

การวิเคราะห์การไหลเวียนของอากาศและฝุ่นละอองขนาดเล็กผ่านแผงเกล็ดบังแดดภายใน
ช่องว่างอากาศด้วยแบบจำลอง CFD

Analysis of Airflow and Particulate Matter through Louvers within the Air
Cavity with the CFD Model

วินัย มั่นคติธรรม¹, รัฐศักดิ์ พรหมมาศ^{2*}

Winai Mankhatitham¹, Ratthasak Prommas^{2*}

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม
73170 ประเทศไทย

¹Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment (RCSEE), Rajamangala University of
Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170, Thailand

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170 ประเทศไทย

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom
73170, Thailand

*Corresponding Author. E-mail: ratthasak.pro@rmutr.ac.th

(Received: July 30, 2024, Revised: October 3, 2024, Accepted: October 17, 2024)

บทคัดย่อ: การออกแบบผนังเปลือกอาคารด้วยการใช้แผงเกล็ดบังแดดที่สามารถป้องกันแสงแดดได้ดีและสามารถกัก
กรองฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ด้วยนั้นเป็นแนวคิดที่จะพัฒนาระบบผนังเปลือกอาคารให้มีสมรรถนะที่สูงขึ้นกว่าผนังทั่ว ๆ ไป
ซึ่งจะต้องออกแบบระบบไหลเวียนของอากาศ และสร้างสภาพแวดล้อมภายในช่องว่างอากาศให้มีการตกค้างของ
ฝุ่นละอองมากที่สุด การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการไหลเวียนของอากาศและกักกรองฝุ่นละออง
ขนาดเล็กผ่านแผงเกล็ดบังแดดภายในช่องว่างอากาศด้วยโปรแกรมการเคลื่อนที่ของอากาศพลศาสตร์
Computational Fluid Dynamics (CFD) โดยการขั้นตอนการวิจัยจะศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ประกอบด้วยขนาด
ของช่องว่างอากาศ ตำแหน่งช่องเปิดทางเข้าและทางออกของกระแสลม รูปร่างของแผงเกล็ดบังแดดและปริมาณฝุ่น
ละอองที่ตกค้างภายในช่องอากาศ ผ่านทางกล่องทดสอบจำนวน 4 กล่อง และประเมินผลด้วยซอฟต์แวร์
SOLIDWORKS 2023 (Flow Simulation) ผลการวิจัยพบว่า ขนาดช่องว่างอากาศที่แคบจะส่งผลให้เกิดแรงดัน
ภายในกล่องทดสอบเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีความเร็วลมเพิ่มขึ้น กระแสลมที่เคลื่อนที่จากช่องเปิดด้านจากด้านล่างขึ้นบนจะ
มีจุดอับลมน้อยกว่าแบบด้านบนลงล่าง ส่งผลให้กล่องทดสอบ (a.2) สามารถกักกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กได้มากถึง
24% โดยปราศจากเครื่องกลเข้าช่วย และถ้าต้องการลดความแปรปรวนภายในช่องว่างอากาศควรหลีกเลี่ยงรูปทรงที่
เป็นเหลี่ยมมุม ผลสรุปที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำไปสู่การออกแบบพัฒนาและปรับปรุงระบบผนัง
เปลือกอาคารที่อาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างแผงเกล็ดบังแดดและการควบคุมการไหลเวียนของอากาศบริเวณผนัง
อาคาร เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการกักกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ด้วย

คำสำคัญ: การจำลองการเคลื่อนที่ของอากาศ โปรแกรมการเคลื่อนที่ของอากาศพลศาสตร์ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก

Abstract: The building envelope design with louvers that protect it from solar radiation and residual particle matter is an idea for developing a building envelope system with higher performance. It requires designing an air circulation system and creating an environment within the air cavity that minimizes dust residues. Therefore, this research aims to predict the airflow pattern and residual particulate matter through the louvers within the air cavity with the Computational Fluid Dynamics (CFD) program. During the research stage, various parameters were studied, including the size of the air cavity, airflow inlet and outlet openings, the shape of the louvers, and the amount of particle matter remaining in the air cavity. These parameters were measured through four experimental boxes with different specifications to forecast the airflow and particulate matter behavior by applying the SOLIDWORKS 2023 (Flow Simulation) software. The findings indicated that reducing the size of the air cavity leads to higher internal pressure and air velocity. Vertical airflows ascending from the lower to the upper apertures exhibit reduced areas of stagnant air compared to downward airflows. The test box (a.2) can effectively remove up to 24% of particulate matter without mechanical intervention. The data acquired from this research is preparatory to advancing building envelope technologies for enhanced efficiency in the future.

Keywords: Air Flow Simulation, CFD Modeling, Particulate Matte

1. บทนำ

เปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพสูง นอกจากจะสามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกได้อย่างดีแล้ว ควรมีคุณสมบัติที่ช่วยให้ผู้ใช้อาคารเกิดสภาวะความสบายในด้านอื่น ๆ ด้วย อาทิเช่น ด้านอุณหภูมิ ด้านแสงสว่าง ด้านการประหยัดพลังงานรวมถึงการลดฝุ่นละอองภายในอาคารด้วย [1] ในปัจจุบันนี้ปัญหาเรื่องฝุ่นละอองขนาดเล็กเป็นปัญหาที่สำคัญของทุกประเทศ องค์การอนามัยโลก ประเมินการว่ามลพิษทางอากาศเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลกกว่า 7 ล้านคนต่อปี และยังคงส่งผลกระทบต่อสุขภาพด้านอื่น ๆ ของประชาชนเป็นอย่างมาก ซึ่งนอกจากปัญหาหมอกพิษทางอากาศในบรรยากาศแล้ว มลพิษทางอากาศภายในอาคารยังเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ใหญ่อีกปัญหาหนึ่ง โดยทุกปีจะมีประชากรจำนวน 4.2 ล้านคน เสียชีวิตเนื่องจากการได้รับสัมผัสกับมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงที่ไม่สะอาดในครัวเรือน โดยคิดเป็น 45 เท่าของจำนวนผู้เสียชีวิตประจำปีทั่วโลกจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ [2]

สำหรับวิธีการป้องกันฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่ให้

เข้าสู่อาคารนั้น เป็นเรื่องที่ควบคุมได้ยากมาก เนื่องจากฝุ่นละอองเหล่านั้นจะเคลื่อนที่ไปตามกระแสลม ดังนั้นในการออกแบบระบบเปลือกอาคารให้มีประสิทธิภาพสูง จึงจำเป็นต้องมีการบูรณาการของระบบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทั้งด้านสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมงานระบบอื่น ๆ ในการออกแบบระบบผนังอาคารที่สามารถควบคุมปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กได้นั้น จะต้องใช้การทำนายพฤติกรรมเคลื่อนที่ของกระแสลมที่พัดพาฝุ่นละอองต่าง ๆ เข้ามาทางช่องเปิด การใช้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Computational Fluid Dynamics (CFD) เพื่อวิเคราะห์การไหลของอากาศภายในช่องอากาศ พฤติกรรมและการตกตะกอนของฝุ่นละออง จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุดที่สามารถช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถเข้าใจและตัดสินใจในกระบวนการออกแบบและในการศึกษานี้จะทำการทดสอบด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS 2023 (Flow Simulation)

ขอบเขตในการศึกษานี้มุ่งศึกษาถึงพารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อพฤติกรรมของกระแสลมและฝุ่นละอองขนาดเล็กเมื่อผ่านเคลื่อนที่ผ่านแผงเกล็ดบังแดด โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ของขนาดของช่องว่างอากาศ ตำแหน่งช่อง

เปิดทางเข้าและทางออกของกระแสลม รูปร่างของแผงเกล็ดบังแดดและปริมาณฝุ่นละอองที่ตกค้างภายในช่องอากาศโดยโปรแกรมการเคลื่อนที่ของอากาศพลศาสตร์ Computational Fluid Dynamics (CFD) ซึ่งผลการวิจัยจะทำให้ได้ องค์ความรู้ใหม่ที่สามารถนำไปเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบระบบเปลือกอาคารเพื่อป้องกันฝุ่นละอองที่สะสมรูปแบบต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการไหลเวียนของอากาศและกักกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กผ่านแผงเกล็ดบังแดดภายในช่องว่างอากาศด้วยโปรแกรมการเคลื่อนที่ของอากาศพลศาสตร์ Computational Fluid Dynamics (CFD)

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อัตราการไหลของอากาศ คือ อัตราส่วนของปริมาตรลมที่ไหลผ่านจุดใดจุดหนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลา โดยคำนวณจากการวัดความเร็วเฉลี่ยอากาศจากแหล่งกำเนิดลมที่ต้องการเช่น พัดลม เครื่องเป่าลม (Blower) และเครื่องคอมพิวเตอร์ กับพื้นที่หน้าตัดหรือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อที่อากาศเคลื่อนที่ผ่าน อัตราการไหลของอากาศในช่องว่างระหว่างผนังกระจก 2 ชั้นที่มีการระบายอากาศพร้อมแผงเกล็ดบังแดดนั้นสามารถคำนวณ โดยแบบจำลองการไหลในแต่ละโหมดแยกได้ โดยใช้กฎกำลังและกฎของมวล การสูญเสียแรงดันทั้งหมดจากการระบายอากาศโดยธรรมชาติภายในช่องว่างอากาศของผนัง 2 ชั้น กับแผงเกล็ดบังแดดนั้น ประกอบด้วย การสูญเสียแรงดันขาเข้า การสูญเสียแรงดันขาออก และแรงดันความต้านทานไปตามแนวช่องว่างอากาศ ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta P_t = \Delta P_{in} + \Delta P_l + \Delta P_{out} \quad (1)$$

เมื่อ ΔP_t คือการสูญเสียความต้านทานของช่องอากาศระหว่างผนัง 2 ชั้น
 ΔP_{in} คือการสูญเสียแรงดันขาเข้า
 ΔP_l คือแรงดันความต้านทานไปตามแนวช่องว่างอากาศ

คือ การสูญเสียแรงดันขาออก ΔP_{out} ถ้าอากาศมีการไหลขึ้นไปตามช่องว่างของผนัง 2 ชั้น

ตามกฎของ Bernoulli สมการที่เกิดขึ้นระหว่างช่องทางแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออก มีดังนี้

$$P_{in} + \frac{\rho_{in} v_{in}^2}{2} + (\rho_o - \rho_{ca,mean})gH = P_{out} + \frac{\rho_{out} v_{out}^2}{2} + \Delta P_t \quad (2)$$

เมื่อ P_{in}, P_{out} คือความสัมพัทธ์ของแรงดันขาเข้าและแรงดันขาออก
 ρ_{in} คือความหนาแน่นของอากาศช่องแรงดันขาเข้า
 ρ_{out} คือความหนาแน่นของอากาศช่องแรงดันขาออก
 ρ_o คือความหนาแน่นของอากาศช่องแรงดันภายนอก
 $\rho_{ca,mean}$ คือความหนาแน่นของอากาศช่องแรงดันเฉลี่ย

ดังนั้นความเร็วลมของช่องแรงดันขาเข้าจึงสามารถกำหนดได้โดย

$$v_{in} = \frac{\sqrt{2\Delta P_t - (\rho_o - \rho_{out})gH}}{\rho_o} \quad (3)$$

มวลของอัตราการไหลของอากาศภายในช่องว่างระหว่างผนัง 2 ชั้น สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$m_{ca} = \rho_o v_{in} A_{in} \quad (4)$$

เมื่อ m_{ca} คือมวลของการไหลของอากาศเข้าไปในช่องว่างระหว่างผนัง 2 ชั้นทางช่องทางเข้า

A_{in} คือการตัดพื้นที่แนวขวางทางช่องทางเข้า อัตราการส่วนความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลง

$$\left(\frac{U}{U_{ref}}\right) b - \left(\frac{U}{U_{ref}}\right) a \quad (5)$$

$$\frac{\left(\frac{U}{U_{ref}}\right) a}{\left(\frac{U}{U_{ref}}\right) a} \times 100$$

เมื่อ U คืออัตราความเร็วของอากาศ, m/s ตามกฎอนุรักษ์มวล สำหรับระบบเปิดใด ๆ สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\sum m_{in} - \sum m_{out} = \Delta m_{cv} \quad (6)$$

และอัตราการเพิ่มขึ้นของมวลในปริมาตรควบคุม ย่อยเท่ากันกับอัตราสุทธิของการไหลเข้าปริมาตรควบคุมของมวล

$$\frac{dM_{cv}}{dt} = m_{in} - m_{out} \quad (7)$$

ในปัจจุบันนี้แนวคิดในการศึกษาเรื่องการเคลื่อนที่ของฝุ่นละอองขนาดเล็กเมื่อผ่านแผงเกล็ดบังแดดนั้น จากผลงานการวิจัยในอดีต สามารถศึกษาได้จากแนวคิดการออกแบบผนัง 2 ชั้นบริเวณเปลือกอาคารของ Katarina Kosutova et al. [3] ศึกษาการเคลื่อนที่ของกระแสมวลที่พัดผ่านแผงบานเกล็ด โดยการเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบในอุโมงค์ลมและการใช้วิธีจำลองการเคลื่อนที่ของกระแสมวลด้วยระบบ CFD โดยการกำหนดตำแหน่งช่องเปิด 4 รูปแบบ พบว่า การไหลผ่านของกระแสมวลในรูปแบบตำแหน่งบน-บน จะมีปริมาณลมไหลผ่านสูงสุดแต่จะมีการแลกเปลี่ยนอากาศภายในน้อยสุด ส่วนตำแหน่งบน-ล่างจะมีปริมาณการไหลผ่านของกระแสมวลต่ำสุด ในส่วนของลักษณะของบานเกล็ดที่มีครีขนาดใหญ่กว่าจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของกระแสมวลมากกว่าแบบขนาดเล็ก นอกจากนี้ การเว้นช่องว่างที่ผนังให้มีระยะห่างหลาย ๆ ช่องก็จะส่งผลถึงรูปแบบการไหลของอากาศและความเร็วลมที่ปะทะอาคารจะเปลี่ยนแปลงไปตามองศาของลมที่พัดเข้ามา Soha Matour et al. [4] ขนาดความกว้างและยาวของช่องว่างอากาศระหว่างผนังก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่จะส่งผลถึงความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงไป เพราะช่องว่างระหว่างกระจก จะมีผลกับความเร็วมวลที่เกิดขึ้นภายใน การใช้โปรแกรม CFD จะสามารถช่วยประเมินรูปแบบของการเคลื่อนที่ของอากาศ ทำให้สามารถคาดการณ์ผลที่จะเกิดได้อย่างแม่นยำ Javad Ahmadi et al.[5] และ P Arabi et al.[6]

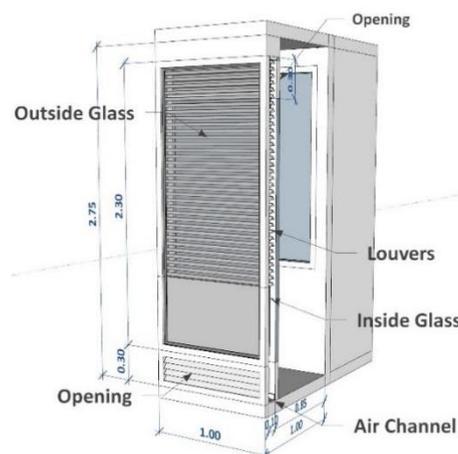
ในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองขนาดเล็กนั้น จะมีความสัมพันธ์กับเรื่องคุณภาพอากาศภายในอาคาร ซึ่งจะส่งผลถึงสภาวะความสบายและสภาพแวดล้อมที่ดี

ต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร [7] มีงานวิจัยของ S.Holmberg and Q.Chen [8] ได้นำระบบการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) มาใช้ทดสอบการเคลื่อนที่ของอากาศและการควบคุมฝุ่นละอองขนาดเล็กภายในห้องเรียน โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 โซน ผลการวิจัยพบว่า การตกตะกอนของฝุ่นละอองจะแปรผันไปตามระยะทางและตำแหน่งของช่องทางลมออก สูงสุดไม่เกิน $3\mu m$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ ไม่มีผลกับผู้ใช้อาคาร Nguyen Lu Phuong and Kazuhide Ito. [9] ได้ศึกษาถึงและเฝ้าสังเกตพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศและการกระจายตัวของอนุภาคภายในห้อง ด้วยวิธีการคณิตศาสตร์และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) โดยมีการทดลอง 2 แบบคือแบบมีแผงกั้นภายในและแบบไม่มีแผงกั้นภายใน การทดลองพบว่าแบบมีแผงกั้นภายในจะสามารถเพิ่มพื้นที่กักเก็บอนุภาคขนาดเล็กและสามารถลดการเล็ดลอดของอนุภาคได้

4. วิธีดำเนินการศึกษา

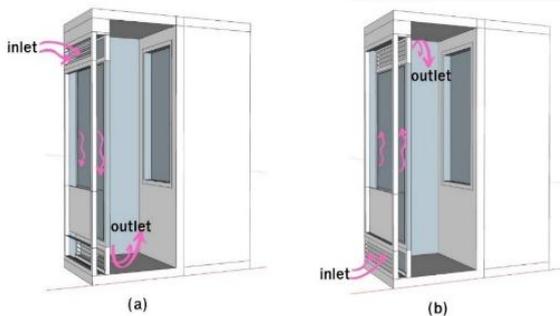
4.1 กล้องทดสอบ

จากภาพที่ 1 แสดงแนวคิดกล้องทดสอบในการศึกษาครั้งนี้ โดยกำหนดรายละเอียดกล้องทดสอบดังต่อไปนี้ กระจกใสชั้นนอก 9 mm. กระจกใสชั้นใน 9 mm. ช่องว่างอากาศขนาด 0.10 - 0.20 m. ช่องทางลมเข้า-ช่องทางลมออก และแผงเกร็ดบังแดดรูปทรง Λ (Inverted "V")

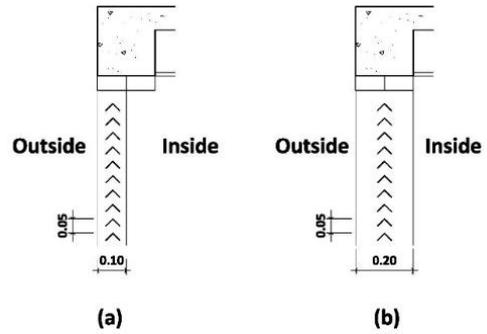


ภาพที่ 1 กล้องทดสอบ

รายละเอียดของกล่องทดสอบนี้เป็นการจำลองมาจากขนาดและระยะของอาคารเรียนมาตรฐาน ความสูงของห้อง ประมาณ 3.00 m. โดยทำการติดตั้งแผงเกล็ดบังแดดและช่องอากาศบริเวณระเบียงทางเดินของอาคาร ประมาณ 1.00 m. การกำหนดทิศทางช่องเปิดกำหนดการทดสอบ 2 รูปแบบ คือ (a) ภายนอกช่องทางลมเข้าด้านบน ภายในช่องทางลมออกด้านล่าง (b) ภายนอกช่องทางลมเข้าด้านล่าง ภายในช่องทางลมออกด้านบน (ดูภาพที่ 2) ตามหลักการไหลเวียนของอากาศจะอาศัยความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของช่องทางลมเข้าและทางลมออก คล้ายลักษณะของ Solar Chimneys [10] ซึ่งมีโพรงช่องว่างและมีช่องเปิดด้านบนและด้านล่าง โดยสังเกตการเคลื่อนที่ของอากาศทั้ง 2 ลักษณะทั้งจากด้านบนลงด้านล่าง และจากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยจะไม่นำปัจจัยจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์มาเป็นส่วนในการพิจารณา ส่วนขนาดของช่องเปิดทั้งทางด้านบนและด้านล่าง ขนาด 0.18 m² (10%) [11] การกำหนดช่องว่างอากาศของผนังกระจกชั้นนอกและชั้นใน จะเปรียบเทียบที่ระยะความกว้างช่องอากาศ 0.10 m. และ 0.20 m. (ดังภาพที่ 3)



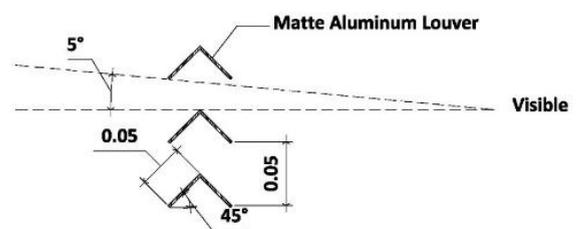
ภาพที่ 2 รูปแบบช่องทางลมเข้าของกล่องทดสอบ : (a) ช่องทางลมเข้าด้านบน (b) ช่องทางลมเข้าด้านล่าง



ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของช่องว่างอากาศแบบ (a) 0.10 m. และแบบ (b) 0.20 m.

4.2 รายละเอียดของแผงเกล็ดบังแดด

ผนังที่ทำการทดสอบนั้น อยู่บริเวณทิศใต้ จึงเลือกใช้แผงเกล็ดบังแดดแนวนอน รูปทรง Λ (Inverted “V”) ขนาด 0.5 m. (ขนาดมาตรฐานตามท้องตลาด) จำนวน 39 ชั้น [12] แต่ละชั้นวางห่างกัน 0.05 m. เพื่อให้เกิดช่องว่าง สำหรับการมองเห็นภายนอก ที่ระยะ 5° แผงครีบบังแดดแต่ละชั้น มีมุมเอียง 45° และมีพื้นผิวแบบด้านที่สามารถช่วยให้เกิดการยึดเกาะของฝุ่นละอองที่ขนาดเล็กที่ผิวและมุมแหลมได้ดีกว่าแบบเรียบและแบบโค้ง (ดังภาพที่ 4) แผงกันแดดทั้งหมดติดตั้งภายในช่องว่างอากาศ โดยให้ห่างจากพื้นอาคาร ประมาณ 0.30 m. เพื่อสำหรับการซ่อมบำรุง



ภาพที่ 4 ภาพตัดขยายแผงเกล็ดบังแดด รูปทรง Λ (Inverted “V”)

