



การศึกษาการต้านทานความร้อนของสีกันฉนวนความร้อน
A Study on Thermal Resistance of an Insulating Color Paint



ณัฐวัฒน์	วุฒิวงศ์โยธิน	60361439
ธนากรณ์	พุ่มฉัตร	60361934
นราธิป	จักรสาร	60362375

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปีการศึกษา 2563



การศึกษาการต้านทานความร้อนของสีกันฉนวนความร้อน
A Study on Thermal Resistance of an Insulating Color Paint



ณัฐวัฒน์	วุฒิวงศ์โยธิน	60361439
ธนากรณ์	พุ่มฉัตร	60361934
นราธิป	จักรสาร	60362375

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปีการศึกษา 2563



ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อโครงการ : การศึกษาการต้านทานทางความร้อนของสื่อนวนกันความร้อน
 ผู้ดำเนินโครงการ : นายณัฐวัฒน์ วุฒิวงศ์โยธิน รหัสนิต 60361439
 : นายธนากรณ์ พุ่มฉัตร รหัสนิต 60361934
 : นายนราธิป จักรสาร รหัสนิต 60362375

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.อาวุธ ลภีรัตน์ากุล
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา : 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้โครงการวิจัยฉบับนี้เป็นส่วน
 หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
 (ผศ.ดร.อาวุธ ลภีรัตน์ากุล)

.....กรรมการ
 (ผศ.ดร.ขวัญชัย ไกรทอง)

.....กรรมการ
 (ผศ.ดร. สิทธิโชค ผูกพันธ์)

หัวข้อโครงการ : การศึกษาการต้านทานความร้อนของสีกันฉนวนความร้อน
 ผู้ดำเนินโครงการ : นายณัฐวัฒน์ วุฒิมงคลโยธิน รหัสนิสิต 60361439
 : นายธนากรณ์ พุ่มฉัตร รหัสนิสิต 60361934
 : นายนราธิป จักรสาร รหัสนิสิต 60362375
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.อาวุธ ลภีรัตน์ากุล
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา : 2563

บทคัดย่อ

การศึกษาการต้านทานทางความร้อนของสีฉนวนกันความร้อนมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถในการต้านทานความร้อนของหลังคาเมทัลชีทที่เคลือบผิวด้วยสีฉนวนกันความร้อน ซึ่งจะเปรียบเทียบผลการทดสอบหลังคาที่ทำด้วยสีกับหลังคาที่ไม่ได้ทาสี และเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผ่นหลังคาที่ทาสีกับแผ่นหลังคาที่ไม่ได้ทาสี ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องดาต้าล็อกเกอร์ จะใช้สายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเคเป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ซึ่งในการทดสอบจะใช้สีฉนวนกันความร้อนอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดสีขาว โดยทาที่ความหนา 300 ไมครอน และชนิดสีเข้มที่ความหนา 150 ไมครอน ในการทดสอบจะเก็บค่าอุณหภูมิทั้งหมด 10 จุดโดยมี ผิวบนหลังคา บนหลังคา ระยะห่าง 5 ซม. ผิวใต้หลังคา ใต้หลังการะยะห่าง 5 ซม. และกลางอาคาร โดยแบ่งเป็น 2 ฝั่งคือ ฝั่งที่ทาสีฉนวนกันความร้อนและฝั่งที่ไม่ได้ทาสี ระยะเวลาในการทดสอบในหนึ่งวันจะทำการทดสอบที่ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น.

สีฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติการสะท้อนความร้อนที่ดีซึ่งจะช่วยลดการสะสมความร้อนที่ตัวหลังคาได้ จากการทดสอบชนิดสีขาวพบว่า T2 หลังคาที่ทาสีมีอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเทียบกับฝั่งที่ไม่ทาสีต่างกันถึง 22-23 องศาเซลเซียส คิดเป็น 36.6% เทียบกับไม่ทาสี และ T2 ก็มีอัตราการถ่ายเทความร้อนของหลังคาที่แตกต่างกันถึง 86.15% เทียบกับไม่ทาสี

ในส่วนของการทดสอบสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้มก็มีความสามารถในการต้านทานความร้อนแบบเดียวกันแต่จะไม่ดีเท่าชนิดสีขาว เพราะในการทาสีเข้มทับทีหลังนั้นจะทำให้ชั้นผิวที่ทาสีหนาขึ้นทำให้ผิวหลังคาที่ทาสีมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น เช่น T14 หลังคาที่ทาสีมีอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเทียบกับฝั่งที่ไม่ทาสีต่างกันเพียง 3-4 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 8.07% เทียบกับไม่ทาสี ดังนั้นสรุปได้ว่าโทนสีอ่อนจะมีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนที่สูงกว่าโทนสีเข้ม

Project title : A study on thermal resistance of an insulating color paint
Name : Mr. Nuttawut Wuttiwongyothin ID. 60361439
 : Mr. Thanakorn Phomchat ID. 60361934
 : Mr. Naratip Jaksarn ID. 60362375
Project advisor : Asst. Prof. Dr. Arwut Lapidattanakun
Major : Mechanical Engineering
Department : Mechanical Engineering
Academic year : 2020

Abstract

A study on thermal resistance of an insulation color paints was aimed to test the thermal resistance of metal sheet roofs coated with thermal insulation paints. This compares the test results for roofs painted with paint and those that have not been painted. And to compare the heat transfer rate of painted roof sheet with unpainted roof sheet. Perform a test using a Data logger. It uses a K-type thermocouple cable as a temperature sensor. In this test, two types of insulation paints were used: white type with a thickness of 300 microns and a dark type at a thickness of 150 microns. The surface on the roof, on the roof at a distance of 5 cm, the surface of the attic, at the distance of 5 cm and in the middle of the building, are divided into 2 sides: painted side, thermal insulation side and unpainted side. The duration of the test is one day. The test is from 9:00 AM to 5:00 PM.

In the color test, the dark type insulation has the same heat resistance, but not as good as the white type. Because of the darker paint over the latter, it will make the painted surface layer thicker, causing the painted roof surface to have a higher temperature, for example, T14 painted roof has only 3-4 degrees Celsius difference between the unpainted side. Which accounted for 8.07% compared to not painted. Therefore, it can be concluded that light tones have higher heat resistance properties than dark ones.

กิตติกรรมประกาศ

จากคณะผู้จัดทำ โดยมีนายณัฐวัฒน์ วุฒิวิงศ์โยธิน นายธนากรณั พุ่มฉัตร และนายนราธิป จักรสาร นิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อาวุธ ลภีรัตนากุล ที่สนับสนุนอุปกรณ์การทดสอบ ให้คำชี้แนะ ให้คำปรึกษา ตรวจสอบและแก้ไขโครงงานฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ และส่งเสริมให้มีการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น

ขอขอบคุณบุคลากรจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และแนะนำวิธีใช้งานเพื่อมาทำโครงงานนี้จนเสร็จสิ้น

ขอขอบคุณหน่วยงานกองอาคาร ที่อนุญาติให้คณะผู้จัดทำได้อาคารในการทดสอบได้และมีการสนับสนุนให้ทำงานอย่างสะดวกสบาย

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจและมีส่วนช่วยให้โครงงานนี้จนเสร็จสิ้น

และสุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้คำชี้แนะ ให้กำลังใจทั้งกายใจ ให้การสนับสนุนในทุกๆด้านที่ผ่านมาจนโครงงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ณัฐวัฒน์ วุฒิวิงศ์โยธิน
ธนากรณั พุ่มฉัตร
นราธิป จักรสาร

27 มีนาคม 2564

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	5
2.1.1 การนำความร้อน (Conduction)	5
2.1.2 การพาความร้อน (Convection)	7
2.1.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation Heat Transfer)	10
2.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสำหรับ RTTV	13
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.2.1 Afroditi Synnefa, Mat Santamouris and K Apostolakis	19
2.2.2 G.B. Smith, A. Gentle, P.D. Swift, A. Earp and N. Mronga	20
2.2.3 การประเมินผลด้านความร้อนและไฟฟ้าสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์ แสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารจำลอง	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการคำนวณ	23
กรณีที่ 1 ตัวอย่างผลการทดสอบกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ทาสี	23
กรณีที่ 2 ตัวอย่างผลการทดสอบกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ทาสี	28
บทที่ 4 การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	33
4.1 การออกแบบการทดลอง	33
4.1.1 สถานที่ทำการทดลอง	33
4.1.2 การกำหนดตัวแปรในการทดลอง	34
4.1.3 การกำหนดตำแหน่งการวัด	34
4.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	35
4.2 การตรวจสอบอุปกรณ์ก่อนนำไปใช้งาน	36
4.2.1 ทดสอบอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเปล่า	37
4.2.2 ทดสอบอุณหภูมิน้ำเย็นไปสู่อุณหภูมิห้อง	39
4.3 วิธีการจัดเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์	41
4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานความร้อนของสีฉนวนกันความร้อน	43
4.4.1 ผลการทดสอบสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาว	45
ผลการทดสอบชนิดสีขาวจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า	45
ผลการทดสอบชนิดสีขาวจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ	52
ผลการทดสอบชนิดสีขาวจากโรงจอดรถจักรยานหอโน	60
4.4.2 ผลการทดสอบสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม	68
ผลการทดสอบชนิดสีเข้ม (โทนสีเขียว) จากโรงจอดรถจักรยานหอโน	68
ผลการทดสอบชนิดสีเข้ม (โทนสีแดงอิฐ) จากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ	75
บทที่ 5 สรุปผลการลองและข้อเสนอแนะ	82
5.1 บทนำ	82
5.2 สรุปผลการทดสอบ	83
5.3 ข้อเสนอแนะ	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	86
ภาคผนวก (ก)	88
ภาคผนวก (ข)	90
ภาคผนวก (ค)	94
ประวัติผู้จัดทำ	99



สารบัญรูปภาพ

	หน้า	
รูปที่ 1.1	ปรากฏการณ์เกาะความร้อน หรือ เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island)	1
รูปที่ 1.2	เปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ไม่ทำสีกับทำสีฉนวนกันความร้อน	2
รูปที่ 2.1	รูปแบบการนำความร้อนผ่านผนัง	6
รูปที่ 2.2	การแสดงชั้นขอบเขตของความเร็วจ	8
รูปที่ 2.3	แผนภาพแสดงชั้นขอบเขตของความเร็วจ	8
รูปที่ 2.4	การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง	9
รูปที่ 2.5	การพาและนำความร้อนผ่านผนัง	10
รูปที่ 2.6	การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี	11
รูปที่ 2.7	ตัวอย่างการเคลือบสีบนแผ่นทดสอบ	19
รูปที่ 2.8	ผลการทดสอบสีกันความร้อนที่ทาเคลือบผิววัสดุ	19
รูปที่ 2.9	ผลการทดสอบในช่วงเดือนต่างๆ	20
รูปที่ 2.10	การทดสอบการกระจายตัวและการดูดซับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์	20
รูปที่ 2.11	ผลการทดสอบการกระจายตัวและการดูดซับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์	21
รูปที่ 2.12	จุดตรวจวัด ณ ตำแหน่ง (a) หลังคา และ (b) รวมทั้งอาคาร	22
รูปที่ 2.13	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทั้งสองห้อง	22
รูปที่ 4.1	อาคารสิ่งพิมพ์เก่า มหาวิทยาลัยนเรศวร	33
รูปที่ 4.2	โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ มหาวิทยาลัยนเรศวร	33
รูปที่ 4.3	โรงจอดรถจักรยานหอโน มหาวิทยาลัยนเรศวร	33
รูปที่ 4.4	การกำหนดตำแหน่งในการวัด	35
รูปที่ 4.5	อุปกรณ์การทดลอง	36
รูปที่ 4.6	การติดตั้ง Thermocouple ในการทดสอบผิวใต้หลังคาเปล่า	37
รูปที่ 4.7	ผลการทดสอบผิวใต้หลังคาเปล่าจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ	37
รูปที่ 4.8	ภาพถ่ายอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเปล่าจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ	38
รูปที่ 4.9	อุณหภูมิผิวใต้หลังคาเปล่าที่ได้บันทึกช่วงเวลาประมาณ 13.00 น. (°C)	38
รูปที่ 4.10	ผลการสอบเทียบของสาย Thermocouple type K ความยาว 10 เมตร	39
รูปที่ 4.11	ผลการสอบเทียบของสาย Thermocouple type K ความยาว 20 เมตร	39
รูปที่ 4.12	การหลอมขั้ว Sensor ของสาย Thermocouple	41
รูปที่ 4.13	ขั้ว Sensor ของสาย Thermocouple ที่ติดตั้งโดยใช้เทปอลูมิเนียม	41

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.14	ขั้ว Jumper ของสาย Thermocouple ที่เชื่อมต่อเข้ากับ Used Keysight Data logger	42
รูปที่ 4.15	พื้นที่แสดงในส่วนหลังคาที่ทำสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาวและไม่ทาสี	43
รูปที่ 4.16	พื้นที่แสดงในส่วนหลังคาที่ทำสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้มและไม่ทาสี	44
รูปที่ 4.17	ผลอุณหภูมิ T1 หลังคาทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	45
รูปที่ 4.18	ผลอุณหภูมิ T1 หลังคาไม่ทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	46
รูปที่ 4.19	ภาพถ่ายอุณหภูมิ T1 จากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	46
รูปที่ 4.20	ผลอุณหภูมิ T2 หลังคาทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	46
รูปที่ 4.21	ผลอุณหภูมิ T2 หลังคาไม่ทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	47
รูปที่ 4.22	ภาพถ่ายอุณหภูมิ T2 จากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	47
รูปที่ 4.23	ผลอุณหภูมิ T3 หลังคาทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	47
รูปที่ 4.24	ผลอุณหภูมิ T3 หลังคาไม่ทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	48
รูปที่ 4.25	ภาพถ่ายอุณหภูมิ T3 จากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	48
รูปที่ 4.26	ผลการคำนวณ RTTV จากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	51
รูปที่ 4.27	ผลอุณหภูมิ T4 หลังคาทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)	52
รูปที่ 4.28	ผลอุณหภูมิ T4 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)	52
รูปที่ 4.29	ภาพถ่ายอุณหภูมิ T4 จากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)	53
รูปที่ 4.30	ผลอุณหภูมิ T5 หลังคาทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)	53
รูปที่ 4.31	ผลอุณหภูมิ T5 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)	54
รูปที่ 4.32	ภาพถ่ายอุณหภูมิ T5 จากโรงจอดรถอาคารเอกา (สีขาว)	54
รูปที่ 4.33	ผลอุณหภูมิ T6 หลังคาทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)	55
รูปที่ 4.34	ผลอุณหภูมิ T6 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกา (สีขาว)	55
รูปที่ 4.35	ภาพถ่ายอุณหภูมิ T6 จากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)	56
รูปที่ 4.36	ผลการคำนวณ RTTV จากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)	59
รูปที่ 4.37	ผลอุณหภูมิ T7 หลังคาทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)	60
รูปที่ 4.38	ผลอุณหภูมิ T7 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)	60
รูปที่ 4.39	ภาพถ่ายอุณหภูมิ T7 จากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)	61
รูปที่ 4.40	ผลอุณหภูมิ T8 หลังคาทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)	61
รูปที่ 4.41	ผลอุณหภูมิ T8 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)	62

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.42 ภาพถ่ายอุณภูมิ T8 จากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขา)	62
รูปที่ 4.43 ผลอุณภูมิ T9 หลังคาทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขา)	63
รูปที่ 4.44 ผลอุณภูมิ T9 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขา)	63
รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายอุณภูมิ T9 จากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขา)	64
รูปที่ 4.46 ผลการคำนวณ RTTV จากโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีขา)	67
รูปที่ 4.47 ผลอุณภูมิ T10 หลังคาทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีเข้ม)	68
รูปที่ 4.48 ผลอุณภูมิ T10 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีเข้ม)	68
รูปที่ 4.49 ภาพถ่ายอุณภูมิ T10 จากโรงจอดจักรยานหอใน (สีเข้ม)	69
รูปที่ 4.50 ผลอุณภูมิ T11 หลังคาทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีเข้ม)	69
รูปที่ 4.51 ผลอุณภูมิ T11 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีเข้ม)	69
รูปที่ 4.52 ภาพถ่ายอุณภูมิ T11 จากโรงจอดจักรยานหอใน (สีเข้ม)	70
รูปที่ 4.53 ผลอุณภูมิ T12 หลังคาทาสีจากโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีเข้ม)	70
รูปที่ 4.54 ผลอุณภูมิ T12 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีเข้ม)	70
รูปที่ 4.55 ภาพถ่ายอุณภูมิ T12 จากโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีเข้ม)	71
รูปที่ 4.56 ผลการคำนวณ RTTV จากโรงจอดจักรยานหอใน ชนิดสีเข้ม	73
รูปที่ 4.57 ผลอุณภูมิ T13 หลังคาทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)	75
รูปที่ 4.58 ผลอุณภูมิ T13 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)	75
รูปที่ 4.59 ภาพถ่ายอุณภูมิ T13 จากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)	76
รูปที่ 4.60 ผลอุณภูมิ T14 หลังคาทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)	76
รูปที่ 4.61 ผลอุณภูมิ T14 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)	76
รูปที่ 4.62 ภาพถ่ายอุณภูมิ T14 จากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)	77
รูปที่ 4.63 ผลอุณภูมิ T15 หลังคาทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)	77
รูปที่ 4.64 ผลอุณภูมิ T15 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)	77

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.65	ภาพถ่ายอุณห์ภูมิ T15 จากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)	78
รูปที่ 4.66	ผลการคำนวณ RTTV จากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)	81
รูปที่ ก.1	รายงานการทดสอบของสีที่ใช้ทดสอบจากมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี (พ.ศ. 2556)	89
รูปที่ ข.1	รูปแสดงการคำนวณ RTTV ฝั่งทาสี	92
รูปที่ ข.2	รูปแสดงการคำนวณ RTTV ไม่ฝั่งทาสี	93



สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงานการทดสอบครั้งที่ 1 (สึนวนกันความร้อนชนิดสีขาว)	4
ตารางที่ 1.2	แผนการดำเนินงานการทดสอบครั้งที่ 2 (สึนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม)	4
ตารางที่ 2.1	ค่า RTTV สูงสุดของอาคารประเภทต่างๆ	14
ตารางที่ 2.2	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา	14
ตารางที่ 4.1	ข้อมูลจากรูปที่ 4.15 พื้นที่ใช้งานของสึนวนกันความร้อน (ทดสอบชนิดสีขาว)	44
ตารางที่ 4.2	ข้อมูลของอาคารทดสอบที่หลังคาเมทัลชีทมีการทำสึนวนกันความร้อน ชนิดสีขาว	44
ตารางที่ 4.3	ข้อมูลจากรูปที่ 4.16 พื้นที่ใช้งานของสึนวนกันความร้อน (ทดสอบชนิดสีเข้ม)	45
ตารางที่ 4.4	ข้อมูลของอาคารทดสอบที่หลังคาเมทัลชีทมีการทำสึนวนกันความร้อน ชนิดสีเข้ม	45
ตารางที่ 4.5	ผลอุณหภูมิเฉลี่ย T1 T2 และ T3 จากการทดสอบอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	49
ตารางที่ 4.6	ผลอุณหภูมิเฉลี่ย T4 T5 และ T6 จากการทดสอบโรงจอดรถอาคารเอกา ทศร (สีขาว)	56
ตารางที่ 4.7	ผลอุณหภูมิเฉลี่ย T7 T8 และ T9 จากการทดสอบโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)	64
ตารางที่ 4.8	ผลอุณหภูมิเฉลี่ย T10 T11 และ T12 จากการทดสอบโรงจอดรถจักรยาน หอใน (สีเข้ม)	71
ตารางที่ 4.9	ผลอุณหภูมิเฉลี่ย T13 T14 และ T15 จากการทดสอบโรงจอดรถอาคาร เอกาทศร (สีเข้ม)	78
ตารางที่ 5.1	ข้อมูลการทำสีหลังคาเมทัลชีทของอาคารทดสอบ (สึนวนกันความร้อนชนิดสีขาว)	82
ตารางที่ 5.2	ข้อมูลการทำสีหลังคาเมทัลชีทของอาคารทดสอบ (สึนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม)	83
ตารางที่ ข.1	ตารางคุณสมบัติทางความร้อนของอากาศที่ความดันบรรยากาศ 1 atm	91
ตารางที่ ค.1	ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	95
ตารางที่ ค.2	ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณไม่ทาสีของอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)	95

สารบัญตาราง (ต่อ)

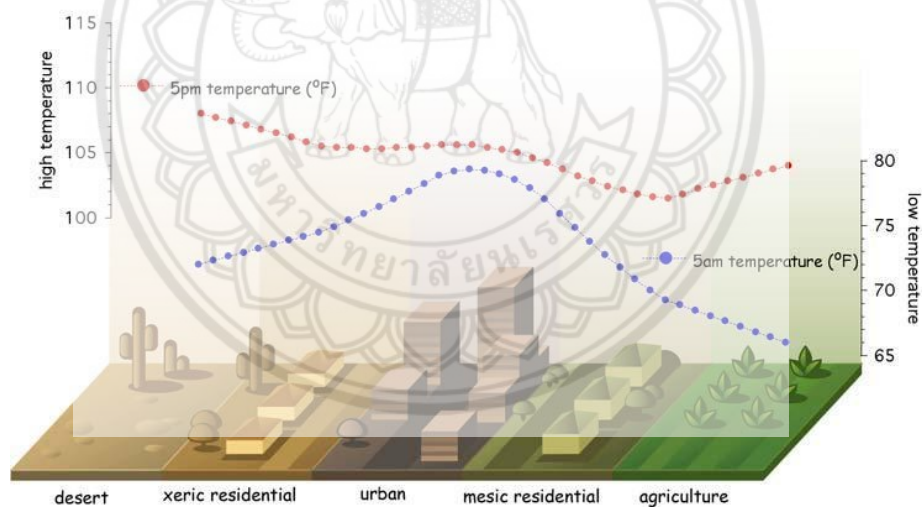
	หน้า	
ตารางที่ ค.3	ข้อมูลเฉลี่ยกับผลต่างจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขา)	95
ตารางที่ ค.4	ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขา)	96
ตารางที่ ค.5	ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณไม้ทาสีของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขา)	96
ตารางที่ ค.6	ข้อมูลเฉลี่ยกับผลต่างจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขา)	96
ตารางที่ ค.7	ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีขา)	96
ตารางที่ ค.8	ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีขา)	97
ตารางที่ ค.9	ข้อมูลเฉลี่ยกับผลต่างจากโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีขา)	97
ตารางที่ ค.10	ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีเข้ม)	97
ตารางที่ ค.11	ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณไม้ทาสีของโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีเข้ม)	97
ตารางที่ ค.12	ข้อมูลเฉลี่ยกับผลต่างจากโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีเข้ม)	98
ตารางที่ ค.13	ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้ม)	98
ตารางที่ ค.14	ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณไม้ทาสีของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้ม)	98
ตารางที่ ค.15	ข้อมูลเฉลี่ยกับผลต่างจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้ม)	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

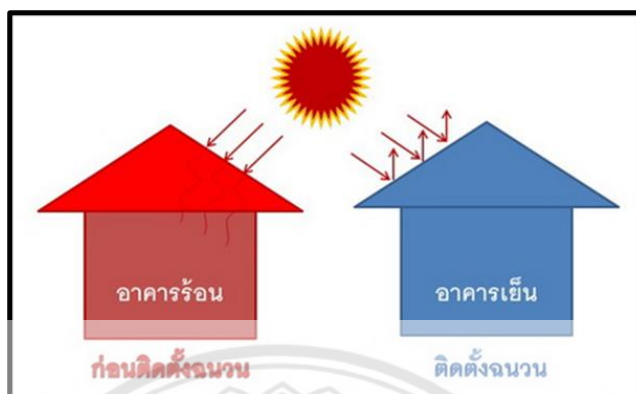
เนื่องจากปัญหาโลกร้อนในปัจจุบันที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ และส่งผลกระทบมากขึ้นทั้งในเรื่องสภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยเห็นได้ชัด ในฤดูฝนที่ไม่ตกตามฤดูกาล หน้าหนาวที่ในปัจจุบันที่มีจำนวนวันที่น้อยลงรวมไปถึงอุณหภูมิที่สูงขึ้นด้วย ในฤดูร้อนที่อุณหภูมิที่สูงมากขึ้นทุกปี โดยในเมืองที่เป็นชุมชนขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นของประชากรสูงทำให้เกิดภาวะปรากฏการณ์เกาะความร้อน หรือเกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island) [1] คือ ภาวะอุณหภูมิที่อากาศใกล้พื้นดินในเขตชุมชนเมืองสูงกว่าพื้นที่โดยรอบที่เป็นชานเมืองหรือเขตป่าไม้



รูปที่ 1.1 ปรากฏการณ์เกาะความร้อน หรือ เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island)

อีกปัจจัยมักมาจากตัวอาคารบ้านเรือนหรือตึกสูงที่มีวัสดุที่คอยดูดซับความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ รวมไปถึงความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาผลาญเชื้อเพลิง ไอเสียที่มาจากรถยนต์ มลพิษต่าง ๆ ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกเฉพาะบริเวณได้ อีกทั้งฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในอากาศก็เป็นตัวดูดซับความร้อนไว้เพิ่มมากขึ้น ต้นไม้ที่เคยทำหน้าที่คอยดูดซับรังสีของดวงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในกระบวนการสังเคราะห์แสงก็มีน้อยลง ซึ่งสิ่งเหล่านี้ทำให้เขตอาคารบ้านเรือนมีอุณหภูมิสูง

จึงทำให้การใช้พลังงานมีอัตราที่สูงตามมา ซึ่งจะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นและยังส่งผลเสียต่อสุขภาพเช่นกัน ดังนั้นโครงการนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของสีฉนวนกันความร้อน โดยมุ่งหวังในการลดปัญหาความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคาร โดยใช้วิธีการในการทาสีที่บนแผ่นหลังคาด้วยสีฉนวนกันความร้อน



รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ไม่ทาสีกับทาสีฉนวนกันความร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสีฉนวนกันความร้อน
- 1.2.2 ทดสอบการใช้งานจริงของสีฉนวนกันความร้อน
- 1.2.3 ตรวจวัดและเปรียบเทียบผลอุณหภูมิผิวหลังคาและอุณหภูมิแวดล้อมระหว่างหลังคาที่ทาสีฉนวนกันความร้อนกับหลังคาที่ไม่ทาสี
- 1.2.4 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนด้วยการคำนวณค่า RTTV ระหว่างหลังคาที่ทาสีฉนวนกันความร้อนกับหลังคาที่ไม่ทาสี

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สีฉนวนกันความร้อนที่ใช้ทดสอบจะแบ่งออกเป็นชนิดสีขาวและชนิดสีเข้ม โดยชนิดสีขาวจะทำการทดสอบที่ความหนา 300 ไมครอน และทดสอบชนิดสีเข้มโดยใช้ความหนา 150 ไมครอน

1.3.2 หลังคาที่ใช้ในการทดสอบ จะเป็นหลังคาแบบเมทัลชีทสถานที่ทดสอบ คือ อาคารสิ่งพิมพ์เก่า โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ และโรงจอดรถจักรยานหอใน ซึ่งทั้ง 3 สถานที่จะอยู่ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวร

- การทดสอบสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาว จะทดสอบ 3 สถานที่ ได้แก่ อาคารสิ่งพิมพ์เก่า โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ และโรงจอดรถจักรยานหอใน

- การทดสอบสีนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม จะทดสอบ 2 สถานที่ ได้แก่ โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (โตนสีแดงอิฐ) และโรงจอดรถจักรยานหอโน (โตนสีเขียว)

1.3.3 ทดสอบโดยการวัดอุณหภูมิฝั่งทาสีและฝั่งไม่ทาสีรวมทั้งหมด 10 จุด โดยจะแบ่งเป็นฝั่งละ 5 จุด ดังนี้

- ผิวบนหลังคา
- ผิวใต้หลังคา
- บนหลังคาขึ้นไประยะ 5 เซนติเมตร
- ใต้หลังคาลงไประยะ 5 เซนติเมตร
- กลางอาคารโดยสูงจากพื้นประมาณ 2-3 เมตร

1.3.4 ทำการทดสอบวัดอุณหภูมิทั้ง 10 จุดพร้อมกัน ตามที่ระบุไว้ในข้อ 1.3.3 ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. รวมประมาณ 8 ชั่วโมง ซึ่งจะนับเป็นการทดสอบ 1 วัน/ครั้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงผลอุณหภูมิผิวหลังคาและอุณหภูมิแวดล้อมระหว่างหลังคาที่ทาสีนวนกันความร้อนกับหลังคาที่ไม่ทาสี

1.4.3 เพื่อให้ทราบและเข้าใจถึงการถ่ายเทความร้อนด้วยการคำนวณค่า RTTV ระหว่างหลังคาที่ทาสีนวนกันความร้อนกับหลังคาที่ไม่ทาสี

1.4.2 เพื่อลดภาวะโลกร้อน และปรากฏการณ์เกาะความร้อน

1.4.4 เพื่อประโยชน์แก่ผู้สนใจทั่วไป สามารถนำเทคโนโลยีสีนวนกันความร้อนไปใช้ได้จริง

1.5 แผนการดำเนินงาน

รวบรวมข้อมูลและค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

- ทฤษฎีและข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง
- หน้าที่และคุณสมบัติของสีนวนกันความร้อน
- เครื่องมือวัดที่ต้องนำมาใช้ในการทดลอง
- ออกแบบการทดลอง

1.5.2 ทำการทดสอบสมรรถนะของสีนวนกันความร้อน

1.5.3 อธิบายผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.5.3 สรุปและประเมินผลการ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การศึกษาปรากฏการณ์ของการถ่ายเทความร้อน [2,3] คือการเคลื่อนที่ของอะตอมหรือการสั่นของโมเลกุลทำให้เกิดรูปแบบของพลังงานจลน์ซึ่งเรียกว่า ความร้อน (Heat) และเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทมวล โมเมนตัม พลังงาน ฟลักซ์ (flux) ของการถ่ายเทความร้อน โดยจะมีกลไกการถ่ายเทความร้อนออกเป็น 3 แบบคือ การนำความร้อน (conduction heat transfer) การพาความร้อน (convection heat transfer) การแผ่รังสี (radiation heat transfer) ซึ่งอาจเกิดถ่ายเทความร้อนทั้งสามแบบพร้อมกัน

2.1.1 การนำความร้อน (Conduction)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยผ่านตัวการที่บดบัง ความลาดชันของอุณหภูมิสามารถเกิดได้ทั้งในของแข็ง ของเหลวและแก๊ส การไหลหมุนเวียนจะเกิดขึ้นเฉพาะในของเหลวและแก๊ส แต่สำหรับในของแข็งที่บดบังจะไม่มีเคลื่อนไหวภายในวัสดุจะมีแต่การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำเพียงอย่างเดียวอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจะเป็นสัดส่วนกับค่าความลาดชันของอุณหภูมิคูณกับพื้นที่คูณกับพื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน

$$q_{cond} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

$$q = -k \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2.2)$$

q_{cond} = อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (W/m^2)

k = ค่าการนำความร้อนของวัสดุ ($W/m.K$)

T = อุณหภูมิ (K)

x = ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (m)

ก. หลักการของความต้านทานความร้อน (Resistance Concept) การหาความต้านทานในการนำความร้อนได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_{cond} = \frac{L}{kA} \quad (2.3)$$

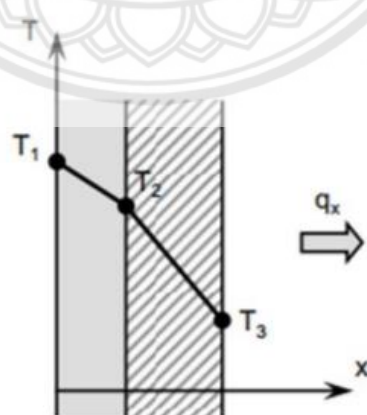
อัตราการนำความร้อน Q_k หาได้ดังนี้

$$Q_k = \frac{T_1 - T_4}{R} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{L_3}{k_3 A}} \quad (2.4)$$

$$Q_k = \frac{T_1 - T_2}{R} = \frac{(T_1 - T_2)}{L} (k_1 A_1 + k_2 A_2) \quad (2.5)$$

อัตราการนำความร้อน หาได้จากผลรวมของอัตราการนำความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุทั้งสอง

$$Q_k = Q_1 + Q_2 = \frac{T_1 - T_2}{R_1} + \frac{T_1 - T_2}{R_2}$$



รูปที่ 2.1 รูปแบบการนำความร้อนผ่านผนัง

ข.ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ค่า Conductivity ของวัสดุแต่ละชนิดหาได้จากการทดลอง โดยใช้กฎของฟูเรียร์

$$k = -\frac{q_k}{dT/dx} \quad (2.7)$$

หรือ

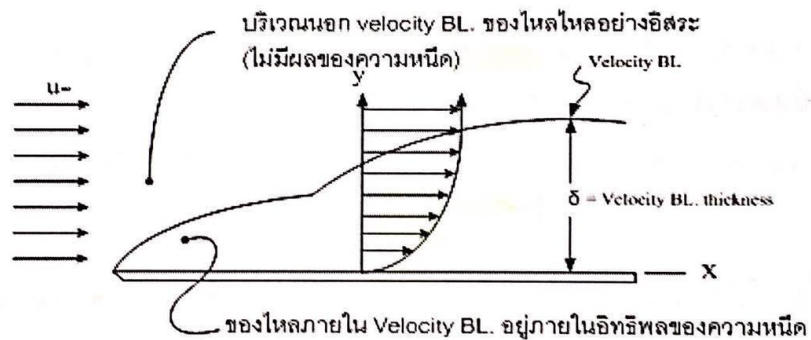
$$k = -\frac{Q_k}{A(dT/dx)} \quad (2.8)$$

2.1.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อน คือ การถ่ายโอนความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊สโดยที่ของเหลวหรือแก๊สส่วนที่ได้รับความร้อนจะเคลื่อนที่พาความร้อนไปด้วยโดยหลักการแล้วกล่าวได้ว่าการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดจากที่สารใดสารหนึ่งได้ที่ได้รับความร้อน แล้วความหนาแน่นของอนุภาคน้อยลงขยายตัวลอยตัวสูงขึ้น พร้อมทั้งพาความร้อนไปด้วย ขณะเดียวกันส่วนอื่นที่ยังไม่ได้รับความร้อนยังมีความหนาแน่นของอนุภาคมากกว่า จะเคลื่อนมาแทนที่จนสารนั้นได้รับความร้อนทั่วกัน เรียกว่า "การพาความร้อน" การถ่ายเทความร้อนโดยการพาสามารถแบ่งออกไปเป็น 2 ประเภทคือ

- การพาความร้อนแบบอิสระหรือธรรมชาติ (Free or natural convection) การเคลื่อนตัวของของไหลในการพาความร้อนอาศัยความต่างของความหนาแน่นของของไหล เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิทำให้เกิดแรงลอยตัว
- การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) การเคลื่อนตัวของของไหลในการพาความร้อนอาศัยแรงกลภายนอก เช่น จากพัดลม ปั๊มน้ำ เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหลเมื่อไหลผ่านวัตถุใด ๆ เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของวัตถุกับบริเวณที่ของไหลไหลอย่างอิสระ (free stream) เรียกบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหลนี้ว่า **ชั้นขอบเขตความเร็ว (velocity boundary layer)** ดังรูป 2.02

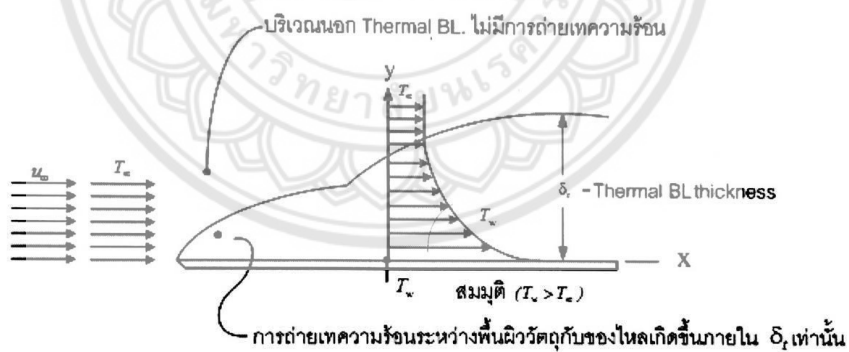


รูปที่ 2.2 การแสดงชั้นขอบเขตของความเร็ว

ที่ความหนาของชั้นขอบเขต, δ ของไหลจะมีความเร็ว

$$U(y = \delta) = 0.99U_\infty \quad (2.9)$$

การแลกเปลี่ยนความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นภายในบริเวณที่เรียกว่าชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer)



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงชั้นขอบเขตของความร้อน

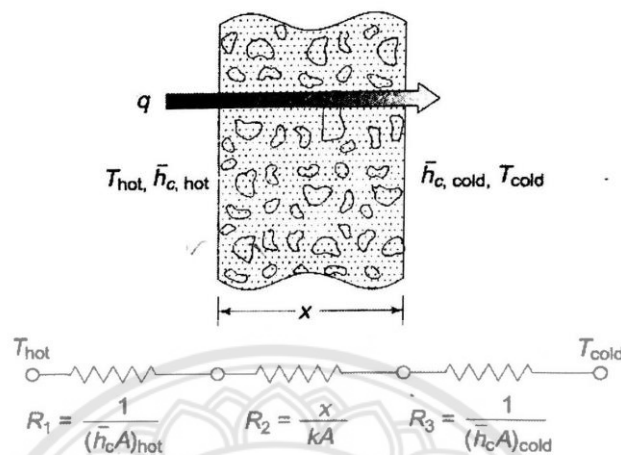
$$y = \delta_t ; T_w - T = 0.99(T_w - T) \quad (2.10)$$

โดยปกติ

$$\delta_t \neq \delta$$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Overall Heat Transfer Coefficient)

ในปัญหาทางด้านวิศวกรรมส่วนใหญ่ที่เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนมักจะเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลสองชนิดที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่กันโดยผ่านผนัง



