

การปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคาบิมนเนียมเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน

กรณีศึกษา : อาคาร GA-1 ศูนย์กีฬาเอเชียนเกมส์ครั้งที่ 13

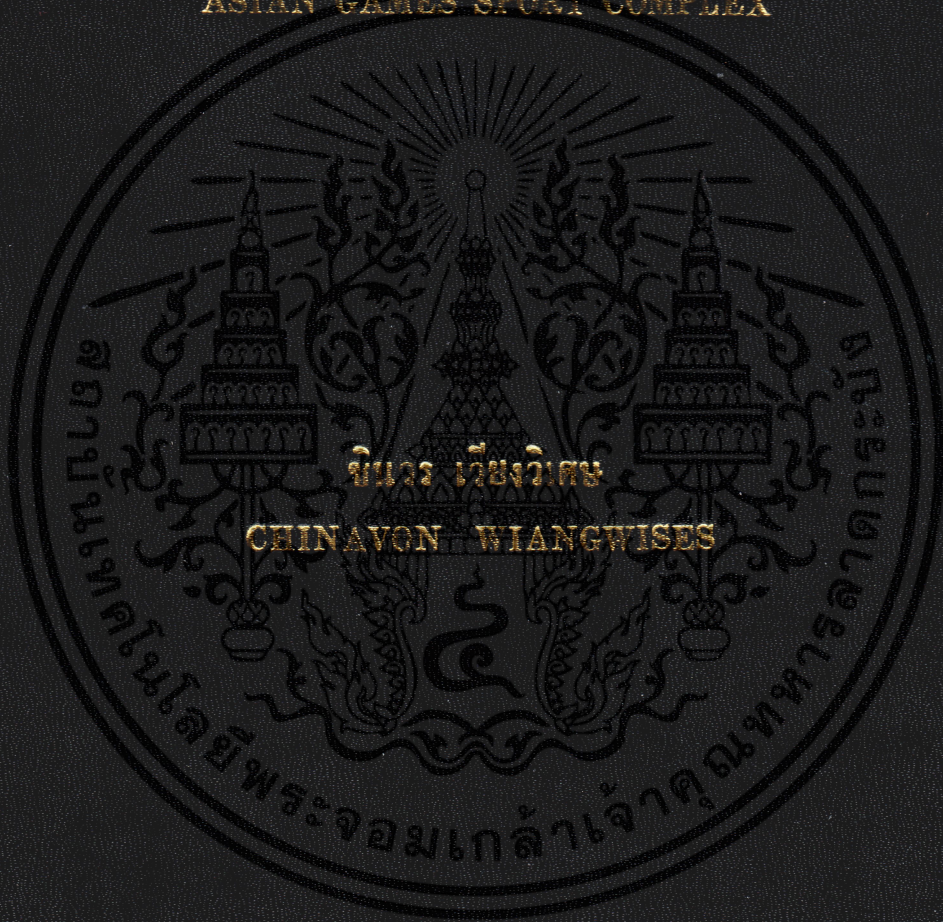
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ รังสิต

RENOVATION THE ROOF OF GYMNASIUM, FOR THE LOWER OVERALL

THERMAL TRANSFER VALUE CASE STUDY : GYMNASIUM GA-1

THAMMASART UNIVERSITY, RANGSIT CAMPUS 13th

ASIAN GAMES SPORT COMPLEX



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษากานหลังคาบิมนเนียมด้วยระบบวิศวกรรมหลังคาบิมนเนียม

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

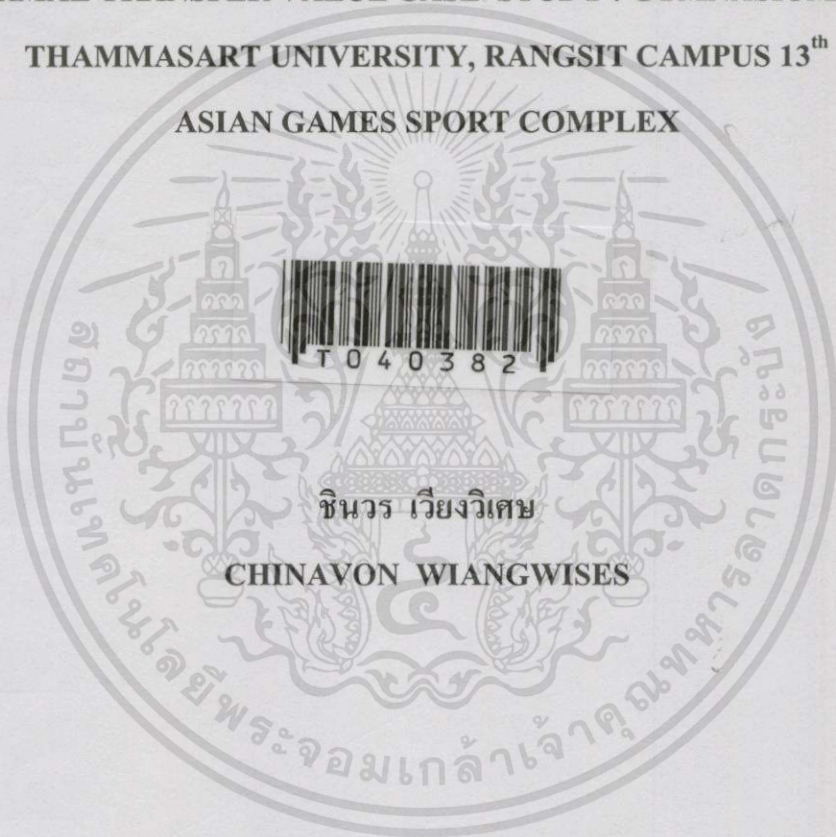
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-188-6

การปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคาอิมเนเซียม เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน
กรณีศึกษา : อาคาร GA-1 ศูนย์กีฬาเอเชียนเกมส์ครั้งที่ 13
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, รังสิต

RENOVATION THE ROOF OF GYMNASIUM, FOR THE LOWER OVERALL
THERMAL TRANSFER VALUE CASE STUDY : GYMNASIUM GA-1,
THAMMASART UNIVERSITY, RANGSIT CAMPUS 13th
ASIAN GAMES SPORT COMPLEX



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-188-6

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 40382

เลขที่..... 114 กย 2544

บ.

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**RENOVATION THE ROOF OF GYMNASIUM, FOR THE LOWER OVERALL
THERMAL TRANSFER VALUE CASE. STUDY : GYMNASIUM GA-1,
THAMMASART UNIVERSITY, RANGSIT CAMPUS 13th
ASIAN GAMES SPORT COMPLEX**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE IN TROPICAL ARCHITECTURE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2001

ISBN 974-648-188-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคาอิมเนเซียม เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน
กรณีศึกษา : อาคาร GA-1 ศูนย์กีฬาเอเชียนเกมส์ครั้งที่ 13 มหาวิทยาลัย
ธรรมศาสตร์, รังสิต

RENOVATION THE ROOF OF GYMNASIUM, FOR THE
LOWER OVERALL THERMAL TRANSFER VALUE CASE
STUDY : GYMNASIUM GA-1, THAMMASART UNIVERSITY,
RANGSIT CAMPUS 13TH ASIAN GAMES SPORT COMPLEX

ชื่อนักศึกษา นายชินวร เวียงวิเศษ

รหัสประจำตัว 37062202

ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อน

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.สุภาวดี รัตนมาศ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ธีรমন ไวโรจนกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.สุภาวดี	รัตนมาศ	
รศ.ธีรমন	ไวโรจนกิจ	
รศ.กุสุมา	ธรรมธำรง	
อาจารย์ชัยยุทธ	ศรีเผด็จ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 2 มีนาคม 2544 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง 313 อาคารเรียนรวม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว
(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัครชู)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 11 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคาอิมเนเซียม เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน กรณีศึกษา : อาคารGA-1 ศูนย์กีฬาเอเชียนเกมส์ ครั้งที่ 13 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, รังสิต

นักศึกษา

นาย ชินวร เวียงวิเศษ

รหัสประจำตัว

37062202

ระดับการศึกษา

สถาปัตยกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรมเขตร้อน

พ.ศ.

2544

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุภาวดี รัตนมาศ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รองศาสตราจารย์ ชีรมน ไวโรจนกิจ

บทคัดย่อ

การลดค่าการส่งผ่านความร้อนของหลังคา ควรพิจารณาทั้งระบบหลังคาตั้งแต่การออกแบบ ในการเลือกวัสดุผนังและฉนวนกันความร้อนที่คุณสมบัติครอบคลุมทั้งลดการนำ การพา และการสะท้อนรังสีความร้อนผสมผสานกัน และการมีช่องว่างอากาศใต้หลังคาเป็นการเพิ่มค่าความต้านทานความร้อน(R-value) โดยไม่ต้องใช้เงินลงทุนเพียงแค่พิจารณาการจก้างลำค้ำวัสดุผนัง และฉนวนกันความร้อนให้เหมาะสมเท่านั้น

ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลอาคารที่ทำการศึกษา ซึ่งใช้โครงสร้างหลังคาพาดช่วงยาว อัตราส่วนพื้นที่ที่กรอบอาคารจะมีสัดส่วนพื้นที่ของหลังคามากกว่าพื้นที่ผนังอาคาร ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในจะผ่านพื้นที่ของหลังคามากกว่า ดังนั้นการเพิ่มค่าความต้านทานความร้อน(R-value)ของวัสดุผนังและฉนวนกันความร้อน แต่เนื่องจากกรณีนี้ศึกษาเป็นการปรับปรุงอาคารเดิม จึงต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย คือ กรรมวิธีการติดตั้ง อายุการใช้งานของฉนวน และงบประมาณที่ใช้

ดังนั้นความเหมาะสมในการปรับปรุงฉนวนหลังคาอาคารที่ทำการศึกษา ซึ่งมีฉนวนกันความร้อนเดิมติดตั้งอยู่ การปรับปรุงต้องมีความสะดวกในการทำงานและยึดติดกับวัสดุฉนวนเดิมได้ดี ป้องกันเสียงสะท้อนและดูดซับเสียง เหมาะสำหรับกิจกรรมด้านกีฬาที่มีเสียงดังและมีผู้ชมจำนวนมาก อายุการใช้งานของฉนวนมีความเหมาะสมในการลงทุน และยังสามารถคงแนวความคิดในการออกแบบ(Concept Design)โครงสร้างหลังคาพาดช่วงกว้างระบบหลังคาโครงแขวน (Suspended Roofs) ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของอาคารนี้

Thesis title	Renovation the Roof of Gymnasium, for the lower Overall Thermal Transfer Value. Case Study : Gymnasium GA-1, Thammasart University, Rangsit Campus 13 th Asian games Sport Complex
Student	Mr.Chinavon Wiangwises
Student ID	37062202
Degree	Master of Architecture
Programmer	Master of Architecture in Tropical Architecture
Year	2001
Thesis Advisor	Assistant Professor. Supawadee Ratanamart
Thesis Co-Advisor	Associate Professor. Teeramon Vairojkit

ABSTRACT

Reducing the Heat Transfer of Wide span roofs which existing building has roof area more than Wall area especially studying an air-conditioned opening Gymnasium GA-1. For collecting data from building and analyze as a theory , roof heat transfer (RTTV) in a present which consist of metals steel sheet at 1 mm. Thickness, 4,380 m² area and spraying in place insulator (Cellulose Fiber) at 25 mm. Thickness has 36.35 w/m² RTTV value which over the value as Code of Conservation of the Power Supporting in 1992 for roof that not over 25 w/m². The improvement tendency of increasing an electric insulator that dispense in country including cellulose fiber and ex-electric insulator make group accordance with heat transfer feature . First group is a heat ray refecton by spraying method on a material such as Ceramic-Polymer and stick under cellulose fiber such as Reflective Foil, The second group is heat conduction and heat transmission. Installation method by spraying under cellulose fiber or above ceiling such as Cellulose Fiber or Polyurethane Foam (PU) which was Fiber Glass or Mineral wool felt installed on structure such as Gypsum Plaster Board , Polystyrene (PS) or Wet-foamed mineral fiber. The last method can not use for completed building because it must be made from manufacture as Polyethylene (PE)

The tendency of decreasing heat transfer by hold on the factors as low heat transfer value , worthwhile investment , convenient process , spend suitable time and agree with architectural concept. As above mentioned , a suitable tendency is an electronic insulator spraying the Cellulose Fiber at 25 mm. On former insulator. So, the total thickness is 50 mm. which the RTTV is 21.06 w/m² in a budget 1,533,000 Bath. The duration of returning a scholarship is 6.53 years. The installation by spraying , can lean a scaffolding on roof structure or use a folk lift. The duration of work is about 5 days. After the work completed, suspended roofs system of the main truss can be showed which is significant symbol of this building.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเมตตาและความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาวดี รัตนมาศ รองศาสตราจารย์ ชีรมน ไวโรจนกิจ รองศาสตราจารย์ กุสุมา ธรรมธำรง รองศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ ปรีชญา รังสิรักษ์ รองศาสตราจารย์ วิวัฒน์ เตมียพันธ์ อาจารย์ชัยยุทธ ศรีเผด็จ ที่กรุณาแนะนำให้คำปรึกษาเรื่องต่าง ๆ แก่ผู้วิจัย จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท โฟร-เอส จำกัด มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล และสถานที่ในการเก็บข้อมูล อาจารย์สุพัฒน์ บุญยฤทธิกิจ คุณศรีวรรณ ศักดิ์ชัยมณีอุดม และคุณพิชญ์ เศษพิทักษ์ ที่ช่วยจัดทำเอกสาร เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ร่วมภาควิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อนที่ช่วยแนะแนวและสนับสนุนข้อมูล

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ของข้าพเจ้าที่สนับสนุนการศึกษา คุณประโยชน์ทั้งหลายที่เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณ

ชินวร เวียงวิเศษ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	4
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 ข้อยกเว้นในการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ภูมิอากาศของประเทศไทย.....	7
2.2 กฎหมายและข้อกำหนดส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน.....	12
2.3 อิทธิพลของตัวแปรต่อการถ่ายเทความร้อนทางหลังคา.....	14
2.4 เทคนิคการวิเคราะห์และการประเมิน.....	22
2.5 ภาวะสบายของมนุษย์.....	25
2.6 หลังคาโครงสร้างพาดช่วงยาว.....	30
บทที่ 3 การศึกษาสภาพอาคารและแนวทางการปรับปรุง	40
3.1 ที่ตั้งโครงการและรูปแบบของอาคาร.....	40
3.2 หลังคาโครงแวน.....	50
3.3 ฉนวนกันความร้อน.....	61

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ตัวแปรด้านการถ่ายเทความร้อนของหลังคา.....	75
3.5 การศึกษาสภาพค่าความร้อน RTTV ที่เกิดขึ้นกับหลังคาอาคาร.....	91
บทที่ 4 การออกแบบปรับปรุงด้านการลดค่าความร้อน RTTV ของหลังคา.....	96
4.1 การศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา RTTV. ที่ได้รับ.....	
จากการเพิ่มวัสดุฉนวนสำหรับหลังคา.....	96
4.2 การศึกษาการเลือกใช้วัสดุฉนวนทำหลังคาตามราคาค่าก่อสร้าง.....	115
4.3 การศึกษาการเลือกใช้วัสดุฉนวนทำหลังคาตามความคุ้มค่าการ.....	
ลงทุนจากการประหยัดค่าไฟฟ้าที่สามารถลดได้.....	119
บทที่ 5 สรุปผลการออกแบบปรับปรุงและข้อเสนอแนะ.....	123
บรรณานุกรม.....	125
ภาคผนวก ก.....	127
ภาคผนวก ข.....	133
ภาคผนวก ค.....	146
ประวัติผู้เขียน.....	149

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่าสถิติภูมิอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร (พ.ศ. 2494-2537).....	11
2.2 แสดงค่าตัวแปรที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาอาคารน้อยที่สุด.....	24
2.3 แสดงค่า Effective Temperature ของกรุงเทพมหานครในรอบปี.....	27
2.4 แสดงค่ามาตรฐานความสบายทางอุณหภูมิ (ET.) ของกรุงเทพฯเป็นรายเดือน.....	29
2.5 แสดงค่ามาตรฐานความสบายทางอุณหภูมิ (ET.) ของกรุงเทพฯเป็นรายชั่วโมง.....	29
2.6 แสดงคุณสมบัติของ โครงสร้างหลังคาไม้.....	33
2.7 แสดงคุณสมบัติของ โครงสร้างหลังคาไม้ (ต่อจากตารางที่ 2.6).....	35
2.8 แสดงคุณสมบัติของ โครงสร้างหลังคาเหล็ก.....	36
2.9 แสดงคุณสมบัติของ โครงสร้างหลังคาเหล็ก (ต่อจากตารางที่ 2.8).....	37
2.1 แสดงคุณสมบัติของ โครงสร้างหลังคาคอนกรีต.....	38
2.1 แสดงคุณสมบัติของ โครงสร้างหลังคาคอนกรีต(ต่อจากตารางที่ 2.10).....	39
3.1 แสดงกรรมวิธีการติดตั้งฉนวนกับวัสดุฉนวน.....	65
3.2 แสดงการแปรสภาพและลดคุณสมบัติของฉนวนเมื่อใช้งาน.....	66
3.3 แสดงน้ำหนักและระยะเวลาการก่อสร้าง.....	67
3.4 แสดงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ณ ตำแหน่งต่างของอาคาร.....	82
3.5 แสดงการแผ่รังสีความร้อน (วัตต์ / ตร.ม.) ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของอาคาร.....	85
3.6 แสดงความชื้นสัมพัทธ์ (%) ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของอาคาร.....	87
3.7 แสดงความเร็วลม (เมตร / วินาที) ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของอาคาร.....	92
3.8 แสดงสัดส่วนพื้นที่ และมุมของหลังคา.....	93
3.9 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของหลังคาที่ทำการศึกษา.....	94
3.10 แสดงการหาตัวแปรสมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา RTTV.....	94
3.11 แสดงการหาตัวแปรสมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา RTTV.....	95
4.1 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของ Metals steel sheets 1 mm.(วัสดุฉนวนหลังคาหลัก).....	97
4.2 แสดงค่า RTTV. ของหลังคา Metals steel sheets 1 mm.(วัสดุฉนวนหลังคาหลัก).....	97
4.3 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของฉนวนหลังคาปัจจุบัน Cellulose Fiber 25 mm.....	98
4.4 แสดงค่า RTTV. ของหลังคาปัจจุบัน Cellulose Fiber 25 mm.....	98
4.5 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนพ่นบนวัสดุฉนวน Ceramic Polymer.....	99
4.6 แสดงค่า RTTV.ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนพ่นบนวัสดุฉนวน Ceramic Polymer.....	99

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.7	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่น Reflective Foil.....	100
4.8	แสดงค่า RTTV.ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่น Reflective Foil	100
4.9	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Cellulose Fiber 25 mm.....	101
4.10	แสดงค่า RTTV.ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Cellulose Fiber 25 mm.....	101
4.11	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Cellulose Fiber 40 mm.....	102
4.12	แสดงค่า RTTV.ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Cellulose Fiber 40 mm.....	102
4.13	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Polyurethane foam(PU) 25 mm.....	103
4.14	แสดงค่า RTTV.ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Polyurethane foam (PU) 25 mm.....	103
4.15	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Polyurethane foam (PU) 40 mm.....	104
4.16	แสดงค่า RTTV.ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Polyurethane foam (PU) 40 mm.....	104
4.17	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วนFiber Glass 25 mm. & Foil.....	105
4.18	แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Fiber Glass 25 mm. & Foil.....	105
4.19	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Fiber Glass 40 mm. & Foil.....	106
4.20	แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Fiber Glass 40 mm. & Foil.....	107
4.21	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool, felt 25 mm.....	107
4.22	แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool , felt 25 mm.	107
4.23	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool , felt 25 mm.....	108
4.24	แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool , felt 25 mm.....	109
4.25	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็งGypsum plaster board9 mm.....	109
4.26	แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็งGypsum plaster board 9 mm.....	109
4.27	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง	
	Gypsum plaster board 9 mm. & Foil.....	110
4.28	แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง.....	
	Gypsum plaster board 9 mm. & Foil.....	110
4.29	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polyurethane (PS) 25 mm.....	111
4.30	แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polyurethane (PS) 25 mm.....	111
4.31	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polyurethane (PS) 40 mm.....	112
4.32	แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polyurethane (PS) 40 mm.....	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น คือทั้งห้ามมิให้คัดลอกแจกจ่าย และต้นฉบับยังคงเป็นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.33 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Wet-foamed mineral fiber 15 mm.	113
4.34 แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Wet-foamed mineral fiber 15 mm.	113
4.35 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Wet-foamed mineral fiber 15 mm. & Foil.....	114
4.36 แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง..... Wet - foamed mineral fiber 15 mm. & Foil.....	114
4.37 แสดงค่า RTTV. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนตามกรรมวิธีการติดตั้ง.....	116
4.38 แสดงการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยของวัสดุฉนวนที่เลือกใช้ปรับปรุงหลังคา.....	117
4.39 แสดงการเปรียบเทียบราคาวัสดุฉนวนที่เลือกใช้ปรับปรุงหลังคาทั้งหมด.....	118
4.40 แสดงการประเมินราคาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง.....	119
4.41 แสดงการประเมินบำรุงรักษาของระบบปรับอากาศที่ลดลง.....	120
4.42 แสดงการประเมินราคาค่าขนาดของระบบปรับอากาศที่ลดลง.....	120
4.43 แสดงการประเมินระยะเวลาการคุ้มทุน.....	120
4.44 แสดงการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี.....	121
4.45 แสดงการจัดลำดับระยะเวลาในด้านการศึกษาของวัสดุฉนวนระยะเวลา (ต่อจากตารางที่ 4.44).....	122
ก.1 แสดงรายการวัสดุและสีทาผนังตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์.....	127
ก.2 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) สำหรับผนังที่มีความหนาแน่น..... เชิงมวลและค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างๆ กัน.....	128
ก.3 แสดงค่าตัวประกอบแก้ไขของผนัง.....	128
ก.4 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา.....	126
ก.5 แสดงค่าตัวประกอบแก้ไขสำหรับหลังคา.....	129
ก.6 แสดงค่าสูงสุดที่ยอมให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังที่บ.....	129
ก.7 แสดงค่าสูงสุดที่ยอมให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา.....	129
ก.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ.....	128
ก.9 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา.....	132
ก.10 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศในช่องว่างผนังหรือหลังคา.....	132

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.1 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผิววัสดุ (h) และค่าความต้านทานความร้อน ของอากาศที่ผิววัสดุ (R).....	133
ข.2 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของช่องอากาศ.....	134
ข.3 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของช่องอากาศ (ต่อเนื่อง).....	135
ข.4 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความชื้น.....	136
ข.5 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความชื้น.....	137
ข.6 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความชื้น.....	138
ข.7 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความชื้น.....	139
ข.8 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความชื้น.....	140
ข.9 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความชื้น.....	141
ข.10 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความชื้น.....	142
ข.11 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความชื้น.....	143

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	แสดงทัศนียภาพของอาคารที่ทำการศึกษา.....	2
1.2	แสดงหุ่นจำลองของอาคารที่ทำการศึกษา.....	2
2.1	แสดงพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงความยาวคลื่น.....	7
2.2	แสดง Solar Chart ที่เส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ (กรุงเทพฯ).....	9
2.3	แสดงทิศทางของลมประจำปีที่พัดผ่านประเทศไทย (กรุงเทพฯ).....	9
2.4	แสดงค่าเปรียบเทียบ R-Value ของฉนวน และวัสดุต่างๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว.....	21
3.1	แสดงที่ตั้ง โครงการ.....	40
3.2	แสดงที่ตั้ง โครงการและสภาพบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.....	41
3.3	แสดงผังบริเวณที่ตั้งอาคารที่ทำการศึกษา.....	42
3.4	แสดงผังพื้นที่ชั้นที่ 1.....	43
3.5	แสดงผังพื้นที่ชั้นที่ 2.....	44
3.6	แสดงผังพื้นที่ชั้นที่ 3.....	45
3.7	แสดงรูปด้านทิศเหนือและทิศตะวันออก.....	46
3.8	แสดงรูปด้านทิศใต้และทิศตะวันตก.....	47
3.9	แสดงรูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวาง.....	48
3.10	แสดงทัศนียภาพภายใน.....	49
3.11	แสดงทัศนียภาพภายนอก.....	49
3.12	แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของโครงสร้างอาคาร.....	51
3.13	แสดงการประกอบโครงเหล็กหลัก (Space Truss) โครงสร้างหลังคา.....	52
3.14	แสดงการประกอบโครงสร้างหลังคาเหล็ก.....	53
3.15	แสดง โครงสร้างหลังคาเมื่อประกอบแล้วเสร็จ.....	54
3.16	แสดงการติดตั้งวัสดุฉนวนแผ่นโลหะ.....	57
3.17	แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่กรรณนนวนชนิดพ่นภายนอกวัสดุฉนวน.....	62
3.18	แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่กรรณนนวนชนิดพ่นภายในได้วัสดุฉนวน.....	62
3.19	แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคามีฝ้าเพดานและช่องอากาศใต้หลังคา.....	63
3.20	แสดงรูปแบบการลดค่ารังสีความร้อน โดยพิจารณาวัสดุและกรรมวิธีการก่อสร้าง.....	64

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 แสดงการพ่นฉนวนสะท้อนรังสีเคลือบภายนอก Ceramic Polymer.....	68
3.22 แสดงการติดตั้งฉนวนแผ่นฟลอย์สะท้อนรังสี.....	69
3.23 แสดงการพ่นฉนวนเซลลูโลสใต้หลังคา.....	70
3.24 แสดงการติดตั้งฉนวนชนิดแผ่นม้วนภายในใต้วัสดุฉนวน.....	70
3.25 แสดงการติดตั้งฉนวนแผ่นแข็งยิบซัมบอร์ด และแผ่นอะคูสติค (Armstrong).....	71
3.26 ฉนวนปูชนิดม้วนแร่ใยหิน.....	72
3.27 แสดงการติดตั้งฉนวนแผ่นแข็งฉนวนโพลิสไตรีน โฟม (Polystyrene Foam-PS).....	72
3.28 แสดงฉนวน โพลียูรีเทน โฟมชนิดฉีดพ่นบนหลังคา.....	73
3.29 แสดงฉนวน โพลียูรีเทน โฟมชนิดฉีดพ่นบนฝ้าเพดาน.....	73
3.30 แสดงฉนวน โพลีเอทรีลีน Polyethylene Form (PE) ชนิดรีดติดแผ่น โลหะจากโรงงาน....	74
3.31 เครื่องวัดพลังงานการแผ่รังสีความร้อน และอุณหภูมิ.....	76
3.32 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ.....	76
3.33 เครื่องวัดความเร็วลม.....	77
3.34 แสดงการเก็บข้อมูลผิวฉนวน Cellulose fiber 25 mm. ด้านในอาคาร.....	78
3.35 แสดงการเก็บข้อมูลผิวหลังคาเหล็กด้านนอก.....	78
3.36 แสดงแบบขยายรายละเอียดการติดตั้งวัสดุฉนวนและฉนวนกับ โครงสร้างบริเวณหัวเสา.....	80
3.37 แสดงแบบรูปตัดการติดตั้งวัสดุฉนวนกับ โครงสร้างหลังคาโครงแขวน.....	81
3.38 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ตำแหน่งต่างๆ ของอาคารที่ทำการศึกษา.....	84
3.39 แสดงแผนภูมิการแผ่รังสีความร้อน (วัตต์/ตร.ม) ผิวหลังคาตำแหน่งต่างๆ ของอาคารที่ทำการศึกษา.....	86
3.40 แสดงแผนภูมิความชื้นสัมพัทธ์ (%) ผิวหลังคาตำแหน่งต่าง ๆ ของอาคาร.....	88
3.41 แสดงแผนภูมิความเร็วลม (เมตรวินาที) ผิวหลังคาตำแหน่งต่างๆ ของอาคาร.....	90
3.42 แสดงรายละเอียดทิศของอาคาร.....	91
3.43 แสดงพื้นที่ในแต่ละด้านของหลังคา.....	92
3.44 แสดงแบบขยายวัสดุฉนวนและฉนวน.....	93
3.45 แสดงค่า Q - Value ของหลังคาในแต่ละทิศ.....	95

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แสดงการติดตั้งวัสดุผนังหลังคา Metals steel sheets 1 mm.....	97
4.2 แสดงการติดตั้งฉนวนหลังคาเดิม Cellulose Fiber 25 mm.....	98
4.3 แสดงการติดตั้งเพิ่มฉนวนพื้นบนวัสดุผนัง Ceramic Polymer.....	99
4.4 แสดงการติดตั้งเพิ่มฉนวนแผ่น Reflective foil ได้ฉนวนเดิม.....	100
4.5 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนพื้น Cellulose Fiber 25 mm. ได้ฉนวนเดิม.....	101
4.6 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนพื้น Cellulose Fiber 40 mm. ได้ฉนวนเดิม.....	102
4.7 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนพื้น Polyethylene Form (PU) 25 mm. ได้ฉนวนเดิม.....	103
4.8 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนพื้น Polyethylene Form (PU) 40 mm. ได้ฉนวนเดิม.....	104
4.9 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Fiber Glass 25 mm. & Foil ได้ฉนวนเดิม.....	105
4.10 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Fiber Glass 40 mm. & Foil ได้ฉนวนเดิม.....	106
4.11 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool ,felt 25 mm. ได้ฉนวนเดิม.....	107
4.12 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool ,felt 40 mm. ได้ฉนวนเดิม.....	108
4.13 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Gypsum plaster board 9 mm. ได้ฉนวนเดิม.....	109
4.14 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Gypsum plaster board 9 mm. & Foil..... ได้ฉนวนเดิม.....	110
4.15 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polyurethane (PS) 25 mm. ได้ฉนวนเดิม.....	111
4.16 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polyurethane (PS) 40 mm. ได้ฉนวนเดิม.....	112
4.17 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Wet - foamed mineral fiber 15 mm..... ได้ฉนวนเดิม.....	113
4.18 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Wet - foamed mineral fiber 15 mm..... & Foil ได้ฉนวนเดิม.....	114
ผ/ข.1 Psychrometric Chart (Conventional Units).....	144
ผ/ข.2 แสดง Thermal Gradient ของกรอบอาคาร.....	145
ผ/ค.1 แสดงคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุฉนวนเซลลูโลสไฟเบอร์ของอาคารที่ศึกษา.....	146
ผ/ค.2 แสดงคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุฉนวนเซลลูโลสไฟเบอร์ของอาคารที่ศึกษา.....	147
ผ/ค.3 แสดงคุณสมบัติระบบเครื่องปรับอากาศของอาคารที่ศึกษา.....	148

บทที่ 1

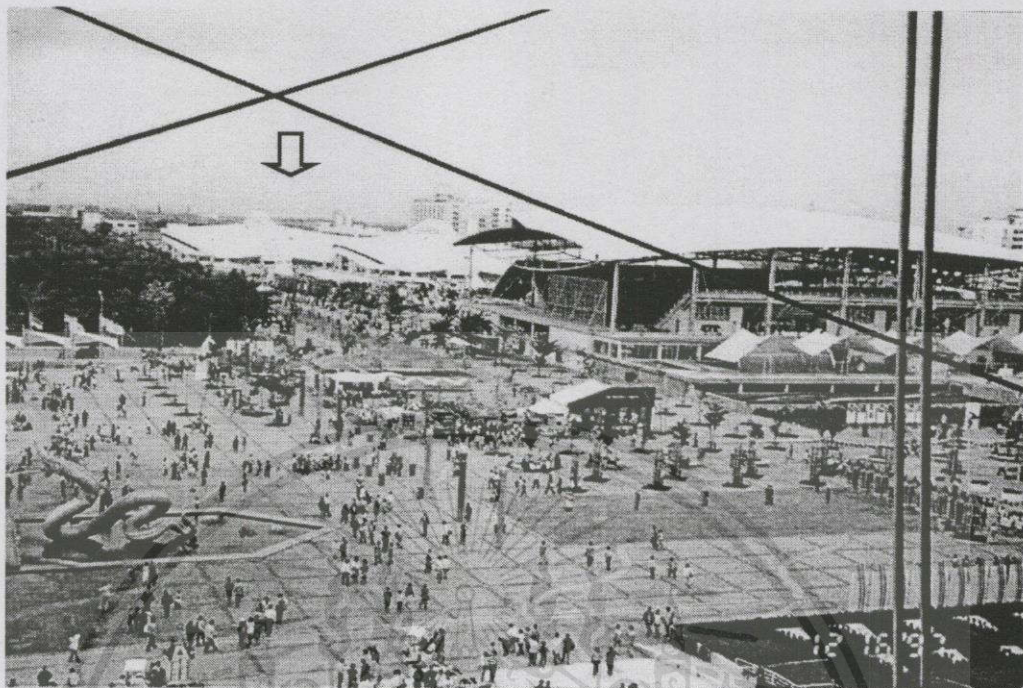
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

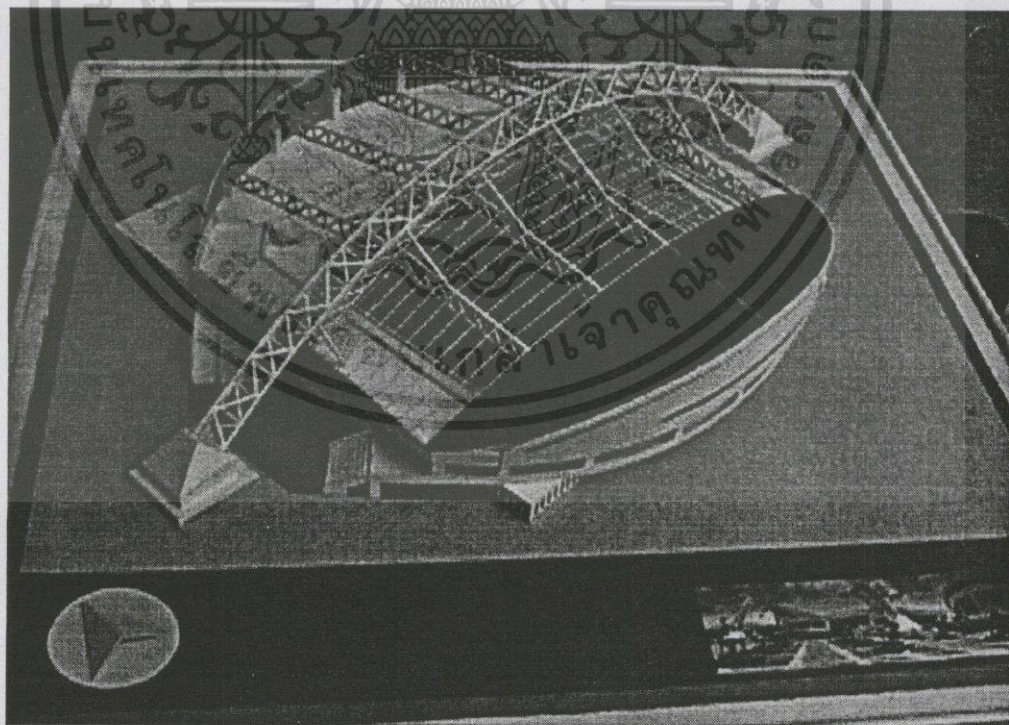
อาคารยิมเนเซียมเป็นสถานที่แสดงความสามารถด้านต่างๆของผู้แสดงจำนวนหนึ่ง เพื่อเลือกหาผู้ที่มีฝีมือดีที่สุดในการแสดงนั้นๆ โดยทั่วไปจะเป็นการแข่งขันกีฬา การแสดงดนตรี หรือ งานแสดงสินค้า หลักฐานทางประวัติศาสตร์สถาปัตยกรรมชิ้นสำคัญ คือ สนามกีฬากลางแจ้งโคลอสเซียมในกรุงโรม(Colosseum of Rome)ถือเป็นต้นแบบอาคารประเภทนี้ ปัจจุบันสถานที่แข่งขันกีฬาหลายชนิดที่มีความจุผู้เข้าชมประมาณ 3,000-10,000 ที่นั่ง จะประกอบกิจกรรมดังกล่าวภายในอาคารที่มีหลังคาปิด เพื่อป้องกันสภาพแวดล้อมภายนอกที่ไม่เหมาะสม เช่น แสงแดด ความชื้น เสียง หรือกระแสลม ซึ่งมักจะเป็นอาคารที่มีหลังคาพื้นใหญ่ปกคลุมพื้นที่ใช้สอยทั้งอาคาร หรือบางประเภทพื้นที่หลังคาจะคลุมลงมาต่ำมากคล้ายกันเป็นรูปด้าน(Elevation)ทางสถาปัตยกรรม

เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ทำให้ส่วนหลังคาซึ่งอยู่ด้านบนของอาคาร ซึ่งมีพื้นที่ขนาดใหญ่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในปริมาณสูงตลอดทั้งปี ดังนั้นถ้าปล่อยให้ปริมาณรังสีความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารทั้งหมด จะส่งผลทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้นมากจนไม่สามารถประกอบกิจกรรมต่างๆภายในอาคารได้ ปริมาณรังสีความร้อนที่ตกกระทบหลังคาจะมีการถ่ายเทในสามลักษณะ ส่วนแรกจะสะท้อนกลับออกมาสู่ชั้นบรรยากาศ ส่วนที่สองจะถูกเก็บสะสมไว้ในมวลสารของวัสดุหลังคา ส่วนที่เหลือจะถ่ายเทผ่านตัววัสดุผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร ปริมาณความร้อนส่วนที่ผ่านเข้าสู่ภายในทำให้อุณหภูมิห้องสูงขึ้นและจะต้องขจัดไปด้วยระบบปรับอากาศ การปรับปรุงฉนวนหลังคา ก็จะส่งผลให้อุณหภูมิภายในลดลงซึ่งสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าอีกทางหนึ่งด้วย

ดังนั้น การศึกษาอาคารตัวอย่างประเภทยิมเนเซียมที่ก่อสร้างในประเทศไทย จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ดีสำหรับการออกแบบอาคารใหม่ในอนาคตโดยเฉพาะ ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีประเทศไทยได้มีการก่อสร้างอาคารดังกล่าวอย่างมากมาย ในช่วงการแข่งขันกีฬาเอเชียนเกมส์ครั้งที่ 13 ซึ่งประเทศไทยเป็นเจ้าภาพ พื้นที่ที่ได้จัดให้เป็นศูนย์กีฬา คือ ทางด้านทิศใต้บนพื้นที่ของผังรวมมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์(ศูนย์รังสิต) ติดกับถนนเชียงใหม่ บริเวณส่วนที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของถนนพหลโยธิน บริเวณทางตอนเหนือของกรุงเทพมหานครกิโลเมตรที่ 42



รูปที่ 1.1 แสดงทัศนียภาพของอาคารที่ทำการศึกษา



รูปที่ 1.2 แสดงหุ่นจำลองของอาคารที่ทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวันที่ 10 มกราคม 2538 พื้นที่มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ถูกใช้เป็นศูนย์กีฬาเอเชียนเกมส์ ครั้งที่ 13 โดยมีเหตุผลที่ประการประกอบกัน

- ก. ใช้รองรับการแข่งขันกีฬาเอเชียนเกมส์
- ข. พัฒนามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ค. ศูนย์ฝึกซ้อมเก็บตัวนักกีฬาของชาติโดยถาวร
- ง. เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาเมืองในกรุงเทพมหานคร

กรณีศึกษาที่น่าเสนอคือ อาคารยิมเนเซียมGA-1 (Gymnasium GA-1) ขนาด 3,000 ที่นั่ง ติดตั้งระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ(Air Cooled chiller) ใช้สำหรับแข่งขันกีฬาฟันดาบ(Fencing)เป็นเวลาประมาณสองสัปดาห์ระหว่างการแข่งขันกีฬาเอเชียนเกมส์ ครั้งที่ 13 ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2541 ภายหลังจากจะถูกดัดแปลงเป็นศูนย์ฝึกซ้อมกีฬาของภารกิจกีฬาแห่งประเทศไทย อยู่ในกลุ่มอาคารยิมเนเซียม GA-1,2,3 ตั้งอยู่บนพื้นที่ดินขนาด 44,000 ตารางเมตร(27.5 ไร่)

ลักษณะของอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก บริเวณกลางอาคารเป็นพื้นโล่งหลังคาสูงใช้สำหรับประกอบกิจกรรมของนักกีฬาและเจ้าหน้าที่ พื้นที่โดยรอบเป็นอัฐุจรรย์ผู้ชมการแข่งขันโดยที่พื้นที่ใต้ที่นั่งมีลักษณะเป็นอาคารสองชั้น และแบ่งเป็นห้องย่อยๆสำหรับประกอบกิจกรรมต่างๆ โครงสร้างหลังคาเป็นโครงเหล็ก โครงข้อแข็งสามมิติรูปสามเหลี่ยม(Space truss) รูปโค้งเสี้ยววงกลม(Arch)จำนวนห้าชั้นใหญ่ มีความสูงประมาณสามเมตรแต่ละชั้นประกอบขึ้นด้วยเหล็กรูปพรรณ H-0.35×0.35 วางอยู่บนฐานคอนกรีตสองด้าน ห่างกัน 90 เมตรในแนวราบ ลักษณะฐานรากยึดแน่นออกแบบเสาเข็มเอียงรับแรงถิบใช้คาน และพื้นยึดบนฐานรากทั้งสองเข้าด้วยกัน โครงสร้างหลังคาเป็นโครงเหล็กสองมิติแขวนอยู่กับโครงสร้างหลัก ปลายทั้งสองข้างวางบนหัวเสาคอนกรีตทั้งหมดเจ็ดชุด ช่วงยาวที่สุดมีระยะ 70 เมตร ตรงกลางอาคารมีแปเหล็กออกแบบให้มีโครงค้ำยันจากโครงสร้างรอง เพิ่มความแข็งแรงในการยึดโยงในการยึด โครงสร้างหลังคาทั้งหมดลดการสั่นไหวของหลังคาวัสดุผนังหลังคาแผ่นโลหะ(Metal Sheet) นอกจากนี้โครงสร้างทั้งหมดได้ถูกออกแบบให้มั่นคงแข็งแรงจากทั้งจากการเกิดแรงบิดที่ไม่สมดุลขณะติดตั้ง การเพิ่มรอยต่อขนาดเล็ก(Slot joint) เพื่อรองรับการขยายตัวของวัสดุจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การออกแบบรองรับการล้าตัวของโครงสร้างที่จะเกิดตามจุดต่ออันเกิดจากแรงดุดของแรงลมที่กระทำต่อหลังคา

1.2 วัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์

1.2.1 ศึกษาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบหลังคาโครงช่วงกว้างของอาคาร ยิมเนเซียม GA-1 ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อหาค่าภาระการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา(RTTV) โดยเปรียบเทียบกับพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 สำหรับหลังคาไม่เกิน 25 w/m^2

1.2.2 ศึกษาเปรียบเทียบค่าส่งผ่านความร้อนของวัสดุผนังหลังคาพร้อมกับฉนวนกันความร้อนแบบต่างๆเพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงระบบหลังคา ให้มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งาน

1.2.3 รูปแบบของการปรับปรุงฉนวนกันความร้อนต้องสอดคล้องกับรูปแบบทางสถาปัตยกรรม(Concept Design)ของอาคารที่ทำการศึกษา

1.3 ขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์

1.3.1 ศึกษาลักษณะของโครงสร้างหลักของหลังคาตามแบบก่อสร้างจริง ซึ่งเป็นโครงสร้างของระบบหลังคาพาคช่วงยาว รวมถึงวัสดุผนังและระบบฉนวนกันความร้อนของอาคารดังกล่าว

1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบหลังคาตัววัสดุผนังและฉนวนป้องกันความร้อนแบบต่างๆ เพื่อหาแนวทางในการลดค่าภาระการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา

1.3.3 การปรับปรุงฉนวนกันความร้อนแบบต่างๆต้องมีลักษณะสอดคล้องกับรูปแบบทางสถาปัตยกรรมเดิมของอาคารที่ทำการศึกษา

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ขั้นตอนที่ 1 การทบทวนวรรณกรรมและข้อมูลเบื้องต้น

1.4.2 ขั้นตอนที่ 2 การเก็บข้อมูลและศึกษาสภาพปัญหาของอาคาร เพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาตามหัวข้อ 1.2

1.4.3 ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์หาค่าภาระการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา ที่ได้จากการสรุปแนวทางการแก้ปัญหาเบื้องต้น

1.4.4 ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบการทดลองโดยการปรับปรุงฉนวนกันความร้อนแบบต่างๆที่มีจำหน่ายในประเทศ แล้วเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านลดการส่งผ่านความร้อน ความคุ้มค่าด้านการลงทุน กรรมวิธีการก่อสร้าง

1.4.5 ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการวิจัย และเสนอแนะแนวทางแบบปรับปรุงให้สอดคล้องกับแนวความคิดในการออกแบบทางสถาปัตยกรรม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ในการเข้าชมกีฬาอาคารยิมเนเซียมโดยทั่วไป ผู้ใช้อาคารประกอบกิจกรรมที่มีการถ่ายเทความร้อนจากร่างกายมากกว่าปกติ การแก้ปัญหาโดยวิธีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศอื่นจะต้องใช้ขนาดที่ใหญ่โตและสิ้นเปลืองพลังงานมาก ดังนั้นการออกแบบที่ลดการส่งผ่านความร้อนผ่านกรอบอาคารเข้าสู่ภายใน โดยมุ่งแสดงให้เห็นความสำคัญของตัวแปรคือ “ฉนวนกันความร้อน” ซึ่งช่วยลดการส่งผ่านความร้อนและเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่เครื่องปรับอากาศ โดยลดขนาดของระบบลง ประหยัดค่าบำรุงรักษา และค่ากระแสไฟฟ้าในการเดินเครื่องปรับอากาศต่อเดือน ส่งผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยเศรษฐกิจของชาติ และระบบนิเวศของโลก

1.6 ข้อจำกัดในการวิจัย

1.6.1 เนื่องจากบริเวณที่ตั้งโครงการมีอาคารยิมเนเซียมจำนวน 3 หลัง แต่ในการวิจัยจะศึกษาเฉพาะอาคารสนามกีฬาในร่มปรับอากาศขนาด 3,000 ที่นั่งเพียงหลังเดียวเท่านั้น

1.6.2 การวิจัยมุ่งเน้นการปรับปรุงฉนวนกันความร้อนแบบต่างๆที่มีจำหน่ายในประเทศ การทดสอบไม่สามารถติดตั้งเพิ่มฉนวนแบบต่างๆได้โดยตรง ดังนั้นจึงเสนอแนะแนวความคิด และ ทฤษฎีประเมินผลเปรียบเทียบ

บทที่ 2

ข้อมูลพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

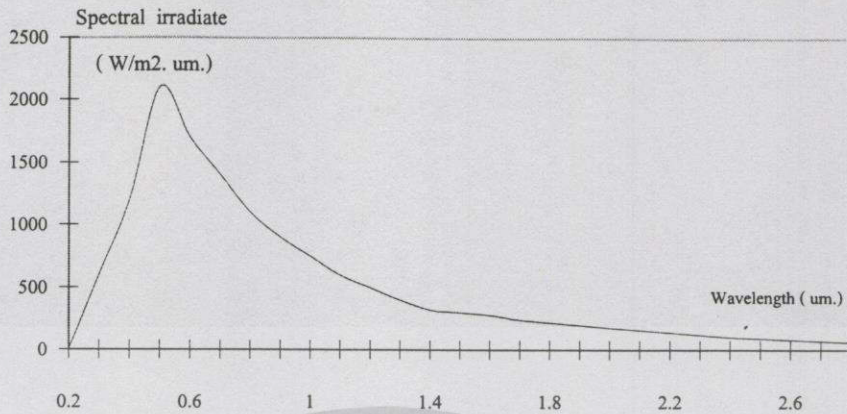
2.1 ภูมิอากาศของประเทศไทย

ประเทศไทยพื้นที่ประมาณ 514,000 ตารางกิโลเมตร อยู่ในเขตร้อนชื้น ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 5 ถึง 21 องศาเหนือ ลองจิจูด 97 ถึง 107 องศาตะวันออก สำหรับกรุงเทพซึ่งตั้งอยู่ที่ละติจูด 13.7 เหนือ ลองจิจูด 100.5 ตะวันออก ในเที่ยงวันที่ 21 มิถุนายน จะเห็นว่าดวงอาทิตย์อยู่เฉียงไปทางทิศเหนือเป็นมุม $(23.5 - 13.7) = 9.8$ ส่วนในเวลาเที่ยงวันที่ 21 ธันวาคม จะเห็นดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เฉียงไปทางทิศใต้เป็นมุม $[13.7 - (-23.5)] = 37.2$ มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (Hot humid) มีลักษณะสภาพภูมิอากาศ ดังนี้

2.1.1 รังสีดวงอาทิตย์(solar radiation)

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีหนึ่งรอบใช้เวลา 365.25 วัน การทำให้ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์แตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลาของปี ส่งผลให้เกิดฤดูกาลที่แตกต่างกันไป และการที่โลกหมุนรอบตัวเองด้วย ทำให้แต่ละส่วนบนผิวโลกได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์แตกต่างกัน เกิดด้านรับแสงและด้านเงามืดทำให้เกิดช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ดวงจันทร์ที่โคจรรอบโลกก็มีแรงดึงดูดกระทำต่อกันทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง และลมมรสุมในช่วงฤดูต่างๆ ของปีก็เกิดจากเหตุดังกล่าวประกอบกัน พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ ณ.บรรยากาศรอบโลกประมาณ 1,353 วัตต์/ตารางเมตร แต่เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศโลกจะสะท้อนกลับ และถูกดูดกลืนเป็นส่วนใหญ่ทำให้เหลือพลังงานตกกระทบพื้นโลกประมาณ 700 วัตต์/ตารางเมตร¹

¹ อภิชาติ เทอดโยธิน, อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และภูมิอากาศของไทย, เอกสารการฝึกอบรมมาตรฐานการออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงาน(กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยสยาม, 2538



รูปที่ 2.1 แสดงพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ ในแต่ละช่วงความยาวคลื่น

ปริมาณพลังงานในคลื่นในช่วงต่างๆ

Ultraviolet (ความยาวคลื่น 0-0.38 µm.) จะมีพลังงาน 95 W/m²

Visible (ความยาวคลื่น 0.38-0.78 µm.) จะมีพลังงาน 641 W/m²

Infrared (ความยาวคลื่น ≥0.78 µm.) จะมีพลังงาน 618 W/m²

พลังงานจากดวงอาทิตย์ส่งผ่านมายังโลกในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.20 ถึง 2.60 µm. แต่ละช่วงของความยาวคลื่นจะมีปริมาณรังสี และปริมาณพลังงานที่มากกว่ารังสี ไม่เท่ากันด้วย เมื่อส่งผ่านชั้นบรรยากาศของโลกลงมา จะถูกสะท้อนและดูดกลืนไปไม่เท่ากัน เช่น คลื่นในช่วง Ultraviolet ซึ่งเป็นอันตรายต่อผิวหนังมนุษย์ จะถูกดูดกลืนไปโดยโอโซนในชั้นบรรยากาศจนหมดส่วนคลื่นที่ความยาวอื่น ๆ ก็จะถูกกลืนไปโดยโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ กันไป ทำให้สเปกตรัม (Spectrum) ของแสงที่ผิวโลกนั้นแตกต่างไปจากนอกชั้นบรรยากาศ

ในขณะที่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศลงมานั้น นอกจะถูกดูดกลืนจากชั้นบรรยากาศ บางส่วนจะเกิดการสะท้อนจากโมเลกุลของสารต่าง ๆ ซึ่งส่งกระทบกันไปมา ทำให้รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบผิวโลกนั้น มีทั้งรังสีตรง และส่วนที่สะท้อนมาจากวัตถุอื่นๆ อีกที่หนึ่งเรียกว่ารังสีกระจาย ดังนั้น ค่ารังสีที่ผิวโลกจะมีค่าเท่ากับรังสีตรงร่วมกับรังสีกระจาย ปริมาณรังสีทั้งสองชนิดจะขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้าในแต่ละวัน ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส จะมีรังสีตรงประมาณ 90% (1,000 w/m²) ส่วนในวันที่มีเมฆมาก จะมีรังสีกระจาย 90% (400 w/m²) และมีรังสีตรงเพียง 10% (45 w/m²)

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นยาว (ช่วง Visible - Infrared) จะให้พลังงานประมาณ 600 - 650 w/m² และในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสจะมีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์สูง ดังนั้นการออกแบบอาคารจึงควรป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนเปลือกของอาคารหรือพื้นดินรอบ ๆ อาคารโดยตรง

2.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของอากาศ(Outdoor temperature) พื้นที่ต่างๆบนผิวโลกจะมีภูมิอากาศที่แตกต่างกันไป บริเวณที่อุณหภูมิต่ำมากแถบขั้วโลก ไปจนถึงบริเวณที่อุณหภูมิสูงในเขตทะเลทรายใกล้เส้นศูนย์สูตรเนื่องจากพื้นที่เหล่านั้นได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน สภาพทางภูมิศาสตร์ กระแสลม และกระแสน้ำประจำท้องถิ่น ก็มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของพื้นที่นั้น ๆ

อุณหภูมิช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน (Diurnal variation) พื้นที่ตำแหน่งใดๆ บนผิวโลกจะเห็นดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกค่อยๆ ลอยสูงขึ้นและถึงตำแหน่งสูงสุดในเวลาเที่ยงวัน แล้วค่อยๆ ค่อยต่ำลงไปทางทิศตะวันตกถ้าหากสังเกตดูความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกลงผิวเรียบที่อยู่ ในแนวราบ จะพบว่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่วัดได้ จะมีลักษณะเป็นฟังก์ชัน โคไซน์ โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่เวลาเที่ยงวัน และมีค่าเป็นศูนย์เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นและตก โลกจะดูดซับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ในระหว่างวันแล้วจึงถ่ายเทความร้อนให้กับบรรยากาศ ทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศร้อนขึ้นแต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต้องใช้เวลา จึงเกิดขึ้นช้ากว่าการเปลี่ยนแปลงของรังสีในเวลา กลางคืน โลกจะคลายความร้อนออกสู่ท้องฟ้า ทำให้อุณหภูมิลดลง ปริมาณไอน้ำที่ลอยปะปนอยู่ในอากาศจะมีค่าค่อนข้างคงที่ (ยกเว้นกรณีที่มีฝนตก) ดังนั้นค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จะมีค่า ผกผันกับอุณหภูมิ คือ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำลง

2.1.3 ความชื้น(Relative humidity) และปริมาณน้ำฝน(Rainfall)

ภูมิอากาศตามฤดูกาล (Seasonal variation) โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ในขณะที่โคจรไปก็หมุนรอบแกนของโลกไปพร้อม ๆ กัน แกนของโลกที่เอียงทำมุม 23.5° กับแกนที่หมุนรอบดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งใด ๆ บนเส้นศูนย์สูตร ในวันที่ 21 มีนาคม และ 27 กันยายน จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเวลาเที่ยงวันนั้นดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะพอดี ส่วนในวันที่ 21 มิถุนายน จะเห็นดวงอาทิตย์เอียงไปทางทิศเหนือเป็นมุม 23.5° ตรงข้ามกับเที่ยงวันที่ 21 ธันวาคม จะอยู่เอียงไปทางทิศใต้เป็นมุม 23.5° อิทธิพลของลมมรสุมที่พัดเป็นประจำปี ทำให้เกิดฤดูประจำในรอบปีแบ่งเป็น 3 ฤดู คือ

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม จะได้รับลมมรสุมจากตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งนำเอาฝนจำนวนมากมาจากมหาสมุทรอินเดีย ความร้อนจะไม่เพิ่มมากในฤดูนี้ แต่จะมีความชื้น เพิ่มขึ้นมาก ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยประมาณ 1500 มิลลิเมตรต่อปี ความชื้นสัมพัทธ์ในฤดูนี้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 78 %

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนมกราคม กรุงเทพฯ จะได้รับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในระยะนี้จะมีฝนตกน้อยมาก แม้ว่าจะได้รับอิทธิพลของลมหนาวที่พัดมาจาก

ประเทศจีน แต่ความแตกต่างของของอุณหภูมิตั้งแต่ กรุงเทพฯ กับ ฤดูอื่น ๆ มีน้อย ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในฤดูนี้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 71 %

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนเมษายน ในช่วงนี้อุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างสูงกว่าในฤดูอื่น ๆ เนื่องจากโลกส่วนที่กรุงเทพฯ ตั้งอยู่ จะเอียงใกล้ดวงอาทิตย์ ส่วนในปลายฤดูซึ่งควมเกี่ยวกับฤดูฝน อุณหภูมิจะเริ่มลดต่ำลง ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในฤดูนี้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 75 %

รูปที่ 2.2 แสดง Solar chart ที่เส้นรุ้งที่ 14 องศาเหนือ(กรุงเทพฯ)



รูปที่ 2.3 แสดงทิศทางของลมประจำปีที่พัดผ่านประเทศไทย(กรุงเทพฯ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ทิศทางและความเร็วลม(Wind speed / direction)

เนื่องจากโลกมีคุณสมบัติการส่งผ่านความร้อนต่ำ รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวเท่านั้น ความร้อนจึงกระจายอยู่ตามผิวนอกเท่านั้น ทำให้สูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศได้ง่าย พื้นน้ำเป็นส่วนที่ยอมให้รังสีอาทิตย์ส่องลึกลงไปได้ พลังงานความร้อนจึงถูกสะสมไว้ลึกลงไปได้ผิวน้ำ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นดินและพื้นน้ำทำให้เกิดลมบกซึ่งพัดจากพื้นดินออกสู่ทะเลในช่วงเวลากลางคืน โดยที่ลมทะเลพัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งในเวลากลางวัน บริเวณระหว่างเส้นละติจูดที่ 40 องศาเหนือ ถึง 40 องศาใต้ นั้น จะเป็นบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ได้มาก ในช่วงเวลากลางคืนบริเวณนี้จะคายความร้อนออกสู่บรรยากาศ แต่เมื่อมองภาพโดยรวมแล้วรังสีที่ได้รับจะมากกว่ารังสีที่ปล่อยออกมา ทำให้บริเวณนี้มีแนวโน้มที่จะมีอุณหภูมิขึ้นเรื่อย ๆ แต่บริเวณที่อยู่เหนือกว่า 40 องศาเหนือ และต่ำกว่า 40 องศาใต้นั้น จะได้รับรังสีน้อย และมีแนวโน้มที่จะเย็นลงเรื่อย ๆ ปรากฏการณ์ นี้ทำให้เกิดการพัดของลมจากบริเวณแถบอบอุ่น ใกล้เส้นศูนย์สูตรออกไปยังทิศเหนือ และทิศใต้ และการหมุนรอบตัวของโลกทำให้เกิดทิศทางการพัดของลมเฉียงออกจากแนวเส้นลองจิจูด ลมนี้คือลมที่เรียกว่า ลมสินค้า นั่นเอง ภูมิอากาศของประเทศไทย โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นมรสุมฤดูฝนในภาคใต้ไปจนถึง ลักษณะอากาศแบบที่ราบในภาคเหนือของประเทศ โดยมีลมประจำปีพัดผ่าน 3 ช่วงได้แก่

(ก) ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะพัดพาความหนาวเย็นมาจากประเทศจีนและรัสเซีย ซึ่งมีความชื้นและอุณหภูมิต่ำ ในช่วงเดือน ตุลาคม - มกราคม ความเร็วเฉลี่ย 3.5 knots

(ข) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย นำความชื้นและฝนเข้ามาในช่วงเดือนกรกฎาคม - กันยายน ความเร็วเฉลี่ย 4.5 knots

(ค) ลมว่าว พัดมาจากทิศใต้ ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ - มิถุนายน ซึ่งอยู่ในฤดูร้อน ความเร็วเฉลี่ย 5.0 knots

ลักษณะภูมิอากาศโดยรวมของกรุงเทพฯ ตัวแปรหลัก 4 ประการที่ควรคำนึงถึงเพื่อให้การออกแบบโดยทั่วไป

- มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Beam Sunlight) ประมาณ 7,000 วัตต์ ชั่วโมง / ตารางเมตร และบางส่วนจะสะท้อนชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีลักษณะเมฆปกคลุมบางส่วน (Cloudy Sky) ทำให้เกิดแสงกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse Light) ประมาณ 60 %

- อุณหภูมิเฉลี่ยที่สูง และมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนมีน้อย

- ความชื้นเฉลี่ยที่สูงมาก

- ลมประจำปีที่มาจากทิศใต้, ตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันออกเฉียงเหนือ มีความเร็วลมพอสสมควรประมาณ 2 - 5 กิโลเมตร / ชั่วโมง

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสถิติภูมิอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร (พ.ศ. 2494-2537)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	YEAR
Solar radiation (W/m²)													
Direct horizontal	416	482	515	486	450	391	423	460	397	335	379	423	430
Diffuse horizontal	133	144	182	200	222	276	243	275	237	202	150	119	198
Global	283	338	333	286	223	115	180	185	160	133	229	304	231
Temperature (C^o)													
Mean	25.9	27.4	28.7	29.8	29.3	28.7	28.3	28.0	27.7	27.5	26.8	25.5	27.8
Mean max.	32	32.8	33.8	35.0	34.2	33.1	32.7	32.4	32.1	31.8	31.5	31.2	32.7
Mean mix.	20.9	23.2	24.8	26.0	25.6	25.3	25	24.8	24.5	24.3	23.0	20.7	24.0
Relative humidity (%)													
Mean	72	75	75	75	78	78	78	79	82	82	76	72	77
Mean max.	90	92	91	90	92	91	91	92	95	94	92	89	92
Mean mix.	49	53	55	55	60	62	63	63	65	65	58	52	58
Wind (m/s)													
Mean wind speed	1.39	2.16	2.62	2.36	1.9	2	1.85	1.9	1.39	1.23	1.29	1.29	-
Prevailing wind	NE	S	S	S	S	SW	SW	SW	SW	NE	NE	NE	-
Rainfall (mm.)													
Mean	8.5	24.8	29.1	65.6	202.6	152.3	168.1	206	342.2	251	45.7	7.6	1503.1
Mean rainy day	1.6	2.6	3.2	5.9	15.6	16.4	17.8	20.3	21.3	17.1	5.9	1.2	128.9
Daily maximum	39.3	73	88.4	134	248.6	167.3	108.8	97.8	156.7	144	116.6	32	248.6

STATION BANGKOK METROPOLIS

INDEX STATION 4 8 4 4 5

LATITUDE 13 44 N

LONGITUDE 100 34 E

ELEVATION OF STATION ABOVE M 2 METERS.

