากทางทิศเหนือตามรูปที่ 5.2. ซึ่งในการนำอากาศภายนอกเข้ามาภายในนั้นจะต้องคำนึงถึงทิศทางของลมด้วย ดังนั้นช่องเปิดบริเวณหลังคาจึงควรสามารถปิดและเปิดได้ทั้งทางทิศเหนือและทิศใต้ตามที่ต้องการ ส่วนในเวลากลางวันช่องเปิดนี้จะถูกปิดไว้เพื่อป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในเพราะว่าในตอนกลางวันจะมีอากาศภายนอกที่ร้อนกว่าภายในมากจึงไม่จำเป็นต้องให้มีการระบายอากาศบริเวณปล่องอากาศนี้

ปริมาณการระบายอากาศภายในอาคาร	
ลักษณะอาคาร	ปริมาณอัตราการระบายอากาศ (ACH)
อาคารก่อนปรับปรุง	1.8
อาคารหลังปรับปรุง (high ventilation)	125

ตารางที่ 5.5 แสดงปริมาณการระบายอากาศภายในอาคาร



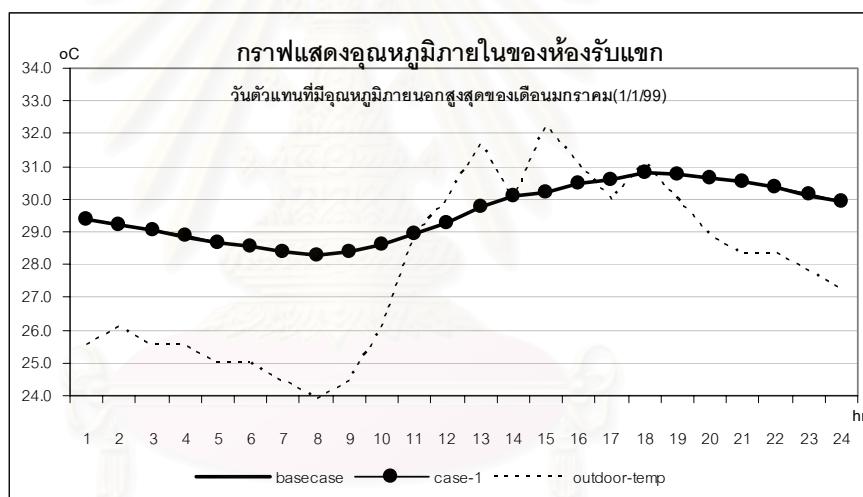
รูปที่ 5.1. แสดงการระบายอากาศช่วงเวลากลางคืนของฤดูร้อน



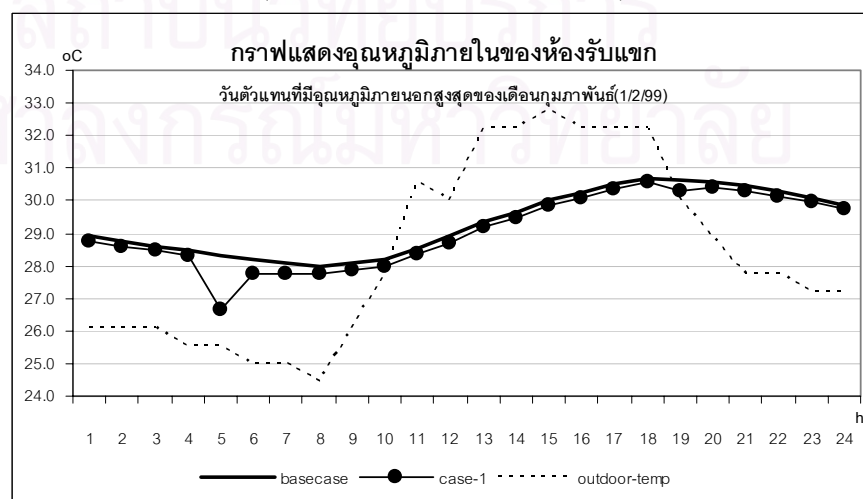
รูปที่ 5.2. แสดงการระบายอากาศช่วงเวลากลางคืนของฤดูหนาว

5.2.1.1 ผลการวิเคราะห์ของการปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศตอนกลางคืน (แนวทางที่ 1)

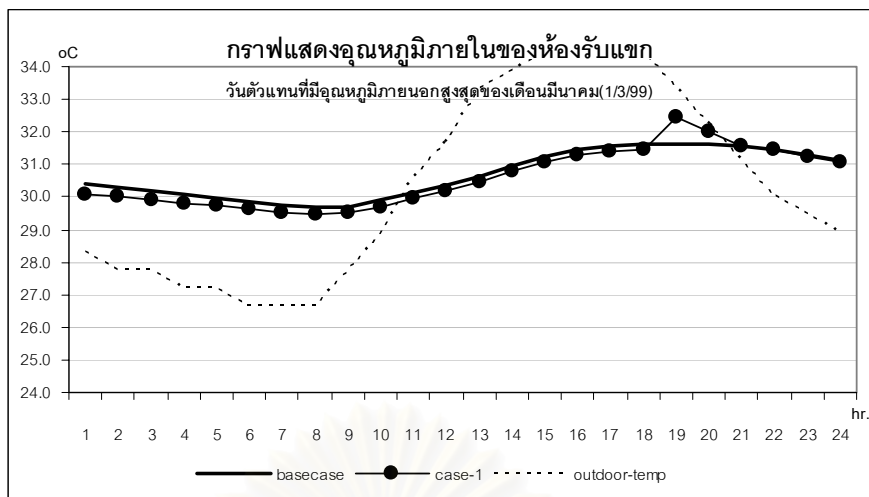
ก) ห้องรับแขก (บริเวณชั้นล่าง)



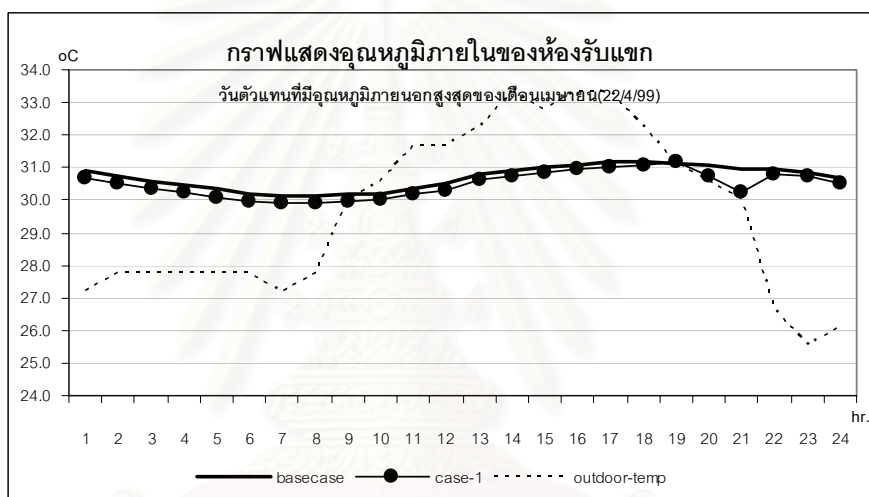
แผนภูมิที่ 5.4 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนมกราคม
(เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



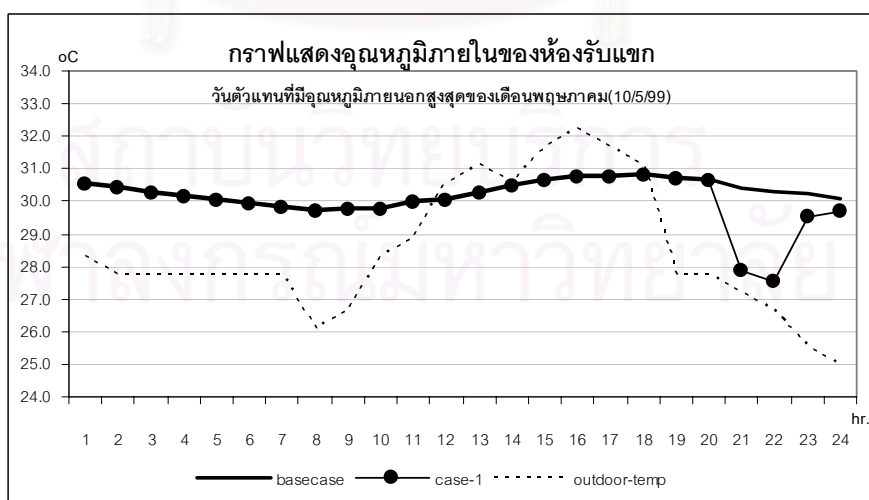
แผนภูมิที่ 5.5 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนกุมภาพันธ์
(เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



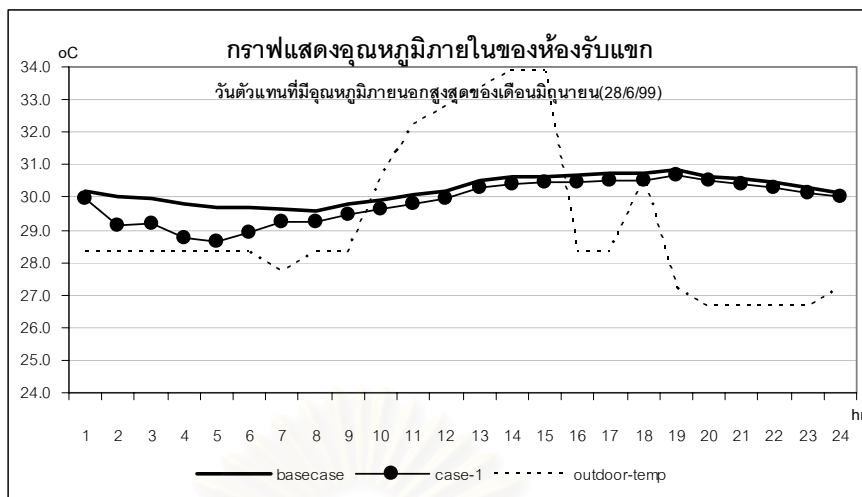
แผนภูมิที่ 5.6 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนมีนาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



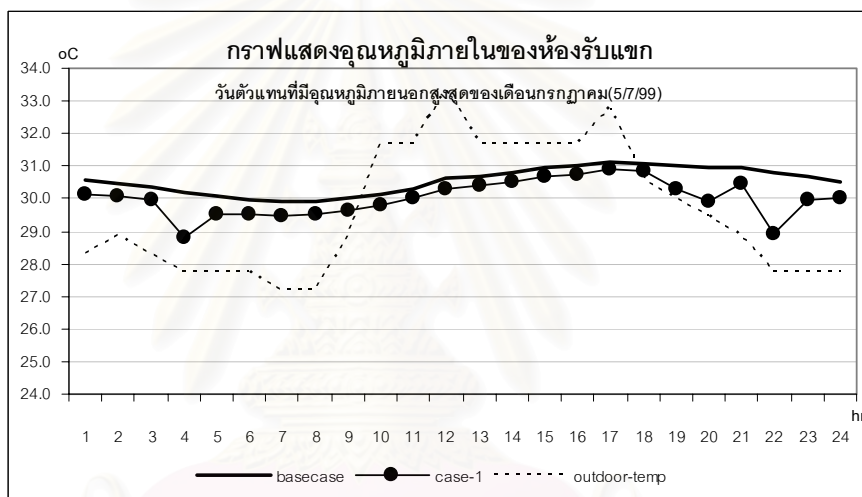
แผนภูมิที่ 5.7 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนเมษายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



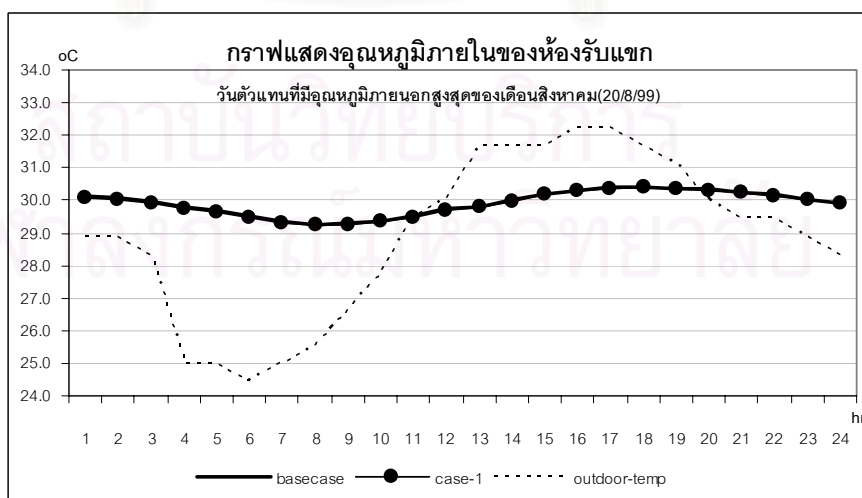
แผนภูมิที่ 5.8 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนพฤษภาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



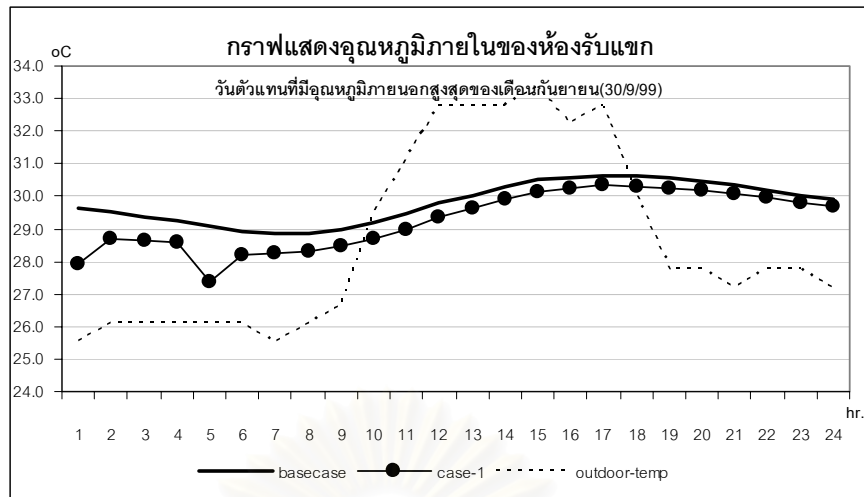
แผนภูมิที่ 5.9 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนมิถุนายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



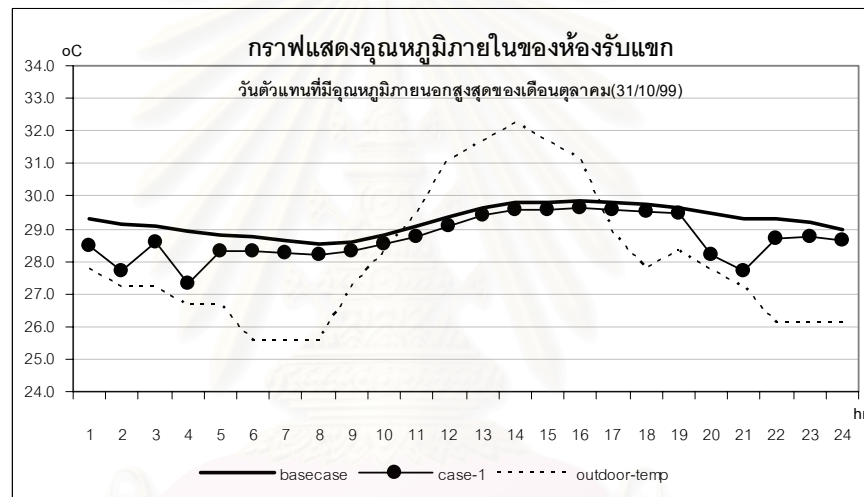
แผนภูมิที่ 5.10 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนกรกฎาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



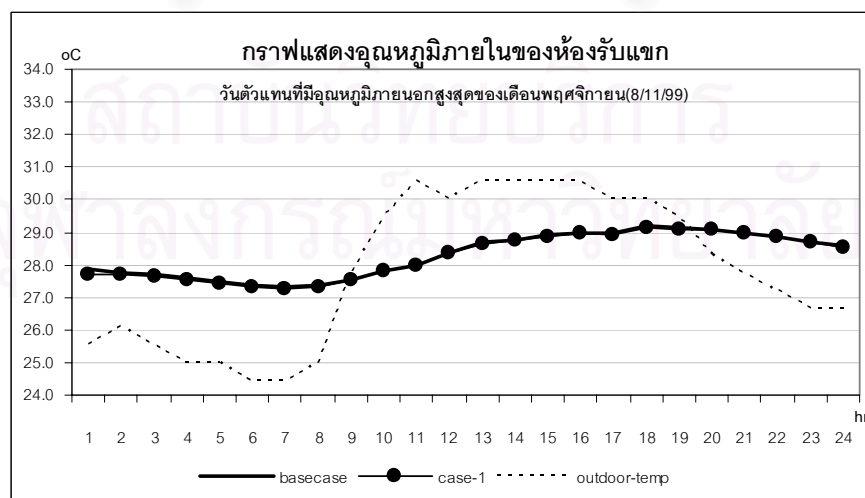
แผนภูมิที่ 5.11 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนสิงหาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



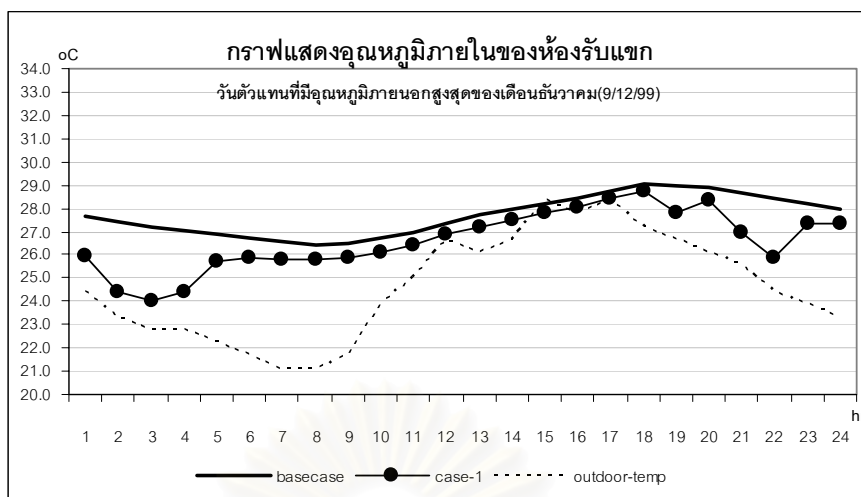
แผนภูมิที่ 5.12 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนกันยายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลาากลางคืน)



แผนภูมิที่ 5.13 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนตุลาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลาากลางคืน)



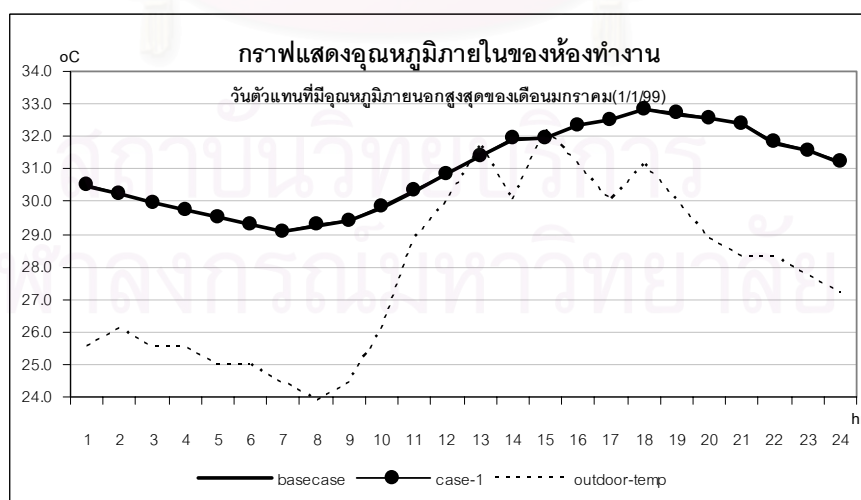
แผนภูมิที่ 5.14 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนพฤศจิกายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลาากลางคืน)



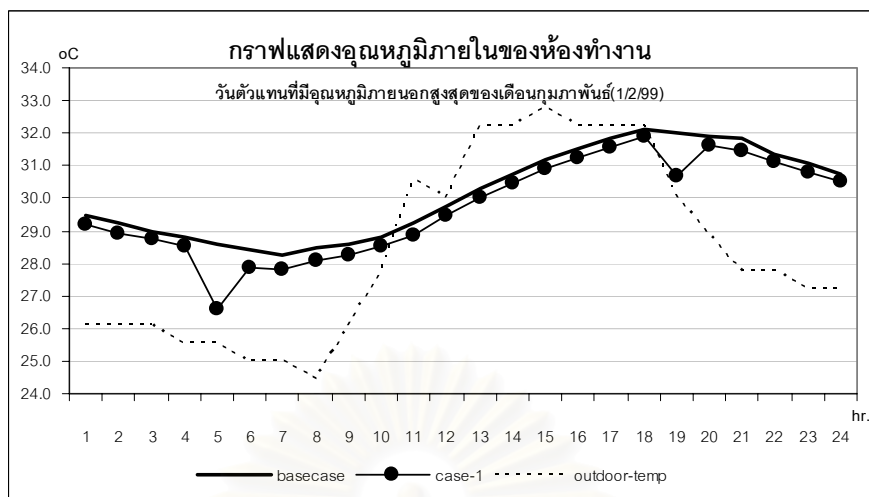
แผนภูมิที่ 5.15 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนธันวาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)

จากแผนภูมิที่ 5.4 ถึงแผนภูมิที่ 5.15 พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกของแต่ละเดือนระหว่างอาคารก่อนปรับปรุงกับอาคารหลังปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศตอนกลางคืนส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นเฉพาะในเดือนกรกฎาคม, กันยายน, ตุลาคม และ ธันวาคม เท่านั้น จะที่อุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางคืนต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 0.5-3 °C และมีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางวันต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 0.5 °C เนื่องจากอยู่ในช่วงของฤดูฝนและฤดูหนาวซึ่งจะมีอากาศภายนอกที่ค่อนข้างต่ำและมีลมพัดแรงจึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องรับแขกลดต่ำลง

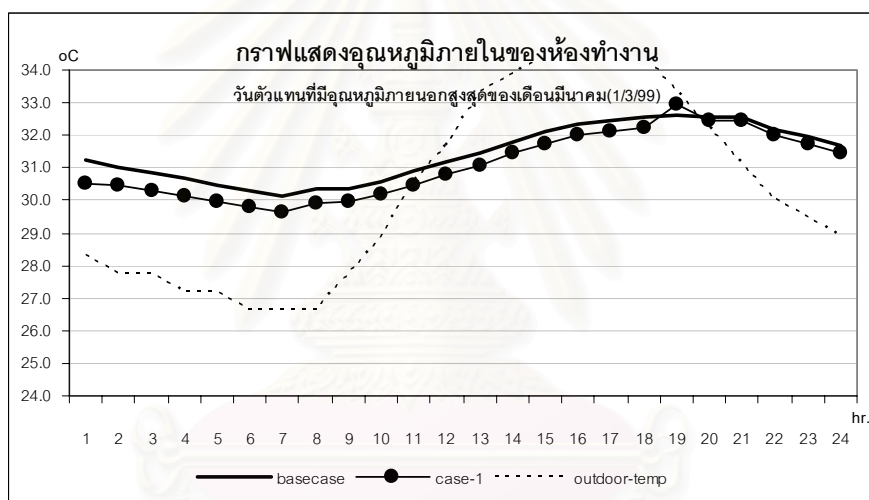
ข) ห้องทำงาน (บริเวณชั้นสอง)



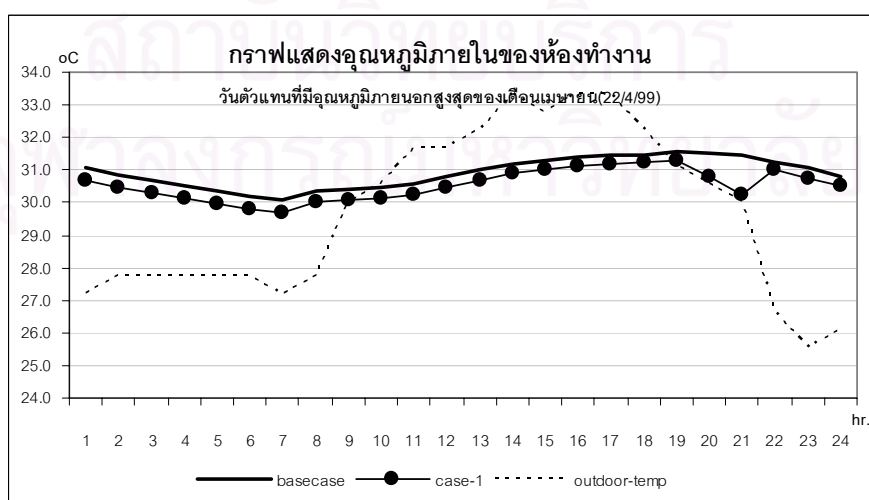
แผนภูมิที่ 5.16 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนมกราคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



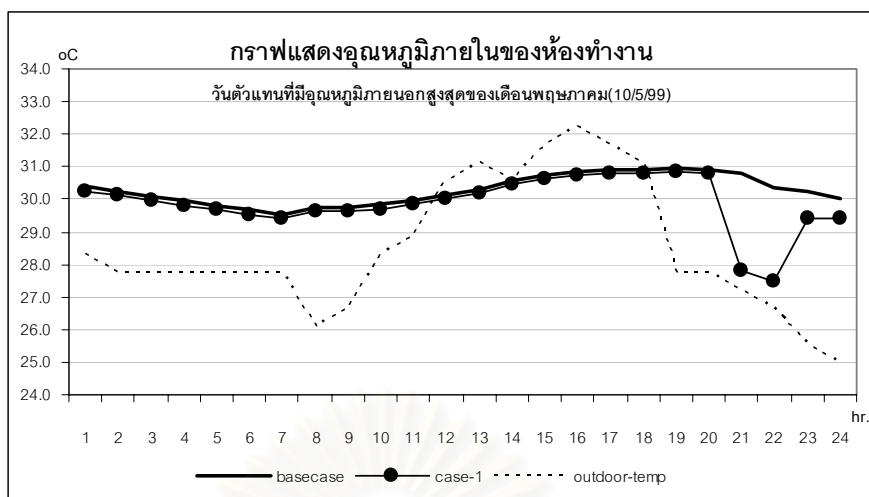
แผนภูมิที่ 5.17 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนกุมภาพันธ์ (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



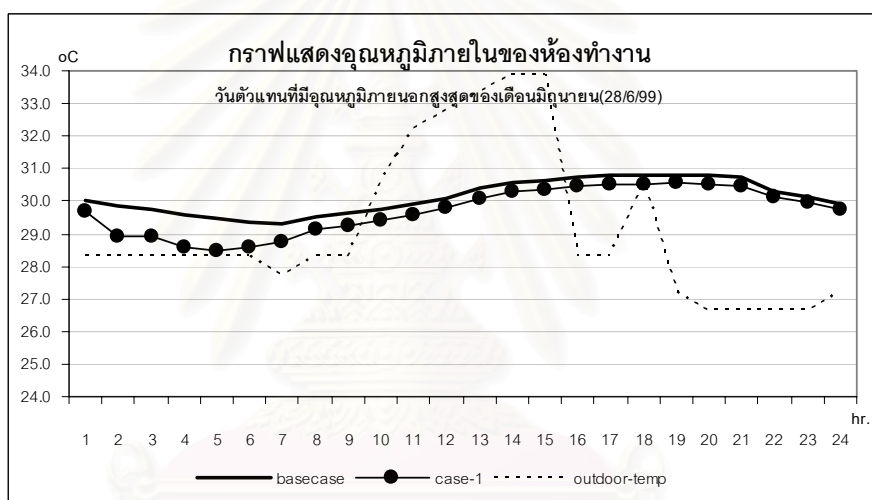
แผนภูมิที่ 5.18 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนมีนาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



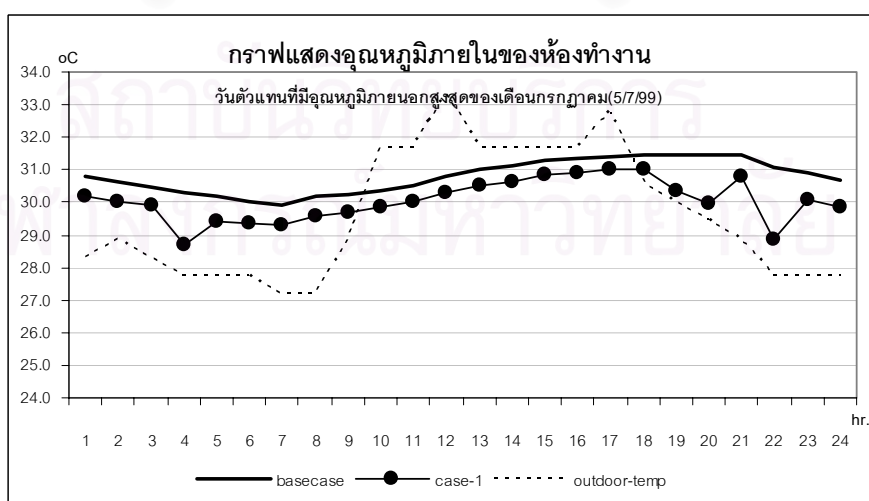
แผนภูมิที่ 5.19 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนเมษายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



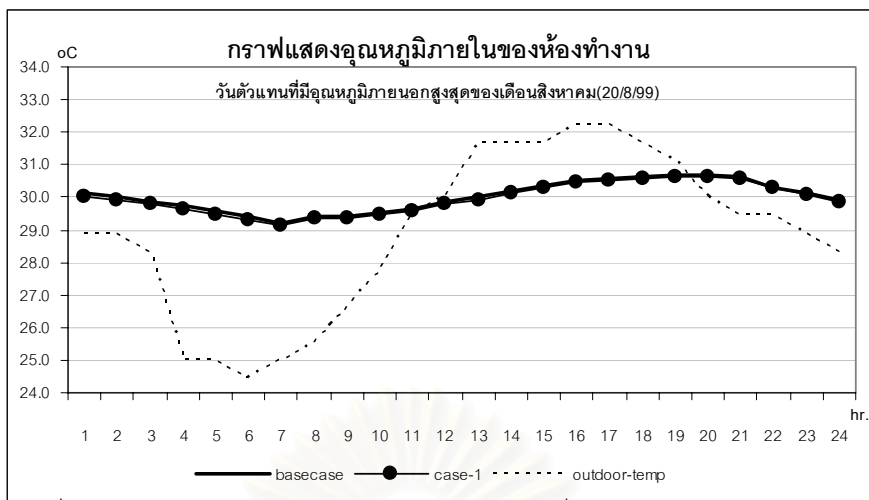
แผนภูมิที่ 5.20 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนพฤษภาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



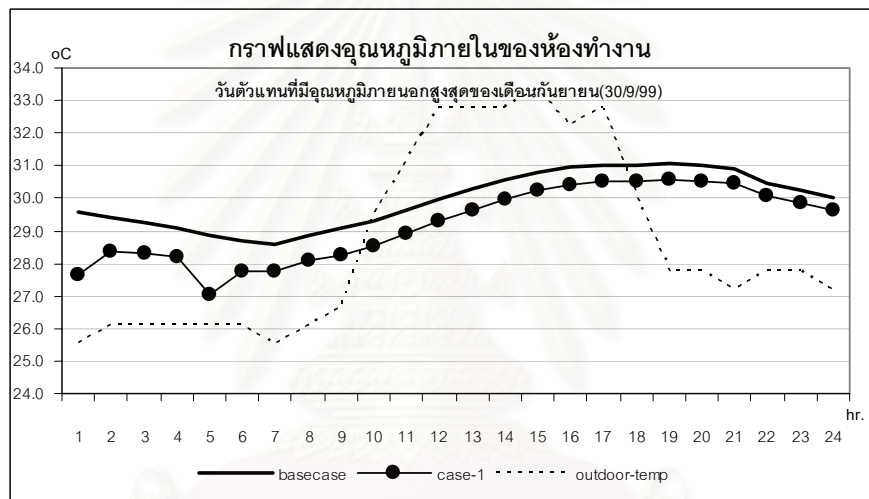
แผนภูมิที่ 5.21 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนมิถุนายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



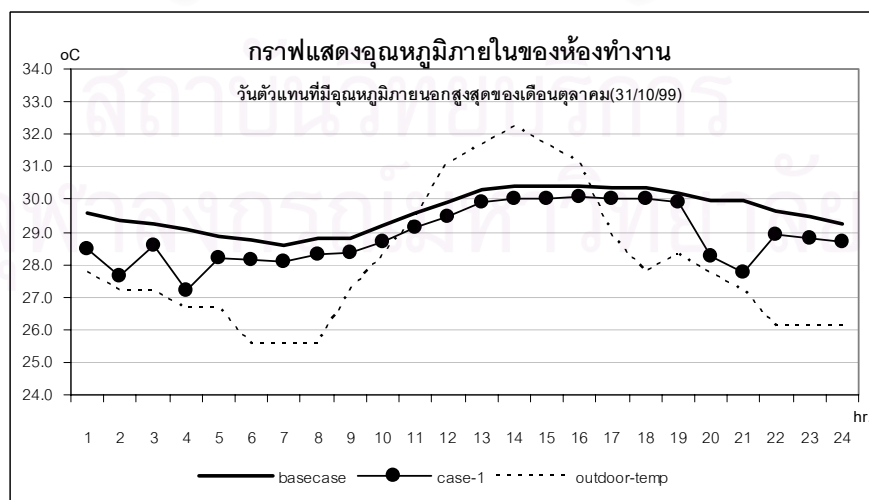
แผนภูมิที่ 5.22 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนกรกฎาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



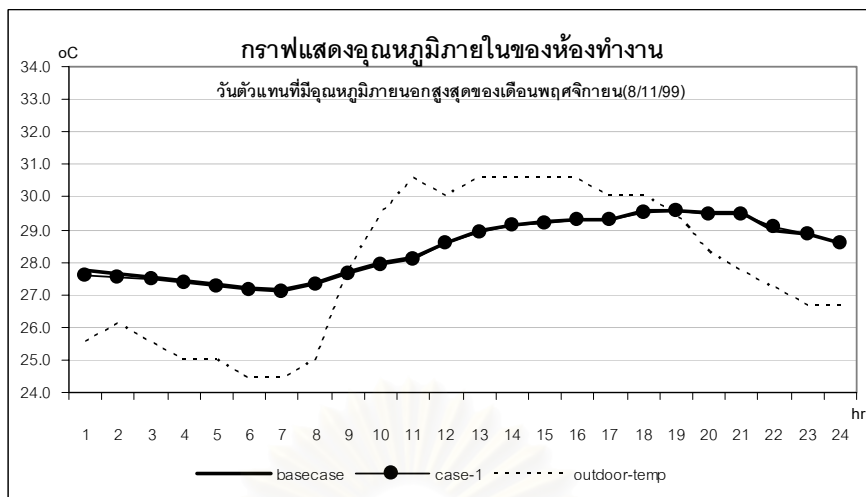
แผนภูมิที่ 5.23 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนสิงหาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



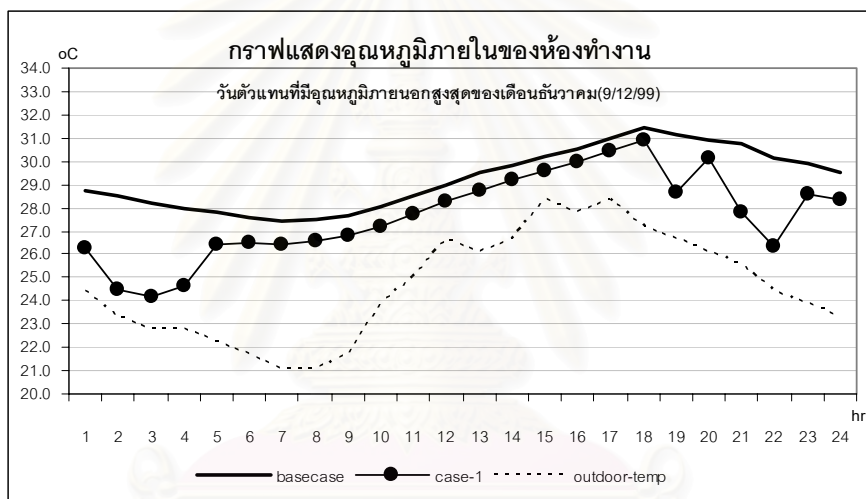
แผนภูมิที่ 5.24 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนกันยายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



แผนภูมิที่ 5.25 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนตุลาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



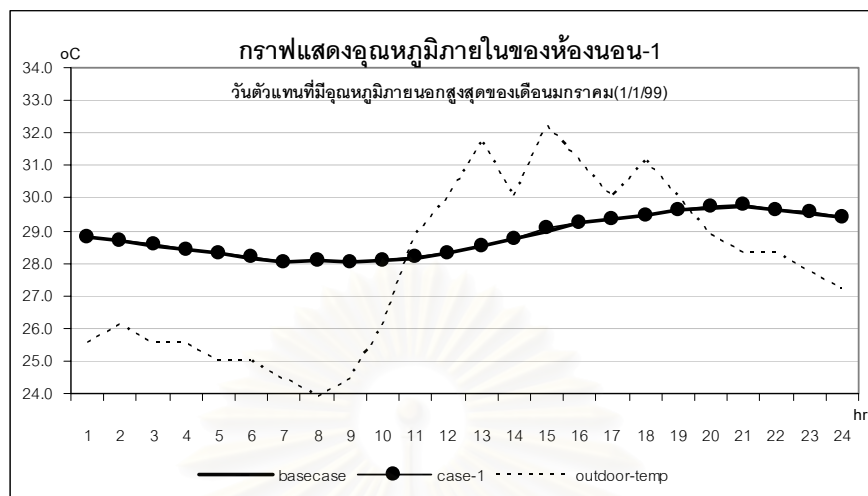
แผนภูมิที่ 5.26 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนพฤศจิกายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



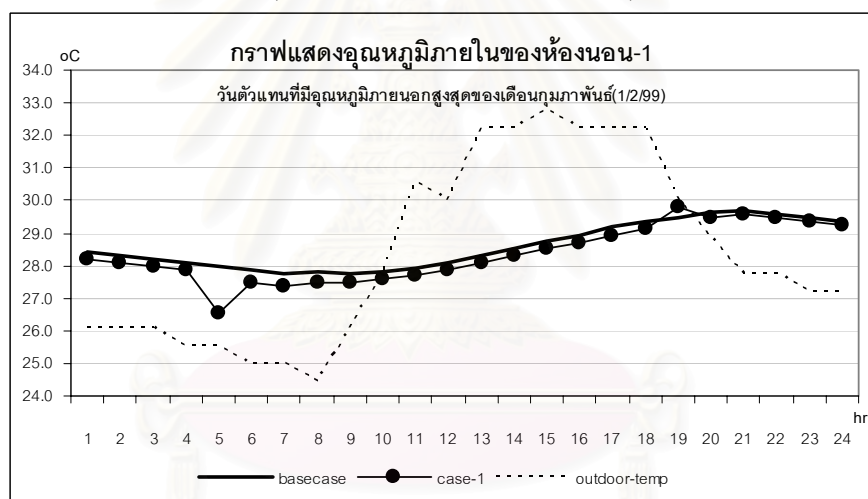
แผนภูมิที่ 5.27 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนธันวาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)

จากแผนภูมิที่ 5.4 ถึงแผนภูมิที่ 5.15 พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในแต่ละเดือนระหว่างอาคารก่อนปรับปรุงกับอาคารหลังปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศตอนกลางวันจะมีค่าแตกต่างกันมากกว่าห้องรับแขก โดยเฉพาะในเดือน กุมภาพันธ์, มีนาคม, มิถุนายน , กรกฎาคม , กันยายน , ตุลาคม และ ธันวาคม ซึ่งจะมีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางวันต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 1-4 °C และมีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางวันต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 0.5-1 °C เนื่องจากห้องทำงานตั้งอยู่ในทิศใต้ซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากกระแสลมและอากาศที่เย็นมากในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว จึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องทำงานลดต่ำลงทั้งในตอนกลางวันและตอนกลางคืน

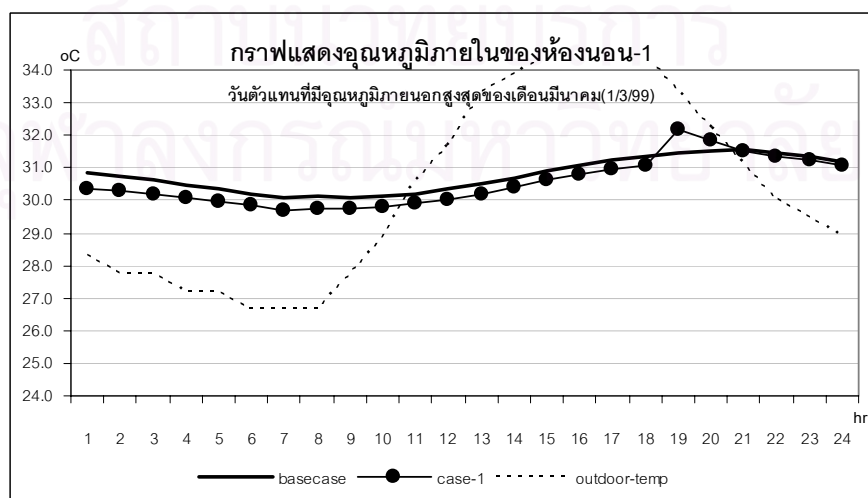
ค) ห้องนอน-1 (บริเวณชั้นสอง)



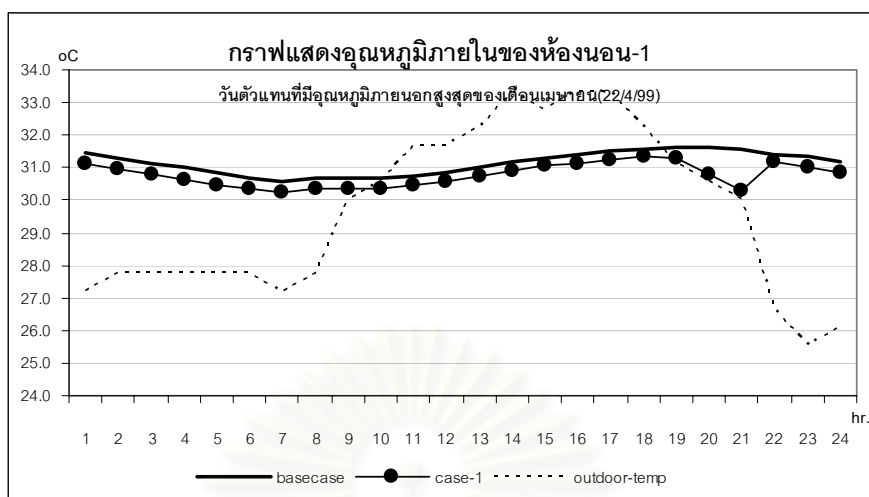
แผนภูมิที่ 5.28 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนมกราคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



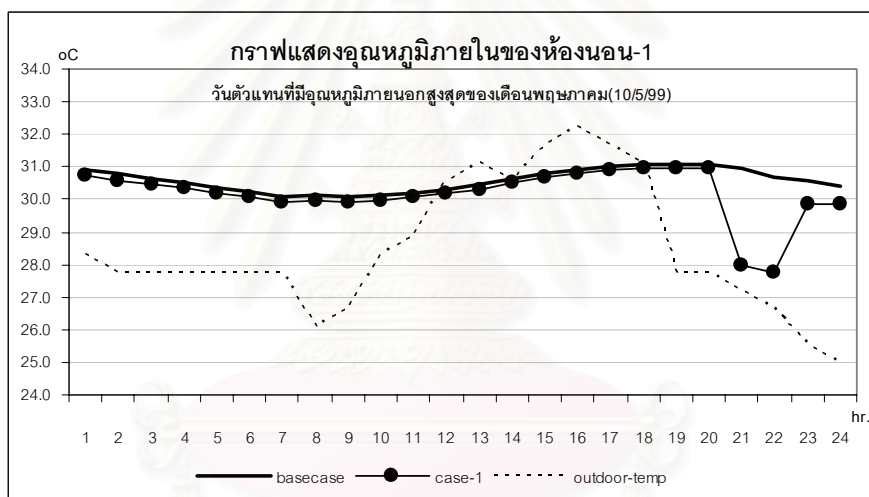
แผนภูมิที่ 5.29 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนกุมภาพันธ์ (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



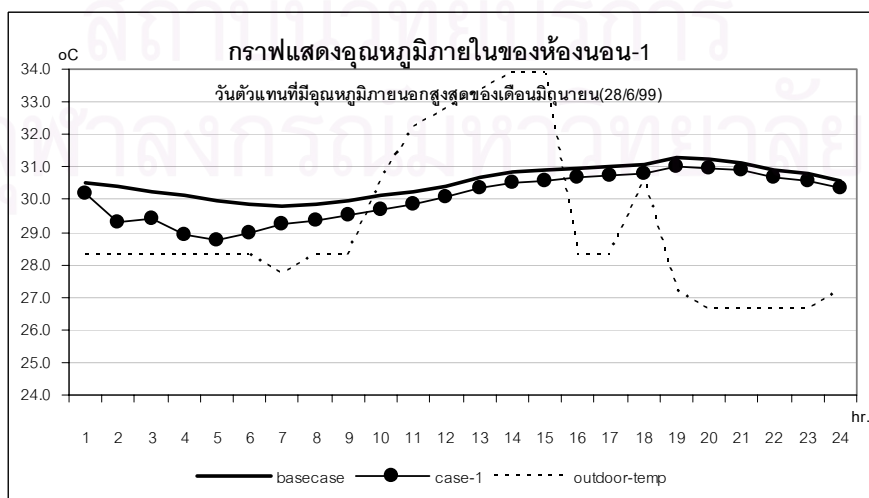
แผนภูมิที่ 5.30 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนมีนาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