รูปที่ 2.4 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง

ค่าความต้านทานร้อนต่ออนุกรมกันอยู่สามค่า

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{1}{h_{c,1}A} + \frac{x}{kA} + \frac{1}{h_{c,2}A} \quad (2.11)$$

$$Q_c = \frac{T_h - T_c}{R} = \frac{T_h - T_c}{(1/h_{c,1}A + (x/kA) + (1/h_{c,2}A))} \quad (2.12)$$

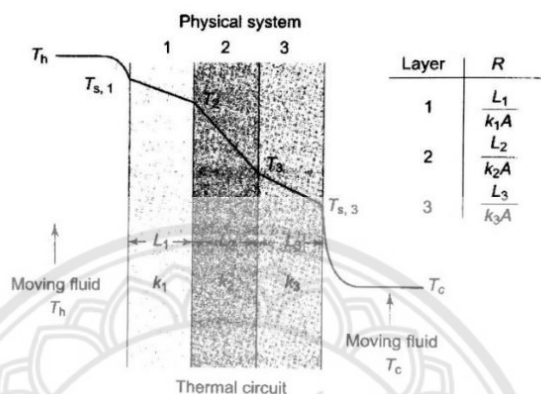
$$Q_c = UA (T_h - T_c) \quad (2.13)$$

โดย U เรียก สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (overall heat transfer coefficient, W/m^2K)

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_{c,1}A} + \frac{x}{kA} + \frac{1}{h_{c,2}A} \quad (2.14)$$

หรือ

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{c,1}} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_{c,2}} \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.5 การพาและนำความร้อนผ่านผนัง

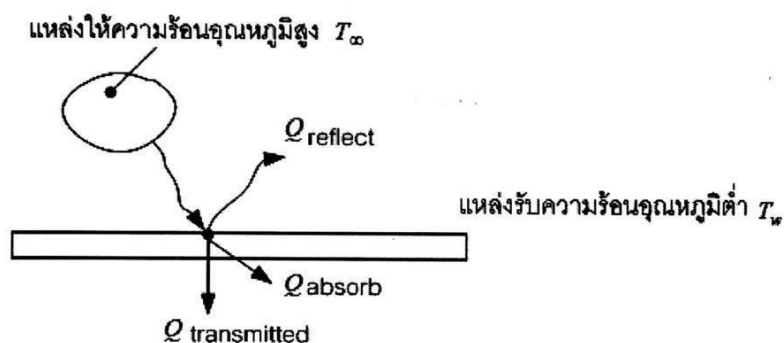
และ

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_{c,hot}A} + \frac{L_1}{k_1A} + \frac{L_2}{k_2A} + \frac{L_3}{k_3A} + \frac{1}{h_{c,cold}A} \quad (2.16)$$

$$Q = UA(T_h - T_c) \quad (2.17)$$

2.1.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation Heat Transfer)

วัตถุทุกชนิดสามารถที่จะแผ่รังสีออกจากตัวเองได้ วัตถุสองวัตถุถึงแม้จะอยู่ในสุญญากาศ (ไม่มีอากาศ) ก็สามารถแผ่รังสีให้แก่กันและกันได้ โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะรับความร้อนที่แผ่มาจากวัตถุที่ ร้อนกว่าจึงทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น พลังงานที่แผ่ออกมาจากวัตถุในรูปของความร้อน (Q) บางส่วนจะถูกดูดซับไว้โดยวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า บางส่วนจะถูกส่งผ่านตัววัตถุ และบางส่วนจะถูกสะท้อนกลับไปจากผิวของวัตถุ



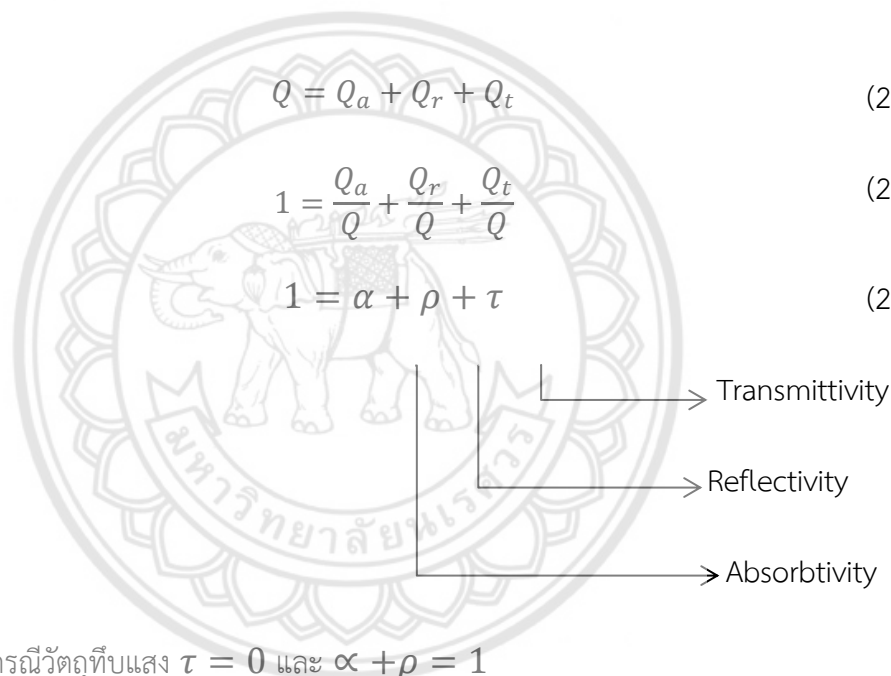
รูปที่ 2.6 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี

ความร้อนโดยรวมจากแหล่งให้ความร้อนคือ

$$Q = Q_a + Q_r + Q_t \quad (2.18)$$

$$1 = \frac{Q_a}{Q} + \frac{Q_r}{Q} + \frac{Q_t}{Q} \quad (2.19)$$

$$1 = \alpha + \rho + \tau \quad (2.20)$$



กรณีวัตถุทึบแสง $\tau = 0$ และ $\alpha + \rho = 1$

วัตถุที่สามารถดูดกลืนรังสีทั้งหมดที่ตกกระทบได้ เรียก “วัตถุดำ (Black body)” (ซึ่งไม่มีจริงในโลกนี้) และวัตถุดำก็เป็นวัตถุที่สามารถปลดปล่อยรังสีได้ดีที่สุด แต่วัตถุจริงเป็น “วัตถุเทา (gray body)” ซึ่งจะมีค่าการแผ่รังสี (emissivity) (\mathcal{E}) น้อยกว่าหนึ่งนิยาม \mathcal{E} เขียนได้ดังนี้

$$\mathcal{E} = \frac{\text{พลังงานจริงที่เกิดจากการแผ่รังสีของวัตถุเทาที่อุณหภูมิใดๆ } T(K)}{\text{พลังงานที่เกิดจากการแผ่รังสีของวัตถุดำที่อุณหภูมิเดียวกัน } T(K)} \quad (2.21)$$

อัตราการพลังงานจากการแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิสัมบูรณ์ T หาได้จากกฎของสตีฟาน-โบลทซ์มันน์ (Stefan-Boltzmann) ดังนี้

$$Q_r = \sigma AT^4 \quad (2.22)$$

โดย σ = ค่าคงที่ของสตีฟาน-โบลทซ์มันน์ ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

อัตราการแลกเปลี่ยน (ถ่ายเท) ความร้อนระหว่างวัตถุทาสองวัตถุที่มีอุณหภูมิเป็น T_1 และ T_2 จะขึ้นอยู่กับ

- ค่าวิวแฟกเตอร์ (view factor) คือ การมองเห็นซึ่งกันและกันระหว่างวัตถุทาสอง
- ค่าการแผ่รังสี (ϵ)

และหาได้ดังนี้

$$Q_{1-2} = \sigma A_1 F'_{1-2} (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.23)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน
 F'_{1-2} คือ ค่าวิวแฟกเตอร์ระหว่างวัตถุทาสอง

โดย
$$F'_{1-2} = \frac{1}{\left[\frac{1}{\epsilon_1} - 1\right] + \frac{1}{F_{12}} + \frac{A_1}{A_2} \left[\frac{1}{\epsilon_2} - 1\right]} \quad (2.24)$$

ϵ_1 และ ϵ_2 คือ ค่าการแผ่รังสีของวัตถุทาสอง
 F_{12} คือ ค่าวิวแฟกเตอร์ของวัตถุดำที่มีรูปร่างเหมือนวัตถุทาสอง ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21} \quad (2.25)$$

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาพร้อมกับการแผ่รังสี (Combined Convection and radiation)

ความร้อนที่ถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งๆ อาจเกิดขึ้นทั้งจากการพาและการแผ่รังสีความร้อนร่วมกัน อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพา คือ

$$Q_c = h_c A (T_w - T_\infty) \quad (2.26)$$

และอัตราการความร้อนจากการแผ่รังสี

$$Q_c = \sigma F'_{1-2} A_1 (T_w^4 - T_\infty^4) = h_r A_1 (T_w - T_\infty) \quad (2.27)$$

โดย h_r คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี W/m^2K

$$h_r = \sigma F'_{1-2} A_1 (T_w - T_\infty) (T_w^2 + T_\infty^2) \quad (2.28)$$

ค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี

$$R_r = \frac{T_w - T_\infty}{Q_r} = \frac{1}{h_r A_1} = \frac{1}{\sigma A_1 F'_{1-2} (T_w - T_\infty) (T_w^2 + T_\infty^2)} \quad (2.29)$$

ความร้อนรวมจากการพาและการแผ่รังสี

$$Q = Q_c + Q_r \quad (2.30)$$

$$Q = (h_c + h_r) A (T_w - T_\infty) \quad (2.31)$$

2.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสำหรับ (RTTV)

คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value, RTTV) หมายถึงดัชนีในการแสดงปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของหลังคาอาคารต่อการถ่ายเทความร้อน

ส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (2.32)$$

เมื่อ R_t คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนัง ($W/m^2\text{°C}$)

$$RTTV = (U_r)(1 - RSR)(TD_{eq}) + (U_{rf})(RSR)(\Delta T) + (SC)(RSR)(SF) \quad (2.33)$$

เมื่อ	U_r	คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนทึบ ($W/m^2\text{°C}$)
	RSR	คือ อัตราส่วนพื้นที่ของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคาต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาในส่วนที่พิจารณา
	TD_{eq}	คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคาส่วนทึบตามกระทรวงได้ประกาศกำหนด (°C)
	ΔT	คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารให้เป็นไปตามกระทรวงฯ ได้ประกาศกำหนด
	SC	คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา ซึ่งการคำนวณให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่ตามกระทรวงฯ ได้ประกาศกำหนด
	SF	คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (solar factor) (W/m^2) ที่ผ่านส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคาให้เป็นไปตามกระทรวงฯ ได้ประกาศกำหนด

ตารางที่ 2.1 ค่า RTTV สูงสุดของอาคารประเภทต่างๆ

ประเภทอาคาร/ลักษณะการใช้งานอาคาร	RTTV ของหลังคา (W/m^2)
สำนักงาน สถานศึกษา	O-RTTV ≤ 15
ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อยศูนย์การค้า หรือซูเปอร์สโตร์	S-RTTV ≤ 12
โรงแรม โรงพยาบาล/สถานพักฟื้น	H-RTTV ≤ 10

เมื่อ	O	หมายถึง สำนักงาน สถานศึกษา
	S	หมายถึง ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อยศูนย์การค้า หรือซูเปอร์สโตร์
	H	หมายถึง โรงแรม โรงพยาบาล/สถานพักฟื้น

ตารางที่ 2.2 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา

ชนิดของผิววัสดุ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($m^2\text{°C}/W$)
ก.กรณีผนังของอาคาร	
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

ตารางที่ 2.2 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา (ต่อ)

ชนิดของผิววัสดุ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($m^2\text{C}/W$)
ข.กรณีของหลังคา	
ข.1 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านในของหลังคา (R_i)	
ข.1.1 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	
หลังคาราบ	0.162
หลังคาเอียงทำมุม 22.5° กับแนวระดับ	0.148
หลังคาเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.133
ข.1.2 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	
หลังคาราบ	0.801
หลังคาเอียงทำมุม 22.5° กับแนวระดับ	0.595
หลังคาเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.391
ข.2 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอกของหลังคา (R_o) (ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงและเอียงทำมุมใดๆ)	0.055

เนื่องจากหลังคาที่ทำการทดสอบนั้นเป็นหลังคาแบบเมทัลชีทซึ่งเป็นหลังคาแบบทึบแสงและไม่มีอุปกรณ์บังแดดจึงสามารถจัดรูปแบบใหม่โดยการตัดเอาสมการในส่วนของเทอมที่สองและเทอมที่สามออกไปได้ สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$RTTV = U_r \times TD_{eq} \quad (2.34)$$

โดย U_r สามารถหาได้จาก $\frac{1}{R}$ โดย R คือ ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) และ TD_{eq} คือ ผลต่างของอุณหภูมิผิวใต้หลังคา กับอุณหภูมิภายนอก ซึ่งค่า R จะมีอยู่ 2 กรณี คือกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ทาสีและกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ได้ทาสี สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ยังไม่ได้ทาสี เนื่องจากยังไม่ได้ทาสีทับลงไป ในส่วนของการคำนวณจึงคำนวณเพียงผิวของเมทัลชีทที่เป็นผิวเปล่าชั้นเดียวเท่านั้น เขียนสมการได้ดังนี้

$$R = \left(\frac{1}{h_{cv} + h_{ra}} \right)_o + \frac{L_{ms}}{k_{ms}} + \left(\frac{1}{h_{ri}} \right)_i \quad (2.35)$$

กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ทาสีแล้ว สำหรับในกรณีนี้ในส่วนของชั้นที่ใช้ในการคำนวณจะมี 2 ชั้น โดยมีชั้นผิวของหลังคาเมทัลชีทผิวเปล่าเป็นชั้นแรก และผิวของหลังคาเมทัลชีทที่ทาสี Captain ทับลงไปเป็นชั้นที่สอง เขียนสมการได้ดังนี้

$$R = \left(\frac{1}{h_{cv} + h_{ra}} \right)_o + \frac{L_{col}}{k_{col}} + \frac{L_{ms}}{k_{ms}} + \left(\frac{1}{h_{ri}} \right)_i \quad (2.36)$$

h_{cv} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวบนของหลังคาเมทัลชีท ($W/m^2 \cdot K$)

h_{ra} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของหลังคาเมทัลชีท ($W/m^2 \cdot K$)

L_{col} คือ ความหนาของฉนวนที่ทาทับลงไปบนผิวเมทัลชีท

k_{col} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนที่ทาทับลงไปบนผิวเมทัลชีท
มีค่าเท่ากับ $0.2203 \text{ W/m}^2 \cdot K$

L_{ms} คือ ความหนาของแผ่นหลังคาเมทัลชีทเปล่า มีค่าเท่ากับ 0.4 mm

k_{ms} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นหลังคาเมทัลชีทเปล่า
มีค่าเท่ากับ $47.6 \text{ W/m}^2 \cdot K$

h_{ri} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวล่างของหลังคาเมทัลชีท ($W/m^2 \cdot K$)

โดย h_{cv} สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$h_{cv(ms)} = \frac{Nu_{(ms)} \cdot k_{air}}{L_{ms}} \quad (2.37)$$

k_{air} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ ($W/m^2 \cdot K$)

L_{ms} คือ ความหนาของแผ่นหลังคาเมทัลชีทเปล่า มีค่าเท่ากับ 0.4 mm

$Nu_{(ms)}$ คือ ค่านัสเซลท์นัมเบอร์ของการพาความร้อนแบบธรรมชาติ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right)^{8/27}} \right] \quad (2.38)$$

N_u คือ ค่านัสเซลท์นัมเบอร์

R_{aL} คือ ค่าราเลย์นัมเบอร์

P_r คือ ค่าพรันด์เทิลนัมเบอร์

ในการวิเคราะห์ชนิดของไหลโดยผลคูณของค่ากราสฮอฟนัมเบอร์และค่าพรันด์เทิลนัมเบอร์ ถูกนิยามให้อยู่ในเทอมใหม่ที่เรียกว่าค่าราเลย์นัมเบอร์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R_{aL} = G_{rL} \cdot P_r \quad (2.39)$$

$$G_{rL} = \frac{g \cos \theta \beta (T_m - T_\infty) L^3}{\nu^2} \quad (2.40)$$

$$P_r = \frac{c_p \mu}{k} \quad (2.41)$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.42)$$

โดย	G_r	คือ กราสฮอฟนัมเบอร์
	g	คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
	β	คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร ($\beta = \frac{1}{T_f}$)
	c_p	คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ ($J / kg \cdot K$)
	μ	คือ ความหนืดของอากาศ ($kg/m \cdot s$)
	T_m	คือ อุณหภูมิที่ผิววัตถุ (K)
	T_∞	คือ อุณหภูมิของของไหล (K)
	θ	คือ มุมเอียงของหลังคาเมทัลชีท
	L	คือ ความหนาของแผ่นหลังคาเมทัลชีทเปล่า มีค่าเท่ากับ 0.40 มิลลิเมตร
	ν	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดคินเนติกส์ (m^2/s)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของความร้อนในอากาศ (kg/m^3)

h_{ra} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของหลังคาเมทัลชีท ($W/m^2 \cdot K$) โดยค่า emissivity จะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ทาสี และหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ได้ทาสี สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ยังไม่ได้ทาสี

$$h_{ra} = \varepsilon_{(ms)}\sigma(T_o - T_s)(T_o^2 - T_s^2) \quad (2.43)$$

กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ทาสี

$$h_{ra} = \varepsilon_{(col)}\sigma(T_o - T_s)(T_o^2 - T_s^2) \quad (2.44)$$

เมื่อ ε คือ ค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุนั้นๆ (mm^2/s)
 โดยค่าของ $\varepsilon_{(ms)} = 0.25 mm^2/s$ และ $\varepsilon_{(col)} = 0.3161 mm^2/s$
 σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann's มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} w/m^2 \cdot k^4$
 T_o คือ ค่าอุณหภูมิผิวด้านนอกของหลังคาเมทัลชีท (K)
 T_s คือ ค่าอุณหภูมิของท้องฟ้า (K)

โดย T_s สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$T_s = 0.0552 \times T_{ambo}^{1.5} \quad (2.45)$$

T_{ambo} คือ ค่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมภายนอก (K)
 h_{ri} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวของหลังคาเมทัลชีทด้านในมีหน่วยเป็น $W/m^2 \cdot K$ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$h_{ri} = 2.3(T_i - T_{room})^{0.24} \quad (2.46)$$

T_i คือ ค่าอุณหภูมิผิวด้านในของหลังคาเมทัลชีท (K)
 T_{room} คือ ค่าอุณหภูมิที่กลางอาคารของสถานที่ทดสอบ (K)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Afroditi Synnefa, Mat Santamouris and K Apostolakis

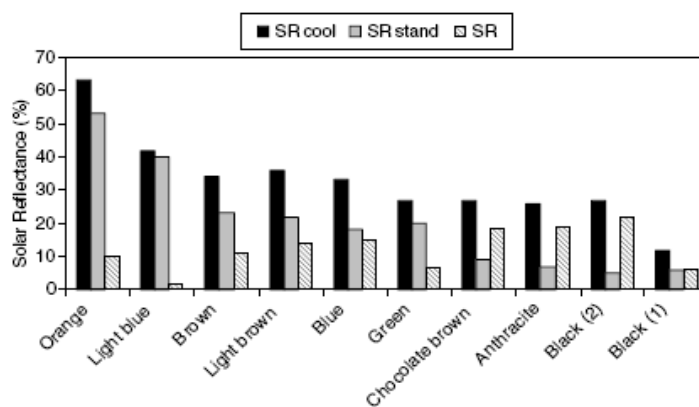
การใช้สีกันความร้อนทาเคลือบผิววัสดุทดสอบโดยการทดสอบทั้งหมด 10 โทนสี [4] ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับสีธรรมดา (conventional colors) ที่ไม่มีส่วนผสมของกันความร้อน ซึ่งทำการทดสอบโดยการเก็บค่าการดูดกลืนความร้อน การสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์และรังสีอินฟราเรด รวมถึงเก็บค่าอุณหภูมิผิวของวัสดุที่ใช้ทดสอบ โดยทำการทดสอบตลอด 24 ชั่วโมง เป็นระยะเวลาทั้งหมด 5 เดือน (สิงหาคม – ธันวาคม) ซึ่งจากการทดสอบพบว่าสามารถนำสีกันความร้อนนี้ไปใช้เคลือบผิวหลังคาหรือผนังอาคารได้

เนื่องจากสีกันความร้อนนี้จะช่วยลดการดูดกลืนความร้อนและช่วยในการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์และรังสีอินฟราเรด โดยสังเกตได้จากอุณหภูมิผิวที่มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิผิวของวัสดุทดสอบที่ทาเคลือบด้วยสีธรรมดา จึงทำให้สามารถประหยัดพลังงานในการทำ ความเย็นภายในอาคารได้

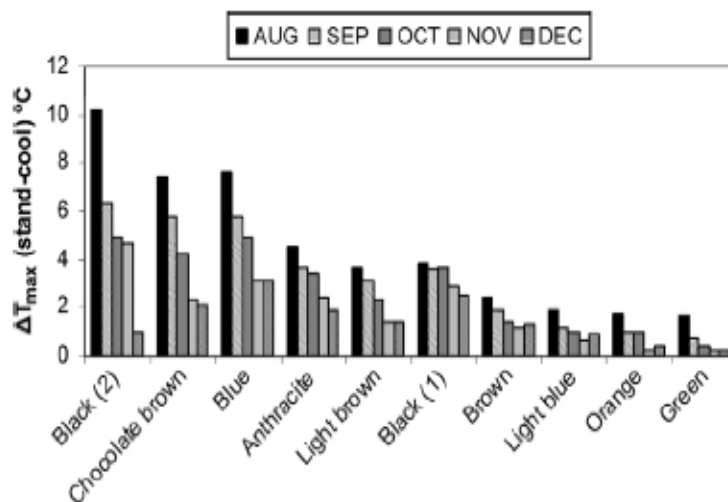
LITERATURE SURVEY X



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการเคลือบสีบนแผ่นทดสอบ



รูปที่ 2.8 ผลการทดสอบสีกันความร้อนที่ทาเคลือบผิววัสดุ

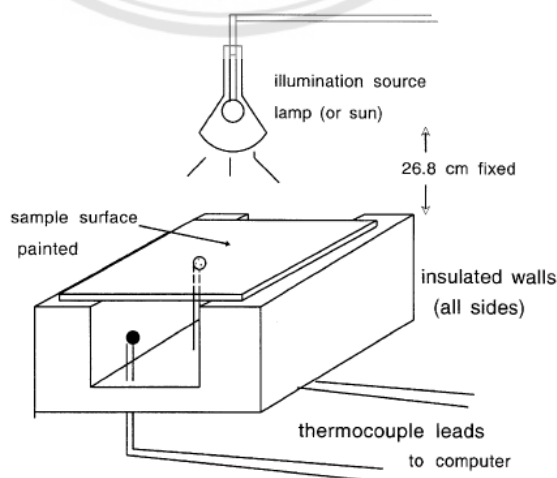


รูปที่ 2.9 ผลการทดสอบในช่วงเดือนต่างๆ

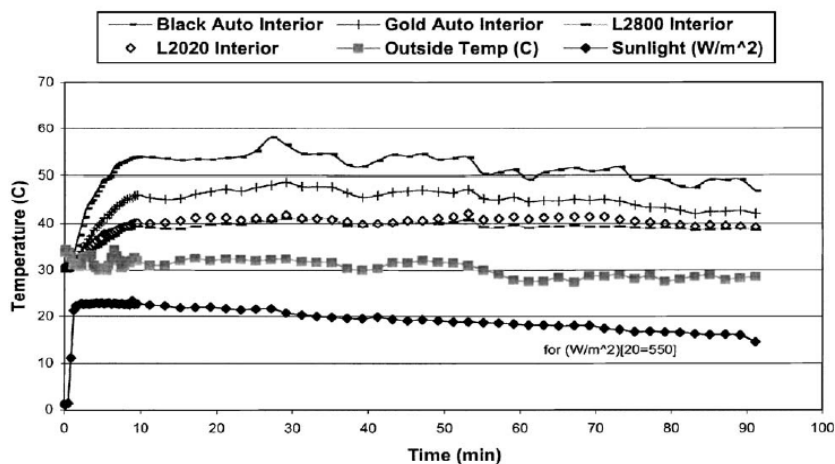
2.2.2 G.B. Smith, A. Gentle, P.D. Swift, A. Earp and N. Mronga

การใช้สีฉนวนกันความร้อนที่มีส่วนประกอบของเม็ดอะลูมินาเทาเคลือบผิวของวัสดุตัวอย่างที่มีชั้นของออกไซด์ของเหล็กและซิลิคอน [5,6] ซึ่งทำการทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุตัวอย่างที่ไม่ได้เคลือบด้วยสีฉนวนกันความร้อน โดยทำการเก็บผลของค่าการสะท้อน การกระจายตัวและการดูดซับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งจากการทดลองพบว่า อนุภาคเม็ดอะลูมินาจะเป็นช่วยในการลดการดูดซับรังสีความร้อนที่มาจากแสงอาทิตย์และสะท้อนรังสีอินฟราเรด โดยทำให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานได้มากกว่า 50%

LITERATURE SURVEY (continue)



รูปที่ 2.10 การทดสอบการกระจายตัวและการดูดซับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์

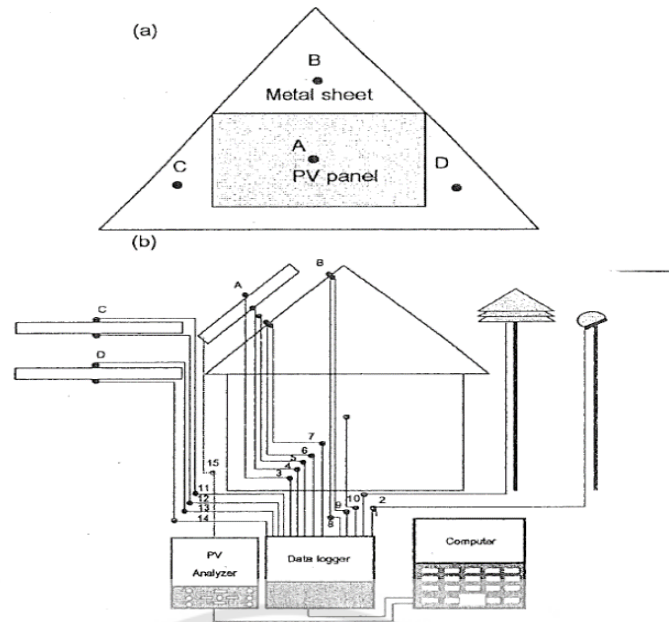


รูปที่ 2.11 ผลการทดสอบการกระจายตัวและการดูดซับความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์

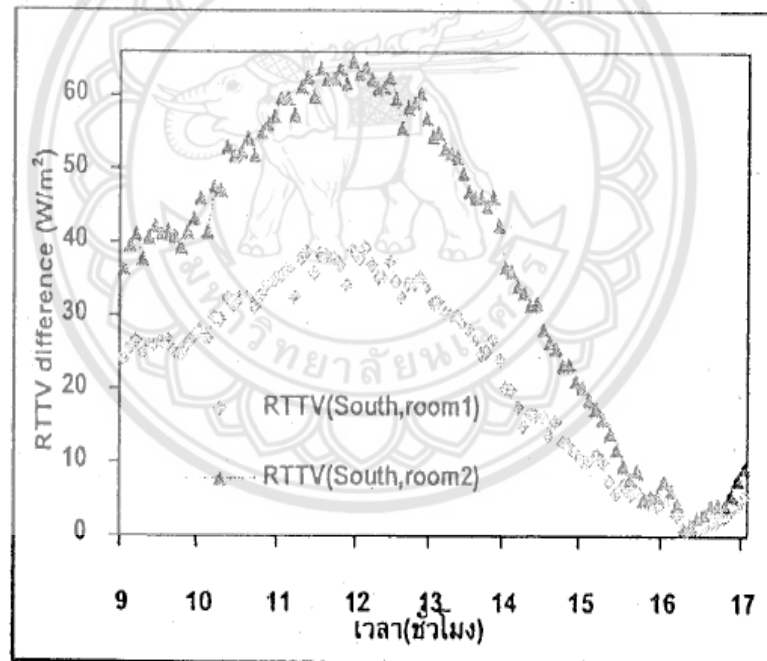
2.2.3 การประเมินผลด้านความร้อนและไฟฟ้าสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารจำลอง (THERMAL AND ELECTRICAL ASSESSMENT OF SOLAR PANEL INSTALLED AT THE ROOF OF THE BUILDING)

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อผลิตไฟฟ้าเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้พื้นที่หลังคาให้เป็นประโยชน์ และยังมีผลทางอ้อมถึงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลด้านความร้อนและไฟฟ้าจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ขนาด 40 W บนหลังคาเมทัลชีทของอาคารจำลอง โดยทำการเปรียบเทียบกับอาคารจำลองขนาดเดียวกันที่ไม่ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการศึกษาพบว่ากำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 24.20 W ที่ความเข้มแสงอาทิตย์เท่ากับ 991 W/m เมื่อคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในหนึ่งวันต่อพื้นที่ติดตั้งจะมีค่าเท่ากับ 0.6 kWh/day-m เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่า เท่ากับ 0.53 W/m K ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหลังคาห้องที่ไม่ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 5 เท่าและเมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเข้าสู่หลังคา(RTTV) [7] พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดค่า RTTV ได้ 24.62 W/m หรือลดลงประมาณ 38.58 % การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคานอกจากจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้แล้วยังทำให้ความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารลดลงซึ่งทำให้เกิดการประหยัดพลังงานในการปรับอากาศได้มากขึ้น



รูปที่ 2.12 จุดตรวจวัด ณ ตำแหน่ง (a) หลังคา และ (b) รวมทั้งอาคาร



รูปที่ 2.13 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทั้งสองห้อง

บทที่ 3

ขั้นตอนการคำนวณ

ในการทดสอบคุณสมบัติของสีฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคานั้น ค่าที่จัดบันทึกจะนำมาสังเคราะห์ต่อ โดยจะใช้ค่าอุณหภูมิผิวหลังคาด้านนอกและด้านใน ค่าต่างๆเหล่านี้คือพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณ RTTV ซึ่งวิธีการคำนวณก็ได้กล่าวไปในบทที่ 2

ค่า RTTV เป็นค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ผ่านหลังคาเข้ามาต่อ 1 ตารางเมตร โดยจะแสดงตัวอย่างการคำนวณของทั้ง 2 กรณีซึ่งเป็นของอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว-ไม่ทาสี) ทดสอบวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2563 โดยเริ่มจากกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ทาสี และกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ทาสีตามลำดับ

กรณีที่ 1 ตัวอย่างผลการทดสอบกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ทาสี

จากผลของการทดลองวัดอุณหภูมิของอาคารสิ่งพิมพ์ (สีขาว-ไม่ทาสี) ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2563 สามารถหาค่า RTTV ในกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ทาสีได้โดยทำการเฉลี่ยอุณหภูมิในช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 14.00 น. เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่เห็นผลต่างของอุณหภูมิได้ชัดเจน ซึ่งจะมีค่าอุณหภูมิภายนอก (T_o) , อุณหภูมิภายใน (T_i) , อุณหภูมิกลางอาคาร (T_{amb})

เมื่อเฉลี่ยแล้วจะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}T_o &= 45.59 \text{ }^{\circ}\text{C} \\T_i &= 49.89 \text{ }^{\circ}\text{C} \\T_{amb} &= 33.50 \text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

ทำการหา T_F เพื่อเปิดตารางหาคุณสมบัติความร้อนทางอากาศ จากสมการ

$$\begin{aligned}T_F &= T_o - T_{amb} \\T_F &= 45.59 - 33.50 = 12.09 + 273 \text{ K} \\T_F &= 285.09 \text{ K}\end{aligned}$$

เปิดตารางสมบัติความร้อนทางอากาศที่ @285.09 K ได้ค่าดังนี้

$$\begin{aligned}c_p &= 1.006 \text{ J / kg} \cdot \text{K} \\ \rho &= 1.2313 \text{ kg / m}^3 \\ \mu &= 177.1 \times 10^{-7} \text{ kg / m} \cdot \text{s} \\ k &= 25.1 \times 10^{-3} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K} \\ v &= 14.55 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{s} \\ P_r &= 0.710\end{aligned}$$

จากกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ได้ทำสี่มีตัวแปรจากสมการสมการดังนี้

h_{cv} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวบนของหลังคาเมทัลชีท ($W/m^2 \cdot K$)

h_{ra} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของหลังคาเมทัลชีท ($W/m^2 \cdot K$)

L_{ms} คือ ความหนาของแผ่นหลังคาเมทัลชีทเปล่า มีค่าเท่ากับ 0.40 mm

k_{ms} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นหลังคาเมทัลชีทเปล่า ($47.6 \text{ W/m}^2 \cdot K$)

h_{ri} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวล่างของหลังคาเมทัลชีท ($W/m^2 \cdot K$)

โดยที่ h_{cv} หาได้จากสมการที่ (2.37)

$$h_{cv(ms)} = \frac{Nu(ms) \cdot k_{air}}{L_{ms}}$$

แต่ยังติดตัวแปรที่ไม่ทราบค่าอยู่ซึ่งจำเป็นต้องหา $Nu(ms)$ ก่อนสามารถหาได้จากสมการที่ (2.38)

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right)^{8/27}} \right]$$

ในการหา $Nu(ms)$ จำเป็นต้องทราบค่า Ra_L โดยหาได้จากสมการที่ (2.39)

$$Ra_L = Gr_L \cdot Pr$$

จากสมการ Ra_L ยังมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าอยู่คือ Gr_L สามารถหาได้จากสมการที่ (2.40)

$$Gr_L = \frac{g \cos \theta \beta (T_m - T_\infty) L^3}{\nu^2}$$

ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับหา Gr_L มีดังนี้

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 m/s^2

θ คือ มุมเอียงของหลังคาเมทัลชีทซึ่งทำมุมเอียง 25°

β คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร หรือ $\beta = \frac{1}{T_F}$
แทนค่า T_F จากข้างต้นได้ดังนี้

$$\beta = \frac{1}{285.09} = 3.508 \times 10^{-3}$$

- T_m คือ อุณหภูมิภายนอก
 T_∞ คือ อุณหภูมิกลางอาคาร
 L_{ms} คือ ความหนาของแผ่นหลังคาเมทัลชีทเปล่า มีค่าเท่ากับ 0.40 mm
 v คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดคิเนเมติกส์ที่เปิดจากตาราง $14.55 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

โดยแทนค่าที่ได้ทั้งหมด ลงในสมการเพื่อหา G_{rL} ได้

$$G_{rL} = \frac{9.81 \times \cos(25) \times 3.508 \times 10^{-3} (45.59 - 33.50) 0.0004^3}{(14.55 \times 10^{-4})^2}$$

$$G_{rL} = 1.25 \times 10^{-5}$$

และสามารถนำค่า G_{rL} แทนลงในสมการเพื่อหา R_{aL}

$$R_{aL} = 1.25 \times 10^{-5} \times 0.710$$

$$R_{aL} = 8.85 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2\text{K}$$

เมื่อทราบค่า R_{aL} แล้วสามารถนำไปแทนสมการที่ (2.38) เพื่อหา N_u

$$N_u = \left[0.825 + \frac{0.387 \times (8.561 \times 10^{-6})^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{0.710} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right]$$

$$N_u = 0.825$$

เมื่อทราบค่า N_u แล้วสามารถนำไปแทนในสมการที่ (2.37) เพื่อหา $h_{cv(ms)}$ ได้ดังนี้

$$h_{cv(ms)} = \frac{0.824 \cdot 25.1 \times 10^{-3}}{0.0004}$$

$$h_{cv(ms)} = 51.77 \text{ W/m}^2\text{.K}$$

โดยการหา h_{ra} จะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ทาสีและหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ทาสีสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ยังไม่ได้สี ซึ่ง $\varepsilon_{(ms)} = 0.25 \text{ mm}^2/\text{s}$ และใช้สมการที่ (2.43) ในการคำนวณ

$$h_{ra} = \varepsilon_{(ms)} \sigma (T_o - T_s)(T_o^2 - T_s^2)$$

กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ทาสีฉนวนกันความร้อน ซึ่ง $\varepsilon_{(col)} = 0.3161 \text{ mm}^2/\text{s}$ และใช้สมการที่ (2.44) ในการคำนวณ

$$h_{ra} = \varepsilon_{(col)} \sigma (T_o - T_s)(T_o^2 - T_s^2)$$

ε คือ ค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุนั้นๆ (mm^2/s)

σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann's มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

T_o คือ ค่าอุณหภูมิผิวด้านนอกของหลังคาเมทัลชีท (K)

T_s คือ ค่าอุณหภูมิของท้องฟ้า (K) โดยสามารถหาได้จากสมการ (2.45)

$$T_s = 0.0552 \times T_{ambo}^{1.5}$$

แทนค่า $T_{ambo} = 33.50 \text{ }^\circ\text{C}$ ลงในสมการได้

$$T_s = 0.0552 \times 33.50^{1.5}$$

$$T_s = 10.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

ทำการแทน T_s และค่าตัวแปรต่างๆที่ทราบค่าแล้วลงในสมการที่ (2.43)

$$h_{ra} = 0.25 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (45.59 - 10.7) \times (45.59^2 - 10.7^2)$$

$$h_{ra} = 9.71 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

และทำการหาค่า h_{ri} ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวล่างของหลังคาเมทัลชีทหาได้จากสมการที่ (2.46)

$$h_{ri} = 2.3(T_i - T_{room})^{0.24}$$

T_i คือ ค่าอุณหภูมิผิวด้านในของหลังคาเมทัลชีท

T_{room} คือ ค่าอุณหภูมิที่กลางอาคารของสถานที่ทดสอบ

ทำการใส่ตัวแปรทั้งสองลงในสมการ (2.46) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}h_{ri} &= 2.3(49.89 - 33.50)^{0.24} \\h_{ri} &= 4.50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}\end{aligned}$$

