

# การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารเมื่อใช้วัสดุปิดผิวที่ต่างกัน โดยใช้ระเบียบวิธีของแถว

## Investigating the Behaviour of Heat Transfer Through Building Walls with Different Covering Materials by Using Method of Lines (MOL)

<sup>1\*</sup>วารกรณ์ พูลจันทร์, <sup>2#</sup>เทียนสิริ เหลืองวิไล, <sup>3#</sup>วีระพล วิลามาศ, <sup>4#</sup>สมภูมิ มีชานน, <sup>5#</sup>สุภาวดี สีสายุทธ  
และ <sup>6#</sup>สามารถ หมุดและ

<sup>1,2,3,4,5</sup>กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

<sup>6</sup>คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<sup>1\*</sup>Varagorn Puljan, <sup>2#</sup>Thiansiri Luangwilai, <sup>3#</sup>Weerapol Welamas, <sup>4#</sup>Sompoom Meechowna,  
<sup>5#</sup>Supavadee Leelayuth and <sup>6#</sup>Samart Moodleah

<sup>1,2,3,4,5</sup>Faculty of Academic, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

<sup>6</sup>Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

E-Mail: <sup>\*</sup>vp4249@hotmail.com, <sup>#</sup>Thiansiri.l@gmail.com, <sup>#</sup>Weerapol\_w@rtaf.mi.th, <sup>#</sup>Sompoom@rtaf.mi.th

<sup>#</sup>Supavadee\_k@rtaf.mi.th and <sup>#</sup>Samart@it.kmitl.ac.th

Received : August, 21 2020  
Revised : February, 07 2021  
Accepted : June, 22 2021

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังที่ได้รับผลกระทบจากการใช้วัสดุปิดผิวที่แตกต่างกัน โดยในการวิเคราะห์จะพิจารณาผนังที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร 4 ชนิด คือ อิฐมอญ คอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่น 620 กก./ลบ.ม. และ คอนกรีตมวลเบาความหนาแน่น 700 กก./ลบ.ม. และศึกษากรณีผนังกำแพงมีวัสดุปิดผิว คือ ยิปซัม ไม้อัด และไฟเบอร์ จากนั้นจึงดำเนินการวิเคราะห์พฤติกรรมในการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน เมื่อใช้วัสดุปกปิดผิวภายนอกของผนังที่แตกต่างกัน สำหรับการหาค่าตอบของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นสมการการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีของแถว งานวิจัยนี้จะทำให้มีความเข้าใจชัดเจนมากยิ่งขึ้นถึงผลลัพธ์จากการใช้วัสดุปิดผิวที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถลดความร้อนที่ผ่านเข้ามาในผนังของอาคารได้อย่างชัดเจน สิ่งเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและการก่อสร้างอาคารต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ผนังอาคาร, การถ่ายเทความร้อน, วัสดุปิดผิว, ระเบียบวิธีของแถว

### Abstract

This study is to investigate the effect of using different covering materials on heat diffusion through building walls. The study considers four types of brick, namely Clay brick, block brick, light-weight brick with  $\rho = 620 \text{ kg/m}^3$  and light-weight brick with  $\rho = 700 \text{ kg/m}^3$ . In this study, only three covering materials (Gypsum Board, Plywood, Fibreboard) are investigated. Then the behaviour of heat-transfer from outer

boundary through building wall is examined for cases with different covering materials. The partial differential equation of heat diffusion is solved by using method of lines. This investigation will give a clearer understanding of reduction of heat transfer through building wall by using covering materials. This understanding will benefit future building design and construction.

**Keywords:** Building wall, Heat transfer, Covering Materials, Method of lines

## 1. บทนำ

จากสถานการณ์โลกร้อนและอุณหภูมิที่สูงขึ้นในแต่ละปี ทำให้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำมาความเย็นให้กับอาคารที่อยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้น [1] โดยประเทศไทยมีแนวโน้มในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในแต่ละปีอย่างต่อเนื่อง และหนึ่งในสาเหตุหลักของการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ ระบบทำความเย็นในอาคาร [4,5,13,18] ดังนั้นจึงมีหลายงานวิจัยที่หาแนวทาง เพื่อให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ในการทำความเย็นในอาคารได้ โดยหนึ่งในแนวทางนั้นคือ การหารูปแบบการก่อสร้างผนังอาคารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี หรือชะลอการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ในราคาที่เหมาะสม และกระบวนการก่อสร้างไม่ยุ่งยากจนเกินไป [2]

ปัจจุบันได้มีการนำวัสดุต่าง ๆ มาคิดที่ผนังของอาคารเพื่อใช้ในการตกแต่งเพื่อความสวยงามและประโยชน์อีกด้านหนึ่ง คือ การกันความร้อนจากภายนอก [3] เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำมาความเย็นในตัวอาคาร โดยในงานวิจัยของ อมลวรรณ แสนนวล และคณะ (2559) [4] และ งานวิจัยของ พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา (2556) [5] ได้ดำเนินการทดลองนำวัสดุกลุ่มไม้ผสมพลาสติกที่ได้รับความนิยมในการใช้ตกแต่งผนังในประเทศไทย จำนวน 3 แบบ เพื่อทดสอบความสามารถในการกันความร้อนจากภายนอก โดยในการทดลองได้นำวัสดุกลุ่มไม้ผสมพลาสติกชนิดต่าง ๆ ไปประกอบเข้ากับอิฐก่อสร้างชนิดต่าง ๆ แล้วนำไปตากแดดเพื่อวัดค่าการกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายใน โดยในการทดลองมีการควบคุมตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ยาก ได้แก่ ความหนาของวัสดุตกแต่งผนังที่ไม่เท่ากัน อุณหภูมิภายนอก และมุมของแสงแดด ที่ตกกระทบผนังแต่ละด้านที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการจำลองการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ผนังด้านใน โดยมีวัสดุตกแต่งผิวของอิฐชนิดต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมของการกันความร้อนของฉนวนกันความร้อน และพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารสู่ผนังอาคารได้อย่างดีขึ้นในกรณีที่มีวัสดุปกปิดผิวของผนังของอาคาร ซึ่งกระบวนการนี้จะสามารถกำหนดค่าความหนาของวัสดุปกปิดผิวให้เท่ากันได้ อีกทั้งยังสามารถกำหนดอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุภายนอกสุดให้เท่ากันตลอดห้วงเวลาของการทำแบบจำลองได้ด้วย โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะเลือกวัสดุปกปิดผิวที่มีขายอยู่ในท้องตลาดและอุปกรณ์ก่อสร้างที่ใช้อย่างแพร่หลาย ประกอบเข้ากับชนิดของผนังที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ อิฐมอญ คอนกรีตบล็อก และคอนกรีตมวลเบา [4] [5] [13]

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้จะศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากผนังด้านนอกเข้าสู่ผนังด้านในของอาคารซึ่งเป็นการวิเคราะห์ต่อออกจากกรณีการทดลองของ อมลวรรณ แสนนวล และคณะ (2559) [4] และงานวิจัยของ พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา (2556) [5] โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการการแพร่ความร้อน หรือสมการการนำความร้อน [7] [8] [9] [10] [18] เพื่ออธิบายพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความร้อนในผนังหรือวัสดุต่าง ๆ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้สามารถควบคุมตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความหนาของวัสดุปกปิดผิว ความหนาของผนังอาคาร และความหนาของปูนฉาบได้อย่างชัดเจน

มากยิ่งขึ้น โดยสามารถอธิบายได้ด้วยสมการการแพร่ (Diffusion Equation) ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเชิงพาราโบลา (Parabolic Partial Differential Equation) โดยสมการการแพร่นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Fick. (1855) [6] จากนั้นได้มีการพัฒนาต่อออกมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของสิ่งต่าง ๆ และหนึ่งในพฤติกรรม ที่ใช้ในการอธิบายคือ พฤติกรรมการแพร่ความร้อนผ่านตัวกลาง โดยอยู่ในรูปของสมการที่ (1) [7] [8] [9] และ [10]

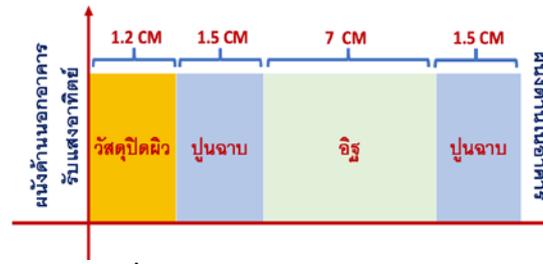
$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{c\rho} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

โดยในสมการนี้เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ที่อธิบายค่าของอุณหภูมิ  $T$  ในช่วงเวลา  $t$  และตำแหน่ง  $x$  โดยมีค่าคงที่ที่สำคัญ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ( $k$ ), ค่าความร้อนจำเพาะ ( $c$ ) และค่าความหนาแน่น ( $\rho$ ) โดยงานวิจัยนี้วิเคราะห์การแพร่ความร้อนในรูปแบบของหนึ่งมิติ โดยจะดำเนินการจำลองสภาพตัดขวางของผนังของอาคารซึ่งจะมีค่า  $x$  เป็นพิกัดจากระยะห่างจากภายนอกหรือจุดที่แสงอาทิตย์ตกกระทบ โดยแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนในรูปแบบหนึ่งมิติ เป็นหน้าตัดขวางของกำแพง ซึ่งแบบจำลองหน้าตัดขวางนี้เป็นที่นิยมอย่างมากในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์สำหรับรูปทรงที่มีสมมาตรในแนวแกนอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น Luangwilai et al (2010) [17] ได้ใช้แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนในหนึ่งมิติวิเคราะห์ปฏิกิริยาความร้อนในกองปุ๋ยหมักในอุตสาหกรรม โดยรูปทรงของกองปุ๋ยหมักจะมีลักษณะเป็นปริซึมยาว โดยแบบจำลองในหนึ่งมิตินี้จะลดความซับซ้อนของระบบสมการและการวิเคราะห์ แต่พฤติกรรมต่าง ๆ ของระบบสมการนั้นก็ยังคงอยู่อย่างครบถ้วนเมื่อเทียบกับแบบจำลองในรูปแบบของสองมิติและสามมิติ [14] [15] ซึ่งแบบจำลองในรูปแบบหนึ่งมิตินี้เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลของการคิดวัสดุปิดผิวอาคารในงานวิจัยนี้

$$T(x, t_0) = T_0 \quad \text{เมื่อ } 0 < x \leq L \quad (2)$$

โดยค่าอุณหภูมิเริ่มต้นทุกจุดของผนังมีค่าเท่ากับ  $T_0 = 25$  องศาเซลเซียส และตัวแปร  $L$  คือความหนารวมของผนังทั้งหมด ซึ่งในที่นี้คือ 11.2 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 1 โดยความหนารวมของผนังทั้งหมดประกอบด้วยวัสดุปิดผิวหรือวัสดุตกแต่งผิวหนา 1.2 เซนติเมตร ความหนาถือว่าเป็นความหนามาตรฐานของแผ่นยิปซัม แผ่นไม้อัด และแผ่นไฟเบอร์ ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดเพื่อการก่อสร้าง จากนั้นจะมีปูนฉาบซึ่งอยู่ทั้งสองด้านของก้อนอิฐ โดยปูนฉาบแต่ละด้านมีความหนาอยู่ที่ 1.5 เซนติเมตร สุดท้ายจะเป็นก้อนอิฐโดยมาตรฐานในประเทศไทยก้อนอิฐจะมีความหนาประมาณ 7 เซนติเมตร จากนั้นในกระบวนการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนนี้ จะกำหนดอุณหภูมิของขอบเขตภายนอกของผนังที่โดนแสงแดดเป็นขอบเขตชนิด Dirichlet boundary conditions คือจะกำหนดให้อุณหภูมิคงที่ตลอดเวลาตามสมการที่ (3) โดยงานวิจัยของ พรสวัศดี พิริยะศรัทธา (2556) พบว่า อุณหภูมิของวัสดุปิดผิวผนังที่ตากแดดอยู่สามารถมีความร้อนสูงขึ้นไปถึงประมาณ 60 องศาเซลเซียสได้ ดังนั้น เพื่อให้เห็นพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนของผนังให้ชัดเจน ในงานวิจัยนี้ จึงกำหนดอุณหภูมิของผนังด้านนอกที่โดนแดด มีค่า 60 องศาเซลเซียส

$$T(0, t) = T_\alpha \quad (3)$$



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงรูปหน้าตัดของผนังอาคาร  
และความกว้างของแต่ละวัสดุ

ในกระบวนการวิเคราะห์พฤติกรรมของถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุปิดผิวและผนังของอาคารในงานวิจัยนี้ ดำเนินการโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีของแถว (Method of Lines) ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วในการวิเคราะห์จาก วิธีไฟไนต์ ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method) และวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์ (Finite Element Method) [11] [12] ทั้งนี้ระเบียบวิธีของแถวเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยทางด้านการถ่ายเทความร้อน เช่น งานวิจัยของ Luangwilai, T. and Sidhu, H. (2010) ได้มีการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนโดยใช้ระเบียบวิธีของแถว วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ และซอฟต์แวร์ FlexPDE ซึ่งผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันในทุกกรณี

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีของแถวเป็นการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equations) ให้กลายเป็นสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (Ordinary Differential equations) ซึ่งในกระบวนการนี้ใช้การประมาณค่าด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method) โดยดำเนินการประมาณค่าของพจน์ที่เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ที่ขึ้นกับตำแหน่ง ทำให้ในสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยลดรูปลงเหลือแค่พจน์ที่เป็นอนุพันธ์ขึ้นกับเวลา (Ordinary Differential Equations with Time Dependent Term) ในงานวิจัยนี้ใช้การประมาณค่าด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ที่ตำแหน่งจุดกลาง (Central Difference) สำหรับการประมาณค่าพจน์ที่เป็นอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งและอันดับสอง ในสมการที่ (4) และ (5)

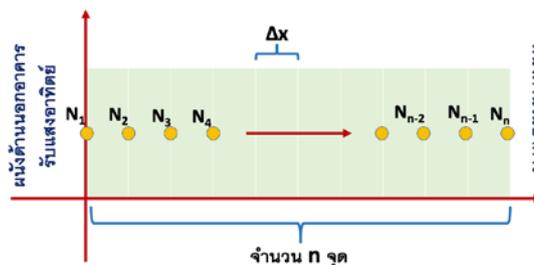
$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_i \approx \frac{(T_{i+1} - T_{i-1}))}{2\Delta x} \quad (4)$$

$$\left. \frac{d^2T}{dx^2} \right|_i \approx \frac{(T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}))}{(\Delta x)^2} \quad (5)$$

จากการประมาณค่าอนุพันธ์อันดับสองที่ตำแหน่งจุดกลางด้วยวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ ทำให้สมการที่ (1) ลดรูปเป็นสมการที่ (6)

$$\left. \frac{dT_i}{dt} \right|_i = \frac{k}{c\rho} \frac{(T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}))}{(\Delta x)^2} \quad (6)$$

ในขั้นตอนต่อไปผนังของอาคารจะถูกแบ่งออกเป็นจุดย่อย ๆ จำนวน  $n$  จุด โดยจุด  $N_1$  อยู่ติดผนังด้านนอกที่ถูกแสงแดด และจุด  $N_n$  อยู่ติดผนังด้านในของอาคาร ซึ่งความกว้างของแต่ละจุดมีค่าเท่ากัน คือ  $\Delta x$  ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2



รูปที่ 2 หน้าตัดของผนังอาคาร

ค่าคงที่ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนในผนังตามสมการที่ (1) และ (6) ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k), ค่าความร้อนจำเพาะ (c) และค่าความหนาแน่น (ρ) ในงานวิจัยนี้ใช้ค่ามาตรฐานจากประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ.2552 ตามตารางที่ 1 [13]

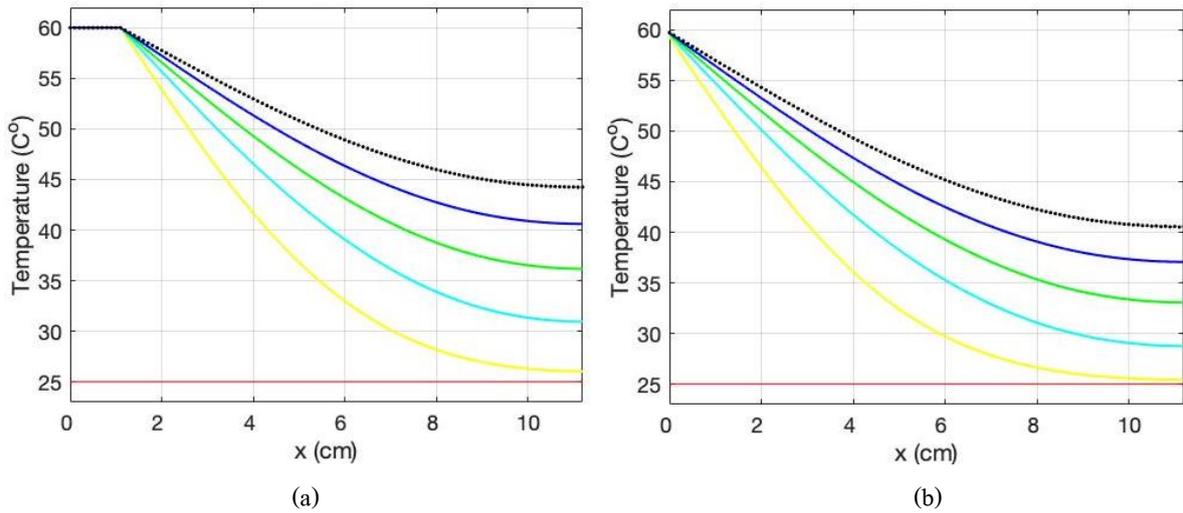
ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนในผนังของอาคาร

วัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน k (W/(m°C))	ค่าความร้อนจำเพาะ c (kJ/(kg°C))	ค่าความหนาแน่น ρ (kg/m <sup>3</sup> )
อิฐมอญ	0.473	0.79	1600
คอนกรีตบล็อกกลวง	0.546	0.92	2210
คอนกรีตมวลเบา แบบที่ 1	0.180	0.84	620
คอนกรีตมวลเบา แบบที่ 2	0.210	0.84	700
ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	0.72	0.84	1860
ปูนฉาบสำหรับคอนกรีตมวลเบา	0.326	0.84	1200
แผ่นยิปซัม	0.282	1.09	800
ไม้อัด	0.213	1.21	900
แผ่นไฟเบอร์	0.052	1.30	246

เมื่อได้ค่าคงที่และกำหนดค่าตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ของผนังตามระเบียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ที่ตำแหน่งจุดกลางแล้วสมการที่ (6) จะถูกดำเนินการอินทิเกรต เพื่อหาค่าของอุณหภูมิภายในผนังที่ตำแหน่งต่าง ๆ เป็นเวลา 180 นาที คือ  $0 \leq t \leq 180$  นาที สำหรับค่าของผนัง 4 แบบคือ อิฐมอญ คอนกรีตบล็อกกลวง และ คอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 620 และ 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยอิฐมอญและคอนกรีตบล็อกกลวงใช้ปูนฉาบที่เป็นซีเมนต์ผสมทรายทั้งสองด้าน ในขณะที่คอนกรีตมวลเบาทั้งสองแบบใช้ปูนฉาบสำหรับคอนกรีตมวลเบาสองด้าน โดยผนังทั้ง 4 แบบนี้ ถูกวิเคราะห์ความสามารถในการกักความร้อนเมื่อมีวัสดุปิดผิว 4 กรณี คือ 1) ไม่มีวัสดุปิดผิว 2) มีแผ่นยิปซัมปิดผิว 3) มีแผ่นไม้อัดปิดผิว และ 4) มีแผ่นไฟเบอร์ปิดผิว รวมกรณีที่วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ คือ 16 กรณี จากนั้นดำเนินการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผนังด้านในสุดของแต่ละกรณีว่าพฤติกรรมกักความร้อนได้มากน้อยเพียงใด

### 3. ผลการวิจัย

จากการดำเนินการอินทิเกรตสมการเชิงอนุพันธ์สามัญในสมการที่ (6) เป็นเวลา 10800 วินาทีหรือ 180 นาที ในกรณีของผนังทั้ง 4 ชนิด คือ อิฐมอญ คอนกรีตบล็อกกลวง และคอนกรีตมวลเบาอีก 2 แบบ ประกอบกับกรณีของการมีวัสดุปิดผิว 4 แบบ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ในกรณีแรกแสดงตัวอย่างของผลของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในผนังที่ได้จากการอินทิเกรตสมการเชิงอนุพันธ์สามัญ โดยในกรณีแรกเป็นการเปรียบเทียบผลจากการมีอิฐมอญเป็นผนังโดยที่ไม่มีวัสดุปิดผิว ดังแสดงในรูปที่ 3(a) กับกรณีที่ที่มีอิฐมอญเป็นผนังและมีแผ่นฉนวนเป็นวัสดุปิดผิว แสดงดังรูปที่ 3(b) โดยในกรณีที่ไม่มีวัสดุปิดผิว ในรูปที่ 3(a) นั้น พฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนบริเวณผิวนอกของผนังปูนฉาบ โดยในรูปที่ 3 ค่าของอุณหภูมิภายในผนัง จะถูกแสดงอยู่ในช่วงเวลา  $t = 0, 36, 72, 108, 144$  และ  $180$  นาที ด้วยเส้นกราฟสีแดง สีเหลือง สีฟ้า สีเขียว สีน้ำเงิน และสีดำ ตามลำดับ



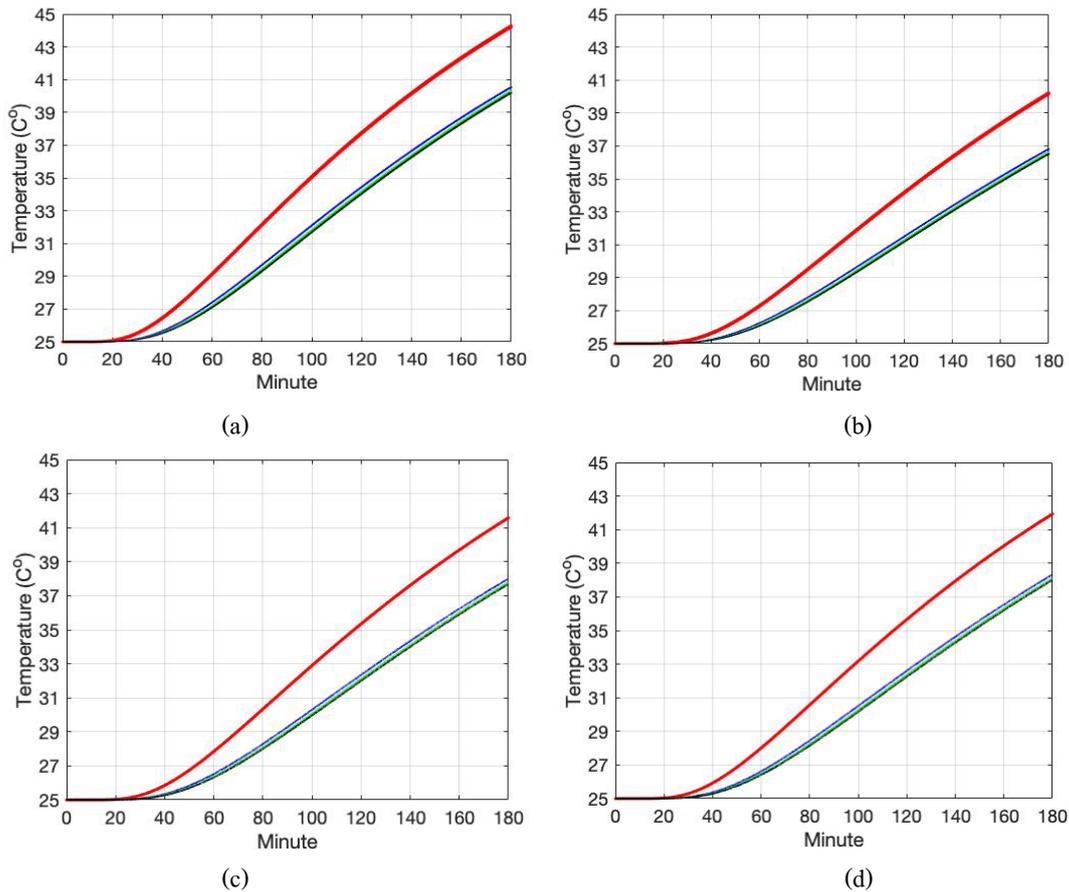
รูปที่ 3 ค่าของอุณหภูมิผนังในแต่ละช่วงเวลา กรณีผนังอิฐมอญ

โดย (a) แสดง ไม่มีวัสดุปิดผิว และ (b) แสดง มีแผ่นฉนวนปิดผิว

โดยที่:  $t = 0$  (เส้นกราฟสีแดง),  $36$  (เส้นกราฟสีเหลือง),  $72$  (เส้นกราฟสีฟ้า),  $108$  (เส้นกราฟสีเขียว),  $144$  (เส้นกราฟสีน้ำเงิน) และ  $180$  (เส้นกราฟสีดำ)

จากรูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิภายในผนังมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส (เส้นกราฟสีแดงในรูปที่ 3(a) และรูปที่ 3(b) โดยผลลัพธ์จากสมการที่ (6) จากวิธีเชิงตัวเลข พบว่า ในกรณีที่กำแพงไม่มีผิวปิด อุณหภูมิของผนังที่ติดกับอาคารด้านใน ( $x = 11.2$  ซม.) มีค่าประมาณ 44.25 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผนังที่มีแผ่นฉนวนหนา 1.2 เซนติเมตร เป็นวัสดุปิดผิว อุณหภูมิของผนังที่ติดกับอาคารด้านใน ( $x = 11.2$  ซม.) มีค่าประมาณ 40.57 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนจากผนังภายนอกเข้าสู่ภายใน ในทุกกรณี (ในรูปที่ 4) พบว่าพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนนั้นเหมือนกับในรูปที่ 3 เพียงแต่อัตราเร็วในการถ่ายเทความร้อนนั้นจะแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุและชนิดของอิฐที่ใช้ในแต่ละกรณี ดังนั้นเพื่อให้เห็นผลกระทบของการใช้วัสดุปิดผิวที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น จึงเปรียบเทียบค่าของอุณหภูมิของผนังด้านในสุด เมื่อดำเนินการอินทิเกรตสมการเชิงอนุพันธ์ นั่นคือ ค่าของ  $T(x = 11.2, t)$  ของแต่ละกรณี เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผนังด้านในสุดตามช่วงเวลา

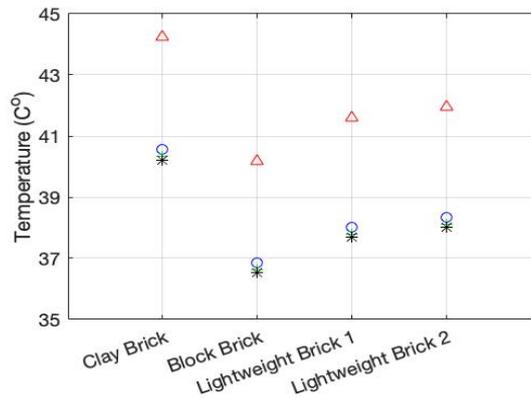
โดย (a) แสดง กรณีของอิฐมอญ, (b) แสดง กรณีคอนกรีตบล็อกกลวง, (c) แสดง กรณีคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 620 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ (d) แสดง กรณีคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

- สีเส้นกราฟแสดงวัสดุปิดผิว ดังนี้
- เส้นกราฟสีแดง = ไม่มีวัสดุปิดผิว
  - เส้นกราฟสีน้ำเงิน = ยิปซัม
  - เส้นกราฟสีเขียว = ไม้อัด
  - เส้นกราฟสีดำ = ไฟเบอร์

รูปที่ 4 แสดงพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ผนังด้านในสุดที่เวลา  $t = 0$  ถึง  $t = 180$  นาที โดยมีแผนภาพย่อยหรือรูปย่อยดังนี้ รูปที่ 4(a) คือ กรณีของอิฐมอญ, รูปที่ 4(b) คือ กรณีคอนกรีตบล็อกกลวง, รูปที่ 4(c) คือ กรณีคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 620 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และรูปที่ 4(d) คือ กรณีคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยในทั้ง 4 รูปย่อยนี้ เส้นกราฟสีแดงแสดงกรณีที่ไม่มีวัสดุปิดผิว เส้นกราฟสีน้ำเงินมีแผ่นยิปซัมเป็นวัสดุปิดผิว เส้นกราฟสีเขียวมีไม้อัดเป็นวัสดุปิดผิว และ เส้นกราฟสีดำมีไฟเบอร์เป็นวัสดุปิดผิว

โดยจากแผนภาพย่อยหรือรูปย่อยของอิฐทั้ง 4 แบบและกรณีมีวัสดุปิดผิวที่แตกต่างกันทั้ง 4 แบบ ในรูปที่ 4 พบว่า พฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของผนังด้านในสุดจะมีพฤติกรรมที่เหมือนกันคืออุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากค่าเริ่มต้น

เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาทีแล้ว โดยกรณีที่ไม่มียิปซัมปิดผิวชั้นนั้นอุณหภูมิจะสูงที่สุดในทุกกรณี ในขณะที่กรณีที่มีวัสดุปิดผิวทั้ง 3 ชั้นนั้นอุณหภูมิจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดเวลา โดยค่าของอุณหภูมิของทุกกรณีที่  $t = 180$  นาที แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงอุณหภูมิของผนังด้านในสุดที่  $t = 180$  นาที

สีเส้นกราฟแสดงวัสดุปิดผิว ดังนี้

- เส้นกราฟสีแดง = ไม่มีวัสดุปิดผิว
- เส้นกราฟสีน้ำเงิน = ยิปซัม
- เส้นกราฟสีเขียว = ไม้อัด
- เส้นกราฟสีดำ = ไฟเบอร์

รูปที่ 5 แสดงพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ผนังด้านในสุดเมื่อ  $t = 180$  นาที โดยจุดสีแดงแสดงกรณีไม่มีวัสดุปิดผิว จุดสีน้ำเงินมีแผ่นยิปซัมเป็นวัสดุปิดผิว จุดสีเขียวมีไม้อัดเป็นวัสดุปิดผิว และ จุดสีดำมีไฟเบอร์เป็นวัสดุปิดผิว จากผลการวิเคราะห์พบว่า กรณีไม่มีวัสดุปิดผิว ผนังกำแพงสร้างจากคอนกรีตบล็อกกลวงสามารถกันความร้อนได้ดีที่สุด ตามมาด้วย คอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 620 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ คอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่น 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนอิฐมอญจะกันความร้อนได้น้อยที่สุด

สำหรับกรณีที่มีวัสดุปิดผิวชั้นนั้น วัสดุปิดผิวสามารถลดอุณหภูมิจากภายนอกที่แพร่เข้ามาสูงผนังด้านในสุดได้อยู่ที่ประมาณ 3-4 องศาเซลเซียส โดยไฟเบอร์สามารถกันความร้อนได้มากที่สุด ตามมาด้วย ไม้อัด และยิปซัม ตามลำดับ แต่ความแตกต่างของค่าอุณหภูมิด้านในสุดของแต่ละวัสดุปิดผิวนั้นน้อยกว่า 0.5 องศาเซลเซียส ในทุก ๆ กรณี

#### 4. วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขในงานวิจัยนี้ พบว่า อิฐแต่ละชนิดมีขีดความสามารถในการกันความร้อนที่ถ่ายเทมาจากผนังด้านนอกที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 3 ชั่วโมงได้แตกต่างกัน การศึกษาครั้งนี้ พบว่า ผนังที่มีวัสดุปิดผิวทั้ง 3 ชั้น ได้แก่ แผ่นยิปซัม แผ่นไม้อัด และแผ่นไฟเบอร์ สามารถลดอุณหภูมิผนังที่ติดภายใน อาคารหลังจากที่ตากแดดมาเป็นเวลานาน 3 ชั่วโมงได้ใกล้เคียงกันประมาณ 3-4 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ในการเลือกใช้วัสดุปิดผิวในการก่อสร้างจริงจึงต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นมาใช้ในการตัดสินใจด้วย เช่น ราคาของวัสดุ ความยากของการจัดหาวัสดุ ความยากในการก่อสร้าง และความสวยงาม

## 5. สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากอุณหภูมิโลกที่สูงขึ้นในแต่ละปีส่งผลให้ค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบทำความเย็นในอาคารที่มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น วิธีหนึ่งในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ การหาแนวทางในการสร้างผนังอาคารที่มีขีดความสามารถในการกักความร้อนได้ดีมากยิ่งขึ้น โดยการวิเคราะห์พฤติกรรมของผนังในการกักความร้อนและขีดความสามารถในการลดอุณหภูมิที่ผิวของผนังด้านในสุด เมื่อใช้วัสดุปิดผิวที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อลดอุปสรรคในการควบคุมตัวแปรอื่น ๆ เช่น ความหนาของอิฐ ความหนาของปูนฉาบ ความหนาของวัสดุปิดผิว ความผันผวนของอุณหภูมิและแสงแดดภายนอก

จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อผนังตากแดดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง คอนกรีตบล็อกกลวงสามารถกักความร้อนได้มากที่สุด ในกรณีผนังไม่มีวัสดุปิดผิว โดยที่เมื่อมีผนังวัสดุปิดผิว ผนังสามารถลดอุณหภูมิได้มากกว่ากรณีไม่มีวัสดุปิดผิวประมาณ 3 – 4 องศาเซลเซียส ซึ่งวัสดุที่เลือกมาในการวิเคราะห์ครั้งนี้คือ แผ่นยิปซัม แผ่นไม้อัด และแผ่นไฟเบอร์ มีความสามารถในการลดอุณหภูมิของผนังด้านในสุดได้ประมาณใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นในกระบวนการก่อสร้างจริงการเลือกใช้คอนกรีตบล็อกกลวงจะเหมาะสมกับการก่อสร้างอาคารทั่วไป เพราะนอกจากจะมีคุณสมบัติเด่นอยู่ที่มีความแข็งแรง รับแรงกดได้แล้ว ที่สำคัญยังสามารถกักความร้อนและระบายความร้อนได้อย่างดีอีกด้วย ส่วนวัสดุปิดผิวที่เลือกมาทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้ให้ผลในการลดอุณหภูมิจากภายนอกได้ใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชนิด ดังนั้นในการก่อสร้างจริง จึงควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นด้วย เช่น ความยากในการก่อสร้าง ความสวยงาม และราคาของวัสดุปิดผิว

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Weart S. R. (2008). **The discovery of global warming**. Harvard University Press.
- [2] Santamouris M. (2014). On the energy impact of urban heat island and global warming on buildings. *Energy and Buildings*, 82: 100-113.
- [3] Kontoleon K. J. and Eumorfopoulou E. A. (2010). The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and environment*, 45(5): 1287-1303.
- [4] อมลวรรณ แสนนวล, สุทธา ศรีเผด็จ และ ชนินทร์ ทิพย์ภาส. (2559). การศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารกรณีศึกษา วัสดุไม้ประกอบพลาสติก. *วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 15(1): 161-173.
- [5] พรสวรรค์ พิริยะศรีธา. (2556). ผลของมวลสารภายในต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา. *วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 12(1): 86 – 99.
- [6] Fick A. (1855). Ueber diffusion. *Annalen der Physik*, 170(1): 59-86.
- [7] Crank J. (1956). **The Mathematics of Diffusion**. London: Oxford Clarendon Press.
- [8] Carslaw H. S. and Jager J. C. (1959). **Conduction of Heat in Solids**. Oxford: Clarendon Press.
- [9] Unsworth J. and Duarte F. J. (1979). Heat diffusion in a solid sphere and Fourier theory: an elementary practical example. *American Journal of Physics*, 47(11): 981-983.
- [10] Thambynayagam R. K. M. (2011). **The Diffusion Handbook: Applied Solutions for Engineers**. McGraw-Hill.
- [11] Schiesser W. E. (1991). **The numerical methods of lines, San Diego**. CA: Academic Press.
- [12] Schiesser W. E. (2012). **The numerical method of lines: integration of partial differential equations**. Elsevier.

- [13] กระทรวงพลังงาน. (2552). ประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคาร แต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคารพ.ศ.2552, ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 126 ตอนพิเศษ 122 ง: 21-39.
- [14] Dalglish A., Cornick S., Maref, W. and Mukhopadhyaya P. (2005). Hygrothermal performance of building envelopes: Uses for 2D and 1D simulation. In 10<sup>th</sup> Conference on Building Science and Technology, Ottawa: Canada.
- [15] Stenvall A., Mikkonen R. and Kovac P. (2010). Comparison of 1D, 2D and 3D quench onset simulations. *Physica C: Superconductivity*, 470(22): 2047-2050.
- [16] Luangwilai T. and Sidhu H. (2010). Determining critical conditions for two dimensional compost piles with air flow via numerical simulations. *ANZIAM Journal*, 52(1): 463-481.
- [17] Luangwilai T., Sidhu H. S., Nelson M. I., and Chen X. D. (2010). Modelling air flow and ambient temperature effects on the biological self-heating of compost piles. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 5(4): 609-618.
- [18] วิศรุต คล้ายแจ่ม และ นพรัตน์ โพธิ์ชัย. (2562). การจำลองแบบเชิงคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนจากผนังภายนอกสู่ผนังภายในอาคาร โดยใช้วัสดุคอนกรีตมวลเบา คอนกรีตมอยูและคอนกรีตบล็อก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นายเรืออากาศ*, 15: 9-18.