

การศึกษาเชิงตัวเลขการกระจายตัวของอากาศภายในอาคารนิทรรศการ Numerical Study of Air Distribution Inside Exhibition Hall

ศุภสิน รุจิพานิชย์ กัณฑ์กรณณ์ เขาทอง*

¹วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

อ. กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Supasin Rujipanich Kunthakorn Khaothong*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University,

Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen District, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author Email: Supasin.ruj@gmail.com

(Received: August 1, 2024; Revised: February 21, 2025 ; Accepted: April 3, 2025)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการส่งกระจายลมผ่านระบบท่อส่งลมของอาคารขนาดใหญ่นิยมใช้ท่อส่งลมแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี ซึ่งมี การส่งกระจายลมเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศโดยใช้หน้ากากลม แต่จากการใช้งานพบว่าท่อส่งลมแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีมีราคา สูง การก่อสร้างทำได้ยุ่งยาก และมีการเกิดแรงลมปะทะภายในท่อขณะส่งลม นอกจากนี้การใช้หน้ากากลมมีการส่งลมไม่ ครอบคลุมทั่วพื้นที่ปรับอากาศ เนื่องจากหัวจ่ายลมสามารถส่งลมได้เฉพาะจุด ส่งผลให้เกิดบริเวณจุดอับ ดังนั้นการใช้งาน ท่อลมสมัยใหม่ คือ ท่อลมผ้าทอโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิก ซึ่งมีการส่งกระจายลมด้วยวิธีซึมผ่านหรือไหลออกจาก รูเจาะของท่อลม ทำให้สามารถส่งกระจายลมได้ทั่วบริเวณพื้นที่ปรับอากาศ ถือเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ออกแบบ ด้วย เหตุนี้งานวิจัยนี้นำเสนอรูปแบบการส่งกระจายลมเย็นด้วยท่อลมผ้าทอโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิก กรณีศึกษาอาคาร นิทรรศการที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การจำลองการส่งกระจายลมผ่านรูเจาะท่อลม 3 รูปแบบ ได้แก่ การกระจายลมด้วยรูขนาด ซึ่งถือว่าไม่มีไหลลดความร้อน, การกระจายลมด้วยรูพูน ซึ่งถือว่าไม่มีไหลลด ความร้อน และ การกระจายลมด้วยรูพูนตลอดความยาวท่อลม ซึ่งมีไหลลดความร้อน ผลจากการศึกษาพบว่า ท่อลมผ้าทอ โพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิกแบบที่ 3 (Model C) คือ การกระจายลมด้วยรูพูนตลอดความยาวท่อลม ซึ่งมีไหลลด ความร้อน สามารถส่งกระจายลม และรักษาอุณหภูมิได้ดีเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่นที่กล่าวมา

คำสำคัญ: ท่อลมผ้าทอโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิก, รูเจาะ, วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, การกระจายลม

ABSTRACT

Currently, the distribution of air through duct systems in large buildings commonly uses galvanized steel sheet ducts, which deliver air into the conditioned space using air diffusers. However, it has been observed that galvanized steel sheet ducts are expensive, difficult to install, and experience air pressure within the ducts during air delivery. Furthermore, using air diffusers does not provide uniform air distribution across the conditioned space, as the air diffusers can only deliver air to specific spots, leading to areas with insufficient airflow. As a result, the modern alternative is the use of polyester

fabric ducts coated with PVC acrylic. These ducts distribute air through permeation or through holes in the duct, allowing air to be spread evenly across the conditioned space. This offers a potential design solution. This research presents an air distribution model using polyester fabric ducts coated with PVC acrylic, using a case study of an exhibition building with an air conditioning system. The study applies computational fluid dynamics to simulate the air distribution through three types of perforated ducts: air distribution through holes of fixed size (with no heat load), air distribution through porous holes (with no heat load), and air distribution through porous holes along the entire length of the duct (with heat load). The results indicate that the polyester fabric duct coated with PVC acrylic, in the third configuration (Model C) (air distribution through porous holes along the entire duct length, with heat load), is the most effective in delivering air and maintaining temperature when compared to the other configurations.

Keyword: PVC-coated polyester canvas duct, drilled hole, Computational Fluid Dynamics (CFD), air distribution.

1. บทนำ

ปัญหาสภาวะแวดล้อมของโลกในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมดำเนินชีวิตของมนุษย์ จากผลสำรวจพบว่ามนุษย์ส่วนใหญ่ใช้เวลาประมาณสองในสามส่วนของแต่ละวันดำเนินกิจกรรมต่างๆภายในอาคาร คิดเป็นสัดส่วนเวลามากกว่า 16 ชั่วโมงต่อหนึ่งวัน [1] การควบคุมสภาวะอากาศจึงเป็นปัจจัยสำคัญเพื่อให้ผู้อยู่อาศัยและดำเนินกิจกรรมเกิดความสบาย วิศวกรและนักวิจัยทางด้านระบบปรับอากาศจำนวนมากได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาวะของอากาศภายในอาคาร โดยคำนึงถึงสภาวะความสบาย (Comfort Zone) ที่มีปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ความเร็วลม (Air Velocity) และการแผ่ความร้อนจากสิ่งแวดล้อม (Radiation from environment) [2] สำหรับประเทศไทยมีสภาวะอากาศแบบร้อนชื้น [3] หากต้องการควบคุมพื้นที่ปรับอากาศให้เกิดสภาวะความสบาย ตามหลักการออกแบบของมาตรฐานสมาคมวิศวกรการทำความร้อน ความเย็นและการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา ฉบับที่ 55 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; ASHRAE Standard 55-202)