หลังจากที่หา h_{cv} , h_{ra} , h_{ri} ได้แล้วให้นำค่าตัวแปรต่างๆที่ทราบค่าแล้วทั้งหมดแทนลงในสมการที่ (2.35) เพื่อหาค่า R

$$R = \left(\frac{1}{51.706 + (9.71 \times 10^{-4})} \right)_o + \frac{0.0004}{47.6} + \left(\frac{1}{4.50} \right)_i$$

$$R = 0.2425$$

ทำการหาค่า $RTTV$ ได้จากสมการที่ (2.34)

$$RTTV = U_r \times TD_{eq}$$

และแทนค่า R จาก $U = \frac{1}{R}$ ลงในสมการ

$$RTTV = \frac{1}{R} \times TD_{eq}$$

$$RTTV = \frac{1}{0.2425} \times (49.89 - 33.50)$$

ดังนั้น ค่า $RTTV$ ของหลังคาเมทัลชีทในกรณีที่ไม่ได้ทำสีมีค่าเท่ากับ 67.58 W/m^2

กรณีที่ 2 ตัวอย่างผลการทดสอบกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ท่าสี่

จากผลของการทดลองวัดอุณหภูมิของอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว-ไม่ทาสี) ของวันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2563 สามารถหาค่า RTTV ในกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ท่าสี่ได้โดยทำการเฉลี่ยอุณหภูมิในช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 14.00 น. เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่เห็นผลต่างของอุณหภูมิได้ชัดเจน ซึ่งจะมีค่าอุณหภูมิภายนอก (T_o), อุณหภูมิภายใน (T_i), อุณหภูมิกลางอาคาร (T_{amb}) เมื่อเฉลี่ยแล้วจะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} T_o &= 37.90 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ T_i &= 35.92 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ T_{amb} &= 33.11 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

ทำการหา T_F เพื่อเปิดตารางหาค่าคุณสมบัติความร้อนทางอากาศ จากสมการ

$$\begin{aligned} T_F &= T_o - T_{amb} \\ T_F &= 37.90 - 33.11 = 4.79 + 273 \text{ K} \\ T_F &= 277.79 \text{ K หรือ } 278 \text{ K} \end{aligned}$$

เปิดตารางสมบัติความร้อนทางอากาศที่ @278 K ได้ค่าดังนี้

$$\begin{aligned} c_p &= 1.006 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \\ \rho &= 1.2640 \text{ kg/m}^3 \\ \mu &= 173.6 \times 10^{-7} \text{ kg/m} \cdot \text{s} \\ k &= 24.54 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \\ \nu &= 13.93 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \\ Pr &= 0.712 \end{aligned}$$

จากกรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ท่าสี่แล้วมีตัวแปรจากสมการสมการดังนี้

h_{cv} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวบนของหลังคาเมทัลชีท ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

h_{ra} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของหลังคาเมทัลชีท ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

L_{col} คือ ความหนาของสีฉนวนกันความร้อนที่ทาทับลงไปบนผิวเมทัลชีท 0.30 mm

k_{col} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสีฉนวนกันความร้อนที่ทาทับลงไปบนผิวเมทัลชีท มีค่าเท่ากับ $0.2203 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

L_{ms} คือ ความหนาของแผ่นหลังคาเมทัลชีทเปล่า มีค่าเท่ากับ 0.40 mm

k_{ms} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นหลังคาเมทัลชีทเปล่า ($47.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$)

h_{ri} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวล่างของหลังคาเมทัลชีท ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

โดย h_{cv} หาได้จากสมการที่ (2.37)

$$h_{cv(ms)} = \frac{Nu(ms) \cdot k_{air}}{L_{ms}}$$

แต่ยังติดตัวแปรที่ไม่ทราบค่าอยู่ซึ่งจำเป็นต้องหา $Nu(ms)$ ก่อนสามารถหาได้จากสมการที่ (2.38)

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right)^{8/27}} \right]$$

ในการหา $Nu(ms)$ จำเป็นต้องทราบค่า Ra_L โดยหาได้จากสมการที่ (2.39)

$$Ra_L = Gr_L \cdot Pr$$

จากสมการ (2.39) ยังมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าอยู่คือ Gr_L สามารถหาได้จากสมการที่ (2.40)

$$Gr_L = \frac{g \cos \theta \beta (T_m - T_\infty) L^3}{\nu^2}$$

ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับหา Gr_L มีดังนี้

- g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 m/s^2
- θ คือ มุมเอียงของหลังคามาเททัลชีทซึ่งทำมุมเอียง 25°
- β คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร หรือ $\beta = \frac{1}{T_F}$ แทนค่า T_F ดังนี้

$$\beta = \frac{1}{278} = 3.597 \times 10^{-3}$$

T_m คือ อุณหภูมิภายนอก

T_∞ คือ อุณหภูมิกลางอาคาร

L_{ms} คือ ความหนาของแผ่นหลังคามาเททัลชีทเปล่า มีค่าเท่ากับ 0.40 mm

ν คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดคิเนแมติกส์ที่เปิดจากตาราง $13.93 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

โดยแทนค่าที่ได้ทั้งหมด ลงในสมการเพื่อหา G_{rL} ได้

$$G_{rL} = \frac{9.81 \times \cos(25) \times 3.597 \times 10^{-3} \times (37.90 - 33.11) \times 0.0004^3}{(14.55 \times 10^{-4})^2}$$

$$G_{rL} = 5.53 \times 10^{-6}$$

และสามารถนำค่า G_{rL} แทนลงในสมการเพื่อหา R_{aL}

$$R_{aL} = 5.351 \times 10^{-5} \times 0.712$$

$$R_{aL} = 3.94 \times 10^{-6}$$

เมื่อทราบค่า R_{aL} แล้วสามารถนำไปแทนสมการที่ (2.38) เพื่อหา N_u

$$N_u = \left[0.825 + \frac{0.387 \times (3.809 \times 10^{-6})^{\frac{1}{6}}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{0.712}\right)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{8}{27}}}\right]$$

$$N_u = 0.825$$

เมื่อทราบค่า N_u แล้วสามารถนำไปแทนในสมการที่ (2.37) เพื่อหา $h_{cv(ms)}$ ได้ดังนี้

$$h_{cv(ms)} = \frac{0.865 \cdot 24.54 \times 10^{-3}}{0.0004}$$

$$h_{cv(ms)} = 50.61 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

โดยการหา h_{ra} จะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ทาสีและหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ทาสี สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ทาสี ซึ่ง $\varepsilon_{(ms)} = 0.25 \text{ mm}^2/\text{s}$ และใช้สมการ (2.43) ในการคำนวณ

$$h_{ra} = \varepsilon_{(ms)} \sigma (T_o - T_s) (T_o^2 + T_s^2)$$

กรณีของหลังคาเมทัลชีทที่หาสึนวนกันความร้อน ซึ่ง $\varepsilon_{(col)} = 0.3161 \text{ mm}^2/\text{s}$ และใช้สมการ (2.44) ในการคำนวณ

$$h_{ra} = \varepsilon_{(col)}\sigma(T_o - T_s)(T_o^2 - T_s^2)$$

- ε คือ ค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุนั้นๆ (mm^2/s)
 σ คือ ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann's มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ w}/\text{m}^2 \cdot \text{k}^4$
 T_o คือ ค่าอุณหภูมิผิวด้านนอกของหลังคาเมทัลชีท (K)
 T_s คือ ค่าอุณหภูมิของท้องฟ้า (K) โดยสามารถหาได้จากสมการ

$$T_s = 0.0552 \times T_{ambo}^{1.5}$$

แทนค่า $T_{ambo} = 33.42 \text{ }^\circ\text{C}$ ลงในสมการได้

$$T_s = 0.0552 \times 33.42^{1.5}$$

$$T_s = 10.47 \text{ }^\circ\text{C}$$

ทำการแทน T_s และค่าตัวแปรต่างๆที่ทราบแล้วลงในสมการที่ (2.44)

$$h_{ra} = 0.25 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (37.79 - 10.47) \times (37.79^2 - 10.47^2)$$

$$h_{ra} = 6.455 \times 10^{-4} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$$

และทำการหาค่า h_{ri} ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผิวล่างของหลังคาเมทัลชีทหาได้จากสมการที่ (2.46)

$$h_{ri} = 2.3(T_i - T_{room})^{0.24}$$

- T_i คือ ค่าอุณหภูมิผิวด้านในของหลังคาเมทัลชีท
 T_{room} คือ ค่าอุณหภูมิที่กลางอาคารของสถานที่ทดสอบ

ทำการใส่ตัวแปรทั้งสองลงในสมการได้ดังนี้

$$h_{ri} = 2.3(35.92 - 33.03)^{0.24}$$

$$h_{ri} = 2.947 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$$

หลังจากที่หา h_{cv} , h_{ra} , h_{ri} ได้แล้วให้นำค่าตัวแปรต่างๆที่ทราบค่าแล้วทั้งหมดแทนลงในสมการที่ (2.36) เพื่อหาค่า R

$$R = \left(\frac{1}{50.61 + 6.51 \times 10^{-4}} \right)_o + \frac{0.0003}{0.2203} + \frac{0.0004}{47.6} + \left(\frac{1}{2.947} \right)_i$$

$$R = 0.361$$

ทำการหาค่า $RTTV$ ได้จากสมการ (2.34)

$$RTTV = U_r \times TD_{eq}$$

และแทนค่า R จาก $U = \frac{1}{R}$ ลงในสมการ

$$RTTV = \frac{1}{R} \times TD_{eq}$$

$$RTTV = \frac{1}{0.361} \times (37.90 - 33.11)$$

ดังนั้น ค่า $RTTV$ ของหลังคาเมทัลชีทในกรณีที่ทำสึมีค่าเท่ากับ 7.78 W/m^2



บทที่ 4

ขั้นตอนการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การออกแบบการทดลอง

4.1.1 สถานที่ทำการทดลอง

หลังคาที่ทดสอบจะเป็นแบบ Metal Sheet



(A ภาพถ่ายตัวอาคาร)

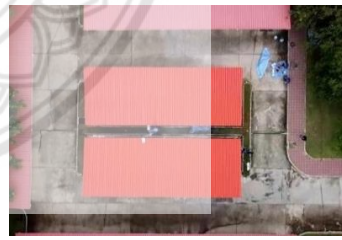


(B ภาพถ่ายแผ่นหลังคา)

รูปที่ 4.1 อาคารสิ่งพิมพ์เก่า มหาวิทยาลัยนเรศวร

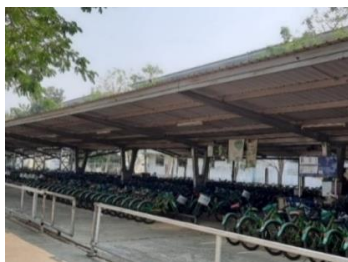


(A ภาพถ่ายตัวอาคาร)



(B ภาพถ่ายแผ่นหลังคา)

รูปที่ 4.2 โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ มหาวิทยาลัยนเรศวร



(A ภาพถ่ายตัวอาคาร)



(B ภาพถ่ายแผ่นหลังคา)

รูปที่ 4.3 โรงจอดรถจักรยานหอโน มหาวิทยาลัยนเรศวร

4.1.2 การกำหนดตัวแปรในการทดลอง

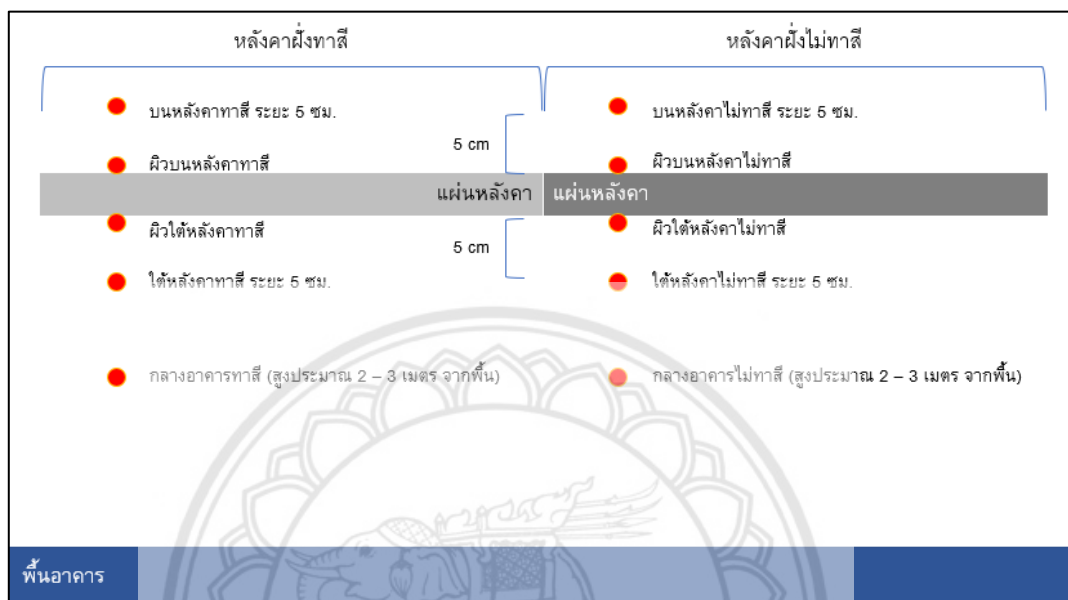
ในการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการต้านทานความร้อนของหลังคาโดยอาศัยเคลือบที่ผิวหลังคาด้วยสีฉนวนกันความร้อน จะพิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิผิวหลังคาที่ทดสอบ ที่ได้รับอิทธิพลมาจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบหลังคา โดยเมื่อแสงแดดตกกระทบหลังคาจะทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้ามาสู่ภายในตัวอาคาร จึงเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิในตัวอาคารสูงขึ้น ดังนั้นตัวแปรสำคัญที่ควรศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ อุณหภูมิหลังคา เพื่อจะได้ทราบถึงภาระทางความร้อนที่ถ่ายเทเข้าผ่านแผ่นหลังคาเมทัลชีทในขณะดำเนินการทดลอง

4.1.3 การกำหนดตำแหน่งการวัด

ในการทดสอบใช้ระยะเวลาในการทดสอบทั้งหมดตลอดทั้งวัน 8 ชั่วโมง (9.00 น. ถึง 17.00 น.) ดังนั้นจึงต้องทำการเก็บค่าอุณหภูมิตลอดช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์ตกกระทบ โดยอาคารที่ใช้ทดสอบจะทำการเก็บค่าอุณหภูมิที่ระดับเดียวกันทั้งหลังคาที่ทำสีฉนวนกันความร้อนและหลังคาที่ไม่ได้ทำสีฉนวนกันความร้อน ซึ่งจะประกอบด้วย

- บริเวณหลังคาที่ทำด้วยสีกันความร้อน จะแบ่งออกเป็น
 - ผิวบนหลังคา จำนวน 1 จุด
 - ผิวใต้หลังคา จำนวน 1 จุด
 - เหนือผิวบนหลังคาขึ้นไปในระยะ 5 เซนติเมตร จำนวน 1 จุด
 - ใต้ผิวหลังคาลงไปในระยะ 5 เซนติเมตร จำนวน 1 จุด
 - บริเวณกลางอาคาร จำนวน 1 จุด
- บริเวณหลังคาที่ไม่ได้ทำสีกันความร้อน จะแบ่งออกเป็น
 - ผิวบนหลังคา จำนวน 1 จุด
 - ผิวใต้หลังคา จำนวน 1 จุด
 - เหนือผิวบนหลังคาขึ้นไปในระยะ 5 เซนติเมตร จำนวน 1 จุด
 - ใต้ผิวหลังคาลงไปในระยะ 5 เซนติเมตร จำนวน 1 จุด
 - บริเวณกลางอาคาร จำนวน 1 จุด

สำหรับผิวหลังคาจะต้องใช้ Thermal Camera หาจุดที่หลังคาได้รับแสงแดดได้ดีและเหมาะสมในการวัดอุณหภูมิ โดยจะทำการเก็บค่าอุณหภูมิของหลังคาทั้ง 10 จุดพร้อมกัน (รูปที่ 4.04) ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิตั้งกล่าวจะเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงการถ่ายเทความร้อนเข้ามาสู่ภายในตัวอาคารที่ทดสอบ



รูปที่ 4.4 การกำหนดตำแหน่งในการวัด

4.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่อง Agilent Data Logger 34970a series และสาย Power จำนวน 1 ชุด
- Used Keysight Data Logger 34970a series จำนวน 1 ชุด
- สาย Thermocouple Type K ที่จะนำมาทดสอบ ใช้จำนวน 10 เส้น
- Aluminum Foil Tape
- Thermal Camera
- USB Drive/Flash Drive จำนวน 1 ชิ้น

ภาพอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 อุปกรณ์การทดลอง

4.2 การตรวจสอบอุปกรณ์ก่อนนำไปใช้งาน

ก่อนจะทำการทดลองจริง เพื่อที่จะให้การบันทึกผลเป็นไปได้อย่างถูกต้องและมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด จึงต้องมีการสอบเทียบ (Calibration) สำหรับสาย Thermocouple เนื่องจากหัวที่ใช้วัดอุณหภูมิ เป็นจุดที่มีความบกพร่องที่จะทำให้การวัดมีความคลาดเคลื่อนอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากการหลอมหัววัดที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้น จึงต้องมีการทดสอบก่อนที่จะนำมาใช้ทดสอบจริงเสมอ โดยจะทำการทดสอบ 2 ประเภท คือ ทดสอบอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเปล่า และทดสอบอุณหภูมิน้ำเย็น ไปสู่อุณหภูมิห้อง

4.2.1 ทดสอบอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเปล่า

เป็นการทดสอบหาความใกล้เคียงระหว่างอุณหภูมิของผิวหลังคาทั้ง 2 จุด และเพื่อเป็นการยืนยันความใกล้เคียงของอุณหภูมิ จึงต้องมีการบันทึกภาพอุณหภูมิเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ว่าอุปกรณ์สามารถใช้งานได้จริงหรือไม่

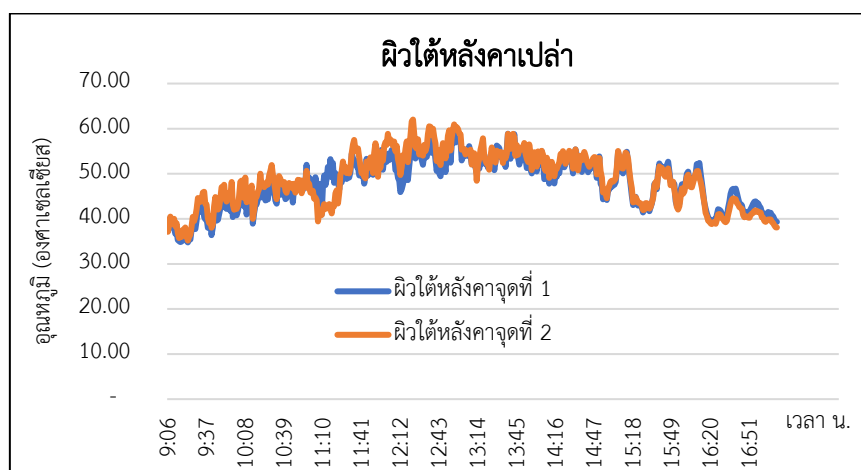


รูปที่ 4.6 การติดตั้ง Thermocouple ในการทดสอบผิวใต้หลังคาเปล่า

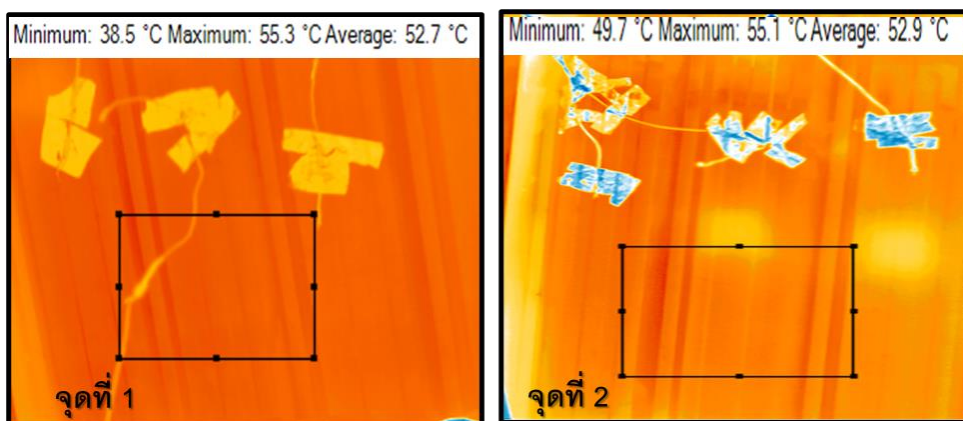
นำสาย Thermocouple ขั้ว Sensor มาติดที่บริเวณผิวใต้หลังคา โดยจะติดเป็น 2 ฝั่ง ดังรูป 4.06 จากนั้นให้นำขั้ว Jumper มาต่อกับ Used Keysight แล้วทำการติดตั้ง Data logger โดยมีรายละเอียดการบันทึกคือ

- ทำการบันทึกค่าตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น.
- บันทึกภาพอุณหภูมิจาก Thermal Camera ที่เวลา 13.00 น.

ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเปล่า



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบผิวใต้หลังคาเปล่าจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเปล่าจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ

จากการทดสอบวัดอุณหภูมิหลังคาเปล่าของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ ในวันที่ 11 เมษายน 2020 จะได้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดังรูป 4.07 สำหรับรูปที่ 4.08 เป็นภาพถ่ายอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเปล่า ซึ่งได้บันทึกภาพในช่วงเวลาประมาณ 13.00 น. ภายในกรอบสี่เหลี่ยมทั้งสองรูปจะแสดงให้เห็นอุณหภูมิที่ต่ำสุด มากสุดและอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของผิวใต้หลังคา

เวลา	ผิวล่างจุดที่ 1	ผิวล่างจุดที่ 2
12:56	56.95	59.83
12:57	60.12	60.36
12:58	58.68	59.90
12:59	57.41	58.97
13:00	57.20	58.76
13:01	52.97	55.34
13:02	54.16	55.54
13:03	53.84	55.47
13:04	54.11	54.27
13:05	55.41	55.15
13:06	53.98	54.90
13:07	56.10	54.46
13:08	53.95	55.33
13:09	52.11	52.05
13:10	52.36	52.09
13:11	51.99	54.56
13:12	51.47	52.43
13:13	50.14	48.46

รูปที่ 4.9 อุณหภูมิผิวใต้หลังคาเปล่าที่ได้บันทึกช่วงเวลาประมาณ 13.00 น. (°C)

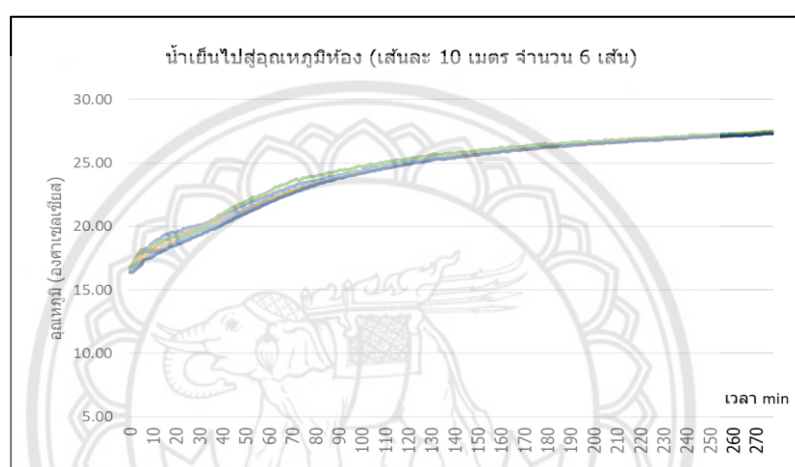
เมื่อนำอุณหภูมิเฉลี่ยจากรูปที่ 4.8 มาเทียบอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเปล่าจากในรูปที่ 4.7 หรือนำมาเปรียบเทียบกับผลอุณหภูมิที่บันทึกได้ในรูปที่ 4.9 เห็นได้ว่าการวัดอุณหภูมิจาก Sensor ของสาย Thermocouple มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ได้จากการบันทึกภาพ เช่น ค่าที่บันทึกที่เวลา 13.10 น. และภาพของอุณหภูมิ ณ จุดที่ 1 เท่ากับ 52.6 และ 52.7 องศาเซลเซียส สำหรับจุดที่ 2 เท่ากับ 52.09 และ 52.9 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การวัดอุณหภูมิจากสาย Thermocouple สามารถวัดได้ค่าที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยจาก Thermal Camera

4.2.2 ทดสอบอุณหภูมิน้ำเย็นไปสู่อุณหภูมิห้อง

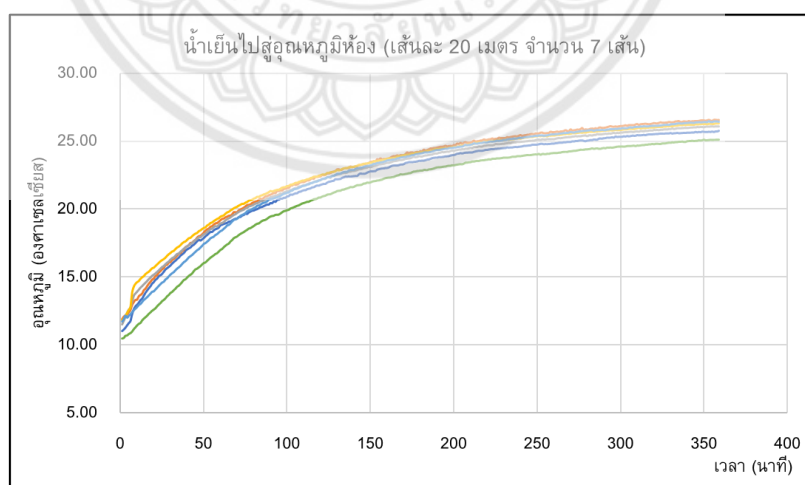
สาย Thermocouple ที่จะนำมาใช้ มีทั้งหมด 13 เส้น โดยมีความยาวรวม 200 เมตร แบ่งเป็นความยาว 10 เมตร จำนวน 6 เส้น และความยาว 20 เมตร จำนวน 7 เส้น การวัดอุณหภูมิจากน้ำเย็นกลายเป็นอุณหภูมิห้องจะแบ่งออกเป็นสองการทดสอบ คือ

- การทดสอบโดยใช้สาย Thermocouple ความยาว 10 เมตร
- การทดสอบโดยใช้สาย Thermocouple ความยาว 20 เมตร

ผลการทดสอบอุณหภูมิน้ำเย็นไปสู่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.10 ผลการสอบเทียบของสาย Thermocouple type K ความยาว 10 เมตร



รูปที่ 4.11 ผลการสอบเทียบของสาย Thermocouple type K ความยาว 20 เมตร

ผลการทดสอบข้างต้น เป็นผลการทดสอบของสายวัดอุณหภูมิ Thermocouple type K ชุด ความยาว 10 เมตร และ 20 เมตร ได้ทำการทดสอบในช่วงเวลาและอุณหภูมิห้องที่แตกต่างกัน โดย รูปที่ 4.10 ได้ทดสอบในวันที่ 17 กันยายน 2563 ช่วงเวลา 15.00 – 19.30 น. และรูปที่ 4.11 ได้ ทดสอบในวันที่ 18 กันยายน 2563 ช่วงเวลา 15.00 – 21.00 น.

จากผลการทดสอบ Calibration ของสายวัดอุณหภูมิ Thermocouple type K เส้นความ ยาว 10 เมตร ดังรูปที่ 4.10 เมื่อนำหัววัดอุณหภูมิ จุ่มลงไปใต้น้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 16 องศา เซลเซียส ทำการวัดอุณหภูมิจนน้ำกลายเป็นอุณหภูมิห้อง จากที่เริ่มทำการวัด ช่วงเวลาที่ 0 – 120 นาที่ น้ำจะสูญเสียความเย็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน เมื่อผ่าน ไปอีกไม่นาน อุณหภูมิของน้ำก็จะขึ้นอย่างช้าๆ จนความเย็นหมดไปและกลับไปสู่อุณหภูมิห้อง ดังนั้น จากกราฟในรูป 4.10 จะเห็นได้ว่าสาย Thermocouple สามารถวัดอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกัน

จากผลการทดสอบ Calibration ของสายวัดอุณหภูมิ Thermocouple type K เส้นความ ยาว 20 เมตร ดังรูปที่ 4.11 เมื่อนำหัววัดอุณหภูมิ จุ่มลงไปใต้น้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 12 องศา เซลเซียส ทำการวัดอุณหภูมิจนน้ำกลายเป็นอุณหภูมิห้อง จากที่เริ่มทำการวัด ช่วงเวลาที่ 0 – 100 นาที่ น้ำจะสูญเสียความเย็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน เมื่อผ่าน ไปอีกไม่นาน อุณหภูมิของน้ำก็จะขึ้นอย่างช้าๆ จนความเย็นหมดไปและกลับไปสู่อุณหภูมิห้อง ดังนั้น จะเห็นได้ว่าสาย Thermocouple สามารถวัดอุณหภูมิได้ที่มีความผิดพลาดที่เล็กน้อย

จากการทดสอบทั้ง 2 รอบ พบว่า สาย Thermocouple ความยาว 10 เมตร เมื่อนำไปวัดที่ อุณหภูมิต่ำ มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเส้นความยาว 20 เมตร จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 และเมื่อ วัดอุณหภูมิที่สูงขึ้น เส้นความยาว 10 เมตร จะมีแนวโน้มเป็นค่าเดียวกันมากขึ้น แต่เส้นความยาว 20 เมตร การวัดก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อน อาจเป็นผลมาจากความยาวในการเดินทางของกระแสไฟฟ้าที่ แตกต่างกัน ทำให้มีความคลาดเคลื่อนอยู่เพียงเล็กน้อย ดังนั้น จึงสรุปว่า สาย Thermocouple ทั้งหมด 13 เส้น สามารถนำไปใช้ทดสอบได้

4.3 วิธีการจัดเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 1 สาย Thermocouple จะมีอยู่ 2 ขั้ว คือ Sensor และ Jumper แต่ละขั้วจะมีอยู่ 2 เส้นย่อย จะต้องทำการเชื่อมให้ขั้ว Sensor ของสาย Thermocouple โดยการหลอมขั้ว Sensor 2 เส้นย่อย ให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนการติดตั้งหรือใช้งาน ดังรูปที่ 4.12



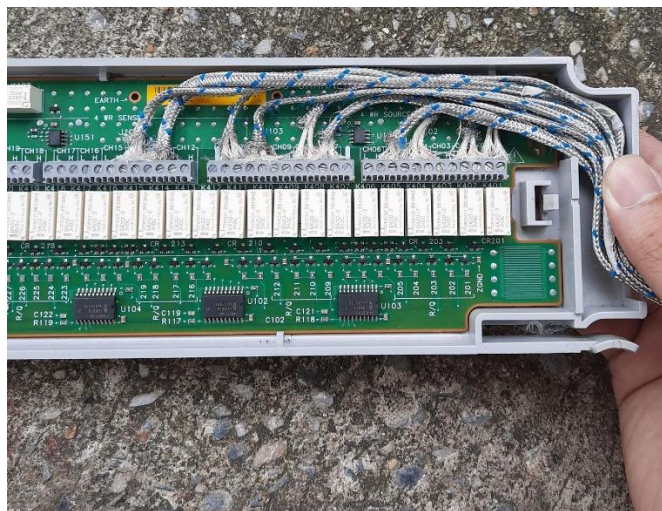
รูปที่ 4.12 การหลอมขั้ว Sensor ของสาย Thermocouple

ขั้นตอนที่ 2 ให้ทำการติดตั้งสาย Thermocouple โดยนำขั้ว Sensor ไปติดตั้งตามจุดที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้เทปอลูมิเนียม ดังรูป 4.13 ก่อนติดตั้งจะต้องหาจุดที่เหมาะสมที่หลังคาสามารถรับแสงแดดได้ดี โดยจะหาได้จากภาพถ่ายอุณหภูมิจาก Thermal Camera



รูปที่ 4.13 ขั้ว Sensor ของสาย Thermocouple ที่ติดตั้งโดยใช้เทปอลูมิเนียม

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อติดตั้งขั้ว Sensor เสร็จ ให้นำขั้ว Jumper ของสาย Thermocouple เชื่อมต่อที่ช่องรับสัญญาณทางไฟฟ้าของ Used Keysight Data logger ดังรูป 4.14 ควรระวังไม่ให้ขั้ว Jumper แต่ละเส้นชิดกันเกินไป ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อตัวเครื่อง Data logger ได้



รูปที่ 4.14 ขั้ว Jumper ของสาย Thermocouple ที่เชื่อมต่อเข้ากับ
Used Keysight Data logger

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อนำสาย Thermocouple มาต่อที่ Used Keysight ครบทุกเส้นแล้ว จึงนำ Used Keysight ไปต่อเข้ากับเครื่อง Data logger แล้วก็ให้ Power กับเครื่อง แล้วต่อ Flash Drive ที่ช่อง USB Drive จากนั้นให้ทำการตั้งค่าเครื่องดังนี้

ตั้งค่า Data Logger

- Temperature – Thermocouple – Type K
- Interval – Continuous
- Utility – Time - DD/MM/YY
- Interface – USB Drive – Auto

ขั้นตอนที่ 5 ก่อนการทดสอบจะมีการตรวจสอบสภาพอากาศทุกครั้ง เพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่มีลมแรงหรือฝนตกขณะทดสอบ เพราะอาจจะทำให้สาย Thermocouple หลุดออกจากจุดวัด หรืออาจเป็นอุปสรรคต่อการวิเคราะห์ผลการทดลองได้

ขั้นตอนที่ 6 เริ่มบันทึกผลการทดลอง โดยทำการบันทึกผลตลอดทั้งวันตั้งแต่วันที่ 9.00 น. ถึง 17.00 น. ระยะเวลาประมาณ 8 ชั่วโมง ซึ่งทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลังคาตลอดการทดลอง และบันทึกภาพอุณหภูมิผิวบนหลังคาและใต้หลังคาตามเวลาที่กำหนด

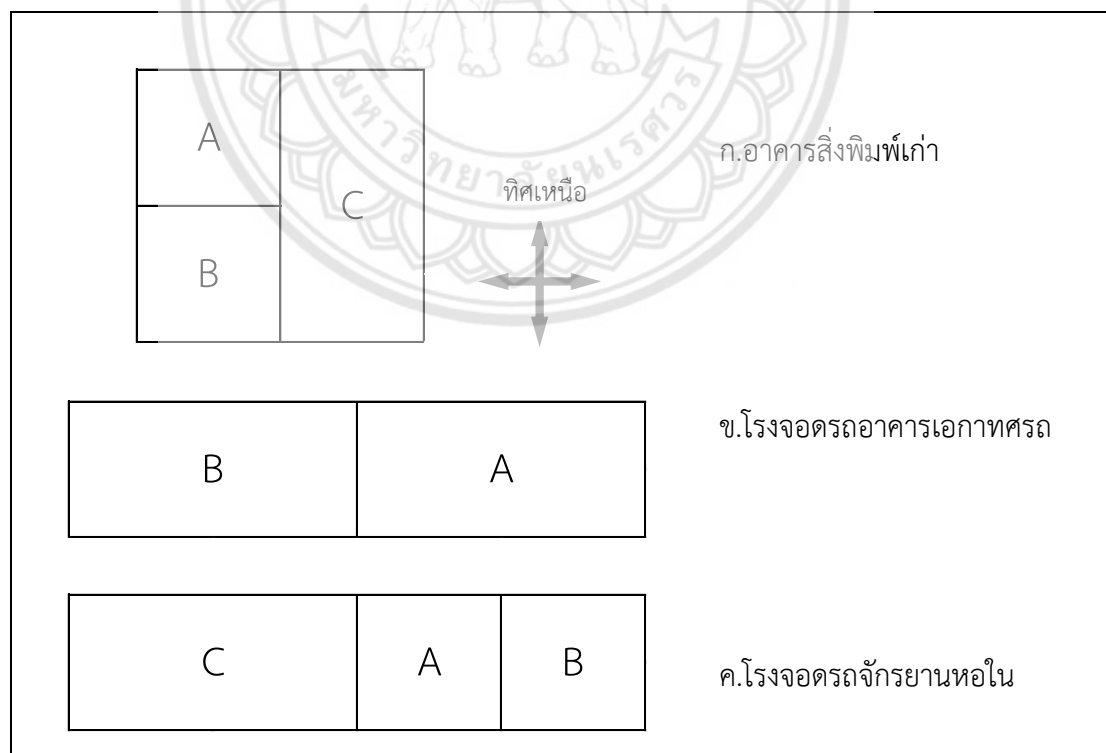
ขั้นตอนที่ 7 นำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์ผลและไปใช้งานต่อไป

4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานความร้อนของสีฉนวนกันความร้อน

ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานความร้อนของสีฉนวนกันความร้อนทั้งหมดจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดสีขาวและชนิดสีเข้ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการทดสอบชนิดสีขาว สถานที่คือ
 - อาคารสิ่งพิมพ์เก่า
 - โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ
 - โรงจอดรถจักรยานหอใน
2. ผลการทดสอบชนิดสีเข้ม สถานที่คือ
 - โรงจอดรถจักรยานหอใน (โทนสีเขียว)
 - โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (โทนสีแดงอิฐ)

เงื่อนไขของสีฉนวนกันความร้อนทั้ง 2 ชนิด อาคารที่ทดสอบจะใช้หลังคาแบบเมทัลชีทและทำการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติผิวหลังคาตามขอบเขตของการทดสอบที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะมีทั้งผิวหลังคาที่ทาสีและไม่ทาสี โดยรายละเอียดการทาสีจะแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.15 พื้นที่แสดงในส่วนหลังคาที่ทาสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาวและไม่ทาสี