HEIGHT OF BAROMETER ABOVE MS 20 METERS.

HEIGHT OF THERMOMETER ABOVE 1.25 METERS.

HEIGHT OF WIND VANE ABOVE GR 33.10 METERS.

HEIGHT OF RAINGAUGE 1.00 METERS.

Data processing sub-division

Climatology division

Meteorological department

Jan 25,1996

2.2 กฎหมายและข้อกำหนดการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

2.2.1 พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

ประกอบด้วย 3 หมวด ใหญ่ คือ การอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน การอนุรักษ์พลังงานในอาคารและการอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักร อุปกรณ์ และส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

หมวดที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบปรับปรุงอาคาร โรงยิมเนซียม คือ หมวดที่ 2 ประกอบไปด้วย มาตรา 17 ถึงมาตรา 22 ดังมีสาระสำคัญดังนี้

มาตราที่ 17 ว่าด้วยเรื่องการดำเนินและวิธีการต่างๆในการอนุรักษ์พลังงาน

1. การลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามายังอาคาร
2. การปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการรักษาอุณหภูมิภายในอาคาร ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม
3. การใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่ช่วยอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนการแสดงคุณภาพของวัสดุนั้นๆ
4. การใช้แสงสว่างในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ
5. การใช้และการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ และวัสดุที่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร
6. การใช้ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์
7. การอนุรักษ์พลังงานโดยวิธีอื่น ตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

มาตราที่ 18 ว่าด้วยเรื่อง การกำหนดประเภท ขนาด ปริมาณการใช้พลังงานหรือวิธีการใช้พลังงาน

มาตราที่ 19 ว่าด้วยเรื่อง คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ มีอำนาจออกกฎกระทรวง

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารและการใช้พลังงาน
2. หลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขการประเมินหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุก่อสร้างอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารและการใช้พลังงานในอาคาร
3. มาตรฐานการปรับอากาศ การทำน้ำร้อนและการใช้พลังงานในอาคาร

มาตราที่ 20-22 ว่าด้วยเรื่อง กรณีเจ้าของโรงงานควบคุมต้องอนุรักษ์พลังงานตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานของตนให้เป็นไปตามมาตรฐานและหน้าที่ของเจ้าของโรงงาน

จากการพิจารณา พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 จะเห็นเฉพาะในด้าน
แนวทางการปฏิบัติในภาพกว้าง แต่กฎหมายที่มีผลสำคัญในด้านการปฏิบัติสำหรับการออกแบบคือ
พระราชกฤษฎีกา ว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2538

2.2.2 พระราชกฤษฎีกา ว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2538

เป็นการกำหนดอาคารควบคุม ในหมวดที่ 3 ที่กล่าวถึง การให้อาคารที่มีใช้อาคารที่ใช้
เป็นพระที่นั่งหรือพระบรมมหาราชวัง อาคารที่ทำการสถานทูตหรือกงสุลต่างประเทศ อาคารที่ทำการ
การขององค์การระหว่างประเทศ หรือที่ทำการของหน่วยงานที่ตั้งขึ้นตามความตกลงระหว่าง
ระหว่างรัฐบาลไทยกับรัฐบาลต่างประเทศ โบราณสถาน วัดวาอารามหรืออาคารต่างๆ ที่ใช้เพื่อการ
ศาสนา ซึ่งมีกฎหมายควบคุมการก่อสร้างไว้แล้ว โดยเฉพาะที่มีการใช้พลังงานดังต่อไปนี้เป็น
อาคารควบคุม ได้แก่ อาคารหลังเดียวหรือหลายหลังได้เลขที่บ้านเดียวกัน ที่ได้รับอนุมัติจากผู้
จำหน่ายให้ใช้เครื่องวัดไฟฟ้า หรือติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าชุดเดียว หรือหลายชุดรวมกัน มีขนาดตั้ง
แต่หนึ่งพันกิโลวัตต์ หรือหนึ่งพันเจ็ดร้อยห้าสิบกิโลวัตต์แอมแปร์ ซึ่งอาคารยื่นยื่นเชื่อมจัดอยู่ใน
กลุ่มอาคารที่ต้องอยู่ภายใต้กรอบพระราชกฤษฎีกานี้

2.2.3 กฎกระทรวง ว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2538

ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2538 หมวดที่ 2 ว่าด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ที่มีผลในการ
ปฏิบัติมากที่สุดคือ

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่าจะ
ต้องมีค่าไม่เกิน 25 วัตต์/ตร.ม. ของหลังคา
2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการ
ปรับอากาศจะต้องมีค่า สำหรับอาคารใหม่ไม่เกิน 45 วัตต์/ตร.ม.

2.3 อิทธิพลของตัวแปรต่อการถ่ายเทความร้อนทางลังคา

ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ซึ่งมีผลต่อร่างกายมนุษย์ ที่ทำให้รู้สึกร้อนหนาวนั้นมีอยู่สองประเภท คือ ความร้อนแฝง (Latent Heat) เป็นความร้อนซึ่งเกิดจากความชื้นในอากาศ และ ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) ความร้อนเหล่านี้มีที่มาจาก 2 ทาง ได้แก่ ความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร และความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

หลังคาจะได้รับความร้อน จากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ โดยการแผ่รังสีความร้อนซึ่งประกอบด้วยรังสี 2 ประเภท คือ รังสีคลื่นสั้น (short wave radiation) หมายถึง รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์ จะสามารถทะลุผ่านกระจกใสได้ดี และถูกดูดซึมได้ดีโดยวัสดุสีดำ และรังสีคลื่นสั้นที่ส่งผ่านวัสดุจะคายรังสีคลื่นยาวออกมาในรูปแบบของพลังงานความร้อน จะไม่สามารถทะลุผ่านกระจกใสได้ สะท้อนได้ดีกับวัสดุผิวเรียบมันและเงา เมื่อหลังคาหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคาร อยู่ในที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกภายใน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น จากกฎข้อ 2 Thermodynamics “ความร้อนไม่สามารถผ่านจากที่อุณหภูมิต่ำไปสู่ที่อุณหภูมิสูงได้ โดยปราศจากแรงกระทำจากภายนอก” ดังนั้น การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารสามารถผ่านเปลือกหุ้มอาคารได้ 3 วิธี คือ

การนำความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน แม้ว่าโมเลกุลจะอยู่ในสสารเดียวกันหรือสสารสองชนิดที่สัมผัสกันโดยตรง

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจาก การเคลื่อนไหวของก๊าซหรือของเหลวที่มีอุณหภูมิหรือความหนาแน่นแตกต่างกัน ของเหลวจะเป็นตัวพาความร้อนให้เคลื่อนที่

การแผ่รังสีความร้อน คือ การที่พลังงานความร้อนเคลื่อนที่โดยตรงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) จากผิวที่ร้อนกว่าผ่านตัวกลางโปร่งใสหรือสุญญากาศไปสู่ผิวที่เย็นกว่าโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง สสารทุกชนิดสามารถแผ่รังสีความร้อนออกมาเล็กน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุและลักษณะของผิววัสดุ

2.3.1 อิทธิพลของมวลสาร

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ นอกจากอิทธิพลจากภายนอกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุด้วย คุณสมบัติที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมการถ่าย (K)

(Thermal Conductivity)

หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 องศาฟาเรนไฮต์ หน่วยเป็น BTU-in/Hr.ft².F (หน่วย SI = W/m².K)

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (C)

(Thermal Conductance)

หมายถึง อัตราส่วนการถ่ายเทของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่ความหนามาตรฐานในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 องศาฟาเรนไฮต์ หน่วยเป็น BTU/Hr.ft².F (หน่วย SI = W/.m².K)

ค่าการต้านทานความร้อน

(Thermal Resistance/R-Value)

เพื่อแสดงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ เป็นส่วนกลับของค่า Conductivity หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับงานความร้อน 1 ถ่ายผ่านวัสดุความหนาหนึ่งในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่อมีอุณหภูมิต่าง 1 องศาฟาเรนไฮต์ หน่วยเป็น Hr.ft².F/BTU (หน่วย SI =.m².K/W)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

(Coefficient of Heat Transmission / U-Value)

โดยปกติการคำนวณหาปริมาณความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจากการแตกต่างของอุณหภูมิมักจะใช้ U-Value เป็นหลัก

$$U = 1/\sum R \quad \text{หน่วย BTU/Hr.ft}^2 \text{ F}$$

โดย $\sum R$ คือผลรวม R-Value ของเปลือกหุ้มอาคารนอกจากคุณสมบัติอื่นอีกที่มีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนในอาคารที่เกิดขึ้นจริงๆ ได้แก่

ความจุความร้อน

(Thermal Heat Capacity)

วัสดุที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนไหลผ่านในอัตราที่ช้าลง

การหน่วงเวลาหรือการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

(Time lag)

วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า และวัสดุชนิดเดียวกันที่มีความหนาแน่นมากกว่าก็มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่าที่มีความหนาน้อย

ค่าการถ่ายเทความร้อนจากฟิล์มอากาศที่ผิววัสดุ

(Surface Air Conductance)

ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านผิววัสดุและลักษณะพื้นผิว

2.3.2 อิทธิพลจากแสงแดด

แสงแดดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เมื่อหลังคา ถูกแสงแดดจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นเป็นรังสีคลื่นยาว ก็จะพลังงานความร้อนขึ้นที่ผิว หลังคา เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารต่อไป

คุณสมบัติการแผ่รังสีของพื้นผิว

(Surface Radiation)

รังสีความร้อนเป็นรังสีในรูปคลื่นยาวและมีพลังงานต่ำ รังสีเมื่อตกกระทบวัสดุใดๆ จะสะท้อน ส่งผ่านและดูดซึมไว้ในวัสดุนั้น วัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีส่งผ่านรังสี และดูดซึมรังสีที่ตกกระทบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ทิศทาง (มุม) ของการแผ่รังสี การคายรังสีจะมีค่าสูงที่ทิศทางตั้งฉาก
2. ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี การคายรังสีเชิงสเปกตรัมทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น
3. อุณหภูมิของพื้นผิว การคายรังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการคายรังสีของ อโลหะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
4. ความขรุขระของพื้นผิว เนื่องจากผลของความขรุขระ ที่ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวเสมือนโพรง จึงทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง ซึ่งจะเป็ผลทำให้การดูดซึมรังสีมีค่าสูงขึ้น นั่นคือการคายรังสีมีค่าสูงขึ้น
5. การเจือปนพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยทำให้ค่าการแผ่รังสีมีค่าสูงขึ้น

ลักษณะของพื้นผิวจะมีอิทธิพลต่อสูงต่อการแผ่รังสีและการดูดซึมรังสี วัสดุต่างๆ จะมีค่าการดูดซึมรังสี (Adsorptivity) และค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) แตกต่างกันไปตามลักษณะผิวของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการดูดซึมรังสีสูงก็จะมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ คุณสมบัตินี้เรียกว่า การแผ่รังสี(Emittance) ค่าการแผ่รังสีจะบ่งบอกถึงความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัสดุที่คายรังสีและของวัสดุที่ดูดซึมรังสี แนวความคิดที่จะอธิบายความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของวัสดุ คือ ค่าการคายรังสี (Emissivity) ค่าการดูดซึมรังสี (Adsorptivity) และค่าการส่งผ่านรังสีแสดงออกมาได้ดังนี้

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

ρ = การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว

α = การดูดซึมรังสีโดยพื้นผิว

τ = การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ

ค่าสะท้อนรังสี ค่าการดูดซึมรังสี และค่าการส่งผ่านรังสี เป็นคุณสมบัติของวัสดุในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆและสำหรับช่วง Spectrum คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่งๆ ผลรวมของการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสีและการส่งผ่านรังสีจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ตกกระทบลงมาสำหรับ วัสดุทึบตัน (Qpaque) พลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของค่าการดูดซึมรังสี และค่าการสะท้อนรังสี จะเท่ากับ (รูปภาพ 2.) พลังงานรังสีเมื่อถูกดูดซึมโดยวัสดุจะเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน ความร้อนนี้อาจจะถูกนำไปหรือแผ่รังสีออกมาในรูปรังสีคลื่นยาวจากวัสดุนั้น แสงและวัสดุโปร่งใส

ค่าการสะท้อนรังสี

(Reflectivity)

วัสดุผิวมันและมีสีอ่อนจะสะท้อนรังสีความร้อนและแสงได้ดี สำหรับวัสดุทึบตัน (Qpaque) วัสดุที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูง จะมีค่าการดูดซึมรังสีต่ำ

ค่าการส่งผ่านรังสี

(Transmissivity)

จะเป็นคุณสมบัติของวัสดุ โปร่งใส(Transparent)และวัสดุ โปร่งแสง (Translucent) ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุประเภทนี้ จึงต้องควรระวังถึงความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคาร

ค่าการดูดซึมรังสี

(Absorbitivity)

เป็นตัวแสดงความสามารถในการดูดกลืน พลังงานของผิววัสดุ วัสดุที่มีสีเข้ม จะดูดกลืน รังสีความร้อนได้ดีกว่า วัสดุที่มีสีอ่อนกว่า

ค่าการคายรังสี

(Emissivity)

เป็นดังแสดงความสามารถของวัสดุในการปล่อยรังสีคลื่นยาวของผิววัสดุ โลหะผิวเงามัน จะมีค่าการคายรังสีต่ำกว่าวัสดุผิวหยาบ วัสดุส่วนใหญ่มีค่าการคายรังสีสูงด้วย แผ่นอลูมิเนียม จะแผ่ความร้อนออกมได้น้อยกว่าผิววัสดุสีขาว และมีความสามารถในการสะท้อนสูง แต่ในกรณีที่ใช้ แผ่นอลูมิเนียมเป็นหลังคาที่ต้องรับความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นเวลานาน ๆ ก็จะทำให้มีผลใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับหลังคาสีขาวชนิดอื่น เนื่องจากภายในเนื้ออลูมิเนียม นั้นสามารถเก็บความร้อนไว้ได้มากกว่าวัสดุสีขาวหลายเท่า ดังนั้น การใช้แผ่นอลูมิเนียมบาง ๆ เป็นตัวสกัดกั้นความร้อนนั้นจะได้ผลดี เพราะมีมวลน้อยจึงทำหน้าที่ในการสะท้อนความร้อนออกไปได้ดี

การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศ

เมื่อพื้นผิวของวัสดุอยู่ระหว่างช่องอากาศ การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นโดย Convection และ Radiation โดยมีผลกระทบจาก Orientation ของช่องอากาศ ทิศทางการถ่ายเทความร้อน (Direction of Heat Flow) ระยะห่างของอากาศ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวและคุณสมบัติของพื้นผิว เมื่อพื้นผิวของวัสดุที่ติดสัมผัสอากาศ และมีการเคลื่อนไหวของอากาศตามผิววัสดุ (Air Film) มีน้อย ความเป็นฉนวนของชั้นอากาศที่นิ่งตามพื้นผิวทางแนวตั้งมีค่า R เท่ากับค่า R ของไม้อัดหนาครั้งนั้น แต่เมื่อชั้นอากาศนี้ถูกทำลาย ค่า R จะลดลงอย่างรวดเร็วที่ความเร็วลม 15 ไมล์ต่อชั่วโมง (6.7 เมตรต่อวินาที) เหลือเพียง $1/4$ ของค่า R ของชั้นอากาศที่นิ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านวัสดุ (Conductance - c หรือ hi) และค่าความต้านทาน (R) ของอากาศเป็นการแสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทรังสีความร้อนของอากาศ

2.3.3 ฉนวนกันความร้อน

ในการใช้ฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร ควรจะทำความเข้าใจเกี่ยวกับชนิดพื้นฐานของฉนวนกันความร้อนที่ใช้กันทั่วไป โดยแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ พอสังเขปดังนี้

ฉนวนใยแก้ว (Glass Fiber)

ผลิตขึ้นมาจากการปั่นก้อนแก้วแข็งด้วยการปั่นจนเป็นเส้นเกลียวบาง เชื่อมยึดกันด้วยตัวประสาน (รูปที่ 3.22) เนื่องจากใยแก้วเป็นสารอนินทรีย์ จึงเป็นวัสดุที่ไม่ลุกไหม้ แต่ตัวประสานใยแก้วนั้นสามารถลุกไหม้ได้ จึงต้องมีมาตรฐานกำหนดตาม ASTM C84 คุณสมบัติสภาพการนำความร้อนต่ำ การดูดซับเสียงดี ไม่เป็นพิษ และไม่มีการปนเปื้อน การประยุกต์ใช้งานเป็นฉนวนหลังคาอาคาร ผนัง พื้น ห้องใต้ดินตึก และงานระบบท่อ

ฉนวนใยหิน (Rock Fiber)

ลักษณะคล้ายคลึงกับฉนวนใยแก้ว มีทั้งฉนวนแร่ใยหิน (Asbestos) มีคุณสมบัติสภาพการนำความร้อนต่ำ ไม่ติดไฟ การดูดซับเสียงดี (รูปที่ 3.24)

ฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose Fiber)

ผลิตขึ้นจากการนำไม้หรือกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ทั่วไปที่ใช้กันอยู่มี 2 เกรด คือ Short fiber และ Long Fiber โดย Short fiber ทำจากกระดาษหนังสือพิมพ์ จะมีสีดำนกว่า ใช้พ่นกับผนังทั่วไป ส่วน Long Fiber ทำจากกระดาษที่มีเนื้อละเอียดกว่า เช่น กระดาษพิมพ์งาน A3, A4 ทั่วไป จะมีคุณสมบัติในการยึดเกาะพื้นผิวได้ดีกว่า Short fiber ใช้พ่นในส่วนหลังคา โดยที่คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนยังเท่าเทียมกัน การแผ่กระจายให้กระจายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปว่ากรณีใดบ้าง อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกทำการย่อย Cellulose fiber โลหะละเอียดจนเป็นปุ๋ย จากนั้นทำการประสารด้วยสารเคมี 2 ชนิด คือสารบอแรกซ์ จะช่วยป้องกันมด,ปลวกและยับยั้งการเชื้อราในบางส่วนอีกชนิดคือ สารบอแรกซ์ จะช่วยต้านทานการลุกลาม การใช้งานมักใช้ในลักษณะฉีดย่น สำหรับเป็นฉนวนใต้ฝ้า ฝ้า หลังคา หรือถึงใต้ดินขนาดใหญ่ ข้อควรระวังของฉนวนประเภทนี้ คือ เมื่อโดนน้ำมากจะยุบได้ง่าย จากการทดสอบตาม ASTM C-737-73 ฉนวนควรจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากการดูดซึมน้ำไม่เกิน 15% โดยปริมาตร เพราะอาจเกิดปัญหาในการใช้สำหรับสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง (รูปที่ 3.21)

ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม (Polystyrene Foam/ PS.)

ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมหรือโฟมขาว (รูปที่ 3.25)ผลิตขึ้นมา 2 รูปแบบ โฟมอัดรีด (Extruded) และแบบโฟมหล่อ (Molded) โฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดรีด จะมีความหนาแน่นบรรจุมากกว่า มีรูปร่างที่คงที่มากกว่าและแรงกดและแรงดึงได้มากกว่าโฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่อแบบ เนื่องจากโพลีสไตรีนเป็นสารที่ลุกไหม้ได้ ควรหลีกเลี่ยงหุ้มด้านทานเปลวไฟสำหรับการใช้งาน เช่น แผ่นยิบซั่ม และช่วยป้องกันจากการกระทบแสงอุลตราไวโอเลตโดยตรงด้วย เพราะจะทำให้เป็นสีเหลืองและคุณภาพจะลดลง มีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนได้ดี การใช้งานอาจใช้หุ้มภายนอกอาคารทั้งหมด เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร

ฉนวนโพลียูรีเทน (Polyurethane Foam /PU.)

หรือฉนวนโพลีไอโซไซยานูเรทโฟม คือ วัสดุฟลูออโรคาร์บอนที่พ่นให้เป็นโฟม(รูปที่ 3.25และรูปที่ 3.27) โดยที่จะให้โครงสร้างแข็งขึ้นอยู่กับการบ่ม โดยมีทั้งการหล่อเป็นรูปแบบแผ่นแข็งล่วงหน้าหรือเป็นรูปแบบที่ฉีดย่นเป็นสเปรย์ในชั้นงาน มีสภาพการนำความร้อนต่ำ อาจเพิ่มขึ้นตามอายุของโฟม การดูดซึมน้ำต่ำเป็นตัวต้านทานการเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย และไม่มีพิษยกเว้นเมื่อถูกเผาไหม้จะให้ควันมาก และให้ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ซึ่งเป็นอันตราย การใช้งานจะต้องหุ้มด้วยวัสดุที่หน่วงไฟใหม่ ใช้เป็นฉนวนหลังคา ฝ้า ผนัง ปกติจะใช้ร่วมกับพื้นผิวสะท้อนรังสีบนด้านนอกของฉนวนที่หุ้มอาคาร

ฉนวนโพลีเอทธีรีน (Polyetherene Foam / PE.)

ฉนวนโพลีเอทธีรีน มีลักษณะคล้ายฉนวนโพลีสไตรีน จะมีความหนาแน่นมากกว่า มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนได้ดี การใช้งานอาจใช้ติดกับวัสดุผนังหลังคาด้านใน เช่น หลังคาแผ่นโลหะ (รูปที่ 3.28)

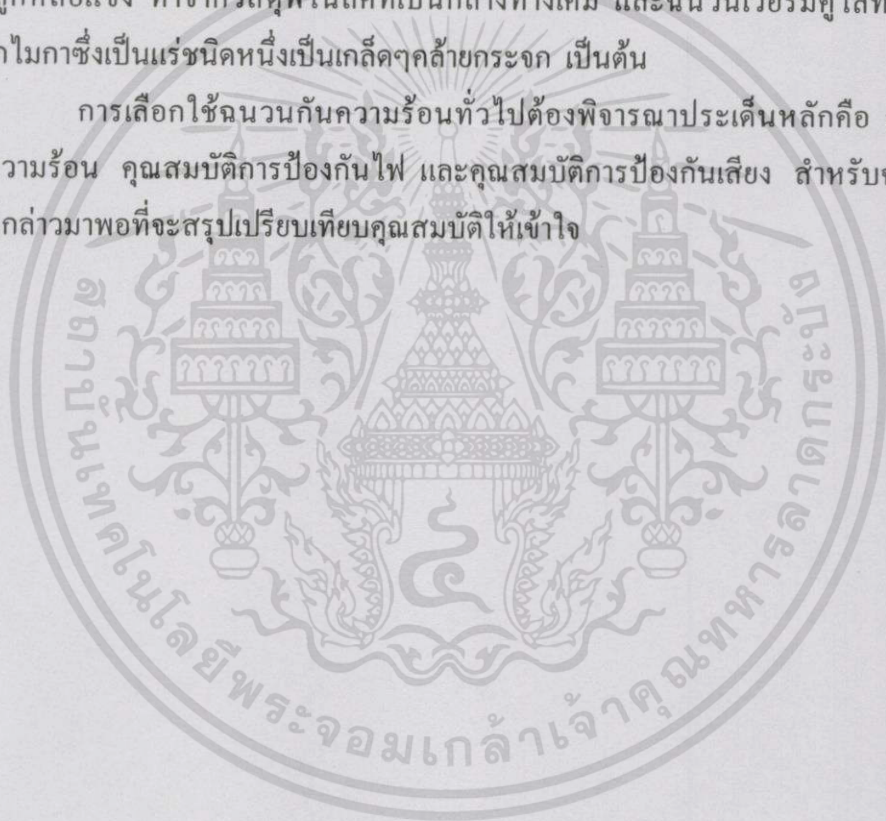
แผ่นบางผิวสะท้อนรังสี (Reflective foil)

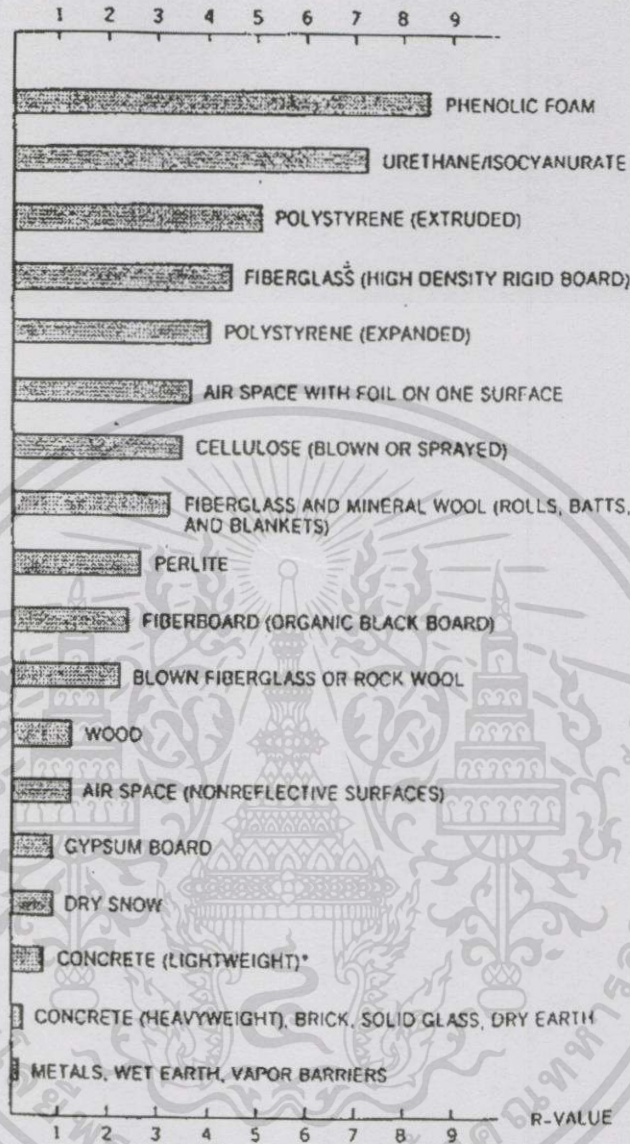
ส่วนใหญ่ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ที่มีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนสูงหรือค่าการแผ่รังสีต่ำ (รูปที่ 3.20) มักใช้กับส่วนหลังคาของบ้านพักอาศัย หรือใช้กับประกอบกับแผ่นยิบซั่ม

หรือฉนวนกันความร้อนชนิดอื่น เช่น โยแก้ว มีคุณสมบัติคงทนถาวรและทนต่อแรงดึงได้ดี กันน้ำและความชื้นได้ดี ไม่ติดไฟ (บางชนิด) ติดตั้งง่าย แต่ควรมีช่องอากาศระหว่างวัสดุหลังคา เพราะแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ มีคุณสมบัติเป็นตัวนำความร้อนที่ดี นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสว่างภายในอาคารอีกด้วย

นอกจากนี้ยังมีฉนวนกันความร้อนอีกหลายชนิด มีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น โฟมชนิดสารยืดหยุ่น (Elastomeric Foam) หรือโฟมยางแบบขยาย ใช้เป็นฉนวนท่อที่ยืดหยุ่นได้ด้วยการพ่นให้ขยายตัวในแบบฉนวนเพอร์ไลต์ (Perlite) หรือ ซิลิกาโฟม (Expanded) เป็นฉนวนที่ทำมาจากเม็ดแก้วภูเขาไฟแบบทรายฉนวนฟีโนลิกโฟม (Phenolic Foam) และฉนวนท่อที่ถูกล่อแข็ง ทำจากวัสดุฟีโนลิกที่เป็นกลางทางเคมี และฉนวนเวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite) ทำจากไมกาซึ่งเป็นแร่ชนิดหนึ่งเป็นเกล็ดๆคล้ายกระดาษ เป็นต้น

การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนทั่วไปต้องพิจารณาประเด็นหลักคือ คุณสมบัติต้านทานความร้อน คุณสมบัติการป้องกันไฟ และคุณสมบัติการป้องกันเสียง สำหรับฉนวนกันความร้อนที่กล่าวมาพอที่จะสรุปเปรียบเทียบคุณสมบัติให้เข้าใจ





A comparison of the thermal resistance of various materials. All values are for 1-in.-thick samples. the actual resistance of a sample varies with density, temperature, material composition, and in some-cases moisture content. The resistance of lightweight concrete varies greatly with density and aggregate used (R-values vary from 0.2 to 2.0).

รูปที่ 2.4 แสดงค่าเปรียบเทียบ R-Value ของฉนวนและวัสดุต่างๆที่ความหนา 1 นิ้ว

ที่มา : Heating Cooling Lighting Design Methods for Architects..Nordert ..Lechner..1991

2.4 เทคนิคการวิเคราะห์และการประเมิน

การถ่ายเทความร้อนที่หลังคา เช่นเดียวกับส่วนผนังที่บิวด้านนอกและกระจกด้านนอก ความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในส่วนนี้ เข้ามาด้วยวิธีการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) และการนำความร้อน (Conduction) เป็นหลัก ส่วนความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาวิธีการพาความร้อน (Convection) นั้น มีอยู่บ้างแต่มีปริมาณน้อย การวิเคราะห์ประมวลผลด้วยวิธีการอินทิเกรต (Integrating) เท่าที่มีการศึกษากันไว้พบว่า การถ่ายเทความร้อนที่เข้ามาทางหลังคา และเข้าสู่อาคารทางฝ้าเพดาน โดยทั่วไปแล้วมีอัตราส่วนโดยประมาณคือ

- โดยวิธีการนำความร้อนและการพาความร้อน 13%

- โดยวิธีการแผ่รังสีความร้อน 87%

หมายเหตุ: เปอร์เซนต์ คือ ความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางหลังคา¹

หากไม่รวมความร้อนที่ผ่านเข้ามาด้วยวิธีการพาความร้อน (Convection) ดังที่ได้สมมุติเหตุการณ์ไว้ในข้างต้น การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นทางหลังคา สามารถแยกให้เห็นได้เช่นเดียวกับการถ่ายเทความร้อนที่กระจกและผนังที่บิวด้านนอก ค่าการถ่ายเทความร้อนทางหลังคาดังกล่าว เรียกว่าค่า RTTV (Roof Thermal Transfer Value) ซึ่งแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$RTTV = \frac{(A_r \times U_r \times TD_{eq}) + (A_s \times U_s \times \Delta t) + (A_s \times SC \times SF)}{A_o}$$

- เมื่อ RTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (W/m^2)
- A_r คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่บิวด้านนอก (m^2)
- U_r คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาที่บิวด้านนอก (W/m^2)
- TD_{eq} คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference, K) ระหว่างภายนอกและภายในสำหรับหลังคา
- A_s คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนโปร่งแสง (ช่องรับแสงแบบ Sky Light ; m^2)
- U_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนโปร่งแสง (W/m^2)

¹ อภิชาติ เทอดโยธิน, อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และภูมิอากาศของไทย, เอกสารการฝึกอบรมมาตรฐานการออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงาน (กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสยาม, 2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ΔT คือ ค่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหลังคาส่วน โปร่งแสง ช่องรับแสงแบบ SkyLight ที่ทำมุมเอียงระนาบพื้นตั้งแต่ ศูนย์องศา และไม่เกิน 65 องศา หากองศา มากกว่านี้ ช่องรับแสงนี้จะมีลักษณะเหมือนกระจกในส่วนผนัง ซึ่งการคำนวณต้อง คำนวณอยู่ในการคำนวณความร้อนของผนัง) โดยตัวประกอบย่อย มีลักษณะเหมือน กับการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของกระจกในส่วนผนัง (กรอบอาคาร)

SF คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (W/m^2)

โดย SF = ค่าคงที่ \times CF

เมื่อค่าคงที่ คือ ค่าคงที่รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนช่องรับแสง ที่ยอมรับนำมาใช้ในเขต กรุงเทพฯ(เท่ากับ 160)

CF คือ ค่าตัวประกอบแก้ไข (Correction Factor) สำหรับมุมเอียงหนึ่ง ๆ ในทิศหนึ่งของ ช่องแสงส่วนหลังคา

A_0 คือ พื้นที่รวมทั้งหมดของหลังคา (m^2)

จากสมการดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าตัวแปรที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาอาคารน้อยที่สุด

ตัวแปรของวัสดุ	ค่าที่เหมาะสม
1.) U_r (ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาที่บ))	มีค่าต่ำ
2.) TD_{eq} (ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในสำหรับหลังคา)	มีค่าต่ำเมื่อ ผิววัสดุสะท้อนแสงและสีอ่อน และมีความหนาแน่นเชิงมวลมาก (แสดงค่าในภาคผนวก ข. ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา)
3.) A_s (พื้นที่ของหลังคาส่วนโปร่งแสง)	ควรมีน้อยที่สุดตามความจำเป็น
4.) U_s (ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนโปร่งแสง)	มีค่าต่ำ
5.) Δt (ค่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร)	มีค่าความแตกต่างน้อย (ปรับปรุง Micro climate)
6.) SC (ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหลังคาส่วนโปร่งแสง)	มีค่าต่ำ
7.) SF (ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์)	การหันด้านยาวของอาคารไปทิศทางที่ค่า CF มีค่าต่ำ (ภาคผนวก ข. ตัวประกอบแก้ไขสำหรับหลังคา)
8.) ปริมาตรช่องใต้หลังคา (Air pocket) (มีปริมาตรมาก ทำให้ค่าความต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้น โดยแยกเป็นสองลักษณะ)	ก.) ระบบปิด ไม่มีช่องระบายอากาศใต้หลังคาทำให้ค่าความต้านทานช่องอากาศหนึ่งมีค่าคงที่ ข.) ระบบเปิด จะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าใต้หลังคาเคลื่อนตัวออกสู่ภายนอก และทำให้อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่ ทำให้ค่าความต้านทานช่องอากาศเคลื่อนไหวยมีค่ามากกว่าระบบปิด

2.5 ภาวะสบายของมนุษย์

2.5.1 สภาวะความสบาย (Comfort zone)

หมายถึง สภาวะที่บุคคลรู้สึกสบายเมื่อร่างกายอยู่ในสภาวะที่สมดุลกับสภาพแวดล้อม โดยปกติร่างกายของมนุษย์จะมีการถ่ายเทความร้อน กับสิ่งแวดล้อมอยู่ตลอดเวลาทั้งนี้เพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกายด้วยการขับเหงื่อออกมาทางผิวหนังเป็นส่วนใหญ่ ให้อยู่ที่ 37°C เสมอ การผลิตพลังงานของร่างกายมนุษย์ได้มาจากขบวนการเผาผลาญอาหาร (Metabolism) โดยตรง พลังงานที่ได้ประมาณ 20% เท่านั้นที่ถูกนำมาใช้ ที่เหลือจะถ่ายเทกับสิ่งแวดล้อมโดยการพา (Convection), การแผ่รังสี (Radiation), การระเหย (Evaporation) และ การนำ (Conduction) กระบวนการรักษาความร้อนและการถ่ายเทความร้อนในร่างกายบุคคลก็จะรู้สึกสบาย ถ้าสภาพแวดล้อมมีสภาวะไม่สมดุลกับกระบวนการรักษาความร้อน และการถ่ายเทความร้อนในร่างกาย เช่น เย็นเกินไปหรือร้อนเกินไป เป็นต้น บุคคลก็จะรู้สึกไม่สบาย แต่ทั้งนี้สภาวะสบายยังขึ้นอยู่กับความรู้สึกและความเคยชินของแต่ละบุคคล ผู้ที่อาศัยอยู่ในเขตร้อนจะมีสภาวะสบายอยู่ในระดับอุณหภูมิของอากาศ สูงกว่าผู้ที่อาศัยในเขตหนาว ดังนั้นสภาพอุณหภูมิของอากาศ ความชื้น ความเร็วลม แสงสว่างและความร้อนจากดวงอาทิตย์ จึงเป็นเหตุสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาประกอบการออกแบบอาคารที่อยู่อาศัย ที่ต้องการสภาวะความสบายในอาคารให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

อุณหภูมิ (Temperature) ในแต่ละเขตที่อยู่อาศัยของมนุษย์อิทธิพลจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ที่ทำให้รู้สึกร้อนหรือเย็นนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามความเคยชิน ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจากปกติก็จะรู้สึกร้อน เนื่องจากการคายความร้อนจากร่างกายทำได้ยากขึ้น ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าปกติการคายความร้อนจากร่างกายทำได้เร็วขึ้นก็ทำให้รู้สึกเย็นสบาย แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปร่างกายจะรู้สึกหนาว

ความชื้น (Humidity) เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ร่างกายรู้สึกร้อนหรือเย็น เนื่องจากร่างกายจะถ่ายเทความร้อนออกมากับเหงื่อ ถ้าความชื้นสูงเหงื่อจะระเหยได้ช้า การถ่ายเทความร้อนทำได้ยากเกิดความรู้สึกร้อนและเหนียวตัว แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปน้ำที่ผิวหนังระเหยเร็วอาจทำให้ผิวหนังแห้ง จนรู้สึกไม่สบายได้

กระแสลม (Wind) อัตราความเร็วลมมีส่วนช่วยให้ร่างกายรู้สึกเย็นสบายได้เพราะลมช่วยระบายความร้อนจากร่างกายด้วยการพาความร้อน เมื่อเหงื่อระเหยกลายเป็นไอน้ำก็จะดูดความร้อน ลมจะช่วยให้ความร้อนระบายได้เร็วขึ้น และลมยังช่วยลดความร้อนภายในอาคารจากอากาศที่เย็นจากภายนอกเข้าแทนที่อากาศร้อนภายในอาคารแต่ถ้าความเร็วลมแรงเกินความต้องการก็จะเป็นเหตุให้ไม่สบาย

ความร้อน (HEATING) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้รู้สึกไม่สบาย สภาพภูมิอากาศส่วนใหญ่ของประเทศไทยจะร้อนเกือบตลอดปี สาเหตุของความร้อนมาจากแสงแดด ซึ่งทำให้อุณหภูมิของอากาศและสภาพแวดล้อมสูงเกินขีดสบาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีลดความร้อน (รายละเอียดในหัวข้อ 4.1)

แสงสว่าง (Lighting) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสบายประการหนึ่ง แสงสว่างตามธรรมชาติช่วยให้ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ถ้ามีปริมาณของแสงพอดีต่อการมองเห็นทำให้สบายตา ถ้ามีปริมาณน้อยเกินไปทำให้มีคิบบเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ถ้ามีปริมาณของแสงมากเกินไป ทำให้ไม่สบายตาเวลามอง แล้วยังนำความร้อนเข้าสู่อาคารอีกด้วย

2.5.2 ช่วงเวลาที่อยู่ในสภาวะสบาย

การหาช่วงเวลาที่มีความร้อนเกิดขึ้นจากสภาพอากาศสูงเกินความต้องการของมนุษย์ เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาความร้อนด้วยการออกแบบในช่วงเวลาดังกล่าว โดยนำผลรวมของตัวแปรจากสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลทำให้เกิดความร้อนที่เกินขีดความสบายของมนุษย์ เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความชื้น กระแสลมและการแผ่รังสีความร้อน รวมทั้งลักษณะการสวมใส่เสื้อผ้ามา กำหนดเป็นค่ามาตรฐานความสบาย (Thermal comfort scale)¹ โดยการใช้ The effective temperature (E.T.)² เป็นมาตรฐานที่จะกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการลดความร้อน เมื่อสภาพอุณหภูมิของอากาศ(E.T.) สูงเกินขีดความสบายโดยแสดงค่าเป็นตัวเลขที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้น และการเคลื่อนไหวของอากาศ ณ.ค่าบนนั้น

¹ ปรัชญา รังสิริภักดิ์, แนวความคิดในเรื่องภาวะความสบาย, (กรุงเทพฯ :สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) หน้า 15

² ครีจ บรูณสมภพ, การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย, (กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร 2521) หน้า 38 ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์) หน้า 15

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า EFFECTIVE TEMPERATURE ของกรุงเทพมหานครในรอบปี

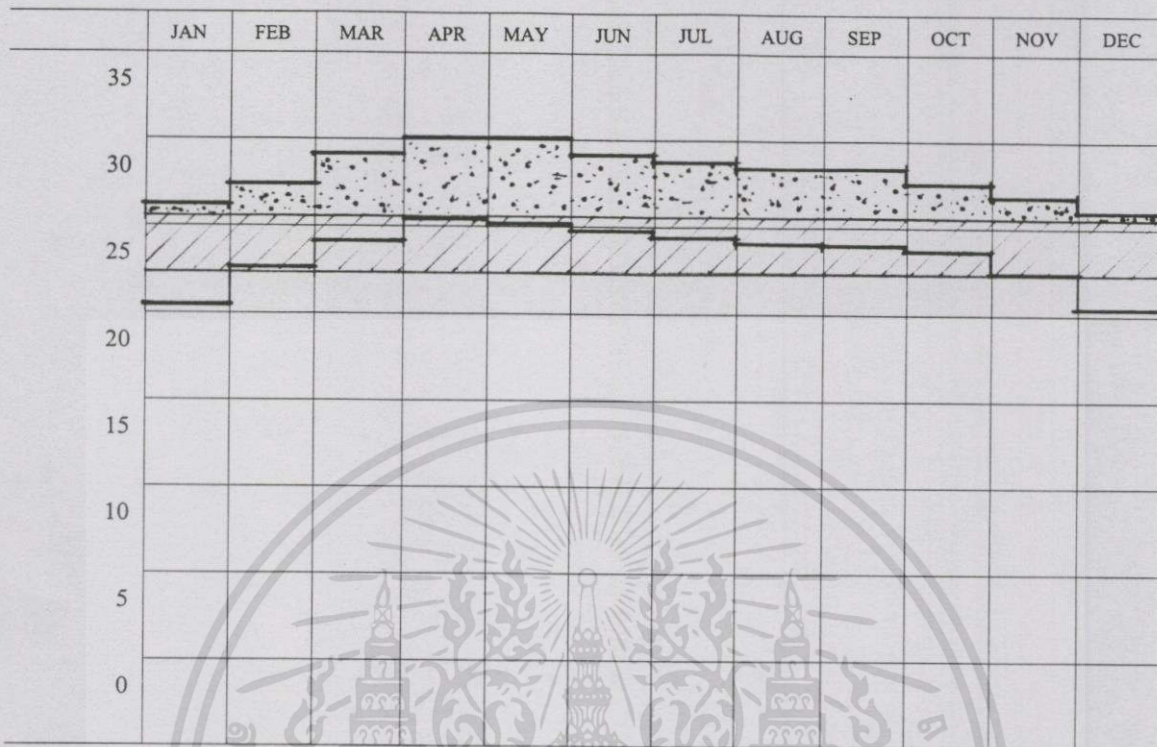
รายการ	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
t_d .max (°c)	32.0	32.8	33.8	35.0	34.2	33.1	32.7	32.4	32.1	31.8	31.5	31.2
t_d .min (°c)	20.9	23.2	24.8	26.0	25.6	25.3	25.0	24.8	24.5	24.3	23.0	20.7
RH.max (%)	90	92	91	90	92	91	91	92	95	94	92	89
RH.min (%)	49	53	55	55	60	62	63	63	65	65	58	52
t_w .max (°c)	23.5	24.9	26.1	27.2	27.5	26.9	26.7	26.4	26.6	26.3	25.0	23.3
t_w .min (°c)	19.7	22.2	23.8	24.8	24.6	24.3	24.0	23.8	24.0	23.8	22.1	19.3
wind (m/s)	1.39	2.16	2.62	2.36	1.90	2.00	1.85	1.90	1.39	1.23	1.29	1.29
ET.max	27.0	27.9	28.8	29.8	29.8	29.0	28.8	28.6	28.6	28.3	27.6	26.7
ET.min	20.4	22.8	24.2	25.3	25.1	24.9	24.5	24.2	24.2	24.0	22.7	20.2

ที่มา : ศรีใจ บูรณสมภพ, การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย,

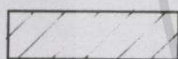
(กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร 2521) หน้า 38

จากตารางที่ 2.3 การคำนวณหาค่าความสบายของสภาพอากาศในกรุงเทพมหานครด้วย The effective temperature (E.T.) พบว่าช่วงที่สภาพอากาศอยู่ในสภาวะสบาย(Comfort Zone) มีค่าอยู่ระหว่าง 22.7-25.7(E.T.)แต่ส่วนใหญ่แล้วสภาพอากาศเกินขีดความสบายเกือบตลอดปี โดยจะอยู่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนตุลาคม ทั้งนี้คำนวณจากสภาพอากาศที่มีความเร็ว 5 เมตร / นาที ซึ่งเป็นความเร็วลมที่ไม่สามารถสัมผัสได้ ดังนั้นในช่วงเวลาที่สภาพอากาศเกินขีดความสบาย จึงใช้เป็นข้อพิจารณาประการสำคัญในการออกแบบอาคารเพื่อให้ใกล้เคียงกับสภาวะสบายมากที่สุด

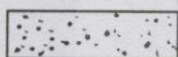
ตารางที่ 2.4 แสดงค่ามาตรฐานความสบายทางอุณหภูมิ (ET.) ของกรุงเทพฯ เป็นรายเดือน



หมายเหตุ ความเร็วลม 5 เมตร/นาทึ



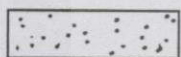
: ช่วงเวลาที่อยู่ในภาวะสบาย (Comfort zone)



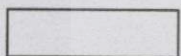
: ช่วงเวลาที่ต้องการการปรับลดอุณหภูมิด้วยกระแสลม (Over comfort zone)

ตารางที่ 2.5 แสดงค่ามาตรฐานความสบายทางอุณหภูมิ (ET.) ของกรุงเทพฯ เป็นรายชั่วโมง

ช่วงเวลา	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
6:00	20.4	22.8	24.2	25.3	25.1	24.9	24.5	24.2	24.2	24.0	22.7	20.2
8:00	21.2	23.3	24.7	25.6	25.6	25.3	25.0	24.6	24.6	24.4	23.2	20.9
10:00	24.1	25.7	26.8	27.8	27.7	27.2	26.9	26.6	26.6	26.4	25.5	23.9
12:00	26.0	27.0	28.2	29.0	29.0	28.4	28.2	28.0	28.0	27.6	26.9	25.8
14:00	27.0	27.9	28.8	29.8	29.8	29.0	28.8	28.6	28.6	28.3	27.6	26.7
16:00	26.5	27.4	28.5	29.4	29.4	28.6	28.4	28.3	28.3	27.9	27.2	26.3
18:00	24.9	26.2	27.3	28.2	28.3	27.8	27.5	27.2	27.2	26.9	26.0	24.6
20:00	23.3	25.0	26.3	27.3	27.2	26.7	26.4	26.3	26.3	26.0	25.0	23.1
22:00	22.5	24.4	25.7	26.6	26.5	26.2	26.0	25.6	25.6	25.3	24.3	22.5
24:00	21.8	24.0	25.2	26.2	26.1	25.8	25.5	25.1	25.1	24.9	23.8	21.7
2.00	21.4	23.5	24.9	25.8	25.8	25.4	25.1	24.8	24.8	24.6	23.4	21.2
4.00	21.8	24.0	25.2	25.2	25.1	25.8	25.5	25.1	25.1	24.9	23.8	21.7



: ช่วงเวลาที่อยู่ในภาวะสบาย (Comfort zone)



: ช่วงเวลาที่ต้องการการปรับลดอุณหภูมิด้วยกระแสลม (Over comfort zone)



: ช่วงที่ต้องการการปรับเพิ่มอุณหภูมิ (Under comfort zone)

2.6 หลังคาโครงสร้างพาดช่วงยาว

หลังคาแบ่งตามลักษณะ โครงสร้างได้เป็นสองระบบ¹ คือ

1. โครงสร้างหลังคาสเกเลตัน(Skeleton roof structure)
2. โครงสร้างหลังคาที่ใช้พื้นผิวรับน้ำหนัก(Surface and membrane structure for roof)

2.6.1 โครงสร้างหลังคาสเกเลตัน(Skeleton roof structure)

หมายถึง โครงหลังคาที่ประกอบขึ้นจากชิ้นส่วน โครงสร้างหลายชิ้นที่สานต่อกันและช่วยกันรับน้ำหนัก แล้วถ่ายลงมาที่กำแพงหรือคานและเสา ผ่านไปยังฐานราก หลังคาในระบบนี้แบ่งย่อยได้ 3 แบบคือ

2.6.1.1 หลังคาที่มีความลาดเอียง (Pitched roofs)

สามารถแบ่งกลุ่มตามความลาดชันเป็น หลังคาที่มีความลาดชันน้อย(low slope)มุมไม่เกิน 13 องศา(3:12) หลังคาที่มีความลาดชันปานกลาง(medium slope)มุมไม่เกิน 18-30 องศา(4:12) หลังคาที่มีความลาดชันมาก(High slope)มุมไม่เกิน 30-45 องศา(12:12) และแบ่งตามลักษณะ โครงสร้างได้ 4 แบบ

- โครงไม้ขนาดเล็ก(light wood Framing)

ประกอบด้วยจันทันและวัสดุค้ำ(m rafters and sheathing): เป็น โครงสร้างทั่วไปของบ้าน

- โครงแผ่นกระดานและคานไม้(wood plank and beam roof system)

ประกอบด้วยจันทัน ไม้รับแผ่นกระดาน ซึ่งแผ่นกระดานจะรองรับวัสดุค้ำที่เป็นแผ่นเล็ก(shingles)อีกชั้นหนึ่ง ระบบนี้สามารถวางจันทันได้ห่างมากกว่าระบบแรก และบางครั้งใช้แป้ไม้(purlins)วางบนจันทันเพื่อรับกระเบื้องหรือวัสดุค้ำอื่น

- จันทัน โครงทรีสไม้(wood truss rafters)

หรือ โครงถัก ไม้ สามารถพาดช่วงเสาได้มากกว่าสองแบบแรก โครงทรีสสามารถประกอบที่หน่วยงานหรือประกอบสำเร็จรูปจากโรงงาน แล้วยกขึ้นไปประกอบบน โครงหลังคา โดยแบ่งตามระยะการพาดช่วงสั้นและช่วงยาว

ก. จันทัน โครงทรีส หรือ โครงทรีสเบา(light truss, truss rafter)

ข. โครงทรีสหนัก(heavy truss, wood truss)

- โครงเหล็ก(steel roof)

โครงสร้างหลังคาทำด้วยเหล็ก ซึ่งแบ่งได้สองแบบ

¹ สุภาวดี รัตนมาศ, หลังคาในงานสถาปัตยกรรม, กรุงเทพฯ: บริษัท แปลน พรินท์ติ้ง จำกัด 2543, หน้า 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก. โครงจันทันเหล็ก(steel rafters)ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับ โครงพื้นเหล็ก ก็คือระบบเสาและคาน
- ข. โครงทรีสเหล็ก(steel trusses)มีรูปแบบเช่นเดียวกับ โครงทรีสไม้ซึ่งเป็น โครงทรีส ระบายเดียว ตรงจุดต่อนิยมใช้แผ่น โลหะประกบ(gusset plates)

