

เทคนิคการออกแบบและการเลือกวัสดุหลังคา เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง



นางสาว ณัฐยา ทองมี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0916-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

16 ต.ค. 2545

II 19969466

# A ROOF DESIGN AND MATERIAL SELECTION FOR UTILIZATION OF ROOF CONDENSATION

Miss Nathiya Thongmee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University


Academic Year 2000

ISBN 974-13-0916-3


หัวข้อวิทยานิพนธ์      เทคนิคการออกแบบและเลือกวัสดุหลังคา เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง  
โดย                              นางสาว ณัฐยา ทองมี  
สาขาวิชา                      เทคโนโลยีอาคาร  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ

---

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


  
.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สักกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทิพย์สุดา ปทุมานนท์)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย เทพา)

ณัฐยา ทองมี: เทคนิคการออกแบบและการเลือกวัสดุหลังคา เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง (A roof design and material selection for utilization of roof condensation). อ. ที่ปรึกษา: ศ. ดร. สุนทร บุญญานิการ, 185 หน้า. ISBN 974-13-0916-3.

การสังเกตปรากฏการณ์ของการเกิดน้ำค้างตามธรรมชาติ พบว่า น้ำค้างจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ใอน้ำในอากาศกระทบกับพื้นผิววัสดุที่มีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง อุณหภูมิผิวที่ต่ำนี้เป็นผลจากการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าซึ่งเป็นแหล่งความเย็นขนาดใหญ่ในช่วงเวลากลางคืน ปรากฏการณ์การเกิดน้ำค้างนี้แสดงให้เห็นว่าทรัพยากรน้ำมีอยู่รอบตัวเรา ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นในแต่ละคืนจะมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับภูมิภาคที่ขาดแคลนน้ำของประเทศไทย ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงกำหนดบทบาทใหม่ในการออกแบบหลังคาเพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดน้ำค้าง สำหรับภูมิภาคเขตร้อนชื้นของประเทศไทย

ขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย 1) การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดน้ำค้าง 2) การทดลองหาแนวทางการออกแบบและเลือกวัสดุเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้างให้แก่หลังคา โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ วัสดุหลังคา มุมเอียงหลังคาที่เหมาะสมกับการเกิด การไหลของปริมาณน้ำค้าง ทิศทางการวางหลังคา และรูปแบบการติดตั้งหลังคา 3) การวิเคราะห์หาเทคนิคแนวทางเพื่อประยุกต์ใช้น้ำค้างและความเย็นแก่อาคารสำหรับภูมิภาคเขตร้อนชื้นของประเทศไทย

ผลการวิจัยพบว่า ในช่วงเวลากลางคืน ผิวหลังคาจะมีการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้า จนมีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิจุดน้ำค้างตามลำดับ การลดลงของอุณหภูมิผิวนี้นี้จะมีความแตกต่างตามวัสดุหลังคาที่ต่างกัน วัสดุหลังคาที่ทำจากอลูมิเนียมอะโนไดซ์ มีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นมากที่สุดเนื่องจากมีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างมากที่สุด การเอียงหลังคาทำมุม 15 องศากับแนวระนาบของวัสดุอลูมิเนียมอะโนไดซ์ จะมีความสมดุลระหว่างการเกิดและการไหลของปริมาณน้ำค้าง การวางหลังคาในทิศทางตรงข้ามกับลมที่พัดผ่านผิวหลังคาในช่วงเวลากลางคืนจะมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นมากกว่าการวางในทิศทางที่รับลมโดยตรง เนื่องจากได้รับอิทธิพลความร้อนจากลมที่พัดผ่านผิวน้อยกว่าการวางในทิศทางที่รับลมโดยตรง รูปแบบหลังคาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้แผ่นหลังคาสามารถเพิ่มปริมาณน้ำค้างได้ เนื่องจากสามารถลดอิทธิพลการนำความร้อนใต้แผ่นหลังคา ผลจากการวิเคราะห์พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปริมาณน้ำค้างในเบื้องต้นได้แก่ สภาพท้องฟ้า ค่าการคายรังสีของหลังคา ค่ามุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าของหลังคา ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิอากาศ

การวิจัยนี้สรุปได้ว่า ในการออกแบบหลังคาเพื่อให้เกิดปริมาณน้ำค้างต่อพื้นที่ต่อคืนมากที่สุด คือการทำให้ผิวหลังคามีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุด โดยมีเทคนิคการออกแบบหลังคาและเลือกใช้วัสดุดังนี้ 1) เลือกใช้วัสดุเคลือบผิวหลังคาที่มีค่าการคายรังสีมากกว่า 0.90 ค่าการคายรังสีนี้จะพิจารณาในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ไมครอนขึ้นไป โดยเฉพาะช่วงความยาวคลื่น 8-13 ไมครอน เนื่องจากวัสดุสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้ดีที่สุด 2) เลือกใช้วัสดุเคลือบผิวหลังคาที่มีสภาพผิวเป็นมันเรียบเพื่อลดการยึดเกาะของปริมาณน้ำค้างที่ไหลลงสู่ภาชนะกักเก็บ 3) เลือกใช้วัสดุหลังคาที่มีมวลสารน้อยเพื่อความรวดเร็วในการคายความร้อนกลับสู่ท้องฟ้า 4) เลือกมุมเอียงหลังคาให้มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้ามากที่สุด โดยเน้นความสมดุลระหว่างการเกิดและการไหลของปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น 5) การวางหลังคาในทิศทางที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากลมที่พัดผ่านผิวหลังคาโดยตรง 6) การป้องกันความร้อนจากใต้แผ่นหลังคา ผลการวัดปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานครสรุปได้ว่า ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 140 ซีซีต่อตารางเมตรต่อคืน และมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นมากที่สุดประมาณ 340 ซีซีต่อตารางเมตรในช่วงเดือนพฤศจิกายน

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต..... *ณัฐยา ทองมี*  
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีอาคาร..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *สุนทร บุญญานิการ*  
ปีการศึกษา.....2543.....

## 4274111525: MAJOR BUILDING TECHNOLOGY

KEY WORD: DEW / ROOF CONDENSATION / RADIATIVE COOLING

NATHIYA THONGMEE: A ROOF DESIGN AND MATERIAL SELECTION FOR UTILIZATION OF ROOF CONDENSATION. THESIS ADVISOR: PROFESSOR SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D., 185 pp. ISBN 974-13-0916-3.

The observation of natural condensation shows that dew is formed when vapor in the air comes into contact with the surface of materials whose temperature is lower than that of the dew point. Such low temperature results from the emissivity of long-wave radiation into the sky during the night. This phenomenon emphasizes the existence of the natural water resources around us. Therefore, the amount of dew formed each night can be considered significant for arid areas in Thailand. This research introduces a new concept of roof design focusing on the use of condensation. The main purpose is to study the factors causing condensation in a tropical country like Thailand.

The research methodology consists of 3 phases. 1) an experiment on variables that affect condensation. 2) an experiment on design concept and material selection to enhance condensation on the roof. Materials, suitable angles promoting condensation and flow of condensation, roof orientation and method of installation are all considered. 3) an analysis of ways to make use of condensation and to cool down buildings in tropical countries.

The research reveals that the roof emits long-wave radiation into the sky during the night that results in lower temperature than the dew point temperature. The temperature loss is different when various materials are used. Anodized Aluminum roofs yield the highest amount of dew since its temperature is much lower than the dew point temperature. An angle of 15 degrees of an Anodized Aluminum roof is the right position for condensation and the flow of dewdrops. Orienting the roof opposite the night wind direction also leads to more condensation. In terms of roof installation, an insulation material installed underneath the roof results in a higher amount of dew since it reduces the effects of heat transfer under the roof. The analysis revealed that variables that influence the primary condensation are nightsky condition, the emissivity of roof surfaces, the roof angle, relative humidity and air temperature.

In conclusion, the roof that enhances the highest condensation is the one with the lowest surface temperature. Design technique and material selection are as follows: 1) using the surface coat with the emissivity value of more than 0.90. This emissivity value is considered when the wavelength is more than 3 microns, especially from 8 to 13 microns. 2) using the smooth and shiny surface coat to help dewdrops flow into a container more effectively. 3) using materials that have low mass to emit long-wave radiation into the sky rapidly. 4) rotating the angle of the roof to expose the sky. 5) orienting the roof against the direct wind. 6) installing insulation underneath the roof. The average amount of condensation in Bangkok stands approximately 140 cc per square meters per night. The highest amount of 340 cc per square meters was recorded in November.

Department.....Architecture.....

Student's signature.....

Field of study .....Building Technology.....

Advisor's signature.....

Academic year.....2000.....

*Nathiya Thongmee*  
*Soontorn Boonyatikarn*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความสะดวก เมตตา กรุณา และความอนุเคราะห์จากบุคคล และสถาบันต่างๆ เหล่านี้

1. ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร. ทิพย์สุดา ปทุมานนท์ ที่ให้ข้อสังเกต ตำราทางวิชาการ และคำปรึกษา อันเป็นแนวทางที่ให้ประโยชน์และมีคุณค่าอย่างยิ่งต่องานวิจัยครั้งนี้
2. ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริชัย เทพา อาจารย์ประจำคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณบุรี ที่ให้ตำราทางวิชาการและคำปรึกษา อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้
3. ขอขอบคุณอย่างยิ่งสำหรับคณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ช่วยประสานงานเอกสารและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้
4. ขอขอบคุณบริษัท แม่น้ำมีทอลซ์ฟพลาย จำกัด, บริษัท บีเอชพี จำกัด และบริษัท เอ็ม.วี.พี. จำกัด ในความอนุเคราะห์ตัวอย่างวัสดุที่ใช้ในการวิจัย
5. ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ สาขาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ร่วมทุกข์ร่วมสุข ตลอดเวลาที่ได้ศึกษา ณ สถาบันการศึกษานี้ รวมทั้งขอขอบคุณนิรายุ ชุมสาย ณ อยุธยา ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

ประโยชน์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขออุทิศแก่บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่ทำให้สามารถสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้ได้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ท
บทที่	
1    บทนำ	
1.1. ความเป็นมาของการวิจัย.....	1
1.2. ความสำคัญของการวิจัย.....	4
1.3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.4. ระเบียบวิธีวิจัย.....	7
1.5. สมมติฐานการวิจัย.....	9
1.6. ขอบเขตการวิจัย.....	9
1.7. ข้อตกลงเบื้องต้น.....	9
1.8. คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	10
1.9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
2    ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1. การคายรังสีความร้อนกับการเกิดน้ำค้าง.....	11
2.1.1 ความหมายของการคายรังสีความร้อน.....	11
2.1.2 ประเภทของรังสีความร้อน.....	13
2.1.3 การคายรังสีความร้อนของพื้นผิว.....	15
2.2. กระบวนการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับท้องฟ้าในเวลากลางคืน.....	17
2.2.1 การแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยการคายรังสีคลื่นยาวของผิวหลังคา.....	18
2.2.2 การคายรังสีโดยบรรยากาศ.....	20

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.2.3 การแลกเปลี่ยนอุณหภูมิด้วยการพาความร้อนระหว่างผิวหลังคากับ ลมที่พัดผ่าน.....	23
	2.2.4 การแลกเปลี่ยนด้วยการนำความร้อนระหว่างผิวหลังคาด้านบนและ ด้านล่าง.....	26
	2.3. คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุหลังคากับการเกิดน้ำค้าง.....	28
	2.3.1 ค่าการดูดซับความร้อน.....	28
	2.3.2 ค่าการคายรังสีความร้อน.....	29
	2.3.3 ค่าการคายรังสีความร้อนกับชนิดของผิววัสดุ.....	30
	2.3.4 การเลือกคายรังสีคลื่นยาวของพื้นผิวหลังคา.....	36
	2.4. มวลสารของวัสดุกับการเกิดน้ำค้าง.....	44
	2.5. มุมเอียงของหลังคากับการเกิดน้ำค้าง.....	46
	2.6. สภาพท้องฟ้าและการคายรังสีระหว่างพื้นผิวกับท้องฟ้า.....	49
	2.7. บทสรุปของการเกิดน้ำค้าง.....	55
3	สมมติฐานและการดำเนินการวิจัย	
	3.1. สมมติฐานการวิจัย.....	57
	3.2. ขั้นตอนเตรียมการวิจัย.....	57
	3.1.1. การเตรียมสถานที่ทดลอง.....	58
	3.1.2. เซลทดลอง.....	58
	3.1.3. เครื่องมือและการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	60
	3.1.4. การทดสอบความถูกต้องของสายวัดค่าอุณหภูมิ.....	62
	3.2. ขั้นตอนการวิจัย.....	64
	3.2.1 การทดสอบตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อการเกิดน้ำค้าง.....	65
	3.2.2 การทดลองเพื่อศึกษารายละเอียดของตัวแปรที่สำคัญ เพื่อเพิ่ม ปริมาณน้ำค้าง.....	67
	3.2.3 การวิเคราะห์หาเทคนิคแนวทางเพื่อประยุกต์ใช้.....	70
4	ผลการวิจัยและการวิเคราะห์	
	4.1. การทดสอบตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลการเกิดน้ำค้าง.....	71