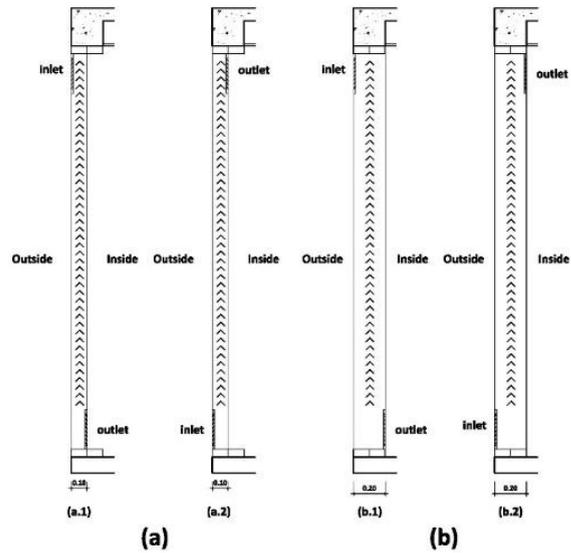
4.3 การกำหนดค่าพารามิเตอร์

ในการจำลองกล่องทดสอบนี้ ใช้หลักการจากบทความของ Y.Ji [13], Melgaard [14], Kosutova [3], Jankovic [15] ตัวแปรที่สำคัญในการศึกษานี้จะประกอบด้วย 1) ตัวแปรต้น ได้แก่ 1.1) แผงเกล็ดบังแดดรูปทรง Λ (Inverted “V”) กว้าง 0.05 m. 1.2) ความเร็วลม 2.0 m/s. [16] 1.3) ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก

จำนวน 100 หน่วย 2) ตัวแปรตาม ได้แก่ 2.1) ขนาดความกว้างของช่องว่างอากาศ 0.10 m. และ 0.20 m. 2.2) ตำแหน่งช่องเปิดด้านบน-ด้านล่าง

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลสภาพอากาศ TMY ของกรุงเทพมหานคร ปี 2023 ที่ตั้งอยู่บนละติจูด 5 - 12 เหนือ ลองจิจูด 96 - 106 ตะวันออกซึ่งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมาก อุณหภูมิเฉลี่ยต่อปีสูงถึง 34.7°C โดยมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยต่อเดือนที่ 38.5°C ทิศทางลมที่พัดพาคือทิศใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้ ความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีสูงถึง 2.0 m/s แสงแดดเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่เพียง 500 W/m². [17]

การประเมินผลจะใช้การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อวิเคราะห์ผลและตรวจสอบความถูกต้องผ่านโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของอากาศพลศาสตร์ Computational Fluid Dynamics (CFD) ด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS (2023 Flow Simulation) [18], [19] ซึ่งความสามารถของโปรแกรมสามารถวิเคราะห์ได้ 2 วิธีคือ 1) การวิเคราะห์แบบภายใน (Internal) จะใช้วิเคราะห์กับของไหลในรูปทรงที่ปิดสนิท มีทางเข้า-ออกที่แน่นอน 2) การวิเคราะห์แบบภายนอก (External) จะใช้วิเคราะห์กับวัตถุที่ถูกห่อล้อมด้วยของไหล ไม่สามารถระบุการไหลเข้าและไหลออกได้ ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงใช้การวิเคราะห์แบบภายใน (Internal) ซึ่งกล่องทดสอบจะถูกกำหนดให้มีทางเข้า-ออกชัดเจน ของไหลภายในจะประกอบด้วยอากาศและฝุ่นละอองขนาดเล็ก การทดสอบด้วย CFD จะแบ่งกลุ่มทดสอบออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ประกอบด้วย a) แบบช่องว่างอากาศ 0.10 m. a.1) ทางลมเข้าด้านบน a.2) ทางลมเข้าด้านล่าง b) แบบช่องว่างอากาศ 0.20 m. b.1) ทางลมเข้าด้านบน. b.2) ทางลมเข้าด้านล่าง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ภาพตัดของกล่องทดสอบทั้ง 4 กล่อง

5. ผลการศึกษา

5.1 พฤติกรรมการไหล

การไหลของอากาศได้รับอิทธิพลจากแรงขับเคลื่อนซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งแรงเฉื่อยหรือแรงลอยตัว การใช้ส่วนประกอบทางกลที่สำคัญ รวมทั้งแรงลมจากพัดลมและแรงลมตามธรรมชาติ มีศักยภาพในการสร้างแรงเฉื่อยให้เกิดขึ้น Reynolds จำแนกลักษณะของการไหลออกเป็นสามประเภท 1) ปั่นป่วน (Turbulent) 2) ไม่แน่นอน (Transition) และ 3) ราบเรียบ (Laminar) ความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นตัวการหลักในการลอยตัวในช่องอากาศเนื่องจากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของอากาศซึ่งส่งผลให้เกิดการลอยตัวในที่สุด คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ควรพิจารณาในสถานการณ์ที่ไม่มีอุณหภูมิความร้อนคืออัตราส่วนกว้างยาวของช่องอากาศ (ความสูง/ความกว้าง) ซึ่งแยกความแตกต่างระหว่างช่องอากาศแคบและกว้าง ในช่องอากาศแคบ ๆ ชั้นขอบเขตจะรวมกันเพื่อสร้างโปรไฟล์ความเร็วที่พัฒนาเต็มที่ ในทางตรงกันข้ามในช่องอากาศขนาดใหญ่ ชั้นขอบเขตจะไม่เกิดปฏิกิริยาใด ๆ ดังนั้นช่องอากาศที่แคบและกว้างจึงแตกต่างกันในแง่ของการถ่ายเทความร้อนและการกระจายตัวของกระแสลม

5.2 ผลกระทบของขนาดความกว้างของช่องว่างอากาศ

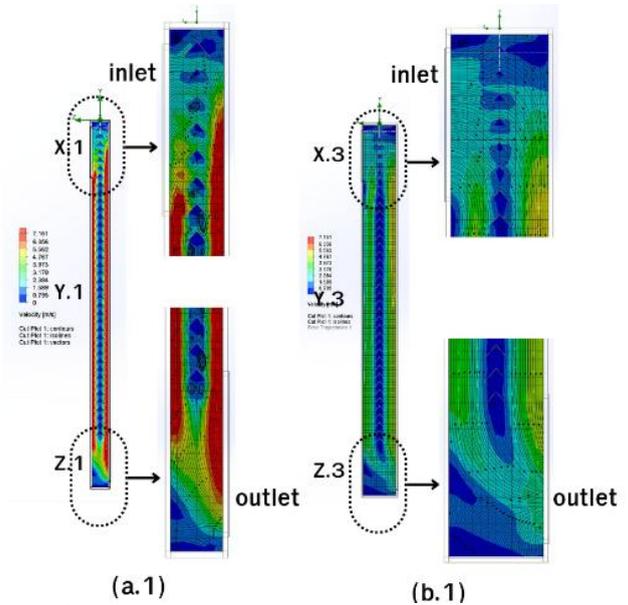
จากการทดลอง ได้กำหนดช่องอากาศไว้ 2 ขนาด คือ

ขนาดความกว้าง 0.10 m. และ 0.20 m. (เพิ่มขนาดความกว้างขึ้น 100%) ตามภาพที่ 6 กรณีที่ 1 (a.1) และ (b.1) ที่มีลักษณะการเข้า - ออกของช่องเปิดช่อง inlet ด้านบน ช่อง outlet ด้านล่าง กำหนดให้ตำแหน่งช่องทางลมเข้า x.1 และ x.3 มีความเร็วลมเข้าที่ 2.00 m/s ความแปรปรวนของกระแสลมเมื่อผ่านช่องเปิดของตำแหน่ง x.1 มีค่าสูงกว่า กระแสลมที่ไหลลงเรียบผนังกระจกจะมีความเร็วที่สูงขึ้นระดับโซนสีแดง (6.35 m/s - 7.15 m/s) ในขณะตำแหน่ง x.3 ความเร็วลมจะสูงขึ้นเล็กน้อยระดับโซนเหลือง (3.97 m/s - 4.76 m/s) เปรียบเทียบสเกลสีในภาพที่ 8) ค่า U/U_{ref} ที่ตำแหน่ง $x.1 > x.3 = 0.5$ เท่า ส่วนบริเวณแผงเกล็ดบังแดดจะเป็นจุดอับลม และเกิดการหมุนวนของกระแสลมบริเวณใต้แผงกันแดดทุกตัว เมื่อพิจารณาตำแหน่ง y.1 และ y.3 บริเวณกึ่งกลางช่องว่างอากาศพบว่าความเร็วลมมีความต่อเนื่องมาจากตำแหน่ง x.1 และ x.3 และสุดท้ายพิจารณาตำแหน่ง z.1 และ z.3 ซึ่งเป็นช่องทางลมออก ความเร็วลมจะมีรูปแบบเหมือนกับตำแหน่ง y.1 และ y.3

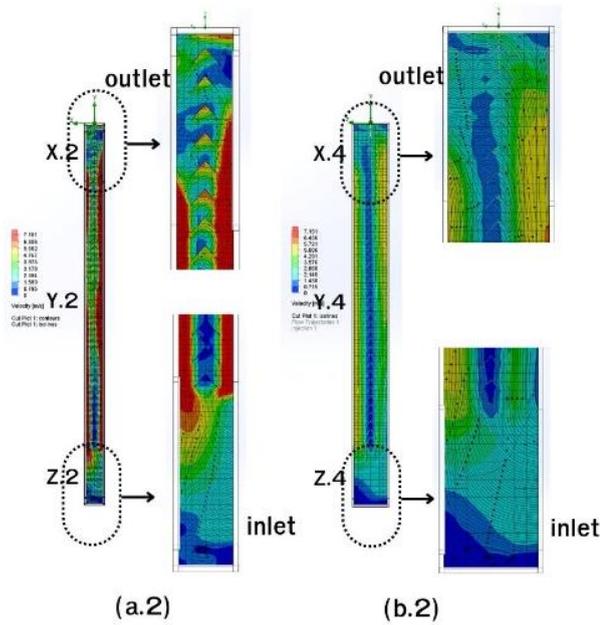
จากนั้นเมื่อพิจารณา กรณีที่ 2 (a.2) และ (b.2) ตามภาพที่ 7 ที่มีลักษณะการเข้า-ออกของช่องเปิดช่อง inlet ด้านล่าง ช่อง outlet ด้านบน จะพบว่ากระแสลมที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศจะมีลักษณะคล้ายกับกรณีที่ 1 คือบริเวณตำแหน่ง ช่องทางลมเข้า z.2 และ z.4 แบบ (a.2) จะมีรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมคล้ายกับแบบ (a.1) กระแสลมจะเริ่มแปรปรวนเมื่อไหลผ่านแผงเกล็ดบังแดดแต่จะน้อยกว่า เกิดจุดอับลมน้อยกว่าและจะเพิ่มความเร็วสูงขึ้นจนถึงระดับโซนสีแดง (6.35 m/s - 7.15 m/s) (เปรียบเทียบสเกลสีในภาพที่ 8) จนถึงตำแหน่ง x.2 ที่เป็นช่องทางลมออก ส่วนแบบ (b.2) รูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมคล้ายกับแบบ (b.1) เช่นกัน ตามภาพที่ 6

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าขนาดความกว้างช่องอากาศที่แตกต่างกันส่งผลถึงความเร็วลมภายในช่องอากาศอย่างมีนัยสำคัญ การลดขนาดความกว้างของช่องอากาศ 1 เท่าตัว จาก 0.20 m เหลือ 0.10 m. จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม (บริเวณกึ่งกลางช่องว่างอากาศริมผนังกระจกทั้งซ้ายและขวา) มากถึง 0.5 เท่า ความเร็วลมที่สูงขึ้นในช่องว่างอากาศนี้น่าจะเป็นผลมาจากขนาดของช่องว่างอากาศที่มีขนาดแคบลง กระแสลมที่ไหลผ่านเกิด

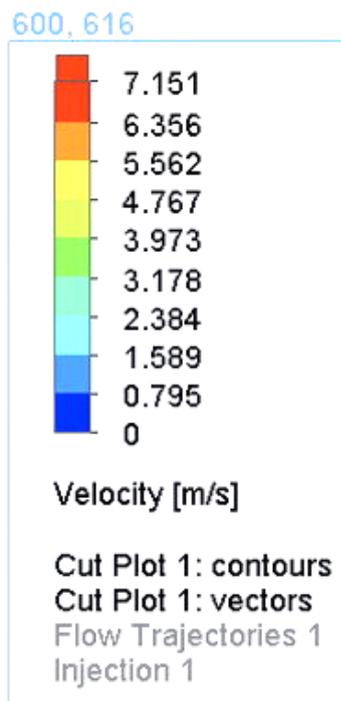
การปะทะกับแผงเกล็ดบังแดด ทำให้เกิดการเกิดการหมุนวนของกระแสลมภายในช่องว่างอากาศที่แคบเป็นการทำให้เกิดปฏิกิริยาเร่งความเร็วเกิดขึ้น (สังเกตจากรูปสรุปในการเคลื่อนที่ของกระแสลม ตามภาพที่ 9) และเมื่อกระแสลมไหลผ่านมาถึงบริเวณตำแหน่งช่องทางลมออก ความเร็วลมจะลดลงมาใกล้เคียงกับช่องทางลมเข้า โดยขนาดของช่องว่างอากาศจะไม่มีผลต่อความเร็วลมบริเวณช่องทางลมออก [20], [21] ช่องว่างอากาศที่แคบจะส่งผลให้ความเร็วลมภายในเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าช่องว่างอากาศที่กว้าง ถ้าต้องการให้ความเร็วลมภายในช่องว่างอากาศไหลแบบราบเรียบ แนะนำควรเพิ่มขนาดของช่องว่างอากาศให้กว้างขึ้น ถ้าต้องการให้ความเร็วลมภายในช่องว่างอากาศเคลื่อนที่เร็วขึ้น แนะนำควรลดขนาดของช่องว่างให้แคบลง ซึ่งวิธีการเพิ่ม-ลดขนาดช่องว่างอากาศจึงเป็นกลยุทธ์ที่ใช้ควบคุมความเร็วลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบพฤติกรรมกระแสลมของอากาศภายในกล่องทดสอบ (a.1) และ (b.1) ขยายบริเวณ x.1กับx.3 และ z.1กับ z3



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในกล่องทดสอบ (a.2) และ (b.2) ขยายบริเวณ x.2 กับ x.4 และ z.2 กับ z.4



ภาพที่ 8 แสดงค่าความเร็วลมตามสเกลสี (Velocity, m/s) ภายในกล่องทดสอบ ด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS 2023 (Flow Simulation)

5.3 ผลกระทบของตำแหน่งช่องเปิด

การกำหนดตำแหน่งของช่องเปิด จะมีผลกับรูปแบบการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในช่องว่างอากาศและจุดอับลม เมื่อกระแสลมพัดผ่านเข้าช่องเปิด จะเคลื่อนที่ไปตามช่องว่างอากาศไปสู่ทางออก สามารถคำนวณได้ตามสมการ (1) และ (2) สำหรับในการทดลองนี้ได้ทดสอบและเปรียบเทียบระหว่างแบบที่ 1 ช่องเปิดลมเข้าด้านบน ช่องเปิดลมออกด้านล่าง (a.1) และ (b.1) แบบที่ 2 ช่องเปิดลมเข้าด้านบน ช่องเปิดลมออกด้านล่าง (a.2) และ (b.2) ส่วนขนาดของช่องเปิดทั้งทางด้านบนและด้านล่างขนาด 0.18 m^2 (10%) จากตารางที่ 1 พบว่าเมื่อกำหนดให้ความเร็วลมเข้าที่ 2.00 m/s กล่องทดสอบ (a.1) และ (b.1) ที่มีช่องเปิดลมเข้าด้านบน จะมีค่าความเร็วลมที่ช่องเปิดทางออกด้านล่างสูงกว่ากล่องทดสอบที่มีช่องเปิดลมเข้าด้านล่าง ช่องเปิดลมออกด้านบนเล็กน้อย (a.2) และ (b.2) ประมาณไม่เกิน 3.22% เท่านั้น ซึ่งไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศ [21]

อีกประการหนึ่งที่มีความสำคัญคือจุดอับลมภายในช่องว่างอากาศ การติดตั้งแผงเกล็ดบังแดดภายในช่องว่างอากาศ รวมถึงบริเวณมุมของกล่องทดสอบจะเป็นจุดอับลม กระแสลมที่เคลื่อนตัวจากล่างขึ้นบน ที่มีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 5 m/s และมีช่องว่างอากาศที่ 0.10 m . (a.2) จะมีจุดอับลมน้อยกว่าแบบอื่น ๆ ตามภาพที่ 6 และ 7 และสามารถเทียบความเร็วลมตามสเกลสี ตามภาพที่ 8

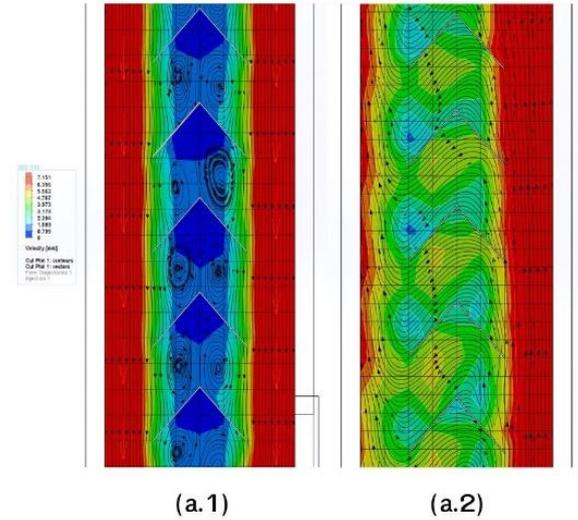
ตารางที่ 1 อัตราความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นภายในช่องว่างอากาศ

กล่องทดสอบ	ช่องลมเข้า (m/s)	ช่องลมออก (m/s)	ความเร็วที่เพิ่มขึ้น(เท่า)
(a.1)	2.00	6.45	3.22
(a.2)	2.00	5.28	2.64
(b.1)	2.00	3.89	1.95
(b.2)	2.00	3.86	1.93

5.4 ผลกระทบของแผงเกล็ดบังแดดที่มีผลต่อการไหลของอากาศ

ปัจจัยที่ส่งผลถึงการไหลของอากาศ ภายในช่องว่างอากาศนั้น สามารถหาได้จากการคำนวณ ตามสมการที่ (4) และ (5) หรือจากการตรวจวัดในห้องปฏิบัติการ การติดตั้งแผงเกล็ดบังแดดที่มีรูปทรง Λ (Inverted “V”) ถือเป็นอุปสรรคสำคัญที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของกระแสลม และยังเป็นจุดอับลมด้วย ซึ่งพื้นที่อับลมขนาดเล็กนี้จะเกิดการหมุนวนของอากาศที่เคลื่อนที่ระหว่างแผงเกล็ดบังแดดแต่ละชั้น [22] ส่วนพื้นที่ด้านข้างแผงเกล็ดบังแดดอากาศจะสามารถไหลเวียนไปตามแนวผนัง เพื่อไปยังตำแหน่งช่องทางออก แต่มีจุดสังเกตพบว่าบริเวณแผงเกล็ดบังแดดของ (a.1) จะมีความแปรปรวนของกระแสลมมากกว่ากล่องทดสอบทั้ง 3 แบบที่เหลือ ซึ่งเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของความกว้างของช่องอากาศและความเร็วลมที่สูงกว่า ตามภาพที่ 9 ส่วนกรณี (a.2) จะเห็นได้ว่าจุดอับลมนั้นมีปริมาณลดลงเพราะกระแสลมไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบนในความเร็วที่เหมาะสมจะสามารถลดจุดอับลมที่เกิดขึ้นได้

ข้อสรุปเรื่องรูปทรงของแผงเกล็ดบังแดดจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในช่องอากาศเป็นอย่างมาก รูปทรงที่เป็นเรขาคณิตที่มีความโค้งมนจะสร้างพื้นที่ที่มีจุดอับลมน้อยกว่ารูปทรงที่เป็นเหลี่ยม รวมถึงการวางตำแหน่งภายในช่องว่างอากาศและมุมของแผงเกล็ดบังแดดเป็นประเด็นที่จะต้องนำมาประกอบการพิจารณาทั้งสิ้น [13], [23]



ภาพที่ 9 ขยายพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในช่องว่างอากาศขนาดความกว้าง 0.10 m. แบบ (a.1) และ (a.2)

5.5 การกักเก็บฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ตกค้างในช่องว่างอากาศ

ความเร็วลมที่เคลื่อนที่ภายในช่องว่างอากาศจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการรวบรวมฝุ่นละอองขนาดเล็ก จากผลการศึกษาเกี่ยวกับความเร็วลมภายในช่องว่างอากาศเพื่อการควบคุมอุณหภูมิด้วยผนัง DSF พบว่าความเร็วลมภายในช่องว่างอากาศที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 0.20 - 0.39 m/s ภายใต้สภาวะแวดล้อมปกติ [23] การทำนายผลการกักเก็บปริมาณฝุ่นละอองที่ตกค้างภายในช่องว่างอากาศ โดยการใช้คุณสมบัติ Particle Studies ของซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS) 2023 Flow Simulation (ตามหลักการของ Rahman & Kabir [24] กำหนดค่า Number of Particle is 100 unit, Particles Properties : size 0.0001m, Pre-Defined : Gravel based soil, Mass Flow Rate : 1kg/s, Initial Particle Velocity : 2 m/s, Temperature 34°C

จากตารางที่ 2 แสดงค่าปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ตรวจวัดได้บริเวณพื้นผิวทางลมออกของกล่องทดสอบทั้ง 4 แบบ พบว่าบริเวณพื้นผิวทางลมออกของกล่องทดสอบ (a.2) มีปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็กในปริมาณ 76% จาก 100% แสดงว่ากล่องทดสอบ (a.2) สามารถกักกรองปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็กให้ตกค้างในช่องว่างอากาศได้มากถึง 24% ซึ่งสามารถ

คาดการณ์ได้ว่าเกิดจากความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญของขนาดช่องว่างอากาศที่มีขนาดแคบ ส่งผลให้เกิดความเร็วลมที่มีความเร็วสูงเคลื่อนที่ในแนวตั้งตามแนวผนังกระจก การเกิดจุดอับลมมีจำนวนน้อย ทำให้ฝุ่นละอองขนาดเล็กกระจายตัวตกหล่นภายในช่องอากาศมากกว่าแบบอื่น ๆ [25]

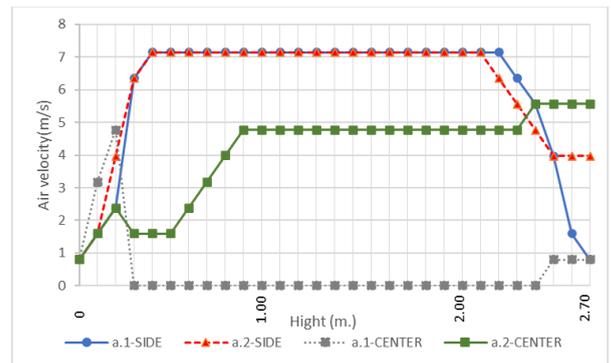
ตารางที่ 2 จำนวนฝุ่นละอองขนาดเล็กที่บริเวณช่องทางลมออก

กล่องทดสอบ	จำนวนอนุภาคทางช่องลมเข้า (%)	จำนวนอนุภาคทางช่องลมออก (%)	จำนวนอนุภาคที่ตกค้างในช่องอากาศ (%)
(a.1)	100	80	20
(a.2)	100	76	24
(b.1)	100	85	15
(b.2)	100	83	17

5.6 อิทธิพลของแผงเกล็ดบังแดดที่มีต่อการเคลื่อนที่ของกระแสลมภายในกล่องทดสอบ

เมื่อทำการวิเคราะห์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศภายในช่องว่างอากาศ ที่มีความกว้าง 0.10 m. ในตำแหน่งใกล้เคียงกับผนังกระจกและกึ่งกลางแผงเกล็ดบังแดด เปรียบเทียบกันระหว่าง a.1 และ a.2 ตามภาพที่ 10 พบว่าบริเวณริมผนังกระจก (a.1-side และ a.2-side) ความเร็วของกระแสลมจะถูกบีบเค้นให้มีความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งแบบ a.1 และ a.2 มีความเร็วลมที่ใกล้เคียงกัน จะแตกต่างกันตรงบริเวณทางเข้า-ออก ที่แบบ a.1-side จะมีความเร็วลมที่ลดลงมากกว่าแบบ a.2-side แต่เมื่อพิจารณาตำแหน่งกึ่งกลางแผงเกล็ดบังแดด (a.1-center และ a.2-center) จะพบว่าแบบ a.2-center จะมีประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของกระแสลมดีกว่าแบบ a.1-center อย่างมาก เพราะมีกระแสลมที่เคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นด้านบน กระแสลมจะไหลผ่านแผงเกล็ดบังแดดแต่ละชั้นได้อย่างง่าย ซึ่งแผงเกล็ดบังแดดในช่องว่างของกระจกนี้เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความเร็วลม

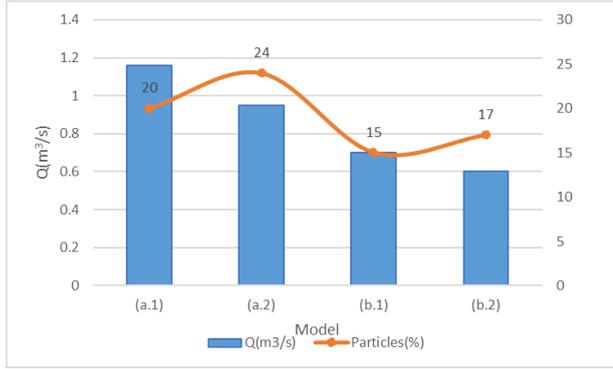
ภายในกล่องทดสอบอย่างมาก การติดตั้งแผงเกล็ดแบบไม่เกิดจุดอับลม สามารถช่วยแก้ปัญหาความเร็วลมภายในช่องอากาศได้ ตามหลักทฤษฎีการระบายอากาศแบบ Cross Ventilation [3], [26], [27]



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบความเร็วของกระแสลมภายในช่องว่างอากาศ a.1 และ a.2 ที่บริเวณริมผนังและกึ่งกลางผนัง จำนวน 4 ตำแหน่ง

5.7 อัตราการระบายอากาศกับขนาดความกว้างของช่องว่างอากาศและตำแหน่งลมเข้า-ออก

จากภาพที่ 11 การประเมินการกักเก็บปริมาณฝุ่นละอองที่ตกค้างภายในช่องว่างอากาศ พบว่าการเปิดช่องเปิดด้านล่างขึ้นบน ในขนาดความกว้างของช่องว่างอากาศ 0.10 m. (a.2) จะเป็นรูปแบบที่ช่วยกักเก็บฝุ่นละอองขนาดเล็กได้มากถึง 24% โดยวัดจากปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กบริเวณพื้นที่ทางลมออก โดยปราศจากเครื่องกลช่วย ส่วนอัตราการระบายอากาศ (Q) ภายในกล่องทดสอบ (a.1) จะมีค่ามากที่สุด ประมาณ 1.16 m³/s ในขณะที่กล่องทดสอบ (b.2) จะมีค่าน้อยสุดประมาณ 0.69 m³/s ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดของช่องเปิดที่ต่างกัน รวมถึงช่องเปิดที่อยู่ด้านบนจะให้แรงดันขับเคลื่อนการไหลได้ดีกว่าช่องเปิดทางเข้าที่อยู่ด้านล่าง [26], [28] สามารถสังเกตได้จากกล่องทดสอบทั้ง (a.2) และ (b.2) จะมีอัตราการระบายอากาศที่ต่ำกว่า (a.1) และ (b.1)



ภาพที่ 11 อัตราการระบายอากาศ (Q) และการตกค้างของอนุภาคในกล่องทดสอบทั้ง 4 กล่อง

6. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาโดยวิธีการทำนายการไหลเวียนของอากาศและฝุ่นละอองขนาดเล็กผ่านแผงเกล็ดบังแดดภายในช่องว่างอากาศ โดยผ่านโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของอากาศพลศาสตร์ Computational Fluid Dynamics (CFD) ด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS 2023 (Flow Simulation) นั้น มีจุดมุ่งหมายที่สำคัญเพื่อที่จะเสนอแนวคิดในการปรับปรุงระบบผนังอาคารที่สามารถป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์และกักกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ในเบื้องต้นได้ โดยศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อกระบวนการออกแบบได้แก่ ความเร็วลม การกำหนดตำแหน่งช่องเปิด ความกว้างของช่องว่างอากาศ ซึ่งผลการศึกษาค้นพบประเด็นสำคัญดังนี้

- ขนาดความกว้างช่องอากาศที่แตกต่างกันส่งผลถึงความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในช่องอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ช่องว่างอากาศที่มีขนาดแคบและยาวจะช่วยสร้างแรงดันอากาศให้เพิ่มขึ้น ส่วนช่องว่างอากาศที่มีขนาดกว้างจะช่วยให้การไหลของกระแสลมเป็นไปอย่างราบเรียบไม่มีการหมุนวนของอากาศ

- ตำแหน่งทางเข้า-ทางออก แบบบนลงล่างจะก่อให้เกิดจุดอับลมภายในช่องว่างอากาศมากกว่าแบบล่างขึ้นบน ประมาณ 20% โดยเฉพาะบริเวณตามมุมของกล่องทดสอบ ผนังที่มีลักษณะทรงโค้งมนจะช่วยให้กระแสลมไหลผ่านได้ดีขึ้นและสามารถลดจุดอับลมให้น้อยลงได้

- รูปทรงของแผงเกล็ดบังแดดจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของกระแสลมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะรูปทรงเรขาคณิตที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม จะก่อให้เกิดการแปรปรวนของ

กระแสลม ในกรณีศึกษาแผงเกล็ดบังแดดที่มีรูปทรง Λ (Inverted “V”) นั้นเป็นรูปทรงที่ให้ประสิทธิภาพการบังแดดที่ดี แต่จะมีปัญหากับการระบายอากาศเนื่องจากมีมุมแหลมจะก่อให้เกิดจุดอับลมและมีกระแสลมแปรปรวนบริเวณใต้แผงเกล็ดบังแดดทุกชั้น ซึ่งถ้าแรงลมภายในช่องว่างอากาศไม่มีความเร็วมากพอ ก็จะทำให้ไม่เกิดการเหนี่ยวนำอากาศจากภายนอกเข้ามา การแก้ไขอาจจะต้องพิจารณาถึงการใช้เครื่องกลเข้ามาช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว

ข้อค้นพบจากการศึกษาทั้งหมดนี้เป็นการประเมินด้วยโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของอากาศพลศาสตร์ Computational Fluid Dynamics (CFD) ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ทดสอบนี้เป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม สามารถนำไปใช้ในการวิจัยและพัฒนากระบวนการออกแบบผนังเปลือกอาคารให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นต่อไปในอนาคต

7. ข้อจำกัดงานวิจัย

ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS 2023 (Flow Simulation) เป็นซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ในการสร้างและทดสอบชิ้นงานในส่วนของการเคลื่อนที่ของกระแสลมและฝุ่นละออง แต่มีข้อจำกัดบางประการในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ที่ไม่อิสระและรายงานสรุปผลบางหัวข้อระบุรายละเอียดไม่ครบถ้วน ทำให้ต้องจัดบันทึกระหว่างการทดสอบตลอดเวลา

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่เอื้อเพื่อในการอนุญาตให้ใช้ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS) 2023 Flow Simulation (จนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

9.บรรณานุกรม

- [1] A. Juaidi, F. AlFaris, F. Saeed, E. Salmeron-Manzano, and F. Manzano-Agugliaro, “Urban design to achieving the sustainable energy of residential neighbourhoods in arid climate,” *J. Clean. Prod.*, vol. 228, pp. 135–152, (2019).
- [2] M. Dhimal et al., “Impact of air pollution on global burden of disease in 2019,” *Processes*, vol. 9, no. 10, pp. 1–9, (2021).
- [3] K. Kosutova, T. van Hooff, C. Vanderwel, B. Blocken, and J. Hensen, “Cross-ventilation in a generic isolated building

- equipped with louvers: Wind-tunnel experiments and CFD simulations,” *Build. Environ.*, vol. 154, no. March, pp. 263–280, (2019).
- [4] S. Matour, V. Garcia-Hansen, S. Omrani, S. Hassanli, and R. Drogemuller, “Wind-driven ventilation of Double Skin Façades with vertical openings: Effects of opening configurations,” *Build. Environ.*, vol. 196, no. December 2020, p. 107804, (2021).
- [5] J. Ahmadi, M. Mahdavejad, O. K. Larsen, C. Zhang, A. Zarkesh, and S. Asadi, “Evaluating the different boundary conditions to simulate airflow and heat transfer in Double-Skin Façade,” *Build. Simul.*, vol. 15, no. 5, pp. 799–815, (2022).
- [6] P. Arabi, M. R. Hamidpour, M. Yaghoubi, and F. Arabi, “Computational analysis of blind performance on natural ventilated double skin façade in winter,” *Energy*, vol. 268, p. 126719, (2023).
- [7] X. Cao, J. Liu, N. Jiang, and Q. Chen, “Particle image velocimetry measurement of indoor airflow field: A review of the technologies and applications,” *Energy Build.*, vol. 69, pp. 367–380, (2014).
- [8] S. Holmberg and Q. Chen, “Air flow and particle control with different ventilation systems in a classroom,” *Indoor Air*, vol. 13, no. 2, pp. 200–204, (2003).
- [9] nguyen lu Phuong and K. Ito, “Experimental and numerical study of airflow pattern and dispersion in a vertical ventilation dust,” *Build. Environ.*, vol. 59, pp. 466–481, (2013).
- [10] Y. Tao, X. Fang, M. Y. L. Chew, L. Zhang, J. Tu, and L. Shi, “Predicting airflow in naturally ventilated double-skin facades: theoretical analysis and modelling,” *Renew. Energy*, vol. 179, pp. 1940–1954, (2021).
- [11] D. D. Kim, “Computational fluid dynamics assessment for the thermal performance of double-skin façades in office buildings under hot climatic condition,” *Build. Serv. Eng. Res. Technol.*, vol. 42, no. 1, pp. 45–61, (2021).
- [12] V. Kitio, F. M. Butera, R. Adhikari, and N. Aste, *SUSTAINABLE BUILDING Principles and Applications for Eastern Africa*. (2014).
- [13] Y. Ji, M. J. Cook, V. Hanby, D. G. Infield, D. L. Loveday, and L. Mei, “CFD modelling of naturally ventilated double-skin facades with venetian blinds,” *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 1, no. 3, pp. 185–196, (2008).
- [14] S. P. Melgaard, I. T. Nikolaiasson, C. Zhang, H. Johra, and O. K. Larsen, “Double-skin façade simulation with computational fluid dynamics: A review of simulation trends, validation methods and research gaps,” *Build. Simul.*, vol. 16, no. 12, pp. 2307–2331, (2023).
- [15] A. Jankovic and F. Goia, “Impact of double skin facade constructional features on heat transfer and fluid dynamic behaviour,” *Build. Environ.*, vol. 196, no. November 2020, p. 107796, (2021).
- [16] P. Cheewinsirawat, C. Duangyiwa, M. Sukitpaneenit, and M. E. J. Stettler, “Influence of Land Use and Meteorological Factors on PM2.5 and PM10 Concentrations in Bangkok, Thailand,” *Sustain.*, vol. 14, no. 9, (2022).
- [17] V. President, A. Renewable, E. Development, and P. Foundation, “THE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF PARABOLIC TROUGH 300 kW POWER PLANT FOR SOFT-LAND , MEDIUM INSOLATION AND A2-S5 A2-S5 SolarPaces2006,” *Energy*, no. May, pp. 1–19, (2020).
- [18] S. Ljung, “CFD simulation of particle matter inside an automotive car and the purification efficiency of cabin air purifier,” (2019).
- [19] M. Rodríguez-Martín, P. Rodríguez-Gonzálvez, A. S. Patrocinio, and J. R. S. Martín, “Short simulation activity to improve the competences in the Fluid-mechanical Engineering classroom using Solidworks Flow Simulation,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 72–79, (2019).
- [20] E. Mignot, W. Cai, and N. Riviere, “Analysis of the transitions between flow patterns in open-channel lateral cavities with increasing aspect ratio,” *Environ. Fluid Mech.*, vol. 19, no. 1, pp. 231–253, (2019).
- [21] M. Rahiminejad and D. Khovalyg, “Review on ventilation rates in the ventilated air-spaces behind common wall assemblies with external cladding,” *Build. Environ.*, vol. 190, p. 107538, (2021).
- [22] J. Zheng, Q. Tao, and Y. Chen, “Airborne infection risk of inter-unit dispersion through semi-shaded openings: A case study of a multi-storey building with external louvers,” *Build. Environ.*, vol. 225, no. June, p. 109586, (2022).
- [23] Y. Ye, P. Xu, J. Mao, and Y. Ji, “Experimental study on the effectiveness of internal shading devices,” *Energy Build.*, vol. 111, pp. 154–163, (2016).
- [24] R. R. Rahman and A. Kabir, “Spatiotemporal analysis and forecasting of air quality in the greater Dhaka region and assessment of a novel particulate matter filtration unit,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 195, no. 7, (2023).
- [25] H. C. Burrige *et al.*, “The ventilation of buildings and other mitigating measures for COVID-19: A focus on wintertime,” *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 477, no. 2247, pp. 1–62, (2021).
- [26] N. Nasrollahi and P. Ghobadi, “Field measurement and numerical investigation of natural cross-ventilation in high-rise buildings; Thermal comfort analysis,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 211, no. March, p. 118500, (2022).
- [27] X. Fu, V. C. Tai, L. K. Moey, N. F. Abd Rahman, K. A. Ahmad, and D. Baglee, “Opening configurations and natural cross ventilation performance in a double-loaded multi-level

apartment building: A CFD analysis,” *Build. Environ.*, vol. 254, no. March, p. 111404, (2024).

- [28] Naksanee W. Prommas R*. An Experimental Investigation on the Efficiency of Snail Entry in Vortex Tube Fed Low Inlet Air Pressure to Reduce Temperature of Low-Pressure Air. *International Journal of Heat and Technology*.36(4) pp.1223-1232)IF=1.01) (2018).