ซึ่งแนะนำเกณฑ์การควบคุมอุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ 24 – 27 องศาเซลเซียส, ความเร็วลม เท่ากับ 0.2 – 1.0 เมตรต่อวินาที และการแผ่ความร้อนจากสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 1,324.93 วัตต์ต่อตารางเมตร [4] สำหรับการควบคุมสภาวะอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศขนาดใหญ่ นิยมใช้ระบบปรับอากาศร่วมกับระบบท่อส่งลมเพื่อส่งกระจายลมเข้าสู่พื้นที่อย่างครอบคลุม หลายทศวรรษที่ผ่านมาอุตสาหกรรมระบบปรับอากาศของประเทศไทยนิยมก่อสร้างท่อส่งลมด้วยวัสดุแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ท่อลมประเภทนี้มีราคาสูง เกิดมลพิษ มีการสูญเสียประสิทธิภาพในการส่งกระจายลมเนื่องจากการเกิดแรงลมปะทะภายในท่อ การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน และการรั่วซึมของท่อลม [5] ดังนั้นความก้าวหน้าเทคโนโลยีด้านวัสดุศาสตร์และเคมีสิ่งทอ ได้มีการพัฒนาผ้าทอเส้นใยโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิก ซึ่งสามารถนำมาใช้ส่งกระจายลมภายในระบบปรับอากาศ มีคุณสมบัติเด่นคือ ราคาถูก น้ำหนักเบา เป็นฉนวน กันความชื้น ทนต่อแรงดึง ติดตั้งและสามารถทำความสะอาดได้ง่าย [6] การส่งกระจายลมของท่อลมผ้าทอเส้นใยโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิกจะใช้หลักการซึมผ่านของอากาศผ่านเนื้อผ้า และการไหลของอากาศออกบริเวณ

รูเจาะ ซึ่งถือว่าอากาศที่ออกจากท่อลมในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ความพรุนท่อลม มีความเร็วต่ำอย่างสม่ำเสมอตลอดตามแนวความยาวท่อลม เมื่อพิจารณาความเร็วลมของพื้นที่ปรับอากาศและค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกท่อลม มีค่าน้อยมาก [7] ท่อลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะทางออกของอากาศขนาดใหญ่หรือมีความพรุนสูง จะมีความดันภายในท่อลมต่ำ และมีการกระจายตัวของความเร็วไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ท่อลมไม่สามารถส่งลมได้ถึงปลายทางท่อลม ซึ่งอยู่ไกลจากเครื่องส่งลมมาก [8] ดังนั้นการออกแบบการเจาะรูที่ส่งลม จำเป็นต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของค่าความดันสูญเสียภายในท่อลม

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics; CFD) สามารถมองเห็นสายธารการไหลของกระแสอากาศในสภาวะการทำงาน ส่งผลให้เทคโนโลยีการจำลองเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความสะดวก ประหยัด และใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการทดลองจัดสร้างจริง [9] ด้วยเหตุนี้ [10] ใช้การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วยโปรแกรม ANSYS Fluent เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆภายในห้อง โดยตรวจสอบการระบายความร้อนของอากาศและความแปรผันของอุณหภูมิที่ส่งผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัย ซึ่งได้ข้อสรุปว่าระยะการวางท่อส่งลมที่เหมาะสมสำหรับห้องกรณีศึกษาขนาดพื้นที่ 14.60 ตารางเมตร ความสูง 6.00 ตารางเมตร ควรวางตำแหน่งทางออกของท่อลมที่ระดับความสูงจากพื้น 2.74 เมตร สำหรับการควบคุมสภาวะอากาศของอาคารสมัยใหม่จำเป็นต้องพิจารณาเกณฑ์ข้อกำหนดด้านคุณภาพอากาศ เพื่อให้อากาศภายในพื้นที่มีความบริสุทธิ์ วิศวกรผู้ออกแบบระบบจึงมีการศึกษาการออกแบบระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ เรียกว่า ระบบความร้อน ความเย็น และการระบายอากาศ (Heating, Ventilation, and Air-conditioning system; HVAC)

[11] นำวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาใช้ในการศึกษาดำเนินการวางจุดตะแกรงกระจายลมเย็น ซึ่งเป็นทางออกของท่อส่งลมในระบบปรับอากาศของอาคารขนาดใหญ่ โดยศึกษาอุณหภูมิอากาศและความเร็วลมภายในอาคาร เปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองตรวจวัดจริง เพื่อเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่สร้างขึ้น ผลจากการศึกษาพบว่า วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณสามารถนำมาใช้เป็นตัวเครื่องมือการทำงานการกระจายตัวของอากาศ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบความร้อน ความเย็น และการระบายอากาศ (Heating, Ventilation, and Air-conditioning system; HVAC) การส่งลมออกจากท่อลมเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศนั้นอาศัยตะแกรงลม (Air grille) ในการส่งกระจายลมอย่างทั่วถึง จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบและจัดวางอย่างเหมาะสม [12] นำวิธีการเชิงตัวเลข (Numerical method) มาศึกษาตำแหน่งและขนาดของตะแกรงลม ที่มีผลต่อความเย็นสบายและสภาพแวดล้อมภายในอาคาร โดยมีการพัฒนาแผนการเพิ่มประสิทธิภาพของตะแกรงลมด้วยการใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยปกติการพิสูจน์ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่ใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณนิยมเปรียบเทียบผลลัพธ์กับผลการทดลองจริง ดังนั้น [13] ได้จำลองการไหลของอากาศภายในท่อเรียบ (Smooth air duct) และเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลองและผลการคำนวณจากสมการของ Modified Dittus-Boelter เพื่อคำนวณเลขนัสเซล (Nusselt number; Nu) แพลคเตอร์แรงเสียดทาน (Friction loss) และแรงดันตกคร่อม (Pressure drop) โดยเสนอเกณฑ์ความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบกับผลการคำนวณมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10%

จากการตรวจเอกสารพบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งกระจายอากาศเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ เป็นการวิเคราะห์ท่อลมที่ทำจากวัสดุเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel) ซึ่งเป็นวัสดุดั้งเดิม ซึ่งมีการส่งลม

ผ่านตะแกรงลมที่จำเป็นต้องมีการออกแบบและจัดวางอย่างเหมาะสม ส่งผลให้การออกแบบระบบท่อลมมีความยุ่งยากซับซ้อน รวมไปถึงการใช้ตะแกรงลมอาจไม่สามารถส่งลมให้เข้าถึงมุมอับของพื้นที่ได้ด้วยข้อจำกัดด้านต่างๆ ด้วยเหตุนี้การพิจารณาท่อลมทางเลือกใหม่คือ ท่อลมผ้าทอเส้นใยโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิก (PVC-coated polyester canvas duct) ซึ่งมีการการส่งลมด้วยวิธีการเจาะรูเพื่อเป็นทางออกของอากาศ ด้วยวิธีการนี้ผู้ออกแบบจะสามารถออกแบบตำแหน่งและทิศทางการส่งกระจายลมให้เข้าถึงบริเวณมุมอับ รวมถึงสามารถออกแบบให้หลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางทางเดินท่อลมได้ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการกระจายตัวของอากาศในอาคารนิทรรศการปรับอากาศที่ส่งและกระจายลมด้วยผ้าทอเส้นใยโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิกเพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของอากาศและอุณหภูมิภายในอาคารปรับอากาศ เพื่อเป็นทางเลือกในการออกแบบของวิศวกรผู้ออกแบบงานระบบท่อลม

2. วิธีการศึกษา

2.1 ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics; CFD)

2.1.1 การศึกษาเชิงตัวเลข (Numerical method study)

โดยทั่วไปการไหลของอากาศมักมีการไหลแบบปั่นป่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการไหลของอากาศภายในท่อลมผ้าเส้นใยโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิกจะมีความปั่นป่วนสูงเนื่องจากอากาศที่ไหลผ่านช่องรูพรุนจะมีการติดขัดทางโครงสร้างกายภาพของรูพรุน (ตัวกลางที่เป็นเส้นใยที่มีรูพรุน) ดังนั้นการศึกษาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณจึงมีการใช้แบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนเรียกว่า k-epsilon turbulent model ($k - \epsilon$) ภายใต้สมมติฐานดังต่อไปนี้

- 1) การไหลเวียนของอากาศภายในอาคารเป็นไปตามสมมติฐานของ Boussinesq
- 2) กำหนดค่าความร้อนจำเพาะคงที่ ณ ความดันคงที่

- 3) การนำความร้อนและความหนืดคงที่
- 4) ลมที่ส่งเป็นไอโซโทรปิกและอิมพัลตามสมการความต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม และ
- 5) ระบบมีการถ่ายเทความร้อน อธิบายสมการควบคุมการไหลของอากาศและการกระจายตัวของอากาศในระบบท่อส่งลมและกระจายลมแบบรูพรุน ด้วยสมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัมในแนวแกน X, Y, Z และสมการพลังงาน แสดงดังสมการ (1) - (5) ตามลำดับ [14]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho u v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial z} \\ & = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial\left(\frac{(\mu+\mu_t)\partial u}{\partial(\varphi x)}\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\frac{(\mu+\mu_t)\partial u}{\partial(\varphi y)}\right)}{\partial y} + \frac{\partial\left(\frac{(\mu+\mu_t)\partial u}{\partial(\varphi z)}\right)}{\partial z} \\ & - \left(\frac{\mu}{\alpha} + \frac{\rho F|u|}{\alpha^2}\right) u; \quad 0 < \varphi \leq 1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial z} \\ & = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial\left(\frac{(\mu+\mu_t)\partial v}{\partial(\varphi x)}\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\frac{(\mu+\mu_t)\partial v}{\partial(\varphi y)}\right)}{\partial y} + \frac{\partial\left(\frac{(\mu+\mu_t)\partial v}{\partial(\varphi z)}\right)}{\partial z} \\ & - \left(\frac{\mu}{\alpha} + \frac{\rho F|v|}{\alpha^2}\right) v; \quad 0 < \varphi \leq 1 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w w)}{\partial z} \\ & = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial\left(\frac{(\mu+\mu_t)\partial w}{\partial(\varphi x)}\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\frac{(\mu+\mu_t)\partial w}{\partial(\varphi y)}\right)}{\partial y} + \frac{\partial\left(\frac{(\mu+\mu_t)\partial w}{\partial(\varphi z)}\right)}{\partial z} \\ & - \left(\frac{\mu}{\alpha} + \frac{\rho F|w|}{\alpha^2}\right) w; \quad 0 < \varphi \leq 1 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \rho \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(uT)}{\partial x} + \frac{\partial(vT)}{\partial y} + \frac{\partial(wT)}{\partial z} \right] \\ & = \frac{\partial\left\{\frac{\partial[(1-\varphi)\lambda_{fiber} + \varphi\lambda_{air}]T}{\partial(C_p x)}\right\}}{\partial x} + \frac{\partial\left\{\frac{\partial[(1-\varphi)\lambda_{fiber} + \varphi\lambda_{air}]T}{\partial(C_p y)}\right\}}{\partial y} \\ & + \frac{\partial\left\{\frac{\partial[(1-\varphi)\lambda_{fiber} + \varphi\lambda_{air}]T}{\partial(C_p z)}\right\}}{\partial z} \end{aligned} \quad (5)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3), u , v และ w คือ ความเร็ว

ในทิศทาง X-, Y-, Z- ตามลำดับ หน่วยเมตรต่อวินาที (m/s), μ คือ ค่าความหนืดของการไหลของอากาศ หน่วยนิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร (N·s/m²), α คือ ค่าการซึมผ่านของเส้นใย หน่วยกรัม/ตารางเมตร (g/m²), λ_{fiber} , λ_{air} คือ ค่าการนำความร้อนของอากาศและเส้นใย ตามลำดับ หน่วยวัตต์ต่อเมตร-เคลวิน (W/m·K),