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2. การทดลองหาแนวทางการออกแบบและเลือกวัสดุหลังคา เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้าง.....	89
4.3. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น .....	144
5 อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ	
5.1. อภิปรายผลการวิจัย.....	149
5.2. สรุปผลการวิจัย.....	160
5.2.1 แนวทางการออกแบบและเลือกวัสดุหลังคาเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้าง.....	160
5.2.2 แนวทางเสนอแนะเพื่อประยุกต์ใช้น้ำค้างและความเย็นกับอาคาร...	161
5.3. ข้อเสนอแนะ.....	163
รายการอ้างอิง.....	166
ภาคผนวก.....	169
ก. ค่าการดูดซับและคายรังสีความร้อนของวัสดุโดยทั่วไป.....	170
ข. กระบวนการเคลือบสีประเภทต่างๆ.....	172
ค. ค่าการดูดซับและการคายรังสีของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	175
ง. ค่ามุมที่เปิดสู่ท้องฟ้า.....	182
จ. ประมวลคำศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย.....	183
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	185

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2-1	แสดงองค์ประกอบของรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์.....	14
2-2	แสดงกลุ่มอิทธิพลของลมและอากาศในช่วงเวลากลางคืนของประเทศไทย.....	24
2-3	การสังเกตลักษณะลมในช่วงเวลากลางคืนตามมาตรฐานลมโบฟอร์ต.....	25
2-4	ค่าการคายรังสีโดยเฉลี่ยของพื้นผิววัสดุจำพวกโลหะ-โลหะ.....	33
2-5	แสดงคุณสมบัติการดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์กับการคายรังสีคลื่นยาวจากผิววัสดุ.....	43
2-6	การเปรียบเทียบมวลสารประเภท Low, Medium และ High Mass.....	45
3-1	วัสดุที่ใช้ในการวิจัยเพื่อเป็นตัวแทนของการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของหลังคา.....	66
3-2	วัสดุหลังคาเพื่อเป็นตัวแทนในการศึกษามวลสารที่ต่างกัน.....	66
3-3	ค่าการคายรังสีคลื่นยาวของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	67
3-4	แสดงค่ามุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าในมุมเอียงที่ต่างกัน.....	68
4-1	แสดงอุณหภูมิผิวต่ำสุดและอุณหภูมิผิวเฉลี่ยในเวลากลางคืนของวัสดุที่ต่างกัน.....	92
4-2	แสดงอุณหภูมิผิวสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ของวัสดุที่ต่างกัน.....	100
4-3	แสดงอุณหภูมิผิวต่ำสุด ณ เวลา ในช่วงเวลากลางคืน ของวัสดุที่ต่างกัน.....	101
4-4	แสดงอุณหภูมิผิวต่ำสุดของมุมเอียงหลังคาที่ต่างกันในช่วงเวลากลางคืน.....	117
4-5	แสดงการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม.....	145