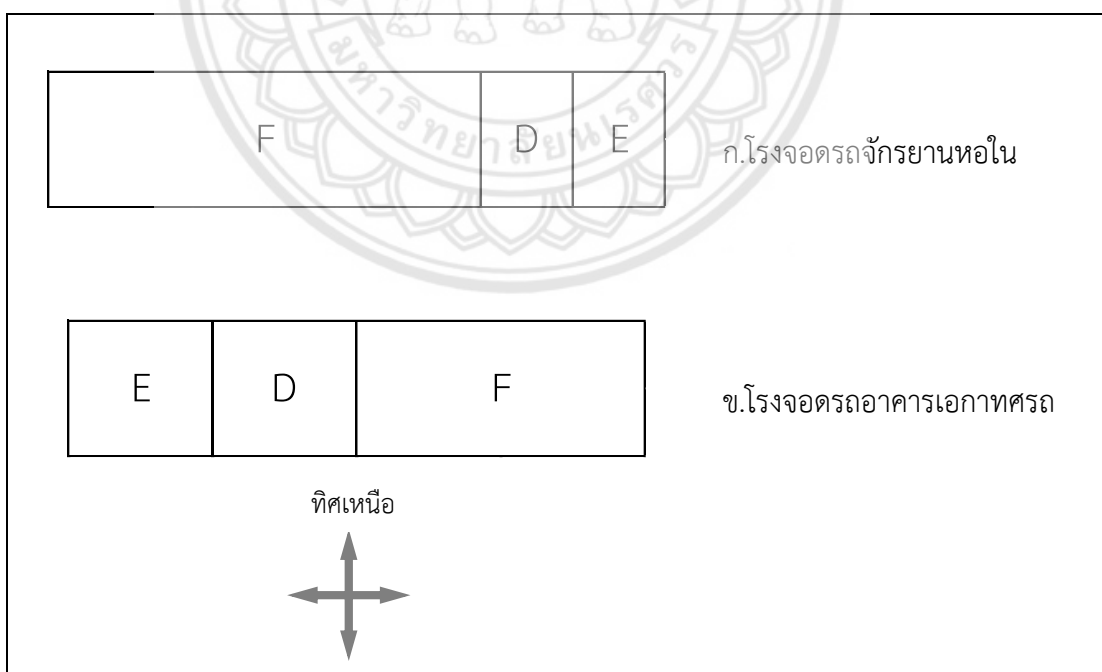
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจากรูปที่ 4.15 พื้นที่ใช้งานของสีฉนวนกันความร้อน (ทดสอบชนิดสีขาว)

พื้นที่		
A	บริเวณหลังคาที่ทาสี	พื้นที่ใช้ทดสอบ
B	บริเวณหลังคาที่ไม่ทาสี	
C	บริเวณหลังคาที่ไม่ทาสี	พื้นที่ไม่ได้ใช้ทดสอบ

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของอาคารทดสอบที่หลังคาเมทัลชีทมีการทาสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาว

ชนิดสี	อาคารทดสอบ	ก่อนการทาสี	สีที่ทา (บนพื้นที่ A)
สีขาว	อาคารสิ่งพิมพ์เก่า (รูปที่ 4.15 ก.)	หลังคาเปล่าไม่มีการทาสี (แผ่นหลังคาเป็นสีเงิน)	หลังคาเมทัลชีทเปล่า + ทาสีฉนวนทับ ความหนา 300 ไมครอน (ทาเฉพาะผิวบนหลังคา)
	โรงจอดรถอาคารเอกาทศ รถ (รูปที่ 4.15 ข.)	หลังคาเปล่ามีการทาสี สีแดงอิฐ	หลังคาเมทัลชีทสีแดงอิฐ + ทาสีฉนวนทับ ความหนา 300 ไมครอน (ทาเฉพาะผิวบนหลังคา)
	โรงจอดรถจักรยานหอใน (รูปที่ 4.15 ค.)	หลังคาเปล่ามีการทาสี สีเขียว	หลังคาเมทัลชีทสีเขียว + ทาสีฉนวนทับ ความหนา 300 ไมครอน (ทาเฉพาะผิวบนหลังคา)

สำหรับการทดสอบชนิดสีเข้ม จะใช้โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถและโรงจอดรถจักรยานหอในเป็นสถานที่เดิมในการทดสอบ หลังจากการทดสอบชนิดสีขาวเรียบร้อยแล้วก็จะทาสีทับให้หลังคากลับมาเป็นสีเดิม แต่จะมีบางพื้นที่ของหลังคาที่จะทาสีฉนวนกันความร้อนเพิ่ม ซึ่งจะแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.16 พื้นที่แสดงในส่วนหลังคาที่ทาสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้มและไม่ทาสี

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลจากรูปที่ 4.16 พื้นที่ใช้งานของสีฉนวนกันความร้อน (ทดสอบชนิดสีเข้ม)

พื้นที่		
D	บริเวณหลังคาที่ทาสี	พื้นที่ใช้ทดสอบ
E	บริเวณหลังคาที่ไม่ทาสี	
F	บริเวณหลังคาที่ไม่ทาสี	พื้นที่ไม่ได้ใช้ทดสอบ

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลของอาคารทดสอบที่หลังคาเมทัลชีทมีการทาสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม

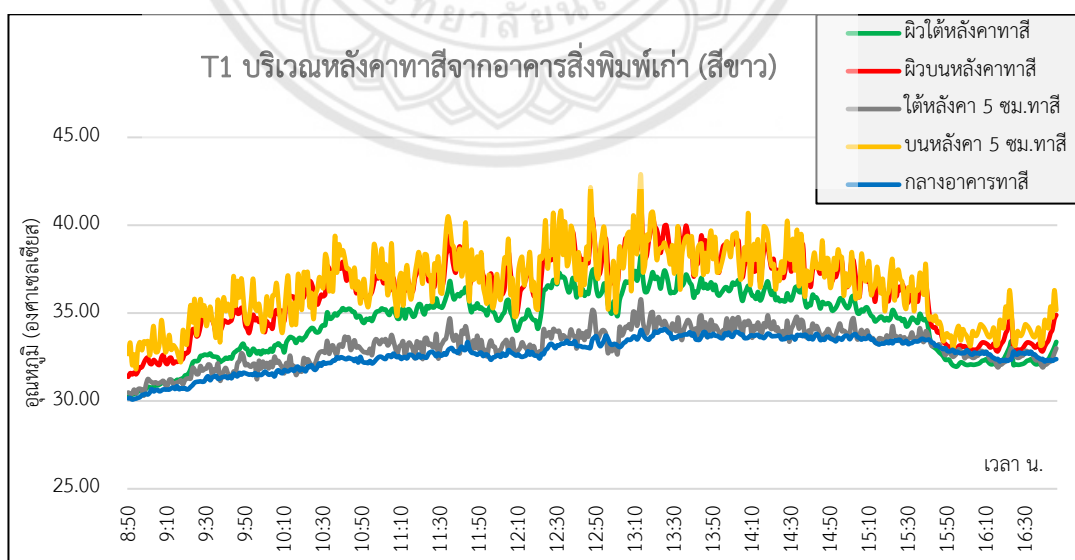
ชนิดสี	อาคารทดสอบ	ระบบสีหลังคาอาคาร	สีที่ทา
สีเข้ม	โรงจอดรถจักรยานหอใน (รูปที่ 4.16 ก.)	หลังคาเปล้ามีการทา สีเขียว	ทาสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาว ความหนา 150 ไมครอน + Roof paint สีเขียว ความหนา 300 ไมครอน
	โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (รูปที่ 4.16 ข.)	หลังคาเปล้ามีการทา สีแดงอิฐ	ทาสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาวความหนา 150 ไมครอน + Roof paint สีแดงอิฐ ความหนา 300 ไมครอน

หมายเหตุ สีเข้มคือการทา Roof paint (สีพื้นเดิมของหลังคา) ทับสีฉนวนกันความร้อน

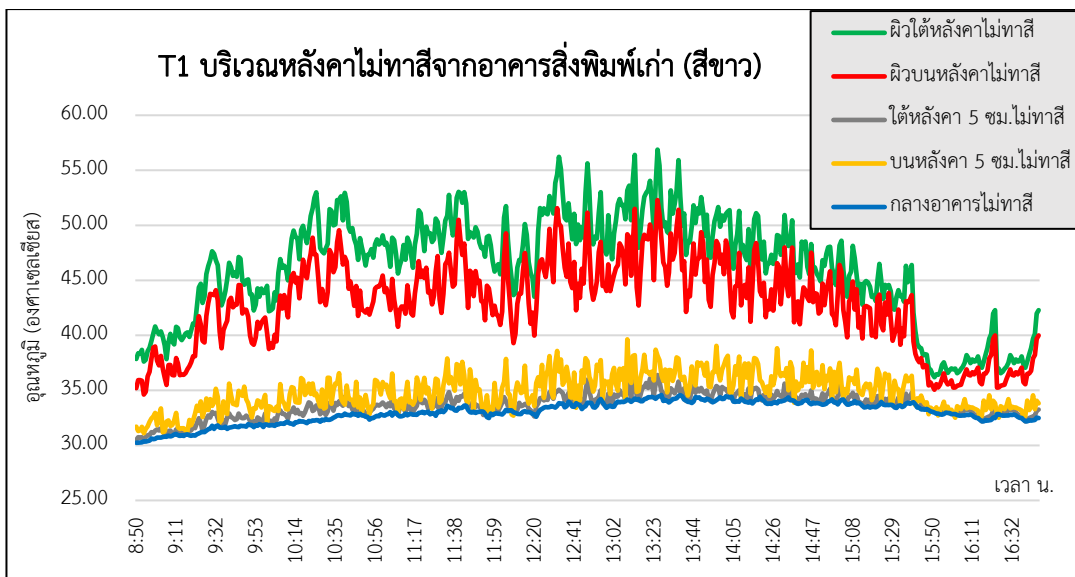
4.4.1 ผลการทดสอบสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาว

1. ผลการทดสอบชนิดสีขาวจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า

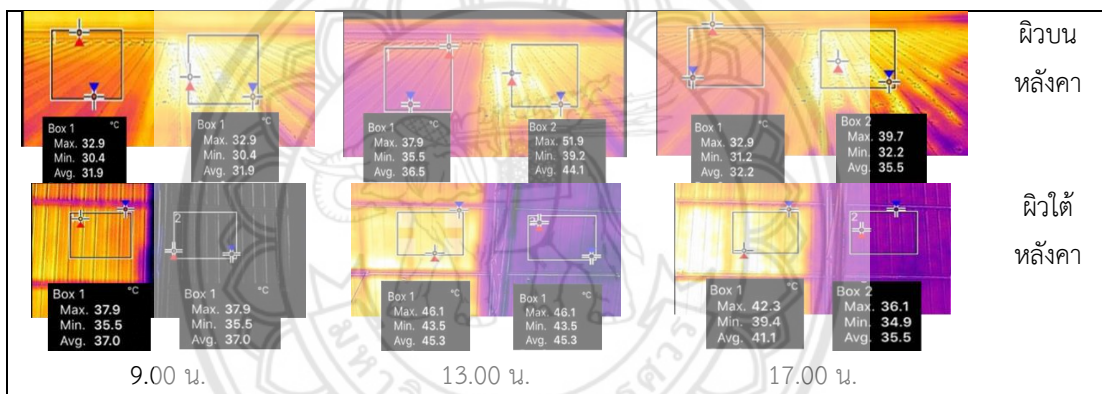
- ผลการทดสอบของอาคารสิ่งพิมพ์เก่าที่ทำด้วยสีขาว วันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2563 (T1)



รูปที่ 4.17 ผลอุณหภูมิ T1 หลังคาทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

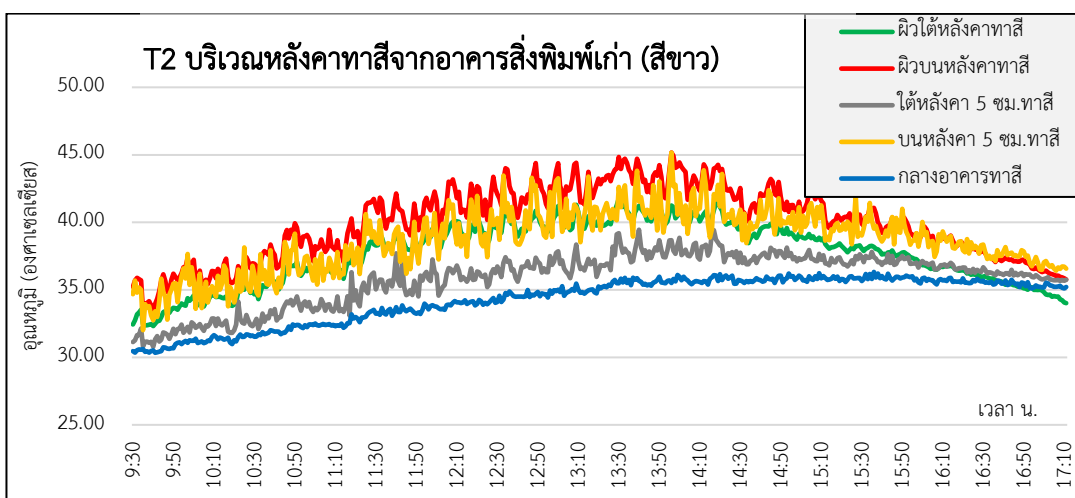


รูปที่ 4.18 ผลอุณหภูมิ T1 หลังคาไม่ทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

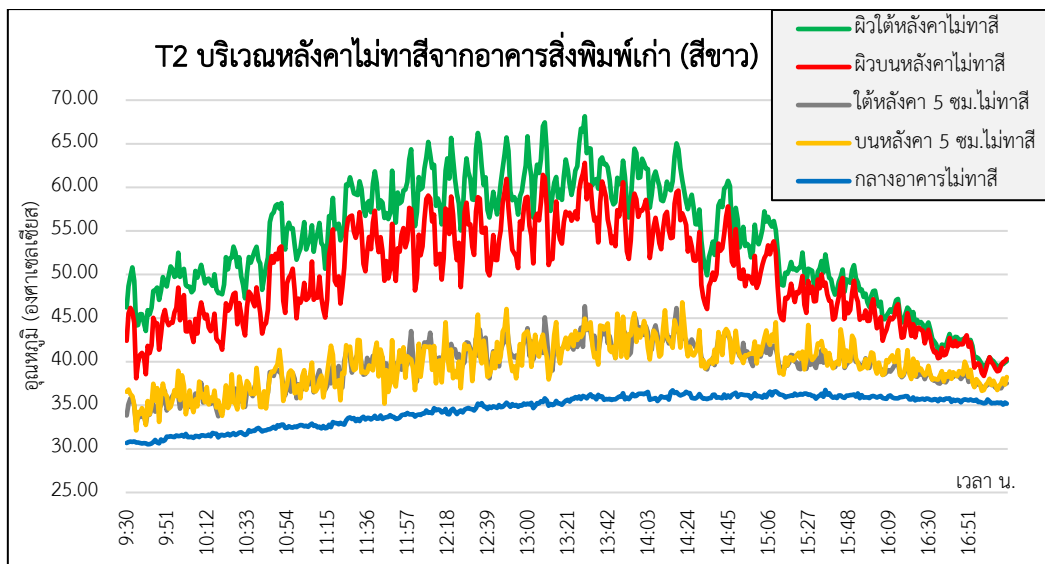


รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายอุณหภูมิ T1 จากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

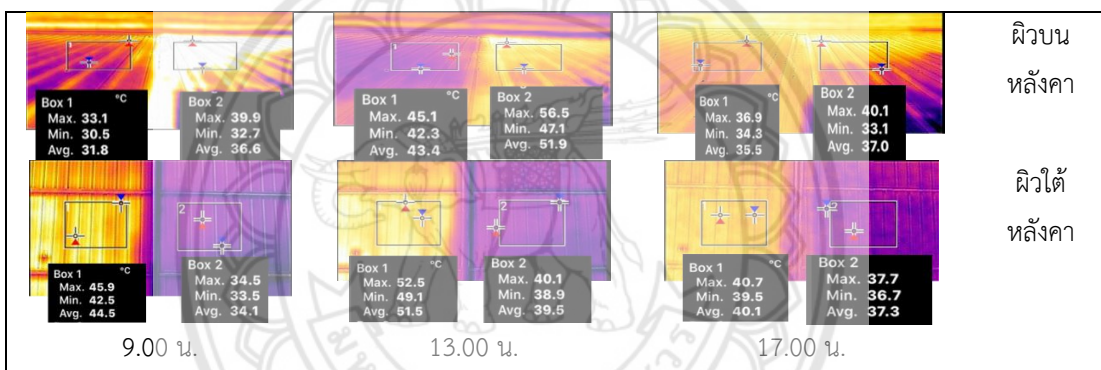
➢ ผลการทดสอบของอาคารสิ่งพิมพ์เก่าที่ทำด้วยสีขาว วันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2563 (T2)



รูปที่ 4.20 ผลอุณหภูมิ T2 หลังคาทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

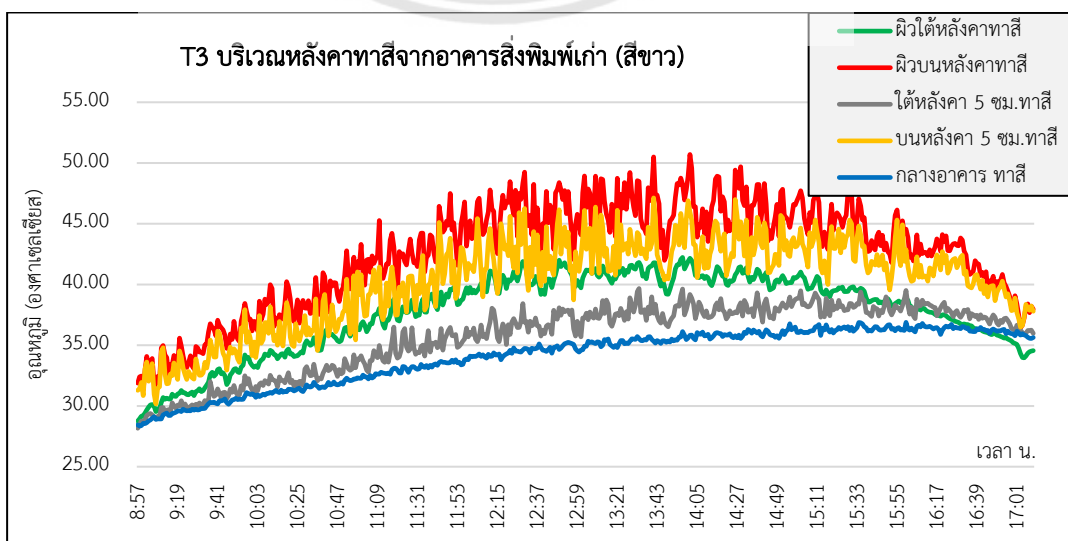


รูปที่ 4.21 ผลอุณหภูมิ T2 หลังคาไม่ทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

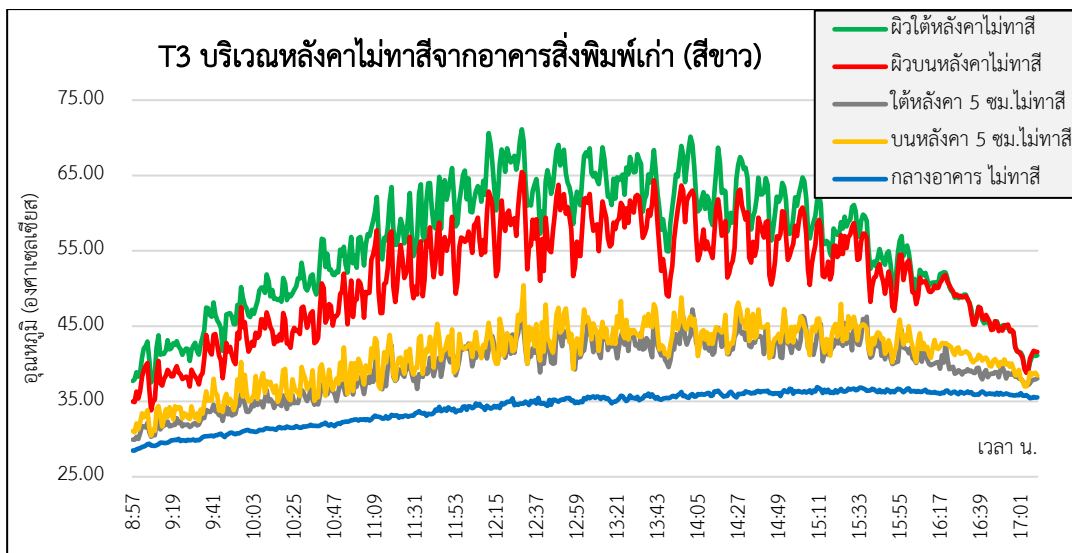


รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายอุณหภูมิ T2 จากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

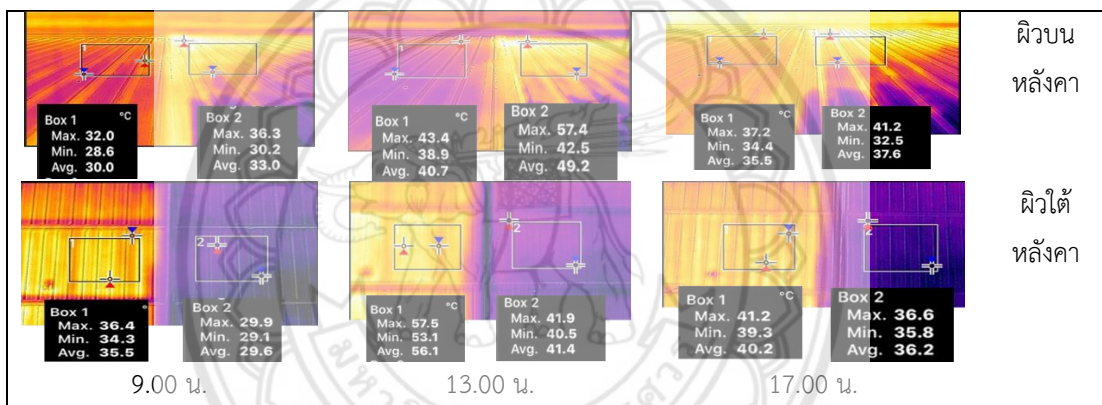
➢ ผลการทดสอบของอาคารสิ่งพิมพ์เก่าที่ทำด้วยสีขาว วันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2563 (T3)



รูปที่ 4.23 ผลอุณหภูมิ T3 หลังคาทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)



รูปที่ 4.24 ผลอุณหภูมิ T3 หลังคาไม่ทาสีจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)



รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายอุณหภูมิ T3 จากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

จากกราฟ T1 T2 และ T3 เป็นผลการทดสอบสึนวนกันความร้อนชนิดขาวจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่าในวันที่ 15 17 และ 18 มีนาคม พ.ศ. 2563 ตามลำดับ และเป็นผลแสดงความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวหลังคา (ผิวบนและผิวใต้หลังคา) และอุณหภูมิแวดล้อม (ใต้หลังคา 5 ซม. บนหลังคา 5 ซม. และกลางอาคาร) ในช่วงเวลาประมาณ 9.00 น. ถึง 17.00 น. โดยจะแบ่งเป็นกราฟที่ทาสีและกราฟที่ไม่ทาสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยดังตารางที่ 4.05

ตารางที่ 4.5 ผลอุณหภูมิเฉลี่ย T1 T2 และ T3 จากการทดสอบอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

ตำแหน่งจุดวัด	T1 (15/03/2563)		T2 (17/03/2563)		T3 (18/03/2563)	
	ทาสี	ไม่ทาสี	ทาสี	ไม่ทาสี	ทาสี	ไม่ทาสี
ผิวใต้หลังคา	35.92	49.89	39.28	59.80	39.80	62.75
ผิวบนหลังคา	37.90	45.59	41.71	54.39	45.10	56.62
ใต้หลังคา 5 ซม.	33.66	34.21	36.28	40.80	36.40	41.38
บนหลังคา 5 ซม.	37.93	35.69	39.70	40.67	41.95	42.96
กลางอาคาร	33.11	33.50	34.25	34.50	34.31	34.51

**หน่วยองศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของ T1 T2 และ T3 จะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่หลังคาได้รับแสงแดดได้เต็มที่ และเป็นช่วงที่เห็นความแตกต่างของอุณหภูมิได้ชัดเจน เมื่อมีการทาสีฉนวนกันความร้อนที่บริเวณหลังคาจะทำให้อุณหภูมิหลังคามีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่ได้ทาสีฉนวน เนื่องจากสีฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติในสะท้อนความร้อนสูง สังเกตได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยของตำแหน่งผิวบนหลังคาของ T2 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวบนหลังคาทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 41.71 และ 54.39 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยจะต่างกันอยู่ประมาณ 12-13 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 23.3% เทียบกับไม่ทาสี และสีฉนวนก็มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนที่ต่ำ สังเกตได้จากผิวใต้หลังคาของ T3 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวใต้หลังคาทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 39.80 และ 62.75 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งต่างกันถึง 22-23 องศาเซลเซียส จะคิดเป็น 36.6% เทียบกับไม่ทาสี ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสีฉนวนกันความร้อนทำให้อุณหภูมิผิวหลังคามีค่าที่ลดลงอย่างชัดเจน

จากผลการทดสอบดังกล่าวจะมีอุณหภูมิแวดล้อมที่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับตำแหน่งของผิวหลังคา จากตารางที่ 4.5 ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของ T1 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 33.66 และ 34.21 องศาเซลเซียส ส่วน T2 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 36.28 และ 40.80 องศาเซลเซียส และ T3 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 36.40 และ 41.38 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแต่ละผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝั่งไม่ทาสีนั้นได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของผิวใต้หลังคาไม่ทาสี เนื่องจากหลังคาเมทัลชีทแบบไม่ทาสีฉนวนเมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดดจะมีการนำความร้อนจากผิวบนหลังคาไปยังผิวใต้หลังคา ทำให้ผิวใต้หลังคาของฝั่งที่ไม่ทาสีฉนวนจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าฝั่งที่ทาสีอยู่มาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝั่งไม่ทาสีได้รับการแผ่ความร้อนที่สูงกว่าตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝั่งที่ทาสี เช่น T3 ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ฝั่งทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 36.4 องศาเซลเซียส และฝั่ง

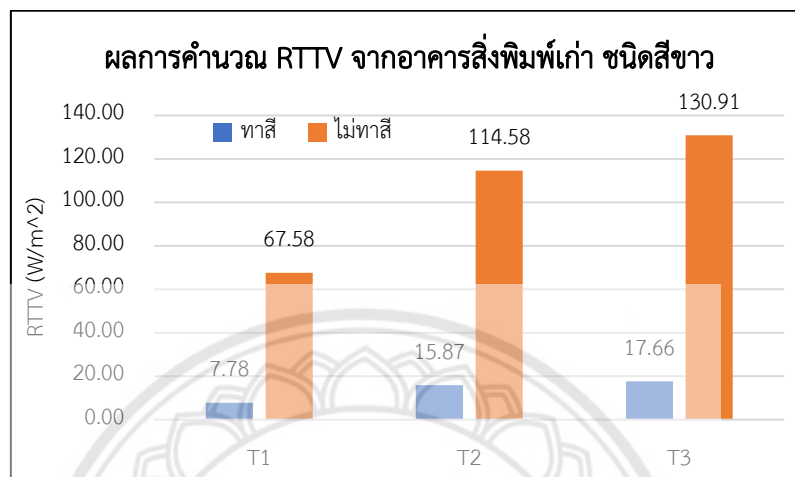
ไม่ทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 41.38 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ 5 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 12% เทียบกับฝ้าไม่ทาสี

ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ก็มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับตำแหน่งผิวหลังคา จากตารางที่ 4.05 ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของ T1 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 37.93 และ 35.69 องศาเซลเซียส ส่วน T2 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 39.70 และ 40.67 องศาเซลเซียส และ T3 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 41.95 และ 42.96 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแต่ละการทดสอบจะเห็นได้ว่าตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของฝ้าทาสีได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนความร้อนจากตำแหน่งผิวบนหลังคาทาสี เนื่องจากสีฉนวนจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนสูง จึงทำให้ผิวบนหลังคาที่ทาสีจะมีอุณหภูมิที่ลดลงเพราะมีการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์กลับไป ทำให้อุณหภูมิของตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. มีค่าที่สูงกว่าฝ้าที่ไม่ทาสี แต่เนื่องจากขั้ว Sensor ของสาย Thermocouple ที่ใช้วัดอุณหภูมิได้รับความร้อนจากแสงแดดโดยตรงอยู่ตลอดเวลา และอาจเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น ขั้ว Sensor มีการสัมผัสกับลมอากาศอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของฝ้าที่ทาสีและไม่ทาสีมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันอยู่เล็กน้อย เช่น T1 ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ฝ้าทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 37.93 องศาเซลเซียส และฝ้าไม่ทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 35.69 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 6.3% เทียบกับฝ้าไม่ทาสี

การวัดจากตำแหน่งกลางอาคารก็มีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่าเป็นอาคารสูง ตำแหน่งจุดวัดมีระยะห่างจากผิวใต้หลังคาอยู่มากและมีอากาศที่ถ่ายเทไม่ดี ซึ่งเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนจากบนหลังคาไปยังใต้หลังคา ดังนั้นผิวใต้หลังคาจะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมาแต่รังสีความร้อนมักจะไปไม่ถึงตำแหน่งจุดวัด เนื่องจากผิวหลังคาอยู่ห่างจากจุดวัดมากเกินไป จึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้ส่วนใหญ่จะไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน และมักจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการสะสมอากาศร้อนในตัวอาคาร ซึ่งความร้อนที่ได้รับจากแสงแดดที่ผ่านการนำความร้อนจากผิวหลังคามายังตัวอาคาร เมื่อมีการถ่ายเทอากาศที่ไม่ดีจะทำให้ภายในตัวอาคารมีการระบายความร้อนที่น้อย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ ดูได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 ตำแหน่งกลางอาคารของ T1 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 33.11 และ 33.50 องศาเซลเซียส T2 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 34.25 และ 34.50 T3 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 34.31 และ 34.51 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาหาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยพิจารณาจากค่า RTTV (Roof Thermal Transfer Value) จะเป็นค่าการถ่ายเทความร้อนของแผ่นหลังคา ซึ่งจะพิจารณาจาก

ตำแหน่งการวัดของผิวใต้หลังคา ผิวบนหลังคาและกลางอาคาร ซึ่งจะนำอุณหภูมิเฉลี่ยจากตารางที่ 4.5 มาใช้ในการคำนวณ จะคำนวณโดยแบ่งเป็นฝั่งหลังคาเมทัลชีทที่ทาสีและฝั่งหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ได้ทาสี สำหรับอุณหภูมิตำแหน่งกลางอาคารจะพิจารณาให้เป็นอุณหภูมิบรรยากาศ ดังนั้นผลการทดสอบ T1 T2 และ T3 จะคำนวณได้ค่า RTTV ดังนี้

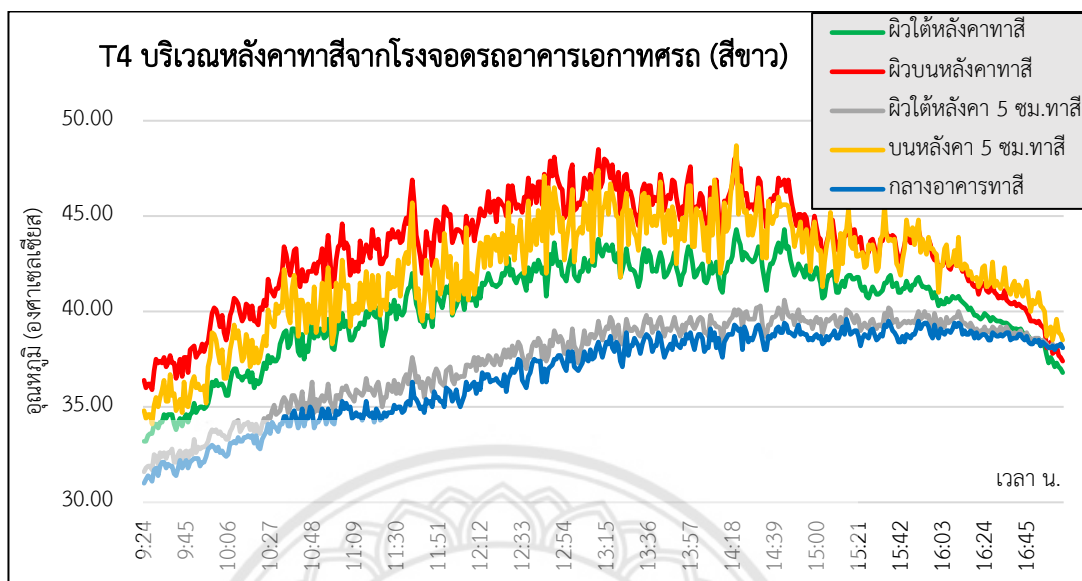


รูปที่ 4.26 ผลการคำนวณ RTTV จากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

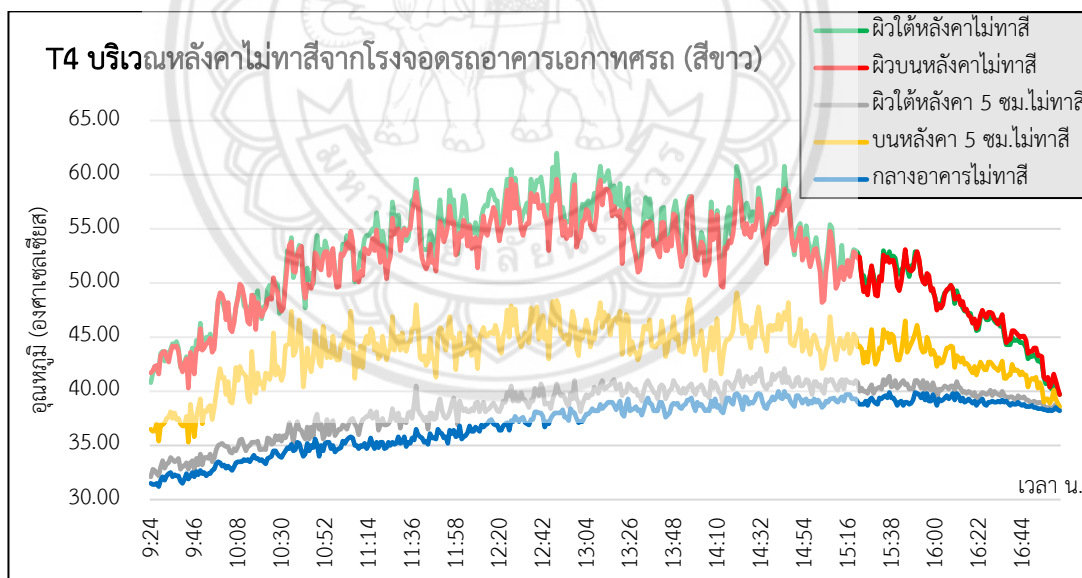
จากผลการคำนวณ RTTV ของผลการทดสอบชนิดสีขาวจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่าในรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ว่าผิวหลังคาที่ทาสี (กราฟแท่งสีฟ้า) จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาน้อยกว่าฝั่งที่ไม่ทาสี (กราฟแท่งสีส้ม) อยู่หลายเท่า เนื่องจากสีฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์สูง ผิวบนหลังคาบริเวณที่ทาสีก็จะมีอุณหภูมิที่ลดลง ทำให้แผ่นหลังคาเมทัลชีทจากผิวบนไปยังผิวใต้หลังคาก็จะมีการนำความร้อนน้อยลง โดยปกติเมื่อแผ่นหลังคาเมทัลชีทรับรังสีจากแสงอาทิตย์ ความร้อนก็จะการมีนำผ่านผิวบนลงไปสู่ผิวใต้หลังคา ทำให้แผ่นหลังคาเมทัลชีทมีการถ่ายเทความร้อนออกสู่ผิวใต้หลังคา เมื่อผิวบนหลังคาเคลือบด้วยสีฉนวนจึงทำให้รังสีแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับไป ทำให้ความร้อนที่นำผ่านผิวบนไปยังผิวใต้หลังคามีน้อยลงไปมากเมื่อเทียบกับก่อนเคลือบสีฉนวน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การถ่ายเทความร้อนของหลังคาเมทัลชีทที่ทำด้วยสีฉนวนจึงมีค่าน้อยมาก สังเกตได้จากผลการคำนวณ RTTV ในรูปที่ 4.26 โดยที่ T1 หลังคาฝั่งทาสีกับไม่ทาสีจะมีค่า RTTV เท่ากับ 7.78 และ 67.58 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 88.5% เทียบกับไม่ทาสี ส่วน T2 หลังคาฝั่งทาสีกับไม่ทาสีจะมีค่า RTTV เท่ากับ 15.87 และ 114.58 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 86.15% เทียบกับไม่ทาสี และ T3 หลังคาฝั่งทาสีกับไม่ทาสีจะมีค่า RTTV เท่ากับ 17.66 และ 130.91 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 86.5% เทียบกับไม่ทาสี

2. ผลการทดสอบชนิดสีขาจากรังจอตระออาคารเอกาทศร

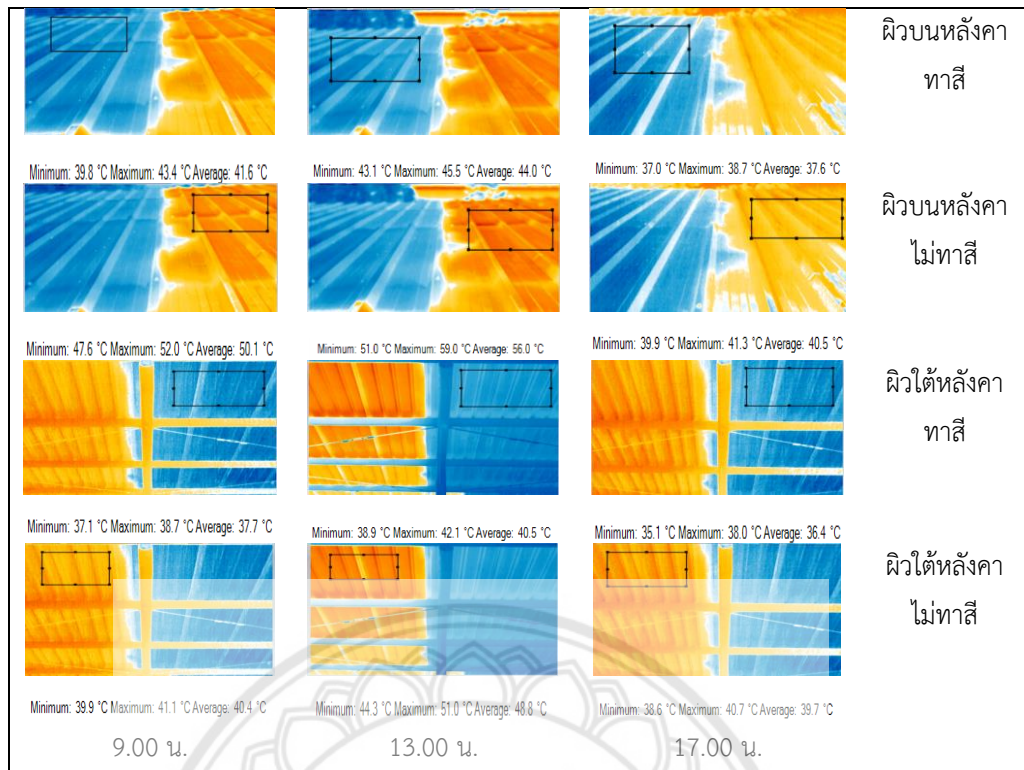
➤ ผลการทดสอบของรังจอตระออาคารเอกาทศรที่ทาด้วยสีขา วันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2563 (T4)



