

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมรรถนะเชิงทางความร้อนของบ้านจำลอง
ภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้นของกรุงเทพมหานคร

Study of Mathematical Model on Thermal Performance of House Model

Under Hot Humid Climate of Bangkok

ปรีดา จันทวงษ์

สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมทำความเย็น และการปรับอากาศ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
เลขที่1518 ถนนพิบูลสงคราม เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 ประเทศไทย โทร 0-2913- 2500 ต่อ 6427,
โทรสาร 0-2587- 4356, E-mail: cpreeda@yahoo.com, preedac@kmitnb.ac.th

Preeda Chantawong

Refrigeration and Air- Conditioning Engineering Technology program, Department of Power Engineering
Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok,
1518 Pibulsongkram Rd., Bangsue, Bangkok 10800, Thailand, Tel 0-2913- 2500 Ext 6427,
Fax 0-2587- 4356, E-mail: cpreeda@yahoo.com, preedac@kmitnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ เป็น การศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำผลจากการคำนวณ มาเปรียบเทียบกับ ผลการทดลองของบ้านแบบจำลอง โดยทำการศึกษาทดลองบ้านจำลองที่ทาสีภายนอกด้วยสีเทาอ่อน บ้านจำลองสร้างด้วยผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำฉาบปูน ผนังภายนอกทั้ง 4 ด้าน มีขนาดพื้นที่ของผนังในแต่ละด้าน เท่ากับ 1.5 m x 1.8 m ความหนา 0.10 m หลังคาใช้กระเบื้อง CPAC สีแดงและบุด้วย แผ่นอลูมิเนียมฟอยด์ สะท้อนความร้อน ฝ้าเพดานแผ่นยิปซัม มีความหนา 0.01m มีสมบัติเป็นฉนวนอย่างดี เพื่อป้องกันความร้อน จากห้องใต้หลังคาเข้าสู่ภายในบ้านจำลอง หลังคาทำมุมเอียง 30 องศาจากแนวนอน มีประตูขนาด 1.5 m x 0.75 m หนา 0.035 m หน้าต่างเป็นกระจกใส ขนาด 0.5 m x 0.8 m หนา 0.006 m ขณะทำการทดลอง จะ

เปิดประตู หน้าต่างทุกบาน ทดสอบที่สภาวะภูมิอากาศปกติ ผลการศึกษา และทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของบ้าน พบว่า อุณหภูมิบนผนังภายนอก และภายในของบ้าน ทั้งสี่ด้านมีค่าแตกต่างกันมาก อุณหภูมิอากาศภายในบ้านใกล้เคียงมากกว่าสิ่งแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์อากาศเพิ่มขึ้น อุณหภูมิลดลง และจากการเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณกับผลการทดลอง ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้ แบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ ทำนายสมรรถนะทางความร้อนของบ้านภายใต้สภาวะอากาศที่แตกต่างกันได้

คำสำคัญ : อุณหภูมิอากาศ, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, มวลความร้อน, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์

Abstract

This paper aims to study was to develop the mathematical model, then compared its calculations with result of experimental house model. This is study to a house model at coating of exterior surface colour of light gray colour. Model houses built with Autoclaved Aerated Concrete 4 sides walls. The area has 1.5 m x 1.8 m. The walls' thickness was 0.10 m. The roofs use CPAC Monia with Aluminium foil to reflect heat. The inside ceiling was made with gypsum, which the thickness has 0.01m. The property was good insulator to prevent the heat from under the roof into the house model. The inclination of the roof angle was 30° to the horizontal plane. There was one door for each house with sized 1.5 m x 0.75 m x 0.035 m. The window was made of transparent glass sized 0.5 m x 0.8 m x 0.006 m. Experiments were conducted with closed windows and doors and normal weather. The results of the thermal performance showed that the external wall temperature and the internal wall temperature of all 4 sides-wall had hardly difference. The air temperature in the house more ambient temperature. The more relative humidity increased, the more temperature decreased. By comparison the calculation with the experiment, it found that the results were closely equivalence. Then, the mathematical model

could predict the thermal performance under difference conditions of house.

Keywords: Air temperature, Mathematical Model, Moisture content, Relative humidity, Solar radiation

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้การออกแบบสร้างบ้าน หรือที่พักอาศัย โดยส่วนใหญ่ จะเน้นรูปแบบทันสมัย สวยงาม และบรรยากาศ น่าอยู่พักอาศัย เกิดความรู้สึกที่ดีของผู้พบเห็น อีกทั้งอากาศภายในบ้านจะต้องไหลเวียน หรือมีการถ่ายเทสะดวก มีแสงสว่างเพียงพอ จะทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบาย สำหรับองค์ประกอบ สำคัญของบ้าน ที่กล่าวมานั้น จะต้องใช้วัสดุก่อสร้างที่ดีมีคุณภาพ และสีสันทนภายนอกสวยงาม ดังนั้นสีทาผนังภายนอก จึงอภีทธิมีผลมาก ๆ ต้องมีคุณสมบัติที่ดี คือ สีสันทนสวยงาม ทนแรงกระแทก สามารถป้องกัน ความชื้น บางส่วน และเชื้อราบนผนัง ซ้ำเสียสามารถ ดูดกลิ่น รังสีอาทิตย์ บนผนังภายนอก ทำให้เกิดการสะสม ความร้อน ที่ผนังและถ่ายเทความร้อนผ่านความหนา โดยการนำความร้อนของผนัง เข้าสู่ภายในบ้าน เกิดการถ่ายเทให้อากาศ และวัตถุภายในบ้านโดยการพา ความร้อน การแผ่ความร้อนต่อวัตถุภายในบ้าน ทำให้ วัตถุดูดกลืนความร้อน และเก็บสะสมความร้อนทำให้ มีอุณหภูมิสูงขึ้น ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อน ให้อากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในบ้านสูงขึ้น และปัญหาความชื้นที่สะสมที่เข้าสู่ภายในบ้านพักอาศัย [1] อีกทั้งสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตอากาศร้อนชื้น ซึ่งมีสภาพอากาศร้อนสลับ

ฝนตลอดปี [2] ส่งผลให้เกิดปัญหาความร้อน ที่สะสมในบ้านสมัยใหม่ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญ ต่อความรู้สึกสบายของผู้พักอาศัย ดังนั้นการแก้ปัญหา โดยมากจะใช้ระบบปรับอากาศ เพื่อช่วยทำให้เกิดภาวะ ความสบายทางความร้อน ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ภายในบ้านพักอาศัยหรืออาคาร สามารถแบ่งรายละเอียดต่าง ๆ ของการใช้ไฟฟ้าได้ดังนี้ [3] จากเครื่องปรับอากาศ 60 % แสงสว่าง 20 % และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ 20 % จากปัญหาการถ่ายเทความร้อน และความชื้นเข้าสู่ภายในอาคารหรือบ้านพักอาศัยทั้งทางตรง เช่น หน้าต่างกระจก ผนัง และหลังคาของบ้านพักอาศัยหรืออาคาร อีกทั้งทางอ้อม ที่เกิดขึ้นได้แก่ วัสดุก่อสร้างแต่ละชนิดมีสมบัติทางความร้อน และความชื้นที่แตกต่างกัน เกิดจากอิทธิพลของสี ทาผนังหรือหลังคาของบ้าน ส่งผลให้เกิดการนำความร้อนผ่านผนัง หลังคา และส่วนประกอบโครงสร้างอื่น ๆ ของบ้าน จึงได้มีการศึกษาปัญหาเรื่อง การถ่ายเทความร้อน และความชื้นเข้าสู่ภายในบ้านหรืออาคารที่พักอาศัย ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย จากการศึกษาทดลอง และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อ ศึกษาวิธีการลดค่าความร้อน และความชื้นที่เข้าสู่ภายในบ้าน การประหยัดพลังงาน จากเครื่องปรับอากาศกันอย่างแพร่หลาย ทั้งภายในประเทศ และต่างประเทศ การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาสภาวะอากาศปกติ และอากาศชื้นโดย Ungkoon และคณะ [4] ทำการทดสอบบ้านจำลองทั้งสามหลังที่มีขนาดพื้นที่ผนังสี่ด้านเท่ากับ 5.52 m^2 มีความหนาของผนังเท่ากับ 0.075 m ที่ใช้วัสดุผนังแตกต่างกัน ประกอบด้วย ผนัง

อิฐมวลเบา ผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำ และไม่อบไอน้ำ โดยทำการ ทดสอบบ้านจำลองที่จังหวัดสิงห์บุรี ผลการทดสอบจะพบว่า บ้านที่ใช้คอนกรีตมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำและผนังอิฐมวลเบา จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่า บ้านที่ใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำ และความชื้นอากาศภายในของบ้านทั้งสองไม่แตกต่างกันมาก ต่อมาได้ทำการศึกษา และทดสอบผนังกระจกใสธรรมดากับกระจกใสเคลือบสารเปล่งรังสีต่ำ กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ สีฟ้า โดย Chankrapoe และคณะ [5] จากการศึกษาพบว่า ห้องที่ติดตั้งกระจกที่มีคุณสมบัติพิเศษอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่า และลดค่าความร้อนผ่านกระจกได้ดีกว่า ห้องที่ติดตั้งกระจกใสธรรมดาทั่วไป ดังนั้นกระจกที่มีคุณสมบัติพิเศษสามารถลดภาระการทำความเย็นได้มากที่สุด อีกทั้งยังทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อน จากห้องใต้หลังคา โดย Ogoli [6] เพื่อช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในบ้าน พบว่า การติดตั้งฉนวนแบบแบนราบดีที่สุด และยังได้มีการ ทำการศึกษาผลกระทบของสีต่างๆ [7] - [9] กระจกเบื้องหลังคาและสีทาภายนอกของผนังที่มีผลต่อ การดูดกลืนความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวเกิดการสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้าน ผลจากการศึกษาสมบัติทางความร้อน และทดลองพบว่า วัสดุชนิดเดียวกันที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้มาก จึงทำให้เกิดสะสมความร้อนและ ถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในบ้านมากกว่า สีจาง ต่อมาได้มีการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนภายใน และทำการเปรียบเทียบกับบ้านทดลองที่สร้างด้วยคอนกรีตก่ออิฐฉาบปูนโดย Porta-Gándara และคณะ [10]

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในบ้านภายใต้สภาวะอากาศของประเทศแมคซิโกสำหรับประเทศไทย การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การถ่ายเทความร้อน และความชื้นในบ้านที่ใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาภายใต้สภาวะอากาศของประเทศไทยโดย Ungkoon และคณะ [11] เพื่อนำผลจากการคำนวณมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของบ้านแบบจำลองมีขนาดประมาณ 13 m³ ผนังของบ้านจำลองใช้คอนกรีตมวลทั้ง 4 ด้าน โดยไม่ฉาบปูนทั้งภายในและภายนอก ทำการทดสอบบ้าน ณ. จังหวัด สิงห์บุรี



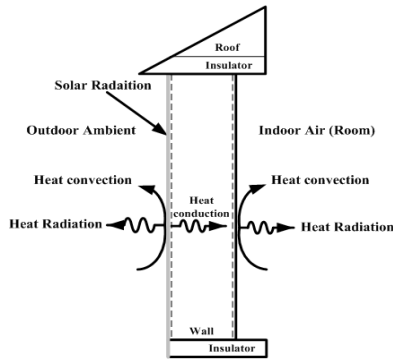
รูปที่ 1. บ้านจำลองที่ทำสีผนังภายนอกด้วยสีเทาอ่อน

ตั้งนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ทำการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสมรรถนะทางความร้อนของ บ้านจำลองภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้นของกรุงเทพมหานคร เพื่อนำผลจากการคำนวณ มาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของบ้านแบบจำลองขนาด 4.05 m³ ที่สร้างขึ้นด้วยผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำ ฉาบปูนภายนอก ทาสีภายนอกด้วยสีเทาอ่อน (Light gray) ดังแสดงในรูปที่ 1 และ ทำการทดสอบบ้านจำลองที่สภาวะอากาศปกติผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน ประกอบด้วย ค่า อุณหภูมิบนผนังภายนอก ตรงกลาง และ บนผนังภายในของ

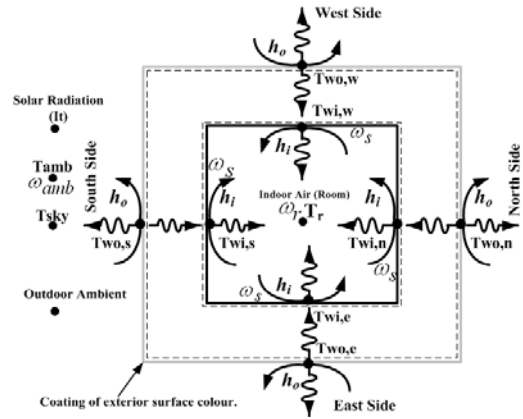
บ้านทั้งสี่ด้าน อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และ ความชื้นของอากาศภายในบ้านทดลอง

2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและมวลความชื้นที่เกิดขึ้นภายในบ้านจำลอง

ความร้อน และความชื้น จะสามารถเข้าสู่ภายในบ้านพักอาศัย โดยมีหลักการดังนี้ สีทาผนังบ้านจะช่วยดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และผนังภายนอกเกิดการสะสมความร้อนที่ผนัง [1] และ [12] จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านความหนา โดยการนำความร้อนของผนังเข้าสู่ภายในบ้าน โดยถ่ายเทให้อากาศและวัสดุภายในบ้าน โดย การพาความร้อน การแผ่ความร้อนต่อวัสดุภายในบ้าน ทำให้วัสดุจะดูดกลืนความร้อนเก็บสะสมความร้อน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน สำหรับการถ่ายเทความร้อน ผ่านผิวที่เกิดจากการถ่ายเทมวลความชื้น จะอยู่ในรูปของความชื้นสัมพัทธ์ และความร้อนแฝงของวัสดุกระบวนการที่เกิดขึ้น เป็นผลมาจากความแตกต่างของความดันไอน้ำที่ถ่ายเท จากบริเวณที่ความดันไอน้ำสูงไปสู่บริเวณที่ความดันไอน้ำต่ำกว่า ทำให้เกิดการระเหยของความชื้นจากผนังด้านที่ร้อน และผนังด้านที่ย็นสะสมความชื้น ผนังมีความชื้นสูง จะเกิดจากการระเหยตัวของไอน้ำที่บริเวณผิวผนังภายใน เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทจากผิวภายนอกสู่ภายใน ทำให้อุณหภูมิผิวภายในสูงขึ้นความชื้น ที่สะสมบริเวณผิวภายใน ของผนังเกิดการระเหยสู่อากาศภายในห้อง ส่งผลทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและความชื้นภายในบ้าน (ดังแสดงในรูปที่ 2-3)



รูปที่ 2. ความร้อนผ่านผนังเข้าสู่ภายในบ้านพักอาศัย [1]



รูปที่ 3. แสดงทิศทางการไหลของความร้อนและเกิดความชื้นบนผิวของผนังทั้งสี่ด้านภายในบ้านจำลองแบบทิศทางเดียว

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การถ่ายเทความร้อน และความชื้นที่เกิดขึ้นภายในบ้านจำลอง โดย ตั้งข้อสมมติฐาน [10]-[13] มีดังต่อไปนี้

- การถ่ายเทความร้อนเป็นไปในทิศทางเดียว
- ผนังของบ้านเปรียบเสมือนตัวรับรังสีอาทิตย์
- การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในสภาวะที่ไม่คงที่และไม่มีการบังแสงบนผนังของบ้านทั้งสี่ด้าน
- วิเคราะห์อุณหภูมิของท้องฟ้าเสมือนอุณหภูมิแวดล้อม
- สามารถพิจารณาท้องฟ้าเสมือนวัตถุดำ (black-body) สำหรับการแผ่รังสีอาทิตย์
- สมบัติของวัสดุไม่ขึ้นกับอุณหภูมิและคุณสมบัติของอากาศขึ้นกับอุณหภูมิ
- ไม่มีฝุ่นและความสกปรกบนผนัง
- ไม่คิดผลของความร้อนจากหลังคา หน้าต่าง และประตู ผลของแสงผ่านกระจก ผนังบ้านที่เข้าสู่ภายในบ้าน คิดเฉพาะความร้อนที่เข้าสู่ผนังของบ้านทั้งสี่ด้าน

ผนังบ้านด้านทิศใต้ (South side)

กรณีที่ $x_m = 0$:

$$\alpha_w \cdot I_T + h_o (T_{amb} - T_{wo,s}) + \epsilon_{sky} \cdot \sigma \cdot (T_{sky}^4 - T_{wo,s}^4) + k_m \cdot \frac{\partial T_{m,s}}{\partial t} = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_{wo,s}}{\partial t} \quad (1)$$

กรณีที่ $0 < x_m < d_m$:

$$\frac{\partial T_{m,s}}{\partial t} (x,t) = \delta_m \cdot \frac{\partial^2 T_{m,s}}{\partial x^2} \quad (2)$$

กรณีที่ $x_m = d_m$:

$$h_i (T_r - T_{wi,s}) + \frac{\sigma (T_{wi,s}^4 - T_{wi,n}^4)}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1} + k_m \cdot \frac{\partial T_{m,s}}{\partial x_m} = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_{wi,s}}{\partial t} \quad (3)$$

ผนังบ้านด้านทิศเหนือ (North side)

กรณีที่ $x_m = 0$:

$$h_i (T_r - T_{wi,n}) + \frac{\sigma (T_{wi,s}^4 - T_{wi,n}^4)}{\frac{1}{\epsilon_w} + \frac{1}{\epsilon_w} - 1} + k_m \cdot \frac{\partial T_{m,n}}{\partial x_m} = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_{wi,n}}{\partial t} \quad (4)$$

กรณีนี้ที่ $0 < x_m < d_m$:

$$\frac{\partial T_{m,n}}{\partial t}(x,t) = \partial_m \cdot \frac{\partial^2 T_{m,n}}{\partial x^2} \quad (5)$$

กรณีนี้ที่ $x_m = d_m$:

$$\alpha_w \cdot I_T + h_o(T_{amb} - T_{wo,n}) + \varepsilon_{sky} \cdot \sigma \cdot (T_{sky}^4 - T_{wo,n}^4) + k_m \cdot \frac{\partial T_{m,n}}{\partial t} = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_{wo,n}}{\partial t} \quad (6)$$

ผนังบ้านด้านทิศตะวันออก (East side)

กรณีนี้ที่ $x_m = 0$:

$$\alpha_w \cdot I_T + h_o(T_{amb} - T_{wo,e}) + \varepsilon_{sky} \cdot \sigma \cdot (T_{sky}^4 - T_{wo,e}^4) + k_m \cdot \frac{\partial T_{m,e}}{\partial t} = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_{wo,e}}{\partial t} \quad (7)$$

กรณีนี้ที่ $0 < x_m < d_m$:

$$\frac{\partial T_{m,e}}{\partial t}(x,t) = \partial_m \cdot \frac{\partial^2 T_{m,e}}{\partial x^2} \quad (8)$$

กรณีนี้ที่ $x_m = d_m$:

$$h_i(T_r - T_{wi,e}) + \frac{\sigma(T_{wi,e}^4 - T_{wi,w}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} + k_m \cdot \frac{\partial T_{m,e}}{\partial x_m} = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_{wi,e}}{\partial t} \quad (9)$$

ผนังบ้านด้านทิศตะวันตก (West side)

กรณีนี้ที่ $x_m = 0$:

$$h_i(T_r - T_{wi,w}) + \frac{\sigma(T_{wi,e}^4 - T_{wi,w}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_w} - 1} + k_m \cdot \frac{\partial T_{m,w}}{\partial x_m} = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_{wi,w}}{\partial t} \quad (10)$$

กรณีนี้ที่ $0 < x_m < d_m$:

$$\frac{\partial T_{m,w}}{\partial t}(x,t) = \partial_m \cdot \frac{\partial^2 T_{m,w}}{\partial x^2} \quad (11)$$

กรณีนี้ที่ $x_m = d_m$:

$$\alpha_w \cdot I_T + h_o(T_{amb} - T_{wo,w}) + \varepsilon_{sky} \cdot \sigma \cdot (T_{sky}^4 - T_{wo,w}^4) + k_m \cdot \frac{\partial T_{m,w}}{\partial t} = \rho_m \cdot C_m \cdot \frac{\Delta x_m}{2} \cdot \frac{\partial T_{wo,w}}{\partial t} \quad (12)$$

อุณหภูมิอากาศภายในบ้าน (Indoor Air)

$$h_t(T_{wis} - T_r) + h_t(T_{win} - T_r) + h_t(T_{wie} - T_r) + h_t(T_{wiw} - T_r)$$

$$+ \rho_{amb} \cdot V_{rate} \cdot C_{p_{amb}}(T_{amb} - T_r) = \rho_{air} \cdot C_{air} \cdot V_a \cdot \frac{\partial T_r}{\partial t} \quad (13)$$

มวลรวมความชื้นของอากาศภายในห้อง [17]-[19]

$$\rho_{air} \cdot V_{rate} \cdot (\omega_{amb} - \omega_r) + \sum \frac{h_{i_n}}{C_{air}} \cdot (\omega_{s_n} - \omega_r) = \rho_{air} \cdot V_r \cdot \frac{\partial \omega_r}{\partial t} \quad (14)$$

จากข้อสมมติฐานดังกล่าว สามารถสร้างสมการสมดุลพลังงานของ แต่ละด้านของผนังบ้านทั้งสี่ด้าน โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Difference method) [14] แบบวิธีเอ็กซ์พลิต (Explicit method) [15] (ดังแสดงรูปที่ 2 และรูปที่ 3) จะได้สมการหลัก (1) - (12) สมดุลอุณหภูมิจึงและความชื้นของอากาศภายในห้อง จากสมการ (13) - (14) โดยป้อนข้อมูลจากการทดลองได้แก่ ค่าความเร็วลมสิ่งแวดล้อม ค่ารังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายในบ้านจำลอง และค่าตัวแปรต่างๆ เช่น การพาความร้อนบนผนังภายนอกบ้านและอุณหภูมิห้องฟ้า [12] การพาความร้อนบนผนังภายในบ้านและคุณสมบัติทางความร้อนของอากาศ [16] ความชื้นที่ผิวผนังภายในของแต่ละด้าน และความดันที่ผิวของวัสดุที่มีลักษณะเป็นรูพรุน [11] และ [17] สมบัติทางความร้อนของผนังมวลเบา และสีทาภายนอกจากตารางที่ 1 - 2 การคำนวณ และการออกแบบจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่าอุณหภูมิมบนผนังในจุดต่างๆ ของบ้านทั้งสี่ด้าน อุณหภูมิ ความชื้นอากาศสัมพัทธ์และมวลรวมความชื้นอากาศภายในห้อง

ตารางที่ 1. สมบัติทางความร้อนของผนังมวลเบา [11]

Density, (kg/m ³)	700
Thermal Conductivity, (W/m.K)	0.087
Specific Heat Capacity, (J/kg.K)	1,000
ความหนา, m	0.10

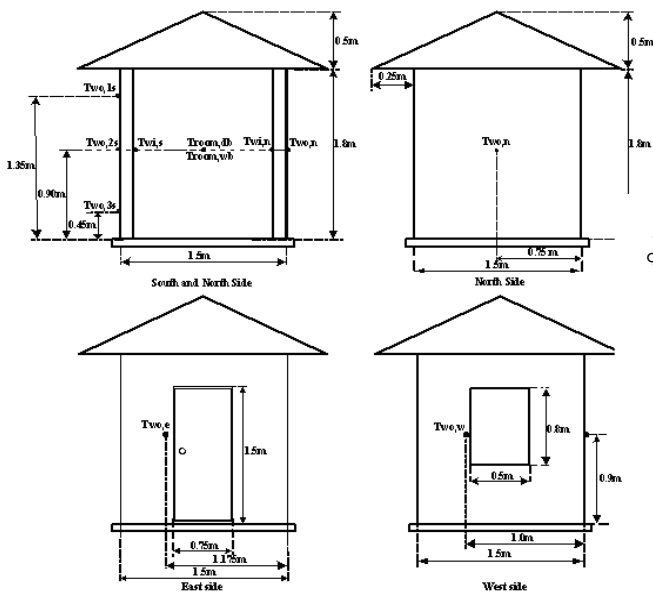
ตารางที่ 2. สมบัติทางความร้อนของสีเทาอ่อน [1]

Solar Absorptance (%)	23.1
Solar Reflectance (%)	76.9
Thermal Emittance (%)	84.0

2.3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

บ้านจำลองสร้าง ณ บริเวณชั้นลาดฟ้า อาคาร 63 วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร โดยจะทำการทดสอบกับบ้านจำลอง มีลักษณะโครงสร้าง ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำ ฉาบปูนผนังภายนอก ทั้ง 4 ด้าน และบนผนังทาสีภายนอกด้วยสีเทาอ่อน มีขนาดพื้นที่ของผนังแต่ละด้านเท่ากับ 1.5 m x 1.8 m ความหนา 0.10 m สำหรับโครงสร้างหลังคาใช้กระเบื้อง CPAC สีแดงท่ามูมเอียง 30 องศาและบุด้วยแผ่นอลูมิเนียมพอยด์ สะท้อนความร้อน ฝ้าเพดานแผ่นยิปซัม มีความหนา 0.001 m มีสมบัติเป็นฉนวนอย่างดีเพื่อป้องกันความร้อนจากห้องใต้หลังคาเข้าสู่ภายในห้องทดลองบ้านจำลองมีประตูพลาสติก PVC ขนาด 1.5 m x 0.75 m หนา 0.035 cm ติดตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันออก และมีหน้าต่างเป็นกระจกใส ขนาด 0.5 m x 0.8 m กระจกใสหนา 0.006 m (ดังแสดงในรูปที่ 1) ติดตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันตก การติดตั้งจุดวัดค่าอุณหภูมิโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (ค่าความคาดเคลื่อน ± 0.5) วัดอุณหภูมิตาม

จุดต่างๆ ดังนี้ บนผนังทั้งภายในและภายนอกของผนัง ทั้งสี่ด้าน จำนวน 10 จุด (Two,1s, Two,2s, Two,3s, Twi,s, Two,n, Twi,n, Two,e, Twi,e, Two,w, Twi,w) อุณหภูมิอากาศภายในบ้านและสิ่งแวดล้อมจำนวน 4 จุด (Troom,db, Troom,wb, Tamb,db, Tamb,wb) และค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์วัดโดยไพราโนมิเตอร์ยี่ห้อ EKO Pyranometer รุ่น MS-601 (ช่วงการวัด 1-1400 W/m² ค่าความคาดเคลื่อน ± 5 %) ความเข้มจะถูกบันทึกในเครื่องบันทึกข้อมูล (Data recorder) ยี่ห้อ Hioki รุ่น 8422-51 (ค่าความคาดเคลื่อน ± 0.8 %) สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในบ้านและสิ่งแวดล้อม จะใช้วิธีการคำนวณจากเอกสารอ้างอิง [19]-[20] โดยนำค่าอุณหภูมิอากาศกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกภายในบ้านและสิ่งแวดล้อมที่เก็บได้มาคำนวณ การวัดค่าทดสอบต่างๆ ของบ้านจำลอง (ดังแสดงในรูปที่ 4) จะทำการทดลองในลักษณะเดียวกับงานวิจัยของ Chantawong และคณะ [1] โดยได้นำผลการทดลองภายในวันที่ 1 เมษายน 2550 มาเปรียบเทียบกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์

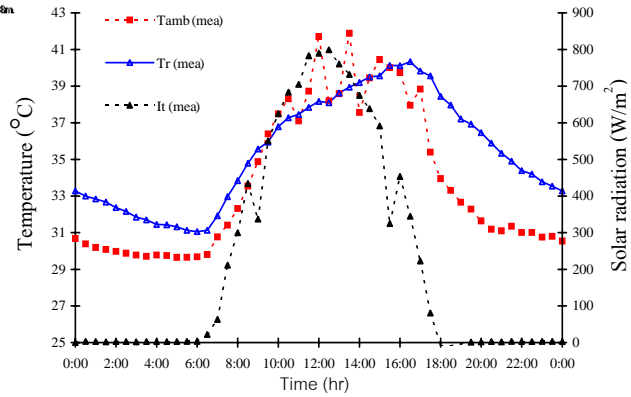


รูปที่ 4. ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัด

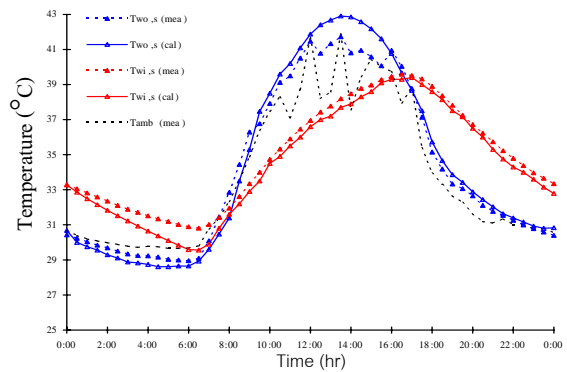
3. ผลการศึกษาทฤษฎีและทดลอง

จากการศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน และมวลอากาศที่เข้าสู่ภายในบ้านจำลอง (ดังแสดงในรูปที่ 2-3 [10]-[18]) จากสมการ (1) - (14) และศึกษาวัสดุผนังของบ้านหรืออาคารพักอาศัยชนิดต่างๆ จากงานวิจัยที่ผ่านมา จะพบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำมีสมบัติป้องกันความร้อนและความชื้นเข้าสู่ภายในบ้านได้ดีที่สุด อีกทั้งยังได้ทำการศึกษาสมบัติของสี จากงานวิจัยที่ผ่านมา จะทำการศึกษาเฉพาะสีขาว และสีดำ ซึ่งจะเป็นแม่สีที่มีสมบัติตรงกันข้ามกัน เช่น ค่าการสะท้อนความร้อน ค่าการดูดกลืนความร้อน สีดำจะสามารถดูดกลืนความร้อน หรือแสงได้ดีกว่าสีขาว และสีขาวจะสามารถสะท้อนความร้อน หรือแสงได้ดีกว่าสีดำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาเลือก สีเทาอ่อนมาทำการศึกษา และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อมาเปรียบเทียบกับ ผลการทดลองของบ้านจำลอง

ที่ทาสีผนังภายนอก ด้วยสีเทาอ่อน (ดังแสดงในรูปที่ 1)



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมและอากาศภายในบ้านจำลอง ค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์

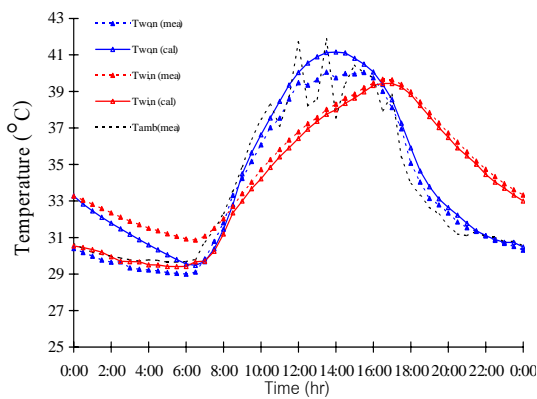


รูปที่ 6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิบนผิวผนังภายในของบ้านทางด้านทิศใต้ระหว่างผลการทดลองกับการคำนวณ

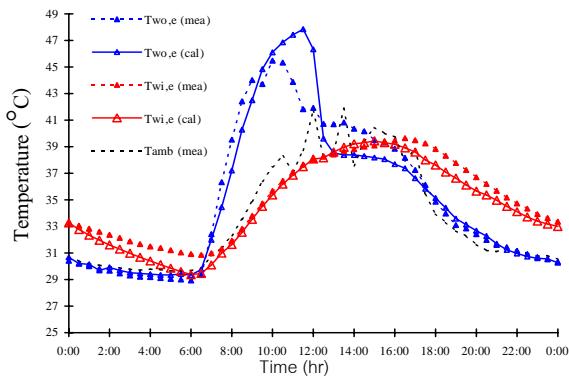
ผลการทดลองดังรูปที่ 5

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมและอากาศภายในบ้านจำลอง ค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ ของภายในวันที่ 1 เมษายน 2550 จากช่วงเวลากลางวัน จะพบว่าอุณหภูมิภายในบ้านจำลองจะต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมประมาณ 2 ~ 4 °C

และมีความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์ประมาณ 830 W/m² จากช่วงเวลา 9.00-17.00น จะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และปริมาณค่าความเข้มแสงรังสีอาทิตย์มาก เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าว จะมีฝนตกจึงส่งผลให้ มีความชื้นของอากาศภายนอกบ้านจำลองสูง ส่วนในช่วงเวลากลางคืน อุณหภูมิภายในบ้านจำลองจะสูงกว่า อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิบนผนังของบ้านทางด้านทิศเหนือระหว่างผลการทดลองกับการคำนวณ

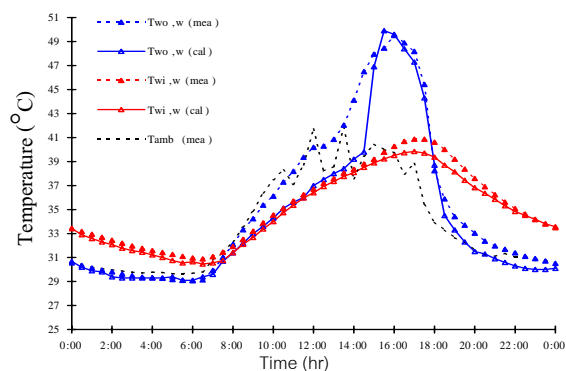


รูปที่ 8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิบนผนังของบ้านทางด้านทิศตะวันออกระหว่างผลการทดลองกับการคำนวณ

การทดลองบ้านจำลองที่ทาสีทาภายนอกด้วยสีเทาอ่อน ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิบนผนังดังรูปที่ 4

ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนผนัง จะประกอบด้วย อุณหภูมิบนผนังภายนอก (Two) และอุณหภูมิบนผนังภายใน (Twi) ของบ้านจำลองทั้งสี่ด้าน และอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม การเปรียบเทียบ และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนผนังของบ้านจำลองระหว่างผนังด้านทิศใต้ และผนังด้านเหนือ พบว่าอุณหภูมิภายนอกของผนังด้านทิศใต้ จะสูงกว่า ผนังด้านทิศเหนือประมาณ 1~2°C และอุณหภูมิบนผนังภายในบ้านของผนังทั้งสองด้านจะมีค่าใกล้เคียงในช่วงเวลากลางวัน (จากรูปที่ 6-7) เนื่องจากผนังด้านทิศใต้ จะได้รับค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์โดยตรง ผนังด้านเหนือจะได้รับค่าความเข้มแสงของรังสีอาทิตย์เพียงรังสีกระจาย จึงเกิดการสะสมความร้อนที่บนผิวผนังส่งผลให้ผนังด้านทิศใต้ มีอุณหภูมิสูงกว่า ผนังด้านทิศเหนือ จากรูปที่ 8-9 พบว่า อุณหภูมิบนผนังด้านตะวันออกมีค่าสูงประมาณ 46°C จากช่วงเวลา 10.00น และการเปรียบเทียบและเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนผนังของบ้านจำลองระหว่างผนังด้านทิศตะวันออกและผนังด้านตะวันตก อุณหภูมิบนผนังด้านตะวันตกมีค่าสูงประมาณ 49°C ในช่วงเวลา 16.00น ค่าอุณหภูมิผิวบนผนังภายนอกด้านตะวันตก จะสูงกว่าผนังด้านทิศตะวันออกประมาณ 2~4°C และอุณหภูมิแตกต่างบนผนังของบ้านระหว่างบนผนังภายนอกและภายในของผนังทั้งสองด้าน พบว่าอุณหภูมิบนผนังด้านตะวันตกจะสูงกว่าผนังด้านทิศตะวันออกประมาณ 2~5°C ผลการเปรียบเทียบและเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนผนังของบ้านจำลองระหว่างผนังทั้งสี่ด้าน จะพบว่าอุณหภูมิตั้งแต่บนผนังภายนอกของบ้านจำลองทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกสูงกว่าอุณหภูมิของผนังภายนอกของบ้านจำลองทั้งสองหลังด้านทิศใต้และทิศ

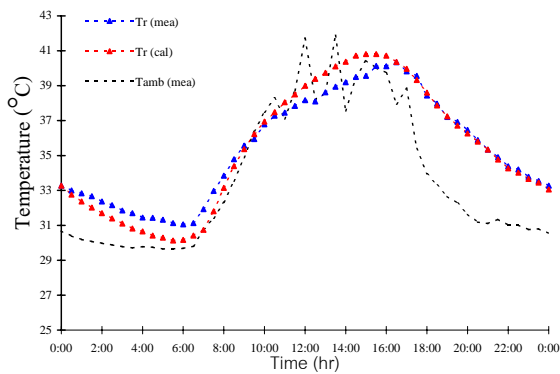
เหนือ เนื่องจากเป็นช่วงเดือนเมษายน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ส่งผลให้ผนังทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของบ้าน จำลองรับค่าความเข้มแสงรังสีอาทิตย์ได้มากกว่าผนังด้านทิศใต้และทิศเหนือ จึงเกิดการสะสมความร้อนที่ผิวผนังมากกว่าส่งผลให้อุณหภูมิสูงกว่า ส่วนช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิบนผิวผนังของบ้านจำลองทั้งสี่ด้านมีค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกัน (จากรูปที่ 6-9) ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะพบว่าค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองมีค่าแตกต่างกับการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เนื่องมาจากสภาวะอากาศภายใน วันที่ทำการทดลองมีฝนตก ทำให้สภาพอากาศแวดล้อม จะมีความชื้นสูงมาก (1 เมษายน 2550) และสภาพตัวแปรต่าง ๆ จากธรรมชาติ เช่น สภาพท้องฟ้า ทิศทางของลม และการเกิดเมฆบังผนังของบ้านทดลองที่ไม่สามารถควบคุมได้ จึงไม่ได้ถูกนำมาพิจารณารวมอยู่ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังและอุณหภูมิอากาศภายในบ้าน มีแนวโน้มเป็นไปตามค่า อุณหภูมิที่ได้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ จากมีค่าความร้อนที่สะสมของวัสดุ การหน่วงที่เกิดจากตัวแปรเชิงซ้อนระหว่างความหนาแน่นของวัสดุ ค่าการนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะจากการตั้งข้อสมมติฐาน เพราะฉะนั้นแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนทิศทางเดียวสามารถใช้ประมาณค่าอุณหภูมิให้ผลที่ใกล้เคียง



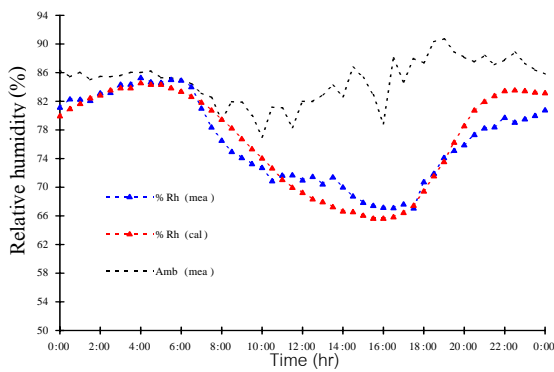
รูปที่ 9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิบนผนังของบ้านทางด้านทิศตะวันตกระหว่างผลการทดลองกับการคำนวณ

ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และมวลความชื้นของอากาศภายในบ้านของจำลอง (ดังรูป ที่ 10 -12) จากการทดลองจะพบว่าในช่วงเวลากลางวัน (10.00 –18.00น) ผนังของบ้านจำลองเป็นผนังมวลเบาแบบ ออบไอน้ำ ซึ่งมีสมบัติต้านทานความร้อนที่ดี ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิของอากาศภายในบ้านจำลอง (T_r) แตกต่างกับสิ่งแวดล้อม (T_{amb}) อีกทั้งสภาพอากาศแวดล้อมจะมีความชื้นสูงมากในวันที่ทำการทดลองมีฝนตก (1 เมษายน 2550) และจากเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบนผนัง ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในช่วงเวลากลางวัน และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh) และมวลความชื้นของอากาศ (W) เกิดความแตกต่างตามสภาพอากาศภายในห้องและบรรยากาศ ความชื้นในอากาศ ส่งผ่านผนังจากภายนอกเข้าสู่ภายในบ้าน (เข้าและออก) ซึ่งจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากการระเหยตัวของไอน้ำในอากาศตามธรรมชาติและจะลดลงในช่วงกลางคืนเนื่องจากกลั่นตัวเป็นน้ำ จากผลการทดลองเมื่ออุณหภูมิอากาศภายในห้องเพิ่มขึ้นความชื้นสัมพัทธ์

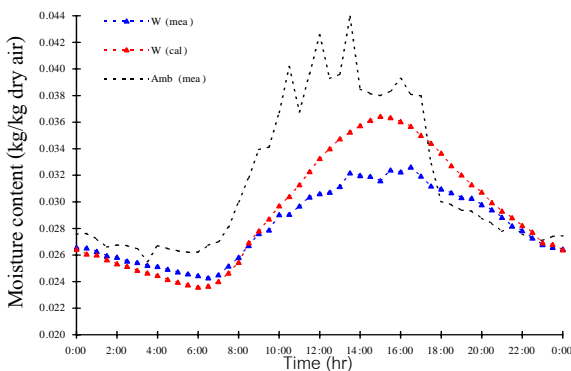
ลดลงและถ้าอุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลง ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในบ้านระหว่าง ผลการทดลองกับการคำนวณ



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในบ้านระหว่างผลการทดลองกับการ



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบมวลความชื้นของอากาศภายในบ้านระหว่างผลการทดลองกับการคำนวณ

การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองกับการคำนวณ จะพบว่า ผลที่ได้จากการทดลองแตกต่างกับผลการคำนวณนั้น (ดังรูปที่ 10-12) เนื่องมาจากสภาพห้องฟ้า เช่น ทิศทางของลมและการเกิดเมฆบังผนังของบ้านทดลอง ซึ่งไม่ได้ถูกนำมาพิจารณารวมอยู่ในแบบจำลองคณิตศาสตร์และผลที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกัน จากการศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์การถ่ายเทความร้อนนี้ จึงสามารถใช้ทำนายสมรรถนะทางความร้อนของบ้านภายใต้สภาวะอากาศที่แตกต่างกันได้

4. สรุป

การศึกษาพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและมวลความชื้นเข้าสู่ภายในทดสอบบ้านจำลองที่ใช้ด้วยผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำฉาบปูนผนังภายนอกทั้ง 4 ด้าน และบนผนังทาสีภายนอกด้วยสีเทาอ่อน โดยสีจะมีอิทธิพลต่อผลกระทบของพฤติกรรม การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง และการคำนวณโดยใช้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติ เพื่อทำนายผลการคำนวณมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองค่า อุณหภูมิบนผนังภายนอกและบนผนังภายในของบ้านทั้งสี่ด้าน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และมวลความชื้นของอากาศภายในบ้าน ผลที่ได้มีค่าแตกต่างกันน้อยมาก ดังนั้นจึงสามารถใช้ แบบจำลองเชิงตัวเลขนี้ประมาณค่าอุณหภูมิบนผนังภายนอกและบนผนังภายในของบ้านทั้งสี่ด้าน อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และมวลความชื้นของอากาศภายในบ้านได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ศิริวิไล ถนนอมสวัย ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ อนุญาตให้ใช้สถานที่สำหรับทำการทดสอบ และ ขอขอบคุณ ดร.โยธิน อึ้งกุล รองกรรมการผู้จัดการของบริษัท ซุปเปอร์บล็อก จำกัด (มหาชน) ที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Chantawong, et al, 2008, Comparative Study of Effects on the Thermal Performance of Exterior Surface Colour between of Light Gray and Sky White Colour of House Model Under hot humid Climate of Bangkok, Engineering Journal of Siam University, Vol. 9, Issue. 1, No. 16, January-June, pp. 31-40.
2. Khedari, J., et al, 2001, Thailand climatic zones, Journal of Renewable Energy, 25, pp.267-280.
3. Chirarattananon, S., et al, 2002. Daylight availability and models for global and diffuse horizontal illuminance and irradiance for Bangkok. J. Renewable Energy. 26, pp.69-89.
4. Ungkoon, Y., et al, 2005. A preliminary study of hygrothermal performance of autoclaved aerated concrete blocks under hot humid climate of Thailand.

International Conference Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment (PLANCE 2005), 19-21 May 2005 Santorini, Greece, pp.493-499.

5. Chankrapoe, A., et al, 2007, A Comparison between Thermal Properties and Analysis of Cost Glazed Walls. The Journal of Industrial Technology, 3, pp.14-20.
6. Ogoli, D, M, 2003. Predicting indoor temperatures in closed building with high thermal mass. Journal of Energy and Buildings, 35, pp. 99-108.
7. Levinson, R., et al, 2007. Cool tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. Journal Building and Environment, 42, pp. 2591-2605.
8. Bansal, N. K., et al., 1992. Effect of exterior surface colour on the thermal performance of building. Journal Building and Environment, 27, pp. 31-37.
9. Cheng, V., et al., 2005. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperature in hot humid climate. Journal Solar Energy, 78, pp. 528-534.
10. Porta-Gándara, M. A., et al., 2002. Effect of passive techniques on interior temperature in small house in the dry, hot

climate of northwestern Mexico. Journal Renewable Energy (26) pp. 121-135.

11. Ungkoon, Y., et al, 2006. A mathematical model on heat transfer and humidity in a house with Aerated Concrete Wall under the climate of Thailand, KKU Engineering Journal Vol. 33 No.4 July – August 2006. pp. 363- 378.

12. Diffie, J.A. et al, 1980. Solar Engineering of Thermal Process, New York, John Wiley & Son.

13. ASHRAE Handbook of Fundamentals, 2001. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA, pp. 6.1-6.17.

14. Chapra, S. C., et al, 1990. Numerical Method for Engineers. 2nd edition, McGraw-Hill Book Co, New York.

15. Incropera, F. P., Dewitt, D. P., 1996. Fundamental of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, New York

16. Holman, J.P., 1992. Heat Transfer, 7th ed., London, McGraw-Hill, pp. 340-341, 654-659.

17. Jayamaha, S. E., Wueysundera, N. E and Chou, S. K., 1997. Effect of rain on the heat gain though building walls in tropical

climate. Journal Building and Environment (32) pp. 465-477.

18. Relative Humidity Equations, <http://www.uswcl.ars.ag.gov/exper/relhumeq.htm>.

19. Devres, Y, O., 1994. Psychrometric Property of Humid Air: Calculation Procedures. Journal of Applied Energy, 48, pp.1-18

สัญลักษณ์และคำย่อ

Amb	สิ่งแวดล้อม
C_m	ค่าความร้อนจำเพาะของผนัง, J/kg.K
d_m, x_m	ค่าความหนาของผนัง m
H	ความสูงของผนังบ้าน, m
h_i, h_o	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผนังภายในห้องและร้อนจากลม, W/m ² .K
I_T, I_t	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยที่ตกกระทบบนผนังของบ้าน, W/m ²
k_m	ค่าการนำความร้อนของผนัง, W/m.K
T	อุณหภูมิ, K
Tm	อุณหภูมิบนผนังของบ้าน, K
Tamb	อุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อม
Tsky	อุณหภูมิท้องฟ้า, K
Two, Twi	อุณหภูมิมบนผนังภายนอกและภายในของบ้าน, K
Troom, Tr	อุณหภูมิของอากาศภายในบ้าน
w	ความชื้นของอากาศ

V_r	ปริมาตรของห้อง, m^3
V_{rate}	อัตราการไหลของอากาศรั่วซึมภายใน บ้าน, m^3/s
$\% Rh$	ความชื้นสัมพัทธ์
α_w	ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์บนผนังของ บ้าน
ϵ_{sky}	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของผนัง
$\rho_m = \frac{k_m}{\rho_m \cdot C_m}$	ค่ากระจายความร้อนของผนัง, m^2/s
σ	ค่าคงที่สเตฟาน - โบลซ์แมนเท่ากับ 5.669×10^{-8} , $W/m^2.K$
ρ_{air} , ρ_m	ค่าความหนาแน่นของอากาศ และ ผนัง, kg/m^3
ω_r , ω_{amb} , ω_{s_n}	อัตราส่วนความชื้นอากาศภายใน บ้าน และสิ่งแวดล้อม อัตราส่วน ความชื้นบริเวณผิวผนังด้านใน, kg/kg
db	กระเปาะแห้ง
e, n, s, w	ทิศตะวันออก ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันตก
wb	กระเปาะเปียก