2.6.1.2 หลังคาที่มีโครงสร้างสามมิติ (Three-dimensional structure)

โครงแบบนี้พัฒนามาจาก โครงทรีสทางเดียว(one-way truss on truss subsystem) โดย ความลึกของ โครงทรีสหลักและ โครงทรีสรองเท่ากัน และวางสลับคอร์ดบนและคอร์ดล่างของ โครงทรีส โดยใช้ส่วนเวบเป็นส่วนเชื่อมระหว่างคอร์ดบนและคอร์ดล่าง ในลักษณะนี้ส่วนเวบจะทำหน้าที่เป็นคอร์ดทะแยง(diagonal chord)สำหรับสองทิศทาง คุณลักษณะของเวบที่ใช้ประโยชน์ทั้ง สองทิศทางนี้จึงเรียกว่า โครงสร้างสามมิติ (Space structure) หรือระบบ โครงสเปซทรีส(space truss system)

โดม(domes)และหลังคาโค้ง(arched roofs)

โครงสร้างที่เป็นตารางและ โครงกรอบ(frames) เราสามารถแบ่งพื้นที่ของ โดมออกเป็นรูป สามเหลี่ยมหรือรูปหลายเหลี่ยมจำนวนหลายรูป โดยให้ด้านข้างของแต่ละชั้นมีลักษณะเป็นเส้น บานพับไม่ยึดแน่น(hinged bars)

หลังคาโค้ง(arched roofs)

เป็นการนำเอาโค้งมาใช้เรียงขนานต่อกัน เรียกว่า โค้งประทุน(barrel vault or barrel roof)น้ำหนักของหลังคาจะถ่ายลงสู่ฐานรากในลักษณะแรงอัด(compression)

หลังคาลามลล่า(lamella roofs

)เป็นโครงสร้างที่ใช้โค้งมาเรียงขนานกัน สำหรับคลุมพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยให้โค้งขนานไปที่ ด้านข้างของสี่เหลี่ยมผืนผ้า และตัดกับ โค้งที่เฉียงมาอีกด้านหนึ่ง ส่วน โค้งที่ตัดกันจะทำให้เกิดแรง ปฏิกริยาที่มีประสิทธิภาพ

หลังคารับแรงดึง หรือหลังคาโครงแขวน(tensile roofs or hanging roofs)

เป็นการออกแบบ โครงสร้างที่พยายามใช้วัสดุรับแรงเครียดที่เกิดขึ้นใน โครงสร้างในแต่ละ เองอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด(รายละเอียดดูบทที่ 3.2)

หลังคาแบน(flat roofs)

โดยส่วนใหญ่สร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่(reinforced concrete roof slabs)และ คอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูป(precast concrete roof slabs) บางครั้งจะปูทับด้วยแผ่นเมมเบรนที่มีคุณสมบัติกันน้ำ และใช้ร่วมกับฉนวนทับหน้าหน้าด้วยกรวดเพื่อป้องกันแรงยกของลม

2.6.2 โครงหลังคาที่ใช้พื้นผิวรับน้ำหนัก (surface and membrane structure for roofs)

โครงสร้างพื้นผิว เป็น โครงสร้างที่รับแรงคั้นเนื่องจากน้ำหนักตายตัวและน้ำหนักอื่นที่มากระทำโดยการกระจายออกตามพื้นผิวที่ห่อหุ้มทุกทิศทางแล้วถ่ายแรงลงสู่พื้นดิน ซึ่งแตกต่างจาก โครงหลังคาแบบระบบสเกลตัน ที่มีการสะสมแล้วถ่ายน้ำหนักอย่างเป็นลำดับขั้น จากชั้นส่วน โครงสร้างหลักลงสู่ชั้นส่วนรอง และลงสู่ฐานรองรับแล้วถ่ายลงสู่ดิน ซึ่งจะเห็นได้ใน โครงสร้างหลังคา จันทันและแป

ความสำคัญของ โครงสร้างพื้นผิวนั้นอยู่ที่รูปร่างหรือรูทรงของอาคาร โดยมีลักษณะเป็นไปตามความต้องการของโครงสร้าง โดยพื้นผิวที่รับน้ำหนักให้พาดช่วงได้ยาวที่สุดเท่าที่จะทำได้ในการรับแรงคั้น และลดแรงคั้นดัด(bending stress) ให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด แผ่นเมมเบรนหรือแผ่นผิวรับน้ำหนักควรมีความหนาแน่นน้อยที่สุด เพื่อลดน้ำหนักตายตัว

2.6.2.1 โครงสร้างเปลือกบาง(thin shell)

โครงสร้างพื้นผิวเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก แผ่นโค้งบางมีรูปร่างไปตามถ่ายเทแรงอัด แรงดึง และแรงคั้นเนื้อง ที่เกิดขึ้นในแผ่นผิวที่รับแรงนั้น โดยประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับความโค้งและลักษณะบิดของผิว การวิเคราะห์ โครงสร้างการรับแรงต่าง ๆ นั้นต้องอาศัยรูปร่างของพื้นผิวที่โค้งไป ซึ่งจะมีรูปร่างเป็นเรขาคณิตเท่านั้นเป็นหลัก การแบ่งลักษณะของ โครงสร้างเปลือกจึงขึ้นอยู่กับความโค้งของรูปร่างของเปลือก ซึ่งมีด้วยกันหลายมีรูปแบบตามลักษณะการรับแรงที่ต่างกันอันเป็นลักษณะเฉพาะ ดังนี้

เปลือกทรงกระบอก(cylindrical shell, barrel shell)

เป็นแบบที่เรียบง่ายที่สุด สามารถนำมาใช้พาดช่วงเสาต่อเนื่อง หรือใช้พาดช่วงเสาเดียว พื้นผิวแบบเปลี่ยนแปลง(translational surface)

หมายถึง พื้นผิวที่เกิดจากการเลื่อนผ่านของระนาบ โค้งไปตามเส้นตรง หรือเลื่อนไปบนระนาบ โค้งอีกอันหนึ่ง ได้แก่ เปลือกรูปไฮเพอร์โบลิก พาราโบลอยด์(hyperbolic paraboloid) หรือเรียกว่าไฮปาร์(hypar) เปลือกรูปอานม้า(saddle shell)

พื้นผิวแบบบรรทัด(ruled surface)

หมายถึง พื้นผิวที่เกิดการเคลื่อนที่ของเส้นตรง รูปทรงนี้จะก่อสร้างง่ายกว่าพื้นผิวแบบเปลี่ยนแปลงและผิวแบบหมุน ได้แก่ เปลือกรูปคอนนอยด์(conoid) เปลือกรูปไฮเพอร์โบลอยด์(hyperboloid) เป็นต้น

พื้นผิวแบบหมุนวน(rotational surface)

หมายถึง พื้นผิวที่เกิดการหมุนระนาบไปตามแกน ซึ่งมักจะเป็นแกนตั้ง ได้แก่ เปลือกรูปพาราโบลิก เปลือกรูปไข่ เปลือกทรงกลม เป็นต้น

2.6.2.2 โครงสร้างแผ่นพับ(folded plates)

ประกอบด้วยแผ่นบางที่มีความลึกยึดติดกันอย่างหนาแน่นตามแนวขอบของแผ่น และทำให้เกิดมุมที่ช่วยค้ำแต่ละแผ่นเข้าด้วยกันเพื่อป้องกันแรงด้านข้างที่ทำให้แผ่นเกิดการหักงอได้ ผลลัพธ์ของรูปตัดตามขวางของแผ่นพับทำให้แผ่นมีความแข็งแรงและสามารถพาดช่วงได้ยาวขึ้นอีกด้วย

2.6.2.3 โครงสร้างหลังการรองรับด้วยอากาศ(air-supported roof structure)

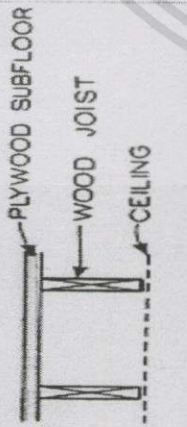
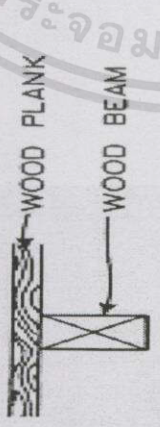
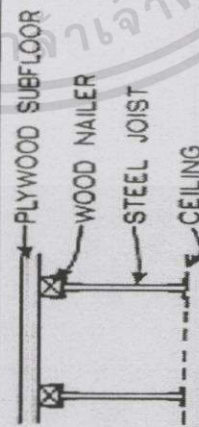
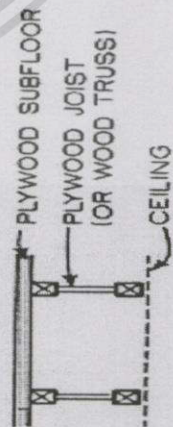
โครงฟองลม(pneumatic structure)

ประกอบด้วยแผ่นเมมเบรนขึ้นเดียวซึ่งรองรับด้วยอากาศที่มีแรงดันภายในสูงกว่าแรงดันอากาศปกติเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และ โครงจะถูกยึดไว้กับหลักที่ดินและผนังรอยต่อตามเส้นรอบวงอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศ การสกัดอากาศ(air-lock)ตรงทางเข้าภายในและภายนอกเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อรักษาแรงดันของอากาศภายในไว้ให้คงที่ ฐานรากต้องแข็งแรงพอที่จะรับแรงดึงถอนขึ้นของหลังคา เนื่องจากแรงดันอากาศภายในสูงกว่าแรงดันอากาศปกติ รูปร่างของหลังคารองรับด้วยอากาศนี้โดยธรรมชาติจะเป็นทรงกลมเนื่องจากแรงดันอากาศที่สม่ำเสมอทุกทิศทาง แต่ในงานก่อสร้างจะลดขนาดลงเหลือ 3 ใน 4 ส่วนของรูปทรงกลม

โครงสร้างฟองลม(air-inflated structure)

ประกอบด้วยแผ่นเมมเบรนสองชั้นซึ่งถูกอัดอากาศไว้ แต่ภายในอาคารจะมีความดันอากาศเป็นปกติ และเพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นเมมเบรนหักในช่วงกลางจึงใช้วงแหวนรับแรงอัด หรือคานาไดอะแฟรมช่วยรับ

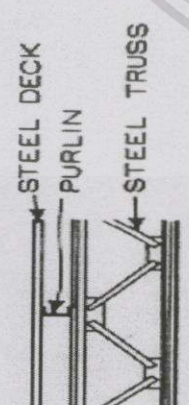
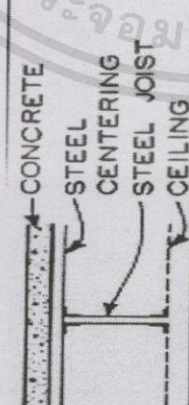
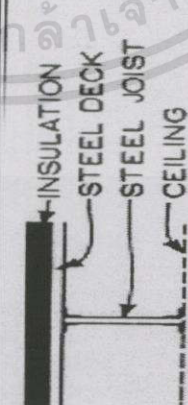
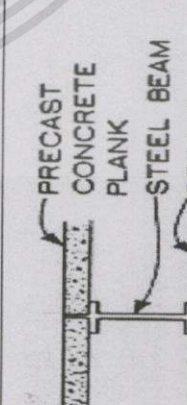
ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของโครงสร้างหลังคาไม้

วัสดุ	ลักษณะโครงสร้าง	ความลึกของระบบ(m.)	ขนาดของส่วนประกอบ(m.)	น้ำหนักตัวโครงสร้าง (kg./m ² .)	การรับน้ำหนัก (kg./m ² .)	ระยะคดุมพื้นที่ (m.)	ระยะห่างของโครงสร้าง (m.)
1). ฉันทันไม้ (Wood rafter)		0.075-0.325	0.05×0.10,0.15 0.20,0.25,0.30 (ขนาดมาตรฐาน)	20.00-40.00	50.00-250.00	6.50	-
2). ดานไม้และแผ่นไม้ (Wood beam and plank)		0.20-0.55	0.05,0.075,0.10 (ขนาดมาตรฐาน)	25.00-60.00	50.00-250.00	2.50-10.00	2.40 (ระยะห่างสูงสุดระหว่างคาน)
3). แผ่นไม้ฉัด (Plywood panel)		0.08-0.20	-	15.00-30.00	50.00-250.00	2.50-9.50	1.20 (modules)
4). โครงประกอบไม้ (Wood truss)		0.30-3.60 (แปรผันตามลักษณะโครงสร้างประกอบ)	-	25.00-125.00	50.00-250.00	9.00-15.00	0.60-2.40

ตารางที่ 2.7 แสดงคุณสมบัติของโครงสร้างหลังคาไม้(ต่อจากตารางที่ 2.6)

วัสดุ	ลักษณะความคงตัวของโครงสร้าง	การลาดเอียงของหลังคา	ฝ่าพาดบดโครงสร้าง	พื้นที่สำหรับติดตั้งทำงานระบบM&E	การสะท้อนของเสียง	ความคงทนเพลิงไหม้ (ชม.)	หมายเหตุ
1. จันทันไม้ (Wood rafter)	ตกท้องช้าง	ได้	เพื่อความสะดวกหรือการป้องกันไฟ	ช่องระหว่างจันทัน (ทางเดียว)	ปานกลาง	-	การกรุณวนวกันไฟจะช่วยป้องกันเพลิงได้ประมาณ 2 ชม.
2. คานไม้และแผ่นไม้ (Wood beam and plank)	-	ได้	เพื่อการป้องกันไฟ	ช่องระหว่างคาน (ทางเดียว)	ปานกลาง	-	การกรุณวนวกันไฟจะช่วยป้องกันเพลิงได้ประมาณ 2 ชม.
3. แผ่นไม้อัด (Plywood panel)	-	ได้	ไม่	ติดตั้งได้โครงสร้างเท่านั้น	ปานกลาง	-	
4. โครงประกอบไม้ (Wood truss)	ตกท้องช้าง	ได้	เพื่อความสะดวกหรือการป้องกันไฟ	ช่องระหว่างโครงประกอบไม้	ปานกลาง	-	การกรุณวนวกันไฟจะช่วยป้องกันเพลิงได้ประมาณ 2 ชม.

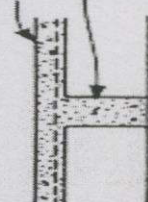
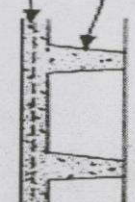
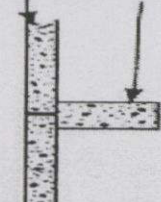
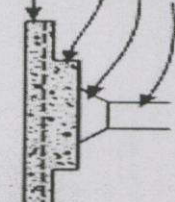
ตารางที่ 2.8 แสดงคุณสมบัติของโครงสร้างหลังคาเหล็ก

วัสดุ	ลักษณะ โครงสร้าง	ความลึกของระบบ(m.)	ขนาดของส่วนประกอบ(m.)	น้ำหนักตัวโครงสร้าง(kg./m ² .)	การรับน้ำหนัก(kg./m ² .)	ระยะกุ่มพื้นที่(m.)	ระยะห่างของโครงสร้าง(m.)
1.) โครงประกอบเหล็ก (Steel truss)		(แปรผันตามลักษณะ โครงประกอบของ โครง)	-	75.00-125.00	50.00-300.00	30.00-60.00	-
2.) ดมเหล็กพื้นคอนกรีต(Steel joist with concrete)		0.275-1.875	0.20-1.80 (จุดต่อเหล็ก)	50.00-140.00	50.00-250.00	กว้างถึง 30.00	จุดต่อเบา 0.40-0.75 จุดต่อหนัก 1.20-3.60
3.) ดมเหล็กมุงกระเบื้อง(Steel joist with tile)		0.25-0.80	0.20-0.75 (จุดต่อเหล็ก)	40.00-100.00	50.00-250.00	กว้างถึง 30.00	จุดต่อเบา 0.40-0.75 จุดต่อหนัก 1.20-3.60
4.) กานเหล็ก (Steel frame)		0.10-0.30 (ไม่รวมคาน)	แผ่นคอนกรีตตัดแรง กว้าง 0.30-1.20 หนา 0.05-0.30	200.00-375.00	150.00-350.00	6.00-18.00	-

ตารางที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติของโครงสร้างหลังคาเหล็ก(ต่อจากตารางที่ 2.8)

วัสดุ	ลักษณะความคงตัวของโครงสร้าง	การลาดเอียงของหลังคา	สาเหตุการเปิดโครงการ	พื้นที่สำหรับติดตั้งทำงานระบบM&E	การสะท้อนของเสียง	ความคงทนเพลิงไหม้ (ชม.)	หมายเหตุ
1.) โครงประกอบเหล็ก (Steel truss)	ดกต้องข้าง	ได้ (โดยมากใช้โครงสร้างประกอบทรงแจ้ว)	เพื่อความสวยงามหรือการป้องกันไฟ	ช่องระหว่างประกอบเหล็ก	ปานกลาง	-	การกรุณานวกันไฟจะช่วยป้องกันเพลิงได้ประมาณ 1-4 ชม.
2.) ผนังคอนกรีต(Steel joist with concrete)	ดกต้องข้าง	ไม่ได้	เพื่อความสวยงามหรือการป้องกันไฟ	ช่องระหว่างคาน (ทางเดิน)	ปานกลาง	-	การกรุณานวกันไฟจะช่วยป้องกันเพลิงได้ประมาณ 1-4 ชม.
3.) ผนังกระเบื้อง(Steel joist with tile)	ดกต้องข้าง	ได้	เพื่อความสวยงามหรือการป้องกันไฟ	ติดตั้งได้โครงสร้างเพดาน	ปานกลาง	-	การกรุณานวกันไฟจะช่วยป้องกันเพลิงได้ประมาณ 1-2 ชม.
4.) ผนังคานเหล็ก (Steel frame)	ดกต้องข้างและเกิดรอยร้าว	ได้	เพื่อความสวยงามหรือการป้องกันไฟ	ติดตั้งได้โครงสร้างเพดาน	ปานกลาง	-	การกรุณานวกันไฟจะช่วยป้องกันเพลิงได้ประมาณ 1-4 ชม.

ตารางที่ 2.10 แสดงคุณสมบัติของโครงสร้างหลังคาคอนกรีต

วัสดุ	ลักษณะโครงสร้าง	ความลึกของระบบ(m.)	ขนาดของส่วนประกอบ(m.)	น้ำหนักตัวโครงสร้าง(kg./m ² .)	การรับน้ำหนัก(kg./m ² .)	ระยะค้ำพื้นที่(m.)	ระยะห่างของโครงสร้าง(m.)
1.) คอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete slab)		0.10-0.25 (ไม่รวมคาน)	-	250.00-600.00	≤ 500.00	3.00-9.00 จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระบบอัดแรง (Prestressing)	L ≤ 1.33W L = ความยาว W = ความกว้าง
2.) ตงคอนกรีตเสริมเหล็ก (Ribbed concrete slab)		0.20-0.60	ขนาดของหลุมกว้าง 0.50×0.50, 0.75×0.75 ลึก 0.15-0.50	375.00-525.00	≤ 500.00	7.50-18.00 จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระบบอัดแรง (Prestressing)	L ≤ 1.33W
3.) แผ่นคอนกรีตอัดแรง (Precast concrete)		0.15-0.40	กว้าง 1.20, 1.50, 1.80, 2.40, 3.00 ลึก 0.15-0.40	175.00-275.00	125.00-300.00	6.00-22.50	-
4.) พื้นคอนกรีตไร้คาน (Concrete flat slab)		0.125-0.40	ความหนาพื้น 0.15-0.40	250.00-1,000.00	≤ 500.00	≤ 12.00 จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ระบบอัดแรง (Prestressing)	L ≤ 1.33W ระยะห่างของช่วงเสาควรถูกกำหนด

ตารางที่ 2.11 แสดงคุณสมบัติของโครงสร้างหลังคาคอนกรีต(ต่อจากตารางที่ 2.10)

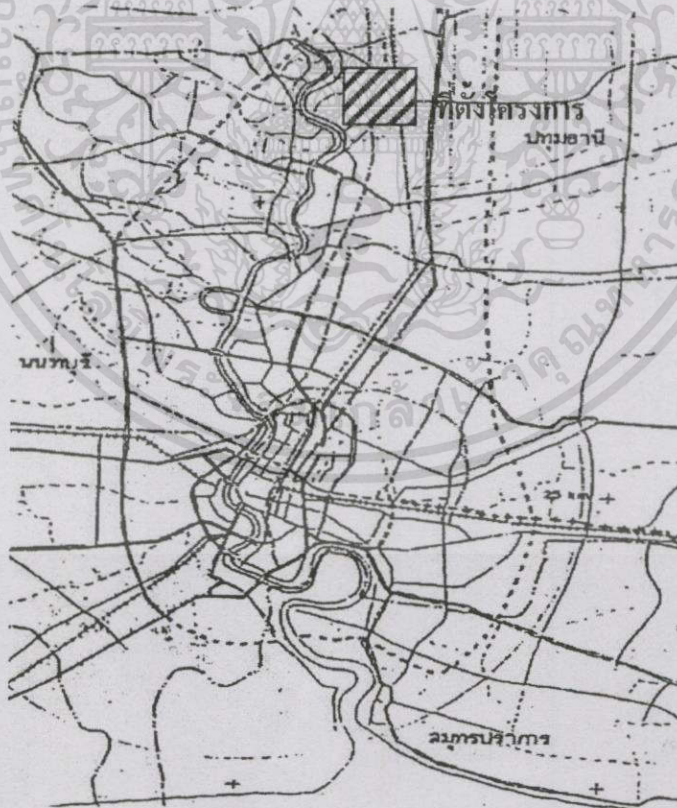
วัสดุ	ลักษณะความคงตัวของโครงสร้าง	การลาดเอียงของหลังคา	ฝ้าเพดานเปิดโครงสร้าง	พื้นที่สำหรับติดตั้งแผงระบบM&E	การสะท้อนของเสียง	ความคงทนเพลิงไหม้ (ชม.)	หมายเหตุ
1.) คอนกรีตเสริมเหล็ก (Concrete slab)	-	ไม่ได้	ไม่	ติดตั้งได้โครงสร้างเท่านั้น	มาก	1-4	
2.) ดงคอนกรีตเสริมเหล็ก (Ribbed concrete slab)	เกิดรอยร้าว	ไม่ได้	ไม่	ติดตั้งได้โครงสร้างเท่านั้น	มาก	1-4	สามารถนำไปแบบมาตรฐานอื่นได้
3.) แผ่นคอนกรีตอัดแรง (Precast concrete)	เกิดรอยร้าว	ได้	เพื่อความสวยงามหรือการป้องกันไฟ	ระหว่งแนวคาน (ทางเดียว)	มาก	2-3	ส่วนมากผลิตจากโรงงานและใช้ระบบคอนกรีตอัดแรง
4.) พื้นคอนกรีตไร้คาน (Concrete flat slab)	เกิดรอยร้าว	ไม่ได้	ไม่	ติดตั้งได้โครงสร้างเท่านั้น	มาก	1-4	ใช้สำหรับหลังคาที่รับน้ำหนักมาก

บทที่ 3

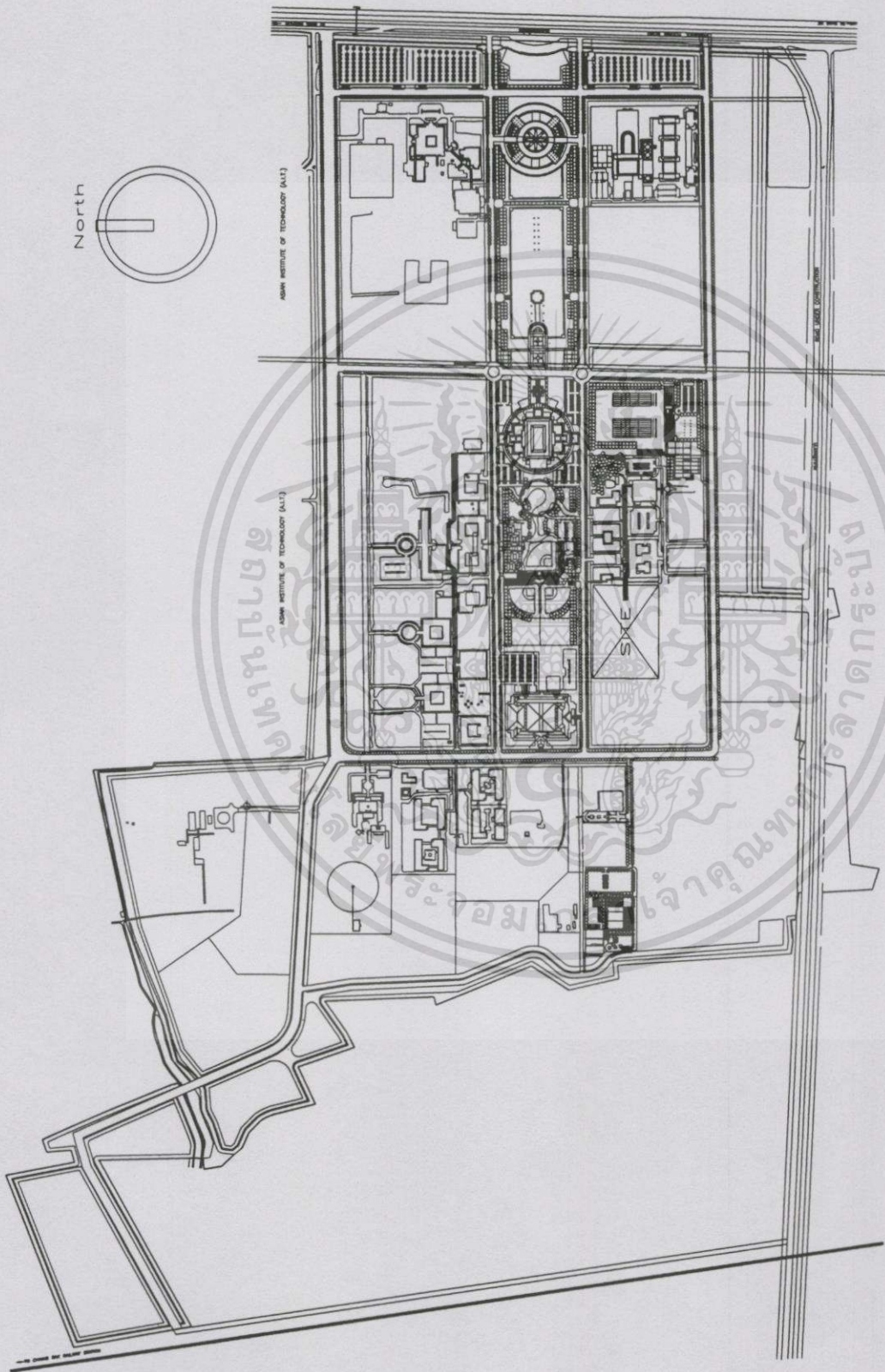
การศึกษาสภาพอาคารและแนวทางการปรับปรุง

3.1 ที่ตั้งโครงการและรูปแบบของอาคาร

สถานที่ตั้งโครงการอยู่ในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของถนนพหลโยธิน บริเวณทางตอนเหนือของกรุงเทพมหานครกิโลเมตรที่ 42 มีถนนพหลโยธินขนาด 10 ช่องทางผ่านหน้าโครงการด้านทิศตะวันออก และถนนเชิงรึกขนาด 6 ช่องทางด้านทิศใต้ มีเส้นทางรถไฟสายเหนือผ่านด้านทิศตะวันตกของโครงการบริเวณสถานีรถไฟเชิงรึก ขนาดที่ดินมีพื้นที่ 44,000 ตารางเมตร.(27.5 ไร่) ตั้งอยู่ทางทิศใต้ของผังรวมมหาวิทยาลัยฯ ติดกับถนนเชิงรึก มีลักษณะเป็นทุ่งหญ้าโล่งด้านเหนือเป็นกลุ่มอาคารเรียนของมหาวิทยาลัย ด้านทิศใต้เป็นถนนเชิงรึกและทุ่งหญ้าโล่ง ทิศตะวันออกเป็นทุ่งหญ้าโล่งไม่มีสิ่งปลูกสร้าง ทิศตะวันตกเป็นอาคารศูนย์กีฬาทางน้ำ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือเป็น ยิมเนเซียมหลัก

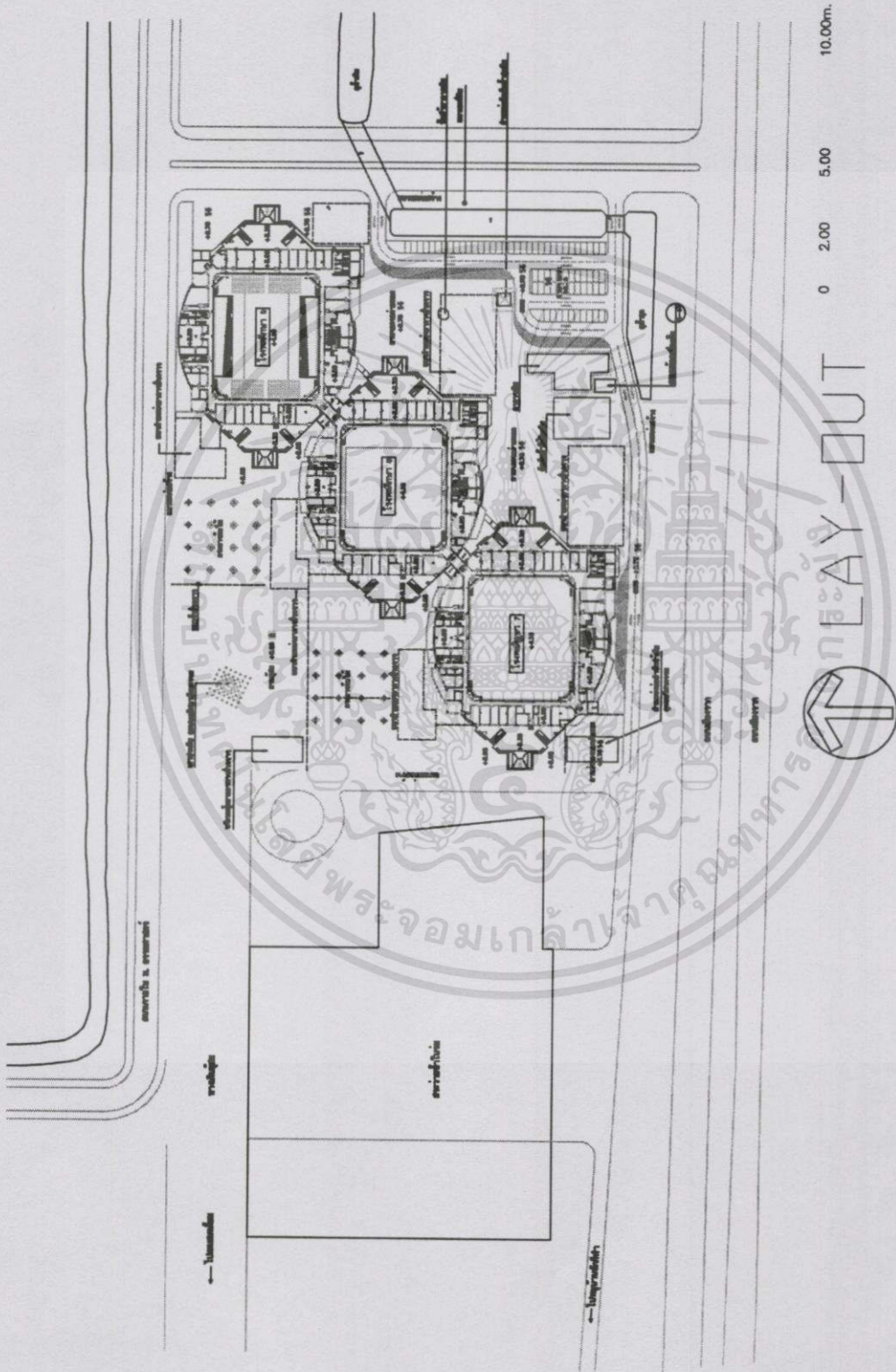


รูปที่ 3.1 แสดงที่ตั้งโครงการ



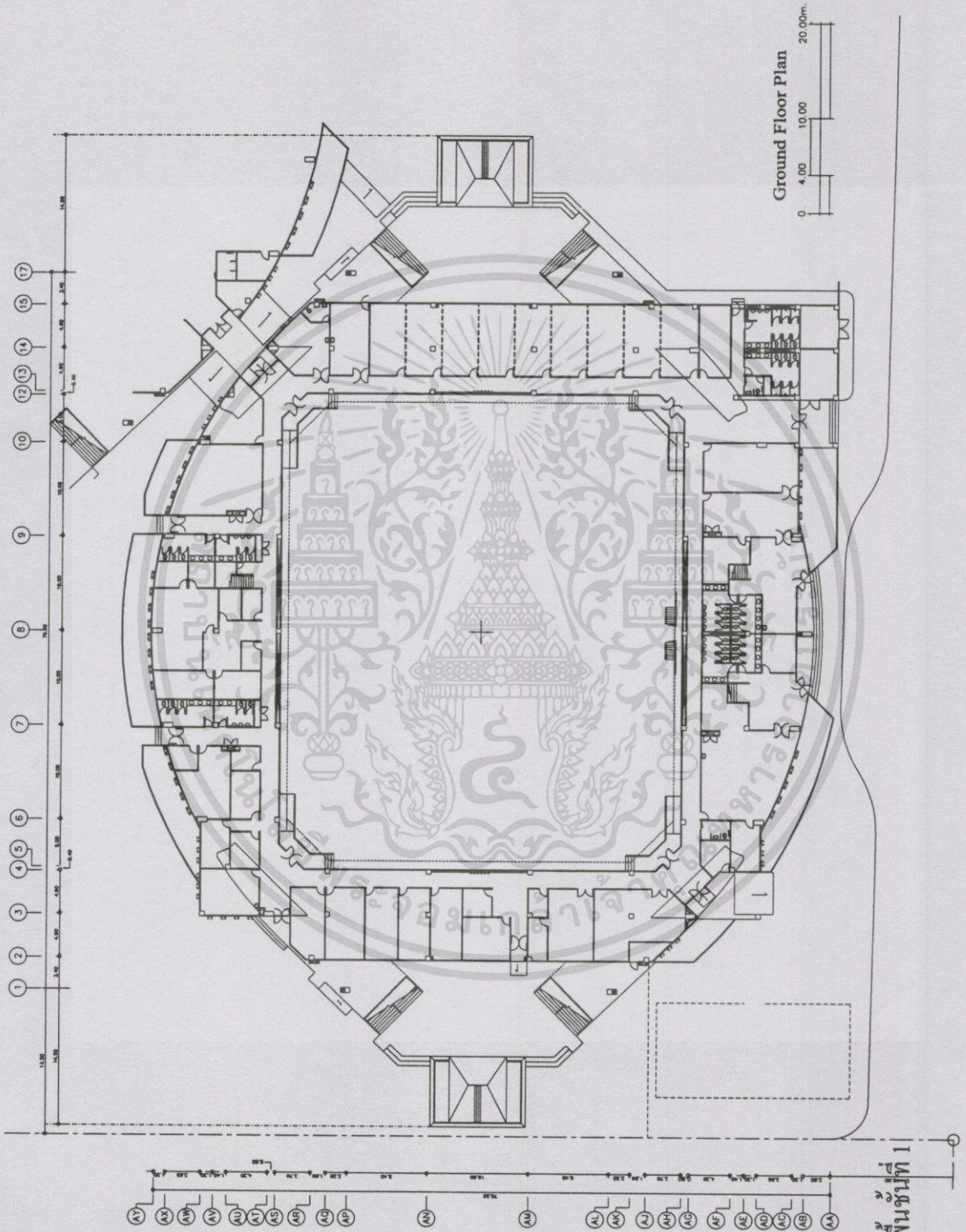
รูปที่ 3.2 แสดงที่ตั้งโครงการและสภาพบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ศูนย์รังสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วากกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



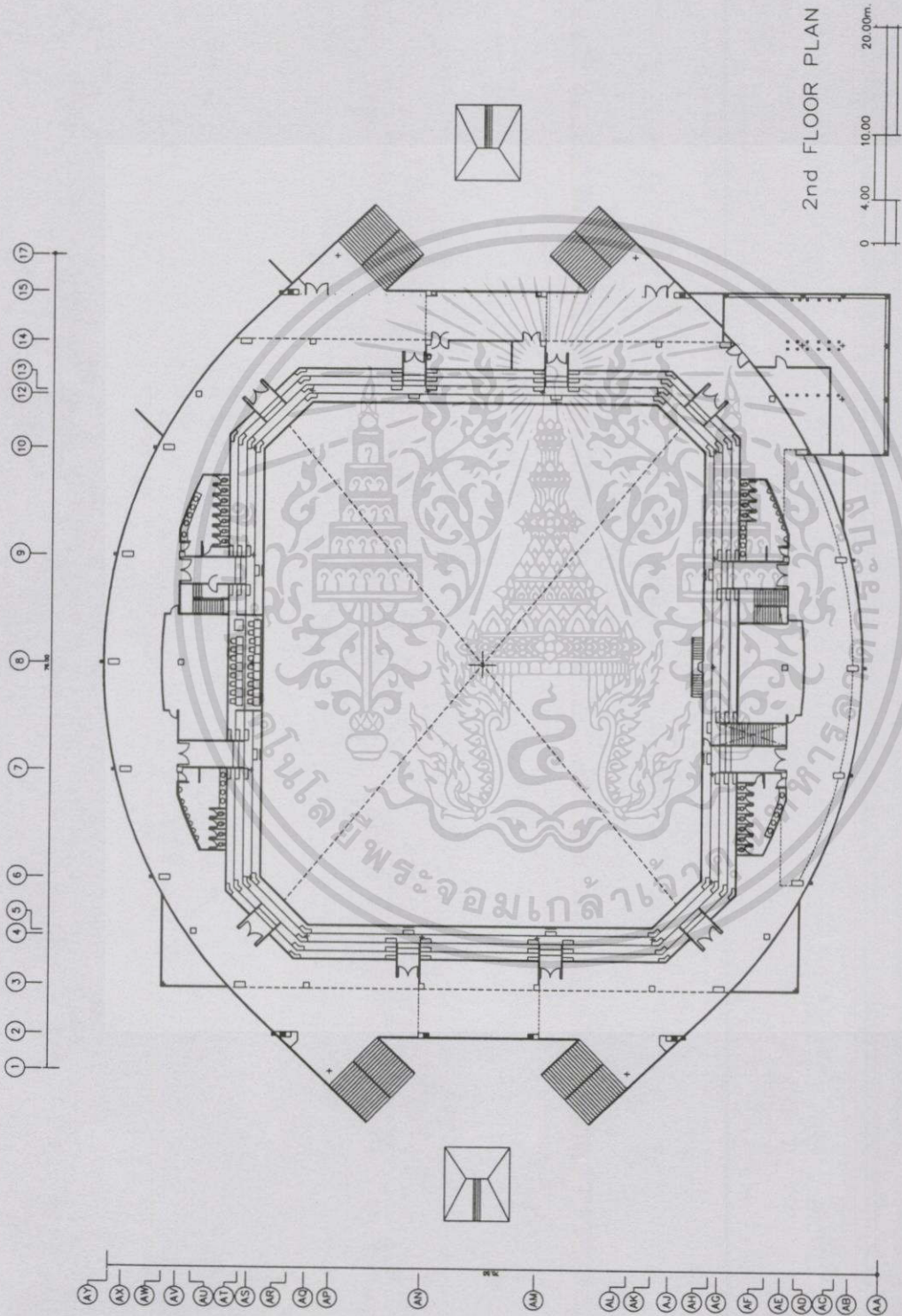
รูปที่ 3.3 แสดงผังบริเวณที่ตงอาคารที่ทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



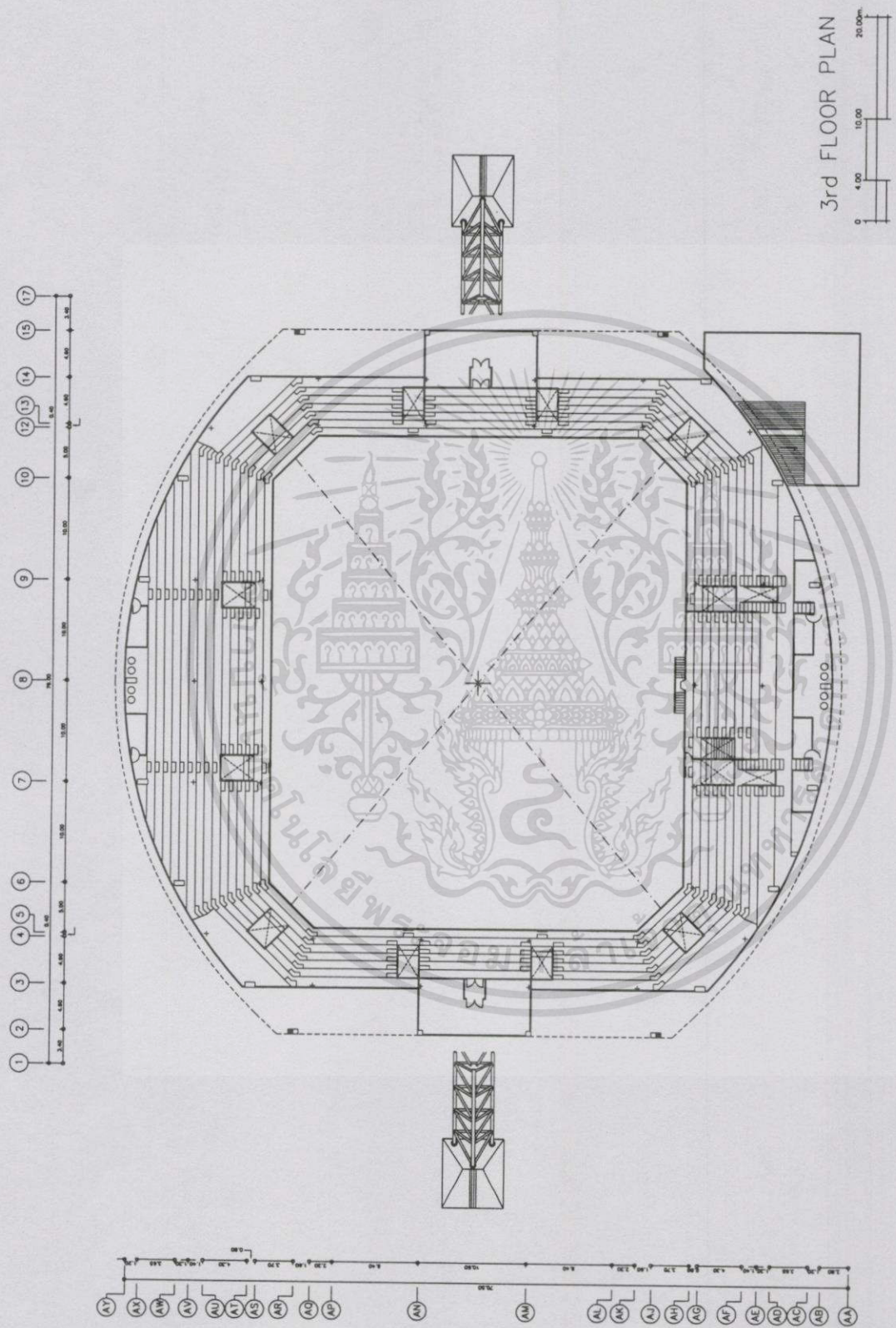
รูปที่ 3.4 แสดงผังพื้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



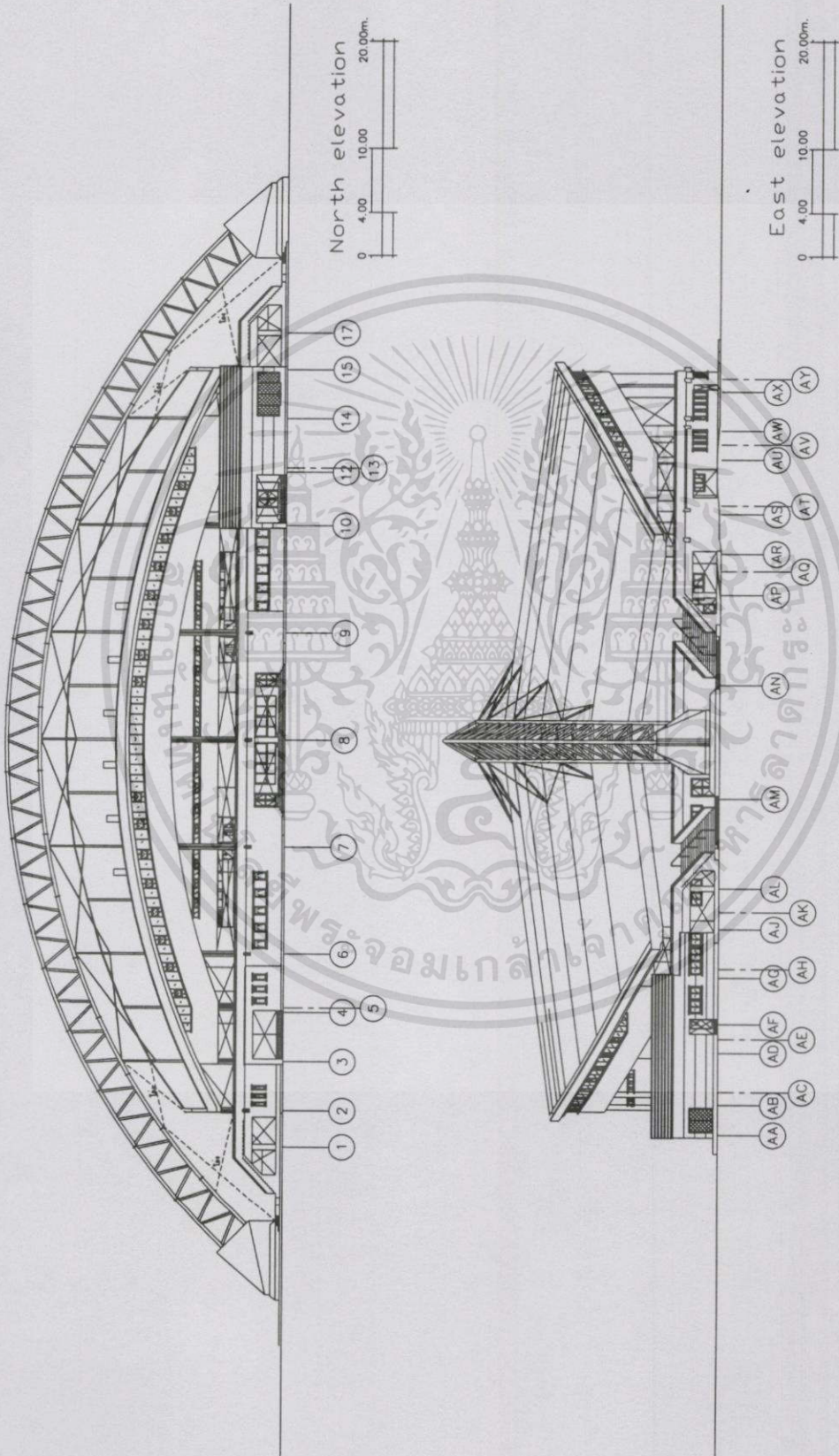
รูปที่ 3.5 แสดงผังพื้นที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



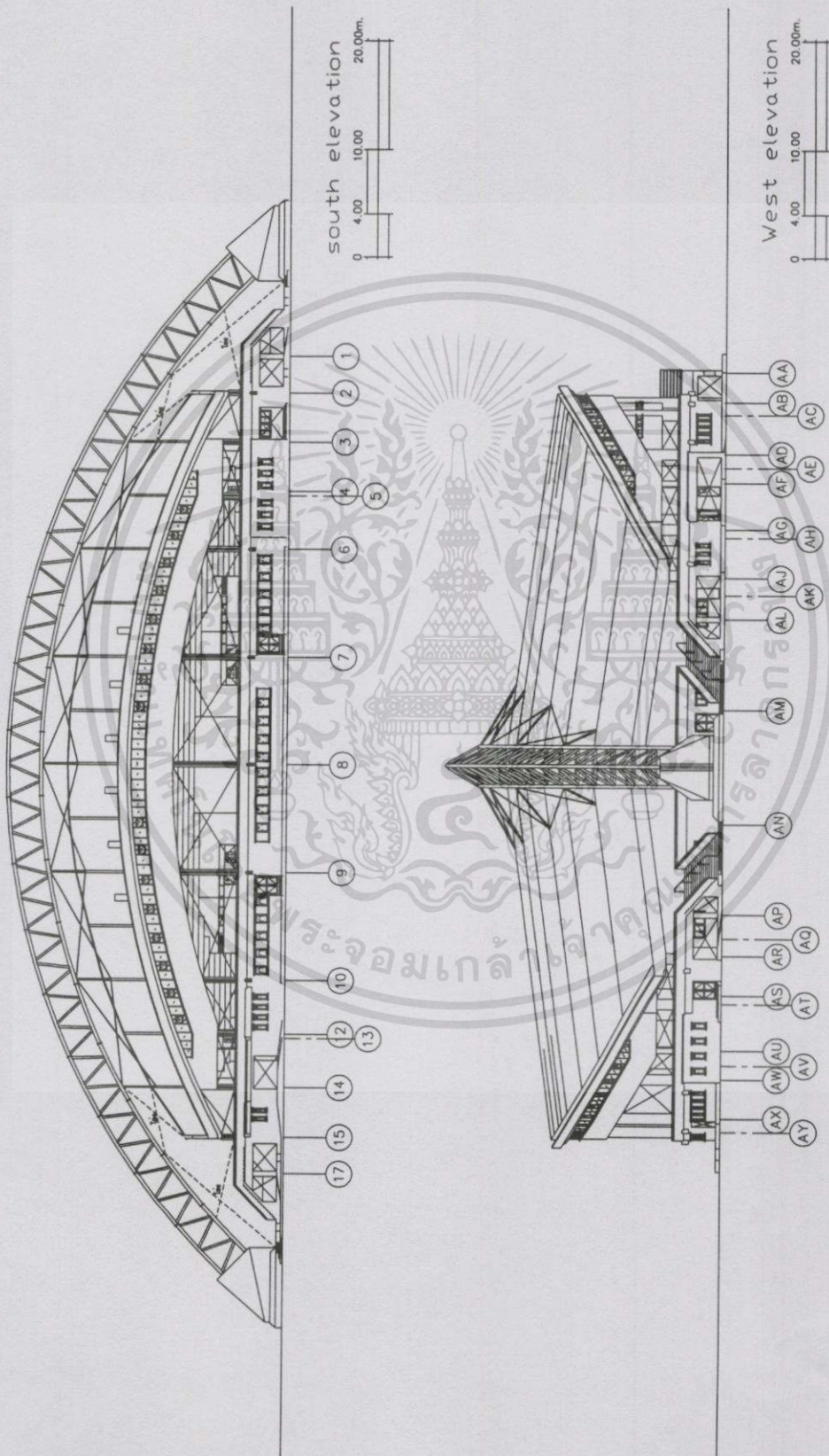
รูปที่ 3.6 แสดงผังพื้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



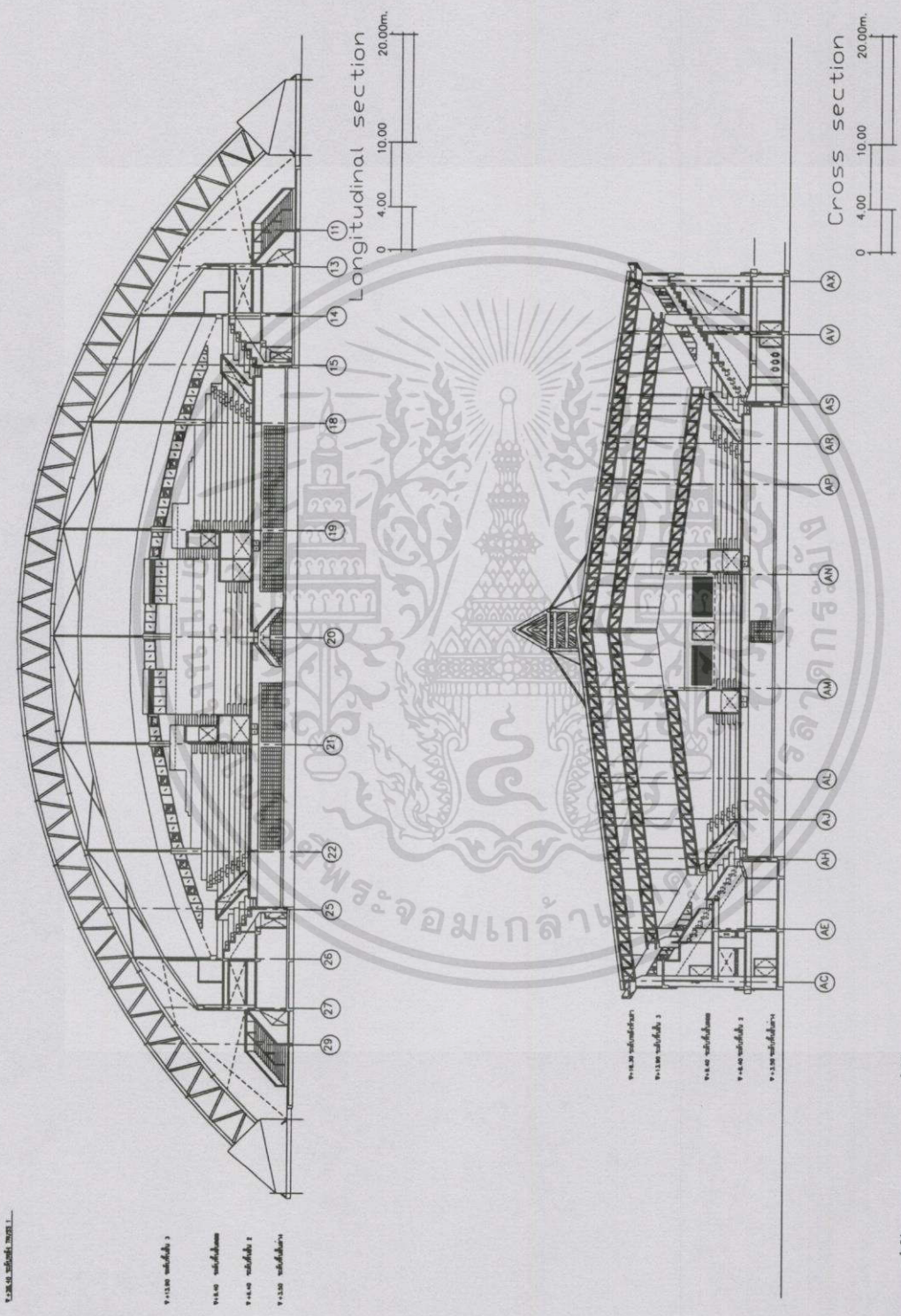
รูปที่ 3.7 แสดงรูปด้านทิศเหนือและทิศตะวันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงรูปด้านทิศใต้และทิศตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงรูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงทัศนียภาพภายนอก



รูปที่ 3.11 แสดงทัศนียภาพภายใน

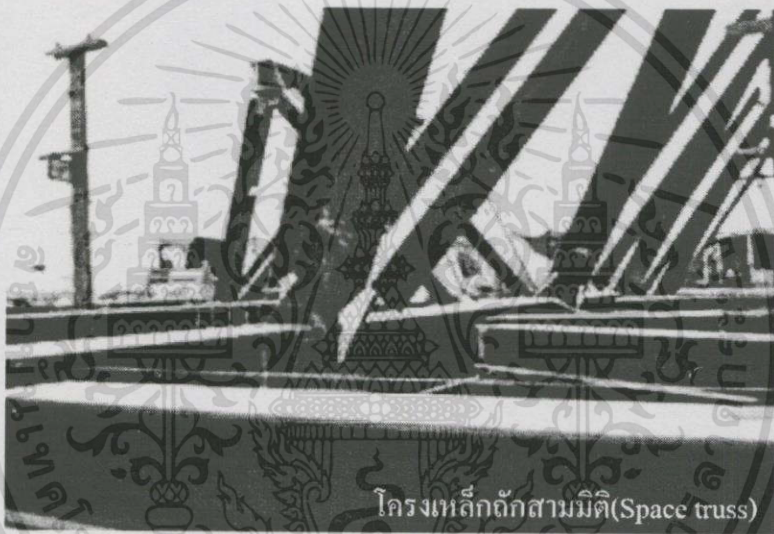
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หลังคาโครงแขวน