รูปที่ 4.27 ผลอุณหภูมิ T4 หลังคาทาสีจากรังจอตระออาคารเอกาทศร (สีขา)

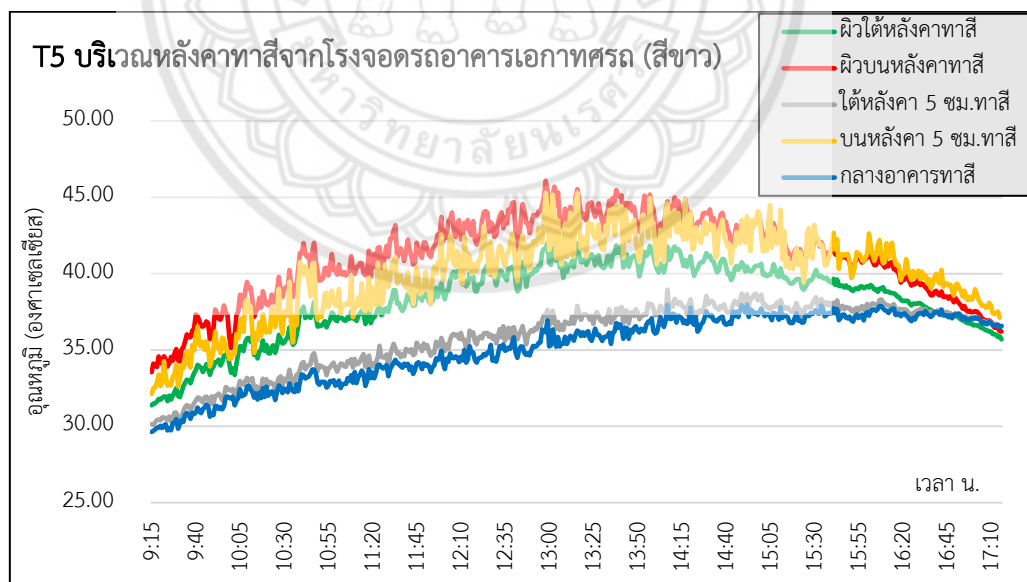


รูปที่ 4.28 ผลอุณหภูมิ T4 หลังคาไม่ทาสีจากรังจอตระออาคารเอกาทศร (สีขา)

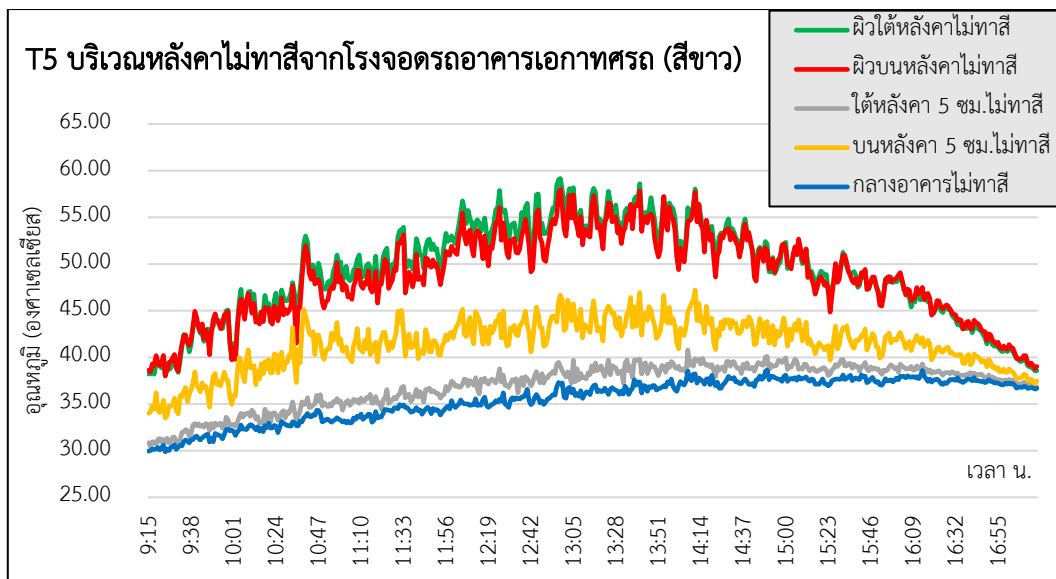


รูปที่ 4.29 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากกล้อง T4 จากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขา)

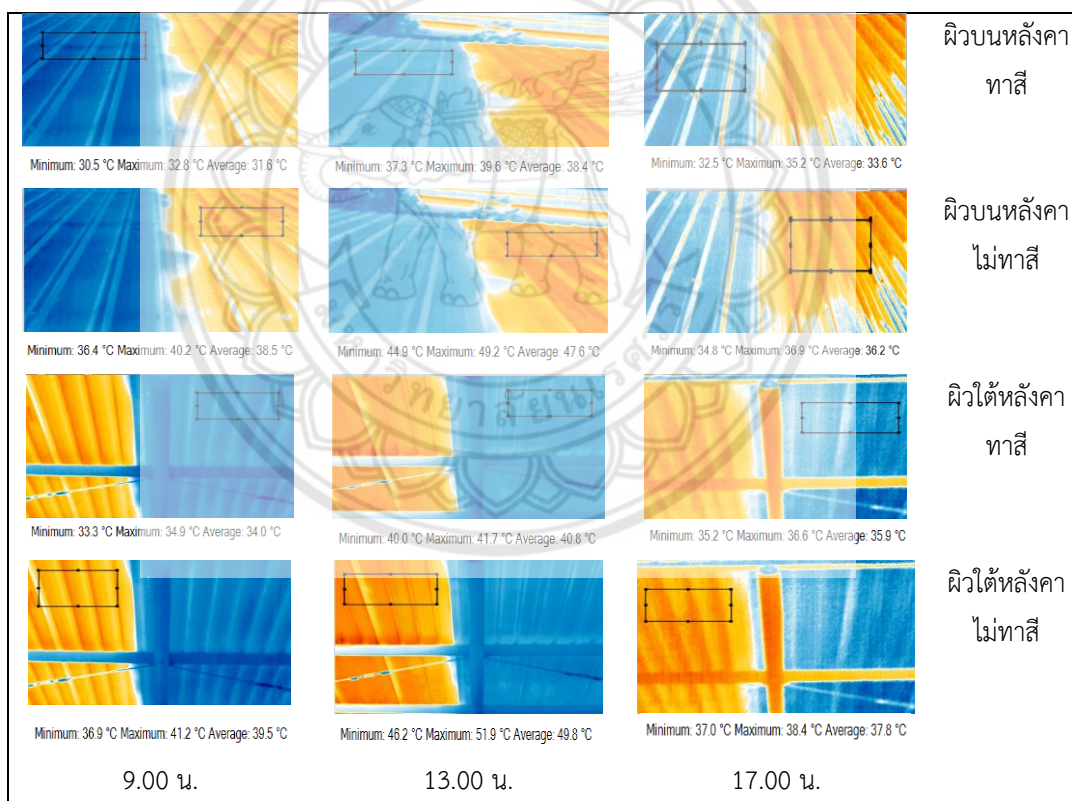
- ผลการทดสอบของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถที่ทาด้วยสีขา วันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2563 (T5)



รูปที่ 4.30 ผลอุณหภูมิจากหลังคาทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขา)

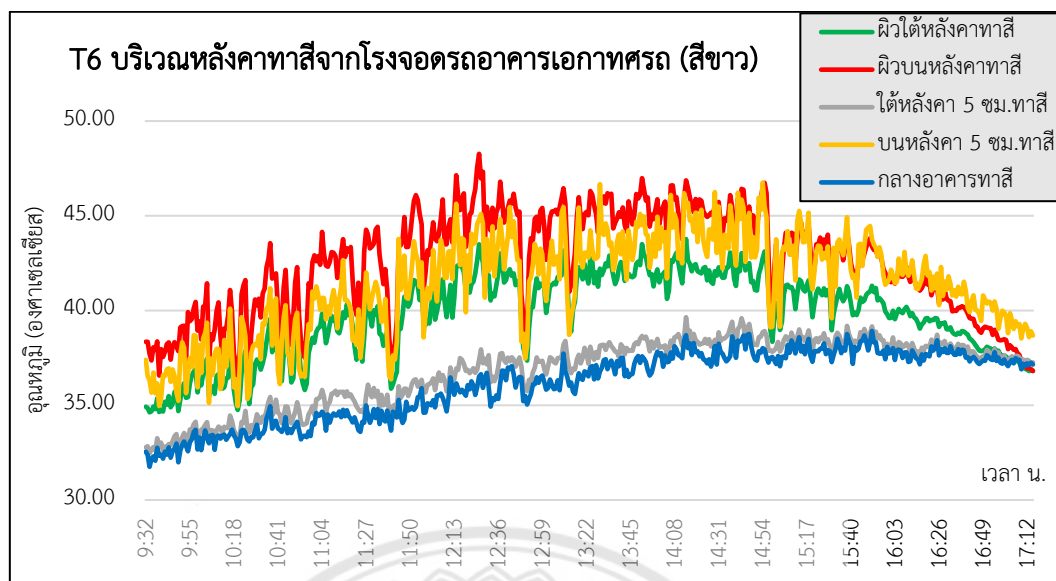


รูปที่ 4.31 ผลอุณหภูมิ T5 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขา)

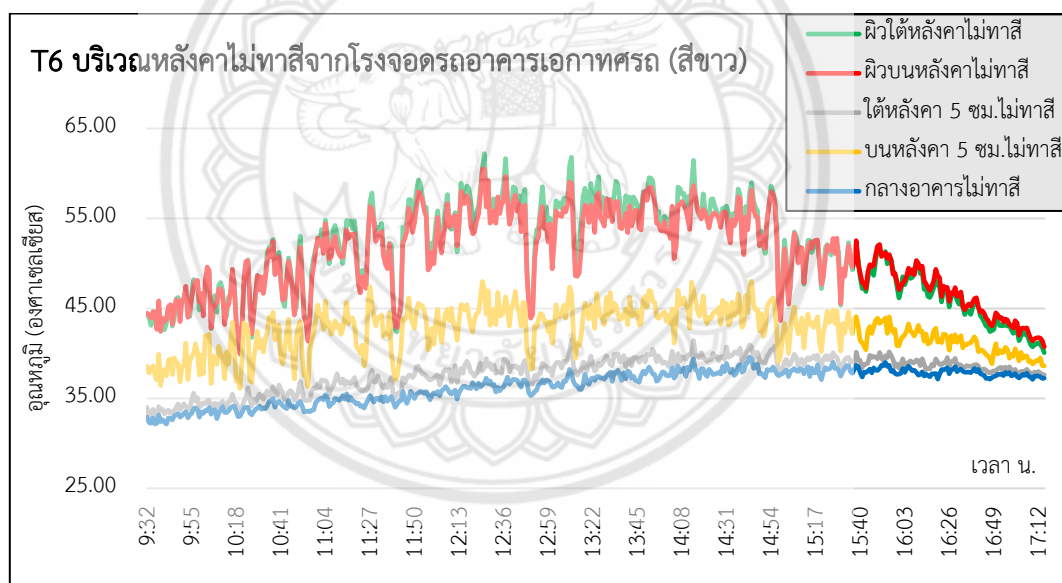


รูปที่ 4.32 ภาพถ่ายอุณหภูมิ T5 จากโรงจอดรถอาคารเอกา (สีขา)

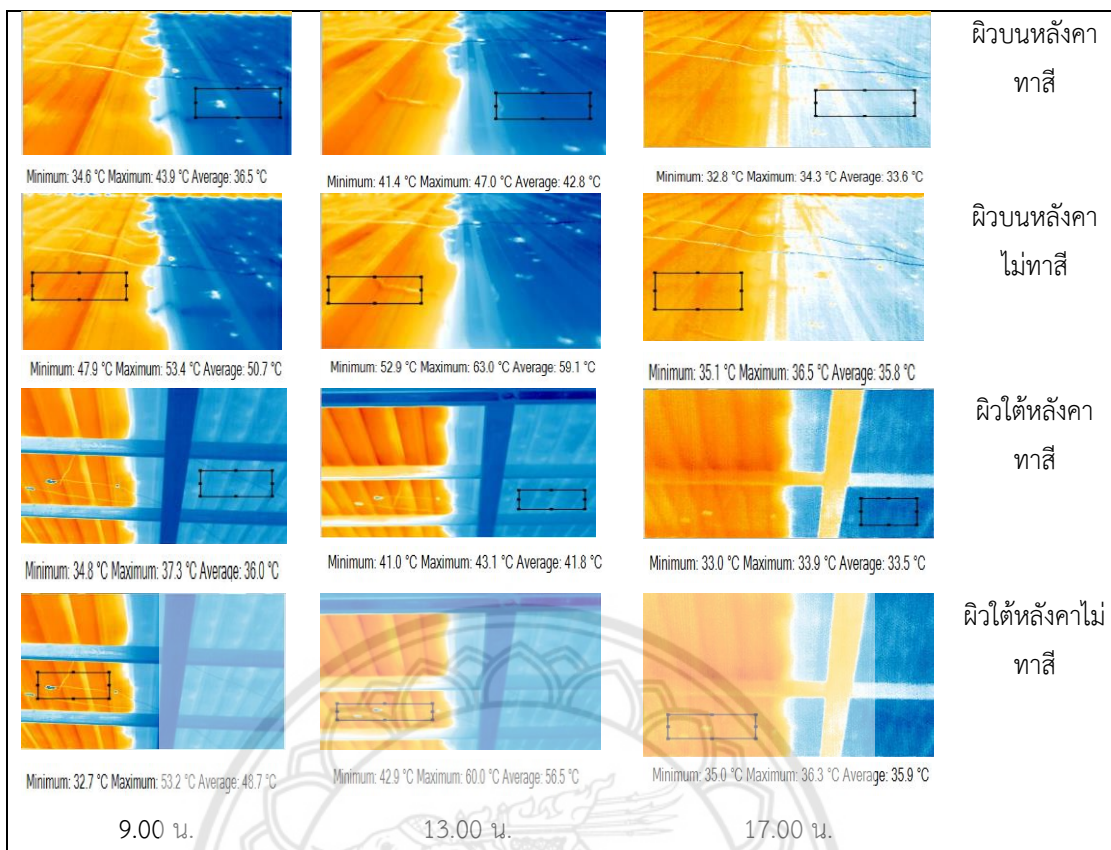
➤ ผลการทดสอบของโรงจอตระถอาคารเอกาทศรถ วันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2563 (T6)



รูปที่ 4.33 ผลอุณหภูมิ T6 หลังคาทาสีจากโรงจอตระถอาคารเอกาทศรถ (สีขา)



รูปที่ 4.34 ผลอุณหภูมิ T6 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอตระถอาคารเอกา (สีขา)



รูปที่ 4.35 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขา)

จากกราฟ T4 T5 และ T6 เป็นผลการทดสอบสีฉนวนกันความร้อนชนิดขาวจากโรงจอดรถอาคารเอกาในวันที่ 5 6 และ 9 เมษายน พ.ศ. 2563 ตามลำดับ และเป็นผลแสดงความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวหลังคา (ผิวบนและผิวใต้หลังคา) และอุณหภูมิแวดล้อม (ใต้หลังคา 5 ซม. บนหลังคา 5 ซม. และกลางอาคาร) ในช่วงเวลาประมาณ 9.00 น. ถึง 17.00 น. โดยจะแบ่งเป็นกราฟที่ทาสีและกราฟที่ไม่ทาสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลอุณหภูมิเฉลี่ย T4 T5 และ T6 จากการทดสอบโรงจอดรถอาคารเอกา (สีขา)

ตำแหน่งจุดวัด	T4 (5/04/2563)		T5 (6/04/2563)		T6 (9/04/2563)	
	ทาสี	ไม่ทาสี	ทาสี	ไม่ทาสี	ทาสี	ไม่ทาสี
ผิวใต้หลังคา	41.38	54.82	39.56	52.13	40.72	53.85
ผิวบนหลังคา	45.24	56.00	42.92	53.59	44.12	54.88
ใต้หลังคา 5 ซม.	37.62	38.94	35.95	37.35	36.71	38.01
บนหลังคา 5 ซม.	43.31	45.04	41.08	42.97	42.08	43.76
กลางอาคาร	36.60	37.04	34.87	35.36	35.73	36.17

**หน่วยองศาเซลเซียส

จากกราฟที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของ T4 T5 และ T6 จะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่หลังคาได้รับแสงแดดได้เต็มที่ และเป็นช่วงที่เห็นความแตกต่างของอุณหภูมิได้ชัดเจน เมื่อมีการทาสีฉนวนกันความร้อนที่บริเวณหลังคาจะทำให้อุณหภูมิหลังคามีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่ได้ทาสีฉนวน เนื่องจากฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติในสะท้อนความร้อนสูง สังเกตได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยของตำแหน่งผิวบนหลังคาของ T4 จะมีอุณหภูมิผิวบนหลังคาทาสีกับไม่ทาสีต่างกันอยู่ประมาณ 10 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 19.21% เทียบกับไม่ทาสี และสีฉนวนก็มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนที่ต่ำ สังเกตได้จากผิวใต้หลังคาของ T4 เช่นกัน จะมีอุณหภูมิผิวใต้หลังคาทาสีกับไม่ทาสีต่างกันถึง 13.44 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 24.51% เมื่อเทียบกับไม่ทาสี ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสีฉนวนกันความร้อนทำให้อุณหภูมิผิวหลังคามีค่าที่ลดลงอย่างชัดเจน

จากผลการทดสอบดังกล่าวจะมีอุณหภูมิแวดล้อมที่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับตำแหน่งของผิวหลังคา จากตารางที่ 4.6 ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของ T4 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 37.62 และ 38.94 องศาเซลเซียส ส่วน T5 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 35.95 และ 37.35 องศาเซลเซียส และ T6 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 36.71 และ 38.01 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแต่ละผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝั่งไม่ทาสีนั้นได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของผิวใต้หลังคาไม่ทาสี เนื่องจากหลังคาเมทัลชีทแบบไม่ทาสีฉนวนเมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดดจะมีการนำความร้อนจากผิวบนหลังคาไปยังผิวใต้หลังคา ทำให้ผิวใต้หลังคาของฝั่งที่ไม่ทาสีฉนวนจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าฝั่งที่ทาสีอยู่มาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝั่งไม่ทาสีได้รับการแผ่ความร้อนที่สูงกว่าตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝั่งที่ทาสี เช่น T6 ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ฝั่งทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 36.71 องศาเซลเซียส และฝั่งไม่ทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 38.01 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 3.42 % เทียบกับฝั่งไม่ทาสี

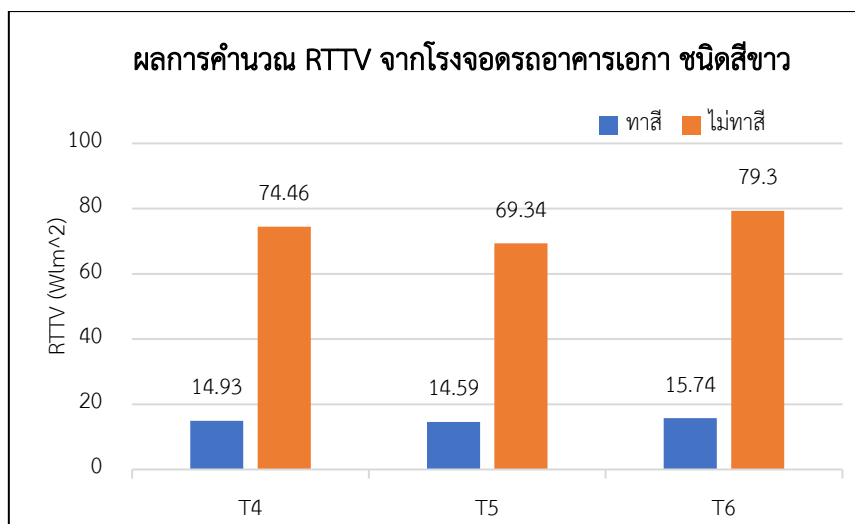
ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ก็มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับตำแหน่งผิวหลังคา จากตารางที่ 4.6 ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของ T4 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 43.31 และ 45.04 องศาเซลเซียส ส่วน T5 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 41.08 และ 42.97 องศาเซลเซียส และ T6 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 42.08 และ 43.76 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแต่ละการทดสอบจะเห็นได้ว่าตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม.ของฝั่งทาสีได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนความร้อนจากตำแหน่งผิวบนหลังคาทาสี เนื่องจากฉนวนจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนสูง จึงทำให้ผิวบนหลังคาที่ทาสีจะมีอุณหภูมิที่ลดลงเพราะมีการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์กลับไป โดยส่วนมากอุณหภูมิของตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม.ฝั่งทาสี จะมีค่าที่สูงกว่าฝั่งที่

ไม่ทาสี แต่เนื่องจากขั้ว Sensor ของสาย Thermocouple ที่ใช้วัดอุณหภูมิได้รับความร้อนจากแสงแดดโดยตรงอยู่ตลอดเวลา และอาจเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น ขั้ว Sensor มีการสัมผัสกับลมอากาศอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของฝั่งที่ทาสีและไม่ทาสีมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันอยู่เล็กน้อย เช่น T4 ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ฝั่งทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 43.31 องศาเซลเซียส และฝั่งไม่ทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 45.04 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 3.84% เทียบกับฝั่งไม่ทาสี

การวัดจากตำแหน่งกลางอาคารมักจะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ประกอบกับโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถเป็นอาคารเปิดโล่ง และตำแหน่งจุดวัดมีระยะห่างจากผิวใต้หลังคาอยู่พอสมควร เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนจากบนหลังคาไปยังใต้หลังคา ในส่วนของผิวใต้หลังคาก็จะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมา แต่รังสีความร้อนมักจะไม่ถึงตำแหน่งจุดวัด เนื่องจากจุดวัด ณ ตำแหน่งกลางอาคารอยู่ห่างจากผิวใต้หลังคามากเกินไป จึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้ส่วนใหญ่จะไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน และมักจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ซึ่งอาจเป็นจากอากาศที่ถ่ายเทอย่างสะดวกพัดผ่านมายังจุดวัด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ ดูได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.6 ตำแหน่งกลางอาคารของ T4 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 36.60 และ 37.04 องศาเซลเซียส T5 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 34.87 และ 35.36 และ T6 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 35.73 และ 36.17 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาหาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยพิจารณาจากค่า RTTV (Roof Thermal Transfer Value) จะเป็นค่าการถ่ายเทความร้อนของแผ่นหลังคา ซึ่งจะพิจารณาจากตำแหน่งการวัดของผิวใต้หลังคา ผิวบนหลังคาและกลางอาคาร จะคำนวณโดยแบ่งเป็นฝั่งหลังคาเมทัลชีทที่ทาสีและฝั่งหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ได้ทาสี สำหรับอุณหภูมิตำแหน่งกลางอาคารจะพิจารณาให้เป็นอุณหภูมิบรรยากาศ ดังนั้นผลการทดสอบ T4 T5 และ T6 จะคำนวณได้ค่า RTTV ดังนี้

จากตัวแปรในตารางที่ 4.6 สามารถนำไปคำนวณหา RTTV ได้ โดยวิธีการและตัวอย่างการคำนวณจะอยู่ในบทที่ 3 สำหรับผลการทดสอบโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถที่ใช้สื่อนนวนกันความร้อนชนิดสีขาวยัง 3 ชุดผลการทดสอบ สามารถคำนวณ RTTV ได้ผลออกมาดังรูปที่ 4.36

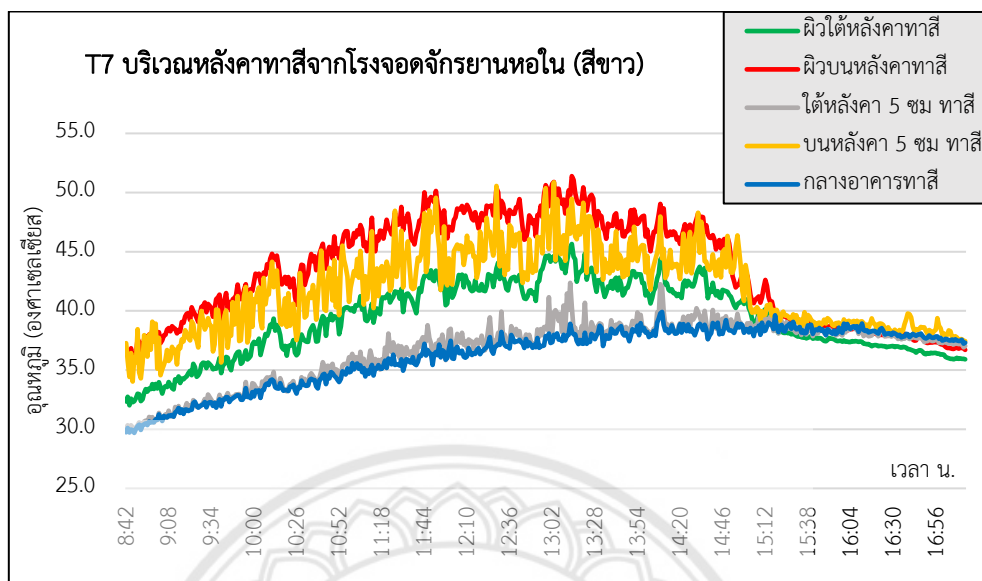


รูปที่ 4.36 ผลการคำนวณ RTTV จากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)

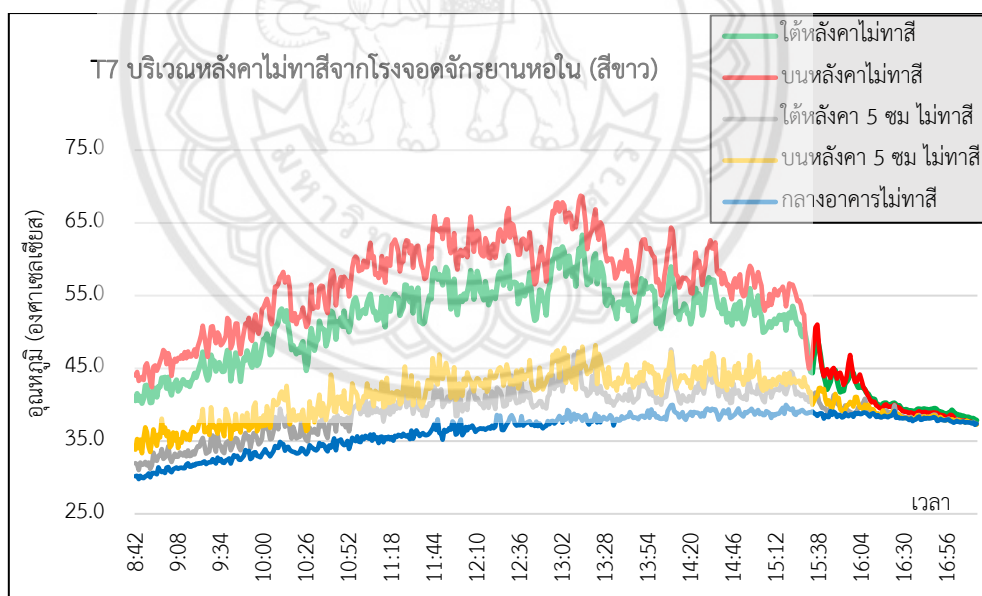
ผลจากการคำนวณ RTTV ของผิวหลังคาโรงจอดรถอาคารทศรถที่หาฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาว พบว่ามีประสิทธิภาพสูงเช่นเดียวกับอาคารสิ่งพิมพ์เก่า เนื่องจากเห็นความแตกต่างของค่า RTTV จากรูปที่ 4.36 อยู่มาก โดยที่ T4 หลังคาฝั่งทาสีกับไม่ทาสีจะมีค่า RTTV เท่ากับ 14.93 และ 74.46 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 79.94% เทียบกับไม่ทาสี ส่วน T5 หลังคาฝั่งทาสีกับไม่ทาสีจะมีค่า RTTV เท่ากับ 14.59 และ 69.34 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 78.95% เทียบกับไม่ทาสี และ T6 หลังคาฝั่งทาสีกับไม่ทาสีจะมีค่า RTTV เท่ากับ 15.74 และ 79.30 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 80.15% เทียบกับไม่ทาสี

3. ผลการทดสอบชนิดสีขาวจากโรงจอดจักรยานหอใน

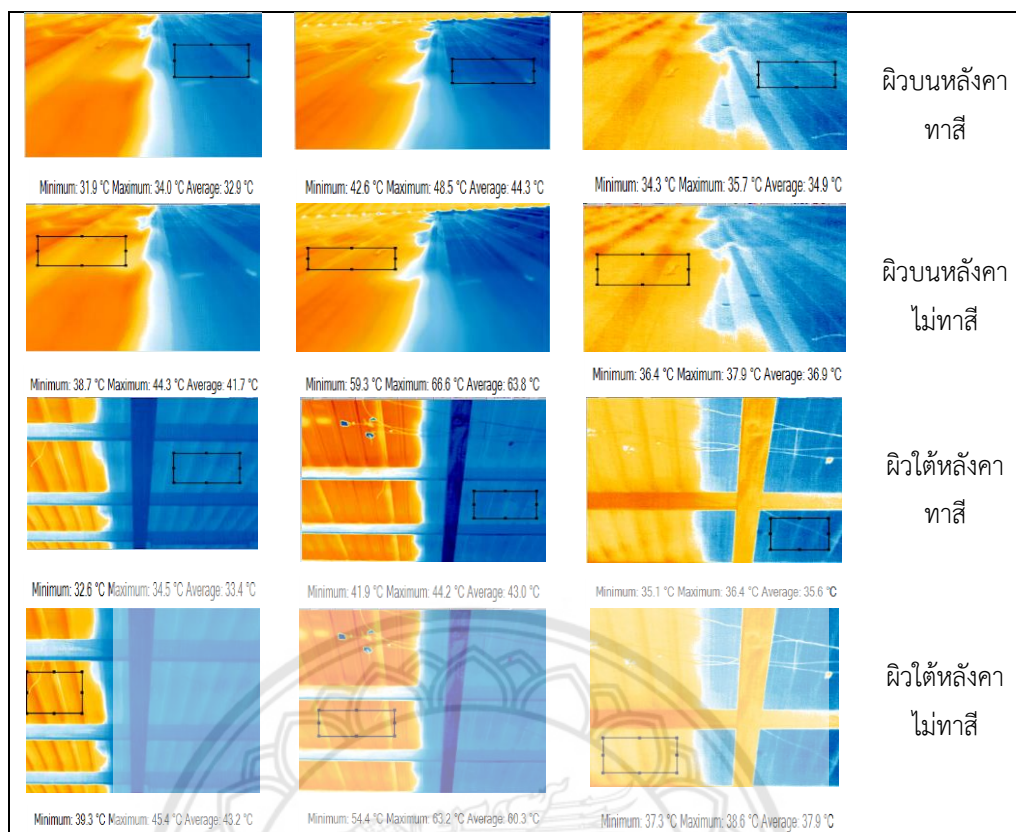
➤ ผลการทดสอบของโรงจอดจักรยานหอในที่ทำด้วยสีขาว วันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2563 (T7)



รูปที่ 4.37 ผลอุณหภูมิ T7 หลังคาทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)

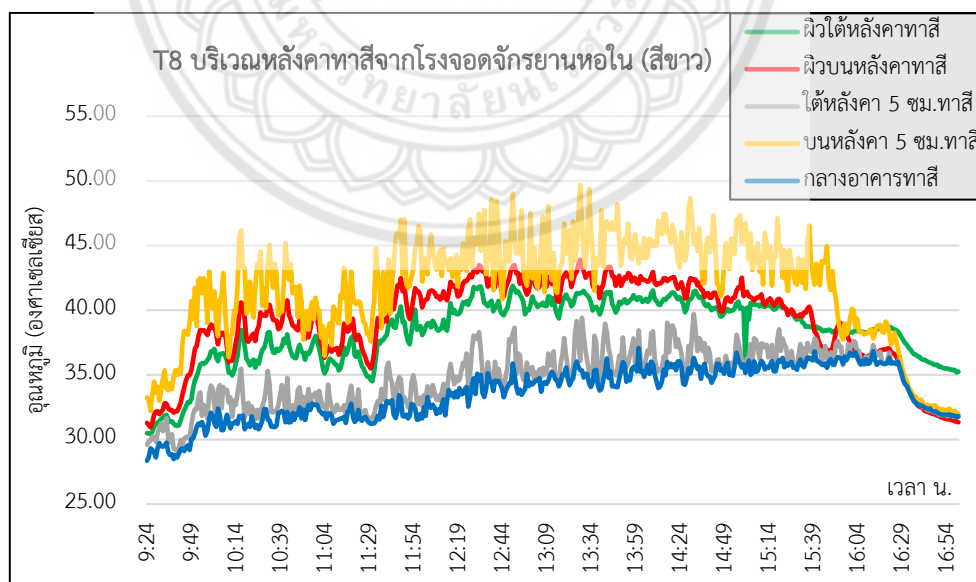


รูปที่ 4.38 ผลอุณหภูมิ T7 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)

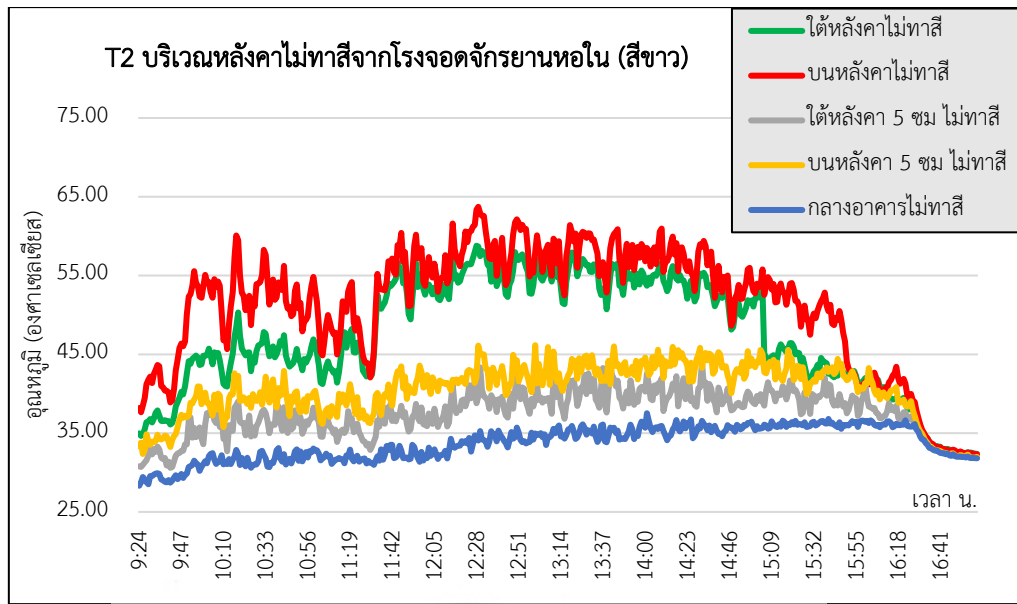


รูปที่ 4.39 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากโรงจอดจักรยานหอโน (สีขาว)

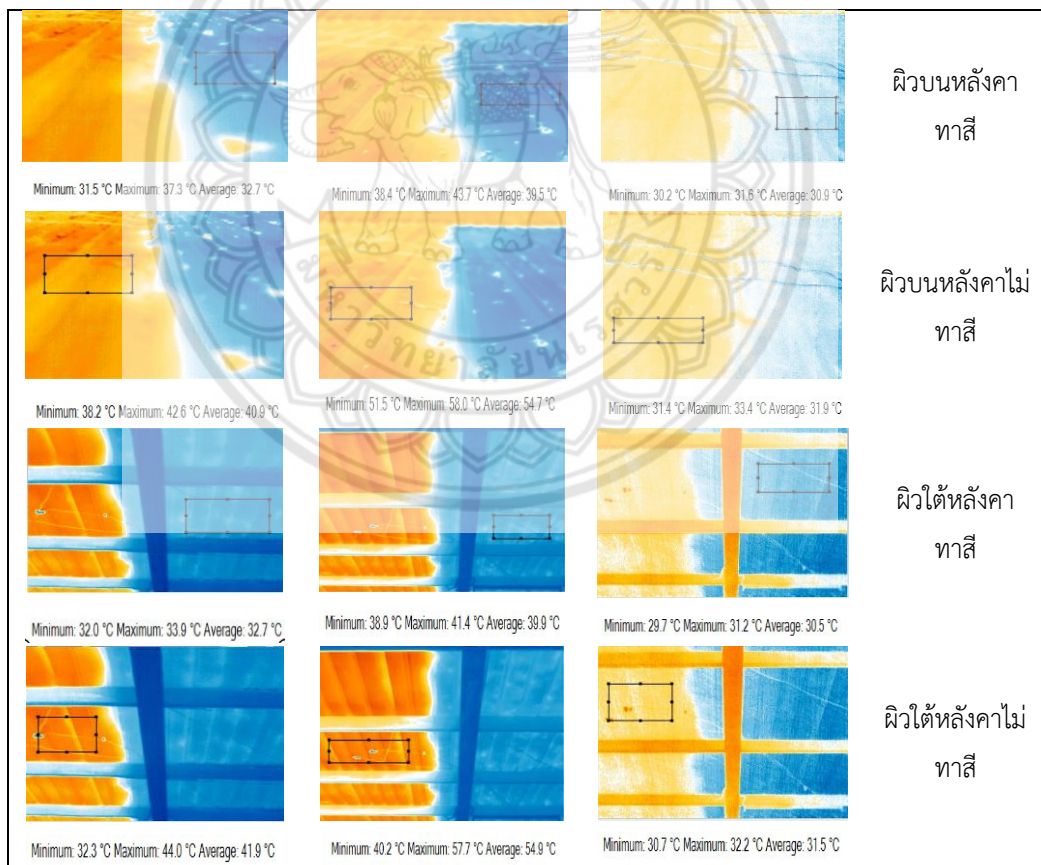
➤ ผลการทดสอบของโรงจอดจักรยานหอโนที่ทำด้วยสีขาว วันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2563 (T8)



