บทที่ 5
อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1. อภิปรายผลการวิจัย

ในช่วงเวลากลางคืน ผิวหลังคาสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าจนมีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิจุดน้ำค้างตามลำดับ การลดลงของอุณหภูมิผิวนี้จะแตกต่างกันตามวัสดุหลังคาที่ต่างกัน และส่งผลต่อปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นแตกต่างกันด้วย ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น ได้แก่

- อิทธิพลของค่าการคายรังสีของผิวหลังคา
- อิทธิพลของมวลสารวัสดุหลังคา
- อิทธิพลของมุมเอียงหลังคาที่มีมุมเปิดสู่ท้องฟ้า
- อิทธิพลของทิศทางการวางหลังคา
- อิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งหลังคา
- อิทธิพลของสภาพท้องฟ้าและสภาพอากาศ

5.1.1. อิทธิพลของค่าการคายรังสีของผิวหลังคา

ค่าการคายรังสีของผิววัสดุหลังคาจะมีผลต่อปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น โดยวัสดุที่มีค่าการคายรังสีสูงมีผลต่อปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรมากกว่าผิววัสดุที่มีค่าการคายรังสีต่ำ เนื่องจากผิวหลังคาที่มีค่าการคายรังสีสูงจะสามารถคายรังสีความร้อนออกจากผิววัสดุได้มาก จนมีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างได้รวดเร็วกว่าผิววัสดุที่มีการค่ารังสีความร้อนต่ำ จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรและอุณหภูมิผิวของวัสดุหลังคา พบว่า

ผิวหลังคาของวัสดุที่มีค่าการคายรังสีต่ำของโลหะอลูมิเนียมขัดมัน เท่ากับ 0.02 จะไม่มีปริมาณน้ำค้างเกิดขึ้นเลย มีเพียงละอองไอน้ำเล็กๆเกาะอยู่บนผิว เนื่องจากผิวหลังคาคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้น้อยกว่าวัสดุที่มีค่าการคายรังสีสูง ส่งผลให้มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างโดยเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืน

ผิวหลังคาของวัสดุที่มีค่าการคายรังสีสูงของ หญ้าคา หินกาบ การเคลือบสีบางชนิดเช่น การพ่นสีอะคริด, การเคลือบสี PVDF, การเคลือบสี fluororesin, การเคลือบสีเคลือบเงา, การเคลือบออกไซด์บนผิวอลูมิเนียมหรือ anodized aluminum จะสามารถเพิ่มปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากผิววัสดุสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าจนมีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่า

อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิจุดน้ำค้างในช่วงเวลากลางคืน มากกว่าวัสดุที่การคายรังสีความร้อนต่ำของโลหะอลูมิเนียม ผลการวิจัยพบว่า หลังคาที่ทำจากวัสดุ Anodized aluminum มีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นมากกว่าวัสดุอื่น เนื่องจากผิววัสดุสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าจนมีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างได้มากที่สุดและรวดเร็วที่สุด โดยส่วนใหญ่จะเริ่มมีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างตั้งแต่เวลาประมาณ 19.00น. จนกระทั่ง 7.00น ทำให้มีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นมากกว่าวัสดุอื่น รองลงมากคือ หลังคาที่ทำจากวัสดุเหล็กเคลือบสี PVDF, อลูมิเนียมเคลือบสีขาว และอลูมิเนียมพ่นอะคีริคสีขาว จะมีปริมาณน้ำค้างโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกัน นอกจากนี้หลังคาที่ทำจากหญ้าคาจะมีปริมาณน้ำค้างเกาะอยู่บนผิวเช่นกัน โดยปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ ดังภาพที่ 5-1

วัสดุโลหะอลูมิเนียมขัดมันที่มีค่าการคายรังสีต่ำ

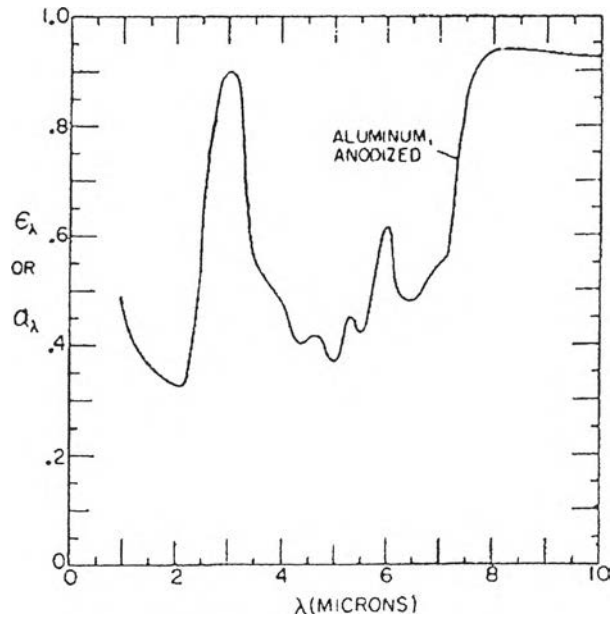
เหล็กเคลือบสี PVDF Anodized aluminum **อลูมิเนียมพ่นสีอะคีริคสีขาว**

หินกาบ **หญ้าคา**

วัสดุอโลหะที่มีค่าการคายรังสีสูง

ภาพที่ 5-1 ลักษณะปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นของวัสดุหลังคาที่มีค่าการคายรังสีต่างกัน (ดูค่าการคายรังสีและการดูดซับความร้อนจากภาคผนวก ง)

เมื่อพิจารณาค่าการคายรังสีความร้อนของวัสดุผิว Anodized จะมีค่าการคายรังสีในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ไมครอนขึ้นไป โดยเฉพาะช่วงความยาวคลื่น 8-13 ไมครอนมากกว่า 0.92 ดังแผนภูมิที่ 5-1 ทำให้ผิววัสดุสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้เต็มที่



แผนภูมิที่ 5-1 พฤติกรรมการคายรังสีความร้อนในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ไมครอนขึ้นไป
(ภาพปรับปรุงจาก Dunkle and et al, 1953 อ้างใน Sparrow, 1978: 37)

นอกจากนี้ จากการทดสอบสภาพผิวของวัสดุพบว่า วัสดุที่มีสภาพผิวที่เรียบและมันวาวจะมีปริมาณที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรมากเนื่องจากสามารถลดการเกาะตัวของน้ำค้างได้ ดังเช่นการเคลือบผิวของ วัสดุที่ทำจาก Anodized aluminum, อลูมิเนียมพ่นอะคิริคสีขาว, อลูมิเนียมเคลือบสีขาว, เหล็กเคลือบสี PVDF และหินกาบ ในขณะที่วัสดุที่ทำจากหญ้าคาและหินทรายจะมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นบางส่วนจะถูกดูดซับไว้ ดังนั้น ในการออกแบบหลังคาควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการคายรังสีความร้อนสูงเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้าง โดยพิจารณาค่าการคายรังสีความร้อนในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ไมครอนขึ้นไป โดยเฉพาะช่วงความยาวคลื่น 8-13 ไมครอน เนื่องจากผิวหลังคาสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้เต็มที่ และเลือกใช้วัสดุเคลือบผิวหลังคาที่มีสภาพผิวที่มันเรียบ เพื่อลดการยึดเกาะตัวของปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น