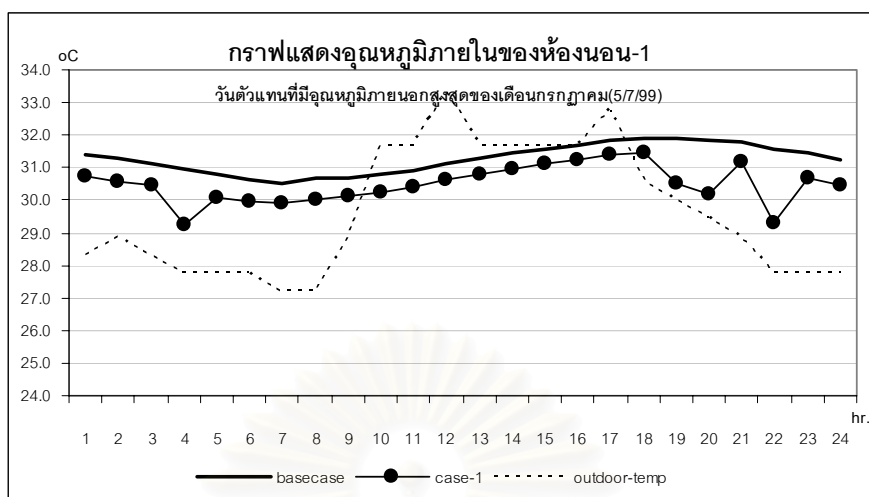
แผนภูมิที่ 5.31 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนเมษายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



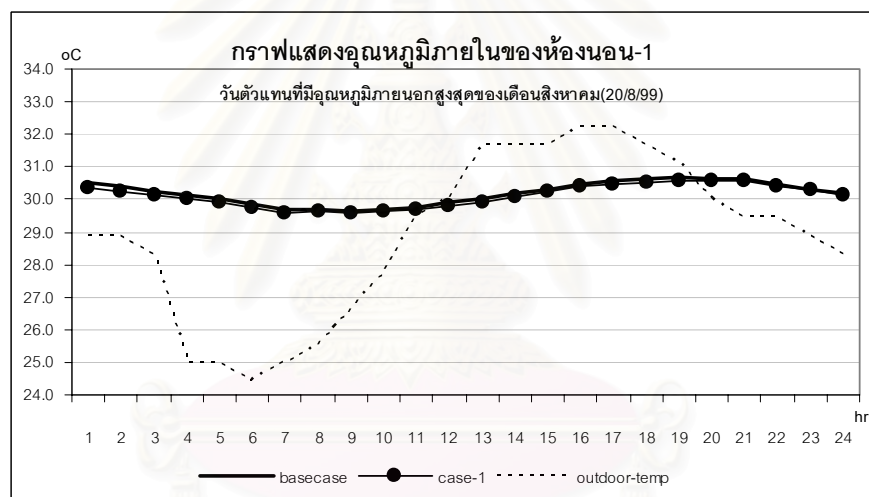
แผนภูมิที่ 5.32 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนพฤษภาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



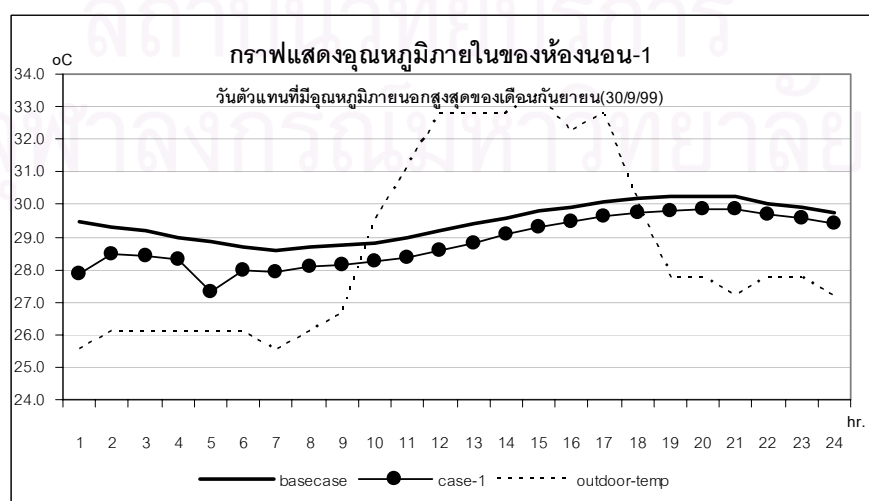
แผนภูมิที่ 5.33 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนมิถุนายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



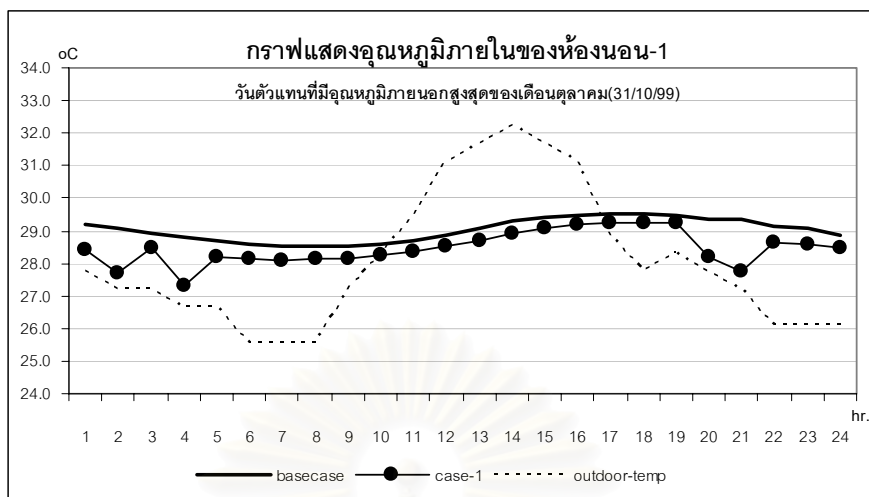
แผนภูมิที่ 5.34 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนกรกฎาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



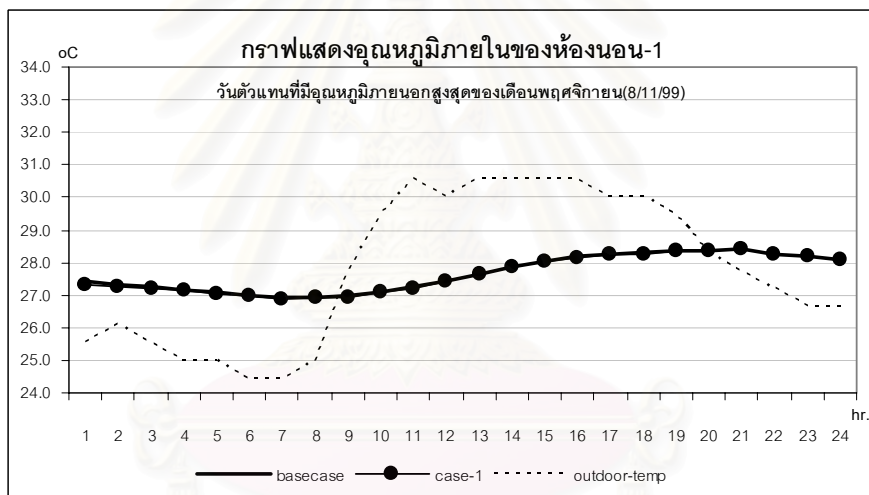
แผนภูมิที่ 5.35 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนสิงหาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



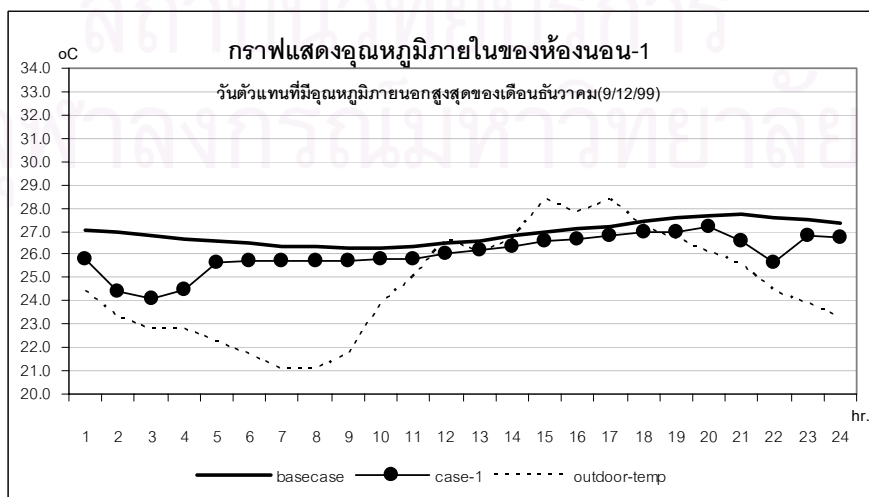
แผนภูมิที่ 5.36 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนกันยายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



แผนภูมิที่ 5.37 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนตุลาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



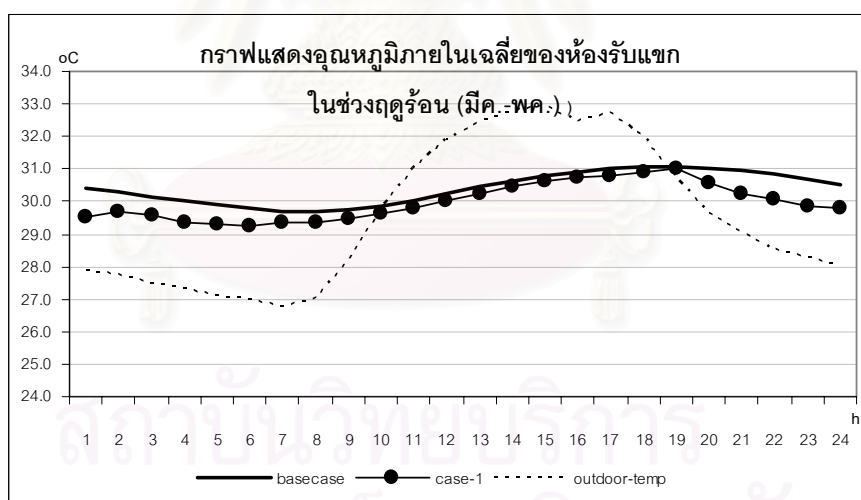
แผนภูมิที่ 5.38 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนพฤศจิกายน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



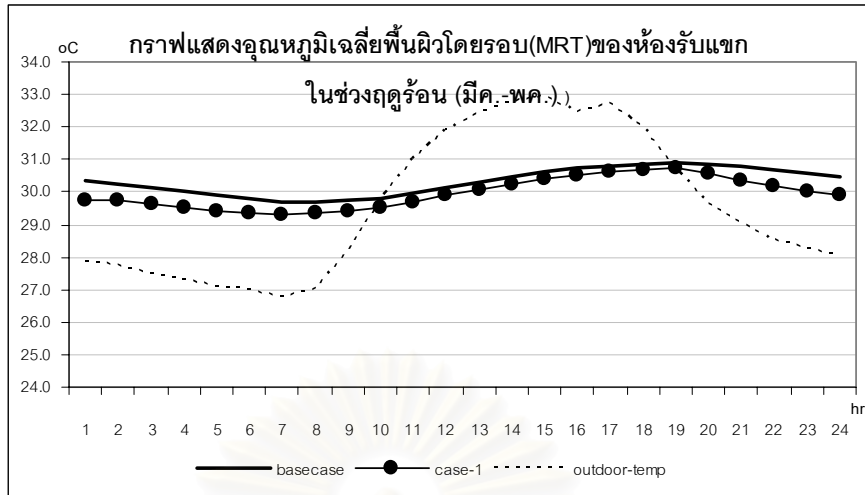
แผนภูมิที่ 5.39 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประจำเดือนธันวาคม (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)

จากแผนภูมิที่ 5.28 ถึงแผนภูมิที่ 5.39 พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ของแต่ละเดือนระหว่างอาคารก่อนปรับปรุงกับอาคารหลังปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศตอนกลางคืน ส่วนใหญ่จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นเฉพาะในเดือนกรกฎาคม , กันยายน , ตุลาคม และ ธันวาคม เท่านั้นที่จะมีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางคืนต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 0.5-2.5 °C และมีอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางวันต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 0.5 °C ซึ่งจะมีค่าความแตกต่างน้อยกว่าห้องรับแขกและห้องทำงาน เนื่องจากห้องนอน-1 ตั้งอยู่ในทิศเหนือจึงได้รับอิทธิพลจากกระแสลมที่น้อยกว่าทางด้านทิศใต้จึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องนอน-1 ลดลงเพียงเล็กน้อย

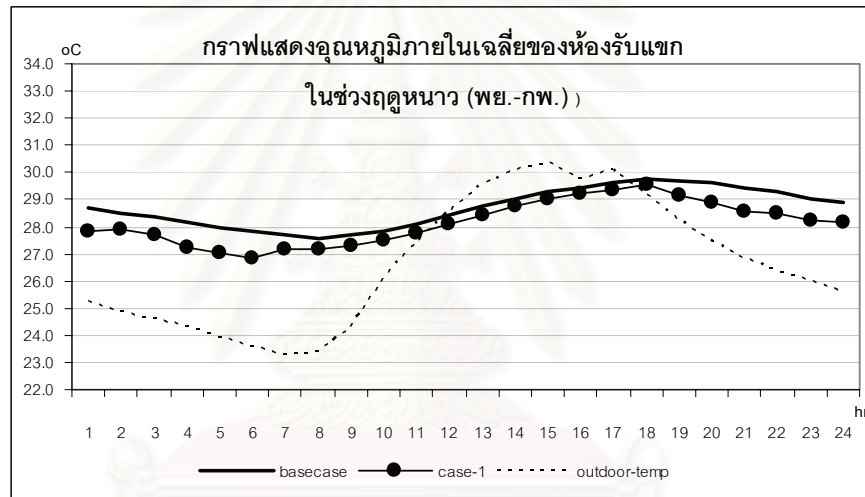
จากการวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืนตามแผนภูมิข้างต้นนี้จะพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในอาคารจะลดลงไม่มากนักเนื่องจากการวิเคราะห์ข้างต้นนี้ไม่ได้พิจารณาเรื่องของความเร็วลมด้วยจึงทำให้ผลการปรับปรุงไม่มีความเปลี่ยนแปลงมากนักตามที่ควรจะเป็นเพราะว่าความเร็วลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิอากาศภายในด้วย ดังนั้นจึงได้พิจารณาหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศและความเร็วลมในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาวเพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพของการระบายอากาศในตอนกลางคืนที่มีต่ออุณหภูมิภายในอาคารได้อย่างครอบคลุมและละเอียดมากที่สุด ดังแผนภูมิข้างล่างนี้



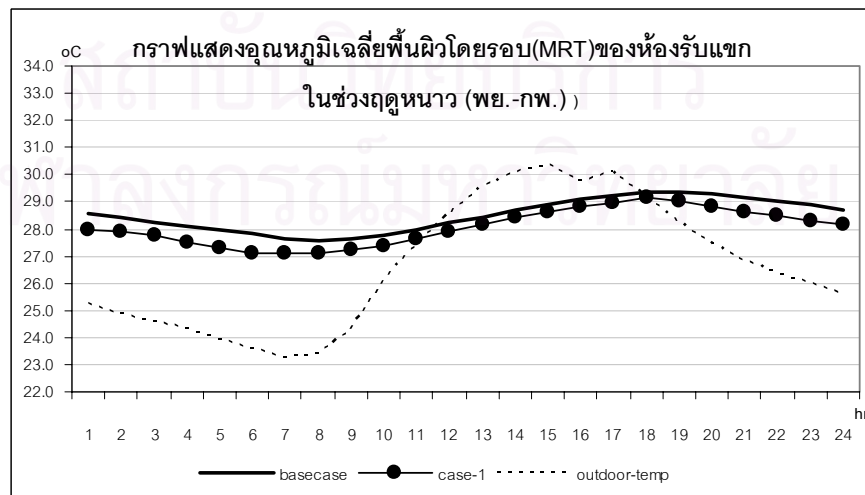
แผนภูมิที่ 5.40 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของห้องรับแขกในช่วงฤดูร้อน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



แผนภูมิที่ 5.41 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องรับแขกในช่วงฤดูร้อน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)

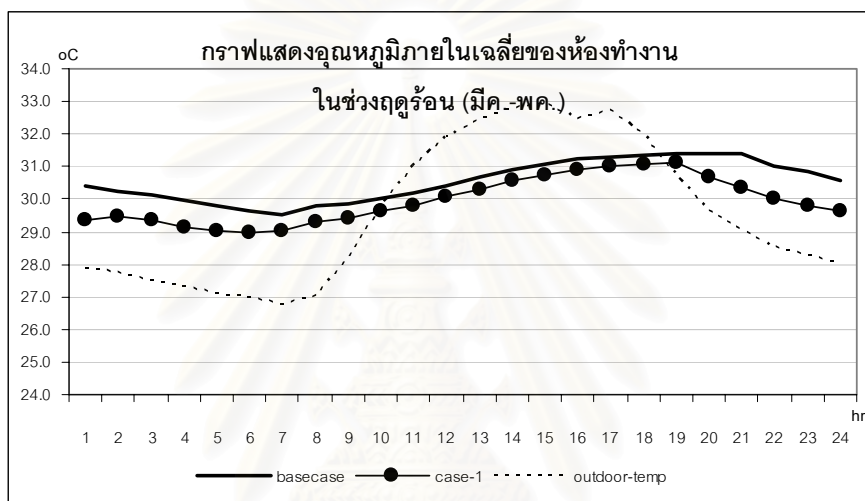


แผนภูมิที่ 5.42 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของห้องรับแขก ในช่วงฤดูหนาว (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)

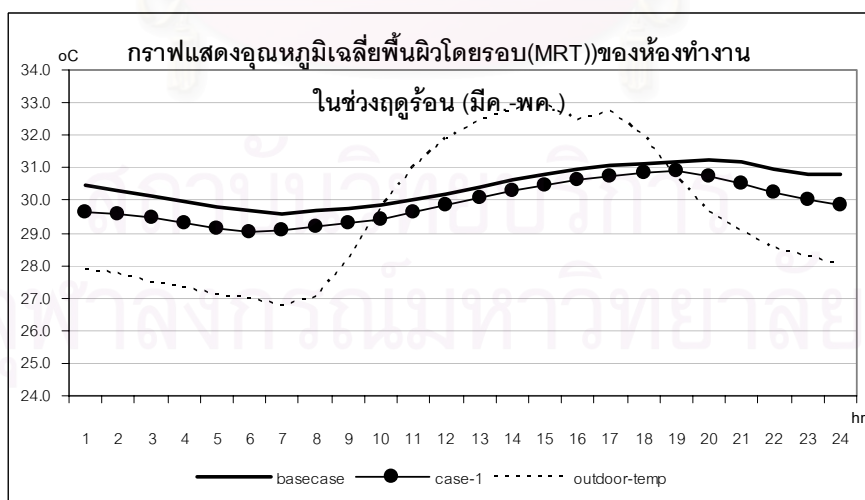


แผนภูมิที่ 5.43 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องรับแขกในช่วงฤดูหนาว (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)

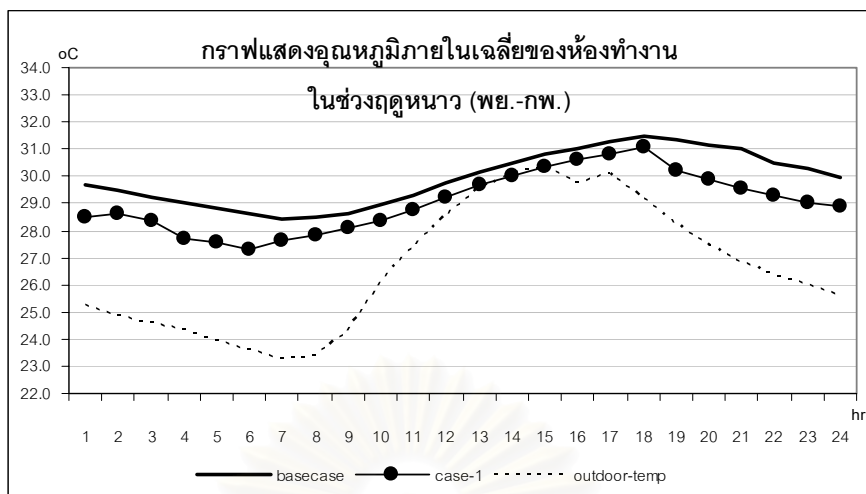
จากแผนภูมิที่ 5.40 และแผนภูมิที่ 5.41 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องรับแขกในช่วงฤดูร้อน จะพบว่า การปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืนจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในในตอนกลางคืนลดลงประมาณ 1 °C และอุณหภูมิอากาศในตอนกลางวันลดลงประมาณ 0.5 °C ส่วนแผนภูมิที่ 5.42 และแผนภูมิที่ 5.43 จะแสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องรับแขกในช่วงฤดูหนาวจะพบว่า การปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืนจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในในตอนกลางคืนลดลงประมาณ 1 °C และอุณหภูมิอากาศในตอนกลางวันลดลงประมาณ 0.5 °C เช่นเดียวกับในฤดูร้อน



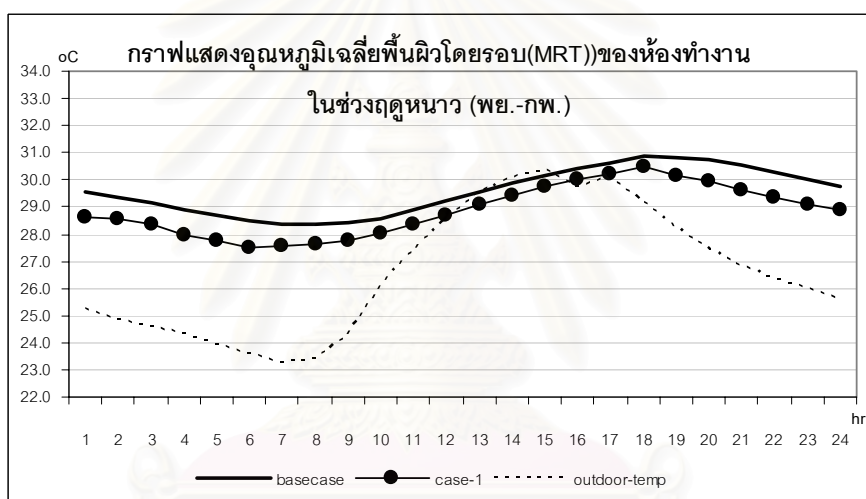
แผนภูมิที่ 5.44 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของห้องทำงานในช่วงฤดูร้อน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)



แผนภูมิที่ 5.45 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องทำงานในช่วงฤดูร้อน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)

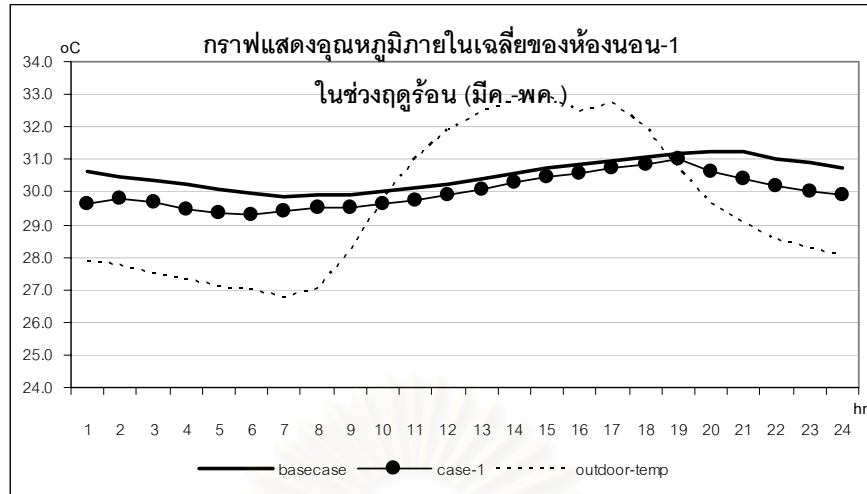


แผนภูมิที่ 5.46 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของห้องทำงาน ในช่วงฤดูหนาว
(เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)

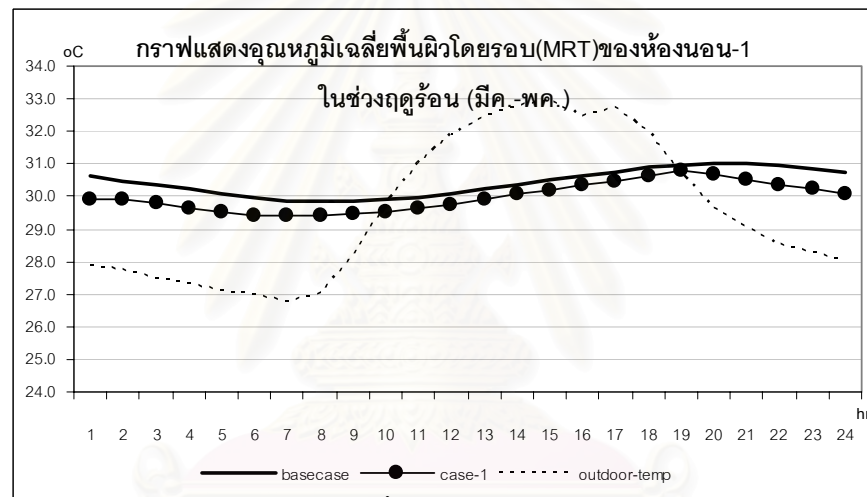


แผนภูมิที่ 5.47 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องทำงานในช่วงฤดูหนาว
(เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)

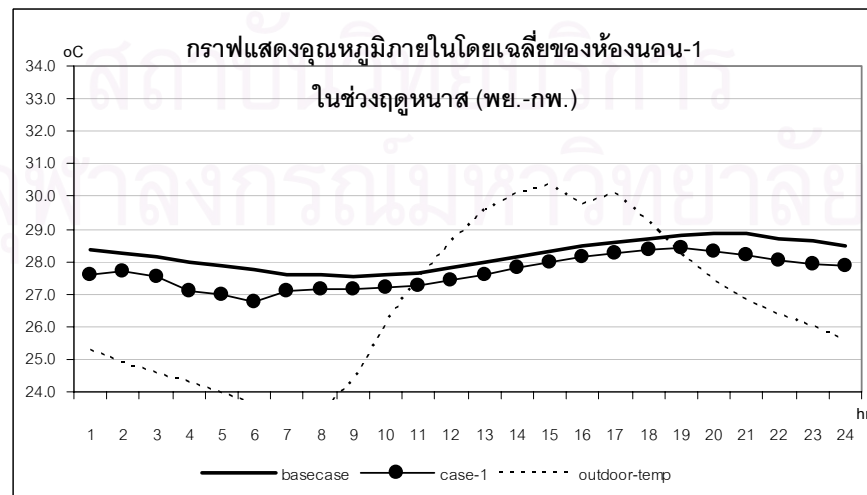
จากแผนภูมิที่ 5.44 และแผนภูมิที่ 5.45 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องทำงานในช่วงฤดูร้อนจะพบว่าการปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางวันจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางวันลดลงประมาณ 1-1.5 °C และอุณหภูมิอากาศในตอนกลางวันลดลงประมาณ 0.5-1 °C ส่วนแผนภูมิที่ 5.46 และแผนภูมิที่ 5.47 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องรับแขกในช่วงฤดูหนาวจะพบว่าการปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางวันจะทำให้อุณหภูมิภายในตอนกลางวันลดลงประมาณ 1-2 °C และอุณหภูมิอากาศในตอนกลางวันลดลงประมาณ 0.5-1 °C



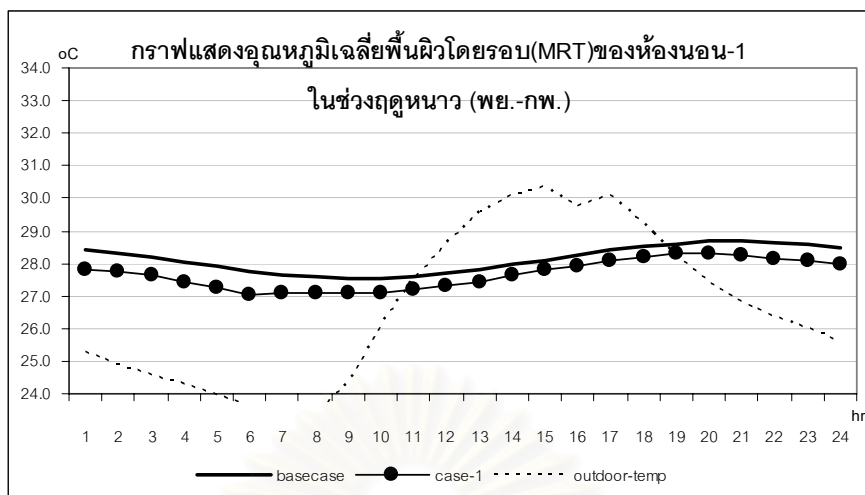
แผนภูมิที่ 5.48 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของห้องนอน-1 ในช่วงฤดูร้อน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



แผนภูมิที่ 5.49 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องนอน-1 ในช่วงฤดูร้อน (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



แผนภูมิที่ 5.50 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยของห้องนอน-1 ในช่วงฤดูหนาว (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางวัน)



แผนภูมิที่ 5.51 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องนอน-1 ในช่วงฤดูหนาว (เมื่อมีการระบายอากาศในเวลากลางคืน)

จากแผนภูมิที่ 5.48 และแผนภูมิที่ 5.49 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องนอน-1 ในช่วงฤดูร้อนจะพบว่า การปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืนจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางคืนลดลงประมาณ 1-1.5 °C และอุณหภูมิอากาศในตอนกลางวันลดลงประมาณ 0.5 °C ส่วนแผนภูมิที่ 5.50 และแผนภูมิที่ 5.51 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องนอน-1 ในช่วงฤดูหนาวจะพบว่า การปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืนทำให้อุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางคืนลดลงประมาณ 1-1.5 °C และอุณหภูมิอากาศในตอนกลางวันลดลงประมาณ 0.5 °C

5.2.1.2 สรุปผลการปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศตอนกลางคืน(แนวทางที่ 1)

จากการวิเคราะห์ข้างต้นจะพบว่า การปรับปรุงอาคารด้วยวิธีการระบายอากาศตอนกลางคืนนั้น จะมีผลต่อสภาวะน่าสบายภายในทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว ดังนี้

ก) ในฤดูร้อน การปรับปรุงอาคารด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืนจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องรับแขก, ห้องนอน-1 และห้องทำงาน มีค่าอยู่ระหว่าง 29-30.5 °C ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย โดยอุณหภูมิอากาศในตอนกลางคืนจะลดลงประมาณ 1-2 °C และในตอนกลางวันจะลดลงประมาณ ประมาณ 0.5-1 °C

ข) ในฤดูหนาว การปรับปรุงอาคารด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืนจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายใน, ห้องนอน-1 และห้องทำงาน มีค่าอยู่ระหว่าง 27-28 °C ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย โดยอุณหภูมิอากาศในตอนกลางคืนจะลดลงประมาณ 1 °C และในตอนกลางวันจะลดลงประมาณ ประมาณ 0.5 °C

การเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปี						
การระบายอากาศตอนกลางคืน	ห้องรับแขก		ห้องทำงาน		ห้องนอน-1	
	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)
อาคารก่อนปรับปรุง	7,900	90.2	7,770	88.7	7,640	87.2
อาคารปรับปรุงด้วยแนวทางที่1	8,200	93.6	7,960	90.9	7,814	89.2

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปีในการปรับปรุงด้วยการระบายตอนกลางคืน

จากตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะน่าสบาย จะพบว่าหลังจากที่ทำการปรับปรุงด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืนแล้วจะทำให้ชั่วโมงของสภาวะน่าสบายภายในอาคารเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 2-3%

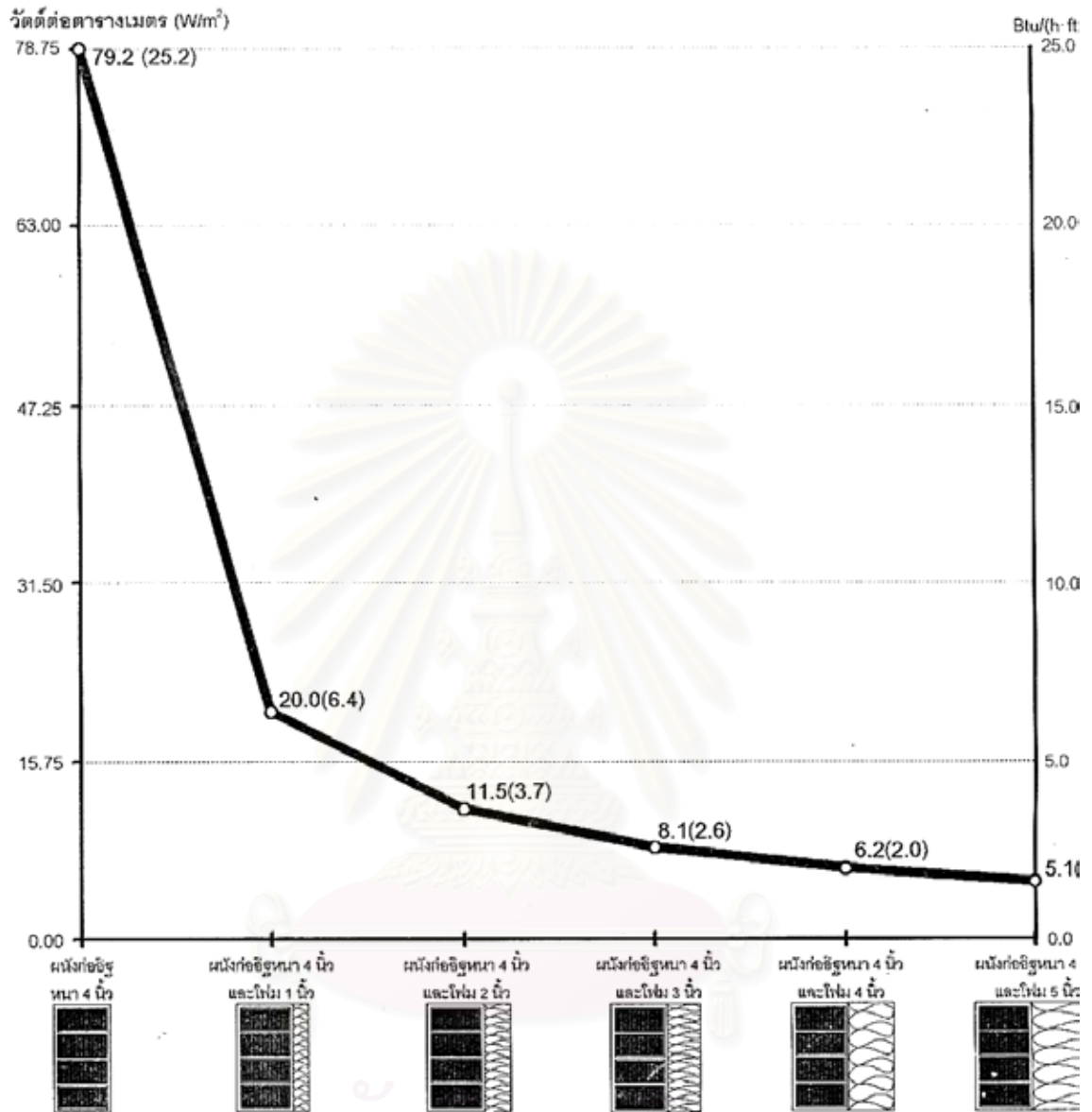
5.2.2 การปรับปรุงผนังทึบด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน (แนวทางที่ 2 – แนวทางที่ 7)

ผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาเป็นผนังอิฐบล็อกฉาบปูนทาสีที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่ต่ำ จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในได้ง่าย ดังนั้นจึงควรปรับปรุงผนังทึบให้มีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงขึ้น ซึ่งได้เลือกผนังที่ประกอบด้วยวัสดุก่อผนังภายนอกและฉนวนกันความร้อนภายใน

วัสดุก่อผนังภายนอกที่เลือกใช้ ได้แก่ ผนังคอนกรีตบล็อก และ อิฐมวลเบา ซึ่งเป็นวัสดุก่อที่นิยมใช้ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยโดยทั่วไปโดยมีความเหมาะสมทั้งด้านเรื่องคุณภาพและราคา ส่วนวิธีการก่อสร้างนั้นก็มีความสะดวกกว่าวัสดุอื่นๆ รวมทั้งยังมีความแข็งแรงคงทนต่อสภาพแวดล้อมภายนอกได้ดี

ฉนวนกันความร้อน ที่เลือกใช้ คือ โพลีสไตรีนโฟม เป็นฉนวนกันความร้อนที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงมากเมื่อเทียบฉนวนกันความร้อนชนิดอื่น ตามแผนภูมิที่ 5.53 นอกจากนี้ โพลีสไตรีนโฟม ยังมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีความสามารถในการกันความร้อนได้สูง ,ไม่สะสมความร้อน,กันความชื้นและการกรำตัวของอากาศได้ดี สามารถทำงานได้รวดเร็วเพราะเป็นวัสดุสำเร็จรูปและมีน้ำหนักเบา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



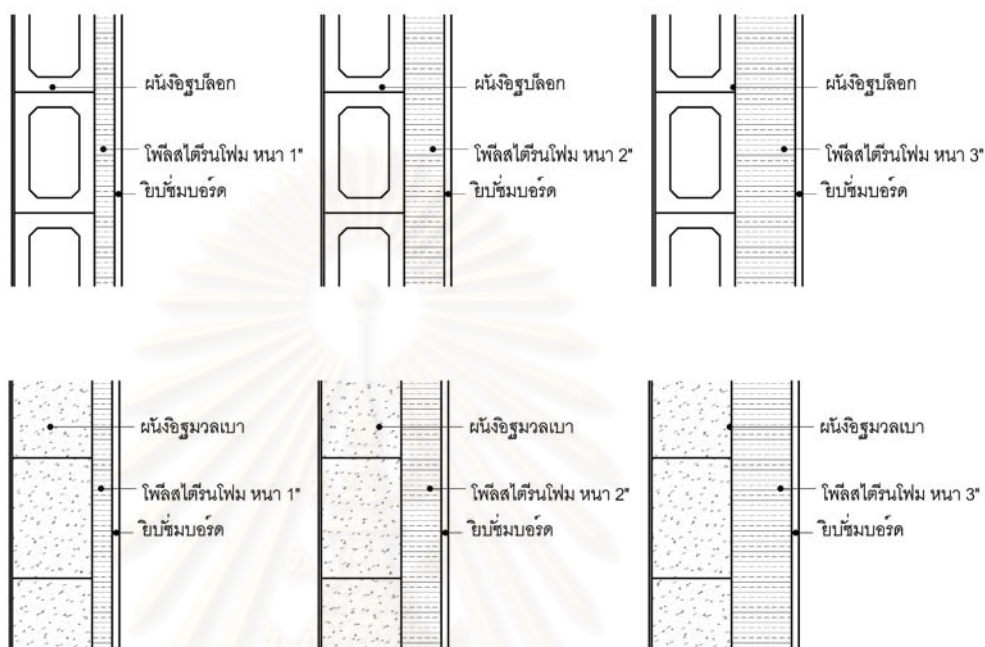
แผนภูมิที่ 5.52 แสดงอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารโดยการเปรียบเทียบผนังแต่ละชนิด
ที่มา : สุนทร บุญญาริการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานที่ดีกว่า, หน้า 141



แผนภูมิที่ 5.53 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน(R)ของวัสดุต่างๆที่ความหนา 1 นิ้ว
ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานที่ดีกว่า, หน้า 140

สำหรับการเลือกขนาดของฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ปรับปรุงอาคารนั้นได้พิจารณาจากแผนภูมิที่ 5.52 ซึ่งจะพบว่าการนำฉนวนโฟมขนาดความหนา 1 “ มาผสมผสานเข้ากับผนังอิฐนั้นจะทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารลดลงได้ถึง 75 % และเมื่อเพิ่มความหนาของฉนวนโฟมเป็น 2” และ 3 “ จะทำให้ประสิทธิภาพของการต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 10% และ 5% ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มความหนาของฉนวนโฟมมากกว่า 4 “ ขึ้นไปนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพของการต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ดังนั้นจึงได้เลือกเฉพาะ

ฉนวนโฟมที่มีความหนาตั้งแต่ 1", 2" และ 3" เท่านั้นที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงอาคารศึกษา เพื่อจะทำการวิเคราะห์ประเมินผลประสิทธิภาพของผนังแต่ละชนิดที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปใช้ปรับปรุงอาคารต่อไป



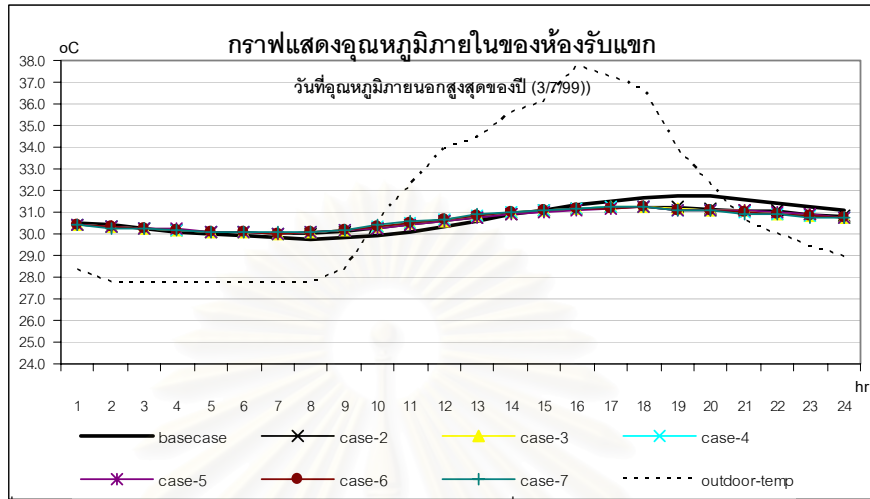
รูปที่ 5.3 แสดงรายละเอียดของผนังที่บแต่ละแนวทางการปรับปรุง

คุณสมบัติของผนังแต่ละแนวทาง				
วิธีปรับปรุง	รายละเอียด	ความหนา (ม.)	ค่าความต้านทานความร้อน (R) หน่วย (ft ² hF/Btu)	ราคาต่อตารางเมตร (บาท)
ก่อนปรับปรุง	ผนังอิฐบุฉลोक	0.10	1.61	250
แนวทางที่ 2	ผนังอิฐบุฉลोक+โฟมโพลีสไตรีนหนา 1 "	0.10	3.995	650
แนวทางที่ 3	ผนังอิฐบุฉลोक+โฟมโพลีสไตรีนหนา 2 "	0.13	7.850	1,000
แนวทางที่ 4	ผนังอิฐบุฉลोक+โฟมโพลีสไตรีนหนา 3 "	0.15	11.785	1,300
แนวทางที่ 5	ผนังอิฐมวลเบา+โฟมโพลีสไตรีนหนา 1 "	0.10	4.057	765
แนวทางที่ 6	ผนังอิฐมวลเบา+โฟมโพลีสไตรีนหนา 2 "	0.13	8.119	1,115
แนวทางที่ 7	ผนังอิฐมวลเบา+โฟมโพลีสไตรีนหนา 3 "	1.15	12.176	1,415

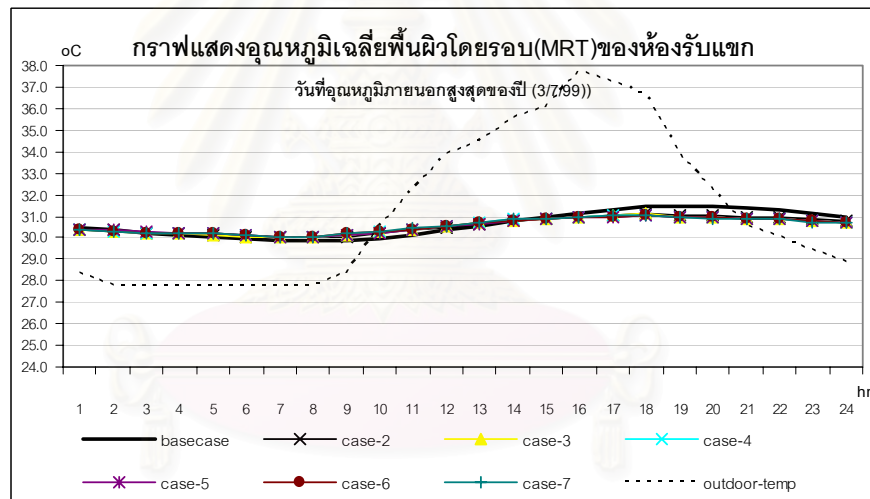
ตารางที่ 5.7 แสดงคุณสมบัติของผนังแต่ละแนวทางการปรับปรุง

5.5.2.1 ผลการวิเคราะห์ของการปรับปรุงผนังทึบ (แนวทางที่ 2 – แนวทางที่ 7)