รูปที่ 4.40 ผลอุณหภูมิจากหลังคาทาสีจากโรงจอดจักรยานหอโน (สีขาว)

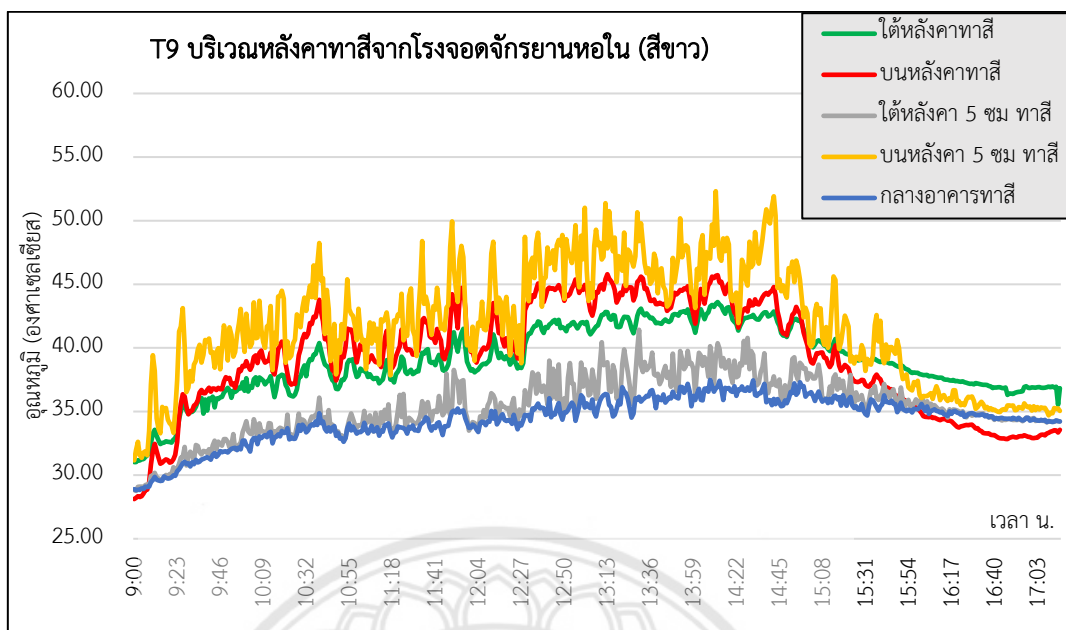


รูปที่ 4.41 ผลอุณหภูมิ T8 หลังคาไม้ทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)

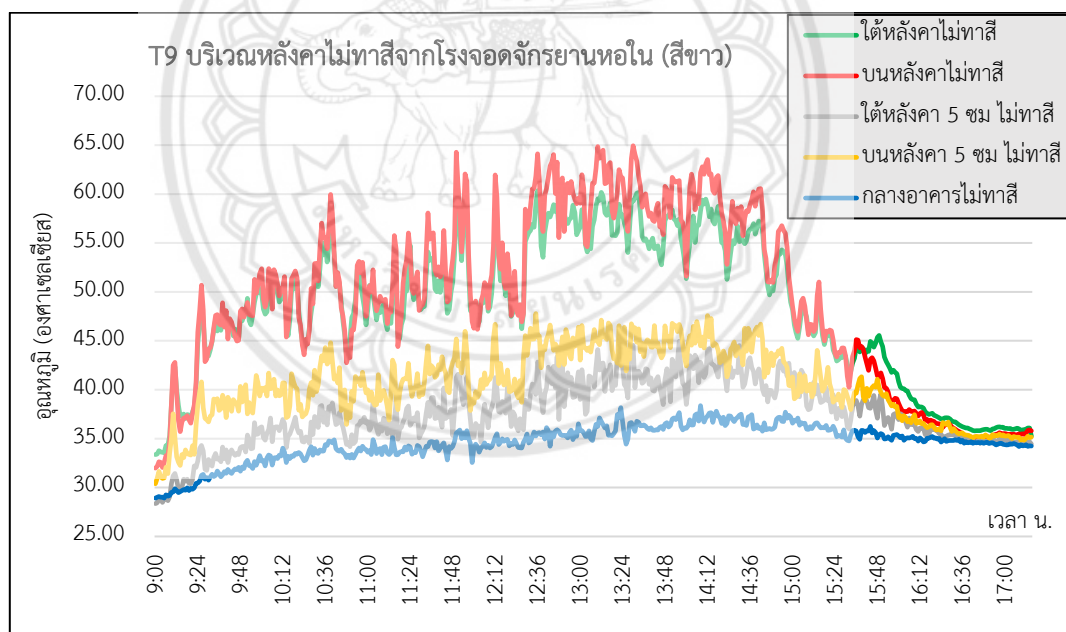


รูปที่ 4.42 ภาพถ่ายอุณหภูมิ T8 จากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)

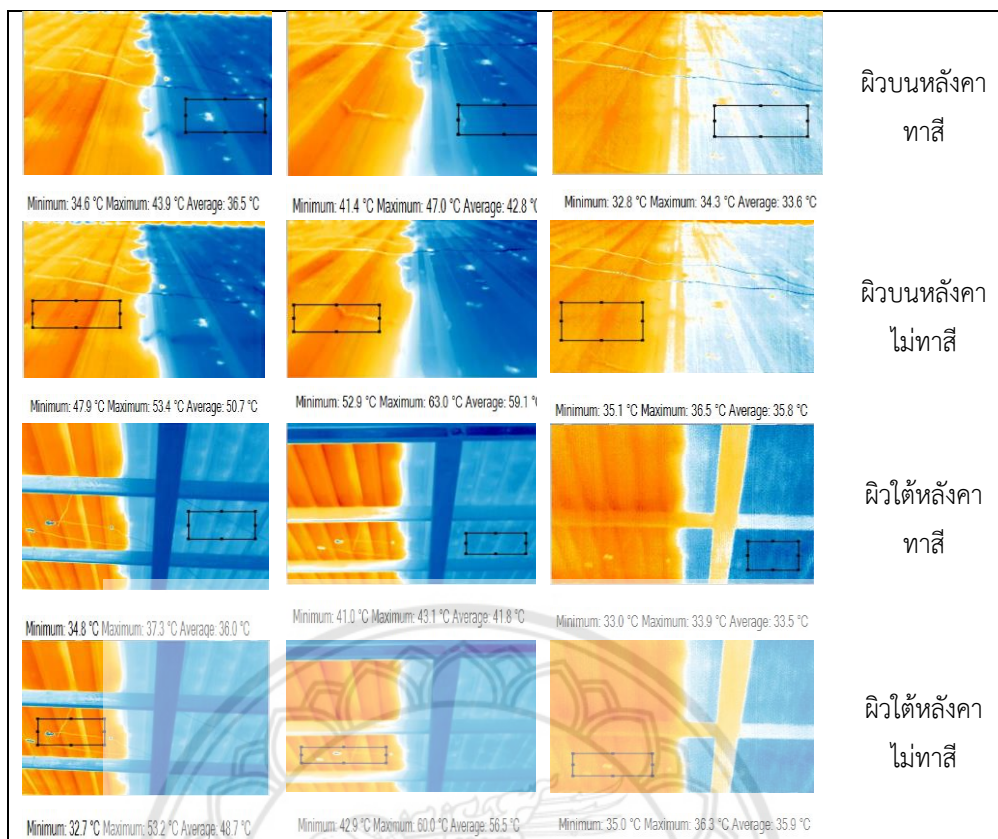
- ผลการทดสอบของโรงจอดจักรยานหอในที่ทำด้วยสีขาว วันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2563 (T9)



รูปที่ 4.43 ผลอุณหภูมิ T9 หลังคาทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)



รูปที่ 4.44 ผลอุณหภูมิ T9 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)



รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)

จากกราฟ T7 T8 และ T9 เป็นผลการทดสอบสีฉนวนกันความร้อนชนิดขาวจากโรงจอดจักรยานหอใน และเป็นการทดสอบของวันที่ 19 30 เมษายน และ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2563 ตามลำดับ และเป็นผลแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวหลังคา (ผิวบนและผิวใต้หลังคา) และอุณหภูมิแวดล้อม (ใต้หลังคา 5 ซม. บนหลังคา 5 ซม. และกลางอาคาร) ในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. โดยจะแบ่งเป็นกราฟที่ทาสีและกราฟที่ไม่ทาสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิเฉลี่ย T7 T8 และ T9 จากการทดสอบโรงจอดจักรยานหอใน (สีขาว)

ตำแหน่งจุดวัด	T7 (19/04/2563)		T8 (30/04/2563)		T9 (04/05/2563)	
	ทาสี	ไม่ทาสี	ทาสี	ไม่ทาสี	ทาสี	ไม่ทาสี
ผิวใต้หลังคา	42.20	61.80	39.33	55.86	40.43	55.89
ผิวบนหลังคา	48.00	55.70	41.03	52.87	42.40	53.68
ใต้หลังคา 5 ซม.	37.70	41.10	34.80	38.28	36.29	39.19
บนหลังคา 5 ซม.	45.00	43.40	43.55	41.52	44.74	42.94
กลางอาคาร	36.90	37.10	33.48	33.60	34.83	35.09

**หน่วยองศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของ T7 T8 และ T9 จะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่หลังคารับแสงแดดได้เต็มที่ และเป็นช่วงที่เห็นความแตกต่างของอุณหภูมิได้ชัดเจน แต่การทดสอบที่โรงจอดรถจักรยานหอในมักมีสภาพแวดล้อมที่เป็นปัญหาอยู่บ้าง เช่น เงามาจากร่มไม้ ทำให้หลังคาได้รับแสงแดดสลับกันไปมากับร่มไม้ อุณหภูมิที่วัดได้ก็จะมีขึ้นมีลงแบบไม่คงที่เป็นส่วนมาก

เมื่อมีการทาสีฉนวนกันความร้อนที่บริเวณหลังคาจะทำให้อุณหภูมิหลังคามีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่ได้ทาสีฉนวน เนื่องจากฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติในสะท้อนความร้อนสูงจึง สังเกตได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยของตำแหน่งผิวบนหลังคาของ T9 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวบนหลังคาทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 42.40 และ 53.68 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยจะต่างกันอยู่ประมาณ 11-12 องศาเซลเซียส และจากการสะท้อนนั้นทำให้มีความร้อนเพียงบางส่วนที่เข้าสู่หลังคาทำให้การนำความร้อนที่น้อยลงและฉนวนก็มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนที่ต่ำ สังเกตได้จากผิวใต้หลังคาของ T7 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวใต้หลังคาทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 42.2 และ 61.8 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งต่างกันถึง 19-20 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าฉนวนกันความร้อนทำให้อุณหภูมิผิวหลังคามีค่าที่ลดลงอย่างชัดเจน

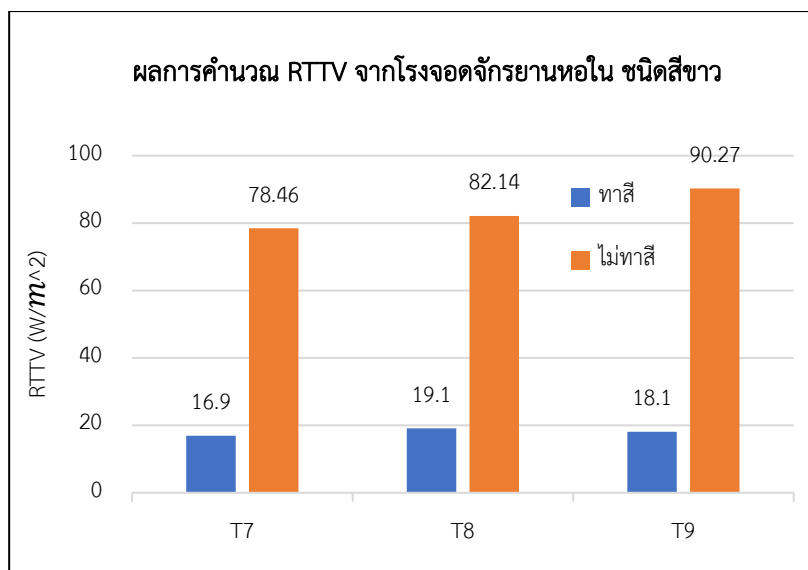
จากผลการทดสอบดังกล่าวจะมีอุณหภูมิแวดล้อมที่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับตำแหน่งของผิวหลังคาโดยพื้นที่ที่ใช้ทดสอบเป็นพื้นที่เปิดและมีอากาศถ่ายเท จากตารางที่ 4.7 ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของ T7 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 37.70 และ 41.10 องศาเซลเซียส ส่วน T8 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 34.80 และ 38.28 องศาเซลเซียส และ T9 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 36.29 และ 39.19 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแต่ละผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของผนังไม่ทาสีนั้นได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของผิวใต้หลังคาไม่ทาสี เนื่องจากหลังคาเมทัลชีทแบบไม่ทาสีฉนวนเมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดดจะมีการนำความร้อนจากผิวบนหลังคาไปยังผิวใต้หลังคา ทำให้ผิวใต้หลังคาของผนังไม่ทาสีฉนวนจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าผนังที่ทาสีอยู่และเนื่องจากเป็นพื้นที่เปิดเลยมีอากาศถ่ายเททำให้ความต่างของอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากเหมือนผิวหลังคา ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของผนังไม่ทาสีได้รับการแผ่ความร้อนที่สูงกว่าตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของผนังที่ทาสี เช่น T7 ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ผนังทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 34.80 องศาเซลเซียส และผนังไม่ทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 38.28 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ 5 องศาเซลเซียส

ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ก็มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับตำแหน่งผิวหลังคา จากตารางที่ 4.7 ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของ T7 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผนังทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 45.00

และ 43.40 องศาเซลเซียส ส่วน T8 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝัगतาสีกับไม้ทาสีอยู่ที่ 43.55 และ 41.52 องศาเซลเซียส และ T9 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝัगतาสีกับไม้ทาสีอยู่ที่ 44.74 และ 42.94 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแต่ละการทดสอบจะเห็นได้ว่าตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของฝัगतาสีได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนความร้อนจากตำแหน่งผิวบนหลังคาทาสี เนื่องจากสีฉนวนจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนสูง จึงทำให้ผิวบนหลังคาที่ทาสีจะมีอุณหภูมิที่ลดลงเพราะมีการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์กลับไป ทำให้อุณหภูมิของตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. มีค่าที่สูงกว่าฝัगतาสีที่ไม่ทาสี แต่เนื่องจากขั้ว Sensor ของสาย Thermocouple ที่ใช้วัดอุณหภูมิได้รับความร้อนจากแสงแดดโดยตรงอยู่ตลอดเวลา และอาจเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น ขั้ว Sensor มีการสัมผัสกับลมอากาศอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของฝัगतาสีและไม้ทาสีมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันอยู่เล็กน้อย เช่น T7 ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ฝัगतาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 45.00 องศาเซลเซียส และฝัगतาสีที่ไม่ทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 43.40 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส

การวัดจากตำแหน่งกลางอาคารก็มีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากโรงจอดจักรยานหอนเป็นพื้นที่เปิดทำให้มีอากาศถ่ายเทอยู่ตลอด ซึ่งเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนจากบนหลังคาไปยังใต้หลังคา ดังนั้นผิวใต้หลังคาจะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมา แต่รังสีความร้อนมักจะไม่ถึงตำแหน่งจุดวัด เนื่องจากมีการพาความร้อนจากผิวใต้หลังคาโดยอากาศที่ถ่ายเทตลอด จึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้ส่วนใหญ่จะไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน และมักจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ ดูได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.07 ตำแหน่งกลางอาคารของ T7 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝัगतาสีกับไม้ทาสีอยู่ที่ 36.90 และ 37.10 องศาเซลเซียส T8 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝัगतาสีกับไม้ทาสีอยู่ที่ 33.48 และ 33.60 องศาเซลเซียส T9 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝัगतาสีกับไม้ทาสีอยู่ที่ 34.83 และ 35.09 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ในการคำนวณค่า RTTV ของหลังคาจากโรงจอดจักรยานหอน จะต้องใช้ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งจะต้องใช้อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวใต้หลังคา ผิวบนหลังคา และกลางอาคาร สามารถนำอุณหภูมิเฉลี่ยจากตารางที่ 4.7 ไปคำนวณหา RTTV ได้ สำหรับผลการทดสอบโรงจอดจักรยานหอนที่ใช้สีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาว สามารถคำนวณ RTTV ได้ผลออกมาดังรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.46 ผลการคำนวณ RTTV จากโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีขา)

สำหรับ RTTV ของผิวหลังคาฝั่งที่ไม่ได้ทาสีจะมีค่าที่มากกว่าเพราะมีการสะท้อนที่น้อย ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผิวบนไปยังผิวล่างของหลังคามีค่ามาก แต่ฝั่งที่ทาสีจะมีปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทน้อยกว่า เนื่องจากสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาจะมีคุณสมบัติการสะท้อนความร้อนสูง จึงทำให้ผิวหลังคามีอุณหภูมิที่ลดลงและยังทำให้การนำความร้อนของหลังคาน้อยลงเช่นกัน จึงเป็นเหตุให้บริเวณผิวหลังคาที่ทาสีมีความเย็นกว่าหลังคาฝั่งไม่ทาสีฉนวน และเมื่อหลังคาฝั่งทาสีฉนวนมีการถ่ายเทความร้อนน้อยกว่าฝั่งที่ไม่ทาสี หลังคาฝั่งที่ทาสีก็จะมีค่า RTTV ที่ลดลงเช่นกัน

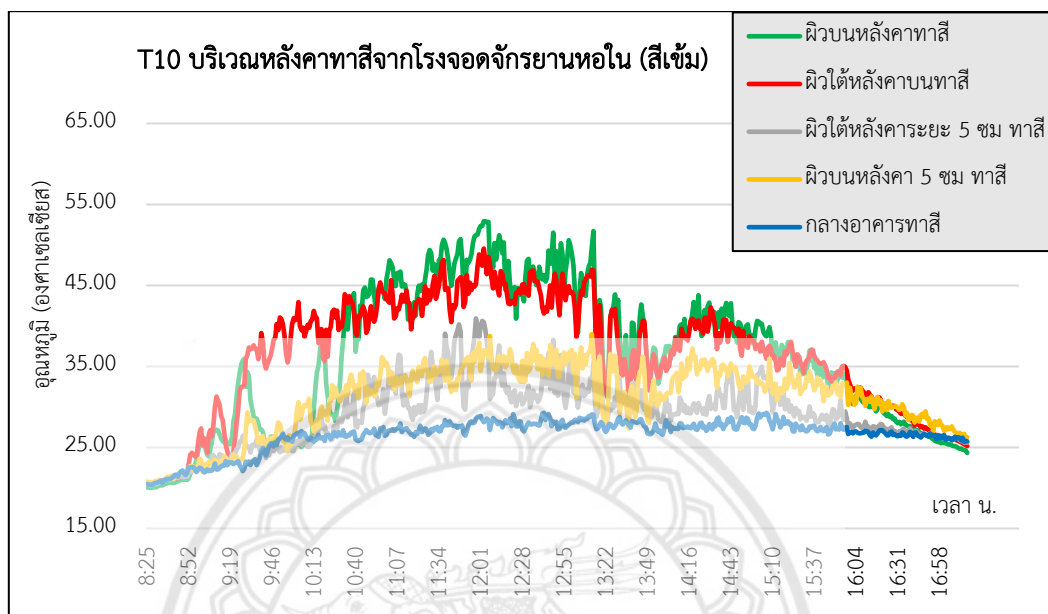
จากการผลทดสอบที่โรงจอดรถจักรยานหอในผิวหลังคาของ T7 มีค่า RTTV ของทาสีกับไม่ทาสี เท่ากับ 16.9 และ 78.46 W/m^2 ตามลำดับ หรือการให้ความร้อนผ่านหลังคาที่ทาสีฉนวนกันความร้อน (เปอร์เซ็นต์ผลต่างของหลังคาไม่ทาสี) จะคิดเป็น 78.46% ผิวหลังคาของ T8 มีค่า RTTV ของทาสีกับไม่ทาสีเท่ากับ 19.1 และ 82.14 W/m^2 ตามลำดับ หรือการให้ความร้อนผ่านหลังคาที่ทาสีฉนวนกันความร้อน (เปอร์เซ็นต์ผลต่างของหลังคาไม่ทาสี) จะคิดเป็น 76.75% และผิวหลังคาของ T9 มีค่า RTTV ของทาสีกับไม่ทาสีเท่ากับ 18.1 และ 90.27 W/m^2 ตามลำดับ หรือการให้ความร้อนผ่านหลังคาที่ทาสีฉนวนกันความร้อน (เปอร์เซ็นต์ผลต่างของหลังคาไม่ทาสี) จะคิดเป็น 79.95%

สีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาจากการทดสอบหลังคาโรงจอดรถจักรยานหอใน คอนกรีตที่จะมีอุปสรรคในระหว่างการทดสอบ จะทำให้อุณหภูมิผิวบนหลังคาที่วัดได้ไม่ค่อยชัดเจน เนื่องจากมีปัญหาเรื่องร่มเงาจากต้นไม้ที่บังจุดวัด ดังนั้นสรุปได้ว่าสีฉนวนกันความร้อนก็สามารถเป็นประโยชน์ต่อโรงจอดรถทุกแบบได้ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการก่อสร้างเช่นเดียวกับโรงจอดรถของอาคารเอกาทศรถ และที่สำคัญคือสภาพแวดล้อมรอบข้างก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับคอนกรีตมากเช่นกัน

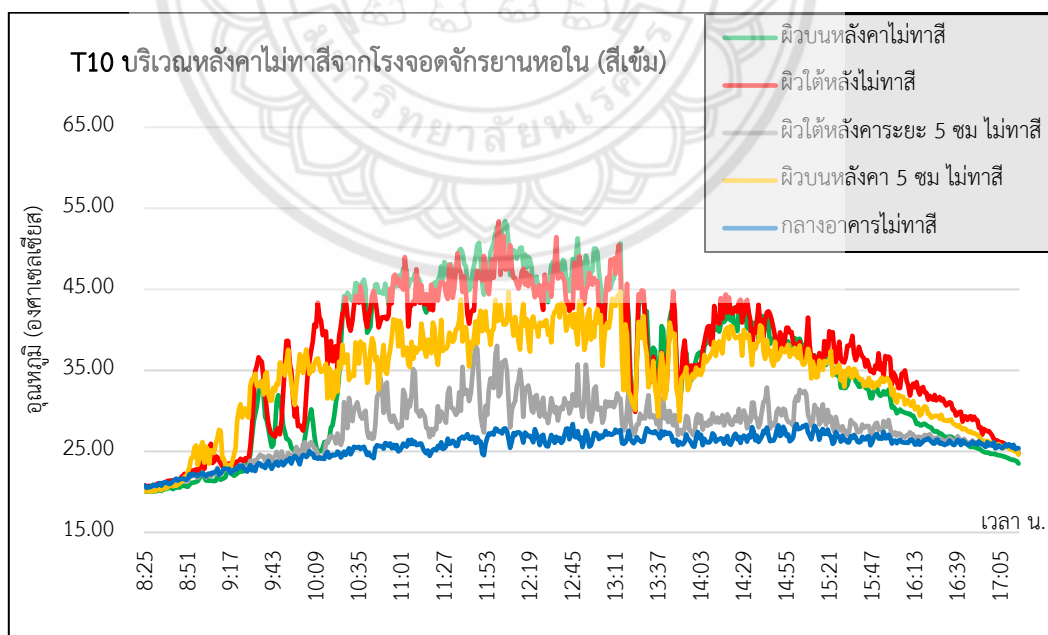
4.4.2 ผลการทดสอบบสีจนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม

1. ผลการทดสอบชนิดสีขาวจากโรงจอดจักรยานหอใน

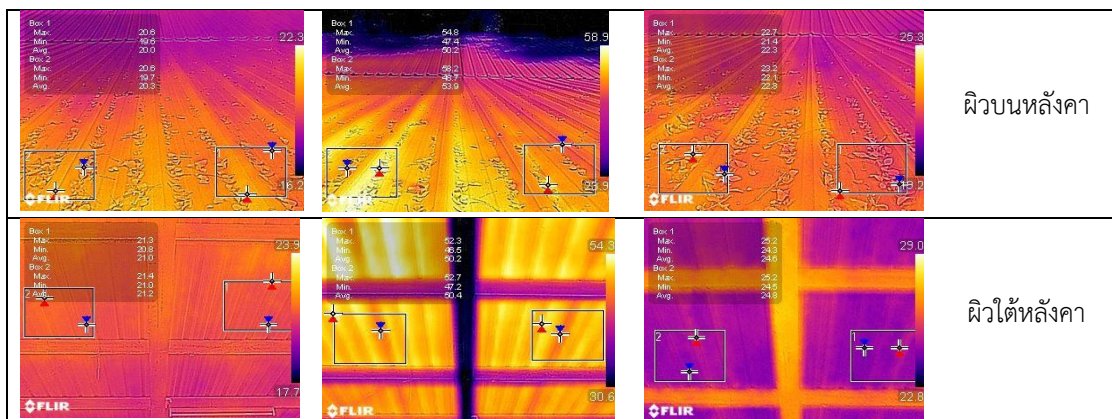
- ผลการทดสอบของโรงจอดจักรยานหอในที่ทำด้วยสีเข้ม วันที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2563 (T10)



รูปที่ 4.47 ผลอุณหภูมิ T10 หลังคาทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีเข้ม)

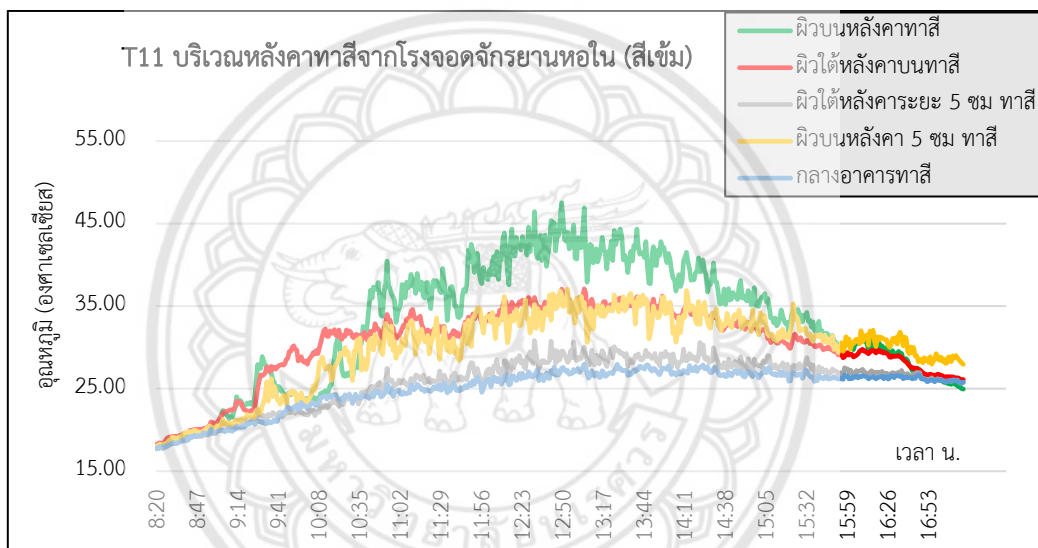


รูปที่ 4.48 ผลอุณหภูมิ T10 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดจักรยานหอใน (สีเข้ม)

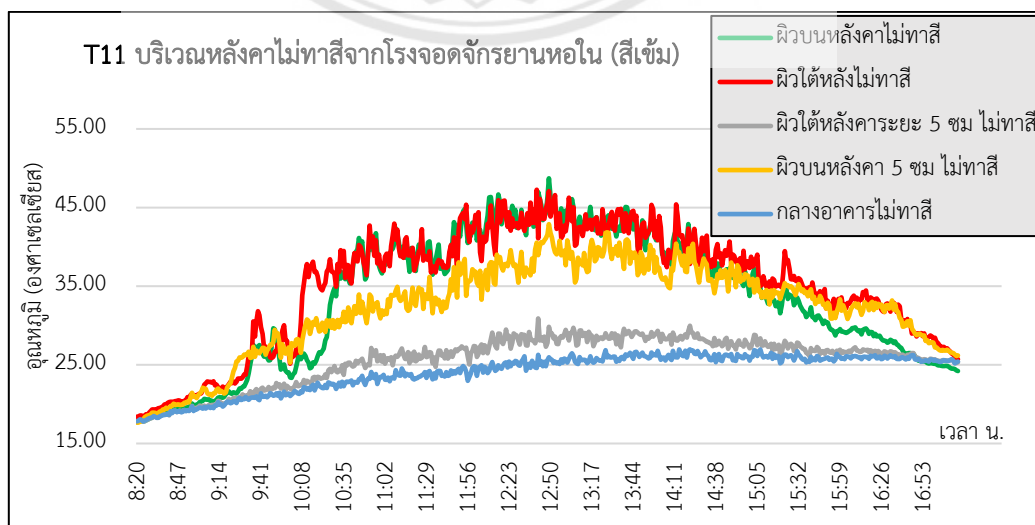


รูปที่ 4.49 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากโรงจอดจักรยานหอโน (สีเข้ม)

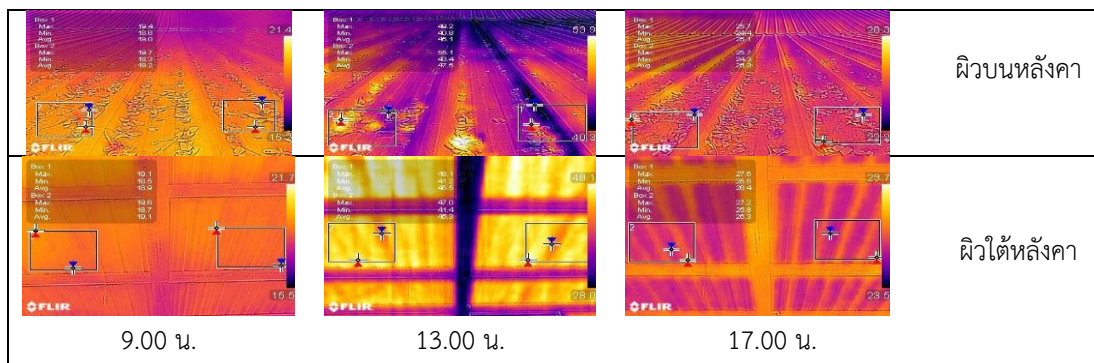
➢ ผลการทดสอบของโรงจอดจักรยานหอโนที่ทำด้วยสีเข้ม วันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2563 (T11)



รูปที่ 4.50 ผลอุณหภูมิจากโรงจอดจักรยานหอโน (สีเข้ม)

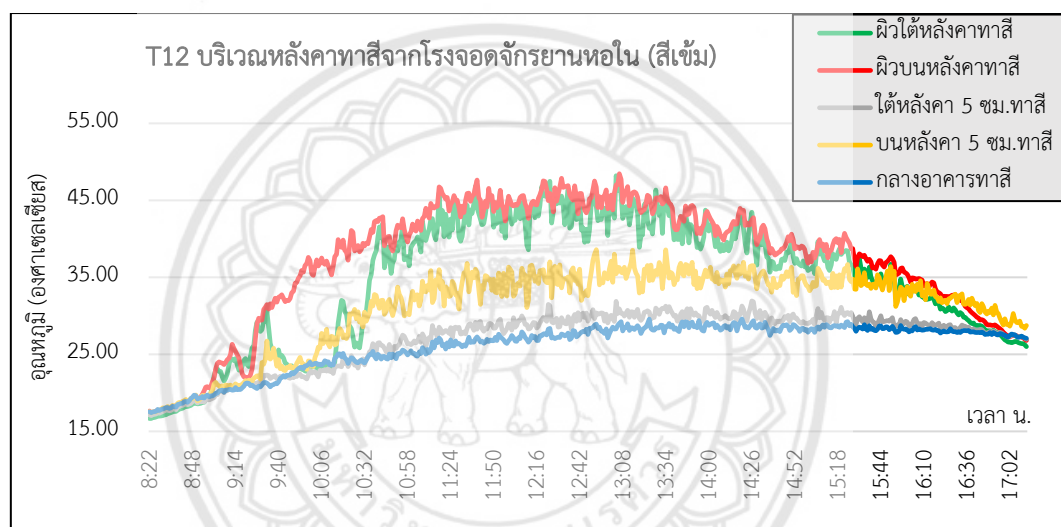


รูปที่ 4.51 ผลอุณหภูมิจากโรงจอดจักรยานหอโน (สีเข้ม)

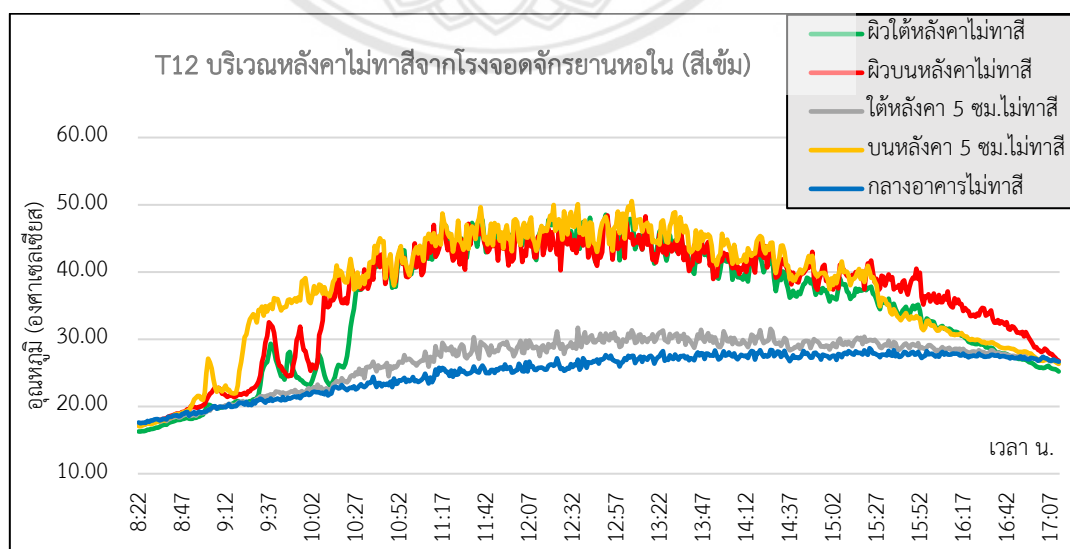


รูปที่ 4.52 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากโรงจอดรถจักรยานหอโน (สีเข้ม)

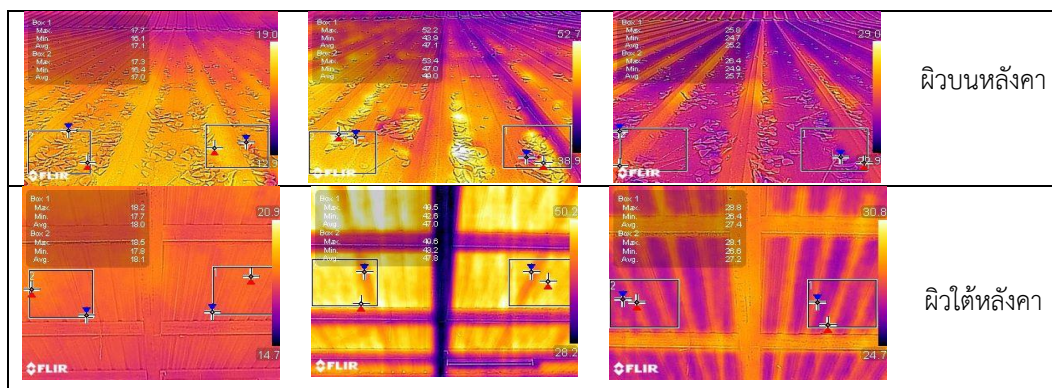
- ผลการทดสอบของโรงจอดรถจักรยานหอโนที่ทาสีสีเข้ม วันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2563 (T12)



รูปที่ 4.53 ผลอุณหภูมิจากโรงจอดรถจักรยานหอโน (สีเข้ม)



รูปที่ 4.54 ผลอุณหภูมิจากโรงจอดรถจักรยานหอโน (สีเข้ม)



รูปที่ 4.55 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากกล้อง T12 จากโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีเข้ม)

จากกราฟ T10 T11 และ T12 เป็นผลการทดสอบสีฉนวนกันความร้อนชนิดเข้มจากโรงจอดรถจักรยานหอใน และเป็นการทดสอบของวันที่ 21 22 และ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2563 ตามลำดับ และเป็นผลแสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวหลังคา (ผิวบนและผิวใต้หลังคา) และอุณหภูมิแวดล้อม (ใต้หลังคา 5 ซม. บนหลังคา 5 ซม. และกลางอาคาร) ในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. โดยจะแบ่งเป็นกราฟที่ทาสีและกราฟที่ไม่ทาสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิเฉลี่ย T10 T11 และ T12 จากการทดสอบโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีเข้ม)

ตำแหน่งจุดวัด	T10 (21/12/2563)		T11 (22/12/2563)		T12 (23/12/2563)	
	ทาสี	ไม่ทาสี	ทาสี	ไม่ทาสี	ทาสี	ไม่ทาสี
ผิวใต้หลังคา	42.28	43.47	34.29	41.95	44.80	43.79
ผิวบนหลังคา	44.58	44.77	40.40	42.16	40.43	53.68
ใต้หลังคา 5 ซม.	30.36	32.55	26.42	27.82	29.76	29.89
บนหลังคา 5 ซม.	34.13	38.86	43.55	41.52	35.22	39.66
กลางอาคาร	27.76	26.54	26.27	24.92	28.07	26.79

จากตารางที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของ T10 T11 และ T12 จะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่หลังคาได้รับแสงแดดได้เต็มที่ และเป็นช่วงที่เห็นความแตกต่างของอุณหภูมิได้ชัดเจน สำหรับแผ่นหลังคาโรงจอดรถจักรยานหอในจะเป็นหลังคาแบบ เมทัลชีทที่มีสีเขียว จะทำการทาสีฉนวนกันความร้อนทับลงไปและมีการทา Roof paint ทับลงบนสีฉนวนกันความร้อน และสถานที่นี้ก็มีสภาพแวดล้อมที่เป็นปัญหาอยู่บ้าง เช่น เงามจากร่มไม้ ทำให้หลังคาได้รับแสงแดดสลับกันไปมากับร่มไม้ จึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้จะมีขึ้นมีลงแบบไม่คงที่

จากการทดสอบเนื่องจากสีฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติในสะท้อนความร้อนสูงแต่มีการทา Roof Paint (สีเข้ม) ทำให้คุณสมบัติการสะท้อนลดลง สังเกตได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยของตำแหน่งผิวบนหลังคาของ T11 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวบนหลังคาทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 40.40 และ 42.16 องศา

เซลเซียสตามลำดับ โดยจะต่างกันอยู่ประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส และจากการสะท้อนที่ลดลงนั้นทำให้มีความร้อนที่เข้าสู่หลังคามีค่ามากขึ้นตามทำให้มีการนำความร้อนที่มากตามไปด้วยและสีฉนวนก็มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนที่ต่ำแต่สีเข้มทาทำทำให้การดูดซับความร้อนเพิ่มขึ้น สังเกตได้จากผิวใต้หลังคาของ T10 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวใต้หลังคาเท่ากับไม่ทาสีอยู่ที่ 42.28 และ 43.37 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งต่างกันถึง 1-2 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าสีฉนวนกันความร้อนทำให้อุณหภูมิผิวหลังคามีค่าที่ลดลง

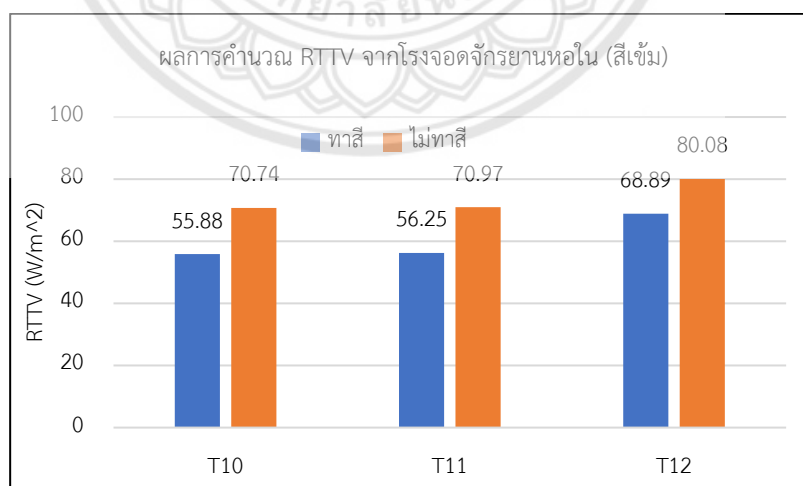
จากผลการทดสอบดังกล่าวจะมีอุณหภูมิแวดล้อมที่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับตำแหน่งของผิวหลังคาโดยพื้นที่ที่ใช้ทดสอบเป็นพื้นที่เปิดและมีอากาศถ่ายเท จากตารางที่ 4.8 ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของ T10 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 30.36 และ 32.55 องศาเซลเซียส ส่วน T11 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 26.42 และ 27.82 องศาเซลเซียส และ T13 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 29.76 และ 29.89 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแต่ละผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝ้าไม่ทาสีนั้นได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของผิวใต้หลังคาไม่ทาสี เนื่องจากหลังคาเมทัลชีทแบบไม่ทาสีฉนวนเมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดดจะมีการนำความร้อนจากผิวบนหลังคาไปยังผิวใต้หลังคา ทำให้ผิวใต้หลังคาของฝ้าที่ไม่ทาสีฉนวนจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าฝ้าที่ทาสีอยู่และมีการทาสีเข้มทับลงทำให้การสะท้อนที่น้อยลงและมีการดูดซับที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นพื้นที่เปิดและมีอากาศถ่ายเททำให้ความต่างของอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝ้าไม่ทาสีได้รับการแผ่ความร้อนที่สูงกว่าตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝ้าที่ทาสี เช่น T10 ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ฝ้าทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 30.36 องศาเซลเซียส และฝ้าไม่ทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 32.55 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ 5 องศาเซลเซียส

ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ก็มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับตำแหน่งผิวหลังคา จากตารางที่ 4.8 ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของ T10 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 34.13 และ 38.86 องศาเซลเซียส ส่วน T11 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 43.55 และ 41.52 องศาเซลเซียส และ T12 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝ้าทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 35.22 และ 39.66 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแต่ละการทดสอบจะเห็นได้ว่าตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของฝ้าทาสีได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนความร้อนจากตำแหน่งผิวบนหลังคาทาสี เนื่องจากสีฉนวนจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อน จึงทำให้ผิวบนหลังคาที่ทาสีจะมีอุณหภูมิที่ลดลงเพราะมีการสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์กลับไป เนื่องจากการทาสีเข้มทับลงไปทำให้คุณสมบัติการสะท้อนลดลงทำให้อุณหภูมิของตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. มีค่าที่ต่ำกว่าฝ้าที่ไม่ทาสี แต่เนื่องจากขั้ว Sensor ของสาย Thermocouple ที่ใช้วัดอุณหภูมิได้รับความร้อนจากแสงแดดโดยตรงอยู่ตลอดเวลา และอาจเกิดจาก

ปัจจัยภายนอก เช่น รั้ว Sensor มีการสัมผัสกับลมอากาศอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของฝั่งที่ทาสีและไม่ทาสีมีค่าที่ผิดปกติได้ เช่น T11 ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ฝั่งทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 43.55 องศาเซลเซียส และฝั่งไม่ทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 41.52 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าค่าของฝั่งทาสีฉนวนกันร้อนมีค่ามากกว่าฝั่งไม่ทาสี

การวัดจากตำแหน่งกลางอาคารก็มีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากโรงจอดรถจักรยานหอโนเป็นพื้นที่เปิดทำให้มีอากาศถ่ายเทอยู่ตลอด ซึ่งเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนจากบนหลังคาไปยังใต้หลังคา ดังนั้นผิวใต้หลังคาก็จะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมา แต่รังสีความร้อนมักจะไม่ถึงตำแหน่งจุดวัด เนื่องจากมีการพาความร้อนจากผิวใต้หลังคาโดยอากาศที่ถ่ายเทตลอด จึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้ส่วนใหญ่จะไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน และมักจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ ดูได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 ตำแหน่งกลางอาคารของ T10 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 27.76 และ 26.54 องศาเซลเซียส T11 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 26.27 และ 24.92 องศาเซลเซียส T11 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 28.07 และ 26.79 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ในการหา RTTV ของหลังคาจากโรงจอดรถจักรยานหอโนจะต้องใช้อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวใต้หลังคา ผิวบนหลังคา และกลางอาคาร จากตารางที่ 4.8 สามารถนำไปคำนวณหา RTTV ได้ สำหรับผลการทดสอบโรงจอดรถจักรยานหอโนที่ใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม (โทนสีเขียว) สามารถคำนวณ RTTV ได้ผลออกมาดังรูปที่ 4.56



รูปที่ 4.56 ผลการคำนวณ RTTV จากโรงจอดรถจักรยานหอโน ชนิดสีเข้ม

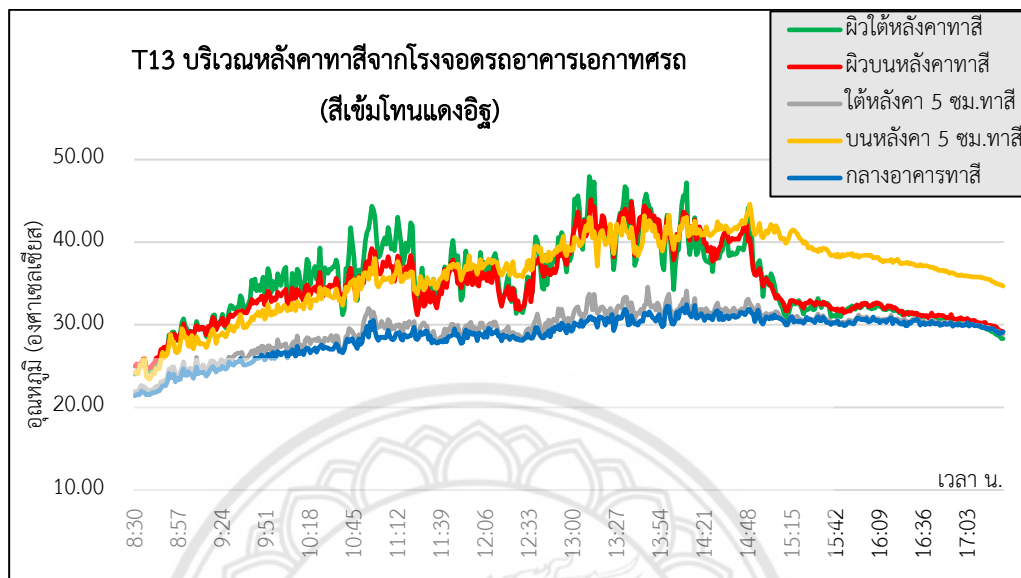
จากการคำนวณ RTTV จะเห็นได้ว่าผิวหลังคาไม่ทาสีจะมีค่า RTTV มากกว่าของผิวหลังคาที่ทาสี เนื่องจากมีปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทมากกว่าระหว่างผิวบนไปยังผิวล่างของหลังคา แต่ฝั่งที่ทาสีจะมี

ปริมาณความร้อนถ่ายเทน้อยกว่า แต่เนื่องจากสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้มจะมีคุณสมบัติของการสะท้อนความร้อนที่น้อยกว่ากรณีที่ทำสีขาวเนื่องจากมีการทา Roof paint ทับลงบนสีฉนวนกันความร้อนทำให้ความสามารถการต้านทานความร้อนลดลง เนื่องจาก Roof paint เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้วัดอุณหภูมิได้ค่าที่สูงขึ้นจึงทำให้ค่า RTTV บริเวณที่หลังคาฝั่งทำสีและหลังคาฝั่งไม่ทำสีฉนวนกันความร้อนไม่ต่างกันมากนัก โดยที่ผิวหลังคา T10 มีค่า RTTV ของทำสีกับไม่ทำสีเท่ากับ 55.88 และ 70.74 W/m^2 หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลต่างความร้อนผ่านหลังคาที่ทำสีฉนวนกันความร้อนกับไม่ทำสีจะคิดเป็น 21.01% ส่วน T11 มีค่า RTTV ของทำสีกับไม่ทำสีเท่ากับ 56.25 และ 70.97 W/m^2 หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลต่างความร้อนผ่านหลังคาที่ทำสีฉนวนกันความร้อนกับไม่ทำสีจะคิดเป็น 20.74% และ T12 มีค่า RTTV ของทำสีกับไม่ทำสีเท่ากับ 68.89 และ 80.08 W/m^2 หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลต่างความร้อนผ่านหลังคาที่ทำสีฉนวนกันความร้อนกับไม่ทำสีจะคิดเป็น 13.97% ดังนั้นสรุปได้ว่าสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้มจากการทดสอบหลังคาโรงจอดรถจักรยาน หอใน อยู่ในช่วงเดือน ธันวาคมค่อนข้างที่จะมีอุปสรรคในระหว่างการทดสอบ จะทำให้อุณหภูมิผิวบนหลังคาที่วัดได้ไม่ค่อยชัดเจน เนื่องจากมีปัญหาในด้านสภาพอากาศที่สภาพอากาศแปรปรวนและเรื่องร่มเงาจากต้นไม้ที่บดบังจุดวัด ดังนั้นสรุปได้ว่าสีฉนวนกันความร้อนก็สามารถเป็นประโยชน์ต่อโรงจอดรถทุกแบบได้ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการก่อสร้างเช่นเดียวกับโรงจอดรถของอาคารเอกาทศรถ และที่สำคัญคือสภาพแวดล้อมรอบข้างก็มีส่วนเกี่ยวข้องค่อนข้างมากเช่นกัน

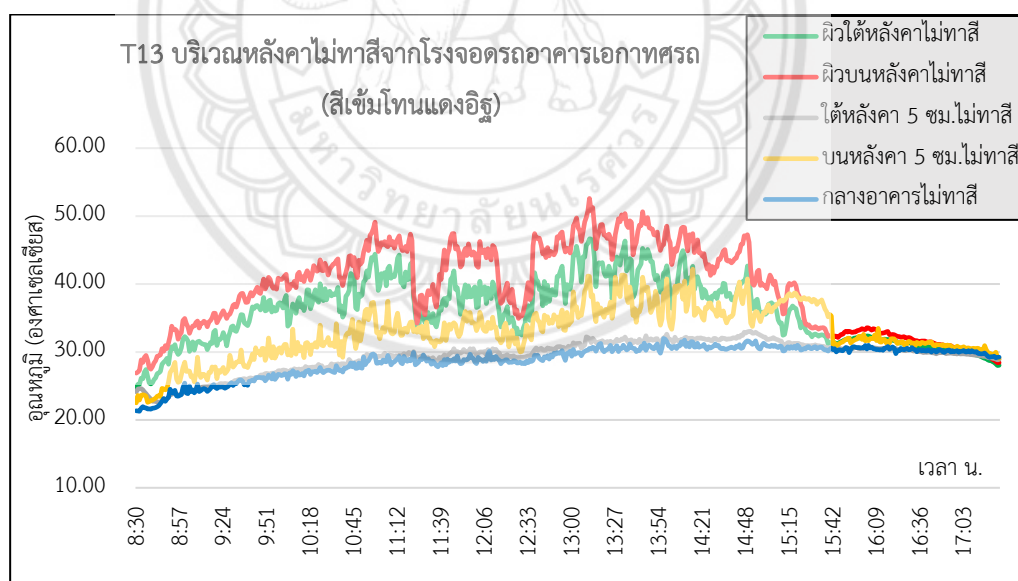
สีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้มจากการทดสอบหลังคาโรงจอดรถจักรยานหอใน อยู่ในช่วงเดือน ธันวาคมค่อนข้างที่จะมีอุปสรรคในระหว่างการทดสอบ จะทำให้อุณหภูมิผิวบนหลังคาที่วัดได้ไม่ค่อยชัดเจน เนื่องจากมีปัญหาในด้านสภาพอากาศที่สภาพอากาศแปรปรวนและเรื่องร่มเงาจากต้นไม้ที่บดบังจุดวัด ดังนั้นสรุปได้ว่าสีฉนวนกันความร้อนก็สามารถเป็นประโยชน์ต่อโรงจอดรถทุกแบบได้ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการก่อสร้างเช่นเดียวกับโรงจอดรถของอาคารเอกาทศรถ และที่สำคัญคือสภาพแวดล้อมรอบข้างก็มีส่วนเกี่ยวข้องค่อนข้างมากเช่นกัน

2. โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ

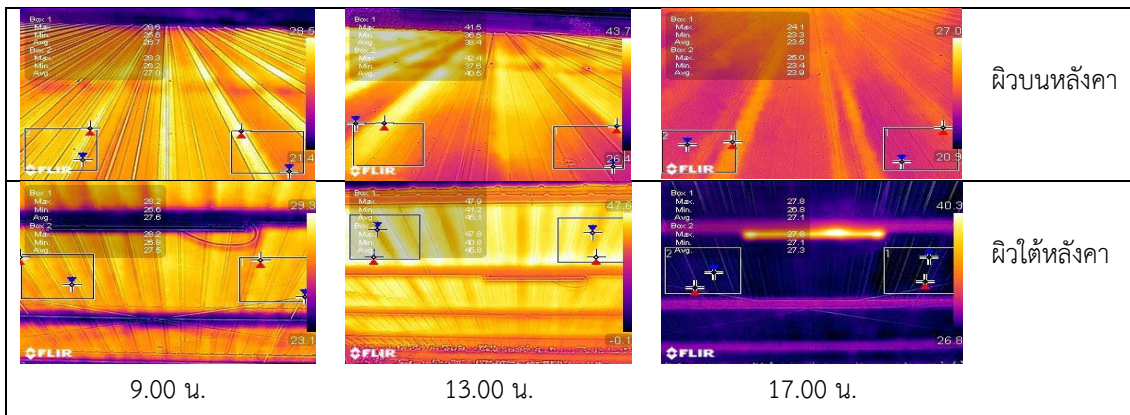
- ผลการทดสอบของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถที่ทำด้วยสีเข้มโทนแดงอิฐ
วันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2563 (T13)



รูปที่ 4.57 ผลอุณหภูมิ T13 หลังคาทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)

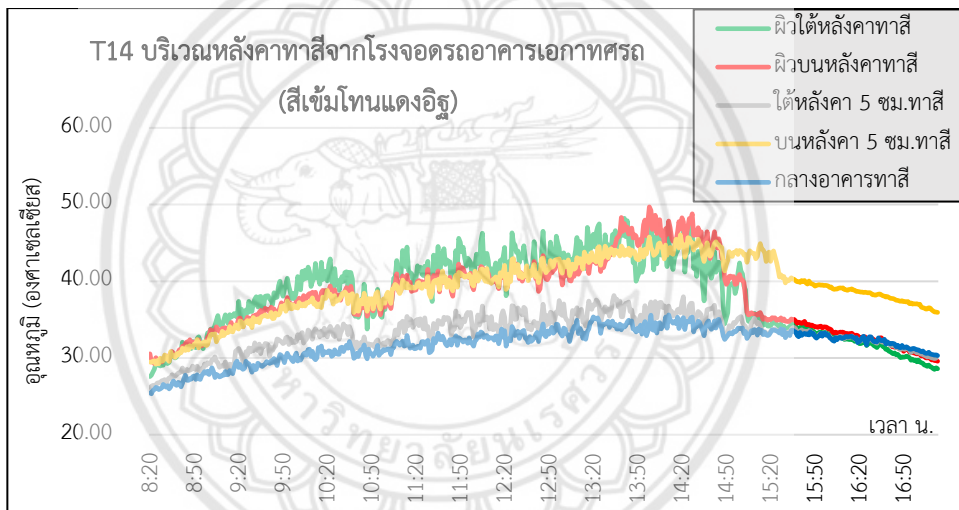


รูปที่ 4.58 ผลอุณหภูมิ T13 หลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)

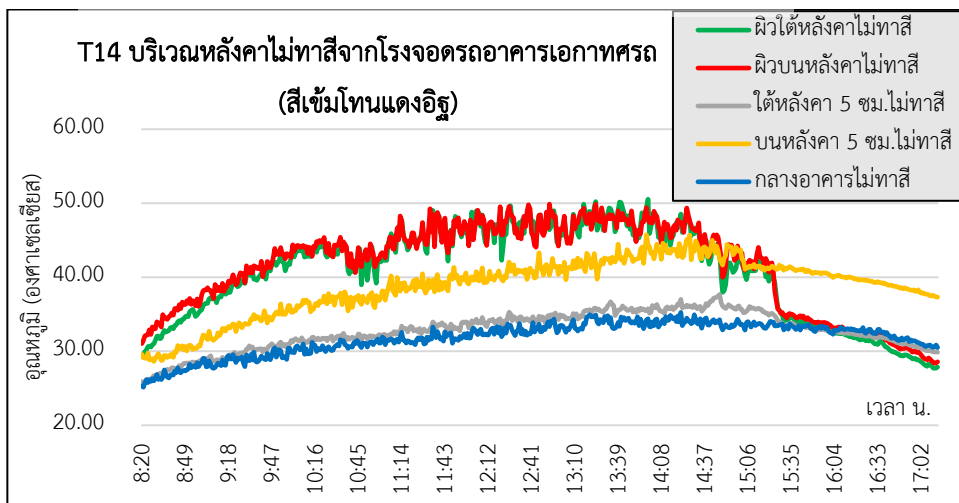


รูปที่ 4.59 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)

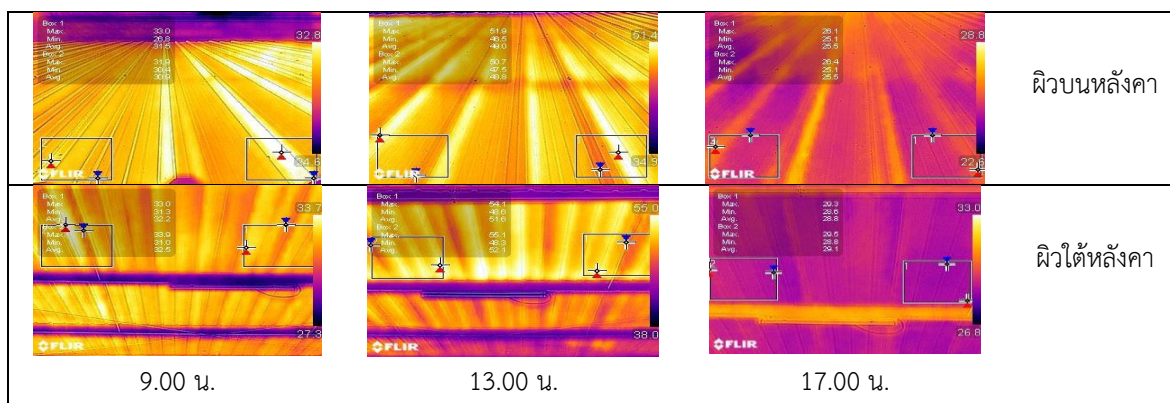
- ผลการทดสอบของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถที่ทำด้วยสีเข้มโทนแดงอิฐ วันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2563 (T14)



รูปที่ 4.60 ผลอุณหภูมิจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)

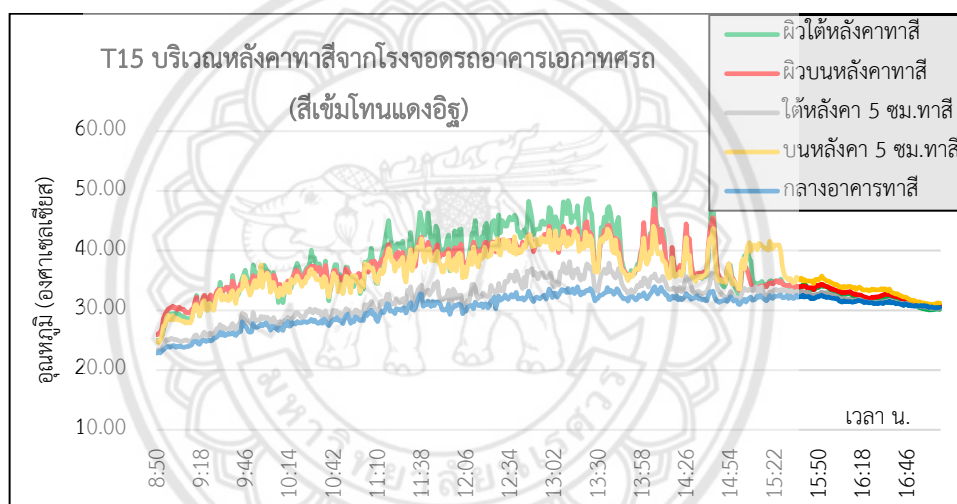


รูปที่ 4.61 ผลอุณหภูมิจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)

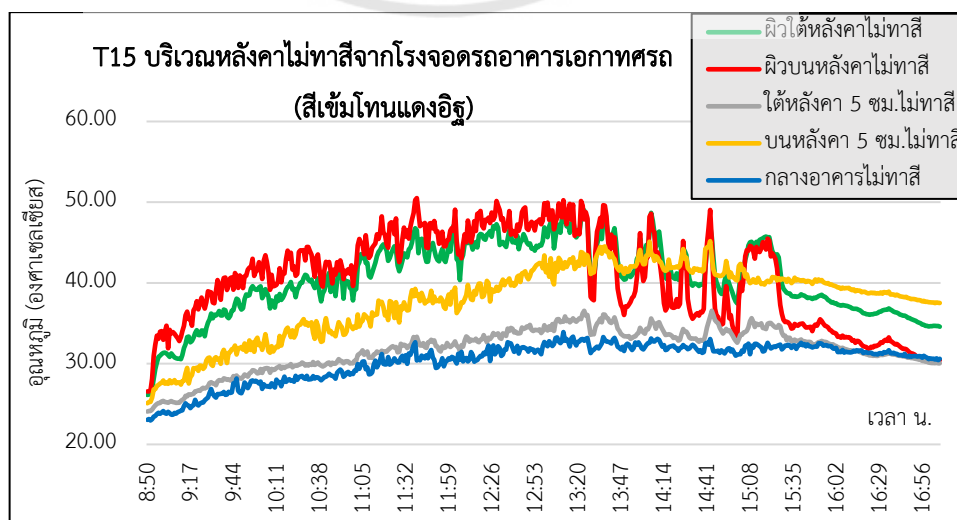


รูปที่ 4.62 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สี่เข็มโตนแดงอิฐ)

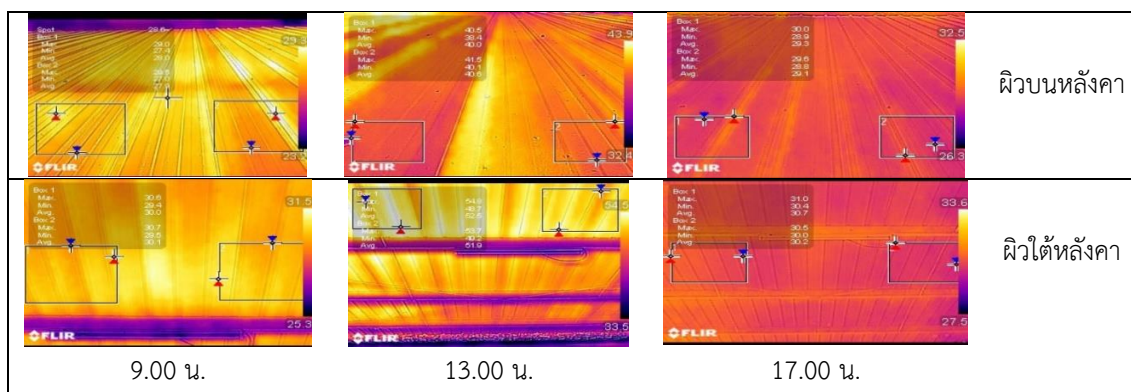
- ผลการทดสอบของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถที่ทำด้วยสี่เข็มโตนแดงอิฐ วันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2563 (T15)



รูปที่ 4.63 ผลอุณหภูมิจากหลังคาทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สี่เข็มโตนแดงอิฐ)



รูปที่ 4.64 ผลอุณหภูมิจากหลังคาไม่ทาสีจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สี่เข็มโตนแดงอิฐ)



รูปที่ 4.65 ภาพถ่ายอุณหภูมิจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโทนแดงอิฐ)

จากกราฟ T13 T14 และ T15 เป็นผลการทดสอบสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้มโทนแดงอิฐจากโรงจอดรถอาคารเอกาในวันที่ 25 28 และ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2563 ตามลำดับ และเป็นผลแสดงความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวหลังคา (ผิวบนและผิวล่าง) และอุณหภูมิแวดล้อม (ใต้หลังคา 5 ซม. บนหลังคา 5 ซม. และกลางอาคาร) ในช่วงเวลาประมาณ 9.00 น. ถึง 17.00 น. โดยจะแบ่งเป็นกราฟที่ทาสีและกราฟที่ไม่ทาสี จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิเฉลี่ย T13 T14 และ T15 จากการทดสอบโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้ม)

ตำแหน่งจุดวัด	T13 (25/12/2563)		T14 (28/12/2563)		T15 (30/12/2563)	
	ทาสี	ไม่ทาสี	ทาสี	ไม่ทาสี	ทาสี	ไม่ทาสี
ผิวใต้หลังคา	38.57	39.64	42.90	46.67	42.14	44.53
ผิวบนหลังคา	37.77	44.56	41.57	46.76	40.23	45.93
ใต้หลังคา 5 ซม.	30.40	30.37	35.08	34.22	33.83	33.38
บนหลังคา 5 ซม.	38.10	34.78	41.36	40.63	39.33	39.75
กลางอาคาร	29.37	29.42	32.98	32.82	31.56	31.40

**หน่วยองศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของ T13 T14 และ T15 จะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่หลังคารับแสงแดดได้เต็มที่ และเป็นช่วงที่เห็นความแตกต่างของอุณหภูมิได้ชัดเจน และสำหรับในกรณีสีเข้มนี้แผ่นหลังคาโรงจอดรถอาคารเอกาจะเป็นหลังคาแบบ เมทัลชีทที่มีสีแดงอิฐ ซึ่งทำการทาสีฉนวนกันความร้อนทับลงไปและมีการทาสี Roof paint ทับลงบนสีฉนวนกันความร้อน แต่ช่วงที่ทำการทดสอบ ณ สถานที่นี้เป็นช่วงฤดูหนาวและมีมรสุมเข้าพอดีจึงเป็นอุปสรรคในการทดสอบพอสมควร ในส่วนของสภาพแวดล้อมโดยรอบก็เป็นปัญหาอยู่เช่นกันคือ มีเงาตึกจากอาคารเอกาทศรถตกทอดลงมา ในช่วงเวลาประมาณ

13.30 น.เป็นต้นไป ซึ่งทำให้หลังคาได้รับแสงแดดสลับกันไปมากับร่มของตึก จึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้ในช่วงเวลาดังกล่าวมีลักษณะของกราฟที่ผิดปกติ จะเห็นได้จากกราฟการทดสอบ T13 T14 และ T15

เมื่อมีการทำสึนวนกันความร้อนที่บริเวณหลังคาจะทำให้อุณหภูมิหลังคามีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่ได้ทำสึนวน เนื่องจากสึนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติในสะท้อนความร้อนสูง สังเกตได้จากอุณหภูมิเฉลี่ยของตำแหน่งผิวบนหลังคาของ T13 จะมีอุณหภูมิผิวบนหลังคาเท่ากับไม่ทาสีต่างกันอยู่ประมาณ 6-7 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 15.23 % เทียบกับไม่ทาสี และสึนวนก็มีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนที่ต่ำ สังเกตได้จากผิวใต้หลังคาของ T14 จะมีอุณหภูมิผิวใต้หลังคาเท่ากับไม่ทาสีต่างกัน 3-4 องศาเซลเซียส ซึ่งจะคิดเป็น 8.07% เมื่อเทียบกับไม่ทาสี ดังนั้นจะเห็นว่าสึนวนกันความร้อนทำให้อุณหภูมิผิวหลังคามีค่าที่ลดลงอย่างชัดเจน

จากผลการทดสอบดังกล่าวจะมีอุณหภูมิแวดล้อมที่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับตำแหน่งของผิวหลังคา จากตารางที่ 4.9 ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของ T13 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 30.40 และ 30.37 องศาเซลเซียส ส่วน T14 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 35.08 และ 34.22 องศาเซลเซียส และ T15 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 33.83 และ 33.38 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแต่ละผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝั่งทาสีนั้นได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของผิวใต้หลังคาทาสี เนื่องจากหลังคาเมทัลชีทแบบทาสีเข้ม จะต้องทาสีขาวรองพื้นลงไปก่อนแล้วทาสี Roof paint ทับลงไป ทำให้ Roof paint ไปลดคุณสมบัติในการต้านทานความร้อน ตัวของสีเข้มจึงทำให้กรณีทาสีเข้มรับความร้อนมากกว่าในกรณีที่ทาเฉพาะสีขาว และเมื่อฉนวนได้รับความร้อนจากแสงแดดจะมีการนำความร้อนจากผิวบนหลังคาไปยังผิวใต้หลังคา ทำให้ผิวใต้หลังคาของฝั่งที่ทาสีฉนวนจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าฝั่งที่ไม่ทาสีอยู่แต่ก็ต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝั่งทาสีได้รับการแผ่ความร้อนที่สูงกว่าตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ของฝั่งที่ไม่ทาสี เช่น T14 ตำแหน่งใต้หลังคา 5 ซม. ฝั่งทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 35.08 องศาเซลเซียส และฝั่งไม่ทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 34.22 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 2.51% เทียบกับฝั่งไม่ทาสี

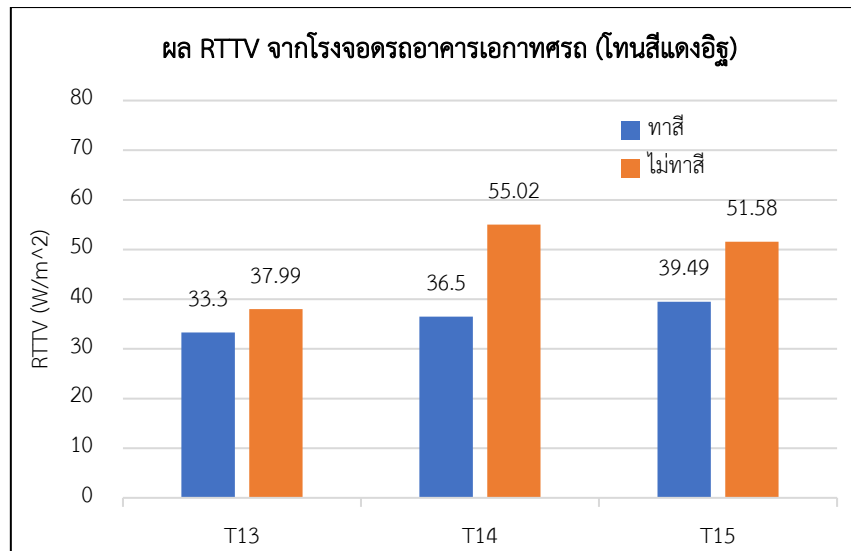
ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ก็มีอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากเหมือนกับตำแหน่งผิวหลังคา จากตารางที่ 4.9 ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของ T13 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 38.10 และ 34.78 องศาเซลเซียส ส่วน T14 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 41.36 และ 40.63 องศาเซลเซียส และ T15 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 39.33 และ 39.75 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งแต่ละการทดสอบจะเห็นได้ว่าตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของฝั่งทาสีได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนความร้อนจากตำแหน่งผิวบนหลังคาทาสี เนื่องจากสึนวนจะมีคุณสมบัติใน

การสะท้อนความร้อนสูง จึงทำให้ผิวบนหลังคาที่ทาสีจะมีอุณหภูมิที่ลดลงเพราะมีการสะท้อนรังสี แสงอาทิตย์กลับไป โดยส่วนมากอุณหภูมิของตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ฝั่งทาสี จะมีค่าที่สูงกว่าฝั่งที่ไม่ทาสี แต่เนื่องจากหัว Sensor ของสาย Thermocouple ที่ใช้วัดอุณหภูมิได้รับความร้อนจากแสงแดด โดยตรงอยู่ตลอดเวลา และอาจเกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น หัว Sensor มีการสัมผัสกับลมอากาศอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ของฝั่งที่ทาสีและไม่ทาสีมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันอยู่เล็กน้อย เช่น T14 ตำแหน่งบนหลังคา 5 ซม. ฝั่งทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 41.36 องศาเซลเซียส และฝั่งไม่ทาสีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 40.63 องศาเซลเซียส จะมีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็น 1.79% เทียบกับฝั่งไม่ทาสี

การวัดจากตำแหน่งกลางอาคารมักจะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ประกอบกับโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถเป็นอาคารเปิดโล่ง และตำแหน่งจุดวัดมีระยะห่างจากผิวใต้หลังคาอยู่พอสมควร เมื่อมีการถ่ายเทความร้อนจากบนหลังคาไปยังใต้หลังคา ในส่วนของผิวใต้หลังคาก็จะมีการแผ่รังสีความร้อนออกมา แต่รังสีความร้อนมักจะไม่ถึงตำแหน่งจุดวัด เนื่องจากจุดวัด ณ ตำแหน่งกลางอาคารอยู่ห่างจากผิวใต้หลังคาเกินไป จึงทำให้อุณหภูมิที่วัดได้ส่วนใหญ่จะไม่ค่อยมีความแตกต่างกัน และมักจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศ ซึ่งอาจเป็นจากอากาศที่ถ่ายเทอย่างสะดวกพัดผ่านมายังจุดวัด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ ดูได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.9 ตำแหน่งกลางอาคารของ T13 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 29.37 และ 29.42 องศาเซลเซียส T14 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 32.98 และ 32.82 องศาเซลเซียส T15 มีอุณหภูมิเฉลี่ยของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 31.56 และ 31.40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาหาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยพิจารณาจากค่า RTTV (Roof Thermal Transfer Value) จะเป็นค่าการถ่ายเทความร้อนของแผ่นหลังคา ซึ่งจะพิจารณาจากตำแหน่งการวัดของผิวใต้หลังคา ผิวบนหลังคาและกลางอาคาร จะคำนวณโดยแบ่งเป็นฝั่งหลังคา เมทัลชีทที่ทาสีและฝั่งหลังคาเมทัลชีทที่ไม่ได้ทาสี สำหรับอุณหภูมิตำแหน่งกลางอาคารจะพิจารณาให้เป็นอุณหภูมิบรรยากาศ ดังนั้นผลการทดสอบ T13 T14 และ T15 จะคำนวณได้ค่า RTTV ดังนี้

จากตัวแปรในตารางที่ 4.9 สามารถนำไปคำนวณหา RTTV ได้ โดยวิธีการและตัวอย่างการคำนวณจะอยู่ในบทที่ 3 สำหรับผลการทดสอบโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถที่ใช้ฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้มทั้ง 3 ชุดผลการทดสอบ สามารถคำนวณ RTTV ได้ผลออกมาดังรูปที่ 4.66



รูปที่ 4.66 ผลการคำนวณ RTTV จากโรงจอตระถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้มโหนดแดงอิฐ)