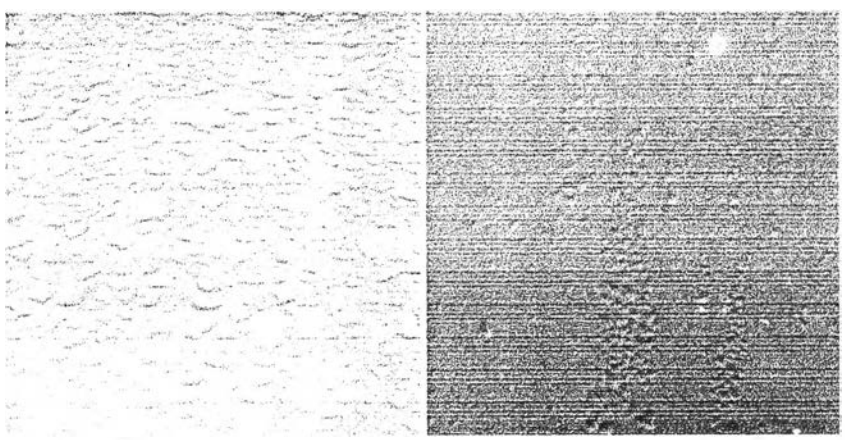
5.1.2 อิทธิพลของมวลสารวัสดุหลังคา

มวลสารของวัสดุจะมีผลต่อปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น โดยวัสดุที่มีมวลสารน้อยจะมีปริมาณน้ำค้างที่กิดขึ้นต่อตารางเมตรมากกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก เนื่องจากมวลสารวัสดุน้อยจะมีการสะสมความร้อนในวัสดุน้อย ส่งผลให้ผิววัสดุคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าเป็นไปอย่างรวดเร็วจนอุณหภูมิผิวลดลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างอย่างรวดเร็วกว่าวัสดุที่มีมวลสารมากในช่วงเวลากลางคืน ในขณะที่วัสดุที่มีมวลสารมากจะคายความร้อนที่สะสมในมวลสารช้ากว่า ทำให้

อุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างโดยเฉลี่ยสูงกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย ดังนั้น ในการออกแบบหลังคาเพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง ควรเลือกใช้วัสดุที่มีมวลสารน้อย เพื่อความรวดเร็วในการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถเลือกใช้ประโยชน์จากมวลสารมากในการกักเก็บความเย็นเพื่อรักษาความเย็นไว้ เพื่อให้ด้านล่างหลังคามีความเย็นตลอดทั้งวัน

5.1.3 อิทธิพลของมุมเอียงหลังคาที่มีมุมเปิดสู่ท้องฟ้า

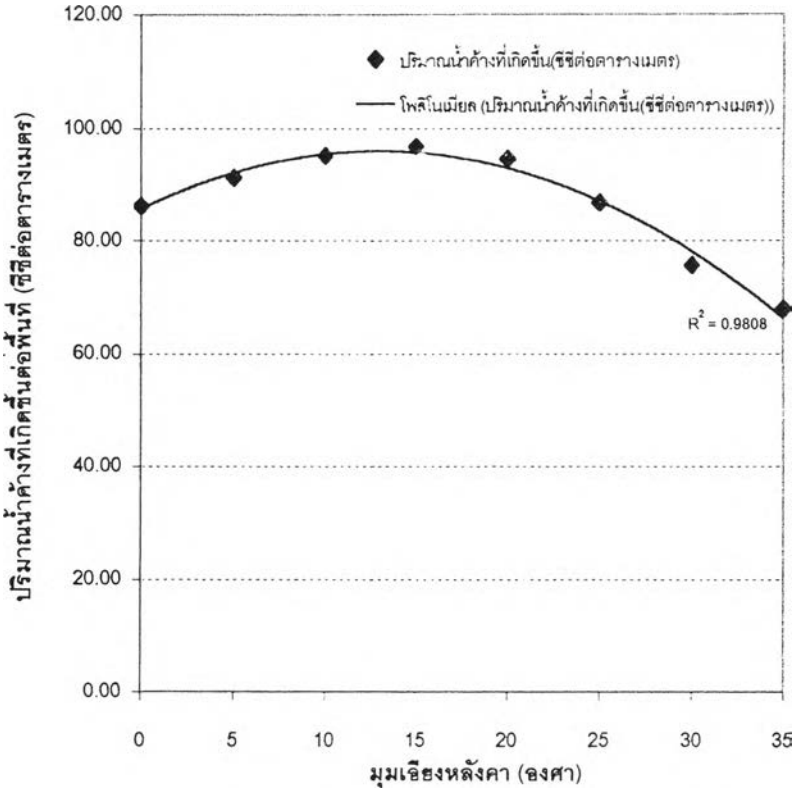
การเอียงหลังคาจะมีผลต่อการเกิดและการไหลของปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น โดยเมื่อเอียงหลังคา 0 องศากับแนวระนาบจะมีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้ามากที่สุด และมีปริมาณน้ำค้างเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก ปริมาณน้ำค้างที่เกาะอยู่บนผิวหลังคานี้จะเป็นตัวสกัดกั้นการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าและเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างหยดน้ำกับผิวหลังคา ส่งผลให้หลังคามีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างน้อยลง ทำให้ไม่สามารถเพิ่มปริมาณน้ำค้างได้ แต่เมื่อเอียงหลังคามีมุมเอียงเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำค้างไหลลงสู่ภาชนะกักเก็บได้เมื่อมีน้ำหนักมากพอ ทำให้ผิวหลังคาสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าจนมีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างได้ตลอดเวลาในช่วงเวลากลางคืน ดังภาพที่ 5-2



ปริมาณน้ำค้างที่เกาะอยู่เมื่อวางแผ่นแนวระนาบ **ปริมาณน้ำค้างที่เกาะอยู่และปริมาณน้ำค้างที่ไหลเองเมื่อเอียงหลังคาทำมุมกับแนวระนาบเพิ่มขึ้น**

