

การศึกษาโดยการทดลองเรื่อง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็วลมผ่านช่องว่างของหลังคาเหล็กเคลือบโลหะ

An Experimental Study of Change in Temperature and Air Velocity Through Metal Roof Cavity

บัญญัติ พงษ์พิธีะเดชะ และ อ.ดร.สัการ ราชสุภรณ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงการลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาเหล็กกรีดด้วยวิธีการระบายอากาศแบบธรรมชาติผ่านช่องว่างใต้แผ่นหลังคา เทียบกับหลังคาเหล็กกรีดแบบธรรมดาและแบบที่ติดฉนวนความร้อน โดยวิธีการทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมจริง ด้วยหุ่นจำลองขนาด กว้าง 0.80 x ยาว 2.00 x สูง 0.70 m. ด้านบนเป็นหลังคาเหล็กกรีดมีทั้งหมด 5 แบบติดตั้งที่มุมเอียง 10 องศา หันไปทางทิศใต้ แบบที่หนึ่งเป็นหลังคาเหล็กกรีดธรรมดาแผ่นเดียว แบบที่สองเป็นหลังคาเหล็กกรีดติดฉนวน PE COOL แนบลอนหลังคา แบบที่สามเป็นหลังคาเหล็กกรีดติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์สะท้อนรังสีความร้อนด้านล่าง แบบที่สี่เป็นหลังคาเหล็กกรีดติดซ้อนกันสองชั้นให้เกิดช่องว่างระบายอากาศ แบบที่ห้าเป็นหลังคาเหล็กกรีดติดซ้อนชั้นให้มีช่องว่างอากาศสูงขึ้นโดยเพิ่มฉนวนโฟมโพลีสไตรีนหนา 50 mm. ระหว่างแผ่น จากผลการทดลองพบว่าหลังคาเหล็กกรีดแบบที่ 5 เป็นแบบที่ลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดในช่วงเวลากลางวัน รองมาคือแบบที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับหลังคาเหล็กกรีดแบบที่ 1 หลังคาเหล็กกรีดแบบที่ 5 สามารถลดอุณหภูมิใต้หลังคาได้มากที่สุดร้อยละ 77.33 และประหยัดพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศมากที่สุดร้อยละ 60.93 ต่อปี

Abstract

The objective of this study was to reduce heat transfer rate through metal sheet roofs by naturally ventilated cavity compared with a simple metal sheet roof and an insulated metal sheet roof. An experimental testing was set up by building experimental boxes (model size 0.80 x 2.00 x 0.70 m.). The top of the boxes was installed with five different types of metal sheet roof installed at the angles of 10° tilt toward south. First type was a simple metal sheet roof. Second type was a simple metal sheet roof insulated with PE COOL. Third type was a simple metal sheet roof attached with aluminium foil. Fourth type was a double metal sheet roof with an air gab in between the metal sheets. Fifth type was a double metal sheet roof attached with 50 mm. thick polystyrene foam with an air gab in between the metal sheets. The results show that the fifth roof type was the best in reduction of heat transfer through the roof in the day time compared with fourth, third, second and first roof types respectively. The fifth roof type could reduce heat transfer through metal sheet roof by 77.33 % compared with the first roof type which could save energy used by air conditioning system by 60.93 %.

คำสำคัญ: การทดลอง, การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ, หลังคาเหล็ก

Keywords: Experimental testing, Change in temperature, Metal roof

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

อาคารในปัจจุบันมีการใช้หลังคาเหล็กเคลือบโลหะ (เหล็กกรี๊ด) เพิ่มมากขึ้น นอกจากใช้กับอาคารประเภทโรงงานหรือโกดังเก็บสินค้าแล้วยังใช้กับอาคารหลากหลายประเภทมากขึ้น เช่น อาคารพักอาศัย อาคารสำนักงาน อาคารพาณิชย์ อาคารสาธารณะ ฯลฯ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นวัสดุหลังคาที่มีน้ำหนักเบา ช่วยประหยัดโครงสร้าง สามารถเพิ่มช่วงกว้างของเสาได้มาก ไม่มีปัญหาเรื่องการแตกร้าว รั่วซึม สามารถมุงที่ความลาดเอียงต่ำ 10 องศาได้ สามารถตัดโค้งได้ และราคาก็ไม่ต่างจากวัสดุชนิดอื่นมากนัก

ส่วนประกอบของอาคารที่ได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงคือ หลังคา ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านแผ่นหลังคาเข้ามาโดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่ความร้อน ทำให้เกิดมวลอากาศร้อนที่สะสมอยู่ใต้หลังคา และส่งผ่านเข้ามาภายในอาคาร ส่งผลต่อภาระการทำความร้อนในระบบปรับอากาศซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน และภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคาร

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาหลังคาเหล็กกรี๊ดที่มีมุมเอียงต่ำ 10 องศา โดยการศึกษาร่วมเปรียบเทียบการเพิ่มค่าความเป็นฉนวนความร้อนของหลังคาเหล็กกรี๊ด 2 วิธี วิธีแรกคือการใช้วัสดุแผ่นฉนวนความร้อนที่มีขายในปัจจุบัน และวิธีที่สองคือการใช้ช่องว่างอากาศ โดยติดตั้งหลังคาเหล็กกรี๊ดประกบสองแผ่นให้เกิดช่องว่างระบายอากาศแบบธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิ อากาศใต้หลังคา ระหว่างรูปแบบของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบธรรมดา แบบที่มีการติดตั้งฉนวนในปัจจุบัน กับหลังคาเหล็กกรี๊ดติดตั้งแบบซ้อนชั้นให้มีช่องว่างระบายอากาศแบบธรรมชาติได้
- 2) เพื่อศึกษาความแตกต่างความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศ ของหลังคาเหล็กกรี๊ดที่มีรูปแบบหลังคาและช่องว่างระบายอากาศแตกต่างกัน
- 3) เพื่อศึกษาวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์และความเหมาะสมในเชิงการก่อสร้างของหลังคาแต่ละรูปแบบ

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย

- 1) เลือกศึกษาการลดความร้อนใต้หลังคา ด้วยวิธีการระบายอากาศแบบธรรมชาติโดยอาศัยช่องว่างอากาศของ

หลังคา โดยเทียบกับหลังคาแบบธรรมดา และแบบที่ติดตั้งฉนวน PE COOL หนา 5 mm. เท่านั้น

- 2) เลือกศึกษาเฉพาะวัสดุหลังคา ประเภทหลังคาเหล็กกรี๊ดซึ่งมีน้ำหนักเบาและไม่แตกร้าวง่ายเท่านั้น
- 3) เลือกศึกษาหลังคาทรงเพิงหมาแหงนเท่านั้น
- 4) เลือกศึกษาเฉพาะอาคารในระบบปิดเท่านั้น (อาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ)
- 5) การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนหลังคา เลือกใช้สูตร RTTV ของกระทรวงพลังงาน ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องการคิดการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อน
- 6) เป็นผลการทดลองในช่วงเวลา ปลายเดือน กุมภาพันธ์ถึงต้นเดือนมีนาคม พ.ศ. 2553