จากผลการคำนวณ RTTV จะเห็นได้ว่าผิวหลังคาไม่ทาสีจะมีค่า RTTV มากกว่าตัวของผิวหลังคาที่ทาสี เนื่องจากมีปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทมากระหว่างผิวบนไปยังผิวล่างของหลังคา แต่ฝั่งที่ทาสีจะมีปริมาณความร้อนถ่ายเทน้อยกว่า เนื่องจากสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้มจะมีความสามารถในการต้านทานความร้อนได้ดีกว่าหลังคาไม่ทาสี จึงทำให้บริเวณที่ทาสีมีความเย็นกว่าหลังคาฝั่งไม่ทาสีฉนวนกันความร้อนแต่ผลจากการคำนวณ RTTV ในกรณีสีเข้มนี้ค่าระหว่างที่ทาสีกับไม่ทาสีนั้นไม่ได้ลดลงมากอย่างเช่นกรณีสีขาวเนื่องจากในการทาสีเข้มนั้นจะต้องทาสีขาวลงไปก่อนแล้วทาสีเข้มทับ ในตัวของสีขาวที่อยู่ตรงกลางเลยไปลดคุณสมบัติของสีเข้มเลยทำให้ค่า RTTV ลดลงไม่ได้เท่าที่ควร โดยที่ T13 หลังคาฝั่งทาสีกับไม่ทาสีจะมีค่า RTTV เท่ากับ 33.30 และ 37.99 w/m^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 12.34% เทียบกับไม่ทาสี ส่วน T14 หลังคาฝั่งทาสีกับไม่ทาสีจะมีค่า RTTV เท่ากับ 36.50 และ 55.02 w/m^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 33.66% เทียบกับไม่ทาสี และ T15 หลังคาฝั่งทาสีกับไม่ทาสีจะมีค่า RTTV เท่ากับ 39.49 และ 51.58 w/m^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 23.43% เทียบกับไม่ทาสี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ในหัวข้อนี้จะมีสองหัวข้อหลัก คือ การสรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ โดยสรุปผลการทดลองจะแบ่งเป็นสองส่วน คือ สรุปผลการทดสอบจากการทดสอบสมรรถนะสีนวนกันความร้อนชนิดสีขาว และสรุปผลการทดลองจากการทดสอบสมรรถนะสีนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม (โทนสีเขียวและโทนสีแดงอิฐ) โดยจะมีการเปรียบเทียบระหว่างหลังคาที่ทาสีกับไม่ทาสี และการเปรียบเทียบระหว่างชนิดสีที่ใช้ทดสอบ

5.2 สรุปผลการทดสอบ

5.2.1 ผลการทดสอบสีนวนกันความร้อนชนิดสีขาว

การทดสอบสมรรถนะของสีนวนกันความร้อนชนิดสีขาว จะทำการทดสอบอยู่ 3 สถานที่ คือ อาคารสิ่งพิมพ์เก่า โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ และโรงจอดรถจักรยานหอใน ซึ่งจะมีขอบเขตของสีดังนี้

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลการทาสีหลังคาเมทัลชีทของอาคารทดสอบ (สีนวนกันความร้อนชนิดสีขาว)

อาคารที่ใช้ทดสอบ	บริเวณที่ทาสี	บริเวณที่ไม่ได้ทาสี
อาคารสิ่งพิมพ์เก่า	หลังคาเมทัลชีท + สีนวนกันความร้อน (โทนสีขาว) 300 ไมครอน	หลังคาเมทัลชีทเปล่า
โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ	หลังคาเมทัลชีทสีแดงอิฐ + สีนวนกันความร้อน (โทนสีขาว) 300 ไมครอน	หลังคาเมทัลชีทสีแดงอิฐ
โรงจอดรถจักรยานหอใน	หลังคาเมทัลชีทสีเขียว + สีนวนกันความร้อน (โทนสีขาว) 300 ไมครอน	หลังคาเมทัลชีทสีเขียว

จากการทดสอบพบว่าสีฉนวนกันความร้อนโตนสีขาวนั้นมีการต้านทานความร้อนสูง เนื่องจากอุณหภูมิที่ผ่านแผ่นหลังคาทาสีมีค่าต่ำกว่าหลังคาฝั่งไม่ทาสีอยู่มาก เช่น ผิวใต้หลังคาของอาคารสิ่งพิมพ์เก่ามีอุณหภูมิของฝั่งทาสีและไม่ทาสีแตกต่างกันถึง 20 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างกันถึง 36.6% เมื่อเทียบกับไม่ทาสี และสามารถแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลังคาได้ชัดเจน ดูได้จากผลการทดสอบ T2 ในรูปที่ 4.20 และ 4.21 ในบทที่ 4 เมื่อนำมาคำนวณ RTTV พบว่าหลังคาที่ทาสีจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับฝั่งไม่ทาสีเนื่องจากสีฉนวนกันความร้อนโตนสีขาวจะมีคุณสมบัติการสะท้อนกันความร้อนสูง จึงทำให้ปริมาณ RTTV มีค่าน้อยลง เช่น จากผลการทดสอบ T2 คำนวณได้ค่า RTTV ของฝั่งทาสีกับไม่ทาสีอยู่ที่ 15.87 และ 114.58 W/m^2 ตามลำดับ คิดเป็น 86.15% ส่วนผลการทดสอบ T4 หลังคาฝั่งทาสีกับไม่ทาสีจะคำนวณได้ค่า RTTV เท่ากับ 14.93 และ 74.46 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 79.94% เทียบกับไม่ทาสี และผลการทดสอบ T9 มีค่า RTTV ของทาสีกับไม่ทาสีเท่ากับ 18.1 และ 90.27 W/m^2 ตามลำดับ คิดเป็น 79.95% เทียบกับไม่ทาสี ซึ่งแต่ละผลการทดสอบจะคำนวณได้ค่า RTTV ที่แตกต่างกันมาก จึงเห็นได้ว่าสีฉนวนกันความร้อนที่เป็นโตนสีอ่อนอย่างเช่นสีขาวที่ได้ทำการทดสอบ จะมีความสามารถสะท้อนความร้อนและป้องกันการดูดซับความร้อนได้อย่างดี

5.2.2 ผลการทดสอบสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม

การทดสอบสมรรถนะของสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม จะทำการทดสอบอยู่ 2 สถานที่ โรงจอดรถจักรยานหอใน (โตนสีเขียว) และโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (โตนสีแดงอิฐ) ซึ่งจะมีขอบเขตของสีดังนี้

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลการทาสีหลังคาเมทัลชีทของอาคารทดสอบ (สีฉนวนกันความร้อนชนิดสีเข้ม)

อาคารที่ใช้ทดสอบ	บริเวณที่ทาสี	บริเวณที่ไม่ได้ทาสี
โรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ	หลังคาเมทัลชีทสีแดงอิฐ + สีฉนวนกันความร้อน (โตนสีขาว) 150 ไมครอน + Roof paint สีแดงอิฐ ความหนา 300 ไมครอน	หลังคาเมทัลชีทสีแดงอิฐ
โรงจอดรถจักรยานหอใน	หลังคาเมทัลชีทสีเขียว + สีฉนวนกันความร้อน (โตนสีขาว) 150 ไมครอน + Roof paint สีเขียว ความหนา 300 ไมครอน	หลังคาเมทัลชีทสีเขียว

จากการทดสอบพบว่าสีฉนวนกันความร้อนโตนสีเข้มนั้นมีสมรรถนะในการต้านทานความร้อนสูง แต่เนื่องจากมีการทา Roof paint ทับลงบนสีฉนวนกันความร้อน ทำให้สมรรถนะการต้านทานความร้อนลดลง เนื่องจาก Roof paint มีส่วนที่ทำให้ดูดซับความร้อนจึงวัดอุณหภูมิได้ค่าที่สูงขึ้น เช่น ผิวใต้หลังคาของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถในผลการทดสอบ T15 มีอุณหภูมิของฝั่งทาสี

และไม่ทาสีแตกต่างกันเพียง 5 องศาเซลเซียสเท่านั้น ซึ่งคิดเป็น 5.37% เทียบกับไม่ทาสี ดูได้จากรูปที่ 4.63 และ 4.64 ในบทที่ 4

เมื่อนำมาคำนวณ RTTV พบว่าหลังคาที่ทาสีจะมี RTTV ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสีฉนวนกันความร้อนโทนสีขาว เนื่องจากผิวหลังคาที่ทาสีมีการดูดซับความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ผิวหลังคาที่ทาสีมีการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นต่างจากการทาเฉพาะสีขาว เช่น T11 มีค่า RTTV ของทาสีกับไม่ทาสีเท่ากับ 56.25 และ 70.97 W/m^2 หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลต่างความร้อนผ่านหลังคาที่ทาสีฉนวนกันความร้อนกับไม่ทาสีจะคิดเป็น 20.74% ส่วน T14 มีค่า RTTV ของทาสีกับไม่ทาสีเท่ากับ 36.5 และ 55.02 W/m^2 หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลต่างความร้อนผ่านหลังคาที่ทาสีฉนวนกันความร้อนกับไม่ทาสีจะคิดเป็น 33.66% ซึ่งแต่ละผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าสีฉนวนกันความร้อนที่เป็นโทนสีเข้มจะมีความสามารถสะท้อนความร้อนและป้องกันการดูดซับความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับการทาเฉพาะสีขาว เนื่องจากผิวหลังคาได้รับการดูดซับความร้อนจากการทา Roof paint ทับลงบนสีฉนวน จึงทำให้คุณสมบัติในการต้านทานความร้อนลดลง

จากการทดสอบสมรรถนะของสีฉนวนกันความร้อนทั้งสองชนิดพบว่า สีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาว มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนที่สูงว่าชนิดสีเข้มอยู่มาก เพราะแผ่นหลังคาสามารถลดอุณหภูมิที่จะเข้าสู่ตัวอาคารได้ถึง 20 องศาเซลเซียส เมื่อนำค่า RTTV ที่ได้จากการคำนวณของการทดสอบชนิดสีเข้มมาเทียบกับชนิดสีขาว พบว่าปริมาณความร้อนที่ผ่านแผ่นหลังคาที่ทาสีฉนวนกันความร้อนชนิดสีขาวจะน้อยกว่าชนิดสีเข้ม

5.3 ข้อเสนอแนะ

การที่จะทดสอบคุณสมบัติของสีฉนวนกันความร้อน ควรเป็นอาคารในสถานที่โล่ง หรือเป็นสถานที่ที่ได้รับอุปสรรคน้อยที่สุด เช่น ไม่มีเงาจากต้นไม้มาบังหลังคา หรือไม่มีเงาจากสิ่งแวดล้อมจะดีที่สุด เพราะว่าจะจะเป็นสิ่งที่ใช้อธิบายถึงคุณสมบัติต้านทานความร้อนได้ง่ายกว่า และจุดทดสอบก็ควรมีหลายจุดเพื่อจะทำให้ทราบถึงความแตกต่างของอุณหภูมิได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

การจะใช้สีฉนวนกันความร้อนที่นำมาทาหลังคาบ้านหรืออาคารนั้นควรจะใช้สีฉนวนกันความร้อนที่มีสีโทนอ่อน เนื่องจากจะสามารถสะท้อนความร้อนได้ดีกว่าชนิดสีโทนเข้ม ถึงจะเป็นสีฉนวนความร้อนเหมือนกันแต่คุณสมบัติต้านทานความร้อนขึ้นอยู่กับโทนสีด้วย ฉะนั้น ภายในอาคารที่หลังคาทาสีฉนวนกันความร้อนจะรู้สึกว่ามีอากาศที่เย็นขึ้น

เทคโนโลยีในด้านการช่วยประหยัดพลังงานนั้นนอกจากสีฉนวนกันความร้อนก็ยังมีอีกสิ่งที่น่าสนใจคือแผ่นสะท้อนความร้อนและแผ่นฉนวนกันความร้อน ซึ่งจะนิยมใช้คู่กันเนื่องจากแผ่นสะท้อนความร้อนมีคุณสมบัติการสะท้อนความร้อนถึง 95% ในส่วนของแผ่นฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนที่ต่ำ หากเมื่อใช้เพียงอย่างเดียวก็จะป้องกันความร้อนที่ยังไม่ดี เช่น หากติดเพียงแผ่นสะท้อนความร้อนที่บนผิวหลังคา ความร้อนบางส่วนก็ยังมีการนำผ่านผิวหลังคา หรือ หากติดเพียงแผ่นฉนวนกันความร้อนที่บริเวณฝ้าเพดาน ความร้อนจะไม่มี การสะท้อนกลับแต่จะป้องกันไม่ให้เกิดการดูดซับความร้อนบริเวณฝ้าเพดาน แต่จะมีการสะสมความร้อนบริเวณใต้หลังคา กับฝ้าเพดานอยู่มาก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อาคารบ้านเรือนส่วนใหญ่มักจะติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนกับแผ่นฉนวนกันความร้อนควบคู่กันไป เมื่อนำเอาเทคโนโลยีทั้งแผ่นสะท้อนความร้อนและแผ่นฉนวนกันความร้อนมาใช้รวมกันจะได้คุณสมบัติที่ตรงกับสีฉนวนกันความร้อน ดังนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างราคากับอายุการใช้งาน [15,16,17]

อุปกรณ์	ราคาต่อตารางเมตร (บาท/ต่อตารางเมตร)	อายุการใช้งาน (ปี)
สีฉนวนกันความร้อน	113	5-15
แผ่นสะท้อนความร้อน+แผ่นฉนวนกันความร้อน	226	15

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นถึงข้อแตกต่างกันในส่วนราคากับอายุการใช้งาน สีฉนวนกันความร้อนก็เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งโดยง่าย แต่อายุการใช้งานจะอยู่ในช่วง 5-15 ปี ขึ้นอยู่กับวิธีการติดตั้งและความหนาของสีที่ทาลงไป ในส่วนของแผ่นสะท้อนความร้อนและแผ่นฉนวนกันความร้อนมีอายุการใช้งานที่นานแต่ข้อเสียคือมีการติดตั้งที่ยุ่งยากกว่าและยังมีค่าใช้จ่ายในด้านติดตั้งอีกด้วย ดังนั้นการเลือกใช้งานเทคโนโลยีทั้ง 2 ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละคนหรือจะนำทั้ง 2 เทคโนโลยีมาใช้รวมกันก็สามารถทำได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Urban heat island [เอกสารออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต].
สืบค้นได้จาก : <<http://www.c3headlines.com/global-warming-urban-heat-island-bias/>>
- [2] ผ่องศรี ศิวราศักดิ์ (พ.ศ.2555), การถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer).
- [3] ฐานิตย์ เมธิยานนท์, การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2550.
- [4] A. Synnefa, M. Santamouris and K. Apostolakis. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. Solar Energy. 2006.
- [5] G.B. Smith, A. Gentle, P.D. Swift, A. Earp and N. Mronga. Coloured paints based on iron oxide and silicon oxide coated flakes of aluminium as the pigment, for energy efficient paint: optical and thermal experiments. Solar Energy Materials & Solar Cells. 2003. Vol 79. 179-197.
- [6] G.B. Smith, A. Gentle, P. Swift, A. Earp and N. Mronga. Coloured paints based on coated flakes of metal as the pigment, for enhanced solar reflectance and cooler interiors: description and theory. Solar Energy Materials & Solar Cells. 2003. Vol 79. 163-177.
- [7] สราวุธ พลวงษ์ศรี และ อัครินทร์ อินทนิเวศน์ (พ.ศ.2560).การประเมินผลด้านความร้อนและไฟฟ้าสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคาร สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- [8] วิรัตน์ ตั้งคุณาพันธุ์ และคณะ (พ.ศ.2551). การใช้วิธีการคำนวณ OTTV และ RTTV สำหรับการประมาณการประหยัดพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [9] Chutinan, S และคณะ, Study of the Effect of Temperature Differences on the Overall Thermal Transfer Value of buildings. International Conference on Alternative Energy in Developing countries and Emerging Economies, Department of Mechanical Engineering, faculty of Engineering. Khon Kaen University, Thailand, 2015, 79: 348-355.

- [10] Amporn, K และคณะ, The impacts of climate zones on the energy performance of existing Thai buildings. School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Danish Energy Management (Thailand) Co., Ltd, UBC2 Building, 2009, 53: 545-551.
- [11] Bahaidarah, H และคณะ . Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions, Mechanical Engineering Department. King Fahd University of Petroleum & Minerals, 2013, 59: 445- 453.
- [12] ฮานาน ฮาเระ และคณะ (พ.ศ. 2545), หลักรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับบ้านพักอาศัยในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น. คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-ธนบุรี.
- [13] Recep, Y และคณะ , Estimation of total equivalent temperature difference values for multilayer walls and flat roofs by using periodic solution. Mechanical Engineering Department, University of Gaziantep, 2007; 42: 1878-1885.
- [14] ข้อมูลของเมทัลชีท [เอกสารออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต]. สืบค้นได้จาก :
<http://www.nyrmetsheet.com/main.php?page=products>
- [15] ข้อมูลของสีฉนวนกันความร้อน [เอกสารออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต]. สืบค้นได้จาก :
http://captaincoating.com/productdetail/PARASHIELD_coolmax_semigloss
- [16] ข้อมูลของแผ่นฉนวนกันความร้อน [เอกสารออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต]. สืบค้นได้จาก :
https://www.onestockhome.com/th/products/57010696/stay-cool-scg-thermal-insulation_thermal-insulation_scg
- [17] ข้อมูลของแผ่นสะท้อนความร้อน [เอกสารออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต]. สืบค้นได้จาก :
<https://www.thaiwatsadu.com/th/product/%94-125-x-20-A3-60262856>



ภาคผนวก (ก)

เอกสารแนบ



KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI
INSTITUTE FOR SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH AND SERVICES

126 PRACHA-U-THIT RD., BANGMOD, THUNGKRU, BANGKOK 10140 THAILAND
 Tel. +66 2470-9671-3, +66 2470-9664-7 Fax +66 2428-3374 http://www.kmutt.ac.th

Our ref: ISTRS/56836/1

November 25, 2013

Manager : CAPTAIN COATING CO., LTD.
 Subject : Spectral response test report.

This report presents results of radiation reflectance measurements on your samples. The measurements of spectral responses were performed with Shimadzu UV-3100 UV-VIS-NIR Recording Spectrometer. Spectral responses obtained from the measurements were employed to compute radiation reflectance in the solar radiation region in accordance with JIS R3106 standard test method.

Results of the measurements are presented in the following table:

Sample	Solar Reflectance (%)
Parashield Oxy-link (C-1)	96.2

Certified by

(Dr. Pattana Rakkwamsuk)

Very truly yours,

(Asst.Prof.Nithi Buranajant)
 Director Institute for Scientific and
 Technological Research and Services

รูปที่ ก.1 รายงานการทดสอบของสีที่ใช้ทดสอบจากมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี (พ.ศ. 2556)



ภาคผนวก (ข)
ตารางสำหรับประกอบการคำนวณ

ตารางที่ ข.1 ตารางคุณสมบัติทางความร้อนของอากาศที่ความดันบรรยากาศ 1 atm

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \times 10^7$ (kg/m·s)	$\nu \times 10^6$ (m ² /s)	$k \times 10^3$ (W/m·K)	$a \times 10^6$ (m ² /s)	
200	1.7458	1.007	132.5	7.59	18.10	10.30	0
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.30	15.90	0
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.30	22.50	0
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.00	29.90	0
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.80	38.30	0
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.30	47.20	0
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.70	56.70	0
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.90	66.70	0
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.90	76.90	0
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.70	87.30	0
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.40	98.00	0
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.90	109.00	0
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.30	120.00	0
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.60	131.00	0
900	0.3868	1.121	398.1	102.90	62.00	143.00	0
950	0.3666	1.131	411.3	112.20	64.30	155.00	0

Source: I. Dincer (1997) *Heat Transfer in Food Cooling Applications*, Taylor & Francis, Washington, DC; and C. Borgnakke and R.E. Sonntag (1997) *Thermodynamic and Transport Properties*, Wiley, New York.

ตัวอย่างการคำนวณด้วย Excel

1. ตัวอย่างการคำนวณผ่าน Excel ของผลการทดสอบ T2 จากอาคารสิ่งพิมพ์เก่าชนิดสีขาว ซึ่งแสดงขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาค่า RTTV ผังทาสีดัง รูปที่ ข.1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
RTTV อาคารสิ่งพิมพ์ (สีขาว-ไม่ทาสี)													
17-03-2020 (ค่า RTTV ทาสี)						$T_a = 42.71 \text{ }^\circ\text{C}$							
$RTTV = U_r \times TD_{eq}$						41.71	ขั้นตอน ที่ 9	$RTTV = \frac{1}{R} \times TD_{eq}$					
ทา	$T_p = T_s - T_{air}$				$T_p = 39.28$				$RTTV =$	15.8706			
	$T_p =$	7.46	$^\circ\text{C}$		$T_{amb} = 34.25$	$^\circ\text{C}$							
	$K =$	273											
	$T_p =$	280.46	K										
เปิดตารางสมบัติความร้อนทางอากาศ @280 K													
	$c_p =$	1.006			$\sigma =$	5.67E-08			$k_{ms} =$	47.6			
	$\rho =$	1.254			$\theta =$	25			$k_{cap} =$	0.2203			
	$\mu =$	1.75E-05			$\beta =$	0.003566			$L_{cap} =$	0.0003			
	$k =$	2.47E-02			$L =$	0.0004	6.40E-11						
	$\nu =$	1.41E-03	1.94045E-06		$\varepsilon_{(cap)} =$	0.3161							
	$P_f =$	0.712											
	$\rho =$	9.81											
ขั้นตอนที่ 1	$G_{rL} = \frac{g \cos \theta \beta (T_m - T_m) L^3}{\nu^2}$			ขั้นตอนที่ 6	$h_{ra} = \varepsilon_{(cap)} \sigma (T_p - T_s) (T_p^2 + T_s^2)$			ขั้นตอนที่ 5	$T_s = 0.0552 \times T_{amb}^{1.5}$				
	$G_{rL} =$	8.31E-06			$h_{ra} =$	0.00089			$T_s =$	11.0645			
ขั้นตอนที่ 2	$R_{ai} = G_{rL} P_f$			ขั้นตอนที่ 7	$h_{r1} = 2.3(T_i - T_{room})^{0.24}$								
	$R_{ai} =$	5.92E-06			$h_{r1} =$	3.38925							
ขั้นตอนที่ 3	$N_{u1} = 0.825 + \frac{0.387 R_{ai}^{1/4}}{1 + \left(\frac{0.492}{P_f}\right)^{16}}$			ขั้นตอนที่ 4	$h_{cv(ms)} = \frac{N_{u1(ms)} \cdot k_{air}}{L_{ms}}$								
	$N_{u1} =$	0.82500014			$h_{cv(ms)} =$	50.9438							
ขั้นตอน ที่ 8	$R = \left(\frac{1}{h_{cv} + h_{ra}}\right)_o + \frac{L_{cap}}{k_{cap}} + \frac{L_{ms}}{k_{ms}} + \left(\frac{1}{h_{r1}}\right)_i$												
	$R =$	0.316938144											

รูปที่ ข.1 รูปแสดงการคำนวณ RTTV ผังทาสี

2. ตัวอย่างการคำนวณผ่าน Excel ของผลการทดสอบ T2 จากอาคารสิ่งพิมพ์เก่าชนิดสีขาว ซึ่งแสดงขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาค่า RTTV ฝั่งไม่ทาสี ดังรูปที่ ข.2

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
RTTV อาคารสิ่งพิมพ์ (สีขาว-ไม่ทาสี)													
17-03-2020 (ค่า RTTV ไม่ทาสี)													
$RTTV = U_r \times TD_{eq}$					54.39		ชั้นตอน ที่ 9	$RTTV = \frac{1}{R} \times TD_{eq}$					
ทา	$T_F = T_s - T_{air}$			59.8				RTTV =		114.58			
	$T_F =$	19.89 °C		$T_{amb} = 34.5$ °C	34.5								
	K =	273											
	$T_F =$	292.89 K											
เปิดตารางสมบัติความร้อนทางอากาศ @293 K													
$c_p =$	1.006		$\sigma =$	5.67E-08		$k_{ms} =$	47.6						
$\rho =$	1.194		$\theta =$	25		$k_{cap} =$	0.2203						
$\mu =$	1.81E-05		$\beta =$	0.00341		$L_{cap} =$	0.0003						
$k =$	2.57E-02		L =	0.0004									
$\nu =$	1.53E-03		$\epsilon_{(ms)} =$	0.25									
$P_r =$	0.708												
$g =$	9.81												
ชั้นตอนที่ 1	$G_{rL} = \frac{g \cos \theta \beta (T_m - T_m) L^3}{\nu^2}$			ชั้นตอนที่ 6	$h_{ra} = \epsilon_{(cap)} \sigma (T_o - T_s) (T_o^2 + T_s^2)$			ชั้นตอนที่ 6	$T_s = 0.0552 \times T_{ambo}^{1.5}$				
	$G_{rL} =$	1.81E-05		$h_{ra} =$	0.00174			$T_s =$	11.1858				
ชั้นตอนที่ 2	$R_{aL} = G_{rL} \cdot P_r$			ชั้นตอนที่ 7	$h_{r1} = 2.3(T_i - T_{room})^{0.24}$								
	$R_{aL} =$	1.28E-05		$h_{r1} =$	4.99432								
ชั้นตอนที่ 3	$N_{uL} = \left[0.825 + \frac{0.387 R_{aL}^{1/4}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{P_r} \right)^{1/4} \right)^{1/4}} \right]$			ชั้นตอนที่ 4	$h_{cv(ms)} = \frac{N_{u(ms)} \cdot k_{air}}{L_{ms}}$								
	$N_{uL} =$	0.82500003		$h_{cv(ms)} =$	53.0888								
ชั้นตอนที่ ที่ 8	$R = \left(\frac{1}{h_{cv} + h_{ra}_o} \right) + \frac{L_{ms}}{k_{ms}} + \left(\frac{1}{h_{r1}} \right)_i$												
	$R =$	0.220807137											

รูปที่ ข.2 รูปแสดงการคำนวณ RTTV ฝั่งไม่ทาสี



ภาคผนวก (ค)

ตารางข้อมูลจากผลการทดสอบ

ตารางข้อมูลจากการทดสอบ

จากตารางต่อไปนี้เป็นข้อมูลที่ได้อ่านจากเครื่อง Data logger ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. ซึ่งจะมีค่าต่ำสุด (Minimum) ค่ามากที่สุด (Maximum) และค่าเฉลี่ย (Average) โดยจะทำการเฉลี่ยในช่วงเวลา 11.00 น. ถึง 14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่หลังคาได้รับแสงแดดได้ดี และจะมีการเทียบผลต่างของหลังคาเทียบกับไม่ทาสี ดังสมการต่อไปนี้

$$\%diff = \left| \frac{\text{ไม่ทาสี} - \text{ทาสี}}{\text{ไม่ทาสี}} \right| \times 100\% \quad (\text{ค})$$

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

ตำแหน่ง (ทาสี)	T1			T2			T3		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ผิวใต้หลังคา	30.24	38.24	35.92	32.32	41.78	39.28	28.76	42.23	39.80
ผิวบนหลังคา	31.38	41.20	37.90	33.31	45.17	41.71	30.85	50.71	45.10
ใต้หลังคา 5 ซม.	30.30	35.77	33.66	30.79	39.45	36.28	28.16	39.67	36.40
บนหลังคา 5 ซม.	31.81	42.73	37.93	32.02	45.17	39.70	30.16	47.13	41.95
กลางอาคาร	30.08	34.10	33.11	30.34	36.33	34.25	28.35	36.88	34.31

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณไม่ทาสีของอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

ตำแหน่ง (ไม่ทาสี)	T1			T2			T3		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ผิวใต้หลังคา	36.20	56.87	49.89	39.32	68.15	59.80	37.52	71.14	62.75
ผิวบนหลังคา	34.62	52.29	45.59	38.10	62.80	54.39	33.81	65.46	56.62
ใต้หลังคา 5 ซม.	30.42	36.39	34.21	32.76	46.36	40.80	29.92	47.20	41.38
บนหลังคา 5 ซม.	31.11	39.64	35.69	32.11	46.81	40.67	30.46	50.42	42.96
กลางอาคาร	30.25	34.58	33.50	30.53	36.76	34.50	28.48	36.90	34.51

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลเฉลี่ยกับผลต่างจากอาคารสิ่งพิมพ์เก่า (สีขาว)

ตำแหน่ง	T1			T2			T3		
	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff
ผิวใต้หลังคา	35.92	49.89	28.00%	39.28	59.80	34.32%	39.80	62.75	36.58%
ผิวบนหลังคา	37.90	45.59	16.85%	41.71	54.39	23.31%	45.10	56.62	20.34%
ใต้หลังคา 5 ซม.	33.66	34.21	1.60%	36.28	40.80	11.09%	36.40	41.38	12.03%
บนหลังคา 5 ซม.	37.93	35.69	6.26%	39.70	40.67	2.39%	41.95	42.96	2.35%
กลางอาคาร	33.11	33.50	1.17%	34.25	34.50	0.73%	34.31	34.51	0.57%

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)

ตำแหน่ง (ทาสี)	T4			T5			T6		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ผิวใต้หลังคา	33.20	44.30	41.38	31.39	42.00	39.56	34.63	43.77	40.72
ผิวบนหลังคา	35.90	48.50	45.24	33.55	46.09	42.92	36.18	48.27	44.12
ใต้หลังคา 5 ซม.	31.60	40.60	37.62	30.11	38.95	35.95	32.46	39.64	36.71
บนหลังคา 5 ซม.	34.10	48.70	43.31	32.13	45.30	41.08	34.96	46.76	42.08
กลางอาคาร	31.00	39.60	36.60	29.63	37.97	34.87	31.75	38.92	35.73

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณไม่ทาสีของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)

ตำแหน่ง (ไม่ทาสี)	T4			T5			T6		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ผิวใต้หลังคา	39.70	62.00	56.00	38.00	53.59	59.17	39.89	62.21	54.88
ผิวบนหลังคา	39.70	59.60	54.82	38.02	52.13	57.99	39.93	60.49	53.85
ใต้หลังคา 5 ซม.	32.10	42.10	38.94	30.43	37.35	40.79	32.86	41.48	38.01
บนหลังคา 5 ซม.	35.30	49.10	45.04	33.49	42.97	47.22	36.10	48.03	43.76
กลางอาคาร	31.20	40.00	37.04	29.88	35.36	38.64	32.15	39.58	36.17

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลเฉลี่ยกับผลต่างจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีขาว)

ตำแหน่ง	T4			T5			T6		
	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff
ผิวใต้หลังคา	41.38	56.00	26.10%	39.56	59.17	33.14%	40.72	54.88	25.80%
ผิวบนหลังคา	45.24	54.82	17.49%	42.92	57.99	25.99%	44.12	53.85	18.07%
ใต้หลังคา 5 ซม.	37.62	38.94	3.38%	35.95	40.79	11.87%	36.71	38.01	3.42%
บนหลังคา 5 ซม.	43.31	45.04	3.84%	41.08	47.22	13.00%	42.08	43.76	3.85%
กลางอาคาร	36.60	37.04	1.18%	34.87	38.64	9.74%	35.73	36.17	1.21%

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของโรงจอดรถจักรยานหอโน (สีขาว)

ตำแหน่ง (ทาสี)	T7			T8			T9		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ผิวใต้หลังคา	32.02	45.65	42.22	30.44	41.88	39.33	31.03	43.60	40.43
ผิวบนหลังคา	36.06	51.39	47.96	30.94	43.90	41.03	28.12	45.79	42.40
ใต้หลังคา 5 ซม.	29.86	42.37	37.71	29.15	39.70	34.80	28.76	41.42	36.29
บนหลังคา 5 ซม.	34.03	50.87	44.99	31.90	49.70	43.55	31.17	52.32	44.74
กลางอาคาร	29.69	39.91	36.89	28.36	37.06	33.48	28.82	37.49	34.83

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.8 ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของโรงจอดรถจักรยานหอโน (สีขาว)

ตำแหน่ง (ไม่ทาสี)	T7			T8			T9		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ผิวใต้หลังคา	37.34	68.74	61.78	32.24	63.73	55.86	31.99	64.94	55.89
ผิวบนหลังคา	37.87	63.32	55.72	32.35	58.78	52.87	33.37	60.35	53.68
ใต้หลังคา 5 ซม.	31.02	47.60	41.07	30.59	44.02	38.28	28.36	44.96	39.19
บนหลังคา 5 ซม.	33.34	48.18	43.40	31.83	46.16	41.52	30.39	47.79	42.94
กลางอาคาร	29.79	39.97	37.15	28.32	37.53	33.60	28.92	38.37	35.09

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.9 ข้อมูลเฉลี่ยกับผลต่างจากโรงจอดรถจักรยานหอโน (สีขาว)

ตำแหน่ง	T7			T8			T9		
	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff
ผิวใต้หลังคา	42.22	61.78	31.66%	39.33	55.86	29.59%	40.43	55.89	27.65%
ผิวบนหลังคา	47.96	55.72	13.93%	41.03	52.87	22.39%	42.40	53.68	21.01%
ใต้หลังคา 5 ซม.	37.71	41.07	8.20%	34.80	38.28	9.09%	36.29	39.19	7.41%
บนหลังคา 5 ซม.	44.99	43.40	3.67%	43.55	41.52	4.89%	44.74	42.94	4.20%
กลางอาคาร	36.89	37.15	0.70%	33.48	33.60	0.36%	34.83	35.09	0.74%

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.10 ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของโรงจอดรถจักรยานหอโน (สีเข้ม)

ตำแหน่ง (ทาสี)	T10			T11			T12		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ผิวใต้หลังคา	19.99	52.94	44.58	17.69	47.53	40.40	16.67	48.21	42.79
ผิวบนหลังคา	20.55	49.56	42.28	18.25	37.10	34.29	17.40	48.47	44.65
ใต้หลังคา 5 ซม.	20.32	40.93	32.55	17.72	30.84	27.82	17.05	31.94	29.27
บนหลังคา 5 ซม.	20.60	38.98	34.13	18.05	37.06	33.34	17.41	38.60	34.74
กลางอาคาร	20.37	29.28	27.76	17.81	27.98	26.27	17.42	29.61	27.50

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.11 ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณไม่ทาสีของโรงจอดรถจักรยานหอโน (สีเข้ม)

ตำแหน่ง (ไม่ทาสี)	T10			T11			T12		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ผิวใต้หลังคา	20.02	53.41	44.77	17.73	48.72	42.16	16.28	48.63	44.35
ผิวบนหลังคา	20.63	53.40	43.47	18.40	47.26	41.95	17.26	48.41	43.77
ใต้หลังคา 5 ซม.	20.46	38.02	30.60	17.76	30.90	27.67	17.22	31.70	29.21
บนหลังคา 5 ซม.	20.06	44.71	38.86	17.65	42.89	36.98	17.04	50.55	45.82
กลางอาคาร	20.50	28.39	26.54	17.79	26.97	24.92	17.50	28.67	26.20

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.12 ข้อมูลเฉลี่ยกับผลต่างจากโรงจอดรถจักรยานหอใน (สีเข้ม)

ตำแหน่ง	T10			T11			T12		
	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff
ผิวใต้หลังคา	44.58	44.77	0.43%	40.40	42.16	4.18%	42.79	44.35	3.54%
ผิวบนหลังคา	42.28	43.47	2.72%	34.29	41.95	18.25%	44.65	43.77	2.00%
ใต้หลังคา 5 ซม.	32.55	30.60	6.36%	27.82	27.67	0.55%	29.27	29.21	0.21%
บนหลังคา 5 ซม.	34.13	38.86	12.16%	33.34	36.98	9.85%	34.74	45.82	24.20%
กลางอาคาร	27.76	26.54	4.59%	26.27	24.92	5.44%	27.50	26.20	4.93%

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.13 ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณทาสีของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้ม)

ตำแหน่ง (ทาสี)	T13			T14			T15		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ผิวใต้หลังคา	24.02	47.95	38.57	27.579	48.88	42.90	24.91	49.57	42.14
ผิวบนหลังคา	24.64	45.15	37.77	29.263	49.71	41.57	25.89	47.00	40.23
ใต้หลังคา 5 ซม.	21.85	34.56	30.40	26.138	38.15	35.08	23.31	38.16	33.83
บนหลังคา 5 ซม.	23.39	44.60	38.10	29.19	46.05	41.36	24.59	44.10	39.33
กลางอาคาร	21.40	32.44	29.37	25.333	35.62	32.98	22.83	33.98	31.56

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.14 ข้อมูลจากการทดสอบบริเวณไม่ทาสีของโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้ม)

ตำแหน่ง (ไม่ทาสี)	T13			T14			T15		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
ผิวใต้หลังคา	24.69	46.66	39.64	27.704	50.54	46.67	26.13	49.00	44.53
ผิวบนหลังคา	26.89	52.61	44.56	28.391	49.88	46.76	26.56	50.51	45.93
ใต้หลังคา 5 ซม.	22.61	33.04	30.37	25.747	37.69	34.22	24.07	36.55	33.38
บนหลังคา 5 ซม.	22.51	42.19	34.78	28.623	45.75	40.63	25.10	45.17	39.75
กลางอาคาร	21.27	31.99	29.42	25.142	35.26	32.82	22.96	33.91	31.40

**หน่วยองศาเซลเซียส

ตารางที่ ค.15 ข้อมูลเฉลี่ยกับผลต่างจากโรงจอดรถอาคารเอกาทศรถ (สีเข้ม)

ตำแหน่ง	T13			T14			T15		
	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff	ทาสี	ไม่ทาสี	%diff
ผิวใต้หลังคา	38.57	39.64	2.69%	42.90	46.67	8.09%	42.14	44.53	5.36%
ผิวบนหลังคา	37.77	44.56	15.25%	41.57	46.76	11.12%	40.23	45.93	12.41%
ใต้หลังคา 5 ซม.	30.40	30.37	0.08%	35.08	34.22	2.52%	33.83	33.38	1.33%
บนหลังคา 5 ซม.	38.10	34.78	9.57%	41.36	40.63	1.78%	39.33	39.75	1.05%
กลางอาคาร	29.37	29.42	0.18%	32.98	32.82	0.49%	31.56	31.40	0.49%

**หน่วยองศาเซลเซียส