ปัญหาที่มักจะประสบและต้องคำนึงถึงในการออกแบบและก่อสร้างโครงหลังคาช่วงกว้าง คือความแน่นอนในการคำนวณการกระจายรับแรงและการวิเคราะห์รายละเอียดของโครงสร้าง ซึ่งหลังคาโครงแขวน(Suspended Roofs)ก็อยู่ในกลุ่มดังกล่าวด้วย และมีปัญหาอื่นๆเพิ่มเติมอีก กล่าวคือ การเตรียมความมั่นคงแข็งแรง ป้องกันการสั่นกระพือ ของจุดยึดและชิ้นส่วน(เส้นลวดเหล็ก)รับแรงดึง รวมถึงฐานของโครงสร้าง(สมอ) ซึ่งเป็นจุดพิเศษของ โครงสร้างแบบนี้

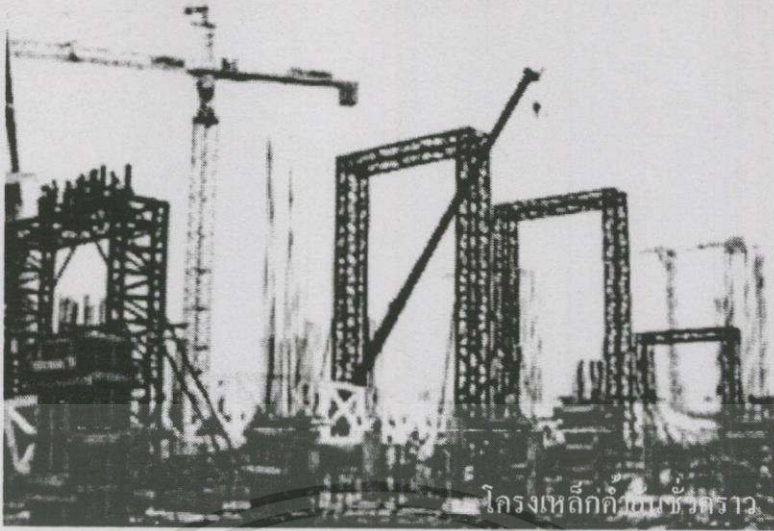
สิ่งที่คำนึงถึงของโครงหลังคาช่วงกว้างนั้นนอกจากระบบโครงสร้าง และความคุ้มค่าในการลงทุน สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ ประโยชน์ใช้สอย รูปแบบ สัดส่วน ที่ประกอบกันขึ้นให้เกิดความสวยงาม ในโครงการขนาดใหญ่ความร่วมมือระหว่างสถาปนิกและวิศวกรตั้งแต่เริ่มออกแบบจะเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาโครงการ ไปสู่ความสำเร็จและถูกต้อง หากขาดส่วนใดส่วนหนึ่งไปก็เป็นการยากที่จะบรรลุสู่ความสำเร็จ สรุปก็คือมีข้อพิจารณาพิเศษเฉพาะสำหรับ โครงสร้างชนิดนี้

ลักษณะของอาคารที่ทำการศึกษาคือเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก บริเวณกลางอาคารเป็นพื้นโล่ง หลังคาสูง เพื่อใช้สำหรับประกอบกิจกรรมของนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ บริเวณโดยรอบเป็นอัญจรรย์ผู้ชมการแข่งขัน โดยที่พื้นที่ใต้ที่นั่งมีลักษณะเป็นอาคารสองชั้นและแบ่งเป็นห้องย่อยๆสำหรับประกอบกิจกรรมต่างๆ โครงสร้างหลังคาเป็น โครงเหล็ก โครงข้อแฉ่งสามมิติรูปสามเหลี่ยม(Space truss) รูปโค้งขนาดใหญ่รูปเสี้ยววงกลม(Arch)จำนวนห้าชิ้นใหญ่ มีความสูงประมาณสามเมตรแต่ละชั้นประกอบขึ้นด้วยเหล็กรูปพรรณ H-0.35×0.35 วางอยู่บนฐานคอนกรีตสองด้าน ห่างกัน 90 เมตรในแนวราบ ลักษณะฐานรากยึดแน่นออกแบบเสาเข็มเอียงรับแรงดึงใช้คาน และพื้นยึดบนฐานรากทั้งสองเข้าด้วยกัน โครงสร้างหลังคาเป็น โครงเหล็กสองมิติแขวนอยู่กัน โครงสร้างหลัก ปลายทั้งสองข้างวางบนหัวเสาคอนกรีตทั้งหมดเจ็ดชุด ช่วงยาวที่สุดมีระยะ 70 เมตร ตรงกลางอาคารมีแปะเหล็กออกแบบให้มีโครงค้ำยันจากโครงสร้างรอง เพิ่มความแข็งแรงในการยึดโยงในการยึด โครงสร้างหลังคาทั้งหมด ลดการสั่นไหวของหลังคาวัสดุผนังหลังคาแผ่นโลหะ(Metal Sheet)พ่นทับด้วยสารอีพอกซี(Epoxy) เพื่อทนกับสภาพภูมิอากาศและป้องกันสนิม ภายในพ่นฉนวนเซลลูโลส(Cellulose fiber)หนา 25 มิลลิเมตร .นอกจากนี้ โครงสร้างทั้งหมดได้ถูกออกแบบให้มั่นคงแข็งแรงจากทั้งจากการเกิดแรงบิดที่ไม่สมดุลขณะติดตั้ง การเพิ่มรอยต่อขนาดเล็ก(Slot joint) เพื่อรองรับการขยายตัวของวัสดุจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การออกแบบรองรับการล่าตัวของ โครงสร้างที่จะเกิดตามจุดต่ออันเกิดจากแรงดุดของลมที่กระทำต่อหลังคา



รูปที่ 3.12 แสดงส่วนประกอบต่างๆของโครงสร้างอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โครงเหล็กค้ำยันชั่วคราว



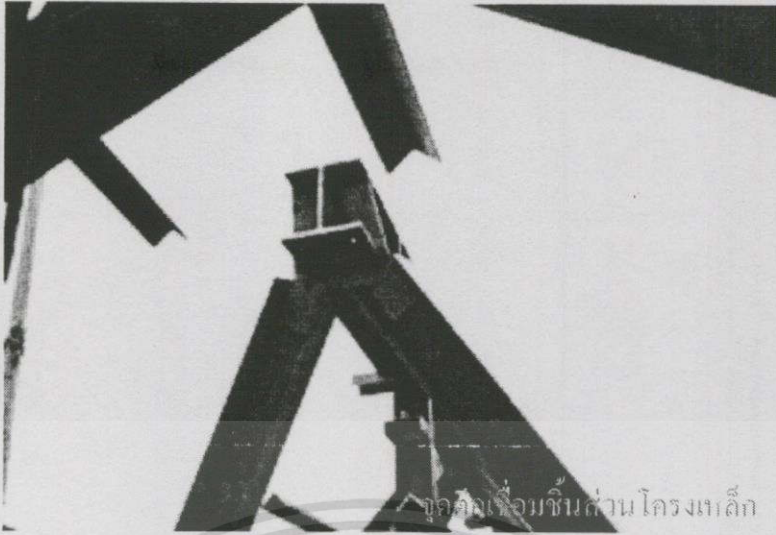
การประกอบโครงเหล็กฐานรากคอนกรีต



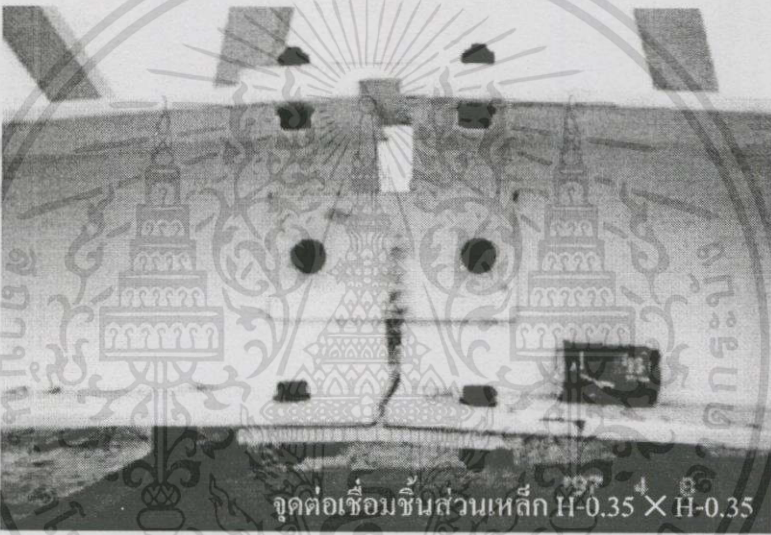
โครงเหล็กตักเหล็กเมื่อประกอบแล้วเสร็จ

รูปที่ 3.13 แสดงการประกอบโครงเหล็กหลัก(Space Truss) โครงสร้างหลังคา

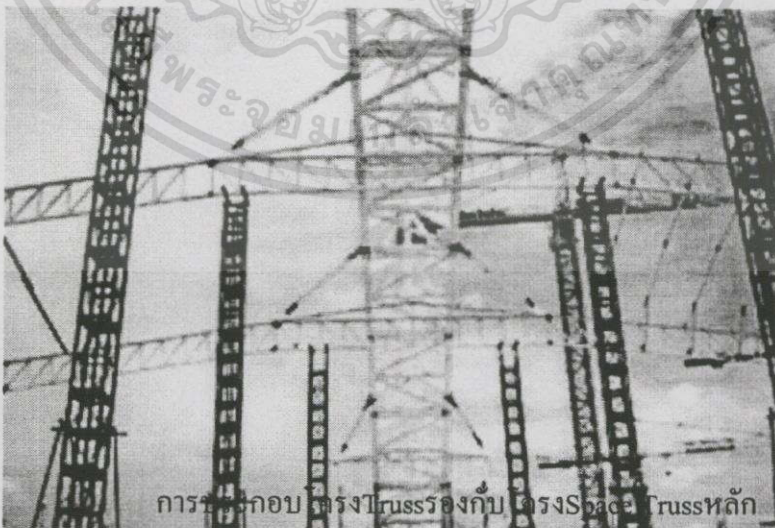
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จุดเชื่อมชิ้นส่วนโครงเหล็ก



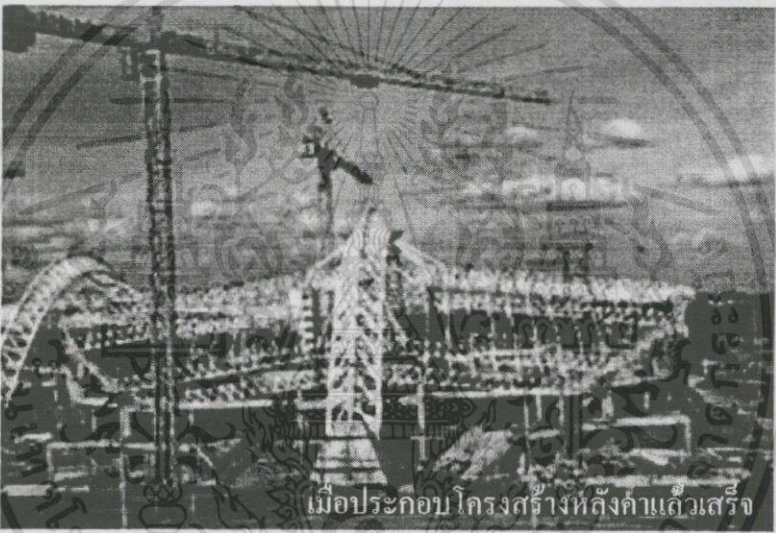
จุดต่อเชื่อมชิ้นส่วนเหล็ก H-0.35 X H-0.35



การประกอบโครงTrussรองรับโครงSpace Trussหลัก

รูปที่ 3.14 แสดงการประกอบโครงสร้างหลังคาเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงโครงสร้างหลังคาเมื่อประกอบแล้วเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การวางแผนงาน(Planning)

ตามแนวความคิดของสถาปัตยกรรมสมัยใหม่(Modern Architectural concepts) การจัดเตรียมพื้นที่ใช้สอย(Space clearances)มักมีจุดมุ่งหมายสำหรับกิจกรรมที่หลากหลาย บางครั้งรูปทรงเรขาคณิตหรือแบบอื่นๆซึ่งถูกกำหนดโดยกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้น แนวความคิดที่ดีในการออกแบบหลังคาโครงแขวนสามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม

ถ้าอาคารดังกล่าวถูกกำหนดให้มีกิจกรรมที่หลากหลาย ระบบหลังคาโครงแขวนช่วงกว้างมักถูกนำมาใช้เป็นคำตอบสำหรับแนวทางการปิดกั้นพื้นที่ดังกล่าวในเบื้องต้น ซึ่งไม่สามารถปรับเปลี่ยนแต่สามารถวางแผนงานขยายตัวในอนาคตได้ โครงหลังคาแบบนี้สามารถใช้กับอาคารชั่วคราวและอาคารถาวร ซึ่งอาคารชั่วคราวส่วนใหญ่ที่ใช้โครงหลังคานี้มักจะเป็นอาคารแสดงสินค้าหรือสนามกีฬา โดยการออกแบบให้มีลักษณะซ้ำๆกันเพื่อให้เกิดความสวยงามและประโยชน์สูงสุด

ลักษณะของที่ตั้งอาคารมักจะมีอิทธิพลอย่างมากในการกำหนดโครงสร้าง และรูปทรงของหลังคา ตัวอย่างเช่น ข้อจำกัดของพื้นที่บริเวณรอบอาคารอาจจะต้องใช้ระบบหลังคาที่มีการถ่ายแรงตามปกติ เพราะหลังคาโครงแขวนต้องใช้พื้นที่สำหรับทำสมอที่พื้นดินเพื่อรับแรง หากมีพื้นที่เพียงพอสามารถใช้สมอร่วมสำหรับโครงหลังคาสองฝั่ง ส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ ดังนั้นการวางแผนบริเวณของกลุ่มอาคารจะต้องคำนึงถึงรูปทรงที่สอดคล้องและเอื้อประโยชน์ในการออกแบบโครงสร้างซึ่งกันและกัน

3.2.2 วัสดุ(Materials)

หลังคาโครงแขวนแบ่งองค์ประกอบได้สองส่วน คือส่วนโครงสร้างหลังคาและส่วนวัสดุฝังในส่วนของโครงสร้างหลังคามักจะใช้วัสดุก่อสร้างทั่วไป เช่น คอนกรีตเสริมเหล็ก, คอนกรีตอัดแรง, เหล็กหรือใช้ร่วมกัน ขึ้นตอนสุดท้ายในการเลือกใช้วัสดุโครงสร้างหลังคาขึ้นอยู่กับระบบโครงสร้าง ความสวยงาม และความคุ้มค่าในการลงทุน ในส่วนวัสดุฝังสามารถแบ่งย่อยได้ 4 ส่วน

- ลวดเหล็ก(Cables)และสลักยึดกับ โครงสร้าง
- อุปกรณ์ในการชิง-กางพื้นวัสดุฝัง(Decking) หรือ โครงคร่าวช่วยยึดแผ่นวัสดุฝัง
- วัสดุฝังผิวชั้นนอก(Roofing) ซึ่งมักมีคุณสมบัติกันน้ำ
- ชั้นวัสดุฉนวนกันความร้อน(Insulation layer)

ลวดเหล็กมักทำจากเหล็กเส้น(Strand), ลวดสลิง(Rope) หรือลวดเหล็กแรงดึงสูง(High-strength Steel wire)ซึ่งมักเคลือบด้วยสารกันสนิม โดยคำนึงถึงความสามารถในการรับแรงทั้งหมดของพื้นที่หน้าตัด และคุณสมบัติของความเค้น-ความเครียดของเหล็ก หรือค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น(Modulus of elasticity)มีหน่วยเป็น E (Young's Modulus)ตัวอย่างเช่น ลวดเหล็กมีความเค้นประลัย $1,380 \text{ N/mm}^2$ แต่มีค่า $E = 138-166 \text{ N/mm}^2$ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้สำหรับงานออกแบบ

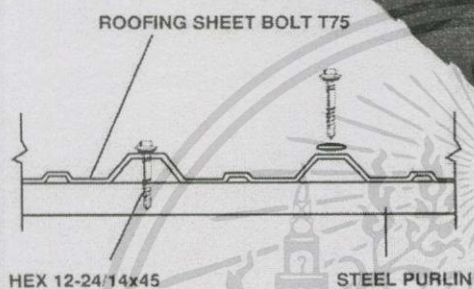
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์หรือโครงช่วยยึดแผ่นพื้นวัสดุผนัง(Decking)มักจะประกอบด้วยชั้นวัสดุต่างๆ เช่นชั้น ส่วนเหล็กหรืออลูมิเนียมพับจีบ, คอนกรีต, ไม้, ยิบซั่มหรือแผ่นฉนวนกันความร้อน โดยเหล็กหรือ อลูมิเนียมจะได้เปรียบในเรื่องอัตราส่วนการรับแรงต่อน้ำหนักส่งผลให้เกิดโครงหลังคาเบา สำหรับ คอนกรีตจะมีอัตราส่วนการรับแรงต่อน้ำหนักน้อยกว่าแต่ข้อดีคือความคงทนไฟ ไม่เกิดสนิม และการปรับเปลี่ยนรูปทรงเหมาะสำหรับหลังคาที่เปิด-ปิดได้(Non-pretensioned catenary roofs)ซึ่งบาง ส่วนหรือทั้งหมดจะสามารถพับชักเก็บและหย่อนตัวตามแรงโน้มถ่วง ดังนั้นจะได้ประโยชน์จากการ ใช้คอนกรีตซึ่งมีน้ำหนักมากคอยถ่วง การใช้ไม้หรือแผ่นฉนวนกันความร้อนก็สามารถลดชั้นวัสดุ ฉนวนกันความร้อนได้อีกทางหนึ่ง หากใช้แผ่นกระจกหรือวัสดุสังเคราะห์ควรพิจารณาในราย ละเอียดโดยมากเหมาะสำหรับใช้กับหลังคาชั่วคราว แผ่นวัสดุโปร่งใสหรือโปร่งแสงที่ใช้ในการ คลุมพื้นที่จะต้องมีโครงคร่าวช่วยยึดชั้นส่วนนั้นๆ ซึ่งควรคำนึงถึงความเข้มของแสงและปริมาณ ความร้อนรวมทั้งถ่ายเทผ่านเข้ามา

วัสดุผนัง(Roofing)มักทำด้วยแผ่นเหล็กพับลอน, กระจก, พลาสติก หรือโลหะอื่นๆ การเลือก ใช้วัสดุใดๆขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่เกิดขึ้นในอาคาร, งบประมาณ และการส่งผ่านความร้อนของหลังคา เป็นสิ่งควรพิจารณาและจะเน้นเป็นจุดสำคัญของงานวิจัยนี้ ซึ่งการถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่เกิด จากการแผ่รังสีความร้อนและการนำความร้อนผ่านตัววัสดุผนัง โดยจะศึกษารายละเอียดในบทต่อไป ชั้นวัสดุฉนวนกันความร้อน(Insulation layer) (รายละเอียดดูบทที่ 3.5)

ก ร ตี ด ตี

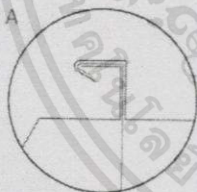
INSTALLATION STANDARD



ก ร ร ตี ด ตี ง

INSTALLATION STANDARD

DETAIL : A



DETAIL : B



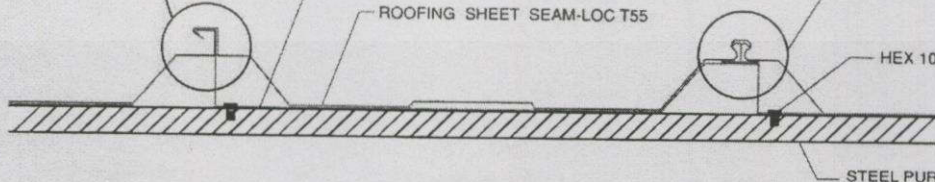
SEE DETAIL : A

FIXING CONNECTOR

ROOFING SHEET SEAM-LOCT55

SEE DETAIL : B

HEX 10 - 12 x 25



รูปที่ 3.16 แสดงการติดตั้งวัสดุผนังโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ความประหยัด(Economics)

โดยทั่วไปการขยายช่วงกว้างของโครงหลังคาก็จะเพิ่มค่าใช้จ่ายต่อหน่วยมากขึ้น แต่อัตราการเพิ่มจะทวีคูณมากขึ้นถ้าช่วงหลังคากว้างมากขึ้นไปอีกซึ่งอัตราส่วนนี้จะไม่ใช่เส้นตรง ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของโครงหลังคาช่วงเสากว้างจะมากกว่าโครงหลังคาที่มีช่วงเสาปกติแต่สามารถใช้ประโยชน์ของพื้นที่ได้สูงสุดตัวอย่างเช่น สดเคียม กลางแจ้งไม่สามารถใช้งานได้ใน ฤดูฝน หรือฤดูหนาว ในขณะที่อินดอร์สดเคียมทำได้ซึ่งจะกินทุนได้รวดเร็วกว่าในส่วนนี้ บางครั้งการเลือกใช้ระบบหลังคาแบบปกคติก็น่าจะปลอดภัยและประหยัดกว่า มีระบบหลังคาแบบต่างๆสำหรับทำโครงหลังคาช่วงกว้างแต่หลังคาโครงแขวนจะถูกนำมาใช้โดยอ้างเหตุผลว่าเป็นรูปแบบสถาปัตยกรรมที่สวยงาม แสดงถึงความก้าวหน้าวิศวกรรม และคุ้มค่าในการลงทุน

ความมั่นคงของระบบ โครงสร้างจะขึ้นอยู่กับการถ่ายแรงรอบจุดต่อ(Axial Forces)เท่านั้น โดยใช้ประโยชน์สูงสุดของวัสดุซึ่งมีประสิทธิภาพกว่าจุดต่อแบบยึดตายซึ่งจะเกิดแรงดัด(Moment) โดยทั่วไปเหล็กเหมาะสมสำหรับทำเป็นวัสดุ โครงสร้างเนื่องจากความสามารถในการรับแรงดึง เช่น ลวดสลิง(Cable) บ้าง ลวดเหล็กรับแรงดึงสูง(High-strength steel wire) หรือใช้ร่วมกัน ระบบหลังคาโครงแขวนตัดปัญหาความไร้เสถียรภาพและลดแรงเค้นในวัสดุ เมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาโครงประกอบเหล็ก(Tresses), เชลล์(Shells)หรือ โดม(Domes) ทั้ง โครงเหล็กหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่ง โครงสร้างเหล่านี้จะมีอิทธิพลในการกำหนดรูปแบบสถาปัตยกรรม ในระบบหลังคาโครงแขวน

1. ใช้ไม้แบบเล็กน้อยหรืออาจไม่ใช้เลย สามารถออกแบบให้เปิดปิดพื้นหลังคาได้ง่ายโดยใช้วัสดุที่เหมาะสม เช่น ฝ้าใบ
2. ความรวดเร็วในการก่อสร้างก็เป็นประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณา เพราะการลดเวลาเท่ากับลดต้นทุน การใช้อาคารได้รวดเร็วก็จะสามารถกินทุนได้เร็วเช่นกัน การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายโดยตรง อย่างไรก็ตามในรายละเอียดและเรื่องต่างๆ ไป อาจจะไม่สามารถทำได้โดยตรง แต่เมื่อมองภาพรวมแล้ว ระบบดังกล่าวจะมีความเหมาะสมกว่าดังที่ได้กล่าวไปแล้ว

การลดค่าใช้จ่ายของระบบหลังคาดังกล่าว มีข้อควรพิจารณาดังนี้

- ก. จะประหยัดกว่าถ้าใช้สายเคเบิลขนาดใหญ่ขึ้น
 - ข. ค่าใช้จ่ายในการเพิ่มจุดยึดไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความกว้างของช่วงหลังคา
 - ค. การเริ่มการก่อสร้างหลังคา ช่วงกว้างกว่ากระทำได้ง่าย เช่นเดียวกับหลังคาช่วงแคบ
- ผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของระบบหลังคาแบบนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดและมุมของ โครงรับแรงอัด ตัวอย่างเช่น สายเคเบิลสามารถขันให้ตึงเพื่อรับน้ำหนัก หรือวัสดุอัดแรง (Prestressing) น้ำหนักของหลังคาจะเป็นตัวกำหนดขนาดของโครงหลังคา และตอม่อฐานราก และแรงอัดจะเกิดขึ้นตามแรงของหลังคา ในการกำหนดมุมของโครงรับแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-แรงอัดจะเกิดขึ้นจนขยายตัว จะไม่มีสายเคเบิลหย่อนตัวภายใต้แรงกระทำดังกล่าว

-ชิ้นส่วนของเคเบิลจำนวนน้อยที่ยอมให้เกิดการตัวโก่งในทิศทางตรงข้ามกับแรงกระทำ

แม้จะเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวจริง วัสดุซึ่งเป็นพื้นหลังจะช่วยยึดโยงโครงสร้างให้มั่นคงอยู่ได้

นอกจากความประหยัดแล้วควรพิจารณา ปัจจัยต่าง ๆ เมื่อแรงอัดในโครงสร้างเพิ่มขึ้นก็ไม่ควรมีชิ้นส่วนใด ของโครงสร้างโก่งตัวเพื่อความปลอดภัยของระบบหลังคา

3.2.4 ระบบป้องกันเพลิงไหม้ และช่วงเวลาที่ทนไฟ (Durability and Fire protection)

หลังคาโครงแขวน(Suspended Roofs)มีใช้ทั้งอาคารชั่วคราวช่วงเวลาใช้งาน 1-2 ปี หรืออาคารที่สร้างขึ้นอย่างถาวร ตัวอย่างเช่น โรงงาน คลังสินค้า อาคารแสดงสินค้า สนามกีฬา ในอาคารบางประเภทโครงสร้างหลังคาถูกออกแบบให้เปิดปิดได้ตามฤดูกาล โดยที่วัสดุซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ตัวอย่างเช่น ผ้าใบ หรือแผ่น โลหะเคลือบสี

การพันสารเคมีป้องกันไฟหรือกรูด้วยฉนวนกันความร้อนจะช่วยหน่วงเวลาการถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อมผ่านเข้าสู่โครงหลังคาและวัสดุซึ่งจะเกิดเพลิงไหม้ หากไม่ป้องกันเหตุดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อระบบหลังคาค้างนี้

ก. อุณหภูมิที่สูงขึ้นจากเพลิงไหม้จะทำให้ชิ้นส่วนของโครงหลังคาขยายตัว ความสามารถในการรับแรงอัด(Compression)และแรงดึง(Tension)ก็จะลดลงระบบหลังคาขยายและหย่อนตัวลง

ข. การออกแบบการรับแรงของโครงสร้างหลังคา ไม่จำเป็นต้องคำนวณการรับน้ำหนักสูงสุดขณะเกิดเพลิงไหม้เหมือนหลังคาโครงช่วงกว้างอื่นๆ

ค. กำลังของวัสดุ(Strength)จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตามข้อ(ก.)และ(ข.) ไม่ใช่ปัญหาหลักของโครงสร้างระบบนี้ เพราะเมื่อแรงดึงในชิ้นส่วนโครงหลังคาลดลง วัสดุซึ่งจะขยายและหย่อนตัวลงตาม

ง. การขยายหรือบิดตัวของโครงหลังคาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของโครงหลังคาและวัสดุซึ่งแต่ละชนิด

จ. ระบบหลังคาโครงช่วงกว้างมักจะขนาดใหญ่และมีความสูงจากระดับพื้นดินมาก การเลือกระบบป้องกันไฟควรพิจารณาเหตุผลในจุดนี้ด้วย

ฉ. ระบบหลังคาโครงแขวนที่ใช้เหล็กเส้นรับแรงดึง(Steel tension systems)มีการกระจายการรับแรงได้ดีกว่าระบบโครงข้อแข็ง(Rigid framed structure) เพราะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจุดยึดต่อของชิ้นส่วนจะค่อยๆขยายและให้ตัวได้ จึงมีช่วงเวลาประมาณ1/2-1 ชั่วโมงก่อนที่โครงสร้างจะยุบตัวลงนับจากเกิดเพลิงไหม้

3.2.5 การหย่อนตัวของโครงสร้าง (Deflection)

ระบบหลังคาโครงแขวนจัดอยู่ในกลุ่มโครงข้อหมุน(Flexible Structure) ข้อจำกัดการหย่อนตัวของโครงสร้างอยู่นอกเหนือจากเกณฑ์ของระบบ โครงสร้างพื้นและคาน(Slab and Beam structure) ยังไม่มีรูปแบบเฉพาะของหลังคาโครงแขวน การออกแบบควรพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการสร้างไม่เฉพาะระยะการหย่อนตัวเท่านั้นแต่รวมถึงระนาบความลาดเอียงของวัสดุผนังหลังคา แม้แต่จุดที่หลังคาหย่อนตัวมากที่สุดก็ต้องยังอยู่ในส่วนลาดเอียงของหลังคา รูปประพันธ์พื้นฐานของหลังคาขึ้นอยู่กับจุดรับน้ำหนักและจุดรั้งของหลังคา ตัวอย่างโครงหลังคาอิมเมเนชัน ที่ใช้ระบบหลังคาโครงแขวนคลุมพื้นที่ช่วงกว้างก็จะเกิดการเคลื่อนตัวของจุดยึดมากกว่าปกติจึงต้องวิเคราะห์พฤติกรรมที่เกิดขึ้นอย่างละเอียด และออกแบบจุดยึดต่อให้มีระยะการให้ตัวอย่างเพียงพอ

3.2.6 ระบบความปลอดภัย(Safety)

โดยทั่วไปของหลังคาโครงแขวนจะคลุมพื้นที่ที่กว้าง การก่อสร้างและอุปกรณ์มีราคาสูงไม่เหมาะกับอาคารขนาดเล็กหรืออาคารพักอาศัย การออกแบบควรคำนึงความปลอดภัยและความประหยัดใช้ในส่วนที่จำเป็นเท่านั้นในแง่การรับน้ำหนักทางวิศวกรรม โครงสร้างระบบหลังคาโครงแขวนจะได้เปรียบกว่าระบบอื่นๆ ตัวอย่างเช่น โครงหลังคาเปลือกแข็งรูปทรงโดม(Dome)ซึ่งใช้กับหลังคาช่วงกว้างมีการถ่ายเทแรงอัด(Compression)จากส่วนบนลงสู่ส่วนล่าง ส่งผลให้ฐานวงแหวนโคจรอบกระจายตัวและมีความมั่นคงต่ำ ในทางกลับกันระบบหลังคาโครงแขวน ชั้นส่วนจะรับแรงดึง(Tension)ส่วนบริเวณฐาน ไม่มีแรงอัดกระทำให้งอตัวออก แต่จะมีแรงดึงกระทำให้รวมตัวเข้าหากันส่งผลโครงสร้างมีความมั่นคงกว่า แต่ระบบนี้ก็มีข้อบกพร่องอยู่บ้าง รูปทรงของหลังคาจะกำหนดรายละเอียดระบบ โครงสร้าง ชั้นส่วนของ โครงสร้างทำจากเหล็กซึ่งต้องอ่อนตัวได้บ้าง ต้องพิจารณาถึงการถ่ายแรงในชั้นส่วน โครงสร้างและพฤติกรรมของ โครงสร้างเมื่อบรรทุกน้ำหนักเกิน ตัวอย่างการคำนวณ โครงสร้างจะต้องคิดการรับน้ำหนักปลอดภัยมากกว่าปกติ(32%)ประมาณ 60-170% การเสียรูปทรงของ โครงสร้างจะเกิดก่อนหรือหลังของจุดสูงสุดของการรับแรงก็จะขึ้นอยู่กับความทนทานในการรับแรงของวัสดุผนังด้วย

เมื่อชั้นส่วนรับแรงหลักของหลังคาโครงแขวนเริ่มถึงจุดคลากของเหล็ก(Yield)เป็นตัวนำไปสู่การเสียรูปทรงและยุบตัวลงของ โครงหลังคา เหตุนี้เนื่องจาก โครงประกอบเหล็ก(Truss)มีความแตกต่างจากระบบ โครงรูปดาข่าย(Nets)ที่มีประสิทธิภาพในการกระจายแรงระหว่างชั้นส่วนต่างๆ ได้ดีกว่า ยิ่งกว่านั้นถ้าลวดเหล็ก(Cable)รับแรงดึงเส้นหนึ่งใน โครงประกอบเหล็ก(Truss)เกิดขาดหรือหลุดจากจุดยึดจะเกิดปัญหาหนักหนาๆ จึงควรคำนึงในจุดนี้ ข้อควรระวังอีกอย่างคือป้องกันไม่ให้น้ำขังหรือแอ่งน้ำบนพื้นหลังคา เตรียมระดับความลาดเอียงของหลังคาให้เพียงพอ

3.3 ฉนวนกันความร้อน

3.3.1 แนวทางการลดค่าความร้อนกับกรรมวิธีการใช้วัสดุฉนวนเพื่อการปรับปรุง

ฉนวนกันความร้อนที่ได้ทำการศึกษาในบทที่ 2 ได้กล่าวถึง ฉนวนทั่วไปที่สามารถใช้ได้ทั้งการออกแบบตั้งแต่เบื้องต้น และสำหรับการปรับปรุงอาคาร ในการศึกษาบทนี้จะกล่าวถึงฉนวนป้องกันความร้อนเฉพาะการปรับปรุงอาคาร ในกรณีที่อาคารได้สร้างเสร็จแล้ว โดยแบ่งประเภทของการใช้ฉนวนเพื่อการปรับปรุงออกตามกรรมวิธีการติดตั้ง ได้ 3 วิธีคือ การใช้วัสดุฉนวนพันบนวัสดุผนังหลังคา การใช้วัสดุฉนวนใต้วัสดุผนังหลังคา การติดตั้งวัสดุฉนวนแผ่นมีช่องอากาศใต้หลังคา

3.3.1.1 การใช้วัสดุฉนวนพันบนวัสดุผนังหลังคา

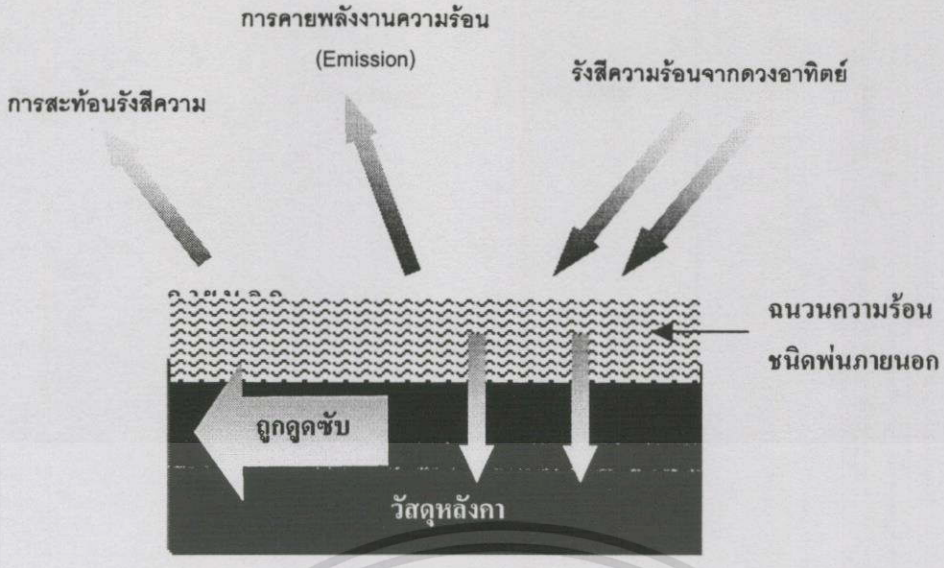
กรรมวิธีการใช้วัสดุฉนวนพันบนวัสดุผนังภายนอกอาคาร มีคุณสมบัติสะท้อนรังสีความร้อน(Reflective)และมีค่าการคายรังสีสูง(High Emissivity) พลังงานความร้อนส่วนที่เหลือจะถ่ายเทสู่วัสดุผนังโดยบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ และส่วนที่เหลือจะถ่ายเทเข้าสู่ภายใน

3.3.1.2 การใช้วัสดุฉนวนพันใต้วัสดุผนังหลังคา

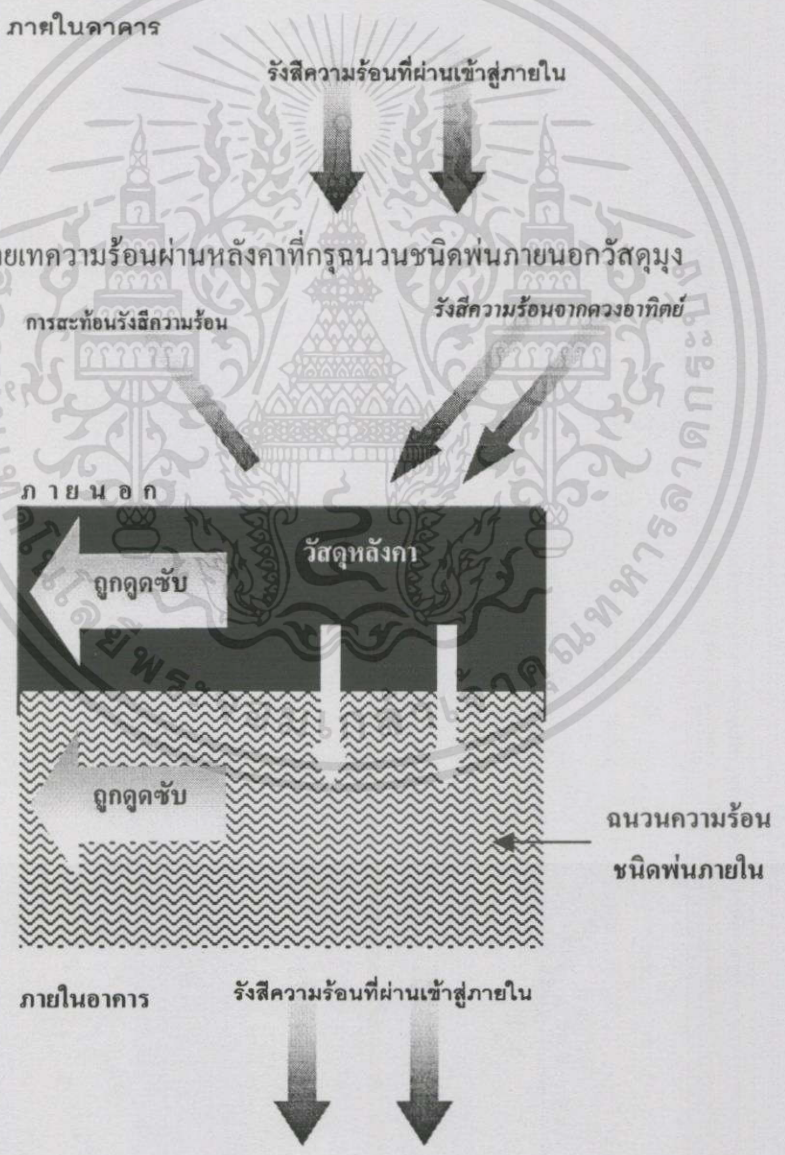
กรรมวิธีการใช้วัสดุฉนวนพันใต้วัสดุผนังภายในอาคาร มีคุณสมบัติลดการนำความร้อนซึ่งแปรผันตามค่าความต้านทานความร้อน(R-value)และความหนาของวัสดุ โดยที่พลังงานความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับไว้ แล้วพลังงานความร้อนส่วนที่เหลือจะถ่ายเทเข้าสู่ภายใน

3.3.1.3 การติดตั้งวัสดุฉนวนใต้วัสดุผนังหลังคาโดยมีฝ้าเพดานและช่องอากาศ

กรรมวิธีการใช้วัสดุฉนวนชนิดแผ่นมีฉนวนหรือแผ่นแข็งกรุใต้วัสดุผนังภายในอาคาร มีคุณสมบัติลดการนำความร้อนและใช้ช่องอากาศใต้หลังคา(Air-gap)พาความร้อนถ่ายเทสู่ภายนอกหรือค่าความต้านทานความร้อนของช่องอากาศนี้ รังสีความร้อนถ่ายเทเข้ามาผ่านวัสดุผนัง ช่องอากาศใต้หลังคา และฉนวนกันความร้อนชนิดมีฉนวนหรือแผ่นแข็ง ซึ่งพลังงานความร้อนจะถูกดูดซับไว้ตามลำดับ แล้วพลังงานความร้อนส่วนที่เหลือจะถ่ายเทเข้าสู่ภายใน

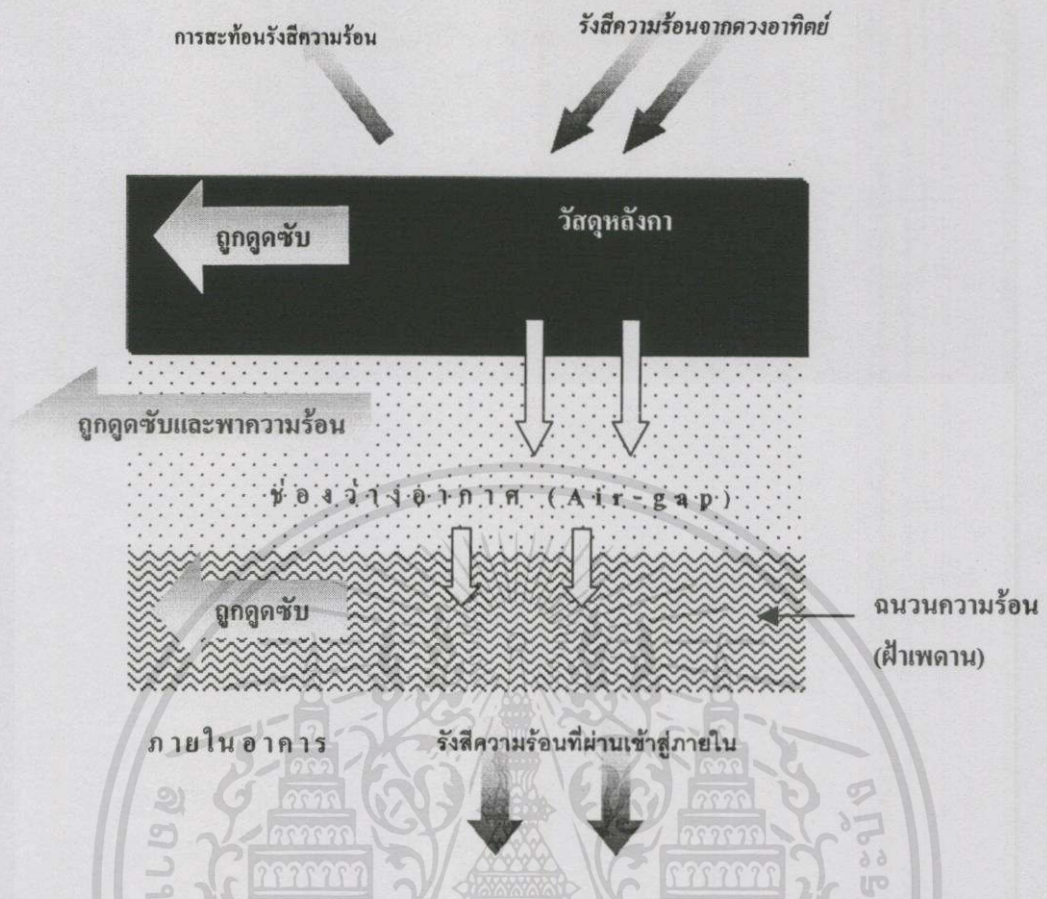


รูปที่ 3.17 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่กรุฉนวนชนิดพื้นภายนอกวัสดุฉนวน



รูปที่ 3.18 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่กรุฉนวนชนิดพื้นภายในได้วัสดุฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคามีฝ้าเพดานและช่องอากาศใต้หลังคา

3.3.2 วัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับปรับปรุงหลังคาที่มีตามท้องตลาด

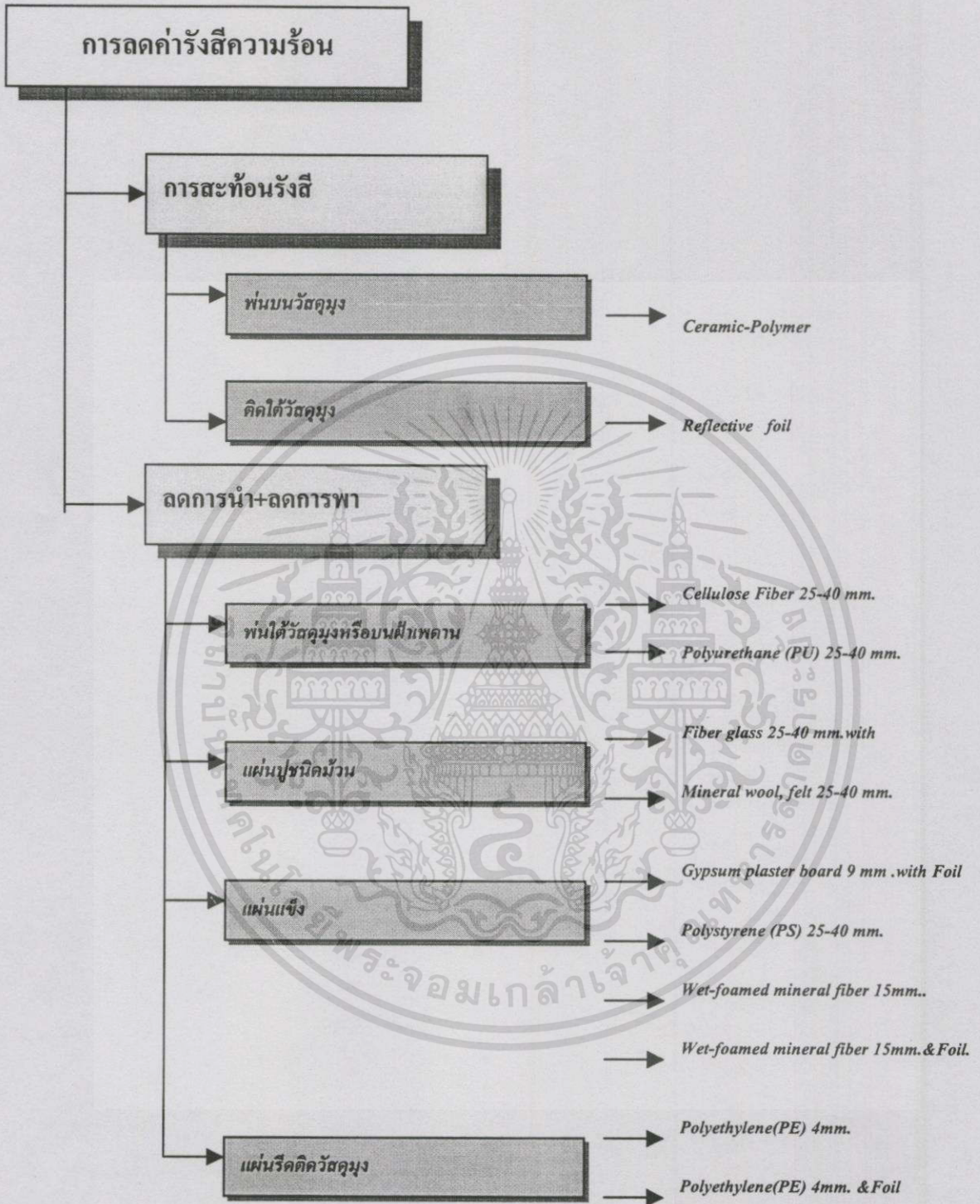
จากกรรมวิธีในการใช้วัสดุเพื่อการปรับปรุงหลังคาเพื่อลดค่าความร้อนที่ส่งผ่านหลังคาทั้ง 3 วิธีดังกล่าว เมื่อคำนึงร่วมกับแนวทางการลดค่ารังสีความร้อน 2 ทางคือ การลดโดยการสะท้อนรังสีและการนำ-ลดการพา ซึ่งสามารถสรุปแยกประเภทวัสดุฉนวนที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดได้คือ

3.3.2.1 การสะท้อนรังสี

กรรมวิธีที่วัสดุฉนวนใช้ในที่นี้ประกอบด้วย 2 วิธี คือ ฟันบนวัสดุฉนวน(รูปที่ 3.17) ได้แก่ Ceramic-Polymer, และติดใต้วัสดุฉนวน(รูปที่ 3.18) ได้แก่ Reflective foil

3.3.2.2 การลดการนำ-ลดการพา

กรรมวิธีที่วัสดุฉนวนใช้ในที่นี้ประกอบด้วย 4 วิธี คือ ฟันใต้วัสดุฉนวนหรือบนฝ้าเพดาน ได้แก่ Cellulose Fiber, Polyurethane(PU) แผ่นปูชนิดม้วน ได้แก่ Fiber glass whit foil, Mineral wool, felt แผ่นแข็ง(รูปที่ 3.19) ได้แก่ Gypsum plaster board, Polyethylene(PS) และชนิดรีดติดกับวัสดุฉนวน ได้แก่ Polyethylene(PE)



รูปที่ 3.20 แสดงรูปแบบการลดค่ารังสีความร้อน โดยพิจารณาวัสดุและกรรมวิธีการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงกรรมวิธีการติดตั้งฉนวนกับวัสดุฉนวน.