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา ของหลังคาแต่ละรูปแบบภายใต้สภาวะอากาศแวดล้อมจริง
- 2) ทราบถึงความแตกต่างของความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศ ของหลังคาเหล็กกรี๊ดที่มีรูปแบบหลังคาและช่องว่างระบายอากาศแตกต่างกัน
- 3) นำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารใหม่ที่ติดตั้งหลังคาเหล็กกรี๊ด และปรับปรุงอาคารเก่าที่ติดตั้งหลังคาเหล็กกรี๊ด โดยไม่ได้ติดตั้งฉนวนมาก่อน
- 4) ช่วยประหยัดโครงสร้างหลังคาโดยสามารถเพิ่มระยะแปได้มากขึ้น
- 5) ช่วยลดภาระการทำความร้อนของเครื่องปรับอากาศ ลดปัญหาภาวะโลกร้อนและช่วยเพิ่มภาวะน่าสบาย

บททวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ช่องว่างระบายอากาศของหลังคาหลังคาเหล็กกรี๊ดสามารถลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นที่ผิวหลังคามาสู่ภายในบ้านได้ โดยสามารถลดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นที่ผิวหลังคามาสู่ภายในบ้านได้ ประมาณ 70-80% เมื่อทำการเปิดปล่องอากาศแสงอาทิตย์ และ 30-70% เมื่อทำการปิดปล่องอากาศแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถประหยัดภาระการทำความร้อนได้ ประมาณ 60% (ชาญนรินทร์ เศษอักษร, 2541) ส่วนประสิทธิภาพที่ได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวแปรในการศึกษา พบว่าเมื่อพลักซ์ความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อากาศได้รับความร้อนมากขึ้นความหนาแน่นลดลงส่งผลทำให้อัตราการไหลมีมากขึ้น แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเนื่องจากเมื่อเพิ่มฟลักซ์ความร้อนมากขึ้นความร้อนส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปทั้งจากการสะท้อนการพาและการแผ่รังสีความร้อนไปส่วนหนึ่งในขณะที่ความร้อนที่หลังคารับรังสีอาทิตย์สามารถพาออกได้เพียงบางส่วนเท่านั้นทำให้ประสิทธิภาพที่ได้มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มฟลักซ์ความร้อนมากขึ้น (ณรงค์ฤทธิ์ อุปพงษ์ และคณะ, 2550) ในด้านมวลสารของหลังคารับรังสีอาทิตย์พบว่าการใช้กระเบื้องโปร่งแสงที่มีมวลสารน้อยให้ผลด้านการระบายอากาศที่ดีกว่า และมีอุณหภูมิภายในที่เย็นกว่าการใช้หลังคามวลสารมากในการสะสมความร้อนอย่างกระเบื้องซีแพคและกระเบื้องลอนคู่ (คณิน หุตานุวัตร, 2545) นอกจากนี้การติดแผ่นสะท้อนความร้อนไว้ด้านล่างช่องว่างอากาศจะช่วยชักนำให้เกิดการพาความร้อนและอัตราการไหลของอากาศได้มากกว่าการติดแผ่น

ยิปซัมบอร์ดไว้ด้านล่าง (W. Puangsombut, 2007) และการลดความร้อนโดยใช้ช่องว่างระบายอากาศหลังคารับรังสีอาทิตย์นั้นเหมาะกับอาคารที่มีการใช้งานช่วงเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน (A. Dimoudi et al., 2006)

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ทดลอง เครื่องมือวัดและบันทึกอุณหภูมิ (2635A Fluke Hydra Series II Data Logger & Computer), สายวัดอุณหภูมิเทอร์โมคอปเปิล (Thermocouple Type K), อุปกรณ์วัดความชื้น (HOBO Data Logger), เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Lufft Solar 130 Model 8346.OP), เครื่องวัดและบันทึกความเร็วลม (Air Velocity Transmitter Lufft Model EE65 & Data logger OPUS 200) (ภาพที่ 1)

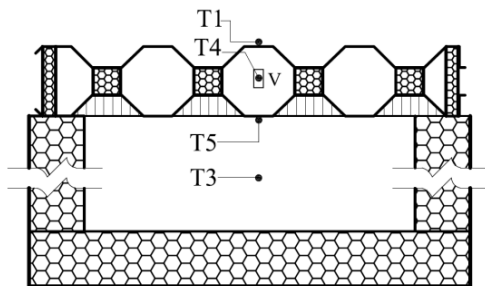
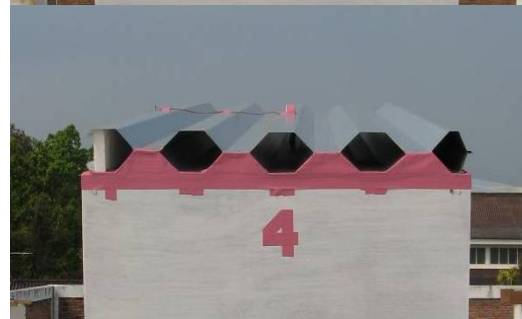
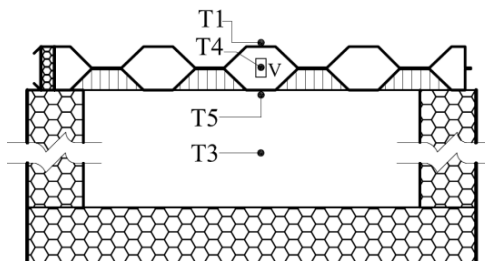
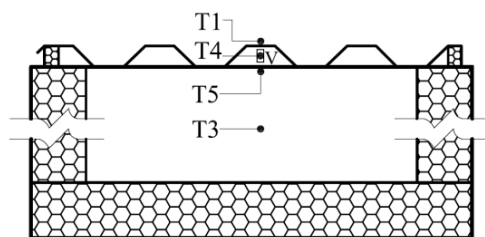
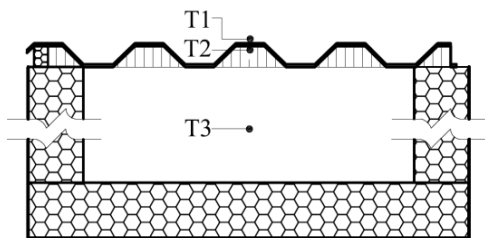
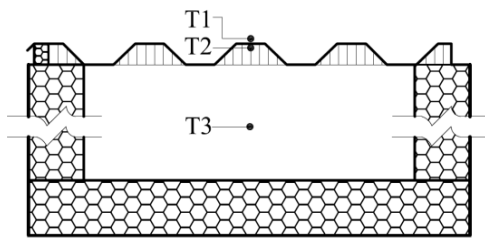


ภาพที่ 1 แสดงเครื่องมือวัดและบันทึกอุณหภูมิ, ความชื้น, รังสีอาทิตย์, และความเร็วลม ตามลำดับจากบนลงล่าง



