

การวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงความร้อนของระบบทำความเย็นแบบมีระบบหลังคาโดยใช้แบบจำลองวงจรความร้อน

ดร. จำลอง ล้อมตระกูล*

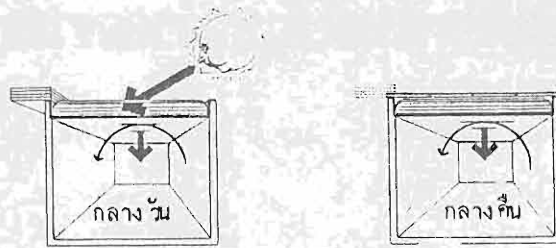
บทคัดย่อ

บทความนี้ได้กล่าวถึงการทำงานของระบบทำความเย็นธรรมชาติแบบมีระบบหลังคา โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงชนิดใด และการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงความร้อนของระบบทำความเย็นธรรมชาติดังกล่าวโดยใช้แบบจำลอง วงจรความร้อนและไมโครคอมพิวเตอร์ ผลจากการศึกษาพบว่าระบบทำความเย็นธรรมชาติแบบมีระบบหลังคา ซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ มีน้ำอยู่ในสระสูง 0.35 m. จนวนภายในห้องหนา 0.05 m. จะมีอุณหภูมิในห้องอยู่ในช่วง 23.9-27.5 °C เมื่ออุณหภูมิของอากาศภายนอกเปลี่ยนจาก 22-35.8 °C อย่างไรก็ตามที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ยังไม่อาจสรุปได้เนื่องจากขีดจำกัดของข้อมูลและข้อสมมติที่ใช้ แต่ก็ทำให้เราสามารถมองเห็นศักยภาพของระบบทำความเย็นธรรมชาติแบบมีระบบหลังคาได้เป็นอย่างดี

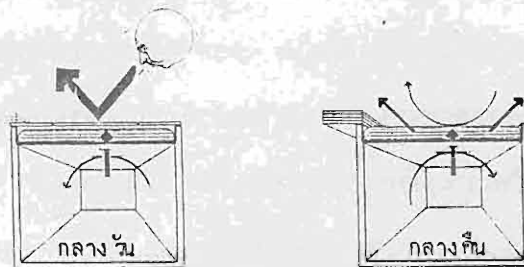
1. ระบบทำความเย็นธรรมชาติแบบมีระบบหลังคา

อาคารที่มีระบบหลังคาเป็นระบบที่ใช้พลังงานอาทิตย์แบบธรรมชาติ ซึ่งรับและถ่ายเทพลังงานความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติต่าง ๆ เช่น การแผ่รังสี การนำ และการพาความร้อน โดยไม่ต้องใช้แผงรับแสง เครื่องเก็บสะสมพลังงาน หรือชิ้นส่วนทางกลอื่น ๆ ช่วยในการถ่ายเทความร้อนแต่อย่างใด การรับความร้อนจากดวงอาทิตย์เกิดขึ้นโดยทางอ้อม กล่าวคือน้ำและหลังคาจะทำหน้าที่รับความร้อนจากดวงอาทิตย์และถ่ายเทให้อากาศในห้องอีกทอดหนึ่ง เช่น ดังในรูปที่ 1 ก) ระบบระบบหลังคานี้เหมาะสำหรับให้ความร้อนแก่ห้องในฤดูหนาว (รูปที่ 1 ก)) และให้ความเย็นแก่ห้องในฤดูร้อน (รูปที่ 1 ข))

* รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น



ก) ให้ความร้อนในฤดูหนาว



ข) ให้ความเย็นในฤดูร้อน

รูปที่ 1 ลักษณะการใช้งานระบบสระบบหลังคา

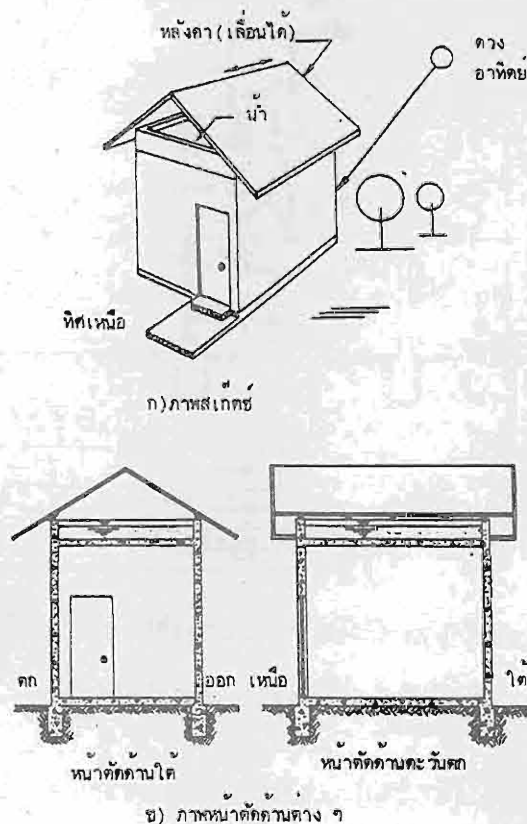
ในฤดูหนาว จะได้รับแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน และมีแผ่นฉนวนปิดในเวลากลางคืน เช่นดังในรูปที่ 1ก) ความร้อนที่สระได้รับจะแผ่รังสีจากหลังคาให้แก่อากาศภายในห้อง เป็นส่วนใหญ่อากาศภายในห้อง เกิดขึ้นแต่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับในฤดูร้อนการทำงานของระบบสระบบหลังคาจะกลับตรงข้ามกล่าวคือ แผ่นฉนวนจะปิดสระในเวลากลางวัน เพื่อป้องกันรังสีดวงอาทิตย์และในขณะเดียวกันน้ำบนหลังคาก็จะรับเอาความร้อนจากอากาศในห้องทำให้ห้องเย็นลง ส่วนในเวลากลางคืนแผ่นฉนวนจะถูกเปิดออกเพื่อให้สระระบายความร้อนด้วยการพาแบบธรรมชาติและแผ่รังสีให้ห้องฟ้าที่เย็นกว่า ทำให้น้ำในสระเย็นลงเหมาะสำหรับรับความร้อนจากห้องในเวลากลางวันของวันต่อไป การใช้งานระบบสระบบหลังคาอย่างในฤดูร้อน ดังที่กล่าวข้างต้น จะทำให้เราได้ระบบทำความเย็นแบบธรรมชาติ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากไฟฟ้าหรือน้ำมันเชื้อเพลิงแต่อย่างใด

เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมเชิงความร้อนของระบบทำความเย็นธรรมชาติแบบมีสระบบหลังคา บทความนี้ได้จำลองแบบอาคารและสระด้วย แบบจำลอง วงจรความร้อน (Thermal Network Model) และใช้ไมโครคอมพิวเตอร์คำนวณหาสภาพภายในห้องที่เวลาต่าง ๆ ตลอดวัน ซึ่งจะได้กล่าวถึงในตอนต่อไป

2. แบบจำลอง วงจรความร้อนของระบบทำความเย็นธรรมชาติแบบมีสระเบนหลังคา

2.1 สถานที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศ

สถานที่ที่จะใช้ศึกษาในที่นี้ เป็น จังหวัด เชียงใหม่มีสภาพภูมิอากาศแบบแห้ง เย็น ซึ่งอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือในระหว่างเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนกุมภาพันธ์ และแบบร้อนชื้น ซึ่งอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายน ถึง เดือนตุลาคม อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีอยู่ในช่วงประมาณ 20°C ถึง 28.4°C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 60-83% ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ตั้งและสภาพภูมิอากาศอย่างอื่นมีอยู่ในตารางที่ ก1) ภาคผนวก ก)[2] นอกจากนี้ตารางที่ ก1) ยังมีข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของความเข้มแสงอาทิตย์บนพื้นราบและความเร็วลม [3] อีกด้วย

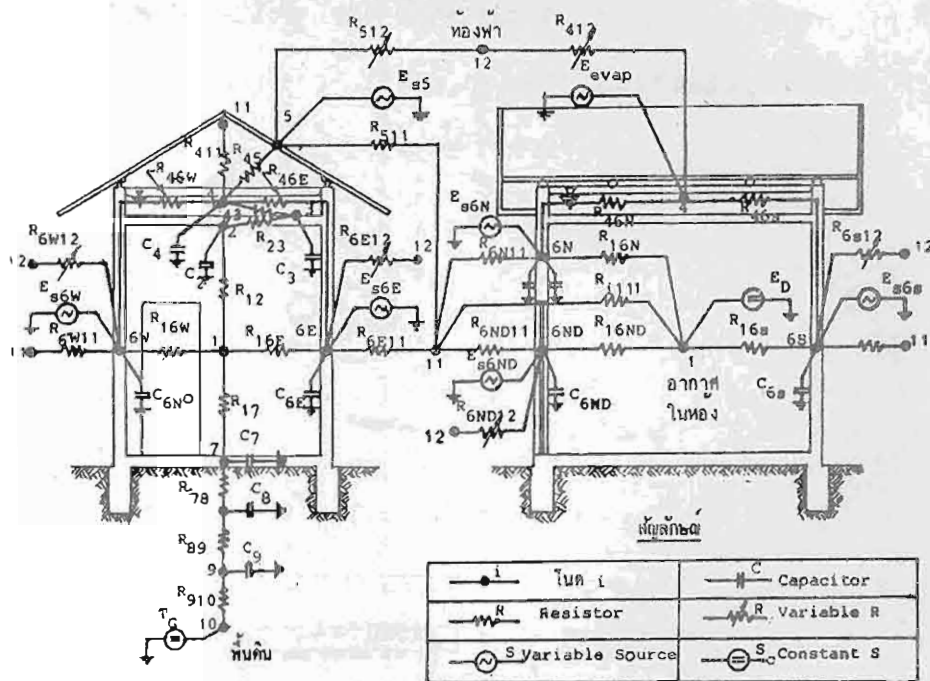


รูปที่ 2 แบบจำลองห้องเย็นธรรมชาติแบบมีสระเบนหลังคา

2.2 แบบจำลองทางกายภาพ

เพื่อสะดวกในการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงความร้อนของห้องเย็นธรรมชาติแบบมีสระเบนหลังคา ในที่นี้จะสมมติให้เป็นห้องลักษณะดังในรูปที่ 2) มีขนาดกว้าง×ยาว×สูง เป็น $3 \times 4 \times 3 \text{ m}$ พื้นที่ภายในของผนังด้านทิศตะวันตกและตะวันออกมีขนาดเท่ากันคือ $3 \times 4 \text{ m}^2$ ผนัง