พิจารณา $0 < \phi \leq 1$ หมายความว่าอากาศสามารถผ่านทะลุส่วนของความพรุนของเส้นใย และ $\phi = 1$ หมายความว่าอากาศจะไหลภายในโพรงและช่วงด้านบนของด้านในระบบท่อลม งานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าคงที่ตามแบบจำลอง k-epsilon turbulent model ($k - \epsilon$) ที่สอดคล้องกับฟังก์ชันโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS Fluent ดังนี้ $C_{mu} = 0.09$, C_1 -Epsilon = 1.44, C_2 -Epsilon = 1.92, TKE Prandtl Num = 1, TDR Prandtl Num = 1.3, Energy Prandtl Num = 0.85, Wall Prandtl Num = 0.85 และกำหนดให้ท่อลมผ้าทอโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิกมีความหนาแน่น 1,340 kg/m³, ค่าความจุความร้อนจำเพาะ 1,450 J/kg·K, ค่าการนำความร้อน 0.28 W/m·K, ค่าความหนืด 1.72x10⁻⁵ kg/m·s

2.1.2 การกำหนดโครงสร้างตาข่าย (Meshing)

เพื่อให้อากาศที่อยู่ภายในแบบจำลองของท่อลมแลกเปลี่ยนกับอากาศบริเวณอื่น งานวิจัยนี้จึงแบ่งสร้างโครงสร้างตาข่ายเป็นกลุ่ม ประกอบด้วย อากาศในอาคาร (Air room), อากาศในท่อ (Air in duct), ผีวท่อพรุน (Duct porous) และกลุ่มผนัง (Face) ประกอบไปด้วย ผนังท่อภายในติดกับอากาศในท่อ (Duct side in air), ผนังท่อพรุนภายนอกติดกับอากาศในอาคาร (Porous duct side room), ช่วงท้ายของท่อลม(End sym duct), อากาศภายในท่อติดกับผนังท่อด้านใน (Air side duct in), อากาศในอาคารติดกับผนังท่อพรุนด้านนอก(Room side porous out), อากาศในอาคารติดกับช่วงท้ายของท่อลม (Room side end sym), ขาเข้า(Inlet), ขาออก(Outlet), ผนังท่อ(Duct), ผนังอาคาร (Front wall, Back wall), พื้นอาคาร (Floor), ช่องระบายอากาศ (Vent), หลังคา

อาคาร (Roof), ประตู (Door), ผู้คน (Human), ผนังจอ (Screen wall), จอ (Screen) โดยกำหนดแบบจำลอง 1) Model A จำนวน Elements 58,628,957 จำนวน Node 11,116,779 2) Model B จำนวน Elements 23,575,585 จำนวน Node 10,403,056 และ 3) Model C จำนวน Elements 31,603,621 จำนวน Node 11,639,851 สำหรับท่อลมได้ควบคุมค่าขอบเขตของอากาศ (Cell zone conditions) และแบ่งโครงสร้างตาข่ายออกเป็น 3 กลุ่มคือ 1) อากาศในอาคาร (Air room), 2) อากาศในท่อ (Air in duct), 3) ผีวท่อพรุน (Duct porous)

2.1.3 คุณสมบัติของลมและการซึมผ่านของท่อลม

การกำหนดความพรุนของท่อลม ค่า Porosity = 0.64 เป็นค่าอ้างอิงจาก [6], กำหนดรูปแบบเป็น Thermal Model Equilibrium และให้ลมที่ไหลผ่านรูพรุนมี Relative Viscosity และ Brinkman model อธิบายผลของตัวกลางที่มีรูพรุนต่อการแพร่กระจาย ดังสมการ (6) และสมการ (7) สำหรับการไหลแบบหนืดประสิทธิภาพความหนืดแทน (μ_e)

$$\mu_e = \mu_r \mu \quad (6)$$

$$\mu_r = (1 - \gamma)^{-2.5} \quad (7)$$

เมื่อ μ_e คือ ความหนืดของของไหล หน่วยนิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร (N·s/m²), μ_r คือ ความหนืดสัมพัทธ์ หน่วยนิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร (N·s/m²)

เพื่อให้สามารถวิเคราะห์การไหลบริเวณทางออกรูพรุนของลมมายังพื้นที่ปรับอากาศจึงต้องใช้วิธี Mesh Interfaces เพื่อเชื่อมจุดต่อของลมในงานวิจัยให้เกิดผล งานวิจัยนี้กำหนดให้ Gravitational Acceleration แกน X = 0, Y = - 9.81, Z = 0 กำหนดให้ Operating Temperature และ Operating Density เท่ากับ 300 เคลวิน (K) และ 1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m³) ตามลำดับ โดยค่าขอบเขตของแบบจำลอง (Boundary conditions) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรม ANSYSFluent

Zone (Boundary Conditions)	Type	Parameters	Value*
Inlet	Inlet 1-8	Mass Flow Rate	12.90 kg/s
		Turbulent Intensity	10%
		Hydraulic Diameter	1.19 m
		Temperature	290 K
Outlet	Front Door	Gauge Pressure	0 Pa
		Backflow Turbulent Intensity	5%
		Backflow Turbulent Length Scale	7.01 m
		Thermal	300 K
	Outletx4	Gauge Pressure	0 Pa
		Backflow Turbulent Intensity	5%
		Backflow Turbulent Length Scale	2.5 m
		Thermal	308 K
Wall	Backwall	Roughness Height	0.0008 m
		Thermal (Temperature)	313 K
	Floor	Thermal (Temperature)	308 K
	Frontwall	Roughness Height	0.0008 m
		Thermal (Temperature)	302 K
	Humanx200	Heat Flux	13.85 W/m ²
	Roof	Roughness Height	0.0008 m
		Thermal (Temperature)	313 K
	Screen	Thermal (Temperature)	320 K
	Screen Wall	Thermal (Temperature)	310 K

*หมายเหตุ หน่วยที่แสดงตามตารางเป็นหน่วยที่โปรแกรมบังคับเอาไว้ แต่ผลออกมาสามารถเปลี่ยนการแสดงผลได้ตามต้องการ

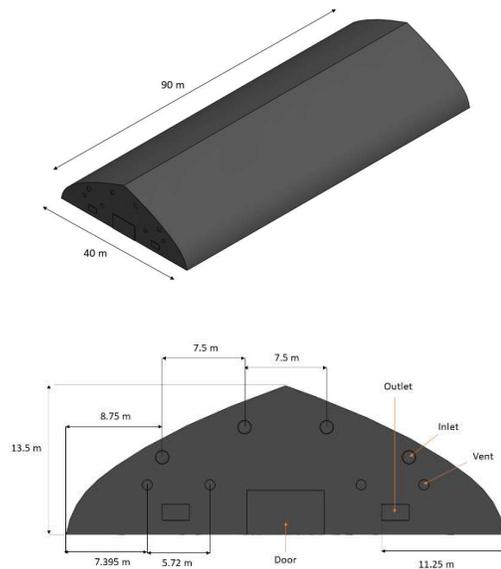
2.2 การสร้างแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการกระจายตัวของอากาศจากการส่งกระจายลมลมด้วยท่อเส้นใยผ้าโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิก จำลองการไหลรูปแบบพลศาสตร์ (Dynamics of air flow) ด้วยโปรแกรม ANSYS Fluent ทำนายการไหลของอากาศที่เกิดขึ้น จากการส่งและกระจายลม 3 รูปแบบ คือ (a) Model A กระจายลมด้วยรูขนาด 76.20 มิลลิเมตร แบบ 3, 6 และ 9 ongsานาฬิกา ตลอดความยาว

ท่อ (ไม่มีไหลลดความร้อน), (b) Model B กระจายลมด้วยรูพรุน ตลอดความยาวท่อ (ไม่มีไหลลดความร้อน) และ (c) Model C กระจายลมด้วยรูพรุน ตลอดความยาวท่อ (มีไหลลดความร้อน) แสดงดัง (รูปที่ 2c) ซึ่งมีพารามิเตอร์การออกแบบท่อลมดังตารางที่ 2 ในอาคารนิทรรศการปรับอากาศขนาดพื้นที่ใช้สอย 3,600 ตารางเมตร ตามแบบจำลอง ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของห้องจำลอง

พารามิเตอร์	ลักษณะขนาด
Duct x 8	Diameter = 1230 mm.
Door x 2	LxH = 7010 mm. x 4000 mm.
Vent x 8	Diameter = 916 mm.
Outlet x 4	LxH = 2500 mm. x 1450 mm.



รูปที่ 1 ลักษณะขนาดของห้องจำลอง

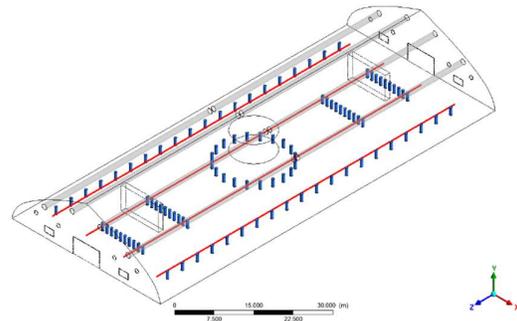
3. ผลการศึกษาและอภิปราย

รูปแบบการวัดความเร็วลมและอุณหภูมิที่นำมาใช้ในการประเมินและเปรียบเทียบของแต่ละแบบจำลอง โดยใช้พิกัดอ้างอิงจากการวัดหน้างานจริง ทั้งหมด 68 จุดพิกัด ดังนี้ (X,Y) จุดที่ 1 (5,5), (5,10),..., (5,85) จุดที่ 2 (15,5), (15,10),..., (15,85) จุดที่ 3 (25,5), (25,10),..., (25,85) จุดที่ 4 (35,5), (35,10),..., (35,85) แสดงดังรูปที่ 2 (เส้นสีแดง)

3.1 ผลการกระจายตัวของความเร็วลม

ผลการจำลองการกระจายตัวของอากาศบนระนาบสูงจากพื้นอาคาร 1 เมตร ของแบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 3 และแสดงกราฟเปรียบเทียบความเร็วลม

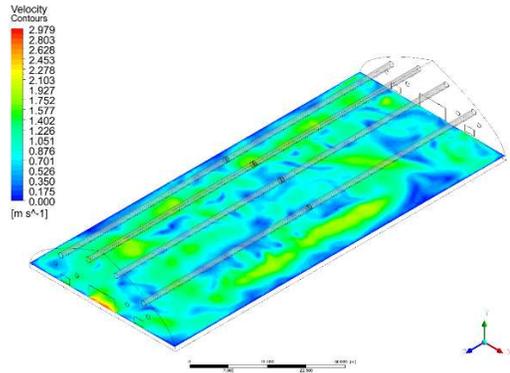
บนระนาบสูงจากพื้นอาคารระยะ 1 เมตร โดยใช้ระบบพิกัดตามการวัดของอาคารจริงทั้งหมด 68 จุดพิกัด (ดังรูปที่ 2) อธิบายว่าอาคารที่กระจายลมด้วยรูขนาด 76.20 มิลลิเมตร แบบ 3, 6 และ 9 องศาพีกา ตลอดความยาวท่อ Model A มีความเร็วลมสูงมากกว่าอาคารแบบอื่นคือมีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 8 เมตรต่อวินาที ณ ตำแหน่งรูอากาศออกของท่อ เนื่องจาก Model A เป็นการกระจายตัวของอากาศด้วยรูจึงทำให้ความเร็วของอากาศบนระนาบไม่สม่ำเสมอ ส่วนบริเวณขอบผนังอาคารมีความเร็วของอากาศต่ำ เนื่องจากระยะของอากาศที่ส่งจากรูนั้นค่อนข้างไกล



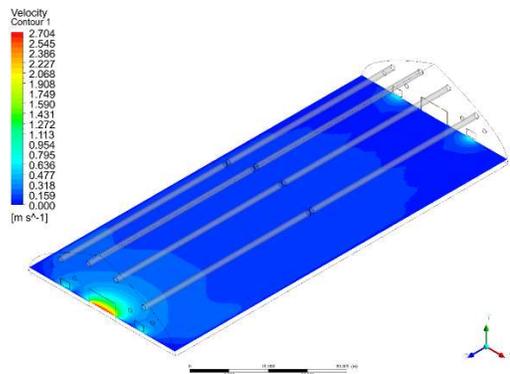
รูปที่ 2 การกำหนดจุดวัดอ้างอิงจากหน้างานจริง

ส่วน Model B และ Model C มีความเร็วของอากาศที่ออกจากรูพบนท่อลมมีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 0.035 เมตรต่อวินาที และมีความเร็วของอากาศบนระนาบที่สม่ำเสมอ เพราะเป็นอาคารที่มีระบบท่อส่งลมด้วยรูพบนทำให้ลมที่ไหลออกจากรูพบนไหลออกมาอย่างสม่ำเสมอและมีอัตราการไหลออกของลมออกไม่มาก อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความกดอากาศต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิสูงอากาศขยายตัวทำให้มีความหนาแน่นต่ำ อากาศจะลอยไปข้างบน ส่วนบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นของอากาศจะมากทำให้เป็นบริเวณที่มีความกดอากาศสูงสำหรับการเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่มีภาระโหลดความร้อน Model C กับอาคารที่ไม่มีภาระโหลดความร้อน Model B อธิบายได้ว่าอาคารไม่มีภาระโหลดความร้อน

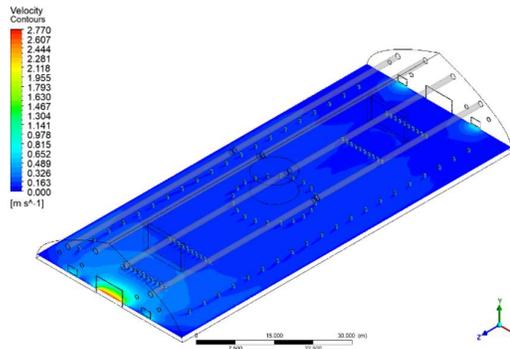
ร็อน Model B มีการไหลของอากาศสม่ำเสมอกว่า
 เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ใดมาขวางกั้นลมที่ไหลออกจากท่อ
 ลม ทำให้ไม่เกิดความปั่นป่วนของอากาศภายในอาคาร



(a) Model A



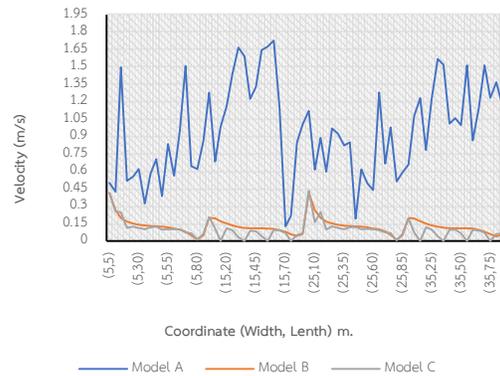
(b) Model B



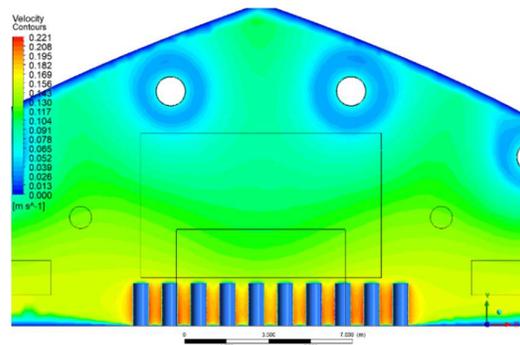
(c) Model C

รูปที่ 3 โครงร่างความเร็วลมที่ความสูง 1 เมตรจากพื้น
 ห้องจำลองที่มีไหลลดความร้อนและไม่มีไหลลดความร้อนมี
 หน่วยเป็น m/s

การวิเคราะห์สภาวะความสบายความเร็วของอากาศ
 ที่สัมผัสกับผู้ดำเนินกิจกรรมในอาคาร อธิบายได้ว่า ทุก
 บริเวณที่ความสูง 1 เมตรจากพื้นของทั้ง 3 แบบจำลอง
 อาคาร Model B และ Model C มีความเร็วลมอยู่ในช่วง
 0.20 - 1.00 เมตรต่อวินาที ซึ่งอยู่ในขอบเขตสภาวะความ
 สบายตามมาตรฐาน ASHRAE ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบความเร็วลมของห้องจำลองทั้ง
 3 แบบ ที่ความสูง 1 เมตรจากพื้นห้อง



รูปที่ 5 โครงร่างความเร็วลมหน้าตัด X-Y บริเวณผู้อาศัย
 ในอาคาร ณ ตำแหน่งใกล้ทางออกของอาคาร

4.2 ผลการกระจายตัวของอุณหภูมิ

การกระจายตัวของอุณหภูมิในอาคารนิตรรศการปรับ
 อากาศ ต้องพิจารณาภาระโหลดความร้อนในตอนกลางวัน
 จากหลังคา เนื่องจากอาคารมีกำแพงที่ทำจากผ้าโพลีสเตอ
 สเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิก โดยที่กำหนดความร้อนที่
 ถ่ายเทเข้าตัวอาคาร ที่ 40 องศาเซลเซียส และความร้อน

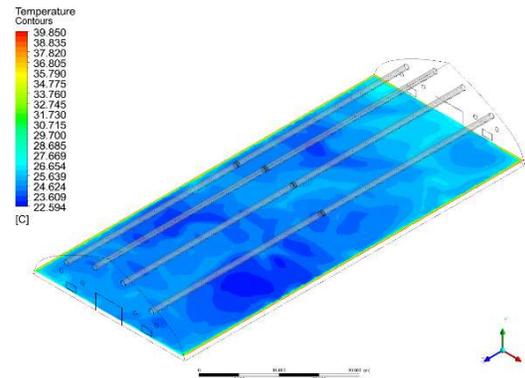
จากพื้นอาคารที่ 30 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิของจ่อโทรทัศน์ ที่ 47 องศาเซลเซียส

ผลการจำลองแสดงระนาบการกระจายอุณหภูมิที่สูงจากพื้นอาคาร 1 เมตร ของแบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบ ดังรูปที่ 6 และรูปที่ 7 - 8 แสดงกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิบนระนาบสูงจากพื้นอาคาร 1 เมตร โดยใช้ระบบพิกัดตามการวัดของอาคารจริงทั้งหมด 68 จุด โดยค่าอุณหภูมิสูงสุดของอาคาร Model A เท่ากับ 39.85 องศาเซลเซียส เกิดที่ขอบผนังของอาคาร เนื่องจากเป็นการกระจายตัวของอากาศด้วยรูจึงทำให้อุณหภูมิของอากาศบนระนาบไม่สม่ำเสมอ

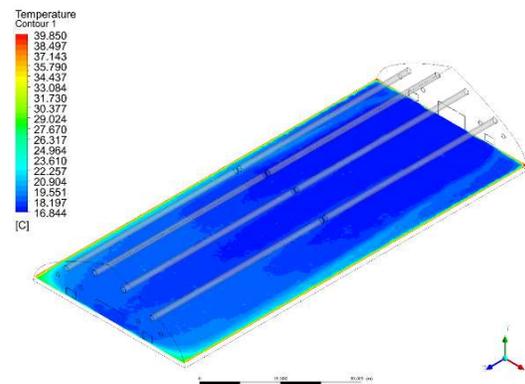
ส่วนอาคาร Model B และ Model C มีอุณหภูมิของอากาศบนระนาบที่สม่ำเสมอ เพราะเป็นอาคารที่มีระบบท่อส่งลมด้วยรูพรุณ เนื่องจากระบบส่งลมแบบนี้จะส่งลมออกมาแบบสม่ำเสมอและมีอัตราการไหลต่ำ ทำให้ลมเย็นที่ออกจากท่อลมค่อยๆดูดกลืนความร้อนสัมผัสจากอากาศภายในอาคาร สำหรับการวิเคราะห์สภาวะความสบายพิจารณาได้ว่าอุณหภูมิของอากาศที่สัมผัสกับผู้ดำเนินกิจกรรมในอาคาร Model C สูงสุดเท่ากับ 26.75 องศาเซลเซียสและอยู่ในช่วงความสบาย ส่วน Model A อุณหภูมิของอากาศที่ปะทะผู้อาศัยในอาคาร Model A สูงสุดเท่ากับ 24.35 องศาเซลเซียส และอยู่ในช่วงความสบาย ซึ่งอยู่ในขอบเขตสภาวะความสบายตามมาตรฐาน ASHRAE โดยอุณหภูมิของอาคารที่กระจายลมด้วยรูพรุณตลอดความยาวท่อ (มีไหลดความร้อน) Model C ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากในอาคารนี้มีไหลดความร้อน จอภาพและผู้ดำเนินกิจกรรมในอาคารนี้ทรศการนอกจากนั้นมีบางพิกัดไม่สามารถวัดค่าได้ เพราะพิกัดนั้นมีไหลดความร้อนผ่าน

การนำท่อเส้นใยผ้าโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิกแบบ Model B กระจายลมด้วยรูพรุณตลอดความยาวท่อ ทำให้การกระจายลมด้วยความเร็วต่ำและอุณหภูมิในแนวตั้งที่แตกต่างกันเล็กน้อยซึ่งส่งผลให้สภาวะความสบายเป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 55-2023 สอดคล้องกับการศึกษาของ [13] ที่กล่าวว่า ความพรุณมี

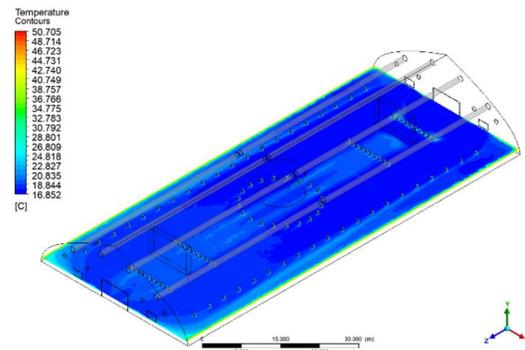
ผลต่อเส้นใยมีผลอย่างมากต่อค่าเฉลี่ยของความเร็วของอากาศ รวมถึงการกระจายตัวตามทิศทางความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง



(a) Model A

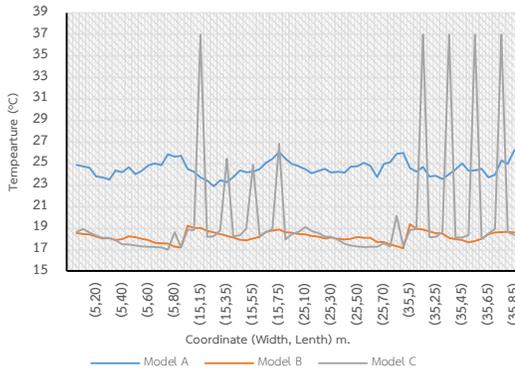


(b) Model B

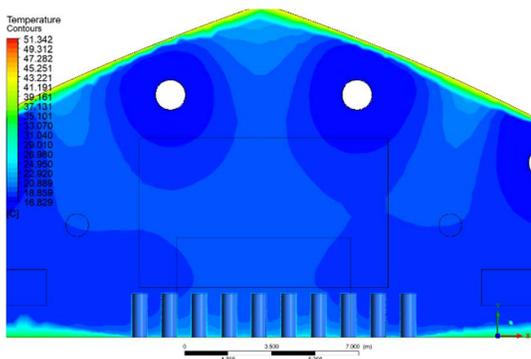


(c) Model C

รูปที่ 6 โครงร่างอุณหภูมิที่ความสูง 1 เมตรจากพื้นห้องจำลองที่มีไหลดความร้อนและไม่ไหลดความร้อนมีหน่วยเป็น °C



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบเปรียบเทียบของห้องจำลองทั้ง 3 แบบ ที่ความสูง 1 เมตรจากพื้นห้อง



รูปที่ 8 โครงร่างอุณหภูมิหน้าตัด X-Y บริเวณฝ้าค้ำยันในอาคาร ณ ตำแหน่งใกล้ทางออกของอาคาร

สำหรับการกระจายลมด้วยรูขนาดเล็ก แบบ Model A การไหลของอากาศจะถูกกระจายออกผ่านด้วยรูขนาดเล็กด้วยความเร็วที่สูงขึ้น และความยาวของท่อเส้นใยผ้าโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิกมีผลกระทบต่อความเร็วและอุณหภูมิของลมอย่างมีนัยสำคัญ ต้องควรที่จะคำนวณความยาวของท่อเส้นใยผ้าโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิกเพื่อให้การกระจายลมและอุณหภูมิเป็นไปอย่างที่เหมาะสม จึงสอดคล้องกับการศึกษาของ [15]

4. สรุป

การส่งและการกระจายตัวของลมในอาคารนิทรรศการปรับอากาศด้วยท่อลมผ้าทอโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิกด้วยรูขนาดเล็ก(Model A) ทำให้ลมไหลออกจาก

รูและกระจายไปยังพื้นที่ปรับอากาศด้วยความเร็วสูงและไม่สม่ำเสมอและมีอุณหภูมิสูง ส่วนการส่งและการกระจายลมด้วยท่อลมรูพรุน ตลอดความยาวท่อ (Model B & Model C) ที่ทำให้ลมไหลออกจากรูพรุนมีความเร็วต่ำสม่ำเสมอ เนื่องจากลมจะค่อยๆ ซึมออกจากท่อลม และเมื่อพิจารณาสภาวะความสบาย (Comfort zone) ของผู้ดำเนินการกิจกรรมในอาคาร วิเคราะห์ได้ว่าความเร็วลมและอุณหภูมิที่ปะทะผู้ดำเนินการกิจกรรมในอาคารนิทรรศการอยู่ในช่วงที่ ASHRAE standard 55-2023 แนะนำไว้คือ 0.20 - 1.00 เมตรต่อวินาที และ 24 - 27 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังนั้นผู้วิจัยจึงแนะนำให้ใช้ท่อลมผ้าทอโพลีเอสเตอร์เคลือบพีวีซีอะคริลิกท่อลมรูพรุนตลอดความยาวท่อสำหรับการส่งและกระจายลมเย็นในอาคารนิทรรศการขนาดใหญ่ ตามรูปแบบที่ 3 (Model C) แสดงให้เห็นว่าสามารถส่งกระจายลม และรักษาอุณหภูมิได้ดีเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่นที่กล่าวมา

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.C. Solano, E. Caamaño-Martín, L. Olivieri, and D. Almeida-Galárraga, "HVAC systems and thermal comfort in buildings climate control: An experimental case study," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 269-277, 2021
- [2] S. Saran, M. Gurjar, A. Baronia, V. Sivapurapu, P. S. Ghosh, G. M. Raju, and I. Maurya, "Heating, ventilation and air conditioning (HVAC) in intensive care unit," *Crit. Care*, vol. 24, no. 1, pp. 1-11, 2020.
- [3] C. Anuntasethakul and D. Banjerdpongchai, "Design of supervisory model predictive control for building HVAC system with

- consideration of peak-load shaving and thermal comfort," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 41066–41081, 2021.
- [4] I. Tajuddeen and S. M. Sajjadian, "Benchmarking indoor headroom heights of residential buildings based on ASHRAE Standard 55," *Intell. Build. Int.*, vol. 15, no. 3, pp. 109–130, 2023.
- [5] M. Hekal, W. M. El-Maghlany, Y. A. Eldrainy, and M. El-Adawy, "Hydro-thermal performance of fabric air duct (FAD): Experimental and CFD simulation assessments," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 47, p. 103107, 2023.
- [6] K. Khaothong, J. Priyadumkol, W. Chaiworapuek, and T. Kaisinburasak, "Optimization of High Frequency Welding Parameters of PVC Coating on Polyester Fabric," *Trends Sci.*, vol. 19, no. 8, 2022.
- [7] F. Chen, H. Chen, J. Xie, Z. Shu, and J. Mao, "Air distribution in room ventilated by fabric air dispersion system," *Build. Environ.*, vol. 46, no. 11, pp. 2121–2129, 2011.
- [8] F. Chen, H. Chen, H. Wang, S. Wang, J. Wang, X. Wang, and Z. Qian, "Parametrical analysis on characteristics of airflow generated by fabric air dispersion system in penetration mode," *Energy Build.*, vol. 67, pp. 365–373, 2013.
- [9] J. Priyadumkol, K. Khaothong, and W. Chaiworapuek, "Experimental investigation of modified Savonius wind turbines," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 501, no. 1, p. 012054, Mar. 2019.
- [10] A. Patel and P. S. Dhakar, "CFD Analysis of Air Conditioning in Room Using Ansys Fluent," *J. Emerg. Technol. Innov. Res. (JETIR)*, vol. 5, no. 11, 2018.
- [11] F. M. Yusop and S. Ramli, "Air flow distribution analysis by using CFD simulation," *Prog. Eng. Appl. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 30–38, 2020.
- [12] L. Angeles-Rodríguez and C. Celis, "Numerical study and optimization of air-conditioning systems grilles used in indoor environments," *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 12, pp. 787–804, 2021.
- [13] N. Dutt, A. Binjola, A. J. Hedau, A. Kumar, V. P. Singh, and C. S. Meena, "Comparison of CFD results of smooth air duct with experimental and available equations in literature," *Int. J. Energy Resour. Appl. (IJERA)*, vol. 1, no. 1, pp. 40–47, 2022.
- [14] H. B. De Oliveira, "Parabolic turbulence k-epsilon model with applications in fluid flows through permeable media," *Opuscula Mathematica*, vol. 44, no.2, pp. 197-240, 2024
- [15] F. Chen, W. Lu, Q. Wu, H. Chen, J. Chen, and N. Zhou, "Simulation of Airflow Characteristics induced by Fabric Air Dispersion System with Orifices Using Direct Description Method," *Procedia Eng.*, vol. 205, pp. 3112–3116, 2017.