

การศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อทำนายการไหลของอากาศภายใต้ห้องหลังคาสำหรับ โบราณสถาน วัดช้างใหญ่ จ.พระนครศรีอยุธยา

Numerical study to predict airflow under the roof garret for Wat Chang Yai Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

มงคล แก้วบำรุง^{1*}, ธนาพล สุขชนะ¹, ชัยยันต์ ใจบุญมา¹, อนวัช บำรุงกิจ¹, สราวุธ สิทธิเกษมสุข¹, ชัยวัฒน์ คุรุกิจวานิชย์¹,
รวินท์ธน์ ทัพย์เสนา², วิภูษณะ ฉายินทุ³, กรอมา นุตะศรีนทร์⁴, กิริยา ชยะกุล สิทธิวัง⁴ และ เฉลิมพล เปล่งสะอาด⁵
Mongkol Kaewbumrung^{1*}, Thanaphol Sukchana¹, Chaibun Jaiboonma¹, anuwat bumrungrkit¹, Sarawut
Sirikasemsuk¹, Chaivat Khurukijwanich¹, Rawintanath Thipsena², Wiphusana Chayinthu³, Kornuma
Nutasarin⁴, Kiriya Chayakul Sitthiwang⁴ and Chalernpol Plengsa-ard⁵

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ²สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัด
พระนครศรีอยุธยา 13000

¹Department of Mechanical Engineering, ²Department of Production Engineering, ³Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi Huntra 60 Moo 3 Asian
Highway, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

⁴กลุ่มอนุรักษ์จิตรกรรมและประติมากรรม กองโบราณคดี กรมศิลปากร ถนนหน้าพระธาตุ
เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200

⁴Division of Conservation Painting and Sculpture, Office of Archaeology, Fine Arts Department, 10200, Thailand

⁵ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

⁵Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Lat Yao,
Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

*Corresponding author: mongkol.k@rmutsb.ac.th

<https://doi.org/10.55674/snrujiti.v2i1.246799>

Received: 4 June 2022

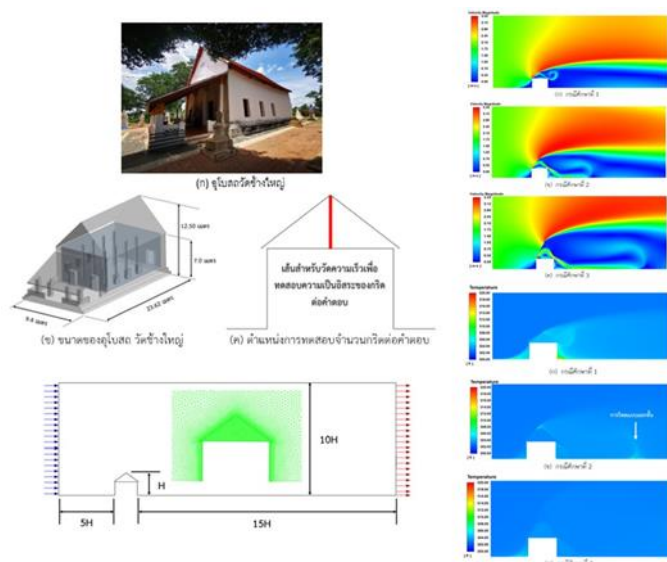
Revised: 29 Nov 2022

Accepted: 22 Dec 2022

Available online: 1 Jan 2023

บทคัดย่อ

อาคารโบราณสถานถือเป็นผลงานทาง
ศิลปะที่ทรงคุณค่าทางประวัติศาสตร์ที่ควร
สงวนรักษาไว้ให้เป็นมรดกของชาติ แต่ด้วย
สภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ
โลกส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลที่ไม่
สมดุล ก่อให้เกิดความเสียหายและการ
เสื่อมสภาพของอาคารโบราณอย่างรวดเร็ว
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำองค์ความรู้ทาง
วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
บูรณาการเป็นการคำนวณทางโบราณคดี



(Computational archaeology) เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาพแวดล้อมต่อการไหลภายใต้หลังคาอาคารโบราณสถานด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของกระแสลมต่อคุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นเพื่อวางแผนการบำรุงรักษา ออกแบบและประเมินความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับโบราณสถานภายใต้สภาวะต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าจำนวนชั้นของหลังคาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการหมุนวนของอากาศและการถ่ายเทความร้อนภายนอกอาคารอย่างชัดเจน ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปประกอบการกำหนดมาตรฐานเพื่อดูแล ควบคุม บำรุง และออกแบบระบบระบายอากาศสำหรับรูปทรงของหลังคาและหลังคาที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การคำนวณทางโบราณคดี, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, โบราณสถาน

Abstract

Ancient buildings are works of art with historical value that should be preserved as a national heritage, but global climate change, resulting in unbalanced seasonal changes, accelerates the rapid deterioration of ancient buildings. This research focuses on integrating scientific knowledge between engineering and architecture into computational archaeology to study the effects of environmental conditions on the flow under the roof garret of ancient buildings by using computational fluid dynamics. The research will consider the airflow velocity and temperature distribution as the primary parameter. Here we found that the increased number of roof garret floors affects air circulation and heat transfer behavior. The information obtained can formulate standards to maintain, control, restore and design ventilation systems for different roof and garret shapes based on engineering and architectural principles.

Keywords: Computational archaeology, Computational Fluid Dynamics, archaeological site

© 2023 Faculty of Industrial Technology reserved

1. บทนำ

การบูรณะปฏิสังขรณ์อาคารโบราณสถานเพื่อสงวนและรักษา ถือเป็นงานที่มีความสำคัญและต้องการองค์ความรู้จากหลากหลายสาขาวิชาบูรณาการและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม เพื่อความสอดคล้องของสภาพการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกที่ไม่สมดุล เช่น ปริมาณน้ำฝน ความร้อน และความเร็วลม เป็นต้น อันส่งผลให้เกิดความเสียหายและส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของอาคารโบราณอย่างรวดเร็ว ด้วยความมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่โดดเด่นของศิลปะและสถาปัตยกรรมไทยที่ละเอียดอ่อนแปรเปลี่ยนไปตามสภาพพื้นที่ของอาคารที่ตั้งอยู่ ส่งผลให้การบูรณะปฏิสังขรณ์สามารถนำองค์ความรู้ งานวิจัยจากต่างประเทศมาใช้ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น จึงทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาหรือป้องกันปัญหาได้ในระยะยาว อย่างไรก็ตามเพื่อเริ่มต้นงานวิจัยที่มีองค์ความรู้ทางการบูรณะศิลปกรรมทางโบราณคดี Ogura et al., (2019) ศึกษาความเสียหายของจิตรกรรม ประติมากรรมที่

เกิดจากความสว่างของแสงภายในถ้าพบว่า แสงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตก ลอก และการซีดจางของสีที่ใช้เขียนจิตรกรรมฝาผนัง ต่อมา Zhu et al., (2020) ทดลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองด้วยตัวเลขของหลังคาที่มีและไม่มีหิมะปกคลุม ผลที่ได้แสดงความสอดคล้องถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหลังคาจะส่งผลต่อพฤติกรรมการไหลที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่เกิดการหมุนวนของกระแสอากาศ จากการศึกษานี้มีข้อสรุปเช่นเดียวกับการศึกษาลักษณะเฉพาะของหลังคาแบบต่างๆ สำหรับบ้านเรือน ศาสนสถาน และพระราชวังในสาธารณรัฐเมียนมาว่าการมีหลังคาซ้อนเป็นชั้นๆ ซึ่งถือเป็นเอกลักษณ์เฉพาะแบบของพม่า นั้นมีแนวโน้มที่จะสามารถระบายอากาศและความร้อนได้ดีกว่าหลังคาแบบชั้นเดียว แต่อย่างไรก็ตามหลังคาแบบชั้นเดียวก็สามารถบริหารการถ่ายเทความร้อนได้ด้วยการเปิดช่องด้านบนสุดของหลังคาเพื่อให้เกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติซึ่งจะเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิตามการศึกษาของ Hsies et al., (2021) ผลที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวนี้นับสนุนผลการศึกษาวิจัยของ Esfeh et al., (2021) เพื่อปรับปรุงการระบายอากาศร้อนแบบธรรมชาติภายใต้หลังคาโค้งพบว่าส่วนโค้งของหลังคาเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการเกิดกระแสหมุนวนของอากาศภายในอาคารและจะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนรวมถึงคุณสมบัติของอากาศอื่นๆ มีประสิทธิภาพต่ำลง ในปีเดียวกัน Ponechal et al., (2021) พิจารณาการไหลของอากาศภายใต้ห้องหลังคาสำหรับอาคารโบราณสถานเพื่อประเมินผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวันที่ยร้อนจัดและเย็นจัดในช่วงกลางคือพบว่า จากสภาวะความแตกต่างของอุณหภูมิดังกล่าวนี้ออกแบบหลังคา การเปิดปิดห้องใต้หลังคาเพื่อระบายอากาศร้อนที่สะสมจะต้องสอดคล้องกับอุณหภูมิที่อยู่ภายนอกทั้งนี้เนื่องจากหากเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลันอาจส่งผลเสียต่อโครงสร้างอาคารหลักซึ่งเป็นไม่ได้ และ Li et al., (2021) ศึกษาผลกระทบและวิธีป้องกันการเกิดฟ้าผ่าบนอาคารโบราณสามารถสรุปได้ว่า การเกิดฟ้าผ่าจะทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างหลังคาและแผ่นกระเบื้องมากขึ้นถ้าอัตราส่วนของความชื้นในวัสดุนั้นๆ มีค่ามากขึ้น แต่สามารถลดความเสียหายที่เกิดขึ้นได้หากผิวของกระเบื้องเคลือบสารฉนวนไฟฟ้าและวัสดุมีการปลดปล่อยความชื้นที่ดี

ในปี 2022, Xin et al., ทดสอบเพื่อหาความเร็วเสียดทาน (friction velocity) และ ความเร็วชั้นใกล้ผิวหลังคา (near-roof wind speed) เทียบกับการศึกษาเชิงตัวเลขพบว่า สมการควบคุมความปั่นป่วนแบบ Realizable $k-\epsilon$ ให้ผลที่แม่นยำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองและเมื่อปรับเปลี่ยนมุมของหลังคาจะส่งผลต่อแรงลม การระบายความร้อนและการเคลื่อนที่ของกระแสนลมบนหลังคา นอกจากนี้จากการศึกษาของ Chahardoli et al., (2022) ได้มีการค้นพบเพิ่มเติมอีกว่ารูปร่างของหลังคาส่งผลกระทบต่อภาระการเกาะติดและการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำขนาดเล็กที่ลอยมาพร้อมกับกระแสอากาศ โดยตัวแปรที่สำคัญของการออกแบบหลังคาลำดับต้นๆ คือ ช่องว่างระหว่างหลังคาซึ่งจากผลการศึกษาวิจัยของ Li et al., (2022) พบว่าการออกแบบช่องใต้หลังคา นอกจากจะช่วยในการระบายความร้อนของอาคารแล้วยังเป็นตัวช่วยให้เกิดการพาความร้อนขึ้นออกจากอาคารได้เช่นกัน ซึ่งประสิทธิภาพการดูดความชื้นออกจากอาคารจะแปรผันตามความเร็วอากาศภายนอก ขนาดช่องว่างระหว่างหลังคา มุมและจำนวนชั้นของหลังคา

จากงานศึกษาวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบหลังคาให้สอดคล้องกับหลักอากาศพลศาสตร์ไม่ว่าจะเป็นบ้านพักเพื่ออยู่อาศัยก็จะเปลี่ยนเป็นบ้านประหยัดพลังงาน ศาสนสถาน และพระราชวัง แต่สำหรับการบูรณะปฏิสังขรณ์งานทางโบราณคดีจำเป็นต้องยังคงสภาพและรูปแบบเดิมให้มากที่สุดแต่ต้องมีความเข้าใจถึงฟิสิกส์ของอากาศพลศาสตร์เพื่อทำนายและวางแผนเชิงป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอนาคตให้รัดกุมและรอบคอบ ทั้งนี้เพื่อลดความเสียหายของโครงสร้างหรือการเสื่อมสภาพของจิตรกรรมฝาผนังลงให้ได้มากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งเน้นนำพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเพื่อทำนายพฤติกรรมการไหลในกรณีที่แผ่นปิดช่องใต้หลังคาเสียหายของ โบราณสถาน วัดช้างใหญ่ อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา และประเมินพฤติกรรมทางอากาศพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นในกรณีอื่นๆ ของอาคารที่มีรูปทรงใกล้เคียงกัน

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อประยุกต์ใช้พลศาสตร์การคำนวณขั้นสูงทำนายพฤติกรรมการไหลของอากาศสำหรับอาคารโบราณสถาน วัดช้างใหญ่ อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา

2.2 เพื่อทำนายพฤติกรรมทางอากาศพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นในกรณีที่แผ่นปิดช่องใต้หลังคาเสียหายและกรณีอื่นของอาคารที่มีรูปทรงใกล้เคียงกัน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

สำหรับการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นถึงการเปลี่ยนแปลงของอากาศพลศาสตร์เมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้นกับหลังคาโดยประยุกต์ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแบบปั่นป่วน SST $k-\omega$ ซึ่งจากการศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าแบบจำลองความปั่นป่วนดังกล่าวให้ความถูกต้องแม่นยำตามการศึกษาของ Xin et al.(2022) และ Chahardoli et al. (2022) โดยมีสมการควบคุมดังต่อไปนี้

3.1 สมการควบคุมของไหลปั่นป่วนแบบ SST $k-\omega$

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าสำหรับการไหลแบบไม่ขึ้นอยู่กับเวลา สมการความปั่นป่วนแบบ SST $k-\omega$ มีประสิทธิภาพและให้ความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งมีระบบสมการควบคุมของการไหลดังต่อไปนี้

$$\nabla \cdot (\rho \bar{\mathbf{U}}) = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (\rho \bar{\mathbf{U}} \bar{\mathbf{U}}) = -\nabla P + \nabla \cdot \left[(\nabla \bar{\mathbf{U}} + \nabla \bar{\mathbf{U}}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \bar{\mathbf{U}} \bar{\mathbf{I}} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k U_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \Phi_k - \Psi_k \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega U_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\omega} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + \Phi_\omega - \Psi_\omega + D_\omega \quad (4)$$

$$\nabla \cdot (\bar{\mathbf{U}} (\rho E + P)) = 0 \quad (5)$$

เมื่อ S คือ Strain rate magnitude, α^* , σ_k และ σ_ω สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\max\left[\frac{1}{\alpha^*}, \frac{SF_2}{0.31\omega}\right]\omega} \quad (6)$$

$$S = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right] \quad (7)$$

$$F_2 = \tanh(\phi_2^2) \quad (8)$$

$$\phi_2 = \max\left[\frac{2\sqrt{k}}{0.09\omega y}, \frac{500\mu}{\rho y^2\omega}\right] \quad (9)$$

$$\alpha^* = \left[\frac{0.33\beta_i + \rho k / 6\mu\omega}{1 + \rho k / 6\mu\omega} \right] \quad (10)$$

$$\sigma_k = \frac{1.176}{F_1 + 1.176(1 - F_1)} \quad (11)$$

$$\sigma_\omega = \frac{2.336}{1.168F_1 + 2(1 - F_1)} \quad (12)$$

$$D_\omega = 2(1 - F_1)\rho \frac{1}{1.168\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (13)$$

$$\beta_i = 0.075F_1 + 0.0828(1 - F_1) \quad (14)$$

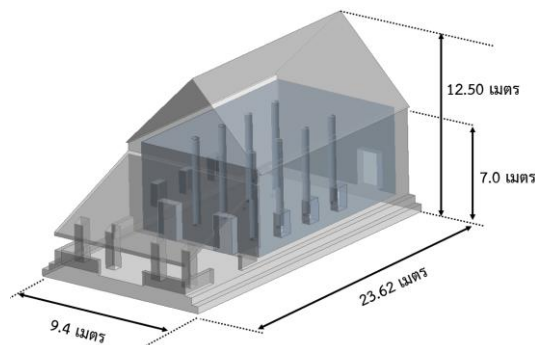
สำหรับค่าคงที่และที่มาของตัวแปรต่างๆ ในสมการที่ (1) – (14) อ้างอิงจาก Kaewbumrung et al. (2022) และ ANSYS (2022)

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับการศึกษานี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS Fluent 2022R1 ซึ่งใช้วิธีปริมาตรจำกัด (FVM: Finite Volume Method) ในการหาคำตอบของระบบสมการควบคุมการไหล ขนาดของอุโมงค์แสดงดังภาพที่ 1 เมื่อศึกษาขนาดของกริดแบบสามเหลี่ยมต่อการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ (Grid Independence Analysis) แสดงดังภาพที่ 2 พบว่ากริดที่มี Node: 2,59,940 และ Elements: 4,548,6000 ให้การเปลี่ยนแปลงของความเร็วที่เส้นกลางห้องได้อาคารน้อยกว่า 5% จึงเลือกกริดในกรณีศึกษา Mesh -3 สำหรับการศึกษาตัวแปรอื่นๆ ต่อไป



(ก) อุโบสถวัดช้างใหญ่

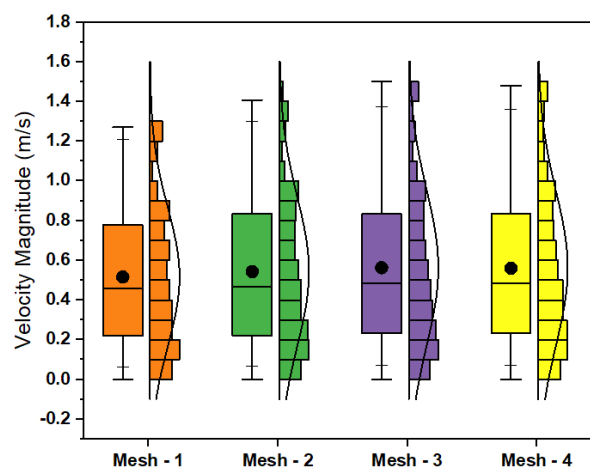


(ข) ขนาดของอุโบสถ วัดช้างใหญ่



(ค) ตำแหน่งการทดสอบจำนวนกริดต่อคำตอบ

ภาพที่ 1 ขนาดของพระอุโบสถและตำแหน่งศึกษาจำนวนกริดแบบสามเหลี่ยมต่อการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ



ภาพที่ 2 ผลของกริดแบบสามเหลี่ยมต่อการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ

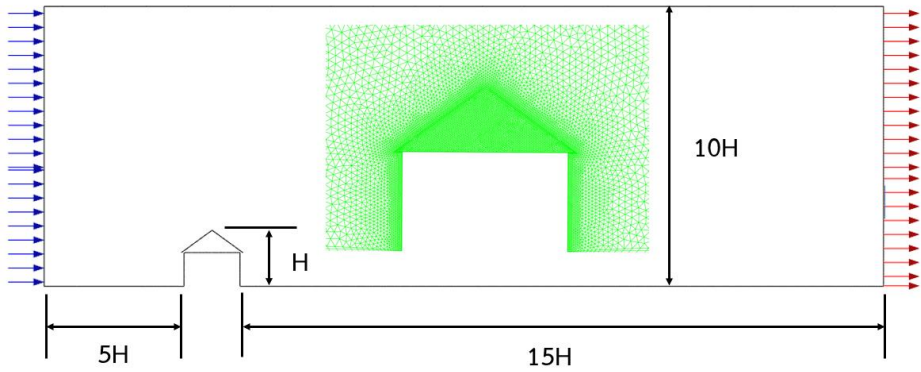
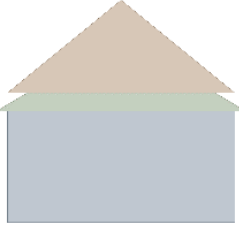
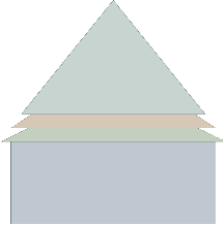
3.3 เงื่อนไขขอบเขตการจำลองทางคณิตศาสตร์

เนื่องจากการคำนวณการไหลของอากาศเกิดจากพฤติกรรมไหลแบบปั่นป่วน การหาคำตอบของระบบสมการดังกล่าวมีความไม่เชิงเส้นสูง ดังนั้นเพื่อเพิ่มความถูกต้องและลดการสั่นของการเข้าสู่คำตอบสำหรับระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ตารางที่ 1 แสดงการตั้งค่าสำหรับโปรแกรม ANSYS Fluent 2022R1 และผู้วิจัยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากการลงพื้นที่สำรวจจริงเมื่อ 15 มกราคม พ.ศ. 2565 มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 30.50 องศาเซลเซียส วัดด้วยเครื่อง Thermohygrometer พื้นดินและหลังคามี Heat Flux เฉลี่ย 30 วัตต์ต่อตารางเมตร วัดด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน Thermal Imaging Camera และความเร็วลมโดยเฉลี่ย 2.08 เมตรต่อวินาที วัดด้วยเครื่อง Thermo Anemometer เป็นเงื่อนไขขอบเขตในการศึกษาดังภาพที่ 3 และตารางที่ 2 แสดงห้องใต้หลังคาแบบต่างๆ ที่ต้องการจำลองโดยศึกษาในกรณีที่อยู่โบสถ์ปิดหน้าต่างทุกบาน

ตารางที่ 1 การตั้งค่าเชิงตัวเลขสำหรับการคำนวณ

Methods	Setting
P-V Coupling	Couple
Gradient	Least Squares Cell-Based
Pressure	2 nd Order
Momentum	2 nd Order Upwind
Energy	2 nd Order Upwind
Pseudo Transient	Enable
WFGC	Enable
HOTH	Enable

ตารางที่ 2 เงื่อนไขขอบเขตและกรณีศึกษา

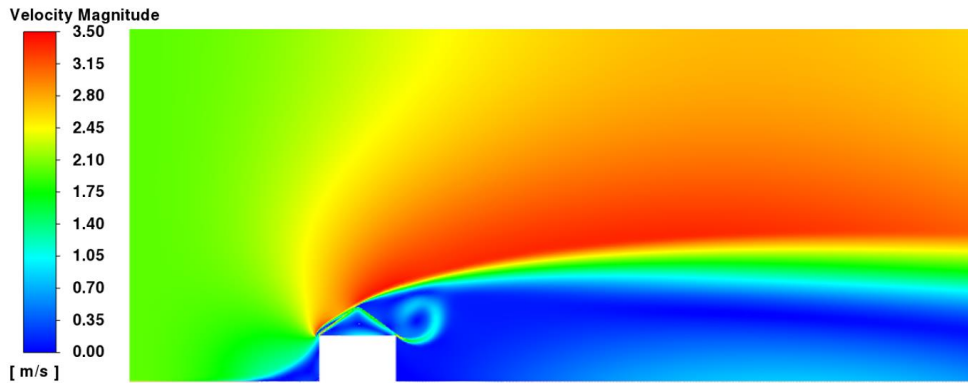
	
กรณีศึกษาที่ 1 วัดช้างใหญ่ อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา	หลังคาหนึ่งชั้นมีการเปิดของห้องใต้หลังคาเนื่องจากการชำระตลอดความยาวอุโบสถ 
กรณีศึกษาที่ 2	หลังคาสองชั้นมีการเปิดของห้องใต้หลังคาเนื่องจากการชำระตลอดความยาวอุโบสถ 
กรณีศึกษาที่ 3	หลังคาสามชั้นมีการเปิดของห้องใต้หลังคาเนื่องจากการชำระตลอดความยาวอุโบสถ 

4. ผลการวิจัย

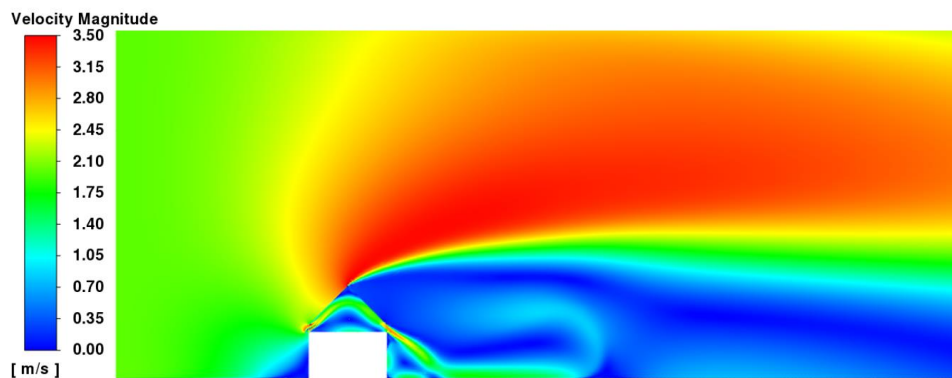
ในการศึกษาครั้งนี้พิจารณาการไหลภายใต้ห้องหลังคาทั้งหมดสามแบบดังตารางที่ 2 ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้พลศาสตร์การคำนวณขั้นสูงทำนายพฤติกรรมการไหลของอากาศสำหรับอาคารโบราณสถานที่เกิดขึ้นในกรณีที่แผ่นปิดช่องใต้หลังคาเสียหาย โดยใช้วัดข้างใหญ่ อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา เป็นกรณีศึกษา ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS Fluent 2022R1 แบบสามมิติ ผลการศึกษาจะพิจารณาความเร็วของอากาศและการกระจายของอุณหภูมิเป็นตัวแปรหลักได้ผลดังต่อไปนี้

4.1 การเคลื่อนที่ของอากาศและความเร็ว

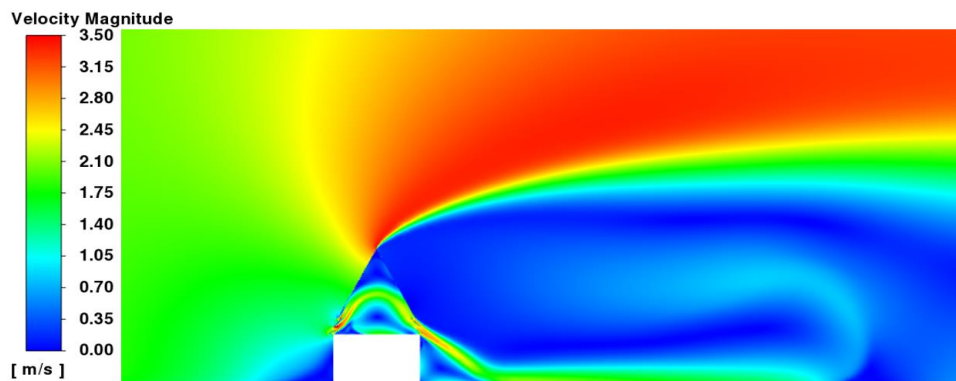
ผลจากการศึกษาด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแสดงการเคลื่อนที่ของอากาศดังภาพที่ 3 พบว่าความเสียหายของห้องใต้หลังคาที่ทำให้อากาศไหลเข้า-ออกห้องใต้หลังคาได้นั้น จำนวนชั้นของห้องใต้หลังคามีผลกับความเร็วขาออกจากห้องใต้หลังคา โดยเมื่อจำนวนชั้นของหลังคาเพิ่มขึ้นทำให้มวลของอากาศและความเร็วทางออกจากห้องใต้หลังคาสูงขึ้น ส่งผลให้บริเวณการหมุนวนของอากาศด้านขวามีพฤติกรรมที่แตกต่างกัน โดยกรณีศึกษาที่ 1 เมื่ออากาศไหลออกจากห้องใต้หลังคาจะเกิดการหมุนตัวขึ้นด้านบนซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้การแลกเปลี่ยนความร้อนของอากาศเย็นและอากาศร้อนจะมีพื้นที่ค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนห้องใต้หลังคาส่งผลให้มวลอากาศไหลเข้าภายในห้องใต้หลังคามากขึ้นและจะเร่งความเร็วที่ทางออกให้สูงขึ้นตามสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากการเพิ่มขึ้นของมวลและความเร็วดังกล่าวอากาศจึงสามารถเคลื่อนที่ได้ไกลเมื่อออกจากห้องใต้หลังคาก่อนปะทะกับพื้นดินและไหลวนสู่ด้านบนเป็นการไหลแบบแยกชั้นของกระแสอากาศ (Flow separation) ซึ่งเป็นการสร้างพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดใหญ่ โดยเฉพาะกรณีศึกษาที่ 3 อย่างไรก็ตามการไหลแบบแยกชั้นดังกล่าวนี้จะมีผลเสียเกิดขึ้นหากจุดการไหลแยกชั้นดังกล่าวเป็นจุดที่มีความชื้นสูง เพราะการไหลวนขึ้นด้านบนของกระแสอากาศจะนำความชื้นไหลวนเข้าสู่อาคารและส่งผลให้เกิดการกักเก็บความชื้นภายในอาคาร ก่อให้เกิดเชื้อราและการเสื่อมสภาพของอาคารและจิตรกรรมฝาผนังได้



(ก) กรณีศึกษาที่ 1



(ข) กรณีศึกษาที่ 2



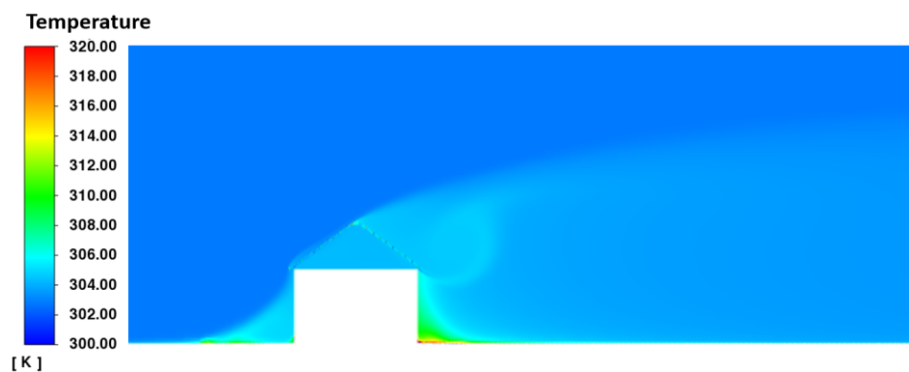
(ค) กรณีศึกษาที่ 3

ภาพที่ 3 ความเร็วของอากาศ

4.2 การกระจายของอุณหภูมิ

การศึกษาค้นคว้าการกระจายอุณหภูมิของอากาศแสดงดังภาพที่ 4 ให้ผลที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่และความเร็วอากาศดังภาพที่ 3 ซึ่งทั้งสองตัวแปรนี้แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงกันอย่างมีนัยสำคัญคือสำหรับกรณีศึกษาที่ 1 มีหลังคาเพียงชั้นเดียวและอากาศสามารถเคลื่อนที่ผ่านห้องใต้หลังคาน้อยกว่ากรณีอื่นๆ ส่งผลให้เกิดการหมุนวนของกระแสอากาศขนาดใหญ่ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา [มิงคล และคณะ (2563), มิงคล

(2563) และ มงคล และคณะ (2564)] พบว่าการหมุนวนของกระแสอากาศจะทำให้การถ่ายเทความร้อนได้ไม่ดี และเป็นบริเวณที่อุณหภูมิสูง ซึ่งกรณีศึกษาที่ 1 ให้ผลสอดคล้องกับศึกษาที่ผ่านมาอย่างชัดเจนในเชิงคุณภาพ แต่สำหรับในเชิงปริมาณยังคงต้องทำการทดลองด้วยงานวิจัยในอนาคต เช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 2 และกรณีศึกษาที่ 3 มีบริเวณการหมุนวนของกระแสอากาศขนาดใหญ่ โดยเฉพาะกรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งเป็นสาเหตุให้การแลกเปลี่ยนความร้อนที่ต่ำสุดจึงเกิดความสม่าเสมอของอุณหภูมิเมื่อเทียบกับอีกสองกรณี ข้อควรระวังคือการมีบริเวณหมุนวนของกระแสอากาศขนาดใหญ่อาจจะเป็นข้อได้เปรียบของการถ่ายเทความร้อนแต่จะเป็นข้อเสียหากตัวแปรที่สนใจเป็นความชื้นหรืออนุภาคนขนาดเล็ก ดังนั้นในอนาคตนอกจากจะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าที่ได้จากการศึกษาเชิงตัวเลขแล้ว การเคลื่อนที่ของความชื้นและอนุภาคนขนาดเล็กในอากาศจะได้รับการศึกษาเชิงลึกในอนาคต



(ก) กรณีศึกษาที่ 1



(ข) กรณีศึกษาที่ 2



(ค) กรณีศึกษาที่ 3

ภาพที่ 4 การแพร่กระจายของอุณหภูมิ

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากผลการศึกษาเปรียบเทียบผลของอากาศที่ไหลผ่านห้องใต้หลังคาทั้งสามแบบโดยเลือกตัวแปรความเร็วและอุณหภูมิของอากาศเป็นตัวแปรหลักในการศึกษาพบว่า เมื่อจำนวนชั้นของห้องใต้หลังคาเพิ่มขึ้น อากาศไหลผ่านช่องใต้หลังคาได้มากขึ้นและส่งผลให้เกิดการหมุนวนของกระแสอากาศที่แตกต่างกัน โดยกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งมีห้องใต้หลังคาเพียงชั้นเดียวจะมีการถ่ายเทความร้อนได้แย่ที่สุดเนื่องจากการไหลของมวลอากาศและบริเวณการหมุนวนของกระแสอากาศเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าน้อยสุดซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยที่เผยแพร่มาก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 พบว่าผลจากการหมุนวนของกระแสอากาศทำให้เกิดการไหลแบบแยกตัว (Flow separation) ทำให้ความร้อนที่พื้นไหลสูงขึ้นจากพื้นดิน ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่จะได้รับการศึกษาเพิ่มเติมอย่างระมัดระวังถึงโอกาสที่การไหลแบบแยกตัวดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อการถ่ายเท การแพร่ และการพาความร้อน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้จะนำไปสู่การศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในอนาคตและเป็นส่วนหนึ่งของการกำหนดกรอบมาตรฐานการบูรณะโบราณสถานได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ogura, D., Nakata, Y., Hokoi, S., & Takabayashi, H. (2019). *Influence of light environment on deterioration of mural paintings in Mogao* Influence of Light Environment on Deterioration of Mural Paintings in Mogao Cave 285 , Dunhuang. 020013(November).
- [2] Zune, M., Pantua, C. A. J., Rodrigues, L., & Gillott, M. (2020). A review of traditional multistage roofs design and performance in vernacular buildings in Myanmar. *Sustainable Cities and Society*, 60(February), 102240. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102240>
- [3] Zhu, F., Yu, Z., Liu, Z., Chen, X., Cao, R., & Qin, H. (2020). Experimental study on the air flow around an isolated stepped flat roof building: Influence of snow cover on flow fields. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 203(August 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104244>

- [4] Li, J., Fu, S., Zhang, T., Li, J., Huo, P., & Li, Y. (2021). Investigation of lightning damage mechanism and flashover channels on glazed roofing tiles of ancient buildings through laboratory experiments. *Journal of Electrostatics*, 110(January), 103553. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2021.103553>
- [5] Ponechal, R., Krušínský, P., Kysela, P., & Pisca, P. (2021). Simulations of airflow in the roof space of a gothic sanctuary using cfd models. *Energies*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/en14123694>
- [6] Hsieh, L., Chen, L., Wang, S., & Su, C. (2021). Airflow visualization and performance assessment for a roof ridge ventilator under wind using Schlieren photography technique. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26(April), 101044. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101044>
- [7] Esfeh, M. K., Sohankar, A., Shahsavari, A. R., Rastan, M. R., Ghodrat, M., & Nili, M. (2021). Experimental and numerical evaluation of wind-driven natural ventilation of a curved roof for various wind angles. *Building and Environment*, 205(June), 108275. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108275>
- [8] Agrawal, S., Wong, J. K., Song, J., Mercan, O., & Kushner, P. J. (2022). Assessment of the aerodynamic performance of unconventional building shapes using 3D steady RANS with SST k- ω turbulence model. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 225(February), 104988. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2022.104988>
- [9] Nimarshana, P. H. V., Attalage, R. A., & Perera, K. K. C. K. (2022). Quantification of the impact of RANS turbulence models on airflow distribution in horizontal planes of a generic building under cross-ventilation for prediction of indoor thermal comfort. *Journal of Building Engineering*, 52(March), 104409. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104409>
- [10] Li, W., Subiantoro, A., McClew, I., & Sharma, R. N. (2022). CFD simulation of wind and thermal-induced ventilation flow of a roof cavity. *Building Simulation*, 1611–1627. <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0880-x>
- [11] Chahardoli, S., Khakzand, M., Faizi, M., & Siavashi, M. (2022). Numerical analysis of the effect of roof types and porch on particle dispersion and deposition around a low-rise building. *Journal of Building Engineering*, 53(November 2021), 104533. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104533>

- [12] Xin, L., Zhou, X., & Gu, M. (2022). Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics Wind tunnel test and CFD simulation of the near-roof wind speed and friction velocity on gable roofs. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 225(May), 105009. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2022.105009>
- [13] Kaewbumrung, M., & Charoenloedmongkhon, A. (2022). Numerical Simulation of Turbulent Flow in Eccentric Co-Rotating Heat Transfer. *Fluids*, 7(4), 131. <https://doi.org/10.3390/fluids7040131>
- [14] ANSYS, Solver Theory, Fluent Theory Guide 2022 R1. In Fluent Theory Guide 2022 R1; ANSYS Inc.: Canonsburg, PA, USA, 2022.
- [15] มงคล แก้วบำรุง, กรอมา นุตะศรีรินทร์ และ เฉลิมพล เปล่ง สะอาด (2563). การศึกษาเชิงตัวเลขผลกระทบของทิศทางลมต่อความชื้นในพระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 34, จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.
- [16] มงคล แก้วบำรุง. (2563). การศึกษาเชิงตัวเลขผลกระทบของความชื้นต่อจลิตกรรมฝาผนังในโบราณสถานของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, Vol. 38(5), p503-511. 9p.
- [17] มงคล แก้วบำรุง, ธนาพล สุขชนะ, ชัยยันต์ ใจบุญมา, อนุวัฒน์ บำรุงกิจ, สราวุฒิ สิริเกษมสุข,ชัยวัฒน์ ครู กิจวานิชย์, รวิธนันต์ ทิพย์เสนา, วิภูษณะ ฉายินทุ,กรอมา นุตะศรีรินทร์ และ เฉลิมพล เปล่ง สะอาด (2564). การศึกษาเชิงตัวเลขผลกระทบของการรดน้ำต้นไม้ต่อความชื้นในพระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 35, จังหวัดนครปฐม.