ด้านทิศเหนือมีประตูไม้ขนาด $1 \times 2 \text{ m}^2$ ผนังห้องทำด้วยคอนกรีตบล็อก ส่วนเพดานและพื้นห้องทำด้วยคอนกรีตที่มีค่าความหนาแน่นเป็น 2000 และ 2400 kg/m^3 ตามลำดับ หลังคาห้องเย็นลักษณะเป็นจั่วสามเหลี่ยมหุ้มด้วยใบจากสามารถเลื่อนปิด-เปิดสลับบานหลังคาได้ ตอนกลางวันหลังคาปิดเพื่อกันไม่ให้แสงแดดถูกน้ำในสระ ส่วนตอนกลางคืนเปิดหลังคาเพื่อให้น้ำในสระเย็นลงโดยการแผ่รังสีความร้อน การพาความร้อนและการระเหยของน้ำในสระ ตอนกลางวันของวันถัดไปหลังคาจะปิดเหมือนเดิม น้ำเย็นในสระก็จะรับเอาความร้อนจากห้องทำให้ห้องเย็นลงกว่าเดิมเมื่อไม่มีสระบนหลังคา ข้อมูลทางกายภาพและขนาดต่าง ๆ ของห้องอยู่ในภาคผนวก ก) (๔๖)



รูปที่ 3 แบบจำลอง วงจรความร้อนของห้องอาคารที่มีสระน้ำบนหลังคา

2.3 แบบจำลอง วงจรความร้อน

เพื่อศึกษาพฤติกรรมเชิงความร้อนของห้องเย็นธรรมชาติแบบมีสระบนหลังคาคงในรูปที่ 2) แบบจำลอง วงจรความร้อนของห้องเย็นที่มีสระน้ำบนหลังคาคงในรูปที่ 3) ได้ถูกสร้างขึ้น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของโนดต่าง ๆ รวมทั้งความร้อนที่ห้องได้รับ หรือการระบายความร้อนนั้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและพลังงานความร้อนที่ได้รับจากคนและอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในห้อง สามารถคำนวณหาได้โดยพิจารณาการสมดุลของพลังงานของแต่ละโนด รายละเอียดการเขียนแบบจำลอง วงจรความร้อนของอาคารสามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิงที่ 8

เมื่อใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกับโนดต่าง ๆ ดังในรูปที่ 3) เราจะได้สมการของ
ห้องเย็นธรรมชาติที่มีสเตรนหลังคาเป็นดังในตารางที่ 2)

ตารางที่ 2) สมการการสมดุลของพลังงานของโนดต่าง ๆ สำหรับแบบจำลอง วงจรความร้อน

โนด	สมการของการอนุรักษ์พลังงาน	สมการที่
0	$0 = E_D + \frac{T_2 - T_1}{R_{12}} + \frac{T_{6E} - T_1}{R_{16E}} + \frac{T_{6S} - T_1}{R_{16S}} + \frac{T_{6W} - T_1}{R_{16W}} + \frac{T_{16ND} - T_1}{R_{16ND}}$ $+ \frac{T_{6N} - T_1}{R_{16N}} + \frac{T_7 - T_1}{R_{17}} + \frac{T_{11} - T_1}{R_{1111}}$	(1)
2	$C_2 \frac{T_{2n} - T_2}{\Delta t} = \frac{T_1 - T_2}{R_{12}} + \frac{T_3 - T_2}{R_{23}}$	(2)
3	$C_3 \frac{T_{3n} - T_3}{\Delta t} = \frac{T_2 - T_3}{R_{23}} + \frac{T_4 - T_3}{R_{34}}$	(3)
4	$C_4 \frac{T_{4n} - T_4}{\Delta t} = \frac{T_3 - T_4}{R_{34}} + \left(\frac{T_5 - T_4}{R_{45}} \right)_1 + \frac{T_{6E} - T_4}{R_{46E}} + \frac{T_{6S} - T_4}{R_{46S}} + \frac{T_{6W} - T_4}{R_{46W}} + \frac{T_{6N} - T_4}{R_{46N}}$ $+ \frac{T_{11} - T_4}{R_{411}} + (\sigma_{EP} A_P (T_5^{*4} - T_4^{*4}))_1 + (\sigma_{EW} A_W (T_{12}^{*4} - T_4^{*4}))_2 + E_{evap}$	(4)
5	$0 = E_{S5} + \frac{T_4 - T_5}{R_{45}} + \frac{T_{11} - T_5}{R_{511}} + \sigma_{EP} A_P (T_4^{*4} - T_5^{*4})$ $+ \sigma_{EP} A_P (T_{12}^{*4} - T_5^{*4})$	(5)
6E	โดยที่ $T_5^* = 0$ โหนดตอนกลางคืบเนื่องจากเปิดหลังคา $C_{6E} \frac{T_{6EN} - T_{6E}}{\Delta t} = E_{S6E} + \frac{T_1 - T_{6E}}{R_{16E}} + \frac{T_{11} - T_{6E}}{R_{6E11}} + \frac{T_4 - T_{6E}}{R_{46E}} + \sigma_{EC} A_{6E} (T_{12}^{*4} - T_{6E}^{*4})$	(6)
6S	$C_{6S} \frac{T_{6SN} - T_{6S}}{\Delta t} = E_{S6S} + \frac{T_1 - T_{6S}}{R_{16S}} + \frac{T_{11} - T_{6S}}{R_{6S11}} + \frac{T_4 - T_{6S}}{R_{46S}} + \sigma_{EC} A_{6S} (T_{12}^{*4} - T_{6S}^{*4})$	(7)
6W	$C_{6W} \frac{T_{6WN} - T_{6W}}{\Delta t} = E_{S6W} + \frac{T_1 - T_{6W}}{R_{16W}} + \frac{T_{11} - T_{6W}}{R_{6W11}} + \frac{T_4 - T_{6W}}{R_{46W}} + \sigma_{EC} A_{6N} (T_{12}^{*4} - T_{6N}^{*4})$	(8)
6N	$C_{6N} \frac{T_{6NN} - T_{6N}}{\Delta t} = E_{S6N} + \frac{T_1 - T_{6N}}{R_{16N}} + \frac{T_{11} - T_{6N}}{R_{6N11}} + \frac{T_4 - T_{6N}}{R_{46N}} + \sigma_{EC} A_{6N} (T_{12}^{*4} - T_{6N}^{*4})$	(9)
6ND	$C_{6ND} \frac{T_{6NDN} - T_{6ND}}{\Delta t} = E_{S6ND} + \frac{T_1 - T_{6ND}}{R_{16ND}} + \frac{T_{11} - T_{6ND}}{R_{6ND11}} + \sigma_{ED} A_D (T_{12}^{*4} - T_{6ND}^{*4})$	(10)
7	$C_7 \frac{T_{7N} - T_7}{\Delta t} = \frac{T_1 - T_7}{R_{17}} + \frac{T_8 - T_7}{R_{78}}$	(11)
8	$C_8 \frac{T_{8N} - T_8}{\Delta t} = \frac{T_7 - T_8}{R_{78}} + \frac{T_9 - T_8}{R_{89}}$	(12)
9	$C_9 \frac{T_{9N} - T_9}{\Delta t} = \frac{T_8 - T_9}{R_{89}} + \frac{T_{10} - T_9}{R_{910}}$	(13)

ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในสมการที่ 1) ถึง 13) มีดังนี้คือ

T_1 คืออุณหภูมิของโนด 1 ที่เวลา t ใด ๆ T_1^* คืออุณหภูมิสมบูรณ์
 T_{1n} คืออุณหภูมิของโนด 1 ที่เวลา $t + \Delta t$ ใด ๆ Δt คือช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

R_1 คือค่าความต้านทานความร้อนระหว่างโนดแต่ละคู่

C_1 คือค่าความจุความร้อนของโนดต่าง ๆ

E_d คือค่าพลังงานที่ถ่ายเทออกจากอุปกรณ์หรือคนภายในห้อง

E_{evap} คือค่าปริมาณความร้อนที่ระเหยถ่ายเทให้อากาศเนื่องจากการระเหยของน้ำในสระ

E_{Si} คือค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่โนด i ได้รับ

$(\sigma \epsilon A)_1$ คือค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของโนด i

T_{10} คืออุณหภูมิของพื้นดินที่ระดับลึก 5 m และสมมติให้มีค่าเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศตลอดปี

T_{11} คืออุณหภูมิของอากาศ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิเฉลี่ย T_m และช่วงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละวันหรือ excursion temperature $T_e = T_{max} - T_{min}$ ที่เวลา h นาฬิกาใด ๆ มีค่าเป็นดังนี้ $T_{11} = T_{air} = T_m + \frac{1}{2} T_e \sin\left[\frac{\pi}{2}(h-9)\right]$ (14)

T_{12} คืออุณหภูมิห้องฟ้า ซึ่งสมมติให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศ 10 องศา นั่นคือ

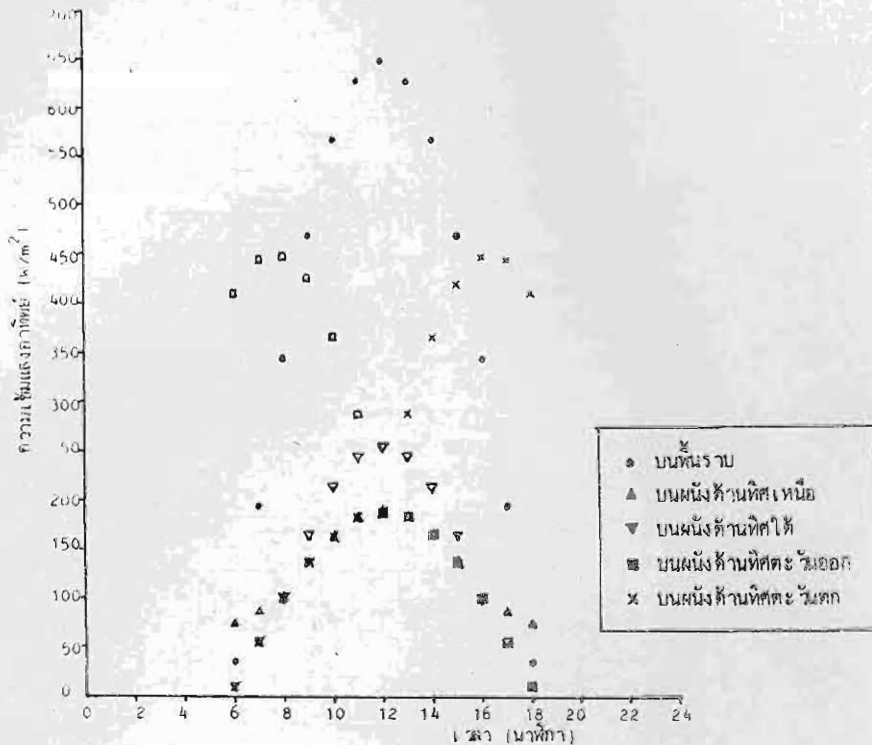
$$T_{12} = T_{11} - 10 \quad (15)$$

3. พฤติกรรมเชิงความร้อนของอาคารที่มีห้องเย็นธรรมชาติแบบมีระบบหลังคา

การวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงความร้อน ของอาคารที่มีห้องเย็นธรรมชาติแบบมีระบบหลังคาซึ่งติดตั้งอยู่ที่เชียงใหม่สามารถทำได้โดยแก้สมการที่ 1) ถึง 15) พร้อม ๆ กันด้วยคอมพิวเตอร์ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ผนังด้านต่าง ๆ และหลังคาอาคารได้รับในแต่ละชั่วโมงหาได้จากค่าความเข้มแสงอาทิตย์บนพื้นราบเฉลี่ยรายเดือน และความสัมพันธ์ของ Liu และ Jordan [4] รูปที่ 4) แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์บนพื้นราบ(หลังคาและบนผนังด้านต่าง ๆ รูปที่ 5) แสดงแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมซึ่งใช้ศึกษาพฤติกรรมเชิงความร้อนของห้องเย็นธรรมชาติแบบมีระบบหลังคา เพื่อให้การคำนวณเสถียรภาพเราต้องเลือกใช้ค่าช่วงเวลาที่น้อยที่สุด Δt จากสมการที่ 16) ดังนี้

$$\frac{\partial T_{1n}}{\partial T_1} \geq 0 \quad (16)$$

เมื่อใช้สมการที่ 16) กับสมการที่ 1) ถึง 13) พบว่าช่วงเวลาที่น้อยที่สุดมีค่าเป็น Δt น้อยสุด $\leq 4600 \text{ sec}$ ในที่นี้เราเลือกใช้ค่า $\Delta t = 900 \text{ sec}$ เพื่อขจัดอิทธิพลของอุณหภูมิเริ่มแรกของทุก ๆ โหนด เราต้องใช้เวลาในการคำนวณอย่างน้อย 3 วัน ขึ้นไปใน loop ของวัน

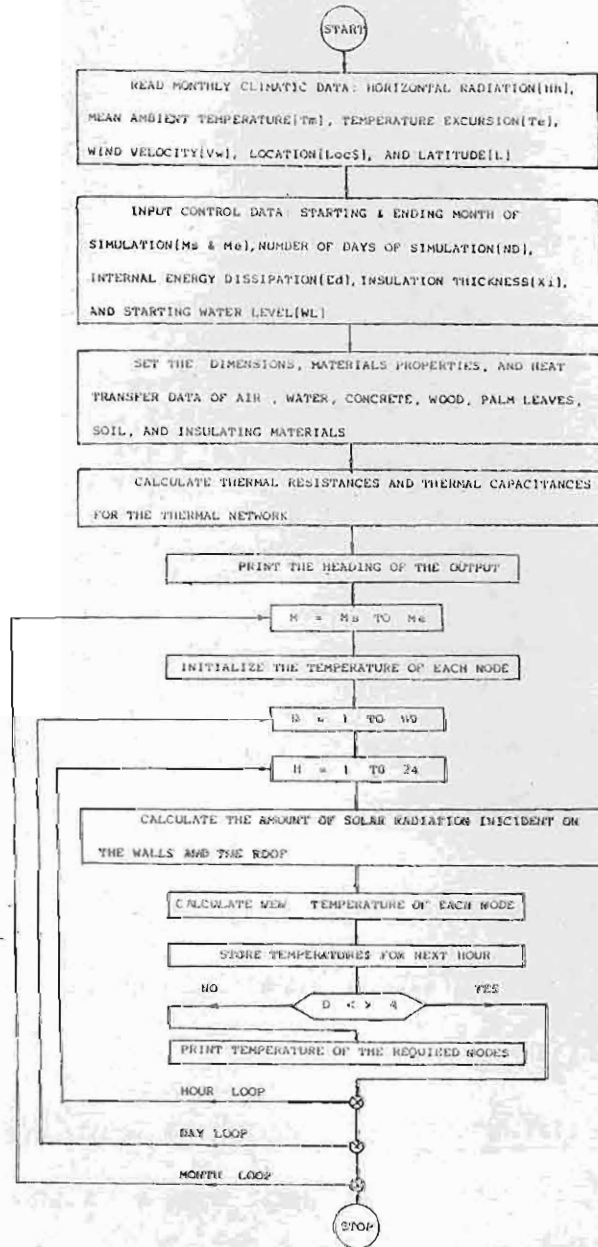


รูปที่ 4 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์บนพื้นราบและผนังด้านต่างๆ ที่อาคารได้รับ

ผลจากการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงความร้อนของห้องเย็นธรรมชาติแบบมีสระน้ำบนหลังคาในช่วงเดือน เมษายน ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์แสดงในรูปที่ 6) ถึง 8) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณีดังนี้คือ [6]

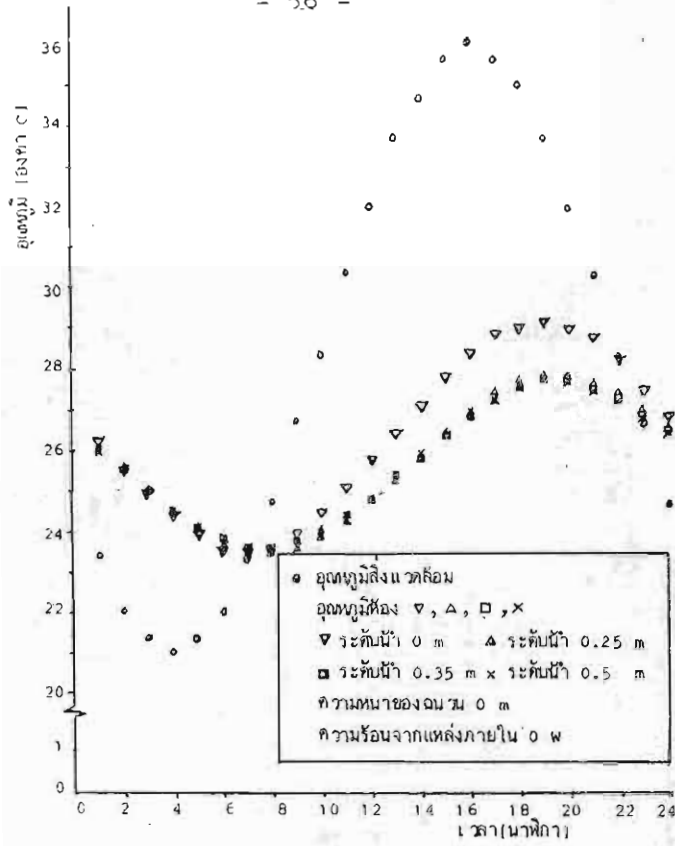
ก) อิทธิพลของระดับน้ำบนหลังคา จากรูปที่ 6) จะเห็นได้ชัดว่าเมื่อไม่มีน้ำในสระบนหลังคา อุณหภูมิภายในห้องจะสูงกว่ากรณีที่มีน้ำในสระ 0.25 m สูงสุดประมาณ 1.4°C ที่เวลา 19.00 น. เมื่อเพิ่มระดับน้ำในสระจาก 0.25 m ไปเป็น 0.50 m อุณหภูมิของห้องจะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย ($\approx 0.1-0.2^{\circ}\text{C}$) สาเหตุก็อาจเป็นเพราะปริมาณน้ำที่ระเหยคมีค่าน้อย ทำให้อุณหภูมิของน้ำในสระลดตัวเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามการใช้น้ำในสระบนหลังคาประมาณ 0.25-0.35 m จะทำให้อุณหภูมิในห้องอยู่ในช่วง $23.6-27.8^{\circ}\text{C}$

ข) อิทธิพลจากแหล่งความร้อนภายใน รูปที่ 7) แสดงให้เห็นว่าเมื่อแหล่งความร้อนภายในแพร่ความร้อน Q ออกมาเป็น 0,300 และ 600 w อุณหภูมิภายในห้องจะอยู่ในช่วง $23.6-27.8^{\circ}\text{C}$ $Q = 0$ w, $27.7-32.3^{\circ}\text{C}$ เมื่อ $Q = 300$ และ $32.3-36.8^{\circ}\text{C}$ เมื่อ $Q = 600$ w ซึ่งถ้าต้องใช้ห้องสำหรับอยู่อาศัยเมื่อมีแหล่งความร้อนจากภายในแพร่ความร้อนออก

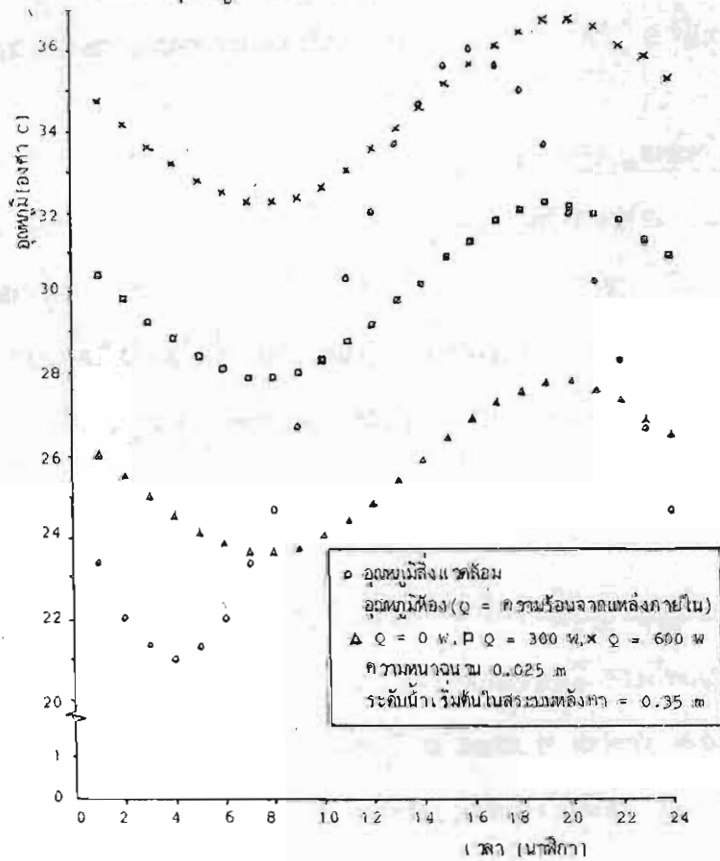


รูปที่ 5 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมซึ่งใช้ศึกษาพฤติกรรม
เชิงความร้อนของห้อง เ็นธรรมชาติแบบมีสระบบหลังคา

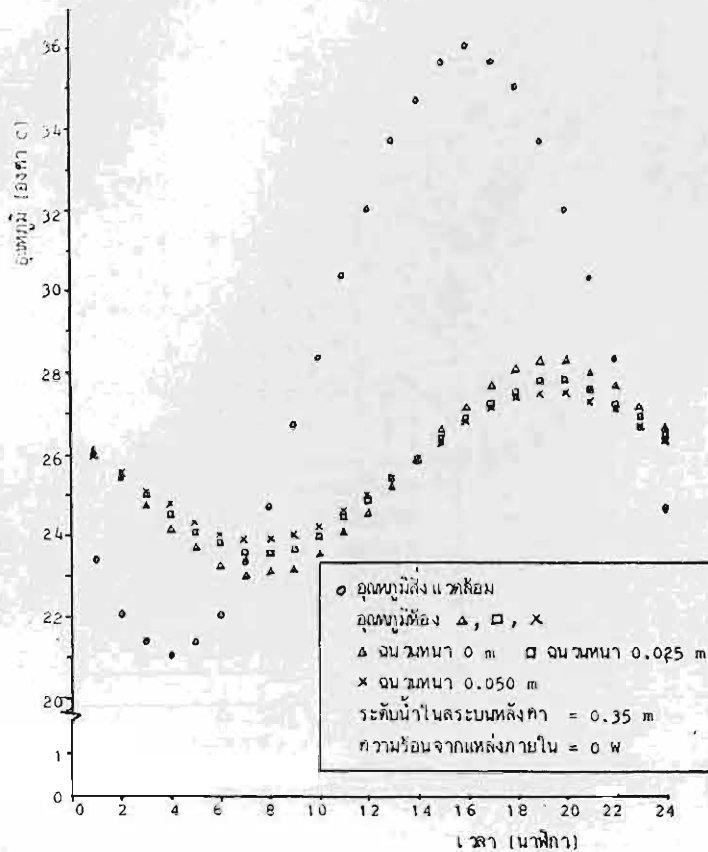
มาเช่น หลอดไฟแสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้าหรือจากคน อุณหภูมิภายในห้องอาจจะสูงขึ้นจนไม่อาจอยู่
อาศัยได้อย่างสบาย ต้องลดอุณหภูมิภายในห้องลง เช่นใช้เครื่องปรับอากาศ เราก็สามารถคำนวณ
หาภาระความเย็นหรือขนาดของเครื่องปรับอากาศโดยใช้กราฟลักษณะคล้ายรูปที่ 7) ได้



รูปที่ 6 อิทธิพลของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและระดับน้ำบนหลังคาที่มีต่ออุณหภูมิภายในห้อง



รูปที่ 7 อิทธิพลของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความร้อนจากแหล่งภายในที่มีต่ออุณหภูมิภายในห้อง



รูปที่ 8 อิทธิพลของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความหนาของฉนวนที่มีต่ออุณหภูมิภายในห้อง

ค) อิทธิพลของฉนวนกันความร้อน เมื่อติดตั้งฉนวนกันความร้อน เช่น โฟม หรือ โยแกว ภายในห้องทั้งสี่ด้าน ภายในเวลากลางวันฉนวนจะช่วยกันความร้อนจากภายนอกไม่ให้เข้าไปในห้อง ทำให้ห้องเย็นลง ส่วนในเวลากลางคืนความร้อนจากภายในห้องจะไหลออกสู่ภายนอกไม่สะดวก ทำให้อุณหภูมิในห้องสูงขึ้น รูปที่ 8) แสดงอุณหภูมิภายในห้องตลอดทั้งวันเมื่อใส่ฉนวนภายในห้องหนา 0, 0.025 และ 0.05 m โดยเฉพาะเมื่อใช้ฉนวนหนา 0.05 m อุณหภูมิภายในห้องจะอยู่ในช่วงจาก 23.9-27.5°C

4. สรุป

บทความนี้ได้แสดงวิธีการหาพฤติกรรมเชิงความร้อนของอาคารที่มีระบบทำความเย็นธรรมชาติแบบมีสระบนหลังคา โดยใช้แบบจำลองวงจรความร้อนและไมโครคอมพิวเตอร์คำนวณหาสภาพภายในห้องที่เวลาต่าง ๆ ตลอดวัน โดยสมมติให้ใช้สภาพภูมิอากาศที่จังหวัดเชียงใหม่ และพิจารณาถึงอิทธิพลของระดับน้ำในสระบนหลังคา ความร้อนจากภายในห้อง และฉนวนกันความร้อน

ผลจากการศึกษาพบว่าอาคารที่มีระบบทำความเย็นธรรมชาติแบบมีสระเบนหลังคาที่
สมมติขึ้น เมื่อใช้น้ำในสระเบนสูง 0.35 m ถนนภายในห้องหนา 0.050 m โดยไม่มีแหล่งความ
ร้อนอยู่ภายใน อุณหภูมิภายในห้องตลอดวันจะอยู่ในช่วงจาก 23.9-27.5°C ในขณะที่อุณหภูมิ
ของอากาศภายนอกเปลี่ยนจาก 22-35.8°C คุณลักษณะของระบบทำความเย็นแบบธรรมชาติชนิด
ที่มีสระเบนหลังคาซึ่งได้จากการศึกษาในครั้งนี้ยังไม่อาจสรุปได้ เนื่องจากขีดจำกัดของข้อมูลพื้น
ฐานและข้อสมมติต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบยังคลาดเคลื่อนจากสภาพของจริง อย่างไรก็ตาม เราก็ยังพอ
มองเห็นความเป็นไปได้ของระบบทำความเย็นธรรมชาติดังกล่าว ขยายบ้าง

คำขอขอบคุณ

ผู้เขียนใคร่ขอถือโอกาสนี้แสดงความขอบคุณต่อศาสตราจารย์ Carlo Mustacchi
แห่งมหาวิทยาลัยโรม ประเทศอิตาลี ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ในระหว่างการศึกษาอยู่ที่ Sogesta
Urbino ประเทศอิตาลี ในช่วงเดือนธันวาคม 2529 ถึงพฤษภาคม 2530 และขอขอบคุณรัฐบาล
ประเทศอิตาลีที่ได้ให้ทุนไปศึกษาทางด้านพลังงานทดแทนในช่วงเวลาดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

1. Mazria, E., (1979), The Passive Solar Energy Book, Expanded Profes-
sional Edition, Radale Press Emmaus, Pa, U.S.A.
2. Anon, (1982), 30-year Average Climatic Table, Department of Meteoro-
logy, Ministry of Communications, Bangkok, Thailand.
3. Suwantragul, B., et al., (1984), Solar and Wind Potential Assessment
of Thailand, Renewable Nonconventional Energy Project, USAID Project
USAID Project No 493-0304, Published by the Dept. of Meteorology,
Ministry of Communications & King Mongkut's Institute of Technology,
Bangkok, Thailand.
4. Klein, S.A. (1977), Calculation of Monthly Average Insolation on
Tilted-Surfaces, Solar Energy J., V 19, p325.

5. Perry, R.H. and Chilton, C.H.(1973), Chemical Engineers Handbooks, 5 th Edition, Mc Graw-Hill Book Co. New York. U.S.A
6. Limtragool, J. et al (1986), Roof Pond Passive Cooling System, Paper presented during the High Level Course on the Exploitation of Renewable Energy Source, Sogesta, Spa Urbino, Italy.
7. Holman, J.P (1988), Heat Transfer 5 th Edition, International Student Edition, Mc Graw-Hill Kogkushi Ltd., Tokyo Japan.
8. Kreith, F.(1973), Principle of Heat Transfer, 3 rd Edition, Harper International Edition, Harper & Row Pub. New York, U.S.A.
9. จำลอง ล้อมตระกูล (2531), การวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงความร้อนของอาคารโดยใช้แบบจำลอง พิจารณาร้อน, วิศวกรรมสาร มช., ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1 Climatological Data

Station : Chiang Mai Index Station : 48 327

Latitude : 18°47' N Longitude : 98° 59 E

Elevation of station above sea level : 312 m

เดือน	อุณหภูมิเฉลี่ย T_m [°C]	ช่วงอุณหภูมิที่ เปลี่ยน T_e [°C]	ความเข้มแสงอาทิตย์ เฉลี่ยบนพื้นราบ [$\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$]	ความเร็วลม เฉลี่ย [m/s]
มกราคม	20.1	15.7	15.20	0.88
กุมภาพันธ์	22.2	17.8	16.20	1.19
มีนาคม	25.7	17.3	16.98	1.44
เมษายน	28.4	14.7	18.32	1.80
พฤษภาคม	28.0	10.8	18.61	1.70
มิถุนายน	27.2	8.7	16.42	1.55
กรกฎาคม	26.8	8.2	15.76	1.34
สิงหาคม	26.3	7.5	15.76	1.34
กันยายน	26.2	8.1	15.56	1.19
ตุลาคม	25.5	9.2	16.69	1.08
พฤศจิกายน	23.5	11.1	15.10	0.88
ธันวาคม	20.8	13.6	13.68	0.86

ตารางที่ ก2 คุณสมบัติทางกายภาพและขนาดต่าง ๆ

	ความจุความร้อน [J/(kg·°C)]	ความหนาแน่น [kg/m ³]	ความนำความร้อน [W/m·°C]	Emissivity	Absorptivity
อากาศ	1000	1.3	0.026	-	-
น้ำ	4190	1000	0.58	0.96	-
คอนกรีตบล็อก	1200	2000	0.95	0.92	0.2
คอนกรีต	1200	2400	1.5	-	-
พื้นดิน	850	1000	0.5	-	-
ไม้	0.14	820	0.07	0.9	0.2
ใบจาก	-	-	0.07	0.9	0.2
ฉนวน	-	-	0.05	-	-

L_w	=	ค่าความร้อนแฝงแฝงการกลายเป็นไอของน้ำ	=	2.5 MJ/kg
σ	=	ค่าคงที่ Stefan Boltzmann	=	$5.7 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \text{K}^4)$
h_i	=	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับอากาศในห้อง	=	2 W/(m ² °C)
h_o	=	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับอากาศนอกห้อง	=	25 W/(m ² °C)
h_w	=	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของน้ำในสระบนหลังคา	=	106 W/(m ² °C)
V_R	=	ปริมาตรของห้อง	=	36 m ³
x_{23}	=	ความหนาของเพดานห้อง	=	0.15 m
x_F	=	ความหนาของพื้นห้อง	=	0.15 m
x_{wall}	=	ความหนาของผนังห้อง	=	0.15 m
x_G	=	ความหนาของชั้นดิน	=	2 m
x_P	=	ความหนาของใบจาก	=	0.01 m
x_D	=	ความหนาของประตู	=	0.03 m