ภาพที่ 5-2 ลักษณะของหยดน้ำจากแผ่นหลังคาที่มีมุมเอียงหลังคาต่างกัน

จากผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มมุมเอียงหลังคาจะมีผลต่อการเพิ่มปริมาณการไหลของน้ำค้างที่เกิดขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงหลังคาที่เปิดสู่ท้องฟ้ากับปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งโพลีโนเมียลหรือรูประฆังคว่ำ โดยเมื่อเอียงหลังคาทำมุมเพิ่มขึ้นจนถึงมุมเอียงหลังคา 15 องศากับแนวระนาบจะมีผลทำให้เกิดปริมาณน้ำค้างเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเอียงหลังคาทำมุมเพิ่มขึ้นจากนี้จะมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นลดลง เนื่องจากผิวหลังคามีมุมที่สามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้น้อยลง ดังแผนภูมิที่ 5-2



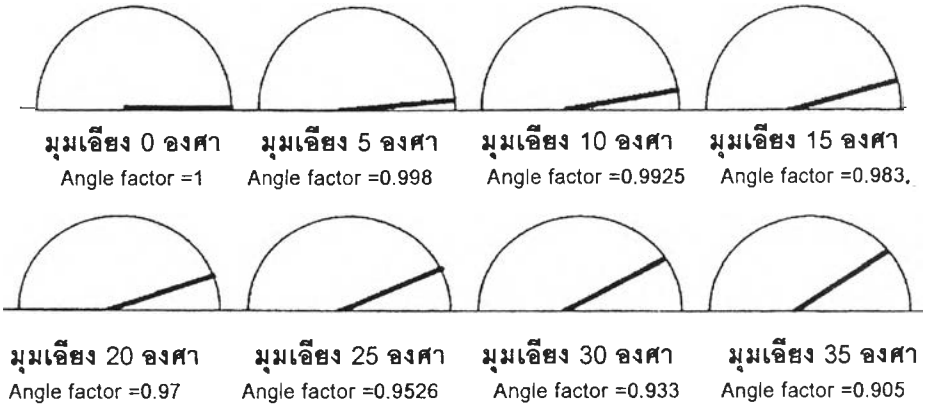
แผนภูมิที่ 5-2 ลักษณะความสัมพันธ์ของมุมเอียงหลังคาที่เปิดสู่ท้องฟ้ากับปริมาณน้ำค้าง

จากแผนภูมิที่ 5-2 พบว่า ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกัน เป็นผลจากอิทธิพลของของมุมเอียงหลังคาที่มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้า ซึ่งส่งผลต่อคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าต่างกัน เนื่องจากท้องฟ้าเป็นแหล่งความเย็นขนาดใหญ่ในการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อน มุมเอียงหลังคาที่มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าต่างกัน มีผลให้ผิวหลังคาคายรังสีกลับสู่ท้องฟ้าจนมีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิจุดน้ำค้างแตกต่างกัน เนื่องจากความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตจากสมการค่ามุมที่เปิดท้องฟ้า (Angle Factor: F) ดังสมการ

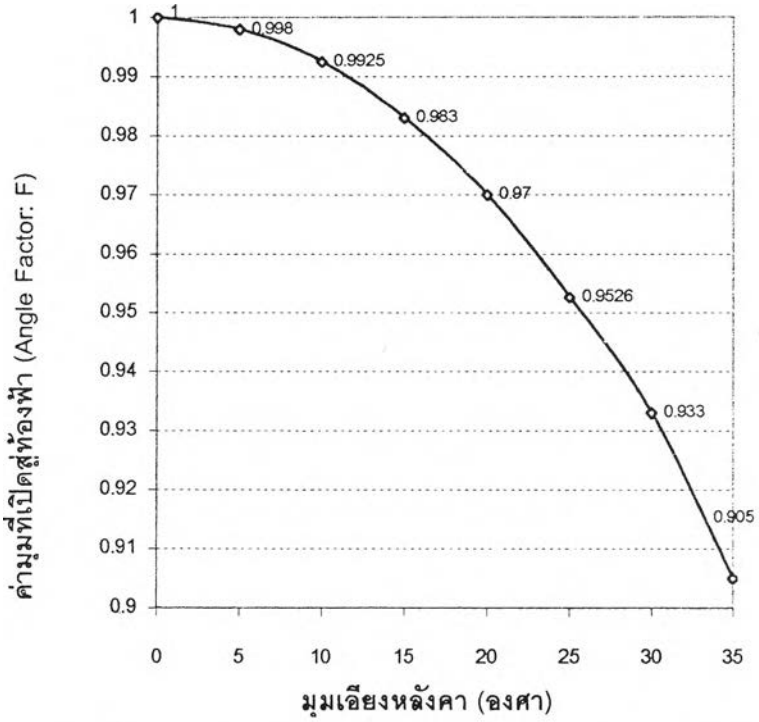
$$F = 1/2\,(1+\cos\beta)$$

โดยที่ β = มุมเอียงหลังคา (องศา)

จากสมการเมื่อหลังคามีมุมเอียงหลังคาทำมุมกับแนวระนาบเพิ่มขึ้น ($\beta > 0$ องศา) ค่ามุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าก็จะลดลง เป็นผลให้ผิวหลังคาไม่สามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้เต็มที่ ทำให้มีอุณหภูมิผิวโดยเฉลี่ยในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่ามุมเอียงหลังคาที่มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้ามาก ดังภาพที่ 5-3



ภาพที่ 5-3 การเอียงหลังคาที่มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าต่างกัน



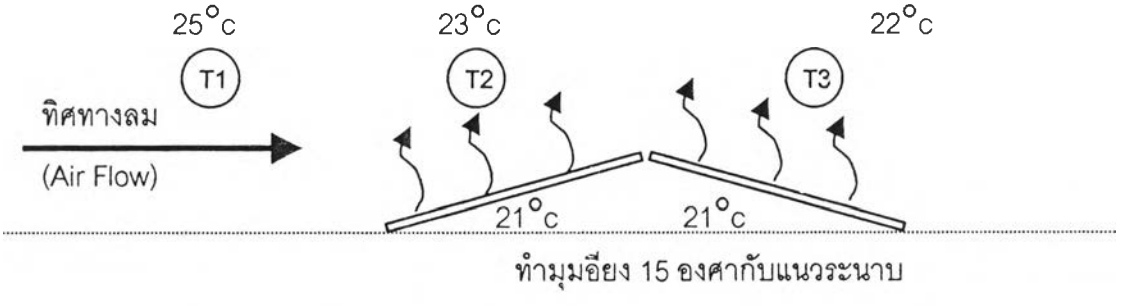
แผนภูมิที่ 5-3 ลักษณะความสัมพันธ์ของมุมเอียงหลังคากับค่ามุมที่เปิดสู่ท้องฟ้า

จากภาพที่ 5-3 และแผนภูมิที่ 5-3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเอียงหลังคามากขึ้นจะส่งผลให้สัดส่วนระหว่างมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้าของหลังคาลดลง ทำให้ผิวหลังคามีมุมที่ทำกับผิววัสดุอื่นที่มีอุณหภูมิผิวสูงกว่าอุณหภูมิท้องฟ้าเพิ่มขึ้นขึ้น ส่งผลให้ผิวหลังคาคายรังสีกลับสู่ท้องฟ้าน้อยลง

ดังนั้น ในการออกแบบหลังคาเพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง ควรเลือกมุมเอียงหลังคาให้มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้ามากที่สุดโดยเน้นความสมดุลระหว่างการเกิดและการไหลเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้าง เนื่องจากมุมเอียงที่ทำให้ปริมาณน้ำค้างที่ไหลลงสู่ภาชนะกักเก็บอย่างรวดเร็วจะทำให้ผิวหลังคาสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้ตลอดเวลา

5.1.4. อิทธิพลของทิศทางการวางหลังคา

การวางหลังคาในทิศทางที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น เนื่องจากลักษณะทางกายภาพหยดน้ำหรือน้ำค้างจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อย การที่มีลมพัดผ่านผิวที่มีปริมาณน้ำค้างเกาะอยู่มากจะทำให้ระเหยได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตาม ลมสามารถช่วยพัดพาไอน้ำจากบริเวณอื่นมาเพิ่ม จากผลการวิจัยพบว่า การวางหลังคาในทิศทางตรงข้ามกับลมที่พัดผ่านผิวหลังคาในช่วงเวลากลางคืน จะมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นมากกว่าการวางหลังคาในทิศทางที่รับลมลมโดยตรง ซึ่งมีการวางทิศทางหลังคาดังภาพที่ 5-4



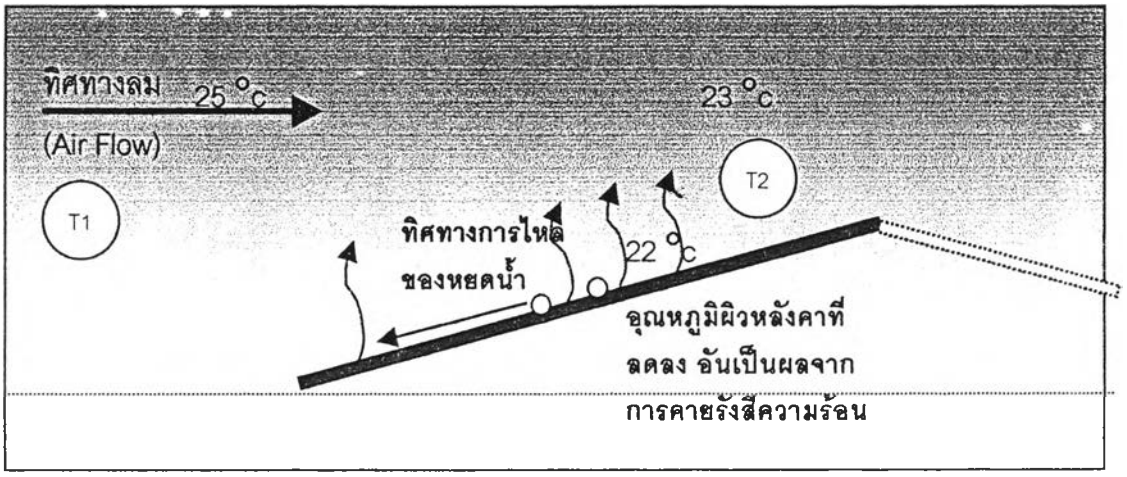
ภาพที่ 5-4 การวางหลังคาในทิศทางที่ได้รับอิทธิพลการพาความร้อนจากลมที่ต่างกัน

จากภาพสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อผิวหลังคามีการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืนจนมีอุณหภูมิผิวหลังคาเท่ากัน ลมที่พัดผ่านมีอุณหภูมิ T1 ประมาณ 25°c จะเกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิระหว่างอากาศกับผิวหลังคาจนมีอุณหภูมิ T2 ประมาณ 23°c เมื่อลมพัดพาความเย็นจากผิวหลังคาด้านที่รับลมโดยตรง เป็นผลให้การวางหลังคาในทิศทางตรงข้ามกับลมจะได้รับอิทธิพลการพาความร้อนน้อยกว่าด้านที่รับลมโดยตรง

<u>การวางหลังคาในทิศทางรับลมโดยตรง</u>

อิทธิพลของลมที่พัดผ่านผิวหลังคาที่รับลมโดยตรง ทำให้อุณหภูมิผิวที่ลดลงจากการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืน ได้รับอิทธิพลความร้อนจากลมทำให้อุณหภูมิผิวหลังคาสูงขึ้น ผิวหลังคาจึงมีอุณหภูมิผิวสูงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างน้อยลง ทำให้หลังคาด้านที่รับลมโดยตรงมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นน้อยกว่าด้านที่ตรงข้ามกับลมที่พัดผ่านผิว นอกจากนี้อิทธิพลของลมที่พัดผ่านผิวโดยตรงมีผลให้ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นระเหยได้ง่าย ดังภาพที่ 5-5

กรณีที่หันหน้ารับลม

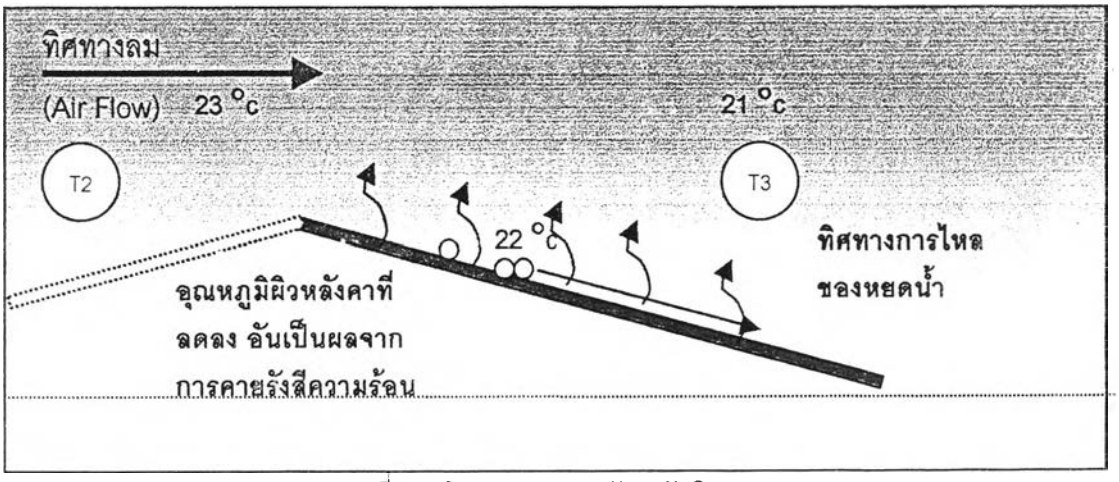


ภาพที่ 5-5 การวางหลังคาในทิศทางที่รับลมโดยตรง

<u>การวางหลังคาในทิศทางตรงข้ามกับลมที่พัดผ่านผิวหลังคา</u>

การวางหลังคาในลักษณะนี้จะสามารถลดอิทธิพลความร้อนจากลมที่พัดผ่านผิวหลังคาได้ เมื่อลมพัดผ่านมาถึงหลังคามีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่พัดผ่านกับผิวหลังคาไม่มากนัก ผิวหลังคายังคงมีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างได้ อีกทั้งลมช่วยส่งแรงให้มวลน้ำค้างไหลอย่างรวดเร็ว ทำให้ผิวหลังคาสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้เต็มที่ ดังภาพที่ 5-6

กรณีที่หันหน้าตรงข้ามลม

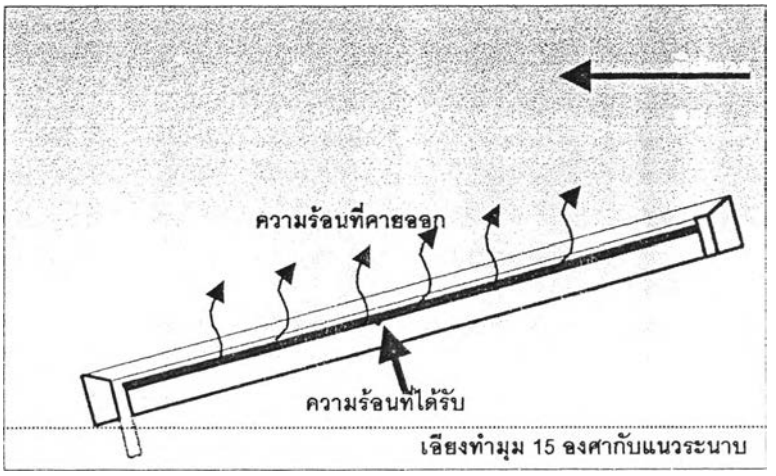


ภาพที่ 5-6 ทิศทางการวางหลังคากับทิศทางลม

ดังนั้น การเลือกวางหลังคาในทิศทางตรงข้ามกับลมที่พัดผ่านผิวหลังคา สามารถลดอิทธิพลการพาความร้อนจากลมที่พัดผ่านผิวหลังคาโดยตรง ทำให้ผิวหลังคายังคงรักษาอุณหภูมิผิวให้ต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างเนื่องจากการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้า

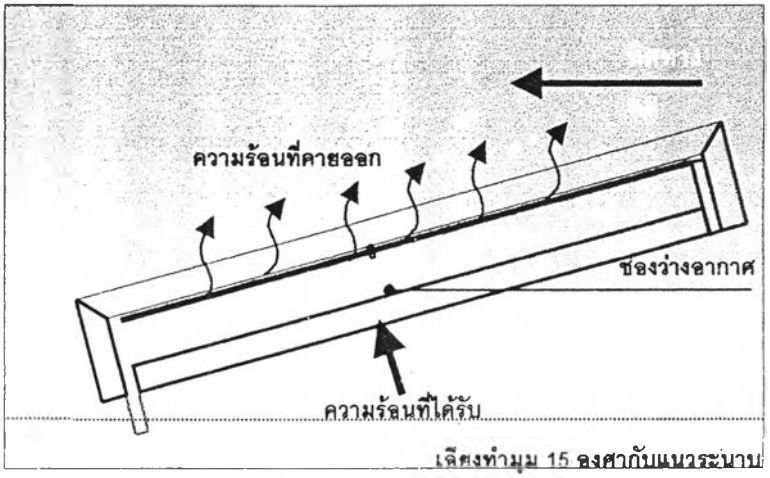
5.1.5. อิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งหลังคา

รูปแบบการติดตั้งหลังคาหลังคาที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น โดยการติดตั้งหลังคาที่มีฉนวนกันความร้อนอยู่ด้านใต้มีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรมากที่สุด เนื่องจากสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากด้านใต้และด้านข้างของหลังคาไปยังผิวด้านบนหลังคา ทำให้มีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุดจากการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าความร้อนที่ได้รับ ดังภาพที่ 5-7



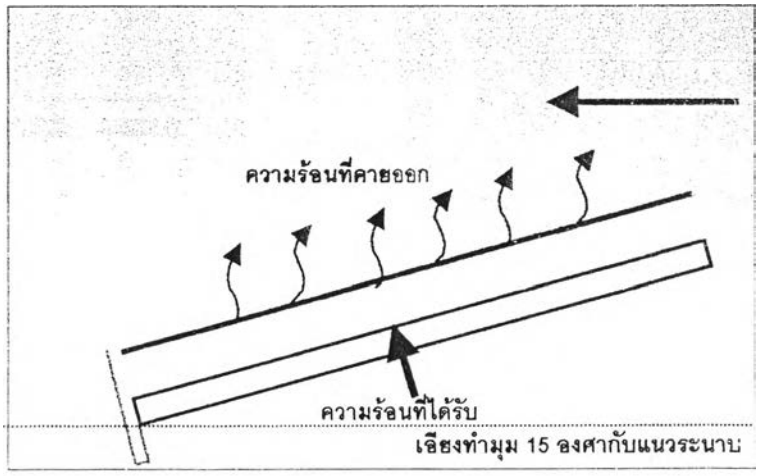
ภาพที่ 5-7 รูปแบบการติดตั้งหลังคาที่มีฉนวนกันความร้อนใต้ผิวหลังคา

รูปแบบการติดตั้งหลังคาที่มีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นรองลงมาคือ หลังคาที่มีช่องว่างอากาศภายใน และมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั้งด้านล่างและด้านข้าง พบว่า มีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นบนหลังคาต่อตารางเมตรและมีไอน้ำเกาะอยู่ใต้แผ่นหลังคาในปริมาณไม่มากนัก เนื่องจากผิวหลังคาด้านบนคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าจนมีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และเกิดการถ่ายเทความร้อนจากด้านล่างจนมีอุณหภูมิผิวทั้งด้านบนและด้านล่างใกล้เคียงกัน แต่ไม่สามารถมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นมากกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้แผ่นหลังคาเลย เนื่องจากการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้แผ่นหลังคาจะลดการถ่ายเทความร้อนจากด้านล่างหลังคาได้ดีกว่า ดังภาพที่ 5-7 และ 5-8



ภาพที่ 5-8 รูปแบบการติดตั้งหลังคาที่มีช่องว่างอากาศและฉนวนกันความร้อนด้านล่างและด้านข้างหลังคา