3.2 ขั้นตอนการเตรียมหุ่นจำลอง 5 รูปแบบ

หุ่นจำลองหลังคาเหล็กรีดขนาด กว้าง 0.80 x ยาว 2.00 x สูง 0.70 ม. ก่อสร้างด้วยโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1.25 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 4 นิ้ว กรุทับด้วยไม้อัดหนา 3 มม. ทาสีขาว จำนวน 5 ก่อสร้างโดยเป็นกล่องปิดทั้งหมด 5 ด้านเพื่อป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในกล่องทดลอง และมีด้านบนเปิด 1 ด้านเพื่อติดตั้งหลังคาเหล็กรีดทั้ง 5 แบบ (ภาพที่ 2) คือ แบบที่ 1 หลังคาเหล็กรีด Lysaght HR-29

ผิวเคลือบZINCALUME กว้าง 0.73 x ยาว 2.00 x หนา 0.47 มม. รูปลอนสูง 38 มม. เป็นตัวแปรควบคุมที่ใช้เหมือนกันทั้ง 5 แบบ แบบที่ 2 หลังคาเหล็กรีดติดแผ่นฉนวน PE COOL หนา 5 มม. แนบกับลอนหลังคา แบบที่ 3 หลังคาเหล็กรีดติดแผ่นอะลูมิเนียมพอยล์สะท้อนรังสีความร้อน มีช่องว่างอากาศสูง 38 มม. แบบที่ 4 หลังคาเหล็กรีดติดชั้นฉนวนให้ช่องว่างอากาศสูง 76 มม. แบบที่ 5 หลังคาเหล็กรีดติดชั้นฉนวนให้ช่องว่างอากาศสูงขึ้นโดยเพิ่มโครงฉนวนโฟมโพลีสไตรีน (Polystyrene) หนา 50 มม. ระหว่างแผ่นมีช่องว่างอากาศสูง 126 มม.



ภาพที่ 2 รูปตัดกล่องทดลองของหลังคาเหล็กรีดทั้ง 5 แบบ เรียงจากบนลงล่างตามลำดับ และแสดงจุดตรวจวัดที่ตำแหน่งต่างๆ

-  = แผ่นโพนโฟมโพลียูรีเทนปิดช่องว่างลอนหลังคาหัว-ท้าย หนา 10 cm.
-  = ฉนวนโพนโฟมโพลียูรีเทนติดยาวตลอดแนวหลังคา

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ จุดตรวจวัดตำแหน่งต่างๆ ของแผ่นหลังคา ทั้ง 5 รูปแบบ และความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศ 3 รูปแบบคือแบบที่ 3, 4 และ 5 ข้อมูลที่ตรวจวัดมี 9 อย่างคือ 1) อุณหภูมิผิวบนของหลังคา 2) อุณหภูมิผิวล่างของหลังคา 3) อุณหภูมิในช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นหลังคา 4) อุณหภูมิภายในกล่องทดลอง 5) ความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศ 6) อุณหภูมิอากาศ 7) ความเข้มรังสีอาทิตย์ 8) ความเร็วลม 9) ความชื้นสัมพัทธ์ (ข้อมูลการวัดที่ใช้ร่วมกันคือ อุณหภูมิอากาศความเข้มรังสีอาทิตย์ ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์)

การทดลองติดตั้งหลังคาเหล็กกรีดทั้ง 5 แบบ ที่มุมเอียง 10 องศา หันหน้าไปทางทิศใต้ สถานที่บนดาดฟ้า อาคารสูง 4 ชั้น (ภาพที่ 3)

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์

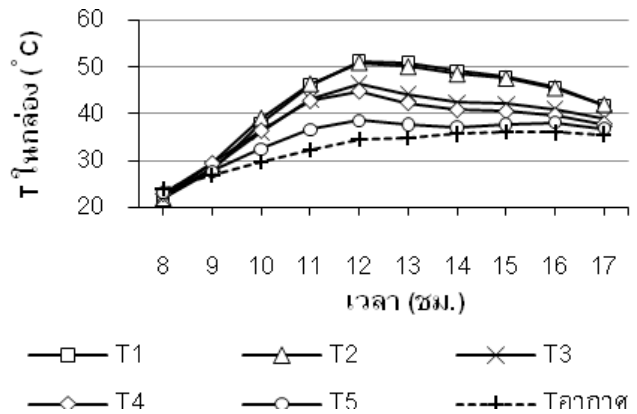
ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบดังนี้

- 1) เปรียบเทียบการลดความร้อน ของหลังคาเหล็กกรีดทั้ง 5 แบบ
- 2) ผลของความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศ (Vg) ที่มีต่อการลดอุณหภูมิใต้หลังคาของหลังคาเหล็กกรีด
- 3) วิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการตัดสินใจในการลงทุนและความเหมาะสมในการเลือกใช้หลังคาแต่ละแบบ

ผลและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการลดอุณหภูมิในกล่องของหลังคาเหล็กกรีดทั้ง 5 แบบ

จากการทดลองพบว่า ในวันที่ท้องฟ้าโปร่งช่วงกลางวัน เวลา 9.00 - 17.00 น. อุณหภูมิในกล่องของหลังคาเหล็กกรีดแบบที่ 1 สูงสุดรองมาคือแบบที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ โดยอุณหภูมิในกล่องสูงสุดของหลังคาเหล็กกรีดแบบที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกันคือ 50 และ 52 °C ตามลำดับ หลังคาแบบที่ 3 และ 4 มีอุณหภูมิในกล่องสูงสุดใกล้เคียงกันคือ 44 และ 47 °C ตามลำดับ ส่วนหลังคาแบบที่ 5 มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศมากที่สุด อุณหภูมิในกล่องคือ 38.5 °C (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิในกล่องของหลังคาเหล็กกรีดทั้ง 5 แบบ (เก็บข้อมูล 19-21 และ 28.02.10)



ภาพที่ 3 การทดลองของหลังคาเหล็กกรีดทั้ง 5 แบบ ที่มุมเอียง 10 องศา หันไปทางทิศใต้ บนดาดฟ้าอาคารสูง 4 ชั้น คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วันที่ 19-21 และ 28.02.10

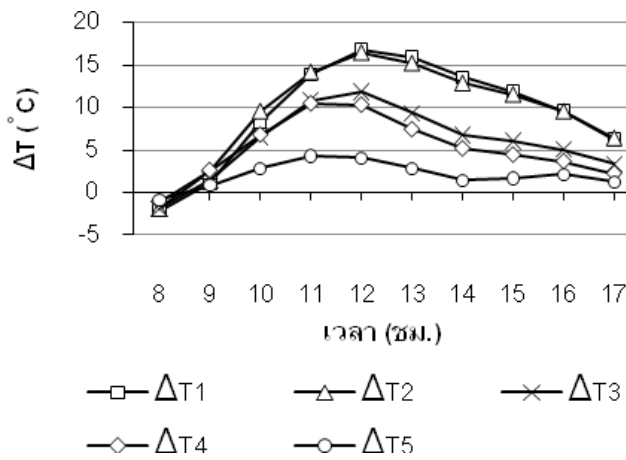
การติดตั้ง PE COOL หนา 5 มม. แนบใต้ลอนหลังคาเหล็กกรีดที่มีติดตั้งกันในปัจจุบันเหมือนกับหลังคาแบบที่ 2 นั้น ช่วยลดอุณหภูมิความร้อนลงจากหลังคาแบบที่ 1 ได้น้อยมาก เนื่องจากความหนาของฉนวนน้อย ส่งผลให้ค่าความต้านทานความร้อน (R) ที่เพิ่มขึ้นนั้นมีเพียงเล็กน้อย

การติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมพอยล์สะท้อนรังสีความร้อนให้มีช่องว่างอากาศ เหมือนกับหลังคาแบบที่ 3 นั้น กลับช่วยลดอุณหภูมิความร้อนได้ดีกว่าหลังคาแบบที่ 2 เนื่องจากช่องว่างอากาศช่วยเพิ่มค่าความต้านทานความร้อน (R) ได้มากกว่า และมีช่องว่างอากาศช่วยในการถ่ายเทความร้อน

การติดตั้งหลังคาซ้อนชั้นโดยไม่มีฉนวนโฟมโพลีสไตรีนคั่นระหว่างกลาง ของหลังคาแบบที่ 4 นั้นให้ผลในการลดอุณหภูมิ

ใกล้เคียงกับหลังคาแบบที่ 3 ที่มีการติดตั้งอะลูมิเนียมพอยล์สะท้อนรังสีความร้อน เนื่องจากช่วงลอนหลังคาที่ประกบติดกันเกิดการนำความร้อนระหว่างหลังคาแผ่นบนไปยังหลังคาแผ่นด้านล่าง และเมื่อเพิ่มฉนวนโฟมโพลีสไตรีนคั่นระหว่างกลางแผ่นหลังคาตามแบบที่ 5 ทำให้ค่าความต้านทานความร้อน (R) เพิ่มมากขึ้น และช่องว่างอากาศที่สูงขึ้นช่วยให้ลมพัดพาเอารังสีความร้อนออกไปได้มากขึ้น ส่งผลให้หลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5 มีอุณหภูมิในกล่องน้อยที่สุด

ผลการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในกล่องกับอุณหภูมิอากาศ (ΔT) ของหลังคาเหล็กกรี๊ดทั้ง 5 แบบ พบว่าวันที่ท้องฟ้าโปร่งช่วงเวลา 9.00 - 18.00 น. ค่า ΔT ของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 1 สูงสุดรองมาคือแบบที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ โดยหลังคาแบบที่ 1 และ 2 มีค่า ΔT ใกล้เคียงกันในช่วงประมาณ 16 - 17 °C หลังคาแบบที่ 3 และ 4 มีค่า ΔT ใกล้เคียงกันในช่วงประมาณ 10 - 11 °C ส่วนหลังคาแบบที่ 5 มีค่า ΔT น้อยสุดในช่วงประมาณ 3 - 4 °C (ภาพที่ 5)

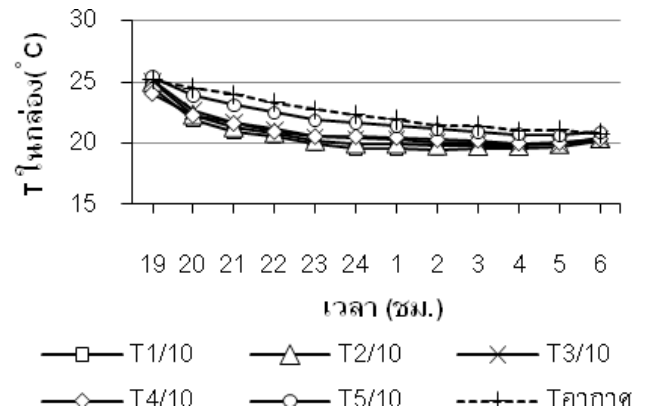


ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในกล่องกับอุณหภูมิอากาศของหลังคาเหล็กกรี๊ดทั้ง 5 แบบ ในช่วงเวลากลางวัน (เก็บข้อมูล 19-21 และ 28.02.10)

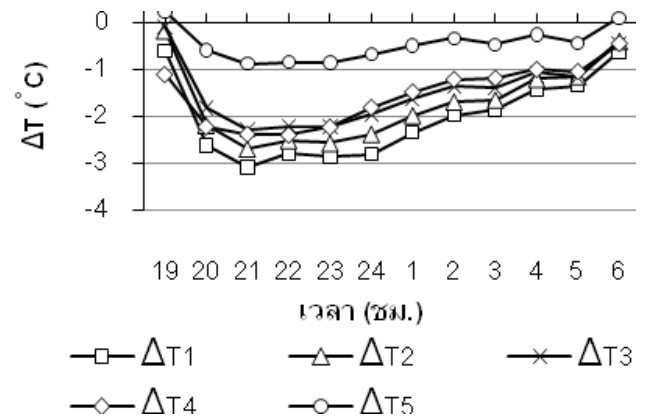
หลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5 มีค่า ΔT น้อยสุดเนื่องจากหลังคาแบบที่ 5 มีค่าความต้านทานความร้อน (R) มากที่สุด ทำให้ลดอัตราความร้อนที่เข้ามาสะสมภายในกล่องได้มากที่สุด จึงมีอุณหภูมิภายในกล่องที่มากกว่าอุณหภูมิอากาศ น้อยกว่าหลังคาแบบที่ 1, 2, 3 และ 4

ส่วนในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิในกล่องของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5 กลับสูงกว่าแบบที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ

(ภาพที่ 6) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในกล่องกับอุณหภูมิอากาศของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5 มากกว่าแบบที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 3 °C (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในกล่องกับอุณหภูมิอากาศของหลังคาเหล็กกรี๊ดทั้ง 5 แบบ (เก็บข้อมูล 19-21 และ 28.02.10)



ภาพที่ 7 กราฟเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในกล่องกับอุณหภูมิอากาศของหลังคาเหล็กกรี๊ดทั้ง 5 แบบ ในช่วงเวลากลางคืน (เก็บข้อมูล 19-21 และ 28.02.10)

ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิในกล่องของหลังคาเหล็กกรี๊ดทั้ง 5 แบบมีค่าต่างกันน้อยมาก เนื่องจากเป็นหลังคาที่มีมวลสารน้อย มีการสะสมความร้อนไว้เพียงเล็กน้อยในช่วงเวลากลางวัน และคายความร้อนได้เร็วในช่วงเวลากลางคืน

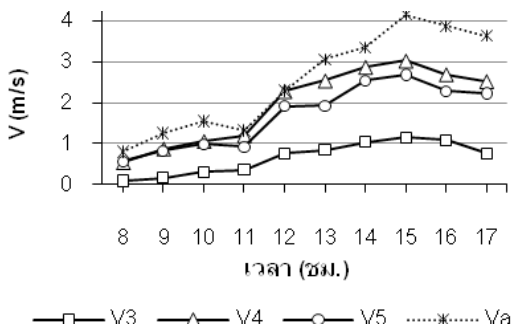
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

4.2 ความเร็วอากาศในช่องว่างระบาย

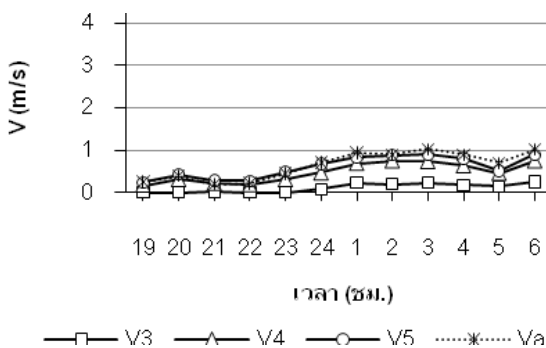
อากาศ (Vg) ของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 3, 4 และ 5 จากการทดลองพบว่าวันที่ท้องฟ้าโปร่งช่วงกลางวันเวลา 9.00 - 17.00 น. ความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 4 มากสุด รองมาคือแบบที่ 5 และ 3 ตามลำดับ (ภาพที่ 8)

เหตุที่หลังคาแบบที่ 4 มีความเร็วอากาศสูงกว่าหลังคาแบบที่ 5 ทั้งที่หลังคาแบบที่ 5 มีความสูงช่องว่างอากาศมากกว่า เนื่องจากหลังคาแบบที่ 4 มีอุณหภูมิกลางช่องว่างระบายอากาศสูงกว่าแบบที่ 5 ส่งผลให้มวลอากาศเบาไหลได้ดีกว่า โดยแบบที่ 4 และ 5 มีค่าความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศใกล้เคียงกับความเร็วลมมาก ส่วนแบบที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วลมแต่ไม่มากนัก เนื่องจากแบบที่ 3 มีความสูงช่องว่างระบายอากาศน้อยสุด

ส่วนในช่วงเวลากลางคืนความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5 มากสุด รองมาคือแบบที่ 4 และ 3 ตามลำดับ สังเกตได้ว่าหลังคาแบบที่มีช่องว่างอากาศสูงกว่าจะมีความเร็วอากาศในช่องว่างมากกว่าแบบที่มีช่องว่างแคบ (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 3, 4 และ 5 (เก็บข้อมูล 19-21 และ 28.02.10)



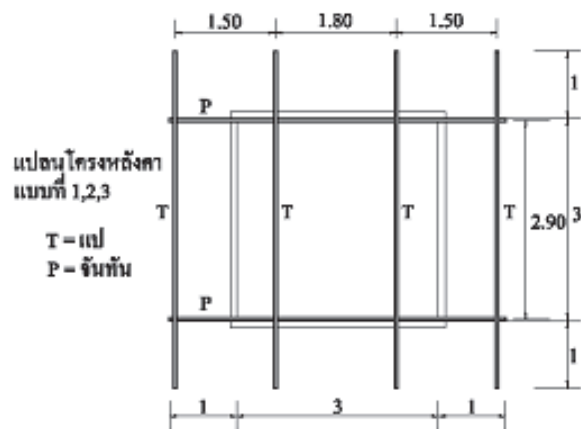
ภาพที่ 9 กราฟเปรียบเทียบค่าความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 3, 4 และ 5 ในช่วงเวลากลางคืน (เก็บข้อมูล 19-21 และ 28.02.10)

4.3 วิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์

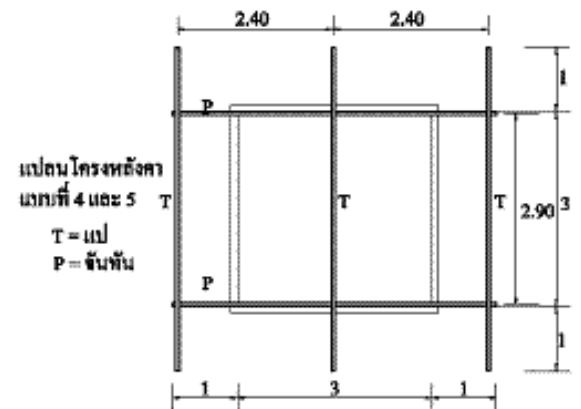
การวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนและความเหมาะสมในการเลือกใช้หลังคาแต่ละแบบ

4.3.1 คำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างหลังคาเหล็กกรี๊ดแต่ละแบบ

ในการวิเคราะห์ได้เลือกจำลองอาคารหลังคาเหล็กกรี๊ดทั้ง 5 แบบ ทรงเพิงหมาแหงนที่มุมเอียง 10 องศา จำลองขึ้นมาขนาดเท่ากันคือตัวอาคารขนาดกว้าง 3.00 ม. x ยาว 3.00 ม. สูง 3.00 ม. ขนาดหลังคากว้าง 5.00 ม. x ยาว 5.00 ม. พื้นที่ 25 ตรม. (ภาพที่ 10 - 11) เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างหลังคาเหล็กกรี๊ดแต่ละแบบ (ตารางที่ 1) โดยไม่คิดค่าก่อสร้างส่วนอื่นๆ เช่น พื้น ผนัง ซึ่งจัดเป็นตัวแปรที่ควบคุมให้เหมือนกันทุกแบบหลังคา



ภาพที่ 10 ภาพจำลองอาคารหลังคาเหล็กกรี๊ดทรงเพิงหมาแหงนแบบที่ 1, 2, 3



ภาพที่ 11 ภาพจำลองอาคารหลังคาเหล็กกรี๊ดทรงเพิงหมาแหงนแบบที่ 4 และ 5

การประมาณราคาค่าก่อสร้างหลังคาเหล็กกรีดทั้ง 5 แบบ ได้แสดงวิธีคิดไว้เฉพาะค่าก่อสร้างหลังคาเหล็กกรีดแบบที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนที่เหลืออีก 4 แบบ ใช้วิธีการคิดแบบเดียวกัน (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน สำนักอำนวยการ กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง, 2553)

ราคาค่าก่อสร้างหลังคาแบบที่ 1 = 10,833 บาท ใช้เป็นราคาตั้งต้นที่ใช้เปรียบเทียบ

ราคาค่าก่อสร้างหลังคาแบบที่ 2 เพิ่มฉนวน PE COOL หนา 5 มม. พื้นที่ 25 ตรม. ดังนั้นค่าก่อสร้างจึงเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 1 = 14,333 - 10,833 = 3,500บาท หรือเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 1 = 24.419 เปอร์เซ็นต์

ราคาค่าก่อสร้างหลังคาแบบที่ 3 เพิ่มแผ่นสะท้อนความร้อนหน้าเดียว พื้นที่ 25 ตรม. ดังนั้นค่าก่อสร้างจึงเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 1 = 12,183 - 10,833 = 1,350 บาท หรือเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 1 = 11.081 เปอร์เซ็นต์

ราคาค่าก่อสร้างหลังคาแบบที่ 4 เพิ่มหลังคา Metal sheet อีก 25 ตรม. แต่ลดจำนวนแปเหล็กลงเหลือ 3 ท่อน ดังนั้นค่าก่อสร้างจึงเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 1 = 17,076 - 10,833 = 6,243บาท หรือเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 1 = 36.56 เปอร์เซ็นต์

ราคาค่าก่อสร้างหลังคาแบบที่ 5 เพิ่มฉนวนโฟมโพลีไสติรีน 5.6 ตรม. เพิ่มหลังคา Metal sheet อีก 25 ตรม. แต่ลดจำนวนแปเหล็กลงเหลือ 3 ท่อน ดังนั้นค่าก่อสร้างจึงเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 1 = 17,804 - 10,833 = 6,971 บาท หรือเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 1 = 39.154 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 ประมาณการค่าก่อสร้างหลังคาแบบที่ 1 หลังคาเหล็กกรีดแบบธรรมดา

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ปริมาณ	ราคาวัสดุ บ./หน่วย	รวมค่าวัสดุ	ค่าแรง บ./หน่วย	รวมค่าแรง	รวมค่า วัสดุ+แรง
1	จันทันเหล็ก [100X50X20X2.3 มม.	ท่อน	2	550	1,100	165	330	1,430
2	แปเหล็ก [75X40X15X2.3 มม.	ท่อน	4	487	1,948	145	580	2,528
3	หลังคา Metal sheet สีซิงค์ หนา 0.47 มม.	ตรม.	25	235	5,875	40	1,000	6,875
	รวม				8,923		1,910	10,833

4.3.2 คำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศในแต่ละวัน และในรอบปีของอาคารที่มุงด้วยหลังคาเหล็กกรีดแต่ละแบบจากการทดลองสามารถคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศได้จากสมการพลังงานความร้อน โดยคิดเฉพาะค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหลังคาที่วัสดุเหล็กกรีด (ให้ความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางอื่นเป็นตัวแปรที่มีค่าเท่ากันในแต่ละแบบ) ดังนั้นสามารถหาได้โดยสมการ

$$RTTV = (U_r)(1 - SRR)(TD_{eq}) \quad (1)$$

$$U_r = \frac{1}{\sum R} \quad (2)$$

$$\sum R = R_o + \frac{X_1}{k_1} + \frac{X_2}{k_2} + \dots + \frac{X_n}{k_n} + R_i \quad (3)$$

- RTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (W/ m2)
- SRR = อัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสงอาทิตย์ต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนนั้น (Skylight to Roof Ratio)
- TD_{eq} = ผลต่างของอุณหภูมิหลังคาภายนอกและภายในอาคาร (°C)
- U_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนที่ป (W/ m2 °C)
- ∑R = ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา (m2°C/W)
- R_o = ความต้านทานฟิล์มอากาศภายนอก (m2°C /W)
- R_i = ความต้านทานฟิล์มอากาศภายใน (m2°C /W)
- X_i = ความหนาวัสดุ (m)
- k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/ m2°C)

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ อ้างอิงจากประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร.(2552)

Ro ความต้านทานฟิล์มอากาศภายนอก = 0.055 (m²°C /W)

R ความสำเร็จฟิล์มอากาศช่องว่างระบายอากาศ หลังคาเอียง 10 องศา ช่องว่าง 38 mm. สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ = 0.662 (m²°C /W)

หลังคาเอียง 10 องศา ช่องว่าง 76 mm. สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ = 1.048 (m²°C /W)

หลังคาเอียง 10 องศา ช่องว่าง 126 mm. สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ = 1.276 (m²°C /W)

Ri ความต้านทานฟิล์มอากาศภายในหลังคาเอียง 10 องศา สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ = 0.791 (m²°C/W)

k แผ่นหลังคาเหล็กกรีต = 47.6 (m²°C /W)

k แผ่นฉนวนความร้อน PE COOL = 0.03 (m²°C/W)

k แผ่นฉนวนโฟมโพลีสไตรีน = 0.035 (m²°C /W)

TDeq ผลต่างของอุณหภูมิหลังคาภายนอกและภายในอาคารของวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (แอลฟา) 0.3 และค่า DSH น้อยกว่า 15(kJ/m²°C)

อาคารประเภทที่ 1 สถานศึกษาและสำนักงาน (คิดเวลาใช้งาน 2,340 ชม./ปี) ที่มุมเอียง 10 องศา หันไปทางทิศใต้ TDeq = 16.6 °C

อาคารประเภทที่ 2 ห้างฯ ศูนย์การค้า สถานบริการ อาคารชุมนุมคน (คิดเวลาใช้งาน 4,380 ชม./ปี) ที่มุมเอียง 10 องศา หันไปทางทิศใต้ TDeq = 12.2 °C

อาคารประเภทที่ 3 สถานพยาบาล โรงแรม อาคารชุด (คิดเวลาใช้งาน 8,760 ชม./ปี) ที่มุมเอียง 10 องศา หันไปทางทิศใต้ TDeq = 7.3 °C

การคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศของหลังคาแบบที่ 1 โดยคำนวณจากค่าความต้านทานความร้อน (R) (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 ภาพส่วนที่ใช้คำนวณค่าความต้านทานความร้อน (R) ของหลังคาแบบที่ 1

$$\begin{aligned} \Sigma R &= 0.055 + (0.00047/47.6) + 0.791 \\ &= 0.846 \text{ (m}^2 \text{ }^\circ\text{C /W)} \end{aligned}$$

$$U_r = 1 / 0.846 = 1.182 \text{ (W/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$RTTV = (1.182)(1)(16.6) = 19.621 \text{ (W/ m}^2)$$

ดังนั้นภาระการทำความเย็น = RTTV x พื้นที่หลังคา = 19.621 x 9 m² = 176.5937 วัตต์ความร้อน หรือคิดเป็น 0.050169 ตัน (1 ตันความเย็น = 3.52 กิโลวัตต์ความร้อน)

ถ้าประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ = 0.8 กิโลวัตต์/ตัน จะใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.050169 x 0.8 กิโลวัตต์ = 0.040134 กิโลวัตต์ จะใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย = 93.91 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี (คิดเวลาใช้งาน 2,340 ชม.) ใช้เป็นภาระการทำความเย็นตั้งต้นที่ใช้เปรียบเทียบ

ส่วนพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศของหลังคาแบบที่ 2 - 5 ใช้วิธีคำนวณเช่นเดียวกับหลังคาแบบที่ 1 ได้ผลการคำนวณดังต่อไปนี้

หลังคาแบบที่ 2 RTTV = 16.3922 (W/ m²)ภาระการทำความเย็น = 0.041912 ตัน ใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.03353 กิโลวัตต์ ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย = 78.45 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จากแบบที่ 1 = 15.45 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี หรือใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จากแบบที่ 1 = 16.46 เปอร์เซนต์/ปี

หลังคาแบบที่ 3 RTTV = 12.5820 (W/ m²)ภาระการทำความเย็น = 0.03217 ตัน ใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.02574 กิโลวัตต์ ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย = 60.22 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จากแบบที่ 1 = 33.69 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี หรือใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จากแบบที่ 1 = 35.88 เปอร์เซนต์/ปี

หลังคาแบบที่ 4 RTTV = 10.4053 (W/ m²)ภาระการทำความเย็น = 0.026604 ตัน ใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.02128 กิโลวัตต์ ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย = 49.80 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จากแบบที่ 1 = 44.11 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี หรือใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จากแบบที่ 1 = 46.97 เปอร์เซนต์/ปี

หลังคาแบบที่ 5 RTTV = 7.6656 (W/ m²)ภาระการทำความเย็น = 0.0196 ตัน ใช้พลังงานไฟฟ้า = 0.01568 กิโลวัตต์ ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย = 36.69 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จากแบบที่ 1 = 57.22 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี หรือใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จากแบบที่ 1 = 60.93 เปอร์เซนต์/ปี

ในส่วนการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (RTTV) กับอาคารที่เหลืออีก 2 ประเภทนั้น มีวิธีการคำนวณเหมือนกันได้ผลการคำนวณดัง (ตารางที่ 2)

4.3.2 หาระยะเวลาคืนทุนของหลังคาเหล็กกรี๊ดแต่ละแบบ

ถึงแม้ว่าโครงการประหยัดพลังงานจะมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานได้มากก็ตาม แต่เจ้าของโครงการมักใช้ค่าเงินลงทุนเริ่มต้นเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ ดังนั้นการวิเคราะห์การเงินจึงเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจเลือก โดยวิธีการวิเคราะห์การเงิน แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแบบแรก กำหนดให้ค่าของเงินคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แบบที่สอง ค่าของเงินเปลี่ยนแปลงตามเวลาในงานวิจัยนี้เลือกวิธีการวิเคราะห์การเงินแบบแรกเป็นการคิดระยะเวลาคืนทุน โดยไม่นำเอาเรื่องดอกเบี้ยมาคำนวณรวม สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น/ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี}}{\quad} \quad (4)$$

เงินลงทุนเริ่มต้น ประกอบด้วย ค่าก่อสร้าง ค่าปรับปรุงค่าบริหารโครงการ เป็นต้น

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ประหยัดได้ต่อปี หลังจากหักค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการและการบำรุงรักษาแล้ว (ถ้ามี)

หมายเหตุ : ระยะคืนทุนสำหรับโครงการประหยัดพลังงานโดยทั่วไปไม่ควรเกิน 5 ปี (วัชระ มั่งวิฑิตกุล, 2550)

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีคิดระยะเวลาคืนทุนจากเปอร์เซ็นต์ของค่าก่อสร้างเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น / เปอร์เซ็นต์การทำความเย็นที่ลดลงต่อปี โดยใช้หลังคาแบบที่ 1 เป็นตัวเปรียบเทียบ

ระยะเวลาคืนทุนแบบที่ 1 = เปอร์เซ็นต์เงินลงทุนเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น / เปอร์เซ็นต์การทำความเย็นที่ลดลงต่อปี = 1 หน่วย เป็นตัวเปรียบเทียบ

ระยะเวลาคืนทุนแบบที่ 2 = เปอร์เซ็นต์เงินลงทุนเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น / เปอร์เซ็นต์การทำความเย็นที่ลดลงต่อปี = $24.419 / 16.46 = 1.48$ ปี

ระยะเวลาคืนทุนแบบที่ 3 = เปอร์เซ็นต์เงินลงทุนเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น / เปอร์เซ็นต์การทำความเย็นที่ลดลงต่อปี = $11.081 / 35.88 = 0.31$ ปี

ระยะเวลาคืนทุนแบบที่ 4 = เปอร์เซ็นต์เงินลงทุนเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น / เปอร์เซ็นต์การทำความเย็นที่ลดลงต่อปี = $36.56 / 46.97 = 0.77$ ปี

ระยะเวลาคืนทุนแบบที่ 5 = เปอร์เซ็นต์เงินลงทุนเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น / เปอร์เซ็นต์การทำความเย็นที่ลดลงต่อปี = $39.154 / 60.93 = 0.64$ ปี

สรุป

5.1 การลดความร้อนในช่วงเวลากลางวันและคายความร้อนในช่วงเวลากลางคืนของหลังคาเหล็กกรี๊ดทั้ง 5 แบบ

หลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5 เป็นแบบที่มีการลดความร้อนได้ดีที่สุดในช่วงเวลากลางวัน รองมาคือแบบที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 1 หลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5 สามารถลดอุณหภูมิภายในกล่องได้มากที่สุด 77.33 % รองมาคือหลังคาแบบที่ 4 ลดลง 41.53 %, หลังคาแบบที่ 3 ลดลง 35.63 % และหลังคาแบบที่ 2 ลดลง 5 % ตามลำดับ

ส่วนในช่วงเวลากลางคืนแบบที่คายความร้อนดีที่สุดคือหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 1 รองมาคือแบบที่ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ โดยหลังคาเหล็กกรี๊ดทั้ง 5 แบบ มีค่าผลต่างของอุณหภูมิในกล่องต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศที่เวลา 24.00 น. น้อยมากประมาณ 1-2 องศาเท่านั้น เนื่องจากหลังคาเหล็กกรี๊ดเป็นวัสดุมวลสารน้อยสะสมความร้อนได้น้อยในตอนกลางวันและคายความร้อนได้เร็วในตอนกลางคืน

5.2 ความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบแบบที่ 3, 4 และ 5

ในช่วงกลางวันความเร็วอากาศในช่องว่างระบายอากาศของหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 4 มีค่ามากที่สุดรองมาคือแบบที่ 5 และ 3 ตามลำดับ แต่ในช่วงเวลากลางคืน หลังคาที่มีช่องว่างอากาศสูงกว่ามีการระบายอากาศได้เร็วกว่าในสภาวะแวดล้อมจริง เนื่องจากอิทธิพลของความเร็วมวล (ไม่มีอิทธิพลจากความเข้มรังสีอาทิตย์) แต่ในช่วงกลางวันมีอิทธิพลจากความเข้มรังสีอาทิตย์เข้ามาเกี่ยวข้องส่งผลให้หลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 4 มีการระบายอากาศมากกว่าแบบที่ 5

5.3 ความเหมาะสมกับการนำไปใช้

5.3.1 ความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในด้านการก่อสร้าง

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

หลังคาแบบที่ 1, 2 และ 3 เป็นแบบที่มีการใช้งานอยู่แล้วในปัจจุบันซึ่งช่างก่อสร้างมีความคุ้นเคยดี แต่หลังคาแบบที่ 4 และ 5 อาจต้องมีการเขียนแบบรายละเอียดแสดงวิธีติดตั้งเพิ่มเติมให้กับช่างก่อสร้าง เช่น ระยะเวลาของจุดยึดระหว่างแผ่นระแนงแปที่สามารถขยายได้กว้างขึ้น การติดตาข่ายเพื่อป้องกันสัตว์และใบไม้ เป็นต้น

5.3.2 ความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในด้านประหยัดพลังงาน

หลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5 มีค่า RTTV น้อยสุด รองมาคือแบบที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ

จากการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (เปอรเซ็นต์/ปี) สรุปได้ว่าอาคารหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5 มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากแบบที่ 1 มากที่สุด หรือประหยัดพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศมากที่สุด 60.93เปอรเซ็นต์/ปี รองมาคือแบบที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

5.3.3 ความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในด้านเศรษฐศาสตร์

อาคารหลังคาแบบที่ 5 มีค่าก่อสร้างเริ่มต้นมากที่สุดรองมาคือแบบที่ 4, 2, 3 และ 1 ตามลำดับ แต่อาคารหลังคาแบบที่ 3 มีระยะเวลาคืนทุนเร็วสุดคือเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 1 เพียง 0.31 ปี รองมาคือหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5, 4 และ 2 ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ถึงแม้ว่าหลังคาแบบที่ 3 มีระยะเวลาคืนทุนเร็วสุดก็ตาม แต่หากพิจารณาค่าใช้จ่ายในการปรับอากาศระยะเวลาหลังจากจุดคืนทุน หลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 5 ยังคงมีความเหมาะสมมากกว่าหลังคาเหล็กกรี๊ดแบบที่ 4, 3 และ 2 ตามลำดับ

หากต้องการเลือกรูปแบบหลังคาที่มีใช้ในปัจจุบัน ระหว่างแบบที่ 2 คือการติดตั้ง PE COOL หนา 5 มม. แบนลอนหลังคา กับแบบที่ 3 คือปูแผ่นอลูมิเนียมพอยล์สะท้อนรังสีความร้อนบนแป ควรเลือกแบบที่ 3 เพราะราคาค่าก่อสร้างถูกกว่า ลดอุณหภูมิใต้หลังคาได้มากกว่า และคืนทุนเร็วกว่า

ตารางที่ 2 สรุปความเหมาะสมกับการนำไปใช้ ของหลังคาเหล็กกรี๊ดทั้ง 5 แบบ

รายการ \ รูปแบบของหลังคา	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5
ΔT max. (เวลากลางวัน)	17.17	16.31	11.05	10.04	3.89
เปอรเซ็นต์การลดความร้อน (%)					
ΔT max. (เวลากลางวัน)	ตั้งต้น	5.0	35.63	41.53	77.33
ΔT (เวลา 24.00 น.)	-2.09	-1.87	-1.68	-1.66	-0.75
ค่า RTTV อาคารประเภทที่ 1 (W/ m ²)	19.62	16.39	12.58	10.40	7.66
ค่า RTTV อาคารประเภทที่ 2 (W/ m ²)	14.42	12.04	9.24	7.64	5.63
ค่า RTTV อาคารประเภทที่ 3 (W/ m ²)	8.62	7.20	5.53	4.57	3.37
ภาระการทำความเย็นที่ลดลง (เปอรเซ็นต์/ปี)	ตั้งต้น	16.46	35.88	46.97	60.93
ค่าก่อสร้างคิดจากแบบจำลอง (บาท)	10,833	14,333	12,183	17,076	17,804
ค่าก่อสร้างเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้น (%)	ตั้งต้น	24.419	11.081	36.56	39.154
ระยะเวลาคืนทุนที่เพิ่มขึ้น (ปี)	ตั้งต้น	1.48	0.31	0.77	0.64

6. ข้อเสนอแนะ

สำหรับกรณีของอาคารไม่ปรับอากาศ ก็สามารถนำไปใช้ได้ดี เนื่องจากรูปแบบของหลังคาเหล็กกรีตแบบที่ 5 ช่วยลดการส่งผ่านความร้อนผ่านทางหลังคาในช่วงกลางวันได้มากกว่ารูปแบบที่ไม่มีทั้งฉนวนความร้อนและช่องว่างอากาศ ช่วยเพิ่มภาวะน่าสบายให้ผู้อาศัย ส่วนในช่วงเวลากลางคืนก็เป็นหลังคาที่คายความร้อนได้เร็วและดีเนื่องจากมีมวลน้อยและมีช่องว่างช่วยระบายความร้อน

การทดลองในที่นี้ถูกจำกัดด้วยเวลาและเครื่องมืออุปกรณ์ทดลอง ซึ่งผู้ที่สนใจสามารถทำการทดลองเพิ่มเติมได้อีกโดยการเพิ่มหรือเปลี่ยนรูปแบบหลังคาเหล็กกรีต หรืออาจนำไปทดสอบหาค่าทางด้านวิศวกรรมโครงสร้าง โดยเปรียบเทียบค่าการรับน้ำหนักของแผ่นหลังคาเหล็กกรีตแผ่นเดียวกับแบบประกบสองชั้น ช่วงระยะแปที่เพิ่มขึ้นกับการประหยัดโครงสร้างหลังคา เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทางวิทยานิพนธ์ประจำปีการศึกษา 2552 จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- คณิน หุตานวัตร. 2545. **ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศของปล่องหลังคารังสีอาทิตย์**. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมภายใน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชาญนรินทร์ เขยอักษร. 2541. **การประเมินการลดภาระการทำความร้อนโดยใช้ปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์**. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ณรงค์ฤทธิ์ อุปพงษ์, ยศธนา คุณาทร, ธีรรัฐ วรยศ, และ เดชดำรงศักดิ์. 2550. **การวิเคราะห์เชิงอุณหภาพและการไหลของอากาศของหลังคารังสีอาทิตย์**. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

- ประกาศกระทรวงพลังงาน. 2552. **เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้ พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร**. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 15 ตุลาคม 2552] เข้าถึงได้จาก : <http://download.asa.or.th/03media/04law/eca/ma52-02.pdf>
- วัชรระ มั่งวิฑิตกุล. 2550. **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: หจก. สามลดดา. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน **สำนักอำนวยการ กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง**. 2553. **ราคาวัสดุ ก่อสร้าง ปีงบประมาณ 2553**. [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2553] เข้าถึงได้จาก : <http://design.obec.go.th/Price53/priceHW53.html>
- Dimoudi, A., Androutsopoulos, A., & Lykoudis, S. 2006. Summer performance of a ventilated roof component. *Energy and Buildings*. 38: 610–617. [Online] [Cited 15 October 2009]. Available from : <http://www.elsevier.com/locate/enbuild.pdf>
- Puangsoombut, W. 2007. Enhancement of natural ventilation rate and attic heat gain reduction of roof solar collector using radiant barrier. *Building and Environment*. 42: 2218–2226. [Online] [Cited 15 October 2009]. Available from : <http://www.elsevier.com/locate/buildenv.pdf>