ลำดับ	รายการ	พันเคลือบด้านนอกวัสดุฉนวน	ทำตาข่ายรองรับแผ่นฉนวน	พันทับได้ฉนวนเดิม	ทำโครงคร่าวสำเร็จรูป	ประกอบสำเร็จจากโรงงาน
	ลดความร้อนด้วย การสะท้อนรังสี					
	<u>พ่นบนวัสดุฉนวน</u>					
1	- Ceramic Polymer	☑		☑		
	<u>ติดใต้วัสดุฉนวน</u>					
2	- Reflective foil		☑			
	ลดความร้อนด้วย การนำ และการพา					
	<u>พันใต้วัสดุฉนวนหรือบนฝ้าเพดาน</u>					
3	-Cellulose Fiber 25 mm.			☑		
4	-Cellulose Fiber 40 mm.			☑		
5	-Polyurethane(PU) 25 mm.			☑		
6	-Polyurethane(PU) 40 mm.			☑		
	<u>แผ่นปูนชนิดม้วน</u>					
7	-Fiber Glass 25 mm. & foil		☑			
8	-Fiber Glass 40 mm. & foil		☑			
9	-Mineral Wool, felt 25 mm.		☑			
10	-Mineral Wool, felt 40 mm.		☑			
	<u>แผ่นแข็ง</u>					
11	-Gypsum plaster board 9 mm.				☑	
12	-Gypsum plaster board 9 mm.& foil				☑	
13	-Polystyrene (PS) 25 mm.				☑	
14	-Polystyrene (PS) 40 mm.				☑	
15	-Wet-foamed mineral fiber 15 mm.				☑	
16	-Wet-foamed mineral fiber 15 mm.& foil				☑	
	<u>รัดติดกับแผ่นหลังคา</u>					
17	- Polyethylene (PE) 4 mm.					☑
18	-Polyethylene (PE) 4 mm. & Foil					☑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงการแปรสภาพและลดคุณสมบัติของฉนวนเมื่อใช้งาน

ลำดับ	รายการ	ฝุ่นปกคลุมผิวหน้า	หลุดร่อนเมื่อโดนน้ำ	เกิดการบวมเมื่อโดนน้ำ	ขึ้นส่วนร่นหลุดหลุดร่วง	ควันไฟเป็นพิษ	สีผิววัสดุคล้ำลง
	ลดความร้อนด้วย การสะท้อนรังสี						
	พ่นบนวัสดุฉนวน						
1	- Ceramic Polymer	☒					
	ติดได้วัสดุฉนวน						
2	- Reflective foil	☒					
	ลดความร้อนด้วย การนำและการพา						
	พ่นได้วัสดุฉนวนหรือบนผ้าพลาสติก						
3	-Cellulose Fiber 25 mm.		☒				
4	-Cellulose Fiber 40 mm.		☒				
5	-Polyurethane(PU) 25 mm.					☒	☒
6	-Polyurethane (PU) 40 mm.					☒	☒
	แผ่นปูนชนิดม้วน						
7	-Fiber Glass 25 mm. & foil				☒		☒
8	-Fiber Glass 40 mm. & foil				☒		☒
9	-Mineral Wool, felt 25 mm.				☒		☒
10	-Mineral Wool, felt 40 mm.				☒		☒
	แผ่นแข็ง						
11	-Gypsum plaster board 9 mm.			☒			
12	-Gypsum plaster board 9 mm.& foil			☒			
13	-Polystyrene(PS) 25 mm.					☒	☒
14	-Polystyrene(PS) 40 mm.					☒	☒
15	-Wet-foamed mineral fiber 15 mm.			☒	☒		☒
16	-Wet-foamed mineral fiber 15 mm.& foil			☒	☒		☒
	รีดติดกับแผ่นหลังคา						
17	- Polyethylene (PE) 4 mm.					☒	☒
18	-Polyethylene (PE) 4 mm. & Foil					☒	☒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงน้ำหนักและระยะเวลาการก่อสร้าง

ลำดับ	รายการ	น้ำหนักรวมโครงคร่า (กก./ม ²)	ระยะเวลาการติดตั้ง (วัน)	หมายเหตุ
	ลดความร้อนด้วย การสะท้อนรังสี			
	<u>พ่นบนวัสดุฉนวน</u>			
1	- Ceramic Polymer	3	3	-
	<u>ติดใต้วัสดุฉนวน</u>			
2	-Reflective foil	12	14	-
	ลดความร้อนด้วย การนำและการพา			
	<u>พ่นใต้วัสดุฉนวนหรือบนฝ้าเพดาน</u>			
3	-Cellulose Fiber 25 mm.	4	5	-
4	-Cellulose Fiber 40 mm.	6	5	-
5	-Polyurethane (PU) 25 mm.	3	5	
6	-Polyurethane (PU) 40 mm.	5	5	
	<u>แผ่นปูชนิดไม้ฉนวน</u>			
7	-Fiber Glass 25 mm. & foil	12	14	ติดโครงค้ำ
8	-Fiber Glass 40 mm. & foil	14	14	ติดโครงค้ำ
9	-Mineral Wool, felt 25 mm.	15	14	ติดโครงค้ำ
10	-Mineral Wool, felt 40 mm.	18	14	ติดโครงค้ำ
	<u>แผ่นแข็ง</u>			
11	-Gypsum plaster board 9 mm.	18	14	โครงคร่าว T-bar
12	-Gypsum plaster board 9 mm.& foil	18	14	โครงคร่าว T-bar
13	-Polystyrene (PS) 25 mm.	8	14	โครงคร่าว T-bar
14	-Polystyrene (PS) 40 mm.	9	14	โครงคร่าว T-bar
15	-Wet-foamed mineral fiber 15 mm.	12	14	โครงคร่าว T-bar
16	-Wet-foamed mineral fiber 15 mm.& foil	12	14	โครงคร่าว T-bar
	<u>รีดติดกับแผ่นหลังคา</u>			
17	- Polyethylene (PE) 4 mm.	3	-	ติดตั้งจาก
18	-Polyethylene (PE) 4 mm. & Foil	4	-	โรงงาน



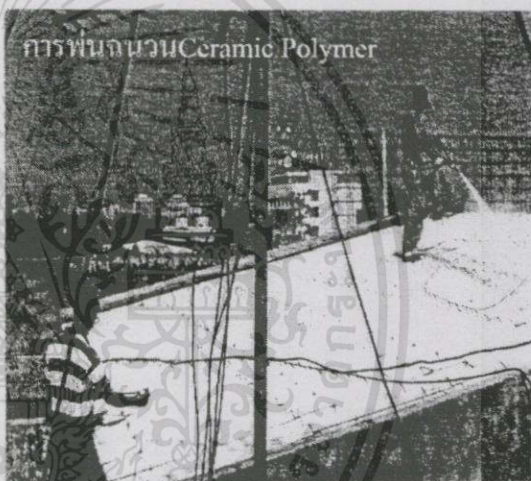
พื้นคสล.ก่อนเคลือบCeramic



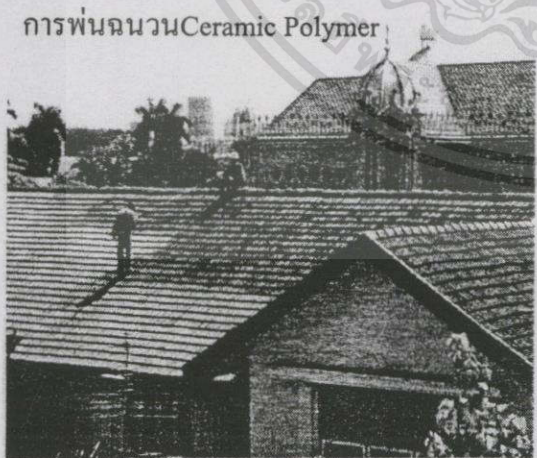
การทำเคลือบ



หลังคาก่อนปรับปรุง



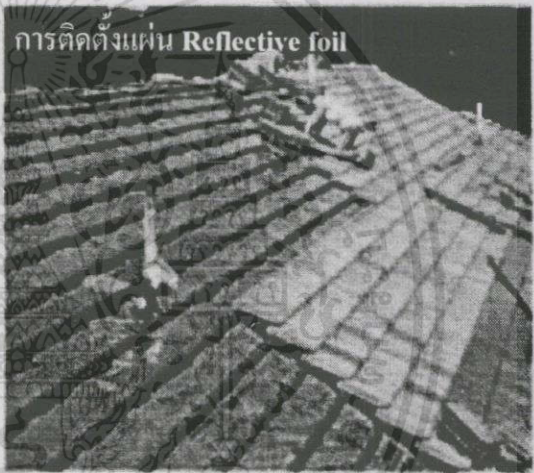
การพ่นฉนวนCeramic Polymer



การพ่นฉนวนCeramic Polymer

รูปที่ 3.21 แสดงการพ่นฉนวนสะท้อนรังสีเคลือบภายนอก Ceramic Polymer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แสดงการติดตั้งฉนวนแผ่น Reflective foil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ฉนวนพ่นเซลลูโลส



ฉนวนพ่นเซลลูโลส

รูปที่ 3.23 แสดงการพ่นฉนวนเซลลูโลสใต้หลังคา



ไฟเบอร์กลาสชนิดแผ่น



ไฟเบอร์กลาสชนิดม้วน



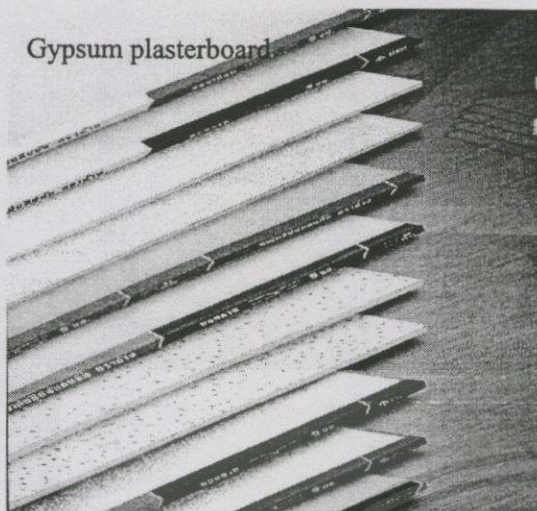
การติดตั้งไฟเบอร์กลาสชนิดม้วน



การติดตั้งไฟเบอร์กลาสชนิดม้วน

รูปที่ 3.24 แสดงการติดตั้งฉนวนชนิดแผ่นม้วนภายในใต้หลังคา

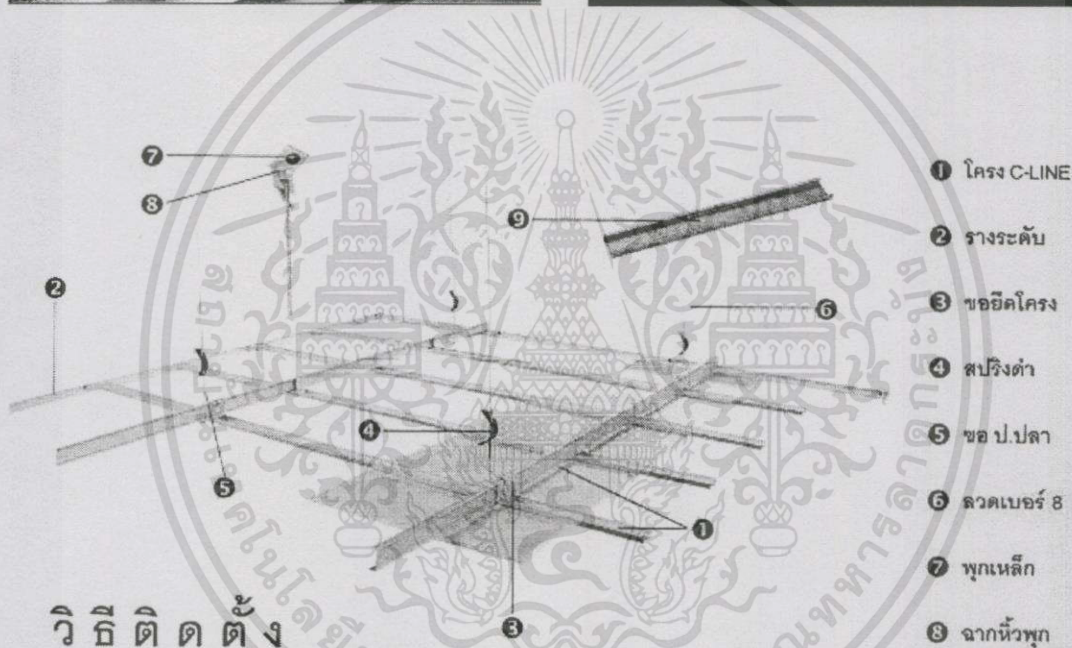
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Gypsum plasterboard



Wet-foamed mineral fibre
(Armstrong)



วิธีติดตั้ง

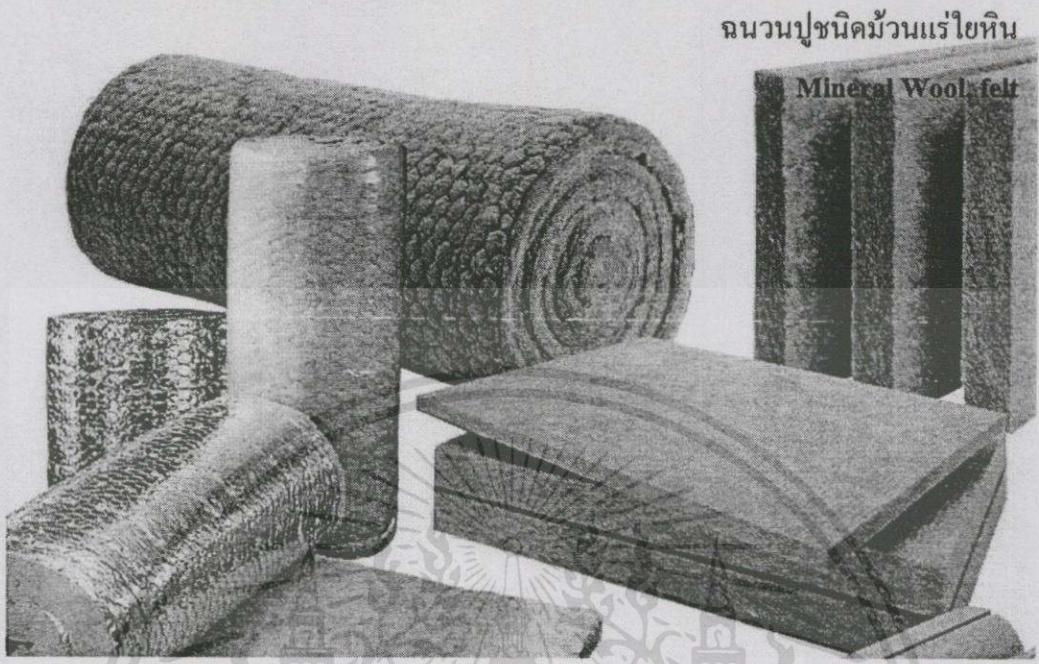
1. หากรอบห้อง แล้วยึดรางระดับโดยเช็บบ
2. ยึดปลายด้านหนึ่งของชุดปรับระดับกับโครงส่วางบนของอาคารด้วยทุกเหล็กให้แน่น เว้นระยะห่างกันไม่เกิน 1.00-1.20 ม. ให้ได้แนวและเป็นระเบียบ
3. ปลายอีกด้านหนึ่งของชุดปรับระดับยึดกับคร่าวบนให้แน่น และให้ได้ระดับตามที่ต้องการ
4. ยึดคร่าวล่างให้ติดกับคร่าวบนด้วยข้อยึดโครง ให้แนวตั้งฉากกับคร่าวบน คร่าวล่างจะห่างกันทุกระยะ 40 ซม. สำหรับแผ่นยิปซัมหนา 9 มม. 60 ซม. สำหรับแผ่นยิปซัมหนา 12 มม. โดยมีคร่าวบนหัวเสาไว้ทุก ๆ ระยะ 1.00-1.20 ม. จนรอบห้อง
5. ปรับระดับโครงฝ้าเพดานที่จุดปรับระดับจนรอบห้อง แล้วจึงนำแผ่นยิปซัมชนิดขอบลาด ยึดติดเข้ากับคร่าวล่างด้วยสกรู

- 1 โครง C-LINE
- 2 รางระดับ
- 3 ข้อยึดโครง
- 4 สปริงตัว
- 5 ข้อ ป.ปลา
- 6 ลวดเบอร์ 8
- 7 พุกเหล็ก
- 8 จากหัวพุก
- 9 ข้อต่อราง

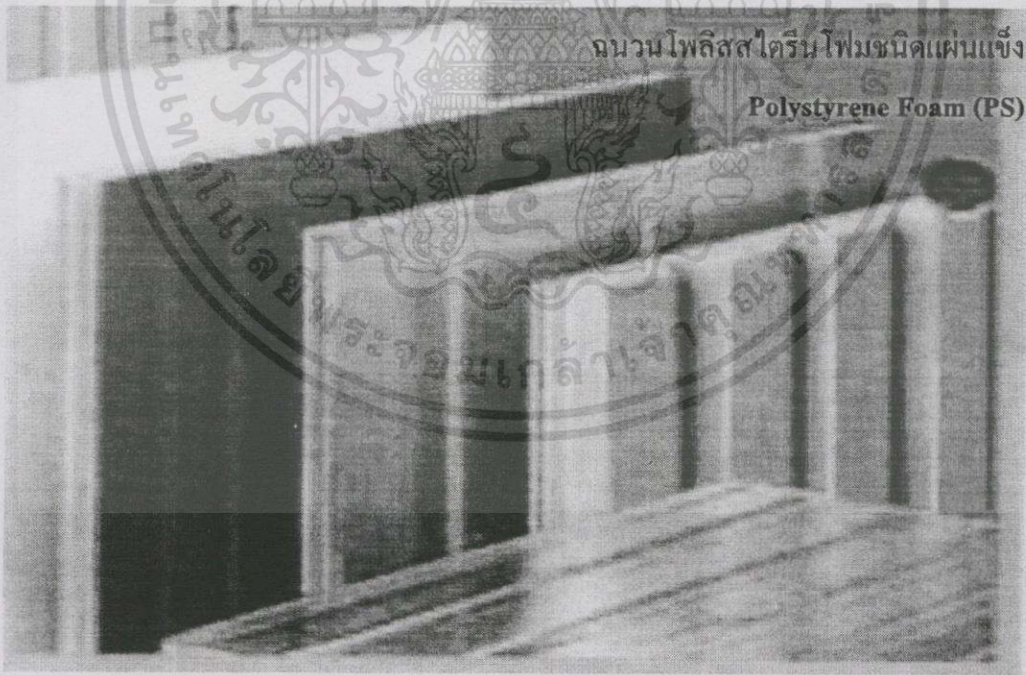
หมายเหตุ : ต้องติดตั้งแผ่นในแนวตั้งฉากกับคร่าวล่างเสมอ

รูปที่ 3.25 แสดงการติดตั้งฉนวนแผ่นแข็งยิปซัมบอร์ดและแผ่นอะคูสติค(Armstrong)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ฉนวนปูชนิดม้วนแร่ใยหิน

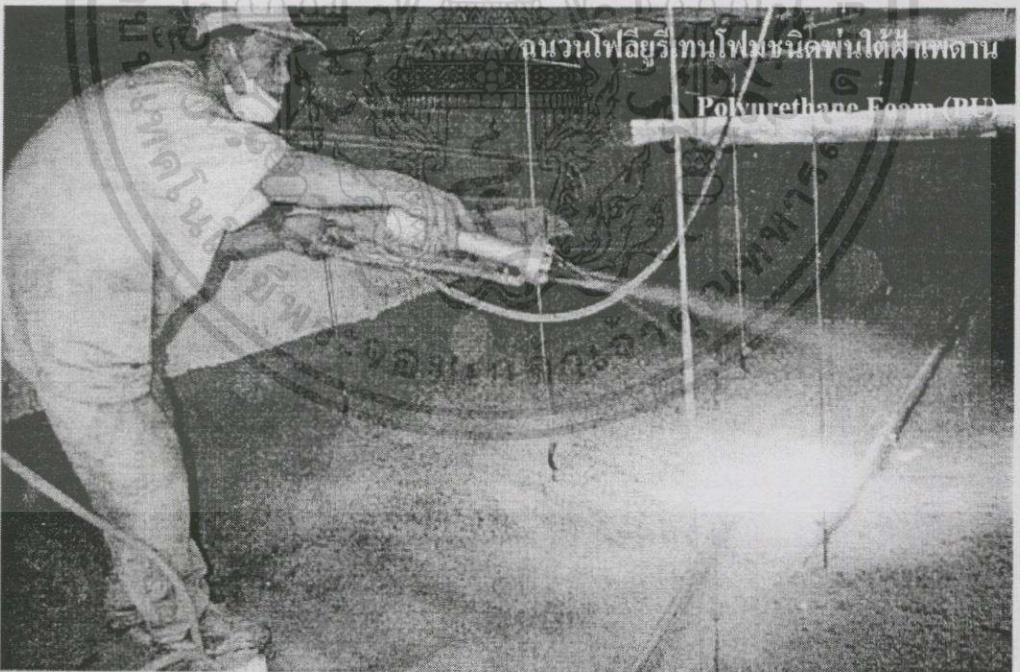


รูปที่ 3.27 แสดงการติดตั้งฉนวนแผ่นแข็งฉนวนโพลีสไตรีนโฟม(Polystyrene Foam-PS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

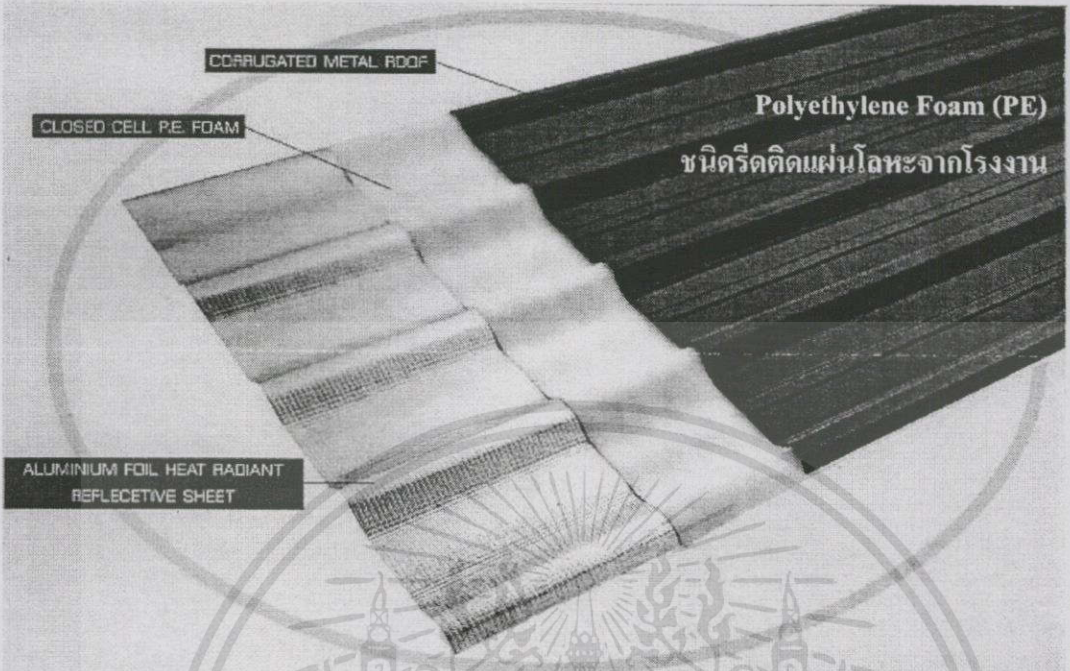


รูปที่ 3.28 แสดงฉนวนโพลียูรีเทนโฟมชนิดฉนวนบนหลังคา

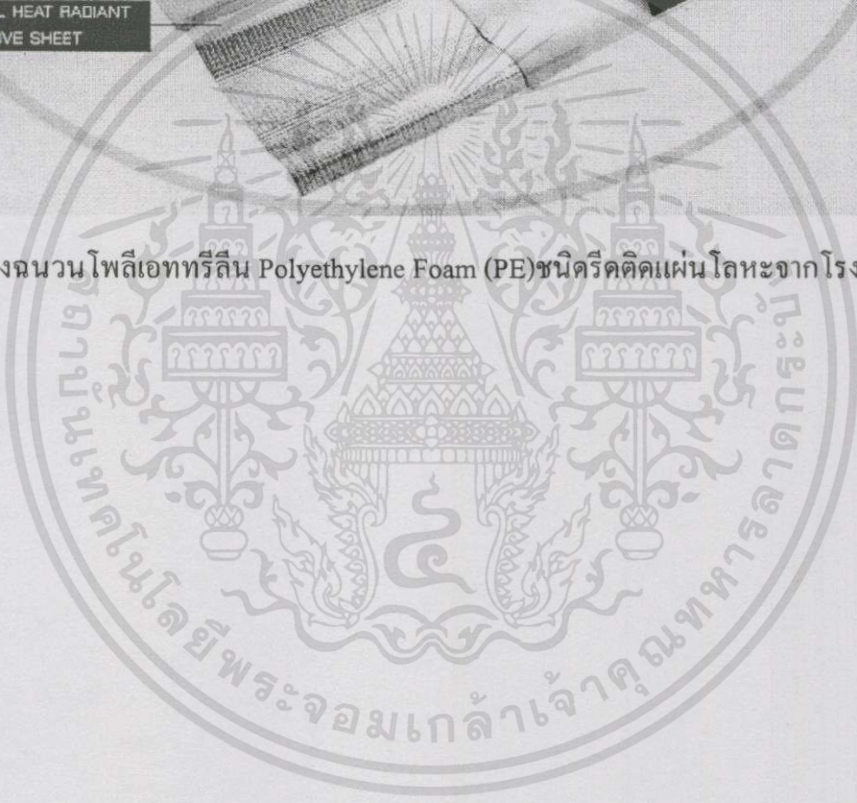


รูปที่ 3.29 แสดงฉนวนโพลียูรีเทนโฟมชนิดฉนวนบนฝ้าเพดาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 แสดงฉนวนโพลีเอทรีลีน Polyethylene Foam (PE) ชนิดรีดติดแผ่นโลหะจากโรงงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ตัวแปรด้านการถ่ายเทความร้อนของหลังคา

3.4.1 เครื่องมือในการวิจัย

วิธีการเก็บข้อมูลของตัวแปรการส่งผ่านความร้อน ใช้เครื่องมือในการวัดค่าดังนี้
เครื่องวัดอุณหภูมิ และการแผ่รังสีความร้อน

(Thermo-Radiation meter)

เป็นเครื่องวัดค่าพลังงานที่แผ่รังสีความร้อน และอุณหภูมิที่ผิววัสดุ หน่วยที่วัดได้ BTU/Hr.F² หรือ W/m² และหน่วย °C หรือ °F ตามลำดับ วิธีวัดให้ยึมห่วง Sensor ให้ตั้งฉากกับวัสดุ ระยะห่างไม่ควรเกิน 0.30 เมตร (รูปภาพประกอบ รูปที่3.31)

เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ

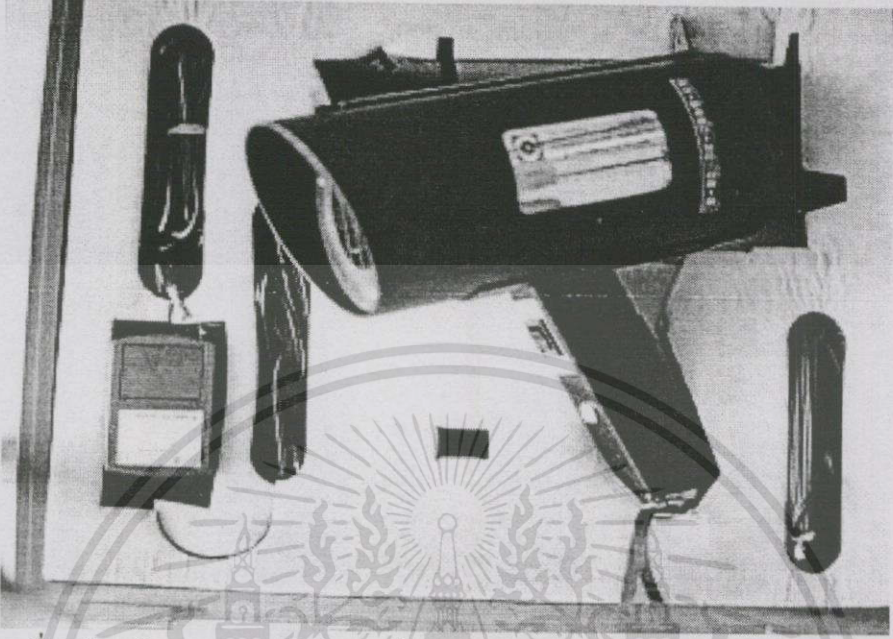
(Hygro-Thermo meter)

เป็นเครื่องวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ ณ บริเวณนั้น หน่วยที่วัดได้เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) และหน่วย °C หรือ °F ตามลำดับ วิธีวัดให้นำหัว Sensor ไปติดตั้งไว้ในบริเวณนั้น (รูปภาพประกอบ รูปที่3.32)

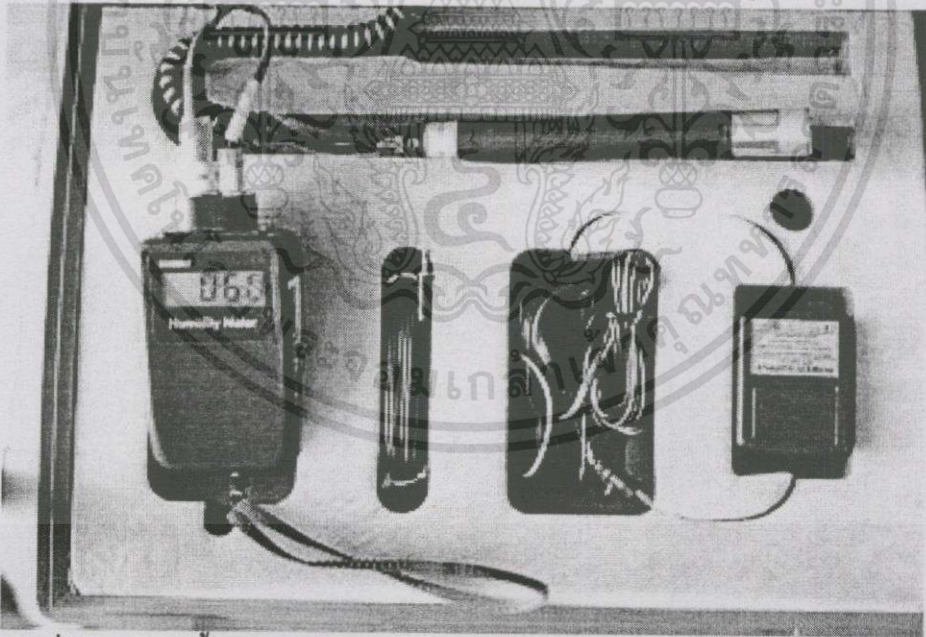
เครื่องวัดความความเร็วลม

(Airflow meter)

เป็นเครื่องวัดความเร็วลม ณ บริเวณนั้น หน่วยที่วัดได้ m/s. วิธีวัดให้นำหัว Sensor ให้ตั้งฉากกับพื้นระยาะความสูงตามที่ต้องการ(รูปภาพประกอบ รูปที่3.33)

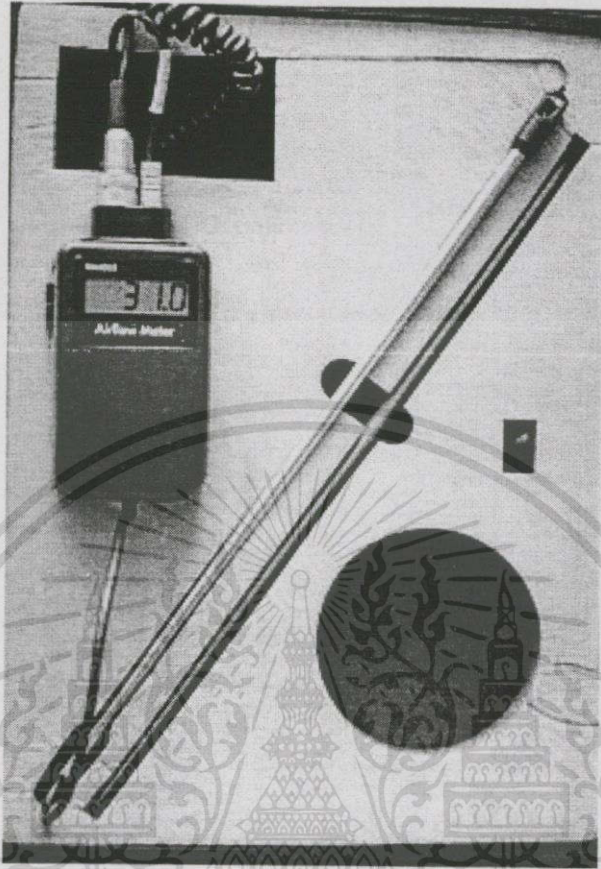


รูปที่ 3.31 เครื่องวัดพลังงานการแผ่รังสีความร้อน และอุณหภูมิ



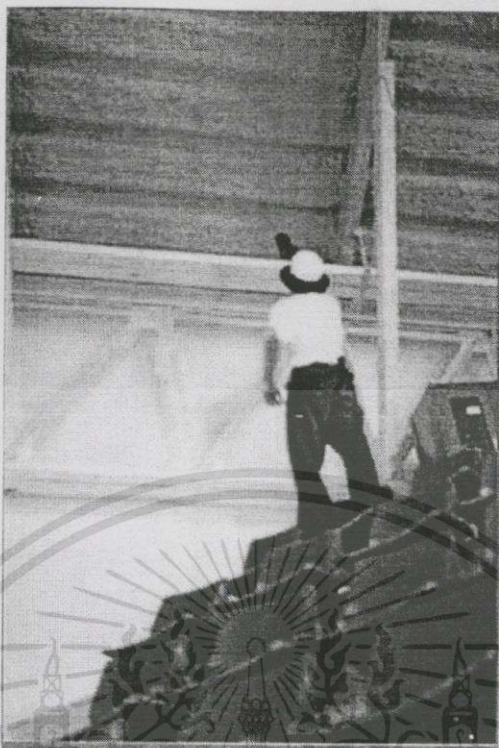
รูปที่ 3.32 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

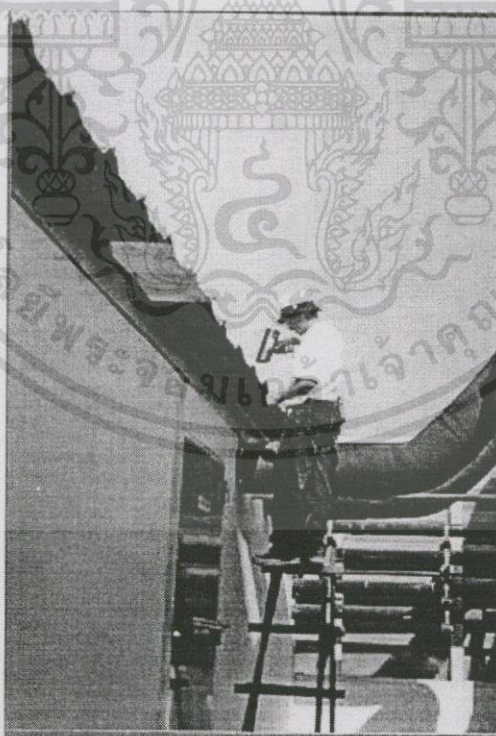


รูปที่ 3.33 เครื่องวัดความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 แสดงการเก็บข้อมูลปริมาณ Cellulose fiber 25mm. ด้านในอาคาร



รูปที่ 3.35 แสดงการเก็บข้อมูลผิวหลังคาเหล็กด้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การเก็บข้อมูลจากอาคารจริง

การเก็บข้อมูลของตัวแปรการส่งผ่านความร้อนของวัสดุผนังและฉนวน เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม พศ.2541 แยกหมวดของตัวแปรเพื่อประเมินสภาพของระบบหลังคาปัจจุบันดังนี้

ก. ด้านอุณหภูมิ (ตารางที่ 3.4)

-ภายนอกอาคาร

-ภายในอาคาร

-ผิวหลังคาเหล็กภายนอก

-ผิวหลังคาเหล็กภายใน

-ผิวฉนวนหลังคาภายใน

ข. ด้านการแผ่รังสีความร้อน (ตารางที่ 3.5)

-ผิวหลังคาเหล็กภายนอก

-ผิวหลังคาเหล็กภายใน

-ผิวฉนวนหลังคาภายใน

ค. ด้านความชื้น (ตารางที่ 3.6)

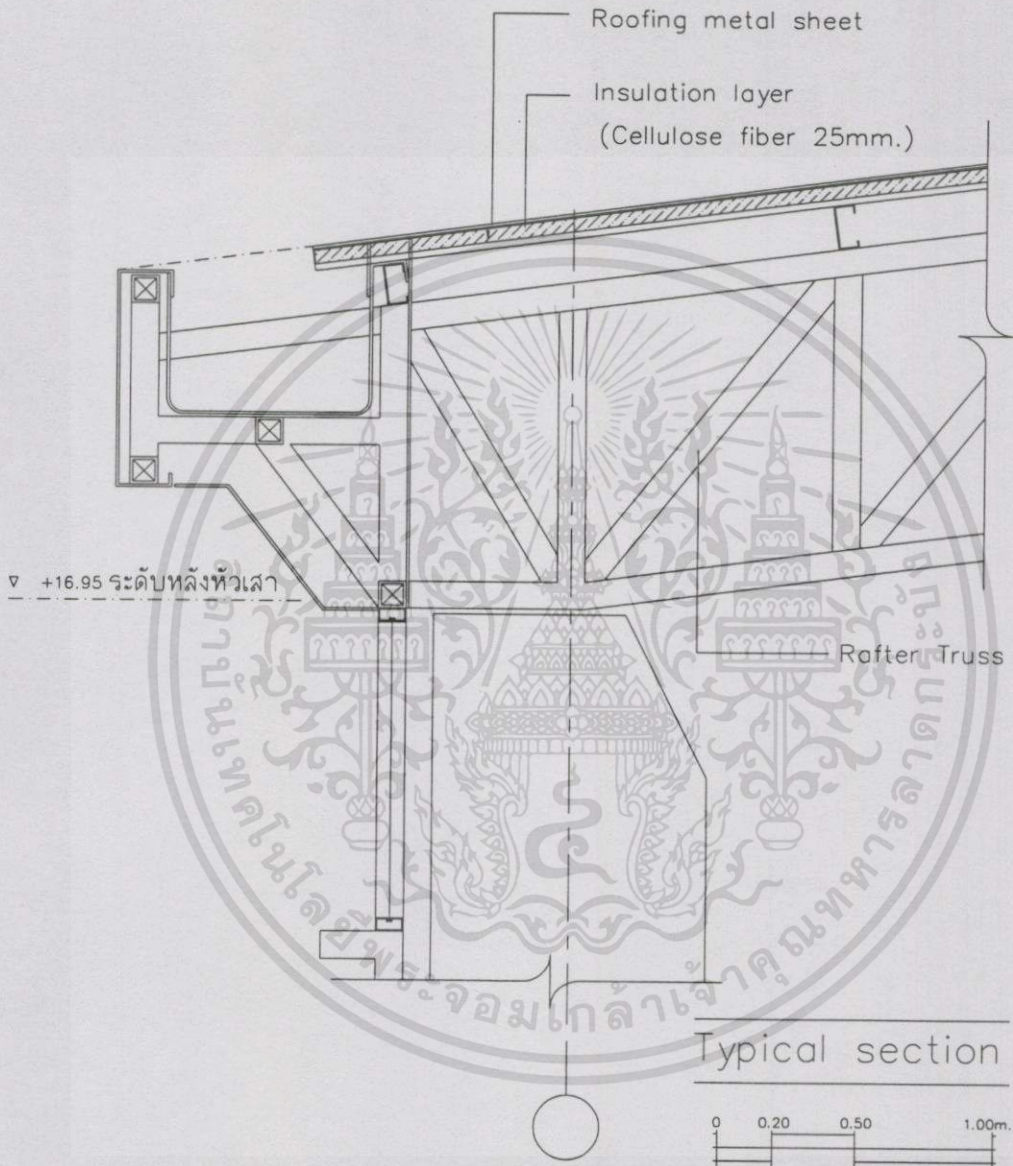
-ภายนอกอาคาร

-ภายในอาคาร

ง. ความเร็วลม (ตารางที่ 3.7)

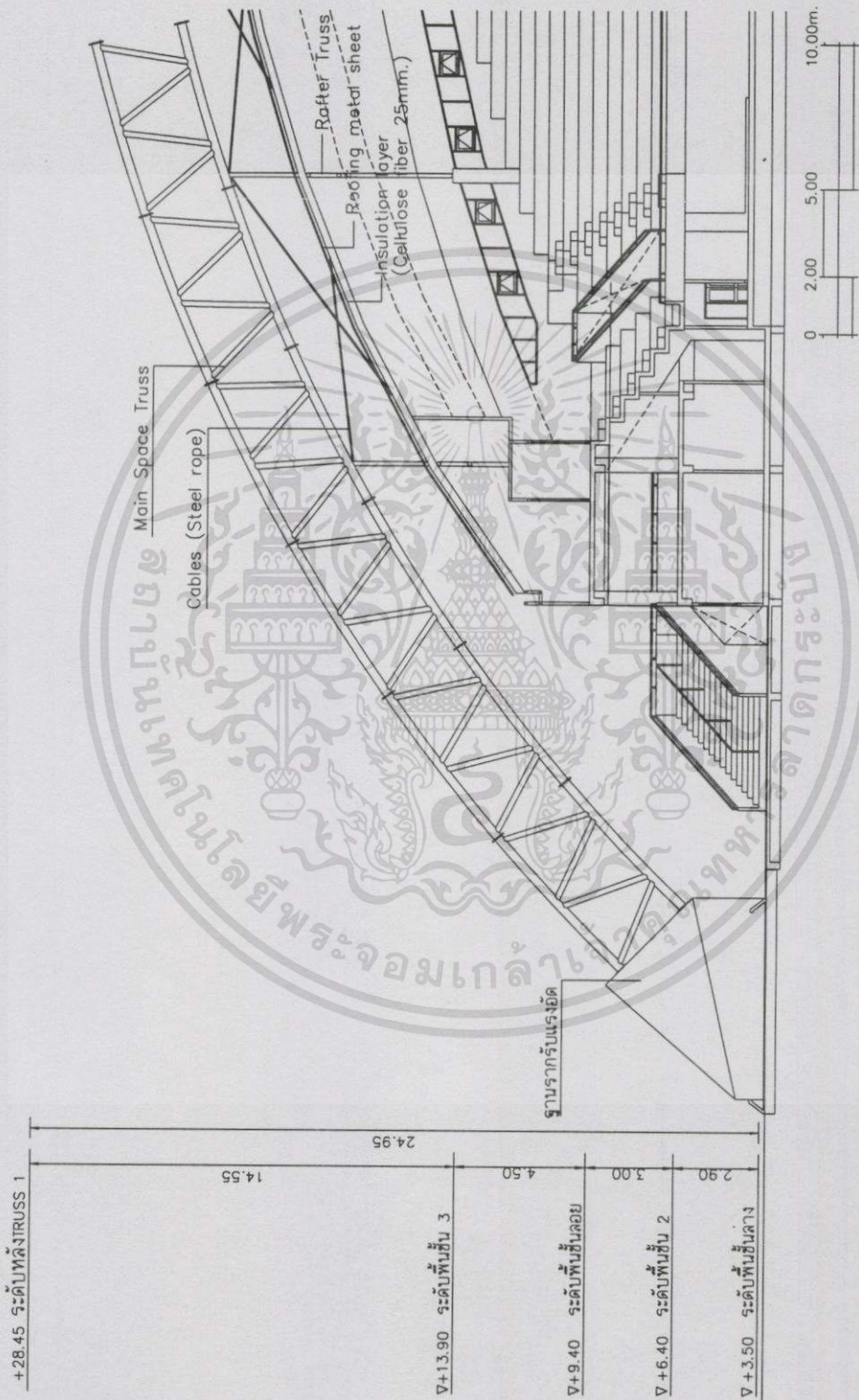
-ภายนอกอาคาร

-ภายในอาคาร



รูปที่ 3.36 แสดงแบบขยายรายละเอียดการติดตั้งวัสดุผนังและฉนวนกับโครงสร้างบริเวณหัวเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.37 แสดงแบบรูปตัดการติดตั้งวัสดุผนังกับโครงสร้างหลังคาโครงวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงอุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)ณ.ตำแหน่งต่างๆของอาคาร

รายการ	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	19.00-20.00	20.00-21.00	21.00-22.00	22.00-23.00
ภายนอก	29.6	33.1	34.1	34.5	34.5	34.8	34.2	33.1	32.5	31.0	29.6	29.1	28.4
ภายใน	30.0	31.2	31.6	32.9	33.2	32.7	32.7	32.5	32.2	31.5	30.8	30.6	30.4
ผิวหลังคาเหล็ก ด้านนอก	53.0	76.0	78.0	79.0	71.0	52.0	51.0	51.0	40.0	23.0	20.0	20.0	19.0
ผิวหลังคาเหล็ก ด้านใน	50.0	72.0	73.0	75.0	66.0	49.0	48.0	48.0	37.0	26.0	21.0	20.0	19.0
ผิวด้าน ด้านใน	34.0	36.0	36.0	38.0	39.0	38.0	34.0	33.0	32.0	31.0	29.0	28.0	28.0

อุณหภูมิ

จากข้อมูลที่ได้ นำมาวิเคราะห์หาอุณหภูมิของวัสดุผนังและวัสดุฉนวน เมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในอาคาร ลักษณะของอุณหภูมิภายนอกจะเริ่มเพิ่มขึ้นในช่วงแรกตั้งแต่ 10.00 น. ที่อุณหภูมิ 29.6 °C และสูงสุดเมื่อเวลา 15.00 น. ที่อุณหภูมิ 34.8 °C และค่อยๆ ลดลงจนถึง เวลา 19.00 น. ที่อุณหภูมิ 31.0 °C และเริ่มคงที่จนถึงเวลา 23.00 น. ที่อุณหภูมิ เฉลี่ย 29.0 °C

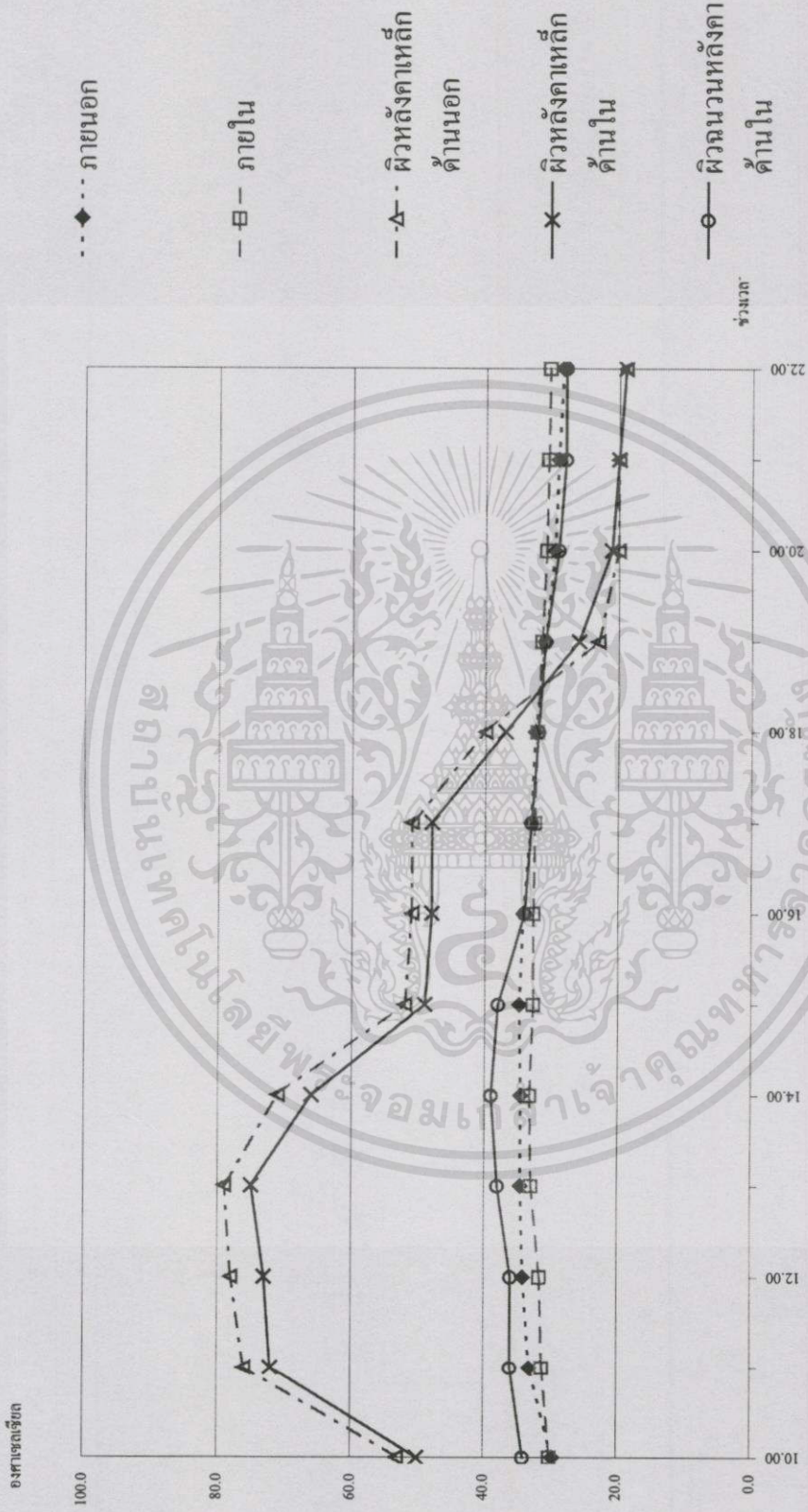
อุณหภูมิภายในอาคารก็จะมีลักษณะสอดคล้องกับอุณหภูมิภายนอกคือเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 10.00 น. ที่อุณหภูมิ 30.0 °C และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเวลา 14.00 น. ที่อุณหภูมิ 33.2 °C และค่อยๆ ลดลงจนถึงเวลา 19.00 น. ที่อุณหภูมิ 31.5 °C และเริ่มคงที่จนถึงเวลา 23.00 น. ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 30.6 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเล็กน้อย ประมาณ 1.6 °C

อุณหภูมิผิวด้านหลังคาเหล็กด้านนอกและด้านใน จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกสอดคล้องกัน คือเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 10.00 น. ที่อุณหภูมิ 53.0 °C และ 50.0 °C และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสูงสุดเมื่อเวลา 13.00 น. ที่อุณหภูมิ 79.0 °C และ 75.0 °C และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกในช่วงแรกในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง ณ. เวลา 15.00 น. ที่อุณหภูมิ 52.0 °C และ 49.0 °C และค่อนข้างคงที่ในช่วงต่อมาอีกประมาณ 2 ชั่วโมง จนถึงเวลา 17.00 น. ที่อุณหภูมิ 51.0 °C และ 48.0 °C และลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้งในช่วงเวลา 2 ชั่วโมง ณ. เวลา 19.00 น. ที่อุณหภูมิ 23.0 °C และ 26.0 °C โดยช่วงนี้อุณหภูมิของผิวด้านในคายพลังงานความร้อนช้ากว่าด้านนอกจึงทำให้อุณหภูมิด้านในสูง

กว่าด้านนอก และเริ่มปรับเข้าสู่อุณหภูมิที่เท่ากับ ตั้งแต่เวลา 21.00 น. เป็นต้นไป ที่อุณหภูมิ 20.0°C และ 19.0°C ตามลำดับ

อุณหภูมิผิวฉนวนด้านใน ในช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตั้งแต่เวลา 10.00 น. ที่อุณหภูมิ 34.0°C และสูงสุดเมื่อเวลา 14.00 น. ที่อุณหภูมิ 39.0°C และเริ่มลดลงเล็กน้อย จนถึงเวลา 17.00 น. ที่อุณหภูมิ 33.0°C ในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิผิวฉนวนจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกเฉลี่ยประมาณ $2-4^{\circ}\text{C}$ หลังจากนั้นจะคงที่ถึงช่วงเวลา 19.00 น. ที่อุณหภูมิ 31.0°C และเริ่มลดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก ประมาณ $1-2^{\circ}\text{C}$ จนถึงเวลา 22.00 น. ที่อุณหภูมิ 28.0°C โดยจะมีลักษณะการคายรังสีความร้อนเป็นไปในแนวทางเดียวกัน วัสดุฉนวน ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนโดยตรงถึงกันด้วยวิธีการนำความร้อน





รูปที่ 3.38 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)ตำแหน่งต่างๆของอาคารที่ทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

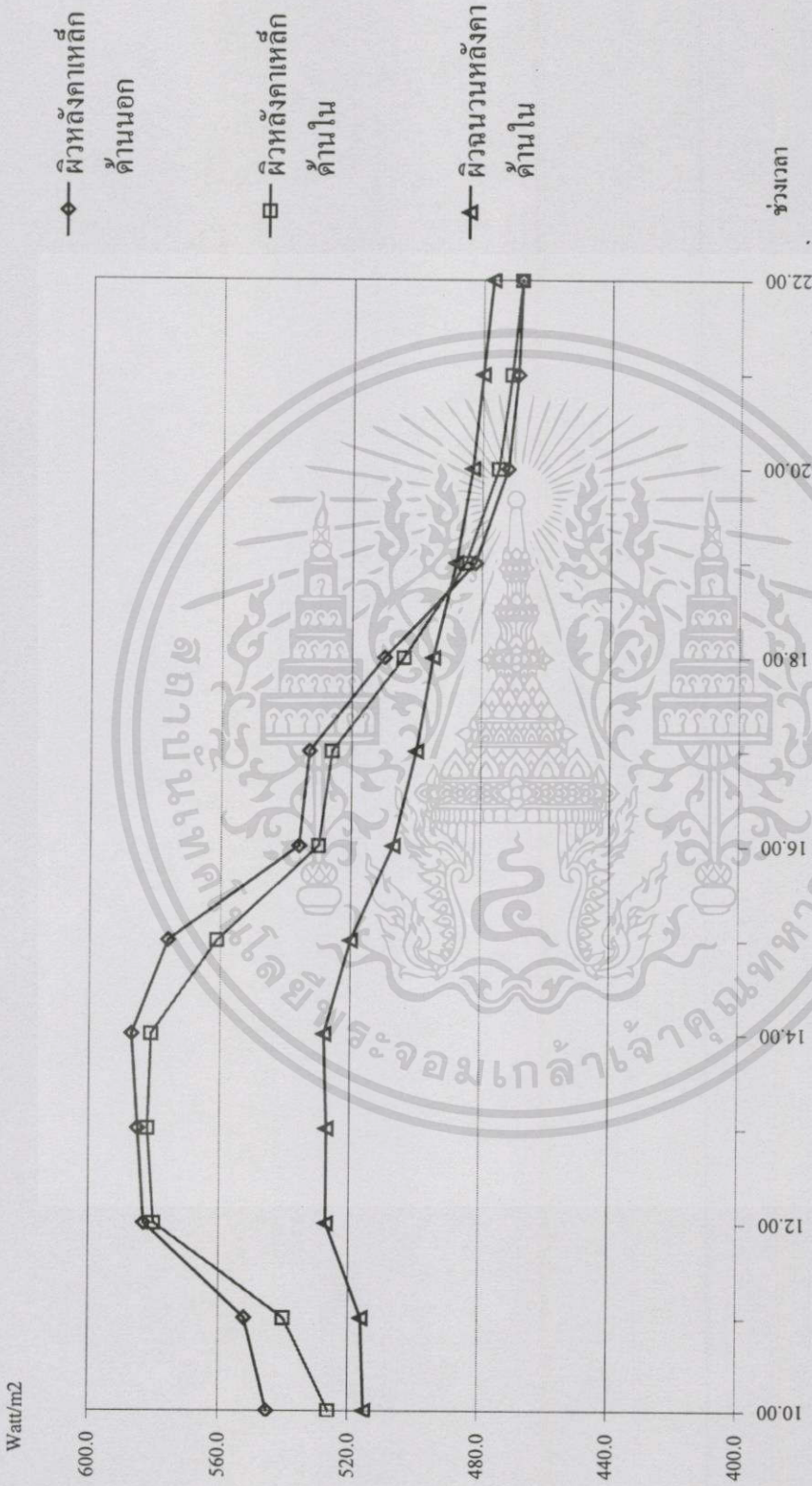
ตารางที่ 3.5 แสดงการแผ่รังสีความร้อน(วัตต์/ตร.ม.)ณ.ตำแหน่งต่างๆของอาคาร

รายการ	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	19.00-20.00	20.00-21.00	21.00-22.00	22.00-23.00
ผิวหลังคาเหล็ก ด้านนอก	545.0	552.0	583.0	585.0	587.0	576.0	536.0	533.0	510.0	482.0	472.0	496.0	468.0
ผิวหลังคาเหล็ก ด้านใน	526.0	540.0	580.0	582.0	581.0	561.0	530.0	526.0	504.0	485.0	475.0	471.0	468.0
ผิวนวหลังคา ด้านใน	515.0	516.0	527.0	527.0	528.0	520.0	507.0	500.0	495.0	488.0	483.0	480.0	477.0

การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อนผิวหลังคาเหล็กด้านนอกและด้านในเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ชั่วโมงแรกตั้งแต่เวลา 10.00 น. ที่ 545 w/m² และ 526 w/m² และเริ่มคงตัวแล้วจุดสูงสุดอยู่ที่ช่วงเวลา 14.00 น. ที่ 587 w/m² และ 581 w/m² หลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ชั่วโมงถัดมา ณ. ช่วงเวลา 16.00 น. ที่ 536 w/m² และ 530 w/m² แล้วลดลงเล็กน้อยในช่วง 1 ชั่วโมงถัดมาแต่จะลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้งจนถึงช่วงเวลา 19.00 น. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันที่ 482 w/m² และ 485 w/m² โดยที่ค่าการแผ่รังสีความร้อนภายในจะเพิ่มมากกว่าภายนอกเล็กน้อยในช่วงนี้จนถึงเวลา 22.00 น. ค่าการแผ่รังสีจะมีค่าเท่ากันโดยมีลักษณะแนวโน้มเช่นเดียวกับอุณหภูมิผิวหลังคา

การแผ่รังสีความร้อนผิวนวหลังคาด้านใน จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตั้งแต่เวลา 10.00 น. ที่ 515 w/m² จนมีค่าสูงสุด ณ. ช่วงเวลา 14.00 น. ที่ 528 w/m² แล้วเริ่มลดลงอย่างช้าๆ ในลักษณะคงที่จนถึงช่วงเวลา 19.00 น. ที่ 488 w/m² ณ. ช่วงเวลานี้จะเริ่มแผ่รังสีมากกว่าผิวหลังคาทั้งด้านในและด้านนอก และมากกว่าโดยตลอดจนถึงช่วงเวลา 22.00 น. ที่ 477 w/m²



รูปที่ 3.39 แสดงแผนภูมิการแผ่รังสีความร้อน(วัดที่ตร.ม.)ผิวหลังคาตำแหน่งต่างๆของอาคารที่ทำการศึกษา

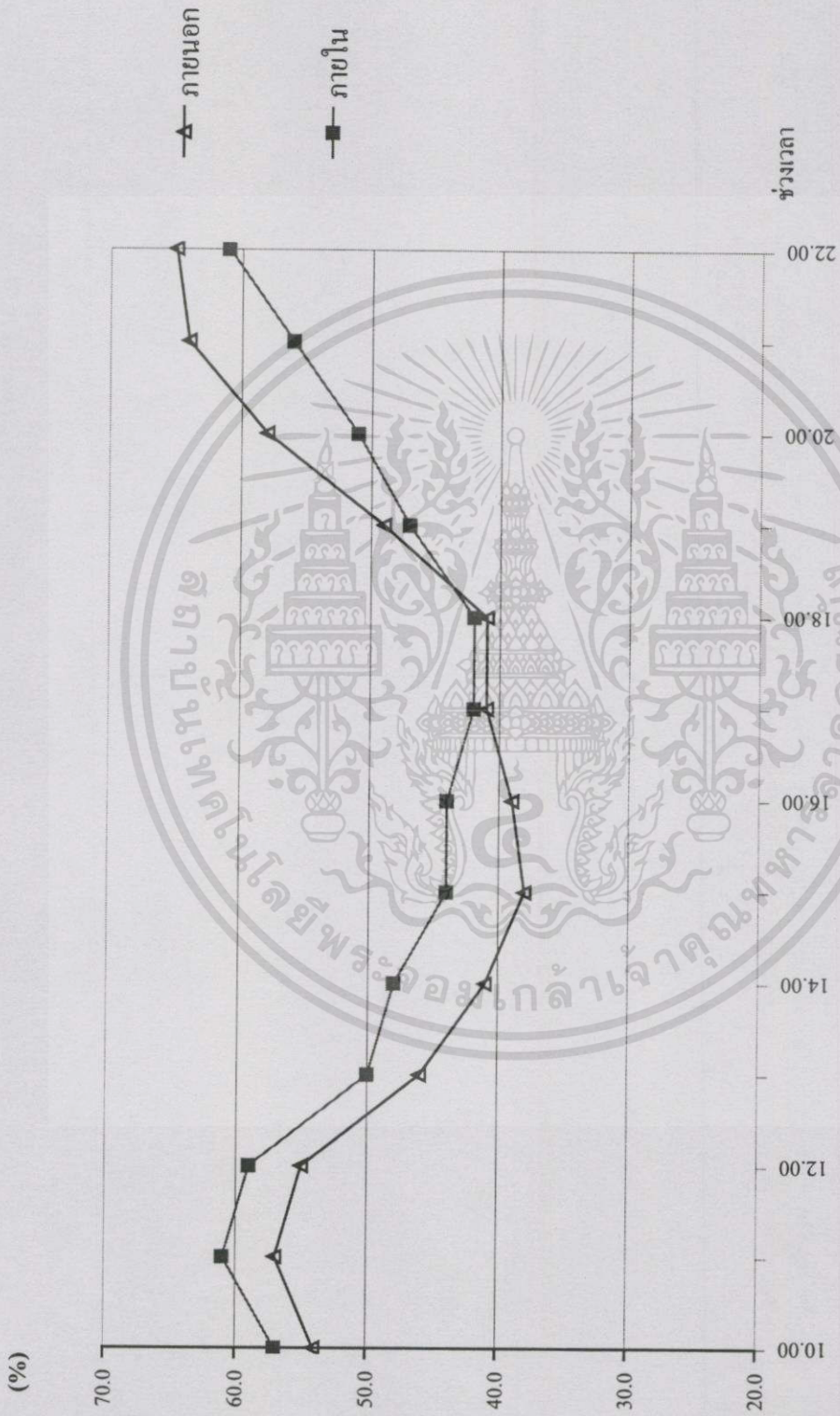
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 แสดงความชื้นสัมพัทธ์(%) ณ ตำแหน่งต่างๆของอาคาร

รายการ	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	19.00-20.00	20.00-21.00	21.00-22.00	22.00-23.00
ภายนอก	54.0	57.0	55.0	46.0	41.0	38.0	39.0	41.0	41.0	49.0	58.0	64.0	65.0
ภายใน	57.0	61.0	59.0	50.0	48.0	44.0	44.0	42.0	42.0	47.0	51.0	56.0	61.0

ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกและภายในอาคาร สามารถแบ่งได้เป็นสองช่วง เริ่มตั้งแต่เวลา 10.00 น. ที่ 54% และ 57% ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ภายในจะมากกว่าโดยลดลงในช่วงแรกและมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น. ที่ 57% และ 61% และเริ่มลดลงอย่างคงที่จนถึงเวลา 15.00 น. ภายนอกจะมีค่าต่ำสุด 38% และช่วงเวลา 17.00 – 18.00 น. ภายในจะมีค่าต่ำสุด 42% ณ. จุดนี้เป็นจุดเปลี่ยนความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกจะเริ่มมีค่ามากกว่าภายในในอัตราคงที่ ณ ช่วงเวลา 23.00 น. ที่ 64% และ 56% และเริ่มมีแนวโน้มเข้าสู่จุดเดียวกันในช่วงเวลาต่อมา



รูปที่ 3.40 แสดงแผนภูมิความถี่สัมพัทธ์(%)ผิวหลังค่าตำแหน่งต่างๆของอาคาร

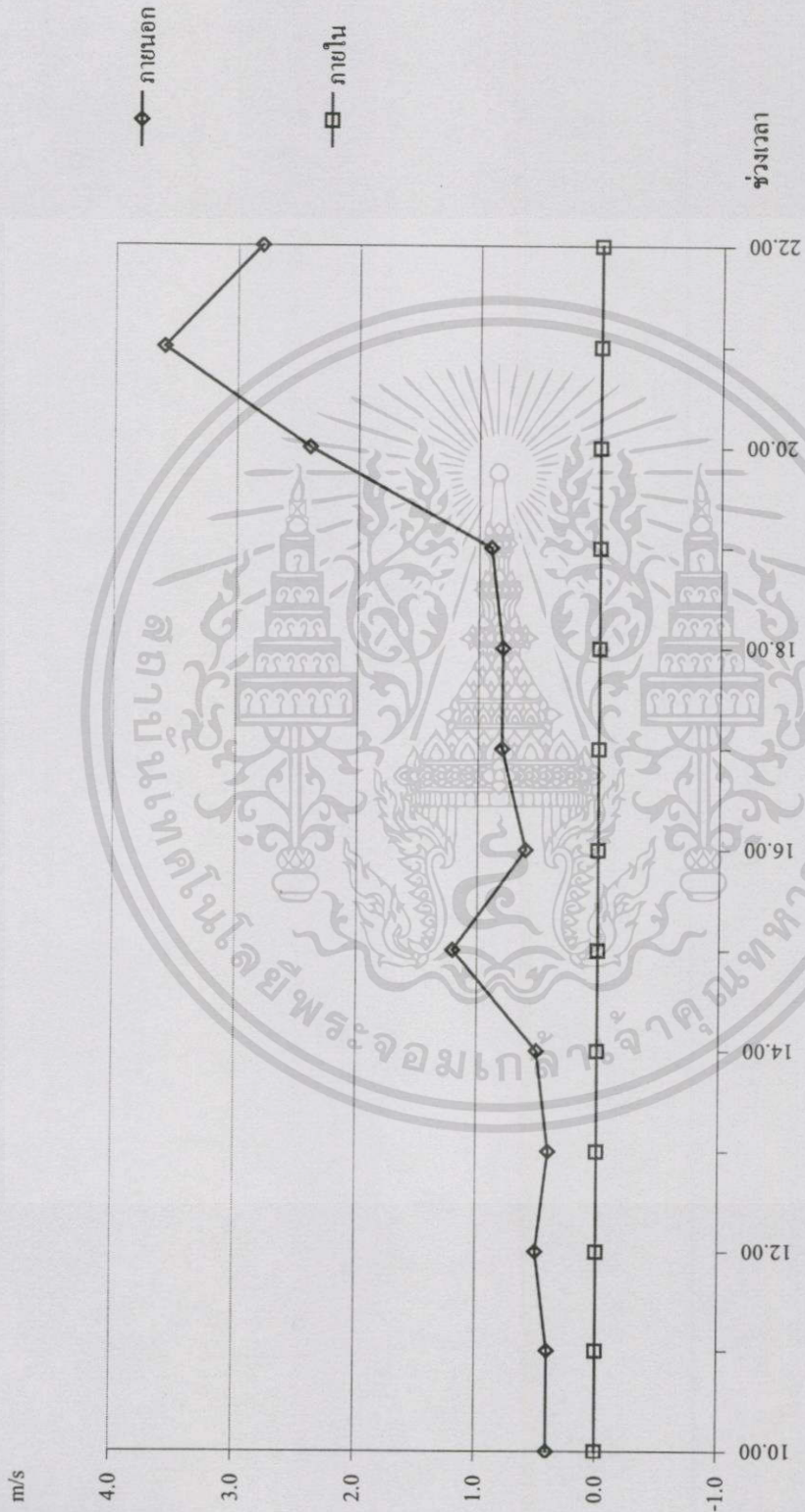
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 แสดงความเร็วลม(เมตร./วินาที)ณ.ตำแหน่งต่างๆของอาคาร

รายการ	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00	18.00-19.00	19.00-20.00	20.00-21.00	21.00-22.00	22.00-23.00
ภายนอก	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	1.2	0.6	0.8	0.8	0.9	2.4	3.6	2.8
ภายใน	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ความเร็วลม

เนื่องจากอาคารที่ทำการศึกษาเป็นอาคารติดเครื่องปรับอากาศ จึงไม่มีกระแสลมภายในอาคาร ส่วนภายนอกอาคารจะมีกระแสลม ในช่วงเวลากลางวันค่อนข้างคงที่ประมาณ 0.4 – 1.2 m/s หลังช่วงเวลา 19.00 น. จะเริ่มมีกระแสลมแรงขึ้นและมีค่าสูงสุด 3.6 m/s ณ. ช่วงเวลา 23.00 น. แต่กระแสลมจะมีลักษณะไม่คงที่ผิดเป็นช่วงเวลาสั้นๆ การเก็บข้อมูลจึงเฉลี่ยในช่วงเวลา 5 นาที ก่อนและหลังช่วงเวลาที่วัด



รูปที่ 3.41 แสดงแผนภูมิความเร็วลม (เมตร/วินาที) ที่วัดหลังค้ำตำแหน่งต่างๆ ของอาคาร

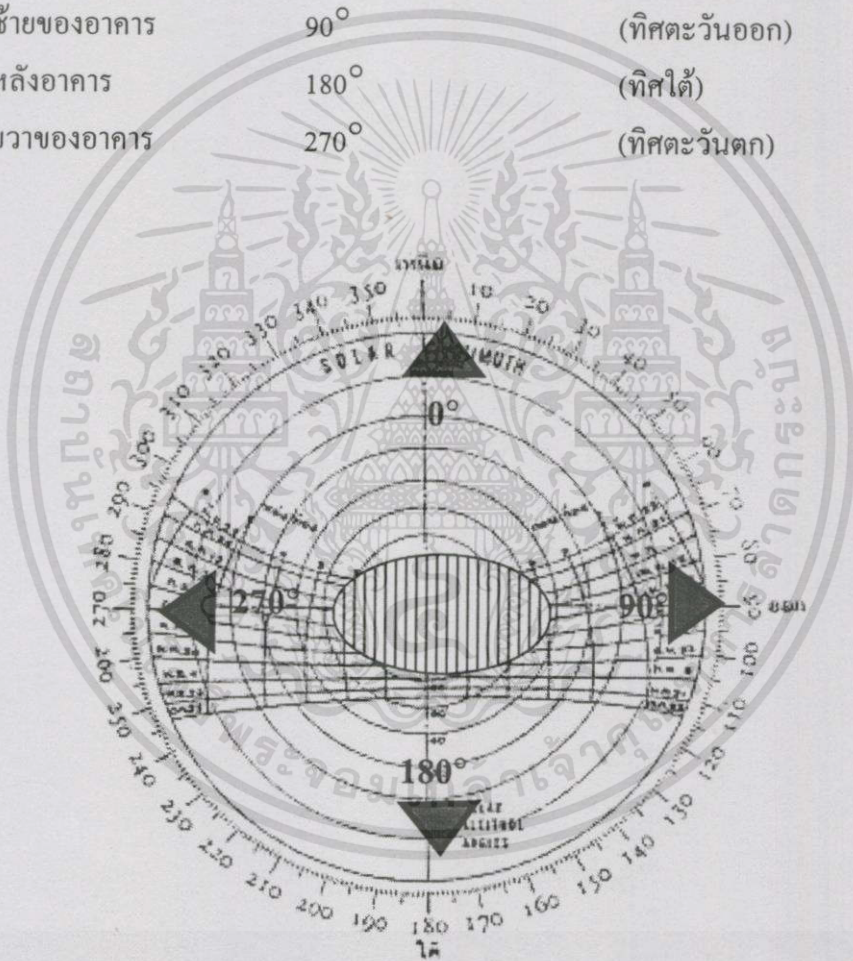
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อน RTTV ที่เกิดขึ้นกับหลังคาอาคาร

การวิเคราะห์หาค่าความร้อนรวมของหลังคาที่เกิดขึ้น ต้องหาตำแหน่งการวางทิศทางของอาคารเพื่อกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณ จากการหาค่า RTTV.ตามทิศทางของอาคาร

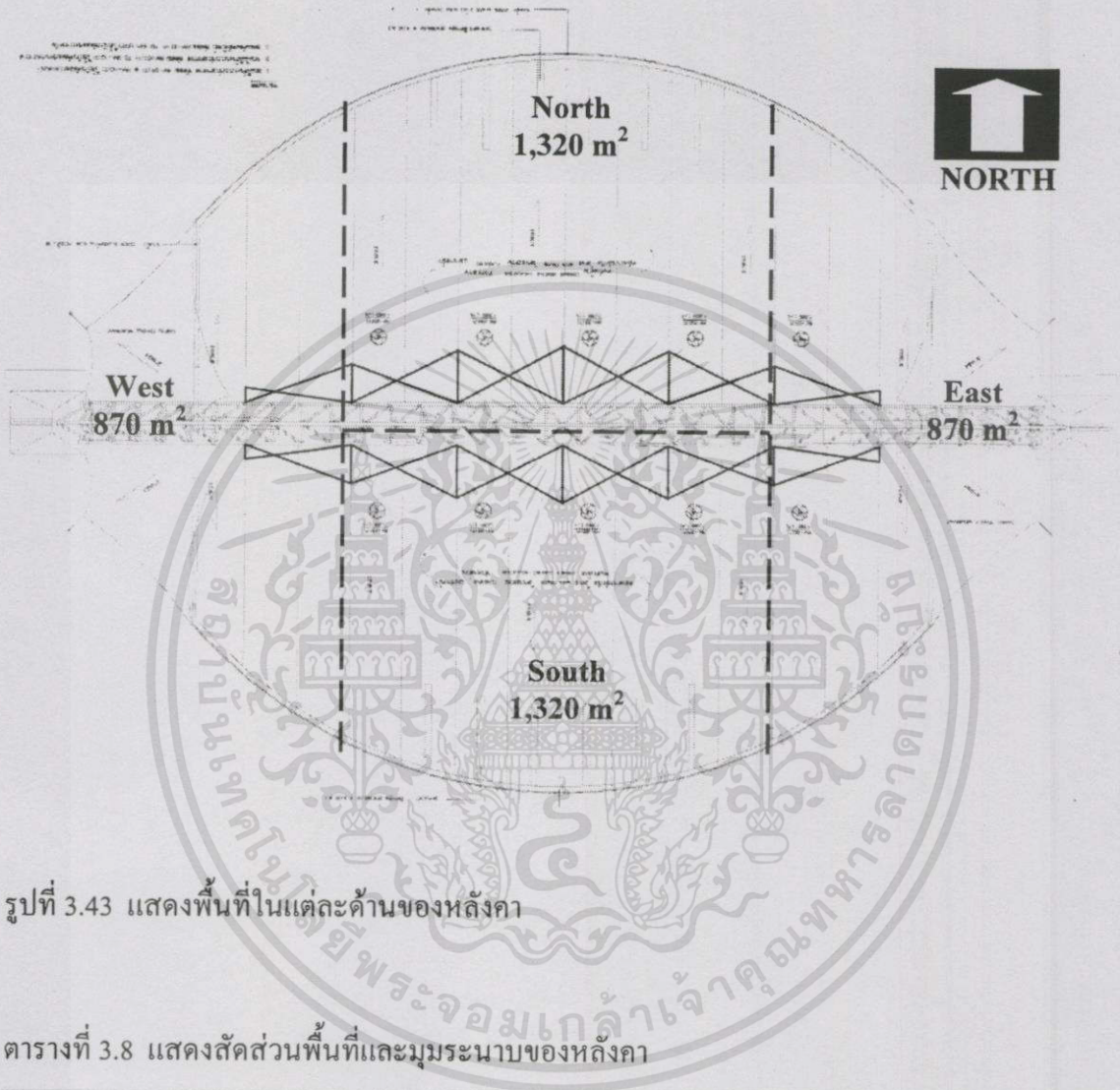
ตำแหน่งมุมอิมพิทของอาคาร(Azimuth angle)

ด้านหน้าอาคาร	0°	(ทิศเหนือ)
ด้านซ้ายของอาคาร	90°	(ทิศตะวันออก)
ด้านหลังอาคาร	180°	(ทิศใต้)
ด้านขวาของอาคาร	270°	(ทิศตะวันตก)



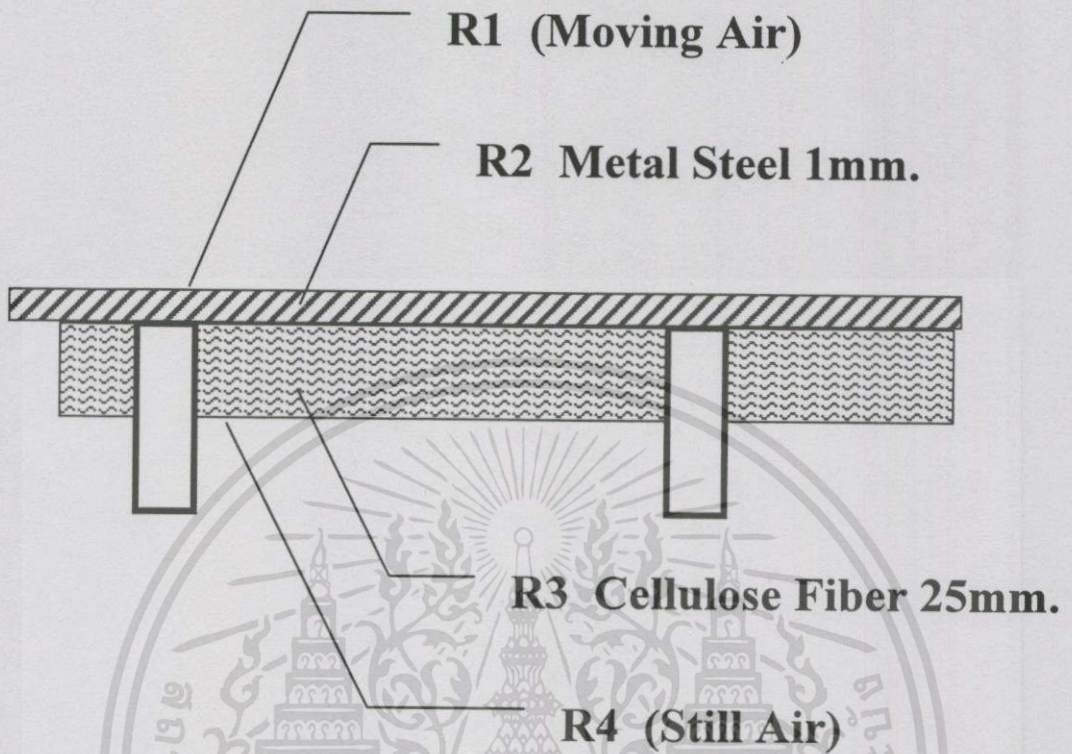
รูปที่ 3.42 แสดงรายละเอียดทิศทางของอาคาร

จากหัวข้อที่ 3.1 นำมาวิเคราะห์พื้นที่หลังคาในแต่ละด้านทั้งบริเวณที่เป็นหลังคาโปร่งแสง และทึบแสง แต่เนื่องจากอาคารที่ทำการศึกษามีส่วนที่เป็นหลังคาโปร่งแสง จึงได้ค่าดังนี้



Type	$A_w(m^2)$	Altitude angle($^{\circ}$)
North	1,320	7.5
East	870	20
South	1,320	7.5
West	870	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.44 แสดงแบบขยายวัสดุฉนวนและฉนวน

ตารางที่ 3.9 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของหลังคาที่ทำการศึกษา

Material	ΔX (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R1.-Outside Film resistance	-	-	0.055	0.773	1.294
R2.-Metals: Steel	0.001	47.600	-		
R3.-Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
R4.-Inside Film resistance	-	-	0.162		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา RTTV (จากหัวข้อ 2.4)

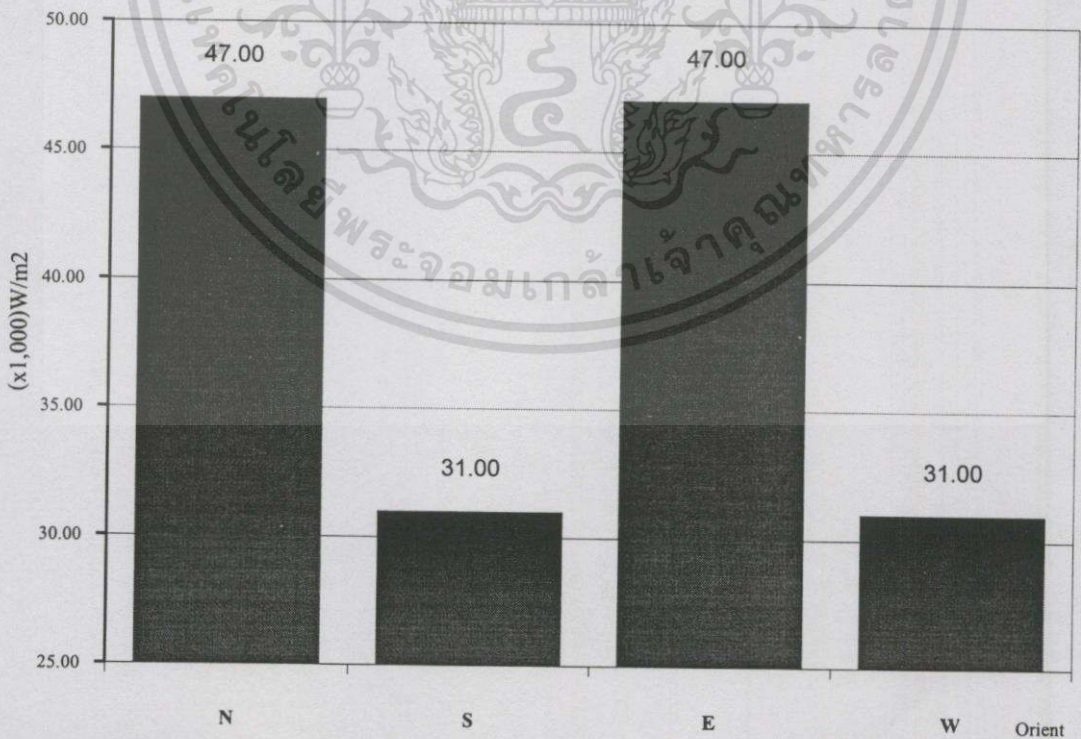
$$RTTV = \frac{(A_r \times U_r \times TD_{eq}) + (A_s \times U_s \times \Delta t) + (A_s \times SC \times SF)}{A_0}$$

ตารางที่ 3.10 แสดงการหาตัวแปรสมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา RTTV

RTTV	ค่าการเทความร้อนของหลังคา (W/m^2)	
A_r	พื้นที่ของหลังคาส่วนทึบ (m^2)	จากตารางที่ 3.8
U_r	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบ (W/m^2)	จากตารางที่ 3.9
TD_{eq}	ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Difference, K) ระหว่างภายนอกและภายในสำหรับหลังคา	จากภาคผนวก.ก ตารางที่ 1 และ ตาราง 4
A_s	พื้นที่ของหลังคาส่วนโปร่งแสง (ช่องรับแสงแบบ Sky Light ; m^2)	จากตารางที่ 3.8
U_s	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนโปร่งแสง (W/m^2)	จากภาคผนวก.ก ตารางที่ 1 และ ตาราง 2
ΔT	ค่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร	สำหรับประเทศไทย ใช้ค่า $5^{\circ}C$
SC	ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหลังคาส่วนโปร่งแสง	จากหัวข้อ 2.4
SF	ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (W/m^2) โดย $SF = \text{ค่าคงที่} \times CF$	
ค่าคงที่	ค่าคงที่รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนช่องรับแสง ที่ยอมรับนำมาใช้ในเขตกรุงเทพฯ	160
CF	ค่าตัวประกอบแก้ไข (Correction Factor) สำหรับมุมเอียงหนึ่งๆ ในทิศหนึ่งของช่องแสงส่วนหลังคา	จากภาคผนวก.ก ตารางที่ 5
A_0	พื้นที่รวมทั้งหมดของหลังคา (m^2)	จากตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.11 แสดงการหาตัวแปรสมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา RTTV

รายการ	ทิศเหนือ	ทิศตะวันออก	ทิศใต้	ทิศตะวันตก
A_r	1,320	870	1,320	870
U_r	1.294	1.294	1.294	1.294
TD_{eq}	28	28	28	28
A_s	-	-	-	-
U_s	-	-	-	-
ΔT	5	5	5	5
SC	-	-	-	-
SF	153.6	155.2	163.2	153.6
ค่าคงที่	7.5°	20°	7.5°	20°
CF	0.96	0.97	1.02	0.96
A_0	4,380	4,380	4,380	4,380



รูปที่ 3.45 แสดงค่า Q-value ของหลังคาในแต่ละทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบปรับปรุงด้านการลดค่าความร้อน RTTV.ของหลังคา

แนวคิดในการปรับปรุงอาคารที่ทำการศึกษาคือเป็นอาคารที่ก่อสร้างอยู่แล้ว คือ

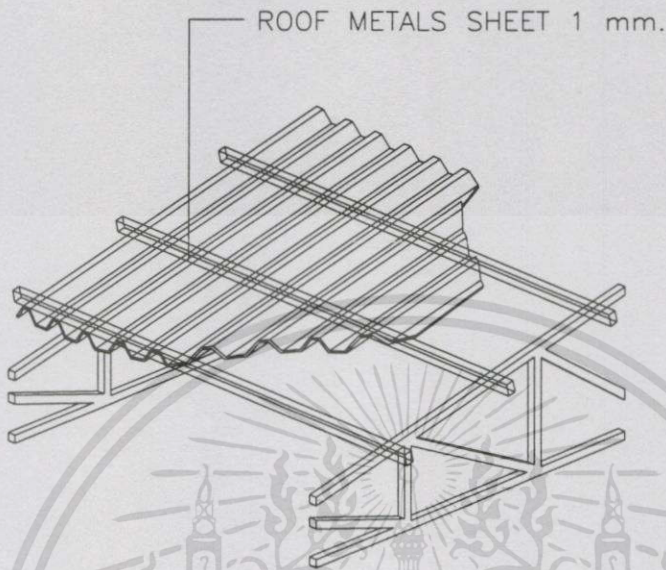
- ก. ความสอดคล้องกลมกลืนกับแนวความคิดในการออกแบบทางสถาปัตยกรรม
- ข. ลดการส่งผ่านความร้อนทางหลังคาจากภายนอก
- ค. ความคุ้มค่าในการลงทุน
- ง. กรรมวิธีการก่อสร้างสะดวกและรวดเร็ว ไม่รบกวนกิจกรรมของผู้ใช้อาคาร

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกใช้คุณนกันความร้อนประเภทต่างๆ โดยจากการศึกษาการเลือกใช้วัสดุที่มีจำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบันทั้ง 16 ชนิด ตามที่ได้ศึกษามาในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3 และ 3.4 ซึ่งยึดถือประสิทธิภาพในการปรับปรุงจากการลดความร้อนที่เกิดขึ้นกับหลังคา โดยการลดการแผ่รังสีโดยการสะท้อนรังสีความร้อน และการลดการนำและการพาความร้อนจากวัสดุที่ใช้ทำฉนวน ดังมีรายละเอียดดังนี้

- 4.1 การศึกษาค่า RTTV ที่ได้จากการเพิ่มวัสดุฉนวนหลังคา
- 4.2 การศึกษาการเลือกใช้วัสดุฉนวนทำหลังคาตามราคาค่าก่อสร้าง
- 4.3 การศึกษาการเลือกใช้วัสดุฉนวนทำหลังคาตามความคุ้มค่าการลงทุน

4.1 การศึกษาค่า RTTV ที่ได้จากการเพิ่มวัสดุฉนวนหลังคา

การคำนวณหาค่า RTTV ของอาคารที่ทำการศึกษา ซึ่งจะประกอบไปด้วย ค่า K ค่า Tdeq ค่า Aw ของวัสดุฉนวนที่ใช้ปรับปรุงหลังคาทั้ง 16 แบบ โดยการใช้โปรแกรมช่วยคำนวณสำเร็จรูปของบริษัทปูนซิเมนต์ไทย ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้(ตารางที่ 4.1-4.36)



รูปที่ 4.1 แสดงการติดตั้งวัสดุผนังหลังคา Metals steel sheets 1 mm.

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของ Metals steel sheets 1 mm. (วัสดุผนังหลังคาหลัก)

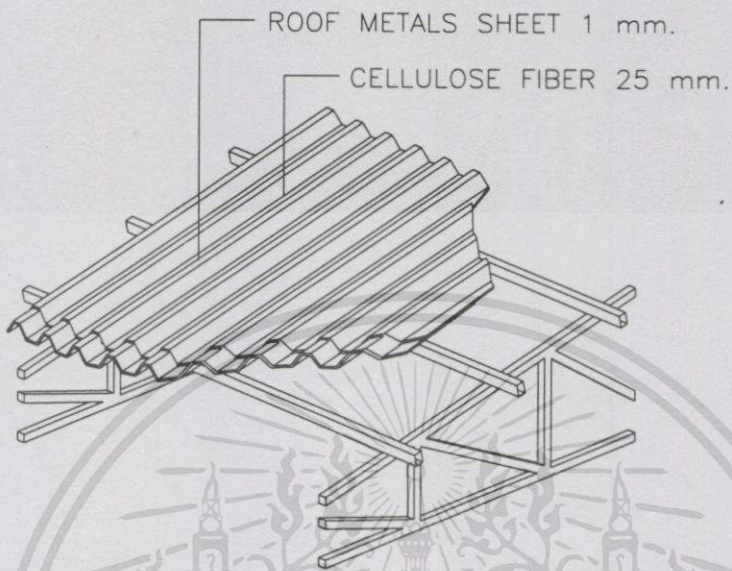
Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance			0.055	0.217	4.608
2. Metals: Steel	0.005	47.600	-		
4. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคา Metals steel sheets 1 mm. (วัสดุผนังหลังคาหลัก)

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q = U _w .A _w .T _{Deq} (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	4.608	1,320	28	170,322.578	
East	4.608	870	28	112,258.063	
South	4.608	1,320	28	170,322.578	
West	4.608	870	28	120,000.000	
TOTAL					130.799

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงการติดตั้งฉนวนหลังคาเดิม Cellulose Fiber 25 mm.

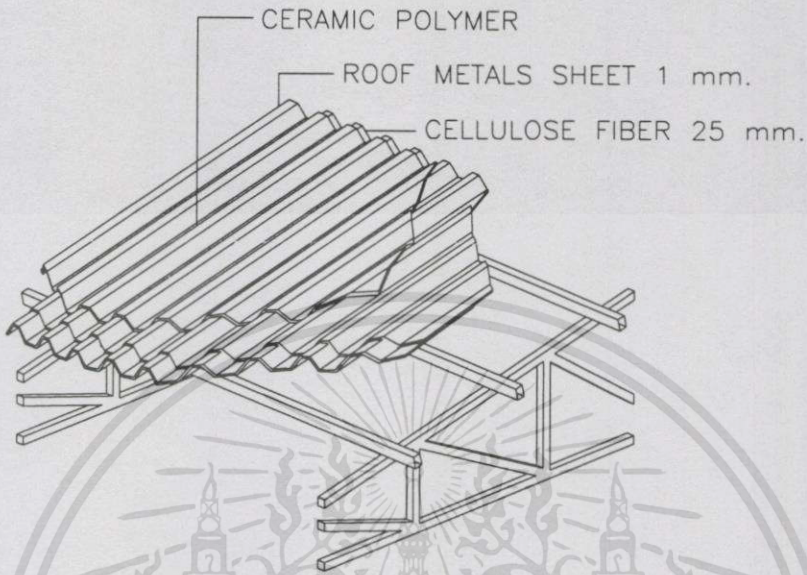
ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของฉนวนหลังคาปัจจุบัน Cellulose Fiber 25 mm.

Material	ΔX (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055	0.773	1.294
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า RTTV ของหลังคาปัจจุบัน Cellulose Fiber 25 mm.

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q = U _w .A _w .T _{Deq} (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	1.294	1,320	28	47,813.715	
East	1.294	870	28	31,513.582	
South	1.294	1,320	28	47,813.715	
West	1.294	870	28	31,513.582	
TOTAL					36.222

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการติดตั้งเพิ่มฉนวนพ่นบนวัสดุฉนวน Ceramic Polymer

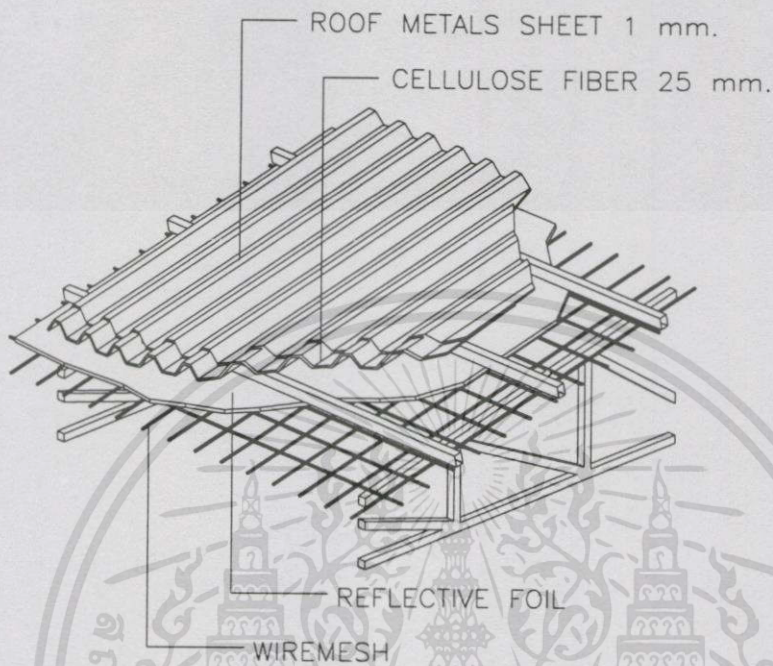
ตารางที่ 4.5 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนพ่นบนวัสดุฉนวน Ceramic Polymer

Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance With Ceramic Polymer	-	-	0.930	1.648	0.607
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนพ่นบนวัสดุฉนวน Ceramic Polymer

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q = U _w .A _w .T _{Deq} (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.607	1,320	20	16,019.418	
East	0.607	870	20	10,558.252	
South	0.607	1,320	20	16,019.418	
West	0.607	870	20	10,558.252	
TOTAL					12.135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการติดตั้งเพิ่มฉนวนแผ่น Reflective foil ได้ฉนวนเดิม

ตารางที่ 4.7 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่น Reflective foil

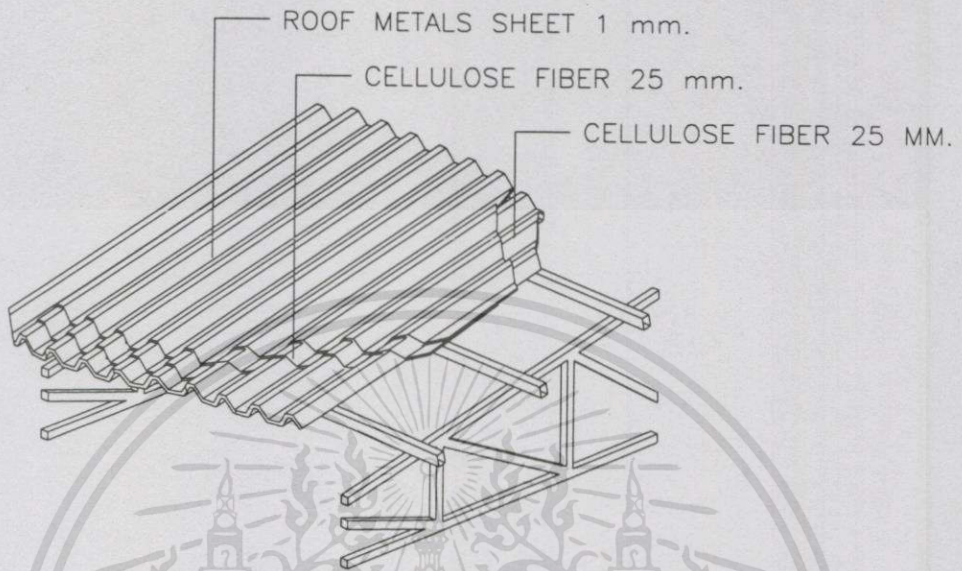
Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055		
2. Metals sheet	0.001	47.600	-	1.541	0.649
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
3 Inside Film resistance & foil	-	-	0.930		

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่น Reflective foil

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q=U _w .A _w .T _{Deq} (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.649	1,320	28	23,984.426	
East	0.649	870	28	15,807.917	
South	0.649	1,320	28	23,984.426	
West	0.649	870	28	15,807.917	
TOTAL					18.170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Cellulose Fiber 25 mm. ใต้ฉนวนเดิม

ตารางที่ 4.9 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Cellulose Fiber 25 mm.

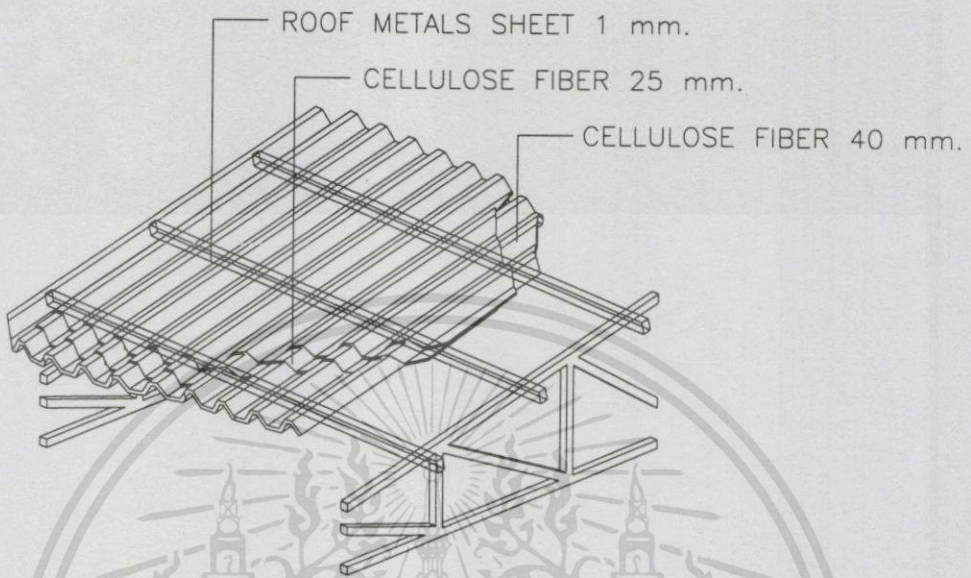
Material	ΔX (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055	1.329	0.752
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
5. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Cellulose Fiber 25 mm.

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q= U _w .A _w .T _{Deq} (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.752	1,320	28	27,810.385	
East	0.752	870	28	18,329.570	
South	0.752	1,320	28	27,810.385	
West	0.752	870	28	18,329.570	
TOTAL					21.068

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



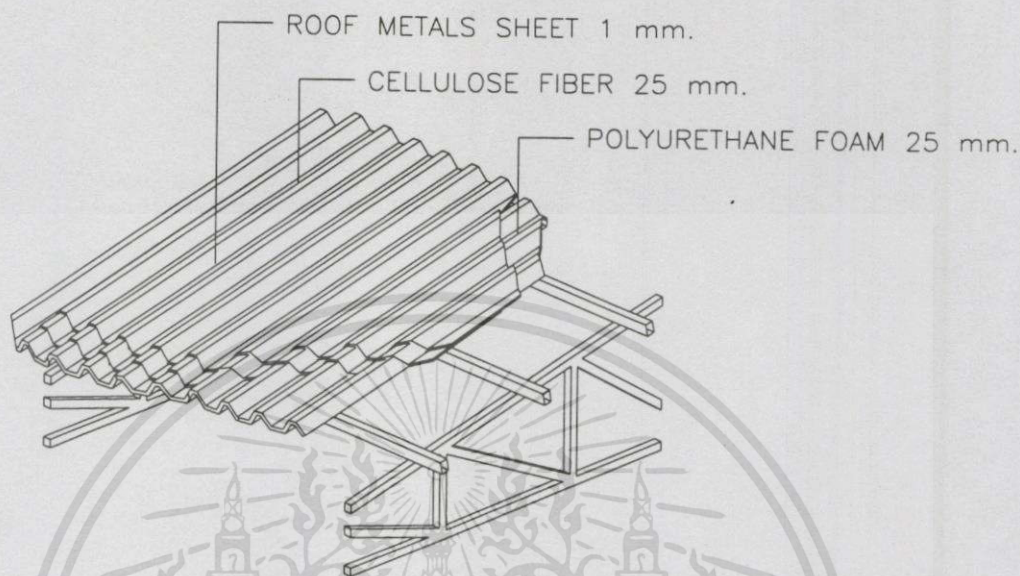
รูปที่ 4.6 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Cellulose Fiber 40 mm. ใต้ฉนวนเดิม

ตารางที่ 4.11 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Cellulose Fiber 40 mm.

Material	ΔX (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055		
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-	1.662	0.602
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Cellulose Fiber 40 mm...	0.040	0.045	0.889		
5. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าRTTV.ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Cellulose Fiber 40 mm.

Type	Uw (W/m ² K)	Aw (m ²)	TDeq	Q= Uw.Aw.TDeq (W)	Rttv. (W/m ²)
North	0.602	1,320	28	22,238.268	
East	0.602	870	28	14,657.040	
South	0.602	1,320	28	22,238.268	
West	0.602	870	28	14,657.040	
TOTAL					16.847



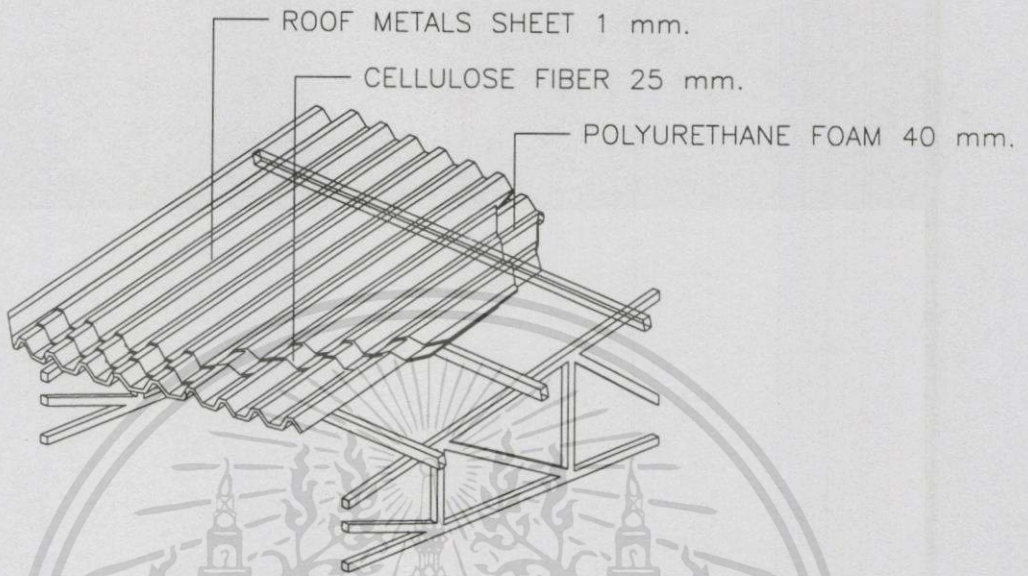
รูปที่ 4.7 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Polyurethane foam (PU) 25 mm. ได้ฉนวนเดิม
 ตารางที่ 4.13 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น. Polyurethane foam (PU) 25 mm

Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055	1.815	0.551
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Polyurethane foam 25 mm.	0.025	0.024	1.042		
5. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น. Polyurethane foam (PU) 25 mm.

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q= U _w .A _w .T _{Deq} (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.551	1,320	28	20,363.637	
East	0.551	870	28	13,421.488	
South	0.551	1,320	28	20,363.637	
West	0.551	870	28	13,421.488	
TOTAL					15.427

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



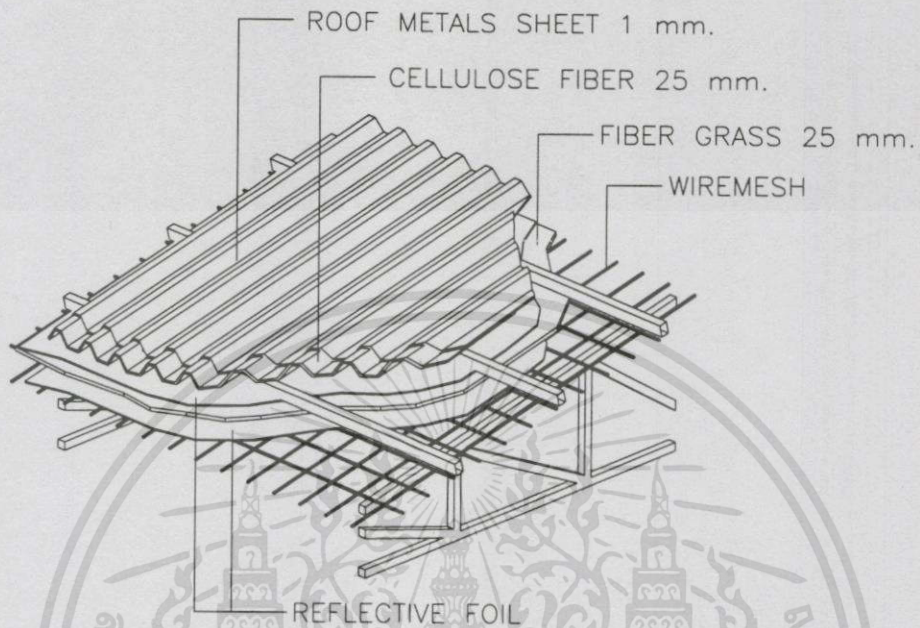
รูปที่ 4.8 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Polyurethane foam (PU) 40 mm. ใต้ฉนวนเดิม

ตารางที่ 4.15 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Polyurethane foam (PU) 40 mm

Material	ΔX (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055		
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-	2.440	0.410
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Polyurethane foam(PU) 40 mm.	0.040	0.024	1.667		
5. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าR_{TTV}. ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนพ่น Polyurethane foam (PU) 40 mm.

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q= U _w .A _w .T _{Deq} (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.410	1,320	28	15,147.541	
East	0.410	870	28	9,983.607	
South	0.410	1,320	28	15,147.541	
West	0.410	870	28	9,983.607	
TOTAL					11.475



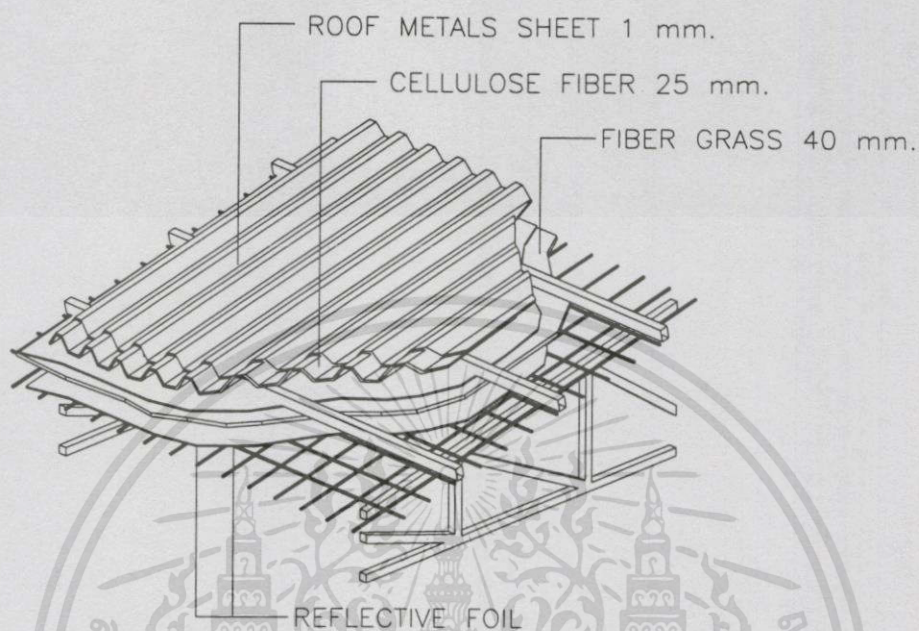
รูปที่ 4.9 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน. Fiber Glass 25 mm. & foil ได้ฉนวนเดิม

ตารางที่ 4.17 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน. Fiber Glass 25 mm. & foil

Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055	3.426	0.292
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Air Gap	0.100	-	1.356		
5. Fiber Glass 25 mm.	0.025	0.038	0.658		
6. Inside Film resistance (foil)	-	-	0.801		

ตารางที่ 4.18 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน. Fiber Glass 25 mm. & foil

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	TDeq	Q = U _w .A _w .TDeq (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.292	1,320	28	10,788.438	
East	0.292	870	28	7,110.561	
South	0.292	1,320	28	10,788.438	
West	0.292	870	28	7,110.561	
TOTAL					8.173



รูปที่ 4.10 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน. Fiber Glass 40 mm. & foil ใต้ฉนวนเดิม

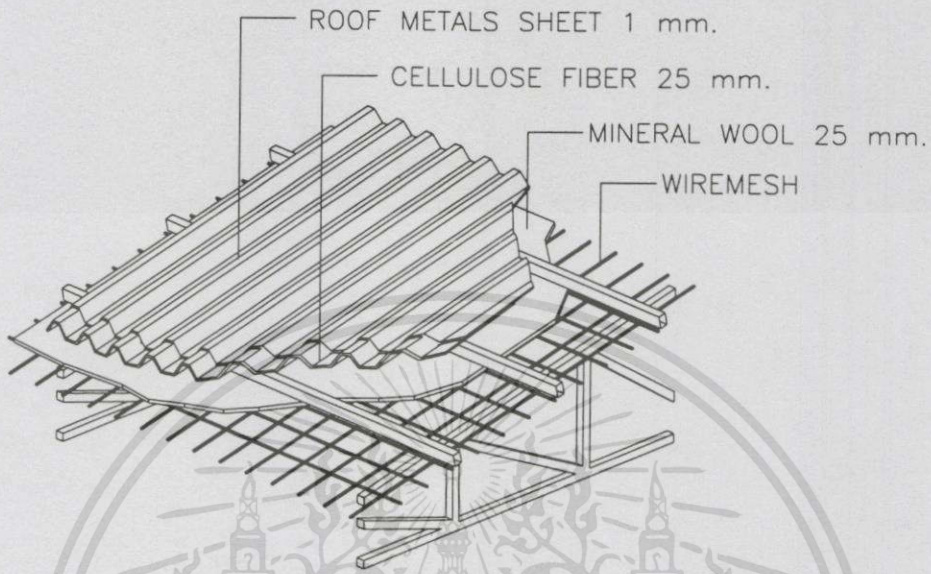
ตารางที่ 4.19 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน. Fiber Glass 40 mm. & foil

Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055	3.821	0.262
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Air Gap	0.100	-	1.356		
5. Fiber Glass 40 mm.	0.040	0.038	1.053		
6. Inside Film resistance & Reflective foil	-	-	0.801		

ตารางที่ 4.20 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน. Fiber Glass 40 mm. & foil

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{deq}	Q = U _w .A _w .T _{Deq} (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.262	1,320	28	9,673.797	
East	0.262	870	28	6,375.912	
South	0.262	1,320	28	9,673.797	
West	0.262	870	28	6,375.912	
TOTAL					7.328

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



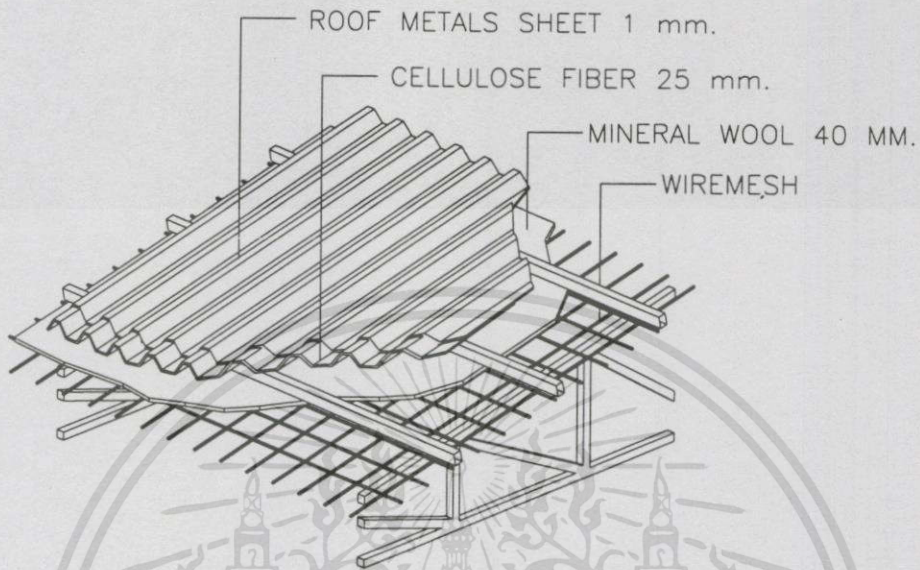
รูปที่ 4.11 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool, felt 25 mm. ได้ฉนวนเดิม
ตารางที่ 4.21 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool, felt 25 mm.

Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055		
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556	1.966	0.509
4. Air Gap	0.100	-	1.356		
5. Mineral Wool, felt 25 mm.	0.025	0.034	0.735		
6. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.22 แสดงค่า RTTV ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool, felt 25 mm.

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q = U _w .A _w .T _{Deq} (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.509	1,320	28	18,796.820	
East	0.509	870	28	12,388.814	
South	0.509	1,320	28	18,796.820	
West	0.509	870	28	12,388.814	
TOTAL					14.240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool, felt 40 mm. ได้ฉนวนเดิม
ตารางที่ 4.23 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool, felt 40 mm.

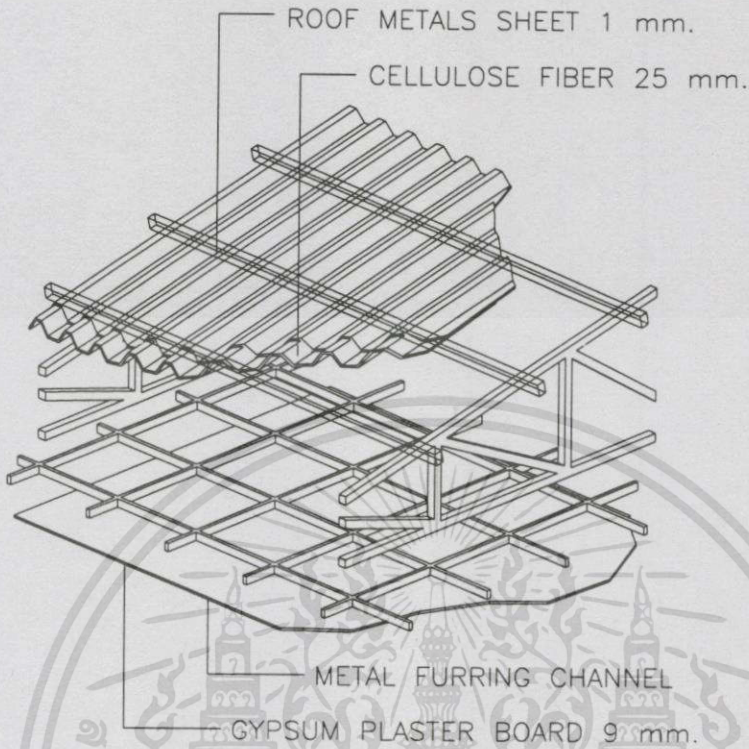
Material	ΔX (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055		
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556	2.407	0.415
4. Air Gap	0.100	-	1.356		
4. Mineral Wool, felt 40 mm.	0.040	0.034	1.176		
5. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.24 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นม้วน Mineral Wool, felt 40 mm.

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q= U _w .A _w .T _{Deq} (W)	R _{ttv} (W/m ²)
North	0.415	1,320	28	15,355.214	
East	0.415	870	28	10,120.482	
South	0.415	1,320	28	15,355.214	
West	0.415	870	28	10,120.482	
TOTAL					11.632

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



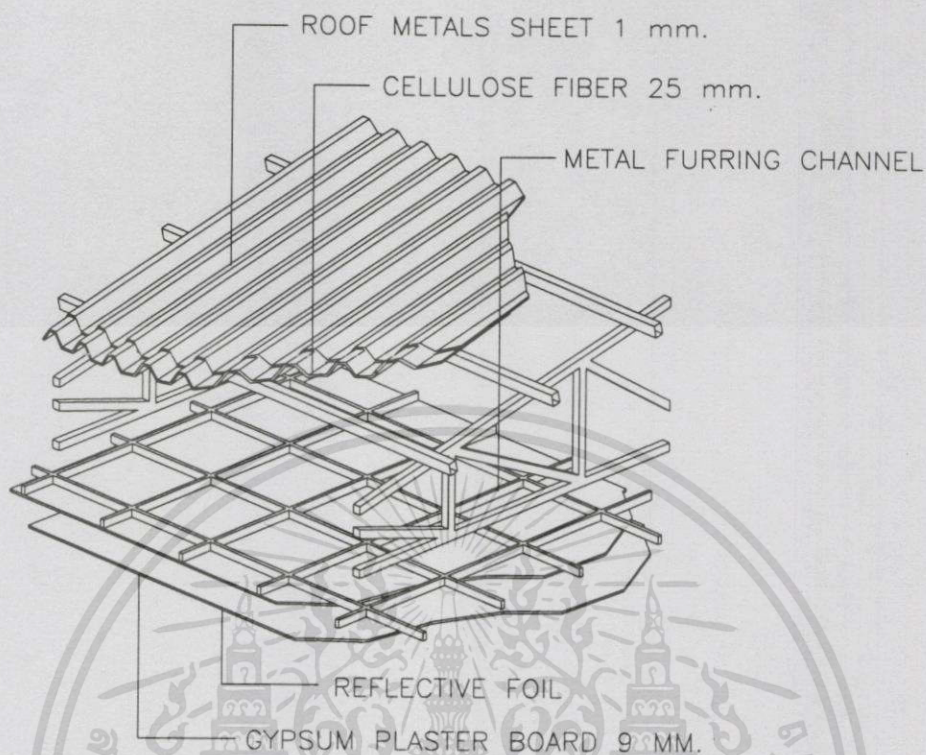
รูปที่ 4.13 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Gypsum board 9 mm. ได้ฉนวนเดิม
ตารางที่ 4.25 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Gypsum board 9 mm

Material	ΔX (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055		
2. Metals: Steel	0.001	47,600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556	1.278	0.782
4. Air Gap with Reflective Foil	2.000	-	0.458		
5. Gypsum plaster board 9 mm.	0.009	0.191	0.047		
6. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.26 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Gypsum board 9 mm.

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q = U _w · A _w · T _{Deq} (W)	R _{ttv} (W/m ²)
North	0.782	1,320	28	28,920.188	
East	0.782	870	28	19,061.033	
South	0.782	1,320	28	28,920.188	
West	0.782	870	28	19,061.033	
TOTAL					21.909

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



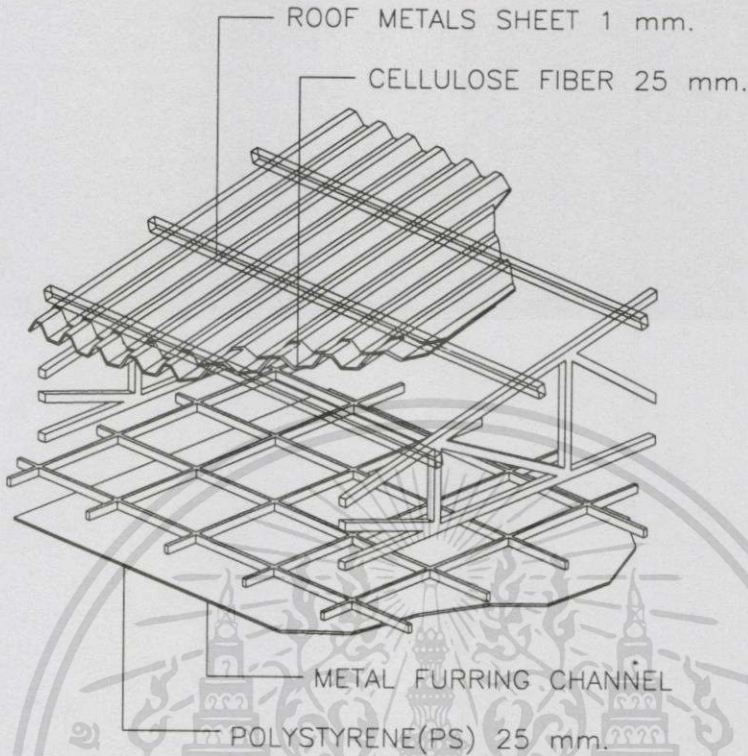
รูปที่ 4.14 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Gypsum board 9mm. & Foil ได้ฉนวนเดิม
ตารางที่ 4.27 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Gypsum board 9mm. & Foil

Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055		
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556	2.176	0.460
4. Air Gap with Reflective Foil	2.000	-	0.045		
5. Gypsum plaster board 9 mm.	0.009	0.191	0.047		
6. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.28 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Gypsum board 9 mm. & Foil

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q = U _w · A _w · T _{Deq} (W)	R _{ttv} (W/m ²)
North	0.460	1,320	28	16,985.295	
East	0.460	870	28	11,194.853	
South	0.460	1,320	28	16,985.295	
West	0.460	870	28	11,194.853	
TOTAL					12.867

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polystyrene(PS) 25 mm ได้ฉนวนเดิม
ตารางที่ 4.29 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polystyrene(PS) 25 mm

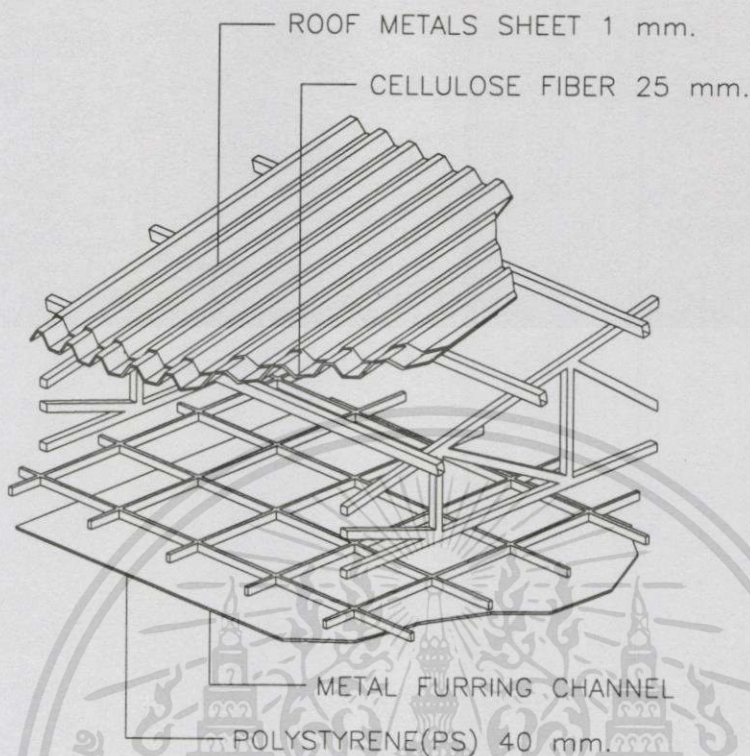
Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055	1.945	0.514
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Air Gap with Reflective Foil	2.000	-	0.458		
5. Polystyrene(PS) 25 mm.	0.025	0.035	0.714		
6. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.30 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polystyrene(PS) 25 mm

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	TDeq	Q = U _w .A _w .TDeq (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.514	1,320	28	18,999.738	
East	0.514	870	28	12,522.555	
South	0.514	1,320	28	18,999.738	
West	0.514	870	28	12,522.555	
TOTAL					14.393

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polystyrene(PS) 40 mm ได้ฉนวนเดิม
ตารางที่ 4.31 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polystyrene(PS) 40 mm

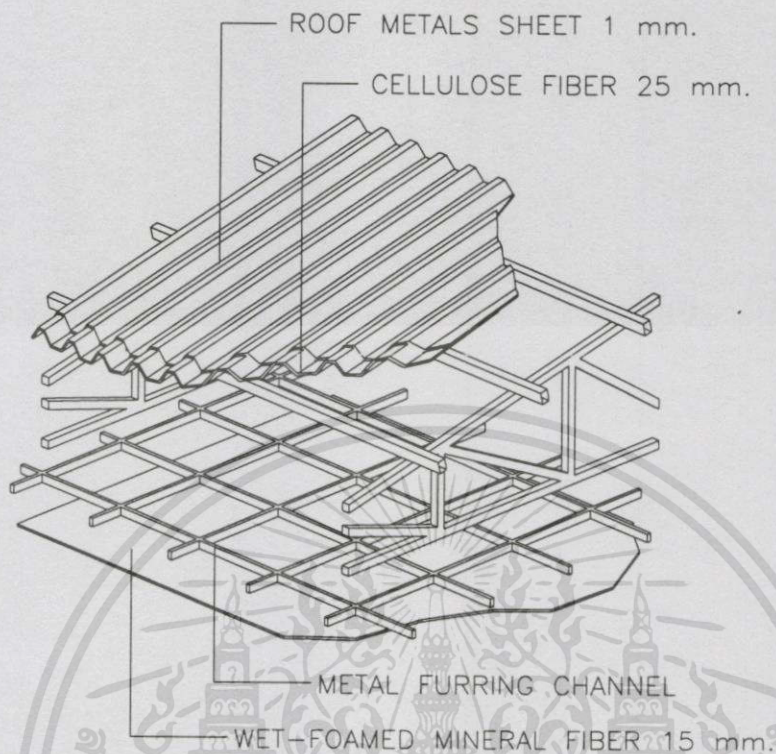
Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055	2.374	0.421
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Air Gap	2.000	-	0.458		
5. Polystyrene(PS) 40 mm.	0.040	0.035	1.143		
6. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.32 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่นแข็ง Polystyrene(PS) 40 mm

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	TDeq	Q = U _w .A _w .TDeq (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.421	1,320	28	15,568.661	
East	0.421	870	28	10,261.163	
South	0.421	1,320	28	15,568.661	
West	0.421	870	28	10,261.163	
TOTAL					11.794

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่น Wet-foamed mineral fiber 15mm ได้ฉนวนเดิม
ตารางที่ 4.33 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่น Wet-foamed mineral fiber 15mm

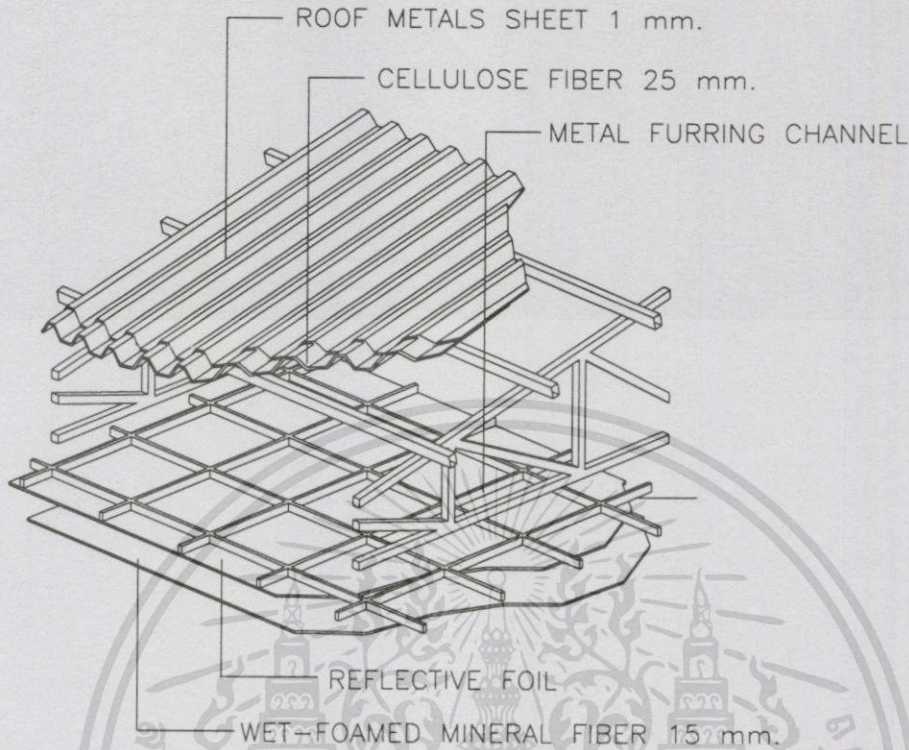
Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	R _t (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055	1.237	0.808
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556		
4. Air Gap	2.000	-	0.458		
5. Wet-foamed mineral fiber	0.015	2.382	0.006		
6. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.34 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่น Wet-foamed mineral fiber 15 mm

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	T _{Deq}	Q = U _w · A _w · T _{Deq} (W)	R _{ttv} (W/m ²)
North	0.808	1,320	28	29,878.738	
East	0.808	870	28	19,692.805	
South	0.808	1,320	28	29,878.738	
West	0.808	870	28	19,692.805	
TOTAL					22.635

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงการติดตั้งเมื่อเพิ่มฉนวนแผ่น Wet-foamed mineral fiber 15mm.&Foil ได้ฉนวนเดิม ตารางที่ 4.35 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนเมื่อเพิ่มฉนวน Wet-foamed mineral fiber 15mm&Foil

Material	Δx (m.)	K (W/m ² K)	R (m ² K/W)	Rt (m ² K/W)	U (W/m ² K)
1. Outside Film resistance	-	-	0.055		
2. Metals: Steel	0.001	47.600	-		
3. Cellulose Fiber 25 mm..	0.025	0.045	0.556	2.135	0.468
4. Air Gap with Reflective Foil	2.000	-	1.356		
5. Wet-fomed mineral fiber 15 mm.	0.015	2.382	0.006		
6. Inside Film resistance	-	-	0.162		

ตารางที่ 4.36 แสดงค่า R_{TTV} ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวน Wet-foamed mineral fiber 15 mm. & Foil

Type	U _w (W/m ² K)	A _w (m ²)	TDeq	Q= U _w .A _w .TDeq (W)	R _{ttv} . (W/m ²)
North	0.468	1,320	28	17,311.475	
East	0.468	870	28	11,409.836	
South	0.468	1,320	28	17,311.475	
West	0.468	870	28	11,409.836	
TOTAL					13.114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาที่เกิดขึ้น ในการพิจารณาเบื้องต้นพบว่าค่าRTTV สำหรับวัสดุที่ใช้ทำฉนวนกันความร้อนหลังคาอาคารนี้สามารถให้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์ตามหัวข้อ 1.2 ได้ทั้ง 16 แบบ(ตารางที่ 4.37) โดยมีค่าในช่วง 7.32 -22.63 W/m². วัสดุฉนวนที่ให้ค่าต่ำสุดคือ Fiber Glass 40 mm.& Reflective foil มีค่าเท่ากับ 7.32 W/m² และวัสดุฉนวนที่ให้สูงมากที่สุดคือ Wet-foamed mineral fiber 15 mm.มีค่าเท่ากับ 22.63 W/m² แต่จากเหตุผลที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพในด้านต่างๆของการเลือกใช้วัสดุฉนวนเพื่อปรับปรุงหลังคา ยังต้องการปัจจัยพิจารณาเพิ่มเติมสำหรับเลือกใช้วัสดุทำหลังคา ทั้งในด้านงบประมาณและความคุ้มค่าการลงทุนต่อไป

4.2 การศึกษาการเลือกใช้วัสดุฉนวนทำหลังคาตามราคาค่าก่อสร้าง

ปัจจัยที่สำคัญประการต่อมาคือ งบประมาณที่ใช้ในการปรับปรุงหลังคาให้ได้ตามมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีผลที่จะนำมาพิจารณา คือ ราคาวัดต่อตารางเมตร และราคาค่าแรงในการติดตั้ง เพื่อสรุปเป็นราคาค่าแรงและค่าวัสดุในการติดตั้งเมื่อคิดต่อหน่วย คือ 1 ตารางเมตร สำหรับใช้ในการเปรียบเทียบปัจจัยด้านราคาค่าก่อสร้างในการเลือกใช้วัสดุฉนวนทำหลังคาทั้ง 16 แบบ

จากการพิจารณาราคาวัดต่อตารางเมตร(ตารางที่ 4.38) พบว่า Polystyrene(PS) 40 mm. มีราคาต่อตารางเมตรสูงที่สุดราคา 600 บาทต่อตารางเมตร รองลงมาคือ Wet-foamed mineral fiber 15 mm. & Reflective foil ราคา 580 บาทต่อตารางเมตร ส่วนวัสดุที่ราคาต่อหน่วยน้อยที่สุดคือ Reflective foil ราคา 140 บาทต่อตารางเมตร และราคาต่อหน่วยน้อยอีกหนึ่งชนิดหนึ่งคือ Fiber Glass 25 mm. & Reflective foil ราคา 160 บาทต่อตารางเมตร

จากการพิจารณาราคาค่าแรงต่อตารางเมตร พบว่า มีราคาอยู่ 2 กลุ่มเท่านั้น คือ ราคา 150 บาทต่อตารางเมตร ได้แก่ Cellulose Fiber 40 mm. และ Polyurethane 40 mm. ส่วนที่เหลือราคา 100 บาทต่อตารางเมตรเท่ากันทั้งหมด

โดยที่พิจารณาราคาร่วมกันทั้ง 2 รายการ พบว่าวัสดุฉนวนประเภท Polystyrene(PS) 40 mm มีราคาต่อหน่วยสูงที่สุด คือ ราคา 700 บาทต่อตารางเมตร และรองลงมา Wet-foamed mineral fiber 15 mm. & Reflective foil 680 บาทต่อตารางเมตรตาม ส่วนวัสดุที่ราคาต่อหน่วยต่ำที่สุดมีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ Reflective foil ราคา 240 บาทต่อตารางเมตร และ Fiber Glass 25 mm. & Reflective foil ราคา 260 บาทต่อตารางเมตรตามลำดับ ซึ่งมีค่าแรงการติดตั้งเท่ากันแต่เปลี่ยนแปลงเฉพาะค่าวัสดุ

ตารางที่ 4.37 แสดงค่า RTTV ของหลังคาเมื่อเพิ่มฉนวนตามกรรมวิธีการติดตั้ง

ลักษณะการติดตั้ง	ชนิดของวัสดุทำหลังคา	ค่า RTTV (W/m ²)		ลำดับ
		มากกว่า 25	น้อยกว่า 25	
หลังคาไปจวบจน	Metals steel 1 mm. + Cellulose Fiber 25 mm.	36.35		
ลดความร้อนด้วย การสะท้อนรังสี	<u>พื้นบนวัสดุฉนวน</u> + Ceramic Polymer		12.13	6
	<u>ติดใต้วัสดุฉนวน</u> + Reflective foil		18.17	13
ลดความร้อนด้วย การนำ และการพา	<u>พื้นใต้วัสดุฉนวนหรือบนฝ้าเพดาน</u> +Cellulose Fiber 25 mm.		21.06	14
	+Cellulose Fiber 40 mm.		16.84	12
	+Polyurethane 25 mm.		15.42	11
	+Polyurethane 40 mm.		11.47	3
	<u>แผ่นปูนชนิดม้วน</u> +Fiber Glass 25 mm. & Reflective foil		8.17	2
	+Fiber Glass 40 mm. & Reflective foil		7.32	1
	+Mineral Wool, felt 25 mm.		14.24	9
	+Mineral Wool, felt 40 mm.		11.63	4
	<u>แผ่นแข็ง</u> +Gypsum plaster board 9 mm.		21.90	15
	+Gypsum plaster board 9 mm. & Reflective foil		12.86	7
	+Polystyrene(PS) 25 mm.		14.39	10
	+Polystyrene(PS) 40 mm.		11.79	5
	+Wet-foamed mineral fiber 15 mm.		22.63	16
	+Wet-foamed mineral fiber 15 mm. & Reflective foil		13.11	8

ตารางที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยของวัสดุฉนวนที่เลือกใช้ปรับปรุงหลังคา

รายการ	ราคาวัสดุ บ./ตร.ม.	ราคาค่าแรง บ./ตร.ม.	รวมเป็น เงิน บ./ตร.ม.	หมายเหตุ
ลดความร้อนด้วย การสะท้อนรังสี				
พื้นบนวัสดุฉนวน				
Ceramic Polymer	200.00	100.00	300.00	
ติดใต้วัสดุฉนวน				
Reflective foil	140.00	100.00	240.00	รวมโครงค้ำขา
ลดความร้อนด้วย การนำและการพา				
พื้นใต้วัสดุฉนวนหรือบนฝ้าเพดาน				
Cellulose Fiber 25 mm.	250.00	100.00	350.00	
Cellulose Fiber 40 mm.	450.00	150.00	600.00	
Polyurethane 25 mm.	200.00	100.00	300.00	
Polyurethane 40 mm.	350.00	150.00	500.00	
แผ่นปูนชนิดมัน				
Fiber Glass 25 mm. & Reflective foil	160.00	100.00	260.00	รวม โครงค้ำขา
Fiber Glass 40 mm. & Reflective foil	240.00	100.00	340.00	รวม โครงค้ำขา
Mineral Wool, felt 25 mm.	260.00	100.00	360.00	รวม โครงค้ำขา
Mineral Wool, felt 40 mm.	380.00	100.00	480.00	รวม โครงค้ำขา
แผ่นแข็ง				
Gypsum plaster board 9 mm.	240.00	100.00	340.00	รวม โครงค้ำขา
Gypsum plaster board 9 mm.&Reflective foil	260.00	100.00	360.00	รวม โครงค้ำขา
Polystyrene(PS) 25 mm.	460.00	100.00	560.00	รวม โครงค้ำขา
Polystyrene(PS) 40 mm.	600.00	100.00	700.00	รวม โครงค้ำขา
Wet-foamed mineral fiber 15 mm.	520.00	100.00	620.00	รวม โครงค้ำขา
Wet-foamed mineral fiber 15 mm.& foil	580.00	100.00	680.00	รวม โครงค้ำขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการปรับปรุงหลังคาโดยการเพิ่มวัสดุฉนวนในการศึกษานี้ได้ทำการเลือกที่จะปรับปรุงทั้งพื้นที่หลังคา 4,380 ตารางเมตร ผลของราคาการปรับปรุงที่ต่ำที่สุดคือ การนำวัสดุมาติดได้วัสดุฉนวน Reflective foil ราคา 1,051,200 บาท ส่วนราคาสูงที่สุดคือ Polystyrene(PS) 40 mm. ราคา 2,978,400 บาทต่อตารางเมตร

ตารางที่ 4.39 แสดงการเปรียบเทียบราคาวัสดุฉนวนที่เลือกใช้ปรับปรุงหลังคาทั้งหมด

รายการ	รวมเป็นเงิน บ./ตร.ม.	พื้นที่ที่ ต้องปรับปรุง	ราคา การปรับปรุง	ลำดับ
ลดความร้อนด้วย การสะท้อนรังสี				
พื้นบนวัสดุฉนวน				
Ceramic Polymer	300	4,380	1,314,000	3
ติดใต้วัสดุฉนวน				
Reflective foil	240	4,380	1,051,200	1
ลดความร้อนด้วย การนำ และการพา				
พื้นใต้วัสดุฉนวนหรือบนฝ้าเพดาน				
Cellulose Fiber 25 mm.	350	4,380	1,533,000	7
Cellulose Fiber 40 mm.	600	4,380	2,628,000	13
Polyurethane 25 mm.	300	4,380	1,314,000	3
Polyurethane 40 mm.	500	4,380	2,190,000	11
แผ่นปูชนิดม้วน				
Fiber Glass 25 mm. & Reflective foil	260	4,380	1,138,800	2
Fiber Glass 40 mm. & Reflective foil	340	4,380	1,489,200	5
Mineral Wool, felt 25 mm.	360	4,380	1,576,800	8
Mineral Wool, felt 40 mm.	480	4,380	2,102,400	10
แผ่นแข็ง				
Gypsum plaster board 9 mm.	340	4,380	1,489,200	5
Gypsum plaster board 9 mm. & Reflective foil	360.00	4,380	1,156,800	8
Polystyrene(PS) 25 mm.	560	4,380	2,452,800	12
Polystyrene(PS) 40 mm.	700	4,380	3,066,000	13
Wet-foamed mineral fiber 15 mm.	620	4,380	2,715,600	15
Wet-foamed mineral fiber 15 mm. & foil	680	4,380	2,978,400	16

4.3 การศึกษาการเลือกใช้วัสดุฉนวนทำหลังคาตามความคุ้มค่าการลงทุน

ค่าความแตกต่างที่ลดลงของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา RTTV สามารถช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงาน ในด้านพลังงานไฟฟ้าสำหรับการเดินเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากผลค่าที่แตกต่างของค่า RTTV ที่ลดลง ในวัสดุฉนวนทั้ง 16 ชนิด ซึ่งในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุฉนวนทำหลังคาตามความคุ้มค่าการลงทุน โดยการคิดถึงงบประมาณที่น้อยที่สุดที่จ่ายออกไปและสามารถคืนทุนได้เร็วที่สุด การคำนวณเพื่อหาค่าความคุ้มค่าสามารถนำขบวนการดังกล่าวจากเอกสารคู่มือการอนุรักษ์พลังงาน¹ มาเป็นรูปแบบเบื้องต้นเพื่อหางบประมาณที่ใช้ทั้ง 16 แบบ ตามตัวอย่างการคำนวณต่อไปนี้

ตารางที่ 4.40 แสดงการประเมินราคาพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง

ลำดับ	รายการ	หน่วย
(ก.1)	ค่าRttv.ของหลังคาปัจจุบัน	Q1
(ก.2)	ค่าRttv.ของหลังคาที่ปรับปรุงฉนวน	Q2
(ก.3)	ค่าRttv.ที่ลดลง	Q3
(ก.4)	พื้นที่หลังคาอาคาร(ปรับอากาศ)	4,380 ตร.ม
(ก.5)	วัตต์ความร้อนที่ลดลง	(ก.3) x 4,380/1000
(ก.6)	ปรับหน่วยเป็น Btu/ชม. (1 กิโลวัตต์.ชม. = 3,414 Btu.ชม.)	(ก.5) x 3,414
(ก.7)	เปลี่ยนเป็นหน่วยความเย็น(1 ตัน = 12,000Btu.)	(ก.6) / 12,000
(ก.8)	ค่ากำลังงานไฟฟ้า (มาตรฐานเครื่องทำน้ำเย็น (EER) = 0.77 กิโลวัตต์ไฟฟ้าต่อตันความเย็น)	(ก.7) x 0.77
(ก.9)	อัตราค่าความต้องการไฟฟ้าต่อปี (อัตราค่าไฟฟ้า = 350 บาท/กิโลวัตต์)	(ก.8) x 350 x 12
(ก.10)	อัตราค่าความต้องการไฟฟ้า(Demand charge)ต่อปี (อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าธุรกิจขนาดใหญ่ = 2.50 บาท-กิโลวัตต์/ชม.)เดินเครื่อง 1,600 ชม./ปี	(ก.8) x 2.50 x 1,600
(ก.11)	ผลรวมของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	(ก.9)+(ก.10)

¹ กองอนุรักษ์พลังงาน, คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม: กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2536

ตารางที่ 4.41 แสดงการประเมินค่าบำรุงรักษาของระบบปรับอากาศที่ลดลง

ลำดับ	รายการ		หน่วย
(ก.12)	ค่าซ่อมบำรุงระบบปรับอากาศที่ลดลงต่อต้น	6,000	บาท
(ก.13)	ดังนั้น ราคาของระบบปรับอากาศที่ลดลง	(ก.7) x 6,000	บาท/ปี

ตารางที่ 4.42 แสดงการประเมินราคาค่าขนาดของระบบปรับอากาศที่ลดลง

ลำดับ	รายการ		หน่วย
(ก.14)	ราคาของระบบปรับอากาศต่อต้น	30,000	บาท
(ก.15)	ดังนั้น ราคาของระบบปรับอากาศที่ลดลง	(ก.7) x 30,000	บาท/ปี

ตารางที่ 4.43 แสดงการประเมินระยะเวลาการคุ้มทุน

ลำดับ	รายการ		หน่วย
(ก.16)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลดลงปีละ	(ก.11)+(ก.13)	บาท/ปี
(ก.17)	ราคาค่าวัสดุและค่าแรงติดตั้งฉนวน	จากตารางที่ 4.39	บาท
(ก.18)	ระยะเวลาในการคืนทุน	(ก.17) / (ก.16)	ปี

ตารางที่ 4.44 แสดงการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี

ลำดับ	รายการวัสดุฉนวน	ก.1	ก.2	ก.3	ก.4	ก.5	ก.6	ก.7	ก.8	ก.9	ก.10	ก.11
1	Ceramic Polymer	36.35	12.13	24.22	4,380.00	106.08	362,169.41	30.18	23.24	97,604.66	92,956.82	190,561.47
2	Reflective foil	36.35	18.17	18.18	4,380.00	79.63	271,851.36	22.65	17.44	73,263.94	69,775.18	143,039.12
3	Cellulose Fiber 25 mm.	36.35	21.06	15.29	4,380.00	66.97	228,636.26	19.05	14.67	61,617.47	58,683.31	120,300.78
4	Cellulose Fiber 40 mm.	36.35	16.84	19.51	4,380.00	85.45	291,739.27	24.31	18.72	78,623.73	74,879.75	153,503.48
5	Polyurethane (PU) 25 mm.	36.35	15.42	20.93	4,380.00	91.67	312,972.99	26.08	20.08	84,346.22	80,329.73	164,675.95
6	Polyurethane (PU) 40 mm.	36.35	11.47	24.88	4,380.00	108.97	372,038.60	31.00	23.87	100,264.40	95,489.91	195,754.31
7	Fiber Glass 25 mm. & foil	36.35	8.17	28.18	4,380.00	123.43	421,384.56	35.12	27.04	113,563.14	108,155.37	221,718.51
8	Fiber Glass 40 mm. & foil	36.35	7.32	29.03	4,380.00	127.15	434,094.88	36.17	27.85	116,988.57	111,417.69	228,406.26
9	Mineral Wool, felt 25 mm.	36.35	14.24	22.11	4,380.00	96.84	330,617.91	27.55	21.21	89,101.53	84,858.60	173,960.12
10	Mineral Wool, felt 40 mm.	36.35	11.63	24.72	4,380.00	108.27	369,646.07	30.80	23.72	99,619.62	94,875.82	194,495.44
11	Gypsum plaster board 9 mm.	36.35	21.90	14.45	4,380.00	63.29	216,075.47	18.01	13.86	58,232.34	55,459.37	113,691.71
12	Gypsum plaster board 9 mm.& foil	36.35	12.90	23.45	4,380.00	102.71	350,655.35	29.22	22.50	94,501.62	90,001.54	184,503.16
13	Polystyrene (PS) 25 mm.	36.35	14.39	21.96	4,380.00	96.18	328,374.91	27.36	21.07	88,497.04	84,282.89	172,779.93
14	Polystyrene (PS) 40 mm.	36.35	11.79	24.56	4,380.00	107.57	367,253.54	30.60	23.57	98,974.83	94,261.74	193,236.57
15	Wet-formed mineral fiber 15 mm.	36.35	22.63	13.72	4,380.00	60.09	205,159.55	17.10	13.16	55,290.50	52,657.62	107,948.12
16	Wet-formed mineral fiber 15 mm.& foil	36.35	13.11	23.24	4,380.00	101.79	347,515.16	28.96	22.30	93,655.33	89,195.56	182,850.89

ตารางที่ 4.45 แสดงการจัดลำดับระยะเวลาในด้านการศึกษาของวัสดุตามระยะเวลา(ต่อจากตารางที่ 4.44)

ลำดับ	รายการวัสดุ	ก.7	ก.11	ก.12	ก.13	ก.14	ก.15	ก.16	ก.17	ก.18	ลำดับที่
1	Ceramic Polymer	30.64	193,476.45	6,000.00	183,840.00	30,000.00	919,200.00	377,316.45	1,334,100.00	3.54	3
2	Reflective foil	23.00	145,227.16	6,000.00	138,000.00	30,000.00	690,000.00	283,227.16	1,067,280.00	3.77	4
3	Cellulose Fiber 25 mm.	19.34	122,141.00	6,000.00	116,040.00	30,000.00	580,200.00	238,181.00	1,556,450.00	6.53	10
4	Cellulose Fiber 40 mm.	24.68	155,851.59	6,000.00	148,080.00	30,000.00	740,400.00	303,931.59	2,668,200.00	8.78	15
5	Polyurethane (PU) 25 mm.	26.48	167,194.97	6,000.00	158,880.00	30,000.00	794,400.00	326,074.97	1,334,100.00	4.09	5
6	Polyurethane (PU) 40 mm.	31.48	198,748.73	6,000.00	188,880.00	30,000.00	944,400.00	387,628.73	2,223,500.00	5.74	9
7	Fiber Glass 25 mm. & foil	35.65	225,110.09	6,000.00	213,900.00	30,000.00	1,069,500.00	439,010.09	1,156,220.00	2.63	1
8	Fiber Glass 40 mm. & foil	36.73	231,900.14	6,000.00	220,380.00	30,000.00	1,101,900.00	452,280.14	1,511,980.00	3.34	2
9	Mineral Wool, felt 25 mm.	27.97	176,621.15	6,000.00	167,820.00	30,000.00	839,100.00	344,441.15	1,600,920.00	4.65	7
10	Mineral Wool, felt 40 mm.	31.28	197,470.60	6,000.00	187,680.00	30,000.00	938,400.00	385,150.60	2,134,560.00	5.54	8
11	Gypsum plaster board 9 mm.	18.28	115,430.83	6,000.00	109,680.00	30,000.00	548,400.00	225,110.83	1,511,980.00	6.72	11
12	Gypsum plaster board 9 mm.& foil	29.67	187,325.47	6,000.00	178,020.00	30,000.00	890,100.00	365,345.47	1,600,920.00	4.38	6
13	Polystyrene (PS) 25 mm.	27.78	175,422.91	6,000.00	166,680.00	30,000.00	833,400.00	342,102.91	2,490,320.00	7.28	12
14	Polystyrene (PS) 40 mm.	31.07	196,192.47	6,000.00	186,420.00	30,000.00	932,100.00	382,612.47	3,112,900.00	8.14	13
15	Wet-formed mineral fiber 15 mm.	17.36	109,599.38	6,000.00	104,160.00	30,000.00	520,800.00	213,759.38	2,668,200.00	12.48	16
16	Wet-formed mineral fiber 15 mm.& foil	29.40	185,647.93	6,000.00	176,400.00	30,000.00	882,000.00	362,047.93	3,023,960.00	8.35	14

สรุปผลการออกแบบปรับปรุงและข้อเสนอแนะ

อาคารที่ทำการศึกษาคืออาคารหลังคาพาดช่วงกว้าง โดยมีอัตราส่วนพื้นที่ที่กรอบอาคารของหลังคามากกว่าผนัง ซึ่งส่งผลต่อปริมาณการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในจะผ่านพื้นที่ของหลังคามากกว่า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มค่าความต้านทานความร้อนของฉนวนหลังคา แต่เนื่องจากกรณีศึกษาเป็นการปรับปรุงอาคารเดิม จึงต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆร่วมด้วย คือ ความคุ้มค่าในการลงทุน กรรมวิธีการก่อสร้างสะดวกและรวดเร็วไม่รบกวนกิจกรรมของผู้ใช้อาคาร และความสะดวกคล่องกลมกลืนกับแนวความคิดในการออกแบบทางสถาปัตยกรรม

ดังนั้น ความเหมาะสมในการปรับปรุงฉนวนหลังคาอาคารที่ทำการศึกษาซึ่งมีวัสดุผนังโลหะแผ่นรีดลอน(Metal steel sheets)หนา 1mm. โดยมีฉนวนCellulose Fiber หนา.25 mm. ติดตั้งอยู่แล้ว ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีเพิ่มฉนวน Cellulose Fiber หนา 25 mm. ทับฉนวนเดิม รวมความหนาเป็น 50 mm.(จากเอกสารผู้ผลิตสามารถพ่นได้ความหนารวม 75 mm.(ดูภาคผนวก.ค)ซึ่งมีค่า RTTV.เท่ากับ 21.06 w/m^2 ในงบประมาณ 1,533,000 บาท ระยะเวลาการคืนทุน 6.53 ปี มีความสะดวกในการทำงานและยึดติดกับวัสดุฉนวนเดิมได้ดีเพราะเป็นชนิดเดียวกัน ป้องกันเสียงสะท้อนและดูดซับเสียงได้ดี เหมาะสำหรับกิจกรรมด้านกีฬาที่มีเสียงดังและมีผู้ชมจำนวนมาก อายุการใช้งานของฉนวนมีความเหมาะสม

โดยการพิจารณาค่าRTTV.ของอาคารซึ่งมีพื้นที่ $4,380 \text{ m}^2$ มีค่าเท่ากับ 36.355 W/m^2 ซึ่งค่าสูงกว่าค่า 25 W/m^2 ตามกฎหมายและข้อกำหนดการอนุรักษ์พลังงาน (หัวข้อที่ 2.3) การศึกษาโดยการติดตั้งฉนวนเพิ่มเติม16 แบบ ค่าต่ำสุดคือ Fiber Glass 40 mm. & Reflective foil = 7.32 w/m^2 และ ค่าสูงสุด คือ Wet-foamed mineral Fiber 15 mm. = 22.63 w/m^2 โดยวัสดุที่เลือกใช้ในการปรับปรุง คือ Cellulose Fiber 25 mm. ซึ่งมีค่า RTTV.มาลำดับที่ 14 เท่ากับ 21.06 w/m^2 (จากตารางที่ 4.37)

การพิจารณาด้านการลงทุนและระยะเวลาในการคืนทุน ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งฉนวนเพิ่มจากจำนวน 16 แบบ ใช้งบประมาณต่ำสุด คือ Reflective foil เป็นเงิน 1,051,200 บาท และมากที่สุดคือ Wet-foamed mineral fiber 15 mm. & Reflective foil เป็นเงิน 2,978,400 บาท โดยงบประมาณของ Cellulose Fiber 25 mm. เป็นเงิน 1,533,000 บาท เป็นลำดับที่ 7 (จากตารางที่ 4.39) ซึ่งมากกว่างบต่ำสุด 45% และคิดเป็น 51% ของงบสูงสุด ส่วนระยะเวลาการคืนทุนโดยใช้เกณฑ์ด้านลดเงินค่ากระแสไฟฟ้า ลดขนาดของระบบปรับอากาศ และลดค่าบำรุงรักษาระบบปรับอากาศประจำปี ฉนวนแบบ Fiber glass 25 mm. & foil มีระยะเวลาคืนทุนต่ำสุด 2.63 ปี และ Wet-foamed mineral

fiber 15 mm. มีระยะเวลาคืนทุน 12.48 ปี โดยระยะเวลาการคืนทุนของ Cellulose Fiber 25 mm. เท่ากับ 6.53 ปี เป็นลำดับที่ 10 (จากตารางที่ 4.45)

การพิจารณาด้านกรรมวิธีการก่อสร้าง การติดตั้งฉนวนเพิ่มในขณะที่ยังอาคารเปิดใช้งานแล้วจะต้องพิจารณาวิธีการก่อสร้างไม่ให้กระทบต่อส่วนอื่นๆของอาคาร ฉนวนที่เลือกใช้ ก็คือชนิดพ่น ฉนวนได้วัสดุฉนวน Cellulose Fiber พ่นทับได้ฉนวนเดิม การติดตั้งสามารถพาดนั่งร้านและติดตั้งแผ่นผ้าใบกันฝุ่นและเศษวัสดุกับโครงสร้างหลังคาได้โดยไม่รบกวนกิจกรรมด้านล่างหรือใช้รถยก ใช้เวลาในการทำงานประมาณ 5 วัน ซึ่งฉนวนพ่นได้วัสดุฉนวนอีกประเภท Polyurethane (PU) ก็ติดตั้งด้วยวิธีเดียวกันแต่มีข้อบกพร่องด้านควันไฟเป็นพิษเมื่อเกิดเพลิงไหม้ การพ่นฉนวนเคลือบด้านนอกของวัสดุฉนวน เช่น Ceramic Polymer ก็สามารถทำได้โดยไม่รบกวนกิจกรรมภายในใช้เวลาในการทำงานประมาณ 3 วัน แต่การรักษาความสะอาดของผิวซึ่งอยู่ด้านนอกอาคารกระทำได้ยาก และส่งผลให้คุณสมบัติการสะท้อนรังสีลดลง การติดตั้งฉนวนแผ่นบางได้วัสดุฉนวนประเภทแผ่นสะท้อนรังสีความร้อน เช่น Reflective Foil หรือแผ่นปูชนิดม้วน เช่น Fiber Glass, Mineral Wool ซึ่งต้องทำโครงตาข่ายเหล็กขึ้นมารองรับแผ่นฉนวน การเชื่อมต่อกับโครงสร้างเหล็กอาจเกิดประกายไฟร่วงหล่นลงมาทำอันตรายแก่พื้นอาคาร การติดตั้งฉนวนแผ่นแข็งบนโครงคร่าวโลหะได้วัสดุฉนวน เช่น Gypsum plaster board, Polystyrene (PS) หรือ Wet-form mineral fiber จะต้องยึดโครงคร่าวโลหะ (T-Bar) กับท้องโครงสร้างหลังคา จำเป็นต้องตั้งนั่งร้านจากด้านล่างและมีอุปสรรคในการทำงานบริเวณอัครจรยผู้ชมซึ่งเป็นระนาบเอียง ใช้เวลาในการทำงานประมาณ 14 วัน ส่วนฉนวนประเภทรีดติดกับแผ่นวัสดุฉนวน เช่น Polyethylene (PE) ไม่สามารถติดตั้งได้ เพราะต้องรีดติดกับแผ่นโลหะขณะผลิตที่โรงงาน (จากตารางที่ 3.1, 3.2 และ 3.3)

อายุในการใช้งานของวัสดุ โดยทั่วไปมีระยะเวลา 10-15 ปี ตามสภาพการใช้งานและการบำรุงรักษา (จากตารางที่ 3.2) โดยฉนวนที่เลือกใช้ Cellulose Fiber อาจเกิดการหลุดร่อนเมื่อวัสดุฉนวนเกิดการอวบตัวของวัสดุฉนวนแต่สามารถซ่อมแซมเป็นจุดๆได้โดยสะดวก แต่ปัญหาดังกล่าวมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมากเพราะวัสดุฉนวนเป็นชั้นเดียวกันตลอดตามแนวลาดของหลังคาไม่มีรอยต่อ และน้ำหนักของฉนวนในการติดตั้งไม่ได้เพิ่มภาระในการรับน้ำหนักแก่โครงสร้าง (จากตารางที่ 3.3)

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาและส่งเสริมการพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, จำนวน 3,000 เล่ม พิมพ์ครั้งที่ 2 โรงพิมพ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2536.

โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล, การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็น, วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ 2539

ชนิด จินดาวงศ์, ผศ. เอกสารประกอบการสอน วิชา 2501494 พลังงานกับการออกแบบสถาปัตยกรรม, โรงพิมพ์จุฬาฯ 2539

นาวาอากาศตรี, คู่มือฉนวนความร้อน, หจก.อักษรการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2540.

บริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด, เอกสารประกอบการขาย ฉนวนใยแก้ว SFG, สระบุรี, 2542.

บริษัท สยามอุตสาหกรรมอิพซ์ จำกัด, เอกสารประกอบการขาย ฉนวนแผ่นอิพซ์ ฉนวนแผ่นอะคูสติค Armstrong และโครงคร่าวโลหะฝ้าเพดาน T-Bar, กรุงเทพฯ, 2542.

บริษัท วินซูลเตอร์ จำกัด, เอกสารประกอบการขาย แผ่นสะท้อนรังสีความร้อน Vinsul-Foil และฉนวน Polyurethane Foam (P.U), กรุงเทพฯ, 2543

บริษัท เนเซอร์ อินซูเลชั่น (ประเทศไทย) จำกัด, เอกสารประกอบการขาย ฉนวนเซลลูโลส Cool or Cosy, กรุงเทพฯ, 2543

บริษัท เนเจอร์ สปริงส์ จำกัด, เอกสารประกอบการขาย แผ่นสะท้อนรังสีความร้อน Dynaspec, กรุงเทพฯ, 2543

บริษัท ลีอกลีย์ จำกัด, เอกสารประกอบการขาย ฉนวนใยหิน CRS, กรุงเทพฯ, 2542

บริษัท ไทยซินคอน แอนด์ ซัพพลาย จำกัด, เอกสารประกอบการขาย หลังคาและผนังเหล็กเคลือบ TSS, กรุงเทพฯ, 2543

ประทีป มาลากุล, มล.มานพ พงศทัต, สมสิทธิ์ นิตยะ, กิติ สินธุเสก, มรว.ชาญวุฒิ วรวรรณ และ อวยชัย วุฒิโฆสิต, การประหยัดพลังงานในการออกแบบสถาปัตยกรรม, ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ตุลาคม 2527.

สุภาวดี รัตนมาศ.รศ., หลังคาในงานสถาปัตยกรรม, บริษัท แพลน พรินท์ติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ, 2543

สุนทร บุญญาธิการ.รศ.ดร., ผนังฉนวนกันความร้อน, อาษา วารสารสถาปัตยกรรม, ฉบับเดือน กรกฎาคม, 2539.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

American Institute of Architecture, Architectural Graphic standards, John Wiley & sons.,Inc., 9th Edition , New York, 1994.

American Society of Heating, Refrigerating and Air – Conditioning Engineering Inc., 1993. ASHRAE Handbook / Fundament , Si Edition , Atlanta, 1993.

Benjamin Stein, John S. Reynolds , Mechanical and Electrical Equipment for Buidings, 8th Edition, USA, 1992.

B.Givoni, Man Climate and Architecture, Elsevier Publishing Co., Ltd., Amsterdam-London New York, 1969.

Geraint John and Rod Sheard, STADIA a design and Development Guide, The Bath Press, Bath, 8th Edition, London, 1997

Material Supply International Co.,ltd., Product Description Elastomeric Ceramic Insulation “ECI”, Bangkok , 1999

N.Esquillan and Y.Saillar, Paris, Hanging Roofs, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1963

Norbert Lechner , Heating Cooling Lighting. Design Methods for Architects , A Wiley Interscience , Publication, U.S.A. , 1991.

Otto Koenigsberger & Robert Lynn , Roofs in the warm humid tropics , Architectural Association, Published by Lund Humphries , London , 1965.

Robert W.Roose,P.E., Handbook of Conservation for Mechanical systems in Buildings, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1978

Thai Gypsum Products Public Co., Ltd., Energy Efficient Design of Buildings in Thailand , 1st Printing , Bangkok , May 1995.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ผ/ก 1 แสดงรายการวัสดุและสีทาผนังตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ ทำผนังด้านนอก	วัสดุผนัง	สีที่ใช้ทาภายใน
1. วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง ($\alpha < 0.2$)	- ผิววัสดุที่ฉาบด้วยฉนวน - แผ่นอลูมิเนียม - แผ่นฟิล์มไมคาร์เคลือบอลูมิเนียม - แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียมขัดมัน	- สีสะท้อนสีขาว
2. วัสดุที่มีผิวอ่อน ($0.2 < \alpha < 0.4$)	- อิฐเคลือบเป็นมันสีขาว - เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	- แล็กเกอร์สีขาว - สีเงิน - สีขาวเป็นเงา
3. วัสดุที่มีผิวสีปานกลาง ($0.4 < \alpha < 0.6$)	- วัสดุที่ทำสีอลูมิเนียม - หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว - อิฐสีเหลืองอ่อน - หินอ่อนสีขาว - กรวดกลางสีขาว	- สีเขียวอ่อน - สีน้ำเงินปานกลาง - สีเหลืองปานกลาง - สีส้มปานกลาง - สีเขียวปานกลาง
4. วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม ($0.6 < \alpha < 0.8$)	- คอนกรีคไม่ทาสี - ไม้ผิวเรียบ - แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส - หินล้างสีเทา	- สีแดง - สีน้ำเงิน - สีเทาอ่อน - สีสนิมแก่ปานกลาง
5. วัสดุที่มีผิวสีเข้ม ($0.8 < \alpha < 1.0$)	- วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะคดย - คอนกรีคสีน้ำตาล - วัสดุผนังหลังคาสีเขียว - หินชนวนสีเทาเกมสีน้ำเงิน - อิฐสีแดง - อิฐแสดฟอริดสีน้ำเงิน - คอนกรีคสีดำ	- สีน้ำเงินแก่หรือสีเขียวแก่ - สีเทาเกมน้ำเงินเข้ม - สีน้ำตาลแก่ - สีโอลีฟเข้ม - สีดำ - แล็กเกอร์สีน้ำเงินแก่ - สีเทาแก่ - แล็กเกอร์สีดำ - สีดำธรรมดา - สีดำเรียบมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ/ก 2 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) สำหรับผนังที่มีความหนาแน่นเชิงมวล และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ต่างๆกัน

มวลของผนัง กก ม ²	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)				
	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 125	9	10	11	12	13

ตารางที่ ผ/ก 3 แสดงค่าตัวประกอบแก้ไขของผนัง

ทิศ มุมเอียง	เหนือ	ตะวันออก		ใต้		ตะวันตก		ตะวันตก เฉียงเหนือ
		เฉียงเหนือ	ออก	เฉียงใต้	ใต้	เฉียงใต้	ตก	
70	1.06	1.24	1.52	1.63	1.63	1.60	1.48	1.22
75	0.96	1.14	1.42	1.52	1.50	1.48	1.38	1.12
80	0.87	1.05	1.32	1.40	1.37	1.37	1.28	1.02
85	0.78	0.96	1.22	1.29	1.24	1.25	1.17	0.93
90	0.70	0.87	1.12	1.17	1.11	1.13	1.03	0.84

ตารางที่ ผ/ก 4 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา

มวลของผนัง กก ม ²	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)			
	0.1 (0-0.2)	0.3 (0.2-0.4)	0.5 (0.4-0.6)	0.6 และมากกว่า (0.6-1.0)
0-50	20	24	28	32
50-200	16	20	24	28
เกินกว่า 200	12	16	20	24

ตารางที่ ผ/ก 5 แสดงค่าตัวประกอบแก้ไขสำหรับหลังคา

ทิศ มุมเอียง	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.98	0.99	0.99	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99
10	0.96	0.97	0.99	1.01	1.02	1.01	0.99	0.97
15	0.93	0.95	0.98	1.01	1.02	1.00	0.98	0.95
20	0.90	0.93	0.97	1.00	1.02	1.00	0.96	0.92
25	0.87	0.90	0.95	0.99	1.01	0.98	0.94	0.89
30	0.83	0.86	0.93	0.98	0.99	0.97	0.92	0.86
35	0.78	0.83	0.90	0.96	0.97	0.95	0.89	0.82
40	0.74	0.79	0.87	0.93	0.95	0.92	0.86	0.78
45	0.69	0.75	0.84	0.90	0.92	0.89	0.83	0.74
50	0.64	0.71	0.81	0.87	0.88	0.86	0.79	0.70
55	0.59	0.66	0.77	0.83	0.84	0.82	0.76	0.60
60	0.54	0.62	0.73	0.79	0.80	0.78	0.72	0.61
65	0.50	0.58	0.69	0.75	0.75	0.73	0.68	0.57

ตารางที่ ผ/ก 6 แสดงค่าสูงสุดที่ยอมให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ

มวลของผนัง กก ม ²	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (วัตต์ ม ² ช ⁻¹) ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)				
	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	3.2	3.0	2.9	2.7	2.5
126 - 195	4.0	3.7	3.5	3.3	3.0
เกินกว่า 195	5.0	4.6	4.2	3.8	3.5

ตารางที่ ผ/ก 7 แสดงค่าสูงสุดที่ยอมให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา

มวลของผนัง กก ม ²	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (วัตต์ ม ² ช ⁻¹) ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (α)			
	0.1 (0-0.2)	0.3 (0.2-0.4)	0.5 (0.4-0.6)	0.6 และมากกว่า (0.6-0.8)
0 - 125	1.2	1.1	1.0	0.8
126 - 195	1.6	1.4	1.2	0.9
เกินกว่า 195	2.0	1.5	1.2	1.0

ตารางที่ ผ/ก 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น กก ม ⁻³	ค่า k วัตต์ ม ⁻¹ ซี ⁻¹
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	1860	0.198
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	720	0.108
3	วัสดุฉนวนหลังคาที่ทำด้วยแอสฟัลท์	2240	1.226
4	บิตูเมน (bitumen)		1.298
5	อิฐ		
	(a) แห้ง และฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสก	1760	0.807
	(b) ความชื้น 6%	1872	1.211
	(c) ผนึ่ง (ไม่ฉาบปูน)		1.154
6	คอนกรีต	2400	1.442
7	คอนกรีตชนิดเบา ขนาดความหนาแน่นต่างๆ	960	0.303
		1120	0.346
		1280	0.476
8	แผ่นไม้ก๊อก	144	0.042
9	แผ่นไฟเบอร์ (fiber board)	264	0.052
10	ไฟเบอร์กลาส (ดูใยแก้ว)		
	(a) แบบม้วน (Blanket)	10-24	0.038
	(b) แบบแผ่น (Rigid board)	32-48	0.033
	(c) แบบท่อสำเร็จ (Rigid pipe sections)	56-80	0.038
11	แผ่นกระจก	2512	1.053
12	ใยแก้ว สานเป็นแผ่น หรือสอดใส่อยู่ระหว่างวัสดุอื่น 2 แผ่น (แห้ง)	32	0.035
13	แผ่นอิปซัม	880	0.191
14	แผ่นไม้อัดฮาร์ดบอร์ด		
	(a) มาตรฐาน	1024	0.216
	(b) ปานกลาง	640	0.123
15	โลหะ		
	(a) โลหะผสมของอลูมิเนียมแบบธรรมดา	2672	211.000
	(b) ทองแดง ที่มีขายเชิงพาณิชย์	8784	385.000
	(c) เหล็กกล้า	7840	47.600
16	โพลีสไตรีน เบ่งขยายตัว	16	0.035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ/ก 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ (ต่อ)

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น	ค่า k
		กก ม ⁻³	วัตต์ ม ⁻¹ ซี ⁻¹
17	โพลียูรีเทน โฟม	24	0.024
18	วัสดุทำพื้น PVC	1360	0.173
19	ใยแร่ อัดแน่นเป็นแผ่น	32-104	0.035-0.032
20	วัสดุใช้ฉาบหรือปิดผิว		
	(a) ยิปซั่ม	880	0.191
	(b) ปูนฉาบน้ำหนักเบา	300	0.063
	น้ำหนักขนาดกลาง	1104	0.274
	(c) เพอร์ไลต์	616	0.115
	(d) ปูนผสมทราย	1568	0.533
	(e) เวอร์มิคูไลท์	640-960	0.202-0.303
21	ดินอัดหกลวม (ร่วนซุย) ความชื้น 14%	1200	0.375
22	หิน		
	หินทราย	2000	1.298
	แกรนิต	2640	2.927
	หินอ่อน	2640	1.298
23	กระเบื้องหลังคา	1890	0.836
24	ไม้		
	ไม้เนื้ออ่อน	608	0.125
	ไม้เนื้อแข็ง	720	0.138
	ไม้อัด	528	0.138
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดทรายอัดหกลวม	80-112	0.065
26	ไม้อัดซีพบอร์ด	800	0.144
27	ไม้พื้นแผ่นเรียบ	400	0.860
28	หินล้าง	2245	0.115
29	กรวดล้าง	2244	0.115

ตารางที่ ผ/ก 10 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา

ชนิดของผิววัสดุ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (ม. ² ซ วัตต์ ⁻¹)	
	5 มม.	20 มม.
ก. กรณีของผนังอาคาร		
ก.1 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน (R _i)		
ก.1.1 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง		0.120
ก.1.2 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ		0.299
ก.2 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก (R _o) (ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง)		0.044
ข. กรณีของหลังคา		
ข.1 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านในของหลังคา (R _i)		
ข.1.1 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง		
ข.1.1.1 หลังคาราบ		0.162
ข.1.1.2 หลังคาเอียงทำมุม 22.5 กับแนวระดับ		0.148
ข.1.1.3 หลังคาเอียงทำมุม 45 กับแนวระดับ		0.133
ข.1.2 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ		
ข.1.2.1 หลังคาราบ		0.801
ข.1.2.2 หลังคาเอียงทำมุม 22.5 กับแนวระดับ		0.595
ข.1.2.3 หลังคาเอียงทำมุม 45 กับแนวระดับ		0.391
ข.2 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอกของหลังคา (R _o) (ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงและเอียง ทำมุมใดๆ)		0.055

ตารางที่ ผ/ก 11 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศในช่องว่างผนังหรือหลังคา

ชนิดของผิววัสดุ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (ม. ² ซ วัตต์ ⁻¹)		
	5 มม.	20 มม.	100 มม.
ก. กรณีช่องว่างอากาศในผนัง			
ก.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.110	0.148	0.160
ก.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606
ข. กรณีช่องว่างอากาศในหลังคา			
ข.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง			
ข.1.1 ช่องว่างอากาศแนวราบ	0.110	0.148	0.174
ข.1.2 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 22.5 กับแนวระดับ	0.110	0.148	0.174
ข.1.3 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 45 กับแนวระดับ	0.110	0.148	0.174
ข.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ			
ข.2.1 ช่องว่างอากาศแนวราบ	0.250	0.572	0.423
ข.2.2 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 22.5 กับแนวระดับ	0.250	0.572	0.423
ข.2.3 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 45 กับแนวระดับ	0.250	0.572	0.423
ค. กรณีช่องว่างอากาศในเพดาน			
ค.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง		0.458	
ค.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ		1.356	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ผ/ข 1 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผิววัสดุ(h) และค่าความต้านทานความร้อนของอากาศที่ผิววัสดุ(R)

TABLE 4.3 Surface Conductances, h (Btu/h-ft²-F), and Resistances, R , for Air*

Position of Surface	Direction of Heat Flow	Surface Emittance					
		Non-reflective		Reflective			
		$\epsilon = 0.90$		$\epsilon = 0.20$		$\epsilon = 0.05$	
		h_i	R	h_i	R	h_i	R
Still air							
Horizontal.....	Upward	1.63	0.61	0.91	1.10	0.76	1.32
Sloping (45°)	Upward	1.60	0.62	0.88	1.14	0.73	1.37
Vertical	Horizontal	1.46	0.68	0.74	1.35	0.59	1.70
Sloping (45°)	Downward	1.32	0.76	0.60	1.67	0.45	2.22
Horizontal.....	Downward	1.08	0.92	0.37	2.70	0.22	4.55
		h_o	R	h_o	R	h_o	R
Moving air							
(any position)							
15-mph wind	Any	6.00	0.17				
(for winter)							
7.5-mph wind	Any	4.00	0.25				
(for summer)							

NOTE: A surface cannot take credit for both an air space resistance value and a surface resistance value. No credit for an air space value can be taken for any surface facing an air space of less than 0.5 in.

Source: Copyright © by the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA. Reprinted by permission, from 1989 *Handbook of Fundamentals*.

*Conductances are for surfaces of the stated emittance facing virtual blackbody surroundings at the same temperature as ambient air. Values are based on a surface-air temperature difference of 10 F° and for surface temperature of 70 F.

ที่มา Mechanical and Electrical for Building, 8th Edition, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ/ข 2 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของช่องอากาศ

TABLE 4.4 Thermal Resistances of Plane^a Air Spaces

SECTION A
All resistance values expressed in ft² · F · h/Btu

Values apply only to air spaces of uniform thickness bounded by plane, smooth, parallel surfaces with no leakage of air to or from the space. These conditions are not normally present in standard building construction. When accurate values are required, use overall U-factors determined for your particular construction through calibrated hot box (ASTM C976) or guarded hot box (ASTM-C-236) testing. Thermal resistance values for multiple air spaces must be based on careful estimates of mean temperature differences for each air space.

Position of Air Space	Direction of Heat Flow	Air Space		0.5-in. Air Space ^d					0.75-in. Air Space ^d				
		Mean Temp. ^b (F)	Temp Diff. ^b (deg F)	Value of E ^{b,c}					Value of E ^{b,c}				
				0.03	0.05	0.2	0.5	0.82	0.03	0.05	0.2	0.5	0.82
Horiz.	Up ↑	90	10	2.13	2.03	1.51	0.99	0.73	2.34	2.22	1.61	1.04	0.75
		50	30	1.62	1.57	1.29	0.96	0.75	1.71	1.66	1.35	0.99	0.77
		50	10	2.13	2.05	1.60	1.11	0.84	2.30	2.21	1.70	1.16	0.87
		0	20	1.73	1.70	1.45	1.12	0.91	1.83	1.79	1.52	1.16	0.93
		0	10	2.10	2.04	1.70	1.27	1.00	2.23	2.16	1.78	1.31	1.02
		-50	20	1.69	1.66	1.49	1.23	1.04	1.77	1.74	1.55	1.27	1.07
		-50	10	2.04	2.00	1.75	1.40	1.16	2.16	2.11	1.84	1.46	1.20
45° Slope	Up ↗	90	10	2.44	2.31	1.65	1.06	0.76	2.96	2.78	1.88	1.15	0.81
		50	30	2.06	1.98	1.56	1.10	0.83	1.99	1.92	1.52	1.08	0.82
		50	10	2.55	2.44	1.83	1.22	0.90	2.90	2.75	2.00	1.29	0.94
		0	20	2.20	2.14	1.76	1.30	1.02	2.13	2.07	1.72	1.28	1.00
		0	10	2.63	2.54	2.03	1.44	1.10	2.72	2.62	2.08	1.47	1.12
		-50	20	2.08	2.04	1.78	1.42	1.17	2.05	2.01	1.76	1.41	1.16
		-50	10	2.62	2.56	2.17	1.66	1.33	2.53	2.47	2.10	1.62	1.30
Vertical	Horiz. →	90	10	2.47	2.34	1.67	1.06	0.77	3.50	3.24	2.08	1.22	0.84
		50	30	2.37	2.46	1.84	1.23	0.90	2.91	2.77	2.01	1.30	0.94
		50	10	2.66	2.54	1.88	1.24	0.91	3.70	3.46	2.35	1.43	1.01
		0	20	2.82	2.72	2.14	1.50	1.13	3.14	3.02	2.32	1.58	1.18
		0	10	2.93	2.82	2.20	1.53	1.15	3.77	3.59	2.64	1.73	1.26
		-50	20	2.90	2.82	2.35	1.76	1.39	2.90	2.83	2.36	1.77	1.39
		-50	10	3.20	3.10	2.54	1.87	1.46	3.72	3.60	2.87	2.04	1.56
45° Slope	Down ↘	90	10	2.48	2.34	1.67	1.06	0.77	3.53	3.27	2.10	1.22	0.84
		50	30	2.64	2.52	1.87	1.24	0.91	3.43	3.23	2.24	1.39	0.99
		50	10	2.67	2.55	1.89	1.25	0.92	3.81	3.57	2.40	1.45	1.02
		0	20	2.91	2.80	2.19	1.52	1.15	3.75	3.57	2.63	1.72	1.26
		0	10	2.94	2.83	2.21	1.57	1.15	4.12	3.91	2.81	1.80	1.30
		-50	20	3.16	3.07	2.52	1.86	1.45	3.78	3.65	2.90	2.05	1.57
		-50	10	3.26	3.16	2.58	1.89	1.47	4.35	4.18	3.22	2.21	1.66
Horiz.	Down ↓	90	10	2.48	2.34	1.67	1.06	0.77	3.55	3.29	2.10	1.22	0.85
		50	30	2.66	2.54	1.88	1.24	0.91	3.77	3.52	2.38	1.44	1.02
		50	10	2.67	2.55	1.89	1.25	0.92	3.84	3.59	2.41	1.45	1.02
		0	20	2.94	2.83	2.20	1.53	1.15	4.18	3.96	2.83	1.81	1.30
		0	10	2.96	2.85	2.22	1.53	1.16	4.25	4.02	2.87	1.82	1.31
		-50	20	3.25	3.15	2.58	1.89	1.47	4.60	4.41	3.16	2.28	1.69
		-50	10	3.28	3.18	2.60	1.90	1.47	4.71	4.51	3.42	2.30	1.71
Horiz.	Up ↑	90	10	2.55	2.41	1.71	1.08	0.77	2.84	2.66	1.83	1.13	0.80
		50	30	1.87	1.81	1.45	1.04	0.80	2.09	2.01	1.58	1.10	0.84
		50	10	2.50	2.40	1.81	1.21	0.89	2.80	2.66	1.95	1.28	0.93
		0	20	2.01	1.95	1.63	1.23	0.97	2.25	2.18	1.79	1.32	1.03
		0	10	2.43	2.35	1.90	1.38	1.06	2.71	2.62	2.07	1.47	1.12
		-50	20	1.94	1.91	1.68	1.36	1.13	2.19	2.14	1.86	1.47	1.20
		-50	10	2.37	2.31	1.99	1.55	1.26	2.65	2.58	2.18	1.67	1.33
45° Slope	Up ↗	90	10	2.92	2.73	1.86	1.14	0.80	3.18	2.96	1.97	1.18	0.82
		50	30	2.14	2.06	1.61	1.12	0.84	2.26	2.17	1.67	1.15	0.86
		50	10	2.88	2.74	1.99	1.29	0.94	3.12	2.95	2.10	1.34	0.96
		0	20	2.30	2.23	1.82	1.34	1.04	2.42	2.35	1.90	1.38	1.06
		0	10	2.79	2.69	2.12	1.49	1.13	2.98	2.87	2.23	1.54	1.16
		-50	20	2.22	2.17	1.88	1.49	1.21	2.34	2.29	1.97	1.54	1.25
		-50	10	2.71	2.64	2.23	1.69	1.35	2.87	2.79	2.33	1.75	1.39
Vertical	Horiz. →	90	10	3.99	3.66	2.25	1.27	0.87	3.69	3.40	2.15	1.24	0.85
		50	30	2.58	2.46	1.84	1.23	0.90	2.67	2.55	1.89	1.25	0.91
		50	10	3.79	3.55	2.39	1.45	1.02	3.63	3.40	2.32	1.42	1.01
		0	20	2.76	2.66	2.10	1.48	1.12	2.88	2.78	2.17	1.51	1.14
		0	10	3.51	3.35	2.31	1.67	1.23	3.49	3.33	2.50	1.67	1.23
		-50	20	2.64	2.58	2.18	1.66	1.33	2.82	2.75	2.30	1.73	1.37
		-50	10	3.31	3.21	2.62	1.91	1.48	3.40	3.30	2.67	1.94	1.50
45° Slope	Down ↘	90	10	5.07	4.55	2.56	1.36	0.91	4.81	4.33	2.49	1.34	0.90
		50	30	3.58	3.36	2.31	1.42	1.00	3.51	3.30	2.28	1.40	1.00
		50	10	5.10	4.66	2.85	1.60	1.09	4.74	4.36	2.73	1.57	1.08
		0	20	3.85	3.66	2.68	1.74	1.27	3.81	3.63	2.66	1.74	1.27
		0	10	4.92	4.62	3.16	1.94	1.37	4.59	4.32	3.02	1.88	1.34
		-50	20	3.62	3.50	2.80	2.01	1.54	3.77	3.64	2.90	2.05	1.57
		-50	10	4.67	4.47	3.40	2.29	1.70	4.50	4.32	3.31	2.25	1.68
Horiz.	Down ↓	90	10	6.09	5.35	2.79	1.43	0.94	10.07	8.19	3.41	1.57	1.00
		50	30	6.27	5.63	3.18	1.70	1.14	9.60	8.17	3.86	1.88	1.22
		50	10	6.61	5.90	3.27	1.73	1.15	11.15	9.27	4.09	1.93	1.24
		0	20	7.03	6.43	3.91	2.19	1.49	10.90	9.52	4.87	2.47	1.62
		0	10	7.31	6.66	4.00	2.22	1.51	11.97	10.32	5.08	2.52	1.64
		-50	20	7.73	7.20	4.77	2.85	1.99	11.64	10.49	6.02	3.25	2.18
		-50	10	8.09	7.52	4.91	2.89	2.01	12.98	11.56	6.36	3.34	2.22

(continued)

ตารางที่ ผ/ข 3 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของช่องอากาศ(ต่อเนื่อง)

TABLE 4.4 Thermal Resistance of Plane^a Air Spaces (Continued)

Section B. Reflectivity and Emittance Values of Various Surfaces and Effective Emittances of Airspaces^f

Surface	Average Emittance ϵ	Effective Emittance E of Airspace	
		One Surface Emittance ϵ_1 ; the Other 0.90	Both Surfaces Emittances ϵ
Aluminum foil, bright	0.05	0.05	0.03
Aluminum foil, with condensate just visible (>0.7 gr/ft ²)	0.30 ^g	0.29	—
Aluminum foil, with condensate clearly visible (>2.9 gr/ft ²)	0.70 ^g	0.65	—
Aluminum sheet	0.12	0.12	0.06
Aluminum coated paper, polished	0.20	0.20	0.11
Steel, galvanized, bright	0.25	0.24	0.15
Aluminum paint	0.50	0.47	0.35
Building materials: wood, paper, masonry, nonmetallic paints	0.90	0.82	0.82
Regular glass	0.84	0.77	0.72

Source: Copyright © by the American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, Ga. Reprinted by permission from 1989 *Handbook of Fundamentals*.

^a Thermal resistance values were determined from the relation $R = 1/C$, where $C = h_c + Eh_r$, h_c is the conduction-convection coefficient, Eh_r is the radiation coefficient $\approx 0.00686E [(t_m + 460)/100]^4$, and t_m is the mean temperature of the airspace. Values for h_c were determined from research data (National Bureau of Standards), such as those presented in 1954 in Housing Research Paper 32 (HRP No. 32) by the Housing and Home Finance Agency (Government Printing Office, Washington, D.C.). For interpolation from Table 4.4 to airspace thicknesses less than 0.5 in. (as in insulating window glass), assume that

$$h_c = 0.159(1 + 0.00161_m)/l$$

where l is the thickness in inches, and h_c is assumed to represent heat transfer by conduction alone through air.

^b Interpolation is permissible for other values of mean temperature, temperature differences, and effective emittance E . Interpolation and moderate extrapolation for airspaces greater than 3.5 in. are also permissible.

^c Effective emittance of the space E is given by $1/E = 1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1$, where ϵ_1 and ϵ_2 are the emittances of the surfaces of the airspace.

^d Credit for an airspace resistance value cannot be taken more than once and only for the boundary conditions established.

^e Resistances of horizontal spaces with heat flow downward are substantially independent of temperature difference.

^f These values apply in the 4- to 40- μ m range of the electromagnetic spectrum.

^g From M. R. Bassett, and H. A. Trethewen, 1984, "Effect of Condensation on Emittance of Reflective Insulation," *Journal of Thermal Insulation*, Vol. 8, October, p. 127.

ที่มา Mechanical and Electrical for Building ,8th Edition, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ/ข 4 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัดกันความร้อน

TABLE 4.2 Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials (design values)^a

NOTE: The customary units for resistance (R), either per inch (1/k) or for thickness stated (1/C), are given in Table 4.1. The SI units for resistance (last two columns) were calculated by taking the values from the two resistance columns under Customary Unit, multiplying by the factor 1/k(r/in.) and 1/C(R) for the appropriate conversion factor. Author's note: Actual (on-site) resistance values frequently are lower than the test-cell-determined "design" values listed in this table.

Description	Density (lb/ft ³)	Conductivity		Resistance, R ^b		SI Unit	
		$\frac{k}{(h \cdot ft^2 \cdot F)}$	$\frac{C}{(h \cdot ft^2 \cdot F)}$	Per Inch Thickness Listed, 1/k	For Thickness Listed, 1/C	$\frac{Resistance, R^b}{(m \cdot K)}$	$\frac{Resistance, R^b}{W}$
BUILDING BOARD							
Boards, Panels, Subflooring, Sheathing							
Woodboard Panel Products							
Asbestos-cement board	120	4.0	—	0.25	—	0.24	1.73
Asbestos-cement board	120	—	33.00	—	0.03	—	0.005
Asbestos-cement board	120	—	16.50	—	0.06	—	0.01
Gypsum or plaster board	50	—	3.10	—	0.32	—	0.06
Gypsum or plaster board	50	—	2.22	—	0.45	—	0.08
Gypsum or plaster board	50	—	1.78	—	0.56	—	0.10
Plywood (Douglas fir)	34	0.80	—	1.25	—	0.29	8.66
Plywood (Douglas fir)	34	—	3.20	—	0.31	—	0.05
Plywood (Douglas fir)	34	—	2.13	—	0.47	—	0.08
Plywood (Douglas fir)	34	—	1.60	—	0.62	—	0.11
Plywood (Douglas fir)	34	—	1.29	—	0.77	—	0.19
Plywood or wood panels	34	—	1.07	—	0.93	—	0.16
Vegetable fiberboard	16	—	0.76	—	1.32	—	0.23
Sheathing, regular density ^c	18	—	0.49	—	2.06	—	0.36
Sheathing intermediate density ^c	22	—	0.82	—	1.22	—	0.21
Nail-base sheathing ^c	25	—	0.88	—	1.14	—	0.20
Shingle becker	18	—	1.06	—	0.94	—	0.17
Shingle becker	18	—	1.28	—	0.78	—	0.14
Sound deadening board	15	—	0.74	—	1.35	—	0.24
Tile and lay-in panels, plain	16	0.40	—	2.50	—	0.14	17.33
or acoustic	18	—	0.80	—	1.25	—	0.22
Laminated paperboard	18	—	0.53	—	1.89	—	0.33
Homogeneous board from	30	0.50	—	2.00	—	0.33	13.66
Hardboard	30	0.50	—	2.00	—	0.28	13.86
Medium density	50	0.73	—	1.37	—	0.31	9.49
High density, service temp.	55	0.82	—	1.22	—	0.32	8.46
service underlay							

ตารางที่ ผ/ข 5 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัดค่าความร้อน

High density, std. tempered Particleboard	63	1.00	—	1.00	—	0.32	6.93
Low density	37	0.54	—	1.85	—	0.31	12.82
Medium density	50	0.94	—	1.06	—	0.31	7.35
High density	82.5	1.18	—	0.85	—	0.31	5.89
Underlayment	40	—	1.22	—	0.82	0.29	0.14
Wood subfloor	0.625 in.	—	1.06	—	0.94	0.33	0.17
0.75 in.	—	—	—	—	—	—	—
BUILDING MEMBRANE							
Vapor—permeable felt	—	—	16.70	—	0.06	—	0.01
Vapor—sasl, 2 layers of mopped	—	—	8.35	—	0.12	—	0.02
15-lb felt	—	—	—	—	Nagl.	—	—
Vapor—seal, plastic film	—	—	—	—	—	—	—
FINISH FLOORING MATERIALS							
Carpet and fibrous pad	—	—	0.48	—	2.08	0.34	0.37
Carpet and rubber pad	—	—	0.81	—	1.23	0.33	0.22
Cork tile	—	—	3.60	—	0.28	0.48	0.05
Terrazzo	0.125 in.	—	12.50	—	0.08	0.19	0.01
Tile—asphalt, linoleum, vinyl, rubber	1 in.	—	20.00	—	0.05	0.30	0.01
Vinyl asbestos	—	—	—	—	0.05	0.24	0.01
Ceramic	—	—	—	—	0.68	0.19	—
Wood, hardwood finish	0.75 in.	—	1.47	—	—	—	0.12
INSULATING MATERIALS							
BLANKET AND BATT^a							
Mineral fiber, fibrous form processed from rock, slag, or glass	—	—	—	—	—	—	—
Approx. 3-4 in.	0.3-2.0	—	0.091	—	11	—	1.94
Approx. 3.5 in.	0.3-2.0	—	0.077	—	13	—	2.29
Approx. 5.5-6.5 in.	0.3-2.0	—	0.053	—	19	—	3.95
Approx. 6-7.5 in.	0.3-2.0	—	0.045	—	22	—	3.87
Approx. 9-10 in.	0.3-2.0	—	0.033	—	30	—	5.28
Approx. 12-13 in.	0.3-2.0	—	0.026	—	38	—	6.69
BOARD AND SLABS							
Cellular glass	8.5	0.35	—	2.86	—	0.18	19.81
Glass fiber, organic bonded	4-9	0.25	—	4.00	—	0.23	27.72
Expanded perlite, organic bonded	1.0	0.36	—	2.78	—	0.30	19.26
Expanded rubber (rigid)	4.5	0.22	—	4.95	—	0.40	31.63
Expanded polystyrene extruded	—	—	—	—	—	—	—
Smooth skin surface (CFC-12 exp.)	1.8-3.5	0.20	—	5.00	—	0.29	34.65
Expanded polystyrene, molded beads	1.0	0.28	—	—	—	—	26.3
1.25	0.25	—	—	—	—	—	27.8
1.5	0.24	—	—	—	—	—	29.1
1.75	0.24	—	—	—	—	—	29.1
2.0	0.23	—	—	—	—	—	29.8

ตารางที่ ผ/ข 6 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความร้อน

TABLE 4.2 Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials (design values)^a (Continued)

Description	Customary Unit			SI Unit		
	Density (lb/ft ³)	Conductivity, k (Btu-in./h-ft ² -F)	Resistance, R ^o	Specific Heat, (Btu/lb.-F)	Resistance, R ^o (m ² -K) W	Resistance, R ^o (m ² -K) W
			Per Inch Thickness Listed, 1/k			
Cellular polyurethane/polyisocyanurate ^c (CFC-11 exp.) (unfaced)	1.5	0.16-0.18	6.25-5.56	—	0.38	43.82-38.98
Cellular polyisocyanurate ^c (CFC-11 exp.) (gas-permeable facers)	1.5-2.5	0.16-0.18	6.25-5.56	—	0.22	43.82-38.98
Cellular polyisocyanurate ^c (CFC-11 exp.) (gas-impermeable facers)	2.0	0.14	7.20	—	0.22	51.75
Cellular phenolic (closed cell) (CFC-11, CFC-113 exp.)	3.0	0.12	8.20	—	—	58.94
Cellular phenolic (open cell)	1.8-2.2	0.23	4.40	—	—	31.62
Mineral fiber with resin binder	15	0.28	3.45	—	0.17	23.91
Core or roof insulation	16-17	0.34	2.94	—	—	20.38
Acoustical tile	18	0.35	2.86	—	0.19	19.82
Mineral fiberboard, wet molded	21	0.37	2.70	—	—	18.71
Acoustical tile ^b	23	0.42	2.38	—	0.14	16.49
Wood or cane fiberboard	—	—	—	—	—	—
Acoustical tile ^b	0.5 in.	0.80	—	1.25	0.31	0.22
Acoustical tile ^b	0.75 in.	0.53	—	1.89	0.33	0.33
Interior finish (plank, tile)	15	0.35	2.86	—	0.32	19.82
Cement fiber slabs (shredded wood with portland cement binder)	25-27	0.50-0.53	2.0-1.89	—	—	13.87
Cement fiber slabs (shredded wood with magnesia oxyulfide binder)	22	0.57	1.75	—	0.31	12.16
LOOSE FILL						
Cellulosic insulation (milled paper or wood pulp)	2.3-3.2	0.27-0.32	3.13-3.70	—	0.33	21.69-25.64
Sawdust or shavings	8.0-15.0	0.45	2.22	—	0.33	15.39
Wood fiber, softwoods	2.0-3.5	0.30	3.33	—	0.33	23.08
Perlite, expanded	2.0-4.1	0.27-0.31	2.70	—	0.26	18.71
Mineral fiber (rock, slag or glass)	4.1-7.4	0.31-0.36	3.7-3.3	—	—	—
Approx. 3.5 in. (closed sidewall application)	7.4-11.0	0.36-0.42	2.8-2.4	—	—	—
Approx. ^a 3.75-5 in.	2.0-3.5	—	—	12-14	0.17	1.94
	0.6-2.0	—	—	11	—	—

ตารางที่ ผ/ข 7 แสดงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัดกันที่ความชื้น

Approx.* 6.5-8.75 in.	0.6-2.0	—	—	19	—	—	3.35
Approx.* 7.5-10 in.	0.6-2.0	—	—	22	—	—	3.87
Approx.* 10.25-13.75 in.	0.6-2.0	—	—	30	—	—	5.28
Vermiculite, extoliated.	7.0-8.2	0.47	2.13	—	3.20	14.76	—
	4.0-6.0	0.44	2.27	—	—	15.73	—
MASONRY MATERIALS							
CONCRETES							
Cement mortar	105-135	5.0-10.5	0.20-0.10	—	—	—	1.39-0.69
Gypsum-fiber concrete 87.5% gypsum, 12.5% wood chips	51	1.66	0.60	—	0.21	4.16	—
Lightweight aggregates including expanded shale, clay or slate;	120	5.5-11.0	0.18-0.09	—	—	—	1.25-0.62
expanded slugs; cinders; pumice; vermiculite; also cellular concretes	100	3.7-5.9	0.27-0.17	—	0.20	1.87-1.18	—
	80	2.5-3.5	0.40-0.29	—	0.20	2.77-2.01	—
	60	1.6-1.8	0.63-0.56	—	—	4.36-3.88	—
	40	0.93-1.11	1.08-0.90	—	—	7.49-6.24	—
	30	0.75-0.91	1.33-1.10	—	0.20	9.22-7.63	—
	20	0.63-0.83	1.59-1.20	—	—	11.02-8.32	—
Perlite, expanded	50	1.4-1.8	0.71-0.56	—	—	4.92-3.88	—
	40	0.83	1.08	—	—	7.48	—
	30	0.71	1.41	—	0.32	9.77	—
	20	0.50	2.00	—	—	13.86	—
Sand and gravel or stone aggregate (oven dried)	140	8.0-16.0	0.13-0.06	—	0.18-0.22	0.90-0.42	—
Sand and gravel or stone aggregate (not dried)	140	10.0-20.0	0.10-0.05	—	0.19-0.24	0.69-0.35	—
Stucco	116	5.0	0.20	—	—	1.39	—
MASONRY UNITS							
Brick, common	80	2.2-3.2	0.45-0.31	—	—	3.12-2.15	—
	90	2.7-3.7	0.37-0.27	—	—	2.56-1.87	—
	100	3.3-4.3	0.30-0.23	—	—	2.08-1.59	—
	110	3.5-5.5	0.29-0.18	—	—	2.01-1.25	—
	120	4.4-6.4	0.23-0.16	—	0.19	1.59-1.11	—
	130	5.4-9.0	0.19-0.11	—	—	1.32-0.76	—
Clay tile, hollow:							
1 cell deep	—	—	—	—	—	—	0.14
1 cell deep	—	—	—	—	0.21	—	0.20
1 cell deep	—	—	—	—	—	—	0.27
2 cells deep	—	—	—	—	—	—	0.33
2 cells deep	—	—	—	—	—	—	0.39
2 cells deep	—	—	—	—	—	—	0.44
3 cells deep	—	—	—	—	—	—	—
Concrete blocks ¹	—	—	—	—	—	—	—
Limestone aggregate	—	—	—	—	—	—	—
8 in., 36 lb, 138 lb/ft ³ concrete, 2 cores	—	—	—	—	—	—	—
Same with perlite-filled cores	—	—	—	—	—	—	—
12 in., 55 lb, 138 lb/ft ³ concrete, 2 cores	—	—	—	—	—	—	—
Same with perlite-filled cores	—	—	—	—	—	—	—

ตารางที่ ผ/ข 8 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัดกันความร้อน

TABLE 4.2 Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials (design values)^a (Continued)

Description	Customary Unit			SI Unit				
	Density (lb/ft ³)	Conductivity, k (Btu-in./h-ft ² -F)	Conductance, C (h-ft ² -F)	Per Inch Thickness 1/k	For Thickness Listed, 1/C	Resistance, R ^b (m ² -K) W	Resistance, R ^b (m ² -K) W	Specific Heat, (Btu/lb.-°F)
Normal weight aggregate (sand and gravel)								
8 in., 33-36 lb., 120-136 lb/ft ³ concrete,					1.11-0.97			0.22
2 or 3 cores.....		0.90-1.03			2.0			
Same with perlite-filled cores		0.50			1.92-1.37			
Same with verm. filled cores		0.52-0.73			1.23			0.22
12 in., 50 lb., 125 lb/ft ³ concrete, 2 cores.....		0.81						
Medium weight aggregate (combinations of normal								
weight and lightweight aggregate)								
8 in., 26-29 lb., 97-112 lb/ft ³ concrete, 2 or 3 cores					1.71-1.28			
Same with perlite-filled cores		0.59-0.78			3.7-2.3			
Same with verm. filled cores		0.27-0.44			3.3			
Same with molded EPS (beads) filled cores		0.30			3.2			
Same with molded EPS inserts in cores		0.32			2.7			
Same with molded EPS inserts in cores		0.37						
Lightweight aggregate (expanded shale, clay, slate								
or slag, pumice)								
8 in., 16-17 lb., 65-67 lb/ft ³ concrete, 2 or 3 cores		0.62-0.61			1.93-1.65			
Same with perlite-filled cores.....		0.24			4.2			
Same with verm. filled cores.....		0.33			3.0			
8 in., 19-22 lb., 72-86 lb/ft ³ concrete,		0.32-0.54			3.2-1.90			0.21
Same with perlite-filled cores.....		0.15-0.23			6.8-4.4			
Same with verm. filled cores.....		0.19-0.26			5.3-3.9			
Same with molded EPS (beads) filled cores		0.21			4.8			
Same with UF foam-filled cores		0.22			4.5			
Same with molded EPS inserts in cores		0.29			3.5			
12 in., 32-36 lb., 80-90 lb/ft ³ concrete, 2 or 3 cores		0.38-0.44			2.6-2.3			
Same with perlite-filled cores		0.11-0.16			9.2-6.3			
Same with verm. filled cores		0.17			5.8			
Stone, lime or sand.....	12.50			0.08			0.55	0.19
Gypsum partition tile:								
3 x 12 x 30 in. solid.....		0.79			1.26			0.19
3 x 12 x 30 in. 4-cell.....		0.74			1.35			0.24
4 x 12 x 30 in. 3-cell.....		0.60			1.67			0.29
METALS								
(See ASHRAE Handbook of Fundamentals)								
PLASTERING MATERIALS								
Cement plaster, sand aggregate.....	116			0.20			1.39	0.20

ตารางที่ ผ/ข 9 แสดงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัดกันความร้อน

Sand aggregate.....	0.375 in.	—	—	13.3	—	0.08	0.20	0.01
Sand aggregate.....	0.75 in.	—	—	6.86	—	0.15	0.20	0.03
Gypsum plaster:								
Lightweight aggregate.....	0.5 in.	45	—	3.12	—	0.32	—	0.06
Lightweight agg. on metal lath.....	0.625 in.	45	—	2.67	—	0.39	—	0.07
Perlite aggregate.....	0.75 in.	—	—	2.13	—	0.47	—	0.08
Sand aggregate.....	105	1.5	—	—	0.67	—	0.32	4.64
Sand aggregate.....	0.5 in.	5.6	—	—	0.18	—	0.20	1.25
Sand aggregate.....	105	—	—	11.10	—	—	—	—
Sand aggregate.....	0.625 in.	105	—	9.10	—	0.09	—	0.02
Sand aggregate on metal lath.....	0.75 in.	—	—	7.70	—	0.11	—	0.02
Vermiculite aggregate.....	—	45	1.7	—	0.59	0.13	—	0.02
ROOFING								
Asbestos-cement shingles.....	—	120	—	4.76	—	0.21	0.24	0.04
Asphalt roll roofing.....	—	70	—	6.50	—	0.15	0.36	0.03
Asphalt shingles.....	—	70	—	2.27	—	0.44	0.30	0.08
Built-up roofing.....	0.375 in.	70	—	3.00	—	0.33	0.35	0.06
Slate.....	0.5 in.	—	—	20.00	—	0.05	0.30	0.01
Wood shingles, plain and plastic film faced.....	—	—	—	1.06	—	0.94	0.31	0.17
Spray Applied	—	—	—	—	—	—	—	—
Polyurethane foam.....	1.5-2.5	0.16-0.18	—	—	8.25-5.56	—	43.33-	—
							36.54	
Ureaformaldehyde foam.....	0.7-1.6	0.22-0.28	—	—	4.55-3.57	—	31.54-	—
							24.75	
Cellulosic fiber.....	3.5-6.0	0.29-0.34	—	—	3.45-2.94	—	23.92-	—
							20.38	
Glass fiber.....	3.5-4.5	0.26-0.27	—	—	3.85-3.70	—	26.69-	—
							25.65	
SIDING MATERIALS (ON FLAT SURFACE)								
Shingles								
Asbestos-cement.....	—	120	—	4.75	—	0.21	0.31	0.04
Wood, 16 in., 7.5 exposure.....	—	—	—	1.15	—	0.87	0.28	0.15
Wood, double, 16-in., 12-in. exposure.....	—	—	—	0.84	—	1.19	0.31	0.21
Wood, plus insul. becker board, 0.3125 in.....	—	—	—	0.71	—	1.40	0.31	0.25
Siding								
Asbestos-cement, 0.25 in., lapped.....	—	—	—	4.76	—	0.21	0.24	0.04
Asphalt roll siding.....	—	—	—	6.50	—	0.15	0.35	0.03
Asphalt insulating siding (0.5 in. bed.).....	—	—	—	0.69	—	1.46	0.35	0.26
Hardboard siding, 0.4375 in.....	40	—	—	0.49	—	0.67	0.28	—
Wood, drop, 1 x 8 in.....	—	—	—	1.27	—	0.79	0.28	0.14
Wood, bevel, 0.5 x 8 in., lapped.....	—	—	—	1.23	—	0.81	0.28	0.14
Wood, bevel, 0.75 x 10 in., lapped.....	—	—	—	0.95	—	1.05	0.28	0.18
Wood, plywood, 0.375 in., lapped.....	—	—	—	1.59	—	0.59	0.29	0.10
Aluminum or steel, ⁷ over sheathing.....	—	—	—	—	—	—	—	—
Hollow-backed.....	—	—	—	1.81	—	0.61	0.29	0.11

ตารางที่ ผ/ข 10 แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความร้อน

TABLE 4.2 Thermal Properties of Typical Building and Insulating Materials (design values)^a (Continued)

Description	Customary Unit		Conductivity, k ($Btu \cdot in. / hr \cdot ft^2 \cdot F$)	Conductance, C ($hr \cdot ft^2 \cdot F / Btu$)	Per Inch Thickness Listed, 1/C	Specific Heat, ($Btu / lb \cdot F$)	SI Unit	
	Resistance, R^b	For Thickness Listed, 1/C					Resistance, R^c ($m^2 \cdot K / W$)	($m^2 \cdot K / W$)
insulating-board backed nominal 0.375 in.	—	—	—	0.55	1.82	0.32	—	0.32
insulating-board backed nominal 0.375 in., foil backed.	—	—	—	0.34	2.96	—	—	0.52
Architectural glass	—	—	—	10.00	0.10	0.20	—	0.02
WOODS (12% Moisture Content) ^d								
Hardwoods						0.39		
Oak	41.2-46.8	1.12-1.25	—	—	0.89-0.80	—	6.17-5.55	—
Birch	42.6-45.4	1.16-1.22	—	—	0.87-0.82	—	6.03-5.66	—
Maple	39.8-44.0	1.09-1.19	—	—	0.92-0.84	—	5.68-5.82	—
Ash	38.4-41.9	1.06-1.14	—	—	0.94-0.88	—	6.51-6.10	—
Softwoods						0.39		
Southern pine	35.6-41.2	1.00-1.12	—	—	1.00-0.89	—	6.93-6.17	—
Douglas fir-larch	33.5-36.3	0.95-1.01	—	—	1.06-0.99	—	7.39-6.86	—
Southern cypress	31.4-32.1	0.90-0.92	—	—	1.11-1.09	—	7.89-7.56	—
Hem-fir, spruce-pine-fir	24.5-31.4	0.74-0.90	—	—	1.35-1.11	—	9.36-7.69	—
West Coast woods, cedars	21.7-31.4	0.68-0.90	—	—	1.48-1.11	—	10.26-7.69	—
California redwood	24.5-28.0	0.74-0.82	—	—	1.35-1.22	—	9.36-8.46	—

Source: Copyright © by the American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, Ga. Reprinted by permission from 1989 Handbook of Fundamentals.

^a Representative values for dry materials at 75 F. They are intended as design (not specification) values for materials in normal use. Insulating materials in actual service may have thermal values which vary from design values depending on their in-situ properties such as density and moisture content. For properties of a particular product, use the value supplied by the manufacturer or by unbiased tests.

^b Resistance values are the reciprocals of C before rounding off C to two decimal places.

^c Forest Products Laboratory Wood Handbook, USDA Handbook 72, 1974, Tables 3 and 4.

^d Does not include paper backing and facing, if any. Where insulation forms a boundary (reflective or otherwise) of an air space, see Tables 4.3 and 4.4 for the insulating value of air space for the appropriate effective emittance and temperature conditions of the space.

^e Conductivity varies with fiber diameter. Insulation is produced in different densities; therefore, there is a wide variation in thickness for the same R value among manufacturers. No effort should be made to relate any specific R value to any specific thickness. Commercial thicknesses generally available range from 2 to 8.5 inches.

^f Values are for aged, unfaced, board stock. For change in conductivity with age of expanded urethane, see 1989 Handbook of Fundamentals, chapter 20.

^g Time-aged values for board stock with gas-barrier quality (0.001 in. thickness or greater) aluminum foil facers on two major surfaces.

^h Insulating values of acoustical tile vary, depending on density of the board and on type, size, and depth of perforations.

ⁱ Values for fully grouted block may be approximated using values for concrete with a similar unit weight.

^j Values for metal siding applied over flat surfaces vary widely, depending on amount of ventilation of air space beneath the siding; whether airspace is reflective or nonreflective; and on thickness, type, and application of insulating backing board used. Values given are averages for use as design guides, and were obtained from several guarded hotbox tests (ASTM C236) or calibrated hotbox (ASTM 967) on hollow-backed types and types made using backing boards of wood fiber, foamed plastic, and glass fiber. Departures of ±50% or more from the values given may occur.

^k L. Adams: Supporting cryogenic equipment with wood (Chemical Engineering, May 17, 1971). Conductivity values listed are for heat transfer across the grain.

ตารางที่ ผ/ข 11 แสดงคุณสมบัติทางด้านการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ในอาคารวัสดุกันความร้อน

TABLE 4.3 Surface Conductances, h (Btu/h-ft²-F), and Resistances, R , for Air*

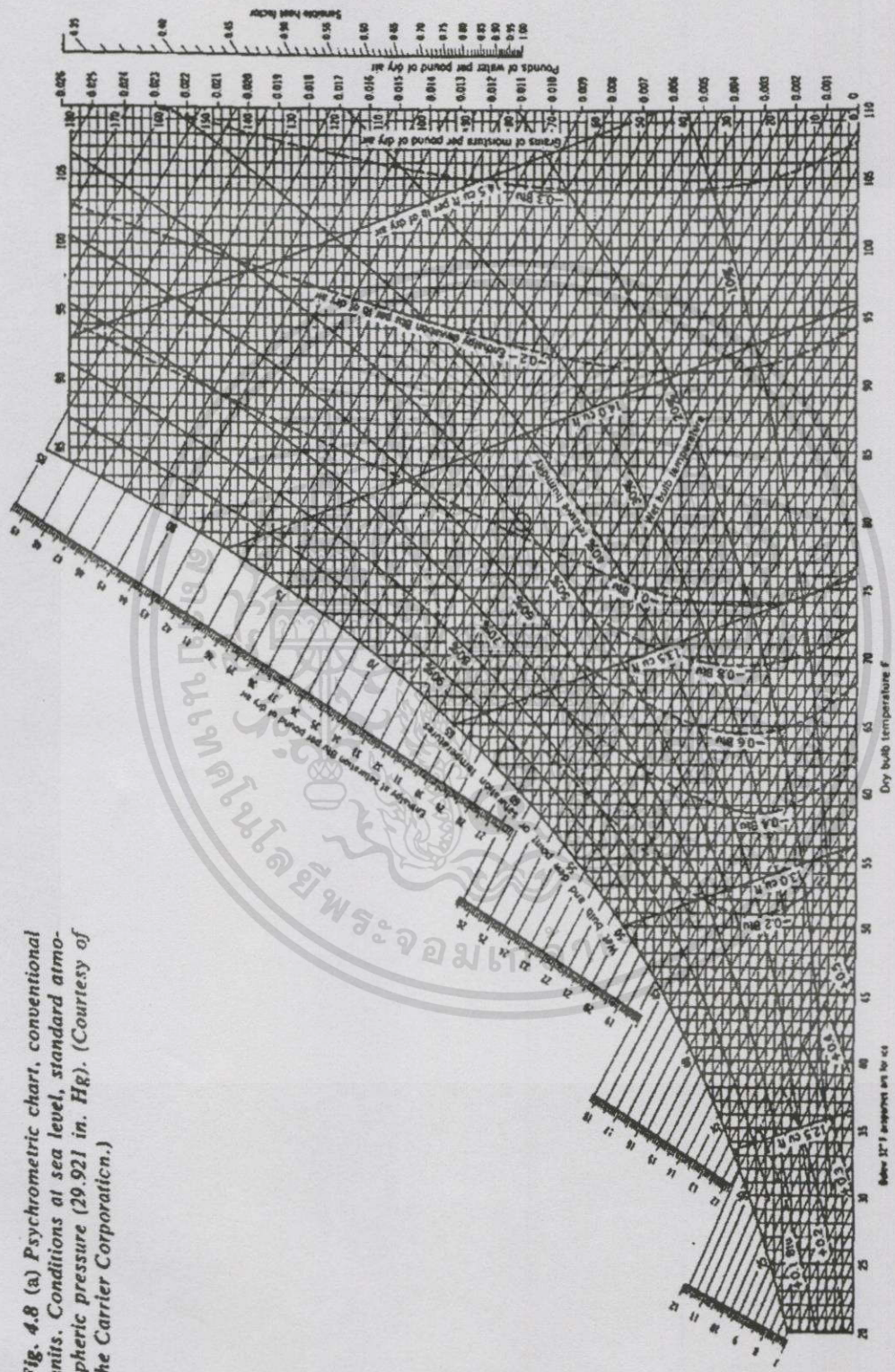
Position of Surface	Direction of Heat Flow	Surface Emittance			
		Non-reflective $\epsilon = 0.90$		Reflective $\epsilon = 0.20$	
		h_i	R	h_i	R
Still air					
Horizontal.....	Upward	1.63	0.61	0.91	1.10
Sloping (45°)	Upward	1.60	0.62	0.88	1.14
Vertical.....	Horizontal	1.46	0.68	0.74	1.35
Sloping (45°)	Downward	1.32	0.76	0.60	1.67
Horizontal.....	Downward	1.08	0.92	0.37	2.70
Moving air		h_o	R	h_o	R
(any position)					
15-mph wind	Any	6.00	0.17		
(for winter)					
7.5-mph wind	Any	4.00	0.25		
(for summer)					

NOTE: A surface cannot take credit for both an air space resistance value and a surface resistance value. No credit for an air space value can be taken for any surface facing an air space of less than 0.5 in.

Source: Copyright © by the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA. Reprinted by permission, from 1989 *Handbook of Fundamentals*.

*Conductances are for surfaces of the stated emittance facing virtual blackbody surroundings at the same temperature as ambient air. Values are based on a surface-air temperature difference of 10 F° and for surface temperature of 70 F°.

Fig. 4.8 (a) Psychrometric chart, conventional units. Conditions at sea level, standard atmospheric pressure (29.921 in. Hg). (Courtesy of the Carrier Corporation.)

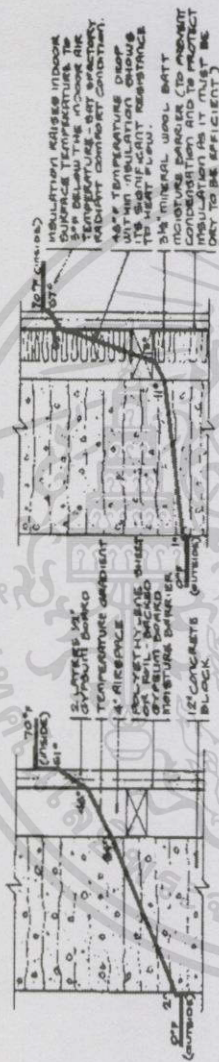


รูปที่ 4.8 (a) Psychrometric Chart (Conventional Units) ที่มา Mechanical and Electrical for Building, 8th Edition, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BUILDING MATERIALS—TEMPERATURE GRADIENT

The temperature gradient shows the temperature of inside building surfaces and the location within exterior constructions where condensation is most likely to occur. The gradient can be found by proportioning the overall temperature drop through a construction by the ratios of the component resistances to the total resistance value. Example computations for 12 in. concrete block wall with an inside surface of 1 in. gypsum board is given below with and without insulation.



Temperature Gradient Analysis

<p>Uninsulated Wall</p> <p>$\frac{0.17}{5.03} \times (70-0) = 2^\circ\text{F}$ At outside block surface</p> <p>$\frac{2.27}{5.03} \times 70 = 32^\circ\text{F}$ Through block</p> <p>$\frac{1.01}{5.03} \times 70 = 14^\circ\text{F}$ Through airspace</p> <p>(No insulation)</p> <p>$\frac{0.90}{5.03} \times 70 = 13^\circ\text{F}$ Through gypsum board</p> <p>$\frac{0.68}{5.03} \times 70 = 9^\circ\text{F}$ At inside gypsum board surface</p> <p>Total = 70°F</p>	<p>Insulated Wall</p> <p>$\frac{0.17}{16.03} \times (70-0) = 1^\circ\text{F}$ At outside block surface</p> <p>$\frac{2.27}{16.03} \times 70 = 10^\circ\text{F}$ Through block</p> <p>$\frac{1.01}{16.03} \times 70 = 4^\circ\text{F}$ Through air space</p> <p>$\frac{11.00}{16.03} \times 70 = 48^\circ\text{F}$ Through mineral wool insulation</p> <p>$\frac{0.90}{16.03} \times 70 = 4^\circ\text{F}$ Through gypsum board</p> <p>$\frac{0.68}{16.03} \times 70 = 3^\circ\text{F}$ At inside gypsum board surface</p> <p>Total = 70°F (As a check on individual computations, total should equal overall temperature drop.)</p>
---	---

รูปที่ พ/ช 2 แสดง Thermal Gradient ของกรอบอาคาร
 ที่มา Mechanical and Electrical for Building ,8th Edition, 1992

ภาคผนวก ค

K-13

spray-on systems

Compatible, versatile and economical multifunction insulation system

CSI 07218

The Custom Spray System

K-13 is the spray-applied insulation tailored to your specific project requirements for insulation (R value), noise reduction (NRC), color, durability, condensation control, texture, and aesthetics. In addition, it usually provides these features at lower installed prices than many common systems such as rigid board and batt insulations, sprayed plasters, and acoustical ceilings.

It is applied to virtually any properly prepared surface configuration of wood, steel, concrete, glass and other common construction surfaces. K-13 can be sprayed up to three inches thick overhead in one application without mechanical support. Additionally, K-13 serves as the exposed finish requiring no additional materials.

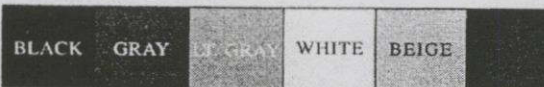
A Total System: Fiber, Binder, Application

K-13 is a total system of recycled natural fibers, chemical treatment, binding system and application method. The K-13 system begins with specially prepared cellulose fibers which are chemically treated to add resistance to fire, mold and mildew. K-13 is produced in a strict, quality controlled manufacturing process.

K-13 is applied by an international network of licensed applicators through approved fiber machines and nozzles for control of the fiber/binder ratio. During application, the K-13 fibers are combined with a patented adhesive. The finished product is a strong, durable monolithic coating of a predetermined thickness. Some surfaces will require priming prior to being sprayed.

Naturally Tough – Naturally Attractive

With its carpet-like texture and wide variety of colors, K-13 is especially attractive as a surface finish in new construction as well as renovation projects. Available in six standard colors, K-13 can also be specified in specially matched custom colors.



Color selection will affect the final price.

Thermal Performance

K-13 insulates by creating dead air spaces between and within its hollow fibers. Because K-13 fibers are sprayed-in-place, they fill cracks, seams and voids, forming a monolithic coating over the substrate which helps reduce air infiltration. Unlike prefabricated insulations, K-13 has no voids or compressed areas to reduce thermal efficiency. The result is a more effective in-place product with exceptionally low heat loss characteristics.

R value 4.54 per inch; k factor 0.22 BTU/hr./°F/sq. ft./1" thick.

Wall Detail	Without Insulation		K-13 1 Inch		K-13 2 Inch		K-13 3 Inch	
	R	U	R	U	R	U	R	U
Metal Panel	0.90	1.11	5.40	0.18	10.0	0.10	14.5	0.07
6" Concrete	1.30	0.77	5.80	0.17	10.4	0.10	14.9	0.07
8" Concrete Block	1.90	0.53	6.40	0.16	11.0	0.09	15.5	0.06
8" Cinder Block	2.60	0.38	7.10	0.14	11.7	0.09	16.2	0.06

Roof Detail	Without Insulation		K-13 1 Inch		K-13 2 Inch		K-13 3 Inch	
	R	U	R	U	R	U	R	U
Metal Panel	0.80	1.26	5.40	0.19	9.90	0.10	14.5	0.07
2" Lt Wt Concrete	2.60	0.39	7.11	0.14	11.7	0.09	16.2	0.06
2" EPS on Metal	9.90	0.10	14.4	0.07	18.9	0.05	23.5	0.04

Thermal conductivity of K-13 is 0.032 W/mK at 25 mm.

Wall Detail	Without Insulation		K-13 25mm		K-13 50mm		K-13 75mm	
	W/m²K		W/m²K		W/m²K		W/m²K	
Metal Panel	6.309		1.044		0.569		0.391	
6" Concrete	4.368		0.972		0.547		0.381	
8" Concrete Block	2.989		0.882		0.517		0.366	
8" Cinder Block	2.184		0.795		0.486		0.350	

Roof Detail	Without Insulation		K-13 25mm		K-13 50mm		K-13 75mm	
	W/m²K		W/m²K		W/m²K		W/m²K	
Metal Panel	7.268		1.079		0.568		0.397	
2" Lt Wt Concrete	2.209		0.799		0.487		0.351	
2" EPS on Metal	0.576		0.395		0.300		0.242	

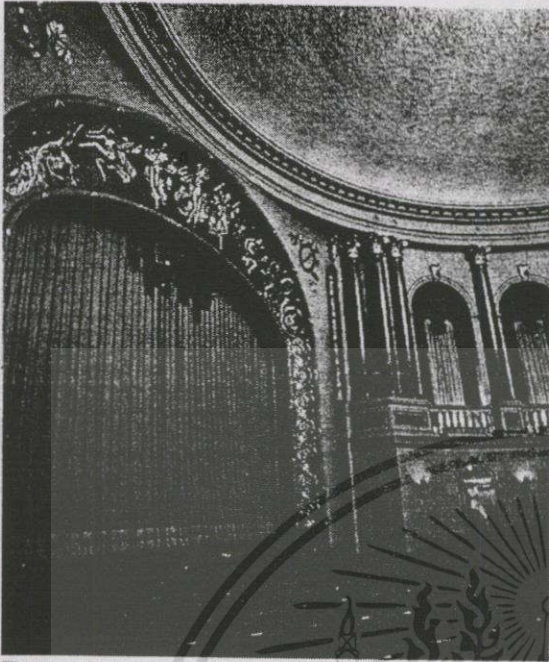
Condensation Control

For areas such as indoor pools and ice arenas, K-13 aids in condensation control. The proper combination of K-13 and ventilation prevents condensation on metal, concrete and other surfaces. K-13 actually reduces ventilation requirements, saving in both the ventilation equipment investment and operating costs.

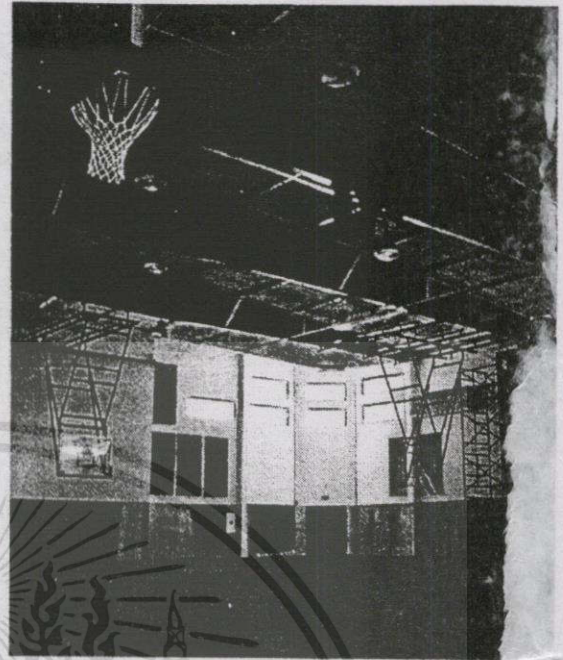
2

รูปที่ ผ/ค 1 แสดงคุณสมบัติด้านต่างๆของวัสดุฉนวนเซลลูโลสไฟเบอร์ของอาคารที่ศึกษา
ที่มา เอกสารประกอบการผลิตภัณฑ์ International Cellulose Corp, USA., 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The appealing textures and colors of K-13 provide renovation projects with attractive exposed ceilings.



By reducing ambient noise and reverberation, K-13 creates an accommodating facility.

Acoustical Performance

The resilient fibers of K-13 absorb sound energy instead of reflecting it, reducing reverberation time and making speech and music more intelligible. Excessive noise is eliminated with the application of K-13 while greatly improving ambient sound quality in a wide variety of building projects including auditoriums, sports facilities, detention facilities, television and sound studios, convention centers and parking garages.

K-13 Sprayed Thermal and Acoustical Insulation ASTM C-423 on Solid Backing*

Inches	125 HZ	250 HZ	500 HZ	1000 HZ	2000 HZ	4000 HZ	NRC
0.63	0.05	0.16	0.44	0.79	0.90	0.91	.55
1.00	0.08	0.29	0.75	0.98	0.93	0.96	.75
1.00**	0.47	0.90	1.10	1.03	1.05	1.03	1.00
1.50	0.15	0.51	0.95	1.06	0.99	0.98	.90
2.00	0.26	0.68	1.05	1.10	1.03	0.98	.95
2.50	0.41	0.84	1.05	1.07	1.02	0.99	1.00
3.00	0.57	0.99	1.04	1.03	1.00	1.00	1.00

K-13 Sprayed Thermal and Acoustical Insulation Applied at 1.5" Ribbed Metal Deck*

Inches	125 HZ	250 HZ	500 HZ	1000 HZ	2000 HZ	4000 HZ	NRC
1.50	0.36	0.89	1.26	1.07	1.01	1.00	1.05
2.00	0.56	0.94	1.22	1.04	0.99	0.99	1.05
2.50	0.77	0.99	1.17	1.02	0.97	0.99	1.05
3.00	0.97	1.04	1.13	0.99	0.95	0.98	1.05

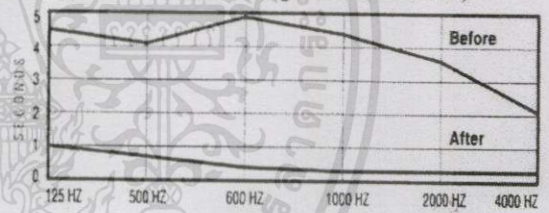
K-13 Sprayed Thermal and Acoustical Insulation Applied to 3" Fluted Metal Deck

Inches	125 HZ	250 HZ	500 HZ	1000 HZ	2000 HZ	4000 HZ	NRC
1.50	0.55	0.92	1.11	1.02	0.95	0.99	1.00
2.75	0.69	0.96	1.17	1.03	0.97	1.04	1.05

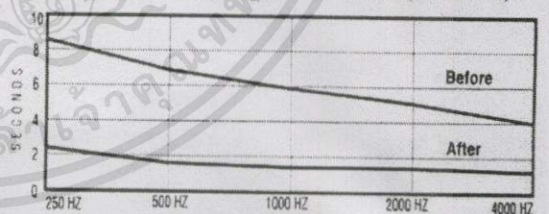
*Some values interpolated **On lath

Sound Results

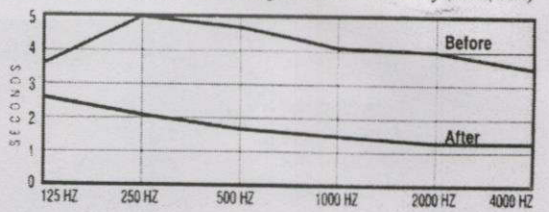
K-13 Applied at 3" to Recording Studio (Field Test)



K-13 Applied at 1" to Ceiling in Indoor Pool (Field Test)



K-13 "FC" Applied at 1/2" to Ceiling in Detention Facility (Field Test)



รูปที่ ผ/ค 2 แสดงคุณสมบัติด้านต่างๆของวัสดุฉนวนเซลลูโลสไฟเบอร์ของอาคารที่ศึกษา
ที่มา เอกสารประกอบการผลิตภัณฑ์ International Cellulose Corp, USA., 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

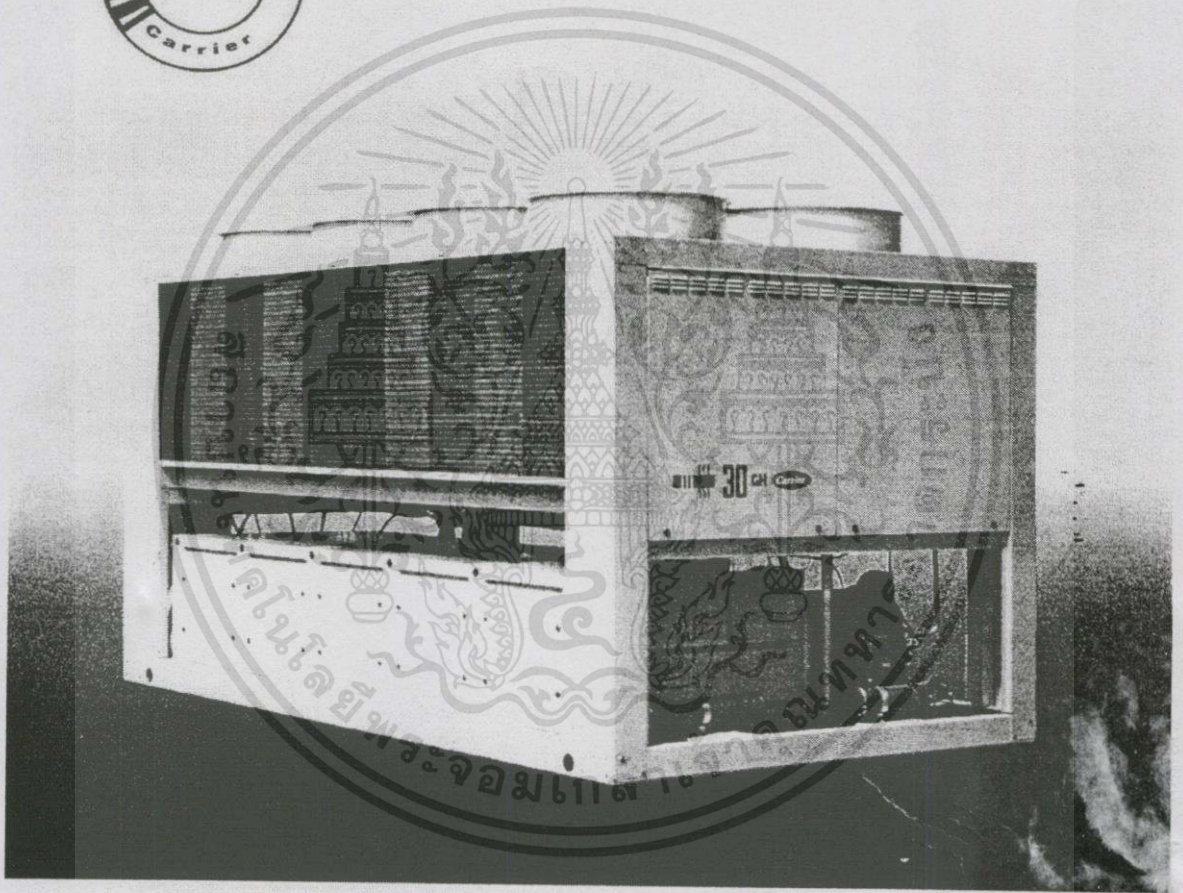


30GH 085-245

Package Air-cooled
Flotronic Liquid Chillers

Refroidisseur de liquide Flotronic
à condensation par air

Product data	
Nominal capacity	260 to 800 kW
Manuel de sélection	
Puissance nominale	260 à 800 kW
50 Hz	



QUALITY ASSURANCE



ASSOCIATION
FRANCAISE POUR
L'ASSURANCE DE
LA QUALITE



APPROVALS
BS 5750 Part 1
NF EN 29001
ISO 9001

รูปที่ ผ/ค 3 แสดงคุณสมบัติระบบเครื่องปรับอากาศของอาคารที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - สกุล	นาย ชินวร เวียงวิเศษ
วัน เดือน ปีเกิด	19 กันยายน 2508
ที่อยู่ปัจจุบัน	573/10 ถนนศรีวรา แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2521 โรงเรียนเทพศิรินทร์ พ.ศ. 2527 คณะสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง พ.ศ. 2537 คณะบัณฑิตวิทยาลัย สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2532 สถาปนิกภาคสนาม โครงการ โรงแรมเอราวัณ พ.ศ. 2534 ผู้จัดการ โครงการ บริษัท กรวด ฟูตติ้ง จำกัด พ.ศ. 2537 กรรมการผู้จัดการ บริษัท จันทิมาพร จำกัด พ.ศ. 2542 อาจารย์พิเศษ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร