

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัย

ในอดีต การใช้พลังงานภายในบ้านพักอาศัยไม่มีความซับซ้อน และต้องการปริมาณพลังงานสูงเช่นในปัจจุบัน บ้านพักอาศัยในอดีตจึงต้องการเพียงแสงสว่างในเวลากลางวัน ต้องการพลังงานในการหุงต้ม และให้ความอบอุ่นกับสมาชิกภายในครอบครัว ฯลฯ พลังงานดังกล่าวเกือบทั้งหมด จัดเป็นพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงตามธรรมชาติ โดยมีรูปแบบการใช้พลังงานดังกล่าว มาจากรูปแบบการใช้ชีวิตที่เรียบง่าย การใช้พลังงานจึงจัดเป็นเรื่องมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตตามความต้องการธรรมชาติเท่านั้น

ในปัจจุบัน มนุษย์มีความเจริญทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมากขึ้น ในรูปแบบการใช้ชีวิตที่มีความซับซ้อนมากขึ้น การใช้พลังงานภายในที่พักอาศัยจึงมิใช่เป็นการใช้พลังงานตามธรรมชาติเช่นเดิม รูปแบบการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นเป็นการจัดหาแหล่งพลังงาน โดยรัฐบาล และให้บริการในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าต่อผู้ที่ต้องการบริโภค การใช้พลังงานภายในที่พักอาศัยจึงมีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น หม้อหุงข้าวไฟฟ้า เตาไมโครเวฟ โทรทัศน์ วิทยุ เครื่องปรับอากาศ ฯลฯ จึงทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในที่พักอาศัยจึงเพิ่มขึ้นจากอดีต และยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ซึ่งในขณะที่แหล่งพลังงานตามธรรมชาติที่นำมาผลิตไฟฟ้าเริ่มมีปริมาณที่ลดลง จนอาจขาดแคลนได้ในอนาคต เมื่อมองในทางเศรษฐศาสตร์ ผู้ที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงต้องรับผลกระทบที่เกิดขึ้น ในรูปแบบของการที่ต้องจ่ายค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเพิ่มขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องประหยัดพลังงานภายในที่พักอาศัยเพิ่มมากขึ้น

### 2.1.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัยโดยทั่วไปสามารถแยกออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้<sup>1</sup>

1). การใช้พลังงานเพื่อการให้แสงสว่าง ในปัจจุบันการให้แสงสว่างนับเป็นสิ่งจำเป็นที่ขาดไม่ได้ เนื่องจากสภาพการใช้ชีวิตที่เปลี่ยนไปทำให้การใช้แสงสว่างจากเดิมด้วยเชื้อเพลิงตามธรรมชาติไม่เพียงพอต่อระดับความสว่างในการทำกิจกรรมปัจจุบัน การใช้ไฟฟ้าแสงสว่างจึงกลายเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งในการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัย

2). การใช้พลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นทำให้มีเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคสารสนเทศ เช่นในปัจจุบัน ข่าวสารข้อมูลต่างๆ นับเป็นสิ่งที่ไม่ขาดได้ การใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้จึงเป็นปัจจัยที่มีการใช้งานสูงขึ้นเรื่อยๆ ภายในบ้านพักอาศัย

3). การปรับอากาศ บ้านพักอาศัยในปัจจุบันได้รับการออกแบบโดยขาดการคำนึงถึงสภาพอากาศทางภูมิอากาศที่ถูกต้อง เป็นผลให้ความร้อนภายในอาคารสูงขึ้นจนไม่สามารถใช้เพียงความเร็วลมในการช่วยสร้างสภาวะน่าสบายเช่นในอดีตได้ การติดตั้งเครื่องปรับอากาศจึงเป็นทางเลือกของคนยุคปัจจุบันในการแก้ไขปัญหาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีดังกล่าวนับวันจะยังมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เนื่องจากการลดขนาดและราคาของเครื่องปรับอากาศจนอยู่ในกำลังที่บุคคลทั่วไปมีโอกาสซื้อหามาครอบครองได้ แต่การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศยังคงเป็นปริมาณที่สูงมาก จนเป็นปัจจัยทางพลังงานที่จำเป็นจะต้องมีการพิจารณาอย่างรอบคอบ

จากสมมุติฐานดังกล่าว ได้ทดลองการใช้พลังงานของครอบครัวหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วย พ่อ แม่ ลูกรวม 3 คน ในบ้านพักอาศัยขนาดพื้นที่ใช้สอย 50 ตารางวา (200 ตารางเมตร) จะได้การใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตามตารางที่ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

<sup>1</sup> คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง (สจล.), รายงานฉบับสมบูรณ์ “การศึกษาสถานภาพการใช้พลังงาน และแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ในบ้านที่อยู่อาศัยฯ”, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน., 2547, หน้า 2-4

ตารางที่ 2.1 แสดงรายการการใช้พลังงานไฟฟ้าของครอบครัวหนึ่งใน 1 วัน จากการตั้งสมมุติฐาน

รายการ	ปริมาณความต้องการ พลังงานไฟฟ้าของ อุปกรณ์ (วัตต์) <sup>1</sup>	เวลาที่ใช้ ต่อวัน (ชั่วโมง)	ปริมาณพลังงานที่ ต้องการ ต่อวัน (วัตต์-ชั่วโมง)
1. การใช้พลังงานสำหรับแสงสว่าง	รวมบัลลาสต์		
- ห้องน้ำ 2 ห้อง (ฟลูออเรสเซนต์ 18 วัตต์)	2*28= 56	3	160
- ห้องครัว (ฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์)	46*2=92	4	368
- ห้องนั่งเล่น (ฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์)	46*3=138	5	690
- ห้องนอนหลัก (ฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์)	46*2=92	5	460
- ห้องนอนเล็ก (ฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์)	46*2=92	5	460
- ทางเดิน (ฟลูออเรสเซนต์ 18 วัตต์)	28*3=84	3	252
รวม			2,398
2. การใช้พลังงานสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า			
- ตู้เย็น ขนาด 4.5 คิว	65	24	1,560
- โทรทัศน์สี 20 นิ้ว	63	5	315
- เครื่องเสียง	100	2	200
- พัดลมตั้งโต๊ะ 2 เครื่อง	96	5	480
- เตารีด	430	1	430
- กาต้มน้ำ	1,300	0.25	325
- หม้อหุงข้าวขนาด 1 ลิตร	1,000	0.5	500
- เครื่องซักผ้า 5 กก.	250	0.5	125
รวม			3,935
รวม			2,398 + 3,935
			6,333

ที่มา: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, รายงานฉบับสมบูรณ์ “การศึกษาสถานภาพการใช้พลังงาน และแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ในบ้านที่อยู่อาศัย”, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ: 2547, หน้า 2-3

จากการตั้งสมมุติฐานเบื้องต้นพบว่าบ้านหลังนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าไปใน 1 วันเป็นจำนวน 6,333 วัตต์-ชั่วโมง หรือประมาณ 6.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 6.3 หน่วย

<sup>1</sup> คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร (สจล) , รายงานฉบับสมบูรณ์ “ การศึกษาสถานภาพการใช้พลังงานและแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ในบ้านที่อยู่อาศัย” กรม พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน , กรุงเทพฯ : 2547 ,หน้า 2-3

ต่อวัน เมื่อพิจารณาการจ่ายค่าไฟฟ้าต่อเดือนของสมมุติฐานดังกล่าว จะพบว่าบ้านหลังนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ  $6.3 \times 30$  เท่ากับ 189 หน่วยต่อเดือน เมื่อพิจารณาค่าไฟฟ้าของอาคารจะพบว่าต้องจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนเงินตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าจากการตั้งสมมุติฐาน

รายการ	จำนวนหน่วย (หน่วย)	อัตราค่าไฟฟ้า* (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
150 หน่วยแรก	150	1.8047	240.705
หน่วยที่ 151-400	39	2.7781	108.3459
ค่าบริการ 40.90 บาท			40.90
รวม			419.9509

\* อัตราค่าไฟฟ้าคำนวณจากเอกสารอัตราค่าไฟฟ้า ของการไฟฟ้านครหลวงซึ่งประกาศใช้เมื่อ เดือนตุลาคม 2543

จากการทดสอบสมมุติฐานดังกล่าวจะพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในสัดส่วนของการให้แสงสว่างและการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นดังรูปที่ 1



แผนภูมิที่ 2.1 แผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า ตามสมมุติฐานเมื่อไม่มีการปรับอากาศ

การคำนวณดังกล่าวพิจารณาเมื่อไม่มีการปรับอากาศเท่านั้น ถ้ามีการปรับอากาศในห้องนอนหลัก โดยตั้งสมมุติฐานว่าใช้เครื่องปรับอากาศเพียงขนาด 1 ตัน จะพบว่าการใช้พลังงานและค่าไฟฟ้าจะเป็น ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าจากการตั้งสมมุติฐานที่ 2

รายการ	จำนวนหน่วย (หน่วย)	อัตราค่าไฟฟ้า* (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
150 หน่วยแรก	150	1.8047	270.705
หน่วยที่ 151-400	237.99	2.7781	661.160
มากกว่า 400 หน่วย	0	2.9780	0
ค่าบริการ 40.90 บาท			40.90
รวม			972.765

\* อัตราค่าไฟฟ้าคำนวณจากเอกสารอัตราค่าไฟฟ้า ของการไฟฟ้านครหลวงซึ่งประกาศใช้เมื่อ เดือนตุลาคม 2543

การเพิ่มเครื่องปรับอากาศเข้าไปในสมมุติฐานเพื่อการพิจารณาค่าไฟฟ้าสำหรับกรณีที่มีการปรับอากาศในอาคารหลังเดิม จะพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานเปลี่ยนจาก 6,933 วัตต์-ชั่วโมง เป็น 12,933 วัตต์-ชั่วโมง หรือ 12.933 หน่วยต่อวัน ใน 1 เดือนจะพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า คิดเป็น 387.09 หน่วย

ตารางที่ 2.4 แสดงรายการการใช้พลังงานไฟฟ้าของครอบครัวหนึ่งใน 1 วัน จากการตั้งสมมุติฐาน

รายการ	ปริมาณพลังงานที่ต้องการ ต่อ วัน (วัตต์-ชั่วโมง)
1. การใช้พลังงานสำหรับแสงสว่าง	2,398
2. การใช้พลังงานสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า	3,935
3. เครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน เบอร์ 5 เปิด ใช้งาน 6 ชั่วโมง ต่อ วัน	$1,100 \times 6 = 6,600$
รวม	12,933

จากการทดสอบสมมุติฐานดังกล่าวจะพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในสัดส่วนของการให้แสงสว่าง การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า และการปรับอากาศเป็นดังรูปที่ 2.2



**แผนภูมิ 2.2** แผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า ตามสมมุติฐาน เมื่อมีการปรับ  
อากาศ

ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)



**แผนภูมิ 2.3** แผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า ตามสมมุติฐานเมื่อไม่มีการปรับ  
อากาศและมีการปรับอากาศ

จากรูปที่ 2.3 เป็นการทดสอบ ซึ่งให้เห็นว่าอัตราส่วนของการใช้พลังงานในกรณีไม่มีการ  
ปรับอากาศ การใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์อื่นๆ มีค่าที่

ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการปรับอากาศจะพบว่าปริมาณพลังงานที่ใช้สูงขึ้นเกือบเท่าตัว ผลที่ได้จากการตั้งสมมุติฐานสามารถชี้ให้เห็นถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้พลังงาน ได้ดังนี้

- 1). การปรับอากาศ
- 2). การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า
- 3). การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง

แนวทางในการปรับลดปริมาณการใช้พลังงานจึงจำเป็นต้องปรับลดการใช้เครื่องปรับอากาศ (ในกรณีที่มีการปรับอากาศ) โดยการสร้างสภาวะน่าสบายที่เหมาะสมให้อาคารด้วยการออกแบบทางสถาปัตยกรรม รวมถึงการปรับลดการใช้พลังงานในอุปกรณ์ต่างๆ ด้วยการใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง และการออกแบบให้อาคารสามารถใช้แสงธรรมชาติจากภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อการทำกิจกรรมภายในอาคาร เมื่อพิจารณาถึงความเกี่ยวข้องระหว่างการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยจะพบว่าการใช้พลังงานในข้อ 1 และข้อ 3 สามารถกระทำได้ในระหว่างการออกแบบ ในขณะที่การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงยังมีข้อจำกัดอยู่อีกหลายประการไม่ว่าจะเป็นแนวโน้มในการพัฒนาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ราคา ฯลฯ ดังนั้นการลดปริมาณการใช้พลังงานภายในบ้านพักอาศัยจึงควรเน้นหนักไปในทางการออกแบบให้สภาพอาคารมีความเหมาะสมต่อการประหยัดพลังงานได้ตั้งแต่เบื้องต้นในขั้นตอนการออกแบบ

## 2.2 สภาวะน่าสบายกับการใช้พลังงาน

ผลการพิจารณาการใช้พลังงานภายในที่พักอาศัยชี้ให้เห็นว่า ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นภายในที่พักอาศัยล้วนมาจากความไม่สะดวกในการทำกิจกรรมต่างๆ เนื่องจากขาดปัจจัยที่จำเป็นต่อการทำงานของร่างกายมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็น การมองเห็นที่ไม่ชัดเจน ความรู้สึกที่ร้อนหรือหนาวเกินไป ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของร่างกาย ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็น ปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายของร่างกายมนุษย์ ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

### 2.2.1 ความสบายทางอุณหภูมิ (Thermal comfort)

เกี่ยวข้องกับความรู้สึกที่ร้อนหนาวของมนุษย์ สภาพแวดล้อมที่มนุษย์มีความรู้สึกว่าร้อนหรือหนาว

### 2.2.2 ความสบายทางการมองเห็น (Visual comfort)

สภาพแวดล้อมทางแสงสว่างที่ดีทำให้สามารถมองเห็นได้ ความสบายทางการมองเห็นจึงประกอบไปด้วย ปัจจัย 2 ประการด้วยกันได้แก่

- 1) ปริมาณแสงสว่างที่เหมาะสม

2) คุณภาพของแสงสว่างที่ดี

### 2.2.3 ความสบายทางเสียง (Acoustic comfort)

คุณภาพทางเสียงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ เสียงที่ได้ยินอย่างชัดเจนมีผลต่อการสื่อสารที่ดี คุณภาพของเสียงภายในที่พักอาศัยขึ้นอยู่กับ ปัจจัย 2 ประการ ได้แก่

- 1) การป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกอาคาร
- 2) คุณภาพ และ ระดับเสียงที่เหมาะสมภายในที่พักอาศัย

### 2.2.4 คุณภาพอากาศ (Indoor Air Quality)

มลภาวะทางอากาศในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองใหญ่มีความรุนแรงมากขึ้น การอยู่อาศัยที่ดีจึงจำเป็นต้องป้องกันมลภาวะจากภายนอก และภายในอาคาร เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยสามารถดำเนินชีวิตได้อย่างมีสุขภาพดี

ดังนั้น ความเกี่ยวข้องระหว่างการใช้พลังงานภายในที่พักอาศัยและสภาวะน่าสบายของมนุษย์ จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานภายในที่พักอาศัย จากการศึกษาปัจจัยในการใช้พลังงานภายในที่พักอาศัย พบว่าการใช้พลังงานภายในที่พักอาศัยมักอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบ ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง การใช้พลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ และการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ เมื่อวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องระหว่างการใช้พลังงานและสภาวะน่าสบายในรูปแบบต่างๆ จะพบว่าการใช้พลังงานภายในที่พักอาศัยในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบายมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

- 1) การใช้พลังงานเพื่อควบคุมภาวะความสบายทางอุณหภูมิ
- 2) การใช้พลังงานเพื่อควบคุมภาวะความสบายทางการมองเห็น

งานสถาปัตยกรรมที่ถูกออกแบบด้วยการพิจารณาอย่างพิถีพิถัน พร้อมองค์ประกอบของงานด้านอื่นๆ ทั้งทางวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ ที่ประสานเข้าด้วยกันเป็นหนึ่งเดียว จึงเปรียบเสมือนอุปกรณ์ในการสร้างภาวะน่าสบายให้แก่ผู้อยู่อาศัย เมื่องานสถาปัตยกรรมที่ก่อเกิดเป็นอาคารนั้นสามารถควบคุมภาวะน่าสบายทั้งสองได้อย่างดี ก็ย่อมลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับภาวะความสบายทั้งสองลงด้วย



## 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความสบายด้านอุณหภูมิ

### 2.3.1 เขตสบาย (comfort zone) และการใช้พลังงานในที่อยู่อาศัย

ร่างกายของมนุษย์ต้องการสภาวะที่เหมาะสมในระดับหนึ่งเพื่อการใช้ชีวิตประจำวันอย่างมีประสิทธิภาพในการทำกิจกรรมต่างๆ เราอาจเรียกสภาวะดังกล่าวว่า “สภาวะน่าสบาย (Comfort)” ของมนุษย์ คำจำกัดความของคำว่า สภาวะน่าสบาย หมายถึง สภาวะความรู้สึกที่ผ่อนคลายและมีความพอใจทางกายภาพโดยไม่มีความเจ็บปวด (A feeling of being physically relaxed and satisfied without any pain) (Longman, 1998) จากผลการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาจากอดีตจนถึงปัจจุบันจึงได้มีการกำหนด “เขตสบาย” ขึ้นเพื่อสร้างแนวทางในการกำหนดขอบเขตของความรู้สึกสบายของมนุษย์ ไว้เป็นมาตรฐานในการสร้างสภาวะที่เหมาะสมในการทำกิจกรรมต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

“เขตสบาย” หมายถึง ขอบเขตของปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ จากการศึกษาผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการกำหนดเขตสบายของมนุษย์ได้ให้ความสำคัญต่อปัจจัยทางอุณหภูมิและความรู้สึกร้อนหนาวของมนุษย์เป็นสำคัญ ปัจจัยหลักดังกล่าวได้มีผู้กำหนดแตกต่างกัน จากการศึกษาผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่มีผู้ให้ความสำคัญประกอบไปด้วย

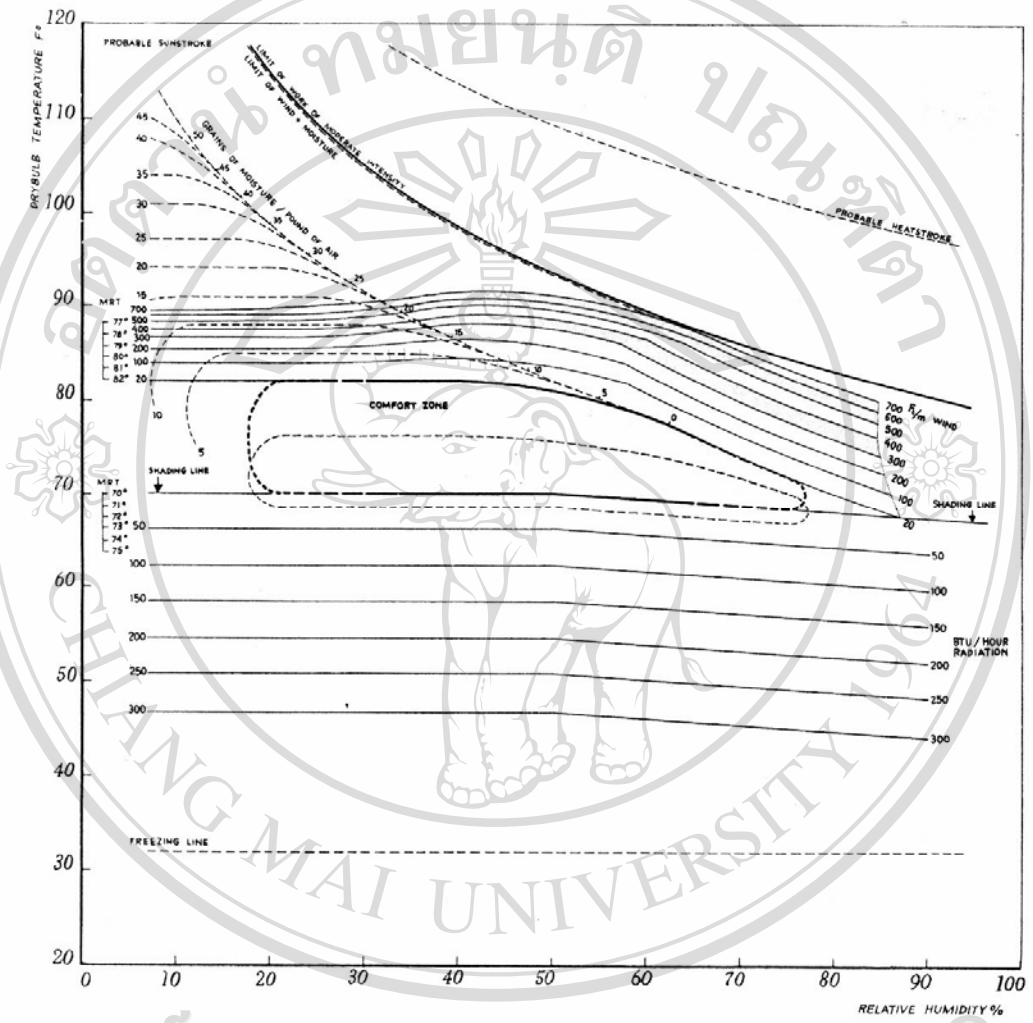
ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบาย

Olgyay, 1992	Fanger, 1967
อุณหภูมิอากาศ(Air Temperature)	อุณหภูมิอากาศ(Air Temperature)
การแผ่รังสี (Radiation)	อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ(Mean Radiant Temperature)
การไหลเวียนอากาศ (Air Movement)	ความเร็วลม(Air velocity)
ความชื้น (Humidity)	ความชื้นสัมพัทธ์(Relative Humidity)
	การสวมเสื้อผ้า(Clo-Value)
	อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย(Metabolism Rate)

ปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยหลักที่ได้มีการกล่าวถึงในผลการวิจัย โดยได้มีการปรับปรุงออกมาให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่ายแตกต่างกันไปตามผู้กำหนดเขตสบาย ในที่นี้จะขอนำเสนอแผนภูมิเขตสบายที่ใช้เป็นมาตรฐานในการศึกษา ดังนี้

**แผนภูมิไบโอไคลเมติก (Bio-Climatic Charts) โดย Olgyay**

แผนภูมิไบโอไคลเมติก<sup>1</sup> ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อเป็นมาตรฐานในการศึกษาสภาวะน่าสบาย แผนภูมิดังกล่าวมีลักษณะดังต่อไปนี้



**แผนภูมิ 2.4** แสดงแผนภูมิไบโอไคลเมติก ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการวิจัยทางด้านสภาวะน่าสบายของมนุษย์<sup>2</sup>

แผนภูมิไบโอไคลเมติก ที่ได้นำมาเสนอถูกสร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขของผู้อยู่อาศัยในเขตที่มีความสูงไม่เกิน 1,000 ฟุตจากระดับน้ำทะเล สวมใส่เสื้อผ้าทั่วไปและอยู่ในสภาพกิจกรรมเบา (นั่ง, อ่านหนังสือ ฯลฯ) และอยู่ในพื้นที่ภูมิอากาศแบบปานกลาง (Moderate climate zones) ใน

<sup>1</sup> Olgyay, Victor. 1992. Design with climate. New-York : Van Nostrand Reinhold.  
<sup>2</sup> Olgyay, V. 1992. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. New York: Van Nostrand Reinhold. P.22.

ประเทศสหรัฐอเมริกา (จากการศึกษาผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง<sup>2</sup> Victor Olgyay ได้กล่าวถึงการปรับ การใช้งานแผนภูมิดังกล่าวไว้ว่า สามารถปรับใช้กับพื้นที่ที่มีสภาพอากาศแตกต่างจากเขต ละติจูด ประมาณ 40° โดยจะสามารถเลื่อนเขตสบายขึ้น โดยคงสัดส่วนพื้นที่เขตสบายไว้ ประมาณ ¾ °F ทุกๆ 5 ละติจูด ที่ต่ำลง แต่ห้ามเลื่อนขึ้นเกิน 85°F)

แผนภูมิไบโอไคลเมติกของ Olgyay ช่วยจำแนกสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่โดยการ พล็อต (plot) จุดลงบนแผนภูมิจะช่วยให้สามารถทราบถึงสภาพอากาศของพื้นที่นั้นๆ ว่าเป็น ภูมิอากาศที่มีลักษณะอย่างไร แผนภูมิไบโอไคลเมติก ยังช่วยบอกถึงความสามารถในการใช้ปัจจัย อื่นๆเข้ามาปรับปรุงสภาพภูมิอากาศที่เกินเขตสบายเพื่อสร้างความรู้สึกละเอียดเหมือนว่าอยู่ในเขตสบาย เพิ่มขึ้นด้วย โดยได้กำหนดปัจจัยอื่นๆ อาทิเช่น อุณหภูมิอากาศและความชื้น, อุณหภูมิเฉลี่ยของ พื้นผิวโดยรอบ, ความเร็วลม, การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ และการเพิ่มความชื้นในอากาศ

แผนภูมิไบโอไคลเมติกได้จำแนกสภาพอากาศออกเป็น 2 พื้นที่หลักด้วยกัน ได้แก่

1) เขตสบาย เป็นพื้นที่ซึ่งแสดงด้วยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศ และความชื้น สัมพัทธ์ โดยแผนภูมิข้างต้นได้กำหนดเขตสบายไว้โดยประมาณตามความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ อากาศและความชื้นสัมพัทธ์ ดังนี้

1.1) อุณหภูมิอากาศในช่วงประมาณ 70 ถึง 82 องศาฟาเรนไฮต์ (ประมาณ 21.1 ถึง 27.8 องศาเซลเซียส)

1.2) ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงประมาณ 20 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ เมื่อสภาพภูมิอากาศยัง อยู่ในพื้นที่ดังกล่าวจะมีความเป็นไปได้สูงที่มนุษย์ในพื้นที่ดังกล่าวจะมีความรู้สึกสบาย

2) พื้นที่นอกเขตสบาย เป็นพื้นที่นอกเหนือจากเขตสบายซึ่งในแผนภูมิไบโอไคลเมติก ยังได้กล่าวถึงบริเวณพื้นที่ซึ่งอาจจะยังใช้ปัจจัยอื่นๆเข้าช่วยให้รู้สึกเหมือนว่ายังอยู่ในเขตสบายได้ พื้นที่ดังกล่าว ได้แก่

2.1) พื้นที่ที่ 1 เป็นเขตพื้นที่ที่มีอากาศร้อนและแห้งมาก การปรับให้เกิดสภาวะน่า สบายจะทำได้โดยการใช้การระเหยของน้ำช่วย น้ำที่ระเหยจะทำให้เกิดความรู้สึกเย็นลง

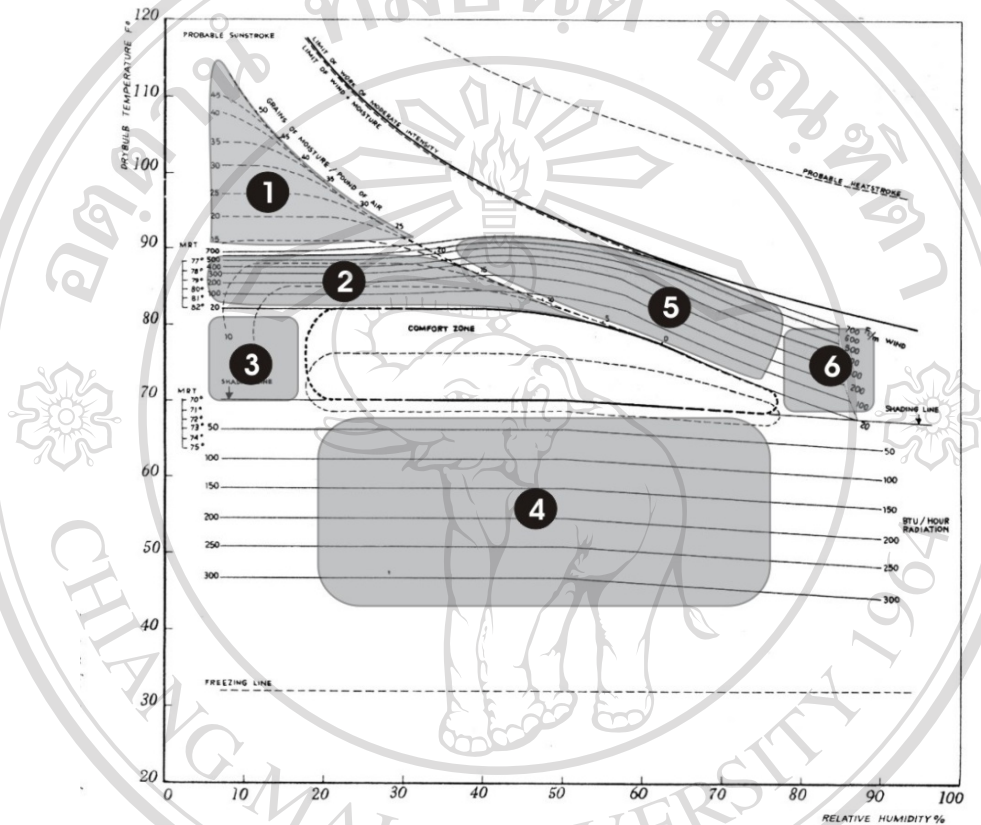
2.2) พื้นที่ที่ 2 เป็นพื้นที่ที่มีอากาศค่อนข้างร้อนแต่ยังน้อยกว่าพื้นที่ที่ 1 สามารถใช้ ความเร็วลม การสร้างพื้นผิวที่เย็น และการระเหยของน้ำเข้าช่วยได้

2.3) พื้นที่ที่ 3 เป็นพื้นที่ที่มีอากาศแห้งมาก ถึงแม้ว่าจะระดับอุณหภูมิอากาศจะอยู่ใน เขตสบาย แต่ควรจะปรับสภาพแวดล้อม โดยการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ

2.4) พื้นที่ที่ 4 เป็นพื้นที่ที่มีอากาศเย็น สามารถแก้ไขสภาพแวดล้อมได้โดยการแผ่ รังสีความร้อน

2.5) พื้นที่ที่ 5 เป็นพื้นที่ที่ร้อนและชื้น การแก้ไขสภาพแวดล้อมสามารถทำได้โดยใช้ความเร็วลม และใช้อิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ

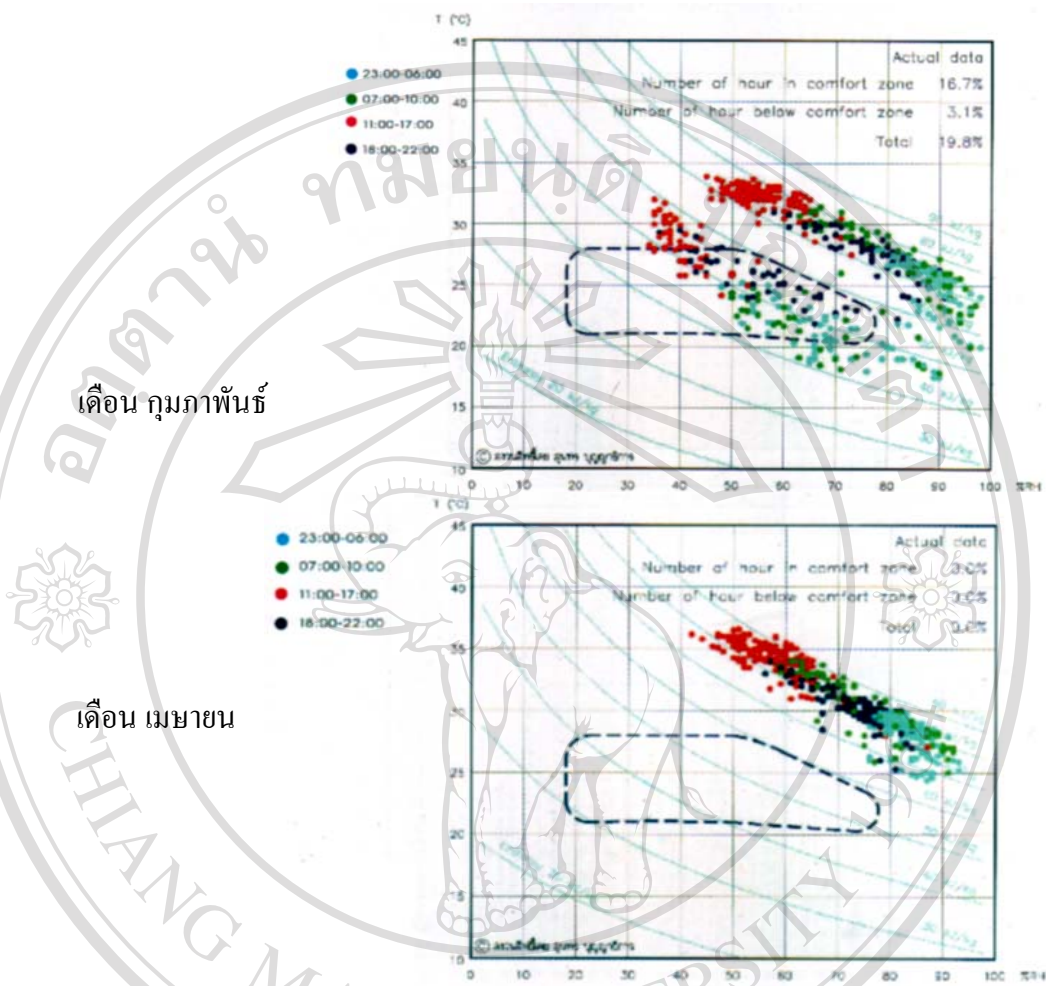
2.6) พื้นที่ที่ 6 เป็นพื้นที่ที่มีอากาศชื้นมาก สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความเร็วลมในพื้นที่เพื่อช่วยลดความชื้น



แผนภูมิ 2.5 แสดงพื้นที่นอกเขตสบายที่ยังสามารถแก้ไขให้เกิดภาวะสบายได้โดยการใช้ประโยชน์จากปัจจัยอื่นๆ<sup>1</sup>

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright © by Chiang Mai University  
All rights reserved

<sup>1</sup> คัดแปลงจาก: Olgay, V. 1992. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. New York: Van Nostrand Reinhold. P.22. และ สุนทร บุญญาธิการ. 2542. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,



**แผนภูมิ 2.7** แสดงสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครบนแผนภูมิไบโอไคลเมติก พบว่าสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร อยู่พ้นภาวะสบายแม้แต่ในเดือนที่มีความเย็นสูงอย่างช่วงเดือนกุมภาพันธ์ สภาพอากาศยังคงอยู่ในพื้นที่ที่ 5 - 6 ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้ความเร็วลม ร่วมกับอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ สำหรับเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงเดือนที่มีความร้อนสูง พบว่าสภาพอากาศอยู่พ้นจากเขตสบายตลอดเวลา<sup>1</sup> จากแผนภูมิไบโอไคลเมติก พบว่าสภาพอากาศส่วนใหญ่จะอยู่พ้นจากเขตสบายไปในพื้นที่เขตที่ 5-6 ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้ความเร็วลม และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบช่วยได้บ้าง แต่กระนั้นในการใช้ปัจจัยอื่นเพื่อช่วยให้สภาพอากาศภายในอาคารเข้าใกล้เขตสบาย

<sup>1</sup> สุนทร บุญญาริการ. 2542. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 45-47

ยังคงมีข้อจำกัดที่ทำให้ไม่สามารถปรับปรุงให้สภาพอากาศเข้าสู่เขตสบายได้ทั้งหมด การจะสร้างเขตสบายโดยไม่ใช้การปรับอากาศจึงจะสามารถใช้ปัจจัยทางความเร็วลม และอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบช่วยให้สภาพอากาศภายในอาคารเข้าสู่เขตสบายได้มากยิ่งขึ้นเท่านั้น ไม่สามารถดึงสภาพอากาศภายในอาคารของกรุงเทพมหานครเข้าสู่เขตสบายได้ตลอดเวลา

จากการที่สภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร เมื่อนำมาแสดงผลประกอบกับแผนภูมิไบโอไคลเมตริกแล้วจะพบว่า กรุงเทพมหานคร อยู่ในพื้นที่เขตที่ 5 ซึ่งมีความร้อนและความชื้นสูง และไม่อยู่ในสภาวะน่าสบายมากพอ เครื่องปรับอากาศจึงเป็นทางเลือกที่นิยมสำหรับผู้ที่ต้องการสภาวะความสบายเพิ่มมากขึ้น แต่การใช้เครื่องปรับอากาศจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องสูง สำหรับครอบครัวขนาดเล็กแล้วพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ ต่อ วัน อาจมากถึง 50% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในที่พักอาศัยใน 1 วัน การใช้เครื่องปรับอากาศในการแก้ไขปัญหา นั้น จึงเป็นปัญหาที่จะส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในวันข้างหน้า

จากการศึกษาถึงสัดส่วนความต้องการ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารพักอาศัยของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พบว่าพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศมีสัดส่วนที่สูงสุด โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งการแก้ไขปัญหาด้านสภาวะน่าสบายจากสภาพทางอุณหภูมิ ย่อมเกิดจากการขจัดต้นเหตุแห่งความร้อนจากภายนอกของอาคารอย่างถูกต้องและเหมาะสมอย่างเป็นกระบวนการ อาทิเช่น

- การสร้างหรือปรับสภาพแวดล้อม
- แนวทางในการเลือกใช้การระบายอากาศอันเป็นการใช้ประโยชน์จากความเร็วลม
- แนวทางในการสร้างสภาพอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ผิวโดยรอบภายในอาคารที่เย็นกว่าอุณหภูมิอากาศหรือการป้องกันความร้อนให้แก่เปลือกอาคาร

ดังนั้นหากเราสามารถเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีความเหมาะสมจะทำให้สามารถช่วยในการสร้างอุณหภูมิภายในอาคารให้เกิดภาวะความน่าสบายเพื่อการอยู่อาศัยในกรุงเทพมหานครต่อไป

## 2.4 การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อนและการถ่ายเทความร้อน

### 2.4.1 นิยามและความหมาย

“ความร้อน” (Heat)<sup>1</sup> หมายถึง พลังงานในรูปแบบหนึ่ง สามารถทำงานได้โดยเกิดจากการสั่นหรือเคลื่อนไหวของอนุภาคโมเลกุล หรืออะตอมของวัตถุ หรือสสารปริมาณความร้อนจะมากหรือน้อย สามารถวัดได้โดยใช้อุณหภูมิตัวบอกระดับ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “เทอร์โมมิเตอร์”

“อุณหภูมิ”(Temperature)<sup>2</sup> หมายถึง การวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ ซึ่งเกิดขึ้นจากอะตอมแต่ละตัว หรือแต่ละโมเลกุลของสสาร เมื่อเราใส่พลังงานความร้อนให้กับสสาร อะตอมมันจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่อเราลดพลังงานความร้อน อะตอมของสสารจะเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงเช่นเดียวกัน

“การถ่ายเทความร้อน” (Heat Transfer)<sup>3</sup> หมายถึง การเคลื่อนที่ของความร้อนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยทิศทางการเคลื่อนที่ จะไหลจากที่มีอุณหภูมิสูงไปหาที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งอัตราการไหลหรือส่งผ่านนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้งสองจุด

### 2.4.2 ประเภทของการถ่ายเทความร้อน เกิดจากกลไกด้วยกัน 3 วิธีได้แก่<sup>4</sup>

**2.4.2.1 การนำความร้อน (Conduction)** เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ต้องอาศัยตัวกลางโดยที่ตัวกลางอยู่กับที่

**2.4.2.2 การพาความร้อน (Convection)** เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ต้องอาศัยตัวกลางที่เคลื่อนที่ได้ กล่าวคือ ตัวกลางจะนำพลังงานความร้อนจากแหล่ง โดยให้ความร้อนติดตัวไปด้วย ซึ่งการพาความร้อนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

-การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) เป็นการพาความร้อนที่ไหลลอยตัว ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของ ของไหลเอง อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

<sup>1</sup> สถาบันส่งเสริมและพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ สำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย, “พลังงานความร้อน” ชุดวิชาทศน.หมวดวิทยาศาสตร์ [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://ebook.nfe.go.th/ebook/html/020/244.htm> (28 สิงหาคม 2548)

<sup>2</sup> ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์, “ความร้อนและอุณหภูมิ”, [ระบบออนไลน์] ,แหล่งที่มา : <http://www.rmutphysics.com/CHARUD/specialnews/6/heat/heat.htm> (28 สิงหาคม 2548)

<sup>3</sup> ผศ.ไพศาล จันทรยูริ , *Climatic Design in Tropical House & Building* , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, หน้า 105 ข้อ 3.3.2

<sup>4</sup> ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร , เอกสารเผยแพร่ E-learning , “Heat Transfer” , [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.eng.su.ac.th/me/eLearning/HeatTransfer/Chapter1and2.pdf> (28 สิงหาคม 2548)

-การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) เป็นการพาความร้อนที่ของไหลไหลผ่านพื้นผิว โดยการเหนี่ยวนำจากภายนอก ซึ่งบังคับด้วยเครื่องกลต่างๆ เช่น ปั๊มน้ำ พัดลม เป็นต้น

**2.4.2.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)** เป็นการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนรูปของพลังงานที่ระดับอะตอมหรือโมเลกุล โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางใดๆ การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นผิวที่มี อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature, K) จากกฎของสเตฟาน โบลต์ทแมน (Stefan Boltzmann law)

### 2.4.3 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ความร้อนที่อยู่ภายในอาคารมีแหล่งกำเนิดความร้อน 2 ส่วนหลักๆคือ ความร้อนจากภายนอก และความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเอง โดยทั่วไปแล้ว ความร้อนรวมในอาคารจะมาจากภายนอกมากกว่า และเป็นความร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) โดยการส่งผ่านความร้อนในลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้างดักแล้วเมื่อตกลงมาบนพื้นผิวต่างๆบนพื้นโลก พลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน และความร้อนนั้นจะผ่านตัวกลางหลายชนิดก่อนมาสู่อาคาร ส่งผ่านจากเปลือกอาคารสู่ภายในอีกชั้นหนึ่ง กระบวนการนี้เปลือกอาคารจะดูดซับพลังงานความร้อนจากอุณหภูมิผิวของวัสดุที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามากระทบ เปลี่ยนรูปของพลังงานและส่งความร้อนออกมาจากผิววัสดุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิใน 2 รูปแบบ คือ

-การเกิดการพาความร้อน (Heat Convection) จากพื้นผิว

-การแผ่รังสีความร้อน (Heat Radiation) จากพื้นผิวในลักษณะคลื่นยาว (Long-Wave)

การพาความร้อนจะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศโดยรอบร้อนขึ้นโดยตรง ในขณะที่การแผ่รังสีความร้อนจะส่งผลทางความรู้สึกละมุนทางอุณหภูมิให้รู้สึกที่อุณหภูมิอากาศร้อนขึ้น แต่ในความเป็นจริงคือร่างกายกำลังได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีความร้อนโดยตรงแทน ส่วนการนำความร้อน (Heat Conduction) จะเกิดขึ้นเมื่อไปกระทบถูกผิววัสดุเท่านั้น

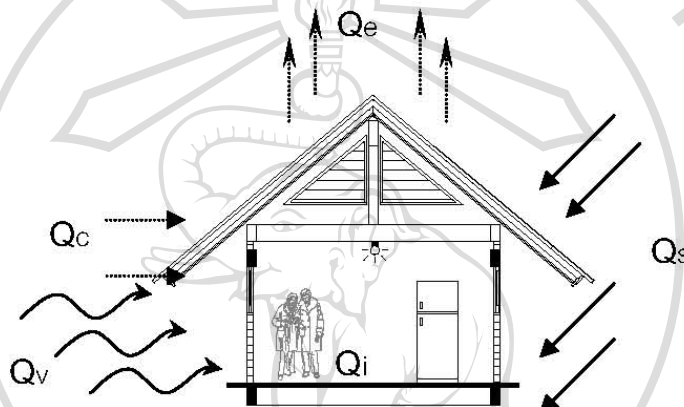
จากทฤษฎีเบื้องต้นปัจจัยสำคัญในการสร้างสภาพแวดล้อมที่เย็นสามารถกระทำได้โดยการป้องกันรังสีตรงจากรังสีดวงอาทิตย์ (Direct Solar Radiation) ให้กับพื้นผิววัสดุภายในพื้นที่สภาพแวดล้อมที่เย็นย่อมส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศที่ผ่านเข้ามาภายในพื้นที่ (Micro-Climature) ให้เย็นลงด้วย การสร้างสภาพแวดล้อมที่เย็นจึงเป็นแนวทางเบื้องต้นที่สำคัญต่อการสร้างสภาวะน่าสบายให้กับภายในอาคาร



## 2.4.4 ที่มาของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร<sup>1</sup> ประกอบด้วย

2.4.4.1 ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในอาคาร (Internal Heat Gain :  $Q_i$ ) เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นได้ทั้งจากคน สัตว์ หรือจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ภายในอาคาร เช่น ความร้อนจากหลอดไฟฟ้า ตู้เย็น เป็นต้น

2.4.4.2 ความร้อนที่เกิดจากภายนอกอาคาร (External Heat Gain) เป็นความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ ดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร

-Conduction Heat Gain/Loss ( $Q_c$ ) : การนำความร้อนนี้เกิดได้ทั้งจากความร้อนเข้าสู่อาคาร และการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกและภายในอาคาร โดยการถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเสมอ

-Solar Radiation ( $Q_s$ ) : การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งจะได้รับผลกระทบจากรังสีดวงอาทิตย์อย่างมาก

-Ventilation Heat Gain / Loss ( $Q_v$ ) : ความร้อนที่มาจากกระบายอากาศ มีลักษณะคล้ายกับการนำความร้อน แต่มีตัวกลางในการพาความร้อนมาโดยอากาศ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับทิศทางและความเร็วของกระแสลมด้วย

<sup>1</sup> กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เอกสารเผยแพร่ “แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน”, กระทรวงพลังงาน ,บทที่ 2 หน้า 2-3

-Evaporative Heat Loss ( $Q_e$ ) : การระเหยหรือความร้อนที่กลายเป็นไอ และในขณะที่เกิดการระเหยจำเป็นจะต้องใช้พลังงานความร้อน ในการเปลี่ยนสถานะ ทำให้สามารถช่วยลดความร้อนในบริเวณนั้นได้

#### 2.4.5 การเก็บกักความร้อน (Heat Storage)

ความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์, สิ่งแวดล้อม , อากาศภายนอกอาคาร ซึ่งส่วนใหญ่ความร้อนที่เข้ามาจะไม่เพิ่มอุณหภูมิภายในอาคารทันที เนื่องจากความร้อนเหล่านี้จะต้องกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ และเพิ่มอุณหภูมิภายในของมวลวัสดุและอุณหภูมิที่สัมผัสผิววัสดุต่างๆ จนเกิดการอึดตัว และค่อยๆ คายความร้อนออกมา หรือการถูกพาความร้อนจากอากาศบริเวณผิววัสดุไปยังอากาศภายในห้อง

ความร้อนจำนวนหนึ่งที่ถูกลูกคลื่นเข้าไปในมวลสารของวัสดุทำให้อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุสูงขึ้นกว่ามวลสารภายในและได้ทำให้อุณหภูมิของอากาศที่อยู่ติดกับผิววัสดุนั้นๆ สูงขึ้นด้วย จากความแตกต่างของอุณหภูมินี้เอง ทำให้อุณหภูมิถูกส่งผ่านเข้าไปในตัววัสดุโดยการนำความร้อน และสู่อากาศโดยการพาความร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิทั้งภายนอกและภายในเท่ากัน

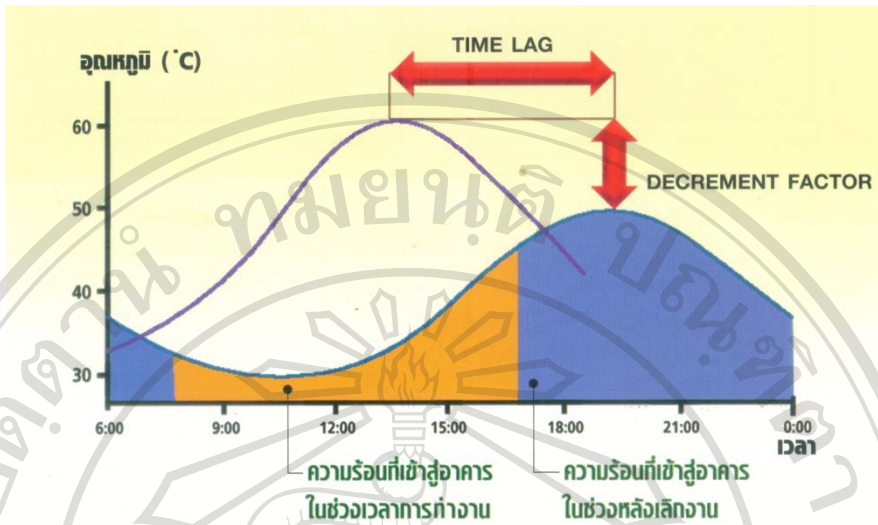
#### 2.4.6 การหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time lag)<sup>1</sup>

การหน่วงเหนี่ยวความร้อน คือ ช่วงเวลาที่วัสดุสามารถเก็บกักปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาไว้ได้เป็นระยะเวลาหนึ่งจนถึงจุดอึดตัวและคายความร้อนออกมาสู่ภายในซึ่งจะเลื่อนการเกิดความร้อนสูงสุดภายในออกไปจากช่วงเวลาที่ความร้อนสูงสุดที่ภายนอกในระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับมวลสารของวัสดุ กล่าวคือ หากวัสดุใดมีมวลสารมาก วัสดุนั้นจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่สูงกว่าวัสดุมวลสารน้อย

ความคลาดเคลื่อนหรือการเลื่อนที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากการแทรกซึมของความร้อนที่ผ่านเนื้อวัสดุ<sup>2</sup> (Thermal through Materials) ถูกขัดขวางจากความหนาแน่นของมวลสารภายในเนื้อวัสดุ ทำให้ความร้อนไม่สามารถเดินทางผ่านจากภายนอกอาคารผ่านเนื้อวัสดุได้ในทันที แต่ถูกกักเก็บไว้ภายในเนื้อวัสดุเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนจะถูกปล่อยออกมาภายในอาคาร

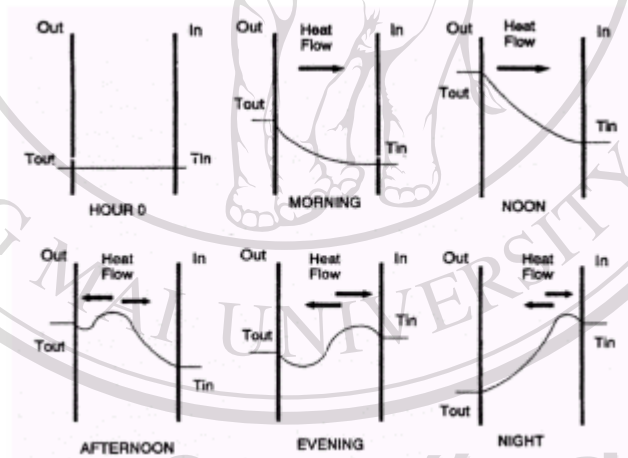
<sup>1</sup> สมสิทธิ์ นิติยะ , การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น , กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2541 หน้า 140

<sup>2</sup> รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ , อิทธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและจนวนเข้าด้วยกัน , วิทยานิพนธ์ สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ , 2543 หน้า 23



แผนภูมิ 2.7  
ที่มา

แสดงอิทธิพลของมวลสารที่ทำให้เกิดการหน่วงความร้อน (Time Lag) และ Decrement Factor ในอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ การใช้นวน , เอกสารเผยแพร่เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2543, หน้า 52



รูปที่ 2.2  
ที่มา

แสดงการเกิดสภาวะการหน่วงหนี้ยความร้อนของวัสดุ Santamouris and Asimakopoulos ,1996:187

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่า

- ชั่วโมงที่ 0 แรกเริ่มตั้งสมมุติฐานว่าวัสดุอาคารหลังการติดตั้งมีอุณหภูมิภายนอก ( $T_{out}$ ) และภายใน ( $T_{in}$ ) อาคารเท่ากัน

- ถัดมา ในตอนเช้า เมื่ออุณหภูมิภายนอกเริ่มสูงขึ้น อุณหภูมิภายในวัสดุจะค่อยๆ เริ่มสูงขึ้นตาม โดยอุณหภูมิของส่วนที่ใกล้ผิวผนังด้านนอกจะมีความใกล้เคียงอุณหภูมิภายนอกมากกว่า โดยที่อุณหภูมิผิวภายในอาคารนั้นยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องด้วยความร้อนยังไม่

สามารถเข้าถึงภายในอาคาร จึงเกิดการเลื่อนเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคาร จากเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดภายนอก (Shift in Phase)

-ในตอนเที่ยง เมื่ออุณหภูมิภายนอกเริ่มลดลงจากจุดสูงสุด อุณหภูมิของผิวภายในเริ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีความร้อนบางส่วนผ่านมาถึงผิวภายในบ้าง

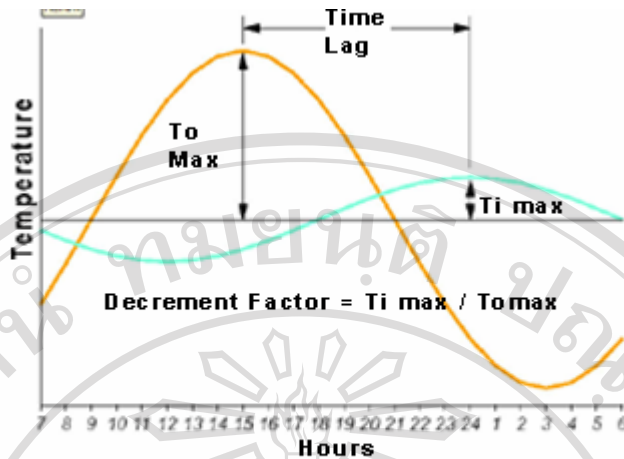
-ในตอนบ่าย เมื่ออุณหภูมิภายนอกเริ่มลดลงจากอุณหภูมิที่สูงที่สุด อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุจะยังคงมีความร้อนที่ได้รับจากตอนเที่ยงกักเก็บอยู่ เป็นผลให้ภายในมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก การถ่ายเทความร้อนจึงแยกเกิดเป็น 2 ทิศทาง คือ ทางแรกความร้อนพยายามผ่านเข้ามาภายในอาคาร และทางที่สองพยายามผ่านออกไปนอกอาคาร ตามกฎของการถ่ายเทความร้อนที่ระบุว่า การเกิดถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ

-ในตอนเย็น เมื่ออุณหภูมิภายนอกลดลงเรื่อยๆ จากความร้อนสูงสุดที่เกิดในช่วงเที่ยงวัน ซึ่งถูกกักเก็บไว้ในมวลสารจะเริ่มถ่ายเทความร้อนกลับออกไปภายนอกอาคารมากขึ้นเท่านั้น

-ในตอนกลางคืน เมื่ออุณหภูมิที่ถูกกักเก็บไว้เข้ามาถึงภายในอาคารเต็มที่แล้ว เป็นผลให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก การถ่ายเทความร้อนจะย้อนเป็น วัฏจักรของการถ่ายเทความร้อนของวัสดุหนึ่งในแต่ละวัน

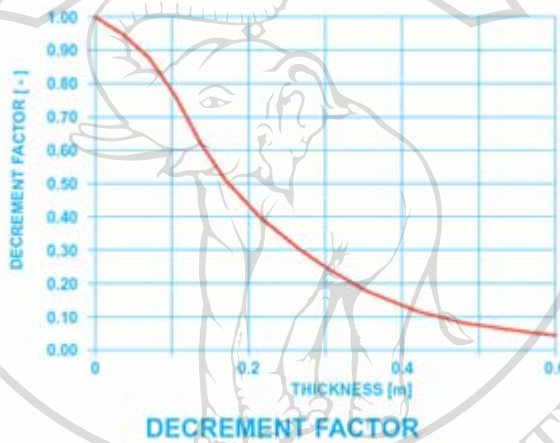
การคาดการณ์หรือการประมาณการของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนด้วยการคำนวณแบบ Time lag Method เป็นการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุทั้งในรูปมวลสารเนื้อเดียว (Homogenous Material) และมวลสารเนื้อผสม (Composite Material) โดยสมการดังกล่าวนี้ถูกสร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่พิจารณาว่าอุณหภูมิภายในห้องคงที่ (เสมือนมีการปรับอากาศ) ดังนี้

ในขั้นตอนแรก ในการคำนวณเริ่มจากการหาอุณหภูมิผิวเนื่องจากแสงอาทิตย์ที่กระทำต่อผิววัสดุ (Sol-air Temperature) ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดและต่ำสุดจะเป็นช่วงของอุณหภูมิ (External Amplitude :  $\theta_e$ ) ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าช่วงของอุณหภูมิภายใน (Internal Amplitude :  $\theta_i$ ) โดยสัมพันธ์กับค่า Decrement factor ( $\lambda$ ) ดังนี้



Decrement Factor =  $T_{i \max} / T_{o \max}$

Thermal Mass Introduces Time Lag Decrement Factor



แผนภูมิ 2.8 แสดง Time-Lag และ Decrement Factor

$$\theta = \lambda \theta_o \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อเกิดพฤติกรรมการณ์หน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนในเนื้อวัสดุ ช่วงเวลาที่เกิด อุณหภูมิภายในสูงสุดจะคลาดเคลื่อนออกไปเป็นระยะเวลา =  $\phi$  ค่าการคลาดเคลื่อนนี้คือ Time lag สมการที่ถูกพัฒนาโดย Mackey & Wright เพื่อคำนวณหา Time lag ( $\phi$ ) และ Decrement factor ( $\lambda$ ) ซึ่งถูกกล่าวโดย Drefus มีดังต่อไปนี้

$$\lambda = \frac{e^{-L\sqrt{\pi/\alpha T}}}{\sqrt{1 + L\sqrt{\pi/\alpha T}}}$$

$$\phi = \frac{1}{2}L\sqrt{T/\alpha\pi} \dots\dots\dots(2.2)$$

เมื่อให้ค่า  $T = 24$  ชั่วโมง เป็นวงจรของวันแล้ว สมการจะเป็น

$$\lambda = e^{-0.0362L} \sqrt{1\pi/\alpha}$$

$$\phi = 1.38L \sqrt{1/\alpha} \dots\dots\dots(2.3)$$

- เมื่อ
- $\alpha$  = Thermal diffusivity =  $k/d*c = \frac{\text{Thermal conductivity}}{\text{density*specific heat}}$
  - $L$  = Thickness of Material (m.)
  - $k$  = Thermal Conductivity (W/mK)
  - $d$  = density(kg/m<sup>3</sup>)
  - $c$  = the heat capacity of the material (Wh/kgK)

ในการคำนวณสำหรับวัสดุที่เป็นเนื้อผสมกันในลักษณะ Composite จำเป็นต้องคำนวณวัสดุผสมให้เป็นวัสดุเนื้อเดียวกันเสียก่อน ซึ่งอาจเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องที่สุด แต่สามารถช่วยเป็นแนวทางในการตัดสินใจเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการผสมผสานเนื้อวัสดุได้เป็นอย่างดี

$$C_o = \frac{1.1(C_0 + C_1 + C_2 + \dots + C_{n-1}) + A_0(R_0 - 0.1(R_2 + R_3 + \dots + R_n))}{R_c} \dots(2.4)$$

เมื่อ  $C_0 + C_1 + C_2 + \dots + C_n$  =Energy Capacity รวมผนังภายนอกถึงภายในก่อน  
 ชั้นสุดท้าย

- $A_0$  = อัตราส่วนระหว่าง energy capacity และ energy resistance ของผนังชั้นนอกสุด
- $R_0$  = Energy resistance ของผนังชั้นนอกสุด
- $R_2 + R_3 + \dots + R_n$  = Energy Resistance รวมผนังชั้นที่ 2 ถึงผนังภายใน
- $R_c$  = Energy Resistance รวมผนังภายนอกถึงผนังภายใน

2.4.7 การคำนวณเกี่ยวกับทฤษฎีความร้อนและการถ่ายเทความร้อน

2.4.7.1 ค่าความสามารถในการต้านทานความร้อน (Resistivity)

หรือที่เรียกว่า ค่า “R-Value” จะเป็นค่าที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาของวัสดุตามแนวที่ความร้อนไหลผ่าน กับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ หากกรณีที่มีวัสดุซ้อนกันหลายชั้น ค่าความต้านทานความร้อนรวมจะเท่ากับผลบวกของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุในแต่ละชั้นรวมกัน

$$R = \frac{1}{c} = \frac{\Delta x}{k} \dots\dots\dots(2.5)$$

เมื่อ

R = ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุ

C = ค่าความจุความร้อน

$\Delta x$  = ความหนาของชั้นวัสดุที่นำมาพิจารณา

K = ค่าการนำความร้อน

ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารแต่ละด้านที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด จะเท่ากับผลรวมค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุรวมกัน

ความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารจะถูกส่งผ่านมายังผนัง โดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกของผนัง เช่นเดียวกับที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ความร้อนจะถ่ายเทจากผนังอาคารจะถูกส่งผ่านพื้นผิวด้านใน ไปยังสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร โดยผ่านฟิล์มอากาศ ดังนั้นฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกและด้านในของผนัง จึงถือว่ามีค่าความต้านทานความร้อน

(ก) กรณีผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total Thermal Resistance) หรือค่า  $R_T$  ของส่วนใดๆ ของกรอบอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.10 สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \dots\dots\dots(2.6)$$

เมื่อ

$\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$  = ความหนาของชั้นวัสดุที่นำมาพิจารณา

$k_1, k_2, \dots, k_n$  = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด

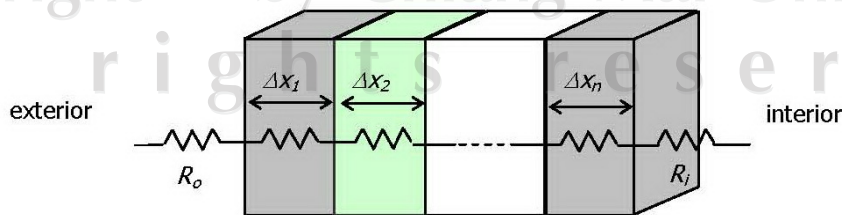
$R_o$  = ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศด้านนอก

$R_i$  = ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศด้านใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved



รูปที่ 2.3 แสดงสถานการณ์ถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบผนังอาคาร กรณีที่มีวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด

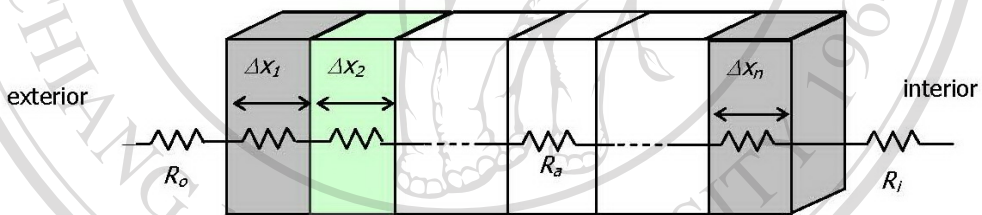
(ข) กรณีที่ผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ

ช่องว่างอากาศหรือ Air Gap หรือ Air Space ระหว่างชั้นกรอบอาคาร จะต้องคำนึงถึงกลไกการถ่ายเทความร้อน ทั้งการนำความร้อน , การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างอากาศ ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไป ดังรูปที่ 2.11 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ สามารถคำนวณได้จาก

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + R_a + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \dots \dots \dots (2.7)$$

เมื่อ

- $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$  = ความหนาของชั้นวัสดุที่นำมาพิจารณา
- $k_1, k_2, \dots, k_n$  = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด
- $R_o$  = ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศด้านนอก
- $R_a$  = ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายใน
- $R_i$  = ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศด้านใน



รูปที่ 2.4 แสดงสภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ ซึ่งความสามารถในการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศบนพื้นผิวของผนังอาคาร ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของอากาศที่บริเวณโดยรอบพื้นผิวของผนังอาคาร และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal Admittance) ของผนังอาคาร ดังตารางที่ 2.3. แสดงความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ตารางที่ 2.6. แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศของผนังอาคาร สำหรับประเทศ

ไทย

	ผนังภายใน Ri	ผนังภายนอก Ro
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์)	0.12	0.044



ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างภายในผนังที่บของอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของผนังด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ดังตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอก	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ (ตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์)		
	ความหนาของช่องว่างอากาศ		
	5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.11	0.148	0.16
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.25	0.578	0.606

สำหรับกรณีพื้นผิวผนังทั่วไปให้ถือว่าค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของผนังด้านติดช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น ผนังที่มีการติดแผ่นฟอยล์สะท้อนรังสี เป็นต้น

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 5 มม. ถึง 20 มม. หรือมีค่าระหว่าง 20 มม. ถึง 100 มม. ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ และในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างเกินกว่า 100 มม. ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 100 มม.

#### 2.4.7.2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity : k)

เรียกกันว่า ค่า “K-value” คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารในความหนา เวลา พื้นที่ และค่าความแตกต่างอุณหภูมิหนึ่งๆ

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนใช้ในการวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุ เช่น คอนกรีตมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ  $12.0 \text{ Btu.in}/(\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F})$  หมายความว่า คอนกรีตขนาด 1 ตารางฟุต หนา 1 นิ้ว ถ้ามีความแตกต่างอุณหภูมิของสองด้านของคอนกรีตเท่ากับ  $1.0 \text{ Btu}$  แล้ว จะมีการนำความร้อน  $12.0 \text{ Btu}$  ผ่านในวัสดุใน 1 ชั่วโมง ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีหน่วยเป็น  $\text{Wm}/\text{m}^2\text{K} = \text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$  (หรือ  $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ )

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน, ความหนาแน่น, ความร้อนจำเพาะของวัสดุ

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m-K)	ความหนาแน่น (Kg/m <sup>3</sup> )	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.K)
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	0.398	1860	1.00
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	0.108	720	1.00
3	วัสดุฉนวนหลังคาแอสไฟท์	1.226	1100	1.51
4	บิตูเมน (Bitumen)	1.298	1100	1.26
5	อิฐ			
	ก) แห้งฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่น โมเสคหรือกระเบื้อง	0.807	1760	0.837
	ข) ผนังไม่ฉาบปูน	1.154	1600	0.79
6	คอนกรีต	1.442	2400	0.92
7	คอนกรีตชนิดเบาความหนาแน่นต่างๆ			
	ก) 620 kg/m <sup>3</sup>	0.160	620	0.84
	ข) 960 kg/m <sup>3</sup>	0.303	960	0.84
	ค) 1120 kg/m <sup>3</sup>	0.346	1120	0.84
	ง) 1280 kg/m <sup>3</sup>	0.476	1370	0.84
8	บล็อกคอนกรีต	1.02	1370	0.92
9	แผ่นไม้ก๊อก	0.042	144	2.01
10	แผ่นไฟเบอร์ (Fiber Board)	0.052	264	0.59
11	ไฟเบอร์กลาส			
	ก) แบบม้วน (Blanket)	0.038	ค่าจากผู้ผลิต	0.96
	ข) แบบแผ่น (Rigid Board)	0.033	ค่าจากผู้ผลิต	0.96
	ค) แบบท่อสำเร็จ (Rigid pipe section)	0.038	ค่าจากผู้ผลิต	0.96
12	แผ่นกระฉก	1.053	2512	0.88
13	แผ่นอิปซัม	0.191	880	1.09
14	แผ่นไม้อัดฮาร์ดบอร์ด			
	ก) มาตรฐาน	0.216	1024	1.34
	ข) ปานกลาง	0.123	640	1.30
15	โลหะ			
	ก) โลหะผสมอลูมิเนียม รุ่นธรรมดา	211	2672	0.896
	ข) ทองแดง	388	8784	0.390
	ค) เหล็กกล้า	47.6	7840	0.500
16	ใยแร่ อัดแน่นเป็นแผ่น	0.05	290	0.80

ตารางที่ 2.8(ต่อ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน,ความหนาแน่น,ความร้อนจำเพาะของวัสดุ

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m-K)	ความหนาแน่น (Kg/m <sup>3</sup> )	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.K)
17	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว			
	ก) ยิปซัม	0.235	720	1.090
	ข) เพอร์ไลต์	0.115	616	1.34
	ค) ปูนผสมทราย	0.553	1568	0.84
18	โพลีสไตรีน แบบขยายตัว	0.035	16	1.21
19	โฟมโพลียูรีเทน	0.024	24	1.59
20	โฟมโพลีเอทรีลีน	0.029	45	1.21
21	พื้นผิวซี	0.713	1360	1.26
22	หิน			
	ก) หินทราย	1.298	2000	0.79
	ข) หินแกรนิต	2.927	2640	0.79
	ค) หินอ่อน	1.298	2640	0.80
23	กระเบื้องหลังคา	0.836	1890	1.00
24	ไม้			
	ก) ไม้เนื้ออ่อน	0.125	608	1.30
	ข) ไม้เนื้อแข็ง	0.138	702	1.30
	ค) ไม้อัด	0.138	528	1.21
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดหยาบอัดหลวม (ความหนาแน่นต่ำ)	0.065	ค่าจากผู้ผลิต	1.34
26	ไม้อัดซีพบอร์ด	0.144	800	1.30
27	แผ่นกระดาดอัด	0.086	400	1.38

ที่มา คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร,2538

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะจาก 2001 ASHARE  
Fundamental Handbook (SI)

#### 2.4.7.3 ค่าการนำความร้อน(Conductance : C)

เรียกกันที่ว่าค่า “C-Value” คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารใน  
ความหนาที่กำหนดใน 1 หน่วยช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 หน่วย

ค่าการนำความร้อนมีความคล้ายกันกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แต่หน่วยของ  
การวัดจะกำหนดตายตัว เช่น คอนกรีตหนา 3 นิ้ว มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 4.0 Btu/(ft<sup>2</sup> .h.°F)  
ซึ่งหมายถึง ถ้าคอนกรีตหนา 3 นิ้ว พื้นที่ 1 ตารางฟุต มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและ

ภายนอก 1.0 Btu และจะมีการนำความร้อน 4 Btu ผ่านวัสดุใน 1 ชั่วโมง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C = \frac{k}{\Delta x} \dots\dots\dots(2.8)$$

เมื่อ

K = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

Δx = ความหนาของวัสดุ (m.)

C = ค่าการนำความร้อน (W/m<sup>2</sup>.°K หรือ Btu/(ft<sup>2</sup>.h.°F) )

**2.4.7.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Thermal transmittance :U)**

เรียกกันว่าค่า “U-Value” คือ หน่วยของการวัดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเข้ามาในอาคารในช่วงเวลาหนึ่ง และพื้นที่หนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่า R

$$U = \frac{1}{\sum R} = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n} \dots\dots\dots(2.9)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวมสามารถคำนวณย้อนกลับจากค่า k ได้ดังต่อไปนี้

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{h_i}} \dots\dots\dots(2.10)$$

เมื่อ

U = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวม มีหน่วยเป็น Btu/h-ft<sup>2</sup>-°F (W/m<sup>2</sup>-K)

h<sub>o</sub> = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศภายนอก มีหน่วยเป็น Btu/h-ft<sup>2</sup>-°F หรือ (W/m<sup>2</sup>-K)

h<sub>i</sub> = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศภายใน มีหน่วยเป็น Btu/h-ft<sup>2</sup>-°F หรือ(W/m<sup>2</sup>-K)

x<sub>n</sub> = ความหนาของวัสดุในชั้นที่ n มีหน่วยเป็น นิ้ว หรือ (เมตร)

k<sub>n</sub> = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุชั้นที่ n มีหน่วยเป็น Btu-in/h-ft<sup>2</sup>-°F (W/m-K)

ดังนั้นหากวัสดุผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมาก ย่อมหมายถึงวัสดุผนังนั้นมีค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุน้อยตาม ความร้อนจึงสามารถถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารได้มากกว่าวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าหรือออกจากอาคารอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกกับภายใน ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน สามารถจำแนกออกเป็น 2 กรณีคือ

1). กรณีการถ่ายเทความร้อนในสภาวะคงที่ (Steady state) หรือมีอิทธิพลมาจากองค์ประกอบจากสิ่งแวดล้อมภายนอกไม่รุนแรงนัก จะใช้สมการในการคำนวณปริมาณ การถ่ายเทความร้อนดังนี้ (Ashare, 1989)

$$Q = U \times A \times (t_o - t_i) \dots\dots\dots(2.11)$$

เมื่อ

- Q = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Watt หรือ Btu)
- U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (W / m<sup>2</sup>.°C)
- A = พื้นที่ทั้งหมดที่มีการรับแสงแดด (m<sup>2</sup> หรือ ft<sup>2</sup>)
- t<sub>o</sub> = อุณหภูมิอากาศภายนอก มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียสหรือองศาฟาเรนไฮท์ (°C, °F)
- t<sub>i</sub> = อุณหภูมิอากาศภายใน มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียสหรือองศาฟาเรนไฮท์ (°C, °F)

2). กรณีการถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะไม่คงที่ กล่าวคือ อุณหภูมิภายนอกและภายในจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่แปรผันไปตลอดเวลาเนื่องจากอิทธิพลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ สิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศภายนอก การคำนวณจะมีความซับซ้อน ดังนั้นจึงได้มีการปรับการคำนวณแบบสภาวะไม่คงที่ให้อยู่ในรูปแบบสภาวะที่คงที่ จึงใช้ค่า CLTD (Cooling Load Temperature Difference) แทนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน (t<sub>o</sub>-t<sub>i</sub>) ซึ่งค่า CLTD ดัดแปลงมาจากค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน โดยคำนึงถึงอิทธิพลภายนอกหลายองค์ประกอบ เช่น เวลา วัน เดือน ละติจูด มวลสารของผนัง ความชื้น ความอ่อนของสีผนัง และสภาพแวดล้อม เป็นต้น

ประเทศไทยมีการคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่คำนึงถึงค่าการถ่ายเทความร้อนมวลสาร และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ใช้ค่า TDeq (Equivalent Temperature Difference) ในการคำนวณ แทนค่า CLTD ดังตารางที่ 2.6. โดยใช้สมการในการคำนวณปริมาณการถ่ายเทความร้อนดังนี้

$$Q = (U_w)(TD_{eq}) \dots\dots\dots(2.12)$$

เมื่อ

- Q = ปริมาณการถ่ายเทความร้อนในหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m<sup>2</sup>)

$U_w$  = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$TD_{eq}$  = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ ( $^\circ C$ )

ค่าความต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Different) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร เป็นค่าที่รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ค่านี้อาจขึ้นกับช่วงของระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และมวลสารของวัสดุของผนัง รวมทั้งทิศทางและมุมเอียงของผนัง

มวลของผนัง = ความหนาแน่นของผนัง x ความหนาของผนัง ( $kg/sq.m$ ) .....(2.13)

ตารางที่ 2.9 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

มวลของผนัง กก. ม <sup>-2</sup>	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า				
	ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ( $\alpha$ )				
	0.1 <0-0.2>	0.3 <0.2-0.4>	0.5 <0.4 - 0.6>	0.7 <0.6-0.8>	0.9 <0.8 - 1.0>
0 - 125	14	15	16	17	18
126 - 195	11	12	13	14	15
เกินกว่า 195	9	10	11	12	13

ที่มา คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538

ตารางที่ 2.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกผนังชนิดต่างๆที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำผนังภายนอก	วัสดุผนัง	สีที่ใช้ทาภายนอก
1. วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง $[\alpha < 0.2]$	- ผิววัสดุที่ฉาบด้วยสีตึก - แผ่นอลูมิเนียม - แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอลูมิเนียม - แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียมขัดมัน	- สีสะท้อนแสง
2. วัสดุที่มีผิวอ่อน $[0.2 < \alpha < 0.4]$	- อิฐเคลือบเป็นมันสีขาว - เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	- แล็กเกอร์สีขาว - สีเงิน - สีขาวเป็นเงา

ตารางที่ 2.10(ต่อ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกผนังชนิดต่างๆที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำผนังภายนอก	วัสดุผนัง	สีที่ใช้ทาภายนอก
3. วัสดุที่มีผิวสีปานกลาง [0.4 < $\alpha$ < 0.6]	- วัสดุที่ทำสีอลูมิเนียม - หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว - อิฐสีเหลืองอ่อน - หินอ่อนสีขาว - กรวดล้างสีขาว	- สีเขียวอ่อน - สีน้ำเงินปานกลาง - สีเหลืองปานกลาง - สีส้มปานกลาง - สีเขียวปานกลาง
4. วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม [0.6 < $\alpha$ < 0.8]	- คอนกรีตไม่ทาสี - ไม้ผิวเรียบ - แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส - หินล้างสีเทา	- สีแดง - สีน้ำเงิน - สีเทา - สีสนิมแก่ปานกลาง
5. วัสดุที่มีผิวสีเข้ม [0.8 < $\alpha$ < 1.0]	- วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะตอย - คอนกรีตสีน้ำตาล - วัสดุผนังหลังคาสีเขียว - หินชนวนสีเทาแกมสีน้ำเงิน  - อิฐสีแดง - อิฐเสตฟฟอร์ดสีน้ำเงิน - คอนกรีตสีดำ	- สีน้ำเงินแก่หรือสีเขียวแก่ - สีเทาแกมน้ำเงินเข้ม - สีน้ำตาลแก่ - สีโอลีฟเข้ม - สีดำ - แลคเกอร์สีน้ำเงินแก่ - สีเทาแก่ - แลคเกอร์สีดำ - สีดำธรรมดา - สีดำเรียบมาก
$\alpha$ (อัลฟา) หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์		

ที่มา คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538

#### 2.4.7.5. ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density – Specific Heat Product, DSH)

ความสามารถในการดูดกลืน สะสม และหน่วงความร้อนของผนังที่มี ความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุผนังอาคาร

สำหรับผนังที่ประกอบด้วยวัสดุเพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่นเท่ากับ  $\rho_i$  ความร้อนจำเพาะเท่ากับ  $c_{pi}$  และมีความหนาเท่ากับ  $\Delta x_i$  ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง คำนวณได้ดังนี้

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i), \quad \text{kJ/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

เมื่อ

$DSH_1$  คือ ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง

$\rho_i$  คือ ความหนาแน่นของวัสดุ  $i$ ,  $\text{kg/m}^3$

$C_{pi}$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ  $i$ ,  $\text{kJ/(kg.K)}$

$\Delta x_i$  คือ ความหนาของวัสดุ  $i$ ,  $\text{m}$

สำหรับผนังที่ประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน  $n$  ชนิด ผลคูณของค่าความ-หนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง คำนวณได้ดังนี้

$$DSH = DSH_1 + DSH_2 + \dots + DSH_n, \quad \text{kJ/(m}^2 \cdot \text{K)} \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

กรณีที่มีช่องว่างอากาศตรงกลาง ช่องว่างอากาศดังกล่าวไม่ทำให้ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะผนังเปลี่ยนแปลงไป

นอกจากนี้ การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร สามารถแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน เพื่อให้สะดวกต่อการกำหนดค่า คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) และเมื่อนำทั้งสองส่วนมารวมกันก็จะได้เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารทั้งหมด

#### 2.4.7.6. การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร(OTTV)

การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน (OTTV) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_p)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (2.16)$$

เมื่อ

$OTTV_i$  คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านที่พิจารณา,  $\text{W/m}^2$

$U_w$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังที่พิจารณา,  $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

$WWR$  คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่าง โปรังแสง และหรือของผนัง โปรังแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

$TD_{eq}$  คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Temperature Difference Equivalent)

ระหว่างภายนอกกับภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของ



ผนังทึบ โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

$U_f$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก  
 $, W/m^2 \cdot ^\circ C$

$\Delta T$  คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ให้เป็นไปตามที่ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ซึ่งเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง,  $W/m^2$

ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV<sub>i</sub>) รวมกัน ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \dots + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \dots\dots\dots(2.17)$$

เมื่อ  $A_{wi}$  คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง,  $m^2$

OTTV<sub>i</sub> คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2.16)

**2.4.7.7. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสงหรือกระจก**

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกหรือผนังโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ โดยเลือกใช้สมการที่

(2.6) หรือ (2.7) ขึ้นอยู่กับชนิดของกระจกหรือแผ่นโปร่งแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนนี้ ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตได้ โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้วิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

- กระจกชั้นเดียว

ค่าสัมประสิทธิ์ ( $U_f$ ) ของกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียว ให้คำนวณจากสมการ

$$U_f = \frac{1}{R_f} \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

เมื่อ

$R_f$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกหรือผนังโปร่งแสง,  $W/m^2-K$

$R_i$  และ  $R_o$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของผนังภายในและภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่าจากตารางที่ 2-3

$\Delta x$  คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง, m

$k_g$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสง,  $W/m-K$

- กระจกลามิเนต

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกลามิเนต ให้คำนวณโดยใช้สมการที่

(2.7)

- ระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้นและมีช่องว่างอากาศภายใน

ให้ใช้สมการที่ (2.7) ในการคำนวณค่าความต้านทาน ความร้อนของระบบหน้าต่าง ที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.11 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความกว้างช่องว่างอากาศ (มิลลิเมตร)	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ( $m^2 \cdot K/W$ )	
	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ
13	0.119	0.345
10	0.110	0.278
7	0.097	0.208
6	0.091	0.196
5	0.084	0.137

ที่มา 2001 ASHARE Fundamentals Handbook (SI)

ให้ใช้ค่าพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงสำหรับช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสงทั่วไป นอกเหนือจากกำหนดว่ากระจกหรือผนังโปร่งแสงด้านที่ติดช่องว่างอากาศนั้นถูกเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ (Low Emissivity Coating) จึงใช้พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่กำหนดไว้ในตาราง (5-13 มิลลิเมตร) ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานด้านความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างกว่า 13 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานด้านความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 13 มิลลิเมตร

#### 2.4.7.8. ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $\Delta T$ )

ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารกับอุณหภูมิอากาศในบริเวณปรับอากาศของอาคาร ใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง ในสมการคำนวณค่า OTTV ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

#### 2.4.7.9. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือค่าอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วนโปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร เทียบกับรังสีอาทิตย์ที่ผ่านกระจกใส มาตรฐานที่ความหนา 3 มิลลิเมตร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรง กับ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายัง

ภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงาน ที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์(SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible Transmittance)

ความหนาของกระจก	ชนิดกระจก	Visible Transmittance	SHGC
กระจกชั้นเดียวไม่เคลือบผิว (Uncoated Single Glazing)			
6	กระจกใส	0.88	0.60
6	กระจกสีบรอนซ์	0.54	0.41
6	กระจกสีเขียว	0.76	0.41
6	กระจกสีเทา	0.46	0.39
6	กระจกสีฟ้ามงเขียว	0.75	0.43
กระจกสองชั้น ไม่เคลือบผิว (Reflective Single Glazing)			
6	กระจกเคลือบสีโลหะสแตนเลส 20%	0.20	0.28
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 20%	0.20	0.27
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 30%	0.30	0.35
6	กระจกใส-กระจกใส	0.78	0.73
6	กระจกสีบรอนซ์-กระจกใส	0.47	0.54
6	กระจกสีเขียว-กระจกใส	0.68	0.54
6	กระจกสีเทา-กระจกใส	0.41	0.52
6	กระจกสีฟ้ามงเขียว-กระจกใส	0.67	0.55
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง-กระจกใส	0.59	
กระจกสะท้อนแสงสองชั้น (Reflective Double Glazing)			
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 30%	0.27	0.25

ตารางที่ 2.12(ต่อ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์(SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible Transmittance)

ความหนาของกระจก	ชนิดกระจก	Visible Transmittance	SHGC
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (Low-e Double Glazing, e=0.2 Surface 2)			
6	กระจก Low-e และกระจกใส	0.73	0.53
กระจก Low-e สองชั้น (Low-e Double Glazing, e=0.1 Surface 2)			
6	กระจก Low-e และกระจกใส	0.72	0.44
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง-กระจก Low-e	0.57	0.27

ที่มา: คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, 2538

#### 2.4.7.9. ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด(SC)

สัมประสิทธิ์การบังแดด เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารทางหน้าต่างต่อค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกใสหนา 3 มม. ที่ไม่มีการบังแดด

โดยปกติหน้าต่างของอาคารทั่วไปจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นกระจกและส่วนที่เป็นอุปกรณ์บังแดด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดจึงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก และของอุปกรณ์บังแดดซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$SC = SC_1 \times SC_2$$

เมื่อ

$SC_1$  = เป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

$SC_2$  = เป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ซึ่งค่า  $SC_1$  เป็นค่าที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตกระจก ซึ่งทำการประเมินที่แสงอาทิตย์กระทบทำมุม  $45^\circ$  จากแนวตั้งฉาก

สำหรับค่า  $SC_2$  เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของอุปกรณ์ อย่างไรก็ตามจะสามารถคำนวณได้โดยอาศัยนิยามพื้นฐานของสัมประสิทธิ์การบังแดด ซึ่งสมการการคำนวณเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} SC_2 &= \frac{A_g \times I_{Dg} + A_g \times I_{Dg}}{A_g \times I_{Dg}} \\ &= \frac{G \times I_{Dg} + I_{Dg}}{I_{Dg}} \end{aligned} \quad \dots(2.20)$$

เมื่อ

$$G = \frac{A_e}{A}$$

$$A_e = \text{พื้นที่ของกระจกส่วนที่ไม่เกิดเงา (m2)}$$

$$A = \text{พื้นที่รวมของกระจก (m2)}$$

$$ID = \text{ฟลักซ์ของรังสีตรงดวงอาทิตย์ (W/m2)}$$

$$Id = \text{ฟลักซ์ของรังสีกระจายดวงอาทิตย์ (W/m2)}$$

$$It = \text{ฟลักซ์ของรังสีรวมดวงอาทิตย์ (W/m2)}$$

การหาค่าเฉลี่ยรายวันของค่า SC2 สามารถพิจารณาว่าใน 1 วันที่มีช่วงเวลาที่มิแสงแดด 12 ชั่วโมง แล้วทำการเฉลี่ยค่าตลอด 12 ชั่วโมง

โดยทั่วไปค่า OTTV ที่นำมาใช้นั้นมักจะอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยตลอดปี ดังนั้นค่า SC2 จึงควรเป็นค่าเฉลี่ยตลอดปี แต่เนื่องจากข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ที่มีการทำเป็นมาตรฐานของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานนั้น มีเพียงบางเดือน ได้แก่ เดือนมีนาคม , มิถุนายน , กันยายน และธันวาคม ดังนั้นค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่า SC2 อาจเฉลี่ยจาก 4 เดือนดังกล่าว ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$SC2)_{\text{a}} = \frac{I_M(G+I_d)+I_J(G+I_d)+I_S(G+I_d)+I_D(G+I_d)}{I_M I_e+I_J I_e+I_S I_e+I_D I_e} \dots(2.21)$$

เมื่อ

M หมายถึงเดือนมีนาคม

J หมายถึงเดือนมิถุนายน

S หมายถึงเดือนกันยายน

D หมายถึงเดือนธันวาคม

G หมายถึงอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของกระจกส่วนที่ไม่เกิดเงา ( $A_e$ ) กับพื้นที่รวมของกระจก ( $A$ )

สำหรับค่ารังสีดวงอาทิตย์ทั้ง 4 เดือนข้างต้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก จากการพิจารณาค่า SC2 ทำให้เกิดตัวแปร G ขึ้นมา ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ G1 และ G2 อันเป็นผลจากอุปกรณ์บังแดดที่อยู่ด้านบน และด้านข้างของหน้าต่างตามลำดับ

ตารางที่ 2.13 แสดงรังสีตรงและรังสีกระจายของดวงอาทิตย์

เวลา (hour)	พลังงานของรังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )							
	21 มีนาคม		22 มิถุนายน		23 กันยายน		21 ธันวาคม	
	Beam	Diffuse	Beam	Diffuse	Beam	Diffuse	Beam	Diffuse
1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.00	0.0	0.0	5.6	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
7.00	68.5	44.9	77.8	105.0	94.4	77.1	64.4	19.9
8.00	185.7	121.6	145.4	196.2	202.3	165.1	270.0	83.5
9.00	290.1	190.0	204.3	275.6	296.2	241.8	454.4	140.5
10.00	374.8	245.4	250.9	338.6	369.9	302.0	603.3	186.5
11.00	433.8	284.1	282.6	381.2	418.3	341.4	704.9	217.9
12.00	463.2	303.4	297.3	401.1	437.9	357.5	751.3	232.2
13.00	461.0	301.9	294.2	397.0	427.6	349.0	738.9	228.4
14.00	427.3	279.8	273.6	369.1	388.0	316.7	668.7	206.7
15.00	364.5	238.7	236.5	319.1	321.7	262.6	546.1	168.8
16.00	276.7	181.2	185.3	250.0	233.5	190.6	380.8	117.7
17.00	170.0	111.3	123.0	165.9	129.2	105.5	185.6	57.4
18.00	51.7	33.9	53.3	72.0	16.1	13.1	0.0	0.0
19.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ที่มา : 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)

**2.4.7.10. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)**

ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางหลังคาจะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับผนัง โดยแปรไปกับคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุหลังคาและฝ้าเพดาน สีและความหนาแน่นของมวลหลังคา สำหรับวัสดุผนังหลังคาที่นิยมก่อสร้างกันทั่วไปในปัจจุบันจะมีค่าพลังงานความร้อนต่อตารางเมตร สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ 25 วัตต์ต่อตารางเมตร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาในแต่ละส่วน คำนวณได้จากสมการ

$$RTTV_i = U_r(1 - SRR)Td_{eq} + U_s(SRR)T + SC.SRR.SF \dots(2.22)$$

- เมื่อ
- RTTV<sub>i</sub> = ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาที่พิจารณา (W.m<sup>2</sup>)
  - U<sub>r</sub> = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนทึบ (W / m<sup>2</sup>.°C)
  - SRR = อัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสงธรรมชาติต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนนั้น (Skylight to Roof Ratio)
  - TDeq = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีของหลังคาส่วนทึบ (°C)
  - U<sub>s</sub> = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนโปร่งแสง(W/m<sup>2</sup>.°C)
  - ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทยค่านี้คือ 5 .°C
  - SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของช่องรับแสง
  - SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (W.m<sup>2</sup>)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา RTTV คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน(RTTVi) และคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$RTTV_{รวม} = \frac{A_1.RTTV_1 + A_2.RTTV_2 + \dots + A_n.RTTV_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots(2.23)$$

- เมื่อ
- A<sub>i</sub> = พื้นที่หลังคาส่วนที่พิจารณา (m<sup>2</sup>)
  - RTTV<sub>i</sub> = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา



ตารางที่ 2.14 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคา

	พื้นผิวหลังคาภายใน ( $R_i$ ) ที่มี มุมเอียงต่างๆ กันจากแนวระดับ			พื้นผิวหลังคาภายนอก ( $R_o$ ) ที่มีมุมเอียงใดๆ
	0	22.5	45	
ค่าความต้านทานความร้อน ของฟิล์มอากาศ ( $m^2.K/W$ )	0.162	0.148	0.133	0.055

ที่มา : 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 2 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตร หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 20 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วง ส่วนกรณีที่มีความกว้างของช่องว่างอากาศมากกว่า 100 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 100 มิลลิเมตร

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้หลังคาแสดงในตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผิวหลังคาด้านนอก	ค่าความต้านทานความร้อนของ ช่องว่างอากาศ ( $m^2.K/W$ )			
	5 mm	20 mm	100 mm	
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง				
ความลาดเอียงจาก พื้นผิวแนวระนาบ	0°	0.11	0.148	0.174
	22.5°	0.11	0.148	0.165
	45°	0.11	0.148	0.158
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ				
ความลาดเอียงจาก พื้นผิวแนวระนาบ	0°	0.25	0.572	1.423
	22.5°	0.25	0.571	1.095
	45°	0.25	0.570	0.768

ที่มา : 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)

ตารางที่ 2.16 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเพดาน	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (m <sup>2</sup> .K/W)
กรณีที่มีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.458
กรณีที่มีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	1.356

ที่มา : 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI)

### 2.4.8. การคำนวณความร้อนจากแหล่งภายใน (Internal Heat Gain)

ในการคำนวณความร้อนจากแหล่งความร้อนภายใน สามารถแบ่งความร้อนภายในออกเป็น 3 ประเภท คือ

#### 2.4.8.1. ความร้อนจากไฟฟ้าแสงสว่าง

การหาความร้อนที่ได้รับจากไฟฟ้าแสงสว่างหาได้จากสมการ

$$Q_E = W \times n \quad \dots\dots\dots (2.24)$$

เมื่อ

$Q_E$  คือ ความร้อนสุทธิที่ได้จากไฟฟ้าแสงสว่าง, Watts

$W$  คือ กำลังไฟฟ้ารวมกับกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์, Watts

$n$  คือ จำนวนหลอดและบัลลาสต์ทั้งหมด

#### 2.4.8.2. ความร้อนจากคน

ความร้อนที่ได้รับจากคนจะคายความร้อนออกมาทั้งในรูปแบบความร้อนสัมผัส ( $Q_s$ ) และความร้อนแฝง ( $Q_L$ ) โดยค่าความร้อนทั้งสองจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามลักษณะพฤติกรรมของแต่ละบุคคล อายุ เพศ เป็นต้น ซึ่งในการคำนวณสามารถใช้ค่าต่างๆจาก 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI) และสมการต่อไปนี้

$$Q_s = q_s \times n \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

$$Q_L = q_L \times n \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

เมื่อ

$q_s$  คือ ความร้อนสัมผัสที่ได้ออกคน, Watts

$q_L$  คือ ความร้อนแฝงที่ได้ออกคน, Watts

$n$  คือ จำนวนคนทั้งหมด

### 2.4.8.3. ความร้อนจากเครื่องใช้ไฟฟ้า

ความร้อนที่ได้รับจากเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถหาได้จากแผ่นป้ายประจำเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยตรงสำหรับอุปกรณ์-เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด เช่น สแกนเนอร์ 250 วัตต์ จะผลิตความร้อนออกมา 250 วัตต์ เป็นต้น

### 2.4.8.4. การคำนวณภาระการปรับอากาศ (Cooling Loads)

ในการคำนวณภาระการปรับอากาศของการคำนวณอย่างง่ายด้วยมือ จะทำการเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่อาคารทั้งหมดเป็นภาระการปรับอากาศของระบบ ถือเป็นการคำนวณแบบสมการคงตัว (Steady-State) ซึ่งในส่วนนี้จะต่างกับการใช้โปรแกรม Energy Plus เนื่องจากโปรแกรมจะคิดความร้อนสะสมในเนื้อมวลสารเพื่อเป็นเป็นความร้อนในชั่วโมงถัดไปด้วย ถือเป็นการคำนวณแบบสมการไม่คงตัว (Transient) ทำให้ภาระการปรับอากาศที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงมากกว่า

### 2.4.8.5. การคำนวณพลังงานที่ใช้ของอาคาร

-พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของไฟฟ้าแสงสว่าง

ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้ จะเท่ากับพลังงานที่ใช้ของหลอดไฟฟ้าในแต่ละชนิดรวมกับพลังงานที่ใช้ในบัลลาสต์คูณกับชั่วโมงการทำงานของหลอดไฟฟ้า เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ ใช้พลังงาน 36 วัตต์ กับบัลลาสต์ ใช้พลังงาน 10 วัตต์ เปิดไว้ใช้งาน 12 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นความร้อนสูญเสียจากไฟฟ้าแสงสว่าง เท่ากับ  $(3+10) \times 12$  เท่ากับ 552 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

-พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องใช้ไฟฟ้า

ในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้ จะเท่ากับผลคูณของพลังงานที่ใช้ตามแผ่นป้ายที่ติดไว้ในแต่ละอุปกรณ์กับชั่วโมงการทำงาน เช่น คอมพิวเตอร์ ใช้พลังงาน 350 วัตต์ ใช้ทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน จะคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของจากเครื่องใช้ไฟฟ้า เท่ากับ  $350 \times 12$  เท่ากับ 4200 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

-พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบปรับอากาศ

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของระบบปรับอากาศ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{\text{Air}} = Q_{\text{total}} / \text{COP} \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

เมื่อ

$Q_{\text{Air}}$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของระบบปรับอากาศ, kW

$Q_{\text{total}}$  คือ ภาระความร้อนทั้งหมดของอาคาร, kW

COP คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปรับอากาศ

ค่า COP (Coefficient of Performance) คืออัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนที่ได้ต่อพลังงานที่ใช้ โดยพิจารณาจากค่า EER

EER=ค่าความร้อนที่ได้จากการวัดหารด้วยkWที่Com. ใช้ หน่วยของ EER คือ (Btu/hr)/ W

ดังนั้นค่า COP = EER/3.412 = 3.517/(กิโลวัตต์/ตัน)

จากนั้น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบปรับอากาศ สามารถคำนวณได้จากการนำกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของระบบปรับอากาศที่ได้คูณกับชั่วโมงการทำงาน

## 2.5. วัสดุก่อสร้างและฉนวนกับการประหยัดพลังงาน

หากกล่าวถึงการประหยัดพลังงาน คนทั่วไปอาจจะเพียงเข้าใจว่า การประหยัดพลังงานนี้จะเฉพาะการประหยัดไฟฟ้ด้วยการใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือดวงโคมเพียงให้ลดน้อยลงเพียงอย่างเดียว แท้จริงแล้วการประหยัดพลังงานมีวิธีการอื่นๆที่จะช่วยในการใช้พลังงานไฟฟ้าให้ลดลงได้ หนึ่งในวิธีการนั้นคือ “การเลือกใช้วัสดุประกอบอาคาร”หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “วัสดุก่อสร้าง” ที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่อย่างถูกวิธี

วัสดุประกอบอาคารหรือวัสดุก่อสร้างนั้นเปรียบเสมือนเปลือกหรือผิวของอาคาร (Building Envelope) อันที่จะช่วยในการปกป้องผู้ที่อยู่อาศัยหรือใช้อาคารนั้นจากสภาวะอากาศที่ไม่สบายจากภายนอกอาคารได้

ในกรุงเทพมหานครพบว่า<sup>1</sup> พลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ภายในอาคารถูกใช้ไปกับการลดความร้อนภายในอาคารเป็นสัดส่วนที่มากที่สุด ดังนั้นหากมีการคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนอย่างเหมาะสม จะทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศในการอยู่อาศัยในสภาวะน่าสบายมากเกินความจำเป็น

<sup>1</sup> กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ,เอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน , กระทรวงพลังงาน, บทที่ 2 หน้า 2-2

**2.5.1. ระบบของวัสดุผนังกรอบอาคาร** สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท<sup>1</sup> คือ ผนังกรอบอาคารที่ใช้ในการศึกษา จะแบ่งประเภทของผนังตามลักษณะทั่วไปเป็น 3 ประเภท โดยมีรายละเอียดของวัสดุผนังดังนี้

**2.5.1.1. ผนังที่เป็นโครงคร่าว (Framing Wall)** หมายถึง ผนังที่มีโครงคร่าวเป็นโครงสร้างของผนัง และบุแผ่นวัสดุปิดผิวด้านนอกและด้านใน ผนังที่เป็นโครงคร่าวนี้อาจมีวัสดุที่ใช้เป็นโครงคร่าวมากมาย อาทิเช่น เหล็ก เหล็กชุบสังกะสี อลูมิเนียม ไม้ เป็นต้น และวัสดุปิดผิวที่ใช้กันทั่วไปก็มีมากมายตามความเหมาะสมในการใช้งาน เช่นกัน เช่น แผ่นไม้สังเคราะห์ แผ่นยิบซั่มบอร์ด แผ่นกระเบื้องใยหิน แผ่นไฟเบอร์บอร์ด เป็นต้น

**2.5.1.2. ผนังประกอบ (Composite Wall)** หมายถึง ผนังที่ประกอบด้วยผนังที่เป็นมวลสารและผนังโครงคร่าวเข้าด้วยกัน

**2.5.1.3. ผนังที่เป็นมวลสาร (Mass Wall)** หมายถึง ผนังที่มวลสารยึดติดกันทั่วทั้งผนัง โดยการก่อ หรือ การหล่อเข้าด้วยกัน เช่น ผนังก่ออิฐมวลเบา ผนังก่อคอนกรีตบล็อก ผนังก่อคอนกรีตมวลเบา และผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

มวลสารของผนังพิจารณาจากค่าน้ำหนักของวัสดุนั้นๆ เป็นหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเมตร และจัดแบ่งกลุ่มตามค่าน้ำหนักออกเป็น 3 ระดับ ตามเกณฑ์ข้อกำหนดของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานดังนี้ ผนังมวลสารน้อย คือ ผนังที่มีน้ำหนัก 0-125 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ,ผนังมวลสารปานกลาง คือมีน้ำหนัก 126-195 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และผนังมวลสารมาก คือ มีน้ำหนักเกินกว่า 195 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

วัสดุก่อที่ใช้ในการก่อสร้างปัจจุบันที่มีอยู่นั้นจัดอยู่ผนังมวลสารมากได้แก่

-อิฐมวล



รูปที่ 25 อิฐมวล<sup>2</sup>

<sup>1</sup> กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ,เอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน , กระทรวงพลังงาน, บทที่ 2 หน้า 2-14

<sup>2</sup> เรื่องเดียวกัน หน้า 2-16

อิฐมอญ<sup>1</sup> เป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการนำดินเหนียวมาเผาเพื่อให้ได้วัสดุที่คงรูปและมีความแข็งแรง โดยมีการใช้อิฐมอญในระบบการก่อสร้างมากกว่าหลายสิบปี จึงเป็นวัสดุที่เป็นที่รู้จักและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากความเชื่อมั่นในความคงทน และเป็นวัสดุที่ผลิตได้เองในประเทศจากแรงงานท้องถิ่นที่มีกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ที่ใช้มากเช่น อิฐอุรุยา (อ่างทอง) และอิฐพานทองที่จะเป็นอิฐที่ขนาดใหญ่กว่าอิฐอุรุยา การเผาที่ใช้ไม้ฟืนในการเผา ส่วนอิฐอุรุยาใช้เกลบในการเผาและก้อนอิฐก็จะมีขนาดเล็กกว่าอิฐพานทอง ราคาอิฐของอุรุยาจึงถูกกว่าอิฐพานทอง คุณสมบัติของอิฐมอญเป็นวัสดุที่ยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่าย และยังคงเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานานกว่าจะเย็นตัวลง จะสังเกตได้จากเมื่อใช้มือสัมผัสผนังภายในบ้านในตอนบ่ายที่ถูกแดดร้อนจัด ผนังจะร้อนมาก และยังคงร้อนอยู่จนถึงช่วงหัวค่ำแล้วจึงเย็นลงใกล้เคียงกับอากาศปกติ เนื่องจากอิฐมอญมีความจุความร้อนสูงทำให้สามารถกักเก็บความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุได้มาก ก่อนที่จะค่อยๆถ่ายเทสู่ภายนอก จึงเหมาะกับการใช้กับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะช่วงกลางวัน

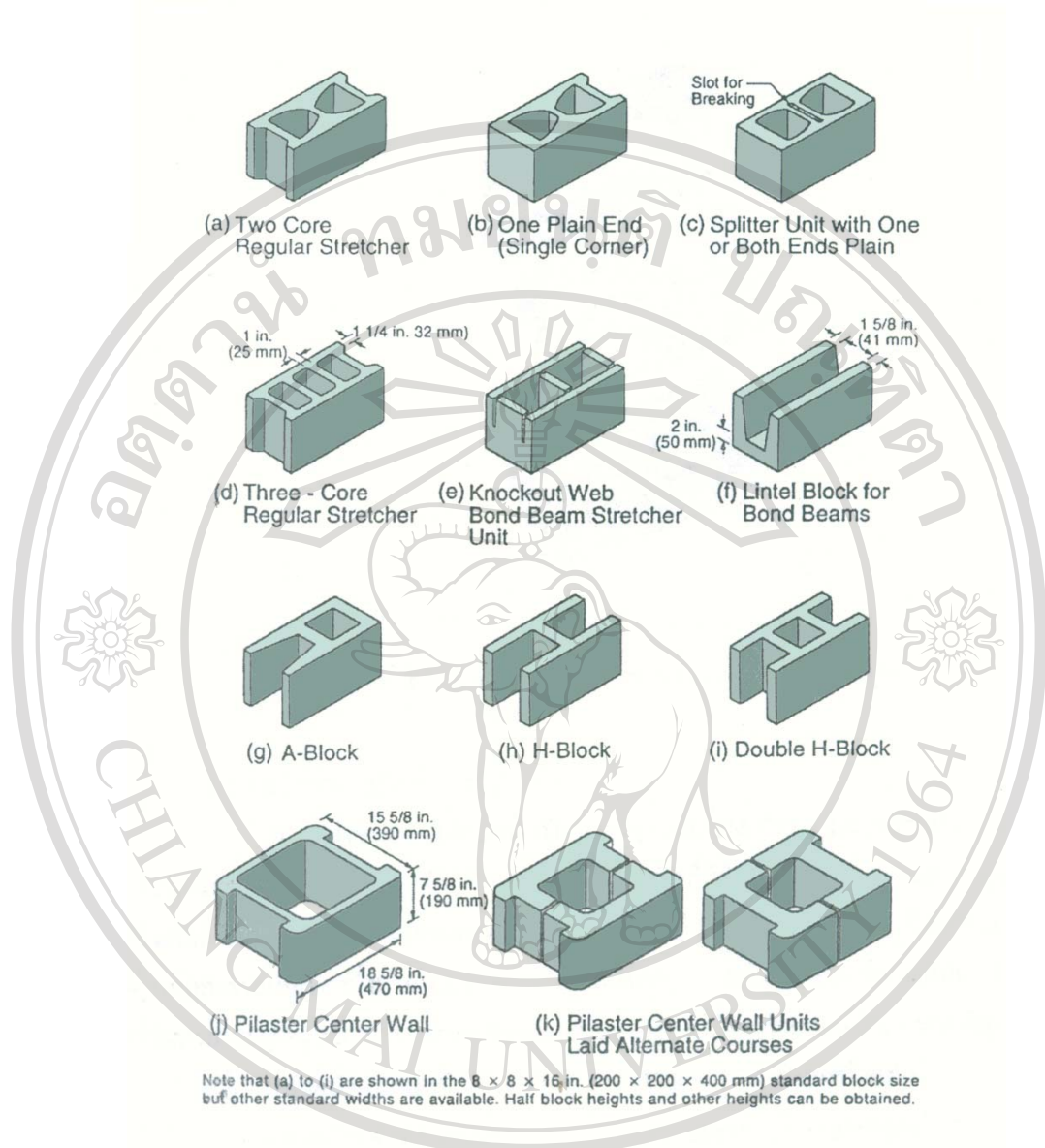
#### -คอนกรีตบล็อก



รูปที่ 2.6 คอนกรีตบล็อก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

<sup>1</sup> กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เอกสารเผยแพร่ “แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน”, กระทรวงพลังงาน ,บทที่ 2 หน้า 2-16



รูปที่ 2.7 รูปแบบคอนกรีตบล็อก แบบต่างๆ<sup>1</sup>

คอนกรีตบล็อก เป็นวัสดุก่อสร้างแบบก่อ ทำจากซีเมนต์ผสมกับมวลรวมที่มีความพอดี เช่น ทราย กรวดเม็ดเล็ก หินย่อย ผสมกับน้ำอัดขึ้นเป็นรูปแบบลักษณะต่างๆ ตามความต้องการในการใช้งาน ส่วนผสมของคอนกรีตใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และมีส่วนผสมไม่น้อยกว่า 222

<sup>1</sup> มณฑนา รังสียุภาส, “การพัฒนาต้นแบบของคอนกรีตบล็อกสำหรับอาคารที่ปราศจากการใช้พลังงานสำหรับการปรับอากาศ”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543, หน้า 12

กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร<sup>1</sup> ในปัจจุบันคอนกรีตบล็อกมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้สำหรับการก่อผนัง หรือทำโครงสร้างอื่นๆ

ขนาดของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐานของโรงงานผู้ผลิตมีขนาด  $7\frac{5}{8}$  นิ้ว x  $7\frac{5}{8}$  นิ้ว x  $15\frac{5}{8}$  นิ้ว หรือขนาด 190x190x390 มิลลิเมตร

คอนกรีตบล็อกแบบกลวงที่ใช้ทั่วไปในท้องตลาดมีขนาด 19 ซม. x 7 ซม. x 39 ซม. และลวดลายที่หลากหลาย

ชนิดของคอนกรีตบล็อก

การแบ่งชนิดของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน ASTM C90, C129, C55 และ C145 ได้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ เกรด N เป็นชนิดที่มีกำลังต้านทาน (Strength) สูง และมีการป้องกันต่อการระเหยของน้ำสูง และเกรด S เป็นชนิดที่มีกำลังต้านทานปานกลาง มีการป้องกันการระเหยของน้ำปานกลาง ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกขึ้นอยู่กับการใช้วัสดุผสมซึ่งตามมาตรฐาน ASTM จะแยกความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกออกเป็น 3 ช่วงดังนี้

หน่วยน้ำหนักปกติ > 2000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

หน่วยน้ำหนักปานกลาง ~ 1680 – 2000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

หน่วยน้ำหนักเบา < 1680 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

คอนกรีตบล็อกมีทั้งชนิดรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก ซึ่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดรายละเอียดไว้ดังนี้

มอก. 57-2516 หมายถึง คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก

มอก. 58-2516 หมายถึง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

มอก. 59-2516 หมายถึง อิฐคอนกรีต

มอก. 60-2516 หมายถึง คอนกรีตบล็อกเชิงตันรับน้ำหนัก

ผลิตภัณฑ์ของคอนกรีตบล็อกในประเทศไทย แบ่งออกเป็นของชนิดหลัก ได้แก่ ชนิด

บล็อกกลวง และชนิดบล็อกตัน โดยการจัดประเภทให้พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตในแนวราบมีค่ามากกว่า 75% เรียกว่า คอนกรีตบล็อกตัน แต่ถ้าน้อยกว่า 75% เรียกว่าคอนกรีตบล็อกกลวง

ค่าการดูดกลืนน้ำ ของคอนกรีตบล็อกเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญ เนื่องจากค่าการดูดกลืนน้ำจะมีผลต่อการหดตัว ความทนทาน และเพื่อประโยชน์ของการป้องกันน้ำเนื่องจากฝน

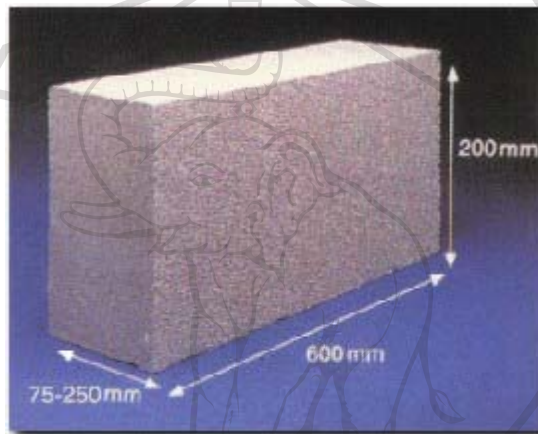
<sup>1</sup> มัชฌมา รังสีโยภาส, “การพัฒนาต้นแบบของคอนกรีตบล็อกสำหรับอาคารที่ปราศจากการใช้พลังงานสำหรับการปรับอากาศ”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543, หน้า 11



และกาขนายตัวเมื่อถูกแดดอันเป็นสาเหตุของการแตกร้าวขึ้นแก่คอนกรีตบล็อก ตามข้อกำหนด ASTM C140 สำหรับค่าการดูดกลืนน้ำในการแช่คอนกรีตบล็อกในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ถ้าค่าการดูดกลืนน้ำมีมากเกินไปจะทำให้การยึดเกาะตัวของมอร์ต้ามีค่าต่ำ

แต่ในขณะที่เดียวกันวัสดุก่ออิฐชนิดหนึ่ง ได้เริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น แต่ไม่จัดอยู่ในประเภทมวลสารมาก เพราะมีน้ำหนักที่เบาว่า กล่าวคือ น้ำหนักประมาณ 90 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ดังนั้นจึงจัดอยู่ในประเภทมวลสารน้อย คือ

#### -คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา



รูปที่ 2.8 คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา

ที่มา [www.q-con.co.th](http://www.q-con.co.th)

คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา เป็นวัสดุที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน อันเนื่องมาจากคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและเสียง ได้มากกว่าวัสดุก่อชนิดอื่นๆ โดยตัวของวัสดุเองมีส่วนผสมของ ทราย ซีเมนต์ ปูนขาว น้ำ ยิปซัม และผงอลูมิเนียมนำมาผสมรวมกัน แล้วอัดเป็นแท่งลักษณะคล้ายคอนกรีตบล็อก แต่ความแตกต่างที่สำคัญที่สุดคือ ฟองอากาศเล็กๆ มีลักษณะเป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่อง (Disconnecting Voids) ที่อยู่ในเนื้อของวัสดุประมาณ 75 % ทำให้วัสดุมีน้ำหนักเบา มีผลช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับโครงสร้าง อีกทั้งฟองอากาศเหล่านี้ยังเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี

คอนกรีตมวลเบาสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทใหญ่ได้แก่

ก) คอนกรีตมวลเบาที่ใช้เทคโนโลยีออโตคลเรป (Autoclaved Aerated Concrete) เริ่มจากการนำส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ทราย ยิปซัม น้ำ และสารอลูมิเนียม มาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม แล้วจึงทำให้แข็งตัวด้วยเครื่องอบไอน้ำความดันสูง โดยฟองอากาศในเนื้อ

<sup>1</sup> โสมบายเออร์ไกด์, คอลัมน์ “พื้นจรดเพดาน”, นิตยสาร โสมบายเออร์ไกด์ ฉบับ เดือน ก.ค. 2548, กรุงเทพฯ, 2548

วัสดุเกิดจากอากาศเข้าไปแทนที่แก๊สไฮโดรเจนที่ฟูขึ้นมาจากปฏิกิริยาของผงอลูมิเนียมกับปูนขาว มีลักษณะเป็นฟองอากาศเป็นแบบปิดไม่ต่อเนื่อง เหมือนกับการทำขนมเค้ก โดยมี “สารฟูหรือผงฟู” เป็นตัวช่วย ซึ่งคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากการผลิตรูปแบบนี้ยังมีอัตราการซึมน้ำที่ค่อนข้างสูง หากนำไปใช้กับปูนก่อฉาบต่างๆไป ตัววัสดุจะดูดน้ำจากปูนก่อฉาบทำให้เกิดรอยแตกร้าวขึ้นได้ จึงต้องใช้ปูนก่อฉาบพิเศษสำหรับคอนกรีตมวลเบาโดยเฉพาะ

สำหรับคอนกรีตมวลเบาที่ใช้เทคโนโลยีดังกล่าว ตัวอย่างเช่น คอนกรีตมวลเบา Q-CON, ซุปเปอร์บล็อก, ไทยคอน เป็นต้น

ข) คอนกรีตมวลเบาประเภทใช้ additive หรือการผสมสารเพิ่มฟองอากาศ เป็นส่วนผสม ทำให้วัสดุมีความเบา ซึ่งระบบเรียกว่าระบบที่ผลิตด้วยระบบ CLC (Cellular Lightweight Concrete) ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, ทราย, น้ำ, น้ำยาชีวภาพ (NEOPOR) ผสมกันแล้วผ่านการอัดอากาศด้วยแรงดันสูง จนเกิดฟองขนาดเล็กที่มีความสมดุลแทรกอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะเกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างกันและกัน (Embedded) เป็นโครงสร้างในคอนกรีต โดยสม่ำเสมอและไม่เชื่อมต่อกัน ก่อนนำไปขึ้นบล็อกผ่านเครื่องอบ ออกมาเป็นบล็อกคอนกรีตมวลเบา

ค) คอนกรีตมวลเบาชนิดใช้โฟมเป็น aggregate เป็นส่วนผสม โดยมีส่วนผสมได้แก่ ปูนซีเมนต์และทราย กวนกันเป็นวัสดุมวลเบา เช่นผลิตภัณฑ์ mts lightgrert เป็นเทคโนโลยีจากออสเตรเลีย ทำที่โรงงานที่ เพชรบูรณ์ เป็นวัสดุ คอนกรีตผสมโฟมเป็นเม็ดๆ สามารถป้องกันความร้อนได้ดี

เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตที่มีฟองอากาศปิดแบบสมบูรณ์ อีกทั้งไม่มีปูนขาวผสม(ไม่ยุ่ยน้ำ) ทำให้มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยกว่าการผลิตแบบออโตเกรป ประมาณ 10-15% คอนกรีตมวลเบาที่ได้จึงใช้ร่วมกับปูนก่อฉาบชนิดธรรมดาได้เช่นเดียวกับการก่อด้วยอิฐมอญ อีกทั้งสามารถเพิ่มความแข็งแรงของเนื้อวัสดุมากขึ้น โดยการปรับเพิ่มส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทำให้สามารถดกตะปูกับผนังได้เช่นเดียวกับผนังอิฐมอญด้วยเช่นกัน คอนกรีตมวลเบาที่ใช้เทคโนโลยีดังกล่าว เช่น บล็อกมวลเบา เค-บล็อก, คอนกรีตมวลเบาแอลคอน, ผนังเบาสำเร็จรูปของ CPAC และคอนกรีตมวลเบา C-Lite เป็นต้น

### 2.5.2. วัสดุฉนวน

“ฉนวน”<sup>1</sup> โดยทั่วไปหมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งได้ง่าย

การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนให้ถูกต้องจำเป็นต้องเข้าใจกลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ ก่อน ฉนวนกันความร้อน โดยทั่วไปแล้ว เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยช่องโพรงเล็กๆ และช่องอากาศภายในวัสดุที่มีลักษณะเป็นแบบปิดทึบ (Totally Enclosed) เรียกว่า ฉนวนมวลสาร (Mass Insulation) ช่องเล็กๆ เหล่านี้อาจเกิดขึ้นจากเกล็ด (Flakes) เส้นใย (Fibers) ปมแข็ง (Nuclei of solids) หรือเซลล์ของตัววัสดุเอง ยกเว้นฉนวนสะท้อนความร้อน (Reflective Insulation)

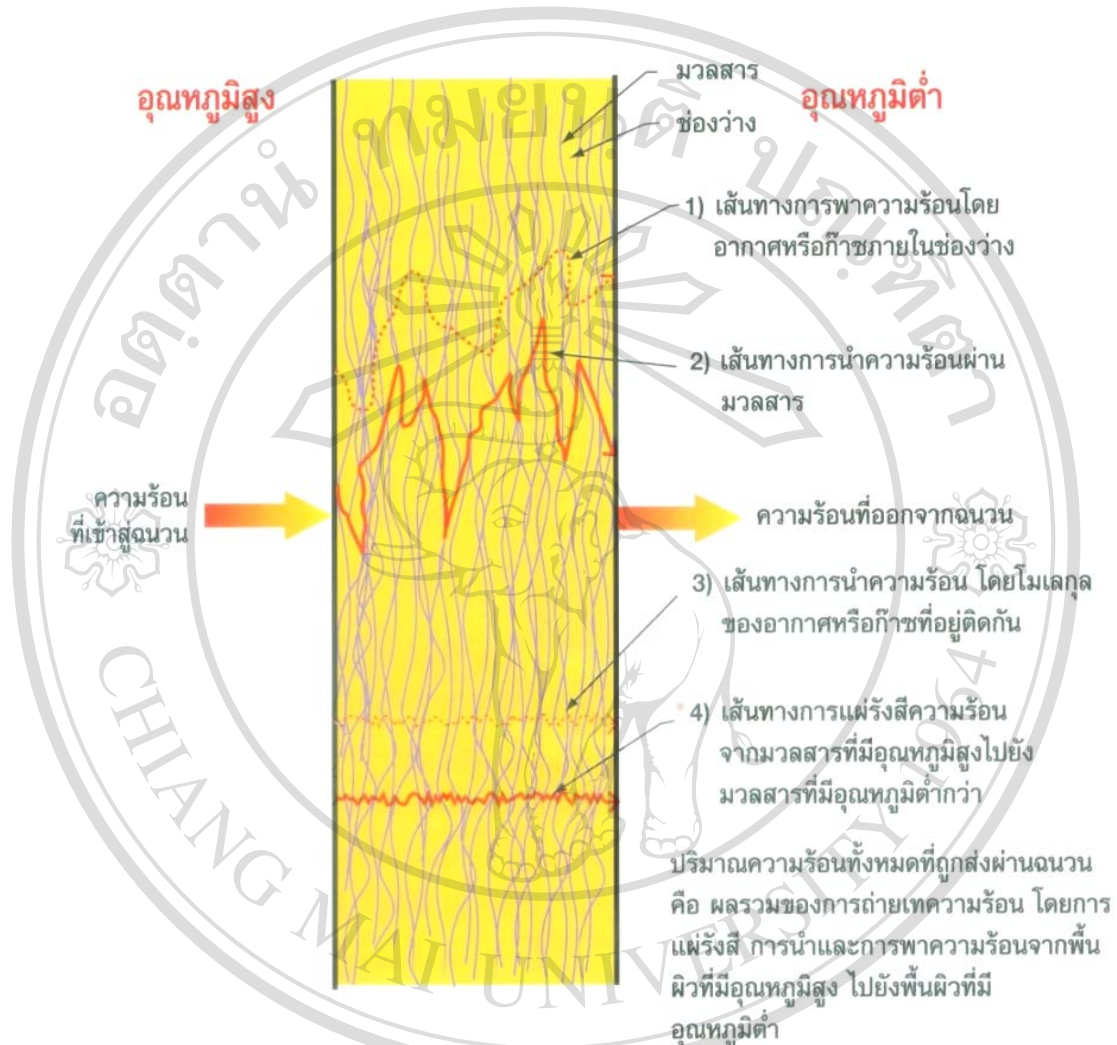
กลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนมวลสาร เกิดขึ้นได้โดยช่องเล็กๆ ที่อยู่ภายในวัสดุ และลักษณะเป็นโพรงอากาศนี้เองที่ทำหน้าที่ต้านทานการไหล (Flow) ของอากาศหรือก๊าซ ทำให้มีความร้อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่จะสามารถถ่ายเทผ่านจากด้านหนึ่งของวัสดุไปยังอีกด้านหนึ่งโดยกระบวนการพาความร้อนได้

เมื่อพิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฉนวนที่มีค่าความหนาแน่นค่าหนึ่งของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนใดๆ นั้น สภาพการนำความร้อนปรากฏ (Apparent Thermal Conductivity) ที่เกิดขึ้นจะลดลงได้ เนื่องจากการพาความร้อนโดยอากาศภายในฉนวนกันความร้อนนั้นลดลง เพราะการลดขนาดของช่องอากาศระหว่างเซลล์ของเส้นใยที่ทำให้อากาศภายในฉนวนกันความร้อนหุคหนึ่งไม่เคลื่อนที่จนมีสภาพเป็นฉนวนกันความร้อนอย่างดี ถึงแม้ภายในเซลล์บางส่วนจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยแต่ละเส้น แต่เมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มมากขึ้น เส้นใยแต่ละเส้นเรียงชิดติดกัน การแผ่รังสีตามทิศทางเคลื่อนที่ของความร้อนจะลดลง เนื่องจากผลของอุณหภูมิตัดกันมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อความหนาแน่นของวัสดุหรือฉนวนกันความร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเกิดการแผ่รังสีความร้อนระหว่างเส้นใยสู่เส้นใยและพื้นผิวสู่พื้นผิวจะลดลง ทำให้สภาพการนำความร้อนลดลงด้วย จนกระทั่งเมื่อเส้นใยหรือเซลล์ต่อเชื่อมจนเป็นเนื้อเดียวกัน จะทำให้เกิดการนำความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุ จนถึงจุดที่การแผ่รังสีความร้อนมีค่าน้อยกว่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น อันเกิดจากการเพิ่มความหนาแน่นของวัสดุที่ทำให้เส้นใยชิดกันมากขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้ฉนวนมวลสารนั้น จะมีค่าความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ในแต่ละประเภทที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าหนึ่งเท่านั้น

<sup>1</sup> สุนทร บุญญธิการ และอุษณีย์ มิ่งวิมล, “การใช้ฉนวน”, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

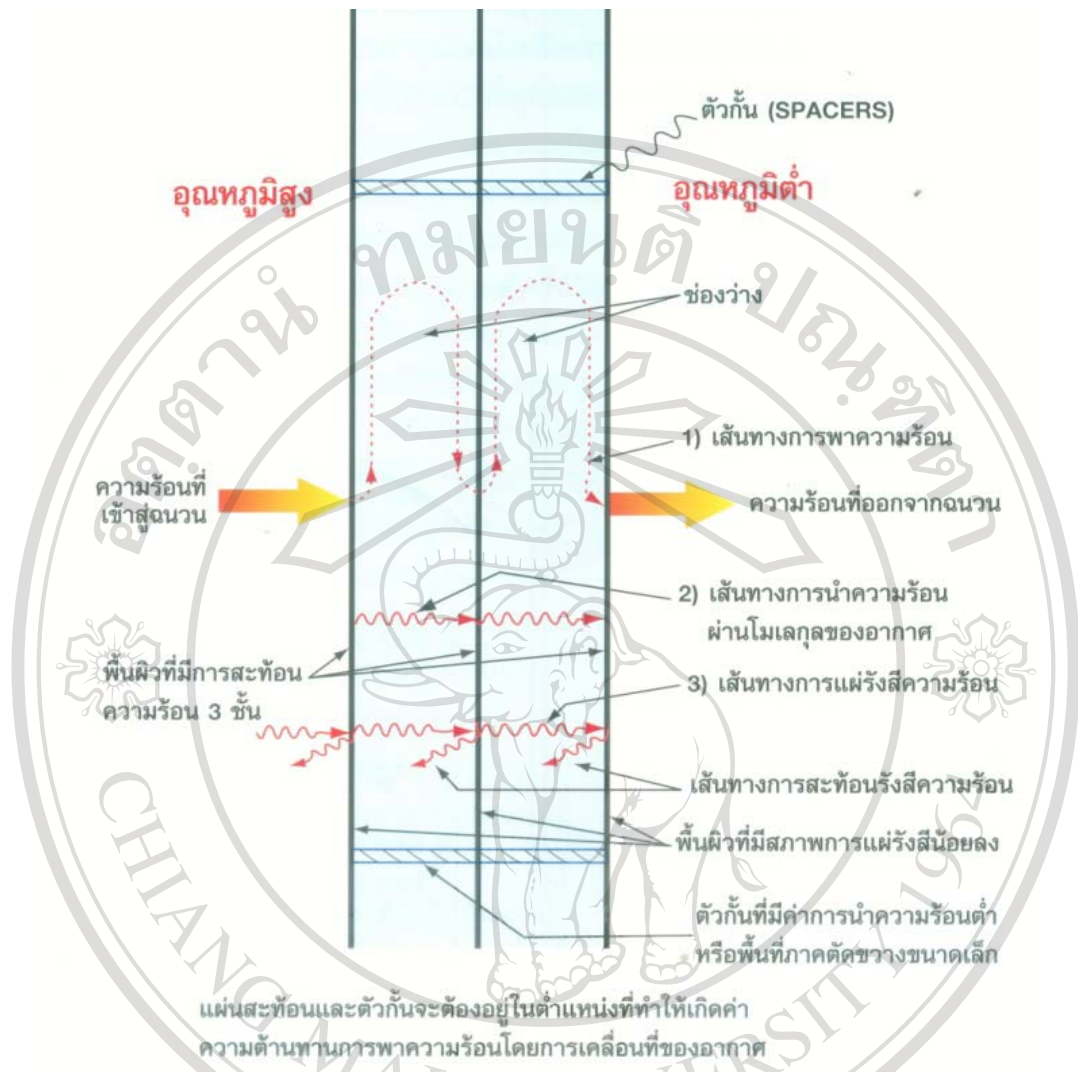
โดยสรุปแล้ว ฉนวนกันความร้อนที่ดี จึงควรเป็นฉนวนที่กันความร้อนที่มีค่าสภาพการนำความร้อนรวมต่ำสุด (ดูรูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.9 แสดงการไหลของความร้อนผ่านฉนวนมวลสาร<sup>1</sup>

ฉนวนกันความร้อนประเภทสะท้อนความร้อนประกอบด้วยช่องว่างสำหรับการสะท้อนความร้อนกลับอยู่ระหว่างแผ่นสะท้อนรังสีความร้อน โดยมีกระบวนการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุ (ดูรูปที่ 2.9) วัสดุที่ใช้ทำฉนวนประเภทนี้ส่วนมากทำจากอลูมิเนียม (Aluminium) หรือเหล็กปลอดสนิม (Stainless Steel) ซึ่งฉนวนประเภทสะท้อนความร้อนมักจะต้องนำไปประยุกต์ร่วมกับการก่อสร้างมากกว่าการแยกใช้เป็นชิ้นเดียวโดยเฉพาะ

<sup>1</sup>สุนทร บุญญาธิการ และอุษณีย์ มิ่งวิมล, “การใช้ฉนวน”, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 2543, หน้า 10



รูปที่ 2.10 แสดงการไหลของความร้อนผ่านฉนวนประเภทสะท้อนความร้อน 3 ชั้น ซึ่งประกอบด้วยการถ่ายเทความร้อน 3 รูปแบบ

ที่มา สุนทร บุญญาริการ และอุษณีย์ มิ่งวิมล, “การใช้ฉนวน”, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 2543, หน้า 11

### 2.5.2.1. ประเภทของฉนวน

ในการจำแนกประเภทของฉนวนกันความร้อน สามารถทำได้หลายวิธี หากจำแนกตามชนิดของวัสดุพื้นฐาน (Basic Materials) ที่ใช้ในการผลิตได้ประเภท ดังนี้

- วัสดุประเภทใยแร่ (Mineral Fibrous Material) เช่น โยหิน, ใยโลหะที่ได้จากการถลุงโลหะ, ใยแก้ว

- วัสดุประเภทเส้นใยธรรมชาติ (Organic Fibrous Material) เช่น ไม้, ชานอ้อย, ฝ้าย, ขนสัตว์, เส้นใยเซลลูโลส, ใยสังเคราะห์ เป็นต้น

- วัสดุประเภทเซลล์ธรรมชาติ (Organic Cellular Material) เช่น ไม้ก๊อก, โฟมยาง, โพลีสไตรีน, โพลียูรีเทน เป็นต้น

- วัสดุประเภทเซลล์แร่ (Mineral Cellular material) เช่น แคลเซียมซิลิเกต, เพอร์ไลต์, เวอร์มิคูไลท์, โฟมคอนกรีต เป็นต้น

### 2.5.2.2. คุณลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุฉนวน

วัสดุฉนวนในปัจจุบันมีหลายประเภท ในที่นี้จะกล่าวถึงวัสดุประกอบอาคารและฉนวนบางชนิดที่สำคัญ และมีทั่วไปในท้องตลาด

- ฉนวนใยแก้ว



รูปที่ 2.11 ฉนวนใยแก้วแบบต่างๆ

ที่มา [www.Homepro.com](http://www.Homepro.com)

ใยแก้วเป็นฉนวนที่ผลิตจากการหลอมแก้วแล้วปั่นออกมาเป็นเส้นใยสีขาว จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนเซตปิด ใยแก้วมีความหนาแน่นต่างกันตั้งแต่  $10 \text{ kg/m}^3$  ไปถึงมากกว่า  $64 \text{ kg/m}^3$  อาจผลิตในรูปแบบแผ่นแข็ง แบบม้วน หรือขึ้นเป็นรูปทรงต่างๆกัน ตัวเส้นใยจะถูกเคลือบไว้ด้วยตัวประสาน (Binder) เช่น ฟีนอลิกเรซิน ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเส้นใย ที่พบมากจะเป็นฟีนอลฟอร์มอัลดีไฮด์ ซึ่งจะทำให้สีเหลืองหลังการผลิต

ตัวใยแก้วเป็นสารอนินทรีย์จึงไม่ติดไฟ แต่ตัวประสานจะติดไฟได้ จึงควรพิจารณาคุณสมบัติในการใช้งาน และการดูดซับความชื้น จะทำให้ความสามารถในการต้านทานความร้อนลดลง จึงต้องมีแผ่นมาประกบเพื่อช่วยต้านทานไอน้ำ เช่น แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ หรือ ฟิล์มพลาสติก

ห่อหุ้มผนังใช้งานจริง ซึ่งต้องพิจารณาคุณภาพและคุณสมบัติการติดไฟในการเลือกใช้งานด้วย และจากการที่ขนาดของเส้นใยแก้วที่เล็กและยาวทำให้มีคุณสมบัติในการคืนรูป หรือคืนความหนาได้ดี คุณสมบัตินี้จะช่วยในการคืนสภาพของฉนวนจากการบรรจุและการขนส่งที่มักมีการบีบอัด และสุดท้ายคือเรื่องของกลิ่นที่มาจากตัวประสานจึงควรจัดเก็บในพื้นที่เปิดโล่ง คุณสมบัติของใยแก้ว การใช้งานโดยทั่วไป จะวางฉนวนใยแก้วที่มีการหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เหนือฝ้าเพดาน ซึ่งเป็นพื้นที่การใช้งานโดยตรง

ตารางที่ 2.16 Glass wool insulation based on SFG (2007)

Insulation Description size (M)	Glass wool insulation: Un-Face Board Blanket (UBB)					
	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Thickness (mm)	Weight (kg)	Price/unit (Baht)	Price/m <sup>2</sup> (Baht)	R-Value (m <sup>2</sup> C/W)
UBB 1625 1.22 × 30.50	16	25	14.9	2,250	60	0.658
UBB 1650 1.22 × 30.50	16	50	14.9	2,180	117	1.316
UBB 2425 1.22 × 30.50	24	25	22.3	3,270	88	0.714
UBB 2450 1.22 × 30.50	24	50	22.3	3,170	170	1.429
UBB 3225 1.22 × 30.50	32	25	14.9	2,180	117	0.756
UBB 4913 1.22 × 30.50	40	13	19.3	2,840	76	0.406
Insulation	Glass wool insulation: Un-Face Board (UB)					
UBB 3250 1.22 × 2.44	32	50	4.8	690	232	1.471
UBB 4825 1.22 × 2.44	48	25	3.6	510	171	0.758
UBB 4850 1.22 × 2.44	48	50	7.1	980	329	1.515

ที่มา [www.Homepro.com](http://www.Homepro.com)

-ฉนวนเยื่อกระดาษหรือใยเซลลูโลส



รูปที่ 2.12 ฉนวนเยื่อกระดาษ

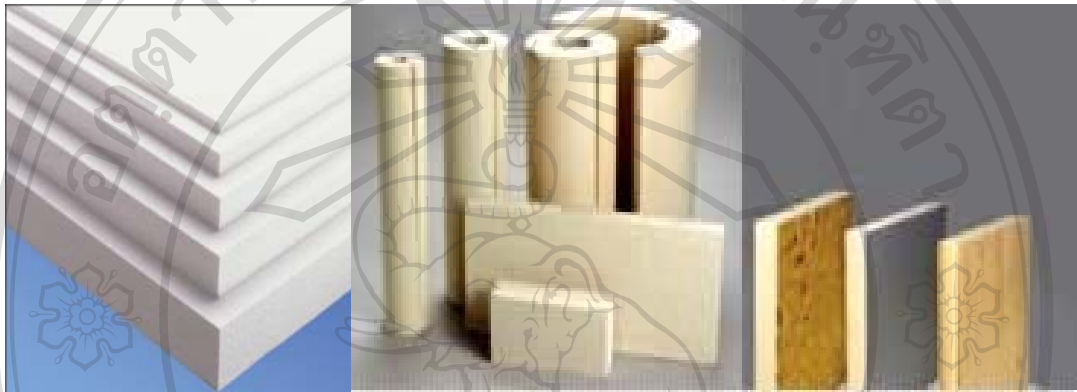
ที่มา [www.cellumax.net](http://www.cellumax.net)

เป็นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากการนำไม้ หรือกระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง โดยการแผ่ ดึงให้กระจายออก และทำการย่อยให้ละเอียด จากนั้นทำการประสานเข้าด้วยบอแรกซ์ ส่วนผสมทั้งสองจะช่วยให้มีสภาพต้านทานการลุกลาม และการดูดซับความชื้น

ข้อจำกัดในการใช้งานของฉนวนแบบนี้คือ การควบคุมให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐานที่กำหนด และวัสดุที่ใช้ผลิตเป็นเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งติดไฟได้ง่าย ดังนั้นจำเป็นจะต้องผสมสารหน่วงการไหม้ไฟในอัตราส่วนที่เหมาะสมด้วย

โดยทั่วไปในท้องตลาด มักทำขึ้นจากเยื่อกระดาษที่ใส่สารกันไม่ให้ไฟลาม ทำให้ป้องกันไฟได้ในระดับหนึ่ง ความสามารถในการเป็นฉนวนมีค่าที่ใกล้เคียงกับใยแร่และใยแก้ว

#### -ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม



รูปที่ 2.13 ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมแบบต่างๆ

ที่มา [www.topinsulation.com](http://www.topinsulation.com)

จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนแบบกึ่งเซลล์ปิด มี 2 ลักษณะ คือ

#### ก) ฉนวนโพลีสไตรีนแบบอัดรีด (Extruded Polystyrene)

ผลิตโดยขบวนการอัดรีด ทำให้มีเซลล์ที่ละเอียดซึ่งมีอากาศผสมกับก๊าซฟลูออโรคาร์บอน (ปัจจุบันมีการใช้ก๊าซประเภทอื่นเพื่อหลีกเลี่ยงปรากฏการณ์เรือนกระจก) อยู่ภายใน ทำให้มีสภาพในการนำความร้อนที่ต่ำกว่าโพลีสไตรีนแบบหลอ มีโครงสร้างและรูปร่างที่แข็งแรงคงที่มากกว่า ทำให้สามารถทนต่อแรงกดทับและต้านทานไอน้ำได้ดี แต่ข้อเสียคือ ติดไฟได้ และหากสัมผัสกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ในบรรยากาศจะมีการเสื่อมสภาพได้ จึงควรมีวัสดุปิดผิวในการใช้งาน ปัจจุบันยังคงต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงมีราคาค่อนข้างสูงดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงต้องมีเปลือกที่ต้านทานเปลวไฟได้ เช่น ยิปซัมบอร์ด ปูนฉาบ เป็นต้น

#### ข) ฉนวนโพลีสไตรีนแบบหลอหรือขยายตัว (Molded or Expanded Polystyrene)

เป็นสไตรีนโพลีเมอร์เช่นกัน แต่ผลิตโดยขบวนการหลอหรือขยายตัว ผลก็คือเซลล์จะหยาบกว่า และมีอากาศบรรจุอยู่ภายใน เมื่อเทียบกับแบบอัดรีดแล้วจะมีสภาพการนำความร้อนสูงกว่า ความหนาแน่นต่ำกว่า ต้านทานไอน้ำได้พอใช้ ติดไฟและก่อให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แต่มีราคาถูกกว่า มีการเสื่อมสภาพจากการสัมผัสรังสียูวีในบรรยากาศได้เช่นกัน จึงควร



เลือกใช้ในโครงคร่าปิดหรือมีแผ่นปิดผิว โดยมีการขึ้นรูปประกอบเป็นผนังมีแผ่นปิด 2 ด้านเพื่อป้องกันรังสียูวีและใช้งานได้สะดวก ปัจจุบันมีการผลิตจำหน่ายในประเทศไทยแล้ว

ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมเป็นฉนวนที่นำเอาเม็ดโฟมขนาดเล็กๆ มาอัดเข้าด้วยกัน ทำให้มีช่องว่างระหว่างเม็ดโฟมแรกอยู่บ้าง ดังนั้นจึงไม่สามารถกันความร้อนได้ 100% ซึ่งการกันความร้อนของโพลีสไตรีนจึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของโฟม

ตารางที่ 2.17 แสดง EPS properties based on ASTM Standard C528

EPS Properties							
Property			Type XI	Type I	Type VIII	Type II	Type IX
Nominal Density		Ib/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	0.75 (12)	1.00 (16)	1.25 (20)	1.50 (24)	2.00 (32)
Density <sup>1</sup> , min.		Ib/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	0.70 (12)	0.90 (15)	1.15 (18)	1.35 (22)	1.80 (29)
Thermal Resistance <sup>1</sup> , min., Per 1.0 in. thickness	75° F 24° C	°F·ft <sup>2</sup> ·h/Btu (°C· <sup>2</sup> /W)	3.10 (0.55)	3.60 (0.63)	3.80 (0.67)	4.00 (0.70)	4.20 (0.74)
	40° F 4.4° C	°F·ft <sup>2</sup> ·h/Btu (°C· <sup>2</sup> /W)	3.30 (0.58)	4.00 (0.70)	4.20 (0.74)	4.40 (0.70)	4.60 (0.81)
Compressive strength <sup>1</sup> @ 10% def., min.		Psi (kPa)	5.0 (35)	10.0 (69)	13.0 (90)	15.0 (104)	25.0 (173)
Flexural strength <sup>1</sup> , min		Psi (kPa)	10.0 (69)	25.0 (173)	30.0 (208)	35.0 (276)	50.0 (345)
Water Vapor Permeance <sup>1</sup> Of 1.0 in. thickness, max., perm			5.0	5.0	3.5	3.5	2.0
Water Absorption <sup>1</sup> By total immersion, max., volume %			4.0	4.0	3.0	3.0	2.0
Oxygen Index <sup>1</sup> , min., volume %			24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Flame Spread <sup>2</sup>			20	20	20	20	20
Smoke Developed <sup>2</sup>			150-300	150-300	150-300	150-300	150-300
<sup>1</sup> ASTM C-578 Standard Specification for complete information							
<sup>2</sup> UL Certificate AFM-1 available from R-Control Building Systems							

ที่มา R-Control of Expanded Polystyrene EPS Foam

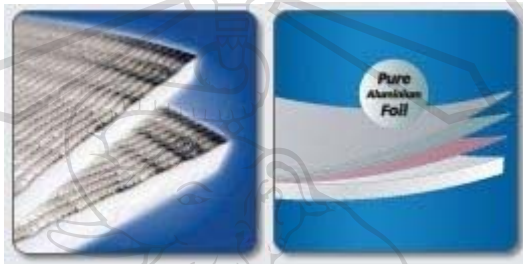
(<http://www.r-control.com/EPS/properties.asp>)

### -โพลียูรีเทนโฟม

เป็นพลาสติกโพลีเมอร์ประเภทหนึ่ง พ่นให้เกิดเป็นโฟมมีลักษณะแข็ง อาทิ การพ่นเพื่อป้องกันความร้อนใต้หลังคา จัดอยู่ในกลุ่มฉนวนแบบกึ่งเซลล์ปิด เซลล์ภายในจะบรรจุด้วยก๊าซฟลูออโรคาร์บอน ซึ่งเป็นก๊าซที่มีค่าการนำความร้อน (k) ต่ำกว่าอากาศ ทำให้ฉนวนประเภทนี้มีสภาพการนำความร้อนต่ำ อย่างไรก็ตามการนำความร้อนของฉนวนประเภทนี้จะเพิ่มขึ้นหรือค่าการต้านทานความร้อน (R-Value) จะลดลงตามอายุการใช้งาน เนื่องมาจากการแพร่กระจายของ

อากาศเข้าไปในเซลล์ โดยเฉพาะกรณีที่สัมผัสกับรังสียูวี จะทำให้สีของฉนวนเปลี่ยนเป็นสีเหลือง และเสื่อมสภาพลง โดยเฉพาะโฟมที่ไม่ได้ปิดผิว การดูดซับน้ำจะมีบ้างเนื่องจากไม่ใช่เซลล์ปิดทั้งหมด และในกรณีเกิดเพลิงไหม้แม้ว่าจะมีการผสมสารป้องกันการติดไฟแล้ว แต่ก็ยังก่อให้เกิดก๊าซที่มีองค์ประกอบของไซยาไนด์ซึ่งเป็นอันตราย เมื่อฉนวนมีการขยายและหดตัวจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หากใช้โครงเคร่าปิด เช่น ผนังห้องเย็น หรือ มีวัสดุปิดผิวที่แข็งแรงพอที่จะเป็นฉนวนที่ดีมาก

### -โพลีเอทรีลีน

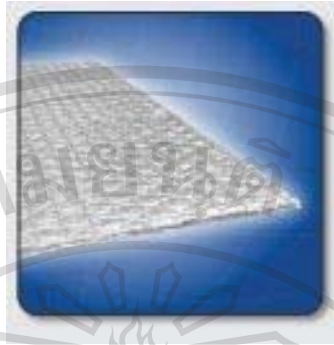


รูปที่ 2.14 ฉนวน PE (โพลีเอทรีลีน)

ที่มา [www.m-pe.com](http://www.m-pe.com)

เป็นเอทรีลีน โพลีเมอร์รีดขึ้นรูปเป็นแผ่นมีฟองละเอียดของก๊าซอยู่ด้านใน จัดอยู่ในกลุ่มของฉนวนแบบเซลล์ปิด มีลักษณะอ่อนนุ่ม จึงไม่ควรใช้กับงานที่มีการกดทับ การต้านทานไอน้ำอยู่ในเกณฑ์สูง มีการเสื่อมสภาพได้จากรังสียูวี จึงควรมีแผ่นปิดผิวขณะใช้งาน หรือไม่สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง การเลือกใช้งานป้องกันความร้อนในระบบหลังคาในประเทศไทย ต้องพิจารณาความหนาของฉนวน ให้มีค่าการต้านทานความร้อน (R-Value) ที่เพียงพอ คือมีความหนาไม่น้อยกว่า 40 มม. ในการใช้ติดได้แผ่นหลังคา ซึ่งความหนาดังกล่าวจะต้านทานการไหลผ่านของพลังงานความร้อนได้น้อย และเนื่องจากเป็นโพลีเมอร์พลาสติกประเภทหนึ่งจึงก่อให้เกิดควันปริมาณมาก และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่เป็นอันตรายเมื่อเกิดเพลิงไหม้ คุณสมบัติของฉนวนโพนแต่ละประเภท

### -ฉนวน PE- Bubble Foil



รูปที่ 2.15 ฉนวน PE-Bubble Foil

ที่มา [www.m-pe.com](http://www.m-pe.com)

โครงสร้างประกอบด้วย Polyethylene Air Bubble ชนิดปิดคุณภาพสูง ทำหน้าที่ป้องกันการส่งผ่านความร้อน โดยใช้หลักของช่องว่างอากาศภายใน ปิดผิวด้านบนด้วยอลูมิเนียมฟอยล์บริสุทธิ์ที่มีค่าสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity) สูงถึง 95% และมีค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ต่ำเพียง 0.05 และปิดผิวด้านล่างด้วยอลูมิเนียมฟิล์ม (Metalized Film) ที่มีค่าการสะท้อนรังสีความร้อน 86% จึงช่วยป้องกันการคายความร้อน

### -แผ่นสะท้อนความร้อนอลูมิเนียมฟอยล์



รูปที่ 2.16 แผ่นสะท้อนความร้อนอลูมิเนียมฟอยล์

ที่มา เอกสารเผยแพร่แนวทางการเลือกใช้วัสดุและฉนวนเพื่อการประหยัดพลังงาน

อลูมิเนียมฟอยล์เป็นชนิดหนึ่งของฉนวนประเภทสะท้อนความร้อน และเป็นที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน โดยทั่วไปเป็นแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ทากาวประกบกับแผ่นกระดาศยคราฟมีเส้นใยเสริมแรงบางชนิดอาจมีชั้นของบิทูเมน (Bitumen) อยู่ด้วย ซึ่งถ้ามีควรพิจารณาคุณสมบัติการติดไฟด้วยการใช้งานทั่วไปจะติดตั้งได้แผ่นหลังคา อาศัยความหนาของช่องอากาศระหว่างแผ่นหลังคา และแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์เป็นตัวลดสภาพการนำความร้อน และความมันวาวของอลูมิเนียมฟอยล์เป็นตัวลดการ

แผ่รังสี ทำให้ความร้อนผ่านเข้าสู่อาคารได้น้อยลง ปัญหาที่พบคือฝุ่นที่มาเกาะบนผิวทำให้  
คุณสมบัติการต้านทานการแผ่รังสีความร้อนลดลงด้วย



แผนภูมิที่ 2.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) ของวัสดุต่างๆที่ความหนา 1 นิ้ว

ที่มา: ศุนทร บุญญาธิการ และอุษณีย์ มิ่งวิมล, “การใช้ฉนวน”, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 2543, หน้า 13

## 2.6. การศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานภายในอาคาร

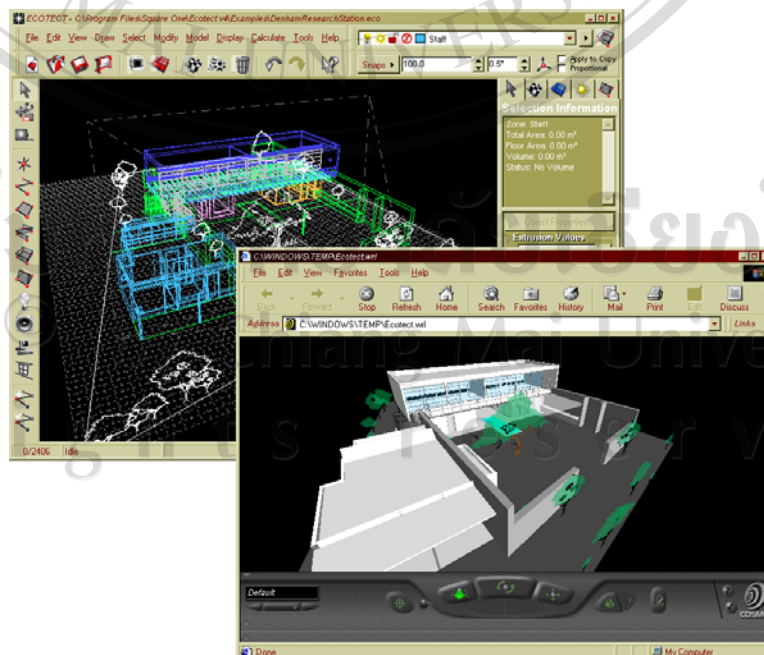
### 2.6.1. ECOTECT

โปรแกรม ECOTECT เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการจำลองสภาพแวดล้อม ในแบบ 3 มิติที่สามารถจำลองหรือพยากรณ์การ โจรของแสงอาทิตย์, ความร้อน และการวิเคราะห์ทางเสียง ตลอดจนมีฟังก์ชันการวิเคราะห์ต้นทุน

