รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การวิจัยออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก

Low Cost Energy Conservation and Environmental Friendly Housing Design

คณะผู้วิจัย

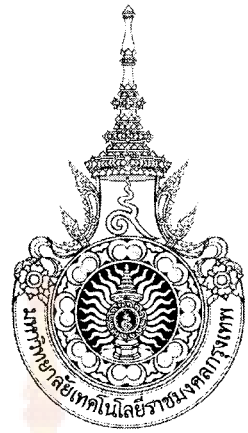
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สวัสดิ์ ศรีเมืองธน

นายณัฏฐ์ดนัย ชวินจิรเกียรติ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้สะสม ปี พ.ศ. 2554

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การวิจัยออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก

Low Cost Energy Conservation and Environmental Friendly Housing Design

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สวัสดิ์ ศรีเมืองธน

นายณัฏฐ์ดนัย ชวินจิรเกียรติ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้สะสม ปี พ.ศ. 2554

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รายงานการวิจัย

โครงการวิจัยเรื่อง การวิจัยออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก

Low Cost Energy Conservation and Environmental Friendly Housing Design

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สวัสดิ์ ศรีเมืองธน

นายณัฏฐ์ดนัย ชวินจิรเกียรติ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้สะสม ปี พ.ศ. 2554

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้คงสำเร็จลุล่วงลงด้วยดีไม่ได้หากขาดการสนับสนุนจากหน่วยงานและบุคคลต่าง ๆ ต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้สะสม ปี พ.ศ. 2554

นายเกริกเกียรติ กอเผ่าพาณิช วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้าสื่อสาร ดร.เทพฤทธิ์ ทองชุบ วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องกล ระบบปรับอากาศ และระบบป้องกันและระงับอัคคีภัย นายณรงค์ชัย ประเสริฐศักดา สถาปนิก นางสาวดลยา ศิริปรุ สถาปนิกผู้เชี่ยวชาญด้านอนุรักษ์พลังงาน คณะผู้วิจัยขอขอบคุณที่ช่วยดำเนินการวิเคราะห์และออกแบบงานไฟฟ้า งานระบบ งานสถาปัตย์ ตลอดถึงการวิเคราะห์ด้านพลังงาน จนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครู และอาจารย์ของคณะผู้วิจัย และขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ ให้ความรู้ ให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาการทำวิจัย จนกระทั่งคณะผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยสำเร็จลงได้

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเรื่อง "การวิจัยออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก" นั้นสามารถกล่าวได้ว่าเป็นโครงการนำร่องของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูกเพื่อการลดการพึ่งพาพลังงาน และอนุรักษ์พลังงาน โดยตรง ทั้งนี้เพื่อให้ทันต่อเหตุการณ์ของโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และเป็นการสร้างความตื่นตัวให้แก่วงการต่างๆ เช่น วงการวิชาการ การออกแบบ การบริหารการก่อสร้าง ภาคธุรกิจอุตสาหรรมการผลิตวัสดุ ตลอดจนการบริหารจัดการที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด สอดคล้องกับความคุ้มค่าในเชิงสังคมและเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น และเป็นการชี้นำให้ทราบถึงผลกระทบและตระหนักถึงผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม, เป็นการเตรียมการเพื่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่มีแต่ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ และยากต่อการแก้ไขต่อไป ในขณะเดียวกันเป็นการปลูกจิตสำนึกของผู้อยู่อาศัยเองให้รู้สึกรักและหวงแหนสิ่งแวดล้อม และ ยกระดับความเป็นอยู่ในปัจจุบัน

ผลการศึกษาวิจัยและผลการออกแบบอาคารต้นแบบ พบว่าวัสดุผนังที่นำเสนอสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับปรับอากาศเพื่อให้ได้สภาวะน่าสบายที่ต้องการได้โดยเฉลี่ยประมาณ 48 % เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีบ้านทั่วไป (ก่อสร้างด้วยผนังอิฐมอญ) สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อนของผนัง (OTTV) และวัสดุมุง (RTTV) พบว่ามีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดสำหรับบ้านเดี่ยว โดยอาคารต้นแบบมีค่า OTTV เท่ากับ 23.62 W/m^2 (น้อยกว่า 25-45 W/m^2) และมีค่า RTTV เท่ากับ 13.11 W/m^2 (น้อยกว่า 10-20 W/m^2) และ ผลการประเมินอาคารต้นแบบในด้านประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน สำหรับบ้านเดี่ยว ได้ผลการประเมินด้านประหยัดพลังงานจัดอยู่ในเกณฑ์ "ดีเด่น" และผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมจัดอยู่ในเกณฑ์ "ดีมาก"

คำสำคัญ: อาคาร ออกแบบ อนุรักษ์พลังงาน สิ่งแวดล้อม ต้นทุนถูก

Abstract

This current research name " Energy & Environmental Conservation and Low Cost Design " is the pioneer research project of Rajamangala University of Technology Krungthep that involving design of housing to reduce as well as conserve energy consumption.

To encourage and create self-awareness of people in reducing the environmental impacts and finally leading to sustainable development. Rajamangala University of Technology Krungthep decides to undertake the housing research project to improve people standard of living and take account with environmental aspects.

The research results and findings during the periods can be stated topic by topic hereunder

First, involves the proposed material to utilize as housing wall panel result in energy conservation of electricity consumption by approximately 48 % when compared with normal base case (brick wall construction of housing) while consider the thermal property and performance of single dwelling house shown in the good range ie., OTTV value equal to 23.62 and RTTV equal to 13.11 which less than normal conventional design criteria of 25-45 W/m^2 and 10-20 W/m^2 respectively.

Finally the assessment evaluation rating measurement regarding the environmental and energy issues for the prototype housing also shown in the good categories too. The Energy conservation score can be classified as " Excellent " , whilst Environment score is " Very Good "

Keywords : housing, design, energy conservation, environmental, low cost

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		**ก**
บทคัดย่อ		**ข**
Abstract		**ค**
สารบัญ		**ง**
สารบัญรูป		**ฌ**
สารบัญตาราง		**ฎ**
บทที่		
1.	**บทนำ**	**1**
1.1	หลักการและเหตุผล	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย	1
1.3	ขอบเขตและวิธีการศึกษาวิจัย	2
1.3.1	การศึกษาวิจัยองค์ประกอบทางด้านสถาปัตยกรรม	2
1.3.2	การศึกษาวิจัยองค์ประกอบและปัจจัยที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม	3
1.3.3	การศึกษาวิจัยองค์ประกอบและระบบทางวิศวกรรม	4
1.3.4	การประเมินผลการออกแบบอาคารต้นแบบ	5
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากผลการศึกษาวิจัย	5
2.	**แนวคิดที่เกี่ยวข้องการศึกษาวิจัย**	**7**
2.1	สาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม	7
2.2	ความต้องการพื้นฐานของการใช้ชีวิตด้านที่อยู่อาศัย	7
2.3	หลักการและแนวคิดการออกแบบพัฒนาแบบยั่งยืน	8
2.3.1	แนวคิดความยั่งยืนในงานสถาปัตยกรรม	8
2.3.2	องค์ประกอบของการพัฒนาอย่างยั่งยืน	8
2.4	แนวคิดในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์และประหยัดพลังงาน	10
2.4.1	ปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อสิ่งแวดล้อมทั้งภายนอกและภายในอาคารที่พักอาศัย	10
2.4.2	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดการใช้ทรัพยากรหลักในการก่อสร้าง	11

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
2.4.3	ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดการพึ่งพาพลังงานและการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคาร	12
2.5	แนวคิดในการคัดเลือกวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	12
2.6	กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย	13
2.7	ขบวนการและขั้นตอนการศึกษาวิจัย	13
2.7.1	ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่กี่ยวข้อง	13
2.7.2	ศึกษาสำรวจและรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษาต่างๆ	13
2.7.3	ประมวลและวิเคราะห์ผลของกรณีศึกษาต่างๆ	15
2.7.4	ศึกษาและกำหนดหลักเกณฑ์ แนวทาง และแนวคิดในการออกแบบ	15
2.7.5	ศึกษาแนวทางในการคัดเลือกวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อนุรักษ์พลังงานและทรัพยากร	15
2.7.6	ศึกษารูปแบบ วิธีและเทคโนโลยี่การก่อสร้างที่เหมาะสม	16
2.7.7	การจัดเตรียมข้อเสนอแนะ ข้อกำหนด หลักเกณฑ์ สำหรับการออกแบบขั้นรายละเอียด	16
2.8	การศึกษาและวิเคราะห์ข้อบกพร่องกรณีศึกษาโครงการที่พักอาศัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน	17
3.	**การออกแบบอาคารที่พักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม**	**18**
3.1	บทนำ	18
3.2	ปัจจัยและอิทธิพลต่อการออกแบบที่อยู่อาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	18
3.2.1	ความเข้าใจในสภาพภูมิอากาศแบบร้อน-ชื้น	18
3.2.2	อิทธิพลของลม และอุณหภูมิ	19
3.2.3	อิทธิพลของความชื้น	20
3.2.4	อิทธิพลของดวงอาทิตย์	20
3.2.5	ลักษณะรูปร่างที่ตั้งโครงการ	21
3.2.6	ต้นไม้และพืชพรรณต่างๆ	21
3.2.7	แหล่งน้ำต่างๆ	22
3.2.8	ปัจจัยสภาวะน่าสบาย	22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.9 ปัจจัยตัวอาคาร 22

3.2.10 ปัจจัยเชิงเศรษฐศาสตร์ 22

3.3 แนวทางการออกแบบที่อยู่อาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 22

3.3.1 การใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมและการพึ่งพาธรรมชาติ 23

3.3.2 การป้องกันความร้อนให้กับอาคาร 23

3.3.3 การเลือกรูปทรงอาคารที่เหมาะสม 26

3.3.4 การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม 26

3.3.5 การเลือกใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่เหมาะสม 26

3.4 ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการออกแบบสำหรับงานสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม 27

3.4.1 บริเวณพื้นที่ตั้งอาคาร 27

3.4.2 ทิศทางการวางตัวของอาคาร 27

3.4.3 รูปร่างของอาคาร 29

3.4.4 ช่วงเวลาและพฤติกรรมการใช้อาคาร 30

3.4.5 การวางผังบริเวณ 30

3.4.6 การป้องกันความร้อนของเปลือกอาคาร 34

3.5 ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ทางด้านวิศวกรรม 37

3.5.1 งานระบบโครงสร้างอาคาร 37

3.5.2 งานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 41

3.5.3 งานระบายอากาศและระบบปรับอากาศ 45

3.5.4 งานระบบสุขาภิบาล 46

4. ผลการวิเคราะห์และออกแบบอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 52

4.1 ผลการวิเคราะห์และออกแบบอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 52

4.2 ผลการวิเคราะห์และออกแบบทางสถาปัตยกรรมหลัก 52

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อบัญญัติและกฎหมายควบคุมอาคาร 52

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้านมาตรฐานและข้อกำหนดด้านสถาปัตยกรรม 53

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
4.3	ผลการวิเคราะห์และออกแบบด้านวัสดุกรอบอาคารและพลังงาน	55
4.3.1	คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุกรอบอาคารและวัสดุมุง (Physical Property)	56
4.3.2	คุณสมบัติวัสดุทางด้านอุณหภาพ (Thermal Property)	56
4.3.3	ผลการวิเคราะห์ด้านพลังงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบาย	59
4.3.4	ผลการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ศึกษาวิจัยและออกแบบ	66
4.3.5	ผลการวิเคราะห์และคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร	72
4.4	ผลการวิเคราะห์และออกแบบทางด้านการระบายอากาศตามธรรมชาติ	72
4.5	ผลการวิเคราะห์และออกแบบทางวิศวกรรมโครงสร้าง	73
4.5.1	มาตรฐานแรงลมที่ใช้ในการออกแบบ	73
4.5.2	มาตรฐานแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบ	75
4.5.3	การรวมแรงและน้ำหนักบรรทุกต่างๆ (Loading Combination)	75
4.5.4	การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง	76
4.6	ผลการวิเคราะห์ทางด้านไฟฟ้าแสงสว่าง	78
4.7	ผลการวิเคราะห์ทางด้านน้ำ-น้ำเสีย	79
5.	**สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ**	**81**
5.1	สรุปผลการออกแบบอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	81
5.2	การสรุปผลในเชิงอุณหภาพ	81
5.2.1	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร.	81
5.3	การสรุปผลในเชิงประสิทธิภาพการประหยัดการใช้พลังงาน	82
5.4	การสรุปผลในเชิงการใช้น้ำและน้ำเสีย	82

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
5.5	การประเมินผลการออกแบบตามหลักเกณฑ์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	83
5.6	การวิเคราะห์ศักยภาพและข้อจำกัดของโครงการศึกษาวิจัย (SWOT Analysis)	84
5.7	ข้อเสนอแนะ	87
บรรณานุกรม		89
ภาคผนวก ก.	รายละเอียดผลประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Building Rating Form and Results) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน - ประเภทบ้านเดี่ยว	93
ภาคผนวก ข.	การคำนวณแรงลมโดยวิธีแรงสถิตย์ตามข้อกำหนดของ Uniform Building Code, UBC-1994	99
ภาคผนวก ค.	การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวในแนวราบที่ระดับดินตามกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทานความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคาร ในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว	102
ภาคผนวก ง.	การประยุกต์ใช้แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychromatric Chart)	107
ภาคผนวก จ.	รายละเอียดวิธีและการประยุกต์ใช้แผนภูมิตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun Chart)	109
ภาคผนวก ฉ.	ประมวลศัพท์และคำจำกัดความ	113
ภาคผนวก ช.	การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร	119
ภาคผนวก ซ.	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา	121

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การผสมผสานเทคโนโลยีในการออกแบบ	11
2.2	กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย	14
3.1	รูปแบบความร้อนต่างๆ จากภายนอกที่เข้าสู่อาคาร	21
3.2	แนวโคจรของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ เพื่อพิจารณาองศาของดวงอาทิตย์กับผนังในแนวดิ่งตามช่วงเวลาต่างๆ	24
3.3	แนวโคจรของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ	25
3.4	การวางอาคารแบบ SOL-AIR APPROACH ของเขตร้อนชื้น	28
3.5	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่ใช้สอยต่างๆ ภายในที่พักอาศัย	30
3.6	สัดส่วนพื้นที่เปิดโล่งต่อพื้นที่ดินของอาคาร	31
3.7	สัดส่วนพื้นที่ที่เป็นพืชพรรณต่อพื้นที่เปิดโล่งสำหรับประเภทอาคาร-บ้านเดี่ยว	32
3.8	สัดส่วนพื้นที่ผนังทิศตะวันออก-ตก ต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือ-ใต้	33
3.9	ตำแหน่งและระยะที่เหมาะสมของการปลูกต้นไม้ใหญ่เพื่อให้ร่มเงาแก่พื้นที่ดาดแข็ง	35
3.10	พฤติกรรมความเหนียวขององค์อาคาร	40
3.11	ตัวอย่างโครงสร้างที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ	42
4.1	วัสดุผนังที่เป็นผนังมวลสาร ผนังโครงเคร่า และผนังประกอบ	55
4.2	วัสดุมุงหลังคา และฉนวนกันความร้อนบริเวณหลังคา	56
4.3	ลักษณะของผนังประเภทต่าง ๆ	57
4.4	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิดต่อวัน	64
4.5	สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงวันธรรมดา (จันทร์-ศุกร์)	65
4.6	สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงวันวันหยุด (เสาร์-อาทิตย์)	66
4.7	ลักษณะและตำแหน่งของช่องเปิดในแต่ละทิศทางของแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์	67
4.8	การเปรียบเทียบการใช้พลังสำหรับบ้านแนวทางเลือกที่ 1-3 สำหรับห้องนอนชั้น 2	68
4.9	การเปรียบเทียบการใช้พลังสำหรับบ้านแนวทางเลือกที่ 1-3 สำหรับห้องนอนชั้น 1	68
4.10	การเปรียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละแนวทางเลือกสำหรับห้องนอนชั้น 1	71
4.11	การเปรียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละแนวทางเลือกสำหรับห้องนอนชั้น 2	71
4.12	แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานเฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงที่ความสูง 10 เมตรในสภาพภูมิประเทศโล่ง สำหรับคาบเวลากลับ 10 , 30 , 100 ปี (หน่วย : เมตรต่อวินาที) สำหรับใช้อ้างอิงในการออกแบบโครงสร้าง	74

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.13	แผนที่แรงลมอ้างอิงที่ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้าง	74
4.14	แสดงแบบจำลองโครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ	77
4.15	แสดงการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำรวมสูงสุดที่มีต่อโครงสร้าง	77
5.1	ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อโครงการ	85

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สรุปลักษณะปัญหาของอาคารในปัจจุบัน	17
2.2	อิทธิพลของความเร็วลมกับสภาวะน่าสบาย	19
3.2	มุมองศาของดวงอาทิตย์ที่ทำกับแนวดิ่งผนังอาคารในช่วงเวลาต่างๆของประเทศไทย	24
3.3	ทิศทางและตำแหน่งของพื้นที่ใช้สอยและห้องต่างๆ	29
3.4	สัดส่วนพื้นที่เปิดโล่งต่อพื้นที่ดิน	31
3.5	สัดส่วนพื้นที่ที่เป็นพืชพรรณต่อพื้นที่เปิดโล่ง	32
3.6	สัดส่วนพื้นที่ ผนังทิศด้านทิศตะวันออกและตะวันตกต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือและทิศใต้ของอาคาร	33
3.7	เกณฑ์กำหนดค่าความเข้มของแสงสว่างสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย	44
3.8	ค่าประสิทธิผล (ค่าลูเมนต่อวัตต์) ของหลอดไฟฟ้าประเภทต่างๆ	45
3.9	การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ชนิดต่างๆ	45
3.10	ขนาดมาตรฐานบ่อดักไขมันแบบวงขอบซีเมนต์สำหรับบ้านพักอาศัยแปรผันตามจำนวนผู้อยู่อาศัย	47
3.11	มาตรฐานของคุณภาพน้ำทิ้งของอาคารประเภทต่างๆ	48
3.12	มาตรฐานสำหรับฝักบัวและก๊อกน้ำ และอุปกรณ์ประหยัดน้ำ	49
3.13	ปริมาณน้ำเสียตามประเภทอาคาร	50
4.2	แสดงค่าความต้านทานรวม ($\sum R$) ของวัสดุผนังกรอบอาคารที่ศึกษาวิจัย	57
4.3	แสดงค่าความต้านทานรวม ($\sum R$) ของวัสดุผนังกรอบอาคารประเภทกระจกที่ศึกษาวิจัย	58
4.4	แสดงค่าความต้านทานรวม ($\sum R$) ของวัสดุมุงหลังคาที่ศึกษาวิจัย	58
4.5	ข้อมูลทางกายภาพอาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว	59
4.6	แสดงรายละเอียดโครงสร้างและวัสดุประกอบอาคารซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบบ้านแนวทางที่ 1 บ้านทั่วไป (BaseCase)	61
4.7	แสดงรายละเอียดโครงสร้างและวัสดุประกอบอาคารซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์บ้านแนวทางที่ 2	62
4.8	แสดงรายละเอียดโครงสร้างและวัสดุประกอบอาคารซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์บ้านแนวทางที่ 3	63
4.9	แสดงการใช้พลังงานสำหรับภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ในแต่ละแนวทางเลือก	69
4.10	แสดงปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า (รายปี และรายเดือน) สำหรับภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ในแต่ละแนวทางเลือก	70

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.11	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร	72
4.12	การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในหน่วยพักอาศัยสำหรับกรณีทั่วไปและกรณีทางเลือกที่มีการเลือกใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานด้านไฟฟ้าแสงสว่าง	78
4.13	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ต้องลงทุนเพิ่มเติมสำหรับการเลือกใช้อุปกรณ์ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ประหยัดพลังงาน สำหรับกรณีทั่วไป และกรณีทางเลือก	78
4.14	ปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ภายในที่พักอาศัย	80
4.15	สรุปปริมาณการใช้น้ำ-น้ำเสีย สำหรับในกิจกรรมต่างๆ ภายในที่พักอาศัย	80
5.1	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) สำหรับอาคารประเภทต่างๆ	81
5.2	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) สำหรับอาคารประเภทต่างๆ	82
5.3	การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ(สำหรับห้องนอนหลัก) สำหรับอาคารประเภทต่างๆ	82
5.4	การเปรียบเทียบการใช้น้ำและน้ำเสีย สำหรับอาคารประเภทต่างๆ	83
5.5	ผลการประเมินอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนละอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานสำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ	84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

จากการศึกษาผลการเสียสมดุลของสภาวะอากาศของโลก ซึ่งเกิดจากปัญหาการใช้พลังงานและทรัพยากรของมนุษยชาติ ส่งผลให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ทำลายชั้นบรรยากาศโดยเฉพาะโอโซน และมีแนวโน้มในทิศทางที่มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดภัยพิบัติต่างๆ ซึ่งนับวันจะมีความถี่เพิ่มขึ้นและทวีความรุนแรงมากขึ้นทุกวันในแต่ละภูมิภาคของโลก

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดผลกระทบต่างๆ จากปัจจัยที่จะทำให้สภาวะโลกร้อนวิกฤตมากขึ้น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ในฐานะองค์การทางการศึกษาภาครัฐที่รับผิดชอบและมีภารกิจหลักในการพัฒนาองค์ความรู้ เทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพัฒนาแนวคิดการออกแบบ เทคนิคการออกแบบ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542) ตลอดจนวัสดุศาสตร์(ผศ.วรวรรณ โรจนไพบูลย์, 2548) และรูปแบบที่อยู่อาศัยและเพื่อเสริมสร้างคุณภาพชีวิตของประชาชนผู้อยู่อาศัย จึงได้ดำหริให้มีโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารที่พักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการบรรเทาและลดผลกระทบต่างๆ จากปัจจัยที่จะทำให้สภาวะโลกร้อน (พัชรินทร์ มณีรัตน์ , 2546 และ อมรรัตน์ พงศ์พิศิษฎ์กุล , 2547) อีกทั้งเป็นการรองรับทันต่อเหตุการณ์สภาวะของโลกที่มุ่งเน้นเพื่อลดปัญหาโลกร้อน และก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้วัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง ในขณะเดียวกันก็มีความคุ้มค่าในเชิงสังคมและเศรษฐกิจ โดยมุ่งเน้นไปที่ประชาชนผู้อยู่อาศัยเป็นหลักที่จะได้มีโอกาสในการได้รับประโยชน์อย่างเหมาะสมตามแนวทางปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย

เพื่อให้การศึกษาวิจัยเป็นไปตามเจตนารมณ์ และบรรลุเป้าหมายที่ต้องการ จึงจำเป็นที่จะกำหนดกรอบวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ให้ชัดเจน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาและ/หรืออุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างการศึกษาวิจัย วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1.2.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา การวิจัย และการออกแบบ สำหรับแบบอาคารพักอาศัย ประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้นของภาคเอกชนที่สร้างโดยทั่วไปย้อนหลังกลับไป 10 ปี

1.2.2 จัดให้มีการรวบรวมองค์ความรู้ด้านวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะเดียวกันสามารถลดการใช้พลังงานหรืออนุรักษ์พลังงาน เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลสำหรับการใช้งานและอ้างอิงในอนาคต

1.2.3 ศึกษาถึงศักยภาพ ข้อจำกัด วิเคราะห์สภาพปัญหา ความสัมพันธ์ ตัวแปร ปัจจัย และผลกระทบที่นำมาซึ่งสภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

1.2.4 วิเคราะห์และจัดความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมและเชิงการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบขั้นรายละเอียด

1.2.5 รวบรวมแนวทางการบูรณาการองค์ความรู้ด้านต่างๆ ที่จำเป็นต่อการออกแบบประกอบด้วย

- ❒ หลักการและแนวทางการออกแบบอาคารที่พักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อนุรักษ์พลังงานและทรัพยากรในด้านต่างๆ
- ❒ กฎหมายควบคุมอาคาร พระราชบัญญัติ กฎกระทรวง และเทศบัญญัติท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคาร
- ❒ ข้อเสนอแนะ และปรับปรุงในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ของการออกแบบอาคารที่พักอาศัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน
- ❒ ข้อกำหนดพื้นฐานสำหรับการออกแบบเพื่อส่งเสริมสภาวะน่าสบายของมนุษย์หรือผู้อยู่อาศัยภายในอาคารเอง

1.2.6 จัดทำรูปแบบมาตรฐานสำหรับการก่อสร้างจริงหรือใช้งานจริง

1.3 ขอบเขตและวิธีการศึกษาวิจัย

ตามข้อกำหนดการศึกษาวิจัยโครงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก จะประกอบด้วยขอบเขตการศึกษาวิจัยหลายภาคส่วน ดังต่อไปนี้

1.3.1 การศึกษาวิจัยองค์ประกอบทางด้านสถาปัตยกรรม

จะมีขอบเขตการวิจัยที่ครอบคลุมถึงประเด็นต่างๆ ดังนี้

- ❒ ศึกษาข้อกำหนด ข้อมูลต่างๆ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง
- ❒ ศึกษาความต้องการขั้นต้น และความต้องการพื้นฐานต่างๆ โดยทั่วไปของประชาชน

- ❒ ศึกษา รวบรวมและวิเคราะห์ข้อกำหนด กฎหมายควบคุมอาคาร พระราชบัญญัติ กฎกระทรวง และเทศบัญญัติท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคาร
- ❒ ศึกษา รวบรวมมาตรฐานต่างๆ ประเภท/ชนิดวัสดุต่างๆ ที่ต้องคำนึงถึงและจำเป็นต่อการออกแบบ
- ❒ ศึกษาพฤติกรรมการใช้สอย ความต้องการพื้นที่ใช้สอยของผู้อยู่อาศัยประเภทต่างๆ เช่น บุคคลทุพลภาพ ผู้สูงอายุ เป็นต้น
- ❒ ศึกษาและวิเคราะห์ข้อบกพร่องของอาคารที่พักอาศัยในปัจจุบัน พร้อมข้อเสนอแนะแนวทางแก้ไขปรับปรุง
- ❒ ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เพื่อกำหนดแนวทาง หลักเกณฑ์ เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- ❒ จัดทำมาตรฐานต่างๆ และแบบมาตรฐานสำหรับงานสถาปัตยกรรมอาคารที่พักอาศัย

1.3.2 การศึกษาวิจัยองค์ประกอบและปัจจัยที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม
จะมีขอบเขตการวิจัยที่ครอบคลุมถึงประเด็นต่างๆ ดังนี้

- ❒ ศึกษา รวบรวมและวิเคราะห์ข้อกำหนด กฎหมายควบคุมอาคาร พระราชบัญญัติ กฎกระทรวง และเทศบัญญัติท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม
- ❒ ศึกษา รวบรวมประเภท/ชนิดวัสดุและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนวิธีการและคู่มือการใช้งาน
- ❒ กำหนดหลักเกณฑ์ ปัจจัยและแนวทางในการคัดเลือกวัสดุและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การอนุรักษ์พลังงานและทรัพยากร
- ❒ ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานและทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม
- ❒ จัดเตรียมฐานข้อมูลวัสดุเพื่อใช้อ้างอิงและประยุกต์ใช้งานในอนาคต
- ❒ จัดทำมาตรฐานต่างๆ และแบบมาตรฐานที่เกี่ยวข้องและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.3.3 การศึกษาวิจัยองค์ประกอบและระบบทางวิศวกรรม

จะมีขอบเขตการวิจัยที่ครอบคลุมถึงประเด็นต่างๆ ดังนี้

- ❒ ศึกษารูปแบบ ชนิดและมาตรฐานการก่อสร้างโดยทั่วไป สำหรับอาคารที่พักอาศัยในปัจจุบัน
- ❒ ศึกษาข้อกำหนดพื้นฐานในการออกแบบ เกณฑ์กำหนดเรื่องน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยโครงการของการเคหะแห่งชาติ
- ❒ ศึกษาเทคโนโลยีการก่อสร้าง ระบบการก่อสร้างประเภทต่างๆ ที่เหมาะสม
- ❒ ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้าง ขบวนการก่อสร้างที่จำเป็น และปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลและ/หรือกระทบต่อการก่อสร้าง
- ❒ กำหนดหลักเกณฑ์ต่างๆ สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมโครงสร้างและระบบประกอบอาคารที่สอดคล้องและประสานไปในทิศทางเดียวกัน
- ❒ กำหนดรูปแบบของระบบโครงสร้างหลักของอาคารที่เหมาะสมสำหรับโครงการ
- ❒ จัดทำมาตรฐานต่างๆ และแบบมาตรฐานสำหรับงานวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบประกอบอาคาร
- ❒ จัดให้มีการนำเสนอแนวคิด วิธีการออกแบบ ตลอดจนหลักเกณฑ์พื้นฐานในการออกแบบ เพื่อระดมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ และเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจของอาคารที่พักอาศัยที่ได้ดำเนินการศึกษาวิจัย

โดยแบบก่อสร้างอาคารต้นแบบจะประกอบด้วยแบบต่างๆ ดังนี้

- ◆ แบบสถาปัตยกรรม
- ◆ แบบวิศวกรรมโครงสร้าง
- ◆ แบบวิศวกรรมไฟฟ้า-สื่อสาร
- ◆ แบบวิศวกรรมสุขาภิบาล
- ◆ แบบวิศวกรรมระบบและป้องกันอัคคีภัยพื้นฐานภายในอาคาร

1.3.4 การประเมินผลการออกแบบอาคารต้นแบบ

ดำเนินการประเมินอาคารต้นแบบที่ออกแบบตาม ***มาตรฐานการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน*** เพื่อเป็นการยืนยันผลการออกแบบอาคารต้นแบบที่ได้ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากผลการศึกษาวิจัย

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย สามารถประมวลและสรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

1.4.1 เพิ่มพูนองค์ความรู้ หลักการ หลักเกณฑ์และแนวทางการออกแบบ ตรวจสอบ ควบคุมอาคาร การก่อสร้างและการใช้พลังงานภายในอาคารที่พักอาศัยที่เป็นมาตรฐานสากล ในการช่วยลดปัญหาผลกระทบจากภาวะวิกฤตการณ์ที่โลกและประเทศกำลังเผชิญ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคต ปัญหาสภาวะโลกร้อน (Global Warming) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) และปรากฏการณ์เรือนกระจก (Green House Effect)

1.4.2 ได้ฐานข้อมูลพื้นฐานของวัสดุต่างๆ เช่น คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ, มาตรฐานต่างๆ ที่ใช้กำหนดประเภทของวัสดุและผลิตภัณฑ์, แนวทางในการคัดเลือกวัสดุ, การประยุกต์ใช้วัสดุกับรูปแบบการก่อสร้าง, ราคาค่าวัสดุและผลิตภัณฑ์ต่างๆ และการประเมินราคาค่าก่อสร้างในอนาคต เป็นต้น ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศของประเทศไทยและสิ่งแวดล้อมที่ดี และสามารถใช้เพื่ออ้างอิงในอนาคต

1.4.3 ได้บทสรุป องค์ประกอบต่างๆ ที่มาของข้อบกพร่อง-ข้อเสีย ของอาคารที่พักอาศัยที่มีอยู่ในอดีต-ปัจจุบันของภาคเอกชนที่ได้ใช้เป็นกรณีศึกษา

1.4.4 ได้แบบร่างทางสถาปัตยกรรมของอาคารตัวอย่างต้นแบบประเภท บ้านเดี่ยว 2 ชั้น ที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน, เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อนุรักษ์และลดการพึ่งพาพลังงานและเป็นไปในทิศทางตามแนวคิดการพัฒนาทางสถาปัตยกรรมที่ยั่งยืน

1.4.5 สามารถนำรูปแบบที่ได้จากโครงการศึกษาวิจัยฯ นำไปใช้หรือพัฒนาและประยุกต์ใช้สำหรับการก่อสร้างอย่างเป็นรูปธรรม

1.4.6 สร้างความสมดุลระหว่างราคาและการผลิต เพื่อนำไปสู่การลดต้นทุนการก่อสร้าง

1.4.7 ได้วิธีและกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการก่อสร้างที่พักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในขณะเดียวกันสามารถอนุรักษ์และลดการพึ่งพาพลังงานสิ้นเปลือง เป็นไปตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง และหลักสถาปัตยกรรมยั่งยืน

1.4.8 สร้างความตื่นตัวให้กับสาธารณะชน สถาบันการศึกษา วิชาชีพ วิชาการ โดยขานรับแนวคิดใหม่ในการออกแบบและก่อสร้างอาคารพักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและลดมลภาวะที่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย

2.1 สาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม

ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ทวีความรุนแรงมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

2.1.1 การเพิ่มของประชากร (Population growth)

ปริมาณการเพิ่มของประชากรก็ยังอยู่ในอัตราทวีคูณ (Exponential growth) เมื่อผู้คนมากขึ้น ความต้องการบริโภคทรัพยากรก็เพิ่มมากขึ้นทุกทางไม่จะเป็นเรื่องอาหาร ที่อยู่อาศัย พลังงาน

2.1.2 การขยายตัวทางเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี (Economic growth & Technological Progress)

ความเจริญทางเศรษฐกิจนั้นทำให้มาตรฐานในการดำรงชีวิตสูงตามไปด้วย มีการบริโภคทรัพยากรเกินกว่าความจำเป็นขั้นพื้นฐานของชีวิต ซึ่งจำเป็นต้องใช้พลังงานมากขึ้นตามไปด้วย ในขณะเดียวกันความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีก็ช่วยเสริมให้วิธีการนำทรัพยากรมาใช้ได้ง่ายขึ้นและมากขึ้น

ผลที่เกิดจากปัญหาสิ่งแวดล้อม คือ ทรัพยากรธรรมชาติลดลง เนื่องจากมีการใช้ทรัพยากรกันอย่างไร้ขอบขีดจำกัด อาทิ ป่าไม้ถูกทำลาย ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ขาดแคลนน้ำ ภาวะมลพิษ (Pollution) เช่น มลพิษในน้ำ ในอากาศและเสียง มลพิษในอาหาร สารเคมี อันเป็นผลมาจาการเร่งรัดผลผลิตทางด้านอุตสาหกรรมนั่นเอง

2.2 ความต้องการพื้นฐานของการใช้ชีวิตด้านที่อยู่อาศัย

มนุษย์ในปัจจุบันต้องการความครบถ้วนของการใช้ชีวิตประการต่างๆ ดังนี้

- ความรู้สึกร้อน-หนาวที่พอเหมาะหรือความสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal Comfort)
- การมีแสงสว่างที่เหมาะสมและพอเพียง (Lighting or Visual Comfort)
- การมีคุณภาพของเสียงที่เหมาะสม (Acoustical Comfort)
- ความต้องการทัศนวิสัยที่สบายตา (Visual Comfort)
- การมีคุณภาพของอากาศภายในที่ดี (Indoor Air Quality)

- การมีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน (Security and Safety)
- เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology)
- เสถียรภาพทางการเงินและสภาพทางเศรษฐกิจ
- เทคโนโลยีสมัยใหม่
- การประหยัดพลังงาน
- การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
- คุณภาพชีวิตที่สูงกว่า

2.3 หลักการและแนวคิดการออกแบบพัฒนาแบบยั่งยืน

2.3.1 แนวคิดความยั่งยืนในงานสถาปัตยกรรม

หลักการของความยั่งยืน คือ การจัดการสิ่งก่อสร้างโดยรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและคำนึงถึงระบบนิเวศน์ ซึ่งการก่อสร้างอาคารได้สร้างผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมตลอดเวลาตั้งแต่ระยะแรกของการเริ่มต้น การปรับปรุงพื้นที่ก่อสร้างและการก่อสร้างมีอิทธิพลกับลักษณะระบบนิเวศน์ในพื้นที่ การผลิตวัสดุก่อสร้างส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของโลก มีการนำวัสดุธรรมชาติมาแปรรูปซึ่งก่อให้เกิดขยะเป็นปริมาณมาก เป้าหมายของการออกแบบสถาปัตยกรรมยั่งยืน คือ ค้นหารูปแบบงานสถาปัตยกรรมที่ตอบสนองมนุษย์ให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีและสามารถอยู่ร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีอยู่บนโลกได้

2.3.2 องค์ประกอบสถาปัตยกรรมยั่งยืน

สถาปัตยกรรมยั่งยืนมีองค์ประกอบหลักอยู่ 4 ส่วน ซึ่งแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กับอาคารตั้งแต่การออกแบบอาคารจนกระทั่งการรื้อถอน ทำลายอาคาร ต้องมีการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตอาคาร (Building Life cycle) ตั้งแต่เริ่มโครงการ ช่วงการออกแบบอาคาร ช่วงการก่อสร้าง ช่วงการใช้อาคาร รวมถึงการรื้อถอนอาคาร ซึ่งในแต่ละช่วงเวลามีองค์ประกอบหลายส่วนเข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่

❒ **พลังงาน**

การใช้พลังงานในอาคารมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ดังนั้น การออกแบบอาคารที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธภาพจึงเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญลำดับต้นๆ อาคารที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยลดค่าใช้จ่าย และสร้างความสบายให้กับผู้ใช้อาคาร รวมถึงลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม การตัดสินใจในช่วงการออกแบบและก่อสร้างอาคารอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวตลอดช่วงชีวิตอาคาร ซึ่งในการออกแบบที่ให้การ

ใช้อาคารอย่างมีประสิทธิภาพต้องเข้าใจสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติและความสัมพันธ์ของระบบอาคารต่างๆ ซึ่งระบบเหล่านี้จะมีผลโดยตรงกับความเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศและความสบายของผู้ใช้อาคาร

❒ วัสดุ

วัฏจักรของวัสดุอาคารเริ่มพิจารณาตั้งแต่วัตถุดิบและการผลิตวัสดุต่อเนื่องไปจนตลอดกระทั่งการรื้อถอนอาคาร การรักษาสภาพแวดล้อมโดยลดการนำวัสดุจากธรรมชาติเพื่อการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลืองในการก่อสร้างและการใช้สอยอาคาร เพื่อสร้างความยั่งยืนในการรองรับการอยู่อาศัยและกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ การใช้วัสดุและการเกิดของเสียส่วนใหญ่เกิดในช่วงการก่อสร้างอาคาร หลังจากการก่อสร้าง มีการใช้วัสดุเพื่อการบำรุงรักษาปรับปรุงและซ่อมแซม และกิจกรรมอื่นๆ เพื่อสนับสนุนการใช้สอยอาคาร ซึ่งในที่สุดวัสดุต่างๆ เหล่านี้จะออกจากระบบโดยนำมาแปรสภาพ (รีไซเคิล) หรือนำไปฝังกลบในที่สุด

❒ น้ำ

สามารถจัดการกับองค์ประกอบนี้โดย

- การลดปริมาณการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อม
- การนำน้ำที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด
- การกักเก็บน้ำฝนมาใช้เพื่อการอุปโภค

❒ คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

ประกอบด้วย

- ความสบายเชิงอุณหภาพ (Thermal Comfort)
- คุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality)
- ความสบายทางสายตา (Visual Comfort)
- คุณภาพเสียง (Noise Control)
- ความชื้น (Humidity)

❒ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Cost benefit Analysis)

ในการพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์ของการออกแบบหรือปรับปรุงอาคาร คือการค้นหาจุดสมดุลของความคุ้มค่าในการลงทุนและประโยชน์ที่ได้รับซึ่งอาจเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการใช้อาคาร คุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคารที่ดีขึ้น และ(หรือ) ประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม การตัดสินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแต่ละโครงการ ในบางโครงการการลงทุนเพียงเล็กน้อยแต่

ให้ผลที่ดีกับโครงการ ในขณะที่บางส่วนลงทุนมากแต่กลับให้ผลตอบแทนต่ำกว่า ดังนั้นต้องพิจารณาและตรวจสอบแหล่งทรัพยากร พิจารณาค่าใช้จ่ายแรกเริ่มในการก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในระยะการใช้สอยอาคาร และความคงทนถาวรของอาคาร โดยพิจารณาจากการลงทุนในเริ่มต้นและระยะเวลาการคืนทุน

2.4 แนวคิดในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์และประหยัดพลังงาน

สำหรับการศึกษาการออกแบบอาคารที่พักอาศัยเพื่อการอนุรักษ์และประหยัดพลังงานจะประกอบด้วยสาระสำคัญๆ ที่แตกต่างจากการออกแบบโดยปกติทั่วไป (Conventional Design) ดังต่อไปนี้

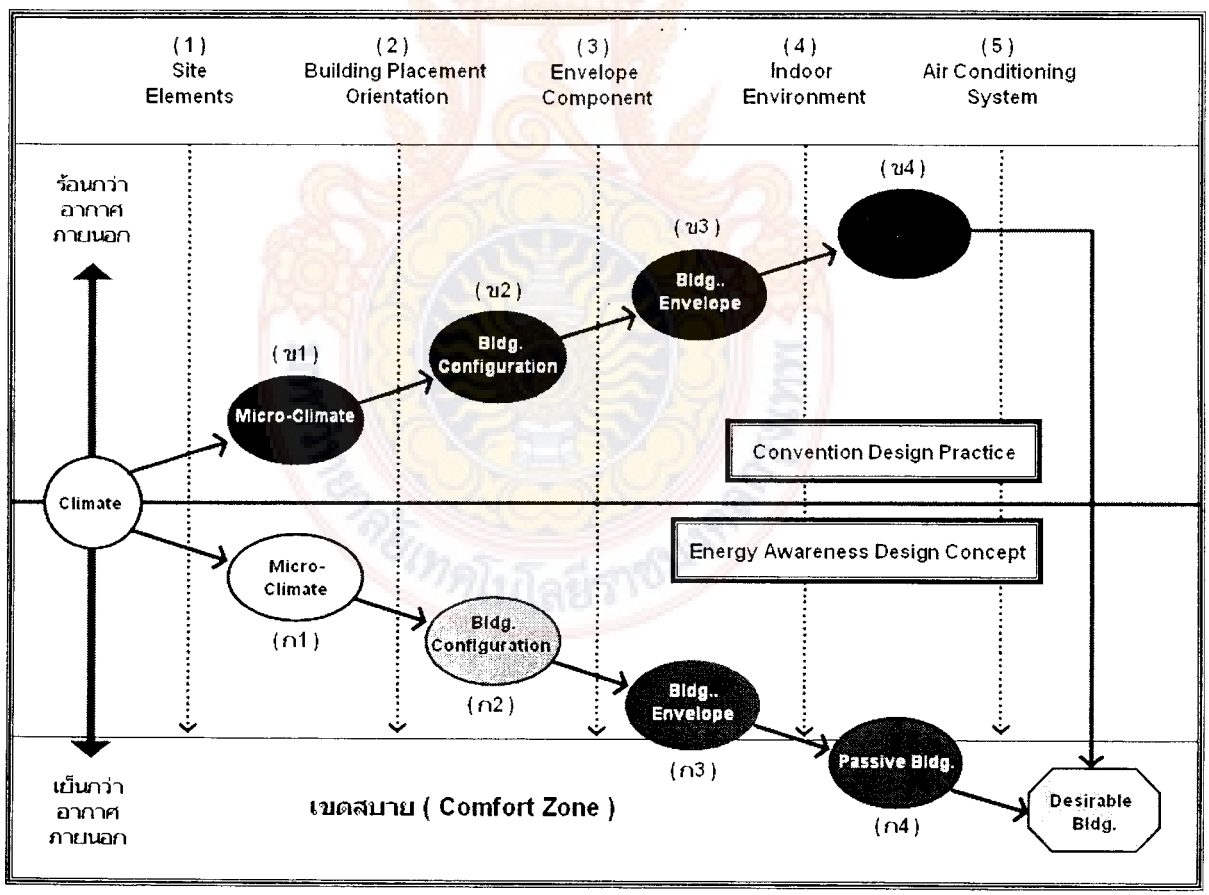
2.4.1 ปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อสิ่งแวดล้อมทั้งภายนอกและภายในอาคารที่พักอาศัย

- การประยุกต์และใช้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับที่ตั้งอาคาร (Site Elements) โดยทั่วไปเป็นการคำนึงถึงการใช้ประโยชน์จากตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เอื้ออำนวย และสัมพันธ์กับที่ตั้งของอาคาร โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงสภาพแวดล้อมรอบๆ อาคารให้มีสภาพอุณหภูมิของอากาศเย็นลงกว่าเดิม และต่ำกว่าบริเวณที่ห่างไกลออกไปจากอาคาร
- การเลือกที่ตั้งและทิศทางการวางตัวของอาคาร (Building Placement and Orientation) เป็นการจัดการและเลือกรูปแบบ ตลอดจนการวางตำแหน่งที่ตั้งอาคาร ให้มีความสอดคล้องกลมกลืนกับสภาพแวดล้อมของบริเวณที่ตั้งอาคารเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร สามารถสกัดกั้นความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารให้ได้มากที่สุด ปริมาณพื้นที่ช่องเปิดที่เหมาะสม สามารถควบคุมการรั่วซึมของอากาศร้อนเข้าสู่อาคาร ลดภาระในการทำความเย็น (Cooling Load) อันเป็นผลทำให้อุณภูมิภายในอาคารที่ต่ำลงได้มากที่สุดที่เป็นไปได้
- การพิจารณาออกแบบและเลือกระบบเปลือกอาคาร (Envelope Component Consideration) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบที่สำคัญประการหนึ่ง กล่าวคือ ระบบเปลือกอาคาร ไม่ว่าจะเป็นประเภททึบแสง (Opaque Envelope) และ โปร่งแสง (Transparent Envelope) จะต้องสามารถลดปริมาณความร้อนและความชื้นเข้าสู่อาคาร ในขณะเดียวกันควรสามารถนำความเย็นจากสภาพแวดล้อมที่ตั้งอาคารเข้าสู่อาคารมาใช้พร้อมกับการใช้ประโยชน์จากปัจจัยธรรมชาติต่างๆ เช่น แสงธรรมชาติ หรือปัจจัยอื่นๆ ที่จะช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคาร แต่ยังคงดำรงรักษาไว้ซึ่งปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้อยู่อาศัยภายในอาคารกับธรรมชาติ
- การพิจารณาเลือกระบบที่มาใช้ภายในอาคาร (Indoor Environment Consideration) เป็นการพิจารณาเลือกระบบที่มาใช้ภายในอาคาร เช่น อุปกรณ์ วัสดุตกแต่งภายใน หรือเครื่องใช้ต่างๆ

เป็นต้น เพื่อช่วยสร้างสภาวะภายในอาคารให้ตอบสนองต่อความต้องการใช้งานระบบที่จะนำมาใช้ภายในอาคารสำหรับเขตร้อนชื้น โดยการเน้นใช้อุปกรณ์ที่มีค่าการกักเก็บความร้อนและความชื้นน้อย และเพิ่มความร้อนและความชื้นให้กับอาคารน้อยที่สุด ในขณะเดียวกันควรเน้นและคำนึงถึงการใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงและไม่เพิ่มความร้อนให้กับอาคาร หรือจัดสรรพื้นที่หรือตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน

- การคำนึงถึงอาคารที่พึงปรารถนา (Desirable Building) เป็นการผสมผสานแนวคิดในการออกแบบที่ต้องการควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งบางครั้งอาจจำเป็นที่จะต้องอาศัยหรือใช้ระบบเชิงกล เช่น ระบบปรับอากาศ เป็นต้น เข้าช่วยเพื่อให้สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมให้อยู่ในช่วงเขตสบาย (Comfort Zone) ตลอดทั้งปี

ซึ่งปัจจัยต่างๆ ทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อสิ่งแวดล้อมทั้งภายนอกและภายในอาคารที่พักอาศัย และการผสมผสานเทคโนโลยีในการออกแบบข้างต้นสามารถแสดงได้ดังแผนผังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การผสมผสานเทคโนโลยีในการออกแบบ (Technology and Design Integration)

(สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

2.4.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดการใช้ทรัพยากรหลักในการก่อสร้าง

โดยการประยุกต์ใช้ลักษณะเด่นระบบการประสานทางพิกัด (Modular Coordination System) ซึ่งเป็นการเติมเต็มช่องว่างของปัญหาการใช้วัสดุ ความแตกต่างของมิติที่สิ้นเปลืองทั้งในแง่วัสดุ แรงงาน และเวลา ตลอดจนคุณภาพของงานที่ได้ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ดังมีรายละเอียดตามข้อ 2.6

2.4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดการพึ่งพาพลังงานและการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคาร

- ❒ การเลือกสรรคุณสมบัติของวัสดุและประเภทของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง
- ❒ ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานภายในอาคาร
- ❒ สภาวะน่าสบายของผู้อยู่อาศัย (Thermal Comfort)

2.5 แนวคิดในการคัดเลือกวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ในการออกแบบอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม องค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งคือการคัดเลือกวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต่อการก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นองค์ประกอบภายนอก หรือภายในตัวอาคารที่พักอาศัย ดังนั้นในคัดเลือกวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องมีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่จำเป็นต่อการก่อสร้าง

ในการพิจารณาเลือกวัสดุสำหรับแต่ละพื้นที่ๆ มีการใช้สอยในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน คุณสมบัติของวัสดุอาคารที่จะส่งผลถึงสภาพอากาศภายในอาคารในเวลาที่มีการใช้สอย และปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละวันของระบบปรับอากาศจึงเป็นสิ่งที่ให้ความสำคัญเป็นอันดับแรกได้แก่

❒ พื้นที่ๆ มีการใช้งานช่วงกลางวันเลือกใช้วัสดุมีมวลมากและมีค่าความต้านทานความร้อนสูง สามารถป้องกันและหน่วงความร้อนได้ดี

❒ พื้นที่ๆ มีการใช้งานช่วงกลางคืนใช้วัสดุที่มีมวลน้อยทำให้การสะสมความร้อนน้อย ช่วงกลางคืนจึงคายความร้อนและปรับอุณหภูมิให้ใกล้เคียงกับสภาพอากาศภายนอกที่ค่อนข้างต่ำได้อย่างรวดเร็ว

ในกรณีที่วัสดุมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันให้ความสำคัญกับข้อมูลในเชิงปริมาณ เช่น พลังงานสะสม, ปริมาณส่วนผสมวัสดุรีไซเคิล ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ดีกว่าข้อมูลเชิงคุณภาพ เป็นลำดับรองลงมา ทั้งนี้วัสดุที่เลือกใช้ต้องมีจำหน่ายภายในประเทศ ดังนั้นจากหลักการในการเลือกใช้วัสดุข้างต้น นำมาจัดทำฐานข้อมูลการใช้วัสดุต่างๆ ต่อไปได้

นอกจากคุณสมบัติของวัสดุแล้ว ผลกระทบของวัสดุต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสิ่งหนึ่งที่ควรคำนึงถึงในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง การเปรียบเทียบผลกระทบของวัสดุ ยากที่จะเปรียบเทียบในเชิงปริมาณ เนื่องจากผลกระทบของการผลิตวัสดุแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ในการศึกษาวิจัยโครงการนี้จะอ้างอิงข้อมูลจาก แหล่ง

ต่างๆ, เวปไซต์ต่าง ๆ เช่น Green Building Handbook Volume 1 และ http://www.worldgbc.org/ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบวัสดุก่อสร้างทั่วไป วัสดุที่ใช้ในบ้าน แนวคิดยั่งยืนได้เลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติวัสดุที่เหมาะสมและราคาของวัสดุอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม (ต่ำถึงปานกลาง) มีจำหน่ายในประเทศไทยและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

2.6 กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย

จากแนวคิดการพัฒนาแบบยั่งยืนในงานสถาปัตยกรรมและแนวคิดในการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์และประหยัดพลังงาน สามารถนำมาผสมผสานเพื่อให้เกิดแนวคิดการออกแบบอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและอนุรักษ์พลังงานเพื่อการศึกษาวิจัยโครงการ ซึ่งสามารถสรุปเป็นแผนผังแสดงแนวทางศึกษาวิจัยเพื่อการออกแบบอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและอนุรักษ์พลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.7 ขบวนการและขั้นตอนการศึกษาวิจัย

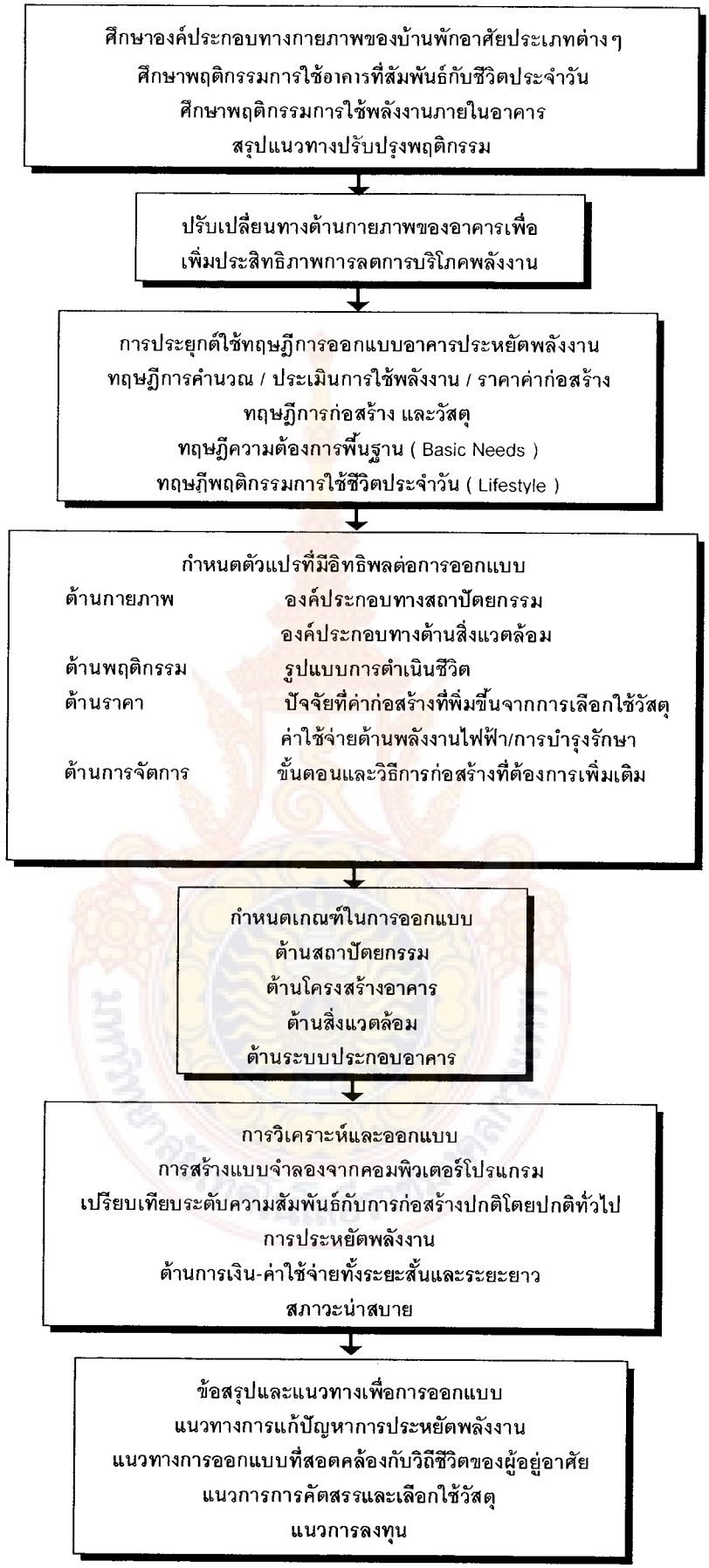
ในการศึกษาวิจัยโครงการนี้ เป็นการศึกษาวิจัยในลักษณะเชิงคุณภาพ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในลักษณะเชิงลึก เพื่อที่จะได้ทราบถึงรายละเอียดในด้านต่างๆ ข้อดี-ข้อเสีย ข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบ เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้งานต่อไป ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษาวิจัยสามารถจำแนกได้เป็น 8 ขั้นตอนดังนี้

2.7.1 ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมตลอดจนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เป็นการศึกษาและทำความเข้าใจเนื้อหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต่อการศึกษาวิจัยและออกแบบ ไม่ว่าจะเป็นข้อกำหนดขั้นต้น ความต้องการพื้นฐานต่างๆ กฎหมายหรือเทศบัญญัติท้องถิ่น รวมทั้งประสบการณ์การก่อสร้างในอดีต ปัญหาในการก่อสร้าง รวมทั้งข้อดี-ข้อเสีย เพื่อสนับสนุนผลการศึกษาวิจัยของโครงการ

2.7.2 ศึกษาสำรวจและรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษาต่างๆ

ศึกษาสำรวจและรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษาอาคารที่พักอาศัยต่างๆ ที่มีของการเคหะแห่งชาติ ที่มีลักษณะ รูปร่าง และขนาดที่ใกล้เคียงกับอาคารตัวอย่างต้นแบบของโครงการศึกษาวิจัยนี้ เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นเอกสารสนับสนุนการศึกษาวิจัย ได้เรียนรู้และทราบถึงที่มาและทฤษฎีในการออกแบบรายละเอียดของแบบ ขั้นตอนและผลการก่อสร้าง ทำให้สามารถเข้าใจและทราบถึง ข้อดี-ข้อเสีย ปัญหาและอุปสรรคของการก่อสร้างในโครงการนั้นๆ



รูปที่ 2.2 กรอบแนวคิดในการศึกษาวิจัย

2.7.3 ประมวลและวิเคราะห์ผลของกรณีศึกษาต่างๆ

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาสำรวจและรวบรวมข้อมูลกรณีศึกษาอาคารที่พักอาศัยต่างๆ ของการเคหะแห่งชาติ รวมทั้งการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จะทำให้ที่ปรึกษาและคณะทำงานสามารถประมวลและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด แยกตามประเด็นต่างๆตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยโครงการนี้ และสามารถสรุปและ/หรือกำหนดหลักเกณฑ์และแนวทางการออกแบบขั้นรายละเอียดต่อไป

2.7.4 ศึกษาและกำหนดหลักเกณฑ์ แนวทาง และแนวคิดในการออกแบบ

ผลการประมวลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากกรณีศึกษาต่างๆ จะนำมาซึ่งบทสรุปในการกำหนดหลักเกณฑ์ แนวทาง และแนวคิดในการออกแบบสำหรับ

2.7.4.1 งานออกแบบองค์ประกอบทางด้านสถาปัตยกรรมหลัก ที่สอดคล้อง สามารถตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของโครงการ ผู้ใช้สอยหลักของอาคาร ตลอดจนแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง

2.7.4.2 งานออกแบบองค์ประกอบทางด้านวิศวกรรมโครงสร้างและระบบประกอบอาคารที่สอดคล้องกับงานสถาปัตยกรรม และการประยุกต์ใช้รูปแบบการก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นหลัก

2.7.4.3 งานออกแบบองค์ประกอบและปัจจัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อนุรักษ์พลังงานและทรัพยากร

2.7.5 ศึกษาแนวทางในการคัดเลือกวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อนุรักษ์พลังงานและทรัพยากร

เป็นการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุ เช่น คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางอุณหภาพ เป็นต้น เพื่อกำหนดแนวทางการคัดเลือกวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, อนุรักษ์พลังงานและทรัพยากร เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลวัสดุหลักเพื่อใช้อ้างอิงในการออกแบบต่อไป การรวบรวมข้อมูลต่างๆ จะมาจากแหล่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

❒ แหล่งข้อมูลจากผู้ผลิต เป็นแหล่งข้อมูลหลักที่จะใช้ในการศึกษาวิจัย โดยข้อมูลต่างๆ จากผู้ผลิตต้องมีความน่าเชื่อถือ โดยพิจารณาจากผลการทดสอบทั้งจากภายในและภายนอกประเทศด้วยมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับทางด้านวิชาการที่เกี่ยวข้อง

❒ มาตรฐานข้อมูลวัสดุจากหนังสืออ้างอิงที่มีมาตรฐานและที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ASHRAE Handbook, Mechanical and Electrical Equipment for Building รวมถึงข้อมูลจากระบบโปรแกรมที่มีความน่าเชื่อถือสูง เช่น VisualDOE-4 เพื่อใช้ในการกำหนดคุณสมบัติวัสดุเพื่อการวิเคราะห์

❒ การรวบรวมข้อมูลวัสดุในท้องตลาด เป็นการศึกษาและสำรวจวัสดุที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้หรือปรับปรุงเพื่อเป็นวัสดุผนังเชิงประกอบที่เน้นการประหยัดพลังงาน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อมูลเชิงทุติยภูมิด้านราคากลางของวัสดุก่อสร้าง ราคาที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ข้อมูลวัสดุที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในท้องตลาด เพื่อให้เกิดความรวดเร็ว และความสะดวกในการกำหนดความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานและเทคโนโลยีการก่อสร้างในส่วนต่างๆ ของประเทศไทย

❒ การรวบรวมข้อมูลจากการทดสอบเชิงวิศวกรรม เป็นการรวบรวมข้อมูลเชิงวิศวกรรมในด้านสภาพการรับน้ำหนัก มาตรฐานและเครื่องมือ ที่ใช้ในการทดสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือต่อการใช้งาน

2.7.6 ศึกษารูปแบบ วิธีและเทคโนโลยีการก่อสร้างที่เหมาะสม

จากแนวคิดทางสถาปัตยกรรมหลักผสานกับรูปแบบและเทคโนโลยีการก่อสร้างจะเป็นขั้นตอนต่อไปที่จะต้องพิจารณาเพื่อความเหมาะสมในการก่อสร้าง โดยอาศัยการพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่

- น้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่ใช้ในการออกแบบ
- เสถียรภาพของโครงสร้าง
- ขั้นตอนการก่อสร้าง
- รอบระยะเวลาของการก่อสร้าง

2.7.7 การจัดเตรียมข้อเสนอแนะ ข้อกำหนด หลักเกณฑ์ สำหรับการออกแบบขั้นรายละเอียด

ข้อมูลจากผลจากการศึกษาในแต่ละขั้นตอน นำมาซึ่งการวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาวิจัยตามประเด็นหลักของวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิจัย โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากทฤษฎี แนวคิด วรรณกรรม และงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง มาเป็นข้อสนับสนุนเพื่อให้การศึกษาวิจัยมีน้ำหนักและให้ผลน่าเชื่อถือ เพื่อจัดเตรียมข้อเสนอแนะ หลักเกณฑ์ในการออกแบบขั้นรายละเอียดต่อไป

2.8 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อบกพร่องกรณีศึกษาโครงการที่พักอาศัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน

เพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องของอาคารพักอาศัยประเภทต่างๆที่เกี่ยวข้อต่องานศึกษาวิจัย จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามจากอาคารพักอาศัยกรณีศึกษาต่างๆ จากโครงการตัวอย่างที่ใช้ในการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งในส่วนของการเคหะแห่งชาติเองและภาคเอกชน

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลอาคารกรณีศึกษาประเภทต่างๆ จากโครงการต่างๆ สามารถสรุปปัญหาต่างๆ ข้อบกพร่อง ดังแสดงในตางรางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปลักษณะปัญหาของอาคารในปัจจุบัน

ลักษณะปัญหา	ร้อยละ (%)
1. ปัญหาเรื่องไม่มีฉนวนกันความร้อน	26.0
2. ปัญหาผนังห้องนอน	28.0
3. ปัญหาหน้าต่าง-บานเกล็ด-ประตู	23.0
4. ปัญหาอื่นๆ	23.0

บทที่ 3

ออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก

3.1 บทนำ

ในการออกแบบอาคารที่พักอาศัยเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความเข้าใจปัจจัยและอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อการออกแบบที่อยู่อาศัยเพื่อให้กลมกลืนและ/หรือพึ่งพาธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมให้มากที่สุด โดยพิจารณาข้อกำหนดและหลักเกณฑ์พื้นฐานต่างๆ ในการนำมาปรับใช้สำหรับการออกแบบโครงการอย่างเหมาะสมที่ต้องเกี่ยวข้องกับงานหลายๆ ระบบ ไม่ว่าจะเป็นงานสถาปัตยกรรม งานวิศวกรรมโครงสร้าง และวิศวกรรมระบบประกอบอาคาร ซึ่งได้แก่งานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง งานระบบสุขาภิบาล และงานระบบระบายอากาศ เพื่อให้งานออกแบบระบบต่างๆ ประสานกันได้อย่างดี

3.2 ปัจจัยและอิทธิพลต่อการออกแบบที่อยู่อาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยและอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลกระทบและส่งผลให้การออกแบบที่อยู่อาศัยให้กลมกลืนกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่ผู้ออกแบบสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้เป็นไปตามที่ต้องการตลอดทุกช่วงเวลาใช้งาน จึงควรทำความเข้าใจให้ลึกซึ้งและถ่องแท้ก่อนดำเนินการออกแบบ อันได้แก่

3.2.1 ความเข้าใจในสภาพภูมิอากาศแบบร้อน-ชื้น

จากสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้การอยู่ร่วมอย่างกลมกลืนกับธรรมชาติ และหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานที่ไม่สามารถทดแทนได้ ดังเช่นในอดีตจึงเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยาก เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ระหว่างละติจูด 5° 37′ เหนือกับ 20° 27′ เหนือ และระหว่างลองติจูด 97° 22′ ตะวันออก กับ 105° 37′ ตะวันออก เป็นผลให้ลักษณะของภูมิอากาศโดยทั่วไปเป็น 3 ฤดูกาลหลัก กล่าวโดยสรุปคือสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงตลอดทั้งปีและมีช่วงของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในเกณฑ์สูงถึง 6-7 เดือนในรอบระยะ 1 ปี

แนวทางซึ่งเป็นหลักในการออกแบบสถาปัตยกรรมสำหรับเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น สามารถสรุปได้ดังนี้

- การลดอุณหภูมิอากาศ
- การลดอุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน

- การลดความชื้นสัมพัทธ์
- การเพิ่มอัตราความเร็วของลม

3.2.2 อิทธิพลของลม และอุณหภูมิ

การนำอากาศภายนอกใช้เพื่อประโยชน์ที่เอื้อต่อการประหยัดพลังงาน จำเป็นที่จะต้องอาศัยลมและอุณหภูมิของอากาศ การนำลมเพื่อช่วยในการปรับและควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อให้ได้สภาวะน่าสบาย จำเป็นต้องคำนึงถึง ปริมาณ ทิศทาง ความเร็วของลมและความถี่ของลมที่พัดผ่าน จากการวิจัยและข้อมูลต่างๆ ในที่จัดทำเป็นแผนภูมิลม (Wind Rose) ทำให้เห็นภาพรวมของการใช้ประโยชน์จากกระแสลม โดยความเร็วลมที่สามารถนำมาปรับสภาพอากาศเพื่อสู่สภาวะน่าสบายต้องไม่น้อยกว่า 8 กิโลเมตร/ชั่วโมง (5 ไมล์ / ชั่วโมง) อิทธิพลของความเร็วลม และสภาวะน่าสบายต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.1 ร่างกายมนุษย์จะรู้สึกเย็นลง 0.4 °C เมื่อเพิ่มความเร็วลมประมาณ 0.25 เมตร/วินาที (Victor Olgyay, 1969) ดังนั้น สำหรับเขตร้อนชื้นอัตราความเร็วลม 1 เมตร/วินาที เป็นความเร็วลมที่รู้สึกสบาย สำหรับภายในห้องต่างๆ ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที เป็นความเร็วลมที่จะรู้สึกว่าถูกรบกวน กระดาษหรือวัตถุเบาๆ อาจปลิวได้

ตารางที่ 3.1 อิทธิพลของความเร็วลมกับสภาวะน่าสบาย

ความเร็วลมภายในห้องและสภาวะน่าสบาย		
ความเร็วลม (เมตร/วินาที)	ความเป็นไปได้ของความรู้สึกอุณหภูมิที่ลดลง	ผลที่อาจเกิดขึ้น
0 – 0.25	ไม่มีความเปลี่ยนแปลงในความรู้สึกน่าสบาย	ไม่รู้สึกหรือสามารถสังเกตได้
0.25 – 0.50	ต่ำลง 2-3 °F	รู้สึกสบาย
0.50 – 1.00	ต่ำลง 4-5 °F	โดยทั่วไปรู้สึกสบายแต่รับรู้ว่ามีการเคลื่อนไหวของอากาศ
1.00 – 1.50	ต่ำลง 5-7 °F	รู้สึกมีลมพัดเล็กน้อยจนถึงรู้สึกถูกรบกวนได้
> 1.50	ต่ำลง 5-7 °F	รู้สึกว่าถูกรบกวน

(ที่มา :: พัชรินทร์ มณีรัตน,2546 : 7)

3.2.3 อิทธิพลของความชื้น

เป็นที่ทราบกันอย่างดีแล้วว่าประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น สภาพอากาศโดยทั่วไปมีระดับความชื้นอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยที่สูง ทำให้ความชื้นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร เนื่องจากการนำอากาศภายนอกมาปรับสภาพให้อยู่ในระดับที่ต้องการและอยู่ในเขตสบาย (Comfort Zone) ต้องอาศัยพลังงานปริมาณมากในการลดความชื้นในรูปความร้อนแฝง (Latent Heat load) มากกว่าการลดอุณภูมิให้กับอากาศหลายเท่า ความชื้นจากภายนอกอาคารสามารถเข้าสู่อาคารในรูปของการรั่วซึมของอากาศ ในทางปฏิบัติพบว่า ถ้าการรั่วซึมของอากาศสูงมาก ทำให้ความชื้นของอากาศสูงตามไปด้วย โดยทั่วไปความชื้นจากอากาศภายนอกสามารถทะลุทะลวงเข้ามาภายในอาคารได้หลายๆ ทางดังนี้

- ❒ ความชื้นที่ซึมผ่านผนังหรือพื้นอาคาร
- ❒ ความชื้นที่ได้รับที่ซึมผ่านขอบประตูหน้าต่างและช่องเปิด
- ❒ ความชื้นจากการเปิด-ปิดประตูหน้าต่าง
- ❒ ความชื้นจากการสะสมของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง
- ❒ ความชื้นที่สะสมในวัสดุตกแต่งภายในและเครื่องเรือนหรือเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ

จากการศึกษาวิจัยพบว่า ความชื้นที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 20%-80% RH (ธนิต จินดาวณิค,2540)

3.2.4 อิทธิพลของดวงอาทิตย์

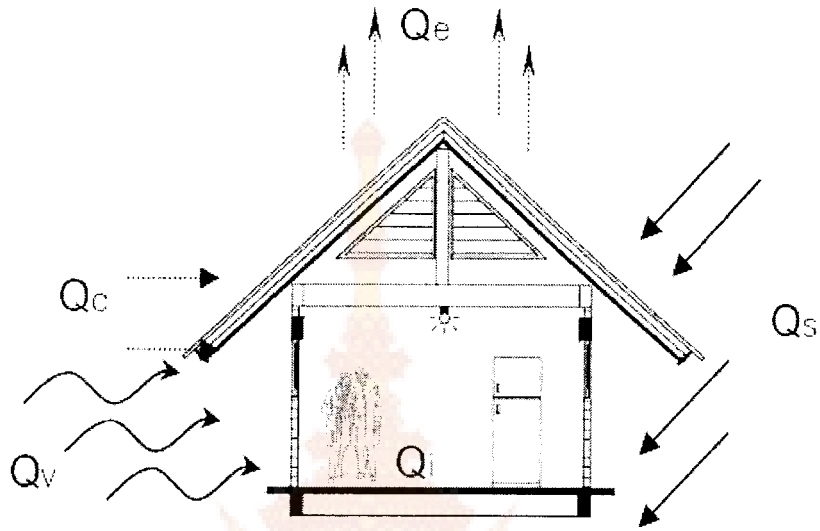
ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนจากภายนอกอาคารที่มีผลกระทบต่ออาคารและที่ตั้งอาคารโดยตรง โดยที่ผลกระทบดังกล่าวจะอยู่ในรูปของ

❒ การนำความร้อน (Conduction Heat Gain / Loss : Qc) เกิดจากการนำความร้อนเข้ามาภายในอาคารหรือการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกโดยการนำความร้อน แปรผันตามระดับอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร โดยความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ที่ที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเสมอ

❒ การแผ่รังสี (Solar Radiation : Qs) ในกรณีประเทศไทยที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร จะได้รับผลกระทบจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยตรง

❒ การพาความร้อน (Convection : Qv) เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนในรูปของการระบายอากาศ (Ventilation Heat Gain / Loss) โดยอาศัยอากาศเป็นตัวกลางในการพาความร้อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับทิศทางและความเร็วของกระแสลมด้วย

❒ การระเหย (Evaporative Heat Loss : Qe) การระเหยหรือความร้อนที่กลายเป็นไอ และขณะที่เกิดการระเหย จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนในการเปลี่ยนสถานะ ทำให้สามารถช่วยลดความร้อนบริเวณนั้นได้



รูปที่ 3.1 รูปแบบความร้อนต่างๆ จากภายนอกที่เข้าสู่อาคาร

ดังนั้น สามารถกล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะมีผลกระทบโดยตรงต่ออาคาร มีปริมาณสูง 0-90 % ของปริมาณพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ในรูปของการแผ่รังสี และรังสีที่สะท้อนจากพื้นดินและอาคารข้างเคียงซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับทิศทาง สี และลักษณะของพื้นผิว

3.2.5 ลักษณะรูปร่างที่ตั้งโครงการ

ลักษณะรูปร่างของที่ตั้งโครงการจะมีผลต่อสภาพภูมิอากาศแบบจุลภาค (Micro Climate) เนื่องจากอุณหภูมิอากาศจะเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงของที่ตั้งโครงการจากระดับน้ำทะเลและมีผลต่อการเคลื่อนตัวของอากาศที่อุณภูมิแตกต่างกัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกระแสลมท้องถิ่นนั่นเอง

3.2.6 ต้นไม้และพืชพรรณต่างๆ

ต้นไม้และพืชพรรณต่างๆ รอบอาคารสามารถช่วยป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ไม่ให้ตกกระทบผิววัสดุต่างๆ ภายในพื้นที่ และลดอุณหูมิโดยการดูดซึมปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิผิวอาคารเนื่องจากการบังแสง นอกจากนี้ มวลต้นไม้ขนาดใหญ่สามารถเปลี่ยนทิศทางของกระแสลม ลด-เพิ่มความเร็วของ

ลม ดังนั้นต้นไม้และพืชพรรณต่างๆ รอบอาคารจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลในการควบคุมผลกระทบด้านความพลังงานร้อนที่ได้รับจากแสงอาทิตย์

3.2.7 แหล่งน้ำต่างๆ

แหล่งน้ำบริเวณรอบอาคารหรือที่ตั้งโครงการ จะทำให้บริเวณรอบๆ แหล่งน้ำมีอุณภูมิเย็นกว่าปกติเนื่องจากน้ำมีค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ที่สูงนั่นเอง ทั้งแหล่งน้ำยังช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ขึ้นสูงสุดและต่ำสุด ด้วยกระบวนการที่เรียกว่าการระเหย (Evaporative Cooling)

3.2.8 ปัจจัยสภาวะน่าสบาย

เป็นปัจจัยต่างๆ ทางสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์กัน ได้แก่ แสงสว่าง เสียง บรรยากาศ บริเวณพื้นที่ใช้สอย เป็นต้น ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับมนุษย์ และส่งผลกระทบทั้งร่างกายและจิตใจ ทำให้เกิดการดิ้นรนเพื่อสร้างความสมดุลทางชีวภาพ และเพื่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดเพื่อปรับสภาพตัวเองให้กับสิ่งแวดล้อม

3.2.9 ปัจจัยตัวอาคาร

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอาคารและระบบของอาคาร อันได้แก่ ระบบเปลือกอาคาร โครงสร้างอาคาร ระบบและอุปกรณ์ประกอบอาคาร เป็นปัจจัยภายในที่สำคัญที่สุดที่จะกำหนดให้ผู้ออกแบบต้องแสวงหารูปแบบอาคารและระบบประกอบอาคารที่สอดคล้องกัน เพื่อให้ได้มาซึ่งอาคารที่ใช้พลังงานน้อยในทุกๆ ด้าน

3.2.10 ปัจจัยเชิงเศรษฐศาสตร์

เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่นำไปสู่การตัดสินใจเลือกแนวทางหนึ่งในหลายๆ ทางเลือก เพื่อความเหมาะสมในการลงทุนและได้ผลประโยชน์สูงสุด โดยต้องศึกษาถึงเรื่อง ความคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนที่เหมาะสม

3.3 แนวทางการออกแบบที่อยู่อาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบที่อยู่อาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.2 ข้างต้น ทำให้สามารถกำหนดแนวทางเพื่อการออกแบบ และนำมาซึ่งข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ที่จำเป็นต่อการออกแบบที่อยู่อาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในท้ายที่สุด แนวทางในการออกแบบที่อยู่อาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจะประกอบด้วย

3.3.1 การใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมและการพึ่งพาธรรมชาติ

จะเป็นการเน้นใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมและธรรมชาติรอบๆ ตัวอาคารให้เป็นประโยชน์ในแง่ของการประหยัดพลังงานในอาคาร (Passive System) เป็นหลัก ในขณะเดียวกันก็จะลดการพึ่งพาการใช้ระบบเชิงกล (Active System)

3.3.2 การป้องกันความร้อนให้กับอาคาร

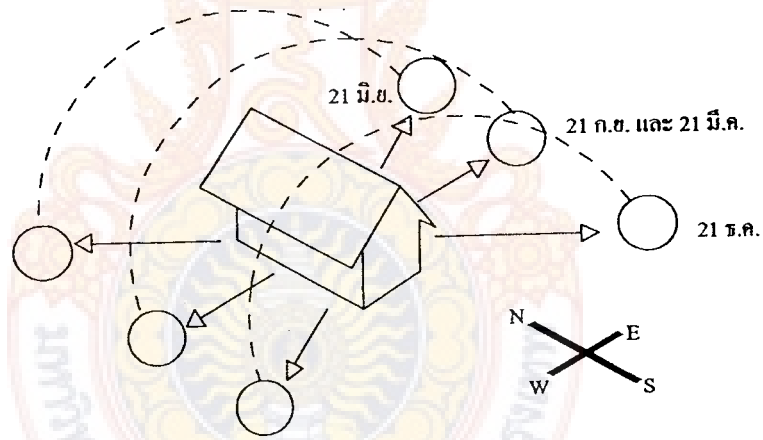
เป็นที่ทราบกันอย่างดีแล้วว่าความร้อนจากภายนอกที่ถ่ายเทเข้ามาสู่อาคารใน 3 รูปแบบดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.2.4 ในลักษณะของรังสีคลื่นสั้น (Short Wave) และรังสีคลื่นยาว (Long Wave) แปรผันตามพื้นผิวและลักษณะของตัวกลาง ดังนั้นการที่จะป้องกันความร้อนให้กับอาคาร จึงจำเป็นที่จะต้องทราบลักษณะการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร การไหลเวียนของอากาศ ซึ่งสามารถอธิบายได้อย่างสังเขปดังนี้

- ❒ การนำความร้อนผ่านผนังทึบ เปลือกอาคาร และหลังคา
- ❒ การพาความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร หน้าต่าง
- ❒ การแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจกหน้าต่าง หรือผนังโปร่งแสง
- ❒ สภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity) วัสดุที่ช่วยลดการนำความร้อนต้องมีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ ซึ่งแปรผันตามความหนาแน่นของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวทั้งสองด้านของวัสดุที่ความร้อนถ่ายเทผ่าน
- ❒ ความสามารถในการถ่ายเทความร้อน วัสดุหรือลักษณะผิวที่โดยรังสีความร้อนจะขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการดูดซึม (Absorbtivity) การสะท้อน (Reflectivity) การแผ่หรือการคายความร้อน (Emissivity) ความต้านทาน (Resistance) ความโปร่งใสของวัสดุ (Transmittance) ที่รังสีคลื่นยาวผ่านไปได้ อัตราการพาความร้อนที่ผิว และความจุความร้อน เป็นต้น

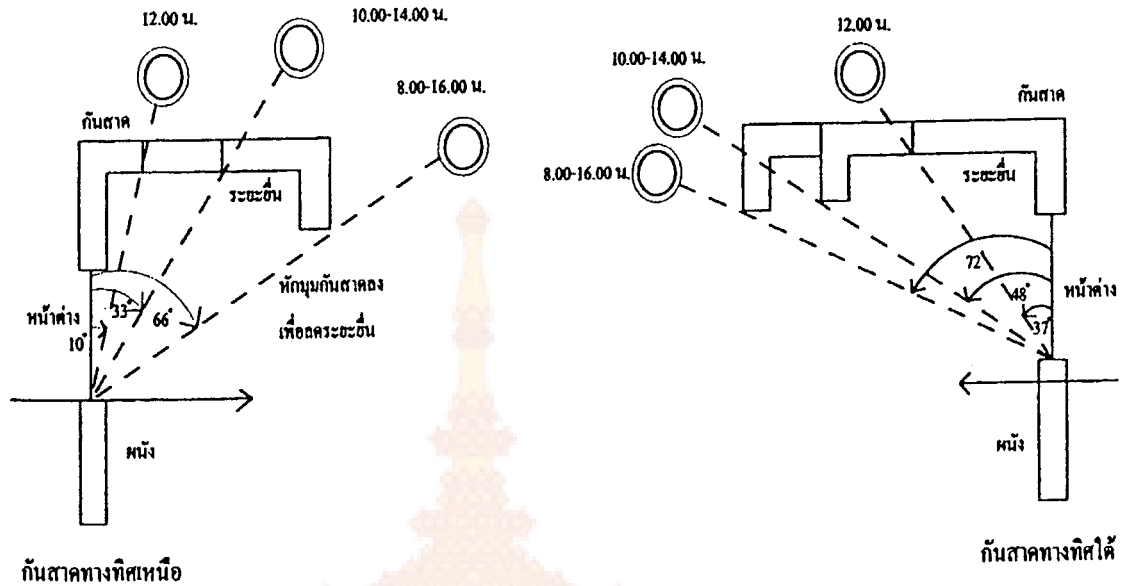
3.3.2.1 การประยุกต์ใช้อุปกรณ์บังแดดต่างๆ เป็นวิธีการป้องกันความร้อนให้กับผิวแปลือกภายนอกอาคารที่ได้เตรียมการตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบเพื่อป้องกันการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ โดยการอาศัยแนวโคจรของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ เป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์บังแดดดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2-3.3

ตารางที่ 3.2 มุมองศาของดวงอาทิตย์ที่ทำกับแนวดิ่งผนังอาคารในช่วงเวลาต่างๆของประเทศไทย

วัน / เดือน	มุมองศาของดวงอาทิตย์กับผนังในแนวดิ่งตามช่วงเวลาต่างๆ				
	8.00 น.	10.00 น.	12.00 น.	14.00 น.	16.00 น.
21 มิถุนายน	66	33	10	33	66
22 ธันวาคม	72	48	37	48	72



รูปที่ 3.2 แนวโคจรของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ เพื่อพิจารณาองศาของดวงอาทิตย์กับผนังในแนวดิ่งตามช่วงเวลาต่างๆ (พัชรินทร์ มณีรัตน์, 2546 : 49-50)



รูปที่ 3.3 แนวโคจรของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ (พัชรินทร์ มณีรัตน์, 2546 : 49-50)

3.3.2.2 การเลือกใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การรถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศแต่อาศัยการระบายอากาศตามธรรมชาติ โดยการผสมผสานร่วมระหว่างการเลือกผนังที่มีความเป็นฉนวนกันความร้อนและมีมวลสารประกอบในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อช่วยสร้างค่าความจุความร้อนที่สามารถหน่วงระดับอุณหภูมิภายในลงให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

3.3.2.3 การลดพื้นที่เปลือกอาคาร (Building Envelope) ให้เหลือน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นแหล่งถ่ายเทความร้อนกับสภาพอากาศภายนอก ค่าอัตราส่วนของพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร จะเป็นดัชนีที่ชี้ให้ทราบถึงประสิทธิภาพของอาคารในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอก

3.3.2.4 การใช้ประโยชน์จากระดับมวลสารของอาคารเพื่อช่วยในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของมวลสารในเวลากลางวันและกลางคืนให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

3.3.3 การเลือกรูปทรงอาคารที่เหมาะสม

รูปทรงของอาคารที่เหมาะสมสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการระบายอากาศโดยใช้ลมประจำถิ่นได้ตลอดทั้งปีอย่างดี มีการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศน้อยที่สุดในฤดูหนาว และความร้อนจากบรรยากาศที่น้อยที่สุดในฤดูร้อน แต่สำหรับเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย จากการศึกษาพบว่าอาคารต้องการรูปทรงที่ก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนให้กับอากาศให้มากที่สุดทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว

3.3.4 การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม

เนื่องจากสภาพภูมิอากาศในเขตร้อนชื้น อุณหภูมิของอากาศโดยทั่วไปสูงเกือบตลอดปี และมีความชื้นสูง ทำให้เกิดปัญหาอย่างหนึ่งของการออกแบบอาคารคือ การลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร จากการศึกษาพบว่า (สุนทร บุญญาธิการ, 2537) การที่จะนำความเย็นตอนช่วงกลางคืนมาใช้กับกลางวันโดยอาศัยการหน่วงเวลาของวัสดุนั้นทำได้ยาก เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนมีไม่มากพอ การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารให้มีปริมาณมากที่สุด จึงเป็นการช่วยปรับสภาวะภายในอาคารที่ดีที่สุด ดังนั้นการควบคุมความร้อนให้เข้ามาในอาคารสามารถทำได้โดยการอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ซึ่งควรมีลักษณะดังนี้

- ❒ คุณสมบัติทางด้านประหยัดพลังงานและการกันความชื้น
- ❒ คุณสมบัติทางด้านการก่อสร้างและระบบเศรษฐกิจ
- ❒ คุณสมบัติทางด้านที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อม

3.3.5 การเลือกใช้เทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่เหมาะสม

เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคและเทคโนโลยีการออกแบบที่เน้นการพึ่งพาระบบธรรมชาติ (Passive) ที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยมีความต้องการใช้พลังงานเพื่อเสริมสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคารน้อยมาก ส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ภายในอาคาร ควรเน้นอุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงาน ประสิทธิภาพสูง เป็นต้น

3.4 ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการออกแบบสำหรับงานสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม

สำหรับงานสถาปัตยกรรม ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์พื้นฐานต่างๆ ที่จำเป็นต่อการออกแบบสำหรับงานสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม สามารถจำแนกในรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.4.1 บริเวณพื้นที่ตั้งอาคาร

ในการออกแบบอาคารที่พักอาศัย ลำดับแรกจะต้องเกี่ยวข้องกับการเลือกพื้นที่ที่จะดำเนินการก่อสร้าง โดยพิจารณาจากความเหมาะสม สามารถพัฒนาอยู่ในเขตที่มีอัตราการขยายตัวสูง ใกล้แหล่งความต้องการที่พักอาศัย อยู่ในเขตบริการสาธารณูปโภค สาธารณูปการและไม่อยู่ในเขตพื้นที่สงวนตามข้อบัญญัติที่ระบุไว้ในกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการผังเมือง ควรอยู่ในเขตที่มีโครงการป้องกันน้ำท่วม สอดคล้องกับแผนการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานอื่นของทางภาครัฐ สำหรับกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง ซึ่งตั้งอยู่บริเวณเส้นรุ้งที่ 14° เหนือ ทำให้สามารถกำหนดปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบดังนี้

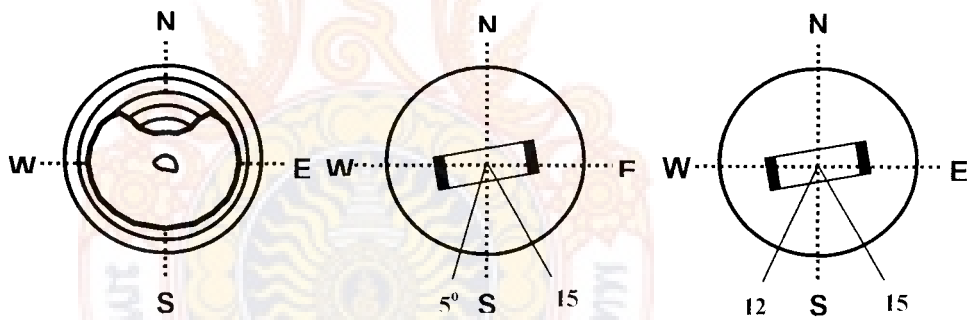
- ❒ สภาพภูมิประเทศ-อากาศ สภาพภูมิประเทศ
- ❒ ทิศทางและความเร็วลม
- ❒ อิทธิพลและทิศทางดวงอาทิตย์

3.4.2 ทิศทางการวางตัวของอาคาร

ทิศทางการวางตัวของอาคารเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลอิทธิพลต่อการออกแบบอาคาร ทิศทางการวางตัวของอาคารที่เหมาะสม จะทำให้อาคารได้แสงสว่างตามธรรมชาติที่เพียงพอ ได้รับกระแสลมเพื่อการระบายอากาศตามธรรมชาติที่ดี เป็นประโยชน์ในการลดการใช้พลังงานภายในอาคาร อีกทั้งสัมพันธ์กับพื้นที่ใช้สอยภายนอกบ้าน ทิศทางการไหลเวียนของกระแสลม และเป็นการลดมลพิษจากถนนหรือทางสัญจร ดังนั้นในการออกแบบอาคาร ต้องคำนึงถึงจัดวางตัวของอาคารในลักษณะดังนี้

- ❒ จัดวางอาคารให้เกิดการสูญเสียความร้อนให้กับบรรยากาศให้มากที่สุด โดยการคำนึงถึงการออกแบบรูปร่างและสัดส่วนให้สามารถป้องกันความร้อนจากบรรยากาศ
- ❒ จัดวางอาคารให้ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์น้อยที่สุด โดยการกำหนดให้ผนังของอาคารในด้านทิศตะวันออก-ตะวันตก เป็นด้านแคบของอาคาร
- ❒ จัดวางอาคารที่ทำให้เกิดการไหลเวียนของกระแสลมธรรมชาติมากที่สุด เพื่อให้เกิดการระบายอากาศให้มากที่สุด

สำหรับเขตร้อนชื้นการวางตัวอาคารที่เหมาะสมควรมีตำแหน่งการวางทิศทางเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) จากทิศใต้ 5 องศาไปทางทิศตะวันออก หรือมีแนวการเบี่ยงหรือแกว่งอยู่ในช่วง 5 องศาไปทางทิศตะวันตกไปถึง 15 องศาทางทิศตะวันออก สำหรับอาคารที่มีช่องเปิดด้านเดียว และมีแนวการเบี่ยงหรือแกว่งอยู่ในช่วง 12 องศาไปทางทิศตะวันตกไปถึง 15 องศาทางทิศตะวันออก สำหรับอาคารที่มีช่องเปิดสองเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งและทิศทางของห้องต่างๆ ได้ดังแสดงใน ตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.4 การวางอาคารแบบ SOL-AIR APPROACH ของเขตร้อนชื้น

(สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541 : 20)

ตารางที่ 3.3 ทิศทางและตำแหน่งของพื้นที่ใช้สอยและห้องต่างๆ

ทิศทาง / สภาพอากาศ	พื้นที่ใช้สอยห้องต่างๆ				
	ห้องนอน	ห้องรับแขก	ห้องอาหาร	ห้องครัว	ห้องน้ำ-ส้วม
ทิศเหนือ แสงดี ไม่ร้อน ลมหนาว	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ดี	-
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แสงดี ไม่ร้อน ลมหนาว	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	-
ทิศตะวันออก บ่าย ไม่ร้อน แดดเช้า	ดี	ดี	ดี	ปานกลาง	-
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ แดดเล็กน้อย	ดี	ดี	ดี	-	-
ทิศใต้ แดดมาก ลมฤดูร้อน	ปานกลาง	ปานกลาง	ดี	-	ปานกลาง
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ แดดมาก ลมฤดูร้อน	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	-	-
ทิศตะวันตก แดดมาก ลมฤดูร้อน	-	-	-	ปานกลาง	ดี
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แดดมาก ลมฤดูร้อน	-	-	ดี	ดี	ดี

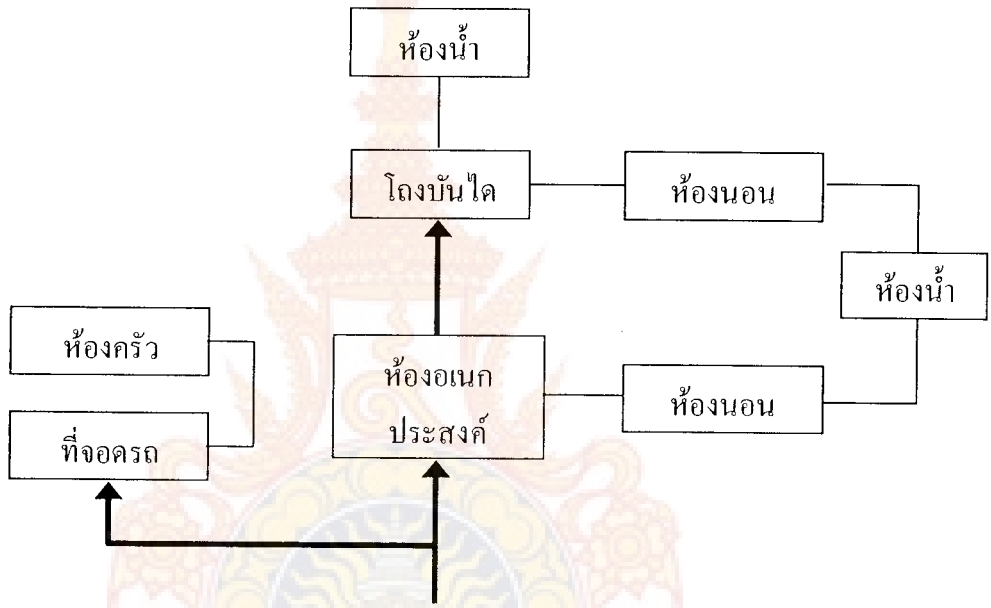
(ที่มา :: พัชรินทร์ มณีรัตน,2546 : 48)

3.4.3 รูปร่างของอาคาร

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น จากการศึกษาวิจัยพบว่า อาคารทางสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับลักษณะภูมิอากาศ ควรมีสัดส่วน รูปร่างของอาคารที่เหมาะสมที่สุด จากการทดสอบเปรียบเทียบขนาดและสัดส่วนของอาคารขนาดเดียวกัน พบว่ารูปร่างและสัดส่วนที่เหมาะสมของอาคารระหว่างพื้นที่ด้านตะวันออก-ตะวันตก กับพื้นที่ด้านทิศเหนือ-ใต้ สำหรับสภาวะอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทยคือ 1:1.7 (Victor Olgyay, 1992) โดยจัดให้ด้านยาวของอาคาร เป็นด้านที่รับกระแสลม โดยสัมพันธ์กับทิศทางการวางตัวของอาคาร อีกทั้งจัดให้ด้านยาวของอาคารอยู่ตามแกนตะวันออก-ตะวันตก

3.4.4 ช่วงเวลาและพฤติกรรมการใช้อาคาร

จากการพิจารณาสภาพการใช้ชีวิตของผู้อยู่อาศัยในกรุงเทพมหานคร และจังหวัดใกล้เคียง ซึ่งโดยส่วนมากจะมีการใช้อาคารในวันทำงานตั้งแต่ช่วงเวลาเย็นจนถึงช่วงเช้าในวันถัดไป และจะใช้ชีวิตในบ้านสำหรับวันหยุด ทำให้สามารถกำหนดพฤติกรรม เวลาการใช้พื้นที่ต่างๆ ขนาดพื้นที่ใช้สอยในอาคารที่สอดคล้องกับกิจกรรมต่างๆ และเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ประกอบกิจกรรมนั้นๆ โดยที่ความสัมพันธ์ของพื้นที่ใช้สอยต่างๆ ภายในที่พักอาศัย (Function Relationship Diagram) สามารถแสดงได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่ใช้สอยต่างๆ ภายในที่พักอาศัย

3.4.5 การวางผังบริเวณ

การจัดผังบริเวณอย่างเหมาะสม จะเป็นการเพิ่มพื้นที่โล่งก่อให้เกิดการผ่อนคลาย ลดการเก็บสะสมความร้อน บรรเทาสภาวะเกาะความร้อนในเมือง (Urban Heat Island) เป็นต้น องค์ประกอบที่มีอิทธิผลต่อการวางผังบริเวณได้แก่

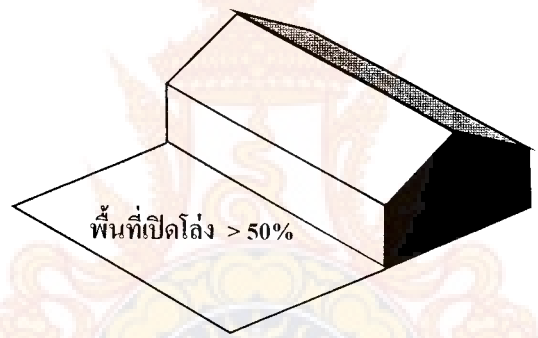
- สัดส่วนพื้นที่เปิดโล่งต่อพื้นที่ดิน การออกแบบโดยใช้พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารเท่าที่จำเป็นและอย่างประหยัด มีผลต่อการใช้พลังงานโดยตรง การออกแบบโดยจัดสรรพื้นที่ใช้สอยอาคารอย่างประหยัดจะทำให้พื้นที่ฐานอาคาร (Building Footprint) มีขนาดเล็กลง ทำให้สามารถมีพื้นที่เปิดโล่งเพิ่มมากขึ้น และสามารถปรับเปลี่ยนเป็นพื้นที่สำหรับปลูกพืชพรรณได้มากขึ้น ดังนั้นการลดขนาดอาคารที่ครอบคลุมพื้นที่ดินและเพิ่มพื้นที่โล่ง

ว่างนั้น ส่งผลดีต่อการประหยัดพลังงานและรักษาระบบนิเวศแวดล้อมหลายๆ ด้าน จากการศึกษาวิจัยพบว่า สัดส่วนที่จะช่วยรักษาสมดุลย์ของระบบนิเวศในเมืองอย่างยั่งยืนได้แสดงในตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.4 สัดส่วนพื้นที่เปิดโล่งต่อพื้นที่ดิน

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

ประเภทอาคาร	รายละเอียด
บ้านเดี่ยว	พื้นที่ว่างนอกอาคาร หรือพื้นที่เปิดโล่ง > 50 % ของพื้นที่ดิน



บ้านเดี่ยว

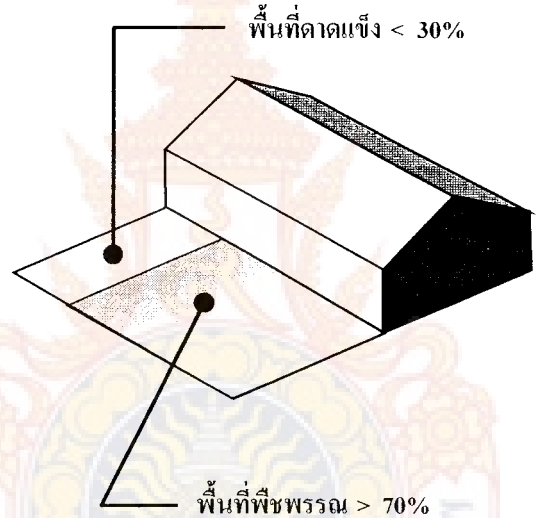
รูปที่ 3.6 สัดส่วนพื้นที่เปิดโล่งต่อพื้นที่ดินของอาคาร

❑ สัดส่วนพื้นที่ที่เป็นพืชพรรณ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียว ลดอุณหภูมิและป้องรังสี แสงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร และลดการเกิดภาวะเกาะความร้อนในเมือง (Urban Heat Island) เนื่องจากพื้นที่ที่เป็นพืชพรรณ เป็นพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยไม้ยืนต้น ไม้พุ่ม ไม้คลุมดิน หรือสนามหญ้า เป็นต้น ทำให้มีผลโดยตรงต่อการประหยัดพลังงาน และในขณะเดียวกันก็เป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมหลายๆ ด้านด้วยกัน เช่น การเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้แก่เมือง การลดมลภาวะทางอากาศด้วยการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การกรองฝุ่นละออง รวมทั้งการชะลอภาวะน้ำไหลนอง (Surface Runoff) และน้ำท่วม (Flood) จากการ

ศึกษาวิจัย(Moughin, Cliff. Urban Design, 2005) พบว่าสัดส่วนพื้นที่ที่เป็นพืชพรรณและพื้นที่เปิดโล่งที่เหมาะสมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.5 และรูปที่ 3.7

ตารางที่ 3.5 สัดส่วนพื้นที่ที่เป็นพืชพรรณต่อพื้นที่เปิดโล่ง
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

ประเภทอาคาร	รายละเอียด
บ้านเดี่ยว	พื้นที่ที่เป็นพืชพรรณ > 70 % ของพื้นที่เปิดโล่งทั้งหมด



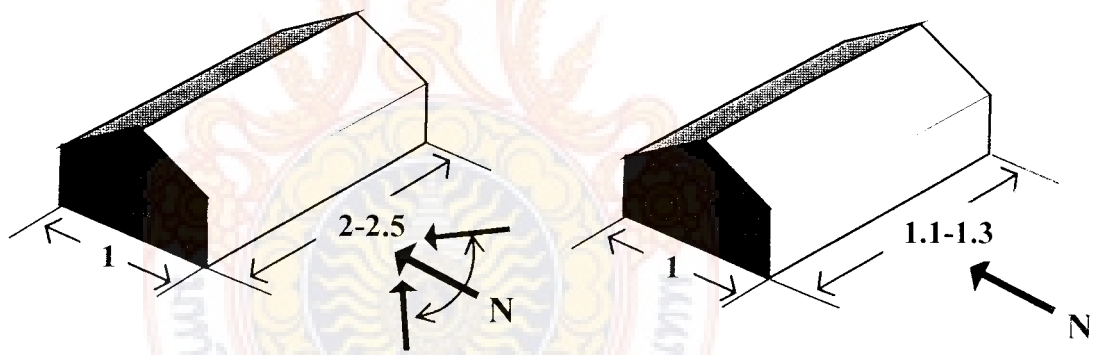
รูปที่ 3.7 สัดส่วนพื้นที่ที่เป็นพืชพรรณต่อพื้นที่เปิดโล่งสำหรับประเภทอาคาร-บ้านเดี่ยว

- สัดส่วนพื้นที่ผนังทิศตะวันออก-ตก ต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือ-ใต้ เพื่อเป็นการสร้างสภาวะความสบายภายในอาคาร ลดหรือประหยัดการใช้พลังงาน เนื่องจากอาคารโดยปกติจะรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านทางประตู หน้าต่าง และการแผ่รังสีความร้อนผ่านพื้นที่ผนังของอาคาร โดยเฉพาะผนังด้านทิศตะวันออกและตะวันตกเป็นทิศที่ได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์มากที่สุดตามเส้นทางการโคจรของดวงอาทิตย์ ดังนั้นการวางผังอาคารจึงควรกำหนดให้ผนังด้านทิศตะวันออกและตะวันตก เป็นด้านแคบ จากการศึกษาวิจัยทั้งในและต่างประเทศ พบว่าสัดส่วนของอาคารที่ใช้และไม่ใช้เครื่องปรับอากาศควรมีพื้นที่ผนัง

ทิศด้านทิศตะวันออกและตะวันตก ต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือและทิศใต้ของอาคาร ที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.8

ตารางที่ 3.6 สัดส่วนพื้นที่ ผนังทิศด้านทิศตะวันออกและตะวันตกต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือและทิศใต้ของอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

ประเภทอาคาร	รายละเอียด
อาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ	สัดส่วนพื้นที่ผนังทิศด้านทิศตะวันออกและตะวันตก ต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือและทิศใต้ของอาคาร เท่ากับ 1 : 1.1 – 1 : 1.3
อาคารที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ	สัดส่วนพื้นที่ผนังทิศด้านทิศตะวันออกและตะวันตก ต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือและทิศใต้ของอาคาร เท่ากับ 1 : 2 – 1 : 2.5 และมีการวางตัวอาคารอยู่ในมุมระหว่าง 30-120 องศา กับทิศทางลมประจำ



สัดส่วนพื้นที่ผนังทิศด้านทิศตะวันออกและตะวันตกต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือและทิศใต้ (อาคารที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ)

สัดส่วนพื้นที่ผนังทิศด้านทิศตะวันออกและตะวันตกต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือและทิศใต้ (อาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ)

รูปที่ 3.8 สัดส่วนพื้นที่ผนังทิศตะวันออก-ตก ต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือ-ใต้

❒ การให้ร่มเงาแก่พื้นที่ดาดแข็ง เป็นการช่วยลดการเกิดความร้อนและลดการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร สร้างสภาวะภูมิอากาศแบบจุลภาค (Micro-Climate) ที่เหมาะสมรอบอาคาร ด้วยการให้ร่มเงาแก่พื้นที่ดาดแข็งด้วยพืชพรรณและหรือสิ่งก่อสร้าง เนื่องจากพื้นที่ดาดแข็งที่ไม่ได้รับร่มเงาใดๆ จะก่อให้เกิดความร้อนจากการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์

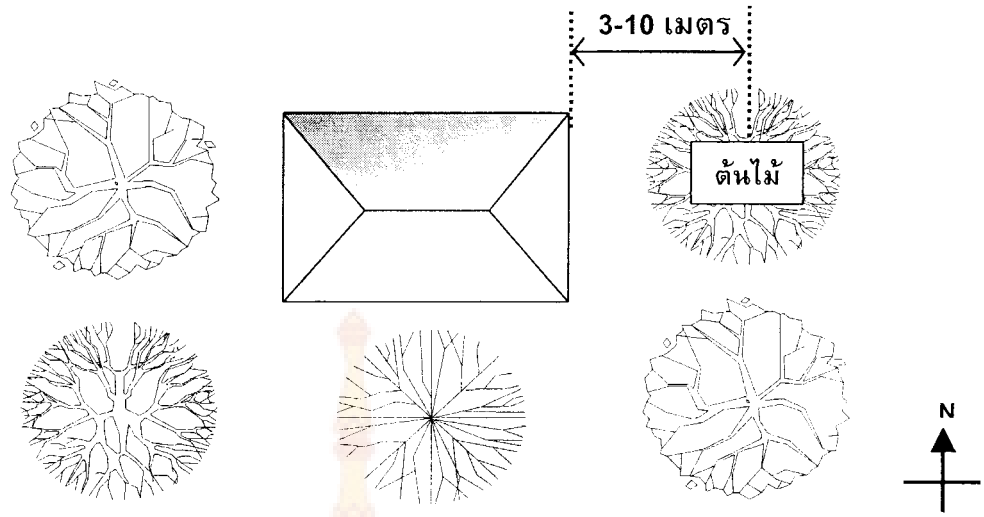
และจะสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์เข้าสู่อาคารที่อยู่ข้างเคียงได้มากกว่าพืชพรรณ เพราะพื้นที่ดาดแข็งดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ประมาณ 50 % และ 40% จะสะท้อนออกมาในรูปของรังสีความร้อน ดังนั้นการให้ร่มเงาแก่พื้นดาดแข็งด้วยการปลูกพืชพรรณหรือได้ร่มเงาจากอาคาร จึงมีส่วนเป็นอย่างยิ่งในการช่วยลดรังสีความร้อนและอุณหภูมิของบรรยากาศรอบอาคารได้ เป็นการสร้างสภาวะการไหลเวียนของกระแสลมที่ดี จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถกำหนดแนวทางในการให้ร่มเงาแก่พื้นที่ดาดแข็งดังนี้

- การให้ร่มเงาแก่พื้นที่ดาดแข็งสามารถทำได้ 2 วิธี กล่าวคือ
  (1) การได้ร่มเงาจากตัวอาคารเอง
  (2) การได้ร่มเงาจากพืชพรรณรอบๆอาคาร
- การจัดผังบริเวณโดยกำหนดให้พื้นที่ดาดแข็ง เช่น ถนน ทางเดิน ลานต่างๆ เป็นต้น อยู่ทางเหนือ หรือทิศตะวันออกของอาคารเพื่อที่จะได้รับร่มเงาจากตัวอาคาร อย่างน้อย 50% ของพื้นที่ดาดแข็งทั้งหมด
- ในกรณีที่ใช้ไม้ยืนต้นในการให้ร่มเงาแก่พื้นที่ดาดแข็ง โดยจัดให้ไม้ยืนต้นอยู่ทางทิศตะวันออก ทิศใต้ หรือทิศตะวันตกของพื้นที่ดาดแข็งนั้น
- เน้นการให้ร่มเงาแก่พื้นที่ดาดแข็ง (ถนน ทางเดิน ลานต่างๆ) ที่อยู่ภายในระยะ 15 เมตร จากอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ดาดแข็งที่อยู่ทางทิศใต้และทิศตะวันตก เพื่อลดการคายความร้อนจากพื้นที่ดาดแข็ง

หลักการดังกล่าวข้างต้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9

3.4.6 การป้องกันความร้อนของเปลือกอาคาร

เปลือกอาคารมีอิทธิผลและกระทบโดยตรงต่อปริมาณการใช้พลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานที่ใช้สำหรับการทำความเย็นสำหรับพื้นที่ใช้สอยต่างๆ ภายในอาคารเป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานได้โดยใช้วัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง เพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร และช่วยควบคุมอุณหภูมิภายในอาคาร การป้องกันความร้อนของเปลือกอาคาร สามารถทำได้ 3 แนวทางตามแหล่งหรือช่องทางที่ความร้อนสามารถเข้าสู่อาคาร ได้แก่



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งและระยะที่เหมาะสมของการปลูกต้นไม้ใหญ่เพื่อให้ร่มเงาแก่พื้นที่ดาดแข็ง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

❒ **การป้องกันความร้อนจากหลังคา**

เป็นการป้องความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ผ่านทางหลังคา ช่องแสงของหลังคา ฝ้าเพดาน เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อการป้องกันความร้อนจากหลังคาสามารถจำแนกย่อยได้ดังนี้

- ขนาดช่องแสงหลังคา ควรให้ขนาดช่องแสงของหลังเป็นไปตามหลักเกณฑ์ดังนี้
  - ขนาดช่องแสงระนาบเดียวกันกับหลังคามีพื้นที่ไม่เกิน 1 % ของพื้นที่หลังคา
  - ขนาดช่องแสงในระนาบดิ่งมีพื้นที่ไม่เกิน 2 % ของพื้นที่ใช้สอยใต้หลังคา

  (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

- ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนฝ้าเพดาน การใช้วัสดุฉนวนที่ฝ้าเพดานจะป้องกันความร้อนที่ส่งผ่านลงมาจากหลังคาได้ แนวทางที่เหมาะสมในการคัดเลือกวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนฝ้าเพดานควรพิจารณาตามเกณฑ์ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนฝ้าเพดาน (R-Value) ที่มีค่าประมาณ 1.3- 3.9 $m^2{}^oC$ / W หรือมากกว่า

  (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

- ค่าความต้านทานความร้อนรวมหลังคา แนวทางที่เหมาะสมในการพิจารณาตามเกณฑ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (Roof Thermal Transfer Value : RTTV) โดยใช้วิธีการคำนวณที่ได้ระบุไว้ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โดยมีค่าถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV) โดยประมาณ 10-20 W/m^2 หรือน้อยกว่า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

❒ การป้องกันความร้อนจากผนังและหน้าต่างภายนอก

ปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ ขนาดหรือพื้นที่ของช่องเปิดหรือหน้าต่าง จึงต้องมีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการป้องกันความร้อนจากผนังและจากหน้าต่างภายนอก ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

- อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง ต้องพิจารณาออกแบบให้มีอัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (Window to Wall Ratio : WWR) มีค่าโดยประมาณ 20-30 % โดยที่พื้นที่รวมของช่องเปิดที่เป็นกระจกทั้งหมด จะไม่รวมพื้นที่ที่เป็นวงกบและบานกรอบหรือคิดเป็นประมาณ 80% ของพื้นที่ช่องเปิด
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผนัง โดยการกำหนดแนวทางค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผนัง (U-Value) ที่ใช้ในการออกแบบควรมีค่าโดยประมาณ 0.60-1.20 $W/m^2\ ^oC$ หรือน้อยกว่า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)
- ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก โดยการกำหนดแนวทางค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกที่ใช้ในการออกแบบควรมีค่าโดยประมาณระหว่าง 0.40-0.75 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)
- ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอก โดยการกำหนดแนวทางค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกที่ใช้ในการออกแบบควรมีค่าโดยประมาณระหว่าง 0.70-0.90 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)
- ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV) แนวทางในการออกแบบควรกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอกให้มีค่าไม่เกิน 25-45 $W/m^{2\ o}C$ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)
- สีผิวผนังภายนอก ในการออกแบบควรพิจารณาให้มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (แอลฟ่า) ของสีที่ใช้ทาผิวผนังภายนอกอาคารหรือประเภทของวัสดุผนัง ไม่เกิน 0.60 โดยคิดถ่วงเฉลี่ยจากพื้นที่ผิวทั้งอาคาร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

❑ การป้องกันการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่างและประตู

การรั่วซึมของอากาศผ่านกรอบประตูและหน้าต่าง แนวทางในการออกแบบควรพิจารณาให้มีค่าปริมาณการรั่วของอากาศที่มีหน่วยเป็นปริมาตรอากาศต่อวินาทีต่อความยาวเส้นรอยรั่ว (L/s-m of Crack) ค่าไม่เกิน 0.3-0.9 L/s-m of Crack (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน)

3.5 ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ทางด้านวิศวกรรม

ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ที่สำคัญๆ สำหรับการออกแบบงานวิศวกรรม สามารถแยกตามสาขาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.5.1 งานระบบโครงสร้างอาคาร

ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร มีข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ที่ต้องคำนึงถึงดังนี้

❑ น้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบ

ต้องพิจารณาความเป็นไปได้ของน้ำหนักบรรทุกประเภทต่างๆ ที่เกิดขึ้นจริงในขณะใช้งานอาคาร และเป็นไปตามที่กฎหมาย กฎกระทรวง หรือพระราชบัญญัติควบคุมอาคารกำหนด โดยทั่วไปแล้วน้ำหนักบรรทุกที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบโครงการนี้ จะอ้างอิงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

ก.) แรงในแนวดิ่ง (Vertical of Gravity Load) ประกอบด้วย

- น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)
- น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่ม (Super-imposed Dead Load)
- น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ตามที่ได้กำหนดในกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527)

ข.) แรงในแนวนอน (Horizontal Load) ประกอบด้วย

- แรงลม (Wind Load) เป็นแรงกระทำด้านข้าง ซึ่งมีขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำขึ้นอยู่กับลักษณะของภูมิประเทศ รูปแบบอาคาร ความสูงของอาคาร ธรรมชาติของการไหลเวียนของอากาศ (Nature of Airflow) ผลของความกรรโชก เป็นต้น แรงลมโดยธรรมชาติเป็นแรงกระทำแบบพลศาสตร์ (Dynamic Loading) แต่ในการออกแบบเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการวิเคราะห์โครงสร้างโดยไม่ทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดเพี้ยนจากค่าที่ยอมให้ได้ (Tolerance) จึงมักแปรเปลี่ยนจากแรงพลศาสตร์ไปเป็นแรงสถิตย์ศาสตร์ สำหรับการออกแบบโครงสร้างสำหรับโครงการนี้ จะใช้วิธีการคำนวณแรงลมตามมาตรฐาน UBC Code ปี 1994 (Uniform Building Code 1994) แรงลมที่ใช้ในการออกแบบอาคารคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

$$\mathbf{P = Ce\ Cq\ qs\ Iw} \qquad (3.1)$$

โดยที่ P = แรงดันลมที่กระทำต่ออาคาร

Ce = ส.ป.ส. ซึ่งคำนึงถึงความสูงและลักษณะภูมิประเทศที่อาคารตั้งอยู่รวมทั้งลักษณะการพัดกรรโชกของแรงลม

Cq = ส.ป.ส. ของแรงดันลม

qs = แรงดันลมมาตรฐานที่ระดับความสูง 10 เมตร ที่ช่วงคาบการกลับ 50 ปี

Iw = ส.ป.ส. ความสำคัญของอาคาร

- แรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว (Earthquake Loading) เป็นแรงกระทำด้านข้าง ซึ่งมีขนาดแปรตามมวลของอาคารนั้นๆ และทิศทางของแรงตามทิศทางความเร่งของดิน แรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว เป็นแรงกระทำแบบพลศาสตร์ (Dynamic Loading) แต่ในการออกแบบหากอาคารมีความสม่ำเสมอทางโครงสร้าง (Structural Regularity) แล้วสามารถวิเคราะห์แรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหวแทนด้วยแรงสถิตย์ศาสตร์ สำหรับการออกแบบโครงสร้างสำหรับโครงการนี้ จะใช้วิธีการคำนวณแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหวตาม ***กฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความ***

คงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ดังสมการที่ (3.2)

$$V = ZIKCS(W) \qquad (3.2)$$

โดยที่ V = แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

Z = สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว

I = ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร

K = สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ

C = สัมประสิทธิ์ที่ขึ้นกับคาบการแกว่งธรรมชาติของอาคาร

S = สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งของอาคาร (Resonance)

W = น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ซึ่งยึดตรึงกับที่โดยไม่รวมน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคารทั่วไป หรือน้ำหนักของอาคารทั้งหมดรวมกับ 25 % ของน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับโกดังหรือคลังสินค้า

H = ความสูงของอาคาร

D = มิติของอาคารในทิศทางของแรงแผ่นดินไหว

สำหรับการออกแบบโครงสร้างสำหรับงานวิจัยโครงการนี้ได้เลือกใช้ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องดังนี้

1.) การหาค่าตัวประกอบ Ce ใช้สภาพภูมิประเทศแบบ B (พื้นที่ในเมืองหรือมีสิ่งกีดขวางโดยรอบที่ตั้งอาคาร 1.60 กม.)

2.) ความเร็วลมที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างมีค่าเท่ากับ 104 กิโลเมตร / ชั่วโมง

3.) สัมประสิทธิ์ความสำคัญของโครงสร้างมีค่าเท่ากับ 1.0

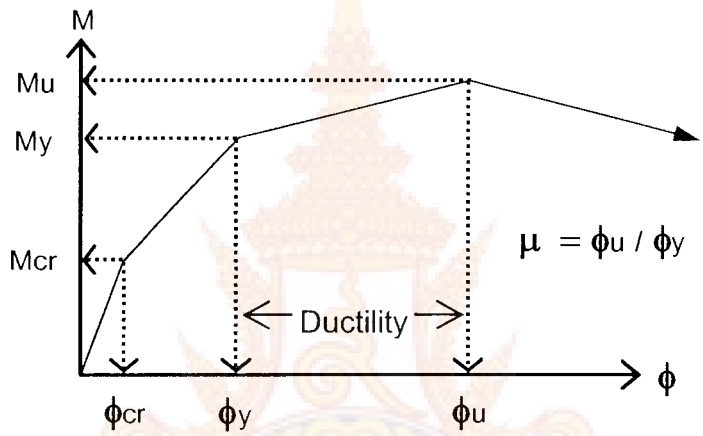
4.) สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหวมีค่าเท่ากับ 0.375 (เขตหรือพื้นที่ความเสี่ยง 2)

5.) สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบมีค่าเท่ากับ 1.0

6.) สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งของอาคาร (Resonance) มีค่าเท่ากับ 1.5

❒ ความเหนียวขององค์อาคารที่ใช้เป็นโครงสร้างหลัก

ในการออกแบบโครงสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว จะต้องออกแบบองค์อาคารให้มีกำลัง (Strength) ที่เพียงพอและเหมาะสมเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหวแล้ว ในขณะเดียวกันจะต้องออกแบบให้องค์อาคารต่างๆ มีความเหนียว (Ductility) ที่ทนต่อการโยกไหวภายใต้แรงกระทำในลักษณะกลับไปมาได้ เพื่อกระจายพลังงานจากแรงแผ่นดินไหว ความเหนียวขององค์อาคาร (Ductility ,μ) หมายถึงความสามารถในการยืนหยัดต่อการเปลี่ยนรูปและ/หรือเสียรูป จากจุดคลากไปสู่ช่วงอินอีลาสติกจนถึงจุดประลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 พฤติกรรมความเหนียวขององค์อาคาร

ความเหนียวในองค์อาคารเป็นสิ่งที่ต้องการเพราะการวิบัติจะเป็นไปอย่างช้าๆ แทนที่จะเกิดการวิบัติอย่างฉับพลัน ซึ่งจะเกิดกับโครงสร้างที่เปราะ (Brittle Behavior) ดังนั้นในการคำนวณออกแบบองค์อาคารเพื่อต้านแผ่นดินไหว จะต้องออกแบบองค์อาคารให้มีความเหนียวและการวิบัติควรอยู่ในแบบเนื่องจากการดัดแทนที่จะเป็นแรงเฉือน โดยการควบคุมให้การวิบัติเกิดขึ้นในคานก่อนที่เสาจะวิบัติ (Weak Beam Strong Column Concept) ในการออกแบบโครงสร้างสำหรับโครงการนี้จะเน้นการให้รายละเอียดเหล็กเสริมในองค์อาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดต่อหลักต่างๆ ให้มีความเหนียวตามมาตรฐานและข้อเสนอแนะของ ACI-318-99 (Building Code Requirements Structural Concrete (318-99) and Commentary (318R-99)) ,PCA (Seismic Detailing of Concrete Buildings,Portland Cement Association) และมาตรฐานประกอบการออกแบบอาคาร เพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว มยผ.1301-50 กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย เป็นหลัก

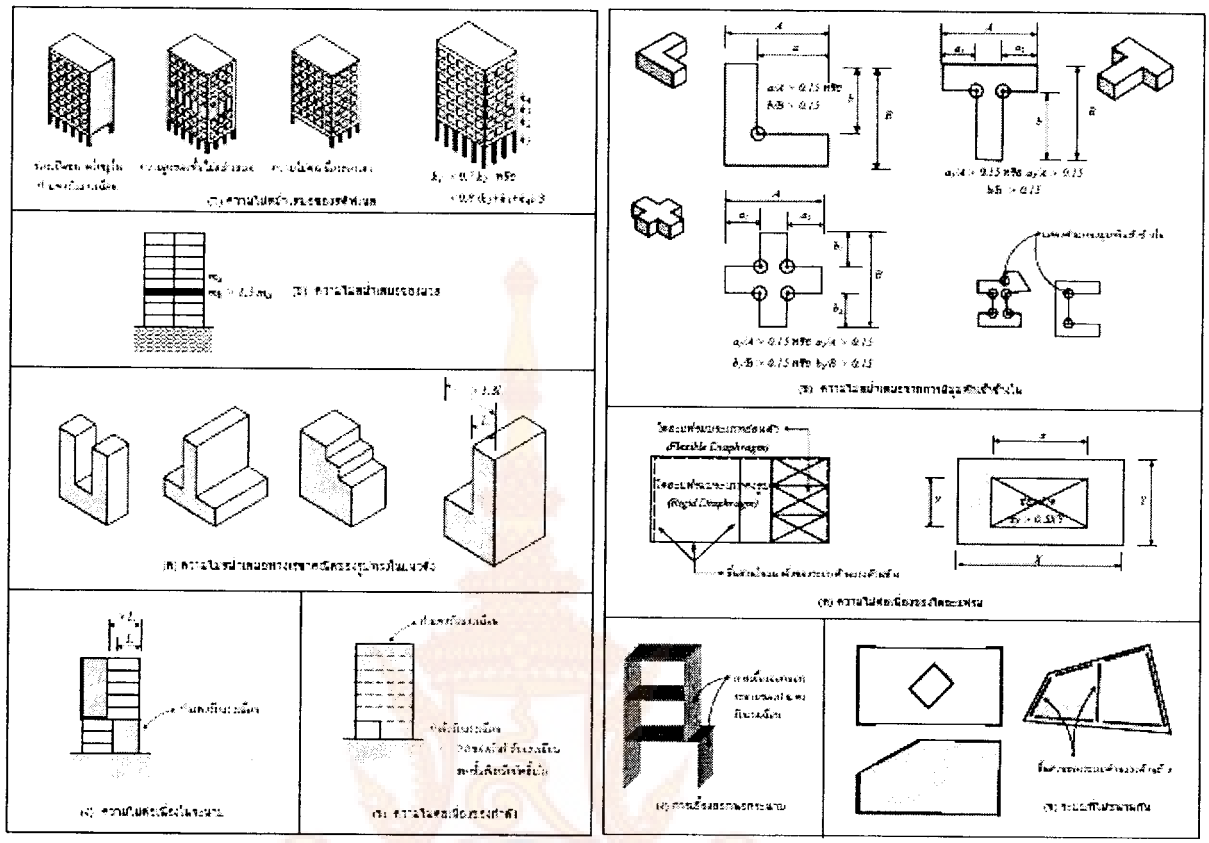
❒ **การจัดรูปแบบทางเรขาคณิตเพื่อเสถียรภาพโครงสร้าง**

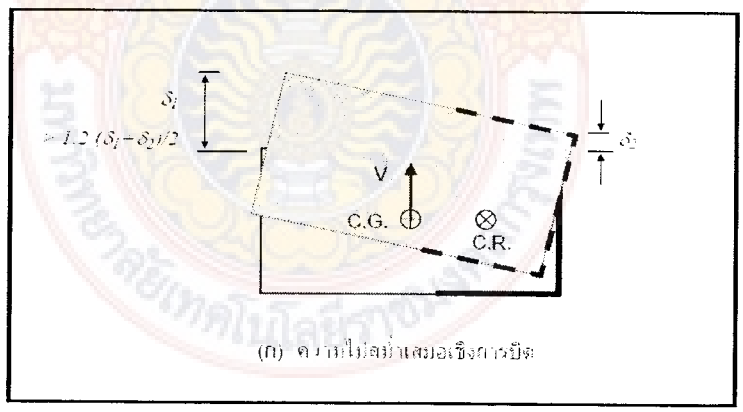
ในการออกแบบโครงสร้างต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ตามสมการที่ (3.2) ซึ่งกล่าวอ้างในกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวนั้น ต้องจัดให้ระบบโครงสร้างมีรูปทรงทางเรขาคณิตที่มีความสม่ำเสมอ (Regular Structural System) กล่าวคือเป็นโครงสร้างที่มีความต่อเนื่องทางกายภาพของรูปทรง ลักษณะโครงสร้าง และ มวลในแนวราบหรือแนวดิ่ง หรือมีความต่อเนื่องในระบบต้านทานแรงด้านข้างอย่างมีนัยสำคัญ รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างโครงสร้างที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ

3.5.2 งานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

เพื่อเป็นการส่งเสริมการประหยัดการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในที่เหมาะสมและอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการประกันคุณภาพของสิ่งแวดล้อมภายในอาคารด้านแสงสว่างและทัศนะวิสัยในการมองเห็นด้วย การควบคุมและประสานการใช้แสงธรรมชาติและแสงไฟฟ้าประดิษฐ์โดยผ่านช่องแสง ประตูหรือหน้าต่างของอาคาร เพื่อช่วยลดการใช้แสงไฟฟ้าได้ด้วย การเตรียมการประสานแสงธรรมชาติในช่วงเวลากลางวันที่แปรเปลี่ยนไปตลอดทั้งวันภายนอกอาคาร เพื่อนำมาใช้ช่วยในการสร้างความรู้สึกกระตุ้นทางสายตา และสร้างสภาพแวดล้อมให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกกระตือรือร้นในการทำงาน (Productive Environment)

การออกแบบแสงธรรมชาติที่เหมาะสมจะต้องคำนึงถึงเรื่องของการสร้างสมดุลย์ของปริมาณความร้อนที่เพิ่มขึ้น (Heat Gain) หรือที่สูญเสียไป (Heat Loss) การควบคุมแสงจ้า (Glare) และการแปรเปลี่ยนของแสงธรรมชาติตลอดทั้งวันอีกด้วย การออกแบบแสงธรรมชาติที่ประสบความสำเร็จนั้นจะต้องให้ความสำคัญในการพิจารณาถึงการใช้อุปกรณ์ในการบังแสงแดด เพื่อช่วยลดแสงจ้า (Glare) และความเปรียบต่าง (Contrast) ที่สูงจนเกินไปในพื้นที่ใช้งานนั้นๆ นอกจากนั้นในการออกแบบไฟฟ้าแสงสว่างต้องนำองค์ประกอบด้านขนาดของหน้าต่าง ระยะห่าง การเลือกชนิดของกระจก ค่าการสะท้อนแสงของผิววัสดุตกแต่งภายในอาคาร และการจัดวางตำแหน่งของผนังกั้นห้องมาร่วมพิจารณาด้วย





รูปที่ 3.11 ตัวอย่างโครงสร้างที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ
(มาตรฐาน มยผ.1301-50 กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย)

การประสานความงามและประโยชน์ใช้สอยของแสงธรรมชาติไม่ใช่เพียงแต่ให้แสงสว่างที่เพียงพอแก้ผู้ใช้อาคารเท่านั้น แต่สิ่งที่สำคัญคือการออกแบบที่สามารถลดปัญหาอันอาจเกิดจากแสงธรรมชาติให้ได้ด้วย โดยอาศัยพื้นฐานเกี่ยวกับแสงสว่างและการมองเห็น ดังนั้นในการออกแบบระบบ

ไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารเพื่อให้แสงสว่างภายในพื้นที่ใช้สอยที่เหมาะสม ช่วยส่งเสริมการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างอย่างมีประสิทธิภาพ และยังเป็นการประกันคุณภาพของสิ่งแวดล้อมภายในอาคารด้านแสงสว่าง และการมองเห็น เกิดความสบายทางสายตา (Visual Comfort) จึงได้กำหนดหลักเกณฑ์ที่ต้องพิจารณา 4 ประการกล่าวคือ

❒ เกณฑ์ค่าความส่องสว่างขั้นต่ำ

เพื่อกำหนดระดับความส่องสว่างจากแสงประดิษฐ์ (ไม่รวมแสงธรรมชาติ) ขั้นต่ำไว้ โดยอ้างอิงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) และข้อกำหนดของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (TIEA) ดังแสดงในตารางที่ 3.7

❒ เกณฑ์ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง

เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อระบบไฟฟ้าแสงสว่างอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล จึงได้กำหนดเกณฑ์ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร โดยอ้างอิงจากเกณฑ์ของ ASEAN ENERGY ซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 25 W/m^2 โดยคำนวณถ่วงเฉลี่ยจากพื้นที่ใช้สอยภายในทั้งหมด

❒ เกณฑ์การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าประหยัด

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยปกติจะใช้พลังงานประมาณ 25% ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร ดังนั้นการใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง จะช่วยส่งเสริมให้มีการประหยัดพลังงานในอาคาร ดังนั้นในการออกแบบโดยการเลือกใช้หลอดไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างโดยอาศัยการพิจารณาประสิทธิภาพของแสงสว่างที่ได้จากค่าประสิทธิผล (ค่าลูเมนต่อวัตต์) ซึ่งหากมีค่ายิ่งมากยิ่งดีและมีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งการเลือกขนาดของหลอดไฟให้เหมาะกับพื้นที่ที่ใช้งาน และเลือดใช้โคมไฟประสิทธิภาพสูง ค่าประสิทธิผล (ค่าลูเมนต่อวัตต์) ของหลอดไฟฟ้าประเภทต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.8 แนวทางในการออกแบบจึงต้องพิจารณาประสิทธิภาพของแสงและค่าประสิทธิผลของหลอดไฟ (Luminous Efficacy) ที่ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 30 ลูเมนต่อวัตต์

❒ เกณฑ์การเลือกใช้บัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง

บัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง จะช่วยส่งเสริมให้มีการประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เนื่องจากมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้า ให้ความปลอดภัย อุณหภูมิขณะทำงานไม่สูงเกินไป ตารางที่ 3.9 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของบัลลาสต์ชนิดต่างๆ

แนวทางในการออกแบบจึงต้องพิจารณาเลือกใช้บัลลาสต์ที่มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้า ไม่เกิน 6 วัตต์ สำหรับดวงโคมที่ใช้หลอกไฟฟ้าประเภทฟลูออเรสเซนต์ทั้งหมด

ตารางที่ 3.7 เกณฑ์กำหนดค่าความเข้มของแสงสว่างสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย (TIEA))

ลำดับ	สถานที่ / พื้นที่ใช้งาน (ลักษณะ / ประเภทการใช้)		ความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)
1	ที่จอดรถ		50
2	พื้นที่ทำงานทั่วไป		300-700
3	พื้นที่ส่วนกลางทางเดิน		100-200
4	บ้านที่อยู่อาศัย	ห้องนอน	50
		หัวเตียง	200
		ห้องน้ำ ห้องส้วม ห้องเก็บของ	100-500
		ห้องรับแขก ห้องนั่งเล่น	100-500
		ห้องประกอบอาหาร	300-500
		ห้องรับประทานอาหาร	100-500
		ทางเดิน บริเวณบันได	100

ตารางที่ 3.8 ค่าประสิทธิผล (ค่าลูเมนต่อวัตต์) ของหลอดไฟฟ้าประเภทต่างๆ

(แนวทางการเลือกใช้ไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, กรุงเทพ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์)

ชนิดของหลอดแสงสว่าง		ค่าลูเมนต่อวัตต์
1	หลอดไส้	8-22
2	หลอดแสงจันทร์	26-58
3	หลอดฟลูออเรศเซนต์	30-83
4	หลอดเมทัลฮาไลด์	67-115
5	หลอดโซเดียมความดันสูง	74-132

(ลูเมน คือ ปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาจากหลอดแสงสว่าง, วัตต์ คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกำเนิดแสง)

ตารางที่ 3.9 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ชนิดต่างๆ

ชนิดของบัลลาสต์	วัตต์หลอด	วัตต์สูญเสียของบัลลาสต์	วัตต์รวม
บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กธรรมดา	36	10-12	46-48
บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กความสูญเสียต่ำ	36	4-6	40-42
บัลลาสต์อิเลคทรอนิคส์	32	4	36

(บัลลาสต์ คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดฟลูออเรศเซนต์ให้เหมาะสม)

3.5.3 งานระบายอากาศและระบบปรับอากาศ

การระบายอากาศ (Ventilations) เป็นการนำอากาศเก่า (เสีย) ภายในห้องออกไปแล้วนำอากาศใหม่ (ดี) ซึ่งสดชื่นกว่ามาแทนที่

เทศนิคการระบายอากาศ (Ventilations) เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับสภาพอากาศของบ้านเราเป็นอย่างยิ่ง โดยให้อากาศที่สดชื่นจากภายนอกไหลเวียนเข้ามาภายในบ้าน ลดมลพิษจากภายในอาคาร ลดกลิ่นเหม็นและอับชื้น เป็นการระบายอากาศที่ร้อนอ้าวภายในออกไป โดยการเปิดช่องหน้าต่างสอง

ด้านของห้อง เทคนิคนี้จะทำให้ความเร็วลมที่ไหลเข้ามาในห้องเพิ่มขึ้น เมื่อช่องทางที่ลมเข้านั้นมีขนาดเล็กและอยู่ต่ำ ส่วนช่องทางที่ลมไหลออกนั้นให้มีขนาดใหญ่กว่า และอยู่สูงกว่าก็จะทำให้ลมพัดผ่านคนที่อยู่ภายในห้อง นอกจากนี้การวางตำแหน่งช่องหน้าต่างต้องตอบรับทิศทางการเคลื่อนที่ของลมประจำด้วยแต่อย่างไรก็ตามลมที่นำเข้าสู่อาคารต้องทำให้เป็นลมเย็นเสียก่อนจึงจะทำให้การลดความร้อนมีประสิทธิผล การติดช่องหน้าต่างในตำแหน่งเยื้องกันจะช่วยบังคับให้ลมไหลผ่านห้องต่างๆ ตามตำแหน่งที่ต้องการได้

มาตรฐานการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ สำหรับพื้นที่ใช้สอยต่างๆ ตามกฎกระทรวงกำหนดให้มีอย่างน้อย 10% ของพื้นที่ห้องนั้น ทั้งนี้ไม่รวมพื้นที่ของประตู หน้าต่าง ช่องระบายอากาศที่ติดต่อกับห้องอื่น หรือช่องทางเดินภายในอาคาร

การใช้อุปกรณ์เครื่องไฟฟ้าเพื่อทำให้บ้านเย็น ได้แก่ การใช้พัดลม และเครื่องปรับอากาศ ในบ้านเรามีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง 70-80% เกือบตลอดปี จึงเป็นการยากในบางครั้งที่เราจะใช้เทคนิคของการระบายอากาศโดยธรรมชาติแต่เพียงอย่างเดียว เครื่องปรับอากาศและพัดลมจึงเป็นอุปกรณ์ที่เราจำเป็นต้องมีไว้ เพื่อช่วยคลายร้อนให้ในค่ำคืนที่ร้อนอบอ้าว เพราะฝนใกล้ตก และในช่วงฤดูร้อน

3.5.4 งานระบบสุขาภิบาล

ในการออกแบบระบบสุขาภิบาล และประเภทของสุขภัณฑ์ที่ใช้ ต้องเหมาะสมกับรูปแบบอาคาร และจำนวนผู้ใช้สอยอาคาร ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ของงานระบบสุขาภิบาลที่ต้องคำนึงในการออกแบบ สามารถจำแนกย่อยได้ดังนี้

❒ ระบบบำบัดน้ำเสีย บ่อดักขยะและไขมัน

เพื่อให้น้ำเสียที่ปล่อยจากอาคารลงสู่ท่อระบายน้ำโสโครก มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดในกฎกระทรวงฉบับที่ 44 (พ.ศ. 2538) และกฎกระทรวงฉบับที่ 51 (พ.ศ. 2541) จำเป็นต้องจัดให้มีระบบบำบัดน้ำเสีย บ่อดักขยะและไขมันที่ถูกต้องเหมาะสม และเพียงพอต่อปริมาณของเสีย หรือน้ำเสีย เพื่อการบำบัดหรือลดปริมาณสารเจือปนในน้ำเสียที่ลงสู่ท่อระบายน้ำโสโครก ลดปัญหาด้านกลิ่น การปนเปื้อนน้ำใต้ดินเนื่องจากการรั่วซึม

แนวทางในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย บ่อดักขยะและไขมัน จะต้องระบุชนิดและขนาดของระบบบำบัดน้ำเสีย บ่อดักขยะและบ่อดักไขมัน โดยพิจารณาขนาดที่เหมาะสมจากจำนวนผู้ใช้อาคารนั้นๆ ขนาดมาตรฐานบ่อดักไขมันแบบวงขอบซีเมนต์สำหรับบ้านพักอาศัยแปรผันตามจำนวนผู้อยู่อาศัยแสดงในตารางที่ 3.10 นอกจากนั้นคุณภาพของน้ำทิ้งจากอาคารที่จะระบายจากอาคารลงสู่แหล่งรองรับน้ำทิ้งได้ต้องมีคุณภาพของน้ำทิ้งตามประเภทของอาคาร และตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่ระบุในกฎกระทรวงฉบับที่ 44 ดังแสดงในตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.10 ขนาดมาตรฐานบ่อดักไขมันแบบวงขอบซีเมนต์สำหรับบ้านพักอาศัยแปรผันตามจำนวนผู้อยู่อาศัย

จำนวนคน	ปริมาตรบ่อที่ต้องการ (ลบ.ม.)	ขนาดบ่อ		จำนวนบ่อ (บ่อ)
		เส้นผ่านศูนย์กลาง	ความลึกน้ำ (ม.)	
5	0.17	0.80	0.40	1
6-10	0.34	0.80	0.70	1
11-15	0.51	1.00	0.70	1
16-20	0.68	1.20	0.60	1
21-25	0.85	1.20	0.80	1
26-30	1.02	1.00	0.70	2
31-35	1.19	1.00	0.80	2
36-40	1.36	1.20	0.60	2
41-45	1.53	1.20	0.70	2
46-50	1.70	1.20	0.80	2

(ที่มา :: กฎกระทรวงฉบับที่ 44)

ตารางที่ 3.11 มาตรฐานของคุณภาพน้ำทิ้งของอาคารประเภทต่างๆ

มาตรฐานของคุณภาพน้ำทิ้ง		ประเภทอาคาร			
		ก	ข	ค	ง
1	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช)	5-9	5-9	5-9	5-9
2	ค่าบีโอดี ไม่เกิน (มิลลิกรัม / ล.บ.เดซิเมตร)	20	30	60	90
3	ปริมาณสารแขวนลอย ไม่เกิน (มิลลิกรัม / ล.บ.เดซิเมตร)	30	40	50	60
4	ปริมาณสารละลายที่เพิ่มขึ้นจากการน้ำใช้ ไม่เกิน (มิลลิกรัม / ล.บ.เดซิเมตร)	500	500	500	500
5	ปริมาณตะกอนหนักไม่เกิน (มิลลิกรัม / ล.บ.เดซิเมตร)	0.50	0.50	0.50	0.50
6	ทีเคเอ็น ไม่เกิน (มิลลิกรัม / ล.บ. เดซิเมตร)	-	-	40	40
7	ออร์แกนิก-ไนโตรเจน ไม่เกิน (มิลลิกรัม / ล.บ.เดซิเมตร)	10	10	15	15
8	แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไม่เกิน (มิลลิกรัม / ล.บ.เดซิเมตร)	-	-	25	25
9	น้ำมันและไขมัน ไม่เกิน (มิลลิกรัม / ล.บ.เดซิเมตร)	20	20	20	20
10	ซัลไฟด์ ไม่เกิน	1.0	1.0	3.0	4.0

(ที่มา :: กฎกระทรวงฉบับที่ 44)

❒ การเลือกใช้สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ

เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้น้ำซึ่งเท่ากับการลดปริมาณน้ำเสียที่จะต้องนำกลับมาบำบัดเช่นกัน ดังนั้นการการเลือกใช้สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ จึงเป็นการส่งเสริมให้มีการลดการใช้น้ำประปาและเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำ และท้ายสุดเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมและบำบัดน้ำโสโครก ดังนั้นแนวทางในการออกแบบควรพิจารณาใช้สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 มาตรฐานสำหรับฝักบัวและก๊อกน้ำ และอุปกรณ์ประหยัดน้ำ

ชนิดและอุปกรณ์ประหยัดน้ำ		ปริมาตรน้ำที่ไหลผ่านไม่เกิน
1	ก๊อกน้ำ	
	1.1 ก๊อกน้ำที่เปิด-ปิดด้วยมือ	6.0 ลิตร / นาที
	1.2 ก๊อกน้ำที่ปิดอัตโนมัติสำหรับอ่างล้างหน้า-ล้างมือ	0.5 ลิตร ในเวลา $\leq$ 6 วินาที
	1.3 ก๊อกน้ำอัตโนมัติ	5.0 ลิตร / นาที
2	ฝักบัวอาบน้ำ	7.0 ลิตร / นาที
3	วาว์ลขับล้างสำหรับที่ปัสสาวะชาย	1.5 ลิตร ในเวลา $\leq$ 15 วินาที
4	ชุดหัวฉีดชะล้าง	5.0 ลิตร / นาที

(ที่มา :: โครงการฉลากเขียว ข้อกำหนดฉลากเขียว สำหรับก๊อกน้ำและอุปกรณ์ประหยัดน้ำ (TGL-11-R1-03))

❒ ระบบกักเก็บน้ำฝน

แนวทางในการออกแบบจึงควรพิจารณาจัดให้มีระบบเก็บกักน้ำฝนมาใช้งานอย่างน้อย 10% ของปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด ระบบกักเก็บน้ำฝนอาจจะเป็นระบบที่ติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของอาคารหรือระบบที่ติดตั้งแยกออกมาจากตัวอาคาร สำหรับอาคารพักอาศัยทั่วไปจะมีการใช้น้ำประมาณ 330 ลิตรต่อคนต่อวัน และปริมาณน้ำที่กักเก็บ 10% เป็นการคิดจากการใช้น้ำทั้งหมดคิดเฉลี่ยทั้งปี เนื่องจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจะมากในช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม การคำนวณการกักเก็บน้ำฝนสามารถประมาณการได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

ปริมาณน้ำฝนที่กักเก็บได้ (ลบ.ม.) = พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.ม.) x ปริมาณน้ำฝน (ม.) x 0.80

โดยที่ ตัวคูณ 0.80 คือ อัตราการสูญเสียที่เหลือในระบบ (ที่มา :: Low Impact Development Center, Inc, 2548)

❑ ระบบนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่

แนวทางในการออกแบบควรพิจารณาให้สามารถนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่อย่างน้อย 25 % ของปริมาณน้ำเสียทั้งหมด (โดยคำนวณจากจำนวนผู้ใช้อาคาร / ผู้อยู่อาศัย ทั้งหมด มีหน่วยเป็นลิตรต่อวัน) ปริมาณน้ำเสียที่ออกมาจากอาคารจะอยู่ที่ประมาณ 70-90 % ของปริมาณน้ำใช้ทั้งหมด และกำหนดให้คำนวณปริมาณน้ำเสียทั้งหมด จากข้อมูลแสดงปริมาณน้ำเสียของอาคารประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ปริมาณน้ำเสียตามประเภทอาคาร

ลำดับ	ประเภทอาคาร	หน่วย	ปริมาณน้ำเสีย (ลิตร / หน่วย / วัน)
1	อาคารสำนักงาน	คน	70
2	สนามบิน	ผู้โดยสาร	15
3	โรงพยาบาล	เตียง	1,000
4	โรงอาหาร	คน	60
5	โรงแรม	ห้อง	200
6	บ้านพักอาศัย	คน	300
7	โรงเรียน	นักเรียน	150
8	เรือนจำ	คน	450
9	โรงภาพยนตร์	คน	150
10	สโมสร	คน	350
11	ภัตตาคาร	คน	50
12	ร้านกาแฟ	คน	50

ตารางที่ 3.13 ปริมาณน้ำเสียตามประเภทอาคาร(ต่อ)

ลำดับ	ประเภทอาคาร	หน่วย	ปริมาณน้ำเสีย (ลิตร / หน่วย / วัน)
13	หอพัก	คน	340
14	ร้านตัดผม	คน	220
15	ศูนย์การค้า	คน	100
16	หอประชุม	คน	10
17	ห้องปฏิบัติการ	คน	50
18	สถานีบริการน้ำมัน	คน	40

(ที่มา :: ศุนย์ศึกษาตามแนวพระราชดำริ โครงการวิจัยเพื่อพัฒนาหนังสือและโฮมเพจ ชุดพัฒนาสังคมตามแนวพระราชดำริ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ , http://www.swu.ac.th/royal/indcx.html)

❑ ระบบท่อจ่ายน้ำโดยไม่ผ่านปั๊มน้ำและเลือกใช้ปั๊มน้ำประสิทธิภาพสูง

การมีระบบท่อจ่ายน้ำโดยไม่ผ่านปั๊มน้ำ และเลือกใช้ปั๊มน้ำประสิทธิภาพสูง เพื่อลดพลังงานในระบบสุขาภิบาล การมีระบบท่อจ่ายน้ำโดยไม่ผ่านปั๊มน้ำในการอยู่อาศัย จะเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้อยู่อาศัยในการเลือกใช้หรือไม่ใช้ปั๊มน้ำในการอยู่อาศัย หากออกแบบใช้ระบบท่อจ่ายน้ำโดยผ่านปั๊มก็ควรเลือกใช้ปั๊มน้ำที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานมากขึ้น ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์และออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก

4.1 ผลการวิเคราะห์และออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก

จากแนวความคิดในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก และข้อกำหนดตลอดจนหลักเกณฑ์ที่จำเป็น สามารถประมวลผลการวิเคราะห์และออกแบบด้านต่างๆ ที่สามารถจำแนกได้เป็น 4 หัวข้อหลักดังนี้

4.2 ผลการวิเคราะห์และออกแบบทางสถาปัตยกรรมหลัก

จากแนวความคิดในการออกแบบอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ที่จำเป็นตลอดจนผลการศึกษาข้อบัญญัติทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอาคาร สามารถสรุปผลการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการออกแบบด้านสถาปัตยกรรมหลักดังนี้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อบัญญัติและกฎหมายควบคุมอาคาร

ขบวนการออกแบบด้านสถาปัตยกรรม การศึกษาและวิเคราะห์ข้อบัญญัติและกฎหมายควบคุมอาคาร มักจะเป็นขั้นตอนแรกๆ ที่จะต้องคำนึงถึง และนำไปสู่การกำหนดขนาด พิกัด และมิติต่างๆ ของโครงการ จากการวิเคราะห์ทำให้สามารถสรุปข้อบัญญัติและกฎหมายควบคุมอาคารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยโครงการ สามารถลำดับได้ดังนี้

- ❒ พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522
- ❒ พระราชบัญญัติการจัดสรรที่ดิน พ.ศ. 2543
- ❒ พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2551
- ❒ กฎกระทรวงฉบับที่ 6 (2527)
- ❒ กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537)
- ❒ กฎกระทรวงฉบับที่ 55 (2543)
- ❒ กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว (พ.ศ.2550)
- ❒ กฎกระทรวงฉบับที่ 414 (พ.ศ.2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518

- ❒ กฎกระทรวงกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคารสำหรับผู้พิการ หรือทุพพลภาพ และคนชรา
- ❒ ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2544

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้านมาตรฐานและข้อกำหนดด้านสถาปัตยกรรม

มาตรฐานและข้อกำหนดด้านสถาปัตยกรรมจะเป็นขั้นตอนลำดับต่อมาที่จะต้องคำนึงเพื่อกำหนดรูปแบบอาคาร พื้นที่ใช้สอยประโยชน์ในแต่ละส่วน รวมทั้งสัดส่วนพื้นที่ต่างๆ ที่สอดคล้องกับรูปแบบการดำรงชีวิตของผู้อยู่อาศัยแต่ละประเภทศึกษาวิจัยโครงการ สามารถลำดับได้ดังนี้

❒ **ประเภทที่พักอาศัย**

ประเภทที่พักอาศัยสำหรับการศึกษาวิจัยโครงการ หากพิจารณาจากเกณฑ์ตามข้อกำหนดของกฎกระทรวงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปดังนี้

- ◆ บ้านเดี่ยว เป็นที่อยู่อาศัยสำหรับครอบครัวที่เป็นเอกเทศ ใช้ที่ดินมาก เพราะมีที่ว่างโดยรอบอาคาร โดยพื้นที่ว่างที่ใช้ประโยชน์มากคือด้านหน้าและด้านหลังอาคาร ส่วนพื้นที่ว่างด้านข้างทั้งสองด้านใช้ประโยชน์น้อย

❒ **รูปแบบพื้นที่ใช้สอยภายในหน่วยพักอาศัย** ประกอบด้วย

- ◆ ห้องนอน
- ◆ พื้นที่อเนกประสงค์

  พื้นที่อเนกประสงค์สามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ใหญ่ๆ ออกเป็น 2 ส่วนได้แก่
  - ● พื้นที่นั่งเล่น และรับแขก
  - ● พื้นที่รับประทานอาหาร
- ◆ พื้นที่ประกอบอาหารหรือครัว
- ◆ ห้องน้ำ-ส้วม
- ◆ พื้นที่ซักล้าง

❒ **มาตรฐานพื้นที่ใช้สอยภายในหน่วยพักอาศัย**

จากรูปแบบพื้นที่ใช้สอยภายในหน่วยพักอาศัยต่างๆ ที่ต้องการ สามารถนำมาสรุปเป็นเกณฑ์มาตรฐานขนาดพื้นที่ใช้สอยประเภทต่างๆ เพื่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 มาตรฐานขนาดเนื้อที่หน่วยที่อยู่อาศัยของหน่วยงานต่างๆ

ส่วนพื้นที่	พื้นที่ / ห้อง	มาตรฐานที่อยู่อาศัยของหน่วยงานต่างๆ					
		1	2	3	4	5	6
ส่วน มิดชิด (Private)	ห้องนอนที่ 1 (แรก)	8.64	8.97	9.00	9.30	11.20	-
	ห้องนอนที่ 2	7.20	-	9.00	7.90	11.10	-
	ห้องนอนที่ 3	5.76	-	9.00	7.00	-	-
	ห้องน้ำ-ส้วม	2.16	2.16	1.50	3.20	2.24	2.10
	ห้องส้วม (แยกเดี่ยว)	1.44	-	0.90	1.80	-	-
	ห้องน้ำ (แยกเดี่ยว)	1.08	-	-	2.20	-	-
ส่วน อเนก ประสงค์ (Multi-purpose)	รับแขก+พักผ่อน	14.40	-	11.20	14.40	16.40	-
	ทานอาหาร	8.64	-	7.50	3.64	-	-
	ครัว	4.32	4.08	-	4.32	-	4.30
	พื้นที่รวมรับแขก+พักผ่อน+ทานอาหาร	18.00	13.81	18.00	18.00	-	-
	พื้นที่รวมครัว+ทานอาหาร	12.96	-	7.50	12.96	15.86	-
	พื้นที่ซัก ล้าง ตาก	1.08	-	-	2.16	-	-
	พื้นที่ขั้นต่ำสุดโดยรวมของครัวเรือนขนาด 5 คน	34.00	-	33.00	34.00	-	27.00

หมายเหตุ

1 = เกณฑ์ที่อยู่อาศัยทั่วไป

2 = มาตรฐานสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3 = มาตรฐานของข้อบัญญัติ กทม. เรื่องควบคุมการก่อสร้างอาคาร พ.ศ. 2522

4 = มาตรฐานของ Office of Housing Devclopment , Washington D.C., ประเทศสหรัฐอเมริกา

5 = มาตรฐานของ Housing and Development Board (HDB) , ประเทศสิงคโปร์

6 = มาตรฐานของ Malaysia Housing Authority , ประเทศมาเลเซีย

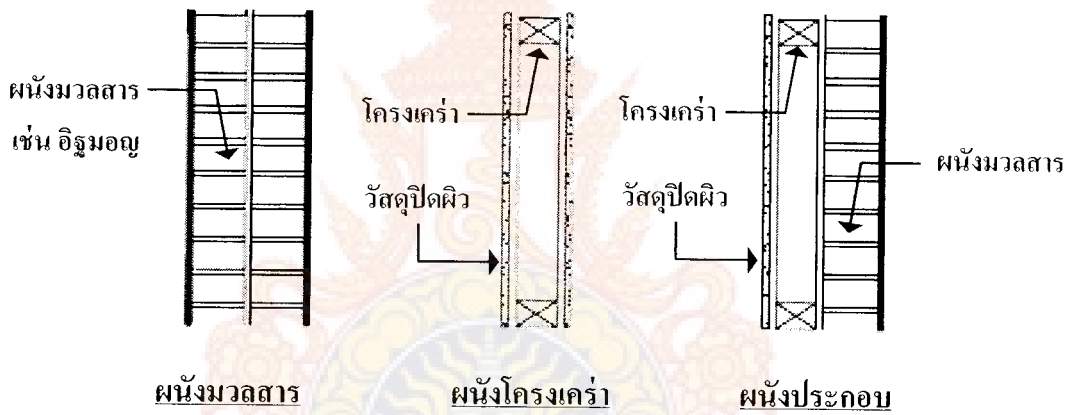
4.3 ผลการวิเคราะห์และออกแบบด้านวัสดุกรอบอาคารและพลังงาน

❒ ระบบวัสดุกรอบอาคาร

ระบบของวัสดุกรอบอาคารที่ใช้กันอยู่ทั่วไป แบ่งตามวัสดุผนังและหลังคาได้ดังนี้

- **วัสดุผนัง** สามารถแบ่งย่อยออกได้ดังนี้
  - ผนังที่เป็นมวลสาร (Mass Wall)
  - ผนังที่เป็นโครงเคร่า (Framing Wall)
  - ผนังประกอบ (Composite Wall)

ลักษณะของผนังประเภทต่างๆ แสดงดังในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วัสดุผนังที่เป็นผนังมวลสาร ผนังโครงเคร่า และผนังประกอบ

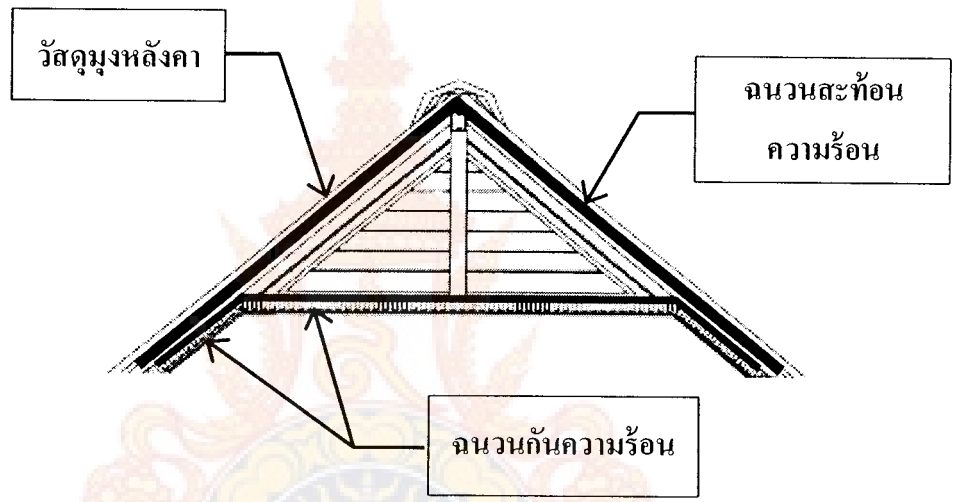
- **วัสดุหลังคา**

หลังคา เป็นส่วนหนึ่งของอาคารที่สำคัญที่ช่วยป้องกันอาคารจากสภาพแวดล้อมภายนอก เพราะหลังคาเป็นกรอบอาคารที่ต้องรองรับความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาจากดวงอาทิตย์โดยตรง วัสดุหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

- วัสดุมุงหลังคา (Roofing)
- ฉนวนกันความร้อน (Insulation)
  - ฉนวนกันความร้อนแบบมีมวล (Mass Insulation)
  - ฉนวนแบบสะท้อนความร้อน (Reflective Sheet)

4.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุกรอบอาคารและวัสดุมุง (Physical Property)

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุกรอบอาคารพื้นฐานต่างๆ และวัสดุมุงชนิดต่างๆ ทั้งในส่วนของผนังและหลังคาที่ใช้ทั่วไปมีมากมายหลายชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและบริษัทผู้ผลิต สำหรับการศึกษาวิจัยวัสดุกรอบอาคาร จะพิจารณาวัสดุที่เป็นนิยมกันทั่วไปหรือเป็นวัสดุที่เป็นตัวแทนของวัสดุแต่ละประเภท ตลอดจนวัสดุที่เป็นวัสดุประกอบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย



รูปที่ 4.2 วัสดุมุงหลังคาและฉนวนกันความร้อนบริเวณหลังคา

4.3.2 คุณสมบัติวัสดุทางด้านอุณหภาพ (Thermal Property)

ในการศึกษาคุณสมบัติทางด้านอุณหภาพเบื้องต้นของวัสดุกรอบอาคารสำหรับโครงการวิจัยนี้จะพิจารณาถึงค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุกรอบอาคาร (ΣR) แต่ละประเภทดังนี้

- **ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง**

ค่าความต้านทานความร้อนรวมของ (Thermal Resistance- R-value) หมายถึงจำนวนชั่วโมงสำหรับพลังงานความร้อนที่จะถ่ายเทผ่านวัสดุความหนาหนึ่งๆ ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่อมีความต่างของอุณหภูมิ 1 $^{\circ}$F โดยมีหน่วยเป็น sq.m.K/Watt โดยปกติค่าความต้านทานความร้อนจะเป็นส่วนกลับของค่านำความร้อน (Conductivity) ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังเป็นค่าผลรวมของค่าความต้านทานของส่วนประกอบของผนังในกรณีที่ผนังเป็นผนังประกอบ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนังชนิด

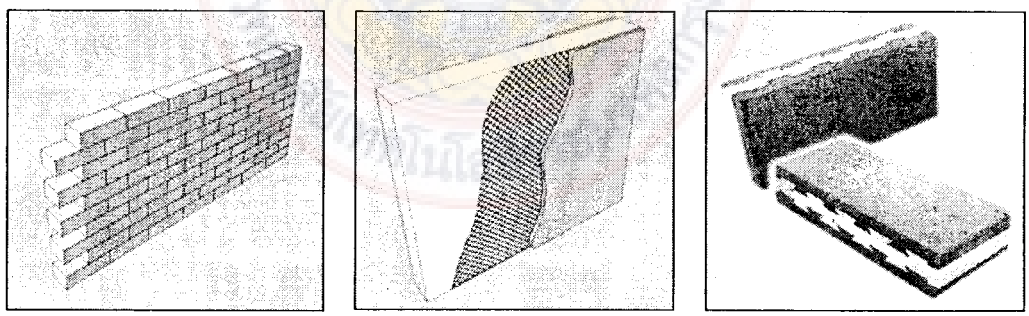
ต่างๆ ในรูปแบบลักษณะทึบแสง ที่ได้ทำศึกษาวิจัยแสดงในตารางที่ 4.2 และค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนังกรอบอาคารประเภทกระจกที่ศึกษาวิจัยแสดงในตารางที่ 4.3

❐ **ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุมุงหลังคา**

ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุมุงหลังคา (ΣR) หมายถึง ค่าความต้านทานความร้อนของส่วนประกอบของวัสดุมุงหลังคา ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุมุงหลังชนิดต่างๆ ที่ความลาดเอียงเท่ากัน 20 องศา ที่ศึกษาวิจัยแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความต้านทานรวม (ΣR) ของวัสดุผนังกรอบอาคารที่ศึกษาวิจัย

ลำดับที่	สัญญลักษณ์ผนัง	ประเภทวัสดุผนังกรอบอาคาร	ΣR (m^2K/W)
1	W1	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น หนา 7.0 ซม. ฉาบปูนเรียบ หนา 1.50 ซม. ทั้ง 2 ด้าน	0.271
2	W2	ผนังโฟม (EPS Foam) หนา 7.0 ซม. ฉาบปูนเรียบ หนา 1.50 ซม. ทั้ง 2 ด้าน	2.192
5	W3	ผนังคอนกรีตบล็อคเย็น (Cool block) (7 ซม.) ซม. ฉาบปูนเรียบ หนา 1.50 ซม. ทั้ง 2 ด้าน	0.350



ผนังอิฐมอญ **ผนังโฟม EPS** **ผนังคอนกรีตบล็อกเย็น**

รูปที่ 4.3 ลักษณะของผนังประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความต้านทานรวม (ΣR) ของวัสดุผนังกรอบอาคารประเภทกระจกที่ศึกษาวิจัย

ลำดับที่	สัญญลักษณ์ผนังกระจก	ประเภทวัสดุผนังกรอบอาคาร	ΣR (m^2K/W)
1	G1	กระจกใส 5 มม.	5.893

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความต้านทานรวม (ΣR) ของวัสดุมุงหลังคาที่ศึกษาวิจัย

ลำดับที่	สัญญลักษณ์วัสดุมุง	ประเภทวัสดุมุงหลังคา	ΣR (m^2K/W)
1	R 5	หลังคาลอนคู่ + อลูมิเนียมฟอยล์ (ติดตั้งใต้หลังคา) + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (ติดตั้งบนฝ้าเพดาน) + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม.โครงคร่าวอลูมิเนียมทีบาร์ขนาด 0.60x0.60 ม.	3.108

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ด้านพลังงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบาย

❒ ข้อมูลเบื้องต้นทางกายภาพของอาคารต้นแบบ

ข้อมูลเบื้องต้นทางกายภาพของอาคารต้นแบบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.5-4.8

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลทางกายภาพอาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว

บ้านเดี่ยว					
ชั้น	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.)	ชั้น	ห้อง	พื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.)
2	ห้องนอน 1	10.50	1	ห้องรับแขก	10.50
	ห้องนอน 2	10.50		ห้องนอน	10.50
	ห้องนอน 3	10.50		ห้องรับประทานอาหาร	10.50
	ห้องนั่งเล่น	10.50		ห้องครัว	10.50
	ห้องน้ำ	6.00		ห้องน้ำ	4.00
	โถงบันได	10.00		โถงบันได	12.50
	ระเบียง	4.00		บันได	5.00
				เฉลี่ยง / ระเบียง	9.45
				โถงทางเข้า	4.00
				ลานซักล้าง	6.00
รวมพื้นที่ใช้สอย			135.50		

❒ ข้อมูลรายละเอียดโครงสร้างและวัสดุประกอบอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านพลังงาน

ในการวิเคราะห์ด้านพลังงาน การศึกษาวิจับได้แยกพิจารณาอาคารที่แตกต่างกันเป็น 3 แนวทางเลือกตามประเภทและกลุ่มของวัสดุกรอบอาคาร สำหรับประเภทอาคารต้นแบบที่ได้ออกแบบทั้งนี้เพื่อจุดประสงค์ในการเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารและตัดสินใจในการเลือกใช้วัสดุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุกรอบอาคารที่เหมาะสมต่อไป แนวทางเลือกอาคารที่วิเคราะห์ทั้ง 3 แนวทางได้แก่

แนวทาง 1. บ้านที่ก่อสร้างโดยทั่วไป (ผนังอิฐมอญ – W1) ซึ่งจะเป็นกรณีพื้นฐาน(Basecase) เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับแนวทางที่ 2-3

แนวทาง 2. บ้านที่ศึกษาวิจัยแนวทางที่ 2 (ผนังโฟมอีพีเอส (EPS) –W2)

แนวทาง 3. บ้านที่ศึกษาวิจัยแนวทางที่ 3 (ผนังคอนกรีตบล็อกใส่ฉนวนตรงกลาง หรือผนังคอนกรีตบล็อกเย็น – W3)

สำหรับรายละเอียดโครงสร้างและวัสดุประกอบอาคารที่ใช้ในแต่ละแนวทางสามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.6-4.8

ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดโครงสร้างและวัสดุประกอบอาคารซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบบ้านแนวทางที่ 1 บ้านทั่วไป (BaseCase)

ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
โครงสร้างอาคาร	-	โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ ระบบเสาและคาน
ผนัง (W1)	ผนังภายใน ผนังภายนอก	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน ทาสีขาว
พื้น	ชั้น 1 – ชั้น 2	พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ผิวปูกระเบื้องขนาด 12"x12" (ภายในห้องรับแขก, รับประทานอาหาร, ครัว ฯลฯ)
		พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ปูพื้นไม้เนื้อแข็ง
		พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ผิวปูกระเบื้องขนาด 8"x8" (ภายในห้องน้ำ)
ฝ้าเพดาน	ฝ้าภายใน - ภายนอก	ฝ้าเพดานแผ่นเรียบยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. โครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสี (ภายนอก)
		ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว มีอลูมิเนียมฟอยล์ 1 ด้าน ติดตั้งเหนือฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา มม.แผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. โครงเคร่าอลูมิเนียม T-bar ขนาด 0.60 x 0.60 ม. (ภายใน)
หลังคา	-	โครงหลังคาเหล็กทาสีกันสนิม มุงกระเบื้องลอนคู่สีเทา
ประตู	-	ประตูบานเลื่อน กระจกใสหนา 5 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
		ประตูบานเปิด กระจกใสหนา 5 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
		ประตูติดตาย กระจกใสหนา 5 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
หน้าต่าง	-	หน้าต่างบานเปิด กระจกใสหนา 5 มม.วงกบไม้เนื้อแข็ง 2"x4"
ชายคา	-	คอนกรีตเสริมเหล็กยื่น 1.50 ม.

ตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดโครงสร้างและวัสดุประกอบอาคารซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์บ้านแนวทางที่ 2

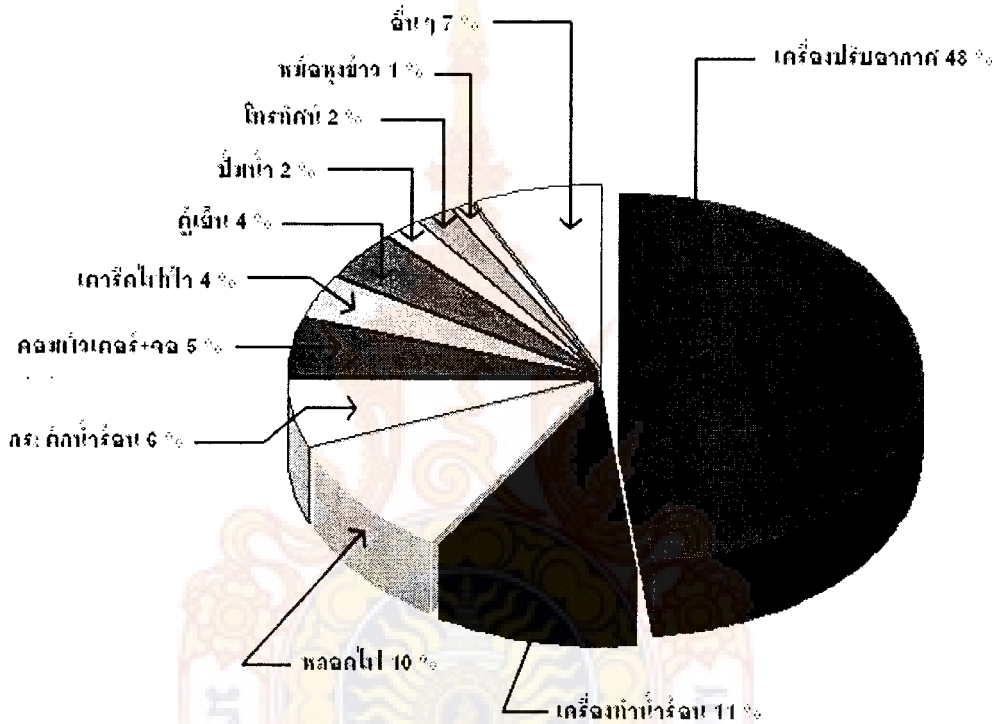
ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
โครงสร้างอาคาร	-	โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ ระบบเสาและคาน
ผนัง (W2)	ผนังภายใน ผนังภายนอก	ผนังโฟมอีพีเอส หนา 7.50 ซม. ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน ทาสีขาว
พื้น	ชั้น 1 – ชั้น 2	พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ผิวปูกระเบื้องขนาด 12"x12" (ภายในห้องรับแขก, รับประทานอาหาร, ครัว ฯลฯ)
		พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ปูพื้นไม้เนื้อแข็ง
		พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ผิวปูกระเบื้องขนาด 8"x8" (ภายในห้องน้ำ)
ฝ้าเพดาน	ฝ้าภายใน - ภายนอก	ฝ้าเพดานแผ่นเรียบยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. โครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสี (ภายนอก)
		ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว มีอลูมิเนียมฟอยล์ 1 ด้าน ติดตั้งเหนือฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา มม.แผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. โครงเคร่าอลูมิเนียม T-bar ขนาด 0.60 x 0.60 ม. (ภายใน)
หลังคา	-	โครงหลังคาเหล็กทาสีกันสนิม มุงกระเบื้องลอนคู่สีเทา
ประตู	-	ประตูบานเลื่อน กระจกใสหนา 5 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
		ประตูบานเปิด กระจกใสหนา 5 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
		ประตูติดตาย กระจกใสหนา 5 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
หน้าต่าง	-	หน้าต่างบานเปิด กระจกใสหนา 5 มม.วงกบไม้เนื้อแข็ง 2"x4"
ชายคา	-	คอนกรีตเสริมเหล็กยื่น 1.50 ม.

ตารางที่ 4.8 แสดงรายละเอียดโครงสร้างและวัสดุประกอบอาคารซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์บ้านแนวทางที่ 3

ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
โครงสร้างอาคาร	-	โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ ระบบเสาและคาน
ผนัง (W3)	ผนังภายใน – ภายนอก	ผนังคอนกรีตบล็อกใส่ฉนวนตรงกลางหรือผนังคอนกรีตบล็อกเย็น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน ทาสีขาว
พื้น	ชั้น 1 – ชั้น 2	พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ผิวปูกระเบื้องขนาด 12"x12" (ภายในห้องรับแขก, รับประทานอาหาร, ครัว ฯลฯ)
		พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ปูพื้นไม้เนื้อแข็ง
		พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ผิวปูกระเบื้องขนาด 8"x8" (ภายในห้องน้ำ)
ฝ้าเพดาน	ฝ้าภายใน - ภายนอก	ฝ้าเพดานแผ่นเรียบยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. โครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสี (ภายนอก)
		ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว มีอลูมิเนียมฟอยล์ 1 ด้าน ติดตั้งเหนือฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา มม.แผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. โครงเคร่าอลูมิเนียม T-bar ขนาด 0.60 x 0.60 ม. (ภายใน)
หลังคา	-	โครงหลังคาเหล็กทาสีกันสนิม มุงกระเบื้องลอนคู่สีเทา
ประตู	-	ประตูบานเลื่อน กระจกใสหนา 5 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
		ประตูบานเปิด กระจกใสหนา 5 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
		ประตูติดตาย กระจกใสหนา 5 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
หน้าต่าง	-	หน้าต่างบานเปิด กระจกใสหนา 5 มม.วงกบไม้เนื้อแข็ง 2"x4"
ชายคา	-	คอนกรีตเสริมเหล็กยื่น 1.50 ม.

❒ **ข้อมูลระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร**

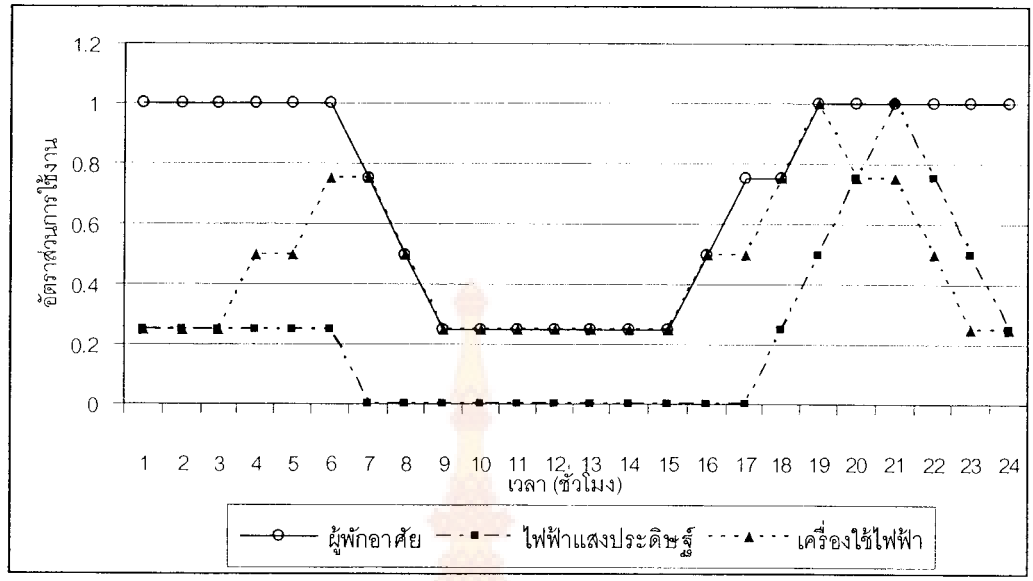
ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร จำเป็นที่จะต้องทราบชนิดและจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งโดยทั่วไปมีมากมายหลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์พื้นฐานต่างๆ เพื่ออำนวนความสะดวกที่ใช้ภายในที่พักอาศัย จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.4

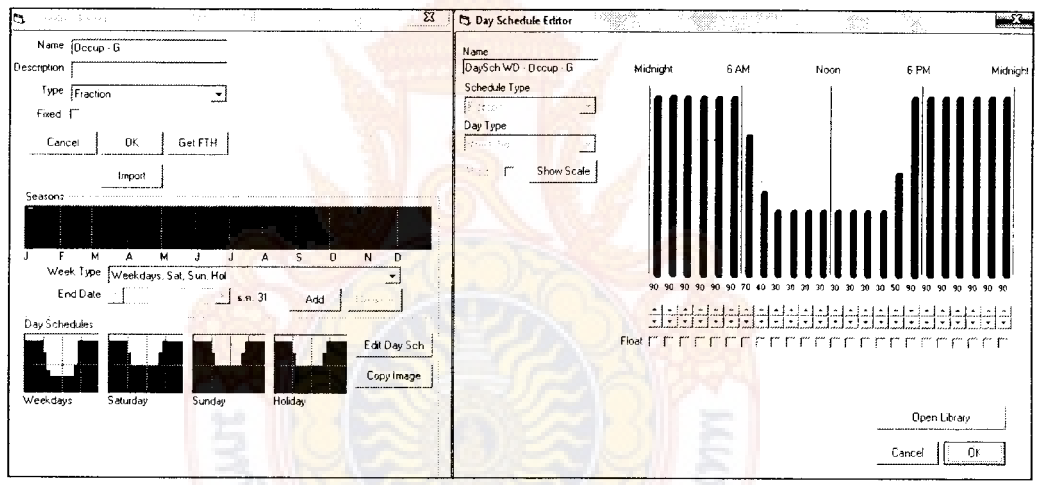


รูปที่ 4.4 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิดต่อวัน

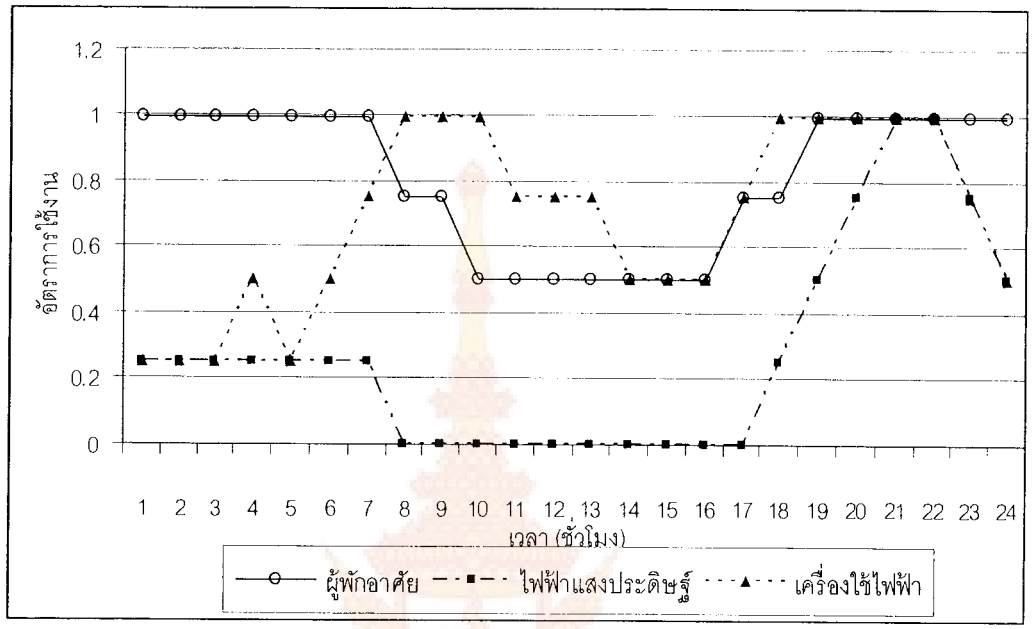
❒ **พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคาร**

จากการศึกษาและสำรวจการใช้งานอาคารที่พักอาศัยโดยทั่วไป ได้ผลการสำรวจการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ สำหรับครัวเรือนๆ ละ 2-4 คน ซึ่งสามารถจำแนกลักษณะและพฤติกรรมการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ รวมทั้งไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารของผู้พักอาศัย ในช่วงตลอด 24 ชั่วโมงเป็น 2 รูปแบบ คือ การใช้งานในช่วงวันธรรมดา (จันทร์-ศุกร์) และการใช้งานในช่วงวันหยุด (เสาร์-อาทิตย์) ดังแสดงได้ในแผนภูมิรูปที่ 4.5-4.6





รูปที่ 4.5 สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงวันธรรมดา (จันทร์-ศุกร์)

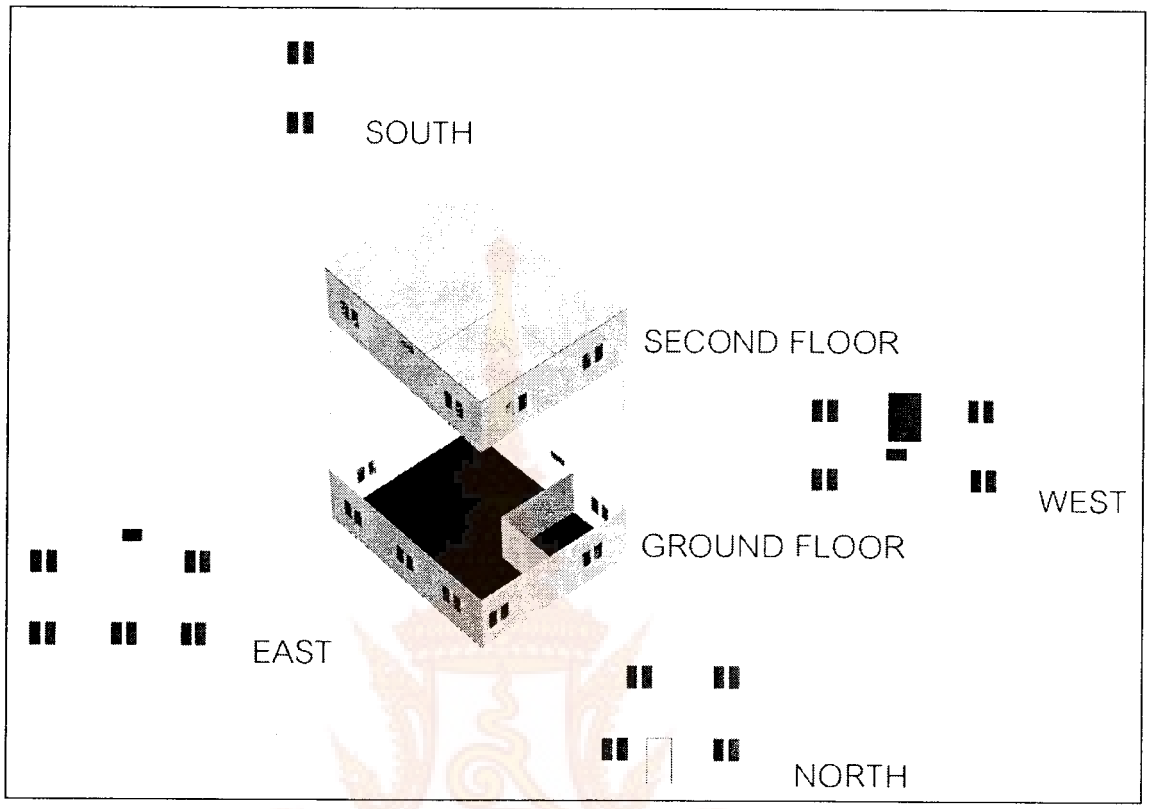


รูปที่ 4.6 สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงวันวันหยุด (เสาร์-อาทิตย์)

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ศึกษาวิจัยและออกแบบ

สำหรับการวิจัยศึกษาโครงการนี้ได้ทำการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับห้องที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 บีทียู ในแต่ละช่วงเดือนต่างๆของปี โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE4.0 โดย กำหนดให้มีการใช้ระบบปรับอากาศสำหรับห้องนอน ในชั้น 1 และ 2 ในช่วงเวลา 22.00-08.00 น.

นอกจากนั้นในการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารที่ศึกษาวิจัย ยังได้พิจารณาถึงการวางตัวของอาคารในแต่ละทิศทาง เพื่อศึกษาผลกระทบของลักษณะช่องเปิดของอาคารในแต่ละด้านได้แก่ ประตูและหน้าต่างตามที่ระบุในแบบสถาปัตยกรรมดังแสดงในรูปที่ 4.7



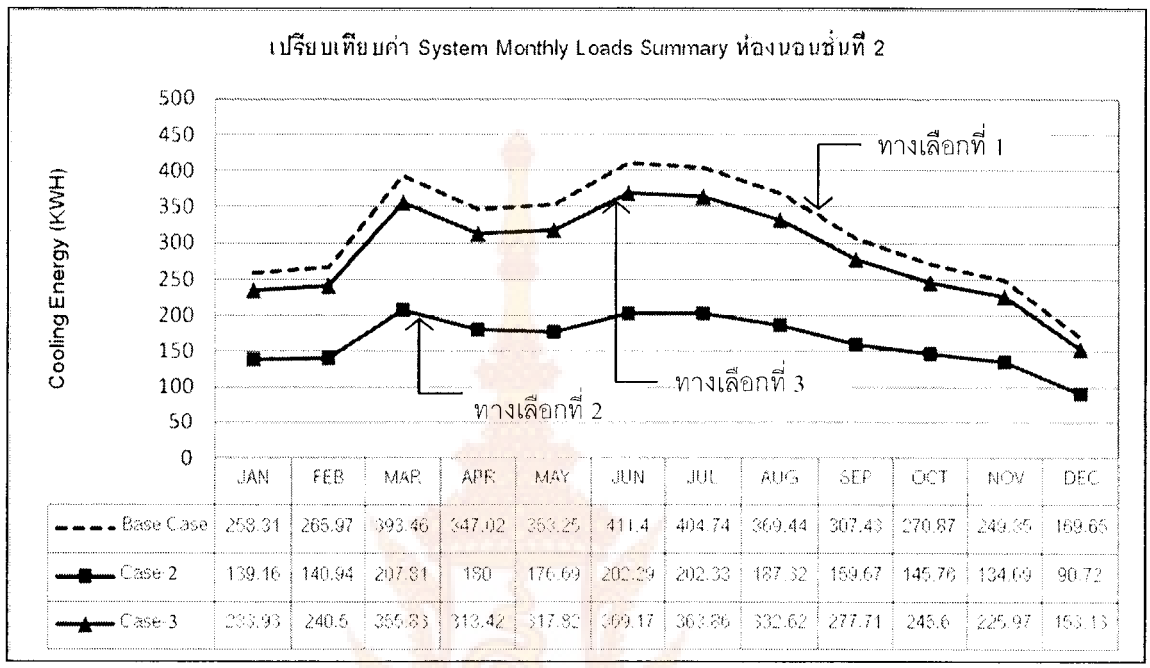
รูปที่ 4.7 ลักษณะและตำแหน่งของช่องเปิดในแต่ละทิศทางของแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในที่พักอาศัยภายใต้สภาวะที่ใช้ระบบปรับอากาศ ของห้องนอนหลักสำหรับบ้านพื้นฐานทั่วไปและบ้านแนวทางที่ 2-3 และการเปรียบเทียบจำนวนร้อยละเมื่อเปรียบเทียบกับบ้านทั่วไป โดยที่กำหนดให้มีการใช้ระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 22.00-8.00 น. ตลอดทั้งปี ดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 โดยพิจารณาให้ตำแหน่งของห้องนอนอยู่ทางทิศใต้ของอาคาร

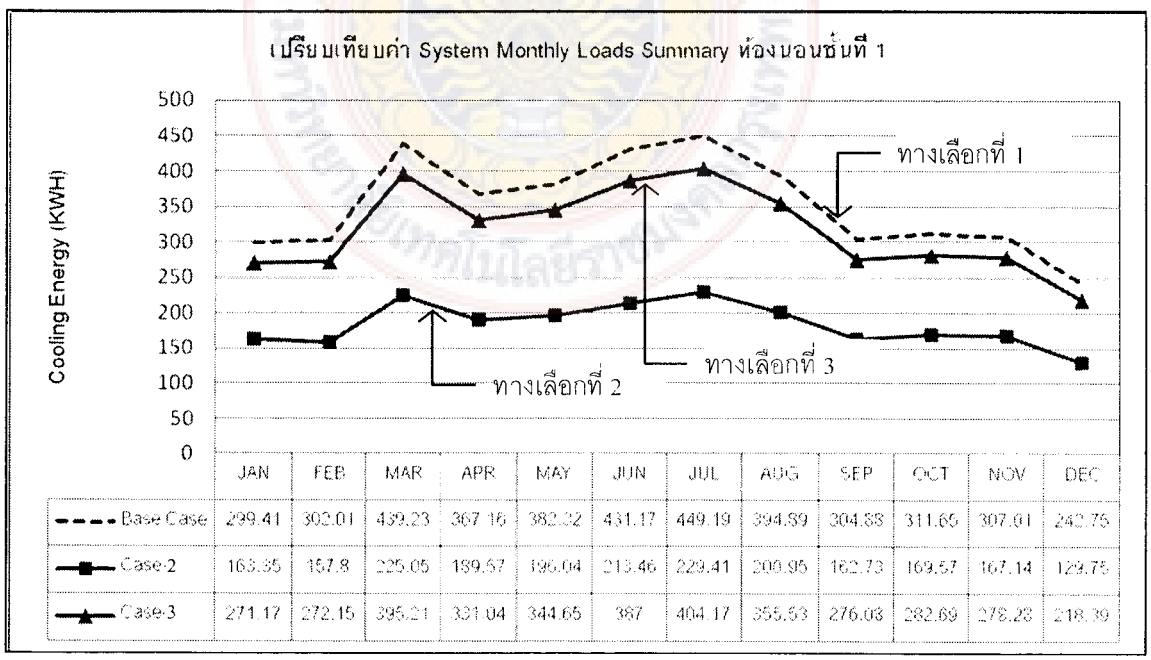
ดังนั้นจากรูปที่ 4.8 และ 4.9 จะเห็นได้ว่าแนวทางเลือกที่ 2 ซึ่งใช้ผนังโฟมอีพีเอส (EPS) – W2 ใช้พลังงานเพื่อก่อให้เกิดสภาวะน่าสบาย (Cooling Load) ภายในพื้นที่ที่วิเคราะห์ทั้ง 2 ต่ำสุด ในขณะที่แนวทางเลือกที่ 1 (ผนังอิฐมอญ) จะใช้พลังงานมากที่สุด ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.9

จึงสรุปได้ว่าหากเลือกใช้อาคารแนวทางเลือกที่ 2 จะสามารถประหยัดหรือลดพลังงานไฟฟ้าสำหรับภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ได้โดยประมาณ 48 % คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เฉลี่ย

โดยประมาณ 676 บาท/เดือนสำหรับห้องนอนชั้น 1 และ 611 บาท/เดือนสำหรับห้องนอนชั้น 2 เมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางเลือกที่ 1 (กรณีพื้นฐาน) ดังแสดงในตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบการใช้พลังสำหรับบ้านแนวทางเลือกที่ 1-3 สำหรับห้องนอนชั้น 2



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบการใช้พลังสำหรับบ้านแนวทางเลือกที่ 1-3 สำหรับห้องนอนชั้น 1

ตารางที่ 4.9 แสดงการใช้พลังงานสำหรับภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ในแต่ละแนวทางเลือก

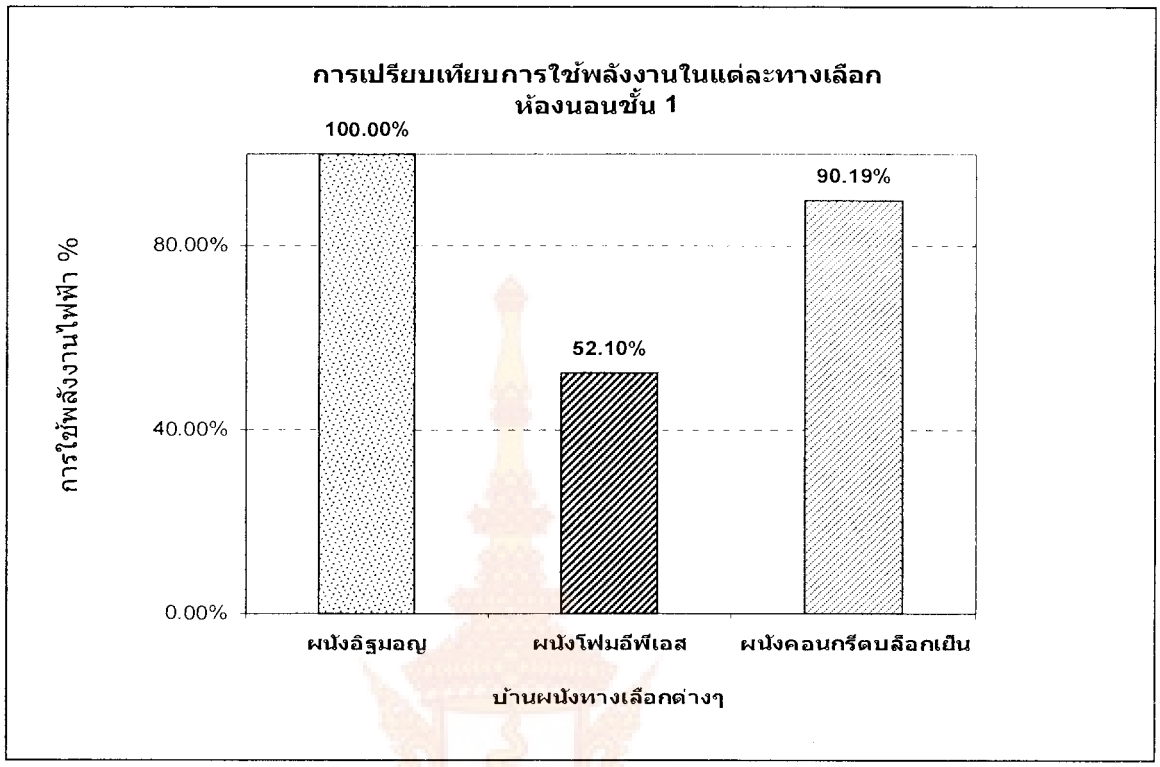
ลำดับ	แนวทางเลือก	ปริมาณการใช้พลังงานต่ำสุดในรอบปี (KWH) / เดือน	ปริมาณการใช้พลังงานสูงสุดในรอบปี (KWH) / เดือน	ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยในรอบปี (KWH) / เดือน	% เปรียบเทียบกับกรณีพื้นฐาน (ทางเลือกที่ 1)
ห้องนอนชั้น 1					
1	บ้านแนวทางเลือกที่ 1 (ผนังอิฐก่อ)	242.75	449.19	352.64	100 %
2	บ้านแนวทางเลือกที่ 2 (ผนังโฟมอีพีเอส)	129.75	229.41	183.74	52 %
3	บ้านแนวทางเลือกที่ 3 (ผนังคอนกรีตบล็อกเย็น)	218.39	404.17	318.03	90 %
ห้องนอนชั้น 2					
1	บ้านแนวทางเลือกที่ 1 (ผนังอิฐก่อ)	169.65	411.40	316.74	100 %
2	บ้านแนวทางเลือกที่ 2 (ผนังโฟมอีพีเอส)	90.72	207.81	163.95	52 %
3	บ้านแนวทางเลือกที่ 3 (ผนังคอนกรีตบล็อกเย็น)	153.13	369.17	285.80	90 %

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า (รายปี และรายเดือน) สำหรับภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ในแต่ละแนวทางเลือก

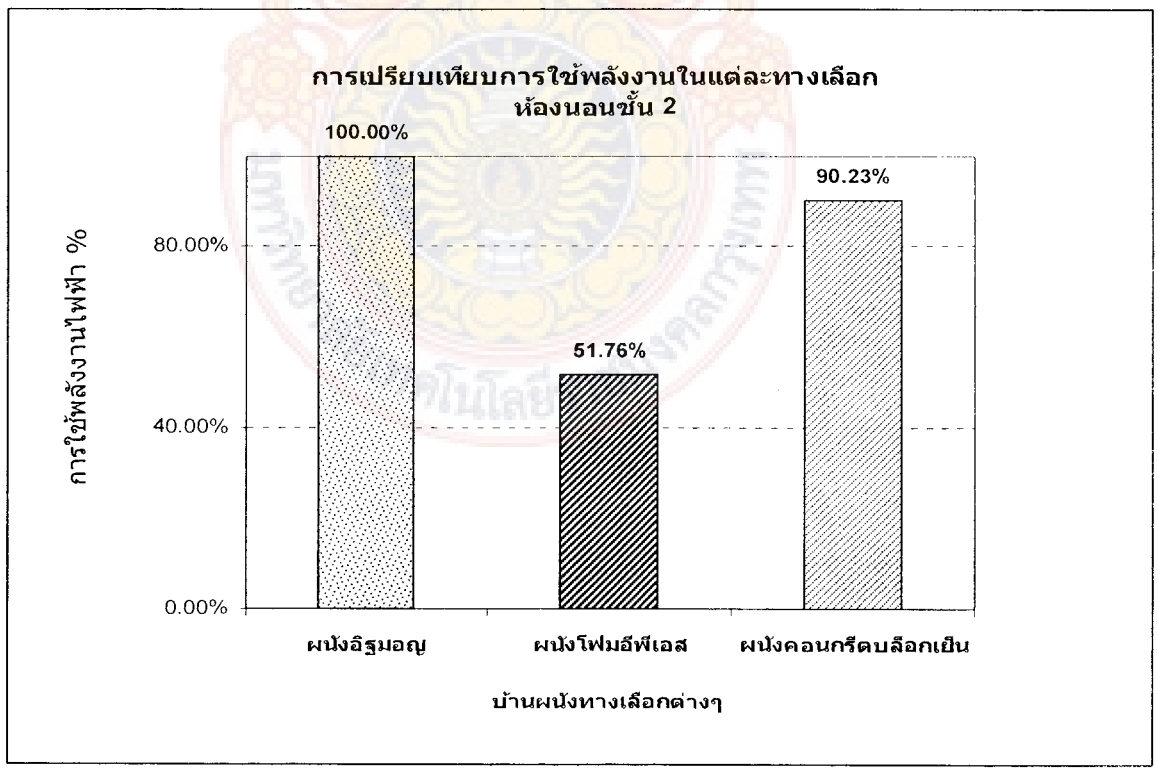
ลำดับ	แนวทางเลือก	ปริมาณการใช้พลังงานตลอดทั้งปี (KWH)	ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือน (บาท/เดือน)
ห้องนอนชั้น 1				
1	บ้านแนวทางเลือกที่ 1 (ผนังอิฐก่อ)	4,231.67	16,926.68	1,410.56
2	บ้านแนวทางเลือกที่ 2 (ผนังโฟมอีพีเอส)	2,204.82	8,819.28	734.94
3	บ้านแนวทางเลือกที่ 3 (ผนังคอนกรีตบล็อกเย็น)	3,816.36	15,265.44	1,272.12
ห้องนอนชั้น 2				
1	บ้านแนวทางเลือกที่ 1 (ผนังอิฐก่อ)	3,800.89	15,203.56	1,266.96
2	บ้านแนวทางเลือกที่ 2 (ผนังโฟมอีพีเอส)	1,967.38	7,869.52	655.79
3	บ้านแนวทางเลือกที่ 3 (ผนังคอนกรีตบล็อกเย็น)	3,429.56	13,718.24	1,143.18

หมายเหตุ การประมาณการค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า คิดที่ 4 บาท/ 1 หน่วยพลังงานไฟฟ้า

รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละแนวทางเลือกสำหรับห้องนอนชั้น 1 และชั้น 2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 การเปรียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละแนวทางเลือกสำหรับห้องนอนชั้น 1



รูปที่ 4.11 การเปรียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละแนวทางเลือกสำหรับห้องนอนชั้น 2

4.3.5 ผลการวิเคราะห์และคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของระบบเปลือกอาคาร

จากผลการวิเคราะห์สภาวะน่าสบาย สามารถสรุปได้ว่าบ้านแนวทางที่ 2 (ผนังโฟมอีพีเอส) เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในแง่การประหยัดพลังและให้สภาวะน่าสบายและจากข้อมูลวัสดุกรอบอาคารที่ใช้ สามารถนำมาคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (Overall Thermal Transfer, OTTV) และ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา (Roof Thermal Transfer, RTTV) สำหรับบ้านแนวทางเลือกที่ 2 เพื่อประเมินค่าถ่ายเทความร้อนต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าที่กฎหมายอนุรักษ์พลังงานได้กำหนดไว้ กล่าวคือมีค่าไม่เกิน 45 และ 25 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

❒ **ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร (Overall Thermal Transfer, OTTV)**

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร แสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร

ทิศผนังอาคาร		สปส.การถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ตร.ม.-เคลวิน)		ค่าสปส.การบังแดด (SC)	% สัดส่วนช่องเปิด / ผนังกรอบอาคาร WWR	ค่า OTTV (วัตต์ต่อตร.ม.)
		ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง			
ทิศเหนือ	ชั้น 1-2	0.319	5.893	0.95	23.91 %	**34.757**
ทิศตะวันตก	ชั้น 1-2	0.319	5.893	0.95	6.59 %	**16.084**
ทิศใต้	ชั้น 1-2	0.319	5.893	0.95	11.65 %	**26.062**
ทิศตะวันออก	ชั้น 1-2	0.319	5.893	0.95	7.76 %	**17.885**
ค่า OTTV รวมของอาคาร						**23.62**
ค่า RTTV รวมของอาคาร						**13.113**

หมายเหตุ ทิศของผนังที่พิจารณาอ้างอิงตามแบบสถาปัตยกรรม

4.4 ผลการวิเคราะห์และออกแบบทางด้านการระบายอากาศตามธรรมชาติ

การระบายอากาศและเทคนิคการระบายอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งการระบายอากาศตามธรรมชาติตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 เมื่อนำมาพิจาณาผลของการระบายอากาศภายในหน่วนพักอาศัย ในการออกแบบอาคารต้นแบบ ซึ่งการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยต่างๆ โดยอาศัยโถงบันไดและห้องน้ำ เป็นส่วนเชื่อมต่อ

พื้นที่ใช้สอยอื่นๆ เป็นเน้นการระบายอากาศตามธรรมชาติโดยอาศัยการกำหนดช่องเปิดและชนิดหน้าต่างๆ ที่จะก่อให้เกิดการระบายอากาศตามธรรมชาติแบบลมข้ามฟาก (Cross Ventilation) โดยอาศัยหลักการดังนี้

- ❒ การกำหนดช่องเปิดและทางเข้า-ออกของลมโดยให้มีขนาดใหญ่ด้านรับลมหรือต้นลม (ทิศเหนือ-ใต้)
- ❒ ตำแหน่งของช่องเปิดควรอยู่ในแนวตรงกันเพื่อสร้างสภาพการระบายอากาศแบบลมข้ามฟาก (Cross Ventilation)
- ❒ การกำหนดช่องเปิดและทางเข้า-ออกของลม ในส่วนชั้นล่างๆ ของอาคารให้มีขนาดใหญ่ เนื่องจากความเร็วลมในชั้นล่างน้อยกว่าชั้นบน
- ❒ การกำหนดให้ผนังภายในหน่วยที่พักอาศัยที่ไม่บดบังทิศทางลม ซึ่งส่งผลต่อการลดปริมาณความเร็วลม
- ❒ จัดแบบแปลนอาคารให้ด้านยาวของอาคารอยู่ในด้านรับลมหรือต้นลม (ทิศเหนือ-ใต้) และกระจายห้องตามแกนยาวเพื่อให้สามารถรับลมได้อย่างทั่วถึง
- ❒ จัดแบบแปลนในลักษณะแบบเปิดโล่ง (Open Plan)

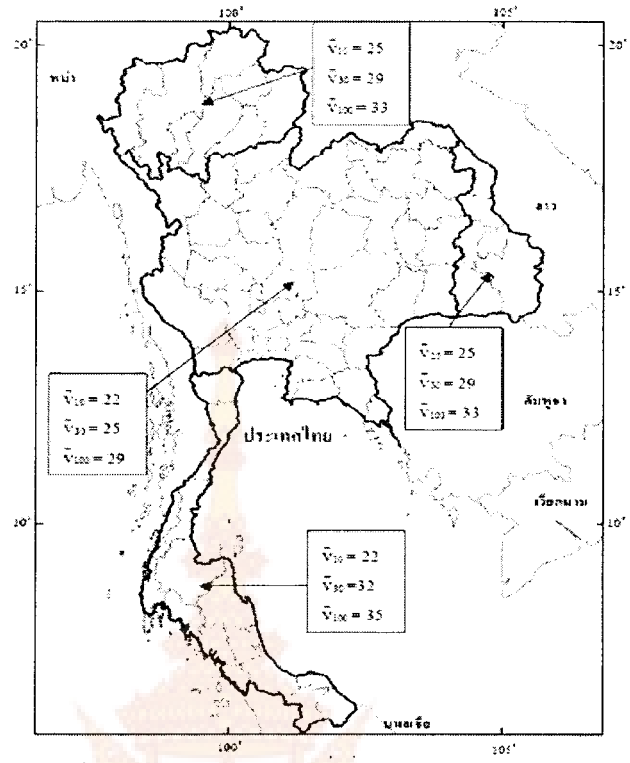
4.5 ผลการวิเคราะห์และออกแบบทางวิศวกรรมโครงสร้าง

ในการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารต้นแบบ ได้คำนึงถึงน้ำหนักบรรทุกและแรงกระทำต่างๆ ที่มีความเป็นไปได้และเกิดขึ้นจริงในขณะใช้งานอาคาร และเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดน้ำหนักบรรทุกและแรงที่พิจารณาในการออกแบบสามารถจำแนกได้เป็น 2 ทิศทางหลักได้แก่

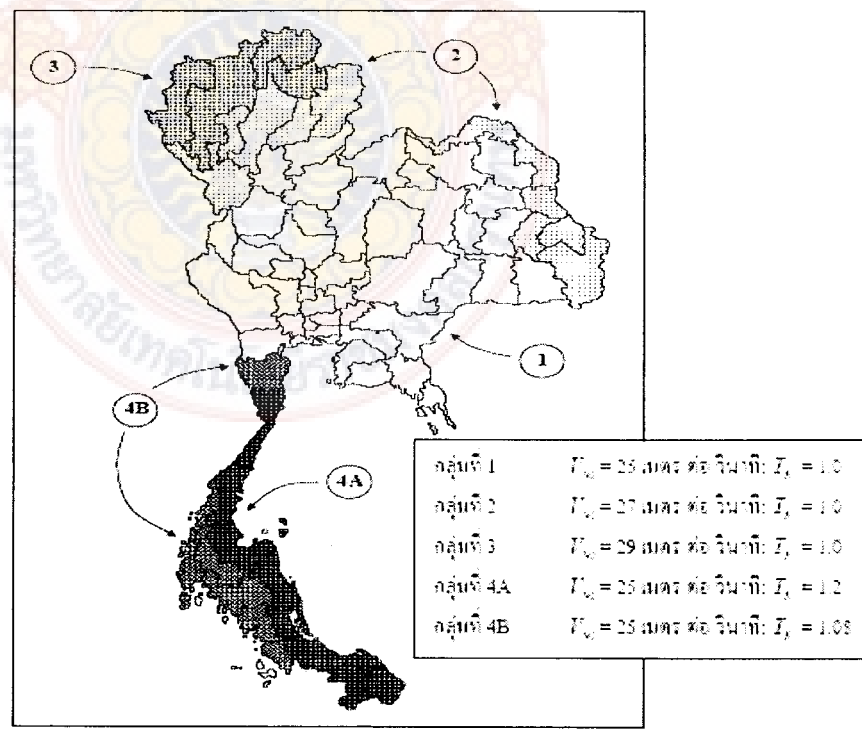
- ❒ น้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำในแนวดิ่ง (Gravity Loading) ซึ่งได้แก่ แรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) น้ำหนักบรรทุกคงที่เพิ่ม (Super-imposed Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)
- ❒ น้ำหนักบรรทุกหรือแรงกระทำในแนวนอน (Lateral Loading) ซึ่งได้แก่ แรงที่เกิดจากแรงลม (Wind Loading) แรงเนื่องจากแผ่นดินไหว (Seismic Loading)

4.5.1 มาตรฐานแรงลมที่ใช้ในการออกแบบ

ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างสำหรับต้านทานแรงลมได้อาศัยการคำนวณแรงลมตามมาตรฐานของ UBC ปี 1994 เป็นหลัก ซึ่งเป็นการคำนวณแรงลมแบบแรงสถิตย์เทียบเท่า โดยมีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก-ค โดยกำหนดใช้ความเร็วลมจากแผนที่ความเร็วลมอ้างอิงที่ช่วงการกลับ 50 ปี ดังแสดงในรูปที่ 4.12-4.13



รูปที่ 4.12 แผนที่ความเร็วลมพื้นฐานเฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมงที่ความสูง 10 เมตรในสภาพภูมิประเทศโล่ง สำหรับคาบเวลากลับ 10 , 30 , 100 ปี (หน่วย : เมตรต่อวินาที) สำหรับใช้อ้างอิงในการออกแบบโครงสร้าง (ปณิธาน ลักคุณะประสิทธ์, ศูนย์เชี่ยงชาญเฉพาะทาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)



รูปที่ 4.13 แผนที่แรงลมอ้างอิงที่ใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้าง
(มาตรฐานแรงลม, กรมโยธาธิการและผังเมือง, มยผ 1311-50)

สำหรับการวิจัยโครงการนี้เพื่อความเหมาะสมและสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ทั่วประเทศ จึงเลือกใช้ความเร็วลมสูงสุดที่ 29 เมตร / วินาที (104 กม./ชั่วโมง) ในการวิเคราะห์โครงสร้าง เพื่อหาผลตอบสนองของโครงสร้างและหาแรงต่างๆในชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างอาคาร

4.5.2 มาตรฐานแรงแผ่นดินไหวที่ใช้ในการออกแบบ

ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างสำหรับต้านทานแรงแผ่นดินไหวได้อาศัยการคำนวณแรงแผ่นดินไหวตามมาตรฐานของ UBC ปี 1994 ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกับมาตรฐานตามกฎกระทรวงว่าด้วยการคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวในแนวราบที่ระดับดิน เรื่องกำหนดการรับน้ำหนักความต้านทานความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว ซึ่งเป็นการคำนวณแรงแผ่นดินไหวแบบแรงสถิตย์เทียบเท่า โดยกำหนดใช้ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

- สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว (Seismic Zone Factor , Z)
  Z = 0.375 (พื้นที่บริเวณที่ 2)
- ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (Building Important Factor , I)
  I = 1.00
- สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (Structural Stiffness Type Factor, K)
  K = 1.00
- สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งของอาคาร (Subsoil Resonance Factor , S)
  S = 1.50

4.5.3 การรวมแรงและน้ำหนักบรรทุกต่างๆ (Loading Combination)

ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างโดยวิธีกำลัง (Strength Design Method) จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงผลรวมของแรงและน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่มีผลต่อโครงสร้าง โดยใช้ค่าสูงสุดที่คำนวณได้จากการรวมแรงและน้ำหนักบรรทุกต่างๆ (Combined Load) ในการศึกษาวิจัยโครงการนี้อ้างอิงตามมาตรฐานของ ACI (318-99) ปีค.ศ. 1999 ดังนี้

กรณีที่ 1 ;	U1	=	1.4 DL + 1.7 LL
กรณีที่ 2 ;	U2	=	0.75 (1.4 DL + 1.7 LL + 1.7 WLx)
กรณีที่ 3 ;	U3	=	0.75 (1.4 DL + 1.7 LL - 1.7 WLx)

กรณีที่ 4 ; U4 = 0.75 (1.4 DL + 1.7 LL + 1.7 WLy)

กรณีที่ 5 ; U5 = 0.75 (1.4 DL + 1.7 LL - 1.7 WLy)

กรณีที่ 6 ; U6 = 0.9 DL + 1.3 WLx

กรณีที่ 7 ; U7 = 0.9 DL - 1.3 WLx

กรณีที่ 8 ; U8 = 0.9 DL + 1.3 WLy

กรณีที่ 9 ; U9 = 0.9 DL - 1.3 WLy

กรณีที่ 10 ; U10 = 0.75 (1.4 DL + 1.7 LL + 1.87 EQx)

กรณีที่ 11 ; U11 = 0.75 (1.4 DL + 1.7 LL – 1.87 EQx)

กรณีที่ 12 ; U12 = 0.75 (1.4 DL + 1.7 LL + 1.87 EQy)

กรณีที่ 13 ; U13 = 0.75 (1.4 DL + 1.7 LL - 1.87 EQy)

กรณีที่ 14 ; U14 = 0.9 DL + 1.43 EQx

กรณีที่ 15 ; U15 = 0.9 DL - 1.43 EQx

กรณีที่ 16 ; U16 = 0.9 DL + 1.43 EQy

กรณีที่ 17 ; U17 = 0.9 DL - 1.43 EQy

โดยที่ ; DL = น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน

LL = น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน

WLx = แรงลมที่ใช้ในการวิเคราะห์-ออกแบบในทิศทาง X

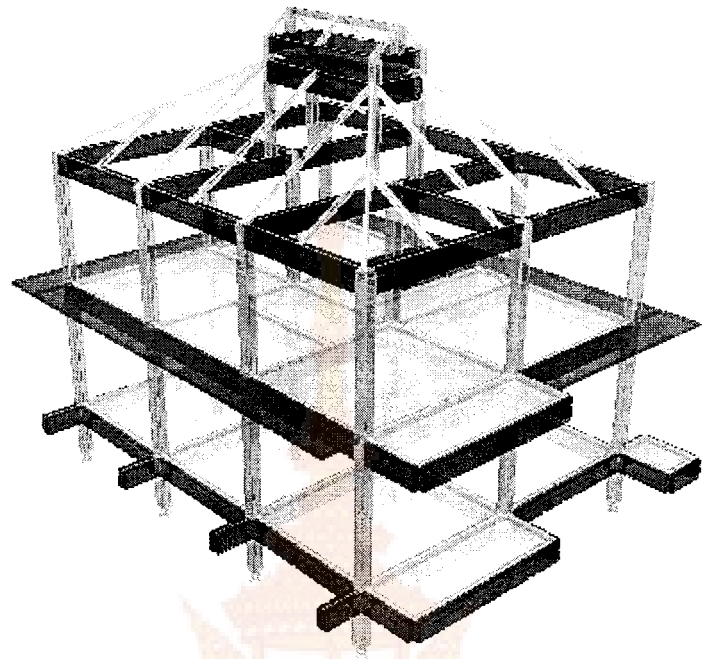
WLy = แรงลมที่ใช้ในการวิเคราะห์-ออกแบบในทิศทาง y

EQx = แรงแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์-ออกแบบในทิศทาง x

EQy = แรงแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์-ออกแบบในทิศทาง y

4.5.4 การวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง

ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างตามมาตรฐานต่างๆ ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.5.1-4.5.3 ได้อาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ETABS ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์และออกแบบอาคารโดยเฉพาะ และป็นการวิเคราะห์และออกแบบในลักษณะ 3 มิติ โดยอาศัยวิธีชิ้นส่วนจำกัด (Finite Element Method) ที่ให้ผลรวดเร็วและแม่นยำและมีประสิทธิภาพสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงแบบจำลองโครงสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ

ส่วนการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำรวมสูงสุดที่มีต่อโครงสร้างแสดงในรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.15 แสดงการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้แรงกระทำรวมสูงสุดที่มีต่อโครงสร้าง

4.6 ผลการวิเคราะห์ทางด้านไฟฟ้าแสงสว่าง

จากการใช้อุปกรณ์ด้านไฟฟ้าแสงสว่างโดยเฉพาะโคมไฟฟ้าและหลอดไฟฟ้าประหยัดพลังงานตลอดจนเลือกใช้บัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง (ที่มีค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในเกณฑ์ต่ำ) ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยรวมภายในหน่วยพักอาศัยต่างๆ ลงได้

ตารางที่ 4.12-4.13 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการลดการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในหน่วยพักอาศัย สำหรับกรณีทั่วไป (ผนังอิฐก่อ) และกรณีทางเลือก (ผนังโฟมอีพีเอส) ที่มีการเลือกใช้อุปกรณ์ด้านไฟฟ้าแสงสว่างที่ประหยัดพลังงาน รวมทั้งค่าใช้จ่ายสำหรับค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ต่อปีตลอดจนค่าลงทุนที่เพิ่มขึ้นจากการเลือกใช้อุปกรณ์ด้านไฟฟ้าแสงสว่างที่ประหยัดพลังงาน

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในหน่วยพักอาศัยสำหรับกรณีทั่วไป และกรณีทางเลือกที่มีการเลือกใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานด้านไฟฟ้าแสงสว่าง

ประเภท	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย / ปี)		ส่วนแตกต่างปริมาณไฟฟ้า	ค่าไฟฟ้า (บาท / ปี)		ส่วนลดค่าไฟฟ้า (บาท / ปี)	ส่วนลดค่าไฟฟ้า %
	ทั่วไป	ทางเลือก	%	ทั่วไป	ทางเลือก		
บ้านเดี่ยว	1,986	1,840	7.35 %	7,942	7,358	584	7.35 %

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ต้องลงทุนเพิ่มเติมสำหรับการเลือกใช้อุปกรณ์ระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ประหยัดพลังงาน สำหรับกรณีทั่วไป และกรณีทางเลือก

ประเภท	ค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง (บาท)		ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น (บาท)	% ส่วนเพิ่มค่าอุปกรณ์
	ทั่วไป	ทางเลือก		
บ้านเดี่ยว	8,225	10,475	2,250	27.36 %

4.7 ผลการวิเคราะห์ทางด้านน้ำ-น้ำเสีย

การวิเคราะห์และประเมินการใช้น้ำอาคารที่พักอาศัย ได้พิจารณาปริมาณน้ำที่ใช้ในการอุปโภค โดยการคำนวณจากจำนวนครั้งหรือความถี่ในการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ โดยกำหนดให้ใช้อุปกรณ์หรือสุขภัณฑ์ที่แตกต่างกันระหว่างบ้านทั่วไป (ผนังอิฐก่อ) และบ้านแนวทางเลือก (ผนังโฟมอีพีเอส) เพื่อการประหยัดทรัพยากรโดยเฉพาะน้ำ เพื่อแสดงความแตกต่างของปริมาณการใช้น้ำภายในบ้านพักอาศัยทั้ง 2 แบบ

การประมาณการใช้น้ำภายในที่พักอาศัยประเภทต่างๆ โดยการเลือกใช้อุปกรณ์หรือสุขภัณฑ์ที่ประหยัดทรัพยากรน้ำ เช่น ฝักบัว ก๊อกน้ำ หรือสุขภัณฑ์อื่นๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.14

จากตารางที่ 4.14 สรุปได้ว่าในบ้านแนวทางเลือกที่เลือกใช้อุปกรณ์หรือสุขภัณฑ์ที่ประหยัดน้ำสามารถลดการใช้น้ำได้เฉลี่ยถึง 40 % จากบ้านกรณีทั่วไป

ในทำนองเดียวกัน สามารถสรุปภาพรวมการใช้งานและการปลดปล่อยน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อมดังแสดงในตารางที่ 4.15

จากตารางที่ 4.15 สรุปได้ว่าในบ้านแนวทางเลือกที่เลือกใช้อุปกรณ์หรือสุขภัณฑ์ที่ประหยัดน้ำสามารถลดการปริมาณน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อมได้เฉลี่ย 60-70 % เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านกรณีทั่วไป ในขณะเดียวกันน้ำฝนเป็นแหล่งน้ำที่สามารถนำมาทดแทนการใช้น้ำบางส่วนภายในที่พักอาศัยได้ การกักเก็บน้ำฝนจึงมีส่วนช่วยในการลดปริมาณความต้องการน้ำจากระบบรวมได้ และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำได้เช่นกัน การกักเก็บน้ำฝนเพื่อนำมาเพื่อการอุปโภคต่างๆ เช่น รดน้ำต้นไม้ ล้างพื้น และล้างรถ เป็นต้น ปริมาณน้ำฝนที่กักเก็บได้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่และพื้นที่รองรับน้ำฝน จากสถิติปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงปี พ.ศ. 2540-2550 เฉลี่ยทั้งปีประมาณ 100 มม./ ชั่วโมง สามารถกักเก็บฝนได้โดยเฉลี่ย 60 % ปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดภายในที่พักอาศัย โดยได้เผื่ออัตราสูญเสียที่ 20 % ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการใช้น้ำภายในที่พักอาศัยตลอดปีได้ถึง 60 % ทำให้สามารถจัดเตรียมขนาดของถังเก็บน้ำฝน โดยพิจารณาร่วมกับปริมาณน้ำใช้ที่สามารถนำมาบำบัดได้ต่อไป

ในขณะเดียวกัน การบำบัดน้ำเสียภายในครัวเรือนที่มีการปนเปื้อนไม่มากนัก สามารถบำบัดและนำกลับมาใช้เพื่อการอุปโภคได้ โดยปริมาณน้ำที่บำบัดได้จะขึ้นกับระบบบำบัดที่เลือกใช้ว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดมากน้อยเพียงใด ส่วนน้ำที่มีการปนเปื้อนมากจะใช้ถังบำบัดสำเร็จรูปแทน

จากตารางที่ 4.15 แสดงได้ว่าน้ำที่บำบัดและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยเฉลี่ยประมาณ 60 % ในขณะที่น้ำเสียที่ต้องปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจะมีปริมาณเพียงประมาณเฉลี่ย 24 % เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านทั่วไป

ตารางที่ 4.14 ปริมาณการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ภายในที่พักอาศัย

<u>บ้านเดี่ยว</u>	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./ ปี)	
กิจกรรมการใช้น้ำ	บ้านทั่วไป	บ้านทางเลือก
1.) ฝักบัวอาบน้ำ	90	45
2.) โถส้วม	61	19
3.) อ่างล้างหน้า (ล้างมือ, ล้างหน้า,แปรงฟัน, โกนหนวด)	50	47
4.) ซักเสื้อผ้า (ใช้เครื่องซักผ้า)	23	17
5.) ทำครัว ล้างจาน	13	8
6.) การรั่วไหล	23	18
7.) รดน้ำต้นไม้ การล้างรถ	6	6
รวมปริมาณการใช้น้ำ	265	160
การประหยัดน้ำ	**100%**	**60%**

ตารางที่ 4.15 สรุปปริมาณการใช้น้ำ-น้ำเสีย สำหรับในกิจกรรมต่างๆ ภายในที่พักอาศัย

บ้านเดี่ยว	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./ ปี)	
ประเภทของน้ำ	บ้านทั่วไป	บ้านทางเลือก
1.) น้ำใช้ภายในและภายนอกอาคาร	265	160
2.) น้ำฝน กักเก็บน้ำฝน	150	150
3.) น้ำจากการบำบัด	0	96
4.) น้ำเสีย	239	58

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการออกแบบอาคารอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก

การสรุปผลการศึกษาวิจัยและการออกแบบจะเป็นไปตามมาตรฐานต่างๆ และผลการวิเคราะห์และการจำลองสภาพอาคารด้วยระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ VisualDOE-4 , ETABS เป็นต้น การสรุปผลสามารถแบ่งออกเป็นรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

5.2 การสรุปผลในเชิงอุหณภาพ

จากผลการคำนวณและวิเคราะห์เชิงอุณหภาพของอาคารต้นแบบ ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 4 สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัย จากผลของการออกแบบอาคารต่างๆ ดังกล่าวได้ดังนี้

5.2.1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

จากผลการคำนวณและวิเคราะห์เชิงอุณหภาพของวัสดุกรอบอาคารและวัสดุมุงหลังคากับอาคารทางเลือกต่างๆ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าบ้านทางเลือกที่ 2 ซึ่งใช้วัสดุกรอบอาคารเป็นผนังโฟมอีพีเอส ซึ่งมีความหนาโดยประมาณ 7.50 ซม.1 ชั้น จัดเป็นวัสดุกรอบอาคารที่เหมาะสมที่สุดในแง่เชิงเทคนิคทางด้านการถ่ายเทความร้อนดังแสดงในตารางที่ 5.1-5.2

ตารางที่ 5.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) สำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ของผนังอาคาร (OTTV) วัตต์ / ตร.ม.	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง อาคาร (OTTV) มาตรฐาน วัตต์ / ตร.ม
บ้านเดี่ยว	**23.62**	25-45

ตารางที่ 5.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) สำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) วัตต์ / ตร.ม.	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) มาตรฐาน วัตต์ / ตร.ม
บ้านเดี่ยว	**13.113**	10-20

5.3 การสรุปผลในเชิงประสิทธิภาพการประหยัดการใช้พลังงาน

การใช้พลังงานสำหรับภาระการทำความเย็น (ในกรณีใช้ระบบปรับอากาศ) สำหรับห้องนอนชั้น 1 และ 2 แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ(สำหรับห้องนอนหลัก) สำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kW-hr /Yr)		ร้อยละ (2) / (1)
	บ้านทั่วไป (ผนังอิฐมอญ) (1)	ผนังโฟมอีพีเอส (2)	
ห้องนอนชั้น 1	4,231.67	2,204.82	52.10
ห้องนอนชั้น 2	3,800.89	1,967.38	51.76

5.4 การสรุปผลในเชิงการใช้น้ำและน้ำเสีย

จากผลการออกแบบสามารถประเมินผลการใช้น้ำ การกักเก็บน้ำฝน น้ำจากการบำบัดและน้ำเสียของอาคารต้นแบบได้ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบการใช้น้ำและน้ำเสีย สำหรับอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร	ปริมาณการใช้ (ลบ.ม./ ปี)		ร้อยละ (2) / (1)
	บ้านทั่วไป (1)	บ้านทางเลือก (2)	
น้ำใช้ภายในและภายนอกอาคาร	265	160	60
น้ำฝน กักเก็บน้ำฝน	150	150	-
น้ำจากการบำบัด	0	96	96
น้ำเสีย	239	58	24

5.5 การประเมินผลการออกแบบตามหลักเกณฑ์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

เพื่อเป็นการยืนยันผลการออกแบบอาคารต้นแบบที่ได้ศึกษาวิจัย เป็นไปตามแนวคิดด้านสถาปัตยกรรมยั่งยืน ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย จำเป็นต้องมีดัชนีตัวชี้วัดและวิธีการประเมินผลที่ถูกต้องแม่นยำ

สำหรับการประเมินอาคารที่ออกแบบสำหรับโครงการศึกษาวิจัยการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมต้นทุนถูก จึงเลือกใช้วิธีการประเมินที่จัดทำและเสนอโดย ***กรมพัฒนาพลังงานทดแทนละอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน*** เนื่องจากมีความชัดเจน สามารถประเมินในเชิงปริมาณได้ และได้มีการนำมาใช้ประเมินอาคารจริง และค่ามาตรฐานต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณประเมินสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศของประเทศไทยและเป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย ซึ่งมีรายละเอียดและเกณฑ์พื้นฐานคล้ายๆ กับวิธีการประเมินของ BREEM,Leed เป็นต้น ดังมีผลการประเมินอาคารต้นแบบ (รายละเอียดดูภาคผนวก-ก) ดังแสดงในตารางที่ 5.5

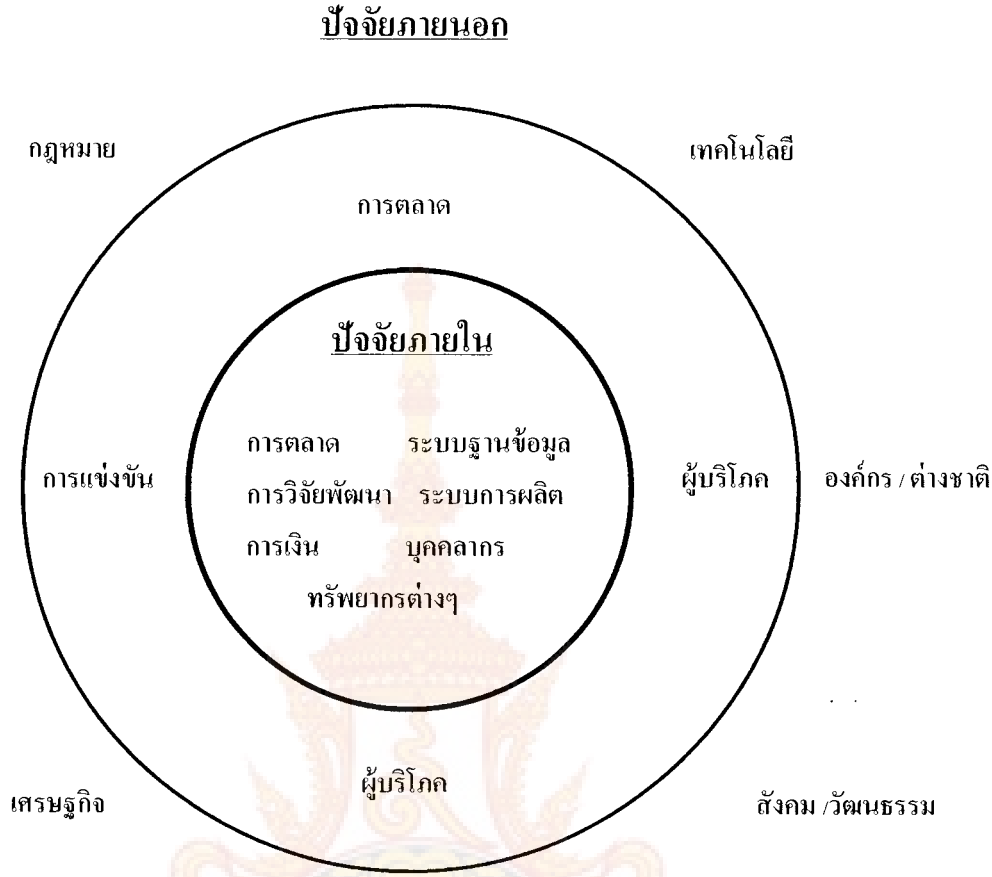
ตารางที่ 5.5 ผลการประเมินอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนละอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานสำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ

ประเภทอาคาร	คะแนนที่ประเมินได้	
	ด้านประหยัดพลังงาน (ร้อยละ)	ด้านความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (ร้อยละ)
บ้านเดี่ยว เกณฑ์การประเมินที่ได้	76 (76 %) ดีเด่น	20 (61 %) ดีมาก

5.6 การวิเคราะห์ศักยภาพและข้อจำกัดของโครงการศึกษาวิจัย (SWOT Analysis)

การวิเคราะห์ศักยภาพของโครงการ (SWOT Analysis) เป็นการวิเคราะห์ในแง่ต่างๆ ที่มีผลกระทบและเป็นปัจจัยสำคัญต่อโครงการ ซึ่งประกอบด้วย จุดแข็ง (Strengths) , จุดอ่อน (Weaknesses) , โอกาส (Opportunities) และอุปสรรค (Threats) เป็นการวิเคราะห์เชิงกลยุทธ์

รายละเอียดผลการวิเคราะห์ SWOT Analysis ของอาคารที่พักอาศัยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จะแบ่งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อโครงการเป็นปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกเพื่อความสะดวกและชัดเจนในการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อโครงการ

❒ **จุดแข็ง**

- สามารถลดปริมาณการใช้วัสดุ โดยการประยุกต์หรืออาศัยระบบประสานพิกัดช่วยในการออกแบบในอนาคต
- สามารถลดผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น การปลดปล่อยมลภาวะต่างๆ สู่สิ่งแวดล้อม
- ลดการพึ่งพาพลังงานสิ้นเปลืองต่างๆ ได้มากขึ้น
- เป็นการอนุรักษ์พลังงานทำให้สามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้น
- ผู้บริโภคหรือผู้อยู่อาศัยมีคุณภาพชีวิตภายในอาคารที่ดีขึ้น
- สร้างสภาวะแวดล้อมที่ดีขึ้น เนื่องจากมีการประยุกต์ใช้ปัจจัยทางธรรมชาติมาเอื้อประโยชน์ต่อการออกแบบ-ก่อสร้าง และสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคารที่มากขึ้น
- มีความต้องการที่อยู่อาศัยราคาปานกลาง-ต้นทุนต่ำของผู้บริโภคอยู่ในเกณฑ์ที่สูง

- มีความได้เปรียบในเชิงการแข่งขันกับราคาที่พักอาศัยที่ดำเนินการโดยภาคเอกชน

❒ **จุดอ่อน**

- มีข้อจำกัดในเรื่องต้นทุนก่อสร้าง เพราะจะมีค่าใช้จ่ายสูงในช่วงต้น
- การก่อสร้างต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญการเฉพาะหรือผ่านการฝึกอบรม
- ค่าก่อสร้างโดยรวมเมื่อเทียบกับการก่อสร้างทั่วไปมีราคาที่สูงกว่าเล็กน้อย
- ปัญหาหรือมีข้อจำกัดในด้านบุคลากร ทำให้ขาดบุคลากรที่มีความรู้-ความเชี่ยวชาญเฉพาะทางเพื่อการวิจัยและออกแบบเฉพาะด้านมากขึ้น
- ขาดการตลาดเชิงรุกเพื่อเผยแพร่ความรู้และความได้เปรียบของโครงการ

❒ **โอกาส**

- รัฐบาลมีนโยบายสนับสนุนในเรื่องภาวะและผลกระทบที่มีต่อพลังงานสิ้นเปลืองและสิ่งแวดล้อม
- องค์กรนานาชาติมีความตื่นตัวและมีการรณรงค์ให้ตระหนักถึงผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและโลกในหลายๆ ภูมิภาค
- ปัจจุบันประเทศไทยและคนไทยเริ่มให้ความสนใจในผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมหรือพลังงานมากขึ้น สืบเนื่องจากภัยพิบัติต่างๆ ทั่วโลก แต่ยังขาดความรู้ความเข้าใจที่จะการเชื่อมโยงถึงการออกแบบ-ก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สามารถจัดสรรงบประมาณเพื่องานวิจัยและพัฒนาการออกแบบ-ก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและอนุรักษ์พลังงานได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถพัฒนาองค์ความรู้ได้อย่างไม่มีจุดสิ้นสุด
- ปัญหาวิกฤตด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงานสิ้นเปลืองที่ทวีความวิกฤตเพิ่มมากขึ้น

❒ **อุปสรรค**

- ผู้บริโภคยังขาดองค์ความรู้ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- ปัจจุบันผู้ผลิตวัสดุประเภทต่างๆ ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหรือประหยัดพลังงานยังมีน้อยราย ต้องเร่งการส่งเสริมผู้ผลิตให้มีจำนวนปริมาณที่มากเพียงพอเพื่อรองรับความต้องการที่มากขึ้น
- ผู้บริโภคและบุคคลทั่วไปยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนว่าการออกแบบ-ก่อสร้างอาคารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหรือเพื่อการอนุรักษ์พลังงานมีราคาที่สูงมากเมื่อเทียบกับการก่อสร้างทั่วไป
- ไม่มีนโยบายระดับประเทศ-ชาติ ที่ส่งเสริมหรือมีกฎหมายบังคับใช้อย่างจริงจังสำหรับบ้านพักอาศัยมีเฉพาะอาคารขนาดใหญ่ หรืออาคารบางประเภทเท่านั้น

5.7 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ, การสรุปผลการศึกษา, ข้อจำกัดต่างๆ ที่ประสบในระหว่างการศึกษาวิจัย ตลอดจนผลการวิเคราะห์ศักยภาพของโครงการ (SWOT Analysis) ทำให้ผู้วิจัยสามารถสรุปข้อเสนอแนะต่างๆ ที่มีต่อโครงการดังต่อไปนี้

5.7.1 การศึกษาวิจัยได้ดำเนินการภายใต้กฎเกณฑ์และทฤษฎีทางด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมและเป็นไปตามมาตรฐานวิชาชีพ อย่างไรก็ตามเห็นสมควรให้มีการดำเนินการติดตามผลการออกแบบในภาคสนามอย่างเป็นรูปธรรม เช่น การตรวจวัดค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร การตรวจวัดค่าความเข้มแสงสว่าง การตรวจวัดการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร เปรียบเทียบกับผลการศึกษาวิจัย ตลอดจนตรวจสอบความคลาดเคลื่อนหรือข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ เพื่อจะได้นำมาปรับปรุงผลการออกแบบต่อไป

5.7.2 จากผลการตรวจวัดในภาคสนาม การปรับปรุงแบบต่างๆ นำมาซึ่งผลการประเมินและพัฒนาการออกแบบอาคาร รูปแบบอาคาร คุณภาพผลิตภัณฑ์ต่างๆที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและอนุรักษ์พลังงานในอนาคต

5.7.3 จัดให้มีการชี้แจงหรือประชาสัมพันธ์ข้อดี-เสียของรูปแบบอาคารที่ได้วิจัย หรือผู้อยู่อาศัยในด้านความรู้ความเข้าใจในการใช้อาคาร ข้อจำกัดในการใช้อาคาร ตลอดจนการบำรุงรักษาอาคารอย่างถูกต้อง ก่อนเข้าใช้อาคาร เพื่อให้บรรลุเจตนารมณ์และเป้าหมายของการวิจัยครั้งนี้ และนำมาซึ่งผลการปฏิบัติได้จริงและอย่างเป็นรูปธรรมต่อไป

5.7.4 ดำเนินการสำรวจข้อมูลผลการใช้อาคาร ความพึงพอใจของผู้ใช้อาคาร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในปรับปรุงการศึกษาวิจัยโครงการอื่นๆ ในอนาคต

5.7.5 ผลการประเมินอาคารที่ได้เป็นการประเมินเฉพาะในช่วงการออกแบบเท่านั้น เห็นสมควรให้มีการดำเนินติดตามและประเมินผลในช่วงหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จและพร้อมใช้งาน ทั้งนี้เพื่อประกันว่าอาคารผ่านเกณฑ์ต่างๆที่ได้กำหนดไว้อย่างถูกต้อง

5.7.6 เนื่องจากโครงการศึกษาวิจัยนี้คำนึงถึงผลการอออกแบบอาคารต้นแบบ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับสถานที่ตั้งโครงการทั่วประเทศไทย แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงผลการจัดผังโครงการ และควรให้ความสำคัญถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้อยู่อาศัยและชุมชนด้วย

5.7.7 จัดให้มีการก่อสร้างอาคารตัวอย่าง เพื่อใช้ในการตรวจวัดค่าต่างๆที่ได้ออกแบบไว้ เช่น ความแตกต่างของอุณหภูมิ การใช้พลังงาน สภาวะน่าสบาย เป็นต้น

5.7.8 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพควรมีส่วนร่วมในการผลักดันอย่างต่อเนื่อง หรือประชาสัมพันธ์ หรือชี้ชวนให้มีการนำไปก่อสร้างจริง เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพื่ออนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีกฎหมายใดๆ บังคับใช้อย่างเป็นรูปธรรมที่ชัดเจน มีเพียงการขอความร่วมมือจากภาคเอกชนเท่านั้น ในขณะที่ต่างประเทศ และประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงมีกฎหมายบังคับใช้อย่างเป็นรูปธรรมที่จริงจังและชัดเจน

บรรณานุกรม

กฎกระทรวงและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

_____. กฎกระทรวงฉบับที่ 6 (2527)

_____. กฎกระทรวงฉบับที่ 39 (2537)

_____. กฎกระทรวงฉบับที่ 55 (2543)

_____. กฎกระทรวงฉบับที่ 49 (2540)

_____. กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550

_____. กฎกระทรวงฉบับที่ 414 (พ.ศ.2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518

_____. พระราชบัญญัติ ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

_____. พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

_____. พระราชบัญญัติ การจัดสรรที่ดิน พ.ศ. 2543

_____. พระราชบัญญัติ อาคารชุด พ.ศ. 2518

_____. ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2544

_____. ข้อกำหนดการจัดสรรที่ดินกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2544

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

_____. (2550). คู่มือบ้านอนุรักษ์พลังงาน

_____. (2550). คู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

_____. (2547). แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

_____. (2547). แนวทางการเลือกใช้ไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2544). รายงานพลังงานของประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2539). คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ รายงานการศึกษาวิเคราะห์การใช้สอยเนื้อที่ภายในอาคาร สำหรับระดับรายได้ต่างๆ เพื่อจัดทำเป็นมาตรฐานต้นแบบของการเคหะแห่งชาติ

ดลยา ศิริปรุ. (2548) แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จังหวัดนครราชสีมา, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณโสภิษฐ์ เมฆวิชัย และ คณะ. (2548). มาตรฐานที่อยู่อาศัยสำหรับผู้มีรายได้น้อย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บุษบง เจริญพันธ์โยธิน. (2545). กระบวนการก่อสร้างที่อยู่อาศัยโดยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป กรณี : โครงการชลลดา รัตนาธิเบศร์, วิทยานิพนธ์เคหศาสตรมหาบัณฑิต , ภาควิชาเคหการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรวิทย์ หิมาตวิน. (2523). การเปรียบเทียบรอยต่อระบบแห้งและระบบเปียกของระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป สำหรับบ้านพักอาศัยสองชั้น, กรณีศึกษาทาวน์เฮาส์โครงการกานดา บ้านริมคลอง 2 จังหวัดสมุทรสาคร, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บันฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรีดาวรรณ อภิณหสมิต. (2546) การปรับปรุงและออกแบบลักษณะช่องเปิดสำหรับการระบายอากาศเพื่อเพิ่มความสบาย, วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน หน้า 44

พงษกานต์ อานนท์วัฒนากร. (2549). แนวทางการปรับปรุงการประหยัดพลังงานสำหรับบ้านเดี่ยวในโครงการจัดสรร, วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พัชรินทร์ มณีรัตน์. (2546). แนวทางการออกแบบปรับปรุงบ้านพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงาน โดนเน้นการระบายอากาศด้วยวิธีธรรมชาติ, กรณีศึกษา : โครงการบ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานครรอบนอก, วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไพบูลย์ ปัญญาคะโป. (2551). เอกสารประกอบการอบรม, การออกแบบอาคาร อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่และอาคารต้านทานแผ่นดินไหว

วิเชษฎ์ สุวิสิทธ์. (2542). การศึกษาเพื่อเสนอรูปแบบ บ้านเดี่ยวพักอาศัยเพื่อการประหยัดพลังงาน วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2547) รายงานศึกษาวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาวิจัยลักษณะความต้องการรูปแบบบ้านมิติใหม่และปัญหาเศรษฐสังคมด้านที่อยู่อาศัยสำหรับผู้มีรายได้น้อย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. (2548). โครงการศึกษาวิจัยวัสดุผนังเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับใช้ในการก่อสร้างอาคารพักอาศัย : กรณีศึกษาโครงการบ้านเอื้ออาทร (การเคหะแห่งชาติ), ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. (2547) คู่มือการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงาน : กรุงเทพมหานคร : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและส่งเสริมพลังงาน, 2547.

สถาบันวิจัยสมรรถภาพและสัดส่วนคนเอเชียแห่งญี่ปุ่น. สัดส่วนและพื้นที่ที่ต้องการตามสัดส่วนของร่างกายของมนุษย์สำหรับอิริยาบทและ/หรือกิจกรรมต่างๆ

สภาวิชาการสถาปัตยกรรมภายในและการออกแบบภายในแห่งประเทศไทย. (2545) เอกสารประกอบการประชุมวิชาการใหญ่ประจำปี พ.ศ. 2545

สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น กรุงเทพมหานคร โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมาคมที่ปรึกษาด้านการอนุรักษ์พลังงาน. (2551) ร่างมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์พลังงาน

สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่ประเทศไทย. (2546). ข้อแนะนำระดับความส่องสว่างภายในอาคารของประเทศไทย (TIEA-GD 003-2003), กรุงเทพมหานคร

สุนทร บุญญาธิการ. (2542) เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อธิคม วิมลวัตรเวที. (2547). แนวทางการออกแบบปรับปรุงบ้านเอื้ออาทร เพื่อสภาวะน่าสบายและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สถาปัตยกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อมรรัตน์ พงศ์พิศิษฎ์กุล. (2547) การออกแบบบ้านพักอาศัยเพื่อการประหยัดพลังงานด้วยแนวคิดสถาปัตยกรรมยั่งยืน, วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Victor Olgyay. (1992). Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism , New York : Van Nostrand Reinhold,

Moughin, Cliff., (2005). Urban Design : Green Dimension. Amsterdam : Elsevier 2005

Uniform Building Code 1994 , UBC-1994

Building Code Requirements Structural Concrete (318-99) and Commentary (318R-99), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI 1999.

David A. Fanella, Seismic Detailing of Concrete Buildings, Portland Cement Association, 5420 Old Orchard Road, Skokie, Illinois.

Hass, A.M., (1993) Precast Concrete Design and Applications , Galliard Science Publishers

Building and Construction Authority (BCA). (2000) Modular Coordination, Singapore

Building and Construction Authority (BCA). (2000) Reference Guide on Standard Prefabricated Building Components , Singapore

Friba Rudolf Herz. (1970). Architectures' Data , London , Crosby Lackwood Staples.

PCI Industry Handbook Committee , PCI Design Handbook (Precast and Prestressed Concrete) , Precast and Prestressed Concrete Institute.

ภาคผนวก ก.

รายละเอียดผลประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

(Building Rating Form and Result)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ประเภทบ้านเดี่ยว

แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (รุ่น R 49.00) 22/09/49

อาคารพักอาศัย: บ้านเดี่ยว บ้านแถว อาคารอยู่อาศัยรวม

เลขที่โครงการ.....ชื่ออาคาร.....บ้านเดี่ยว.....บ้านประหยัดพลังงาน.....

สถานที่ตั้ง.....

ระยะการประเมิน ☑ ช่วงออกแบบ ☐ ช่วงก่อสร้าง ☐ หลังก่อสร้างเสร็จ

			A	B
	1. ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร			
	1.1	สถานที่ตั้งอาคารและระบบขนส่งมวลชน		
☐		- ห่างจากระบบขนส่งมวลชนหลักตั้งแต่ 800 เมตร แต่ไม่เกิน 1,200 เมตร	1	①
☐		- ห่างจากระบบขนส่งมวลชนหลักตั้งแต่ 400 เมตร แต่ไม่เกิน 800 เมตร	②	
☐		- ห่างจากระบบขนส่งมวลชนหลักไม่เกิน 400 เมตร	3	
☐	1.2	สถานที่ตั้งอาคารห่างจากแหล่งบริการชุมชนในระยะเดินไม่เกิน 400 เมตร	①	①
	2. ผังบริเวณและการบูรณาการกับสภาพแวดล้อม		**0**	**0**
	2.1	การวางผังบริเวณ		
☐	2.1.1	มีพื้นที่เปิดโล่ง (open space) สำหรับบ้านเดี่ยวมากกว่า 50% ของพื้นที่ดิน สำหรับบ้านแถวหรืออาคารอยู่อาศัยรวมมากกว่ากฎหมายควบคุมอาคารหรือกฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกำหนด 25%	①	①
☐	2.1.2	มีพื้นที่ที่เป็นพืชพรรณ (softscape) สำหรับบ้านเดี่ยวไม่น้อยกว่า 70% ของพื้นที่เปิดโล่งทั้งหมด สำหรับบ้านแถวหรืออาคารอยู่อาศัยรวมไม่น้อยกว่า 50% ของพื้นที่เปิดโล่งทั้งหมด	1	1
	2.1.3	สัดส่วนพื้นที่ผนังทิศตะวันออกและตะวันตก ต่อพื้นที่ผนังทิศเหนือและทิศใต้		
☐		- อาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศอยู่ระหว่าง 1: 1.1 – 1: 1.3	1	-
☐		- อาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ มากกว่า 1: 1.3	2	-
☐		- อาคารที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ อยู่ระหว่าง 1: 2 – 1: 2.5	②	-
	2.2	การรักษาระบบนิเวศในพื้นที่ก่อสร้าง		
☐	2.2.1	เก็บรักษาต้นไม้ใหญ่เดิมในพื้นที่ก่อสร้าง	-	1
☐	2.2.2	เก็บรักษาหน้าดิน (topsoil)	-	①
	2.3	งานภูมิสถาปัตยกรรม		
☐	2.3.1	ปลูกพืชพรรณให้ร่มเงาแก่อาคารในระยะห่างที่เหมาะสม	①	-
☐	2.3.2	มีต้นไม้ใหญ่อย่างน้อย 1 ต้นต่อพื้นที่เปิดโล่ง 50 ตารางเมตร	①	①
☐	2.3.3	ให้ร่มเงาแก่คอนเดนซิ่งยูนิตด้วยพืชพรรณหรือสิ่งก่อสร้าง	1	-
☐	2.3.4	ให้ร่มเงาแก่พื้นดาดแข็งด้วยพืชพรรณและหรือสิ่งก่อสร้าง	1	-
☐	2.3.5	พื้นที่ 75% ขึ้นไปของพื้นดาดแข็งเป็นพื้นผิวที่น้ำซึมผ่านได้	-	1
☐	2.3.6	จำกัดพื้นที่สนามหญ้าไม่เกิน 30% ของพื้นที่ที่เป็นพืชพรรณ	-	①
☐	2.3.7	ปลูกพืชพรรณที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่	-	①
	รวมคะแนนหน้าที่ 1		8	7

หมายเหตุ: ช่อง ☐ ช่วยสุด ใช้สำหรับตรวจเช็คมาตรการที่มี

แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (รุ่น R 49.00)

อาคารพักอาศัย: บ้านเดี่ยว | บ้านแถว | อาคารอยู่อาศัยรวม

		รายละเอียดข้อกำหนด	คะแนน	หมายเหตุ
	3.1	การป้องกันความร้อนจากหลังคา (เลือกระหว่าง ก หรือ ข)		
☐	ก1	ขนาดช่องแสงระนาบเดียวกับหลังคามีพื้นที่ไม่เกิน 1% หรือขนาดช่องแสงหลังคาในระนาบดิ่งมีพื้นที่ไม่เกิน 2% ของพื้นที่ใช้สอยใต้หลังคา	1	-
	ก2	ค่าความต้านทานความร้อนรวมฉนวนฝ้าเพดาน (R)		
☐		- มากกว่า 1.3 $m^2°C/W$	6	-
☐		- มากกว่า 1.9 $m^2°C/W$	9	-
☐		- มากกว่า 3.9 $m^2°C/W$	12	-
	ข	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV)		
☐		- ต่ำกว่า 20 W/m^2	7	-
☐		- ต่ำกว่า 15 W/m^2	(10)	-
☐		- ต่ำกว่า 10 W/m^2	13	-
	3.2	การป้องกันความร้อนจากผนังและหน้าต่างภายนอก (เลือกระหว่าง ก หรือ ข และต้องได้คะแนนไม่ต่ำกว่า 11 คะแนน)		
	ก1	อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR)		
☐		- ไม่เกิน 30%	2	-
☐		- ไม่เกิน 20%	7	-
	ก2	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผนัง (U-value)		
☐		- ไม่เกิน 1.2 $W/m^2°C$	1	-
☐		- ไม่เกิน 1.0 $W/m^2°C$	2	-
☐		- ไม่เกิน 0.6 $W/m^2°C$	3	-
☐	ก3	ใช้หน้าต่างกระจก 2 ชั้น หรือมากกว่า	2	-
☐	ก4	ใช้กระจก Low-E	1	-
	ก5	สัมประสิทธิ์การบังแดดกระจก (SC หรือ SHGC) (หากไม่มีคะแนนในหัวข้อนี้สามารถทำคะแนนใน ก6 อย่างน้อย 3 คะแนนแทน)		
☐		- ต่ำกว่า 0.75 (SHGC ต่ำกว่า 0.65)	3	-
☐		- ต่ำกว่า 0.60 (SHGC ต่ำกว่า 0.52)	5	-
☐		- ต่ำกว่า 0.40 (SHGC ต่ำกว่า 0.35)	7	-
	ก6	สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (SC)		
☐		- ต่ำกว่า 0.90	1	-
☐		- ต่ำกว่า 0.80	2	-
☐		- ต่ำกว่า 0.70	3	-
☐	ก7	สีผิวผนังภายนอกเป็นสีโทนอ่อน (ค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ไม่เกิน 0.5)	1	-
	รวมคะแนนหน้าที่ 2		10	-

หมายเหตุ: ⬚ หมายถึง จะต้องมีคะแนนในหัวข้อนั้น

ช่อง ☐ ซ้ายสุด ใช้สำหรับตรวจเช็คมาตรการที่มี

แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (รุ่น R 49.00)

อาคารพักอาศัย: บ้านเดี่ยว | บ้านแถว | อาคารอยู่อาศัยรวม

	ข	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV)		
☐		- ต่ำกว่า 45 W/m^2	12	-
☐		- ต่ำกว่า 40 W/m^2	15	-
☐		- ต่ำกว่า 35 W/m^2	18	-
☐		- ต่ำกว่า 30 W/m^2	21	-
☐		- ต่ำกว่า 25 W/m^2	(24)	-
	3.3	ค่าการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่างและประตู		
☐		- น้อยกว่า 0.9 l/sec m of crack	1	-
☐		- น้อยกว่า 0.6 l/sec m of crack	(2)	-
☐		- น้อยกว่า 0.3 l/sec m of crack	3	-
	4 ระบบปรับอากาศ (เลือกระหว่าง ก หรือ ข)		10	2
☐	ก	ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศเลยและมีระบบปรับเย็นธรรมชาติ	(10)	(1)
	ข1	พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารไม่ใช้เครื่องปรับอากาศและมีระบบปรับเย็นธรรมชาติ		
☐		- มากกว่า 40%	3	-
☐		- มากกว่า 50%	4	-
☐		- มากกว่า 60%	5	-
☐	ข2	เลือกใช้เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 หรือดีกว่า	2	-
☐	ข3	ไม่ใช้ CFC เป็นสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ	-	1
	ข4	ขนาดเครื่องปรับอากาศ		
☐		- มากกว่า 25 m^2/ton	1	-
☐		- มากกว่า 35 m^2/ton	2	-
☐	ข5	ผนังภายในกั้นส่วนปรับอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(U-value) ต่ำกว่า 1.2 $W/m^2°C$	1	-
	5 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง		12	1
☐	5.1	ผ่านเกณฑ์ค่าความส่องสว่างขั้นต่ำและเกณฑ์ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างภายในไม่เกิน 25 W/m^2	(1)	(1)
	5.2	หลอดไฟประหยัดพลังงาน		
☐		- จำนวนหลอดประหยัดพลังงานและหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ตั้งแต่ 80%	5	-
☐		- จำนวนหลอดประหยัดพลังงานและหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ตั้งแต่ 90%	7	-
☐		- จำนวนหลอดประหยัดพลังงานและหรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ 100%	(9)	-
☐	5.3	บัลลาสต์ประสิทธิภาพสูง (ไม่เกิน 6 วัตต์)	(1)	-
☐	5.4	มีอุปกรณ์ควบคุมระบบแสงสว่างเพื่อการประหยัดพลังงาน	1	-
	รวมคะแนนหน้าที่ 3		47	2

หมายเหตุ: ⬚ หมายถึง จะต้องมีคะแนนในหัวข้อนั้น

ช่อง ☐ ซ้ายสุด ใช้สำหรับตรวจเช็คมาตรการที่มี

แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (รุ่น R 49.00)

อาคารพักอาศัย: บ้านเดี่ยว | บ้านแถว | อาคารอยู่อาศัยรวม

	6 ระบบธรรมชาติและพลังงานทดแทน		**12**	**2**
	6.1	ระบบระบายอากาศตามธรรมชาติ (มีพื้นที่ช่องระบายอากาศตั้งแต่ 10% และไม่เกิน 20%)		
☐		- พื้นที่ใช้สอยหลักมากกว่า 90% มีช่องระบายอากาศ 2 ด้าน	2	
☐		- พื้นที่ใช้สอยหลักมากกว่า 50% มีช่องระบายอากาศ 2 ด้านตรงข้าม พื้นที่ใช้สอยหลักที่เหลือมากกว่า 40% มีช่องระบายอากาศ 2 ด้าน	(3)	(1)
☐		- พื้นที่ใช้สอยหลักมากกว่า 70% มีช่องระบายอากาศ 2 ด้านตรงข้าม พื้นที่ใช้สอยหลักที่เหลือมากกว่า 20% มีช่องระบายอากาศ 2 ด้าน	4	
☐	6.2	พื้นที่ใช้สอยหลักทั้งหมดได้รับแสงธรรมชาติ (พื้นที่ใช้สอยหลักมีช่องแสงไม่ต่ำกว่า 15% ของพื้นที่ใช้งาน)	(3)	(1)
☐	6.3	พื้นที่ใช้สอยรองไม่ต่ำกว่า 60% ได้รับแสงธรรมชาติ (พื้นที่ใช้สอยรองมีช่องแสงไม่ต่ำกว่า 10% ของพื้นที่ใช้งาน)	(1)	(1)
	6.4	มีการใช้พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียน		
☐		- ระบบทำน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์	2	1
☐		- ระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์	2	1
	7 ระบบสุขอนามัย		**4**	**5**
☐	7.1	มีระบบบำบัดน้ำเสีย บ่อดักขยะและบ่อดักไขมัน	-	(1)
☐	7.2	ใช้โถสุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ (ไม่เกิน 6 ลิตร)	(1)	(1)
☐	7.3	ฝักบัวและก๊อกน้ำประหยัดน้ำ (ฝักบัวไม่เกิน 9 ลิตร/ นาที และก๊อกน้ำไม่เกิน 6 ลิตร/ นาที)	(1)	(1)
☐	7.4	มีระบบกักเก็บน้ำฝนมาใช้งาน	(1)	(1)
☐	7.5	มีระบบนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่	-	1
☐	7.6	มีระบบท่อจ่ายน้ำโดยไม่ผ่านปั๊มน้ำและปั๊มน้ำประสิทธิภาพสูง	(1)	-
	8 วัสดุและการก่อสร้าง		**9**	**5**
☐	8.1	มีแผนและดำเนินการป้องกันมลภาวะและสิ่งรบกวนจากการก่อสร้าง	-	(1)
☐	8.2	เลือกใช้สีและหรือสารเคลือบผิวที่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย	-	(1)
☐	8.3	เลือกใช้วัสดุฉนวนที่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย	-	(1)
☐	8.4	เลือกใช้วัสดุใช้ซ้ำ (reuse)	-	1
☐	8.5	เลือกใช้วัสดุหมุนเวียน (recycle)	-	1
	รวมคะแนนหน้าที่ 4		11	10

หมายเหตุ: ⬚ หมายถึง จะต้องมีคะแนนในหัวข้อนั้น

ช่อง ☐ ซ้ายสุด ใช้สำหรับตรวจเช็คมาตรการที่มี

แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (รุ่น R 49.00)

อาคารพักอาศัย: บ้านเดี่ยว | บ้านแถว | อาคารอยู่อาศัยรวม

9	รวมมาตรการออกแบบระบบที่ประหยัดพลังงาน/สิ่งแวดล้อม		10	5
	9.1	เทคนิคการออกแบบและกลยุทธ์ประหยัดพลังงาน/รักษาสิ่งแวดล้อม อื่นๆ		
☐		- ระบุ.....	2	1
☐		- ระบุ.....	2	1
☐		- ระบุ.....	2	1
☐		- ระบุ.....	2	1
☐	9.2	คู่มือการใช้อาคารและอบรมการใช้อาคารด้านประหยัดพลังงาน/รักษาสิ่งแวดล้อม	(2)	(1)
	รวมคะแนนหน้าที่ 4		2	1
	รวมคะแนนทั้งหมด		76	20

หมายเหตุ: ช่อง ☐ ซ้ายสุด ใช้สำหรับตรวจเช็คมาตรการที่มี

สรุปคะแนนแต่ละหมวด

หมวด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	รวมคะแนนทั้งหมด
	4 / 2	8 / 8	40 / 0	10 / 2	12 / 1	12 / 5	4 / 5	0 / 5	10 / 5	100 / 33
การประหยัดพลังงาน	3	5	36	10	11	7	4	0	2	78
ความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม	2	5	0	1	1	3	4	3	1	20

ผลการประหยัดพลังงาน

การประหยัดพลังงาน		ดี		65	ดีมาก				ดีเด่น				
	≥40	●	●	≥55	●	●	●	●	≥70	●	●	●	●
ความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม	4ข3	5.1	7.1	8.1	8.2		ค่าคะแนนเพิ่มเติม						
	0	1	1	1	1		4						

ลงชื่อผู้ประเมิน น.ส.ตลยา ศิริปรุ

(.....)

วันที่.....24.....เดือน.....กรกฎาคม.....พ.ศ. .....2555.....

ใบอนุญาตเลขที่.....

ภาคผนวก ข.

การคำนวณแรงลมโดยวิธีแรงสถิตย์ตามข้อกำหนดของ Uniform Building Code, UBC-1994

วิธีการคำนวณแรงลมตามมาตรฐาน UBC Code ปี 1994 แรงลมที่ใช้ในการออกแบบอาคาร สามารถคำนวณได้จากสมการ (ข-1)

$$P = Ce\ Cq\ qs\ Iw \qquad (ข-1)$$

โดยที่ P = แรงดันลมที่กระทำต่ออาคาร

Ce = ส.ป.ส. ซึ่งคำนึงถึงความสูงและลักษณะภูมิประเทศที่อาคารตั้งอยู่รวมทั้งลักษณะการพัดกรรโชกของแรงลม มีค่าตามตารางที่ ข-1

Cq = ส.ป.ส. ของแรงดันลม มีค่าตามตารางที่ ข-2

qs = แรงดันลมมาตรฐานที่ระดับความสูง 10 เมตร ที่ช่วงคาบการกลับ 50 ปี

Iw = ส.ป.ส. ความสำคัญของอาคาร มีค่าตามตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-1 ค่าสัมประสิทธ์ Ce

ความสูงจากพื้นดิน (ม.)	ภูมิประเทศ D (1)	ภูมิประเทศ C (2)	ภูมิประเทศ B (3)
0-4.5	1.39	1.06	0.62
6	1.45	1.13	0.67
7.5	1.50	1.19	0.72
9	1.54	1.23	0.76
12	1.62	1.31	0.84
18	1.73	1.43	0.95
24	1.81	1.53	1.04
30	1.88	1.61	1.13
36	1.93	1.67	1.20
48	2.02	1.79	1.31
60	2.10	1.87	1.42
90	2.23	2.05	1.63
120	2.34	2.19	1.8

โดยที่

(1) ลักษณะภูมิประเทศ D ได้แก่ ที่ราบติดชายฝั่งทะเลหรือแม่น้ำ จัดเป็นภูมิประเทศที่เสี่ยงต่อแรงลม

(2) ลักษณะภูมิประเทศ C ได้แก่ ที่ราบและทุ่งโล่งทั่วไป จัดเป็นภูมิประเทศที่เสี่ยงต่อแรงลมเช่นกัน

(3) ลักษณะภูมิประเทศ B ได้แก่ พื้นที่ซึ่งมีสิ่งกีดขวางด้วยอาคาร ป่าไม้สูงตั้งแต่ 6 เมตรขึ้นไป

ตารางที่ ข-3 ค่าสัมประสิทธิ์ Iw

ประเภทอาคาร	ความสำคัญของอาคาร	Iw
1	อาคารที่จำเป็นต่อสาธารณะชน	1.06
2	อาคารที่เก็บวัตถุมีพิษภัย	1.13
3	อาคารที่มีการใช้งานเป็นพิเศษ	1.19
4	อาคารใช้งานทั่วไป	1.23
5	อาคารอื่นๆ	1.23

ประเภทอาคารที่ 1 (Essential Facilities) ได้แก่ อาคารที่มีความจำเป็นต้องใช้ในกรณีฉุกเฉิน ได้แก่ สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง อาคารที่จอดรถสำหรับรถฉุกเฉิน และเครื่องบินฉุกเฉิน หอสูงควบคุมระบบการบิน อาคารที่ทำการของรัฐบาล โรงไฟฟ้า เป็นต้น

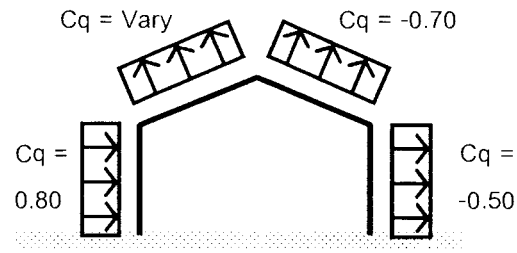
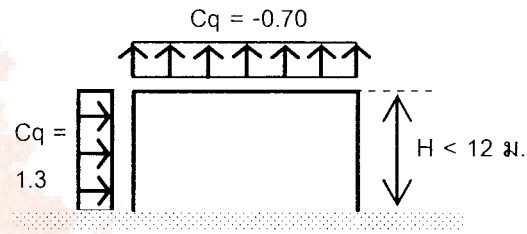
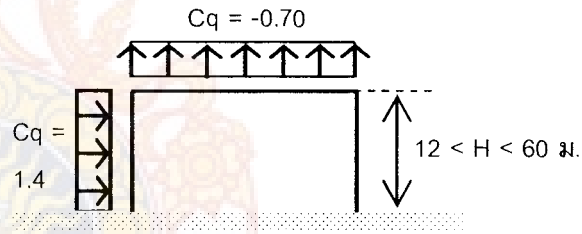
ประเภทอาคารที่ 2 (Hazardous Facilities) ได้แก่ อาคารคลังเก็บสารเคมีที่เป็นพิษ คลังแสงอาวุธ คลังเก็บวัตถุระเบิด ซึ่งอาจมีการระเบิดที่รุนแรงได้ เป็นต้น

ประเภทอาคารที่ 3 (Special Facilities) ได้แก่ อาคารชุมนุมคนที่จุคนจำนวนมาก เช่น โรงเรียน มหาวิทยาลัย เป็นต้น

ประเภทอาคารที่ 4 (Standard Occupancy Structures) ได้แก่ อาคารทั่วไปที่มิได้อยู่ในประเภทที่ 1-3 รวมทั้งหอสูง (Tower)

ประเภทอาคารที่ 5 (Miscellaneous Structures) ได้แก่ อาคารอื่นๆ ยกเว้นหอสูง (Tower)

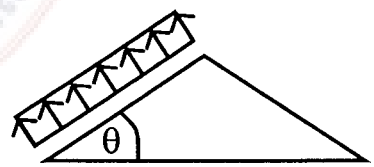
ตารางที่ ข-2 ค่าสัมประสิทธิ์ Cq

ประเภทอาคาร	ภูมิประเทศ C (2)
1.) โครงอาคารรูปจั่วและอาคารทั่วไปที่สูงเกิน 60 เมตร	
2.) อาคารทั่วไปที่มีความสูงน้อยกว่า 12 เมตร ยกเว้นโครงอาคารรูปจั่ว	
3.) อาคารทั่วไปที่มีความสูงระหว่าง 12-60 เมตร ยกเว้นโครงอาคารรูปจั่ว	

ด้านปะทะลม

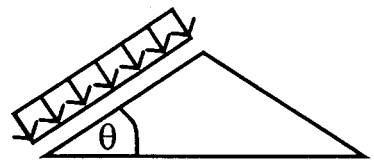
Cq = - 0.70 ; เมื่อ $\theta < 10^{\circ}$

Cq = - 0.90 ; เมื่อ $\theta = 10^{\circ}$



Cq = 0.30 ; เมื่อ $\theta = 37^{\circ}$

Cq = 0.40 ; เมื่อ $\theta > 37^{\circ}$



ภาคผนวก ค.

การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวในแนวราบที่ระดับดิน ตามกฎกระทรวง กำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทน ของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคาร ในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว

การคำนวณแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่กระทำต่ออาคารเนื่องจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหวสามารถหาได้จากสมการที่ (ค-1)

$$V = ZIKCS(W) \qquad (ค\text{-}1)$$

โดยที่ V = แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

Z = สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว มีค่าตามตารางที่ ค-1

I = ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร มีค่าตามตารางที่ ค-2

K = สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ มีค่าตามตารางที่ ค-3

C = สัมประสิทธิ์ที่ขึ้นกับคาบการแกว่งธรรมชาติของอาคาร คำนวณได้จากสมการ

$$= \frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12 \qquad (ค\text{-}2)$$

$$T = \frac{0.09\,H}{\sqrt{D}} \qquad (ค\text{-}3)$$

S = สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งของอาคาร (Resonance) มีค่าตามตารางที่ ค-4

W = น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ซึ่งยึดตรึงกับที่โดยไม่รวมน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคารทั่วไป หรือน้ำหนักของอาคารทั้งหมดรวมกับ 25 % ของน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับโกดังหรือคลังสินค้า

H = ความสูงของอาคาร

D = ความกว้างของอาคารในทิศทางของแรงแผ่นดินไหว

แรงรวมด้านข้างที่กระทำต่ออาคาร V จากสมการที่ (ค-1) ให้กระจายไปตามพื้นชั้นต่างๆของอาคารดังนี้ (ดังแสดงในรูปที่ ค1)

แรงในแนวราบที่ชั้นบนสุดของอาคาร ;

$$Ft = 0.07\,TV \leq 0.25\,V \qquad (ค\text{-}4)$$

หรือ $$Ft = 0.0 \quad \text{เมื่อ} \quad T \leq 0.7 \text{ วินาที} \qquad (ค\text{-}5)$$

แรงในแนวราบที่พื้นชั้นต่างๆรวมทั้งชั้นบนสุดของอาคาร ;

$$Fx = \frac{(V - Ft)\,wx\,hx}{\sum_{i=1}^{n} wi\,hi} \qquad (ค\text{-}6)$$

โดยที่ Ft = แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร

Fx = แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นที่ X ของอาคาร

T = คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคาร มีหน่วยเป็นวินาที คำนวณตามสมการที่ (ค-3)

K = สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ มีค่าตามตารางที่ ค-3

V = แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ตามสมการ (ค-1)

wx , wi = น้ำหนักของพื้นอาคารชั้นที่ X และชั้นที่ I ตามลำดับ

hx , hi = ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นชั้นที่ X และชั้นที่ I ตามลำดับ

i = 1 สำหรับพื้นชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคาร

X = 1 สำหรับพื้นชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคาร

n = จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคารที่อยู่เหนือระดับพื้นชั้นล่างของอาคาร

$\sum wi\,hi$ = ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความสูงจากพื้นชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ n

ตารางที่ ค -1 ค่าสัมประสิทธ์ของความเข้มของแผ่นดินไหว (Z)

บริเวณ	ค่าสัมประสิทธ์ Z
บริเวณที่ 1	0.19
บริเวณที่ 2	0.38

ตารางที่ ค -2 ค่าตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคาร (I)

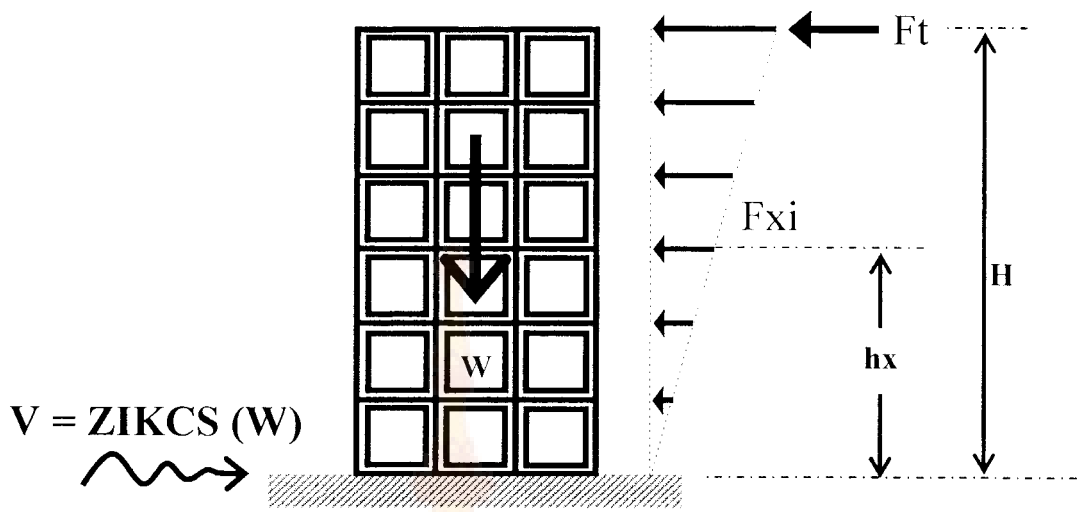
ชนิดของอาคาร	ค่าตัวคูณการใช้อาคาร I
1.) อาคารที่จำเป็นต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน	1.50
2.) อาคารที่เป็นที่ชุมนุมคนครั้งหนึ่งได้ P 300 คน	1.25
3.) อาคารอื่น ๆ	1.00

ตารางที่ ค -4 ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งของอาคาร (S)

ลักษณะของชั้นดิน	ค่าของ S
1.) หิน	1.00
2.) ดินแข็ง	1.20
3.) ดินอ่อน	1.50
4.) ดินอ่อนมาก	2.50

ตารางที่ ค -3 ค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ (K)

ลำดับ	ระบบและชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวราบ	ค่าสัมประสิทธิ์ K
1	โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้กำแพงรับแรงเฉือน (Shear Wall) หรือโครงแกงแนง (Braced Frame) ต้านทานแรงทั้งหมดในแนวราบ	1.33
2	โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงต้านทานแรงดัดที่มีความเหนียว (Ductile Moment-Resisting Frame) ต้านทานแรงทั้งหมดในแนวราบ	0.67
3 3.1 3.2 3.3	โครงสร้างซึ่งได้รับการออกแบบให้โครงต้านทานแรงดัดที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกงแนงต้านทานในแนวราบ โดยมีข้อกำหนดในการคำนวณออกแบบดังนี้ โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ไม่น้อยกว่า 25 % ของแรงในแนวราบทั้งหมด กำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกงแนงเมื่อแยกเป็นอิสระจากโครงต้านทานแรงดัดที่มีความเหนียวต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวร่วมกับกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงแกงแนงต้องสามารถต้านแรงในแนวราบได้ทั้งหมด โดยสัดส่วนของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแต่ละระบบ ให้เป็นไปตามสัดส่วนความคงตัว (Rigidity) โดยคำนึงถึงการถ่ายเทของแรงระหว่างโครงสร้างทั้ง 2	0.80
4	หอถังน้ำ รองรับด้วยเสาไม่น้อยกว่า 4 ต้น และมีแกงแนงยึดและไม่ได้ตั้งอยู่บนอาคาร (ผลคูณของค่า K และ C ให้ใช้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.12 และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.25)	2.5
5	โครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด และโครงอาคารระบบอื่นๆ นอกจาก โครงอาคารตามข้อ 1-4	1.0



รูปที่ ค1 แสดงแรงในแนวราบเนื่องจากแผ่นดินไหว และการกระจายแรงไปยังพื้นชั้นต่างๆ

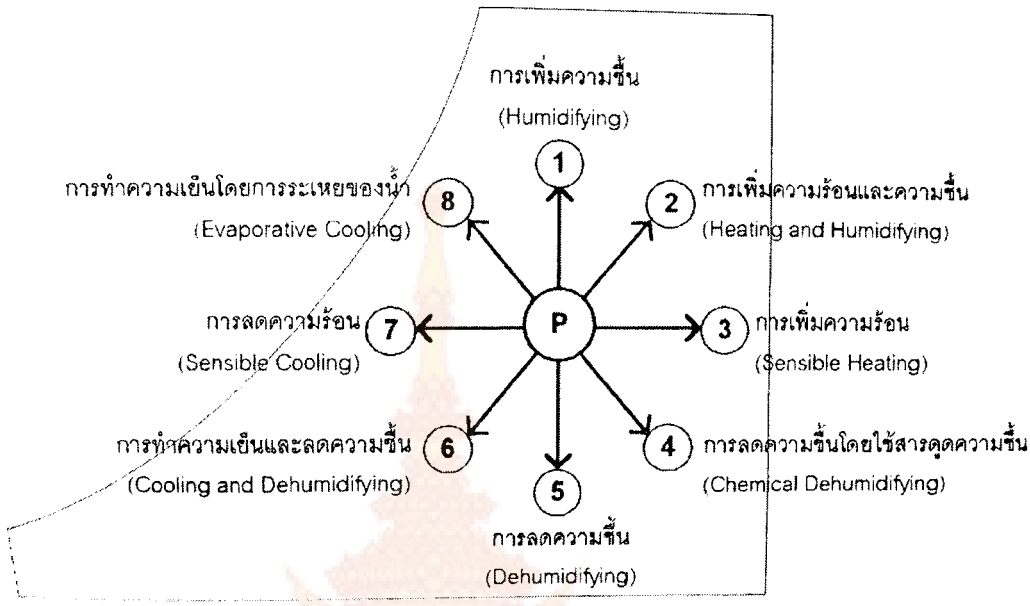
ภาคผนวก ง.

การประยุกต์ใช้แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychromatric Chart)

แผนภูมิไซโครเมตริก เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาวะอากาศ ในแผนภูมิประกอบด้วยเส้นหลายเส้นประกอบกัน เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ วิธีการอ่านค่าจากแผนภูมิ จึงแยกแนวเส้นแต่ละเส้นออกจากกันให้เห็นได้ชัดเจนและสาธิตการอ่านค่าต่างๆ จากแผนภูมิโดยกำหนดจุด P เป็นจุดที่แสดงสภาวะอากาศไว้ที่ตำแหน่งเดียวกันบนแผนภูมิแต่ละรูป ดังนี้

ในการควบคุมสภาวะอากาศให้เป็นไปตามความต้องการ สามารถนำแผนภูมิไซโครเมตริกมาประยุทต์ใช้ในการพิจารณาเลือกกระบวนการที่เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศจากจุดใดๆ โดยกำหนดจุด P บนแผนภูมิ จะมีกระบวนการที่ต้องใช้ในการปรับสภาพอากาศจากจุด P ไปยังทิศทางต่างๆ บนแผนภูมิ (ดูรูป ง1) ดังนี้

จุด P ไปจุด 1	ใช้การเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ
จุด P ไปจุด 2	ใช้การเพิ่มความร้อนและความชื้นให้กับอากาศ
จุด P ไปจุด 3	ให้การเพิ่มความร้อนให้กับอากาศ
จุด P ไปจุด 4	ใช้การลดความชื้นให้กับอากาศ โดยใช้สารดูดความชื้น (ใช้กระบวนการทางเคมี)
จุด P ไปจุด 5	ใช้การลดความชื้นให้กับอากาศ
จุด P ไปจุด 6	ใช้การทำความเย็น (ลดความร้อน) และความชื้นให้กับอากาศ
จุด P ไปจุด 7	ใช้การลดความร้อนให้กับอากาศ
จุด P ไปจุด 8	ใช้การทำความเย็นให้กับอากาศโดยอาศัยการระเหยของน้ำ



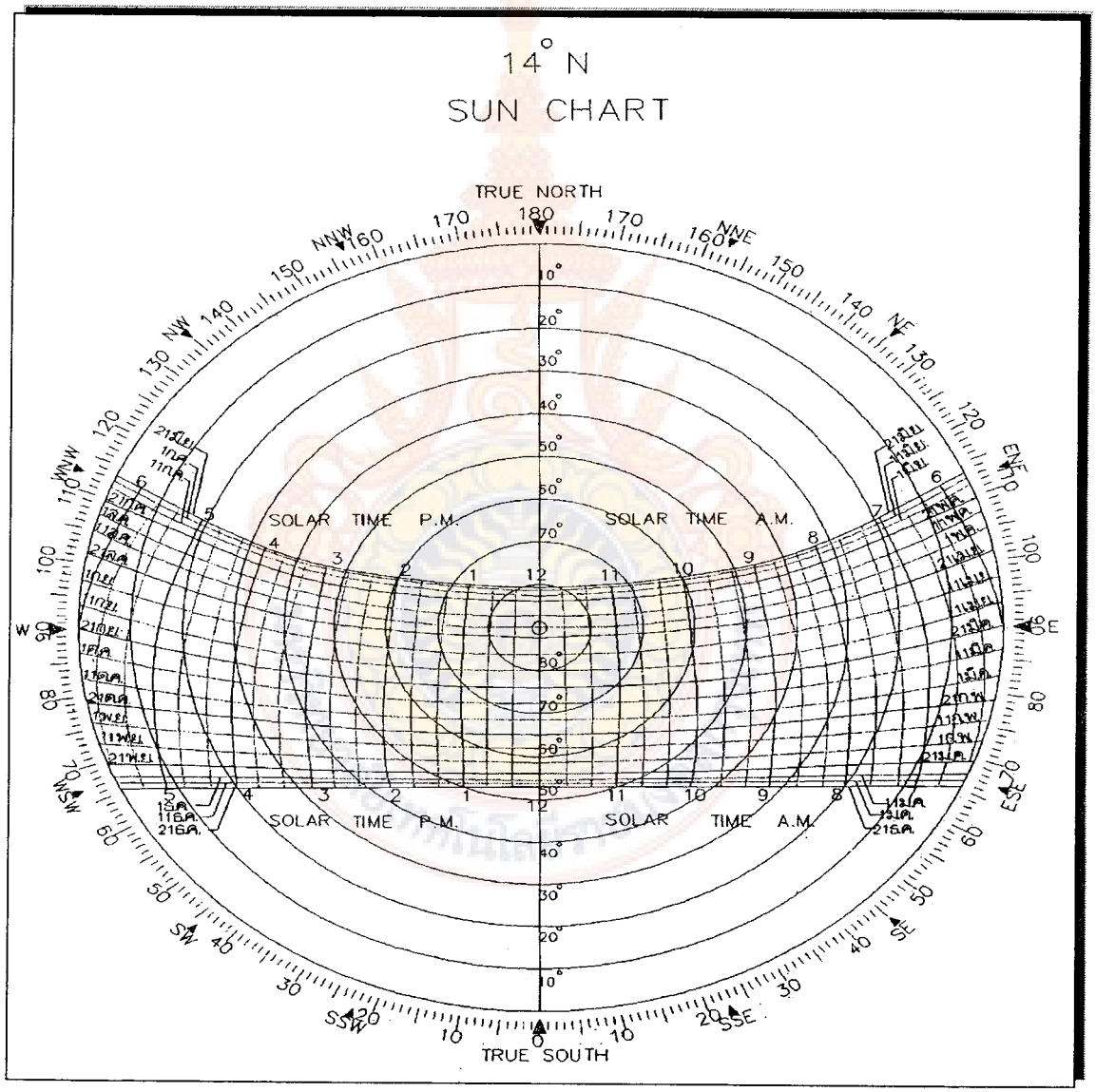
รูปที่ ง1 การประยุกต์ใช้แผนภูมิไซโครเมตริกในกระบวนการปรับสภาพอากาศ

ภาคผนวก จ.

รายละเอียดวิธีและการประยุกต์ใช้แผนภูมิตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun Chart)

<u>วิธีอ่านค่าต่างๆ จากแผนภูมิตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun Chart)</u>

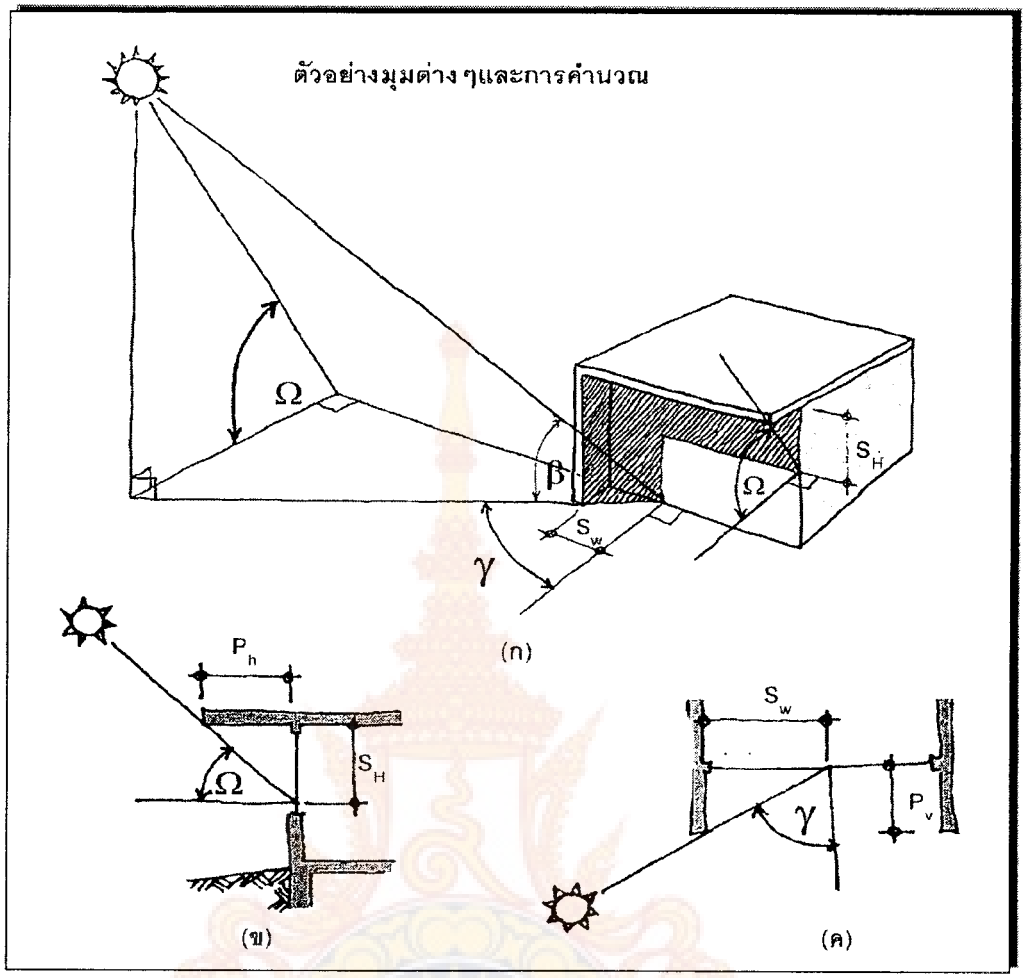
แผนภูมิตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun Chart) เป็นเสมือนผังพื้น (Plan) ของตำแหน่งดวงอาทิตย์ เมื่อมองจากนอกโลกแล้วมองตรงลงสู่พื้นราบ (Projected to Ground) ในการอ่านค่าตำแหน่งและมุมต่างๆ ของดวงอาทิตย์ สามารถอธิบายได้ดังรูป จ1 ต่อไปนี้



รูปที่ จ1 แสดงแผนภูมิตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun Chart)

ตารางที่ จ1 ตารางแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์และมุมที่เกี่ยวข้องสำหรับละติจูด 14° เหนือ

Date	Solar time	Solar Position		Profile (Shadow Line) Angles																Solar Position		Solar time
	Time	ALT	AZ	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	HOR	AZ	ALT	Time
DEC	7	8	63			23	11	9	8	8	10	17	62							82	63	8	7
	8	20	58			59	33	24	21	21	25	35	66							70	58	20	8
	9	32	50			82	54	39	33	32	36	44	64							58	50	32	9
	10	43	38				74	56	46	43	44	49	62	83						48	38	43	10
	11	50	22					73	59	53	50	52	59	72						40	22	50	11
	12	53	0					90	74	62	55	53	55	62	74					37	0	53	12
	13	50	22									52	50	53	59	73				40	22	50	13
	14	43	38									49	44	43	46	56	74			48	38	43	14
	15	32	50									44	36	32	33	39	54	82		58	50	32	15
	16	20	58									35	25	21	21	24	33	59		70	58	20	16
	17	8	63									17	10	8	8	9	11	23		82	63	8	17
JAN + NOV	7	9	67			23	12	10	9	10	12	21								81	67	9	7
	8	22	62			55	33	25	22	23	27	40	75							68	62	22	8
	9	34	53			78	53	40	35	34	39	49	70							56	53	34	9
	10	45	42				72	57	48	45	47	53	66							46	42	45	10
	11	53	24				89	73	61	55	53	55	62	75						37	24	53	11
	12	56	0					90	75	65	58	56	58	65	75					34	0	56	12
	13	53	24									55	53	65	61	73	89			37	24	53	13
	14	45	42									53	47	45	48	57	72			46	42	45	14
	15	34	53									49	39	34	35	40	53	78		56	53	34	15
	16	22	62									40	27	23	22	25	33	55		68	62	22	16
	17	9	67									21	12	10	9	10	12	23		81	67	9	17
FEB + OCT	7	12	76		56	22	15	12	12	14	19	40								79	76	12	7
	8	26	71		84	48	33	27	26	28	35	55								65	71	26	8
	9	39	64			69	51	43	39	40	47	61								51	64	39	9
	10	51	52			85	69	58	52	51	55	64	78							39	52	51	10
	11	61	32				85	74	66	62	62	65	72	83						29	32	61	11
	12	65	0					90	80	72	67	65	67	72	80					25	0	65	12
	13	61	32									65	62	62	66	74	85			29	32	61	13
	14	51	52									64	55	51	52	58	69	85		39	52	51	14
	15	39	64									61	47	40	39	43	51	69		51	64	39	15
	16	26	71									55	35	26	26	27	33	48	84	55	71	26	16
	17	12	76									40	19	14	12	12	15	22	56	79	76	12	17
MAR + SEP	7	14	87		39	21	16	14	15	19	31	76								76	87	14	7
	8	29	82		66	43	33	29	30	35	47	76								61	82	29	8
	9	43	77		81	61	50	44	44	48	58	76								47	77	43	9
	10	57	67			76	66	59	57	59	66	76								33	67	57	10
	11	69	49				81	74	71	70	72	76	83							21	49	69	11
	12	76	0					90	85	80	77	76	77	80	85					14	0	76	12
	13	69	49									76	72	70	71	74	81			21	49	69	13
	14	57	67									76	66	59	57	59	66	76		33	67	57	14
	15	43	77									76	58	48	44	44	50	61	81	47	77	43	15
	16	29	82									76	47	35	30	29	33	43	66	61	82	29	16
	17	14	87									76	31	19	15	14	16	21	39	76	87	14	17
APR + AUG	6	3	101	14	5	4	3	3	4	5	14									87	101	3	6
	7	17	98	66	31	22	18	18	20	27	51									73	98	17	7
	8	32	95	82	53	39	33	32	35	44	64									58	95	32	8
	9	46	92	88	68	55	48	46	49	57	72									44	92	46	9
	10	61	89		78	69	63	61	63	68	78									29	89	61	10
	11	75	83		86	81	77	75	76	78	83									15	83	75	11
	12	86	0					90	66	65	65	65	65	65	66	90				4	0	86	12
	13	75	83										83	78	76	75	77	81	85	15	83	75	13
	14	61	89										78	68	63	61	63	69	78	29	89	61	14
	15	46	92	88									72	57	49	46	48	55	68	44	92	46	15
	16	32	95	82									64	44	35	32	33	39	53	58	95	32	16
	17	17	98	65									51	27	20	18	18	22	31	73	98	17	17
	18	3	101	14									14	5	4	3	3	4	5	87	101	3	18
MAY + JUL	6	5	109	14	7	5	5	5	6	11	56									86	109	5	6
	7	19	107	49	28	21	19	20	24	36	73									72	107	19	7
	8	33	105	68	47	36	33	34	39	52	79									58	105	33	8
	9	47	104	77	61	51	47	48	53	64	83									44	104	47	9
	10	61	106	81	71	64	61	62	67	75										30	106	61	10
	11	74	114	83	78	76	74	75	80	85										16	114	74	11
	12	84	160	84	84	86	87	89								89	87	86	84	6	180	84	12
	13	74	114	83										85	80	76	74	76	78	16	114	74	13
	14	61	106	81										75	67	62	61	64	71	30	106	61	14
	15	47	104	77									83	64	53	48	47	51	61	44	104	47	15
	16	33	105	68									79	52	39	34	33	36	47	58	105	33	16
	17	19	107	49									73	36	24	20	19	21	28	72	107	19	17
	18	5	109	14									56	11	6	5	5	5	7	86	109	5	18
JUN	6	5	113	14	8	6	5	6	8	14										85	113	5	6
	7	19	111	45	27	21	19	20	25	40	84									71	111	19	7
	8	33	109	63	45	36	33	35	41	56										58	109	33	8
	9	46	109	72	58	50	46	49	55	68										44	109	46	9
	10	60	113	77	68	62	60	62	68	78										30	113	60	10
	11	73	125	80	75	74	73	75	81											17	125	73	11
	12	81	180	81	81	84	86	90								90	86	84	81	9	180	81	12
	13	73	125	80											81	76	73	74	75	17	125	73	13
	14	60	113	77										78	68	62	60	62	68	30	113	60	14
	15	46	109	72										68	55	49	46	50	58	44	109	46	15
	16	33	109	63										56	41	35	33	36	45	58	109	33	16
	17	19	111	45									84	40	25	20	19	21	27	71	111	19	17
	18	5	113	14										14	8	6	5	6	8	85	113	5	18



รูปที่ ฉ2 แสดงการประยุกต์ใช้แผนภูมิตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun Chart)
ในการคำนวณขนาดและมิติของอุปกรณ์บังแดด

จากรูปที่ ฉ2 (ก) แสดงมุมต่างๆของดวงอาทิตย์

โดยที่ β = มุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (Solar Attitude)

γ = มุมอะซิมุทของผนัง (Wall-Solar Azimuth)

= มุมที่วัดจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ในระนาบกับแนวตั้งฉากกับผนัง

Ω = มุมเงาแดด (Profile Angle)

= มุมที่ผู้สังเกตเงาแดดหันหน้าไปในทิศทางขนานกับผนังอาคารที่ถูกแดด

จากรูปสามารถหาค่ามุม Ω ได้จากความสัมพันธ์ของมุม β และ γ กล่าวคือ

$$\tan \Omega = \tan \beta / \cos \gamma \qquad \text{..... (จ-1)}$$

จากรูปที่ ฉ2 (ข) แสดงมุมของเงาแดดทางตั้ง ซึ่งใช้ในการคำนวณความยาวของส่วนยื่นของส่วนกันแดด โดยสามารถคำนวณจากสูตร

P_h = $S_H * \cot \Omega$ ..... (จ-2)

= ส่วนยื่นของส่วนกันแดด

= ความสูงของขอบเงาแดดถึงใต้ส่วนยื่น

จากรูป (ค) แสดงเส้นเงาในระนาบ สามารถคำนวณจากสูตร

P_v = $S_w * \cot \gamma$ ..... (จ-3)

= ความยาวของครีบกันแดด

= ระยะเงาตกทอดถึงริมครีบกันแดด

ภาคผนวก ฉ.

ประมวลศัพท์และคำจำกัดความ

กรอบอาคาร หมายถึง ผนังอาคาร หน้าต่าง และหลังคาอาคารที่ประกอบกันเป็นตัวอาคาร

ค่าความต้านทานความร้อน (R-Value) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) มีหน่วยเป็น $m^2\ ^oC / W$

การถ่ายเทความร้อนของผนังด้านนอกของอาคาร หมายถึง ความร้อนที่ส่งถ่ายผ่านผนังอาคาร

การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร หมายถึง ความร้อนที่ส่งถ่ายผ่านหลังคาอาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) หมายถึง ดัชนีในการแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยเข้าสู่อาคารที่มีการปรับอากาศ เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะของกรอบอาคารต่อการถ่ายเทความร้อน

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (Roof Thermal Transfer Value, RTTV) หมายถึงดัชนีในการแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่เข้าสู่ที่มีการปรับอากาศ เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของหลังคาอาคารต่อการถ่ายเทความร้อน

การหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Thermal Time Lag, Time Lag)
ส่วนใหญ่จะนิยมใช้คำว่า **"Time Lag"** แทนคำว่า **"Thermal Time Lag"** ในความหมายเดียวกันซึ่งหมายถึงระยะเวลาที่ความร้อนเคลื่อนที่จากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังหรือหลังคาอาคาร กระบวนการเคลื่อนที่ของความร้อนดังกล่าวอาจเกิดขึ้นล่าช้าออกไปอันเป็นผลเนื่องมาจากอิทธิพลของมวลสารและความจุความร้อนของผนัง โดยทั่วไปสำหรับผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ความล่าช้าดังกล่าวอาจนานถึง 4 ชั่วโมง นั่นก็หมายความ ความร้อนที่เกิดจากด้านหนึ่งของผนังต้องใช้เวลานาน 4 ชั่วโมงกว่าจะเคลื่อนตัวไปสู่อีกด้านหนึ่งของผนัง

เขตสบาย หรือ โซนสบาย (Comfort Zone) หมายถึงขอบเขตของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อน-หนาวของมนุษย์ โดยทั่วไป หมายถึง โซน (Zone) ที่มนุษย์ตัดสินไม่ได้ว่าร้อนหรือหนาว สภาวะดังกล่าวที่มนุษย์ไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหรือตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกของมนุษย์ 6 ตัวแปร ได้แก่

1. อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)
2. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)
3. อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radient Temperature)
4. ความเร็วลม (Air Velocity)
5. อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism Rate)
6. เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-Value)

ขณะนี้ยังมีข้อโต้แย้งกันในเรื่องของเขตสบายของมนุษย์ที่แท้จริง บ้างก็มีความเห็นว่าเขตสบายของมนุษย์ที่อยู่ในภูมิภาคหรือโซนที่แตกต่างกันทั่วโลกจะมีความแตกต่างกันกล่าวคือ เขตสบายของคนเมืองหนาวจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเขตสบายของคนเมืองร้อน เป็นต้น ข้อถกเถียงนี้ยังไม่อาจพิสูจน์ได้ชัดนัก แต่ได้มีผู้ทำการวิจัยที่นำกลุ่มตัวอย่างของมนุษย์จากโซนต่างๆ ของโลกมาทำการทดลอง โดยให้กลุ่มบุคคลตัวอย่างปรับสภาพร่างกายให้เป็นปกติก่อนทำการทดลอง ผลการทดลองสรุปได้ว่าเขตสบายของมนุษย์ทุกคนในโลกมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามมีหลายท่านเชื่อว่าเขตสบายของคนเมืองร้อนน่าจะมีอุณหภูมิสูงกว่าคนเมืองหนาว ซึ่งหากเป็นเช่นนั้นจริงขอบเขตของเขตสบายก็อาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความเหมาะสม หากยึดถือเอาเขตสบายที่ได้ทำการศึกษาโดย Olgyay และ Fanger มาเป็นเกณฑ์ จากการวิจัยเบื้องต้นเพื่อค้นหาเขตสบายของสมาชิกในครอบครัว ซึ่งมีตั้งแต่เด็กอายุ 1 ขวบ จนถึงผู้ใหญ่อายุประมาณ 50 ปี โดยทำการศึกษาเป็นเวลาเกือบ 2 ปีของการใช้ชีวิตอยู่ในห้องปรับอากาศ ทำให้ได้ข้อสรุปในเชิงสถิติว่า ขอบเขตของเขตสบาย ของสมาชิกในครอบครัวค่อนข้างแคบมากโดยยังไม่ปรากฏว่ามีผู้ใดสามารถบอกได้ว่าในขอบเขตดังกล่าวร้อนหรือหนาวได้แม้แต่คนเดียว ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 26 องศา-เซลเซียส จะมีบ้างที่เริ่มรู้สึกร้อน (มีนัยสำคัญในเชิงสถิติที่ระดับ 0.05) ทั้งหมดนี้เป็นการวิจัยเบื้องต้นโดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องอื่นๆ นอกเหนือจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ คือ

1. เสื้อผ้าที่สวมใส่เป็นชุดลำลองหรือชุดนอนบางๆ
2. ความเร็วลมภายในห้องประมาณ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 50 ฟุตต่อนาที
3. ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกายและสภาพแวดล้อมรอบตัวใกล้เคียงกันมาก
4. กิจกรรมประกอบด้วย การสนทนา การอ่านหนังสือ หรือเดินไปมาแบบปกติ

ความจุความร้อน (Heat Capacity)

หมายถึง ความสามารถในการกักเก็บความร้อนของสสาร ถ้าสสาร 2 ชนิดที่มีความจะความร้อนต่างกันแล้วจะพบว่า สสารที่มีความจุความร้อนเมื่อได้รับความร้อนก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นช้ากว่าสสารที่มีความจะความร้อนน้อย ในอาคารมีสสารที่จัดว่ามีความจุความร้อนมากหลายชนิด เช่น คอนกรีต หิน อิฐ เป็นต้น สำหรับการประหยัดพลังงานในด้านระบบปรับอากาศพบว่าห้องใดที่มีค่าความจุความร้อนมาก (เช่น ห้องที่มีผนังทำด้วย ค.ส.ล.) เมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศครั้งแรก จะต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศมากกว่าห้องที่มีความจุความร้อนน้อย (เช่น ห้องที่มีผนังทำด้วยไม้อัด หรือ ยิปซัมบอร์ด) ส่วนใหญ่ในเรื่องของการประหยัดพลังงาน เมื่อกล่าวถึงเรื่องของมวลสาร (Mass) จะพบว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก ก็จะมีความจุความร้อนมากด้วย ดังนั้นบ่อยครั้งจึงมักใช้คำว่า มวลสาร แทนความหมายของคำว่า ความจุความร้อน

ความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) หมายถึง ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลของการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังหรือหลังคาด้วย

ความร้อนแฝง (Latent Heat) หมายถึง ความร้อนที่ให้หรือดึงออกจากสสาร ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะโดยที่อุณหภูมิยังคงที่อยู่

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation ; ESR) หมายถึงปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงและ / หรือผนังทึบแสง มีหน่วยเป็น W / m^2

ความลอยตัวของอากาศร้อน (Stack Effect/Chimney Effect) หมายถึงปรากฏการณ์ที่อากาศร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็น จึงลอยตัวสูงขึ้นไปในอากาศเบื้องบน ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่จุดสูงสุดสูงกว่า (ร้อนกว่า) อุณหภูมิที่อยู่ข้างล่าง ในกรณีนี้หากมีช่องเปิดทั้งด้านล่างและด้านบน ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศออกทางส่วนบนสุดของอาคาร และอากาศดังกล่าวจะถูกแทนที่ด้วยอากาศที่เย็นกว่าจากช่องเปิดด้านล่าง

ค่าการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่างและประตู (Infiltration) หมายถึงปริมาณการรั่วซึมของอากาศที่เกิดขึ้นตามรอยแยกหรือรอยต่อที่เปลือกอาคาร เช่น รอยตามขอบหน้าต่างระหว่างกรอบบานและวงกบ และเกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศภายนอกและภายในอาคารที่เกิดจากแรงลมและความแตกต่างของ

อุณหภูมิ ซึ่งค่าการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่างและประตูสามารถคำนวณได้สอง (2) วิธี คือ Air-Change Method และ Crack Method

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) หมายถึง อัตราส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วนโปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสงและก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้ามาภายในอาคาร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

ฉนวน หมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้โดยง่าย

บีทียู (Btu) คือ หน่วยที่ใช้วัดพลังงานความร้อน โดยกำหนดให้ปริมาณความร้อน 1 บีทียู หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ ร้อนขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์

เปลือกอาคาร (Building Envelope) หมายถึง ทุกๆ ส่วนของอาคารที่สัมผัสกับอากาศภายนอก

แผนภูมิไบโอไคลเมติก (Bioclimatatic Chart) เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อแสดงให้เห็นขอบเขตหรือสภาวะที่คนเราไม่รู้สึกร้อนและไม่รู้สึกหนาว แผนภูมิดังกล่าวได้ทำการศึกษาโดย Olgyay ซึ่งกำหนดเงื่อนไขนอกจากตัวแปรอื่นๆ คือ

1. อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมมีค่าเท่ากัน
2. ความเร็วลมค่อนข้างต่ำมาก (จนแทบไม่มีการเคลื่อนไหวของอากาศ)
3. กิจกรรมเป็นแบบปกติ เช่น นั่งพักผ่อน หรือ อ่านหนังสือ
4. เสื้อผ้าที่สวมใส่เป็นแบบลำลอง

ลูเมน (lumen) คือ หน่วยที่ใช้วัดปริมาณพลังงานแสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสง จากคำจำกัดความพลังงานแสงสว่าง 1 ลูเมน หมายถึง พลังงานที่ได้จากเทียนมาตรฐานขนาด 1 กำลังเทียนที่ตกกระทบบนพื้นที่ 1 ตารางฟุต โดยมีระยะห่างจากเทียนมาตรฐาน 1 ฟุต จากคำจำกัดความนี้จะพบว่า เทียนมาตรฐานขนาด 1 กำลังเทียนจะมีพลังงานแสงสว่างที่เปล่งออกมาเท่ากับ 12.57 ลูเมน หน่วยนี้ใช้เป็นมาตรฐานในการวัดปริมาณแสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงทั่วๆ ไป

สภาวะน่าสบาย หมายถึง สภาวะที่ร่างกายไม่รู้สึกร้อนหรือหนาวจนเกินไป โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 6 ตัวแปร คือ (1) อุณหภูมิอากาศ (2) ความชื้นสัมพัทธ์ (3) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (4) ความเร็วลม (5) อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกายและ (6) เสื้อผ้าที่สวมใส่

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient หรือ U-Value)

หมายถึง อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านองค์ประกอบวัสดุ ชั้นอากาศ และช่องว่างอากาศ หรือปริมาณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำหรือการพาต่อหนึ่งองศาของความแตกต่างระหว่างด้านที่ร้อนกว่าไปยังพื้นผิวด้านที่เย็นกว่า ในระบบ SI หน่วยของค่า U เป็นวัตต์ต่อตารางเมตรต่อความแตกต่างอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสเคลวิน ($W/m^2 K$) ในขณะที่ในระบบ I-P มีหน่วยเป็นบีทียูต่อตารางฟุตต่อชั่วโมงต่อความแตกต่างอุณหภูมิ 1 องศาฟาเรนไฮต์ ($Btu/ff^2 hF$)

ในการคำนวณค่า U สามารถหาได้จากส่วนกลับของค่าความต้านทานรวม (ค่า R) หรือเขียนเป็นสมการได้คือ 1/R โดยที่ค่า R จะเป็นผลรวมของค่าความต้านทานของผนังทั้งหมดและค่าความต้านทานของฟิล์มอากาศภายนอก ด้วยเหตุนี้ความเร็วลมจึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า R และค่า U ด้วย เนื่องจากเมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลงไป ค่าความต้านทานของฟิล์มอากาศก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย (รายละเอียดเพิ่มเติมในเรื่องนี้สามารถศึกษาจาก ASHRAE Handbook of Fundamental)

สัมประสิทธิ์การบังแดด หรือ ค่า SC (Shading Coefficient)

คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านผนังกระจกหรือช่องแสงเข้ามาต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังกระจกใสที่มีความหนา 1/8 นิ้วเข้ามา ด้วยเหตุนี้ค่า SC จึงอาจเขียนเป็นสมการได้คือ

$$SC = \frac{\text{Solar Heat Gain of Fenestration}}{\text{Solar Heat Gain of Reference Glass}}$$

โดยที่ Reference Glass คือ กระจกใสหนา 1/8 นิ้ว ที่มีมุมตกกระทบในแนวตั้งฉาก (Normal Incident Angle) มีค่าการยอมให้แสงผ่าน (Solar Transmission) = 0.86 มีค่าการสะท้อนรังสี = 0.08 และมีค่าการดูดซับความร้อน = 0.06 ดังนั้นกระจกอ้างอิงจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด หรือค่า SC = 1

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature)

หมายถึง ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถบันทึกได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์หรือเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดอื่นๆ ซึ่งตัวรับรู้ (Sensor) ถูกห่อหุ้มด้วยผ้าหรือสำลีชุบน้ำ และมีความเร็วลมหรืออากาศพัดผ่านจนทำให้เกิดการระเหยของน้ำในบริเวณนั้น อันจะเป็นผลทำให้อุณหภูมิจากกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์หรือตัวรับรู้นั้นเย็นลง จนถึงจุดคงที่และอ่านค่าอุณหภูมิที่อ่านได้คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Temperature)

หมายถึง อุณหภูมิของวัตถุที่สามารถอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไปหรือเครื่องวัดอุณหภูมิโดยปกติจะต้องควบคุมไม่ให้ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของแหล่งกำเนิดความร้อนต่างๆ เช่น ดวงอาทิตย์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดการดูดซับความร้อนระหว่างตัวรับรู้และแหล่งกำเนิดความร้อน

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)

หมายถึง อุณหภูมิของอากาศอิ่มตัวหรืออุณหภูมิที่อากาศถูกทำให้เย็นลงก่อนเกิดการควบแน่น

อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) หมายถึง อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างและหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น พื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้นรวมถึงพื้นที่ของผนังหน้าต่าง ผนังโปร่งและผนังทึบของด้านนั้น

ภาคผนวก ช.

การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) หมายถึงดัชนีในการแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่เข้าสู่ที่มีการปรับอากาศ เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของกรอบอาคารต่อการถ่ายเทความร้อน

ในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร จะเริ่มต้นโดยการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) ก่อน จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ของผนังแต่ละด้านมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามขนาดพื้นที่ของผนังด้านนอกแต่ละด้านรวมกัน เพื่อให้ได้ค่า OTTV ตามที่กำหนดโดยมีขั้นตอนและสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTVi) ที่หันสู่ทิศทางต่างกันคำนวณจากสมการ (ช-1)

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (SC)(WWR)(SF) + (U_f)(WWR)(\Delta T) \quad \text{..... (ช-1)}$$

โดยที่

$OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (วัตต์ / ตร.ม.)

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (วัตต์ / ตร.ม. $^{\circ}C$)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ($^{\circ}C$)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (วัตต์ / ตร.ม.$^{\circ}C$)

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทยกำหนดให้ใช้ค่าเท่ากับ 5 องศาเซลเซียส

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (วัตต์ / ตร.ม.)

สูตรค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTVi) สามารถคำนวณได้จากสมการ (ช-2)

$$OTTV = \frac{(A_{01})(OTTV_1) + (A_{02})(OTTV_2) + \ldots + (A_{0i})(OTTV_i)}{A_{01} + A_{02} + \ldots\ldots\ldots + A_{0i}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (ช\text{-}2)$$

โดยที่

A_{0i} = พื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณาซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่าง (ตร.ม.)

$OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (วัตต์ / ตร.ม.)

ภาคผนวก ซ.

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value, RTTV) หมายถึง ดัชนีในการแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่เข้าสู่ที่มีการปรับอากาศ เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของหลังคาอาคารต่อการถ่ายเทความร้อน

สำหรับการกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร เริ่มต้นด้วยการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ($RTTV_i$) ก่อน จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่า RTTV ตามที่กำหนด ดังสมการ (ซ-1)

$$RTTV_i = (U_r)(1\text{-}SRR)(TD_{eq}) + (SC)(SRR)(SF) + (U_s)(SRR)(\Delta T) \quad \text{..... (ซ-1)}$$

โดยที่

RTTVi = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา (วัตต์ / ตร.ม.)

Ur = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนทึบ (วัตต์ / ตร.ม. $^{\circ}C$)

SRR = อัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสงธรรมชาติต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนนั้น (Skylight to Roof Ratio)

TDeq = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ($^{\circ}C$)

Us = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง (วัตต์ / ตร.ม. $^{\circ}C$)

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทยกำหนดให้ใช้ค่าเท่ากับ 5 องศาเซลเซียส

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของช่องรับแสง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (วัตต์ / ตร.ม.)

สูตรค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน ($RTTV_i$) ดังสมการ (ซ-2)

$$RTTV = \frac{(A_{01})(RTTV_1) + (A_{02})(RTTV_2) + ... + (A_{0i})(RTTV_i)}{A_{01} + A_{02} + ... + A_{0i}} \quad ..... (ซ-2)$$

โดยที่

A_{0i} = พื้นที่หลังคาส่วนมาพิจารณา (ตร.ม.)

$RTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา (วัตต์ / ตร.ม.)