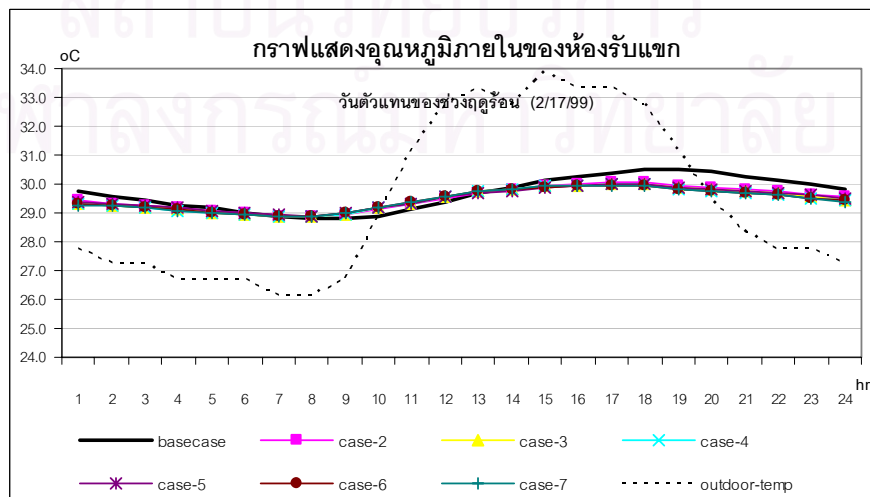
ก) ห้องรับแขก (บริเวณชั้นล่าง)



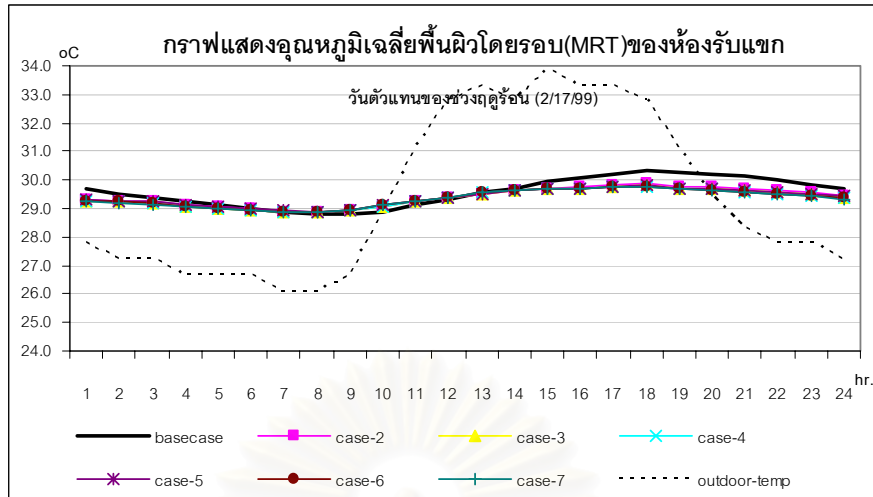
แผนภูมิที่ 5.54 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบ)



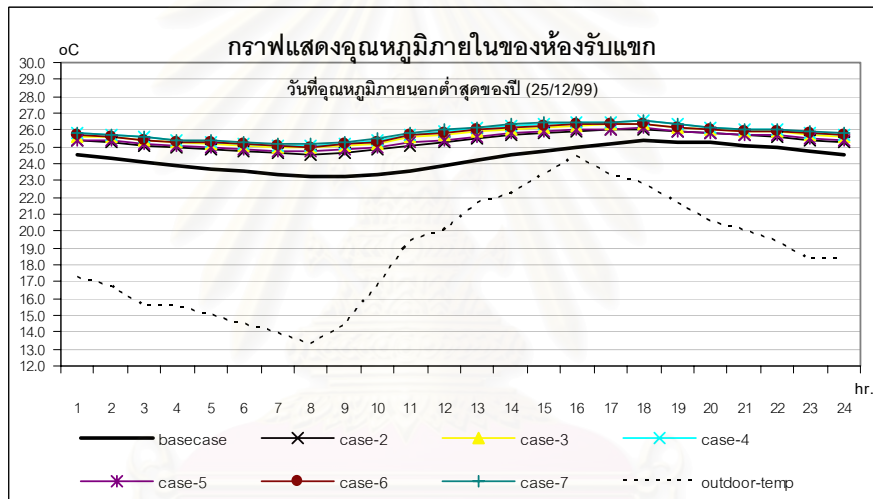
แผนภูมิที่ 5.55 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบ)



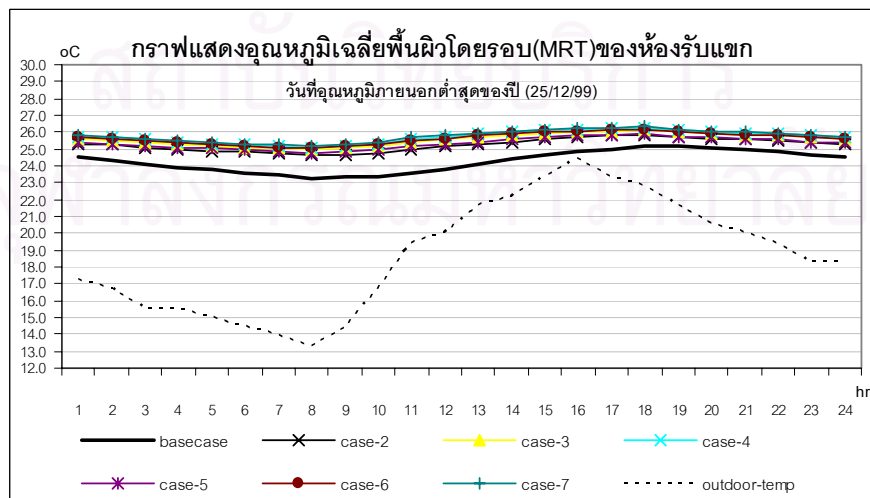
แผนภูมิที่ 5.56 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังทึบ)



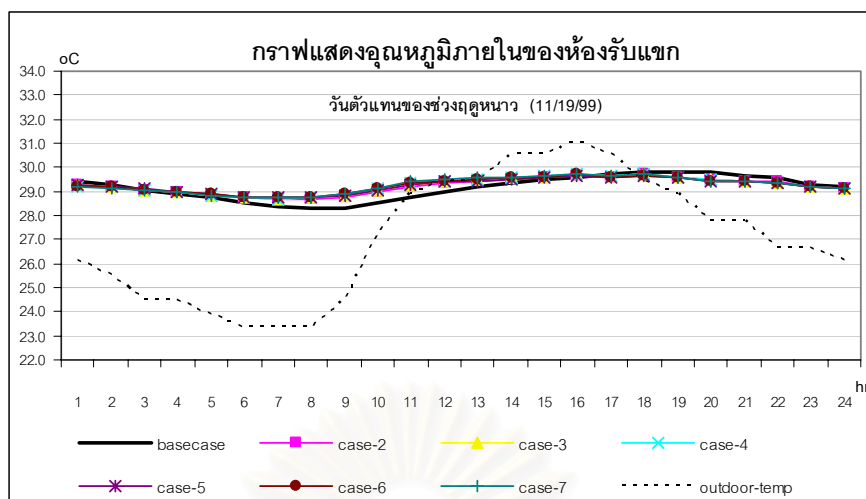
แผนภูมิที่ 5.57 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน(การปรับปรุงผนังทึบ)



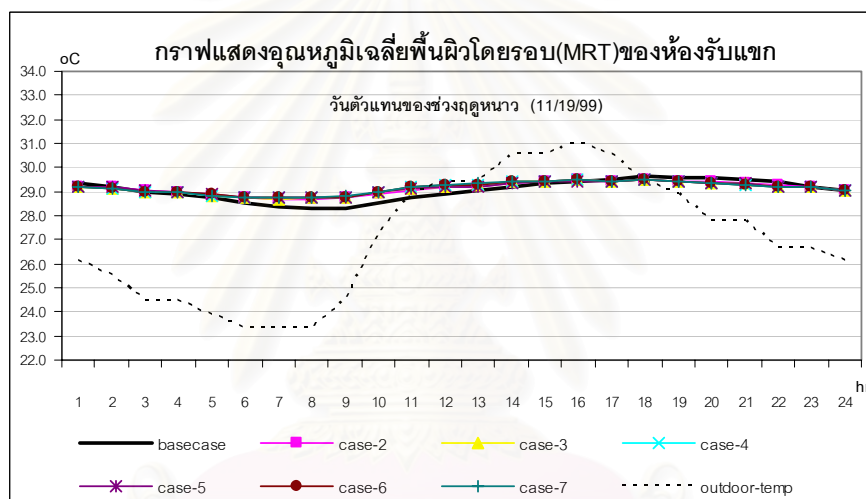
แผนภูมิที่ 5.58 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบ)



แผนภูมิที่ 5.59 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงผนังทึบ)



แผนภูมิที่ 5.60 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังที่บ)



แผนภูมิที่ 5.61 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังที่บ)

จากแผนภูมิที่ 5.54- 5.55 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังที่บทั้ง 6 ชนิด จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากผนังที่บทั้ง 6 ชนิดได้รับความร้อนจากภายนอกในสัดส่วนที่ต่ำซึ่งมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของผนังแต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังที่บทั้ง 6 ชนิดนี้จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 30-31 °C ซึ่งในตอนกลางวันจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าเดิมประมาณ 0.5 °C แต่ในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าเดิมประมาณ 1 °C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของผนังที่บทั้ง 6 ชนิดจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 31 °C ในเวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

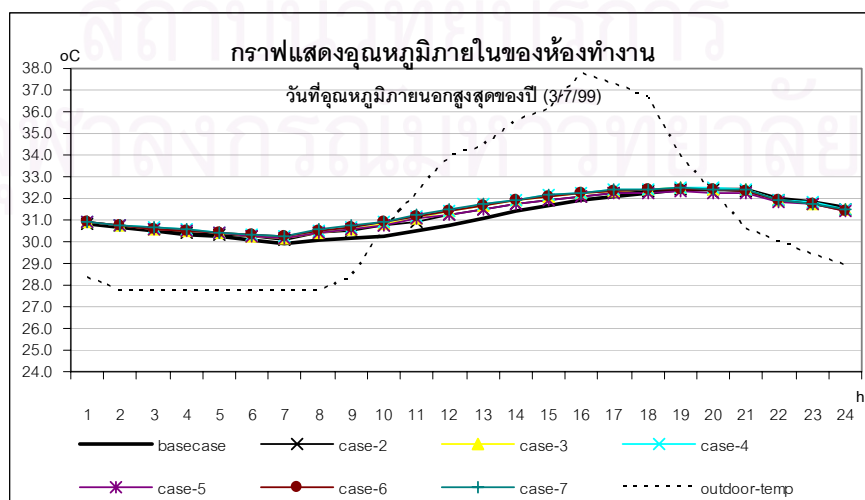
จากแผนภูมิที่ 5.56- 5.57 แสดงอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังที่บทั้ง 6 ชนิด จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในมี

ค่าใกล้เคียง แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังทั้ง 6 ชนิดนี้ จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $29-30^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย โดยในตอนกลางวันจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าเดิมประมาณ 0.5°C แต่ในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าเดิมประมาณ 1°C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิด จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 31°C ในเวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

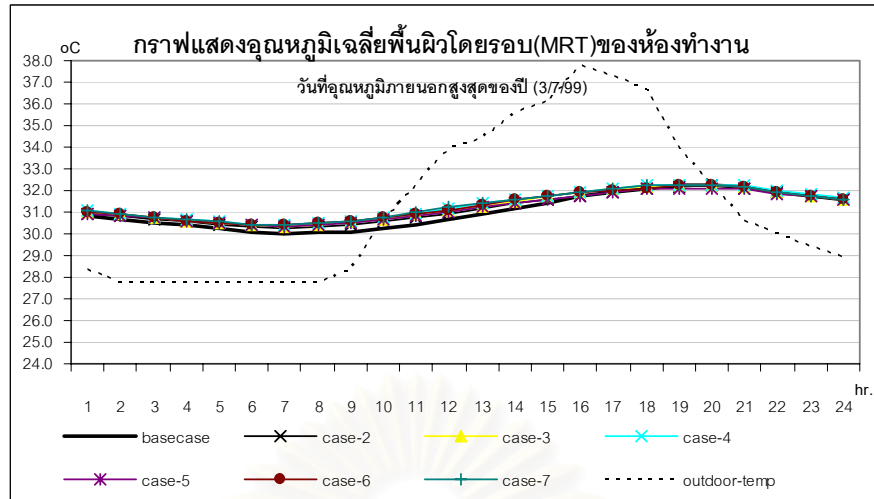
จากแผนภูมิที่ 5.58- 5.59 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังที่บทั้ง 6 ชนิด จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังทั้ง 6 ชนิดนี้ จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $25-27^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิด จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 26°C ในเวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.60- 5.61 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังที่บทั้ง 6 ชนิด จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังทั้ง 6 ชนิดนี้ จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $29-29.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย โดยในตอนกลางวันจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าเดิมประมาณ 1°C แต่ในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าเดิมประมาณ 0.5°C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิด จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 29°C ในเวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

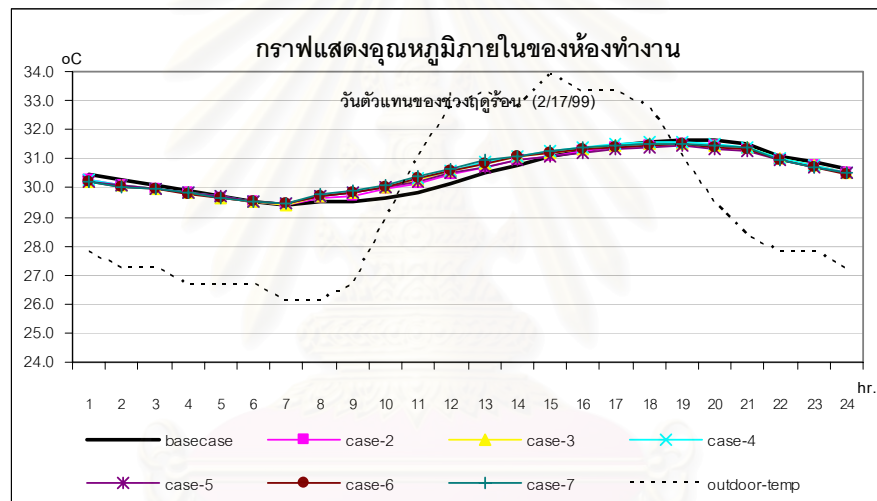
ข) ห้องทำงาน (บริเวณชั้นสอง)



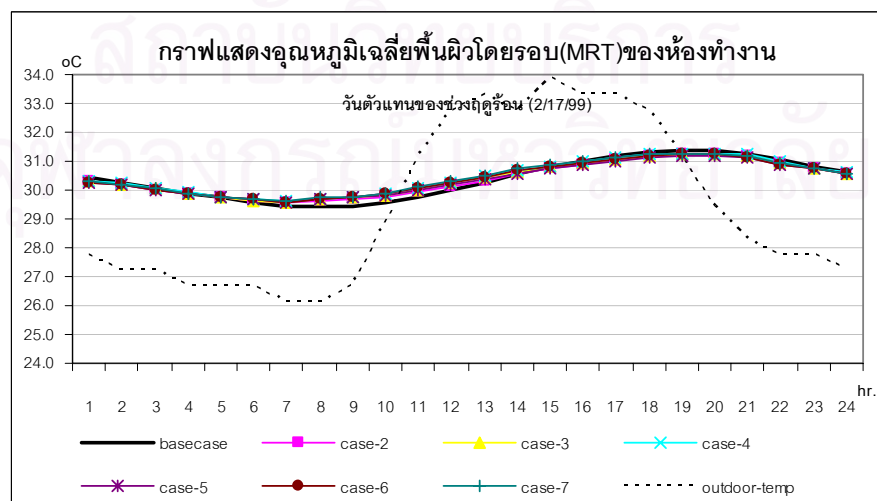
แผนภูมิที่ 5.62 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่บ)



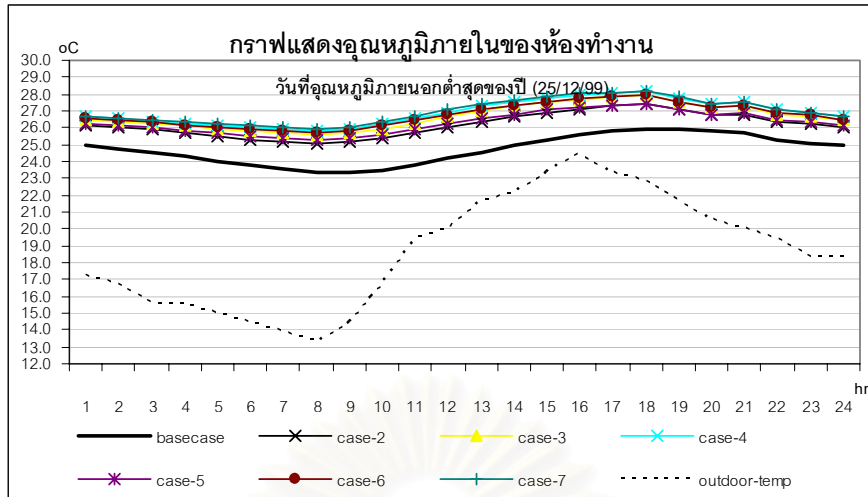
แผนภูมิที่ 5.63 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังทึบ)



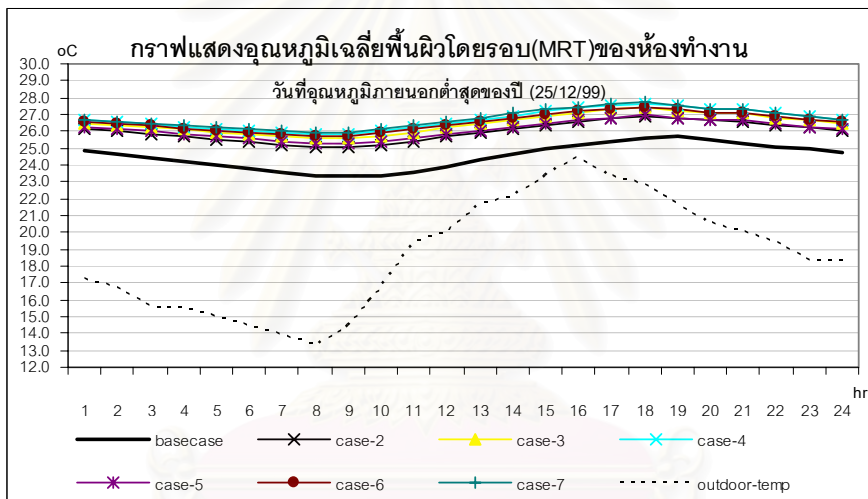
แผนภูมิที่ 5.64 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังทึบ)



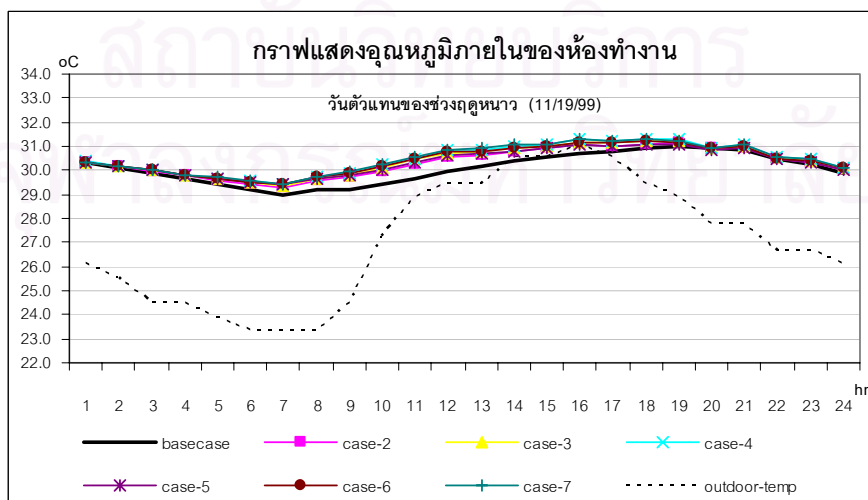
แผนภูมิที่ 5.65 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังทึบ)



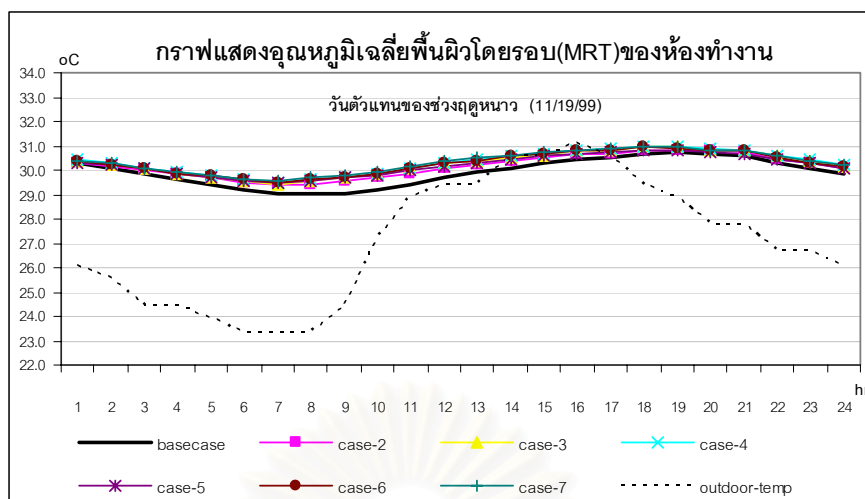
แผนภูมิที่ 5.66 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิกายนอกลดต่ำสุดของปี (การปรับปรุงผนังทึบ)



แผนภูมิที่ 5.67 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิกายนอกลดต่ำสุดของปี(การปรับปรุงผนังทึบ)



แผนภูมิที่ 5.68 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังทึบ)



แผนภูมิที่ 5.69 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังทึบ)

จากแผนภูมิที่ 5.62- 5.63 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิด จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากผนังทึบทั้ง 6 ชนิดได้รับความร้อนจากภายนอกในสัดส่วนที่ต่ำซึ่งมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของผนังแต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิดนี้จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 30-32 °C ซึ่งอยู่สูงกว่าช่วงสภาวะน่าสบาย โดยในตอนกลางวันจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าเดิมประมาณ 1 °C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของผนังทึบทั้ง 6 ชนิดจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 32 °C ในเวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่ อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

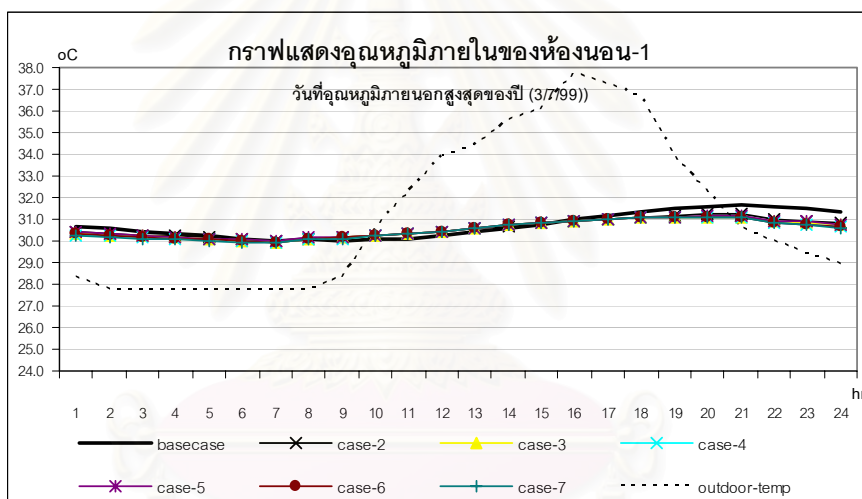
จากแผนภูมิที่ 5.64- 5.65 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิด จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิดนี้จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 29.5-31.5 °C ซึ่งอยู่สูงกว่าช่วงสภาวะน่าสบาย โดยในตอนกลางวันจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าเดิมประมาณ 1 °C แต่ในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าเดิมประมาณ 0.5 °C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของผนังทึบทั้ง 6 ชนิดจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 31.5 °C ในเวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่ อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.66- 5.67 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันที่มีอุณหภูมิกายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิด จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่า การปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิดนี้จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 25-28 °C

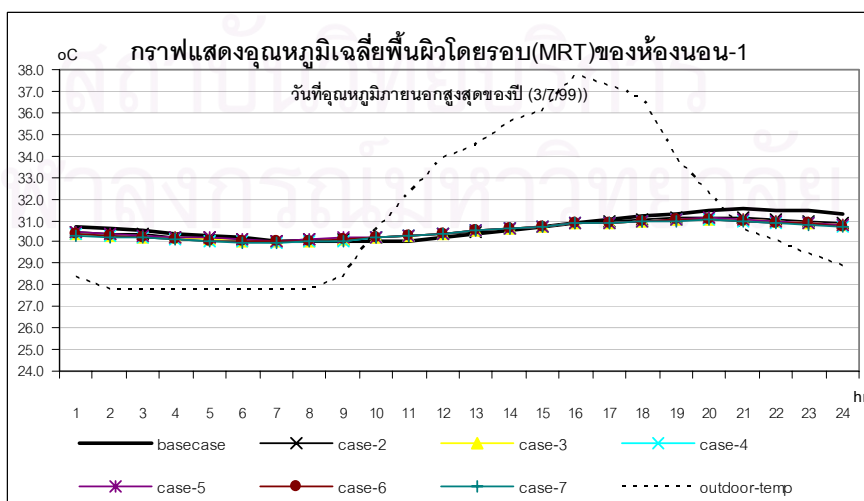
ซึ่งอยู่ในเขตช่วงสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 28 °C ในเวลา 17.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.68- 5.69 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าการปรับปรุงด้วยผนังที่ทั้ง 6 ชนิด จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่าการปรับปรุงด้วยผนังทั้ง 6 ชนิดนี้จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 29-31 °C ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะน่าสบาย โดยในตอนกลางวันจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าเดิมประมาณ 1 °C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 31 °C ในเวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

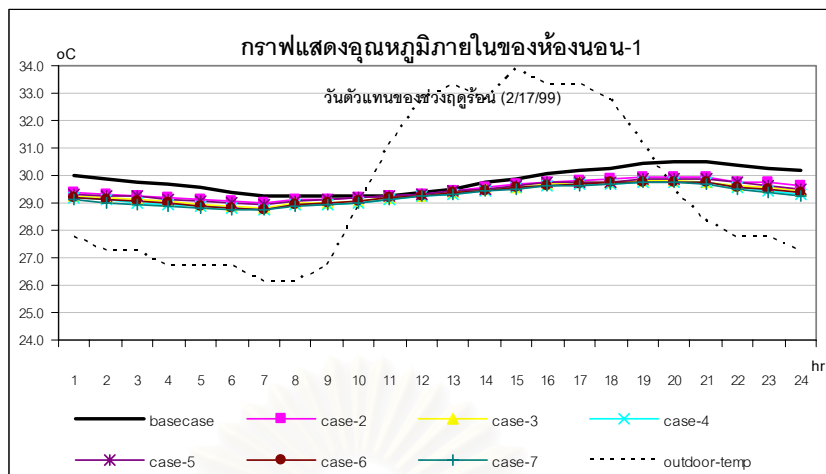
ค) ห้องนอน-1 (บริเวณชั้นสอง)



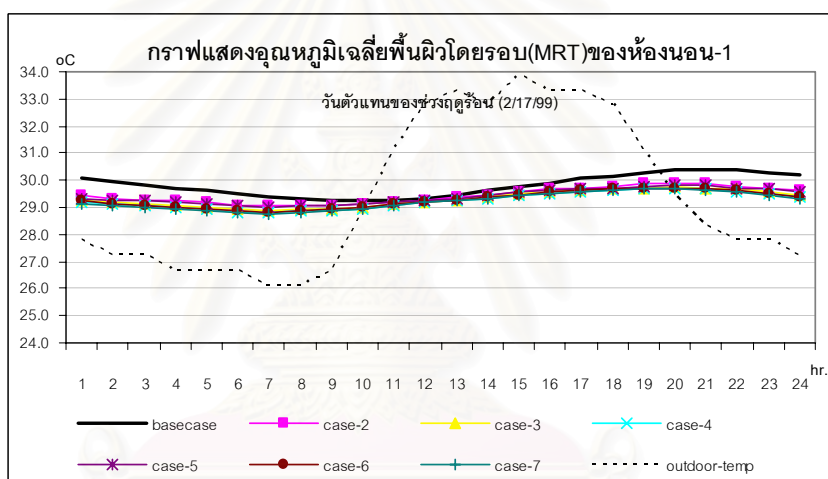
แผนภูมิที่ 5.70 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่)



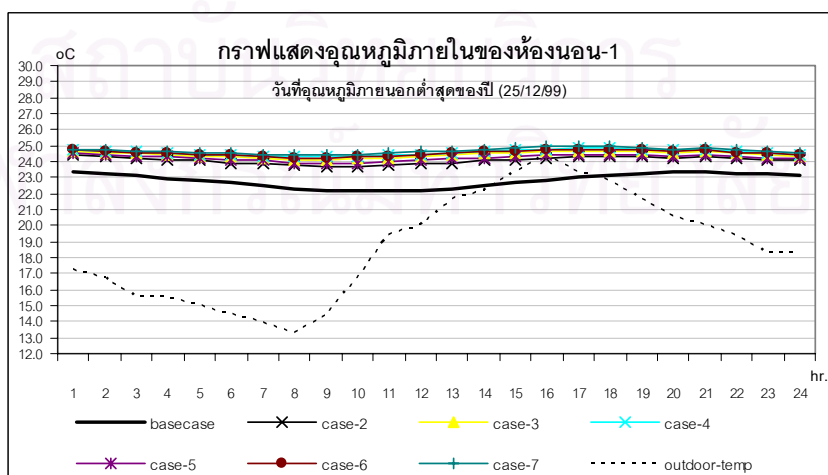
แผนภูมิที่ 5.71 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่)



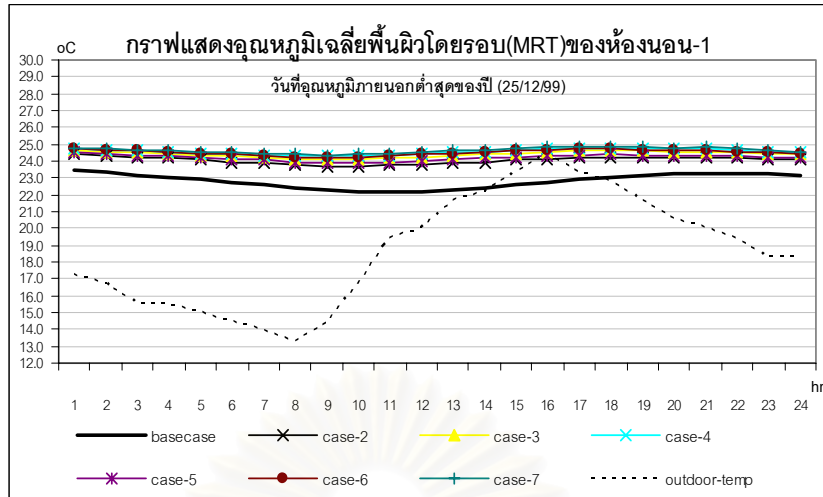
แผนภูมิที่ 5.72 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังทึบ)



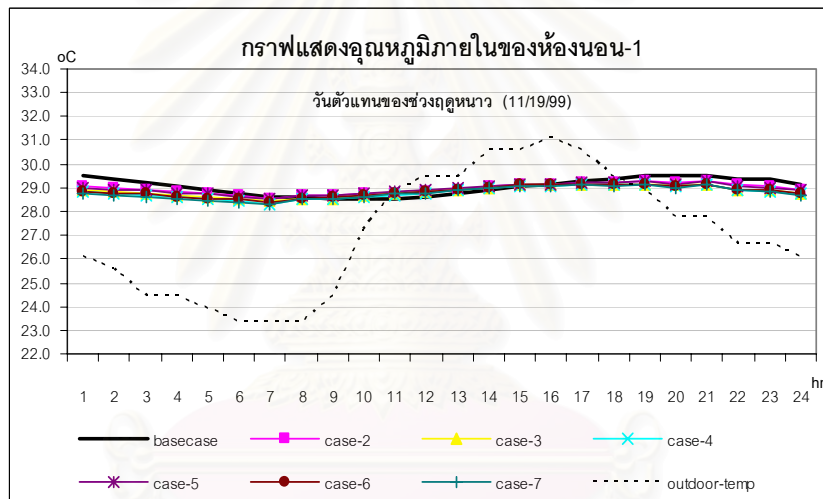
แผนภูมิที่ 5.73 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังทึบ)



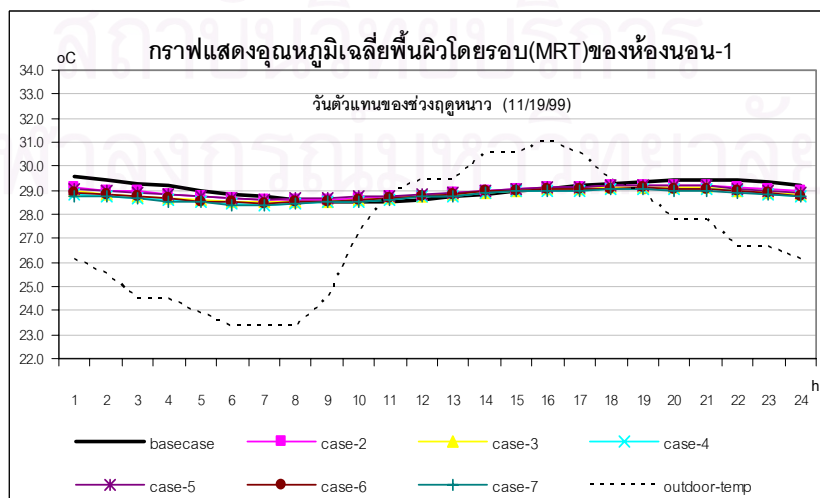
แผนภูมิที่ 5.74 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงผนังทึบ)



แผนภูมิที่ 5.75 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงผนังทึบ)



แผนภูมิที่ 5.76 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังทึบ)



แผนภูมิที่ 5.77 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังทึบ)

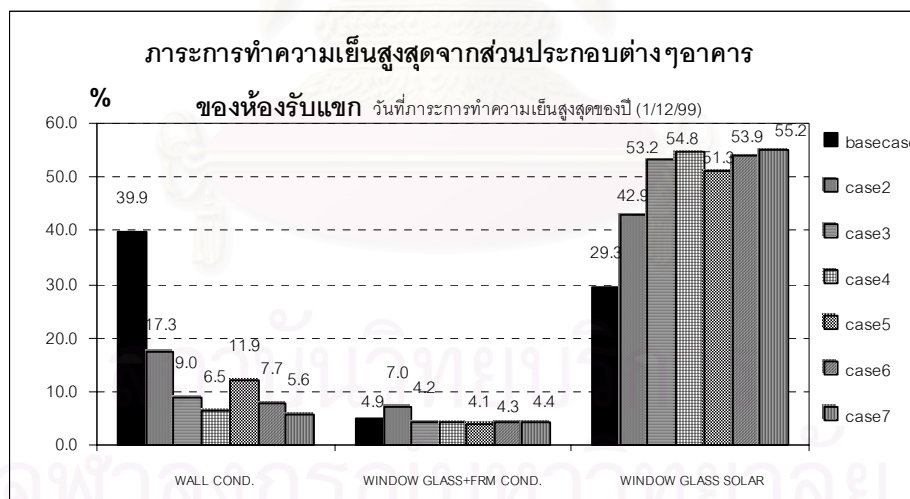
จากแผนภูมิที่ 5.70- 5.71 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของ จะพบว่าการปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิด จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากผนังทึบทั้ง 6 ชนิดได้รับความร้อนจากภายนอกใน สัดส่วนที่ต่ำซึ่งมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของผนังแต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน แต่ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่าการปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิดนี้จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $30-31^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่สูงกว่าช่วงสภาวะน่าสบาย โดยในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าเดิมประมาณ 1°C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิว โดยรอบของผนังทึบทั้ง 6 ชนิดจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 31°C ในเวลา 20.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่ อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.72- 5.73 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของ ห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าการปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิด จะทำให้ อุณหภูมิ อากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่าการปรับปรุง ด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิดนี้จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $29-30^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ ในช่วงสภาวะน่าสบาย โดยในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าเดิมประมาณ 1.5°C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทึบทั้ง 6 ชนิดจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30°C ในเวลา 20.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้น หลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

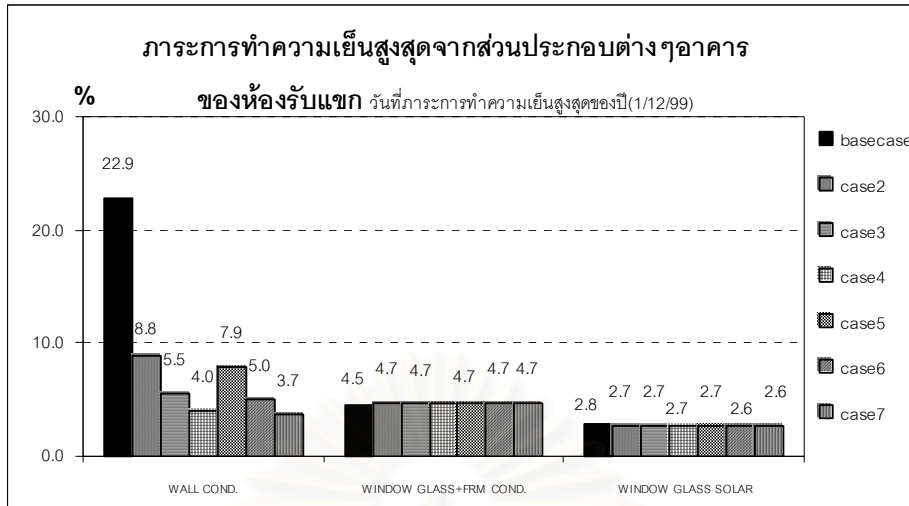
จากแผนภูมิที่ 5.74- 5.75 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของ ห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของจะพบว่าการปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิด จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่าการ ปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิดนี้จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $24-25^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ใกล้เคียงช่วงสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทึบทั้ง 6 ชนิดจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 25°C ในเวลา 17.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.76- 5.77 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของ ห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าการปรับปรุงด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิด จะทำให้ อุณหภูมิ อากาศภายในมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง จะพบว่าการปรับปรุง ด้วยผนังทึบทั้ง 6 ชนิดนี้จะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $28.5-29.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่ง อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบาย โดยในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าเดิมประมาณ 0.5°C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทึบทั้ง 6 ชนิดจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 29°C ในเวลา 19.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้น หลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมงภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

ในการปรับปรุงผนังทึบของอาคารกรณีศึกษาด้วยวิธีการเพิ่มฉนวนกันความร้อนชนิดโพลีสไตรีนโฟมขนาดต่างๆ จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากความร้อนที่ผนังทึบทั้ง 6 ชนิดได้รับจากภายนอกจะมีสัดส่วนที่ต่ำซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของผนังในแต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในการปรับปรุงผนังทึบจึงสามารถจะใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาเพียง 1" ได้ซึ่งจะมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 3" เพราะว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารได้ดีเช่นเดียวกันและยังช่วยลดค่าใช้จ่ายของวัสดุด้วย สำหรับการปรับปรุงผนังทึบภายในห้องรับแขกและห้องทำงานจะพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในตอนกลางวันจะมีค่าสูงกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 1-1.5 °C เนื่องจากในตอนกลางวันจะมีความร้อนส่วนหนึ่งที่เข้ามาทางกระจกหน้าต่างโดยผนังทึบที่มีฉนวนจะกักเก็บความร้อนส่วนนี้ได้น้อยกว่าผนังเดิมจึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องไม่ลดลงเมื่อเทียบกับอาคารก่อนปรับปรุง แต่ในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิอากาศภายในที่ต่ำกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 0.5-1 °C เนื่องจากผนังทึบที่มีฉนวนจะคายความร้อนออกมาในปริมาณที่น้อยกว่าผนังเดิมจึงไม่ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องสูงขึ้น ดังนั้นในการปรับปรุงผนังทึบด้วยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนขนาดต่างๆ นั้น ควรจำเป็นต้องป้องกันความร้อนที่จะผ่านเข้ามาทางกระจกหน้าต่างด้วย เช่น การติดตั้งแผงกันแดด จึงจะทำให้ประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนของผนังทั้ง 6 ชนิดนี้มากขึ้นกว่าเดิม



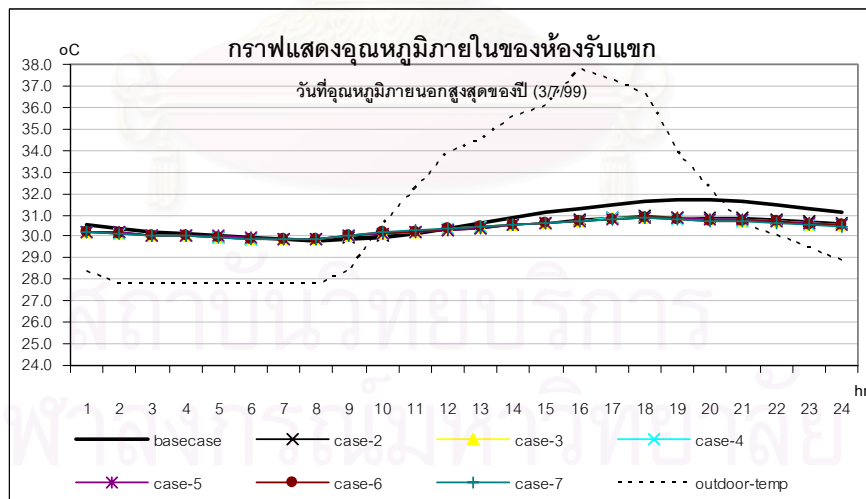
แผนภูมิที่ 5.78 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องรับแขกกรณีไม่มีแผงกันแดด



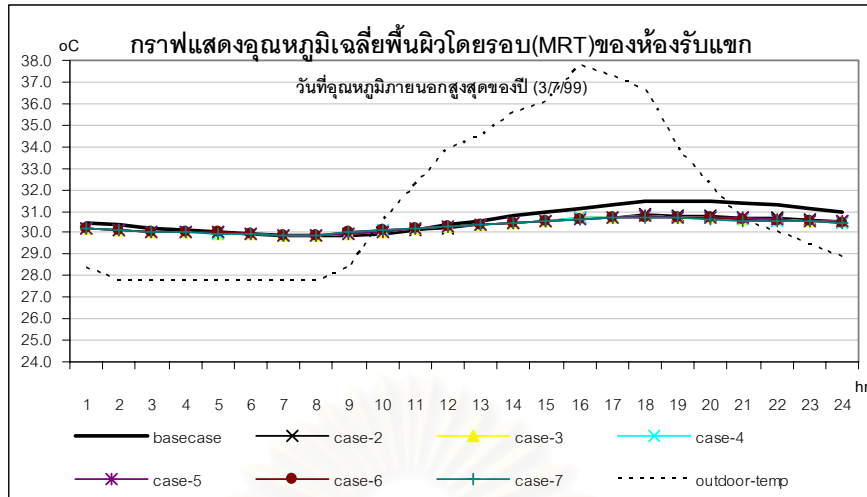
แผนภูมิที่ 5.79 แสดงการกระทำค่าความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบ ต่างๆอาคารของห้องทำงาน กรณีที่ติดตั้งแผงกันแดด

5.2.2.2 ผลการวิเคราะห์ของการปรับปรุงผนังที่บ พร้อมติดตั้งแผงกันแดด (แนวทางที่ 2 – แนวทางที่ 7)

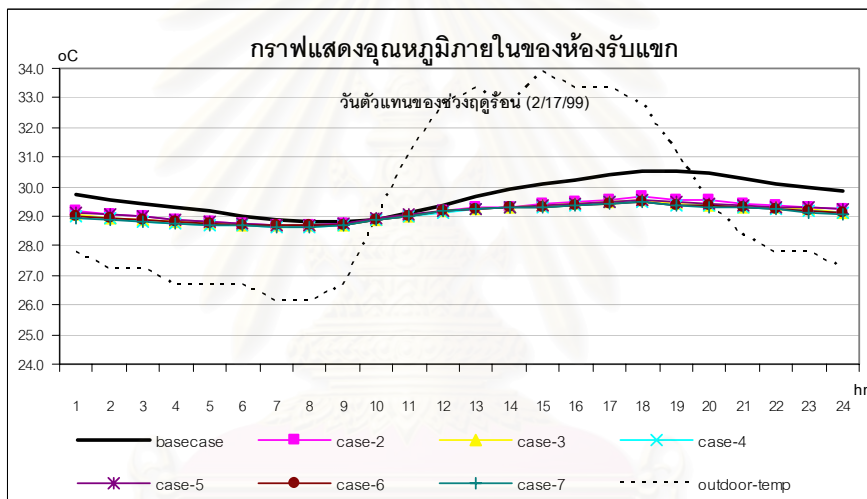
ก) ห้องรับแขก (บริเวณชั้นล่าง)



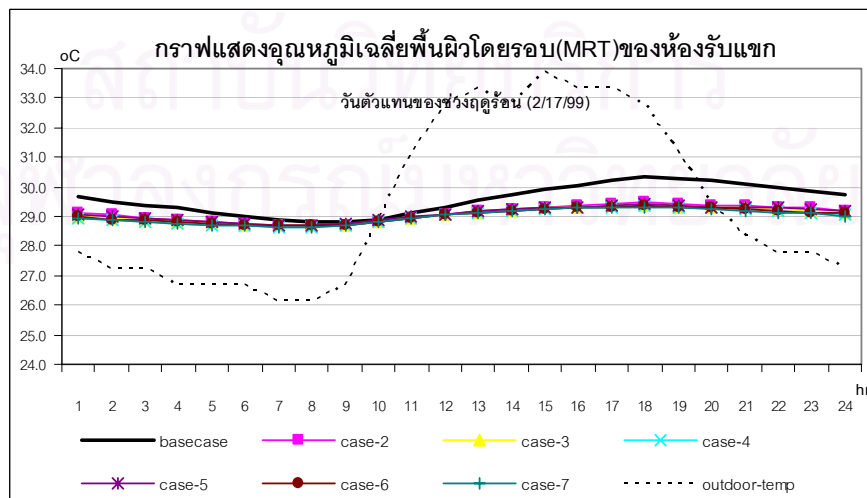
แผนภูมิที่ 5.80 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



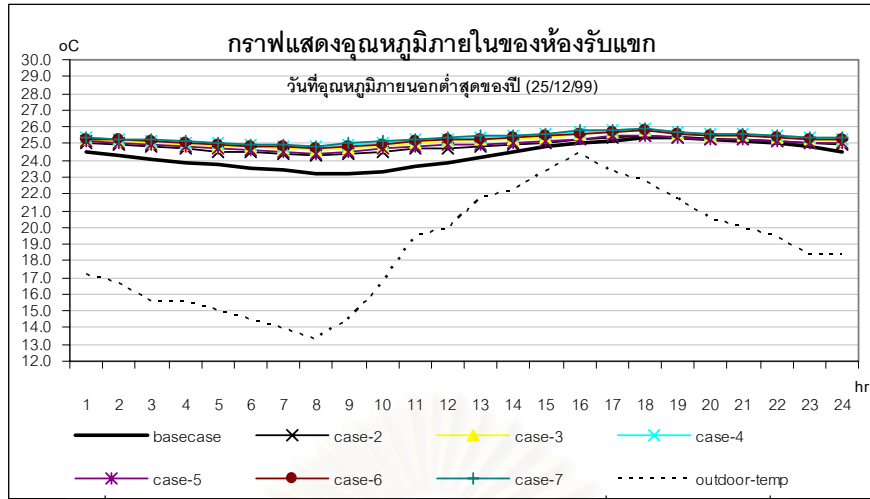
แผนภูมิที่ 5.81 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่บัพพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



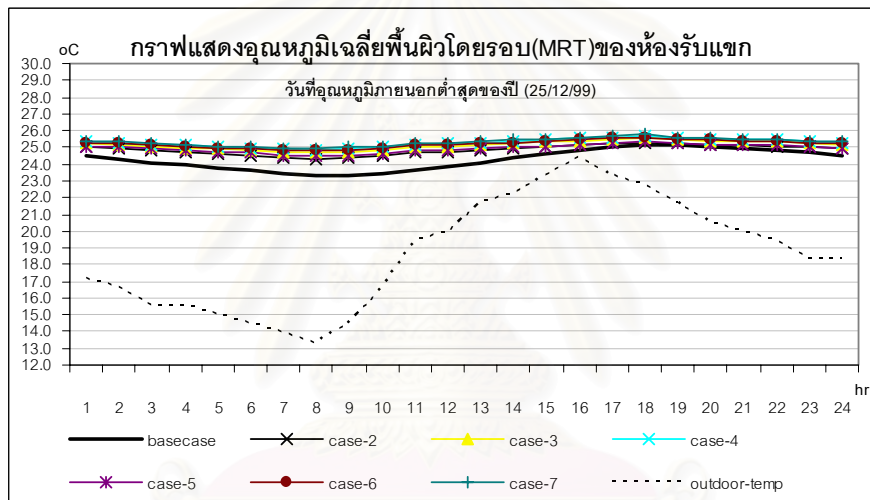
แผนภูมิที่ 5.82 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังที่บัพพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



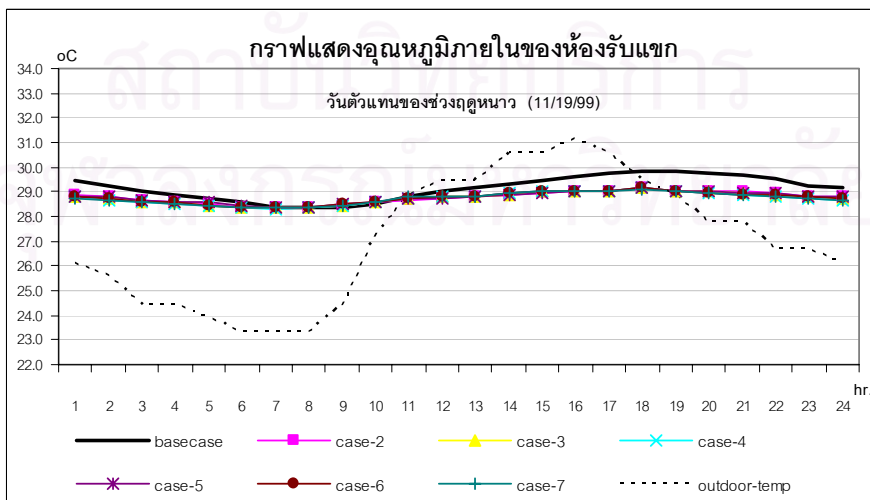
แผนภูมิที่ 5.83 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังที่บัพพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



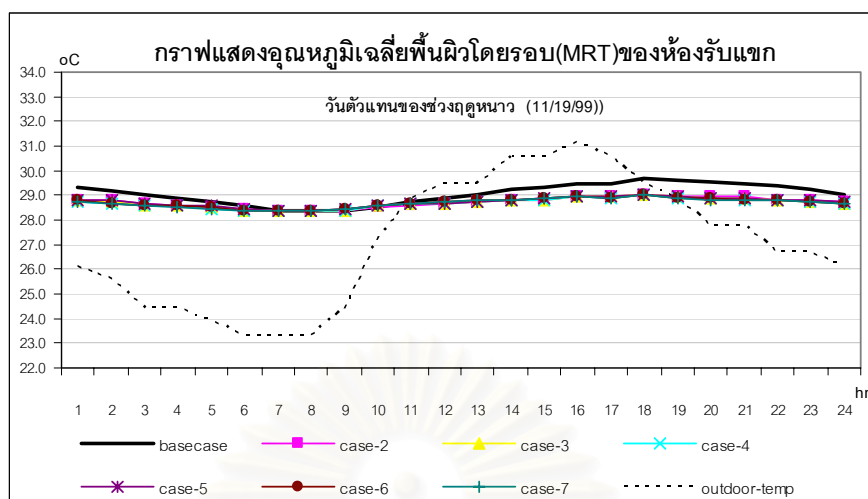
แผนภูมิที่ 5.84 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่พร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



แผนภูมิที่ 5.85 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่พร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



แผนภูมิที่ 5.86 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังที่พร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



แผนภูมิที่ 5.87 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)

จากแผนภูมิที่ 5.80- 5.81 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่า การปรับปรุงผนังที่บทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่างต่าง จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงกว่าเดิม โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $30-31^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะที่น่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 30.5°C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

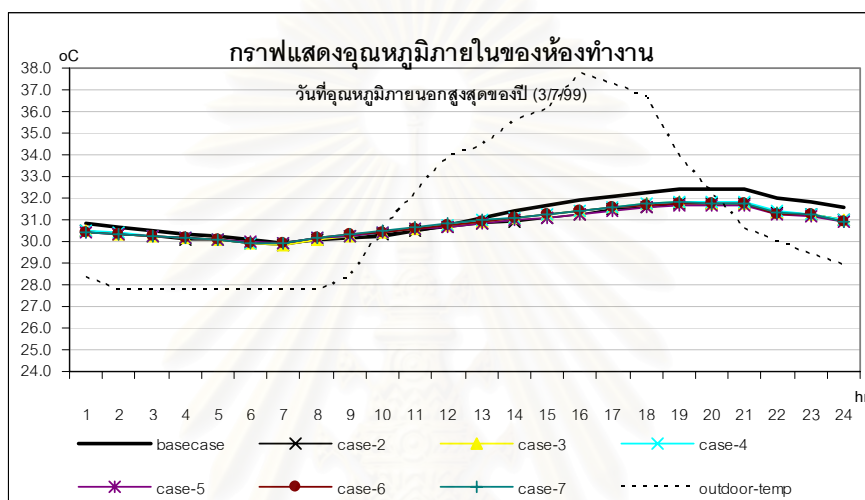
จากแผนภูมิที่ 5.82- 5.83 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่า การปรับปรุงผนังที่บทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่างต่าง จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $28.5-29.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะที่น่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 29.5°C ณ เวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.84- 5.85 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่า การปรับปรุงผนังที่บทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่างต่าง จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $24-26^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะที่น่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 26°C ณ เวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 1.5 ชั่วโมง

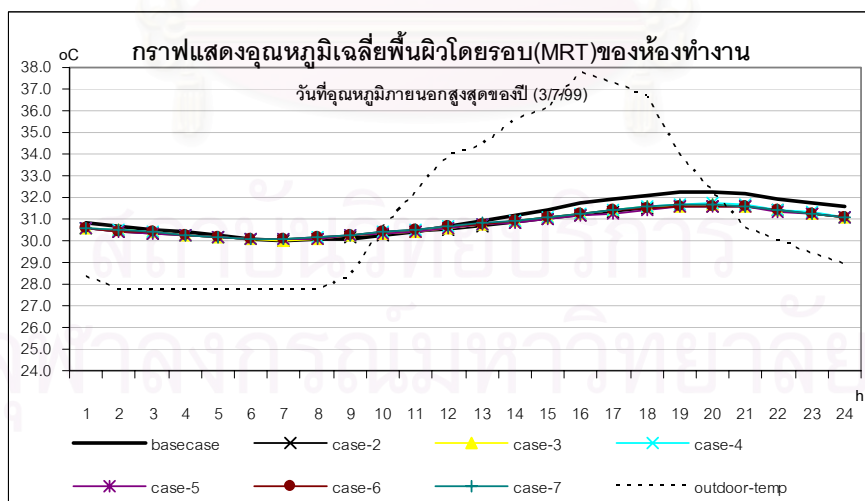
จากแผนภูมิที่ 5.86- 5.87 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่า การปรับปรุงผนังที่บทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกัน

แต่ดบริเวณกระจกหน้าต่าง จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28.5-29.5 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะที่น่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 29 °C ณ.เวลา 18.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด ประมาณ 2 ชั่วโมง

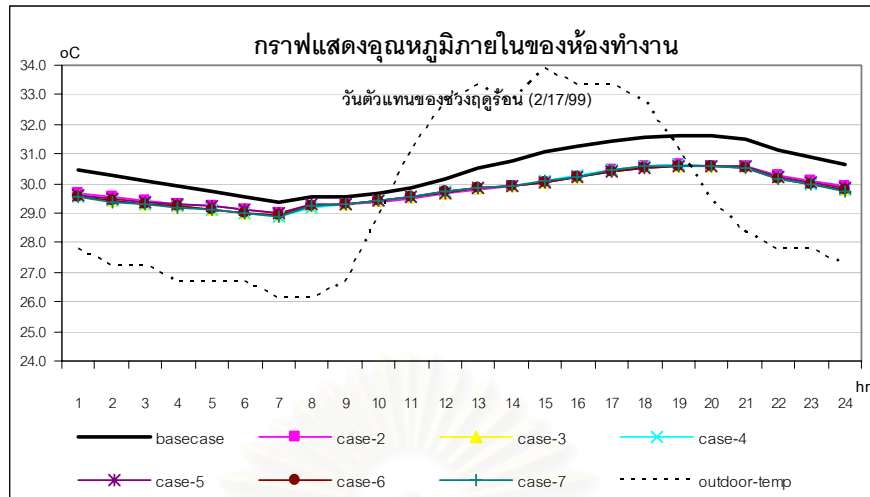
ข) ห้องทำงาน (บริเวณชั้นสอง)



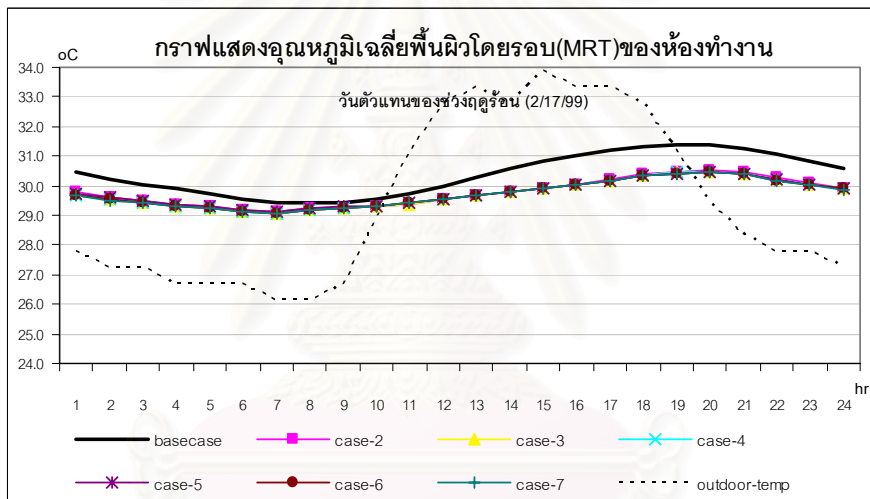
แผนภูมิที่ 5.88 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



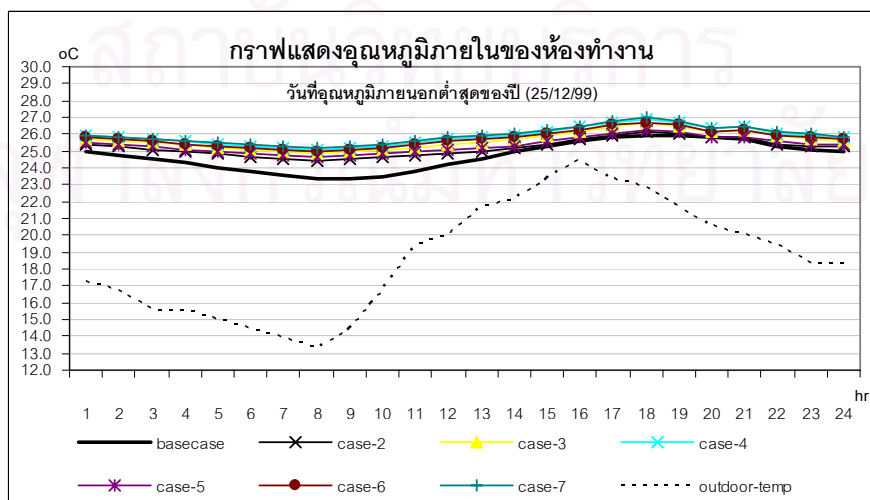
แผนภูมิที่ 5.89 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



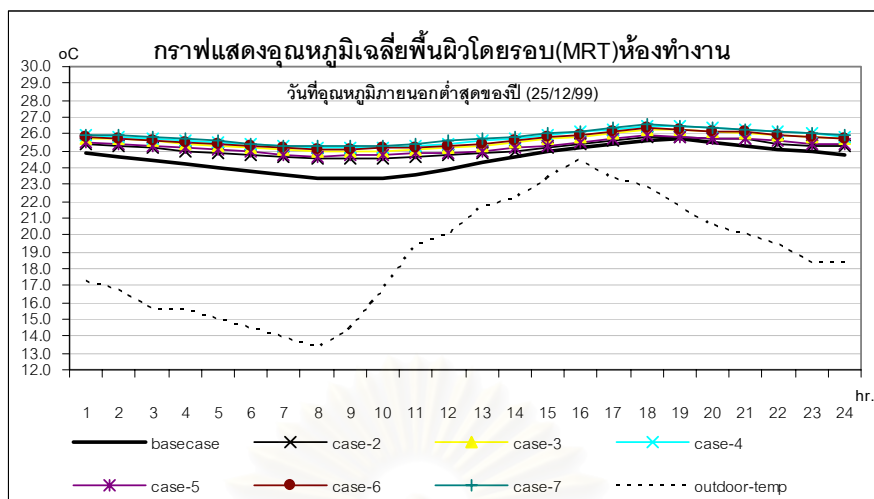
แผนภูมิที่ 5.90 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



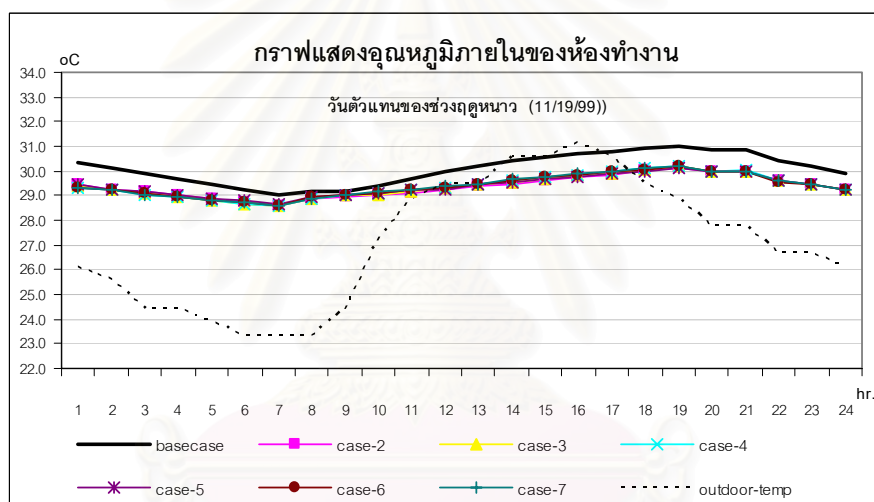
แผนภูมิที่ 5.91 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



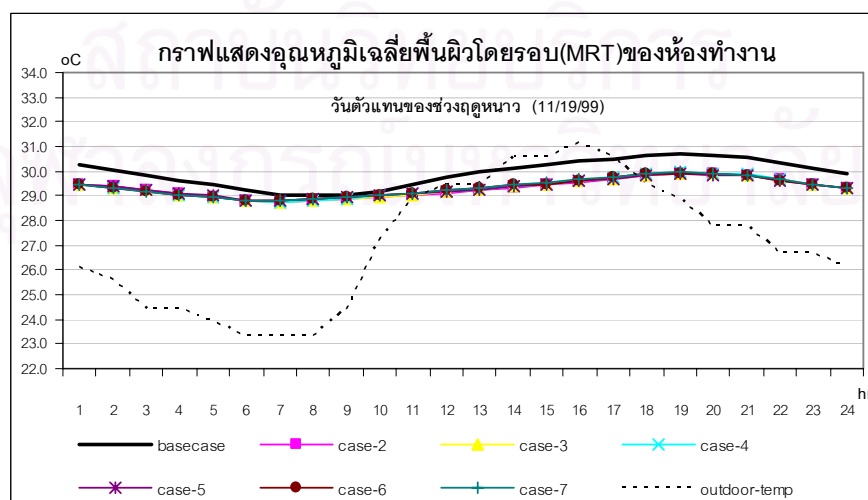
แผนภูมิที่ 5.92 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



แผนภูมิที่ 5.93 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี
(การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



แผนภูมิที่ 5.94 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว
(การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



แผนภูมิที่ 5.95 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว
(การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)

จากแผนภูมิที่ 5.88- 5.89 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงผนังที่ทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่าง จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $30-31.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่สูงกว่าเขตสภาวะน่าสบายในช่วงเวลา 13.00-24.00 น. ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 31.5°C ณ.เวลา 19.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

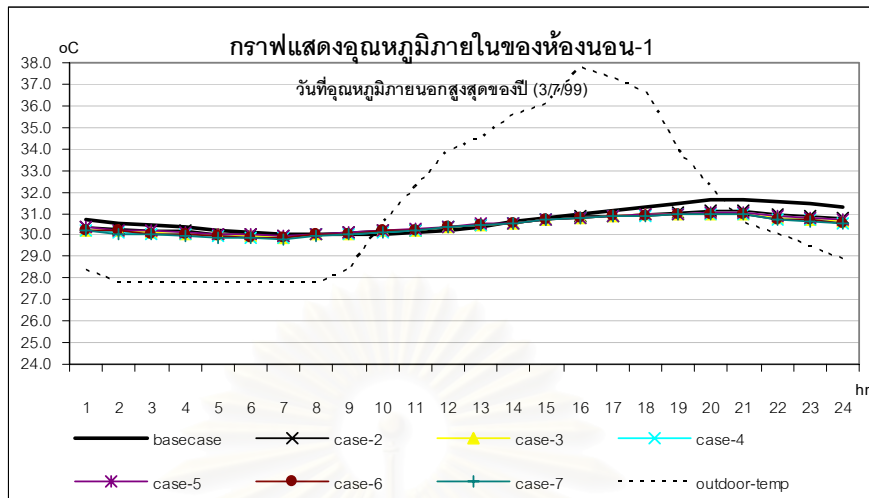
จากแผนภูมิที่ 5.90- 5.91 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าการปรับปรุงผนังที่ทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่าง จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $29-30.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 30.5°C ณ.เวลา 19.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.92- 5.93 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงผนังที่ทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่างนั้นจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $25-27^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 26.5°C ณ.เวลา 18.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 1.5 ชั่วโมง

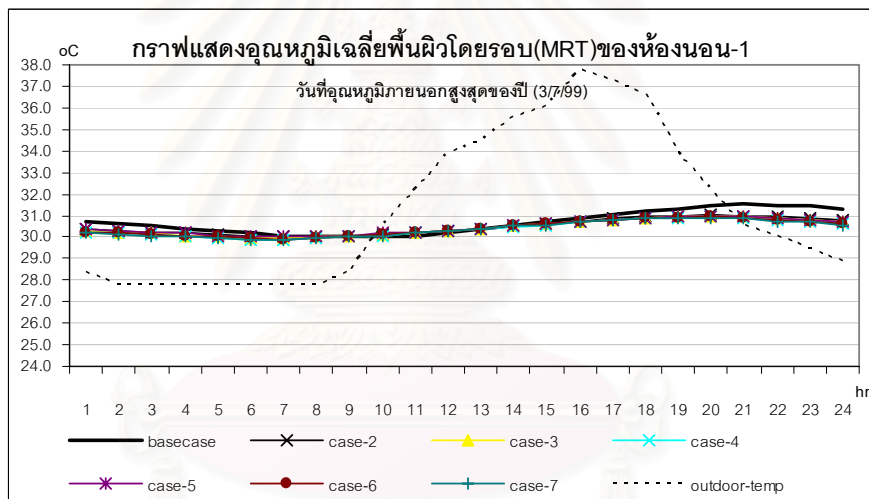
จากแผนภูมิที่ 5.94-5.95 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงานทำงานในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าการปรับปรุงผนังที่ทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่างนั้นจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง $29-30^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 29°C ณ.เวลา 19.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

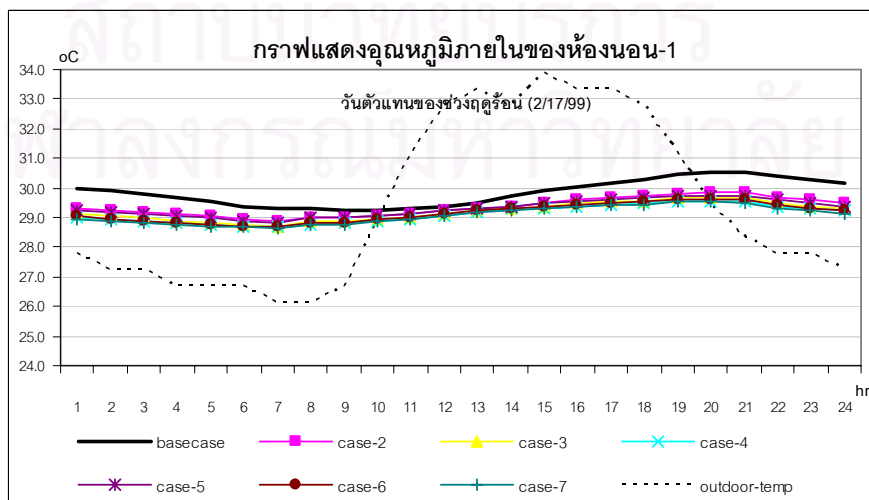
ค) ห้องนอน-1 (บริเวณชั้นสอง)



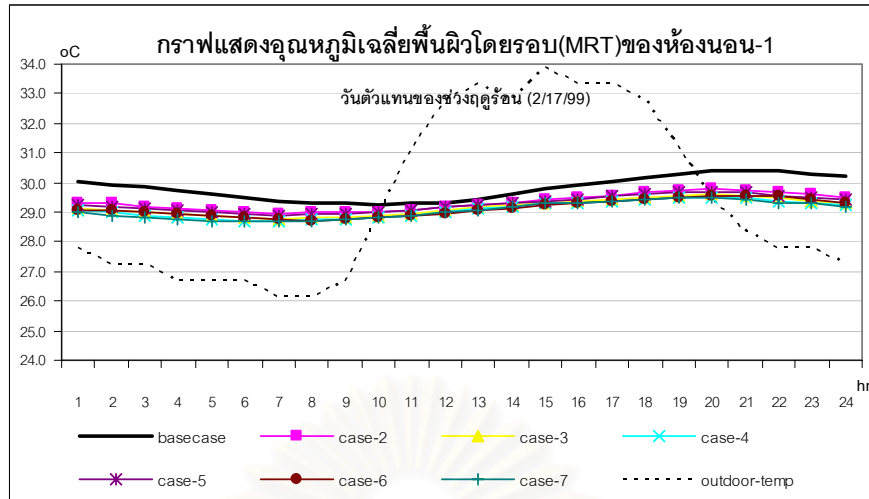
แผนภูมิที่ 5.96 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



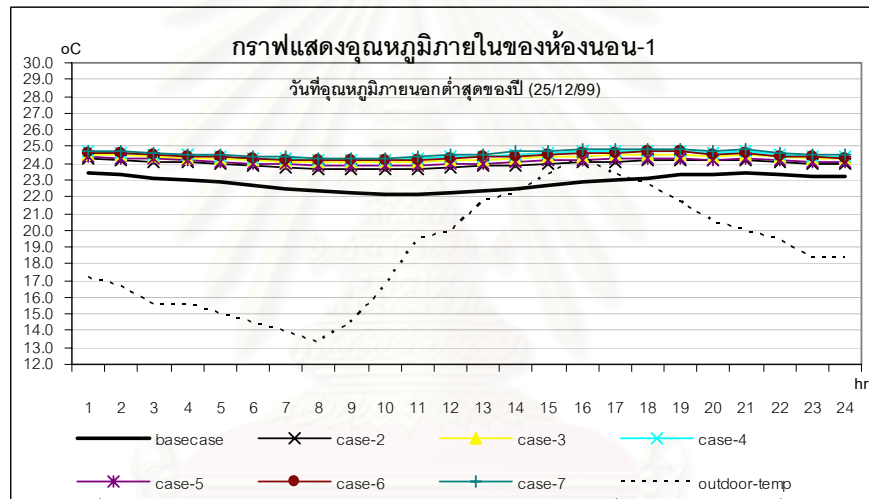
แผนภูมิที่ 5.97 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



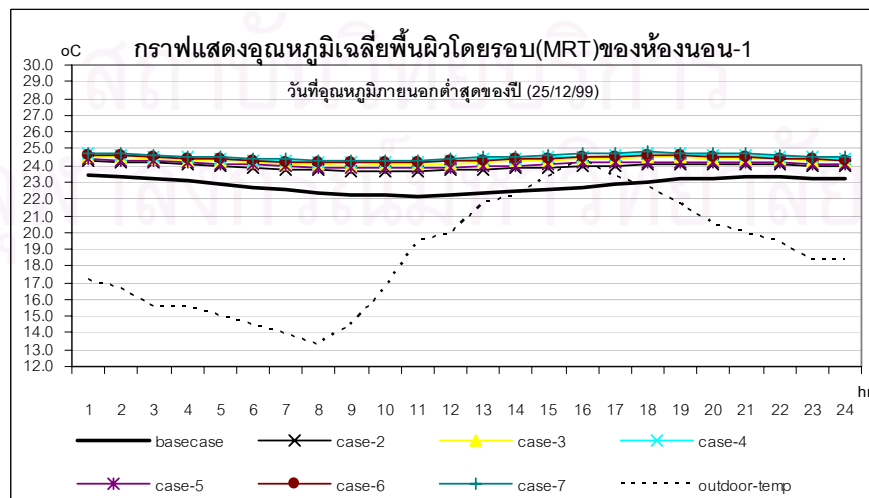
แผนภูมิที่ 5.98 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



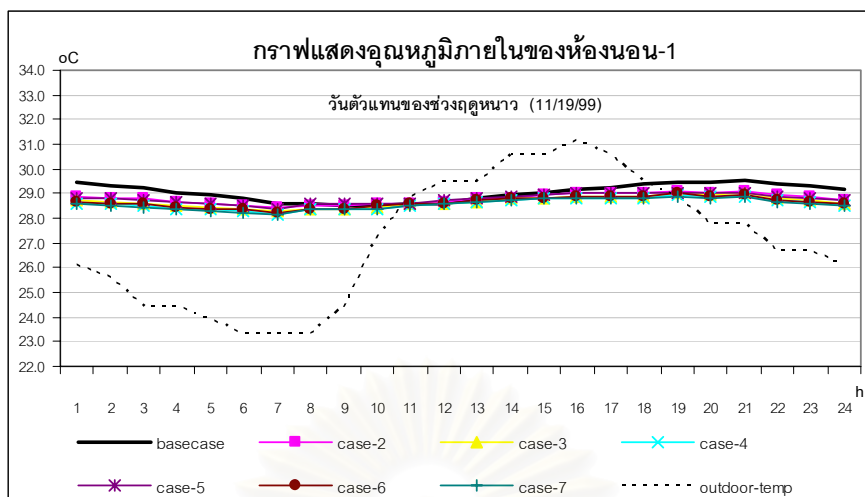
แผนภูมิที่ 5.99 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



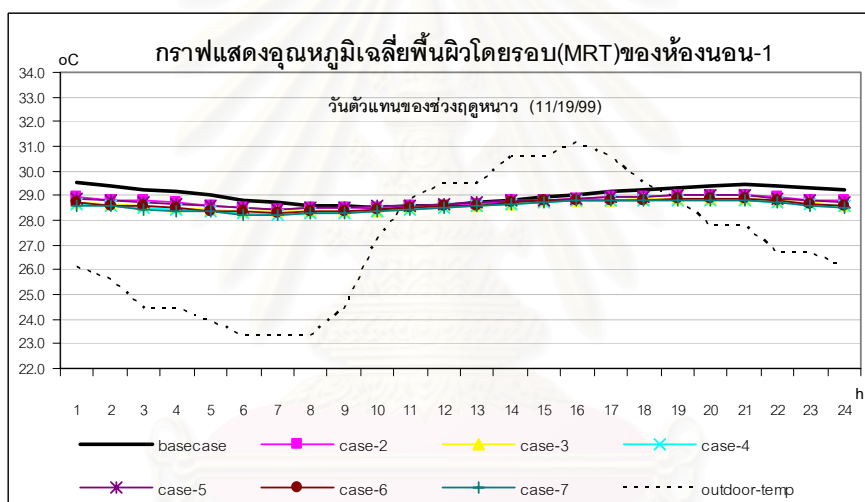
แผนภูมิที่ 5.100 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิกายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



แผนภูมิที่ 5.101 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิกายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



แผนภูมิที่ 5.102 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)



แผนภูมิที่ 5.103 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงผนังที่บพร้อมติดตั้งแผงกันแดด)

จากแผนภูมิที่ 5.96- 5.97 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงผนังที่บทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่างต่าง จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 30-31 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะที่น่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 31 °C ณ เวลา 20.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

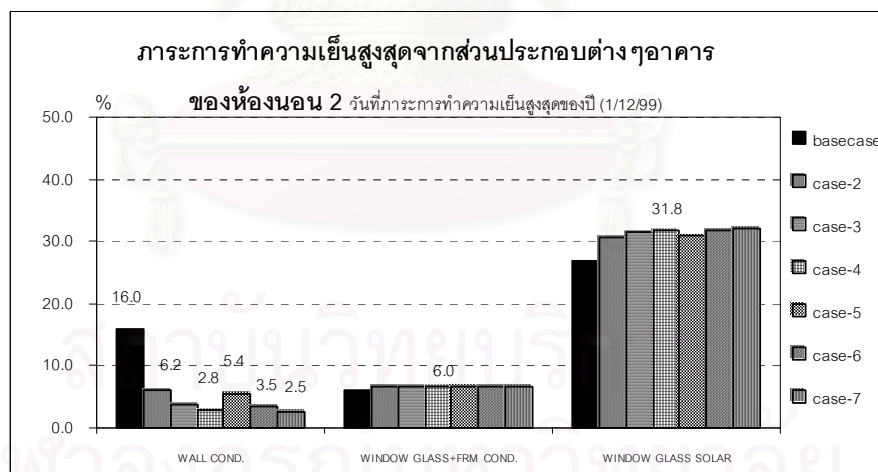
จากแผนภูมิที่ 5.98- 5.99 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าการปรับปรุงผนังที่บทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่างต่าง จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง

29-30 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 29.5 °C ณ เวลา 20.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

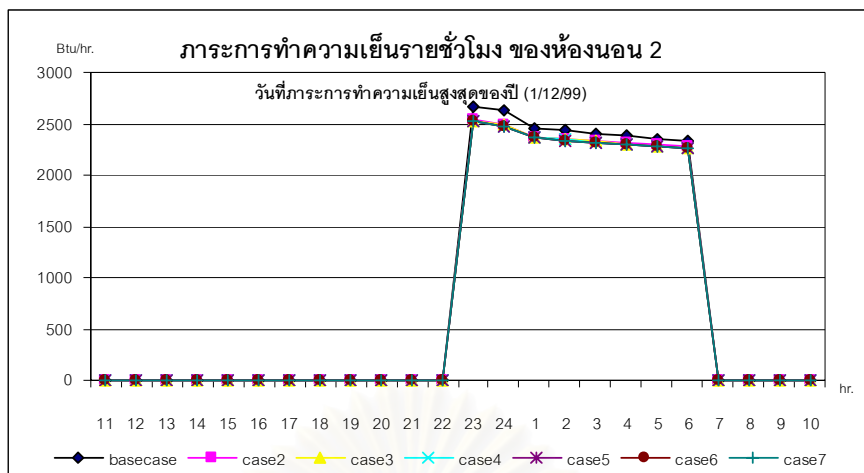
จากแผนภูมิที่ 5.100- 5.101 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงผนังที่ทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่าง จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 24-25 °C ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 25 °C ณ เวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.94-5.95 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ทำงานในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าการปรับปรุงผนังที่ทั้ง 6 ชนิดพร้อมกับการติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่างจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในของผนังทั้ง 6 ชนิดลดลงโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28-29 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 29 °C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

ง) ห้องนอน 2 (บริเวณชั้นสาม)



แผนภูมิที่ 5.104 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-2

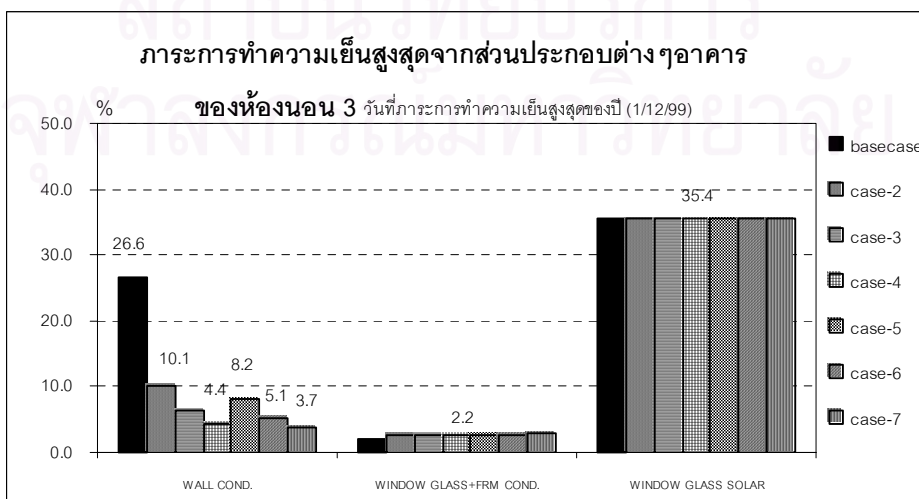


แผนภูมิที่ 5.105 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-2

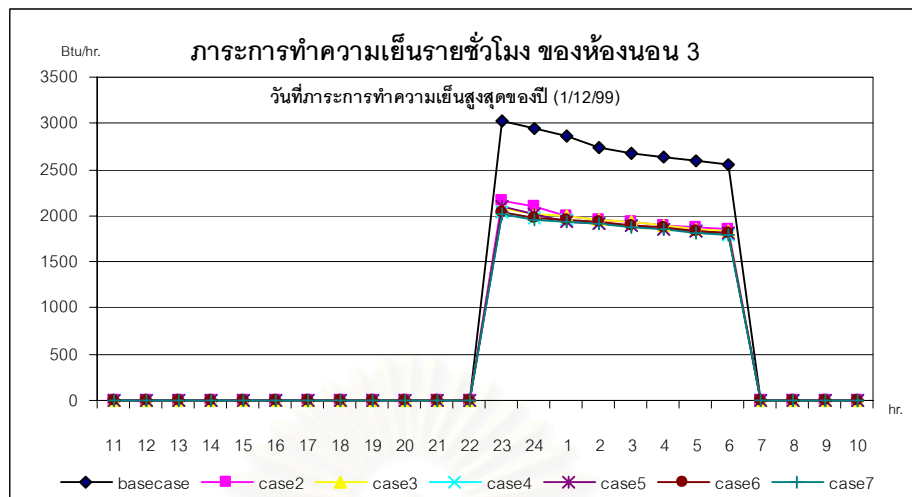
จากแผนภูมิที่ 5.106 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-2 จะพบว่าบริเวณผนังอาคารจะมีปริมาณความร้อนที่แตกต่างกัน คือ ในอาคารก่อนปรับปรุงจะมีปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารประมาณ 16 % ส่วนผนังทั้ง 6 ชนิดที่มีฉนวนกันความร้อนจะมีปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารน้อยกว่า โดยในการปรับปรุงผนังในแนวทางที่ 4 และ 7 (ฉนวนกันความร้อนหนา 3") จะมีปริมาณความร้อนเข้ามาเพียง 2.5-2.8 % ส่วนการปรับปรุงผนังในแนวทางที่ 2 และ 5 (ฉนวนกันความร้อนหนา 1") จะมีปริมาณความร้อนเข้ามาประมาณ 5.4-6.2 % ส่วนปริมาณความร้อนที่ได้มาจากกระจกหน้าต่างนั้นมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 31 %

จากแผนภูมิที่ 5.107 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน-2 ในวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุด จะพบว่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 8 %

จ) ห้องนอน 3 (บริเวณชั้นสาม)



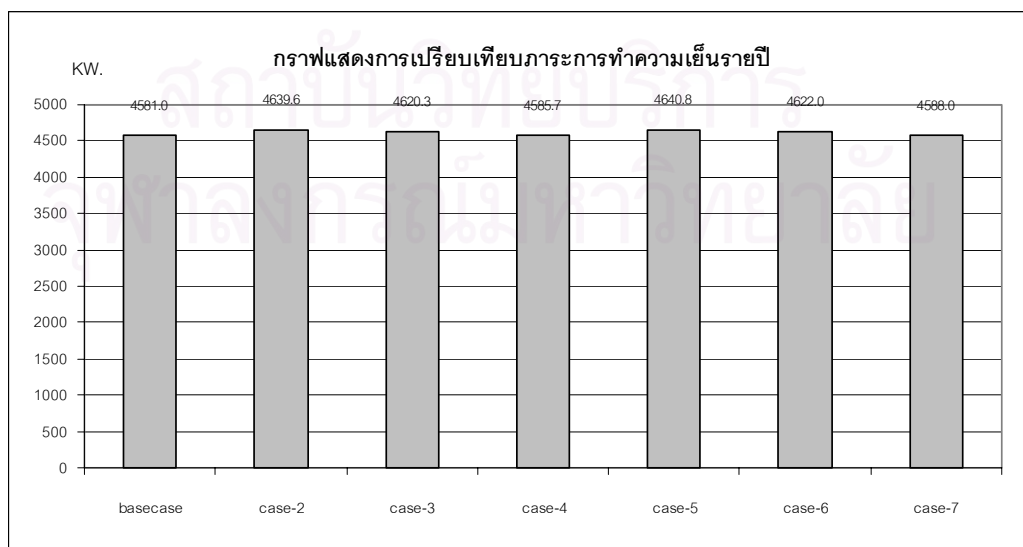
แผนภูมิที่ 5.106 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-3



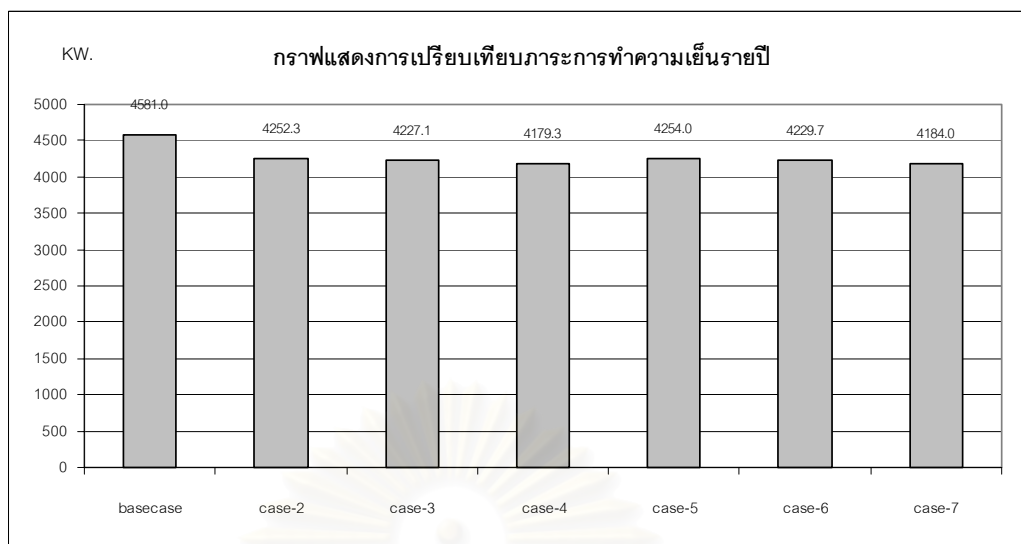
แผนภูมิที่ 5.107 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-3

จากแผนภูมิที่ 5.106 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-3 จะพบว่าบริเวณผนังอาคารจะมีปริมาณความร้อนที่แตกต่างกัน คือ ในอาคารก่อนปรับปรุงจะมีปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารประมาณ 26.6% ส่วนผนังทั้ง 6 ชนิดที่มีฉนวนกันความร้อนจะมีปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารน้อยกว่า โดยในการปรับปรุงผนังอาคารของแนวทางที่ 4 และ 7 (ฉนวนกันความร้อนหนา 3") จะมีปริมาณความร้อนเข้ามาน้อยที่สุดเพียง 4 % ส่วนการปรับปรุงผนังในแนวทางที่ 2 และ 5 (ฉนวนกันความร้อนหนา 1") จะมีปริมาณความร้อนเข้ามาประมาณ 8-10 % ส่วนปริมาณความร้อนที่ได้มาจากกระจกหน้าต่างนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 34 %

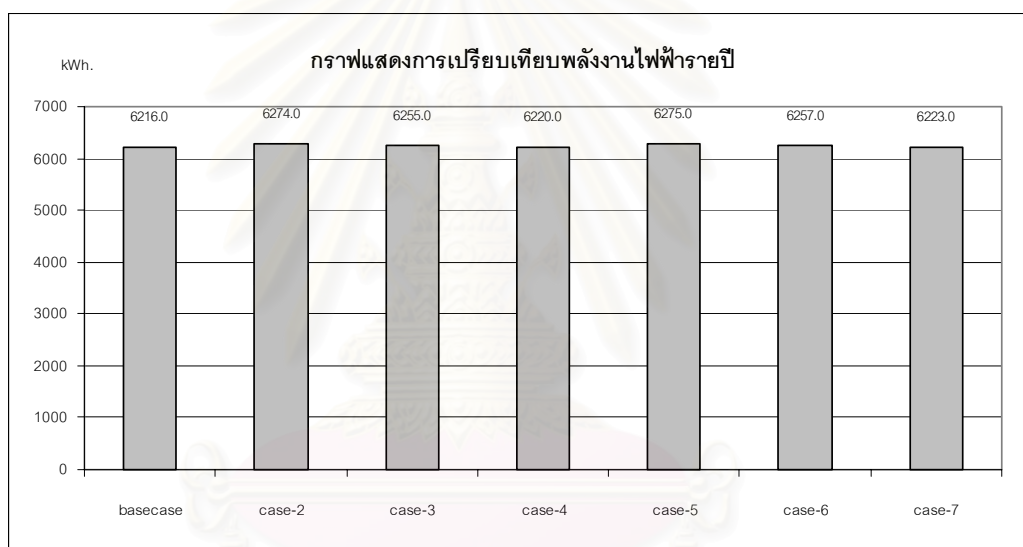
จากแผนภูมิที่ 5.107 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน-3 ในวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุด จะพบว่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของผนังทั้ง 6 ชนิดนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 7 %



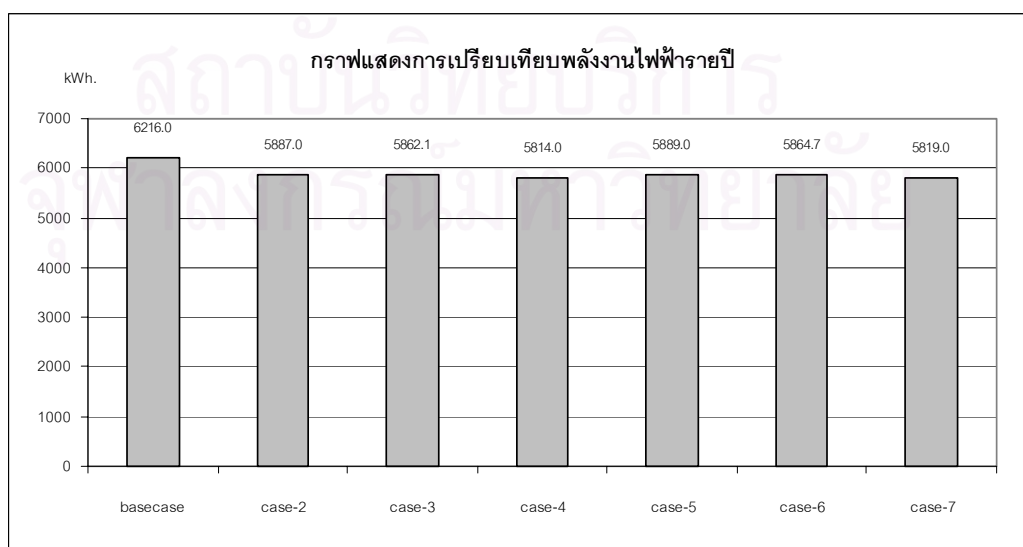
แผนภูมิที่ 5.108 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร (กรณีไม่มีแผงกันแดดบริเวณกระจก)



แผนภูมิที่ 5.109 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร (กรณีไม่มีแผงกันแดดบริเวณกระจก)



แผนภูมิที่ 5.110 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีของอาคาร (กรณีไม่มีแผงกันแดดบริเวณกระจก)



แผนภูมิที่ 5.111 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปีของอาคาร (กรณีมีแผงกันแดดบริเวณกระจก)

จากแผนภูมิที่ 5.108 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร พบว่าในผนังที่มีฉนวนกันความร้อนจะมีค่าภาระการทำความเย็นไม่แตกต่างจากผนังเดิม เพราะว่าในตอนกลางวันจะมีความร้อนบางส่วนที่เข้ามาทางกระจกหน้าต่างซึ่งจะถูกเก็บสะสมไว้ถึงตอนกลางคืนแล้วไม่สามารถจะคายออกสู่ภายนอกได้มากเนื่องจากผนังมีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงจึงทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องสูงอยู่ ดังนั้นเครื่องปรับอากาศจึงต้องเพิ่มภาระการทำความเย็นมากขึ้น จากแผนภูมิที่ 5.109 แสดงภาระการทำความเย็นรายปีของอาคารจะพบว่าหลังจากที่ติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่างแล้ว จะทำให้ภาระการทำความเย็นของการปรับปรุงผนังที่บ้ทั้ง 6 ชนิด มีค่าลดลงจากเดิมประมาณ 10 % ส่วนภาระการทำความเย็นของผนังแต่ละชนิดจะมีค่าไม่แตกต่างกันมาก

จากแผนภูมิที่ 5.110 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้ารายปีของอาคาร จะพบว่าในผนังที่มีฉนวนกันความร้อนจะมีค่าพลังงานไฟฟ้าไม่แตกต่างกับผนังอาคารก่อนปรับปรุง แต่ในแผนภูมิที่ 5.111 จะพบว่าหลังจากที่ติดตั้งแผงกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่าง จะทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าของการปรับปรุงผนังที่บ้ทั้ง 6 ชนิด ลดลงประมาณ 7 %

5.2.2.3 สรุปผลของการปรับปรุงผนังที่บ (แนวทางที่ 2 – แนวทางที่ 7)

ก) ด้านสภาวะน่าสบาย

จากผลการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายของอาคารที่ทำการปรับปรุงผนังที่บด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน จะพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องของผนังทั้ง 6 ชนิดจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากความร้อนที่ผนังที่บทั้ง 6 ชนิดได้รับจากภายนอกนั้นมีสัดส่วนที่ต่ำซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของผนังทั้ง 6 ชนิดได้ ดังนั้นในการปรับปรุงผนังที่บจึงสามารถใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาเพียง 1 " ได้ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 3" เพราะว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารได้ดีเช่นเดียวกันและยังช่วยลดค่าใช้จ่ายของวัสดุด้วย แต่ในการปรับปรุงผนังที่บด้วยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนนี้จำเป็นจะต้องป้องกันความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางกระจกหน้าต่างด้วย เช่น การติดตั้งแผงกันแดด เพราะว่าความร้อนนี้จะทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้นในตอนกลางวัน ซึ่งหลังจากการติดตั้งแผงกันแดดแล้วจะพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องที่ปรับปรุงด้วยผนังทั้ง 6 ชนิดจะมีผลต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคารทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว ดังนี้

(ก) ในฤดูร้อน การปรับปรุงผนังที่บด้วยการเพิ่มฉนวนกันร้อนจะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในห้องรับแขก , ห้องนอน-1 และห้องทำงาน ลดลงมีค่าอยู่ระหว่าง 29 - 30.5 °C โดยมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 19.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

(ข) ในฤดูหนาว การปรับปรุงผนังที่บด้วยการเพิ่มฉนวนกันร้อนจะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในห้องรับแขก, ห้องนอน-1 และห้องทำงานลดลงซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 28.5 – 29 °C โดยอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 18.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

การเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะนำสบายตลอดทั้งปี						
การปรับปรุงผนังทึบ	ห้องรับแขก		ห้องทำงาน		ห้องนอน-1	
	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)
อาคารก่อนปรับปรุง	7,900	90.2	7,770	88.7	7,640	87.2
อาคารปรับปรุงด้วยแนวทางที่ 2	8,261	94.3	8,051	91.9	8,106	92.5
อาคารปรับปรุงด้วยแนวทางที่ 3	8,182	93.4	8,012	91.5	8,075	92.2
อาคารปรับปรุงด้วยแนวทางที่ 4	8,156	93.1	7,971	91.0	8,040	91.8
อาคารปรับปรุงด้วยแนวทางที่ 5	8,340	95.2	8,080	92.2	8,090	92.4
อาคารปรับปรุงด้วยแนวทางที่ 6	8,243	94.1	8,000	91.3	8,060	92.0
อาคารปรับปรุงด้วยแนวทางที่ 7	8,164	93.2	7,958	90.8	8,040	91.8

ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะนำสบายตลอดทั้งปีในการปรับปรุงผนังทึบ

และจากตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะนำสบาย พบว่าหลังจากที่ได้ปรับปรุงผนังทึบแล้วจะทำให้ชั่วโมงสภาวะนำสบายภายในอาคารเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 3-4 % ซึ่งผนังทึบในแนวทางที่ 2 และ 5 นั้นจะช่วยเพิ่มสภาวะนำสบายได้มากกว่าแนวทางอื่นๆเพียงเล็กน้อย

ข) ด้านการใช้พลังงาน

การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์						
วิธีปรับปรุงอาคาร	เงินลงทุนครั้งแรก (บาท)	ค่าไฟฟ้ารายปี (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (บาท)	ค่าไฟฟ้าตลอดอายุอาคาร 25 ปี (บาท)	ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคาร 25 ปี (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
อาคารก่อนปรับปรุง	0	18,015	0	583,067	583,067	-
แนวทางที่ 2	14,040	17,072	943	552,562	566,602	15
แนวทางที่ 3	21,600	17,000	1,015	550,216	571,816	21
แนวทางที่ 4	28,080	16,861	1,154	545,710	573,790	24
แนวทางที่ 5	16,524	17,078	937	552,750	569,274	18
แนวทางที่ 6	24,084	17,006	1,009	550,403	574,487	24
แนวทางที่ 7	30,564	16,869	1,146	545,982	576,546	27

ตารางที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในแนวทางต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่มีการปรับปรุงผนังทึบด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน จะพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารลดลงจากอาคารก่อนปรับปรุง โดยในการใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 3" ของแนวทางที่ 4 และ แนวทางที่ 7 จะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารลดลงมากที่สุดซึ่งน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 6.4 % ส่วนในการใช้ฉนวนกัน

ความร้อนที่มีความหนา 1” ของแนวทางที่ 2 และ แนวทางที่ 5 จะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารลดลงน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 5.2 % ทั้งนี้จะพบว่าฉนวนกันความร้อนขนาดต่างๆจะมีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่ใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 5.9 จะพบว่าการปรับปรุงผนังทึบในแนวทางที่ 2 ด้วยการใช้ฉนวนกันความร้อนที่มีความหนา 1 “ จะมีค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคารประมาณ 566,602 บาท ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแนวทางอื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาระยะเวลาการคืนทุนที่ใช้เวลาถึง 15 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานเกินไป ดังนั้นจึงไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

5.2.3 การปรับปรุงกระจกหน้าต่างของอาคาร (แนวทางที่ 8 – แนวทางที่ 10)

5.2.3.1 การติดตั้งแผงกันแดด เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาไม่มีองค์ประกอบอาคารใดๆที่จะช่วยป้องกันรังสีดวงอาทิตย์จากภายนอกให้กับอาคาร จึงทำให้ความร้อนบางส่วนสามารถผ่านเข้าทางกระจกหน้าต่างได้ง่าย โดยเฉพาะทางทิศใต้ซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากภายนอกมากกว่าด้านอื่นๆ ดังนั้นในการปรับปรุงจึงทำการติดตั้งแผงกันแดดไว้ที่บริเวณช่องเปิดของอาคารทางด้านทิศเหนือและทิศใต้เพื่อทำการวิเคราะห์และประเมินผลของแผงกันแดดในการลดการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาทางกระจก สำหรับขนาดของแผงกันแดดได้ทำการออกแบบโดยอาศัยการคำนวณมุมโคจรของดวงอาทิตย์และมุมของผนังอาคารเพื่อสามารถหาขนาดของแผงกันแดดที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการใช้งาน

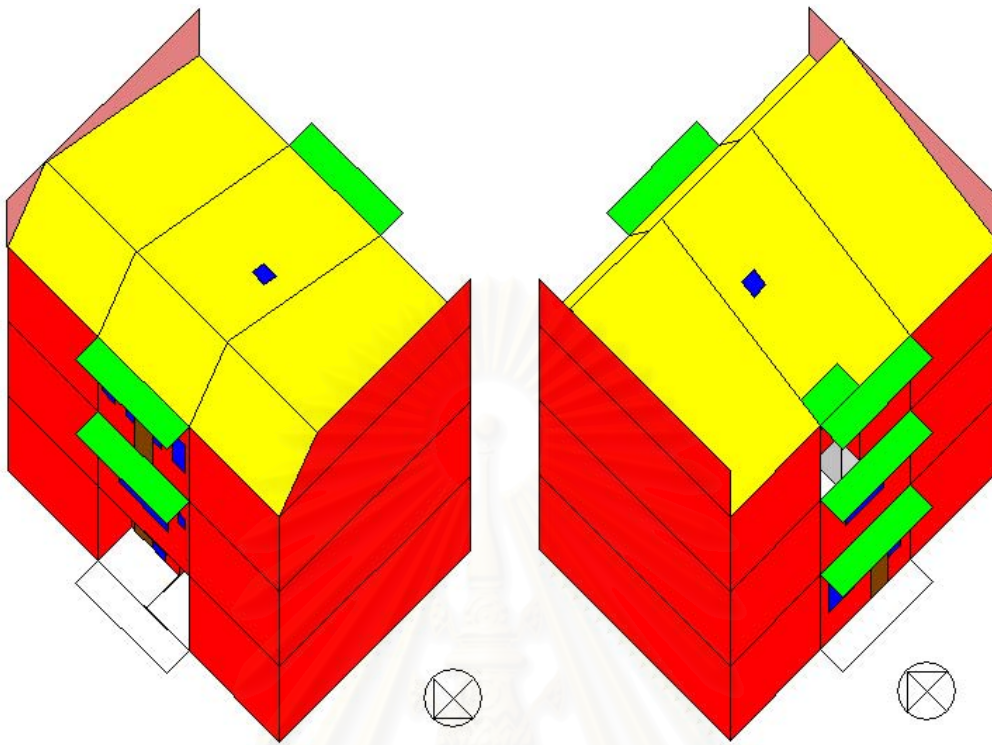
5.2.3.2 การเปลี่ยนผนังกระจก ได้พิจารณาเลือกกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การป้องกันความร้อนที่สูงกว่าผนังกระจกเดิม ได้แก่

ก) ระบบกระจก 2 ชั้น (Double Glazing) เป็นกระจกที่เคลือบสารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-E) บริเวณทั้งสองด้านของแผ่นฟิล์มที่อยู่ระหว่างช่องว่างอากาศภายในกระจก ซึ่งจะทำหน้าที่สะท้อนรังสีจากภายนอกที่จะเข้ามาภายในและกระจกชนิดนี้ยังมีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงกว่ากระจกชนิดอื่นๆด้วย

ข) ระบบกระจกชั้นเดียวติดฟิล์มสะท้อนแสง เป็นกระจกที่นิยมใช้กันมากในอาคารทั่วไปเนื่องจากมีราคาที่ไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับกระจกสองชั้น แต่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่ากระจกธรรมดาในการช่วยลดการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางกระจกได้

คุณสมบัติของวัสดุ				
การปรับปรุง	รายละเอียด	ค่าความต้านทานความร้อน(R) หน่วย(ft ² hF/Btu)	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)	ราคาต่อตารางเมตร (บาท)
แนวทางที่ 8	การติดตั้งแผงกันแดด (กระจกใส)	0.94	0.89	1,600
แนวทางที่ 9	กระจกสองชั้น	0.45	0.35	2,400
แนวทางที่ 10	กระจกติดฟิล์มสะท้อนแสง	0.80	0.70	750

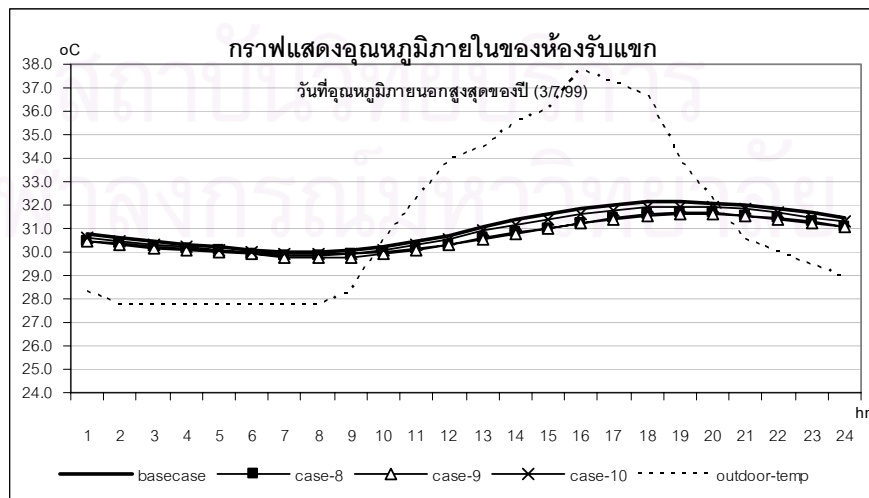
ตารางที่ 5.10 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ปรับปรุงแต่ละแนวทาง



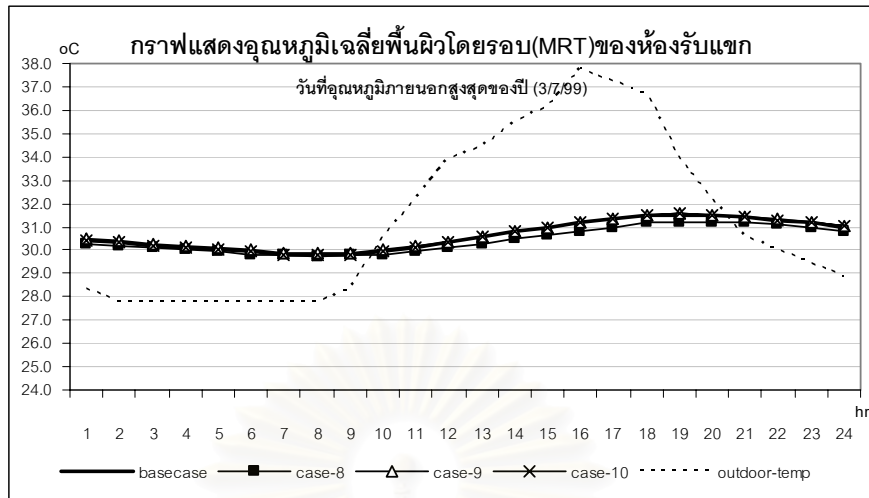
รูปที่ 5.4 แสดงแบบจำลองอาคารในคอมพิวเตอร์ที่ปรับปรุงด้วยการติดตั้งแผงกันแดด

5.2.3.1 ผลการวิเคราะห์ของการปรับปรุงกระจกหน้าต่าง (แนวทางที่ 8 – แนวทางที่ 10)

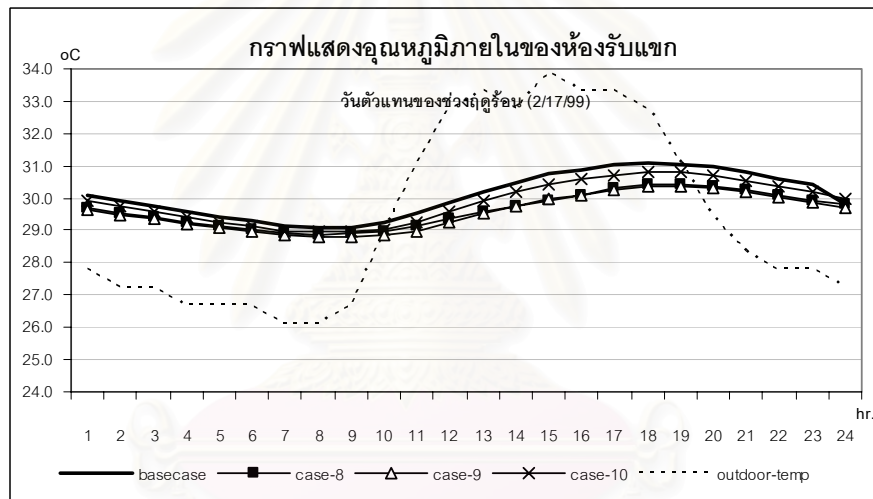
ก) ห้องรับแขก (บริเวณชั้นล่าง)



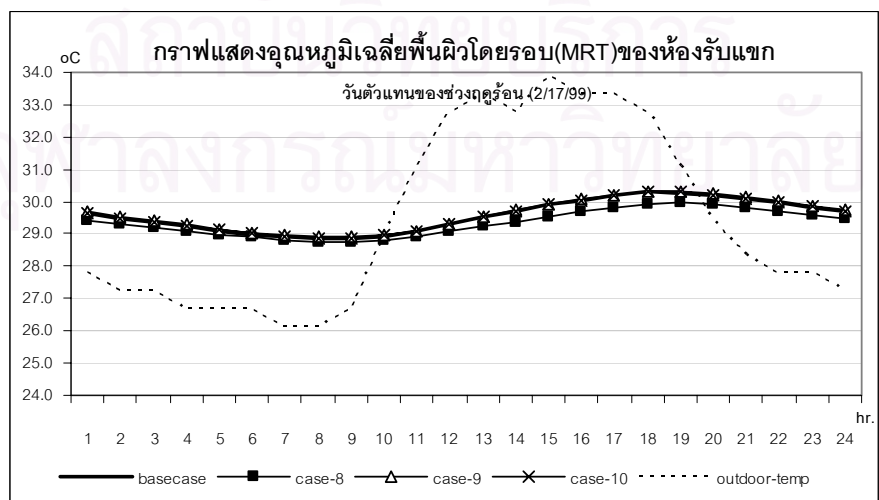
แผนภูมิที่ 5.112 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



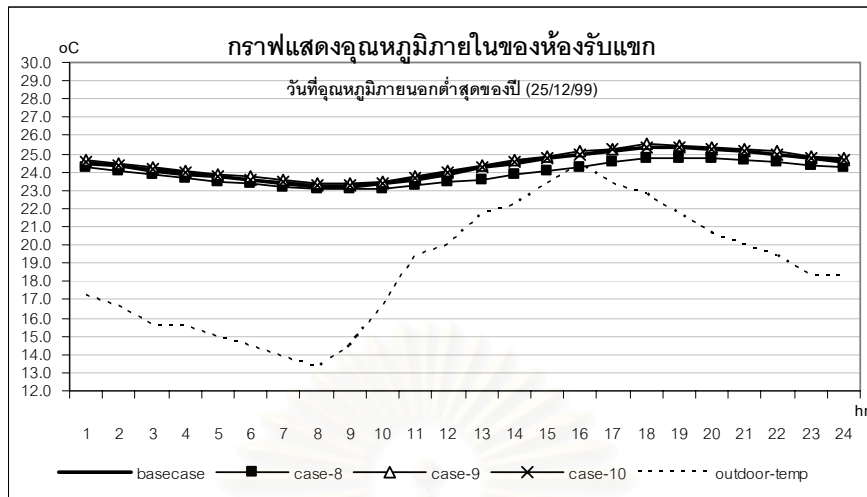
แผนภูมิที่ 5.113 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



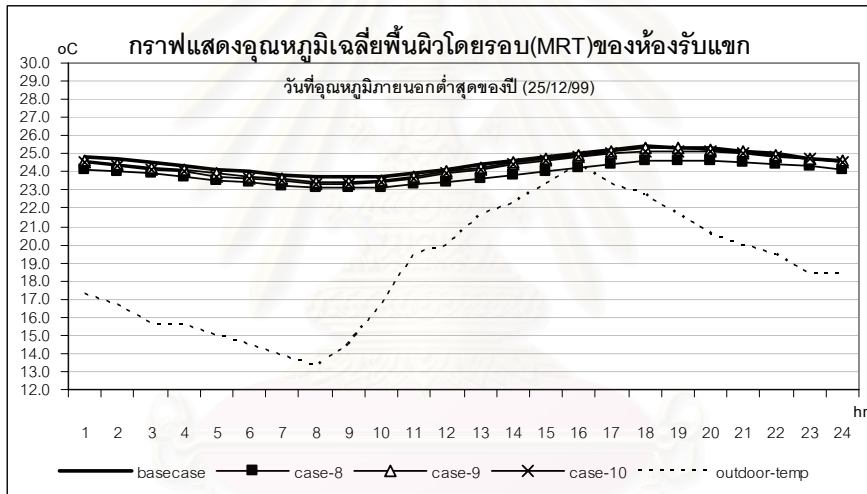
แผนภูมิที่ 5.114 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขก ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



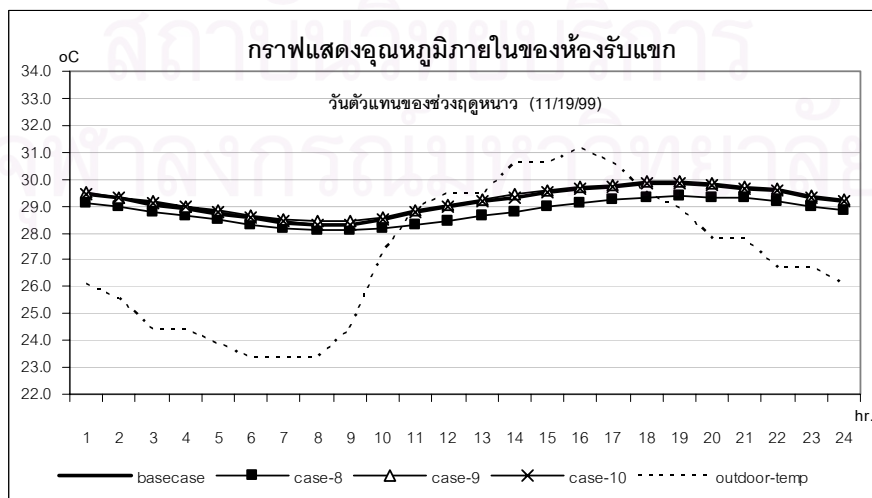
แผนภูมิที่ 5.115 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขก ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



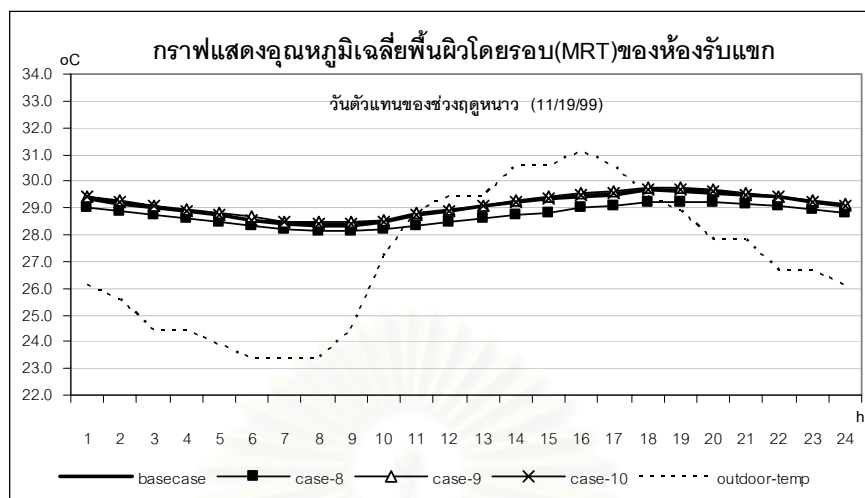
แผนภูมิที่ 5.116 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



แผนภูมิที่ 5.117 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



แผนภูมิที่ 5.118 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



แผนภูมิที่ 5.119 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)

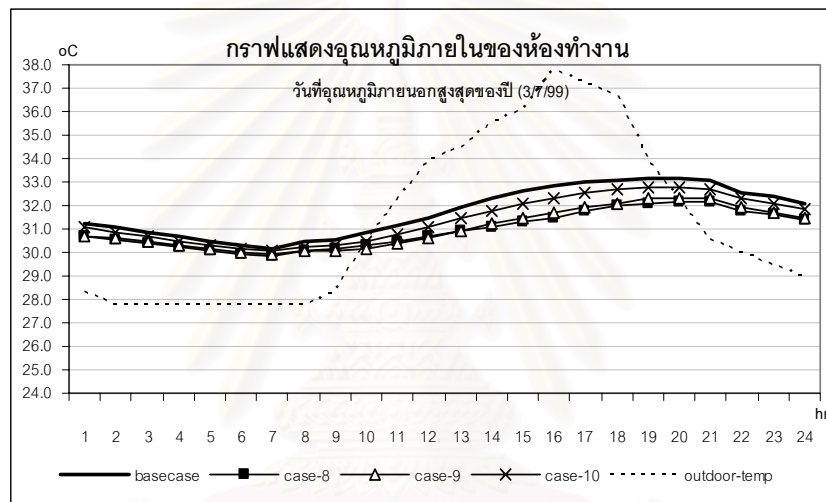
จากแผนภูมิที่ 5.112-5.113 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด และแนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้น จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1°C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $30-31.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่สูงกว่าเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30.5°C ณ.เวลา 19.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง และในการปรับปรุงแนวทางที่ 10 ด้วยการใส่กระจกติดฟิล์มนั้นจะช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากแผนภูมิที่ 5.114-5.115 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องรับแขก ในวันที่ตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด และแนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้น จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1.5°C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $30-30.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30°C ณ.เวลา 18.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง และในการปรับปรุงแนวทางที่ 10 ด้วยการใส่กระจกติดฟิล์มจะช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในได้ประมาณ 0.5°C

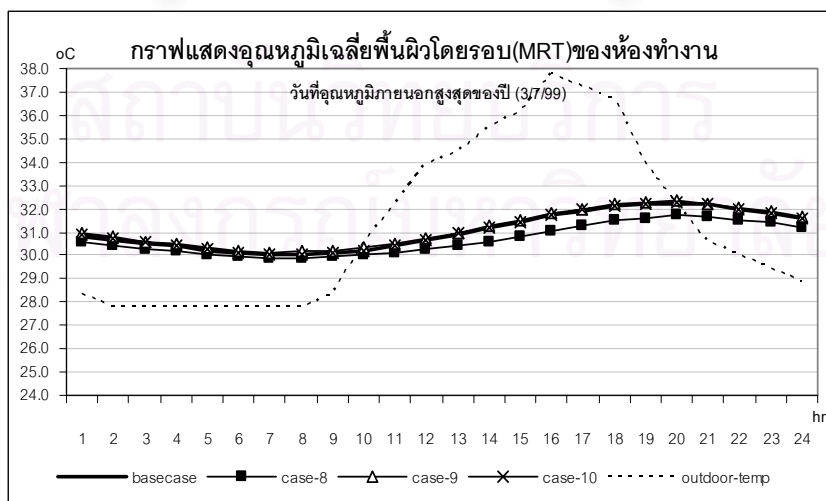
จากแผนภูมิที่ 5.116-5.117 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1°C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $23-24.5^{\circ}\text{C}$ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 24.5°C ณ.เวลา 19.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง ส่วนการปรับปรุงแนวทางที่ 9 ด้วยการใส่กระจกสองชั้นและแนวทางที่ 10 ด้วยการใส่กระจกติดฟิล์มนั้นจะมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง

จากแผนภูมิที่ 5.118-5.119 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่า การปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28-28.5 °C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 29 °C ณ เวลา 18.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุด ประมาณ 2 ชั่วโมง ส่วนการปรับปรุงแนวทางที่ 9 ด้วยการใส่กระจกสองชั้นและแนวทางที่ 10 ด้วยการใส่กระจกติดฟิล์ม จะมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง

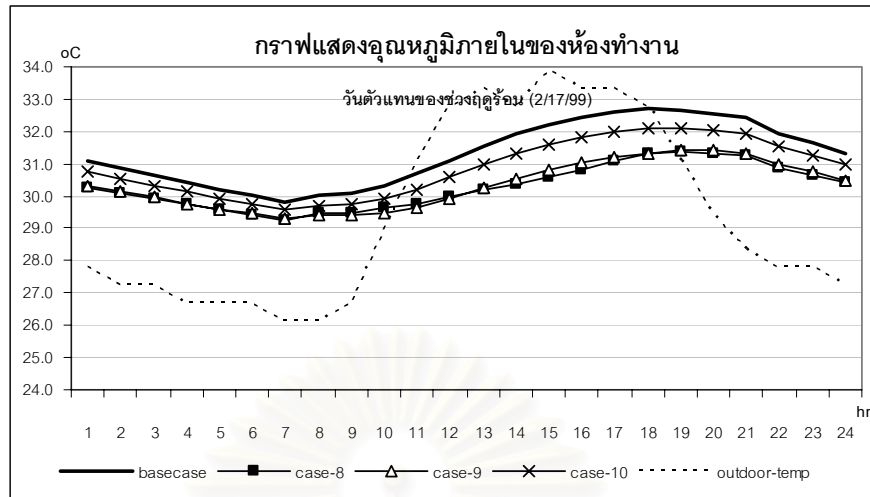
ข) ห้องทำงาน (บริเวณชั้นสอง)



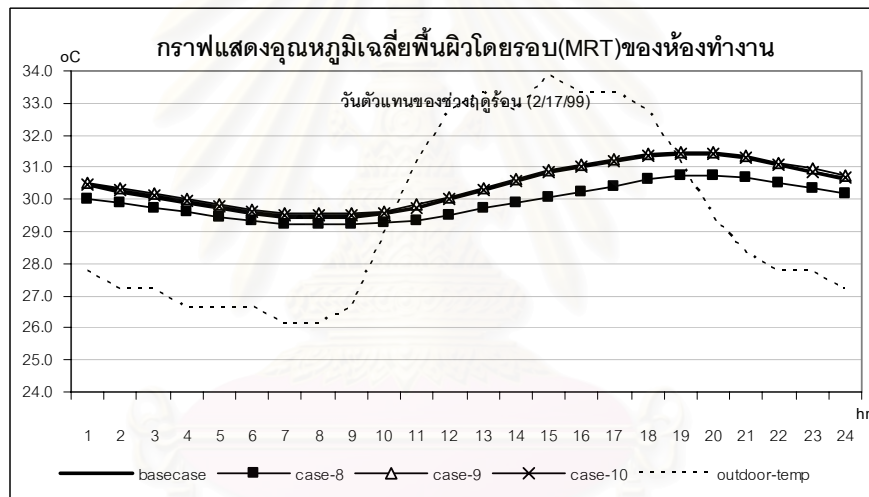
แผนภูมิที่ 5.120 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



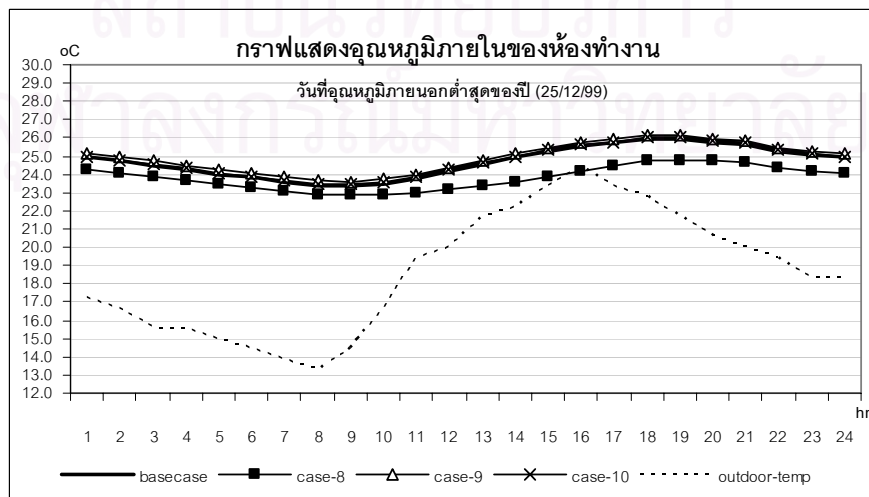
แผนภูมิที่ 5.121 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



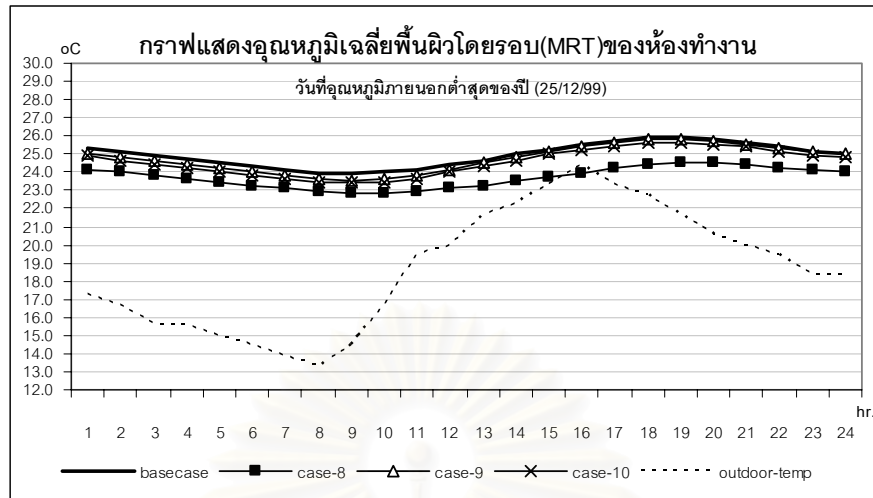
แผนภูมิที่ 5.122 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



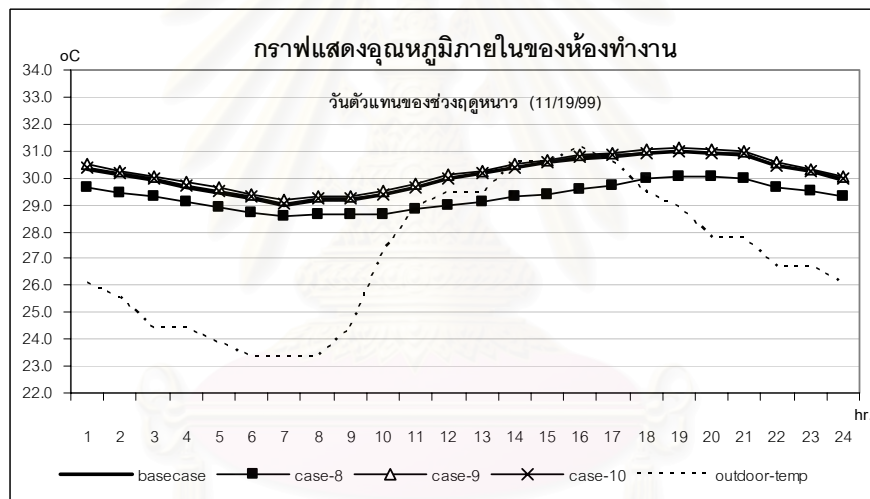
แผนภูมิที่ 5.123 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



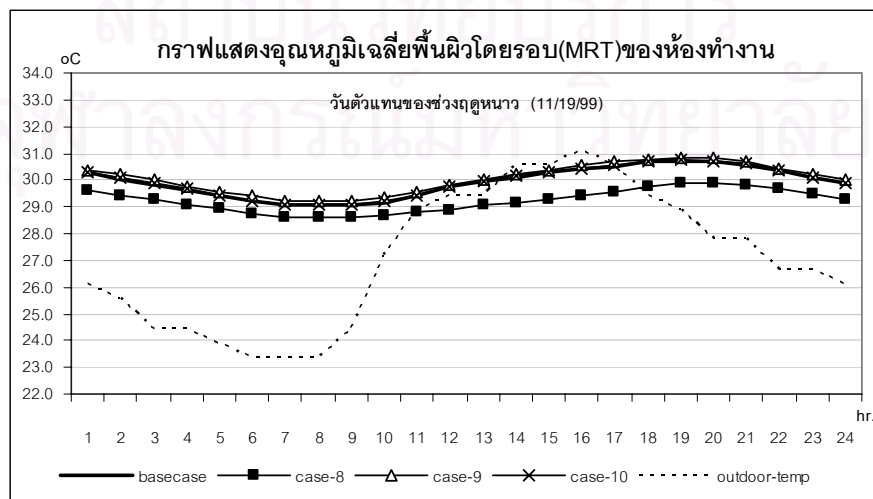
แผนภูมิที่ 5.124 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิกายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



แผนภูมิที่ 5.125 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



แผนภูมิที่ 5.126 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



แผนภูมิที่ 5.127 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)

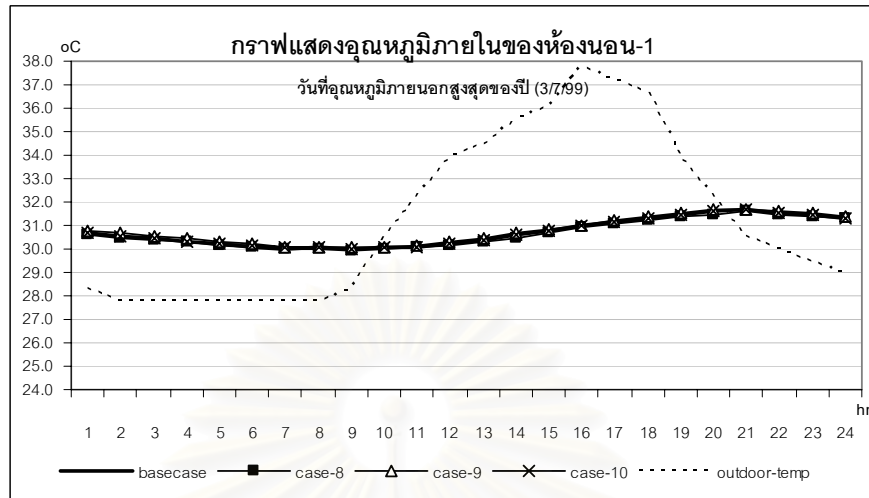
จากแผนภูมิที่ 5.120-5.121 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด และแนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้น จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1.5-2 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 30-32 °C ซึ่งอยู่สูงกว่าเขตสภาวะน่าสบาย และการปรับปรุงในแนวทางที่ 10 ด้วยการใช้กระจกติดฟิล์มจะช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในได้ประมาณ 0.5 °C สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของแนวทางที่ 8 จะมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 30 °C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของแนวทางที่ 9 และ แนวทางที่ 10 นั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง

จากแผนภูมิที่ 5.122-5.123 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงาน ในวันที่วันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด และแนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้น จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 2 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 30-30.3 °C ซึ่งอยู่ใกล้เขตสภาวะน่าสบาย และการปรับปรุงในแนวทางที่ 10 ด้วยการใช้กระจกติดฟิล์มจะช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในได้ประมาณ 0.5 °C สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของแนวทางที่ 8 จะมีค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 31 °C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของแนวทางที่ 9 และ แนวทางที่ 10 นั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง

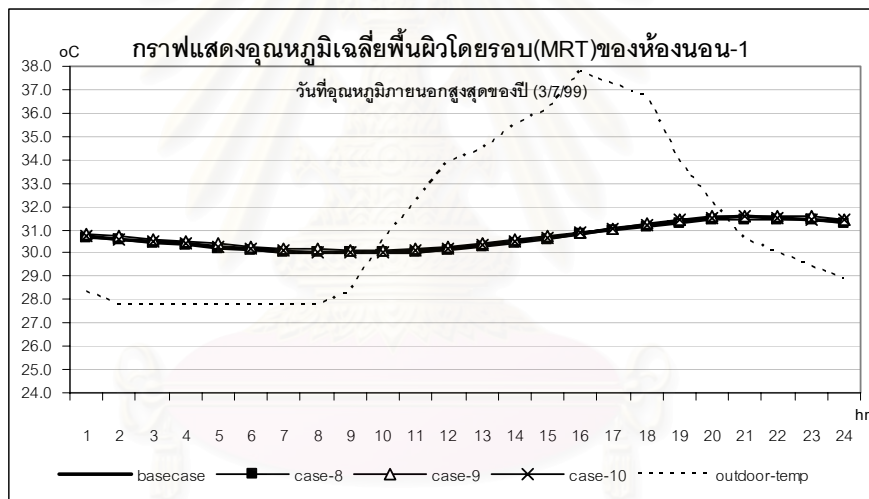
จากแผนภูมิที่ 5.124-5.125 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด จะทำให้อุณหภูมิภายในลดลงประมาณ 1.5 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 23-25 °C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 24.5 °C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง สำหรับการปรับปรุงในแนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้นและแนวทางที่ 10 ด้วยการใช้กระจกติดฟิล์มนั้นจะมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง

จากแผนภูมิที่ 5.126-5.127 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันที่วันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดดจะทำให้อุณหภูมิภายในลดลงประมาณ 2 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 29-30 °C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30 °C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งเกิดหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง สำหรับการปรับปรุงในแนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้นและแนวทางที่ 10 ด้วยการใช้กระจกติดฟิล์มนั้นจะมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง

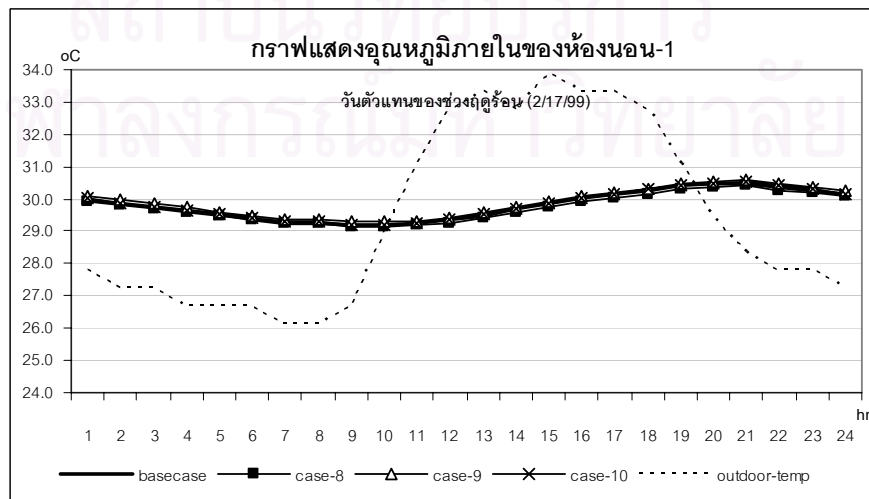
ค) ห้องนอน-1 (บริเวณชั้นสอง)



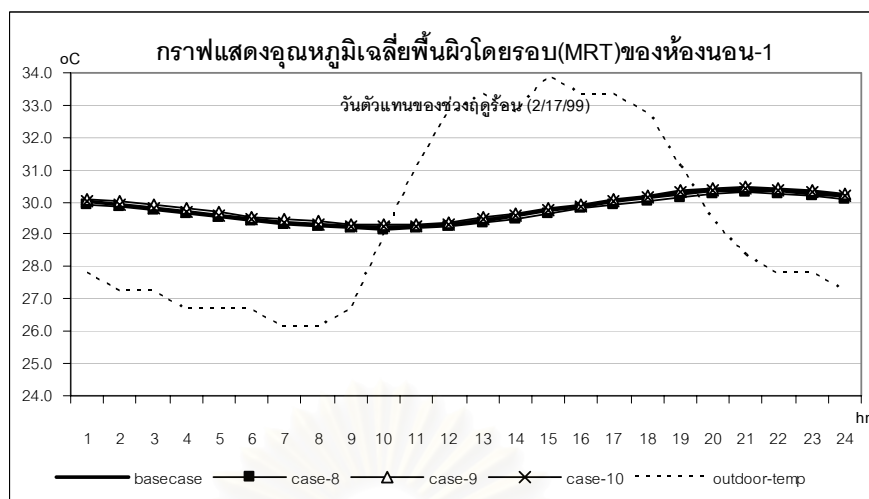
แผนภูมิที่ 5.128 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



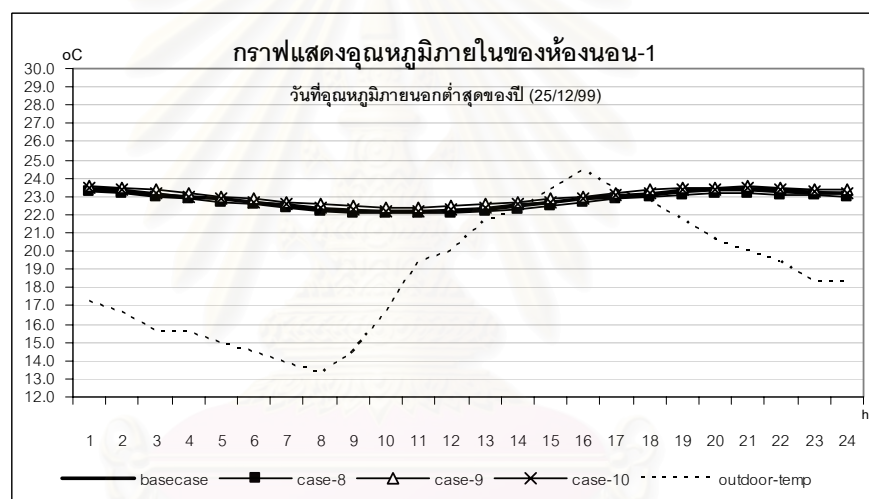
แผนภูมิที่ 5.129 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



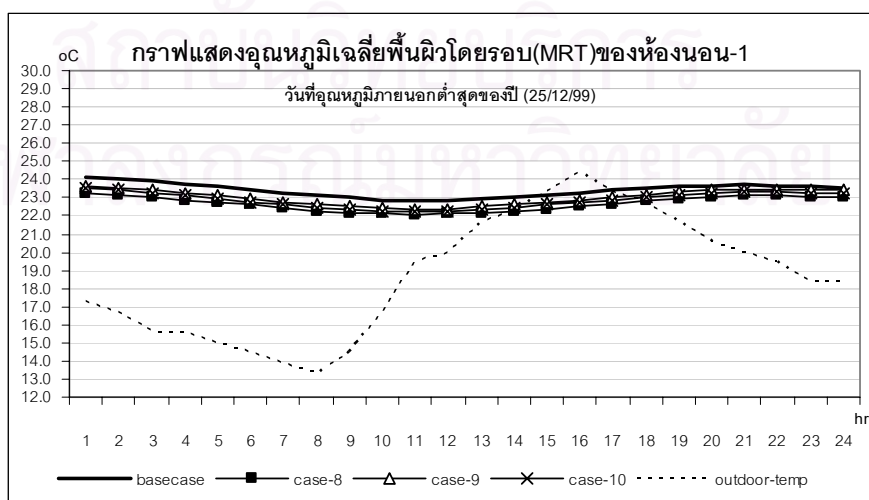
แผนภูมิที่ 5.130 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



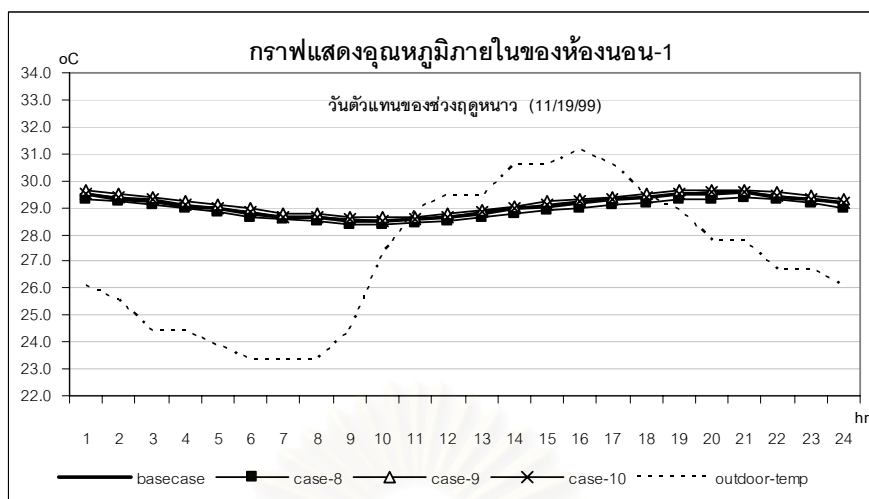
แผนภูมิที่ 5.131 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



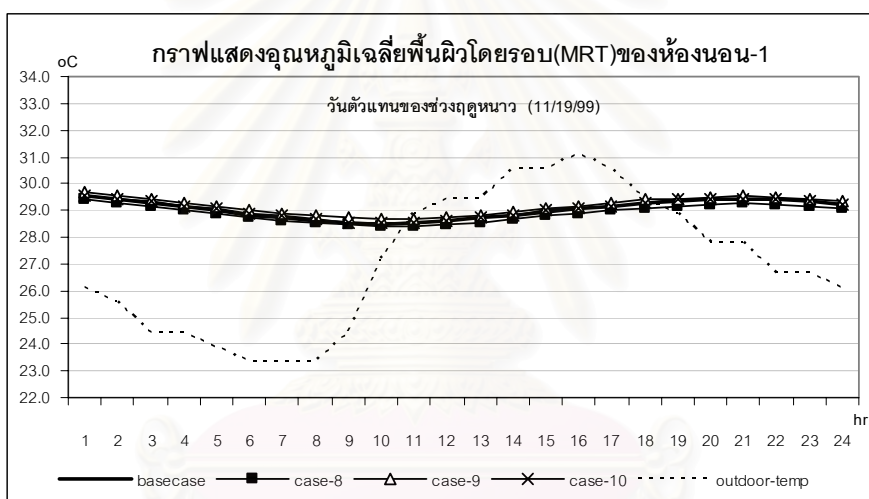
แผนภูมิที่ 5.132 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิกายนอกลดต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



แผนภูมิที่ 5.133 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิกายนอกลดต่ำสุดของปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



แผนภูมิที่ 5.134 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



แผนภูมิที่ 5.135 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)

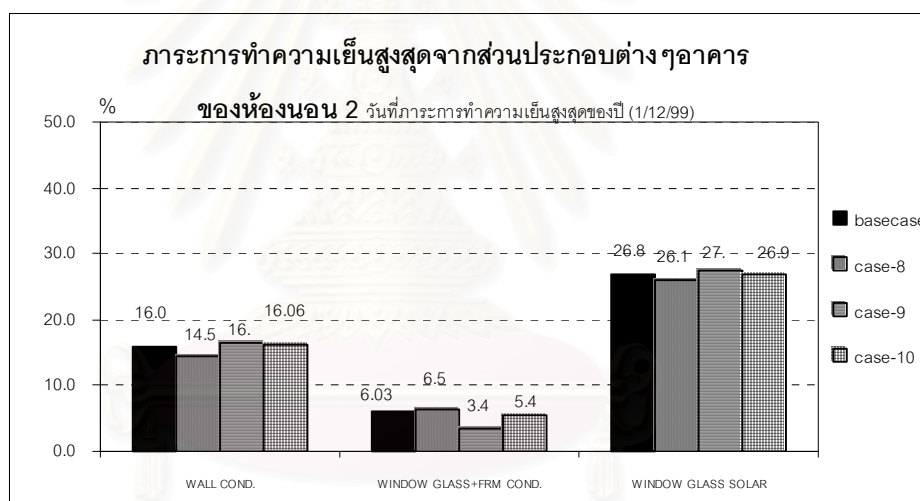
จากแผนภูมิที่ 5.128-5.129 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่า การปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด, แนวทางที่ 9 ด้วยการใส่กระจกสองชั้นและแนวทางที่ 10 ด้วยการใส่กระจกติดฟิล์ม ที่มีค่าอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 30-31.5 °C

จากแผนภูมิที่ 5.130-5.131 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่า การปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด, แนวทางที่ 9 ด้วยการใส่กระจกสองชั้นและแนวทางที่ 10 ด้วยการใส่กระจกติดฟิล์ม จะมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 29-30 °C

จากแผนภูมิที่ 5.132-5.133 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด, แนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้นและแนวทางที่ 10 ด้วยการใช้กระจกติดฟิล์ม มีค่าอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 22-23.5°C

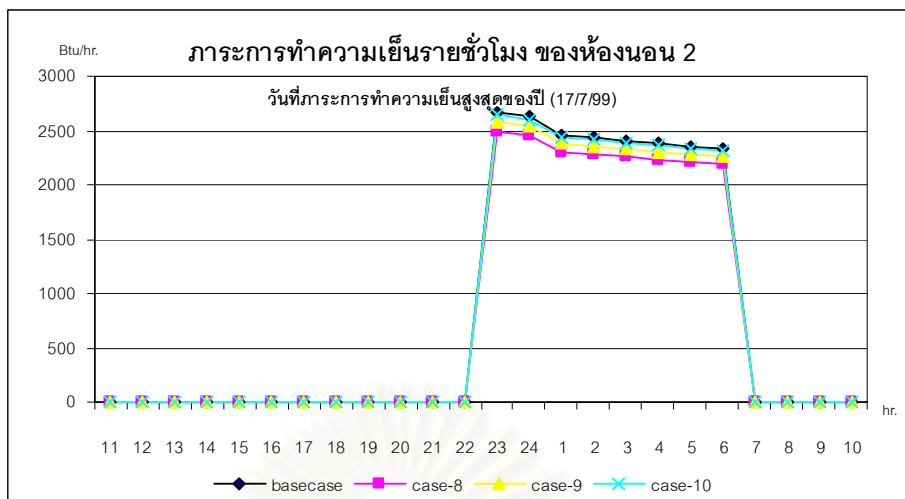
จากแผนภูมิที่ 5.134-5.135 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่วันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด, แนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้นและแนวทางที่ 10 ด้วยการใช้กระจกติดฟิล์ม จะมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 22-23 °C

ง) ห้องนอน 2 (บริเวณชั้นสาม)



แผนภูมิที่ 5.136 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน- 2 (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

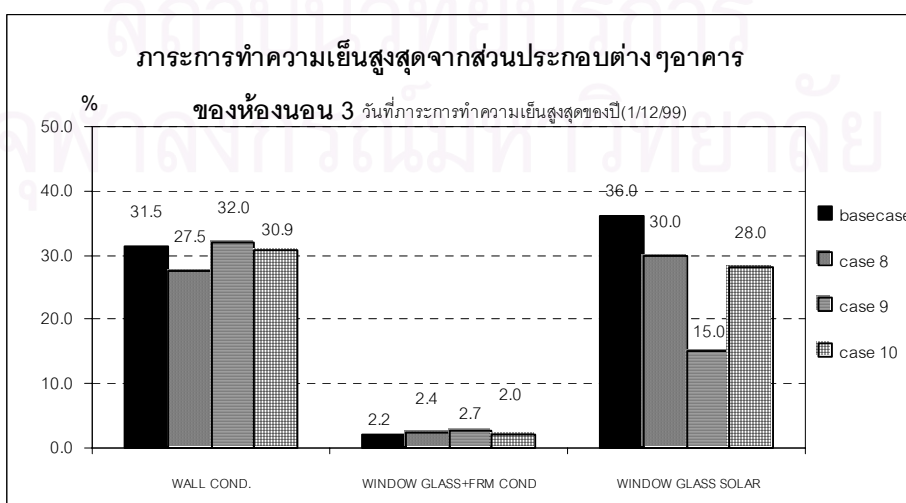


แผนภูมิที่ 5.137 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-2 (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)

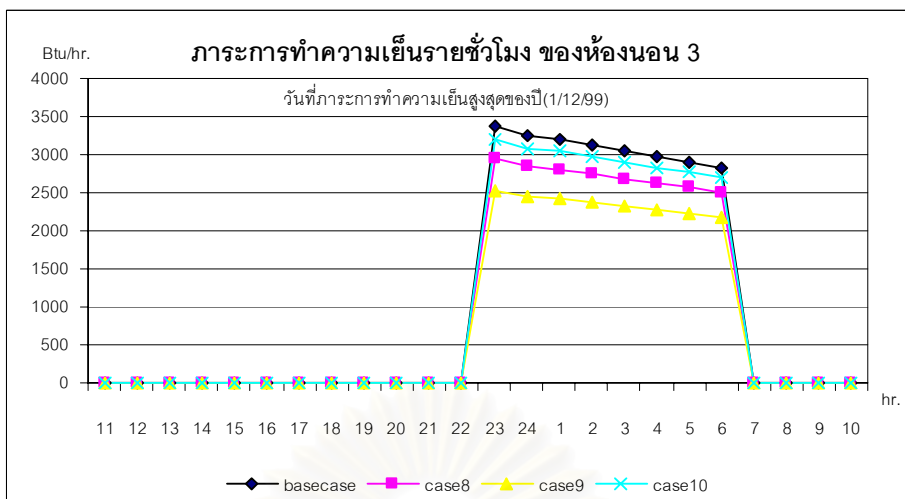
จากแผนภูมิที่ 5.136 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-2 จะพบว่า การปรับปรุงกระจกหน้าต่างทั้ง 3 วิธี จะทำให้ปริมาณความร้อนที่ได้รับผ่านเข้ามาทางกระจกหน้าต่างลดลงเพียงเล็กน้อย เพราะว่าห้องนอน-2 ที่ตั้งอยู่ทางด้านทิศเหนือจะได้รับผลกระทบจากรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างน้อยกว่าด้านอื่นๆ ดังนั้นจึงช่วยลดความร้อนที่ผ่านเข้าทางกระจกได้ไม่มากนัก

จากแผนภูมิที่ 5.137 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน-2 ในวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุด จะพบว่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของการปรับปรุงกระจกหน้าต่างทั้ง 3 วิธีจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยในการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดดจะช่วยลดการใช้พลังงานลดลงกว่าเดิมประมาณ 8 % ส่วนในการปรับปรุงแนวทางที่ 9 และ 10 จะมีค่าใกล้เคียงกับอาคารก่อนปรับปรุง

จ) ห้องนอน 3 (บริเวณชั้นสาม)



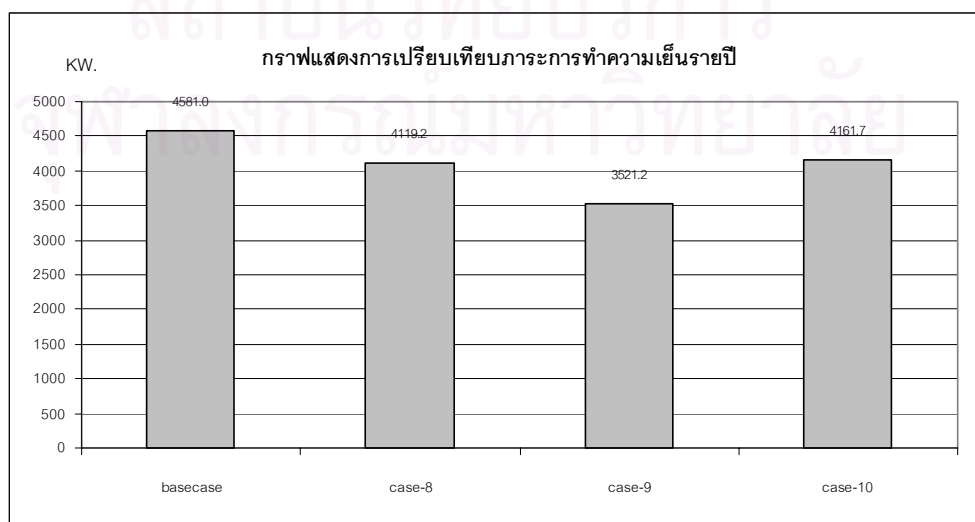
แผนภูมิที่ 5.138 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-3 (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



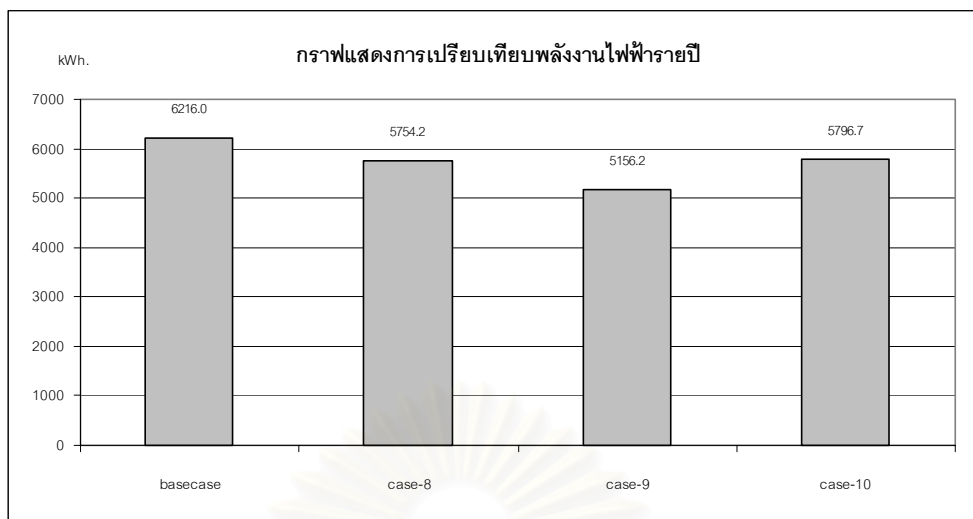
แผนภูมิที่ 5.139 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-3 (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)

จากแผนภูมิที่ 5.138 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-3 จะพบว่าปริมาณความร้อนที่บริเวณผนังอาคารของการปรับปรุงทั้ง 3 แนวทาง จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณความร้อนที่บริเวณกระจกหน้าต่างจะมีค่าแตกต่างกัน โดยในการปรับปรุงแนวทางที่ 9 ที่มีการใช้กระจก 2 ชั้น จะช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในห้องเหลือเพียง 16% เท่านั้น ส่วนในการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ที่มีการติดตั้งแผงกันแดด และแนวทางที่ 10 ที่มีการใช้กระจกติดฟิล์มจะช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในห้องเหลือเพียง 30% และ 28% ตามลำดับซึ่งจะน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 6-8%

จากแผนภูมิที่ 5.139 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน-3 ในวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุด จะพบว่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของการปรับปรุงกระจกหน้าต่างทั้ง 3 วิธี จะมีค่าแตกต่างกัน โดยในการปรับปรุงแนวทางที่ 9 ที่มีการใช้กระจก 2 ชั้น จะทำให้การใช้พลังงานลดลงน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 28 % ส่วนการปรับปรุงในแนวทางที่ 8 และ 10 จะทำให้การใช้พลังงานลดลงน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 14 % และ 8% ตามลำดับ



แผนภูมิที่ 5.140 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)



แผนภูมิที่ 5.141 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปี (การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง)

จากแผนภูมิที่ 5.140 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร จะพบว่า การปรับปรุงอาคารในแนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้น จะทำให้ปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อทำความเย็นรวมตลอดทั้งปีลดลงเหลือเพียง 3,521 kW. ซึ่งน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 23 % ส่วนแนวทางที่ 8 และ แนวทางที่ 10 มีปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อทำความเย็นรวมตลอดทั้งปีลดลงเหลือ 4,119 kWh. และ 4,161 kWh. ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 10 %

จากแผนภูมิที่ 5.141 จะพบว่า การปรับปรุงอาคารในแนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้น จะทำให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปีของอาคารลดลงเหลือเพียง 5,754 kWh. ซึ่งน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 17 % ส่วนแนวทางที่ 8 และ แนวทางที่ 10 มีปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปีลดลงเหลือประมาณ 5,754 และ 5,796 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 7.5 %

5.2.3.2 ผลสรุปของการปรับปรุงกระจกหน้าต่าง (แนวทางที่ 8 – แนวทางที่ 10)

ก) ด้านสภาวะน่าสบาย จากผลการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายของอาคารที่ทำการปรับปรุงกระจกหน้าต่างนี้จะมีผลต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคารทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว ดังนี้

(ก) ในฤดูร้อน การปรับปรุงกระจกหน้าต่างในแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดดและในแนวทางที่ 9 ด้วยการใช้กระจกสองชั้นจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องรับแขกและห้องทำงานที่ตั้งอยู่ทางทิศใต้มีค่าอยู่ระหว่าง 29–30.5 °C ซึ่งลดลงจากเดิมประมาณ 1-2 °C และจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดอยู่ที่เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากที่เวลาอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง ในการปรับปรุงแนวทางที่ 10 ด้วยการใส่กระจกติดฟิล์มจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงเพียงเล็กน้อย สำหรับห้องนอน -1 ที่ตั้งอยู่ทางทิศเหนือ เมื่อทำการปรับปรุงแล้วจะช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องได้เพียงเล็กน้อยเช่นกัน

(ข) ในฤดูหนาว การปรับปรุงกระจกหน้าต่างในแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดด จะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องรับแขกและห้องทำงาน ที่ตั้งอยู่ทางทิศใต้มีค่าอยู่ระหว่าง 28.5 – 29.5 °C ซึ่งลดลงจากเดิมประมาณ 1-1.5 °C และจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดอยู่ที่เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากที่เวลาอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง ส่วนการปรับปรุงในแนวทางที่ 9 ด้วยการใส่กระจกสองชั้นและในแนวทางที่ 10 ด้วยการใส่กระจกติดฟิล์มจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลงเพียงเล็กน้อย สำหรับห้องนอน -1 ที่ตั้งอยู่ทางทิศเหนือ เมื่อทำการปรับปรุงแล้ว จะช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องได้เพียงเล็กน้อยเช่นกัน

การเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปี						
การปรับปรุงกระจกหน้าต่าง	ห้องรับแขก		ห้องทำงาน		ห้องนอน-1	
	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)
อาคารก่อนปรับปรุง	7,900	90.2	7,770	88.7	7,640	87.2
แนวทางที่ 8	8,402	95.9	7,910	90.3	8,164	93.2
แนวทางที่ 9	8,278	94.5	7,761	88.6	7,700	87.9
แนวทางที่ 10	8,033	91.7	7,700	87.9	7,660	87.4

ตารางที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปีในการปรับปรุงกระจกหน้าต่าง

และจากตารางที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะน่าสบาย จะพบว่าหลังจากที่ทำการปรับปรุงกระจกหน้าต่างแล้วจะทำให้ชั่วโมงสภาวะน่าสบายภายในอาคารเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 3-5% ซึ่งการปรับปรุงแนวทางที่ 8 ด้วยการติดตั้งแผงกันแดดจะช่วยเพิ่มสภาวะน่าสบายภายในอาคารได้มากกว่าแนวทางอื่นๆ

ข) ด้านการใช้พลังงาน

การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์						
วิธีปรับปรุงอาคาร	เงินลงทุนครั้งแรก (บาท)	ค่าไฟฟ้ารายปี (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (บาท)	ค่าไฟฟ้าตลอดอายุอาคาร 25 ปี (บาท)	ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคาร 25 ปี (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
อาคารก่อนปรับปรุง	0	18,015	0	583,067	583,067	-
แนวทางที่ 8	7,650	16,796	1,219	543,619	551,269	6
แนวทางที่ 9	12,672	14,942	3,073	483,613	496,285	4
แนวทางที่ 10	3,960	16,796	1,219	543,619	547,579	3

ตารางที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในแนวทางต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารที่มีการปรับปรุงกระจกหน้าต่างต่าง จะพบว่าการปรับปรุงอาคารในแนวทางที่ 9 ด้วยการใส่กระจกสองชั้นจะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปีของอาคารลดลงมากที่สุดซึ่งน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 17 % ส่วนแนวทางที่ 8 และแนวทางที่ 10 จะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปีของอาคารลดลงน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 7.5 % แต่เมื่อพิจารณาจาก ตารางที่ 5.12 จะพบว่าในการปรับปรุงแนวทางที่ 9 ด้วยการใส่กระจกสองชั้น จะมีค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคารประมาณ 496,285 บาทและมีระยะเวลาคืนทุน 4 ปี ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าแนวทางอื่นๆ

5.2.4 การปรับปรุงฝ้าเพดานด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน (แนวทางที่ 11)

เนื่องจากช่องใต้หลังคาเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ค่อนข้างมาก ทำให้มีความร้อนถูกสะสมอยู่ภายใต้ช่องหลังคาจำนวนมาก ซึ่งความร้อนบางส่วนจะถูกถ่ายเทผ่านฝ้าเพดานลงมายังห้องด้านล่าง ทำให้ห้องด้านล่างมีอุณหภูมิอากาศภายในที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงควรปรับปรุงฝ้าเพดานให้มีค่าความต้านความร้อนที่สูงขึ้นเพื่อป้องกันความร้อนจากช่องใต้หลังคา ในการปรับปรุงฝ้าเพดานได้ทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน ซึ่งได้ใช้ฉนวนชนิดไฟเบอร์กลาสที่มีพอยต์ดอลูมินัมด้านเดียว ขนาดความหนา 4 “ มีค่าต้านทานความร้อน (R) =11 ซึ่งเป็นฉนวนกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง มีน้ำหนักเบาและติดตั้งได้สะดวก

การปรับปรุง	รายละเอียด	ค่าความต้านทานความร้อน (R) หน่วย(ft ² hF/Btu)	ราคาต่อตารางเมตร (บาท)
แนวทางที่ 11	ฉนวนชนิดไฟเบอร์กลาส หนา 4”	11	250

ตารางที่ 5.13 แสดงคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน

5.2.4.1 ผลการวิเคราะห์ของการปรับปรุงฝ้าเพดาน (แนวทางที่ 11)



แผนภูมิที่ 5.142 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปี (การปรับปรุงฝ้าเพดาน)



แผนภูมิที่ 5.143 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปี (การปรับปรุงฝ้าเพดาน)

จากแผนภูมิที่ 5.142 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร จะพบว่า การปรับปรุงอาคารในแนวทางที่ 11 ทำให้ภาระการทำความเย็นรายปีของอาคารลดลงเหลือ 4,365 kW. ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 5% และในแผนภูมิที่ 5.143 จะพบว่า การปรับปรุงอาคารด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดานนั้นจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งปีของอาคารลงเหลือประมาณ 6,000 kWh ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 3.5 %

5.2.4.2 ผลสรุปของการปรับปรุงหลังคา (แนวทางที่ 11)

ข) ด้านการใช้พลังงาน

การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์						
วิธีปรับปรุงอาคาร	เงินลงทุนครั้งแรก (บาท)	ค่าไฟฟ้ารายปี (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (บาท)	ค่าไฟฟ้าตลอดอายุอาคาร 25 ปี (บาท)	ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคาร 25 ปี (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
อาคารก่อนปรับปรุง	0	18,015	0	583,067	583,067	-
แนวทางที่ 11	12,180	17,400	615	563,168	575,348	20

ตารางที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในแนวทางต่างๆ

จากการปรับปรุงฝ้าเพดานด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน จะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปีของอาคารมีจำนวนลดลงน้อยกว่าเดิมประมาณ 3.5 % และจากตารางที่ 5.14 จะพบว่า การปรับปรุงในแนวทางที่ 11 จะมีค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคาร ประมาณ 575,348

บาท แต่มีระยะเวลาการคืนทุนประมาณ 20 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานเกินไป ดังนั้นจึงไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

5.3 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

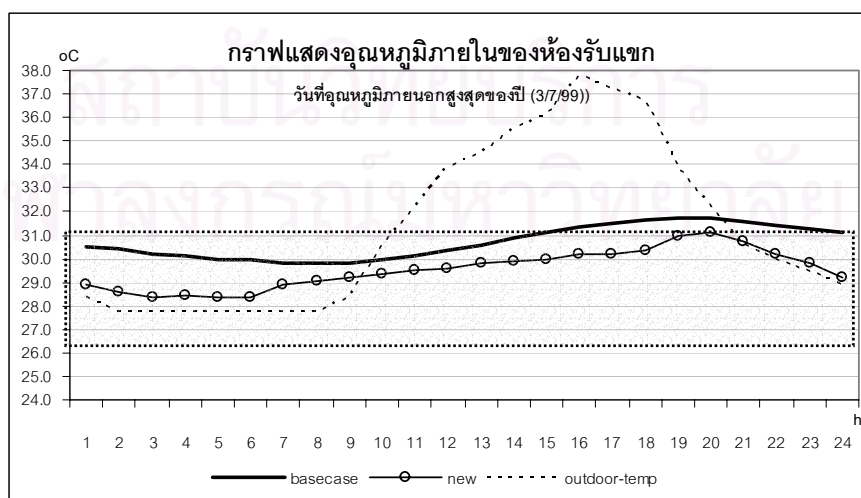
จากการวิเคราะห์และประเมินผลแนวทางการปรับปรุงในวิธีต่างๆ แล้วนั้นจะทำให้สามารถกำหนดแนวทางที่มีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อที่จะนำไปใช้ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาให้มีสภาวะน่าสบายและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยกำหนดแนวทางการปรับปรุงออกเป็น 2 กรณีเพื่อความเหมาะสมในแต่ละส่วน ดังนี้

ก) ด้านสภาวะน่าสบาย แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายที่มีความเหมาะสมได้แก่ การระบายอากาศในตอนกลางคืน , การปรับปรุงผนังทึบเป็นผนังฉนวนที่ติดตั้งด้วยโพลีสไตรีนโฟมหนา 1 " และ การติดตั้งแผงกันแดดบริเวณช่องเปิดหน้าต่าง โดยจะนำไปใช้ปรับปรุงพื้นที่ที่มีการปรับอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

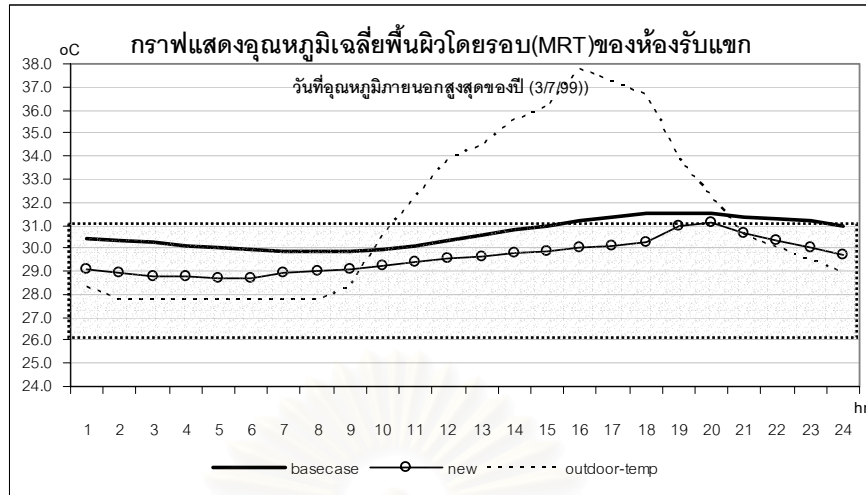
ค) ด้านการใช้พลังงาน แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพที่มีความเหมาะสมทางด้านเทคนิค ได้แก่ การปรับปรุงผนังทึบเป็นผนังฉนวนที่ติดตั้งด้วยโพลีสไตรีนโฟมหนา 1 " , การใช้กระจกสองชั้น และ การปรับปรุงฝ้าเพดานด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน โดยจะนำไปใช้ปรับปรุงพื้นที่ที่มีการปรับอากาศด้วยวิธีเครื่องกล หลังจากที่ได้กำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาข้างต้นแล้ว จึงได้นำแนวทางต่างๆเหล่านี้ไปใช้ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาร่วมกันอีกครั้งเพื่อทำการวิเคราะห์และประเมินผลของการปรับปรุงอาคารแล้วจึงสามารถจะกำหนดเป็นแนวทางการออกแบบบ้านแถวต่อไป

5.3.1 ผลการวิเคราะห์ของการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

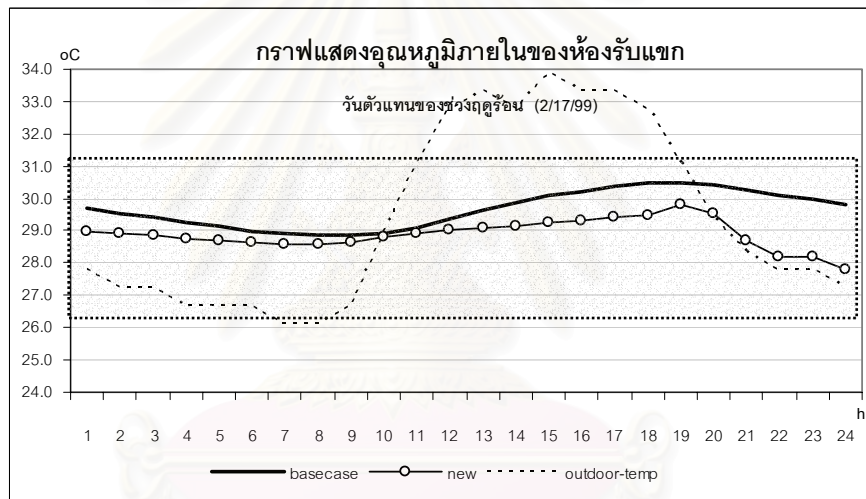
5.3.1.1 ห้องรับแขก (บริเวณชั้นล่าง)



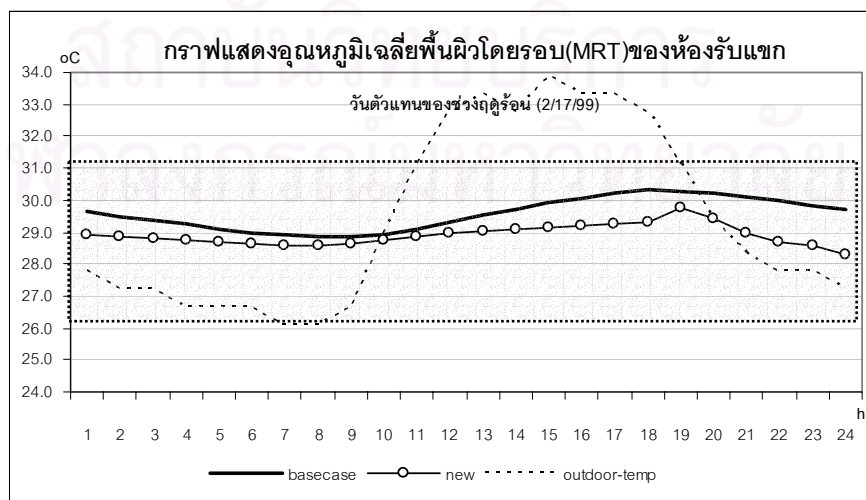
แผนภูมิที่ 5.144 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



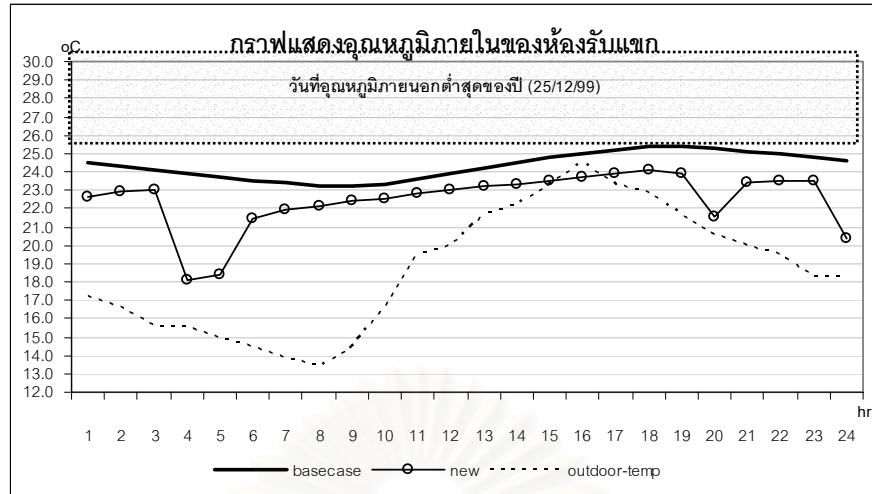
แผนภูมิที่ 5.145 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



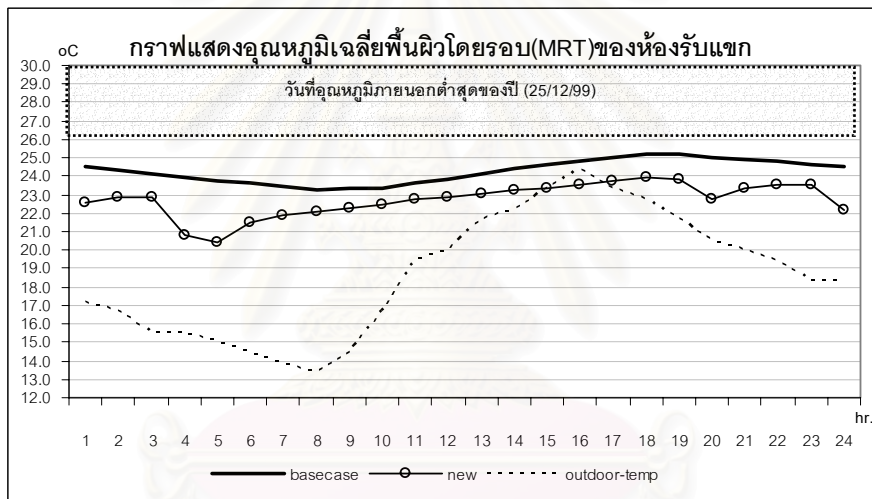
แผนภูมิที่ 5.146 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



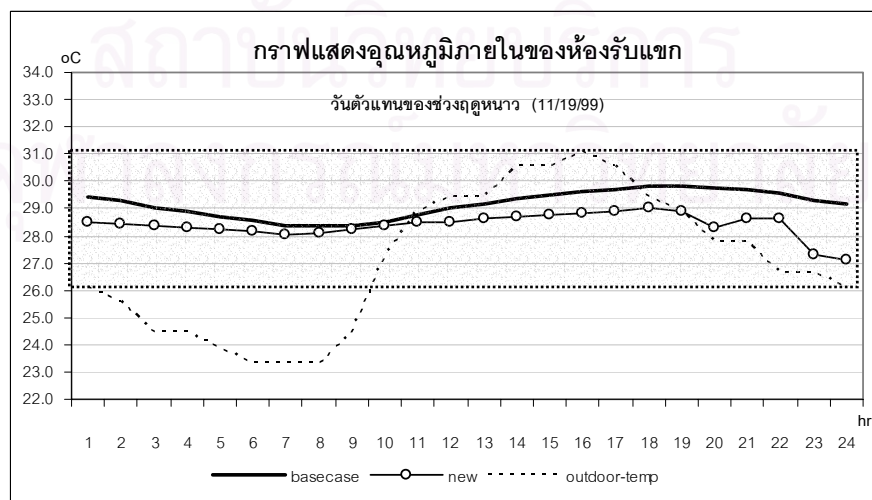
แผนภูมิที่ 5.147 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



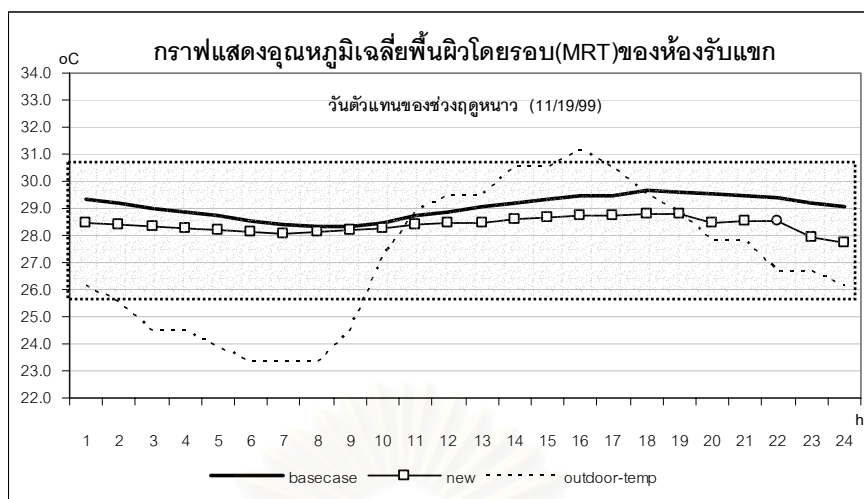
แผนภูมิที่ 5.148 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



แผนภูมิที่ 5.149 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



แผนภูมิที่ 5.150 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



แผนภูมิที่ 5.151 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องรับแขกในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)

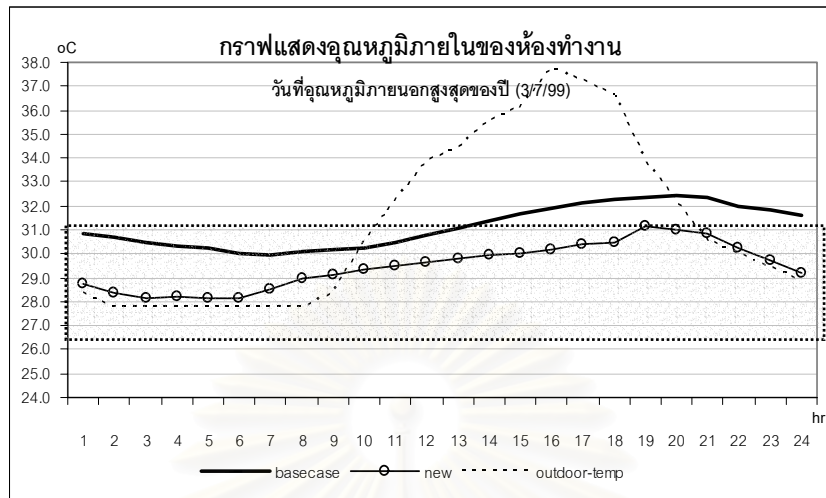
จากแผนภูมิที่ 5.144 - 5.145 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1-2 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28.5 - 31 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 31 °C ณ.เวลา 20.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.146 - 5.147 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องรับแขก ในวันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 0.5-2 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28.5-30 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30 °C ณ.เวลา 19.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมง

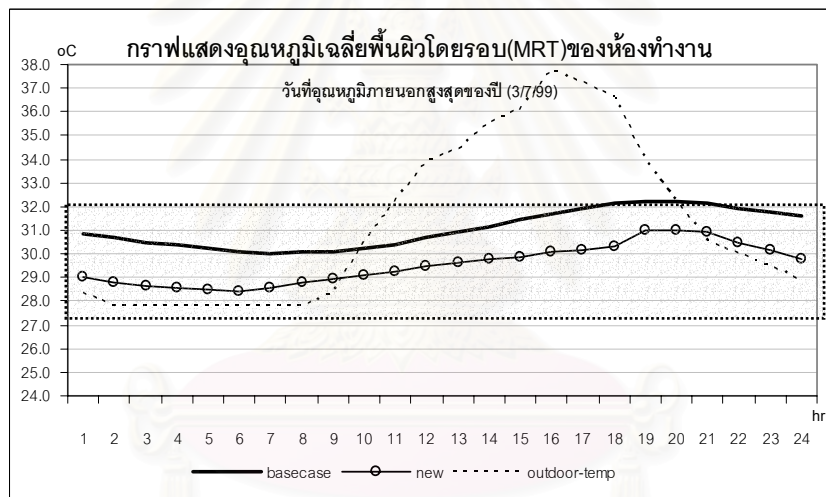
จากแผนภูมิที่ 5.148 - 5.149 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 0.5 - 5 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 18 - 24 °C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 24 °C ณ.เวลา 19.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.150 - 5.151 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องรับแขกในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 0.5 - 2 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28 - 29 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 29 °C ณ.เวลา 19.00 น.ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

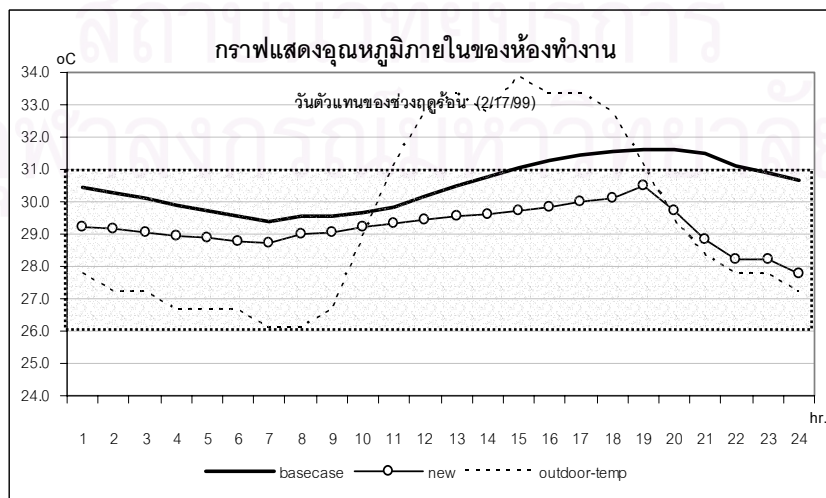
5.3.1.2 ห้องทำงาน (บริเวณชั้นสอง)



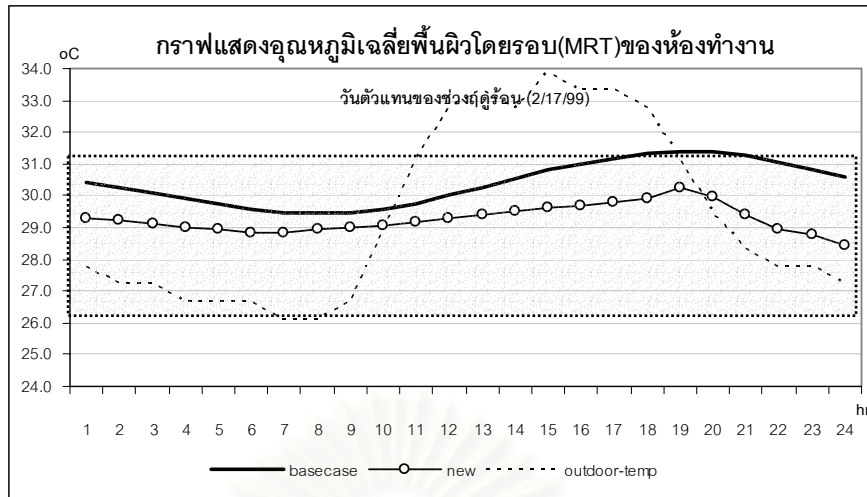
แผนภูมิที่ 5.152 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