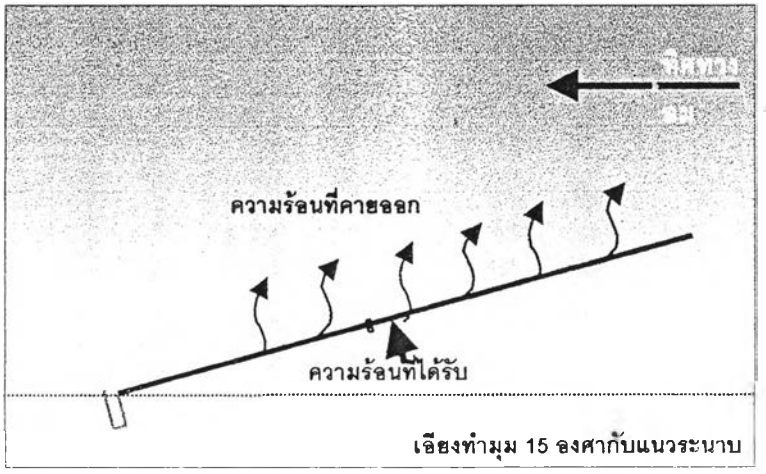
อันดับสามคือ รูปแบบการติดตั้งหลังคาที่ไม่การฉนวนกันความร้อนด้านข้างจะมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรน้อยกว่า 2 แบบแรก เนื่องจากได้รับอิทธิพลความร้อนจากลมที่พัดผ่านผิวทั้งด้านล่างและด้านข้าง ทำให้มีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างไม่มากนัก นอกจากนี้ยังพบว่า มีไอน้ำเกาะอยู่ใต้แผ่นหลังคาในปริมาณไม่มากนัก เนื่องจากผิวหลังคาด้านบนคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าจนมีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และเกิดการถ่ายเทความร้อนจากด้านล่างจนมีอุณหภูมิผิวทั้งด้านบนและด้านล่างใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 5-9



ภาพที่ 5-9 รูปแบบการติดตั้งหลังคาไม่มีฉนวนกันความร้อนด้านข้าง

ส่วนรูปแบบการติดตั้งหลังคาที่ไม่มีการป้องกันความร้อนจากใต้ผิวหลังคา มีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรน้อยที่สุด เนื่องจากผิวด้านบนหลังคาได้รับอิทธิพลความร้อนจากด้านล่างหลังคามากกว่ารูปแบบการติดตั้ง 3 แบบแรก อิทธิพลของลมที่พัดผ่านผิวทั้งสองด้านจะส่งผลให้มีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างไม่มากนักและมีอุณหภูมิผิวทั้งด้านบนและด้านล่างใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่า มีไอน้ำเกาะอยู่ใต้แผ่นหลังคาในปริมาณไม่มากนัก

เนื่องจากผิวหลังคาด้านบนคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าจนมีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และเกิดการถ่ายเทความร้อนจากด้านล่างจนมีอุณฆภูมิผิวทั้งด้านบนและด้านล่างใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 5-10



ภาพที่ 5-10 รูปแบบการติดตั้งหลังคา ที่ไม่มีการป้องกันความร้อนด้านใต้และด้านข้างหลังคา

ดังนั้น เทคนิคการออกแบบหลังคาเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้างคือการป้องกันความร้อนใต้หลังคา เนื่องจากช่วยลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากผิวด้านล่างไปสู่ด้านบน ส่งผลให้มีอุณหภูมิผิวหลังคาลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างในช่วงเวลากลางคืน อันเป็นจากผิวหลังคาด้านบนมีการคายรังสีความร้อนมากกว่าความร้อนที่ได้รับ

5.1.5. อิทธิพลของสภาพอากาศ และสภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้าและสภาพอากาศที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่างกัน ในช่วงเวลากลางคืน เมื่อมีสภาพท้องฟ้าโปร่งจะมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นมากกว่าสภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมไปด้วยเมฆ เนื่องจากสภาพท้องโปร่งจะมีผลให้ผิวหลังคาสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้เต็มที่ นอกจากนี้สภาพอากาศที่มีอุณหภูมิอากาศลดลงและมีความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณน้ำค้างเพิ่มขึ้นด้วย จากการวัดปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานครสามารถพบว่า หลังคาสามารถผลิตปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรมากที่สุดประมาณ 340 ซีซีต่อตารางเมตรในช่วงเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากมีสภาพท้องฟ้าโปร่งและมีสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิอากาศที่ต่ำและมีความชื้นในอากาศสูง

สภาพท้องฟ้าโปร่งใน
ช่วงเวลาเย็นของ
เดือนกุมภาพันธ์

สภาพท้องฟ้าโปร่งใน
ช่วงเช้าของเดือน
กุมภาพันธ์

สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม
เป็นส่วนมากของเดือน
มีนาคม

ภาพที่ 5-11 สภาพท้องฟ้าที่แตกต่างกันตามฤดูกาล

5.2. สรุปผลการวิจัย

5.2.1. แนวทางการออกแบบและเลือกวัสดุหลังคา เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้าง

การออกแบบและเลือกวัสดุหลังคาเพื่อให้เกิดปริมาณน้ำค้างต่อตารางเมตรมากที่สุด คือ การทำให้หลังคามีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุด อันเป็นผลจากการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นบนหลังคานี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับศักยภาพของหลังคา โดยมีเทคนิคการออกแบบและเลือกใช้วัสดุหลังคาเพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง ดังนี้

1. เลือกใช้วัสดุเคลือบผิวหลังคาที่มีค่าการคายรังสีมากกว่า 0.90 ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ไมครอน โดยเฉพาะช่วงความยาวคลื่น 8-13 ไมครอน เนื่องจากผิววัสดุสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้ดีที่สุด ส่งผลให้ผิวหลังคามีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุด
2. เลือกใช้วัสดุเคลือบผิวหลังคาที่มีสภาพผิวที่มันเรียบ เพื่อลดการเกาะตัวของปริมาณน้ำค้างที่ไหลลงสู่ภาชนะกักเก็บ
3. เลือกใช้วัสดุที่มีมวลสารน้อย เพื่อความรวดเร็วในการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าของผิวหลังคา
4. เลือกมุมเอียงหลังคาให้มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้ามากที่สุด โดยเน้นความสมดุลระหว่างการเกิดและการไหลของปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น

5. การวางหลังคาในทิศทางที่ไม่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากลมที่พัดผ่านผิวหลังคาโดยตรง

6. การป้องกันความร้อนจากใต้แผ่นหลังคาโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อน เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากใต้หลังคา

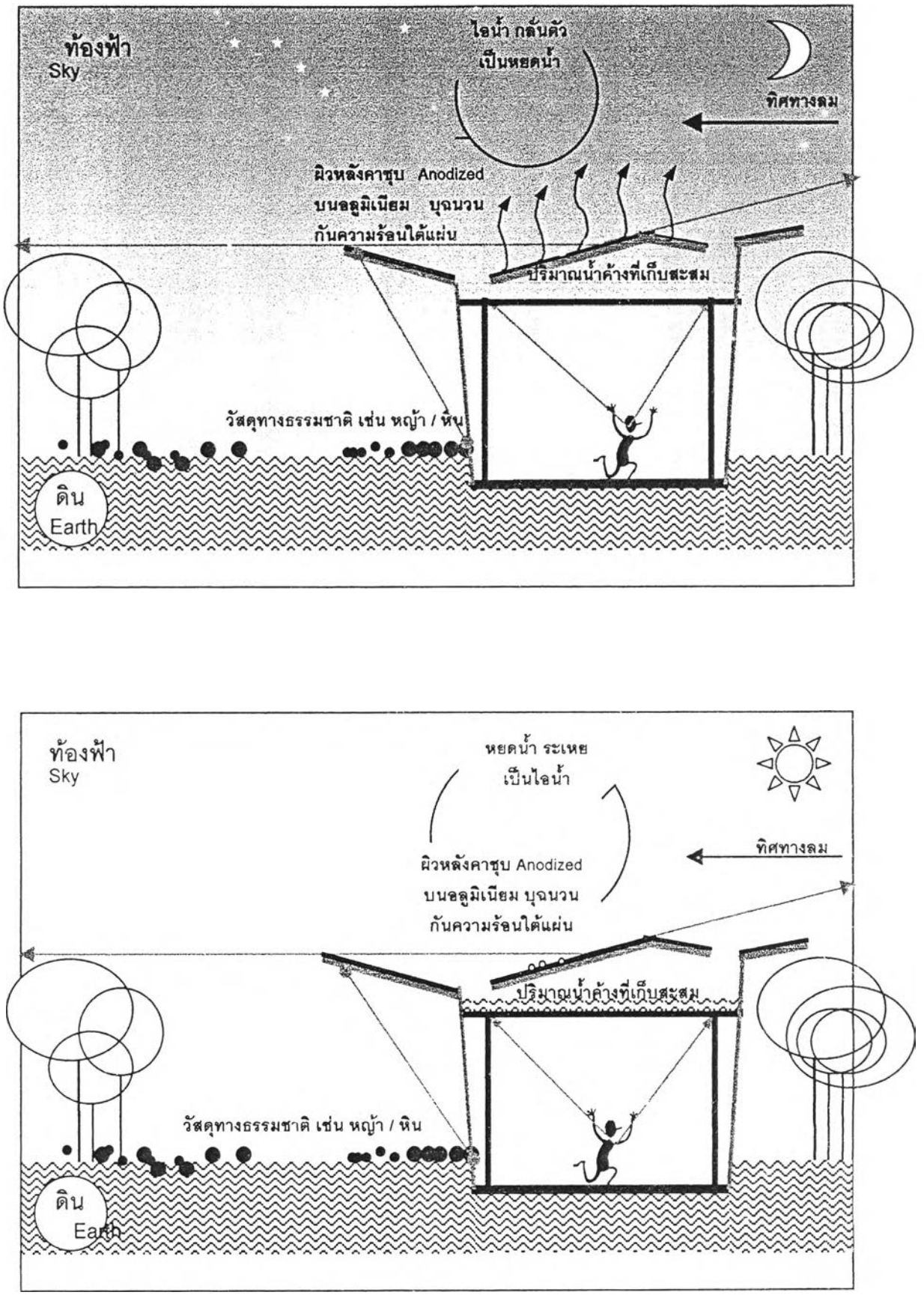
5.2.2. แนวทางเสนอแนะเพื่อประยุกต์ใช้น้ำค้างและความเย็นกับอาคาร

ผลการวัดปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานครสามารถพบว่า มีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 140 ซีซีต่อตารางเมตรต่อคืน หากมีการออกแบบหลังคาที่มีพื้นที่ 300 ตารางเมตร จะสามารถผลิตน้ำได้มากกว่าวันละ 30 ลิตรต่อคืน จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำค้างที่ผลิตได้นั้นมีมากพอที่จะใช้ประโยชน์ได้ในพื้นที่ที่ขาดแคลนน้ำ ในบางภูมิภาคของประเทศไทย โดยมีแนวทางเสนอแนะเพื่อประยุกต์ใช้ปริมาณน้ำค้างและความเย็นกับอาคาร

แนวทางที่ 1 การใช้น้ำจากหลังคาเพื่อเก็บสะสมไว้ในฤดูแล้ง ในพื้นที่ที่ขาดแคลนน้ำเช่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยปริมาณน้ำค้างที่ได้สามารถนำไปใช้ในการอุปโภค อาทิ รดน้ำต้นไม้ ล้างรถ ซักโครก เป็นต้น หรือสามารถนำน้ำค้างไปผ่านกระบวนการทำน้ำเพื่อบริโภค

แนวทางที่ 2 การใช้ความเย็นจากหลังคาที่มีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางคืน มาเก็บสะสมไว้ใช้ในช่วงเวลากลางวัน

จากเทคนิคการออกแบบและเลือกวัสดุหลังคาสามารถเสนอแนะแนวทางเพื่อประยุกต์ใช้น้ำค้างที่เกิดขึ้นและความเย็นแก่อาคาร ดังภาพที่ 5-15 เมื่อเลือกใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีค่าการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าสูงบนวัสดุที่มีมวลสารน้อย โดยเอียงหลังคาให้มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้ามากที่สุด โดยเน้นความสมดุลระหว่างการเกิดและการไหลของปริมารน้ำค้าง วางหลังคาในทิศทางที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากลมที่พัดผ่านผิวโดยตรง และมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้แผ่นหลังคา ส่งผลให้ผิวหลังคาคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าอย่างรวดเร็วในช่วงเวลากลางคืนจนมีอุณหภูมิผิวลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง เมื่อไอน้ำในอากาศกระทบกับผิวหลังคาที่มีอุณหภูมิต่ำนี้จึงเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำไหลลงสู่ภาชนะกักเก็บ ปริมาณน้ำค้างที่เก็บสะสมไว้ภายใต้หลังคานำมาใช้ในการอุปโภค และการทำความเย็นให้แก่อาคารในช่วงเวลากลางวันโดยผสมผสานการใช้ประโยชน์จากมวลสารมากในการกักเก็บความเย็น เพื่อรักษาความเย็นไว้ให้ด้านล่างหลังคา



ภาพที่ 5-12 เสนอแนะแนวทางการออกแบบหลังคาเพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง

5.3. ข้อเสนอแนะ

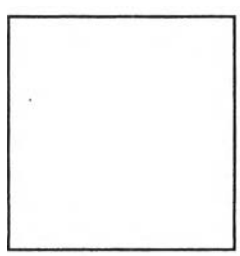
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลการเกิดน้ำค้าง สำหรับภูมิอากาศของประเทศไทย และหาเทคนิคแนวทางการออกแบบและเลือกใช้วัสดุหลังคา เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง ข้อจำกัดของวิจัยคือ ขาดเครื่องมือที่ใช้วัดค่าการคายรังสีของวัสดุที่แน่นอน จึงต้องใช้ข้อมูลการคายรังสีของวัสดุจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง เป็นผลให้ค่าการคายรังสีใช้ในการวิจัยนี้มีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง

ปัญหาที่พบในการวิจัยเกิดจากระยะเวลาที่จำกัดและอุปสรรคทางด้านเครื่องมือ-อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ส่งผลให้ไม่สามารถศึกษาการเกิดปริมาณน้ำค้างได้ตลอดปีและไม่สามารถศึกษาในรายละเอียดในด้านต่างๆได้เต็มที่ การเก็บข้อมูลตลอดทั้งปีของทุกสภาพอากาศจะเป็นประโยชน์ต่อทำนายปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นให้มีความแม่นยำมากขึ้น เพื่อประยุกต์ใช้กับอาคารสำหรับภูมิภาคต่างๆของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ขาดแคลนน้ำอย่างมาก การวิจัยครั้งนี้พบสิ่งที่น่าสนใจในระหว่างการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีข้อเสนอแนะสำหรับเป็นแนวทางในการวิจัยครั้งต่อไป ได้แก่

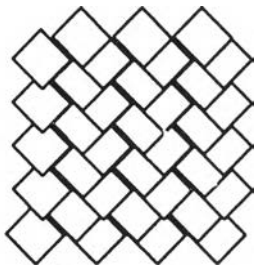
1. การพัฒนาวัสดุหลังคาที่สามารถเพิ่มปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นเพิ่มเติม โดยเฉพาะหลังคาที่ทำจากวัสดุวัสดุธรรมชาติเช่น ใบไม้ ใบหญ้า และหิน มีข้อสังเกตว่า วัสดุธรรมชาติเหล่านี้มีค่าการคายรังสีความร้อนมากกว่า 0.90 หากนำผิวของวัสดุเหล่านั้นประยุกต์ใช้เป็นหลังคาที่สามารถกันแดด-กันฝนได้อย่างดี อาจมีผลต่อการเพิ่มปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นได้

2. การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเคลือบผิววัสดุที่สามารถลดการเกาะของน้ำค้างได้มากที่สุด ตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยในงานวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุหลังคาที่ทำจากวัสดุทางธรรมชาติและวัสดุทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้นที่หาได้ในประเทศไทย ประกอบกับยังขาดแคลนเครื่องมือที่ใช้วัดค่าการคายรังสีความร้อนของวัสดุต่างๆอย่างจริงจัง ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติแต่ละชนิดของวัสดุหลังคา อันเป็นประโยชน์ในการเลือกวัสดุหลังคาต่อไป

3. การศึกษาความแตกต่างของปริมาณน้ำค้างจากลักษณะการติดตั้งแผ่นหลังคา ระหว่างแผ่นหลังคาที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันตลอดพื้นที่ กับแผ่นหลังคาขนาดเล็กเรียงซ้อนกันคล้ายกระเบื้องหลังคาในพื้นที่เท่ากัน ดังภาพที่ 5-11



แผ่นหลังคาขนาดเต็ม
พื้นที่ 1 ตารางเมตร



แผ่นขนาดเล็ก เรียงซ้อนกัน
ในพื้นที่ 1 ตารางเมตร

ภาพที่ 5-13 ข้อสังเกตการเพิ่มปริมาณน้ำค้างจากการติดตั้งหลังคาที่ต่างกัน

4. การพัฒนารูปทรงของหลังคาที่สามารถทำให้เกิดปริมาณน้ำค้างมากที่สุด และประยุกต์ใช้น้ำค้างกับอาคารได้

5. การศึกษาตัวแปรด้านความเร็วลมที่พัดผ่านผิวหลังคาในเชิงปริมาณ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตร เนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีทิศทางและความเร็วที่แปรปรวนตลอดเวลา งานวิจัยครั้งนี้เพียงแต่ศึกษาตัวแปรด้วยการสังเกตในเชิงคุณภาพเท่านั้น เนื่องจากขาดแคลนเครื่องมือที่ใช้วัดทิศทางและความเร็วลม

6. การศึกษาตัวแปรด้านสภาพท้องฟ้าในเชิงปริมาณเพื่อเป็นตัวชี้วัด (indicator) ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อตารางเมตรได้แม่นยำยิ่งขึ้น เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้เป็นเพียงการวัดสภาพท้องฟ้าจากการสังเกตเท่านั้น ผลการวิจัยพบว่า สภาพท้องฟ้ามีผลต่อปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น และการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าของผิววัสดุ การสังเกตสภาพท้องฟ้าในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นสถานที่ทดลอง พบว่าสภาพท้องฟ้าโดยส่วนใหญ่จะปกคลุมไปด้วยเมฆเกือบทั้งปีและมีความแปรปรวนตลอดเวลา ดังนั้น การคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าของผิวหลังคาจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย

7. การประยุกต์ใช้กับอาคารจริงในสภาพภูมิอากาศที่มีปัญหาเรื่องการขาดแคลนน้ำกินน้ำใช้ เช่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นในแต่ละคืนจะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อภูมิภาคนี้ เนื่องจากภูมิภาคนี้จะสภาพท้องฟ้าแจ่มใส ซึ่งเอื้ออำนวยต่อการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้เต็มที่ เนื่องจากสถานที่ทดลองอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ไม่มีปัญหาเรื่องการขาดน้ำมากนัก

บทสรุปของการวิจัยครั้งนี้จะชี้ให้เห็นถึงความสำคัญต่อบทบาทใหม่ของหลังคาในการผลิตน้ำค้างด้วยวิธีการทางธรรมชาติ ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นเพียงคืนละ 140 ซีซีต่อตารางเมตรจะมีคุณค่าอย่างยิ่งสำหรับภูมิภาคที่ขาดแคลนน้ำของประเทศไทย การออกแบบและเลือกวัสดุหลังคาเพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้างจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการออกแบบสถาปัตยกรรมที่เป็นทั้ง 'ผู้ให้' และ 'ผู้รับ' โดยนำคุณค่าจากทรัพยากรน้ำที่อยู่รอบตัวเรามาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อันเป็นผลจากการเปลี่ยนรูปของไอน้ำในอากาศ เปรียบเสมือนคำกล่าวที่ว่า

"พลังงานไม่สามารถสร้างขึ้นหรือทำลายได้ เพียงแต่แปรเปลี่ยนไป เป็นอย่างอื่นเท่านั้น"

จากกฎข้อที่ 1 ของอุณหพลวัต