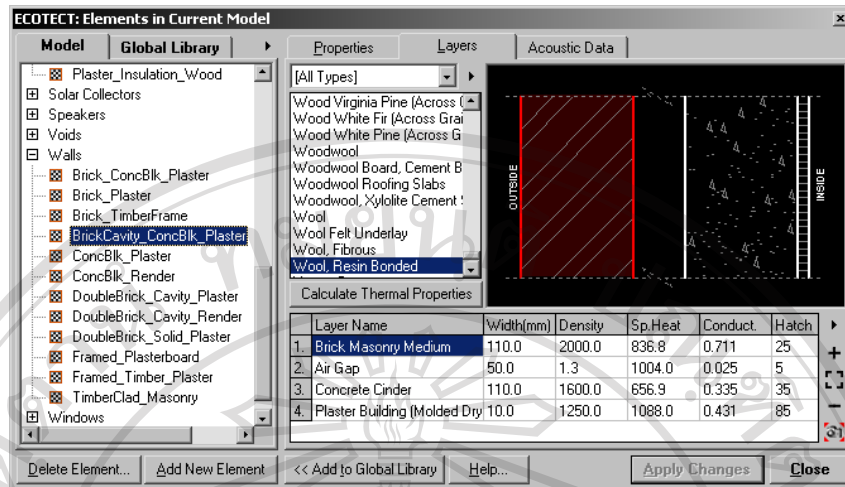
ECOTECT สามารถตอบสนองการใช้งานเพื่อการวิเคราะห์ โดยสามารถเลือกวัสดุที่มีความแตกต่างกันเพื่อการศึกษาและเปรียบเทียบวัสดุได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย สามารถจำลองสภาพแสงประดิษฐ์ จำนวนภาระการปรับอากาศ จำนวนการสูญเสียพลังงาน การจำลองอุณหภูมิภายในอาคาร

การป้อนข้อมูล สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ในแบบ CAD INTERFACE สามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้ทันที หากเปรียบเทียบกับโปรแกรมวิเคราะห์พลังงานอื่นๆ

ซึ่งสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบเบื้องต้นสำหรับสถาปนิกและวิศวกร เพื่อตอบคำถามในการใช้พลังงาน และการจัดการได้ ECOTECT เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ ทรงพลังและแม่นยำ ตอบสนองการใช้งานที่ง่าย รวมทั้งสามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมการวิเคราะห์พลังงานอื่นๆได้ง่าย สามารถรองรับการใช้งานร่วมกับโปรแกรม อาทิ เช่น RADIANCE , VRML , DOE-2 และ ENERGYPLUS ซึ่งเป็นโปรแกรมจากกระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 2.17 แสดงหน้าจอของโปรแกรม ECOTECT ที่แสดงในลักษณะ VRML บนเว็บเพจได้



รูปที่ 2.18 แสดงการตั้งค่าวัสดุสำหรับโปรแกรม ECOTECH

โปรแกรม ECOTECH ใช้ภาษา C++ เป็นภาษาเขียนโปรแกรม การคำนวณต่างๆตามกรรมวิธีของ CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers) ซึ่งเป็นสถาบันให้คำแนะนำ ความรู้และเผยแพร่แนวทางของวิศวกรและช่างเทคนิค ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป โดยเฉพาะในประเทศอังกฤษและยุโรป

โปรแกรม ECOTECH ถูกออกแบบโดย Dr. Andrew Marsh แห่งมหาวิทยาลัยคาร์ดิฟฟ์, เวลส์ (Cardiff University, Wales) ร่วมกันกับนักศึกษาและทีมงาน ในระยะแรกเริ่มโปรแกรมนี้เป็นเพียงงานปริญญาโทของนักศึกษานั้น ต่อมาเมื่อ Dr. Andrew ได้ก่อตั้งทีมวิจัย Square Research ขึ้น และโปรแกรมนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ

จนกระทั่งบริษัท Autodesk ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตซอฟต์แวร์ทางด้านงาน CAD และผู้ผลิตโปรแกรม AutoCAD ได้เล็งเห็นความสามารถของโปรแกรม จึงได้ซื้อลิขสิทธิ์และก่อตั้งใหม่ในนาม Autodesk ECOTECH ซึ่งจะนำความสามารถในการจำลองการใช้พลังงานต่างๆของโปรแกรมไปผนวกกับโปรแกรมอื่นๆของ AUTODESK อาทิเช่น AUTOCAD, REVIT เป็นต้น ซึ่งปัจจุบัน REVIT ได้นำเอา ECOTECH ไปบรรจุเป็นโปรแกรมเสริมเพื่อทดลองใช้แล้ว

ดังนั้นจึงเป็นการปฏิเสธเสียมิได้ หากในอนาคตอันใกล้ ผู้ที่ออกแบบหรือสถาปนิก วิศวกรทั่วโลกจะได้ใช้โดยทั่วกัน

## 2.7. การประเมินผลตอบแทนการลงทุน

เป็นการประเมินเพื่อการตัดสินใจในการลงทุนในเลือกชนิดวัสดุที่ต้องการความคุ้มค่าหรือผลตอบแทนหากเลือกใช้วัสดุนั้นๆแล้วจะช่วยให้ประหยัดพลังงานและรายจ่าย โดยการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการเพื่อหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และผลตอบแทนโดยหลักเกณฑ์การวิเคราะห์โครงการแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ

### 2.7.1. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อาคาร

เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้เห็นถึงปริมาณหรือจำนวนวัสดุหรือองค์ประกอบอาคารที่เหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดกับเงินที่ลงทุน

### 2.7.2. ค่าใช้จ่ายโดยรวมตลอดอายุการใช้งาน

เป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของอาคารหรือ Life-Cycle Cost (LCC) ซึ่งค่าใช้จ่ายนี้ประกอบด้วย

-เงินลงทุนเริ่มต้น (Investment Cost, First Cost) ได้แก่เงินลงทุนที่ใช้ก่อสร้างอาคาร ในกรณีวิเคราะห์อาคารทั้งหลัง หรือเงินลงทุนที่ใช้ซื้อหรือติดตั้งวัสดุ

-ค่าใช้จ่ายในการใช้อาคาร (Operating Cost) ส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานหรือค่าสาธารณูปโภค ได้แก่ ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ เป็นต้น

-ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา (Repair and Maintenances)

-ค่าเปลี่ยนแปลงวัสดุอุปกรณ์ประกอบอาคาร (Amortization or Replacement Cost) ซึ่งโดยทั่วไปมักจะไม่นำมาคิดในการคำนวณหา LCC

### 2.7.3. การวิเคราะห์โครงการแบบไม่ปรับค่าของเวลา

#### 2.7.3.1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

**Payback Period** = ราคาวัสดุที่ติดตั้งฉนวน / มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี

#### 2.7.3.2. อัตราผลตอบแทนเฉลี่ย (ARR) หรือผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI)

$$\text{ARR หรือ ROI} = \frac{\text{กำไรเฉลี่ย}}{\text{การลงทุนทั้งหมด}} \times 100$$

ระยะเวลาคืนทุน คือระยะเวลาที่การลงทุนในโครงการหนึ่งๆจะได้รับเงินลงทุนคืนมา ผลที่ได้จากการประเมินโดยวิธีนี้จะทำให้รู้ว่าจะได้เงินลงทุนคืนกลับมาช้าหรือเร็วเท่าไร

## 2.8. การศึกษางานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

2.8.1. แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร (กัญจน์ พิเศษฐ์ศิลป์, 2545)

เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงกรอบอาคารของเดิม ที่มีการปรับอากาศภายในอาคาร เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ดังนั้นในงานวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงผนังอาคารเดิมโดยการนำเอาฉนวนกันความร้อนมาใช้ร่วมกับผนังอาคาร โดยพิจารณาระบบผนังที่นิยมก่อสร้างกันในปัจจุบัน ประกอบด้วยผนังอิฐมวลเบาและผนังมวลเบา โดยพิจารณาหารูปแบบการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆกับรูปแบบที่จะนำมาใช้งานกับผนัง 2 ชนิด 4 ทิศทางของอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ พร้อมทั้งหาความหนาที่เหมาะสม และทำการเลือกรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งาน โดยพิจารณาด้านตัวแปรด้านอุณหภูมิ ประกอบการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนและค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

ในการวิจัยแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือกความหนาของฉนวนกันความร้อนตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ที่มีความเหมาะสมในการปรับปรุงผนังของอาคารปรับอากาศทั้ง 4 ทิศ โดยทำการติดตั้งฉนวนทั้งภายในและภายนอกของผนังอาคารเดิม

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเลือกรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในการใช้งานระหว่างการติดตั้งฉนวนภายในและภายนอกอาคาร

การวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนสามารถลดค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของวันลงได้ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันค่อนข้างคงที่ (การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้วมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันคงที่มากที่สุด)

ในส่วนของการพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 1-3 นิ้วทั้งภายในและภายนอก สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมลงได้ 75% , 85% และ 90% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการคืนทุนพบว่า การเลือกใช้ฉนวน 3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศทาง มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด (ไม่เกินระยะเวลาที่สามารถยอมรับได้ที่ 3.5 ปี) และสามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้สูงสุด ซึ่งได้ผลดีกว่าการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 2 นิ้วและ 1 นิ้ว ส่วนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของการติดตั้งฉนวน 3 นิ้วมีค่าใช้จ่ายต่ำสุดในทุกช่วงการใช้งาน

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานกับอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆมากกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายใน เนื่องจากค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดมีค่าน้อย (อุณหภูมิเกือบคงที่ตลอดวัน) และมีระยะเวลาหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ยาวนานกว่า (ติดตั้งฉนวนภายในหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ 4 ชั่วโมง และ



ติดจนภายนอกหน้าต่างเห็นวิวความร้อนได้ 5 ชั่วโมง) ส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาลดลง นอกจากนี้การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารยังสามารถป้องกันการเกิดสะพานความร้อน (Thermal Bridge) และป้องกันความชื้นจึงไม่มีผลต่อการเกิดการควบแน่นในผนัง และทำให้ไม่สูญเสียพื้นที่ใช้งานในอาคาร

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงผนังอาคาร (ผนังก่ออิฐมวลเบาและผนังก่ออิฐฉาบปูน) ที่มีการปรับอากาศภายใน โดยใช้ฉนวนกันความร้อน สามารถทำได้โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว ภายนอกอาคาร ทั้ง 4 ทิศ เพื่อลดปัญหาในเรื่องของปริมาณความร้อน การเกิดการควบแน่นในผนัง และการเกิดสะพานความร้อน เป็นการลดภาระการทำ ความเย็นของเครื่องปรับอากาศ นอกจากนี้ยังสามารถนำเสนอแนวทางติดตั้งฉนวนภายนอกไปประยุกต์ใช้กับผนังชนิดอื่นๆ ได้เช่นกัน

2.8.2. อิทธิพลการหน้าต่างเห็นวิวความร้อนจากการเลือกตำแหน่งมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน (รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ, 2543)

เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบต่อการหน้าต่างเห็นวิวความร้อนจากการเลือกตำแหน่งของมวลสารและฉนวน โดยทดสอบทั้งในสภาพปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ โดยการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการศึกษาเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการจัดวางฉนวน และมวลสาร โดยทำการติดตั้งฉนวนด้านนอกแผ่นคอนกรีต กึ่งกลางแผ่นคอนกรีต และด้านในแผ่นคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่า ตำแหน่งฉนวนที่เหมาะสมคือ การใช้วัสดุฉนวนด้านนอกสุดเพื่อลดอิทธิพลที่รุนแรงของสภาพอากาศภายนอก และใช้วัสดุมวลสารที่มีความจุความร้อนไว้ด้านใน เพื่อหน้าต่างเห็นวิวความร้อนที่ผ่านจากวัสดุฉนวนเข้ามา

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดสอบพฤติกรรมการหน้าต่างเห็นวิวความร้อนจากการใช้งานในสภาพปรับอากาศ และสภาพไม่ปรับอากาศ

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการทดสอบตัวแปรจากอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลต่อการหน้าต่างเห็นวิวความร้อน

ผลการวิจัยได้สรุปว่า การติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารภายในที่มีความเหมาะสม ทั้งการใช้งานในสภาพปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ อาคารที่ไม่ปรับอากาศควรใช้ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารปริมาณมากภายในอาคาร เพื่อให้อุณหภูมิอากาศภายในเข้าใกล้สภาวะความน่าสบายในเวลากลางวัน และอาคารที่มีการปรับอากาศควรใช้ผนังที่ติดตั้งฉนวน

ภายนอกและใช้มวลสารปริมาณน้อยภายในอาคาร เพื่อให้เครื่องปรับอากาศไม่สิ้นเปลืองพลังงาน ในการลดความร้อนสะสมภายในมวลสารเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ

2.8.3. อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายและการปรับอากาศ,(สรณู ประวิตรราษฎร์,2543)

เป็นงานวิจัยที่มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาอิทธิพลของผนังมวลสารภายนอกที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายและการปรับอากาศ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบผนังภายนอกที่มีปริมาณมวลสารและมีรูปแบบของอาคารที่มีความเหมาะสมกับการใช้งาน ทั้งในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศและสภาวะที่มีการปรับอากาศตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ทำให้เกิดประโยชน์ทั้งด้านการประหยัดพลังงานในอาคารกระบวนการวิจัยจะเริ่มจากการกำหนดสภาพการใช้งานอาคารที่จะทำการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็นสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ ปรับอากาศตลอด 24 ชม. ปรับอากาศเวลากลางวัน (8.00-18.00น.) และปรับอากาศเวลากลางคืน (20.00-6.00 น.)

แล้วจึงทำการจัดกลุ่มผนังมวลสารภายนอก ที่จะทำการทดลองโดยแยกประเภทตามคุณลักษณะของมวลสาร ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่างๆ ได้ดังนี้ กลุ่ม 1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน  $3.979-3.989 \text{ W/m}^2\text{C}$  ได้แก่ ผนังไม้เนื้อแข็งหนา 12 มม., ผนังอิฐ 7 ซม.กับปูนทรายข้างละ 8 มม. , ผนังคอนกรีตหนา 12.5 ซม. (เป็นผนังมวลสารน้อย ปานกลางและมากตามลำดับ) กลุ่ม 2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน  $0.953-0.959 \text{ W/m}^2\text{C}$  ได้แก่ ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 7 ซม.กับปูนขนาดกลางข้างละ 5 มม., ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 17 ซม.กับปูนหนา.เบาข้างละ 1 ซม., ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 27 ซม.กับปูนหนา.เบาข้างละ 1 ซม. (เป็นผนังมวลสารน้อย , ปานกลางและมากตามลำดับ) ต่อจากนั้นจึงดำเนินการทดสอบโดยใช้การจำลองสภาพการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม DOE 2.1 D. ซึ่งจะทำให้การเก็บวัดผลข้อมูลทางด้านอุณหภูมิภายในอาคารและค่าภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และการนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และประเมินผลการใช้งานผนังมวลสารภายนอกกับอาคารรูปแบบต่างๆ ที่มีรูปร่างภายนอกของอาคารต่างกันแต่มีพื้นที่ใช้สอยของอาคารเท่ากันผลการวิจัยพบว่าแบบผนังและรูปแบบอาคารที่มีจำนวนชั่วโมงของอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในช่วงสภาวะน่าสบายมากที่สุดภายใต้สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ ได้แก่ ผนังมวลสารน้อยและรูปแบบอาคารที่มีลักษณะผังพื้นแบบแผ่นสี่-มีพื้นที่ผนังอาคารมาก ส่วนสภาพการใช้งานอาคารในสภาวะที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชม.และปรับอากาศเฉพาะเวลากลางวันนั้นจะให้

ผลการทดลองที่เหมือนกัน คือ แบบผนังที่มีผลรวมของค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุดคือ ผนังมวลสารมาก โดยมีรูปแบบอาคารที่เหมาะสมที่สุดคือ อาคารที่มีพื้นที่ผนังน้อยที่สุด (คือ

อาคารที่เหลี่ยมจัตุรัส) สำหรับในสภาวะที่มีการปรับอากาศเฉพาะกลางคืน ผลการทดลองของแบบผนังและรูปแบบอาคารที่มีค่าภาระการทำความเย็นน้อยที่สุด ได้แก่ ผนังมวลสารน้อยและรูปแบบอาคารที่มีพื้นที่ผนังอาคารที่น้อยที่สุด ผลการทดลองของการศึกษาคั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบผนังอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานได้

2.8.4. การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ด้วยระบบผนังที่มีช่องอากาศ : กรณีศึกษาอาคารในเขตร้อนชื้น (ประพันธ์พงศ์ จงปติยัตต์, 2538)

เป็นการวิจัยเปรียบเทียบระบบผนัง โดยเลือกทำการทดสอบกับผนังมวลสารมาก (ผนังก่ออิฐฉาบปูน) และผนังมวลสารน้อย (ผนังโฟม) รวมทั้งผนังซีเมนต์แผ่นเรียบ (วัสดุที่มีความจะความร้อนต่ำ) โดยแบ่งการทดสอบวัสดุออกเป็น 5 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ ธรรมดา

กลุ่มที่ 2 ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ + ช่องว่างอากาศ + ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ ซึ่งมีลักษณะเป็นกำแพง 2 ชั้น มีช่องว่างของอากาศตรงกลาง

กลุ่มที่ 3 ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ + ช่องว่างอากาศ + โฟม

กลุ่มที่ 4 โฟม + ช่องว่างอากาศ+ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ

กลุ่มที่ 5 ผนังซีเมนต์แผ่นเรียบหรือกระเบื้องแผ่นเรียบ + ช่องว่างอากาศ + โฟม

ซึ่งผู้วิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้

ระบบผนังอาคารที่มีช่องอากาศแบบเปิด สามารถระบายความร้อนภายในช่องอากาศ และมีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนดีกว่าระบบผนังที่มีช่องอากาศแบบปิด

ระบบผนังอาคารที่มีช่องอากาศแบบเปิด (อาคารที่ไม่ปรับอากาศในช่วงอุณหภูมิสูงสุดของวัน) ผนังชั้นในเป็นผนังที่มีวัสดุมวลสารมาก ทำให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าการใช้ผนังชั้นในเป็นผนังที่มีวัสดุมวลสารน้อย

ระบบผนังอาคารที่มีช่องอากาศแบบเปิด (อาคารปรับอากาศ) สามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในช่องว่างอากาศ และความสามารถในการกักความร้อนของผนังด้านใน

ระบบผนังอาคารที่มีช่องอากาศแบบเปิด กล่าวคือมีช่องที่สามารถระบายความร้อนภายในช่องอากาศของผนัง สามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด ได้แก่ ผนังภายนอกเป็นวัสดุที่มีมวลสารมากและผนังภายในเป็นวัสดุมวลสารน้อย สามารถลดปริมาณความร้อนเฉลี่ยต่อวันได้ดีกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ หนา 4 นิ้วทั่วไปถึง 12.5 เท่า

### 2.8.5. การพัฒนาระบบผนังโพนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อน (สกนซ์ ศรีวิไลสกุลวงศ์,2545)

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบผนังโพนที่สามารถลดความร้อนได้ดี ที่สามารถก่อสร้างได้ง่ายและมีราคาถูกลงกว่าระบบที่มีอยู่ในปัจจุบันซึ่งเป็นการทดสอบตัวแปร 3 ขั้นตอนโดย

ขั้นตอนที่ 1 ทดสอบคุณสมบัติการลดความร้อนของผนังโพนที่มีการวางตำแหน่งของฉนวนที่แตกต่างกัน 3 แบบกล่าวคือ อยู่ด้านนอก ตรงกลางและด้านในของผนัง โดยผลสรุปที่ได้ผนังที่มีฉนวนโพนอยู่ด้านนอกจะได้ผลดีที่สุด รองลงมาคือที่อยู่ด้านใน และตรงกลาง ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดสอบคุณสมบัติในการลดความร้อนของผนังโพนเมื่อเจาะช่องระบายอากาศที่ผนังชั้นนอก โดยเปรียบเทียบกับผนังโพนที่มีช่องอากาศแบบปิด ทั้งชนิดที่ใส่ฉนวนอยู่ด้านนอกอาคาร และชนิดที่ใส่ฉนวนโพนด้านในอาคาร ซึ่งในขั้นที่ 2 นี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนย่อย ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

-ผนังโพนที่เจาะช่องระบายอากาศที่ผนังชั้นนอก 30% มีอุณหภูมิลดลงไม่ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกับกล่องใส่โพนด้านในอาคารและมีช่องอากาศแบบปิด โดยสามารถลดอุณหภูมิในกล่องลดลงเฉลี่ยเพียง 0.32 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิอากาศในกล่องทดสอบสูงกว่าของผนังที่ใส่โพนไว้ด้านนอกอาคารโดยเฉลี่ย 0.11 องศาเซลเซียส

-การเพิ่มพื้นที่เจาะช่องระบายอากาศเป็น 100% มีผลทำให้อุณหภูมิอากาศในกล่องลดต่ำลงกว่ากล่องที่ใส่โพนทางด้านในอาคาร และมีช่องอากาศแบบปิดโดยเฉลี่ย 0.59 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิอากาศในกล่องต่ำกว่ากล่องที่ใส่โพนด้านนอกอาคาร 0.53 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบคุณสมบัติในการลดความร้อนของผนังเพิ่มเติม โดยเพิ่มความหนาของฉนวนโพนที่นอกช่องคร่าวแต่อยู่ด้านในอาคารจากหนา 2 นิ้วเป็น 4 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังที่ใส่ฉนวนโพนหนา 2 นิ้วทั้งที่ใส่นอกช่องคร่าวแต่อยู่ด้านในอาคารและใส่นอกช่องคร่าวและอยู่ด้านนอกอาคาร โดยพบว่า ผนังที่มีความหนาฉนวนโพนเท่ากัน การใส่ฉนวนโพนด้านนอกอาคารจะลดอุณหภูมิอากาศในกล่องลงได้ประมาณ 1 องศาเซลเซียส แต่ถ้าหากเพิ่มความหนาของโพนที่ใส่ด้านในอาคาร จาก 2 นิ้วเป็น 4 นิ้วจะสามารถทำให้อุณหภูมิอากาศในกล่องต่ำกว่าการใส่โพน 2 นิ้ว ไว้ด้านนอกอาคารประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส