

การศึกษาผลกระทบของแรงลมต่ออาคารเทียบกับสัดส่วนหน้าต่างต่อผนังที่แตกต่างกัน โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ: กรณีศึกษาอาคารคลังสินค้า

A Study of the Impact of Wind load on Low-rise building by Different window to wall ratios by Computational Fluid Dynamics: Case study of Warehouse building

ณราพัช ภาวรัศมี¹, ภัทรนันท์ ทักขนนท์², ศิริเดช สุริต^{3,*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาเทคโนโลยีโครงสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้าง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, Email: narapach.p@ku.th

²คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, สาขานวัตกรรมอาคาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, Email: archpnt@ku.ac.th

³คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, สาขานวัตกรรมอาคาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, E-mail: archsds@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อผนัง (Window to wall ratio, WWR) ที่มีต่อแรงลมซึ่งกระทำกับโครงสร้างโดยทำการศึกษารูปแบบอาคารคลังสินค้า ในประเทศไทยมักพบปัญหาและผลกระทบจากแรงลมที่สร้างความเสียหายต่ออาคารรูปแบบนี้บ่อยครั้งและยังส่งผลให้เกิดการวิบัติต่อระบบโครงสร้างและเปลือกอาคาร โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลกระทบของแรงลมต่ออาคารโดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่มีช่องเปิดอาคารและทิศทางแรงลมที่แตกต่างกัน ด้วยโปรแกรม Autodesk CFD ซึ่งอิงตามสมการของ Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) แบบคงที่ 3 มิติ ใช้การจำลองการไหลปั่นป่วนแบบ $k-\epsilon$ กำหนดช่องเปิดอาคารโดยใช้ค่า WWR จำนวน 4 รูปแบบ (0.20, 0.30, 0.40, 0.50) และทิศทางของแรงลม 3 ทิศทาง (Across wind, Along wind, Oblique wind) โดยใช้แบบจำลองอาคารในลักษณะจำลองเชิงวิศวกรรมเพื่อทำการศึกษาผลของแรงดันลมเฉลี่ยและผลรวมแรงลัพธ์ เพื่อเปรียบเทียบผลของแรงลัพธ์ที่กระทำต่ออาคารคลังสินค้า จากการศึกษาพบว่า กรณีที่มีช่องเปิดที่เท่ากันของด้านข้างอาคาร กรณี WWR 0.20 ในทิศทางแรงลมกระทำตั้งฉากกับอาคารให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่ออาคารสูงสุด รองลงมาคือกรณีที่มีช่องเปิดที่ไม่เท่ากันของด้านข้างอาคาร ได้แก่ กรณีด้านรับลม WWR 0.20 กับด้านท้ายลม WWR 0.30 กรณีด้านรับลม 0.20 กับด้านท้ายลม 0.40 และกรณีด้านรับลม 0.20 กับด้านรับลม 0.50 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของ WWR ด้านปะทะลมและด้านท้ายลมกับแรงที่กระทำกับโครงสร้าง

คำหลัก: พลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณ อาคารคลังสินค้า แรงลม สัดส่วนหน้าต่างต่อผนัง ทิศทางลม

Abstract

This research presents a study on the relationship between the window-to-wall ratio (WWR) and wind forces acting on structures, focusing on warehouse buildings in Thailand. These buildings frequently experience wind-induced damage, leading to structural failures and envelope deterioration. The study CFD simulations using Autodesk CFD to analyze the effects of wind loads on buildings with varying window openings and wind directions. The simulations are based on 3D RANS equations, utilizing the Standard $k-\epsilon$ Turbulent model. 4 WWR (0.20, 0.30, 0.40, 0.50) and 3 wind directions (across wind, along wind, and oblique wind) by Simulation-based research to study the effects of average wind pressure and summary force to compare the resultant force (F_R) acting on a warehouse building, these found in the case of equal openings WWR 0.20, perpendicular wind exposure generates the highest resultant force on the windward wall. Additionally, significant variations in wind-induced forces are observed between the windward & leeward walls WWR 0.20&0.30, WWR 0.20&0.40 and WWR 0.20&0.50, respectively. These findings demonstrate the interaction between differences in WWR on the windward and leeward sides and the forces acting on the structure

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Warehouse building, Wind loads, Window to wall, Wind direction

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทย รูปแบบอาคารคลังสินค้าส่วนใหญ่ มักจะใช้เป็นอาคารคลังสินค้า โกดังเก็บของ และเน้นการใช้พื้นที่ที่ค่อนข้างเยอะและเอื้อต่อการทำงานภายในอาคาร ซึ่งมักพบความเสียหายเกิดขึ้นซ้ำซากผลกระทบจากแรงลมและพื้นที่ที่มีความรุนแรงจากผลกระทบของลมพายุในระยะหลังมานี้ จะเป็นบริเวณโซนภาคเหนือ จากความเสียหายดังกล่าว พบว่า ผลของแรงลมมีผลต่อความเสียหายต่อระบบเปลือกอาคารและโครงสร้างหลักอาคารได้ และในบางกรณีเมื่อระบบเปลือกอาคารเกิดการวิบัติแล้วก็จะส่งผลกระทบทำให้โครงสร้างหลักอาคารเกิดการวิบัติไปด้วย นอกจากนี้มีการสำรวจการวิบัติในภายหลัง ซึ่งการวิบัติของโครงสร้างหลักอาคารหรือผนังส่วนท้าย (End wall) มักจะกระตุ้นให้อาคารบางส่วนหรือทั้งหมดเกิดการวิบัติขึ้น [7] จากความเสียหายที่เกิดขึ้นเหล่านี้ ทำให้พบว่าแรงลมเป็นแรงกระทำด้านข้างที่มีความสำคัญ ต้องคำนึงถึงและพิจารณาเพื่อใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้าง จึงเป็นที่มาในการศึกษางานวิจัยนี้

จากการทบทวนที่ผ่านมานั้น ส่วนใหญ่จะทำการวิเคราะห์ CFD กับอาคารที่มีช่องเปิด ได้ศึกษาการไหลรอบอาคารเดี่ยวหรือหลายอาคาร [4] โดยทั่วไปจะทำการศึกษาอาคารแบบแยก (Generic isolated building) เป็นแนวทางปฏิบัติพื้นฐานในการศึกษา CFD ในด้าน Wind engineering [10] ในงานวิจัยของ [9] ได้ศึกษาค่า

สัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลม โดยการวิเคราะห์ด้วย CFD ที่มีการกำหนดตำแหน่งช่องเปิดในแต่ละรูปแบบ พบว่าความเร็วลมเพิ่มขึ้นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านช่องเปิดอาคารและเมื่อกำหนดรูปแบบช่องเปิดเดียวกัน สำหรับประเทศไทย หน่วยของแรงลมที่ใช้เพื่อการออกแบบโครงสร้างอาคาร ที่นิยมจะมีหน่วยของแรงลมตามกฎกระทรวง [1] และมาตรฐานคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยพ.1311-50) [3] ซึ่งในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ควรต้องพิจารณาในเรื่องของแรงลมที่กระทำต่ออาคารที่มากกว่า 1 ทิศทางแรงลม เพื่อให้ครอบคลุมต่อโอกาสการเกิดผลกระทบจากลมจากหลายทิศทาง นอกจากนี้หนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อแรงดันลม คือ ตำแหน่งช่องเปิดของอาคาร (Opening) งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลกระทบของช่องเปิดที่มีต่ออาคาร โดยมีทิศทางของแรงลมต่ออาคารมากกว่า 1 ทิศทาง และแบบจำลองอาคารในลักษณะแบบอาคารเดี่ยว โดยกำหนดช่องเปิดอาคารโดยใช้ค่า WWR การออกแบบอาคารให้มีสัดส่วนช่องเปิดอาคารที่เหมาะสมเพื่อการใช้งานที่เหมาะสมกับประเภทอาคารและสถานที่ตั้ง นอกจากนี้ยังสามารถลดผลกระทบความรุนแรงที่เกิดจากแรงลมที่กระทำกับระบบโครงสร้างหลักอาคารและเพื่อช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมความเสียหายจากผลกระทบของแรงลมได้

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการศึกษาผลของแรงดันลมเฉลี่ยและผลรวมแรงเพื่อเปรียบเทียบผลของแรงลัพธ์ต่ออาคาร คลังสินค้าที่มีช่องเปิดโดยใช้ WWR เป็นตัวแปรหลักเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแรงลมจากหลายทิศทางที่มีต่อโครงสร้าง เพื่อหารูปแบบที่มีผลกระทบของแรงลมต่อระบบโครงสร้างของอาคารในระดับสูงและประเมินผลกระทบต่อระบบโครงสร้างหลักของรูปแบบอาคารคลังสินค้า และทำเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ CFD กับเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบแรงลมสถิติเทียบเท่าของ มยพ.1311-50

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของแรงลมต่อระบบโครงสร้างอาคารคลังสินค้าในลักษณะแบบอาคารเดี่ยว ที่มีช่องเปิดอาคารโดยใช้ WWR เป็นตัวแปรหลักเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแรงลมจากหลายทิศทางที่มีต่อโครงสร้างอาคารคลังสินค้า ในกลุ่มความเร็วลมอ้างอิงบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย และวิเคราะห์หารูปแบบที่มีผลกระทบของแรงลมในระดับสูงต่อระบบโครงสร้างหลักของอาคารและประเมินผลกระทบต่อระบบโครงสร้างอาคาร รวมถึงใช้เป็นแนวทางการออกแบบและปรับปรุงโครงสร้างอาคาร เพื่อลดความเสี่ยงต่อการวิบัติจากผลกระทบของแรงลม

กรอบแนวคิด

1. หลักการไหลของอากาศ

อากาศมีลักษณะเป็นมวลสาร อากาศเคลื่อนที่จะเดินทางเป็นเส้นตรงเสมอ เมื่อถูกกระทำด้วยแรงจากภายนอกหรือกระทบวัตถุก็จะเบี่ยงเบนไปชั่วขณะและพยายามจะกลับมาเคลื่อนที่ในทิศทางเดิม [11] รูปแบบของ

ช่องเปิด ชนิดและตำแหน่งของหน้าต่าง มีผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของลม หากมีช่องเปิดเพียงด้านเดียวลมไม่เข้าอาคารเพราะไม่เกิดความแตกต่างของความดันอากาศ ช่องเปิดที่มีขนาดเท่ากันอยู่ในทิศทางตรงกันข้าม จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศปริมาณมากที่สุด ช่องเปิดด้านลมเข้าขนาดเล็กและช่องเปิดด้านท้ายลมขนาดใหญ่จะเพิ่มความเร็วลมได้ ช่องเปิดด้านลมเข้าขนาดใหญ่และช่องเปิดด้านท้ายลมขนาดเล็กจะลดความเร็วของลมได้ [12]

2. แรงลัพธ์ (Resultant Force, F_R)

เป็นผลรวมของแรงหลายแรงที่กระทำต่อวัตถุ ซึ่งการหาแรงลัพธ์ต้องพิจารณาทั้งขนาดและทิศทาง ซึ่งถ้าแรงที่กระทำต่อวัตถุอยู่ในแนวเดียวกันจะรวมกันโดยการบวกหรือลบได้โดยตรง หากแรงที่กระทำต่อวัตถุไม่อยู่ในแนวเดียวกันไม่สามารถรวมกันโดยการบวกหรือลบกันได้โดยตรง ในระบบแกนตั้งฉาก 3 มิติ ปริมาณเวกเตอร์ ถูกหาได้โดยการรวมองค์ประกอบของเวกเตอร์ โดยใช้ Parallelogram law ซึ่งแรงและทิศทางของแรง A ในพิกัด Cartesian vector

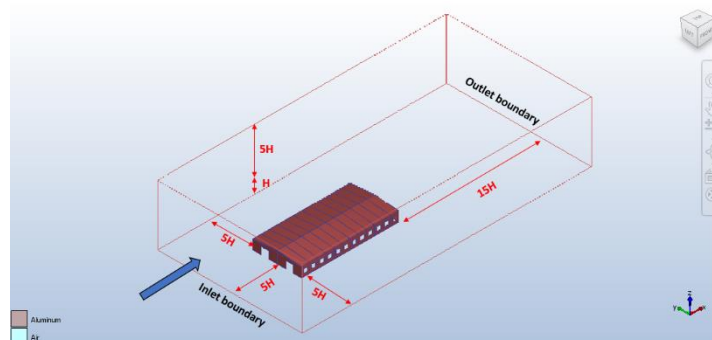
3. การตั้งค่าการจำลอง CFD

สมมติฐานที่พิจารณาสำหรับการศึกษามีดังนี้

- การไหลที่มีลักษณะสามมิติ ในสถานะคงที่ (3D Steady)
- คุณสมบัติความร้อนคงที่
- อากาศเป็นของไหล ไม่สามารถบีบอัดได้

3.1 โดเมนการคำนวณและกริด (Computational domain and grid)

โดเมนการคำนวณถูกสร้างขึ้นตามแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดของ [8] สำหรับอาคารเดี่ยว กำหนดระยะ $5H$ จากแบบจำลองอาคารถึงด้านบนและด้านข้างของโดเมน ระยะ $15H$ ระยะจากด้านหลังของแบบจำลองอาคารถึงทางท้ายลม (Outlet) ระยะ $5H$ จากด้านหน้าของแบบจำลองอาคารถึงทางเข้าลม (Inlet) โดยที่ H คือความสูงชายคาของแบบอาคารจำลอง ดังภาพ 1



ภาพ 1 อาคารจำลองในโดเมนการคำนวณแบบ 3 มิติ ในโปรแกรม Autodesk CFD 2024

ในการคำนวณกริดแบบจำลอง งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความละเอียดของกริดจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Autodesk CFD 2024 เลือกการคำนวณแบบ Auto size ตามคำแนะนำการใช้งานของโปรแกรม (Model Mesh Setting Length scale: 1.8)

3.2 เงื่อนไขของขอบเขต (Boundary Condition)

ทางเข้าของโดเมนการคำนวณ ความเร็วเฉลี่ยของไหลเข้าและโปรไฟล์ความปั่นป่วนถูกกำหนดไว้ตามการวัดค่าจากอุโมงค์ลม สมการโปรไฟล์ความเร็วลมที่ทางเข้า (Inlet) ถูกกำหนดตามกฎลอการิทึม ที่ชั้นบรรยากาศ (ABL) ดังสมการที่ (1) เมื่อ u_* คือ ความเร็วเสียดทานที่ชั้นบรรยากาศ ค่า k คำนวณจากความเข้มข้นของความปั่นป่วนที่ความสูงที่กำหนด z คือความสูงแบบจำลอง และ z_0 เท่ากับ 0.0009 มม. โดยความเร็วลมมีทิศพุ่งเข้าด้าน Inlet ที่ความเร็ว 29 เมตรต่อวินาที และกำหนดค่าความดันเท่ากับศูนย์ที่ขาออก (Outlet)

$$U = \frac{u_*}{k} \ln \left(\frac{z+z_0}{z_0} \right) \quad (1)$$

3.3 สมการจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model equation)

การจำลองของ RANS แบบคงที่ 3 มิติ ดำเนินการด้วยแบบจำลอง CFD simulation ทั้งหมดดำเนินการโดยใช้ Autodesk CFD Simulation 2024 และใช้แบบจำลองความปั่นป่วน $k-\epsilon$ ดังสมการที่ (2) และ (3) สำหรับพลังงานจลน์ปั่นป่วน k

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \epsilon \quad (2)$$

สำหรับการสลายตัว ϵ

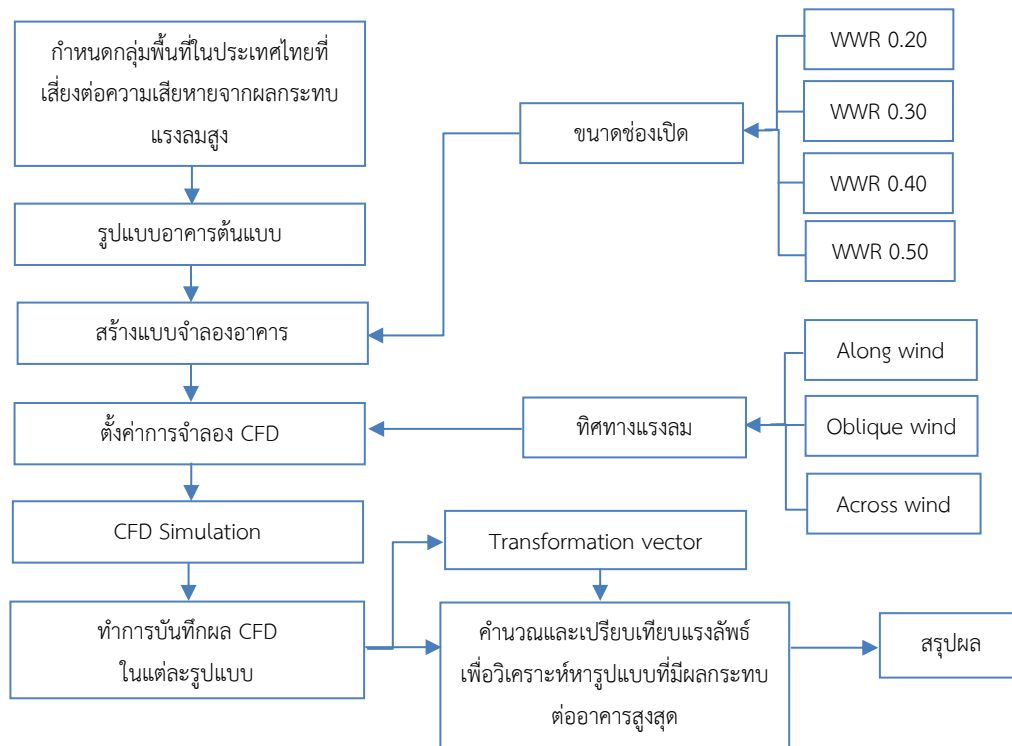
$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3)$$

เมื่อค่า u_i แสดงถึงองค์ประกอบของความเร็วในทิศทางที่สอดคล้องกัน ค่า E_{ij} แสดงถึงองค์ประกอบของอัตราการเสียรูป ค่า μ_t แสดงถึงความหนืดของการไหลวน สมการยังประกอบด้วยค่าคงที่ที่ปรับได้บางส่วน ซึ่งได้มาจากการวนซ้ำข้อมูลจำนวนมากเพื่อให้เหมาะกับการไหลปั่นป่วนที่หลากหลาย ประกอบด้วย $\sigma_k = 1.00$, $\sigma_\epsilon = 1.30$, $C_{1\epsilon} = 1.44$, $C_{2\epsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$ เป็นค่ามาตรฐานที่เสนอโดย Spalding และ Launder [6]

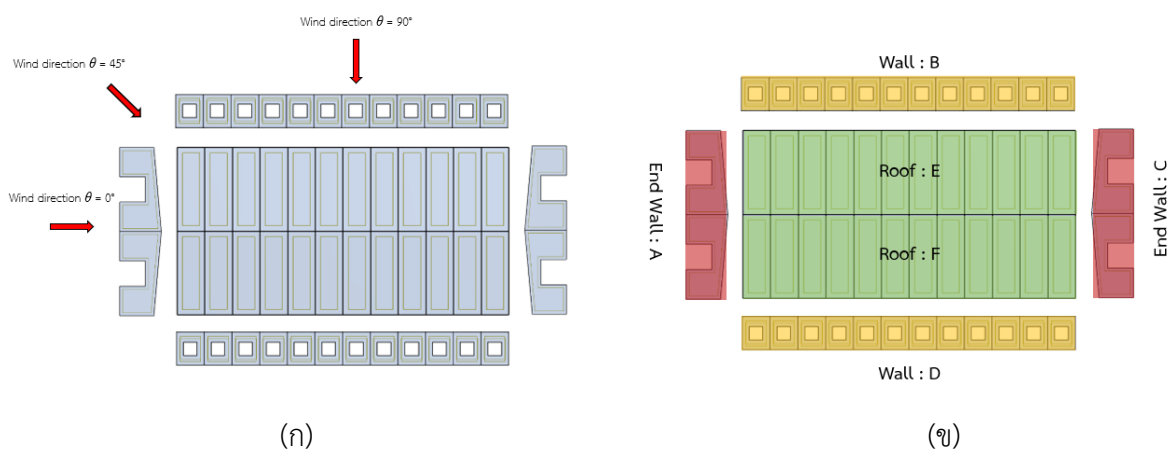
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาค่า WWR ที่มีต่อแรงลมซึ่งกระทำกับโครงสร้าง เพื่อศึกษาผลกระทบแรงลมต่ออาคารด้วยการวิเคราะห์ CFD ที่มีช่องเปิดอาคารและทิศทางของแรงลมที่แตกต่างกัน ด้วยโปรแกรม Autodesk CFD 2024 ซึ่งอิงตามสมการของ RANS แบบคงที่ 3 มิติ และใช้การจำลองการไหลปั่นป่วนแบบ $k-\epsilon$ โดยกำหนดช่องเปิดอาคารโดยใช้ค่า WWR จำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ WWR 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 ซึ่งอ้างอิงจากแนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม [2] การออกแบบผนังจากเกณฑ์การใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร ทิศทางของแรงลม 3 ทิศทาง ในลักษณะจำลองเชิงวิศวกรรมโดยไม่มีการทดลองภาคสนาม เพื่อศึกษาผลของแรงดันลมเฉลี่ยและผลรวมแรงลัพธ์ เพื่อนำผลไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของแรงลัพธ์ (Resultant Force) ที่กระทำต่ออาคารคลังสินค้า โดยกำหนดกรอบแนวคิดงานวิจัยในการศึกษาดังภาพ 2

กลุ่มพื้นที่ที่ทำการศึกษาคือกลุ่มพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย กลุ่มพื้นที่บริเวณ 3 ความเร็วลมอ้างอิงเท่ากับ 29 m/s ขนาดแบบจำลองอาคาร (กxยxส) 30.00 x 60.00 x 6.00 เมตร ความยาวช่วงเสา 5.00 เมตร เป็นหลังคาหน้าจั่วต่ำ ความลาดชันหลังคาเท่ากับ 5 องศา มีประตูด้านหน้าและด้านหลังมีขนาด 4.50 x 4.50 เมตร ทิศทางแรงลมกระทำต่ออาคารดังภาพ 3 (ก) แบบจำลองอาคารมี 3 ส่วนประกอบ ได้แก่ ส่วนผนังด้านหน้าและผนังด้านท้าย (End wall) ส่วนผนังด้านข้างอาคาร (Wall) ที่ใช้เป็นพื้นที่ในการกำหนดช่องเปิด และส่วนหลังคาอาคาร (Roof) โดยถูกแบ่งออกเป็น 6 ด้านย่อย เพื่อใช้ในการอ่านค่าผลการวิเคราะห์ ดังภาพ 3 (ข)



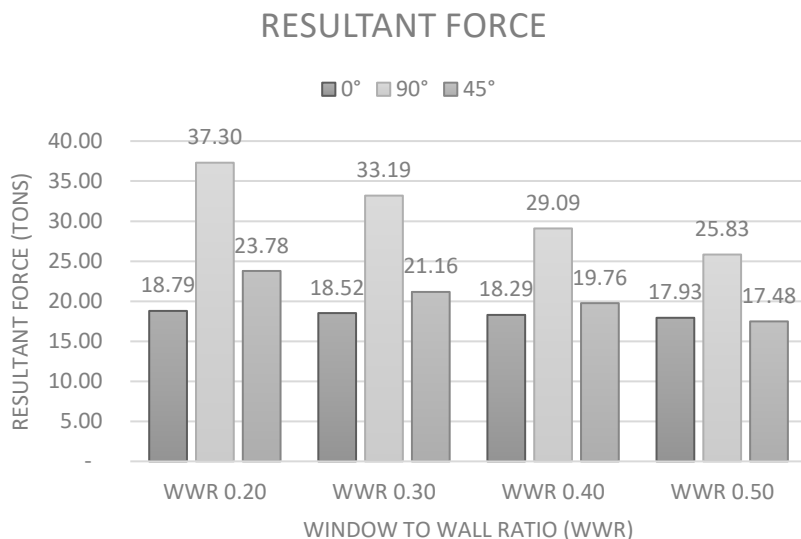
ภาพ 2 กรอบแนวคิดงานวิจัย



ภาพ 3 (ก) ผังอาคารแสดงทิศทางของแรงลม (ข) ผังอาคารแสดงการกำหนดพื้นที่ที่ใช้ในการอ่านค่า

ผลการวิจัย

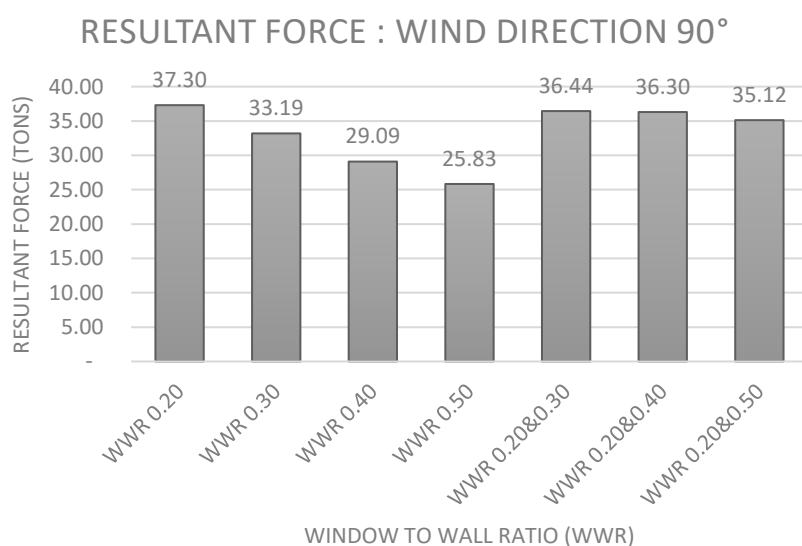
ผลการศึกษาเปรียบเทียบผลของแรงลม จากการผลวิเคราะห์ CFD : กรณีช่องเปิดที่เท่ากันทั้ง 2 ข้างอาคาร



ภาพ 4 แรงลัพธ์ (Resultant Force) กรณีที่ช่องเปิดขนาดเท่ากัน

จากภาพ 4 พบว่า กรณี WWR 0.20 ในทิศทางแรงลมกระทำตั้งฉากสันหลังคา (Across wind) ให้ผลสูงสุด เท่ากับ 37.30 ตัน ซึ่งพบว่าผลของ WWR มีผลต่อแรงลัพธ์ ซึ่งแรงลัพธ์มีค่าลดลงเมื่อช่องเปิดที่ใช้ค่า WWR ที่เพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาเปรียบเทียบผลของแรงลม จากการผลวิเคราะห์ CFD : กรณีช่องเปิดที่ไม่เท่ากันทั้ง 2 ข้างอาคาร



ภาพ 5 แรงลัพธ์ (Resultant Force) กรณีที่ช่องเปิดขนาดเท่ากันและไม่เท่ากัน

จากภาพ 5 พบว่า กรณี WWR 0.20 ให้ผลสูงสุด รองลงมา คือ กรณีด้านรับลม WWR 0.20 กับด้านท้ายลม WWR 0.30 ซึ่งพบว่าผลของค่า WWR ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงลัพท์น้อยลง

การเปรียบเทียบค่าแรงลม จากการเปรียบเทียบผลรวมแรงเฉือนที่ฐาน (Total Base shear) กับค่าแรงลมมาตรฐานตาม มยผ.1311-50 พบว่า ในทิศทางแรงลมกระทำตั้งฉากสันหลังคา แรงเฉือนที่ฐานจากการวิเคราะห์ CFD ที่กรณี WWR 0.20 เทียบกับค่าคำนวณจากมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงที่สุด คิดเป็น 0.636 เท่า และกรณี WWR 0.50 มีค่าแตกต่างกับค่าคำนวณจากมาตรฐานมากที่สุด คิดเป็น 0.491 เท่า ในทิศทางแรงลมกระทำขนานสันหลังคา แรงเฉือนที่ฐานจากการวิเคราะห์ CFD ที่กรณี WWR 0.50 เทียบกับค่าคำนวณจากมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงที่สุด คิดเป็น 0.593 เท่า

สรุปผลการวิจัย

จากศึกษาค่า WWR ที่มีต่อแรงลมซึ่งกระทำกับโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของแรงลัพท์จำนวนทั้งหมด 20 กรณีศึกษา พบว่า ผลของช่องเปิดมีผลต่อแรงดันลมที่เห็นได้ชัด โดยที่กรณี WWR เพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นด้านรับลมและด้านท้ายลม เมื่อสัดส่วนของ WWR เพิ่มขึ้นจะทำให้พื้นที่ในการรับแรงที่มากกระทำได้ลดลง ส่งผลให้แรงดันลมเพิ่มขึ้น แต่ผลของแรงลัพท์ลดลง จึงวิเคราะห์ได้ว่า WWR จะแปรผกผันกับแรงลัพท์ ในส่วนของทิศทางแรงลม พบว่า ทิศทางแรงลมที่ส่งผลกระทบท่ออาคารสูงสุดคือ ทิศทางแรงลมกระทำตั้งฉากสันหลังคา รองลงมาคือ ทิศทางแรงลมกระทำขนานสันหลังคาและทิศทางแรงลมกระทำที่มุมอาคาร ตามลำดับ

ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร หากมีแรงลัพท์กระทำกับโครงสร้างน้อย การออกแบบอาคารจะสามารถลดขนาดขึ้นโครงสร้างให้เล็กลง ซึ่งการวิเคราะห์ พบว่า ในกรณี WWR 0.50 ส่งผลให้แรงลัพท์และผลรวมแรงเฉือนที่ฐานน้อยที่สุด ซึ่งอาจเป็นกรณีที่โครงสร้างอาคารมีขนาดขึ้นส่วนที่เล็กกว่ากรณี WWR อื่นๆ อย่างไรก็ตาม แต่ในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรมของประเทศไทย [2] ที่มีเป้าหมายที่จะลดความเข้มของการใช้พลังงาน ได้กำหนดเกณฑ์ของ WWR โดยค่าน้อยกว่า WWR 0.20 เป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ดี WWR 0.30 เป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่แนะนำ และค่าที่มากกว่า WWR 0.50 เป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่แนะนำ ประเทศไทยมีสภาพอากาศที่ร้อนเป็นส่วนใหญ่ หากใช้พื้นที่กระจกและหน้าต่างที่เยอะขึ้นส่งผลให้สัดส่วนมากกว่า WWR 0.30 อาจจะไม่เหมาะสมในแง่ของเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานขั้นต่ำในอาคาร

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบแรงลัพท์จากผลกระทบแรงลมในลักษณะของแรงลมกด (Wind pressure) ที่กระทำต่ออาคารคลังสินค้า การที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้โครงสร้างเกิดความปลอดภัยที่มากขึ้น เนื่องจากค่าแรงลัพท์ลดลง แต่ในความเป็นจริงจะต้องพิจารณาถึงแรงลมยก (Wind lift up) ด้วย ถึงแม้ว่าขนาดช่องเปิดที่ใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้แรงลัพท์ลดลง แต่ในลักษณะของแรงลมยกที่เป็นแรงลมภายในอาคารจะมีทิศทางแรงพุ่งเข้าหาพื้นผิวส่วนหลังคาโดยตรง ดังนั้นผลจากที่ขนาดช่องเปิดใหญ่ขึ้นอาจจะส่งผลต่อระบบโครงสร้างหลังคาได้และต้องพิจารณาเพิ่มเติม ซึ่งเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยนี้

อภิปรายผล

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ CFD กับค่าแรงลมมาตรฐานตาม มยพ.1311-50 ในรูปแบบผลรวมแรงเฉือนที่ฐาน มีค่าความแตกต่างกับค่ามาตรฐานอยู่ในช่วง 0.491 - 0.636 เท่า ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับงานวิจัยของ [5] ที่ทำการศึกษาแรงลมและการตอบสนองอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร ด้วยการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม มีการสรุปผลเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลมกับแรงลมสถิติเทียบเท่าจาก มยพ. 1311-50 ในรูปแบบแรงสูงสุดที่ยอดอาคาร พบว่า มีความแตกต่างกับค่ามาตรฐานอยู่ช่วง 0.51- 0.59 เท่า ยังไงก็ตาม งานวิจัยของ [7] ที่ศึกษาความเสียหายของโครงสร้างเหล็ก Portal frame สำหรับทิศทางลมตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา พบว่า ทิศทางลมตามขวาง ส่งผลให้เกิดความเปราะบางที่สูงสุดต่อส่วนเปลือกอาคาร ในขณะที่ทิศทางลมตามยาวมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างและผนังส่วนท้ายซึ่งควบคุมสถานะความเสียหายทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ทิศทางลมที่มีส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารสูงสุดในแง่ของการออกแบบโครงสร้างในรูปแบบผลของแรงลัพธ์ คือ ทิศทางลมกระทำตั้งฉากอาคาร ส่วนทิศทางลมเฉียงมีความสำคัญน้อยต่อความเสียหายของอาคารเมื่อเทียบกับทิศทางลมที่ตั้งฉากสองทิศทางซึ่งสอดคล้องกันกับงานวิจัยดังกล่าว

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ใช้อาคารคลังสินค้าเป็นกรณีศึกษาและกำหนดช่องเปิดโดยใช้ค่า WWR ซึ่งคำว่าช่องเปิดในความหมายของด้านสถาปัตยกรรม คือ เป็นคำรวมที่ครอบคลุมทั้งพื้นที่หน้าต่างและประตู ซึ่งความเป็นจริงในอาคารไม่ได้อาจจะไม่ได้เปิดหน้าต่างและประตูไว้เพื่อให้ลมพัดเข้าอาคารและขนาดช่องเปิดที่ใช้งานจริงอาจจะมีขนาดที่แตกต่างกันในแต่ละด้านของอาคาร จึงต้องศึกษาในแต่ละรูปแบบอาคารให้ตรงกับความเป็นจริงมากขึ้น อีกทั้งปัจจัยของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิของอากาศหรือคุณสมบัติความร้อน ซึ่งงานวิจัยนี้พิจารณาคุณสมบัติความร้อนคงที่ ซึ่งในความเป็นจริงต้องใช้ค่าที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ของอาคารนั้นๆ มาพิจารณาร่วมด้วย นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงขนาดชิ้นส่วนโครงสร้างหลักและผลของการเสีรูปของอาคาร ในศึกษาครั้งต่อไปอาจจะต้องพิจารณาเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ผู้เขียนขอบคุณทางมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและคณะอาจารย์สาขานวัตกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ รวมถึงบุคลากรภายในและภายนอกที่ได้มอบความรู้ โปรแกรมและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กฎกระทรวงในประกาศในราชกิจจานุเบกษา. (2556). กำหนดการออกแบบโครงสร้างและลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูงเชิงสถาปัตยกรรม. กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. (2550). มาตรฐานคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร.
- จิระพล กลิ่นบุญ. (2565). *Study of Effects of Inlet Wind Velocity and Direction on Airflow around the Buildings Using CFD Turbulence Models: A Case Study of Rajamangala University of Technology Rattanakosin*. Rajamangala University of Technology Rattanakosin.
- อรรถกร เจริญ. (2561). การศึกษาแรงลมและการตอบสนองของอาคารสูงในบริเวณศูนย์กลางของกรุงเทพมหานครด้วยการทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.
- Franke, J., Alexander, B. (2007). *Best Practice Guideline for the CFD Simulation of Flows in the Urban Environment*. Meteorological Inst.
- Hao, Q, Matthew, M., Mark, G. S. (2023). *Fragility assessment for new and deteriorated portal framed industrial buildings subjected to tropical cyclone winds*. Structural Safety 100. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2022.102287>
- Jingyuan, S., Changkai, Z., & Yanan, L. (2023). CFD Analysis of Building Cross-Ventilation with Different Angled Gable Roofs and Opening Locations. *Buildings*, 13(11), 2716.
- Katarina, K. (2019). *Cross-ventilation in a generic isolated building equipped with louvers Wind-tunnel experiments and CFD simulations*. *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.019>
- Launder, B. E., & Spalding, D. B. (1974). The Numerical Computation of Turbulent Flows, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(2), 269-289. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(74\)90029-2](https://doi.org/10.1016/0045-7825(74)90029-2)
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.019>
- Norbert, L. (2015). *Heating, cooling, lighting: design methods for architects*. John wiley & Sons 4th Edit.
- Olgay, V. (1964). *Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. New Jersey: Princeton University Press.