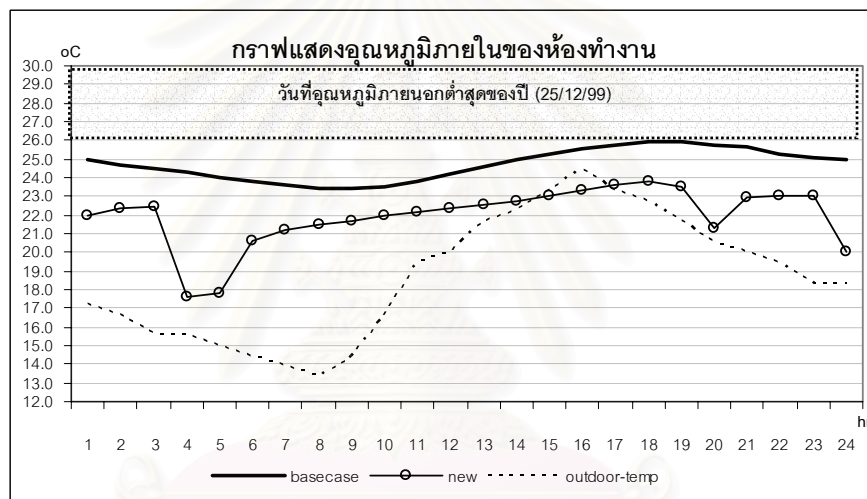
แผนภูมิที่ 5.153 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



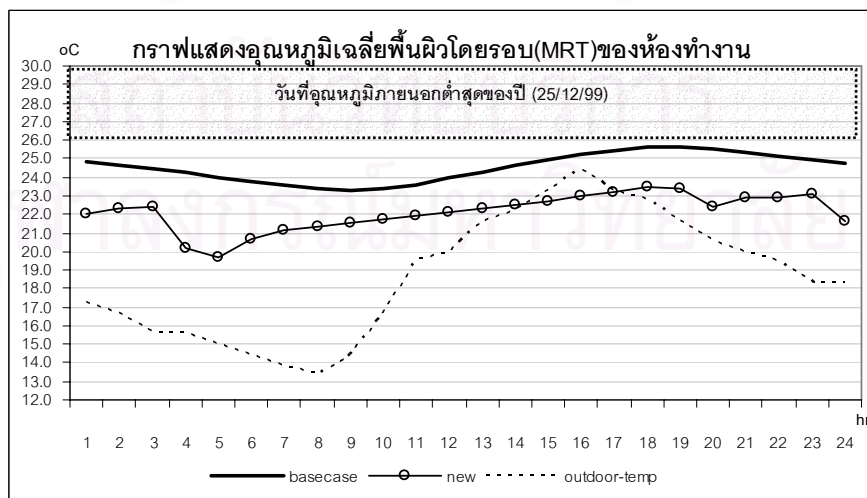
แผนภูมิที่ 5.154 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



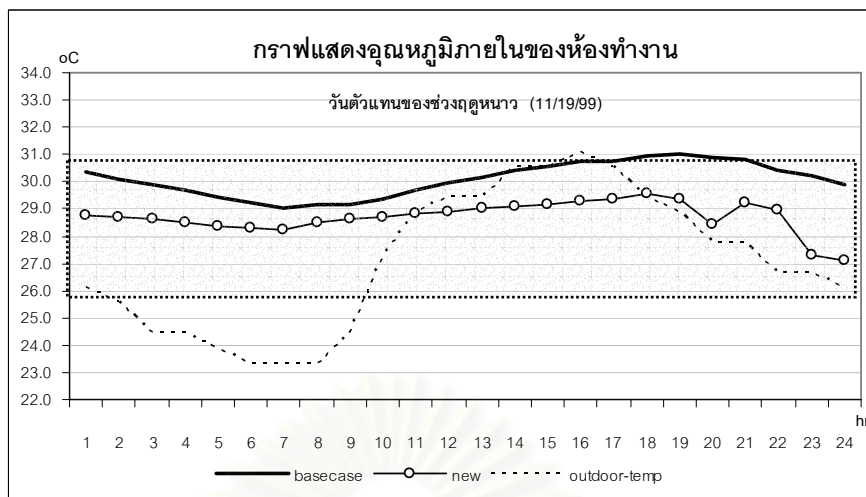
แผนภูมิที่ 5.155 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



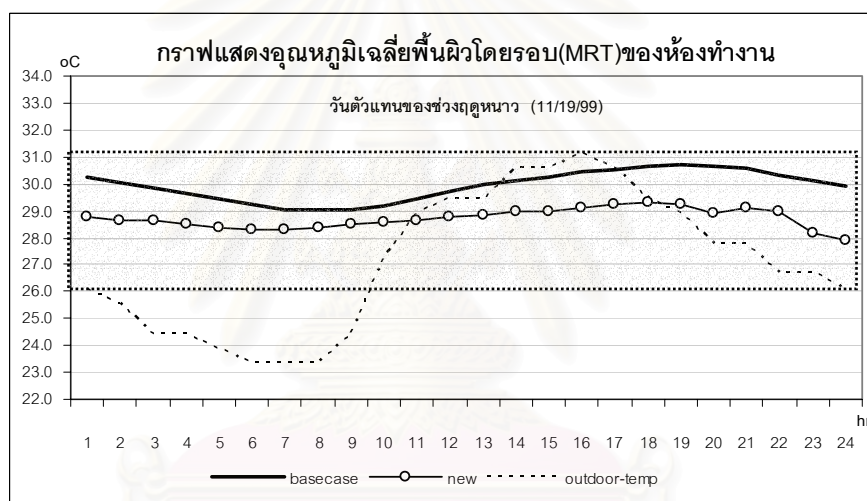
แผนภูมิที่ 5.156 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



แผนภูมิที่ 5.157 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



แผนภูมิที่ 5.158 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว
(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



แผนภูมิที่ 5.159 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องทำงานในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว
(การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)

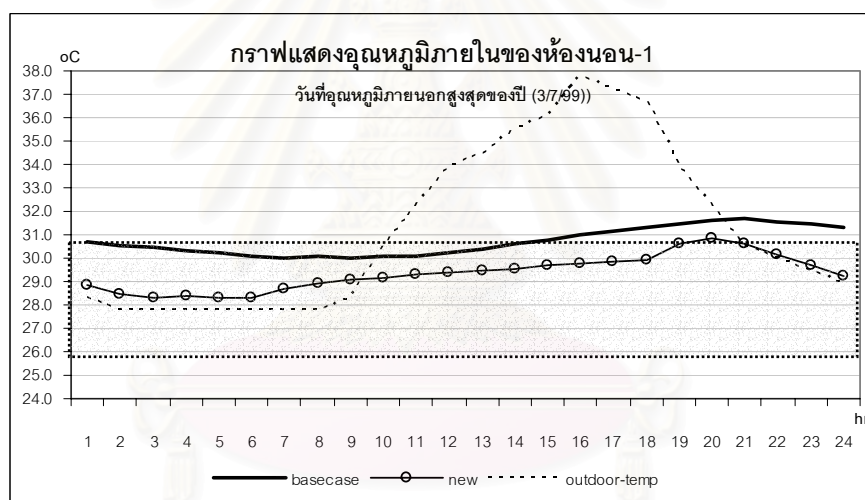
จากแผนภูมิที่ 5.152 - 5.153 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่า การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1 - 2.5 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28 - 31 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 31 °C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.154 - 5.155 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบของห้องทำงาน ในวันตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่า การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1 - 3 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28 - 30.5 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30 °C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

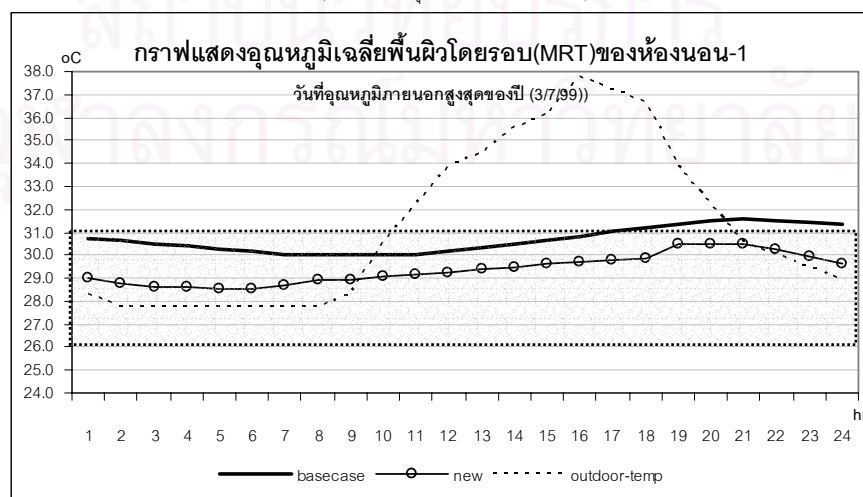
จากแผนภูมิที่ 5.156 - 5.157 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ $1 - 6^{\circ}$ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $17 - 24^{\circ}\text{C}$ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 24°C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.158 - 5.159 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องทำงานในวันตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ $1 - 3^{\circ}$ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $27.5 - 29.5^{\circ}\text{C}$ ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 29.5°C ณ เวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

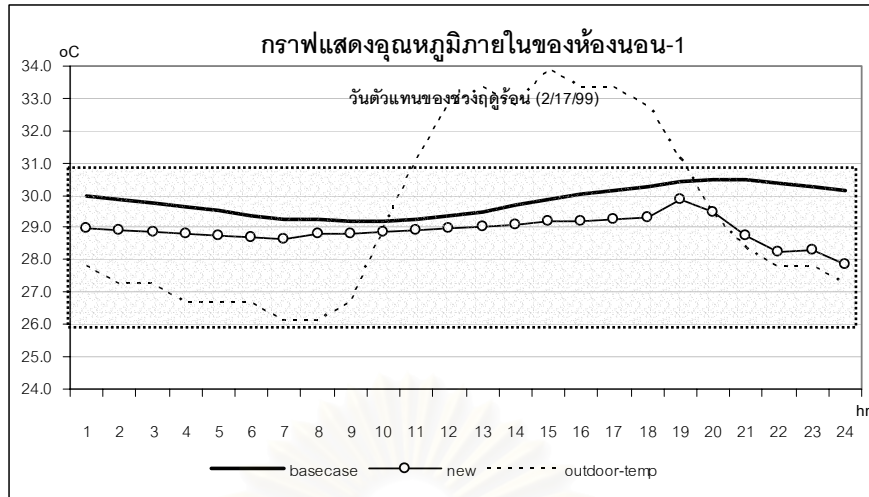
5.3.1.3 ห้องนอน-1 (บริเวณชั้นสอง)



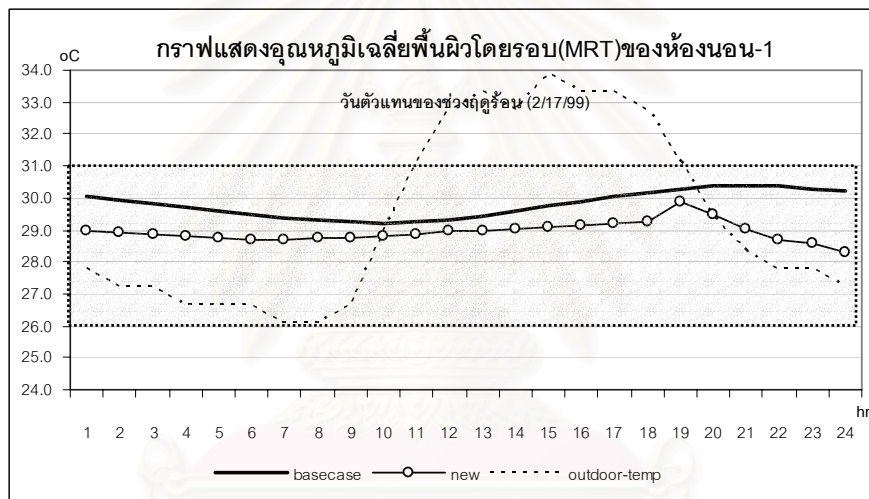
แผนภูมิที่ 5.160 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



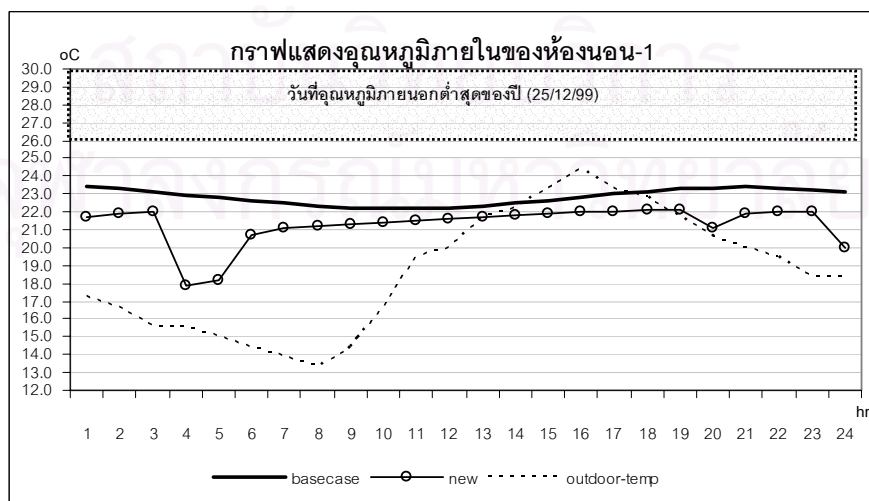
แผนภูมิที่ 5.161 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (MRT) ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



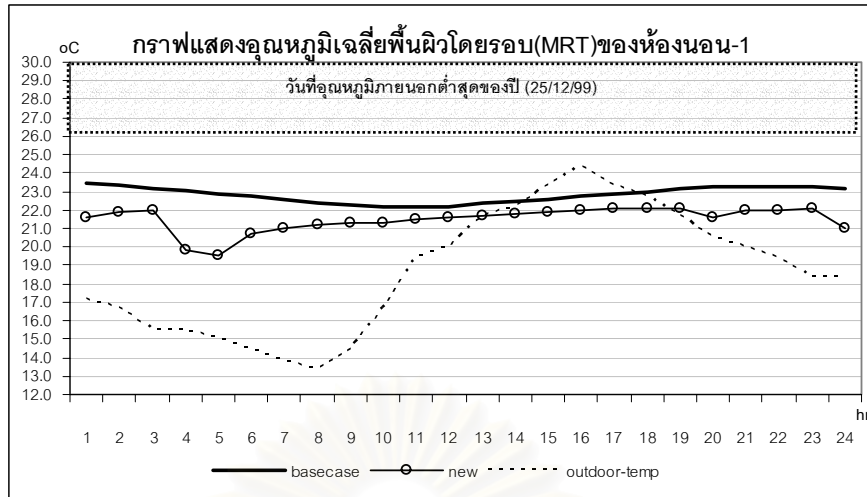
แผนภูมิที่ 5.162 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



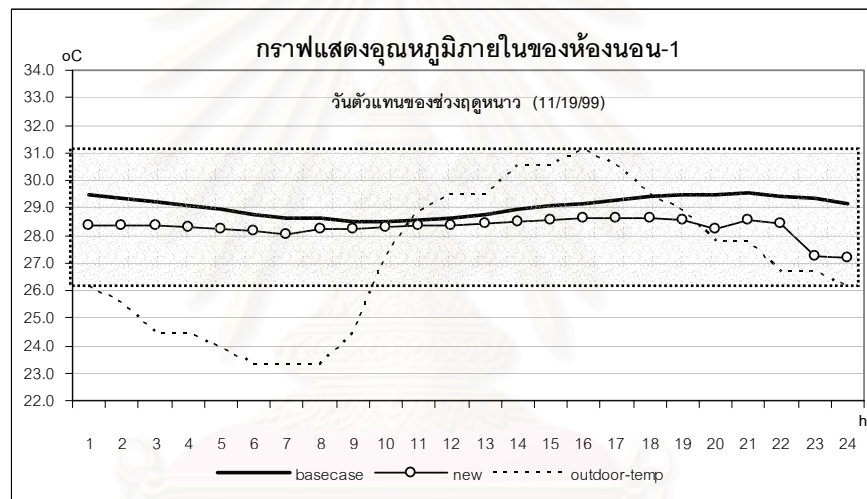
แผนภูมิที่ 5.163 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของช่วงฤดูร้อน (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



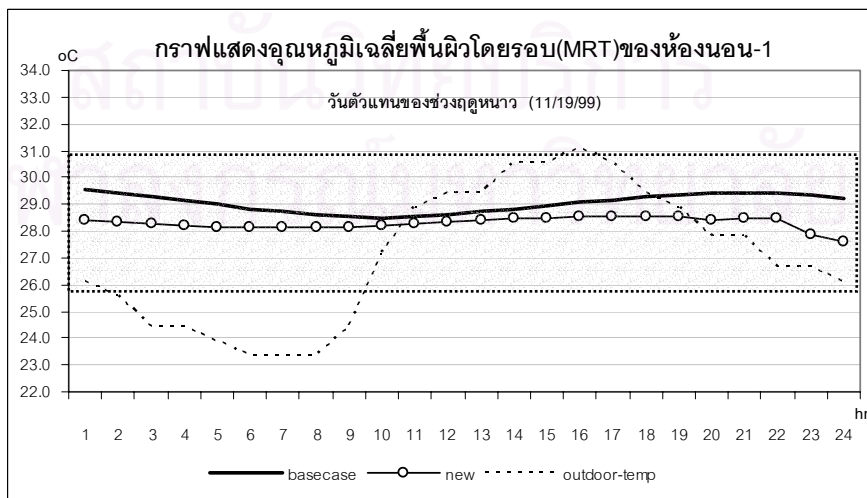
แผนภูมิที่ 5.164 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



แผนภูมิที่ 5.165 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



แผนภูมิที่ 5.166 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



แผนภูมิที่ 5.167 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ(MRT)ของห้องนอน-1 ในวันตัวแทนของช่วงฤดูหนาว (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)

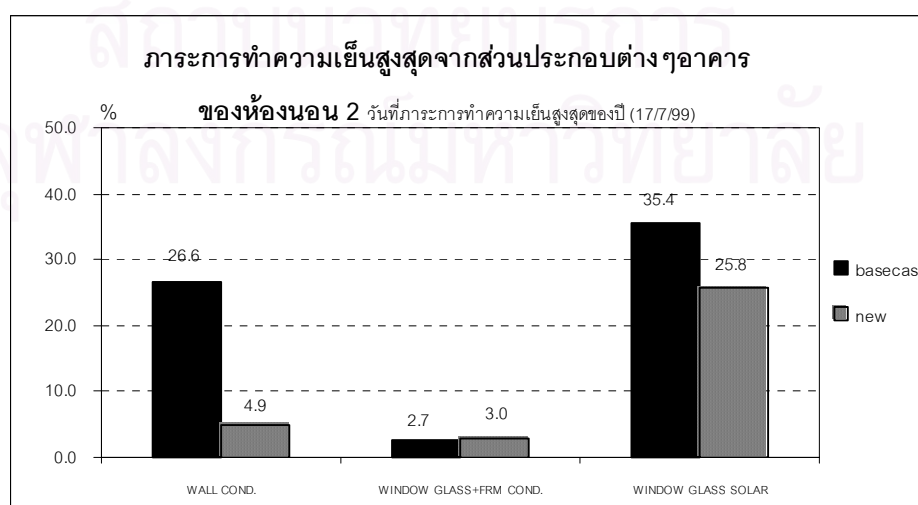
จากแผนภูมิที่ 5.160 - 5.161 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1 - 2 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28 - 31 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30.5 °C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.162 - 5.163 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของฤดูร้อน จะพบว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1 - 2 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28 - 30 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 30 °C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

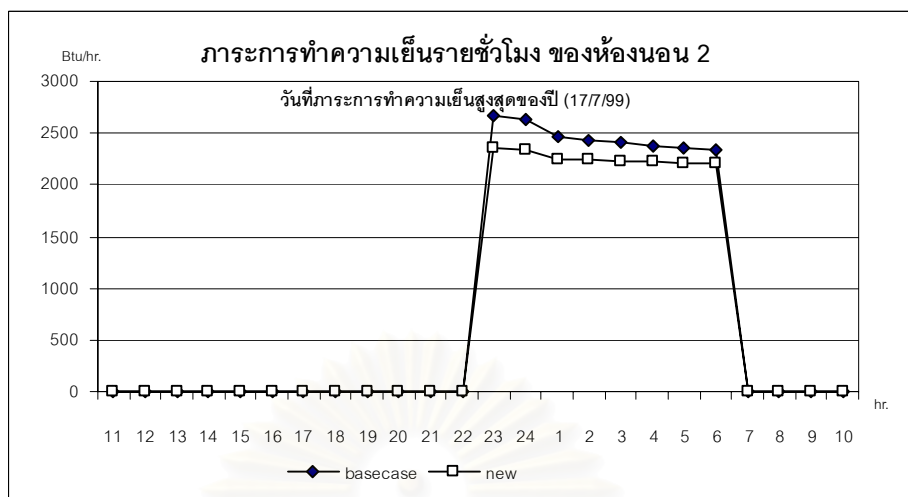
จากแผนภูมิที่ 5.164 - 5.165 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี จะพบว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1 - 5 ° โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 18 - 22 °C ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 22 °C ณ เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

จากแผนภูมิที่ 5.166 - 5.167 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบของห้องนอน-1 ในวันที่ตัวแทนของฤดูหนาว จะพบว่าการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจะทำให้อุณหภูมิอากาศภายในลดลงประมาณ 1 - 2 ° โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 27.5 - 28.5 °C ซึ่งอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 28.5 °C ณ เวลา 18.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 2 ชั่วโมง

5.3.1.4 ห้องนอน 2 (บริเวณชั้นสาม)



แผนภูมิที่ 5.168 แสดงการกระทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มีการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-2 (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)

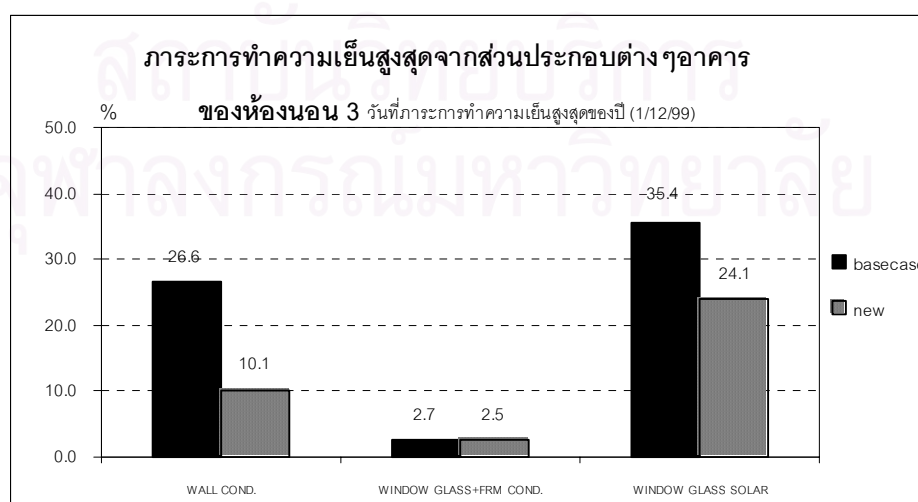


แผนภูมิที่ 5.169 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-2 (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)

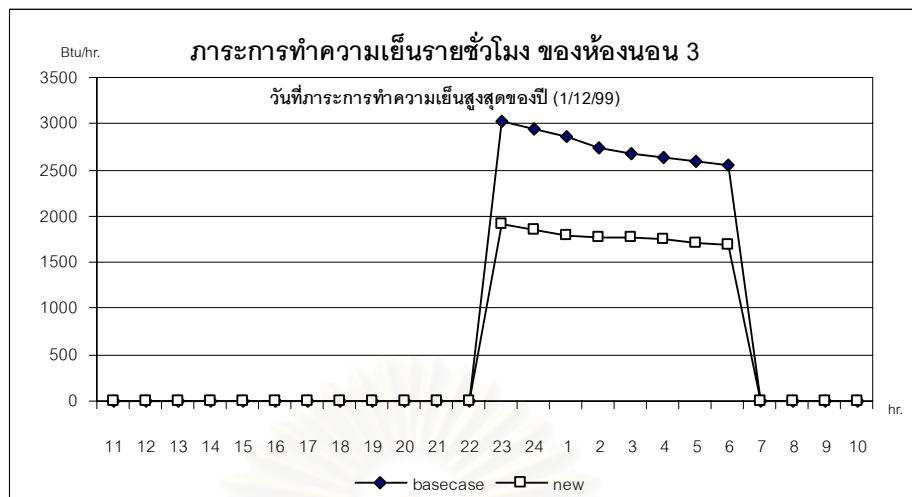
จากแผนภูมิที่ 5.168 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-2 จะพบว่าหลังจากทำการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาแล้วจะทำให้ปริมาณความร้อนที่บริเวณผนังอาคารมีค่าลดลงเหลือเพียง 4.9 % ของปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เข้ามาภายในอาคาร ส่วนปริมาณความร้อนที่บริเวณกระจกหน้าต่างจะมีค่าลดลงเหลือเพียง 25.8 %

จากแผนภูมิที่ 5.169 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน -2 ในวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุด จะพบว่าภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของอาคารหลังการปรับปรุงจะมีจำนวนลดลงน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 12 % และการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นตลอด 8 ชั่วโมงมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 5 %

5.3.1.5 ห้องนอน 3 (บริเวณชั้นสาม)



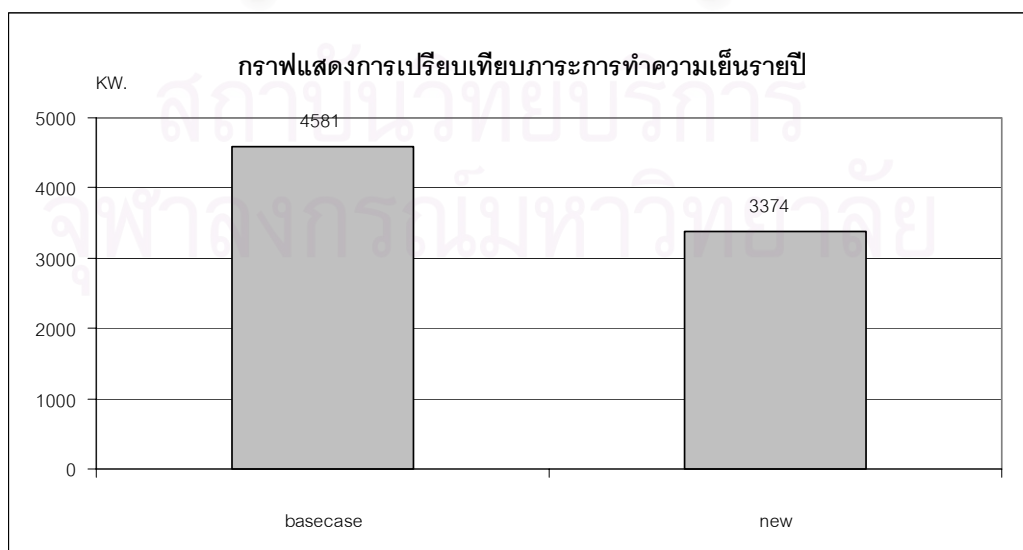
แผนภูมิที่ 5.170 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุดของห้องนอน-3 (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)



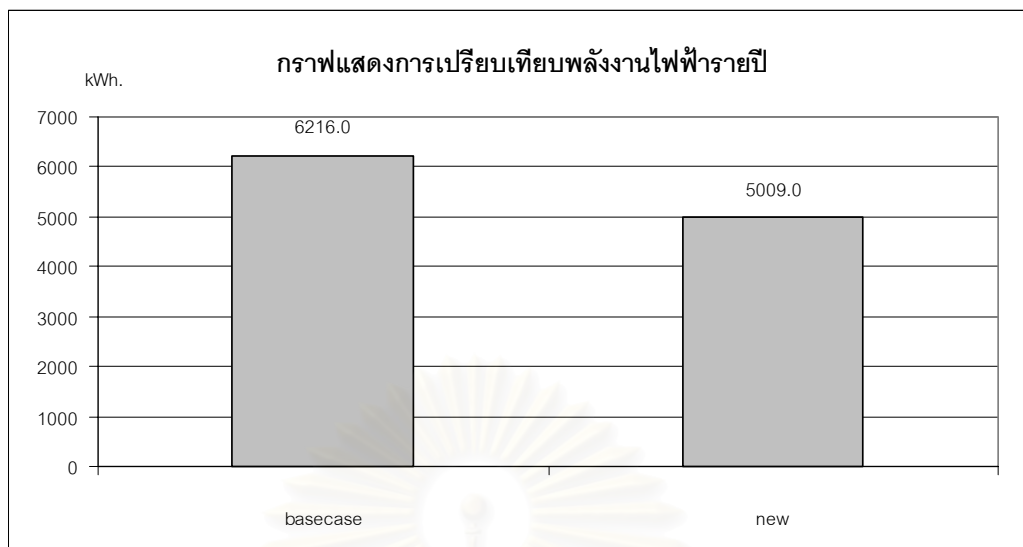
แผนภูมิที่ 5.171 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-3 (การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา)

จากแผนภูมิที่ 5.170 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดจากส่วนประกอบต่างๆอาคารของห้องนอน-3 จะพบว่าหลังจากการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาแล้วจะทำให้ปริมาณความร้อนที่บริเวณผนังอาคารจะมีค่าลดลงเหลือเพียง 10% ของปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เข้ามาภายในอาคาร ส่วนปริมาณความร้อนที่บริเวณกระจกหน้าต่างจะมีค่าลดลงเหลือเพียง 24 %

จากแผนภูมิที่ 5.171 แสดงภาระการทำความเย็นรายชั่วโมงของห้องนอน-3 ในวันที่มีภาระการทำความเย็นสูงสุด จะพบว่าหลังการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาแล้วจะทำให้ภาระการทำความเย็นของห้องนอน-3 ลดลงน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 33 % เนื่องจากการปรับปรุงอาคารจะช่วยลดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารได้มาก



แผนภูมิที่ 5.172 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร



แผนภูมิที่ 5.173 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายปี

จากแผนภูมิที่ 5.172 แสดงการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นรายปีของอาคาร จะพบว่า ภาระการทำความเย็นรวมทั้งปีของอาคารหลังการปรับปรุงจะมีจำนวน 3,374 kWh. ซึ่งมีจำนวนลดลง น้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 26 % ส่วนแผนภูมิที่ 5.173 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอด ทั้งปีของอาคารหลังการปรับปรุงจะมีจำนวน 5,009 kWh. ซึ่งมีจำนวนลดลงน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุง ประมาณ 19.4 %

5.3.2 ผลสรุปการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

5.3.2.1 ด้านสภาวะน่าสบาย จากผลการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายของอาคารที่ทำการ ปรับปรุงด้วยแนวทางต่างๆแล้วนั้นได้ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายภายในพื้นที่ที่ปรับอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ ทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว ดังนี้

ก) ในฤดูร้อน การปรับปรุงอาคารด้วยแนวทางต่างๆนี้ จะทำให้อุณหภูมิอากาศ ภายในห้องทางทิศใต้ลดลงจากเดิมประมาณ 1-3 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28 – 30.5 °C และมีค่า อุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากที่เวลาอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง ส่วนทางทิศเหนือจะมีอุณหภูมิอากาศภายในลดลงจากเดิมประมาณ 1-2 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 28 – 30 °C และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากที่เวลาอุณหภูมิภายนอก สูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

ข) ในฤดูหนาว การปรับปรุงอาคารด้วยแนวทางต่างๆนี้ จะทำให้อุณหภูมิอากาศ ภายในห้องทางทิศใต้ลดลงจากเดิมประมาณ 1-2 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 27 – 29 °C และมีอุณหภูมิ อากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากที่เวลาอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง ส่วนทางทิศเหนือจะมีอุณหภูมิอากาศลดลงจากเดิมประมาณ 1-1.5 °C โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 27-28.5 °C

และมีอุณหภูมิอากาศสูงสุดอยู่ที่เวลา 19.00 น. ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากที่เวลาอุณหภูมิภายนอกสูงสุดประมาณ 3 ชั่วโมง

การเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปี						
การปรับปรุงอาคาร	ห้องรับแขก		ห้องทำงาน		ห้องนอน-1	
	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)	จำนวนชั่วโมง	อัตราส่วน(%)
อาคารก่อนปรับปรุง	7,900	90.2	7,770	88.7	7,640	87.2
อาคารหลังปรับปรุง	8,541	97.5	8,654	98.8	8,590	98.1

ตารางที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปีของการปรับปรุงอาคาร

จากตารางที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงของสภาวะน่าสบาย จะพบว่าหลังจากปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาแล้วจะทำให้ชั่วโมงสภาวะน่าสบายภายในอาคารเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 10 %

5.3.2.2 ด้านการใช้พลังงาน

การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์						
วิธีปรับปรุงอาคาร	เงินลงทุนครั้งแรก (บาท)	ค่าไฟฟ้ารายปี (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัด ได้ต่อปี (บาท)	ค่าไฟฟ้าตลอดอายุ อาคาร 25 ปี (บาท)	ค่าใช้จ่ายรวมตลอด อายุอาคาร 25 ปี (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
อาคารก่อนปรับปรุง	0	18,015	0	583,067	583,067	-
อาคารหลังการ ปรับปรุง	38,892	14,500	3,515	469,307	508,199	11

ตารางที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการปรับปรุงอาคาร

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารหลังการปรับปรุง จะพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปีของอาคารจะมีจำนวนลดลงน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 19.4 % และจากตารางที่ 5.16 จะพบว่าอาคารที่ทำการปรับปรุงแล้วจะมีค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคารประมาณ 508,199 บาท ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 13 % แต่เมื่อพิจารณาระยะเวลาการคืนทุนที่ต้องใช้เวลาถึง 11 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานเกินไป ดังนั้นจึงไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ได้แยกการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์และประเมินสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคาร และส่วนที่สองเป็นการศึกษาแนวทางที่เหมาะสมทั้งด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อจะได้นำแนวการปรับปรุงไปกำหนดแนวทางการออกแบบเบื้องต้นสำหรับบ้านแถวให้มีสภาวะน่าสบายเพิ่มขึ้นและมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป จากผลการศึกษาในบทที่ 4 และ บทที่ 5 สามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 การวิเคราะห์และประเมินอาคารกรณีศึกษา

6.1.1 ปัญหาภายในอาคารกรณีศึกษา

อาคารกรณีศึกษานี้จะมีปัญหาเกี่ยวกับระบบเปลือกอาคาร เช่น ผนังทึบ , กระจกหน้าต่าง และวัสดุผนังหลังคา ซึ่งมีคุณสมบัติของการต้านทานความร้อนที่ต่ำจึงทำให้ความร้อนจากภายนอกผ่านเข้ามาภายในอาคารได้มาก โดยความร้อนที่เข้ามานี้จะทำให้สภาวะน่าสบายภายในอาคารลดลงและเพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นมากขึ้น

6.1.2 องค์ประกอบอาคารที่ต้องทำการปรับปรุง

6.1.2.1 ด้านสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

- ก) การลดความร้อนภายในอาคารด้วยวิธีการระบายอากาศ
- ข) การลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านทางผนังทึบของอาคาร
- ค) การลดการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ผ่านเข้ามาทางกระจกหน้าต่าง
- ง) การลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน

6.1.2.2 ด้านการใช้พลังงานภายในอาคาร

- ก) ลดภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ
- ข) ลดภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจกหน้าต่าง
- ค) ลดภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน

6.1.3 แนวทางของการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

จากการวิเคราะห์และประเมินอาคารกรณีศึกษาทางด้านสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคาร จะทำให้พบว่าองค์ประกอบอาคารส่วนใดบ้างที่มีผลต่อการสร้างสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานภายในอาคาร ซึ่งได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงอาคารให้มีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยสามารถสรุปแนวทางการปรับปรุงได้ดังนี้

ประเภท	วิธีการปรับปรุง	รายละเอียด
การระบายอากาศ	แนวทางที่ 1	การระบายอากาศตอนกลางคืน
ผนัง	แนวทางที่ 2	ผนังอิฐบุลือกติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 1 "
	แนวทางที่ 3	ผนังอิฐบุลือกติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 2 "
	แนวทางที่ 4	ผนังอิฐบุลือกติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 3 "
	แนวทางที่ 5	ผนังอิฐมวลเบาติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 1 "
	แนวทางที่ 6	ผนังอิฐมวลเบาติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 2 "
	แนวทางที่ 7	ผนังอิฐมวลเบาติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 3 "
กระจกหน้าต่าง	แนวทางที่ 8	การติดตั้งแผงกันแดด
	แนวทางที่ 9	การเปลี่ยนกระจกอาคารเป็นกระจกสองชั้น
	แนวทางที่ 10	การเปลี่ยนกระจกอาคารเป็นกระจกติดฟิล์มสะท้อนแสง
ฝ้าเพดาน	แนวทางที่ 11	การติดตั้งฉนวนใยแก้วไว้บนฝ้าเพดาน

ตารางที่ 6.1 แสดงการปรับปรุงในแนวทางต่างๆ

6.1.4 ผลการประเมินการปรับปรุงในแนวทางต่างๆ

วิธีการปรับปรุง	รายละเอียด	จำนวนชั่วโมงสภาวะนำสบายตลอดทั้งปี (%)	ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคาร 25 ปี (บาท)	ระยะเวลาการคืนทุน (ปี)
ก่อนปรับปรุง		88.7	583,067	-
แนวทางที่ 1	การระบายอากาศตอนกลางคืน	91.2	583,067	-
แนวทางที่ 2	ผนังอิฐบุลือกติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 1 "	92.9	566,602	15
แนวทางที่ 3	ผนังอิฐบุลือกติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 2 "	92.3	571,816	21
แนวทางที่ 4	ผนังอิฐบุลือกติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 3 "	92.0	573,790	24
แนวทางที่ 5	ผนังอิฐมวลเบาติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 1 "	93.3	569,274	18
แนวทางที่ 6	ผนังอิฐมวลเบาติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 2 "	92.5	574,487	24
แนวทางที่ 7	ผนังอิฐมวลเบาติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 3 "	91.9	576,546	27
แนวทางที่ 8	การติดตั้งแผงกันแดด	93.1	551,269	6
แนวทางที่ 9	การเปลี่ยนกระจกอาคารเป็นกระจกสองชั้น	90.3	496,285	4
แนวทางที่ 10	การเปลี่ยนกระจกอาคารเป็นกระจกติดฟิล์มสะท้อนแสง	89.0	547,579	3
แนวทางที่ 11	การติดตั้งฉนวนใยแก้วบนฝ้าเพดาน	-	575,348	20

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการประเมินการปรับปรุงในแนวทางต่างๆ

จากตารางที่ 6.2 ได้ทำการวิเคราะห์และประเมินทางด้านสถานะน่าสบายและการใช้พลังงานทำให้สามารถสรุปแนวทางที่มีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้ดังนี้

6.1.4.1 ด้านสถานะน่าสบาย แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาเพื่อสร้างสถานะน่าสบายที่มีความเหมาะสมได้แก่ การระบายอากาศในตอนกลางคืน , การปรับปรุงผนังทึบเป็นผนังอิฐบล็อกที่ติดตั้งด้วยโพลีสไตรีนโฟมหนา 1 " และ การติดตั้งแผงกันแดดบริเวณช่องเปิดหน้าต่าง โดยจะนำไปใช้ปรับปรุงพื้นที่ที่มีการปรับอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ

6.1.4.2 ด้านการใช้พลังงาน แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพที่มีความเหมาะสมได้แก่ การใช้กระจกสองชั้น โดยจะนำไปใช้ปรับปรุงพื้นที่ที่มีการปรับอากาศด้วยระบบเครื่องกล

วิธีการปรับปรุง	จำนวนชั่วโมงสถานะน่าสบายตลอดทั้งปี (%)	ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคาร 25 ปี (บาท)	ระยะเวลาการคืนทุน (ปี)
ก่อนการปรับปรุง	88.7	583,067	-
หลังการปรับปรุง	98.1	508,199	11

ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอาคารก่อนปรับปรุงและอาคารหลังการปรับปรุง

จากตารางที่ 6.3 จะพบว่าอาคารที่ทำการปรับปรุงด้วยแนวทางต่างๆ แล้วจะทำให้ระดับสถานะน่าสบายภายในอาคารเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมประมาณ 10 % ซึ่งแนวทางที่ใช้ คือ การระบายอากาศในตอนกลางคืน , การปรับปรุงผนังทึบเป็นผนังอิฐบล็อกที่ติดตั้งด้วยโพลีสไตรีนโฟมหนา 1 " และ การติดตั้งแผงกันแดดบริเวณช่องหน้าต่าง ส่วนแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคารนั้น คือ การปรับปรุงผนังทึบเป็นผนังอิฐบล็อกที่ติดตั้งด้วยโพลีสไตรีนโฟมหนา 1 " , การใช้กระจกสองชั้น และการเพิ่มฉนวนบนฝ้าเพดาน ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นของอาคารน้อยกว่าเดิมประมาณ 26 % และลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปีของอาคารน้อยกว่าเดิมประมาณ 19.4 % และเมื่อพิจารณาทางด้านทางเศรษฐศาสตร์การปรับปรุงทั้งหมดจะมีค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคารประมาณ 508,199บาท ซึ่งน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 13 % แต่เมื่อพิจารณาระยะเวลาการคืนทุนจะต้องใช้เวลาประมาณ 11 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานเกินไปจึงไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่จะทำการปรับปรุงด้วยทั้ง 3 วิธีนี้ จึงมีเพียงแนวทางการปรับปรุงด้วยการใช้กระจกสองชั้นเท่านั้นที่มีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่จะนำไปใช้ปรับปรุงพื้นที่อาคารที่มีการปรับอากาศด้วยเครื่องกลซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดทั้งปีน้อยกว่าอาคารก่อนปรับปรุงประมาณ 17 %

6.2 แนวทางการออกแบบบ้านแถว

จากการวิเคราะห์และประเมินผลทางด้านสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานของแนวทางต่างๆ ในข้อ 6.1 จะพบว่าแนวทางที่สามารถนำไปใช้ออกแบบบ้านแถวให้มีสภาวะน่าสบายและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้นสามารถกำหนดได้ดังนี้

6.2.1 ด้านสภาวะน่าสบาย เป็นแนวทางการออกแบบบ้านแถวในพื้นที่ที่ปรับอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ โดยมีแนวทางการออกแบบดังนี้

6.2.1.1 การเพิ่มการระบายอากาศในตอนกลางคืน

6.2.1.2 การปรับปรุงผนังทึบเป็นผนังอิฐบล็อกที่ติดตั้งด้วยโพลีสไตรีนโฟม หนา 1 "

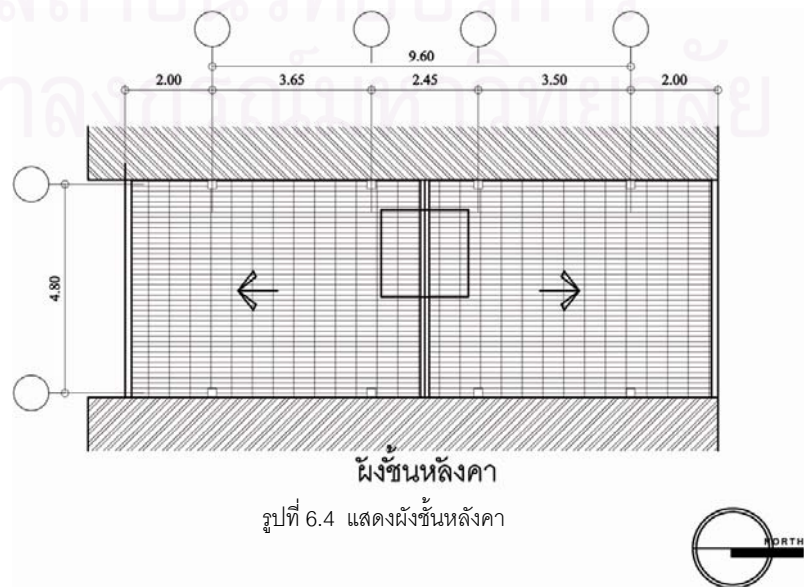
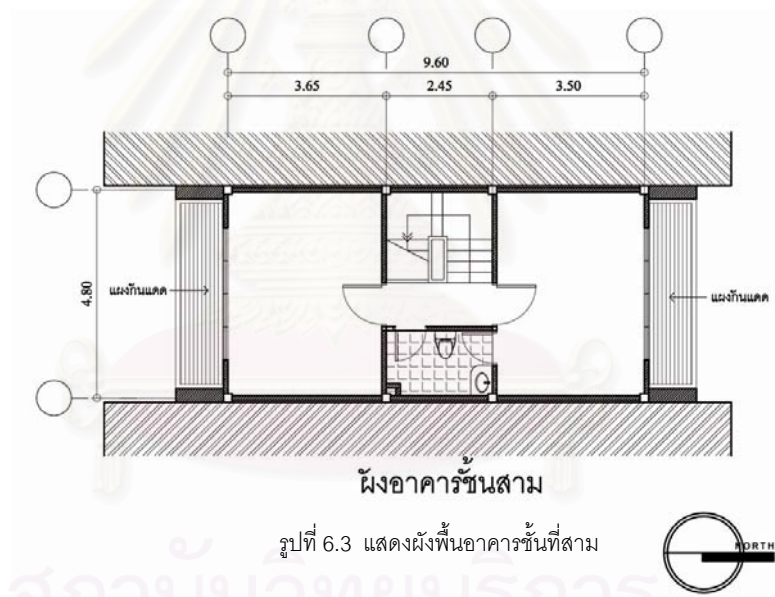
6.2.1.3 การติดตั้งแผงกันแดดบริเวณช่องเปิดหน้าต่าง

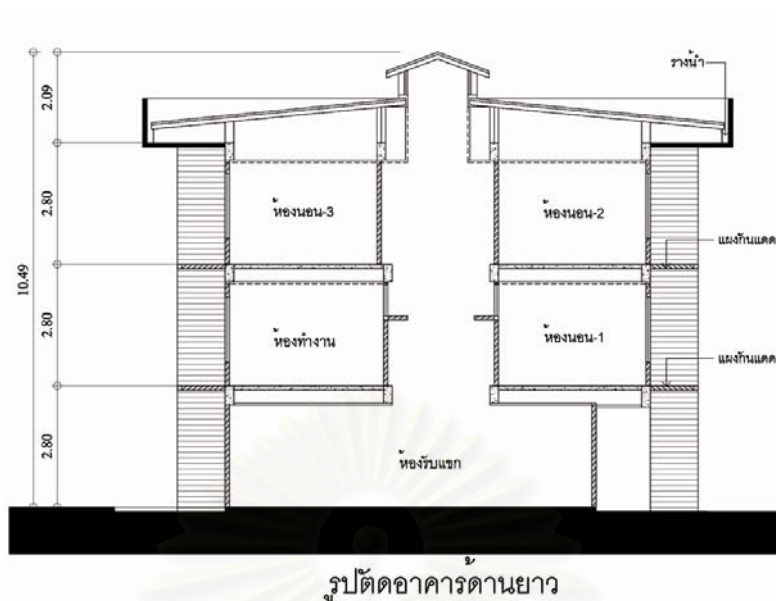
6.2.2 ด้านการใช้พลังงาน เป็นแนวทางการออกแบบบ้านแถวในพื้นที่ที่ปรับอากาศด้วยระบบเครื่องกล โดยมีแนวทางการออกแบบดังนี้

6.2.2.1 การใช้กระจกสองชั้น เป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารลงประมาณ 17 % ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการติดตั้งแผงกันแดดถึง 9.5 %

6.3 แบบตัวอย่างของการออกแบบบ้านแถว







รูปที่ 6.5 แสดงภาพตัดอาคารตามยาว



รูปที่ 6.6 แสดงรูปด้านของอาคาร

6.4 ข้อสรุปจากการศึกษาครั้งนี้

6.4.1 จากการศึกษาจะพบว่าแหล่งที่มาความร้อนส่วนใหญ่จะมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบเปลือกอาคาร เช่น ผนังทึบ , กระจกหน้าต่าง และ วัสดุผนังหลังคา ซึ่งความร้อนที่เข้ามาจะเป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารมาก ดังนั้นในการออกแบบอาคารบ้านแถวจึงควรให้ความสำคัญกับคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้ในระบบเปลือกอาคาร

6.4.2 การปรับปรุงผนังทึบด้วยการใช้ฉนวนที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงมากๆ นั้นจะไม่ช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในได้มากนัก เพราะฉะนั้นพื้นที่ผนังทึบของอาคารบ้านแถวที่ได้รับความร้อนจาก

ภายนอกมีเพียง 26% เท่านั้นของผนังอาคารทั้งหมด จึงทำให้ปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคาร มีสัดส่วนที่น้อยเกินไปซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพของฉนวนกันความร้อนขนาดต่างๆ

6.4.3 การปรับปรุงผนังที่บดด้วยการใช้ฉนวนที่มีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงนั้น ควรมีการ ป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์บริเวณกระจกหน้าต่างด้วย เพราะว่าความร้อนที่เข้ามาภายในนี้จะ ทำให้อุณหภูมิอากาศของห้องสูงขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากผนังที่มีฉนวนกันความร้อนจะกักเก็บความร้อน ภายในห้องได้น้อยกว่าผนังที่ไม่มีฉนวน

6.4.4 ระบบแสงสว่างธรรมชาติภายในบ้านแถว มีค่าระดับการส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานซึ่งมีความเหมาะสมกับการใช้งานในกิจกรรมต่างๆแล้ว โดยการนำแสงสว่างธรรมชาติเข้ามา ใช้ภายในอาคารอย่างถูกวิธีนี้จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงประดิษฐ์ได้มาก

6.5 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยต่อไป

6.5.1 อาคารกรณีศึกษาที่นำมาศึกษาครั้งนี้เป็นอาคารบ้านแถวที่ตั้งอยู่ระหว่างกลางของกลุ่ม อาคาร ซึ่งมีผนังเพียง 2 ด้านเท่านั้นที่ได้รับผลกระทบจากภายนอก แต่ยังมีอาคารบ้านแถวที่ตั้งอยู่ด้าน ริมของกลุ่มอาคารซึ่งมีผนังภายนอก 3 ด้านที่ได้รับผลกระทบจากภายนอก ดังนั้นควรมีการศึกษาวิจัย อาคารบ้านแถวที่ตั้งอยู่ริมของกลุ่มอาคารต่อไปด้วย

6.5.2 การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาด้วยวิธีการระบายอากาศในตอนกลางคืนเพื่อเพิ่มสภาวะ น่าสบายให้กับอาคารกรณีศึกษาเป็นการศึกษาผลที่ได้จากการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ ข้อมูลต่างๆ ที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ส่วนหนึ่งได้มาจากทฤษฎีต่างๆ ที่ เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศในตอนกลางคืน ซึ่งอาจจะมีผลคลาดเคลื่อนระหว่างการประมวลผลของ โปรแกรมคอมพิวเตอร์กับสภาพการระบายอากาศที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิจัยอย่างละเอียด เกี่ยวกับการระบายอากาศในตอนกลางคืนเพื่อสามารถจะกำหนดค่าต่างๆให้สามารถประมวลผล ได้ใกล้เคียงจริง

6.5.3 การปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร ครั้งนี้ได้พิจารณา เฉพาะเรื่องของอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโดยรอบ (mrt) เป็นหลัก ซึ่งไม่ได้ศึกษาเรื่อง ของความเร็วลมจากการระบายอากาศในตอนกลางวันที่จะมีผลต่อสภาวะน่าสบาย ดังนั้นในการทำวิจัย ต่อไปจึงควรมีการศึกษาเรื่องความเร็วลมจากการระบายอากาศในตอนกลางวันภายในอาคารบ้านแถว ด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกชา ชีระโกเมน และ คณะ. ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานระบบ. กรุงเทพมหานคร: เอ็มแอนดีอี, 2539.

ตรึงใจ บุรณสมภพ. การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร: นำอักษรการพิมพ์, 2521.

ธนิต จินดาวณิก. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ธนิต จินดาวณิก. เอกสารประกอบการสอนวิชา ENERGY ARCH DESIGN. กรุงเทพมหานคร:

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดี. กรุงเทพมหานคร:

สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ และ ธนิต จินดาวณิก. รายงานการวิจัยการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและ

สภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของสถาปัตยกรรมไทย, 2536.

สุรพล พฤษพานิช. การปรับอากาศ : หลักการและระบบ. กรุงเทพมหานคร: พิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์,

2529.

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating Refrigeration and Air- Conditioning Engineers. ASHRAE

Handbook of Fundamentals 1989. Atlanta: American Society of Heating Refrigeration and Air- Conditioning Engineers, 1989.

Benjam in Stein, John S. Reynolds. Mechanical and Electrical Equipment for Building.

New York: John Willy & Sons, 1992.

Henry J. Cowan. Handbook of Architectural Technology. New York: Van Nostrand Reinhold,

1991.

Jacobsen, Terte. Energy Saving and Thermal Climate in Passive Solar Heated Buildings,

NTH, Division of HVAC, Norway: 1989.

James A. Powell, Designing for building utilisation. London: E. & F.N. SPON, 1984.

Meteorological Department. Climatological Data for The year 1933. Bangkok: Ministry of Communications, 1993.

Norbert Lechner. Heating, Cooling, Lighting : Design Methods for Architects. New York:

John Willy & Sons, 1991.

Watson, Doniad and Labs Kenneth. Climate Design. New York: McGraw-Hill, 1993.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแนวทางการปรับปรุง

1. การคิดค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุอาคาร (life cycle cost) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$PWIF = \frac{1+r}{i-r} \frac{(1-(1+r)^n)}{(1+i)^n}$$

เมื่อ

- n = อายุการใช้งานของอาคาร
- i = อัตราดอกเบี้ย (%)
- r = อัตราการขึ้นราคาของค่าพลังงาน (%)

โดยกำหนดค่า n=25 , r=0.05 และ i = 0.03

$$PWIF = \frac{1+0.05}{0.03-0.05} \frac{(1-(1+0.05)^{25})}{(1+0.03)^{25}}$$

$$= 32.37386$$

2. ระยะเวลาคืนทุน (simple payback period) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปี}}$$

1.1 รายละเอียดการปรับปรุงผนังที่บ

งประมาณการลงทุนในการปรับปรุง

การคำนวณการลงทุนในการปรับปรุง						
	แนวทางที่ 2	แนวทางที่ 3	แนวทางที่ 4	แนวทางที่ 5	แนวทางที่ 6	แนวทางที่ 7
ค่าวัสดุต่างๆ	ผนังอิฐบล็อก ติดตั้งด้วยฉนวน ชนิดโพลีสไตรีน โฟมหนา 1 "	ผนังอิฐบล็อก ติดตั้งด้วยฉนวน ชนิดโพลีสไตรีน โฟมหนา 2 "	ผนังอิฐบล็อก ติดตั้งด้วยฉนวน ชนิดโพลีสไตรีน โฟมหนา 3 "	ผนังอิฐมวลเบา ติดตั้งด้วยฉนวน ชนิดโพลีสไตรีน โฟมหนา 1 "	ผนังอิฐมวลเบา ติดตั้งด้วยฉนวน ชนิดโพลีสไตรีน โฟมหนา 2 "	ผนังอิฐมวลเบา ติดตั้งด้วยฉนวน ชนิดโพลีสไตรีน โฟมหนา 3 "
ราคารวมต่อตารางเมตร	650	1,000	1,300	765	1,115	1,415
ราคารวมทั้งหมด	14,040	21,600	28,080	16,524	24,084	30,564

การคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์							
	อาคารก่อนปรับปรุง	แนวทางที่ 2	แนวทางที่ 3	แนวทางที่ 4	แนวทางที่ 5	แนวทางที่ 6	แนวทางที่ 7
		ผนังอิฐบุล๊อคติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 1"	ผนังอิฐบุล๊อคติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 2"	ผนังอิฐบุล๊อคติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 3"	ผนังอิฐมวลเบาติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 1"	ผนังอิฐมวลเบาติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 2"	ผนังอิฐมวลเบาติดตั้งด้วยฉนวนชนิดโพลีสไตรีนโฟมหนา 3"
งบประมาณการลงทุน	0	14,040	21,600	28,080	16,524	24,084	30,564
ค่าไฟฟ้ารายปี	18,015	17,072	17,000	16,861	17,078	17,006	16,869
ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (A)	0	943	1,015	1,154	937	1,009	1,146
PWIF N=25,r=0.05,i=0.03	32.37386	32.37386	32.37386	32.37386	32.37386	32.37386	32.37386
P ของค่าไฟฟ้า	18,015 * 32.37386 = 583,067	17,072 * 32.37386 = 552,562	17,000 * 32.37386 = 550,216	16,861 * 32.37386 = 545,710	17,078 * 32.37386 = 552,750	17,006 * 32.37386 = 550,403	16,869 * 32.37386 = 545,982
P รวม (LCC)	583,067+ 0 =583,067	566,602+ 14,040 =566,602	571,816 + 21,600 =571,816	573,790+ 28,080 =573,790	569,274+ 16,524 =569,274	574,487+ 24,084 =574,487	576,546+ 30,564 =576,546
Simple Payback Period = Investment/annual saving	-	15	21	24	18	24	27

1.2 รายละเอียดการปรับปรุงกระจกหน้าต่าง

งบประมาณการลงทุนในการปรับปรุง

การคำนวณการลงทุนในการปรับปรุง			
ค่าวัสดุต่างๆ	แนวทางที่ 8	แนวทางที่ 9	แนวทางที่ 10
	การติดตั้งแผงกันแดด	การใช้กระจกสองชั้น	การใช้กระจกติดฟิล์มสะท้อนแสง
ราคารวมต่อตารางเมตร	1,600	2,400	750
ราคารวมทั้งหมด	7,650	12,672	3,960

การคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์				
	อาคารก่อน ปรับปรุง	แนวทางที่ 8	แนวทางที่ 9	แนวทางที่ 10
		การติดตั้งแผงกัน แดด	การใช้กระจกสอง ชั้น	การใช้กระจกติด ฟิล์มสะท้อนแสง
งบประมาณการลงทุน	0	7,650	12,672	3,960
ค่าไฟฟ้ารายปี	18,015	16,796	14,942	16,796
ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (A)	0	1,219	3,073	1,219
PWIF N=25,r=0.05,i=0.03	32.37386	32.37386	32.37386	32.37386
P ของค่าไฟฟ้า	18,015 * 32.37386 = 583,067	16,796 * 32.37386 = 543,619	14,942 * 32.37386 = 483,613	16,796 * 32.37386 = 543,619
P รวม (LCC)	583,067+ 0 =583,067	543,619+ 7,650=551,269	483,613+ 12,672=496,285	543,619+ 3,960=547,579
Simple Payback Period = Investment/annual saving	-	6	4	3

1.3 รายละเอียดการปรับปรุงฝ้าเพดาน

งบประมาณการลงทุนในการปรับปรุง

การคำนวณการลงทุนในการปรับปรุง	
ค่าวัสดุต่างๆ	แนวทางที่ 11
	การเพิ่มฉนวนชนิดไฟเบอร์กลาส หนา 4" บนฝ้าเพดาน
ราคารวมต่อตารางเมตร	250
ราคารวมทั้งหมด	12,180

การคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์		
	อาคารก่อนปรับปรุง	แนวทางที่ 11
		การเพิ่มฉนวนชนิดโฟมเบอร์กลาส หนา 4” บนฝ้าเพดาน
งบประมาณการลงทุน	0	12,180
ค่าไฟฟ้ารายปี	18,015	17,400
ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (A)	0	615
PWIF N=25,r=0.05,i=0.03	32.37386	32.37386
P ของค่าไฟฟ้า	$18,015 * 32.37386 =$ 583,067	$17,400 * 32.37386 =$ 563,168
P รวม (LCC)	$583,067 + 0 =$ 583,067	$566,602 + 14,040 =$ 575,348
Simple Payback Period = Investment/annual saving	-	20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลพื้นฐาน (input data) ของอาคารกรณีศึกษาที่ป้อนลงไปโปรแกรมคอมพิวเตอร์

INPUT LOADS DENSITY = 50 SPECIFIC-HEAT= 0.2 ..
INPUT-UNITS = ENGLISH WOOD-DOOR =MATERIAL
OUTPUT-UNITS = ENGLISH .. THICKNESS = 0.15 CONDUCTIVITY = 0.5
TITLE LINE-1 *SAKDA* DENSITY = 25 SPECIFIC-HEAT= 0.31 ..
LINE-2 *TOWNHOUSE : ORIGINAL DESIGN*
LINE-3 *BANGKOK, THAILAND* .. WA-1 = LAYERS MATERIAL= (BRICK-WALL)
RUN-PERIOD JAN 1 1999 THRU DEC 31 1999 .. INSIDE-FILM-RES = 0.68 ..
ABORT ERRORS .. RF-1 = LAYERS MATERIAL= (CONCRETE-ROOF)
DIAGNOSTIC WARNINGS .. INSIDE-FILM-RES = 0.62 ..
LOADS-REPORT SUMMARY= (ALL-SUMMARY) FL-1 = LAYERS MATERIAL= (CONCRETE-FLOOR)
VERIFICATION= (LV-A) .. INSIDE-FILM-RES = 0.92 ..
BUILDING-LOCATION LATITUDE= 13.9 CL-1 = LAYERS MATERIAL= (AL33,GYPSUM-BOARD)
LONGITUDE= -100.6 INSIDE-FILM-RES = 0.92 ..
ALTITUDE= 39 TIME-ZONE= -7 DR-1 = LAYERS MATERIAL= (WOOD-DOOR)
HOLIDAY= NO INSIDE-FILM-RES = 0.68 ..
GROSS-AREA= 148 AZIMUTH= 0.0
DAYLIGHT-SAVINGS= NO WALL-1 =CONSTRUCTION LAYERS=WA-1
GROUND-T = (82.3,82.6,85.5,85.7,85.9,85.6 ABSORPTANCE=0.30 ..
,85.3,84.9,85.1,83.8,82.6,78.9) ROOF-1 =CONSTRUCTION LAYERS=RF-1
SURF-TEMP-CALC = YES .. ABSORPTANCE=0.40 ..
\$ CONSTRUCTION FLOOR =CONSTRUCTION LAYERS=FL-1
\$ WALLS: 4-INCH BRICK WALLS & CEMENT MORTAR ABSORPTANCE=0.40 ..
SURFACE CEIL-1 =CONSTRUCTION LAYERS=CL-1
\$ ROOF : CONCRETE ROOF ABSORPTANCE=0.40 ..
\$ FLOOR: 4-INCH HEAVY WEIGHT CONCRETE SLAB-ON- W-1 =GLASS-TYPE PANES=1
GRADE SHADING-COEF= 0.94
\$ CEILING: 1/2-INCH GYPSUM BOARD GLASS-CONDUCTANCE=1.0 ..
\$ WINDOWS: SINGLE-PANE CLEAR GLASS (U=1.00) DOOR-1CONSTRUCTION LAYERS=DR-1
\$ DOOR: WOOD ABSORPTANCE=0.40 ..
BRICK-WALL =MATERIAL \$ OCCUPANCY SCHEDULE
THICKNESS = 0.34 CONDUCTIVITY = 0.225 OC-1 =DAY-SCHEDULE (1,8)(1,0)(9,12)(0.5)
DENSITY = 70 SPECIFIC-HEAT= 0.2 .. (13,17)(0.5)(18,24)(1.0)..
CONCRETE-ROOF =MATERIAL OC-2 =DAY-SCHEDULE (1,8)(1,0)(9,12)(1.0)
THICKNESS = 0.083 CONDUCTIVITY = 0.05 (13,17)(1.0)(18,24)(1.0)..
DENSITY = 140 SPECIFIC-HEAT= 0.10 .. OC-WEEK =WEEK-SCHEDULE (WD) OC-1 (WEH) OC-2 ..
CONCRETE-FLOOR =MATERIAL OCCUPY-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 OC-WEEK ..
THICKNESS = 0.5 CONDUCTIVITY = 1.0417
DENSITY = 140.0 SPECIFIC-HEAT= 0.2 .. \$ LIGHTING SCHEDULE
GYPSUM-BOARD =MATERIAL LT-1 =DAY-SCHEDULE (1,6)(0)(7,9)(0.25)
THICKNESS = 0.0417 CONDUCTIVITY = 0.0926 (10,17)(0)(18,22)(1.0)(23,24)(0)..

LT-2 =DAY-SCHEDULE (1,7)(0)(8,9)(0.25)
 (10,17)(0.25)(18,22)(1.0)(23,24)(0)..
 LT-WEEK =WEEK-SCHEDULE (WD) LT-1 (WEH) LT-2 ..
 \$ DININGS
 LIGHTS-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 LT-WEEK ..

 LT-3 =DAY-SCHEDULE (1,6)(0.1)(7,9)(0.25)
 (10,17)(0)(18,22)(0)(23,24)(1)..
 LT-WEEK2 =WEEK-SCHEDULE (WD) LT-3 (WEH) LT-3 ..
 LIGHTS-2 =SCHEDULE THRU DEC 31 LT-WEEK ..
 \$ EQUIPMENT SCHEDULE
 EQ-1 =DAY-SCHEDULE (1,6)(0)(7,9)(0.25)
 (10,17)(0)(18,22)(1.0)(23,24)(0)..
 EQ-2 =DAY-SCHEDULE (1,7)(0)(8,9)(0.25)
 (10,17)(0.25)(18,22)(1.0)(23,24)(0)..
 EQ-WEEK =WEEK-SCHEDULE (WD) EQ-1 (WEH) EQ-2 ..
 EQUIP-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 EQ-WEEK ..
 EQ-3 =DAY-SCHEDULE (1,6)(0.1)(7,9)(0.25)
 (10,17)(0)(18,22)(0)(23,24)(1)..
 EQ-WEEK2 =WEEK-SCHEDULE (WD) EQ-1 (WEH) EQ-2 ..
 EQUIP-2 =SCHEDULE THRU DEC 31 EQ-WEEK ..

 \$ INFILTRATION SCHEDULE
 ALLVENT-T=SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24)(1) ..
 NOVENT-T =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24)(0)..
 DAY-WD =DAY-SCHEDULE (1,8)(0.0)(9,12)(1.0)
 (13,17)(1.0)(18,24)(0.0)..
 DAY-WE =DAY-SCHEDULE (1,8)(0.0)(9,12)(0.0)
 (13,17)(0.0)(18,24)(0.0)..
 DAY-WK =WEEK-SCHEDULE (WD) DAY-WD (WEH)
 DAY-WE ..
 DAYVENT-T =SCHEDULE THRU DEC 31 DAY-WK ..
 NIGHTVENT-T =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,5)(1)
 (6,18)(0) (19,24) (1) ..
 \$ SET DEFAULT VALUES
 SET-DEFAULT FOR SPACE FLOOR-WEIGHT=0 ..
 \$ GENERAL SPACE DEFINITION
 BEDROOM =SPACE-CONDITIONS
 TEMPERATURE =(72)
 PEOPLE-SCHEDULE =OCCUPY-1
 PEOPLE-HEAT-GAIN =400
 LIGHTING-SCHEDULE =LIGHTS-1
 LIGHTING-TYPE =REC-FLUOR-NV
 LIGHT-TO-SPACE =0.75
 LIGHTING-W/SQFT =0.75
 EQUIP-SCHEDULE =EQUIP-1
 EQUIPMENT-W/SQFT =1.0
 INF-METHOD =AIR-CHANGE

 INF-SCHEDULE =ALLVENT-T
 AIR-CHANGES/HR =1.22 ..
 DINING1 =SPACE-CONDITIONS
 TEMPERATURE =(72)
 PEOPLE-SCHEDULE =OCCUPY-1
 PEOPLE-HEAT-GAIN =400
 LIGHTING-SCHEDULE =LIGHTS-1
 LIGHTING-TYPE =REC-FLUOR-NV
 LIGHT-TO-SPACE =0.75
 LIGHTING-W/SQFT =0.75
 EQUIP-SCHEDULE =EQUIP-1
 EQUIPMENT-W/SQFT =1.0
 INF-METHOD =AIR-CHANGE
 INF-SCHEDULE =ALLVENT-T
 AIR-CHANGES/HR =1.22 ..

 \$ SPECIFIC SPACE DETAILS
 \$ 1st FLOOR
 LIVING =SPACEZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=87.57 VOLUME=3628.55
 SHAPE=BOX HEIGHT=9.32
 WIDTH=15.98 DEPTH=24.35
 NUMBER-OF-PEOPLE=2 ..
 BACK1-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=0 Y=0 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 WF1-1 =WINDOW WIDTH=4.50 HEIGHT=3.66
 X=1.47 Y=3.66 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..
 WF1-2 =DOOR WIDTH=3 HEIGHT=6.66 X=9.02 Y=0
 SETBACK=0.0 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..
 WF1-3 =WINDOW WIDTH=2.16 HEIGHT=3.66
 X=12.02 Y=3.00 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..
 RIGHT1-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=12.15 X=15.98 Y=0 Z=0
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-1
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT1-2 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=8.15 X=15.98 Y=12.15 Z=0
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-1
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT1-3 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90 HEIGHT=9.32
 WIDTH=7.65 X=15.98 Y=20.30 Z=0 INT-WALL-
 TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-1
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT1-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0 HEIGHT=9.32
 WIDTH=8.49 X=15.98 Y=27.95 Z=0 I
 NSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 WF1-4 =DOOR WIDTH=3 HEIGHT=6.66 X=0.67 Y=0
 SETBACK=0.0 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..

WF1-5 =WINDOW WIDTH=2.33 HEIGHT=6.66
 X=3.67 Y=0 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..
 FRONT1-2 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=7.49 X=7.49 Y=20.3 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 WF1-6 =DOOR WIDTH=3 HEIGHT=6.66
 X=0.67 Y=0 SETBACK=0.0 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..
 LEFT1-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=7.65 X=7.49 Y=27.95 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT1-2 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=8.15 X=0 Y=20.30 Z=0
 INT-WALL-TYPE=STANDARDNEXT-TO NH1-1
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT1-3 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=12.15 X=0 Y=12.15 Z=0
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH1-1
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 CEILING1-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 AREA=194.15 TILT=0 X=0 Y=0 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO WORKING CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 CEILING1-2=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 AREA=71.96 TILT=0 X=0 Y=12.15 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO HALL-1
 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 CEILING1-3=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 AREA=64.94 TILT=0 X=7.49 Y=20.30 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO BEDROOM-1 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 FLOOR1-1=UNDERGROUND-FLOOR AZIMUTH=180
 AREA=389.33 TILT=0 X=0 Y=0 Z=0
 CONSTRUCTION=FLOOR ..
 CARPORT1-1= BUILDING-SHADE HEIGHT=13.48
 WIDTH=7.49TRANSMITTANCE = 0.0
 X=0 Y=20.30 Z=9.32 AZIMUTH=180 TILT=0 ..
 CARPORT1-2= BUILDING-SHADE HEIGHT=5.83 WIDTH=8.49
 TRANSMITTANCE = 0.0 X=7.49 Y=27.95 Z=9.32
 AZIMUTH=180 TILT=0 .. NH1-1 =SPACE
 ZONE- TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=539.80 VOLUME=5030.93
 SHAPE=BOX HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=33.78
 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..
 BACK2-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=-15.98 Y=0 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT2-1=EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=13.48 X=0 Y=20.30 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT2-2=INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=20.30 X=0 Y=0 Z=0
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO LIVING
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT2-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=0 Y=33.78 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT2-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=33.78 X=-15.98 Y=33.78 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 CEILING2-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 AREA=539.80 TILT=0 X=-15.98 Y=0 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH1-2
 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 FLOOR2-1=UNDERGROUND-FLOOR AZIMUTH=180
 AREA=539.80 TILT=0 X=-15.98 Y=0 Z=0
 CONSTRUCTION=FLOOR ..
 NH2-1 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=539.80 VOLUME=5030.93
 SHAPE=BOX HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=33.78
 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..
 BACK3-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=15.98 Y=0 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT3-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=33.78 X=31.96 Y=0 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT3-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=31.96 Y=33.78 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT3-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=5.83 X=15.98 Y=33.78 Z=0
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT3-2 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=27.95 X=15.98 Y=27.95 Z=0
 INT-WALL-TYPE=STANDARDNEXT-TO LIVING
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 CEILING3-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 AREA=539.80 TILT=0 X=15.98 Y=0 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-1
 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 FLOOR3-1=UNDERGROUND-FLOOR AZIMUTH=180
 AREA=539.80 TILT=0 X=15.98 Y=0 Z=0
 CONSTRUCTION=FLOOR ..

\$ 2 nd FLOOR
 WORKING =SPACE ZONE- TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=194.15 VOLUME=1809.47 SHAPE=BOX
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=12.15
 NUMBER-OF-PEOPLE=1 ..
 BACK4-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=0 Y=0 Z=9.32
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 WF4-1 =WINDOW WIDTH=6.66 HEIGHT=3.66
 X=4.58 Y=3.00 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..
 RIGHT4-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=12.15 X=15.98 Y=0 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-2
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT4-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98
 X=15.98 Y=12.15 Z=9.32 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO HALL-1 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT4-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=12.15 X=0 Y=12.15 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH1-2
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 CEILIN4-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=194.15
 TILT=0 X=0 Y=0 Z=18.64 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO BEDROOM-3 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 FLOOR4-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=194.15
 TILT=0 X=0 Y=0 Z=9.32 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO LIVING CONSTRUCTION=FLOOR ..
 HALL-1 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=130.23 VOLUME=1213.74 SHAPE=BOX
 HEIGHT=9.32
 WIDTH=15.98 DEPTH=8.15 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..
 BACK5-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=0 Y=12.15 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO WORKING
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT5-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=8.15 X=15.98 Y=12.15 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-2
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT5-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=15.98 Y=20.30 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO BEDROOM-1
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT5-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=8.15
 X=0 Y=20.30 Z=9.32 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO NH1-2 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 CEILIN5-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=71.96
 TILT=0 X=0 Y=12.15 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO HALL-2
 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 FLOOR5-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=71.96
 TILT=0 X=0 Y=12.15 Z=9.32 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO LIVING CONSTRUCTION=FLOOR ..
 BEDROOM-1 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=215.41 VOLUME=2007.62
 SHAPE=BOX HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=13.48
 NUMBER-OF-PEOPLE=1 ..
 BACK6-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=0 Y=20.30 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO HALL-1
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT6-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=13.48 X=15.98 Y=20.30 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-2
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT6-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=15.98 Y=33.78 Z=9.32
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 WF6-1 =WINDOW WIDTH=1.33 HEIGHT=1.33
 X=0.67 Y=5.33 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..
 WF6-2 =WINDOW WIDTH=1.33 HEIGHT=1.33
 X=13.99 Y=5.33 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..
 WF6-3 =WINDOW WIDTH=8.82 HEIGHT=3.66
 X=3.58 Y=3.00 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..
 LEFT6-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=13.48 X=0 Y=33.78 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH1-2
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 CEILING-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=215.41
 TILT=0 X=0 Y=20.30 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO BEDROOM-2
 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 FLOOR6-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=215.41
 TILT=0 X=0 Y=20.30 Z=9.32 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO LIVING CONSTRUCTION=FLOOR ..
 CARPORT6-1= BUILDING-SHADE HEIGHT=2.66 WIDTH=6
 TRANSMITTANCE = 0.0 X=5 Y=33.78 Z=18.64
 AZIMUTH=180 TILT=0 ..
 NH1-2 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=539.80 VOLUME=5030.93

SHAPE=BOX HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=33.78
 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..
 BACK7-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=-15.98 Y=0 Z=9.32
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT7-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=33.78 X=0 Y=0 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO BEDROOM-1
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT7-1=EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=0 Y=33.78 Z=9.32
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT7-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=33.78 X=-15.98 Y=33.78 Z=9.32
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 CEILING7-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=539.80
 TILT=0 X=-15.98 Y=0 Z=18.64 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO NH1-3 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 FLOOR7-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=539.80
 TILT=0 X=-15.98 Y=0 Z=9.32 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO NH1-1 CONSTRUCTION=FLOOR ..
 NH2-2 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=539.80 VOLUME=5030.93
 SHAPE=BOX HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=33.78
 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..
 BACK8-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=15.98 Y=0 Z=9.32
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT8-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=33.78 X=31.96 Y=0 Z=9.32
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT8-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=31.96 Y=33.78 Z=9.32
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT8-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=33.78 n X=15.98 Y=33.78 Z=9.32
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO BEDROOM-1
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 CEILING8-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 AREA=539.80 TILT=0 X=15.98 Y=0 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-3
 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 FLOOR8-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=539.80
 TILT=0 X=15.98 Y=0 Z=9.32 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO NH2-1 CONSTRUCTION=FLOOR ..
 \$ 3 rd FLOOR
 BEDROOM-3 =SPACE SPACE-CONDITIONS=BEDROOM
 AREA=194.15 VOLUME=1809.47
 SHAPE=BOX HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=12.15
 NUMBER-OF-PEOPLE=2 ..
 BACK9-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=8.98 X=7.00 Y=0 Z=18.64
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 BACK9-2 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=7.00 X=0 Y=4.00 Z=18.64
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 WF9-1 =WINDOW WIDTH=4.00 HEIGHT=3.66
 X=3.00 Y=3.00 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..
 WF9-2 =DOOR WIDTH=3 HEIGHT=6.66
 X=0 Y=0 SETBACK=0.0 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..
 RIGHT9-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=12.15 X=15.98 Y=0 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-3
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT9-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=15.98 Y=12.15 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO HALL-2
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT9-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=8.15 X=0 Y=12.15 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH1-3
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT9-2 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=4.00 X=7.00 Y=4.00 Z=18.64
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 CEILING9-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=194.15
 TILT=0 X=0 Y=0 Z=27.96 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO ATTIC n CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 FLOOR9-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=194.15
 TILT=0 X=0 Y=0 Z=18.64 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO WORKING CONSTRUCTION=FLOOR ..
 CARPORT9-1= BUILDING-SHADE HEIGHT=4.00 WIDTH=7.00
 TRANSMITTANCE = 0.0 X=0 Y=0 Z=27.96
 AZIMUTH=180 TILT=0 ..
 HALL-2 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=130.23 VOLUME=1213.74
 SHAPE=BOX HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=8.15
 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..
 BACK10-1= INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=0 Y=12.15 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO BEDROOM-3
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..

RIGHT10-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=8.15 X=15.98 Y=12.15 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-3
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..

FRONT10-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=15.98 Y=20.30 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO BEDROOM-2
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..

LEFT10-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=8.15 X=0 Y=20.30 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH1-3
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..

CEILIN10-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=71.96
 TILT=0 X=0 Y=12.15 Z=27.96 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO ATTIC CONSTRUCTION=CEIL-1 ..

FLOOR10-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=71.96
 TILT=0 X=0 Y=12.15 Z=18.64 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO HALL-1 CONSTRUCTION=FLOOR ..

BEDROOM-2 =SPACE SPACE-CONDITIONS=BEDROOM
 AREA=215.41 VOLUME=2007.62
 SHAPE=BOX HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=13.48
 NUMBER-OF-PEOPLE=1 ..

BACK11-1 = INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=0 Y=20.30 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO HALL-2
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..

RIGHT11-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=13.48 X=15.98 Y=20.30 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-3
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..

FRONT11-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=15.98 Y=33.78 Z=18.64
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..

WF11-1 =WINDOW WIDTH=2.33 HEIGHT=3.66
 X=0.67 Y=3.00 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..

WF11-2 =WINDOW WIDTH=1.50 HEIGHT=3.66
 X=5 Y=3.00 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..

WF11-3 =WINDOW WIDTH=1.50 HEIGHT=3.66
 X=5 Y=3.00 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..

WF11-4 =WINDOW WIDTH=1.50 HEIGHT=3.66
 X=9.50 Y=3.00 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..

WF11-5 =WINDOW WIDTH=2.33 HEIGHT=3.66
 X=13.00 Y=3.00 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..

WF11-6 =DOOR WIDTH=3 HEIGHT=6.66
 X=6.50 Y=0 SETBACK=0.0 CONSTRUCTION=DOOR-1 ..

LEFT11-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=13.48 X=0 Y=33.78 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH1-3
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..

CEILIN11-3 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=215.41
 TILT=0 X=0 Y=20.30 Z=27.96 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO ATTIC CONSTRUCTION=CEIL-1 ..

FLOOR11-3 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=215.41
 TILT=0 X=0 Y=20.30 Z=18.64 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO BEDROOM-1 CONSTRUCTION=FLOOR ..

CARPORT11-1= BUILDING-SHADE HEIGHT=2.00 WIDTH=6
 TRANSMITTANCE = 0.0 X=5 Y=33.78 Z=27.96
 AZIMUTH=180 TILT=0 ..

NH1-3 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=539.80 VOLUME=5030.93
 SHAPE=BOX HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=33.78
 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..

BACK12-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=-15.98 Y=0 Z=18.64
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..

RIGHT12-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=33.78 X=0 Y=0 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO BEDROOM-2
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..

FRONT12-1=EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=0 Y=33.78 Z=18.64
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..

LEFT12-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=33.78 X=-15.98 Y=33.78 Z=18.64
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..

CEILING12-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 AREA=539.80 TILT=0 X=-15.98 Y=0 Z=27.96
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH1-4
 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..

FLOOR12-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 AREA=539.80 TILT=0 X=-15.98 Y=0 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH1-2
 CONSTRUCTION=FLOOR ..

NH2-3 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=539.80 VOLUME=5030.93
 SHAPE=BOX HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 DEPTH=33.78
 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..

BACK13-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=15.98 Y=0 Z=18.64
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..

RIGHT13-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=9.32 WIDTH=33.78 X=31.96 Y=0 Z=18.64

INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT13-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=9.32 WIDTH=15.98 X=31.96 Y=33.78 Z=18.64
 INSIDE-SURF-TEMP = YES CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT13-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=9.32 WIDTH=33.78 X=15.98 Y=33.78 Z=18.64
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO BEDROOM-2
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 CEILING13-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=539.80
 TILT=0 X=15.98 Y=0 Z=27.96 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO NH2-4 CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 FLOOR13-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=539.80
 TILT=0 X=15.98 Y=0 Z=18.64 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO NH2-2 CONSTRUCTION=FLOOR ..

 \$ 4 rd FLOOR
 ATTIC =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=539.80 VOLUME=1570.83
 SHAPE=BOX HEIGHT=2.91 WIDTH=15.98 DEPTH=12.15
 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..
 BACK15-1=EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=28.80 WIDTH=15.98 TILT=12 X=0 Y=0 Z=27.96
 CONSTRUCTION=ROOF-1 ..
 WF15-1 =WINDOW WIDTH=2.15 HEIGHT=2.15
 X=3.33 Y=15.36 SETBACK=0.0 GLASS-TYPE = W-1 ..
 RIGHT15-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=5.82 WIDTH=33.78 X=15.98 Y=0 Z=27.96
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH2-4
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT15-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=8.92 WIDTH=15.98 TILT=41 X=15.98 Y=33.78
 Z=27.96 CONSTRUCTION=ROOF-1 ..
 LEFT15-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=5.82 WIDTH=33.78 X=0 Y=33.78 Z=27.96
 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO NH1-4
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FROOL15-1=INTERIOR-WALL AZIMUTH=180 AREA=539.80
 TILT=0 X=0 Y=0 Z=27.96 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO ATTIC CONSTRUCTION=CEIL-1 ..
 NH1-4 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=539.80 VOLUME=3141.63
 SHAPE=BOX HEIGHT=5.82 WIDTH=15.98 DEPTH=33.78
 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..
 BACK16-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=5.82 WIDTH=15.98 X=-15.98 Y=0 Z=27.96
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT16-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=5.82 WIDTH=33.78 X=0 Y=0 Z=27.96

 INT-WALL-TYPE=STANDARD NEXT-TO ATTIC
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT16-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=5.82 WIDTH=15.98 X=0 Y=33.78 Z=27.96
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT16-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=5.82 WIDTH=33.98 X=-15.98 Y=33.78 Z=27.96
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 ROOF16-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=33.78 WIDTH=15.98
 TILT=0 X=-15.98 Y=0 Z=33.78
 CONSTRUCTION=ROOF-1 ..
 NH2-4 =SPACE ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
 AREA=539.80 VOLUME=3141.63
 SHAPE=BOX HEIGHT=5.82
 WIDTH=15.98 DEPTH=33.78
 NUMBER-OF-PEOPLE=0 ..
 BACK17-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=5.82 WIDTH=15.98 X=15.98 Y=0 Z=27.96
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 LEFT17-1 =INTERIOR-WALL AZIMUTH=270
 HEIGHT=5.82 WIDTH=33.78
 X=15.98 Y=33.98 Z=27.96 INT-WALL-TYPE=STANDARD
 NEXT-TO ATTIC CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 FRONT17-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
 HEIGHT=5.82 WIDTH=15.98 X=31.96 Y=33.78 Z=27.96
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 RIGHT17-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90
 HEIGHT=5.82 WIDTH=33.98 X=31.96 Y=0 Z=27.96
 CONSTRUCTION=WALL-1 ..
 ROOF17-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
 HEIGHT=33.78 WIDTH=15.98 TILT=0 X=15.98 Y=0
 Z=33.78 CONSTRUCTION=ROOF-1 ..

 \$ LOADS HOURLY REPORT
 HR-SCH-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (1) ..
 LRB-1 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= GLOBAL
 VARIABLE-LIST=(3,4,13,14,15,17,19) ..
 \$ wbt3, dbt4, solar131415, wind speed17 & direction19 \$
 LRB-2 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= GLOBAL
 VARIABLE-LIST=(50,51,36,37) ..
 \$ sol altitude50, azimuth51, beam36, diffuse rad37 \$
 LRB-3 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= LIVING
 VARIABLE-LIST=(4,9,10,11,12,13) ..
 \$ delayed wall gain4, door conduction gain9 \$
 \$ equipment sensible gain10 \$
 \$ source11, people12, light sensible gain13 \$

```

$ LDS-REP-1 =HOURLY-REPORT REPORT-
SCHEDULE=HR-SCH-1
$ REPORT-BLOCK=(LRB-9) .. $
END ..
COMPUTE LOADS ..

INPUT SYSTEMS ..
SYSTEMS-REPORT SUMMARY=(SS-A) ..
$ SCHEDULES
HEAT-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (45) ..
COOL-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 (WD) (1,24)(150)
(WEH) (1,10)(150) (11,18)(78) (19,24)(150) .. $LIVING$
COOL-2 =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,6)(78)
(7,22)(200) (23,24)(78).. $BEDROOM-3$
NOVENT-1=SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24)(0) ..
DAYVENT-1=SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,5)(0)
(6,18)(1) (19,24) (0) ..
NIGHTVENT-2=SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,5)(1)
(6,18)(0) (19,24) (1) ..

$ ZONE DATA
BEDROOM-3 =ZONE DESIGN-HEAT-T=50
DESIGN-COOL-T=100
ZONE-TYPE=CONDITIONED
THERMOSTAT-TYPE=TWO-POSITION
HEAT-TEMP-SCH=HEAT-1
COOL-TEMP-SCH=COOL-2 ..

LIVING =ZONE ZONE-TYPE = UNCONDITIONED ..
WORKING =ZONE LIKE LIVING ..
HALL-1 =ZONE LIKE LIVING ..
HALL-2 =ZONE LIKE LIVING ..
BEDROOM-1 =ZONE LIKE LIVING ..
ATTIC =ZONE LIKE LIVING ..
NH1-1 =ZONE LIKE LIVING ..
NH2-1 =ZONE LIKE LIVING ..
NH1-2 =ZONE LIKE LIVING ..
NH2-2 =ZONE LIKE LIVING ..
NH1-3 =ZONE LIKE LIVING ..
NH2-3 =ZONE LIKE LIVING ..
NH1-4 =ZONE LIKE LIVING ..
NH2-4 =ZONE LIKE LIVING ..
BEDROOM-2 =ZONE DESIGN-HEAT-T=50
DESIGN-COOL-T=100
ZONE-TYPE=CONDITIONED
THERMOSTAT-TYPE=TWO-POSITION
HEAT-TEMP-SCH=HEAT-1
COOL-TEMP-SCH=COOL-2 ..

$ AIR CONDITIONER

SYS-1 =SYSTEM SYSTEM-TYPE=RESYS
ZONE-NAMES=(BEDROOM-3,BEDROOM-2,LIVING,
HALL-1,HALL-2,BEDROOM-
1,WORKING,ATTIC,NH1-1,
NH1-2,NH2-1,NH2-2,NH1-3,NH2-3,NH1-4,NH2-4)
MAX-SUPPLY-T=140 MIN-SUPPLY-T=50
NATURAL-VENT-AC=100
NATURAL-VENT-SCH=NOVENT-1 ..
PLANT-1 =PLANT-ASSIGNMENT SYSTEM-NAMES=(SYS-1) ..
$ SYSTEM HOURLY REPORT
HR-SCH-1 =SCHEDULE THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (1) ..
HR-SCH-2 =SCHEDULE THRU JAN 16 (ALL) (1,24) (0)
THRU JAN 22 (ALL) (1,24) (1)
THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (0) ..
SRB-1 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= BEDROOM-2
VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..
$ zone temp, thermal conductance
$ avg temp, total zone cooling energy input
$ MRT, OT
SRB-2 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= BEDROOM-3
VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..
$ zone temp, thermal conductance
$ avg temp, total zone cooling energy input
$ MRT, OT
SRB-3 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= LIVING
VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..
$ zone temp, thermal conductance
$ avg temp, total zone cooling energy input
$ MRT, OT
SRB-4 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= BEDROOM-1
VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..
$ zone temp, thermal conductance
$ avg temp, total zone cooling energy input
$ MRT, OT
SRB-5 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= WORKING
VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..
$ zone temp, thermal conductance
$ avg temp, total zone cooling energy input
$ MRT, OT
SRB-6 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= HALL-1
VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..
$ zone temp, thermal conductance
$ avg temp, total zone cooling energy input
$ MRT, OT
SRB-7 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= HALL-2
VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..
$ zone temp, thermal conductance
$ avg temp, total zone cooling energy input

```

```

$ MRT, OT
SRB-8 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= ATTIC
VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92) ..
$ zone temp, thermal conductance
$ avg temp, total zone cooling energy input
$ MRT, OT
SRB-9 =REPORT-BLOCK VARIABLE-TYPE= GLOBAL
VARIABLE-LIST=(4,8) ..
$ zone temp, thermal conductance
$ avg temp, total zone cooling energy input
$ MRT, OT
SYS-REP-1=HOURLY-REPORTREPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
REPORT-BLOCK=(SRB-1) ..
SYS-REP-2 =HOURLY-REPOR REPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
REPORT-BLOCK=(SRB-2) ..
SYS-REP-3 =HOURLY-REPOR REPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
REPORT-BLOCK=(SRB-3) ..
SYS-REP- =HOURLY-REPOR REPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
REPORT-BLOCK=(SRB-4) ..
SYS-REP-5=HOURLY-REPORTREPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
REPORT-BLOCK=(SRB-5) ..
SYS-REP-6=HOURLY-REPORTREPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
REPORT-BLOCK=(SRB-6) ..
SYS-REP- =HOURLY-REPORT REPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
REPORT-BLOCK=(SRB-7) ..
REPORT-BLOCK=(SRB-8) ..
SYS-REP-9=HOURLY-REPORTREPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
REPORT-BLOCK=(SRB-9) ..

END ..
COMPUTE SYSTEMS ..
STOP ..

```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายศักดิ์ดา เขียวนันทวงศ์
เกิด 4 มกราคม พ.ศ. 2517

การศึกษา

- ระดับประถม โรงเรียนวัดปลับปลาชัย
- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนเทพศิรินทร์
- ระดับอุดมศึกษา สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จบปีการศึกษา 2541
- เข้าศึกษาหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาออกแบบเน้นเทคโนโลยี คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย