

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา
สำหรับอาคารพักอาศัยในเขต กทม.

ROOF SPRAY COOLING SYSTEM WITH TIME CYCLE
FOR RESIDENTIAL BUILDING IN BANGKOK



ปฏิภาณ ชาญชัยศรี

PHATIPAN CHANCHAISRI

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 48936
วัน, เดือน, ปี 13 ฎ.ค. 2547

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน... ISBN 974-321-816-1
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ROOF SPRAY COOLING SYSTEM WITH TIME CYCLE
FOR RESIDENTIAL BUILDING IN BANGKOK**



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

2003

ISBN 974-321-816-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา

นักศึกษา

แบบจังหวะเวลาสำหรับอาคารพักอาศัยในเขต กทม.

รหัสประจำตัว

นายปฏิภาณ ชาญชัยศรี

ปริญญา

42063122

สาขาวิชา

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

พ.ศ.

สถาปัตยกรรมเขตร้อน

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

2546

รศ. ธีรมน ไวโรจนิกจ

บทคัดย่อ

การศึกษาระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาสำหรับอาคารพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการลดอุณหภูมิของหลังคา, อิทธิพลจากตัวแปรส่วนของวัสดุผนังหลังคา, อัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมและช่วงเวลาในการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา และศึกษาความคุ้มค่าในการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาสำหรับอาคารพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ

ทำการทดลองในเขตดอนเมือง จังหวัดกรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 18/6/2545-29/8/2545 ได้ทำการสร้างกล่องทดลองสำหรับผนังวัสดุผนังหลังคาขนาด 1.20x1.20 ตารางเมตร วางทำมุม 30 องศาหันทางทิศเหนือและพ่นน้ำแบบสเปรย์หมอกทั่วผืนหลังคา (1.4 ลิตร / นาที / ตารางเมตร) โดยใช้รูปแบบหมุนเวียน ซึ่งวัสดุผนังหลังคาที่ใช้ทดลองได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต, กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ โดยแบ่งเป็น 5 ชุดทดลองได้แก่

ชุดที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของหลังคาขณะที่ยังไม่ทำการพ่นน้ำ

ชุดที่ 2 การทดลองหาช่วงเวลาที่เหมาะสม ในการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาโดยใช้อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที

ชุดที่ 3 การทดลองหาจังหวะการหยุดพักการพ่นน้ำที่เหมาะสม โดยใช้ช่วงเวลาการพ่นน้ำ พ่นคงที่และเวลาในการหยุดพักการพ่นน้ำต่างๆกัน ได้แก่ อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที, อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที, อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที

ชุดที่ 4 การทดลองหาจังหวะการพ่นน้ำที่เหมาะสม โดยเปลี่ยนระยะเวลาของการพ่นน้ำ ระหว่างการพ่นน้ำ 6 นาที, การพ่นน้ำ 12 นาที, การพ่นน้ำ 24 นาทีและการพ่นน้ำตลอดเวลา ด้วยจังหวะการหยุดพักที่ได้จากการทดลองที่ 3 ในช่วงเวลาที่ได้จากการทดลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดที่ 5 การทดลองการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำต่างๆกันกับช่วงเวลาต่างๆระหว่างวัน เพื่อหาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลาโดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ

ผลจากการทดลองพบว่าขณะที่ยังไม่ทำการพ่นน้ำ อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิดช่วงกลางวัน (6:00-18:00) มีค่าใกล้เคียงกันคือ $44-45^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก $12.5-13.5^{\circ}\text{C}$ โดยพบว่า อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที ในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. เป็นอัตราการพ่นน้ำและช่วงเวลาที่ดีที่สุดสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา โดยสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหลังคาด้านในได้มากที่สุดซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก $1.00-1.81^{\circ}\text{C}$ และการทดลองหาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลาโดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ สรุปได้ว่า การพ่นน้ำช่วงเวลา 7:00-11:00 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที , การพ่นน้ำช่วงเวลา 11:00-15:00 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาที หยุด 3 นาที และการพ่นน้ำช่วงเวลา 15:00 -18:30 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที เป็นอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสม ซึ่งวัสดุหลังคาที่เหมาะสมที่สุดกับระบบนี้คือ หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กผูกเคลือบมีอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหลังคาด้านในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ 1.27°C

ในการประเมินความคุ้มค่าของการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา ได้กำหนดอาคารตัวอย่างเป็นอาคารชั้นเดียวขนาด 10×10 ตารางเมตร หลังคาทรงปั้นหยามุม 30° มีพื้นที่หลังคา 177.49 ตารางเมตร โดยวิเคราะห์จากความแตกต่างของค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศของอาคารที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสมที่ได้จากการทดลอง และนำไปหักค่าใช้จ่ายจากการใช้งานระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา (ค่าไฟของปั้มน้ำ+ค่าน้ำ) จึงสามารถสรุปค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้สำหรับอาคารตัวอย่างคือ 1200-1500 บาท/เดือน และนำไปคำนวณเป็นระยะเวลาในการคืนทุนได้ 33-39 เดือน

สำหรับในการออกแบบอาคารที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาที่มีพื้นที่หลังคาขนาดใหญ่ นั้น ควรขอยหลังคาให้มีพื้นที่เล็กลงเพื่อการพ่นน้ำบนหลังคาได้อย่างทั่วถึง และควรใช้ระบบน้ำแบบหมุนเวียนหรือใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อเป็นการประหยัดค่าน้ำ ส่วนในการศึกษาและวิจัยเพิ่มควรขยายการศึกษาในส่วนของพื้นที่ที่ทำการศึกษา , ช่วงเวลาในการศึกษาและวัสดุหลังคาที่ใช้การศึกษา ซึ่งควรทำการศึกษาร่วมกับหลังคาที่ติดตั้งฉนวนหรือแผ่นสะท้อนความร้อน นอกจากนี้ยังควรทำการศึกษาถึงปริมาณน้ำที่ใช้ต่อขนาดของพื้นที่หลังคาโดยศึกษาด้วยขนาดของพื้นที่หลังคาอาคารจริง และควรศึกษาถึงค่าดูแลรักษาระบบรวมทั้งค่าเสื่อมราคา

Thesis Title	Roof Spray Cooling System with Time Cycle for Residential Building in Bangkok.
Student	Mr. Phatipan Chanchaisri
Student ID.	42063122
Degree	Master of Architecture
Programme	Tropical Architecture
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc.-Prof. Teramon Vairojanakij

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study the affect of reduction temperature of roof spray cooling system with time cycle. The study impacts from the factor of material to make roof during the experiment of roof spray cooling system with time cycle , suitable ratio of spraying water and time for spraying water and the evaluation of roof spray cooling system with time cycle.

Don Muang distinct , Bangkok is a place to do this experiment during 18/6/2002-29/8/2002. I was constructing block up model with 1.20x1.20 roof tile size being set in 30 degree facing north. I sprayed water with constant rate of flow (1.4 liters / mins. / m²) by recycle water system. The material to make roof are concrete roof tile , asbestos cement roof tile and metal sheet roof tile. I divide 5 experiment;

1. This experiment is to find characteristic of each roof when heat tranfered from the roof while not spraying water over it.
2. This experiment is to find the suitable time to spray water by using the ratio of 3 minutes spray water and 12 minutes stop.
3. This experiment is to find the most suitable rhythm to stop spray water. I did the experiment with exactly the same time to spray water with many times to stop spray water. There are many times that I did on this experiment ; the ratio of 3 mins spray water and 12 mins stop, the ratio of 3 mins spray water and 6 mins stop and the ratio of 3 mins spray water and 3 mins stop.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. This experiment is to find the most suitable rhythm to spray water , I did the experiment by change time of spraying water to 6 mins, 12 mins, 24 mins, and spray water all day with time and rhythm to stop from 2-3 experiment.
5. This experiment is to find the most suitable ratio to spray water over the roof for each time in one day for preserve water.

The experiment is found that when the roof doesn't spray water during the day (6:00-18:00) and the average temperature of these 3 kinds of roof tile are closely to 44-45 °C which is higher than the outside temperature to 12.5 -13.5 °C. When doing the experiment of spraying water with, is suitable for day time to decrease temperature over the roof, I found that the ratio of spray water 12 mins and stop 3 mins during 7:00 am.-18:30 pm. is the most suitable ratio which is lower than the outside temperature to 1.00-1.80 °C. And the experiment is to find the most suitable ratio to spray water over the roof for each time in one day for preserve water , I found that the ratio of spray water 12 mins and stop 3 mins during 7:00 -11:00, the ratio of spray water 12 mins and stop 3 mins during 11:00-15:00 and the ratio of spray water 3 mins and stop 3 mins during 15:00 – 18:30 is the most suitable ratio for each time interval. The metal sheet roof tile is the most suitable material for this system which has average roof surface temperature lower than the outside temperature to 1.27 °C

To evaluate the effectiveness of roof spray cooling system with time cycle is defined as the example ; one story building size 10x10 m² , 30° hip roof with the size of roof 177.49 m². I analyze the ratio of electricity for air-conditioning in both buildings which uses roof spray cooling system with time cycle and not use this system. After cutting all the expenses of this system (electricity for pumping water + water expense), I conclude all expenses that it is cheaper to 1200 – 1500 Bath/month and 33-39 months for return of investment in this project.

Building design with roof spray cooling system with time cycle suggests attenuate large roof for spray water throughout roof with recycle water or natural pond for preserve water. To add study in this system with other province , season , roof tile. And study with adding mass insulation or reflective insulation. Study to find amount water for area of roof with real roof. And study of investment in maintenance system and depreciation.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาอย่างดีจาก อาจารย์ รศ. ธีรมน ไวโรจนกิจ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์ ดร. สมชาย ศรีสมพงษ์ และ อาจารย์ ชัยยุทธ ศรีเผด็จ ซึ่งเป็นคณะกรรมการร่วมในการตรวจวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและตรวจทานในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาสถาปัตยกรรม สาขาสถาปัตยกรรมเขต ร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการให้ความรู้ต่างๆแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลและสถานที่ในการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนในทุกๆด้านแก่ผู้วิจัยตั้งแต่เริ่มจนจบการศึกษา

ขอขอบคุณพี่วัฒนาและพี่สุนทร ที่ให้คำแนะนำต่างๆในเรื่องของการสร้างแบบจำลอง

ขอขอบคุณสรุสดา น้องภักทริยาและสำหรับความช่วยเหลือทุกอย่างในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณน้องมธุรสสำหรับความช่วยเหลือด้านภาษาอังกฤษในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือทั้งในด้านข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัยทุกท่านสำหรับการร่วมแรง ร่วมใจในการดำเนินการวิจัย

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปฏิภาณ ชาญชัยศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	6
1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
1.6 สมมุติฐาน.....	9
1.7 ข้อจำกัดในการวิจัย.....	9
1.8 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	10
บทที่ 2 การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 การศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา.....	11
2.1.1 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่เปลือกอาคาร.....	12
2.1.2 การแลกเปลี่ยนความร้อนของอาคาร.....	13
2.1.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา.....	14
2.2 การศึกษาระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา.....	15
2.2.1 คุณสมบัติของน้ำ.....	15
2.2.2 การระเหยของน้ำ.....	17
2.2.3 Evaporative Cooling.....	19
2.2.4 Indirect Evaporative Cooling.....	19
2.2.5 Roof Spray Cooling System.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.6 ระบบ Roof Spray และการใช้ฉนวน.....	21
2.2.7 การทดลองระบบทำความเย็นแบบ Wetted Walls.....	23
2.3 การศึกษาวัสดุผนังหลังคา.....	23
2.3.1 กระเบื้องหลังคาคอนกรีต.....	24
2.3.2 กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน.....	25
2.3.3 กระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ.....	26
บทที่ 3 การศึกษาสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ.....	29
3.1 สภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ.....	29
3.1.1 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร.....	29
บทที่ 4 การดำเนินการวิจัย.....	35
4.1 แนวทางการวิจัย.....	35
4.2 แบบจำลอง.....	36
4.2.1 รายละเอียดดักช่องทดลอง.....	36
4.2.2 ระบบน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	40
4.2.3 ตู้สกรีน.....	42
4.3 สถานที่ทำการวิจัยและช่วงเวลาในการวิจัย.....	43
4.3.1 สถานที่ทำการวิจัย.....	43
4.3.2 ช่วงเวลาในการวิจัย.....	45
4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	46
4.4.1 เครื่องมือวัดผลและบันทึกข้อมูล.....	46
4.4.2 การทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง.....	49
4.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	53
5.1 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	53
5.2 การประเมินความคุ้มค่าของระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา.....	106
5.2.1 การหาค่าความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ ของอาคารที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารที่ใช้ระบบการ พ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม.....	107
5.2.2 การหาค่าใช้จ่ายของระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา.....	110
5.2.3 ความคุ้มค่าของการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา.....	112
5.2.4 ระยะเวลาในการคืนทุนของการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบ จังหวะเวลา.....	113
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	114
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	114
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	116
6.2.1 ข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบ จังหวะเวลา.....	116
6.2.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาและวิจัยระบบการพ่นน้ำบนหลังคา แบบจังหวะเวลา.....	119
บรรณานุกรม.....	120
ภาคผนวก ก. ตารางค่าความหนาแน่นและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของวัสดุต่างๆ.....	122
ภาคผนวก ข. ตารางค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวหลังคา.....	124
ภาคผนวก ค. ตารางแสดงสภาพภูมิอากาศสถานีเกษตร ปี 1989-1999.....	125
ภาคผนวก ง. ตารางแสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยและปริมาตรน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	126
ประวัติผู้เขียน.....	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ความสิ้นเปลืองและค่าพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ.....	1
2.1 ปริมาณความร้อนที่ลดลงเนื่องจากการใช้ระบบ Roof Spray ลดอุณหภูมิผิวหลังคาสู่ 90 °F กับหลังคาที่ระดับค่าการต้านทานความร้อนต่างๆ.....	22
2.2 ปริมาณความร้อนที่ลดลงเนื่องจากการใช้ระบบ Roof Spray ลดอุณหภูมิผิวหลังคาสู่ 90°F กับหลังคาซึ่งเพิ่มฉนวน R-11 ที่ระดับค่าการต้านทานความร้อนต่างๆ....	22
2.3 คุณสมบัติของวัสดุผนังหลังคา.....	28
2.4 ค่า U-value ของวัสดุผนังหลังคา.....	28
4.1 วันและเวลาที่ใช้ทำการทดลองในแต่ละการทดลอง.....	45
4.2 การปรับค่าอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง.....	49
5.1 สภาพอากาศของวันที่ใช้ทำการทดลอง.....	54
5.2 แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องและสรุปความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศของอาคารตัวอย่างที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารตัวอย่างที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม.....	110
5.3 ความแตกต่างของค่าใช้จ่ายของอาคารตัวอย่างที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารตัวอย่างที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม.....	112
5.4 ระยะเวลาในการคืนทุนสำหรับอาคารตัวอย่างที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา.....	113

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัสดุเมื่อได้รับรังสีดวงอาทิตย์.....	12
2.2 การแลกเปลี่ยนความร้อนของอาคาร.....	13
2.3 การถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในอาคาร.....	15
2.4 การยึดเกาะของไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำ.....	16
2.5 กราฟสมการของ Penman ประยุกต์กับ Class A Pan.....	18
2.6 กราฟแสดงอัตรา Monthly Pan Evaporation , อุณหภูมิและการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ในช่วงตลอดปี.....	18
2.7 หลักการของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบ Indirect Evaporative.....	19
2.8 กระบวนการ Indirect Evaporative Cooling บน Psychrometric Chart.....	20
2.9 การใช้ระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา.....	21
2.10 กราฟแสดงผลการทดลองระบบ Wetted Walls กับผนังคอนกรีตบล็อกและผนังโลหะ...	23
2.11 รายละเอียดของกระเบื้องซีแพคโมเนีย.....	24
2.12 การมุงกระเบื้องซีแพคโมเนีย.....	25
2.13 หน้าตัด-รายละเอียดของกระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนชนิดลอนคู่.....	26
2.14 การมุงกระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนชนิดลอนคู่ตราช่าง.....	26
2.15 รายละเอียดกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบตรา Dragon.....	27
2.16 การมุงกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ.....	27
3.1 กราฟแสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของกรุงเทพฯปี 2532-2542.....	31
3.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกรุงเทพฯปี 2532-2542.....	31
3.3 กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพฯปี 2532-2542.....	32
3.4 กราฟแสดงทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพฯปี 2532-2542.....	32
3.5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยการระเหยของกรุงเทพฯปี 2532-2542.....	33
3.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดของกรุงเทพฯ ปี 2542.....	33
3.7 กราฟแสดงค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงของกรุงเทพฯปี 2542.....	34
4.1 รายละเอียดผนังกล่องทดลอง.....	36
4.2 รายละเอียดรูปตัดกล่องทดลอง.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 รายละเอียดรูปด้านกล่องทดลอง.....	38
4.4 กล่องทดลอง.....	39
4.5 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ.....	39
4.6 รายละเอียดผังระบบน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	40
4.7 ระบบน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	40
4.8 ท่อ P.V.C. ซึ่งติดตั้งหัวตีนน้ำวางบนลังคาของกล่องทดลอง.....	41
4.9 หัวตีนน้ำที่ใช้ในการทดลอง.....	41
4.10 รายละเอียดตู้สกรีน.....	42
4.11 การวางตู้สกรีนและอุปกรณ์วัดทิศทางและความเร็วลม.....	42
4.12 สถานที่ทำการทดลอง.....	43
4.13 ผังการวางตำแหน่งกล่องทดลองและตู้สกรีน.....	44
4.14 การวางตำแหน่งกล่องทดลองและตู้สกรีน.....	44
4.15 เครื่องบันทึกข้อมูล Data Logger (OPUS) ต่อเชื่อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์.....	46
4.16 สายวัดอุณหภูมิ (Thermo Couple).....	47
4.17 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Universal Use).....	47
4.18 เครื่องวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (Paranometer).....	48
4.19 เครื่องวัดทิศทางและความเร็วลม (Usonic).....	48
4.20 เครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำ (Optic StowAway Temp).....	49
5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิด กับอุณหภูมิอากาศภายนอกระหว่างวันที่ 18 มิถุนายน 2545.....	56
5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในของวัสดุผนัง หลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกระหว่างวันที่ 18 มิถุนายน 2545.....	57
5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคา ด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศ ระหว่างวันที่ 18 มิถุนายน 2545.....	58
5.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิด กับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการนำพ่นบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาที หยุด 12 นาที ช่วงเวลา 7:30-18:00 น. ในวันที่ 2 กรกฎาคม 2545.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาต้านในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการนำพ่นบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาทีช่วงเวลา 7:30-18:00 น. ในวันที่ 2 กรกฎาคม 2545....61
5.6	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาต้านในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการนำพ่นบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 6 กรกฎาคม 2545..... 63
5.7	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาต้านในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการนำพ่นบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาทีช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 6 กรกฎาคม 2545.....64
5.8	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาต้านในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยทำการนำพ่นบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 6 กรกฎาคม 2545..... 67
5.9	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาต้านในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการนำพ่นบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาทีช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 6 กรกฎาคม 2545....68
5.10	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาต้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาต้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาทีตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 6 กรกฎาคม 2545..... 69
5.11	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาทีช่วงเวลา 7:00-18:30 น.ในวันที่ 12 กรกฎาคม 2545.....71
5.12	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 12 กรกฎาคม 2545.....72

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 12 กรกฎาคม 2545.....73
5.14	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 16 กรกฎาคม 2545.....75
5.15	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 16 กรกฎาคม 2545.....76
5.16	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 16 กรกฎาคม 2545.....77
5.17	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ด้วยอัตราการพ่นน้ำทั้ง 3 แบบ และการไม่พ่นน้ำ.....78
5.18	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 28 กรกฎาคม 2545.....81
5.19	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 28 กรกฎาคม 2545.....82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 28 กรกฎาคม 2545.....83
5.21	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 26 กรกฎาคม 2545.....85
5.22	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 26 กรกฎาคม 2545.....86
5.23	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาทีตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 26 กรกฎาคม 2545.....87
5.24	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 2 สิงหาคม 2545.....89
5.25	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 2 สิงหาคม 2545.....90
5.26	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 2 สิงหาคม 2545.....91
5.27	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำตลอดเวลา ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 25 กรกฎาคม 2545.....93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำตลอดเวลา ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 25 กรกฎาคม 254.....	94
5.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำตลอดเวลา ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 25 กรกฎาคม 2545.....	95
5.30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกด้วยอัตราการพ่นน้ำทั้ง 3 แบบ.....	96
5.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก เมื่อทำการพ่นน้ำแบบผสมด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาทีและอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 ในวันที่ 26 สิงหาคม 2545.....	98
5.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกเมื่อทำการพ่นน้ำแบบผสมด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาทีและอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 ในวันที่ 26 สิงหาคม 2545.....	99
5.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยของช่วงเวลานั้น ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 12 นาที หยุด 3 นาที และอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ตามลำดับ 3 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 26 สิงหาคม 2545.....	100
5.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกเมื่อทำการพ่นน้ำแบบผสมด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาทีและอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 ในวันที่ 28 สิงหาคม 2545.....	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.35	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกเมื่อทำการพ่นน้ำแบบผสมด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาทีและอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 ในวันที่ 28 สิงหาคม 2545.....102
5.36	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอกเฉลี่ยของช่วงเวลานั้น ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 12 นาที หยุด 3 นาที และอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ตามลำดับ 3 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 28 สิงหาคม 2545.....103
5.37	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิผิวหลังคาภายในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอกเฉลี่ยของช่วงเวลานั้น ด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสมทั้ง 2 แบบ..... 104
5.38	กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที และอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 18 สิงหาคม 2545.....105
5.39	แบบผังหลังคา-รูปด้านอาคารตัวอย่าง.....106
5.40	แบบ Isometric อาคารตัวอย่าง..... 107
5.41	กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกระหว่างหลังคาที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับหลังคาที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม.....109
6.1	การวางแนวท่อน้ำบนหลังคาทรงปั้นหยາ..... 116
6.2	รูปด้านอาคารหลังคาทรงปั้นหยา..... 116
6.3	การวางแนวท่อน้ำบนหลังคาทรงจั่ว..... 117
6.4	รูปด้านอาคารหลังคาทรงจั่ว..... 117

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.5 การวางแนวท่อน้ำบนหลังคาทรงเพิงหมาแหงน.....	117
6.6 รูปด้านอาคารหลังคาทรงเพิงหมาแหงน.....	118
6.7 รูปตัดแสดงรายละเอียดการแบ่งหลังคาอาคารให้มีพื้นที่เล็กลง แนวทางการวาง ท่อน้ำและแนวทางการวางรางน้ำ	118



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

อาคารเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของมนุษย์ ทำหน้าที่เป็นตัวกรองสภาพแวดล้อมภายนอกที่ไม่พึงประสงค์และสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีในการอยู่อาศัย ซึ่งในประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศลักษณะแบบร้อนชื้น (Hot Humid Climate) มีอุณหภูมิและความชื้นสูงทำให้สภาพอากาศโดยทั่วไปไม่อยู่ในสภาวะที่น่าสบายเกือบตลอดทั้งปี ทำให้มีการนำระบบปรับอากาศมาใช้สร้างสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

จากข้อมูลของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานระบุว่า ในปี พ.ศ. 2542 ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับสาขานอนอยู่อาศัย มีความต้องการรวมทั้งสิ้น 18,242.1 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นสัดส่วนร้อยละ 22.4 ของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศ และจากตารางแสดง ความสิ้นเปลืองและค่าพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศมีปริมาณสูงที่สุด เมื่อเทียบกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับอาคารพักอาศัยทั้งหมดดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ความสิ้นเปลืองและค่าพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ

ชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้า	ขนาด	จำนวนวัตต์	จำนวนหน่วยที่ใช้ใน 1 ชม.	จำนวนชั่วโมงที่ใช้ ต่อวัน	จำนวนหน่วยที่ใช้ ต่อเดือน	ค่าไฟฟ้า บาทต่อเดือน
เครื่องปรับอากาศ	9000 บีทียู/ชม	920	0.92	8	138	221
• ติดหน้าต่าง	12000 บีทียู/ชม	1150	1.15	(คอมเพรสเซอร์	172.5	276
• ติดฝาผนัง	24000 บีทียู/ชม	2990	2.99	ทำงาน 5 ชม.)	448.5	718
• ตั้งพื้น	9000 บีทียู/ชม	680	0.68		102	163
	12000 บีทียู/ชม	1130	1.13		169.5	271
	24000 บีทียู/ชม	2490	2.49		373.5	598
	12000 บีทียู/ชม	1330	1.33		199.5	319
	24000 บีทียู/ชม	2710	2.71		407	651
ตู้เย็น (ทั่วไป)	2.4 ลบ.ฟุต	60-65	0.060-0.065	24	28.80-31.10	46-50
	4.5-6.0 ลบ.ฟุต	65-88	0.065-0.080	(คอมเพรสเซอร์	31.20-42.40	50-68
	6.7-7.7 ลบ.ฟุต	78-117	0.078-0.117	ทำงาน 24 ชม.)	37.44-56.16	60-90
	9.0-10.0 ลบ.ฟุต	115-165	0.115-0.165		55.20-79.20	88-127
	12.0 ลบ.ฟุต	165	0.165		79.20	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

ชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้า	ขนาด	จำนวนวัตต์	จำนวนหน่วยที่ใช้ใน 1	จำนวนชั่วโมงที่ใช้	จำนวนหน่วยที่ใช้	ค่าไฟฟ้า บาทต่อเดือน
			ชม.	ต่อวัน	ต่อเดือน	
พัดลม	12 นิ้ว	45	0.045	5	6.75	11
	16 นิ้ว	68	0.068	5	10.20	16
	48 นิ้ว (เพดาน)	80	0.080	5	12.00	19
	56 นิ้ว (เพดาน)	104	0.104	5	15.6	25
พัดลมดูดอากาศ	6	30	0.030	5	4.50	7
	8	33,43	0.030,0.043	5	4.95,6.45	8,10
โทรทัศน์สี (Solid State)	14 นิ้ว	43-50	0.043-0.05	5	6.45-7.50	10-12
	20 นิ้ว	63	0.063	5	9.45	15
	26 นิ้ว	95	0.095	5	14.25	23
โทรทัศน์ขาวดำ (Solid State)	12,14 นิ้ว	24-30	0.024-0.030	5	3.6-4.5	6-7
วิดีโอเทป	-	30	0.03	3	2.7	4
วิทยุ	-	15	0.015	7	3.15	5
เครื่องเสียง	-	40	0.04	5	6	10
	-	60	0.06	5	9	14
	-	100	0.10	5	15	24
	-	750	0.75	1	22.5	36
เตารีด	-	1000	1.00	1	30.0	48
เตาหุงข้าวไฟฟ้า	-	400	0.4	1	12	19
	-	800	0.8	1	24	38
	-	1000	1.0	1	30	48
	-	1500	1.5	1	45	72
หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	1.0 ลิตร	500	0.5	1	15	24
	1.5 ลิตร	600	0.6	1	18	29
	2.8 ลิตร	1000	1.0	1	30	48
	ใหญ่	1400	1.4	1	42	67
กาต้มน้ำไฟฟ้า	-	500	0.5	15 นาที	3.75	6
	-	700	0.7	15 นาที	5.25	8
	-	1300	1.3	15 นาที	9.75	16
	-	2000	2.0	15 นาที	15.00	24
เครื่องปั่นขนมปัง	-	700	0.7	15 นาที	5.25	8
	-	1000	1.0	15 นาที	7.50	12
เครื่องบดไฟฟ้า เตาไมโครเวฟ	-	230	0.23	1	6.90	11
	-	960	0.96	15 นาที	7.20	12
	-	1500	1.50	15 นาที	11.25	18
เครื่องทำน้ำร้อน	-	2000	2.0	1	60	96
	-	5500	5.5	1	165	264
	-	10000	10.5	1	300	480

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ หรือเป็นการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

ชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้า	ขนาด	จำนวนวัตต์	จำนวนหน่วยที่ใช้ใน 1 ชม.	จำนวนชั่วโมงที่ใช้ ต่อวัน	จำนวนหน่วยที่ใช้ ต่อเดือน	ค่าไฟฟ้า บาทต่อเดือน
เครื่องอบผ้า	-	650/110	0.65/1.10	แห้งช้า30นาที	แห้งช้า 9.75	แห้งช้า16
	-	แห้งช้าแห้งเร็ว	แห้งช้า/แห้งเร็ว	แห้งเร็ว30นาที	แห้งเร็ว 16.50	แห้งเร็ว26
เครื่องซักผ้า	5 กก.	250-280	0.25	30 นาที	3.75-4.20	6-7
	-	600	0.60	30 นาที	9.0	14
	-	800	0.80	30 นาที	12.0	19
กระทะไฟฟ้า	-	850	0.85	1	25.50	41
	-	1050	1.05	1	31.50	50
เครื่องเป่าผม	-	300	0.3	15 นาที	2.25	4
	-	400	0.4	15 นาที	3.00	5
	-	1300	1.3	15 นาที	9.75	16
เครื่องดูดฝุ่น	1 ลิตร	625	0.625	1	18.75	30
	-	850	0.85	1	25.50	41
	5 ลิตร	1000	1.0	1	30.00	48
	-	1700	1.7	1	51.00	82
กระติกน้ำร้อนไฟฟ้า	2.4 ลิตร	600	-	8 (ต้ม 20 นาที 2 ครั้ง และต้ม 3 นาที/ชม.)	18.00	29
เครื่องสูบน้ำ	15 HP	218	1.213	5	31.95	51
หมายเหตุ: คัดประสิทธิภาพ	1/3 HP	355	1.50	5	53.25	85
ของมอเตอร์ 70 %	1/2 HP	533	0.533	5	79.95	128
มอเตอร์จักรเย็บผ้า	-	70	0.07	1	2.1	3
	-	90	0.09	1	2.7	4
	-	120	0.12	1	3.6	6
	-	15	0.015	5	2.25	4
หลอดไส้	-	40	0.040	5	6.00	10
	-	60	0.060	5	9.00	14
	-	100	0.100	5	15.00	24
	-	20	0.020	5	3.0	5
หลอดฟลูออเรสเซนต์	18	28	0.026	5	4.2	7
	20	30	0.030	5	4.5	7
	32	42	0.042	5	6.3	10
	36	46	0.046	5	6.9	11
	40	50	0.050	5	7.5	12
หลอดคอมแพคต์ฟลูออเรสเซนต์		(รวมบัลลาสต์)				
	9	13.5	0.0135	5	2.03	3
ภายนอก	11	16.0	0.016	5	2.40	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ :

1. คำนวณจาก ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของผู้ใช้ประเภทบ้านอยู่อาศัยที่ 200 หน่วยต่อเดือน คือหน่วยละ 1.60 บาท และ 30 วันต่อเดือน
2. อัตราค่าไฟฟ้า ใช้อัตราค่าไฟฟ้าซึ่งใช้ทั่วประเทศประกาศใช้เมื่อ วันที่ 1 มกราคม 2540 (ที่มา : ข้อเสนอแนะการประหยัดไฟฟ้าในครัวเรือน , กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน)

สำหรับในการออกแบบอาคารเพื่อก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานนั้น การลดพลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยการลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาสู่อาคารทางหลังคานับว่าเป็นส่วนสำคัญ ด้วยจำนวนความร้อนที่กระทำบนแนวระนาบของหลังคาในฤดูร้อนมากกว่าด้านใดๆของอาคาร และพื้นที่หลังคาโดยเฉพาะสำหรับอาคารพักอาศัยมีพื้นที่มากเกือบเท่าพื้นที่ผนังทั้งหมดรวมกันจึงเป็นส่วนที่น่าเอาใจใส่มากที่สุด (สมสิทธิ์ นิตยะ , 2541)

ซึ่งการลดอุณหภูมิผิวหลังคา เป็นการลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวหลังคาและอุณหภูมิภายในอาคาร อันเป็นปัจจัยหนึ่งในการลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาสู่อาคารทางหลังคาดังสมการค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV : Roof Thermal Transfer Value) ซึ่งได้ถูกกำหนดไว้ใน พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

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

RTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารที่พิจารณา โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่บ โดยให้มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส

RSR คือ อัตราส่วนของพื้นที่โปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคาต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Temperature Different Equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของส่วนหลังคาที่บ โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ตามกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

U_{rr} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ตามกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคาซึ่งการคำนวณให้ตามกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

SF คือ ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (Solar Factor) ที่ผ่านส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคาโดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

โดยการใช้ระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา (Roof Spray Cooling System) เป็นการนำเอาเทคนิคในการทำความเย็นโดยใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ (Passive Cooling) ซึ่งใช้หลักของการทำความเย็นโดยการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) โดยการพ่นละอองน้ำออกมาทั่วบริเวณพื้นหลังคา ความร้อนจากแสงอาทิตย์จะช่วยให้น้ำระเหยกลายเป็นไอและไอน้ำจะนำความร้อนออกจากหลังคาไปด้วย จึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งนอกเหนือจากการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนหรือฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคาที่ใช้กับอาคารพักอาศัยในปัจจุบัน ซึ่งใช้ในการลดอุณหภูมิหลังคาอันเป็นการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางหลังคา ซึ่งจะช่วยลดภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของอาคารเป็นอย่างมาก นำมาสู่การศึกษากระบวนการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาสำหรับอาคารพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยมุ่งศึกษาระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาโดยนำมาใช้กับระบบหลังคาอาคารพักอาศัยในการลดอุณหภูมิผิวหลังคา

1. เพื่อศึกษาผลของการลดอุณหภูมิผิวหลังคาโดยระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลากับสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลจากตัวแปรในส่วนของวัสดุผนังหลังคาสำหรับอาคารพักอาศัยชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้ระบบการพ่นน้ำแบบจังหวะเวลาเพื่อลดอุณหภูมิผิวหลังคา
3. เพื่อศึกษาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสม และช่วงเวลาที่เหมาะสมในระหว่างวันสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาเพื่อลดอุณหภูมิผิวหลังคา สำหรับสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ
4. เพื่อศึกษาหาแนวทางในการประยุกต์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา มาทำการออกแบบระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา สำหรับอาคารพักอาศัยในเขตจังหวัดกรุงเทพฯ

5. เพื่อศึกษาความเหมาะสมคุ้มค่า ในการใช้ระบบการพ่นน้ำหลังคาแบบจังหวะเวลาเพื่อลดอุณหภูมิหลังคาสำหรับอาคารพักอาศัยในเขตจังหวัดกรุงเทพฯ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตและปัจจัยต่างที่จะต้องทำการควบคุมดังนี้

1. ทำการศึกษาเฉพาะน้ำที่ได้จากระบบประปาสาธารณะเท่านั้น และระบบน้ำที่ทำการศึกษาจะใช้ในลักษณะหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อมิให้สิ้นเปลือง
2. ทำการศึกษาด้วยปริมาณน้ำที่ไหลผ่านหลังคาด้วยอัตราคงที่สม่ำเสมอทั่วผืนหลังคา
3. ศึกษาการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับหลังคาปกติ โดยเลือกใช้วัสดุผนังประเภทต่างๆที่นิยมใช้สำหรับอาคารพักอาศัยในปัจจุบันอันได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต , กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กผูกฟูกเคลือบ
4. ทำการศึกษาเฉพาะระบบหลังคาในสภาพกลางแจ้ง
5. ทำการศึกษาเฉพาะช่วงเวลาหลังคาได้รับอิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์เท่านั้น
6. ศึกษาและทำการทดลองเก็บข้อมูลเฉพาะพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานคร
7. ตัวแปรทางธรรมชาติและองค์ประกอบทางกายภาพอื่นๆ นอกเหนือจากที่ใช้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับใกล้เคียงกัน หรือมีการ Calibrate ในมาตรฐานเดียวกัน

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยการวิจัยเรื่องการศึกษาการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาสำหรับอาคารพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ จัดเป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย จึงต้องมีการศึกษาและรวบรวมข้อมูลตลอดจนการปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

ช่วงที่ 1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ศึกษาสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ
2. ศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา
3. ศึกษาทฤษฎีและผลการวิจัยของระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา
4. ศึกษาวัสดุผนังหลังคาในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงที่ 2 ออกแบบและทำการวิจัย

ทำการสร้างแบบจำลองเพื่อทำการทดลองพร้อมกับติดตั้งเครื่องมือวัดผลและเครื่องมือบันทึกผลการทดลอง โดยแยกตามหัวข้อที่ทำการศึกษาดังนี้

1. การศึกษาอุณหภูมิผิวของวัสดุผนังหลังคา ขณะที่ยังไม่ทำการพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา โดยใช้วัสดุผนังหลังคาที่นิยมใช้ในบ้านพักอาศัยในปัจจุบัน อันได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต , กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ
2. การทดลองหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในระหว่างวันสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาแบบจังหวะเวลา โดยใช้อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที กับวัสดุผนังหลังคาอันได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต , กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ
3. การทดลองหาจังหวะการหยุดพักการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา โดยใช้ช่วงเวลาพ่นน้ำคงที่และเวลาในการหยุดพักการพ่นน้ำต่างกันได้แก่ อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที โดยทำการพ่นน้ำในช่วงเวลาที่ได้จากข้อ 2 กับวัสดุผนังหลังคาอันได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต , กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ
4. การทดลองหาจังหวะการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา โดยใช้จังหวะของการหยุดพักการพ่นน้ำจากข้อ 3 และเปลี่ยนระยะเวลาของการพ่นน้ำต่างกันได้แก่ การพ่นน้ำ 6 นาที , การพ่นน้ำ 12 นาที , การพ่นน้ำ 24 นาที และการพ่นน้ำตลอดเวลา โดยทำการพ่นน้ำในช่วงเวลาที่ได้จากข้อ 2 กับวัสดุผนังหลังคาอันได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต , กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ
5. การทดลองการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำต่าง ๆ กันกับช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างวัน เพื่อหาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลา โดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ

ช่วงที่ 3 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวิจัย

1. วิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของหลังคา ขณะที่ยังไม่ทำการพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา ในสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ
2. วิเคราะห์ผลของช่วงเวลาที่เหมาะสมและอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา สำหรับสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ

3. วิเคราะห์ผลของอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลา โดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ สำหรับสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ

4. วิเคราะห์ผลความคุ้มค่าของการใช้ระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวัดเวลา สำหรับอาคารพักอาศัยในจังหวัดกรุงเทพฯ

ช่วงที่ 4 สรุปผลและเสนอแนะ

1. สรุปผลที่ได้จากการทดลอง เป็นแนวทางในการประยุกต์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาทำการออกแบบระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวัดเวลา สำหรับอาคารพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ

2. เสนอแนะข้อจำกัดและแนวทางในการศึกษาวิจัยระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวัดเวลาต่อไป

1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ

1. การใช้น้ำในการลดอุณหภูมิผิวกระจก โดยให้น้ำกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นกระจก 4 ลิตรต่อพื้นที่ต่อตารางเมตร สามารถลดอุณหภูมิได้เฉลี่ยประมาณ 14 องศาเซลเซียสในกรณีไม่ปรับอากาศช่วง 6.00-18.00 น. (วชิระ กาญจนสุด , 2540)

2. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผนังหลังคาในปัจจุบันเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนัง 3 ชนิดคือ กระเบื้องซีเมนต์ แผ่นโลหะ และคอนกรีต 3" พบว่าในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิผิวล่างของวัสดุทั้ง 3 ชนิดสูงกว่าอุณหภูมิอากาศตลอด โดยแผ่นโลหะเป็นวัสดุที่มีอุณหภูมิผิวล่างสูงสุด คือ มีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 50 °C รองลงมาคือกระเบื้องซีเมนต์และคอนกรีต 3" ตามลำดับ อุณหภูมิโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกันประมาณ 40 - 45 °C ซึ่งเกิดจากแผ่นโลหะเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการนำความร้อนและมีมวลสารน้อย (จุไรพร ตุมพสุวรรณ , 2540)

1.5.2 เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

1. ในการเปลี่ยนน้ำจากสภาพของเหลวสู่ก๊าซ ที่ 100 °C ต้องใช้พลังงาน latent heat of evaporation ซึ่งในความจริงน้ำสามารถระเหยได้ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 100 °C โมเลกุลในมวลของน้ำมีการเคลื่อนที่และระดับเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเพิ่มตามอุณหภูมิ โมเลกุลทั้งหมดในน้ำที่ได้รับความร้อนไม่ได้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากัน โมเลกุลที่เคลื่อนที่เร็วกว่าได้รับพลังงานความร้อนมากกว่าโมเลกุลที่เคลื่อนที่ช้า และโมเลกุลบางตัวซึ่งเคลื่อนที่เร็วจนหลุดออกจากผิวน้ำสู่การระเหย ดังนั้นการระเหยจึงเกิดในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 100 °C การเพิ่มของอุณหภูมิ น้ำสนับสนุนการระเหย เพราะโมเลกุลจำนวนมากเพิ่มพลังงานในการหลุดจากผิวน้ำ ซึ่งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหยเป็นกระบวนการทำความเย็นเพราะปริมาณความร้อนที่สูญเสียจำนวนมากเป็น latent heat ซึ่งอยู่ในโมเลกุลที่หลุดไป (Ray K.Linsley JR. , 1982)

2. ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาใช้วิธีการวางท่อพ่นน้ำบนหลังคา ซึ่งจะพ่นละอองน้ำออกมาทั่วบริเวณผืนหลังคา ความร้อนจากแสงอาทิตย์จะช่วยให้น้ำระเหยกลายเป็นไอ และไอน้ำนี้จะนำความร้อนออกไปด้วย จากการทดลองที่มหาวิทยาลัยฟลอริดา สหรัฐอเมริกาได้วางท่อพ่นน้ำบนหลังคาอาคารทั้งที่เป็นหลังคาแบนและหลังคาจั่ว ที่ปลายท่อพ่นน้ำออกเป็นรูปพัด Fan Shape หลังจากพ่นน้ำไปนาน 45 นาที ปรากฏว่าอุณหภูมิ 150 องศาฟาเรนไฮส์ ลดลงเหลือ 100 องศาฟาเรนไฮส์ (Baruch Givoni , 1994)

3. การใช้ระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา ผลการทำความเย็นเกิดจากการระเหยของน้ำ ไม่ใช่จากอุณหภูมิของน้ำ ตัวอย่างเช่น น้ำ 1 ปอนด์ ที่ 65 °F ถูกพ่นน้ำบนหลังคาที่ 120 °F สามารถนำความร้อนจากหลังคาที่อุณหภูมิ 120 °F ได้ 55 Btu แต่ในกระบวนการระเหยในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอน้ำใช้พลังงาน 1000 Btu/ lb มากกว่า 95% ของผลการทำความเย็นทั้งหมดเกิดจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำ ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำที่นำมาใช้จึงไม่มีความสำคัญนัก และปริมาณน้ำที่เกินความจำเป็นทำให้เกิดการระเหยและการลดความร้อนจากหลังคา (Donald W.Abrams , 1986)

1.6 สมมุติฐาน

1. การใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา สามารถลดอุณหภูมิของหลังคาที่ทำจากวัสดุต่างๆได้ ในสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ

2. ผลของการใช้ระบบการพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิหลังคาแบบจังหวะเวลาที่ทำจากวัสดุต่างๆ ได้ผลดีกับวัสดุหลังคาที่ทำจากกระเบื้องหลังคาแผ่นโลหะ ซึ่งมีมวลสารน้อยและมีความร้อนที่สะสมในเนื้อวัสดุน้อย

3. ในการใช้ระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา เพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคา อันเป็นการลดภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ สำหรับอาคารพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯนั้นมีความเหมาะสมคุ้มค่า

1.7 ข้อจำกัดในการวิจัย

1. ข้อจำกัดในด้านงบประมาณทำให้ชนิดของวัสดุหลังคาที่นำมาทดลองมีจำกัด

2. ข้อจำกัดในด้านงบประมาณและเวลาที่ใช้ทำการทดลอง ทำให้อัตราการพ่นน้ำแบบต่างๆที่ใช้ทำการศึกษาระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลามีจำกัด
3. ระยะเวลาในการทำการทดลองมีจำกัด จึงทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ตลอดปี

1.8 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการใช้ระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลากับสภาพอากาศของกรุงเทพฯ
2. ผลของการศึกษานำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา สำหรับอาคารพักอาศัยในเขตจังหวัดกรุงเทพฯ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศสำหรับอาคารพักอาศัย
3. เพื่อนำผลวิจัยที่ได้เป็นแนวทางในการศึกษาและวิจัยต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา

ในการศึกษาระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาสำหรับอาคารพักอาศัยนั้น จำเป็นต้องศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคา เพื่อที่จะสามารถออกแบบและหาแนวทางในการปรับปรุงระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาได้สอดคล้องกับปัญหาด้านความร้อนที่เกิดขึ้น

โดยทั่วไปความร้อนจากภายนอกที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคารได้ 3 แบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (Heat Transfer by Conduction)

เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลสู่มอเลกุล หรือการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านตัวกลางหรือมวลวัตถุ เช่น การถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังหรือกำแพง เป็นต้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุโดยการนำความร้อนขึ้นอยู่กับสภาพนำความร้อน (Thermal Conductivity) วัสดุที่นำความร้อนได้ดีจะมีค่าสภาพนำความร้อนสูง เช่น โลหะ, หินและคอนกรีต เป็นต้น วัสดุที่ช่วยลดการนำความร้อนต้องมีค่าสภาพนำความร้อนต่ำ เช่น โยแก้วและฉนวนความร้อน เป็นต้น นอกจากนี้การนำความร้อนยังขึ้นกับความหนาแน่นของวัสดุ ความชื้นของวัสดุและความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวทั้ง 2 ด้านของวัสดุที่ความร้อนถ่ายเท

2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Heat Transfer by Convection)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนตัวของอากาศเป็นสื่อกลาง เช่น ภายในอาคารความร้อนจะผ่านผนังเข้ามาโดยการนำจากนั้นผิวของผนังด้านในจะร้อนขึ้น ทำให้อากาศรอบๆ กำแพงด้านในร้อนขึ้น อากาศที่ร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา ก็จะลอยตัวสูงขึ้น อากาศภายในห้องที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะหมุนเวียนไปแทนที่ เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพา

3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (Heat Transfer by Radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีผ่านอากาศหรือสุญญากาศ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ถ่ายเทผ่านสุญญากาศมายังโลก เป็นต้น อาคารต่างๆ จะได้รับความร้อนโดยการแผ่รังสีทั้งจากรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ และจากรังสีความร้อนคลื่นยาวที่แผ่มาจากวัตถุหรืออาคารอื่นรอบๆ

2.1.1 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่เปลือกอาคาร

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) กระทบผิววัตถุที่บดแสง บางส่วนจะถูกดูดกลืนและสะท้อนบางส่วนออกมา ส่วนที่ถูกดูดกลืนจะทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้นและจะถ่ายเทความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อมโดยการแผ่รังสี การพาความร้อน และถ่ายเทเข้าไปภายในตัวของมันเองโดยการนำความร้อน (สมสิทธิ์ นิตยะ , 2541)



รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัสดุเมื่อได้รับรังสีดวงอาทิตย์

รังสีความร้อนที่ตกกระทบหน้าวัตถุ บางส่วนจะถูกดูดกลืนและส่วนที่เหลือจะถูกสะท้อนออกมา ผลรวมของรังสีความร้อนที่ถูกดูดกลืนและรังสีที่ถูกสะท้อนจะเท่ากับรังสีความร้อนที่ตกกระทบผิวหน้าวัตถุนั้น ถ้าวัตถุมีการดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีก็จะแผ่รังสีความร้อนได้ดีด้วย โดยทั่วไปการแผ่รังสีของวัตถุจะแปรตามอุณหภูมิและสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ของผิววัตถุนั้น

ผลที่ความร้อนกระทำทางด้านนอกของผิววัสดุส่งผลให้เกิดทางด้านตรงกันข้าม คือ

1. คลื่นความร้อนจะจางลง ปริมาณความร้อนผ่านเข้ามาได้บางส่วน
2. เกิดช่วงเวลาที่ได้จากการหน่วงความร้อนของวัสดุผิวด้านตรงข้าม จะไม่ร้อนทันทีที่ถูกความร้อนกระทำด้านนอกและจะกินเวลาชั่วระยะเวลาหนึ่งแล้วแต่คุณสมบัติของวัสดุ

คุณสมบัติประการที่ 1 ได้จากคุณสมบัติในการเป็นฉนวนความร้อนของวัสดุ (Insulation Value) ที่ได้จากค่าของสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน U (Thermal Transmission) ค่าของ U ยิ่งต่ำก็ยิ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน U (Thermal Transmission) คือปริมาณความร้อนซึ่งกระทำในเวลา 1 วินาทีต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร เมื่ออุณหภูมิต่างกัน 1°C ($\text{W}/\text{m}^2\text{C}$)

คุณสมบัติประการที่ 2 คือการหน่วงความร้อน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้จากคุณสมบัติของความร้อนจำเพาะของวัสดุกับมวลของวัตถุ $= P \cdot C$ เมื่อ

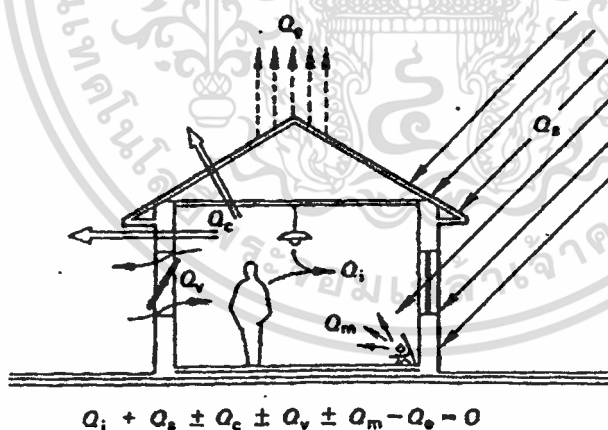
P = ความหนาแน่นมวล (kg/m^3)

C = ความร้อนจำเพาะ ($\text{kJ}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$)

ซึ่งค่าการกักเก็บความร้อนยิ่งมากเท่าใด เวลาที่ได้จากการหน่วงเหนี่ยวก็มากเพิ่มขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบ ซึ่งอากาศเป็นฉนวนความร้อนที่ดี วัสดุที่มีโพรงอากาศ อยู่ภายในจึงมีน้ำหนักเบา และเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ในทางตรงกันข้าม วัสดุที่มีน้ำหนักมากมีมวลแน่นเป็นวัสดุหน่วงความร้อนที่ดี (สมลสิทธิ์ นิตยะ , 2541)

2.1.2 การแลกเปลี่ยนความร้อนของอาคาร

อาคารมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับบรรยากาศรอบนอกดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแลกเปลี่ยนความร้อนของอาคาร

จะได้สมการสมดุลความร้อน (ในกรณีที่ไม่มีความร้อนลดหรือเพิ่ม) ดังนี้

$$Q_i + Q_s \pm Q_c \pm Q_v \pm Q_m - Q_e = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Q_i = Heat gain ที่เกิดจากตัวคน เครื่องใช้ไฟฟ้าภายใน
 Q_s = Heat gain ที่เกิดจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สู่วัสดุโปร่งใส
 Q_c = การนำความร้อนเข้าออกทางวัสดุทึบแสง (รวมการพาและการแผ่รังสีด้วยในลักษณะ Transmittance)
 Q_v = ความร้อนที่เข้าออกโดยการระบายอากาศ
 Q_m = เครื่องทำความร้อนหรือเครื่องทำความเย็นที่ใช้พลังงานอื่นจากภายนอก
 Q_e = การระเหยของน้ำจากผิวอาคาร

ถ้าผลบวกจากสมการนี้ให้ค่าออกมาต่ำกว่าศูนย์ อุณหภูมิในอาคารจะเย็นลง และถ้าผลบวกจากสมการให้ค่าสูงกว่าศูนย์ อุณหภูมิในอาคารจะเพิ่มขึ้น

การนำความร้อนเข้าออกทางวัสดุทึบแสง (รวมการพาและการแผ่รังสีด้วยในลักษณะ transmittance) ผ่านกำแพงในพื้นที่ที่กำหนดจะใช้สมการดังนี้ (O.H. Koenigsberger.et.al. , 1973)

$$Q_c = U \cdot A \cdot \Delta T$$

โดย

$$Q_c = \text{อัตราตัวนำความร้อน}$$

$$U = \text{ค่า Transmittance}$$

$$A = \text{พื้นที่ผิว}$$

$$\Delta T = \text{ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน}$$

W

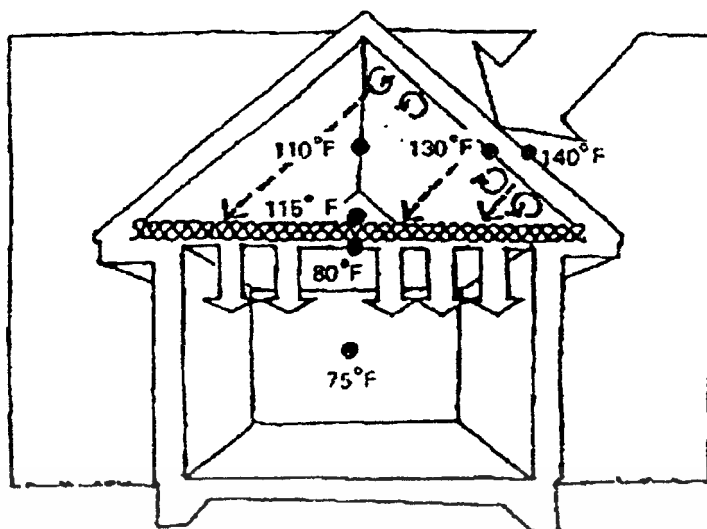
$W/m^2 \text{ } ^\circ C$

m^2

$^\circ C$

2.1.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา

การถ่ายเทความร้อนจากรังสี Infrared ข้าม Air Gap ในชั้นหลังคาเหนือฝ้าเพดาน โดยหลังคาถูกทำให้ร้อนโดยรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งในบางครั้งสูงกว่า $160 \text{ } ^\circ F$ และถ่ายเทความร้อนลงมาโดยการพาความร้อนจากช่องอากาศใต้หลังคา และโดยการแผ่รังสีความร้อนสู่ผิวด้านบนของฉนวนหลังคา ซึ่งในระหว่างวันอุณหภูมิของฉนวนหลังคาสูงกว่าอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา ดังนั้นการแผ่รังสีจากหลังคาสู่ฝ้าเพดานมีความสำคัญว่าการพาความร้อน ดังรูปที่ 2.3 (Donald W.Abrams , 1986)



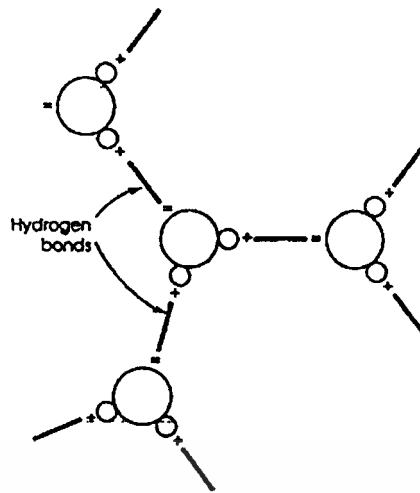
รูปที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในอาคาร

และจากการศึกษาของ ธนิต จินดาวณิต กล่าวว่าในระบบหลังคาที่มีช่องว่างอากาศ จะมีการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีมากที่สุด ช่วงเวลาที่อากาศเย็นและอุณหภูมิภายนอกอยู่ในสภาวะนำสบายแต่ฝ้ายังมีรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์อยู่ รังสีนี้ทำให้อากาศในช่องใต้หลังคามีอุณหภูมิสูงขึ้น (ธนิต จินดาวณิต, 2535)

2.2 การศึกษาระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา

2.2.1 คุณสมบัติของน้ำ

น้ำเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 0-100 °C ที่บรรยากาศปกติ (760 mm.HG หรือ 1 atm.) จุดเยือกแข็งที่ 0 °C และจุดเดือดที่ 100 °C เป็นองค์ประกอบไฮโดรเจนซึ่งมีรูปแบบของการยึดเกาะในตัวโมเลกุลของไฮโดรเจน พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสภาพของน้ำแข็งเป็นน้ำในรูปของเหลวและเปลี่ยนน้ำจากรูปของเหลวเป็นไอน้ำจึงถูกใช้ไปในการทำลายการยึดเกาะของไฮโดรเจน โดยลักษณะของน้ำแข็งอะตอมของไฮโดรทั้งหมดจะเกาะเกี่ยวกัน น้ำในรูปของเหลวอะตอมของไฮโดรเจนจะยึดเกาะกันบางส่วน ส่วนไอน้ำจะไม่มีกการยึดเกาะของไฮโดรเจน การเพิ่มพลังงานภายในจะร้าวโมเลกุลของน้ำ ทำให้การยึดเกาะของไฮโดรเจนถูกยึดและขาดซึ่งจะเพิ่มอุณหภูมิ ส่วนในรูปแบบตรงกันข้ามจะเกิดเมื่อพลังงานภายในลดลง



รูปที่ 2.4 การยึดเกาะของไฮโดรเจนในโมเลกุลของน้ำ

พลังงานหรือความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ 1°C ในลักษณะของ Specific Heat ซึ่งค่า Specific Heat ของน้ำเป็น $1.0 \text{ (cal/g)}/^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่าสูงเมื่อเทียบกับสสารอื่นเช่น ที่ดินแห้งเป็น $0.18\text{-}0.22 \text{ (cal/g)}/^{\circ}\text{C}$ ดินทรายขึ้น $0.21\text{-}0.36 \text{ (cal/g)}/^{\circ}\text{C}$ ดินเหนียวขึ้น $0.25\text{-}0.50 \text{ (cal/g)}/^{\circ}\text{C}$ อากาศ $0.24 \text{ (cal/g)}/^{\circ}\text{C}$ ไม้ $0.61\text{-}0.77 \text{ (cal/g)}/^{\circ}\text{C}$

โดยที่อุณหภูมิของน้ำเป็นคุณสมบัติที่สามารถวัดได้โดยตรงโดยเทอร์โมมิเตอร์ ส่วนการจลความร้อนเป็นคุณสมบัติซึ่งต้องคำนวณรูปของอุณหภูมิและปริมาตร เช่น น้ำ 1 ลิตร อุณหภูมิ 20°C สามารถจลความร้อนได้ 20000 cal ($1000 \text{ mg} \times 20^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ (cal/g)}/^{\circ}\text{C}$) ส่วนป่อ 1-ha (1-acre) ลึก 1 m. อุณหภูมิ 20°C มีความจลความร้อน $2 \times 10^{11} \text{ cal}$ ($10000 \text{ m}^3 \times 10 \text{ mg/m}^3 \times 20^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ (cal/g)}/^{\circ}\text{C}$) จะเห็นได้ว่าน้ำทั้งสองส่วนมีอุณหภูมิเดียวกันแต่มีการจลความร้อนต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำได้ดังนี้

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำ (Liquid)

ความหนาแน่น	0.997	g / cm^3	(25°C)
Specific Heat	4.180	$\text{kJ} / \text{kg}^{\circ}\text{C}$	(25°C)
Latent Heat of Evaporation	2442	kJ / kg	(25°C)
Thermal Conductivity	0.607	$\text{kW} / \text{m}^{\circ}\text{C}$	(25°C)
Thermal Resistivity	1.647	$\text{m}^{\circ}\text{C} / \text{kW}$	(25°C)

2.2.2 การระเหยของน้ำ

น้ำเปลี่ยนจากของเหลวเป็นไอ เมื่อใส่พลังงานมากพอที่จะเคลื่อนโมเลกุลเพื่อทำลายการยึดของไฮโดรเจน ใต้น้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่อสูญเสียพลังงานและการเคลื่อนที่ของโมเลกุลลดลงจนเกิดการยึดเกาะของไฮโดรเจน

ในการเปลี่ยนน้ำจากสภาพของเหลวสู่ก๊าซ ที่ 100°C ต้องใช้พลังงาน *latent heat of evaporation* ซึ่งในความจริงน้ำสามารถระเหยได้ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 100°C โมเลกุลในมวลของน้ำมีการเคลื่อนที่และระดับเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเพิ่มตามอุณหภูมิ โมเลกุลทั้งหมดในน้ำที่ได้รับความร้อนไม่ได้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากัน โมเลกุลที่เคลื่อนที่เร็วกว่าได้รับพลังงานความร้อนมากกว่าโมเลกุลที่เคลื่อนที่ช้า และโมเลกุลบางตัวซึ่งเคลื่อนที่เร็วจนหลุดออกจากผิวน้ำสู่การระเหย ดังนั้นการระเหยจึงเกิดในอุณหภูมิต่ำกว่า 100°C การเพิ่มของอุณหภูมิ น้ำสนับสนุนการระเหยเพราะโมเลกุลจำนวนมากเพิ่มพลังงานในการหลุดจากผิวน้ำ

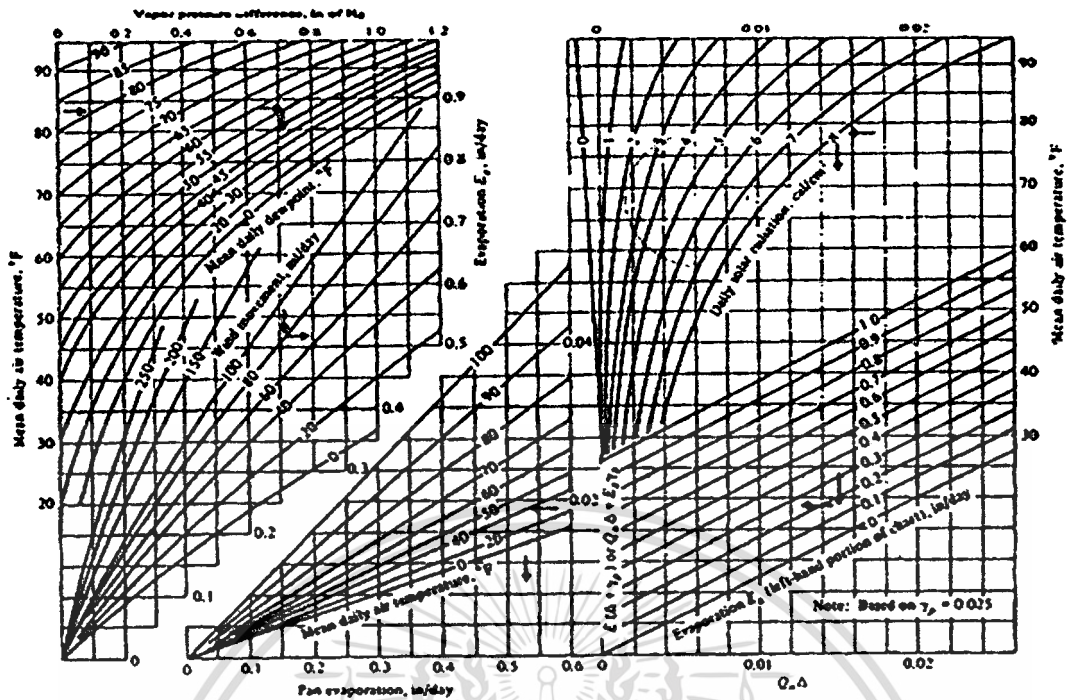
พลังงานที่ใช้ในการระเหยของน้ำ 1 g ที่ผิวบ่อน้ำอุณหภูมิ 30°C เป็น 610 cal ซึ่งเป็นพลังงานที่ต้องการในการเพิ่มอุณหภูมิ 1 g ของน้ำจาก 30°C เป็น 100°C และเป็น Latent Heat of Evaporation โดยที่ผิวน้ำยังคงอุณหภูมิ 30°C แต่การจู่ความร้อนของโมเลกุลที่กำลังหลุดจากผิวน้ำเป็น 610 cal มากกว่าการจู่ความร้อนของโมเลกุลน้ำ 1 g ในบ่อ ดังนั้นการระเหยเป็นกระบวนการทำความเย็นเพราะปริมาณความร้อนที่สูญเสียจำนวนมากเป็น Latent Heat ซึ่งอยู่ในโมเลกุลที่หลุดไป

ความเร็วลมมีอิทธิพลต่อการระเหยด้วย ถ้าการระเหยเกิดต่อเนื่องความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือผิวน้ำจะเพิ่มและทำให้โมเลกุลน้ำหลุดจากผิวน้ำน้อยลง ลมซึ่งพัดเหนือผิวน้ำจะพัดอากาศชื้นออกและแทนที่ด้วยอากาศซึ่งแห้งกว่าซึ่งสนับสนุนการระเหย การเปลี่ยนแปลงความเร็วลม 10% จะเปลี่ยนอัตราการระเหย 1 – 3% (Ray k.Linsley JR. , 1982)

อุณหภูมิมีอิทธิพลมากที่สุดต่ออัตราการระเหย และอุณหภูมิของสถานที่ปิดสัมพันธ์กับปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามา อุณหภูมิซึ่งแตกต่างระหว่างอากาศและน้ำมีอิทธิพลต่อการระเหย ผิวน้ำที่เย็นไม่สามารถผลิตไอน้ำสูงและอากาศเย็นไม่สามารถรับไอน้ำจำนวนมาก ดังนั้นอากาศเย็นบนผิวน้ำที่เย็น , อากาศเย็นเหนือผิวน้ำที่ร้อนและอากาศร้อนบนผิวน้ำที่เย็นไม่สนับสนุนการระเหยเท่ากับอากาศร้อนบนผิวน้ำที่ร้อน อย่างไรก็ตามความชื้นสัมพัทธ์ยังต้องคำนึงถึงเช่น อากาศเย็นและแห้งอาจจะรับเอาความชื้นมากกว่าอากาศซึ่งชื้นและร้อน เพราะมีความชื้นมากกว่าในอากาศที่ร้อน (Ray K.Linsley JR. , 1982)

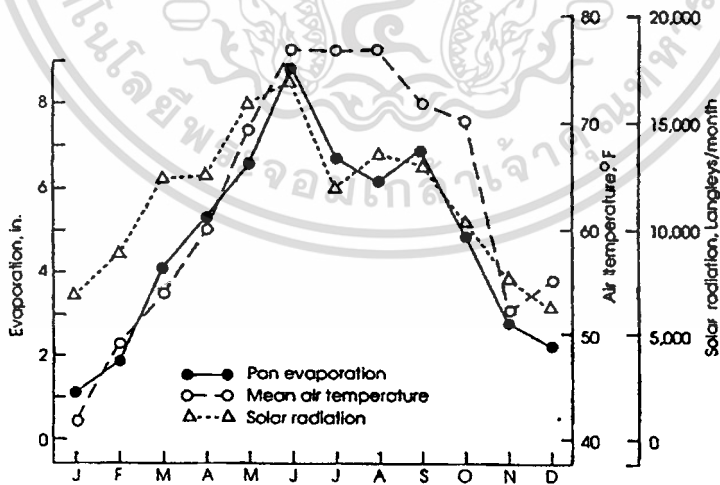
โดยสมการของ Penman ซึ่งประยุกต์กับ Class A pan (อุปกรณ์วัดการระเหย) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิจุดน้ำค้างและกระแสลม (U.S. National Weather Service) ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กราฟสมการของ Penman ประยุกต์กับ Class A Pan

สำหรับอุณหภูมิซึ่งมีอิทธิพลต่อการระเหยดังกราฟ อัตรา Monthly pan evaporation ในช่วงตลอดปีแสดง อุณหภูมิและการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงอัตรา Monthly Pan Evaporation , อุณหภูมิและการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ในช่วงตลอดปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 Evaporative Cooling

ระบบ evaporative cooling เป็นการแลกเปลี่ยน sensible heat ในอากาศกับ latent heat มันสามารถใช้ทำความเย็นให้อาคาร (ผิวที่เปียกจะเย็นโดย Evaporation) อากาศในอาคาร (ทำความเย็นทั้งทาง direct evaporation และ indirect evaporation) หรือผู้ใช้อาคาร (ขณะที่ evaporation ของเหงื่อเกิดที่ผิว) (Baruch Givoni. 1994)

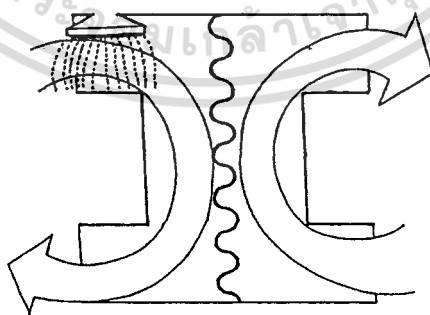
โดยที่มีวิธีการขึ้นพื้นฐานอยู่ 2 วิธีที่แตกต่างกันในการนำความเย็นเข้ามาสู่ภายในอาคาร โดยอาศัยการระเหยของน้ำ

1. *Direct Evaporative Cooling* การอาศัยอากาศที่เย็นจากภายนอกโดยใช้การระเหยของน้ำเข้าสู่ตัวอาคารโดยตรง โดยอากาศที่มีความชื้นจะช่วยทำให้อุณหภูมิภายในลดต่ำลง

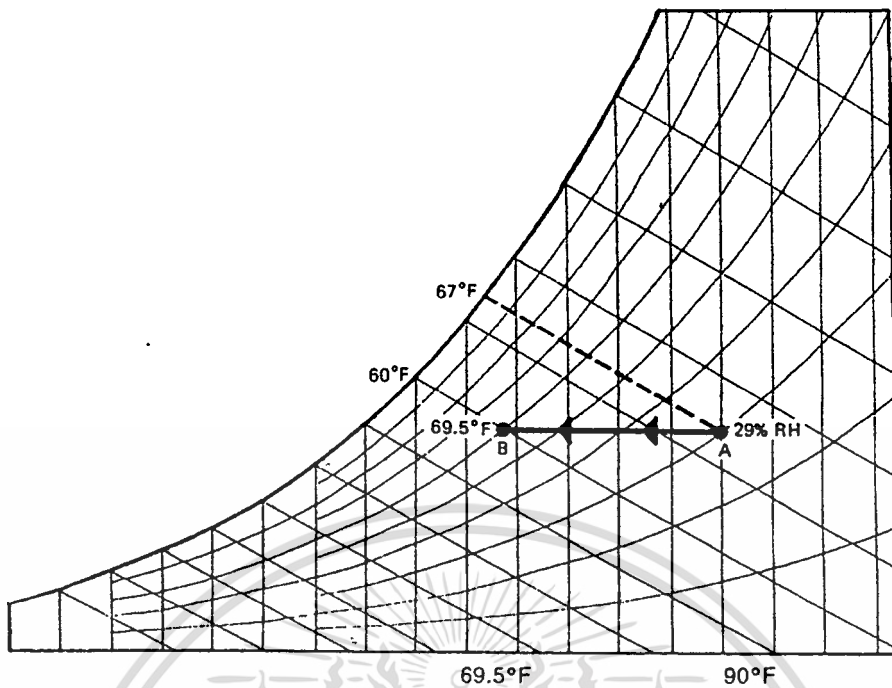
2. *Indirect Evaporative Cooling* การนำความเย็นเข้าสู่วัสดุที่นำมาประกอบสร้างขึ้นเป็นตัวอาคาร เช่น หลังคา หรือ กำแพง โดยใช้การระเหยของน้ำทำให้ความร้อนในวัสดุลดต่ำลง และมีการดูดซึมความเย็นเข้าสู่พื้นผิวด้านในของวัสดุ

2.2.4 Indirect Evaporative Cooling

ระบบการทำความเย็นแบบ Indirect Evaporative เป็นกระบวนการทำความเย็นโดยการระเหยซึ่งไม่เพิ่มความชื้นให้กับอากาศในอาคาร การทำความเย็นโดยทางอ้อมใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคั่นระหว่างกระบวนการระเหยโดยตรงกับอากาศภายในอาคาร โดยใช้กระบวนการ Direct Evaporative ทำความเย็นให้อากาศซึ่งไหลผ่านด้านหนึ่งของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยเอาความร้อนออกและระบายออกสู่ภายนอก ส่วนอากาศภายในอาคารผ่านอีกด้านของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและถูกทำให้เย็นโดยไม่รับความชื้นโดยตรง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 หลักการของอุปกรณ์ทำความเย็นแบบ Indirect Evaporative



รูปที่ 2.8 กระบวนการ Indirect Evaporative Cooling บน Psychrometric Chart

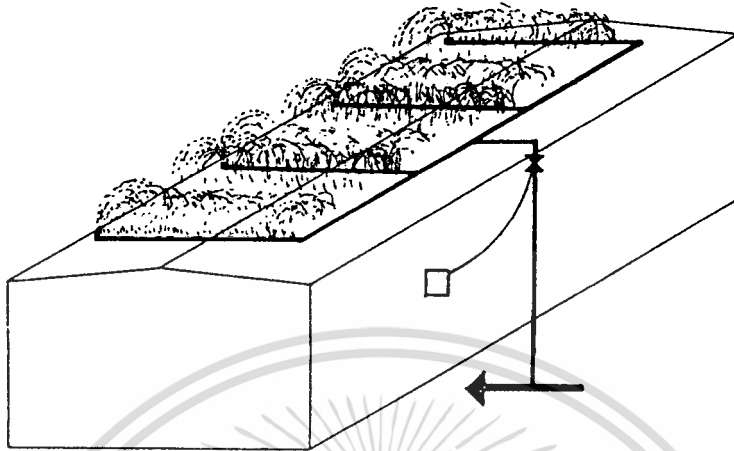
จากรูปที่ 2.8 อากาศที่ DBT 90 °F และ WBT 67 °F (RH 29%) โดยการทำความเย็นจากจุด A ถูกทำความเย็นโดยไม่เพิ่มความชื้นในจุด B ที่ DBT 69.5 °F และ WBT 60 °F (RH 58%) (ตามประสิทธิภาพของ Saturation Efficiency ของ Direct Evaporative และประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน) ทั้ง DBT และ WBT ลดลงโดยที่ความชื้นในอากาศไม่เปลี่ยนแปลง Dewpoint Temperature ยังคงที่ ในอากาศในอาคาร Sensible Heat ลดลงโดยที่ Latent Heat ไม่เพิ่มขึ้น

2.2.5 Roof Spray Cooling System

ระบบ Roof Spray ถูกใช้ลดความร้อนที่ผ่านทางหลังคาโดยการพ่นละอองน้ำบนผิวหลังคา เมื่อน้ำระเหยมันจะนำความร้อนออกไปและลดอุณหภูมิหลังคาตาม Ambient WBT ระบบ Roof Spray จะนำความร้อนออกจากภายในอาคารเล็กน้อย เป็นกระบวนการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิสูงในช่วงฤดูร้อน มิใช่การทำความเย็นสู่ระดับความสบาย

ระบบมาตรฐานจะพ่นน้ำผ่านท่อ ดังรูป ท่อ PVC. ราคาถูกถูกใช้เพราะอุณหภูมิและความดันที่ต้องการไม่สูง ซึ่งระบบควบคุมโดย Sensor อุณหภูมิที่ติดตั้งบนผิวหลังคา เมื่ออุณหภูมิผิวหลังคาสูงถึงกำหนดที่ตั้งไว้ Sensor จะเปิดวาล์วน้ำ ซึ่งน้ำจะไหลผ่านท่อทำการพ่นละอองน้ำสู่

หลังคาจะระเหยหนึ่งวาล์วก็จะปิดตามเวลาที่กำหนด ดังนั้นน้ำที่ถูกพ่นบนหลังคาจะระเหยก่อนที่จะเพิ่มปริมาณน้ำ



รูปที่ 2.9 การใช้ระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา

ผลการทำความเย็นเกิดจากการระเหยของน้ำ ไม่ใช่จากอุณหภูมิของน้ำ ตัวอย่างเช่น น้ำ 1 ปอนด์ ที่ 65°F ถูกพ่นน้ำบนหลังคาที่ 120°F สามารถนำความร้อนจากหลังคาที่อุณหภูมิ 120°F ได้ 55 Btu แต่ในกระบวนการระเหยในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอน้ำใช้พลังงาน 1000 Btu/lb มากกว่า 95% ของผลการทำความเย็นทั้งหมดเกิดจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำ ดังนั้นอุณหภูมิของน้ำที่นำมาใช้จึงไม่มีความสำคัญนัก และปริมาณน้ำที่เกินความจำเป็นทำให้เกิดการระเหยและการลดความร้อนจากหลังคา

สำหรับการใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุดที่จะใช้กับระบบ Roof Spray อยู่ที่ประมาณ 0.05-0.15 gal/day/ft² บนหลังคาแบน และเป็นการยากในการจะคาดการณ์ผลของระบบ Roof Spray ซึ่งการประหยัดพลังงานสามารถจะวัดได้จากการคำนวณ Roof Cooling Load

2.2.6 ระบบ Roof Spray และการใช้ฉนวน

ระบบ Roof Spray มีประโยชน์โดยเฉพาะช่วงฤดูร้อน ส่วนการใช้ฉนวนมีประโยชน์ในการกั้นความร้อนทั้งในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ระหว่างการใช้ระบบ Roof Spray หรือการเพิ่มฉนวนเข้าไปจะถูกต้องดีจากการลดปริมาณความร้อนผ่านหลังคา โดยตารางที่ 2.1 ถูกสมมุติว่าเป็นการใช้ระบบ Roof Spray ลดอุณหภูมิหลังคาสู่ 90°F สำหรับการคำนวณในลักษณะ Steady State ส่วนตารางที่ 2.2 ได้เพิ่มฉนวน R-11 เข้าไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณความร้อนที่ลดลงเนื่องจากการใช้ระบบ Roof Spray ลดอุณหภูมิผิวหลังคาสู่ 90 °F กับหลังคาที่ระดับค่าการต้านทานความร้อนต่างๆ

Assumed roof temperature, °F	R-Value, h ft ² °F/BTU				
	30	20	10	5	3.3
150	2.0	3.0	6.0	12.0	18.0
130	1.3	2.0	4.0	8.0	12.0
110	0.7	1.0	2.0	4.0	6.0

ตารางที่ 2.2 ปริมาณความร้อนที่ลดลงเนื่องจากการใช้ระบบ Roof Spray ลดอุณหภูมิผิวหลังคาสู่ 90 °F กับหลังคาซึ่งเพิ่มฉนวน R-11 ที่ระดับค่าการต้านทานความร้อนต่างๆ

Assumed roof temperature, °F	Initial R Value / Final R Value, h ft ² °F/BTU				
	30/41	20/31	10/21	5/16	3.3/14.3
150	0.6	1.3	3.8	9.9	16.6
130	0.5	0.9	2.7	7.2	12.0
110	0.3	0.6	1.7	4.4	7.4

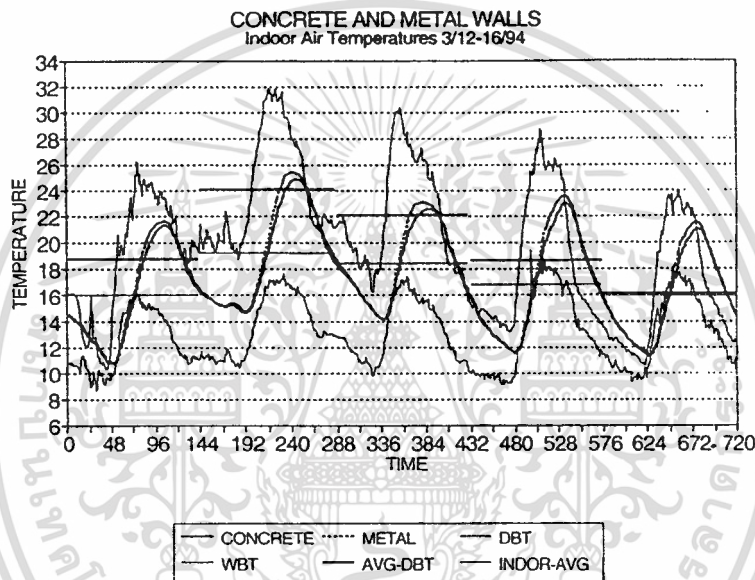
เห็นได้ชัดว่าค่าของปริมาณความร้อนในส่วนของระบบ Roof Spray และการเพิ่มฉนวนเข้าไปนั้นแปรผกผันกับระดับค่าการต้านทานความร้อนล่าสุด ซึ่งจะได้ปริมาณความร้อนที่ลดลงมากกว่าเมื่อระดับค่าการต้านทานความร้อน (R-value) ต่ำ ในการเพิ่มระดับค่าการต้านทานความร้อนของหลังคานั้นปริมาณความร้อนจากหลังคาจะได้ค่าน้อยลง อย่างไรก็ตามระดับปริมาณความร้อนที่ลดลงนั้นมีค่าน้อยลง

ในการเปรียบเทียบทั้งสองทางเลือก สำคัญที่อุณหภูมิตัวอย่างของวันที่ถูกใช้นั้นมากกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่พบ ดังนั้น Cooling Load ที่แท้จริงจากอาคารนั้นต่ำกว่าค่า Heat Gain ที่คำนวณในตาราง (Stead State) โดยอุณหภูมิหลังคาที่พบประมาณ 110-120 °F ดังนั้นการประยุกต์ใช้ระบบ Roof Spray โดยมากจะใช้กับกรณีที่ระดับค่าความต้านทานความร้อนของหลังคาและฝ้าเพดานมีค่าต่ำ ส่วนการเพิ่มฉนวนมากขึ้นนั้นเป็นทางเลือกที่ไม่สมเหตุผล

2.2.7 การทดลองระบบทำความเย็นแบบ Wetted Walls

ระบบการทำความเย็นนี้เกิดจากน้ำไหลบางๆบนกำแพง วัสดุที่ทำผนังเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติการนำความร้อนสูง เช่น คอนกรีตหนาแน่นสูง หรือเหล็กอบสังกะสีและผิวภายนอกที่ไม่ซึมน้ำ การไหลบนผิวภายนอกในวงจรมัด ผลิการทำความเย็นโดยการระเหยผิวด้านในของผนังที่ถูกทำให้เย็นจะช่วยทำความเย็นให้ห้องด้านหลังของผนัง

ในการทดลองระบบทำความเย็นแบบ Wetted Walls ที่ UCLA ใน 2 ลักษณะโดยใช้ผนังคอนกรีตบล็อกและผนังโลหะ (Givoni & Ellis) ในสภาพภูมิอากาศของ LA. อุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกอย่างน่าสนใจดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงผลการทดลองระบบ Wetted Walls กับผนังคอนกรีตบล็อกและผนังโลหะ

2.3 การศึกษาวัสดุผนังหลังคา

จากการศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกวัสดุผนังหลังคาสำหรับรูปแบบหลังคาที่มีความลาดเอียงและนิยมใช้กับอาคารพักอาศัยในปัจจุบัน เป็นกระเบื้องผนังหลังคาที่สามารถหาได้ทั่วไปตามท้องตลาดโดยเลือกวัสดุผนังที่ใช้ทำการศึกษา ดังนี้

- กระเบื้องผนังหลังคาคอนกรีต
- กระเบื้องผนังหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน (ชนิดลอนคู่)
- กระเบื้องผนังหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ

กระเบื้องทั้ง 3 ชนิดมีการผลิตที่ได้มาตรฐานชัดเจนมีลักษณะของกระเบื้องแต่ละชนิดดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กระเบื้องหลังคาคอนกรีต

กระเบื้องคอนกรีตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 535-2527) ให้ความหมายไว้ว่า วัสดุแผ่นมีลอนเกาะเกยสำหรับใช้มุงหลังคาทำจากคอนกรีต เป็นส่วนผสมของมวลคอนกรีตและน้ำ ออกแบบให้มีลักษณะลอนเพื่อความสวยงามและแข็งแรง มีส่วนเกาะระแนงมีส่วนบนด้านหลังของแผ่นกระเบื้องและอาจมีรูเจาะสำหรับตอกตะปูยึดกับระแนงด้วย ขอบด้านข้างของกระเบื้องมีราวลิ้นเกาะเกยกันระหว่างแผ่นต่อแผ่น ส่วนด้านหลังมีบัวกันน้ำไหลย้อนเข้าได้แผ่นกระเบื้อง ในการใช้กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคานั้น จะต้องมีการเตรียมประกอบซึ่งหมายถึงกระเบื้องรูปลักษณะอื่นๆ เช่น กระเบื้องสันหลังคา ครอบสามทาง เป็นต้น กระเบื้องเหล่านี้ก็ทำจากคอนกรีตเช่นเดียวกัน โดยขนาดชิ้นส่วนของกระเบื้องนั้นบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนด

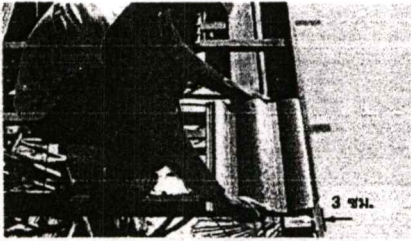
สำหรับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำกระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคาตามมาตรฐาน มอก. 535-2527 กำหนดไว้ว่า ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพตามมาตรฐานเลขที่ มอก. 15 เล่ม 1 ว่ามวลผสมคอนกรีตจะเป็น ทราวยุ, กรวดและหินย่อย หรือวัสดุอย่างอื่นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมผ่านตะแกรงตากว้าง 4.75 มิลลิเมตร

สำหรับกระเบื้องคอนกรีตที่ใช้ทำการศึกษา เลือกใช้กระเบื้องซีแพคโมเนียลอนเซ็นจูเรียนสีแดงกุหลาบของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด ซึ่งมีขนาด 33x42x1.2 ซม. น้ำหนักประมาณ 4.0 กก./แผ่น ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.11

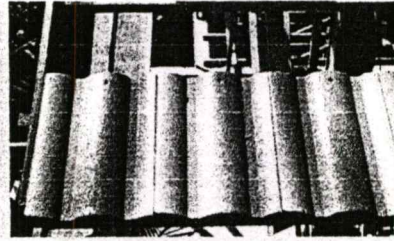


รูปที่ 2.11 รายละเอียดของกระเบื้องซีแพคโมเนีย

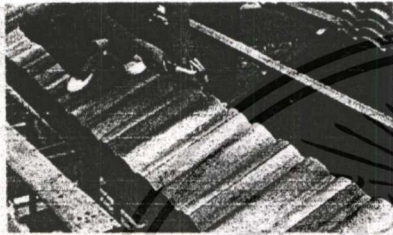
การมุงกระเบื้องซีแพคโมเนีย



1 ให้มุงกระเบื้องจากขวาไปซ้าย โดยเริ่มมุงกระเบื้องแผ่นแรกจากทางขวาสุด และให้ห่างจากขอบนอกของไม้บัวบนลม 3 ซม.



2 มุงกระเบื้องแถวแรกให้เต็มแถวตลอดแนวเรียงชาย โดยกระเบื้องแผ่นริมทั้งสองข้างต้องเป็นลอนยกเสมอ



3 ยึดกระเบื้องแถวแรกกับแปทุกแผ่นด้วยตะปูขนาด 2 ½ นิ้ว สำหรับโครงไม้ หรือยึดด้วยตะปูเกลียวขนาด 2 ½ นิ้ว สำหรับโครงเหล็ก



4 มุงกระเบื้องจากแถวล่างขึ้นไป โดยต้องมุงกระเบื้องสลับแผ่น และควรวางสายเอ็นระหว่างเรียงชายกับต้นหลังคาเพื่อบังคับแนวของกระเบื้องทุกกระยะ 10 แผ่น

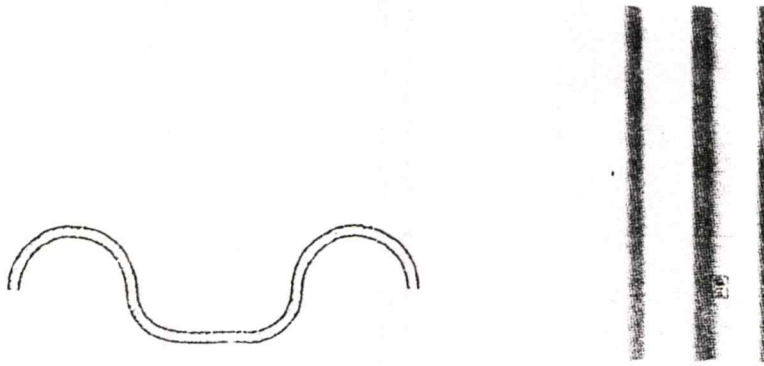
รูปที่ 2.12 การมุงกระเบื้องซีแพคโมเนีย

2.3.2 กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ไยหินแผ่นลอน

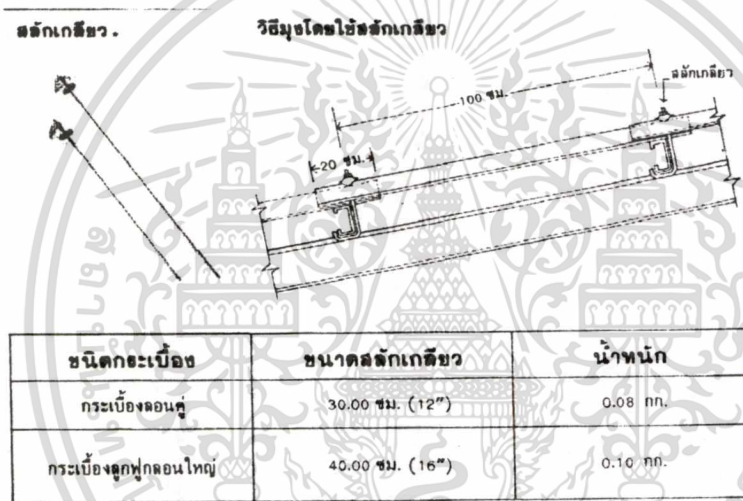
กระเบื้องคอนกรีตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 79-2529) ให้ความหมายไว้ว่า “กระเบื้องซีเมนต์ไยหินหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไยหินปูนซีเมนต์และยังมีลักษณะเป็นแผ่นใช้ในงานก่อสร้างโดยทั่วไป หรือทำเครื่องอุปโภค”

โดยกระเบื้องซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนแบ่งออกเป็นสองชนิดคือ กระเบื้องซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนชนิดลอนคู่และกระเบื้องซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนชนิดลอนลูกฟูก ซึ่งชนิดที่เป็นที่นิยมใช้สำหรับบ้านพักอาศัยในปัจจุบันและได้เลือกมาทำการศึกษาได้แก่ กระเบื้องซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนชนิดลอนคู่

สำหรับกระเบื้องกระเบื้องซีเมนต์ไยหินแผ่นลอน ลอนคู่ ที่ใช้ทำการศึกษาเลือกใช้กระเบื้องลอนคู่สีตราช้างสีแดงของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด ซึ่งมีขนาด 50x120 ซม. ความหนา 0.5 ซม. น้ำหนัก ประมาณ 6.2 กก./แผ่น



รูปที่ 2.13 หน้าตัด-รายละเอียดของกระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนชนิดลอนคู่



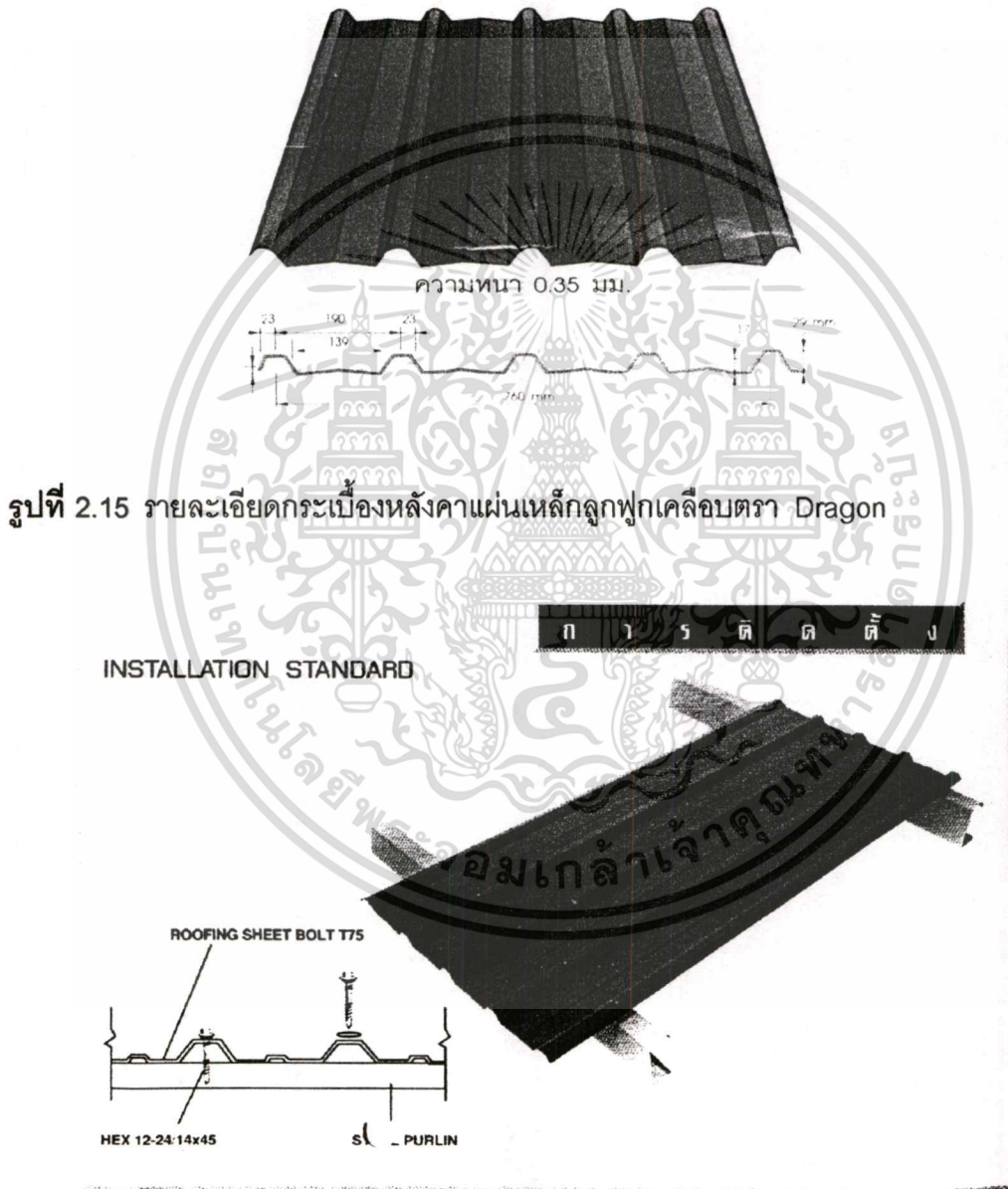
รูปที่ 2.14 การมุงกระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนชนิดลอนคู่ตราช้าง

2.3.3 กระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ

แผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ เป็นแผ่นเหล็กกล้ากำลังสูงเคลือบโลหะผสมระหว่างสังกะสีกับอลูมิเนียมและเคลือบด้วยสี ซึ่งทำให้มีความแข็งแรงและสามารถพาดช่วงได้ไกล เมื่อขนาดของแผ่นสามารถพาดช่วงได้ไกลขึ้นก็จะเป็นการช่วยป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถผลิตได้ตามความยาวที่ต้องการ มีลักษณะลอนต่างๆกันโดยสถาปนิกสามารถเลือกใช้ได้ตามต้องการ แผ่นเหล็กเคลือบที่ใช้มุงหลังคาประเภทนี้สามารถมุงได้ในหลังคาที่มีความลาดเอียงเพียง 3 : 100 หรือใช้มุงหลังคาที่มีความโค้งได้โดยรัศมีความโค้งตั้งแต่ 70 เซนติเมตร จนถึง 150 เซนติเมตร และยังสามารถใช้เป็นวัสดุผนังได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบที่ใช้ทำการศึกษาเลือกใช้ตรา Dragon สีแดงของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด เป็นแผ่นเหล็ก Hi-Tensile Steel ที่เคลือบผิวด้วยอลูมิเนียม 55% เพื่อกันสนิม และเคลือบด้วยโพลีเอสเตอร์หรือเคลือบด้วยโพลีไวนิลคลอไรด์เป็นสีต่างๆ โดยมีลักษณะลอนดังแสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งมีความกว้างของแผ่น 760 มม. ความยาวจะผลิตตามที่ใช้ต้องการความสูงของลอน 34 มม. ศูนย์กลางลอนถึงศูนย์กลางลอน 190 มม. ซึ่งมีความหนา 0.35 มม. น้ำหนักประมาณ 3.07 กก./ตารางเมตร



รูปที่ 2.16 การมุงกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของวัสดุผนังหลังคา

คุณสมบัติ	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน	กระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กชุกฟูกเคลือบ	หมายเหตุ
สี	แดง	แดง	แดง	
พื้นที่หลังคา (m ²)	1.44	1.44	1.44	กำหนดสำหรับการทดลอง
มุม	30	30	30	กำหนดสำหรับการทดลอง
ความหนาแน่น (kg/m ³)	2400	1800	8771	ตารางภาคผนวก ก.
ความหนา (m)	0.012	0.005	0.00035	
มวล/ตารางเมตร (kg/m ²)	28.8	9	3.06985	
k-value (W/m ² °C)	0.836	0.198	47.6	ตารางภาคผนวก ก.
C (W/m ² °C)	69.66666667	39.6	136000	
R (m ² °C/W)	0.014354067	0.025252525	0.0000074	
Specific Heat (kj/kg °C)	0.879	0.8371	0.502	
ค่าการดูดความร้อน (kj/°C)	152.5886844	45.41097401	9.288847615	

ตารางที่ 2.4 ค่า U-value ของวัสดุผนังหลังคา

คุณสมบัติ	กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน	กระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กชุกฟูกเคลือบ	หมายเหตุ
Ro (m ² °C/W)	0.055	0.055	0.055	ตารางภาคผนวก ข.
R (m ² °C/W)	0.01435	0.02525	0.0000074	
Ri (m ² °C/W)	0.143	0.143	0.143	ตารางภาคผนวก ข.
total R (m ² °C/W)	0.21235	0.22325	0.1980074	
U (W/m ² °C)	4.709206499	4.479283315	5.050316301	

บทที่ 3

การศึกษาสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานคร

3.1 สภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ

จากการศึกษาอิทธิพลจากตัวแปรทางธรรมชาติที่มีผลต่อการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา จึงต้องมีการศึกษาสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร เพื่อให้สามารถนำระบบการพ่นน้ำบนหลังคา มาใช้โดยเกิดประโยชน์สูงสุด

3.1.1 การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ที่ละติจูด 13 องศา 44 ลิปดาเหนือ และลองจิจูด 100 องศา 34 ลิปดา ตะวันออก มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (hot humid) เป็นจังหวัดที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ซึ่งพัดประจำเป็นฤดูกาล 2 ชนิด โดยพัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือในฤดูหนาวเรียกว่าลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้มีอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้ง กับลมมรสุมอีกชนิดหนึ่งคือลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่ในฤดูฝน ทำให้อากาศชุ่มชื้นและมีฝนตกทั่วไป

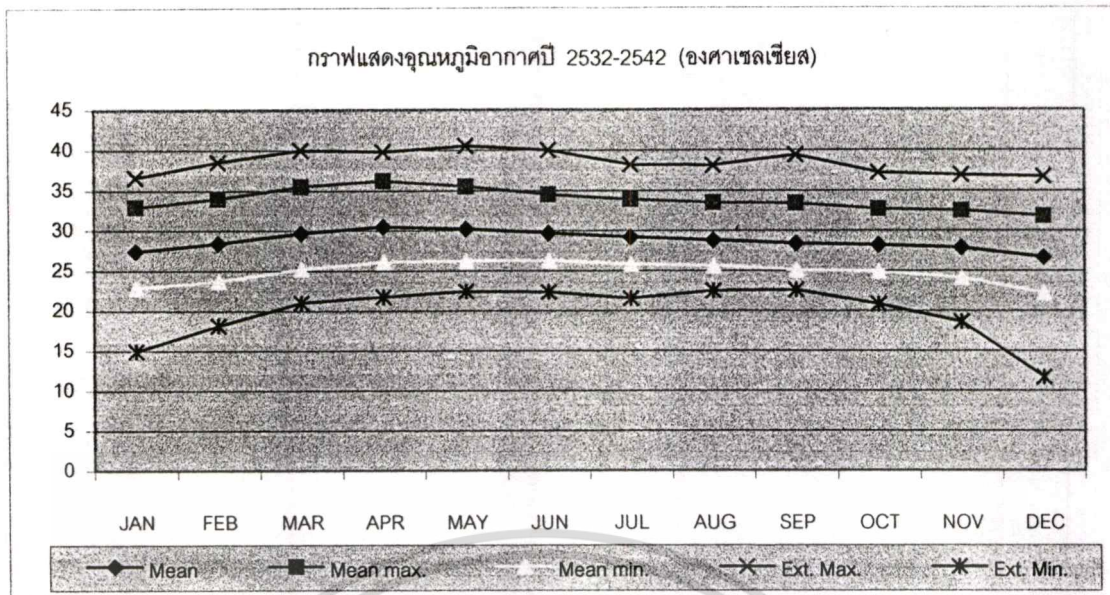
ฤดูกาลของกรุงเทพมหานคร พิจารณาตามลักษณะลมฟ้าอากาศของประเทศไทยจะแบ่งออกเป็น 3 ฤดูดังนี้

- ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีลมเย็นและแห้งจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่าน ทำให้มีอากาศเย็นทั่วไป โดยมีอากาศหนาวบางปีในระหว่างเดือนธันวาคมและมกราคม
- ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ในระยะนี้เป็นช่วงว่างของฤดูมรสุม จะมีลมจากทิศใต้และตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุม ทำให้มีอากาศร้อนอบอ้าวทั่วไป โดยมีอากาศร้อนที่สุดในเดือนเมษายน
- ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะมีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นลมที่พัดจากมหาสมุทรอินเดียนำฝนความชุ่มชื้นเข้ามายังประเทศไทย จึงทำให้มีฝนตกชุกทั่วไป เดือนที่มีฝนตกมากที่สุดคือเดือนกันยายน

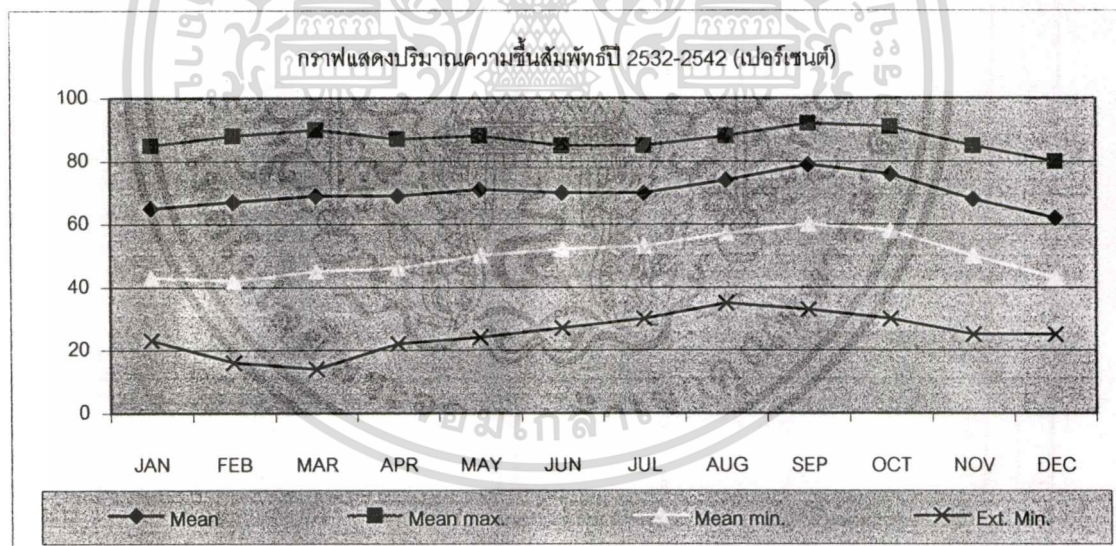
จากการที่กรมอุตุนิยมวิทยากระทรวงคมนาคมได้เก็บสถิติภูมิอากาศของประเทศไทย ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลเฉลี่ยของสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ ปี 2532-2542 ที่สถานีเกษตร ซึ่งสามารถสรุปสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ ได้ดังนี้

1. อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 24.5 ถึง 33.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี อยู่ที่ 28.0 องศาเซลเซียส
2. ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 52 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นเฉลี่ยทั้งปี อยู่ที่ 70 เปอร์เซ็นต์
3. ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 1.5 เมตรต่อวินาที โดยจะมีทิศทางลมประจำพัดผ่าน 3 ทิศทาง
 - ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะพัดเข้ามาในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และทิศเหนือในช่วงเดือนตุลาคม ถึง เดือนมกราคม
 - ลมจากทิศใต้ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม
 - ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะพัดเข้ามาทางตะวันออกเฉียงใต้ ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน
4. ปริมาณการระเหยของน้ำเฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 4.0 ถึง 5.8 มิลลิเมตร และปริมาณการระเหยของน้ำเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 4.6 มิลลิเมตร
5. ปริมาณการแผ่รังสีรวมของดวงอาทิตย์สูงสุด คือ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร ในเดือนเมษายน (ใช้ข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ AIT ปี 2542)

ในการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศของกรุงเทพฯในงานวิจัยเล่มนี้ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศในปี พ.ศ. 2532-2542 โดยการทำเป็นกราฟต่างๆดังรูปที่ 3.1-3.7

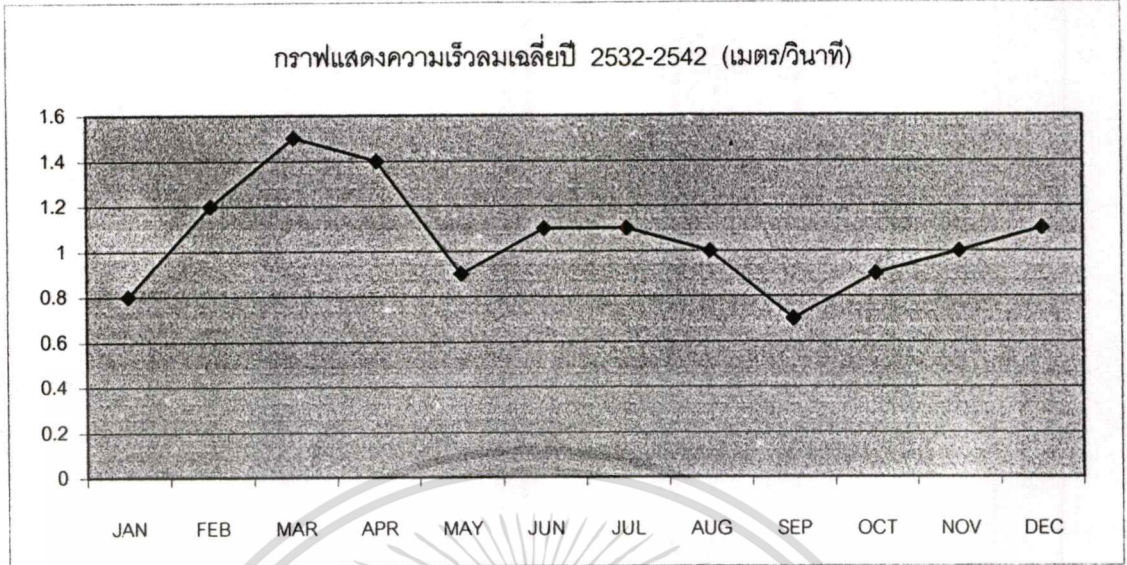


รูปที่ 3.1 กราฟแสดงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของกรุงเทพฯปี 2532-2542

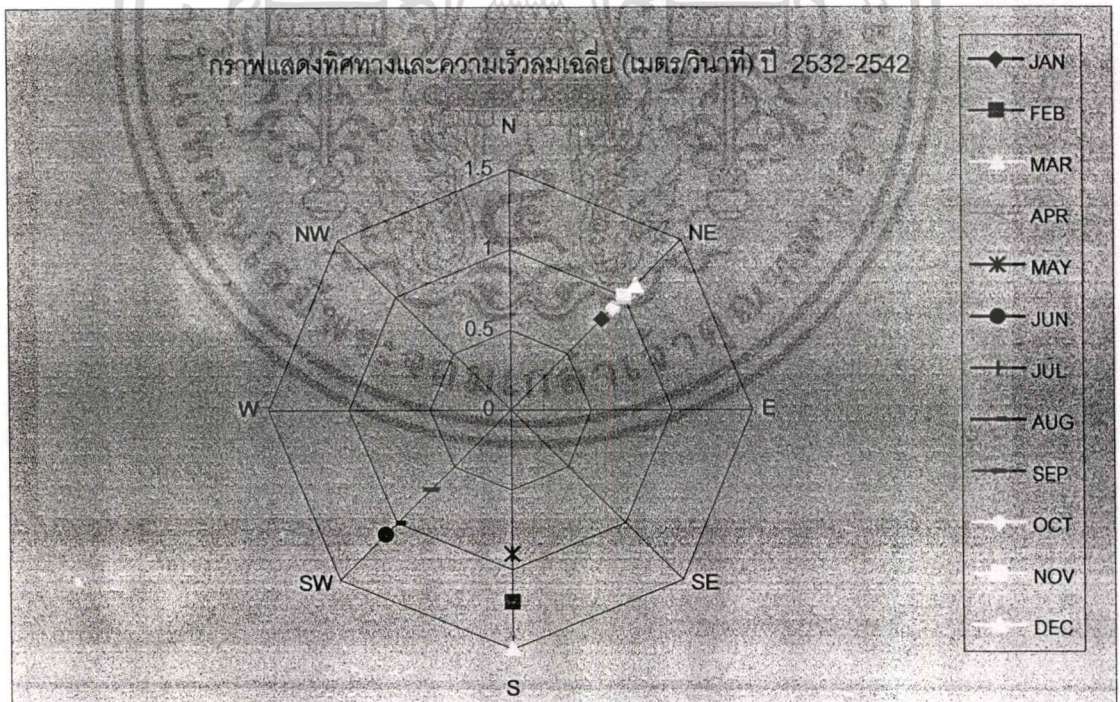


รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของกรุงเทพฯปี 2532-2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

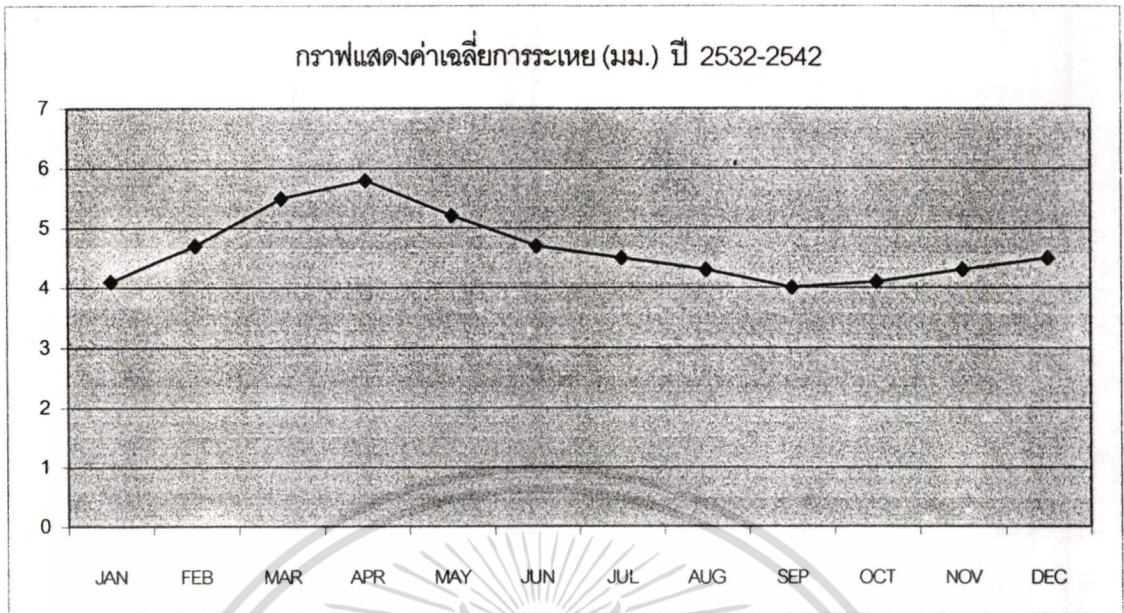


รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพฯปี 2532-2542

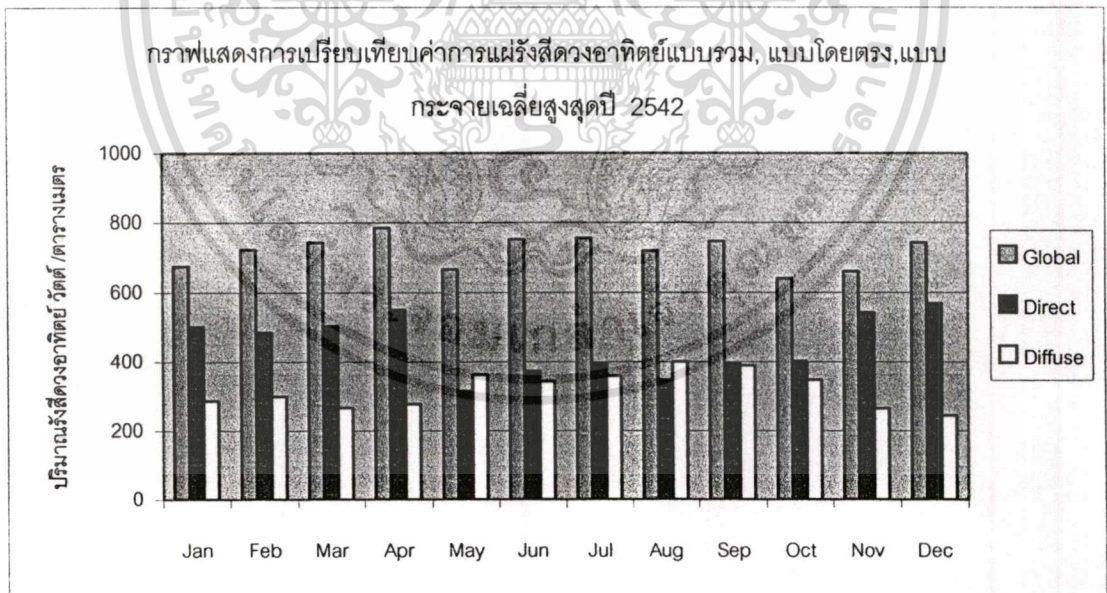


รูปที่ 3.4 กราฟแสดงทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยของกรุงเทพฯปี 2532-2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

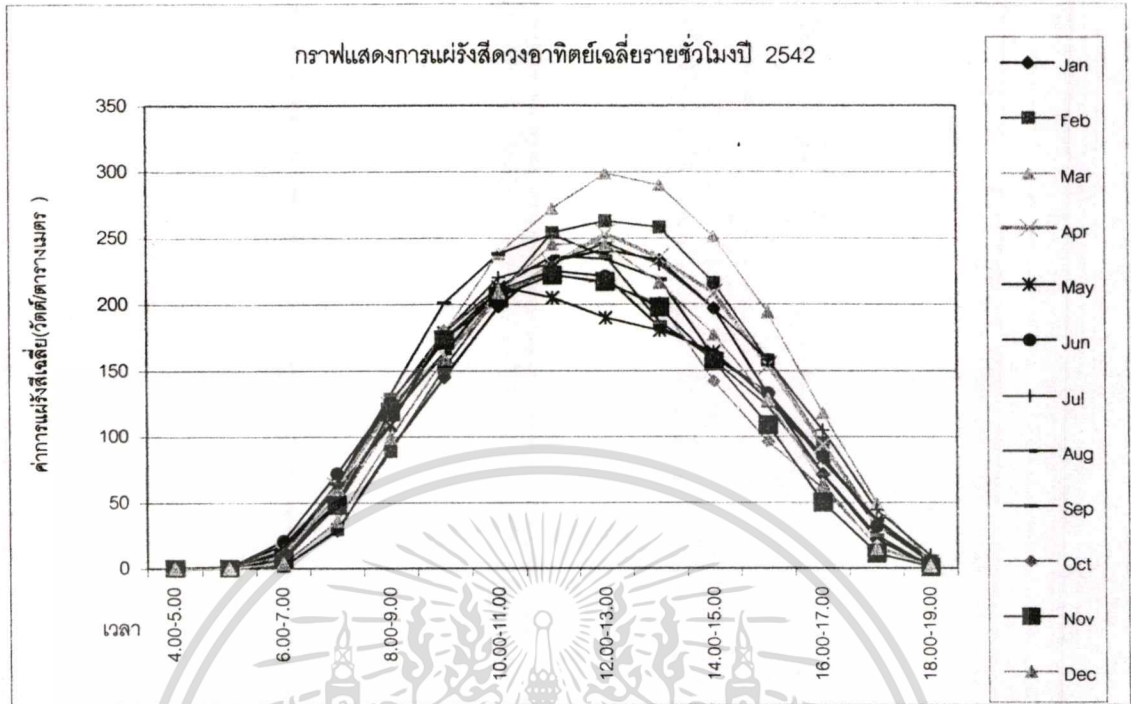


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยการระเหยของกรุงเทพฯปี 2532-2542



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดของกรุงเทพฯปี 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงของกรุงเทพฯปี 2542

จากข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ จึงสามารถสรุปได้ว่าช่วงที่เหมาะสมที่สุดใน
การใช้ระบบการทำความเย็นโดยการใช้การพ่นน้ำบนหลังคา เป็นช่วงเดือนเมษายนเนื่องจากเป็น
เดือนที่มีอุณหภูมิ ค่าการแผ่รังสี และอัตราภาวะระเหยสูงสุด

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 แนวทางการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยเรื่องการศึกษาระบบการพ่นน้ำบนหลังคา สำหรับอาคารพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ จัดเป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยแยกตามหัวข้อที่ทำการศึกษาดังนี้

1. การศึกษาอุณหภูมิผิวของวัสดุหลังคา ขณะที่ยังไม่ทำการพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา โดยใช้วัสดุหลังคาที่นิยมใช้ในบ้านพักอาศัยในปัจจุบัน อันได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต , กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ
2. การทดลองหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในระหว่างวันสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา โดยใช้อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที กับวัสดุหลังคาอันได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต , กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ
3. การทดลองหาจังหวะการหยุดพักการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา โดยใช้ช่วงเวลาพ่นน้ำที่และเวลาในการหยุดพักการพ่นน้ำต่างๆกัน ได้แก่ อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที โดยทำการพ่นน้ำในช่วงเวลาที่ได้จากข้อ 2 กับวัสดุหลังคาอันได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต , กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ
4. การทดลองหาจังหวะการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา โดยใช้จังหวะของการหยุดพักการพ่นน้ำจากข้อ 3 และเปลี่ยนระยะเวลาของการพ่นน้ำต่างๆกัน ได้แก่ การพ่นน้ำ 6 นาที , การพ่นน้ำ 12 นาที , การพ่นน้ำ 24 นาที และการพ่นน้ำตลอดเวลา โดยทำการพ่นน้ำในช่วงเวลาที่ได้จากข้อ 2 กับวัสดุหลังคาอันได้แก่ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต , กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ
5. การทดลองการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำต่างๆกันกับช่วงเวลาต่างๆระหว่างวัน เพื่อหาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลา โดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แบบจำลอง

จากแนวทางการวิจัยจึงดำเนินการออกแบบและสร้างแบบจำลอง (Model) เพื่อทำการทดลอง พร้อมกับติดตั้งอุปกรณ์วัดผลและเครื่องบันทึกผลการทดลอง

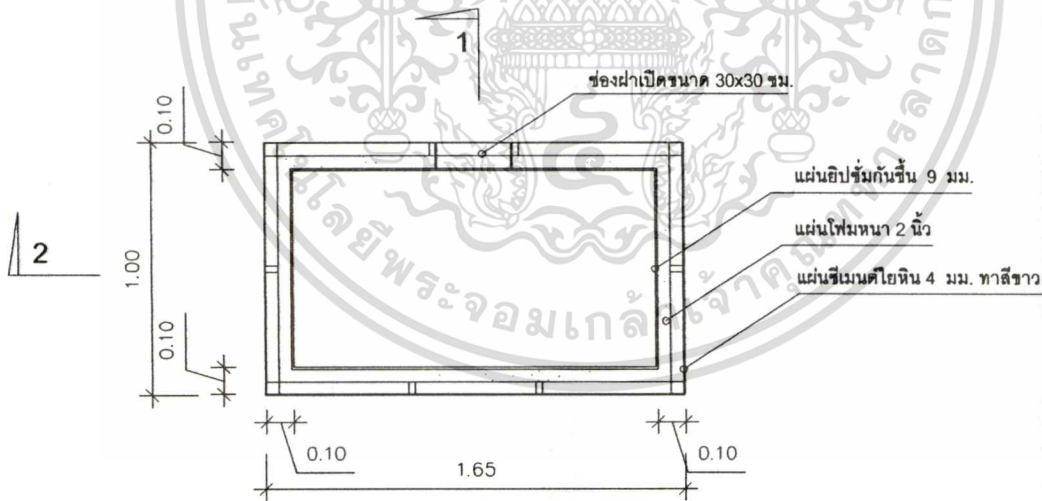
4.2.1 รายละเอียดกล่องทดลอง

แบบจำลองประกอบด้วยกล่องทดลอง 3 ชุดเพื่อติดตั้งวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดและติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิผิวหลังคา กับเครื่องบันทึกข้อมูล OPUS จึงต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่มีผลกระทบกับการทดลอง โดยออกแบบเป็นกล่องทดลอง อยู่สูงจากพื้นดิน 0.60 ม. ติดตั้งหลังคาทรงเพิงหมาแหงนทำมุม 30° ซึ่งผนังของกล่องทดลองในทั้ง 3 ชุดมีลักษณะเหมือนกันและมีรายละเอียดดังรูปที่ 4.1 โดยกล่องทดลองแต่ละชุดมีวัสดุผนังหลังคาดังนี้

ชุดที่ 1 กระเบื้องซีแพคโมเนียลอนเซ็นจูเรียน สีแดงกุหลาบ

ชุดที่ 2 กระเบื้องลอนคู่สีตราช้าง สีแดง

ชุดที่ 3 แผ่นหลังคาเหล็กเคลือบตรา Dragon สีแดง

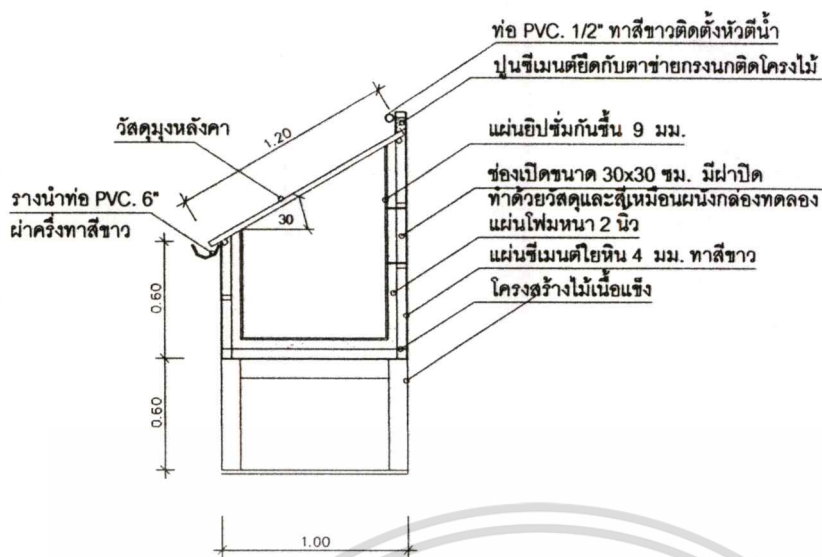


แปลน

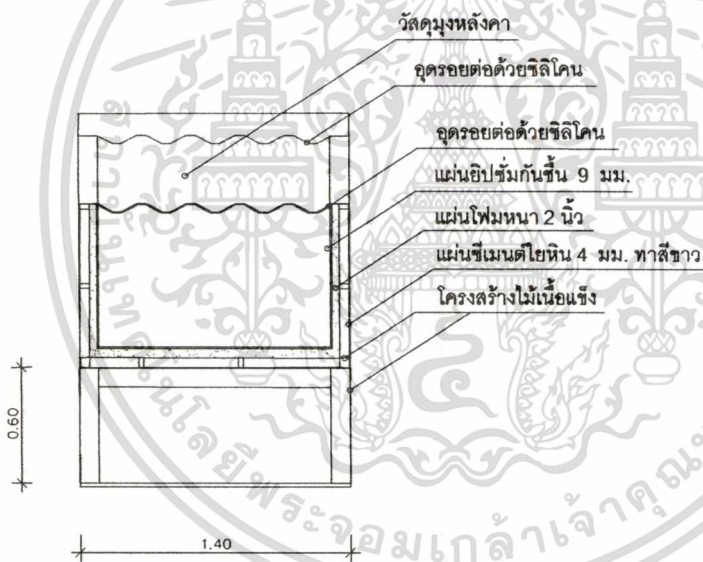


รูปที่ 4.1 รายละเอียดผังกล่องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



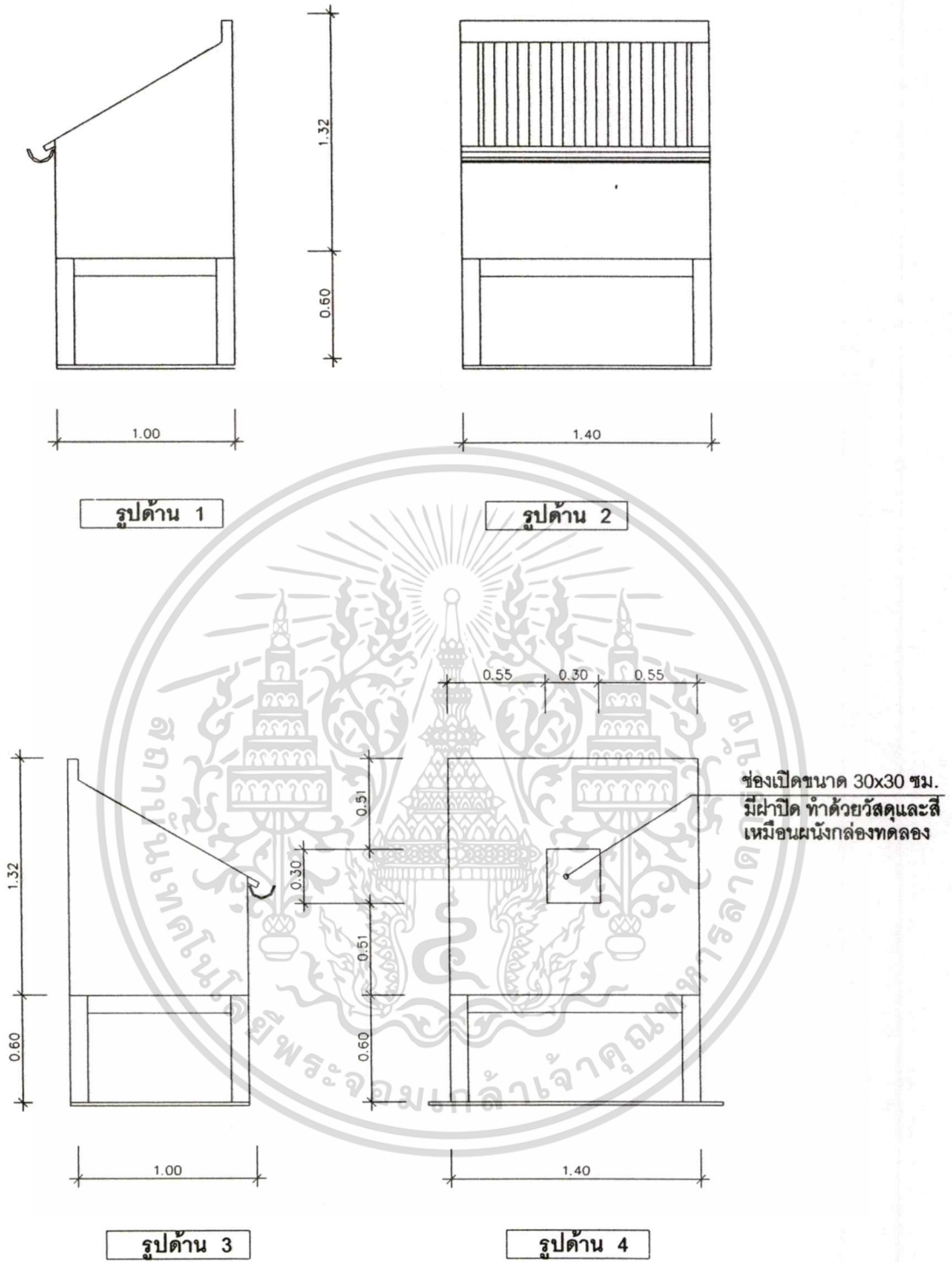
รูปตัด 1



รูปตัด 2

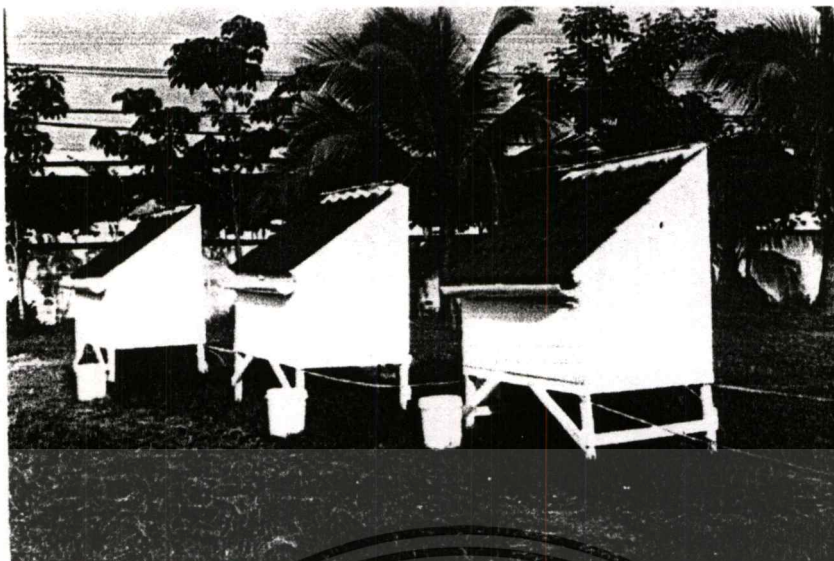
รูปที่ 4.2 รายละเอียดรูปตัดกล่องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

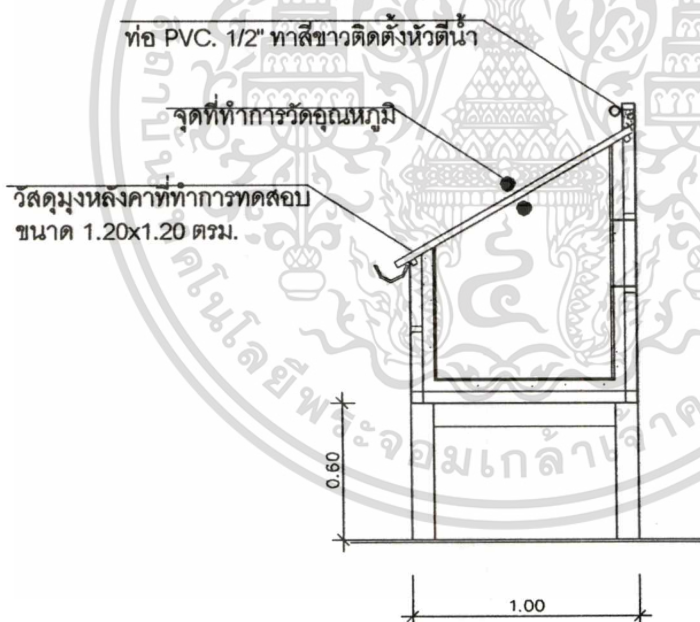


รูปที่ 4.3 รายละเอียดรูปด้านกล่องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กล้องทดลอง

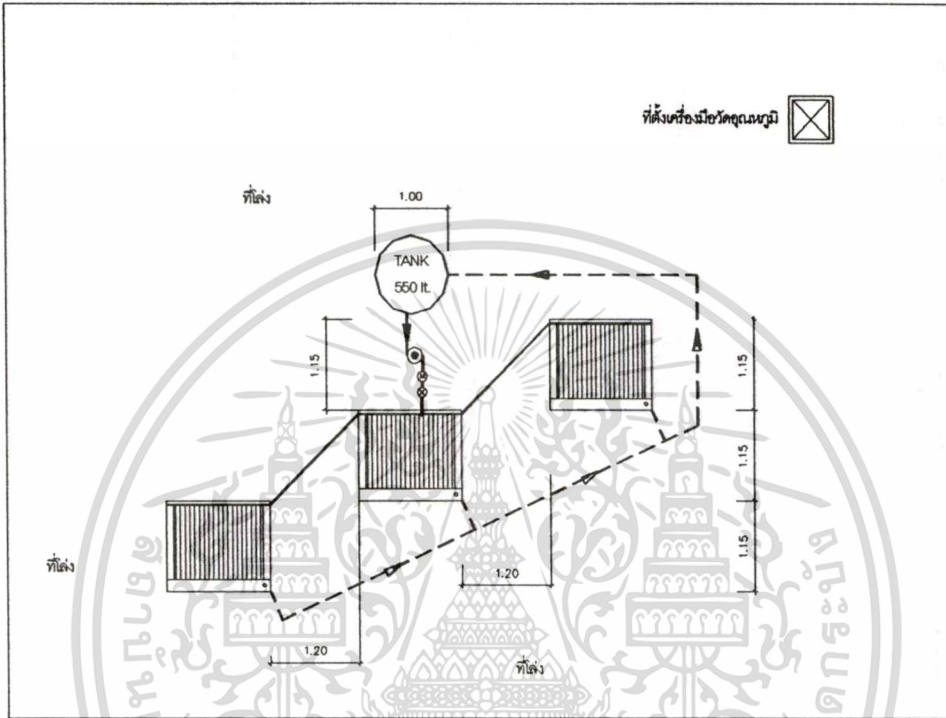


รูปที่ 4.5 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

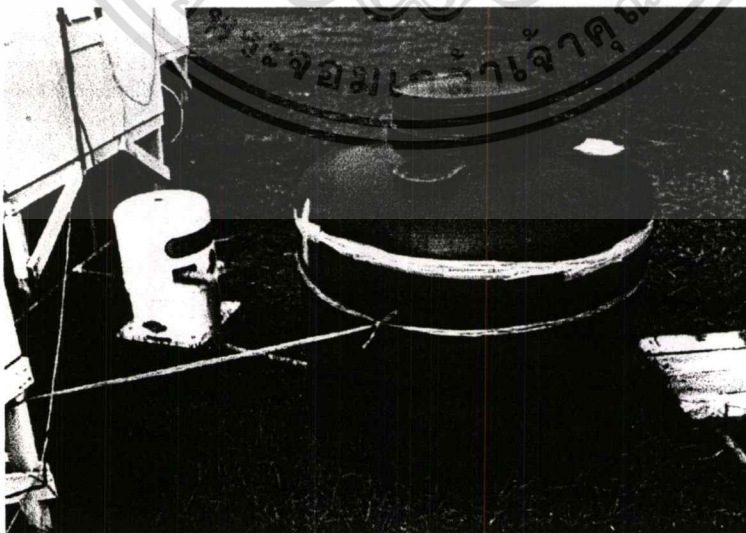
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ระบบน้ำที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับการติดตั้งระบบน้ำสำหรับใช้ทำการทดลองใช้ปั๊มแรงดัน ขนาด 200 วัตต์ดูดน้ำจากแทงค์ P.V.C. ขนาด 550 ลิตร สูท้อ P.V.C. ขนาด ½ นิ้ว ซึ่งวางบนหลังคาโดยติดตั้งหัวตีน้ำซึ่งมีขนาดรัศมีการกระจายน้ำ 0.80 เมตรทุกระยะ 0.30 เมตร ดังรูปที่ 4.3 โดยจะใช้น้ำในลักษณะหมุนเวียนเพื่อเป็นการประหยัดน้ำ



รูปที่ 4.6 รายละเอียดผังระบบน้ำที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.7 ระบบน้ำที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ท่อ P.V.C. ซึ่งติดตั้งหัวตีนํ้าวางบนหลังคาของกล่องทดลอง



รูปที่ 4.9 หัวตีนํ้าที่ใช้ในการทดลอง

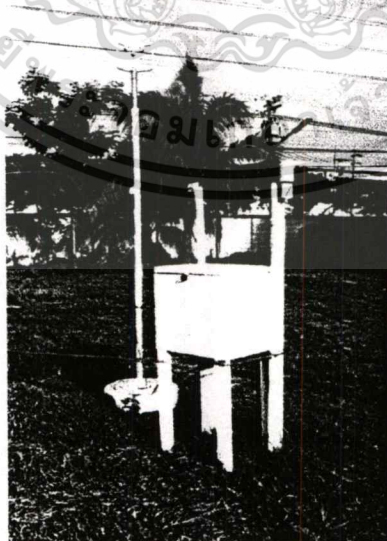
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ตู้สกรีน

เป็นตู้สำหรับเก็บเครื่องบันทึกข้อมูล OPUS สำหรับเก็บข้อมูลสภาพอากาศ โดยใช้ป้องกันอิทธิพลจากการแผ่รังสี, ลมและฝน และใช้ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น (Universal Use) ของอากาศและเครื่องวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (Paranometer) โดยใส่กล่องโพนานา 1 นิ้วด้านในและทาสีขาวทุกส่วนเพื่อป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ โดยติดตั้งบนสนามหญ้าที่ตัดสั้นสูงจากพื้นดิน 0.60 เมตร



รูปที่ 4.10 รายละเอียดตู้สกรีน



รูปที่ 4.11 การวางตู้สกรีนและอุปกรณ์วัดทิศทางและความเร็วลม

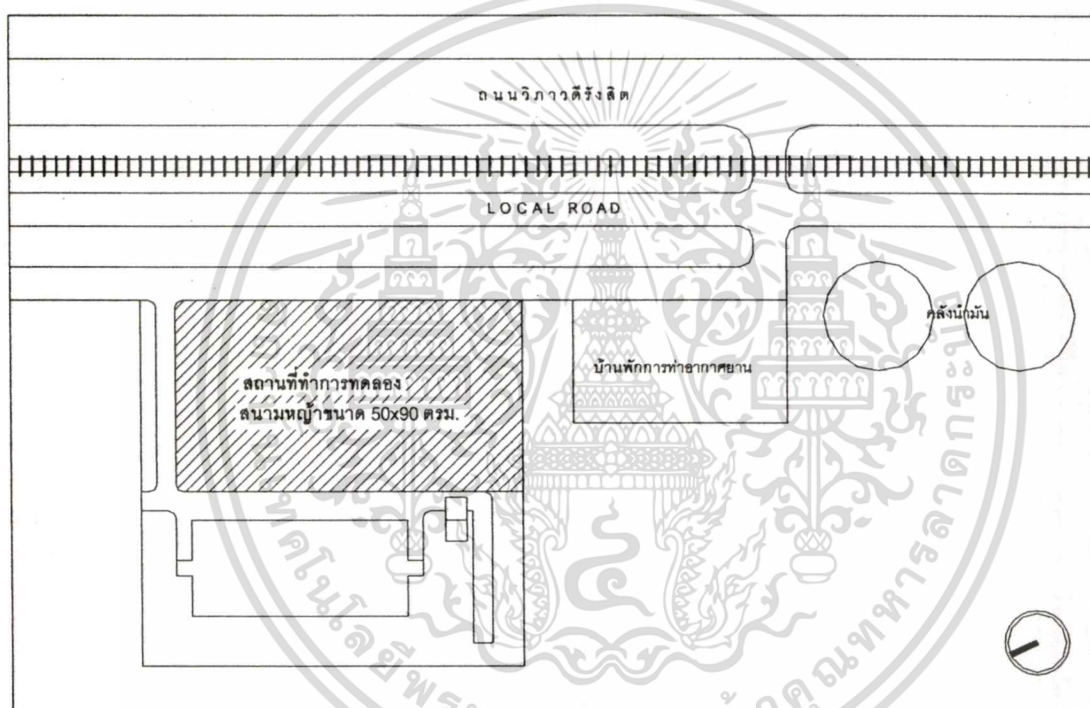
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สถานที่ทำการวิจัยและช่วงเวลาในการวิจัย

4.3.1 สถานที่ทำการวิจัย

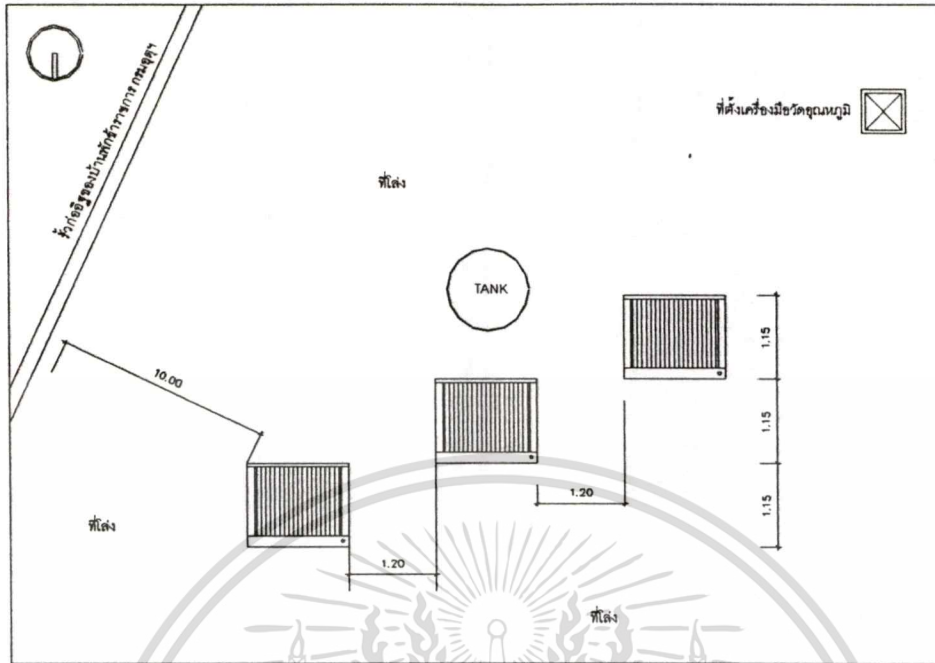
ทำการเลือกสถานที่ที่มีลักษณะของสภาพแวดล้อมที่ไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของ อุณหภูมิหลังคา , อุณหภูมิอากาศ , ความชื้นสัมพัทธ์ , ความเร็วลมหรือค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ อันนอกเหนือจากที่ทำการศึกษา

โดยสถานที่ที่ทดลองตั้งอยู่ในบริเวณบ้านพักข้าราชการกรมอุตุนิยมวิทยา เขตดอนเมือง จังหวัดกรุงเทพฯ มีลักษณะเป็นสนามหญ้าโล่งมีพื้นที่ขนาด 4500 ตารางเมตร ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 สถานที่ทำการทดลอง

สำหรับผังการวางตำแหน่งกล่องทดลองและตู้สกรีน จะวางในลักษณะที่ไม่มีอิทธิพลต่อกันและไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิหลังคา , อุณหภูมิอากาศ , ความชื้นสัมพัทธ์ , ความเร็วลมหรือค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์อันนอกเหนือจากที่ทำการศึกษา และหันไปทางทิศเหนือเพื่อหาแสงแดด เนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการทดลองนั้นดวงอาทิตย์เดินทางอ้อมทิศเหนือ



รูปที่ 4.13 ผังการวางตำแหน่งกล่องทดลองและตู้สกรีน



รูปที่ 4.14 การวางตำแหน่งกล่องทดลองและตู้สกรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ช่วงเวลาในการวิจัย

จากบทที่ 3 ซึ่งวิเคราะห์ว่าเดือนเมษายนเป็นเดือนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลอง แต่จากข้อจำกัดในการวิจัยจึงต้องทำการทดลองในระหว่างวันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2545 ถึงวันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ. 2545

ตารางที่ 4.1 วันและเวลาที่ใช้ทำการทดลองในแต่ละการทดลอง

ชุดทดลอง	วันที่	เวลา	การทดลอง
ชุดทดลองที่ 1	18/6/2545	0:00-24:00	ไม่พ่นน้ำ
	29/6/2545	0:00-24:00	ไม่พ่นน้ำ
ชุดทดลองที่ 2	2/7/2545	7:30-18:00	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที
	5/7/2545	7:30-18:00	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที
	6/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที
	7/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที
ชุดทดลองที่ 3	6/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที
	7/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที
	12/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที
	13/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที
	16/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที
	18/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที
ชุดทดลองที่ 4	24/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำตลอดเวลา
	25/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำตลอดเวลา
	19/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที
	28/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที
	21/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที
	26/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที
	1/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที
	2/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที
ชุดทดลองที่ 5	26/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำแบบผสม 6 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที
	29/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำแบบผสม 6 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที
	27/8/2545	7:00-18:30	พ่นแบบผสม 12 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที
	28/8/2545	7:00-18:30	พ่นแบบผสม 12 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

4.4.1 เครื่องมือวัดผลและบันทึกข้อมูล

1. เครื่องบันทึกข้อมูล (OPUS)

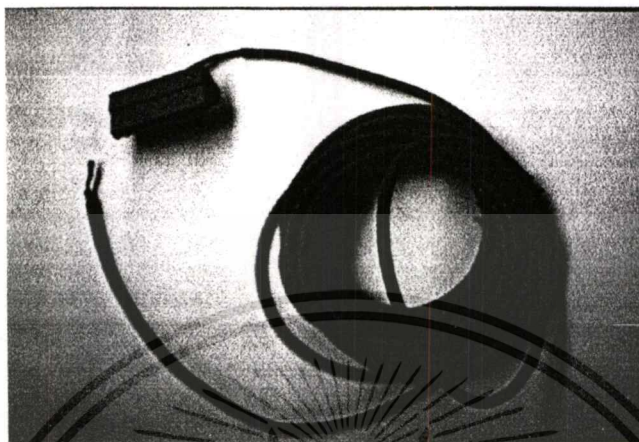
เป็นเครื่องมือบันทึกข้อมูล ซึ่งใช้สำหรับต่อกับสายวัดอุณหภูมิ , ความชื้น , อุปกรณ์วัดค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ , อุปกรณ์วัดทิศทางและความเร็วลม โดยต่อกับขั้วด้านหลังซึ่งมีทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณ ข้อมูลที่ได้สามารถแสดงเป็นตัวเลขหรือกราฟโดยใช้ Software Smart Control ในการดึงข้อมูลสู่เครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.15 เครื่องบันทึกข้อมูล (OPUS) ต่อเชื่อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์

2. สายวัดอุณหภูมิ (Thermo Couple)

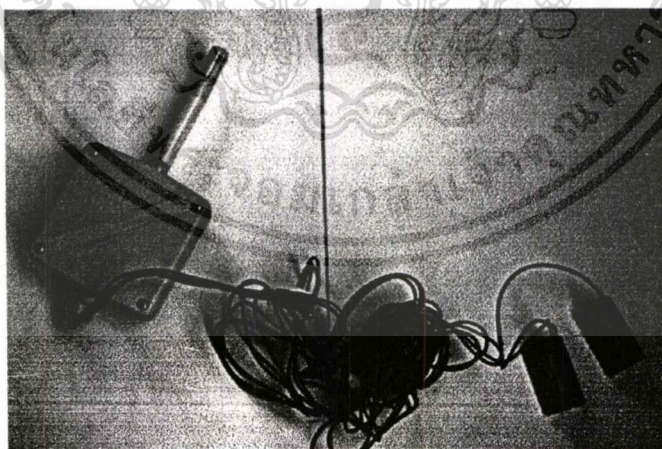
เป็นสายวัดอุณหภูมิที่ใช้กับเครื่องบันทึกข้อมูล OPUS เป็นสาย Thermo Couple ชนิด Type K โดยปลายสายที่ใช้วัดอุณหภูมิจะต้องพันลวดทั้งสองสายเชื่อมกัน



รูปที่ 4.16 สายวัดอุณหภูมิ (Thermo Couple)

3. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Universal Use)

เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ใช้กับเครื่องบันทึกข้อมูล OPUS โดยใช้ประกอบกับอุปกรณ์ป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ Radiation Shield

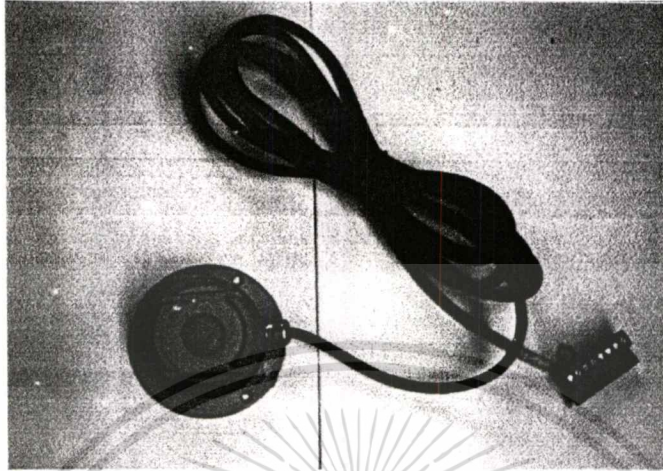


รูปที่ 4.17 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Universal Use)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (Paranometer)

เป็นเครื่องวัดค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้กับเครื่องบันทึกข้อมูล OPUS



รูปที่ 4.18 เครื่องวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (Paranometer)

5. เครื่องวัดทิศทางและความเร็วลม (Usonic)

เป็นเครื่องวัดทิศทางและความเร็วลมที่ใช้กับเครื่องบันทึกข้อมูล OPUS โดยติดตั้งในที่สูง
กลางแจ้งสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 2.5 เมตร

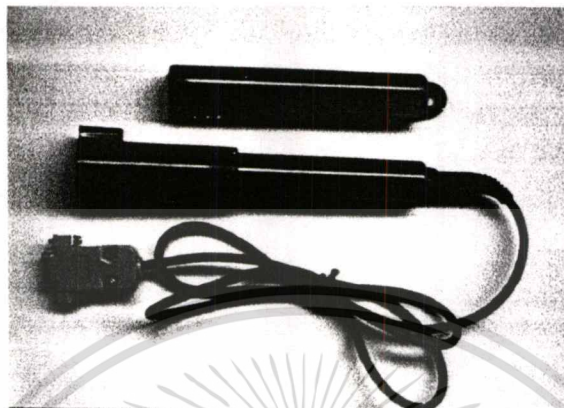


รูปที่ 4.19 เครื่องวัดทิศทางและความเร็วลม (Usonic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำ (Optic StowAway Temp)

เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำและเครื่องบันทึกข้อมูลในตัวซึ่งใช้ Software BoxCar Pro. ในการดึงข้อมูลสู่เครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.20 เครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำ (Optic StowAway Temp)

4.4.2 การทดสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

เครื่องมือที่นำมาทำการทดลองต้องทำการ Calibrate ให้ได้ค่าเดียวกัน โดยการทดสอบทำโดยการนำสายวัดอุณหภูมิ Thermo Couple ทุกสายและเครื่องวัดอุณหภูมิ Universal Use มาวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งเดียวกัน ทำการบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ใช้ระยะเวลา 3 วัน โดยนำข้อมูลที่ได้มาทำการปรับค่าที่เครื่องบันทึกข้อมูล OPUS

ตารางที่ 4.2 การปรับค่าอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง

ตำแหน่งการวัด	OPUS NO.	Sensor Type	ลักษณะการวัด	หน่วย	ค่า Calibrate
หลังคาเหล็กลูกฟูกเคลื่อน ด้านใน	371	Thermocouple K	อุณหภูมิผิวหลังคา	°C	+0.347197683
หลังซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน ด้านใน	371	Thermocouple K	อุณหภูมิผิวหลังคา	°C	-0.10333092
หลังคากระเบื้องคอนกรีต ด้านใน	371	Thermocouple K	อุณหภูมิผิวหลังคา	°C	+0.025590152
อากาศภายนอก	1117	Universal Use	อุณหภูมิอากาศ	°C	±0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ขั้นตอนการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย จึงมีการกำหนดขั้นตอนในการวิจัยซึ่งประกอบด้วยชุดทดลอง 5 ชุดตามแนวทางในการวิจัย เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวหลังคาในลักษณะของการทดลองต่างๆกันดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 การศึกษาอุณหภูมิผิวของวัสดุผนังหลังคา ขณะที่ยังไม่ทำการพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา

- วัสดุที่นำมาทดสอบได้แก่ กระเบื้องคอนกรีตสีแดง , กระเบื้องซีเมนต์ใยหินชนิดลอนคู่สีแดงและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบสีแดง
- นำวัสดุผนังหลังคาขนาด 1.20x1.20 ตารางเมตรวางบนกล่องทดลองทำมุม 30 องศาหันไปทางทิศเหนือโดยวางกล่องทดลองสูงจากพื้นดินประมาณ 0.60 ม.
- ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในโดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตั้งแต่ 0:00-24:00 น.
- ทำการศึกษาตัวแปรทางธรรมชาติ โดยทำการวัดอุณหภูมิอากาศ , ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม , ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ , อุณหภูมิของน้ำและอัตราการระเหยในขณะที่ทำการทดลองบริเวณที่ทำการทดลอง

ชุดทดลองที่ 2 การทดลองหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในระหว่างวันสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา โดยใช้อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที

- วัสดุที่นำมาทดสอบได้แก่ กระเบื้องคอนกรีตสีแดง , กระเบื้องซีเมนต์ใยหินชนิดลอนคู่สีแดงและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบสีแดง
- นำวัสดุผนังหลังคาขนาด 1.20x1.20 ตารางเมตรวางบนกล่องทดลองทำมุม 30 องศาหันไปทางทิศเหนือโดยวางกล่องทดลองสูงจากพื้นดินประมาณ 0.60 ม.
- ทำการติดตั้งระบบการพ่นน้ำบนหลังคา โดยจะใช้น้ำในลักษณะหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อมิให้สิ้นเปลืองกำหนดให้น้ำผ่านผิวหลังคาสม่เสมอทั่วทั้งแผ่น และผ่านหลังคาทุกชนิดพร้อมกันด้วยอัตรา 1.4 ลิตร / นาที / ตารางเมตร
- ทำการพ่นน้ำบนหลังคาคด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที และทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในโดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตั้งแต่ 0:00-24:00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการศึกษาตัวแปรทางธรรมชาติ โดยทำการวัดอุณหภูมิอากาศ , ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม , ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ , อุณหภูมิของน้ำและอัตราการระเหยในขณะที่ทำการทดลองบริเวณที่ทำการทดลอง

ชุดทดลองที่ 3 การทดลองหาจังหวะการหยุดพักการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา โดยใช้ช่วงเวลาพ่นครั้งที่ และเวลาในการหยุดพักการพ่นน้ำต่างๆกัน ได้แก่ อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที โดยทำการพ่นน้ำในช่วงเวลาที่ได้จากชุดทดลองที่ 2

- วัสดุที่นำมาทดสอบได้แก่ กระเบื้องคอนกรีตสีแดง , กระเบื้องซีเมนต์โยหินชนิดลอนคู่สีแดงและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบสีแดง

- นำวัสดุผืนหลังคาขนาด 1.20x1.20 ตารางเมตรวางบนกล่องทดลองทำมุม 30 องศาหันไปทางทิศเหนือโดยวางกล่องทดลองสูงจากพื้นดินประมาณ 0.60 ม.

- ทำการติดตั้งระบบการพ่นน้ำบนหลังคา โดยจะใช้น้ำในลักษณะหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อมิให้สิ้นเปลืองกำหนดให้น้ำผ่านผิวหลังคาสม่เสมอทั่วทั้งแผ่น และผ่านหลังคาทุกชนิดพร้อมกันด้วยอัตรา 1.4 ลิตร / นาที / ตารางเมตร

- ทำการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที และอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ในระหว่างช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากชุดทดลองที่ 2 ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในโดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตั้งแต่ 0:00-24:00 น.

- ทำการศึกษาตัวแปรทางธรรมชาติ โดยทำการวัดอุณหภูมิอากาศ , ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม , ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ , อุณหภูมิของน้ำและอัตราการระเหยในขณะที่ทำการทดลองบริเวณที่ทำการทดลอง

ชุดทดลองที่ 4 การทดลองหาจังหวะการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา โดยใช้จังหวะของการหยุดพักการพ่นน้ำจากชุดทดลองที่ 3 และเปลี่ยนระยะเวลาของการพ่นน้ำต่างๆกัน ได้แก่ การพ่นน้ำ 6 นาที , การพ่นน้ำ 12 นาที , การพ่นน้ำ 24 นาที และการพ่นน้ำตลอดเวลา โดยทำการพ่นน้ำในช่วงเวลาที่ได้จากชุดทดลองที่ 2

- วัสดุที่นำมาทดสอบได้แก่ กระเบื้องคอนกรีตสีแดง , กระเบื้องซีเมนต์โยหินชนิดลอนคู่สีแดงและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบสีแดง

- นำวัสดุถุงหลังคาขนาด 1.20x1.20 ตารางเมตรวางบนกล่องทดลองทำมุม 30 องศาหันไปทางทิศเหนือโดยวางกล่องทดลองสูงจากพื้นดินประมาณ 0.60 ม.

- ทำการติดตั้งระบบการพ่นน้ำบนหลังคา โดยจะใช้น้ำในลักษณะหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อมิให้สิ้นเปลืองกำหนดให้น้ำผ่านผิวหลังคาสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น และผ่านหลังคาทุกชนิดพร้อมกันด้วยอัตรา 1.4 ลิตร/นาที่/ตารางเมตร

- ทำการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาที่ , 12 นาที่ , 24 นาที่โดยใช้ช่วงเวลาของการหยุดพักการพ่นน้ำจากชุดทดลองที่ 3 และทำการพ่นน้ำตลอดเวลา ในระหว่างช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากชุดทดลองที่ 2 ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในโดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที่ ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตั้งแต่ 0:00-24:00 น.

- ทำการศึกษาตัวแปรทางธรรมชาติ โดยทำการวัดอุณหภูมิอากาศ , ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม , ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ , อุณหภูมิของน้ำและอัตราการระเหยในขณะที่ทำการทดลองบริเวณที่ทำการทดลอง

ชุดทดลองที่ 5 การทดลองการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำต่าง ๆ กันกับช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างวัน เพื่อหาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลา โดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ

- วัสดุที่นำมาทดสอบได้แก่ กระเบื้องคอนกรีตสีแดง , กระเบื้องซีเมนต์ไยหินชนิดลอนคู่สีแดงและกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบสีแดง

- นำวัสดุถุงหลังคาขนาด 1.20x1.20 ตารางเมตรวางบนกล่องทดลองทำมุม 30 องศาหันไปทางทิศเหนือโดยวางกล่องทดลองสูงจากพื้นดินประมาณ 0.60 ม.

- ทำการติดตั้งระบบการพ่นน้ำบนหลังคา โดยจะใช้น้ำในลักษณะหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อมิให้สิ้นเปลืองกำหนดให้น้ำผ่านผิวหลังคาสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น และผ่านหลังคาทุกชนิดพร้อมกันด้วยอัตรา 1.4 ลิตร/นาที่/ตารางเมตร

- แบ่งช่วงเวลาช่วงเวลาจากชุดทดลองที่ 2 เป็น 3 ช่วงเวลาโดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำต่าง ๆ กันและใช้ช่วงเวลาของการหยุดพักการพ่นน้ำชุดทดลองที่ 3 โดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในโดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที่ ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตั้งแต่ 0:00-24:00 น. ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน

- ทำการศึกษาตัวแปรทางธรรมชาติ โดยทำการวัดอุณหภูมิอากาศ , ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม , ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ , อุณหภูมิของน้ำและอัตราการระเหยในขณะที่ทำการทดลองบริเวณที่ทำการทดลอง

บทที่ 5

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

5.1 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย

การเก็บข้อมูลผลการวิจัย จะเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2545 ถึงวันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ. 2545 โดยแบ่งการเก็บข้อมูลเป็น 5 ชุดดังนี้

ชุดทดลองที่ 1 การศึกษาอุณหภูมิผิวของวัสดุผนังหลังคา ขณะที่ยังไม่ทำการพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา

ชุดทดลองที่ 2 การทดลองหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในระหว่างวันสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา โดยใช้อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที

ชุดทดลองที่ 3 การทดลองหาจังหวะการหยุดพักการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา โดยใช้ช่วงเวลาพ่นคงที่และเวลาในการหยุดพักการพ่นน้ำต่างกัน ได้แก่ อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที โดยทำการพ่นน้ำในช่วงเวลาที่ได้จากชุดทดลองที่ 2

ชุดทดลองที่ 4 การทดลองหาจังหวะการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา โดยใช้จังหวะของการหยุดพักการพ่นน้ำจากชุดทดลองที่ 3 และเปลี่ยนระยะเวลาของการพ่นน้ำต่างกัน ได้แก่ การพ่นน้ำ 6 นาที , การพ่นน้ำ 12 นาที , การพ่นน้ำ 24 นาที และการพ่นน้ำตลอดเวลา โดยทำการพ่นน้ำในช่วงเวลาที่ได้จากชุดทดลองที่ 2

ชุดทดลองที่ 5 การทดลองการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำต่าง ๆ กันกับช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างวัน เพื่อหาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลา โดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ

การเก็บข้อมูลในการทดลองทั้ง 5 กรณีจะทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในโดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตั้งแต่ 0:00-24:00 น. และทำการศึกษาตัวแปรทางธรรมชาติ โดยการวัดอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อุณหภูมิของน้ำ และอัตราการระเหยในขณะทำการทดลองบริเวณที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยได้ทำการทดลองระหว่างวันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2545 ถึงวันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ. 2545 และในแต่ละการทดลองได้ทดลองเป็นเวลา 2 วัน ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งการเลือกข้อมูลเพื่อไปทำการวิเคราะห์ ในส่วนที่ไม่ได้ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาใช้วันที่มีค่าการแผ่รังสีใกล้เคียงกันเป็นหลัก และส่วนของ การทดลองที่ต้องใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาใช้วันที่มีค่าอัตราการระเหยใกล้เคียงกันมาทำการวิเคราะห์โดยเทียบจากค่าความแตกต่างกับอุณหภูมิอากาศ

ตารางที่ 5.1 สภาพอากาศของวันที่ใช้ทำการทดลอง

ชุดทดลอง	วันที่	เวลา	การทดลอง	ค่าอัตราการระเหย (mm.)	ค่าการแผ่รังสี (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	ความเร็วลม (m/s)
ชุดทดลองที่ 1	18/6/2545	0:00-24:00	ไม่พ่นน้ำ	1.5	338.18	29.36	78.43	1.97
	29/6/2545	0:00-24:00	ไม่พ่นน้ำ	6.3	425.51	29.56	75.19	2.29
ชุดทดลองที่ 2	2/7/2545	7:30-18:00	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	4.7	361.06	29.99	74.44	2.14
	5/7/2545	7:30-18:00	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	5.6	291.05	29.16	81.86	1.96
	6/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	5.0	321.51	29.82	75.13	2.34
	7/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	3.6	272.55	29.12	79.44	2.03
ชุดทดลองที่ 3	6/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	5.0	321.51	29.82	75.13	2.34
	7/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	3.6	272.55	29.12	79.44	2.03
	12/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที	5.5	338.07	30.21	74.59	2.07
	13/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที	4.7	287.82	30.31	72.98	2.20
	16/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที	5.1	249.83	28.45	81.55	2.16
	18/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที	2.8	294.32	28.75	84.0	1.87
ชุดทดลองที่ 4	24/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำตลอดเวลา	5.3	296.29	29.33	72.99	1.93
	25/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำตลอดเวลา	5.1	338.89	29.44	71.88	1.98
	19/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที	3.1	286.33	28.69	79.89	1.51
	28/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที	3.5	281.23	29.68	75.71	2.18
	21/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที	3.6	267.57	29.45	77.47	1.63
	26/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที	4.5	294.23	30.20	72.66	2.30
	1/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที	6.1	282.24	29.83	80.93	1.88
	2/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที	4.9	324.43	30.07	79.70	2.26
ชุดทดลองที่ 5	26/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำแบบผสม 6 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที	4.0	305.44	27.40	85.91	1.52
	29/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำแบบผสม 6 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที	0.2	319.19	27.62	84.32	1.46
	27/8/2545	7:00-18:30	พ่นแบบผสม 12 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที	4.9	355.67	29.44	80.31	1.94
	28/8/2545	7:00-18:30	พ่นแบบผสม 12 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที	4.3	386.01	28.55	82.46	1.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองที่ 1 การศึกษาอุณหภูมิผิวของวัสดุผนังหลังคา ขณะที่ยังไม่ทำการพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา

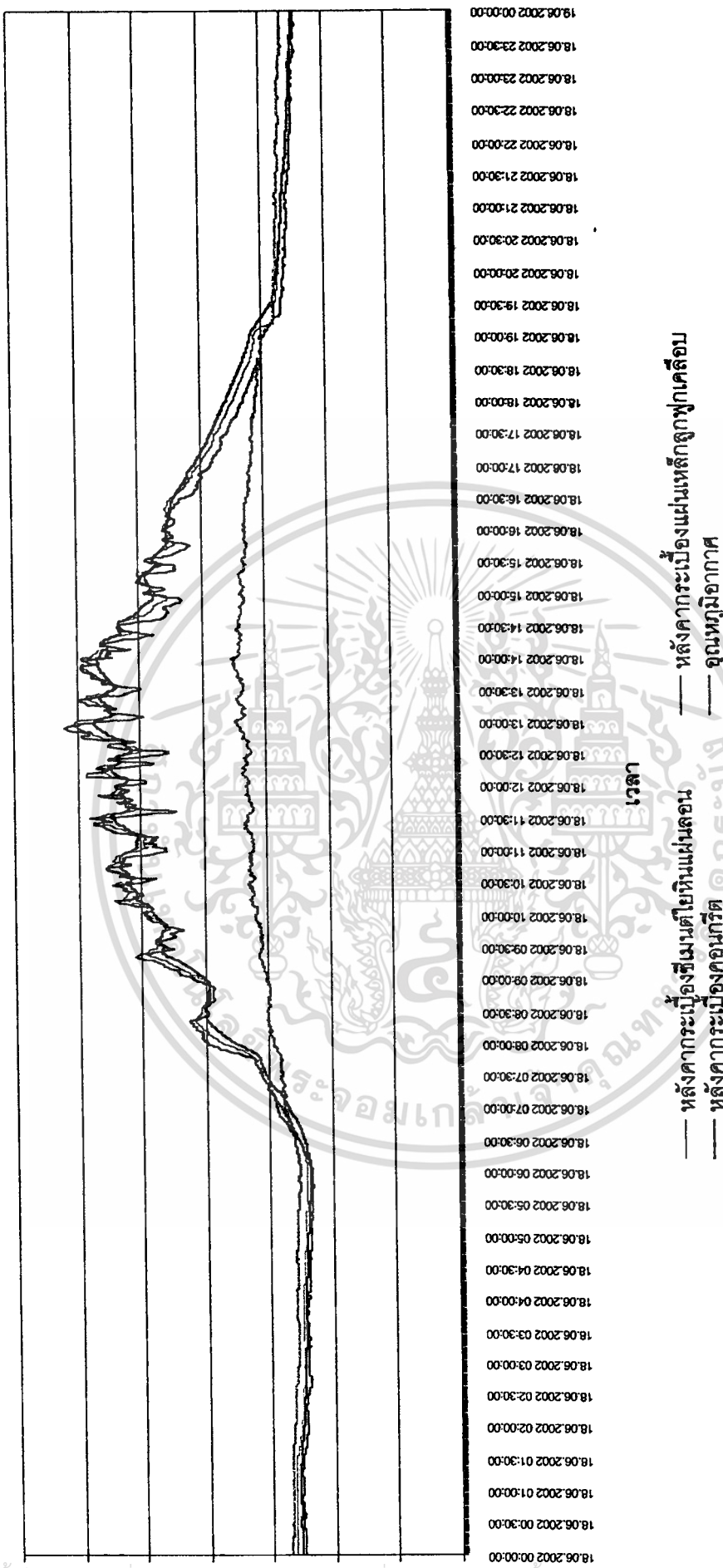
ทำการทดลองวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิด โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ 0:00-24:00 น. ในวันที่ 18 มิถุนายน 2545

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกในขณะทำการทดลองพบว่า ในช่วงกลางวันเมื่อหลังคาได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลาประมาณ 6:00 น. อุณหภูมิผิวของหลังคาด้านในจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเริ่มมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอกตั้งแต่ช่วงเวลา 6:30-7:00 น. โดยวัสดุผนังที่มีอุณหภูมิผิวภายในสูงขึ้นเร็วที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาคอนกรีตตามลำดับ โดยอุณหภูมิผิวด้านในหลังคาเพิ่มขึ้นจนสูงสุดในช่วงเวลา 13:00 น. ซึ่งวัสดุผนังที่มีอุณหภูมิผิวล่างสูงที่สุดได้แก่ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ รองลงมาได้แก่ กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตตามลำดับ แล้วอุณหภูมิผิวด้านในจะค่อยๆ ลดลงจนมีอุณหภูมิผิวของหลังคาด้านในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 19:00-19:30 น. เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจนไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ โดยวัสดุผนังหลังคาที่ลดอุณหภูมิผิวภายในเร็วที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ , กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตตามลำดับ

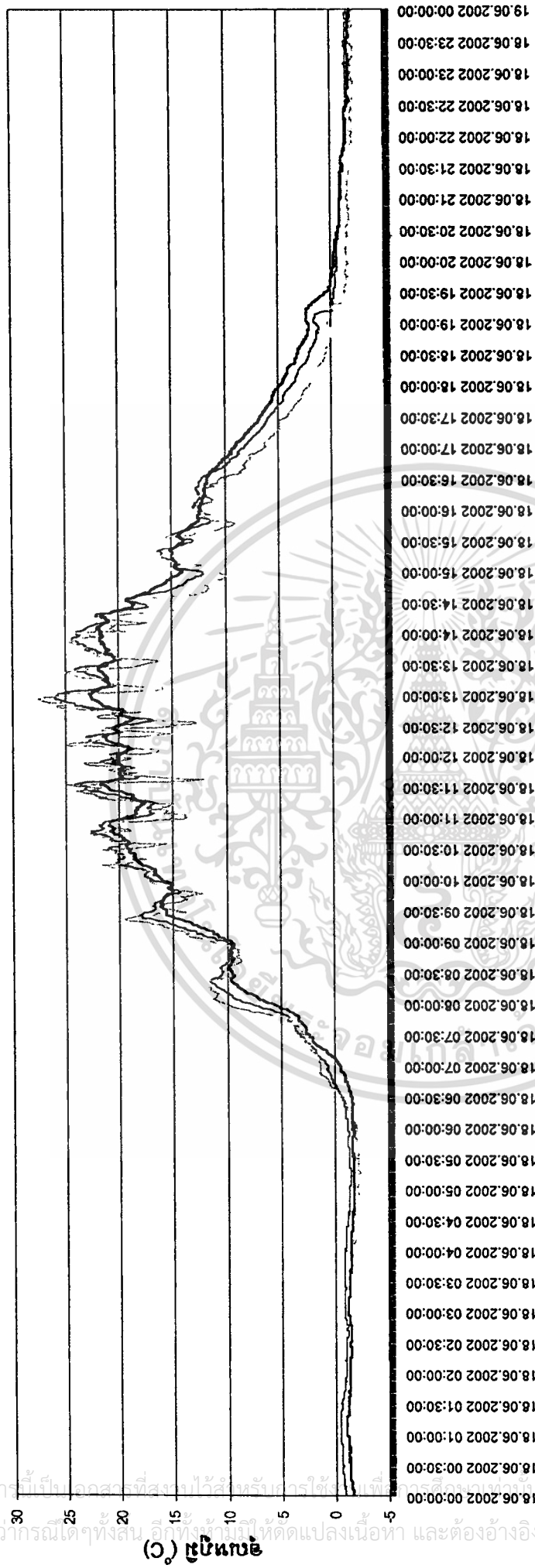
ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวหลังคาภายในจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าเวลากลางคืน (Night Sky Radiation) และมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างคงที่ โดยวัสดุที่อุณหภูมิต่ำที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนตามลำดับ

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกในขณะทำการทดลองในเวลากลางวัน พบว่าวัสดุผนังหลังคาที่มีค่าการจุความร้อนน้อยจะมีอุณหภูมิผิวภายในสูงขึ้นและลดลงเร็วกว่าวัสดุที่มีค่าการจุความร้อนมาก และมีค่าการ SWING ของอุณหภูมิมากกว่าวัสดุที่มีค่าการจุความร้อนมาก ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวด้านในจะอยู่ในระดับคงที่ซึ่งจะแปรผกผันกับค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุผนังหลังคาและต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังค้ำานในของวัสดุผนังหลังค้ำทั้ง 3 ชนิดกับจุดหม้ออากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 18 มิถุนายน 2545

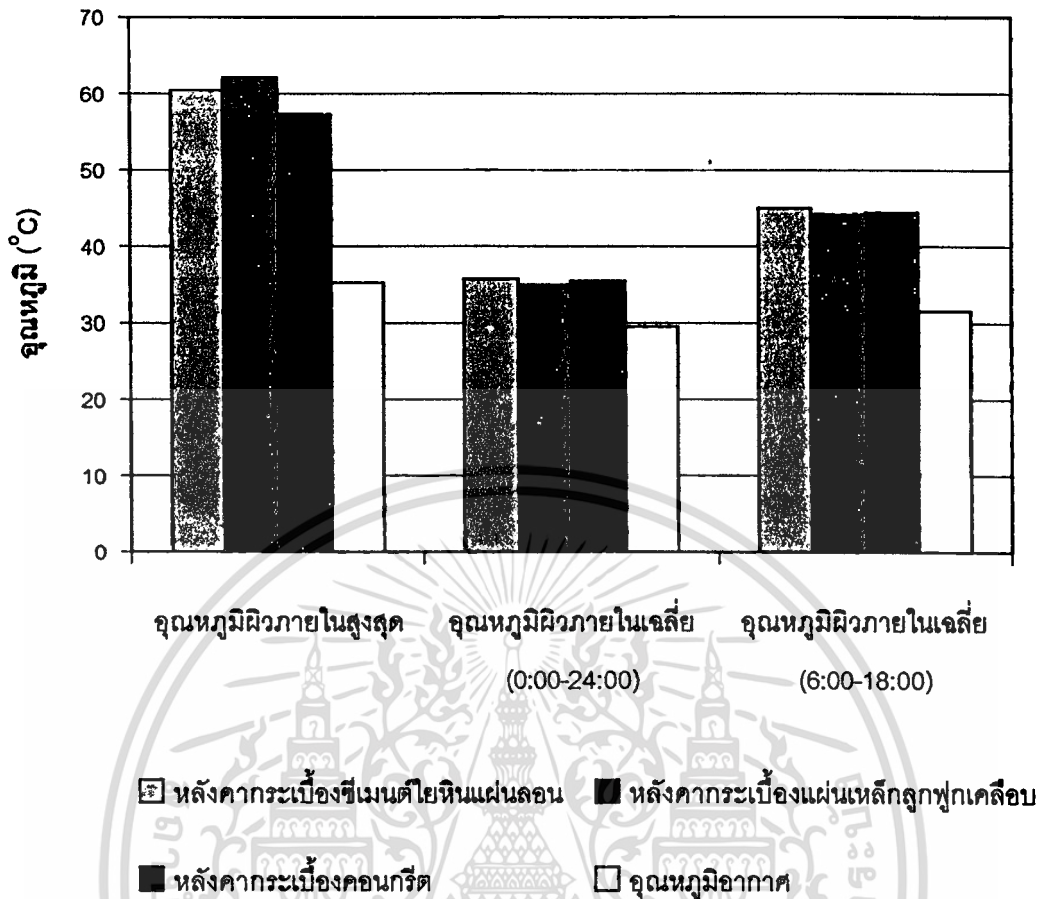
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง (๖) ผู้ให้ข้อมูลเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน — หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กทุกเคลือบ

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวจากอากาศภายนอก ระหว่างวันที่ 18 มิถุนายน 2545

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศ ระหว่างวันที่ 18 มิถุนายน 2545

จากรูปที่ 5.3 วัสดุผนังที่มีอุณหภูมิผิวต่ำสุดได้แก่ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กฉาบปูนเคลือบคือ 62.06°C รองลงมาได้แก่ กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ยิปซัมฉาบปูน 60.58°C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีต 57.37°C ตามลำดับ ซึ่งแปรผกผันกับค่าการจุความร้อนของวัสดุผนังหลังคาโดยพบว่าวัสดุผนังหลังคาที่มีค่าการจุความร้อนมาก มีอุณหภูมิผิวภายในต่ำกว่าวัสดุที่มีค่าการจุความร้อนน้อย และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวภายในทั้งวัน (0:00-24:00) ของหลังคาทั้ง 3 ชนิดมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ $35-36^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก $5.5-6.3^{\circ}\text{C}$ ส่วนในช่วงกลางวัน (6:00-18:00) ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาทั้ง 3 ชนิดมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ $44-45^{\circ}\text{C}$ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก $12.5-13.5^{\circ}\text{C}$

ชุดทดลองที่ 2 การทดลองหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในระหว่างวันสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา โดยใช้อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที

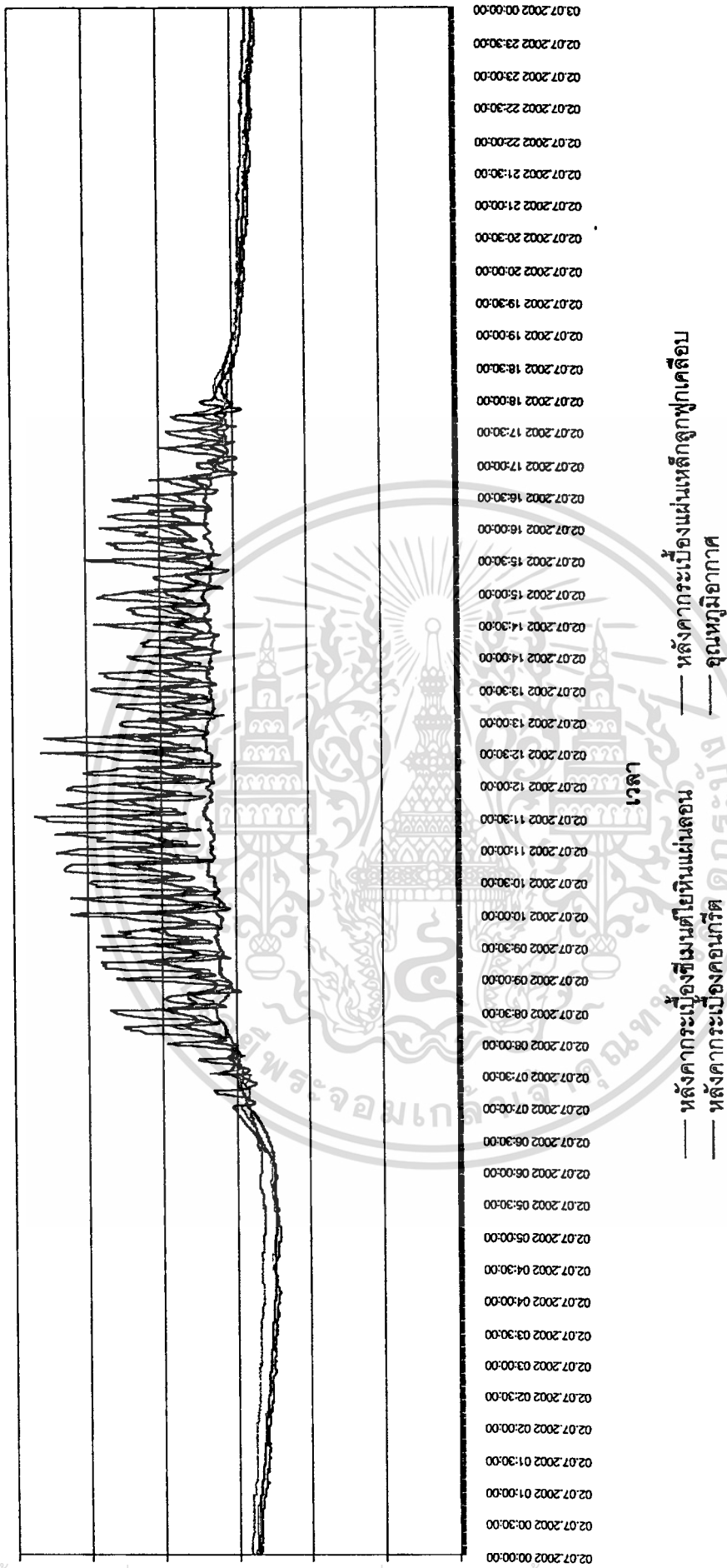
ทำการทดลองพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที กำหนดเวลาทำการพ่นน้ำบนหลังคาตั้งแต่เวลา 7:30-18:00 น. ในวันที่ 2 กรกฎาคม 2545 โดยวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิด และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ 0:00-24:00 น.

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

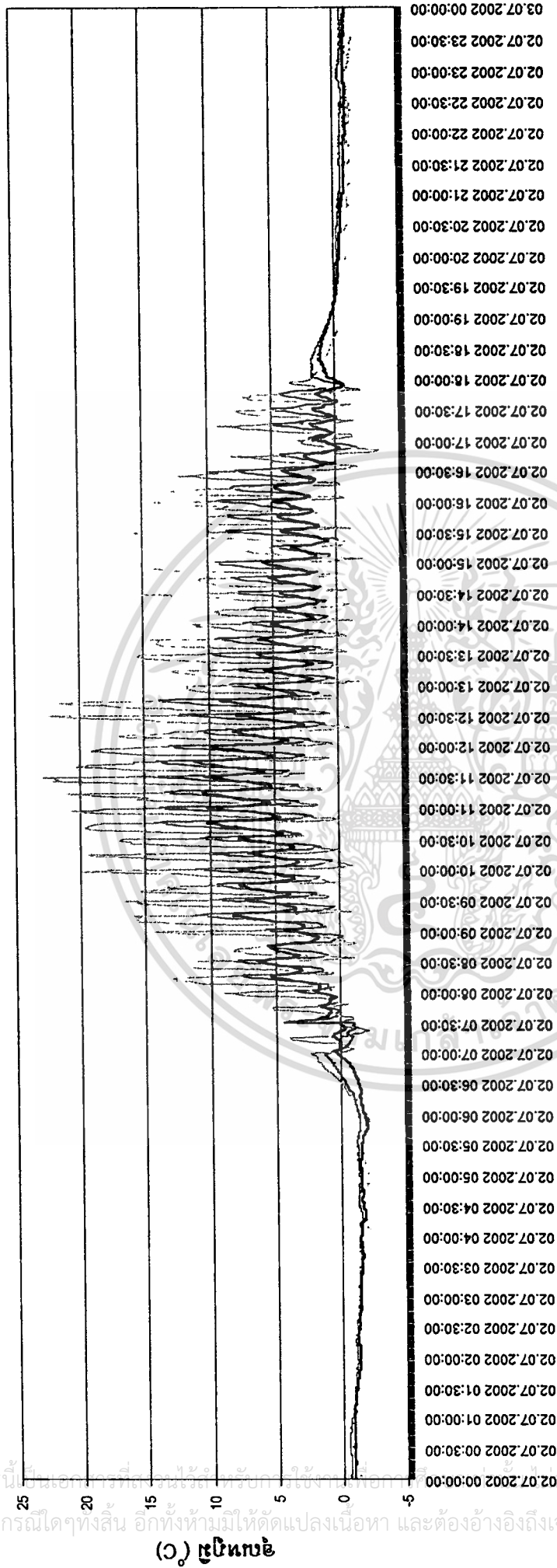
จากรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 ผลปรากฏว่า ในช่วงที่รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลาประมาณ 6:00 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น โดยขณะที่เริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคาในเวลา 7:30 น. อุณหภูมิผิวของหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิดสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ซึ่งหลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบมีอุณหภูมิ 31.71°C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์โยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิ 33.59°C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิ 32.44°C โดยที่อากาศขณะนั้นมีอุณหภูมิ 29.22°C

ส่วนในช่วงเย็นหลังจากเวลาทำการพ่นน้ำบนหลังคาในเวลา 18:00 น. อุณหภูมิผิวของหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิดยังมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ซึ่งหลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบมีอุณหภูมิ 32.46°C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์โยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิ 32.16°C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิ 30.96°C โดยที่อากาศขณะนั้นมีอุณหภูมิ 30.81°C

ในเวลากลางคืนตั้งแต่เวลาประมาณ 19:15 น. อุณหภูมิผิวของหลังคาด้านในลดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกจนอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งจะแปรผกผันกับค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุผนังหลังคา เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจนไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และเกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าเวลากลางคืน (Night Sky Radiation) โดยวัสดุที่อุณหภูมิต่ำที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบ , กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์โยหินแผ่นลอนตามลำดับ



รูปที่ 5.4 ภาพแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในของวัดคูมุงหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการนำพ่นนหลังคาด้วยอัตรา
 การพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที ช่วงเวลา 7:30-18:00 น. ในวันที่ 2 กรกฎาคม 2545



— หลังคากระเบื้องคอนกรีต

หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กปูพลาสติก

— หลังคากระเบื้องดินเผาลอน

รูปที่ 5.5 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการนำพมบนหลังคาด้วยอัตราพมน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที ช่วงเวลา 7:30-18:00 น. ในวันที่ 2 กรกฎาคม 2545

ดังนั้นจึงทำการขยายเวลาในการทดลองจากช่วงเวลา 7:30-18:00 น. เป็นช่วงเวลา 7:00-18:30 น. โดยทำการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 6 กรกฎาคม 2545 โดยวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิด และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ 0:00-24:00 น.

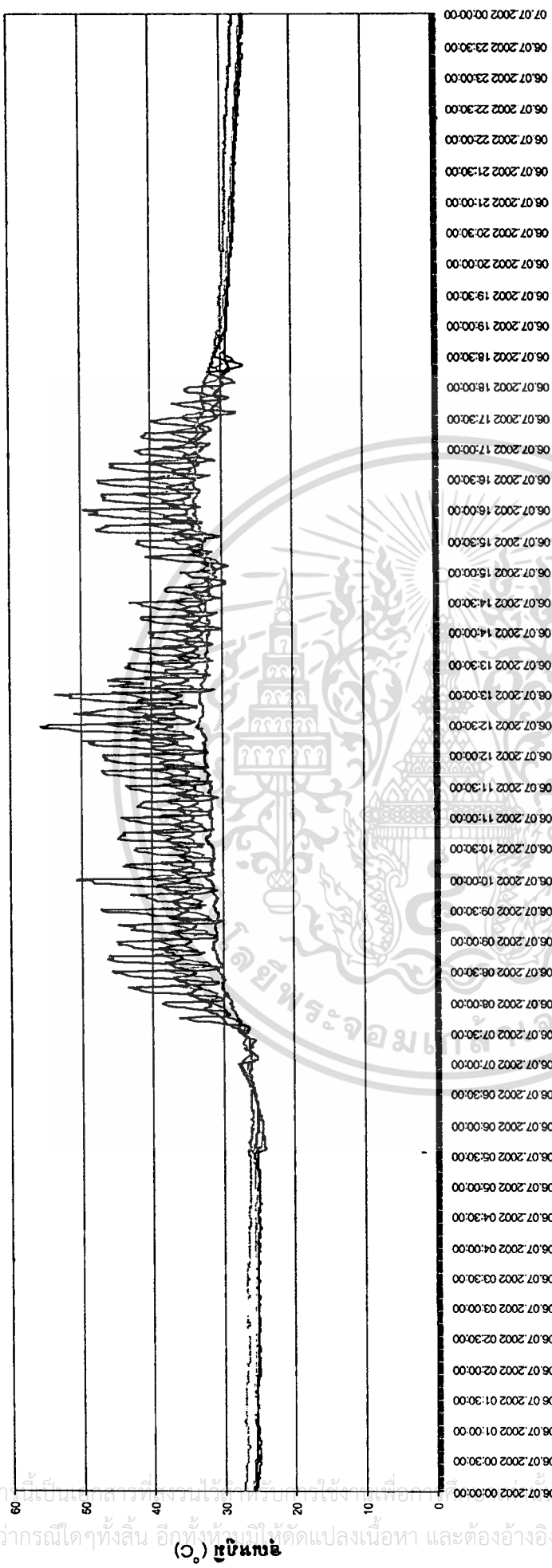
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 ผลปรากฏว่าในช่วงที่รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลาประมาณ 6:00 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น โดยขณะที่เริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคาในเวลา 7:00 น. อุณหภูมิของหลังคาทั้ง 3 ชนิดมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยอุณหภูมิหลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิ 27.00°C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิ 27.55°C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิ 26.05°C ซึ่งอากาศขณะนั้นมีอุณหภูมิ 26.62°C

ส่วนในช่วงเย็นหลังจากเวลาทำการพ่นน้ำหลังคาในเวลา 18:30 น. อุณหภูมิผิวของหลังคา ด้านในทั้ง 3 ชนิดยังมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยอุณหภูมิหลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิ 30.68°C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิ 29.10°C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิ 29.40°C ซึ่งอากาศขณะนั้นมีอุณหภูมิ 30.97°C

โดยในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวของหลังคาด้านในลดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกจนอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งจะแปรผกผันกับค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุผนังหลังคา เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจนไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และเกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าเวลากลางคืน (Night Sky Radiation) โดยวัสดุที่อุณหภูมิต่ำที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ , กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนตามลำดับ

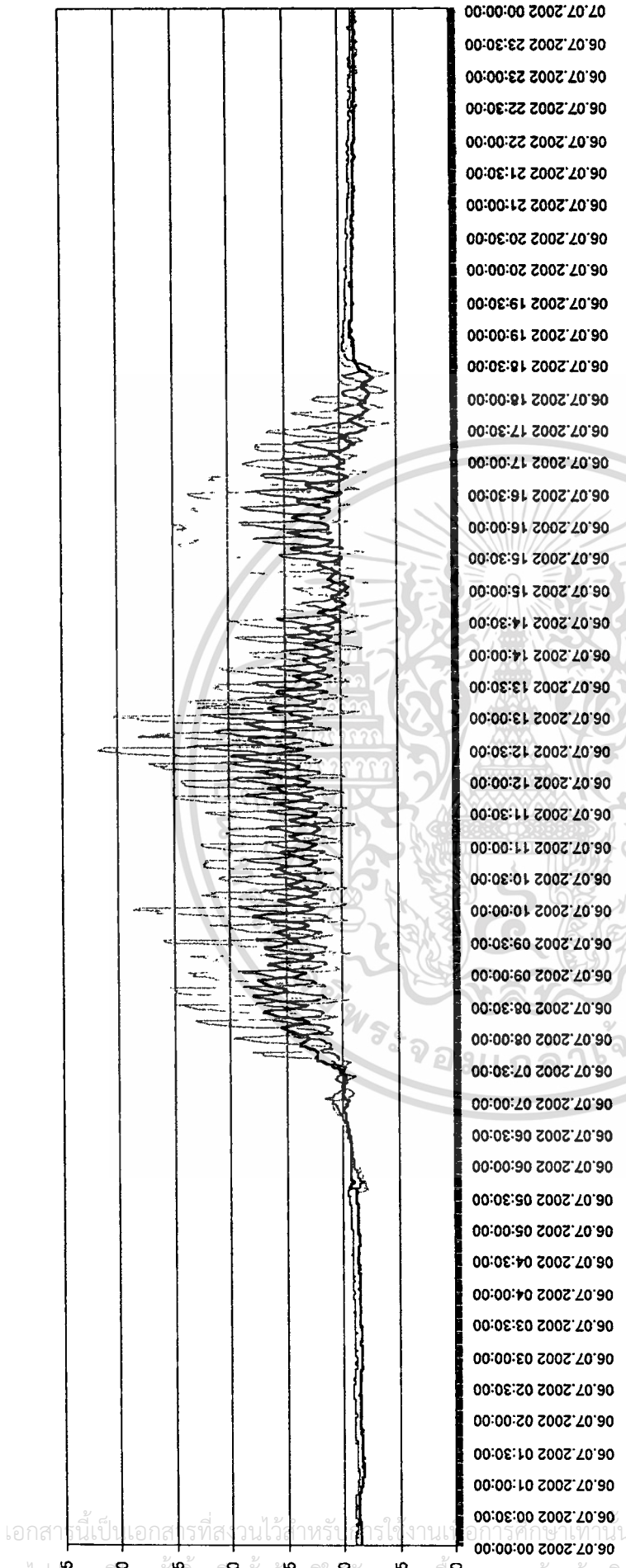
จากผลการทดลองดังกล่าวจึงกำหนดเวลาที่เหมาะสมในระหว่างวันสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา เป็นช่วงเวลา 7:00-18:30 น.



เวลา

— หลังคากระเบื้องดินเผาลอน
 - - - หลังคากระเบื้องคอนกรีต

รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการนำพมบนหลังคาด้วยอัตรา
 การพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 6 กรกฎาคม 2545



— หลังคากระเบื้องคอนกรีต

หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กผูกเคสือบ

— หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุดมภูมิวิพหาลังคาค้าง 3 ชนิดกับอุดมภูมิอากาศภายนอก โดยทำการนำพ่นบนหลังคาค้างด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 6 กรกฎาคม 2545

ชุดทดลองที่ 3 การทดลองหาจังหวะการหยุดพักการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา โดยใช้ช่วงเวลาพ่นคงที่และเวลาในการหยุดพักการพ่นน้ำต่างๆกัน ได้แก่ อัตราการพ่นน้ำ 3 นาที่หยุด 12 นาที่ , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาที่หยุด 6 นาที่ , อัตราการพ่นน้ำ 3 นาที่หยุด 3 นาที่ โดยทำการพ่นน้ำในช่วงเวลาที่ได้จากชุดทดลองที่ 2

จากการทดลองที่ 2 สรุปว่าการพ่นน้ำในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในชุดทดลองที่ 3 เป็นการทดลองหาจังหวะการหยุดพักการพ่นน้ำที่เหมาะสมจึงทำการทดลองพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาที่หยุด 12 นาที่ กำหนดเวลาทำการพ่นน้ำบนหลังคาตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2545 โดยวัดอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิด และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาทีต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ 0:00-24:00 น.

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

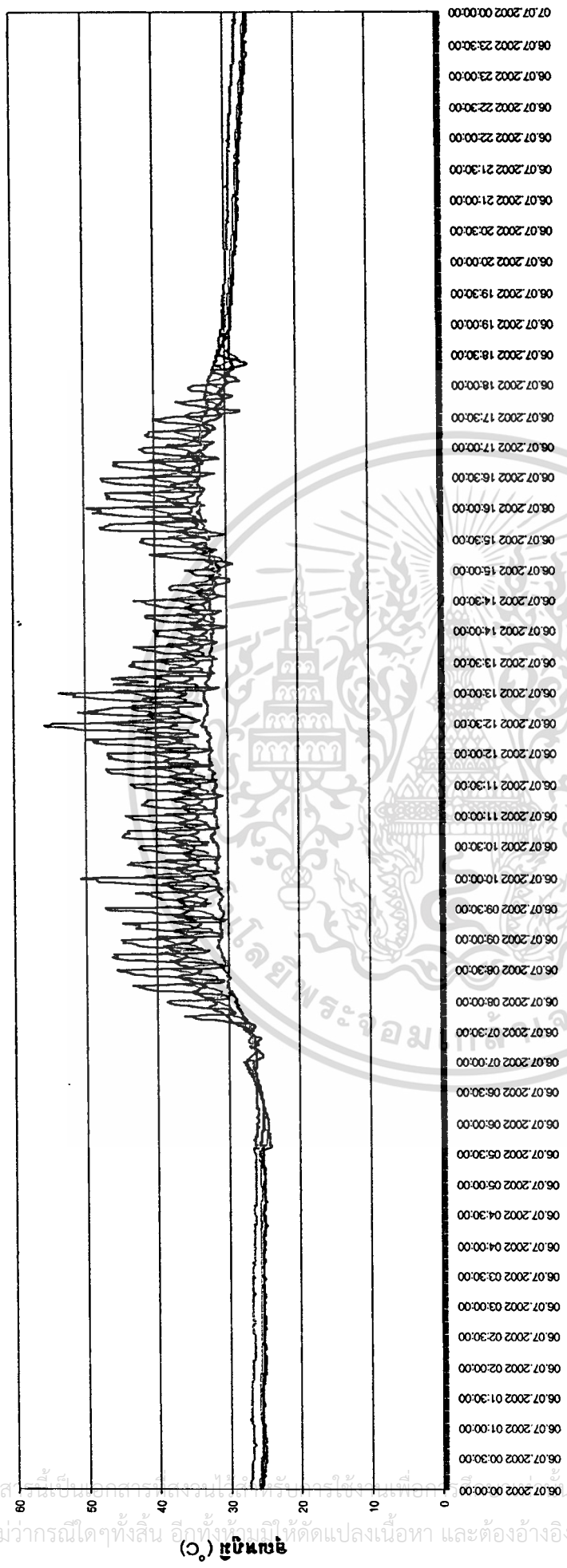
จากรูปที่ 5.8 ผลปรากฏว่า ในช่วงที่รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลาประมาณ 6:00 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น จนเมื่อเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคา อุณหภูมิหลังคาจะลดลงจนเมื่อหยุดทำการพ่นน้ำบนหลังคาอุณหภูมิหลังคาจะสูงขึ้นอีกจนเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคาในรอบถัดไป ซึ่งในแต่ละรอบจะใช้เวลาประมาณ 15 นาที โดยที่อุณหภูมิของหลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบจะเปลี่ยนไปตามเวลาการพ่นน้ำบนหลังคาซึ่งมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 0-1 นาที ส่วนอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนและอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาคอนกรีตจะมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 2-4 นาที ซึ่งจะแปรผันตามค่าการจุความร้อนของวัสดุผนังหลังคา โดยช่วงเวลาประมาณ 12:00-13:00 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดและมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาอันเนื่องมาจากการพ่นน้ำของหลังคาสูงที่สุด โดยที่หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงสุดที่ 21.68°C รองลงมาคือหลังคากระเบื้องซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงสุดที่ 11.56°C และหลังคากระเบื้องคอนกรีตมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงสุดที่ 6.07°C ตามลำดับ ซึ่งจะแปรผันกับค่าการจุความร้อนของวัสดุผนังหลังคา

หลังจากหยุดทำการพ่นน้ำที่เวลา 18:30 น. อุณหภูมิผิวด้านในของหลังคาทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจนไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวด้านในของหลังคาจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกจนอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งจะแปรผันกับค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุผนังหลังคา เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าเวลากลางคืน (Night Sky Radiation)

โดยวัสดุที่อุดมภูมิตำที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ รองลงมาคือกระเบื้อง
หลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



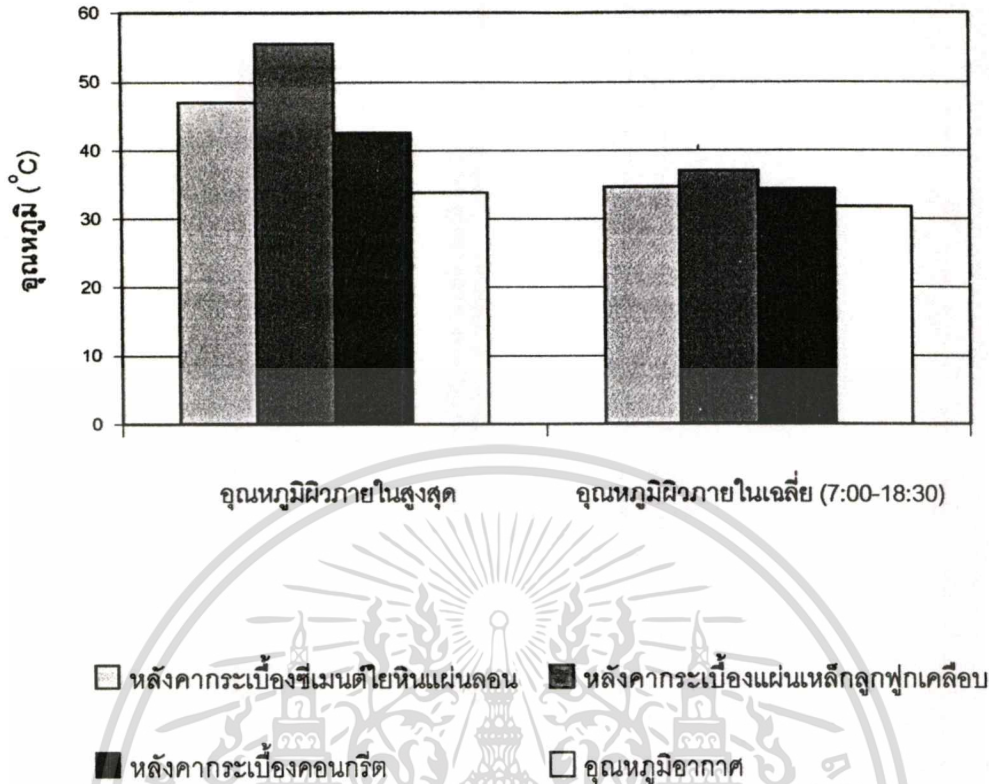
เวลา

— หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน
 - - - หลังคากระเบื้องคอนกรีต

— หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กชุบเคลือบ
 - - - ขุนหมิวอากาศ

รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัดตมุงหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 6 กรกฎาคม 2545

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังทำให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเจ็ลยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 6 กรกฎาคม 2545

จากรูปที่ 5.10 หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิสูงสุด 55.62 °C และมีอุณหภูมิเจ็ลยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 37.03 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิเจ็ลยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 5.33 °C ส่วนหลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์โยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิสูงสุด 47.05 °C และมีอุณหภูมิเจ็ลยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 34.77 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิเจ็ลยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 3.07 °C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงสุด 42.59 °C และมีอุณหภูมิเจ็ลยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 34.28 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิเจ็ลยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 2.58 °C โดยอากาศมีอุณหภูมิสูงสุด 33.93 °C และมีอุณหภูมิเจ็ลยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 31.70 °C

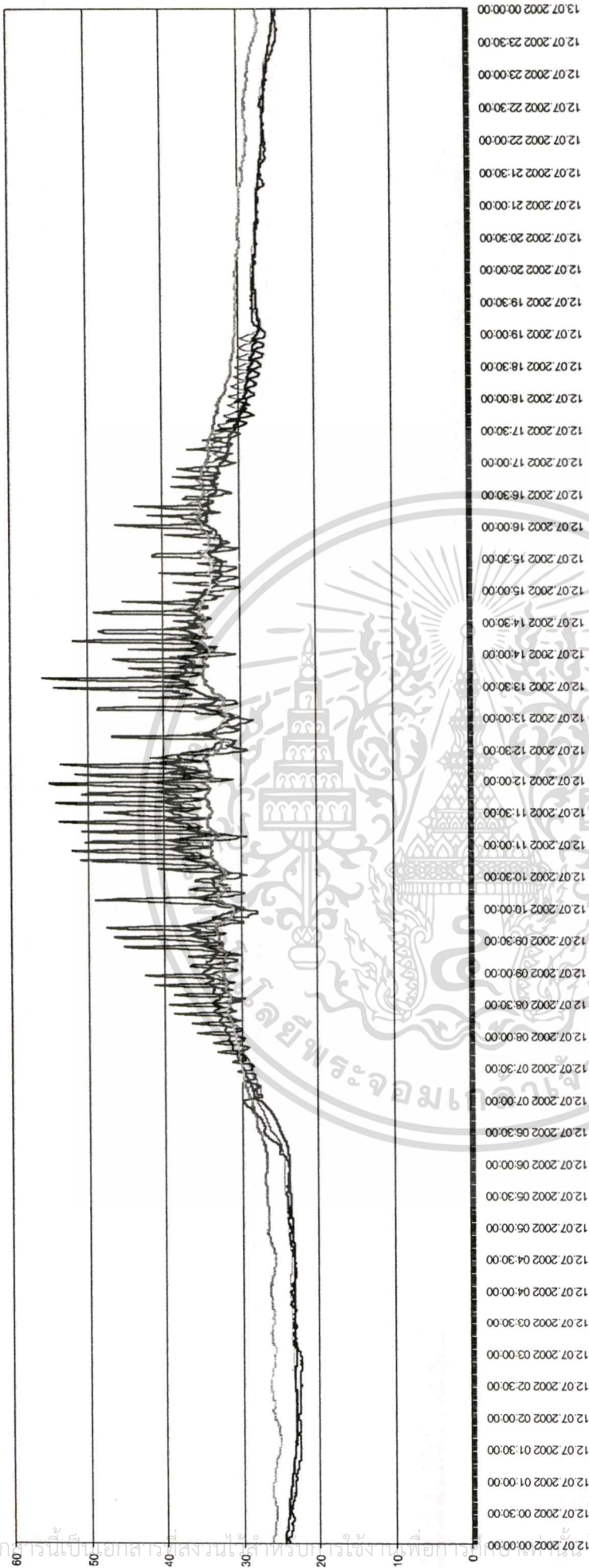
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที กำหนดเวลาทำการพ่นน้ำบนหลังคาตั้งแต่วันที่ 7:00-18:30 น. ในวันที่ 12 กรกฎาคม 2545 โดยวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิด และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ 0:00-24:00 น

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.11 ผลปรากฏว่า ในช่วงที่รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลาประมาณ 6:00 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น จนเมื่อเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคา อุณหภูมิหลังคาจะลดลงจนเมื่อหยุดทำการพ่นน้ำบนหลังคาอุณหภูมิหลังคาจะสูงขึ้นอีกจนเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคาในรอบถัดไป ซึ่งในแต่ละรอบจะใช้เวลาประมาณ 9 นาที โดยที่อุณหภูมิของหลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกฟูกเคลือบจะเปลี่ยนไปตามการพ่นน้ำบนหลังคาซึ่งมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 0-1 นาที ส่วนอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาคอนกรีตจะมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 2-4 นาที ซึ่งจะแปรผันตามค่าการจุความร้อนของวัสดุหลังคา โดยช่วงเวลาประมาณ 13:15-13:45 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดและช่วงเวลาประมาณ 11:45-12:15 น. เป็นช่วงมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาอันเนื่องมาจากการพ่นน้ำของหลังคาสูงที่สุด โดยที่หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกฟูกเคลือบมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 23.41°C รองลงมาคือหลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 7.32°C และหลังคากระเบื้องคอนกรีตมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 5.29°C ตามลำดับ ซึ่งจะแปรผันกับค่าการจุความร้อนของวัสดุหลังคา

หลังจากหยุดทำการพ่นน้ำที่เวลา 18:30 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจนไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวภายในหลังคาจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกจนอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งจะแปรผันกับค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุหลังคา เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าเวลากลางคืน (Night Sky Radiation) โดยวัสดุที่อุณหภูมิต่ำลงที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กถูกฟูกเคลือบ , กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนตามลำดับ

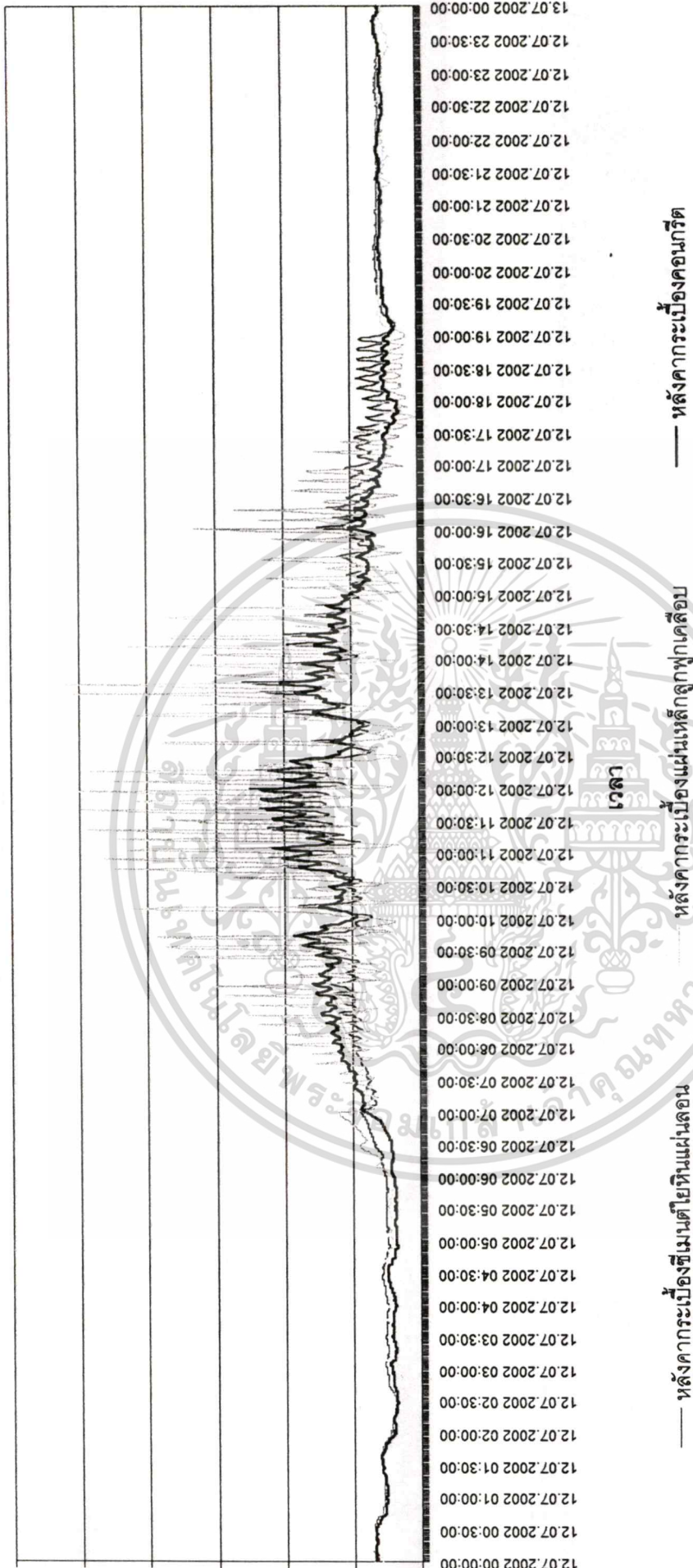


เวลา

— หลังคากระเบื้องที่เมตีย์หินแผ่นลอน
 — หลังคากระเบื้องคอนกรีต

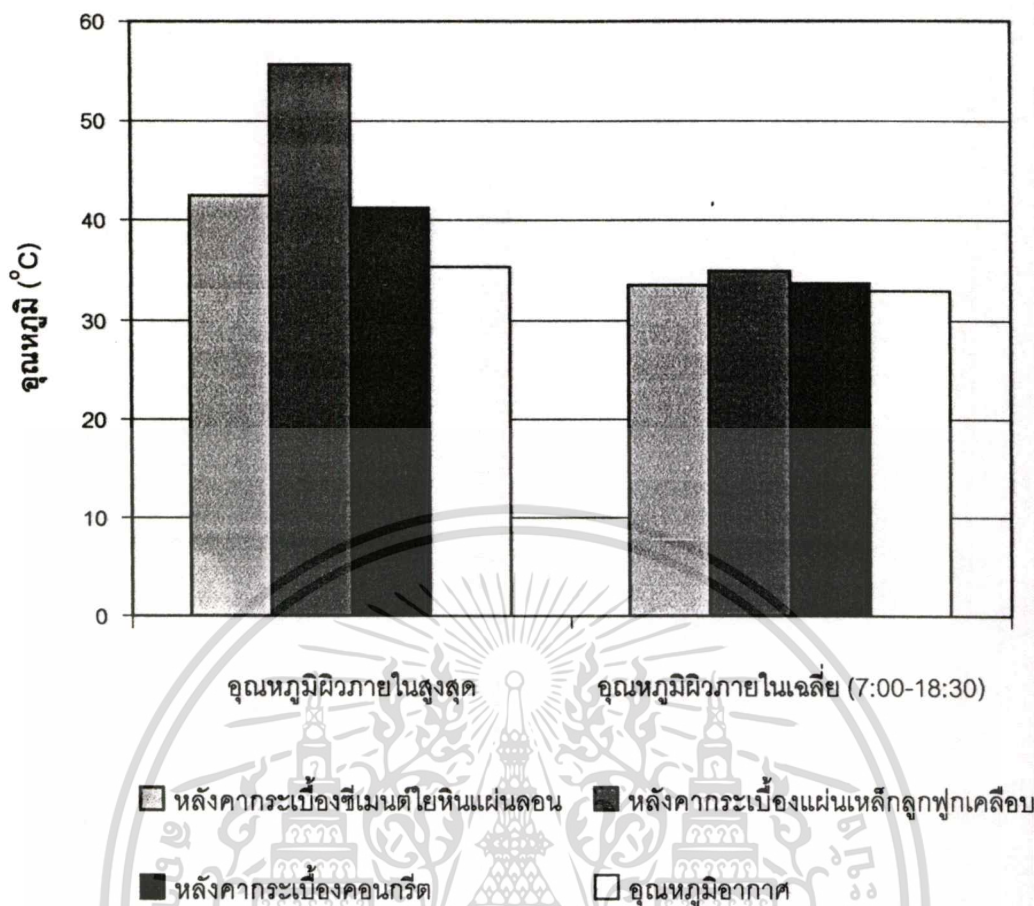
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ

3 นาทีหยุด 6 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 12 กรกฎาคม 2545



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำ ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 12 กรกฎาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น (c) ผู้เขียนได้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคา ด้านในเฉลี่ยของวัสดุหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การ พ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 12 กรกฎาคม 2545

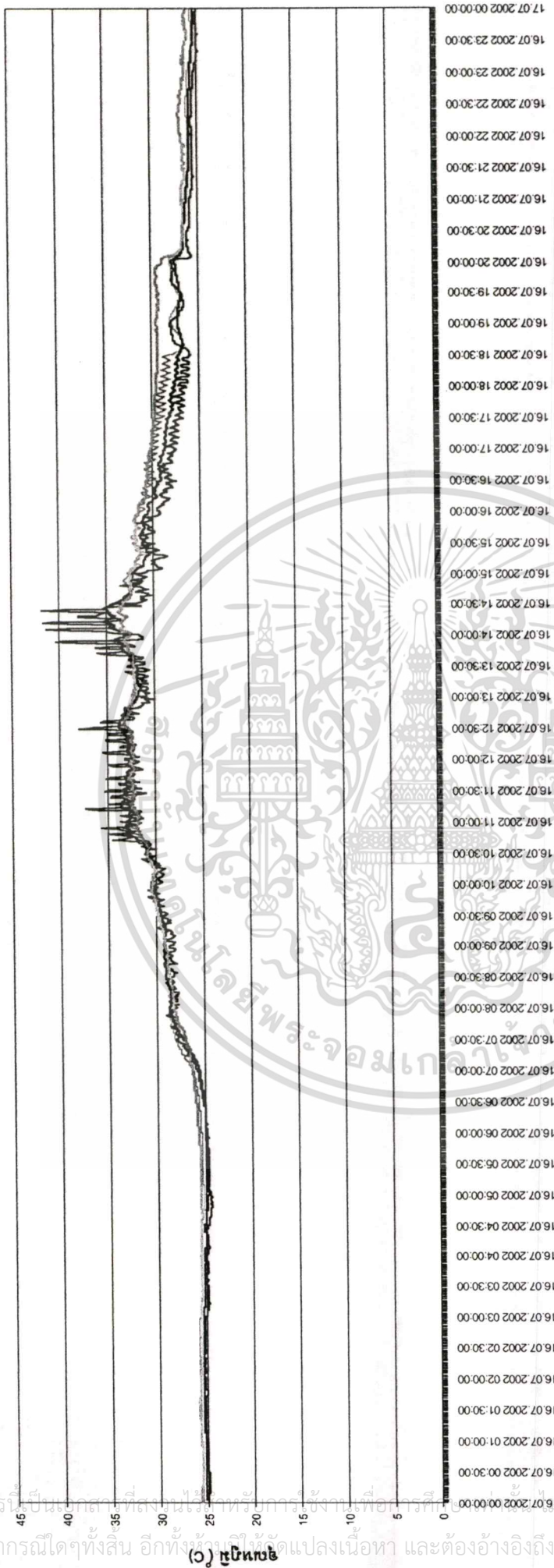
จากรูปที่ 5.13 หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิสูงสุด 55.82 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 34.89 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของ อากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 1.86 °C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมี อุณหภูมิสูงสุด 42.61 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 33.50 °C ซึ่งสูงกว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.48 °C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมี อุณหภูมิสูงสุด 41.36 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 33.92 °C ซึ่งสูงกว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.68 °C โดยอากาศมีอุณหภูมิสูงสุด 33.70 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 33.02 °C

ทำการทดลองพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที กำหนดเวลาทำการพ่นน้ำบนหลังคาตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 16 กรกฎาคม 2545 โดยวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิด และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ 0:00-24:00 น

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.14 ผลปรากฏว่า ในช่วงที่รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลาประมาณ 6:00 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น จนเมื่อเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคา อุณหภูมิหลังคาจะลดลงจนเมื่อหยุดทำการพ่นน้ำบนหลังคาอุณหภูมิหลังคาจะสูงขึ้นอีกจนเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคาในรอบถัดไป ซึ่งในแต่ละรอบจะใช้เวลาประมาณ 6 นาที โดยที่อุณหภูมิของหลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบจะเปลี่ยนไปตามการพ่นน้ำบนหลังคาซึ่งมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 0-1 นาที ส่วนอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนและอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาคอนกรีตจะมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 2-4 นาที ซึ่งจะแปรผันตามค่าการจุความร้อนของวัสดุผนังหลังคา โดยช่วงเวลาประมาณ 14:00-14:30 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดและเป็นช่วงมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาอันเนื่องมาจากการพ่นน้ำของหลังคาสูงที่สุด โดยที่หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 10.52°C รองลงมาคือหลังคากระเบื้องซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 2.36°C และหลังคากระเบื้องคอนกรีตมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 1.78°C ตามลำดับ ซึ่งจะแปรผันกับค่าการจุความร้อนของวัสดุผนังหลังคา

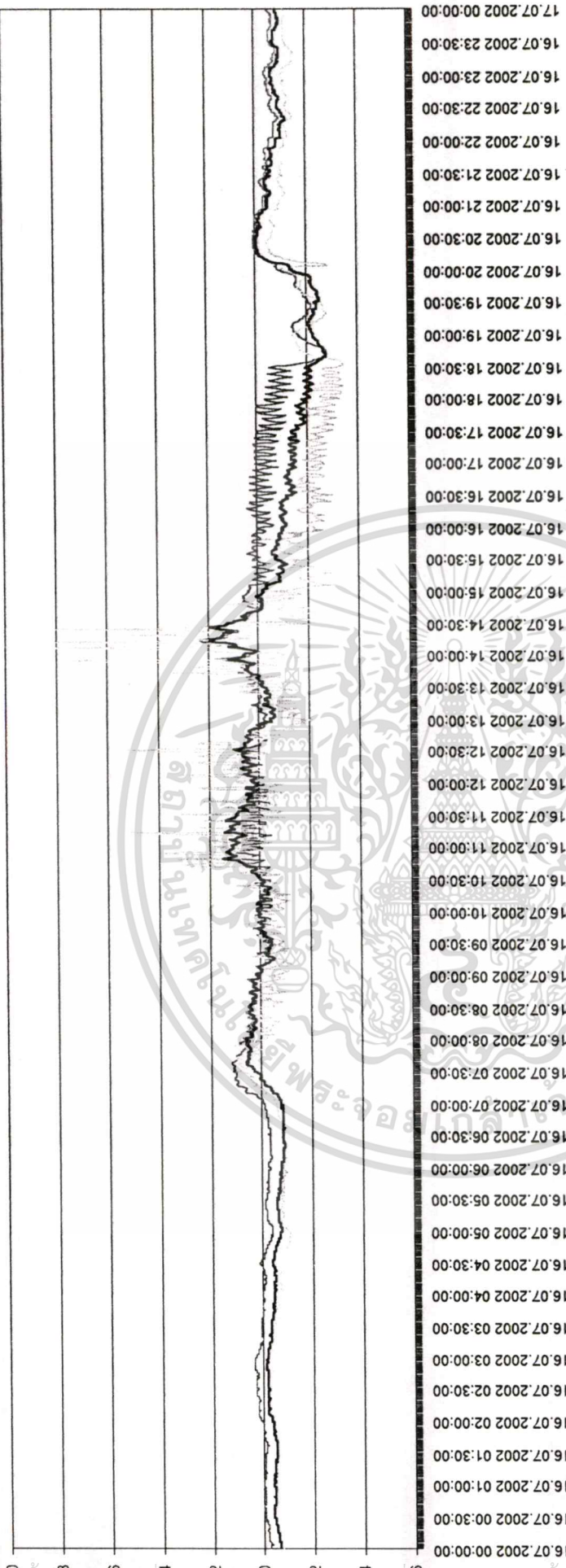
หลังจากหยุดทำการพ่นน้ำที่เวลา 18:30 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจนไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวภายในหลังคาจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกจนอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งจะแปรผันกับค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุผนังหลังคา เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าเวลากลางคืน (Night Sky Radiation) โดยวัสดุที่อุณหภูมิต่ำลงที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบ , กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนตามลำดับ



— หลังคากระเบื้องดินเผาลอน
 — หลังคากระเบื้องคอนกรีต
 เวลา — หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กทุกเคสือบ
 — อุ่นหมุมอากาศ

รูปที่ 5.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 16 กรกฎาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ดำเนินการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังรับผิดชอบเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



— หลังคากระเบื้องคอนกรีต

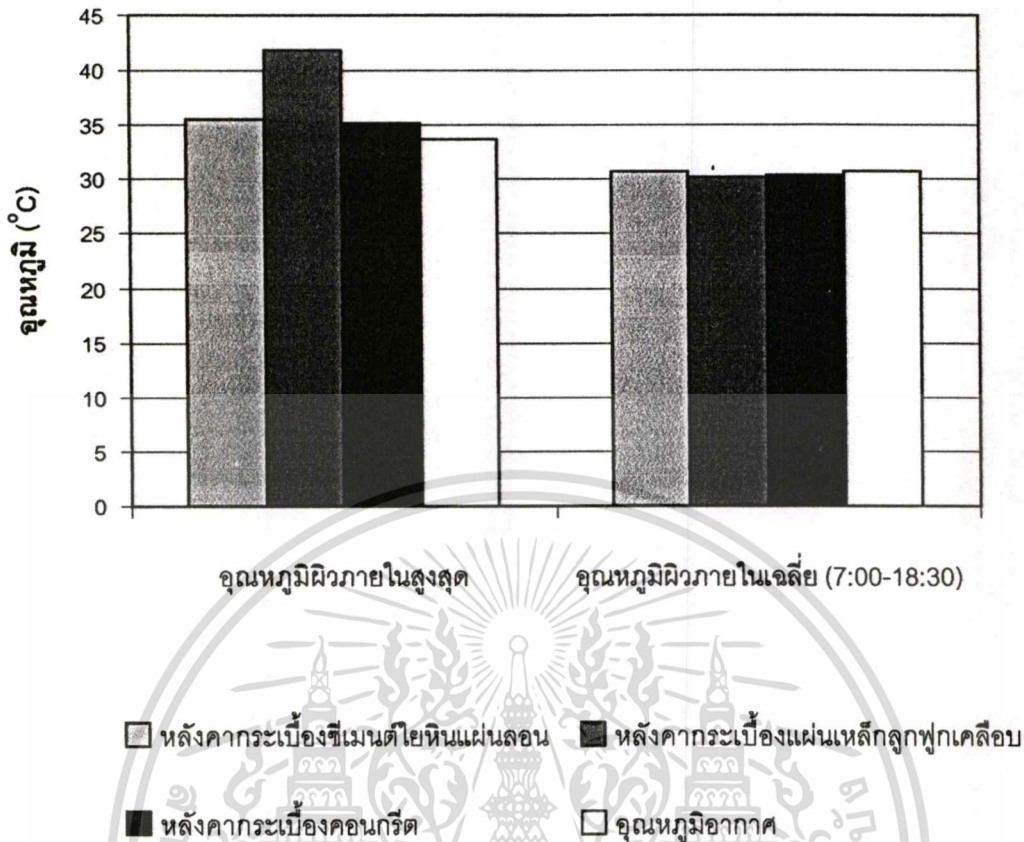
หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กผูกเคสือบ

— หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน

รูปที่ 5.15 ภาพแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำ

ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 16 กรกฎาคม 2545

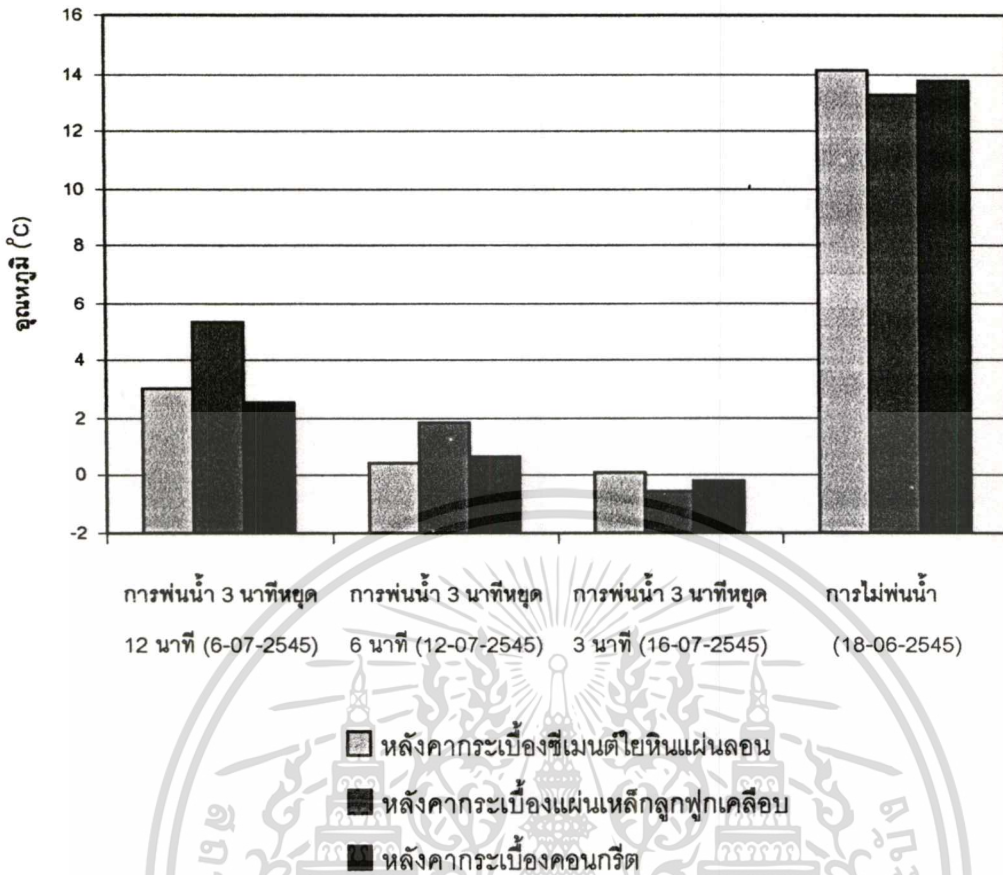
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น (C) อุณหภูมิ (C) และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 16 กรกฎาคม 2545

จากรูปที่ 5.16 หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิสูงสุด 41.78°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.20°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.51°C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิสูงสุด 30.83°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 31.00°C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.12°C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงสุด 35.27°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.51°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.20°C โดยอากาศมีอุณหภูมิสูงสุด 33.79°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.71°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ด้วยอัตราการพ่นน้ำทั้ง 3 แบบและการไม่พ่นน้ำ

จากรูปที่ 5.17 อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศต่ำที่สุดและมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาอันเนื่องมาจากการพ่นน้ำของหลังคาต่ำที่สุด จึงสรุปได้ว่าเวลา 3 นาที เป็นจังหวะการหยุดพักการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา

ชุดทดลองที่ 4 การทดลองหาจังหวะการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา โดยใช้จังหวะของการหยุดพักการพ่นน้ำจากชุดทดลองที่ 3 และเปลี่ยนระยะเวลาของการพ่นน้ำต่างๆกัน ได้แก่ การพ่นน้ำ 6 นาที , การพ่นน้ำ 12 นาที , การพ่นน้ำ 24 นาที และการพ่นน้ำตลอดเวลา โดยทำการพ่นน้ำในช่วงเวลาที่ได้จากชุดทดลองที่ 2

จากชุดทดลองที่ 2 - 3 สรุปได้ว่าการพ่นน้ำในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ด้วยจังหวะการพัก 3 นาที เป็นช่วงเวลาและจังหวะการพักที่เหมาะสม ในชุดทดลองที่ 4 เป็นการหาจังหวะการพ่นน้ำที่เหมาะสม จึงทำการทดลองพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที กำหนดเวลาทำการพ่นน้ำตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 28 กรกฎาคม 2545 โดยวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิดและเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาทีต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ 0:00-24:00 น.

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

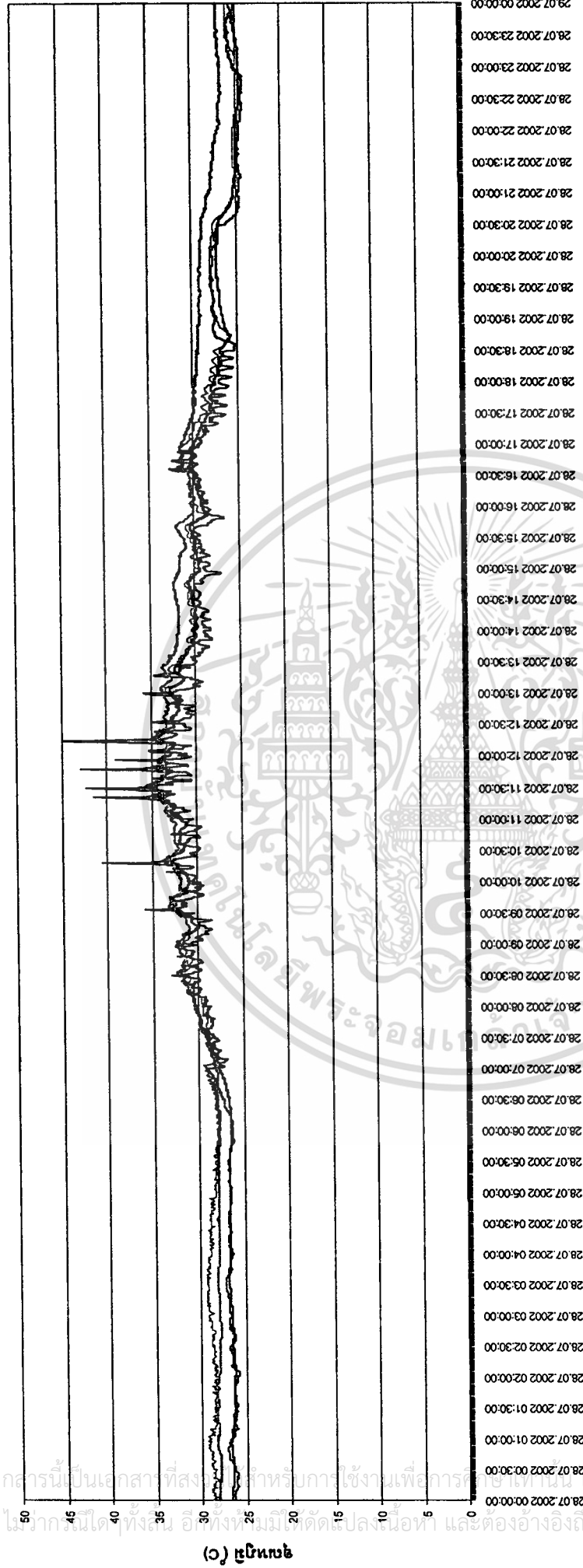
จากรูปที่ 5.18 ผลปรากฏว่าในช่วงที่รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลาประมาณ 6:00 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น จนเมื่อเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคา อุณหภูมิหลังคาจะลดลงจนเมื่อหยุดทำการพ่นน้ำบนหลังคาอุณหภูมิหลังคาจะสูงขึ้นอีกจนเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคาในรอบถัดไป ซึ่งในแต่ละรอบจะใช้เวลาประมาณ 9 นาที โดยที่อุณหภูมิของหลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบจะเปลี่ยนไปตามการพ่นน้ำบนหลังคาซึ่งมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 0-1 นาที ส่วนอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์โยหินแผ่นลอนและอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาคอนกรีตจะมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 2-4 นาที ซึ่งจะแปรผันตามค่าการจลความร้อนของวัสดุผนังหลังคา โดยช่วงเวลาประมาณ 11:15-12:15 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดและมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาอันเนื่องมาจากการพ่นน้ำของหลังคาสูงที่สุด โดยที่หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 14.23°C รองลงมาคือหลังคากระเบื้องซีเมนต์โยหินแผ่นลอนมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 3.13°C และหลังคากระเบื้องคอนกรีตมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 2.35°C ตามลำดับ ซึ่งจะแปรผันผกผันกับค่าการจลความร้อนของวัสดุผนังหลังคา

หลังจากหยุดทำการพ่นน้ำที่เวลา 18:30 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจนไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวภายในหลังคาจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกจนอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งจะแปรผันผกผันกับค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุผนังหลังคา เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าเวลากลางคืน (Night Sky Radiation)

โดยวัสดุที่อุณหภูมิต่ำลงที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กถูกเคลือบ , กระเบื้องหลังคา
คอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนตามลำดับ



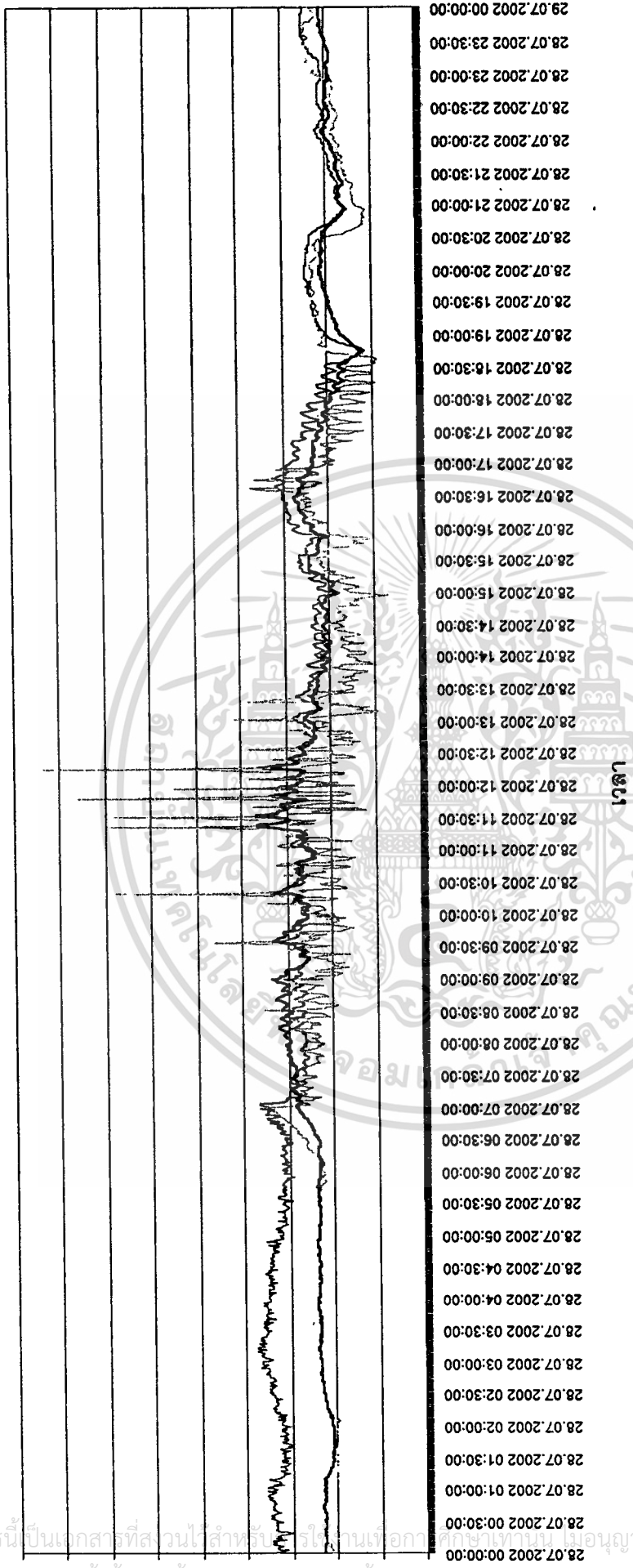
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



— หลังคากระเบื้องสีเทาหินแผ่นลอน
 — หลังคากระเบื้องคอนกรีต
 — หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กชุบเคลือบ
 — อุณหภูมิอากาศ

รูปที่ 5.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังของอาคารภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 28 กรกฎาคม 2545

รูปที่ 5.19 (ค)

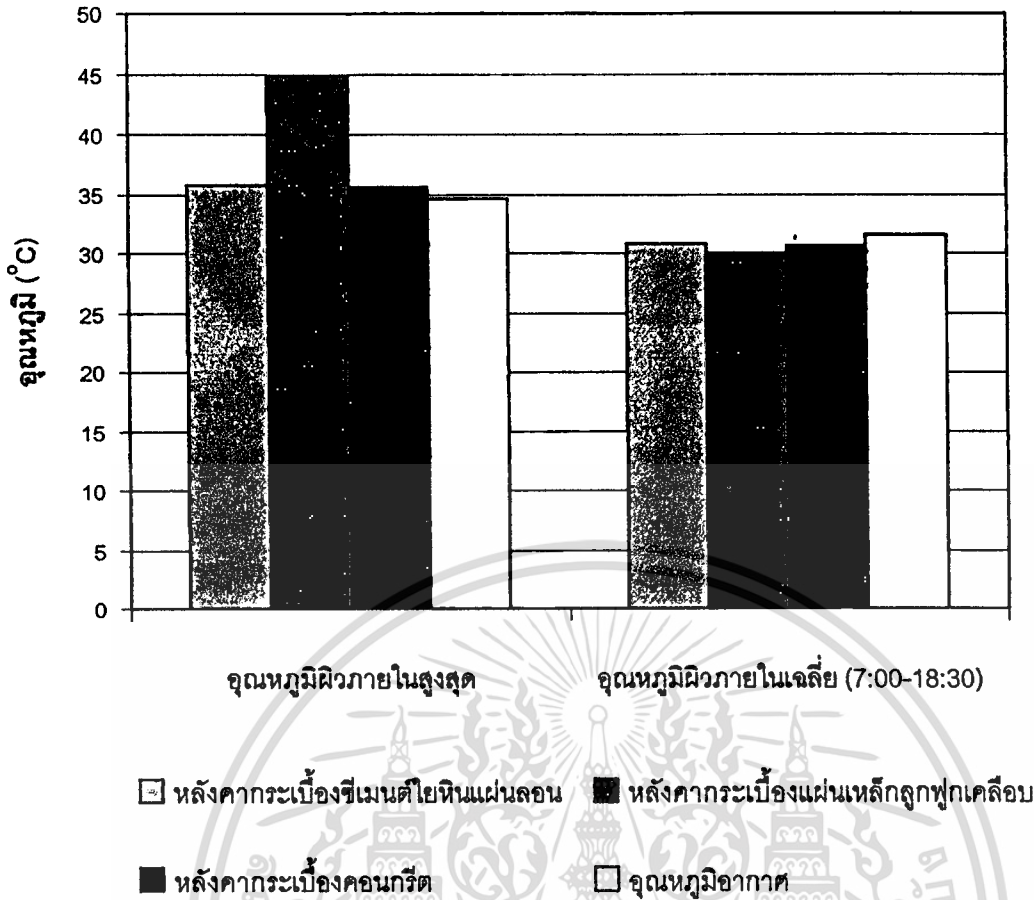


— หลังคากระเบื้องที่เมานต์โยนแผ่นลอน

หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กชุบฟลูออโรเคลือบ

— หลังคากระเบื้องคอนกรีต

รูปที่ 5.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำ ด้วยอัตราพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 28 กรกฎาคม 2545



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคา ด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่น น้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 28 กรกฎาคม 2545

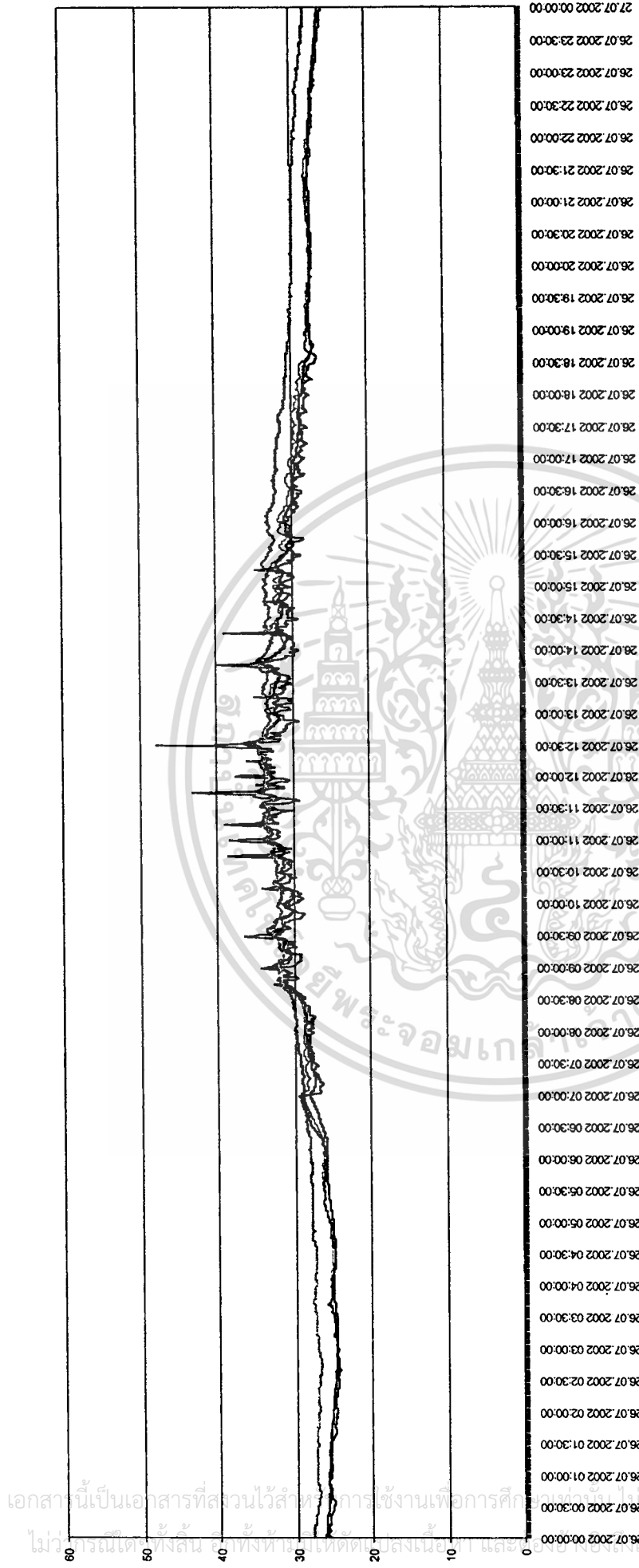
จากรูปที่ 5.20 หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิสูงสุด 44.69 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 29.98 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของ อากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 1.60 °C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ไยหินแผ่นลอนมี อุณหภูมิสูงสุด 35.79 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.85 °C ซึ่งต่ำกว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.72 °C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมี อุณหภูมิสูงสุด 35.52 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.67 °C ซึ่งต่ำกว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.90 °C โดยอากาศมีอุณหภูมิสูงสุด 34.65 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 31.58 °C

ทำการทดลองพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที กำหนดเวลาทำการพ่นน้ำบนหลังคาตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 26 กรกฎาคม 2545 โดยวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิด และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ 0:00-24:00 น

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

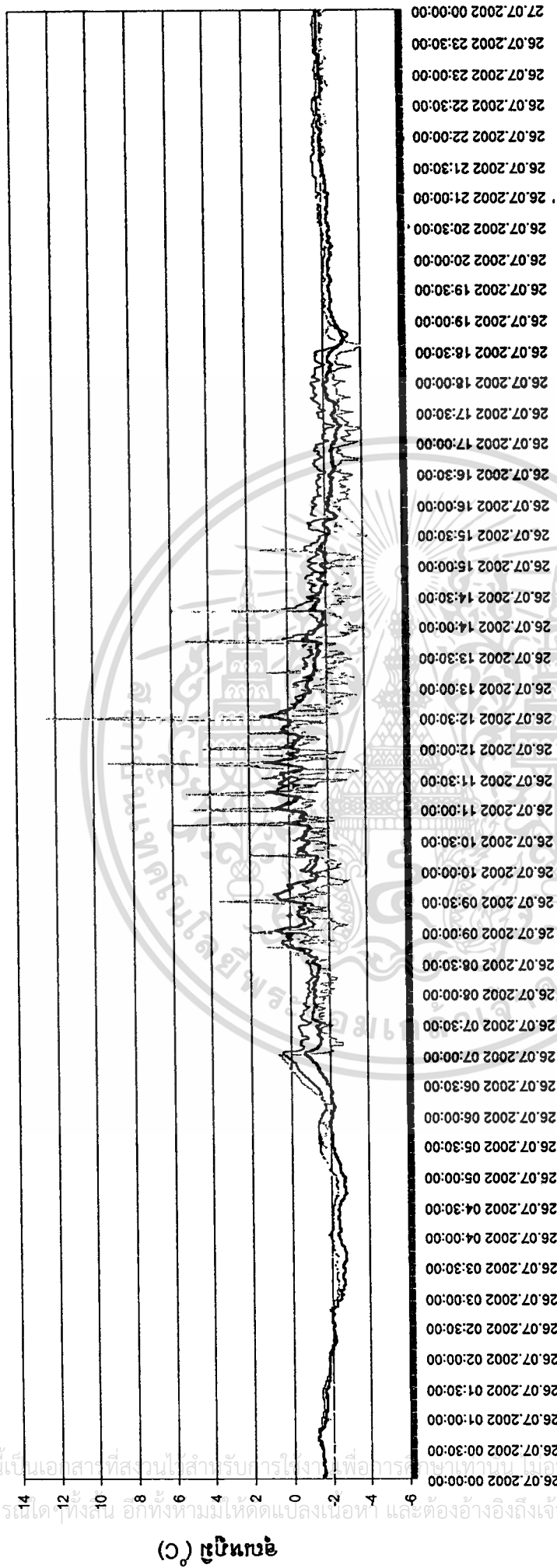
จากรูปที่ 5.21 ผลปรากฏว่าในช่วงที่รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลาประมาณ 6:00 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น จนเมื่อเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคา อุณหภูมิหลังคาจะมีแนวโน้มลดลงจนถึงอุณหภูมิระดับหนึ่ง อุณหภูมิหลังคาจะแกว่งตัวขึ้นลงจนเมื่อหยุดทำการพ่นน้ำบนหลังคาอุณหภูมิหลังคาจะสูงขึ้นอีกจนเมื่อเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคาในรอบถัดไป ซึ่งในแต่ละรอบจะใช้เวลาประมาณ 15 นาที โดยที่อุณหภูมิของหลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบจะเปลี่ยนไปตามการพ่นน้ำบนหลังคาซึ่งมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 0-1 นาที ส่วนอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาคอนกรีตจะมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 2-4 นาที ซึ่งจะแปรผันตามค่าการจุความร้อนของวัสดุผนังหลังคา โดยช่วงเวลาประมาณ 11:35-12:35 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดและมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาอันเนื่องมาจากการพ่นน้ำของหลังคาสูงที่สุด โดยที่หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 16.06°C รองลงมาคือหลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 3.39°C และหลังคากระเบื้องคอนกรีตมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 2.73°C ตามลำดับ ซึ่งจะแปรผันกับค่าการจุความร้อนของวัสดุผนังหลังคา

หลังจากหยุดทำการพ่นน้ำที่เวลา 18:30 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจนไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และในเวลากลางวันอุณหภูมิผิวภายในหลังคาจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกจนอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งจะแปรผันกับค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุผนังหลังคา เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าเวลากลางคืน (Night Sky Radiation) โดยวัสดุที่อุณหภูมิต่ำลงที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบ , กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนตามลำดับ



— หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแฉลอน
 - - - หลังคากระเบื้องคอนกรีต

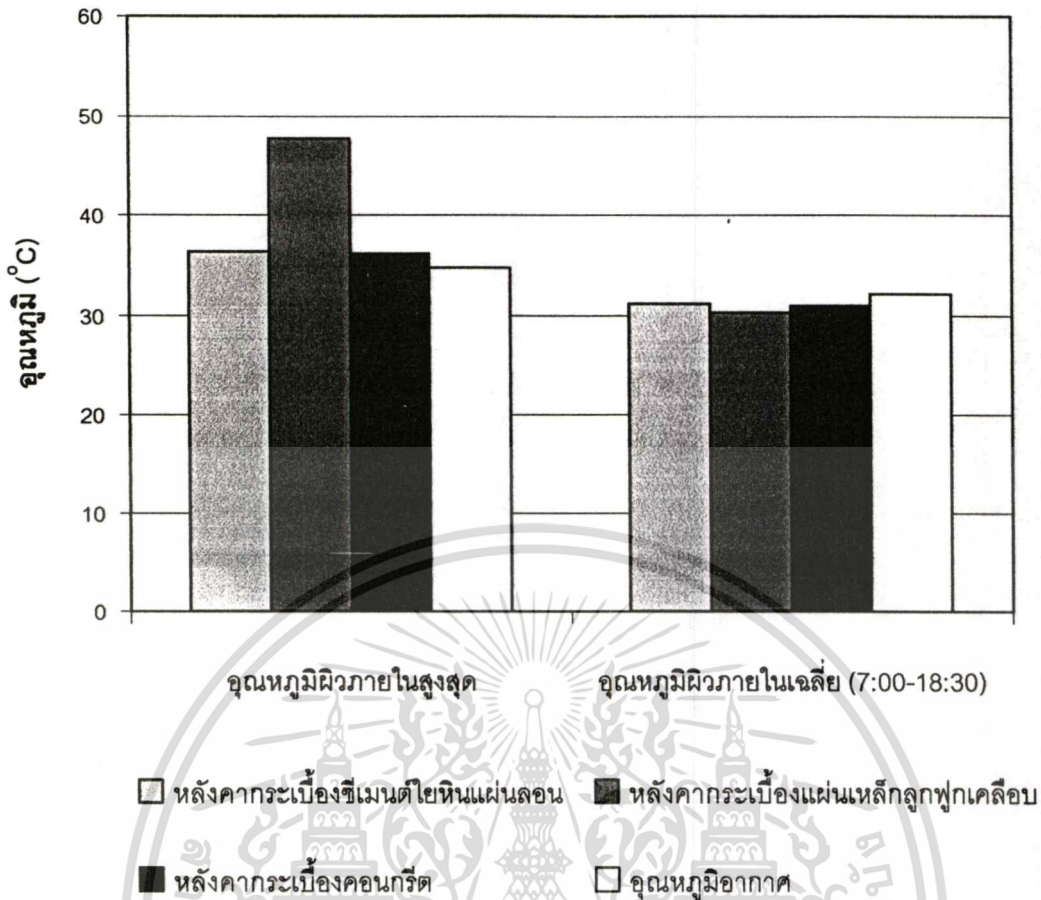
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัดตมูงหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 26 กรกฎาคม 2545



เวลา

— หลังคากระเบื้องดินเผาตอน — หลังคากระเบื้องดินเผาหลังคาปูกระเบื้อง — หลังคากระเบื้องคอนกรีต

รูปที่ 5.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังของอาคารภายนอก โดยทำการพ่นน้ำ ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 26 กรกฎาคม 2545



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยการใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 26 กรกฎาคม 2545

จากรูปที่ 5.23 หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิสูงสุด 47.72°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.39°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 1.81°C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิสูงสุด 36.47°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 31.20°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 1.00°C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงสุด 36.12°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.89°C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 1.30°C โดยอากาศมีอุณหภูมิสูงสุด 34.86°C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 32.19°C

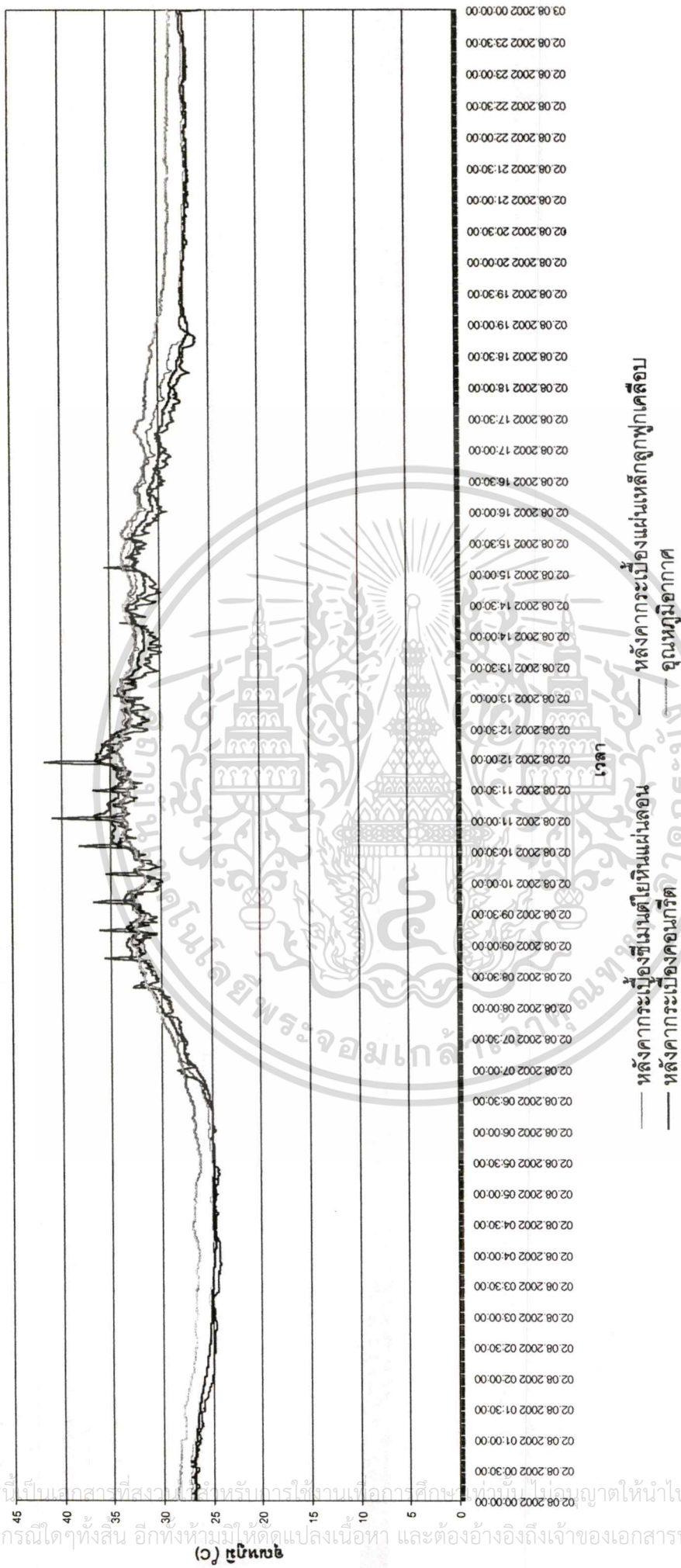
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดลองพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราพ่นน้ำ 24 นาที่หยุด 3 นาที กำหนดเวลาทำการพ่นน้ำบนหลังคาตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 2 สิงหาคม 2545 โดยวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิด และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ 0:00-24:00 น

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.24 ผลปรากฏว่าในช่วงที่รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลาประมาณ 6:00 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น จนเมื่อเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคา อุณหภูมิหลังคาจะมีแนวโน้มลดลงจนถึงอุณหภูมิระดับหนึ่ง อุณหภูมิหลังคาจะแกว่งตัวขึ้นลงจนเมื่อหยุดทำการพ่นน้ำบนหลังคาอุณหภูมิหลังคาจะสูงขึ้นอีกจนเมื่อเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคาในรอบถัดไป ซึ่งในแต่ละรอบจะใช้เวลาประมาณ 27 นาที โดยที่อุณหภูมิของหลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบจะเปลี่ยนไปตามการพ่นน้ำบนหลังคาซึ่งมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 0-1 นาที ส่วนอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและอุณหภูมิของกระเบื้องหลังคาคอนกรีตจะมีช่วงหน่วงเวลาประมาณ 2-4 นาที ซึ่งจะแปรผันตามค่าการจุความร้อนของวัสดุของหลังคา โดยช่วงเวลาประมาณ 11:45-12:15 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดและมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาอันเนื่องมาจากการพ่นน้ำของหลังคาสูงที่สุด โดยที่หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 9.49°C รองลงมาคือหลังคากระเบื้องคอนกรีตมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 2.81°C และหลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมีค่า Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงที่สุดที่ 2.66°C ตามลำดับ ซึ่งจะแปรผันกับค่าการจุความร้อนของวัสดุของหลังคา

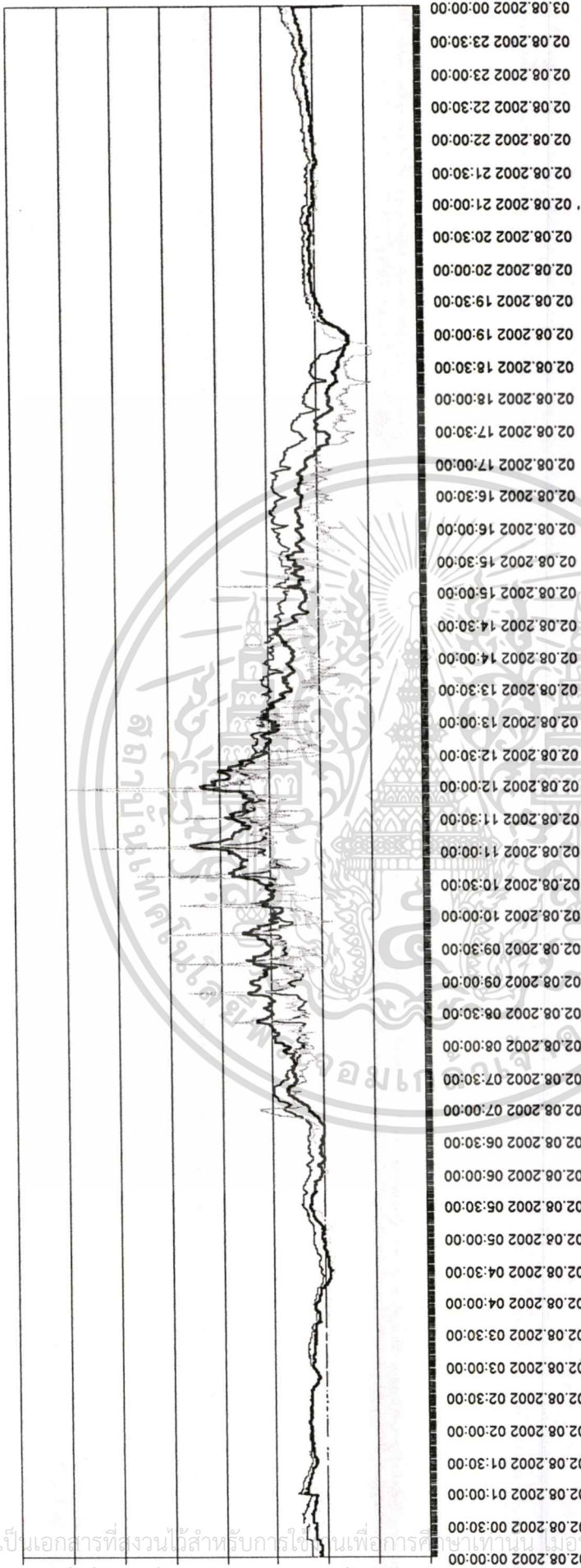
หลังจากหยุดทำการพ่นน้ำที่เวลา 18:30 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจนไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวภายในหลังคาจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งจะแปรผันกับค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุของหลังคา เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าเวลากลางคืน (Night Sky Radiation) โดยวัสดุที่อุณหภูมิต่ำลงที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กถูกพุกเคลือบ, กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนตามลำดับ



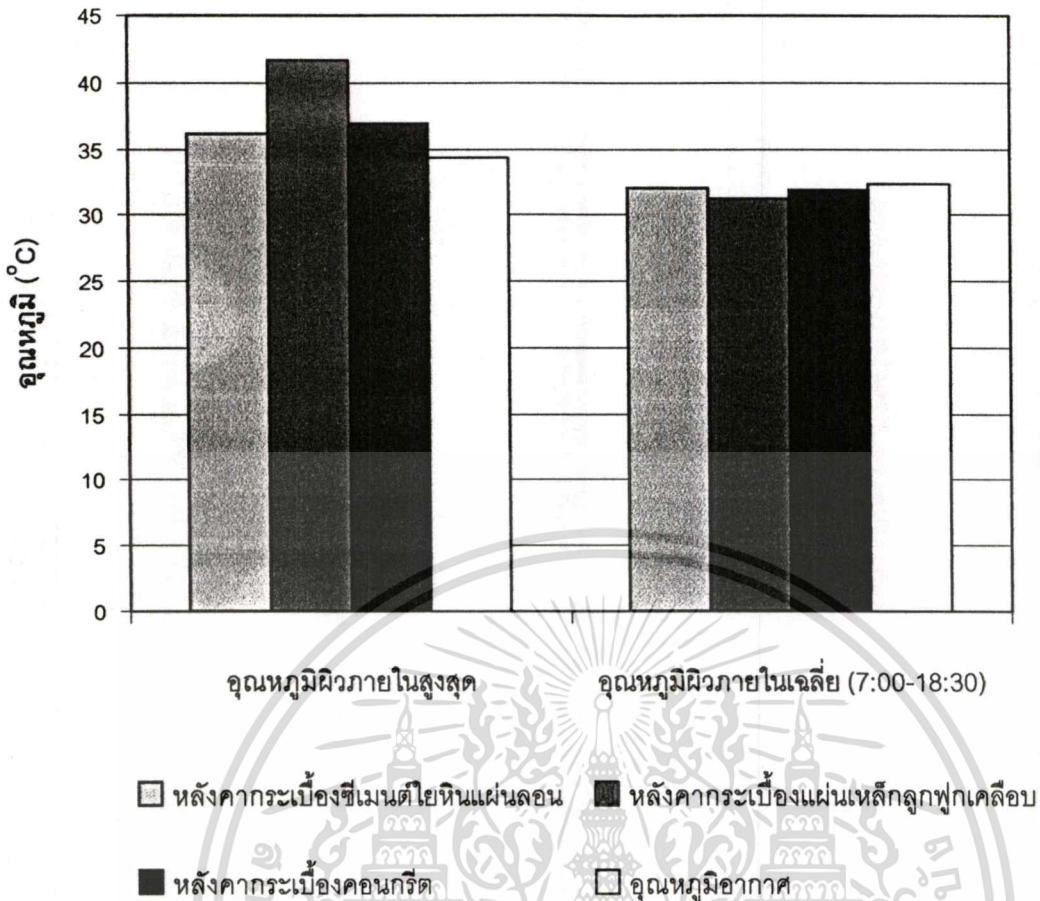
รูปที่ 5.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิหลังคาภายในของวัดดงมุงหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 2 สิงหาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.25 (จ) อนุกรมเวลา



รูปที่ 5.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังภายนอก โดยทำการพ่นน้ำ ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 2 สิงหาคม 2545



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหนังหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหนังหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 2 สิงหาคม 2545

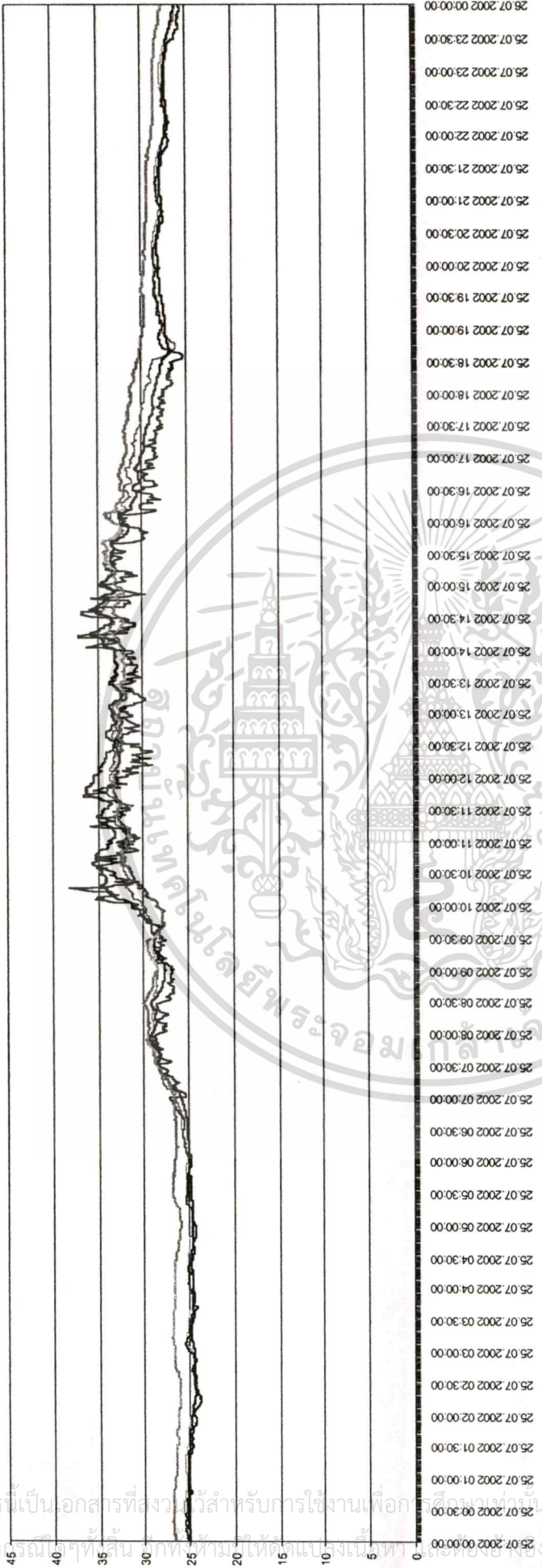
จากรูปที่ 5.26 หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิสูงสุด 41.63 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.39 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 1.09 °C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิสูงสุด 36.17 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 31.19 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.32 °C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงสุด 36.85 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.89 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.42 °C โดยอากาศมีอุณหภูมิสูงสุด 34.37 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 32.19 °C

ทำการทดลองพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำตลอดเวลา กำหนดเวลาทำการพ่นน้ำบนหลังคาตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 25 กรกฎาคม 2545 โดยวัดอุณหภูมิของผิวหลังคาด้านในทั้ง 3 ชนิด และเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ 0:00-24:00 น

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.27 ผลปรากฏว่าในช่วงที่รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลาประมาณ 6:00 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น จนเมื่อเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคา อุณหภูมิหลังคาจะมีแนวโน้มลดลงจนถึงอุณหภูมิระดับหนึ่ง หลังจากนั้นอุณหภูมิหลังคาจะแกว่งตัวขึ้นลงตลอดช่วงเวลาที่ทำการพ่นน้ำ ซึ่งหลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีลักษณะการ Swing ของอุณหภูมิหลังคาสูงสุด รองลงมาหลังคากระเบื้องคอนกรีตและหลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนตามลำดับ ซึ่งจะแปรผันตามค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุผนังหลังคา และช่วงเวลาประมาณ 14:00-15:00 น. เป็นช่วงที่อุณหภูมิหลังคาสูงสุด

หลังจากหยุดทำการพ่นน้ำที่เวลา 18:30 น. อุณหภูมิผิวภายในของหลังคาทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ลดลงจนไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวภายในหลังคาจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกจนอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งจะแปรผันผันกับค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุผนังหลังคา เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าเวลากลางคืน (Night Sky Radiation) โดยวัสดุที่อุณหภูมิต่ำลงที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ , กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนตามลำดับ

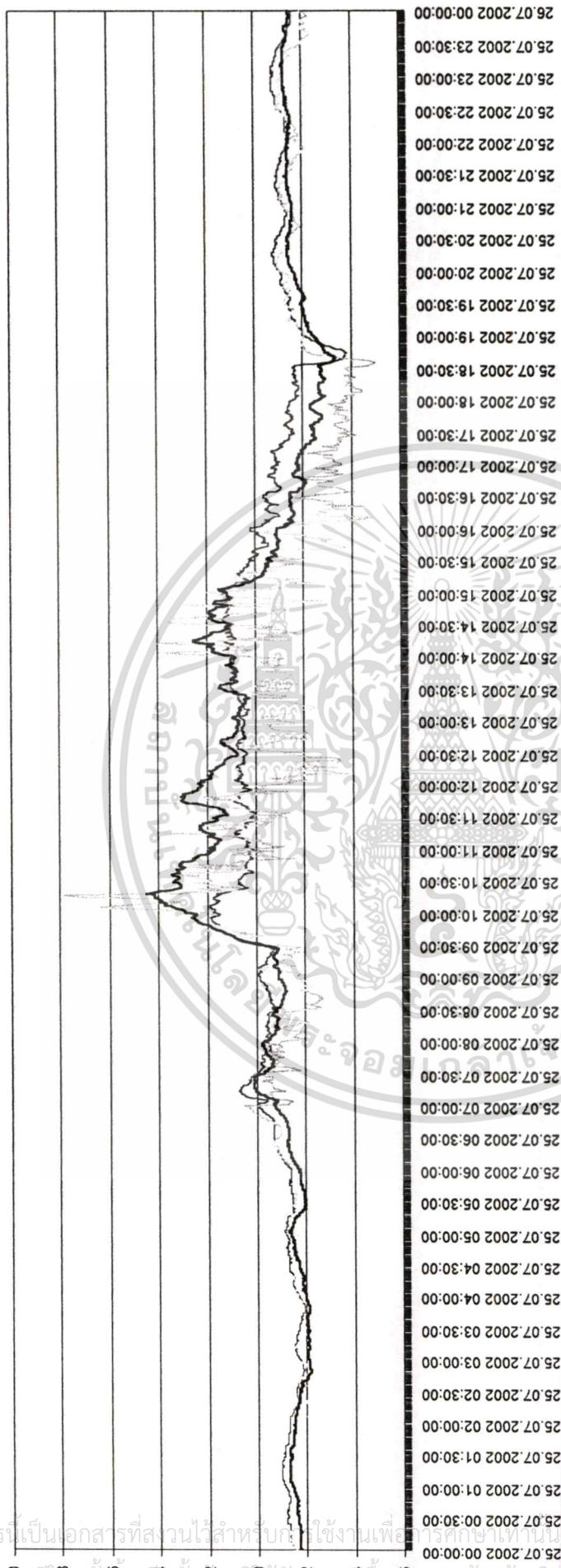


เวลา

— หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน — หลังคากระเบื้องแผ่นลูกฟูกเคลือบ
 — จุดหมุมอากาศ

รูปที่ 5.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบจุดหมุมผิวหลังคาภายในของวัดตมูมหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับจุดหมุมอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำด้วยอัตราการพ่นน้ำ
 ตลอดเวลา ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 25 กรกฎาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

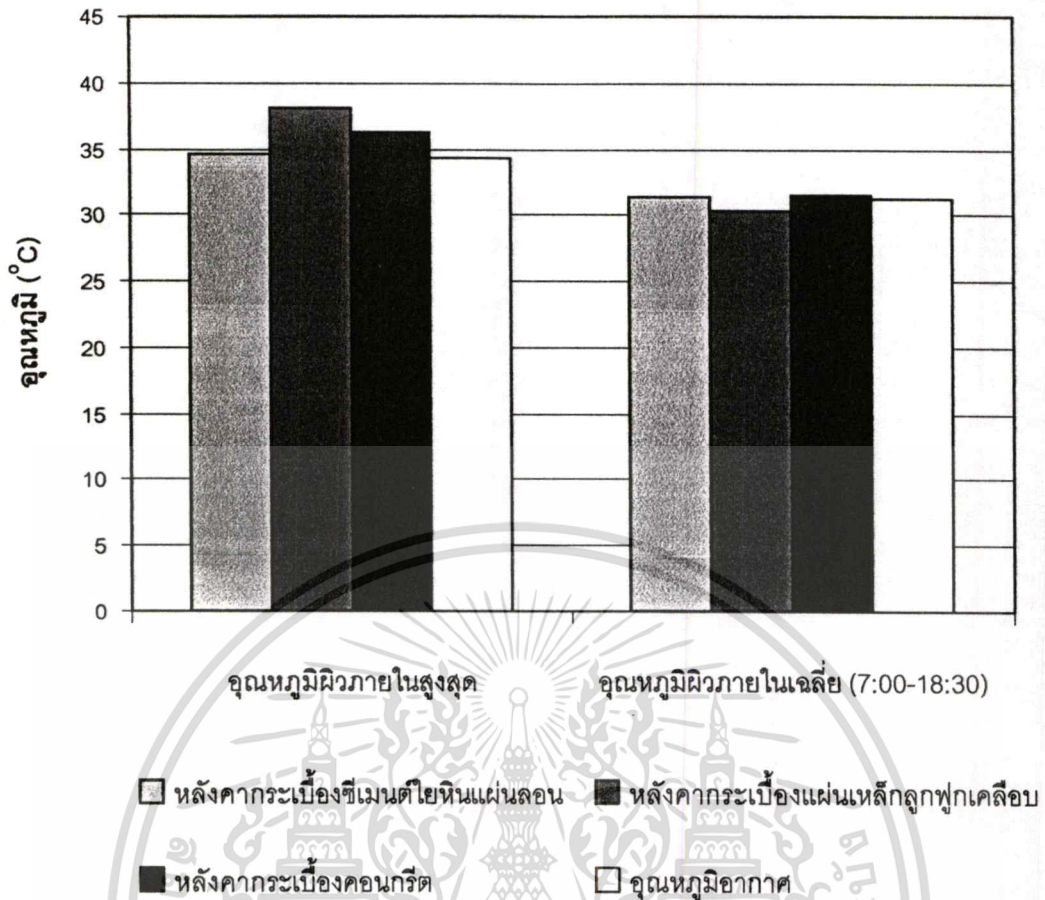


— หลังคากระเบื้องซีเมนต์ยี่ห้อเม่นลอน

หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกฟ้าเคลือบ

— หลังคากระเบื้องคอนกรีต

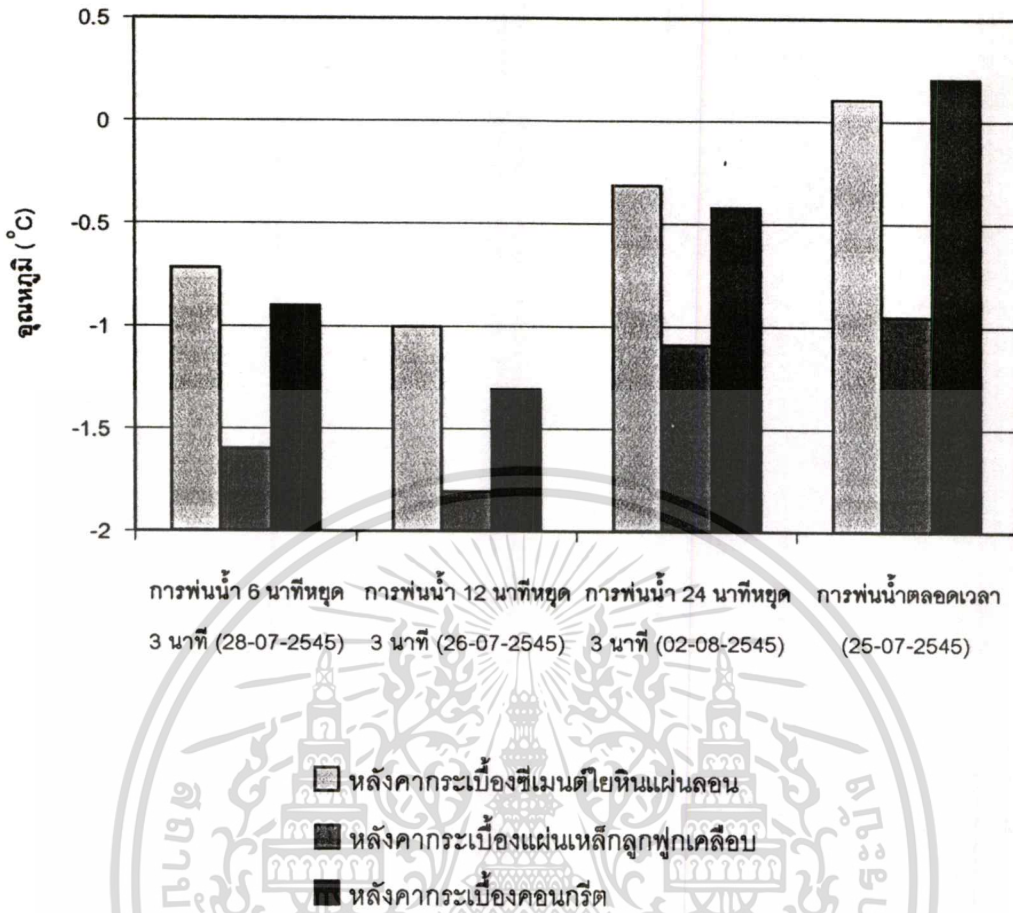
รูปที่ 5.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยทำการพ่นน้ำ ด้วยอัตราการพ่นน้ำตลอดเวลา ช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 25 กรกฎาคม 2545



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคา ด้านในเงาของวัสดุบุหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้การ พ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำตลอดเวลา ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 25 กรกฎาคม 2545

จากรูปที่ 5.29 หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิสูงสุด 38.18 °C และมีอุณหภูมิเงาในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.38 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเงาของ อากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.95 °C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมี อุณหภูมิสูงสุด 34.59 °C และมีอุณหภูมิเงาในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 31.44 °C ซึ่งสูงกว่า อุณหภูมิเงาของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.10 °C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมี อุณหภูมิสูงสุด 36.35 °C และมีอุณหภูมิเงาในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 31.54 °C ซึ่งสูงกว่า อุณหภูมิเงาของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.21 °C โดยอากาศมีอุณหภูมิสูงสุด 34.39 °C และมีอุณหภูมิเงาในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 31.33 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกด้วยอัตราการพ่นน้ำทั้ง 4 แบบ

จากรูปที่ 5.30 อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศต่ำที่สุด จึงสรุปได้ว่าเวลา 12 นาที เป็นจังหวะการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา และอัตราที่เหมาะสมสำหรับการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา ได้แก่ อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที ในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. โดยหลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิต่ำที่สุด รองลงมาคือกระเบื้องหลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์โยหินแผ่นลอนตามลำดับ

ชุดทดลองที่ 5 การทดลองการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำต่าง ๆ กันกับช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างวัน เพื่อหาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลา โดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ

จากการทดลองที่ 4 สรุปได้ว่า การพ่นน้ำบนหลังคา ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาที่หยุด 3 นาที่ ในเวลา 7:00-18:30 น. เป็นเวลาที่และอัตราที่เหมาะสม การทดลองที่ 5 เป็นการหาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลาต่าง ๆ ระหว่างวัน โดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ จึงแบ่งช่วงเวลา 7:00 - 18:30 น. เป็น 3 ช่วงได้แก่

ช่วงที่ 1 เวลา 7:00-11:00 น.

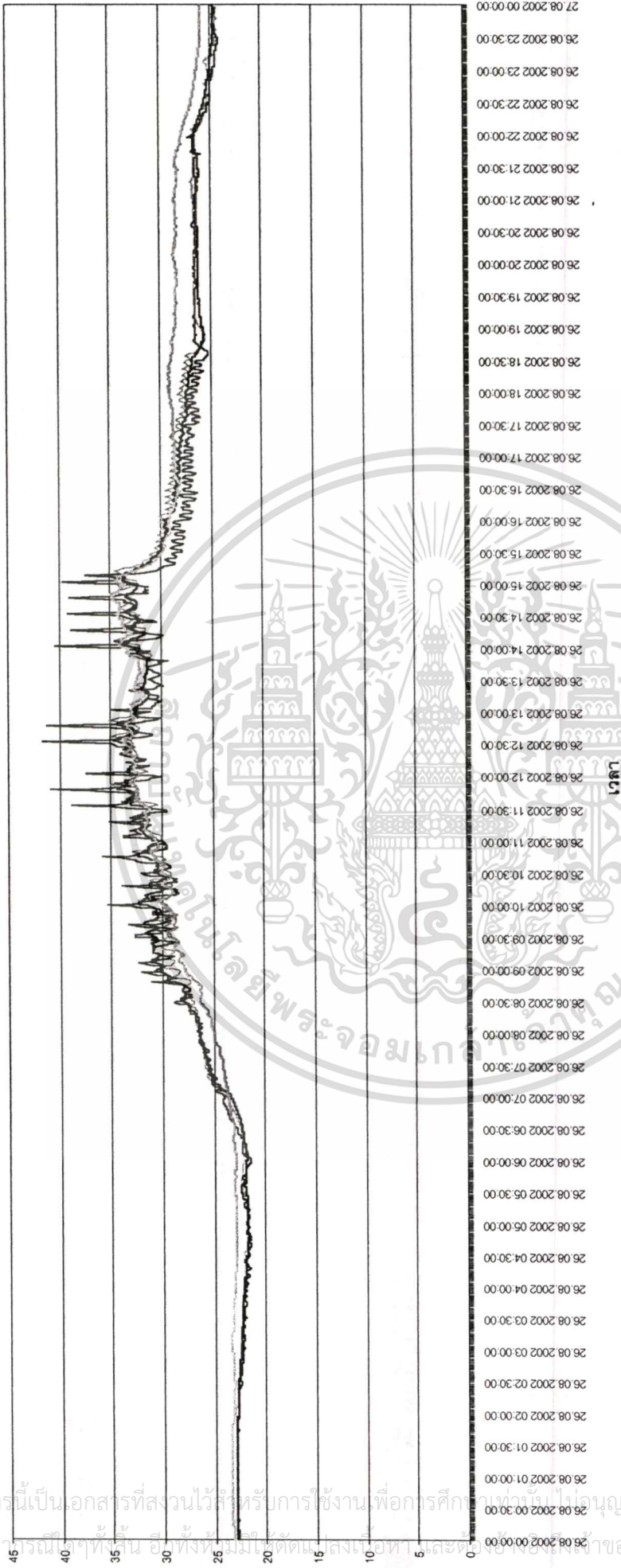
ช่วงที่ 2 เวลา 11:00-15:00 น.

ช่วงที่ 3 เวลา 15:00-18:30 น.

จึงทำการทดลองชุดแรกโดยการพ่นน้ำบนหลังคาช่วงที่ 1 ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาที่หยุด 3 นาที่ , ทำการพ่นน้ำช่วงที่ 2 ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาที่ หยุด 3 นาที่ , ทำการพ่นน้ำช่วงที่ 3 ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาที่หยุด 3 นาที่ ในวันที่ 26 สิงหาคม 2545

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

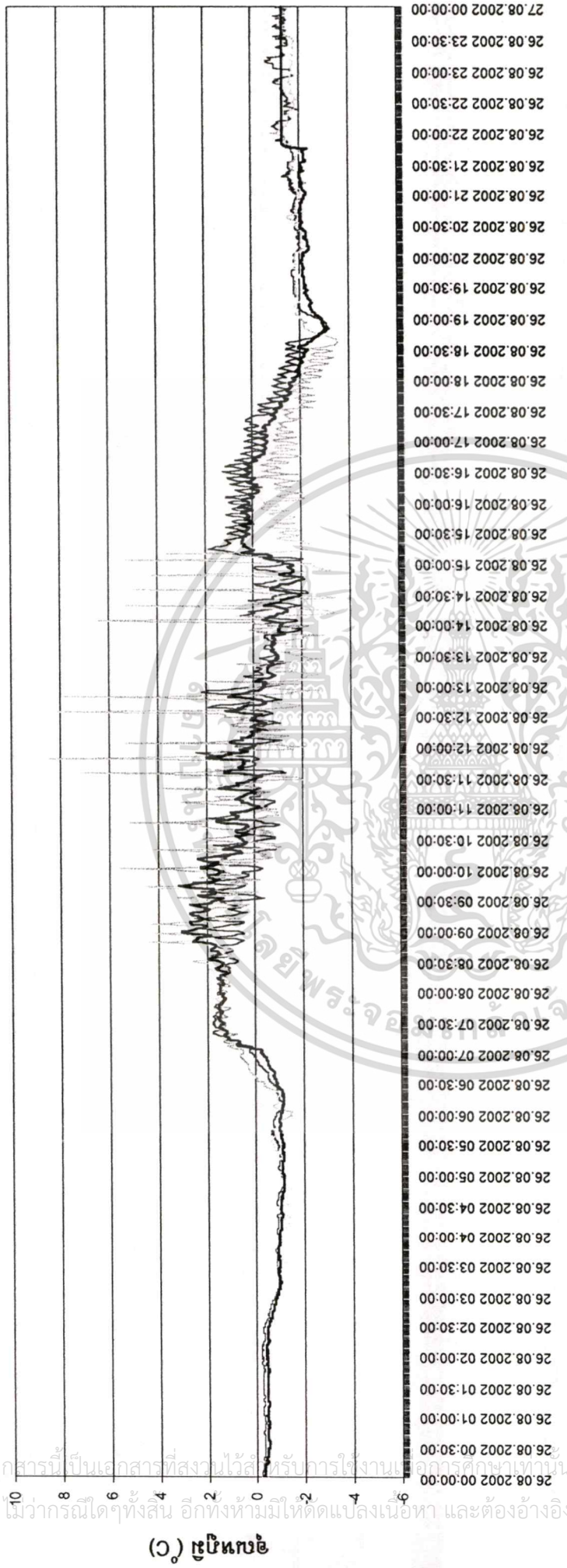
จากรูปที่ 5.31 และรูปที่ 5.32 ผลปรากฏว่าเมื่อเริ่มทำการพ่นน้ำบนหลังคาในช่วงแรกตั้งแต่เวลา 7:00-11:00 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาที่หยุด 3 นาที่ อุณหภูมิหลังคาโดยเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในขณะนั้น ส่วนในช่วงที่ 2 ตั้งแต่เวลา 11:00-15:00 น. ทำการพ่นน้ำบนหลังคา ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาที่ หยุด 3 นาที่ อุณหภูมิหลังคาโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศในขณะนั้น ส่วนในช่วงที่ 3 ตั้งแต่เวลา 15:00-18:30 น. ทำการพ่นน้ำบนหลังคา ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาที่ หยุด 3 นาที่ อุณหภูมิหลังคาโดยเฉลี่ยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในขณะนั้น



— หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน
 - - - หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ

รูปที่ 5.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิมิวนหลังคาภายในของวัดมุงหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก เมื่อทำการพ่นน้ำแบบผสมด้วยอัตรา
 การพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที, อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาทีและอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 ในวันที่ 26

สิงหาคม 2545

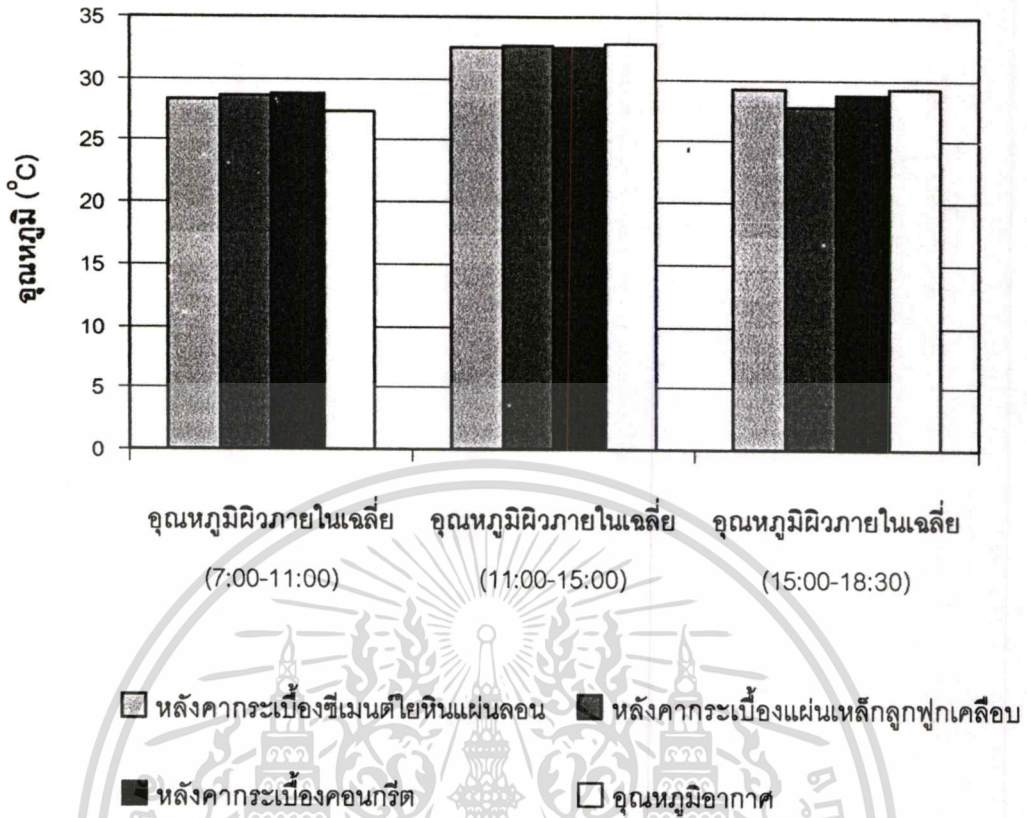


— หลังคากระเบื้องคอนกรีต

หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กผูกเค็ลือบ

— หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน

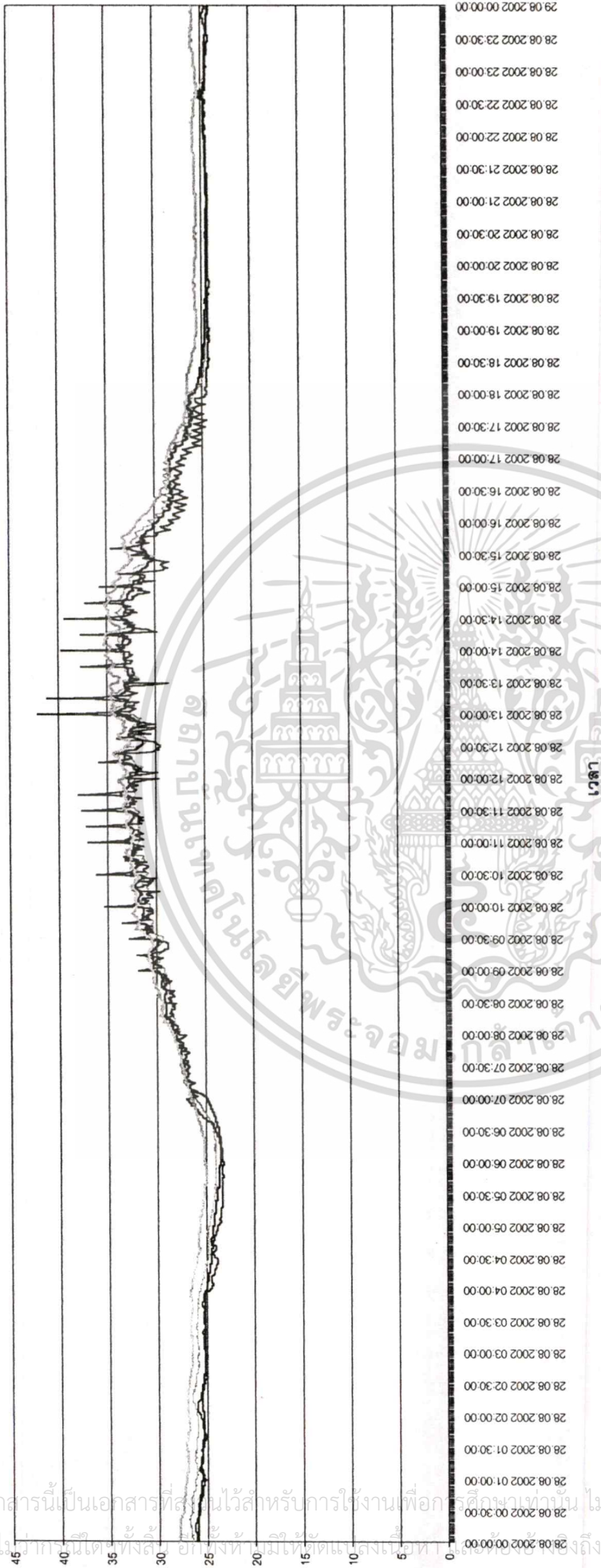
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังภายนอก เมื่อทำการพ่นน้ำแบบผสมด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาทีและอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 ในวันที่ 26 สิงหาคม 2545



รูปที่ 5.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในเฉลี่ยของวัสดุหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยของช่วงเวลานั้น ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 6 นาที หยุด 3 นาที, อัตราการพ่นน้ำ 12 นาที หยุด 3 นาที และอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ตามลำดับ 3 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 26 สิงหาคม 2545

จากรูปที่ 5.33 ในช่วงเวลาแรกอุณหภูมิหลังคาโดยเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในขณะนั้น จึงทำการขยายอัตราการพ่นน้ำในช่วงแรกคือตั้งแต่เวลา 7:00-11:00 น. จากอัตราการพ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที เป็นการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาที หยุด 3 นาที

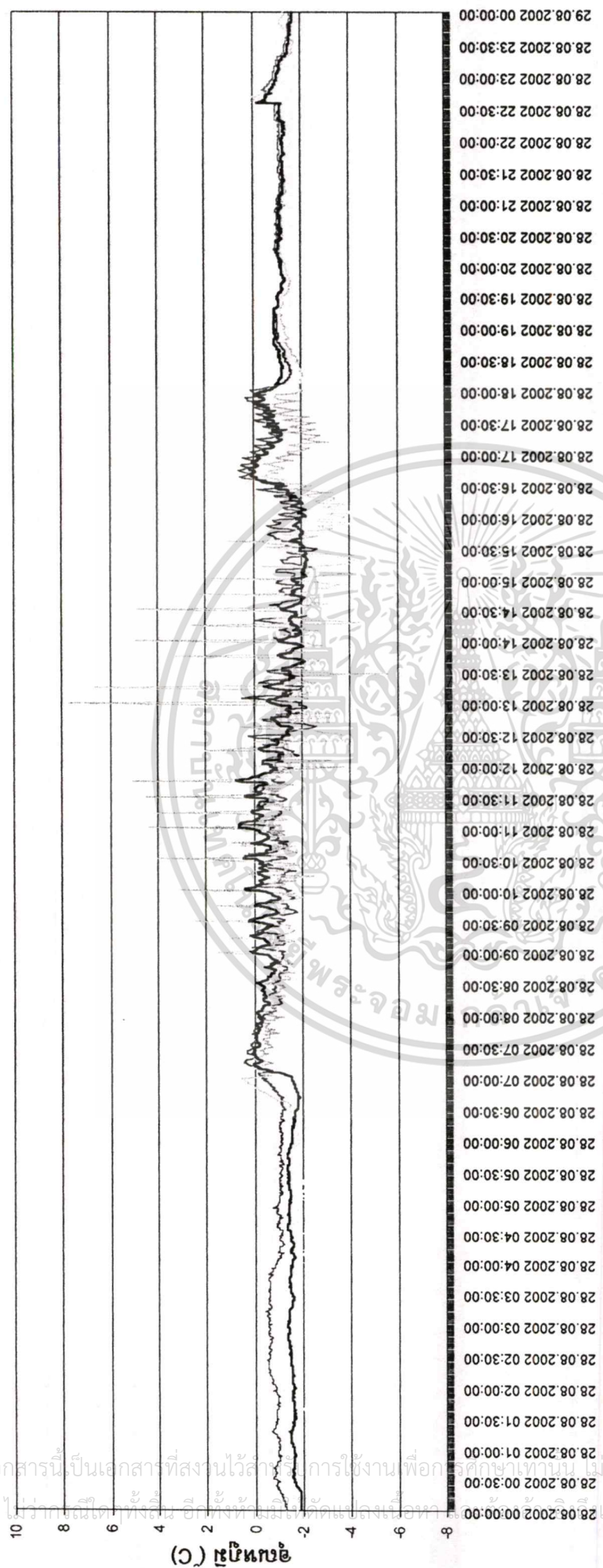
ดังนั้นจึงทำการทดลองชุดที่สองโดยทำการพ่นน้ำบนหลังคาช่วงที่ 1 ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที , ทำการพ่นน้ำช่วงที่ 2 ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาที หยุด 3 นาที , ทำการพ่นน้ำช่วงที่ 3 ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. ในวันที่ 28 สิงหาคม 2545



— หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน
 — หลังคากระเบื้องคอนกรีต

รูปที่ 5.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังห้องอากาศภายนอก เมื่อทำการพ่นน้ำแบบผสมด้วยอัตรา
 การพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาทีและอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 ในวันที่ 28

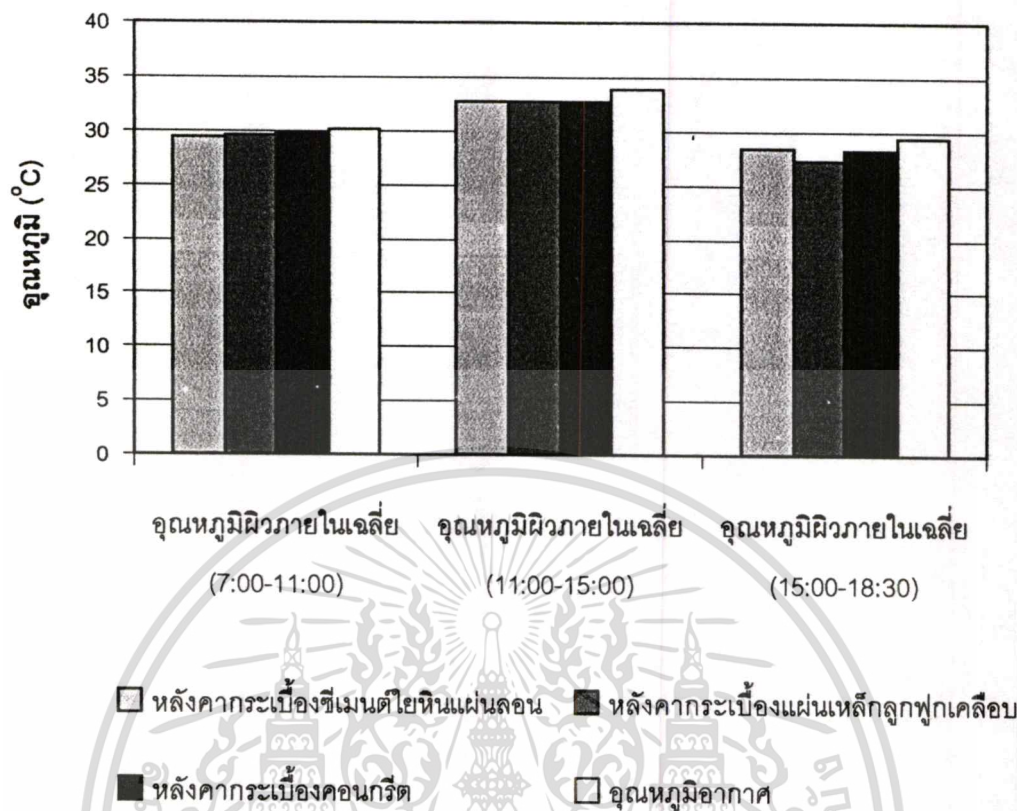
สิงหาคม 2545



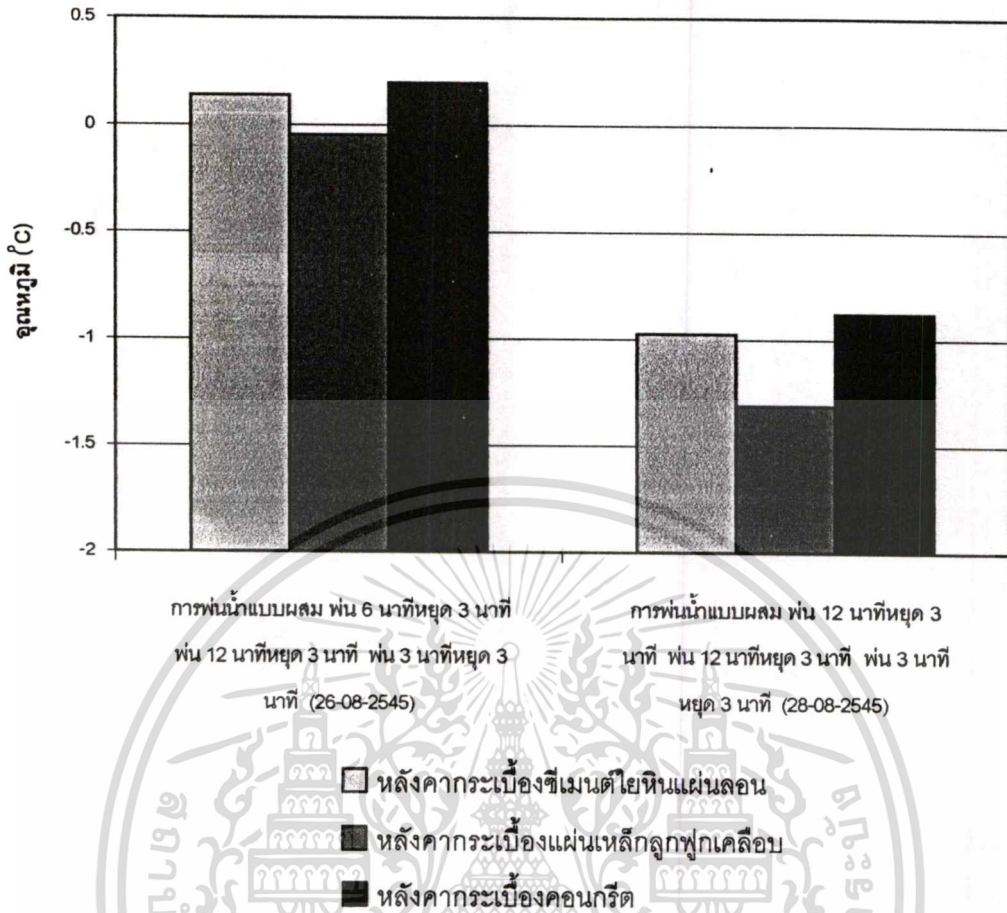
— หลังคากระเบื้องคอนกรีต
 หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กฟูกเคลือบ

รูปที่ 5.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก เมื่อทำการพ่นน้ำแบบผสมด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที, อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาทีและอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ช่วงเวลา 7:00-18:30 ในวันที่ 28 สิงหาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในที่อื่นได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

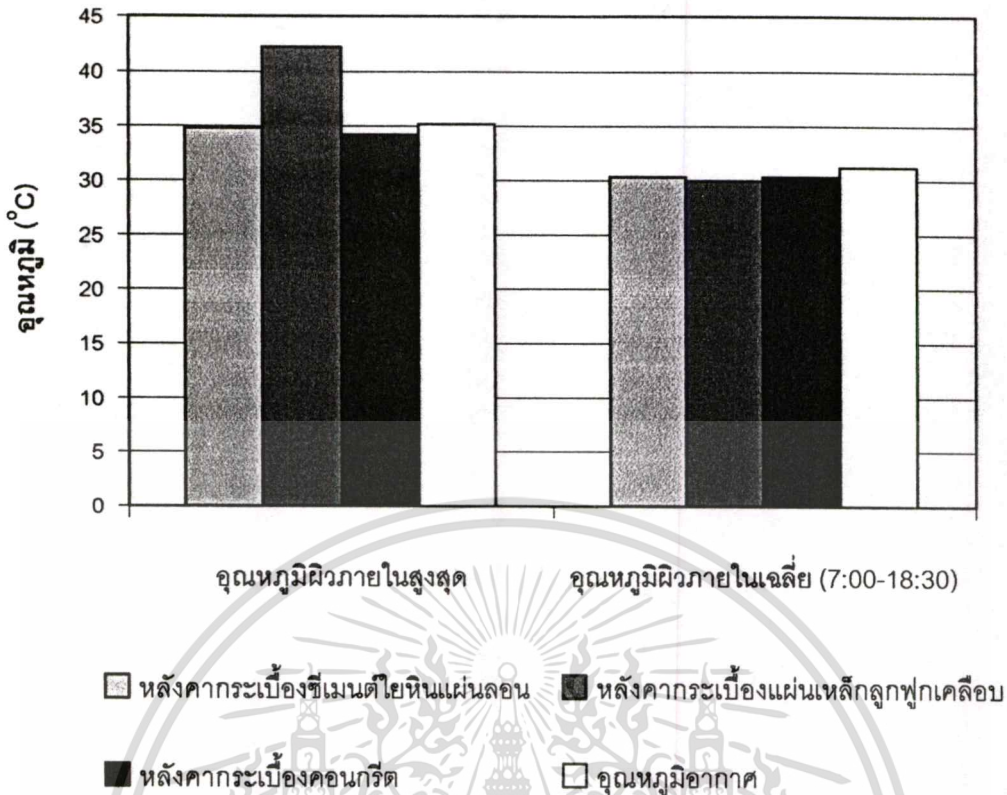


รูปที่ 5.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาภายในเจดีย์ของวัดดุมงหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศเจดีย์ภายนอกเจดีย์ของช่วงเวลานั้น ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที , อัตราการพ่นน้ำ 12 นาที หยุด 3 นาที และอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ตามลำดับ 3 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 28 สิงหาคม 2545



รูปที่ 5.37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิผิวหลังคาภายในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายนอกเฉลี่ยของช่วงเวลานั้น ด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสมทั้ง 2 แบบ

จากรูปที่ 5.36 และรูปที่ 5.37 สรุปได้ว่า การพ่นน้ำช่วงเวลา 7:00-11:00 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที , การพ่นน้ำช่วงเวลา 11:00-15:00 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาที หยุด 3 นาที และการพ่นน้ำช่วงเวลา 15:00 -18:30 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที เป็นอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับในแต่ละช่วงเวลา โดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ ซึ่งวัสดุหลังคาที่เหมาะสมที่สุดกับระบบนี้ คือ หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ

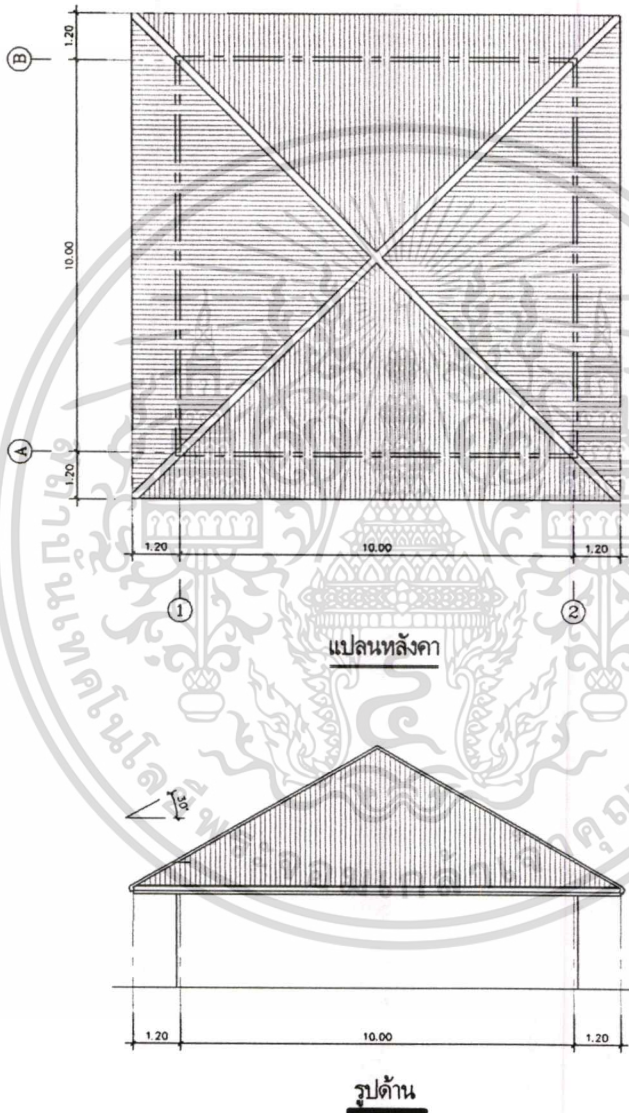


รูปที่ 5.38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในสูงสุดและอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในเฉลี่ยของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยการใช้การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที, อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที และอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที ตั้งแต่เวลา 7:00-18:30 น. ระหว่างวันที่ 18 สิงหาคม 2545

จากรูปที่ 5.38 หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิสูงสุด 42.16 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 29.95 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 1.27 °C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิสูงสุด 34.74 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.29 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.93 °C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงสุด 34.17 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 30.37 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.85 °C โดยอากาศมีอุณหภูมิสูงสุด 35.27 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. 31.22 °C

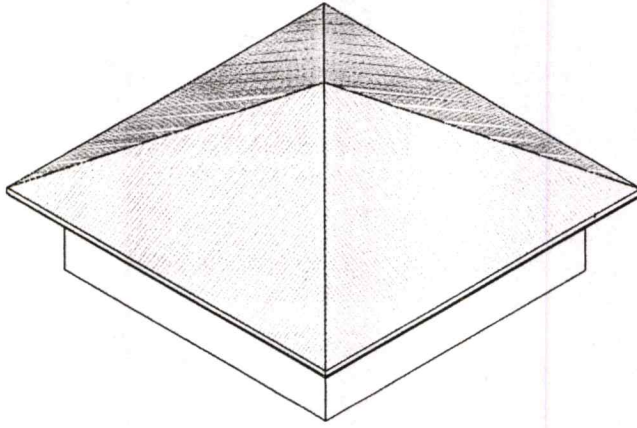
5.2 การประเมินความคุ้มค่าของระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา

ในการประเมินความคุ้มค่าของการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา ผู้วิจัยได้กำหนดอาคารตัวอย่าง เป็นอาคารชั้นเดียวขนาด 10 m.x10 m. (100 m²) หลังคาทรงปั้นหยา มุม 30° ยื่นชายคา 1.20 m. รอบตัวบ้าน ดังรูปที่ 5.39 และรูปที่ 5.40



รูปที่ 5.39 แบบผังหลังคา-รูปด้านอาคารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.40 แบบ Isometric อาคารตัวอย่าง

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา ใช้การประเมินค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ เทียบจากความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งคิดจากค่าความแตกต่างของค่าอัตราความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางหลังคาที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม โดยนำไปหักลบค่าใช้จ่ายในการใช้งานระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา ซึ่งจะเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ของอาคารตัวอย่างที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม

5.2.1 การหาค่าความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศของอาคารที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม

การหาค่าความแตกต่างของค่าอัตราความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางหลังคาที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม ได้ใช้สมการการนำความร้อนเข้าออกทางวัสดุทึบแสง (รวมการพาและการแผ่รังสีด้วยในลักษณะ transmittance) ผ่านกำแพงในพื้นที่ที่กำหนด จะดังนี้ (O.H. Koenigsberger. et. al. 1973)

$$Q_c = U \cdot A \cdot \Delta T$$

โดย Q_c = อัตราตัวนำความร้อน

W

U = ค่า tranmittance

W/m² °C

A = พื้นที่ผิว

m²

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

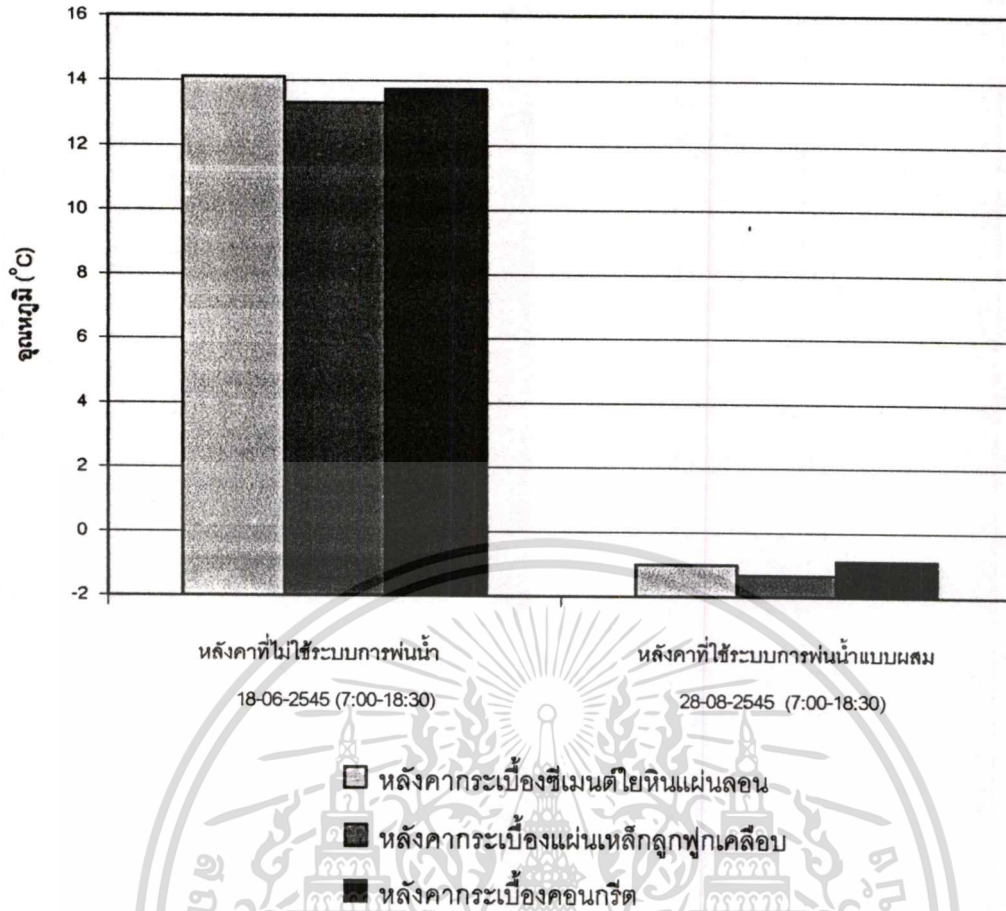
ดังนั้นจึงสามารถสรุปความแตกต่างของค่าอัตราความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางหลังคา ซึ่งจะ
เป็นค่าความแตกต่างของภาระการทำความเย็นของอาคารที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับ
อาคารที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสมดังสมการ

$$Q_{c1} - Q_{c2} = U \cdot A \cdot \Delta T_1 - U \cdot A \cdot \Delta T_2$$

$$Q_{c1} - Q_{c2} = U \cdot A \cdot (\Delta T_1 - \Delta T_2)$$

โดย Q_{c1}	=	อัตราความร้อนผ่านหลังคาที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา	W
Q_{c2}	=	อัตราความร้อนผ่านหลังคาที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา ด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม	W
U	=	ค่า tranmittance	W/m ² °C
A	=	พื้นที่ผิวหลังคา	m ²
ΔT_1	=	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในของ อาคารที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา	°C
ΔT_2	=	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในของ อาคารที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม	°C
$Q_{c1} - Q_{c2}$	=	ความแตกต่างระหว่างค่าอัตราความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางหลังคา ของอาคารที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารที่ใช้ระบบ การพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม	W
$\Delta T_1 - \Delta T_2$	=	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวหลังคาของอาคารที่ไม่ใช้ระบบ การพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วย อัตราการพ่นน้ำแบบผสม	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในของวัสดุผนังหลังคาทั้ง 3 ชนิดกับอุณหภูมิอากาศภายนอกระหว่างหลังคาที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับหลังคาที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม

จากรูปที่ 5.41 สรุปความแตกต่างของอุณหภูมิผิวภายในหลังคา ($\Delta T_1 - \Delta T_2$) ระหว่างหลังคาที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับหลังคาที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบผสม (พ่นน้ำช่วงเวลา 7:00-11:00 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที, พ่นน้ำช่วงเวลา 11:00-15:00 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที และพ่นน้ำช่วงเวลา 15:00 -18:30 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที) โดยหลังคากระเบื้องซีเมนต์โยหินแผ่นลอน มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวภายในหลังคา 15.09 °C หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบมีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวภายในหลังคา 14.60 °C และหลังคากระเบื้องคอนกรีตมีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวภายในหลังคา 14.63 °C

ซึ่งการวิเคราะห์ความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศคิดจากค่าความแตกต่างของค่าอัตราความร้อนที่เข้าสู่อาคารตัวอย่างทางหลังคาที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารตัวอย่างที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม ดังตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และสรุปความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศของอาคารตัวอย่างที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารตัวอย่างที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม

	หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน	หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ	หลังคากระเบื้องคอนกรีต	หมายเหตุ
U (W/m ² °C)	4.48	5.05	4.71	ตารางที่ 2.3
พื้นที่หลังคา (m ²)	177.49	177.49	177.49	
$\Delta T_1 - \Delta T_2$ (°C)	15.09	14.60	14.63	รูปที่ 5.41
$Q_{c1} - Q_{c2}$ (W)	11998.89	13086.34	12230.36	$U \cdot A \cdot (\Delta T_1 - \Delta T_2)$
ความแตกต่างของพลังงานเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	40944.08	44654.81	41733.93	1W = 3.412 Btu/h
ความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ (W)	3722.189	4059.528	3793.994	คิดจากเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ซึ่งมีค่า EER = 11 Btu/W-hr

5.2.2 การหาค่าใช้จ่ายของระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา

ค่าใช้จ่ายของระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาซึ่งแยกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา
2. ค่าใช้จ่ายในการใช้งานระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา

1. ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาสำหรับอาคารตัวอย่าง สรุปได้ดังนี้

- | | | |
|---|---|-----------|
| 1. ถังพักน้ำไฟเบอร์กลาส ขนาด 1800 ลิตร | = | 15800 บาท |
| 2. บิมน้ำอัตโนมัติขนาด 200 วัตต์ ¹ | = | 5000 บาท |
| 3. อุปกรณ์ตั้งเวลาเปิดปิดน้ำ | = | 1000 บาท |
| 4. ท่อน้ำ ข้อต่อ P.V.C. ขนาด 1/2" ² (160 เมตร ³) | = | 2200 บาท |
| 5. วาล์วเปิดปิดขนาด 1/2" | = | 60 บาท |
| 6. หัวตีน้ำ (420 หัว ⁴) | = | 840 บาท |
| 7. รางน้ำฝนสังกะสีเบอร์ 28 กว้าง 5" ⁵ (49.6 เมตร) | = | 12400 บาท |
| 8. ค่าแรงติดตั้งระบบ ⁶ | = | 11190 บาท |

สรุปรวมค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเบื้องต้น = 48490 บาท

หมายเหตุ :

1. ปิ๊มน้ำอัตโนมัติขนาด 200 วัตต์พร้อมตัวกรองทราย ระยะดูด 9 เมตร ระยะส่ง 15 เมตร
2. ค่านวนจากราคาท่อ P.V.C. ขนาด 1/2" แบบเหมา 55 บาท/เมตร และ
3. ค่านวนจากความยาวท่อ 1.20 เมตร/พื้นที่หลังคา 1.44 m^2 รวมกับความยาวท่อในระบบจากรางน้ำถึงปิ๊มและจากปิ๊มถึงหลังคา
4. ค่านวนจากการติดตั้งหัวตีน้ำทุกระยะ 0.30 เมตร
5. ค่านวนจากราคารางน้ำฝนสังกะสีเบอร์ 28 กว้าง 5" แบบเหมา 250 บาท/เมตร
6. คิดค่าแรงจาก 30% ของราคาวัสดุ-อุปกรณ์ของระบบการพ่นน้ำบนหลังคา

2. ค่าใช้จ่ายในการใช้งานระบบการทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา สำหรับอาคารตัวอย่าง สรุปได้ดังนี้

1. ค่าไฟ¹ = 0.20 หน่วยใน 1 ชม. (kW-h)
2. ค่าน้ำ² = 4.093 m^3 / พื้นที่หลังคา 177.49 m^2 ต่อการใช้ระบบการพ่นน้ำ 1 วัน

หมายเหตุ :

1. คิดจากปิ๊มน้ำขนาด 200 วัตต์
2. ดูจากตารางในภาคผนวก ง. ซึ่งระบบการพ่นน้ำแบบผสมจะใช้น้ำ 0.0996 m^3 / 4.32 m^2 (พื้นที่หลังคาแบบจำลอง 3 หลัง) ต่อการใช้ระบบการพ่นน้ำแบบผสม 1 วัน (7:00-18:30) โดยใช้ระบบน้ำแบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

5.2.3 ความคุ้มค่าของการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา

ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าใช้จ่ายของอาคารตัวอย่างที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารตัวอย่างที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม ได้ประเมินผลในรูปของอาคารตัวอย่างประเภทอาคารพักอาศัยที่มีการใช้งานทั้งวัน โดยใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสมในช่วงเวลา 7:00-18:30 น.

ตารางที่ 5.3 ความแตกต่างของค่าใช้จ่ายของอาคารตัวอย่างที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารตัวอย่างที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม

	หลังคากระเบื้อง ซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน	หลังคากระเบื้อง แผ่นเหล็กลูกทูกเคลือบ	หลังคากระเบื้อง คอนกรีต
ความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ (W)	3722.19	4059.53	3793.99
จำนวนหน่วยใน 1 ชม. (kW-h)	3.72	4.06	3.79
จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อวัน (h)	11.50	11.50	11.50
จำนวนหน่วยที่ใช้ต่อเดือน (kW-h)	1284.16	1400.54	1308.93
ค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ประหยัดได้ (บาท / เดือน)	2632.52	2871.10	2683.30
จำนวนวัตต์ของปั้มน้ำ (W)	200.00	200.00	200.00
จำนวนหน่วยของปั้มน้ำที่ใช้ใน 1 ชม. (kW-h)	0.20	0.20	0.20
จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อวัน ² (h)	8.15	8.15	8.15
จำนวนหน่วยที่ใช้ต่อเดือน (kW-h)	48.90	48.90	48.90
ค่าไฟฟ้าของปั้มน้ำ (บาท / เดือน)	100.25	100.25	100.25
ปริมาณน้ำที่ใส่ต่อ 1 วัน (m ³)	4.09	4.09	4.09
ปริมาณน้ำที่ใส่ต่อเดือน (m ³)	122.80	122.80	122.80
ค่าน้ำ ³ (บาท / เดือน)	1289.40	1289.40	1289.40
สรุปค่าใช้จ่ายประหยัดได้ต่อเดือน (บาท/เดือน)	1242.87	1481.45	1293.65

หมายเหตุ :

- คำนวณจาก ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของผู้ใช้ประเภทบ้านอยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็กที่ 200 หน่วยต่อเดือน คือหน่วยละ 2.05 บาท และ 30 วันต่อเดือน ซึ่งประกาศใช้เมื่อ วันที่ 1 ตุลาคม 2543 (ที่มา : www.mea.or.th)
- คิดจากปั้มน้ำขนาด 200 วัตต์ โดยช่วง 7:00-18:30 น. (11.50 ชม.) ระบบการพ่นน้ำแบบผสมจะใช้เวลาในการเปิดปั้มน้ำทั้งหมด 489 นาที (8.15 ชม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณจากค่าน้ำประปาแบบขายเหมา (Bulk Sale) ประเภทที่พักอาศัย (Residence) มีราคาเฉลี่ย 10.50 บาท/ลบ.ม. และ 30 วันต่อเดือน ซึ่งประกาศใช้เมื่อ วันที่ 1 ธันวาคม 2542 (ที่มา : www.mwa.or.th)

5.2.4 ระยะเวลาในการคืนทุนของการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา จากตารางที่ 5.3 จึงได้นำมาหารระยะเวลาในการคืนทุน สำหรับอาคารที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม ดังสมการ

$$\text{ระยะเวลาในการคืนทุน (เดือน)} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเบื้องต้น (บาท)}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อเดือน (บาท/เดือน)}}$$

ตารางที่ 5.4 ระยะเวลาในการคืนทุนสำหรับอาคารตัวอย่างที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา

	หลังคากระเบื้องซีเมนต์ ใยหินแผ่นลอน	หลังคากระเบื้องแผ่น เหล็กลูกฟูกเคลือบ	หลังคากระเบื้อง คอนกรีต
ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเบื้องต้น (บาท)	48490	48490	48490
สรุปค่าใช้จ่ายประหยัดได้ต่อเดือน (บาท/เดือน)	1242.87	1481.45	1293.65
ระยะเวลาในการคืนทุน (เดือน)	39.01	32.73	37.48

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในการออกแบบอาคารเพื่อก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานนั้น การลดพลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยการลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาสู่อาคารจากทางหลังคานับว่าเป็นส่วนสำคัญ ด้วยจำนวนความร้อนที่กระทำบนแนวระนาบของหลังคาในฤดูร้อนมากกว่าด้านใดๆของอาคาร ซึ่งการใช้ระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาเป็นเทคนิคที่ใช้การระเหยของน้ำในการลดอุณหภูมิผิวหลังคา อันจะเป็นการลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้ามาสู่อาคารผ่านทางหลังคา นำมาสู่การศึกษาระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาสำหรับอาคารพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาสำหรับอาคารพักอาศัยในเขต กทม. สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาอุณหภูมิผิวของวัสดุผนังหลังคา ขณะที่ยังไม่ทำการพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิผิวของหลังคา พบว่าช่วงกลางวันอุณหภูมิผิวของหลังคาด้านในจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอก ตั้งแต่ช่วงเวลา 6:30-7:00 น. และเพิ่มขึ้นจนสูงสุดในช่วงเวลา 13:00 น. แล้วอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในจะค่อยๆลดลงจนมีอุณหภูมิผิวของหลังคาด้านในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 19:00-19:30 น. ซึ่งวัสดุผนังที่มีอุณหภูมิผิวล่างสูงที่สุดได้แก่ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็ก ลูกฟูก กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนและกระเบื้องหลังคาคอนกรีตตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวหลังคาภายในช่วงกลางวัน (6:00-18:00) ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวภายในของหลังคาทั้ง 3 ชนิดมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 44-45 °C ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 12.5-13.5 °C ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิผิวหลังคาด้านในจะอยู่ในระดับคงที่ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยวัสดุที่อุณหภูมิผิวต่ำที่สุดคือ แผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ , กระเบื้องหลังคาคอนกรีตและกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนตามลำดับ

2. จากการทดลองหาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมและช่วงเวลาที่เหมาะสมในระหว่างวัน สำหรับการใส่ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา สำหรับสภาพภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพฯ สรุปว่า อัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาทีในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. เป็นอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพ่นน้ำที่ดีที่สุด และเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบ จังหวะเวลา โดยสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหลังคาภายในได้ดีที่สุดซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิ อากาศภายนอกอยู่ 1.00-1.81 °C ในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. โดยหลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคา แผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 30.39 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ อยู่ 1.81 °C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.20 °C ซึ่งต่ำ กว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศอยู่ 1.00 °C และกระเบื้องหลังคาคอนกรีตมีมีอุณหภูมิเฉลี่ย 30.89 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศอยู่ 1.30 °C โดยอากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ย 32.19 °C

3. การทดลองการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำต่างๆกันกับช่วงเวลา ต่างๆระหว่างวัน เพื่อหาอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลา โดยคำนึงถึงการ ประหยัดน้ำ ซึ่งแบ่งช่วงเวลา 7:00-18:30 น. เป็น 3 ช่วงสรุปได้ว่า การพ่นน้ำช่วงเวลา 7:00- 11:00 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที, การพ่นน้ำช่วงเวลา 11:00-15:00 น. ด้วยอัตราการพ่นน้ำ 12 นาที หยุด 3 นาที และการพ่นน้ำช่วงเวลา 15:00 -18:30 น. ด้วย อัตราการพ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที เป็นอัตราการพ่นน้ำที่เหมาะสมคุ้มค่าสำหรับในแต่ละช่วง เวลา โดยคำนึงถึงการประหยัดน้ำ ซึ่งวัสดุหลังคาที่เหมาะสมที่สุดกับระบบนี้คือ หลังคากระเบื้อง แผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ โดยในช่วงเวลา 7:00-18:30 น. หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาแผ่นเหล็ก ลูกฟูกเคลือบมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 29.95 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วง เวลาเดียวกันอยู่ 1.27 °C หลังคาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหินแผ่นลอนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 30.29 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.93 °C และกระเบื้องหลัง คาคอนกรีตมีอุณหภูมิเฉลี่ย 30.37 °C ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในช่วงเวลาเดียวกันอยู่ 0.85 °C โดยอากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.22 °C

4. ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา ใช้ การประเมินค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ ของอาคารที่ไม่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคา กับอาคารที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตรา การพ่นน้ำแบบผสมซึ่งได้จากการวิจัย โดยนำไปหักลบค่าใช้จ่ายในการใช้งานระบบการทำความ เย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา ซึ่งจะเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ของอาคารตัวอย่างที่ใช้ ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา ซึ่งสรุปตามวัสดุหลังคาได้ดังนี้

- หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กลูกฟูกเคลือบ 1481.45 บาท/เดือน
- หลังคากระเบื้องคอนกรีต 1293.65 บาท/เดือน
- หลังคากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นลอน 1242.87 บาท/เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

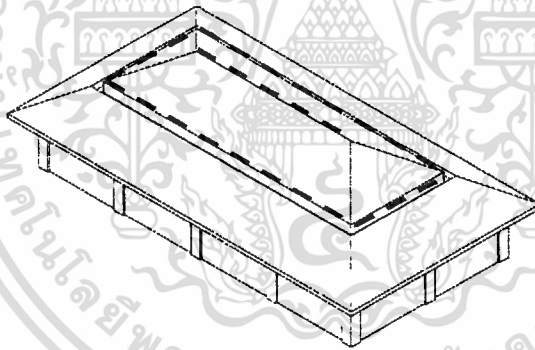
โดยนำไปคำนวณเป็นระยะเวลาในการคืนทุน สำหรับอาคารตัวอย่างที่ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาด้วยอัตราการพ่นน้ำแบบผสม ซึ่งสรุปตามวัสดุผนังหลังคาได้ดังนี้

- หลังคากระเบื้องแผ่นเหล็กถูกพูกเคลือบ 32.73 เดือน
- หลังคากระเบื้องคอนกรีต 37.48 เดือน
- หลังคากระเบื้องซีเมนต์โยหินแผ่นลอน 39.01 เดือน

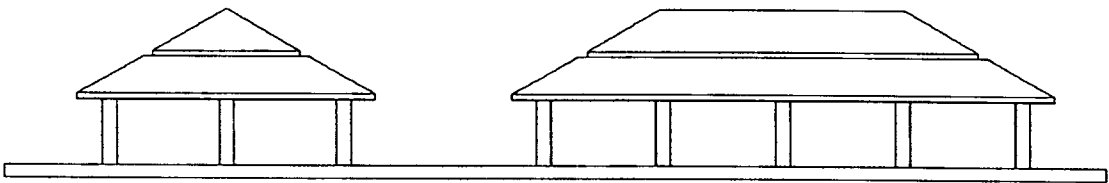
6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 ข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา

1. ในการออกแบบอาคารที่จะนำระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลามาใช้กับหลังคาของอาคารรูปทรงต่างๆ ถ้าเป็นหลังคาที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่การแบ่งหลังคาให้มีพื้นที่เล็กลงจะได้ประโยชน์ในส่วนของ การวางแนวท่อน้ำเพื่อประสิทธิภาพในการพ่นน้ำบนหลังคาได้อย่างทั่วถึง ดังรูปที่ 6.1 ถึงรูปที่ 6.7

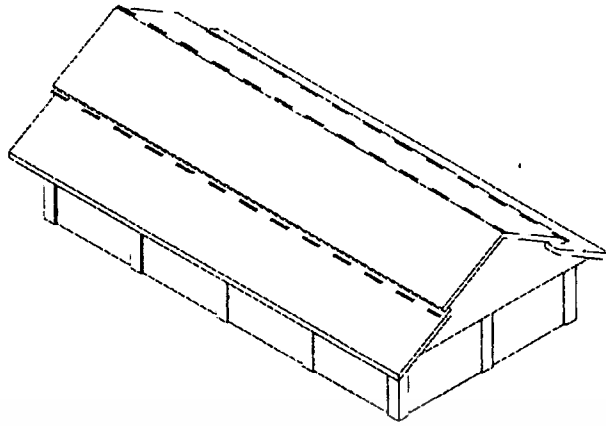


รูปที่ 6.1 การวางแนวท่อน้ำบนหลังคาทรงปั้นหย้า

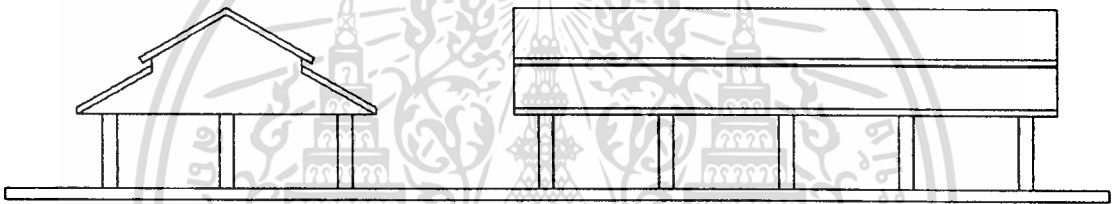


รูปที่ 6.2 รูปด้านอาคารหลังคาทรงปั้นหย้า

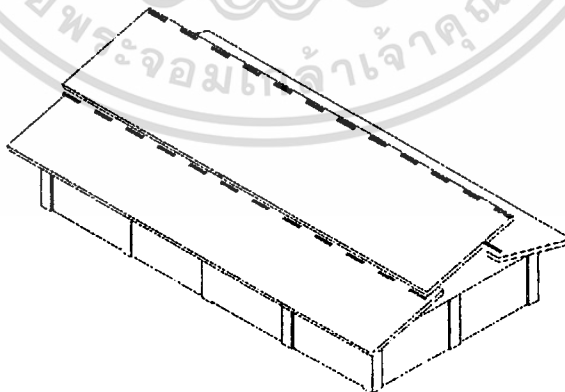
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 การวางแนวท่อน้ำบนหลังคาทรงจั่ว

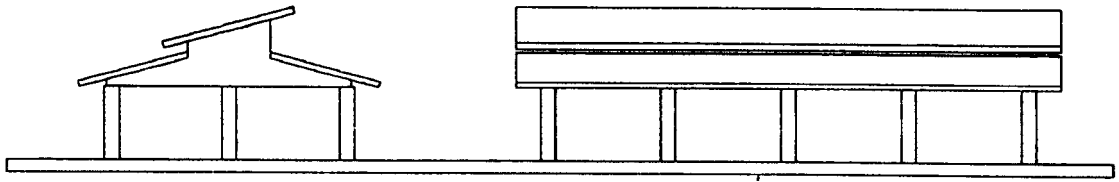


รูปที่ 6.4 รูปด้านอาคารหลังคาทรงจั่ว

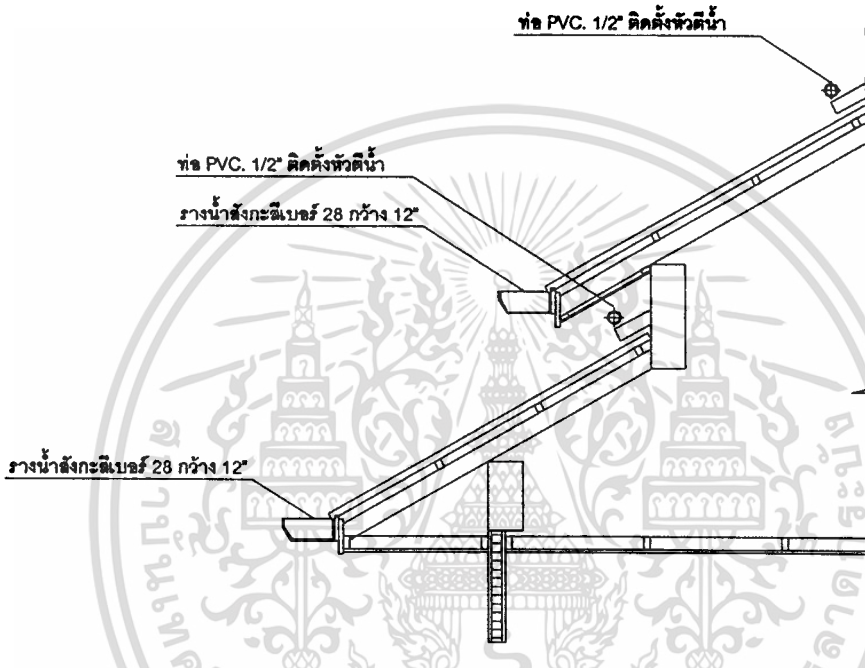


รูปที่ 6.5 การวางแนวท่อน้ำบนหลังคาทรงเพิงหมาแหงน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 รูปด้านอาคารหลังคาทรงเพิงหมาแหงน



รูปที่ 6.7 รูปตัดแสดงรายละเอียดการแบ่งหลังคาอาคารให้มีพื้นที่เล็กลง แนวทางการวางท่อน้ำ และแนวทางการวางรางน้ำ

2. การใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาด้วยระบบน้ำแบบหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าน้ำที่ใช้กับระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา แต่จะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเบื้องต้นในส่วนของค่าก่อสร้างรางน้ำฝน ดังรูปที่ 6.7

3. การใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าน้ำที่ใช้กับระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลาซึ่งเป็นการลดระยะเวลาในการคืนทุน

4. ในการใช้ระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา ซึ่งใช้ท่อ P.V.C. ในการจ่ายน้ำสู่หลังคา ดังนั้นเพื่อความเรียบร้อยสวยงามของผืนหลังคา จึงควรมีการออกแบบอุปกรณ์ครอบท่อ P.V.C. หรือการซ่อนท่อ P.V.C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาและวิจัยระบบการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา

1. ในการศึกษาระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคาแบบจังหวะเวลา สำหรับอาคารพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ เป็นการศึกษาเชิงทดลองและปฏิบัติในสภาพแวดล้อมจริง การควบคุมตัวแปรทางธรรมชาติให้คงที่จึงเป็นไปได้ยาก
2. ควรทำการขยายขอบเขตของการศึกษาในพื้นที่อื่นนอกเหนือจากกรุงเทพฯ และช่วงเวลาในการศึกษาเป็นช่วงตลอดปี
3. ควรทำการขยายขอบเขตการศึกษาในวัสดุผนังหลังคาประเภทอื่น และทำการศึกษาดัชนีขนาดพื้นที่ของหลังคาอาคารจริง
4. ควรทำการขยายขอบเขตของการศึกษาในด้านของปริมาณน้ำที่ใช้ต่อขนาดพื้นที่หลังคา
5. ควรทำการศึกษาระบบทำความเย็นโดยการพ่นน้ำบนหลังคา ร่วมกับระบบหลังคาที่ติดตั้งฉนวนและระบบหลังคาที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน
6. ในการประเมินผลควรคิดร่วมกับค่าดูแลรักษาระบบและคิดค่าเสื่อมราคาร่วมด้วย



บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. ม.ป.ป. "ตารางแสดงความสิ้นเปลืองและค่าพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ." ข้อเสนอแนะการประหยัดไฟฟ้าในครัวเรือน. 31 การประปานครหลวง. 2542. อัตราค่าน้ำประปา การประปานครหลวง. (Online). Available : <http://www.mwa.or.th>
- การไฟฟ้านครหลวง. 2543. อัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง. (Online). Available : <http://www.mea.or.th>
- จุไรพร ตุมพสุวรรณ. 2540. "พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น." กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฉนิต จินดาวงศ์. 2535. "ระบบป้องกันรังสีความร้อนในเปลือกอาคาร." วารสารอาษา. 23
- พงศ์พันธ์ วรสุนทร. 2521. วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- วชิระ กาญจนสุด. 2540. "การใช้น้ำเพื่อลดอุณหภูมิผิวหลังคากระจก." กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. 2541. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุภาวดี รัตนมาศ. 2543. หลังคาในงานสถาปัตยกรรม. กรุงเทพฯ :บริษัทแปลนพรีนติ้ง จำกัด
- Alexander Shaw. 1989. Energy Design For Architects. The American Architectural Foundation : The Fairmont Press.
- Baruch Givoni. 1994. Passive and low energy cooling of buildings. New York : Van Nostrand Reinhold.
- Deborah Chapman. 1992. Water Quality Assesments. Great Britain : University Press Cambridge.
- Donald Watsan and Kenneth Cabs. 1983. Climatic Building Design. USA. : McGraw Hill.
- Donald W.ABRAMS , P.E. 1986. Low - Energy Cooling. New York : Van Nostrand Reinhold Company.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Felix Franks. 1972. Volume 1 The Physics and Physical Chemistry of water. New York : Plenum Press.
- Fuller Moore. 1993. Environment control system , heating cooling lighting. New York : McGraw-Hill.
- Kyung H.yod and Clade E. Boyd. 1994. Hydrology and water supply for pond aquaculture. New York : Chapman & Hall
- O.H. Koenigsberger . et. al. 1973. Manual of tropical housing and building , Part one : Climatic design. New York : Longman Group Limited
- Ray K.Linsley JR. et. al. 1982. Hydrology For Engineers. London : McGraw-Hill International book company.
- TG Cadabra. 1995. Energy Efficient Design of Buildings in Thailand , Bangkok : Thai Gypsum Products Public Company Limited.

ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงความหนาแน่นและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของวัสดุต่างๆ¹

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น kg/m ³	ค่า k W/m ³ °C
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	1860	0.198
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	720	0.108
3	วัสดุฉนวนหลังคาที่ทำด้วยแอสฟัลท์	2240	1.226
4	ปิฐูเมิน	-	1.298
5	อิฐ		
	(ก) แห้งและฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสก	1760	0.807
	(ข) ความชื้น 6%	1872	1.211
	(ค) ผนัง (ไม่ฉาบปูน)	-	1.154
6	คอนกรีต	2400	1.442
7	คอนกรีต ชนิดเบาความหนาแน่นต่างๆ		
	ความหนาแน่น 960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	960	0.303
	ความหนาแน่น 1120 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	1120	0.346
	ความหนาแน่น 1280 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	1280	0.476
8	แผ่นไม้ก๊อก	144	0.042
9	แผ่นโฟมเบอร์	264	0.052
10	โฟมเบอร์กลาส (ดูโยแก้ว)		
	(ก) แบบม้วน	ให้ใช้ค่าจริงจากผู้ผลิต	0.038
	(ข) แบบแผ่น	ให้ใช้ค่าจริงจากผู้ผลิต	0.038
	(ค) แบบท่อสำเร็จ	ให้ใช้ค่าจริงจากผู้ผลิต	0.038
11	แผ่นกระจก	2512	1.053
12	ใยแก้วสานเป็นแผ่นหรือสอดใส่อยู่ระหว่างวัสดุอื่น 2 แผ่น	32	0.035
13	(แห้ง)	880	0.191
14	แผ่นยิบซัม		
	แผ่นไม้อัดฮาร์ตบอร์ด	1024	0.216
	(ก) มาตรฐาน	640	0.123
15	(ข) ปานกลาง		
	โลหะ	2672	211
	(ก) โลหะผสมของอลูมิเนียมแบบธรรมดา	8784	385
	(ข) ทองแดง ที่มีขายเชิงพาณิชย์	7840	47.6
16	(ค) เหล็กกล้า	ให้ใช้ค่าจริงจากผู้ผลิต	ให้ใช้ค่าจริงจากผู้ผลิต
	ใยแร่ อัดแน่นเป็นแผ่น		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงความหนาแน่นและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของวัสดุต่างๆ¹ (ต่อ)

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น kg/m ³	ค่า k W/m ² °C
17	วัสดุที่ใช้ฉนวนหรือปิดผิว		
	(ก) ยิปซั่ม	880	0.191
	(ข) ปูนฉาบ น้ำหนักเบา น้ำหนักขนาดกลาง	300	0.063
	(ค) เพอร์ไลท์	1104	0.274
	(ง) ปูนผสมทราย	1568	0.533
	(จ) เวอร์มิคูไลท์	ให้ใช้ค่าจริงจากผู้ผลิต	ให้ใช้ค่าจริงจากผู้ผลิต
18	โพลีสไตรีน แบ่งขยายตัว	16	0.035
19	โพรพิลีนโฟม	24	0.024
20	วัสดุทำพื้น PVC.	1360	0.173
21	ดินคัตหลวม (ส่วนซุย) ความชื้น 14%	1200	0.375
22	หิน		
	หินทราย	2000	1.298
	แกรนิต	2640	2.927
	หินอ่อน	2640	1.298
23	กระเบื้องหลังคา	1890	0.836
24	ไม้		
	ไม้เนื้ออ่อน	608	0.125
	ไม้เนื้อแข็ง	720	0.138
	ไม้อัด	528	0.138
25	เวอร์มิคูไลท์แบบเม็ดหยาบอัดหลวม	ให้ใช้ค่าจริงจากผู้ผลิต	0.065
26	ไม้อัดอิพอร์ค	800	0.144
27	ไม้พื้นแผ่นเรียบ	400	0.086
28	หินล้าง	2245	0.115
29	กรวดล้าง	224	0.115

หมายเหตุ :

1. จาก พรบ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตารางค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวหลังคา³

ชนิดของผิววัสดุ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ $m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{W}$
สำหรับหลังคาอาคาร	
1. ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านในของหลังคา (R_i)	
1.1 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ¹	
1.1.1 หลังคาราบ	0.162
1.1.2 หลังคาเอียงทำมุม 22.5 องศา กับแนวระดับ	0.148
1.1.3 หลังคาเอียงทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ	0.133
1.2 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ ¹	
1.2.1 หลังคาราบ	0.801
1.2.2 หลังคาเอียงทำมุม 22.5 องศา กับแนวระดับ	0.595
1.2.3 หลังคาเอียงทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ	0.391
2. ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอกของหลังคา (R_o) (ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงทุกมุมเอียงทั่วไป)	0.055

หมายเหตุ :

1. วัสดุที่มีผิวด้านและไม่สะท้อนแสงจะถือว่าเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนวัสดุที่มีผิวมันและมีผิวสะท้อนแสงจะถือว่าเป็นวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ
2. กรณีที่หลังคาทำมุมเอียงระหว่าง 0 องศา ถึง 22.5 องศา และ 22.5 องศา ถึง 45 องศา ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วง (linear interpolation) เพื่อหาความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศในช่วงมุมเอียงดังกล่าว ในกรณีที่หลังคามีมุมเอียงมากกว่า 45 องศาให้ใช้ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศมุมเอียง 45 องศา
3. จาก พรบ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

ภาคผนวก ค.

ตารางแสดงสภาพภูมิอากาศสถานีเกษตรปี 1989-1999
AGROCLIMATOLOGICAL FOR 1989-1999

Station BANG NA

Elevation of station above MSL 3.00 m

Latitude 13.6 N Longitude 100.6 E

Height of thermometer above ground 1.25 m

Height of wind vane above ground 10.00 m

Height of rain gauge 1.00 m

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Air temperature (celsius)													
Extreme maximum	35.9	37.0	37.6	40.0	39.2	37.5	36.8	36.6	35.6	35.2	35.5	35.1	40.0
Mean maximum	32.4	33.0	34.2	35.4	35.0	34.0	33.3	33.1	32.9	32.1	31.8	31.0	33.0
Mean	27.2	28.2	29.8	30.9	30.6	29.8	29.3	29.1	28.7	28.2	27.5	26.2	28.0
Mean minimum	22.1	23.4	25.4	26.5	26.2	25.7	25.4	25.2	24.7	24.3	23.3	21.3	24.5
Extreme minimum	14.0	16.1	19.5	21.4	22.0	22.2	22.3	21.6	22.2	18.3	18.0	11.7	11.0
Grass minimum temperature (celsius)													
Mean minimum	18.6	20.6	23.4	25.2	24.9	24.4	24.2	24.0	23.8	23.0	20.7	18.0	22.6
Extreme minimum	08.5	10.0	12.2	19.0	22.2	20.0	21.8	21.0	22.0	14.0	14.2	03.7	03.7
Water temperature (celsius)													
Mean maximum	29.8	31.3	33.1	34.4	33.9	32.9	32.4	32.0	32.1	31.7	30.7	28.9	31.9
Mean	24.6	26.1	27.9	29.2	28.9	28.1	27.9	27.5	27.5	27.0	25.5	23.6	27.0
Mean minimum	19.5	20.8	22.9	23.9	23.9	23.5	23.3	23.1	23.0	22.4	20.6	18.3	22.1
Relative humidity (%)													
Extreme maximum	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Mean maximum	91	91	92	90	91	89	90	90	93	91	86	86	90
Mean	67	69	69	70	72	72	72	73	74	73	68	65	70
Mean minimum	44	47	50	50	53	54	57	57	57	57	50	46	52
Extreme minimum	23	15	17	14	32	34	39	39	40	38	29	31	14
Soil temperature (celsius)													
Mean at surface	28.6	29.7	31.7	32.5	31.7	30.9	30.3	29.6	29.1	28.6	28.4	27.9	29.9
Mean at 5 cm	29.5	30.7	32.7	33.7	32.7	31.5	31.0	30.1	29.4	29.0	29.3	28.6	30.7
Mean at 10 cm	29.1	30.3	32.4	33.4	32.5	31.3	30.7	30.1	29.6	29.1	29.0	28.2	30.5
Mean at 20 cm	29.6	30.7	32.7	33.8	33.0	32.0	31.4	30.5	29.9	29.6	29.6	28.9	31.0
Mean at 50 cm	29.5	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	36.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8
Mean at 100 cm	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3
Rainfall (mm)													
Total amount	17.7	17.4	34.2	82.7	201.6	154.5	160.5	227.1	347.1	267.6	37.3	2.2	1549.9
Number of rainy day	3	3	4	7	14	15	17	19	22	17	5	1	127
Greatest in 24 hr	64.1	37.5	62.3	75.6	185.9	128.4	79.2	82.3	126.2	126.3	84.1	7.6	185.9
Evaporation (mm)													
Mean	4.1	4.7	5.5	5.8	5.2	4.7	4.5	4.3	4.0	4.1	4.3	4.5	4.6
Wind													
Prevailing direction	NE	S	S	S	S	SW	SW	SW	SW	NE	NE	NE	
Mean speed (m/s)	0.8	1.2	1.5	1.4	0.9	1.1	1.1	1.0	0.7	0.9	1.0	1.1	
Sunshine duration (hr)													
Extreme maximum	9.9	10.5	10.8	11.3	11.6	11.7	11.8	11.0	10.3	10.5	10.4	9.8	11.8
Mean	7.8	8.9	8.7	8.7	6.8	5.7	5.4	4.6	4.8	5.8	7.4	8.1	6.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ตารางแสดงอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยและปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ชุดทดลอง	วันที่	เวลา	การทดลอง	อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย (°C)	ปริมาณน้ำ (m ³ / พท.หลังคา 4.32 m ²)
ชุดทดลองที่ 1	18/6/2545	0:00-24:00	ไม่พ่นน้ำ	-	-
	29/6/2545	0:00-24:00	ไม่พ่นน้ำ	-	-
ชุดทดลองที่ 2	2/7/2545	7:30-18:00	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	33.54	0.05
	5/7/2545	7:30-18:00	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	32.68	0.04
	6/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	32.63	0.05
	7/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	32.00	0.05
ชุดทดลองที่ 3	6/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	32.63	0.05
	7/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 12 นาที	32.00	0.05
	12/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที	32.88	0.07
	13/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 6 นาที	32.02	0.07
	16/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที	30.37	0.07
	18/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 3 นาทีหยุด 3 นาที	30.84	0.07
ชุดทดลองที่ 4	24/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำตลอดเวลา	30.77	0.07
	25/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำตลอดเวลา	31.20	0.09
	19/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที	30.90	0.05
	28/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 6 นาทีหยุด 3 นาที	31.29	0.09
	21/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที	31.17	0.12
	26/7/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 12 นาทีหยุด 3 นาที	31.17	0.10
	1/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที	31.62	0.10
	2/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำ 24 นาทีหยุด 3 นาที	31.76	0.10
ชุดทดลองที่ 5	26/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำแบบผสม 6 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที	30.24	0.09
	29/8/2545	7:00-18:30	พ่นน้ำแบบผสม 6 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที	30.18	0.09
	27/8/2545	7:00-18:30	พ่นแบบผสม 12 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที	31.58	0.10
	28/8/2545	7:00-18:30	พ่นแบบผสม 12 นาทีหยุด 3 นาที, 12 นาทีหยุด 3 นาที, 3 นาทีหยุด 3 นาที	31.16	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายปฏิภาณ ชาญชัยศรี เกิดเมื่อวันที่ 4 ตุลาคม 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2540 จากนั้นเข้าศึกษาต่อหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้