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1 การเกิดหยดน้ำค้างตามธรรมชาติ.....	1
1-2 การเกิดหยดน้ำที่เกาะอยู่ภายนอกแก้ว.....	2
1-3 กระบวนการควบแน่นเป็นหยดน้ำของไอน้ำในอากาศ.....	3
1-4 การกระจายอุณหภูมิจึงรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์.....	5
1-5 ความสัมพันธ์ระหว่างสถาปัตยกรรมกับของระบบธรรมชาติ.....	6
1-6 ลักษณะและขนาดของเซลล์ทดลอง.....	8
2-1 การถ่ายเทพลังงานโดยการคายรังสีระหว่างพื้นผิว 2 พื้นผิวที่มีอุณหภูมิผิวแตกต่างกัน.....	12
2-2 ช่วงความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	12
2-3 แสดงองค์ประกอบของช่วงความยาวคลื่นของการคายรังสีความร้อนที่ประกอบด้วยรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และรังสีความร้อนจากผิววัสดุบนพื้นโลก.....	13
2-4 แสดงการดูดซับ การสะท้อนกลับและการคายความร้อนออกบนพื้นผิวของวัตถุที่บดแสง เมื่อได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์.....	16
2-5 แสดงการคายรังสีความร้อนบนผิววัสดุบนพื้นโลกกลับสู่ท้องฟ้า.....	16
2-6 กระบวนการถ่ายเทความร้อนที่มีผลต่อการคายรังสีความร้อนในเวลากลางวัน.....	17
2-7 แสดงความเข้มของการคายรังสี.....	18
2-8 แสดงอัตราของการคายรังสี.....	18
2-9 ลักษณะการคายรังสีออกจากวัตถุ.....	19
2-10 เปรียบเทียบความเร็วลมที่พัดผ่านกับลมสงบ (อากาศนิ่ง) ต่อการเกิดปริมาณน้ำค้าง.....	23
2-11 สมมติฐานของการเกิดปริมาณน้ำค้างจากแผ่นหลังคาที่วางทิศทางต่างกัน.....	25
2-12 แสดงการกระจายของการดูดซับรังสีความร้อนของผิววัสดุในทุกความยาวคลื่น.....	28
2-13 แสดงการกระจายของการคายรังสี.....	29
2-14 เปรียบเทียบค่าการคายรังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุ.....	30
2-15 ลักษณะการคายรังสีของผิวโลหะ (Electric) ที่เปลี่ยนแปลงกับมุมกระทำ.....	32
2-16 ลักษณะการคายรังสีของผิวอโลหะ (Dielectric) ที่เปลี่ยนแปลงกับมุมกระทำ.....	32

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
2-17 แสดงสมมติฐานการเลือกคายรังสีของพื้นผิวหลังคา เพื่อให้ประโยชน์จากน้ำค้าง....	37
2-18 แสดงการเปรียบเทียบมุม cosine ของการรับน้ำ.....	46
2-19 แสดงการเปรียบเทียบมุมเอียงหลังคา กับมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าที่ต่างกันตามกรณีที่ 1-3	48
2-20 การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าในสภาพท้องฟ้าที่ต่างกัน.....	53
2-21 แนวความคิดในการใช้ประโยชน์จากน้ำค้างบนหลังคา.....	56
3-1 แสดงสถานที่ทดลอง.....	58
3-2 ส่วนประกอบและขนาดของเขตทดลอง .....	59
3-3 การติดตั้งเขตทดลองกับภาชนะกักเก็บปริมาณน้ำค้าง.....	59
3-4 เครื่องเก็บค่าอุณหภูมิ (Data Logger) .....	60
3-5 แสดงตัวอย่างสายวัดอุณหภูมิ.....	61
3-6 แสดงการเชื่อมต่อเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	61
3-7 แสดงผังการติดตั้งเครื่องมือแผ่นทดลอง.....	61
3-8 การติดตั้งสายวัดอุณหภูมิกับแผ่นทดลอง.....	62
3-9 ค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบของสายวัด thermocouple.....	63
3-10 แสดงแผ่นวัสดุหลังคาที่ใช้ในการวิจัย.....	64
3-11 รูปแบบการทดลองวัดปริมาณน้ำค้างในมุมลาดเอียงต่างกัน.....	68
3-12 การติดตั้งแผ่นทดลองในมุมลาดเอียงที่ต่างกัน.....	68
3-13 การวางแผ่นหลังคาในทิศทางที่ต่างกัน.....	69
3-14 รูปแบบการติดตั้งหลังคาที่ต่างกัน.....	70
4-1 ลักษณะของปริมาณน้ำค้างที่เกาะตัวบนผิวของหลังคาที่มีการเคลือบน้ำยาเคลือบ สี.....	107
4-2 ลักษณะของปริมาณน้ำค้างที่เกาะตัวและไหลบนผิวของหลังคาที่ไม่มีการเคลือบน้ำ ยาเคลือบสี.....	107
5-1 ลักษณะปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นของวัสดุหลังคาที่มีการคายรังสีต่างกัน.....	150
5-2 ลักษณะของหยดน้ำจากแผ่นหลังคาที่มีมุมเอียงหลังคาต่างกัน.....	152

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
5-3 การเอียงหลังคาที่มีมุมเปิดสู่ท้องฟ้าต่างกัน.....	154
5-4 การวางหลังคาในทิศทางที่ได้รับอิทธิพลการพาความร้อนจากลมที่ต่างกัน.....	155
5-5 การวางหลังคาในทิศทางที่รับลมโดยตรง.....	156
5-6 ทิศทางการวางหลังคา กับทิศทางลม.....	156
5-7 รูปแบบการติดตั้งหลังคาที่มีฉนวนกันความร้อนใต้ผิวหลังคา.....	157
5-8 รูปแบบการติดตั้งหลังคาที่มีช่องว่างอากาศและฉนวนกันความร้อนด้านล่างและด้านข้างหลังคา.....	158
5-9 รูปแบบการติดตั้งหลังคาที่ไม่มีฉนวนกันความร้อนด้านข้าง.....	158
5-10 รูปแบบการติดตั้งหลังคาที่ไม่มีการป้องกันความร้อนด้านใต้และด้านข้างหลังคา....	159
5-11 สภาพท้องฟ้าที่ต่างกันตามฤดูกาล.....	160
5-12 เสนอแนะแนวทางการออกแบบหลังคา เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง.....	162
5-13 ข้อสังเกตการเพิ่มปริมาณน้ำค้างจากการติดตั้งหลังคาที่ต่างกัน.....	164

## สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่	หน้า
2-1 แสดงการดูดซับและการคายรังสีความร้อนของบรรยากาศในช่วงการคายรังสีความร้อน.....	21
2-2 พลังงานจากการคายรังสีคลื่นยาวของท้องฟ้า ในเชิงสเปกตรัม สำหรับวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส.....	22
2-3 แสดงอัตราส่วนการดูดซับความร้อนและการคายรังสีของวัสดุแต่ละชนิด.....	31
2-4 แสดงการเปรียบเทียบค่าการคายรังสีของพื้นผิววัสดุระหว่าง Polished aluminum commercial finish aluminum และ Anodized aluminum.....	34
2-5 แสดงการเปรียบเทียบค่าการคายรังสีของการเคลือบผิววัสดุระหว่าง White enamel, Plaster (gypsum) และ fire clay, white. ....	35
2-6 ค่าการคายรังสีความร้อนของ White Paint on aluminum เทียบกับ Anodized aluminum.....	39
2-7 การเปรียบเทียบพลังงานจากการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับท้องฟ้าในตอนกลางคืนของพื้นผิววัสดุ PVF และ White Paint .....	40
2-8 แสดงการคายรังสีของผิววัสดุในช่วงความยาวคลื่น ตั้งแต่ 3 ไมโครเมตร เป็นต้นไป	41
2-9 แสดงพฤติกรรมของอุณหภูมิผิววัสดุ ที่เคลือบสีเทากับขาว.....	43
2-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความสูงของชั้นบรรยากาศ.....	50
4-1 เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตร ของผิววัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีความร้อนต่างกัน.....	72
4-2 เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตร ของวัสดุที่มีสภาพของผิวที่ต่างกัน.....	73
4-3 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคาที่มีสภาพของผิวที่ต่างกัน.....	74
4-4 เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตร ของหลังคาที่มีมวลสารแตกต่างกัน.....	77
4-5 เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคาที่มีมวลสารแตกต่างกัน.....	78
4-6 เปรียบเทียบปริมาณการเกิดและการไหลของปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตร ของหลังคาที่มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าต่างกัน.....	80

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่	หน้า
4-7	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคาของวัสดุหลังคาที่มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าต่างกัน..... 81
4-8	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรของวัสดุหลังคาที่มีลมพัดผ่านผิวหลังคาแตกต่างกัน..... 83
4-9	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรในช่วงเดือนกันยายน..... 85
4-10	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรในช่วงเดือนพฤศจิกายน..... 86
4-11	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรในช่วงเดือนมกราคม..... 87
4-12	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรในช่วงเดือนกุมภาพันธ์..... 88
4-13	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรของวัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีต่างกัน..... 90
4-14	เปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวในช่วงเวลากลางคืนของวัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวต่างกัน..... 91
4-15	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวโดยเฉลี่ยของวัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีต่างกันในช่วงเวลากลางคืน ..... 93
4-16	เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิโดยเฉลี่ย ของวัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน..... 94
4-17	เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวโดยเฉลี่ยของ วัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน..... 95
4-18	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรของวัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีต่างกัน..... 97
4-19	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของวัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีต่างกันใน 1 วัน..... 98
4-20	เปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวของวัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน..... 99
4-21	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวโดยเฉลี่ย ของหลังคาที่มีค่าการคายรังสีต่างกันในช่วงเวลากลางคืน ..... 102
4-22	เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิโดยเฉลี่ย ของหลังคาที่มีค่าการคายรังสีต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน..... 103
4-23	เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวโดยเฉลี่ย ของหลังคาที่มีค่าการคายรังสีต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน..... 104

## สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่	หน้า	
4-24	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่ไหลเองและที่เกาะตัวบนแผ่นวัสดุทดสอบที่มีการเคลือบน้ำยาเคลือบเงา.....	106
4-25	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหลังค้ำที่มีการเคลือบน้ำยาเคลือบเงา.....	108
4-26	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตร ของหลังค้ำที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	111
4-27	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่ไหลเองต่อตารางเมตร ของหลังค้ำที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	112
4-28	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่ต้องกวาดต่อตารางเมตร ของหลังค้ำที่มีมุมเอียงต่างกัน.....	113
4-29	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังค้ำที่มีมุมเอียงต่างกัน ใน 1 วัน.....	114
4-30	เปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวของหลังค้ำที่มีมุมเอียงต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน.....	115
4-31	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวโดยเฉลี่ยของหลังค้ำที่มีมุมเอียงต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน	118
4-32	เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิโดยเฉลี่ย ของหลังค้ำที่มีมุมเอียงต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน.....	119
4-33	เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวโดยเฉลี่ย ของหลังค้ำที่มีมุมเอียงต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน.....	120
4-34	เปรียบเทียบพลังงานคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าโดยเฉลี่ย ของหลังค้ำที่มีมุมเอียงต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน.....	121
4-35	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่ไหลเองต่อพื้นที่ ของหลังค้ำที่มีทิศทางการวางที่ต่างกัน.....	124
4-36	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังค้ำที่มีทิศทางการวางต่างกัน ใน 1 วัน.....	125
4-37	เปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวของหลังค้ำที่มีทิศทางการวางหลังค้ำที่ต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน.....	128
4-38	เปรียบเทียบผลรวมของความต่างของอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวโดยเฉลี่ย ใน ช่วงเวลากลางคืน.....	129
4-39	เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตร ของหลังค้ำที่มีรูปแบบการติดตั้งที่ต่างกัน.....	132



## สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่	หน้า	
4-40	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของหลังคาที่มีรูปแบบการติดตั้งที่ต่างกัน วัน.....	ใน1 133
4-41	เปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวด้านบน ของหลังคาที่มีรูปแบบการติดตั้งที่ต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน.....	134
4-42	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวโดยเฉลี่ย ของหลังคาที่มีรูปแบบการติดตั้งที่ต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน.....	136
4-43	เปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวด้านบนและด้านล่าง ของหลังคาที่มีรูปแบบการติดตั้งต่างกัน CR 2 ในช่วงเวลากลางคืน.....	137
4-44	เปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวด้านบนและด้านล่าง ของหลังคาที่มีรูปแบบการติดตั้งต่างกัน CR 3 ในช่วงเวลากลางคืน.....	138
4-45	เปรียบเทียบอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวด้านบนและด้านล่าง ของหลังคาที่มีรูปแบบการติดตั้งต่างกัน CR 4 ในช่วงเวลากลางคืน.....	139
4-46	เปรียบเทียบอุณหภูมิผิวด้านบนและด้านล่างโดยเฉลี่ย ของหลังคาที่มีรูปแบบการติดตั้งต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน.....	140
4-47	เปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาโดยเฉลี่ย ในช่วงเวลากลางคืน ของหลังคาที่มีรูปแบบการติดตั้งที่ต่างกัน.....	141
4-48	เปรียบเทียบผลต่างระหว่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างกับอุณหภูมิผิวด้านบนหลังคาโดยเฉลี่ย ในช่วงเวลากลางคืน ของหลังคาที่มีรูปแบบการติดตั้งที่ต่างกัน.....	142
5-1	พฤติกรรมคายรังสีความร้อน ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ไมครอนขึ้นไป.....	151
5-2	ลักษณะความสัมพันธ์ของมุมเอียงหลังคาที่เปิดสู่ท้องฟ้ากับปริมาณน้ำค้าง.....	153
5-3	ลักษณะความสัมพันธ์ของมุมเอียงหลังคาที่เปิดสู่ท้องฟ้ากับค่ามุมที่เปิดสู่ท้องฟ้า.....	154