

การปรับปรุงติกแถวฟ้าอาศัย เพื่อความสบายทางค้ำานอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศ



นางสาววรรณช ฤกษ์เสริมสุข

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6643-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE REHABILITATION OF A RESIDENT SHOPHOUSE FOR THERMAL,  
LIGHTING AND VENTILATION COMFORT

Miss Woranuch Roeksermsook

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 974-17-6643-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงเตียงแกวพักอาศัย เพื่อความสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศ
โดย	นางสาว วรนุช ฤกษ์เสริมสุข
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ฉันทวิลาสวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. อรรถจันทร์ เศรษฐบุตร)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรวรรณ โรจน์ไพบูลย์)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาว วรนุช ฤกษ์เสริมสุข : การปรับปรุงตึกแถวพักอาศัย เพื่อความสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศ. (THE REHABILITATION OF A RESIDENT SHOPHOUSE FOR THERMAL, LIGHTING AND VENTILATION COMFORT) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงนิค, อ.ที่ปรึกษา ร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรพรรณลัท สุริโยธิน จำนวนหน้า 320 หน้า. ISBN 974-17-6643-2.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาแนวทางการปรับปรุงตึกแถวพักอาศัยในเชิงสถาปัตยกรรม เพื่อให้มีสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศ ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตตามมาตรฐานสากล โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายในการอยู่อาศัย เพื่อประเมินสภาวะน่าสบายของตึกแถวกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับมาตรฐานสภาวะน่าสบายสากลร่วมกับข้อบังคับทางกฎหมาย และวิเคราะห์ปัญหาสภาวะอากาศในอาคาร โดยการเก็บข้อมูลจากตึกแถวย่านใจกลางเมือง สูง 5 ชั้น 1 คูหา ขนาด  $4 \times 20 \times 17$  เมตร เพื่อออกแบบปรับปรุงพร้อมประเมินผลการออกแบบให้มีสภาวะน่าสบายตามมาตรฐาน โดยพิจารณาประสิทธิภาพอาคารปรับปรุงจากผลการจำลองสภาวะอาคารโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ENER-WIN 97.2000, Lightscape 3.2 และ HeatX ร่วมกับการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

การประเมินสภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัย จากการวัดข้อมูลในสถานที่จริงพบว่าสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิในตึกแถวกรณีศึกษาในฤดูร้อนและหนาวมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งใกล้เคียงกันประมาณ 26-34 องศาเซลเซียส ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ในฤดูร้อนประมาณ 54-86%RH และ 47-58%RH ในฤดูหนาว อุณหภูมิผิวผนังเฉลียง (MRT) ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องช่วงเวลากลางวัน 1-2 องศาเซลเซียสและสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในเวลากลางคืน 1 องศาเซลเซียส ยกเว้นชั้น 4 ซึ่งเป็นชั้นสูงสุดของอาคาร ที่อุณหภูมิผิวผนังเฉลียงใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศ ความเร็วลมภายในอาคารเพียง 0-0.1 เมตรวินาที ซึ่งไม่สามารถรู้สึกได้ เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการจำลองด้านอุณหภูมิโดยโปรแกรม ENER-WIN 97.2000 พบว่ามีจำนวนชั่วโมงที่มีสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิที่อยู่ในขอบเขต 24.5-30.8 องศาเซลเซียส ประมาณ 7,417 ชั่วโมง/ปี (คิดเป็น 84.6% ของจำนวนชั่วโมงตลอดทั้งปี) มีพื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติที่ความสว่าง 300 ลักซ์ ประมาณ 46 ตร.ม. คิดเป็น 14% ของพื้นที่ใช้สอยในอาคาร พื้นที่ที่มีการระบายอากาศตามมาตรฐานประมาณ 84 ตร.ม. คิดเป็น 27% ของพื้นที่ใช้สอยในอาคาร

การปรับปรุงเสนอ 3 ทางเลือก ได้แก่ แบบที่ 1 ปรับปรุงเปลือกอาคาร ผนังภายในอาคารและเปิดช่องโล่งระหว่างชั้นกระจายตามโครงสร้างเดิมของอาคาร ผลการปรับปรุงทำให้มีสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิประมาณ 8,602 ชั่วโมง/ปี (98.19% ของปี) พื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติ (300 ลักซ์) ประมาณ 219 ตร.ม. (76.8 % ของพื้นที่ใช้สอยรวม) การระบายอากาศผ่านมาตรฐานทั้งอาคาร ความเร็วลมภายใน 0.2-0.5 เมตรวินาที พื้นที่ใช้สอยภายในลดลง 8.5 ตร.ม. พื้นที่ใช้สอยภายนอกอาคารลดลง 9.5 ตร.ม. ลงทุนเริ่มต้น 525,250 บาท ระยะเวลาคืนทุน 4 ปี 2 เดือน

แบบที่ 2 เปิดพื้นที่โล่งระหว่างชั้นเปลือกอาคารและผนังภายในอาคารปรับเปลี่ยนทางสัญจรใหม่และพื้นที่เปิดโล่งต่อเนื่องแต่ละชั้น  $1 \times 3$  ตร.ม. ตามความยาวอาคาร โดยมีสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิประมาณ 8,622 ชั่วโมง/ปี คิดเป็น 98.43% พื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติ (300 ลักซ์) ประมาณ 200 ตร.ม. (65.8 % ของพื้นที่ใช้สอยรวม) การระบายอากาศผ่านมาตรฐานทั้งอาคาร ความเร็วลมภายใน 0.5-0.8 เมตรวินาที พื้นที่ใช้สอยภายในลดลง 13.5 ตร.ม. พื้นที่ภายนอกลดลง 21.5 ตร.ม. ลงทุนเริ่มต้น 644,300 บาท ระยะเวลาคืนทุน 6 ปี 6 เดือน

แบบที่ 3 ปรับองค์ประกอบอาคารให้สอดคล้องกับลักษณะตามกฎหมายปัจจุบัน โดยเว้นระยะด้านหลังจากแนวเขตที่ดิน 3 เมตร อาคารสูงไม่เกิน 15 เมตร เปิดพื้นที่โล่งต่อเนื่องแต่ละชั้น 10% ของพื้นที่ชั้นที่มากที่สุด (7.2 ตร.ม.) พร้อมปรับบันไดและพื้นที่เปิดโล่งตามขวางอาคาร ผลการจำลองสรุปว่ามีสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ 8,652 ชั่วโมง/ปี (98.78% ของปี) พื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติ (300 ลักซ์) ประมาณ 185 ตร.ม. (66.8 % ของพื้นที่ใช้สอยรวม) การระบายอากาศผ่านมาตรฐานทั้งอาคาร ความเร็วลมภายใน 0.6-1 เมตรวินาที พื้นที่ภายในลดลง 20.5 ตร.ม. ภายนอกลดลง 44 ตร.ม. ลงทุนเริ่มต้น 747,030 บาท ระยะคืนทุน 6 ปี 7 เดือน

ผลการวิจัยสรุปการพิจารณาแบบปรับปรุงตึกแถวที่เหมาะสมจาก 3 เกณฑ์ คือ มีสภาวะสบายในอาคารตามมาตรฐาน พื้นที่ใช้สอยสูงสุด และเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ ในกรณีที่ใช้เกณฑ์สภาวะสบาย ควรปรับปรุงตามแบบที่ 3 และหากใช้เกณฑ์ด้านพื้นที่ใช้สอยหรือด้านเศรษฐศาสตร์ ควรปรับปรุงตามแบบปรับปรุงที่ 1

ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม.....

# # 4474204425 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: COMFORT / DESIGN / THERMAL / LIGHTING / VENTILATION

WORANUCH ROEKSERMSOOK : THE REHABILITATION OF A RESIDENT SHOPHOUSE FOR THERMAL,  
LIGHTING AND VENTILATION COMFORT. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. TANIT JINDAVANIC, THESIS  
COADVISOR : ASST. PROF. PUNCHARAT SURIYOTIN, 320 pp. ISBN 974-17-6643-2.

The objective of this research is to rehabilitate a resident shophouse for thermal, lighting and ventilation comfort. The research process is to study factors that affect each human comfort, survey, measure and evaluate existing comfort conditions and ventilation flow rates of a case study shophouse according to tropical living standards and Thailand's building code to analyze and determine discomfort factors. The case study is a 5-storey, center unit shophouse located in a high density district of Bangkok. It was 4x20 square meters and 17 meters height. Calibrated building simulation model by computer program ENER-WIN 97.2000, Lightscape 3.2 and 2D CFD (Heat-X) were used as tools to evaluate building performance of each architectural improvement strategy.

The conclusions of evaluation by survey and measurement of the existing shophouse in 2002 exposed that indoor dry bulb temperatures in summer and winter were about 26-34 °C when indoor relative humidity was 54-86 %RH in summer and 47-58 %RH in winter. Mean radiant temperature (MRT) was lower than air temperature in daytime about 1-2 °C and higher about 1 °C in nighttime. This excludes the 4th floor where MRT was close to indoor air temperature all day in summer. Average indoor wind velocity was lower than 0.1 m/s which will cause no human response. Thermal comfort in the case study by computer simulation (ENER-WIN 97.2000) breakdown had average thermal comfort of 7,417 hours/year (84.6% of year) which is within thermal comfort (24.5-30.8 °C). Effective daylight at 300 lux illuminance was 46 sq.m. (14% of total area). For most of the building, passive ventilation was under air flow standards. Only 2 zones that compose inlet and outlet areas are much higher than standard. (about 84 sq.m. or 27% of total area). From the study, a basic improvement that reaches fresh air exchange standards is to open a door that connects the zone to a outlet area. However flow path still causes an Eddy effect which is dust and pollution collection.

Three rehabilitation strategies were purposed. The first strategy was to improve material and window to wall ratio of the building envelope, with minimum horizontal and vertical internal opening related to existing construction. The results from simulation: average thermal comfort was 8,602 hours/year (98.19% of year), effective daylight at 300 lux illuminance was 219 sq.m. (76.8% of total area), average indoor wind velocity was 0.2-0.5 m/s. This strategy lost 8.5 sq.m. indoor area and 9.5 sq.m. outdoor area. Inertial cost was 525,250 baht with a return period of 4 years and 2 months

The second strategy was to improve the same building envelope with minimum horizontal and vertical internal opening not related to existing construction. Rearranged function and circulation with longitudinal stairway and a 1x3 sq.m. main vertical opening of 4-storey height at the center of building with covering slab, as well as a reconstructed mezzanine floor in front of the building. The results from simulation: average thermal comfort was 8,622 hours/year (98.43% of year), effective daylight at 300 lux illuminance was 200 sq.m. (65.8% of total area), average indoor wind velocity was 0.5-0.8 m/s. This strategy lost 13.5 sq.m. indoor area and 21.5 sq.m. outdoor area. Inertial cost was 644,300 baht with a return period of 6 years and 6 months.

The third strategy was to set building content to recent building code: 15 meters height, set back 3 meters from rear boundary, 10% of maximum floor area vertical opening and mezzanine floor area 40% of room area. Those were building envelope improvement and internal wall opening as well as rearranged function and circulation with cross stairs and a 7.2 sq.m. main vertical opening of 4-storey height at the center of building without covering and reconstructed mezzanine floor in front of the building. The results from simulation: average thermal comfort was 8,652 hours/year (98.78% of year) effective daylight at 300 lux illuminance was 185 sq.m. (66.8% of total area), average indoor wind velocity was 0.6-1 m/s. This strategy lost 20.5 sq.m. indoor area and 44 sq.m. outdoor area. Inertial cost was 747,030 baht with a return period of 6 years and 7 months.

This research set 3 criteria for consideration of a suitable improvement strategy for an urban resident shop house. These are building performance in term of thermal lighting and ventilation comfort according to standards, maximum functional area and economic analysis. The best strategy of comfort criteria is the third strategy, but the best strategy for maximum area or short-return period is the first improvement strategy.

Department      Architecture      Student's signature.....

Field of study    Architecture      Advisor's signature.....

Academic year 2004      Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ได้รับความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ จากผู้เกี่ยวข้องมากมายโดยเฉพาะคณาจารย์ที่ถ่ายทอดความรู้ ให้คำแนะนำในการทำวิจัย พร้อมทั้งอบรมสั่งสอนวิธีการบริหารงานให้สำเร็จด้วยดี ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน อาจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร อาจารย์ พีรวัส พัทธเศวต รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฉันทวิลาสวงศ์ รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์ ขอกราบขอบพระคุณและแสดงความเคารพแด่ รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ

ขอขอบคุณผู้สนับสนุนทุนการศึกษาและทุนการวิจัยนี้ ได้แก่ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการมอบทุนอุดหนุนการศึกษาเฉพาะค่าเล่าเรียน (ทุน 72 พรรษา) ประจำปีการศึกษา 2544-2545 และทบวงมหาวิทยาลัย ในการมอบทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอกในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐของทบวงมหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2545 เพื่อใช้ในการจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้การวิจัย ได้แก่ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และจุดควบแน่น (Testo 605-H1) จำนวน 2 เครื่อง และเครื่องมือวัดความเร็วลม อุณหภูมิ และอัตราการระเหยอากาศ (Testo 405-V1) จำนวน 2 เครื่อง ทั้งนี้ผู้วิจัยได้มอบอุปกรณ์ดังกล่าวทั้ง 4 เครื่อง ให้แก่ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ เพื่อใช้ในการวิจัยอื่นๆ ที่ประโยชน์ต่อสาธารณะร่วมกัน

ขอกราบขอบพระคุณผู้บังคับบัญชาและผู้บริหารระดับสูง สำนักงานโยธา กรุงเทพมหานคร ที่อนุมัติให้ผู้วิจัยลาศึกษาในเวลาราชการ ขอกราบขอบพระคุณ นายสินธุ์ชัย บุญปักษ์ ตำแหน่ง สถาปนิก 8 วช. หัวหน้างานสถาปัตยกรรม 2 ผู้กำกับดูแลกำหนดการของงานที่ได้รับมอบหมายในราชการร่วมกับงานวิจัย ขอขอบคุณข้าราชการผู้ร่วมงานทุกท่านที่ร่วมให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กองควบคุมอาคาร สำนักงานโยธา กรุงเทพมหานคร ผู้ให้คำปรึกษาด้านการขออนุญาตดัดแปลงอาคาร และกฎหมายควบคุมอาคารในการศึกษาความเป็นไปได้ของการปรับปรุงอาคาร

ขอขอบคุณครอบครัว เนตรปัญญา และสมาชิกผู้อาศัยในอาคารกรณีศึกษาทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมืออดทนต่อการควบคุมการใช้งานอาคาร ในระหว่างการทดลอง ตลอด 24 ชั่วโมง รวมเวลา 3 สัปดาห์

ขอขอบคุณ นายสรารุท กาญจนพิมาย ผู้อุทิศให้ทุกสิ่งทั้งกำลังกายและกำลังใจตลอดการวิจัย และเป็นผู้ช่วยวิจัยในทุกขั้นตอน ขอขอบคุณผู้มีส่วนร่วมดำเนินการวิจัยทุกท่านในทุกขั้นตอนของการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ฤกษ์เสริมสุข ผู้ดูแลสุขภาพ ให้กำลังใจและความสนับสนุนทุกด้านตลอดมา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญรูปภาพ .....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ .....	ฏ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	4
1.4 สมมติฐานของการวิจัย .....	5
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย .....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	6
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสภาวะน่าสบาย .....	7
2.1.1 สภาวะสบายของมนุษย์ .....	7
2.1.2 สภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ .....	7
2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิของมนุษย์ .....	10
2.1.4 มาตรฐานวัดความสบายทางอุณหภูมิ .....	15
2.1.5 ขอบเขตสภาวะสบายทางอุณหภูมิ .....	22
2.1.6 สภาวะน่าสบายทางด้านแสงสว่าง .....	27
2.1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายทางด้านแสงสว่าง .....	27
2.1.8 มาตรฐานวัดความสบายทางด้านแสงสว่าง .....	27
2.1.9 ขอบเขตสภาวะน่าสบายทางด้านแสงสว่าง .....	28
2.1.10 สภาวะน่าสบายทางการระบายอากาศ .....	29
2.1.11 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายทางการระบายอากาศ .....	30
2.1.12 มาตรฐานวัดความสบายทางการระบายอากาศ .....	30
2.1.13 ขอบเขตสภาวะสบายทางการระบายอากาศ .....	33
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อน .....	35
2.2.1 การควบคุมความร้อนของอาคาร .....	35
2.2.2 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร .....	37
2.2.3 อุณหภูมิผิววัสดุเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ (Sol-air Temperature) .....	38
2.2.4 การวิเคราะห์หาระยะห่างความร้อนในประเทศไทย .....	38
2.2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปรับเย็นของอาคาร .....	39

	หน้า
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น.....	44
2.3.1 ทฤษฎีความชื้น.....	44
2.3.2 ความสำคัญของความชื้น.....	44
2.3.3 ประเภทของความชื้น.....	44
2.3.4 การถ่ายเทความชื้น.....	45
2.3.5 แหล่งที่มาของความชื้นในอาคาร.....	46
2.3.6 ปัญหาความชื้นที่มีผลกระทบต่อสถาปัตยกรรม.....	47
2.3.7 การควบคุมความชื้นในงานสถาปัตยกรรม.....	49
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายอากาศ.....	52
2.4.1 หลักพื้นฐานที่เกี่ยวกับการไหลของอากาศ.....	52
2.4.2 การออกแบบช่องเปิดเปลือกอาคารเพื่อการระบายอากาศ.....	55
2.4.3 การประมาณอัตราการไหลเวียนอากาศ.....	57
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงสว่าง.....	68
2.5.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับแสงสว่าง.....	68
2.5.2 พฤติกรรมของแสง.....	69
2.5.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง.....	71
2.5.4 สภาพท้องฟ้า.....	73
2.5.5 วิธีการวิเคราะห์การให้แสงสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติ.....	75
2.6 การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น.....	78
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	78
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	96
3.2 การกำหนดอาคารกรณีศึกษา.....	96
3.3 การสำรวจเก็บข้อมูลอาคาร.....	97
3.4 การประเมินและวิเคราะห์สภาพที่น่าสบายของอาคารกรณีศึกษา.....	100
3.5 การเสนอแนวทางปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา.....	100
3.6 การประเมินแนวทางการปรับปรุงอาคาร.....	100
3.7 สรุปแนวทางการออกแบบปรับปรุง.....	101
3.8 รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	101
<b>บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา</b>	
4.1 ข้อมูลรายละเอียดอาคาร.....	92
4.1.1 ที่ตั้งอาคารและสภาพแวดล้อม.....	92
4.1.2 ลักษณะทางสถาปัตยกรรม.....	94
4.1.3 ระบบเปลือกอาคารและช่องเปิด.....	99



## สารบัญ (ต่อ)

ณ

หน้า

4.1.4 การป้องกันแสงแดดของอาคารกรณีศึกษาและการโคจรของดวงอาทิตย์	100
4.1.5 คุณสมบัติวัสดุอาคาร	106
4.1.6 ผู้ใช้อาคาร	107
4.2 การประเมินและวิเคราะห์สภาวะนำสบายของอาคารกรณีศึกษา	108
4.2.1 การประเมินและวิเคราะห์สภาวะนำสบายด้านอุณหภูมิ	108
4.2.2 การประเมินและวิเคราะห์สภาวะนำสบายด้านแสงสว่าง	114
4.2.3 การประเมินและวิเคราะห์สภาวะนำสบายด้านการระบายอากาศ	115
4.3 สรุปการประเมินผลสภาวะนำสบายด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศอาคารกรณีศึกษา	116
4.4 การจำลองสภาวะภายในอาคารด้านอุณหภูมิด้วยโปรแกรม ENER-WIN 97.2000	124
4.5 การจำลองสภาวะภายในอาคารด้านแสงสว่างด้วยโปรแกรม Lightscape 3.2	130
4.6 การจำลองสภาวะภายในอาคารด้านการระบายอากาศด้วยโปรแกรม 2D-CFD	134
<b>บทที่ 5 การพิจารณาแนวทางการปรับปรุงอาคาร</b>	
5.1 หลักเกณฑ์การเลือกวิธีการปรับปรุงอาคาร	141
5.2 การกำหนดแนวทางในการออกแบบปรับปรุง	141
5.2.1 แนวทางการปรับปรุงสภาวะนำสบายภายในอาคารด้านอุณหภูมิ	141
5.2.2 แนวทางการปรับปรุงสภาพแสงสว่างภายในอาคาร	142
5.2.3 แนวทางการปรับปรุงสภาวะนำสบายภายในอาคารด้านการระบายอากาศ	142
5.3 พิจารณาทางเลือกในการออกแบบ (design strategy)	144
5.3.1 ทางเลือกในการปรับปรุงเปลือกอาคาร	144
5.3.2 ทางเลือกในการปรับปรุงภายในอาคาร	152
5.4 สรุปทางเลือกวิธีการปรับปรุงอาคาร	162
5.5 การปรับปรุงอาคารและการประเมินผลแบบปรับปรุงที่ 1	162
5.6 การปรับปรุงอาคารและการประเมินผลแบบปรับปรุงที่ 2	170
5.7 การปรับปรุงอาคารและการประเมินผลแบบปรับปรุงที่ 3	178
5.8 การพิจารณาประสิทธิภาพการจัดพื้นที่ใช้สอย	186
5.9 การพิจารณาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์	187
<b>บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
6.1 สรุปผลการวิจัย	188
6.2 ข้อเสนอแนะ	191
รายการอ้างอิง	192
ภาคผนวก	194
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	281

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-01 ผลกระทบของตึกแถวทั่วไป.....	2
ตารางที่ 1-02 ปัญหาของตึกแถวพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร.....	2
ตารางที่ 1-03 รายงานการสำรวจเคหะ พ.ศ. 2539 2529 และ 2519 สำนักงานสถิติแห่งชาติ.....	3
ตารางที่ 2-01 แสดงค่า clo-value ของเครื่องแต่งกายแบบต่าง ๆ.....	12
ตารางที่ 2-02 อัตราการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ.....	13
ตารางที่ 2-03 มาตราส่วนวัดความรู้สึทางอุณหภูมิของ ASHRAE เปรียบเทียบกับของ Bedford.....	14
ตารางที่ 2-04 อุณหภูมิที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของมนุษย์ ภายใต้เงื่อนไขของกิจกรรมธรรมดา.....	23
ตารางที่ 2-05 การเปรียบเทียบขอบเขตสภาวะน่าสบายสำหรับประเทศต่างๆ โดย Koenigsberger และทีมิวิจย.....	24
ตารางที่ 2-06 ข้อมูลทางกายภาพ และผลการวิจัยสภาวะน่าสบายสำหรับคนไทยของ John F. B.(1988)....	26
ตารางที่ 2-07 มาตรฐานวัดความสบายทางแสงสว่าง.....	28
ตารางที่ 2-08 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) และ มาตรฐานการ กำหนดค่า DAYLIGHT FACTOR ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน).....	28
ตารางที่ 2-09 ตารางเปรียบเทียบลักษณะการใช้งานจากความเหมาะสมของกิจกรรมตามมาตรฐานสากล..	29
ตารางที่ 2-10 ความเร็วลมภายในอาคารกับสภาวะน่าสบาย.....	32
ตารางที่ 2-11 อัตราการระบายอากาศตามธรรมชาติที่เพียงพอต่อความต้องการตามกฎหมายควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 หมวด 7 ข้อ 64.....	33
ตารางที่ 2-12 อัตราการระบายอากาศที่เพียงพอต่อความต้องการภายในที่อยู่อาศัยของ ASHRAE.....	33
ตารางที่ 2-13 ความต้องการ การถ่ายเทของอากาศในอาคารแต่ละประเภท ของ AIA.....	34
ตารางที่ 2-14 ปริมาณการเปลี่ยนอากาศใหม่สำหรับบ้านพักอาศัยของ David Oakley.....	34
ตารางที่ 2-15 ค่า Cooling load Temperature difference (CLTD) ที่ 40 องศาเหนือ.....	41
ตารางที่ 2-16 ปริมาณความชื้นที่เกิดภายในที่พักอาศัย.....	47
ตารางที่ 2-17 การควบคุมความชื้นจากการระเหยน้ำฝนบนผิวอาคาร.....	51
ตารางที่ 2-18 การควบคุมความชื้นจากการถ่ายเทอากาศ.....	51
ตารางที่ 2-19 ผลการทดลองการระบายอากาศด้วยวิธีการเหนี่ยวนำของช่องเปิดที่ผนังด้านเดียว.....	59
ตารางที่ 2-20 ค่าคงที่ K ตามอัตราส่วนของช่องเปิด.....	60
ตารางที่ 2-21 ค่า Cp สำหรับลมที่กระทำในทิศต่างๆ.....	61
ตารางที่ 2-22 ค่าคงที่ K เปลี่ยนตามอัตราส่วนของช่องเปิดที่เปลี่ยนไป.....	64
ตารางที่ 2-23 อัตราการรั่วซึมอากาศโดยรวมจากการประมาณสำหรับอาคารขนาดเล็ก.....	65
ตารางที่ 2-24 ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่างๆ.....	71
ตารางที่ 2-25 ค่าประมาณ DF. สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ.....	77
ตารางที่ 3-01 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ศึกษาประสิทธิภาพอาคาร.....	85
ตารางที่ 3-02 การตั้งค่า EMISSION ของพื้นผิววัสดุ.....	89
ตารางที่ 4-01 ตารางการใช้งานพื้นที่ห้อง จำแนกตามประเภทการใช้งาน.....	107

## สารบัญญัตราสาร (ต่อ)

ฎ

	หน้า
ตารางที่ 4-02 ความเร็วลมหน้าช่องเปิดด้านหน้าอาคารกรณีศึกษา.....	113
ตารางที่ 4-03 อัตราการระบายอากาศอาคารกรณีศึกษา.....	115
ตารางที่ 4-04 สรุปสภาวะอากาศอาคารกรณีศึกษา ชั้น 1 และชั้นลอย.....	116
ตารางที่ 4-05 สรุปสภาวะอากาศอาคารกรณีศึกษา ชั้น 2.....	118
ตารางที่ 4-06 สรุปสภาวะอากาศอาคารกรณีศึกษา ชั้น 3.....	119
ตารางที่ 4-07 สรุปสภาวะอากาศอาคารกรณีศึกษา ชั้น 4.....	121
ตารางที่ 4-08 ข้อมูลรายละเอียดโซนต่างๆ ของอาคารกรณีศึกษา ที่ให้นำเข้าในโปรแกรม ENER-WIN 97.2002.....	126
ตารางที่ 4-09 คุณสมบัติวัสดุอาคารส่วนที่บและส่วนโปร่งแสงที่นำเข้าไปรแกรม.....	127
ตารางที่ 4-10 คุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการจำลองสภาพแสงสว่างในโปรแกรม Lightscape3.2.....	130
ตารางที่ 4-11 การคำนวณอัตราการระบายอากาศของอาคารจำลองในโปรแกรม 2D-CFD เปรียบเทียบ กับอาคารกรณีศึกษา.....	140
ตารางที่ 5-01 รายการคุณสมบัติวัสดุที่เลือกใช้ในการปรับปรุงเปลือกอาคารด้านบน.....	145
ตารางที่ 5-02 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารด้านข้าง.....	146
ตารางที่ 5-03 ระยะแสงสว่างธรรมชาติที่ 300 ลักซ์ จากการจำลองเปลือกอาคารด้านข้าง 12 รูปแบบ.....	148
ตารางที่ 5-04 ระยะเข้าถึงของแสงสว่างธรรมชาติที่ 300 ลักซ์ จากการจำลองช่องเปิดด้านหลัง.....	152
ตารางที่ 5-05 รายการคำนวณภาระการปรับเย็นรายปี การปรับปรุงอาคารแบบที่ 1.....	167
ตารางที่ 5-06 ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่าง การปรับปรุงอาคารแบบที่ 1.....	167
ตารางที่ 5-07 รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี การปรับปรุงอาคารแบบที่ 1.....	167
ตารางที่ 5-08 รายการคำนวณภาระการปรับเย็นรายปี การปรับปรุงอาคารแบบที่ 2.....	175
ตารางที่ 5-09 ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่าง การปรับปรุงอาคารแบบที่ 2.....	175
ตารางที่ 5-10 รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี การปรับปรุงอาคารแบบที่ 2.....	175
ตารางที่ 5-11 รายการคำนวณภาระการปรับเย็นรายปี การปรับปรุงอาคารแบบที่ 3.....	183
ตารางที่ 5-12 ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่าง การปรับปรุงอาคารแบบที่ 3.....	183
ตารางที่ 5-13 รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี การปรับปรุงอาคารแบบที่ 3.....	183
ตารางที่ 5-14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฉัดพื้นที่ใช้สอยหลังการปรับปรุง.....	186
ตารางที่ 5-15 การคำนวณความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์.....	187
ตารางที่ 6-01 การเปรียบเทียบผลการประเมินอาคารก่อนการปรับปรุงและการปรับปรุงแบบต่าง ๆ.....	190

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2-01 การสร้างความสมดุลทางอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ต่อสภาพแวดล้อม	8
ภาพที่ 2-02 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะนำสบายทางอุณหภูมิ	8
ภาพที่ 2-03 การคำนวณ MRT โดยใช้ solid angle	11
ภาพที่ 2-04 ลักษณะของลมกับฝุ่นละออง	31
ภาพที่ 2-05 ระยะเวลาความร้อนในประเทศไทย	39
ภาพที่ 2-06 หลักการที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำฝนเข้าสู่อาคาร	51
ภาพที่ 2-07 ลักษณะการไหลของอากาศประเภทต่าง ๆ	52
ภาพที่ 2-08 บริเวณที่มีความดันสูงและต่ำ เมื่อปะทะอาคาร	52
ภาพที่ 2-09 Bernolli effect	53
ภาพที่ 2-10 การระบายอากาศบริเวณยอดหลังคา กรณีเกิดและไม่เกิด Bernoullie effect	53
ภาพที่ 2-11 การดึงลมออกจากอาคารที่หลังคา โดยใช้ Stack Effect	54
ภาพที่ 2-12 การดึงลมออกจากอาคารที่หลังคาโดยใช้ Solar Chimney	54
ภาพที่ 2-13 ตัวอย่างการระบายอากาศแนวตั้ง	54
ภาพที่ 2-14 การรั่วซึมของอากาศภายนอกตามส่วนต่างๆ ของอาคาร	56
ภาพที่ 2-15 ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ	56
ภาพที่ 2-16 การกระจายลมในห้องสี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดด้านเดียว	56
ภาพที่ 2-17 ความถี่และความยาวคลื่นของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ visible light	68
ภาพที่ 2-18 Specula Reflection	69
ภาพที่ 2-19 การสะท้อนแสงแบบกระจายลักษณะต่าง ๆ	70
ภาพที่ 2-20 แสงตกกระทบตัวกลางเกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน	70
ภาพที่ 2-21 แสงตกกระทบตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย	70
ภาพที่ 2-22 ท้องฟ้าแบบ (A) OVERCAST SKY (B) CLEAR SKY	74
ภาพที่ 2-23 การพิจารณาความส่องสว่างตามวิธี Lumen Method	76
ภาพที่ 2-24 ปัจจัยของแสงธรรมชาติ	77
ภาพที่ 2-25 ภาพตัดแสดงการทำงาน ของแผงบังแดด	80
ภาพที่ 3-01 การติดตั้งอุปกรณ์ RH-Temp data logger: HOBO ในที่ร่ม	86
ภาพที่ 3-02 การติดตั้งอุปกรณ์ RH-Temp data logger: HOBO กลางแจ้ง	87
ภาพที่ 3-03 อุปกรณ์ Humidity measuring stick: Testo 605-H1	88
ภาพที่ 3-04 Globe Thermometer	88
ภาพที่ 3-05 Surface Temperature Meter	89
ภาพที่ 3-06 การติดตั้งหัวเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิผิววัสดุ	90
ภาพที่ 3-07 เครื่องวัดความเร็วลมแบบ digital	90
ภาพที่ 3-08 อุปกรณ์วัดค่าความสว่างของพื้นที่	91

## สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 4-01	แผนที่แสดงที่ตั้งอาคารกรณีศึกษา.....	92
ภาพที่ 4-02	ผังแสดงบริบทโดยรอบ บริเวณอาคารกรณีศึกษา.....	93
ภาพที่ 4-03	ภาพถ่ายอาคารกรณีศึกษาและตึกแถวข้างเคียง.....	94
ภาพที่ 4-04	ผังบริเวณอาคารกรณีศึกษา.....	95
ภาพที่ 4-05	แปลนอาคารกรณีศึกษา.....	95
ภาพที่ 4-06	ภาพด้านอาคารกรณีศึกษา.....	96
ภาพที่ 4-07	ภาพตัดอาคาร แสดงการแบ่งพื้นที่การวัดข้อมูลสภาพอากาศภายในอาคาร.....	96
ภาพที่ 4-08	ภาพถ่ายภายในอาคารกรณีศึกษา แสดงสภาพภายในอาคาร.....	97
ภาพที่ 4-09	ลักษณะช่องเปิดอาคารกรณีศึกษา.....	100
ภาพที่ 4-10	การวิเคราะห์ทิศทางของแสงอาทิตย์ต่ออาคารกรณีศึกษา.....	102
ภาพที่ 4-11	แสงและเงาของอาคารกรณีศึกษา (21 มิถุนายน).....	103
ภาพที่ 4-12	การวิเคราะห์ทิศทางของแสงอาทิตย์ต่อเปลือกอาคารด้านหน้า.....	104
ภาพที่ 4-13	การวิเคราะห์ทิศทางของแสงอาทิตย์ต่อเปลือกอาคารด้านหลัง.....	105
ภาพที่ 4-14	คุณสมบัติการต้านทานความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารกรณีศึกษา.....	106
ภาพที่ 4-15	ภาพตัดอาคารแสดงจำนวนผู้ใช้อาคารและการแบ่งพื้นที่วิเคราะห์สภาวะภายในอาคาร.....	107
ภาพที่ 4-16	ภาพตัดอาคารแสดงตำแหน่งพื้นที่การวัดเก็บข้อมูลอากาศอาคารกรณีศึกษา 23 พื้นที่.....	111
ภาพที่ 4-17	ภาพตัดอาคารแสดงตำแหน่งโซนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 13 โซน.....	111
ภาพที่ 4-18	สรุปบริเวณที่มีปัญหาสภาวะน่าสบาย ในอาคารกรณีศึกษา.....	123
ภาพที่ 4-19	สภาพภูมิอากาศภายนอกอาคารตามมาตรฐานโปรแกรม ENER-WIN 97.2000.....	124
ภาพที่ 4-20	building sketch อาคารกรณีศึกษา ในโปรแกรม ENER-WIN 97.2000.....	125
ภาพที่ 4-21	ผลการจำลองสภาพแสงสว่างตามธรรมชาติของหุ่นจำลอง (model).....	131
ภาพที่ 4-22	ผลการจำลองสภาพแสงสว่างตามธรรมชาติของหุ่นจำลองศึกษา (mass study).....	132
ภาพที่ 4-23	การกำหนดกรอบอาคารบนตารางบอกแนว (Flow domain).....	134
ภาพที่ 5-01	การปรับปรุงภาพแบบเปลือกอาคารด้านข้าง 12 ภาพแบบ.....	147
ภาพที่ 5-02	ภาพแบบนำเสนอการปรับปรุงกันสาดเปลือกอาคาร.....	149
ภาพที่ 5-03	ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ หลังการปรับปรุงกันสาด แบบที่ 1 และ 2.....	150
ภาพที่ 5-04	ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ หลังการเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงภายใน.....	150
ภาพที่ 5-05	ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ หลังการเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงเปลือกอาคารด้านหลัง ชั้น 2.....	151
ภาพที่ 5-06	ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ หลังการเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงเปลือกอาคารด้านหลัง ชั้น 1.....	152
ภาพที่ 5-07	การจัดสัดส่วนและตำแหน่งช่องเปิดภายใน ให้สัมพันธ์กับเส้นทางของแสงและลม.....	153
ภาพที่ 5-08	ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ หลังการทำช่องเปิดที่ผนังทับภายในอาคาร.....	153
ภาพที่ 5-09	ความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนแสงของวัสดุผิวกับสภาวะแสงสว่างในอาคาร.....	154
ภาพที่ 5-10	ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ จากการปรับปรุงแผงดักลม 4 ภาพแบบ.....	156

## สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 5-11 ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ จากการปรับปรุงช่องเปิดปล่องบันได 3 ภาพแบบ.....	157
ภาพที่ 5-12 สภาวะแสงสว่างภายในอาคาร จากช่องเปิดด้านบนที่รับแสงตรงจากดวงอาทิตย์.....	160
ภาพที่ 5-13 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมและการระบายอากาศในช่องเปิดกลางอาคาร.....	161
ภาพที่ 5-14 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมและการใช้พื้นที่ แบบปรับปรุงที่ 1.....	164
ภาพที่ 5-15 ลักษณะพื้นที่ภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 1.....	165
ภาพที่ 5-16 ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่างธรรมชาติ แบบปรับปรุงที่ 1.....	168
ภาพที่ 5-17 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมและการใช้พื้นที่ แบบปรับปรุงที่ 2.....	172
ภาพที่ 5-18 ลักษณะพื้นที่ภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 2.....	173
ภาพที่ 5-19 ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่างธรรมชาติ แบบปรับปรุงที่ 2.....	176
ภาพที่ 5-20 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมและการใช้พื้นที่ แบบปรับปรุงที่ 3.....	180
ภาพที่ 5-21 ลักษณะพื้นที่ภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 3.....	181
ภาพที่ 5-22 ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่างธรรมชาติ แบบปรับปรุงที่ 3.....	184



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 1-01 วิธีดำเนินงานวิจัย .....	6
แผนภูมิที่ 2-01 ความสัมพันธ์และสัดส่วนการสูญเสียความร้อนของร่างกายมนุษย์ .....	9
แผนภูมิที่ 2-02 แผนภูมิดัชนีทำนายเปอร์เซ็นต์ความรู้สึกไม่สบายทางอุณหภูมิ (PPD) .....	14
แผนภูมิที่ 2-03 ค่าอุณหภูมิประสงค์ (effective temperature) .....	16
แผนภูมิที่ 2-04 ค่าอุณหภูมิสมประสงค์ที่สำหรับอากาศนิ่ง .....	17
แผนภูมิที่ 2-05 แผนภูมิสำหรับหาอุณหภูมิยังผลที่แก้ไขแล้ว (CET) .....	17
แผนภูมิที่ 2-06 แผนภูมิ Bioclimatic สำหรับละติจูดที่ 13 องศาเหนือและใต้ .....	20
แผนภูมิที่ 2-07 แผนภูมิไซโคเมตริกของ ASHRAE หมายเลข 1 (psychrometric charts) .....	21
แผนภูมิที่ 2-08 โครงสร้างของแผนภูมิ psychrometric แสดงตัวแปร 6 ชนิด .....	21
แผนภูมิที่ 2-09 แสดงพัฒนาการในการกำหนดขอบเขตสภาวะสบายของ ASHRAE .....	22
แผนภูมิที่ 2-10 เขตสภาวะน่าสบายในฤดูร้อนและฤดูหนาว ขยายจาก psychrometric chart ของ ASHRAE ภายใต้เงื่อนไขการแต่งกายปานกลาง (1.0 clo) กิจกรรมธรรมดา (1.2 met) PPD 10% .....	23
แผนภูมิที่ 2-11 ค่าการนำความร้อนของอากาศ ( $h_a$ ) ณ พื้นผิวต่าง ๆ .....	35
แผนภูมิที่ 2-12 ประเภทช่องเปิดของอาคารตามวัตถุประสงค์การใช้งาน .....	55
แผนภูมิที่ 2-13 ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ตาม ANSI .....	56
แผนภูมิที่ 2-14 การกระจายลมในห้องสี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดด้านเดียว .....	56
แผนภูมิที่ 2-15 ร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดกรณีช่องลมเข้าและออกไม่เท่ากัน .....	60
แผนภูมิที่ 2-16 อัตราการระบายอากาศตามธรรมชาติแบบ stack effect .....	63
แผนภูมิที่ 2-17 อัตราการรั่วซึมอากาศบริเวณประตูและหน้าต่างสำหรับอาคารขนาดเล็ก .....	66
แผนภูมิที่ 4-01 การโคจรของดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร .....	101
แผนภูมิที่ 4-02 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารกรณีศึกษา ฤดูร้อน .....	109
แผนภูมิที่ 4-03 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารกรณีศึกษา ฤดูหนาว .....	109
แผนภูมิที่ 4-04 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคารกรณีศึกษา ฤดูร้อน .....	110
แผนภูมิที่ 4-05 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคารกรณีศึกษา ฤดูหนาว .....	110
แผนภูมิที่ 4-06 อุณหภูมิผิวอาคารเฉลี่ย (MRT) กับอุณหภูมิอากาศภายในห้องและภายนอก ชั้น 1-4 .....	112
แผนภูมิที่ 4-07 ความเร็วลมเฉลี่ยภายในและนอกอาคารกรณีศึกษา .....	113
แผนภูมิที่ 4-08 ระดับความสว่างภายในอาคารกรณีศึกษา .....	114
แผนภูมิที่ 4-09 ร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดกรณีช่องลมเข้าและออกไม่เท่ากัน .....	115
แผนภูมิที่ 4-10 ผลการจำลองสภาวะภายในอาคารด้านอุณหภูมิอากาศกรณีศึกษา .....	128
แผนภูมิที่ 4-11 การเปรียบเทียบการจำลองสภาวะอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคารกับ อุณหภูมิผิวเฉลี่ย (MRT) ในแต่ละชั้นของอาคารกรณีศึกษา .....	129
แผนภูมิที่ 4-12 การเปรียบเทียบผลการจำลองสภาวะอาคาร ด้านแสงสว่างในแต่ละชั้นของอาคาร กรณีศึกษาของค่าที่วัดในอาคารจริง เปรียบเทียบกับหุ่นจำลองค่าวัสดุจริง (model) และหุ่นจำลองวัสดุเดียว (mass study) .....	133

แผนภูมิที่ 4-14	ตัวอย่าง output error ในการประมวลผลในโปรแกรม Heat-X.....	135
แผนภูมิที่ 4-15	ผลการจำลองการเคลื่อนที่อากาศ แพลนพื้นที่ชั้น1 และชั้น2 อาคารตึกแถวกรณีศึกษา.....	136
แผนภูมิที่ 4-16	ผลการจำลองการเคลื่อนที่อากาศ แพลนพื้นที่ชั้น3 และชั้น4 อาคารตึกแถวกรณีศึกษา.....	137
แผนภูมิที่ 4-17	ผลการจำลองการเคลื่อนที่อากาศ อาคารกรณีศึกษา รูปตัดผ่านบันได.....	138
แผนภูมิที่ 4-18	ผลการจำลองการเคลื่อนที่อากาศ อาคารกรณีศึกษา รูปตัดผ่านห้องพัก.....	136
แผนภูมิที่ 5-01	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของกระจก.....	149
แผนภูมิที่ 5-02	ความสัมพันธ์ระหว่างภาระสะท้อนแสงของวัสดุผิวกับสภาวะแสงสว่างในอาคาร.....	155
แผนภูมิที่ 5-03	ผลการศึกษาการเปิดพื้นที่โล่งแบบใช้แสงด้านข้างจากช่องแสงแนวตั้งที่มีหลังคาคลุม.....	158
แผนภูมิที่ 5-04	ผลการศึกษาการเปิดพื้นที่โล่งขนาดใหญ่ระดับจากช่องแสงแนวตั้งที่มีหลังคาคลุม.....	159
แผนภูมิที่ 5-05	ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แบบปรับปรุงที่ 1.....	166
แผนภูมิที่ 5-06	ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 1.....	169
แผนภูมิที่ 5-07	ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แบบปรับปรุงที่ 2.....	174
แผนภูมิที่ 5-08	ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 2.....	177
แผนภูมิที่ 5-09	ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แบบปรับปรุงที่ 3.....	182
แผนภูมิที่ 5-10	ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 3.....	185



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตึกแถว แต่เดิมมีสภาพเป็น “เรือนร้านค้าริมทาง” ในย่านชุมชนที่ทำการค้าทางบกคู่กับเรือนแพในชุมชน การค้าริมน้ำ อันเป็นเอกลักษณ์ทางวัฒนธรรมอย่างหนึ่งของประเทศไทยที่มีมาตั้งแต่สมัยอยุธยา ตามบันทึกประวัติศาสตร์ของช่างฝรั่งที่เข้ามาสมัยพระเจ้าปราสาททอง (พ.ศ. 2173 – พ.ศ. 2198) และภาพวาดจิตรกรรมของชาวฮอลันดา (สันติ ฉันทวิลาสวงศ์, 2521) เป็นหลักฐานแสดงให้เห็นว่าเป็นอาคารที่พักอาศัยของแขกมัวร์และชาวจีน ที่เข้ามาทำการค้าในสมัยนั้น มีลักษณะเป็นอาคารตึกแถวพักอาศัย 2 ชั้น ปลูกเรียงรายอยู่สองฟากของถนนสายหลักของเมืองหลวง ส่วนในกรุงเทพมหานคร อาคารตึกแถวพักอาศัยยุคแรกเริ่มก่อสร้างบริเวณถนนเจริญกรุงใกล้ คลองผดุงกรุงเกษม (ไชแสง สุชะวัฒน์, 2524) ตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 4 (พ.ศ. 2404) ต่อมา มีการสร้างตึกแถวพักอาศัย เพิ่มขึ้นที่ถนนบำรุงเมือง เพ็ญนคร สนามไชย คลองหลอด คลองโอง่าง ไปตามถนนเยาวราช ตลาดน้อย พระรามสี่ สีลม และต่อไปยังนอกเมืองตามลำดับ เนื่องจากเป็นอาคารที่มีการเจริญเติบโตไปตามความยาวของถนน (linear growth) ทั้งประหยัดเวลาและน้ำมันรถในการเดินทาง รวมถึงการขายสินค้าลักษณะเดียวกันต่อเนื่องตลอด จนเกิดเป็นย่านการค้าเฉพาะ เช่น ย่านวรจักร ขายอะไหล่รถยนต์ ย่านสะพานดำขายเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ เป็นต้น ทำให้เกิดลักษณะเด่นที่มีคุณค่า และเสน่ห์ประจำท้องถิ่น

“แต่คุณค่าทางสถาปัตยกรรมของตึกแถวในปัจจุบันด้อยกว่าในอดีตอยู่มาก” (สุวรรณ ธานี, 2524: 59) เนื่องจากตึกแถวซึ่งเดิมใช้เพียงพักอาศัยและประกอบการค้าเล็กน้อย ปัจจุบันได้เปลี่ยนการใช้เป็นอเนกประสงค์ (multi-purpose) หรือเป็นอาคารที่มีการใช้แบบผสมหลายกิจกรรม เช่น สำนักงาน สมาคม สโมสร โรงเรียน โรงแรม แพลต หอพัก ที่ทำการไปรษณีย์ ธนาคาร สถานที่ประกอบกิจการทางศาสนา โรงงาน สถานบริการไนต์คลับ อาคารจอดรถหรือคลังสินค้า เป็นต้น กล่าวได้ว่าตึกแถวพักอาศัยสามารถใช้เป็นสถานที่ประกอบกิจการต่างๆ ได้เกือบทุกประเภท แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองทางเศรษฐกิจที่ให้ผลประโยชน์สูง เนื่องจากเป็นอาคารที่ไม่ต้องการลงทุนสูง การขออนุญาตปลูกสร้าง ทำได้ง่าย จากระบบก่อสร้างอุตสาหกรรมช่วยประหยัดเวลาและเงินในการจ้างสถาปนิก อีกทั้งความสะดวกในการคมนาคม

การพัฒนาตึกแถวมีลักษณะเป็นแถวยาวไปตามถนน โดยเฉพาะบริเวณที่มีความสูง 4-5 ชั้น อากาศที่มีสารพิษปนเปื้อนเข้ามาสะสมภายในอาคาร เกิดการคั่งค้างอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ตั้ง (micro climate) เพราะขาดการไหลเวียนอากาศบริสุทธิ์มาแทนที่เพียงพอ และความยาวต่อเนื่องของตึกจะปิดกั้นลมภายนอก ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้อาศัยในตึกแถว ซึ่งนอกจากปัญหาการระบายอากาศแล้ว สถาปัตยกรรมประเภทนี้ยังมีปัญหาเรื่องแสงสว่าง ความร้อน ปัญหาด้านความปลอดภัย การป้องกันอัคคีภัย การระบายน้ำ เสี่ยงรบกวนจากการจราจรบนถนน ขาดพื้นที่พักผ่อน ออกกำลังกายหรือพื้นที่ปลูกต้นไม้ การขาดความเป็นส่วนตัวในหน่วยอาศัย และปัญหาอื่น ๆ โดยเฉพาะในเขตเมืองเช่นกรุงเทพมหานคร ตึกแถวส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ และสภาพแวดล้อมของเมือง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 1-01 ผลกระทบของตึกแถวทั่วไป (สุวรรณา ธาดานิติ, 2542)

ผู้อยู่อาศัย (Individual)		ส่วนรวม (Community)	
<b>ข้อได้เปรียบ</b>	<b>ข้อเสียเปรียบ</b>	<b>ข้อได้เปรียบ</b>	<b>ข้อเสียเปรียบ</b>
การค้า / เศรษฐกิจ	สุขภาพ / อนามัย	ประหยัดพื้นที่เมือง	มลภาวะทางสายตาและอากาศ
การเดินทาง	ความแออัด	ผลตอบแทนพื้นที่สูง	การจราจร
ความปลอดภัย	ไม่ปลอดภัย	มีศักยภาพในการค้า	สลัม
(ไม่แยกตัวไกล)	(โจรกรรม/อัคคีภัย)		รुकัลการใช้ที่ดินอื่น ๆ
พื้นที่ว่างพอ	ความรู้สึกแบ่งแยกในครอบครัว		รื้อถอนปรับปรุงยาก
ให้ความรู้สึกเป็นบ้าน	คุณภาพชีวิต		

ตารางที่ 1-02 ปัญหาของตึกแถวพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร (Vira Sachakul, 1982)

ปัญหาตึกแถว	ตึกแถว พาณิชย์			ตึกแถว พาณิชย์พักอาศัย		
	การค้า	พักอาศัย	ผสม	การค้า	พักอาศัย	ผสม
ขาดพื้นที่เปิดโล่ง	44%	65%	82%	-	70%	40%
การระบายอากาศ ไม่เพียงพอ	27%	41%	40%	-	27%	26%
พื้นที่พักผอน ไม่เพียงพอ	31%	32%	44%	-	20%	16%
พื้นที่จอดรถไม่เพียงพอ	11%	49%	27%	-	33%	40%
จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม	75%	37%	45%	-	30%	38%

นอกจากนี้ ตึกแถวพักอาศัยยังเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาพลังงาน เนื่องการตึกแถวจำนวนมากไม่สามารถใช้แสงธรรมชาติมาได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และการระบายอากาศที่เพียงพอ รวมทั้งมีการกันแดดที่ไม่เหมาะสม ในกรณีที่สภาพอากาศภายนอกอยู่ในขอบเขตสภาวะน่าสบาย (comfort zone) ผู้ใช้อาคารส่วนมากแก้ปัญหาด้วยการใช้เครื่องปรับอากาศและแสงประดิษฐ์แทน ซึ่งเป็นการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย อีกทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพอนามัยที่เกิดจากการใช้อาคาร (building sick syndrome) ในภายหลัง หากการบำรุงรักษาอาคารไม่ดีพอ ดังนั้นการศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงตึกแถวพักอาศัยเพื่อความสบายด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและ การระบายอากาศ จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อสุขภาพกายและจิตใจของผู้ใช้อาคาร อีกทั้งเป็นการลดการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศในอนาคตได้

จำนวนตึกแถวที่มีอยู่ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีการใช้งานทั้งเพื่อการพักอาศัย การค้าขายขนาดเล็กและใหญ่ การบริการ คลังสินค้า การอุตสาหกรรมขนาดย่อม และการใช้งานแบบอเนกประสงค์ มีอยู่เป็นจำนวนมากเท่าที่พบเห็น และจากภาพถ่ายทางอากาศ แต่เท่าที่มีการสำรวจอย่างเป็นทางการและมีการบันทึกสถิติไว้ มีเพียงด้าน การพักอาศัย สํารวจโดยสำนักงานสถิติ พบว่า อัตราร้อยละของครัวเรือนส่วนบุคคลแยกตามประเภทของ ที่อยู่อาศัยและเขตการปกครองของตึกแถว ห้องแถวและเรือนแถวในเมืองมีประมาณเฉลี่ย 33% ของอาคารที่เป็น ที่พักอาศัยทั้งหมด ในปี พ.ศ. 2539 ซึ่งหากนับรวมอาคารตึกแถวที่ใช้เป็นอาคารพาณิชย์ พร้อมกับสังเกตจาก ภาพถ่ายทางอากาศของกรมแผนที่ทหารแล้ว จะเห็นว่ามึ้นจำนวนมากว่าสถิติที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 - 03

ตารางที่ 1-03 รายงานการสำรวจเคหะ พ.ศ. 2539 2529 และ 2519 สำนักงานสถิติแห่งชาติ

พ.ศ. และ เขตการ ปกครอง	รวม		ประเภทของที่อยู่อาศัย						
	จำนวน	ร้อยละ	บ้านเดี่ยว	ทาวน์เฮาส์	ห้องชุด	ตึกแถว ห้องแถว เรือนแถว	ห้อง ภายใน บ้าน	เรือ แพ รถ	อื่น ๆ
<b>รวม</b>									
2539	15,002,591	100	80.7	4.4	1.9	11.0	1.9	***	0.1
2329	10,723,129	100	85.7	0.8	1	10.4	1.7	***	0.4
2519	6,858,920	100	89.9	-	0.2	8.9	1.0	-	-
<b>ในเขตเทศบาล</b>									
2539	3,046,293	100	41.5	8.8	7.5	33.2	8.7	0.1	0.2
2329	2,049,153	100	49.3	3.6	4.9	33.5	7.5	0.1	1.1
2519	1,010,420	100	51.3	-	1.6	41.1	6.0	-	-
<b>นอกเขตเทศบาล</b>									
2539	11,956,299	100	90.6	3.3	0.4	5.4	0.2	***	0.1
2329	8,673,976	100	94.2	0.2	0.1	5.0	0.3	***	0.2
2519	5,848,500	100	96.5	-	***	3.3	0.2	-	-

หมายเหตุ : ห้องชุด ได้แก่ อพาร์ทเมนท์ แฟลต คอนโดมิเนียม

\*\*\* หมายถึง มีค่าต่ำกว่า 0.1

ที่มา : <http://www.nso.go.th/thai/stat/house/tab1.htm> (13/6/2002)

นอกจากนี้การส่งเสริมให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการพักอาศัย ในอาคารตึกแถวที่เป็นปัญหาต่อคุณภาพประชากร ส่วนหนึ่งของประเทศ ยังเป็นการตอบสนองนโยบายการปฏิรูประบบสุขภาพข้อแรก ในด้านการพัฒนาคน ให้มีคุณภาพฯ ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 พ.ศ.2545 – 2549 ที่กำหนดให้มี “การพัฒนาสภาวะแวดล้อมที่อยู่อาศัยและ สถานที่ทำงานให้ถูกสุขลักษณะ” (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนา เศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. 2544: 40)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงตึกแถวพักอาศัยในเชิงสถาปัตยกรรม เพื่อให้มีสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศ ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตที่ดี ในการอยู่อาศัย โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาองค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย ด้านอุณหภูมิและแสงสว่าง ในตึกแถวพักอาศัย
2. สำรวจ ประเมิน และวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและการใช้อาคารตึกแถวพักอาศัย เพื่อศึกษาสภาวะน่าสบายภายในตึกแถวพักอาศัย
3. ศึกษาแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารตึกแถวพักอาศัย เพื่อความสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศ ที่มีความเป็นไปได้ ในเชิงเทคนิคและเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การออกแบบปรับปรุงตึกแถวพักอาศัยในการวิจัยนี้ นำเข้าสู่การออกแบบโดยการประเมินสภาวะน่าสบายของอาคารกรณีศึกษาที่วัดได้จริง เปรียบเทียบกับมาตรฐานสภาวะน่าสบายสากลร่วมกับข้อบังคับทางกฎหมาย การศึกษาพิจารณาสภาวะด้านอุณหภูมิ 4 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย ความเร็วลม ด้านแสงสว่างศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณและคุณภาพแสงธรรมชาติ ด้านการระบายอากาศศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการระบายอากาศ และเส้นทางการเคลื่อนที่ของอากาศภายใน ผลการประเมินกรณีศึกษาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาสภาวะอากาศภายในอาคารที่ไม่เหมาะสม และคาดการณ์ในการปรับปรุงปัญหาเท่านั้น
2. การปรับปรุงอาคารศึกษาเฉพาะเลือกอาคารด้านข้างและด้านบน ช่องเปิดด้านข้างและกลางอาคาร บันได ส่วนยื่นทางสถาปัตยกรรม และการจัดพื้นที่ใช้สอยภายใน โดยพิจารณาในรูปแบบคุณสมบัติวัสดุ ขนาด เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้จริง ทั้งนี้การวิจัยนี้ไม่ศึกษาถึงองค์ประกอบของสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ในสถานการณ์จริง ได้แก่ ลักษณะพื้นที่สภาพแวดล้อมและอาคารข้างเคียง เทคโนโลยีการก่อสร้าง ภูมิสถาปัตยกรรม การตกแต่งภายในอาคาร ตลอดจนความงามทางสถาปัตยกรรม ตามยุคสมัย
3. การกำหนดวิธีการปรับปรุง เป็นการผสมผสานแนวทางการออกแบบตามแนวความคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการออกแบบองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายภายในอาคาร ทั้งด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศร่วมกัน
4. การประเมินแนวทางการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสม พิจารณาจากประสิทธิภาพอาคารและความเหมาะสมเชิงเศรษฐกิจ จากผลการจำลองสภาวะอาคารโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยไม่ทำการปรับปรุงอาคารจริง
5. การกำหนดอาคารกรณีศึกษา พิจารณาเฉพาะตึกแถวพักอาศัยในเมืองกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นพื้นที่เหมาะสมต่อการศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากความหลากหลายของตึกแถว ทั้งขนาด รูปแบบและวัสดุอาคาร มีความแตกต่างกันมาก จึงกำหนดขอบเขตในการเลือกตึกแถวพักอาศัยเพื่อเป็นกรณีศึกษา จำนวน 1 คูหา โดยมีเกณฑ์การเลือกอาคาร ดังนี้
  - 5.1 เป็นหน่วยอาคารที่มีสภาวะอากาศภายในอาคารด้านความสบายทางอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศในส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคาร ต่ำกว่ามาตรฐานสากล
  - 5.2 รูปแบบทางสถาปัตยกรรมของอาคารมีลักษณะเหมือนตึกแถวส่วนใหญ่ สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางเพื่อการศึกษาอาคารอื่นได้
  - 5.3 เป็นอาคารที่มีข้อจำกัดในการปรับปรุงสูงสุด คือมีความสูงตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไป และผนังด้านข้างทั้ง 2 ด้านติดกับคูหาถัดไป ซึ่งไม่สามารถทำช่องเปิดด้านข้างเพิ่มได้ หรือเป็นอาคารที่มีข้อจำกัดในการระบายอากาศเฉพาะด้านหน้า ด้านหลังอาคารและหลังคา หรือคาดฟ้าเท่านั้น
  - 5.4 มีการระบายอากาศโดยธรรมชาติบางส่วน หรือทั้งหมดของหน่วยพักอาศัย

- 5.5 มีขนาดความกว้างอาคารไม่ต่ำกว่า 4 เมตร ตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 55 โดยมีหรือไม่มี การต่อเติมหรือตัดแปลงพื้นที่ภายหลังการก่อสร้าง เพื่อความเหมาะสมในการอยู่อาศัย สอดคล้องกับกฎหมายควบคุมอาคารในปัจจุบัน สามารถยื่นขอตัดแปลงอาคารได้จริง
- 5.6 ผู้วิจัยสามารถเก็บข้อมูลสภาวะอากาศภายในอาคารและควบคุมการเปิดปิดเปลือก อาคารได้เองตลอด 24 ชั่วโมง

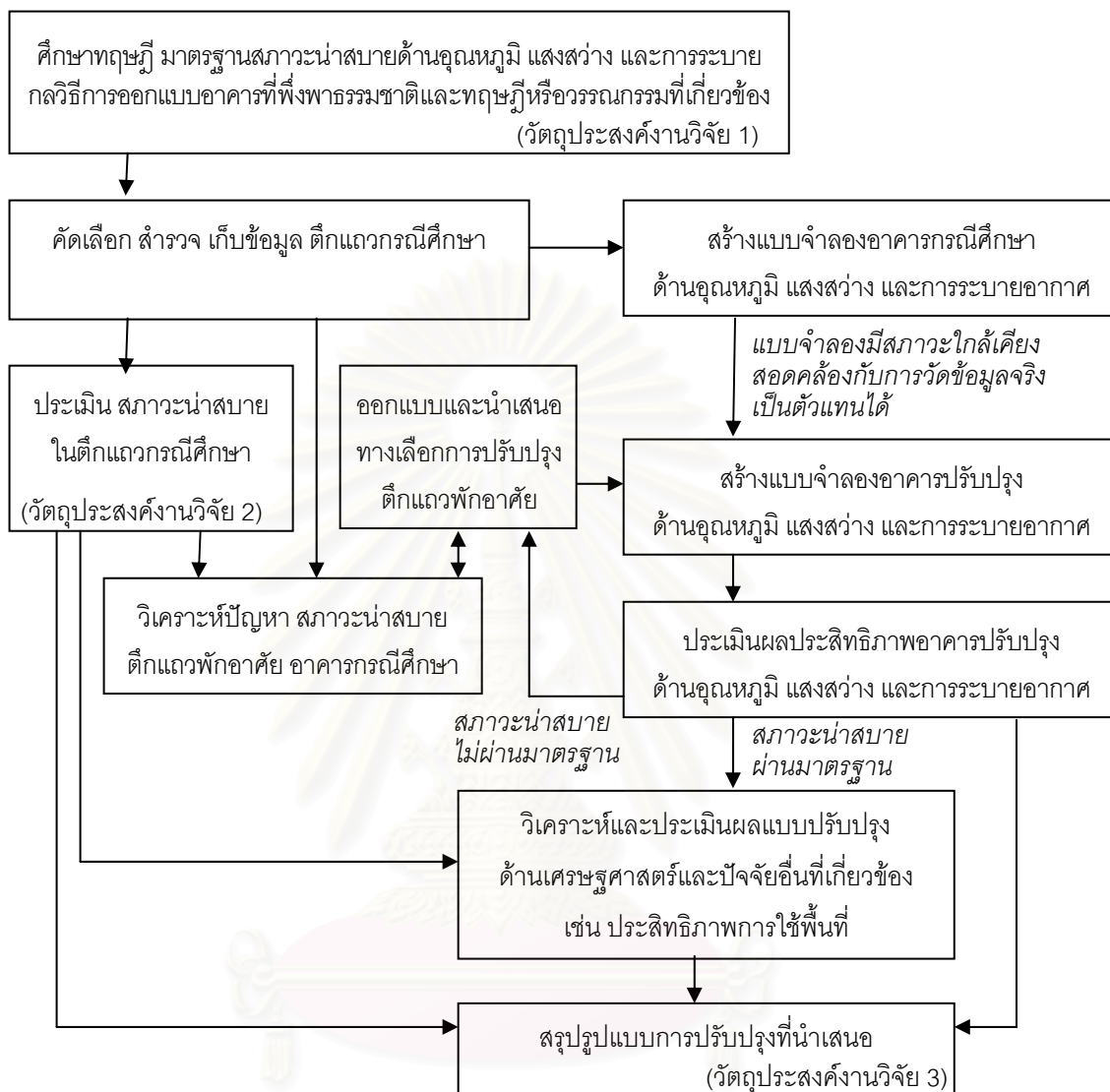
#### 1.4 สมมติฐานของการวิจัย

การออกแบบปรับปรุงหน่วยตึกแถวพักอาศัย ให้มีคุณสมบัติวัสดุ ตำแหน่ง ขนาดช่องเปิด สี การจัดพื้นที่ ใช้สอยภายใน และการออกแบบองค์ประกอบส่วนประณีตทางสถาปัตยกรรม เช่น ผนัง หลังคา บันได ช่องเปิด แฉงกันแดด หิ้งสะท้อนแสงและแผงดักลมที่เหมาะสม สามารถส่งเสริมให้เกิดสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศภายในตึกแถวพักอาศัยมากขึ้นได้

#### 1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาแนวทางการวิเคราะห์ การใช้อาคาร และแนวทางในการปรับปรุงอาคารทั้งด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศ โดยศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพชีวิตในการอยู่อาศัย ข้อกำหนด มาตรฐานสภาวะน่าสบายในเขตร้อนชื้น รวมถึงข้อกำหนดกฎหมายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอาคาร และทฤษฎี หรือวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2. สำรวจ เก็บข้อมูลอาคารตึกแถวพักอาศัยด้านลักษณะกายภาพของอาคาร สภาพแวดล้อม การจัด พื้นที่ใช้สอย ลักษณะการใช้งานและพฤติกรรมของผู้ใช้อาคารกรณีศึกษา
3. ประเมิน และวิเคราะห์อาคารด้านประสิทธิภาพอาคาร โดยอาศัยข้อมูลที่สำรวจและเก็บรวบรวม เพื่อสรุปปัญหาของอาคารที่ต้องออกแบบปรับปรุง รวมทั้งตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยใช้มาตรฐาน ทางด้านสภาวะน่าสบายสากลและ ข้อกำหนดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง
4. เสนอแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอาคารในการพักอาศัย วิเคราะห์ปัญหาและทำการประเมินสภาวะน่าสบายของอาคารที่ทำการปรับปรุงแต่ละแนวทางด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในด้านต่าง ๆ ดังนี้
  - 4.1 จำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรม ENER-WIN 97.2000 เพื่อประเมินสภาพอากาศด้าน อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมต่อสภาวะน่าสบายตามมาตรฐาน
  - 4.2 จำลองสภาพการระบายอากาศในอาคาร โปรแกรม Heat X และคำนวณอัตรา การระบายอากาศด้วยสมการคณิตศาสตร์
  - 4.3 จำลองแสงธรรมชาติภายในอาคารโดยโปรแกรม Lightscape 3.2
5. ประเมินแนวทางการปรับปรุงอาคารในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น
6. สรุปผลแนวทางที่เหมาะสมในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา และเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ ปรับปรุงอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกับอาคารกรณีศึกษาต่อไปในอนาคต

### แผนภูมิที่ 1-01 วิธีดำเนินงานวิจัย



#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ และปรับปรุงอาคารตึกแถวกรณีศึกษา เพื่อความสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศในการพักอาศัย
2. ผลการวิจัยสามารถปรับใช้เป็นแนวทางในการออกแบบปรับปรุงอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีศึกษา คือมีข้อจำกัดในการใช้พื้นที่และข้อจำกัดในการปฏิสัมพันธ์กับสภาวะแวดล้อมผ่านกรอบอาคารน้อย ให้มีความเหมาะสมต่อสภาวะน่าสบายทางด้าน อุณหภูมิ แสงสว่างและ การระบายอากาศ เพื่อให้เกิดคุณภาพชีวิตในเชิงสถาปัตยกรรมสำหรับผู้อยู่อาศัย ต่อไปได้
3. เป็นการตอบสนองนโยบายการปฏิรูประบบสุขภาพ ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 9 พ.ศ.2545 – 2549

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศที่เหมาะสมต่อการพักอาศัยของมนุษย์ภายในอาคารตึกแถว ซึ่งเป็นการศึกษาสภาพและปัญหาจากการสำรวจอาคารจริง พิจารณาควบคู่ไปกับการจำลองสภาพอาคารที่ศึกษาในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อประเมินสภาวะน่าสบายและสรุปแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีและแนวความคิดเกี่ยวกับสภาวะน่าสบายทั้งด้านอุณหภูมิและแสงสว่าง รวมถึงแนวทางในการออกแบบอาคารในภูมิอากาศร้อนชื้นให้มีประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถปรับปรุงอาคารได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตึกแถว และปัญหาตึกแถวเพิ่มเติมเพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

#### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับสภาวะน่าสบาย

##### 2.1.1 สภาวะสบายของมนุษย์ (Human Comfort)

เนื่องจาก “ความรู้สึกสบายหรือแม้แต่ความรู้สึกไม่สบายของมนุษย์ ขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันของอวัยวะรับความรู้สึก เช่น ตา หู จมูก การรู้สึกจากสัมผัส การรู้สึกจากความร้อนและลม” (Bradshaw, 1993: 10) ดังนั้นความสบายของมนุษย์จึงตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสบายทางด้านการมองเห็น การได้ยิน ความสบายด้านอุณหภูมิหรือแม้แต่ระดับคุณภาพอากาศ ซึ่งมีนักวิชาการหลายท่านได้พยายามค้นหามาตรฐานวัดความสบายขึ้นโดยการทดลองวัดความรู้สึก ของบุคคล โดยจะประเมินค่าออกมาโดยระเบียบวิธีทางสถิติ

โดยธรรมชาติหากมนุษย์ต้องอยู่ภายในห้องที่ถูกปิดมิดชิด โดยไม่มีการไหลเวียนของอากาศในช่วงเวลาหนึ่งมนุษย์จะมีความรู้สึกอึดอัดและไม่สบาย ข้อสังเกตนี้ Lavoisier นักเคมี ได้อธิบายไว้ เมื่อปี ค.ศ. 1777 เนื่องจากการเพิ่มความหนาแน่นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และในปี ค.ศ. 1905 Frugge นักสุขศาสตร์ ได้เสนอทฤษฎีที่ใช้กันจนปัจจุบันว่า ร่างกายของคนต้องการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการประกอบกิจกรรม หากความร้อนนั้นไม่สามารถระบายออกไปจากร่างกายได้ เนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบสูงกว่า จะมีผลทำให้อึดอัดและรู้สึกไม่สบาย (ไพบูลย์ หังสพฤกษ์ และ เฮอิโซ ไชโต. มปป.: 4)

##### 2.1.2 สภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ (Thermal Comfort)

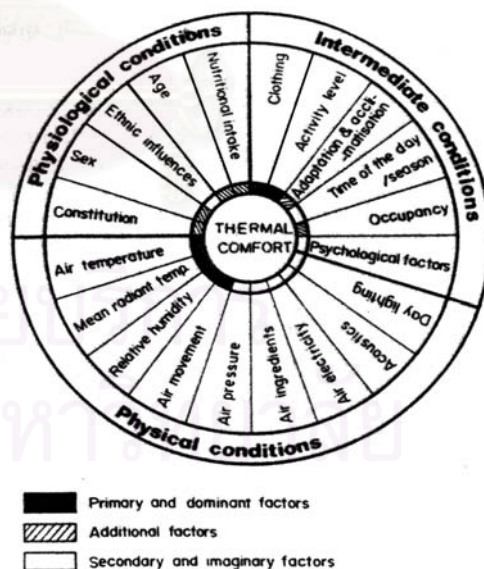
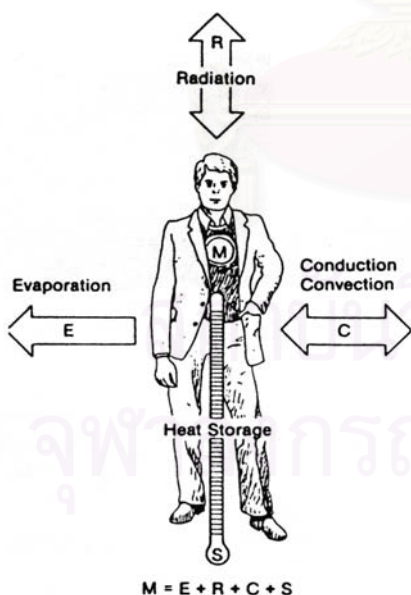
สภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ คือ เงื่อนไขทางจิตใจที่แสดงออกถึงความพึงพอใจต่อสภาพแวดล้อมทางความร้อนของมนุษย์ (ASHRAE, 1997: 8.1) เป็นสภาวะที่คนเราไม่รู้สึกอยู่ในสภาวะไม่สบาย หรือไม่รู้สึกว่าจะตัวเองมีการสูญเสียความร้อน หรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อม เป็นสภาวะสมดุลทางอุณหภูมิระหว่างร่างกายกับสภาพแวดล้อม (Reynolds and Stein: 1992)

ร่างกายมนุษย์กับอุณหภูมิ เป็นเรื่องพื้นฐานที่ควรทำความเข้าใจเพื่อการปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกให้มนุษย์เกิดความรู้สึกสบาย โดยปกติร่างกายมนุษย์จะมีการถ่ายเทความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมตลอดเวลาเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในร่างกายให้คงที่  $37^{\circ}\text{C}$  ( $98.6^{\circ}\text{F}$ ) พลังงานที่ใช้ในการดำรงชีวิตของมนุษย์มาจากกระบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) โดยพลังงานที่ผลิตได้ทั้งหมดจะถูกใช้ในการทำกิจกรรมเพียง 20%

ที่เหลืออีก 80% จะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งจะถูกขับออกจากร่างกายเพื่อรักษาสมดุลความร้อนในร่างกายให้ปกติ การถ่ายเทความร้อนของร่างกายมนุษย์ แบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ คือ

1. การนำ (conduction) ด้วยการสัมผัสวัตถุที่เย็นกว่าอุณหภูมิผิวหนัง
2. การพา (convection) โดยอาศัยโมเลกุลของอากาศผ่านผิวร่างกาย และพาความร้อนออกไป เมื่ออุณหภูมิในอากาศต่ำกว่าอุณหภูมิผิวร่างกาย
3. การแผ่รังสี (radiation) เมื่อผิวร่างกายมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบ ผิวร่างกายจะถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีไปสู่บริเวณที่เย็นกว่าโดยไม่มีสัมผัส
4. การระเหย (evaporation) ได้แก่ การระเหยของน้ำในร่างกาย และการหายใจเข้าออกซึ่งปกติของเหลวจะระเหยได้เมื่อมีการดึงความร้อนจากผิวบริเวณที่ของเหลวระเหย

นอกจากนี้ในร่างกายยังมีระบบอื่น ๆ ในการควบคุมสมดุลความร้อน เช่น การหมุนเวียนโลหิตที่เป็นส่วนนำความร้อนส่วนเกินมาที่บริเวณผิวหนัง หรือการเปิดปิดของรูขุมขนเพื่อการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในร่างกาย ทั้งนี้หากความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 80-90 % เหนือจะไม่สามารถระเหยได้ทำให้ร่างกายไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้เร็วจึงรู้สึกไม่สบาย เหนื่อยง่าย เหนียวตัว อับชื้น แต่ในขณะที่เดียวกันความชื้นจะช่วยลดอุณหภูมิอากาศทำให้รู้สึกเย็นลง แต่บริเวณที่ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูง ร่างกายจะถ่ายเท ความร้อนได้น้อยทำให้รู้สึกร้อนมาก เช่น บริเวณที่มีอุณหภูมิ 27°C ความชื้นสัมพัทธ์ 80% ร่างกายจะรู้สึก ร้อนกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงถึง 43°C แต่ความชื้นสัมพัทธ์ เพียง 10% (ตริงใจ บุรณะสมภพ. 2539: 12)

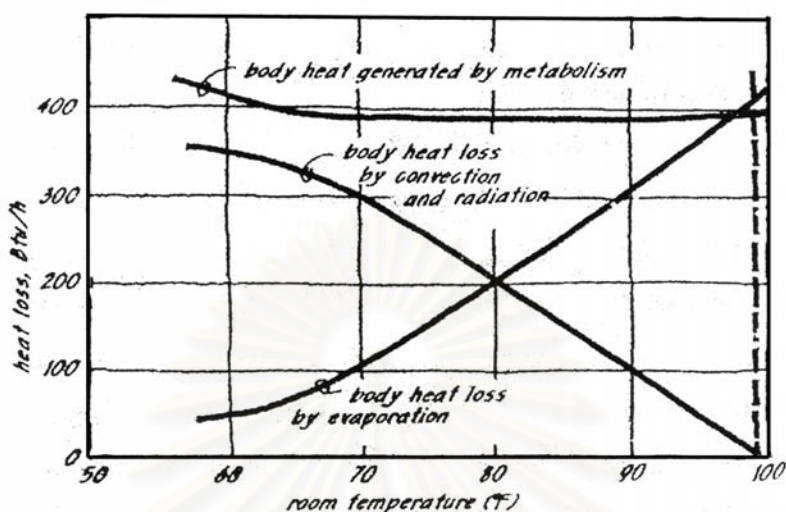


ภาพที่ 2-01 การสร้างสมดุลทางอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ต่อสภาพแวดล้อม (Bradshaw, V., 1993.)

ภาพที่ 2-02 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ (Frank, 1975. Cited in Narendra K. Bansal, 1994: 13)



B.Stain (1982) ได้แสดงความสัมพันธ์และสัดส่วนการสูญเสียความร้อนของร่างกายมนุษย์ โดยการพา การแผ่รังสี และการระเหย ดังต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 2-01 ความสัมพันธ์ และสัดส่วนการสูญเสียความร้อนของร่างกายมนุษย์

(Stein, B. and Renolds, J. S., 1983: 37)

จากแผนภูมิจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศและพื้นผิวรอบร่างกายสูงขึ้นใกล้เคียงอุณหภูมิร่างกาย การสูญเสียความร้อนของร่างกายโดยการพาและการแผ่รังสีเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น ดังนั้น อากาศที่แห้งและมีการเคลื่อนไหว จะช่วยได้มาก และถ้าอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวโดยรอบลดลง การสูญเสียความร้อนโดยวิธีการระเหยจะลดน้อยลง ในขณะที่การนำ การพา และการแผ่รังสีจะเพิ่มขึ้น (สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวงนิค. 2536: 5) ความสมดุลทางความร้อนในร่างกายสามารถแสดงในรูปของ ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$M + Ct + Cv + R - E = Q \quad (\text{สมการที่ 2-1})$$

เมื่อ  $M$  = ความร้อนที่ผลิตได้จากขบวนการเผาผลาญอาหาร

$Ct$  = การเพิ่มหรือระบายความร้อนโดยการนำ

$Cv$  = การเพิ่มหรือระบายความร้อนโดยการพา

$R$  = การเพิ่มหรือระบายความร้อนโดยการแผ่รังสี

$E$  = การระบายความร้อนโดยการระเหย

$Q$  = การเปลี่ยนแปลงความร้อนภายในร่างกายมนุษย์

โดยปริมาณความร้อนที่ร่างกายถ่ายเทออกมา ขึ้นอยู่กับเสื้อผ้าที่สวมใส่ กิจกรรมของแต่ละบุคคลและตัวแปรทางสภาพแวดล้อม ตลอดจนตัวแปรอื่น ๆ เช่น อายุ เพศ ลักษณะทางเชื้อชาติ วัฒนธรรม สภาพแวดล้อมทางสังคม ความคุ้นเคยของแต่ละบุคคล และความสมบูรณ์ของร่างกาย

แม้ว่าสภาพภูมิอากาศประจำท้องถิ่น ลักษณะการอยู่อาศัย และวัฒนธรรมของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกจะมีความแตกต่างกันมาก แต่อุณหภูมิที่มนุษย์ทั่วโลกต้องการและเลือกเพื่อความสบายนั้น พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันในด้านเครื่องแต่งกาย กิจกรรม ความชื้นและความเร็วลม (Fanger.1982, de Dear et al.

1991, Busch.1992 cited in ASHRAE, 1997: 8.1) ซึ่งถ้ามนุษย์เปลี่ยนที่อยู่จากที่แห่งหนึ่งไปยังอีกแห่งหนึ่งซึ่งมีลักษณะดินฟ้าอากาศแตกต่างกัน ร่างกายมนุษย์จะสามารถปรับตัวให้เคยชินได้ในเวลา 3 สัปดาห์ ถึง 6 เดือน (Prof.S.V.Szokolay.2543." การบรรยายพิเศษเรื่อง energy conservation in buildings" คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง)

โดยทั่วไปความสบายของมนุษย์จะปรากฏเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร่างกายอยู่ในช่วงแคบ ๆ และมีความเปียกชื้นของผิวหนังต่ำและความพยายามปรับอุณหภูมิทางสรีรวิทยาเป็นปกติ นอกจากนี้ความสบายยังรวมถึงพฤติกรรม ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในการรับรู้ถึงความร้อนและความชื้นเพื่อลดสภาวะไม่น่าสบาย เช่น การเปลี่ยนเครื่องแต่งกาย การเปลี่ยนกิจกรรม การเปลี่ยนท่าทางหรือสถานที่ การปรับค่าเครื่องกลที่ใช้ในการควบคุมสภาพอากาศ การเปิดหน้าต่าง การบ่นกล่าวหรือการออกไปจากบริเวณนั้น ๆ ถือเป็นพฤติกรรมที่เป็นไปได้ในการลดสภาวะไม่น่าสบาย (ASHRAE, 1997: 8.1)

### 2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิของมนุษย์

P.O. Fanger (1970) ผู้ที่ได้รับการยกย่องว่าเป็นเจ้าตำรับแห่งการวิจัยเรื่องสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ (thermal comfort) ได้ค้นพบตัวแปรที่มีผลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ 6 ตัวแปร แบ่งเป็นเป็นตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมและบุคคล ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศโดยรอบ (ambient air temperature)
2. อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (mean radiant temperature)
3. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)
4. ความเร็วลม (wind speed)
5. เสื้อผ้าที่สวมใส่ (clothing / Clo-Value)
6. อัตราการเผาผลาญ (metabolism rate, met)

#### 1. อุณหภูมิอากาศโดยรอบ (Ambient Air Temperature)

อุณหภูมิอากาศโดยรอบ เป็นตัวแปรหนึ่งในการบ่งบอกถึงสภาวะสบายด้านอุณหภูมิ ช่วงอุณหภูมิอากาศที่อยู่ในขอบเขตของความสบายสากลคือ 20-26.6°C (68-80°F) ถ้าอุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำหรือสูงกว่านี้ ต้องมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม เช่น การทำความร้อนหรือความเย็น เพื่อปรับอุณหภูมิให้อยู่ในขอบเขตสบาย โดยทั่วไปอุณหภูมิอากาศมักจะไม่เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงสภาวะน่าสบายเสมอไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอาคารที่มีการระบายอากาศตามธรรมชาตินั้น MRT และความเร็วมลอาจมีอิทธิพลมากกว่าอุณหภูมิอากาศได้ (สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวณิก. 2536: 7)

#### 2. อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)

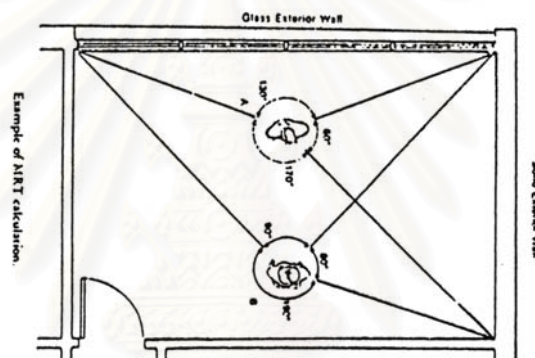
อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ (MRT) เป็นค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของทุกพื้นผิวโดยรอบอันเกิดจากการแผ่รังสีความร้อน ที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรงด้วย MRT มีอิทธิพลต่อ สภาวะน่าสบายมากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 40% (สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวณิก.2536: 7) นั่นคือถ้าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 1.4°C และMRT ลดลง 1°C ความรู้สึกร้อนหนาวยังคงเหมือนเดิม เช่น ภายในอาคารที่อุณหภูมิอากาศโดยรอบ 26°C แต่ MRT มีค่า 32°C ผู้ที่อยู่ในห้องนั้นจะรู้สึกร้อน โดยเฉพาะอาคารที่มีการระบายอากาศ

ตามธรรมชาติ MRT มักสูงกว่าอุณหภูมิอากาศโดยตรง ซึ่งควรออกแบบอาคารให้มีประสิทธิภาพโดยมีค่า MRT ใกล้เคียงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ค่าอุณหภูมิผิวผนังเฉลี่ย (MRT) สามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของทุกด้านในห้องและมุมกระทำต่อตำแหน่งที่วัด MRT นั้น (solid angle) ดังสมการต่อไปนี้

$$MRT = \frac{\sum T \theta_1}{360} \tag{สมการที่ 2-2}$$

$$= \frac{(T_1 \theta_1 + T_2 \theta_2 + \dots T_n \theta_n)}{360}$$

- เมื่อ MRT = อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ
- T = อุณหภูมิผิววัสดุ (surface temperature)
- θ = มุมที่เปิดรับกับพื้นผิววัสดุ ณ จุดที่ทำกรวัด หรือ มุมกระทำ (solid angle)



ภาพที่ 2-03 การคำนวณ MRT โดยใช้ solid angles (Brashaw, V.1993: 26)

เนื่องจากการคำนวณโดยใช้มุมกระทำวิธี solid angles นั้น มีความยุ่งยากในการคำนวณ จึงมีการใช้ globe thermometer ในการวัดค่าอุณหภูมิ โดยใช้ลูกกลมโลหะทองแดงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ผิวสีดำด้านมีหัววัดที่ศูนย์กลางทรงกลมโดยอุณหภูมิที่วัดได้เรียกว่า globe temperature และนำอุณหภูมิที่วัดได้ อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม เป็นตัวช่วยในการคำนวณหา mean radiant temperature โดยมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้ (ASHRAE, 1976: 19.1)

$$T_{mrt} = [(1+k\sqrt{V}) \times (T_g - T_a)] + T_a \tag{สมการที่ 2-3}$$

- โดย T<sub>mrt</sub> = mean radiant temperature (°C)
- V = ความเร็วลม (m/s)
- T<sub>g</sub> = globe temperature (°C)
- T<sub>a</sub> = dry bulb temperature (°C)
- k = 0.157 เมื่อหน่วยวัดเป็น °F และความเร็วลมเป็นหน่วย fpm หรือ เท่ากับ 0.222 เมื่อหน่วยวัดเป็น °C และความเร็วลมเป็นหน่วย m/s

### 3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง สัดส่วนของความชื้นในอากาศเทียบกับปริมาณความชื้นสูงสุดของอากาศโดยปราศจากการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (condensation) ความชื้นจะมีความสำคัญในสภาพอากาศที่ร้อน โดยการสูญเสียความร้อนจากการระเหยของเหงื่อ ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วงของ thermal comfort คือ 20-80%

### 4. ความเร็วลม (Air Velocity, Wind Speed)

ลมที่พัดผ่านตัวคนจะพาความร้อนรอบตัวออกไป ทำให้รู้สึกเย็นขึ้น ทั้งยังพัดพาความชื้นบริเวณผิวร่างกายออกไปซึ่งช่วยให้การระเหยของเหงื่อดีขึ้น เมื่อร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีขึ้นทำให้รู้สึกเย็นสบายแต่ต้องมีความเร็วลมที่เหมาะสม เมื่อความเร็วลมน้อยเกินไปจะทำให้รู้สึกอึดอัดไม่มีอากาศถ่ายเท และเมื่อความเร็วลมมากเกินไปก็ทำให้รู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงานและกิจกรรมต่าง ๆ

### 5. ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย (Clo value)

เสื้อผ้าที่คนเราสวมใส่นั้นทำหน้าที่เสมือนชั้นของฉนวน และมีผลอย่างมากต่อการถ่ายเทความร้อนของร่างกายไปสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบ 4 ลักษณะ คือ การนำ การพา การแผ่รังสี และการระเหย ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบสูง ผู้ที่สวมเสื้อผ้าหนาหลายชั้นจะรู้สึกที่ร้อน เนื่องจากเสื้อผ้าเป็นฉนวนที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนส่วนเกินออกจากร่างกายช้าลงและลำบากขึ้น ซึ่งสังเกตได้ว่าการแต่งกายของคนไทยสมัยก่อนจะไม่ห่มปิดมิดชิดทั้งตัว และนิยมใช้เสื้อผ้าเนื้อบางเบา ทั้งนี้เพื่อการปรับตัวให้เข้ากับสภาพอากาศที่ร้อนเพื่อร่างกายจะได้ถ่ายเทความร้อนออกจากตัวได้ดี ส่วนเสื้อผ้าสำหรับกิจกรรมกลางแจ้งมักจะเป็นเสื้อผ้าที่สามารถกันแสงแดดตรงและรังสีดวงอาทิตย์ได้ เช่น เสื้อแขนกระบอก เป็นต้น

ค่าความต้านทานหรือความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า มีหน่วยวัดเป็น Clo units โดยค่า 1 Clo จะมีค่าประมาณเทียบเท่ากับชุดสูททำงานโดยทั่วไปของชาวอเมริกันในปี 1941 และถือให้คนไม่สวมเสื้อผ้า (เปลือย) มีค่า Clo เท่ากับ 0 (ศูนย์)

ตารางที่ 2-01 แสดงค่า Clo-Value ของเครื่องแต่งกายแบบต่าง ๆ

เครื่องแต่งกาย	lcl (clo)	fel
เปลือยกาย	0	1.0
กางเกงขาสั้น	0.1	1.0
<b>ชุดสำหรับภูมิอากาศเขตร้อน</b>		
กางเกงขาสั้น, เสื้อเชิ้ตแขนสั้นคอเปิด, กางเกงขาสั้น และรองเท้าแตะ	0.3-0.4	1.05
<b>ชุดหน้าร้อน</b>		
กางเกงขาสั้นเนื้อเบา, เสื้อเชิ้ตแขนสั้นคอเปิด	0.5	1.1
<b>ชุดทำงานเบาๆ</b>		
กางเกงกีฬาขาสั้น, กางเกงขาสั้น, เสื้อเชิ้ตแขนสั้นคอเปิด, กางเกงขาสั้น, เสื้อเชิ้ตปลอกชาย	0.6	1.1
ชุดสูททั่วไป	1.0	1.15
<b>ชุดกีฬากลางแจ้ง</b>		
เสื้อเชิ้ตแขนสั้น กางเกงขาสั้น เสื้อยืด กางเกงขาสั้น กางเกงขาสั้น รองเท้าและเสื้อคลุม	0.9	1.15
ชุดขนสัตว์, กางเกงขาสั้น		
ชุดสำหรับภูมิอากาศขั้วโลก	3-4	1.3-1.5

ที่มา: (Fanger, 1970: 33)

### 6. อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolism Rate; met)

อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายของมนุษย์ขึ้นอยู่กับลักษณะของกิจกรรม (activity level) เช่น นิ่งทำงาน เดิน ยืน วิ่ง หรือเล่นกีฬา เป็นต้น จะวัดค่าเป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็น met โดย 1 met เท่ากับ  $58.15 \text{ W/m}^2$  หรือ  $18.4 \text{ Btu/h ft}^2$  ของพื้นที่ผิวร่างกาย โดยผู้ใหญ่ทั่วไปจะมีพื้นที่ผิวร่างกายประมาณ 1.8 ตารางเมตร คนที่อยู่ในสภาวะสบายที่มีระดับกิจกรรม 1 met ยิ่งร่างกายมีกิจกรรมมากความร้อนที่ร่างกายผลิตออกมาก็ยิ่งมากตาม ผิวร่างกายของมนุษย์เป็นส่วนสำคัญ ในการปรับการถ่ายเทความร้อนตามอัตรา ดังตารางที่ 2-02 ทั้งนี้เมื่อบุคคล 2 คน ทำกิจกรรมต่างกันในสภาพแวดล้อมเดียวกัน เช่น คนที่ออกกำลังกายจะรู้สึกร้อนกว่าผู้ที่นิ่งเฉย ๆ เพราะผลิตความร้อนออกมามากกว่า โดยปกติคนไทยในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นมักจะทำกิจกรรมด้วยความเชื่องช้า ไม่เร่งรีบ ทั้งนี้ อาจต้องการ ให้ met ลดลง เพื่อการปรับเข้าสู่สภาวะน่าสบายได้ดีขึ้น (สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวงนิค, 2536: 6)

ตารางที่ 2-02 อัตราการเผาผลาญพลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ

กิจกรรม	อัตราการเผาผลาญพลังงาน		Mechanical efficiency	Relative velocity in still air (m/s)
	(met)	M/ADU Kcal/hr m <sup>2</sup>		
นอน	0.7	35	0	0
เอนกาย เอกเขนก	0.8	40	0	0
นั่งนิ่งอยู่กับที่	1.0	50	0	0
ยืนพัก	1.2	60	0	0
ทำความสะอาดบ้าน	2.0-3.4	100-170	0-0.1	0.1-0.3
ทำอาหาร	1.6-2.0	80-100	0	-
ยืน ล้างจาน	1.6	80	0	0-0.2
ซักผ้าด้วยมือ, รีดผ้า	2.0-3.6	100-180	0-0.1	0-0.2
โกนหนวด, ซักผ้าด้วยเครื่อง, แต่งตัว	1.7	85	0	0-0.2
ถือของหนัก 50 กิโลกรัม	4.0	200	0.2	0.5
ทำงานในโรงรถ(เปลี่ยนยางใช้แม่แรงยกรถ)	2.2-3.0	110-150	0-0.1	0.2
ซื้อของ จับจ่ายสินค้า	1.6	80	0	0.2-1
เดิน ด้วยความเร็วระดับต่าง ๆ				
3.2 กม./ ชม.	2.0	100	0	0.9
4.0 กม./ ชม.	2.4	120	0	1.1
4.8 กม./ ชม.	2.6	130	0	1.3
ขายของร้านชำ	2.0	100	0-0.1	0.2-0.5
ขับรถยนต์				
การจราจรเบาบาง	1.0	50	0	0
การจราจรหนาแน่น	2.0	100	0	0
งานสำนักงานทั่วไป	1.0-1.2	50-60	0-0.1	0-0.1
พิมพ์ดีด	1.0	50	0.05	0.05
มวยปล้ำ	8.7	435	0.2-0.3	0.2-0.3
เดินเร็ว	2.4-4.4	120-220	0.2-2	0.2-2
เล่นเทนนิส	4.6	230	0.5-2	0.5-2
เล่นบาสเกตบอล	7.6	380	1-3	1-3

ที่มา: (Fanger, 1970: 24-26)

### การประเมินสภาพแวดล้อมทางอุณหภูมิเชิงคุณภาพ (Thermal Environment Assessment)

การประเมินคุณภาพของสภาพแวดล้อมทางอุณหภูมิเนื่องจากในสภาพอากาศ และตัวแปรควบคุมเดียวกัน คน 2 คน รู้สึกต่างกัน จึงต้องใช้ดัชนีนี้แสดงความรู้สึกทางอุณหภูมิ นิยมใช้ 2 ดัชนี คือ ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (predicted mean vote: PMV) และเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (predicted percentage of dissatisfied: PPD) ซึ่งค่า PMV ค่อนข้างยุ่งยากในการอธิบายทางคณิตศาสตร์ และไม่เหมาะสมที่จะคำนวณโดยใช้เครื่องประมวลผล (คำนวณมือ) เป็นการประเมินคุณภาพด้วยความรู้สึกทางด้านอุณหภูมิ แบ่งเป็นระดับได้ 7 ระดับ เพื่อสามารถจัดอันดับในการศึกษาสภาวะน่าสบาย หากสภาพอากาศอยู่ในสภาวะน่าสบายจะได้ผลโหวตเฉลี่ยเป็นศูนย์ (PMV=0)

ในปัจจุบันมีมาตรฐานที่นิยมใช้ทั่วไป 2 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐานของ Bedford และของ ASHRAE ที่มีความใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 2-03

ตารางที่ 2-03 มาตรฐานวัดความรู้สึกทางอุณหภูมิของ ASHRAE เปรียบเทียบกับของ Bedford

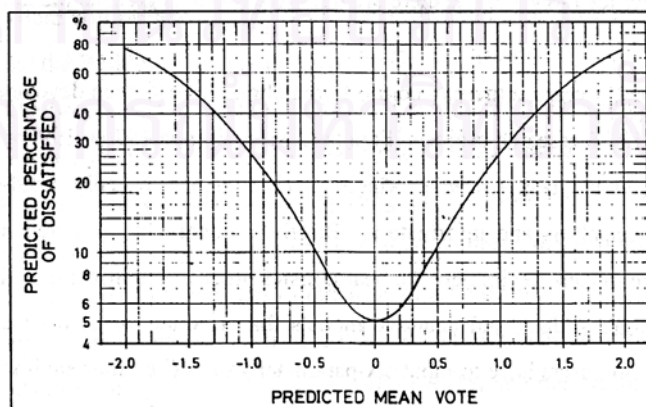
ASHRAE scale	numbering of votes	Bedford scale
HOT	3	MUCH TOO WARM
WARM	2	TOO WARM
SLIGHTLY WARM	1	COMFORTABLY WARM
NEUTRAL	0	COMFORTABLE
SLIGHTLY COOL	-1	COMFORTABLY COOL
COOL	-2	TOO COOL
COLD	-3	MUCH TOO COOL

หมายเหตุ: ค่า +1, 0, -1 จัดอยู่ใน comfort zone

ที่มา: (Fanger, 1970 cited in Kitchai J.1999: 63)

ดัชนี PMV สามารถอธิบายได้อย่างแม่นยำ หากปัจจัยส่วนบุคคลและสภาพแวดล้อมมีการวัดค่าที่ถูกต้อง ทั้งนี้ดัชนีดังกล่าวได้มาจากการทดลอง กำหนดให้ใกล้เคียงสภาพที่เป็นกลางทางอุณหภูมิ การใช้ดัชนี PMV จึงเหมาะสำหรับกรณีที่มีค่า PMV ระหว่าง +2 และ -2 (Fanger 1970; 130 7730 1994)

ส่วนค่า PPD เป็นดัชนีที่สร้างขึ้นเพื่อการทำนายค่าเชิงคุณภาพเป็นร้อยละของผู้ที่รู้สึกไม่สบายในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ



แผนภูมิที่ 2-02 แผนภูมิดัชนีทำนายเปอร์เซ็นต์ความรู้สึกไม่สบายทางอุณหภูมิ (predicted percentage of dissatisfied: PPD) (After Fanger, 1970 cited in Kitchai J.1999: 64)

จากแผนภูมิที่ 2-02 เป็นพื้นฐานในการหาค่าสิ่งแวดล้อมทางความร้อน สังเกตได้ว่าเส้นกราฟที่ได้จะมีลักษณะสมมาตรและมีค่า PPD=5% ที่ PMV=0 จุดนี้จะใช้เป็นเงื่อนไขความสบายที่เหมาะสมในการใช้สมการความสบายทำให้เป็นจุดที่ต้องปรับเพื่อให้ได้ความสบาย ค่า PMV ที่ -0.35 จะมีค่า PPD มากกว่า จุดต่ำสุด (5%) ประมาณครึ่งหนึ่ง (7.5%) หลังจากนั้นค่า PPD จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่นที่ PMV = -0.5, -1.0 จะมีค่าเพิ่มเป็น 2 เท่า และมากกว่า 5 เท่าของจุดที่ต่ำสุด และจากกราฟแสดงให้เห็นว่า เป็นไปไม่ได้ ที่กลุ่มคนจะมีความพอใจกับสภาพอากาศทุกคน ถึงแม้ว่าจะอยู่ในระบบสิ่งแวดล้อม การแต่งกายและ กิจกรรมที่เหมือนกันก็ตาม

#### 2.1.4 มาตรฐานความสบายทางอุณหภูมิ (Thermal Comfort Scale)

การศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับมาตรฐานรู้สึกสบายทางอุณหภูมิ เป็นการทดลองวัดความรู้สึกของบุคคลและประเมินค่าด้วยระเบียบวิธีทางสถิติ มีการค้นคว้ามานานจวบจนปัจจุบัน นักวิชาการหลายท่านพยายามสร้างมาตรฐานที่รวมความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย ซึ่งมีรายละเอียดต่างกัน สรุปได้ดังนี้

##### 1. The Effective Temperature Index (ET)

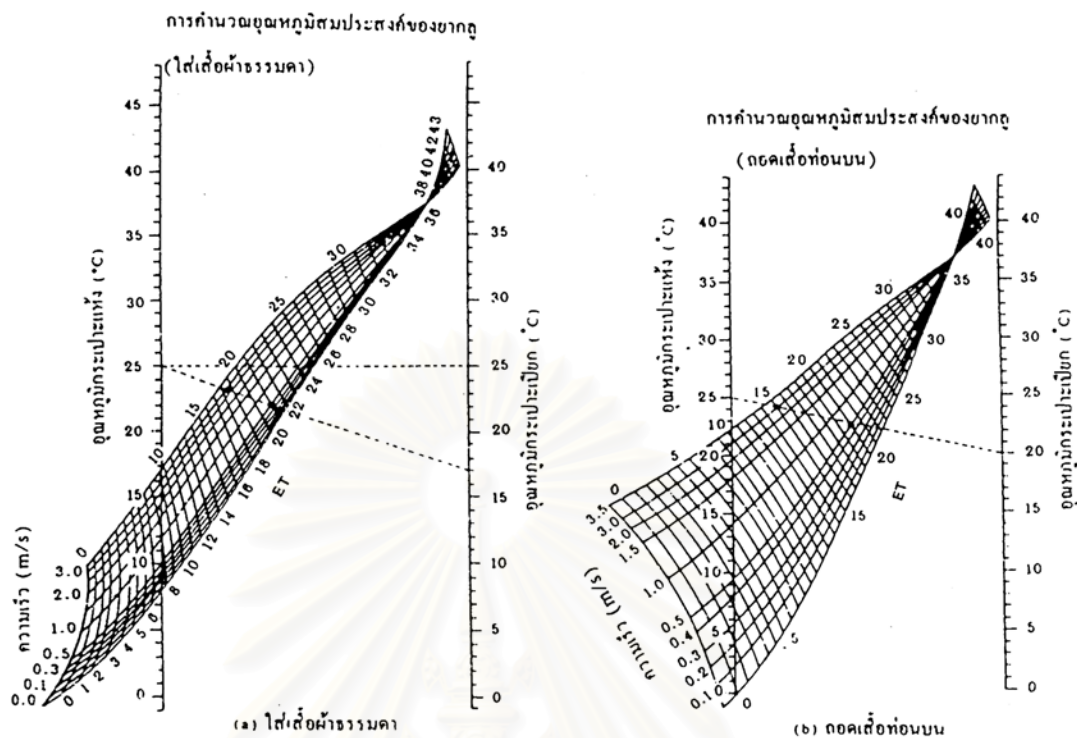
โดย : Houghton, Yaglou และ Miller

ปี ค.ศ. : 1923-1925

เป็นมาตรฐานแรกเริ่มที่สร้างขึ้นเพื่อศึกษาสภาวะของอากาศที่มนุษย์รู้สึกสบาย นิยมใช้ในการบอกอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม และเป็นแนวทางสำคัญที่ใช้กันมากในการพิจารณาสภาวะน่าสบายของมนุษย์โดยมุ่งสนใจในปัจจุบันแวดล้อมภายนอก โดยไม่พิจารณาการแผ่รังสีดวงอาทิตย์

ในปี ค.ศ. 1923 Yaglou และผู้ช่วย ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิและความชื้นต่อความรู้สึกสบายโดยสร้างห้องทดลองที่สามารถควบคุมภาวะอากาศได้ขึ้นมา 2 ห้อง ห้องแรกอากาศนิ่งและมีความชื้น 100% Yaglou ปรับหาค่าอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนไหวของอากาศในห้องที่สอง ตามที่คนเข้ามาจากห้องแรก ตัดสินว่าภาวะบรรยากาศทั้งสองห้องให้ความรู้สึกอบอุ่นกับเขาเท่าเทียมกัน ค่านี้เรียกว่า อุณหภูมิประสมค์ (effective temperature: E.T.) ตามความเป็นจริงแล้วการเคลื่อนไหวของอากาศภายในห้องมีน้อยมากจนกระทั่งสามารถที่จะกำหนดจุด E.T. โดยใช้เฉพาะค่าของอุณหภูมิและความชื้น โดย Yaglou และ Houghton ระบุว่ามาตรฐานอุณหภูมิสมประสมค์มีเขตสบายที่ความชื้นสัมพัทธ์ 30-70% อุณหภูมิสมประสมค์มีค่า 18.9°C ซึ่งอยู่ระหว่าง 17.2-21.7°C สำหรับทั้งบุรุษและสตรี ได้เงื่อนไขของการสวมเสื้อผ้าปกติ กิจกรรมประเภทพักผ่อนโดยไม่เป็นฐานข้อมูลดูหนาว

แผนภาพมาตรฐานนี้ได้ถูกสร้างขึ้น 2 แบบ แบบหนึ่งสำหรับผู้ชายที่สวมเสื้อผ้าธรรมดาและอีกแบบสำหรับผู้สวมเสื้อกั๊ก (เสื้อผ้าสำหรับฤดูร้อน) โดยองค์ประกอบของสภาวะอากาศที่นำมารวมกัน 3 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศ ความชื้น และการเคลื่อนไหวของอากาศ



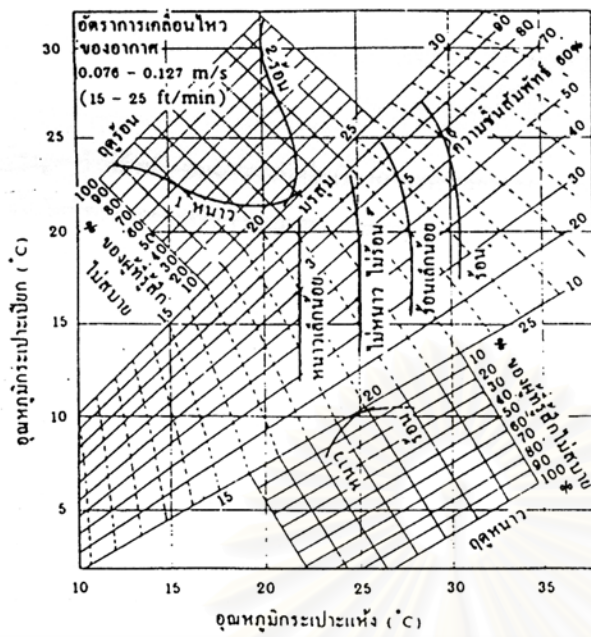
แผนภูมิที่ 2-03 ค่าอุณหภูมิประสงค (effective temperature)

(ไฟบูลย์ หังสพฤกษ์ และ เสือไช ไชโต : 5)

หลังจากการทดลองของ Yaglou แล้ว Koch และผู้ช่วยของเขา ได้ศึกษาถึงความรู้สึกของคนซึ่งทำงานเป็นเวลานานอยู่ในสำนักงานปรับอากาศ ได้รายงานว่าความชื้นไม่ได้มีผลต่อความรู้สึกต่ออุณหภูมิ ดังกราฟที่แสดงในแผนภูมิที่ 2-03 นี้ สมาคมวิศวกรการปรับอากาศ การทำความเย็นและการทำความร้อนแห่งสหรัฐอเมริกา ที่เรียกชื่อย่อว่า ASHRAE (American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers) นำมาใช้จนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 1970 โดยใช้ชื่อว่าแผนภูมิความสบายของ ASHVE (ASHVE comfort chart) ในปัจจุบันเส้นกลางในแผนภูมิความสบายของ Yaglou นั้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่คนกำลังมีเหงื่อไหลแล้วเข้าไปในห้องปรับอากาศรู้สึก แม้ที่อุณหภูมิสูงคนก็อาจรู้สึกเย็นได้เช่นกัน เพราะการระเหยของเหงื่อจากผิวกายและเสื้อผ้าของเขาในวันนั้น ส่วนเส้นของ Koch เป็นเส้นที่แสดงลักษณะของความรู้สึกต่ออุณหภูมิของคนที่ได้อยู่ในห้องปรับอากาศเป็นเวลายาวนาน ในกรณีนี้บุคคลจะไม่รู้สึกในการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้น

สำหรับการปรับอากาศในฤดูร้อนหรือในเมืองร้อน เป้าหมายค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) และ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) คือ  $DB = 27^{\circ}\text{C}$  และ  $RH = 50-55\%$  สำหรับอาคารและบ้านอยู่อาศัยโดยทั่วไป ทั้งนี้ค่า DB อาจจะต้องลดมากกว่านี้ เพื่อให้รู้สึกสบาย ซึ่งเป็นผลมาจากการที่อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุโดยรอบอยู่อาศัยมีค่าสูงกว่า DB ภายในห้องมากกว่าปกติ และมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิวกายของคน โดยจะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนมาที่ตัวคน ทำให้ต้องมีการลดอุณหภูมิลงไปมากกว่าค่าที่กำหนดในลักษณะของการเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่าความร้อนจากการแผ่รังสีหรือ MRT





ความรู้สึกรับสบาย : ฤดูร้อน 2% ที่ 21.7°C ET  
ฤดูหนาว 2.3% ที่ 20°C ET  
1. 2. แผนภูมิความสบายเดิมของ ASHVE  
3. 4. 5. 6. ค่าการทดลองของกองฯ

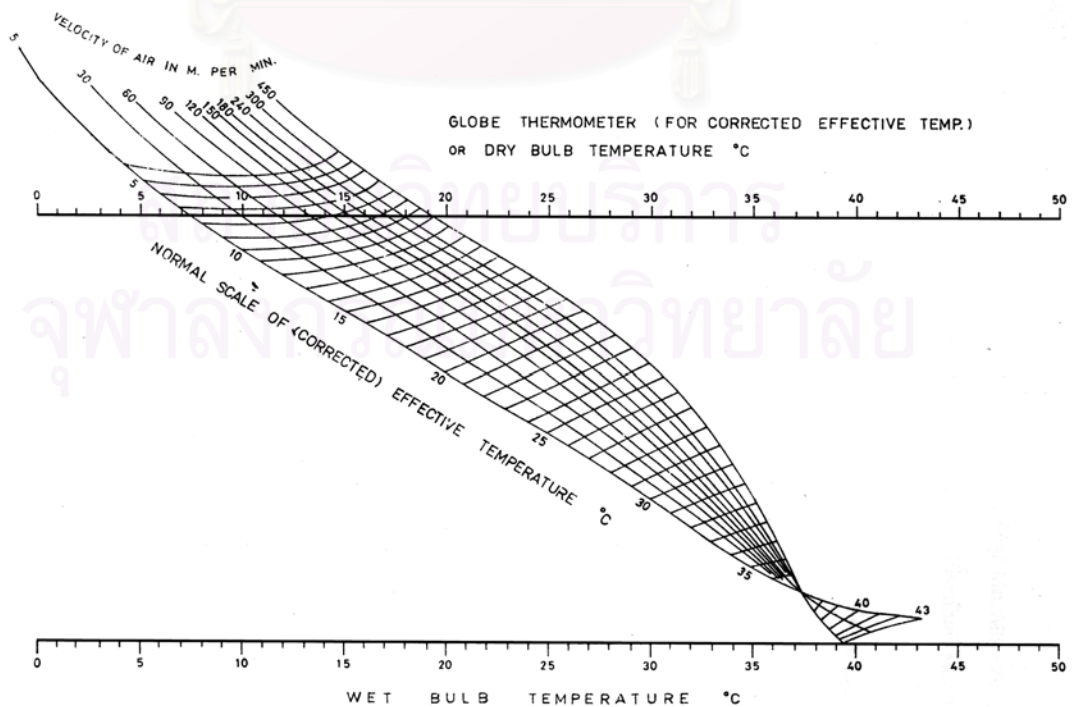
แผนภูมิที่ 2-04 ค่าอุณหภูมิสมประสงคที่สำหรับอากาศนิ่ง (ไฟบูลย์ ห้างสรรพากร และ เซอิไซ ไฮโด: 6.)

2. The Corrected Effective Temperature Index (CET)

โดย : Vernon

ปี ค.ศ. : 1962

มาตรฐานนี้ถูกพัฒนามาจาก มาตรฐาน E.T. โดยรวมเอาผลกระทบของการแผ่รังสีเข้ามาประกอบ รวมเป็น 4 ตัวแปร เรียกว่ามาตราอุณหภูมิสมประสงคที่ Vernon ได้เสนอแนะวิธีการแก้ไขโดยใช้อุณหภูมิ จาก globe thermometer มาใช้ใน Nomogram แทนที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature)



แผนภูมิที่ 2-05 แผนภูมิสำหรับหาอุณหภูมิยังผลที่แก้ไขแล้ว (CET) (ตริงใจ บรูณสมภพ.2539: 12)

### 3. The Equivalent Warmth Index (EW)

โดย : Bedford

ปี ค.ศ. : 1936

ที่ประเทศอังกฤษ โดยทดลองจากคนงานโรงงานอุตสาหกรรม 200 คน แต่มาตรฐาน EW นี้มีข้อจำกัดคือมีความแม่นยำเฉพาะช่วงระดับความสบายที่สูงกว่า  $35^{\circ}\text{C}$  ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และระดับความสบายที่สูงกว่า  $30^{\circ}\text{C}$  ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์สูง และมองข้ามผลกระทบจากความเย็นของการเคลื่อนไหวของอากาศภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์สูง

### 4. The Operative Temperature Index (OT)

โดย : Winslow, Herrington และ Gagge

ปี ค.ศ. : 1937

เป็นอีกมาตรฐานหนึ่งที่ได้มีการพัฒนาขึ้นในสหรัฐอเมริกา มาตรฐานนี้อาศัยหลักเกณฑ์คล้ายมาตรฐาน EW มาตรฐาน OT นี้ ได้รวมเอาผลกระทบจากการแผ่รังสีและอุณหภูมิของอากาศเข้าด้วยกัน แต่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับความชื้นและอัตราการเคลื่อนไหวของอากาศ มาตรฐานนี้ไม่เหมาะสมกับสภาพอุณหภูมิที่สูงกว่า  $27^{\circ}\text{C}$  (ปรัชญา รั้งสิริรักษ์.มปป: 18)

### 5. The Equivalent Temperature Index (EqT)

โดย : Duffon

ปี ค.ศ. : 1932

มาตรฐาน Egt นี้ไม่ได้นำผลกระทบของความชื้นมารวมด้วย ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $24^{\circ}\text{C}$  (ปรัชญา รั้งสิริรักษ์.มปป: 19) ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิที่สูงกว่า  $24^{\circ}\text{C}$  การระบายความร้อนโดยการระเหยจะชัดเจน

### 6. The Resultant Temperature Index (RT)

โดย : Missenard

ปี ค.ศ. : 1948 ในประเทศฝรั่งเศส

มาตรฐานนี้ถูกพัฒนาปรับปรุงขึ้นมาจากมาตรฐาน CET เล็กน้อย มีความน่าเชื่อถือได้ในสภาพอากาศปานกลาง แต่ไม่เหมาะสมสำหรับสภาพอากาศเมืองร้อน เนื่องจากมาตรฐานอันนี้ไม่ได้รวมผลกระทบ ของความเย็นจากการเคลื่อนไหวของอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่า  $35^{\circ}\text{C}$  และความชื้นสัมพัทธ์ สูงกว่า 80%

### 7. The Equatorial Comfort Index (ECI)

โดย : Webb, C.G.

ปี ค.ศ. : 1960

มีการพัฒนาขึ้นในประเทศสิงคโปร์ จากการจดบันทึกการตอบสนองของความเคยชินของอากาศ พร้อมกับ การวัดอุณหภูมิของอากาศ ความชื้นและการเคลื่อนไหวของอากาศ Webb พบว่าความสัมพันธ์สามารถเขียนออกมาเป็นสูตรได้ มาตรฐาน ECI นี้เมื่อเขียนเป็น Nomogram ออกมาจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับ Nomogram ของมาตรฐาน ET สิ่งที่แตกต่างกัน คือ Nomogram ET จะมีตารางเปิดออก ส่วน Nomogram ECI ตารางจะมาบรรจบเข้าหากันสำหรับค่าอุณหภูมิสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผิวหนังที่เปียกชื้นจะมีความรู้สึกมากขึ้นต่อการเคลื่อนไหวของอากาศในสภาพดังกล่าว (ปรัชญา รั้งสิริรักษ์.มปป: 21)

### 8. The Predicted Four Hour Sweat Rate Index (P4 SR)

โดย : Mcardle และผู้ร่วมงาน

ปี ค.ศ. : 1947

มาตรฐานนี้พัฒนาขึ้นระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่ The Royal Naval Research Establishment ในประเทศอังกฤษ โดยรวมเอาระดับการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน (metabolic level) และการสวมเสื้อผ้า 2 ลักษณะ เพิ่มเข้าไปกับองค์ประกอบของภูมิอากาศ ซึ่งจะอาศัยอัตราการไหลของเหงื่อจากร่างกายเป็นเครื่องชี้วัดประการหนึ่ง นอกจากนี้ยังดูที่การเต้นของชีพจรกับอุณหภูมิภายในร่างกายอีกด้วย มาตรฐาน P4SR นี้เชื่อถือได้มากที่สุดสำหรับภาวะอุณหภูมิสูง แต่ไม่เหมาะสมกับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 28°C และไม่คำนึงถึงผลกระทบจากความเย็นของการเคลื่อนไหวของอากาศภายใต้ความชื้น ระดับสูง (ประทีป มาลากุล, ม.ล. และคณะ, 2527: 4)

### 9. The Heat Stress Index (HSI)

โดย : Belding, H.S. และ Hatch, T.F.

ปี ค.ศ. : 1955

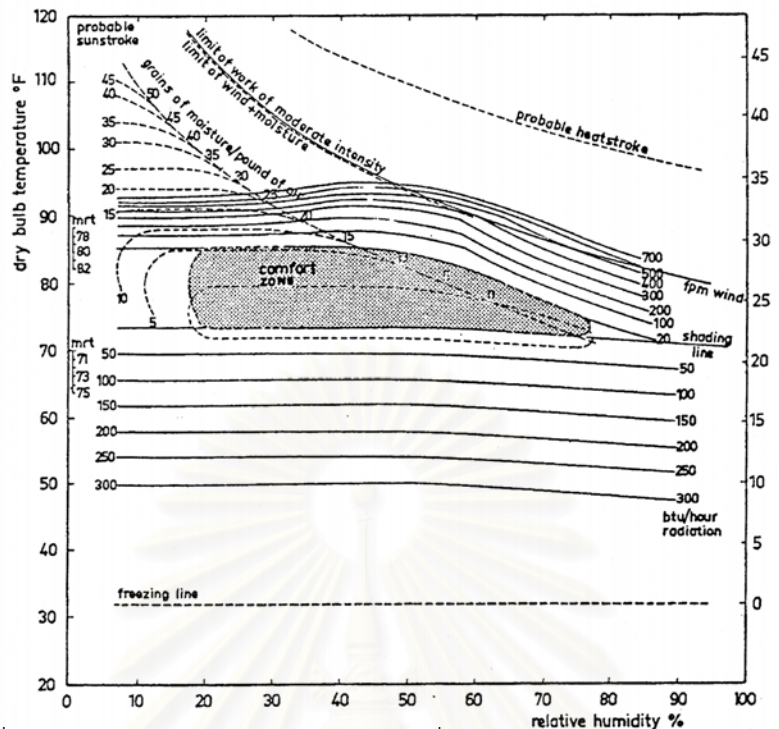
มาตรฐานนี้พัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยพิตซเบิร์ก (University of Pittsburgh) ในสหรัฐอเมริกา โดยให้ผู้ถูกทดลองทำกิจกรรมที่มีความหนักเบาในระดับต่าง ๆ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำหนดให้ และสังเกตปริมาณความร้อนจากขบวนการเผาผลาญอาหาร (metabolism) เปรียบเทียบกับอัตราการไหลของเหงื่อ รวมทั้งการเต้นของชีพจรและอุณหภูมิภายในร่างกายของผู้ถูกทดลอง และนำเอามาเป็นการชี้ถึงความเครียดทางความร้อน (heat stress) มาตรฐาน HIS นี้เชื่อถือได้สำหรับอากาศระหว่าง 27°C และ 35°C ภายใต้ ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 30 ถึง 80% และสำหรับความชื้นระดับต่ำอุณหภูมิสูง (Belding and Hatch, 1956 อ้างถึงใน วราภรณ์ กาญจนวิโรจน์.2542)

### 10. The Bioclimatic Chart

โดย : Olgyay, V.

ปี ค.ศ. : 1963

Victor Olgyay มีแนวความคิดว่าไม่มีจุดหนึ่งจุดใดเพียงจุดเดียว ในความพยายามที่จะสร้างมาตรฐานหรือดัชนีอุณหภูมิซึ่งมีรูปลักษณะแบบเดียว ทั้งนี้เนื่องมาจากตัวแปรของปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายทั้ง 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น การเคลื่อนไหวของอากาศและอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน ถูกควบคุมได้ด้วยวิธีทางที่แตกต่างกัน ดังนั้น Olgyay จึงได้สร้างแผนภาพที่เรียกว่า "Bioclimatic Chart" ขึ้นเป็นมาตรฐานแผนภูมิ Bioclimatic แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (แกนX) และความชื้นสัมพัทธ์ (แกนY) โดยมีเขตสบายกำหนดไว้กลางแผนภูมิ โดยมีการเพิ่มความสัมพันธ์ของความเร็วลมไว้เหนือเส้นขอบเขตสบายซึ่งอิทธิพลของการเคลื่อนไหวของอากาศทำให้ระดับความสบายนี้สูงขึ้น และลดระดับความสบายต่ำลงโดยอิทธิพลของการแผ่รังสีความร้อนรวม 4 ตัวแปร โดยมนุษย์จะรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิอยู่ระหว่าง 22-27°C ความชื้นสัมพัทธ์ 20-75% ทั้งนี้มาตรวัดดังกล่าวเหมาะสำหรับการอยู่อาศัยในเขตภูมิอากาศที่ไม่รุนแรงของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีความสูงไม่เกิน 300 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ภายใต้เงื่อนไขของการสวมเสื้อผ้าปกติ (Clo-value=1.0) และมีกิจกรรมธรรมดา เช่น นั่งพักผ่อน (1.2 met) ในภูมิอากาศร้อน (Olgyay.1963 cited in Kitchai Jitkhajornwanich.1999: 66)



แผนภูมิที่ 2-06 แผนภูมิ Bioclimatic สำหรับละติจูดที่ 13 องศาเหนือและใต้ (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541: 24)

### 11. The Index of Thermal Stress (ITS)

โดย : Givoni, B.

ปี ค.ศ. : 1969

มาตรฐาน ITS นี้เป็นการคำนวณอัตราความเย็นที่เป็นผลมาจากการไหลของเหงื่อ ซึ่งจะรักษา ระดับของอุณหภูมิภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำหนด สิ่งที่น่าสนใจในการคำนวณ ได้แก่ ปัจจัยของ สิ่งแวดล้อม และ ปัจจัยความรู้สึกของมนุษย์

### 12. Psychrometric Chart

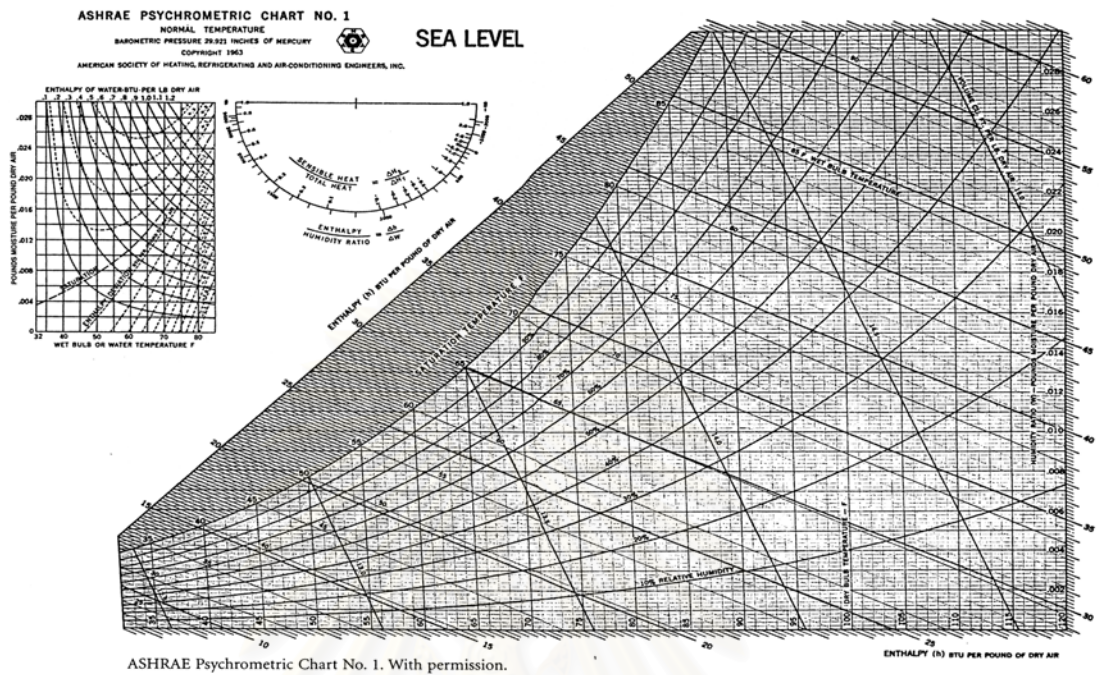
โดย : Auliciems

ปี ค.ศ. : 1981

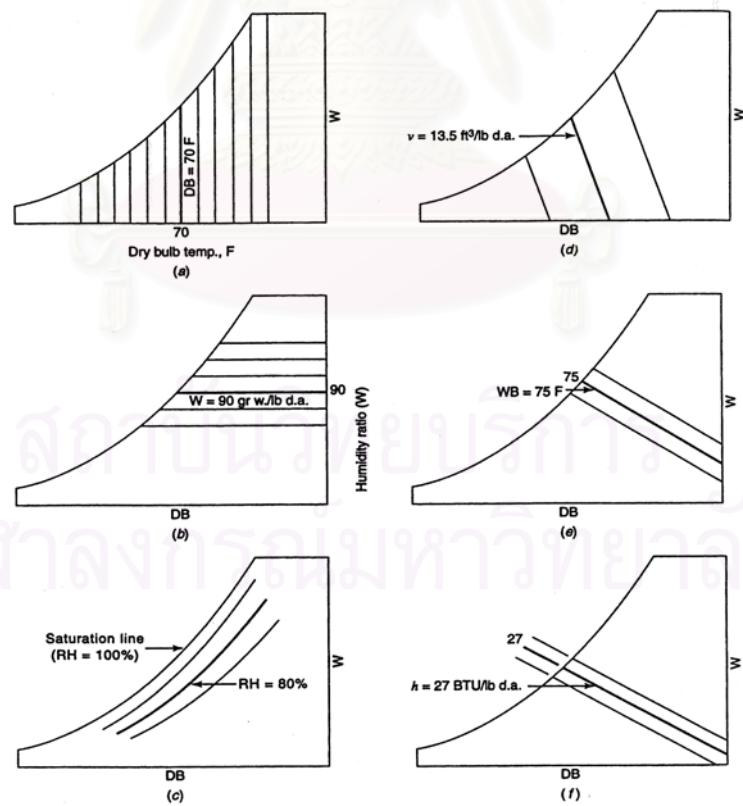
มีการทดลองในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในหลายประเทศ ทำให้ขอบเขตสภาวะน่าสบายที่ได้ มีความเหมาะสมสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น โดยพัฒนามาจากมาตรฐาน ASHRAE โดยใช้ psychrometric chart แสดงขอบเขตสบายที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และตัวแปรเพิ่มเติมที่ต้องการเป็นการศึกษาคุณสมบัติของอากาศขึ้น เนื่องจากสภาพบรรยากาศในความเป็นจริงมีปริมาณไอน้ำในอากาศตั้งแต่ 1 - 100% ซึ่งปริมาณความชื้นในอากาศ เพียงเล็กน้อย ก็สามารถส่งผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายได้

แผนภูมิไซโคเมตริก (psychrometric chart) แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของอากาศขึ้น ประกอบด้วย ความสัมพันธ์ของตัวแปร 6 ชนิด ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) Humidity Ratio (W) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ปริมาตรอากาศแห้งต่อกิโลกรัม (v) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (WB) และค่าความจุความร้อนของอากาศหรือค่า เอนทัลปี (h) อยู่ภายในแผนภูมิเดียวกันทำให้เกิดความคล่องตัวในการศึกษาสภาวะน่าสบาย ซึ่งมีการพัฒนาโดย ASHRAE เพื่อให้ เหมาะสมต่อสภาพความกดอากาศ และช่วงอุณหภูมิต่างกันตั้งแต่ อุณหภูมิ-40°C ถึง 200°C

แบ่งเป็น 7 แผนภูมิที่ลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งแผนภูมิที่เหมาะสมกับประเทศไทยได้แก่ แผนภูมิหมายเลข 1 ที่มีช่วงอุณหภูมิปกติ 0-50°C ที่ความกดอากาศ 101-325 kPa ที่ระดับน้ำทะเล (ASHRAE.1997: 6.12)



แผนภูมิที่ 2-07 แผนภูมิไซโคเมตริกของ ASHRAE หมายเลข 1 (psychrometric charts) (ASHRAE.1997: 6.11)

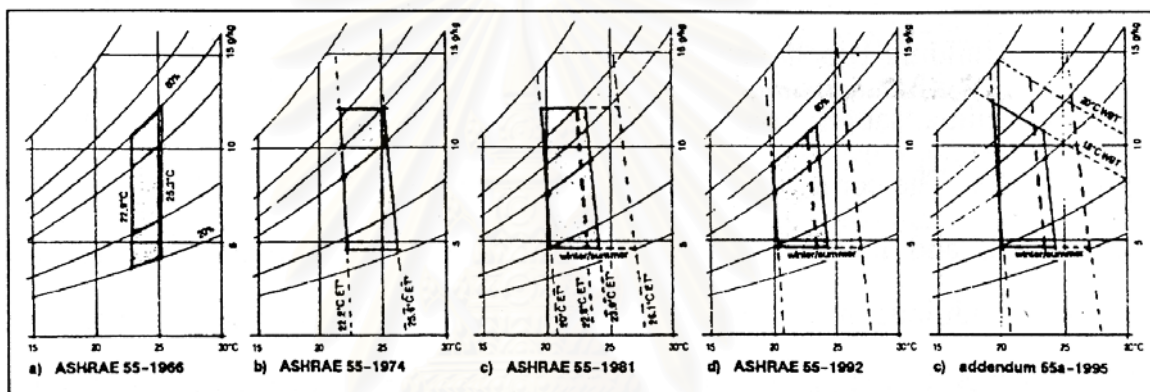


แผนภูมิที่ 2-08 โครงสร้างของแผนภูมิ psychrometric แสดงตัวแปร 6 ชนิด (Handbook of Heating, ventilation and Air-Conditioning, 2001: 2-82)

### 2.1.5 ขอบเขตสภาวะสบายทางอุณหภูมิ (Thermal Comfort Zone)

Fanger (1970) อธิบายถึงขอบเขตสภาวะน่าสบายในช่วงอุณหภูมิกว้าง ๆ และสภาวะสบายที่เหมาะสมมีจำนวนผู้ไม่พึงพอใจไม่เกินครึ่งหนึ่งของค่าต่ำสุด เช่น เมื่อดัชนีเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (PPD) มีค่า 7.5% ค่า PMV ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง -0.35 และ +0.35 การกำหนดเช่นนี้จะสัมพันธ์กับสภาพของบรรยากาศที่กำหนดในการออกแบบ และถูกกำหนดประสิทธิภาพของระบบที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อม

จาก ISO7730 (1994) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากการวิจัยของ Fanger ซึ่งแนะนำว่าค่า PPD ควรต่ำกว่า 10% และค่า PMV ระหว่าง -0.5 และ +0.5 เมื่อมีกิจกรรมนั่งเฉย ๆ (1.2 met) ขอบเขตสภาวะน่าสบายในฤดูร้อน (clo=0.5) จะอยู่ระหว่าง 23-26°C และมีค่า 20-24°C ในฤดูหนาว (clo=1.0) ความชื้นสัมพัทธ์ 30-70% โดยค่าดังกล่าวได้รับการยอมรับสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิเกินกว่า 80 % มาตรฐานสากลนี้ไม่มีความแตกต่างเมื่อใช้กับประเทศที่มีภูมิอากาศต่างกัน



แผนภูมิที่ 2-09 แสดงพัฒนาการในการกำหนดขอบเขตสภาวะสบายของ ASHRAE

(Alulicien and Szokolay.1997 cited in Kitchai, 1999)

ปี ค.ศ.1966 ASHRAE ใช้แผนภูมิไซโคเมตริกอธิบายขอบเขตสภาวะน่าสบายของมนุษย์ด้วยเส้นกราฟอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) และความชื้น (RH) ปี ค.ศ.1974 มีการปรับปรุงโดยเปลี่ยนจากเส้นกราฟอุณหภูมิกระเปาะแห้งเป็นอุณหภูมิสมประสงค์ (ET) และเปลี่ยนจากความชื้นสัมพัทธ์เป็นค่าความดันไอของบรรยากาศ (Pa) แทน ทั้งนี้เนื่องจากความดันไอน้ำในบรรยากาศที่ผิวแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงในขอบเขตสภาวะสบาย

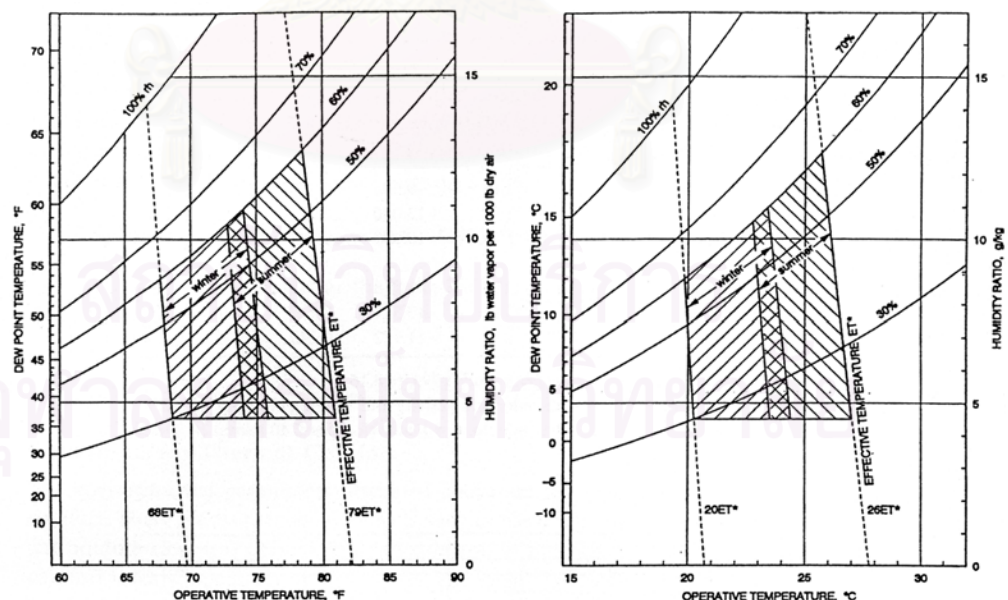
ปี ค.ศ.1988 เป็นครั้งแรกที่มาตรฐานนี้มีการแบ่งแยกสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาวเป็น 2 ส่วน ในปี ค.ศ.1992 มีการปรับข้อมูลโดยอุณหภูมิโดยขีดต่ำสุดของความชื้นยังคงเดิม (23-26°C ในฤดูร้อน และ 20-24°C ในฤดูหนาว ความชื้นต่ำสุด 30%) แต่มีการเปลี่ยนความชื้นที่เหมาะสมต่อสภาวะน่าสบายให้มีค่าสูงสุด 60% (จากเดิม 70%) มีการถกเถียงเกี่ยวกับประเด็นที่ว่าความชื้นที่มากขึ้นที่อุณหภูมิต่ำจะไม่ส่งผลกระทบทางด้านอุณหภูมิ และในปี ค.ศ. 1995 ขอบเขตความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในสภาวะน่าสบายถูกเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นกราฟคู่ของอุณหภูมิกระเปาะเปียกแทน เหตุผลคือมาตรฐานทางอุณหภูมิไม่ควรจะรวมผลกระทบของตัวแปรที่ไม่เกี่ยวกับอุณหภูมิเข้าไว้ แต่มันยังจำกัดการปรับเย็นด้วยการระเหยด้วย ถึงกระนั้นก็ตามขอบเขตความชื้นสูงสุดที่ยังอยู่ในสภาวะน่าสบาย ยังคงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจและถกเถียงกันเพื่อจะค้นคำตอบให้ได้จนปัจจุบัน

ตามมาตรฐานสากลเกี่ยวกับสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิได้รับการยอมรับ ได้แก่ ASHRAE Standard 55 (ค.ศ.1992) ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมทางอุณหภูมิที่ยอมรับได้ว่าเป็น “สภาพแวดล้อมที่ผู้ใช้อาคารอย่างน้อย 80 % ยอมรับและกำหนดช่วงที่ยอมรับได้ในรูปแบบของอุณหภูมิยังผล (operative temperature) สำหรับผู้ทำกิจกรรมพื้นฐานเบา ๆ (1.2 met) ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ความเร็วลมเฉลี่ย 0.15 m/s อุณหภูมิที่อยู่ในสภาวะน่าสบายในฤดูหนาว (0.9 clo) มีค่า 20-23°C และฤดูร้อน (0.5 clo) ที่ 23-26°C โดยมนุษย์จะรู้สึกสบายเมื่ออุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ มีความสัมพันธ์ดังตารางที่ 2-04

ตารางที่ 2-04 อุณหภูมิที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของมนุษย์ ภายใต้เงื่อนไขของกิจกรรมธรรมดา เช่น นั่งเฉย ๆ (1.2 met) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50% และความเร็วลม 0.15 m/s (30 fpm)

ฤดู	เครื่องแต่งกาย	ความต้านทานความร้อนของเครื่องแต่งกาย (clo)	อุณหภูมิอากาศที่เหมาะสม	ช่วงอุณหภูมิอากาศ (ที่ความไม่พอใจ 10%)
ฤดูหนาว	กางเกงหลวมเนื้อหนา และเสื้อเชิ้ตแขนยาว และเสื้อคลุม	0.9	22°C 71°F	20-23.5°C 68-75°F
ฤดูร้อน	กางเกงหลวมเนื้อบาง และเสื้อเชิ้ตแขนสั้น	0.5	24.5°C 76°F	23-26°C 73-79°F
	แต่งกายน้อยที่สุด	0.05	27°C 81°F	26-29°C 79-84°F

(Hassani, V. Hauser, S. and T.Agami Reddy: 2-103)



แผนภูมิที่ 2-10 เขตสภาวะน่าสบายในฤดูร้อนและฤดูหนาว ขยายจาก Psychrometric Chart ของ ASHRAE ภายใต้เงื่อนไขการแต่งกายปานกลาง (1.0 clo) กิจกรรมธรรมดา (1.2 met) PPD 10%

(Handbook of Heating, Ventilation and Air Conditioning. 2001: 2-104)

เป็นที่ทราบโดยทั่วไปว่าขอบเขตสภาวะนำสบายทางอุณหภูมิไม่สามารถกำหนดเป็นค่าคงที่ใด ๆ ได้ และยังแปรผันไปตามความรู้สึกส่วนตัวจากการแต่งกายที่แตกต่างกัน กิจกรรมต่าง ๆ ที่ต้องทำในที่หนึ่ง ๆ รวมถึงความแตกต่างของสภาพอากาศของแต่ละบริเวณ Koenigsberger และทีมิวิจัย (ค.ศ. 1973) ได้เปรียบเทียบขอบเขตสภาวะนำสบายของมนุษย์จากที่ต่าง ๆ ตามเอกสารงานวิจัยที่ปรากฏ พบว่ามีความแตกต่างระหว่างขอบเขตสภาวะนำสบาย ดังแสดงในตาราง 2-05

ตารางที่ 2-05 การเปรียบเทียบขอบเขตสภาวะนำสบายสำหรับประเทศต่าง ๆ โดย Koenigsberger และทีมิวิจัย

Location	Source	Comfort Temperature (°C)		
		minimum	optimum	maximum
UK - winter	Bedford (1936)	14	17	20
- summer	Hickish (1955)	-	18	22
US - winter	Yaglou (1927)	15	20	23
- summer	Yaglou (1927)	18	22	26
Sydney summer	Weiss (1959)	-	22	25
Singapore	Webb (1960)	24	-	27
Limits probably valid for most tropical regions		22	25	27

ที่มา: (Koenigsberger, 1973 cited in Kitchai, 1999: 70)

เป็นที่สังเกตว่ามีการกำหนดมาตรฐานสากลเพื่อนำไปใช้กับมนุษย์ที่มีร่างกายแข็งแรงทั่วโลก แม้จะเป็นการศึกษาที่ทำขึ้นในเขตยุโรปและอเมริกาเหนือ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากลักษณะตามธรรมชาติประชากรและอื่น ๆ ของประเทศต่าง ๆ ในโลกจึงเป็นที่ศึกษากันในปัจจุบัน และการนำมาตรฐานดังกล่าว มาใช้ในการวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการออกแบบปรับปรุงตึกแถวพักอาศัย เพื่อความสบายทางอุณหภูมิที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นในสภาพแวดล้อมของเมืองจึงอาจมีความไม่เหมาะสม เนื่องจากขอบเขตสภาวะสบายอาจเปลี่ยนแปลง โดยมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงของกรุงเทพมหานคร

ยังมีงานวิจัยฉบับหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับสภาวะนำสบายของคนไทยโดยตรง ได้แก่ การศึกษาสภาวะสบายของคน 2 กลุ่ม ในสภาวะปรับอากาศและระบายนอากาศตามธรรมชาติของอาคารสำนักงานในประเทศไทย ซึ่งพบว่าขีดจำกัดบนของสภาวะนำสบายทางอุณหภูมิ สำหรับอาคารที่ระบายนอากาศตามธรรมชาติสูงได้ถึง 31°C และ 28°C สำหรับอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ปี ค.ศ.1988 John F. Busch นักวิจัยทางด้านพลังงานของ Lawrence Berkeley Laboratory ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับสภาวะนำสบายที่เหมาะสมกับประเทศร้อนชื้น โดยทำการศึกษาจากการสำรวจความรู้สึกในสถานการณ์จริงจากพนักงาน 1,100 คน ที่ประจำในสำนักงาน 4 แห่ง ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ 2 แห่ง ได้แก่ ธนาคารสำนักงานใหญ่แห่งหนึ่งและอาคารสำนักงานที่มีผู้ใช้อาคารจำนวนมาก และสำนักงานที่มีการระบายนอากาศตามธรรมชาติ 2 แห่ง ได้แก่ ที่ทำการของการเคหะและสำนักงานอีกแห่งหนึ่งที่มีการแบ่งเป็นแผนกต่าง ๆ โดยทุกแห่งที่ทำการสำรวจมีที่ตั้งห่างจากใจกลางเมืองกรุงเทพมหานคร ไม่เกิน 10 กิโลเมตร



การเก็บข้อมูลทำขึ้นในฤดูร้อนและฝน ในเดือนเมษายนและกรกฎาคม ซึ่งเป็นเดือนที่มีความร้อนสูง และความชื้นมากในรอบปี เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ เครื่องมือวัดข้อมูลสภาพอากาศกับ ข้อมูลส่วนบุคคลและความรู้สึกที่ร้อนหนาวของผู้ถูกวิจัย

ข้อมูลสภาพอากาศ บริเวณที่ทำการสำรวจเก็บข้อมูลตัวแปร 4 ชนิด คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (globe temperature: Tg) และความเร็วม (v) โดยอุปกรณ์วัดแบบพกพาบันทึกด้วยเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (data logger) ส่วนข้อมูลสภาพอากาศภายนอกอาคารใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลส่วนบุคคลจะเก็บจากแบบสอบถามที่ใช้ดัชนีการวัด 7 ระดับของ ASHRAE ในการสำรวจความรู้สึกสบายทางอุณหภูมิของผู้ถูกวิจัย มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอาหารและเครื่องดื่มที่เพิ่งจะรับประทาน เครื่องแต่งกายแยกชนิดชายหญิง และครอบคลุมถึงปัจจัยอื่น ๆ ทางสถิติประชากรด้วย โดยผลของการวิจัยจะแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด คือ สภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิที่พึงพอใจของคนไทยในสภาพปรับอากาศด้วยระบบปรับอากาศ (air conditional: AC) และระบบระบายอากาศธรรมชาติ (naturally ventilated: NV)

ข้อมูลทางกายภาพที่ใช้ และสำรวจได้จากการวิจัยนี้ ได้แก่ พื้นที่ผิวร่างกายคนไทยเฉลี่ย ค่าความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกายในห้องปรับอากาศ และ 0.49 clo ในห้องระบายอากาศตามธรรมชาติ (Dubois body surface area) มีค่า 1.56 ตรม.  $\pm 0.17$  ตรม./คน) 0.56 clo ภายในอาคารที่ทำการวิจัยอุณหภูมิอากาศต่ำสุด 19.5 °C ในสภาพปรับอากาศ และสูงสุด 34.2 °C ในอากาศที่ระบายตามธรรมชาติเฉลี่ยรวม 26°C และมีค่าเบี่ยงเบนในฤดูร้อนกับฤดูฝน 3 °C ค่าความดันไอน้ำในอากาศเฉลี่ย 16.9 Torr อัตราการเคลื่อนไหวของอากาศ 0.13 เมตร/วินาที ในห้องปรับอากาศ และเฉลี่ย 0.33 เมตร/วินาที ในห้องที่ระบายอากาศโดยธรรมชาติ ซึ่งในห้องดังกล่าวมีการเปิดพัดลมจึงทำให้ความเร็วมที่บันทึกได้สูงสุดภายในอาคารสูงถึง 2.25 เมตร/วินาที เมื่อนำมาคำนวณหาอุณหภูมิประสม (effective temperature: ET) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) 50% ค่าอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบเท่ากับอุณหภูมิอากาศโดยรอบ ( $T_g = T_a$ ) จะได้อุณหภูมิประสม (ET) เฉลี่ย 27.5 °C ดังตารางที่ 2-06

นอกจากนี้ยังมีบางส่วนของงานวิจัยที่น่าสนใจ คือ มีการทดลองหาค่าอุณหภูมิประสมมาตรฐาน (standard effective temperature: SET) ในสภาวะที่คน 2 คน มีค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าและกิจกรรมเหมือนกัน และมีค่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ความชื้น 50% ความเร็วม 0.1 เมตร/วินาที แล้วพบว่าค่า SET ต่างไปจากค่า ET เนื่องจากความเร็วม และค่าความต้านทานของเครื่องแต่งกายมีค่าเปลี่ยนไป นอกเหนือจากมาตรฐาน ซึ่งพบในการวิจัยว่าค่าความต้านทานของเครื่องแต่งกายบริเวณที่ระบายอากาศตามธรรมชาติจะต่ำกว่าห้องปรับอากาศประมาณ 0.07 clo ซึ่งช่วยยืนยันถึงมาตรฐานคนไทยที่ต่างออกไป โดยปกติหน่วยงานเอกชนในประเทศไทยที่มีการติดต่อธุรกิจ จะมีลักษณะการแต่งกายเป็นแบบสากลนิยมตะวันตก ส่วนหน่วยงานราชการมักนิยมแต่งกายตามวัฒนธรรมไทย

ความเร็วม เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่ทำให้การคำนวณของข้อมูลจากตัวอย่างมีค่า SET ต่างไปจาก ET ภายในอาคารปรับอากาศความเร็วมเฉลี่ย 0.1 เมตร/วินาที และมีความแตกต่างกันน้อย ส่วนอาคารที่ระบายอากาศตามธรรมชาติมีความเร็วมแปรปรวน เฉลี่ยความเร็วม 0.2 เมตร/วินาที จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าเมื่อความเร็วมเพิ่มขึ้นจาก 0.1 เมตร/วินาที ค่า SET จะเริ่มแตกต่างจาก ET มาก โดยเฉพาะในอาคารที่ระบายอากาศตามธรรมชาติตามที่ศึกษา คือ ในอาคารระบายอากาศธรรมชาติ ค่า SET ต่ำกว่าค่า ET เฉลี่ย 1.5°C แต่ในอาคารปรับอากาศนั้น SET จะต่ำกว่า ET เพียง 0.4°C

ตารางที่ 2-06 ข้อมูลทางกายภาพ และผลการวิจัยสภาวะน่าสบายสำหรับคนไทยของ John F. B.(1988)

(John F. Busch.1992: 235.)

	สภาวะการปรับอากาศ (Air-Conditioned: AC)	สภาวะการระบายอากาศธรรมชาติ (Natural Ventilated: NV)
จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม	770	376
ความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกาย (clo)		
เฉลี่ย	0.56	0.49
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.12	0.10
ต่ำสุด	0.24	0.24
สูงสุด	1.19	0.72
อุณหภูมิอากาศ (DB)(°C)		
เฉลี่ย	23.7	30.8
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.6	1.8
ต่ำสุด	19.5	23.5
สูงสุด	31.3	34.2
ความดันไอน้ำในบรรยากาศ (Torr)		
เฉลี่ย	13.2	24.3
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.7	1.6
ต่ำสุด	6.9	7.6
สูงสุด	26.1	28.4
ความเร็วลม (m/s)		
เฉลี่ย	0.13	0.33
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.04	0.27
ต่ำสุด	0.09	0.09
สูงสุด	0.88	2.25
อุณหภูมิประสงค์ (ET)(°C)		
เฉลี่ย	24.7	33.0
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.8	1.6
ต่ำสุด	20.5	24.0
สูงสุด	34.0	36.0
มาตรฐานอุณหภูมิประสงค์ (SET)(°C)		
เฉลี่ย	24.3	31.5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.0	2.1
ต่ำสุด	18.1	24.4
สูงสุด	34.3	35.4

งานวิจัยเรื่องการออกแบบปรับปรุงตึกแถวพักอาศัย เพื่อความสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศนี้ จึงอ้างอิงขอบเขตสภาวะน่าสบายของ John. F. Busch เป็นมาตรฐานในการวิจัย ดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศโดยรอบ 19.5-34.2°C โดยมีอุณหภูมิประสงค์ (ET) ในสภาวะการระบายอากาศตามธรรมชาติที่ 31°C และอุณหภูมิประสงค์ (ET) ในสภาวะการปรับอากาศที่ 27.5°C
2. ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 20-75% โดยเฉลี่ยที่ 50%
3. ความเร็วลมประมาณ 0.09-2.25 เมตร/วินาที โดยเฉลี่ย 0.33 เมตร/วินาที ในห้องที่มีการระบายอากาศตามธรรมชาติ
4. อุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบมีค่าใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศ (MRT=Ta) ในสภาวะปกติที่นั่งเฉยๆ (1.2 met) และเครื่องแต่งกายประมาณ 0.5 clo

### 2.1.6 สภาวะนำสบายทางด้านแสงสว่าง (Visual Comfort)

แสง เป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน การพิจารณาแสงที่เหมาะสมต่อสภาวะนำสบาย จะต้องพิจารณาทั้งด้าน ปริมาณและคุณภาพของแสง การออกแบบแสงสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งานจะต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ เช่น ระยะห่าง ระหว่างที่นั่งงาน (task) กับผู้ปฏิบัติงาน ขนาดของวัตถุที่มอง ความแตกต่างของความสามารถในการสะท้อนแสง ระหว่างที่นั่งงานกับสิ่งแวดล้อม ความเปรียบต่างของที่นั่งงานกับสิ่งแวดล้อม ความเร็วในการเคลื่อนที่หรือการเคลื่อนไหวของที่นั่งงาน เป็นต้น

มีแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแสง 2 ประการ ประการแรกเป็นเรื่องของแหล่งกำเนิดแสง ประการที่สองคือ ผลจากแสงที่ปรากฏขึ้น (effect of light) แนวคิดแรกเป็นอิสระของผู้ออกแบบที่จะเลือกใช้ แต่แนวคิดที่สองมีความซับซ้อนกว่ามาก เช่น ระดับความสว่างเท่ากันอาจเหมาะกับสถานที่หนึ่ง แต่ไม่เหมาะกับอีกแห่งหนึ่งได้ ดังนั้นการใช้แสงของมนุษย์จึงมีความหลากหลายมาก เท่าที่ปรากฏในปัจจุบันทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ แต่การใช้แสงที่ไม่ถูกต้องนำมาสู่ปัญหาทางสายตาได้

### 2.1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะนำสบายทางด้านแสงสว่าง

ในการมองเห็นสิ่งต่างๆ นั้น เกิดจากการที่แสงตกกระทบบนวัตถุที่เป็นฉากรับ โดยผลที่ได้จากพฤติกรรมของแสงที่มีผลต่อการมองเห็นของมนุษย์ หากไม่พิจารณาทางด้านความงามของแสงแล้ว สิ่งสำคัญที่เป็นปัจจัยหลักคือ ปริมาณแสงสว่างที่พอเพียง และลักษณะหรือคุณสมบัติของแสงที่ปรากฏเห็น ส่งผลให้เกิดความสบายในการมองโดยขึ้นกับความสามารถในการรับรู้ของดวงตามนุษย์ ความผิดปกติทางสายตาแต่ละคน สภาพแวดล้อม อายุ ความเปรียบต่าง เป็นต้น การออกแบบแสงสว่างที่ไม่เหมาะสม นอกจากจะทำให้เกิดผลเสียต่อสภาวะนำสบายทางด้านการมองเห็นแล้ว ยังเป็นปัจจัยการเกิดโรค sick building syndrome จากแสงสว่างในอาคารที่ผิดปกติซึ่งประกอบด้วย 2 กรณี คือ

1. สภาวะนำสบายทางการมองเห็นของมนุษย์ (visual comfort probability, VCP) เป็นการพิจารณาความสว่างที่เหมาะสม มุมของแสงและมุมมอง ของมนุษย์ที่กระทำต่อแหล่งกำเนิดแสง ขนาดห้อง ความสูง ค่าการส่องแสง และค่าการสะท้อนของผิว การคำนวณจะคาดการณ์จากจำนวนคนในห้อง เพื่อหาจุดที่ผู้ถูกทดสอบสามารถทนได้ในขณะที่อยู่ใน สภาวะที่ไม่เหมาะสม ภายใต้เงื่อนไขการนำไปใช้

2. แสงที่จ้ามากเกินไปกว่าสายตาจะยอมรับได้ ทำให้ความสามารถมองเห็นลดลง แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ แสงจ้าจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง (direct glare) หรือ กรณีที่พื้นผิววัตถุที่มีความมันวาวสะท้อนแสงเข้าสู่ดวงตาเสมือนแหล่งกำเนิดแสงที่สอง

### 2.1.8 มาตรฐานวัดความสบายทางด้านแสงสว่าง (Lighting Comfort Index)

มีสถาบันต่าง ๆ มากมายได้กำหนดมาตรฐานความสบายทางสายตาขึ้น โดยจะกำหนดในลักษณะค่าต่ำสุดของระดับความสว่างที่เกิดขึ้นกับแต่ละกิจกรรม (รวมไปถึงมาตรฐานของอุปกรณ์และการติดตั้ง) มาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนดระดับความสว่างนี้ แต่ละมาตรฐานมีการกำหนดไว้แตกต่างกันอยู่บ้าง อย่างไรก็ตามมาตรฐานต่าง ๆ ก็ได้มีการรับรองจากสถาบันว่าสามารถใช้เป็นบรรทัดฐานได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงมาตรฐานสากลทั่วไปเท่านั้น

## ตารางที่ 2-07 มาตรฐานวัดความสบายทางแสงสว่าง

มาตรฐาน	ชื่อเต็ม	คำแปล
ANSI	American National Standard Institute	สำนักงานมาตรฐานสหรัฐอเมริกา
BS	British Standard	มาตรฐานอังกฤษ
BSI	British Standard Institute	สำนักงานมาตรฐานอังกฤษ
CENELEC	Comite Europeen de Normalisation Electro technique	คณะกรรมการมาตรฐานไฟฟ้ายุโรป
CIE	Commission International de L' Eclairage	คณะกรรมการมาตรฐานแสงสว่างสากล
CSA	Canadian Standard Association	สมาคมมาตรฐานแคนาดา
DIN	Deutsches Institute Normung	สำนักงานมาตรฐานเยอรมัน
EIT	The Engineering Institute of Thailand	วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.)
IEC	International Electrotechnical	คณะกรรมการมาตรฐานไฟฟ้าสากล
IES	Commission Illumination Engineering Society	สมาคมวิศวกรรมแสงสว่างสหรัฐอเมริกา

## 2.1.9 ขอบเขตสภาวะนำสบายทางด้านแสงสว่าง

การกำหนดระดับความส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่าง ๆ กันนั้น มีการกำหนดโดยหน่วยงานแต่ละแห่งข้างต้น ขึ้นอยู่กับการใช้สอยและสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความต่างกัน ส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่งได้แก่ CIE (International Commission on Illumination) กำหนดความสว่าง 3 ค่า โดยใช้ค่ากลาง เป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่น ๆ คือ อาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพต่าง ๆ เช่น ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิว หรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปกติให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก ก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาไม่มีหน้าต่าง ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น นอกเหนือจากการกำหนดระดับการส่องสว่างเป็นลักซ์ หรือฟุตแคนเดิลแล้ว การกำหนดระดับการส่องสว่างยังสามารถกำหนดมาตรฐานเป็นค่า Daylight Factor (DF) โดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ดังตารางที่ 2-09

ตารางที่ 2-08 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES (USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า DAYLIGHT FACTOR ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐานCIE <sup>(ก)</sup>	ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน IES <sup>(ข)</sup>	ค่า Daylight Factor (%), <sup>(ค)</sup>		
			เฉลี่ย	ต่ำสุด	จุดที่วัด
อาคารทั่วไป					
ทางเดิน	50 – 100 – 150	50 – 75 – 100	2	0.6	จุดที่วัด
บันได-บันไดเลื่อน	100 – 150 – 200	100 – 150 – 200	2	0.6	พื้น
ที่เก็บของ, ห้องเก็บของ	100 – 150 – 200	100 – 150 – 200	1.5	0.5	luminance
ห้องน้ำ	100 – 150 – 200	100 – 150 – 200	1.5	0.5	work plane
ห้องสมุด					
หิ้งหนังสือ	150 – 200 – 300	200 – 300 – 500	5	1.5	Vertical
โต๊ะอ่านหนังสือ	300 – 500 – 700	200 – 300 – 500	5	1.5	work plane
เคาน์เตอร์	200 - 300 – 500	200 – 300 - 500	5	2	work plane

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

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

(ค) BSI Draft for Development p 73, อ้างถึงใน Applications Manual window Design หน้า 31

เพื่อพิจารณามาตรฐานความส่องสว่างของส่วนต่าง ๆ ในอาคารตึกแถวที่มีการใช้งานแบบกึ่งเอกประสงค์ เป็นส่วนมาก ตามมาตรฐาน CIE และ IES ซึ่งกำหนดตามกิจกรรมการใช้งาน สามารถสรุปเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมตามมาตรฐานต่างๆที่ใช้ในการวิจัยนี้ ดังตาราง

ตารางที่ 2-09 ตารางเปรียบเทียบลักษณะการใช้งานจากความเหมาะสมของกิจกรรมตามมาตรฐานสากล

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่างตามมาตรฐาน CIE และ IES (lx)	ค่า DAYLIGHT FACTORY (%)		
		เฉลี่ย	ต่ำสุด	ระดับที่วัด
บ้านพักอาศัย				
ครัว	500 – 750 – 1000	5	2.5	ระดับปฏิบัติการ
ทางเดินทั่วไป	50 – 100 – 150	2	0.6	พื้น
ห้องนั่งเล่น, ห้องรับแขก	300 – 150 – 750	2.5	1.5	ระดับปฏิบัติการ
ห้องรับประทานอาหาร	300 – 150 – 750	5	2.5	ระดับปฏิบัติการ
ห้องนอน	50 – 100 – 150	2.5	1.5	ระดับปฏิบัติการ
ห้องเก็บของ	100 – 150 – 200	1.5	0.5	ระดับปฏิบัติการ
ห้องน้ำ	100 – 150 – 200	1.5	0.5	ระดับปฏิบัติการ
ห้องทั่วไป	150 – 200 – 300	5	2.5	ระดับปฏิบัติการ
บันได	100 – 150 – 200	2	0.6	ลูกนอน

### 2.1.10 สภาวะนำสบายทางด้านการระบายอากาศ

การระบายอากาศ เป็นการถ่ายเทอากาศภายในห้องออกไป โดยให้อากาศใหม่ซึ่งสดชื่นกว่าเข้ามาแทนที่ (ตริงใจ บุรณะสมภพ, 2539: 6) เมื่อการเคลื่อนที่ของอากาศมีความเร็วมากขึ้นจะเกิดเป็นกระแสลม อาคารโดยทั่วไปอาศัยแรงธรรมชาติ 3 ชนิด ในการผลักดันให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านเปลือกอาคาร ได้แก่ ความดันอากาศ จากกระแสลม แรงลอยตัวของอากาศ (Buoyancy) และพัดลมจักรกล (mechanical fans) การศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศมักจะพิจารณา 2 ประเด็นหลัก คือ รูปแบบการพัดผ่านเปลือกอาคาร (flow through envelope openings) และลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายใน (internal air motion) สำหรับการศึกษาวิจัยในที่นี้จะให้ความสำคัญ 2 ส่วนคือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่ภายนอก (airflow rate) ให้เหมาะสมต่อความต้องการของผู้ใช้อาคารตามมาตรฐาน และทิศทางของการเคลื่อนที่อากาศภายในอาคาร

การระบายอากาศที่เพียงพอจะทำให้เกิดความสดชื่น สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะเป็นการเพิ่มการระเหยกลายเป็นไอซึ่งทำให้อุณหภูมิผิวผนังลดลง การลดอุณหภูมิโดยวิธีการผ่านของลมจะสัมฤทธิ์ผลเมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิผิวร่างกาย (95-97°F/ 35-36°C) เพราะถึงแม้ว่าลมจะเร่งให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอก็ไม่สามารถสมดุลกับความร้อนที่ได้รับจากอุณหภูมิสูงได้ จึงอธิบายได้ว่า เหตุใดบรรยากาศภายในอาคารของเขตร้อนชื้นจึงสามารถเข้าสู่สภาวะนำสบายได้ดี ตรงข้ามกับเขตร้อนแห้งที่ต้องป้องกันไม่ให้ลมพัดผ่านในเวลากลางวัน

สิ่งแวดล้อมใกล้อาคารและรูปแบบเปลือกอาคาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วและรูปลักษณะการไหลของอากาศ เพื่อให้เกิดการระบายอากาศที่ดี จะต้องออกแบบอาคารให้มีความแตกต่างของความกดอากาศหรือความต่างอุณหภูมิในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร คือ ส่วนที่ปะทะลมและบริเวณทางเข้าของลมจะมีความกดอากาศสูง ส่วนด้านหลังอาคารและบริเวณทางออกของลมควรเป็นส่วนที่มีความกดอากาศต่ำ เป็นที่น่าสนใจว่าอาคารที่มีช่องเปิดสู่อากาศภายนอกแต่ไม่มีช่องทางออกของลม อัตราการระบายอากาศเข้าใกล้ศูนย์จนแทบไม่มีซึ่งไม่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของมนุษย์

### 2.1.11 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายทางด้านการระบายอากาศ

อากาศและการไหลเวียนอากาศเป็นสิ่งจำเป็นยิ่งยวดต่อสภาวะน่าสบาย มนุษย์อาจเสียชีวิตได้เร็วที่สุดเมื่อขาดอากาศหายใจหรือสูดอากาศพิษสะสมในร่างกาย การหายใจเอาอากาศบริสุทธิ์ที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เพียงพอจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์ ในการขับเคลื่อนระบบของร่างกาย การไหลเวียนโลหิต ซึ่งผลิตอากาศเสียที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดเวลา อากาศมีส่วนประกอบปะปนเปื้อนมากมายรวมทั้งกลิ่นอับ ที่ถึงแม้ไม่เป็นอันตรายเฉียบพลัน แต่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ได้ทันที หากไม่พิจารณาด้านคุณภาพของอากาศแล้ว สิ่งสำคัญที่เป็นปัจจัยหลักของสภาวะน่าสบายทางด้านการระบายอากาศ ประกอบด้วย 2 กรณี คือ

1. อัตราการระบายอากาศ (airflow rate) เป็นการพิจารณาเชิงปริมาณ ของการแทนที่อากาศภายในอาคารด้วยอากาศใหม่ที่บริสุทธิ์กว่า อัตราการระบายอากาศที่พอเพียง ส่งผลให้เกิดความสบายในการอยู่อาศัย
2. การพัดของลม จะต้องนำไปพิจารณาทั้งการหมุนเวียนอากาศภายในและภายนอกอาคาร ลมที่พัดเข้าไปผสมกับอากาศเก่าในอาคาร ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสภาวะอากาศภายใน ลมในฤดูฝนจะมาพร้อมกับความชื้นทำให้ร่างกายไม่สามารถขับเหงื่อทางผิวหนังได้เต็มที่แต่จะรู้สึกเย็นเมื่อมีกระแสลมพัดผ่านผิวหนัง ส่วนลมที่ร้อนและแห้งมากเมื่อพัดผ่านร่างกายจะเสกผิวหนัง การพัดผ่านภายนอกอาคารทำให้เกิดการพาความร้อนและการรั่วของความร้อนจากช่องต่างๆ ของเปลือกอาคาร

### 2.1.12 มาตรฐานความสบายทางด้านการระบายอากาศ

ตึกแถวเป็นอาคารประเภทหนึ่งที่มีการก่อสร้างแบบ Close Construction ซึ่งเป็นลักษณะอาคารปิดที่บึงมีปัญหาตึกแถวเกี่ยวกับการระบายอากาศตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งชีวิตความเป็นอยู่เปลี่ยนแปลงไปมีความต้องการใช้เครื่องไฟฟ้า และการใช้อุปกรณ์ใช้แก๊สมากขึ้น ส่งผลให้เกิดความร้อน และมลพิษขึ้นภายในอาคารจึงจำเป็นต้องมีการระบายอากาศเสีย และรับอากาศที่ดีเข้ามาแทนเพื่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย และยังช่วยในการระบายกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ขจัดฝุ่นละออง ระบายความอับชื้น กำจัดเชื้อโรคที่ปนอยู่ในอากาศ หรือช่วยในการปรับอุณหภูมิภายในอาคาร วัตถุประสงค์ของการระบายอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 3 เป้าหมาย ได้แก่

1. การระบายอากาศเพื่อสุขภาพ (health ventilation)
2. การระบายอากาศเพื่อสภาวะน่าสบาย (comfort ventilation)
3. การระบายอากาศเพื่อทำความเย็นแก่ตัวอาคาร (structure cooling ventilation)

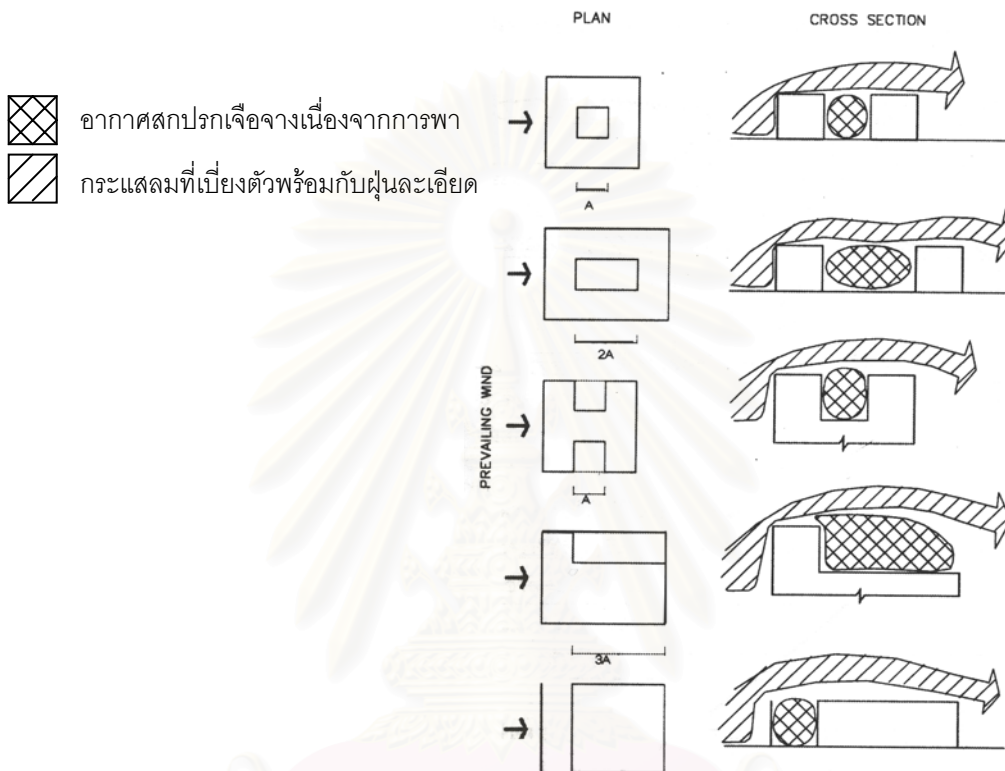
#### 1. การระบายอากาศเพื่อสุขภาพ (health Ventilation)

มนุษย์ต้องใช้ออกซิเจนเพื่อการสันดาปในร่างกาย โดยเฉลี่ย 0.5-5 ลิบ.ม./ชม. แต่ภายในสถานที่จำกัดปริมาณออกซิเจนจะยิ่งลดลง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากคนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยทางชีวภาพ คาร์บอนไดออกไซด์เพียง 0.5% ของปริมาตรก็ทำให้เกิดสภาพอากาศใช้แล้ว (สมสิทธิ์ นิตยะ.2522: 133) จึงควรมีการเปลี่ยนอากาศใหม่ในอาคาร เป็นการแลกเปลี่ยนอากาศ ซึ่งจำเป็นต่อสุขภาพ ลดการป่วยจากการติดต่อกันทางอากาศเชื้อโรค และก๊าซพิษไม่เกิดการสะสม เพราะมีการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างภายใน และภายนอก ซึ่งในอาคารแต่ละประเภทการใช้งานก็ต้องการอัตราการถ่ายเทอากาศแตกต่างกัน

สภาพภูมิอากาศ เป็นปัจจัยสำคัญในการระบายอากาศเสียภายในอาคารในเขตภูมิอากาศ ร้อนชื้นแบบประเทศไทย ต้องมีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศกว่า 100 ac/hr เพื่อระบายอากาศเสียออกจากห้องในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาอาจใช้เพียง 0.1-2 ac/hr เท่านั้น

นอกเหนือจากการวางทิศทางอาคาร ช่องเปิด รวมทั้งแผงก้ำบังต่างๆที่มีผลต่อทิศทางของกระแสลมที่มาปะทะ และพัดผ่านภายในอาคารแล้ว การวางรูปอาคารในแบบต่างๆ สัดส่วนและระยะห่างของอาคาร มีทั้งส่วนดีและส่วนเสียต่อการเบี่ยงตัวหรือเป็นกับดักของอากาศสกปรก และฝุ่นละออง เนื่องจากกระแสลมที่มาปะทะอาคารหรือแผงก้ำบังลักษณะต่างๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะขนาดของฝุ่นละอองที่แขวนลอยมากับอากาศด้วย

ภาพที่ 2-04 ลักษณะของลมกับฝุ่นละออง (สมมติธิ นิตยะ. 2541)



## 2. การระบายอากาศเพื่อสภาวะน่าสบาย (comfort ventilation)

จากการศึกษาของ Victor Olgyay พบว่าเมื่อกระแสลมที่พัดผ่านผิวหนึ่ง เพิ่มขึ้น 1km/hr (0.278 m/s) มนุษย์จะมีความรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จริง เพราะอัตราการระบายความร้อนออกจากผิวภายในนั้นแปรผันตามความเร็วของกระแสลม โดยจะรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศจริงประมาณ 0.4°C ดังนั้นการใช้หลักการระบายอากาศโดยวิธีการทางธรรมชาติ จะช่วยให้สภาพแวดล้อมเข้าสู่สภาวะน่าสบายได้ในระดับที่ต้องการ ความเร็วลมที่ทำให้รู้สึกสบาย ณ อุณหภูมิและความชื้นที่กำหนดสามารถหาได้จาก สมการ 2-4 ทั้งนี้ค่าความเร็วลมที่ได้จากสมการนี้ จะต้องไม่เกิน 300 fpm

$$WSC = 30[DBT-81 + 1.5(RH-60)/10] \quad (\text{Cowan, 1991}) \quad (\text{สมการที่ 2-4})$$

เมื่อ WSC คือ ความเร็วลม มีหน่วยเป็น fpm.

DBT คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาจะหว่างร่างกายกับสภาพแวดล้อม เมื่ออากาศรอบ ๆ ตัวเราเคลื่อนไหวผ่านร่างกาย ก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของร่างกายกับอากาศที่อยู่บริเวณผิวกาย ซึ่งสัมพันธ์กับการถ่ายเทความร้อนโดยการพาจะหว่างร่างกายกับสภาพแวดล้อม จะขึ้นอยู่กับความเร็วลม และกิจกรรม

ตารางที่ 2-10 ความเร็วลมภายในอาคารกับสภาวะน่าสบาย (Stein, Reynold. 8th Edition)

ความเร็วลม	ความเป็นไปได้ของความรู้สึก อุณหภูมิลดลง (ระหว่าง 80-90°F) ตัวเลขมากสนองกับพื้นที่ความชื้นสูงขึ้น	ผลที่อาจเกิดขึ้น
0-50 fpm.	ไม่มีรู้สึกเปลี่ยนแปลงในความสบาย	ไม่สามารถสังเกตได้
50-100 fpm.	รู้สึกอุณหภูมิต่ำลง 2-3 °F	สบาย
100-200 fpm.	รู้สึกอุณหภูมิต่ำลง 4-5 °F	โดยทั่วไปรู้สึกสบายแต่รับรู้ว่าการเคลื่อนไหวของอากาศ
200-300 fpm.	รู้สึกอุณหภูมิต่ำลง 5-7 °F	รู้สึกมีลมพัดเล็กน้อยจนถึงรู้สึกถูกรบกวนได้
สูงกว่า 300 fpm.	รู้สึกอุณหภูมิต่ำลง มากกว่า 5-7 °F	ต้องการแก้ไขที่ถูกต้อง เพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพ และถูกสุขลักษณะ

การพัดของลมต้องพิจารณาทั้งภายนอกอาคารและการหมุนเวียนของอากาศภายในอาคาร การพัดผ่านภายนอกอาคารทำให้เกิดการพาความร้อน และการรั่วของความร้อนเนื่องจากช่องต่างๆ เช่น ขอบวงกบช่องเปิดซึ่งมีความสำคัญสำหรับอาคารปรับอากาศ บริเวณที่อุณหภูมิภายนอกกับภายในแตกต่างกันมากหรือสภาวะร้อนจัดในตอนบ่าย (14.00-17.00น.) อาคารควรมีแนวเปิดของสิ่งแวดล้อมให้ลมสามารถพัดผ่านตัวอาคาร ส่วนช่วงที่เกิดสภาวะหนาวเย็น (under heated period) ควรมีสิ่งแวดล้อมหรือสภาพภูมิประเทศช่วยสกัดกั้นไม่ให้ลมพัดผ่านอาคาร สำหรับภายในอาคารในเขตร้อนชื้นจะช่วยให้ภายในอาคารมีสภาวะน่าสบาย (สมสิทธิ์ นิตยะ. 2541)

### 3. ระบายอากาศเพื่อทำความเย็นแก่ตัวอาคาร (Structure Cooling Ventilation)

เป็นการใช้การพาความร้อนซึ่งตัวกลางเป็นอากาศ เพื่อดึงความร้อนที่สะสมในวัสดุให้เย็นลง ปัจจัยสำคัญในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อน คืออัตราการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างผิวของวัสดุ กับอากาศที่ผิวสัมผัสซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ แต่เมื่ออากาศที่ผิววัสดุนั้นถูกทำให้ร้อนขึ้นก็จะเกิดการพาความร้อนเสมอเมื่ออากาศมีการเคลื่อนไหว

การสูญเสียหรือได้รับความร้อนเพิ่มจากการระบายอากาศ สามารถคำนวณได้จาก (MEEB, 1992: 126)

$$q_v = (V)(1.08)(\Delta T) \quad (\text{สมการที่ 2-5})$$

เมื่อ  $q_v$  = ความร้อนแฝง (sensible Heat) จากการระบายอากาศ (Btu/h)

$V$  = อัตราการระบายอากาศ เป็นลูกบาศก์ฟุต/นาที (cfm)

$\Delta T$  = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร (°F)

อัตราการเปลี่ยนอากาศจะมีผลกับอัตราการนำความร้อนโดยอากาศที่เคลื่อนที่ จะมีประสิทธิภาพในการรับหรือปล่อยความร้อนได้ดีกว่าอากาศนิ่ง ในการเปรียบเทียบการรับหรือปล่อยความร้อนของอากาศสามารถดูได้จากค่า "Wind Chill Index" (Donald Watson & Kenneth Labs, 1983) เมื่อมีความเร็วลมที่ผิวค่าความต้านทานความร้อนจะต่ำกว่าอากาศนิ่ง หมายความว่า ในวัสดุที่มีค่าการกระจายรังสีความร้อนสูง (วัสดุที่ไม่สะท้อน) อุณหภูมิที่ผิววัสดุจะสูง ทำให้เกิดการพาความร้อนที่ผิววัสดุนั้น ทำให้ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศต่ำ ประสิทธิภาพการนำความร้อนก็จะสูง คือ สามารถนำความร้อนได้ดี



นอกจากนี้ยังมีแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศ ได้แก่ อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิกับความสูง ซึ่งตัวแปรที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมของความร้อนในโรงได้แก่ อุณหภูมิภายนอก ตำแหน่งความสูงของจุดต่างๆ ภายในโรง ค่ารังสีแสงอาทิตย์ ขนาดช่องเปิดระบายอากาศและความหนาแน่นของมวลสารที่เป็นวัสดุภายในโรง และการเจาะช่องเปิดเพื่อระบายอากาศในแนวตั้งในโรงสูงจะสามารถลดอุณหภูมิได้ สำหรับอาคารไม่ปรับอากาศ อุณหภูมิภายในจะสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกช่วงเวลากลางคืน ยกเว้นเวลากลางคืนและเช้าตรู่ (ไพบูลย์ สุทธิพันธ์. 2537)

### 2.1.13 ขอบเขตสภาวะนำสบายทางด้านการระบายอากาศ

มาตรฐานการระบายอากาศตามกฎหมายควบคุมอาคารของไทย และมาตรฐานสากลอื่น ๆ ระบุให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศใหม่กับภายนอกให้เพียงพอกับความต้องการ โดยสัมพันธ์กับประเภทกิจกรรมและจำนวนผู้ใช้อาคารภายในห้อง และส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพและสภาวะนำสบายของผู้ใช้อาคารเนื่องจากกลิ่นอับและความรู้สึกอึดอัดของอากาศเก่าภายในอาคาร จะทำให้รู้สึกอึดอัดและไม่สบาย นอกจากนี้อันตรายจากก๊าซเรดอน (radon gas) และมลภาวะอื่นๆ ที่เกิดจากเครื่องเรือน ฝ้าผาน สีทาผนัง ไม้อัด ฯลฯ เช่น สารฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) เกิดและสะสมอยู่ในอาคารตลอดเวลาทำให้คุณภาพอากาศภายในอาคารเป็นพิษ มีกฎหมายต่างประเทศบางฉบับที่ระบุว่าอาคารที่มีช่องเปิดคิดเป็นพื้นที่ 5% ของพื้นที่ใช้สอยในห้องนั้น ให้ถือว่ามีการระบายอากาศตามธรรมชาติที่เพียงพอ (MEEB, 1992) ทั้งนี้จะต้องพิจารณาทั้งกรณีที่เปิดและปิดช่องเปิดอาคาร

ตารางที่ 2-11 อัตราการระบายอากาศตามธรรมชาติที่เพียงพอต่อความต้องการ  
ตามกฎหมายควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 หมวด 7 ข้อ 64

กิจกรรม	อัตราการระบายอากาศตามธรรมชาติ
ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด	7 เท่าของปริมาตรห้อง (ACH)
สำนักงาน	7 เท่าของปริมาตรห้อง (ACH)
โรงงาน	4 เท่าของปริมาตรห้อง (ACH)
สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม	7 เท่าของปริมาตรห้อง (ACH)
ครัวที่พักอาศัย	12 เท่าของปริมาตรห้อง (ACH)
ห้องน้ำ	2 - 4 เท่าของปริมาตรห้อง (ACH)
ที่จอดรถต่ำกว่าระดับดิน	4 เท่าของปริมาตรห้อง (ACH)

ตารางที่ 2-12 อัตราการระบายอากาศที่เพียงพอต่อความต้องการภายในที่อยู่อาศัยของ ASHRAE  
จาก ASHRAE Standard 62-1989 (MEEB, 1992: 178)

กิจกรรม	ปริมาณอากาศบริสุทธิ์ภายนอก ที่ต้องการ	หมายเหตุ
ส่วนอยู่อาศัย (living area)	0.35 ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/person (7.5 L/s/person)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การคำนวณอัตราการระบายอากาศ เป็นความสามารถในการระบายอากาศเทียบกับปริมาตรห้องภายใน 1 ชั่วโมง นั้น จะต้องรวมปริมาตรอากาศทุกส่วนที่ต่อเนื่องถึงกัน</li> <li>- การประมาณการระบายอากาศจะต้องพิจารณาทั้งกรณีการเปิดช่องเปิดตามปกติและการแทรกซึมของอากาศกรณีที่เปิดช่องเปิดนั้น ทั้งนี้อาคารที่มีการก่อสร้างอย่างแน่นหนาต้องพิจารณาการระบายอากาศที่ใช้เพื่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น เตาผิงและระบบถ่ายเทอากาศเชิงกลด้วย</li> <li>- จำนวนผู้ใช้อาคารควรสัมพันธ์กับจำนวนห้องนอน โดยคิดห้องนอนแรก แทนผู้ใช้ 2 คน ห้องนอนอื่น ๆ ห้องละ 1 คน แต่หากมีผู้ใช้เกินกำหนดให้คิดตามจริง</li> </ul>

ครัว	100 cfm (50 L/s) เมื่อการใช้ไม่สม่ำเสมอ 25 cfm (12 L/s) เมื่อใช้งานต่อเนื่อง หรือเปิดหน้าต่าง	- ต้องมีการติดตั้งระบบระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อความต้องการ
ห้องน้ำ ส้วม	50 cfm (25 L/s) เมื่อการใช้ไม่สม่ำเสมอ 25 cfm (12 L/s) เมื่อใช้งานต่อเนื่อง หรือเปิดหน้าต่าง	- ต้องมีการติดตั้งระบบระบายอากาศที่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อความต้องการ
โรงรถ	100 cfm (50 L/s) /คัน 1.5 cfm/sq.ft (7.5 L/s/m <sup>2</sup> )	- โดยทั่วไปใช้การระบายอากาศธรรมชาติ - อัตราการระบายอากาศเทียบเท่าโรงรถปิด (Enclosed parking garages)

ตารางที่ 2-13 ความต้องการ การถ่ายเทของอากาศในอาคารแต่ละประเภทของ AIA  
(AIA.1981.Energy in Design Techniques.)

ประเภทอาคาร (ไม่รวมครัว และห้องน้ำ)	อัตราการระบายอากาศที่เหมาะสม (cfm/คน)
บ้านพักอาศัย	7-10
อาคารสำนักงาน	15-25
โรงแรม	15-20
ศูนย์การค้า	10-15
อาคารขนส่ง	20-25
หอประชุม	10-20

David Oakley ได้เสนอแนะไว้ใน Tropical House ว่าในเขตร้อนชื้นควรมีปริมาณการเปลี่ยนอากาศใหม่สำหรับบ้านพักอาศัย ดังนี้

ตารางที่ 2-14 ปริมาณการเปลี่ยนอากาศใหม่สำหรับบ้านพักอาศัยของ David Oakley

ชนิดของห้อง	ปริมาณการถ่ายเทอากาศบริสุทธิ์ใหม่	
	SI – UNIT (ลบ.ม./นาที/คน)	I – P UNIT (ลบ.ฟุต/นาที/คน)
ห้องรับแขก และห้องนอน (28 ตร.ม./คน)(300 ตร.ฟ./คน)	204	7,200
(37 ตร.ม./คน)(400 ตร.ฟ./คน)	184	6,500
(46 ตร.ม./คน)(500 ตร.ฟ./คน)	119	4,200
ห้องครัว (ปรุงอาหารไม่เกิน 6 คน)	566	20,000 ลบ.ฟุต/ชม.
ห้องโถง และทางเดิน	10 ac/hr	
ห้องน้ำ, ส้วม	20 ac/hr	
ห้องเตรียมอาหาร และบันได	20 ac/hr	

จะเห็นได้ว่าขอบเขตสภาวะนำสบายทางการระบายอากาศแต่ละมาตรฐาน แม้จะแยกพิจารณาตามความเหมาะสมของกิจกรรมแล้ว ยังมีความแตกต่างเชิงปริมาณของแต่ละมาตรฐานมากเมื่อศึกษาพื้นที่ใช้งานลักษณะเดียวกัน (ดูรายการคำนวณในภาคผนวก) ในการวิจัยนี้จึงอ้างอิงขอบเขตสภาวะนำสบายตามมาตรฐานที่มีความจำเป็นและมีความเป็นสากลที่สุด โดยพิจารณาร่วมกัน 2 มาตรฐาน เพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและมีความเป็นไปได้ทางกฎหมายในการออกแบบปรับปรุงอาคาร ได้แก่ อัตราการระบายอากาศตามธรรมชาติที่เพียงพอต่อความต้องการ ตามกฎหมายควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 หมวด 7 ข้อ 64 และ ASHRAE Standard 62-1989 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-13 และ 14

## 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อน

### 2.2.1 การควบคุมความร้อนของอาคาร (Thermal Control) (สมสิทธิ์ นิตยะ. 2541: 133)

การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไปมีอยู่ 3 วิธี คือ

#### 1. การนำความร้อน

คือ การที่ความร้อนเคลื่อนผ่านเนื้อวัสดุระหว่างโมเลกุลของสสารในสถานะเดียวกัน (Stein, 1992) ซึ่งคุณสมบัติในการนำความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับ 4 ปัจจัย คือ ลักษณะของเนื้อวัสดุ ความชื้นในเนื้อวัสดุ ความหนาแน่นของเนื้อวัสดุ และปริมาณของโพรงอากาศในเนื้อวัสดุ

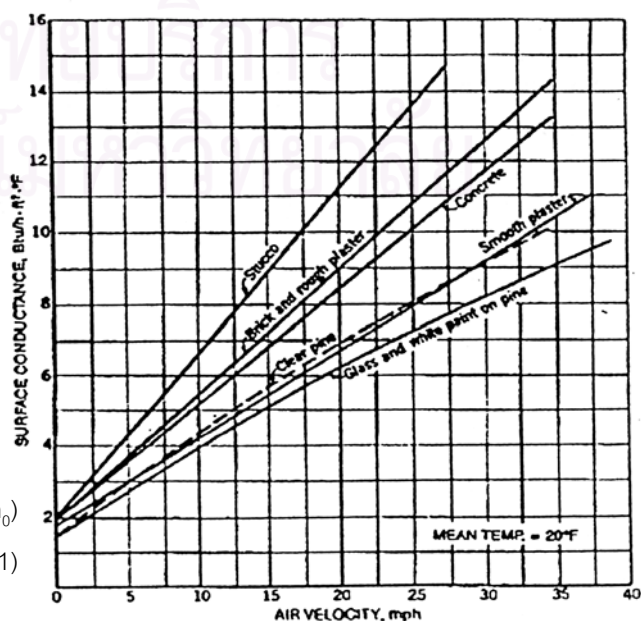
วัสดุทั่วไปในงานสถาปัตยกรรมสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ วัสดุที่นำความร้อน (conductor, k มาก) เช่น อิฐ คอนกรีต หิน เหล็ก กระจก ฯลฯ และวัสดุที่เป็นฉนวน (insulator, k น้อย) เช่น เซลลูโลส โยแก้ว โฟม ฯลฯ ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ การนำความร้อนเขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้ (ASHRAE, 1997: 3.1)

$$q = -(k A)dT/dx \quad (\text{สมการที่ 2-06})$$

เมื่อ  $q$  = พลังงานจากการนำความร้อน (Btu/h)  
 $k$  = ค่าการนำความร้อน (Btu\*ft/h\* $ft^2$ \* $^{\circ}F$ )  
 $A$  = พื้นที่ที่มีการนำความร้อน ( $ft^2$ )  
 $dT/dx$  = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ ความหนาใดๆ ( $^{\circ}F/ft$ )

#### 2. การพาความร้อน

คือ การที่ความร้อนเคลื่อนผ่านตัวกลางที่มีคุณสมบัติในการพาความร้อน เช่น อากาศ น้ำ เมื่อตัวกลางมีอุณหภูมิสูง จะพาเอาความร้อนมากระทบที่ผิวของวัสดุ และถ่ายเทความร้อนให้กับอาคาร จากการถ่ายเทความร้อนจากผิวเปลือก อาคารด้านในสู่อากาศภายใน ด้วยการพาความร้อน จากผิวนิ่งสู่อากาศที่พัดผ่าน คุณลักษณะของการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาถูกกำหนดด้วยค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient,  $h_0$ ) มีคุณลักษณะคล้ายค่า  $k$  ของสสารประเภทของแข็ง แต่ค่า  $h_0$  จะไม่คงที่เหมือนค่า  $k$  จากการวิจัยพบว่าค่า  $h_0$  จะขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิว ความเร็วลม และทิศทางการส่งผ่านความร้อน ดังที่แสดงในแผนภูมิที่ 2-12



แผนภูมิที่ 2-11 ค่าการนำความร้อนของอากาศ ( $h_0$ ) ณ พื้นผิวต่างๆ (ASHRAE, 1997: 24.1)

ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในการพาความร้อน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (Allard, 1998: 49)

$$q = h_0 A (T_s - T_a) \quad (\text{สมการที่ 2-07})$$

เมื่อ	$q$	= พลังงานจากการพาความร้อน (Btu/h)
	$h_0$	= ค่าการนำความร้อนของอากาศ (Btu/h <sup>0</sup> F <sup>2</sup> ft <sup>2</sup> )
	$A$	= พื้นที่ที่มีการพาความร้อน (ft <sup>2</sup> )
	$T_s$	= อุณหภูมิผิว (°F)
	$T_a$	= อุณหภูมิอากาศ (°F)

### 3. การแผ่รังสีความร้อน

คือ การที่ความร้อนจากแหล่งกำเนิด เช่น ดวงอาทิตย์ หรือวัสดุที่มีความร้อนแผ่ออกเป็นคลื่นความร้อนมากระทบอาคาร โดยไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางนำมา

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์อาจแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

- 1) รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความถี่สูงมาก
- 2) รังสีแสง (มองเห็นได้บางส่วน)
- 3) รังสีความร้อน แบ่งออกเป็น รังสีอินฟราเรดยาว 5-20  $\mu$  (micron)  
และ รังสีอินฟราเรดสั้น 1.7-2.5  $\mu$

ในประเทศไทยปริมาณความร้อนที่อาคารได้รับสูงสุดได้จากการแผ่รังสีความร้อนและ จากศึกษาเรื่องการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อนและคลื่นรังสีอินฟราเรดยาวและสั้น นำไปสู่การออกแบบการใช้วัสดุและสี รวมทั้งส่วนประกอบต่างๆ ของอาคาร ซึ่งการแผ่รังสีจะเกิดขึ้นทั้งภายนอกและภายในอาคาร ในส่วนของภายนอกอาคารจะเกิดการแผ่รังสี ดวงอาทิตย์ในตอนกลางวัน ทำให้ผิวอาคารภายนอกร้อนขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศ ในเวลากลางคืนเปลือกอาคาร จะแผ่รังสีกลับสู่ท้องฟ้าทำให้มีอุณหภูมิลดต่ำกว่าอากาศ ในส่วนของภายในอาคารวัสดุต่างๆ จะแผ่รังสีกันเมื่อมีอุณหภูมิต่างกัน รวมถึงการแผ่รังสีที่ส่งผลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ด้วย (MRT)

ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ การแผ่รังสีความร้อนเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้ (ASHRAE, 1997: 3.11)

$$q = A \epsilon \sigma (T_i^4 - T_o^4) \quad (\text{สมการที่ 2-08})$$

เมื่อ	$q$	= พลังงานจากการแผ่รังสีความร้อน (Btu/h)
	$A$	= พื้นที่การแผ่รังสีความร้อน (ft <sup>2</sup> )
	$\epsilon$	= ค่าการแผ่รังสีกลับ (Emissivity)
	$\sigma$	= ค่าคงที่ Stefan Boltzmann = $0.1714 \times 10^{-8}$ (Btu/h <sup>4</sup> ft <sup>2</sup> R <sup>4</sup> )
	$T_i$	= อุณหภูมิผิววัสดุที่สูงกว่า (°R)
	$T_o$	= อุณหภูมิผิววัสดุที่ต่ำกว่า (°R)

## 2.2.2 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารจะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่มีการผสมผสานระหว่างการนำ การพา และการแผ่รังสี เช่น การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับผิวผนังภายนอก ได้แก่ การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ พื้นผิวอื่นๆโดยรอบ และเกิดจากการพาความร้อนของอากาศภายนอก จากนั้นก็จะถ่ายเทด้วยการนำภายในเนื้อวัสดุเข้าไปยังผิวด้านใน เมื่อพลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิผิวภายในสูงขึ้นอากาศภายในเนื้อวัสดุเข้าไปยังผิวด้านใน เมื่อพลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิผิวภายในสูงขึ้นอากาศภายในอาคารที่พัดผ่านผิวเปลือกอาคารก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นในขั้นตอนนี้ความร้อนจะถูกถ่ายเทในรูปของการพาความร้อน และเมื่ออุณหภูมิผิวภายในอาคารไม่เท่ากัน ก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในรูปของการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวต่างๆ ภายในอาคารเนื่องจากอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อถ่ายเทความร้อนในอาคารจริงมาจากหลายองค์ประกอบ สินีรัตน์ ภัทรธรรมกุล (2537) ได้รวบรวมอิทธิพลต่างๆ ไว้ดังนี้

1. ความจุความร้อนของผนัง (thermal heat capacity) ผนังที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนที่ไหลผ่านผนังเป็นไปในอัตราที่ช้าลง
2. การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวผนัง กับสภาพแวดล้อม (long wave radiation heat exchange) เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังกับผิววัสดุอื่นๆ ก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น โดยเฉพาะในรูปการแผ่รังสี
3. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (overall coefficient of heat transmission, U) โดยปกติการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในมักใช้ค่า U เป็นหลักในการคำนวณ
4. การถ่ายเทความร้อนของผนังให้อากาศโดยตรงโดยการพาความร้อน (surface convection) การถ่ายเทความร้อนของผนังด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านผิวและลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลของการพาความร้อนที่มีต่อปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังจะมีค่าน้อยมาก ในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น
5. ความสามารถในการดูดกลืนและกระจายพลังงานความร้อนในเปลือกอาคาร (surface absorption and surface emission) โดยปกติหากเป็นสีของผนังธรรมดาทั่วไปตามธรรมชาติจะมีค่า surface emission ค่อนข้างสูงคือประมาณ 0.8-0.9 เป็นส่วนใหญ่ นอกจากจะเป็นสีเคลือบผิวที่พิเศษ (selective coating) อาจจะมีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำแต่มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนสูง จะทำให้ผิววัตถุเย็นกว่าปกติ ค่าการดูดกลืนความร้อนจะแปรตามความเข้มของสีผิว คือ เข้มมากจะมีค่าการดูดกลืนความร้อนสูง
6. การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนัง (time lag) วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า แต่ในสภาพการใช้งานจริง การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการและที่สำคัญคือ ปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว (fill up heat capacity) ก่อนที่จะถ่ายเทไปในชั้นต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงพบว่าในผนังก่ออิฐฉาบปูนเหมือนกัน แต่ใส่ฉนวนไว้ในตำแหน่งที่ต่างกัน คือ ภายนอกและภายใน ผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายนอกจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่า ผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายใน ทั้งนี้เพราะการที่มีฉนวนอยู่ภายนอกทำให้ความร้อนผ่านฉนวนเข้ามาได้ยากทำให้ความสามารถในการสะสมความร้อนของผนังช้าลง ทำให้การหน่วงความร้อนของผนังมีค่านานขึ้น

### 2.2.3 อุณหภูมิผิววัสดุเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ (Sol-air Temperature)

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ส่องกระทบผิวผนังภายนอก จะทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ผิววัสดุมีค่าสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายใน และภายนอกอาคารมีค่าสูงขึ้นมาก ดังนั้น การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจะแปรปรวนตามสภาพท้องฟ้าตลอดวัน สามารถคำนวณได้จาก (ASHRAE.1989: 26.4)

$$\frac{t_e}{h_o} = \frac{t_o + \alpha I_t}{h_o} - \varepsilon \Delta R \quad (\text{สมการที่ 2-09})$$

เมื่อ	$t_e$	= sol-air temperature ( $^{\circ}\text{F}$ )
	$t_o$	= อุณหภูมิอากาศภายนอก ( $^{\circ}\text{F}$ )
	$\alpha$	= สัมประสิทธิ์การดูดกลืนดวงอาทิตย์
	$I_t$	= รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Btu/h sq.ft.)
	$h_o$	= สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวภายนอกทั้งหมด
	$\Delta R$	= อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (Btu/h sq.ft.)
	$\varepsilon$	= สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนจากผิววัสดุซึ่งรวมทั้ง long wave radiation และ convection (Btu/h sq.ft. $^{\circ}\text{F}$ )

จากสมการจะพบว่า มีตัวแปรสำคัญ ดังนี้

1. ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิว ( $I_t$ ) เนื่องจากปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าสูงมาก และเป็นตัวแปรหลักในสมการ ดังนั้นหากสามารถสร้างการบังเงาให้แก่วัสดุผนังจะทำให้ sol-air temperature ลดลง สามารถลดการส่งผ่านความร้อน เข้าสู่อาคารได้

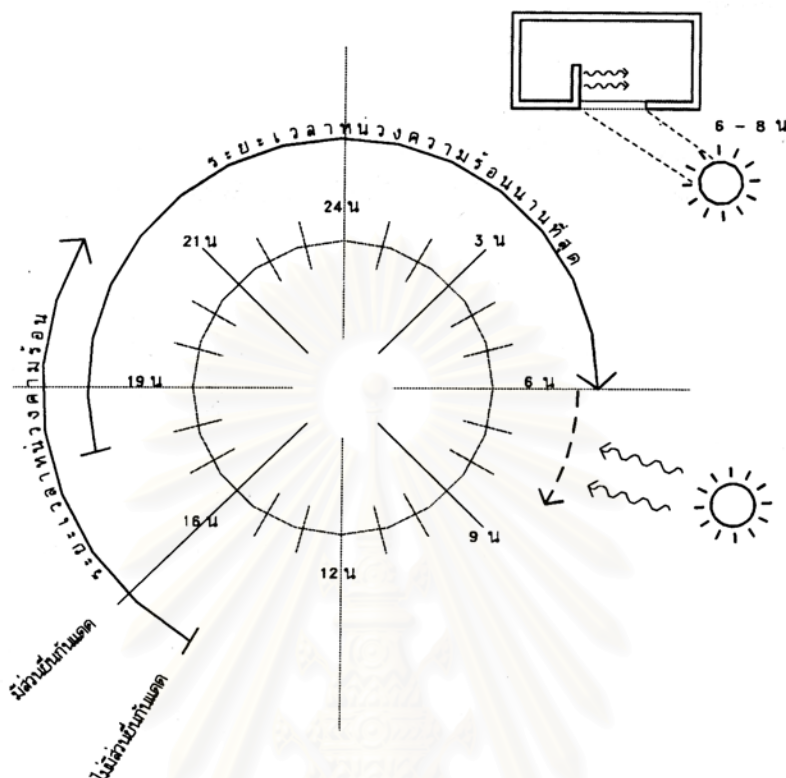
2. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์และการกระจายความร้อนจากผิววัสดุ ( $\alpha, \varepsilon$ ) เป็นค่าแสดงคุณสมบัติของวัสดุผนัง ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการดูดกลืนน้อย และมีผิววัสดุที่กระจายความร้อนได้ดี เช่น การเคลือบผิวผนังฉนวนจะช่วยลดการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารได้

3. อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อม และท้องฟ้า ( $\Delta R$ ) เมื่อปริมาณความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์สูงขึ้น อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุโดยทั่วไปจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเสมอ ทำให้ปริมาณการแผ่รังสีคลื่นยาวออกจากวัตถุเพิ่มขึ้น จึงไปชดเชยค่าการกระจายความร้อนของท้องฟ้าซึ่งมีค่าต่ำ ดังนั้นการคำนวณตามสมการจึงคิดเสมือนว่า ค่า  $\Delta R = 0$  สำหรับพื้นผิวแนวดิ่ง ส่วนวัตถุที่ผิวขนานกับพื้นโลก จะได้รับรังสีคลื่นยาวจากท้องฟ้าเท่านั้น ซึ่งค่า  $\Delta R$  จะเท่ากับ 20 Btu/h sq.ft.

### 2.2.4 การวิเคราะห์หาระยะห่างความร้อนในประเทศไทย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลรายปีของกรุงเทพฯ และจังหวัดต่างๆ กับการโคจรดวงอาทิตย์จะเห็นได้ว่าสภาพบรรยากาศอยู่ในระยะความเย็นวิกฤติจนถึงเวลาประมาณ 8.00 น. อย่างไรก็ตาม การที่จะให้ระยะห่างความร้อนจากตอนเย็นมาคายความร้อนในตอนเช้ายังต้องคิดถึงในฤดูร้อน ซึ่งไม่ต้องการความร้อนใดๆ ภายในอาคาร (กรุงเทพฯ) จนประมาณ 6.00 น. ซึ่งเราเริ่มไม่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2-05

ภาพที่ 2-05 ระยะเวลาช่วงความร้อนในประเทศไทย (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541: 144)



สำหรับภาคกลาง และกรุงเทพฯ จากการวิเคราะห์ข้อมูลรายวันในฤดูร้อนมีพิสัยประมาณ  $12^{\circ}\text{C}$  ( $22^{\circ}\text{F}$ ) แสดงว่าในตอนเช้าอากาศเย็น และในตอนบ่ายอากาศค่อนข้างร้อน จะต้องป้องกันความร้อนทะลุทะลวงทางทิศตะวันตก การใช้ค่าช่วงความร้อนดังวิเคราะห์ในภาพ จึงจะเป็นค่าที่เหมาะสม คือน้อยที่สุด 5 ชม. มากที่สุด 13 ชม.

### 2.2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปรับเย็นของอาคาร

การศึกษาปัจจัยด้านความร้อนที่มีความสัมพันธ์กับการถ่ายเทความร้อนของสถาปัตยกรรม โดยการพิจารณาตัวแปรในสูตรคณิตศาสตร์ของสูตรคำนวณภาระการปรับอากาศ เพื่อหาตัวแปรตามในสูตรที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าเพื่อลดภาระการปรับเย็นหรือเพิ่มสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ และนำไปสู่การวิเคราะห์และออกแบบปรับปรุงต่อไป ซึ่งการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารที่เป็นที่ยอมรับกันอยู่ในปัจจุบัน มีสูตรการคำนวณภาระการทำความเย็นของการปรับอากาศจำแนกตามแหล่งความร้อน ดังนี้

1. การคำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธี transfer function method (TFM) การคำนวณภาระการทำความเย็น (cooling load) โดยใช้วิธี transfer function method เป็นวิธีการคำนวณที่ตั้งอยู่บน 2 แนวคิด คือ conduction transfer function (CTF) และ weighting factor (WF) โดยมีขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้

1.1 คำนวณการถ่ายเทความร้อน (heat gain) เข้าสู่อาคารในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้วิธี CTF เป็นหลักในการหาค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนที่บดบัง เพื่อหาการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่อาคารในช่วงเวลาหนึ่งๆ

1.2 พิจารณาคุณสมบัติของกรอบอาคารส่วนที่บดแสงที่พิจารณา เพื่อหาค่า CTF สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

1.3 ใช้ค่า sol-air temperature ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนที่บดแสง

1.4 ใช้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอก และภายในอาคารในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง

1.5 ใช้ค่า solar heat gain factor ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีผ่านกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง โดยแยกการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ transmitted solar heat gain (TSHG) และ absorbed solar heat gain (ASHG)

1.6 เมื่อคำนวณการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลา แล้วใช้วิธี weighting factor เพื่อแปลงค่าการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดให้เป็นภาระการทำความเย็นในแต่ละช่วงเวลาโดยคำนึงถึงการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเนื่องจากมวลขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมต่างๆ ภายในอาคาร

2. การคำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธี total equivalent temperature difference/ time averaging (TETD/TA) การคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยวิธี TETD/TA เป็นวิธีการคำนวณภาระการทำความเย็นจากการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยวิธี TETD และใช้วิธีการคำนวณแบบ time averaging ในการเปลี่ยนจากการถ่ายเทความร้อนไปเป็นภาระการทำความเย็นอีกครั้งหนึ่ง การคำนวณมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.1 ให้ค่า sol-air temperature ในแต่ละช่วงเวลาประกอบกับคุณสมบัติของกรอบอาคารเพื่อคำนวณหาค่า TETD สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนที่บดแสง

2.2 ใช้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอก และภายในอาคาร ในการ คำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง

2.3 ใช้ค่า solar heat gain factor (SHGF) ในการคำนวณการแผ่รังสีความร้อนผ่านกรอบอาคารโปร่งแสง แต่ไม่ได้คำนวณแยกเป็น 2 ส่วน คือ การส่องผ่าน (transmitted) และการดูดกลืน (absorbed) ความร้อน เช่นเดียวกับวิธีการคำนวณภาระการทำความเย็น โดยคำนึงถึงการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเนื่องจากมวลขององค์ประกอบต่างๆ ทางสถาปัตยกรรมภายในอาคาร

3. การคำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธี cooling load temperature difference/solar cooling load/cooling load factor (CLTD/SCL/CLF) วิธีนี้เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธี transfer function method โดยพัฒนาให้มีขั้นตอนในการคำนวณง่ายขึ้น โดยข้ามขั้นตอนของการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ไปเป็นการคำนวณเพราะการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยตรง มีขั้นตอนในการคำนวณ ดังนี้

3.1 พิจารณาอาคารส่วนที่บดแสง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร (U) พื้นที่ผิวและค่าความแตกต่างอุณหภูมิภาระการทำความเย็น (cooling load temperature difference) เพื่อใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็นโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนที่บดแสง



3.2 พิจารณากรอบอาคารส่วนโปร่งแสง เพื่อหาค่า U และพื้นผิวของกรอบอาคารในส่วนที่พิจารณาและใช้ร่วมกับค่า CLTD ที่กำหนดให้ เพื่อใช้คำนวณภาระทำความเย็นผ่านกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง

3.3 พิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ทางสถาปัตยกรรมภายในอาคาร เพื่อนำไปหาค่า solar cooling load (SCL) และค่า cooling load factor (CLF) สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณภาระทำความเย็นโดยการแผ่รังสีผ่านกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง และการคำนวณภาระทำความเย็นจากแหล่งความร้อนต่าง ๆ ภายในอาคาร โดยคำนึงถึงการหน่วงเหนี่ยวความร้อน เนื่องจากมวลขององค์ประกอบต่าง ๆ ของสถาปัตยกรรมภายใน

จาก ASHRAE Fundamental hand book (SI) (1997) การคำนวณภาระปรับอากาศ (cooling load) โดยวิธี CLTD/SCL/CLF แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ external cooling load, internal cooling load และ ventilation and infiltration มีรายละเอียด ดังนี้

1. External cooling load ประกอบด้วยการคำนวณ 3 ส่วน ได้แก่

1.1 การคำนวณภาระปรับอากาศ ที่เกิดจากการนำความร้อนผ่าน ผนัง หลังคา และช่องแสง ใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

$$q = UA(CLTD) \tag{สมการที่ 2-10}$$

- เมื่อ q = ภาระปรับอากาศ (W)
- U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (W/m<sup>2</sup>-K)
- A = พื้นที่ผิวที่พิจารณา (m<sup>2</sup>)

CLTD = cooling load temperature difference (°C) ค่า cooling load temperature difference (CLTD) จะแปรไปตามละติจูด และช่วงเวลาในการใช้งานในอาคารมีค่าดังตารางที่ 2-18 เป็นการคำนวณที่ละติจูดที่ 40 องศาเหนือ ซึ่งในกรณีของประเทศไทยจะต้องมีการพิจารณาปรับค่าแก้ไขรายละเอียดดังตารางที่ หรือพิจารณาตามคู่มืออนุรักษ์พลังงานในอาคารจะใช้ค่าอุณหภูมิ TDeq แทน

ตารางที่ 2-15 ค่า Cooling load temperature difference (CLTD)

(ASHRAE Fundamental Handbook, 1997: 28.42)

Roof.	Hour																							
No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	-1	-2	-3	-3	-3	0	7	16	25	33	41	46	49	49	46	41	33	24	14	8	5	3	1
2	1	0	-1	-2	-3	-3	-2	2	9	18	27	34	41	46	48	47	44	39	31	22	14	8	5	3
3	7	4	3	1	0	-1	0	3	7	13	19	26	32	37	40	41	41	37	33	27	21	17	13	9
4	9	6	4	2	1	-1	-2	-2	0	4	9	16	23	30	36	41	43	43	41	37	31	25	19	13
5	12	9	7	4	3	2	1	1	3	7	12	17	23	28	33	37	38	38	36	33	28	23	19	15
8	16	13	12	9	8	7	6	6	7	9	12	16	19	23	27	29	31	32	31	29	27	24	21	18
9	18	14	12	9	7	5	3	2	2	4	7	11	15	20	25	29	33	35	36	35	32	29	25	21
10	21	18	15	13	11	8	7	6	5	6	7	9	13	17	21	24	28	31	32	32	31	29	26	23
13	19	17	16	14	12	11	10	9	9	9	11	13	16	18	21	23	26	27	27	27	26	24	22	21
14	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	12	13	16	18	20	22	23	24	25	25	24	23	22	21

Note: 1. Direct application of data

- Dark surface.
- Indoor temperature of 25.5°C
- Outdoor maximum temperature of 35°C with mean temperature of 29.5°C and daily range of 11.6°C
- Solar radiation typical of clear day on 21<sup>st</sup> day of month
- Outside surface film resistance of 0.059 m<sup>2</sup> – K/W
- With or without suspended ceiling but no ceiling plenum air return systems inside surface resistance of 0.121 m<sup>2</sup> – K/W

Note: 2 Adjustments to table data

- Design temperatures:  
CLTD=CLTD+(25.5-t)+( - 29.4)
- where t = inside temperature and = mean outdoor temperature = maximum outdoor temperature-(daily range) /2
- No adjustment recommended for color
- No adjustment recommended for ventilation of air space above a ceiling.

1.2 การคำนวณภาระปรับอากาศ จากความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกช่องแสง สมการที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$q = A(SC)(SCL \text{ หรือ } SF) \quad (\text{สมการที่ 2-11})$$

เมื่อ	q	=	ภาระปรับอากาศ (W)
	SC	=	shading coefficient ของวัสดุตัวกลาง
	SCL	=	solar cooling factor หาจากตารางในภาคผนวก ก.
	SF	=	solar heat gain factor หาจากตารางในภาคผนวก ก.

ค่า solar cooling factor (SCL) จะแปรไปตามละติจูด และช่วงเวลาในการใช้งาน ในกรณีของประเทศไทย จะต้องมีการพิจารณาปรับค่าแก้ตามคู่มืออนุรักษ์พลังงานในอาคารจะใช้ค่า SF แทน

1.3 การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดความร้อนเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากความต่างอุณหภูมิระหว่างฉากกันห้อง ใต้ฝ้าเพดาน และพื้น ใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

$$q = UA(t_b - t_{rc}) \quad (\text{สมการที่ 2-12})$$

เมื่อ	q	=	ภาระปรับอากาศ (W)
	U	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (W/m <sup>2</sup> -K)
	A	=	พื้นที่ผิวที่พิจารณา (m <sup>2</sup> )
	t <sub>b</sub>	=	อุณหภูมิในส่วนที่ต่อเนื่องกับพื้นที่ปรับอากาศ (°C)
	t <sub>rc</sub>	=	อุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศ (°C)

2. Internal cooling load ประกอบด้วยการคำนวณ 2 ส่วน ได้แก่

2.1 การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร ใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

$$q_{\text{sensible}} = N(\text{Sensible heat gain})CLF \quad (\text{สมการที่ 2-13})$$

$$q_{\text{latent}} = N(\text{Latent heat gain})CLF \quad (\text{สมการที่ 2-14})$$

เมื่อ	q	=	ภาระปรับอากาศ (W)
	N	=	จำนวนผู้ใช้
	CLF	=	cooling load factor มีค่า เป็น 1 เมื่อมีการใช้งาน 24 ชั่วโมง หรือมีความหนาแน่นมาก

2.2 การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากระบบแสงสว่าง และอุปกรณ์ในอาคาร ใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

$$q_{\text{el}} = W(F_{\text{ul}})(F_{\text{sa}})CLF \quad (\text{สมการที่ 2-15})$$

เมื่อ	q	=	ภาระปรับอากาศ (W)
	W	=	watt input ของอุปกรณ์ หรือระบบแสงสว่าง
	F <sub>ul</sub>	=	lighting use factor ของระบบแสงสว่าง

- $F_{sa}$  = special allowance factor ของอุปกรณ์ หรือระบบแสงสว่าง  
หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ค่าประมาณ 1.2  
หลอดไฟฟ้าอินแคนเดสเซนต์ที่ใช้ค่าประมาณ 1
- CLF = cooling load factor มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการใช้ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์  
ตลอด 24 ชั่วโมง และหรือมีการเปิดเครื่องปรับอากาศไม่ถึง 24 ชม.

### 3. Ventilation and infiltration ประกอบด้วยการคำนวณ 3 ส่วน ดังนี้

$$q_{\text{sensible}} = 1.23 V (t_o - t_i) \quad (\text{สมการที่ 2-16})$$

$$q_{\text{latent}} = 3010 V (w_o - w_i) \quad (\text{สมการที่ 2-17})$$

$$q_{\text{total}} = 1.20 V (h_o - h_i) \quad (\text{สมการที่ 2-18})$$

- เมื่อ  $q$  = ภาระปรับอากาศ (W)
- $V$  = ความเร็วลม L/S
- $t_o, t_i$  = อุณหภูมิอากาศภายนอก/ภายใน ตามลำดับ ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $w_o, w_i$  = humidity ภายนอก/ภายใน ตามลำดับ kg(water)/kg(dry air)
- $h_o, h_i$  = enthalpy ภายนอก/ภายใน ตามลำดับ kJ/kg(dry air)

4. อิทธิพลจากการรั่วไหลอากาศภายนอกเข้าสู่ห้อง และอากาศที่ระบายจากห้องต่อความร้อนที่เกิดจากภายในอาคาร (infiltration & ventilation) อากาศที่ระบาย (ventilation) ในการปรับอากาศ หมายถึง อากาศภายนอกที่นำเข้ามาภายในห้องปรับอากาศด้วยความตั้งใจ โดยผ่านการปรับภาวะที่อุณหภูมิจำเลยลมเย็นสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น ที่อากาศภายนอกห้องมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าอากาศในห้องปรับอากาศ เมื่อมีลมพัดเข้ามาปะทะอาคารความดันภายนอกอาคารด้านลมปะทะจะสูงกว่าความดันภายในห้อง ดังนั้นอากาศนอกห้องจึงถูกดันผ่านช่องหรือรอยแตกต่าง ๆ เข้าสู่ภายในอาคาร ปริมาณอากาศที่รั่วเข้าห้อง ขึ้นอยู่กับความเร็วลมภายนอกอากาศที่รั่วไหลเข้ามาในห้อง จะพาความร้อนทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงเข้ามาในห้องเป็นการเพิ่มภาระปรับอากาศภายใน ดังนั้นยิ่งอาคารมีรอยรั่วหรืออัตราส่วนประตูหน้าต่างอาคารมาก มีรอยรั่วมากจะมีโอกาสเกิดการรั่วอากาศสูงขึ้น ทำให้ภาระการทำความเย็นในอาคารปรับอากาศเพิ่มขึ้นได้ การคำนวณปริมาณอากาศรั่วคำนวณอย่างง่ายจากวิธี crack method โดยประมาณความกว้างรอยรั่วที่เกิดขึ้นและลักษณะของอาคารหรือช่องเปิดซึ่งสามารถวัดได้จากอาคารจริงหรือประมาณค่าจากแบบอาคาร แล้วนำมาคำนวณอัตราการอากาศรั่วที่ไหลเข้าอาคาร

5. ความร้อนจากดวงไฟแสงสว่าง ภาระการทำความเย็นจากระบบแสงสว่างบางส่วน (ASHRAE, 1997) จะเกิดจากการพาความร้อนซึ่งเป็นความร้อนที่เครื่องปรับอากาศจะสามารถจับ หรือ ทำความเย็นได้ทันที แต่ในส่วนที่เหลือจะเกิดขึ้นจากการแผ่รังสีความร้อน จะส่งผลต่อพื้นที่ปรับอากาศก็ต่อเมื่อ พื้นผิวของบริเวณที่ปรับอากาศได้แก่ พื้น ผนัง ฝ้า เพดาน และองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมภายในมีการสะสมความร้อนจากการแผ่รังสี (absorbed) และแผ่รังสีให้แก่สภาพแวดล้อม ซึ่งจะถ่ายเทความร้อนให้แก่พื้นที่ในเวลาที่มากหรือน้อยต่างกัน เนื่องจากลักษณะการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag) ของวัสดุ ทำให้บางส่วนของพลังงานความร้อนเนื่องจากระบบแสงสว่างยังเกิดการแผ่รังสีขึ้นอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าจะปิดไฟฟ้าแสงสว่างแล้วก็ตาม

## 2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น

### 2.3.1 ทฤษฎีความชื้น

“ความชื้น (humidity) คือ ละอองไอน้ำในอากาศ สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอากาศ” (ตริงใจ บุรณสมภพ, 2539: 159) การเปลี่ยนรูปของน้ำในอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนในอากาศ เมื่ออากาศรับปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่อากาศรับไอน้ำในปริมาณสูงสุด อากาศ จะไม่สามารถ รับไอน้ำเพิ่มได้อีก ณ อุณหภูมินั้นเรียกว่า จุดอิ่มตัว (saturated point) ซึ่งจะมีความดันไอน้ำในอากาศสูงสุดด้วย และจากการทดลองทางวิทยาศาสตร์พบว่าในมวลอากาศที่เท่ากัน อากาศ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จะสามารถบรรจุไอน้ำได้ในปริมาณมากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า (Olin, HB., Schmidt, J.L., and W.H., 1995: 458)

### 2.3.2 ความสำคัญของความชื้น

ความชื้นในอาคารเป็นปัญหาสำคัญที่สามารถพบได้ทั่วไปของอาคารในประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น (tropical humid zone) สภาพภูมิอากาศจึงมีอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นสูงเกือบตลอดทั้งปี ซึ่ง ละอองน้ำในอากาศมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศภายในอาคาร ความชื้นในอากาศที่มีปริมาณมากหรือน้อยเกินไป ทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกไม่สบายตัวและส่งผลต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร อีกทั้งยังเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค เชื้อรา แมลงและสัตว์ทำลายชนิดต่าง ๆ รวมทั้งก่อให้เกิด ความเสียหายต่องานสถาปัตยกรรมอีกด้วย

### 2.3.3 ประเภทของความชื้น

ความชื้นสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะ และวิธีการเกิดที่ต่างกัน (สุวพันธ์ นิลายน, 2539: 41) ดังนี้

1. ความกดไอน้ำ (vapor pressure) หมายถึง ความกดอากาศที่เกิดจากความกดของก๊าซ และไอน้ำมีหน่วยเป็น กิโลปาสคาล (kPa) โดยปกติความกดไอน้ำจะมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาภายใน 1 วัน เนื่องจากการเกิดไอน้ำสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังนั้นในฤดูร้อนจึงมีความกดไอน้ำในอากาศมากกว่าฤดูหนาว และมีค่าต่างกันตามสภาพที่ตั้งอาคาร โดยแถบเส้นศูนย์สูตรอากาศจะมีความกดไอน้ำสูงสุดและต่ำสุดบริเวณขั้วโลก

2. ความชื้นแท้ (absolute humidity) หมายถึง ความหนาแน่น หรืออัตราส่วนความชื้น หรือน้ำหนักของไอน้ำ มีหน่วยเป็น กรัม/ลูกบาศก์เมตร หรือ เกรน/ลูกบาศก์ฟุต

3. ปริมาณความชื้น (moisture content or humidity ratio) หมายถึง อัตราส่วนระหว่าง ความหนาแน่น หรือน้ำหนักของไอน้ำต่อน้ำหนักอากาศแห้ง มีหน่วยเป็น กิโลกรัม/ กิโลกรัม หรือ กรัม/ กิโลกรัม

4. ความชื้นจำเพาะ (specific humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่น หรือน้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นเทียบกับน้ำหนักของอากาศชื้น (น้ำหนักอากาศแห้งรวมกับน้ำหนักไอน้ำในอากาศ) หน่วยเป็น กรัมของไอน้ำ ต่อ กิโลกรัมของอากาศชื้น หรือ เกรนของไอน้ำต่อปอนด์ของอากาศ

5. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความชื้นที่มีอยู่ในอากาศขณะนั้น ต่อ ปริมาณความชื้นมากที่สุดที่อากาศสามารถรับได้ หรืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไอน้ำในอากาศเทียบกับน้ำหนักของไอน้ำที่ควรจะมีได้เต็มที่ขณะนั้น เมื่อมีปริมาตรและอุณหภูมิเดียวกัน

เมื่ออากาศมีอุณหภูมิและปริมาตรคงที่เท่ากัน แต่ความชื้นในอากาศสูงขึ้น อัตราส่วนความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นตาม แต่หากอากาศมีอัตราส่วนความชื้น หรือความชื้นแท้ (absolute humidity) คงที่

ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำลง ในทางกลับกัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น (Lstiburek and Carmody, 1993: 4)

โดยปกติความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะมีค่าสูงสุดในตอนเช้ามีด เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศต่ำ บางครั้ง ที่ความชื้นสัมพัทธ์ถึงจุดอิ่มตัว จะเกิดการกลั่นตัวเป็นหมอก เมื่ออุณหภูมิลดลง ๗ สูงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง หมอกจึงสลายตัวไป กรณีที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % อากาศจะมีปริมาณไอน้ำสูงสุดของขีดจำกัดที่อากาศ สามารถรับได้จึงเกิดการอิ่มตัว (saturation) หากมีความชื้นเพิ่มขึ้นในปริมาณของอากาศเท่าเดิม จะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ณ จุดที่ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวนี้เรียกว่า จุดอุณหภูมิน้ำค้าง (dew point temperature) ซึ่งสามารถเกิดได้ในกรณีที่อุณหภูมิของพื้นผิวใด ๆ มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศที่อยู่โดยตรงก็ จะทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำบนผิวนั้น

### 2.3.4 การถ่ายเทความชื้น

การถ่ายเทความชื้นเป็นการนำความชื้นเข้าสู่ภายในอาคาร ไอน้ำในอากาศจะเคลื่อนที่โดยการกระจาย จากบริเวณที่มีความดันไอน้ำมากไปสู่บริเวณที่มีความดันไอน้ำน้อย ซึ่งไม่ขึ้นกับการเคลื่อนตัวของอากาศบริเวณนั้น ความชื้นอาจเกิดขึ้นได้จากทั้งสถานะของแข็ง ของเหลวและก๊าซ สามารถแบ่งประเภทการถ่ายเทความชื้นได้ 4 ลักษณะ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้มากกว่า 1 ลักษณะ ในเวลาเดียวกัน ได้แก่

1. การไหลของของเหลว (liquid flow) ส่วนมากเป็นการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายนอกเข้าสู่เปลือกอาคาร ซึ่งเกี่ยวกับการระบายน้ำฝนลงสู่พื้นดิน และน้ำจากพื้นดิน โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ส่วน ได้แก่ น้ำจากดิน และท้องฟ้าจากการทำช่องเปิดบริเวณเปลือกอาคาร และอิทธิพลจากแรงดึงดูดของโลก แรงตึงผิว และความแตกต่างของความดันอากาศ

2. การกระทำของแรงดึงดูดที่เกิดจากรูเล็ก ๆ ของวัสดุ (capillary suction) เป็นการลามขึ้นไปของของเหลว ในหลอดรูเล็ก ๆ ที่เกิดจากความตึงผิวหน้าของของเหลว เนื่องจากแรงโมเลกุล ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก คือ ความชื้นในอากาศกับจำนวนรูขนาดเล็กในเนื้อวัสดุที่มีความพรุน เช่น คอนกรีต โคลนดินเหนียว (silly clay) เป็นต้น โดยธรรมชาติแล้วปรากฏการณ์ capillary จะไม่เกิดในวัสดุที่มีรูขนาดใหญ่ เช่น ลูกรัง และทรายหยาบ รวมทั้งวัสดุที่ไม่มีรูเล็ก ๆ เช่น แก้ว เหล็ก พลาสติก แต่ถ้านำวัสดุ 2 ชั้นที่ไม่มีรูเล็ก ๆ มาวางใกล้ชิดกันมากจนเกิดช่องว่างเล็ก ๆ ระหว่างแผ่นอาจเกิดการลามขึ้นไปของของเหลว ได้

3. การถ่ายเทอากาศ (air movement) เป็นทางหนึ่งในการถ่ายเทความชื้นเข้าสู่อาคาร เกิดขึ้นจาก 2 สาเหตุคือ ความแตกต่างของความกดอากาศ และความแตกต่างของอุณหภูมิจากสูงไปต่ำ กรณีที่มีอากาศขึ้นมาปะทะกับพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง จะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่บริเวณผิวนั้น โดยมีปัจจัยที่ทำให้ความชื้นเข้าสู่อาคารโดยการถ่ายเทอากาศ ได้แก่ อากาศที่มีความชื้น ผนังอาคารที่มีช่องเปิดหรือรูรั่วและมีความแตกต่างของความดันอากาศหรืออุณหภูมิ ทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศผ่านเข้ามาทางช่องหรือรูรั่ว

4. การแพร่ระเหย (vapor diffusion) เป็นการถ่ายเทความชื้นในสภาพการระเหยผ่านวัสดุซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ โดยการระเหยของวัสดุที่ซึมน้ำได้ และมีความดันไอหรือมีความแตกต่างของความดันไอในวัสดุ การแพร่ระเหยจะพบเห็นได้บ่อยในพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งอุณหภูมิและความดันไอของบริเวณโดยรอบสูงกว่าภายใน โดยแพร่จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร

ในช่วงเวลาที่มีแสงแดด ผนังภายนอกจะได้รับพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) เกิดความแตกต่างของความดันไอ ทำให้ความชื้นถูกถ่ายเทโดยการแพร่ระเหยของผนังจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เช่น ในผนังอิฐเคลือบ (brick veneer) ที่โดนแดดจะมีการดูดซึมความชื้นจากการตกตะกอนของฝน ส่วนผนังไม้สำเร็จรูปที่มีการดูดซึมความชื้นโดยตรง บริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเนื่องจากฝนหรือจากผิวที่เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ

### 2.3.5 แหล่งที่มาของความชื้นในอาคาร

ความชื้นที่มีอยู่ในอากาศภายในอาคาร โดยมากมาจากน้ำหรือไอน้ำในอากาศภายนอกอาคาร ถ่ายเทเข้าสู่ภายใน ประกอบกับความชื้นที่เกิดขึ้นภายในตัวอาคารเอง แหล่งที่มาของความชื้นภายในอาคาร สามารถจำแนกเป็น 4 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ความชื้นที่ซึมผ่านเปลือกอาคาร ความชื้นของอากาศภายนอกอาคารในสภาพของไอน้ำและฝนจะค่อย ๆ ซึมผ่านผนังภายนอกอาคารที่เปียกชื้นเข้าสู่ภายในได้หลายวิธี และมักเกิดขึ้นได้พร้อมกันหลายทางจึงยากต่อการควบคุม ได้แก่ การแทรกซึมจากการกระทำของแรงดึงดูดที่เกิดจากรูเล็ก ๆ ของวัสดุ (capillary action) แรงอัดของลมปะทะผิวผนัง แรงดึงดูดของโลก การแพร่กระจาย การดูดซับ และความแตกต่างของอุณหภูมิ เป็นต้น

1.1 ความชื้นที่ซึมผ่านเปลือกอาคารเหนือระดับดิน เมื่อมีฝนตกหรือน้ำค้างในอากาศสัมผัสเปลือกอาคารภายนอก น้ำจะถูกดูดซับผ่านรูเล็ก ๆ ของเนื้อวัสดุโดยอาศัยแรงดึงผิวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของวัสดุผนังอาคาร นอกจากนี้ความแรงของฝนหรือแรงอัดของลมยังเสริมให้เกิดการซึมผ่านผนังมากขึ้นด้วย ถ้าอัตราการดูดซับของวัสดุต่ำ น้ำที่เกิดขึ้นเป็นแผ่นฟิล์มบนผิวก็จะไหลลงโดยไม่มี การซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเนื้อวัสดุ แต่การที่ฝนตกไม่แรงแต่ตกเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการซึมเข้าไปในวัสดุมากกว่าฝนที่ตกแรงแต่ตกไม่นาน เนื่องจากตลอดเวลาที่ฝนตก ความชื้นที่ซึมเข้าไปในผนังจะระเหยจนเกิดการสะสมอยู่ในผนังจนวัสดุนั้นอิ่มตัว (saturation) และเกิดความชื้นที่ผิวภายใน หรือกรณีที่มีแผ่นฟิล์มของน้ำไหลผ่านรอยแตกที่เกิดขึ้นบนผนัง ความดันของอากาศภายนอกที่มีมากกว่าความดันอากาศภายในจะดันน้ำเข้าไปในรอยแตกและแผ่นฟิล์มก็จะเกิดขึ้นในลักษณะเดิม นอกจากการที่น้ำผ่านเข้ามาทางลักษณะผิวของวัสดุภายนอกอาคาร และกรณีที่วัสดุฉาบผนัง (mortar) เกิดรอยแตก น้ำจะซึมผ่านร่องเข้ามาได้ รวมทั้งการเสียรูปของวัสดุ เช่น การขยาย/หดตัว บิดงอ จะทำให้เกิดรอยรั่วเช่นกัน

1.2 ความชื้นที่ซึมผ่านเปลือกอาคารต่ำกว่าระดับดิน มักเกิดกับวัสดุและระบบโครงสร้างอาคาร ใต้ดินมักจะเป็นคอนกรีตที่ไวต่อการเกิด capillarity โดยจะดูดน้ำใต้ดินผ่านโครงสร้างใต้ดินสะสมที่เปลือกอาคาร น้ำและความชื้นที่สะสมในผนังจะระเหย เข้าสู่ภายในห้องที่มีความชื้นในอากาศน้อยกว่าดินชื้นภายนอกอาคาร

2. ความชื้นที่เข้ามาทางช่องเปิด อากาศชื้นภายนอกสามารถถ่ายเทเข้าสู่ภายใน (ventilation) ผ่านช่องเปิด รอยรั่วอาคาร ร่องระหว่างวงกบและบานเปิดหรือบานเลื่อนที่มีการเว้นระยะบานให้สะดวกต่อการเปิดจะมีรอยรั่วมาก ความชื้นในอากาศที่ผ่านทางรอยแยกของส่วนประกอบอาคารนี้ เกิดจากความแตกต่างของแรงดันอากาศภายนอกกับภายใน จากบริเวณที่มีความดันสูง ไปสู่อบริเวณที่มีความดันต่ำกว่า

3. ความชื้นจากการสะสมของวัสดุต่าง ๆ ในอาคาร ความชื้นในอากาศภายในอาคารจะมีการถ่ายเท ความชื้นสะสมในวัสดุโครงสร้างอาคาร หรือวัสดุตกแต่งภายในรวมทั้งเฟอร์นิเจอร์และของใช้ต่าง ๆ วัสดุที่มีค่าการดูดซับความชื้นสูงหรือมีค่าความต้านทานความชื้นต่ำ จะสะสมความชื้นภายในวัสดุจำนวนมาก หากเป็นวัสดุประกอบที่มีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำต่างกัน

4. ความชื้นจากคน และการทำงานกิจกรรมต่าง ๆ ภายในอาคาร กิจกรรมต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดความชื้นขึ้นในอาคารอย่างต่อเนื่อง เช่น การหายใจ การขับเหงื่อออกทางผิวหนัง การซักกรีด ประกอบอาหาร และกิจกรรมอื่น ๆ รวมทั้งขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชที่ปลูกไว้ในอาคาร โดยอัตราการสร้างไอน้ำจาก กิจกรรมต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับอัตราการเผาผลาญพลังงานของแต่ละบุคคลด้วยดังตารางที่ 2-16

ตารางที่ 2-16 ปริมาณความชื้นที่เกิดภายในที่พักอาศัย

ประเภทกิจกรรม			ปอนด์ของความชื้น
ฉูพื้นด้วยไม้ฉูพื้น (ต่อตารางฟุต)			0.03
รีดผ้า (ต่อสัปดาห์ภายในอุณหภูมิ และความชื้นห้อง)			26.04
ซักผ้า (ต่อสัปดาห์)			4.33
ทำอาหาร (ต่อมื้อ)	จากอาหาร	จากแก๊ส	
อาหารเช้า	0.34	0.56	0.90
อาหารกลางวัน	0.51	0.66	1.17
อาหารเย็น	1.17	1.52	2.69
ล้างจานชาม (ต่อมื้อ)			
อาหารเช้า			0.20
อาหารกลางวัน			0.15
อาหารเย็น			0.65
อาบน้ำ			
ฝักบัว			0.50
อ่างอาบน้ำ			0.12
ความชื้นที่ได้จากผู้ใช้อาคาร (4คนต่อชั่วโมง)			0.46
การปรับอากาศ (Gas Refrigeration) (ต่อชั่วโมง)			0.12
ต้นไม้ในบ้าน (ต้นต่อชั่วโมง)			0.04
เครื่องทำความชื้น (ต่อชั่วโมง)			2.00

ที่มา: Olivieri B.J., P.E. 1973: 284

### 2.3.6 ปัญหาความชื้นที่มีผลกระทบต่อสถาปัตยกรรม

ความชื้นนอกจากจะก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารแล้ว ยังทำให้เกิดเชื้อราและเชื้อโรค และเป็นตัวนำกลิ่นที่ตี จึงส่งผลให้คุณภาพอากาศภายในอาคารลดลง (indoor air quality) ทำให้ผู้ใช้อาคารเจ็บป่วยได้ง่าย ส่วนอาคารที่มีการปรับอากาศ พลังงานที่สูญเสียไปส่วนมากจะหมดไปกับการรีดความชื้นมากกว่า การปรับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะน่าสบาย รวมทั้งปัญหาทางสถาปัตยกรรม ทั้งด้านความงามและความแข็งแรง ปัญหาหลักของความชื้นที่มีต่ออาคาร ได้แก่

1. ปัญหาเชื้อรา
2. ปัญหาการสึกกร่อน และพังทลายขององค์อาคาร
3. ปัญหาการควบแน่นของความชื้นในอาคาร

1. ปัญหาเชื้อรา เชื้อราจัดเป็นพืชที่เจริญเติบโตบนผิวของวัตถุ ทำให้วัตถุมีสีสีด่าง ปัญหากลิ่นอับ และทำให้วัสดุอาคารเสื่อมลง โดยเชื้อราในอากาศจะก่อให้เกิดพิษทำให้เกิดสารก่อมะเร็งมีผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน บกพร่อง เนื้อเยื่อเป็นพิษ เป็นต้น แบคทีเรียและเห็ดรามีส่วนทำให้เกิดฝุ่นและก่อให้เกิด Sick Building Syndrome เมื่อรวมตัวกับอนุภาคเล็ก ๆ ในอากาศจากไรฝุ่นและแมลงสาบ ก่อให้เกิดอาการแพ้หรือสารต้านทานโรคในร่างกาย บกพร่อง เห็ดราเหล่านี้จะมีสปอร์ขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ปริมาณสปอร์ที่มีอยู่ทั่วไปใน อากาศภายนอกมักน้อยต่างกันตามฤดูกาล (ASHRAE, 1997: 22.12)

เชื้อราไม่สามารถสร้างอาหารด้วยตนเองได้ แต่อาศัยอาหารจำพวกแป้ง น้ำตาล เซลลูโลส ไขมัน โปรตีน lignins และสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน ต้องการความชื้นในกระบวนการผลิตเอนไซม์และการเผาผลาญ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ซึ่งในวัสดุอาคารจำนวนมากเป็นแหล่งอาหารที่ดีของเชื้อรา เช่น วัสดุที่มี ส่วนประกอบของไม้ ฝ้าย ขนแกะ ป่าน เส้นใยธรรมชาติ น้ำมัน สี พลาสติก และไวนิล การเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย และไรฝุ่น สามารถควบคุมได้ถ้าระดับความชื้นถูกจำกัด ในองค์ประกอบของวัสดุต่าง ๆ โดยควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่ จำเป็นต่อการเติบโตของเชื้อรา ได้แก่

1. สปอร์เชื้อรา ซึ่งมีอยู่ทั่วไปในอากาศ และไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า
2. สารอาหารพื้นฐานที่ต้องการ พบได้ทั่วไปในอาคารทั้งวัสดุก่อสร้างและเครื่องใช้ในบ้าน
3. อุณหภูมิระหว่าง 40-100 °F (7-38°C) โดยจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วง 75-95°F (23.8-35°C)
4. ความชื้นสัมพัทธ์ 75%ขึ้นไป (Massari, Giovanni.nd: 7)

## 2. ปัญหาการสึกกร่อน และพังทลายขององค์อาคาร ได้แก่

2.1 การเปลี่ยนแปลงของสารเคมีในวัสดุ (chemical changes) เช่น การเกิดสนิมของเหล็ก ซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก และน้ำ ทำให้ผุกร่อนเป็นอันตรายต่อความแข็งแรงของอาคาร

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวัสดุ (physical changes) เช่น การหลุดร่วงของผนังอิฐ จากการสะสมของความชื้น คอนกรีตแตกร้าว สีทาวัสตุแตกเป็นริ้วและหลุดกร่อน

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (biological process) เช่น การผุ ใ้กองอบ บวม หด ขยาย ของวัสดุ การเสื่อมทางโครงสร้างเป็นปัญหาสำคัญที่อาจเกิดการพังทลายของสถาปัตยกรรมได้ทั้งโครงสร้างไม้ และโลหะ การผุพังของไม้เนื่องจากไม้ต้องการสภาพอากาศชื้นปกติ 30%หรือสูงกว่า และมีอุณหภูมิระหว่าง 10-40°C เมื่อความชื้นในเนื้อไม้สูงเกินไป จะเกิดการผุพังของเนื้อไม้ ทำให้ไม้เสียกำลัง และไม่สามารถใช้งานได้ดี ทั้งจากการดูดซึมของน้ำ การกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ จากระดับน้ำใต้ดินหรือวัสดุชุ่มน้ำอื่น ๆ ที่ติดต่อกับไม้ เพื่อความปลอดภัยจากการผุพัง ควรควบคุมความชื้นในเนื้อไม้ให้มีค่าสูงกว่าความชื้นในอากาศแวดล้อมไม่เกินกว่า 20% (ASHRAE, 1997: 22) ส่วนการกร่อนของโลหะในอาคาร จะพบบ่อยบริเวณผิวที่มีอุณหภูมิต่ำ จากการควบคุมเป็น หยดน้ำ การขึ้นสนิมหรือการผุกร่อนของตะปู หมุดยึดหรือส่วนประกอบอื่นๆ ที่เป็นโลหะเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมทางโครงสร้างได้ นอกจากนี้โครงสร้างที่พบได้ทั่วไปคือ คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความพรุนในเนื้อวัสดุมาก สามารถเกิดปรากฏการณ์ capillary action ทั้งบนดินและใต้ดิน ผนังคอนกรีตทาสีที่มีปริมาณความชื้นมากเกินไป อาจทำให้คอนกรีตกลายเป็นฝุ่นผง หากอุณหภูมิต่ำลง อาจแตกเป็นเศษชิ้นเล็ก ๆ ได้ (ASHRAE, 1997: 22.12)



3. ปัญหาการควบคุมความชื้นในอาคาร การควบคุมเป็นหยดน้ำมักเกิดบริเวณผิววัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุด และมีความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 100% ที่อุณหภูมิอากาศอิมตัว หากอุณหภูมิผิววัสดุต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความชื้นในอากาศจะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำบนผิววัสดุนั้น การควบคุมดังกล่าวจะสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา ปัจจัยหลักของการเกิดการกลั่นตัว คืออุณหภูมิผิววัสดุ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารและ ความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความกดไอน้ำ และไอน้ำ ที่เข้ามาในอาคาร ซึ่งความสัมพันธ์ ของความดันไอน้ำภายใน และภายนอกขึ้นอยู่กับ การถ่ายเทอากาศ โดยความกดไอน้ำภายในอาคารที่ไม่ปรับอากาศจะสูงกว่าอาคารที่มีการปรับอากาศ และจะลดไอน้ำจากอากาศภายนอกที่จะเข้ามาด้วยการควบคุมที่พบทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

3.1 ปัญหาการควบคุมที่ผิวผนัง เมื่ออากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่ถึงจุดอิมตัว มากระทบพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง อากาศส่วนที่สัมผัสกับผิววัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างจะอิมตัว ไอน้ำที่อากาศไม่สามารถรับเพิ่มได้อีกจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่ผิววัสดุนั้น ทำให้ความดันอากาศส่วนหนึ่ง ในบริเวณนั้นต่ำกว่าความดันอากาศเฉลี่ยของห้อง ความแตกต่างดังกล่าวทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของ ไอน้ำไปสู่บริเวณที่มีการกลั่นตัว เป็นการไหลเวียนของอากาศขึ้น

3.2 ปัญหาการควบคุมในผนัง ความชื้นที่เกิดขึ้นในผนังอาจมาจากความชื้นของอากาศภายนอกภายใน หรือในผนังอาคารโดยตรง จากน้ำฝนหรือแหล่งน้ำอื่น ๆ โดยการแพร่ของไอน้ำ สะสมอยู่ในผนัง เมื่ออากาศภายในและภายนอกมีอุณหภูมิแตกต่างกัน เกิดการถ่ายเทอุณหภูมิผ่านผนัง จะเกิดหยดน้ำในผนัง เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศในผนังมีความชื้นสะสมต่ำกว่าจุดน้ำค้าง เกิดเป็นหยดน้ำภายในผนัง ซึ่งจะเกิด ที่ช่วงระยะใด ๆ ภายในช่องอากาศของผนังก็ได้

### 2.3.8 การควบคุมความชื้นในงานสถาปัตยกรรม

อาคารจำนวนมากเมื่อเกิดปัญหาเนื่องจากความชื้น จะแก้ไขโดยการทำความสะอาด ซ่อมแซมและปรับปรุงอาคารส่วนที่ชำรุด แต่มักไม่ทำการควบคุมและป้องกันความชื้นอันเป็นต้นเหตุของปัญหาความชื้น จึงควร มีการพิจารณาในขั้นของการออกแบบสถาปัตยกรรมให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นของประเทศไทยซึ่งสรุปเป็นแนวทางได้ 3 ลักษณะ คือ

1. การเพิ่มอุณหภูมิผิวบริเวณที่อาจเกิดการควบคุมของไอน้ำ การควบคุมมักเกิดบนผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เช่น บริเวณผิวผนังภายในหรือส่วนที่ปรับอากาศ การเพิ่มอุณหภูมิผนังให้สูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศภายนอกจะไม่เกิดการกลั่นตัวที่ผิวผนัง ปัญหาที่พบได้บ่อยอีกปัญหาหนึ่งคือ ความชื้นที่สะสมในช่องฝ้าเพดานใต้หลังคาจากการที่มีลมพัดผ่าน เกิดการควบคุมเมื่ออากาศที่สัมผัสผิวฝ้าเพดานภายในที่อุณหภูมิต่ำวิธีการเพิ่มอุณหภูมิผิว ทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1.1 เพิ่มการไหลเวียนของอากาศร้อนในห้อง ทำให้มีการนำความร้อนเข้ามาภายในเป็นการเพิ่มอุณหภูมิและลดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายในหรือการให้ความร้อนจากแสงแดดเข้ามาภายใน

1.2 ป้องกันการถ่ายเทความร้อนออกจากห้อง เช่น การติดตั้งฉนวนภายนอกที่ผนังตู้เก็บของ โดยถูกวิธี หรือการป้องกันการปะทะของลมแรงของผนังภายนอก โดยห่อหุ้มผิวผนังภายนอกสุด

2. การลดความดันไอน้ำในอากาศ การควบคุมอัตราของความชื้นที่ผ่านผนังภายใน และบริเวณผิวผนังให้มีค่ามากกว่าภายในช่องผนัง ความชื้นจะไม่เกิดการสะสมบริเวณเปลือกอาคาร โดยมีวิธีควบคุม 3 แนวทาง คือ

2.1 การควบคุมแหล่งที่มาของความชื้น (source control) เป็นการจำกัดปริมาณความชื้นจากภายใน โดยการระบายอากาศไปยังภายนอกโดยตรง และทำให้ส่วนที่เกิดความชื้นมากมีสภาพแห้งลง เช่น โครงสร้างพื้นชั้นล่างที่ติดกับดินชื้น การทำช่องเปิดให้ติดต่อกับภายนอกได้โดยตรงของห้องขึ้นประเภทครัว หรือ ห้องน้ำ เป็นต้น

2.2 การทำให้ความชื้นเจือจาง (dilution) เป็นการแลกเปลี่ยนอากาศชื้นภายในกับอากาศแห้งภายนอก โดยธรรมชาติหรือการใช้เครื่องระบายอากาศ

2.3 การกำจัดความชื้น (dehumidification) เป็นวิธีที่ใช้ในการปรับอากาศ ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระให้แก่เครื่องปรับอากาศ เกิดการสูญเสียพลังงานมากขึ้น

### 3. การควบคุมการถ่ายเทความชื้นเข้าสู่อาคารโดยตรง

การออกแบบรายละเอียดและวิธีการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพ จะสามารถควบคุมการถ่ายเทความชื้นเข้าสู่อาคาร ได้ดังนี้

3.1 การควบคุมการเคลื่อนที่ของน้ำหรือของเหลวไม่ให้ผ่านเข้าอาคาร ได้แก่ น้ำจากพื้นดินและการระบายน้ำฝนลงสู่พื้นดิน

น้ำจากพื้นดิน มีวิธีการควบคุม 6 วิธี ดังนี้

1) การระบายน้ำจากหลังคาเพื่อลดปริมาณน้ำฝนบริเวณที่ติดต่อกับอาคาร เช่น การทำรางน้ำหลังคา การทำพื้นลาดเอียงโดยรอบอาคารเพื่อเปลี่ยนเส้นทางการไหลของน้ำลงสู่ทางระบาย

2) การควบคุมน้ำที่ระดับต่ำกว่าพื้นดินด้วยแนวทางการกันแนวระบายน้ำ ที่ทำจากบอร์ตหรือวัสดุที่ระบายน้ำได้อิสระ กรูรอบผนังภายนอกของกำแพงฐานราก หุ้มท่อด้วยทรายหรือโรยด้วยลูกกรงหยาบ ปิดด้วยแผ่นกรองโดยรอบเพื่อให้มีการระบายน้ำโดยซึมผ่านร่องเล็ก ๆ ของดินด้านล่างเป็นการลดแรงดันน้ำที่ซึมเข้าสู่รอยแตกผนังใต้ดิน สามารถซ่อมแซมและปรับปรุงได้เพราะอยู่ภายนอก แต่การใช้ต้องระวังเชื้อราหรือสารกัมมันตภาพรังสีอื่น ๆ

3) การทำท่อระบายควรเจาะรูแล้วล้อมด้วยเศษหินละเอียดปิดด้วยแผ่นกรอง เมื่อระดับน้ำจากพื้นดินเพิ่มขึ้น ท่อระบายน้ำควรสามารถระบายน้ำลงสู่ชั้นเศษหินด้านล่างได้

4) การใช้วัสดุที่สามารถระบายน้ำได้อย่างอิสระเป็นตัวระบายน้ำจากพื้นดิน

5) การใช้แผ่นกันซึมควบคุมน้ำจากดินไม่ให้ไหลผ่านรอยต่อและช่องต่าง ๆ ในระดับต่ำกว่าดิน ซึ่งมักจะมีค่าใช้จ่ายสูงและต้องออกแบบให้สามารถต้านแรงดันน้ำใต้ดินได้ มิฉะนั้นแผ่นพื้นจะแตก

6) การควบคุมบริเวณรอยต่อต่าง ๆ เพื่อให้ไม่ซึมเข้ากำแพงฐานราก โดยการอุดรอยต่อของวัสดุในชั้นตอนการก่อสร้าง

น้ำฝน (rain water) การควบคุมการระบายน้ำฝนเข้าสู่อาคารอย่าง มี 2 วิธีคือ

1) ลดการสะสมปริมาณน้ำฝนที่ผิวอาคารหรือองค์ประกอบอื่นของอาคาร เช่น ลดการโดนลมฝน หรือการใช้ส่วนยื่นของหลังคาป้องกันการสะสมของผนัง หรือใช้บัวหยดน้ำทำให้น้ำฝนระบายออกจากผิวอาคาร

2) ควบคุมการสะสมน้ำฝนบนอาคาร น้ำฝนที่เกาะบนผิวผนังภายนอกอาคาร สามารถถ่ายเทเข้าสู่ภายในโดยอาศัยหลักการ 4 แบบ ดังตาราง 2-17

ตารางที่ 2-17 การควบคุมความชื้นจากการระเหยน้ำฝนบนผิวอาคาร

การถ่ายเทเข้าสู่อาคาร	หลักการควบคุม
ความแตกต่างของความดันอากาศ	การปรับให้ความดันอากาศภายใน และภายนอกเท่ากัน
โมเมนตัม (การไหลเข้าโดยตรงของน้ำ)	การออกแบบระบบผนังไม่ให้เกิดรอยต่อตรง
แรงตึงผิว	การชะร่องเป็นบัวน้ำหยด หรือ แยกผนังให้มีความหนาแน่นมากขึ้น
แรงดึงดูดของโลก	การใส่แผ่นบังคับทิศทางน้ำที่ ด้านล่างของผนังภายนอก หรืออาจทำทุก ๆ ความสูงที่ต้องการเพื่อเปลี่ยนทิศทางไม่ให้น้ำไหลเกาะกำแพงตลอด ความสูงอาคาร

ภาพที่ 2-06 หลักการที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำฝนเข้าสู่อาคาร

(Lstiburek, J. and Carmody, J. 1993: 21)



3) การควบคุมการถ่ายเทอากาศ เป็นการควบคุมความชื้นโดยตรง เนื่องจากอากาศที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในจะนำความชื้นเข้ามาด้วย แนวทางในการควบคุมความชื้นจากการถ่ายเทอากาศ มีดังตาราง 2-18

ตารางที่ 2-18 การควบคุมความชื้นจากการถ่ายเทอากาศ

แนวทาง	วิธีการ
1. ลดปริมาณความชื้นในอากาศ	โดยการควบคุมแหล่งความชื้น การทำให้ ความชื้นเจือจางลงรวมถึงการจัดความชื้นในอากาศ
2. การควบคุมตำแหน่งและขนาดช่องเปิดที่เปลือกอาคาร	เป็นการควบคุมปริมาณแรงลมและทิศทางให้เหมาะสมต่อสภาวะน้ำสลาย รวมถึงการทำผนังกันลม (wing walls)
3. การควบคุมความแตกต่างของความดันอากาศที่ผ่านเปลือกอาคารเข้าสู่ภายใน	ระบบความกดอากาศวิธี stack effect การเปลี่ยนความดันตามธรรมชาติโดยใช้ปล่อง (chimneys) การอาศัยแรงลมที่เคลื่อนจากความกดอากาศสูงไปต่ำ การใช้ระบบเครื่องกลรักษาความกดอากาศในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร

4) การควบคุมการแพร่ระเหยความชื้น ซึ่งเกิดขึ้นกับองค์อาคารทั้งเหนือระดับดิน และ ใต้ดิน เช่น การใช้สารหน่วง การแพร่ระเหย ที่ผิวผนังคอนกรีต หรือ ผนังฐานราก และ บริเวณต่ำกว่าระดับดิน

3.2 การควบคุมปรากฏการณ์ capillary suction เป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาตั้งแต่การเลือกใช้วัสดุที่มีเนื้อพรุนทั้งในระดับเหนือดิน และ ใต้ดิน โดยสามารถควบคุมได้ ดังวิธีต่อไปนี้

- 1) ควบคุมการไหลของน้ำผ่านรูพรุนในเนื้อวัสดุ
- 2) อุดรูเล็ก ๆ ในเนื้อวัสดุ เช่น การทาสีหรือน้ำยาเคลือบผิวบนอกอาคาร หรืออัดตุ๊กกันน้ำ
- 3) ทำให้รูเล็ก ๆ ของผิววัสดุ (capillary pores) ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
- 4) ติดวัสดุอุดซึบความชื้นด้านหลังของผิวภายนอกเพื่อเป็นตัวรับความชื้นแทน

## 2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายอากาศ

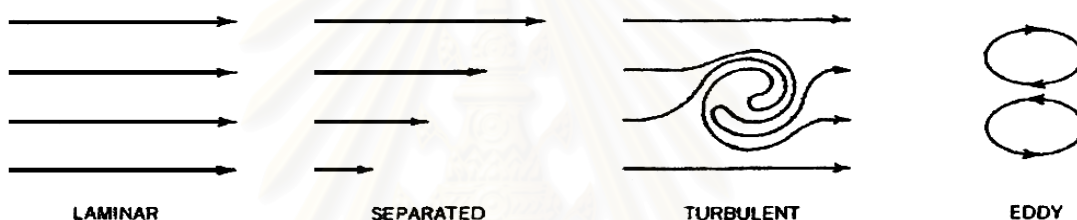
### 2.4.1 หลักพื้นฐานที่เกี่ยวกับการไหลของอากาศ (Lechner, 1991: 182)

1. การไหลของอากาศตามธรรมชาติ เกิดจากคุณสมบัติของอากาศที่แตกต่างกัน 2 ประการ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความกดอากาศระหว่างที่ 2 แห่ง โดยอากาศจะเคลื่อนที่จากบริเวณอุณหภูมิสูงไปสู่ที่อุณหภูมิต่ำ หรือจากที่ความกดอากาศสูงไปสู่ที่ความกดอากาศต่ำ

2. ประเภทของการไหลของอากาศ แบ่งตามลักษณะการไหล 4 ประเภท คือ

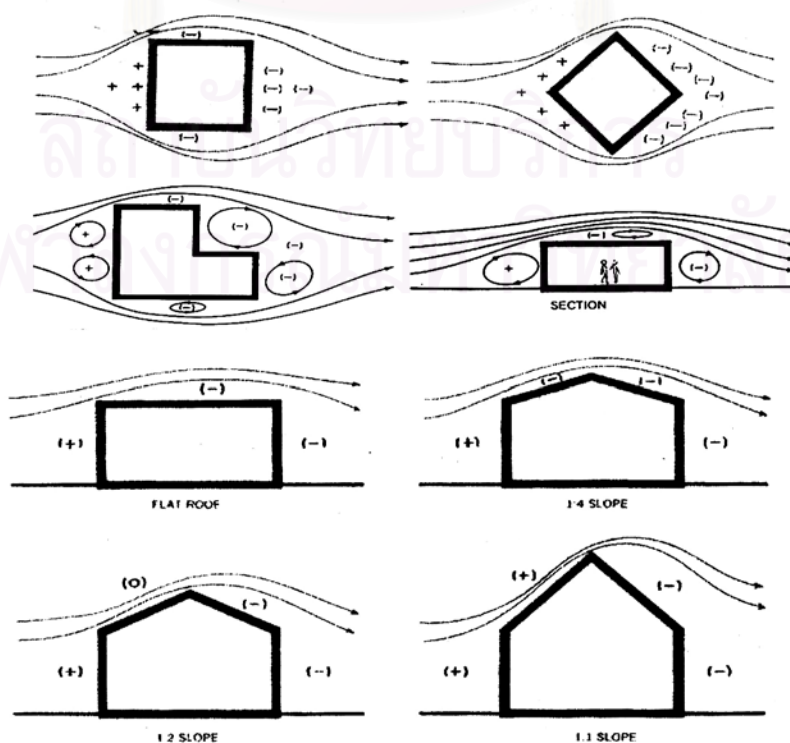
- การไหลแบบตรง ๆ กระแสสม่ำเสมอ (laminar)
- การไหลแบบตรง ๆ แต่กระแสไม่สม่ำเสมอ (separated)
- การไหลแบบกระแวลวน (turbulent)
- การไหลแบบกระแสวน (eddy current)

ภาพที่ 2-07 ลักษณะการไหลของอากาศประเภทต่าง ๆ (Lechner, 1991: 184)



3) เมื่อมีลมมาปะทะอาคาร จะทำให้มีแรงกดมากระทำที่ผนังอาคาร และบริเวณนั้นจะมีความดันเป็นบวก (Positive Pressure) และในแนวผนังที่อยู่ด้านหลังของด้านที่ลมมาปะทะ ก็จะเกิดแรงดูด (Suction) และบริเวณนั้นความดันจะเป็นลบ (Negative Pressure) ส่วนด้านข้างก็จะเกิดความดันเป็นลบ และในส่วนที่ไม่มี ความดันเป็นบวกหรือลบ อากาศก็ไม่นิ่งแต่จะเกิดกระแวลวน และกระแสวน

ภาพที่ 2-08 บริเวณที่มีความดันสูงและต่ำ เมื่อปะทะอาคาร (Lechner, 1991: 184)



4) แรงเฉื่อยของอากาศ (inertia) โดยปกติมวลของอากาศจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และเมื่อกระทบสิ่งกีดขวาง อากาศจะเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง จะไม่เคลื่อนที่ในลักษณะที่หักเป็นมุม

5) ลักษณะของอากาศ (conservation of air) อากาศที่พัดผ่านอาคารจะไม่มีการเพิ่มหรือสูญหายของมวลอากาศ ดังนั้น อากาศที่เข้าจะเท่ากับอากาศที่ออก การเขียนเส้นทางการเคลื่อนที่ของอากาศจึงเป็นเส้นต่อเนื่อง

6) Bernoulli effect เกิดจากการทดลองโดยให้อากาศเคลื่อนที่ผ่าน เมื่อเพิ่มอากาศเคลื่อนที่เข้าไปบริเวณคอคอด อากาศที่เข้าไปใหม่จะทำให้ static pressure ลดลงเนื่องจากเกิด negative pressure ตรงคอคอด ทำให้เกิดแรงดูดเข้าหาตรงกลาง และไปเพิ่มความเร็วของอากาศที่เข้าไปใหม่นั้น

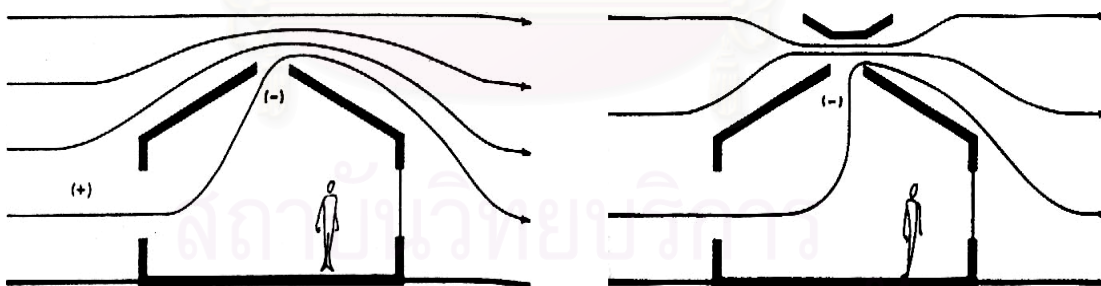
ภาพที่ 2-09 Bernoulli effect (Lechner. 1991: 184)



การนำไปประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพกับบริเวณท่อระบายอากาศบนหลังคา โดยทำเป็นรูปทรงคอคอด หรือการระบายอากาศบริเวณช่องหลังคาเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นตามความสูงจากพื้นดิน ความกดอากาศที่สันหลังคาจะต่ำกว่าที่หน้าต่าง อากาศจึงเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูงไปบริเวณที่ความกดอากาศต่ำ คือ เคลื่อนที่จากหน้าต่างไปที่สันหลังคา

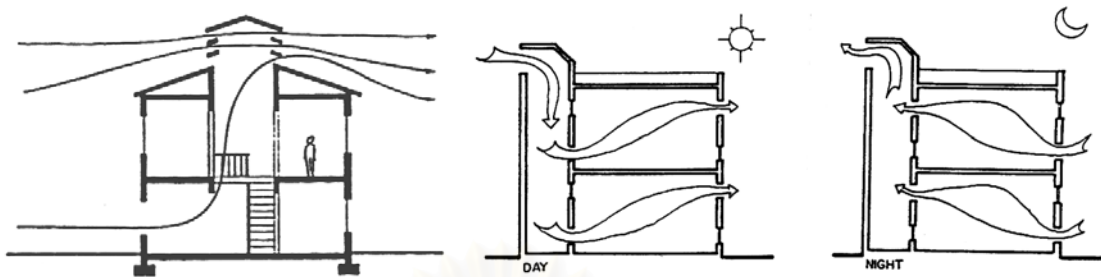
ภาพที่ 2-10 การระบายอากาศบริเวณยอดหลังคา กรณีเกิดและไม่เกิด Bernoulli effect

(Lechner, 1991: 185)



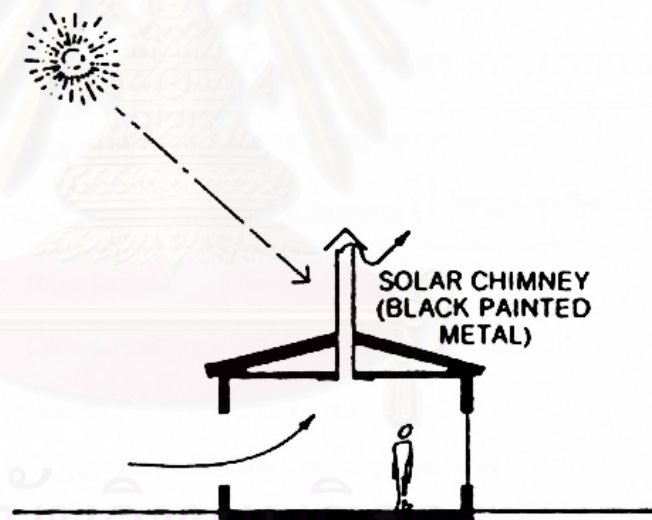
7) การระบายอากาศในแนวตั้งภายในอาคาร แบบ Stack Effect ทำให้เกิดการดึงลมออกจากอาคาร เป็นการพาความร้อนตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นการดึงลมออก โดยความต่างของอุณหภูมิภายในที่ช่องเปิดด้านล่างและช่องเปิดด้านบนจะต้องมากกว่าความต่างของอุณหภูมิภายนอกที่ช่องเปิดด้านล่างและช่องเปิดด้านบน ถ้าต้องการให้การดึงลมออกด้วยวิธีนี้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด จะต้องมียช่องเปิดที่ใหญ่มากเท่าที่จะเป็นไปได้ และมีระยะห่างในแนวตั้งให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อากาศจะไหลจากช่องเปิดด้านล่างไปช่องเปิดด้านบนอย่างอิสระ ถ้าไม่มีสิ่งกีดขวางทางที่อากาศไหล

ภาพที่ 2-11 การดึงลมออกจากอาคารที่หลังคา โดยใช้ Stack Effect (Lechner. 1991: 186)

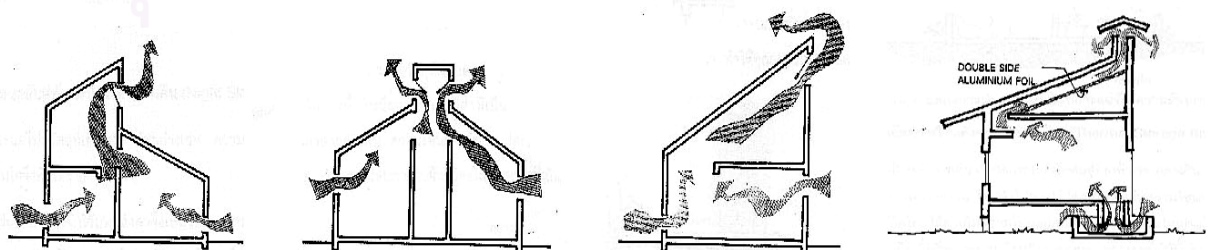


Solar Chimney เป็น Stack Effect อย่างหนึ่ง แต่เพิ่มความแตกต่างของอุณหภูมิภายในที่ช่องเปิดด้านล่าง และช่องเปิดด้านบนมากขึ้นโดยการทำเป็นปล่องขึ้นไป และทำให้ปลายปล่องนั้นร้อนที่สุด ทำให้เพิ่มอัตราการไหลของอากาศ โดยความร้อนจะทำให้อากาศขยายตัวเบาบางลงและลอยตัวสูงขึ้น อากาศที่หนาแน่นกว่าเช่นอากาศภายนอกจะไหลเข้ามาแทนที่ที่เกิดการหมุนเวียน ระบายถ่ายเทอากาศภายใน ทั้งนี้ความสูงปล่องควรสูงกว่าสิ่งก่อสร้างหรืออาคารข้างเคียงเพื่อให้พ้นจากบริเวณความกดอากาศสูง

ภาพที่ 2-12 การดึงลมออกจากอาคารที่หลังคาโดยใช้ Solar Chimney (Lechner. 1991: 186)



ภาพที่ 2-13 ตัวอย่างการระบายอากาศแนวตั้ง (สมสิทธิ์ นิตยะ. 2541)



2.4.2 การออกแบบช่องเปิดเปลือกอาคารเพื่อการระบายอากาศ (David Etheridge and Mats Sandberg, 1996: 34)

ช่องเปิดของอาคารทั่วไป สามารถแบ่งประเภทตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้ 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

1) ช่องเปิดที่เตรียมไว้หรือตั้งใจให้มี (purpose-provided opening) แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ

air vents เป็นช่องเปิดระบายอากาศที่มีพื้นที่น้อยกว่า 100 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมักจะเปิดตลอดเวลา จึงร่วมใช้ในการพิจารณาอัตราการระบายอากาศขั้นต่ำภายในห้องให้เพียงพอสำหรับผู้ใช้อาคาร เช่น อีซูโป่ง บลิ้อระบายอากาศ เกล็ดหรือแผงระบายอากาศในเปลือกอาคาร (grills in walls and windows) เป็นต้น

windows เป็นช่องเปิดระบายอากาศทั่วไปมักจะมีขนาดใหญ่ จึงเป็นส่วนหลักในการควบคุมการระบายอากาศของห้องตามพฤติกรรมกรรมการใช้อาคาร มีอิทธิพลสูงสุดต่อรูปแบบการไหลเวียนอากาศภายในห้อง (flow pattern) ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ลักษณะทางเรขาคณิตของช่องเปิดและตำแหน่งช่องเปิดทางลมเข้าและทางลมออกในห้องนั้น ๆ

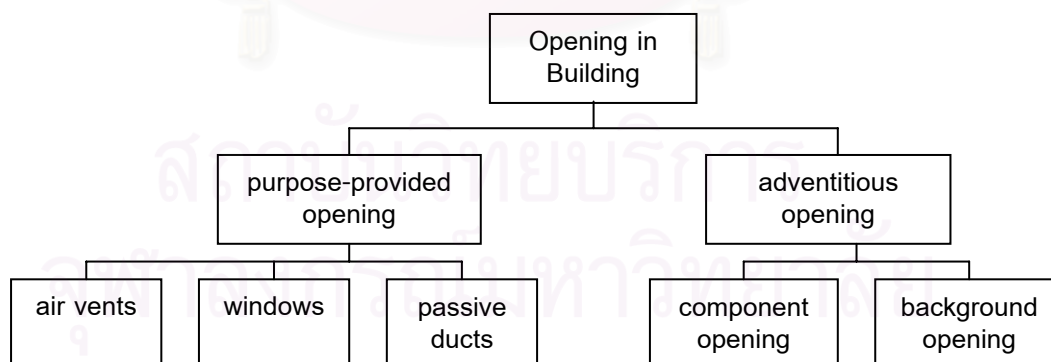
passive ducts เป็นช่องเปิดระบายอากาศที่จงใจให้มี หรือช่องเปิดเพื่อช่วยในการระบายอากาศใด ๆ ที่ไม่จัดอยู่ใน 2 ประเภทข้างต้น มักจะมีลักษณะต่างกันตามการออกแบบแต่ละโครงการ ตามหลักการของ passive design

2) ช่องระบายอากาศที่ไม่จงใจให้มี (adventitious opening) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

component openings เป็นช่องระบายอากาศที่อยู่รอบ ๆ หรือขอบของช่องเปิดหรือหน้าต่างทั่วไป เช่น ช่องเล็ก ๆ ใต้บานประตู รอยแยกระหว่างวงกบกับบานเปิด ระยะร่นระหว่างบานของหน้าต่างบานเลื่อน แม้จะเป็นที่สังเกตเห็นได้ง่ายแต่ยากสำหรับการวัดค่าคุณสมบัติหรืออัตราการระบายอากาศผ่านช่องเหล่านี้

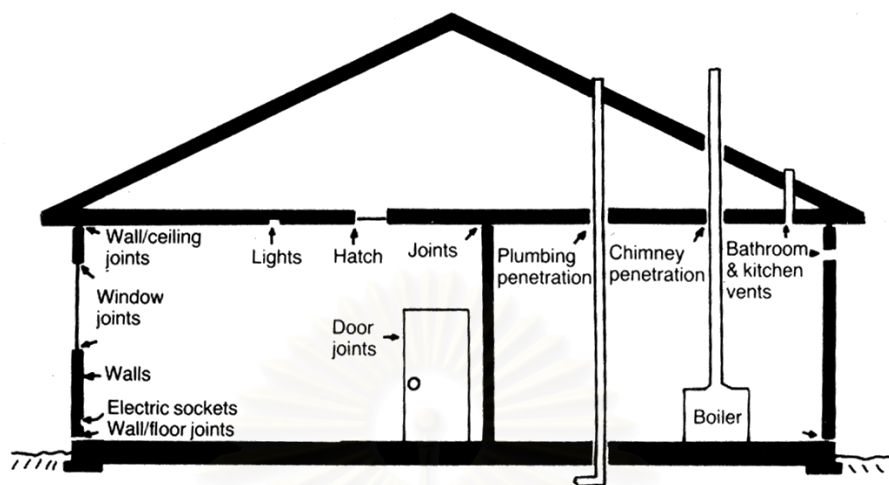
background openings เป็นช่องระบายอากาศ ที่ไม่สามารถจัดอยู่ในประเภทของช่องว่างหรือรอยแยกที่เกิดจากการทำช่องเปิดข้างต้น เช่น รอยแตกร้าวของอาคารบริเวณผนังหรือหลังคา รอยแตกรอบวงกบประตูกับผนังอาคาร ช่องเปิดที่ไว้สำหรับงานระบบต่าง ๆ หรือแม้แต่วัสดุที่ใช้เป็นเปลือกอาคาร เป็นต้น

แผนภูมิที่ 2-12 ประเภทช่องเปิดของอาคารตามวัตถุประสงค์การใช้งาน



ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเพียงอัตราการระบายอากาศผ่านช่องเปิดอาคาร (ventilation) ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนปริมาตรอากาศกับภายนอกโดยตั้งใจ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมการใช้งาน และลักษณะการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องในตึกแถวพักอาศัย ซึ่งมีการระบายอากาศตามธรรมชาติเป็นหลัก โดยไม่ศึกษา การแทรกซึมของอากาศใหม่ภายนอกตามรอยรั่วต่าง ๆ ของอาคาร (infiltration or air leakage) ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอกอย่างไม่ตั้งใจ

ภาพที่ 2-14 การรั่วซึมของอากาศภายนอกตามส่วนต่างๆ ของอาคาร (H.B. Awbi, 1998: p.61)



Typical air leakage paths in a house.

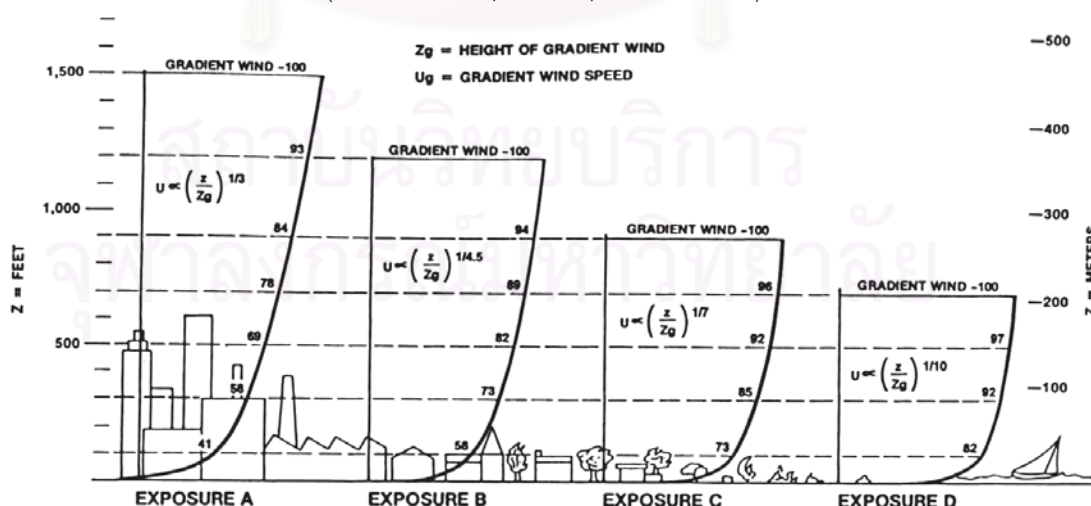
การวิเคราะห์การพัดของกระแสลมต้องพิจารณาปัจจัยหลายประการ คือ

- 1) ความเร็วลม โดยจะลดความเร็วลงที่ระยะชิดผิวพื้นดิน
- 2) การเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลของลมตามสภาพภูมิประเทศและสิ่งแวดล้อมใกล้เคียง
- 3) ลักษณะของลมที่เกี่ยวกับสภาวะนำสบาย

สภาวะปกติความเร็วลมจะเปลี่ยนไปตามระยะสูงจากผิวโลก สำหรับสภาพแวดล้อมที่ไม่มีสิ่งเปลี่ยนแปลงหรือขัดขวางแนวทางหรือความเร็วลม Greiger ได้เคยทำการวิจัยเอาไว้ และ U.S. QUARTER MASTER CORPS ได้ให้ข้อมูลที่สามารนำไปใช้โดยการอ่านจากกราฟ ซึ่งนำไปใช้ได้ทั้งอาคารสูงที่ต้องการหาค่าแรงลมไปคำนวณภาระกรรมของลม (wind load) และการออกแบบโครงสร้างรับแรงลม

แผนภูมิที่ 2-13 ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงและสภาพแวดล้อมต่างๆ ตาม ANSI

(Christine Beall, NCARB, CCS. 1999: 34)



- EXPOSURE A:** large city centers with at least 50% of the buildings having a height in excess of 70 feet.  
**EXPOSURE B:** urban and suburban areas, wooded areas, or other terrain with numerous, closely spaced obstructions having the size of single family dwellings or larger.  
**EXPOSURE C:** open terrain with scattered obstructions having heights generally less than 30 feet.  
**EXPOSURE D:** flat, unobstructed coastal areas directly exposed to wind flowing over large bodies of water.



### 2.4.3 การประมาณอัตราการไหลเวียนอากาศ

การประมาณอัตราการไหลเวียนอากาศมีความสำคัญอย่างยิ่งในการประยุกต์ใช้การไหลเวียนอากาศธรรมชาติในงานสถาปัตยกรรม เนื่องจากปริมาณอากาศที่ไหลเวียนจากภายนอกถ่ายเทเข้าไปในห้องจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในให้มีค่าใกล้เคียงกับภายนอกมากยิ่งขึ้น

การคำนวณอัตราการระบายอากาศ จะแบ่งตามลักษณะการระบายอากาศของอาคาร 5 แบบ ได้แก่

1. การระบายอากาศของช่องเปิดด้านเดียว (single side ventilation)
2. การระบายอากาศแบบข้ามฟาก (cross ventilation)
3. การระบายอากาศด้วยการลอยตัวของอากาศ (stack effect ventilation)
4. การระบายอากาศด้วยการแทรกซึมของรอยรั่วอาคาร (Infiltration)
5. การระบายอากาศโดยการบังคับให้เกิด (force ventilation)

#### 1. การระบายอากาศของช่องเปิดด้านเดียว (Single Side Ventilation)

ในกรณีที่ไม่สามารถออกแบบให้มี cross ventilation ได้กับทุกห้อง เนื่องจากมีผนังที่ติดภายนอกเพียงด้านเดียว การประมาณอัตราการระบายอากาศภายในห้องสามารถหาได้จาก 2 สมการ คือ

1.1 สมการหาปริมาณการเคลื่อนที่อากาศของ Prof.SV.Szokolay จากการบรรยายพิเศษเรื่อง Energy Conservation In Buildings ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ปี 2543 เป็นการประมาณอัตราการไหลเวียนอากาศทั้งการรั่วไหลของอากาศ (Infiltration) การไหลเวียนอากาศด้านเดียว (single-sided ventilation) และการไหลเวียนอากาศผ่านตัวอาคาร (cross ventilation)

$$V_r = 0.827(A)(C_e)(\sqrt{\Delta P_w}) \quad (\text{สมการที่ 2-19})$$

เมื่อ	$V_r$	=	ปริมาณการเคลื่อนที่ของอากาศ ( $m^3/s$ )
	$A$	=	พื้นที่รวมช่องเปิด ( $m^2$ )
	$C_e$	=	effectiveness coefficient กรณีระบายอากาศด้านเดียว $C_e=0.1$ กรณีระบายอากาศข้ามฟาก $C_e=1$
	$\Delta P_w$	=	ความกดอากาศของลม เมื่อ

$$\Delta P_w = 0.612(V^2)(C_{pw}-C_{pl}) \quad (\text{สมการที่ 2-20})$$

เมื่อ	$V$	=	ความเร็วลม ( $m/s$ )
	$C_{pw}$	=	Pressure Coefficient windward side มีค่า 0.5 ถึง 1 (กรณีพื้นที่โล่งว่าง $C_{pw}=0.5$ กรณีมีสิ่งแวดล่อม $C_{pw}=1$ )
	$C_{pl}$	=	Pressure Coefficient leeward side มีค่า $-0.3$ ถึง $-0.5$ (กรณีพื้นที่โล่งว่าง $C_{pl}= -0.3$ กรณีมีสิ่งแวดล่อม $C_{pl}= -0.5$ )

1.2 สมการหาปริมาตรการเคลื่อนที่อากาศของ The British Building Research กรณีช่องเปิดด้านเดียว มีดังต่อไปนี้

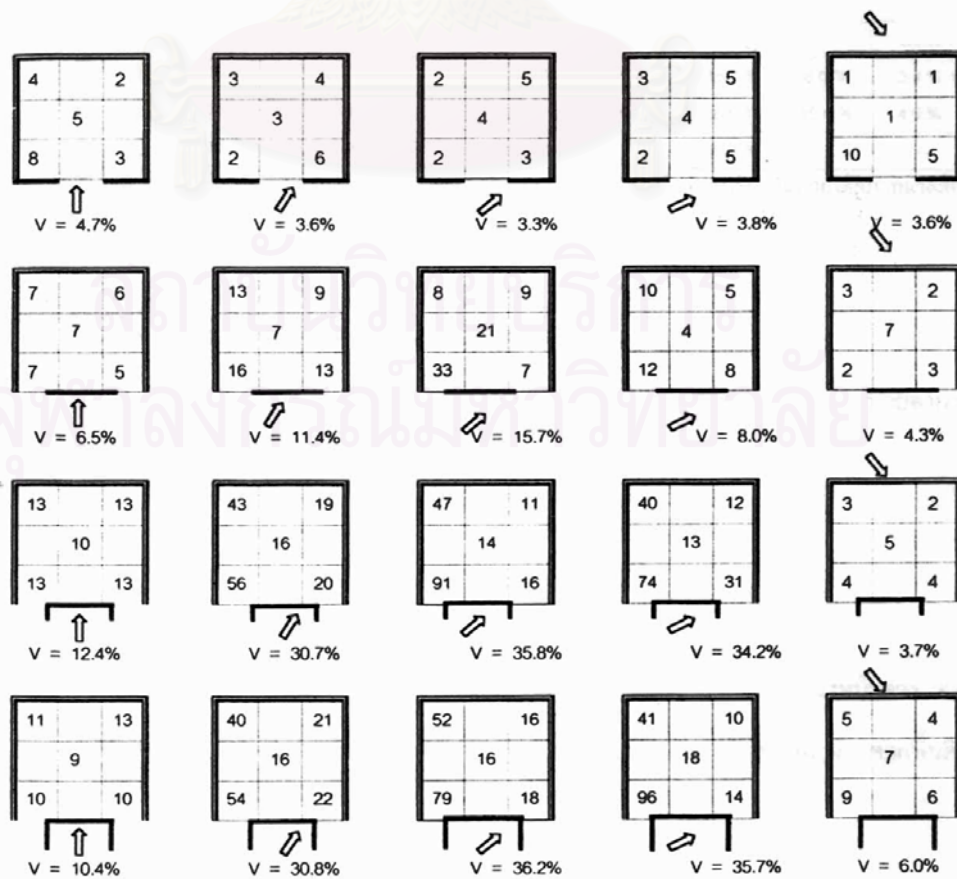
$$Q = 0.025(A)(Vr) \quad (\text{สมการที่ 2-21})$$

เมื่อ  $Q$  = อัตราการถ่ายเทอากาศ ( $m^3/s$ )  
 $A$  = พื้นที่ช่องเปิดอาคาร ( $m^2$ )  
 $Vr$  = ความเร็วลมภายนอกที่ระดับความสูงตำแหน่งหน้าต่าง ( $m/s$ )

แม้ว่าจะมีเปลือกอาคารเพียงด้านเดียวที่สัมผัสกับอากาศภายนอก การจัดให้มีช่องเปิด 2 ช่องที่ผนังด้านเดียวกัน ซึ่งจะให้การระบายอากาศที่ดีกว่าช่องเปิดเดี่ยว เรียกว่าการระบายอากาศแบบเหนียวนำโดยใช้ปีกอาคาร (Givoni.1994) ทั้งนี้เป็นเพราะถ้าลมทำมุมกับช่องเปิด ลมจะเข้าช่องเปิดและหมุนวนภายในห้องและออกช่องเปิดอีกด้านหนึ่ง เกิดการเหนียวนำลมเข้าสู่ห้องได้มากขึ้น โดยการทำแผงกันหน้าต่างเพื่อให้เกิดด้านปะทะลมและอับลมบนผนังด้านเดียวกัน ก็เป็นการสร้างโอกาสให้เกิดลักษณะการระบายอากาศได้ดีขึ้น หรืออาจใช้หน้าต่างบานเปิดแทน จากการทดลองจากหุ่นจำลองห้องสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังภาพที่ 2-16 โดยกำหนดให้มีอัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังห้อง 2 ขนาด ในตำแหน่งแตกต่างกัน 3 ลักษณะ คือ

- 1) ช่องเดี่ยวตรงกลาง
- 2) ช่องเปิด 2 ช่องบนผนังด้านเดียว
- 3) ช่องเปิด 2 ช่องบนผนังด้านเดียวโดยมีแผงกันกำบังลม

แผนภูมิที่ 2-14 การกระจายลมในห้องสี่เหลี่ยมที่มีช่องเปิดด้านเดียว ด้วยวิธีการเหนียวนำของปีกอาคาร



ตารางที่ 2-19 ผลการทดลองการระบายอากาศด้วยวิธีการเหนี่ยวนำของช่องเปิดที่ผนังด้านเดียว

พื้นที่ หน้าต่างต่อ พื้นที่ผนัง	จำนวนหน้าต่าง ต่อ ชนิดหน้าต่าง	ทิศทางการลม				
		ตั้งฉากกับ ช่องเปิด	22.5° ด้านหน้า	45° ด้านหน้า	67° ด้านหน้า	ทำมุม ด้านหลัง
2 / 9	1 ช่องตรงกลางผนัง	10.4%	10.4%	10.4%	-	-
	2 ช่องชิดข้างผนัง	11.8%	16.8%	17.5%	8.9%	5.4%
	2 ช่องชิดข้างผนังมีแผงกันบังลม	16.0%	34.0%	38.4%	36.2%	8.1%
1 / 9	1 ช่องตรงกลางผนัง	4.7%	3.6%	3.3%	3.8%	3.6%
	2 ช่องชิดข้างผนัง	6.5%	11.4%	15.7%	8.0%	3.4%
	2 ช่องชิดข้างผนังมีแผงกันบังลม	11.4%	30.8%	36.0%	35.0%	4.9%
	2 ช่องชิดข้างผนังมีกันสาด ใต้หน้าต่าง	17.3%	-	20.8%	-	-

หมายเหตุ: มีหน่วยความเร็วลมเป็น % ของความเร็วลมภายนอกอาคารในพื้นที่เดียวกัน

ภายใต้สภาพแวดล้อมที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งกีดขวาง

## 2. การระบายอากาศแบบข้ามฟาก (Cross Ventilation)

สิ่งสำคัญประการหนึ่งสำหรับการปรับเียนโดยอาศัยการระบายอากาศตามธรรมชาติ ด้วยหน้าต่างหรือปล่องระบายอากาศนั้น จะได้ผลต่อเมื่ออากาศภายนอกมีอุณหภูมิต่ำกว่าหรือเย็นกว่าภายในอาคารเท่านั้น การคำนวณอัตราการระบายอากาศตามสูตร ต่อไปนี้

2.1 การคำนวณอัตราการระบายอากาศตามธรรมชาติผ่านช่องเปิด (cooling by natural ventilation) (MEEB,1999: 127)

$$Q = 3600 \times (C_v)(A)(v) \quad (\text{สมการที่ 2-22})$$

เมื่อ  $Q$  = อัตราการระบายอากาศผ่านช่องเปิด (ลบ.ม./ชั่วโมง)

3600 = ค่าคงที่ แปลงหน่วยจากวินาทีเป็นชั่วโมง

$C_v$  = effective factor ขึ้นอยู่กับทิศทางการพัดของลม ที่กระทำกับช่องเปิด  
มีค่า 0.5-0.6 เมื่อลมพัดตั้งฉาก และ 0.25-0.35 เมื่อลมพัดทำมุมกับช่องเปิด

$V$  = ความเร็วลม (m/s)

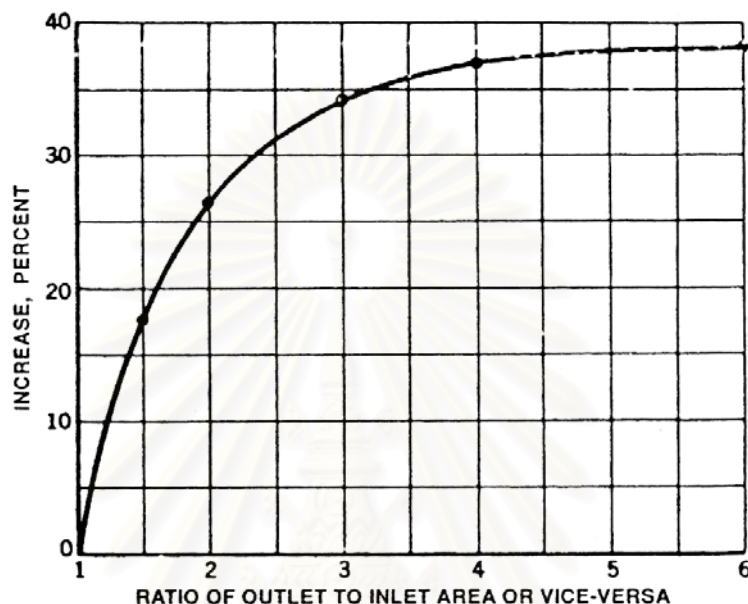
$A$  = พื้นที่ช่องเปิดด้านลมเข้า (ตร.ม.) กรณีพื้นที่ทางออกลมเท่ากับช่องลมเข้า

ส่วนกรณีที่พื้นที่ทางลมเข้าและออกไม่เท่ากันจะทำให้ประสิทธิภาพในการระบายอากาศเปลี่ยนไป พื้นที่ช่องเปิดจึงเป็นพื้นที่ช่องเปิดยังผล (effective opening) (ASHRAE, 1997) คำนวณจากสมการ

$$\text{effective opening (ตร.ม.)} = (1 + \text{increase in percentage}) \times \text{พื้นที่ช่องเปิด}$$

ค่า increase in percentage หาได้จากการอ่านแผนภูมิที่ 2-15 เมื่อทราบค่าอัตราส่วนของ พื้นที่ทางออกกลม / พื้นที่ทางเข้ากลม โดยใช้พื้นที่ที่มากกว่าเป็นตัวตั้งค่าที่ได้จะมีค่ามากกว่า 1 ขึ้นไป

แผนภูมิที่ 2-15 ร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดกรณีช่องลมเข้าและออกไม่เท่ากัน (ASHRAE, 1997)



2.2 การคำนวณอัตราการระบายอากาศข้ามฟาก วิธี The British Standard Method (Olgay, 1998) การคำนวณจะเน้นที่การไหลของอากาศเนื่องจากแรงลม และจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งไม่รวมถึงอิทธิพลของรูปทรงและลักษณะผนังภายในอาคาร สูตรการคำนวณปรากฏ ดังนี้ (Olgay, 1992: 104)

$$Q = K A V$$

(สมการที่ 2-23)

เมื่อ  $Q$  = อัตราการไหลเวียนอากาศ (cu.ft/h)

$K$  = ค่าคงที่ของอัตราส่วนของช่องลมเข้า และออก

$A$  = พื้นที่ช่องลมเข้า (ft<sup>2</sup>)

$V$  = ความเร็วลมเฉลี่ยภายนอก (mph)

ค่า  $K$  ในสมการเป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนช่องลมเข้า และออกของอาคารโดยค่า  $K$  จะยิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดช่องลมออกยิ่งเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่อขนาดช่องลมออกยิ่งลดลง ดังตารางที่ 2-18 ดังนั้นหากต้องการเพิ่มอัตราการไหลเวียนอากาศควรจะต้องเพิ่มขนาดของช่องลมออกของอาคาร

ตารางที่ 2-20 ค่าคงที่  $K$  ตามอัตราส่วนของช่องเปิด (Olgay, *Design with Climate*, 1998: 104)

ช่องลมออก/ช่องลมเข้า	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1	5 : 1	3 : 4	1 : 2	1 : 4
ค่า $K$	3150	4000	4250	4350	4400	2700	2000	1100

2.3 วิธีที่เรียกว่า The Aynsley Method (Allard, 1998: 66) ซึ่งเหมาะกับการไหลเวียนอากาศผ่านตัวอาคาร (cross ventilation) โดยถือว่าช่องเปิดมี 2 ช่องอยู่ด้านตรงข้ามกัน แต่ต้องใช้ค่า Cp1 และ Cp2 หรือสัมประสิทธิ์ความดันอันเนื่องมาจากการกระทำของแรงลมในแต่ละด้าน โดยเขียนเป็นสมการ ดังนี้ (Allard, 1998: 67)

$$Q = \left[ \sqrt{\frac{Cp1 - Cp2}{\frac{1}{A_1^2 Cd_1^2} + \frac{1}{A_2^2 Cd_2^2}}} \right] (V) \quad (\text{สมการที่ 2-24})$$

เมื่อ	Q	= อัตราการไหลเวียนอากาศ (m <sup>3</sup> /s)
	Cp1	= ค่าสัมประสิทธิ์ความดันด้านลมเข้า
	Cp2	= ค่าสัมประสิทธิ์ความดันด้านลมออก
	Cd1	= ค่าสัมประสิทธิ์ช่องลมเข้า (discharge coefficients)
	Cd2	= ค่าสัมประสิทธิ์ช่องลมออก (discharge coefficients)
	A1	= พื้นที่ช่องลมเข้า (M <sup>2</sup> )
	A2	= พื้นที่ช่องลมออก (M <sup>2</sup> )
	V	= ความเร็วลมภายนอก (mph)

โดยค่า Cd1 และ Cd2 จะขึ้นอยู่กับความกว้าง และลักษณะของช่องเปิด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วให้ใช้ค่า 0.6 แทนลงในสมการได้ ส่วนค่า Cp1 และ Cp2 สามารถดูได้จาก ตารางที่ 2-26

ตารางที่ 2-21 ค่า Cp สำหรับลมที่กระทำในทิศต่าง ๆ

(Allard, *Natural Ventilation in Buildings*. (UK: James&James, LTD., 1998): 127)

	มุม x ที่ลมกระทำ	ค่า Cp ที่ a	ค่า Cp ที่ b	ค่า Cp ที่ c	ค่า Cp ที่ d
	0.0	0.40	-0.40	-0.20	-0.40
	22.5	0.40	-0.06	-0.40	-0.60
	45.0	0.25	0.25	-0.40	-0.45
	67.5	0.06	0.30	-0.55	-0.40
	90	0.4	0.40	-0.40	-0.25

เมื่ออาคารไม่เป็นไปตามรูปร่างที่กำหนดให้ไว้ให้ใช้ค่า Cp1 เท่ากับ 0.4 ส่วนค่า Cp2 เท่ากับ -0.25 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดจากอาคารรูปร่างต่าง ๆ สำหรับช่องลมออกของหลังคาให้ใช้ค่า Cp2 เท่ากับ -0.30

จะเห็นได้ว่าค่า Cp จะขึ้นอยู่กับมุมที่ลมกระทำ รูปร่างอาคาร และตำแหน่งของช่องเปิด ดังนั้นวิธีการประมาณอัตราการไหลเวียนอากาศวิธีนี้จะละเอียดอ่อนกว่าวิธีแรก ผลของการคำนวณที่ได้จึงค่อนข้างจะแม่นยำกว่า การใช้งานจะใช้งานได้กว้างขวางกว่า แต่การคำนวณจะยุ่งยากกว่าวิธีแรก การใช้งานจึงต้องดูถึงจุดประสงค์ว่าเป็นการประมาณแบบคร่าว ๆ ที่ไม่ต้องการความแม่นยำแต่ต้องการความรวดเร็ว หรือ ต้องการความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นแต่ความรวดเร็วลดลง

### 3. การระบายอากาศด้วยการลอยตัวของอากาศ (Stack Effect Ventilation)

ในสภาพอากาศไม่มีลมพัดผ่านตามธรรมชาติ เราสามารถออกแบบอาคารให้เกิดการระบายอากาศด้วยวิธีการเหนี่ยวนำ การระบายอากาศด้วยวิธีการทำเป็นปล่อง การออกแบบจะใช้หลักของความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศเป็นตัวช่วยในการนำกระแสลม โดยอาศัยความเบาของอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้นสูง เมื่อมีทางเข้าลมในระดับต่ำบริเวณพื้นหรือผนัง และมีทางออกลม ที่ระดับสูงเช่นหลังคา เมื่ออากาศภายในออกมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในอาคาร

ตัวปล่องควรทำด้วยวัสดุที่รับความร้อนได้เร็ว มีมวลมากทำให้สามารถเก็บความร้อนได้นาน ด้านนอกของปล่องกระโจมควรหุ้มด้วยแผ่นโลหะ เช่น แผ่นทองแดง แผ่นเหล็ก และควรทาสีดำ แสงแดดจะทำให้อากาศในปล่องมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป อากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นไหลออกไปที่ตอบนบ โดยจะดึงอากาศที่เย็นกว่าจากเบื้องล่าง หรือจากภายนอกอาคารเข้ามาแทนที่ ถ้าเราสามารถทำให้ปล่องมีมวลมากพอที่จะสะสมความร้อนไว้ในเนื้อมวลของปล่อง จะทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน หากอุณหภูมิในปล่องสูงกว่าอุณหภูมิภายในอาคารมาก ก็จะทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศมากขึ้นตามไปด้วย โดยปกติจะต้องทำให้อุณหภูมิในปล่องสูงกว่าอุณหภูมิทั่วไปภายในอาคาร 10 องศาเซลเซียสขึ้นไป

นอกจากนี้การไหลเวียนอากาศธรรมชาติอันเนื่องมาจากการปะทะของลม และยังมีปรากฏการณ์อื่นเกิดจากมวลอากาศที่อุณหภูมิสูงลอยตัวขึ้นจึงเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศเข้ามาแทนที่ปรากฏการณ์นี้จะยิ่งเพิ่มขึ้นหากอุณหภูมียิ่งแตกต่างกันมากขึ้น ความสูงช่องเปิดเพิ่มขึ้น และขนาดช่องลมออกใหญ่ขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "stack effect" (Olgay, 1992: 112)

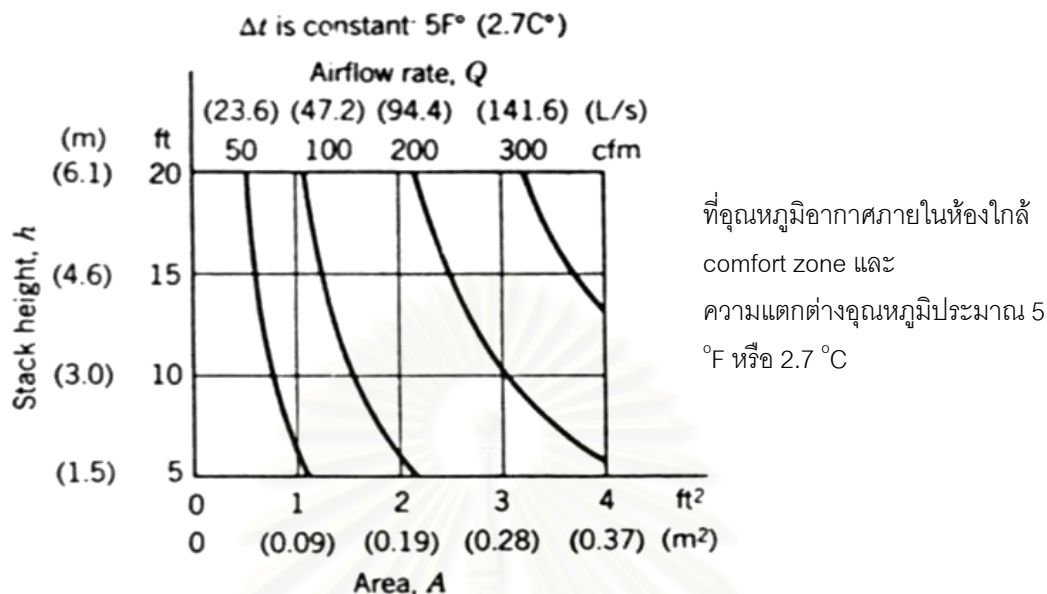
#### 3.1 การคำนวณอัตราการระบายอากาศแบบ Stack effect (MEEB, 1999: 127)

$$Q = CA \sqrt{\frac{h(T_i - T_o)}{T_i}} \quad (\text{สมการที่ 2-25})$$

เมื่อ	Q	=	อัตราการไหลของอากาศ (m <sup>3</sup> /s)
	C	=	ค่าคงที่ ในสภาพปกติ เมื่อประสิทธิภาพการระบายอากาศเป็น 65% C= 91.1 เมื่อแนวทางการเคลื่อนที่อากาศจากช่องลมเข้าถึงปล่องไม่ตรงไปตรงมา ประสิทธิภาพการระบายอากาศจะลดลงเป็น 50% C= 70
	A	=	พื้นที่ช่องลมเข้า (ft <sup>2</sup> )
	h	=	ความสูงของช่องลมออกเมื่อเทียบกับช่องลมเข้า (ft)
	T <sub>i</sub>	=	อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน ณ ความสูง H (°F)
	T <sub>o</sub>	=	อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก (°F)

หากปล่องมีความสูงมากขึ้น หรือมีความแตกต่างของอุณหภูมียิ่งมากยิ่งขึ้นจะทำให้เกิดการระบายอากาศดีขึ้น การเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดมีส่วนช่วยในการเพิ่มอิทธิพลต่อการระบายอากาศ มีการสรุปเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่ช่องเปิดและความสูงของปล่องดังแผนภูมิ

แผนภูมิที่ 2-16 อัตราการระบายอากาศตามธรรมชาติแบบ stack effect (MEEB, 1999:128)



การใช้ปล่องระบายอากาศสามารถเกิดปรากฏการณ์การระบายอากาศจากด้านล่างขึ้นบน หรือเป็นปล่องดูดกลับ คือ การเคลื่อนที่จากด้านบนสู่ด้านล่าง เมื่อมีการวางช่องเปิดด้านบนไปในทิศทางที่ความดันอากาศเป็นบวก หรือด้านหน้าลม (windward side) ในระดับความสูงที่แตกต่างกัน จะเกิดความแตกต่างของความกดอากาศ แต่จะมีระดับที่เป็นกลางคือ pressure เท่ากับศูนย์ (ASRAE/1989 C.23) ในกรณีที่เกิดการระบายอากาศทั่วไปรวมกับการระบายอากาศโดยปล่องร่วมกัน จะต้องรวมโดยสูตร

$$Q_{ws} = \sqrt{Q_w^2 + Q_s^2} \quad (\text{สมการที่ 2-26})$$

เมื่อ  $Q_{ws}$  = อัตราการระบายอากาศของลมและปล่อง ( $m^3/s$ )

$Q_w$  = อัตราการระบายอากาศของลม ( $m^3/s$ )

$Q_s$  = อัตราการระบายอากาศของปล่อง ( $m^3/s$ )

3.2 วิธีการประมาณอัตราการระบายอากาศแบบ stack effect ของ Victor Olgyay, *Design with climate*, 1992: 112 มีดังนี้

$$Q = KA\sqrt{H(T_i - T_o)} \quad (\text{สมการที่ 2-27})$$

เมื่อ  $Q$  = อัตราการไหลของอากาศ (cu.ft/h)

$K$  = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับสัดส่วนช่องลมเข้าและออก

$A$  = พื้นที่ช่องลมเข้า ( $ft^2$ )

$H$  = ความสูงของช่องลมออกเมื่อเทียบกับช่องลมเข้า (ft)

$T_i$  = อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน ณ ความสูง  $H$  ( $^{\circ}F$ )

$T_o$  = อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก ( $^{\circ}F$ )

ตารางที่ 2-22 ค่าคงที่ K เปลี่ยนตามอัตราส่วนของช่องเปิดที่เปลี่ยนไป (Olgyay, 1992: 112)

ช่องลมออก/ช่องลมเข้า	5	4	3	2	1	¾	½	¼
K	745	740	720	680	540	455	340	185

ค่าคงที่ K จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของช่องลมเข้าและออก เช่นเดียวกับค่า K ของการไหลเวียนอากาศเนื่องจากแรงลม โดยค่า K จะยิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดช่องลมออกยิ่งเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่อขนาดช่องลมออกยิ่งลดลง ดังตารางที่ 2-27 ดังนั้นหากต้องการเพิ่มอัตราการไหลเวียนอากาศควรจะต้องเพิ่มขนาดของช่องลมออกของอาคาร

3.2 วิธีการประมาณอัตราการระบายอากาศแบบ stack effect สำหรับการไหลของลมในปล่อง โดยอาศัยความร้อนและแรงลอยตัวของอากาศ โดยพิจารณาความหน่วงในการปรับความผิดปกติที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหล (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541: 117)

$$V = 481.2 \Theta A \sqrt{\frac{L(T_2 - T_1)}{T_1}} \quad (\text{สมการที่ 2-28})$$

- เมื่อ
- V = อัตราการไหลของอากาศ (cu.ft/h)
  - $\Theta$  = อัตราส่วนการไหลโดยมีความผิดปกติของปล่องและการสูญเสียอื่น ๆ = 0.3-0.5
  - A = พื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง (ft<sup>2</sup>)
  - L = ความสูงจากทางเข้าของอากาศถึงระดับปากปล่อง (ft)
  - T<sub>1</sub> = อุณหภูมิอากาศภายนอกที่ปากทางเข้า (°F)
  - T<sub>2</sub> = อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน (°F)

#### 4. การระบายอากาศด้วยการแทรกซึมของรอยรั่วอาคาร (Infiltration)

การประมาณอัตราการแทรกซึมของอากาศตามธรรมชาติ (Natural infiltration by approximation) เหมาะสำหรับอาคารพักอาศัยและอาคารพาณิชย์ขนาดเล็กที่ไม่มีแหล่งความร้อนสำคัญในอาคาร โดยใช้วิธีการคำนวณเพื่อประมาณอัตราการระบายอากาศ 2 วิธี คือ

4.1 The Air Change Method เป็นวิธีคำนวณที่รวดเร็ว เหมาะสำหรับการออกแบบอาคารขั้นต้น แต่ผลลัพธ์ที่ได้มักมีค่าสูงเกินความเป็นจริง พิจารณาค่าตามตาราง 2-28

$$V = \frac{(ACH)(\text{room volume})}{60 \text{ min/h}} \quad (\text{สมการที่ 2-29})$$

- เมื่อ
- V = อัตราการระบายอากาศ (cfm)
  - ACH = ปริมาตรการระบายอากาศในอัตราส่วนเทียบกับปริมาตรห้องใน 1 ชั่วโมง
  - Room volume = ปริมาตรห้อง ความกว้าง x ความยาว x ความสูง ของห้อง (เมตร)



ตารางที่ 2-23 อัตราการรั่วซึมอากาศโดยรวมจากการประมาณสำหรับอาคารขนาดเล็ก (MEEB, 1999:179)

### Estimated Overall Infiltration Rates for Small Buildings

#### Part A. Construction Types

Construction Type	Description
Tight	New buildings where there is close supervision of workmanship and special precautions are taken to prevent infiltration. Descriptions for tight windows and doors are given in Table 4.27.
Medium	Building is constructed using conventional construction procedures. Medium-fitting windows and doors are described in Table 4.27.
Loose	Buildings constructed with poor workmanship or older buildings where joints have separated. Loose windows and doors are described in Table 4.27.

#### Part B. Design Infiltration Rate (ACH) for Winter; Heating; Wind Speed = 15 mph

Type of Construction	Winter Outdoor Design Temperature (F)									
	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40
Tight	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0
Medium	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4
Loose	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9

#### Part C. Design Infiltration Rate (ACH) for Summer; Cooling; Wind Speed = 7.5 mph

Type of Construction	Summer Outdoor Design Temperature (F)					
	85	90	95	100	105	110
Tight	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
Medium	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
Loose	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8

#### Part D. Infiltration per Square Foot of Floor Area

Ceiling Height (ft)	Air Changes per Hour																			
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0		
	<i>cfm/ft<sup>2</sup></i>																			
7.5	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21	0.23	0.24	0.25		
8	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.23	0.24	0.26	0.27		
8.5	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	0.23	0.24	0.26	0.27	0.28		
9	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.18	0.20	0.21	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29	0.30		
	<i>Btu/h ft<sup>2</sup> F</i>																			
7.5	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.16	0.18	0.20	0.20	0.22	0.23	0.24	0.26	0.27		
8	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.22	0.22	0.23	0.24	0.26	0.27	0.29		
8.5	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.18	0.20	0.23	0.23	0.24	0.26	0.28	0.29	0.30		
9	0.05	0.06	0.08	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.24	0.24	0.26	0.28	0.29	0.31	0.32		

Source: Copyright © American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA. Reprinted by permission from *Cooling and Heating Load Calculation Manual*, 1979.

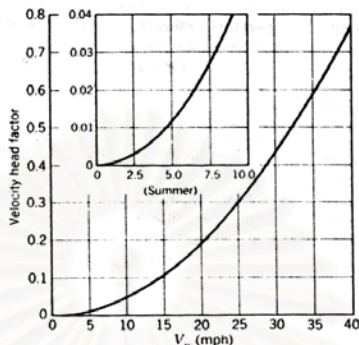
4.2 The Crack Method เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการคำนวณนานกว่า และต้องอาศัยข้อมูลรายละเอียดในการก่อสร้างของประตู หน้าต่างและช่องเปิดอื่น ๆ รวมถึงต้องมีข้อมูลความเร็วลม ณ ระดับความสูงที่พิจารณา โดยคำนวณในสภาพห้องปิดในช่วงเวลาวิกฤตของวัน (worst-hour conditions) ซึ่งประมาณอัตราการแทรกซึมอากาศตามธรรมชาติ จากความยาวของรอยรั่วส่วนต่าง ๆ ของอาคารแบ่งตามลักษณะทางสถาปัตยกรรม ตามที่กำหนดดังตาราง

แผนภูมิที่ 2-17 อัตราการรั่วซึมอากาศบริเวณประตูและหน้าต่างสำหรับอาคารขนาดเล็ก

**Approximate Infiltration Through Doors and Windows of Small Buildings**

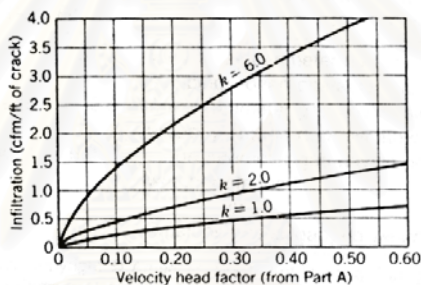
**Part A. Converting Wind Speed to Velocity Head Factor**

NOTE: Typical design assumptions:  
 Winter wind  $V_w = 15$  mph = velocity head factor of 0.105  
 Summer wind  $V_w = 7.5$  mph = velocity head factor of 0.028



**Part B. Infiltration Rates for Velocity Head Factors**

NOTE: Enter this graph with velocity head factor (from Part A) to find infiltration rate in cfm/ft of crack (using values of  $k$  found in Part C or D).



**Part C. Classifications of Windows for Infiltration**

Window Fit	Wood Double-Hung (Locked)	Other Types
Tight, $k = 1.0$	Weather-stripped; average gap ( $\frac{1}{64}$ -in. crack)	Wood casement and awning windows; weather-stripped.  Metal casement windows; weather-stripped.
Average, $k = 2.0$	Nonweather-stripped; average gap ( $\frac{1}{64}$ -in. crack) or weather-stripped; large gap ( $\frac{3}{32}$ -in. crack)	All types of vertical and horizontal sliding windows; weather-stripped. If average gap ( $\frac{1}{64}$ -in. crack), this could be tight-fitting window.  Metal casement windows; non-weather-stripped. If large gap ( $\frac{3}{32}$ -in. crack), this could be a loose-fitting window.
Loose, $k = 6.0$	Non-weather-stripped; large gap ( $\frac{3}{32}$ -in. crack)	Vertical and horizontal sliding windows; non-weather-stripped.

**Part D. Classification of Residential-type Doors for Infiltration**

Door: Fit	Comments
Tight, $k = 1.0$	Very small perimeter gap and perfect fit weather-stripping—often characteristic of new doors
Average, $k = 2.0$	Small perimeter gap having stop trim fitting properly around door; weather-stripped
Loose, $k = 6.0$	Large perimeter gap having poor fitting stop trim; weather-stripped or Small perimeter gap; no weather-stripping

Source: Copyright © American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA. Reprinted by permission from *Cooling and Heating Load Calculation Manual*, 1979.

ตารางจะแสดงปริมาณอัตราการระบายอากาศเป็น cfm ต่อความยาวรอยร้าว 1 ฟุต เฉพาะในด้านลมเข้า (windward side) และแปลงเป็นหน่วย SI ด้วยสูตร

$$Q = \text{cfm}(0.4719)(l) \quad (\text{สมการที่ 2-30})$$

เมื่อ  $Q$  = อัตราการระบายอากาศ (L/S) (0.001)(3600) ( $\text{m}^3/\text{hr}$ )  
 $\text{cfm}$  = ค่ามาตรฐานตามตารางของ อัตราการระบายอากาศต่อความยาว 1 ฟุต  
 $0.4719 (\text{cfm}) = \text{L/s}$   
 $l$  = ความยาวรอยร้าว (crack length) (ft)

ปัจจุบันการวัดปริมาณอากาศรั่วด้วยเครื่องมือวัด และวิธีการคำนวณการแลกเปลี่ยนอากาศภายนอก โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลอง ซึ่งอธิบายไว้ใน ASHRAE 1989, Handbook of fundamentals (บทที่ 23) บ่อยครั้งที่ผู้ออกแบบตั้งใจจะระบายความร้อนจากอากาศภายนอกที่เย็นกว่า ตามแนวทางการปรับเย็นตามธรรมชาติ (passive cooling situations) โดยการเปิดอาคารในบริเวณที่อากาศภายนอกใกล้เคียงกับความต้องการ

#### 5. การระบายอากาศโดยการบังคับให้เกิด (forced ventilation)

โดยการใช้พัดลมระบายอากาศแบบต่าง ๆ ช่วยให้มีการแลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอกในปริมาณที่ต้องการ ประสิทธิภาพการระบายอากาศขึ้นอยู่กับขนาดและประเภทของพัดลม ตามที่ผลิตจากโรงงาน สามารถควบคุมให้เป็นทั้งการดูดอากาศเก่าออกจากห้อง และการดึงอากาศใหม่จากภายนอก เข้ามาในห้องหรือผสมผสานกับอากาศที่หมุนเวียนภายในอาคารซึ่งส่งผลให้ความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกที่เข้ามาใหม่กลมกลืนกับอุณหภูมิเดิมไม่เป็นที่สังเกตนัก การพิจารณาขนาดพัดลมจะขึ้นอยู่กับอัตราการระบายอากาศที่ต้องการตามสมการ

$$Q = (\text{cfm outdoor air person})(\text{number of people}) \quad (\text{สมการที่ 2-31})$$

หรือ  $Q = (\text{cfm} / \text{ft}^2 \text{ floor area})(\text{ft}^2 \text{ floor area}) \quad (\text{สมการที่ 2-32})$

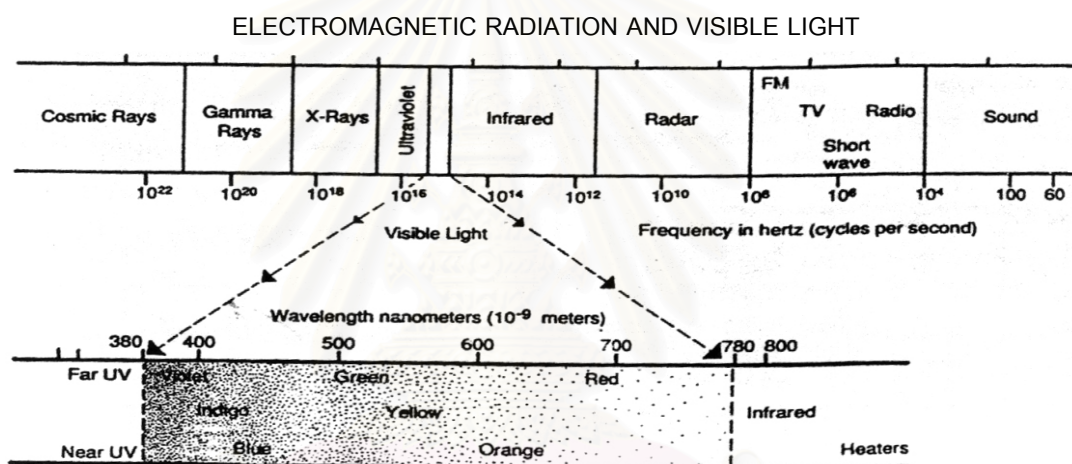
เมื่อ  $Q$  = อัตราการระบายอากาศที่ต้องการ  
 $\text{cfm}$  = ความต้องการการระบายอากาศต่อคน  
 $\text{number of people}$  = จำนวนผู้ใช้อาคาร

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับแสงสว่าง

### 2.5.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับแสงสว่าง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง เช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่น ๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ แสงไม่มีมวลสาร (mass) แต่สามารถเคลื่อนที่ได้ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับคลื่นวิทยุ มีความถี่และความยาวคลื่นเฉพาะตัว และเป็นตัวกำหนดชนิดของพลังงานแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380-760 นาโนเมตร (nanometers,  $\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ) ประกอบด้วยสเปกตรัม (spectrum) ของสีหลายสีที่เกิดจากความถี่และความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน พลังงานในช่วงดังกล่าวนี้ช่วยในการมองเห็น (visible spectrum) สีม่วงเป็นสีที่มีความยาวคลื่นสั้นที่สุด และสีแดงเป็นสีที่มีความยาวคลื่นยาวที่สุด ช่วงความยาวคลื่นที่ยาวกว่าสีแดง คือ รังสีอินฟราเรด (IR) และคลื่นที่สั้นกว่าสีม่วง คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) รังสีเอ็กซ์ (X-ray) และรังสีแกมมา



ภาพที่ 2-17 แสดงความถี่ และความยาวคลื่นของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ Visible light

(Cayless, M.A.; Marsden, A.M. and Arnold, E., 1983)

แสงธรรมชาติจะให้ช่วงคลื่นกว้างที่สุด (มีทุกคลื่นสี) กล่าวคือ วัตถุต่าง ๆ ภายใต้แสงสว่างธรรมชาติจะให้สีที่ถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด เมื่อเทียบกับแสงประดิษฐ์ นอกจากนี้แสงธรรมชาติมีประสิทธิภาพของแสง (efficacy) มากกว่าแสงที่เกิดจากแสงประดิษฐ์ในคุณภาพที่ใกล้เคียงกัน

แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติที่สำคัญที่สุดคือ ดวงอาทิตย์ เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านอนุภาคของชั้นบรรยากาศของโลก จะเกิดการหักเห และสะท้อนก่อนที่จะส่องลงมาบนพื้นผิวโลก และเมื่อแสงกระทบกับพื้นผิวหรือวัตถุใดๆ แสงจะแสดงพฤติกรรมหลัก 3 ประการ คือ การดูดกลืน (absorption) การสะท้อน (reflection) และการส่องผ่าน (transmission) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ และพื้นผิวของวัสดุแต่ละชนิด จึงอาจพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แหล่งกำเนิดแสงทางตรง (direct light) ได้แก่ แสงแดด (sunlight) และแสงที่เกิดจากการส่องกระทบกับอนุภาคในชั้นบรรยากาศของโลกทำให้เกิดการสะท้อน และการหักเห แสงที่ได้จึงมีลักษณะกระจายทั่วพื้นที่ท้องฟ้า (diffuse skylight)

2. แหล่งกำเนิดแสงทางอ้อม (indirect light source) ได้แก่ แสงที่เกิดจากการสะท้อนหรือการส่องผ่านวัตถุใดๆ เมื่อวัตถุนั้นๆ แสดงตัวเป็นเสมือนแหล่งกำเนิดแสงที่สอง (secondary light source) ที่อาจจะมึลักษณะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติในการสะท้อน หรือการยอมให้แสงผ่าน และลักษณะของพื้นผิววัตถุที่แสงตรงกระทบด้วย

### 2.5.2 พฤติกรรมของแสง

การแสดงพฤติกรรมของแสงนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางที่แสงเดินทางมากระทบ โดยอาจจำแนกพฤติกรรมของแสงได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

#### 1. การดูดกลืน (absorption)

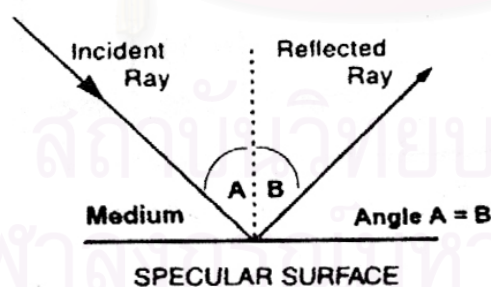
เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลาง (medium) และเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงาน เช่น การฉายแสงขาวลงบนผนังสีแดง แสงสีอื่น ๆ จะถูกดูดกลืนหายเข้าไปในกำแพง ยกเว้นสีแดงเท่านั้นที่สะท้อนออกมาสู่ดวงตา เราจึงเห็นผนังสีแดง และเมื่อพลังงานแสงถูกดูดกลืนเข้าไปในวัตถุใด ๆ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปเป็นพลังงานความร้อน

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของวัสดุ (absorptance,  $\alpha$ ) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนผ่านพื้นผิวเข้าไปในวัตถุต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิววัตถุนั้น ๆ หรือ ความส่องสว่างที่ถูกดูดกลืนผ่านพื้นผิวเข้าไปในวัตถุต่อความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุนั้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 หรืออาจเทียบเป็น%ก็ได้

#### 2. การสะท้อน (reflection)

เป็นพฤติกรรมของแสงที่ตกกระทบบนตัวกลาง แล้วสะท้อนออกเมื่อความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนไป ลักษณะของการสะท้อนอาจแบ่งได้เป็น

2.1 การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (specular reflection) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่เป็นวัตถุทึบแสง (opaque material) มีลักษณะเป็นผิวเรียบขัดมัน (polished surface) การสะท้อนจะมีมุมของแสงที่ตกกระทบ (angle of incident) เท่ากับมุมของแสงที่สะท้อน (angle of reflection)

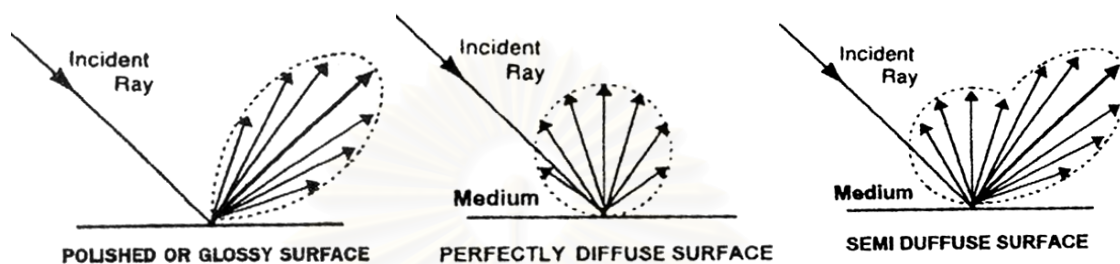


ภาพที่ 2-18 การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา

2.2 การสะท้อนแบบกระจาย (diffuse reflection) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนตัวกลางที่มีผิวหยาบ แสงที่สะท้อนออกมาจะถูกสะท้อนออกไปในหลาย ๆ ทิศทาง ซึ่งส่วนมากมุมของแสงสะท้อนที่กระจายออกไปนั้นจะไม่เท่ากับมุมแสงที่ตกกระทบ หากผิววัตถุมีลักษณะหยาบอย่างสมบูรณ์ คือ หยาบทั่วกันทั้งพื้นผิว (perfectly diffuse surface) แสงสะท้อนที่ได้มีลักษณะเป็นการกระจายแสงแบบสมบูรณ์ (perfectly diffuse reflection) เป็นการสะท้อนแสงที่ให้ความสว่างเท่า ๆ กัน ในทุกมุมสะท้อนแต่ถ้าหากผิววัตถุไม่เรียบอย่างสม่ำเสมอ (semi diffuse reflection) แสงสะท้อนที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นการสะท้อนแบบกระจาย (semi diffuse reflection)

reflection) แสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุมักจะมีลักษณะผสมผสานกัน ระหว่างการสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา และการสะท้อนแบบกระจาย

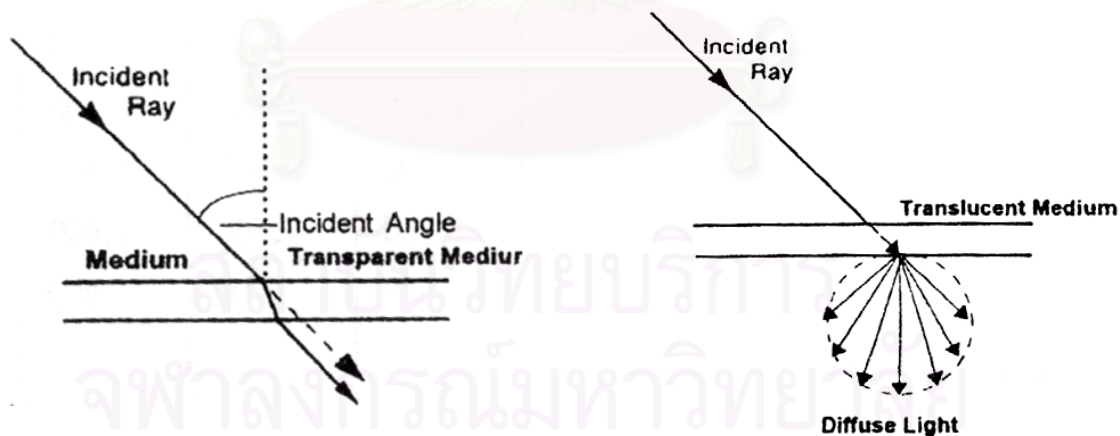
สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุ (Reflectance,  $\rho$ ) อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่สะท้อนจากพื้นผิววัตถุ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิววัตถุนั้น ๆ หรือ ความส่องสว่างที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่อความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุนั้นโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 หรือ อาจเทียบเป็น%ก็ได้



ภาพที่ 2-19 การสะท้อนแสงแบบกระจายลักษณะต่าง ๆ

3) การส่องผ่าน (transmission) เกิดขึ้นเมื่อแสงตกกระทบบนด้านหนึ่งของตัวกลาง (medium) แล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งหากไม่พิจารณาคุณสมบัติหรือลักษณะของตัวกลางที่แสงผ่านแล้วมุมของแสงที่ตกกระทบบจะเท่ากับมุมของแสงที่ทะลุผ่าน และแสงที่ผ่านออกมาจะมีปริมาณของแสงคงเดิม

สัมประสิทธิ์การส่องผ่านแสงของวัสดุ (Transmittance,  $\tau$ ) อัตราส่วนระหว่างปริมาณแสงที่ส่องทะลุผ่านพื้นผิววัสดุ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นผิววัตถุนั้น ๆ หรือ ความส่องสว่างที่ทะลุผ่านวัตถุออกมา ต่อ ความส่องสว่างที่ตกกระทบวัตถุนั้นโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 หรืออาจเทียบเป็น%ก็ได้



ภาพที่ 2-20 แสงตกกระทบบนตัวกลางเกิดการหักเหแล้วทะลุผ่าน

ภาพที่ 2-21 แสงตกกระทบบนตัวกลางแล้วทะลุผ่านแบบกระจาย

ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\text{Absorbance} + \text{Reflectance} + \text{Transmittance} = 1$$

(สมการที่ 2-33)

### 2.5.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการส่องสว่าง

เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดตกกระทบบนวัตถุหรือพื้นใด ๆ เป็นผลให้แสงสว่างส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตา ทำให้เกิดการมองเห็น ปริมาณแสงที่ตกกระทบบนวัตถุหรือพื้นที่นั้น ๆ เรียกว่า “การส่องสว่าง” หรือ “ความสว่าง” (illumination) ซึ่งมีนิยามที่เกี่ยวกับการส่องสว่าง ดังนี้

**ปริมาณแสง (luminous flux,  $\Phi$ )** คือ แสงทั้งหมดที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิด หรือตกลงบนพื้นที่รับแสง หรืออาจเปรียบเทียบกับได้ว่าเป็นอัตราการไหล (rate of flow) ของพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของกำลังไฟฟ้า (power) มีหน่วยเป็น วัตต์ (watt, W) แต่สำหรับแสงสว่างจะวัดค่าเป็นปริมาณแสง (luminous flux) มีหน่วยเป็น ลูเมน (lumen, lm) ตัวอย่างเช่น เทียน 1 เล่ม ให้แสง 12.57 ลูเมน/ หลอดไส้ 100 วัตต์ ให้แสง 1,360 ลูเมน/ หลอดเรสเซนส์ 36 วัตต์ ให้แสง 2,500 ลูเมน

**ความส่องสว่าง (illuminance,  $E$ )** เมื่อมีปริมาณแสง ( $\Phi$ ) ตกกระทบบน 1 หน่วยพื้นที่ใด ๆ ( $A$ ) จะได้ความส่องสว่าง ( $E$ ) มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lumen per unit area)

$$E = \Phi/A \quad (\text{สมการที่ 2-34})$$

หากพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นจุด (point source) ในทรงกลม เมื่อทรงกลมนี้อัตราคือ 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมน ที่พุ่งไปตกลงบนพื้นที่หนึ่งตารางฟุตของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต ( $\text{lm}/\text{ft}^2$ ) หรือ 1 ฟุตแคนเดิล เท่ากับ 10.76 ลักซ์

ตารางที่ 2-24 ประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ

(Reproduced from Moore, 1985, by permission)

Light Source	Efficacy
Sun (altitude = 7.5 deg)	90 lm/W
Sun (altitude > 25 deg)	117 lm/W
Sun (suggested mean)	100 lm/W
Sky (clear)	150 lm/W
Sky (average)	125 lm/W
Global (average)	115 lm/W
Incandescent (150 W)	16-40 lm/W
Fluorescent (40 W, CWX)	50-80 lm/W
HP Sodium	40-140 lm/W

**ความสว่าง (luminance,  $L$ )** เมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุแล้วเกิดการสะท้อนหรือส่องผ่านของแสงจากวัตถุเข้าสู่ตาทำให้มองเห็นวัตถุนั้นได้ เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ความสว่าง มีหน่วยเป็น แคนดาลาต่อตารางเมตร ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) หรือ ฟุตแลมเบิร์ต (Footlambert, FL)

**ความจ้า (brightness)** คือการตอบสนองทางด้านความคิด (subjective response) ต่อความสว่าง (luminance) ในพื้นที่ที่มองเห็น (field of view) ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของดวงตาของแต่ละบุคคล และเราจะรับรู้ความจ้าของพื้นผิวได้ก็ต่อเมื่อมีการเปรียบเทียบกับพื้นผิวข้างเคียงที่มีมืดหรือสว่างกว่า

**ความจ้าในจินตภาพ (apparent brightness)** ความจ้าในจินตภาพของพื้นผิวต่าง ๆ ถือได้ว่าเป็นภาพลวงตา ไม่ใช่ภาพที่ตาเห็นจริง ซึ่งที่จริงแล้วจินตภาพนั้นไม่ได้เกิดขึ้นเพราะความจ้าแต่อย่างใด หากแต่ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับสายตา (eye adaptation) และอีกส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวนั้น ๆ เข้าสู่สายตา

การคำนวณและการวัดปริมาณแสงที่ตกกระทบพื้นผิวต่าง ๆ เป็นพื้นฐานของการออกแบบ แสงสว่าง ทั้งนี้เป็นเพราะค่าความส่องสว่างได้จากการคำนวณที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และการวัดปริมาณแสงก็เพียงแต่ใช้เครื่องมือวัดเท่านั้น แต่สิ่งที่เป็นข้อจำกัดอยู่ก็คือ ระบบการมองเห็น (visual system) ที่เป็นการตอบสนองทางกายภาพ (physiologically response) ต่อการกระจายความสว่าง (luminance distribution) ในพื้นภาพที่มองเห็น (field of view) แต่ไม่ได้รับรู้ภาพที่เห็น (image) ด้วยวิธีนี้ ผู้ที่มองภาพอาจตีความภาพที่อยู่ในฉากที่เห็น (scene) ด้วยการแบ่งแยกความแตกต่างของสีผิว การสะท้อนของผิว และการส่องสว่าง เมื่อกระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ความจ้า (brightness) และความสม่ำเสมอของสี (colour constancy) ตัวอย่างเช่น เมื่อมีแสงส่องกระทบผนังสีน้ำตาลจากด้านหนึ่ง ส่งผลให้ความสว่างค่อย ๆ เปลี่ยนไปจากมากไปหาน้อยตลอดแนวผนังนั้น แต่เรายังคงเห็นผนังนั้นเป็นสีเดิมและมีค่าการสะท้อนเหมือนเดิม โดยเพียงแต่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับความส่องสว่างดังที่กล่าวมาแล้ว แต่หากไม่มีคุณสมบัติของความสม่ำเสมอ (constancy) แล้วสีของผนังอาจดูเปลี่ยนไปก็ได้ สำหรับความสว่าง (luminance) ขึ้นอยู่กับความส่องสว่าง (illuminance) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้นผิว ทั้งสองค่านี้เป็นปริมาณที่สามารถวัดได้ (objective quantity) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับการสนองตอบทางด้านความคิด (subjective response) ที่มีผลต่อความจ้า ซึ่งเป็นสิ่งที่ทั้งตา และสมองร่วมกันสร้างภาพให้เราได้รับรู้ อย่างไรก็ตามความสว่างยังเป็นคุณลักษณะด้านกายภาพสำคัญที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับความจ้าในจินตภาพที่เรามองเห็น

**ความเปรียบต่าง (contrast)** คือ ความสว่าง (luminance) ของวัตถุที่ต้องการมองเทียบกับความสว่างรอบข้าง เช่น วัตถุสีขาววางบนพื้นสีดำจะมองเห็นได้ง่ายกว่าวัตถุสีดำวางบนพื้นสีดำ ค่าความเปรียบต่างหาได้จากอัตราส่วนของความแตกต่างของความสว่าง (Contrast Ratio) ระหว่างวัตถุที่พิจารณา หรือ target ( $L_t$ ) กับความสว่างของสภาพแวดล้อม หรือ background ( $L_b$ ) ดังสมการ

$$\text{Contrast Ratio} = \left| \frac{L_t - L_b}{L_b} \right| \quad (\text{สมการที่ 2-35})$$

เมื่อมีความเปรียบต่างมากจะทำให้มองเห็นวัตถุได้ง่าย แต่ถ้ามากเกินไป อาจจะทำให้สายตาตา

**แสงบาดตา (Glare)** หมายถึง แสงที่เข้าตาแล้วทำให้มองเห็นวัตถุได้ยากจนบางครั้งอาจถึงกับมองไม่เห็นหรือทำให้เกิดความไม่สบายตา ความมากน้อยของความรู้สึกนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ขนาด ตำแหน่ง และจำนวนของแหล่งกำเนิดแสง รวมทั้งความสามารถในการปรับสายตาต่อความจ้าที่เกิดขึ้น

แสงบาดตา อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ แสงบาดตาแบบที่ทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้ (disability glare) เกิดจากการที่มีแสงเข้าตามากจนไม่สามารถมองเห็นวัตถุได้ เช่น แสงจากไฟหน้ารถที่วิ่งสวนมาในที่มีเวลากลางคืนอาจทำให้เกิดการสูญเสียความสามารถในการมองเห็นไปชั่วขณะหนึ่ง และแสงบาดตาแบบที่ทำให้เกิดความไม่สบายตา (discomfort glare) ที่เรายังมองเห็นวัตถุแต่เป็นไปได้อย่างยากลำบาก เช่น แสงสะท้อนจากหนังสือที่ใช้กระดาษผิวมันทำให้เห็นตัวหนังสือยาก



นอกจากนี้ยังอาจแบ่งการเกิดแสงบาดตาได้จากลักษณะของแหล่งกำเนิดแสงด้วย คือ แสงบาดตาจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง (direct glare) และแสงบาดตาจากแสงสะท้อน (reflected glare) ทั้งแสงบาดตาแบบที่ทำให้ไม่สามารถมองเห็นได้ และแบบที่ทำให้เกิดความไม่สบายตานั้น อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงโดยตรง และจากแสงสะท้อน

**คุณสมบัติของสีของแสง (light colour properties)** แหล่งกำเนิดแสงทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ มีคุณสมบัติ 2 ประการที่เกี่ยวข้องกับการกระจายแสงที่ออกมาจาก แหล่งกำเนิด (spectral power distribution) ประการแรกเป็นผลที่ได้จากแสงที่ส่องลงบนผิววัตถุ ซึ่งก็คือความถูกต้องของสี (colour rendering) และอีกประการหนึ่งคือ สีของแสงที่แหล่งกำเนิดปล่อยออกมาให้เราเห็นได้ (colour appearance) สีที่ปรากฏจากแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ที่เรียกได้ว่าเป็นแสงขาว สามารถบอกสีของหน่วยแสงนั้นได้ด้วยค่าของ correlated colour temperature (CCT) ในหน่วยเคลวิน (Kelvin, K) หลอดไฟหรือแหล่งกำเนิดแสงแต่ละชนิด จะมีค่า CCT เฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมีการแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ โดยสถาบัน Commission International de l'Eclairage (CIE) คือ

1. Warm	< 3300 K	
2. Intermediate	3300 K – 5300 K	แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ
Intermediate	3300 K – 4000 K	
Cool	4000 K – 5300 K	
3. Cold หรือ Daylight	> 5300 K	

สีของแสงจากหลอดไฟต่างชนิด ที่มีสีของแสงเหมือนกันอาจมีความถูกต้องของสีต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสเปกตรัมของแสงนั้น ๆ เมื่อสายตาจะไวต่อสีเหลือง (555 nm) มากที่สุดในเวลากลางวัน และไวต่อสีเขียว (507 nm) มากที่สุดในเวลากลางคืน

#### 2.5.4 สภาพท้องฟ้า (Sky Condition)

ค่าความสว่างและความจ้าของท้องฟ้า จากแสงธรรมชาติที่แปรเปลี่ยนตลอดเวลา เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งดวงอาทิตย์ ปริมาณเมฆ และอนุภาคในอากาศ เช่น ฝุ่น คิวบ์ หรือ ไอน้ำ เมื่อพิจารณาการแบ่งประเภทของท้องฟ้า โดยทั่วไปจะพิจารณาจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า ซึ่งมีดัชนีของปริมาณเมฆในท้องฟ้าตั้งแต่ 0 ถึง 10 ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีค่าความผิดพลาดสูง

การแบ่งประเภทของท้องฟ้า จะมีวิธีการที่ใช้ในการแบ่งประเภทของท้องฟ้าหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ คือ การแบ่งประเภทของท้องฟ้าจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้า การแบ่งสภาพท้องฟ้าของ IESNA (Daylighting for Building in the Tropic 3, 1999: 15) ดังนี้

1. สภาพท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆคลุม (clear sky) เมฆปกคลุมท้องฟ้า 0.0-0.3
2. สภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมบางส่วน (party cloudy sky) เมฆปกคลุมท้องฟ้า 0.4-0.7
3. สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆ จนไม่สามารถเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้ (overcast sky) เมฆปกคลุมท้องฟ้า 0.8-1.0

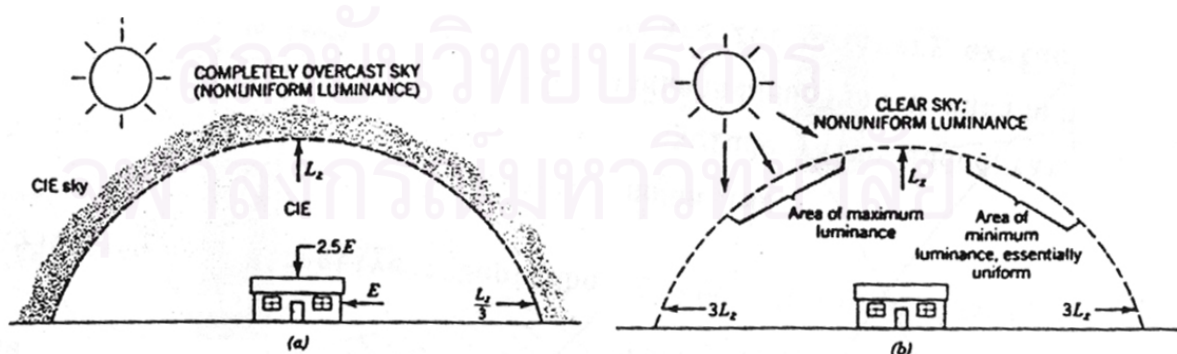
1. สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม (clear sky) ความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้เกิดจาก 2 ส่วน คือ แสงกระจายจากท้องฟ้า (diffuse illumination) และแสงจากดวงอาทิตย์ (direct sun) ซึ่งปริมาณความสว่างขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (solar altitude) เป็นหลัก โดยมีความสว่างของท้องฟ้าในปริมาณที่แตกต่างกัน ความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าน้อยกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งประมาณ 3 เท่า หากไม่พิจารณาถึงมุมที่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์

ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวระนาบ เนื่องจากแสงกระจายของท้องฟ้า หากพิจารณาเพียงครึ่งส่วนของท้องฟ้า (half sky) จะมีค่าความส่องสว่างอยู่ระหว่าง 3,000-20,000 lux และมีค่าเฉลี่ย 10,000 lux

ความส่องสว่างของพื้นผิวในแนวตั้ง ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ มุม azimuth ของดวงอาทิตย์และ altitude หรือมุม bearing ของดวงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอของท้องฟ้าลักษณะนี้ มีความสว่างสูงในทิศทางที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ และลดต่ำลงเมื่ออยู่ห่างหรืออยู่ด้านตรงข้ามของดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามหากมุม bearing มีค่ามากกว่า 90 องศา (ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งหลังช่องเปิด) จะต้องพิจารณาถึง วัตถุ หรือพื้นผิวใด ๆ ที่อาจทำให้เกิดการสะท้อนของแสงสู่ช่องเปิดนั้นด้วย

2. สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (partly cloudy sky) การหาค่าความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้ทำได้ยาก เนื่องจากการแปรเปลี่ยนของเมฆตลอดเวลา หากเมฆที่ปกคลุมมีลักษณะเบาบาง ไม่หนาทึบ (น้อย) ค่าความสว่างจากท้องฟ้านี้มีค่าความสว่างที่ได้จากท้องฟ้าแบบโปร่ง 10%-15% จากการสะท้อนแสงของเมฆ

3. สภาพท้องฟ้าที่เมฆปกคลุมจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงหรือดวงอาทิตย์ได้ (overcast sky หรือ CIE sky) กรณีความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้ มีความสว่างในปริมาณที่แตกต่างกัน (non uniform brightness) ซึ่งความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบมีค่ามากกว่าความสว่างในแนวระนาบที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้งถึง 3 เท่า มีผลทำให้พื้นผิวในแนวระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง กรณีความสว่างของท้องฟ้า ลักษณะมีความสว่างในปริมาณที่สม่ำเสมอ (uniform brightness) ซึ่งมีความสว่างในระดับสูงสุดที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวระนาบ มีค่าเท่ากับความสว่างในแนวระนาบ ที่ส่องกระทบพื้นผิวในแนวตั้ง แต่ก็มีผลทำให้พื้นผิวในแนวระนาบมีความสว่างมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง



ภาพที่ 2-22 ท้องฟ้าแบบ (A) OVERCAST SKY (B) CLEAR SKY  
(Mechanical and Electrical Equipment for Building, 1992: 974)

การให้ความสว่างแก่อาคารโดยใช้แสงธรรมชาติ

การพิจารณาระดับความสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติ สามารถพิจารณาได้ 2 แนวทาง คือ

1. การพิจารณาปริมาณค่าความส่องสว่างรวม (Absolute Illuminance) เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างภายในอาคารในตำแหน่งต่าง ๆ ของพื้นที่ในความสูงที่กำหนดจากระดับพื้นห้องนั้น โดยวัดค่าความส่องสว่างออกเป็นปริมาณแสงต่อหน่วยพื้นที่ (มีหน่วยเป็นฟุตแคนเดิล หรือ ลักซ์) ซึ่งค่าความสว่างภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับ เวลา ทิศทางการเปิดช่องแสงสภาพท้องฟ้า

2. การพิจารณาอัตราส่วนของระดับความส่องสว่างภายในต่อภายนอกอาคาร (Relative Illuminance) เป็นการพิจารณาอัตราส่วนของระดับความส่องสว่างภายในอาคาร สภาพท้องฟ้าแบบเมฆปกคลุมจนไม่เห็นแหล่งกำเนิดแสง (overcast sky) ค่าที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ทิศทางการเปิดช่องแสง

### 2.5.5 วิธีการวิเคราะห์การให้แสงสว่างภายในอาคารจากแสงธรรมชาติ

การพิจารณาค่าความส่องสว่างรวม เป็นการพิจารณาระดับความส่องสว่างภายใน โดยวัดค่าเป็นปริมาณแสงต่อหน่วยพื้นที่ หน่วยเป็นฟุตแคนเดิล หรือลักซ์ วิธีการวิเคราะห์การให้แสงสว่างโดยทั่วไปมี 3 วิธี คือ

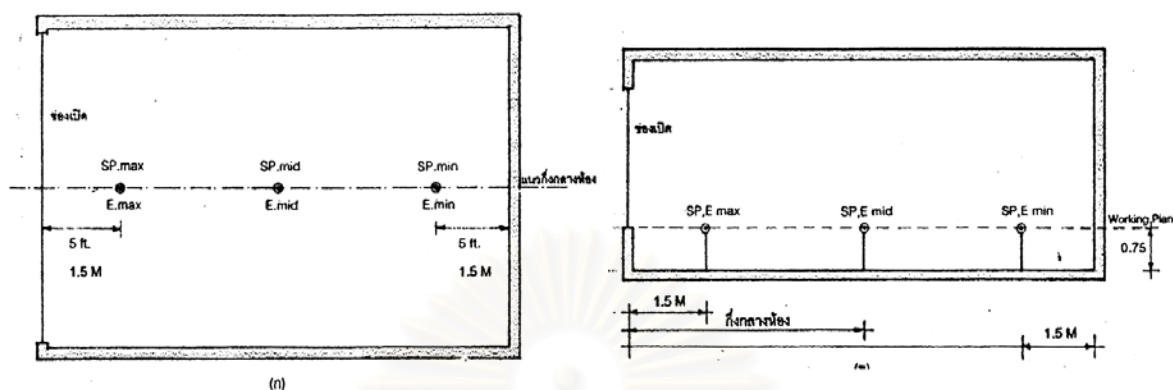
1. Lumen Method
2. Daylight Factor Method
3. Flux Transfer Method

ในงานวิจัยนี้จะเสนอเพียง Lumen Method และ Daylight Factor Method ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. Lumen Method เป็นการพิจารณาค่าความส่องสว่างรวมที่ตกกระทบ ณ จุดใดจุดหนึ่งในระดับที่กำหนดภายในอาคาร จากปริมาณแสงจากภายนอกที่ส่องผ่านช่องเปิดหรือช่องแสงเข้ามาในขณะนั้นในบางครั้งอาจเรียกวิธีการนี้ว่า Lumen Input Method หรือ Total Flux Method การพิจารณามีความแตกต่างจากวิธีการ Daylight Factor Method ที่ เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในอาคารที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือ ห้องขนาดใหญ่ เช่น โรงงาน (Biesele, 1953) ซึ่งปริมาณของแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคาร และพื้นผิวภายในอาคารมีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติภายในอาคารน้อยมาก หมายถึง ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้าเป็นหลัก แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าห้องที่มีพื้นที่ขนาดเล็กจะใช้วิธี Daylight factor ไม่ได้ หากห้องที่พิจารณามีพื้นที่ขนาดเล็ก ปริมาณแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคาร เช่น พื้นดิน และแสงสะท้อนจากพื้นผิวภายใน เช่น ผนัง ฝ้าเพดานจะมีผลต่อปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในห้องนั้น ๆ จึงต้องพิจารณาโดยวิธี Lumen Method ซึ่งรวมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสงธรรมชาติเข้าไว้ด้วย

## ภาพที่ 2-23 การพิจารณาความส่องสว่างตามวิธี Lumen Method

(ก) ผังพื้นแสดงตำแหน่ง Sp , E (ข) รูปตัดแสดงตำแหน่ง Sp , E (ค.ม.กฤษ ชูเกียรติรัตน์. 2540: 31)



การพิจารณาโดยวิธี Lumen Method ถือว่าระดับของช่องเปิดที่อยู่ในระดับเท่ากันหรือสูงกว่าระดับ working plane เท่านั้นที่จะมีผลต่อปริมาณความส่องสว่างในระดับ working plane ส่วนช่องเปิดที่อยู่ระดับต่ำกว่าถือว่ามีส่วนน้อยมาก และความกว้างของช่องแสงถือว่ามีความกว้างเท่ากับความกว้างของห้องด้านที่มีช่องแสงนั้น ในการคำนวณแสงธรรมชาติโดยวิธี Lumen Method มีสมการมาตรฐานในการคำนวณ ดังนี้

$$E_{ap} = E_{ev} * A_g * T_g * CU \quad (\text{สมการที่ 2-36})$$

- เมื่อ
- $E_{sp}$  = ค่าระดับความส่องสว่างภายในที่จุดใด ๆ ที่พิจารณา
  - $E_{ev}$  = ค่าระดับความส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าหรือจากพื้นดินที่ตกกระทบพื้นผิวแนวตั้ง
  - $A_g$  = พื้นที่ส่วนของช่องเปิดที่แสงสามารถส่องผ่านเข้ามาได้
  - $T_g$  = ค่าการส่องผ่านของวัสดุของช่องเปิด
  - $CU$  = Coefficient of Utilization หรือค่าความสามารถในการนำแสงมาใช้

การพิจารณาค่า CU สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแสงที่ตกกระทบ ณ จุดใด ๆ ในห้อง ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบช่องเปิด ประกอบด้วยแสงจากท้องฟ้าและแสงสะท้อนของพื้นดินดังนั้นค่า CU จะถูกพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือ องค์ประกอบของขนาด รูปร่าง ค่าการสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของห้องในระดับระนาบที่สัมพันธ์กับค่าการสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย C และองค์ประกอบของความสูงของฝ้าเพดาน ความกว้างของห้อง ค่าสะท้อนแสงของผนัง เป็นการพิจารณาสัดส่วนของผนังที่สัมพันธ์กับค่าสะท้อนแสงของผนังแทนด้วย K

ส่วนค่าการส่องสว่างภายนอก  $E_{ev}$  จะพิจารณาเป็น 2 ส่วนเช่นเดียวกัน คือ ค่าการส่องสว่างภายนอกจากท้องฟ้าโดยมีทิศทางจากบนลงล่าง (downward) เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย  $E_{sv}$  และค่าการส่องสว่างภายนอกอันเนื่องมาจากแสงสะท้อนจากพื้นดินมีทิศทางจากล่างขึ้นบน เมื่อเทียบกับช่องเปิดแทนด้วย  $E_{gv}$

2. Daylight factor Method เป็นการพิจารณาปริมาณความส่องสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลักซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่มีผลสำคัญต่อแสงสว่าง และปริมาณความเข้มแสง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อพื้นที่เมตลละที่ (Altitude, Azimuth) ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามวัน และเวลาที่แตกต่างกัน องค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อแสงสว่างธรรมชาติโดยทั่วไปพิจารณาจาก 3 องค์ประกอบ คือ

1. องค์ประกอบจากท้องฟ้า Sky Component (SC) โดยสภาพของท้องฟ้าจะเห็นได้ในหลายสภาพ เช่น ท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ (clear sky) หรือที่ปกคลุมด้วยเมฆจนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ (complete overcast sky) เหล่านี้มีผลต่อปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น

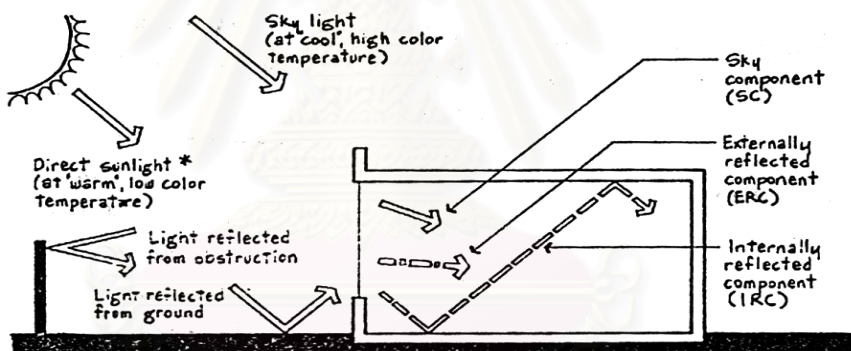
2. องค์ประกอบภายนอก Externally Reflected Component (ERC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคารภายนอกหรือบริเวณข้างเคียง แสงส่องผ่านเข้ามาสู่ตัวอาคารเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ซึ่งปริมาณแสงขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น ๆ

3. องค์ประกอบภายใน Internally Reflected Component (IRC) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรือ อาคารที่ตั้งอยู่ภายในอาคารโดยได้รับแสงจาก SC และ ERC และปริมาณแสงก็ขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น ๆ เช่นเดียวกับ ERC

การกำหนดค่า Daylight Factor (DF) ก็คือ สัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุด ๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร โดยไม่มีสิ่งกีดขวางและไม่โดนแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Excluded direct sun) ค่าที่ได้จะเป็นเปอร์เซ็นต์

$$DF. (%) = \frac{\text{ความสว่างภายใน} \times 100\%}{\text{ความสว่างภายนอก (ไม่รวมแสงแดดโดยตรง)}} \quad (\text{สมการที่ 2-37})$$

เช่น หาก DF. มีค่าเท่ากับ 10% หมายความว่า พื้นที่ภายในนั้น ๆ ได้รับปริมาณแสงเท่ากับ 10% ของปริมาณแสงภายนอกที่ได้รับภายใต้สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ



ภาพที่ 2-24 ปัจจัยของแสงธรรมชาติ (David M. EGAN, Concept in Architecture Lighting: 193)

แม้ว่าค่า DF จะไม่สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณของแสงที่แน่นอน แต่สามารถเป็นตัวชี้ได้ว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ หรือมีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ มีการกำหนดช่วงของค่า DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ เช่น

ตารางที่ 2-25 ค่า DF สำหรับพื้นที่ใช้งานต่าง ๆ

(Millet and Bedrick. 1980 cite in Mechanical and Electrical Equipment for Buildings: 197)

การใช้งาน	DF. (%)
ทางเดิน	0.6-2.0%
ห้องน้ำ, ห้องเก็บของ	0.5-1.5%
โถงทางเข้า	0.6-2.0%
การอ่านหนังสือ, การทำงานปกติในช่วงเวลาขณะหนึ่ง	1.5-2.5%
การอ่านหนังสือ หรือ การที่ต้องใช้สายตาในที่ ๆ หนึ่งในช่วงเวลานานพอสมควร หรือ การทำงานที่อาจจะต้องมีอุปสรรคบางอย่างเข้าช่วย ซึ่งไม่มีอันตรายมาก	2.5-4.0%
การทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง หรือ การใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่อาจต้องระมัดระวังเรื่องการเกิดอันตราย	4.0-8.0%

## 2.6 การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

การเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงอาคารให้มีสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยนั้น จำเป็นต้องศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นเพื่อประมาณการด้านความคุ้มค่าในการลงทุนของแนวทางการปรับปรุงอาคาร วิธีต่าง ๆ โดยพิจารณาจากมูลค่าสะสมของอาคารและระยะเวลาคืนทุน (payback period) ดังสมการต่อไปนี้

$$y = \frac{\ln [(r - d) \times c + 1]}{\frac{A}{\ln \frac{(1+r)}{(1+d)}}} \quad (\text{สมการที่ 2-38})$$

เมื่อ  $y$  = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)  
 $r$  = อัตราเงินเฟ้อ  
 $d$  = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ใช้พิจารณา  
 $c$  = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนปรับปรุงอาคาร  
 $A$  = ค่าใช้จ่ายที่ลดลงรายปี

การพิจารณาความเหมาะสมในการลงทุน พิจารณาจากงบประมาณตลอดอายุอาคารที่พิจารณา (LCC: life cycle cost)

$$\text{LCC} = \text{Inertial cost} + \text{Operate cost} \quad (\text{สมการที่ 2-39})$$

เมื่อ LCC = งบประมาณในการสร้างและใช้อาคาร ภายในระยะเวลาที่พิจารณา (บาท)  
 Inertial cost = เงินลงทุนขั้นต้น หรือ งบประมาณการก่อสร้าง (บาท)  
 Operate cost = งบประมาณการใช้อาคาร (บาท) ตลอดระยะเวลาที่พิจารณา โดยจะต้องแปลงค่าเงินที่ใช้ในอนาคตให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน (present worth: PW) ด้วยการคูณด้วยสัมประสิทธิ์ที่ตัวแปร เป็นค่าคงที่ตามตารางจากการกำหนดอายุอาคาร (life cycle) (ปี) และอัตราดอกเบี้ย (%)

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตึกแถวเป็นอาคารประเภทหนึ่งที่มีการศึกษาวิจัยมากพอสมควร (รายงานวิจัยสถานภาพผลงานทาง วิชาสถาปัตยกรรมในประเทศไทย.2536: 1-135) เนื่องจากเป็นอาคารประเภทหนึ่งที่สามารถสนองประโยชน์ใช้สอยได้หลากหลาย มีวิวัฒนาการที่น่าสนใจตั้งแต่อดีต ขณะเดียวกันก็เป็นอาคารที่เป็น ปัญหาและก่อให้เกิดปัญหาในด้านต่าง ๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เช่น ผลกระทบทางด้านสภาวะแวดล้อม ด้านสุขอนามัย ด้านสังคมเศรษฐกิจ และการผังเมือง เป็นต้นโดยได้มีการรวบรวมประเด็นที่น่าสนใจ เกี่ยวกับตึกแถวไว้เป็นเอกสารสรุปงานสัมมนาวิชาการเรื่อง “ปัญหาตึกแถว” ซึ่งจัดโดยคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 13-14 ตุลาคม พ.ศ. 2523 โดยมีสาระสำคัญมุ่งไปที่วิวัฒนาการ และปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นผลกระทบจากอาคารตึกแถว ซึ่งเสนอแนวความคิดทั้งปัญหา และแนวความคิด ในการแก้ไขปรับปรุงตึกแถวในระดับจุลภาค และมหภาค

มีการศึกษาเกี่ยวกับตึกแถวที่ปรากฏในงานวิทยานิพนธ์หลายฉบับที่มีประเด็นคล้ายคลึงกัน ดังนี้

ความเข้าใจบางประการ จากการศึกษาสถาปัตยกรรม “ห้องแถว” (สันติ ชันทวิลาสงวงศ์, 2520)

ซึ่งได้ศึกษาความหมาย และประวัติความเป็นมาของอาคารประเภทห้องแถวของไทยในยุคต่าง ๆ ตั้งแต่สมัย สุโขทัย จนถึงรัชกาลปัจจุบัน สรุปลักษณะของอาคารประเภทห้องแถว 13 ประการรวมทั้งปรากฏการณ์ ในระดับต่าง ๆ ของห้องแถว และสิ่งกำหนดลักษณะห้องแถวและตัวแปรต่าง ๆ ตลอดจนข้อดี ข้อเสียและปัญหา ของห้องแถว

ตึกแถวกับการออกแบบชุมชน (ชูวิทย์ สุจฉายา, 2524) ศึกษาถึงความเป็นมา และวิเคราะห์ ความเหมาะสมของตึกแถวจำนวนมากที่ได้มีการลงทุนก่อสร้างในศูนย์การค้าขนาดใหญ่ ซึ่งสรุป และเสนอแนะ เป็นรูปแบบอาคารในลักษณะใหม่ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาชุมชนเมือง แทนตึกแถวรูปแบบเดิมที่วางอยู่ กว้าง 2 แล่น คูหาในขณะนั้น ซึ่งมีประสิทธิภาพจำกัดไม่เหมาะสมเป็นอาคารที่เป็นศูนย์กลางของการประกอบธุรกิจการค้าในเมือง

วิวัฒนาการอาคารพาณิชย์ในเมืองไทยในวิทยานิพนธ์ปริญญาโทศึกษาศาสตร์ เรื่อง Bangkok Shophouses: Socio-Economic Analysis and Strategies for Improvement (Vira Sachakul, 1982) ซึ่งได้ศึกษาความเป็นมาของตึกแถว และพัฒนาการจากการใช้ประโยชน์ในแต่ละคูหาเป็นตึกแถวแบบผสม ที่มีการใช้ประโยชน์ร่วมกันหลายคูหา เพื่อประกอบธุรกิจหลายประเภทในลักษณะของอาคารชุดและอาคาร คอมเพล็กซ์ โดยเน้นการศึกษาด้านปัจจัยที่มีต่อทัศนคติและความพอใจของผู้ใช้อาคารตึกแถว ทั้งย่านพาณิชย์ ย่านพักอาศัยและย่านผสมพาณิชย์พักอาศัย จำนวน 15 ย่าน จำนวน 225 ราย ผู้ใช้อาคารมีความเห็นว่า ยังขาดพื้นที่เปิดโล่ง (Open Space) มีการระบายอากาศ พื้นที่ส่วนพักผ่อน (living space) และพื้นที่จอดรถไม่เพียงพอตามลำดับ

แนวทางการเปลี่ยนแปลงของตึกแถวในกรุงเทพมหานคร (เพ็ญศรี ฉันทวรารักษ์, 2528) ซึ่งนอกจากจะศึกษาวิวัฒนาการตึกแถวทั้งทางตะวันตกและตะวันออกแล้ว ประเด็นที่สำคัญที่เสนอได้แก่ สภาพการใช้ อาคารและลักษณะทางกายภาพของตึกแถวโดยวิเคราะห์ประเภทของตึกแถว ตามที่ตั้งในเขตกรุงเทพมหานครชั้นนอก ชั้นกลาง และชั้นใน รวม 18 ย่าน และแบ่งตามลักษณะการใช้งานของอาคาร 5 ประเภท รวมการสำรวจทั้งสิ้น 156 หน่วย พร้อมสรุปปัญหา และเสนอแนะแนวทางปรับปรุงแก้ไขปัญหาตึกแถว ในด้านการวางผัง และตัวสถาปัตยกรรม

อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับตึกแถวที่ได้ดำเนินการแล้วมีความครอบคลุมในเชิงประวัติศาสตร์ ด้านวิวัฒนาการสภาพการใช้อาคาร ปัญหาที่เกิดจากตึกแถวในด้านต่าง ๆ การวิเคราะห์ด้านผังเมือง และแนวทางปรับปรุงแก้ไข รวมทั้งแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอาคารประเภทตึกแถวมีข้อจำกัดในรูปแบบเดิม พร้อมกันกับการขยายตัวเข้ามาแทนที่ของอาคารคอมเพล็กซ์ อาคารชุด และอาคารสูง จึงมีผู้วิจัยบางกลุ่มที่นำเสนอประเด็นของคุณค่าทางสถาปัตยกรรมแทน เช่น

การอนุรักษ์สถาปัตยกรรมประเภทตึกแถวริมถนนเจริญกรุง ที่สร้างขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 4 ถึงรัชกาลที่ 7 (สยาณี วิโรจนรัตน์, 2543) ที่เสนอแนวทางในการอนุรักษ์ด้านสถาปัตยกรรมจากการสำรวจตึกแถว จำนวน 100 คูหา สรุปเป็นประเด็นปัญหาทางกายภาพที่เกิดขึ้นจริง และพิจารณาแนวทางในการอนุรักษ์ ตามหลักวิชาการที่เหมาะสมจากเอกสารวิชาการ และเทคโนโลยีในปัจจุบัน ตามการวิเคราะห์สภาพอาคาร โดยแบ่งแนวความคิดในการอนุรักษ์เป็น 4 ระดับ คือ การป้องกันสงวนรักษา การซ่อมแซมบูรณะ การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการใช้สอย และการออกแบบเพื่อสร้างตึกแถวใหม่ให้สอดคล้องกัน เพื่อแก้ปัญหา ในแต่ละด้าน เช่น การแก้ปัญหาความชื้นอาคาร โดยการตัดผนังแล้วฝังแผ่นอลูมิเนียม หรือแผ่นยาง กันความชื้น และเคลือบผิววัสดุด้วยสารเคมีที่กันการซึมของน้ำ เป็นต้น

ส่วนการศึกษาอาคารประเภทตึกแถวในประเทศไทย ทางด้านสภาวะน่าสบายภายในอาคารเพื่อสามารถออกแบบปรับปรุงแก้ไขนั้น ยังมีปรากฏเอกสารที่ใกล้เคียงเป็นวิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต เรื่อง การนำเสนอรูปแบบตึกแถวลักษณะพาณิชย์กึ่งพักอาศัย เพื่อความสบายทางด้านอุณหภูมิ และ แสงสว่าง ให้แก่ผู้ใช้อาคาร กรณีศึกษา: เขตกรุงเทพมหานคร (นายชนินทร์ ทิพโยภาส, 2537) สภาวะน่าสบาย ของตึกแถวรูปแบบเดิมที่มีการสำรวจจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้แล้ว เป็นการศึกษาเพื่อนำเสนอตึกแถว ลักษณะพาณิชย์กึ่งพักอาศัยในเขตกรุงเทพมหานครในรูปแบบใหม่ขนาด 250 ตารางเมตร ที่มีการออกแบบ โดยผ่านการวิเคราะห์ทางด้านการจัดผังอาคาร การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคาร และช่องเปิดที่เน้นการ นำระบบธรรมชาติ (passive design) รวมทั้งระบบเครื่องกล (active design) เข้ามาแก้ปัญหาสภาวะน่าสบาย ทางอุณหภูมิ และแสงสว่างแก่ผู้ใช้อาคารในลักษณะต่างกันตามสภาพภูมิอากาศภายนอกอาคารและตรวจสอบ ความสบายทางด้านอุณหภูมิ และแสงสว่างของอาคาร

ต้นแบบเปรียบเทียบกับอาคารตึกแถวรูปแบบเดิม ได้แก่ ตรวจสอบคุณภาพกรอบอาคารจากคอมพิวเตอร์โปรแกรม OTTV เวอร์ชัน 1.0, ตรวจสอบขนาด หน้าต่างที่ใช้เพื่อการระบายอากาศตามธรรมชาติจากสูตรคำนวณ, ตรวจสอบระดับความสว่างภายใน จากหุ่นจำลองและภาพถ่าย พร้อมทั้งการตรวจสอบทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เพื่อหาจุดคุ้มทุนของ อาคารต้นแบบ

ผลการศึกษารูปเป็นลักษณะที่เหมาะสมสำหรับตึกแถวลักษณะพาณิชย์กึ่งพักอาศัยใน กทม. ได้แก่

1. รูปทรงอาคารควรมีพื้นผิวกรอบอาคารที่โดนแดดน้อยที่สุด และมีช่องเปิดเพื่อการระบายอากาศ และแสงธรรมชาติมากที่สุด ได้แก่รูปทรงตึกแถวแบบปัจจุบันที่มีหน้าแคบแต่ลึก มีความกว้างที่เหมาะสม 5.00 ม. ลึก 13.00 ม. จัดเรียงพื้นที่ใช้สอยซ้อนกันในแนวตั้งและเจาะช่องกลางอาคาร เพื่อให้แสงสว่างผ่านได้

2. การจัดพื้นที่ใช้สอยในอาคารควรสลับระดับส่วนหน้า และส่วนหลังอาคารกันครึ่งชั้น (split level) เพื่อให้ส่วนท้ายลมสามารถระบายอากาศตามธรรมชาติเมื่อเปิดหน้าต่างที่ห้องต้นลม

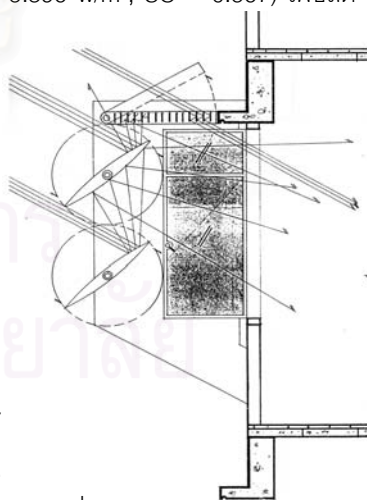
3. วัสดุกรอบอาคารส่วนที่บัพที่เหมาะสม สำหรับผนังที่ด้านที่โดนแดดควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่า การนำความร้อนต่ำ (u-value) ซึ่งเสนอให้ใช้ผนังอิฐโปรงแบบมีรูกลวงหนา 8 ซม. ฉาบปูนเรียบทั้ง 2 ด้าน (u-value = 1.802 w/m<sup>2</sup>) และหนา 14.5 ซม. ฉาบปูนเรียบกรณีหน่วยริมแถว (u-value = 1.736 w/m<sup>2</sup>) โดยมีผนังกันระหว่างคูหาหน่วยอื่นใช้ผนังอิฐมวลเบาคึ่งแผ่น 8 ซม. ฉาบปูนเรียบ 12 มม. 2 ด้าน (u-value = 2.597 w/m<sup>2</sup>) และผนังกันระหว่างห้องภายในหน่วยควรเป็นผนังยิปซัมแบบมีรูพรุนเก็บเสียง หนา 12 มม. ทาสีขาวทั้ง 2 ด้าน มีช่องว่างอากาศตรงกลาง 10 ซม. (u-value = 2.315 w/m<sup>2</sup>) และวัสดุฝ้าเพดาน ส่วนค้ำขายที่อาจมีการปรับอากาศควรใช้ผนังยิปซัม 12 มม. เว้นช่องว่างอากาศ 10 ซม. (u-value=1.49 w/m<sup>2</sup>)

กรอบอาคารส่วนบนสุด ควรเป็นหลังคาเอียง บูลูมิเนียมพอยดีได้ระนาบหลังคา ขนานจันทัน และมีการระบายความร้อนออกจากใต้หลังคาด้วยวิธี induce ventilation โดยอาศัย Rotary Wind Turbine

4. ช่องเปิด ควรอยู่สูงจากพื้นตั้งแต่ 80 ซม.จนถึงยอดผนังเพื่อป้องกันแดดตรงโดยเปิดกว้าง ตลอดอาคาร ด้านที่รับลม ต้องมีอุปกรณ์บังแดด ชนิดปรับมุมได้เหนือช่องเปิด และช่วยสะท้อนความสว่าง เข้าในอาคารด้วย (light shelves) ลูกพักกระจกควรเลือกใช้กระจกหนา 5 มม. สีชา (u-value = 5.896 w/m<sup>2</sup>, SC = 0.567) เพื่อลดภาระความร้อนดีกว่ากระจกใสเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศ

5. แผงบังแดดควรปรับมุมได้ เพื่อให้สามารถบังแดดได้ตลอด ทั้งปี และสามารถสะท้อนความสว่างเข้ามาใช้ภายในอาคารได้ ซึ่งทำด้วย โครงเหล็ก น้ำหนักเบา บิวด้วยอลูมิเนียมเคลือบสีชาวด้าน โดยเฉพาะด้าน ทิศตะวันตก และตะวันออก แต่ทิศอื่นไม่จำเป็นต้องปรับมุมเพื่อ ลดค่าใช้จ่าย

6. เทคนิคในการออกแบบโดยนําระบบ passive มาใช้ ควร เลือกเพียง ระบบ induce ventilation เพียงระบบเดียว ร่วมกับการใช้เครื่องปรับอากาศ ในการแก้ปัญหาสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ ซึ่งมีระยะคุ้มทุนประมาณ 3-4 ปี โดยต่อไปจะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้า ลงได้ 2,500-2,800 บาทปี แต่การใช้ระบบธรรมชาติ (passive design) เต็มรูปแบบ 4 ระบบ คือ ระบบ induce ventilation, earth integration, cool pipe และ dessiccant cooling ร่วมกันไม่ควรนำมาใช้ เนื่องจากระยะเวลา ถึงจุดคุ้มทุนนานมากไม่เหมาะกับการลงทุน คือ ประมาณ 18.5-20.5 ปี



ภาพที่ 2-25 รูปตัดแสดงการทำงานของแผงบังแดด  
ของแผงบังแดด  
(ชินินทร์ ทิพย์ภาส. 2537: 174)



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยจากอาคารกรณีศึกษาจริง โดยทำการสำรวจ เก็บข้อมูลสภาพอากาศ และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศ ในอาคารประเภทตึกแถวจากสถานที่จริงที่เลือกเป็นกรณีศึกษา ซึ่งการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เป็นไปตามธรรมชาติ เพื่อประเมินสภาวะน่าสบายในอาคารตามมาตรฐานสากล จากนั้นจึงใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการศึกษาวิเคราะห์ โดยการเข้าข้อมูลจากการสำรวจ และเปรียบเทียบให้เป็นอาคารจำลองตัวแทน (calibration) ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอาคารต้นแบบ และอาคารที่ปรับปรุงในแนวทางต่าง ๆ พร้อมกับศึกษาความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น สรุปเป็น แนวทางที่เหมาะสม ขั้นตอนรายละเอียดในการดำเนินการศึกษามี 7 ขั้นตอน ดังนี้

#### 3.1 การศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศในอาคารมาตรฐานสภาวะน่าสบาย ประสิทธิภาพอาคารในการถ่ายเทความร้อนและความชื้น การให้แสงสว่างที่เหมาะสมต่อกิจกรรม ลักษณะการระบายอากาศที่ดีต่อสุขภาพ ข้อจำกัดทางกฎหมายของอาคารประเภทตึกแถว แนวทางในการออกแบบและปรับปรุงอาคาร ที่เหมาะสมต่อสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้น และการศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการปรับปรุงอาคาร

#### 3.2 การกำหนดอาคารกรณีศึกษา

การศึกษาวิจัย มีข้อจำกัดด้านเวลาและงบประมาณ ดังนั้น อาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาจึงขึ้นกับขอบเขตการวิจัยเป็นหลัก ทั้งนี้อาคารตึกแถวที่พบเห็นในปัจจุบันแม้จะมีการใช้อาคารที่คล้ายคลึงกัน คือ มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน เพื่อการพักอาศัยและประกอบธุรกิจการค้า แต่เนื่องจากอาคารประเภทนี้มีวิวัฒนาการยาวนานตั้งแต่ก่อนรัตนโกสินทร์ประกอบกับข้อจำกัดตามกฎหมายในเขตที่ตั้งต่างกัน จึงทำให้มีรูปแบบโครงสร้างและลักษณะทางสถาปัตยกรรมอื่น ๆ ต่างกัน นอกจากนี้ยังมีตึกแถวจำนวนมากที่มีการขยายตัวของอาคารทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง เนื่องจากเหตุผลทางการค้าและความต้องการใช้พื้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการดัดแปลงอาคารให้มีขนาดเกินภาวะที่กฎหมายกำหนดโดยไม่มีกระบวนการเป็นสถิติอย่างเป็นทางการ แต่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป โดยเฉพาะในเขตเมืองที่ราคาที่ดินสูง หรือสังเกตได้จากภาพถ่ายทางอากาศในปัจจุบัน อาคารในลักษณะนี้จะส่งผลกระทบต่อสภาพรวมของเมืองอย่างมาก ทั้งเป็นแหล่งสะสมความร้อนขนาดใหญ่ เป็นแนวกำแพงกันสูงต่อเนื่องกันไปตามถนนที่เต็มไปด้วยฝุ่นควันเชื้อโรค การระบายอากาศออกจากชอกตึกเป็นไปด้วยความยากลำบาก รวมทั้งปิดกั้นการได้รับแสงธรรมชาติเรียกได้ว่าเป็น “อาคารป่วย” ที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพความเป็นอยู่และสุขอนามัยของผู้ใช้อาคารโดยตรง (sick building syndrome) ดังนั้น จึงเลือกตึกแถวที่มีการดัดแปลงเกินภาวะกฎหมายกำหนด ที่มีขีดจำกัดในการปรับปรุงสภาวะภายในอาคารมากกว่าตึกแถวทั่วไปตามที่กฎหมายกำหนด ร่วมกับ

การพิจารณาความเหมาะสมด้านอื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะน่าสบาย สรุปเป็นเกณฑ์การเลือกอาคารกรณีศึกษา 6 ข้อ ดังนี้

1. เป็นหน่วยอาคารที่มีสภาวะอากาศภายในอาคาร ด้านความสบายทางอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศ ต่ำกว่ามาตรฐานสากล ส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคาร
2. สภาพอาคารและลักษณะของอาคารมีความเป็นมาตรฐาน สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางเพื่อการศึกษาอาคารอื่นได้
3. มีข้อจำกัดในการปรับปรุงสูงสุด คือมีความสูงตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไป และผนัง ด้านข้างทั้ง 2 ด้านติดกับคูหาถัดไปซึ่งไม่สามารถทำช่องเปิดด้านข้างเพิ่มได้ หรือเป็นอาคารที่มีข้อจำกัดในการระบายอากาศเฉพาะด้านหน้า ด้านหลังอาคาร และหลังคา หรือดาดฟ้าเท่านั้น
4. มีการระบายอากาศโดยธรรมชาติบางส่วนหรือทั้งหมดของหน่วยพักอาศัยมีขนาดความกว้างอาคารไม่ต่ำกว่า 4 เมตร ตามกฎกระทรวง ฉบับที่ 55 โดยมีหรือไม่มีกรต่อเติมหรือดัดแปลงพื้นที่ภายหลังการก่อสร้างเพื่อความเหมาะสมในการอยู่อาศัยสอดคล้องกับกฎหมายควบคุมอาคารในปัจจุบัน
5. ผู้วิจัยสามารถเก็บข้อมูลสภาวะอากาศภายในอาคารและควบคุมการเปิดปิดเปลือกอาคารตลอด 24 ชั่วโมง

### 3.3 การสำรวจเก็บข้อมูลอาคาร

#### 3.2.1 การสำรวจข้อมูลสภาพแวดล้อมของอาคาร ได้แก่

1. การสำรวจทิศทางและแกนอาคาร (orientation) เพื่อทราบทิศทางที่แน่นอนของแกนอาคารกรณีศึกษาจากการวัดโดยเข็มทิศที่ได้มาตรฐาน ความละเอียดประมาณ 1.0 องศา และเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลกับแผนที่ digital base map มาตรฐาน 1:1,000
2. การสำรวจสิ่งปลูกสร้างโดยรอบอาคารกรณีศึกษา เพื่อกำหนด ตำแหน่ง ขนาดวัสดุ และลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารข้างเคียงได้ตามสภาพจริง
3. การสำรวจปัจจัยที่มีผลต่อสภาพภูมิอากาศโดยรอบที่ตั้ง ได้แก่ แหล่งน้ำ พืชพรรณ ลานคอนกรีตขนาดใหญ่ อิทธิพลจากอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่ เป็นต้น

#### 3.3.2 การสำรวจปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนในอาคาร

เป็นการพิจารณาปัจจัยต้นเหตุของแหล่งความร้อนจากภายนอกและภายในอาคาร 7 แหล่ง ได้แก่

1. การนำความร้อนผ่านเปลือกอาคาร (conduction) ได้แก่ ประเภท และขนาดของวัสดุกรอบอาคาร พื้นที่กรอบอาคารที่พิจารณา ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายใน และภายนอก
2. การแผ่รังสีความร้อนผ่านเปลือกอาคาร (radiation) ได้แก่ ประเภท และขนาดของวัสดุเปลือกอาคาร ส่วนโปร่งแสง พื้นที่กรอบอาคารส่วนโปร่งแสงแยกตามประเภท และความหนาวัสดุ shading coefficient ของวัสดุที่ติดตั้งฉากของระนาบช่องแสงนั้น ๆ
3. การพาความร้อนเข้าสู่อาคาร (ventilation and infiltration) ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิภายในและภายนอก ความแตกต่างของปริมาณไอน้ำในอากาศภายนอก และภายใน

4. ความร้อนจากระบบแสงสว่างในอาคาร (lighting) ได้แก่ ชนิด และจำนวนของดวงโคมในอาคาร กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟที่ใช้พร้อมอุปกรณ์ จำนวนชั่วโมงใช้งานเฉลี่ยต่อวัน ความถี่ในการทำความสะอาดดวงโคม (maintenance factor)

5. ความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ (equipment) ได้แก่ ปริมาณไฟฟ้ากำลังรวมของอุปกรณ์ที่ใช้ และจำนวนชั่วโมงในการใช้งานเฉลี่ยต่อวันของอุปกรณ์นั้น ๆ

6. ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร (occupants) ได้แก่ จำนวนผู้ใช้อาคาร และจำนวนชั่วโมงการใช้งานเฉลี่ยแต่ละพื้นที่ต่อวัน เทียบเป็นการใช้งานสูงสุด

### 3.3.3 การสำรวจปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแสงสว่างในอาคาร

ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาเพียงแสงธรรมชาติ เท่านั้น ซึ่งปัจจัยด้านการให้แสงธรรมชาติภายในอาคารที่พิจารณา ได้แก่

1. ขนาด ตำแหน่ง และจำนวนของช่องแสงหรือกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง
2. ค่าการส่องผ่านของวัสดุเปลือกอาคารในส่วนโปร่งแสง โดยที่ค่าเฉลี่ยของแสง ที่ส่องผ่านเปลือกอาคารส่วนโปร่งแสงเทียบอัตราส่วนกับความสว่างจากแสงธรรมชาติในตำแหน่งเดียวกัน
3. ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิวอาคารทุกระนาบทั้งพื้นผนังและฝ้าเพดาน โดยวัดปริมาณความสว่างเฉลี่ยที่ออกจากผิวเทียบอัตราส่วนกับปริมาณความสว่างที่ตกลงบนพื้นผิวนั้น
4. ลักษณะ และสัมประสิทธิ์การบังเงา (shading coefficient) ของอุปกรณ์กันแดดทั้งภายใน และภายนอกอาคารโดยการบันทึกขนาด ชนิด และนำมาคำนวณทางคณิตศาสตร์

### 3.3.4 การสำรวจปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการระบายอากาศในอาคาร ได้แก่

1. ความเร็ว และทิศทางลมเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิภายนอกอาคารตรงกับช่องเปิดที่ความสูงต่างกัน โดยวัดห่างจากผนังอาคารประมาณ 1 เมตร ในระนาบตั้งฉากกึ่งกลางช่องเปิด
2. ขนาด และตำแหน่งของช่องเปิดลมเข้า และออกของแต่ละห้อง
3. อุณหภูมิ เฉลี่ยภายใน ณ ความสูงที่พิจารณา
4. ลักษณะการกั้นผนังภายในห้อง และการจัดเครื่องเรือนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสลม

### 3.3.5 การเก็บข้อมูลด้านสภาวะน่าสบายในอาคาร

เป็นการนำอุปกรณ์ตรวจวัดปัจจัยที่ศึกษา และมีผลต่อสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ปัจจัยด้านสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยโดยรอบ (MRT) และความเร็วลม (v) โดยจะต้องวัดปัจจัยทั้ง 4 พร้อมกันในแต่ละห้องทุก 1 ชั่วโมงต่อเนื่องกันตลอด 48 ชั่วโมงต่อการศึกษา 1 ครั้ง โดยวัดอย่างน้อย 2 ครั้ง

การวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ภายใน และภายนอกอาคาร โดยใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ชนิด digital การวัดภายในอาคารจะวัดบริเวณกึ่งกลางของพื้นที่ในช่วงคนยืน

โดยรับอิทธิพลเฉลี่ยจากระอบด้านเท่า ๆ กัน โดยไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ ส่วนการวัดภายนอกอาคาร จะต้องมีอุปกรณ์ป้องกันผลกระทบจากสภาพแวดล้อม และรังสีดวงอาทิตย์ติดตั้งไว้ด้วย

การวัดอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยโดยรอบ (MRT) และอุณหภูมิผิววัสดุ (surface temperature) โดยใช้ globe thermometer ซึ่งใช้วัดเฉพาะภายในอาคาร ส่วนอุณหภูมิผิววัสดุของกรอบอาคารรอบด้านทั้ง 6 ทิศ จะใช้เครื่องวัดอุณหภูมิผิวชนิดป็นยิงระยะไกล (surface temperature meter) หรือใช้หัวเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิต่อกับเครื่องบันทึกผลอัตโนมัติ (data logger) โดยจะต้องทำการวัดพร้อมกับอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

การวัดค่าความเร็วลม หรือ อัตราการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร โดยใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลมชนิด hot wire ที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 0.01 เมตร/วินาที เนื่องจากอากาศภายในอาคารที่ศึกษาค่อนข้างนิ่ง การวัดจะต้องวัดค่าสูงสุด ต่ำสุด และความเร็วลมเฉลี่ยที่มีความถี่มากที่สุดในช่วงที่ทำการวัด โดยจะต้องวัดหลายตำแหน่งภายในห้องหนึ่ง ๆ ซึ่งในการวิจัยนี้กำหนดให้วัดต่อเนื่องกันไม่ต่ำกว่า 1 นาทีต่อครั้ง เนื่องจากธรรมชาติของลมมีความแปรปรวนมาก แต่จะต้องทำการวัดให้พร้อมกับการวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ดังนั้น จึงไม่ควรทำการวัดนานเกิน 5 นาที ต่อการวัดแต่ละครั้ง ในกรณีที่มีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์วัดในตำแหน่งต่าง ๆ ของห้อง ควรปิดฝาอุปกรณ์วัดไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ของผู้วัดมีผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ของอากาศ

2. ปัจจัยด้านสภาวะนำสบายทางแสงสว่าง จากข้อจำกัดของอุปกรณ์จึงทำการศึกษาเพียง 2 ปัจจัย ได้แก่ ความส่องสว่าง (illuminance) และ ความเปรียบต่างหรืออัตราส่วนความต่างของความจ้า (contrast and brightness ratio)

การวัดค่าความส่องสว่างภายในอาคาร เป็นการวัดระดับความส่องสว่างในตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวระนาบที่ความสูงระดับปฏิบัติการ (0.75 เมตร) สำหรับห้องทั่วไปและวัดความส่องสว่างที่ผิวพื้นสำหรับทางเดินทั่วไปด้วยใช้อุปกรณ์วัดแสง lux meter การวัดความส่องสว่างภายในอาคารแต่ละตำแหน่ง จะต้องมีการวัดเปรียบเทียบความส่องสว่างภายนอกอาคารในบริเวณสูงสุดของอาคารไม่ให้มีวัตถุกีดขวาง หรือมีอิทธิพลต่อค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของท้องฟ้าในขณะเวลาเดียวกัน ในสภาพท้องฟ้าแสงกระจายสม่ำเสมอ (uniform sky) มิให้โดนแสงแดดตรงขณะที่วัดทั้งภายในและภายนอก และต้องบันทึกองค์ประกอบของท้องฟ้า (sky component) ไว้เพื่อพิจารณาร่วมด้วย

การวัดค่าเปรียบต่าง เป็นการวัดค่าความส่องสว่าง โดยใช้ lux meter เช่นกัน แต่ลักษณะการวัดจะวัดตั้งฉากพื้นผิวที่พิจารณาในแนวตั้ง ลักษณะเดียวกับตาคนมองเปรียบเทียบกับพื้นผิวข้างวัตถุที่พิจารณา (background) เช่น ความส่องสว่างที่ส่องผ่านหน้าต่างและความส่องสว่างที่พื้นผิวข้างหน้าต่าง ห่างผิวผนัง 0.5 เมตร

3. ปัจจัยด้านสภาวะนำสบายทางการระบายอากาศ เนื่องจากเป็นการวัดจากอาคารจริง การควบคุมปัจจัยปล้อยธรรมชาติตามพฤติกรรมกรวใช้อาคารการวัดอัตราการระบายอากาศจึงใช้สูตรคณิตศาสตร์คำนวณจาก ความเร็วลม สัดส่วนห้อง ขนาดช่องเปิด ที่สำรวจได้จากปัจจัยด้านสภาวะนำสบายทางอุณหภูมิมีหน่วยวัด 2 ลักษณะตามมาตรฐานสภาวะนำสบาย คือ ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และเทียบเป็นปริมาตรอากาศใหม่เป็นกว่าตัวของปริมาตรห้อง

### 3.4 การประเมิน และวิเคราะห์สภาวะน่าสบายของอาคารกรณีศึกษา

เมื่อทำการสำรวจเก็บข้อมูลจากอาคารจริง พร้อมทั้งนำข้อมูลดิบบางส่วนไปคำนวณตามสมการที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาประเมิน เทียบกับมาตรฐานสภาวะน่าสบายภายในอาคารกรณีศึกษา ทั้งด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศ พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อดีและปัญหาที่ต้องแก้ไขของอาคารประเภทตึกแถวและนำเสนอแนวทางปรับปรุงปัญหาที่พบต่อไป

### 3.5 การเสนอแนวทางปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

การเสนอแนวทางปรับปรุงมีความสอดคล้องกับปัญหาที่วิเคราะห์สรุป โดยอ้างอิงจากวิธีการออกแบบ และปรับปรุงอาคารเขตร้อนชื้นให้มีสภาพภายในเข้าใกล้เขตสบาย จากทฤษฎี และเอกสารวิชาการที่ศึกษาโดยเลือกวิธีการปรับปรุงอาคารที่มีความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ และเหมาะสมกับเทคโนโลยีการก่อสร้างของไทยในปัจจุบัน การเสนอแนวทางมีเป้าหมายในการปรับปรุงสภาวะน่าสบายที่บกพร่องในแต่ละด้านแยกกัน และนำไปประเมินผล ประสิทธิภาพอาคาร (building performance) ในแต่ละแนวทางต่อไป

### 3.6 การประเมินแนวทางการปรับปรุงอาคาร

เป็นการพิจารณาความเหมาะสมของแนวทางการปรับปรุงร่วมกันของสภาวะน่าสบาย โดยมีปัจจัยในการพิจารณา 2 ปัจจัย คือ

1. ประสิทธิภาพอากาศ (building performance) ทั้ง 3 ด้าน
2. ความคุ้มค่าในการลงทุน ของแต่ละแนวทางการปรับปรุง

การประเมินประสิทธิภาพอาคาร เป็นการวิเคราะห์ผลจาก อาคารจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 3 โปรแกรม ดังตาราง ต่อไปนี้

ตารางที่ 3-01 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ศึกษาประสิทธิภาพอาคาร

โปรแกรม	การใช้งานของโปรแกรม	ผลลัพธ์ของการจำลอง
ENER-WIN 97.2000	ใช้จำลองการถ่ายเทความร้อนของอาคาร	1. ค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้งสูงสุดในรอบปีของแต่ละพื้นที่ 2. ภาวะการปรับเย็นของอาคารตลอดทั้งปีแยกตามพื้นที่ใช้งาน และชนิดของแหล่งความร้อนในงานสถาปัตยกรรม ( $^{\circ}\text{C}$ , KWH)
LIGHTSCAPE 3.2	ใช้จำลองแสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์	ปริมาณความสว่างโดยแสงธรรมชาติของวันที่ 21 มิถุนายน และ 21 ธันวาคม ตลอด 24 ชั่วโมง ในระนาบที่พิจารณา ร่วมกับแสงประดิษฐ์ (lux)
HeatX	ใช้จำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร	ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมตามค่าเฉลี่ยทิศทาง และความเร็วลมของกรุงเทพมหานคร (m/s) เพื่อนำไปคำนวณเป็น (ac/hr)

โดยการจำลองอาคารในโปรแกรมทั้ง 3 จะต้องผ่านการปรับเทียบให้เป็นตัวแทนของอาคารจริงได้ในการวิจัยนี้จะเทียบอุณหภูมิจากที่วัดได้จริงในอาคารกรณีศึกษาวันที่ 20-21 มิถุนายน 2545 และเทียบปริมาณแสงจากที่วัดได้จริงในอาคาร เมื่อวันที่ 21 มิถุนายน 2545 เป็นข้อมูลหลักในการปรับแก้อาคารจำลอง

### 3.7 การสรุปแนวทางการออกแบบปรับปรุง

เป็นการคัดเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา คือ ต้องมีสถานะน่าสบาย เป็นไปตามมาตรฐานสากลที่อ้างอิงในงานวิจัย และมีความเหมาะสมทั้งในด้านเทคนิคการก่อสร้าง และเชิง เศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

### 3.8 รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

#### 3.8.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจเก็บข้อมูลอาคาร

##### 1. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอาคาร ได้แก่

RH-Temp data logger (HOBO) เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) อัดโนมิติโดยวัดค่า ณ ตำแหน่งที่อุปกรณ์ตั้งอยู่ ลักษณะเป็นกล่องพลาสติกขนาดประมาณ 4x6 ซม.หนา 2 ซม. และสามารถต่อหัวเซ็นเซอร์ ยาว 1.5 เมตรได้ 2 สาย ความละเอียดในการวัดชนิดม 2 ตำแหน่ง สามารถกำหนดช่วงเวลาหรือความถี่ในการวัดแต่ละครั้งได้ สามารถบันทึกข้อมูลสูงสุดได้ 15,000 ข้อมูลต่อการติดตั้ง 1 ครั้ง สามารถวัดได้ทั้งแบบ off line และ on line โดยใช้ควบคู่กับโปรแกรม box carpro version 3.1 runบน windows9x/me/2000 ซึ่งใช้ upload ตั้งค่าข้อมูล และสายสัญญาณ 2 channels ตั้งหน่วยวัดของอุณหภูมิได้ทั้งหน่วย SI ( $^{\circ}\text{C}$ ) และ IP ( $^{\circ}\text{F}$ ) แล้วจึงนำไปติดตั้งในตำแหน่งที่ต้องการวัดโดยไม่ต้องต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ขณะที่ทำการบันทึกข้อมูลจะมีสัญญาณไฟ แสดงสถานะการทำงานแต่จะไม่มีจอแสดงผลระหว่างการตรวจวัด ข้อมูล เมื่อเสร็จสิ้นการบันทึกค่าแล้วจึงนำมาต่อกับ comport เพื่อ offload ข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ค่าที่บันทึกอัดโนมิติจะอยู่ในรูปของ text file สามารถใช้ในโปรแกรมประเภท spreadsheet ได้

การใช้อุปกรณ์ RH-Temp data logger ในที่ร่ม จะต้องให้ตัวเครื่องห่างจากผนังโดยรอบเท่า ๆ กัน และอยู่สูงจากพื้นในระดับตัวคน ในที่นี้กำหนดให้สูงประมาณ 1 เมตร เพื่อให้ความสูงที่ตลอดการวัด จึงติดกล่อง data logger บนขาตั้งกล้องแทน ดังภาพที่ 3-01 โดยทุกครั้งที่วัดบันทึกค่า ผู้วัดไม่ควรอยู่ใกล้อุปกรณ์ดังกล่าว เนื่องจากความร้อนและความชื้นจากตัวคนอาจทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไป



ภาพที่ 3-01 การติดตั้งอุปกรณ์ RH-Temp data logger: HOBO ในที่ร่ม

ส่วนการใช้อุปกรณ์ RH-Temp data logger กลางแจ้ง จะเหมือนกับการวัดภายในอาคาร แต่จะต้องระวังไม่ให้หัวเซ็นเซอร์ ที่อยู่ในตัวเครื่องโดนความร้อนจากแดดโดยตรงรวมทั้งไอน้ำหรือน้ำค้างในอากาศ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงใช้อุปกรณ์บังแดดทำจากพลาสติกซึ่งเป็นวัสดุที่มีการแผ่รังสีต่ำ ลักษณะเป็นรูปครึ่งทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 เซนติเมตร หุ้มผิวภายนอกด้วยแผ่นอลูมิเนียมบางที่สะท้อนรังสีอาทิตย์ได้ ติดบนขาตั้งกล้องซึ่งเป็นพลาสติกและอลูมิเนียม ดังภาพที่ 3-02



ภาพที่ 3-02 การติดตั้งอุปกรณ์ RH-Temp data logger: HOBO กลางแจ้ง

ในการวิจัยนี้มีการใช้ RH-Temp data logger ชนิดนี้พร้อมกัน 4 เครื่อง โดยเครื่องมือดังกล่าวได้รับการปรับเทียบมาตรฐานการวัดจากบริษัทผู้ผลิตแล้ว (calibrate) และเมื่อนำมาทดสอบความเที่ยงของเครื่องมือโดยวัดสภาวะแวดล้อมเดียวกัน ในภาชนะปิดเป็นกล่องโฟมหนา 1.5 นิ้ว ขนาด 0.50 x 0.80 x 0.25 เมตร ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิความชื้นให้คงที่ได้ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเพียง 0.1 - 0.3 องศาเซลเซียส

Humidity measuring stick (testo 605-H1) เป็นเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%RH) อุณหภูมิอากาศ ( $^{\circ}\text{C}$ ) และอุณหภูมิจุดควบแน่น ( $^{\circ}\text{C}$ ) ในช่วงพิสัยจำกัดที่ความชื้นสัมพัทธ์ 5-95% อุณหภูมิกระเปาะแห้ง  $-20$  ถึง  $70^{\circ}\text{C}$  ( $-4$  ถึง  $160^{\circ}\text{F}$ ) ปรับเทียบความถูกต้องจากบริษัทผู้ผลิตแล้ว (ไม่เกิน 6 เดือน) ความละเอียดในการวัดค่าประมาณคือ RH 0.1% และ  $0.1^{\circ}\text{C}$  ลักษณะและขนาดของเครื่องมือเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. ยาว 12.5 มม. มีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้นอยู่ด้านตรงข้ามกันที่ปลายทรงกระบอก ซึ่งสามารถสัมผัสอากาศโดยตรงไม่มีตัวกรองสามารถหมุนปิด-เปิดได้ โดยแท่งทรงกระบอกจะติดอยู่กับหน้าจอแสดงผลขนาดประมาณ 5 ซม. ดังภาพที่ 3-02 ใช้ในการสำรวจอาคารชั้นพื้นฐาน การอ่านค่าสามารถอ่านได้หลังจากทิ้งเครื่องไว้ 1-2 นาทีทุกตำแหน่งการวัด โดยการจดบันทึกตัวเลขที่แสดงค่าบนหน้าจอนขณะวัด โดยควรให้หัว เซ็นเซอร์ ห่างจากตัวผู้วัดให้มากที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดอิทธิพลจากตัวผู้วัดได้



ภาพที่ 3-03 อุปกรณ์ Humidity measuring stick: Testo 605-H1

## 2. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิพื้นผิวโดยรอบ และอุณหภูมิผิววัสดุ ได้แก่

Globe Thermometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิอากาศ ที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของผิววัสดุข้างเคียง แรงลม และสิ่งแวดล้อมโดยรอบ โดยใช้วัตถุทรงกลมทำจากทองแดง ผิวสีดำด้าน เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 ซม. ณ จุดศูนย์กลางของทรงกลมมีหัวเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (thermister) ต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (HOBO Data logger) ความยาวประมาณ 1.5 เมตร อดรยต่อระหว่างสาย และช่องสอดด้วยโพลีสไตรีนโฟม ดังภาพที่ 3-04 ในการวิจัยจะวัดค่าพร้อมอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในห้อง ณ จุดเดียวกัน ทำให้ลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเป็นข้อมูล channel หนึ่งของเครื่องวัดเดียวกัน



ภาพที่ 3-04 Globe Thermometer

Surface Temperature meter (QUICKTEMP 860-T<sub>2</sub>/Testo) เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุชนิดป็นยิงระยะไกล โดยใช้แสงอินฟราเรดจากเครื่องยิงไปยังจุดที่ต้องการทราบค่า เป็นรัศมีวงกลม ขนาดของจุดวัดขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างวัตถุที่ต้องการวัด และตัว Thermometer โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง



กับรัศมี 60:1 (Standard Optical) และ 50:1 (Close Focus Optic) สามารถตั้งเป็นค่าอุณหภูมิผิวเฉลี่ยโดยแสดงเป็นค่าต่ำสุด-สูงสุด และค่าเฉลี่ยพร้อมกันที่หน้าจอได้จากค่าเริ่มต้นตั้งแต่กดโกป็นวัดแสง จนกระทั่งปล่อยเป็นช่วง หรือ วัดค่าต่อเนื่องโดยตั้งป็นไว้กับขาตั้งที่ความสูงที่ต้องการเครื่องจะบันทึกค่าเองอัตโนมัติในหน่วยเก็บข้อมูลในเครื่องยังอัตโนมัติภายใน 3 วินาที สามารถตั้งค่าวันที่ เวลา อัตโนมัติ และมี slot สำหรับแท่ง Probe ที่ปลายหัวเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิต่อได้ทั้ง Thermocouple type k และ j (TC-K, TC-J) 1 channel วัดอุณหภูมิผิวได้ตั้งแต่  $-30$  ถึง  $900^{\circ}\text{C}$  หน่วยวัดปรับได้ทั้ง  $^{\circ}\text{C}$  และ  $^{\circ}\text{F}$  ความละเอียดในการวัด  $0.1^{\circ}\text{C}$  ขนาดประมาณ  $160 \times 200 \times 50$  มม. ก่อนทำการวัดแต่ละครั้งจะต้องตั้งค่า emission ของผิววัสดุนั้น ๆ ก่อน สามารถใช้ค่าที่เครื่องกำหนดให้เลือกตามวัสดุ หรือ ค่าเฉพาะเองได้ดังตาราง

ตารางที่ 3-02 การตั้งค่าแผ่รังสี (emission) ของพื้นผิววัสดุ

ชนิดวัสดุ	ค่า Emission (E)
Concrete	0.95
Cloth	0.95
Ceramic	0.95
carbon	0.85
Brick	0.90
Brass	0.50
Asphalt	0.95
Asbestos	0.95
Wood	0.94
Water	0.93
Steel	0.80
Soil	0.94
Sand	0.90
Rubber	0.95
Plastic	0.95
Paper	0.95
Iron	0.70
glass	0.83



ภาพที่ 3-05 Surface Temperature Meter

Thermister เป็นอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ใช้วัดอุณหภูมิผิววัสดุ ที่หัวเซ็นเซอร์สัมผัส ลักษณะเป็นสายไฟความยาวประมาณ 1.5 เมตร มีปลายข้างหนึ่งเป็นหัวโลหะทรงกระบอกปลายมนยาวประมาณ 3 เซนติเมตร ปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (RH-Temp data logger: HOBO) ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายในห้องที่ทำการวัดไปพร้อมกัน ทำให้ความคลาดเคลื่อนของการวัดลดลง การติดตั้งจะต้องไม่ให้หัวเซ็นเซอร์ได้รับอิทธิพลจากอากาศที่สัมผัส ในการวิจัยนี้ใช้แผ่นโพลีสไตนีโพนหนา 1 นิ้ว ขนาด  $0.30 \times 0.30$  เมตร ยึดหัวเซ็นเซอร์ไว้กลางแผ่นปิดไว้กับผิวอาคารด้วยซิลิโคนและปิดขอบโพนด้วยเทปขาว ทั้งนี้ควรตรวจสอบว่าหัวเซ็นเซอร์สัมผัสกับผิววัสดุตลอดเวลา มิเช่นนั้นอาจทำให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าอุณหภูมิของฟิล์มอากาศผิวผนัง



ภาพที่ 3-06 การติดตั้งหัวเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิผิววัสดุ

### 3. อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ของอากาศหรือความเร็วลม ได้แก่

Measuring stick for velocity m (testo 405-V1) เป็นอุปกรณ์วัดความเร็วลมที่วัดด้วยหลักการในทางคังที่ของอุณหภูมิที่หัว thermistor ขนาดเล็กที่ปลายแท่งทรงกระบอกที่สามารถหมุนเปิด-ปิดได้ เมื่ออากาศพัดผ่านหัววัดจะทำให้อุณหภูมิลดลง เครื่องวัดจะให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มเพื่อรักษาอุณหภูมิของเซ็นเซอร์นั้น ทำให้สามารถคำนวณค่าความเร็วของลมที่พัดผ่านได้ ความละเอียดในการวัด 0.01 m/s และสามารถวัดอุณหภูมิของอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านที่ความละเอียด 0.1°C ช่วงความเร็วลมที่วัดได้ตั้งแต่ 0.00-10.00 m/s ที่อุณหภูมิ 0-50°C มีความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์วัดไม่เกิน 5% of m.v หรือ  $\pm 0.1$  m/s ที่อุณหภูมิ  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกสีดำ เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. ยาว 300 มม. สามารถปรับมุมของหัวเซ็นเซอร์ได้ตามองศาที่ต้องการที่ปลายทรงกระบอกมีปลอกหมุนเปิด-ปิด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์ที่ค่า 0.00 m/s เมื่อไม่มีลมพัดผ่านโดยอุปกรณ์ดังกล่าวได้ผ่านการปรับเทียบค่าความแม่นยำของเครื่อง จากบริษัทผู้ผลิตแล้วไม่เกิน 6 เดือน เนื่องจากเครื่องสามารถรองรับได้อย่างรวดเร็วสำหรับลมที่แปรตามธรรมชาติ การวัดค่าจะวัดต่อเนื่องกัน 1-2 นาที ต่อการบันทึกค่า 1 ตำแหน่งวัด และสังเกตค่าความเร็วลมสูงสุด ต่ำสุดและค่าฐานนิยมของความเร็วลมที่อ่านค่าได้ และทำการจดบันทึกทุก ๆ ชั่วโมง



ภาพที่ 3-07 เครื่องวัดความเร็วลมแบบ digital

#### 4. อุปกรณ์วัดค่าความส่องสว่าง (lux meter) ได้แก่

lux meter เป็นเครื่องวัดค่าความส่องสว่าง ที่มีช่วงของการวัดไม่เกิน 200,000 lux ใช้วัดแสงภายในและภายนอก การวัดสามารถอ่านค่าได้บนจอแสดงผล สามารถแสดงหน่วยเป็น lux หรือ foot-candles ได้ทั้ง 2 แบบ จอแสดงผลลักษณะเป็นกล่องพลาสติกสีดำขนาดประมาณ 100x150x30 มม. มีสายต่อเซ็นเซอร์รับแสงสายยืดเพื่อวัดผลในตำแหน่งที่ต้องการได้โดยไม่ต้องให้บริเวณรับแสงโดนรังสีอาทิตย์โดยตรงเพราะแดดจะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดสูงและเสียหายได้ ในการวิจัยนี้ใช้วัดค่าความส่องสว่างของพื้นที่ (Illumination) และค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) ของวัสดุ โดยการหันหัวเซ็นเซอร์ตั้งฉากระหว่างผิววัสดุ และแหล่งกำเนิดแสงเข้าและออก ห่างจากผิววัสดุประมาณ 30 ซม. เทียบเป็นอัตราส่วนการสะท้อนแสงได้



ภาพที่ 3-08 อุปกรณ์วัดค่าความส่องสว่างของพื้นที่

## บทที่ 4

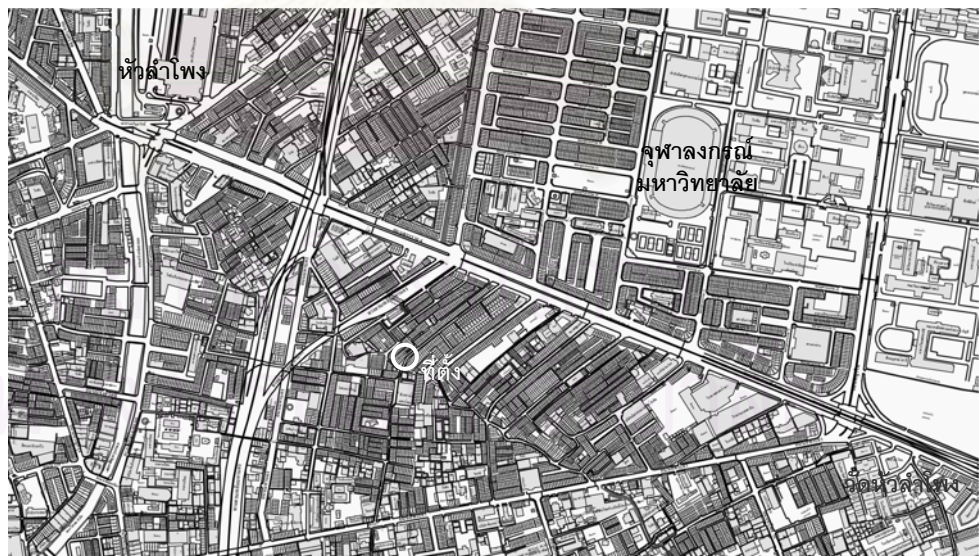
### ผลการศึกษาและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

#### 4.1 ข้อมูลรายละเอียดอาคาร

อาคารกรณีศึกษา เป็นอาคารตึกแถวเก่าที่สร้างและใช้งานมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2516 ในปี พ.ศ.2518 มีการต่อเติมอาคารด้านหลังอาคารเพิ่ม 8 เมตร และปี พ.ศ. 2524 ต่อเติมอาคารด้านบนเพิ่ม 2 ชั้น การดัดแปลงอาคารตามการขยายตัวของอาคารอยู่อาศัยดังกล่าว ทำให้อาคารมีระยะร่นต่าง ๆ เกินกำหนดตามกฎหมายปัจจุบันแต่เป็นตึกแถวที่พบเห็นได้ทั่วไปในปัจจุบันโดยเฉพาะในพื้นที่เมืองซึ่งที่ดินมีราคาสูง ขณะเดียวกันเมืองยังเป็นบริเวณที่มีมลพิษทางอากาศและเป็นเกาะความร้อนที่เป็นอันตรายต่อการอยู่อาศัย ทั้งนี้ ปริมาณตึกแถวตามสถิติเท่าที่มีการสำรวจในปัจจุบัน จากรายงานการสำรวจเคหะสำนักงานสถิติแห่งชาติมีอัตราส่วนร้อยละ 33.2 ของครัวเรือนส่วนบุคคล จำแนกตาม ประเภทของที่อยู่อาศัยทั้งหมด 7 ประเภท<sup>1</sup> ตามที่แสดงไว้ในบทที่ 1

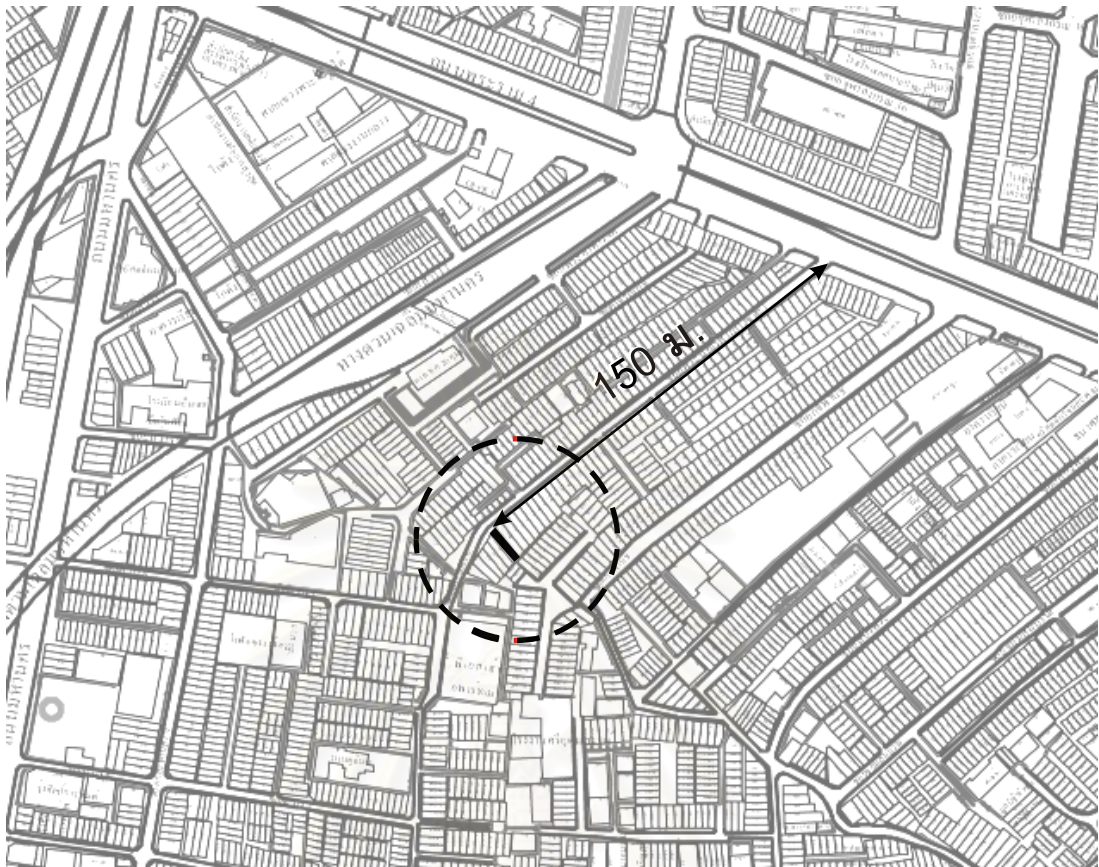
##### 4.1.1 ที่ตั้งอาคารและสภาพแวดล้อม

อาคารตั้งอยู่บนถนนพระรามสี่ ระหว่างย่านหัวลำโพงและสามย่าน ซึ่งเป็นพื้นที่ใจกลางเมืองที่มีอาคารตึกแถวเก่าหนาแน่นย่านหนึ่งในกรุงเทพมหานคร มีสภาพแวดล้อมลักษณะเดียวกับตึกแถวทั่วไป คือ ด้านหน้าอาคารติดซอยสาธารณะ เป็นถนนคอนกรีตกว้าง 6 เมตร ทางเท้าหน้าอาคารเฉลี่ย 2 เมตร ระยะทาง 150 เมตร จากถนนใหญ่ขนาด 8 เลน สภาพแวดล้อมโดยรอบเป็นตึกแถวขนาดใกล้เคียงกัน ไม่มีไม้ยืนต้น ไม่มีแหล่งน้ำหรือพื้นที่สีเขียวในละแวกใกล้เคียง ด้านหน้าอาคารหันไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 4-01 แผนที่แสดงที่ตั้งอาคารกรณีศึกษา

<sup>1</sup> <http://www.nso.go.th/thai/stat/house/tab1.htm>, 13/6/2002. รายงานการสำรวจเคหะ พ.ศ. 2539 2529 และ 2519. สำนักงานสถิติแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.



ภาพที่ 4-02 ผังแสดงบริบทโดยรอบ บริเวณอาคารกรณีศึกษา

ผังแสดงบริบทที่ตั้ง



ตึกแถวฝั่งตรงข้าม



ตึกแถวกรณีศึกษา




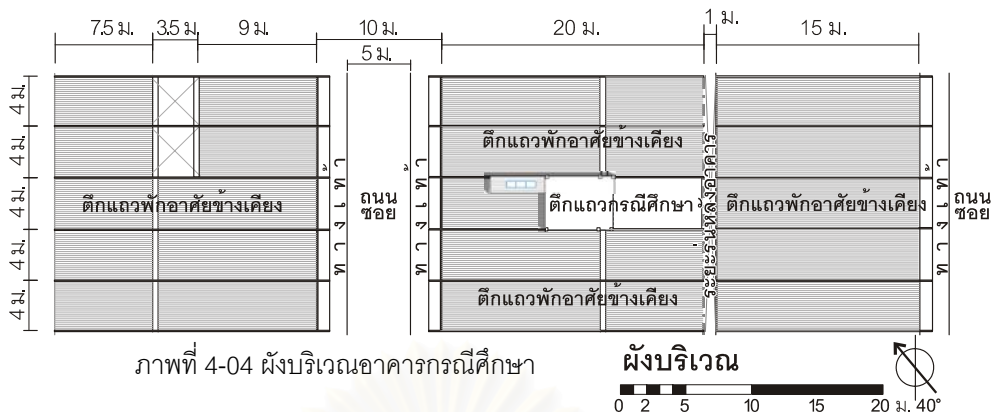
ตึกแถวข้างเคียง

ภาพที่ 4-03 ภาพถ่ายอาคารกรณีศึกษาและตึกแถวข้างเคียง

#### 4.1.2 ลักษณะทางสถาปัตยกรรม

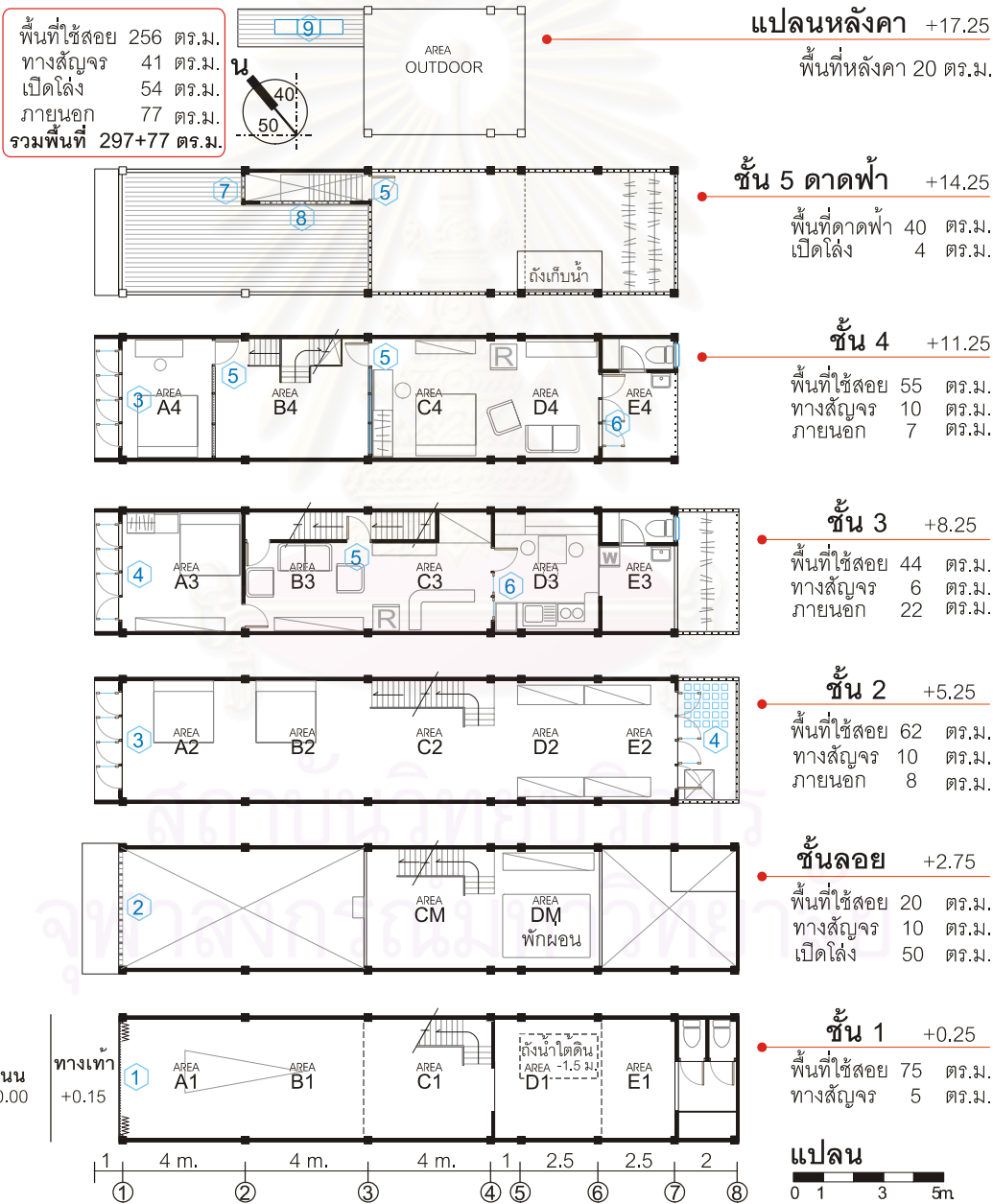
ตึกแถวกรณีศึกษาเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ประเภทพาณิชย์พักอาศัย 4 ชั้น จำนวน 1 คูหา ซึ่งเป็นคูหาช่วงกลางของตึกแถวเก่าที่สร้างต่อเนื่องกันกว่า 20 คูหา มีการต่อเติมปล่องบันไดและดาดฟ้า คูหาข้างเคียงสูงและลึกเท่ากันแต่ไม่มีการต่อเติมปล่องบันไดและดาดฟ้า ผนังด้านข้างอาคารใช้ร่วมกับคูหาถัดไปทั้ง 2 ซ้าง และมีโครงสร้างต่อเนื่องกัน ส่วนอาคารด้านตรงข้าม เป็นตึกแถวพาณิชย์พักอาศัย 4 ชั้น ลึก 10 และ 20 เมตร แสดงในผังบริเวณ ภาพที่ 4-04 สามารถสรุปข้อมูลและลักษณะทางสถาปัตยกรรม ได้ดังต่อไปนี้

ขนาดที่ดิน	23 ตารางวา (4 X 23 เมตร)	
ทิศ	หน้าอาคาร เป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือทำมุมกับทิศเหนือ 40 องศา	
ขนาดอาคาร	กว้าง 4 เมตร ลึก 20 เมตร สูง 17.25 เมตร	
พื้นที่อาคาร	ชั้น 1 ความสูงจากพื้นถึงพื้น 5 เมตร / ชั้นลอยสูง 2.5 เมตร ชั้น 2-4 ความสูงจากพื้นถึงพื้น 3 เมตร ไม้ตีฝ้าเพดาน ภายใน 255.5 ตร.ม. ทางสัญจร 41 ตร.ม. เปิดโล่ง 4 ตร.ม. ภายนอก 37.5 ตร.ม. ดาดฟ้า 40 ตร.ม. รวมทั้งสิ้น 378 ตร.ม.	
พื้นที่ผิวเปลือกอาคาร	เปลือกอาคารต่อเนื่องกับภายนอก 3 ด้าน พื้นที่เปลือกอาคาร รวม 192 ตร.ม. มีช่องเปิดรวม 42 ตร.ม. คิดเป็นผนัง 112 ตร.ม. ดาดฟ้า 48 ตร.ม. หลังคา 32 ตร.ม.	
ผนัง	ผนังภายนอก ก่ออิฐฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน สีอ่อน หนา 10 ซม. และ ผนังก่ออิฐเปลือย ผิวมัน หนา 7 ซม. ผนังภายใน ไม้อัด 9 มม. โครงเคร่าไม้ ทาสีอ่อน หนา 10 ซม.	
หลังคา	ส่วนหน้าอาคาร กระเบื้องลูกฟูกซีเมนต์โครงเหล็ก 32 ตร.ม. ความชัน 20 องศา ติฝ้าเพดานไม้อัดทาสี ไม่มีการกรุฉนวนใด ๆ หลังคาส่วนอื่น เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 10 ซม. ไม้ตีฝ้า	
ประตู หน้าต่าง	ประตูบ้าน 2 ชั้น บานประตูเหล็กยึดและบานเหล็ก 1 มม. ทาสีน้ำมัน ภายนอก วงกบและบานกรอบไม้เนื้อแข็ง ลูกฟูกกระจกใส ภายใน บานประตูไม้อัด	
โครงสร้างอาคาร	โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ระบบเสาคาน พื้นคอนกรีตหล่อทับที่ ส่วนต่อเติมด้านหลังอาคาร 8 เมตร มีการแยกโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โครงสร้างบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กต่อเนื่องกับคูหาข้างเคียง ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ผิวบันไดคอนกรีตเปลือย ความหนาบันได 20 ซม.	
งานระบบไฟฟ้า	ใช้แสงประดิษฐ์ ประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์เปลือย 16-32 วัตต์	
งานระบบปรับอากาศ	การใช้งานปัจจุบัน ติดตั้งเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน แบบตั้งพื้น ขนาด 36,000 บีทียู 2 เครื่อง บริเวณห้องนอนหน้าอาคาร ชั้น 3 (โซน 3-1) และห้องนอน ด้านหลังอาคาร ชั้น 4 (โซน 4-3)	
งานระบบประปา	ระบบจ่ายน้ำลง มีถังเก็บน้ำหล่อทับที่บนดาดฟ้า 2.5ลิตร เฉพาะพื้นที่ส่วนหลังอาคาร	



ภาพที่ 4-04 ผังบริเวณอาคารกรณีศึกษา

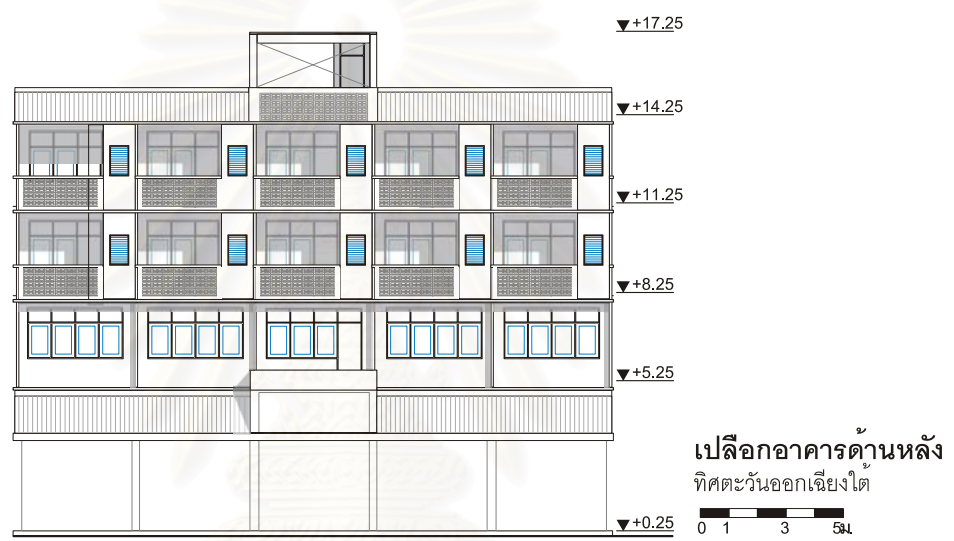
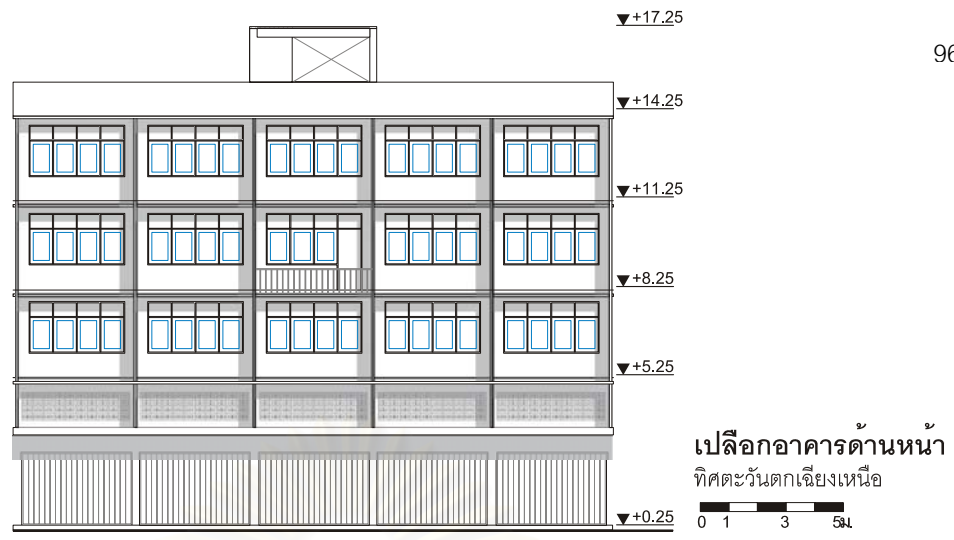
ผังบริเวณ



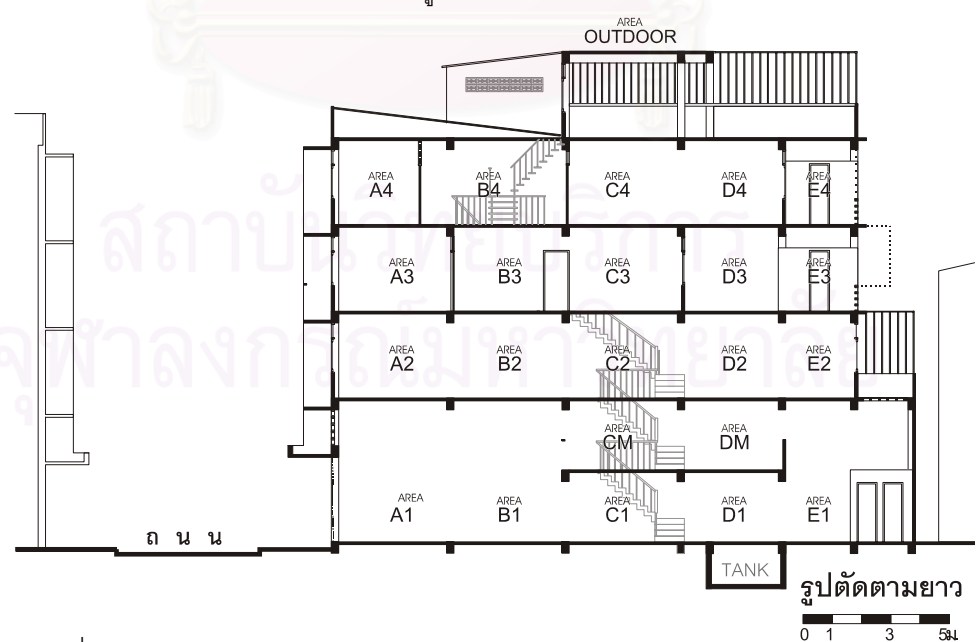
ภาพที่ 4-05 แปลนอาคารกรณีศึกษา

แปลน





ภาพที่ 4-06 รูปด้านอาคารกรณีศึกษา



ภาพที่ 4-07 รูปตัดอาคาร แสดงตำแหน่งการวัดข้อมูลสภาพอากาศภายในอาคาร 23 ตำแหน่ง



ภาพที่ 4-08 ภาพถ่ายภายในอาคารกรณีศึกษา แสดงสภาพภายในอาคาร



โถงทางเข้าจอร์ดรถยนต์ A1, B1



โถง-บันได C1, D1



ส่วนบริการ-ห้องน้ำ E1



โถงส่วนอาศัย ชั้นลอย CM



โถงส่วนอาศัย-โถงบันได DM



ส่วนอาศัย-นอน A2, B2, C2



โถงบริการ D2, E2



ส่วนอาศัย-นอน 1 A3



ส่วนอาศัย-นั่งเล่น C3



ส่วนอาศัย-นั่งเล่น B3, C3



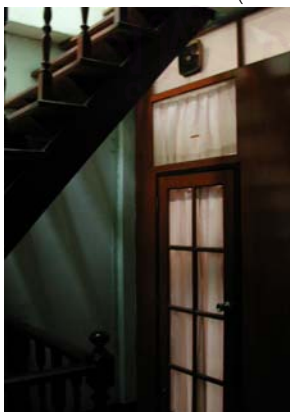
ส่วนกินข้าว-ครัว C3, E3



ห้องนอน 2 A4 (มองจากโถงบันได)



โถงบันได B4



โถงบันไดขึ้นดาดฟ้า B4



ส่วนอาศัย-นอน3 C4,D4



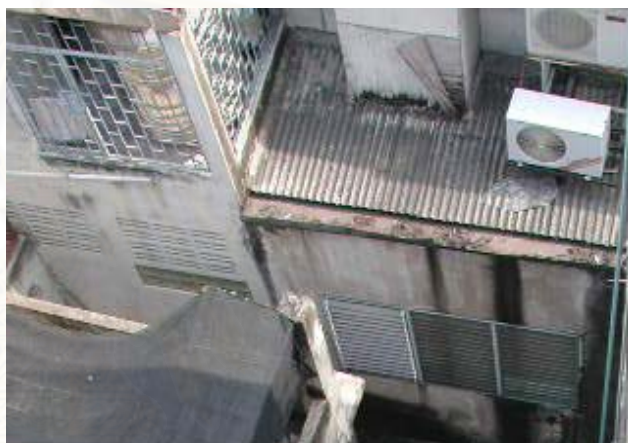
โถงบันได B3



บันไดไม้ ต่อเนื่องไปชั้น 2



พื้นดาดฟ้า-ถึงสำรอน้ำ



ระยะรันหลังอาคาร 1 เมตร

#### 4.1.3 ระบบเปลือกอาคารและช่องเปิด

อาคารกรณีศึกษา มีเปลือกอาคารสัมผัสสภาพภายนอก 3 ด้าน ได้แก่ ด้านหน้า ด้านหลังและด้านบน พื้นที่ช่องเปิดเปลือกอาคารรวมทั้งสิ้น 42 ตารางเมตร อัตราส่วนช่องเปิดที่เปลือกอาคารต่อพื้นผิวผนังภายนอกทั้งหมด คิดเป็น 17.6 %

ผนังภายนอกด้านหน้าอาคาร (ตต./น)

เป็นผนังก่ออิฐ หนา 10 ซม. ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน ทาสีฟ้าอ่อน

ผนังด้านข้างระหว่างอาคาร (ตอ./นและตต./ต)

เป็นผนังก่ออิฐ หนา 10 ซม. ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน ทาสีขาวนวล

ผนังด้านหลังอาคาร (ตอ./ต)

ชั้น 1-2 เป็นผนังก่ออิฐ หนา 10 ซม. ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน

ชั้น 3-4 เป็นผนังก่ออิฐโชว์แนว หนา 7 ซม.

ผนังภายใน

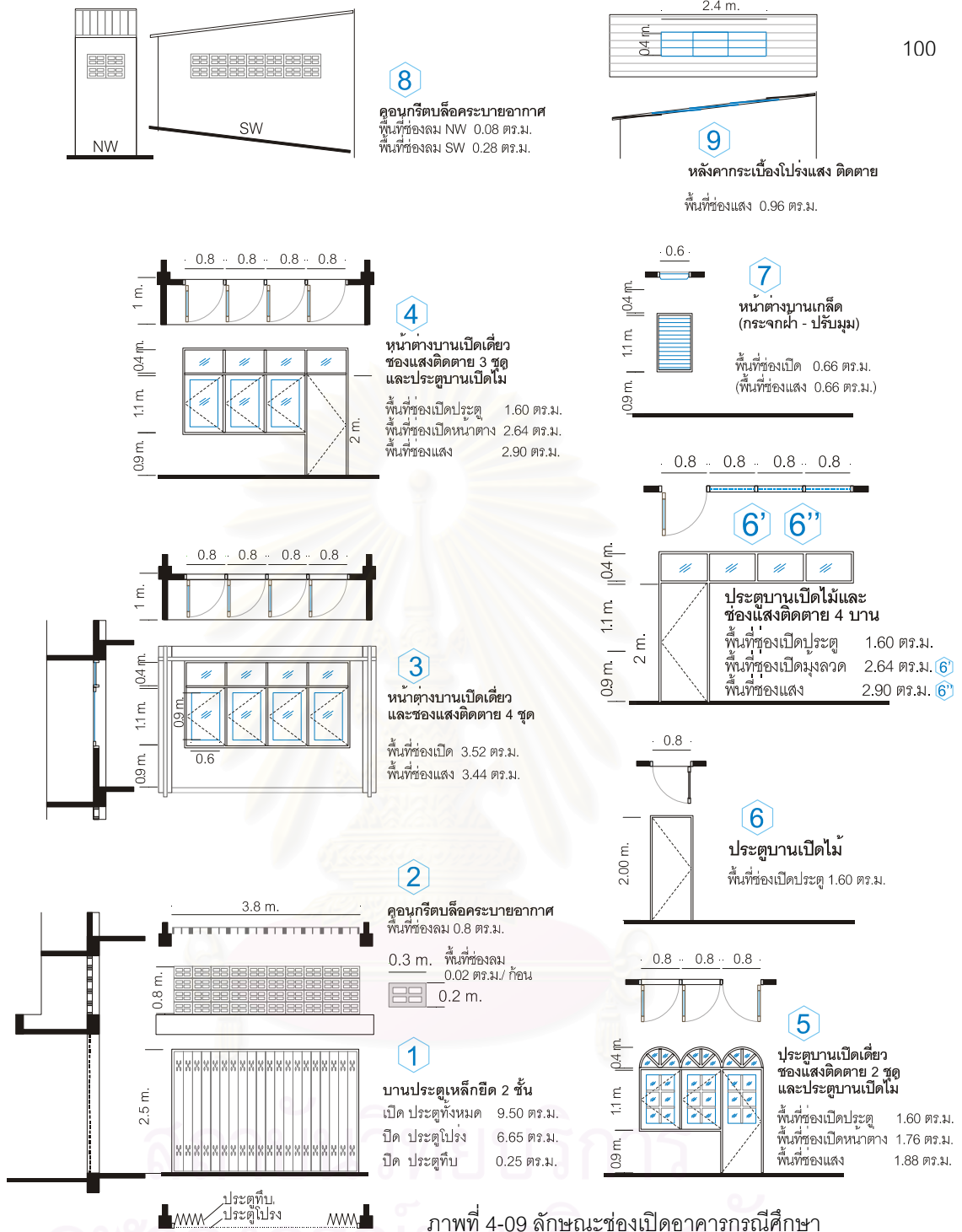
เป็นผนังไม้อัด 9 มม. โครงเคร่าไม้ ทาสีอ่อน หนา 10 ซม.

หลังคา

กระเบื้องลูกฟูกซีเมนต์ โครงสร้างเหล็ก กว้าง 4 ม. ลึก 8 ม.

ความชันประมาณ 20 องศา ติฝ้าเพดานไม้อัดทาสี ไม่กรุฉนวน

หลังคาส่วนอื่น เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 10 ซม. ไม้ตีฝ้า

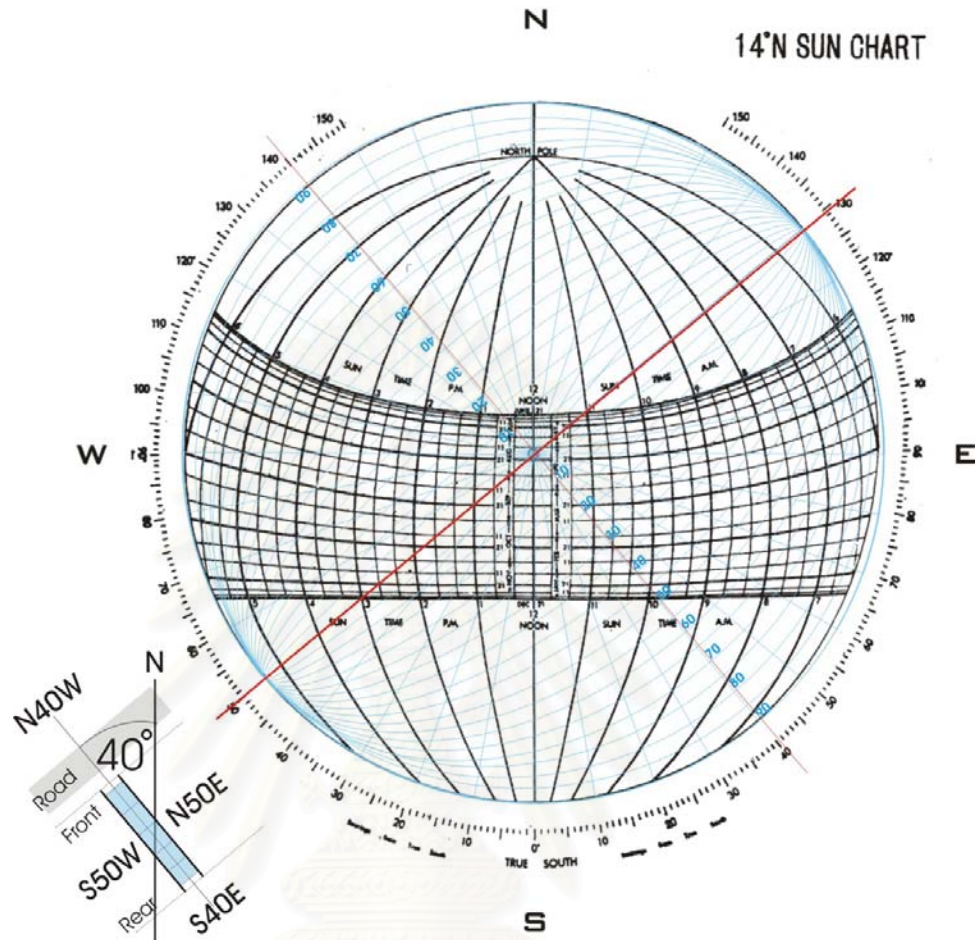


ภาพที่ 4-09 ลักษณะช่องเปิดอาคารกรณีศึกษา

4.1.4 การป้องกันแสงแดด อาคารกรณีศึกษา และการโคจรของดวงอาทิตย์

อาคารกรณีศึกษา เป็นตึกแถวซึ่งมีความจำเป็นในการออกแบบให้มีการใช้พื้นที่สูงสุด มีลักษณะเรียบง่าย การลงทุนต่ำ กรรมวิธีการก่อสร้างไม่ยุ่งยาก และใช้วัสดุที่มีตามท้องตลาด ประกอบกับข้อจำกัดทางกฎหมายควบคุมอาคาร ทำให้การออกแบบอาคารเพื่อป้องกันแสงแดดตรงเข้าสู่อาคารไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควร การออกแบบปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาจึงต้องศึกษาการโคจรของดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งและวิเคราะห์การป้องกันแสงแดดของอาคารกรณีศึกษา ดังแสดงในแผนภูมิที่ 4-01 และภาพที่ 4-10 – 14

แผนภูมิที่ 4-01 การโคจรของดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร



เปลือกอาคารด้านหน้า [NW]

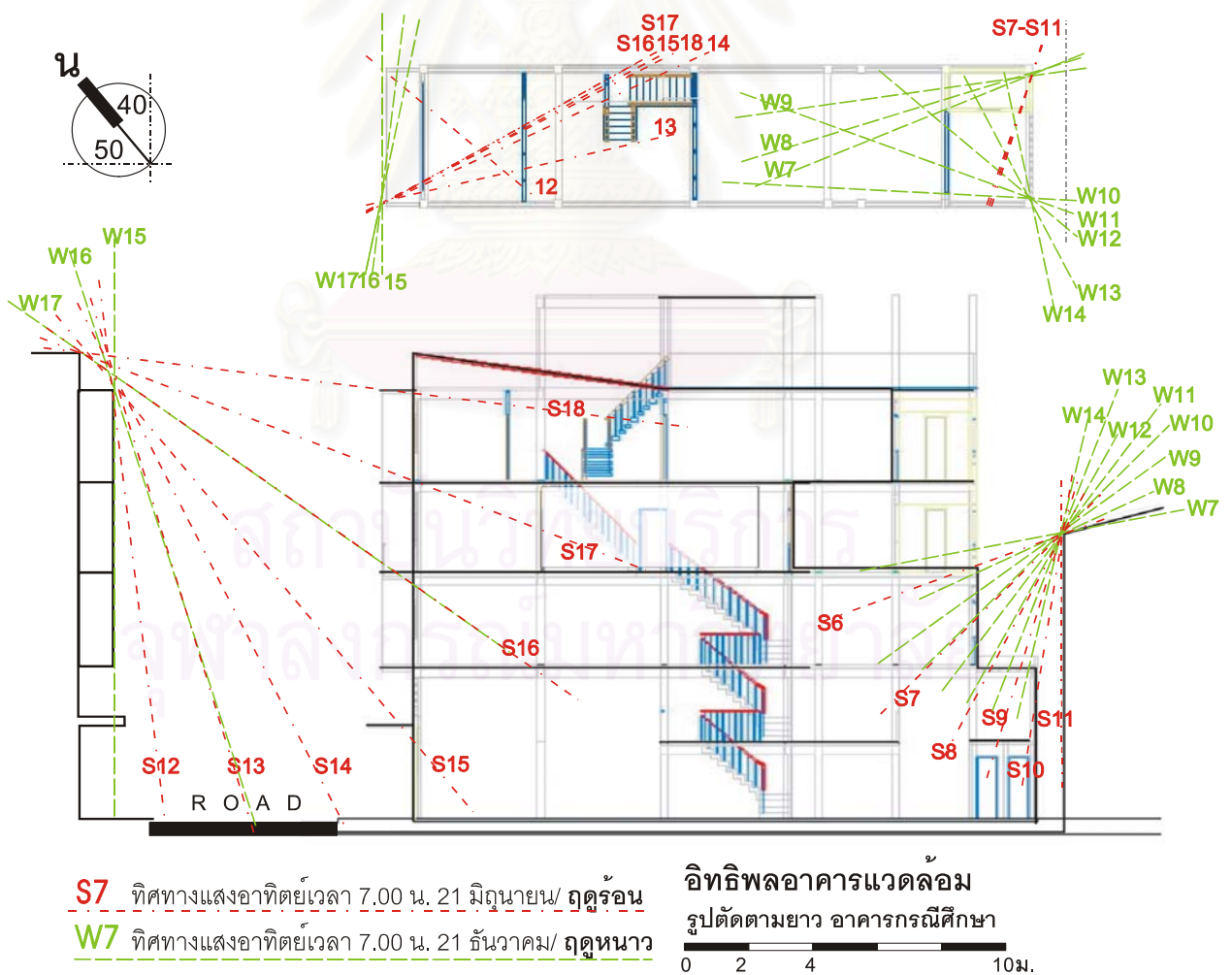
เปลือกอาคารด้านหลัง [SE]

วัน / ฤดู	เวลา	ตำแหน่งอาทิตย์		มุมกระทำกับช่องเปิด	ตำแหน่งอาทิตย์		มุมกระทำกับช่องเปิด
		Profile	Bearing		Profile	Bearing	
21 มิถุนายน ฤดูร้อน	06:00	-	-	-	20	S 113 E	73
	07:00	-	-	-	45	S 112 E	72
	08:00	-	-	-	62	S 111 E	71
	09:00	-	-	-	73	S 112 E	72
	10:00	-	-	-	81	S 115 E	75
	11:00	90	S 130 E	90	90	S 130 E	90
	12:00	83	N	40	-	-	-
	13:00	73	S 128 W	13	-	-	-
	14:00	63	S 115 W	25	-	-	-
	15:00	50	S 112 W	28	-	-	-
	16:00	35	S 111 W	29	-	-	-
17:00	21	S 112 E	28	-	-	-	
18:00	7	S 113 W	27	-	-	-	
21 ธันวาคม ฤดูหนาว	07:00	-	-	-	10	S 62 E	22
	08:00	-	-	-	24	S 57 E	17
	09:00	-	-	-	35	S 50 E	8
	10:00	-	-	-	44	S 37 E	3
	11:00	-	-	-	52	S 20 E	20
	12:00	-	-	-	60	S	40
	13:00	-	-	-	68	S 21 W	62
	14:00	-	-	-	76	S 38 W	78
	15:00	90	S 50 W	90	90	S 50 W	90
	16:00	72	S 57 W	83	-	-	-
17:00	35	S 62 W	78	-	-	-	

อาคารกรณีศึกษาหันหน้าอาคารไปทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ทำมุมจากทิศเหนือ 40 องศา (ทวนเข็มนาฬิกา) 320 องศา (ตามเข็มนาฬิกา) เมื่อวิเคราะห์แผนภูมิการโคจรดวงอาทิตย์ (sun chart) ละติจูด 14 องศาเหนือ สรุปได้ว่า

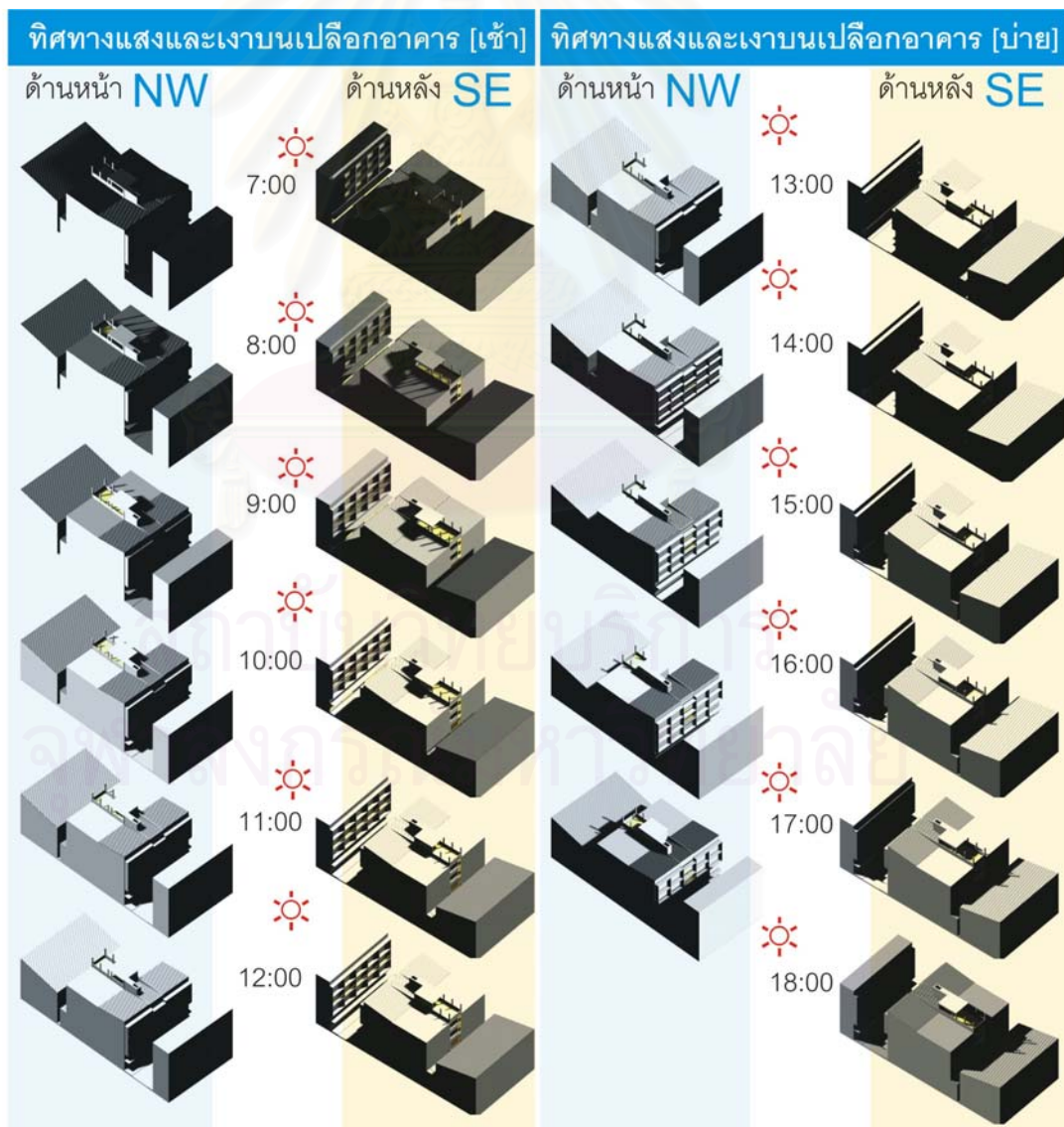
เปลือกอาคารด้านหน้าจะได้รับแสงอาทิตย์ เฉพาะช่วงบ่ายของวันเป็นส่วนมาก ในฤดูร้อน 21 มิถุนายน ของทุกปี เปลือกอาคารด้านหน้าจะโดนแดดตั้งแต่ 11.00-18.00 น. ส่วนในฤดูหนาว 21 ธันวาคม ของทุกปี เปลือกอาคารด้านหน้าจะโดนแดดเพียง 2-3 ชั่วโมง คือ 15.00-17.00 น. เมื่อวิเคราะห์ร่วมกับรูปแบบสถาปัตยกรรมพบว่าอาคารตึกแถวตรงข้ามที่มีความสูงเท่ากันมีอิทธิพลต่อการบังเงาให้แก่อาคารกรณีศึกษามาก ภาพที่ 4-11 ในฤดูร้อนชั้นล่างของอาคารจะโดนแดด 12.00-15.00 น. แต่ส่วนอื่นอาคารทำให้แดดไม่สามารถเข้าในอาคารได้เลย ส่วนชั้น 2 จะได้รับแดดเพิ่มขึ้น 1 ชั่วโมงคือ 12.00-16.00 น. เปลือกอาคารด้านหน้าโดนแดดเพียง 3 ชั่วโมง คือ 13.00-16.00 น. เปลือกอาคารชั้น 3 และ 4 จะได้รับแดดเพิ่มขึ้นอีก 1 ชั่วโมงตามลำดับ เนื่องจากไม่ได้รับอิทธิพลจากการบังเงาของอาคารฝั่งตรงข้ามและดวงอาทิตย์ทำมุมกับผิวโลกน้อยลง ส่วนในฤดูหนาวที่เปลือกอาคารด้านหน้าจะได้รับแสงแดดเพียง 2-3 ชั่วโมงนั้น แม้จะเป็นแดดมูมต่ำแต่เปลือกอาคารที่มีแผงกันแดดแนวตั้ง 1 เมตร ทำให้เกิดการบังเงาให้แก่เปลือกอาคารด้านหน้าดังแสดงในภาพที่ 4-10 และ 4-13

ภาพที่ 4-10 การวิเคราะห์ทิศทางของแสงอาทิตย์ต่ออาคารกรณีศึกษา

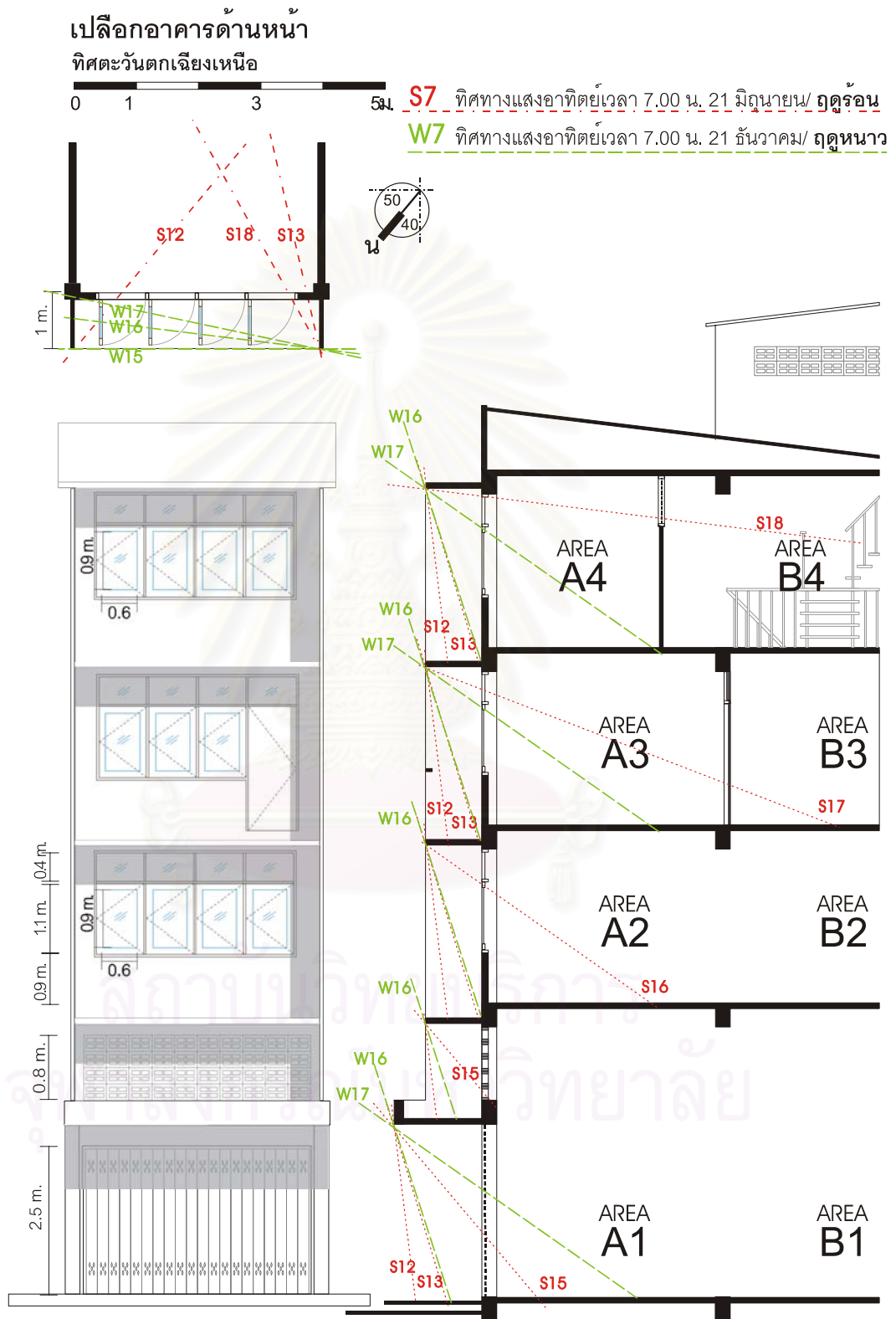


เปลือกอาคารด้านหลัง เมื่อพิจารณาเฉพาะทิศทางการวางอาคาร พบว่า ในแต่ละปีเปลือกอาคารด้านหลัง จะได้รับแสงแดดประมาณ 3 ใน 5 เท่าของเปลือกด้านหน้าอาคาร อีกทั้งช่วงเวลาที่แดดส่องส่วนมากจะเป็นเวลาตั้งแต่ 11.00 - 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่ร้อนที่สุดของวัน โดยในฤดูร้อน 21 มิถุนายน ของทุกปี เปลือกอาคารด้านหน้าจะโดนแดดตั้งแต่ 6.00 – 11.00 น. ส่วนในฤดูหนาว 21 ธันวาคม ของทุกปี เปลือกอาคารด้านหน้าจะโดนแดดเกือบทั้งวัน คือ 7.00 – 15.00 น. แต่เนื่องจากมีอาคารตึกแถวหลังอาคารที่มีระยะร่นตามกฎหมายเพียง 1 เมตร นั้น ทำให้อาคารตึกแถวสูง 10 เมตรด้านหลังอาคารกรณีศึกษา บังเงาให้แก่อาคารในชั้น 1 ตลอดทั้งปี ส่วนชั้น 2-4 รังสีอาทิตย์จะสามารถส่งผลต่อเปลือกอาคารโดยตรง ซึ่งต้องอาศัยรูปแบบสถาปัตยกรรมในการป้องกันแดดเป็นหลัก ทั้งนี้อาคารกรณีศึกษามีข้อได้เปรียบ ในรูปแบบสถาปัตยกรรมออกแบบเดิมคือ เป็นการใช้งานประเภทโซนบริการ ซึ่งจัดไว้เป็นสภาพกึ่งภายนอก (semi-outdoor) มีห้องน้ำเป็นส่วนป้องกันความร้อนเพียง 1 ใน 4 ของพื้นที่เปลือกอาคาร และมีผนังกันตกของลานซักล้าง (ผิวกระเบื้องเซรามิค) เป็นอุปกรณ์กันแดดแทน เนื่องจากระยะร่นตามกฎหมายไม่สามารถทำส่วนยื่นได้ ส่งผลให้แสงแดดเข้ามาได้ลึกถึง 4 - 5 เมตร

ภาพที่ 4-11 แสงและเงาของอาคารกรณีศึกษา (21 มิถุนายน)



ภาพที่ 4-12 การวิเคราะห์ทิศทางของแสงอาทิตย์ต่อเปลือกอาคารด้านหน้า





ภาพที่ 4-13 การวิเคราะห์ทิศทางของแสงอาทิตย์ต่อเปลือกอาคารด้านหลัง



#### 4.1.5 คุณสมบัติวัสดุอาคาร

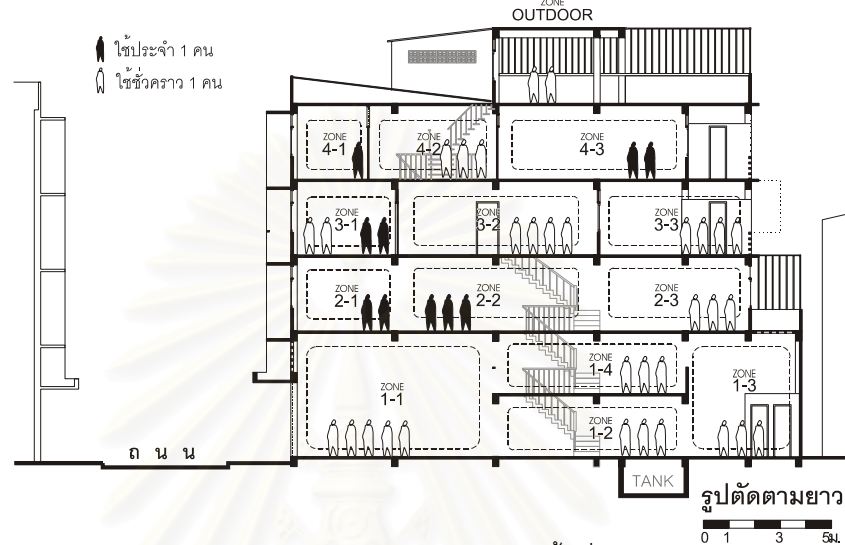
วัสดุก่อสร้างอาคารกรณีศึกษาเป็นวัสดุที่ใช้ก่อสร้างตึกแถวและอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ที่นิยมใช้วัสดุที่มีมวลสารมาก เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ ที่มีค่าความต้านทานความร้อน 0.295 ตร.ม. เซลเซียส/วัตต์ และมีคุณสมบัติในการหน่วงความร้อน 2 ชั่วโมงครึ่ง (ตริงใจ บูรณะสมภพ,2539) ทั้งนี้ค่าความต้านทานความร้อนต่าง ๆ อาจต่างไปตามคุณภาพการผลิตวัสดุและอายุอาคาร ดังนั้นการวิจัยนี้จึงใช้ข้อมูลจากคู่มืออนุรักษ์พลังงานในอาคาร กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 4-14

ภาพที่ 4-14 คุณสมบัติการต้านทานความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารกรณีศึกษา

<p>นอก R1      ใน R5</p> <p>U-VALUE = 3.39 (W/m<sup>2</sup> °C)</p>	<b>1</b> โครงสร้างวัสดุ	ค่า R (m <sup>2</sup> °C/W)																	
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>R1</td><td>ฟิล์มอากาศภายนอก</td><td>0.044</td></tr> <tr><td>R2</td><td>ปูนฉาบ หนา 10 มม. = 0.01/0.533</td><td>0.019</td></tr> <tr><td>R3</td><td>ผนังก่ออิฐมวลฉนวน หนา 75 มม. = 0.075/0.807</td><td>0.093</td></tr> <tr><td>R4</td><td>ปูนฉาบ หนา 10 มม. = 0.01/0.533</td><td>0.019</td></tr> <tr><td>R5</td><td>ฟิล์มอากาศภายใน</td><td>0.120</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td><b>ΣR = 0.295</b></td></tr> </tbody> </table>	R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.044	R2	ปูนฉาบ หนา 10 มม. = 0.01/0.533	0.019	R3	ผนังก่ออิฐมวลฉนวน หนา 75 มม. = 0.075/0.807	0.093	R4	ปูนฉาบ หนา 10 มม. = 0.01/0.533	0.019	R5	ฟิล์มอากาศภายใน	0.120			<b>ΣR = 0.295</b>
R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.044																	
R2	ปูนฉาบ หนา 10 มม. = 0.01/0.533	0.019																	
R3	ผนังก่ออิฐมวลฉนวน หนา 75 มม. = 0.075/0.807	0.093																	
R4	ปูนฉาบ หนา 10 มม. = 0.01/0.533	0.019																	
R5	ฟิล์มอากาศภายใน	0.120																	
		<b>ΣR = 0.295</b>																	
<p>นอก R1      ใน R5</p> <p>U-VALUE = 3.89 (W/m<sup>2</sup> °C)</p>	<b>2</b> โครงสร้างวัสดุ	ค่า R (m <sup>2</sup> °C/W)																	
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>R1</td><td>ฟิล์มอากาศภายนอก</td><td>0.044</td></tr> <tr><td>R2</td><td>ผนังก่ออิฐมวลฉนวน หนา 75 มม. = 0.075/0.807</td><td>0.093</td></tr> <tr><td>R3</td><td>ฟิล์มอากาศภายใน</td><td>0.120</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td><b>ΣR = 0.257</b></td></tr> </tbody> </table>	R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.044	R2	ผนังก่ออิฐมวลฉนวน หนา 75 มม. = 0.075/0.807	0.093	R3	ฟิล์มอากาศภายใน	0.120			<b>ΣR = 0.257</b>						
R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.044																	
R2	ผนังก่ออิฐมวลฉนวน หนา 75 มม. = 0.075/0.807	0.093																	
R3	ฟิล์มอากาศภายใน	0.120																	
		<b>ΣR = 0.257</b>																	
<p>นอก R1      ใน R3</p> <p>U-VALUE = 5.88 (W/m<sup>2</sup> °C)</p>	<b>3</b> โครงสร้างวัสดุ	ค่า R (m <sup>2</sup> °C/W)																	
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>R1</td><td>ฟิล์มอากาศภายนอก</td><td>0.044</td></tr> <tr><td>R2</td><td>กระจกใส หนา 6 มม. = 0.06/1.053</td><td>0.006</td></tr> <tr><td>R3</td><td>ฟิล์มอากาศภายใน</td><td>0.120</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td><b>ΣR = 0.17</b></td></tr> </tbody> </table>	R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.044	R2	กระจกใส หนา 6 มม. = 0.06/1.053	0.006	R3	ฟิล์มอากาศภายใน	0.120			<b>ΣR = 0.17</b>						
R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.044																	
R2	กระจกใส หนา 6 มม. = 0.06/1.053	0.006																	
R3	ฟิล์มอากาศภายใน	0.120																	
		<b>ΣR = 0.17</b>																	
<p>นอก R1      ใน R3</p> <p>U-VALUE = 2.69 (W/m<sup>2</sup> °C)</p>	<b>4</b> โครงสร้างวัสดุ	ค่า R (m <sup>2</sup> °C/W)																	
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>R1</td><td>ฟิล์มอากาศภายนอก</td><td>0.044</td></tr> <tr><td>R2</td><td>คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.3 ม. = 0.3/1.442</td><td>0.208</td></tr> <tr><td>R3</td><td>ฟิล์มอากาศภายใน</td><td>0.120</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td><b>ΣR = 0.372</b></td></tr> </tbody> </table>	R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.044	R2	คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.3 ม. = 0.3/1.442	0.208	R3	ฟิล์มอากาศภายใน	0.120			<b>ΣR = 0.372</b>						
R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.044																	
R2	คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.3 ม. = 0.3/1.442	0.208																	
R3	ฟิล์มอากาศภายใน	0.120																	
		<b>ΣR = 0.372</b>																	
<p>นอก R1      ใน R3</p> <p>U-VALUE = 3.30 (W/m<sup>2</sup> °C)</p>	<b>5</b> โครงสร้างวัสดุ	ค่า R (m <sup>2</sup> °C/W)																	
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>R1</td><td>ฟิล์มอากาศภายนอก</td><td>0.044</td></tr> <tr><td>R2</td><td>คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.2 ม. = 0.2/1.442</td><td>0.139</td></tr> <tr><td>R3</td><td>ฟิล์มอากาศภายใน</td><td>0.120</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td><b>ΣR = 0.303</b></td></tr> </tbody> </table>	R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.044	R2	คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.2 ม. = 0.2/1.442	0.139	R3	ฟิล์มอากาศภายใน	0.120			<b>ΣR = 0.303</b>						
R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.044																	
R2	คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.2 ม. = 0.2/1.442	0.139																	
R3	ฟิล์มอากาศภายใน	0.120																	
		<b>ΣR = 0.303</b>																	
<p>นอก R1      ใน R3</p> <p>U-VALUE = 4.10 (W/m<sup>2</sup> °C)</p>	<b>1</b> โครงสร้างวัสดุ	ค่า R (m <sup>2</sup> °C/W)																	
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>R1</td><td>ฟิล์มอากาศภายนอก</td><td>0.055</td></tr> <tr><td>R2</td><td>คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.1 ม. = 0.1/1.442</td><td>0.069</td></tr> <tr><td>R3</td><td>ฟิล์มอากาศภายใน แนวนอน</td><td>0.120</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td><b>ΣR = 0.244</b></td></tr> </tbody> </table>	R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.055	R2	คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.1 ม. = 0.1/1.442	0.069	R3	ฟิล์มอากาศภายใน แนวนอน	0.120			<b>ΣR = 0.244</b>						
R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.055																	
R2	คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 0.1 ม. = 0.1/1.442	0.069																	
R3	ฟิล์มอากาศภายใน แนวนอน	0.120																	
		<b>ΣR = 0.244</b>																	
<p>นอก R1      ใน R5</p> <p>U-VALUE = 0.89 (W/m<sup>2</sup> °C)</p>	<b>2</b> โครงสร้างวัสดุ	ค่า R (m <sup>2</sup> °C/W)																	
	<table border="1"> <tbody> <tr><td>R1</td><td>ฟิล์มอากาศภายนอก</td><td>0.055</td></tr> <tr><td>R2</td><td>แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ หนา 9 มม. = 0.09/0.836</td><td>0.108</td></tr> <tr><td>R3</td><td>ช่องอากาศหลังคาเอียงทำมุม 22.5-45 องศา</td><td>0.165</td></tr> <tr><td>R4</td><td>แผ่นไม้ฉัด หนา 9 มม. = 0.09/0.138</td><td>0.652</td></tr> <tr><td>R5</td><td>ฟิล์มอากาศภายใน</td><td>0.148</td></tr> <tr><td colspan="2"></td><td><b>ΣR = 1.128</b></td></tr> </tbody> </table>	R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.055	R2	แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ หนา 9 มม. = 0.09/0.836	0.108	R3	ช่องอากาศหลังคาเอียงทำมุม 22.5-45 องศา	0.165	R4	แผ่นไม้ฉัด หนา 9 มม. = 0.09/0.138	0.652	R5	ฟิล์มอากาศภายใน	0.148			<b>ΣR = 1.128</b>
R1	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.055																	
R2	แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ หนา 9 มม. = 0.09/0.836	0.108																	
R3	ช่องอากาศหลังคาเอียงทำมุม 22.5-45 องศา	0.165																	
R4	แผ่นไม้ฉัด หนา 9 มม. = 0.09/0.138	0.652																	
R5	ฟิล์มอากาศภายใน	0.148																	
		<b>ΣR = 1.128</b>																	

4.1.6 ผู้ใช้อาคาร

อาคารกรณีศึกษามีผู้ใช้อาคารรวม 10 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มครอบครัวเจ้าของบ้าน ได้แก่คู่สามีภรรยาและบุตร 3 คน และกลุ่มผู้อาศัยอื่น 5 คน ที่พฤติกรรมการใช้อาคารในวันทำงานและวันหยุดต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากแม่บ้านและบางส่วนของกลุ่มผู้อาศัยอื่นยังคงใช้อาคารทั้งวัน แต่มีอัตราการใช้แต่ละพื้นที่ต่างกันชัดเจน



ภาพที่ 4-15 รูปตัดอาคารแสดงจำนวนผู้ใช้อาคารและการแบ่งพื้นที่วิเคราะห์สภาวะภายในอาคาร

จากการจัดแบ่งกลุ่มพื้นที่ภายในอาคาร สามารถสรุปการใช้งานอาคารกรณีศึกษาเป็น 3 ลักษณะ ซึ่งมีอัตราการใช้งานต่างกัน ดังนี้

1. พื้นที่ส่วนสาธารณะ (public zone) มีการใช้งานเฉพาะช่วงเช้าและค่ำในวันทำงาน และใช้งานเกือบทั้งวันในวันหยุด โดยเฉพาะเวลาอาหาร ประกอบด้วยพื้นที่ 3 ส่วน ได้แก่ โถงส่วนอาศัยชั้นลอย (โซน 1-4) ส่วนอาศัย-นั่งเล่น (โซน 3-2) ส่วนรับประทานอาหาร-ครัว (โซน 3-3) รวมทั้งการใช้งานพื้นที่ทั่วไป ได้แก่ โถงจอดรถยนต์ (โซน 1-1) พื้นที่โถงบันไดชั้นล่าง (โซน 1-2)
2. พื้นที่ส่วนตัว (private zone) มีการใช้งานเฉพาะช่วงค่ำถึงเช้าทั้งวันทำงานและวันหยุด ประกอบด้วยพื้นที่ 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนอาศัย-นอน (โซน 2-1) โถงส่วนอาศัย-บันได (โซน 2-2) ส่วนอาศัย-นอน1 (โซน 3-1) ส่วนอาศัย-นอน2 (โซน 4-1) และส่วนอาศัย-นอน3 (โซน 4-2)
3. พื้นที่บริการ (service zone) มีการใช้เพียงเวลาสั้นๆ ประมาณ 10-15 นาที แต่มีการใช้เกือบทั้งวัน มี 2 ส่วน ได้แก่ โถงบริการชั้น 1 (โซน 1-3) และโถงบริการชั้น 2 (โซน 2-3)

จากรูปแบบการใช้งานพื้นที่ภายในอาคาร 3 รูปแบบ สามารถแจกแจงเป็นร้อยละของผู้ใช้ (occupancy profile) รวมถึงการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างและไฟฟ้ากำลังจากอุปกรณ์ต่าง ๆ สรุปเป็นตารางการใช้งานของพื้นที่ในรอบ 24 ชั่วโมง สำหรับใช้ในการสร้างหุ่นจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ ดังนี้

ตารางที่ 4-01 อัตราการใช้งานพื้นที่ห้อง จำแนกตามประเภทการใช้งาน

อัตราการใช้พื้นที่ (ร้อยละ)	เวลา (น.)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0
พื้นที่ส่วนสาธารณะ	20	20	20	20	50	50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	50	50	20	
พื้นที่ส่วนตัว	95	95	95	95	95	95	80	80	65	65	65	65	65	65	80	80	85	85	85	95	95	95	95	
พื้นที่บริการ	10	10	10	50	90	90	90	50	20	20	50	90	50	20	20	50	80	80	50	20	10	10	10	

## 4.2 การประเมินและวิเคราะห์สภาวะน่าสบายของอาคารกรณีศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการประเมินสภาวะน่าสบายภายในตึกแถวพักอาศัย โดยวิเคราะห์ข้อมูลสภาวะอากาศภายในอาคารที่วัดค่าจากอาคารจริงทั้งด้านอุณหภูมิ ความชื้น อุณหภูมิผิวผนังภายในอาคาร ความเร็วลม และการส่องสว่างของแสงธรรมชาติ ด้วยอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ตามรายละเอียดและวิธีการที่กล่าวในบทที่ 3 ทั้งภายในและภายนอกอาคารกรณีศึกษา โดยทำการวัดตลอด 24 ชั่วโมง วัดต่อเนื่อง 3 วัน ทั้งฤดูร้อนและฤดูหนาว ในเดือน พฤษภาคม มิถุนายน และธันวาคม พ.ศ. 2545

เพื่อความเป็นระบบในการวัดเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ การเก็บข้อมูลจึงจัดแบ่งพื้นที่อาคารเป็นส่วน ๆ ทั้งอาคาร และกำหนดจุดวัดค่าภายในและภายนอกอาคารรวม 26 ตำแหน่ง ตามภาพที่ 4-07 และนำมาข้อมูลที่วัดได้มาจัดแบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์สภาวะอากาศเป็นกลุ่มกลุ่มโซนในการออกแบบปรับปรุงต่อไป ดังแสดงรายละเอียดข้อมูลสภาวะอากาศไว้ในภาคผนวก การประเมินสภาวะอากาศภายในอาคารกรณีศึกษาด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศ ดังต่อไปนี้

### 4.2.1 การประเมินและวิเคราะห์สภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ ของอาคารกรณีศึกษา

การวิจัยนี้พิจารณาตัวแปรสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิผิวผนังเฉลี่ย (MRT) และความเร็วม โดยมียาละเอียด ดังนี้

#### อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์

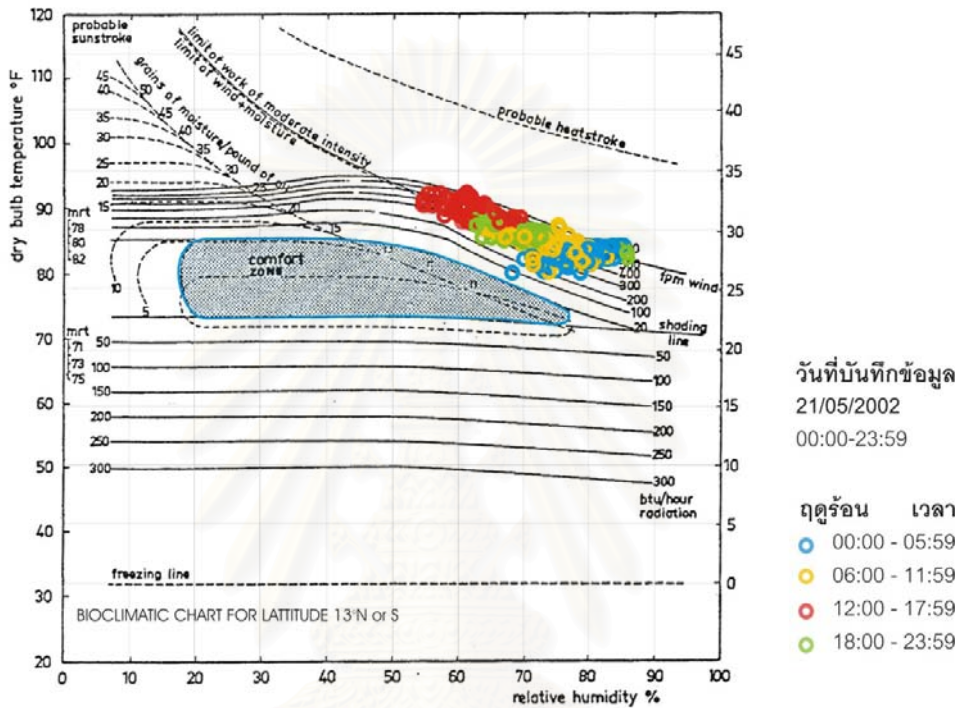
การประเมินสภาวะน่าสบายจากสภาพอากาศภายในอาคารของการวิจัยนี้ อ้างอิงเขตสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิที่ 25-31 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 25-75% จากการประเมินข้อมูลปัจจัยทั้งสองควบคู่กันด้วยแผนภูมิ bioclimatic chart ตามแผนภูมิที่ 4-02 ถึง 4-05 พบว่าสภาวะน่าสบายภายในอาคารในฤดูร้อนอยู่นอกเขตสบายทั้งหมด ส่วนฤดูหนาวมีเพียงบางพื้นที่ของอาคารที่สภาวะอากาศอยู่ในเขตสบายทางอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ ดังนี้

ฤดูร้อน อุณหภูมิภายในอาคารอยู่ระหว่าง 27-34 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 50-85 % ในขณะที่อุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ระหว่าง 26-35 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 42-90 % โดยในช่วงเวลา 7.00-17.00 น. (กลางวัน) อุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 0-4 องศาเซลเซียส ความชื้นภายในสูงกว่าภายนอก 0-10 % และช่วงเวลา 18.00-6.00 น. (กลางคืน) อุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอกไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส แต่ความชื้นต่ำกว่าภายนอก 0-12 % ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเขตสภาวะน่าสบายที่ได้เสนอไว้ พบว่าอุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่า 31 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาประมาณ 12.00-17.00 น. และความชื้นภายในอาคารสูงกว่า 75 % ในช่วงเวลาประมาณ 0.00-6.00 น. ซึ่งสรุปได้ว่าสภาวะอากาศภายในอาคาร เมื่อพิจารณาร่วมกันระหว่างอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ มีสภาวะส่วนมากต่ำกว่ามาตรฐานขั้นต่ำที่ควรจะเป็น ตามแผนภูมิที่ 4-05 - 16

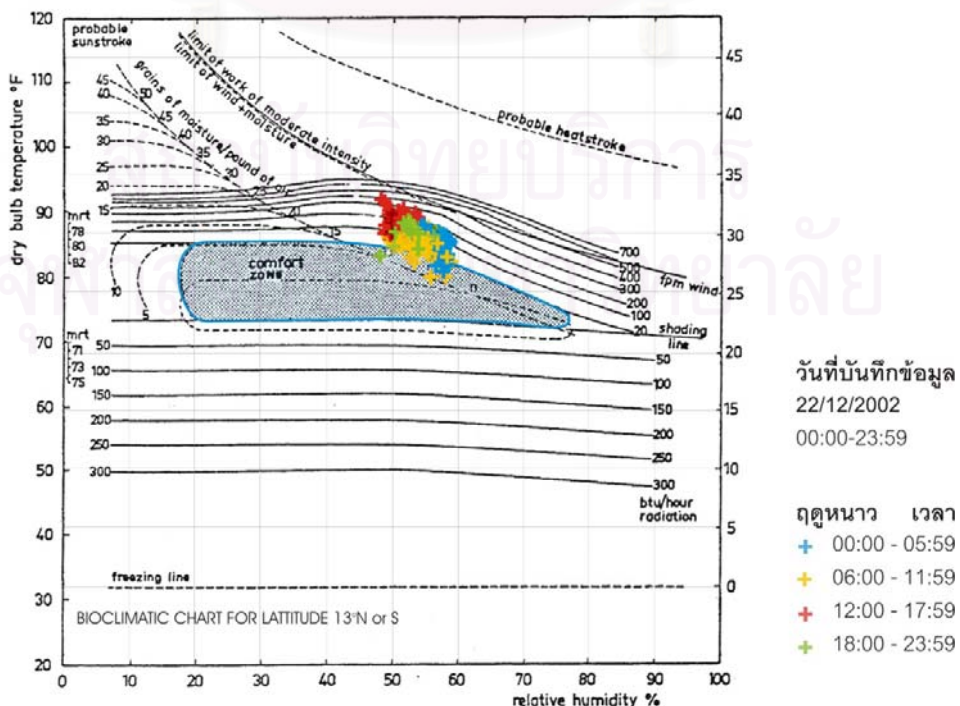
ฤดูหนาว อุณหภูมิภายในอาคารอยู่ระหว่าง 26-34 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 45-60% ในขณะที่อุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ระหว่าง 27-34 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 45-62 % โดยช่วงเวลา 7.00-19.00 น. (กลางวัน) อุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกประมาณ 0-1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ภายในสูงกว่าภายนอก 0-8 % และช่วงเวลา 20.00-6.00น. (กลางคืน) อุณหภูมิภายในจะสูงกว่าภายนอกประมาณ 1 องศา

เซลเซียส ความชื้นต่ำกว่าภายนอก 0-10% เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเขตสภาวะน่าสบายที่ได้เสนอไว้ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ในขณะที่อุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่า 31 เซลเซียสในช่วงเวลาประมาณ 12.00 - 18.00 น. ซึ่งสรุปได้ว่าสภาวะอากาศภายในอาคาร เมื่อพิจารณาร่วมกันระหว่างอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ มีบางส่วนที่ไม่ได้มาตรฐานตามที่ควรจะเป็น ตามแผนภูมิที่ 4-02 ถึง 4-05

แผนภูมิที่ 4-02 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารกรณีศึกษา ฤดูร้อน

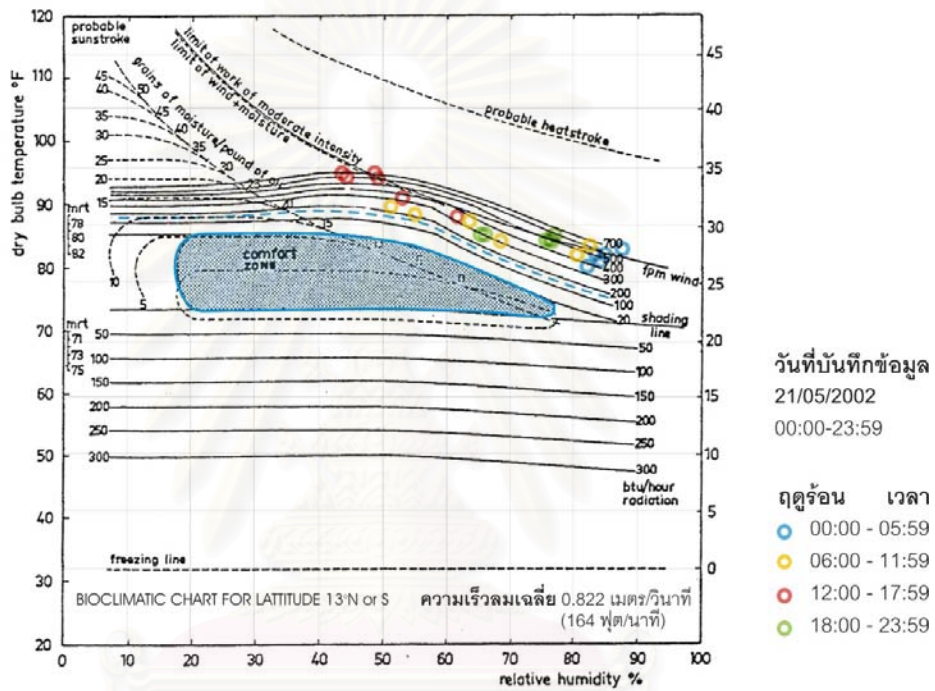


แผนภูมิที่ 4-03 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารกรณีศึกษา ฤดูหนาว

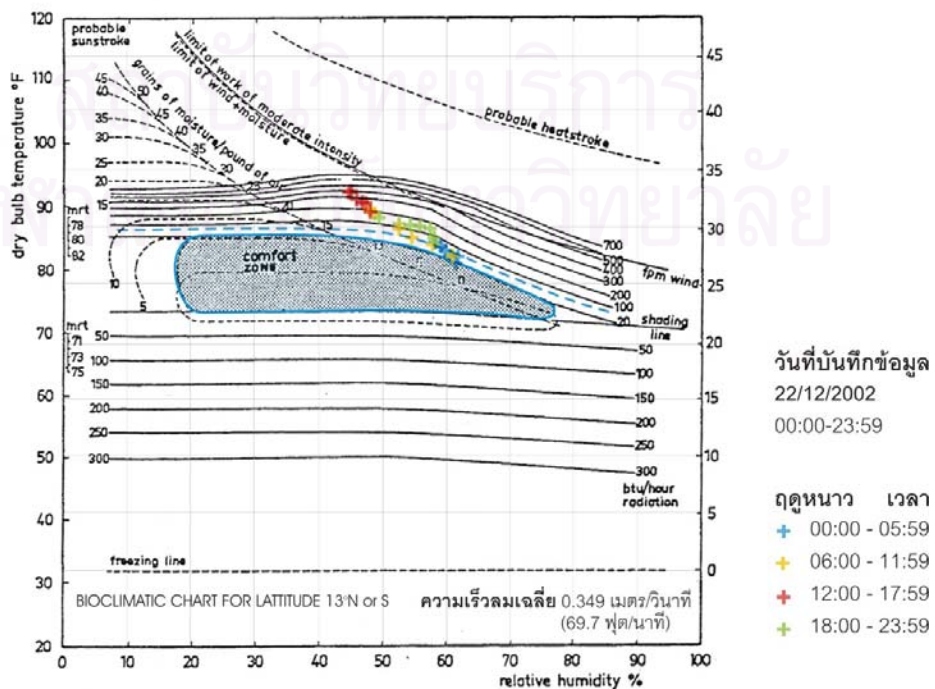


การประเมินสภาวะอากาศโดยใช้ bioclimatic chart นี้ แสดงให้เห็นว่าสภาวะอากาศภายในอาคารโดยรวมอยู่นอก comfort zone นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าในฤดูร้อนซึ่งอากาศภายในอยู่นอกเขตสบายทั้งหมด ไม่สามารถอาศัยความเร็วลมเพียงปัจจัยเดียวในการปรับสภาพอากาศให้เข้าสู่สภาวะน่าสบายได้ เนื่องจากต้องการความเร็วลมถึง 3.5 เมตร/วินาที (700 ฟุต/นาทีก) ซึ่งเป็นลมรบกวนไม่เหมาะสมกับสภาวะน่าสบาย ควรจำกัดความเร็วลมให้มีค่าประมาณ 0.09-2.25 เมตร/วินาที ในห้องที่มีการระบายอากาศตามธรรมชาติ

แผนภูมิที่ 4-04 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคารกรณีศึกษา ฤดูร้อน



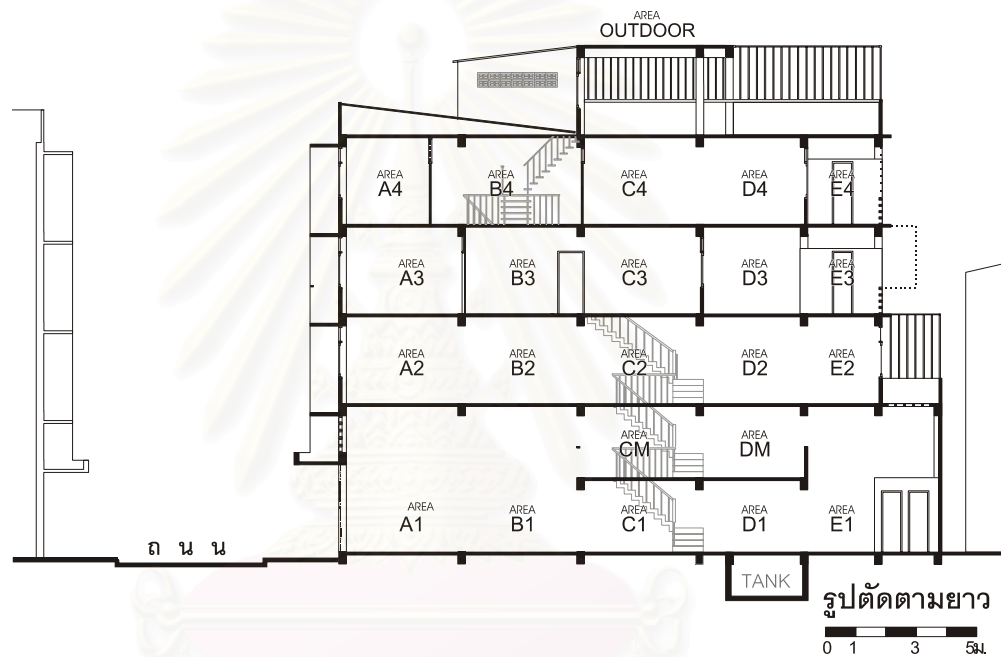
แผนภูมิที่ 4-05 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคารกรณีศึกษา ฤดูหนาว



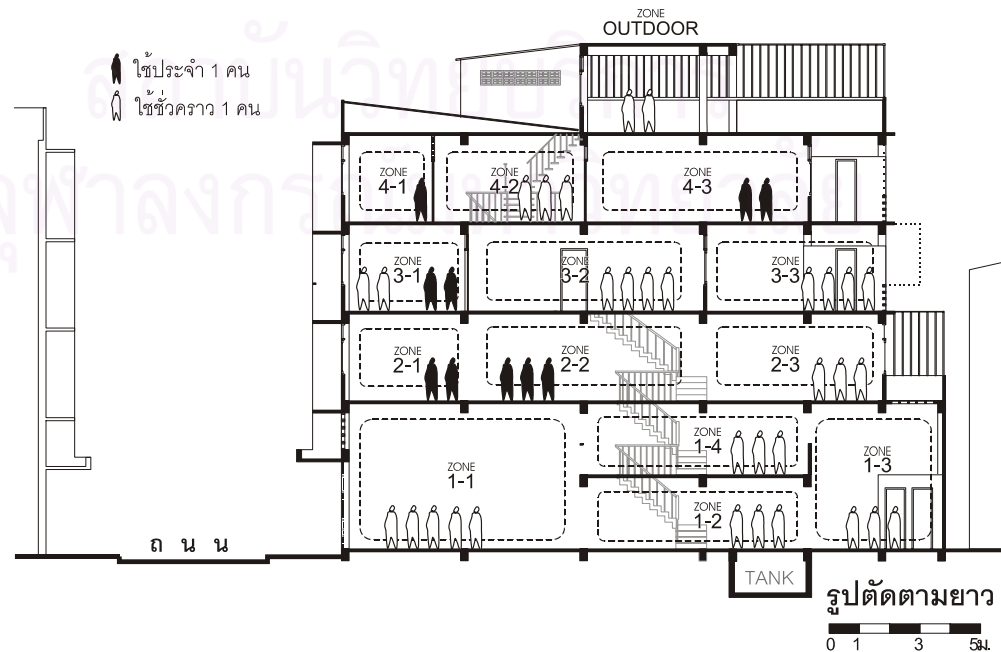
จากข้อมูลการวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นแต่ละชั้น ทั้งฤดูร้อนและฤดูหนาว แสดงไว้ในภาคผนวก สามารถสรุปได้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของอาคาร เมื่อพิจารณาพื้นที่การวัดในชั้นเดียวกันตั้งแต่หน้าอาคารถึงหลังอาคาร มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์แต่ละพื้นที่ภายในชั้นเดียวกัน ต่างกันไม่เกิน 2-3% RH

ดังนั้น การวิเคราะห์หีสภาวะอากาศภายในอาคารเพื่อนำไปสู่การออกแบบปรับปรุงอาคารให้มีสภาวะ น่าสบายเพิ่มขึ้น จึงรวมพื้นที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน 23 ตำแหน่ง จากภาพที่ 4-16 สรุปเป็นโซน 13 โซน ดัง แสดงในภาพที่ 4-17

ภาพที่ 4-16 รูปตัดอาคารแสดงตำแหน่งพื้นที่การวัดเก็บข้อมูลอากาศอาคารกรณีศึกษา 23 พื้นที่



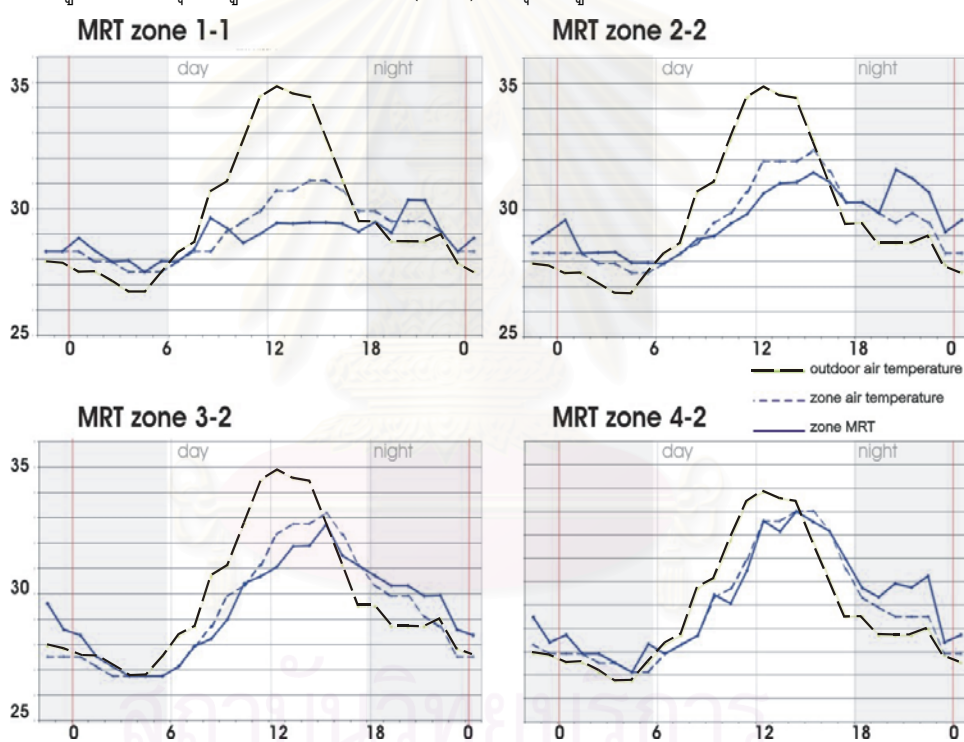
ภาพที่ 4-17 รูปตัดอาคารแสดงตำแหน่งโซนการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา 13 โซน



### อุณหภูมิผิวอาคารเฉลี่ย (MRT)

อุณหภูมิผิวอาคารเฉลี่ย จากการคำนวณโดยใช้สมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิ globe temperature และความเร็วลม ( $T_{mrt} = \{ [1 + (0.222 \times (V_{a0.5}))] \times (T_g - T_a) \} + T_a$ ) พบว่าเกือบทั้งอาคารมีค่า MRT ใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง โดย ต่ำกว่า อุณหภูมิห้อง  $1^{\circ}\text{C}$  เวลากลางวัน (10.00-17.00น) และ MRT สูงกว่า อุณหภูมิห้อง  $1^{\circ}\text{C}$  เวลากลางคืน (16.00-05.00น) ช่วยส่งเสริมสภาวะน่าสบายเมื่อมีระบายนอกอาคารตามธรรมชาติ แต่ไม่เหมาะสมกับการใช้เครื่องปรับอากาศ เนื่องจากผนังด้านหน้าและหลังอาคารมีมวลสารมาก (ก่ออิฐฉาบปูนเรียบ 10 ซม.) ส่งผลให้เกิดการหน่วงความร้อนที่สะสมไว้ในตอนกลางวัน เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศทดสอบโซน 3-1 (ชั้น 3 ห้องด้านหน้าอาคาร) เวลาประมาณ 20.00 น. พบว่าจะต้องใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ในการปรับอุณหภูมิลดลงที่  $25^{\circ}\text{C}$  และวัดความชื้นสัมพัทธ์ให้มีค่าประมาณ 40% RH

แผนภูมิที่ 4-06 อุณหภูมิผิวอาคารเฉลี่ย (MRT) กับอุณหภูมิอากาศภายในห้องและภายนอก ชั้น 1-4



สำหรับอุณหภูมิผิวผนังระหว่างอาคาร พื้นคอนกรีตและฝ้าเพดานคอนกรีตเปลือยทั้งอาคาร มีอุณหภูมิผิวใกล้เคียงกันตลอดทั้งวัน ประมาณ  $30-33^{\circ}\text{C}$  ยกเว้นโซนที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ และเปลือกอาคาร ชั้น 3 และ 4

โซน 3-1 ห้องนอน 1 อุณหภูมิผิวภายใน 4 ด้านได้แก่ ผนังระหว่างคานา เพดานคอนกรีตเปลือย และผนังไม้อัดกันห้องภายในอาคารมีอุณหภูมิผิว  $30-34^{\circ}\text{C}$  แตกต่างกันไม่เกิน  $1^{\circ}\text{C}$  แต่ผนังด้านหน้าและพื้นไม้ปาร์เก้หนา 10 มม. มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าอุณหภูมิห้อง  $1-3^{\circ}\text{C}$  ทั้งนี้เนื่องจากผนังด้านหน้ามีการสะสมความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ ส่วนพื้นไม้ดังกล่าวมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าเพดานคอนกรีตเปลือยของห้องด้านล่าง โซน 2-1 ที่มีอุณหภูมิเย็นกว่า ไม่สามารถถ่ายเทความร้อนโดยการนำได้ และแม้ว่าอุณหภูมิอากาศทั้งภายในและภายนอกต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนังหน้าและพื้นไม้ แต่ไม่มีกระแสลมที่พาความร้อนออกไปได้เพราะมีทางเข้าออกลมด้านเดียว



โซน 4-1 4-2 และ 4-3 ในชั้นสูงสุดของอาคาร มีผล MRT ที่ต่างจากชั้นอื่น ๆ ของอาคาร คือ อุณหภูมิผิวภายในทั้งหมดใกล้เคียงหรือสูงกว่าอุณหภูมิห้อง 1-4 °C โดยที่ค่าอุณหภูมิผิวภายในอาคารแตกต่างกัน ดังนี้

อุณหภูมิผิวนั่งก่อกอิฐฉาบปูนหน้าและหลัง	29-36 °C
อุณหภูมิผิวลูกฟูกกระจกหน้าต่างโซน 4-1	29-36 °C
อุณหภูมิผิวนั่งก่อกอิฐฉาบปูนระหว่างคาน	30-34 °C
พื้นไม้ปาร์เก้ หนา 10 มม. โซน 4-1	28-33 °C
พื้นกระเบื้องเซรามิคสีเขียวหยก โซน 4-3	28-38 °C
ฝ้าเพดานแผ่นเรียบใต้หลังคากระเบื้องใยหิน	29-40 °C
ฝ้าเพดานคอนกรีตเปลือยใต้พื้นดาดฟ้า	28-38 °C

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในห้องมีค่าประมาณ 29-35 °C

ทั้งนี้ ข้อมูลการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวอาคารเฉลี่ยแสดงเป็นตารางข้อมูลและแผนภูมิไว้ในภาคผนวก

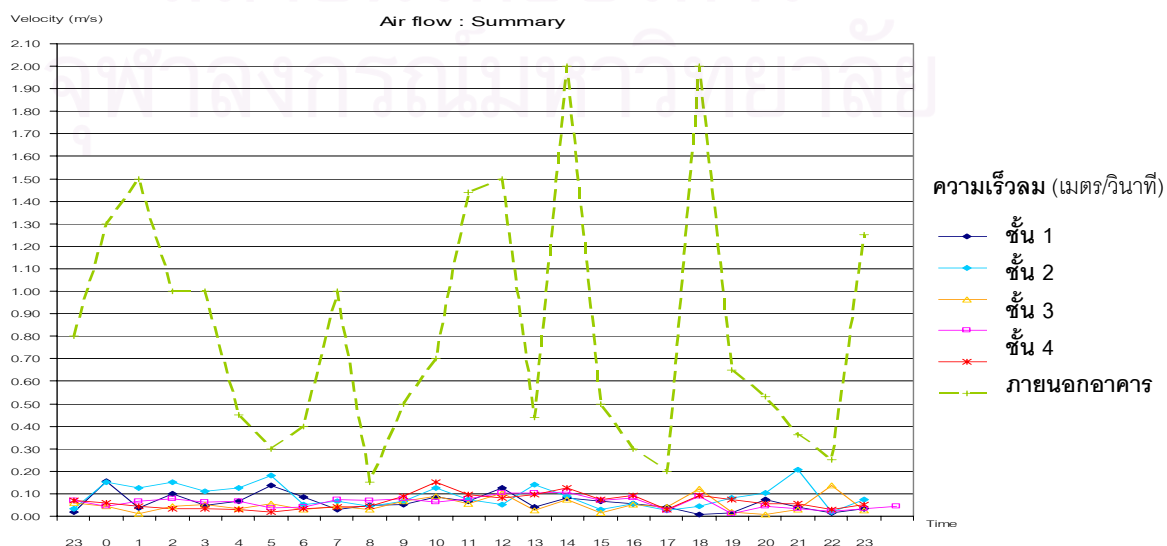
### ความเร็วลม

ความเร็วลมภายในอาคารทั้งฤดูร้อนและหนาวมีความเร็วลมภายในอาคารประมาณ 0 – 0.1 เมตร/วินาที ซึ่งไม่ถึงเป็นลมรบกวนต่อสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ ไม่สามารถรู้สึกได้ในบางพื้นที่ภายในอาคาร หรือรู้สึกได้เพียงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วลมภายนอกอาคารหน้าช่องเปิด ความเร็วลมหน้าช่องเปิดหน้าอาคาร (NW) แสดงในตารางที่ 4-02 ส่วนความเร็วลมหน้าช่องเปิดหลังอาคารมีค่าใกล้เคียงภายในอาคารในชั้น 1-3

ตารางที่ 4-02 ความเร็วลมหน้าช่องเปิดด้านหน้าอาคารกรณีศึกษา (เมตร/วินาที)

	Outdoor			AREA A			AREA B			AREA C			AREA D			AREA E			Indoor Average
	Summer	Winter	Max	Summer	Winter	Max	Summer	Winter	Max	Summer	Winter	Max	Summer	Winter	Max	Summer	Winter	Max	
Deck	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.792	0.463	-	-	-	-	-	-	-	0.6271
Floor 4	-	0.284	1.120	0.047	0.071	0.249	0.044	0.048	0.247	0.035	0.039	0.166	0.045	0.059	0.181	0.152	0.197	0.382	0.0737
Floor 3	-	0.263	1.490	0.099	0.235	0.250	0.030	0.038	0.178	0.032	0.056	0.200	0.106	0.057	0.352	0.060	0.150	0.222	0.0862
Floor 2	-	0.235	0.580	0.090	0.133	0.235	0.056	0.118	0.197	0.042	0.052	0.180	0.076	0.348	0.179	0.029	0.080	0.114	0.1023
Floor M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.086	0.141	0.260	0.091	0.065	0.256	-	-	-	0.0960
Floor 1	-	0.181	1.120	0.083	0.090	0.245	0.119	0.038	0.228	0.061	0.035	0.175	0.062	0.029	0.167	0.019	0.028	0.100	0.0563

แผนภูมิที่ 4-07 ความเร็วลมเฉลี่ยภายในและนอกอาคารกรณีศึกษา

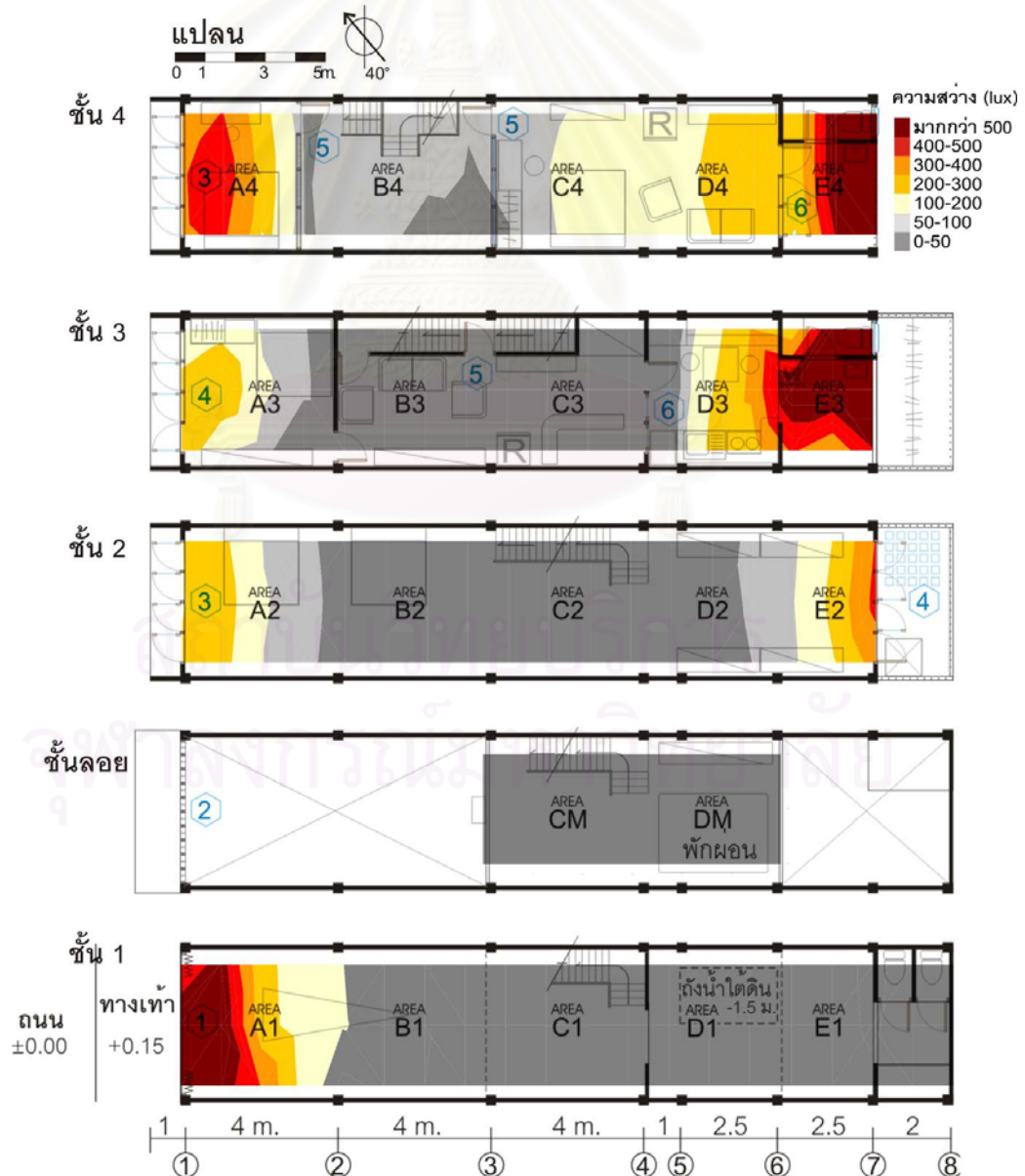


#### 4.2.2 การประเมินและวิเคราะห์สภาวะนำสบายด้านแสงสว่าง ของอาคารกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้อ้างอิงมาตรฐานสภาวะนำสบายด้านแสงสว่างที่ 300 ลักซ์ ตามมาตรฐาน CIE และ IES ดังแสดงไว้ในบทที่ 2 ผลการประเมินอาคารตึกแถวกรณีศึกษาจากการวัดอาคารจริง พบว่ามีสภาวะนำสบายด้านแสงสว่าง ต่ำกว่ามาตรฐานเกือบทั้งอาคาร มีพื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพในระยะ 1-2 เมตรจากช่องแสงเปลือกอาคารด้านหน้า และในระยะ 2-3 เมตรจากช่องแสงเปลือกอาคารด้านหลัง คิดเป็นพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติที่ผ่านมาตรฐานสภาวะนำสบายประมาณ 46 ตารางเมตร หรือร้อยละ 14 ของพื้นที่ใช้สอยทั้งอาคาร (รวมพื้นที่กึ่งภายนอก semi-outdoor) ข้อมูลรายละเอียดแสดงในภาคผนวก

ทั้งนี้ หากพิจารณามาตรฐานแสงสว่างที่ระดับความสว่างมากกว่า 50 ลักซ์ ซึ่งเพียงพอสำหรับเป็นทางเดินทั่วไป พบว่าพื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติที่ผ่านมาตรฐานดังกล่าวประมาณ 74 ตารางเมตร หรือร้อยละ 22 ของพื้นที่ใช้สอยทั้งอาคาร ตามภาพที่ 4-08

แผนภูมิที่ 4-08 ระดับความสว่างภายในอาคารกรณีศึกษา (วันที่ 21 มิถุนายน 2545 เวลา 1.00-13.00 น.)



### 4.2.3 การประเมินและวิเคราะห์สภาวะนำสบายด้านการระบายอากาศ ของอาคารกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้อ้างอิงมาตรฐานสภาวะนำสบายด้านการระบายอากาศของ ASHRAE ตามรายการคำนวณ อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำของแต่ละพื้นที่ตามมาตรฐานในภาคผนวก ผลการประเมินอาคารตึกแถวกรณีศึกษาพบว่าอาคารมีสภาวะนำสบายด้านการระบายอากาศ ต่ำกว่า มาตรฐานเกือบทั้งอาคาร ยกเว้น ชั้น 2 และโซน 4-1 ที่การระบายอากาศตามธรรมชาติเหมาะสมต่อการใช้งาน เนื่องจากมีช่องลมเข้าและช่องลมออกที่เพียงพอ

ในกรณีที่มีการเปิดประตูภายในอาคาร ที่กั้นระหว่างพื้นที่ใช้สอยภายในทิ้งไว้ตลอดเวลา มีผลทำให้อัตราการระบายอากาศอยู่ในสภาวะนำสบายเพิ่มขึ้น 4 โซน ได้แก่ โซน 3-1 ห้องนอน 1, โซน 3-2 โถงพักผ่อนชั้น 3, โซน 4-2 โถงบันไดชั้น 4 และโซน 4-3 ห้องนอน 3 ตามตารางที่ 4-03 ทั้งนี้ สาเหตุที่การระบายอากาศ ต่ำกว่ามาตรฐาน เป็นเพราะไม่มีทางออกลมในพื้นที่ อันเนื่องมาจากการกั้นพื้นที่ใช้สอยภายใน รวมถึงความต้องการขยายพื้นที่การใช้งานห่างแนวเขตที่ดินด้านหลังเพียง 1 เมตร ทำให้ไม่สามารถเจาะช่องเปิดอาคารตามระยะรั้วในกฎหมายได้ (ไม่ต่ำกว่า 3 เมตร)

ตารางที่ 4-03 อัตราการระบายอากาศอาคารกรณีศึกษา

ZONE	ขนาดช่องเปิด (ตร.ม.)		ขนาดช่องเปิด (ตร.ม.)		Ratio of outlet to inlet or vice versa		increase in percentage*		Effective Opening** (ตร.ม.)		ความเร็วลมเฉลี่ย ณ ช่องเปิด (m/s)			อัตราการระบายอากาศอาคาร		อัตราการระบายอากาศที่ต้องการ **** (m3/hr.)		
	ลมเข้า		ลมออก		หน้าต่าง		หน้าต่าง		หน้าต่าง		มีรูแนขน	รั้วแนวค	เฉลี่ย	กรณีเปิด หน้าต่างปกติ	กรณีเปิด หน้าต่างและประตู			
	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู	หน้าต่าง และ ประตู				
Zone 1-1	0.25	6.85	0	0	-	-	-	-	0	0				0.181	0.181	0	0	180-864
Zone 1-2, 1-3, 1-4																		135
Zone 2-1, 2-2, 2-3	3.52	3.52	2.64	4.24	1.33	1.20	13%	10%	2.98	3.87			0.235	0.235	631	819	81	
Zone 3-1	2.64	4.24	0	1.60	-	2.65	-	32%	0	2.11			0.263	0.263	0	501	108	
Zone 3-2	0	1.60	0	1.60	-	1.00	-	0%	0	1.60	0.099	0.235	0.167	0	0	240	108	
Zone 3-3	0	1.60	0	4.76	-	2.98	-	34%	0	2.14	0.062	0.093	0.078	0	0	150	180	
Zone 4-1	3.52	3.52	0.38	1.98	9.26	1.78	38%	24%	0.52	2.46			0.284	0.284	134	627	54	
Zone 4-2	0.38	1.95	0.36	1.96	1.06	1.01	0%	0%	0.36	1.95	0.047	0.071	0.059	0	19	104	54	
Zone 4-3	0	1.60	2.64	4.24	-	2.65	-	32%	0	2.11	0.044	0.048	0.046	0	0	87	54	

**หมายเหตุ**

\* การอ่านค่าตามแผนภูมิที่ 4-09 (ASHRAE,1997)

\*\* คำนวณตามสมการ effective opening (ตร.ม.) = (1+ increase in percentage) x ขนาดช่องเปิดจริง(ตร.ม.)

\*\*\* คำนวณจากสูตรอัตราการระบายอากาศผ่านช่องเปิด

$$Q = Cv(A)(V) \times 3600$$

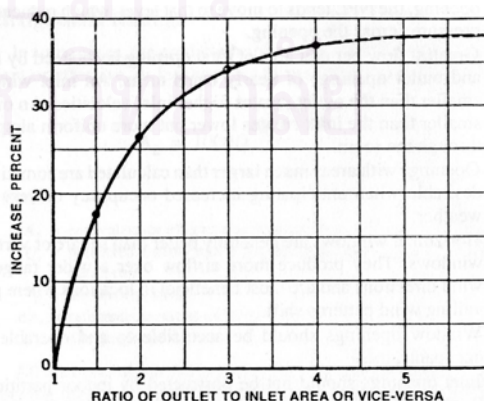
หน่วย Q (m3/s)

Cv = 0.25

A (m2)

V (m/s)

3600 = แปลงหน่วยเป็นชั่วโมง



แผนภูมิที่ 4-09 ร้อยละของการเพิ่มประสิทธิภาพช่องเปิดกรณีช่องลมเข้าและออกไม่เท่ากัน

#### 4.3 สรุปการประเมินผลสภาวะนำสบายด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศ อาคารกรณีศึกษา

การวิเคราะห์เปรียบเทียบทุกพื้นที่ในแต่ละชั้น เพื่อประเมินสภาวะนำสบายในอาคารด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศ จากการเก็บข้อมูลจากการวัดค่าสภาวะอากาศ (รายละเอียดในภาคผนวก) สามารถสรุปสภาวะนำสบายในอาคารตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษาในฤดูร้อนและหนาว การระบายอากาศตามธรรมชาติ และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะนำสบาย ทั้งที่ส่งเสริมและเป็นผลเสียในภาพรวมขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลต่อสภาวะนำสบาย ได้แก่ สภาพแวดล้อม เช่น การวางอาคาร พื้นดิน ถนนคอนกรีตและอาคารข้างเคียง และปัจจัยภายใน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของสถาปัตยกรรม เช่น ปริมาตรอากาศ วัสดุ และรูปแบบเปลือกอาคารและอุปกรณ์กันแดด ตามที่เสนอไว้ในหัวข้อ 4.1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ชั้น 1 และชั้นลอย** ประกอบด้วยพื้นที่ 4 โซน ได้แก่ โถงทางเข้าอาคาร ส่วนจอดรถยนต์ โถงบันได ลานซักล้างและชั้นลอยเป็นโถงสูง 5 เมตรมีอากาศต่อเนื่องถึงกันหมด มีอุณหภูมิและความชื้นใกล้เคียงกันทั้งชั้น ยกเว้นด้านหน้าอาคาร โซน 1-1

ตารางที่ 4-04 สรุปสภาวะอากาศอาคารกรณีศึกษา ชั้น 1 และชั้นลอย

ฤดูร้อน (มิถุนายน 2545)	กลางวัน 06.00-18.00น.	ภายใน	ภายนอก	กลางคืน 18.00-06.00น.	ภายใน	ภายนอก
	อุณหภูมิสูงสุด °C 15.00น	31-33	35	อุณหภูมิต่ำสุด 04.00น	27.5	26.8
ความชื้นต่ำสุด 14.00น	55-65%	44%	ความชื้นสูงสุด 23.00น	84-86%	90%	
ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.08	0.76	ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.07	0.88	
อุณหภูมิภายใน ต่ำ กว่าภายนอก 1-2 °C			อุณหภูมิภายใน สูง กว่าภายนอก 0.5-1 °C			
ความชื้น สูง กว่าภายนอก 20%RH			ความชื้น ต่ำ กว่าภายนอก 5%RH			
MRT ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง 1.5°C 11.00-19.00น			MRT ต่ำกว่าภายนอก 12.00น 5°C			
MRT สูงกว่าอุณหภูมิห้อง 1°C 21.00-06.00น			MRT สูงกว่าภายนอก 23.00น 1.5°C			
ฤดูหนาว (ธันวาคม 2545)	กลางวัน 06.00-18.00น.	ภายใน	ภายนอก	กลางคืน 18.00-06.00น.	ภายใน	ภายนอก
	อุณหภูมิสูงสุด °C 15.00น	30-31	33	อุณหภูมิต่ำสุด 06.00น	27	27
ความชื้นต่ำสุด 14.00น	50%	44%	ความชื้นสูงสุด 06.00น	57%	63%	
ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.03	0.4	ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.04	0.3	
อุณหภูมิภายใน ต่ำ กว่าภายนอก 2 °C			อุณหภูมิภายใน สูง กว่าภายนอก 0.5-2 °C			
ความชื้น สูง กว่าภายนอก 5%RH			ความชื้น ต่ำ กว่าภายนอก 5%RH			

สรุปได้ว่า **ชั้น 1 และชั้นลอย** มีปัญหาสภาวะนำสบาย 3 ด้าน ดังนี้

- **ด้านอุณหภูมิ อุณหภูมิอากาศ** เป็นชั้นเดียวในอาคารที่ไม่มีปัญหาความร้อน ยกเว้นโซน 1-1 อยู่นอกเขตสบาย 4-5 ชั่วโมง/วัน.ในฤดูร้อน  
ความชื้นสัมพัทธ์ สูงกว่าสภาวะนำสบายเฉพาะช่วงกลางคืน 10-15 %RH  
ความชื้นต่ำสุด 13.00น แต่สูงกว่าภายนอกถึง 20 % RH  
MRT ต่ำกว่าอุณหภูมิห้องช่วงกลางวัน ขึ้นลง 1.5 °C ช่วยส่งเสริมสภาวะนำสบาย

ความเร็วลม ต้องการลม 3 เมตร/วินาที (600 ฟุต/วินาที) ในการปรับสู่เขตสบาย

- **ด้านแสงสว่าง** อยู่นอกเขตสบาย ได้รับแสงธรรมชาติ โซน 1-1 ในระยะ 2 เมตรจากช่องเปิด (ไม่ต่ำกว่า 200 lux) ส่วนอื่นต่ำกว่า 50 lux ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน
- **ด้านการระบายอากาศ** มีการระบายอากาศใกล้เคียงศูนย์ ต่ำกว่ามาตรฐาน 180 ลบ.ม./ชม. เนื่องจากไม่มีช่องลมออก

### ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย ชั้น 1

1. **สภาพแวดล้อม** เนื่องจากเป็นพื้นที่ชั้นล่าง ที่รับความเย็นโดยตรงจากพื้นดินที่รองรับพื้นคอนกรีตขัดมัน ผนังด้านหน้าและหลังได้รับรังสีจากอาคารตรงข้ามเกือบตรงทั้งวันและทั้งปี (ดังภาพที่ 4-10 -13) แม้ว่าจะมี อุณหภูมิต่ำที่สุดในอาคารเพราะได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์โดยตรงในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่ได้รับรังสีความร้อนจาก ถนนคอนกรีตด้านหน้าอาคารที่สะท้อนเข้ามาในตัวอาคารในเวลา 12.00-15.00 น. แต่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการ กระจายแสงเข้าในอาคาร ช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิที่เย็นกว่าภายนอกและเย็นกว่าส่วนอื่น ๆ ประมาณ 0.5 เซลเซียส เกิดจากความเย็นจากการแลกเปลี่ยนอากาศเย็นนอกอาคาร (night ventilation)

2. **รูปแบบสถาปัตยกรรม** มีลักษณะเป็นโครงสร้างเดิมเหมือนตึกแถวทั่วไปที่ไม่ได้ตกแต่ง ใช้ผนังร่วม 2 ด้านเป็นผนังภายในก่ออิฐฉาบปูน ยาวขนานตลอดแนวตามความยาวของพื้นที่ (20 เมตร) จากการศึกษาแนว การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในวันที่ใกล้ผิวโลกมากที่สุดในหน้าร้อน (summer solstice) พบว่าผนังด้านหน้าจะ โดนแดดมากที่สุดเพียงเวลาสั้น ๆ 12.00-15.00 น. โดยเปลือกอาคารด้านหน้าจะรับแสงแดดในช่วงบ่าย 15.00-18.00 น. ดังภาพที่ 4-10 ประกอบด้วย 4 พื้นที่ที่มีลักษณะและเงื่อนไขแตกต่างกัน ดังนี้

- โซน 1-1 เป็นโถงโล่งขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 8 เมตร สูง 5 เมตร ซึ่งมีปริมาตรอากาศ (space) ใหญ่กว่าโซนอื่น ๆ และต่อเนื่องถึงกันทั้งชั้นโดยไม่มีผนังกัน ทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลจากผนังภายใน อาคาร ผนังด้านหน้าเป็นประตูเหล็กยึดเปิดสู่ทางสาธารณะโดยด้านบนเป็นช่องลมคอนกรีต รับแสงแดดในช่วง 15.00-18.00 น. พื้นที่ช่องเปิด 70% ของพื้นที่ผนัง ทำให้เกิดการนำและการพาความร้อนจากอากาศภายนอกผ่านช่องลมของอาคาร ในช่วงบ่ายและเย็น
- โซน 1-2 เป็นพื้นที่โถงและบันไดช่วงกลางอาคารเชื่อมกับชั้นลอย ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 5 เมตร สูง 2.5 เมตร แสงสว่างภายในอาคารไม่เพียงพอ เนื่องจากได้รับแสงธรรมชาติจากเพดานที่ สะท้อนมาจากช่องประตูและช่องลมด้านหน้าเท่านั้น
- โซน 1-3 เป็นพื้นที่ด้านหลัง ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 7 เมตร สูง 5 เมตร มีถึงเก็บน้ำใต้ดินแบ่งเป็น พื้นที่ซักล้าง และห้องน้ำ ด้านหลังเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ อยู่ห่างจากอาคารข้างเคียง 1 เมตร ไม่มีช่องเปิดระบายอากาศ ได้รับแสงธรรมชาติจากกลาสบล็อดด้านบน คิดเป็น พื้นที่ 0.8 ตรม. โซน นี้ถือเป็นแหล่งสะสมความร้อนที่สุดของอาคาร
- โซน 1-4 เป็นชั้นลอยขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 7.5 เมตร สูง 2.4 เมตร ไม่กั้นผนัง อุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ ชั้น 1 เล็กน้อย เพราะอากาศร้อนที่ลอยตัวสะสมอยู่ต้องระบายผ่านช่องบันไดไปยังชั้น 2

ชั้น 2 สูง 3 เมตรประกอบด้วยพื้นที่ 3 โซน เป็นโดงต่อเนื่องทั้งหมด มีอุณหภูมิและความชื้นใกล้เคียงกันทั้งชั้น  
ตารางที่ 4-05 สรุปสภาวะอากาศอาคารกรณีศึกษา ชั้น 2

ฤดูร้อน (มิถุนายน 2545)	กลางวัน 06.00-18.00น.	ภายใน	ภายนอก	กลางคืน 18.00-06.00น.	ภายใน	ภายนอก
	อุณหภูมิสูงสุด °C 15.00น	32-33	35	อุณหภูมิต่ำสุด 05.00น	27-28	26.8
ความชื้นต่ำสุด 14.00น	60%	44%	ความชื้นสูงสุด 23.00น	85%	90%	
ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.05	0.76	ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.05	0.88	
อุณหภูมิภายใน ต่ำ กว่าภายนอก 2-3 °C ความชื้น สูง กว่าภายนอก 15%RH			อุณหภูมิภายใน สูง กว่าภายนอก 1°C ความชื้น ต่ำ กว่าภายนอก 2-4%RH			
MRT ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง 1°C 10.00-17.00น MRT สูงกว่าอุณหภูมิห้อง 1-2°C 21.00-05.00น			MRT ต่ำกว่าภายนอก 12.00น 4.5°C MRT สูงกว่าภายนอก 23.00น 1°C			
ฤดูหนาว (ธันวาคม 2545)	กลางวัน 06.00-18.00น.	ภายใน	ภายนอก	กลางคืน 18.00-06.00น.	ภายใน	ภายนอก
	อุณหภูมิสูงสุด °C 15.00น	31.5	33	อุณหภูมิต่ำสุด 06.00น	28.5	27
ความชื้นต่ำสุด 15.00น	50%	44%	ความชื้นสูงสุด 05.00น	58%	63%	
ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.05	0.4	ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.11	0.3	
อุณหภูมิภายใน ต่ำ กว่าภายนอก 1-2 °C ความชื้น สูง กว่าภายนอก 20%RH			อุณหภูมิภายใน สูง กว่าภายนอก 1-2°C ความชื้น ต่ำ กว่าภายนอก 5%RH			

สรุปได้ว่า ชั้น 2 มีปัญหาสภาวะน่าสบาย 3 ด้าน ดังนี้

- ด้านอุณหภูมิ** อุณหภูมิอากาศ สูงเกินเขตสบาย 1-2 °C ทั้งชั้น ประมาณ 2-6 ชม./วัน  
ความชื้นสัมพัทธ์ สูงกว่าสภาวะน่าสบาย 10%RH เฉพาะฤดูร้อนกลางวัน ซึ่งสูงกว่าภายนอกถึง 15-20 %RH ในขณะที่อุณหภูมิใกล้เคียงภายนอก MRT ใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง ต่ำกว่าช่วงกลางวันและสูงกว่าอุณหภูมิห้องช่วงกลางคืน ซึ่งเป็นการส่งเสริมสภาวะน่าสบาย พบว่าอุณหภูมิผิวหนังด้านหน้า (ตต./น) สูงกว่า อุณหภูมิห้องรวมทั้งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 1-2 °C สูงกว่าผนังด้านอื่น 3-6 °C ส่วนผิวหนังด้านหลังอาคาร (ตอ./ต) รวมทั้งผนังระหว่างคาน ฝ้าและ เพดาน ใกล้เคียงกัน อุณหภูมิผิวขึ้นลงในแต่ละวันในช่วง 30-34 °C  
ความเร็วลม ต้องการลม 3 เมตร/วินาที (600 ฟุต/วินาที) ในฤดูร้อน และ 1 - 1.5 เมตร/วินาที (200-300 ฟุต/วินาที) ในฤดูหนาว เพื่อปรับสู่เขตสบาย
- ด้านแสงสว่าง** อยู่นอกเขตสบายเกือบทั้งชั้นยกเว้นโซน 2-3 แสงธรรมชาติที่ไม่ต่ำกว่า 200 lux เพียงพอ ในระยะ 2.5 เมตรจากช่องเปิดหลังอาคาร ส่วนโซน 2-1 แสงธรรมชาติที่ไม่ต่ำกว่า 100 lux เพียงพอในระยะ 1-2 เมตรจากช่องเปิดหน้าอาคาร ส่วนอื่นต่ำกว่า 50 lux ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน
- ด้านการระบายอากาศ** เป็นชั้นเดียวในอาคารที่ไม่มีปัญหาเรื่องการระบายอากาศเลย เนื่องจาก ไม่มีการกั้นผนังแบ่งห้องใด ๆ อัตราการระบายอากาศจึงสูงกว่ามาตรฐานทั้งในภาวะที่เปิดหน้าต่าง (134 ลบ.ม./ชม.) และเปิดหน้าต่างร่วมกับประตู (627 ลบ.ม./ชม.) จากที่มาตรฐานต้องการ 81 ลบ.ม./ชม. มีการระบายอากาศใกล้เคียงศูนย์ เนื่องจากไม่มีช่องลมออก

## ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย ชั้น 2

1. สภาพแวดล้อม พื้นที่ในชั้น 2 ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงเกือบตลอดทั้งวัน โดยเปลือกอาคารด้านหลังจะเริ่มรับแสงแดดในช่วงเช้า 8.00-14.00 น. ได้รับร่มเงาจากอาคารข้างเคียงด้านหลังในช่วงสั้น ๆ ก่อน 8.00 น. ด้านหน้าจะรับแสงแดดในช่วงบ่าย 15.00-18.00 เนื่องจากมีผนังจะรับแดดเพียง 2 ด้าน และมีอาคารด้านหลังช่วยดักลมเข้าสู่อาคารจึงทำให้โซนนี้มีอุณหภูมิต่ำกว่าชั้น 3

2. รูปแบบสถาปัตยกรรม ในชั้น 2 ใช้ผนังร่วม 2 ด้านเป็นผนังภายในก่ออิฐฉาบปูนทาสีขาว ยาวขนานตลอดแนวตามความยาวของพื้นที่ 18 เมตร โดยชั้น 2 มีลักษณะเป็นโครงสร้างเดิมเหมือนตึกแถวทั่วไปที่ไม่ได้ตกแต่ง 2 ประกอบด้วย 3 พื้นที่ที่มีลักษณะและเงื่อนไขแตกต่างกัน ดังนี้

โซน 2-1 เป็นพื้นที่โล่งต่อเนื่องในชั้นที่ 2 ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.9 เมตร ผนังด้านหน้าเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนทาสีขาวมีช่องเปิดเป็นหน้าต่าง 4 บานกรอบบานไม้ลูกฟักกระจก และช่องแสงด้านบน รับแสงแดดในช่วง 15.00-18.00 น. พื้นที่ช่องเปิด 6.6 ตรม (55% ของพื้นที่ผนัง) แม้จะมีผนังบังแดดแต่ไม่สามารถป้องกันได้เต็มที่

โซน 2-2 เป็นพื้นที่โถงชั้น 2 และบันไดช่วงกลางอาคารเชื่อมกับชั้นลอยและชั้น 3 ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 8 เมตร สูง 2.9 เมตร ไม่มีผนังกัน

โซน 2-3 เป็นพื้นที่ด้านหลังชั้น 2 ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 2.9 เมตร ด้านหลังเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสีขาว อยู่ห่างจากอาคารข้างเคียง 3 เมตร มีช่องเปิดเป็นประตู 1 บาน หน้าต่าง 3 บาน (กรอบบานไม้ลูกฟักกระจกและช่องแสงด้านบน) รับแสงแดดในช่วง 8.00-14.00 น. พื้นที่ช่องเปิด 7.6 ตรม (65% ของพื้นที่ผนัง)

ชั้น 3 ประกอบด้วยพื้นที่ 3 โซน ได้แก่ ห้องนอน 1 โถงพักผ่อน-โถงบันได ครีวและลานซักล้าง สูง 3 เมตร มีการกันห้องเชื่อมกันเพียงประตู เป็นห้องด้านหน้าและห้องกลางอาคาร ส่วนห้องครัวเป็น กึ่งภายนอก (semi-outdoor) มีอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกันทั้งชั้น ประมาณ 1-2 °C/ 5-15% RH

ตารางที่ 4-06 สรุปลักษณะอากาศอาคารกรณีศึกษา ชั้น 3

ฤดูร้อน (มิถุนายน 2545)	กลางวัน 06.00-18.00น.	ภายใน	ภายนอก	กลางคืน 18.00-06.00น.	ภายใน	ภายนอก
	อุณหภูมิสูงสุด °C 15.00น	33	35	อุณหภูมิต่ำสุด 05.00น	27	26.8
ความชื้นต่ำสุด 13.00น	55-58%	44%	ความชื้นสูงสุด 23.00น	82%	90%	
ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.06	0.76	ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.05	0.88	
อุณหภูมิภายใน ต่ำกว่าภายนอก 1-2 °C				อุณหภูมิภายใน สูงกว่าภายนอก 1 °C		
ความชื้น สูงกว่าภายนอก 10-14 %RH				ความชื้น ต่ำกว่าภายนอก 5-20 %RH		
MRT ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง 1°C 10.00-17.00น				MRT ต่ำกว่าภายนอก 12.00น 4°C		
MRT สูงกว่าอุณหภูมิห้อง 1°C 16.00-05.00น				MRT สูงกว่าภายนอก 22.00น 1°C		
ฤดูหนาว (ธันวาคม 2545)	กลางวัน 06.00-18.00น.	ภายใน	ภายนอก	กลางคืน 18.00-06.00น.	ภายใน	ภายนอก
	อุณหภูมิสูงสุด °C 15.00น	31-33	33	อุณหภูมิต่ำสุด 05.00น	27-28	27
	ความชื้นต่ำสุด 15.00น	50-53%	44%	ความชื้นสูงสุด 05.00น	57-60%	63%
	ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.04	0.4	ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.10	0.3
อุณหภูมิภายใน ต่ำกว่าภายนอก 0-1.5 °C				อุณหภูมิภายใน สูงกว่าภายนอก 0-1 °C		
ความชื้น สูงกว่าภายนอก 5 %RH				ความชื้น ต่ำกว่าภายนอก 3-4 %RH		

สรุปได้ว่า ชั้น 3 มีปัญหาสภาวะน่าสบาย 3 ด้าน ใกล้เคียงกับชั้น 2 ดังนี้

- **ด้านอุณหภูมิ** อุณหภูมิอากาศ สูงเกินเขตสบาย 1-2 °C ทั้งชั้น ประมาณ 6-8 ชม./วัน  
ความชื้นสัมพัทธ์ สูงกว่าสภาวะน่าสบาย 10%RHเฉพาะฤดูร้อนกลางวัน  
 ซึ่งสูงกว่าภายนอกถึง 15-20 %RH ในขณะที่อุณหภูมิใกล้เคียงภายนอก  
 MRT ใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง ต่ำกว่าในช่วงกลางวันและสูงกว่าอุณหภูมิห้องในช่วง  
 กลางคืน ซึ่งเป็นการส่งเสริมสภาวะน่าสบายในสภาวะการระบายอากาศตาม  
 ธรรมชาติ แต่ในกรณีใช้เครื่องปรับอากาศในห้องนอน 1 โซน 3-1 (ปริมาตรห้อง  
 48 ลบ.ม.) จะใช้เวลาในการปรับเย็นและรีดความชื้นประมาณ 8-10 ชั่วโมง และ  
 ใช้เวลาในการปรับสู่สภาวะปกติ ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 ชั่วโมง  
 ความเร็วลม ต้องการลม 3 เมตร/วินาที (600 ฟุต/วินาที) ในฤดูร้อน และ 1.5 เมตร/  
 วินาที (300 ฟุต/วินาที) ในฤดูหนาว เพื่อปรับสู่เขตสบาย
- **ด้านแสงสว่าง** อยู่นอกเขตสบายเกือบทั้งชั้นยกเว้นโซน 3-3 แสงธรรมชาติที่ไม่ต่ำกว่า 200 lux  
 เพียงพอ ในระยะ 4-5 เมตรจากช่องเปิดหลังอาคาร ส่วนโซน 2-1 แสงธรรมชาติที่ไม่ต่ำกว่า 100 lux  
 เพียงพอในระยะ 1-2 เมตรจากช่องเปิดหน้าอาคาร แม้ระยะที่แสงธรรมชาติเหมาะสมจะเท่ากับชั้น 2  
 แต่มีความสว่างมากขึ้นจากชั้น 2 อีก 100 lux ส่วนอื่นต่ำกว่า 50 lux ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน
- **ด้านการระบายอากาศ** มีการระบายอากาศใกล้เคียงศูนย์ เมื่อไม่มีการเปิดประตูภายในอาคาร  
 เนื่องจากไม่มีช่องลมออกจากการกั้นผนังภายใน แต่ในกรณีที่เปิดประตูเชื่อมระหว่างห้องทั้งไว้  
 ตลอดเวลาจะมีอัตราการระบายอากาศสูงกว่ามาตรฐาน คิดเป็นอัตราการระบายอากาศประมาณ  
 240-500 ลบ.ม./ชม.จากที่มาตรฐานต้องการ 108 ลบ.ม./ชม. ยกเว้นในกรณีที่ปรุงอาหารในครัว  
 จะต้องการการระบายอากาศ 180 ลบ.ม./ชม. แต่มีอัตราการระบายอากาศในปัจจุบันเพียง 150  
 ลบ.ม./ชม. ทั้งที่เป็นพื้นที่กึ่งภายนอก ทั้งนี้เป็นเพราะการประมาณอัตราการระบายอากาศแปรผัน  
 กับค่าสัดส่วนช่องลมเข้าต่อลมออกที่ไม่เหมาะสม ทำให้พื้นที่ช่องเปิดยังผล (effective opening  
 area) มีค่าต่ำกว่าพื้นที่ช่องเปิดจริง

### ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย ชั้น 3

1. สภาพแวดล้อม พื้นที่ในชั้น 3 มีลักษณะเดียวกับชั้น 2 คือ ได้รับความร้อนจากแสงแดดโดยตรงเกือบ  
 ตลอดทั้งวัน โดยเปลือกอาคารด้านหลังจะเริ่มรับแสงแดดในช่วงเช้า 8.00-14.00 น. (ได้รับร่มเงาจากอาคารข้างเคียง  
 ด้านหลังในช่วงสั้น ๆ ก่อน 8.00 น) ด้านหน้าจะรับแสงแดดในช่วงบ่าย 15.00-18.00 เนื่องจากมีผนังจะรับแดด  
 เพียง 2 ด้าน และมีอาคารด้านหลังช่วยดักลมเข้าสู่อาคารจึงทำให้โซนนี้มีอุณหภูมิต่ำกว่าชั้น 3

2. รูปแบบสถาปัตยกรรม ในชั้น 3 ใช้ผนังร่วม 2 ด้านเป็นผนังภายในก่ออิฐฉาบปูนทาสีขาว ยาวขนาน  
 ตลอดแนวตามความยาวของพื้นที่ 18 เมตร มีการกั้นห้องเป็นสัดส่วนโดยใช้ผนังไม้อัดโครงคร่าวไม้ ประกอบด้วย 3  
 พื้นที่ ที่มีลักษณะและเงื่อนไขแตกต่างกัน ดังนี้

โซน 3-1 เป็นห้องนอนส่วนหน้าอาคารในชั้นที่ 3 กว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.9 เมตร ผนังด้านหน้า  
 ก่ออิฐฉาบปูนทาสีขาวมีช่องเปิดเป็นหน้าต่าง 4 บาน กรอบบานไม้ฉลุพักกระจกและช่องแสง



- ด้านบนรับแสงแดดในช่วง 15.00-18.00 น. พื้นที่ช่องเปิด 6.6 ตรม (55% ของพื้นที่ผนัง) แผงบังแดดสามารถป้องกันได้บางส่วน และมีผนังภายใน (ไม้อัดโครงคร่าวไม้) กั้นกับโซน 3-2
- โซน 3-2 เป็นพื้นที่ห้องพักผ่อนชั้น 3 และโถงบันไดช่วงกลางอาคารเชื่อมกับชั้น 2 และชั้น 4 ขนาดห้องกว้าง 4 เมตร ยาว 8 เมตร สูง 2.9 เมตร มีผนังภายใน (ก่ออิฐฉาบปูน) กั้นแยกโซน 3-3 มีช่องเปิดเป็นบานประตู 1บาน และหน้าต่างติดตาย 2 บาน (กรอบบานไม้ลูกฟักกระจกและช่องแสงด้านบน) ซึ่งให้เพียงแสงสว่าง และนำความร้อนแต่ไม่สามารถระบายอากาศถึงกันได้เนื่องจากกั้นอาหารจากการทำครัว
- โซน 3-3 เป็นพื้นที่ครัวและห้องน้ำด้านหลังที่มีลักษณะเป็นกึ่งภายนอก ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 2.9 เมตร จึงมีสภาวะอากาศใกล้เคียงภายนอก แต่ได้ร่วมเงาจึงมีสภาวะน่าสบายมากกว่า

**ชั้น 4** ประกอบด้วยพื้นที่ 3 โซน ได้แก่ ห้องนอน 2 โถงบันไดและห้องนอน 3 สูง 3 เมตร ติดหลังคาและมีฝ้าเพดาน มีการกั้นห้องเป็น 3 ส่วนเชื่อมกันเพียงประตู โถงบันไดกลางอาคารไม่มีช่องเปิด แต่มีปริมาตรอากาศต่อเนื่องกับปล่องบันไดขึ้นชั้นลาดฟ้า สภาวะภายในมีอุณหภูมิและความชื้นแตกต่างกัน 0 -1°C/ 5% RH

ตารางที่ 4-07 สรุปสภาวะอากาศอาคารกรณีศึกษา ชั้น 4

ฤดูร้อน (มิถุนายน 2545)	กลางวัน 06.00-18.00น.	ภายใน	ภายนอก	กลางคืน 18.00-06.00น.	ภายใน	ภายนอก
	อุณหภูมิสูงสุด °C 15.00น	33-34.5	35	อุณหภูมิต่ำสุด 05.00น	27	27
ความชื้นต่ำสุด 13.00น	52-55%	44%	ความชื้นสูงสุด 23.00น	86%	90%	
ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.05	0.76	ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.03	0.88	
อุณหภูมิภายใน ต่ำ กว่าภายนอก 1-2 °C ความชื้น สูง กว่าภายนอก 5-15 %RH				อุณหภูมิภายใน ใกล้เคียง อุณหภูมิภายนอก ความชื้น ต่ำ กว่าภายนอก 3-5 %RH		
MRT เท่ากับ อุณหภูมิห้อง 08.00-20.00น MRT สูงกว่าอุณหภูมิห้อง 1-2°C 17.00-04.00น				MRT ต่ำกว่าภายนอก 12.00น 1-2°C MRT สูงกว่าภายนอก 23.00น 1.5-2°C		
ฤดูหนาว (ธันวาคม 2545)	กลางวัน 06.00-18.00น.	ภายใน	ภายนอก	กลางคืน 18.00-06.00น.	ภายใน	ภายนอก
	อุณหภูมิสูงสุด °C 15.00น	34	33	อุณหภูมิต่ำสุด 05.00น	28	27
	ความชื้นต่ำสุด 15.00น	47-51%	44%	ความชื้นสูงสุด 05.00น	58-60%	63%
	ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.06	0.4	ความเร็วลมเฉลี่ย(ม./วินาที)	0.04	0.3
อุณหภูมิภายใน ต่ำ กว่าภายนอก 1-1.5 °C ความชื้น สูง กว่าภายนอก 3-5%RH				อุณหภูมิภายใน สูง กว่าภายนอก 1-2°C ความชื้น ต่ำ กว่าภายนอก 2-5%RH		

สรุปได้ว่า **ชั้น 4** มีปัญหาสภาวะน่าสบาย 3 ด้าน ดังนี้

- **ด้านอุณหภูมิ** อุณหภูมิอากาศ สูงเกินเขตสบาย 3-4 °C ทั้งชั้น ประมาณ 6-8 ชม./วัน เป็นชั้นเดียวในอาคารที่อุณหภูมิภายในใกล้เคียงหรือสูงกว่าภายนอก 1-2 °C เกือบทั้งวัน ความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ในเขตสบายเกือบทั้งปี ยกเว้นฤดูร้อนกลางคืน ซึ่งมีความชื้นสูงกว่าสภาวะน่าสบาย 20 %RH แต่ใกล้เคียงภายนอกมาก สรุปได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมต่อสภาวะน่าสบายเนื่องจากมีอุณหภูมิอากาศสูงในเวลานั้น ๆ

MRT ใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง ความต่างประมาณ 0.5 °C ส่งเสริมสภาวะน่าสบายเมื่อระบายอากาศตามธรรมชาติ พบว่าในกรณีใช้เครื่องปรับอากาศในห้องนอน 3 โซน 4-3 ปริมาตรห้อง 90 ลบ.ม. จะใช้เวลาในการปรับเย็นและรีดความชื้นประมาณ 6 ชั่วโมง และใช้เวลาในการปรับสู่สภาวะปกติ ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 ชั่วโมง ความเร็วลม ต้องการลม 3 เมตร/วินาที (600 ฟุต/วินาที) ในการปรับสู่สภาวะสบาย

- **ด้านแสงสว่าง** อยู่นอกเขตสบายเกือบทั้งชั้นยกเว้นโซน 4-1 แสงธรรมชาติที่ไม่ต่ำกว่า 200 lux เพียงพอ ในระยะ 1-2 เมตรจากช่องเปิดหน้าอาคาร ในขณะที่แสงธรรมชาติที่ไม่ต่ำกว่า 200 lux เพียงพอทั้งห้อง ส่วนอื่นต่ำกว่า 50 lux ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน แม้โซน 4-3 จะมีช่องแสงติดกับภายนอกอาคาร แต่เนื่องจากมีระยะห่างจากริมอาคาร 2.5 เมตร แสงแดดไม่สามารถส่องถึงโดยตรงและมีพื้นที่ช่องเปิดน้อยประมาณ 30%ของผนังด้านหลัง รวมทั้งการตกแต่งลูกฟูกพื้นต่างทำให้แสงลดลง
- **ด้านการระบายอากาศ** โซน 4-1 เป็นห้องเดียวในชั้นที่อัตราการระบายอากาศสูงกว่ามาตรฐานแม้ปิดประตูภายในเนื่องจากมีช่องลมระดับเหนือประตูลดความกว้างของอาคาร โซน 4-2 ไม่มีช่องเปิดแต่การระบายได้จากอากาศที่ผ่านช่องเปิดจากห้องด้านหน้าและปล่องบันได แต่มีอัตราการระบายอากาศต่ำกว่ามาตรฐาน 65 % แต่เมื่อมีการเปิดประตูโซน 4-1 จะทำให้โซน 4-2 มีอัตราการระบายอากาศสูงกว่ามาตรฐานถึง 2 เท่า ส่วนโซน 4-3 มีการระบายอากาศใกล้เคียงศูนย์ เมื่อไม่มีการเปิดประตูภายในอาคารเนื่องจากไม่มีช่องลมออก เนื่องจากการกันผนังภายใน แต่ในกรณีที่เปิดประตูเชื่อมระหว่างห้องทั้งไว้ตลอดเวลาจะมีอัตราการระบายอากาศสูงกว่ามาตรฐาน คิดเป็นอัตราการระบายอากาศประมาณ 87 ลบ.ม./ชม.จากที่มาตรฐานต้องการ 54 ลบ.ม./ชม.

#### ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบาย ชั้น 4

1. สภาพแวดล้อม พื้นที่ในชั้นที่ 4 ได้รับความร้อนจากแสงแดดโดยตรงตลอดทั้งวัน โดยเฉพาะการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาพื้นคอนกรีตและหลังคาเอสเบสทอส รวมทั้งผนังด้านหน้าและด้านหลังอาคาร โดยผนังด้านหลังจะเริ่มรับแสงแดดในช่วงเช้า 5.00 - 14.00 น. (ได้รับร่มเงาจากอาคารข้างเคียงด้านหลังในช่วงสั้น ๆ ก่อน 8.00 น) ด้านหน้าจะรับแสงแดดในช่วงบ่าย 15.00-18.00

2. รูปแบบสถาปัตยกรรม ชั้น4 ใช้ผนังร่วม 2 ด้าน เป็นผนังภายในก่ออิฐฉาบปูนทาสีขาว ยาวขนานตลอดแนวตามความยาวของพื้นที่ 18 เมตร โดยชั้น 4 มีการกันห้องเป็นสัดส่วนโดยใช้ผนังไม้อัดโครงคร่าวไม้ ประกอบด้วย 3 พื้นที่ที่มีลักษณะและเงื่อนไขแตกต่างกัน ดังนี้

โซน 4-1 เป็นห้องเก็บของในชั้นที่ 3 ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 3 เมตร สูง 2.9 เมตร ผนังด้านหน้าเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนทาสีขาวมีช่องเปิดเป็นหน้าต่าง 4 บานกรอบบานไม้ลูกฟูกกระจก และช่องแสงด้านบน รับแสงแดดในช่วง 15.00-18.00 น. พื้นที่ช่องเปิด 6.6 ตรม (55% ของพื้นที่ผนัง) แม้จะมีแผงบังแดดแต่ไม่สามารถป้องกันได้เต็มที่ มีผนังภายใน (ไม้อัดโครงคร่าวไม้) กันระหว่าง โซน 3-12 ซึ่งมีช่องเปิดเป็นประตูไม้อัด 1 บานและช่องแสงด้านบน

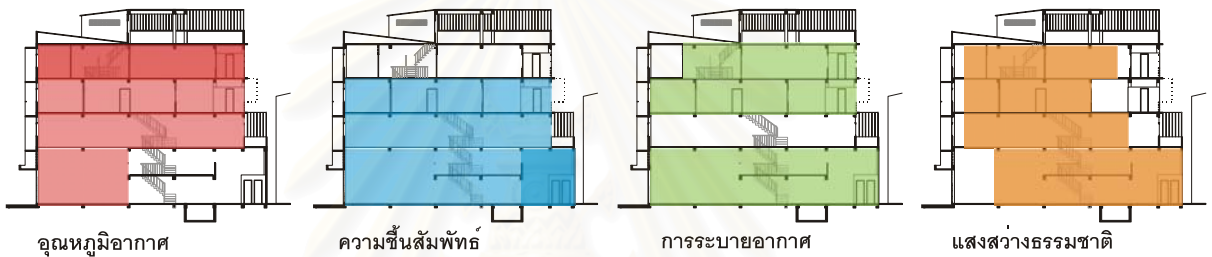
โซน 4-2 เป็นพื้นที่โถงชั้น4 และบันไดช่วงกลางอาคารเชื่อมกับชั้น3 และชั้นดาดฟ้า ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.9 เมตร มีผนังภายใน(ไม้อัดโครงคร่าวไม้)กันระหว่าง โซน 3-12 และโซน 3-13 ซึ่งมีช่องเปิดเป็นประตูไม้อัด 1 บานและช่องแสงด้านบน

โซน 4-3 เป็นห้องนอนชั้น 4 ขนาดกว้าง 4 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 2.9 เมตร ผนังด้านหลังห้องเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบทาสีขาว มีช่องเปิดเป็นประตู 1บาน หน้าต่าง 2 บาน (กรอบบานไม้ลูกฟักกระจกและช่องแสงด้านบน) รับแสงแดดในช่วง 8.00- 14.00 น. พื้นที่ช่องเปิด 7.6 ตรม (65% ของพื้นที่ผนัง) ด้านหลังห้องเป็นระเบียงและห้องน้ำ ระเบียงลึก 2.5 เมตรนี้เปรียบเป็นอุปกรณ์กันแดดให้แก่ห้องครัวในชั้นล่างแทน

จากข้อมูลสรุปข้างต้นสามารถกำหนดพื้นที่ปรับปรุงสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศได้ ดังภาพที่ 4-18

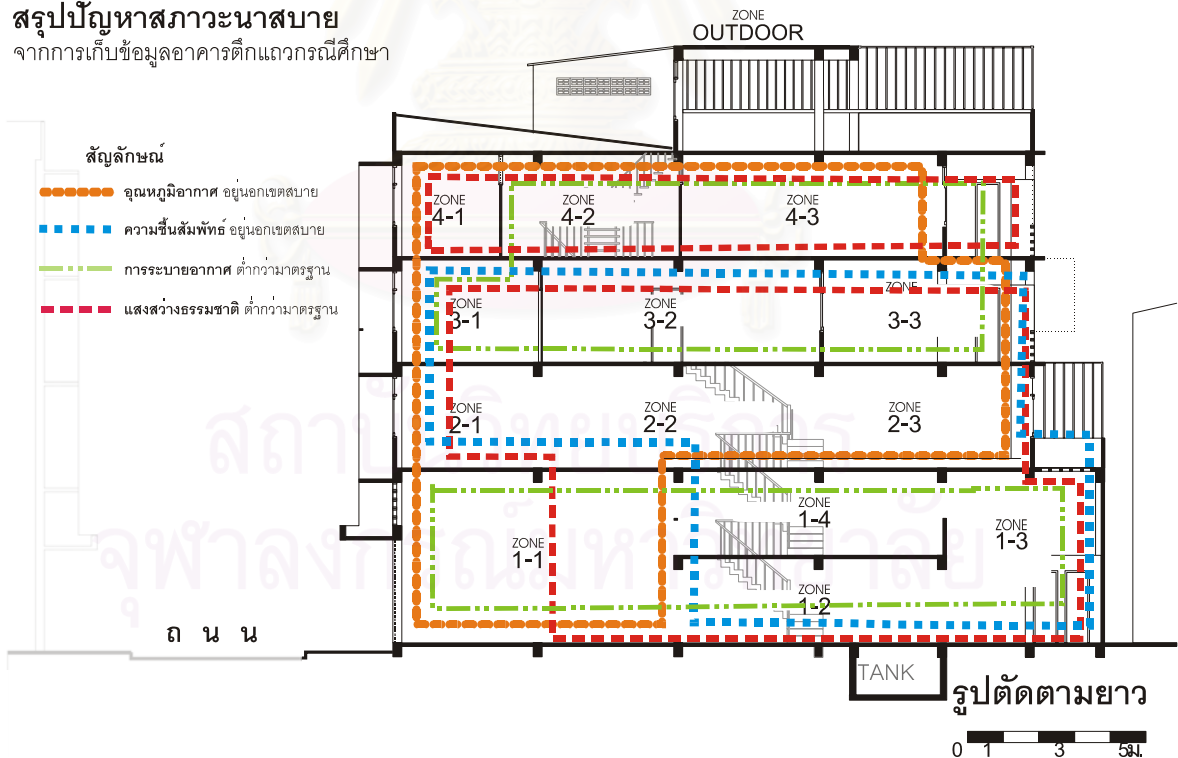
ภาพที่ 4-18 สรุปบริเวณที่มีปัญหาสภาวะน่าสบาย ในอาคารกรณีศึกษา

บริเวณอาคารที่สภาวะอากาศภายในอยู่นอกเขตสบายหรือต่ำกว่ามาตรฐาน



**สรุปปัญหาสภาวะน่าสบาย**

จากการเก็บข้อมูลอาคารตึกแถวกรณีศึกษา



#### 4.4 การจำลองสภาวะภายในอาคารด้านอุณหภูมิด้วยโปรแกรม ENER-WIN 97.2000

การจำลองสภาวะภายในอาคารด้านอุณหภูมิ โดยนำเข้าข้อมูลลักษณะทางสถาปัตยกรรมและคุณสมบัติวัสดุของอาคารกรณีศึกษา มาทำการจำลองสภาพ (simulation) ด้วยโปรแกรม ENER-WIN 97.2000 โดยเลือกเวลาศึกษาที่ตรงกับวันที่เก็บข้อมูลอาคารจริง (20-23/05/2002) เพื่อปรับเทียบข้อมูลการจำลองกับข้อมูลการวัด ณ สถานที่จริง ให้มีแนวโน้มของสภาพอากาศภายในใกล้เคียงกัน (calibrate) แล้วจึงนำหุ้่นจำลองที่สร้างขึ้นเหมือนอาคารกรณีศึกษาปัจจุบัน (base case) ไปใช้ในการประเมินผลการออกแบบปรับปรุงอาคารด้านอุณหภูมิต่อไป ซึ่งข้อมูลที่ให้นำเข้าแสดงไว้ในภาคผนวก โดยมีผลการเทียบเคียงสภาพอาคารจริง ดังต่อไปนี้

การนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม ENER-WIN 97.2000 ประกอบด้วยข้อมูล 5 ส่วน ดังนี้

1. **ข้อมูลโครงการทั่วไป** ได้แก่ ประเภทอาคาร(พักอาศัย)/ ชื่อโครงการและสถานที่/ พื้นที่ใช้สอยรวม/ ปีค.ศ.ที่ประเมินโครงการ(2002)/ ทิศทางการวางอาคาร/ ค่าก่อสร้าง(เหรียญสหรัฐฯ)/ จำนวนวันที่ใช้อาคารต่อสัปดาห์/ จำนวนวันหยุดใช้อาคารในรอบปี

2. **สภาพภูมิอากาศ** ในที่นี้ใช้ค่ามาตรฐานของโปรแกรม ดังตารางที่ 4-07

ภาพที่ 4-19 สภาพภูมิอากาศภายนอกอาคารตามมาตรฐานโปรแกรม ENER-WIN 97.2000

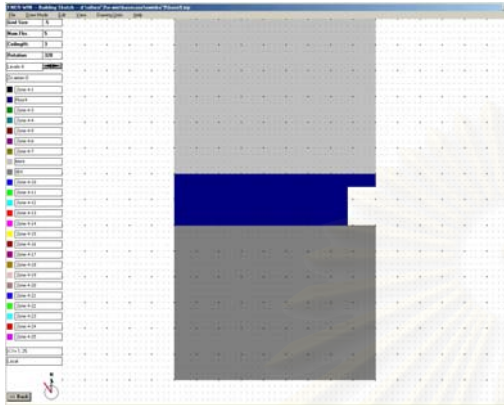
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Dry Bulb Ave:	25.9	27.4	28.7	29.7	29.2	28.7	28.3	28.1	27.8	27.6	26.9	25.6
Ave. Std. Dev:	1	1	1	1.3	1.4	1.2	1.3	1.2	1	.9	.9	1
Dry Bulb Max:	32	32.7	33.7	34.9	34	33.1	32.7	32.5	32.3	32	31.6	31.3
Max. Std. Dev:	1.2	1.3	1.3	1.6	1.8	1.5	1.6	1.5	1.2	1.1	1.1	1.3
Dew Point Ave:	19.8	22.2	23.4	24.4	24.6	24.1	23.8	23.8	24.2	23.8	21.7	19.5
DP Std. Dev:	1.1	1.2	1.2	1.4	1.6	1.3	1.4	1.3	1.1	1	1	1.2
Solar Radiation:	18159	19738	2073	21135	18114	16092	15661	15127	14763	15956	16899	17001
Wind Speed:	1.3	2	2.5	2.3	1.9	1.9	1.8	1.8	1.3	1	1.2	1.2

3. **รูปทรงอาคารและกรอบอาคาร** เป็นการกำหนดส่วนที่บนตารางบอกแนวของโปรแกรม เพื่อแสดงแปลนอาคาร จำนวนชั้นของอาคาร ความสูงจากพื้นถึงพื้นของแต่ละชั้น และทิศการวางอาคาร

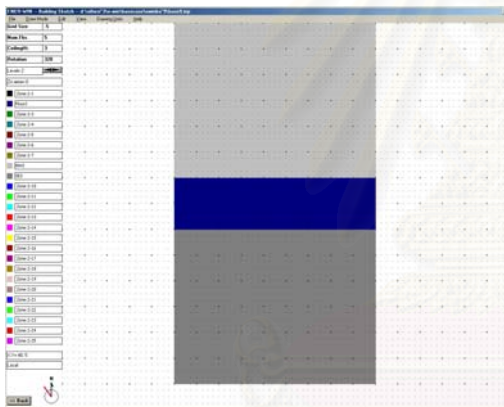
จากการทดสอบการนำเข้าข้อมูลแบบแยกโซนย่อยตามอาคารจริง และแบบรวมพื้นที่ในแต่ละชั้นเป็นโซนเดียวกัน ตามภาพที่ 4-18 พบว่าไม่มีความแตกต่างในการจำลองสภาพอากาศภายในอาคาร ทั้งนี้เป็นเพราะข้อจำกัดของโปรแกรมที่ไม่สามารถประมวลผลโซนย่อยภายในอาคารที่ไม่ติดกับเปลือกอาคารได้ นอกจากนี้การ

นำเข้ารูปทรงอาคาร ยังมีความจำเป็นที่กำหนดให้มีตึกแถวคูหาข้างเคียงขนาดเท่ากันทั้งสองข้างของอาคารเพื่อเป็นฉนวนความร้อนให้ใกล้เคียงสภาพจริง แต่เนื่องจากขีดจำกัดของจำนวนช่องตารางบอกแนวสูงสุดของอาคาร ทำให้การจำลองคูหาข้างเคียงมากที่สุดเพียงด้านละ 3 คูหา โดยกำหนดตาราง (grid) เท่ากับ 0.25 เมตร

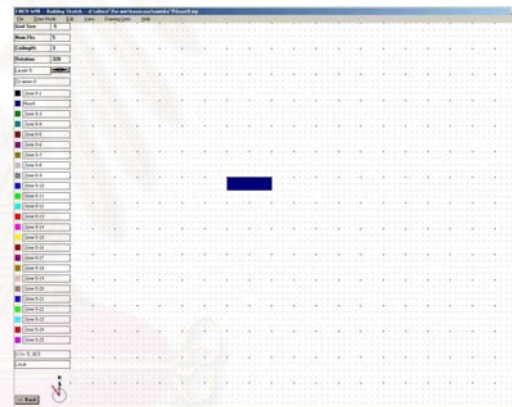
ภาพที่ 4-20 building sketch อาคารกรณีศึกษา ในโปรแกรม ENER-WIN 97.2000



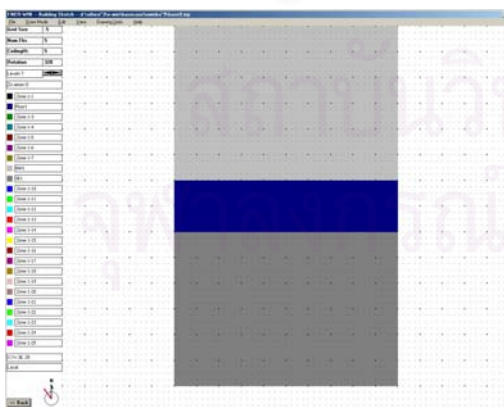
แปลนชั้น 3



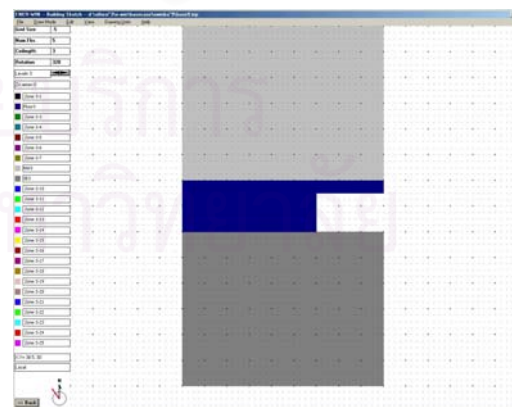
แปลนชั้น 2



แปลนชั้นตาดฟ้า



แปลนชั้น 1



แปลนชั้น 4

4. รายละเอียดโซน เป็นการนำเข้ข้อมูล 2 ส่วน คือ ข้อมูลรายละเอียดโซน และรูปแบบ-คุณสมบัติเปลือกอาคารส่วนที่บและส่วนโปร่ง ดังแสดงในตารางที่ 4-08 และ 4-09

ตารางที่ 4- 08 ข้อมูลรายละเอียดโซนต่าง ๆ ของอาคารกรณีศึกษา ที่ให้นำเข้าในโปรแกรม ENER-WIN 97.2002

ข้อมูลนำเข้าโปรแกรม ENER-WIN 97-2000 : BASE CASE

การใช้งาน ZONE	โถงทางเข้าและจอดรถยนต์	โถงบันได	ตัวอาคาร-ห้องนำ	โถงส่วนอาศัย-บันได	ตัวอาศัย-นอน	โถงส่วนอาศัย-บันได	โถง-ตัวบริการ	ตัวอาศัย-นอน1	ตัวอาศัย-นั่งเล่น	ตัวกินข้าว-ครัว	ตัวอาศัย-นอน2	โถงบันได-ทางเดิน	ตัวอาศัย-นอน3
	ZONE 1-1	ZONE 1-2	ZONE 1-3	ZONE 1-4	ZONE 2-1	ZONE 2-2	ZONE 2-3	ZONE 3-1	ZONE 3-2	ZONE 3-3	ZONE 4-1	ZONE 4-2	ZONE 4-3
ผู้ใช้ (คน/คาบ)	5	5	3	3	3	3	3	4	4	4	2	2	2
OCCUPANT PROFILE*	16	16	17	16	15	16	17	15	16	17	15	16	15
ขนาด ห้อง (เมตร)	กว้าง	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	ยาว	8	7.5	5	7.5	4	8	6	4	8	6	3	5
	สูง	5	2.5	5	2.5	3	3	3	3	3	3	3	3
ปริมาตรห้อง (ลบ.ม.)	160	75	90	75	48	96	72	48	96	72	36	60	90
การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง (วัตต์/ตร.ม.)	5	1.33	2	1.33	2.5	3.33	1.67	4.3	2.5	2.5	7.5	2	4.3
ราคาติดตั้งดวงไฟ (ดอลลาร์/ตร.ม.)	0.73	0.41	0.625	0.416	0.734	0.734	0.52	0.86	0.734	0.75	1.607	0.587	0.825
การใช้ไฟฟ้ากำลัง (วัตต์/ตร.ม.)	2	0	2	0	3	5	0	3	5	5	3	0	3
ระบยาอากาศ (ลิตร/วินาที/ตร.ม.)	50	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	50	7.5	7.5	7.5

หมายเหตุ

occupation profiles หมายถึง อัตราส่วนร้อยละการใช้งานของโซนในช่วงเวลานั้นๆ ในที่นี้แบ่งตามลักษณะการใช้

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
No.15=private	95	95	95	95	95	95	80	65	65	65	65	65	65	65	80	80	85	85	85	85	95	95	95	95
No.16=public	20	20	20	20	20	50	50	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	50	50	20
No.17=service	10	10	10	50	90	90	90	50	20	20	50	90	50	20	20	50	80	80	50	20	10	10	10	10

hot water / profile - assume none ; profile No.17 = 0

ventilation rate / profile CP 7.5 L/s ; profile No.17 = 0 ในที่นี้หมายถึงอัตราการระบายอากาศเครื่องกล

lights&equipment หมายถึง อัตราส่วนร้อยละการใช้งานของไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นๆ ในที่นี้แบ่งตามโซนการใช้

lighting profiles	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
No.15=private	5	5	5	5	5	25	45	45	35	35	35	25	25	25	25	25	35	70	70	70	70	60	5	5
No.16=public	5	5	5	5	5	25	50	70	70	70	50	35	35	35	35	35	35	70	70	70	70	60	5	5
No.17=service	5	5	5	5	35	50	50	35	5	5	5	35	50	35	5	5	35	50	70	70	50	25	5	5

lighting type: No.1 = fluorescent

temperature profile หมายถึง ค่าการตั้งเครื่องปรับอากาศ ให้หยุดหรือเริ่มทำงาน เมื่อมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าที่ตั้งไว้ในช่วงเวลานั้นๆ

ในที่นี้ใช้การระบายอากาศตามธรรมชาติ จึงตั้งตามอุณหภูมิภายนอก คือ 31 C เพลากลางวันและ 27 C เพลากลางคืน

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
normal No.5=summer-occupied	27	27	27	27	27	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	27	27	27	27
No.6=winter-occupied	25	25	25	25	25	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	25	25	25	25
holiday No.7=summer-unoccupied	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
No.8=winter-unoccupied	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

HVAC system AC type : 8. DX window unit heating type : 2. Electric resistance

natural ventilation (Y) nat. vent. (L/s/sq.m.) = 7.5 / infiltration rate (ACH) = 0.7

daylighting (Y) daylighting depth (m) = 4 / target Lux = 300

Econ Cycle (N) (economizer cycle) เมื่อใช้ โปรแกรมจะกำหนด air handlers ในโซนนั้นให้ยอมรับอากาศภายนอก 100% เมื่ออากาศมีสภาพเหมาะสม และ chiller จะหยุดทำงานเพื่อประหยัดพลังงาน โดยถูกตั้งค่าไว้ในโปรแกรมไว้ที่ 13 C จึงไม่ใช้ค่านี้ในการวิจัย

static pressure=50; การสูญเสียความดันคงที่ที่ต้องการสำหรับ ahu เป็นค่าที่ถูกตั้งไว้ในโปรแกรมในการคำนวณพลังงานช่วยขั้วของ fan ตาม volumetric flow

cooling COP=2.64 ; ค่ามาตรฐาน design coefficient ของประสิทธิภาพ central plant โปรแกรมจะปรับค่าพลังงานช่วยขั้วของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกในช่วงเวลานั้นๆ กรณีเป็นระบบปรับอากาศขนาดเล็กให้ใช้ค่าตามที่ยูนิคกำหนดให้ ส่วนกรณีที่ใช้ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ให้รวมส่วน compressure ด้วย

heating COP=0.95 ; ค่าลักษณะเดียวกับ cooling COP แต่เป็นระบบทำความร้อน

กำหนดคงที่ให้ first cost=700 (ดอลลาร์/ตันความเย็นปี) และ maintenance cost = 31.5 (ดอลลาร์/ตันความเย็นปี)

ตารางที่ 4-09 คุณสมบัติวัสดุอาคารส่วนที่บและส่วนโปร่งแสงที่นำเข้าไปโปรแกรม

ID #	Description	U-Factor	Solar Abs.	Time Lag	Decr. Fac.	Installed Cost
1	brick,2side mortar w/o insul.	3.391	0.75	2.5	0.0	10.75
2	Brick veneer, insul. stud wall	.454	0.75	3.0	0.0	80.73
3	Brick on block w/o insul.	.909	0.75	6.0	0.0	91.49
4	conc slab 100mm	3.672	0.80	2.5	0.0	42.50
5	Abestos roof 5mm,wood ceiling	2.505	0.80	1.0	0.0	17.75
6	User-defined wall-Neighbour	0.0	0.0	0.0	0.0	0
7	Membrane roof, 1"(25mm) rigid in	.681	0.8	1.0	0.0	75.35
8	Roof w/ 6"(15 cm) fiber insul. da	.284	0.8	2.0	0.0	69.97
9	Heavywt conc. roof w/ rigid insul	.397	0.8	3.0	0.0	75.35
10	User-defined roof	0	0.0	0.0	0.0	0
11	Insulated door	1.136	0.5	0.0	0.0	102.26
12	Insul. wood floor over crawlspace	.341	0.0	1.0	0.0	64.58
13	Insul. conc. floor over open space	.369	0.0	4.0	0.0	167.38
14	Slab-on-grade, uninsulated	.568	0.0	3.0	0.0	43.06
15	Slab-on-grade, insulated	.284	0.0	4.0	0.0	48.44

ID #	Description	U-Factor	SHGC	Emissivity	DL Trans	Installed Cost
1	1/4" (6mm) clear plate	6.416	0.83	0.84	0.87	78.58
2	1/8" (3mm) residential sheet	6.416	0.87	0.84	0.89	57.05
3	1/4" (6mm) gray tint plate	6.416	0.60	0.84	0.44	80.73
4	1" (25mm) double plate clear	2.839	0.75	0.60	0.77	113.02
5	1" (25mm) double plate gray tint	2.839	0.47	0.84	0.39	139.93
6	1/4" (6mm) single plate low-e	6.416	0.40	0.40	0.44	80.73
7	1" (25mm) double plate low-e	2.782	0.25	0.20	0.39	161.46
8	1" (25mm) Triple-P Solarban	1.249	0.13	0.20	0.18	188.37
9	User-defined window	0	0.0	0.0	0.0	0
10	User-defined window	0	0.0	0.0	0.0	0
11	Plastic dome skylight	5.565	0.65	0.84	0.75	123.78
12	Double layer skylight	2.953	0.57	0.60	0.68	161.46
13	User-defined skylight	0	0.0	0.0	0.0	0
14	User-defined glazing	0	0.0	0.0	0.0	0
15	User-defined glazing	0	0.0	0.0	0.0	0

แต่ละระนาบของเปลือกอาคาร จะพิจารณาพื้นที่ส่วนที่บและส่วนโปร่งแสง (ตารางเมตร) และคุณสมบัติวัสดุ รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของเปลือกอาคารโดยคำนวณตามสมการของโปรแกรมคือระยะยื่นของอุปกรณ์กันแดดต่อความสูงผนัง ทั้ง 4 ส่วน คือ ซ้าย-ขวา-หน้า-บน เป็นต้น ดังแสดงในภาคผนวก

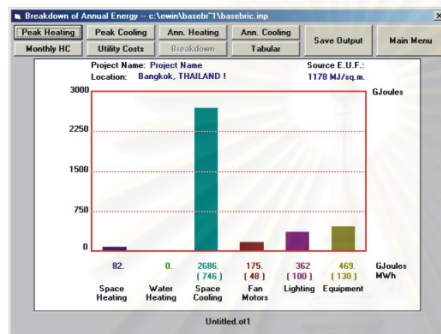
5. ข้อมูลด้านการเงิน ได้แก่ การกำหนดข้อมูลเพื่อการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์โดยกำหนดเป็นค่ามาตรฐานดังนี้ อายุอาคาร (20ปี) อายุงานระบบเครื่องกล (15ปี) อายุ solar system (10ปี) discount rate (0.07 fraction) bldg. cost escalation (0.05 fraction) อัตราค่าไฟฟ้า ค่าแก๊สและค่าน้ำต่อหน่วย

จากการนำเข้าข้อมูลข้างต้นพบว่า การป้อนค่าคุณสมบัติวัสดุอาคารโดยเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (u-value) ตามการคำนวณจากฐานข้อมูลภายนอก ทำให้ผลการจำลองด้านอุณหภูมิภาคเคลื่อนจากการวัดประมาณ 1-2 องศา แต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กับสภาพอากาศภายในอาคาร ดังแสดงในตาราง 4-10 และ แผนภูมิที่ 4-10

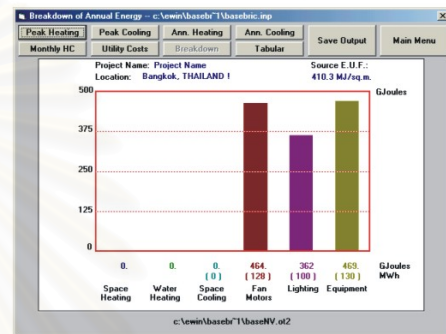
แผนภูมิที่ 4-10 ผลการจำลองสภาวะภายในอาคารด้านอุณหภูมิ อาคารกรณีศึกษา

การประเมินผลสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิจากโปรแกรม ENER-WIN 97.2000 **ตึกแถวกรณีศึกษา**

Simulation: Run with AC



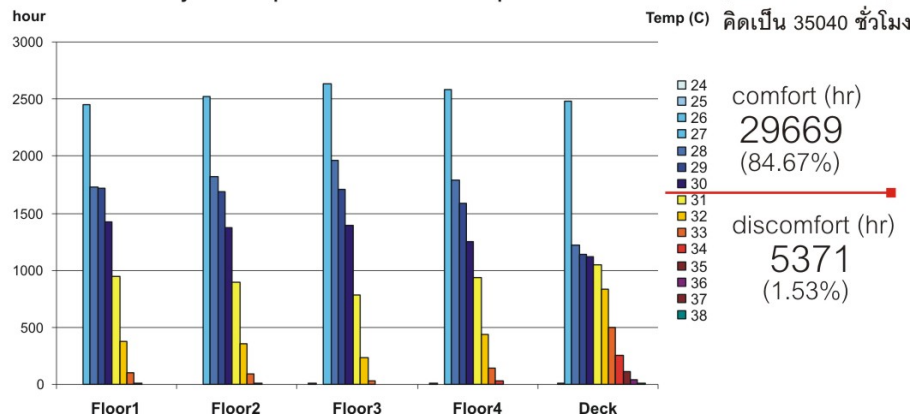
Simulation: Run without AC (passive)



DB (C)	Floor1	Floor2	Floor3	Floor4	Deck
24	3	4	2	3	1
25	4	4	6	6	1
26	3	3	3	2	6
27	2455	2525	2630	2584	2478
28	1727	1818	1964	1787	1224
29	1715	1687	1711	1590	1137
30	1422	1372	1393	1246	1122 total(hr)
comfort (hr)	7329	7413	7709	7218	5969 35638
31	947	897	788	934	1046 = 29,669/4
32	377	351	231	436	831 = 7,417 ชม./ปี
33	98	90	30	139	501
34	9	9	2	31	252
35				2	110
36					41
37					8
38					2
discomfort (hr)	1431	1347	1051	1542	2791
	8760	8760	8760	8760	8760

สรุปผลวิจัยการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
รวมจำนวนชั่วโมง (พื้นที่ใช้สอย 4 ชั้น) คิดเป็น 35040 ชั่วโมง

Dry bulb temperature : Base Case Shophouse





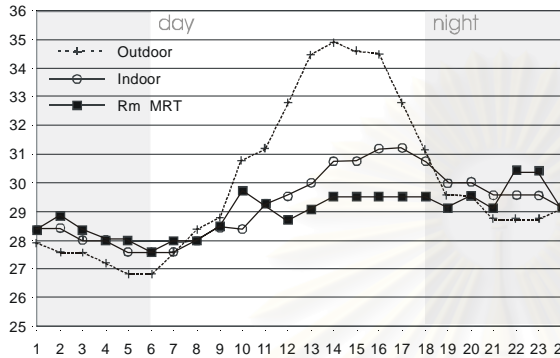
แผนภูมิที่ 4-11 การเปรียบเทียบการจำลองสภาวะอาคารด้านอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร  
กับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (MRT) ในแต่ละชั้นของอาคารกรณีศึกษาจำลอง

- - + - - Outdoor
- Indoor
- Rm MRT

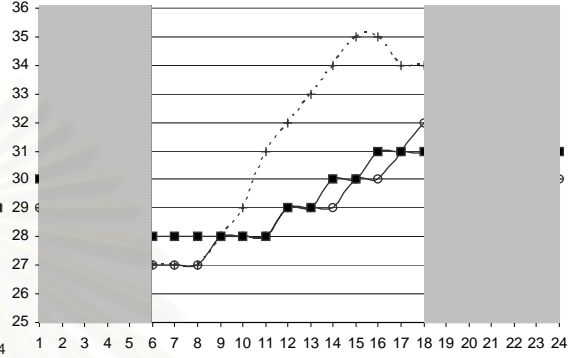
สภาพอากาศจริงจากการวัดข้อมูล

สภาพอากาศจากการจำลอง ENER-WIN 97.2000.

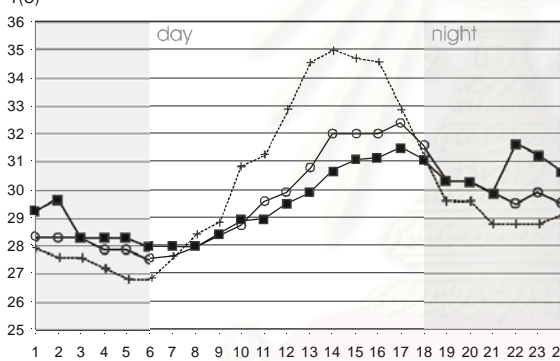
T(C) Existing Air Temp & MRT of Case Study: Fl. 1 [Measure on 21-05-02]



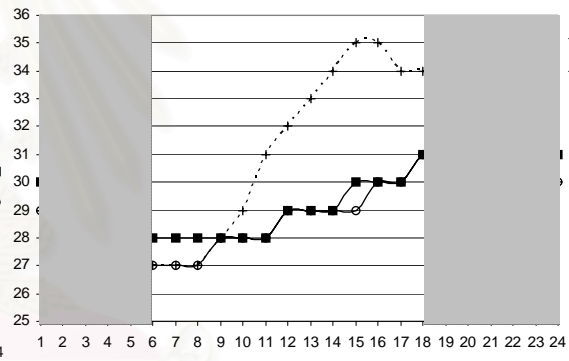
T(C) SIMULATION: Base Case Temp & MRT: Fl. 1



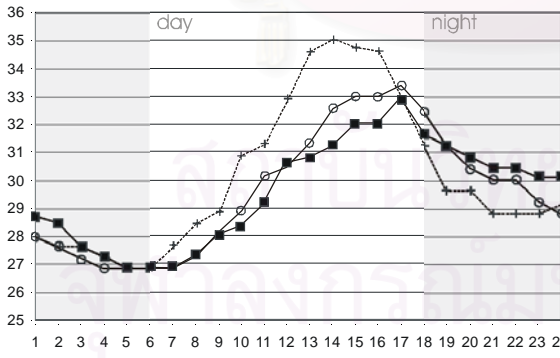
T(C) Existing Air Temp & MRT of Case Study: Fl. 2 [Measure on 21-05-02]



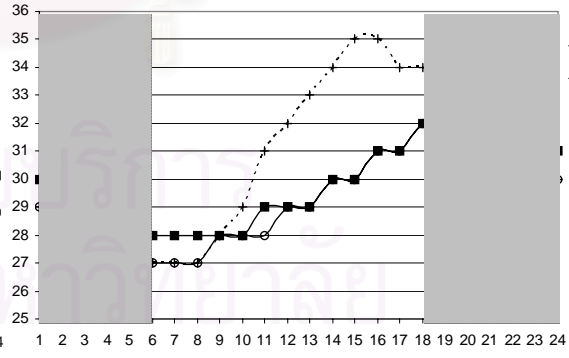
T(C) SIMULATION: Base Case Temp & MRT: Fl. 2



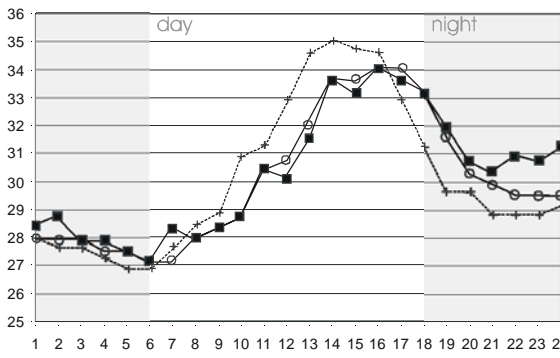
T(C) Existing Air Temp & MRT of Case Study: Fl. 3 [Measure on 21-05-02]



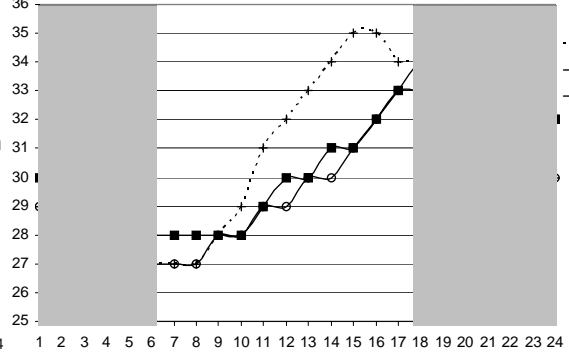
T(C) SIMULATION: Base Case Temp & MRT: Fl. 3



T(C) Existing Air Temp & MRT of Case Study: Fl. 4 [Measure on 21-05-02]



T(C) SIMULATION: Base Case Temp & MRT: Fl. 4



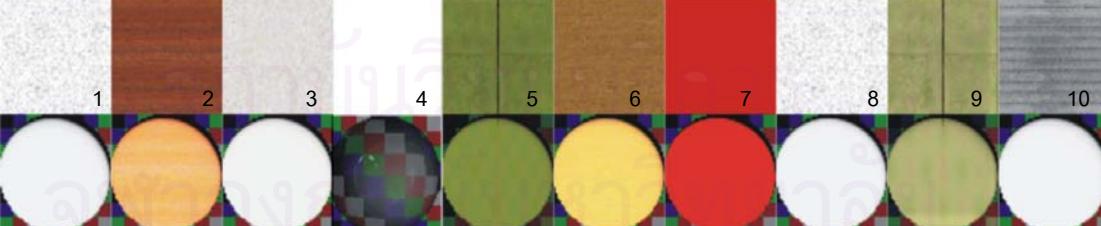
#### 4.5 การจำลองสภาวะภายในอาคารด้านแสงสว่างด้วยโปรแกรม Lightscape 3.2

การจำลองสภาวะภายในอาคารด้านอุณหภูมิ โดยนำเข้าข้อมูลลักษณะทางสถาปัตยกรรม และคุณสมบัติวัสดุ รวมถึงสภาพแวดล้อมใกล้เคียงที่มีอิทธิพลต่ออาคาร ของอาคารกรณีศึกษา ด้วยโปรแกรม Lightscape 3.2 มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความส่องสว่าง (illuminance) จากแสงธรรมชาติของพื้นที่ส่วนใช้งานภายในอาคาร

การจำลองทำโดยการขึ้นรูปอาคารสามมิติและระนาบวัด (work plane) ที่ระดับสูงจากพื้น 0.75 เมตร พร้อมอาคารที่เป็นสภาพแวดล้อม จากโปรแกรมเขียนแบบ และนำหุ่นจำลองมาตราส่วน 1:1 ดังกล่าวเข้าในโปรแกรม Lightscape 3.2 เพื่อกำหนดคุณสมบัติวัสดุด้านแสงสว่างตามที่เก็บข้อมูลจากอาคารจริง เพื่อเปรียบเทียบให้มีความใกล้เคียงกับอาคารจริง เช่น ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว ค่าการส่องผ่านแสง ค่าความส่องสว่างของวัสดุ เป็นต้น และนำมาประมวลผลโดยกำหนดที่ตั้งอาคารที่กรุงเทพมหานคร ทิศการวางอาคาร วันที่ และเวลาที่ใช้ในการจำลองสภาพแสงธรรมชาติ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 4-10 คุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการจำลองสภาพแสงสว่างในโปรแกรม Lightscape 3.2

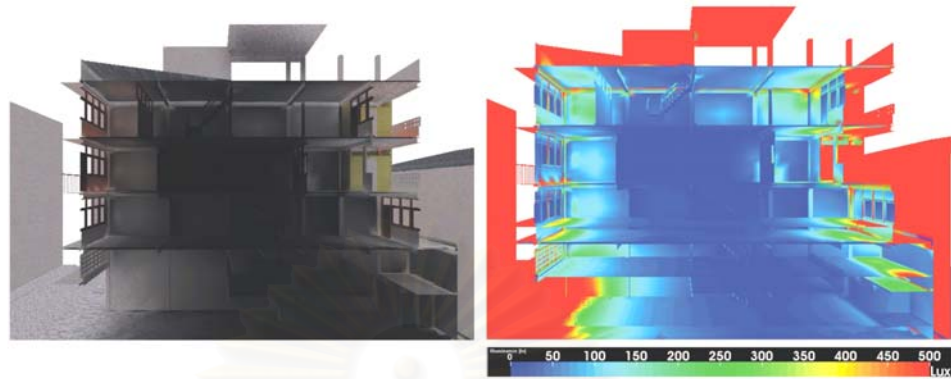
Material	Existing Reflectance	Avg. Reflectance	Physics						color			
			Trans parency	Shini ness	Refrac tive Index	Reflec tance Scale	Colour Bleed scale	Luminance (glow) cd/m2	Hue	Satu ration	Value	
1 พื้นคอนกรีตเปลือย	0.2	0.17	0	0	1	0.3	0	0	0	0	0	0.59
2 ประตูและวงกบไม้	0.22	0.2	0	0	1	0.35	1	0	38	1	0.56	
3 ผนังก่ออิฐทาสีน้ำพลาสติก	0.48	0.5	0	0	1	0.5	1	0	0	0	0.8	
4 กระเบื้องใส	0.72	0.8	0.5	0.8	1.5	0.8	1	0	0	0	1	
5 กระเบื้องพื้นห้องนอน 3 และห้องครัว	0.36	0.41	0	0.7	1	0.5	1	0	68	0.6	0.6	
6 ผนังไม้อัดทาโพลียูรีเทน	0.22	0.3	0	0	1	0.5	1	0	35	0.6	0.55	
7 ราวบันไดพลาสติก	0.18	0.4	0	0	1	0.5	0	0	360	1	0.8	
8 ฝ้าเพดานคอนกรีตเปลือยทาสี	0.68	0.84	0	0	1	0.9	1	0	0	0	0.9	
9 กระเบื้องปูผนังห้องน้ำ	0.48	0.65	0	0.8	1.5	0.8	1	0	60	0.3	0.75	
10 กระเบื้องหลังคา asbestos	-	0.16	0	0	1	0.3	1	0	0	0	0.5	



ค่าการสะท้อนแสงของผิววัสดุอาคาร จากการวัดตามวิธีการในบทที่ 3 เป็นการสุ่มวัดวัสดุอาคารจริงซึ่งมีความเสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งาน การกำหนดค่าจึงอ้างอิงค่าจริงที่วัดจริง ร่วมกับค่ามาตรฐานของ โปรแกรม นำไปประมวลผล และเปรียบเทียบผลกับแสงธรรมชาติที่วัดได้จริง ณ วันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2545 โดยเทียบค่าอัตราส่วนร้อยละของแสงสว่างภายใน ณ จุดที่วัดต่อแสงธรรมชาติภายนอกอาคารที่ไม่โดนแสงแดดตรง (daylight factor) เปรียบเทียบบนฐานความส่องสว่างสูงสุดเดียวกัน ให้ผลการจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 4-21 และแผนภูมิที่ 4-13

ภาพที่ 4-21 ผลการจำลองสภาพแสงสว่างตามธรรมชาติของหุ่นจำลอง (model) (21/05/2545 เวลา 12.00 น.)

**Base Case: Day lighting Simulation on June,21 (Existing Material Property)**

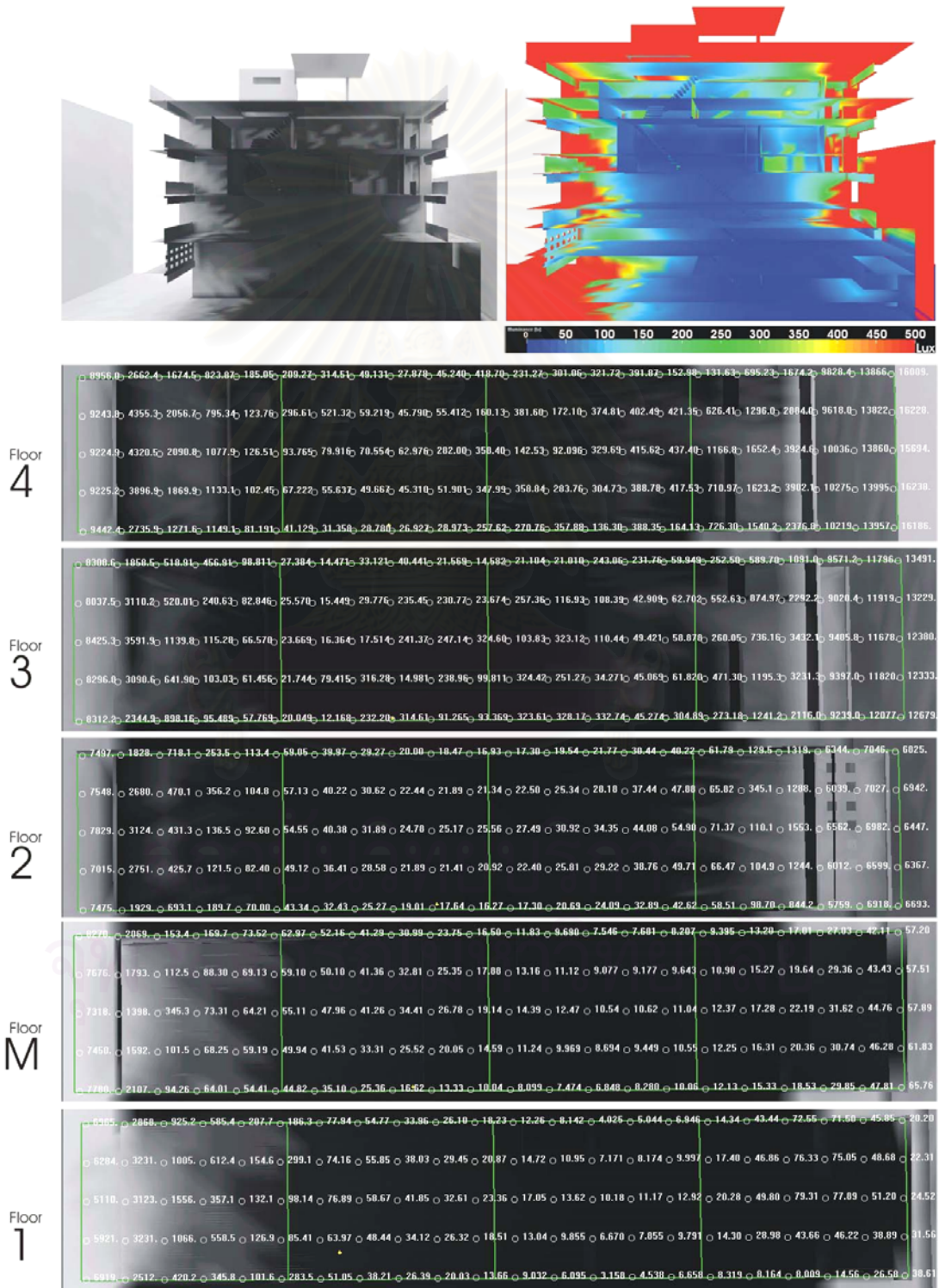


Floor 4	<p>1000.0 610.7 106.58 256.82 179.87; 45.298 35.748 40.788 2.6865 15.806 29.784 70.388 86.378 92.242 81.178 124.68 159.86 142.84 457.14 572.74 1104.6 1514.6 1718. 10433.</p> <p>14022. 8839.4 441.63 457.41 263.36 45.846 68.802 68.456 12.615 29.785 50.468 98.023 123.76 138.83 140.35 208.76 237.28 199.18 31.808 556.87 11.153 14406 18967 18345.</p> <p>14141. 8717.2 483.98 513.48 284.86 45.856 65.726 70.024 65.178 49.656 55.658 101.66 127.28 144.84 149.73 228.46 275.05 245.78 2130.8 4274.8 2187.6 14086 18731 18371.</p> <p>14096 8815.3 475.11 409.08 244.42 41.306 57.078 66.826 66.188 51.736 52.436 89.378 109.41 123.64 128.28 202.43 246.55 224.38 1935.8 3978.5 1065.8 14118 18655 18223.</p> <p>14972 7339.7 42122 43.294 43.243 37.388 22.678 15.798 11.294 8.4793 6.5822 5.1168 4.0142 3.3571 2.9878 2.5926 2.1258 1.9398 1.3556 3.1876 971.18 16118 37266 18289.</p>
Floor 3	<p>11928 6317.3 66.482 194.06 117.58 72.562 0.800890.000000.800002.5845 1.2511 1.0112 0.786420.418820.01924202.74 154.93 49.922 228.31 409.76 248.18 714.3 13481 8012.8</p> <p>11325 6270.6 261.61 360.65 160.21 84.180 0.356231.1796 1.5834 1.7533 2.7388 3.3792 3.4794 4.7482 4.8202 104.68 290.58 478.73 23.382 188.43 25.316 2594 13021 7758.3</p> <p>11331 6371.3 298.68 341.46 152.54 84.338 0.576861.9012 2.3602 2.7358 4.1306 6.2958 8.8866 6.7158 0.68836158.22 317.25 789.58 1639.3 3961.8 2088.6 2336 13084 7614.3</p> <p>11886 5822.2 75.691 181.36 109.91 70.554 0.668262.3092 2.7986 3.1448 3.7882 4.5246 4.9922 7.4872 0.7682977.458 283.13 167.21 1617.3 3555.8 1885.3 241.2 13231 7612.4</p> <p>11882 4601.8 2.0111 12.588 17.816 19.638 18.694 16.687 14.198 11.884 9.8591 8.1792 6.2866 5.6768 4.7754 4.0568 3.4974 3.1113 3.0273 4.1164 589.48 13272 13134 7728.8</p>
Floor 2	<p>4725 5238 56.82 188.6 97.76 64.81 39.37 26.39 18.88 15.47 9.146 6.258 4.148 2.413 0.808 32.51 49.11 88.48 158.2 223.5 221.22 2288 7587. 878.</p> <p>9549 7382 198.9 349.6 139.8 80.35 52.28 32.66 21.65 16.61 12.88 11.54 10.41 14.22 24.29 41.38 65.44 117.8 228.7 408.2 2.152 2408 7888 5882.</p> <p>8828 7014 218.8 358.3 158.3 85.35 55.21 34.28 22.42 18.66 15.88 13.98 13.93 19.57 25.92 43.34 72.15 138.2 278.8 519.8 313.4 7384 7138 5889.</p> <p>8623 688 211.5 314.9 129.3 76.28 58.57 32.18 22.17 18.77 15.37 13.73 14.92 18.76 25.52 39.86 63.99 116.3 258.3 543.4 988.2 7698 7133 5851.</p> <p>8844 4788 1.116 7.239 5.675 18.87 11.32 11.13 18.52 9.8588 8.718 7.772 6.863 6.035 5.301 4.668 4.138 3.733 3.538 4.238 193.4 8088 7455 5894.</p>
Floor M	<p>8747 8819 141.8 159.4 134.1 111.8 58.89 38.89 27.71 21.97 9.536 9.183 3.723 0.8878 0.808 5.118 10.82 10.18 23.65 35.26 106.2 213.7 73.46 4647.</p> <p>8673 8283 24.86 177.8 123.8 88.38 62.81 44.81 31.48 22.84 9.253 8.955 6.599 5.538 6.458 8.578 11.68 12.45 31.97 54.17 161.3 305.4 189.3 4418.</p> <p>8189 8217 23.76 174.1 128.8 108.5 69.88 48.87 33.14 22.52 12.79 11.86 7.758 7.883 6.986 6.988 10.47 12.35 34.28 61.48 164.1 304.6 144.5 4318.</p> <p>8958 6511 27.39 178.1 126.8 102.6 69.58 48.66 38.88 28.98 12.11 18.55 8.976 6.945 6.117 8.417 10.76 10.76 29.84 68.29 272.8 507.1 265.6 4378.</p> <p>8878 6889 50.41 5.847 6.848 7.581 7.762 7.834 7.683 7.363 6.952 6.455 4.5932 5.412 4.915 4.462 4.853 3.715 3.512 3.942 295.2 4291 3697 4681.</p>
Floor 1	<p>7777 4488 1559 822.4 435.6 227.2 114.8 81.27 6427 51.84 29.19 23.34 16.18 8.238 0.808 2.822 7.174 15.49 23.74 42.27 5.962 13.88 14.49 3623.</p> <p>7887 4333 1885 792.5 372.8 231.8 155.3 106.6 78.26 58.49 34.31 23.91 18.85 14.31 9.099 7.476 12.48 21.96 31.28 54.98 18.26 11.97 18.36 3447.</p> <p>7787 4251 1847 798.8 363.7 238.3 156.7 108.5 78.69 58.97 37.64 24.54 18.67 15.38 11.71 9.717 14.74 24.15 34.33 62.62 18.19 17.63 15.01 3357.</p> <p>7818 4213 1864 788.6 354.9 238.3 151.7 104.1 68.72 58.75 36.11 24.48 18.29 15.41 11.24 9.186 13.29 22.91 35.16 64.62 21.14 28.72 24.76 3481.</p> <p>7895 4519 1342 7.658 6.767 6.829 6.822 6.415 6.214 5.986 5.718 5.396 5.878 4.738 4.397 4.871 3.778 3.511 3.347 3.682 173.2 3488 2988 3888.</p>

การสร้างหุ่นจำลอง (model) ดังกล่าว เพื่อใช้ในการพิสูจน์ผลการออกแบบปรับปรุงด้านแสงสว่างตามธรรมชาติของอาคารกรณีศึกษา แต่เนื่องจากการประมวลผลใช้เวลาหลายวันต่อการจำลองแบบแต่ละครั้ง และข้อจำกัดด้านเวลาในการทำวิจัย จึงสร้างหุ่นจำลองที่ลดทอนรายละเอียดขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม (mass study) เพื่อใช้ศึกษาการออกแบบขั้นต้น โดยส่วนที่ลดทอนรายละเอียด ได้แก่ วงกบ ความหนาเสา-คาน รวมถึงองค์ประกอบขนาดเล็กที่มีอิทธิพลต่อแสงน้อย อาทิ ราวจับบันไดโปรงและเหล็กดัดกันขโมย เพื่อลดจำนวนชิ้นวัสดุในการประมวลผล (mesh number) และใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเดียวกันทั้งอาคารโดยสุ่มคุณสมบัติวัสดุที่

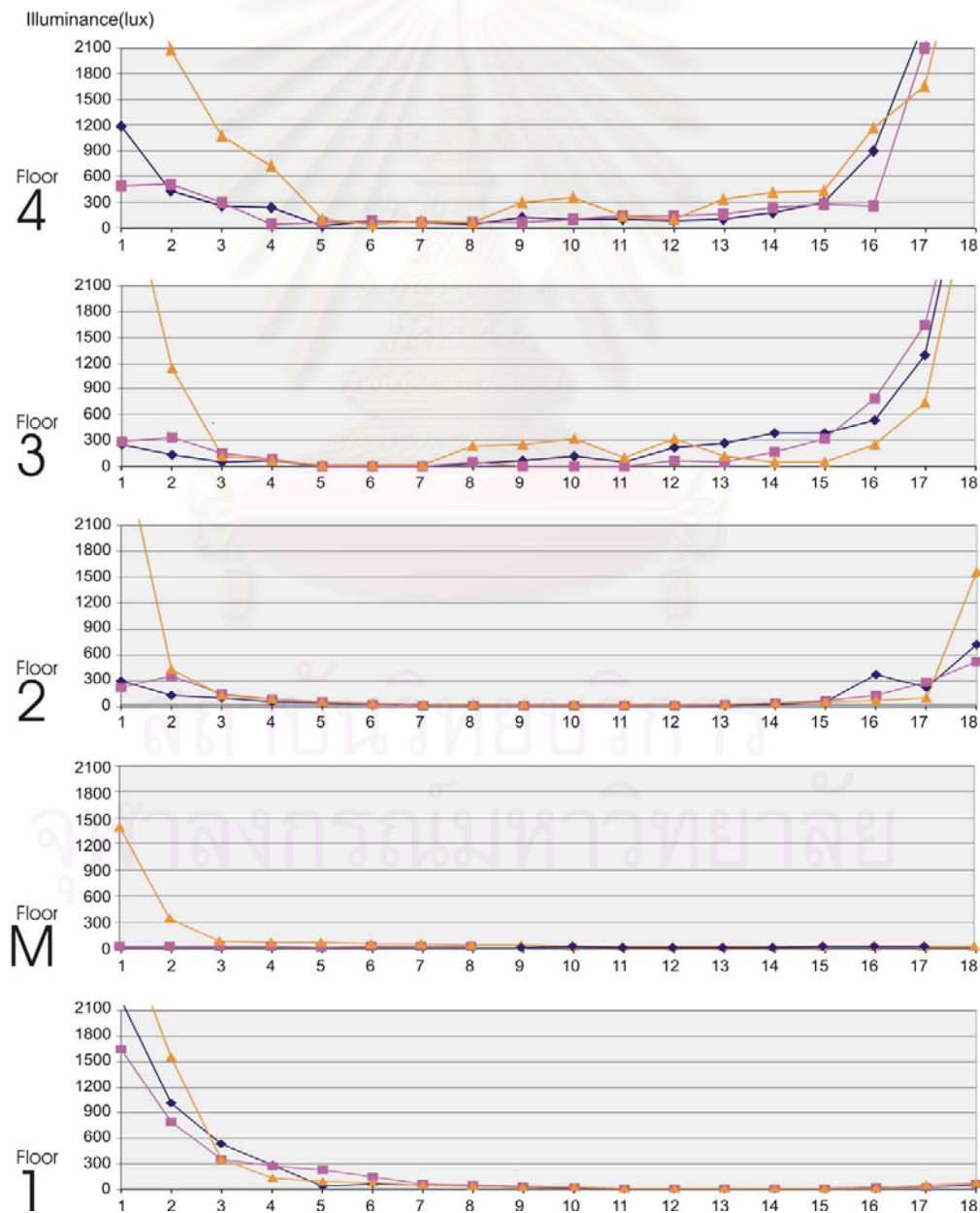
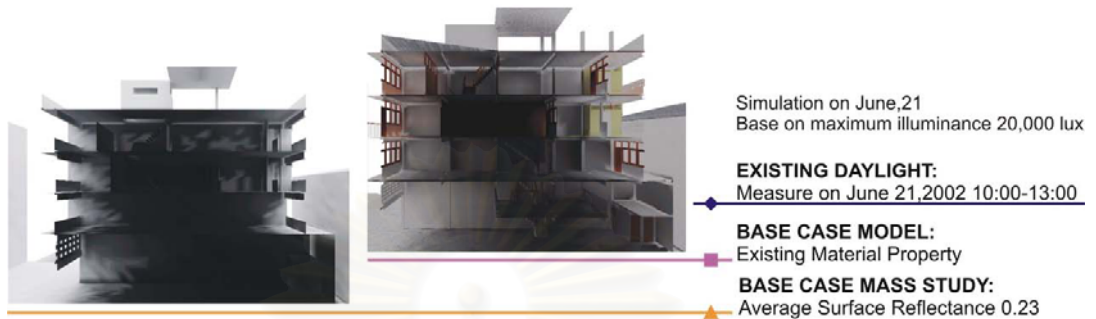
ค่าคงที่ต่างๆ (แสดงผลการจำลองในภาคผนวก) เทียบกับผลการวัดจากอาคารจริง และเลือกใช้ค่าคุณสมบัติวัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ย (average reflectance) เท่ากับ 0.23 (reflectance scale=0.3 และ color hue=0.7) ดังภาพที่ 4-22 และแผนภูมิที่ 4-13

ภาพที่ 4-22 ผลการจำลองสภาพแสงสว่างตามธรรมชาติของหุ่นจำลองศึกษา (mass study)  
**Base Case: Mass Study Simulation on June,21 (Average Reflectance 0.23)**



แผนภูมิที่ 4-12 การเปรียบเทียบผลการจำลองสภาวะอาคาร ด้านแสงสว่างในแต่ละชั้นของอาคารกรณีศึกษาของค่าที่วัดในอาคารจริง เปรียบเทียบกับหุ่นจำลองค่าวัสดุจริง(model) และหุ่นจำลองวัสดุเดียว(mass study)

Calibration of Day lighting Simulation : Base case shophouse

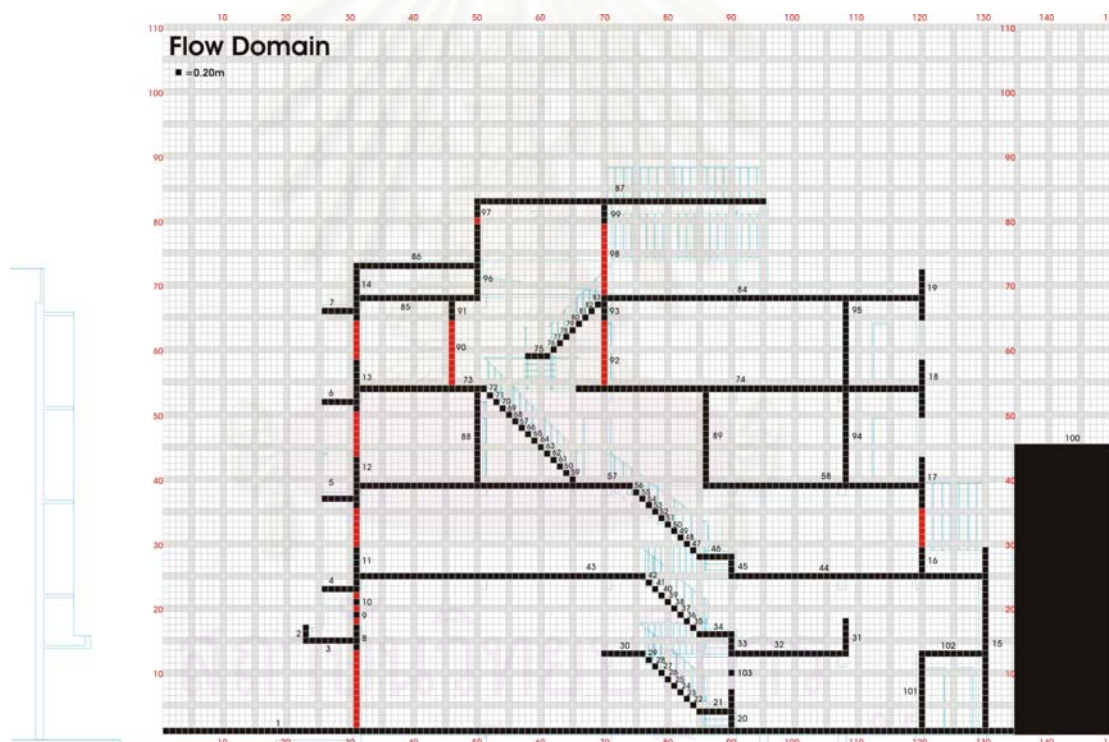


#### 4.6 การจำลองสภาวะภายในอาคารด้านการระบายอากาศด้วยโปรแกรม 2D-CFD

เป็นการจำลองสภาวะการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านสถาปัตยกรรม (fluid dynamic) เพื่อศึกษาความเร็วลมและเส้นทางการเคลื่อนที่ภายในอาคาร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ชื่อ Heat-X เป็นโปรแกรมประเภทหนึ่งของการจำลองของไหล 2 และ 3 มิติ (2D-CFD) ในการวิจัยนี้เลือกใช้เป็นแบบ 2 มิติ เนื่องจากข้อจำกัดทางเวลา ประกอบกับวัตถุประสงค์การใช้งานเพื่อเป็นการประเมินผลอาคารที่ออกแบบปรับปรุงให้มีแนวโน้มของสภาวะน่าสบายด้านการระบายอากาศที่ดีขึ้นตามทฤษฎีที่ศึกษา (rules of thumb) เพื่อนำผลความเร็วลมที่ได้ไปใช้ในการคำนวณอัตราการระบายอากาศภายในอาคาร การจำลองประกอบด้วยขั้นตอน 2 ส่วน ดังนี้

**ส่วนที่ 1** การกำหนดลักษณะสถาปัตยกรรมและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลม โดยการเขียนกรอบอาคาร เพื่อกำหนดค่าความพรุนของกรอบอาคารและผนังภายใน มีเป็นค่า 1 หรือ 0 บนตารางบอกแนว (flow domain) 2 มิติ กว้าง 110 x 150 ช่อง แต่ละช่องแทนมาตราส่วน 0.20 เมตร ดังแสดงในภาพ

ภาพที่ 4-23 การกำหนดกรอบอาคารบนตารางบอกแนว (Flow domain)



**ส่วนที่ 2** การนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม ในลักษณะของค่าทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยข้อมูล ส่วนเพื่อใช้ในการอ้างอิงและประมวลผล ได้แก่

1. ข้อมูลโครงการและรายละเอียดทั่วไป

2. ค่า parameter ที่ใช้ช่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และจำนวนครั้งในการประมวลผลเพื่อ

กำหนดความละเอียดในการประมวลผล (ค่า relaxation) ทำให้ได้ผลการประมวลเร็วขึ้นหรือช้าลง มีค่ายิ่งมาก ความถูกต้องจะยิ่งมาก (converged) แต่จะทำให้โปรแกรมหยุดการประมวลผลได้ง่าย เนื่องจากไม่สามารถคำนวณค่าที่ถูกต้องต่อไปได้อีก หากค่าน้อยจะทำให้ค่าที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ได้ (diverged) แต่จะยังดีต่อ

การประมวลผลเพราะจะทำโปรแกรมสามารถประมวลผลง่ายขึ้นและดำเนินการต่อไปได้จนจบ แต่จะทำให้การทำงานช้าลงเนื่องจากต้องป้อนค่าจำนวนครั้งในการประมวลผล (nitall) เพิ่มขึ้น ในที่นี้กำหนดขั้นสูงที่ 15000 ครั้ง แต่โปรแกรมจะหยุดประมวลผลเองเมื่อกระบวนการสิ้นสุด ในที่นี้การจำลองแบบกรณีศึกษาหยุดที่ประมาณ 4,000-6,000 ครั้ง

3. ข้อมูลกรอบอาคารตามที่ร่างไว้ในตาราง flow domain
4. ความเร็วและทิศทางเข้าออกของลมภายนอก

แผนภูมิที่ 4-14 ตัวอย่าง output error ในการประมวลผลในโปรแกรม Heat-X

**Output error of HeatX simulation : Base Room Close Door Section**

**# RELAXATION**

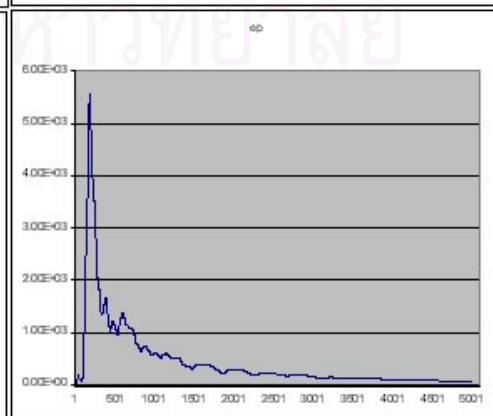
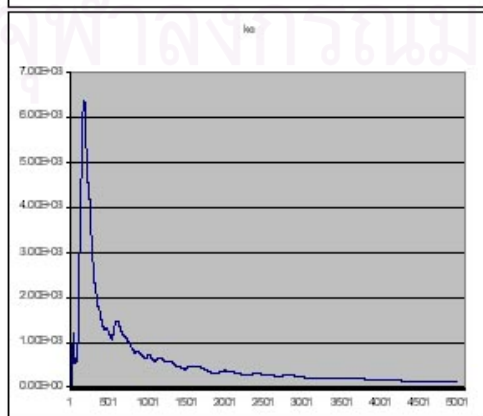
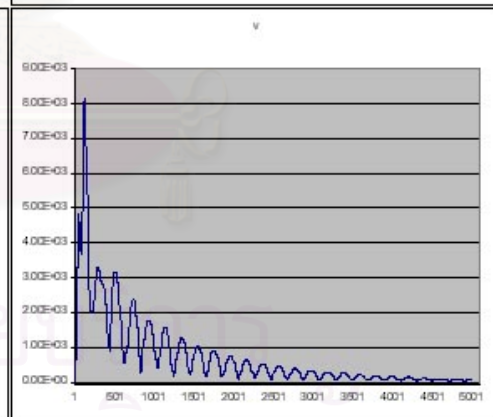
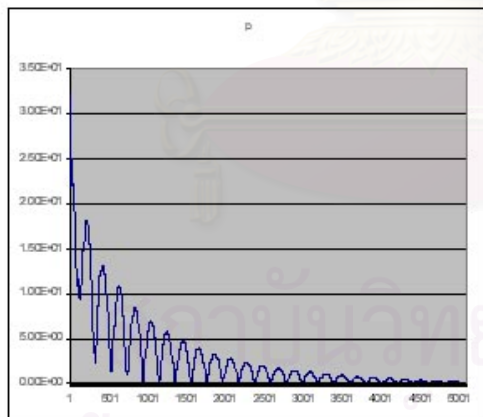
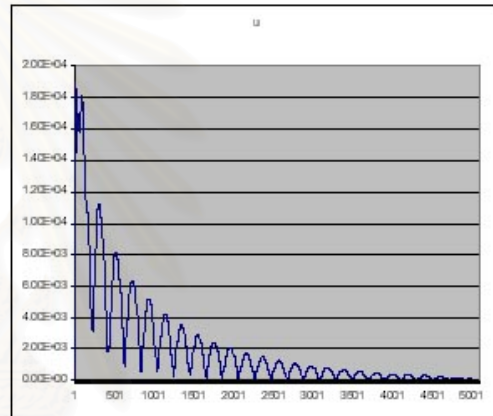
```
relaxIn(p)=0.32
relaxdt(u,v)=5.0e-4
relaxdt(ke,ep)=5.0e-4
relaxdt(h)=1.0e-1
```

**# ITERATION COUNTS**

```
nitphi(p)=10
nitphi(u,v)=10
nitphi(ke,ep)=1
nitphi(h,ht1)=1
# epsphi(h)=1.0e+5
nitall=15000 end at 5088
```

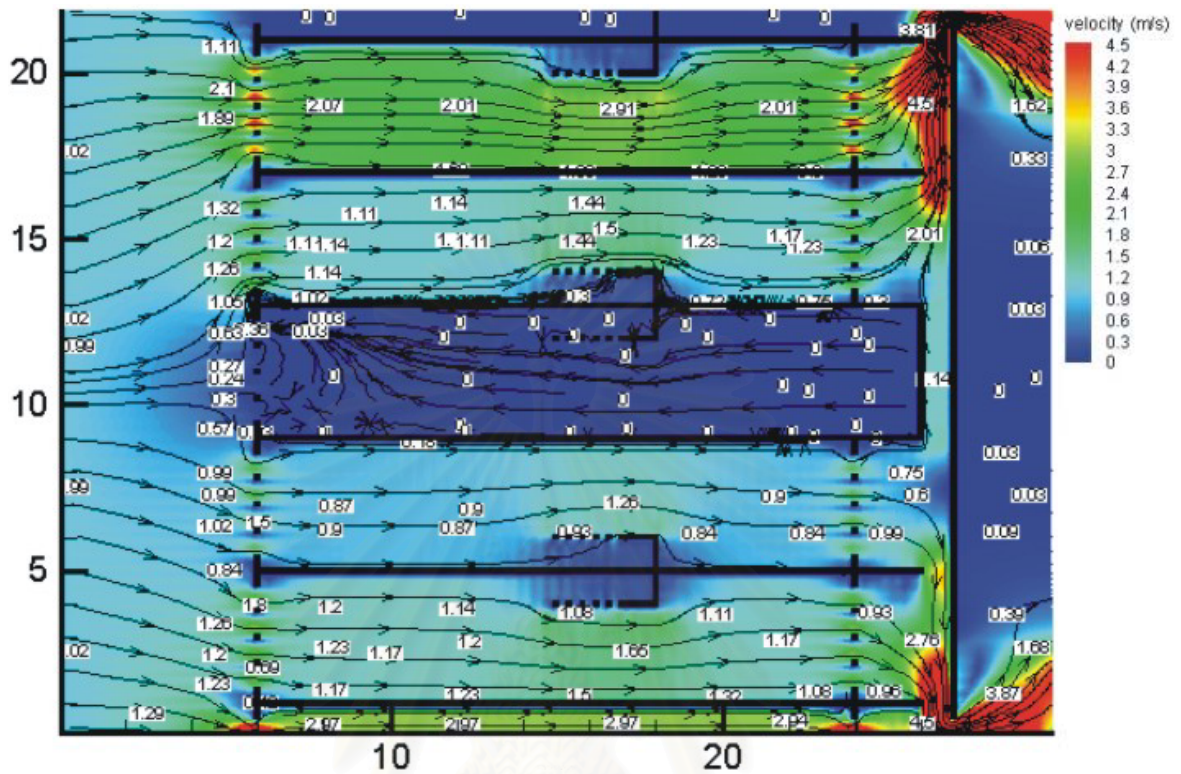
**# INITIAL CONDITIONS**

```
bduc(1,ke,set,cell,0.0,0.0025,1,nx,1,ny,1,1,0,0)
bdyc(1,ep,set,cell,0.0,1.2e-5,1,nx,1,ny,1,1,0,0)
```

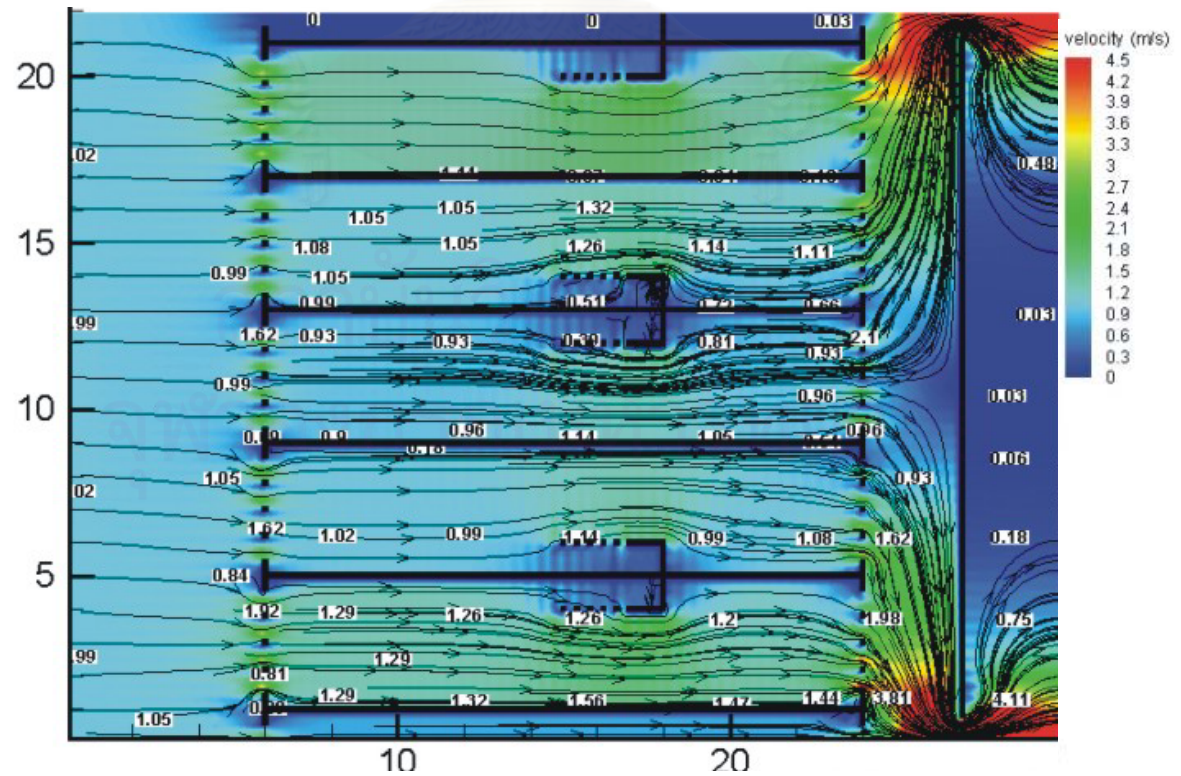


แผนภูมิที่ 4-15 ผลการจำลองการเคลื่อนที่อากาศ แพลนพื้นที่ชั้น 1 และ 2 อาคารตึกแถวกรณีศึกษา

แพลนพื้นที่ชั้น 1



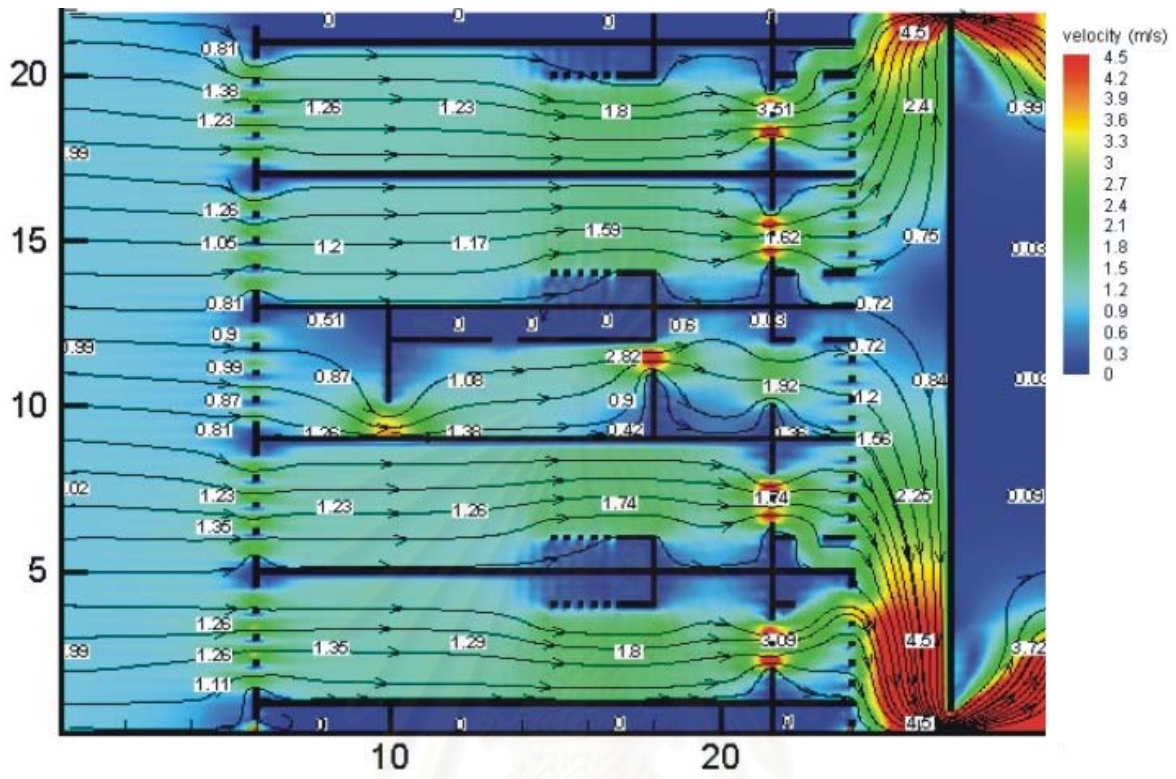
แพลนพื้นที่ชั้น 2



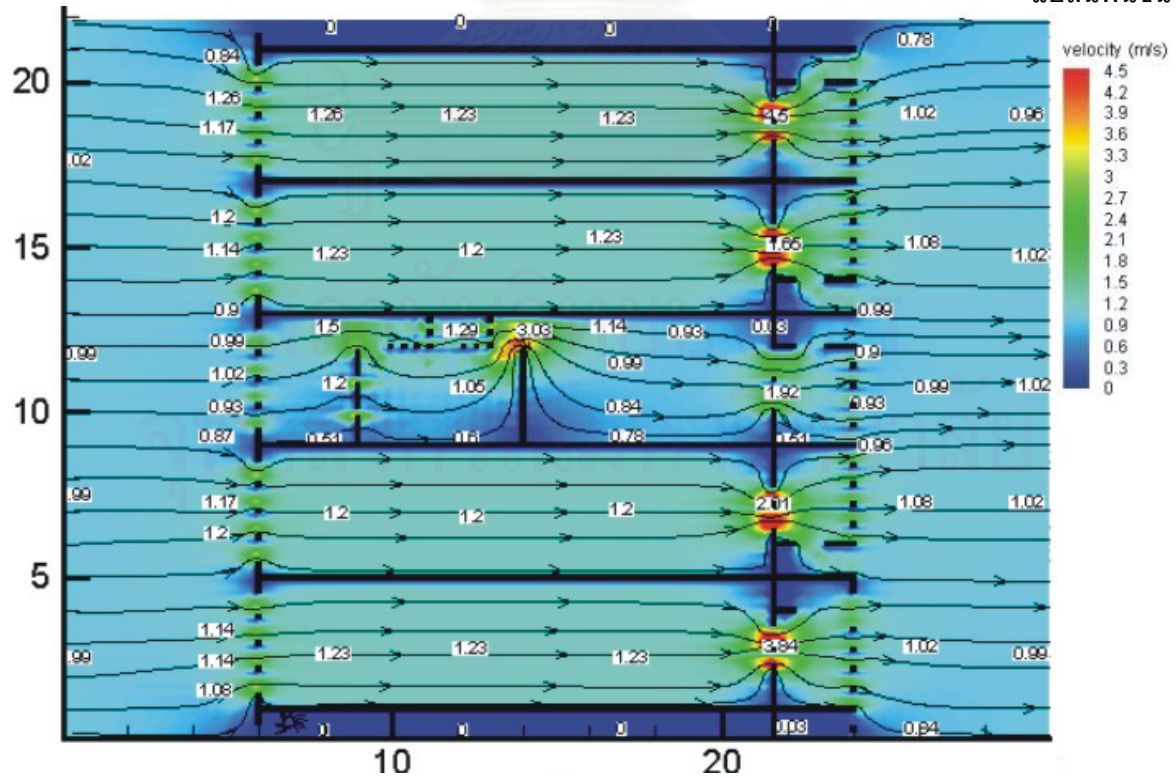


แผนภูมิที่ 4-16 ผลการจำลองการเคลื่อนที่อากาศเปลี่ยนพื้น ชั้น 3 และ 4 อาคารตึกแถวกรณีศึกษา

แปลนพื้นที่ชั้น 3

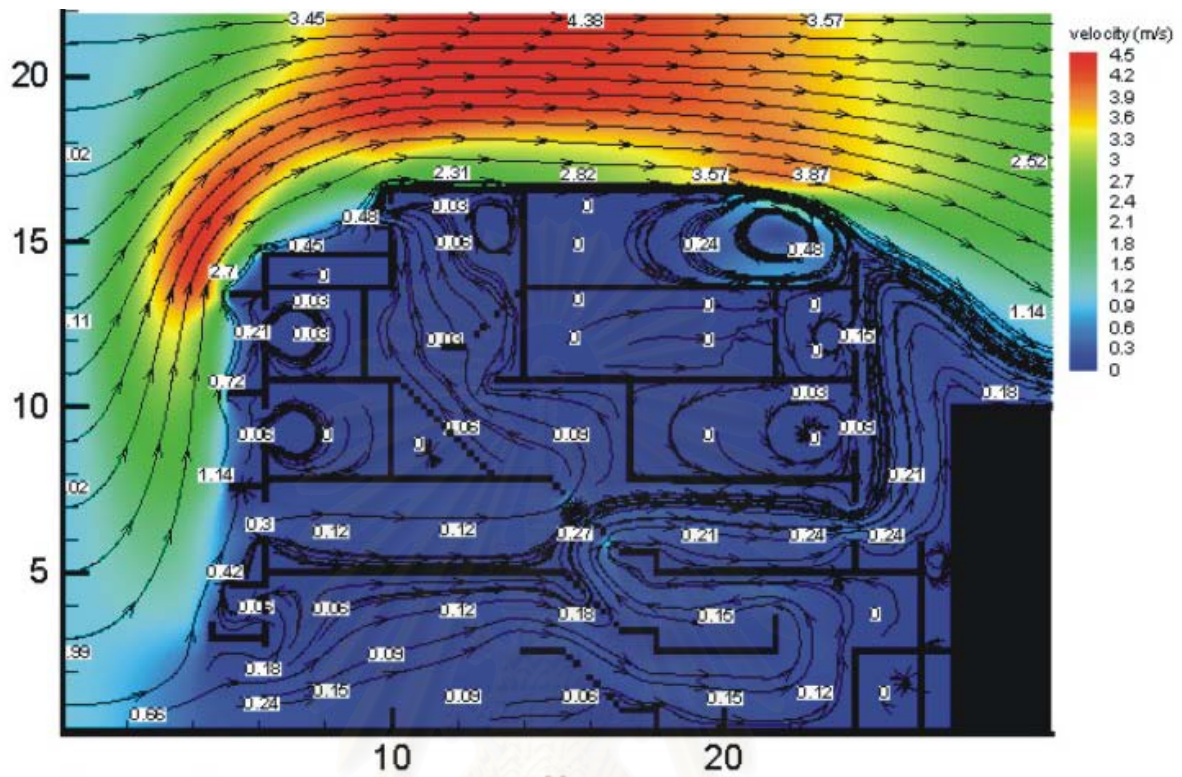


แปลนพื้นที่ชั้น 4

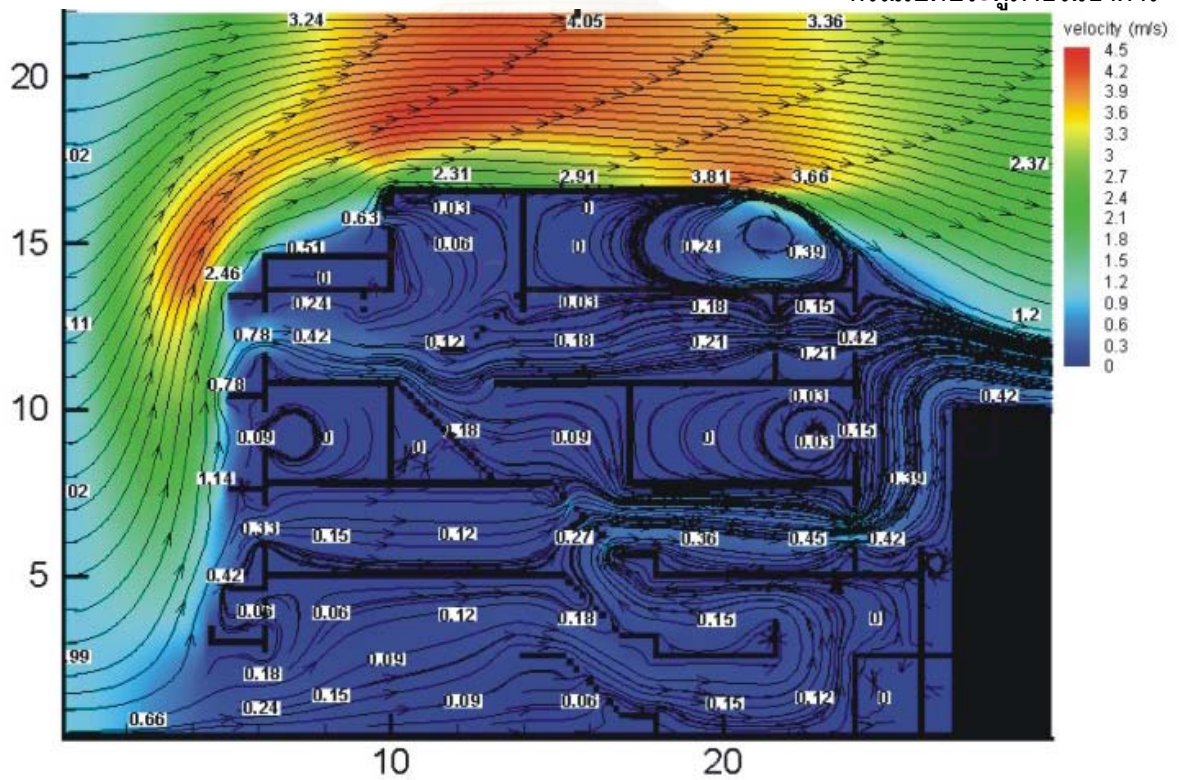


แผนภูมิที่ 4-17 ผลการจำลองการเคลื่อนที่อากาศ อาคารกรณีศึกษา รูปตัดผ่านบันได

กรณีเปิดประตูภายในอาคาร

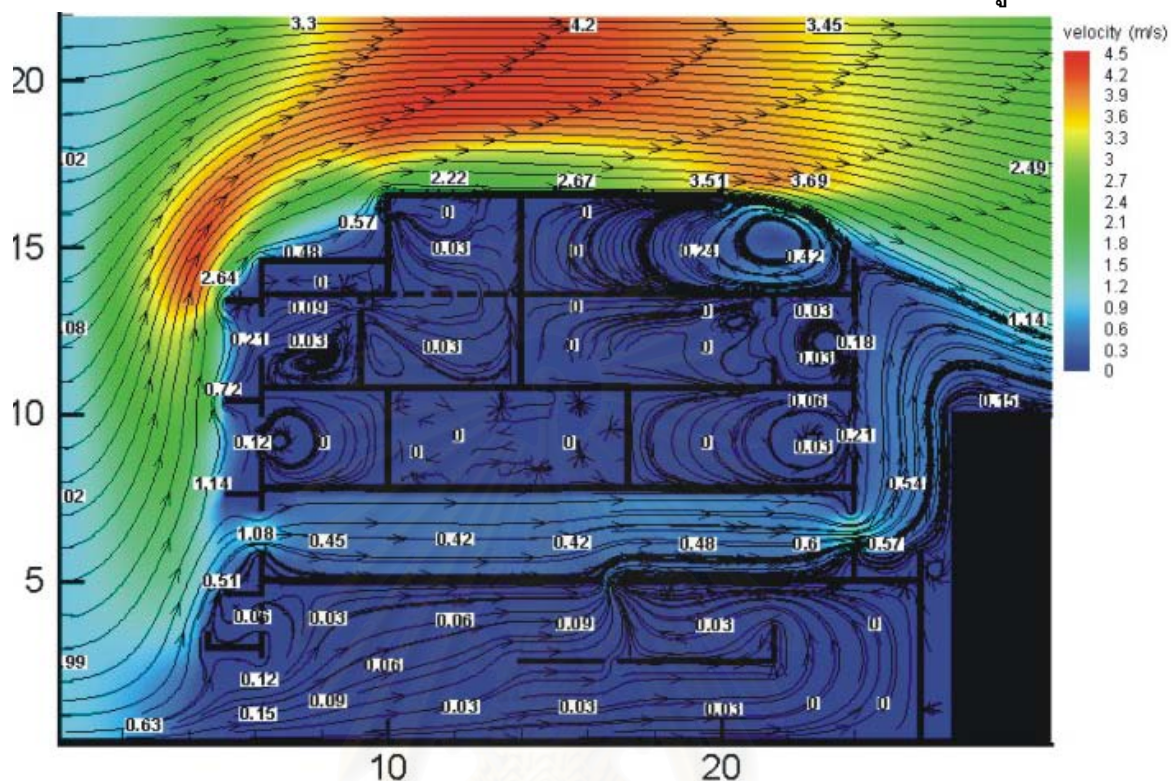


กรณีเปิดประตูภายในอาคาร

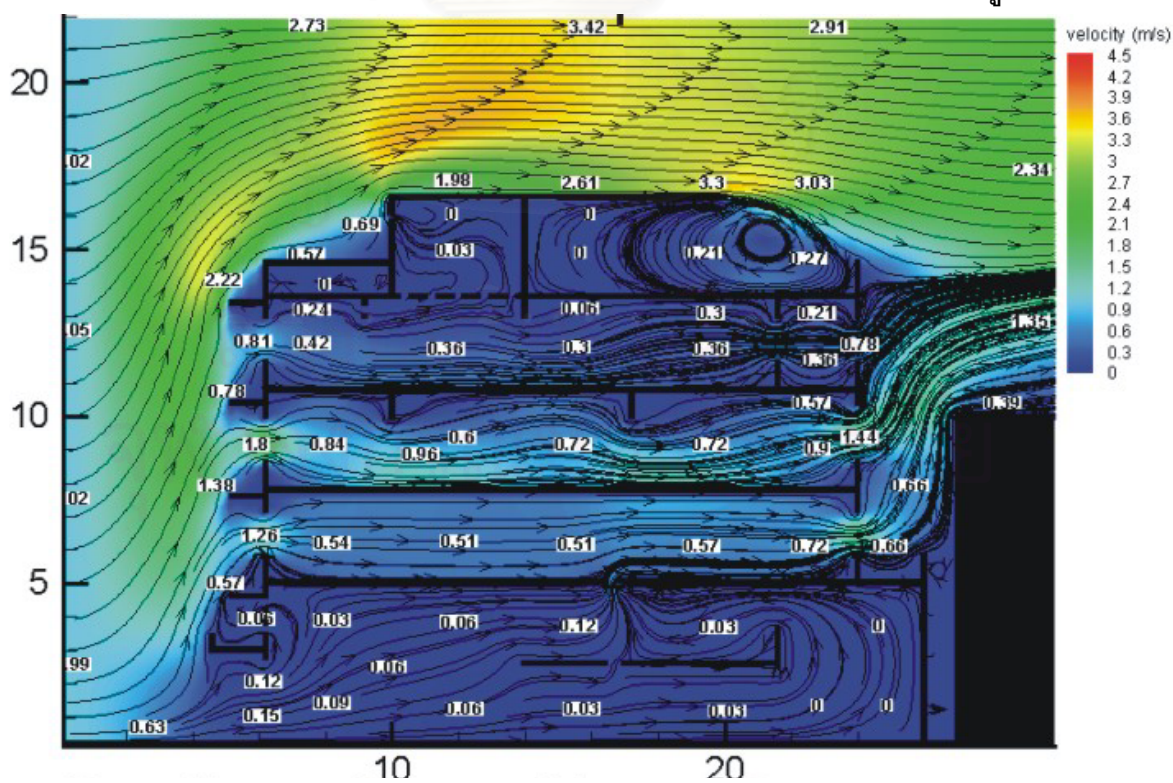


แผนภูมิที่ 4-18 ผลการจำลองการเคลื่อนที่อากาศ อาคารกรณีศึกษา รูปตัดผ่านห้องพัก

กรณีเปิดประตูภายในอาคาร



กรณีเปิดประตูภายในอาคาร



ผลจากการจำลองการเคลื่อนที่ของอากาศภายในอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวัดข้อมูลจากอาคารจริง ตามตารางที่ 4-13 พบว่า ความเร็วลมภายในอาคารจากการจำลองบางบริเวณมีค่าสูงกว่าอาคารที่วัดได้จริง ทั้งที่ การป้อนค่ารูปทรงอาคารและความเร็วลมภายนอก (1 เมตร/วินาที) ใกล้เคียงสภาพจริง สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะ เป็นการจำลองในลักษณะ 2 มิติ พิจารณาประกอบกันระหว่างแปลนและรูปตัดอาคาร อีกทั้งสภาพการใช้งานจริงมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของลมทั้งสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกอาคาร เช่น ขนาด และการจัดวางเคลื่อนที่ของลม การติดตั้งมุ้งลวด ฯลฯ ซึ่งหากพิจารณาภาพรวมของอาคารแล้วจะสังเกตได้ว่า ความเร็วลมภายในอาคารยังคงมีค่าใกล้เคียงกับผลการวัดในช่วง 0-0.4 โดยมีค่านิยมของความเร็วมกลาง ห้องที่จำลองได้ประมาณ 0.12-0.18 เมตร/วินาที ซึ่งเมื่อนำข้อมูลไปคำนวณเป็นอัตราการระบายอากาศจะมี พื้นที่อัตราการระบายอากาศต่ำกว่ามาตรฐานในกรณีไม่เปิดประตูระหว่างห้อง เป็นบริเวณเดียวกับการวัดข้อมูล อาคารจริง ดังแสดงในตารางที่ 4-11 และรายละเอียดในภาคผนวก

ตารางที่ 4-11 การคำนวณอัตราการระบายอากาศของอาคารจำลองในโปรแกรม 2D-CFD

เปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษา

#### รายการคำนวณอัตราการระบายอากาศ

ZONE	ความเร็วลม ณ ช่องเปิด จาก การจำลอง (เมตร/วินาที)	อัตราการระบายอากาศ จากการจำลอง*** (m <sup>3</sup> /hr.)		ความเร็วลมเฉลี่ย ณ ช่องเปิด (เมตร/วินาที) วัดจากอาคารจริง			อากาศจากการ วัดข้อมูลอาคาร กรณีศึกษา***		อัตราการ ระบาย อากาศ ที่ต้องการ **** (m <sup>3</sup> /hr.)
		กรณีเปิด หน้าต่าง ปกติ	กรณีเปิด หน้าต่าง และประตู	มิถุนายน	ธันวาคม	เฉลี่ย	กรณี เปิด หน้าต่าง	กรณี เปิด หน้าต่าง	
Zone 1-1	0.150	0	0		0.181	0.181	0	0	180-864
Zone 1-2, 1-3, 1-4									135
Zone 2-1, 2-2, 2-3	1.170	3141	4077		0.235	0.235	631	819	81
Zone 3-1	1.380	0	2623		0.263	0.263	0	501	108
Zone 3-2	0.840	0	1210	0.099	0.235	0.167	0	240	108
Zone 3-3	0.720	0	1389	0.062	0.093	0.078	0	150	180
Zone 4-1	0.660	311	1458		0.284	0.284	134	827	54
Zone 4-2	0.200	65	351	0.047	0.071	0.059	19	104	54
Zone 4-3	0.360	0	684	0.044	0.048	0.046	0	87	54

## บทที่ 5

### การพิจารณาแนวทางการปรับปรุงอาคาร

#### 5.1 หลักเกณฑ์การเลือกวิธีการปรับปรุงอาคาร

การพิจารณาปรับปรุงอาคารตึกแถวพักอาศัย ได้กำหนดเกณฑ์การพิจารณาแนวทางการออกแบบเป็น 3 ประเด็น ดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพอาคารในด้าน สภาวะน่าสบายภายในอาคารตามมาตรฐาน
2. พื้นที่ใช้สอยรวมภายในอาคารมากที่สุด โดยปรับเปลี่ยนการใช้งานตามความเหมาะสม
3. ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ พิจารณาจากงบประมาณการลงทุนและระยะคืนทุน

#### 5.2 การกำหนดแนวทางในการออกแบบปรับปรุง

แนวทางในการออกแบบเพื่อปรับปรุงอาคารให้มีสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิแสงสว่างและการระบายอากาศภายในอาคารเหมาะสมตามมาตรฐานการอยู่อาศัยและสอดคล้องกับกิจกรรมการใช้งาน โดยพึงพาระบบธรรมชาติให้มากที่สุดก่อน (passive design) โดยเน้นในการปรับปรุงเปลือกอาคาร ผนังภายในและการเปิดพื้นที่เปิดโล่งในอาคาร เพื่อปรับสภาวะแสงสว่าง และอัตราการระบายอากาศ โดยป้องกันความร้อนจากภายนอก

ทั้งนี้ได้พิจารณาปัญหาสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศแต่ละพื้นที่ เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีผลในการออกแบบและศึกษาประสิทธิภาพการปรับปรุง ดังนี้

##### 5.2.1 แนวทางการปรับปรุงสภาวะน่าสบายภายในอาคารด้านอุณหภูมิ

การดำเนินการในการออกแบบปรับปรุงงานสถาปัตยกรรม เพื่อปรับสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิภายในอาคารให้ดีขึ้น เสนอเป็นแนวทางได้หลายระดับ โดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิจากอาคารกรณีศึกษา ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเปลือกของอาคารเป็นหลัก ได้แก่ หลังคา ผนังด้านหน้า(ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ) และผนังด้านหลัง (ทิศตะวันตกเฉียงใต้) ซึ่งมีการนำ การพาและการแผ่รังสีความร้อนผ่านเปลือกอาคาร ช่องเปิดและองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม ที่รับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์และเป็นสะพานความร้อนสู่อาคาร โดยเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ เสนอเป็น 3 แนวทาง ดังนี้

1. การปรับปรุงโดยการเพิ่มเติมองค์ประกอบบางส่วน เป็นการปรับปรุงเบื้องต้นที่สามารถทำได้ง่าย ลงทุนต่ำ ไม่ต้องขออนุญาตก่อสร้างเนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอาคาร ดังนี้

- 1.1 เพิ่มสัมประสิทธิ์การป้องกันความร้อนแก่เปลือกของอาคาร (หลังคา ผนังด้านหน้า และด้านหลัง) โดยการใส่ฉนวน หรือต่อเติมเป็นผิวอาคาร 2 ชั้น
- 1.2 ร่มเงาแก่ผนัง ช่องเปิดและองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมอื่น โดยติดตั้งกันสาด แผงกันแดด เพื่อให้โดยออกแบบไม่ให้เป็นสะพานความร้อนเข้าสู่อาคาร
- 1.3 ติดตั้งผ้าเพดาน เพิ่มฉนวนความร้อนให้แก่ผนัง เพื่อลดการนำความร้อนจากเปลือกอาคาร และป้องกันการเกิดสะพานความร้อนขององค์ประกอบสถาปัตยกรรม

## 2. การปรับปรุงโดยการดัดแปลงอาคาร

- 2.1 ร่นแนวผนังเพื่อลดพื้นที่รับความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์
- 2.2 เปลี่ยนประเภทหน้าต่างเป็นชนิดที่มีการรั่วซึมอากาศน้อย (weather tight) เช่น การเปลี่ยนช่องแสงหรือช่องลมเป็นบานกระทุ้งเพื่อควบคุมความเร็วลมและการถ่ายเทความร้อนการทำช่องแสงติดตายบางช่วง
- 2.3 เปลี่ยนกระจกเป็นชนิดที่มีสัมประสิทธิ์ป้องกันความร้อนมากขึ้น
- 2.4 ออกแบบผนังดักลมด้านบนอาคารเพื่อนำลมเย็นเข้าสู่อาคาร และปรับเปลี่ยนการใช้งานเพื่อกำหนดทิศทางการระบายความร้อนที่เหมาะสม
- 2.5 ลดจุดสัมผัสขององค์อาคารที่เป็นสะพานความร้อน
- 2.6 ปรับเปลี่ยนผนังภายในเพื่อลดการสะสมความร้อนและความชื้น โดยเลือกวัสดุที่มีความเป็นฉนวน มีการจัดช่องเปิดเพื่อควบคุมการระบายอากาศที่เหมาะสมเพื่อลดการสะสมความชื้น

## 3. การปรับปรุงด้านการจัดระบบและการจัดการ

- 3.1 จัดโซนพื้นที่ใช้งานใหม่ให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร
- 3.2 พิจารณาติดตั้งพัดลม/เครื่องปรับอากาศ
- 3.3 ปรับผังห้องโดยแยกโซนปรับอากาศ ออกจากแหล่งความร้อนภายนอกอาคาร

### 5.2.2 แนวทางการปรับปรุงสภาพแสงสว่างภายในอาคาร

จากผลการวิเคราะห์สภาพแสงสว่างภายในอาคารสรุปได้ว่า ระดับแสงธรรมชาติที่เพียงพอต่อการใช้งาน เข้าสู่อาคารเฉพาะบริเวณโซนด้านหน้าและด้านหลังอาคารในระยะห่างช่องเปิดมากที่สุด 3 เมตร (min 200 lux) ทำให้บริเวณโซนกลางอาคารของทุกชั้นไม่ได้รับแสงสว่างธรรมชาติ ดังนั้นจึงพิจารณาปรับปรุงปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะแสงสว่างภายในอาคาร ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัสดุกับปริมาณความส่องสว่างภายในอาคาร และกลวิธีในการนำแสงสว่างเข้าสู่ภายในอาคารทางเปลือกอาคาร เพื่อเปรียบเทียบปริมาณแสงที่สามารถเข้าสู่อาคารระยะของแสงที่เพียงพอต่อการใช้งาน และความแตกต่างของความส่องสว่างระหว่างภายในกับภายนอกเพื่อลดความจ้า (glare) ของแสงบริเวณริมช่องเปิด โดยการจำลองผลด้วยโปรแกรม Lightscape 3.2 ทำการศึกษารูปแบบทางสถาปัตยกรรมของเปลือกอาคารทั้งด้านหน้า ด้านหลัง และด้านบนหลังคาเพื่อนำแสงสว่างธรรมชาติจากภายนอกมาใช้ให้มากที่สุด โดยใช้การสะท้อนของผนัง หรือหิ้งแสงในแนวระนาบเพิ่มเติม และการเปิดช่องแสงจากด้านบนซึ่งมีโอกาสเปิดช่องแสงได้ตลอดแนวความยาวของอาคาร แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ใช้สอยที่ลดลงและความร้อนภายในอาคารที่อาจเพิ่มขึ้นด้วย เสนอแนวทางการปรับปรุงด้านแสงสว่าง 3 ระดับ ดังนี้

1. การปรับปรุงโดยการเปลี่ยนรูปแบบเปลือกอาคาร เป็นการปรับปรุงเบื้องต้นที่ไม่มี การเพิ่มน้ำหนักให้โครงสร้างอาคาร

- 1.1 ปรับปรุงผนัง ช่องเปิดภายนอก ให้ได้แสงสว่างในปริมาณที่เพียงพอ และลดความจ้าจากความแตกต่างของระดับความส่องสว่างภายในและภายนอกอาคาร
- 1.2 เพิ่มระนาบสะท้อนแสง เช่น ผนัง หิ้งแสง (light shelf)
- 1.3 ปรับเปลี่ยนผนังทึบภายในเป็นกระจกใสในพื้นที่ ที่มีการใช้งานสาธารณะหรือกระจกทางเดียวเพื่อไม่เสียความเป็นส่วนตัว
- 1.4 เปิดช่องแสงจากหลังคาเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคาร

## 2. การปรับปรุงโดยการดัดแปลงอาคาร

- 2.1 เปิดพื้นที่โล่งกลางอาคาร เพื่อนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคารในระยะที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงพื้นที่ใช้สอยและความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร พร้อมทั้งพิจารณาการรูปแบบผนังและช่องเปิดภายนอกและภายในให้มีการกระจายแสงสะท้อนได้ดีขึ้น

## 3. การปรับปรุงด้านการจัดระบบและการจัดการ

- 3.1 ปรับผังโดยจัดโซนที่ใช้งานในเวลากลางวันให้ได้รับแสงธรรมชาติ
- 3.2 พิจารณาติดตั้งหลอดไฟฟ้าเพิ่มเติมและเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแบบประหยัดพลังงานแทนหลอดไฟเดิม

### 5.2.3 แนวทางการปรับปรุงสภาวะน่าสบายภายในอาคารด้านการระบายอากาศ

แนวทางในการออกแบบเพื่อปรับสภาวะการระบายอากาศภายในอาคารพิจารณาจากผลการวิเคราะห์สภาพการระบายอากาศ ซึ่งสรุปได้ว่าลมที่เข้าสู่อาคารมาจากด้านหน้าอาคารเป็นหลัก โดยจะมีความเร็วมากขึ้นในระดับความสูงที่มากขึ้นเพียงเล็กน้อย การพิจารณาอัตราการระบายอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

**กรณีที่ 1** เมื่อเปิดประตูภายใน การระบายอากาศภายในอาคารส่วนใหญ่ต่ำกว่ามาตรฐาน ยกเว้นโซน 2

**กรณีที่ 2** เมื่อเปิดประตูภายใน อัตราการระบายอากาศส่วนใหญ่ผ่านมาตรฐาน ยกเว้นชั้นล่างที่ไม่มีทางออกลมบริเวณเปลือกอาคารด้านหลัง (ทิศตะวันออกเฉียงใต้)

ดังนั้นแนวทางการออกแบบเพื่อการระบายอากาศจึงพิจารณาถึงรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลม (flow pattern) เพื่อเชื่อมเส้นทางการเคลื่อนที่ของกระแสลมจากด้านหน้าและด้านหลังคาที่พัดผ่านเข้าสู่ภายในอาคารโดยออกแบบผนังและช่องเปิดภายนอกและภายในอาคารให้สัมพันธ์กัน โดยจัดช่องเปิดภายนอกและภายในให้ต่อเนื่องและพัดผ่านในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งาน และใช้เทคนิคการทำระนาบในแนวตั้ง (ผนังดักลม) และระนาบแนวนอน (over hang) ทำให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศเพื่อเร่งกระแสลมให้สามารถการพัดผ่านทะลุต่อเนื่องได้ สรุปแนวทางปรับปรุงเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1. การปรับปรุงโดยการจัดช่องเปิดสำหรับระบายอากาศทั้งทางเข้าและออกของลม เป็นการปรับปรุงเบื้องต้นที่ไม่เพิ่มน้ำหนักให้โครงสร้างอาคาร

- 1.1 ออกแบบผนังดักลมในชั้นหลังคาเพื่อเร่งความเร็วลมภายในและนำความร้อนออกจากอาคาร
- 1.2 ออกแบบผนังและช่องเปิดเปลือกอาคารให้มีทิศทางลมเข้าออกที่ดีขึ้น โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความเร็วมวลและความดันอากาศ
- 1.3 ออกแบบผนังและช่องเปิดภายในอาคาร ให้เปิดทางลมทะลุต่อเนื่องตลอดความยาวอาคาร โดยมีขนาด ตำแหน่ง ทิศทางการพัดที่เหมาะสม

## 2. การปรับปรุงโดยการดัดแปลงอาคาร

- 2.1 เปิดพื้นที่โล่งช่วงกลางอาคารเพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศด้วยระบบธรรมชาติ โดยออกแบบผนังดักลมจากชั้นหลังคาเพื่อนำลมเย็นเข้าสู่อาคาร และนำความร้อนออกจากอาคาร พร้อมทั้งพิจารณาการรูปแบบผนังและช่องเปิดภายนอก ภายในให้มีทิศทางลมเข้าออกที่ดีขึ้น โดยอาศัยทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความเร็วมวลและความดันอากาศ

## 3. การปรับปรุงด้านการจัดระบบและการจัดการ

- 3.1 เปิดประตูทุกบานเมื่อใช้งานอาคาร
- 3.2 ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ

### 5.3 พิจารณาทางเลือกในการออกแบบปรับปรุง (design strategy)

จากแนวทางการออกแบบเพื่อปรับปรุงสภาวะน่าสบายภายในอาคารทั้ง 3 ด้าน ได้พิจารณาปรับปรุงรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมเพื่อออกแบบผลงานระบบในการแก้ไขปัญหา โดยทำการวิเคราะห์และศึกษาการแก้ปัญหาด้วยการคำนวณและจำลองสภาวะความน่าสบายในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการปรับปรุงเปลือกอาคาร ผนังภายใน และการเปิดพื้นที่โล่งในอาคาร

ทางเลือกในการออกแบบจะพิจารณาถึงรูปแบบขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมและคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ซึ่งวัสดุที่นำมาพิจารณาเป็นวัสดุทั่วไปที่หาได้ในท้องตลาด (ดูรายละเอียดในภาคผนวก) โดยเลือกมาจัดกลุ่มเพื่อนำมาศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน เพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value), solar absorbance, time lag และงบประมาณการก่อสร้าง สรุปเป็นทางเลือกในการปรับปรุง ดังนี้

#### 5.3.1 ทางเลือกในการปรับปรุงเปลือกอาคาร

การออกแบบปรับปรุงเปลือกอาคารเป็นหัวใจสำคัญของการแก้ปัญหา ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ หลังคา เปลือกอาคารด้านหน้าและด้านหลัง ได้พิจารณาถึงคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของวัสดุรูปแบบของผนัง ช่องเปิดและอุปกรณ์ป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และการนำแสงสว่างและลมธรรมชาติเข้าสู่ภายในอาคาร

##### 1. การปรับปรุงหลังคา

1.1 **การเลือกใช้วัสดุหลังคา** หลังคาเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดความร้อนมากที่สุดในอาคาร วัสดุเดิมใช้หลังคากระเบื้องใยหินและหลังคาคอนกรีตซึ่งมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูง ปรับปรุงโดยติดตั้งฝ้าเพดานเป็นวัสดุฉนวนที่มีประสิทธิภาพสูง และป้องกันไม่ให้หลังคาคอนกรีตได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรงโดยติดตั้งฟ้ายกที่พื้นคาตฟ้า ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไม้จริงตีเว้นร่อง กรณีที่ใช้ไม้ไม่ปล้องแทนจะมีคุณสมบัติการกันความร้อนใกล้เคียงกัน

1.2 **การเปิดช่องแสงด้านบน** แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ ช่องแสงพื้นระเบียง และช่องแสงหลังคา  
**เปิดช่องแสงพื้นระเบียง** : ติดตั้งกลาสบล็อกที่ระเบียงภายนอกด้านหลังอาคาร ชั้น 2 3 และ 4  
**เปิดช่องแสงหลังคา** : จากการศึกษางานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับการให้แสงจากช่องเปิดด้านบนของอาคารในประเทศไทย พบว่า การให้แสงธรรมชาติด้านข้าง จากช่องแสงแนวตั้งที่มีหลังคาคลุม เหมาะสมในด้านการป้องกันความร้อนจากรังสีอาทิตย์ตรงมากกว่า และให้แสงกระจาย (diffuse light) ดีกว่า ส่วนการให้แสงจากช่องเปิดโล่งด้านบน (sky light) ให้แสงตรง (direct light) ที่แปรปรวนกว่า และร้อนกว่า และควรออกแบบการกันแดดกันฝน เช่น ใช้หลังคาโปร่งแสง (polycarbonate)



ตารางที่ 5-01 รายการคุณสมบัติวัสดุที่เลือกใช้ในการปรับปรุงเปลือกอาคารด้านบน

วัสดุส่วนทึบ(พื้นลาดฟ้า) ปรับปรุง

ท10 หลังคาคอนกรีต+ฝ้าเพดานยิปซัม 9 มม.	R(m2 C/W)
R1 ฟิล์มอากาศหลังคาภายนอก แนวราบ	0.055
R2 คอนกรีต หนา 100 มม.=0.1/1.442	0.069
R3 ช่องว่างอากาศแนวราบ100มม.แห้งสีสูง	0.174
R4 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047
R5 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	0.507
U-value (W/m2 C)	1.971

ท11 หลังคาคอนกรีต+พรอยด์+ฝ้าเพดานยิปซัม 9 มม.	R(m2 C/W)
R1 ฟิล์มอากาศหลังคาภายนอก แนวราบ	0.055
R2 คอนกรีต หนา 100 มม.=0.1/1.442	0.069
R3 ช่องว่างอากาศแนวราบ100มม.แห้งสีต่ำ(พรอยด์)	1.423
R4 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047
R5 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	1.756
U-value (W/m2 C)	0.569

ท12 หลังคาคอนกรีต+ฉนวนโพลียูเรเทนโฟม 1" (พรอยด์) +ฝ้าเพดานยิปซัม 9 มม.	R(m2 C/W)
R1 ฟิล์มอากาศหลังคาภายนอก แนวราบ	0.055
R2 คอนกรีต หนา 100 มม.=0.1/1.442	0.069
R3 ฉนวนโพลียูเรเทน1" =0.025/0.024	1.042
R4 ช่องว่างอากาศแนวราบ100มม.แห้งสีต่ำ(พรอยด์)	1.423
R5 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047
R6 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	2.798
U-value (W/m2 C)	0.357

ท13 หลังคาคอนกรีต+ฉนวนไมโครไฟเบอร์ 2" +ฝ้าเพดานยิปซัม 9 มม.	R(m2 C/W)
R1 ฟิล์มอากาศหลังคาภายนอก แนวราบ	0.055
R2 คอนกรีต หนา 100 มม.=0.1/1.442	0.069
R3 ฉนวนไมโครไฟเบอร์ 2" =0.05/0.035	1.429
R4 ช่องว่างอากาศแนวราบ100มม.แห้งสีสูง	0.174
R5 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047
R6 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	1.936
U-value (W/m2 C)	0.517

ท14 หลังคาคอนกรีต+ไม้ไผ่ปล้อง 70มม+พรอยด์+ฝ้ายิปซัม 9 มม	R(m2 C/W)	
	ส่วนปล้อง 90%	ส่วนลิ่มไม้ 10%
R1 ฟิล์มอากาศหลังคาภายนอก แนวราบ	0.055	0.055
R2 ความหนาไม้ไผ่ปล้อง 5มม. =0.005/0.125	0.040	0.040
R3 ช่องว่างอากาศในไม้ไผ่ 50มม.แห้งสีสูง	0.110	
R4 ความหนาไม้ไผ่ปล้อง 5มม. =0.005/0.125	0.040	
R5 ช่องว่างอากาศในหลังคาแนวราบ100มม.แห้งสีสูง	0.174	
R6 คอนกรีต หนา 100 มม.=0.1/1.442	0.069	0.069
R7 ช่องว่างอากาศแนวราบ100มม.แห้งสีต่ำ(พรอยด์)	1.423	1.423
R8 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047	0.047
R9 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	2.120	1.796
AVG. $\sum R$ (m2 C/W)	2.088	
U-value (W/m2 C)	0.479	

วัสดุส่วนทึบ(หลังคา) ปรับปรุง

ท15 หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.+ฝ้ายิปซัม 9 มม.	R(m2 C/W)
R1 ฟิล์มอากาศหลังคา ภายนอก	0.044
R2 กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.=0.005/0.836	0.006
R3 ช่องว่างอากาศในหลังคาเอียง 22.5 องศา 100 มม. สปส.การแห้งสีสูง	0.165
R4 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047
R5 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	0.424
U-value (W/m2 C)	2.358

ท16 หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.+พรอยด์+ฝ้ายิปซัม 9 มม.	R(m2 C/W)
R1 ฟิล์มอากาศหลังคา ภายนอก	0.044
R2 กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.=0.005/0.836	0.006
R3 ช่องว่างอากาศในหลังคา 22.5 องศา100 มม. สปส.การแห้งสีต่ำ(พรอยด์)	1.095
R4 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047
R5 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	1.354
U-value (W/m2 C)	0.738

ท17 หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.+ฉนวนโพลียูเรเทนโฟม 1" (พรอยด์) +ฝ้าเพดานยิปซัม 9 มม.	R(m2 C/W)
R1 ฟิล์มอากาศหลังคาภายนอก แนวราบ	0.055
R2 กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.=0.005/0.836	0.006
R3 ฉนวนโพลียูเรเทน1" =0.025/0.024	1.042
R4 ช่องว่างอากาศในหลังคาเอียง 22.5 องศา 100 มม. สปส.การแห้งสีสูง	0.165
R5 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047
R6 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	1.477
U-value (W/m2 C)	0.677

ท18 หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.+ฉนวนไมโครไฟเบอร์หนา 2" +ฝ้าเพดานยิปซัม 9 มม.	R(m2 C/W)
R1 ฟิล์มอากาศหลังคาภายนอก แนวราบ	0.055
R2 กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.=0.005/0.836	0.006
R3 ฉนวนไมโครไฟเบอร์ 2" =0.05/0.035	1.429
R4 ช่องว่างอากาศในหลังคาเอียง 22.5 องศา 100 มม. สปส.การแห้งสีสูง	0.165
R5 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047
R6 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	1.864
U-value (W/m2 C)	0.537

ท19 หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.+ฉนวนไมโครไฟเบอร์ 2"(พรอยด์) % +ฝ้าเพดานยิปซัม 9 มม.	R(m2 C/W)
R1 ฟิล์มอากาศหลังคาภายนอก แนวราบ	0.055
R2 กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.=0.005/0.836	0.006
R3 ฉนวนไมโครไฟเบอร์ 2" =0.05/0.035	1.429
R4 ช่องว่างอากาศในหลังคา 22.5 องศา100 มม. สปส.การแห้งสีต่ำ(พรอยด์)	1.095
R5 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047
R6 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	2.794
U-value (W/m2 C)	0.358

ท20 หลังคาไฟเบอร์ 10 มม.+(พรอยด์)+ฝ้ายิปซัม 9 มม.	R(m2 C/W)
R1 ฟิล์มอากาศหลังคาภายนอก แนวราบ	0.055
R2 แผ่นไฟเบอร์ 10 มม.=0.01/0.052	0.192
R3 ช่องว่างอากาศในหลังคา 22.5 องศา100 มม. สปส.การแห้งสีต่ำ(พรอยด์)	1.095
R4 ยิปซัม หนา 9 มม.=0.009/0.191	0.047
R5 ฟิล์มอากาศผิวด้านในหลังคา แนวราบ สปส.การแห้งสีสูง	0.162
$\sum R$ (m2 C/W)	1.551
U-value (W/m2 C)	0.645

## 2. การปรับปรุงผนังด้านหน้า(ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ)

รูปแบบในการปรับปรุงเปลือกอาคารส่วนที่บและส่วนโปร่งที่เสนอปรับปรุง พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนวัสดุและการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างช่องเปิดด้านข้างกับสภาวะแสงสว่างภายในอาคารและกระแสลมผ่านช่องเปิดและอุปกรณ์กันแดด โดยมีรายละเอียดดังนี้

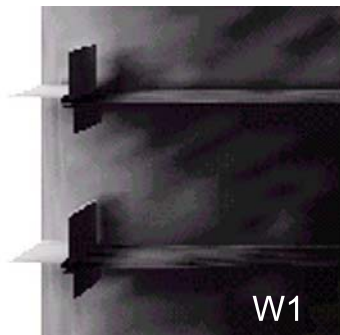
ตารางที่ 5-02 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารด้านข้าง

คุณสมบัติวัสดุ เดิม		วัสดุส่วนโปร่ง ปรับปรุง				
	R(m2 C/W)	U-value (W/m2 C)	SHGC	emissivity	daylight trans.	ราคา (บาท/ตร.ม.)
<b>ท1 ผนังก่ออิฐฉาบปูน 10 มม. (เดิม)</b>						
R1 ฟิล์มอากาศผนัง ภายนอก	0.044					
R2 ปูนฉาบ หนา 10 มม.=0.015/0.533	0.019					
R3 ผนังก่ออิฐมวลเบา หนา 75 มม.=0.075/0.807	0.093					
R4 ปูนฉาบ หนา 10 มม.=0.01/0.533	0.019					
R5 ฟิล์มอากาศผิวผนังด้านใน สปส.การแผ่รังสีสูง	0.120					
$\sum R$ (m2 C/W)	0.295					
U-value (W/m2 C)	3.391					
<b>ท2 ผนังก่ออิฐโชว์แนว 75 มม. (เดิม)</b>						
R1 ฟิล์มอากาศผนัง ภายนอก	0.044					
R2 ผนังก่ออิฐมวลเบา หนา 75 มม.=0.075/0.807	0.093					
R3 ฟิล์มอากาศผิวผนังด้านใน สปส.การแผ่รังสีสูง	0.120					
$\sum R$ (m2 C/W)	0.257					
U-value (W/m2 C)	3.891					
<b>ท3 คอนกรีตเสริมเหล็กโครงสร้าง หนา 250 มม. (เดิม)</b>						
R1 ฟิล์มอากาศผนัง ภายนอก	0.044					
R2 คอนกรีต หนา 250 มม.=0.25/1.442	0.173					
R3 ฟิล์มอากาศผิวผนังด้านใน สปส.การแผ่รังสีสูง	0.120					
$\sum R$ (m2 C/W)	0.337					
U-value (W/m2 C)	2.964					
<b>ท4 หลังคา คอนกรีตเปลือย (เดิม)</b>						
R1 ฟิล์มอากาศหลังคา ภายนอก	0.055					
R2 คอนกรีต หนา 100 มม.=0.1/1.442	0.069					
R3 ฟิล์มอากาศหลังคาภายใน แนวราบ สปส.การแผ่รังสีสูง	0.162					
$\sum R$ (m2 C/W)	0.286					
U-value (W/m2 C)	3.492					
<b>ท5 หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.+ฝ้าไม้อัด 5 มม. (เดิม)</b>						
R1 ฟิล์มอากาศหลังคา ภายนอก	0.044					
R2 กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน 5 มม.=0.005/0.836	0.006					
R3 ช่องว่างอากาศเฉียง 22.5 องศา แผ่รังสีสูง	0.165					
R4 ฝ้าอัด หนา 5 มม.=0.005/0.138	0.036					
R5 ฟิล์มอากาศหลังคาภายใน แนวราบ สปส.การแผ่รังสีสูง	0.162					
$\sum R$ (m2 C/W)	0.413					
U-value (W/m2 C)	2.420					
<b>ป1 กระจากใส 6 มม. (เดิม)</b>						
R1 ฟิล์มอากาศผนัง ภายนอก	0.044					
R2 กระจากใส หนา 6 มม. = 0.006/1.053	0.006					
R3 ฟิล์มอากาศผิวผนังด้านใน สปส.การแผ่รังสีสูง	0.120					
$\sum R$ (m2 C/W)	0.170					
U-value (W/m2 C)	5.893					
<b>ป2 ฟิล์มลวดแก้ว 200x200x100 มม. (เดิม)</b>						
R1 ฟิล์มอากาศผนัง ภายนอก	0.055					
R2 กระจากใส หนา 10 มม. = 0.01/1.053	0.009					
R3 ช่องว่างอากาศ 80 มม.	0.158					
R4 กระจากใส หนา 10 มม. = 0.01/1.053	0.009					
R5 ฟิล์มอากาศหลังคาภายใน แนวราบ สปส.การแผ่รังสีสูง	0.162					
$\sum R$ (m2 C/W)	0.394					
U-value (W/m2 C)	2.540					
<b>ท6 ผนังก่ออิฐฉาบปูนเดิม+ช่องว่างแผ่รังสีต่ำ+แผ่นโพลีเอสเตอร์ 12 มม.</b>						
R1 ฟิล์มอากาศผนัง ภายนอก	0.044					
R2 ปูนฉาบ หนา 10 มม.=0.01/0.533	0.019					
R3 ผนังก่ออิฐมวลเบา หนา 75 มม.=0.075/0.807	0.093					
R4 ปูนฉาบ หนา 10 มม.=0.01/0.533	0.019					
R5 ช่องว่างอากาศในผนัง สปส.การแผ่รังสีต่ำ (พรอยด์) 100 มม.	0.606					
R6 แผ่นโพลีเอสเตอร์ 12 มม.=0.012/0.210	0.057					
R7 ฟิล์มอากาศผิวผนังด้านใน สปส.การแผ่รังสีสูง	0.120					
$\sum R$ (m2 C/W)	0.958					
U-value (W/m2 C)	1.044					
<b>ท7 ผนังก่ออิฐฉาบปูน+โพลีเอเทรนโฟม1"(พรอยด์)+แผ่นโพลีเอสเตอร์ 12 มม.</b>						
R1 ฟิล์มอากาศผนัง ภายนอก	0.044					
R2 ปูนฉาบ หนา 10 มม.=0.01/0.533	0.019					
R3 ผนังก่ออิฐมวลเบา หนา 75 มม.=0.075/0.807	0.093					
R4 ปูนฉาบ หนา 10 มม.=0.01/0.533	0.019					
R5 ฉนวนโพลีเอเทรน1" =0.025/0.024	1.042					
R6 ช่องว่างอากาศในผนัง สปส.การแผ่รังสีต่ำ (พรอยด์) 100 มม.	0.606					
R7 แผ่นโพลีเอสเตอร์ 12 มม.=0.012/0.210	0.057					
R8 ฟิล์มอากาศผิวผนังด้านใน สปส.การแผ่รังสีสูง	0.120					
$\sum R$ (m2 C/W)	1.999					
U-value (W/m2 C)	0.500					
<b>ท8 ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ไมโครโฟเบอร์ 2"+แผ่นโพลีเอสเตอร์ 12 มม.</b>						
R1 ฟิล์มอากาศผนัง ภายนอก	0.044					
R2 ปูนฉาบ หนา 10 มม.=0.01/0.533	0.019					
R3 ผนังก่ออิฐมวลเบา หนา 75 มม.=0.075/0.807	0.093					
R4 ปูนฉาบ หนา 10 มม.=0.01/0.533	0.019					
R5 ฉนวนใยแก้ว หนา 2"=0.05/0.035	1.429					
R6 ช่องว่างอากาศในผนัง สปส.การแผ่รังสีต่ำ (พรอยด์) 100 มม.	0.606					
R7 แผ่นโพลีเอสเตอร์ 12 มม.=0.012/0.210	0.057					
R8 ฟิล์มอากาศผิวผนังด้านใน สปส.การแผ่รังสีสูง	0.120					
$\sum R$ (m2 C/W)	2.386					
U-value (W/m2 C)	0.419					
<b>ท9 ผนังก่ออิฐฉาบปูน+คอนกรีตมวลเบา 100 มม.</b>						
R1 ฟิล์มอากาศผนัง ภายนอก	0.044					
R2 ปูนฉาบ หนา 10 มม.=0.01/0.533	0.019					
R3 ผนังก่ออิฐมวลเบา หนา 75 มม.=0.075/0.807	0.093					
R4 ปูนฉาบ หนา 10 มม.=0.01/0.533	0.019					
R5 คอนกรีตมวลเบา700ก/ลบ.ม. 100 มม.=0.1/0.098	1.020					
R6 ปูนฉาบ หนา 3 มม.=0.003/0.533	0.006					
R7 ฟิล์มอากาศผิวผนังด้านใน สปส.การแผ่รังสีสูง	0.120					
$\sum R$ (m2 C/W)	1.320					
U-value (W/m2 C)	0.757					

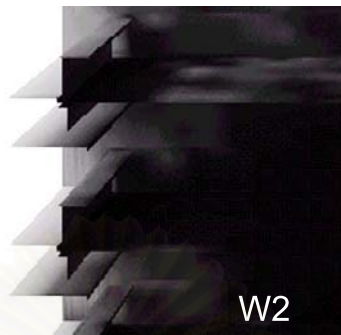
(SHGC 0.82/ emissivity 0.84/ daylight trans. 0.9)

(SHGC 0.82/ emissivity 0.84/ daylight trans. 0.5)

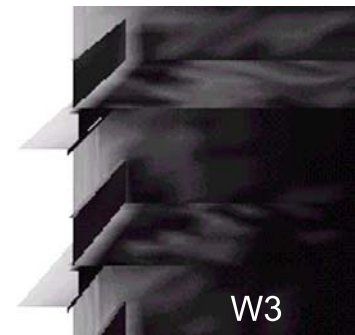
รูปที่ 5-01 การปรับปรุงรูปแบบเปลือกอาคารด้านข้าง 12 รูปแบบ  
เพื่อศึกษาแสงธรรมชาติ โดยการจำลองในโปรแกรม Lightscape 3.2



รูปแบบก่อนปรับปรุง  
ช่องเปิด 50%+กันสาด



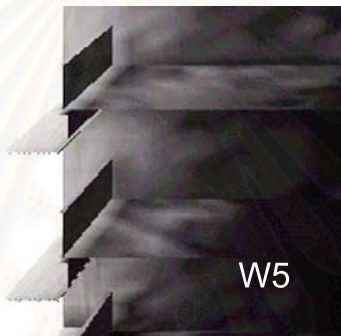
ช่องเปิด 50%+กันสาด  
+หิ้งแสง



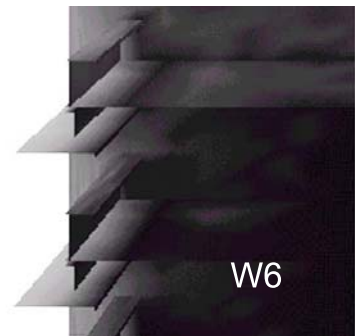
ช่องเปิด 50%+หิ้งแสงกว้าง 1 ม.  
ค่าการสะท้อนแสง 0.23



ช่องเปิด 50%+หิ้งแสง  
ค่าการสะท้อนแสง 1.0



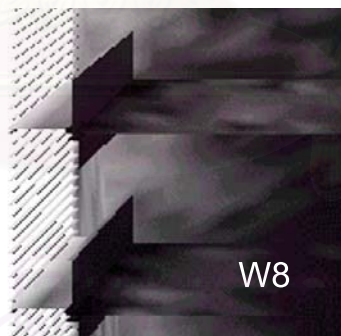
ช่องเปิด 50%+หิ้งแสงเกล็ด  
ค่าการสะท้อนแสง 1.0



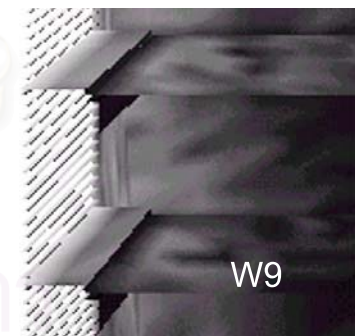
ช่องเปิด 50%+หิ้งแสง  
กว้าง 1.5 ม. ค่าการสะท้อนแสง 0.23



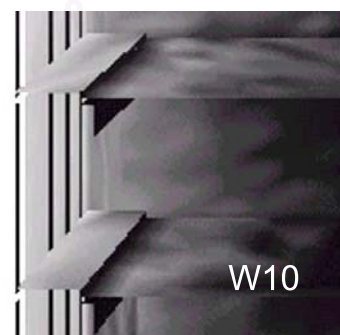
ช่องเปิด 50%+หิ้งแสง  
กว้าง 1.5 ม. ค่าการสะท้อนแสง 1.0



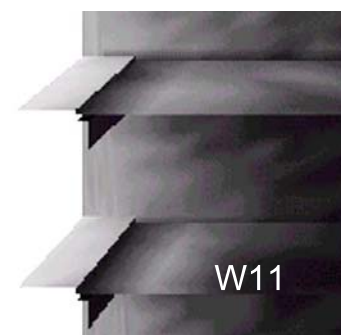
ช่องเปิด 50%+เกล็ดนอน



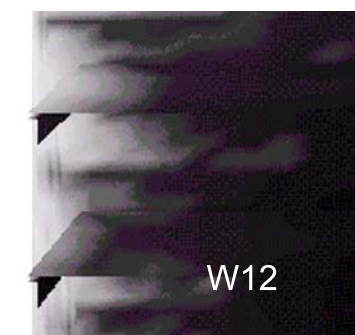
ช่องเปิด 80%+เกล็ดนอน



ช่องเปิด 80%+เกล็ดตั้ง



ช่องเปิด 80%+กันสาด



ช่องเปิด 80%

ตารางที่ 5-03 ระยะแสงสว่างธรรมชาติที่ 300 ลักซ์ จากการจำลองเปลือกอาคารด้านข้าง 12 รูปแบบ  
(ดูรายละเอียดในภาคผนวก)

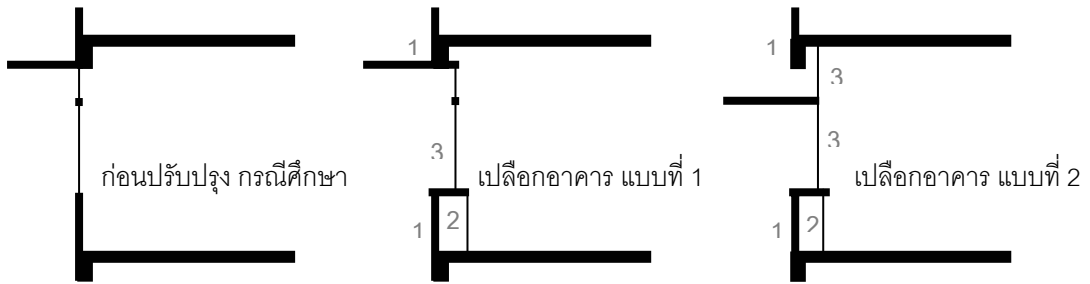
ระยะแสงสว่างธรรมชาติวัดจากช่องเปิด (เมตร)							ความส่องสว่าง ณ ช่องเปิด เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง				
		ชั้น 1	ชั้นลอย	ชั้น2	ชั้น3	ชั้น4	ชั้น 1	ชั้นลอย	ชั้น2	ชั้น3	ชั้น4
W1	รูปแบบก่อนปรับปรุง ช่องเปิด50% +กันสาด	4	3	2	3	4.5	3865 lux	2829 lux	3462 lux	3524 lux	5000 lux
W2	ช่องเปิด50% +กันสาก+ หิ้งแสง ค่าการสะท้อนแสง 2.3	3	3	2	1	2	แสงริมน้ำต่างลดลง 1 เท่าตัว				
W3	ช่องเปิด50% +หิ้งแสงกว้าง 1 ม. ค่าการสะท้อนแสง 0.23	4	3	2	3.5	3.5	แสงริมน้ำต่างลดลง 1000 lux				
W4	ช่องเปิด50% +หิ้งแสง ค่าการ สะท้อนแสง 1.0	4	4	2	3	4	แสงริมน้ำต่างลดลง 2000 lux				
W5	ช่องเปิด50% +หิ้งแสงเกล็ด ค่า การสะท้อนแสง 1.0	4.5	3.5	2.5	3	5	แสงริมน้ำต่างชั้น1-3 ลดลง 1000, 800, 400 lux ชั้น4 เพิ่มขึ้น 750 lux				
W6	ช่องเปิด 50% +หิ้งแสงกว้าง1.5 ม. ค่าการสะท้อนแสง 0.23	3.5	3	2.5	1.5	2.5	แสงริมน้ำต่างชั้น1ลดลง 1000 lux ชั้น ลอยเพิ่มขึ้น 2 เท่า ชั้น 2-4 ลดลง 2 เท่า				
W7	ช่องเปิด50% +หิ้งแสงกว้าง 1.5 ม. ค่าการ สะท้อนแสง 1.0	6.5	4	3	4	8	แสงริมน้ำต่างชั้น1 ใกล้เคียง อาคารก่อน ปรับปรุงชั้นลอยเพิ่ม 2 เท่า ชั้น2-4ลดลง 1000,1500,2000 lux				
W8	ช่องเปิด50% +เกล็ดนอน	3.5	4	2.5	3	4.5	แสงริมน้ำต่างลดลง 1 เท่าตัว ยกเว้นชั้น 1 และชั้นลอย				
W9	ช่องเปิด80% +เกล็ดนอน	4	3	2.5	3	4.5	แสงริมน้ำต่างชั้น 2-4 ลดลง 2000, 1500, 3000 lux				
W10	ช่องเปิด80% +เกล็ดตั้ง	4.5	2.5	2.5	2.5	4.5	แสงริมน้ำต่างชั้น 2-4 ลดลง 1500, 1500, 2000 lux				
W11	ช่องเปิด80% +กันสาด	4.5	3	2.5	3	5	แสงริมน้ำต่างลดลง 400 lux				
W12	ช่องเปิด 80%	4	2	2.5	3.5	4.5	แสงริมน้ำต่างเพิ่มขึ้น600- 1000 lux				

จากตารางสรุปได้ว่าช่องเปิด W7 ให้แสงธรรมชาติเข้ามาได้ลึกที่สุด (6.5 เมตร) และสามารถลดความแตกต่าง  
ของแสงภายนอกและภายในบริเวณริมน้ำต่างได้ในชั้นที่ 2-4 ซึ่งทำให้สามารถลดความจ้า (glare) ของแสงได้

## 2.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพผนังทึบ

- 1) ควบคุมความร้อนและพลาสติกกันความชื้นแก่ผนังเปลือกอาคาร กรณีติดตั้งฉนวนด้านนอก  
อาคารจะช่วยลดการนำความร้อน จากแผงกันแดดและองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่เป็น  
สะพานความร้อน ส่วนการติดตั้งฉนวนด้านในอาคาร ซึ่งสะดวกในการติดตั้งและช่วยยืดอายุวัสดุ  
รักษาประสิทธิภาพการนำความร้อน แต่ไม่สามารถป้องกันความร้อนที่ส่งผ่านสะพานความร้อนได้
- 2) เพิ่มฉนวนภายใน จากกรณีเปลือกอาคารที่มีการสะสมความร้อนและความชื้นไว้ในผนังก่ออิฐ  
ฉาบปูนที่มีมวลสารมาก และจะแผ่รังสีความร้อนให้แก่พื้นที่ใช้สอยในเวลากลางคืน โดยการทำตู้  
เก็บของติดผนัง เพิ่มการหน่วงความร้อนให้แก่เปลือกอาคาร รูปที่ 5-02
- 3) ลดพื้นที่รับความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ และร่นเปลือกอาคารให้หลบแดดมากขึ้น

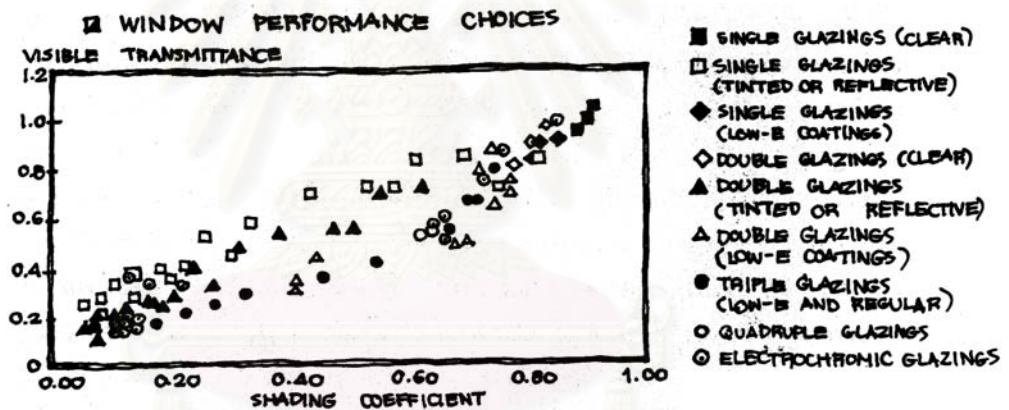
รูปที่ 5-02 รูปแบบนำเสนอการปรับปรุงกันสาดเปลือกอาคาร



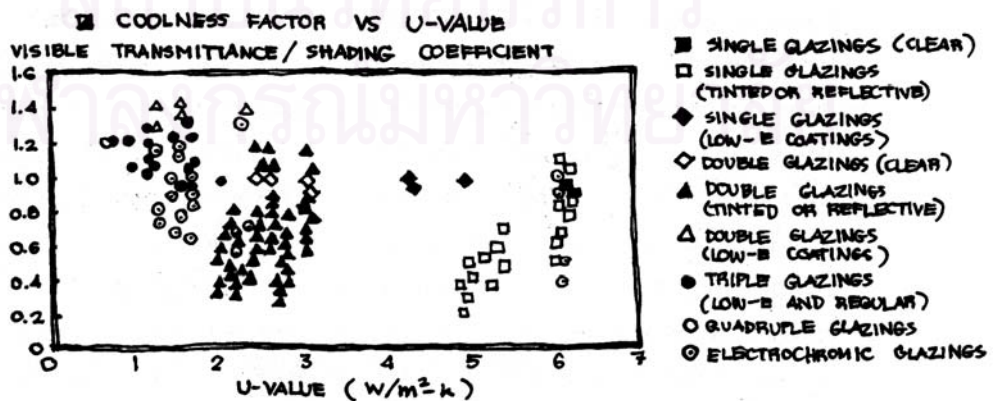
2.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพช่องเปิด

- 1) ร่นแนวช่องเปิดให้หลบแดดมากขึ้น หรือติดตั้งอุปกรณ์กันแดด
- 2) ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง
- 3) ปรับรูปแบบและขนาดทางเข้าออกลมให้เหมาะสมและสัมพันธ์กับการระบายอากาศทั้งอาคาร
- 4) เปลี่ยนกระจกที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนสูงขึ้น

แผนภูมิที่ 5-01 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของกระจก (พรรณชาติ สุริโยธิน, 2547)



เปรียบเทียบสมรรถนะกระจกจำนวน 200 ตัวอย่าง ทั้งชนิด 1, 2, 3, และ 4 ที่มีลักษณะที่ต่างกันของสี สารที่ใช้เคลือบ ก๊าซเฉื่อยที่ใช้เติม ความหนาของกระจกและช่องว่างระหว่างชั้น จะเห็นว่ามีความสามารถ ในการส่องผ่านอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.15 ถึง 1 และสัมประสิทธิ์ของการบังเงา จะอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.9

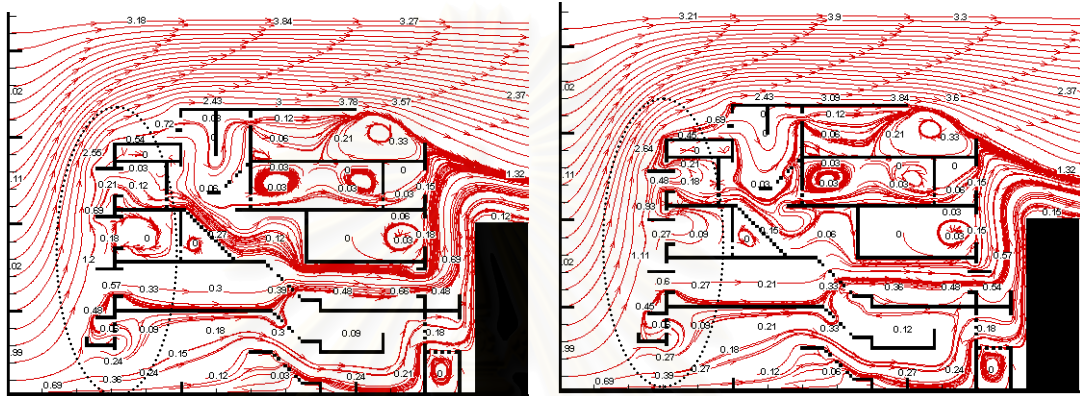


แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง coolness factor และ U-Value ตัวอย่างเช่น ที่ค่าของ U-Value 2-3 : coolness factor จะอยู่ในช่วง 0.2 (ความสามารถในการส่องผ่านต่ำ แต่รังสีความร้อนผ่านเข้าได้มาก) ไปจนถึง 1.4 (ถือว่าดีมากในการป้องกันรังสีความร้อนและยังดีต่อการส่องผ่านแสง)

2.3 การออกแบบกันสาด เพื่อใช้เป็นแผงกันแดด แผงดักลม และหิ้งสะท้อนแสง

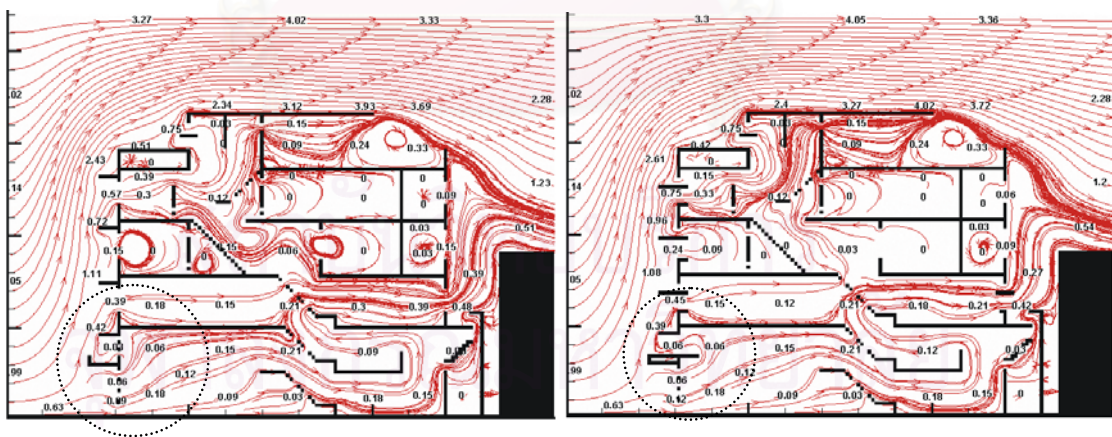
กันสาดหรือแผงกันแดดแนวนอนในตึกแถวกรณีศึกษา เป็นแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็กที่เชื่อมต่อกับคานพื้นชั้นบนที่มีมวลสารมาก ส่งผลให้เกิดการนำความร้อนผ่านโครงสร้างสะสมไว้และแผ่รังสีความร้อนสู่พื้นที่ใช้สอยในเวลากลางคืน และไม่มีกรไหลเวียนอากาศ การออกแบบปรับปรุงนำเสนอ 2 แนวทาง ตามรูปที่ 5-02, 5-03

รูปที่ 5-03 ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ หลังการปรับปรุงกันสาด แบบที่ 1 และ 2



เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจำลอง พบว่า กันสาดหรือแผงกันแดด แบบที่ 2 ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความดันอากาศ เหนือและใต้แผงกันแดดทำให้เกิดการไหลเวียนอากาศแลกเปลี่ยนกับภายนอก และความเร็วลมในห้องเพิ่มขึ้น 2 เท่า เป็นการเพิ่มสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิและการระบายอากาศ

รูปที่ 5-04 ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ หลังการเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงภายใน



การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงบริเวณทางเข้าอาคาร โซน 1 ช่วยกระจายแสงของช่องเปิดหน้าอาคารขนาดใหญ่ ลดความจ้ำ (contrast) บริเวณประตูทางเข้าได้มาก แต่ทำให้ระยะที่ได้แสงธรรมชาติที่มีความสว่างเพียงพอเล็กน้อยลงเล็กน้อย ในด้านการระบายอากาศ หิ้งสะท้อนแสงนั้นจะทำให้ทิศทางลมเปลี่ยน ช่วยปรับทิศทางลมที่ของลมให้พัดผ่านตัวคนมากขึ้น โดยไม่ทำให้ความเร็วลม ลดหรือเพิ่มขึ้น

3. การปรับปรุงผนังด้านหลัง(ทิศตะวันตกเฉียงใต้) การใช้งานเป็นส่วนบริการ คือ ห้องน้ำ ครั้ว ลานซักล้าง

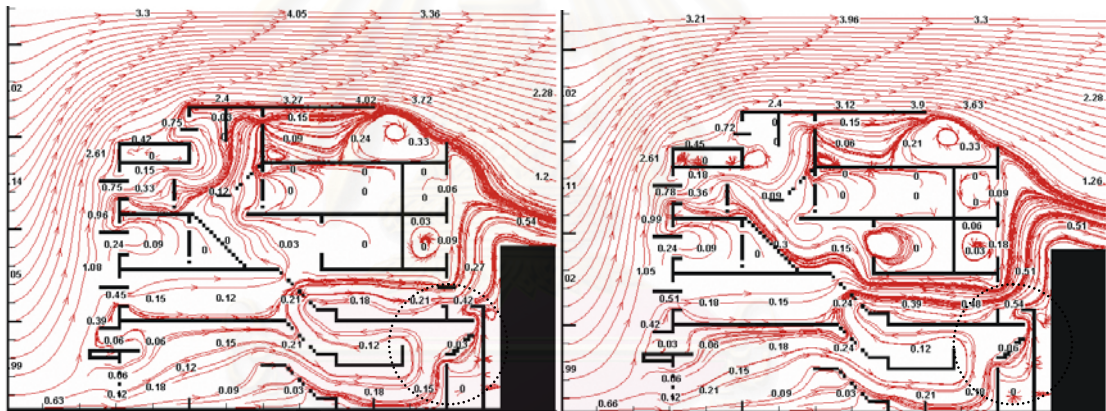
3.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพผนังทึบ สำหรับการปรับปรุงโซน 3-3 (ชั้น3) และ 4-3 (ชั้น 4) ที่ได้รับอิทธิพลของดวงอาทิตย์โดยตรง ส่วนโซน 2-3 และ 1-3 มีอาคารข้างเคียงด้านหลังบังแดดตลอดทั้งปี เป็นสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ การป้องกันความร้อนทำในลักษณะเดียวกับเปลือกอาคารด้านหน้า ได้แก่

- 1) รันผนังหลบแดด
- 2) ทำอุปกรณ์กันแดด
- 3) กรูณนวนภายใน
- 4) กรูณนวนภายนอก ทำตู้หรือผนังสองชั้น เพิ่มการหน่วงความร้อน

### 3.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพช่องเปิด

- 1) ติดตั้งหิ้งแสง (light shelf) รูปที่ 5-05
- 2) ปรับรูปแบบและขนาดทางเข้าและทางออกลมให้เหมาะสมและสัมพันธ์กับการระบายอากาศที่อาคาร

รูปที่ 5-05 ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ หลังการเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงเปลือกอาคารด้านหลัง ชั้น 2

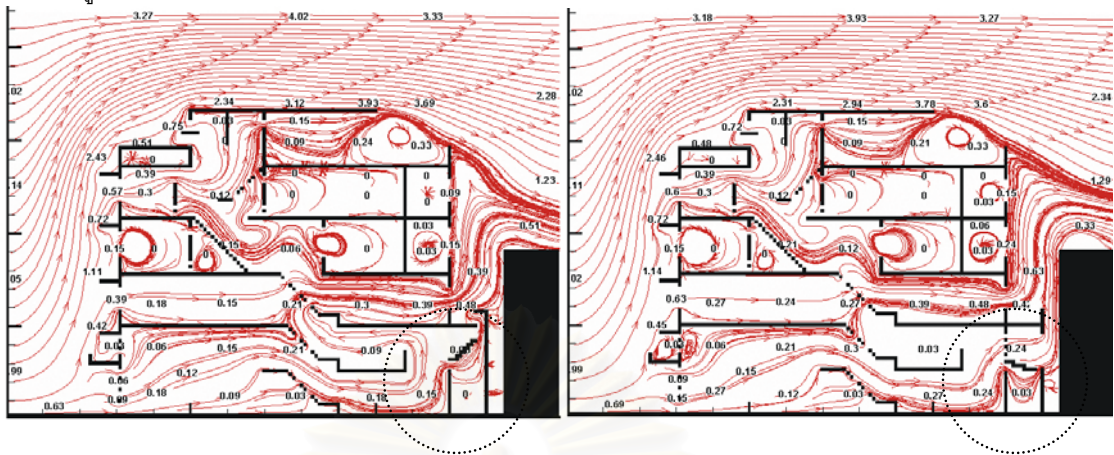


จากรูปที่ 5-05 พบว่า การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง ที่เปลือกอาคารในชั้น 2 เพื่อลดความจ้าของแสงบริเวณช่องเปิด เป็นผลเสียต่อปริมาณแสงธรรมชาติ ทำให้ระยะที่แสงเข้ามาได้น้อยลง นอกจากนี้ยังทำให้ความเร็วลมภายในอาคารลดลง 0.03-0.21 เมตรวินาที ดังนั้น การออกแบบปรับปรุงผนังด้านหลังจึงไม่ควรใส่หิ้งสะท้อนแสง

### 3.3 การปรับปรุงทางออกลมที่เปลือกอาคารด้านหลัง

- 1) เปิดทางออกโดยคงลักษณะสถาปัตยกรรมภายนอก โดยเจาะช่องเปิดและติดตั้งหิ้งแสงภายใน (light shelf) ได้พื้นระเบียงที่ติดบลิ๊อคแก้วที่พื้น รูปที่ 5-06
- 2) เพิ่มระยะรันเปลือกอาคารระดับชั้นลอย โซน 1-4 เจาะช่องเปิด โดยไม่เพิ่มหิ้งสะท้อนแสง และบลิ๊อคแก้วที่พื้นระเบียง

รูปที่ 5-06 ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ หลังการเพิ่มห้องสะท้อนแสงเปลือกอาคารด้านหลัง ชั้น 1



ตารางที่ 5-04 ระยะเข้าถึงของแสงสว่างธรรมชาติที่ 300 ลักซ์ จากการจำลองช่องเปิดด้านหลัง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก)

ระยะแสงสว่างธรรมชาติวัดจากช่องเปิด (เมตร)		ชั้น 1	ชั้นลอย	ชั้น2	ชั้น3	ชั้น4
รูปแบบ 1	ก่อนปรับปรุง- ช่องเปิด 50 % ไม่มีแผงกันแดด/กันสาด	0	0	1.5	3	8.5
รูปแบบ 2	เพิ่มห้องแสง(ชั้น2-4)	0	0	1.5	3.5	11
รูปแบบ 3	ใส่กลาสบล็อกที่พื้นระเบียง	0	2	2	3.5	3.5
รูปแบบ 4	เปิดช่องแสงด้านข้าง(ชั้นลอย)	0	1	1.5	3	8.5
รูปแบบ 5	เปิดช่องแสงด้านบน(ชั้นลอย)	3	2.5	1.5	3	8.5
รูปแบบ 6	เปิดช่องแสงด้านบนและทำหลังคาสะท้อนแสง(ชั้นลอย)	4	3.5	1.5	3	8.5

จากตารางที่ 5-04 สรุปได้ว่าการเพิ่มห้องแสงในชั้น 3 และ 4 ช่วยสะท้อนแสงเข้าสู่ภายในอาคารลึกขึ้นประมาณ 0.5-2.5 เมตร สำหรับชั้น 1 และชั้นลอย การใส่กลาสบล็อกที่พื้นระเบียงได้แสงสว่างน้อยไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ในขณะที่การเปิดช่องแสงด้านบนและทำหลังคาสะท้อนแสงสามารถนำแสงเข้าสู่ภายในอาคารมากกว่า

### 5.3.2 ทางเลือกในการปรับปรุงภายในอาคาร ประกอบด้วย การปรับปรุงผนังและช่องเปิดภายใน ปล่องบันได และพื้นที่เปิดโล่ง

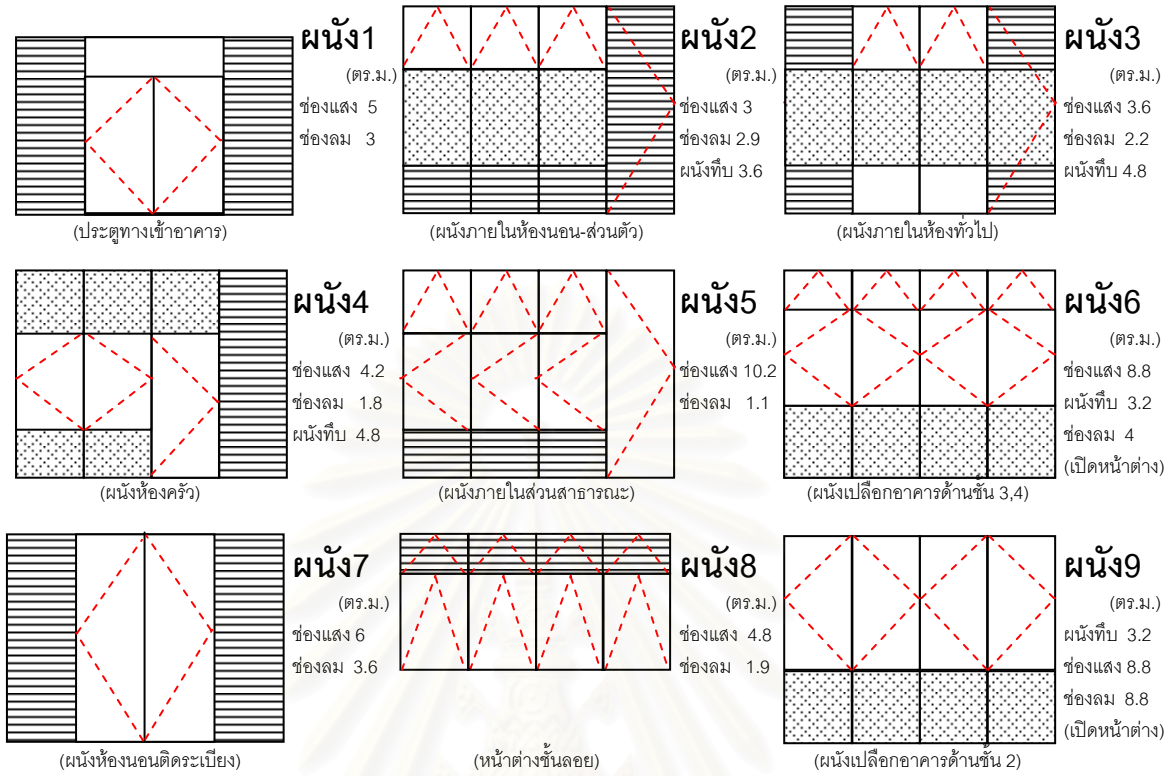
#### 1. การปรับปรุงผนังภายใน

##### 1.1 การเลือกใช้วัสดุผนังทึบ

- 1) เปลี่ยนวัสดุให้มีมวลสารน้อยหรือรูฉนวนภายใน
- 2) จัดสัดส่วนและตำแหน่งช่องเปิดภายใน ให้สัมพันธ์กับเส้นทางของแสงและลม (flow path) โดยแบ่งพื้นที่ผนังภายในเป็นส่วน ๆ เพื่อเบี่ยงเส้นทางลมให้พัดผ่านระดับใช้งาน ร่วมกับการเลือกวัสดุอาคารที่โปร่งแสงหรือมีความพรุนของผนัง ตามรูปที่ 5-08 เช่น ผนังเกล็ดติดตาย กระฉกบาน กระทุ้งหรือบานเลื่อนในระดับเอื้อมถึง
- 3) ทาสีผนังภายในให้มีค่าการสะท้อนแสงมากขึ้น



รูปที่ 5-07 การจัดสัดส่วนและตำแหน่งช่องเปิดภายใน ให้สัมพันธ์กับเส้นทางของแสงและลม

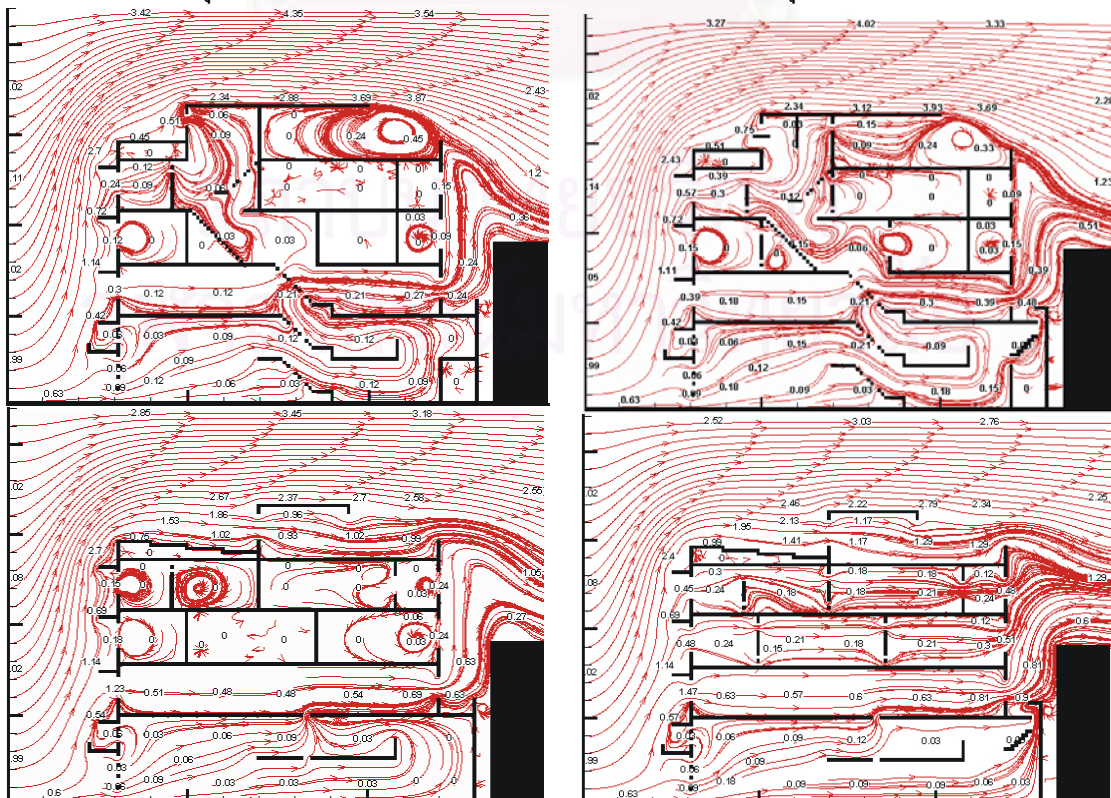


รูปที่ 5-08 ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ หลังการทำช่องเปิดที่ผนังทึบภายในอาคาร

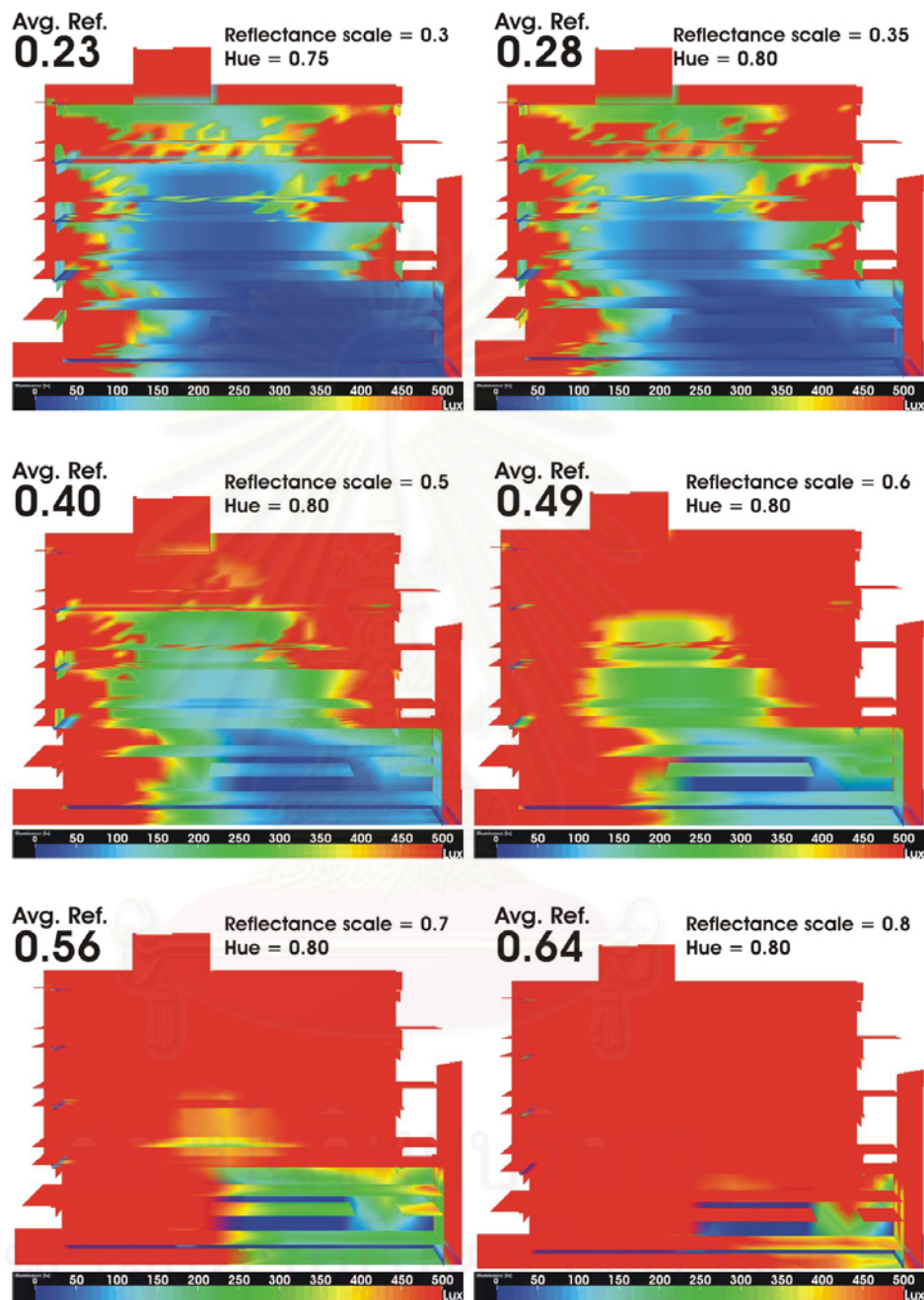
เมื่อเปิดช่องระบายอากาศขนาดประมาณ 0.4 x 3.2 ม. ที่ยอดผนังและฐานผนัง ช่วยทำให้ความเร็วลมภายในเพิ่มขึ้นและอัตราการระบายอากาศอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASHRAE ได้ทั้งอาคาร

สภาพก่อนปรับปรุง ผนังภายในทึบ ลมไม่ผ่าน

สภาพหลังปรับปรุง เปิดช่องลมบนผนังภายใน

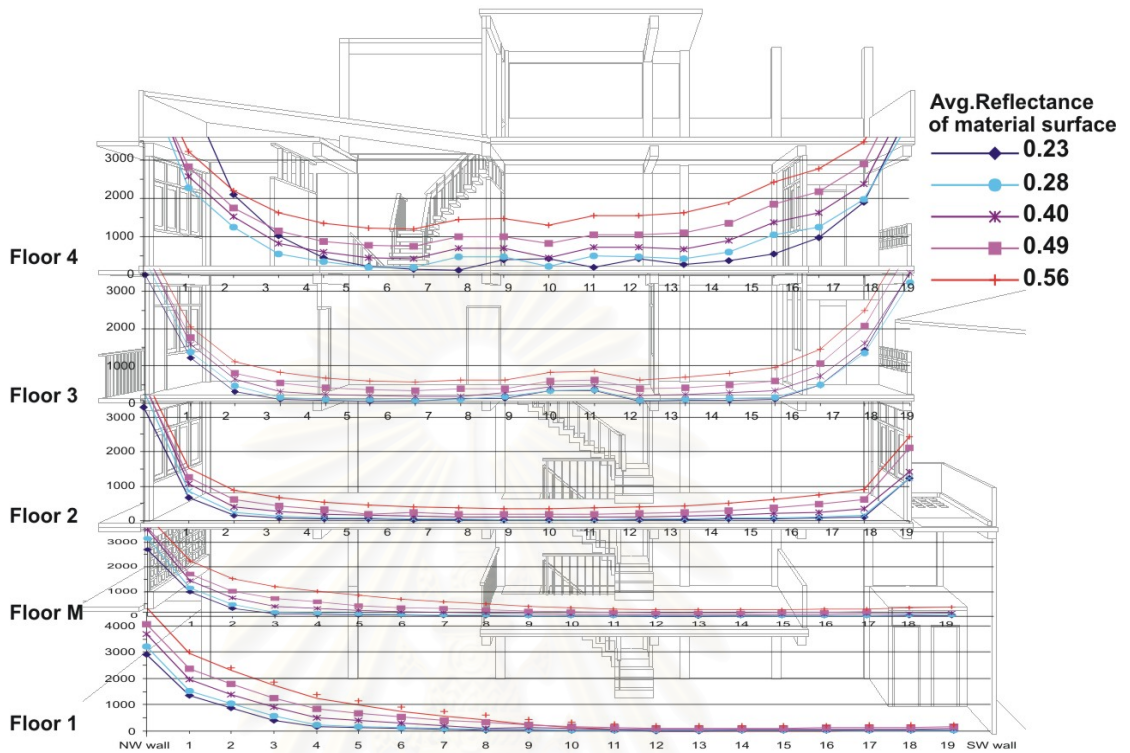


รูปที่ 5-09 ความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนแสงของวัสดุผิวกับสภาวะแสงสว่างในอาคาร  
จากการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Lightscape 3.2



จากรูปที่ 5-09 และแผนภูมิที่ 5-02 การศึกษาอิทธิพลของการกระจายแสงของวัสดุผิวผนัง เมื่อปรับเปลี่ยนค่าการสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นจากกรณีศึกษา ซึ่งเดิมค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ยเท่ากับ 0.23 (ดูผลการปรับเทียบอาคารจำลองในบทที่ 4) และเพิ่มค่าการสะท้อนแสงวัสดุผิวขึ้นตามลำดับ พบว่าการทาสีหรือเปลี่ยนวัสดุ จนมีค่า 0.56 ซึ่งเทียบเท่ากับการทาสีผนังสีขาวเทา 70 % ช่วยกระจายแสงธรรมชาติให้มีระดับความสว่างเกิน 300 ลักซ์ตามที่มาตรฐานกำหนด และค่าการสะท้อนแสง 0.64 เกือบทั้งอาคารสว่างถึง 500 ลักซ์ กรณีสีหม่นลงเท่ากับ 0.40 ทั้งอาคารยังสว่างเพียงพอสำหรับทางเดินที่ 50 ลักซ์

แผนภูมิที่ 5-02 ความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนแสงของวัสดุผิวกับสภาวะแสงสว่างในอาคาร  
จากการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



BaseCase Measure	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
FI4	404.128	177.1	4.996	0	0	0	0	5.653	9.203	14.46	22.88	37.86	72.04	70.86	1620	2169	2321			
FI3	306.58	80.19	30.24	7.625	0.657	0.92	1.183	1.709	3.681	5.653	3.024	1.315	159.1	354.2	890.7	1387	1846	2491		
FI2	261.092	72.57	29.84	17.62	11.83	7.625	5.785	4.601	3.944	3.287	3.944	5.916	9.466	15.91	32.34	116.2	170.9	387.3	6573.325	
FIM									1.972	1.841	0.657	0.526	1.052	1.052	0.92					
FI1	858.608	270.6	157.6	103.3	64.42	39.97	27.48	18.67	13.15	9.991	8.282	5.522	4.207	3.418	4.075	5.785	3.024	1.183	0	0

BaseMassStudy Avg.Reflectance 0.23 (20972)	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
FI4	9164	4241	4761	2098	1022	460	228	142	135	412	416	211	424	286	377	553	984	1912	4253	9630	12936
FI3	8194	3450	1213	324	109	72	63	61	119	117	326	329	58	72	86	108	490	1419	3514	8989	11258
FI2	7304	3296	671	159	89	59	45	34	26	26	26	28	31	35	46	58	75	112	1219	6531	6531
FIM	7214	2693	992	311	107	75	59	46	34	28	22	17	15	13	13	14	16	19	22	29	40
FI1	5282	2918	1361	873	411	153	120	87	57	45	33	25	20	15	16	17	19	20	22	25	30

Avg.Reflectance 0.28 (20982)	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
FI4	9721	5240	2276	1246	547	347	210	203	475	477	237	490	478	413	600	1041	1261	1977	3970	9036	12872
FI3	8889	3843	1375	465	161	109	91	88	99	184	346	354	83	103	125	153	505	1358	3239	8323	11151
FI2	7841	3755	846	230	132	89	68	54	42	40	38	40	47	54	70	89	112	164	1220	6036	6854
FIM	7918	3147	1143	474	168	124	98	76	56	47	38	31	28	24	23	23	24	30	38	49	64
FI1	5761	3210	1537	1040	582	237	181	134	89	70	52	38	30	22	22	25	28	30	31	35	42

Avg.Reflectance 0.40 (21009)	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
FI4	9930	5521	2572	1536	832	600	446	430	695	698	459	722	729	686	902	1373	1627	2386	4641	9364	13189
FI3	9119	4065	1587	658	313	238	205	190	193	279	443	457	199	231	273	330	719	1613	3497	8496	11520
FI2	8105	4007	1073	412	260	187	148	123	100	97	94	98	109	122	157	202	252	339	1429	6244	7205
FIM	8276	3504	1432	753	412	310	230	175	150	127	102	84	73	63	62	65	69	82	95	116	146
FI1	6223	3683	1953	1400	903	501	396	306	217	96	127	92	73	55	53	57	60	65	70	78	89

Avg.Reflectance 0.49 (21009)	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
FI4	9685.37	5436.72	2826	1753	1160	882.5	766.3	739.7	1004	1012	821.6	1062	1044	1106	1353	1857	2186	2905	5191	10337.47	13701
FI3	8747.68	4033.51	1760	808.2	532.2	414.1	370.3	345.6	384.6	383.6	593.1	615	377	425.5	496.9	595	1066	2072	4158	9437.86	12073
FI2	7933.74	3942.12	1247	615.9	427.4	320.8	193.3	231.3	199	193.3	187.5	197.1	220.9	244.7	303.7	377	470.3	612.1	2112	7085.535	7443.5
FIM	8084.15	3591.79	1720	1010	724.5	577.8	437	359.8	311.3	263.7	211.3	175.2	156.1	137.1	137.1	140.9	148.5	169.5	189.4	222.7617	262.74
FI1	6400.11	4049.69	2373	1804	1264	849.2	688.3	544.5	417	327.5	238.9	177.1	142.8	108.5	107.6	112.3	118	126.6	135.2	144.6999	155.17

Avg.Reflectance 0.56 (21050)	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
FI4	9933	5781	3235	2212	1637	1347	1229	1197	1457	1474	1293	1545	1542	1633	1902	2433	2772	3478	5724	10719	14000
FI3	8995	4331	2061	1117	817	676	605	569	616	619	832	859	634	711	811	955	1450	2478	4535	9700	12361
FI2	8195	4234	1525	888	659	527	447	393	362	356	351	366	399	433	521	619	737	921	2436	7371	7777
FIM	8467	4059	2233	1531	1214	1015	847	705	589	502	405	340	304	268	263	263	284	300	345	384	384
FI1	6924	4664	3007	2415	1844	1377	1141	930	750	613	452	340	277	208	200	200	204	213	221	222	222

Avg.Reflectance 0.64 (21059)	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
FI4	10043	6099	3668	3114	2630	2117	2089	2283	2068	2337	2458	2541	2560	2465	2861	3006	3472	4523	6512	11408	14275
FI3	9210	5095	2729	1717	1390	1254	1179	1149	1131	1146	1370	1439	1517	1412	1539	1900	2321	3059	5551	10292	12621
FI2	8608	4703	2260	1396	1129	1006	921	858	801	797	793	819	871	913	1030	1143	1274	1458	2945	7198	7559
FIM	9139	4824	3285	2370	2172	1966	1761	1545	1370	1142	906	788	700	650	582	557	538	532	539	542	586
FI1	7863	5495	4402	3473	2775	2496	2151	1845	1582	1345	980	797	645	515	464	443	434	426	440	428	402

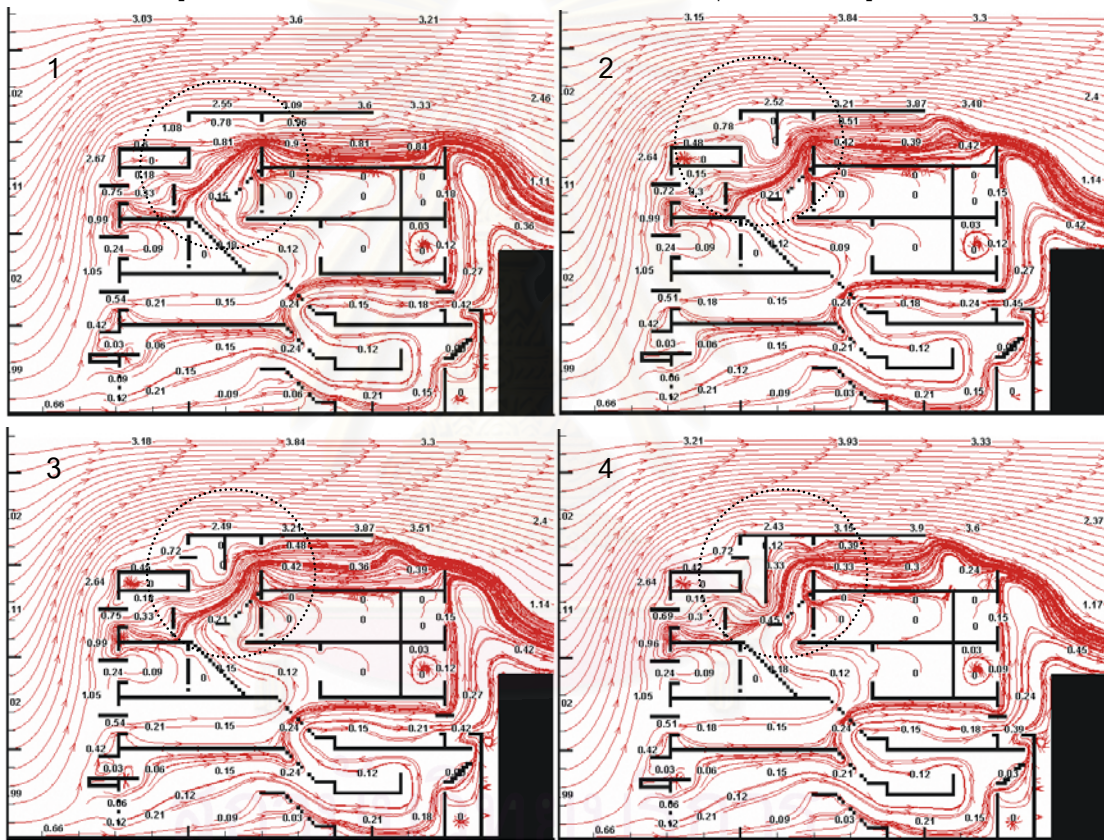
1.2 การเลือกใช้วัสดุช่องเปิด :

- 1) เปลี่ยนลักษณะการเปิดให้เหมาะสมกับพื้นที่  
ช่องเปิดที่ป้องกันการรั่วอากาศ ใช้บานเปิดอลูมิเนียมติดขอบยาง  
ช่องเปิดทั่วไประบายอากาศตามธรรมชาติ ใช้บานกระทุ้งหรือบานเลื่อน  
ช่องแสงภายในเหนือประตู ใช้บานหมุนแนวตั้ง ช่วยปรับแต่งทิศทางลม

2. การปรับปรุงบันไดและปล่องบันได

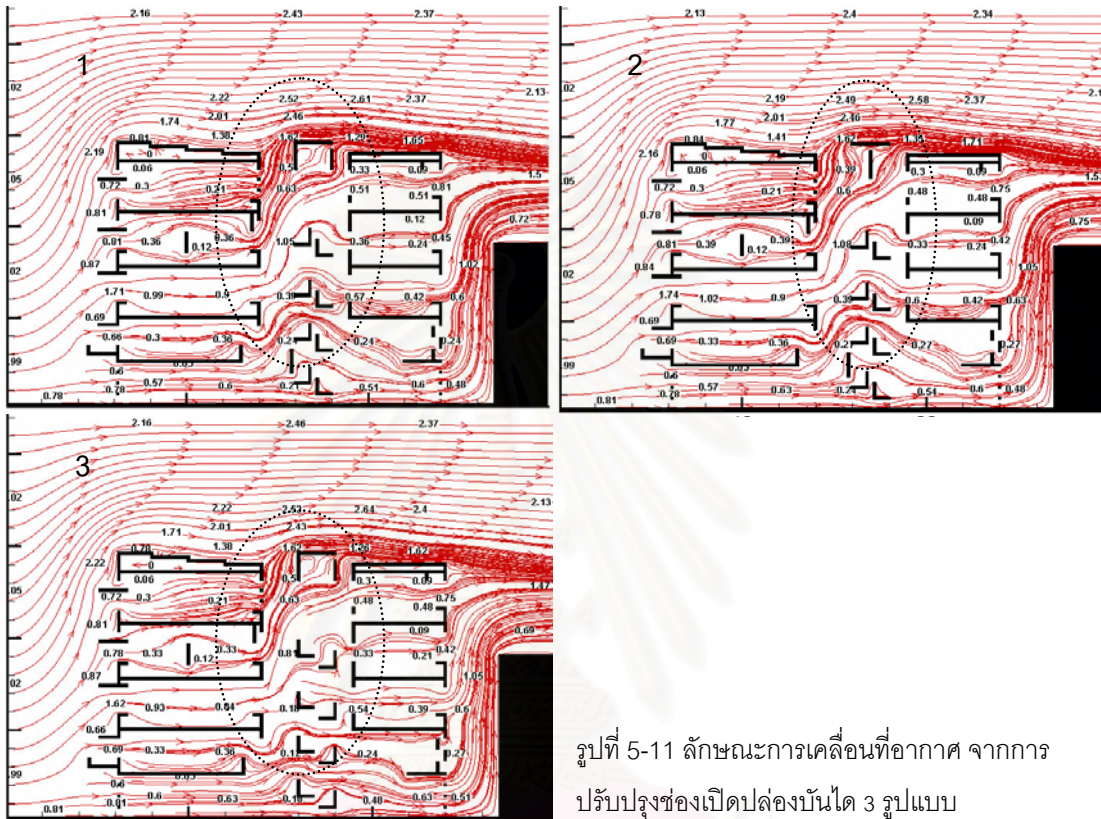
- จัดบันไดไม่ให้ขวางทิศทางลม หรือใช้บันไดโปร่ง ไม่ขวางทิศทางลม (ทนไฟได้ไม่ต่ำกว่า 2 ชั่วโมง)
- ออกแบบให้เป็นปล่องบันไดที่มีการดักลมเข้าสู่อาคาร (wind scoop) ตามรูปที่ 5-08

รูปที่ 5-10 ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ จากการปรับปรุงแผงดักลม 4 รูปแบบ



จากรูปที่ 5-10 พบว่า ปล่องบันไดแบบที่ 1 ซึ่งไม่มีแผงดักลมและแผงกันแดดช่องเปิดด้านหน้าอาคาร (ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ) มีความเร็วลมหน้าช่องเปิดทางลมเข้าและลมออกมากกว่าแบบอื่น ประมาณ 0.35 เมตร/วินาที รูปแบบการเคลื่อนที่ลมเป็นแบบระยะขจัดของทางลม เมื่อใส่แผงดักลมแนวตั้งสูง 1.50 เมตร ในแบบที่ 2 ทำให้ความเร็วลมที่โถงบันไดหลักเพิ่มขึ้นจาก 0.15 เป็น 0.21 เมตร/วินาที และความเร็วลมภายในอาคารในชั้น 2 เพิ่มขึ้น 0.03 เมตร/วินาที และเมื่อปรับปรุงด้านความร้อนโดยเพิ่มแผงกันแดด ให้ช่องเปิดเปลือกอาคารด้านหน้า แบบที่ 3 ทำให้ความเร็วลมหน้า ช่องเปิดลดลง 0.05 เมตร/วินาที แต่ความเร็วลมภายในพื้นที่ใช้สอยชั้น 4-1, 3-2, 2-1, 1-2, 1-3 และ 1-4 เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.03 เมตร/วินาที ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมยังคงเหมือนแบบที่ 2 และเมื่อ เพิ่มความสูงของแผงดักลม ประมาณ 3.6 เมตร เพื่อเป็นผนังสะท้อนแสงธรรมชาติให้

เกิดแสงกระจายแต่ระดับความสว่างลดลง เนื่องจากผนังสะท้อนแสงนั้นบังช่องเปิดมากกว่าแบบที่ 3 แสงที่ยาวขึ้นนั้นทำให้ความเร็วลมที่โถงบันไดชั้น 4 โชน 4-2 มีความเร็วลมเพิ่มขึ้น เท่าตัว จาก 0.21 เป็น 0.45 เมตร/วินาที แต่ความเร็วลมภายใน ของชั้นอื่นลดลงเฉลี่ย 0.03 เมตร/วินาทีเกือบทุกพื้นที่ของอาคาร สรุปได้ว่าการเสนอปรับปรุงช่องเปิดปล่องบันได เป็นแบบ 3



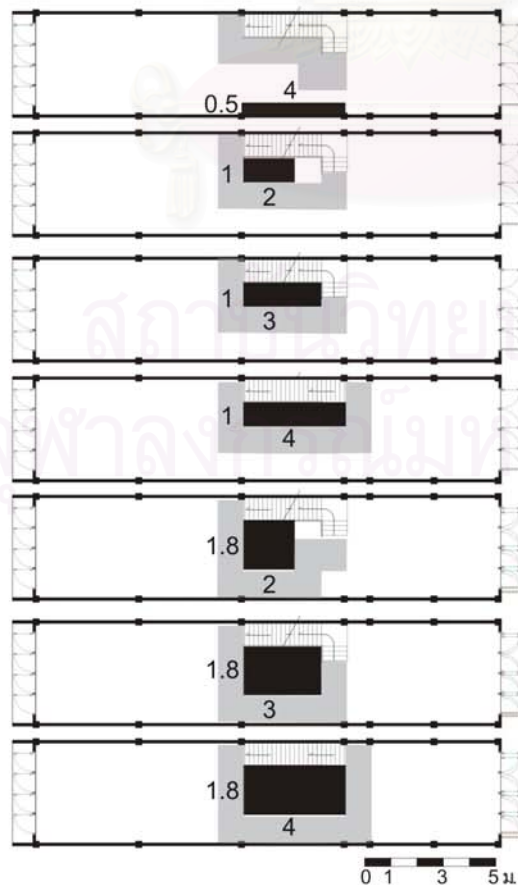
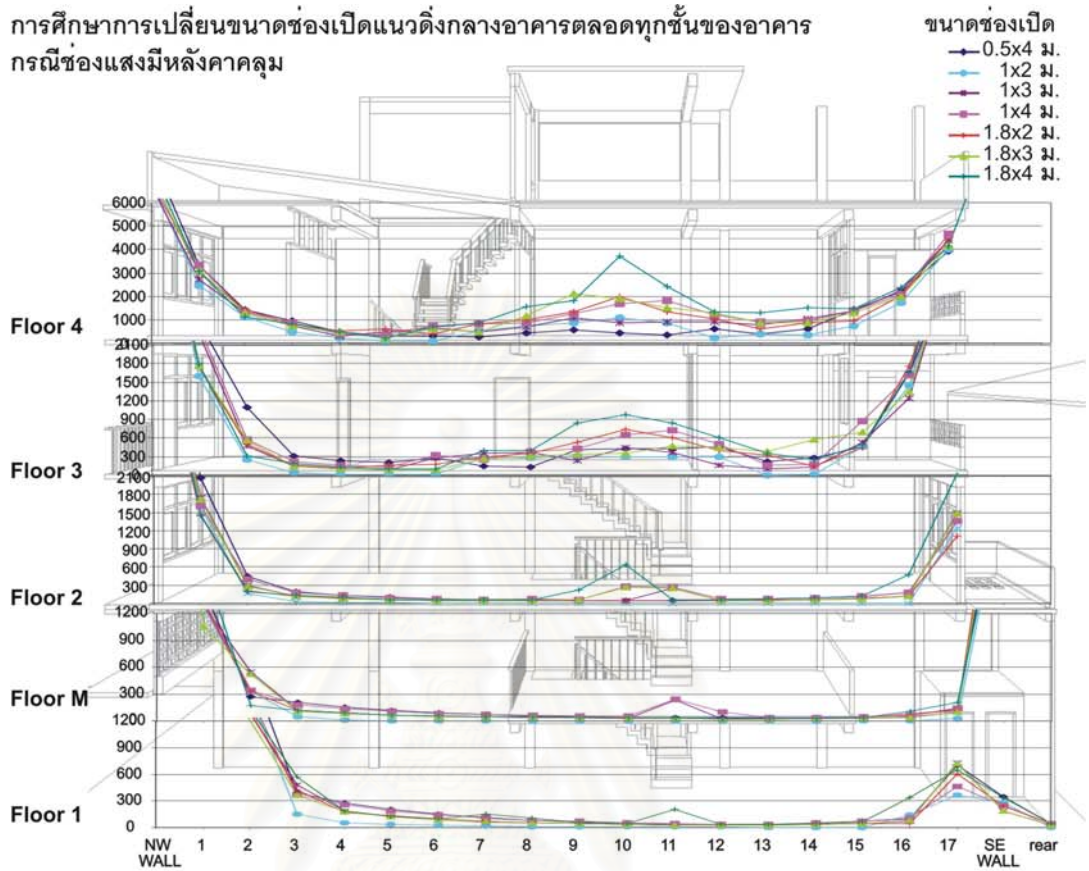
รูปที่ 5-11 ลักษณะการเคลื่อนที่อากาศ จากการปรับปรุงช่องเปิดปล่องบันได 3 รูปแบบ

จากรูปที่ 5-11 พบว่า ปล่องบันไดแบบที่ 1 มีราวกันตกที่บดและมีแผงดักลม 2 ด้านและแผงกันแดดช่องเปิดด้านหน้าอาคาร (ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ) มีความเร็วลมหน้าช่องเปิดทางลมเข้าและลมออกมากกว่าแบบอื่น

**3. การเปิดพื้นที่โถงกลางอาคาร** คือขนาดการเปิดที่เล็กที่สุด เพื่อป้องกันความร้อนแต่ให้แสงสว่างและการระบายอากาศที่เพียงพอ จากการศึกษานิวอิงค์ที่เกี่ยวข้องพบว่า สำหรับสภาพแสงสว่างในประเทศไทยการให้แสงธรรมชาติด้านข้าง จากช่องแสงแนวดิ่งที่มีหลังคาคลุม เหมาะสมในด้านการป้องกันความร้อนจากรังสีอาทิตย์ตรงมากกว่าและให้แสงกระจาย (diffuse light) ดีกว่า ส่วนการให้แสงจากช่องเปิดโถงด้านบน (sky light) ให้แสงตรง(direct light) ที่แปรปรวนกว่า และร้อนกว่า โดยทำการศึกษากการเปิดที่ว่างกลางอาคาร 2 ลักษณะ คือ การเปิดพื้นที่โถงตามลักษณะโครงสร้างเดิมที่มีหลังคาคลุม และการเปิดที่โถงในช่วง 12-16 เมตร (ตามกฎหมายที่กำหนดให้อาคารตึกแถวที่ลึกเกิน 16 เมตร หากจะสร้างใหม่หรือดัดแปลงอาคารตามกฎหมาย ต้องออกแบบให้มีที่ว่างอย่างน้อย 10% ในช่วง 12-16 เมตร) ดังนั้นจึงทำการศึกษากการเปิดที่ว่างกลางอาคารทั้ง 2 ลักษณะเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงแสงสว่างและการระบายอากาศภายในอาคาร

แผนภูมิที่ 5-03 ผลการศึกษาการเปิดพื้นที่โล่งแบบใช้แสงด้านข้างจากช่องแสงแนวตั้งที่มีหลังคาคลุม

การศึกษาการเปลี่ยนขนาดช่องเปิดแนวตั้งกลางอาคารตลอดทุกชั้นของอาคาร กรณีช่องแสงมีหลังคาคลุม



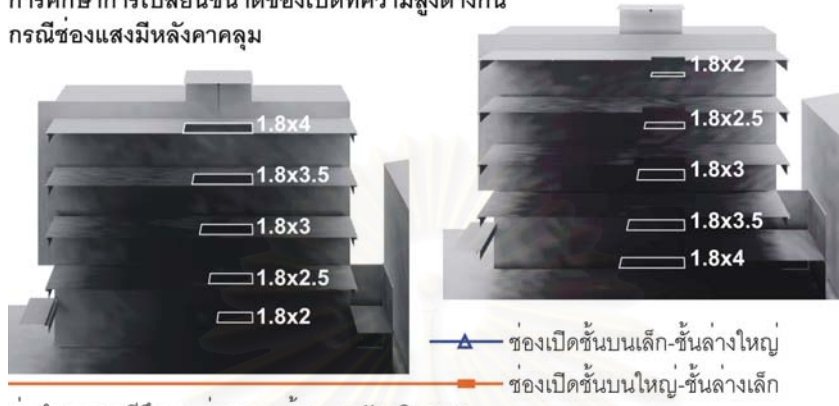
**ขนาดช่องเปิดแบบมีหลังคาคลุม**

ช่องเปิดกลางอาคาร	พื้นที่ใช้สอย	ทางสัญจร	ช่องเปิด (ตร.ม.)
ช่องเปิดกลางอาคาร 0.5x4 ม.	58	12	2
	80%	17%	3%
ช่องเปิดกลางอาคาร 1x2 ม.	58	12	2
	80%	17%	3%
ช่องเปิดกลางอาคาร 1x3 ม.	57	12	3
	79%	17%	4%
ช่องเปิดกลางอาคาร 1x4 ม.	54	14	4
	75%	19%	6%
ช่องเปิดกลางอาคาร 1.8x2 ม.	54.4	14	3.6
	76%	19%	5%
ช่องเปิดกลางอาคาร 1.8x3 ม.	52	14.6	5.4
	72.5%	20%	7.5%
ช่องเปิดกลางอาคาร 1.8x4 ม.	48	16.8	7.2
	67%	23%	10%

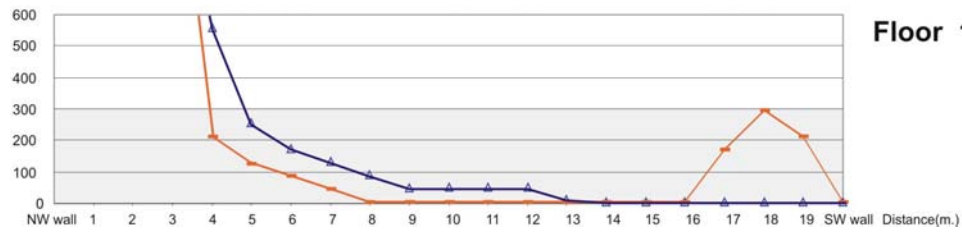
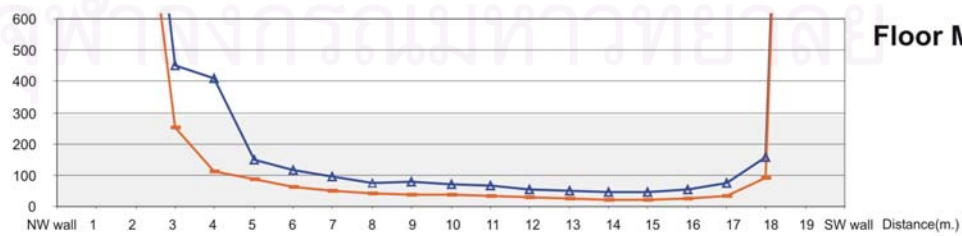
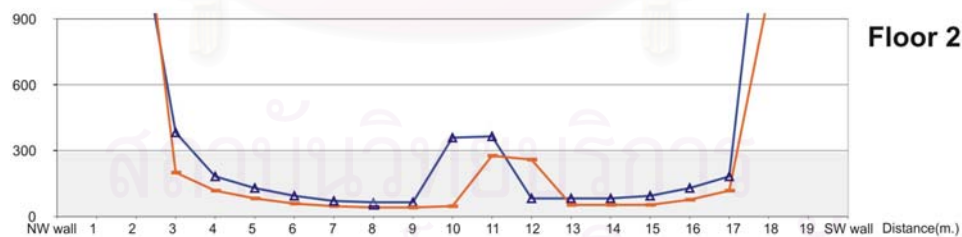
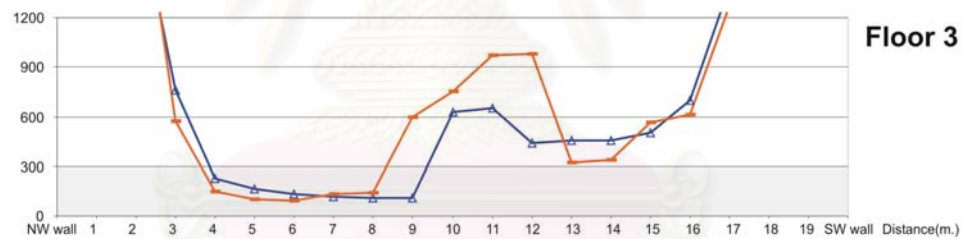
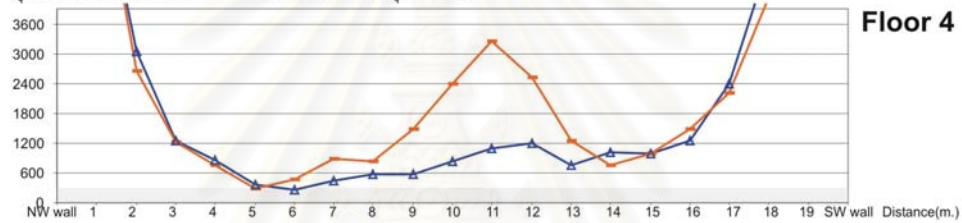
การเปิดพื้นที่โล่งกลางอาคารที่มีขนาดไม่เท่ากันในแต่ละชั้น การลดขนาดพื้นที่ช่องเปิดให้ด้านบนขนาดเล็กลงกว่าด้านล่างดีกว่า เนื่องจากความส่องสว่างตลอดทั้งชั้นมากขึ้นในชั้นลอย-ชั้น 3 แต่มีปัญหาเรื่องแสงจ้าน้อยกว่า

แผนภูมิที่ 5-04 ผลการศึกษาการเปิดพื้นที่โล่งขนาดไล่ระดับจากช่องแสงแนวตั้งที่มีหลังคาคลุม

การศึกษาการเปลี่ยนขนาดช่องเปิดที่ความสูงต่างกัน  
กรณีช่องแสงมีหลังคาคลุม



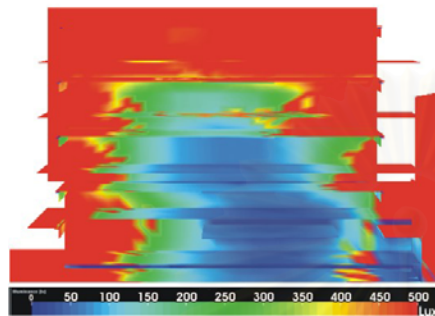
หน่วยจำลองกรณีศึกษา ค่าการสะท้อนแสงวัสดุผิว 0.23



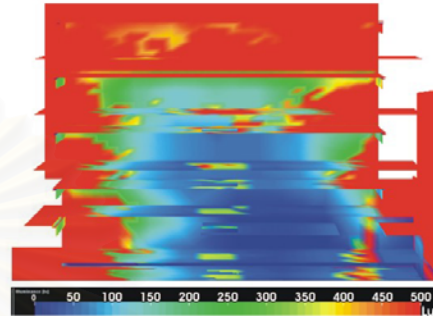
กรณีการทำช่องเปิดกลางอาคารเพื่อรับแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (direct light) พบว่าขนาดมีผลน้อยกว่าสัดส่วนช่องเปิด การเปิดช่องแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า 1 x 4 ม. โดยให้ด้านสกัดหันเข้าหาผนังจะให้แสงมากกว่าการเปิดพื้นที่ 1.8 x 3 ม. ที่ขนาดใหญ่กว่าแต่พื้นที่ได้รับแสงธรรมชาติน้อยกว่า

รูปที่ 5-12 สภาวะแสงสว่างภายในอาคาร จากช่องเปิดด้านบนที่รับแสงตรงจากดวงอาทิตย์

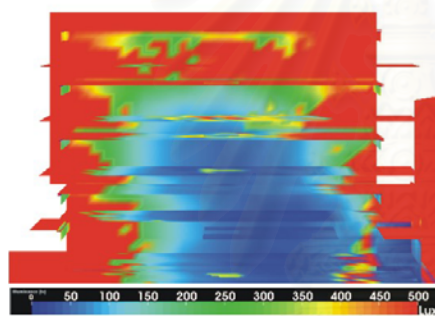
ช่องเปิดโล่งด้านบน ขนาด 0.5x4 เมตรริมผนัง



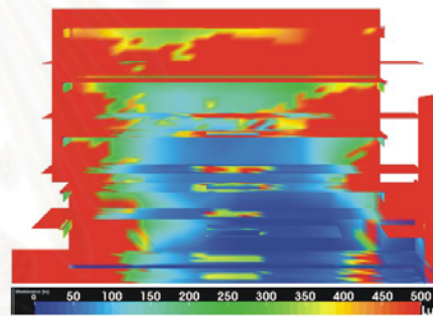
ช่องเปิดโล่งด้านบน ขนาด 1.8 x 2 เมตร



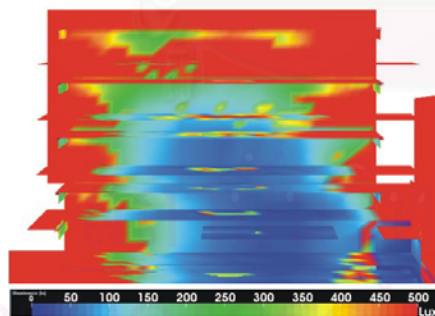
ช่องเปิดโล่งด้านบน ขนาด 1 x 2 เมตร



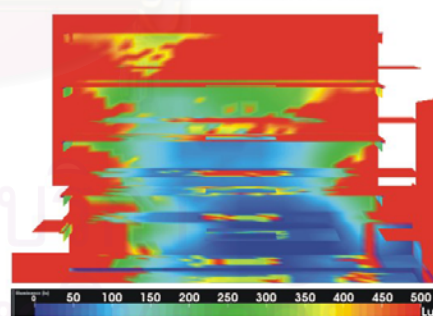
ช่องเปิดโล่งด้านบน ขนาด 1.8 x 3 เมตร



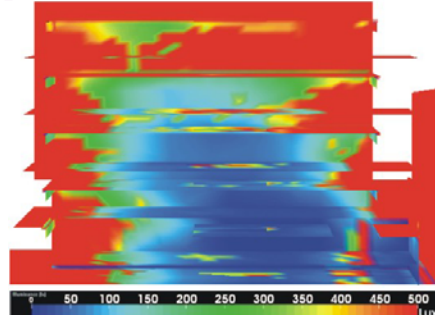
ช่องเปิดโล่งด้านบน ขนาด 1 x 3 เมตร



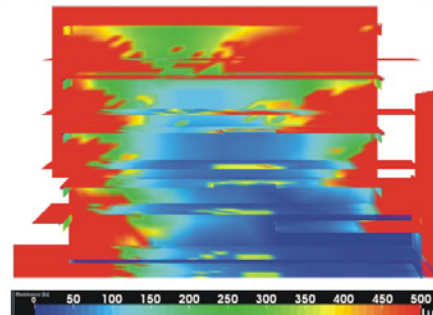
ช่องเปิดโล่งด้านบน ขนาด 1.8 x 3 เมตร



ช่องเปิดโล่งด้านบน ขนาด 1 x 4 เมตร



ช่องเปิดโล่งด้านบน ขนาด 1.8x2, 1.8x3, 1.8x4 และ 1.8x4 เมตร

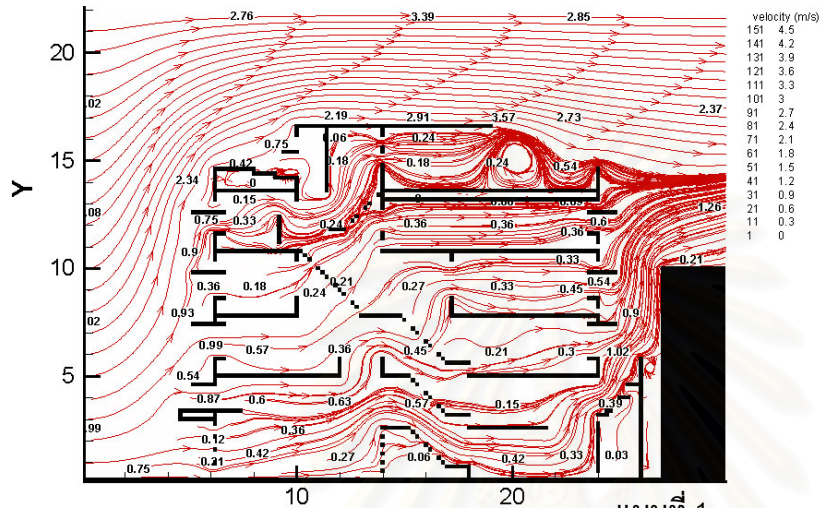


Avg. Reflectance of material surface = 0.23 Simulation on June 21 12:00 a.m.

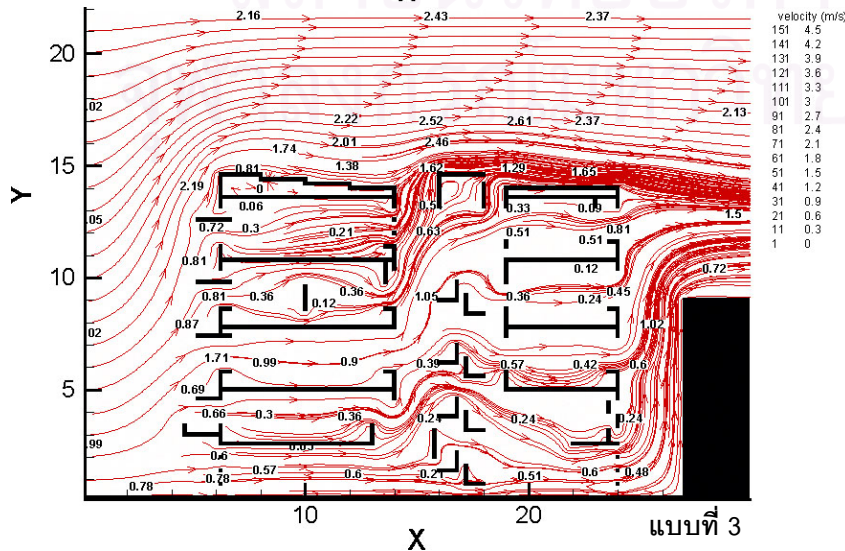
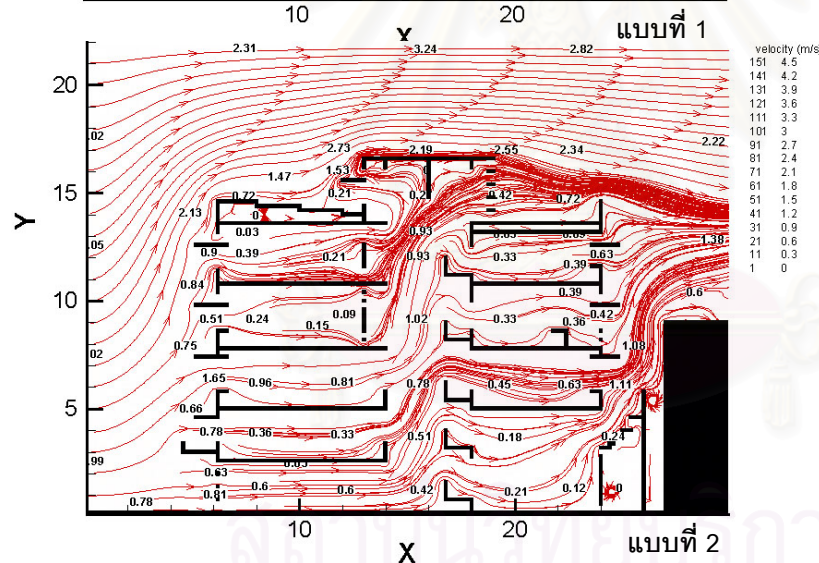


นอกจากการศึกษาด้านแสงสว่างจากช่องเปิดโล่งกลางอาคารแล้ว จะต้องพิจารณาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศควบคู่กัน การศึกษานำรูปแบบอาคารเดิมมาปรับเปลี่ยนลักษณะของบันไดให้ส่งเสริมกับการทำช่องเปิดข้างต้น ทั้ง 3 แบบ ตามรูปที่ 5-13 ได้แก่ แบบที่ 1 ช่องเปิดรักษาโครงสร้างหลักอาคารเดิม แบบที่ 2 ช่องเปิดแบบมีหลังคาคลุม และบันไดตามยาว แบบที่ 3 ช่องเปิดโล่งแบบไม่มีหลังคาคลุม และบันไดตามขวาง

รูปที่ 5-13 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมและการระบายอากาศในช่องเปิดกลางอาคาร



เมื่อใช้หุ่นจำลองกรณีศึกษา ซึ่งความเร็วลมภายในประมาณ 0.1 เมตร มาเพิ่มช่องเปิดระหว่างชั้น จะช่วยเพิ่มความเร็วลมและอัตราการระบายอากาศ



## 5.4 สรุปแนวความคิดในการออกแบบและการประเมินผลการปรับปรุงอาคาร

สามารถสรุปทางเลือกในการออกแบบ สำหรับใช้ศึกษาในการจำลองผลสภาวะนำสบายโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ENERWIN97-2000, Lightscape 3.2 และ 2D CFD (HEAT X ) เพื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอาคารก่อนปรับปรุง แบ่งเป็น 3 ทางเลือก ดังนี้

- แบบที่ 1** ปรับปรุงเปลือกอาคารทั้ง 3 ด้านเพื่อป้องกันการนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อนจากภายนอก โดยการออกแบบติดตั้งฉนวน และแผงกันแดด เพื่อการป้องกันความร้อน ร่วมกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติและลมภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร การจัดพื้นที่ภายในอาคารโดยออกแบบผนังและช่องเปิดให้สัมพันธ์กับสภาพการใช้งาน แสงสว่างและการระบายอากาศ ส่วนการเปิดพื้นที่โล่งเป็นไปตามโครงสร้างเดิมของอาคาร ก่อนปรับปรุง
- แบบที่ 2** ปรับปรุงเปลือกอาคารภายนอกทั้ง 3 ด้าน ส่วนภายในอาคารเปิดพื้นที่โล่งต่อเนื่องระหว่างชั้นตลอดความสูงอาคาร โดยมีขนาดพื้นที่เปิดโล่งน้อยที่สุดที่สามารถได้รับแสงสว่างและการระบายอากาศตามธรรมชาติ เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานสภาวะนำสบาย (นำผลจากการจำลองเบื้องต้นมาปรับใช้) โดยเลือกใช้โครงสร้างบันไดหลักลักษณะเช่นเดียวกับตึกแถวทั่วไป ได้แก่ การหันทิศทางบันไดหันไปตามความยาวของคูหาทุกชั้น เพื่อง่ายต่อการเปิดพื้นที่กลางอาคารและประยุกต์ใช้กับอาคารอื่น ๆ ได้
- แบบที่ 3** ปรับปรุงเปลือกอาคารภายนอกและองค์ประกอบอาคาร ให้สอดคล้องกับกฎหมายที่กำหนด โดยเว้นระยะด้านหลังจากแนวเขตที่ดิน 3 เมตร จำกัดความสูงอาคารไม่เกิน 15 เมตร มีพื้นที่เปิดโล่งช่วงกลางอาคารไม่น้อยกว่า 10 % ของพื้นที่ชั้นล่าง และพื้นที่ชั้นลอยไม่เกิน 40 % ของพื้นที่ชั้นมากที่สุด โดยได้เสนอแนวทางในการปรับเปลี่ยนบันไดและทางสัญจรในอาคาร เพื่อประโยชน์ในการประหยัดพื้นที่สำหรับเส้นทางสัญจร และสร้างโอกาสให้สามารถเปิดพื้นที่ว่างในแนวขวางของอาคารได้มากขึ้น ได้แก่ การหันทิศทางบันไดหันไปตามความกว้างของคูหา

รายละเอียดการปรับปรุงแต่ละแบบผ่านการปรับเพิ่มลดปริมาณงานทางสถาปัตยกรรมตามแนวความคิดที่เสนอไว้ข้างต้นเพื่อให้เกิดความเหมาะสม ผ่านการประเมินผลด้านประสิทธิภาพอาคาร (building performance) โดยพิจารณาจากจำนวนชั่วโมงที่อยู่ในขอบเขตสภาวะนำสบายด้านอุณหภูมิและความชื้น พื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพความสว่างที่ระดับ 300 ลักซ์ ความเร็วลมภายในอาคารอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานไม่เป็นลมรบกวน และไม่มีปรากฏการณ์ลมอลวน (eddy effect) ที่ทำให้เกิดการตกค้างของสารพิษที่ปะปนกับอากาศภายนอก จากการศึกษาและประเมินการปรับปรุงองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ต้นบทที่ 5 โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่า การปรับปรุงทั้ง 3 แบบส่งผลให้มีสภาวะนำสบายในอาคารเพิ่มมากขึ้นทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ แต่ทุกแบบล้วนไม่สามารถปรับปรุงให้มีสภาวะภายในอาคารผ่านตามาตรฐานได้หมดทั้งปี หรือทุกพื้นที่ของอาคาร ยกเว้นกรณีการประมาณอัตราการระบายอากาศจะผ่านเกณฑ์ทั้งหมด การสรุปผลการวิจัยเพื่อให้ได้รูปแบบการปรับปรุงตึกแถวพักอาศัยที่เหมาะสม จะต้องพิจารณาประสิทธิภาพอาคารร่วมกับประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ของอาคารตึกแถวปรับปรุง และความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ร่วมกัน ตามที่ได้กล่าวไว้ต้นบทที่ 5

## 5.5 การปรับปรุงอาคารและการประเมินผลแบบปรับปรุงที่ 1

แบบปรับปรุงทั้ง 3 รูปแบบ มีรายละเอียดการปรับปรุง ราคาค่าก่อสร้าง ประสิทธิภาพการใช้พื้นที่และผลการประเมินสภาวะนำสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศตามธรรมชาติ ดังต่อไปนี้

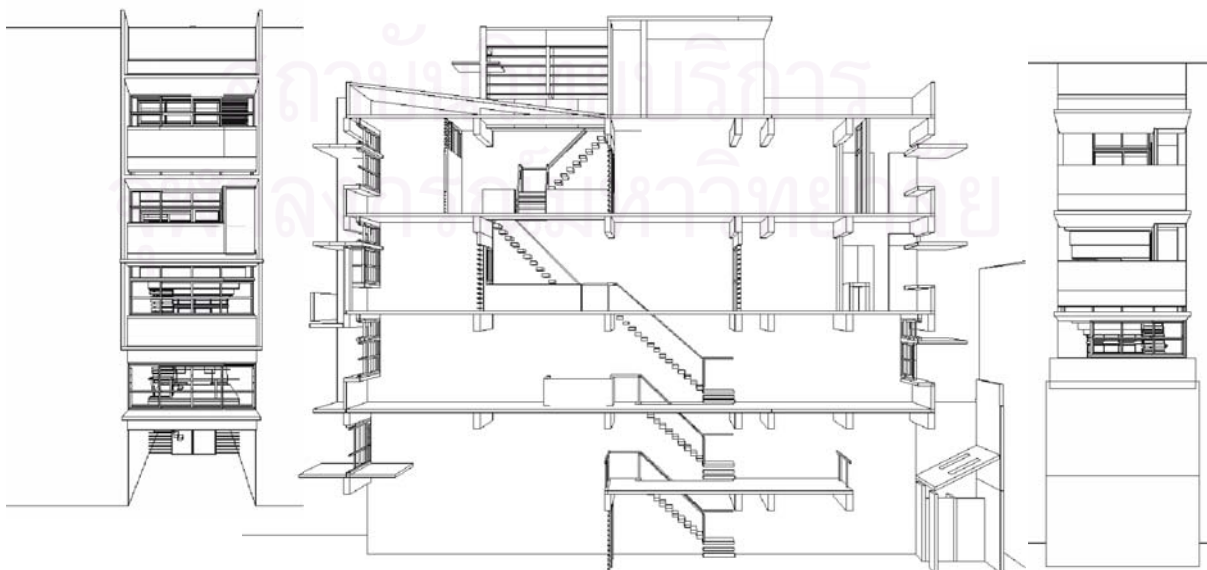
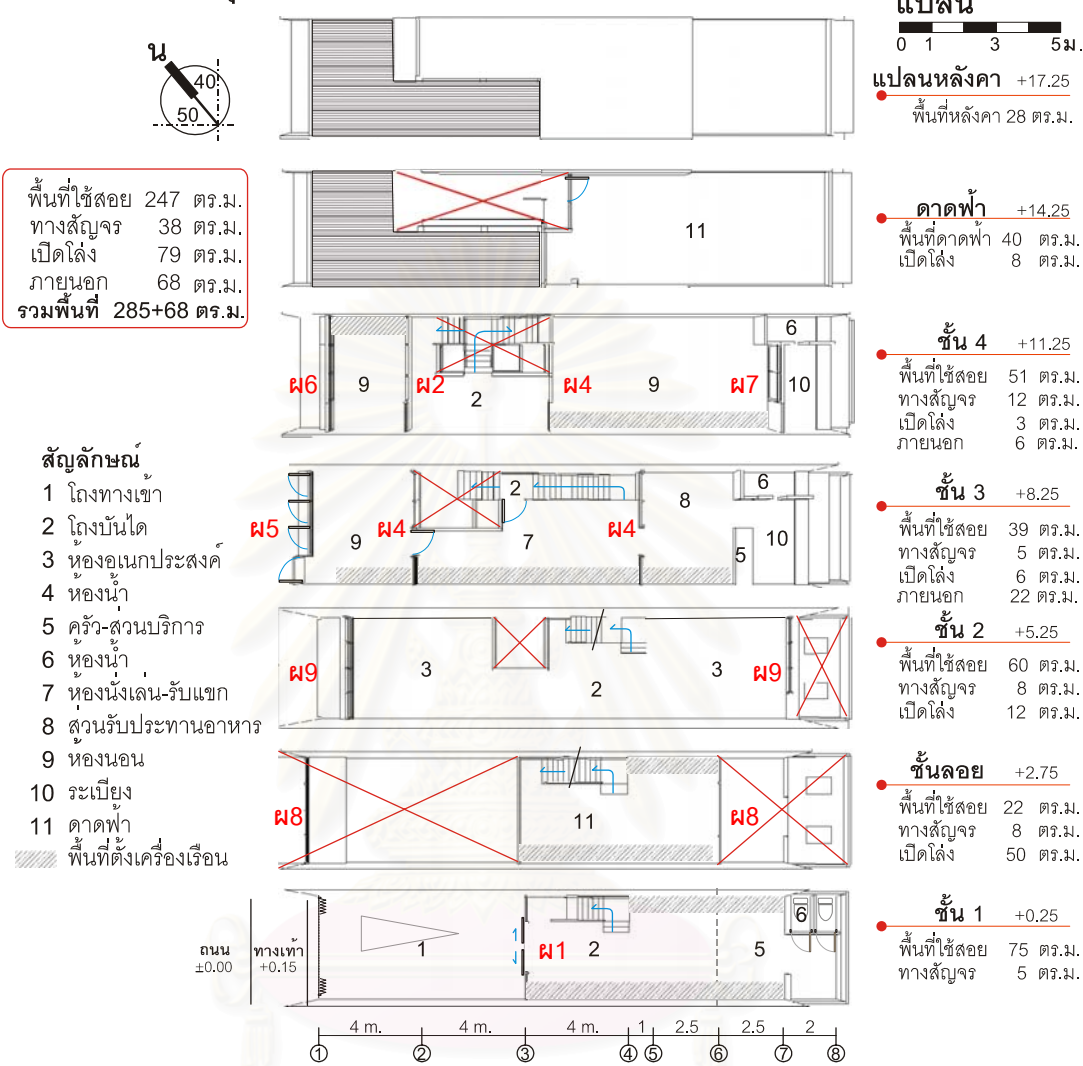
แบบที่ 1 ปรับปรุงเปลือกอาคารทั้ง 3 ด้าน ปรับเปลี่ยนผนังและช่องเปิดภายในอาคาร และการเปิดพื้นที่โล่งตามโครงสร้างเดิมของอาคาร

สรุปรายการปรับปรุงสถาปัตยกรรม แบบที่ 1	ค่าก่อสร้างโดยประมาณ(บาท)
<b>● หลังคา</b>	
1) หลังคากระเบื้องใยหิน : ติดตั้งฝ้าเพดานและกรงฉนวน กรงฉนวนไมโครไฟเบอร์ 2" + ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด (36ตรม. x 1000)	36,000-
2) หลังคาคอนกรีต : ติดตั้งพื้นยกและทำฝ้าเพดาน ติดตั้งพื้นยกไม้เนื้อแข็งสูง 10 ซม หนา 1 นิ้ว 70 มม. (40ตรม. x 600) ติดตั้งฝ้าเพดาน + โพลียูรีเทนโฟม+ฟรอยด์+ฝ้ายิปซัม 9 มม (40ตรม. x 2320)	24,000- 92,800-
3) ขยายช่องบันได+เปิดช่องแสง+ทำผนังดักลม	11,725-
<b>● ผนังด้านหน้า(NW) ส่วนห้องนอน และห้องพักผ่อน</b>	
4) ผนังทึบ : กรงฉนวนภายนอก ผนังก่ออิฐฉาบปูนโพลียูรีเทนโฟม+ฟรอยด์+แผ่นไฟเบอร์ (18ตรม x 1170)	21,000-
5) ช่องเปิด : จัดทางเข้าและทางออกของลมให้เหมาะสมโดยคำนึงถึงปริมาณแสง ความร้อน และการระบายอากาศโดยรวมของอาคาร ชุดประตูหน้าต่างอลูมิเนียม+กระจกตัดแสงสีเขียว น้ำทะเล 6 มม. (12,000 x 3)	36,000-
6) ปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด โดยเว้นระยะระหว่างเปลือกอาคาร เพื่อลดสะสมความร้อน และเพิ่มประสิทธิภาพในการบังแดดและสะท้อนแสง ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดและหิ้งแสง	52,000-
<b>● ผนังด้านหลัง(SE) ส่วนบริการ ระเบียง ห้องน้ำ คร้วลานซักล้าง</b>	
7) ผนังทึบ : กรงฉนวนภายนอก ผนังก่ออิฐฉาบปูนโพลียูรีเทนโฟม+ฟรอยด์+แผ่นไฟเบอร์ (18ตรม x 1,170)	21,000-
8) ผนังระเบียง : ใส่กลาสบล็อกบางส่วนเพื่อเพิ่มปริมาณแสง (2 x 3,335 )	6,700-
<b>● ภายในอาคาร</b>	
9) ผนังทึบ : เพิ่มคุณสมบัติในการให้ความสว่างของผนังโดยการทาสี ทาสีขาว ผนังก่ออิฐฉาบปูนและเพดาน ((488+326) x 70)	57,000-
10) ผนังเบา : ลดการถ่ายเทความร้อนโดยเปลี่ยนวัสดุ, กรงฉนวนภายใน, ปรับปรุงการระบายอากาศโดยเปิดช่องแสงและช่องลม, เปลี่ยนเป็นผนังกระจกบางส่วน ผนังยิปซัม+ฟรอยด์ หนา 9 มม. โครงเคร่าเหล็ก	15,000-
11) ช่องแสงและช่องลมภายในอาคาร ชุดหน้าต่างอลูมิเนียม+กระจกใส 6 มม. (4 x 8,000) -ชุดบานเกล็ดไม้	32,000- 10,000-
12) เจาะพื้นคอนกรีตในส่วนที่สามารถรับแสงสว่างและระบายอากาศธรรมชาติจากด้านบนบริเวณกลางอาคาร สกัดพื้น คสล. และเสริมโครงสร้าง	35,000-
รวมค่าก่อสร้าง 450,225 บาท	
ค่าดำเนินการ 10% 52,525 บาท	

รวม 12 รายการ คิดเป็นราคาค่าก่อสร้างปรับปรุง ประมาณ 502,750 บาท

รูปที่ 5-14 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมและการใช้พื้นที่ แบบปรับปรุงที่ 1

**D1** การปรับปรุงตึกแถวพักอาศัย แบบที่ 1

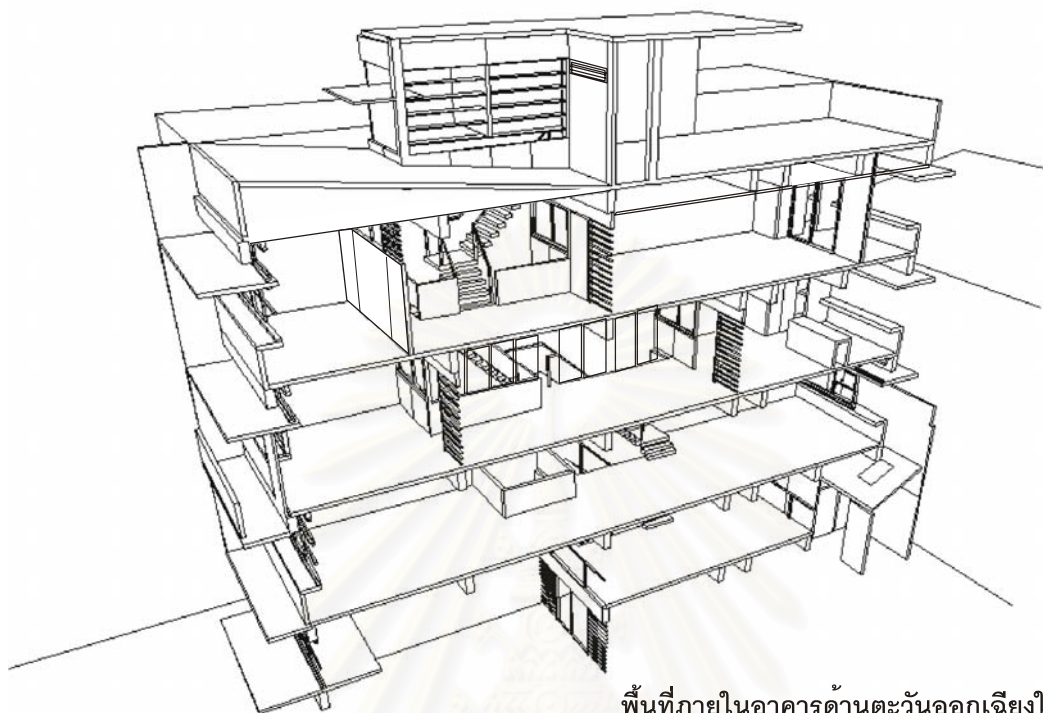
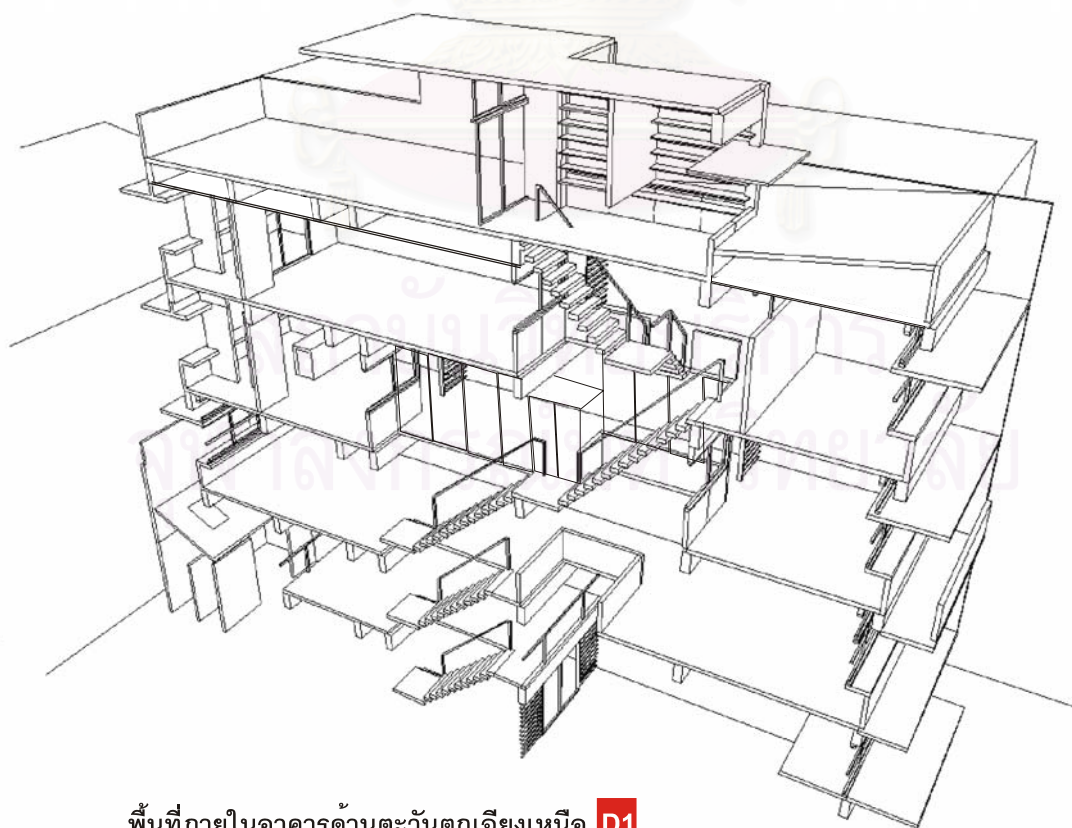


รูปด้านหน้า.  
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

รูปตัด  
ผนังด้านตะวันออกเฉียงใต้

รูปด้านหลัง  
ทิศตะวันออกเฉียงใต้

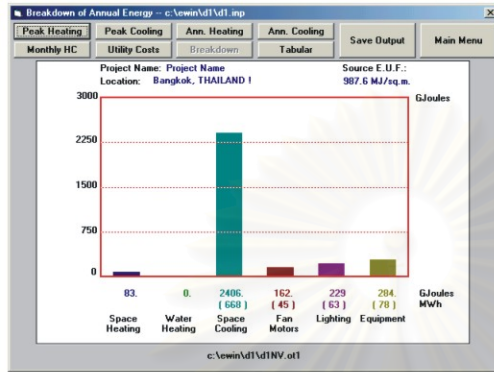
รูปที่ 5-15 ลักษณะพื้นที่ภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 1

พื้นที่ภายในอาคารด้านตะวันออกเจียงใต้ **D1**พื้นที่ภายในอาคารด้านตะวันตกเฉียงเหนือ **D1**

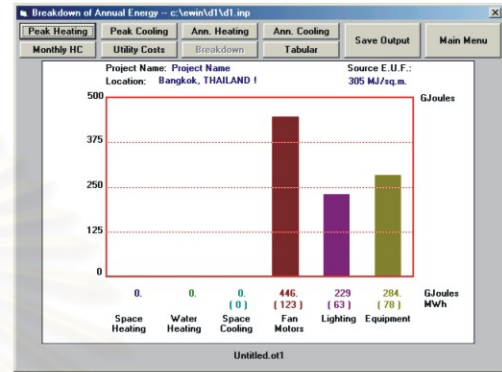
แผนภูมิที่ 5-05 ผลการประเมินสถานะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แบบปรับปรุงที่1

การประเมินผลสถานะน่าสบายด้านอุณหภูมิจากโปรแกรม ENER-WIN 97.2000 **แบบปรับปรุง 1**

Simulation: Run with AC



Simulation: Run without AC (passive)

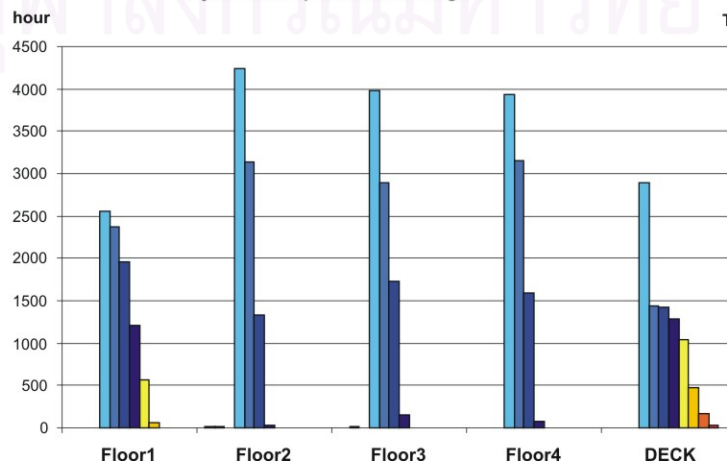


DB (C)	Floor1	Floor2	Floor3	Floor4	DECK	
24	4	8	4	7	2	
25	4	8	8	6	7	
26	5	4	4	6	2	
27	2563	4234	3973	3935	2887	จำนวนชั่วโมงเฉลี่ย
28	2378	3137	2886	3152	1445	ในเขตสบาย
29	1962	1335	1724	1585	1416	ด้านอุณหภูมิ
30	1216	34	158	69	1280	
comfort (hr)	8132	8760	8757	8760	7039	= 34,409/4
31	563		3		1035	= 8,602 ชม./ปี
32	64				479	
33	1				166	
34					38	
35					3	
discomfort (hr)	628	0	3	0	1721	2352
	8760	8760	8760	8760	8760	43800

สถานวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รวมจำนวนชั่วโมง (พื้นที่ใช้สอย 4 ชั้น) คิดเป็น 35040 ชั่วโมง

Dry bulb temperature : Design 1



comfort (hr)  
34409  
(98.19%)

discomfort (hr)  
631  
(1.8%)

### รายการคำนวณภาระการปรับเย็นรายปี ตามการปรับปรุงอาคารแบบที่ 1

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพอาคารด้านอุณหภูมิของแต่ละรูปแบบการปรับปรุง พิจารณาจากภาระการปรับเย็นรายปีของพื้นที่ที่สภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิเกินมาตรฐาน (discomfort) ต้องมีการปรับอุณหภูมิและความชื้นภายในอาคารโดยเครื่องปรับอากาศ จากผลการจำลองด้านอุณหภูมิสำหรับแบบปรับปรุงที่ 1 พบว่า บริเวณที่อยู่นอกเขตสบายได้แก่บริเวณชั้น 1 ชั้น 3 และชั้นดาดฟ้า เมื่อพิจารณาร่วมกับความเหมาะสมในการใช้งานอาคารสรุปได้ว่า มีพื้นที่ปรับอากาศเพียงส่วนเดียวคือ ชั้น 1 ส่วนชั้น 3 มีจำนวนชั่วโมงนอกเขตสบายน้อยมากเพียง 3 ชั่วโมงต่อปี จึงไม่ติดเครื่องปรับอากาศ ส่วนชั้นดาดฟ้าไม่นำมาคิดในการวิจัย ดังรายละเอียดการคำนวณต่อไปนี้

ตารางที่ 5-05 รายการคำนวณภาระการปรับเย็นรายปี การปรับปรุงอาคารแบบที่ 1

พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	ปริมาตรอากาศ (ลบ.ม.)	ขนาดเครื่องปรับอากาศ* (ตันความเย็น)	จำนวนชั่วโมงนอกเขตสบายรายปี (ชั่วโมง)	ปริมาณไฟฟ้ารายปี (วัตต์ X ชั่วโมง) (วัตต์ปี)	ค่าไฟฟ้ารายปี ** (บาท/ปี) (2.5 บาท/หน่วย)
ชั้นที่ 1	90 (4x7.5x3ม.)	1.5 (=5,275วัตต์/ชั่วโมง)	628	3,313,012	8,283

หมายเหตุ \* ประมาณการจากภาระ เครื่องปรับอากาศ 60 ลบ.ม./ ตันความเย็น (1ตัน=12,000/3.412วัตต์)

### การประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่างธรรมชาติ แบบปรับปรุงที่ 1 จากการจำลอง(Lightscape 3.2)

จากผลการจำลองด้านแสงสว่างธรรมชาติสำหรับแบบปรับปรุงที่ 1 รูปที่ 5-16 พบว่า บริเวณที่ได้รับแสงสว่างตามธรรมชาติภายในอาคารที่มีความสว่างตั้งแต่ 300 ลักซ์ ขึ้นไป มีพื้นที่ 219 ตารางเมตร คิดเป็น 76.8%ของพื้นที่ใช้สอย (พื้นที่ใช้สอยแบบที่ 1 285 ตร.ม.) และมีพื้นที่ใช้สอยที่ไม่ได้รับแสงธรรมชาติ 138 ตารางเมตร สภาวะแสงสว่างในอาคารมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-06 ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่าง การปรับปรุงอาคารแบบที่ 1

	ชั้นที่ 1	ชั้นลอย	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4
ระยะแสงเข้าถึงจากช่องเปิด หน้าอาคาร	7 เมตร	6 เมตร	2.5 เมตร	3 เมตร	แสงเข้าถึงต่อเนื่องกับแสงจากช่องเปิดด้านบนตลอดอาคาร
ระยะแสงเข้าถึงจากช่องเปิด หลังอาคาร	4.5 เมตร	1.5 เมตร	2 เมตร	6 เมตร	แสงเข้าถึงต่อเนื่องกับแสงจากช่องเปิดด้านบนตลอดอาคาร
พื้นที่ห้องที่ต้องใช้แสงประดิษฐ์(ตร.ม.)	35	30	52	21	0

### รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี ตามการปรับปรุงอาคารแบบที่ 1

การคิดค่าไฟฟ้ารายปี คำนวณได้จากจำนวนชั่วโมงที่เปิดไฟใน 1 วัน แต่ละวันจะมีช่วงเวลาที่ได้แสงธรรมชาติ 8.00-17.00 น. คิดเป็น 8 ชั่วโมงต่อวัน และมีช่วงเวลาที่ไม่มีใช้ไฟเนื่องจากนอนหลับพักผ่อนวันละ 8 ชั่วโมง ได้แก่เวลา 23.00-6.00 น. ดังนั้นในแต่ละวันจะมีช่วงเวลาเปิดโคมไฟแสงประดิษฐ์ประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังรายละเอียดการคำนวณต่อไปนี้

ตารางที่ 5-07 รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี การปรับปรุงอาคารแบบที่ 1

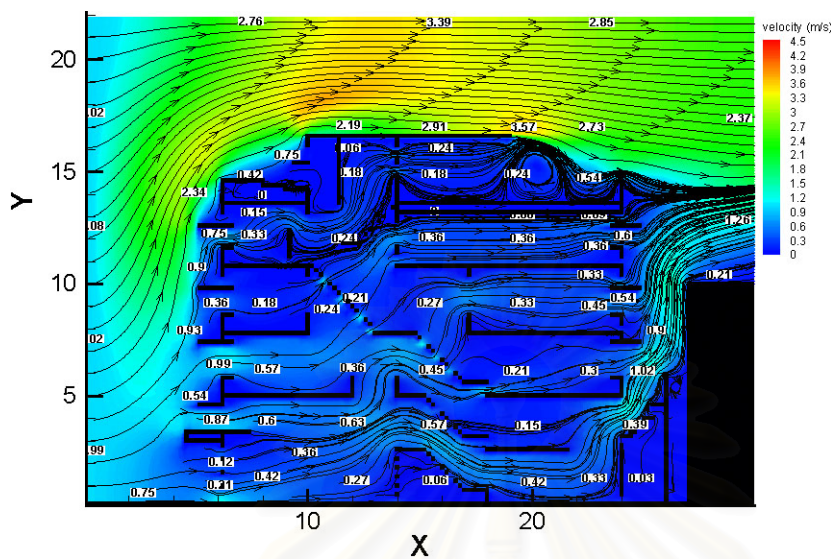
พื้นที่ใช้สอย* (ตร.ม.)	พื้นที่ไม่ได้รับแสง (ตร.ม.)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด/ตร.ม. (ตร.ม.)	ปริมาณไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ 8.00-17.00 (วัตต์/วัน)	ปริมาณไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ 17.00-23.00 (วัตต์/วัน)	ปริมาณไฟฟ้ารายปี (วัตต์ X ชั่วโมง) (365) (วัตต์ปี)	ค่าไฟฟ้ารายปี** (บาท/ปี)
285	138	16	9,984 (138)(16)(8ชั่วโมง)	36,480 (285)(16)(8ชั่วโมง)	16,959,360	42,398

หมายเหตุ \* ไม่รวมพื้นที่เปิดโล่ง 54 ตร.ม. \*\* คิดค่าไฟฟ้าที่ (2.5 บาท/หน่วย)

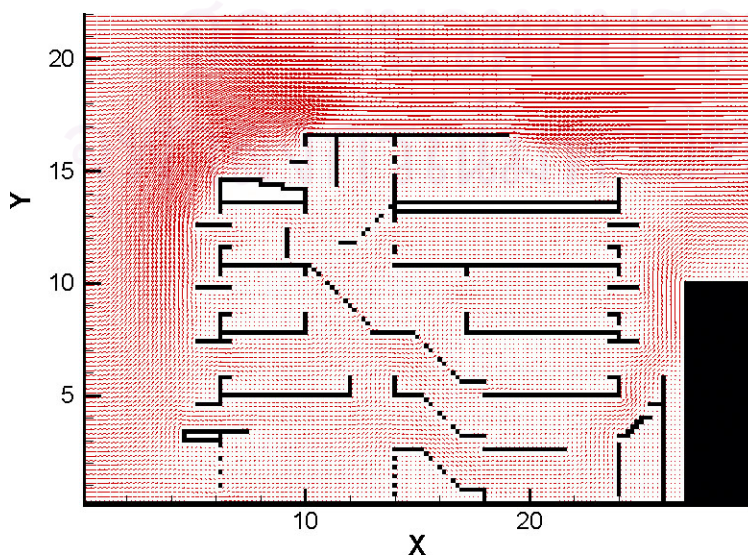
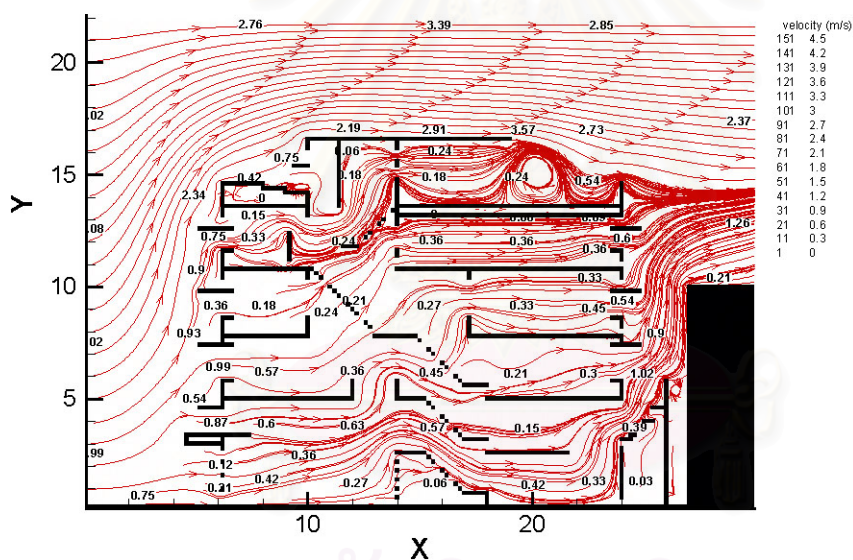




แผนภูมิที่ 5-06 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 1



ความเร็วลมภายในเฉลี่ย  
0.2-0.5 เมตร/วินาที  
อัตราการระบายอากาศ  
ผ่านมาตรฐานทั้งหมด  
(ดูรายละเอียดการ  
คำนวณอัตราการระบาย  
อากาศในภาคผนวก)



## 5.6 การปรับปรุงอาคารและการประเมินผลแบบปรับปรุงที่ 2

**แบบที่ 2** ปรับปรุงโดยการเปิดพื้นที่โล่งระหว่างชั้นเปลือกอาคาร และผนังภายในอาคาร เพื่อศึกษาขนาดพื้นที่เปิดโล่งกลางอาคารน้อยที่สุด ที่สามารถได้รับแสงสว่างตามมาตรฐานสภาวะน่าสบาย และการระบายอากาศตามธรรมชาติผ่านมาตรฐาน ในการเสนอแบบปรับปรุงได้ทดลองเปิดพื้นที่ 7 ขนาด ตามผลการศึกษาการเปิดพื้นที่กลางอาคารแบบมีหลังคาคลุมในต้นบทที่ 5 และสรุปเหลือ 2 ขนาดสุดท้ายคือ 1x3 เมตรกลางอาคาร และเพิ่มพื้นที่เปิด 1x2 เมตร ช่วงเสา ถัดไปทางส่วนหลังอาคาร ซึ่งเป็นบริเวณที่แสงธรรมชาติต่ำกว่าส่วนหน้าอาคาร การประเมินผลอาคารพบว่า สภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิใกล้เคียงกัน เนื่องจากการปรับพื้นที่ภายใน ไม่ได้รับอิทธิพลจากภายนอกโดยตรง และลดมวลสารลง (internal mass) ในส่วนพื้นคอนกรีต เปลือยรวม 8 ตร.ม. สภาวะน่าสบายด้านแสงสว่างได้ผลใกล้เคียงกัน เนื่องจากแสงที่เพิ่มขึ้นมีผลเฉพาะชั้น 4 เป็นหลัก ชั้นถัดมาบริเวณช่องเปิดมีความสว่างมากแต่บริเวณโดยรอบได้รับแสงสว่างไม่ได้มาตรฐาน 300 ลักซ์ สันนิษฐานว่าเนื่องจากเป็นพื้นที่เปิดโล่งจึงไม่มีพื้นที่เป็นระนาบกระจายแสงให้แก่บริเวณโดยรอบ ทั้งนี้แม้ว่าความแปรปรวนของแสงธรรมชาติ บริเวณช่องเปิด 1x2 เมตร จะต่างจากโดยรอบแต่ไม่เกิดภาวะแสงจ้า อาจเป็นเพราะช่องเปิดกลางอาคารในการปรับปรุงแบบที่ 2 เป็นชนิดมีหลังคาคลุมด้านบน ส่วนสภาวะน่าสบายด้านการระบายอากาศ การเพิ่มช่องเปิดจะช่วยให้ทางผ่านลมทั่วถึงมากยิ่งขึ้น (flow path) แต่อัตราการระบายอากาศใกล้เคียงกัน เนื่องจากพื้นที่ลมเข้า-ออกยังคงเท่าเดิม โดยความเร็วลมเปลี่ยนเพียงเล็กน้อย ส่วนการพิจารณาด้านพื้นที่ใช้สอยลด 8 ตร.ม. ขนาดห้องที่กว้างน้อยลงเหลือเพียง 2.5 เมตร ทำให้การใช้งานไม่สะดวกนัก อีกทั้งงบประมาณการก่อสร้างเพิ่มขึ้นประมาณ 30,000 บาท ดังนั้นการเสนอแบบปรับปรุงที่ 2 จึงเสนอการทำช่องเปิดเพียง 1 x 3 เมตรกลางอาคาร โดยมีรายละเอียดการปรับปรุงดังนี้

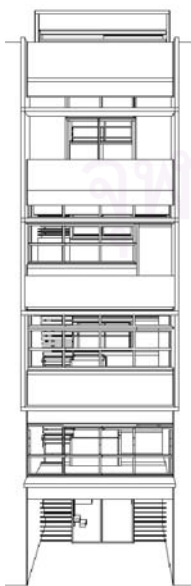
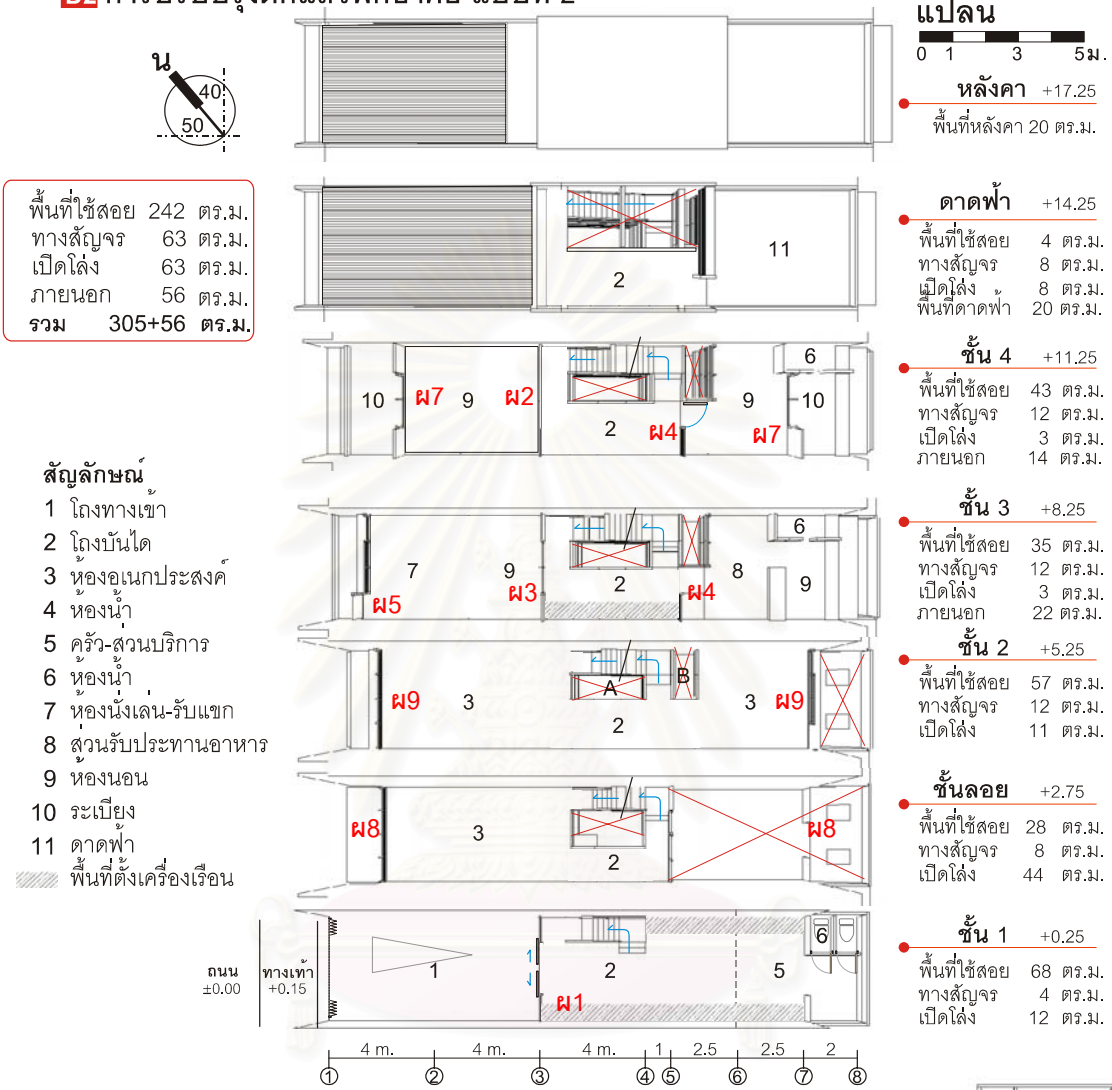
รายการปรับปรุงสถาปัตยกรรม	ค่าก่อสร้างโดยประมาณ(บาท)
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>บันไดและกล่องบันได</b></li> </ul>	
1) ปรับบันไดชั้น 3 และชั้น 4 ให้ตรงกันเพื่อเปิดช่องแสงทะลุต่อเนื่องทุกชั้นโดยไม่รบกวนพื้นที่ใช้งานในห้อง	
- สกัดบันไดเดิมชั้น 3 และทำบันไดใหม่ (ใช้ช่องบันไดเดิมตรงกับบันไดชั้น 1,2)	12,000-
- รื้อบันไดไม้ชั้น 4 และทำพื้นไม้แทนที่ช่องบันไดเดิม	4,000-
- สกัดพื้นชั้นดาดฟ้าและทำบันไดโครงสร้างเหล็กขึ้นสู่ดาดฟ้า	20,000-
2) ปรับปรุงหลังคาคอนกรีตเดิมเหนือดาดฟ้าเป็นกล่องบันไดและผนังดักลม	
- ทำผนังก่ออิฐมวลเบาฉาบปูน(12 ตรม. x 525) + ตรีปดักลม 6 ตรม.	10,800-
- ติดตั้งชุดประตูหน้าต่างอลูมิเนียม + กระจกสีเขียวน้ำทะเลตัดแสง	20,000-
3) รื้อกล่องบันไดเดิมและทำหลังคากระเบื้องใยหิน	4,000-
<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>หลังคา</b></li> </ul>	
4) หลังคากระเบื้องใยหิน : ติดตั้งฝ้าเพดานและกรูฉนวน	
- กรูฉนวนไมโครไฟเบอร์ 2" + ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด ( 36ตรม. x 1000)	36,000-

5) หลังคาคอนกรีต : ติดตั้งพื้นยกและทำฝ้าเพดาน		
- ติดตั้งพื้นยกไม้เนื้อแข็งสูง 10 ซม หนา 1 นิ้ว 70 มม.(40ตรม.x600)		24,000-
- ติดตั้งฝ้าเพดาน + โพลียูรีเทนโฟม+พรอยด์+ฝ้ายิปซัม9 มม (40ตรม.x2320)		92,800-
● <b>ผนังด้านหน้า(NW) ส่วนห้องนอน และห้องพักผ่อน</b>		
6) ผนังทึบ : กรุณนวนภายนอก		
- ผนังก่ออิฐฉาบปูนโพลียูรีเทนโฟม+พรอยด์+แผ่นไฟเบอร์ (18ตรมx1170)		21,000-
7) ช่องเปิด : จัดทางเข้าและทางออกของลมให้เหมาะสมโดยคำนึงถึงปริมาณแสง ความร้อนและการระบายอากาศโดยรวมของอาคาร		
- ติดตั้งชุดประตูหน้าต่างอลูมิเนียม+กระจกตัดแสงสีเขียวน้ำทะเล 6 มม.(12,000x3)		36,000-
8) ปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด โดยเว้นระยะระหว่างเปลือกอาคาร เพื่อลดสะสมความร้อน และเพิ่มประสิทธิภาพในการบังแดดและสะท้อนแสง		
- สกัดครีบบังแดดเดิม ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดและหิ้งแสง (4,000x2)		8,000-
● <b>ผนังด้านหลัง(SE) ส่วนบริการ ระเบียง ห้องน้ำ ครุวลานซักล้าง</b>		
7) ผนังทึบ : กรุณนวนภายนอก		
ผนังก่ออิฐฉาบปูนโพลียูรีเทนโฟม+พรอยด์+แผ่นไฟเบอร์ (18ตรมx1,170)		21,000-
8) พื้นระเบียง : ใส่กลาสบล็อกบางส่วนเพื่อเพิ่มปริมาณแสง (2x3,335 )		6,700-
● <b>ภายในอาคาร</b>		
9) ผนังทึบ : ทาสีเพิ่มคุณสมบัติในการให้แสงสว่างและสะท้อนแสงของผนัง		
- ทาสีขาว ผนังก่ออิฐฉาบปูน และเพดาน ((488+326)x70)		57,000-
10) ผนังเบา : ลดการถ่ายเทความร้อนโดยเปลี่ยนวัสดุ, กรุณนวนภายใน		
- ผนังยิปซัม+พรอยด์ หนา 9 มม. โครงเคร่าเหล็ก		15,000-
11) ปรับปรุงช่องเปิดภายในอาคารเพื่อการระบายอากาศและแสงสว่าง		
- ติดตั้งชุดหน้าต่างอลูมิเนียม+กระจกใส 6 มม.(5x8,000)		40,000-
- ติดตั้งบานเกล็ดไม้		10,000-
12) เปิดพื้นที่โล่งต่อเนื่องทุกชั้น ขนาด 1x3 ตารางเมตร		
- สกัดพื้น คสล. 4 ชั้น และเสริมโครงสร้าง และทำกันตก		40,000-
13) ปรับฝั่งพื้นชั้นลอยให้ชิดด้านหน้าอาคาร เพื่อให้ได้รับแสงธรรมชาติ เพิ่มการระบายอากาศ บริเวณด้านหลังและจำกัดผลกระทบที่เกิดจากไอเสียและความร้อนจากที่จอดรถ		
- สกัดพื้น คสล. เดิม+เสริมโครงสร้างและทำพื้นใหม่		60,000-
	รวมค่าก่อสร้าง	545,500 บาท
	ค่าดำเนินการ 10%	54,550 บาท

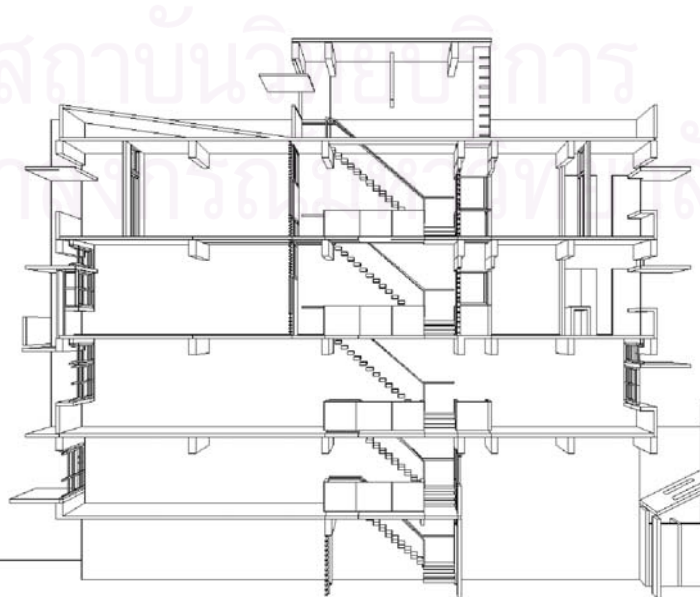
รวม 13 รายการ คิดเป็นราคาค่าก่อสร้างปรับปรุงรวม ประมาณ 600,050 บาท

รูปที่ 5-17 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมและการใช้พื้นที่ แบบปรับปรุงที่ 2

**D2** การปรับปรุงตึกแถวพักอาศัย แบบที่ 2



รูปด้านหน้า.  
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

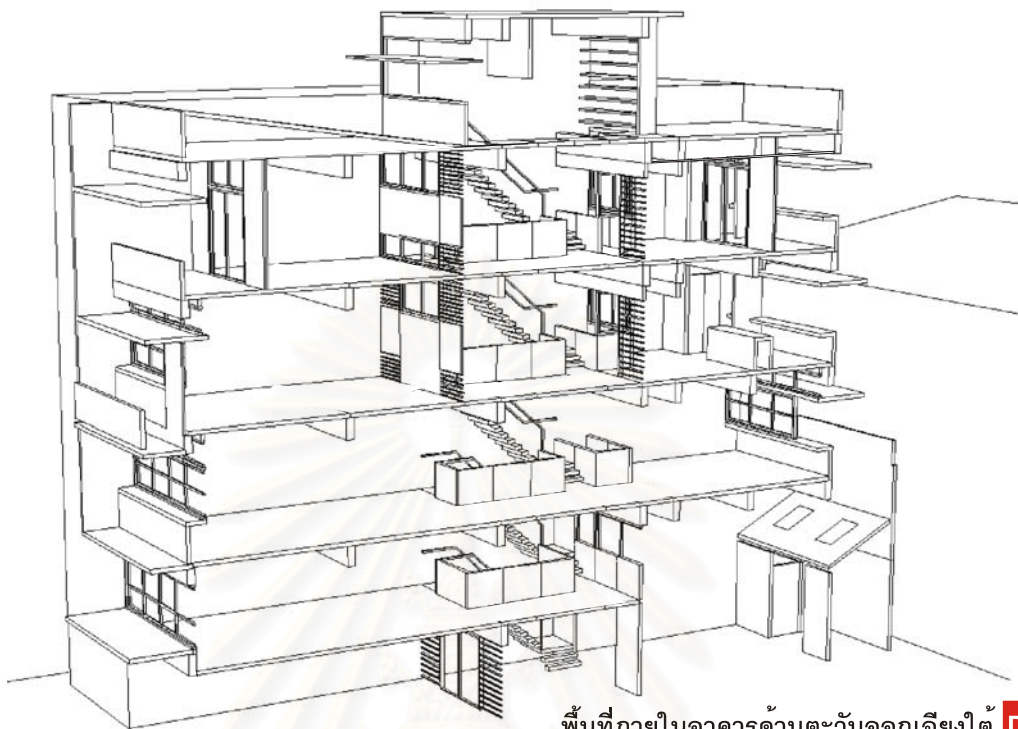


รูปตัด  
ผนังด้านตะวันออกเฉียงใต้

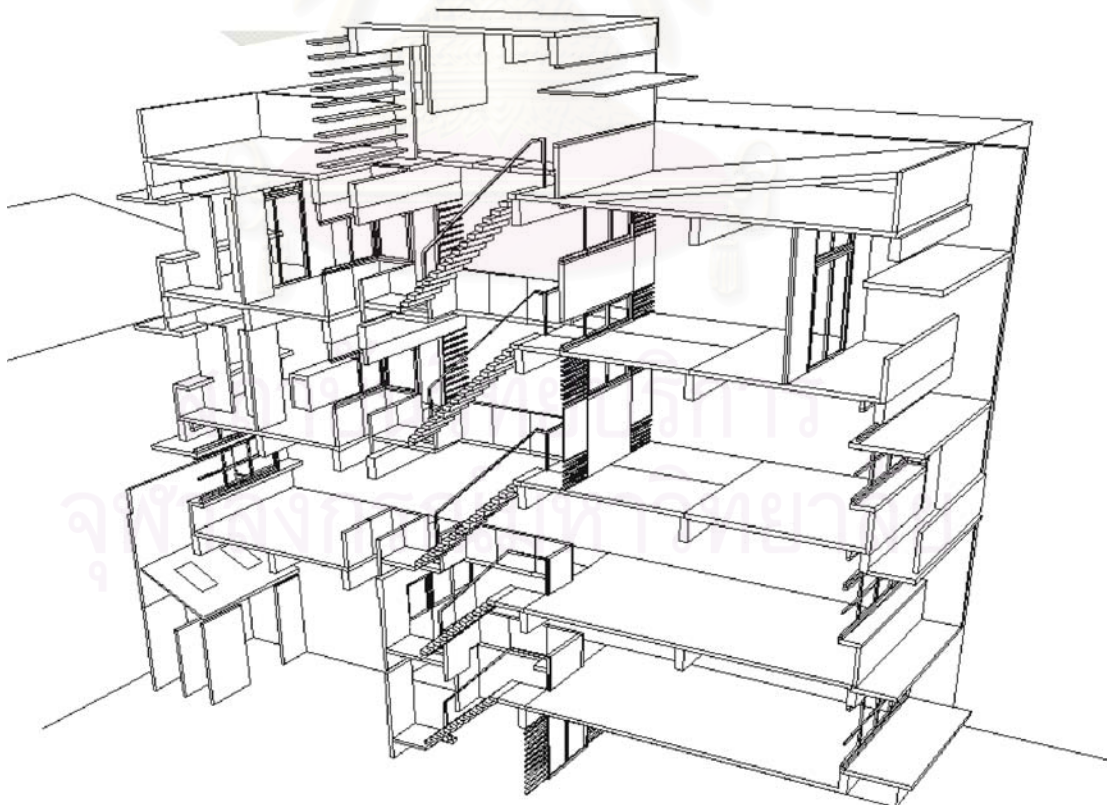


รูปด้านหลัง  
ทิศตะวันออกเฉียงใต้

รูปที่ 5-18 ลักษณะพื้นที่ภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 2



พื้นที่ภายในอาคารด้านตะวันออกเฉียงใต้ D2



พื้นที่ภายในอาคารด้านตะวันตกเฉียงเหนือ D2

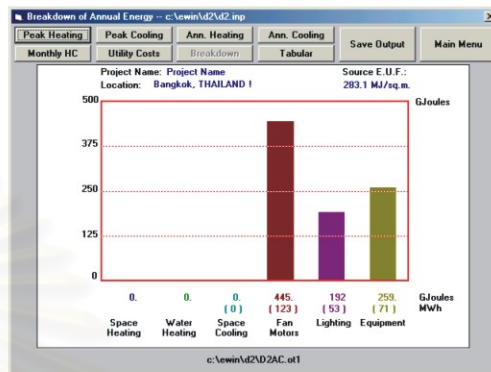
แผนภูมิที่ 5-07 ผลการประเมินสถานะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แบบปรับปรุงที่ 2

การประเมินผลสถานะน่าสบายด้านอุณหภูมิจากโปรแกรม ENER-WIN 97.2000 **แบบปรับปรุง 2**

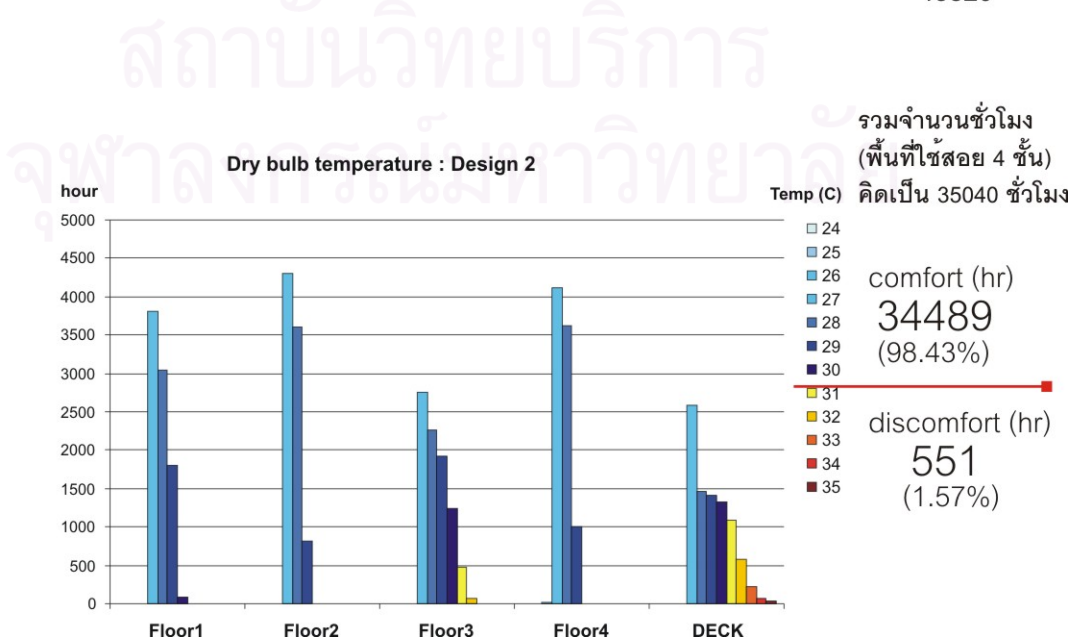
Simulation: Run with AC



Simulation: Run without AC (passive)



DB (C)	Floor1	Floor2	Floor3	Floor4	DECK	
24	6	7	3	8	2	
25	7	7	6	6	7	
26	3	8	6	10	2	จำนวนชั่วโมงเฉลี่ย
27	3813	4305	2760	4115	2582	ในเขตสบาย
28	3043	3608	2270	3621	1466	ด้านอุณหภูมิ
29	1800	821	1914	995	1418	
30	88	4	1250	5	1324	
comfort (hr)	8760	8760	8209	8760	6801	= 34,489/4
31			472		1090	= 8,622 ชม./ ปี
32			76		573	
33			3		215	
34					66	
35					35	
discomfort (hr)	0	0	551	0	1979	2530
	8760	8760	8760	8760	8780	43820



### รายการคำนวณภาระการปรับเย็นรายปี ตามการปรับปรุงอาคารแบบที่ 2

จากผลการจำลองด้านอุณหภูมิสำหรับแบบปรับปรุงที่ 2 พบว่า บริเวณที่อยู่นอกเขตสบายได้แก่บริเวณชั้น 3 และชั้นดาดฟ้า เมื่อพิจารณาพร้อมกับความเหมาะสมในการใช้งานอาคารสรุปได้ว่า มีพื้นที่ปรับอากาศเพียงส่วนเดียวคือ ชั้น 3 ส่วนชั้นดาดฟ้าไม่นำมาคิดรวมในการวิจัย ดังรายละเอียดการคำนวณต่อไปนี้

ตารางที่ 5-08 รายการคำนวณภาระการปรับเย็นการปรับปรุงอาคารแบบที่ 2

พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	ปริมาตรอากาศ (ลบ.ม.)	ขนาดเครื่องปรับอากาศ* (ตันความเย็น)	จำนวนชั่วโมงนอกเขตสบายรายปี (ชั่วโมง)	ปริมาณไฟฟ้ารายปี (วัตต์ X ชั่วโมง) (วัตต์/ปี)	ค่าไฟฟ้ารายปี ** (บาท/ปี) (2.5 บาท/หน่วย)
ชั้นที่ 3 (ไม่รวมครัว)	177 (59x3ม.)	2.95 (10,375 วัตต์/ชั่วโมง)	551	5,716,706	14,293

หมายเหตุ \* ปริมาณการจากภาระ เครื่องปรับอากาศ 60 ลบ.ม./ ตันความเย็น (1ตัน=12,000/3.412วัตต์)

### การประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่างธรรมชาติ แบบปรับปรุงที่ 2 จากการจำลอง(Lightscape 3.2)

จากผลการจำลองด้านแสงสว่างธรรมชาติสำหรับแบบปรับปรุงที่ 2 รูปที่ 5-19 พบว่า บริเวณที่ได้รับแสงสว่างตามธรรมชาติภายในอาคารที่มีความสว่างตั้งแต่ 300 ลักซ์ ขึ้นไป มีพื้นที่ประมาณ 200 ตารางเมตร คิดเป็น 65.88% ของพื้นที่ใช้สอย (พื้นที่ใช้สอยแบบที่ 2 305 ตร.ม.) และมีพื้นที่ใช้สอยที่ไม่ได้รับแสงธรรมชาติ 162 ตารางเมตร สภาวะแสงธรรมชาติในอาคารมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-09 ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่าง การปรับปรุงอาคารแบบที่ 2

พื้นที่ในอาคาร	ชั้นที่ 1	ชั้นลอย	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4
ระยะแสงเข้าถึงจากช่องเปิด หน้าอาคาร	5.5 เมตร	4 เมตร	3 เมตร	3 เมตร	แสงเข้าถึงต่อเนื่องกับแสงจากช่องเปิดด้านบนตลอดอาคาร
ระยะแสงเข้าถึงจากช่องเปิด หลังอาคาร	1 เมตร	1 เมตร	1.5 เมตร	4 เมตร	แสงเข้าถึงต่อเนื่องกับแสงจากช่องเปิดด้านบนตลอดอาคาร
พื้นที่ห้องที่ต้องใช้แสงประดิษฐ์ (ตร.ม.)	53	27	52	30	0

### รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี ตามการปรับปรุงอาคารแบบที่ 2

การคิดค่าไฟฟ้ารายปี คำนวณได้จากจำนวนชั่วโมงที่เปิดไฟใน 1 วัน แต่ละวันจะมีช่วงเวลาที่ได้แสงธรรมชาติ 8.00-17.00 น. คิดเป็น 8 ชั่วโมงต่อวัน และมีช่วงเวลาที่ไม่ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากนอนหลับพักผ่อนวันละ 8 ชั่วโมง ได้แก่เวลา 23.00-6.00 น. ดังนั้นในแต่ละวันจะมีช่วงเวลาเปิดโคมไฟแสงประดิษฐ์ประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังรายละเอียดการคำนวณต่อไปนี้

ตารางที่ 5-10 รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี การปรับปรุงอาคารแบบที่ 2

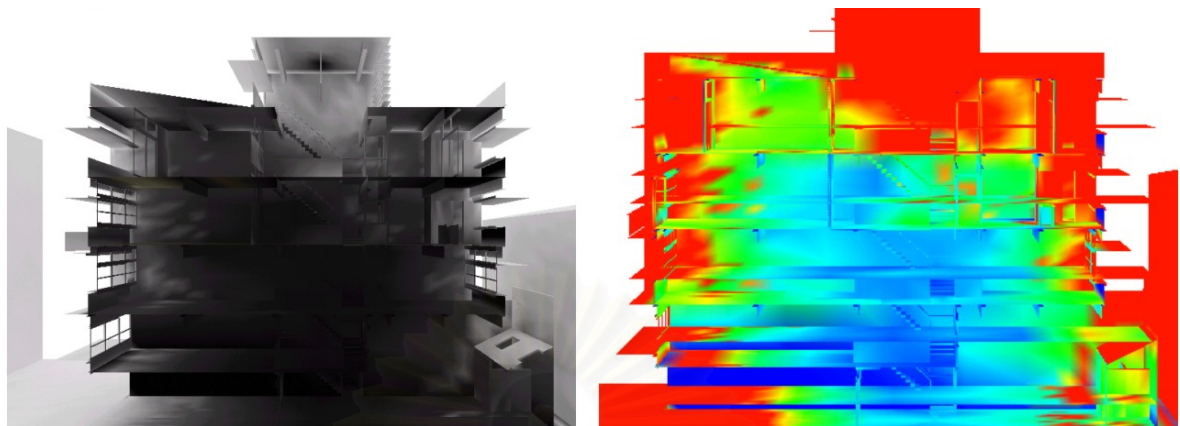
พื้นที่ใช้สอย* (ตร.ม.)	พื้นที่ไม่ได้รับแสง (ตร.ม.)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด/ตร.ม. (ตร.ม.)	ปริมาณไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ 8.00-17.00 (วัตต์/วัน)	ปริมาณไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ 17.00-23.00 (วัตต์/วัน)	ปริมาณไฟฟ้ารายปี (วัตต์ X ชั่วโมง) (วัตต์/ปี)	ค่าไฟฟ้ารายปี** (บาท/ปี)
305	162	16	20,736 (162)(16)(8ชั่วโมง)	39,040 (305)(16)(8ชั่วโมง)	21,818,240 (365)	54,545

หมายเหตุ

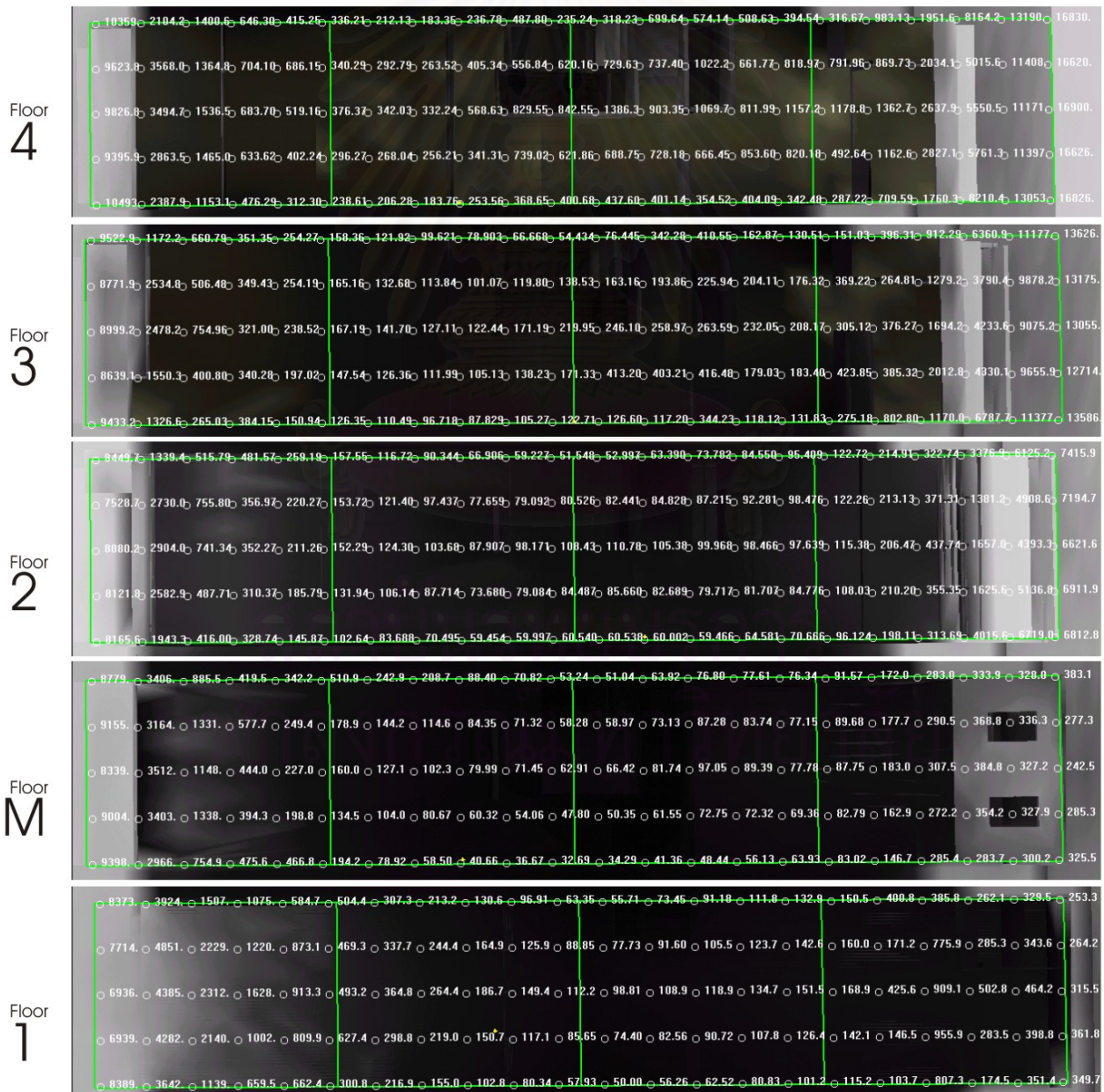
\* ไม่รวมพื้นที่เปิดโล่ง 54 ตร.ม.

\*\* คิดค่าไฟฟ้าที่ (2.5 บาท/หน่วย)

รูปที่ 5-19 ผลการประเมินสถานะน่าสบายด้านแสงสว่างธรรมชาติ แบบปรับปรุงที่ 2 (21 มิถุนายน)

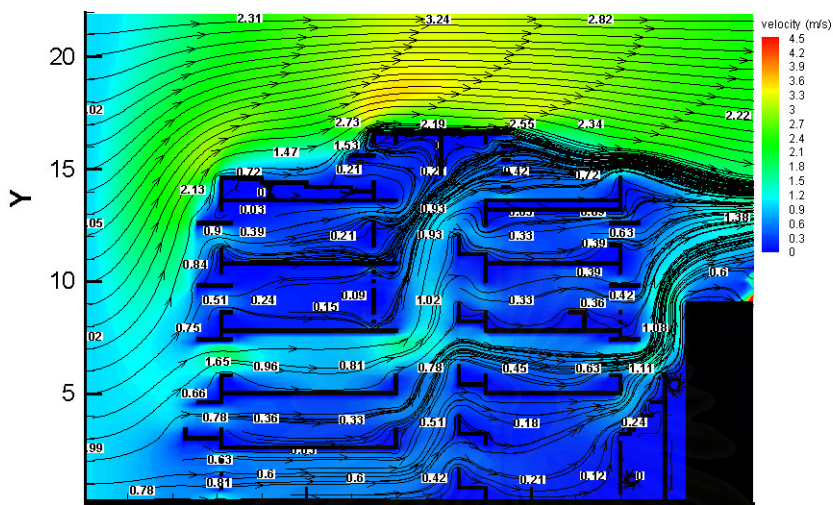


(Maximum illuminance: 21046 lux)

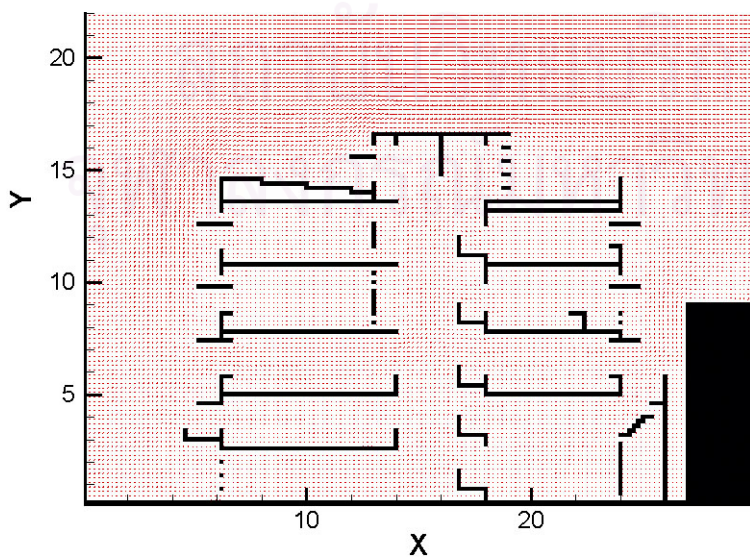
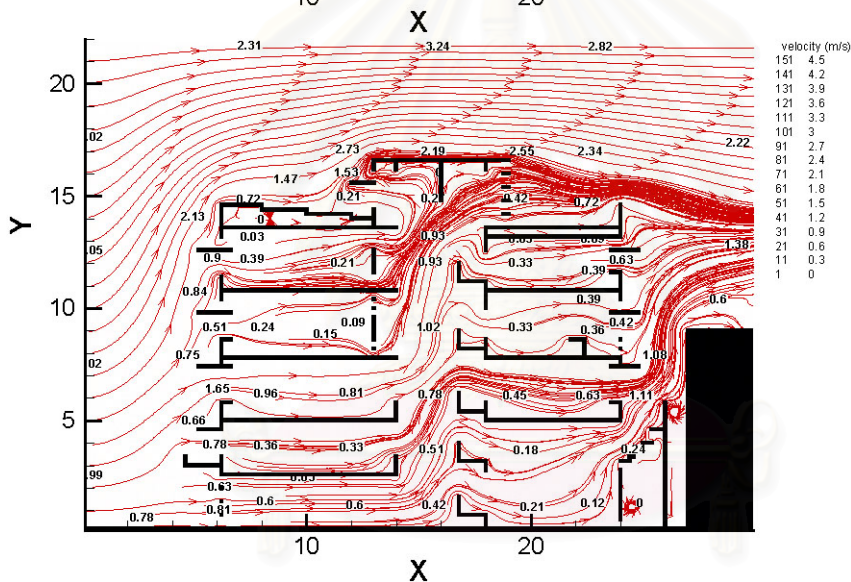




แผนภูมิที่ 5-08 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 2



ความเร็วลมภายในเฉลี่ย  
 0.5-0.8 เมตร/ วินาที  
 อัตราการระบายอากาศ  
 ผ่านมาตรฐานทั้งหมด  
 (ดูรายละเอียดการ  
 คำนวณอัตราการระบาย  
 อากาศในภาคผนวก)



### 5.7 การปรับปรุงอาคารและการประเมินผลแบบปรับปรุงที่ 3

**แบบที่ 3** ลดพื้นที่และองค์ประกอบอาคาร เพื่อให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด โดยเว้นระยะด้าน  
หลังจากแนวเขตที่ดิน 3 เมตร จำกัดความสูงอาคารไม่เกิน 15 เมตร และเปิดพื้นที่โล่งช่วงกลาง  
อาคารไม่น้อยกว่า 10 % ของพื้นที่ชั้นล่าง ( 7.2 ตารางเมตร ) มีรายละเอียดดังนี้

รายการปรับปรุงสถาปัตยกรรม	ค่าก่อสร้างโดยประมาณ(บาท)
---------------------------	---------------------------

- **บันไดและกล่องบันได**
  - 1) ปรับบันไดเป็นแบบพับผ้าเพื่อลดทางสัญจรทุกชั้นและเพื่อเปิดช่องแสงทะลุต่อเนื่องทุกชั้นโดยไม่รบกวนพื้นที่  
ใช้งานในห้อง
    - สกัดพื้นช่วงกลางอาคารขนาด (5x4ตรม.)ในชั้น2-4 และสกัดบันไดเดิมทั้งหมด 25,000-
    - ทำบันได คสล.ปูผิวกระเบื้องเซรามิคกันลื่น (ตามแบบ) 80,000-
    - ทำพื้นและซานพักบันไดรวมโครงสร้างบริเวณปล่องบันได 4 ชั้น 20,000-
  - 2) รื้อกล่องบันไดเดิมและทำหลังคากระเบื้องใยหิน 4,000-
- **หลังคา**
  - 3) รื้อหลังคาคอนกรีตเดิมเหนือคาดฟ้า
    - สกัดเสاءและหลังคา คสล. 5x4 ตรม. 10,000-
  - 4) สกัดพื้นคาดฟ้าเพื่อเปิดพื้นที่โล่ง 7.2 ตรม.(5.4+1.8ตรม.)
    - สกัดพื้น 3x4 ตรม. และทำหลังคาและครีบสะท้อนแสงเหนือบันได(ตามแบบ) 4,000-
  - 5) หลังคากระเบื้องใยหิน : ติดตั้งฝ้าเพดานและกรงฉนวน
    - กรงฉนวนไมโครไฟเบอร์ 2" + ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด ( 36ตรม.x1000) 36,000-
  - 6) หลังคาคอนกรีต : ติดตั้งพื้นยกและทำฝ้าเพดาน
    - ติดตั้งพื้นยกไม้เนื้อแข็งสูง 10 ซม หนา 1 นิ้ว 70 มม.(40ตรม.x600) 24,000-
    - ติดตั้งฝ้าเพดาน + โพลียูรีเทนโฟม+ฟรอยด์+ฝ้ายิปซัม9 มม (33ตรม.x2320) 76,600-
- **เปลือกอาคารด้านหน้า(NW) ส่วนห้องนอน และห้องพักผ่อน**
  - 7) ผนังทึบ : กรงฉนวนภายนอก
    - ผนังก่ออิฐฉาบปูนโพลียูรีเทนโฟม+ฟรอยด์+แผ่นไฟเบอร์ (18ตรมx1170) 21,000-
  - 8) ช่องเปิด : จัดทางเข้าและทางออกของลมให้เหมาะสมโดยคำนึงถึงปริมาณแสง  
ความร้อนและการระบายอากาศโดยรวมของอาคาร
    - ติดตั้งชุดประตูหน้าต่างอลูมิเนียม+กระจกตัดแสงสีเขียวน้ำทะเล 6 มม.(12,000x3) 36,000-
  - 9) ปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด โดยเว้นระยะระหว่างเปลือกอาคาร เพื่อลดสะสมความร้อน  
และเพิ่มประสิทธิภาพในการบังแดดและสะท้อนแสง
    - สกัดครีบบังแดดเดิม ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดและหิ้งแสง (4,000x2) 8,000-
- **เปลือกอาคารด้านหลัง(SE) ส่วนบริการ ระเบียง ห้องน้ำ ครีวลานซักล้าง**
  - 9) ผนังทึบ : กรงฉนวนภายนอก
    - ผนังก่ออิฐฉาบปูนโพลียูรีเทนโฟม+ฟรอยด์+แผ่นไฟเบอร์ (18ตรมx1,170) 21,000-
  - 10) ผนังระเบียง : ใส่กลาสบล็อกบางส่วนเพื่อเพิ่มปริมาณแสง (2x3,335 ) 6,700-

11) ปรับผังอาคารชั้น 1 โดยเลื่อนห้องน้ำเข้ามาเพื่อให้มีระยะห่างจากแนวเขตที่ดิน 3 เมตร	
- สกัดห้องน้ำเดิมและทำใหม่	45,000-
12) ชั้นลอยติดตั้งชุดหน้าต่างอลูมิเนียมบานเปิด+กระจกตัดแสงสีเขียวน้ำทะเล	12,000-
● ภายในอาคาร	
13) ผังที่บ : ทาสีเพิ่มคุณสมบัติในการให้แสงสว่างและสะท้อนแสงของผนัง	
- ทาสีขาว ผนังก่ออิฐฉาบปูน และเพดาน ((488+326)x70)	57,000-
14) ผังเบา : ลดการถ่ายเทความร้อนโดยเปลี่ยนวัสดุ, กรงฉนวนภายใน	
- ผนังยิปซัม+ฟรอยด์ หนา 9 มม. โครงเคร่าเหล็ก	15,000-
- บานเกล็ดไม้บางส่วน	10,000-
15) ทำผนังช่องเปิดภายในอาคารเพื่อการระบายอากาศและแสงสว่างโดยรอบพื้นที่โล่ง	
ที่ต่อเนื่องทุกชั้น(ขนาด 7.2 ตารางเมตรไม่มีหลังคาคลุม)	
- ติดตั้งชุดประตูหน้าต่างบานเปิดอลูมิเนียม+กระจกตัดแสงสีเขียวน้ำทะเล 6 มม.(8 ชุด)	96,000-
16) ปรับผังพื้นที่ชั้นลอยให้ชิดด้านหน้าอาคาร เพื่อให้ได้รับแสงธรรมชาติ เพิ่มการระบายอากาศ	
บริเวณด้านหลังและจำกัดผลกระทบที่เกิดจากไอเสียและความร้อนจากที่จอดรถ	
- สกัดพื้น คสล. เดิม+เสริมโครงสร้างและทำพื้นใหม่	60,000-
	รวมค่าก่อสร้าง 657,300 บาท
	ค่าดำเนินการ 65,730 บาท

---

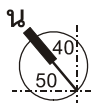
รวม 15 รายการ คิดเป็นราคาค่าก่อสร้างปรับปรุง ประมาณ 723,030 บาท

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5-20 ลักษณะทางสถาปัตยกรรมและการใช้พื้นที่ แบบปรับปรุงที่ 3

**D3** การปรับปรุงตึกแถวพักอาศัย แบบที่ 3

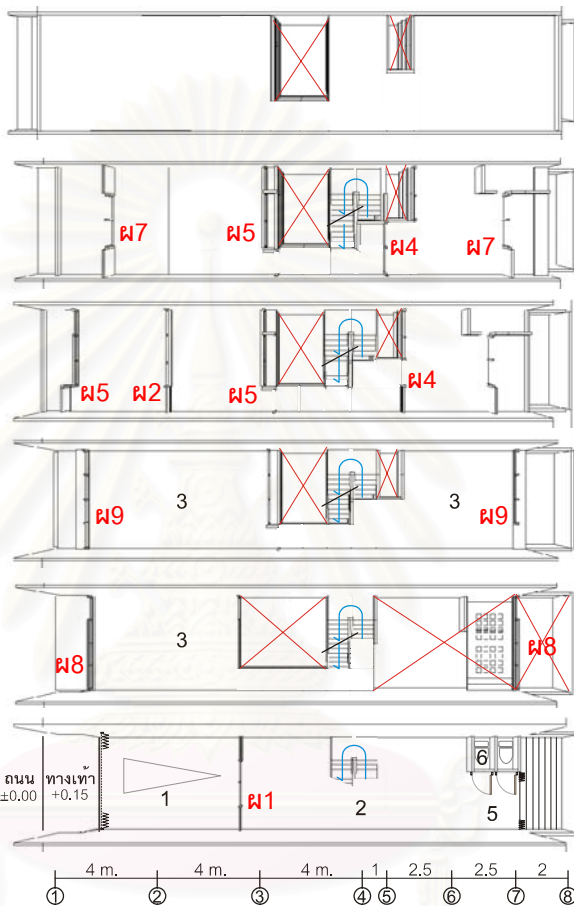
แปลน



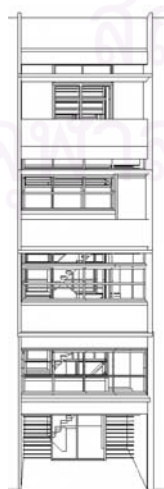
พื้นที่ใช้สอย	235 ตร.ม.
ทางสัญจร	42 ตร.ม.
เปิดโล่ง	73.6 ตร.ม.
ภายนอก	33.5 ตร.ม.
<b>รวม</b>	<b>277+33.5 ตร.ม.</b>

**สัญลักษณ์**

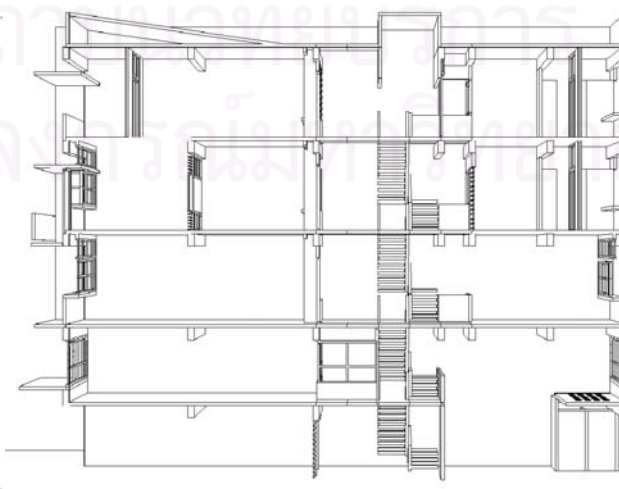
- 1 โถงทางเข้า
  - 2 โถงบันได
  - 3 ห้องอเนกประสงค์
  - 4 ห้องน้ำ
  - 5 ครีว-สวนบริการ
  - 6 ห้องน้ำ
  - 7 ห้องนั่งเล่น-รับแขก
  - 8 ส่วนรับประทานอาหาร
  - 9 ห้องนอน
  - 10 ระเบียง
  - 11 ดาดฟ้า
- พื้นที่ตั้งเครื่องเรือน



<b>หลังคา</b>	+17.25
พื้นที่ดาดฟ้า	40 ตร.ม.
เปิดโล่ง	7.2 ตร.ม.
<b>ชั้น 4</b>	+11.25
พื้นที่ใช้สอย	43.8 ตร.ม.
ทางสัญจร	10 ตร.ม.
เปิดโล่ง	7.2 ตร.ม.
ภายนอก	11 ตร.ม.
<b>ชั้น 3</b>	+8.25
พื้นที่ใช้สอย	38.3 ตร.ม.
ทางสัญจร	12 ตร.ม.
เปิดโล่ง	7.2 ตร.ม.
ภายนอก	14.5 ตร.ม.
<b>ชั้น 2</b>	+5.25
พื้นที่ใช้สอย	56.8 ตร.ม.
ทางสัญจร	8 ตร.ม.
เปิดโล่ง	15.2 ตร.ม.
<b>ชั้นลอย</b>	+2.75
พื้นที่ใช้สอย	28 ตร.ม.
ทางสัญจร	8 ตร.ม.
เปิดโล่ง	44 ตร.ม.
<b>ชั้น 1</b>	+0.25
พื้นที่ใช้สอย	68 ตร.ม.
ทางสัญจร	4 ตร.ม.
ภายนอก	8 ตร.ม.



**รูปด้านหน้า.**  
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

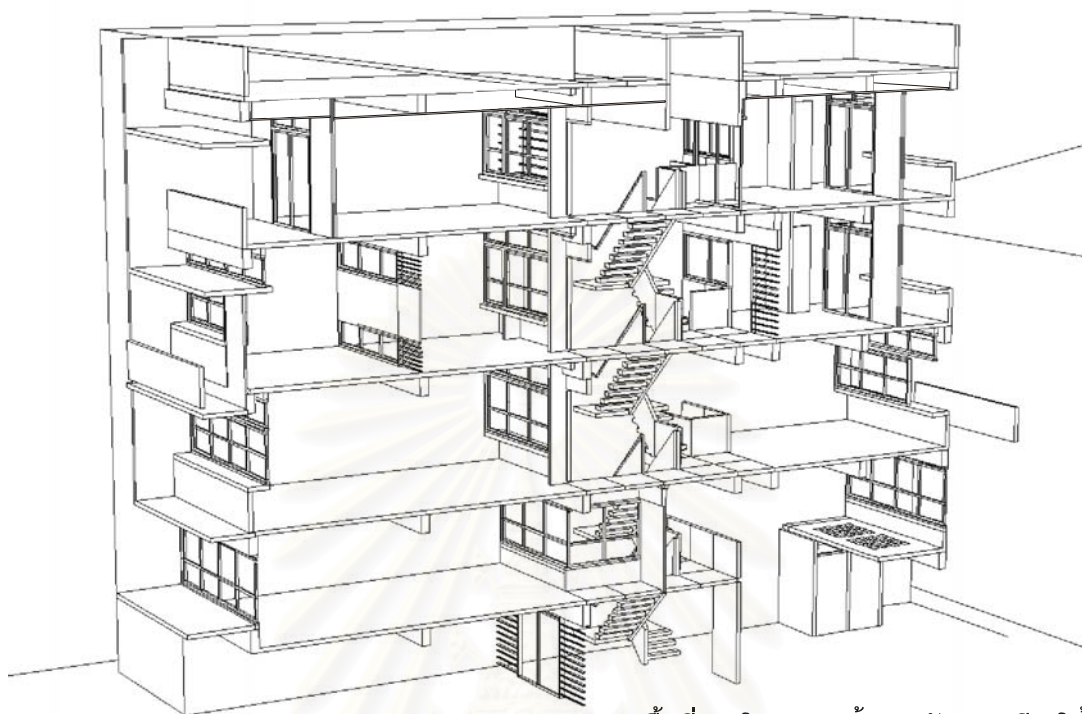
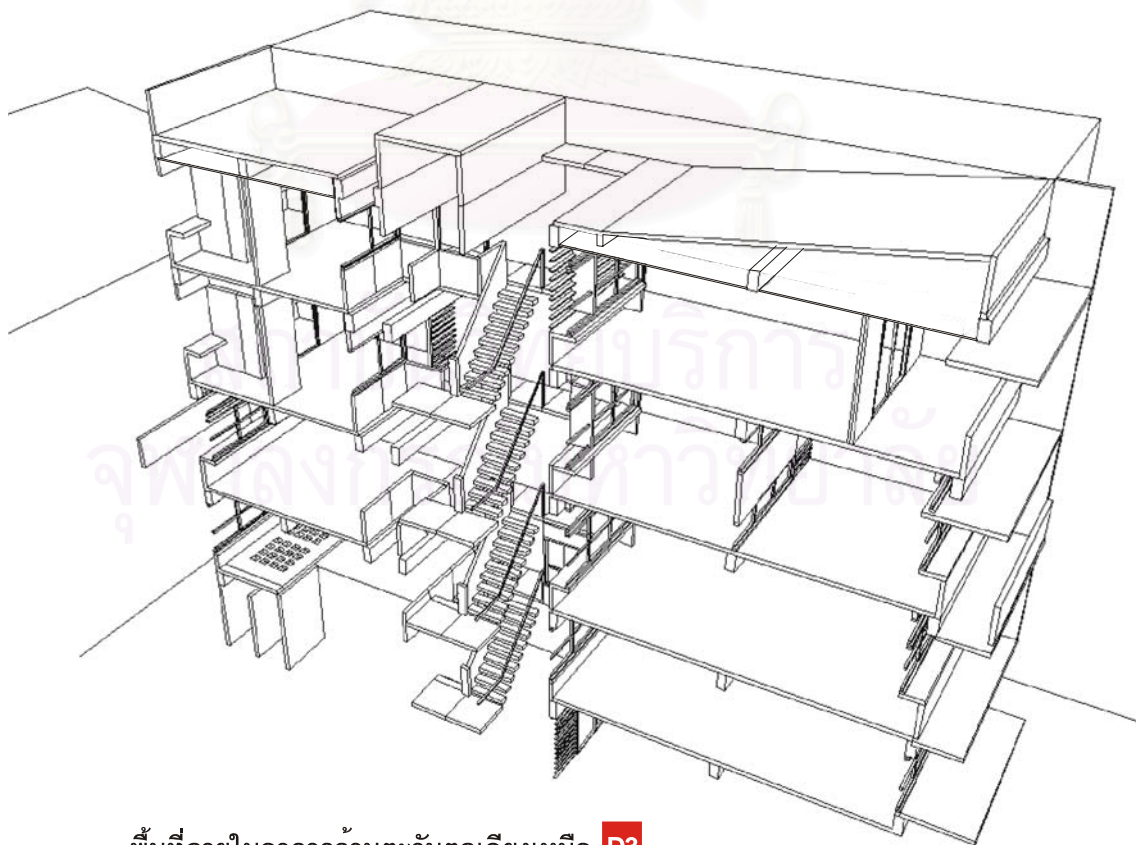


**รูปตัด**  
ผนังด้านตะวันออกเฉียงใต้



**รูปด้านหลัง**  
ทิศตะวันออกเฉียงใต้

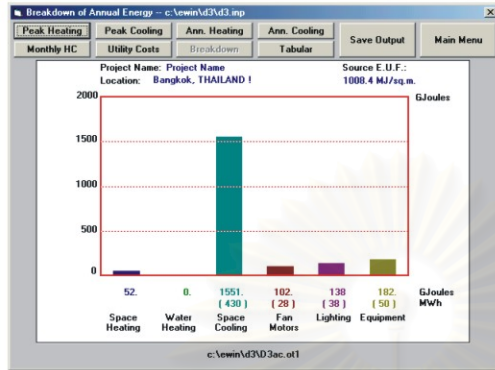
รูปที่ 5-21 ลักษณะพื้นที่ภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 3

พื้นที่ภายในอาคารด้านตะวันออกเจียงใต้ **D3**พื้นที่ภายในอาคารด้านตะวันตกเจียงเหนือ **D3**

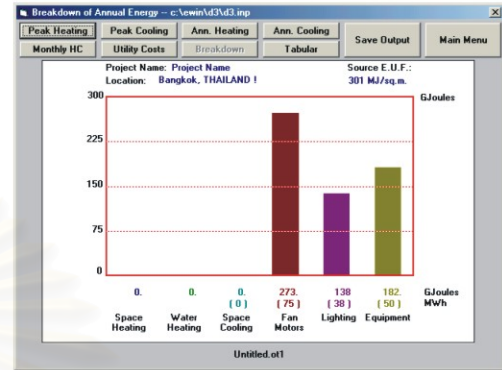
แผนภูมิที่ 5-09 ผลการประเมินสถานะนำสบายด้านอุณหภูมิ แบบปรับปรุงที่3

การประเมินผลสถานะนำสบายด้านอุณหภูมิจากโปรแกรม ENER-WIN 97.2000 **แบบปรับปรุง 3**

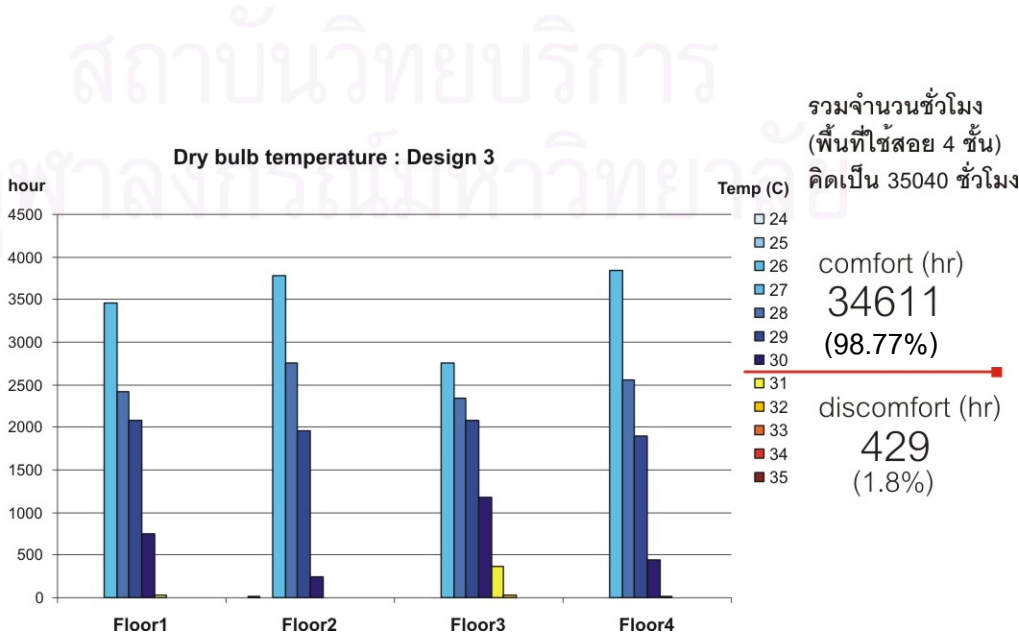
Simulation: Run with AC



Simulation: Run without AC (passive)



DB (C)	Floor1	Floor2	Floor3	Floor4	
24	6	4	5	5	
25	6	8	4	7	
26	3	4	4	4	จำนวนชั่วโมงเฉลี่ย
27	3465	3778	2755	3842	โนเขตสบาย
28	2413	2754	2339	2553	ด้านอุณหภูมิ
29	2089	1962	2076	1900	
30	753	245	1186	441	
comfort (hr)	8735	8755	8369	8752	= 34,611/4
31	25	5	367	8	= 8,652 ชม./ปี
32			24		
33					
34					
35					
discomfort (hr)	25	5	391	8	429
	8760	8760	8760	8760	35040



### รายการคำนวณภาระการปรับเย็นรายปี ตามการปรับปรุงอาคารแบบที่ 3

จากผลการจำลองด้านอุณหภูมิสำหรับแบบปรับปรุงที่ 3 พบว่า บริเวณที่อยู่นอกเขตสบายได้แก่บริเวณ ชั้น 1-4 ตามแผนภูมิที่ 5-09 เมื่อพิจารณาพร้อมกับความเหมาะสมในการใช้งานอาคารสรุปได้ว่า มีพื้นที่ปรับอากาศเพียงส่วนเดียวคือ ชั้น 3 ส่วนชั้นอื่น ๆ ไม่ปรับอากาศเนื่องจากมีจำนวนชั่วโมงที่อยู่นอกเขตสบาย ต่ำกว่า 25 ชั่วโมงต่อปี จึงพิจารณาไม่ติดเครื่องปรับอากาศ มีรายละเอียดการคำนวณ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-11 รายการคำนวณภาระการปรับเย็นการปรับปรุงอาคารแบบที่ 3

พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	ปริมาตรอากาศ (ลบ.ม.)	ขนาดเครื่องปรับอากาศ* (ตันความเย็น)	จำนวนชั่วโมงนอกเขตสบายรายปี (ชั่วโมง)	ปริมาณไฟฟ้ารายปี (วัตต์ X ชั่วโมง) (วัตต์/ปี)	ค่าไฟฟ้ารายปี ** (บาท/ปี) (2.5 บาท/หน่วย)
ชั้นที่ 3 (ไม่รวมครัว)	96 (8X4x3ม.)	1.6 (5,627 วัตต์/ชั่วโมง)	391	= 2,200,234	5,503

หมายเหตุ \* ประมาณการจากภาระ เครื่องปรับอากาศ 60 ลบ.ม./ ตันความเย็น (1ตัน=12,000/3.412วัตต์)

### การประเมินสภาวะนำสบายด้านแสงสว่างธรรมชาติ แบบปรับปรุงที่ 3 จากการจำลอง(Lightscape 3.2)

จากผลการจำลองด้านแสงสว่างธรรมชาติสำหรับแบบปรับปรุงที่ 3 รูปที่ 5-22 พบว่า บริเวณที่ได้รับแสงสว่างตามธรรมชาติภายในอาคารที่มีความสว่างตั้งแต่ 300 ลักซ์ ขึ้นไป มีพื้นที่ประมาณ 185 ตารางเมตร คิดเป็น 66.8% ของพื้นที่ใช้สอย (พื้นที่ใช้สอยแบบที่ 3 277 ตร.ม.) และมีพื้นที่ใช้สอยที่ไม่ได้รับแสงธรรมชาติ 142 ตารางเมตร สภาวะแสงธรรมชาติในอาคารมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-12 ผลการประเมินสภาวะนำสบายด้านแสงสว่าง การปรับปรุงอาคารแบบที่ 3

พื้นที่ในอาคาร	ชั้นที่ 1	ชั้นลอย	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4
ระยะแสงเข้าถึงจากช่องเปิด หน้าอาคาร	5 เมตร	3 เมตร	4.5 เมตร	4 เมตร	แสงเข้าถึงต่อเนื่องกับแสงจากช่องเปิดด้านบนตลอดอาคาร
ระยะแสงเข้าถึงจากช่องเปิด หลังอาคาร	1.5 เมตร	2 เมตร	2.5 เมตร	2.5 เมตร	แสงเข้าถึงต่อเนื่องกับแสงจากช่องเปิดด้านบนตลอดอาคาร
พื้นที่ห้องที่ต้องใช้แสงประดิษฐ์ (ตร.ม.)	42	35	38	27	0

### รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี ตามการปรับปรุงอาคารแบบที่ 3

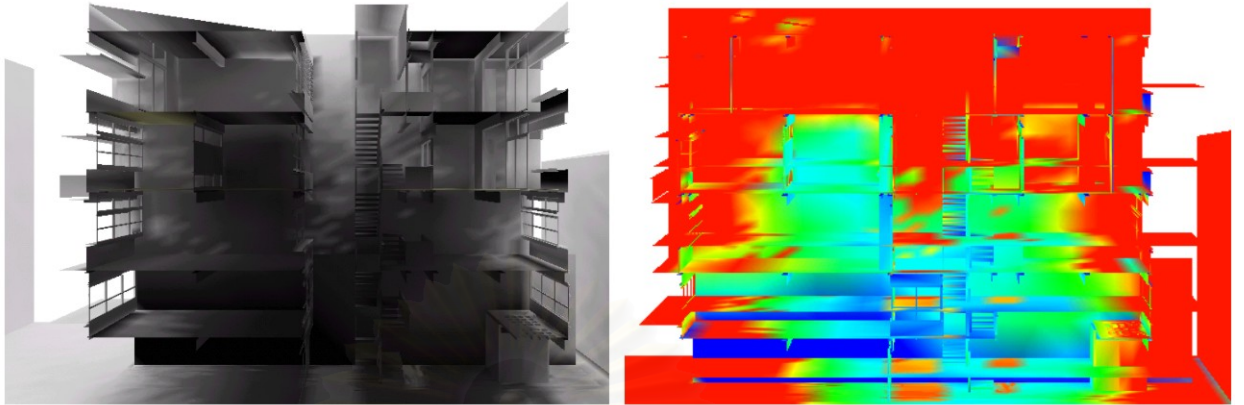
การคิดค่าไฟฟ้ารายปี คำนวณได้จากจำนวนชั่วโมงที่เปิดไฟใน 1 วัน แต่ละวันจะมีช่วงเวลาที่ได้แสงธรรมชาติ 8.00-17.00 น. คิดเป็น 8 ชั่วโมงต่อวัน และมีช่วงเวลาที่ไม่ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากนอนหลับพักผ่อนวันละ 8 ชั่วโมง ได้แก่เวลา 23.00-6.00 น. ดังนั้นในแต่ละวันจะมีช่วงเวลาเปิดโคมไฟแสงประดิษฐ์ประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังรายละเอียดการคำนวณต่อไปนี้

ตารางที่ 5-13 รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี การปรับปรุงอาคารแบบที่ 3

พื้นที่ใช้สอย*	พื้นที่ไม่ได้รับแสง	กำลังไฟฟ้าสูงสุด/ตร.ม.	ปริมาณไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ 8.00-17.00 (วัตต์/วัน)	ปริมาณไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ 17.00-23.00 (วัตต์/วัน)	ปริมาณไฟฟ้ารายปี (วัตต์ X ชั่วโมง) (365) (วัตต์/ปี)	ค่าไฟฟ้ารายปี** (บาท/ปี)
277	142	16	18,176 (142)(16)(8ชั่วโมง)	35,456 (277)(16)(8ชั่วโมง)	19,575,000	48,939

หมายเหตุ \* ไม่รวมพื้นที่เปิดโล่ง 54 ตร.ม. \*\* คิดค่าไฟฟ้าที่ (2.5 บาท/หน่วย)

รูปที่ 5-22 ผลการประเมินสถานะน่าสบายด้านแสงสว่างธรรมชาติ แบบปรับปรุงที่ 3 (21 มิถุนายน)



(Maximum illuminance: 20940 lux)



Floor 4

10663.0	2913.1	1509.3	765.1	528.6	507.8	570.4	618.5	676.4	2628.6	4266.7	4082.6	1349.6	2062.9	1561.6	575.3	519.8	1452.1	2922.4	10965.0	15313.0	17154.0
10096.0	4256.1	1760.6	851.6	893.3	656.1	758.1	856.9	1138.9	3813.6	5930.2	4801.2	1803.6	2133.5	1832.8	1095.2	1169.6	1824.3	3469.1	10346.0	14400.0	16708.0
10377.0	4132.3	1799.5	1023.5	1010.7	774.0	874.2	1007.7	1075.6	3612.9	5427.7	4767.8	1555.9	1516.2	1448.7	1238.8	1637.3	2052.4	4941.1	10934.0	14187.0	16741.0
9581.2	3463.1	1427.6	775.9	662.3	716.1	813.2	929.0	906.4	2647.0	4289.5	3696.1	1198.6	707.3	822.5	616.4	1240.6	1305.2	4965.5	10734.0	14596.0	16990.0
10312.0	2252.6	1370.0	437.0	472.3	720.1	469.5	525.4	665.4	1491.3	2044.3	1652.8	971.4	462.4	461.0	677.0	367.8	380.1	3289.7	11011.0	14940.0	17078.0

Floor 3

9741.0	1230.8	634.0	534.3	333.5	140.4	125.2	152.3	197.2	807.5	1437.6	724.4	440.4	1096.9	837.2	325.9	275.7	897.4	2049.1	9737.6	13019.0	14157.0
9021.7	2274.5	956.4	564.5	363.5	162.3	153.2	191.3	249.5	1324.4	1578.8	874.9	553.1	1220.4	1224.7	754.5	642.3	1215.7	2676.5	9556.6	12561.0	13257.0
9197.9	2915.7	1011.6	578.2	377.1	181.0	177.4	219.7	284.2	1372.7	1402.7	1375.2	605.5	529.8	805.7	319.3	790.7	1127.2	4399.6	9870.7	12749.0	13977.0
8682.6	1672.9	802.1	464.8	316.0	160.4	148.0	170.8	214.6	811.1	1078.6	1312.2	703.1	645.4	294.7	249.8	537.2	889.9	3773.1	9922.2	12441.0	12896.0
9227.6	1286.3	436.8	363.4	254.1	139.6	116.4	114.8	132.0	476.6	631.8	863.7	486.2	212.9	192.4	418.9	187.9	300.4	2561.9	10058.0	12777.0	14186.0

Floor 2

8314.0	1210.0	600.5	573.2	353.7	244.7	192.7	151.8	121.2	805.8	759.2	322.3	168.4	177.9	381.8	181.2	231.2	547.3	1366.5	6720.0	7838.0	7518.0
7317.0	2602.0	945.3	614.2	346.1	249.9	198.2	157.6	128.0	593.5	485.6	262.5	180.2	407.5	388.3	178.9	223.7	411.5	1384.1	6914.0	7908.0	7284.0
7071.0	3097.0	903.4	519.3	343.4	249.1	200.0	161.8	134.1	832.5	725.9	507.6	189.2	177.2	254.7	225.3	200.8	391.9	1521.1	6784.0	8053.0	7623.0
7323.0	2878.0	847.8	444.9	295.5	215.6	169.9	133.0	106.3	356.4	527.1	534.3	151.8	142.1	143.1	146.4	182.5	346.5	1761.1	6195.0	8165.0	7069.0
8474.0	1805.0	755.6	429.9	231.6	172.9	135.4	103.0	78.5	97.2	116.0	121.6	114.3	107.0	114.7	124.9	162.7	309.7	1366.0	6925.0	7966.0	7727.0

Floor M

8955.0	3020.0	929.9	598.8	544.7	244.9	246.4	201.1	76.7	336.5	426.8	211.6	113.3	130.4	131.0	116.6	142.0	256.5	396.2	2788.0	3882.0	3913.0
8689.0	3745.0	1127.0	598.3	267.9	195.0	151.7	112.8	80.2	323.5	418.3	192.7	114.7	345.3	326.2	112.8	142.9	278.9	488.1	3536.0	4199.0	4104.0
8526.0	2896.0	1109.0	555.3	240.0	171.4	134.7	105.4	83.5	328.1	424.1	197.2	115.4	105.8	105.1	105.8	135.8	281.3	488.2	4319.0	4565.0	4588.0
8835.0	3385.0	1311.0	349.0	469.3	167.2	131.3	100.7	72.3	300.2	85.1	314.3	83.0	79.5	84.4	90.9	123.5	257.6	437.1	3744.0	3990.0	4348.0
9671.0	3147.0	923.7	596.2	300.7	286.4	151.5	102.9	61.1	55.4	49.7	48.1	50.7	53.2	63.4	74.9	113.3	257.8	365.8	2236.0	3163.0	3648.0

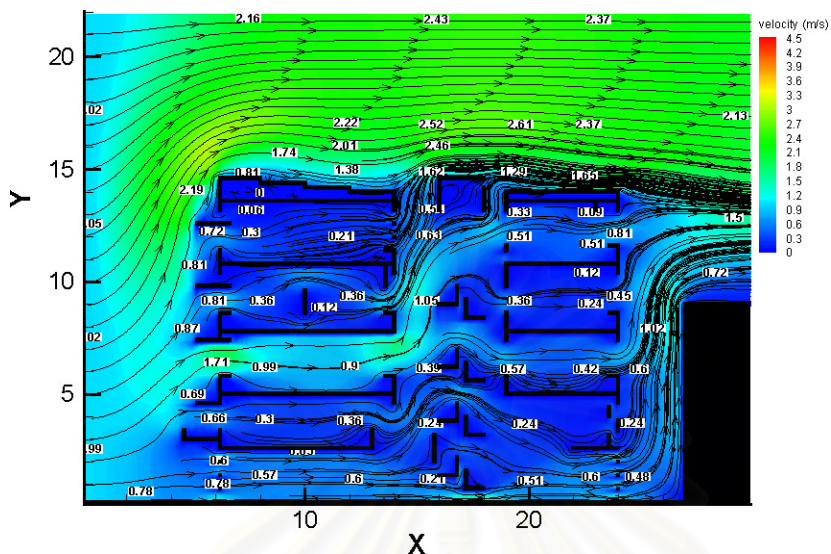
Floor 1

8579.0	3691.0	1742.0	1035.0	569.3	656.5	289.7	169.6	101.8	345.7	125.7	113.6	120.7	152.5	349.8	131.3	125.6	106.3	87.1	1839.0	2000.0	2636.0
7228.0	4722.0	2287.0	1324.0	615.8	421.5	286.8	190.4	130.2	347.3	416.8	189.0	131.0	381.8	365.3	150.9	155.3	170.0	187.7	2026.0	2341.0	2853.0
6782.0	3978.0	2206.0	1515.0	626.7	422.3	292.6	205.1	152.1	364.1	427.4	197.2	140.6	156.3	163.9	170.0	186.9	246.1	354.2	2388.0	2331.0	3380.0
7825.0	4013.0	1848.0	991.4	584.1	397.7	275.5	192.1	137.9	120.7	104.4	102.2	113.7	125.1	134.4	143.6	166.8	244.3	389.1	2141.0	2306.0	3119.0

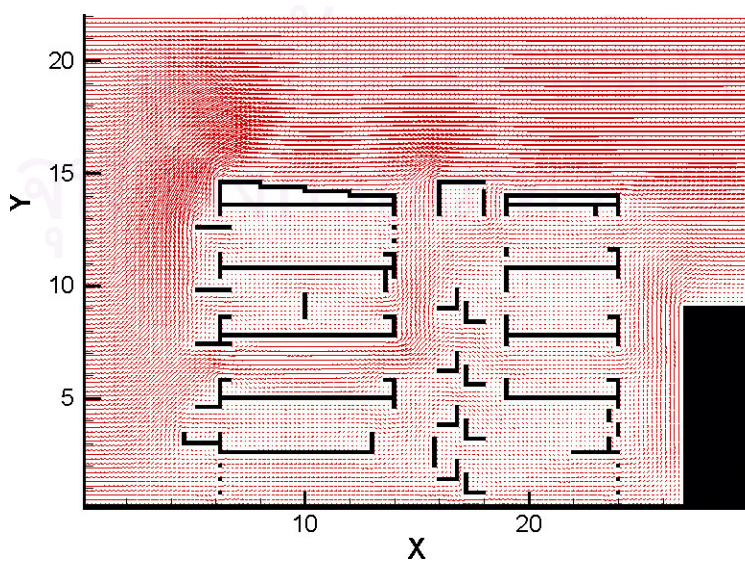
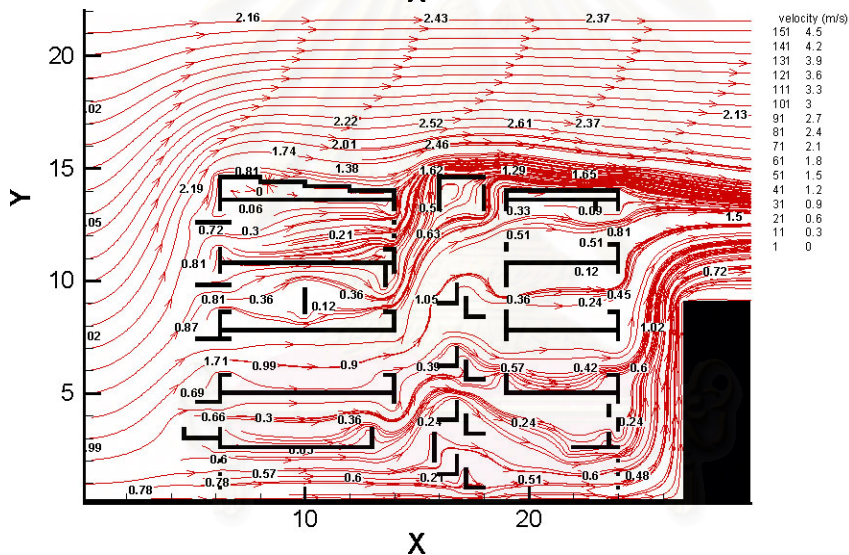
แผนภูมิที่ 5-08 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 2



แผนภูมิที่ 5-10 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในอาคาร แบบปรับปรุงที่ 3



ความเร็วลมภายในเฉลี่ย  
0.6-1.0 เมตร/ วินาที  
อัตราการระบายอากาศ  
ผ่านมาตรฐานทั้งหมด  
(ดูรายละเอียดการ  
คำนวณอัตราการระบาย  
อากาศในภาคผนวก)



จากผลการประเมินด้านประสิทธิภาพอาคารข้างต้น สรุปได้ว่าแบบปรับปรุงที่ผ่านเกณฑ์และมีสภาวะน่าสบายในอาคารเหมาะสมที่สุดได้แก่ แบบปรับปรุงที่ 3 เนื่องจากมีจำนวนชั่วโมงในเขตสบายสูงสุด มีระยะที่แสงธรรมชาติส่องถึงพื้นที่ภายในอาคารสูงสุด และความเร็วลมในอาคารสูงสุด

## 5.8 การพิจารณาประสิทธิภาพการจัดพื้นที่ใช้สอย

การปรับปรุงอาคารตึกแถวพักอาศัย แบบปรับปรุงที่ 1-3 มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการปรับปรุงสภาวะน่าสบายเป็นหลัก ซึ่งการปรับปรุงแต่ละรูปแบบเป็นปัจจัยในการกำหนดลักษณะและพื้นที่การสัญจร (บันไดหลัก) และพื้นที่เปิดโล่งต่อเนื่องระหว่างชั้น ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานต่างออกไป รายละเอียดเพิ่มเติมรูปที่ 5-14 4-17 และ 4-20 การพิจารณาความเหมาะสมด้านพื้นที่ใช้สอย จึงควรพิจารณาลักษณะการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์ใช้สอยสูงสุดของอาคารในเมือง มากกว่าการคิดพื้นที่รวมของอาคารเพียงอย่างเดียว รายละเอียดการเปรียบเทียบดังตารางที่ 5-14

ตารางที่ 5-14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดพื้นที่ใช้สอยหลังการปรับปรุง

พื้นที่ (ตารางเมตร)	ก่อนปรับปรุง	ปรับปรุงแบบที่ 1	ปรับปรุงแบบที่ 2	ปรับปรุงแบบที่ 3
<b>1. พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร</b>				
<b>รวม (1.1+1.2)</b>	296.5	285	305	277
1.1 พื้นที่ห้อง	255.5	247	242	235
1.2 พื้นที่สัญจรหลักและบันได	41	38	63	42
1.3 พื้นที่เปิดโล่ง	54	79	63	80.9
<b>2. พื้นที่ใช้สอยภายนอกอาคาร</b>	<b>77.5</b>	<b>68</b>	<b>56</b>	<b>33.5</b>
2.1 พื้นที่ระเบียง	37.5	28	36	33.5
2.2 พื้นที่ลาดฟ้า	40	40	20	0
ขนาดอาคารรวมพื้นที่เปิดโล่ง (1.1+1.2+1.3)	350.5	364	368	358
<b>พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารลดลง (1.1)</b>		8.5	13.5	20.5
<b>พื้นที่ใช้สอยภายนอกอาคารลดลง (2.1+2.2)</b>		9.5	21.5	44

สรุปได้ว่าแบบปรับปรุงที่เหมาะสมด้านการใช้พื้นที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุด หรือมีพื้นที่เฉพาะส่วนใช้งานจริงไม่รวมทางสัญจรและพื้นที่เปิดโล่ง ได้แก่แบบปรับปรุงที่ 1 เนื่องจากพื้นที่ลดลงไม่เกิน 10 ตารางเมตรทั้งภายนอกและภายใน ทั้งนี้หากพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้พื้นที่จะพบว่า ทั้งแบบปรับปรุงที่ 1 และ 2 สะดวกต่อการจัดพื้นที่มากกว่าแบบที่ 3 เนื่องจากเป็นพื้นที่โล่งต่อเนื่อง ส่วนแบบที่ 3 บันไดขวางกลางอาคารที่ให้สภาวะน่าสบายที่ดีนั้นส่งผลให้อาคารเสมือนแบ่งเป็นอาคาร 2 หลังเชื่อมด้วยบันได ความกว้างและยาวของห้องมีระยะกระชั้นเพียง 3-4 เมตร

### 5.9 การพิจารณาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ พิจารณาที่ระยะเวลา 5 ปี และคิดอัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากับ 7% โดยมีรายการและงบประมาณการปรับปรุงแต่ละแบบปรับปรุงตามที่เสนอไว้ข้างต้น

ตารางที่ 5-15 การคำนวณความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์

	ก่อนปรับปรุง	ปรับปรุงแบบที่ 1	ปรับปรุงแบบที่ 2	ปรับปรุงแบบที่ 3
<b>1.งบประมาณลงทุนขั้นต้น (บาท)</b> (inertial cost)	138,000	525,250	644,300	747,030
1.1 ค่าก่อสร้าง (บาท)	0	502,750	600,050	723,030
1.2 ค่าเครื่องปรับอากาศ (บาท)	138,000*	22,500	44,250	24,000
(คิดรวม 15,000 บาท/ตัน)	(9.2 ตัน)	(1.5 ตัน)	(2.9 ตัน)	(1.6 ตัน)
<b>2.ค่าใช้จ่ายรายปี (บาท/ปี)</b> (annual operate cost)	160,734	50,681	68,838	54,442
2.1 ค่าไฟฟ้าปรับอากาศ (บาท)	108,539	8,283	14,293	5,503
2.2 ค่าไฟฟ้าแสงสว่าง (บาท)	52,195	42,398	54,545	48,939
สัมประสิทธิ์ค่างาน 5 ปี ดอกเบี้ย 7 % $n=5$ $[A > P] i=7\%$	4.1	4.1	4.1	4.1
<b>3.ค่าไฟฟ้ารวม 5 ปีในอนาคต(บาท)</b> (P.W. of operate cost)	659,009 (160,734)( 4.1)	207,792 (50,681)( 4.1)	282,235 (68,838)( 4.1)	223,212 (54,442)( 4.1)
<b>4.งบประมาณรวมอายุอาคาร 5 ปี</b> (Total P.W. Life cycle cost) (1+3)	797,009	656,542	926,535	970,242
<b>5.ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้รายปี</b> (annual saving)(2)	0	110,047	91,896	106,292
<b>6.ระยะคืนทุน (ปี)</b> (simple payback period)	-	4 ปี 2 เดือน	6 ปี 6 เดือน	6 ปี 7 เดือน

จากตารางที่ 5-15 สรุปได้ว่าแบบปรับปรุงที่มีความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์มากที่สุด ได้แก่ แบบปรับปรุงที่ 1 เนื่องจากมีระยะคืนทุนเร็วที่สุด คือ 4 ปี 2 เดือน โดยใช้งบประมาณลงทุนขั้นต้น 525,250 บาท ส่วนแบบปรับปรุงที่ 2 และ 3 มีระยะคืนทุนใกล้เคียงกัน โดยแบบที่ 3 สามารถประหยัดเงินรายปีได้มากกว่าจึงมีความเหมาะสมเป็นอันดับ 2

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์สภาวะภายในอาคารกรณีศึกษา โดยการวัดข้อมูลในสถานที่จริงประกอบกับผลการจำลองสภาวะภายในอาคารด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศ สรุปได้ว่าอาคารตึกแถวกรณีศึกษามีจำนวนชั่วโมงที่มีสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิที่ 24.5 - 30.8 องศาเซลเซียส ประมาณ 7,417 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็น 84.6 % ของจำนวนชั่วโมงตลอดทั้งปี (8,760 ชั่วโมง) บริเวณที่อยู่นอกเขตสบายภายในอาคารรุนแรงที่สุดคือ ชั้น 4 ซึ่งเป็นชั้นสูงสุดของอาคาร มีพื้นที่ใช้งานที่ได้รับแสงสว่างธรรมชาติเกิน 300 ลักซ์ ประมาณ 46 ตารางเมตร คิดเป็นพื้นที่ 14% ของพื้นที่ใช้สอย และพื้นที่ที่ได้รับแสงสว่างธรรมชาติต่ำกว่า 50 ลักซ์ ซึ่งเหมาะสมสำหรับทางเดินทั่วไป 74 ตารางเมตร คิดเป็น 22% ของพื้นที่ใช้สอย บริเวณบันไดมีความส่องสว่างประมาณ 10 - 30 ลักซ์ ระยะเวลาแสงธรรมชาติสามารถผ่านเปลือกอาคารด้านหน้าในชั้นที่ 1 - 4 เป็นระยะห่างจากช่องเปิด 4, 1, 1 และ 3 เมตร และเปลือกอาคารด้านหลังในระยะ 0, 1, 3 และ 3 เมตร ตามลำดับ การระบายอากาศผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำของมาตรฐานในชั้น 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ต่อเนื่องและ ชั้น 4 เนื่องจากเป็นห้องด้านหน้าอาคารและมีทางเข้าออกลมที่เหมาะสม ความเร็วลมภายในอาคารประมาณ 0-0.1 เมตร/วินาที ไม่สามารถรู้สึกได้ โดยความเร็วลมหน้าช่องเปิดชั้นที่ 1-4 เท่ากับ 0.2, 0.8, 1.0, 0.4 และ 0.8 เมตร/วินาที ตามลำดับ โดยอาคารมีพื้นที่ใช้สอยในอาคาร 296.5 ตารางเมตร (ไม่รวมคอร์ตฟ้า) และไม่มีพื้นที่เปิดโล่งตามกฎหมาย 10% สำหรับตึกแถวที่มีความลึกเกิน 16 เมตร และหากต้องการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้ผู้อยู่ภายในเขตสบายด้านอุณหภูมิทั้งอาคาร จะต้องใช้เครื่องปรับอากาศรวม 9.2 ตันความเย็น (คิดที่ 60 ลบ.ม./ตัน ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก) โดยลงทุนขั้นต่ำเป็นค่าเครื่องปรับอากาศ 138,000 บาท

จากผลการประเมินสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศ ร่วมกับการวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ทางสถาปัตยกรรม และความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในการปรับปรุงอาคารทั้ง 3 กรณี สรุปรายละเอียดได้ดังนี้

#### การปรับปรุงแบบที่ 1

ปรับปรุงเปลือกอาคาร ผนังภายในอาคาร และเปิดช่องโถงระหว่างชั้นในอาคารตามโครงสร้างอาคารเดิม ผลการปรับปรุงทำให้มีอุณหภูมิและความชื้นต่ำลง โดยมีสภาวะอุณหภูมิอยู่ในเขตสบายประมาณ 8,602 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็น 98.19% ของจำนวนชั่วโมงต่อปี

แสงสว่างธรรมชาติที่ได้จากการจำลองในส่วนพื้นที่ใช้งานเกิน 300 ลักซ์ ประมาณ 219 ตารางเมตร คิดเป็นพื้นที่ 76.8 % ของพื้นที่ใช้สอย และมีพื้นที่ต่ำกว่า 50 ลักซ์ ซึ่งเหมาะสมสำหรับทางเดินทั่วไปตลอดพื้นที่อาคาร โดยมีความส่องสว่างต่ำสุดของแสงธรรมชาติประมาณ 70-80 ลักซ์ บริเวณบันไดประมาณ 100-150 ลักซ์ ระยะเวลาแสงธรรมชาติที่สามารถผ่านเปลือกอาคารด้านหน้าในชั้นที่ 1 - 3 เป็นระยะห่างจากช่องเปิด 7, 6, 2.5 และ 3 เมตร ตามลำดับและเปลือกอาคารด้านหลังในระยะ 4.5, 1.5, 2 และ 6 เมตร ส่วนชั้น 4 ได้แสงธรรมชาติตลอดทั้งอาคาร

การระบายอากาศสามารถเพิ่มความเร็วลมภายในอาคารได้ทุกส่วนของอาคาร โดยความเร็วลมหน้าช่องเปิดชั้นที่ 1-4 เท่ากับ 0.2, 0.8, 1.0, 0.4 และ 0.8 เมตร/วินาที ตามลำดับ และมีความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารประมาณ 0.2 - 0.5 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นกระแสลมที่ทำให้รู้สึกเย็นลง 2-3 องศาฟาเรนไฮต์ ทั้งนี้ผลจากการปรับปรุงทำให้พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารลดลงจากเดิม 8.5 ตารางเมตร และพื้นที่ใช้สอยภายนอกอาคารลดลง

จากเดิม 9.5 ตารางเมตร สำหรับการเปิดพื้นที่โล่งในอาคารเพื่อนำแสงสว่างและการระบายอากาศตามธรรมชาติ และหากต้องการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้ภายในเขตสบายด้านอุณหภูมิทั้งอาคาร จะต้องใช้เครื่องปรับอากาศรวม 1.5 ตันความเย็น (คิดที่ 60 ลบ.ม./ตัน) โดยลงทุนเริ่มต้น 525,250 บาท มีระยะเวลาคืนทุนภายใน 4 ปี 2 เดือน (ดูรายละเอียดในบทที่ 5)

### การปรับปรุงแบบที่ 2

ปรับปรุงโดยการเปิดพื้นที่โล่งระหว่างชั้นเปลือกอาคาร และผนังภายในอาคารปรับเปลี่ยนทางสัญจรใหม่ โดยเปลี่ยนบันไดชั้น 3 - 4 ให้มีลักษณะเดียวกับบันไดชั้นล่าง และเปิดพื้นที่โล่งต่อเนื่องระหว่างชั้น 3 ตารางเมตร ตลอดความสูงอาคารเป็นช่องโล่งแบบมีหลังคาคลุม โดยมีสภาวะอุณหภูมิอยู่ในเขตน่าสบายประมาณ 8,622 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็น 98.43% ของจำนวนชั่วโมงต่อปี

แสงสว่างธรรมชาติที่ได้จากการจำลองในส่วนพื้นที่ใช้งานเกิน 300 ลักซ์ ประมาณ 200 ตารางเมตร คิดเป็น 65.8 % ของพื้นที่ใช้สอย โดยมีความส่องสว่างบริเวณบันไดประมาณ 80-150 ลักซ์ ระยะแสงธรรมชาติที่สามารถผ่านเปลือกอาคารด้านหน้าในชั้นที่ 1 - 3 เป็นระยะห่างจากช่องเปิด 5.5, 4, 3 และ 3 เมตร ตามลำดับ และเปลือกอาคารด้านหลังในระยะ 1, 1, 1.5 และ 4 เมตร ส่วนชั้น 4 ได้แสงธรรมชาติตลอดทั้งอาคาร

การระบายอากาศสามารถเพิ่มความเร็วลมภายในอาคารได้ทุกส่วนของอาคาร โดยความเร็วลมหน้าช่องเปิดชั้นที่ 1 ถึงชั้นดาดฟ้า เท่ากับ 0.8, 0.8, 1.6, 0.9 และ 1.5 เมตร/วินาที ตามลำดับ และมีความเร็วลมเฉลี่ยภายในอาคารประมาณ 0.5 - 0.8 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นกระแสลมที่ทำให้รู้สึกเย็นลง 4-5 องศาฟาเรนไฮต์ ทั้งนี้ผลจากการปรับปรุงจะมีพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารลดลงจากเดิม 13.5 ตารางเมตร และพื้นที่ใช้สอยภายนอกอาคารลดลงจากเดิม 21.5 ตารางเมตร สำหรับการเปิดพื้นที่โล่งในอาคารเพื่อนำแสงสว่างและการระบายอากาศตามธรรมชาติ หากต้องการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้ภายในเขตสบายด้านอุณหภูมิทั้งอาคาร จะต้องใช้เครื่องปรับอากาศรวม 2.95 ตันความเย็น (คิดที่ 60 ลบ.ม./ตัน) โดยลงทุนเริ่มต้น 644,300 บาท มีระยะเวลาคืนทุนภายใน 6 ปี 6 เดือน (ดูรายละเอียดในบทที่ 5)

### การปรับปรุงแบบที่ 3

ปรับปรุงโดยการปรับองค์ประกอบอาคาร ให้มีลักษณะสอดคล้องกับข้อกำหนดตามกฎหมายปัจจุบัน โดยเว้นระยะด้านหลังจากแนวเขตที่ดิน 3 เมตร จำกัดความสูงอาคารไม่เกิน 15 เมตร เปิดพื้นที่โล่งร้อยละ 10 ของพื้นที่ชั้นที่มากที่สุดโดยไม่มีสิ่งปกคลุมใด ๆ คิดเป็นพื้นที่ 7.2 ตารางเมตร (ขนาด 1.8 x 3 และ 1 x 1.8 ตารางเมตร) มีการปรับเปลี่ยนบันไดและพื้นที่เปิดโล่งตามขวางอาคาร ผลการจำลองสรุปได้ว่ามีสภาวะอุณหภูมิอยู่ในเขตสบายประมาณ 8,652 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็น 98.78% ของจำนวนชั่วโมงต่อปี

แสงสว่างธรรมชาติที่ได้จากการจำลองในส่วนพื้นที่ใช้งานเกิน 300 ลักซ์ ประมาณ 185 ตารางเมตร คิดเป็นพื้นที่ 66.8 % ของพื้นที่ใช้สอย และความส่องสว่างบริเวณบันไดประมาณ 200-1500 ลักซ์ ซึ่งมีค่าต่างจากแบบอื่นมากเนื่องจากเป็นบริเวณกึ่งภายนอก มีแสงธรรมชาติสามารถผ่านเปลือกอาคารด้านหน้าในชั้นที่ 1 - 3 เป็นระยะห่างจากช่องเปิด 5, 3, 4.5 และ 4 เมตร ตามลำดับ และเปลือกอาคารด้านหลังในระยะ 1.5, 2, 2.5 และ 2.5 เมตร ส่วนชั้น 4 ได้แสงธรรมชาติตลอดทั้งอาคาร

การระบายอากาศสามารถเพิ่มความเร็วลมภายในอาคารได้ทุกส่วนของอาคาร โดยความเร็วลมหน้าช่องเปิดชั้นที่ 1-ดาดฟ้า เท่ากับ 0.7, 0.7, 1.7, 0.8, 0.7 และ 1.4 เมตร/วินาที ตามลำดับ และมีความเร็วลมเฉลี่ย

ภายในอาคารประมาณ 0.6 - 1.0 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นกระแสลมที่ทำให้รู้สึกเย็นลง 4-5 องศาฟาเรนไฮท์ ทั้งนี้ผลจากการปรับปรุงจะมีพื้นที่ใช้สอยภายในลดลงจากเดิม 20.5 ตารางเมตร และพื้นที่ใช้สอยภายนอกอาคารลดลงจากเดิม 44 ตารางเมตร สำหรับการเปิดพื้นที่โล่งในอาคารเพื่อนำแสงสว่างและการระบายอากาศตามธรรมชาติ และหากต้องการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้อยู่ภายในเขตสบายด้านอุณหภูมิทั้งอาคารจะต้องใช้เครื่องปรับอากาศรวม 1.6 ตันความเย็น (คิดที่ 60 ลบ.ม./ตัน) โดยลงทุนขั้นต้น 747,030 บาท มีระยะเวลาคืนทุนภายใน 6 ปี 7 เดือน

ตารางที่ 6-01 การเปรียบเทียบผลการประเมินอาคารก่อนการปรับปรุงและการปรับปรุงแบบต่าง ๆ

ประเด็นการพิจารณา	ก่อนปรับปรุง	ปรับปรุงแบบที่ 1	ปรับปรุงแบบที่ 2	ปรับปรุงแบบที่ 3
<b>ด้านประสิทธิภาพอาคาร (สภาน่าสบาย)</b>				
จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่อยู่ในเขตสบาย (ชม.)	7,417	8,602	8,622	8,652
พื้นที่ปรับอากาศ (ลบ.ม.)	554	90	177	96
ขนาดเครื่องปรับอากาศรวม (ตัน)	9.22 ตัน	1.5 ตัน	2.95 ตัน	1.6 ตัน
ความเร็วลมเฉลี่ยในอาคาร (เมตร/วินาที)	0 - 0.1	0.2 - 0.5	0.5 - 0.8	0.6 - 1
พื้นที่ที่แสงธรรมชาติเกิน 300 ลักซ์ (ตร.ม.)	46	219	200	185
พื้นที่ใช้แสงประดิษฐ์ (ตร.ม.)	152*	138	162	142
พื้นที่การระบายอากาศได้มาตรฐาน (ตร.ม.)	84	ทั้งอาคาร	ทั้งอาคาร	ทั้งอาคาร
<b>ด้านประสิทธิภาพการจัดพื้นที่ใช้สอย</b>				
พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารรวม (ตร.ม.)	296.5	285	305	277
พื้นที่ห้อง (ตร.ม.)	255.5	247	242	235
พื้นที่สัญจรหลักและบันได (ตร.ม.)	41	38	63	42
พื้นที่เปิดโล่ง รวมชั้นลอย (ตร.ม.)	54	79	63	80.9
พื้นที่ระเบียง (ตร.ม.)	37.5	28	36	33.5
พื้นที่ลาดฟ้า (ตร.ม.)	40	40	20	0
พื้นที่ภายในอาคารลดลงจากเดิม (ตร.ม.)	(พื้นที่เดิม)	8.5	13.5	20.5
พื้นที่ภายนอกอาคารลดลงจากเดิม (ตร.ม.)	(พื้นที่เดิม)	9.5	21.5	44
<b>ด้านความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์</b>				
งบประมาณลงทุนขั้นต้น (บาท)	138,000	525,250	644,300	747,030
ค่าใช้จ่ายรายปี (บาท/ปี)	160,734	50,681	68,838	54,442
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้รายปี (บาท/ปี)	0	110,047	91,896	106,292
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	-	4 ปี 2 เดือน	6 ปี 6 เดือน	6 ปี 7 เดือน

หมายเหตุ \* ดูรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก

การนำผลวิจัยไปใช้ปรับปรุงอาคารตึกแถวพักอาศัย เพื่อให้มีสภาวะน่าสบายด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศนั้นขึ้นอยู่กับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ แต่ละเกณฑ์จะได้แบบปรับปรุงที่ต่างกัน จากผลสรุปของการปรับปรุงในแต่ละแบบ สามารถเลือกแบบปรับปรุงที่เหมาะสมตามหลักเกณฑ์การพิจารณา การออกแบบปรับปรุงอาคารตึกแถวพักอาศัย 3 เกณฑ์ ตามที่กล่าวไว้ด้านบนที่ 5 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. กรณีใช้เกณฑ์สภาวะน่าสบายที่ดี ตามมาตรฐานสากลทั้ง 3 ด้าน : แบบที่มีสภาวะน่าสบายดีที่สุด ได้แก่ แบบที่ 3 อันดับถัดไปได้แก่ แบบที่ 2 และแบบที่ 1
2. กรณีใช้เกณฑ์ด้านพื้นที่ใช้สอยสูงสุด : แบบที่เหมาะสมต่อแนวคิดด้านการใช้พื้นที่ของรูปแบบสถาปัตยกรรมตึกแถวในพื้นที่อยู่อาศัยหนาแน่นใจกลางเมืองมากที่สุด ได้แก่ แบบที่ 1 อันดับถัดไปได้แก่แบบที่ 2 และแบบที่ 3
3. กรณีใช้เกณฑ์ความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ : แบบที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ได้แก่ แบบที่ 1 โดยมีงบประมาณการลงทุนขั้นต่ำที่สุดด้วย อันดับถัดไปได้แก่ แบบที่ 2 และ 3

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงที่นำเสนอ ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการศึกษาวิชาการ ด้านสถาปัตยกรรมของอาคารตึกแถวพักอาศัยที่มีจุดมุ่งหมายในการเสนอกลวิธีการผสมระบบในแก้ปัญหาสภาวะน่าสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่าง และการระบายอากาศของอาคารปัจจุบัน ที่มีปัญหาให้ผ่านมาตรฐานสากลเป็นหลัก โดยคำนึงถึงข้อจำกัดของการใช้พื้นที่ใช้สอยของอาคาร มิใช่เป็นการวิจัยเพื่อหาตึกแถวรูปแบบใหม่ โดยพิสูจน์ได้ว่าอาคารที่ปรับปรุงให้มีสภาวะภายในอาคารผ่านมาตรฐาน สามารถปรับปรุงได้หลากหลายแบบนอกเหนือจากที่เสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งหากพิจารณาทางด้านกฎหมายควบคุมอาคารในปัจจุบันแล้ว เมื่อมีการขออนุญาตก่อสร้างอาคารใหม่หรือยื่นขออนุญาตดัดแปลงอาคาร จะต้องมียื่นพื้นที่เว้นว่างตามแบบที่ 3 และต้องมีการพิสูจน์ด้านวิศวกรรมโครงสร้างเพิ่มเติม

การวิจัยนี้เสนอรายละเอียดการปรับปรุงเปลือกอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน ทั้งรูปแบบและวัสดุ เพื่อควบคุมปัจจัยในการศึกษาวิจัย อีกทั้งเป็นการควบคุมลักษณะภายนอกของตึกแถวให้เกิดความสะอาดตาในภาพของเมือง

นอกจากนี้การปรับปรุงสภาวะน่าสบายภายในอาคารยังมีประเด็นที่ต้องพิจารณาในด้านอื่นๆ เช่น ด้านเสียงรบกวน การป้องกันมลภาวะจากภายนอกอาคาร หรือการเพิ่มพื้นที่พักผ่อนหรือพื้นที่สีเขียว เพื่อปรับบรรยากาศในตึกแถวให้เหมาะสมกับการพักอาศัยและสร้างสภาพแวดล้อม (micro climate) ที่ดี ให้กับอาคารด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กฎกระทรวง ฉบับที่ 55 พ.ศ. 2543 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. (มปท. มปป.)

คมกฤษ ชูเกียรติมัน. การใช้แสงธรรมชาติเพื่อลดพลังงานในอาคาร : กรณีศึกษาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

คู่มือประกอบการใช้บังคับ ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ดอกเบญจ. (มปป.)

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2536.

ชนินทร์ ทิพย์โยธาส. การนำเสนอรูปแบบ “ตึกแถวพักอาศัยลักษณะพาณิชย์กึ่งพักอาศัย” เพื่อความสบายทางด้านอุณหภูมิ และแสงสว่าง ให้แก่ผู้ใช้อาคาร กรณีศึกษา : เขต กทม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.

ตรึงใจ บุรณะสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2539.

ธนิต จินดาวงศ์. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

นฤมิตร ลีชวนมงคล และ ถาวร เก่งวินิจ. คู่มือตึกแถว. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์น้าอักษร. 2522

ประคอง ภรรณสูตร. สถิติเพื่อการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ปรัชญา รังสิรักษ์. แนวความคิดในเรื่องภาวะน่าสบาย. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปัญหาตึกแถว : สัมมนาวิชาการ. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์.

สำนักงานทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2523.

เพ็ญศรี ฉันทวรารักษ์. แนวทางการเปลี่ยนแปลงของตึกแถวในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

ไพบูลย์ หังสพฤกษ์ และ เฮอิโซ ไชโต. การปรับอากาศ. กรุงเทพมหานคร : ดวงกลม, 2524

วรวรรณ โรจนไพบูลย์ และคณะ. ทิศทางตลาด แนวโน้มการส่งเสริมวัสดุผนังและฉนวนเพื่อประสิทธิภาพด้านการอนุรักษ์พลังงาน : วัสดุก่อสร้างกับการใช้งานของสถาปนิก . สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2548.

วิเชียร สุวรรณรัตน์. ภูมิอากาศวิทยาและการออกแบบสถาปัตยกรรม. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.

สมสิทธิ์ นิตยะ. 2541. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.



- สยาณี วิโรจน์รัตน์. การอนุรักษ์สถาปัตยกรรมประเภทตึกแถวริมถนนเจริญกรุง ที่สร้างขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 4 ถึงรัชกาลที่ 7. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาอนุรักษ์สถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- สันติ ฉันทวิลาสวงศ์. ความเข้าใจบางประการจากการศึกษาสถาปัตยกรรมห้องแถว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.
- สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวงนิค. การวิเคราะห์สภาวะนำสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย : รายงานผลกรวิจัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2536.
- สุภาวดี รัตนมาศ. บ้านธรรมชาติในเขตร้อนชื้น. กรุงเทพมหานคร : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. มปป.
- สุวิธมณา ธาดานิติ. ผลกระทบของชุมชนตึกแถวต่อสภาวะแวดล้อม. ปัญหาตึกแถว. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์สารนิเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- หน่วยมาตรฐานวิทยานิพนธ์และเผยแพร่ งานมาตรฐานการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คู่มือการพิมพ์วิทยานิพนธ์. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

## ภาษาอังกฤษ

- Allard, Natural Ventilation in Buildings. UK : James&James, LTD., 1998
- Andris Auliciems and Steven V. Szokolay. Thermal comfort. Brisbane : PLEA, 1997.
- ASHRAE HANDBOOK. EQUIPMENT VOLUME. 1983
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. ASHRAE handbook : Fundamentals. Atlanta, GA., 1997.
- Baruch Givoni. PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING OF BUILDING. USA : Ven Nostrend Reinhold. 1994.
- Donald, FAIA and Kenneth Labs. Climate Design. USA : McGraw-Hill. 1983.
- Henry J. Cowan. HANDBOOK OF ARCHITECTURAL TECHNOLOGY. New York : VenNostrend Reinhold. 1991.
- James Cowan and Acentech. Architectural acoustics design guide. New York : McGraw-Hill, 2000.
- Jean Gorman. Detailing light : integrated lighting solutions for residential and contract design. New York: Whitney Library of Design, 1995.
- Mary Guzowski. Daylighting for sustainable design. New York : McGraw-Hill, 2000
- Narendra K. Bansal. PASSIVE BUILDING DESIGN. University of Kassel, Germany : Eisevier science B.V. 1994.
- Prof.SV.Szokolay. "การบรรยายพิเศษ เรื่อง ENERGY CONSERVATION IN BUILDINGS"  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- Victor Olgay. DESIGN WITH CLIMATE. USA : Ven Nostrend Reinhold, 1992.
- Vira Sachakul. Bangkok shophouses : socio-economic analysis and strategies for improvements. Thesis Arch.D. University of Michigan, 1982.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาคผนวก

หน้า

### ภาคผนวก ก

รายการคำนวณภาวะการปรับเ็นรายปี อาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุง..... 196

### ภาคผนวก ก-1 ข้อมูลการวัดสภาวะภายในอาคารด้านอุณหภูมิ

ตารางที่ ก-1 สภาวะอากาศ ทั้งอาคาร เก็บข้อมูล 21 พฤษภาคม 2545 โดย globe thermometer..... 198

ตารางที่ ก-2 สภาวะอากาศ ชั้น 2 และ 3 เก็บข้อมูล 14-16 พฤษภาคม 2545..... 199

ตารางที่ ก-3 อุณหภูมิผิวผนัง ชั้น 2 และ 3 เก็บข้อมูล 14-16 พฤษภาคม 2545..... 201

ตารางที่ ก-4 สภาวะอากาศและอุณหภูมิผิวผนัง ชั้น 4 ด้านหน้าอาคาร(A4) และด้านหลังอาคาร (D4)

เก็บข้อมูล 9-10 มิถุนายน 2545..... 204

ตารางที่ ก-5 สภาวะอากาศ ทั้งอาคาร เก็บข้อมูล 20-23 ธันวาคม 2545..... 206

ตารางที่ ก-6 อุณหภูมิผิวผนัง ทั้งอาคาร เก็บข้อมูล 20-23 ธันวาคม 2545..... 212

แผนภูมิที่ ก-1 อุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ฤดูร้อน (21 พฤษภาคม 545)..... 218

แผนภูมิที่ ก-2 อุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ฤดูหนาว (20-23 ธันวาคม 2545)..... 222

แผนภูมิที่ ก-3 แผนภูมิสภาวะน่าสบาย (bioclimatic) ทั้งอาคาร ฤดูร้อน และฤดูหนาว..... 226

แผนภูมิที่ ก-4 แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (MRT)

เก็บข้อมูล 21 พฤษภาคม 2545..... 250

แผนภูมิที่ ก-5 อุณหภูมิพื้นผิวอาคาร ชั้น 2 - 4 เก็บข้อมูล 21 พฤษภาคม 2545..... 253

ภาคผนวก ก-2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคาร..... 257

### ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข -1 ปริมาณแสงธรรมชาติที่วัดได้จากอาคารกรณีศึกษา (21 มิถุนายน 10.00-12.00 น.)..... 265

ภาคผนวก ข - 2 ผลการจำลองแสงธรรมชาติจากหุ่นจำลอง..... 266

ภาคผนวก ข - 3 ผลการจำลอง อิทธิพลของผิววัสดุที่มีค่าการสะท้อนแสงต่างกัน ในหุ่นจำลองเดียวกัน..... 267

ภาคผนวก ข - 4 ผลการจำลอง ลักษณะเปลือกอาคาร 12 รูปแบบที่มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากัน..... 268

### ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค-1 การคำนวณอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งานตามมาตรฐาน..... 269

ภาคผนวก ค-2 การคำนวณอัตราการระบายอากาศในอาคารปรับปรุง..... 276

ภาคผนวก ค-3 สรุปอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมตามมาตรฐานสากล 4 มาตรฐาน..... 276

### ภาคผนวก ง

ภาคผนวก ง -1 แนวความคิดในการบูรณะอาคารเก่า..... 279

### รายการคำนวณภาระการปรับเย็นรายปี อาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุง

จากผลการจำลองด้านอุณหภูมิอาคารกรณีศึกษาพบว่า บริเวณที่อยู่นอกเขตสบายได้แก่บริเวณ ชั้น 1-4 ตามแผนภูมิที่ 4-10 เมื่อพิจารณาพร้อมกับความเหมาะสมในการใช้งานอาคารสรุปได้ว่า มีพื้นที่ปรับอากาศ 3 ส่วนคือ ชั้น 2 - 4 ส่วนชั้น 1 ไม่ปรับอากาศเนื่องจากเป็นส่วนจอดรถและทางสัญจรที่มีการใช้งานชั่วคราว จึงพิจารณาไม่ติดเครื่องปรับอากาศ มีรายละเอียดการคำนวณ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 รายการคำนวณภาระการปรับเย็นการปรับปรุงอาคารแบบที่ 1

พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	ปริมาตรอากาศ (ลบ.ม.)	ขนาดเครื่องปรับอากาศ* (ตันความเย็น)	จำนวนชั่วโมงนอกเขตสบายรายปี	ปริมาณไฟฟ้ารายปี (วัตต์ X ชั่วโมง) (วัตต์/ปี)	ค่าไฟฟ้ารายปี** (บาท/ปี) (2.5 บาท/หน่วย)
ชั้นที่ 2	216 (18X4x3ม.)	3.6 (12,661 วัตต์/ชั่วโมง)	1,347	17,054,630	42,636
ชั้นที่ 3 (ไม่รวมครัว)	144 (12X4x3ม.)	2.4 (8,440 วัตต์/ชั่วโมง)	1,051	8,871,278	22,178
ชั้นที่ 4	194 (64.5x3ม.)	3.22 (11,342 วัตต์/ชั่วโมง)	1,542	17,489,691	43,725
<b>รวม</b>	<b>554</b>	<b>9.22</b>		<b>43,415,600</b>	<b>108,539</b>

หมายเหตุ \* ประเมินการจากภาระ เครื่องปรับอากาศ 60 ลบ.ม./ ตันความเย็น (1ตัน=12,000/3.412วัตต์)

### การประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่างธรรมชาติ อาคารกรณีศึกษาก่อนปรับปรุง

จากผลการสำรวจอาคารกรณีศึกษาพบว่า บริเวณที่ได้รับแสงธรรมชาติภายในอาคารที่มีความสว่างตั้งแต่ 300 ลักซ์ ขึ้นไป มีพื้นที่ประมาณ 46 ตารางเมตร คิดเป็น 14% ของพื้นที่ใช้สอย และมีพื้นที่ที่ต้องใช้แสงประดิษฐ์ 152 ตารางเมตร ทั้งนี้คิดจากพื้นที่การเปิดโคมไฟเต็มตลอดความกว้างคูหาตามความเป็นจริง ไม่ทำการเปลี่ยนโคมไฟเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับแบบปรับปรุงจึงมีค่าใกล้เคียงกัน สภาวะแสงธรรมชาติในอาคารมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการประเมินสภาวะน่าสบายด้านแสงสว่าง การปรับปรุงอาคารแบบที่ 2

พื้นที่ในอาคาร	ชั้นที่ 1	ชั้นลอย	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4
ระยะแสงเข้าถึงจากช่องเปิด หน้าอาคาร	4 เมตร	0 เมตร	1 เมตร	1 เมตร	3 เมตร
ระยะแสงเข้าถึงจากช่องเปิด หลังอาคาร	0 เมตร	0 เมตร	1 เมตร	3 เมตร	3 เมตร
พื้นที่ห้องที่ต้องใช้แสงประดิษฐ์ (ตร.ม.)	44	30	32	28	18

### รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี ตามการปรับปรุงอาคารแบบที่ 2

การคิดค่าไฟฟ้ารายปี คำนวณได้จากจำนวนชั่วโมงที่เปิดไฟใน 1 วัน แต่ละวันจะมีช่วงเวลาที่ได้แสงธรรมชาติ 8.00-17.00 น. คิดเป็น 8 ชั่วโมงต่อวัน และมีช่วงเวลาที่ไม่ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากนอนหลับพักผ่อนวันละ 8 ชั่วโมง ได้แก่เวลา 23.00-6.00 น. ดังนั้นในแต่ละวันจะมีช่วงเวลาเปิดโคมไฟแสงประดิษฐ์ประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังรายละเอียดการคำนวณต่อไปนี้

ตารางที่ 3 รายการคำนวณค่าไฟฟ้าแสงประดิษฐ์รายปี อาคารกรณีศึกษา

พื้นที่ใช้สอย* (ตร.ม.)	พื้นที่ไม่ได้รับแสง (ตร.ม.)	กำลังไฟฟ้สูงสุด/ตร.ม. (ตร.ม.)	ปริมาณไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ 8.00-17.00 (วัตต์/วัน)	ปริมาณไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ 17.00-23.00 (วัตต์/วัน)	ปริมาณไฟฟ้ารายปี (วัตต์ X ชั่วโมง) (365) (วัตต์/ปี)	ค่าไฟฟ้ารายปี** (บาท/ปี)
296.5	152	16	19,456 (152)(16)(8ชั่วโมง)	37,952 (296.5)(16)(8ชั่วโมง)	20,878,000	52,195

หมายเหตุ \* ไม่รวมพื้นที่เปิดโล่ง 54 ตร.ม. \*\* คิดค่าไฟฟ้าที่ (2.5 บาท/หน่วย)

ภาคผนวก ก-1 ข้อมูลการวัดสภาวะภายในอาคารด้านอุณหภูมิ

ตารางที่ ก-1 สภาวะอากาศ ทั้งอาคาร เก็บข้อมูล 21 พฤษภาคม 2545 โดย globe thermometer

**BUILDING PERFORMANCE OF BASE CASE SHOPHOUSE measure on 21/5/2002 [summer]**

date	time	Zone 1-1								Zone 1-2								Zone 1-3								Zone 1-4							
		air		air		air		air		air		air		air		air		air		air		air		air		air		air		air		air	
		temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow
21/5/2002	0	28.31	28.31	83.90	0.02	28.31	28.31	86.60	0.05	28.31	28.31	86.60	0.01	28.31	28.31	86.60	0.00	28.31	28.31	86.60	0.02	28.31	28.72	86.60	0.05	28.31	28.72	86.60	0.02	28.70	28.70	86.60	0.02
	1	28.31	28.31	82.80	0.23	28.31	28.31	83.90	0.20	28.31	28.73	83.90	0.13	28.31	28.74	83.90	0.20	28.31	28.71	83.90	0.02	28.31	29.16	85.20	0.10	28.31	29.16	85.20	0.10	28.31	29.16	85.20	0.20

date	time	Average fl. 1				Zone 2-1				Zone 2-2				Zone 2-3				Average fl. 2											
		air		air		air		flow		air		air		air		air		air		air		air		air					
		temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow	temp	MRT	RH	flow				
21/5/2002	23	28.42	28.42	86.21	0.02	28.70	28.70	86.60	0.08	28.31	28.72	85.20	0.05	28.31	28.31	85.20	0.02	27.91	27.91	83.90	0.02	27.91	27.91	81.70	0.12	28.23	28.31	84.52	0.06

$$T_{meas} = T_{air} [ 1 + (0.222 \times (v_a/0.5)) ] + (T_g - T_{air}) + T_a$$













ตารางที่ ก-3 อุณหภูมิผิวผนัง ชั้น 3 เก็บข้อมูล 14-16 พฤษภาคม 2545

BUILDING SURFACES TEMPERATURE OF BASE CASE SHOPHOUSE measure on 14-16/6/2002

date	time	avg. floor 3		Zone 3-3 (semi-outdoor)													
		air temp	avg. MRT	NW wall glass temp	NW wall area	NE wall temp	SW wall temp	conc. ceiling area D3	ceramic floor area D3	avg. MRT area							
											D3 (C)	D3 (C)	D3 (C)	D3 (C)	(C)	(C)	D3 (C)
14/6/2002	14	30.80	30.80	32.80	32.10	34.20	34.10	31.80	31.50	32.60							
	15	31.44	31.44	32.60	32.10	34.50	34.20	32.10	31.60	32.76							
	16	32.20	32.20	32.50	32.20	34.60	34.40	32.20	31.70	32.88							
	17	31.31	31.31	32.50	32.20	33.70	33.10	32.40	31.70	32.54							
	18	30.40	30.40	32.30	32.20	33.60	33.70	32.50	31.80	32.68							
	19	29.95	29.95	32.20	32.00	33.40	33.80	33.10	31.70	32.73							
	20	29.68	29.68	32.00	32.00	32.90	33.10	32.80	31.70	32.46							
	21	29.68	29.68	32.00	32.50	32.40	32.50	32.50	31.70	32.30							
	22	29.57	29.57	32.00	32.00	32.40	32.70	32.50	31.90	32.28							
	23	29.65	29.65	31.60	32.00	32.00	32.40	32.50	31.10	31.98							
15/6/2002	0	29.58	29.58	31.60	32.00	32.00	32.80	32.50	32.30	32.32							
	1	29.52	29.52	31.60	31.90	31.80	32.30	32.40	32.00	32.09							
	2	29.38	29.38	31.60	31.90	31.50	31.80	32.30	31.80	31.88							
	3	28.94	28.94	31.60	31.80	31.30	31.50	32.20	31.60	31.71							
	4	28.68	28.68	31.75	31.75	31.70	31.35	32.05	31.55	31.70							
	5	28.35	28.35	31.90	31.70	32.10	31.20	31.90	31.50	31.68							
	6	28.24	28.24	31.10	31.60	30.90	32.10	32.30	31.80	31.77							
	7	28.82	28.82	31.50	31.40	30.90	31.30	31.70	31.80	31.46							
	8	31.88	31.88	31.30	31.60	31.20	31.20	31.70	31.50	31.46							
	9	32.67	32.67	32.10	31.80	32.10	32.30	32.20	31.90	32.05							
	10	32.68	32.68	32.60	32.10	33.70	32.60	32.40	32.10	32.53							
	11	32.81	32.81	32.60	32.20	34.80	33.50	31.50	32.10	32.69							
	12	33.34	33.34	32.50	32.40	35.20	34.12	31.30	33.20	32.11							
	13	34.24	34.24	32.40	32.70	35.70	34.30	31.30	32.30	33.08							
	14	36.01	36.01	32.70	33.00	35.80	34.50	31.20	32.60	33.24							
	15	36.10	36.10	32.90	33.00	35.70	34.50	31.30	32.70	33.26							
	16	35.56	35.56	33.10	32.80	35.20	34.30	31.40	32.80	33.15							
	17	32.18	32.18	33.10	32.90	34.40	34.00	31.30	32.70	32.93							
	18	31.41	31.41	32.80	32.50	34.30	33.60	31.20	32.80	32.70							
	19	30.04	30.04	32.40	31.50	33.40	33.00	30.80	32.30	32.11							
	20	29.94	29.94	32.10	32.20	33.10	32.60	30.40	32.00	31.96							
	21	29.27	29.37	32.30	32.10	32.50	32.40	30.30	32.00	31.78							
	22	28.88	28.88	31.50	31.60	31.80	32.10	29.90	31.50	31.31							
	23	28.51	28.51	31.30	31.50	31.80	31.70	30.10	31.50	31.26							
16/6/2002	0	28.31	28.31	30.80	31.20	31.50	31.40	30.10	30.90	30.96							
	1	27.91	27.91	31.00	31.00	31.40	30.90	30.00	30.70	30.75							
	2	27.61	27.61	30.00	30.70	30.80	30.60	29.80	30.50	30.45							
	3	27.82	27.82	31.10	30.50	30.50	30.38	29.40	30.70	30.27							
	4	28.20	28.20	30.10	30.70	30.40	30.30	29.70	30.80	30.37							
	5	28.86	28.86	30.20	30.45	30.10	30.05	29.25	30.60	30.08							
	6	29.21	29.21	30.30	30.20	29.80	29.80	28.80	30.40	29.79							
	7	28.71	28.71	30.45	30.10	30.10	30.05	28.60	30.10	29.75							
	8	29.40	29.40	30.60	30.00	30.40	30.30	28.70	29.80	29.78							
	9	30.14	30.14	30.50	30.20	30.80	30.90	28.80	30.30	30.13							
	10	31.40	31.40	31.00	30.70	34.00	31.80	29.30	30.80	31.16							
	11	31.67	31.67	31.50	31.10	35.20	32.70	29.80	31.10	31.78							
	12	31.97	31.97	32.00	31.40	35.42	33.04	30.20	31.80	32.19							
	13	33.35	33.35	32.50	31.80	35.80	33.80	30.30	31.60	32.44							
	14	34.71	34.71	33.00	32.40	35.70	34.20	30.50	32.00	32.75							
	15	35.51	35.51	33.20	32.60	35.80	34.70	31.10	32.10	33.05							





















ตารางที่ ก-6 อุณหภูมิผิวหนัง ทั้งอาคาร เก็บข้อมูล 20-23 ธันวาคม 2545

BUILDING SURFACES TEMPERATURE OF BASE CASE SHOPHOUSE measure on 21/12/2002

Table with columns for date, time, surface, Zone 1-1 (NE, SW, conc., avg.), Zone 1-2 (NE, SW, conc., avg.), and Zone 1-2 (NE, SW, conc., avg.). Rows include dates 20/12/2002, 21/12/2002, 22/12/2002, and 23/12/2002 with corresponding time and temperature data for various surfaces.





ตารางที่ ก-6 อุณหภูมิผิวหนัง ทั้งอาคาร เก็บข้อมูล 20-23 ธันวาคม 2545

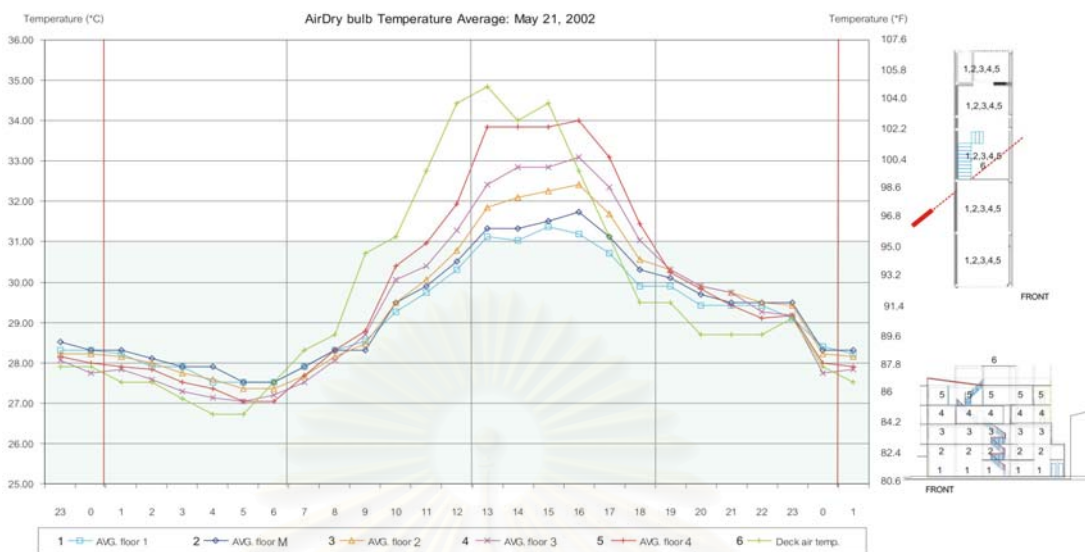
BUILDING SURFACES TEMPERATURE OF BASE CASE SHOPHOUSE measure on 21/12/2002

Table with columns for date, time, surface, zone (Zone 1-1 and Zone 1-2), and various temperature and MRT readings for different surface areas.

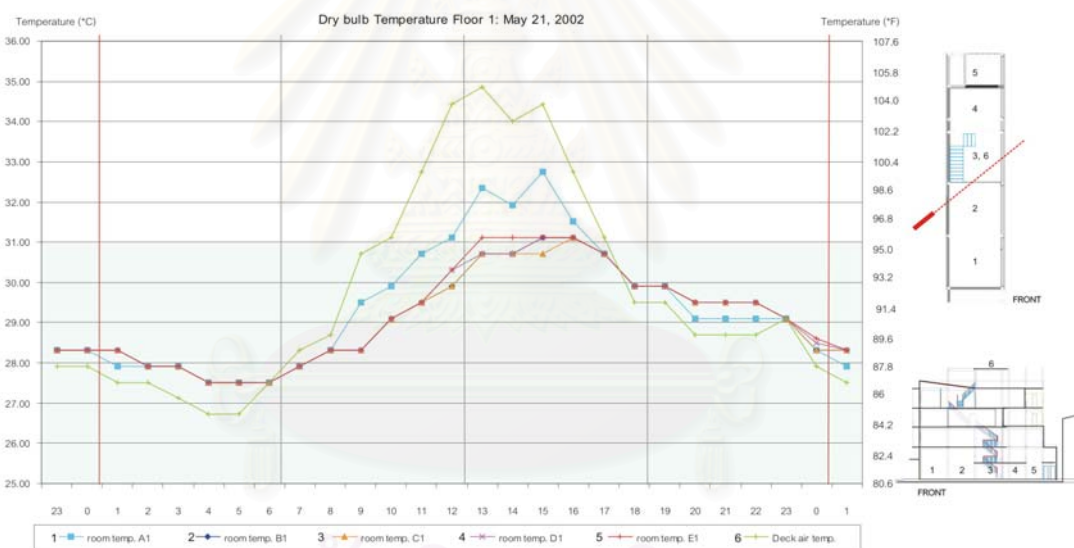




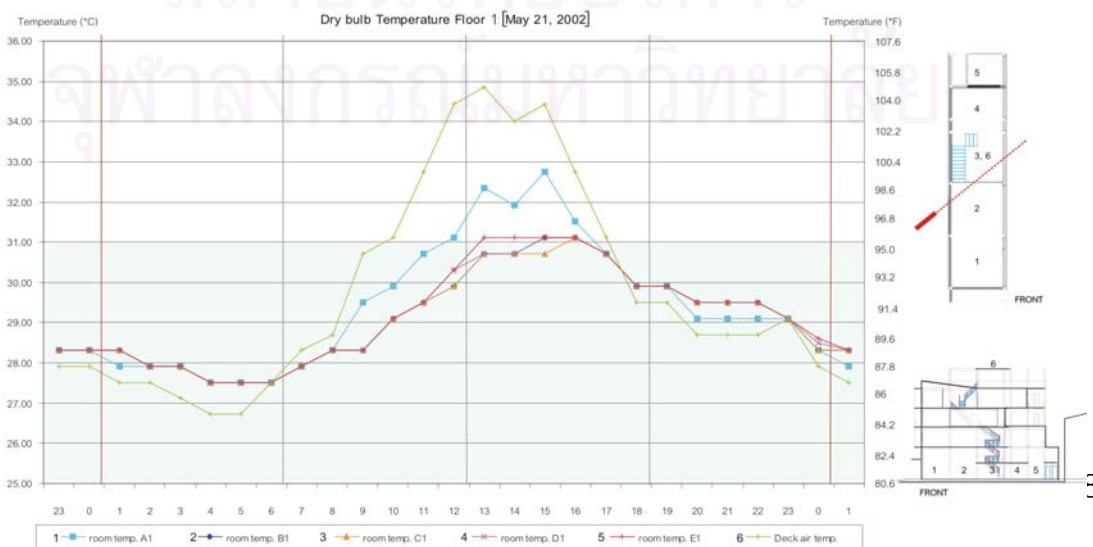
แผนภูมิที่ ก-01 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา เฉลี่ยแต่ละชั้น



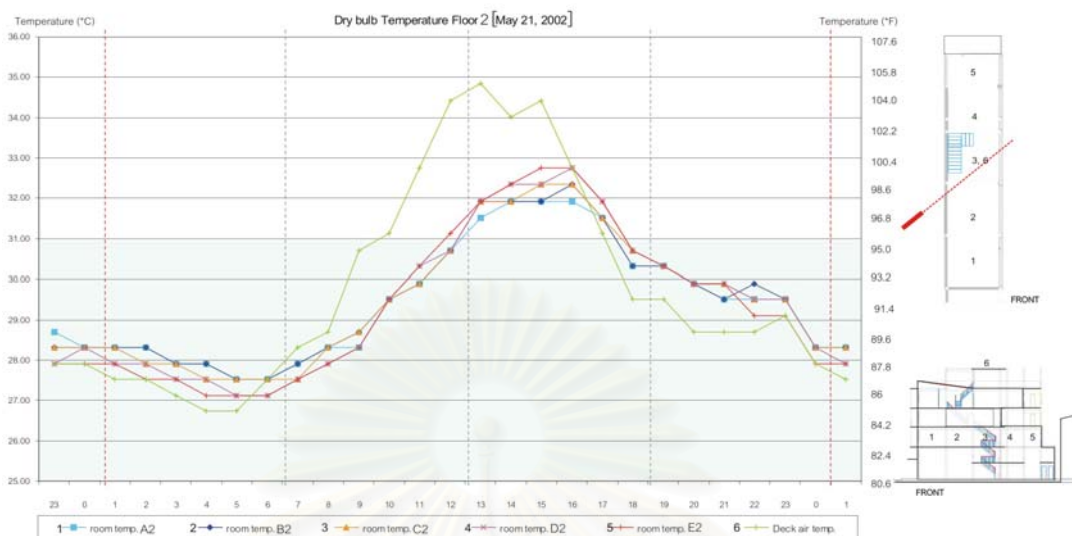
แผนภูมิที่ ก-02 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 1



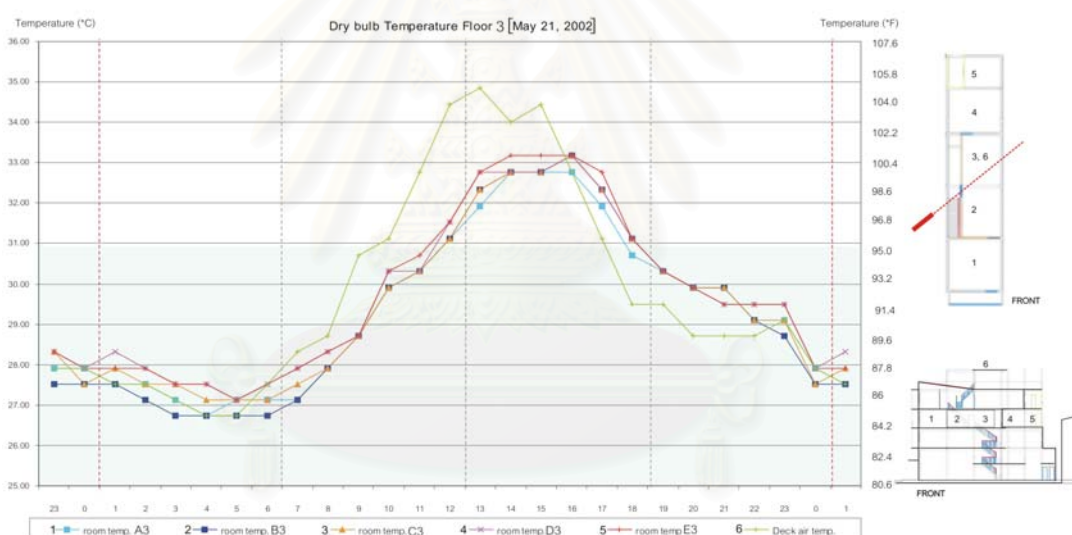
แผนภูมิที่ ก-03 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้นลอย



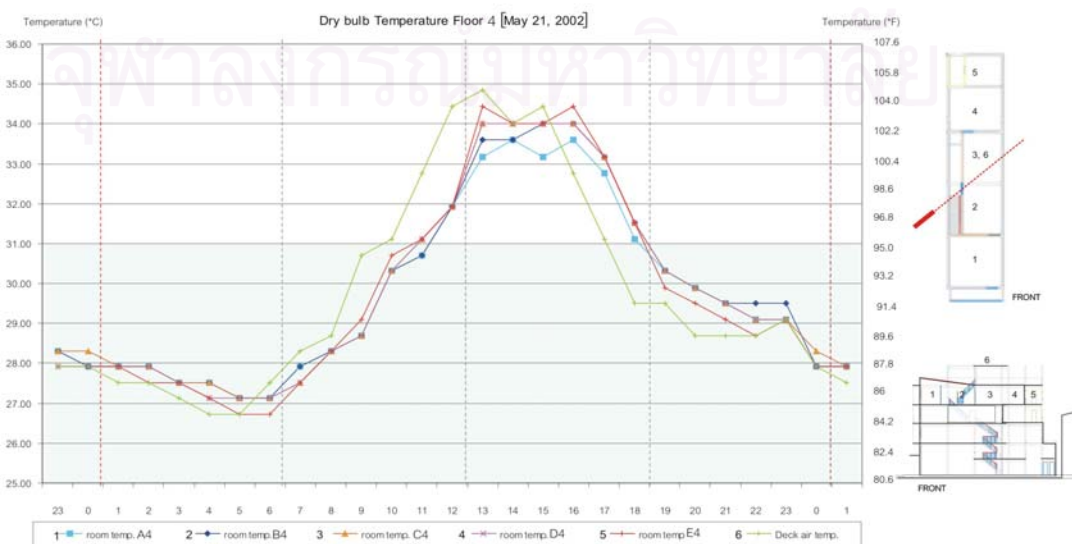
แผนภูมิที่ ก-04 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 2



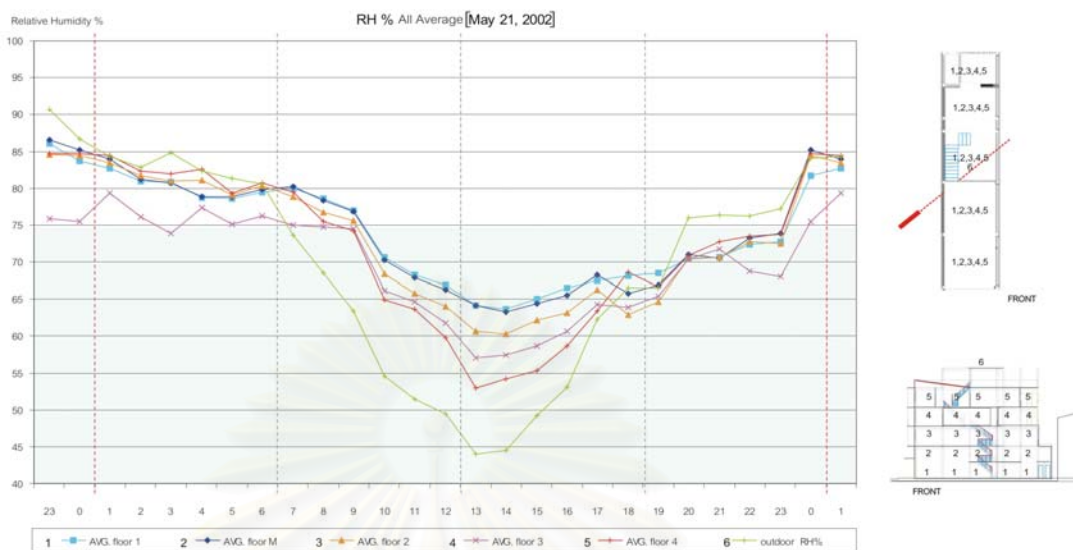
แผนภูมิที่ ก-05 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 3



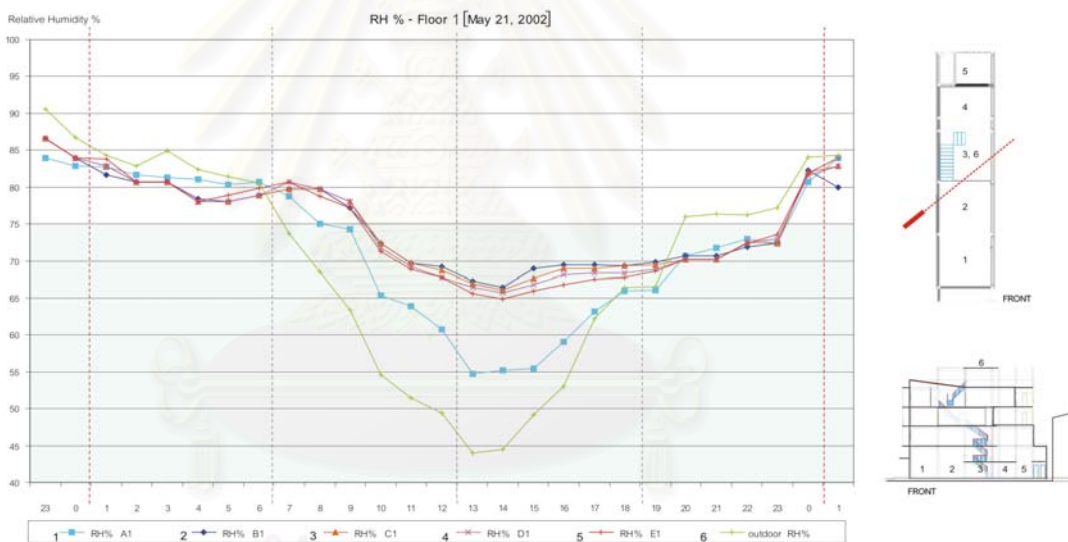
แผนภูมิที่ ก-06 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 4



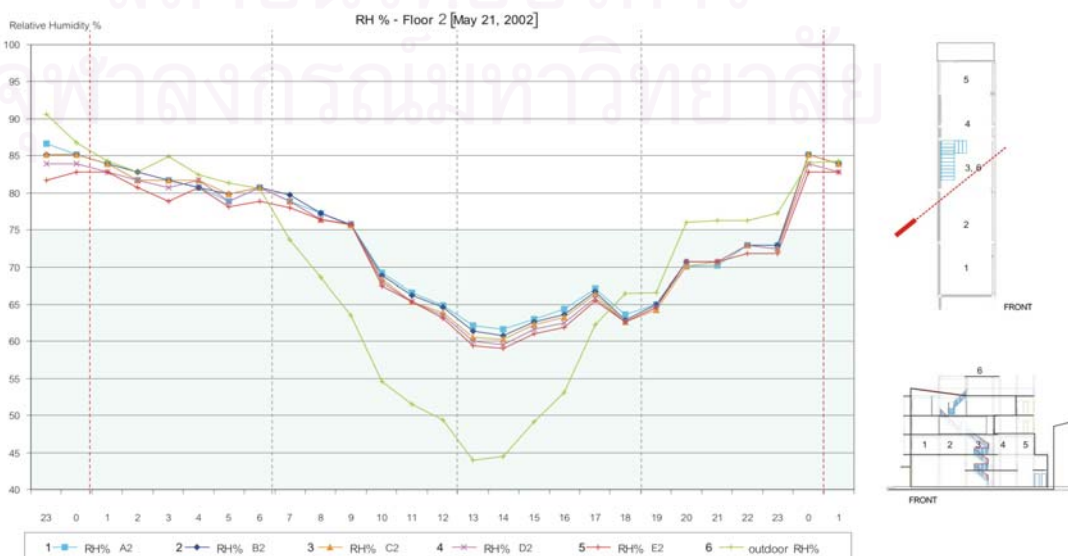
แผนภูมิที่ ก-07 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา เฉลี่ยแต่ละชั้น



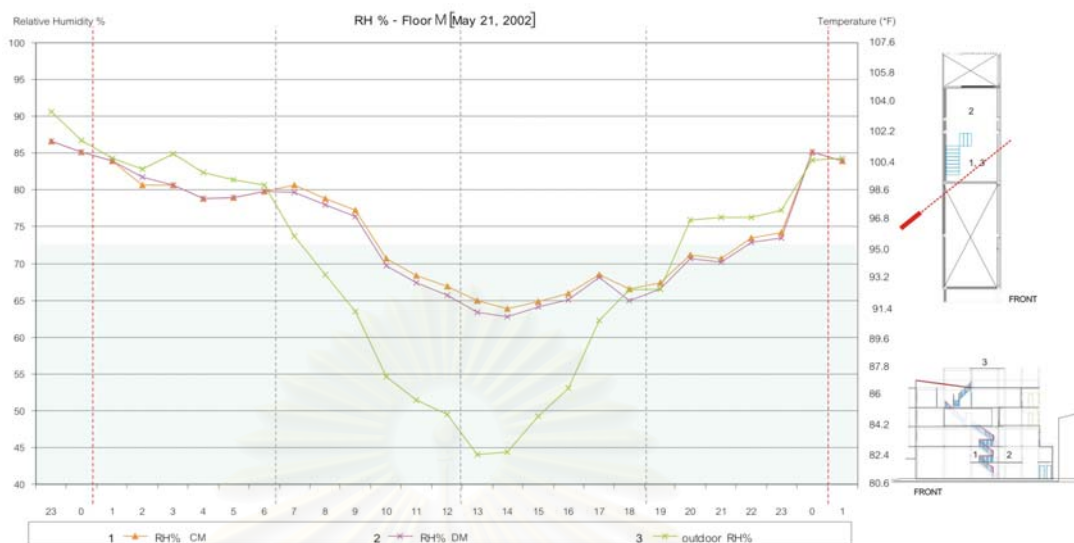
แผนภูมิที่ ก-08 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 1



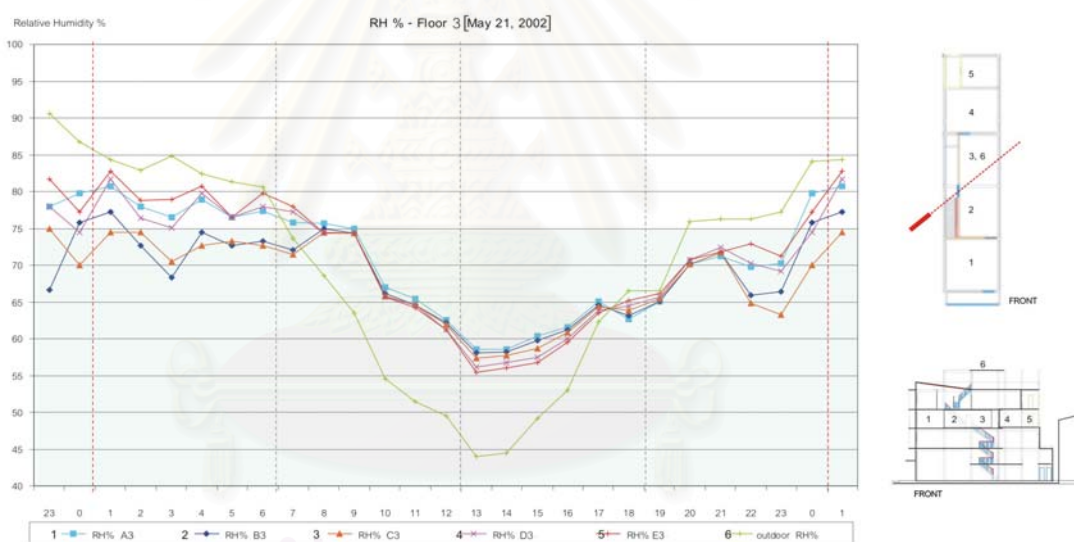
แผนภูมิที่ ก-09 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้นลอย



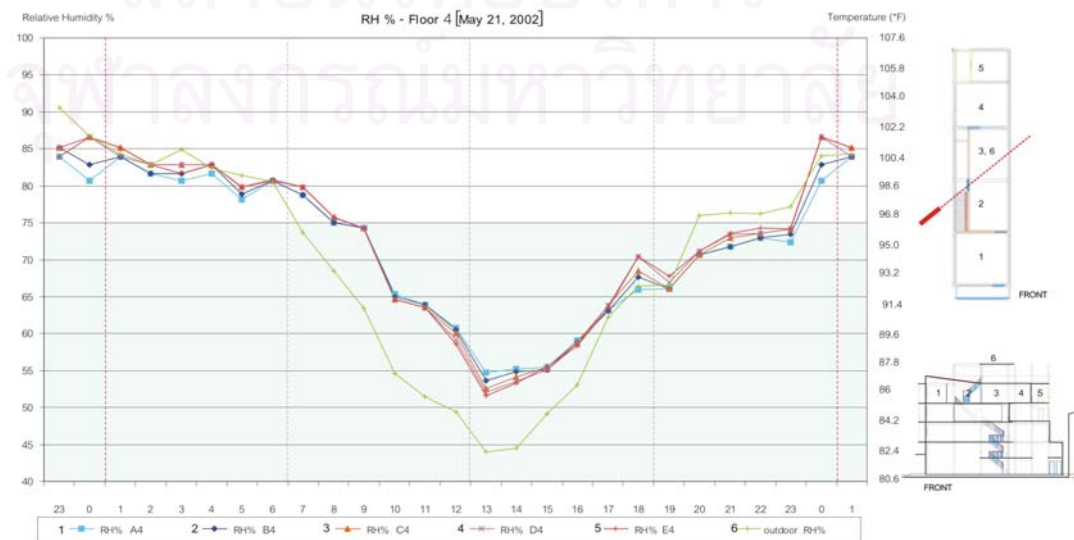
แผนภูมิที่ ก-10 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 2



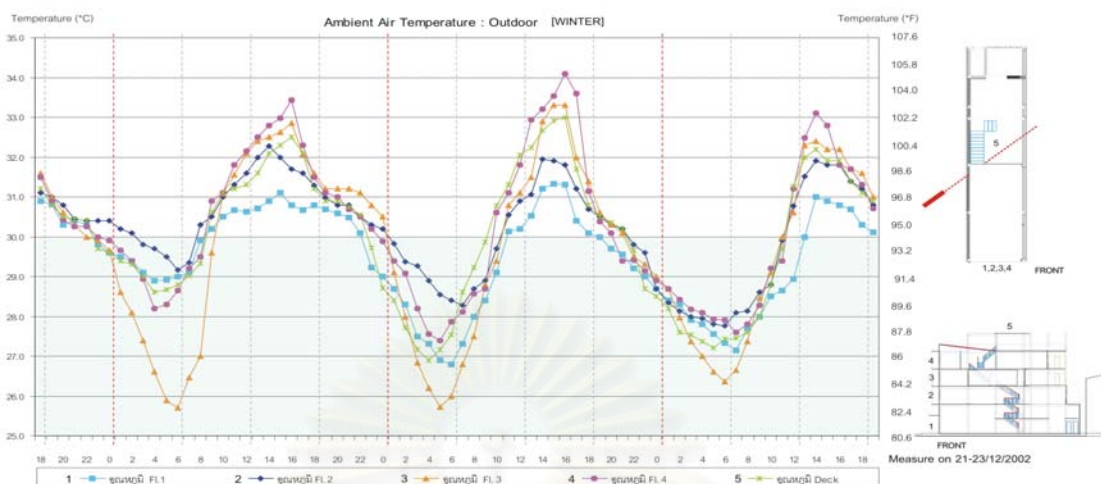
แผนภูมิที่ ก-11 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 3



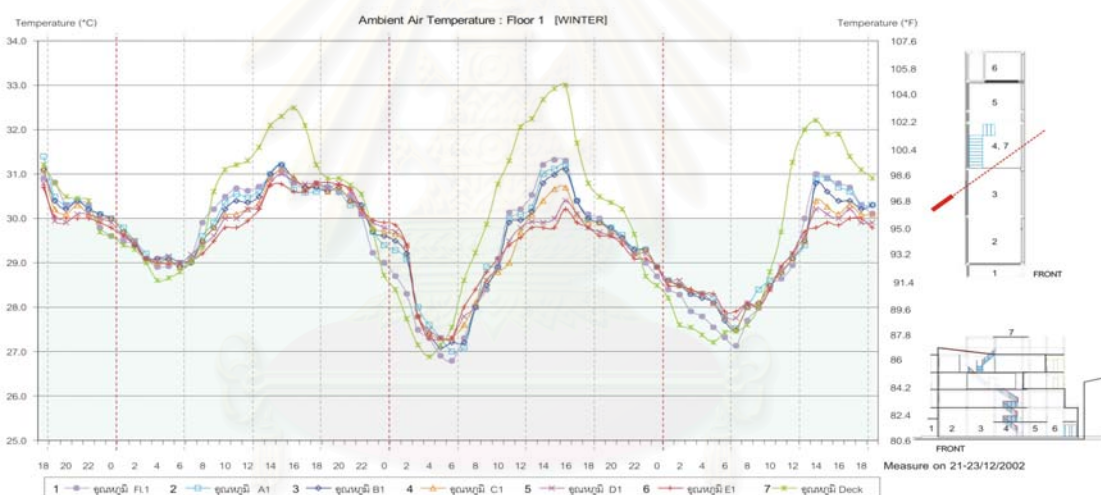
แผนภูมิที่ ก-12 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 4



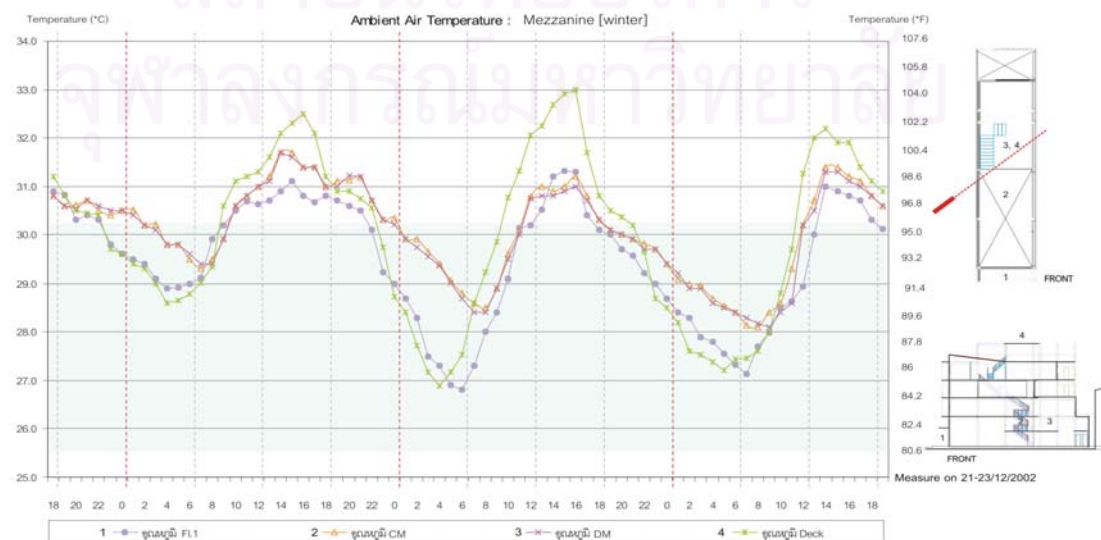
แผนภูมิที่ ก-13 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายนอกอาคารกรณีศึกษา แต่ละชั้น (ฤดูหนาว)



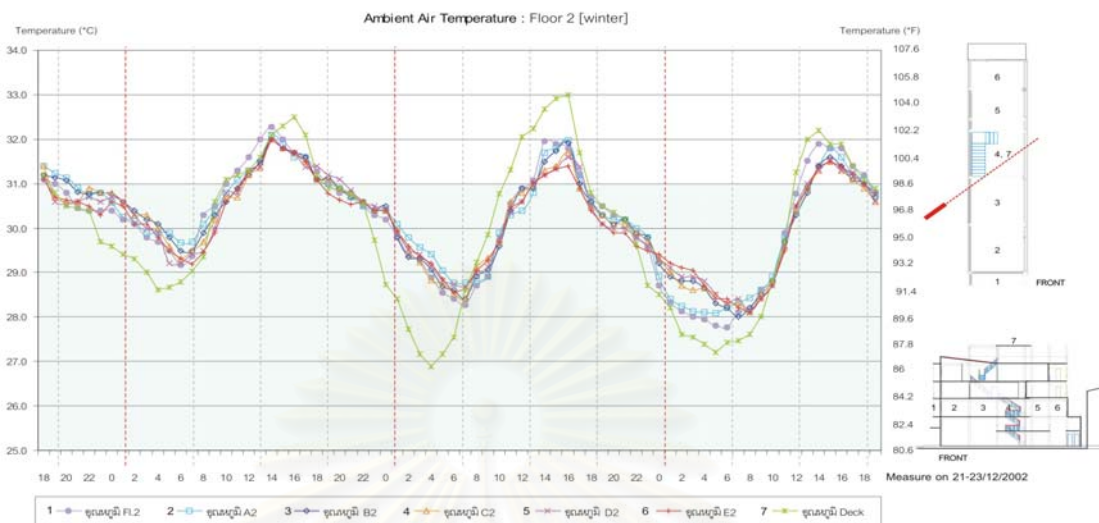
แผนภูมิที่ ก-14 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 1 (ฤดูหนาว)



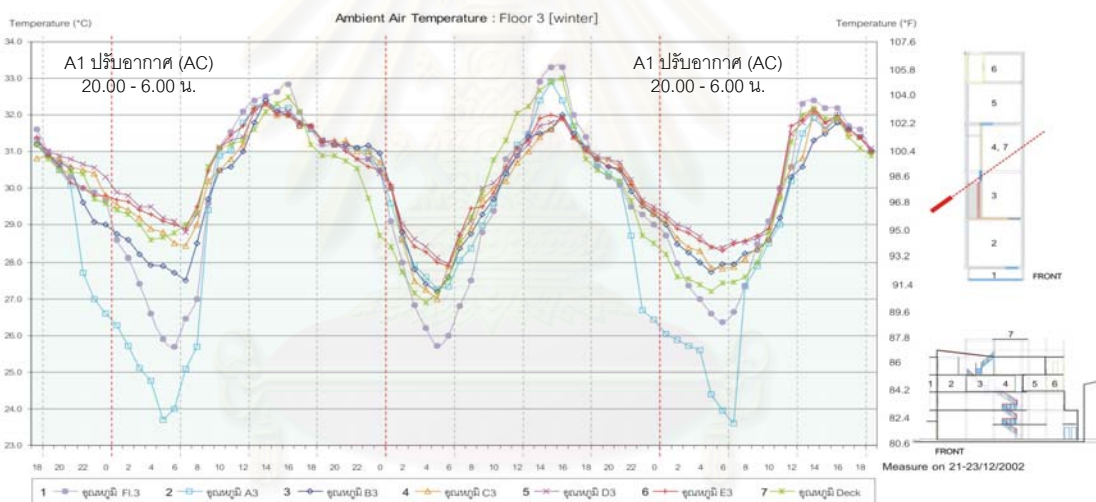
แผนภูมิที่ ก-15 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้นลอย (ฤดูหนาว)



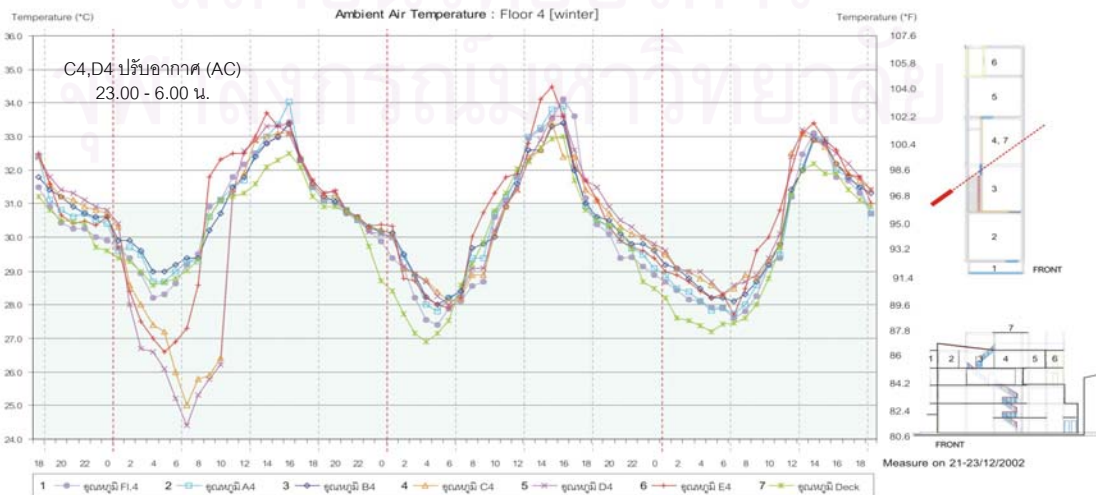
แผนภูมิที่ ก-16 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 2 (ฤดูหนาว)



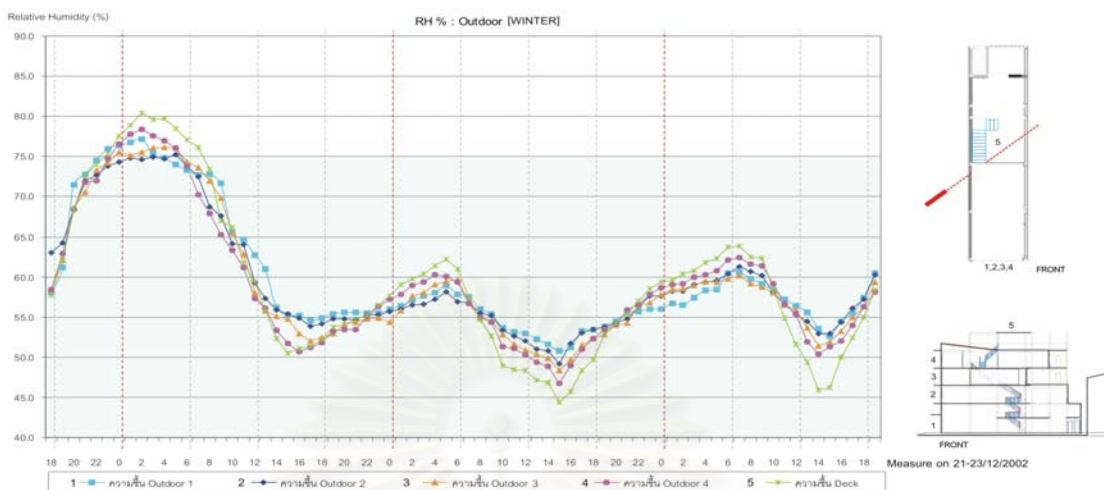
แผนภูมิที่ ก-17 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 3 (ฤดูหนาว)



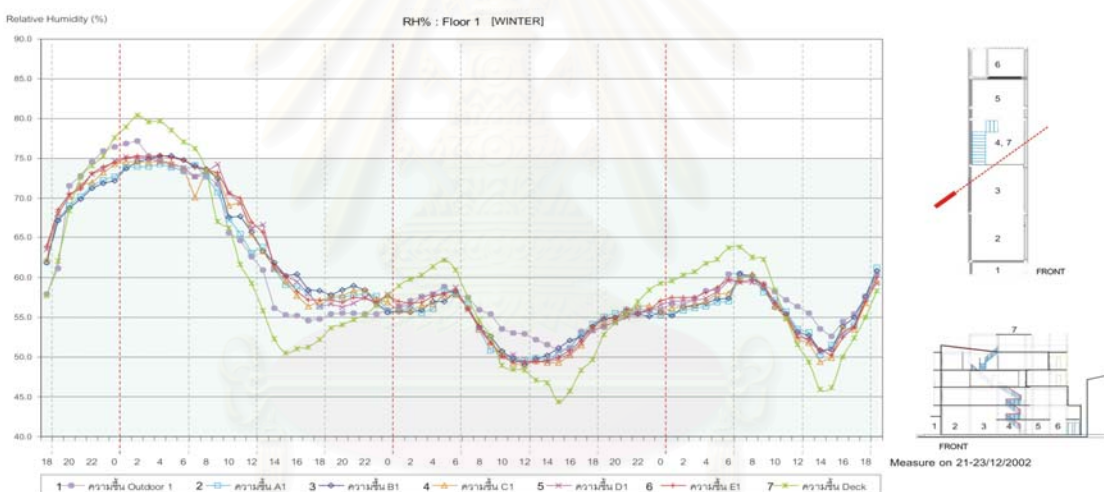
แผนภูมิที่ ก-18 ผลการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 4 (ฤดูหนาว)



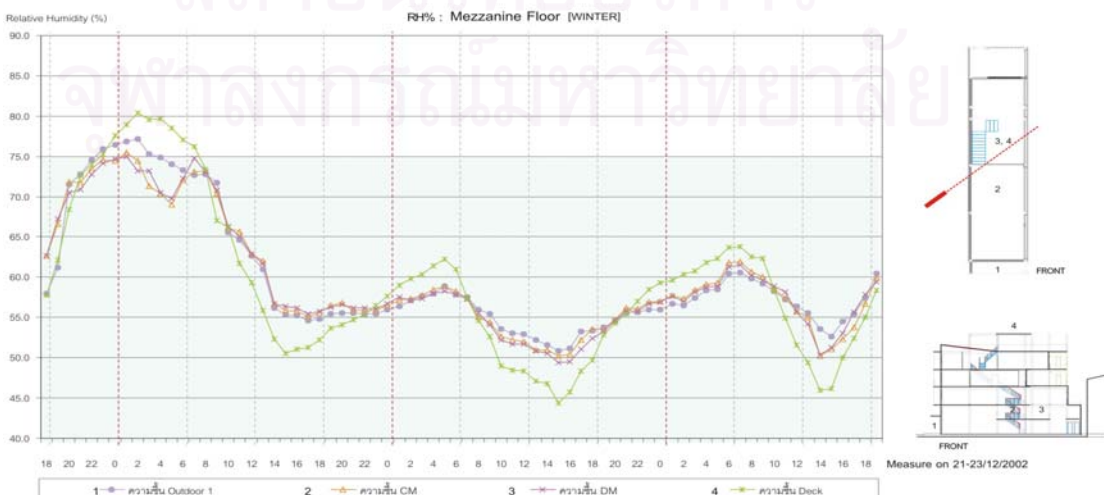
แผนภูมิที่ ก-19 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา เฉลี่ยแต่ละชั้น (ฤดูหนาว)



แผนภูมิที่ ก-20 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 1 (ฤดูหนาว)

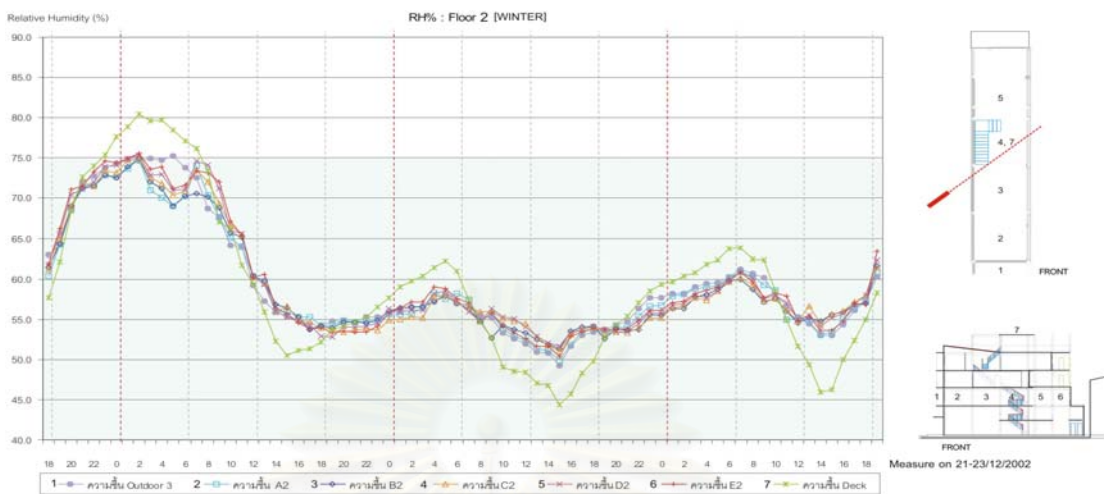


แผนภูมิที่ ก-21 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้นลอย (ฤดูหนาว)

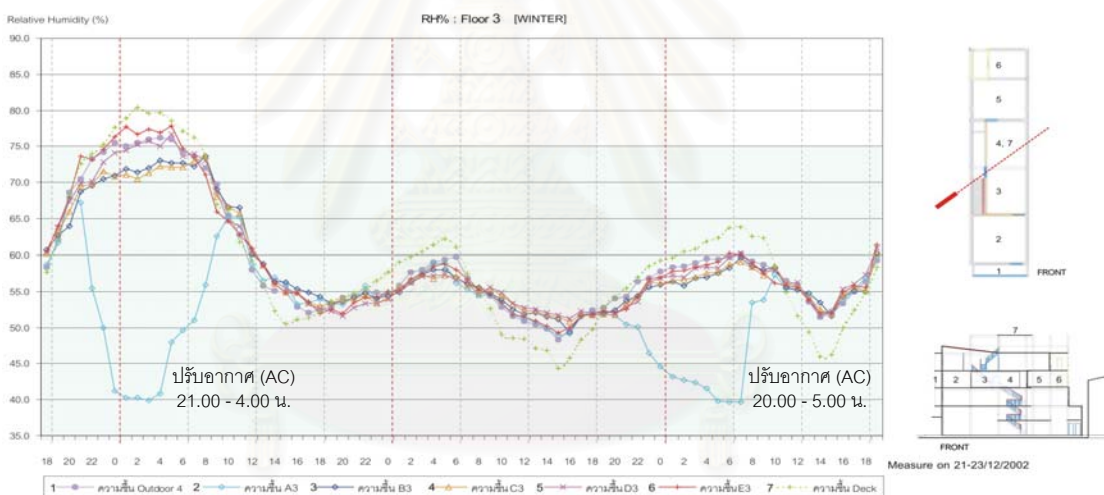




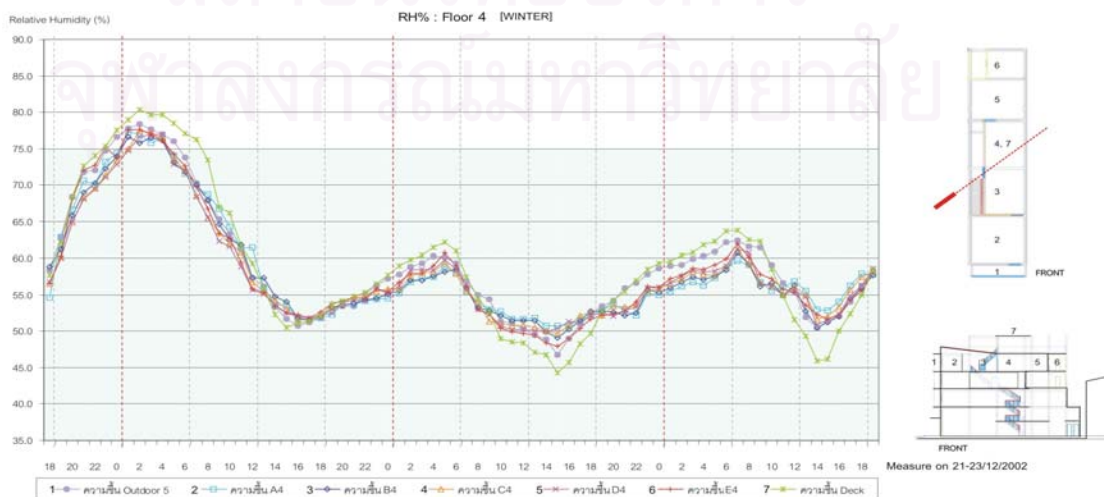
แผนภูมิที่ ก-22 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 2 (ฤดูหนาว)



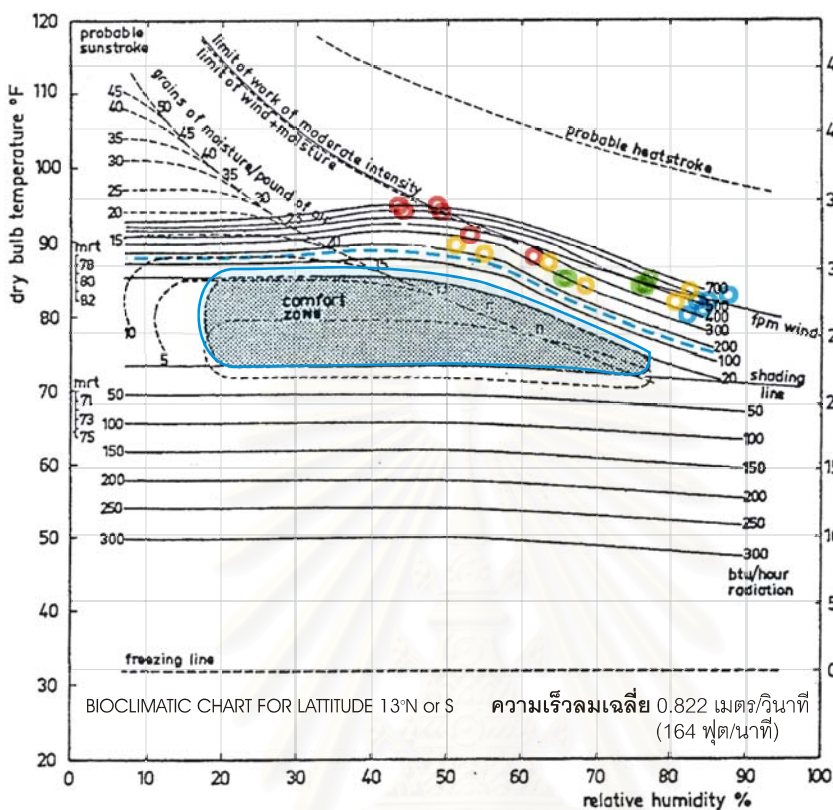
แผนภูมิที่ ก-23 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 3 (ฤดูหนาว)



แผนภูมิที่ ก-24 ผลการวัดความชื้นสัมพัทธ์ ภายในอาคารกรณีศึกษา ชั้น 4 (ฤดูหนาว)

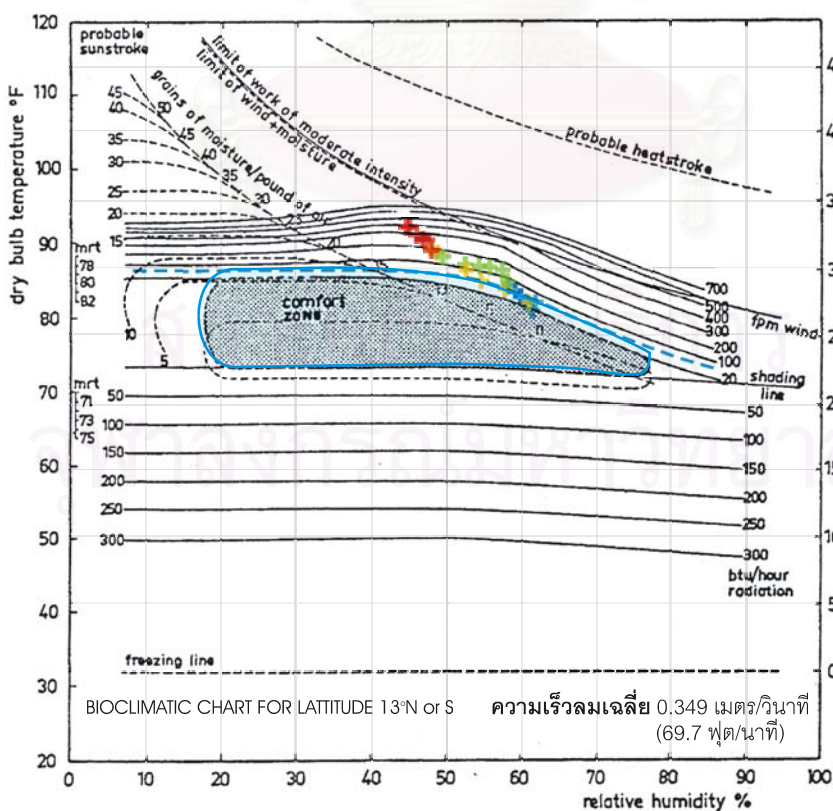


แผนภูมิที่ ก-25 สภาวะน่าสบายภายนอกอาคาร ที่ความสูง 17.0 เมตร บริเวณตึกแถวกรณีศึกษา



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

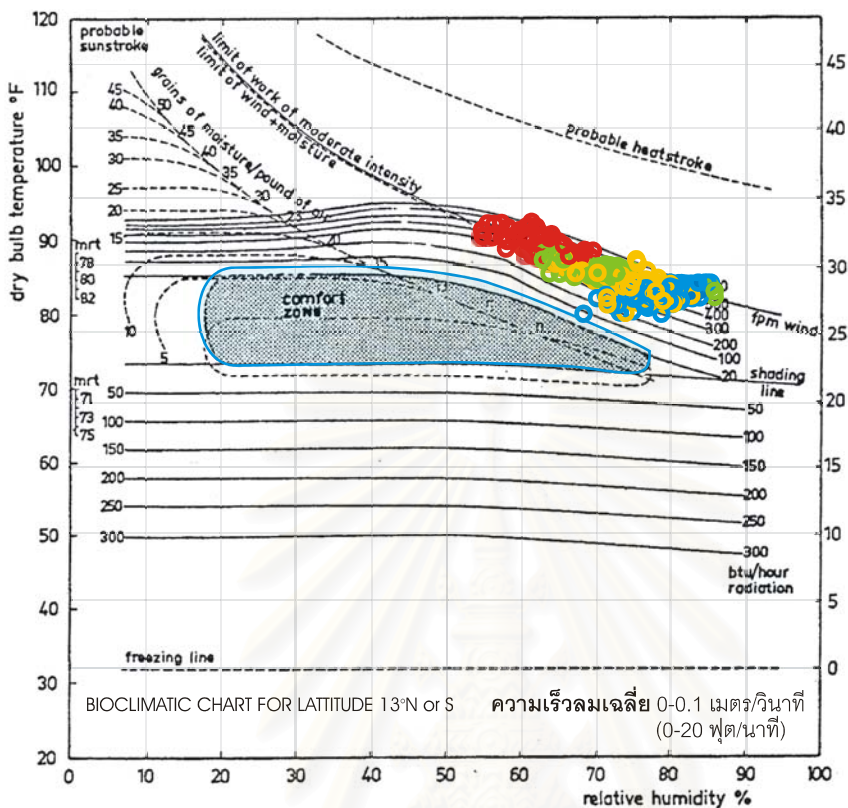
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

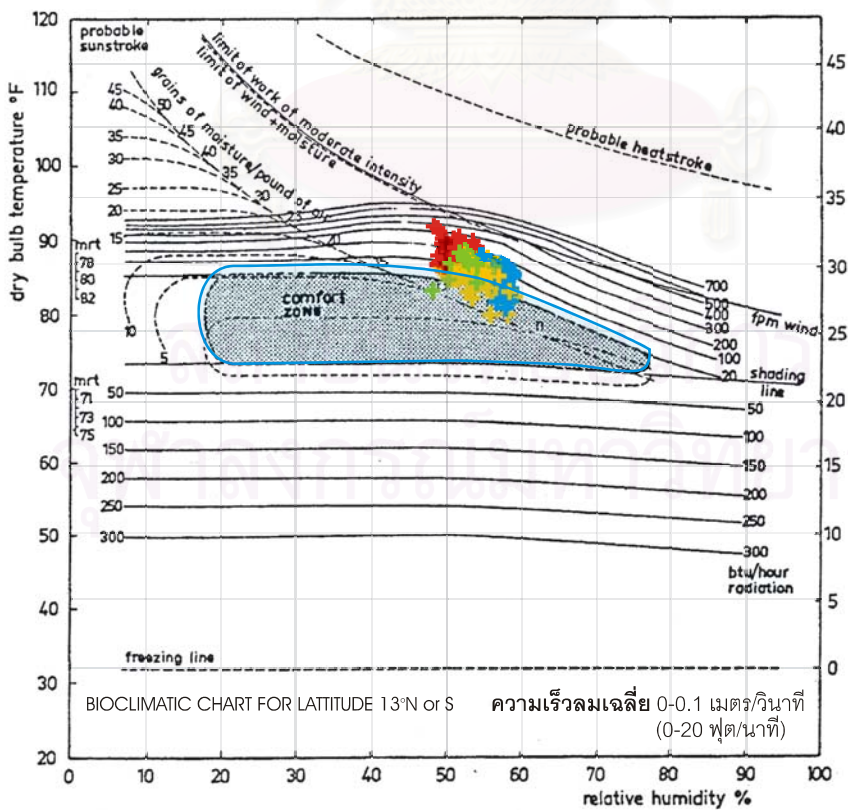
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-26 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่ในอาคารทั้งหมด 23 ตำแหน่งการวัด



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

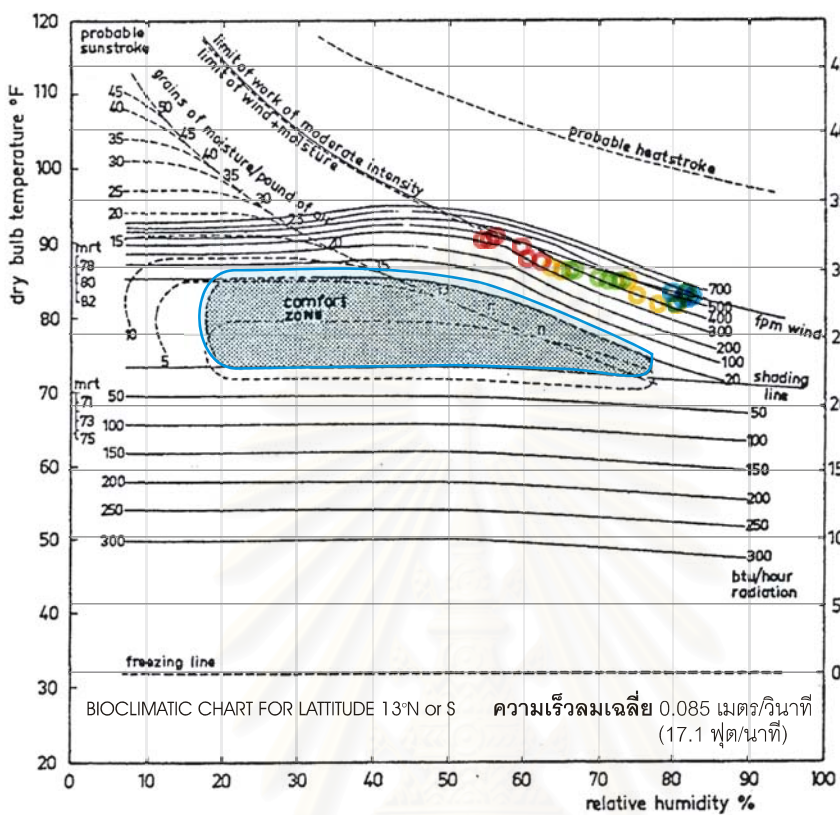
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-27 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด A1



วันที่บันทึกข้อมูล

21/05/2002

00:00-23:59

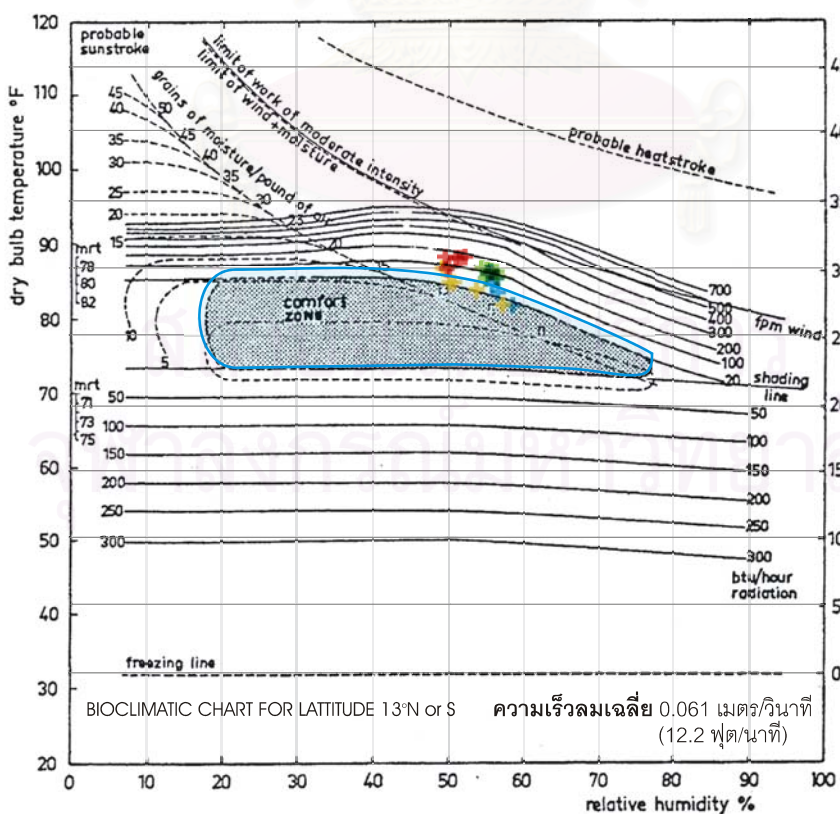
ฤดูร้อน เวลา

● 00:00 - 05:59

● 06:00 - 11:59

● 12:00 - 17:59

● 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล

22/12/2002

00:00-23:59

ฤดูหนาว เวลา

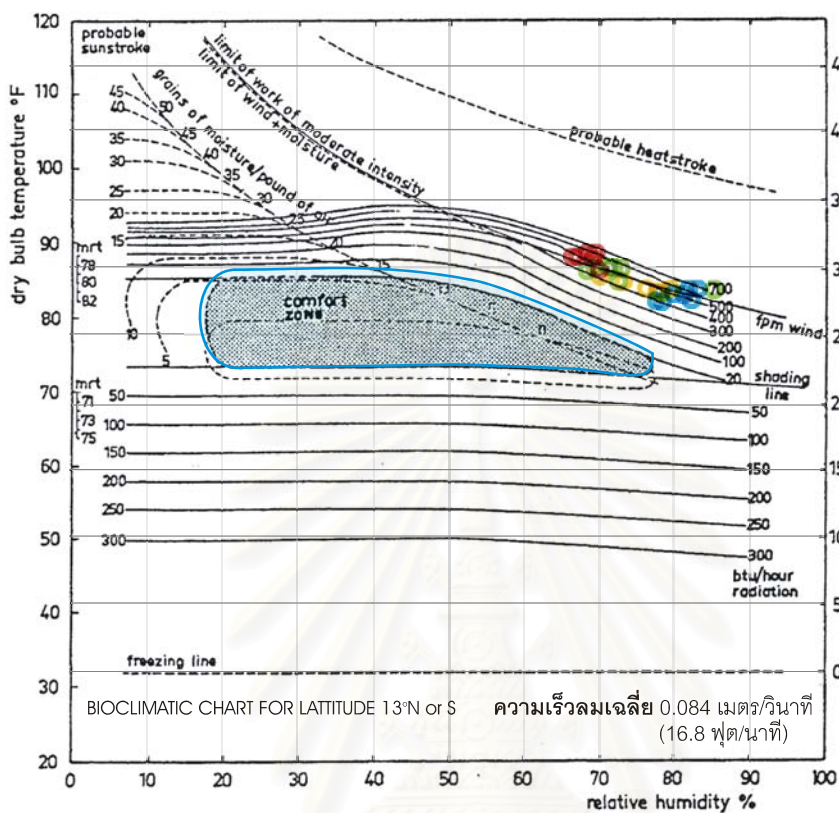
+ 00:00 - 05:59

+ 06:00 - 11:59

+ 12:00 - 17:59

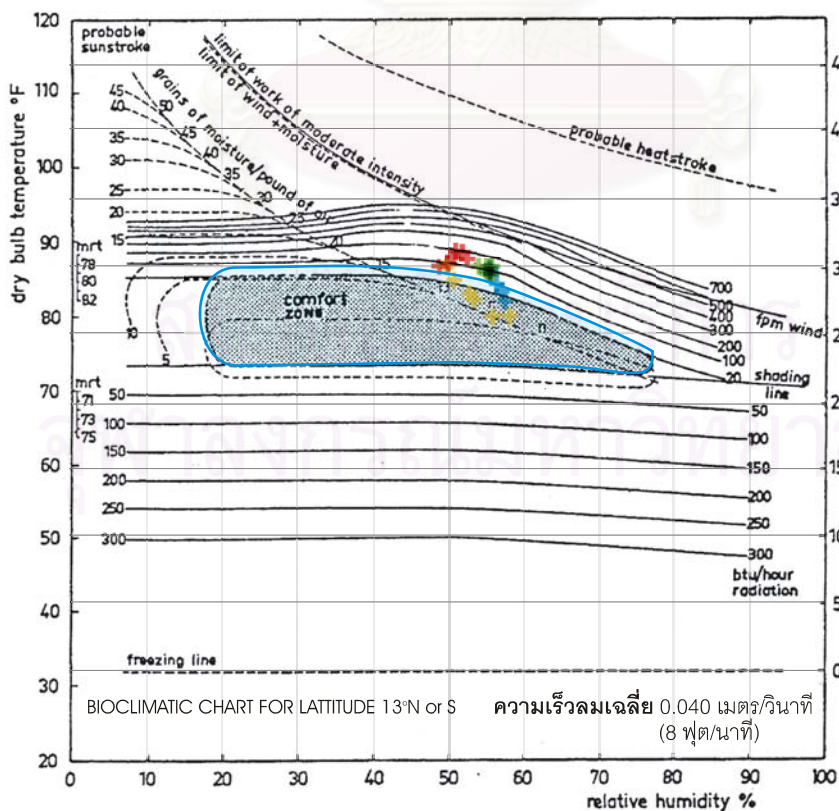
+ 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-28 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด B1



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

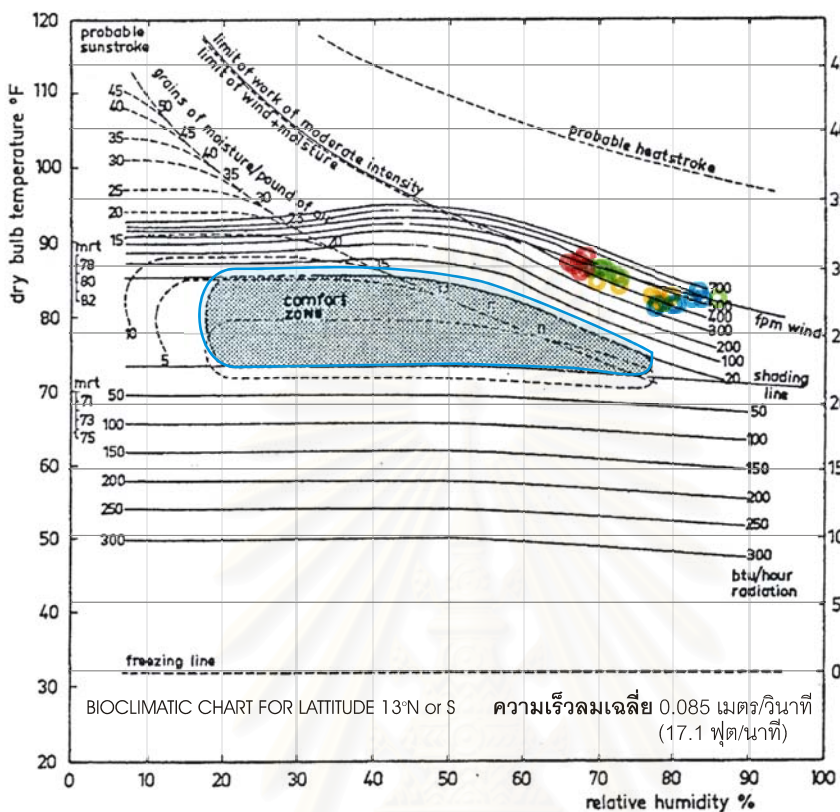
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

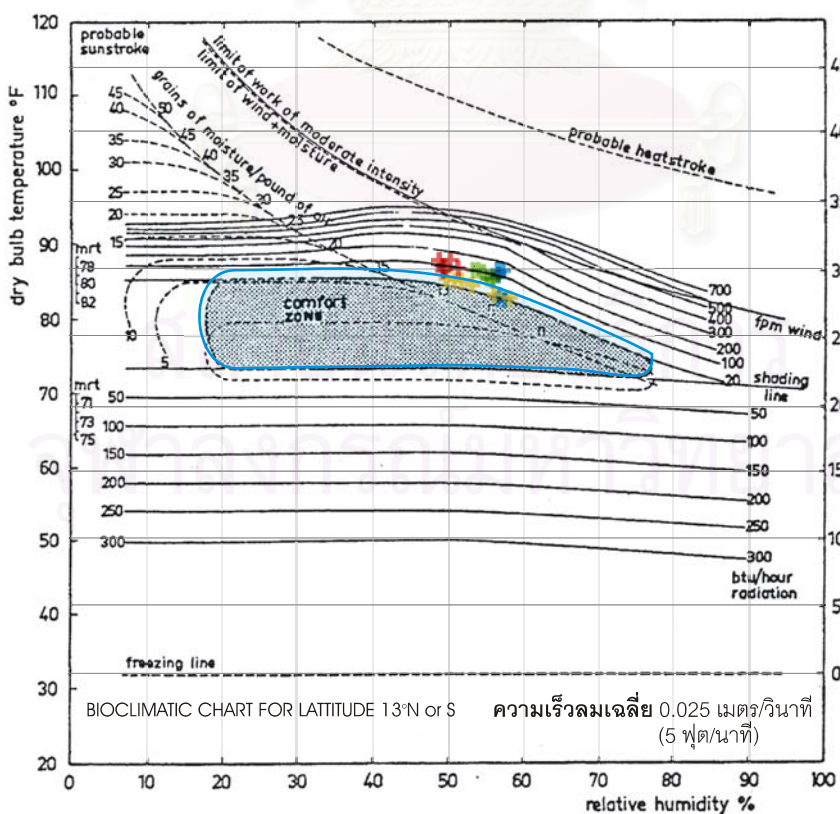
- ฤดูหนาว เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-29 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด C1



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

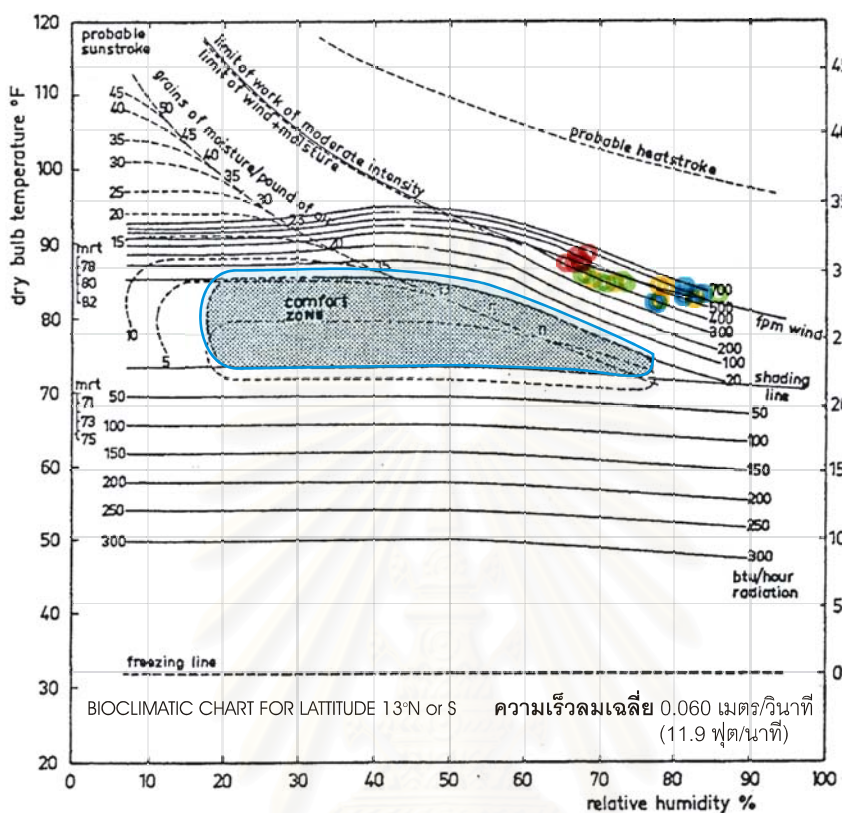
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

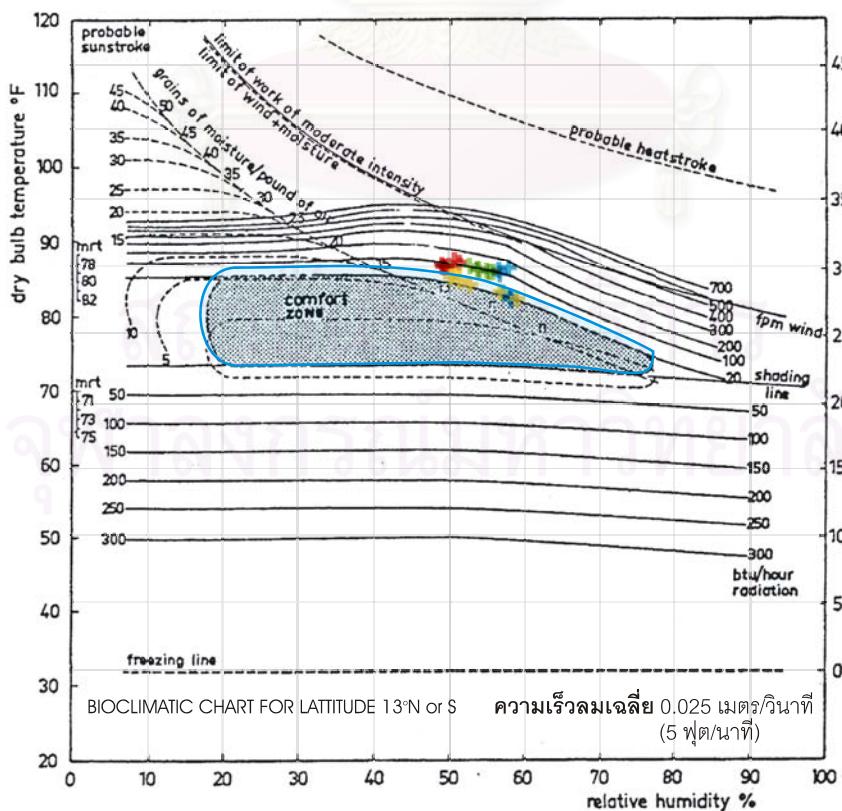
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-30 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด D1



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

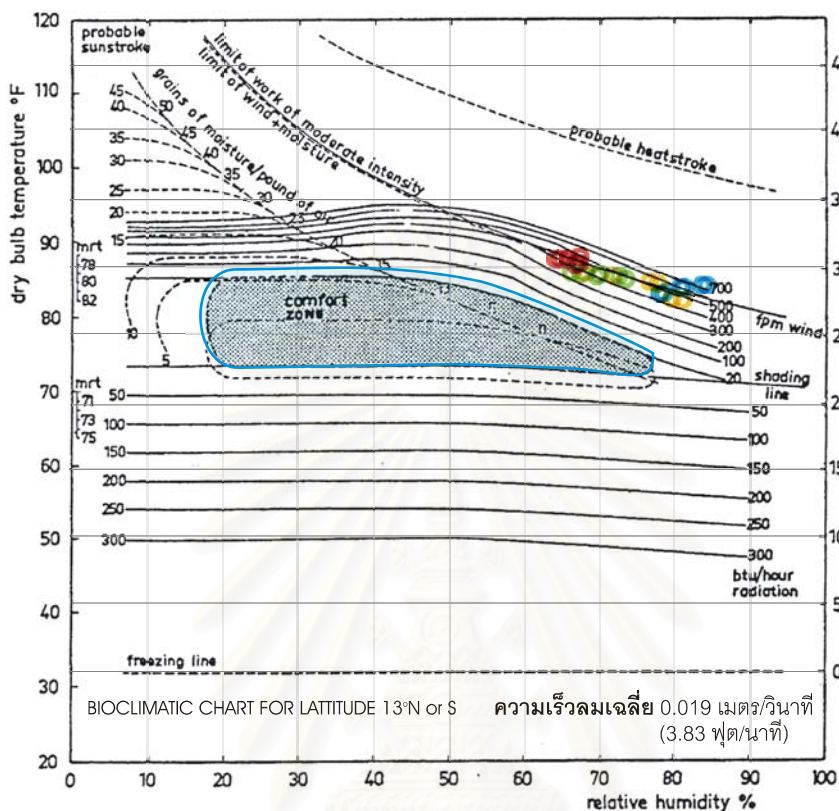
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

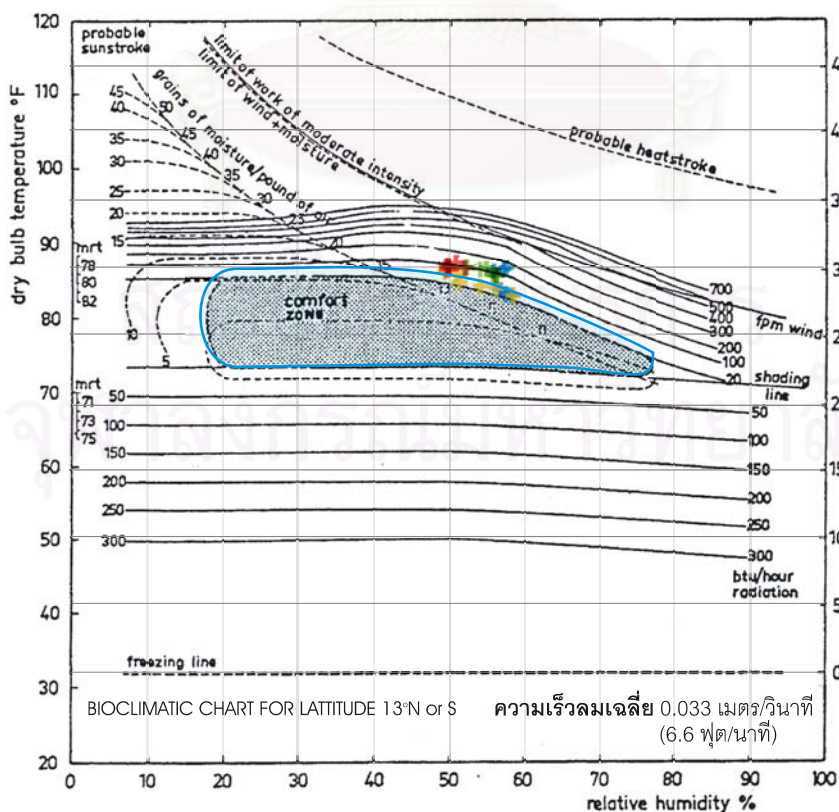
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-31 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด E1



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59

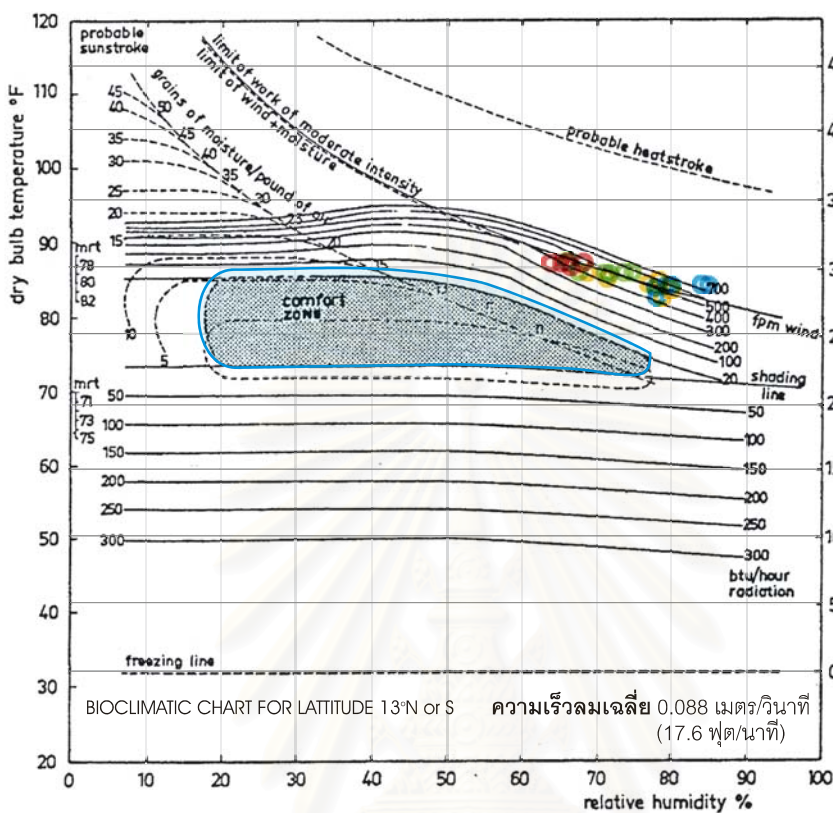


วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

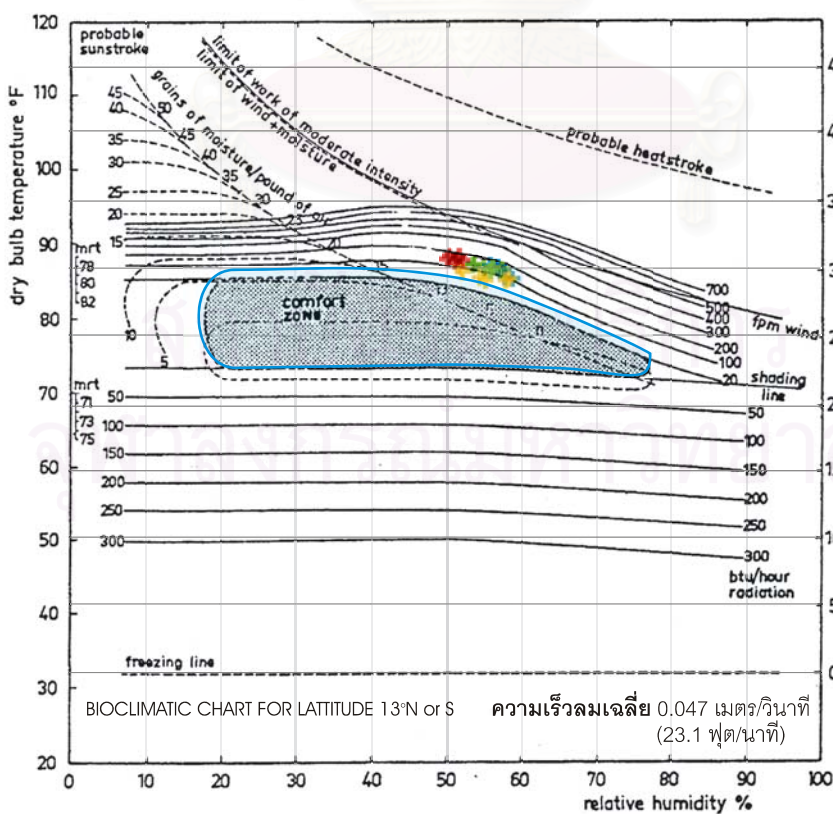


แผนภูมิที่ ก-32 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด CM



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

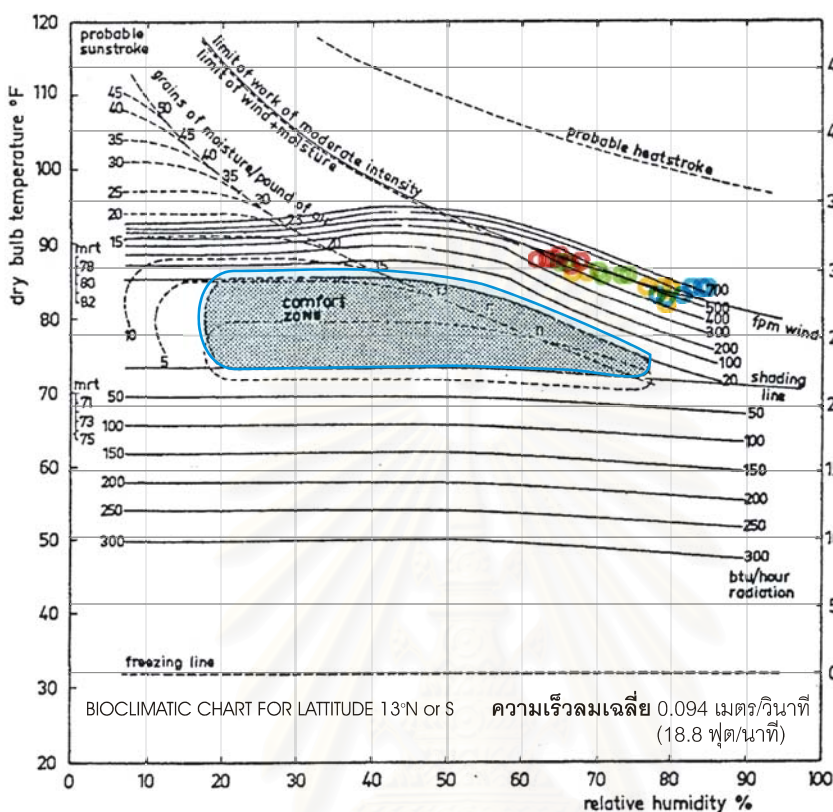
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

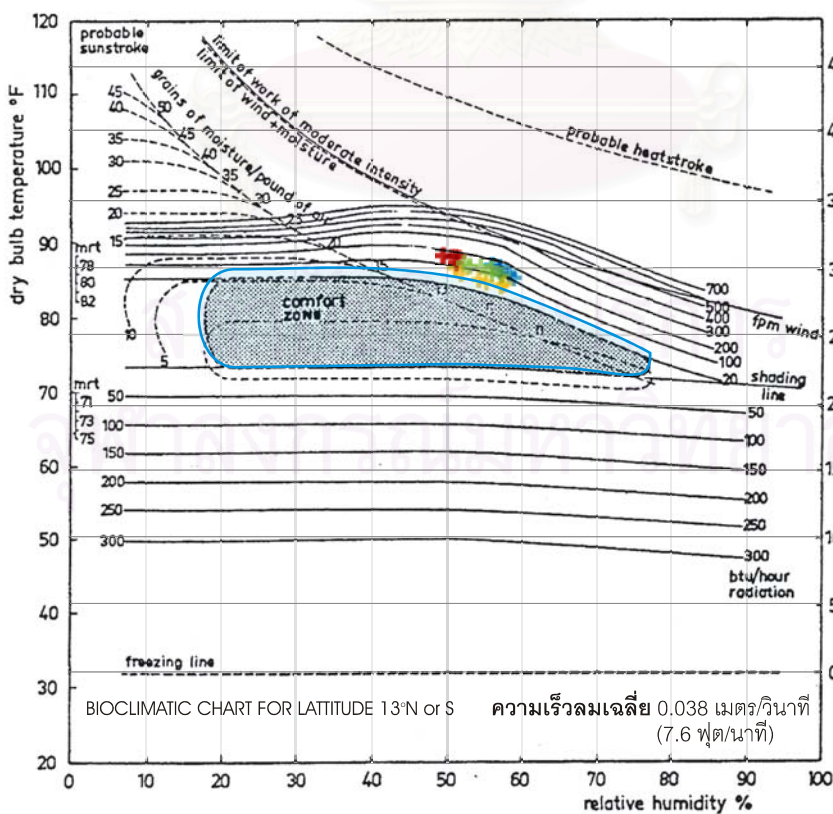
แผนภูมิที่ ก-33 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด DM



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

ฤดูร้อน เวลา

- 00:00 - 05:59
- 06:00 - 11:59
- 12:00 - 17:59
- 18:00 - 23:59

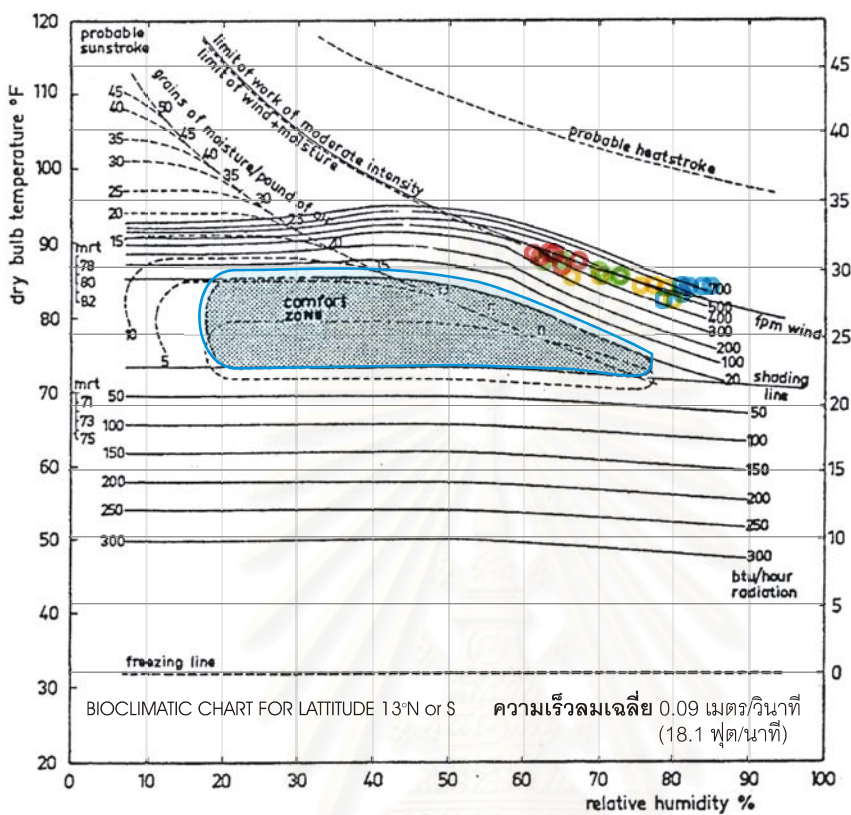


วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

ฤดูหนาว เวลา

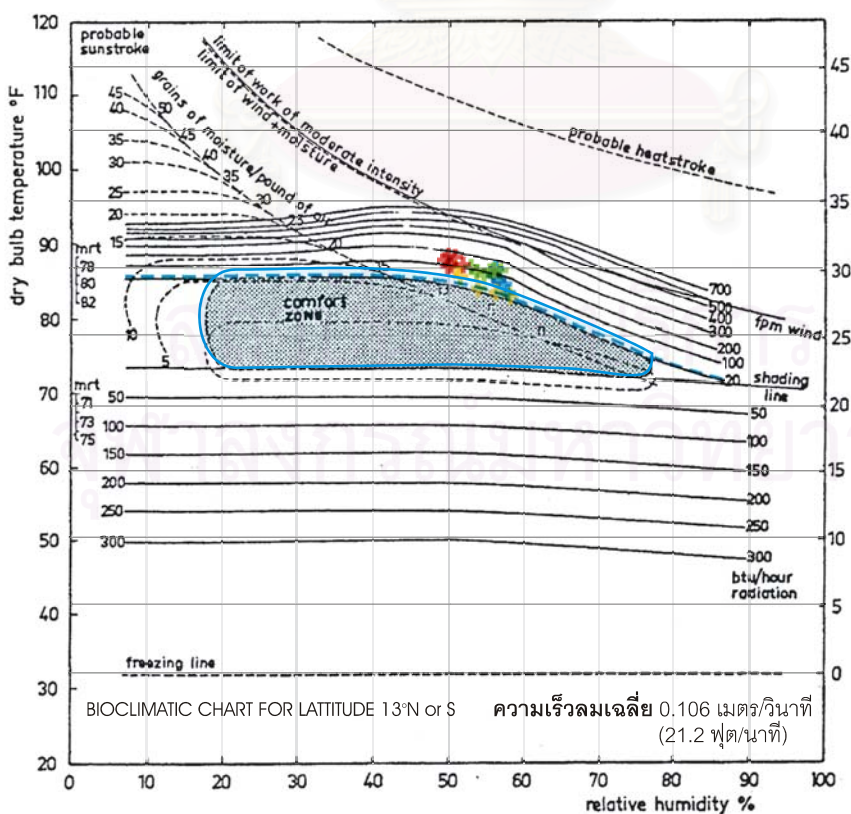
- + 00:00 - 05:59
- + 06:00 - 11:59
- + 12:00 - 17:59
- + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-34 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด A2



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

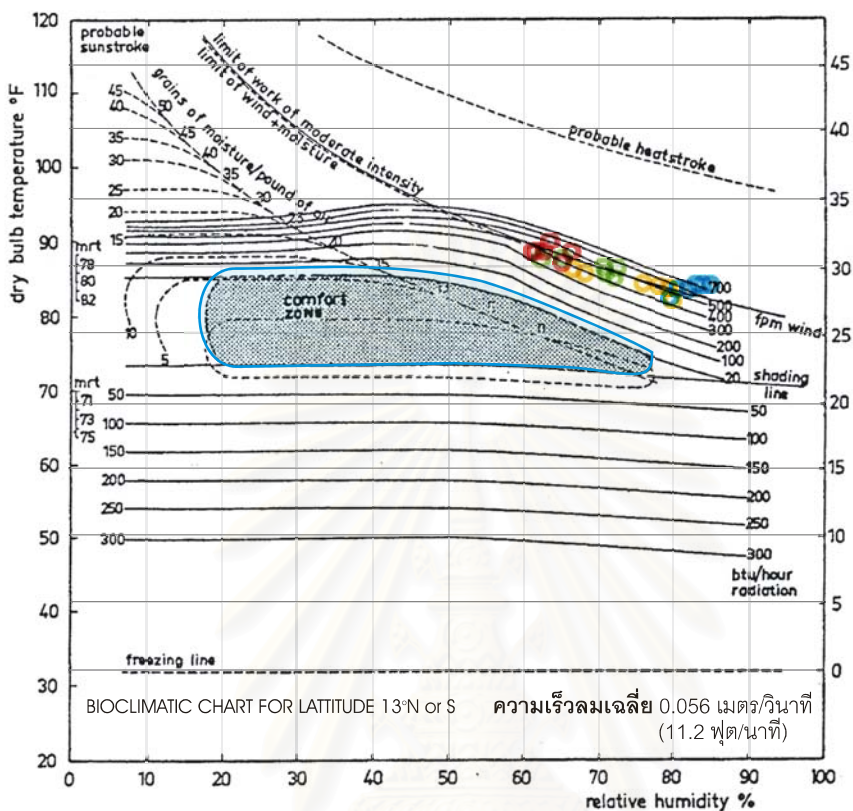
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

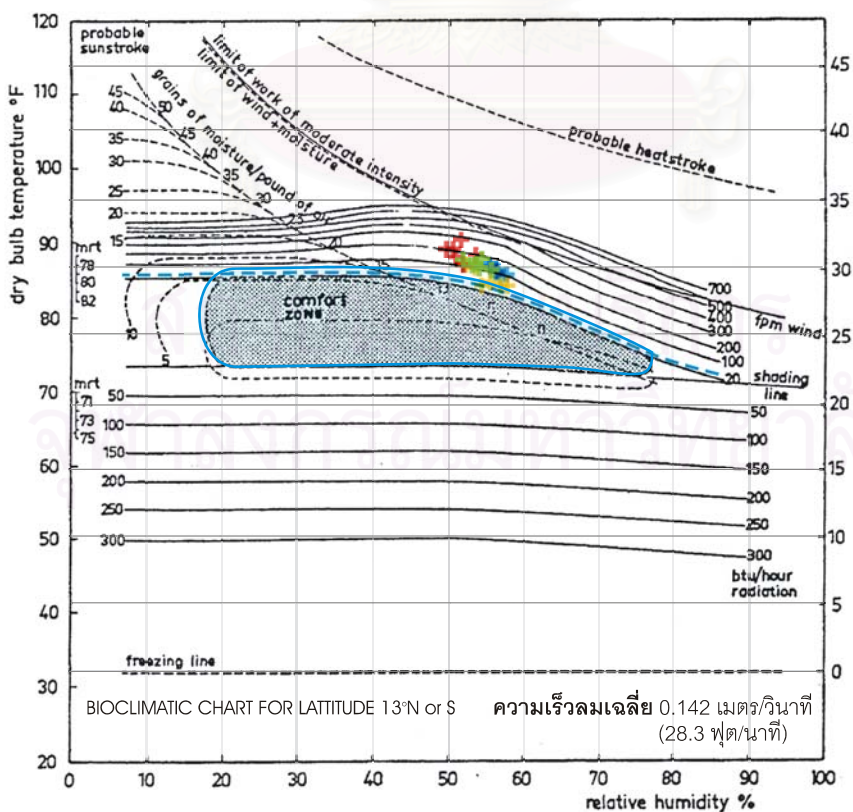
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-35 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด B2



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

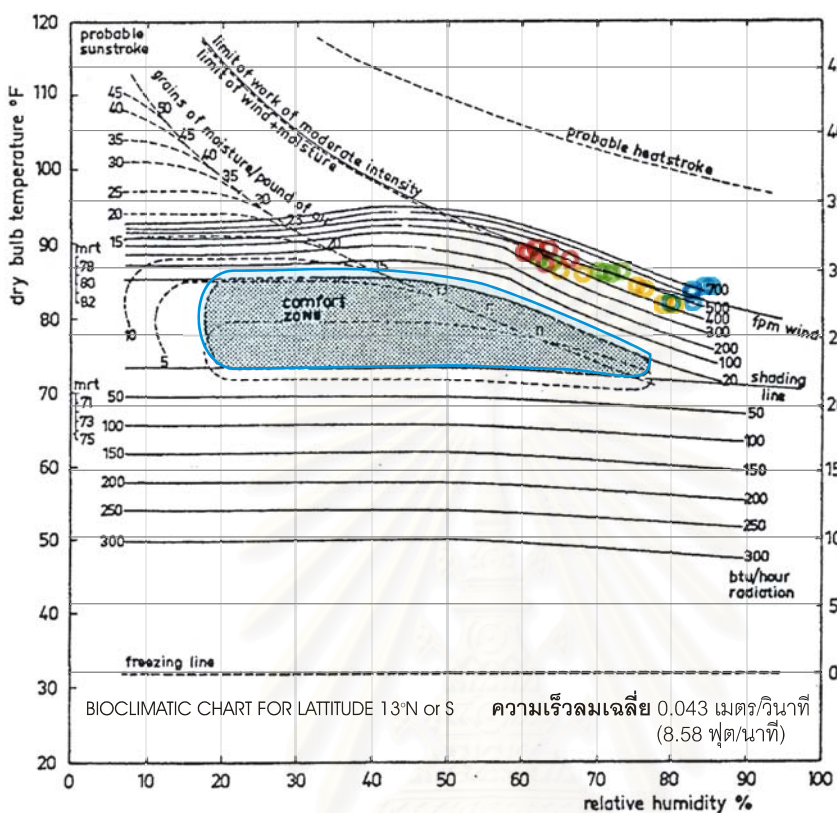
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

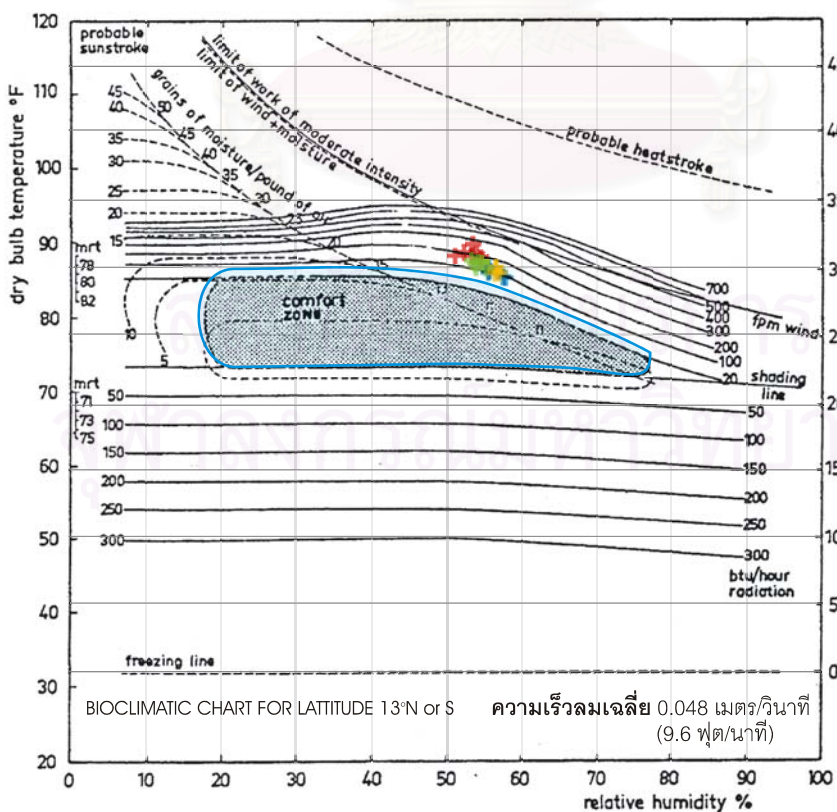
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-36 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด C2



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

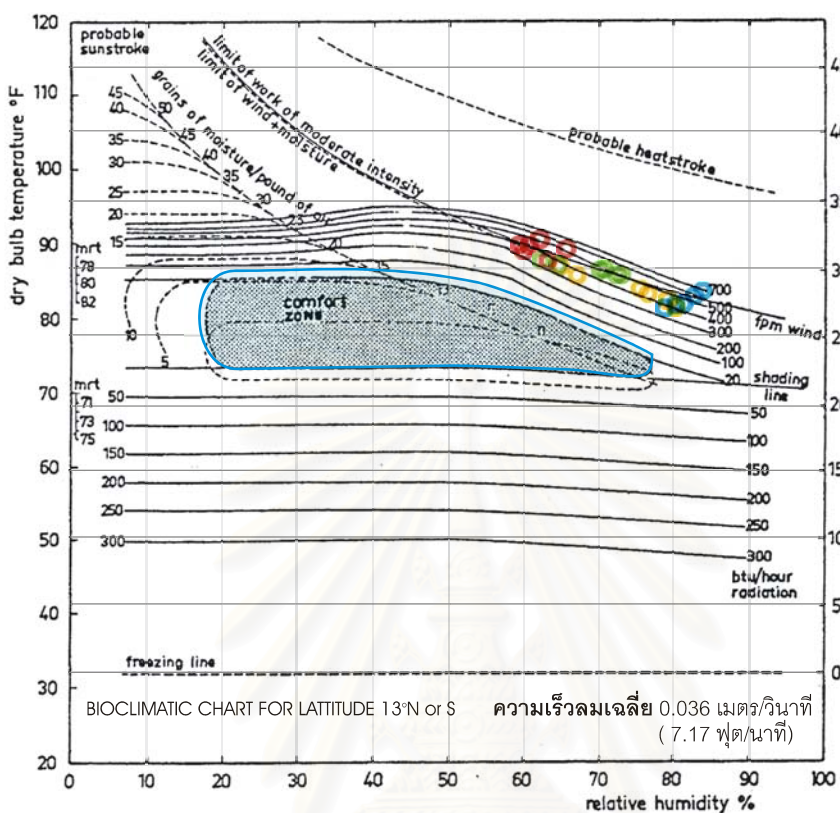
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

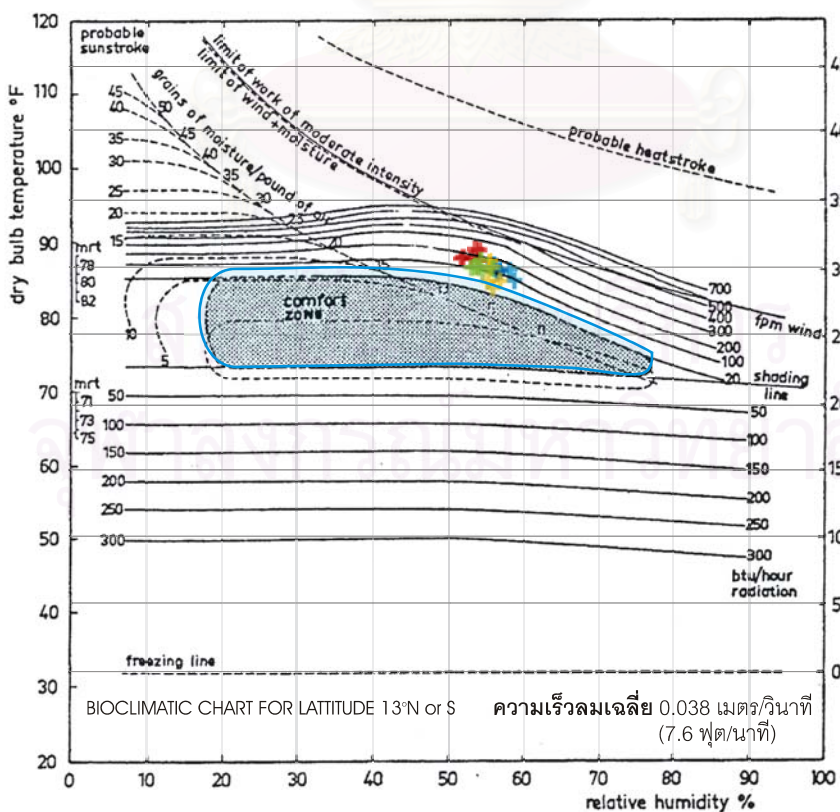
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-37 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด D2



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

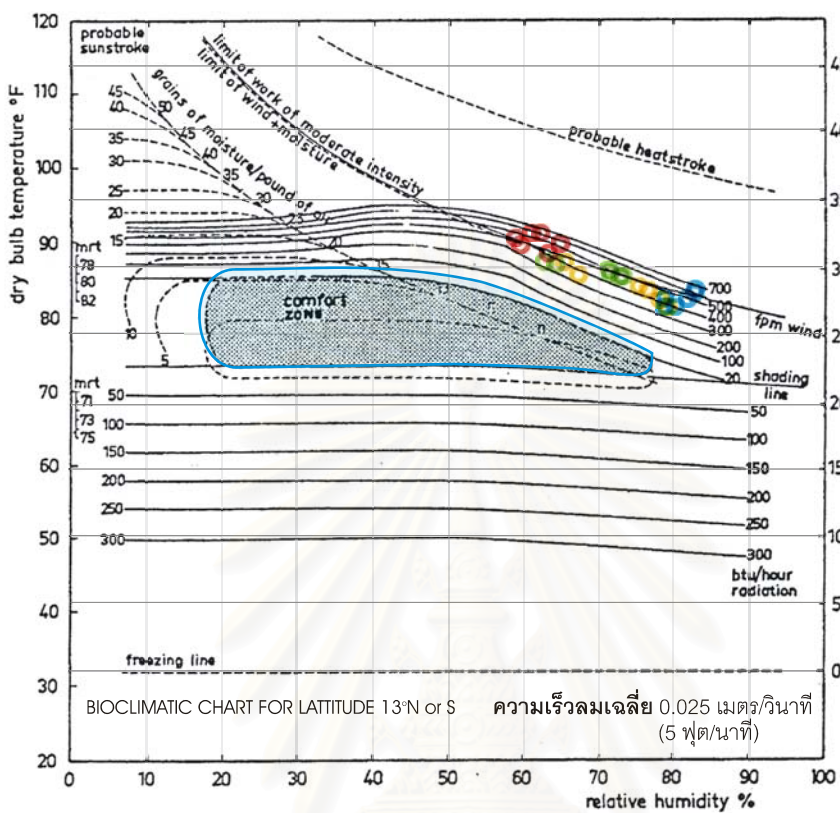
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

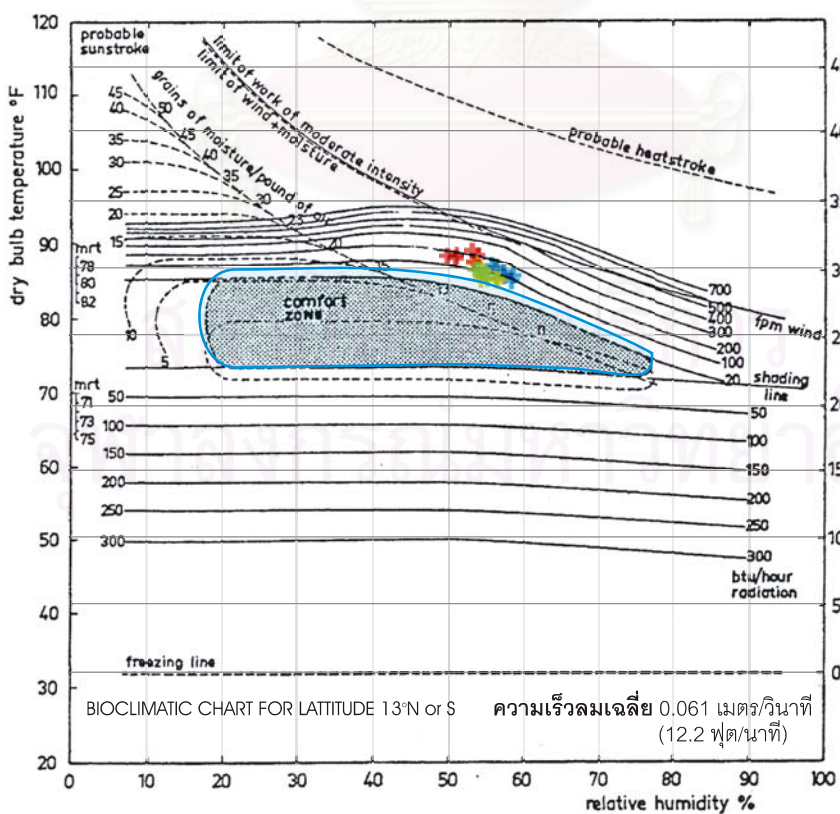
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-38 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด E2



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

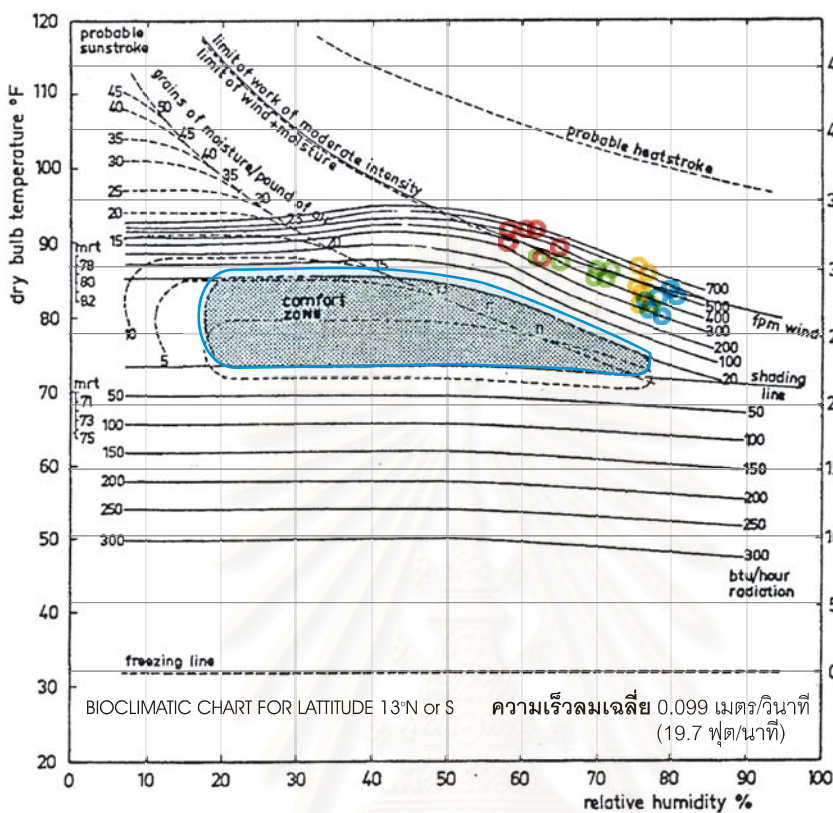
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

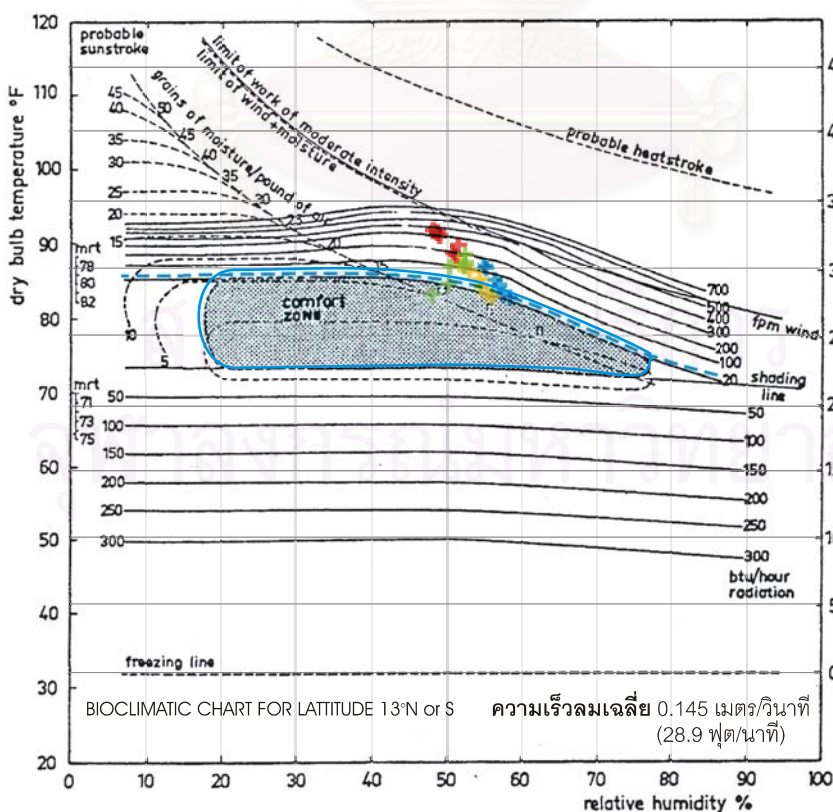
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-39 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด A3



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59

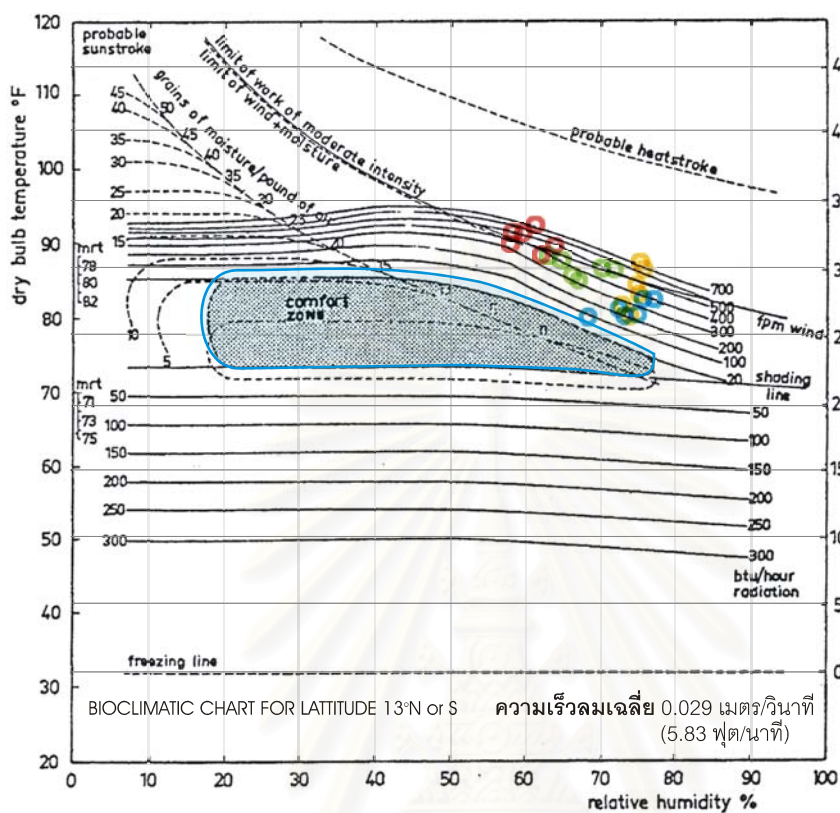


วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

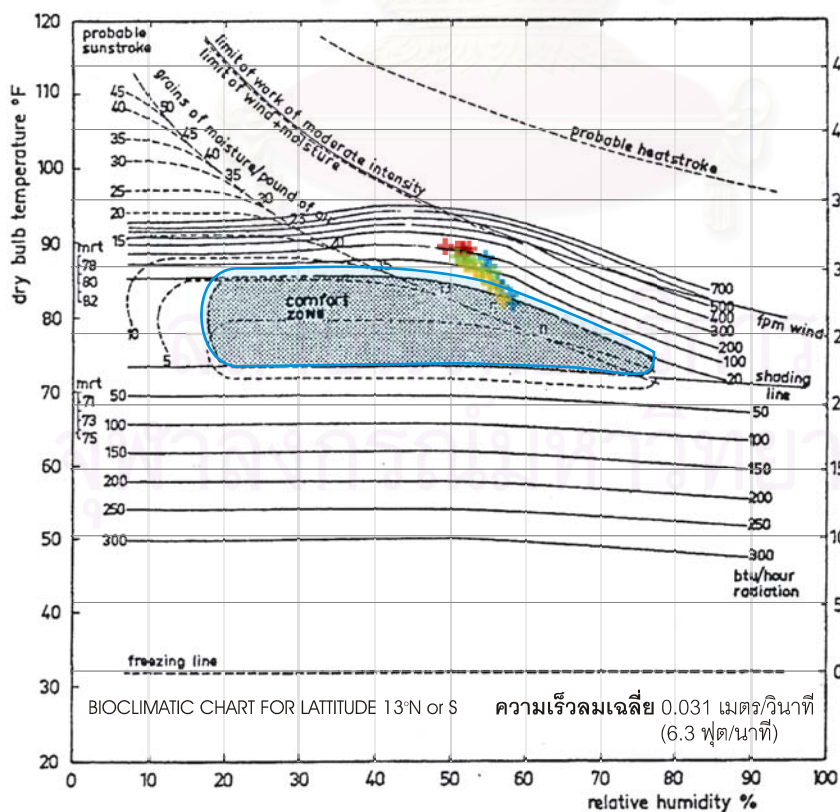


แผนภูมิที่ ก-40 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด B3



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

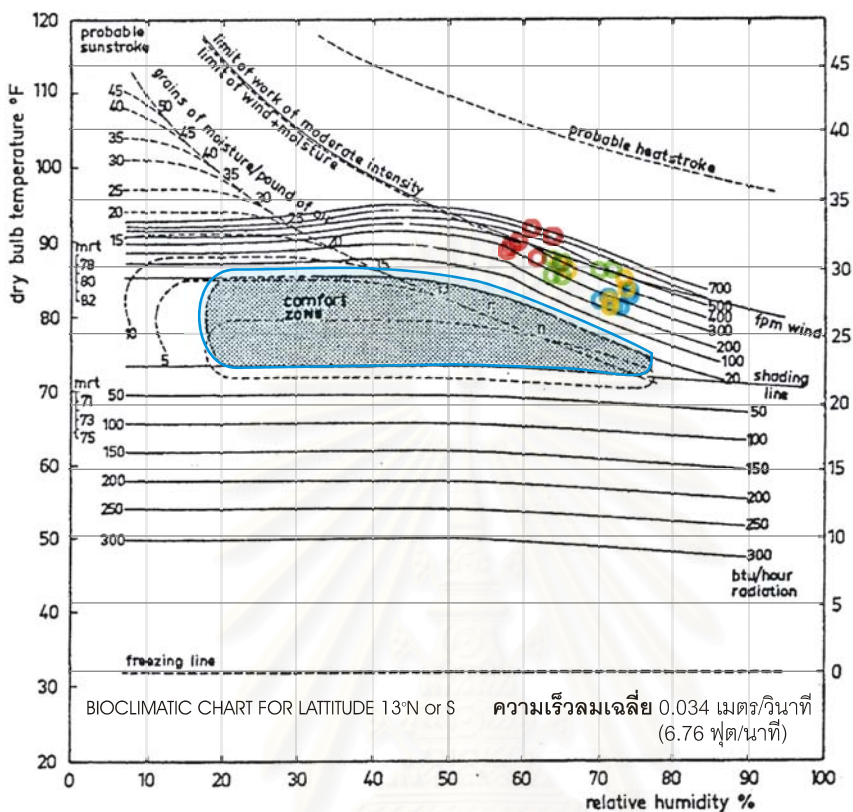
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

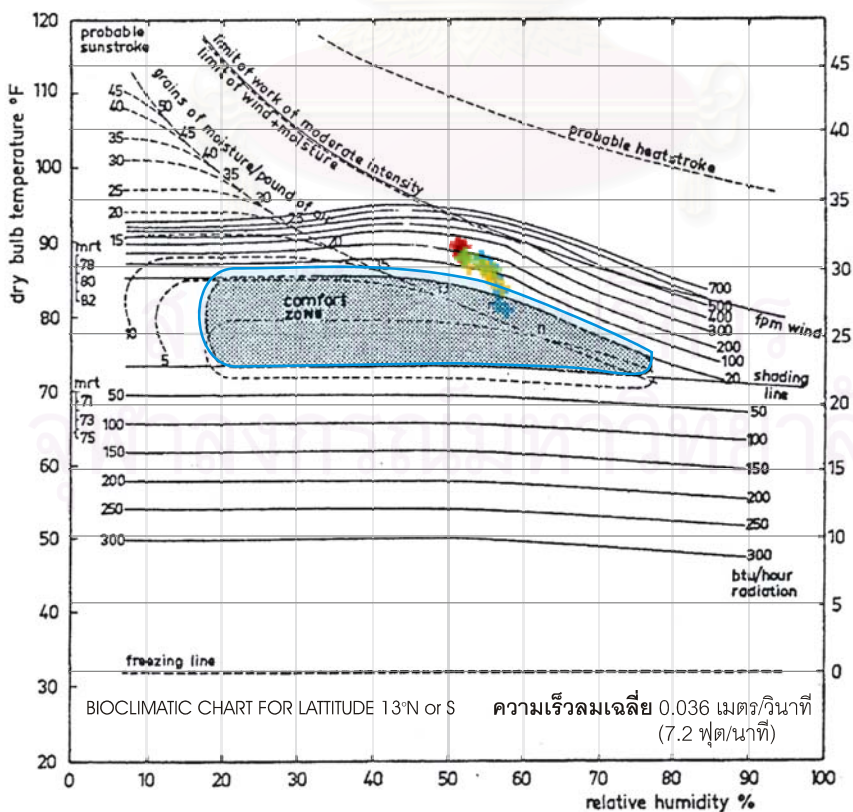
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-41 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด C3



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

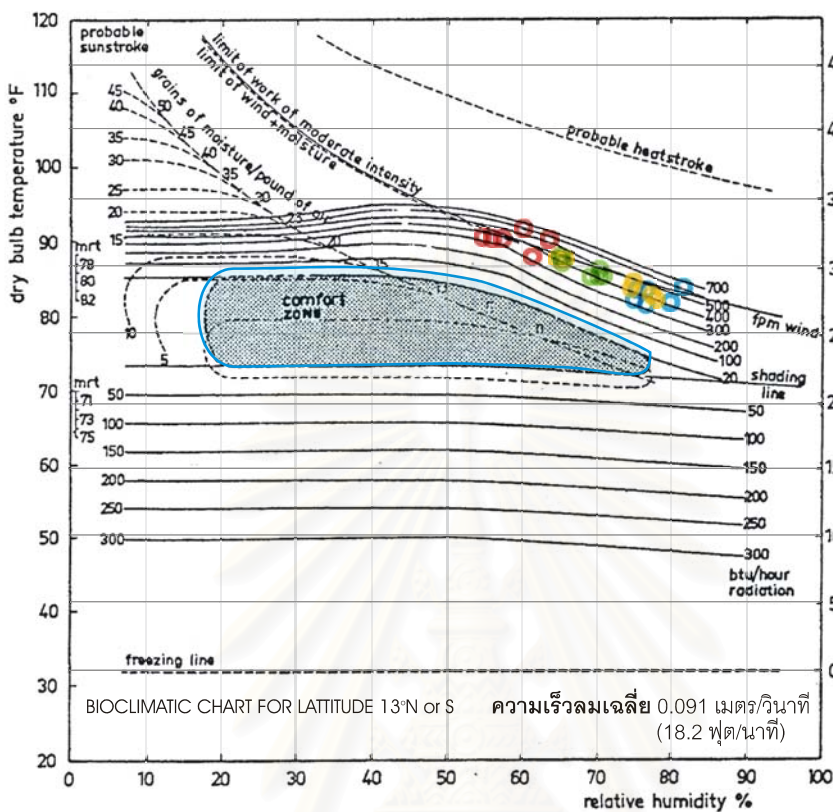
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

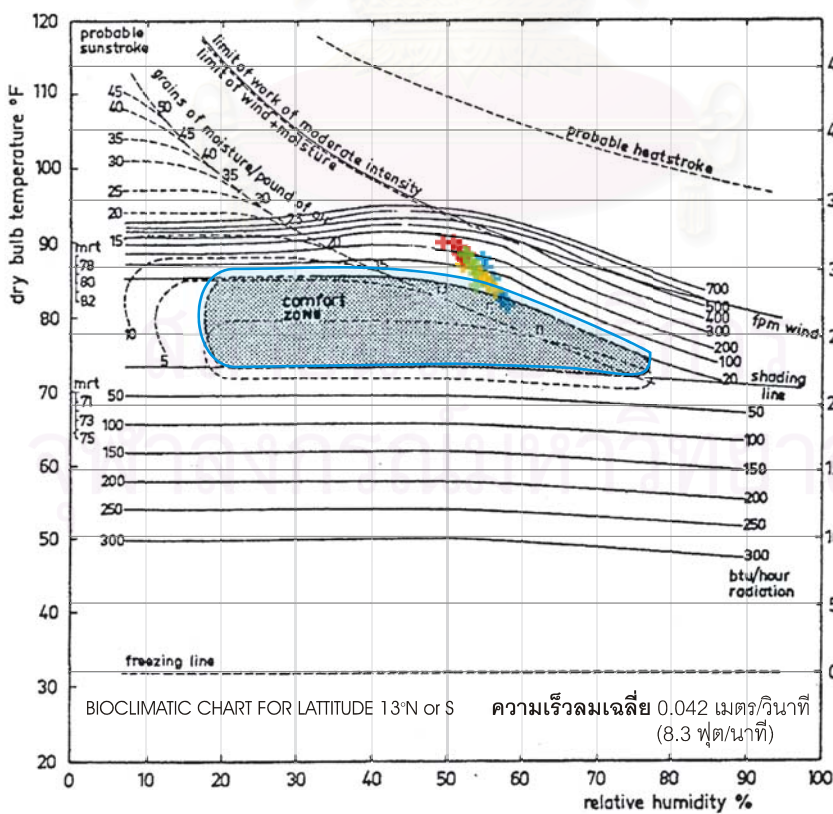
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-42 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด D3



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

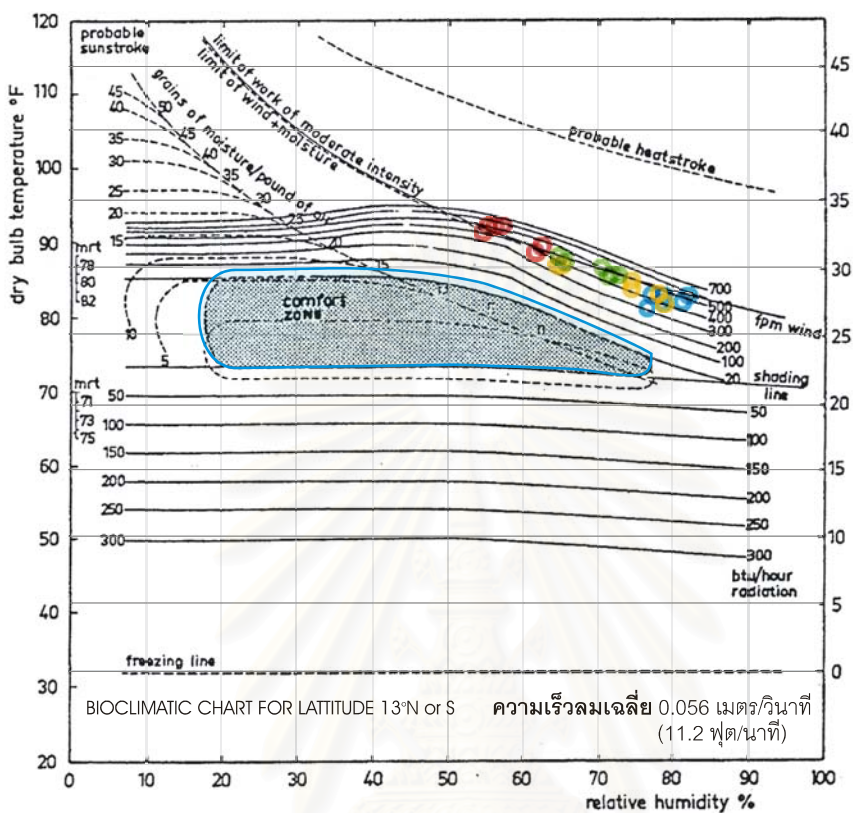
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

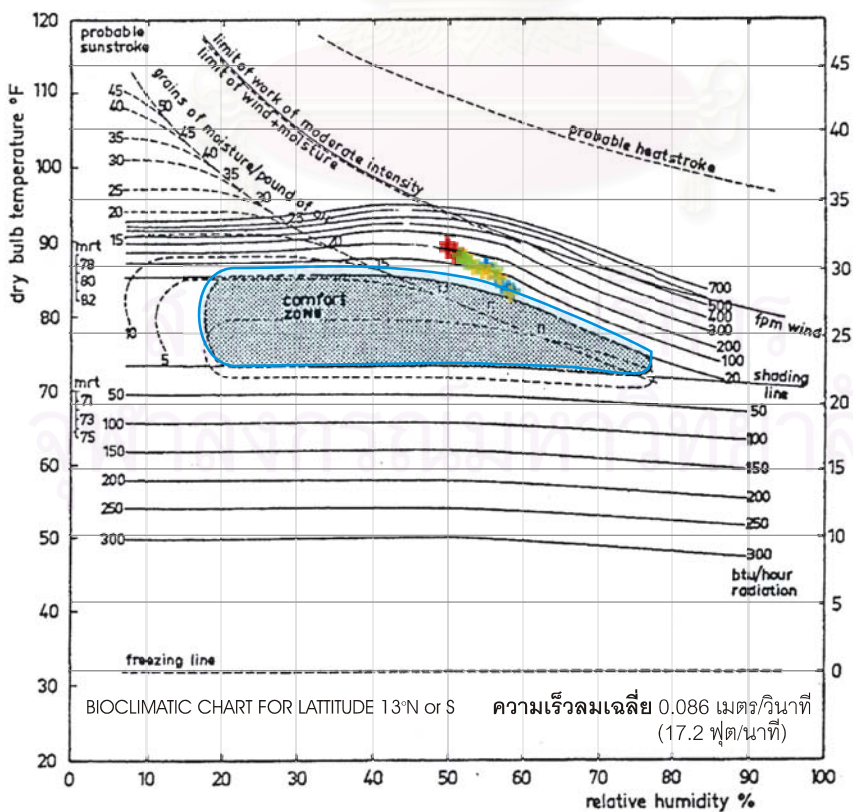
แผนภูมิที่ ก-43 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด E3



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

ฤดูร้อน เวลา

- 00:00 - 05:59
- 06:00 - 11:59
- 12:00 - 17:59
- 18:00 - 23:59

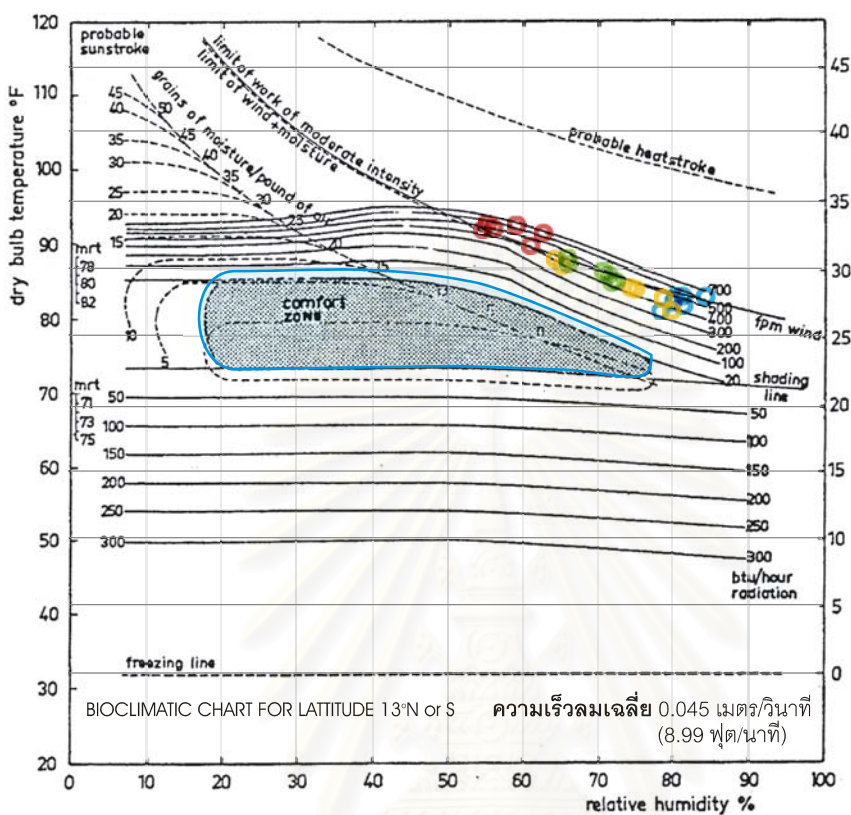


วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

ฤดูหนาว เวลา

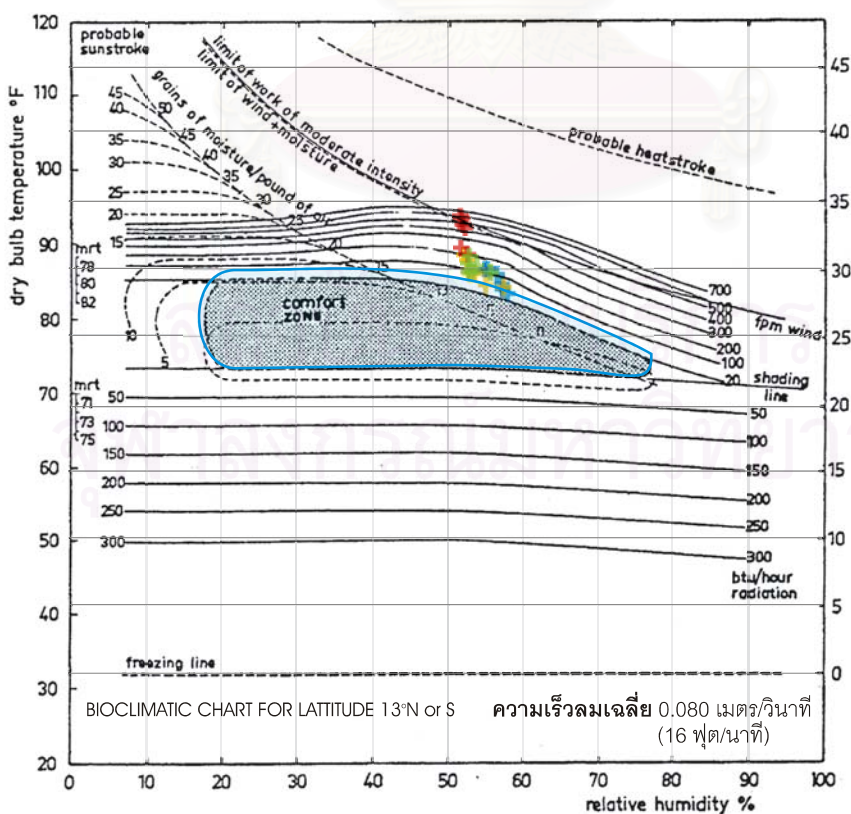
- + 00:00 - 05:59
- + 06:00 - 11:59
- + 12:00 - 17:59
- + 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-44 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด A4



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

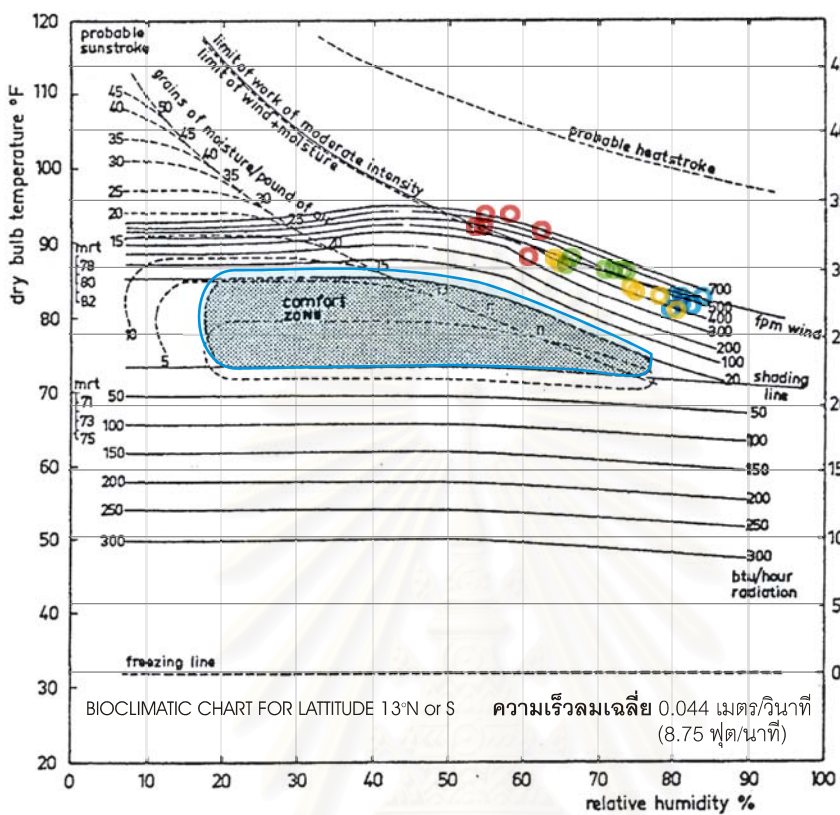
- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

- ฤดูหนาว เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-45 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด B4



วันที่บันทึกข้อมูล

21/05/2002

00:00-23:59

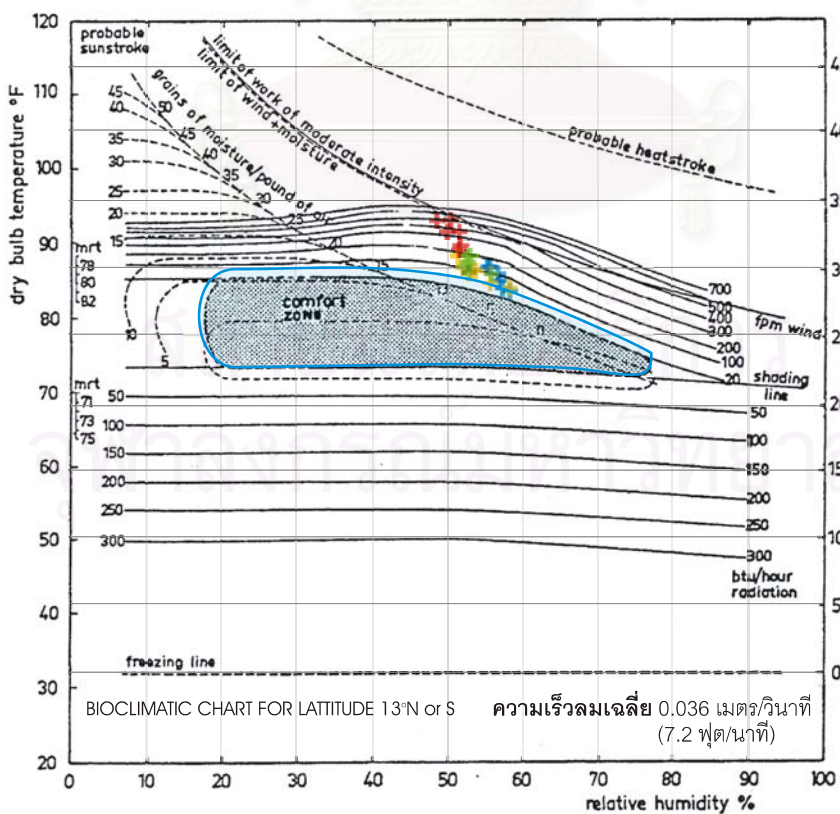
ฤดูร้อน เวลา

● 00:00 - 05:59

● 06:00 - 11:59

● 12:00 - 17:59

● 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล

22/12/2002

00:00-23:59

ฤดูหนาว เวลา

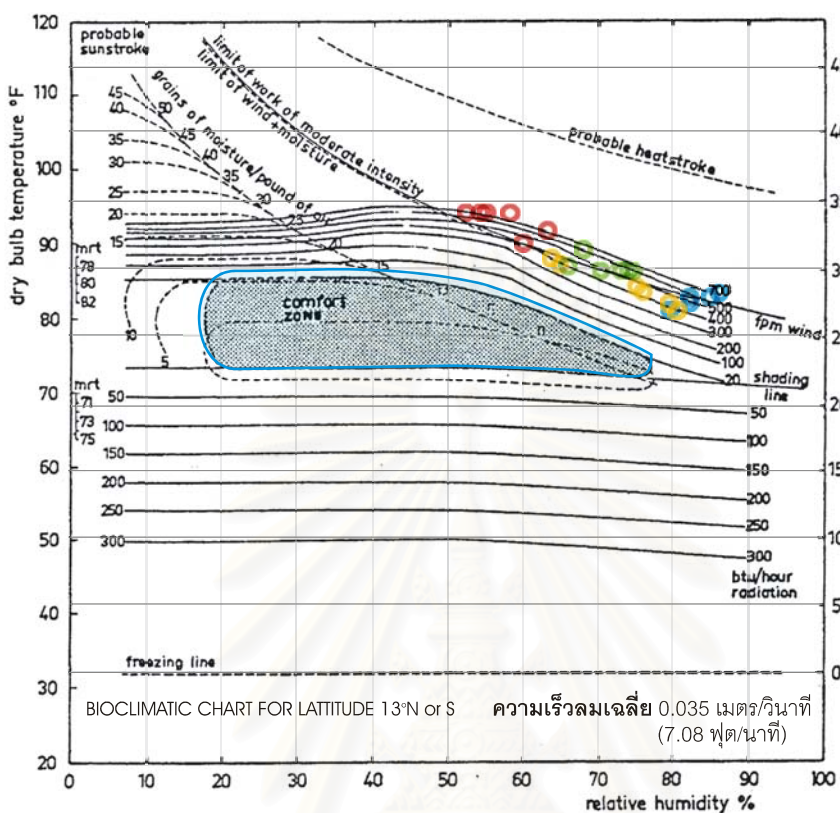
+ 00:00 - 05:59

+ 06:00 - 11:59

+ 12:00 - 17:59

+ 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-46 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด C4



วันที่บันทึกข้อมูล

21/05/2002

00:00-23:59

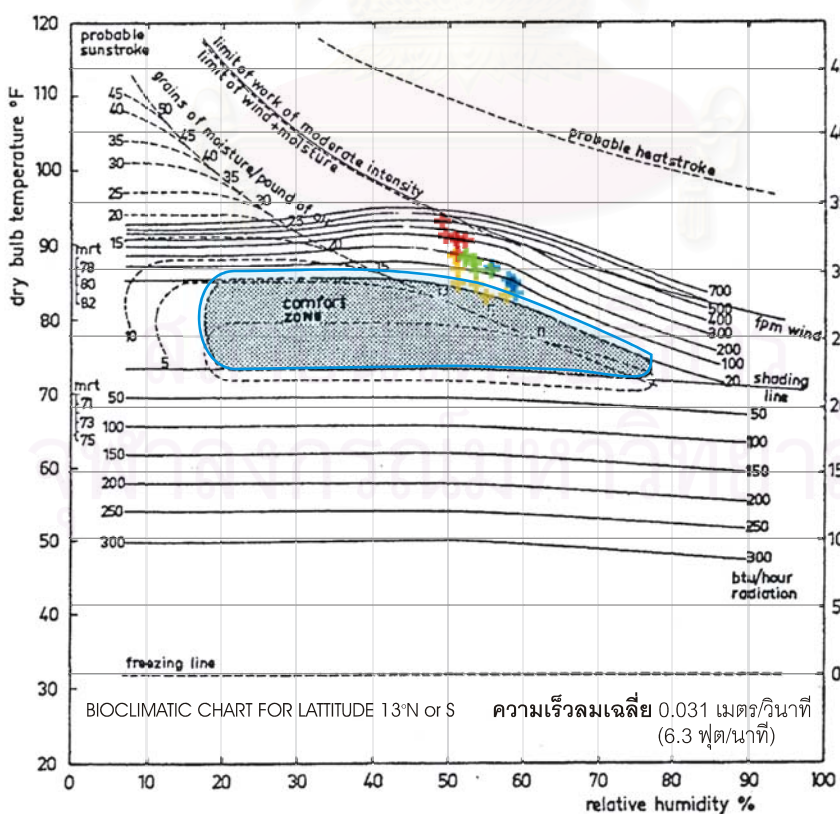
ฤดูร้อน เวลา

● 00:00 - 05:59

● 06:00 - 11:59

● 12:00 - 17:59

● 18:00 - 23:59



วันที่บันทึกข้อมูล

22/12/2002

00:00-23:59

ฤดูหนาว เวลา

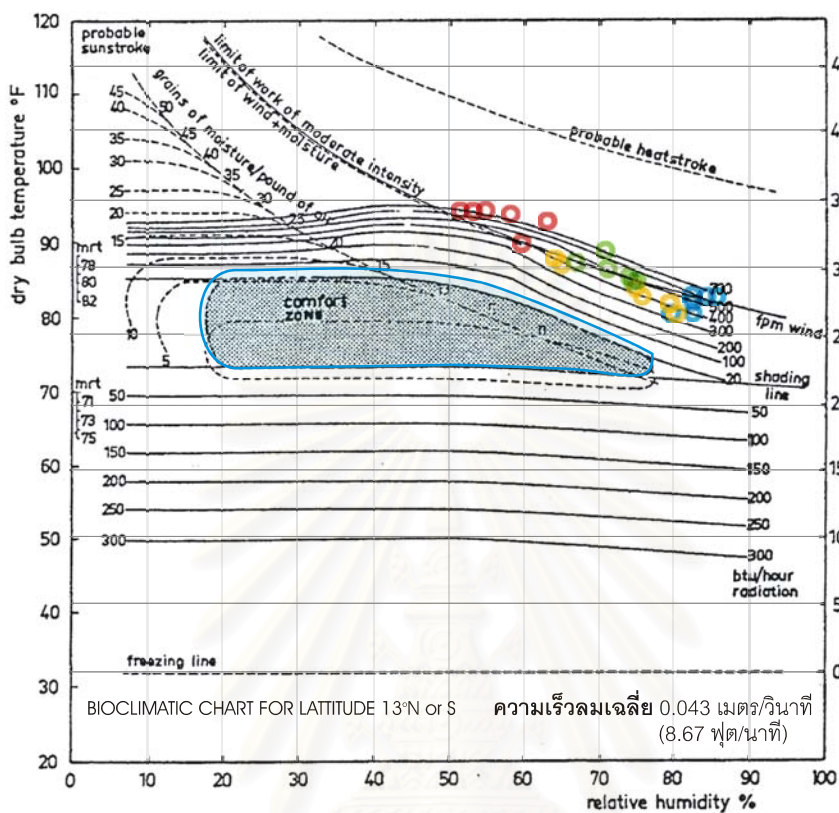
+ 00:00 - 05:59

+ 06:00 - 11:59

+ 12:00 - 17:59

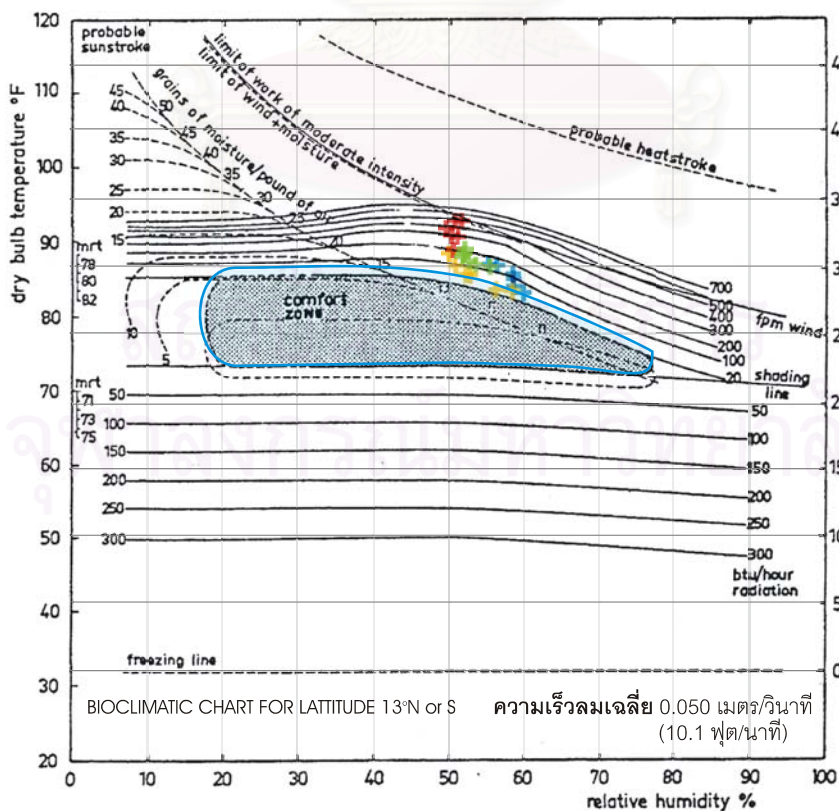
+ 18:00 - 23:59

แผนภูมิที่ ก-47 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด D4



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59

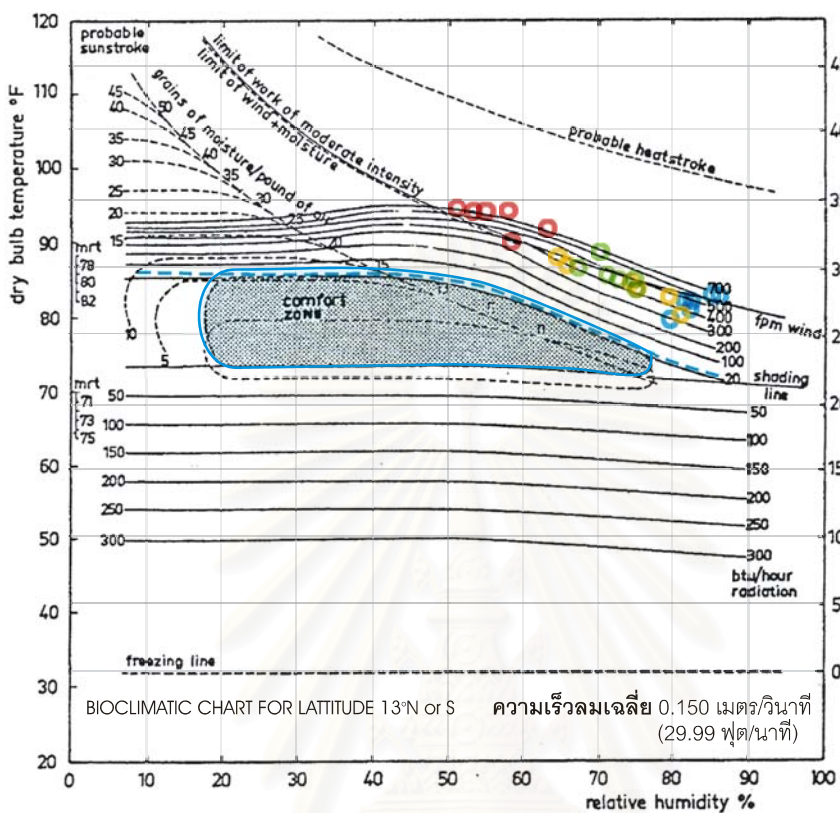


วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

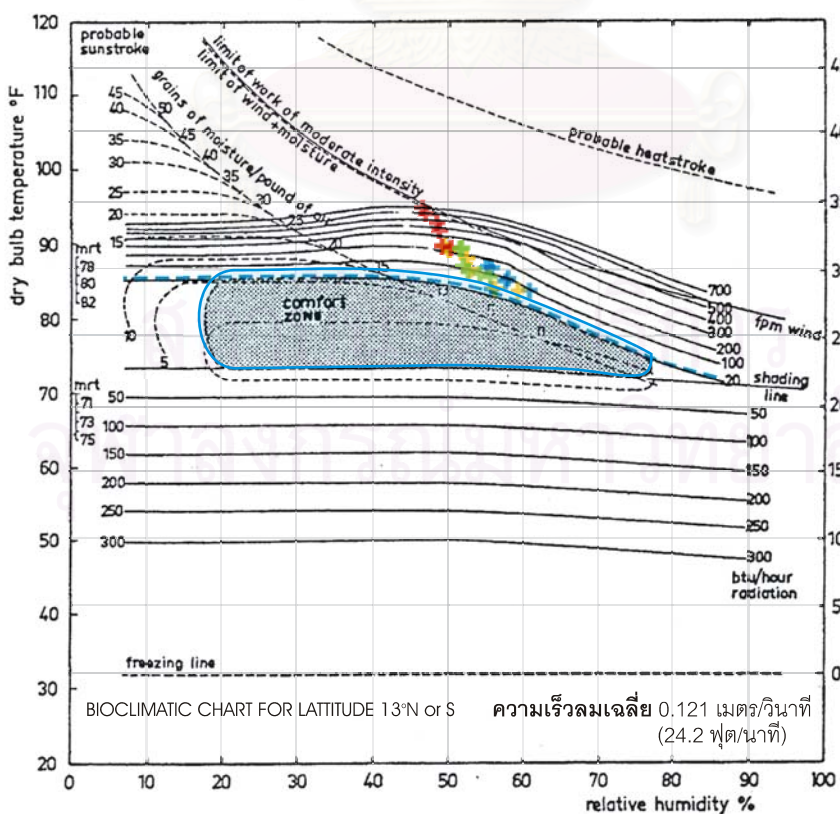


แผนภูมิที่ ก-48 สภาวะน่าสบายในตึกแถวพักอาศัยกรณีศึกษา พื้นที่การวัด E4



วันที่บันทึกข้อมูล  
21/05/2002  
00:00-23:59

- ฤดูร้อน เวลา
- 00:00 - 05:59
  - 06:00 - 11:59
  - 12:00 - 17:59
  - 18:00 - 23:59

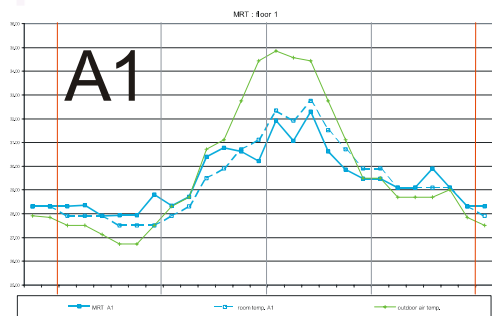
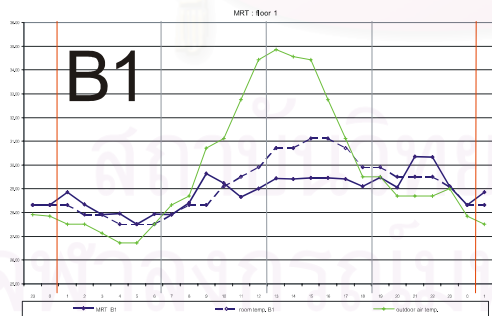
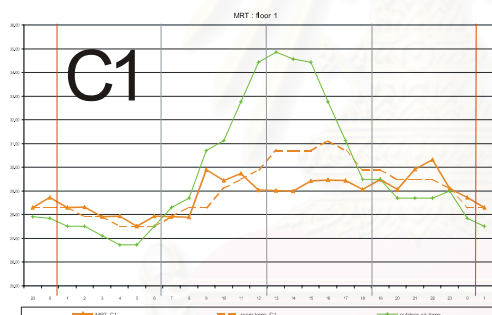
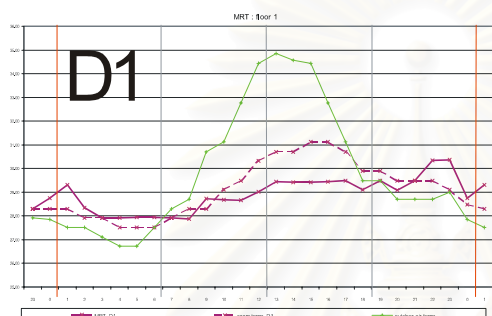
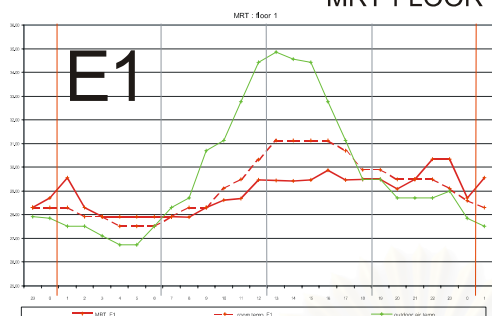


วันที่บันทึกข้อมูล  
22/12/2002  
00:00-23:59

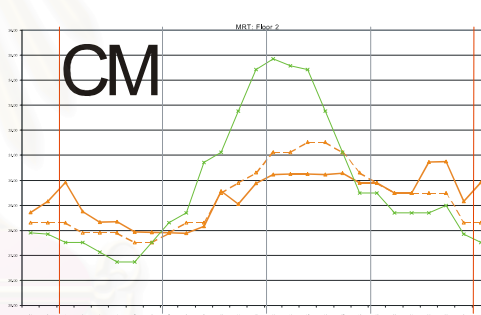
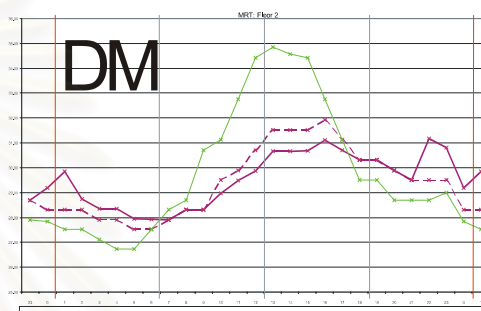
- ฤดูหนาว เวลา
- + 00:00 - 05:59
  - + 06:00 - 11:59
  - + 12:00 - 17:59
  - + 18:00 - 23:59

แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (MRT) [21-05-2002]

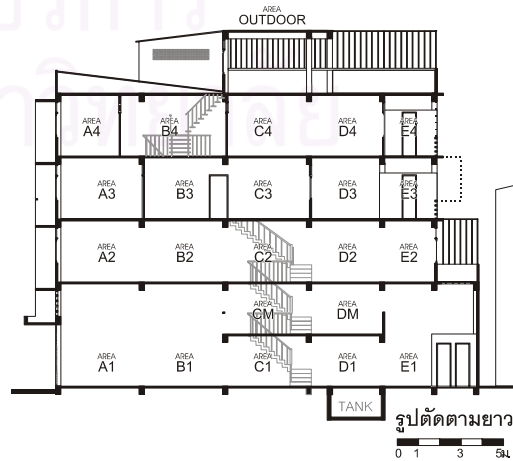
MRT FLOOR 1



MRT FLOOR M  
(MEZZANINE)

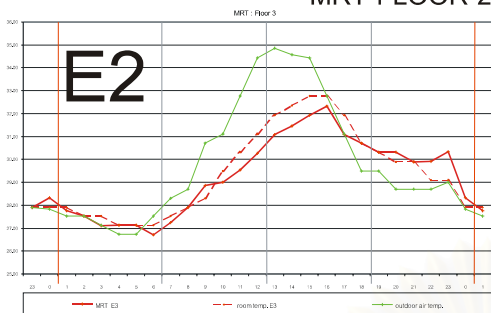


- OUTDOOR TEMPERATURE
- - - ZONE AIR TEMPERATURE
- ZONE MRT

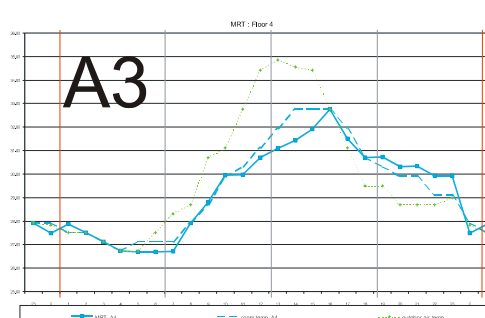
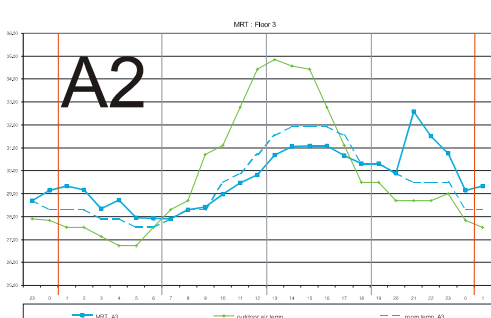
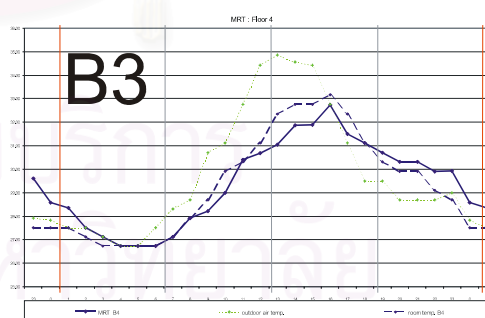
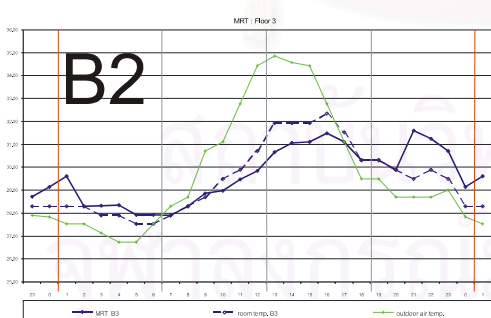
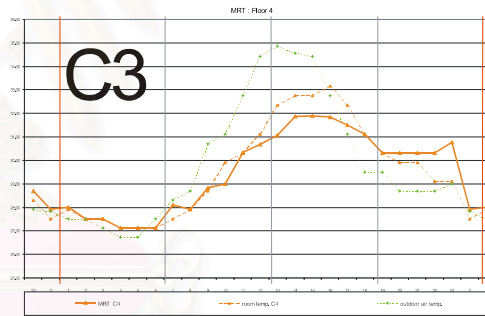
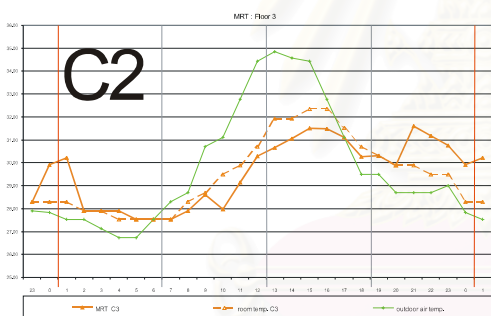
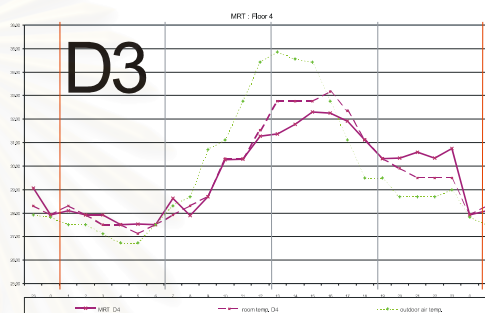
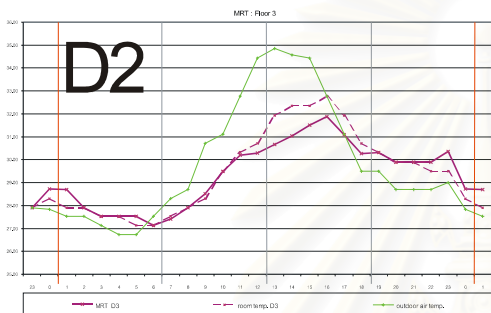
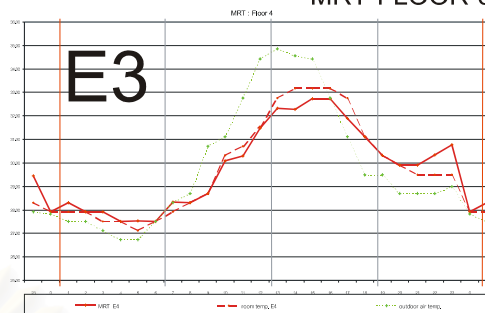


แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (MRT) [21-05-2002]

MRT FLOOR 2

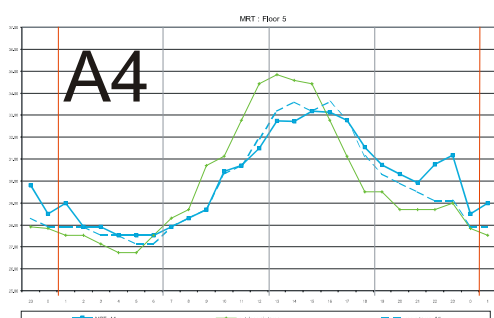
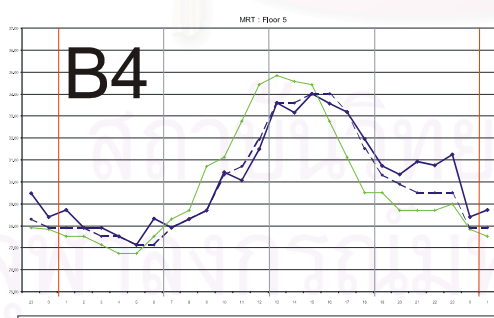
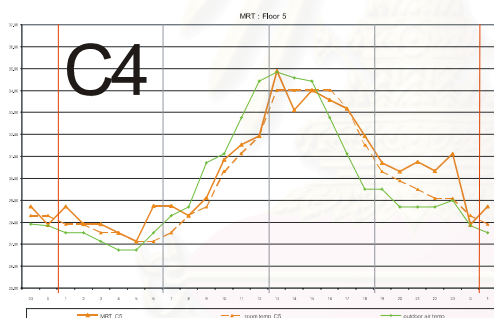
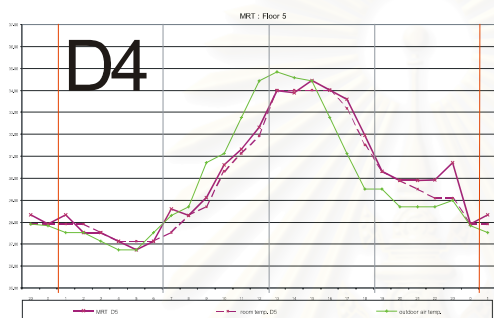
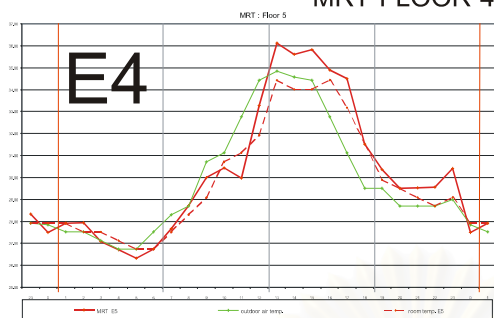


MRT FLOOR 3

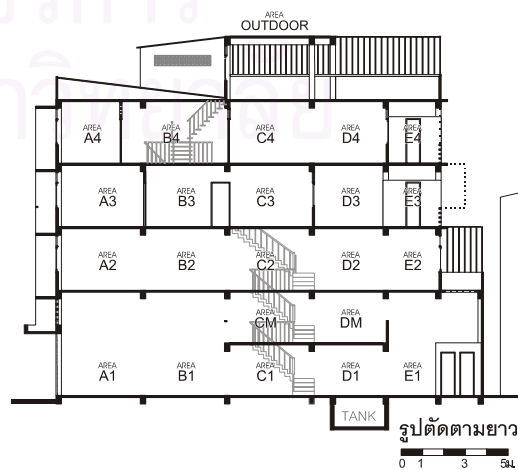


แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกับอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย (MRT) [21-05-2002]

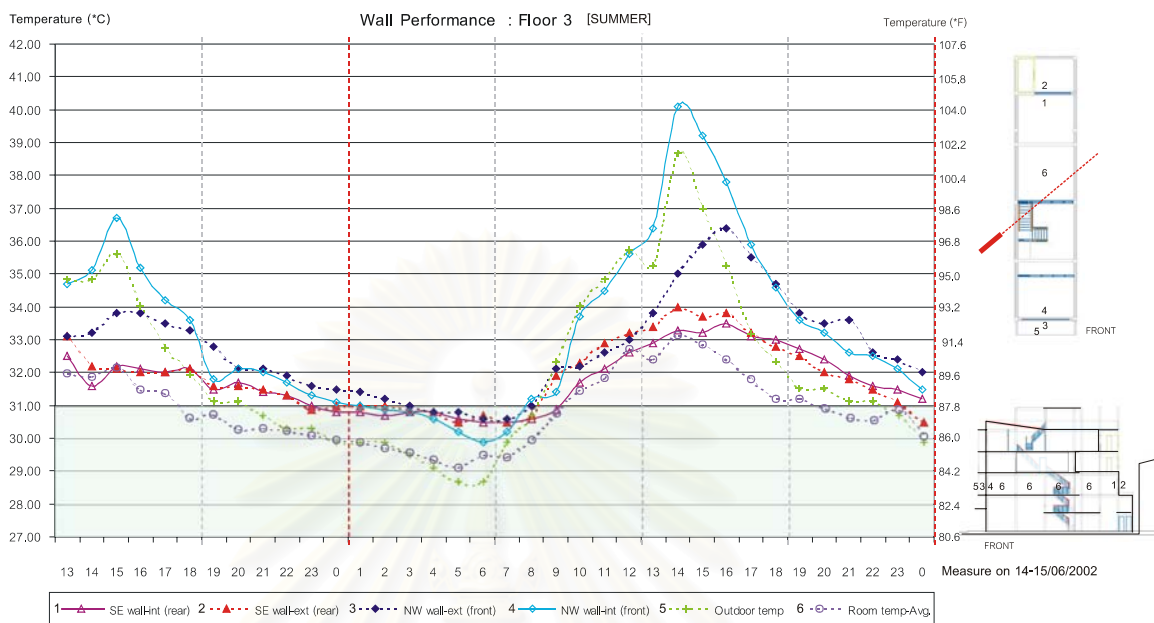
MRT FLOOR 4



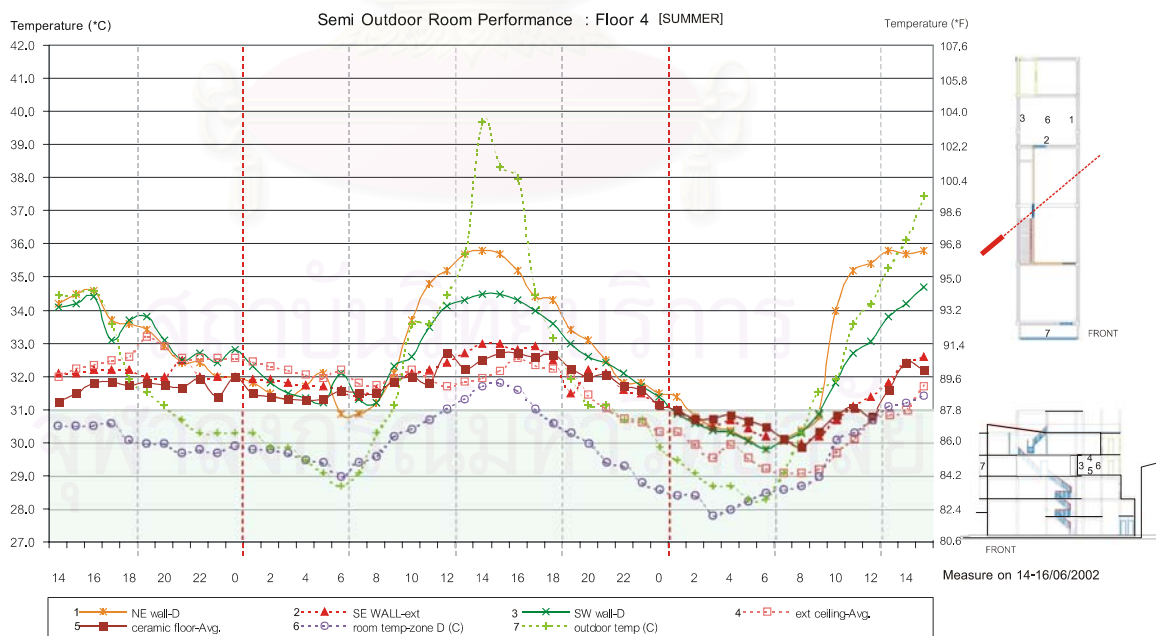
- OUTDOOR TEMPERATURE
- - - ZONE AIR TEMPERATURE
- ZONE MRT



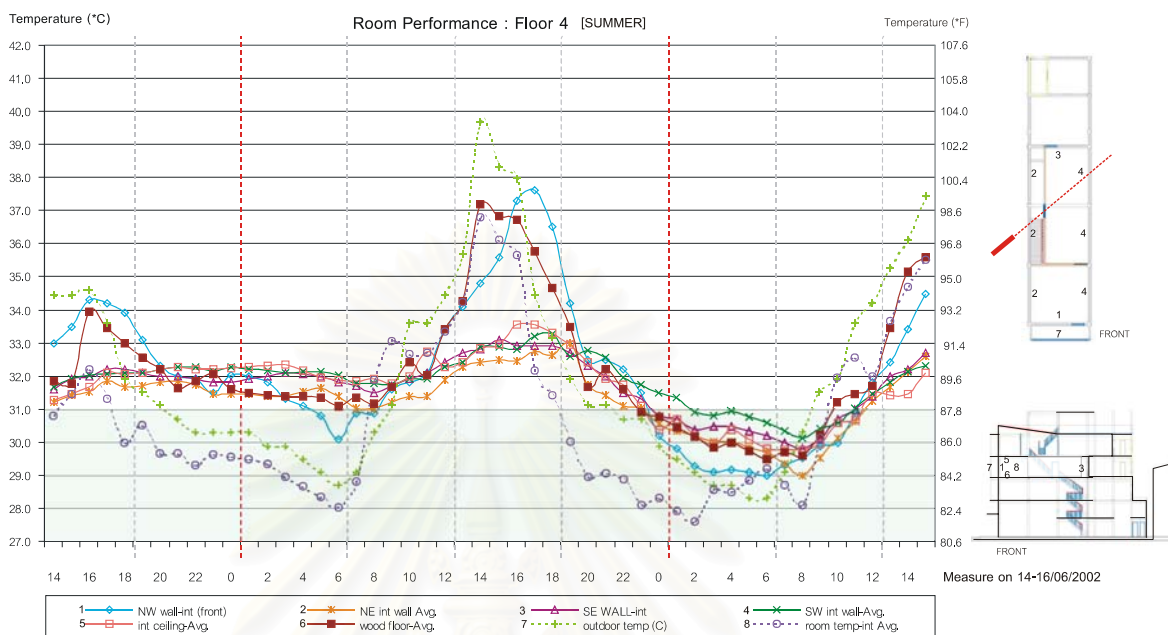
แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกับอุณหภูมิพื้นผิวภายใน ชั้น 3



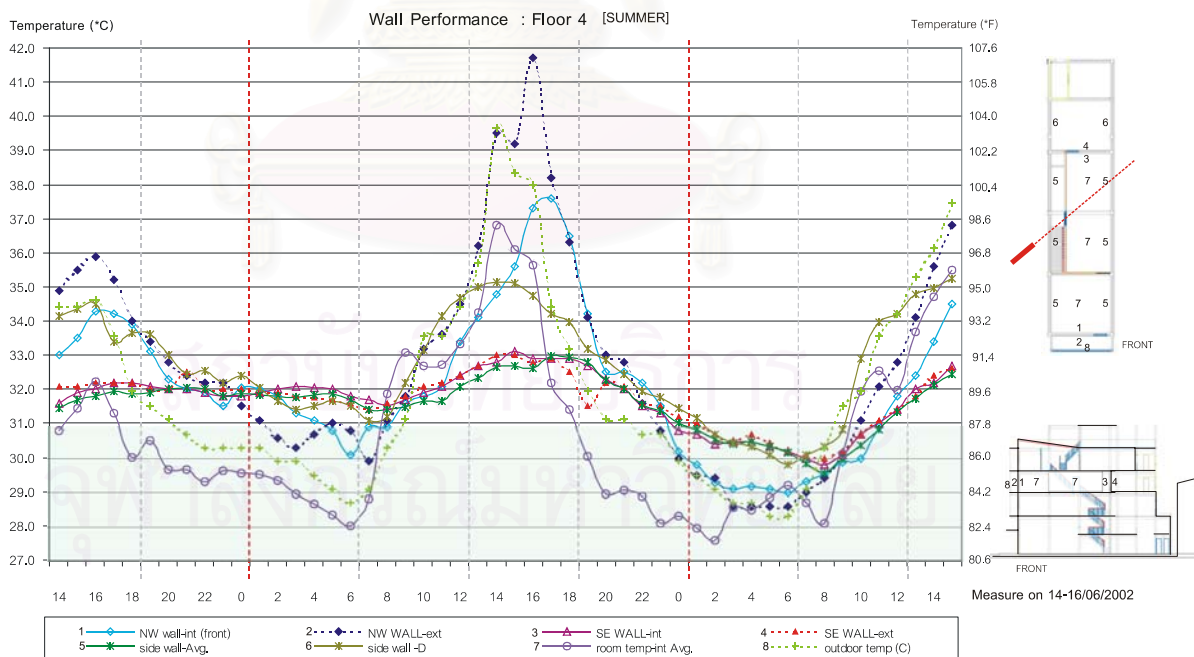
แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวภายใน บริเวณห้องครัว ชั้น 3



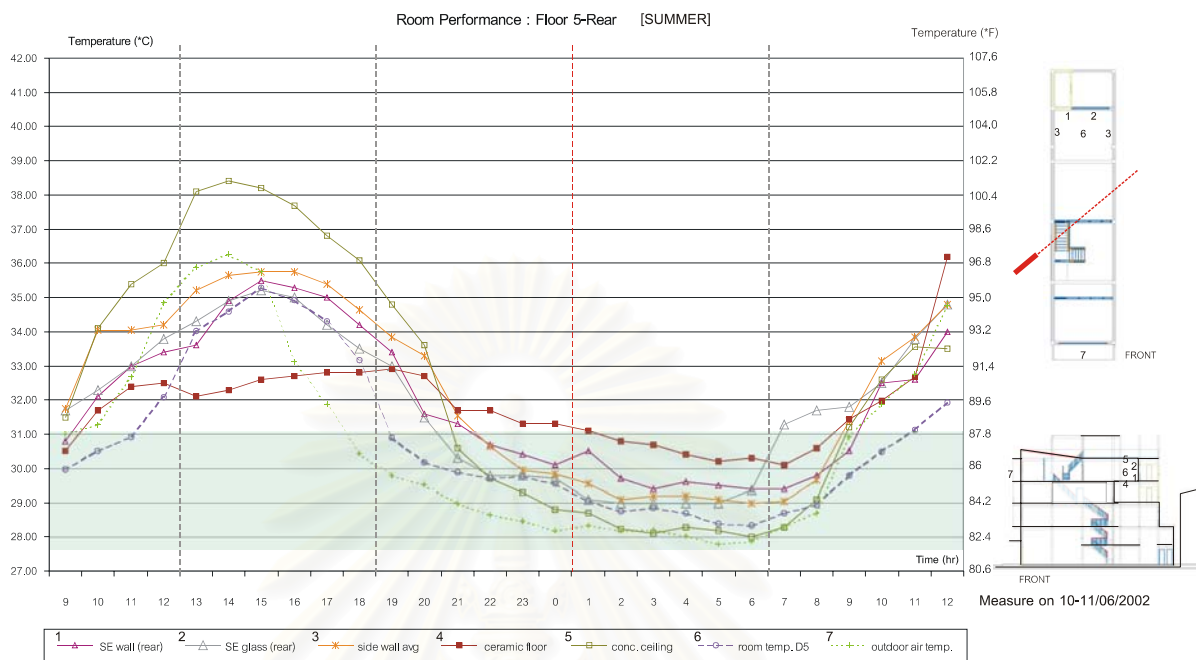
แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวภายใน บริเวณห้องนอน ด้านหน้าอาคาร ชั้น 3



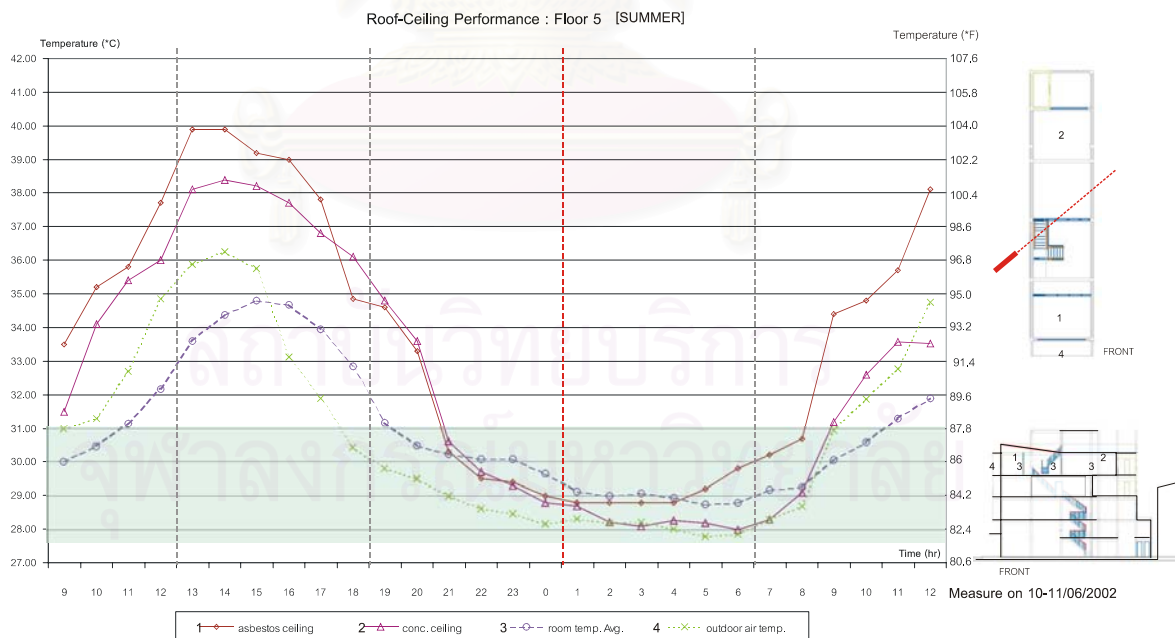
แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวภายใน บริเวณห้องนั่งเล่น กลางอาคาร ชั้น 3



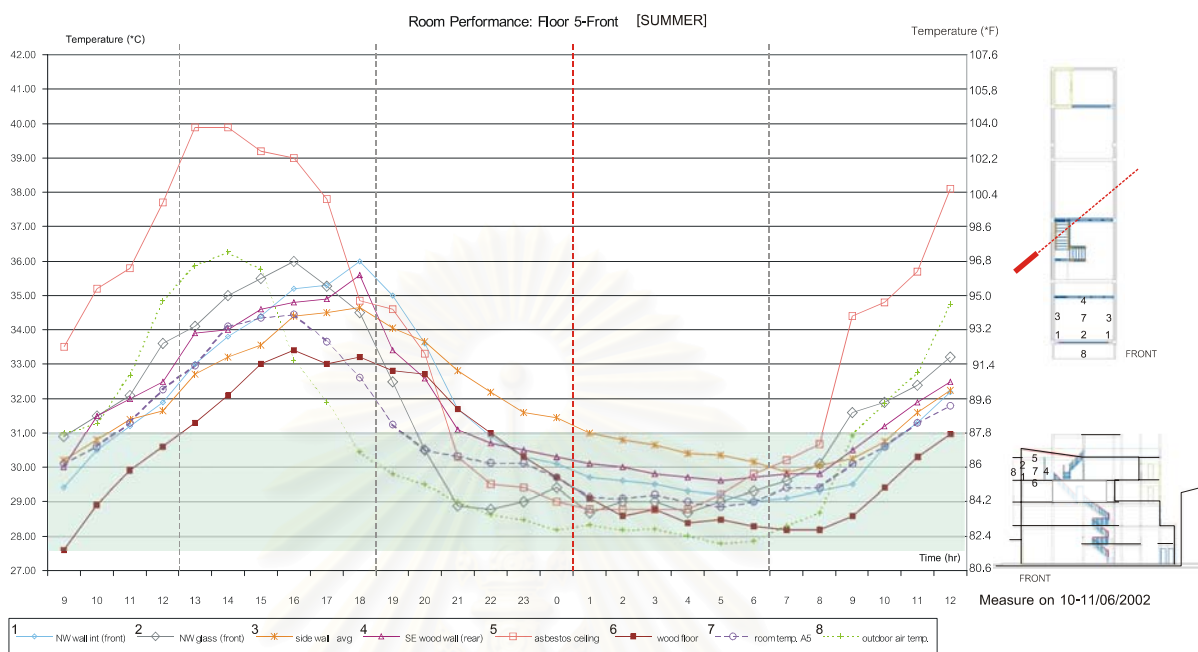
แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวภายใน บริเวณห้องนอน ด้านหลังอาคาร ชั้น 3



แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวฝ้าเพดานคอนกรีตและฝ้าเพดานไม้อัดได้เปลือกอาคารด้านบน ชั้น 5



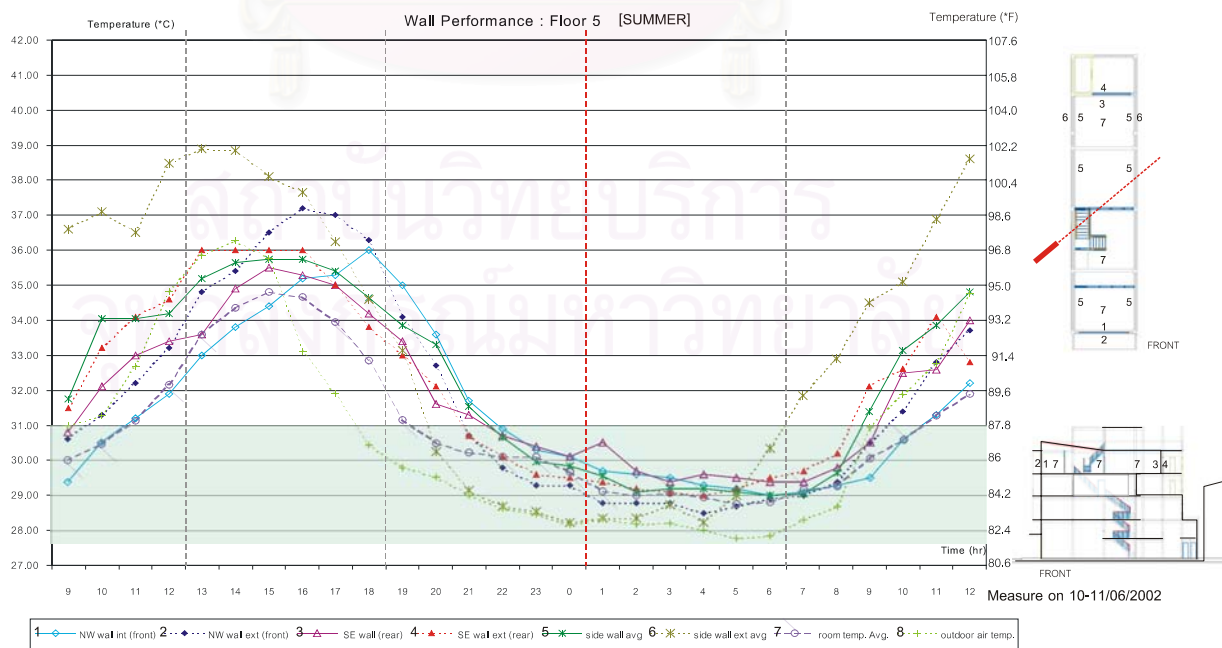
### แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวภายใน บริเวณห้องนอน ด้านหลังอาคาร ชั้น 3



### แผนภูมิเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นผิวผนัง ชั้น 5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การออกแบบปรับปรุงตึกแถวพักอาศัย เพื่อความสบายทางด้านอุณหภูมิ แสงสว่างและการระบายอากาศ  
 THE REHABILITATION OF A RESIDENT SHOPHOUSE FOR THERMAL, LIGHTING AND VENTILATION COMFORT

ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ. ดร. ธนิต จินดาวงศ์ / ผศ. พรพนชลัท สุริโยธิน  
 นิสิต / รหัสนิสิต: นส. วรนุช ฤกษ์เสริมสุข / 4474204425





การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคาร

### เปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างและฉนวน 10 ชนิด

แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร

1. วัสดุประกอบโครงสร้าง						
รายการวัสดุ	อิฐมอญ ½ แผ่น	อิฐมอญ เต็มแผ่น	คอนกรีต บล็อก	คอนกรีต มวลเบา	ยิบซัมบอร์ด	ไฟเบอร์บอร์ด
รูปแบบกายภาพ	(ก้อน)	(ก้อน)	(ก้อน)	(ก้อน)	(แผ่น)	(แผ่น)
ราคาต่อหน่วย (บาท)	0.60	0.60	4.50	25.21 - 37.80	230	437
ราคารวมต่อตร.ม (บาท)	100 - 190	380	200	315 - 412	230	320
ค่าวัสดุ+ค่าแรง / ตรม. (บาท)	425 - 440	635	390	450 - 646	320	390
ขนาด (Volume) (cm. <sup>3</sup> )	7x16x3.5	(2)7x16x3.5	7x19x39	7.5x20x60	0.12x120x240	0.12x120x240
ความหนาแน่น (kg./m <sup>3</sup> )	1615 - 1650	1650	765	550 - 640	800	1250 - 1350
จำนวนก้อนต่อตร.ม. (ก้อน/แผ่น)	145	290	14	8.33	0.35	0.35
น้ำหนักต่อตร.ม. (kg./m <sup>3</sup> )	130	-	90	46.5	8.33	9.38
น้ำหนักรวมปูนฉาบต่อตร.ม. (kg./m <sup>3</sup> )	180 - 200	330	130	90 - 100	30-35	-
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม "Q" (Thermal Transfer) (Watt/m <sup>2</sup> )	30-45	58-70	-	32-42 15	-	-
ค่าการนำความร้อน "K" (Conductivity - K value) (W/m.K)	0.473	0.473	0.519	0.089 - 0.132	0.14-0.19	0.210
ค่าการต้านทานความร้อน "R" (Resistivity - R value) (m <sup>2</sup> K/W)	0.15	0.34	0.149	0.58	0.04	0.154
ค่าความจุความร้อน "C" (Thermal Capacity) (J/kg.K)	800-1000	-	-	น้อยกว่า อิฐมอญ 2.5 เท่า	840	-
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (Thermal Expansion /°C)	4.6 x 10 <sup>-6</sup>	-	4.5 x 10 <sup>-6</sup>	8-10 x 10 <sup>-6</sup>	-	-
การหดตัวเมื่อแห้ง	1.8	-	0.8	0.2	-	-
การต้านทานแรงอัด (kg./cm <sup>2</sup> )	35 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	40-50	-	9-17 นิวตัน/ตร.ม.
ความแข็งแรงทางกล (kg./cm <sup>2</sup> )	-	-	-	23	-	-
การกันเสียง (dB)	36-40	-	-	38-43	35-65	64
การทนไฟ (ชั่วโมง)	0.5 - 2	-	-	4	½ -4	-
การปลอดภัย	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น
การต้านต่อการกัดกร่อน	-	-	-	-	-	-
ความต้านทานแมลง เชื้อรา และความปลอดภัยต่อ ธรรมชาติ	-	-	-	-	ไม่ขึ้นรา เนื่องจาก ผสมสารกันเชื้อรา	ไม่ขึ้นรา เนื่องจาก ผสมสารกันเชื้อรา
อัตราการซึมน้ำ (%)	40%	-	30%	30%	-	13%
การบิดหนืดตัวของวัสดุ (มม./ม.)	+ 0.18	-	- 0.8	- 0.2	-	± 0.5

เรียบเรียงจากเอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการประหยัดพลังงาน

### แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร

1. วัสดุประกอบโครงสร้าง (ต่อ)						
รายการวัสดุ	อิฐมวล % แผ่น	อิฐมวล เต็มแผ่น	คอนกรีต บล็อก	คอนกรีต มวลเบา	อิฐซีเมนต์บอร์ด	โฟมบอร์ด
จำนวนผู้ผลิต	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก
ปริมาณการผลิตเทียบกับ ความต้องการใช้	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	4.2 ล้านตร.ม./ปี จำหน่าย 50% กำลังผลิต ไม่ เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ
ขั้นตอนการก่อสร้าง	ง่าย	ใช้เวลามากกว่า	ง่าย	ต้องการช่าง เฉพาะ	ง่าย สะดวก	ง่าย สะดวก
การบำรุงรักษา	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย
อายุใช้งาน	มากกว่า 50 ปี	มากกว่า 50 ปี	มากกว่า 50 ปี	ยังไม่คงที่	-	-
ข้อดี	- เป็นที่ยอมรับ ทั่วไป - ช่างชำนาญ - แข็งแรง, ทน	- เป็นที่ยอมรับ ทั่วไป - ช่างชำนาญ - แข็งแรง, ทน - กันความร้อน เข้าอาคารได้ มากกว่า	- แข็งแรง - ราคาถูก - มีช่องอากาศที่ ช่วยกันความ ร้อนได้	- คุณภาพคงที่ - น้ำหนักรวม น้อย - ป้องกันความ ร้อนดี	- ป้องกันความร้อน - ประหยัด - ง่ายต่อการดูแล รักษา - ทนไฟ ไม่ลามไฟ - ป้องกันเสียงรบกวน - สะดวก ติดตั้ง ง่าย	- ทำงานเร็ว - นน.เบา - ประหยัด พลังงาน - ไม่ลามไฟ - ป้องกันเสียง รบกวน - สะดวกต่อการ ติดตั้ง
ข้อเสีย	- คุณภาพและ ขนาดไม่ แน่นอน - ใช้เวลานาน - น้ำหนักมาก	- ดูดรีมน้ำและ เก็บความชื้น	- อายุใช้งานยังไม่ มีการ ยืนยัน - ต้องใช้ปูนฉาบ เฉพาะ	- ไม่ค่อยแข็งแรง - ไม่ทนน้ำ - ราคาสูง	- หากชื้นมากจะ บิดงอเปลี่ยนรูป - อาจมีรา หากขาด การป้องกัน	- เก็บความชื้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุเปลือกอาคาร

เรียงเรียงจากเอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการประหยัดพลังงาน

แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร

2. วัสดุประกอบฉนวน									
รายการวัสดุ	ฉนวนใยแก้ว 2" Fiber Glass	ฉนวนใยแก้ว 4" Fiber Glass	ฉนวนเยื่อกระดาษ Cellulose	แผ่นสะท้อนความร้อน Aluminium Foil	อีป็อกซ์ + แผ่นสะท้อนความร้อน	ฉนวนโฟมโพลีเอทิลีน Polyethylene Foam	ฉนวนโฟมโพลียูรีเทน Polyurethane Foam	ฉนวนโฟมโพลิสไตรีน Polystyrene Foam	เซรามิกโคคัง
รูปแบบกายภาพ	หุ้มปิด, บุได้ หลังคา, ปูนปฉา (แผ่น)	หุ้มปิด, บุได้ หลังคา, ปูนปฉา (แผ่น)	หุ้มปิด, บุได้ หลังคา, ปูนปฉา (แผ่น)	ม้วน ติดตั้ง	แผ่น ติดตั้ง	ฉัดพื้น	ฉัดพื้น	หุ้ม ปิด บุ	พื้นเหนียว หลังคา
ราคาต่อหน่วย (บาท)	180	300	300	3000 - 4500	73	4,500	2,400	112 (100mm.)	
ราคารวมต่อตร.ม. (บาท)	75	125	125	40 - 60	10	314	270	700(40mm.)	265 - 284
วัสดุ+ค่าแรง+ติดตั้ง / ตรม(บาท)	95	145	145	80	21	400	533	720(40mm.)	280 - 355
ขนาด (Volume)(cm. <sup>3</sup> )	5x60x400 >50 มม.(หุ้ม)	10x60x400 >50 มม.(หุ้ม)	7.5x60x400 >50 มม.(หุ้ม)	หนา150ไมครอน x125x6,000	1.2x60x120	>25	>25	10x60x120	หนา x122x1,650 50 มม. 75 มม.
น้ำหนักต่อตร.ม. (kg./m <sup>3</sup> )	0.5-0.8	0.8-1.5	2.5	0.25	0.9		0.8		
ค่าอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสม (C)	- 51 ถึง 204	- 51 ถึง 204			0.35	> -25 ถึง 85	> -25 ถึง 90	<80	<80
ค่าความหนาแน่น (kg./m <sup>3</sup> )	16 >64 มม.(หุ้ม) >24 มม.(บุ) >16 มม.(ปู) >32 มม.(แผ่น)	69 >64 มม.(หุ้ม) >24 มม.(บุ) >16 มม.(ปู) >32 มม.(แผ่น)	45-80	0.17	800 + Foil	>=30 - 50	35 - 40 16	16	เปลี่ยนค่าท.พ.
วัสดุปิดผิว	อลูมิเนียมพอยต์	อลูมิเนียมพอยต์						อีป็อกซ์	
ค่าการสะท้อนความร้อน (%)	95	95		95	95				90
ค่าการดูดกลืนความร้อน (%)	5	5		5	5				10
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Thermal Transfer-Q value) (Wall/m <sup>2</sup> )	1.451 (บุ) 0.696 (ปู) 1.539 (แผ่น)						8.48hr.ft <sup>2</sup> /F Blu		90%
ค่าการนำความร้อน (Conductivity - K value) (W/m.K)	0.035 (บุ) 0.0365 (ปู) 0.033 (แผ่น)	0.0365	0.029 - 0.045		0.19 + Foil	<0.023	0.017 - 0.045 0.024	0.035	
ค่าการต้านทานความร้อน (Resisivity - R value) (m <sup>2</sup> /KW)	1.392	2.334	1.875		0.04 + Foil		9.09	0.70 - 0.85	
ค่าการต้านทานแรงอัด							2.2	0.25 - 11	
ค่าการกันเสียง (dB)			>42 - 95%		65 + Foil		>70		
การทนไฟ			ชะลอการลามของไฟ	ชะลอการลามของไฟ	½ - 4 + Foil	ชะลอการลามของไฟ	ชะลอการลามของไฟ	150 - 180 °F ไม่ทนไฟ เริ่มแตใช้วัสดุกันไฟปิดผิวจะกันไฟได้	ไม่ติดไฟ ไม่ลามไฟ

เปรียบเทียบจากเอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและจำนวนเพื่อการประหยัดพลังงาน

แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร

2. วัสดุประกอบฉนวน (ต่อ)										
รายการวัสดุ	ฉนวนใยแก้ว 2" Fiber Glass	ฉนวนใยแก้ว 4" Fiber Glass	ฉนวนเยื่อกระดาษ Cellulose	แผ่นสะท้อนความร้อน Aluminium Foil	อิฐซีมเบอร์ค+ แผ่นสะท้อนความร้อน	ฉนวนโฟมโพลีเอทิลีน Polyethylene Foam	ฉนวนโฟมโพลียูรีเทน Polyurethane Foam	ฉนวนโฟมโพลิสไตรีน Polystyrene Foam	เซรามิกโคดิ่ง	
การปกคลุม	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	
การทนต่อการกัดกร่อน	ไม่กัดกร่อนโลหะ	ไม่กัดกร่อนโลหะ		ทนกรด ค้างสารเคมี	ทนกรด ค้างสารเคมี	ทนกรด ค้างเสื่อมเมื่อโดน uv	ทนกรด ค้างเสื่อมเมื่อโดน uv	ทนกรด ค้างเสื่อมเมื่อโดน uv	ทนกรด ค้างสารเคมี	
ความต้านทานแผลง รื้อ และความปลอดภัยต่อธรรมชาติ	ไม่ขึ้นรา	ไม่ขึ้นรา	ไม่ขึ้นราเนื่องจากคุณสมบัติ	ไม่ขึ้นรา	ไม่ขึ้นราเนื่องจากคุณสมบัติ				ไม่ขึ้นรา	
อัตราการรั่วน้ำ(%)	< 3%	< 3%	2%			2-5%	5-10%	ต่ำ		
การยึดเหนี่ยวของวัสดุ (ม.ม.)	คุณสมบัติไม่หดตัว แต่เมื่อขึ้นหรือหมดอายุใช้จะยุบตัวเป็นฝุ่น	คุณสมบัติไม่หดตัว แต่เมื่อขึ้นหรือหมดอายุใช้จะยุบตัวกลายเป็นฝุ่น	ไม่หดตัว ระยะยาวจะมีการยุบตัว	ไม่หดตัว แต่จะเสียรูปหรือหย่อนเนื่องจากการติดตั้งไม่ดี	ไม่หดตัวเพราะจะเสียรูปหรือหย่อนเนื่องจากมีการติดตั้งไม่ดี	มีความยึดเหนี่ยวดี ไม่หดตัวหรือฉีกขาดง่าย	มีความยึดเหนี่ยวดี ไม่หดตัวหรือฉีกขาดง่าย	มีความยึดเหนี่ยวดี ไม่หดตัวหรือฉีกขาดง่าย	มีความยึดเหนี่ยวดี ไม่หดตัวหรือฉีกขาดง่าย	
จำนวนผู้ติดตั้ง	มาก	มาก	ค่อนข้างน้อย	ค่อนข้างน้อย	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก	
ปริมาณงานติดตั้งเทียบกับความต้องการใช้	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	
ขั้นตอนการก่อสร้าง	ง่าย	ง่าย	แบบแห้ง ใช้ช่างเฉพาะ	ง่าย	ง่าย	ง่าย สะดวก	ง่าย สะดวก	ง่าย สะดวก	สะดวก, ควบคุมห่างจากพื้น 30 ซม.	
การบำรุงรักษา		เปลี่ยนใหม่เมื่อหมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนใหม่เมื่อหมดอายุการใช้งาน	ทำไม่ได้	ทำความสะอาดได้					
อายุใช้งาน (ปี)	5-10	5-10	5-10			5-20	5-20	5-15		
ข้อดี		- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร - ง่าย - ติดตั้งง่าย - น้ำความร้อนต่ำ	- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร - ง่าย - ติดตั้งง่าย - น้ำความร้อนต่ำ	- ไม่มีการพิษ - Recycle - ปลอดภัยและร้อน - น้ำหนักเบา - ไม่มีช่องว่างระหว่างฉนวนกับส่วนที่ติดพัน	- ทน UV, - ไม่ติดไฟ - ป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ - น้ำหนักเบา	- ไม่ติดไฟ - ปรับรูปได้ - เบา - ยึดติดง่ายกับสิ่งอื่น - การนำความร้อนต่ำสุด	- ให้ความร้อนต่ำ - ไม่ลามไฟ - ติดตั้งง่าย สะดวก อายุใช้งานนาน ไม่เป็นที่ยุงแมลง - ประหยัดพลังงาน - ป้องกันเสียง - เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ป้องกันความชื้นดี	- น้ำความร้อนต่ำ - ใช้เป็นฉนวนกั้นหรือกันชื้น - การแทรกซึมไอน้ำและการดูดกลืนความร้อนต่ำ - น้ำหนักเบา - หลอมได้ง่ายได้	- ไม่เป็นอันตราย - ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม - ทนรังสีอุลตราไวโอเลต - ไม่ขึ้นรา	
ข้อเสีย	- น้ำหนักมาก - เป็นสารก่ออันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม - ย่อยสลายไม่ได้ มีกลิ่น เมื่อขึ้นคุณสมบัติ จะลดลง - สัตว์เล็กทำรังภายในตัวประสาน (binder) ถูกไหม้ได้	- น้ำหนักมาก - เป็นสารก่ออันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม - ย่อยสลายไม่ได้ มีกลิ่นจากตัวประสาน - สัตว์เล็กทำรังภายในเมื่อขึ้นคุณสมบัติ จะลดลง	- น้ำหนักมาก - เป็นสารก่ออันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม - ย่อยสลายไม่ได้ มีกลิ่น - สัตว์เล็กทำรังภายในเมื่อขึ้นคุณสมบัติ จะลดลง	- ง่าย เป็นที่อยู่ของแมลง - ผสมสารกันชื้น+กันไฟลาม+กันแมลงภายในยึดตัวเองไม่ได้ - ต้องใช้กาวผสมเมื่อการโดนไอน้ำทำให้เสียหายและเยื่อกระดาษจะหลุดลงเป็นฝุ่น	- ถ้ามีฝุ่นเกาะคุณสมบัติจะลดลงเรื่อยๆ - กาวซีเมนต์จะเกาะกับผนังมาก - จะทำให้เสื่อมสภาพ	- เป็นที่อยู่อาศัยของแมลง หากไม่มีการป้องกัน - ง่ายขึ้นมาก จะทำให้เสื่อมสภาพ	- เป็นที่อยู่อาศัยของแมลง ถ้าขึ้นมากทำไฟเสื่อมสภาพ - เกิดไฟไหม้จะมีควันมากและเกิดก๊าซไฮโดร โยไซ โนทเป็นอันตรายถึงชีวิต - ความต้านทานการดูดซึมน้ำต่ำ - ผิวหน้าเป็นด่าง	- เป็นที่อยู่ของแมลง ถ้าขึ้นมากทำไฟเสื่อมสภาพ - เกิดไฟไหม้จะมีควันมากและเกิดก๊าซไฮโดร โยไซ โนทเป็นอันตรายถึงชีวิต - ความต้านทานการดูดซึมน้ำต่ำ - ผิวหน้าเป็นด่าง	- ติดไฟได้ - ขณะถูกไฟไหม้เกิดควันที่เป็นพิษแก่สุขภาพ - การเติมสารกันไฟ - ไม่ทนน้ำมัน เบนซิน ทินเนอร์ น้ำมันสน - ไม่ทนแสงแดด	- เป็นที่อยู่อาศัยของแมลงต่างๆ หากไม่มีการป้องกันที่ดีพอ

เรียบเรียงจากเอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและจำนวนเพื่อการประหยัดพลังงาน

แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร

2. วัสดุประกอบจำนวน (ต่อ)									
รายการวัสดุ	จำนวน โยแก้ว 2' Fiber Glass	จำนวน โยแก้ว 4' Fiber Glass	จำนวน เยื่อ กระดาษ Cellulose	แผ่นสะท้อนความร้อน Aluminium Foil	อิบซีมบอร์ด + แผ่นสะท้อนความร้อน	จำนวนโฟม โพลีเอทิลีน Polyethylene Foam	จำนวนโฟม โพลียูรีเทน Polyurethane Foam	จำนวนโฟม โพลิสไตรีน Polystyrene Foam	เซรามิก โคตติ้ง
การปกปิดกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น
การทนต่อการกัดกร่อน	ไม่กัดกร่อนโลหะ	ไม่กัดกร่อนโลหะ		ทนกรด ค่าง สารเคมี	ทนกรด ค่าง สารเคมี	ทนกรด ค่าง เสื่อมเมื่อโดน UV	ทนกรด ค่าง เสื่อมเมื่อโดน UV	ทนกรด ค่าง เสื่อมเมื่อโดน UV	ทนกรด ค่าง สารเคมี
ความต้านทานแมลง เชื้อรา และความปลอมน้ำด้วยธรรมชาติ	ไม่ขึ้นรา	ไม่ขึ้นรา	ไม่ขึ้นราเนื่องจากผสมสารกันเชื้อรา	ไม่ขึ้นรา	ไม่ขึ้นราเนื่องจากผสมสารกันเชื้อรา				ไม่ขึ้นรา
อัตราการรั่วซึม (%)	< 3%	< 3%	2%			2-5%	5-10%	ต่ำ	
การยึดเหนี่ยวของวัสดุ (มม.ม.)	กินรูปดีไม่หดตัว แต่เมื่อขึ้นหรือหมดอายุใช้จะยุบตัวเป็นฝุ่น	กินรูปดีไม่หดตัว แต่เมื่อขึ้นหรือหมดอายุใช้จะยุบตัวกลายเป็นฝุ่น	ไม่หดตัว ระยะยาวจะมี การยุบตัว	ไม่หดตัว แต่จะเสียน้ำหรือยุบตัวเนื่องจาก การติดตั้งไม่ดี	ไม่หดตัว จะเสียน้ำหรือยุบตัว เนื่องจาก การติดตั้งไม่ดี	มีความยึดเหนี่ยวดี ไม่หดตัวหรืออีก ซากง่าย	มีความยึดเหนี่ยวดี ไม่หดตัวหรืออีก ซากง่าย	มีความยึดเหนี่ยวดี ไม่หดตัวหรืออีก ซากง่าย	มีความยึดเหนี่ยวดี ไม่หดตัวหรืออีก ซากง่าย
จำนวนฝุ่นติด	มาก	มาก	ค่อนข้างน้อย	ค่อนข้างน้อย	มาก	มาก	มาก	มาก	มาก
ปริมาณการผลิตเทียบกับความต้องการใช้	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ	เพียงพอ
ขั้นตอนการก่อสร้าง	ง่าย	ง่าย	แบบหนักต้อง ใช้ช่างเฉพาะ	ง่าย	ง่าย	ง่าย สะดวก	ง่าย สะดวก	ง่าย สะดวก	สะดวก,ควร พิจารณาหลังจาก 30 ชม.
การบำรุงรักษา		เปลี่ยนใหม่ เมื่อหมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนใหม่ เมื่อหมดอายุการใช้งาน	ทำไม่ได้	ทำความสะอาด ได้				
อายุใช้งาน (ปี)	5-10	5-10	5-10			5-20	5-20	5-15	
ข้อดี		- ลดการใช้พลังงาน ไฟฟ้าใน อาคาร - ง่าย - ติดตั้งง่าย - นำ ความร้อนต่ำ	- ลดการใช้พลังงาน ไฟฟ้าใน อาคาร - ง่าย - ติดตั้งง่าย - นำ ความร้อนต่ำ	- ไม่มีสารพิษ - Recycle - ลดเสียงสะท้อน - นำหนักเบา - ไม่มีกลิ่น - ไม่มีช่องว่าง ระหว่างชั้น กับส่วนที่ติดกัน	- ทน UV, - ไม่ติดไฟ - ป้องกันการ กัดกร่อนของ สนิม - นำหนักเบา	- ไม่ติดไฟ - ปรับรูปได้ - เบา - ยึดติดง่าย กับเสียง - การนำความ ร้อนต่ำสุด	- สงครามร้อนต่ำ - ไม่ลามไฟ - ติดตั้งง่าย สะดวก อายุใช้งาน นาน ไม่เป็น ที่อยู่แมลง - ประหยัดพลังงาน - ป้องกันเสียง - เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ป้องกัน ความชื้นดี	- นำความร้อนต่ำ - ใช้เป็นฉนวนลึกลับ หรือกันซึม - การแทรกซึม - ใช้น้ำและการ ดูดกลิ่นความ ร้อนต่ำ - นำหนักเบา - ผลผลิตง่ายได้	- ไม่เป็นอันตราย ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ต่อสิ่งแวดล้อม - ทนไฟสูง - ครัวไวไฟ - เล็ด - ไม่ขึ้นรา
ข้อเสีย	- นำหนักมาก - เป็นสารก่อ อันตรายต่อ ร่างกายและ สิ่งแวดล้อม - ย่อยสลายไม่ได้ - มีกลิ่น เมื่อขึ้น คุณสมบัติ จะลดลง - สัตว์เล็กทำ รังภายใน ส่วประสาน (binder) ทุกใหม่ได้	- นำหนักมาก - เป็นสารก่อ อันตรายต่อ ร่างกายและ สิ่งแวดล้อม - ย่อยสลาย ไม่ได้ - มีกลิ่นจาก ตัวประสาน - สัตว์เล็กทำ รังภายใน เมื่อขึ้น คุณสมบัติ จะลดลง	- นำหนักมาก - เป็นสารก่อ อันตรายต่อ ร่างกาย และสิ่งแวด ล้อม - ย่อยสลาย ไม่ได้ - มีกลิ่น - สัตว์เล็กทำ รัง ภายใน เมื่อขึ้น คุณสมบัติ จะลดลง	- ง่าย เป็นที่อยู่ ของแมลง - มลสารกัน รื่น+กันไฟลาม+ กับแมลงภายใน ยึดตัวเองไม่ได้ ต้องใช้กาวผสม เมื่อการโดน ความร้อนที่เก็บไว้ทำให้ เสื่อมสภาพ และ เยื่อกระดาษจะ หลุดล่อนเป็นผง ฝุ่น	- ถ้ามีฝุ่นเกาะ คุณสมบัติ จะลดลงเรื่อยๆ - ถ้าขึ้นมากๆ จะทำให้เสื่อม สภาพ	- เป็นที่อยู่อาศัย ของแมลง หาก ไม่มีการ ป้องกัน - ถ้าขึ้นมากๆ จะทำให้เสื่อม สภาพ	- เป็นที่อยู่ของ แมลง ถ้าขึ้น มากๆทำให้ เสื่อมสภาพ - เกิดไฟไหม้จะมี ควันมากและ เกิด ก๊าซไฮโดร ไซยา ไนท์เป็นอันตราย ถึงชีวิต - ความต้านทาน การดูดซึมน้ำต่ำ - ควันน้ำเป็น อุปสรรคในการ ตกแต่ง	- ติดไฟได้ - ระยะเวลาไม่ เกิดควันที่เป็น พิษแก่ตัว การเดินสาร กับไฟ - โฟมน้ำหนักเบา - โฟมทนแรงกด	- เป็นที่อยู่ อาศัยของ แมลงต่างๆ หากไม่มีการ ป้องกันที่ดี พอ



เรียบเรียงจากเอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการประหยัดพลังงาน

### แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร

3. วัสดุกระจก (ต่อ)														
รายการวัสดุ	กระจกใส (Clear Glass)	กระจกสี (Tinted Glass)			กระจกดูดแสง (Heat Absorbing Glass)			กระจกสะท้อนแสง (Reflective Metallic Coating Glass)			กระจกกันความร้อน (Insulating Glass)			ฟิล์มลด ความร้อน (Film)
		Cool gray	Skyblue	Ocean Green	Cool gray	Skyblue	Ocean Green	Yellow	Blue	Green	Clear G. - Dry Air- Clear G.	CG.+Low E - Dry Air - Clear G.	CG +Solar - Dry Air - Clear G.	
ค่าการถ่ายเทความร้อน(เขตร้อน) U-value (W / m <sup>2</sup> h°C)	5.83	6.2 7	6.21	6.23	5.90	5.94	5.96	4.74	5.08	5.03	3.18	1.93	2.68	
ค่าพลังงานความร้อน RHG(W/m <sup>2</sup> )	650	451	478	460				191	244	217	540	423	114	
ค่าพลังงานความร้อน RHG / ค่าการส่องผ่านแสง Vis-T (W/m <sup>2</sup> )	813	118 7	824	639				1910	1162	1550	692	267	828	
ค่าการส่องผ่านแสง Vis-T / การส่องผ่าน พลังงานแสงอาทิตย์	1.10	0.8 8	1.28	1.71			1.72	1.67	1.62	1.40	1.28	1.57	1.38	
จำนวนผู้ผลิต	มาก	มาก	มาก	มาก	พอดี	พอดี	พอดี	มาก	มาก	มาก	น้อย	น้อย	น้อย	มาก
ปริมาณผลิตต่อความต้องการใช้	มากพอ	มาก พอ	มาก พอ	มาก พอ	พอดี	พอดี	พอดี	มาก พอ	มากพอ	มากพอ	มาก พอ	มาก พอ	มาก พอ	มากพอ
ขั้นตอนการก่อสร้าง	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ยาก	ยาก	ยาก	ง่าย
การรักษารักษา	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ยาก	ยาก	ยาก	ง่าย
ข้อดี	แสงเข้าได้เต็มที่ เห็นภาพนอกชัดเจน ราคาไม่สูง	- ราคาไม่สูงนัก - ยอมให้แสงผ่านเข้ามาเพื่อช่วยกระจายแสงภายในห้องอย่างเหมาะสม	- ลดความร้อนเข้าอาคารมากกว่าโดยการดูดกลืนความร้อนจากรังสีคลื่นสั้นที่ส่องกระทบกระจก 40-50% สีสต่างๆเกิดจากการเติมออกไซด์ของโลหะ ในเนื้อกระจก ไม่ส่งผลกระทบต่อแสงที่เข้ามา - ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาได้สูง - เห็นทัศนียภาพภายนอกได้ชัดเจน - สีกระจกช่วยลดความจ้าของแสงที่มากเกินไป	- สะท้อนความร้อนไม่ให้เข้าอาคารได้ - รับแรงดันลมเพิ่มขึ้น - ลดเสียงรบกวน - สร้างความสมดุลระหว่างแสงภายใน และแสงภายนอกจึงลดความสว่างจ้า	- ป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายนอกสู่ภายในได้ประมาณ 70-80% - ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาได้สูง - บางชนิดที่ติดฟิล์มด้านในกระจกทั้งสองแผ่น จะช่วยป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตเข้ามาทำลายวัสดุภายในอาคารได้	ป้องกันความร้อน ประหยัดพลังงาน สะดวกต่อการติดตั้ง								

เรียบเรียงจากเอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการประหยัดพลังงาน

### แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุประกอบอาคาร

3. วัสดุกระจก (ต่อ)						
รายการวัสดุ	กระจกใส (Clear Glass)	กระจกสี (Tinted Glass)	กระจกดูดแสง (Heat Absorbing Glass)	กระจกสะท้อนแสง (Reflective Metallic Coating Glass)	กระจกกันความร้อน (Insulating Glass)	ฟิล์มลด ความร้อน (Film)
ข้อเสีย	ความร้อน เข้าอาคาร ได้มาก การต้าน ทานความ ร้อนเข้า ภายใน อาคารประมาณ 20%	ดูดกลืนความร้อนจาก ดวงอาทิตย์มาสะสมอยู่ ในเนื้อกระจกมากขึ้น ถ้าสีมีความเข้มมากจะ บิดเบือนการมองเห็นได้	ราคาค่อนข้างสูง บิดเบือนการมองเห็น เล็กน้อยด้วยตัวสีรอง กระจกบางสี	สะท้อนความร้อนให้กับ อาคารข้างเคียง ความสว่างของแสงที่เข้า ในอาคารลดลงมากกว่า 80% มีประสิทธิภาพในการ ดูดกลืนความร้อนสูงด้วย จึงอาจเกิดปัญหาการ แตกหักของกระจกจาก การสะสมความร้อน	ราคาสูง อาจเกิดการแตกหักของผิว กระจกได้เนื่องจากความ ต่างที่มากของอุณหภูมิ ภายนอกกับภายใน โดย เฉพาะที่มีการเป่าลมเย็นจาก เครื่องปรับอากาศมากระทบ ผิวกระจก และเนื่องจากการ สะสมความร้อนในเนื้อกระจก เนื่องจากไปทาสีหรือปิด แผ่นกระดาษที่ผิวกระจก	อาจมีการ หลุดล่อน ของฟิล์ม ไม่ควรให้ มีไอน้ำเข้า ไปในช่อง ว่างภายใน กระจกจะ ทำให้เสีย คุณสมบัติ และอายุ การใช้งาน ลดลง

หมายเหตุ: SC (Shading Coefficient) Vis-R (Visible-Rays Reflectance) Vis-T (Visible-Rays Transmittance)

:UV-T (Ultraviolet-Rays Transmittance) RHG (Relative Heat Gain)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข - 1 ปริมาณแสงธรรมชาติที่วัดได้จากอาคารกรณีศึกษา ณ วันที่ 21 มิถุนายน 2548

Measuring Daylight Level : Measurement June 21, 2002 10:00-15:00

Location (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Deck													12010	15563	17249	18203	17915	12770
Floor 4	387	417	239	44	67	68	20	28	5476	6519	7338	8672	8672	12038	12769	13362	14424	8930
Floor 3	1190	430	261	240	29	70	65	48	49	96	122	135	137	204	283	197	512	598
Floor 2	353	404	233	42	59	68	67	52	115	105	105	73	96	180	288	900	2420	4262
Floor 1	284	112	67	0	1	1	2	3	53	92	113	128	133	208	254	225	2056	4053
Floor M	260	140	50	60	1	2	2	41	3	3	3	2	268	223	232	416	322	498
	88	174	89	58	1	2	3	3	74	116	50	220	268	386	394	535	1291	3945
	280	221	213	132	35	22	14	11	4	7	6	8	18	31	51	89	199	360
	294	130	110	60	38	24	15	13	11	10	11	14	20	34	56	340	230	720
	199	218	95	57	35	22	15	13	11	10	11	14	19	30	60	89	207	405
	16	166	130	open	159	42	66	26	2	8	4	1	1	3	10	10	22	open
	2117	900	472	117	71	63	50	41	9	9	7	6	7	8	11	12	12	open
	3800	1070	530	250	39	75	52	39	4	17	10	6	6	1	0	8	13	36
	1409	548	230	150	101	73	52	38	27	18	13	11	8	7	12	21	29	59
									28	18	13	11	8	7	12	20	30	61

หมายเหตุ ค่าในตารางนี้เป็นค่าที่วัดค่าโดย lux meter 2 ตัวตามมาตรฐานแสงส่องสว่างที่แนะนำโดย IESNA (ค่าที่วัดได้ 30 lux เป็นค่าที่สว่างพออ่านหนังสือได้) และค่าที่แสดงในตารางนี้เป็นค่าที่วัดค่าแสงส่องสว่างด้วย daylight factor (ค่าตามมาตรฐานที่แนะนำโดย IESNA) ค่าที่แสดงในตารางนี้เป็นค่าที่วัดค่าแสงส่องสว่างด้วย lux meter 2 ตัวตามมาตรฐานแสงส่องสว่างที่แนะนำโดย IESNA (ค่าที่วัดได้ 30 lux เป็นค่าที่สว่างพออ่านหนังสือได้)

ภาคผนวก ข -2 ผลการจำลองแสงธรรมชาติจากหุ่นจำลอง (model) และหุ่นจำลอง

ศึกษา (mass study) ณ วันที่ 21 มิถุนายน

**BASECASE Daylighting Simulation.Lvs.21 (Existing Material Property)**

Distance(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SEWALL	feet	
Floor 4	5797	483	284	45	65	70	65	49	55	101	127	144	149	228	275	245	2100	4274	2107	14006
Floor 3	5971	200	341	84	1	2	2	50	4	6	7	60	47	165	317	789	1639	3961	2080	2330
Floor 2	7214	221	368	150	65	34	22	18	15	14	14	19	25	43	72	130	278	519	363	7394
Floor M	6217	250	174	128	100	69	22	12	12	7	7	7	7	7	10	12	34	61	164	304
Floor 1	4251	1647	798	353	270	230	50	37	24	18	15	11	10	14	14	24	34	62	18	17

**BASECASE Daylighting Simulation.Lvs.21 (Average Surface Reflectance=0.29)**

Distance(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SEWALL	feet
Floor 4	9224	4320	2090	1077	726	98	62	282	388	142	92	329	415	437	1166	1652	3924	10096	13660
Floor 3	8425	3691	1139	115	66	28	241	247	324	103	323	110	48	58	280	736	3432	9405	11578
Floor 2	7529	3124	461	166	92	54	24	25	25	27	30	34	44	54	71	110	1563	6862	6982
Floor M	7318	1998	345	73	64	55	34	28	19	14	12	10	10	11	12	17	22	31	44
Floor 1	5110	3128	1556	357	132	93	41	32	23	17	13	10	11	12	20	49	79	77	51

**BASECASE Without Interior wall: Daylighting Simulation.Lvs.21 (Average Surface Reflectance=0.29)**

Distance(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SEWALL	feet
Floor 4	8306	3933	1803	981	115	65	56	257	326	129	82	300	378	388	1062	1504	3573	9188	12620
Floor 3	7571	3270	1057	105	60	21	219	225	160	94	160	100	45	53	237	670	3125	8553	10633
Floor 2	7156	2844	500	124	84	49	22	23	23	25	27	31	40	49	65	191	1414	5975	6357
Floor M	6963	1273	314	65	59	50	31	24	17	13	11	9	9	10	11	15	20	28	40
Floor 1	1386	1148	759	434	223	117	33	25	19	15	12	10	9	9	8	8	8	9	13

ภาคผนวก ข -3 ผลการจำลองแสงธรรมชาติโดยโปรแกรม Lightscape 3.2 ในหุ่นจำลองศึกษา  
 เพื่อการศึกษาการเลือกใช้วัสดุภายในอาคารที่มีค่าเฉลี่ยคุณสมบัติการกระจายแสงที่ระดับต่างกัน

**BaseMassStudy**

**Avg.Reflectance 0.23**  
(20972)

	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
F14	9164	4241	4761	2098	1022	460	228	142	135	412	416	211	424	286	377	553	984	1912	4253	9630	12936
F13	8194	3450	1213	324	109	72	63	61	119	117	326	329	58	72	86	108	490	1419	3514	8989	11258
F12	7304	3296	671	159	89	59	45	34	26	26	26	28	31	35	46	58	75	112	1219	6531	6531
F1M	7214	2693	992	311	107	75	59	46	34	28	22	17	15	13	13	14	16	19	22	29	40
F1	5282	2918	1361	873	411	153	120	87	57	45	33	25	20	15	16	17	19	20	22	25	30

**Avg.Reflectance 0.28**  
(20982)

	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
F14	9721	5240	2276	1246	547	347	210	203	475	477	237	490	478	413	600	1041	1261	1977	3970	9036	12872
F13	8889	3843	1375	465	161	109	91	88	99	184	346	354	83	103	125	153	505	1358	3239	8323	11151
F12	7841	3755	846	230	132	89	68	54	42	40	38	40	47	54	70	89	112	164	1220	6036	6854
F1M	7918	3147	1143	474	168	124	98	76	56	47	38	31	28	24	23	24	30	38	49	64	64
F1	5761	3210	1537	1040	582	237	181	134	89	70	52	38	30	22	22	25	28	30	31	35	42

**Avg.Reflectance 0.40**  
(21009)

	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
F14	9930	5521	2572	1536	832	600	446	430	695	698	459	722	729	686	902	1373	1627	2386	4641	9364	13189
F13	9119	4065	1587	658	313	238	205	190	193	279	443	457	199	231	273	330	719	1613	3497	8496	11520
F12	8105	4007	1073	412	260	187	148	123	100	97	94	98	109	122	157	202	252	339	1429	6244	7205
F1M	8276	3504	1432	753	412	310	230	175	150	127	102	84	73	63	62	65	69	82	95	116	146
F1	6223	3683	1953	1400	903	501	396	306	217	96	127	92	73	55	53	57	60	65	70	78	89

**Avg.Reflectance 0.49**  
(21009)

	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
F14	9685.37	5436.72	2826	1753	1160	882.5	766.3	739.7	1004	1012	821.6	1062	1044	1106	1353	1857	2186	2905	5191	10337.47	13701
F13	8747.68	4033.51	1760	808.2	532.2	414.1	370.3	345.6	384.6	383.6	593.1	615	377	425.5	496.9	595	1066	2072	4158	9437.86	12073
F12	7933.74	3942.12	1247	615.9	427.4	320.8	193.3	231.3	199	193.3	187.5	197.1	220.9	244.7	303.7	377	470.3	612.1	2112	7085.535	7443.5
F1M	8084.15	3591.79	1720	1010	724.5	577.8	437	359.8	311.3	263.7	211.3	175.2	156.1	137.1	137.1	140.9	148.5	169.5	189.4	222.7617	262.74
F1	6400.11	4049.69	2373	1804	1264	849.2	688.3	544.5	417	327.5	238.9	177.1	142.8	108.5	107.6	112.3	118	126.6	135.2	144.6999	155.17

**Avg.Reflectance 0.56**  
(21050)

	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
F14	9933	5781	3235	2212	1637	1347	1229	1197	1457	1474	1293	1545	1542	1633	1902	2433	2772	3478	5724	10719	14000
F13	8995	4331	2061	1117	817	676	605	569	616	619	832	859	634	711	811	955	1450	2478	4535	9700	12361
F12	8195	4234	1525	888	659	527	447	393	362	356	351	366	399	433	521	619	737	921	2436	7371	7777
F1M	8467	4059	2233	1531	1214	1015	847	705	589	502	405	340	304	268	263	267	284	300	345	384	384
F1	6924	4664	3007	2415	1844	1377	1141	930	750	613	452	340	277	208	200	200	204	213	221	222	222

**Avg.Reflectance 0.64**  
(21059)

	front	NW wall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	SW wall	rear
F14	10043	6099	3668	3114	2630	2117	2089	2283	2068	2337	2458	2541	2560	2465	2861	3006	3472	4523	6512	11408	14275
F13	9210	5095	2729	1717	1390	1254	1179	1149	1131	1146	1370	1439	1517	1412	1539	1900	2321	3059	5551	10292	12621
F12	8608	4703	2260	1396	1129	1006	921	858	801	797	793	819	871	913	1030	1143	1274	1458	2945	7198	7559
F1M	9139	4824	3285	2370	2172	1966	1761	1545	1370	1142	906	788	700	650	582	557	538	532	539	542	586
F1	7863	5495	4402	3473	2775	2496	2151	1845	1582	1345	980	797	645	515	464	443	434	426	440	428	402



ภาคผนวก ข-4 ผลการจำลองแสงธรรมชาติโดยโปรแกรม Lightscape 3.2 เพื่อการศึกษาเลือกอาคารด้านข้าง

12 รูปแบบ

W1 Existing / Conc. Overhang 1 m. at floor level with side wall																						
Distance (m.)	front	NW WALL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 SE WALL rear outdoor			
Floor 4	9626	5001	2204	1074	483	239	149	142	433	437	222	445	300	396	581	1034	1304	2008	4468	10116	13589	16395
Floor 3	8607	3624	1274	340	114	76	66	64	125	123	342	346	61	76	90	113	151	1491	3691	9442	11826	13176
Floor 2	7672	3462	705	167	94	62	47	36	21	27	27	33	37	48	61	79	118	1630		6860	6860	6558
Floor M	7578	2829	1042	327	112	79	62	48	36	29	23	18	16	14	14	15	17	20	23	30	42	53
Floor 1	5548	3065	1430	917	432	161	126	91	60	47	35	26	21	16	17	18	20	21	23	26	31	36
Reflectance = 0.23 (max 20972 lx)																						
W2 Double Conc. Overhang with side wall																						
Distance (m.)	front	NW WALL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 SE WALL rear outdoor			
Floor 4	8995	2855	653	155	374	127	122	119	187	196	124	360	431	447	549	1015	506	777	1839	10603	13598	15881
Floor 3	7774	1545	127	86	65	44	101	113	103	109	32	265	119	343	51	73	86	98	1297	3327	8904	12352
Floor 2	7318	153	411	166	33	34	29	20	16	17	17	18	18	26	26	49	76	295		1006	4327	5728
Floor M	6905	2902	1516	304	86	64	51	40	30	24	19	15	13	11	10	10	10	14	17	25	37	49
Floor 1	5294	2837	1378	670	156	124	94	71	47	37	28	21	18	14	14	14	15	15	16	20	28	35
Reflectance = 0.23 (max 20972 lx)																						
W3 Conc. Overhang Shift down from floor level 1 m. with side wall																						
Distance (m.)	front	NW WALL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 SE WALL rear outdoor			
Floor 4	8947	3219	1512	491	182	148	136	131	351	359	440	448	459	470	489	511	1317	2813	4266	10603	13598	15881
Floor 3	8086	2071	1024	590	85	62	52	45	226	46	349	344	360	357	89	102	815	1317	3694	9443	11526	12561
Floor 2	7344	1811	1190	198	80	52	39	29	22	23	25	28	32	36	48	61	80	119	1843	7185	7095	6503
Floor M	6636	1291	675	399	86	69	56	45	34	27	21	16	14	12	13	14	16	19	23	30	41	52
Floor 1	5502	2767	1952	1004	398	126	99	74	52	42	31	23	19	14	15	17	19	21	22	26	31	36
Reflectance = 0.23 (max 20972 lx)																						
W4 Reflective Overhang (Reflectance 0.56) shift down from floor level 1 m. with side wall																						
Distance (m.)	front	NW WALL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 SE WALL rear outdoor			
Floor 4	9561	3405	2175	458	285	191	165	371	357	146	431	438	448	241	406	453	1029	1956	4473	10352	13785	15644
Floor 3	8299	1981	601	373	127	75	57	47	39	50	336	126	133	352	75	97	898	1369	3689	9448	11912	12833
Floor 2	7453	1719	551	271	126	70	49	37	27	27	27	29	33	37	49	62	80	121	1651	6117	6714	6651
Floor M	7160	1649	909	384	433	121	86	64	44	35	26	20	17	13	13	14	15	19	23	30	41	51
Floor 1	5755	3003	1574	878	481	182	139	103	69	53	37	26	21	15	16	17	18	19	20	23	29	36
Reflectance = 0.23 (max 20972 lx)																						
W5 Reflective Overhang Grill (Reflectance 0.56) with side wall																						
Distance (m.)	front	NW WALL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 SE WALL rear outdoor			
Floor 4	10573	5166	2549	1144	337	284	234	447	368	157	440	455	174	184	485	987	1145	1891	4471	10208	13692	15181
Floor 3	8768	3288	1838	333	172	110	87	28	64	289	141	351	365	134	504	111	318	1504	3974	9496	11609	13096
Floor 2	7275	2653	1978	238	131	78	56	41	29	28	29	31	34	38	49	62	80	119	1942	6407	7186	6790
Floor M	7018	2841	1003	443	103	78	63	49	37	30	24	19	17	14	15	16	17	20	24	31	42	53
Floor 1	5250	2963	1448	724	433	171	130	93	62	49	37	28	23	18	18	19	20	22	24	27	32	36
Reflectance = 0.23 (max 20972 lx)																						
W6 Retract Void & Conc. Overhang shift from floor level 1 m. with side wall																						
Distance (m.)	front	NW WALL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 SE WALL rear outdoor			
Floor 4	9201	2622	1248	297	270	246	296	314	448	241	253	279	592	608	708	701	951	985	1774	4149	10016	15915
Floor 3	7844	1683	205	214	91	61	51	54	40	40	41	53	136	354	70	99	204	185	1535	3490	8827	12597
Floor 2	7099	1787	620	100	73	45	34	26	20	21	21	22	23	23	32	42	54	73	279	1759	4430	5767
Floor M	7763	4976	995	365	110	78	60	47	34	29	23	19	18	16	18	20	29	64	98	2399	3121	1868
Floor 1	5233	2660	1829	605	183	140	110	61	55	44	33	26	23	20	26	33	39	40	729	196	41	41
Reflectance = 0.23 (max 20972 lx)																						
W7 Retract Void & Reflective Overhang (Reflectance 0.56) shift from floor level 1 m. with side wall																						
Distance (m.)	front	NW WALL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 SE WALL rear outdoor			
Floor 4	9531	3148	1846	885	835	762	785	786	910	713	749	808	1157	1195	1325	1346	1611	1625	2460	4036	10501	16201
Floor 3	8146	1985	491	465	292	223	194	183	157	159	160	180	277	508	253	325	495	585	1904	3810	9119	13002
Floor 2	7519	2271	900	302	215	166	136	111	89	84	79	80	88	95	124	156	188	219	466	1045	4796	6279
Floor M	8315	5467	1411	706	307	292	219	170	145	121	97	81	72	63	69	78	101	102	263	2606	3374	2184
Floor 1	5884	3249	2314	1014	5447	442	359	280	208	166	123	94	70	62	77	97	115	120	813	280	123	122
Reflectance = 0.23 (max 20972 lx)																						
W8 Horizontal Blind with side wall																						
Distance (m.)	front	NW WALL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 SE WALL rear outdoor			
Floor 4	11239	2507	1505	1120	49	179	162	151	365	153	220	452	462	473	407	916	1144	1903	4566	10160	13878	16188
Floor 3	9653	1926	1094	394	196	101	80	289	375	356	67	283	280	83	501	108	495	1613	3877	10513	11618	12356
Floor 2	8934	1281	487	263	171	88	59	43	30	30	30	31	34	37	49	62	80	119	1545	1723	6989	6429
Floor M	7313	2877	1067	530	336	78	62	49	37	30	23	19	17	14	15	16	18	21	24	31	42	52
Floor 1	5275	2787	1567	1121	206	165	128	93	91	49	37	28	23	18	18	19	21	23	24	28	33	38
Reflectance = 0.23 (max 20972 lx)																						
W9 Horizontal Blind without side wall																						
Distance (m.)	front	NW WALL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 SE WALL rear outdoor			
Floor 4	10407	1993	1820	899	531	256	210	438	443	436	374	384	455	274	492	514	930	1895	4734	10057	13791	16305
Floor 3	9557	2091	756	250	171	97	139	357	67	283	59	71	369	375	87	109	627	1319	3580	9255	11717	12901
Floor 2	8509	1568	455	216	147	84	60	45	32	31	30	31	35	39	51	64	82	121	1555	6301	6795	6457
Floor M	7481	3233	1300	334	105	80	64	51	38	31	24	19	17	15	15	16	17	20	23	30	41	51
Floor 1	5432	2794	1375	1008	441	169	129	94	62	50	37	28	22	17	17	18	20	22	23	26	31	35
Reflectance = 0.23 (max 20972 lx)																						
W10 Vertical Blind without side wall																						
Distance (m.)	front	NW WALL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 SE WALL rear outdoor			
Floor 4	6548	3092	1183	937	439	174	158	372	369	368	450	468	481	268	604	603	1257	1986	4593	10180	13610	16238
Floor 3	5197	2156	957	180	132	87	72	64	58	59	134	365	160	381	309	128	653	1341	3901	9539</		

ภาคผนวก ค-1 การคำนวณหาอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งานในแต่ละ ZONE  
(Ventilation Rate Requirement)

ZONE	การใช้งาน	ผู้ใช้งาน (คน)	ขนาดห้อง (กxยxส)	ปริมาตร ห้อง (ลบ.ม.)	อัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมตาม มาตรฐานการระบายอากาศ (ลบ.ม./ชม.)			
					กฎหมายควบคุมอาคาร 2544 หมวด 7 ข้อ 64	ASHRAE Standard 62-1989	AIA 1981	David Oakley
1	โถงจอดรถยนต์ 1 คัน	3-5	3.9x8x4.85	151.32	-	180 (1 คัน) 842.4 (พื้นที่)	54 - 90	1,513.2
2	ห้องโถง - ทางเดิน	1-5	3.9x7.5x2.3	67.28	-	27-135	18 - 90	672.8
3	ห้องน้ำ - ซักล้าง	3-5	3.9x4.5x4.85	85.12	170 - 341	90	-	1,702.4
4	ห้องโถง - ส่วนอาศัย	3	3.9x7.5x2.3	67.28	-	27 - 81	18 - 54	672.8
5	ส่วนอาศัย - นอน	3	3.9x4x2.85	44.46	-	81	54	36,720
6	ห้องโถง - ส่วนอาศัย	1-5	3.9x4x2.85	44.46	-	27 - 135	18 - 90	444.6
		3	3.9x7.5x2.85	83.36	-	81	54	36,720
7	ห้องโถง - เก็บของ	1-2	3.9x2.5x2.85	27.79	-	27 - 54	12.6 - 25.2	277.9
8	ส่วนอาศัย - นอน	2-4	3.9x4x2.85	44.46	-	54 - 108	36 - 72	24,480 - 48,960
9	ส่วนอาศัย - รับแขก	2-4	2.8x7.8x2.85	62.25	-	54 - 108	36 - 72	662.5
10	ส่วนกินข้าว- ครีว semi-outdoor	1-2	3.9x3.5x2.85	38.90	466.8	180	-	2,037,600- 4,075,200
11	ส่วนอาศัย - นอนแขก	1-2	3.9x3x2.85	33.35	-	27 - 54	18 - 36	12,240
12	ห้องโถง - ทางเดิน ปล่องบันได	1-5	3.9x4.2x2.85	53.35	-	27 - 135	18 - 90	775.8
		-	-	24.23	-	-	-	-
13	ส่วนอาศัย - นอน	1-2	3.9x7.5x2.85	83.36	-	27 - 54	18 - 36	12,240 - 24,480

การคำนวณหาอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมต่อการใช้งานในแต่ละ ZONE  
(Ventilation Rate Requirement)

ZONE 1 จอดรถยนต์ 1 คัน ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 8 / 4.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 151.32 ลบ.ม.

ผู้ใช้อาคาร / คาบ 3 - 5 คน

1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดโรงรถระบายอากาศตามธรรมชาติ 100 cfm/คัน (50 L/s/คัน)

หรือ 1.5 cfm/sq.ft. (7.5 L/s/sq.m.)

คิดตามจำนวนรถยนต์ =  $50 \times 0.001 \times 3600$

= 180 ลบ.ม./ชม.

คิดตามพื้นที่ใช้สอย =  $(3.9 \times 8) \times 7.5 \times 3600$

= 842.4 ลบ.ม./ชม.

2) มาตรฐาน AIA1981 กรณีใช้เป็นห้องโถงอเนกประสงค์ บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10

cfm/คน (3.5-5 L/s/คน) = 15-25 L/s

= 54-90 ลบ.ม./ชม.

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศในห้องโถงและ  
ทางเดินไม่ต่ำกว่า 10 ac/hr

=  $10 \times 3.9 \times 8 \times 4.85$

= 1513.2 ลบ.ม./ชม.

ZONE 2 ห้องโถง - ทางเดิน ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 7.5 / 2.3 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 67.28 ลบ.ม.

ผู้ใช้อาคาร / คาบ 1 - 5 คน

1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติในห้องโถงเท่ากับ 0.35 ACH/h

แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)

= 7.5 - 37.5 L/s

= 27 - 135 ลบ.ม./ชม.

2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)

= 5 - 25 L/s

= 18 - 90 ลบ.ม./ชม.

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศในห้องโถงและ  
ทางเดินไม่ต่ำกว่า 10 ac/hr

=  $10 \times (3.9 \times 7.5 \times 2.3)$

= 672.8 ลบ.ม./ชม.

ZONE 3 ห้องน้ำ - ชักล้าง ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 4.5 / 4.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 85.12 ลบ.ม.

ผู้ใช้อาคาร / คาบ 3 - 5 คน

- 1) กฎหมายควบคุมอาคาร 2544 หมวด 7 ข้อ 64 กำหนดให้มีการระบายอากาศสำหรับห้องน้ำ 2 – 4 ACH/h
- $$= 170 - 341 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$
- 2) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติสำหรับห้องน้ำเท่ากับ 50 cfm (25 L/s)
- $$= 90 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$
- 3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศห้องน้ำ ไม่ต่ำกว่า 20 ac/hr
- $$= 20 \times (3.9 \times 4.5 \times 4.85)$$
- $$= 1,702.4 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

ZONE 4 ห้องโถง – ส่วนอาศัย ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 7.5 / 2.3 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 67.28 ลบ.ม.  
ผู้ใช้อาคาร / คาบ 3 คน

- 1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติส่วนอยู่อาศัยเท่ากับ 0.35 ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)
- $$= 7.5 - 22.5 \text{ L/s}$$
- $$= 27 - 81 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$
- 2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)
- $$= 5 - 15 \text{ L/s}$$
- $$= 18 - 54 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$
- 3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศในห้องโถง ไม่ต่ำกว่า 10 ac/hr
- $$= 10 \times (3.9 \times 7.5 \times 2.3)$$
- $$= 672.8 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

ZONE 5 ส่วนอาศัย - นอน ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 4 / 2.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 44.46 ลบ.ม.  
ผู้ใช้อาคาร / คาบ 3 คน

- 1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติส่วนอยู่อาศัยเท่ากับ 0.35 ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)
- $$= 22.5 \text{ L/s}$$
- $$= 81 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$
- 2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)
- $$= 15 \text{ L/s}$$
- $$= 54 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$
- 3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศในห้องนอนและรับแขก 204 ลบ.ม./นาที/คน ตามตารางที่ 2-4-08
- $$= 204 \times 3 \times 60$$
- $$= 36,720 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

ZONE 6 ห้องโถง - ส่วนอาศัย แยกคำนวณตามการใช้งาน

ส่วนโถงบันได ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 4 / 2.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 44.46 ลบ.ม. ผู้ใช้  
อาคาร / คาบ 1-5 คน

1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติส่วนอยู่อาศัยเท่ากับ 0.35  
ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)

$$= 7.5 - 37.5 \text{ L/s}$$

$$= 27 - 135 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)

$$= 5 - 25 \text{ L/s}$$

$$= 18 - 90 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศในห้องโถง  
ไม่ต่ำกว่า 10 ac/hr

$$= 10 \times (3.9 \times 4 \times 2.85)$$

$$= 444.6 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

ส่วนอาศัย - นอน ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 7.5 / 2.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 83.36 ลบ.ม. ผู้ใช้  
อาคาร / คาบ 3 คน

1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติส่วนอยู่อาศัยเท่ากับ 0.35  
ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)

$$= 22.5 \text{ L/s}$$

$$= 81 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)

$$= 15 \text{ L/s}$$

$$= 54 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศในห้องนอนและ  
รับแขก 204 ลบ.ม./นาที/คน ตามตารางที่ 2-4-08

$$= 204 \times 3 \times 60$$

$$= 36,720 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

ZONE 7 ห้องโถง - เก็บของ ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 2.5 / 2.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 27.79 ลบ.ม. ผู้ใช้  
อาคาร / คาบ 1-2 คน

1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติส่วนอยู่อาศัยเท่ากับ 0.35  
ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)

$$= 7.5 - 15 \text{ L/s}$$

$$= 27 - 54 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$



2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)

$$= 5 - 10 \text{ L/s}$$

$$= 12.6 - 25.2 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley ควรมีการระบายอากาศในห้องโถง ไม่ต่ำกว่า 10 ac/hr

$$= 10 \times (3.9 \times 2.5 \times 2.85)$$

$$= 277.9 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

ZONE 8 ส่วนอาศัย - นอน ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 4 / 2.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 44.46 ลบ.ม.  
ผู้ใช้อาคาร / คาบ 2 - 4 คน

1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติส่วนอยู่อาศัยเท่ากับ 0.35 ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)

$$= 15 - 30 \text{ L/s}$$

$$= 54 - 108 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)

$$= 10 - 20 \text{ L/s}$$

$$= 36 - 72 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศในห้องนอนและรับแขก 204 ลบ.ม./นาที/คน ตามตารางที่ 2-4-08

$$= 204 \times 2 \times 60$$

$$= 24,480 - 48,960 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

ZONE 9 ส่วนอาศัย - รับแขก ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 2.8 / 7.8 / 2.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 62.25 ลบ.ม.  
ผู้ใช้อาคาร / คาบ 2 - 4 คน

1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติส่วนอยู่อาศัยเท่ากับ 0.35 ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)

$$= 15 - 30 \text{ L/s}$$

$$= 54 - 108 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)

$$= 10 - 20 \text{ L/s}$$

$$= 36 - 72 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley ควรมีการระบายอากาศในห้องโถง ไม่ต่ำกว่า 10 ac/hr

$$= 10 \times (2.8 \times 7.8 \times 2.85)$$

$$= 662.5 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

ZONE 10 ส่วนกินข้าว - ครั้วขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 3.5 / 2.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 62.25 ลบ.ม.  
ผู้ใช้อาคาร / คาบ 1 - 2 คน ทั้งนี้ พื้นที่ดังกล่าวเป็น semi-outdoor zone

1) กฎหมายควบคุมอาคาร 2544 หมวด 7 ข้อ 64 กำหนดให้มีการระบายอากาศตามธรรมชาติสำหรับห้องครัวที่พักอาศัย 12 ACH/h

$$= 12 \times (3.9 \times 3.5 \times 2.85)$$

$$= 466.8 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

2) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติสำหรับครัว เมื่อมีการใช้ไม้ส้มน้ำผสม เท่ากับ 100 cfm (50 L/s)

$$= 50 \text{ L/s}$$

$$= 180 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley ควรมีการระบายอากาศในห้องโถง ไม่ต่ำกว่า 10 ac/hr

$$= 10 \times (3.9 \times 3.5 \times 2.85)$$

$$= 2,037,600 - 4,075,200 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

ZONE 11 ส่วนอาศัย - นอน ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 4 / 2.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 44.46 ลบ.ม.

ผู้ใช้อาคาร / คาบ 1-2 คน

1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติสำหรับอยู่อาศัยเท่ากับ 0.35 ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)

$$= 7.5 - 15 \text{ L/s}$$

$$= 27 - 54 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)

$$= 5 - 10 \text{ L/s}$$

$$= 18 - 36 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศในห้องนอนและรับแขก 204 ลบ.ม./นาที่/คน ตามตารางที่ 2-4-08

$$= 204 \times 1 \times 60$$

$$= 12,240 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

ZONE 12 ห้องโถง - ส่วนอาศัย ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 4.2 / 2.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 53.35 ลบ.ม. ผู้ใช้อาคาร / คาบ 1-5 คน ทั้งนี้ ส่วนบันไดและทางเดินระหว่างชั้นที่มีปริมาตรอากาศต่อเนื่องกัน คิดเป็นปริมาตร 24.23 ลบ.ม. รวมปริมาตรต่อเนื่องเท่ากับ 77.58 ลบ.ม.

1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติสำหรับอยู่อาศัยเท่ากับ 0.35 ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)

$$= 7.5 - 37.5 \text{ L/s}$$

$$= 27 - 135 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)

$$= 5 - 25 \text{ L/s}$$

$$= 18 - 90 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศในห้องโถง  
 ไม่ต่ำกว่า 10 ac/hr =  $10 \times (77.58)$   
 = 775.8 ลบ.ม./ชม.

ZONE 13 ส่วนอาศัย - นอน ขนาดกว้าง / ยาว / สูง เป็น 3.9 / 7.5 / 2.85 เมตร คิดเป็นปริมาตรห้อง 83.36 ลบ.ม.  
 ผู้ใช้อาคาร / คาบ 1-2 คน

1) ASHRAE Standard 62-1981 กำหนดการระบายอากาศตามธรรมชาติส่วนอยู่อาศัยเท่ากับ 0.35  
 ACH/h แต่ไม่ต่ำกว่า 15 cfm/คน (7.5 L/s/คน)

$$= 7.5 - 15 \text{ L/s}$$

$$= 27 - 54 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

2) มาตรฐาน AIA1981 บ้านพักอาศัยจะต้องการการระบายอากาศ 7-10 cfm/คน (3.5-5 L/s/คน)

$$= 5 - 10 \text{ L/s}$$

$$= 18 - 36 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

3) ตามข้อเสนอของ David Oakley กรณีของ Tropical House ควรมีการระบายอากาศในห้องนอนและ  
 รับแขก 204 ลบ.ม./นาที/คน ตามตารางที่ 2-4-08

$$= 204 \times 1 \times 60 \text{ ถึง } 204 \times 2 \times 60$$

$$= 12,240 - 24,480 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ค-2 รายการคำนวณอัตรากระจายอากาศของแบบปรับปรุง ทั้ง 3 แบบที่นำเสนอ

รายการคำนวณอัตรากระจายอากาศ การปรับปรุงแบบที่ 1

โซน	ขนาดช่องเปิด (ตร.ม.)		ขนาดช่องเปิด (ตร.ม.)		Ratio of outlet to inlet or vice versa		increase in percentage*		Effective Opening** (ตร.ม.)		ความเร็วลม หน้าช่องเปิด (เมตร/วินาที)	อัตราการกระจายอากาศ*** (ลบ.ม./ชม.)	
	ลมเข้า		ลมออก		หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู		กรณีสเปิด หน้าต่าง	กรณีสเปิด หน้าต่างและประตู
	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู									
โซน 1-1 ถึง 1-4	1.90	8.55	1.90	1.90	1.00	4.50	0%	37%	2.22	2.60	0.310	620	726
โซน 2-1, 2-2, 2-3	8.80	8.80	8.80	8.80	1.00	1.00	0%	0%	8.80	8.80	0.990	7,841	7,841
โซน 3-1	1.10	4.10	1.80	4.80	1.64	1.17	20%	3%	1.32	4.22	0.360	428	1,368
โซน 3-2	1.80	4.80	1.80	4.80	1.00	1.00	0%	0%	1.80	4.80	0.240	389	1,037
โซน 3-3	พื้นที่ภายนอก อาคาร										0.330		
โซน 4-1	4.00	4.00	2.90	5.90	1.38	1.48	14%	17%	4.06	4.68	0.750	2,741	3,159
โซน 4-2	2.90	5.90	1.80	4.80	1.61	1.23	18%	10%	2.12	5.28	0.200	382	950
โซน 4-3	1.80	4.80	3.60	9.60	2.00	2.00	26%	26%	2.27	6.05	0.360	735	1,960

รายการคำนวณอัตรากระจายอากาศ การปรับปรุงแบบที่ 2

โซน	ขนาดช่องเปิด (ตร.ม.)		ขนาดช่องเปิด (ตร.ม.)		Ratio of outlet to inlet or vice versa		increase in percentage*		Effective Opening** (ตร.ม.)		ความเร็วลม หน้าช่องเปิด (เมตร/วินาที)	อัตราการกระจายอากาศ*** (ลบ.ม./ชม.)	
	ลมเข้า		ลมออก		หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู		กรณีสเปิด หน้าต่าง	กรณีสเปิด หน้าต่างและประตู
	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู									
โซน 1-1, 1-2, 1-3	1.90	8.55	1.90	1.90	1.00	4.50	0%	37%	2.22	2.60	0.810	1,621	1,898
โซน 1-4	1.90	6.70	1.90	6.70	1.00	1.00	0%	0%	1.90	6.70	0.780	1,334	4,703
โซน 2-1, 2-2, 2-3	8.80	8.80	8.80	8.80	1.00	1.00	0%	0%	9.94	9.68	1.600	14,319	4,703
โซน 3-1	4.10	7.00	2.20	5.20	1.86	1.35	25%	14%	2.77	6.08	0.510	1,272	13,939
โซน 3-2	2.20	5.20	3.80	5.80	1.73	1.12	22%	3%	4.33	5.92	1.000	3,899	2,793
โซน 3-3	พื้นที่ภายนอก อาคาร										0.330		
โซน 4-1	3.60	5.80	2.90	5.80	1.24	1.00	10%	0%	4.00	7.19	0.900	3,242	5,826
โซน 4-2	2.90	5.80	3.80	6.80	1.31	1.17	11%	3%	3.80	6.80	0.210	718	5,826
โซน 4-3	3.80	6.80	3.60	5.80	1.06	1.17	0%	3%	4.29	6.94	0.330	1,275	1,285

รายการคำนวณอัตรากระจายอากาศ การปรับปรุงแบบที่ 3

โซน	ขนาดช่องเปิด (ตร.ม.)		ขนาดช่องเปิด (ตร.ม.)		Ratio of outlet to inlet or vice versa		increase in percentage*		Effective Opening** (ตร.ม.)		ความเร็วลม หน้าช่องเปิด (เมตร/วินาที)	อัตราการกระจายอากาศ*** (ลบ.ม./ชม.)	
	ลมเข้า		ลมออก		หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู		กรณีสเปิด หน้าต่าง	กรณีสเปิด หน้าต่างและประตู
	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู	หน้าต่าง	หน้าต่างและประตู									
โซน 1-1, 1-2, 1-3	1.90	8.55	1.90	1.90	1.00	4.50	0%	37%	1.90	2.60	0.780	1,334	1,827
โซน 1-4	1.90	6.70	1.90	6.70	1.00	1.00	0%	0%	1.90	6.70	0.660	1,129	3,980
โซน 2-1, 2-2, 2-3	8.80	8.80	8.80	8.80	1.00	1.00	0%	0%	9.94	9.68	1.700	15,214	14,810
โซน 3-1	4.10	7.00	2.90	5.80	1.41	1.21	18%	10%	3.65	6.79	0.810	2,664	4,947
โซน 3-2	2.90	5.80	4.10	7.00	1.41	1.21	18%	10%	4.67	7.14	0.360	1,514	2,313
โซน 3-3	พื้นที่ภายนอก อาคาร										0.360		
โซน 4-1	3.60	5.80	4.10	7.00	1.14	1.21	3%	10%	5.66	8.68	0.720	3,666	5,625
โซน 4-2	4.10	7.00	3.80	6.80	1.08	1.03	0%	0%	3.80	6.80	0.250	855	1,530
โซน 4-3	3.80	6.80	3.60	5.80	1.06	1.17	0%	3%	4.29	6.94	0.510	1,971	3,184

\* การคำนวณตามแผนภูมิที่ 4-09 (ASHRAE,1997)

\*\* คำนวณตามสมการ effective opening (ตร.ม.) = (1+ increase in percentage) x ขนาดช่องเปิดจริง(ตร.ม.)

\*\*\* คำนวณจากสูตรอัตรากระจายอากาศผ่านช่องเปิด

$$Q = C_v(A)(V) \times 3600$$

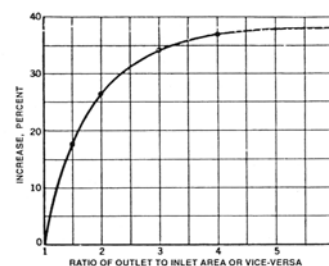
หน่วย Q (m<sup>3</sup>/s)

$$C_v = 0.25$$

A (m<sup>2</sup>)

V (m/s)

3600 = แปลงหน่วยเป็นชั่วโมง



รายการคำนวณอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมตามมาตรฐานสากล

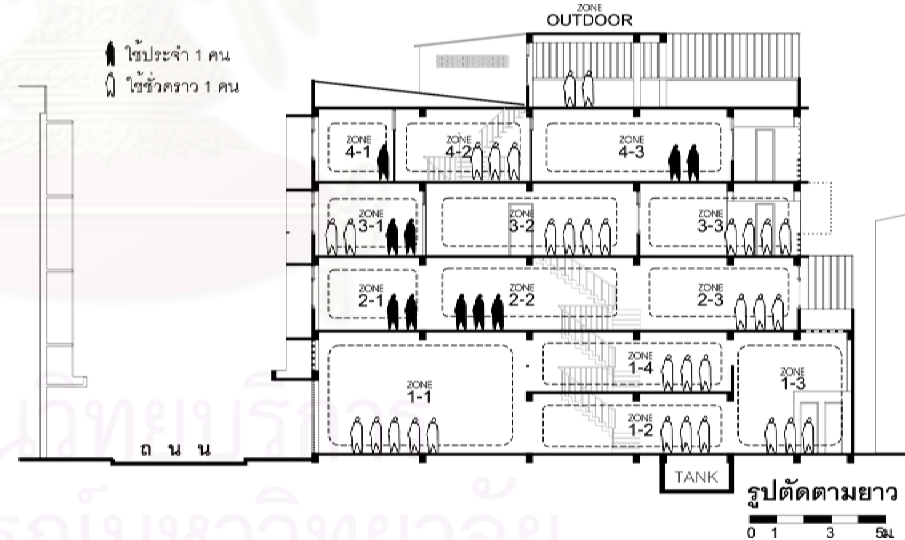
ZONE	การใช้งาน	ผู้ใช้ สูงสุด /คาบ (คน)	ขนาดห้อง (เมตร)			ปริมาตร ห้อง (ลบ.ม.)	อัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมตามมาตรฐานการระบายอากาศ หรือปริมาณการถ่ายเทอากาศบริสุทธิ์ใหม่ (ลบ.ม./ชม.)									
							กฎหมายควบคุม อาคาร 2544 หมวด 7		ASHRAE Standard 62-1989(7.5 ลิตร/วินาที/คน)		AIA 1981 (3.5-5 ลิตร/ วินาที/คน)	David Oakley				
							ต่อ 1 หน่วย	รวม	ต่อ 1 หน่วย	(ลบ.ม./ชม.)	ลิตร/ วินาที/คน	ต่อ 1 หน่วย	(ลบ.ม./ชม.)			
ZONE 1-1	โถงจอดรถยนต์ 1 ชั้น	5	4	8	5	160	4	ACH	640	27	ลบ.ม./ชม./ตร.ม.	864	63			
										180	ลบ.ม./ชม./คัน	180				
ZONE 1-2	โถง-บันได	5	4	7.5	2.5	75				27	ลบ.ม./ชม./คน	135	63	20	ac/hr	1500
ZONE 1-3	ส่วนบริการ-ห้องน้ำ	3	4	5	5	90	2	ACH	180	25	ลิตร/วินาที	25	37.8	20	ac/hr	1800
ZONE 1-4	โถงส่วนอาศัย-บันได	3	4	7.5	2.5	75				27	ลบ.ม./ชม./คน	81	37.8	20	ac/hr	1500
ZONE 2-1	ส่วนอาศัย-นอน	3	4	4	3	48	12	ACH	576	27	ลบ.ม./ชม./คน	81	37.8	566	ลบ.ม./นาที่/คน	101,880
ZONE 2-2	โถงส่วนอาศัย-บันได	3	4	8	3	96	12	ACH	1152	27	ลบ.ม./ชม./คน	81	37.8	566	ลบ.ม./นาที่/คน	101,880
ZONE 2-3	โถง-ส่วนอาศัย	3	4	6	3	72				27	ลบ.ม./ชม./คน	81	37.8	20	ac/hr	1440
ZONE 3-1	ส่วนอาศัย-นอน1	4	4	4	3	48	12	ACH	576	27	ลบ.ม./ชม./คน	108	50.4	566	ลบ.ม./นาที่/คน	135,840
ZONE 3-2	ส่วนอาศัย-นั่งเล่น	4	4	8	3	96	12	ACH	1152	27	ลบ.ม./ชม./คน	108	50.4	566	ลบ.ม./นาที่/คน	135,840
ZONE 3-3	ส่วนกินข้าว-ครัว	4	4	6	3	72	12	ACH	864	180	ลบ.ม./ชม.	180	50.4	566	ลบ.ม./นาที่/คน	135,840
ZONE 4-1	ส่วนอาศัย-นอน2	2	4	3	3	36	12	ACH	432	27	ลบ.ม./ชม./คน	54	25.2	566	ลบ.ม./นาที่/คน	67,920
ZONE 4-2	โถงบันได-ทางเดิน	2	4	5	3	60				27	ลบ.ม./ชม./คน	54	25.2	20	ac/hr	1200
ZONE 4-3	ส่วนอาศัย-นอน3	2	4	7.5	3	90	12	ACH	1080	27	ลบ.ม./ชม./คน	54	25.2	566	ลบ.ม./นาที่/คน	67,920

ความเร็วลมที่วัดได้จากอาคารจริง

	Outdoor			AREA A			AREA B			AREA C			AREA D			AREA E			Indoor Average
	Summer 21-May-45	Winter 21-Dec-45	Max	Summer 21-May-45	Winter 21-Dec-45	Max	Summer 21-May-45	Winter 21-Dec-45	Max	Summer 21-May-45	Winter 21-Dec-45	Max	Summer 21-May-45	Winter 21-Dec-45	Max	Summer 21-May-45	Winter 21-Dec-45	Max	
Deck	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.792	0.463	-	-	-	-	-	-	-	0.6271
Floor 4	-	0.284	1.120	0.047	0.071	0.249	0.044	0.048	0.247	0.035	0.039	0.166	0.045	0.059	0.181	0.152	0.197	0.382	0.0737
Floor 3	-	0.263	1.490	0.099	0.235	0.250	0.030	0.038	0.178	0.032	0.056	0.200	0.106	0.057	0.352	0.060	0.150	0.222	0.0862
Floor 2	-	0.235	0.580	0.090	0.133	0.235	0.056	0.118	0.197	0.042	0.052	0.180	0.076	0.348	0.179	0.029	0.080	0.114	0.1023
Floor M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.086	0.141	0.260	0.091	0.065	0.256	-	-	-	0.0960
Floor 1	-	0.181	1.120	0.083	0.090	0.245	0.119	0.038	0.228	0.061	0.035	0.175	0.062	0.029	0.167	0.019	0.028	0.100	0.0563

ความเร็วลมที่วัดได้จากอาคารจริง เปรียบเทียบกับอาคารจำลองในโปรแกรม HeatX

ZONE	ความเร็วลมช่องเปิดอาคารจริง (เมตร/วินาที)		ความเร็วลมเฉลี่ยหน้าช่องเปิด ที่วัดได้จากอาคารจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์			
	เฉลี่ย	สูงสุด	แนวตัดผ่านห้อง		แนวตัดผ่านบันได	
			เปิดหน้าต่างปกติ	เปิดหน้าต่างและประตู	เปิดหน้าต่างปกติ	เปิดหน้าต่างและประตู
Zone 1-1	0.181	1.120	0.12	0.12	0.18	0.18
Zone 1-2, 1-3, 1-4	0.082	0.236	0.06	0.06	0.08	0.09
Zone 2-1, 2-2, 2-3	0.235	1.490	1.08	1.26	0.3	0.33
Zone 3-1	0.263	0.580	0.12	1.8	0.06	0.09
Zone 3-2	0.167	0.250	0	0.96	0.06 st	0.18 st
Zone 3-3	0.078	0.182	0	0.72	-	-
Zone 4-1	0.284	1.120	0.21	0.81	0.21	0.78
Zone 4-2	0.059	0.162	0.03	0.38	0.03	0.12
Zone 4-3	0.046	0.213	0	0.33	0	0.18



## ภาคผนวก ง-1 แนวความคิดในการบูรณะอาคารเก่า

สถาปัตยกรรม เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของมนุษย์ บนพื้นฐานของปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ตอบสนองทั้งด้านการใช้งานและความงามตามแต่ละสมัย มีวัฏจักรของอาคาร (Building Cycle) โดยทั่วไป แบ่งเป็น 8 วงจร คือ “เกิด-สร้าง-ดำรงรักษา-ทรุดโทรม-ซ่อมแซม-ทรงสภาพ-ยุพัง-เสียดสภาพ” (มานพ พงศทัต. 2529)

อาคารแต่ละหลังจะมีประสิทธิภาพการใช้งานอาคารลดลงเรื่อยๆ ในช่วงอายุอาคารแตกต่างกันตามลักษณะคุณสมบัติวัสดุ กรรมวิธีการก่อสร้าง และปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอื่นๆ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุง ซ่อมแซมอาคารเพื่อให้สามารถรองรับการใช้ประโยชน์ได้ดี ตามความจำเป็นให้สามารถยืดอายุขัยของอาคารออกไปได้นานขึ้นโดยไม่ต้องมีการทุบทำลายโดยเปล่าประโยชน์ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่สำคัญในการอนุรักษ์พลังงานในปัจจุบัน เนื่องจาก พลังงานที่ใช้ในอาคารสามารถแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ

1. พลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร
2. พลังงานที่ใช้ในการดำเนินการใช้อาคาร
3. พลังงานที่ใช้ในการนำอาคารกลับมาใช้ใหม่ หรือ การรีไซเคิลทำลาย

แม้ว่าพลังงานส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการใช้ตลอดช่วงอายุอาคาร แต่พลังงานที่ใช้ในการผลิตวัสดุและอุปกรณ์อาคารมีสัดส่วนสูงถึง 70% ของพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารในปัจจุบัน (ธนิศ จินดาวณิก. 2541: 2)

การอนุรักษ์ และพัฒนาอาคารมีวิวัฒนาการมาเป็นเวลานานโดยเฉพาะในประเทศตะวันตก ดังนั้นจึงมีคำศัพท์เกี่ยวกับการอนุรักษ์ที่เฉพาะเจาะจงขึ้นหลายคำ ที่บอกถึงระดับ ประเภท และวิธีการในการ ปรับปรุงอาคาร สถานที่ และภูมิทัศน์โดยรอบ (เดชา บุญค้ำ. 2539: 68) สรุปความได้ดังนี้

**การอนุรักษ์ (conservation)** หมายถึง กระบวนการสงวน เก็บรักษา หรือป้องกันการเสื่อมสภาพเพื่อปกป้องอาคาร สถานที่ รวมทั้งทรัพยากร และสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติไว้มิให้สูญเสียดูถูกทำลาย หรือเปลี่ยนแปลงไป โดยการใช้อยู่ หรือการบริโภคที่ไม่เหมาะสม เช่น การปรับปรุงบูรณะอาคารเก่าแก่เพื่อใช้ประโยชน์ใหม่ตามย่านเมืองเก่าโดยคงลักษณะสำคัญเดิมไว้ เป็นคำที่ใช้กันทั่วไปก่อนการพัฒนากระบวนการอนุรักษ์

**การพิทักษ์รักษา (preservation)** หมายถึง กระบวนการปกป้องอาคาร สถานที่ หรือ ภูมิทัศน์ สิ่งแวดล้อมซึ่งพยายามรักษา สภาพดั้งเดิมให้มากที่สุด เพื่อให้สามารถดำรงอยู่ได้ตลอดไปอย่างถาวร มีความเข้มงวดและจำกัดการใช้งาน เป็นอย่างสูง สามารถเลือกใช้กระบวนการที่เหมาะสมได้ 4 ลักษณะ ได้แก่

- 1) การสร้างเสริมความมั่นคงถาวร
- 2) การสร้างใหม่ด้วยวิธีการ และวัสดุดั้งเดิม
- 3) การรักษาไว้ซึ่งสภาพเดิม
- 4) การปรับปรุงสภาพ และส่งเสริมให้มีคุณภาพดีขึ้น

โดยหลักการเป็นการอนุรักษ์ขั้นสูงสุดในเรื่องความแท้ดั้งเดิมเป็นการปรับปรุงโดยปราศจากการแตะต้องหรือเปลี่ยนแปลงใดๆ เช่น การอนุรักษ์ภาพฝาผนัง ศิลปวัตถุ โบราณสถาน อุทยานแห่งชาติ หรือการเสริมสร้างความมั่นคงให้แก่ตัวอาคารด้วยการฉีคปูนซีเมนต์หรือทำให้แข็งแรงขึ้นด้วยการใช้วัสดุ และกรรมวิธีเดียวกันกับอาคารเดิมในการซ่อมแซม

**การบูรณะ ปฏิสังขรณ์ (Restoration)** หมายถึง การบูรณะ อาคาร สถานที่ หรือ สิ่งแวดล้อม ภูมิทัศน์ ที่เสื่อมโทรมหรือหมดสภาพขึ้นใหม่ ให้มีรูปร่างลักษณะและสภาพเหมือนยุคแรกสร้าง หรือเป็นการซ่อมแซมส่วนชำรุด และสูญหายไป ตามหลักฐานทางประวัติศาสตร์โบราณคดีที่มีการบันทึก โดยจะต้องมีความถูกต้องอย่างเข้มงวด โดยการค้นคว้าวิจัยอย่างจริงจังเป็นไปตามหลักวิชาการมากที่สุด เช่น การบูรณะวัดเก่าบางแห่งในอยุธยาที่เหลือเพียงฐานอาคารและผนังบางส่วน เนื่องจากทุกช่วงเป็นประวัติศาสตร์ของอาคาร การให้ความสำคัญต่อทุกชิ้นส่วน เช่น การบูรณะกำแพงที่ใช้อิฐโบราณด้วยกรรมวิธีดั้งเดิมอายุ 200-300 ปี กับวัสดุก่อสร้าง ที่หาได้ในปัจจุบัน

**การฟื้นฟู ปรับปรุง (Rehabilitation Renovation Reuse and Adaptive use)** หมายถึง การฟื้นฟูสภาพ ของอาคาร สถานที่หรือภูมิทัศน์ให้กลับอยู่ในสภาพที่ใช้ประโยชน์ได้ดี โดยปกติจะทำเพียงระดับของการซ่อมแซมให้มีสภาพดี และอาจรวมไปถึงการปรับปรุงสภาพเล็กน้อยเพื่อให้สะดวกแก่การใช้งาน โดยพิจารณาลักษณะดั้งเดิมเป็น ประเด็นรอง โดยมีรายละเอียดปลีกย่อยของ หลักการ และกรรมวิธีที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. **Rehabilitation:** เป็นการดัดแปลงปรับปรุงอาคารเก่าให้เหมาะสมตบสนองการใช้งานได้ดี ซึ่ง ในปัจจุบันมีการตีความใน 2 ลักษณะที่มีระดับความรุนแรงในการอนุรักษ์ และพัฒนาที่เห็นได้ชัดคือ ทางประเทศ อังกฤษ หมายถึง การปรับปรุงอาคารเก่าที่มีการใส่ประโยชน์ใช้สอยอย่างใหม่ ในยุคที่มีการปรับปรุงเสริมเข้าไป สอดคล้องกับพฤติกรรมการดำรงชีวิต ส่วนประเทศอเมริกา หมายถึง การปรับปรุงโดยการสร้างชิ้นใหม่ทั้งหมดโดย นำประโยชน์ใช้สอยเก่าและใหม่มาผสมผสานให้มีการใช้งานได้ดี เช่น การปรับปรุงบ้านพักอาศัยเก่าให้มีองค์ประกอบ หรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก (facilities) ใหม่เพื่อความ สะดวกสบาย และถูกสุขลักษณะที่ดีของการดำรงชีวิต ในยุคปัจจุบัน รวมถึงการปรับปรุงบางส่วนของ บ้านพักอาศัยที่มีพื้นที่เกินความจำเป็นให้เป็นโรงแรม หรือห้องเช่า

2. **Renovation และ Adaptive use:** เป็นการนำเอาอาคารเก่าหรืออาคารร้างที่มีความสัมพันธ์ กับเมืองและชุมชนนั้นๆมาใช้ประโยชน์ใหม่ มีการจัดพื้นที่ภายในใหม่โดยที่ลักษณะภายนอกยังคงเดิม ให้เกิดการใ้ มีชีวิตขึ้นใหม่ เช่น การซ่อมแซมปรับปรุงอาคารเก่าแก่บางหลังในโบราณสถาน เพื่อเป็นแหล่งตั้งดูนกท่องเที่ยว และยอมให้ใช้งานในสภาพบางเบาได้ เช่น ใช้เป็นร้านขายของที่ระลึก พิพิธภัณฑ์

**การสร้างของเก่าขึ้นใหม่ (Reconstruction)** หมายถึง การสร้างอาคารหรือบางส่วนของอาคารที่มี ลักษณะดั้งเดิมขึ้นมาใหม่เหมือนเดิมทุกประการ โดยสร้างขึ้นที่ใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นสถานที่เดิม รูปแบบ ที่สร้างจะต้องมีการค้นคว้าเก็บข้อมูลและวิจัยจากเอกสาร หลักฐานทางประวัติศาสตร์ ภาพถ่าย หรือภาพวาดเก่า โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเก็บของเก่าที่มีคุณค่าไว้ซึ่งอาจนำไปเก็บรักษาไว้ในพิพิธภัณฑ์แทน เช่น การสร้าง พระที่นั่งศรีสรรเพชรในเมืองโบราณ จากการรังวัดซากฐานและคำพรรณนาในพงศาวดาร ส่วนการจำลองอาคาร สภาพที่สำคัญ โดยย่อหรือขยายส่วนจากเดิมนั้นไม่ถือเป็น Reconstruction เช่น เมืองโบราณ

**การดัดแปลงให้เหมาะสม (Retrofit)** หมายถึง การพัฒนาหรือการดัดแปลงอาคารหรือส่วนหนึ่งส่วนใด ของอาคารสถานที่ เช่น ระบบอาคารให้เหมาะสมกับหน้าที่ใช้งานและมีประสิทธิภาพที่ดี ภายหลังจากการสร้าง และ การใช้งานให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ (Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language.nd.) เช่น Refacade อาคารสำนักงาน เป็นต้น

**การซ่อมแซมอาคาร (Repair)** หมายถึง การทำนุบำรุง ซ่อมแซม รักษาให้อาคารชำรุดเสียหายให้มี สภาพการใช้สอยที่ดีภายหลังการใช้งานอาคาร เช่น การอุดรอยร้าวของหลังคา การซ่อมแซมสีหลุดร่อน รวมถึง การทำความสะอาด และซ่อมแซมโครงสร้างอาคารที่เกิดการเสียหายจากตะไคร่น้ำและเชื้อรา หรือซ่อมแซมงาน ระบบต่าง ๆ ของอาคาร



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว วรรณช ฤกษ์เสริมสุข เกิดวันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2518

ที่อยู่ปัจจุบัน 192-194 ซอยสว่าง 1 ถนนพระราม 4 แขวงมหาพฤฒาราม เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร

- พ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษาปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยม อันดับสอง) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- พ.ศ. 2542 ข้าราชการสามัญ กรุงเทพมหานคร สังกัด ฝ่ายแผนงาน กองแผนงานและประสานสาธารณูปโภค สำนักงานโยธา กรุงเทพมหานคร ตำแหน่งสถาปนิก ระดับ 3
- พ.ศ. 2544 ข้าราชการสามัญ กรุงเทพมหานคร สังกัด กลุ่มสถาปัตยกรรม 1 ฝ่ายสถาปัตยกรรม กองออกแบบ สำนักงานโยธา กรุงเทพมหานคร ตำแหน่งสถาปนิก ระดับ 4
- พ.ศ. 2544 - ปัจจุบัน ศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พ.ศ. 2546 ข้าราชการสามัญ กรุงเทพมหานคร สังกัด ฝ่ายแผนงาน กองแผนงานและประสานสาธารณูปโภค สำนักงานโยธา กรุงเทพมหานคร ตำแหน่งสถาปนิก ระดับ 5

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย