การศึกษาเชิงตัวเลขผลกระทบของความชื้นต่อจิตรกรรมฝาผนังในโบราณสถานของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

Numerical Simulation on the Effect of Moisture Distribution on Ancient Mural Painting in Archaeological Temple of Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

มงคล แก้วบำรุง[1*]

Mongkol Kaewbumrung[1*]

Received: 11 July 2019; Revised: 13 August 2019; Accepted: 10 September 2019

บทคัดย่อ

จังหวัดพระนครศรีอยุธยามีวัดเก่าแก่โบราณเป็นจำนวณมากซึ่งล้วนแสดงถึงความเจริญรุ่งเรืองของศิลปกรรมชั้นสูงที่สั่งสมมาหลายร้อยปีที่ได้รับการสืบทอดมาถึงปัจจุบัน เพื่อรักษาและสืบทอดความสวยงามอันทรงคุณค่าของศิลปะกรรมต่างๆ งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการนำเทคโนโลยีทางวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์มาช่วยในการคำนวณและวางแผนการรักษาวัดและโบราณสถานในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จากการศึกษาและเก็บข้อมูลพบว่าจิตรกรรมฝาผนังของวัดโบราณเสียหายเป็นจำนวนมากจนไม่สามารถฟื้นฟูหรือรักษาให้คงสภาพเหมือนเดิมได้ โดยมีสาเหตุหลักมาจากความชื้นในฤดูฝนที่เกิดการสะสมภายในอาคารของโบราณสถาน ทำให้ภาพจิตรกรรมฝาผนังเกิดการหลุดลอกและเสื่อมสภาพ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการวางระบบระบายความชื้นไม่ดีพอจนทำให้เกิดการสะสมความชื้นที่ก่อให้เกิดหยดน้ำทำความเสียหายแก่ภาพดังกล่าว เพื่อลดปัญหาและยืดอายุของจิตรกรรมฝาผนังดังกล่าวผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลของรูปทรงของพระอุโบสถ/พระวิหาร มาศึกษาการไหลและการกระจายตัวของความชื้นด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) โดยพิจารณาปริมาณความชื้น ทิศทางลม และความสัมพันธ์กันของขนาดอาคาร พบว่ารูปทรงของพระอุโบสถ/พระวิหาร แต่ละแบบมีพฤติกรรมการไหล และบริเวณการสะสมของความชื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถนำไปวางแผนการออกแบบระบบระบายอากาศแบบเฉพาะเจาะจงได้เป็นอย่างดี อีกทั้งเป็นการนำความรู้ทางวิศวกรรมขั้นสูงมาประยุกต์ใช้ในการอนุรักษ์โบราณสถานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ*:* การศึกษาเชิงตัวเลข ความชื้น จิตรกรรมฝาผนัง โบราณสถาน

Abstract

Phra Nakhon Si Ayutthaya province has many ancient temples which represent the prosperity of high-class Royal architecture over the last hundred years. However, study and data collection found that the murals of these ancient temples have been damaged, mainly due to moisture in the rainy season. In particular, the humidifying system in the buildings may be inappropriate, producing an adverse effect on the murals with peeling and deterioration. In order to preserve and inherit the beauty of various Royal arts, the numerical simulation approach is required. The simulated flow field and moisture distribution of the ordination hall style using 3D computational fluid dynamics (CFD) is the focus of this research. To extend the life of ancient murals, a plan for the treatment of these archaeological and ancient temples is proposed. Clearly, the moisture content, wind direction and the relationship of the building size are taken into account. The simulation results found that the size and style of temples influence the flow field and moisture accumulation. The data can be used to plan the design of an effective and specific ventilation system and also permit the application of advanced engineering knowledge effectively in archaeological temple preservation projects.

Keywords*:* Numerical Simulation, Moisture, Ancient wall painting, Archaeological Temple.

---

[1] อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ตำบลหันตรา อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000 ติดต่อ: E-mail, mongkol.kaewbumrung@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 02-979-6999

[1] Lecture, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi. 60 Moo 3 Asian Highway, Phranakhon Si Ayutthaya 13000

** Corresponding author: Mongkol Kaewbumrung,*

บทนำ

จังหวัดพระนครศรีอยุธยามีวัดเก่าแก่โบราณเป็นจำนวณมาก ซึ่งล้วนแสดงถึงความเจริญรุ่งเรืองของศิลปะกรรมชั้นสูงที่สั่งสมมาหลายร้อยปีที่ได้รับการสืบทอดมาถึงปัจจุบัน อันประกอบไปด้วยโบราณสถาน โบราณวัตถุจำนวนมาก เช่น วิหารพระมงคลบพิตร วัดพระศรีสรรเพชญ์ วัดพระราม วัดราชบูรณะ วัดมหาธาตุและ วัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร เป็นต้น ซึ่งได้รับการประกาศขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลก จากการประชุมคณะกรรมการมรดกโลกสมัยสามัญ ณ กรุงคาร์เธจ ประเทศตูนิเซีย เมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2534 และเพื่อเป็นการอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรมในสมัยกรุงศรีอยุธยาหรือสร้างขึ้นในช่วงต้นของกรุงรัตนโกสินทร์ที่ได้ชำรุดทรุดโทรมไปเป็นอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งจิตรกรรมฝาผนังเก่าแก่ที่ยังคงหลงเหลืออยู่ให้ได้ชื่นชมอยู่บ้างแต่ก็มีอัตราการเสื่อมสลายในระดับที่น่าเป็นห่วงอันเนื่องจากความชื้นภายในพระอุโบสถ พระวิหาร หรือ พระมณฑป ทำให้จิตรกรรมฝาผนังโบราณดังกล่าวหลุดลอก ถึงแม้ว่าจะได้รับการบูรณะปฏิสังขรณ์บ้างแต่ก็ยังคงเกิดปัญหาเนื่องจากความชื้นจนถึงปัจจุบัน เช่น วัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร วัดช้างใหญ่ วัดศาลาปูนวรวิหาร วัดไม้รวก และ วัดกลาง อ. นครหลวง เป็นต้น

เพื่อศึกษาการไหลและการกระจายตัวของความชื้นในอาคารโบราณสถานที่มีรูปแบบแตกต่างกันผู้วิจัยได้นำพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการศึกษาสำหรับโบราณสถานขนาดใหญ่ดังนี้

Watkinson[1] ศึกษาการแพร่ของความชื้นและคลอไรด์เพื่อทำนายและหาสาเหตุการผุกร่อนของตะปูสำหรับโครงสร้างอาคารโบราณ Billingsgate (London) พบว่าอัตราการสึกกร่อนสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในอากาศ, Inuzuka[2] ประยุกต์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป scSTREAM เพื่อจำลองการไหลของอากาศภายในอาคาร Sekisui Museum ประเทศญี่ปุ่น พบว่าภายในอาคารที่ไม่มีระบบปรับอากาศหรือมีระบบระบายอากาศที่ไม่เหมาะสมภายใต้สภาวะอากาศชื้นจะส่งผลให้เกิดการสะสมของความชื้นและความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิภายในอาคารอันจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งของหรือระบบโครงสร้างในอาคารดังกล่าวได้ ต่อมา Turcanu[3] ประเมินสภาพภูมิอากาศในอาคารผ่านการจำลองสถานการณ์ความร้อนในโบสถ์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS FLUENT และใช้แบบจำลองความปั่นป่วน $STD\ k-\varepsilon$ พบว่าสำหรับอาคารขนาดใหญ่ต้องใช้เวลามากกว่าอาคารขนาดเล็กเพื่อปรับสภาพอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นให้มีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอทั้งอาคารและอาจจะก่อให้เกิดการสะสมของความชื้นที่อาจเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างหรือวัตถุที่เก็บรักษาไว้ภายในอาคารได้ ดังนั้นเพื่อลดเวลาในการปรับสภาพของภูมิอากาศภายในอาคารขนาดใหญ่ระบบปรับอากาศจะต้องมีความเหมาะสมและสามารถควบคุมการไหลของอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาของ Yasa[4] ศึกษาระบบภูมิอากาศภายในโบราณสถาน The Konya Slender Minaret Madrasah ประเทศตุรกี ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยพื้นฐานที่ต้องพิจารณาสำหรับระบบระบายอากาศภายในอาคารคือ อุณหภูมิ ความชื้น และความสว่าง โดยหากความไม่สัมพันธ์กันของความชื้นและอุณภูมิจะก่อให้เกิดผลเสียต่อโครงสร้างอาคารทั้งภายนอกและภายในความเสียหายของโครงสร้างและวัตถุภายในอาคารจะเสียหายอย่างรวดเร็วหากมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลับของความชื้นและอุณหภูมิ เช่นเดียวกับ Khalil [5] ศึกษาการระบายอากาศและระบบปรับอากาศของโบสถ์โบราณ St Marry's ซึ่งตั้งอยู่ในเมืองไคโร ประเทศอียิปต์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS FLUENT พบว่าการออกแบบระบบระบายอากาศภายในนั้นมีอิทธิพลอย่างมากต่อการกระจายความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งการต่อเติมหรือออกแบบทางสถาปัตยกรรมจะต้องกระทำบนพื้นฐานของการออกแบบที่ถูกต้องเหมาะสมเพื่อป้องกันความไม่สมดุลของระบบระบายอากาศภายในอันจะก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคารและสถาปัตยกรรมที่เก่าแก่ได้ นอกจากนี้ Agostino[6] ศึกษาวิธีระบายอากาศภายในของอาคาร The Crypt of Lecce Cathedral (South Italy) ประเทศอิตาลี โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณเปรียบเทียบกับการทดลองซึ่งมีการเก็บข้อมูลสภาพอากาศนานถึงหนึ่งปี พบว่าผลที่ได้จากการศึกษาด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณให้ผลที่สอดคล้องกับข้อมูลการทดลองได้เป็นอย่างดี และยังพบอีกว่าการเปิด-ปิด หน้าต่างหรือประตูในช่วงฤดูกาลต่าง ๆมีผลกับความชื้น อุณหภูมิ และอัตราการเสื่อมสลายของประติมากรรมปูนปั้น, จิตรกรรมฝาผนัง และภาพเขียนสี ภายในอาคาร ดังนั้นในแต่ละช่วงฤดูต้องกำหนดระเบียบการเปิดและปิดประตู-หน้าต่างอย่างเหมาะสมเพื่อยืดอายุของโบราณสถานดังกล่าว ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาของ Tronchin [7] ศึกษาการไหลของอากาศและระบบระบายอากาศใน Malatestiana Library ประเทศอิตาลี เพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดเรื่องการบริหารจัดการพลังงานสำหรับโบราณสถานซึ่งกำหนดโดย UNESCO ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป IESVE แบบสามมิติ พบว่าข้อมูลทางอากาศพลศาสตร์สามารถนำมาใช้เป็นข้อกำหนดเพื่อวางแผนการเปิด-ปิด ประตูและหน้าต่างของอาคารให้สอดคล้องกับสภาวะภูมิอากาศได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับการศึกษาของ Hussein[8] ศึกษาระบบ

ระบายอากาศของกลุ่มโบราณสถานขนาดใหญ่คือที่ราบสูงกีซ่าอันเป็นที่ตั้งของพิรามิดกีซ่าแหล่งมรดกโลกที่สำคัญและเป็นหนึ่งในเจ็ดสิ่งมหัศจรรย์ของโลก โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาอิทธิพลของลมตะวันตกเฉียงเหนือ (ที่ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปี) และลมพายุตะวันตกเฉียงใต้ต่อโครงสร้างของกลุ่มโบราณสถานพิรามิดและสฟิงซ์ พบว่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นในฤดูกาลต่าง ๆมีผลกระทบต่อการสึกกร่อนอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Hamdi[9] และ Khalil[10] ศึกษาการกระจายตัวของความชื้นในหลุมฝังศพ KV57, Valley of the Kings, Luxor ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS FLUENT พบว่า ปริมาณคนที่เข้าไปเยี่ยมชมโบราณสถานมีผลต่อความชื้นที่เกิดขึ้นภายในซึ่งความชื้นดังกล่าวหากไม่สามารถบริหารหรือจัดการได้อย่างเหมาะสมจะส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อจิตรกรรมฝาผนังภายในและในปี 2019, Grau-Bove[11] รวบรวมผลงานวิจัยที่ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาช่วยในการสำรวจ สนับสนุนการอนุรักษ์เชิงป้องกันและบางครั้งช่วยในการตีความทางประวัติศาสตร์หรือโบราณคดี พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสามารถประยุกต์ใช้ในงานโบราณคดีและประวัติศาสตร์ได้เป็นอย่างดีและเป็นที่ยอมรับขององค์กรระดับโลก เช่น UNESCO และวงการวิจัยในระดับนานาชาติ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประยุกต์ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาทำนายพฤติกรรมการไหลและการกระจายตัวของความชื้นในอาคารโบราณสถานของวัดที่มีรูปแบบตั้งแต่สมัยอยุธยาเพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากการระบายอากาศที่ไม่เหมาะสม ประกอบด้วยพระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร พระอุโบสถวัดช้างใหญ่และ มณฑปวัดกลาง อ.นครหลวง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

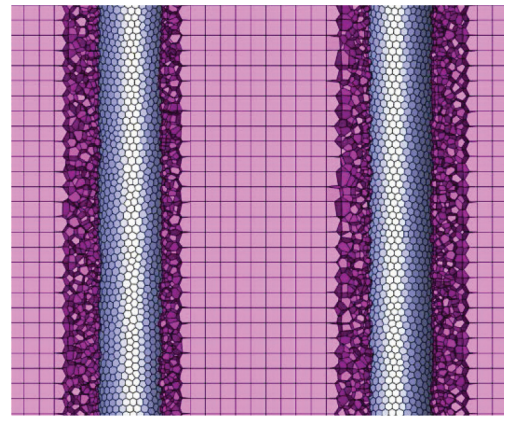
ในการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาการไหลแบบสามมิติภายใต้กรอบอ้างอิงการเคลื่อนที่แบบ Eulerian Reference Frame โดยรูปทรงของพระอุโบสถ วิหารและมลฑปที่ศึกษาประกอบด้วย พระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร, อุโบสถวัดช้างใหญ่ และ มณฑปวัดกลาง ดัง Figure 1

(ก) พระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร

The Royal Ordination Hall of Phra Meru Rachikaram Worawihan Temple

(ข) อุโบสถ วัดช้างใหญ่

The Ordination Hall of Wat Chang Yai

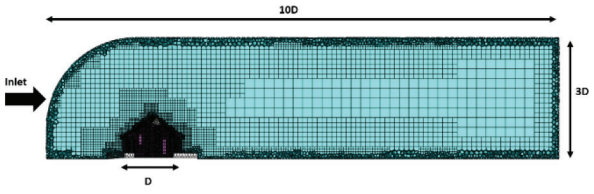


(ค)มณฑปวัดกลาง อ.นครหลวง

The Pavilion of Wat Klang, Nakhon Luang

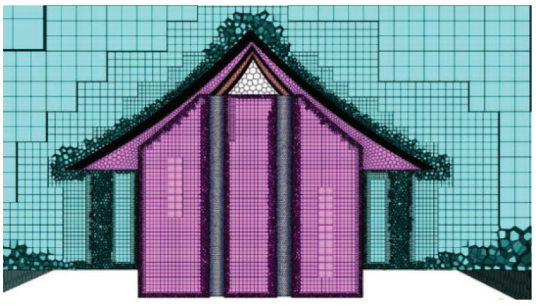
Figure 1 Architecture of the Royal Ordination Hall / the Ordination Hall and the Pavilion

การไหลของอากาศใช้แบบจำลองความปั่นป่วน $SST\ \ k-\omega$ กริดที่ใช้ในการศึกษาเป็นแบบ MOSAIC ซึ่งจากการศึกษาพบว่า MOSAIC Meshing Technology สามารถใช้จำนวนกริดและเวลาคำนวณน้อยกว่ากริดชนิดอื่นแต่ยังคงมีความถูกต้องของคำตอบที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับกริดแบบอื่นๆ[12] โดยกริดที่ใช้ในการศึกษาหลังจากทดสอบ Grid Independent Test แล้วแสดงดัง Figure 2 และ Table 1



กริดทั้งโดเมนของการศึกษา (D = 16 เมตร)

Computational Grid (D = 16 m)



กริดภายในอาคาร

Cross-section of Computational Grid

กริดบริเวณผนังภายในอาคาร

Near Wall Cross-section of Computational Grid

Figure 2 Computational Grid by MOSAIC Technology

Table 1 Number of Computational Grid

	Grid Type		
	Polyhedral	**Hexahedral**	**Isotropic poly prism**
พระอุโบสถวัดพระเมรุ ฯ	5,122,455	4,345,121	3,23,453
อุโบสถ วัดช้างใหญ่	3,122,343	2,232,321	1,267,878
มณฑป วัดกลาง อ. นครหลวง	3,094,323	2,178,987	1,134,967

1. แบบจำลองความปั่นป่วน $SST\ \ k-\omega$

จากการศึกษาที่ผ่านมา[5,8,11] แสดงให้เห็นว่าสมการจำลองความปั่นป่วนแบบ $SST\ \ k-\omega$ ให้ผลที่ถูกต้องและสอดคล้องกับการทดลองเป็นอย่างดี โดยแบบจำลองความปั่นป่วนดังกล่าวนี้เกิดจากการจัดรูปแบบสมการใหม่ของ $BSL\ \ k-\omega$ ด้วยการเพิ่มพจน์ Turbulence Shear Stress (τ_{ij}) เข้าไปในสมการของ Turbulent Viscosity (μ_t)[12] โดยสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (1) – (7)

$$\nabla\cdot\left(\rho\vec{v}\right)=0 \tag{1}$$

$$\nabla\cdot\left(\rho\vec{v}\vec{v}\right)=-\nabla p+\nabla\cdot\mu\left[\left(\nabla\vec{v}+\nabla\vec{v}^{T}\right)-\frac{2}{3}\nabla\cdot\vec{v}I\right] \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho k u_i\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) \tag{3}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho\omega u_i\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\omega}\right)\frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right) \tag{4}$$

$$\nabla\cdot\left(\vec{v}\left(\rho E+p\right)\right)=-\nabla\cdot\left(\sum_j h_j J_j\right) \tag{5}$$

เมื่อ

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

$$S=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i}+\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) \tag{7}$$

สำหรับค่าคงที่ในสมการที่ (1) – (7) อ้างอิงจาก [12]

2. กฎการอนุรักษ์องค์ประกอบทางเคมีของความชื้น (Species Transport Equations)

เนื่องจากความซับซ้อนของการไหลและกลไกการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบทางเคมี (species) ดังนั้นสมการสำหรับการแพร่สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 8

$$\nabla \cdot \left(\rho \vec{v} Y_i \right) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i \quad (8)$$

เมื่อ

R_i คือ Net rate of production species i

$\vec{J}_i$ คือ Diffusion flux of species i

ในงานวิจัยนี้พิจารณาการไหลแบบปั่นป่วนดังนั้นพจน์การแพร่ของมวลที่เกิดขึ้นแต่ละองค์ประกอบ สามารถเขียนระบบสมการที่เกี่ยวข้องกันได้ดังสมการที่ 9 และ สมการที่ 10 ตามลำดับ

$$\vec{J}_i = -\left(\rho D_{i,m} + 1.428 \mu_t \right) \nabla Y_i - D_{T,i} \frac{\nabla T}{T} \quad (9)$$

$$\vec{H}_i = \nabla \cdot \left(\sum_{i=1}^{n} h_i \vec{J}_i \right) \quad (10)$$

3. ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

เนื่องจากการคำนวณพฤติกรรมการไหลในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบปั่นป่วนสำหรับมากกว่าสององค์ประกอบทางเคมี ดังนั้นเพื่อเพิ่มความถูกต้องและการลู่เข้าสู่คำตอบของระบบสมการ Table 2 คือการตั้งค่าสำหรับโปรแกรม ANSYS FLUENT 2019R1

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับภาคกลาง พบว่าโดยเฉลี่ยภาคกลางมีความชื้นสัมพัทธ์ 73 % อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส และความเร็วลมโดยเฉลี่ย 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง[13]

Table 2 Numerical Setting

P-V Coupling	Couple
Gradient	Least Squares Cell Based
Pressure	2nd Order
Momentum	2nd Order Upwind
Energy	2nd Order Upwind
Species	2nd Order Upwind
Pseudo Transient	Enable
WFG Correction	Enable
Multigrid	Flow - F-Cycle TKE - F-Cycle TDR - F-Cycle

ผลการจำลอง

สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาการไหลและการกระจายตัวของความชื้นในโบราณสถาน ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมที่สร้างขึ้นตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา และรัตนโกสินทร์ตอนต้น เพื่อวางแผนการอนุรักษ์เชิงบูรณาการที่ถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ โดยประยุกต์ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับจำลองการไหลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS FLUENT R2019R1 ของพระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร อุโบสถวัดช้างใหญ่ และ มณฑปวัดกลาง อ.นครหลวง ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ผลการศึกษาพบว่า

1. พฤติกรรมการไหลภายในพระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร

พระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร เป็นอาคารขนาดใหญ่ กว้างประมาณ 16 เมตร ยาวประมาณ 50 เมตร อายุ 515 ปี สร้างในรัชสมัยสมเด็จพระรามาธิบดีที่ 2 เมื่อ พ.ศ. 2047 มีดาวเพดานมงคลจักรวาลเก่าแก่ทำจากไม้แกะสลักลงรักปิดทองประดับกระจก พระอุโบสถเป็นสถาปัตยกรรมแบบอยุธยาตอนต้น มีการเจาะช่องแสงแทนการใช้หน้าต่างในสมัยพระเจ้าอยู่หัวบรมโกศ ได้เพิ่มเสารับชายคาพื่อความสวยงามและรับโครงสร้างได้ดีขึ้น พระประธานในอุโบสถเป็นพระพุทธรูปทรงเครื่องหล่อสำริดขนาดใหญ่ที่สุดที่ปรากฏและมีความงดงามมาก เป็นศิลปะสมัยอยุธยาตอนปลาย ด้านหลังยังมีพระพุทธรูปอีกองค์หนึ่งซึ่งมีขนาดเล็กกว่า คือพระศรีอริยเมตไตรย ในสมัยรัชกาลที่ 3 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ได้มีการปฏิสังขรณ์วัดนี้ โดยรักษาแบบอย่างเดิมไว้[14] จาก Figure 3 แสดงภาพตัดขวางแนวความกว้างและความยาวกึ่งกลางพระอุโบสถเพื่อศึกษาการกระจายของอุณหภูมิภายนอกและภายในพระอุโบสถ พบว่าเกิดการหมุนวนของกระแสอากาศทั้งภายนอกและภายในอย่างชัดเจน โดยการหมุนวนภายนอกเกิดขึ้นที่บริเวณด้านเดียวกับทิศทางอากาศที่ไหลเข้าพระอุโบสถ บริเวณใต้หลังคาซึ่งมีอากาศบางส่วนไหลผ่านช่องระบายอากาศด้านข้างผนังเข้าไปภายในและสะสมพลังงานการหมุนกลายเป็นบริเวณการหมุนวนของอากาศขนาดใหญ่บริเวณกึ่งกลางใต้เพดานอันเป็นที่ตั้งของดาวเพดาน นอกจากนี้อุณหภูมิจะสูงสุด 36 องศาเซลเซียสที่บริเวณผนังเพดานฝั่งซ้าย ซึ่งจากพฤติกรรมการไหลดังกล่าวอธิบายได้อย่างชัดเจนว่าการเจาะช่องแสงของผนังพระอุโบสถดังกล่าวมีผลทำให้เกิดการสะสมของอุณหภูมิด้านบนของเพดานสัมพันธ์กับทิศทางการหมุนอันเนื่องจากทิศของกระแสอากาศ ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีความชื้นต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ดังรูปที่ 4 นอกจากนี้การลดพื้นต่ำกว่าขอบพระอุโบสถภายนอกไม่ทำให้เกิดการสะสมของความชื้นแต่ช่วยเพิ่มความเร็วของอากาศและแลกเปลี่ยน

ความชื้นจากบริเวณการหมุนวนกลางพระอุโบสถออกไปสู่ภายนอกอาคาร ดังนั้นข้อควรระวังสำหรับสถาปัตยกรรมการเจาะช่องแสงดังกล่าวคือ จำนวนช่อง ขนาด และตำแหน่งการเจาะที่จะต้องเหมาะสมและต้องสัมพันธ์กับทิศทางการไหล และฤดูกาล เป็นอย่างดี เพื่อสามารถบริหารความชื้นที่สะสมภายในพระอุโบสถได้อย่างมีประสิทธิภาพและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับศิลปกรรมภายในพระอุโบสถ

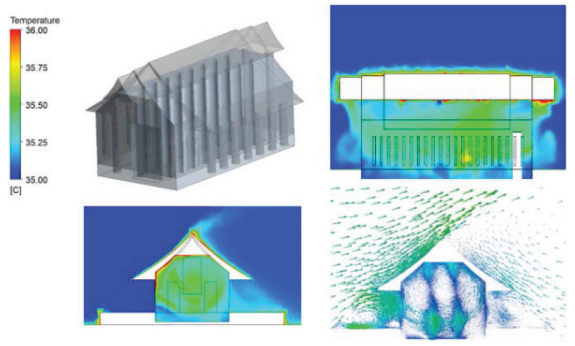


Figure 3 Velocity and Temperature Distribution of the Royal Ordination Hall, Phra Meru Rachikaram Worawihan Temple

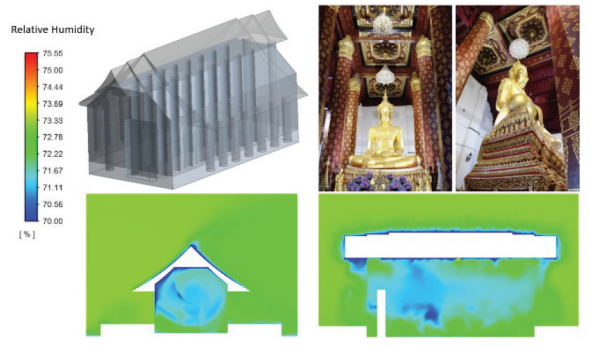


Figure 4 Humidity Distribution of the Royal Ordination Hall, Phra Meru Rachikaram Worawihan Temple

2. พฤติกรรมการไหลภายในอุโบสถ วัดช้างใหญ่

อุโบสถวัดช้างใหญ่ เป็นอาคารขนาดกลาง ก่ออิฐถือปูนขนาด 5 ห้อง ด้านกว้าง 3 ห้อง ด้านหน้ามีพาไล หน้าบันเรียบทั้ง 2 ด้าน ลักษณะอาคารเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหลังคาคลุมอย่างทรงคฤห์ ที่สกัดด้านหน้าต่อเป็นเฉลียงทำหลังคาแบบจั่นหับ (เฉลียงที่ทำหลังคาเป็นเพิงหมาแหงนคลุม) อายุประมาณ 312 ปี ผนังด้านหน้าและผนังภายในอุโบสถของวัดช้างใหญ่มีภาพจิตรกรรมฝาผนังรอบด้าน เขียนด้วยสีฝุ่นรองพื้นด้วยดินสอพอง ด้านหลังองค์พระประธานเป็นภาพพระพุทธประวัติตอนมารวิชัย ผนังด้านหน้าพระประธานเป็นภาพไตรภูมิ ผนังด้านข้างด้านบนเป็นภาพเทพชุมนุม ส่วนด้านล่างระหว่างช่องหน้าต่างเป็นภาพทศชาติชาดก ภาพจิตรกรรมเหล่านี้สันนิษฐานว่าเขียนในสมัยอยุธยาตอนปลาย ตรงกับรัชสมัยพระเจ้าอยู่หัวบรมโกศ ระหว่าง พ.ศ. 2275-2301 ต่อมาภาพบางตอนได้ถูกซ่อมแซมในสมัยรัตนโกสินทร์ตอนต้น ประมาณปี พ.ศ. 2356 [14] จาก Figure 5 แสดงอุณหภูมิและทิศทางการไหลของอากาศภายในและภายนอกพบว่าอากาศเกิดการหมุนวนเป็นวงขนาดใหญ่ภายในอุโบสถและมีอุณหภูมิสูงด้านที่อากาศไหลเข้าเนื่องจากการสะสมความร้อนภายในบริเวณที่เกิดการหมุนวนของอากาศ ซึ่งคล้ายคลึงกับการไหลภายในพระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร และจากผลการหมุนวนของกระแสอากาศดังกล่าวส่งผลให้มีความชื้นต่ำเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ แต่จาก Figure 6 พบว่าบริเวณด้านซ้าย และ หลังอุโบสถ มีความชื้นสูงส่งผลให้ไอน้ำแพร่เข้าสู่ผนังและทำความเสียหายแก่ภาพจิตรกรรมฝาผนัง และจากการตรวจสอบแสดงดัง Figure 7 พบความเสียหายของจิตรกรรมฝาผนังบริเวณด้านหลัง และ ด้านขวา มากกว่าบริเวณอื่นอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รูปทรงของวิหารแบบวัดช้างใหญ่หากมีอากาศไหลเข้าด้านข้างของอุโบสถจะมีโอกาสของความเสียหายต่อจิตรกรรมมากที่ด้านหลังและด้านตรงข้ามกับทิศทางการไหลเข้าของอากาศมากที่สุดเนื่องจากเป็นบริเวณอับอากาศ

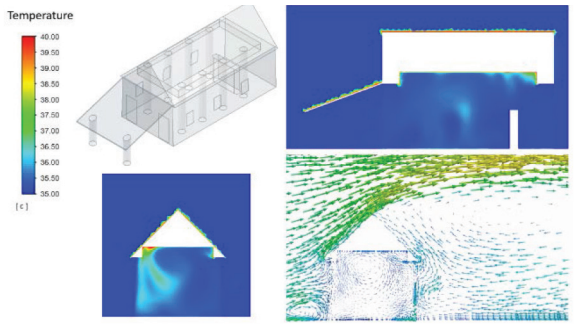


Figure 5 Velocity and Temperature Distribution of the Ordination Hall, Wat Chang Yai

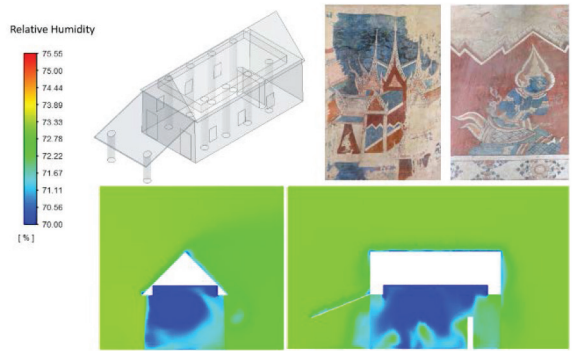


Figure 6 Humidity Distribution of the Ordination Hall, Wat Chang Yai

Figure 7 The Damaged mural painting inside the Ordination Hall, Wat Chang Yai

3. พฤติกรรมการไหลภายในมณฑป วัดกลาง อ. นครหลวง

วัดกลางสร้างขึ้นประมาณ พ.ศ.2330 ต้นกรุงรัตนโกสินทร์ เป็นวัดที่ตั้งอยู่ติดแม่น้ำป่าสัก โบราณสถานสำคัญคือมณฑปหรือวิหาร ซึ่งเชื่อว่าสร้างในสมัยรัชกาลที่ 3 ลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ก่ออิฐถือปูน หลังคามุงกระเบื้อง กลางมณฑปมีพระแท่นยกสูงบนลวดลายบัวคว่ำบัวหงาย มีบันไดเดินขึ้นได้ทั้งสี่ทิศ บนแท่นมีโลงลวดลายทองพื้นสีแดง ขนาดความกว้าง 70 เซนติเมตร. ยาว 2 เมตร ส่วนตัวโลงศพมีความสูง 1 เมตร มีฐานชุกชีรองรับ ที่พิเศษคือตรงปลายโลงด้านทิศตะวันตก มีฝ่าพระบาทของพระพุทธเจ้ายื่นโผล่พ้นโลงทองออกมาทั้ง 2 พระบาท กลางพระบาทมีรูปตรากงจักรและลายก้นหอยสวยงาม ที่ปลายพระบาทมีพระกัสสัปปะยืนไหว้พระบาทอยู่ ซึ่งเป็นการจำลองพิธีถวายพระเพลิงพระพุทธเจ้าแบบเป็นสามมิติเสมือนจริง และมีจิตรกรรมฝาผนังรอบฝาผนังทั้ง 4 ทิศ เป็นเรื่องราวของสาวกพระพุทธเจ้า ที่มาร่วมในถวายพระเพลิงพระบรมศพ[14] ผลการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในมณฑปวัดกลาง แสดงดัง Figure 8 พบว่า เกิดการสะสมความร้อนที่ด้านบนของเพดานและเกิดการหมุนวนของกระแสอากาศหลายจุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านตรงข้ามกับประตูทางเข้า ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทไม่มีประสิทธิภาพและเมื่อพิจารณา Figure 9 แสดงการกระจายความชื้นภายในและภายนอกมณฑป แสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของความชื้นภายในและภายนอกอาคารโดยเฉพาะบริเวณผนังด้านใน ซึ่งส่งผลให้เกิดความชื้นสะสมภายในมณฑปและสร้างความเสียหายแก่ภาพจิตรกรรมฝาผนังอย่างรุนแรงจนยากแก่การซ่อมแซมให้เหมือนเดิม รวมถึงโบราณวัตถุอื่นๆอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งจากผลดังกล่าวสอดคล้องกับภาพที่เสียหายหลุดลอก บริเวณด้านในรอบมณฑป เสารอบๆ โลงทอง และลายเขียนสีบนเพดาน แสดงดัง Figure 10 ดังนั้น จากผลการจำลองด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับสถาปัตยกรรมของมณฑปรูปทรงดังกล่าวมีโอกาสเกิดความเสียหายค่อนข้างสูงที่บริเวณขอบด้านบนของผนังอาคาร และในช่วงฤดูฝนบริเวณขอบหลังคาด้านบนเปิดเป็นช่องว่างซึ่งจะส่งผลให้ความชื้นสามารถกระจายเข้ามาในอาคารผนวกกับการระบายอากาศที่ไม่ดีพอ ส่งผลให้เกิดอับชื้นทั่วทั้งมณฑปและสร้างความเสียหายโบราณวัตถุภายใน

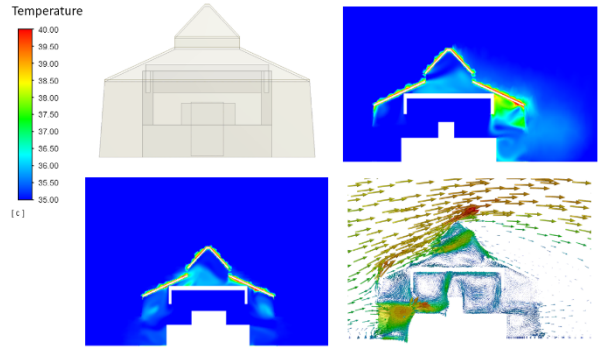


Figure 8 Velocity and Temperature Distribution of the Pavilion, Wat Klang, Nakhon Luang

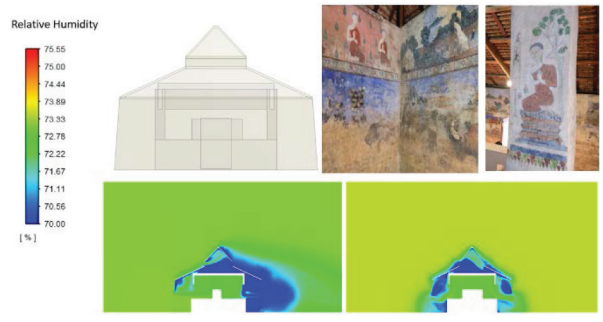


Figure 9 Humidity Distribution of the Pavilion, Wat Klang, Nakhon Luang

Figure 10 The Damaged mural painting inside the Pavilion, Wat Klang, Nakhon Luang

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประยุกต์ใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาทำนายพฤติกรรมการไหลและการกระจายตัวของความชื้นในอาคารโบราณสถานของวัดที่มีรูปแบบตั้งแต่สมัยอยุธยาเพื่อป้องกันความเสียหายเนื่องจากการระบายอากาศที่ไม่เหมาะสม ประกอบด้วย พระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร อุโบสถวัดช้างใหญ่ และ มณฑปวัดกลาง อ.นครหลวง ด้วยแบบจำลองความปั่นป่วน $SST\ \ k-\omega$ และกฎการอนุรักษ์องค์ประกอบทางเคมีของความชื้น (Species Transport Equations) สร้างกริดแบบ MOSAIC Meshing Technology ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS FLUENT 2019R1 ผู้วิจัยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับภาคกลาง มีความชื้นสัมพัทธ์ 73 % อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส และความเร็วลมโดยเฉลี่ย 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ผลการศึกษาพบว่าอาคารที่มีสถาปัตยกรรมแบบพระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร เกิดการหมุนวนของกระแสอากาศทั้งภายนอกและภายในอย่างชัดเจน โดยการหมุนวนภายนอกเกิดขึ้นที่บริเวณด้านเดียวกับทิศทางอากาศที่ไหลเข้าพระอุโบสถบริเวณใต้หลังคา (ด้านซ้าย) ซึ่งมีอากาศบางส่วนไหลผ่านช่องระบายอากาศด้านข้างผนังเข้าไปภายในและสะสมพลังงานการหมุนกลายเป็นบริเวณการหมุนวนของอากาศขนาดใหญ่บริเวณกึ่งกลางใต้เพดานอันเป็นที่ตั้งของดาวเพดาน นอกจากนี้อุณหภูมิจะสูงสุด 36 องศาเซลเซียสที่บริเวณผนังเพดานซ้าย ซึ่งจากพฤติกรรมการไหลดังกล่าวอธิบายได้อย่างชัดเจนว่า การเจาะช่องแสงของผนังพระอุโบสถดังกล่าวมีผลทำให้เกิดการสะสมของอุณหภูมิด้านบนของเพดานสัมพันธ์กับทิศทางการหมุนอันเนื่องจากทิศของกระแสอากาศ ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีความชื้นต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ นอกจากนี้การยกพื้นต่ำกว่าขอบพระอุโบสถภายนอกไม่ทำให้เกิดการสะสมของความชื้นแต่ช่วยเพิ่มความเร็วของอากาศและแลกเปลี่ยนความชื้นจากบริเวณการหมุนวนกลางพระอุโบสถออกไปสู่ภายนอกอาคาร ดังนั้นข้อควรระวังสำหรับสถาปัตยกรรมการเจาะช่องแสงดังกล่าวคือ จำนวนช่อง ขนาดและตำแหน่งการเจาะที่จะต้องเหมาะสมและสัมพันธ์กับการไหลหรือฤดูกาลเป็นอย่างดี

สำหรับอุณหภูมิและทิศทางการไหลของอากาศภายในและภายนอกอุโบสถ วัดช้างใหญ่ พบว่าอากาศเกิดการหมุนวนเป็นวงขนาดใหญ่ภายในวิหารและมีอุณหภูมิสูงด้านที่อากาศไหลเข้าเนื่องจากการสะสมความร้อนภายในบริเวณที่เกิดการหมุนวนของอากาศ ซึ่งคล้ายคลึงกับการไหลภายในพระอุโบสถวัดพระเมรุราชิการามวรวิหาร และจากผลการหมุนวนของกระแสอากาศดังกล่าวส่งผลให้มีความชื้นต่ำเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ นอกจากนี้ บริเวณด้านซ้าย และ หลังอุโบสถมีความชื้นสูงส่งผลให้ไอน้ำแพร่เข้าสู่ผนังและทำความเสียหายแก่ภาพจิตรกรรมฝาผนัง ตรวจสอบพบความเสียหายของจิตรกรรมฝาผนังบริเวณด้านหลัง และ ด้านขวา มากกว่าบริเวณอื่นอย่างชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลอง อันแสดงให้เห็นว่า รูปทรงของอุโบสถ วัดช้างใหญ่ หากมีอากาศไหลเข้าด้านข้างของอุโบสถจะมีโอกาสของความเสียหายต่อจิตรกรรมมากที่ด้านหลังและด้านตรงข้ามกับทิศทางการไหลเข้าของอากาศมากที่สุดเนื่องจากเป็นบริเวณอับอากาศ

ผลการศึกษาพฤติกรรมการไหลภายในมณฑปวัดกลาง พบว่า เกิดการสะสมความร้อนที่ด้านบนของเพดานและเกิดการหมุนวนของกระแสอากาศหลายจุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านตรงข้ามกับประตูทางเข้า ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทอากาศและความชื้นไม่มีประสิทธิภาพ การกระจายความชื้นภายในและภายนอกมณฑปแสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของความชื้นภายในและภายนอกมณฑปโดยเฉพาะบริเวณผนังด้านใน ซึ่งส่งผลให้เกิดความชื้นสะสมภายในมณฑปและสร้างความเสียหายแก่ภาพจิตรกรรมฝาผนังอย่างรุนแรงจนยากแก่การซ่อมแซมให้เหมือนเดิม รวมถึงโบราณวัตถุอื่นๆอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งจากผลดังกล่าวสอดคล้องกับภาพจิตรกรรมฝาผนังที่เสียหาย หลุดลอก บริเวณด้านในรอบมณฑป เสารอบๆ โลงทอง และลายเขียนสีบนเพดาน ดังนั้นจากผลการจำลองด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสำหรับสถาปัตยกรรมของมณฑปรูปทรงดังกล่าวมีโอกาสเกิดความเสียหายค่อนข้างสูงที่บริเวณขอบด้านบนของผนังอาคาร และในช่วงฤดูฝน บริเวณขอบหลังคาด้านบนเปิดเป็นช่องว่างซึ่งจะส่งผลให้ความชื้นสามารถกระจายเข้ามาในอาคารผนวกกับการระบายอากาศที่ไม่ดีพอ ส่งผลให้เกิดอับชื้นทั่วทั้งมณฑปและโบราณวัตถุภายใน

สำหรับงานวิจัยในอนาคตจะมุ่งเน้นการศึกษาเพิ่มเติมของทิศทางลมที่ไหลเข้า ความผันแปรของความชื้นในแต่ละฤดูกาล การกลั่นเป็นหยดน้ำ และ การแพร่ของความชื้นเข้าสู่ผนัง เพื่อทำนายและออกแบบวัสดุสำหรับบำรุงรักษาหรือเคลือบภาพเขียน จิตกรรมฝาผนัง และวางแผนระยะเวลาการบูรณะได้อย่างถูกต้องแม่นยำตามหลักวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนโปรแกรม ANSYS FLUENT จากห้องวิจัยการเผาไหม้ขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้การควบคุมของ ดร. เฉลิมพล เปล่งสอาด

เอกสารอ้างอิง

1. Watkinson D.E., Rimmer M.B. & Emmerso N.J. (2019). The Influence of Relative Humidity and Intrinsic Chloride on Post-excavation Corrosion Rates of Archaeological Wrought Iron. Studies in Conservation, 2047-0584.
2 Inuzuka M. (2016): Modelling temperature and humidity in storage spaces used for cultural property in Japan. Studies in Conservation, 2047-0584.
3 Turcanu F.E., Verdes M., Serbanoiu I., Ciocan V., & Balan M.C. (2017). Assessment of Indoor Climate Environment Via Hygrothermal Simulation in Historical Churches. 10th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, 181, 412-417.
4 Yasa E., Fidan G. & Tosun M. (2014), Analysis of Historic Buildings in Terms of their Microclimatic and Thermal Comfort Performances “Example of Konya Slender Minaret Madrasah”. J. Archit Eng Tech, 3(3), DOI :10.4172/2168-9717.1000126.
5 Khalil E.E. (2016). Air Conditioning of St Mary’s Archeological Church, Cairo. REHVA Journal, 2, 56-60.
6 Agostino D.D., Congedo P.M. & Cataldo R. (2013). Ventilation control using computational fluid-dynamics (CFD) modelling for cultural buildings conservation, Procedia Chemistry, 8, 83-91.
7 Tronchin L. & Fabbri K. (2017). Energy and Microclimate Simulation in a Heritage Building: Further Studies on the Malatestiana Library. Energies, 10(10), 1621.
8 Hussein A. & El-Shishiny H. (2009), Influences of wind flow over heritage sites: A case study of the wind environment over the Giza Plateau in Egypt. Environmental Modelling & Software, 24, 389-410.
9 Hamdi A., Ali M., El-Bialy E. & Khalil E.E. (2015). Flow Regimes and Thermal Analyses in Ventilated Archeological Tomb KV57, Valley of the Kings, Luxor. Journal of Energy and Power Sources, 3(2), 131-136.
10 Khalil E.E. (2017). On the Modeling of Air Flow in the Tombs of the Valley of Kings. Fluid Mechanics: Open Access, 4(3), DOI: 10.4172/2476-2296.1000166.
11 Grau-Bove J., Mazzei L., Strlic M. & Cassar M. (2019). Fluid simulations in heritage science. Heritage Science, 7(16).
12 ANSYS. (2019). ANSYS FLUENT-Solver Theory Guide. ANSYS FLUENT Release 2019R1, Ansys Inc., Canonsburg, PA.
13 Thai Meteorological Department. (2019). Thailand Annual Weather Summary. Available from https://www.tmd.go.th. Accessed February 3, 2019.
14 The Fine Arts Department. (2019). Available from http://www.finearts.go.th. Accessed February 3, 2019.