

ผลกระทบจากการบดบังของอาคารคู่ต่อแรงดันลมที่กระทำต่ออาคารสูง โดยใช้โปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Interference Effects of Double buildings on Wind Pressure Acting on a Tall Building Using CFD Software

มานพ เจริญยุทธ และ ทรงพล จารุวิศิษฐ์*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: manop_cha@hotmail.com, fengspc@ku.ac.th

* ผู้ประพันธ์บรรณกิจ (corresponding author)



บทคัดย่อ

การวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้กระแสลมโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics ,CFD) สำหรับกรณีศึกษาผลกระทบจากการบดบังของอาคารต่อแรงดันลมที่กระทำกับอาคารสูงยังมีน้อยมาก และมักทำการศึกษาการบดบังจากอาคารเดี่ยว อีกทั้งยังไม่ค่อยมีการศึกษาผลของบดบังต่อแรงกระทำที่ฐานอาคารซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจะเป็นค่าหลักที่ใช้ในการคำนวณออกแบบอาคาร งานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารสูงภายใต้แรงลมกรณีมีอาคารคู่บดบังด้านหน้า 2 อาคาร ซึ่งสนใจพิจารณาตัวแปรหลักคือ ระยะห่างการบดบังไร้หน่วย (u) อาคารคู่ด้านหน้าอาคารหลัก โดยใช้การวิเคราะห์ CFD จำลองอาคารคู่บดบังที่ระยะห่างต่าง ๆ จากอาคารหลัก โดยมีขนาดอาคารคู่บดบังที่เท่ากัน 3 ขนาดคือ ขนาดเล็ก กลาง และขนาดใหญ่ มีช่องว่างระหว่างอาคารบดบังเท่ากับขนาดความกว้างของอาคารหลัก เพื่อให้กระแสลมสามารถลอดผ่านทะลุไปปะทะกับอาคารหลักได้ และนำข้อมูลแรงดันลมและแรงกระทำที่ฐานอาคารหลักที่วิเคราะห์ได้ไปหาความสัมพันธ์ เพื่อสร้างสมการใช้ในการทำนายค่าแรงที่กระทำต่อฐานอาคาร ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ผลการบดบังต่อแรงที่กระทำต่ออาคารหลักมีน้อยประมาณ 10% ที่ระยะห่างการบดบังไม่เกิน 1 เท่าของความกว้างอาคาร แต่เมื่อระยะห่างเพิ่มมากขึ้นผลของการบดบังต่อแรงที่กระทำต่ออาคารหลักจะเพิ่มมากขึ้น และส่งผลการบดบังสูงสุดที่ระยะห่างประมาณ $u = 11$ แล้วผลของการบดบังจึงค่อยๆ ลดลงเมื่ออาคารคู่บดบังอยู่ไกลออกไปและสำหรับการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ CFD เมื่อเทียบกับผลทดสอบอุโมงค์ลม ได้ค่าแตกต่างกันมากเนื่องจาก ในการทดสอบอุโมงค์ลมมีอาคารข้างเคียงเสมือนจริงอยู่จำนวนหลายอาคาร อีกทั้งมีอาคารเดี่ยวขนาดใหญ่ บดบังอยู่ด้านหน้า จึงทำให้ได้ผลค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ที่ฐานอาคารแตกต่างกัน สำหรับผลการประมาณค่าแรงกระทำที่ฐานอาคารโดยใช้สมการค่าตัวประกอบการบดบังของแรงเฉือนและโมเมนต์



เมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วย CFD จะเห็นว่าการประมาณให้ค่าน้อยกว่าอยู่ 53% และ 56% ตามลำดับ และหากเทียบกับผลทดสอบอุโมงค์ลม การประมาณให้ค่าน้อยกว่าอยู่ 27% และ 38% ตามลำดับ

 **คำสำคัญ:** แรงลม; อาคารสูง; พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ; แรงกระทำที่ฐาน; โมเมนต์กระทำที่ฐาน

Abstract

There are only few studies of wind load using Computational Fluid Dynamics (CFD) to investigate interference effects on wind pressure acting on a tall building, and mostly only a single obstructing building is considered. Moreover studies of interference effects on base shear and base moment caused by wind are very rare. although they are practically main building design parameters. therefore, this research has been conducted to study interference effects of the in front obstructing double buildings on wind pressure acting on a tall building. The main concerned parameters consist of distance and position of those obstructing double buildings. The same size of 2 obstructing buildings (including, size of small, medium and large) are modelled at various distances in front and located symmetry along the horizontal axis perpendicular to the front surface of the main building with the equal space to the length of the main building along wind direction for allowing wind flow passing through to act on the main building and then analyzed using commercial CFD software. The obtained simulation results of wind pressure and wind forces acting on the main building are used to find the relationship for estimating the base shear and moment acting on the main building. From the study, if the reduced interference distance, u , less than 1, the interference by the obstructing buildings is small about 10%. But when the obstruct distance increases, the interference effects also increase and reach maximum of the reduced obstructing distance about 11. For u larger than 11, the interference effects decrease with the further obstructing distance. For comparison results of the simulation by CFD with the wind tunnel test, the obtained results are quite different since the wind tunnel test consists of more than 2 surrounding buildings and 1 large low rise neighbour building. For the prediction of base shear and moment acting on the main building caused by wind using the interference factors, the estimation gives smaller base shear and moment than those obtained from CFD simulation for about 53% and 56% respectively. And if compares with the wind tunnel test results, the estimation is about 27% and 38% lesser for base shear and moment respectively

Keywords: Wind load; high-rise building; Computational Fluid Dynamics; base shear; base moment

1. บทนำและการศึกษาวิจัยในอดีต

ที่ผ่านมาการศึกษาผลกระทบต่อแรงลมที่กระทำต่ออาคารหลักจากการบดบังด้านหน้าของอาคารหลักมีจำนวนน้อย อีกทั้งส่วนใหญ่เป็นการศึกษาการบดบังในลักษณะรูปแบบที่มีอาคารเดี่ยวบดบัง โดยอาจศึกษาผลกระทบเมื่อลมมีทิศทางตรงกันกับแนวบดบังหรืออาจทำมุมองศาต่าง ๆ แต่ยังไม่มีการศึกษาผลกระทบจากกรณีมีอาคารบดบังมากกว่า 1 อาคาร งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลกระทบกรณีมีอาคารคู่บดบังที่มีความสูงเท่าอาคารหลักตั้งบดบังอยู่ด้านหน้าที่ระยะต่าง ๆ โดยมีตำแหน่งอาคารคู่บดบังที่สมมาตรกันและมีขนาดอาคารต่างกัน ด้วยการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็ว มีความยืดหยุ่นในการสร้างแบบจำลองสามารถปรับเปลี่ยนได้ง่าย ศึกษาตัวแปรพารามิเตอร์ได้หลายค่าพร้อม ๆ กัน แตกต่างจากการทดสอบด้วยอุโมงค์ลมที่มีข้อจำกัด และค่าใช้จ่ายสูง

ที่ผ่านมามีการนำพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาใช้หาค่าแรงดันที่รอบผิวอาคาร [1] สัมประสิทธิ์ของแรงลมและโมเมนต์สำหรับอาคารเดี่ยวโดยเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนขนาดใหญ่ (Large Eddy Simulation (LES)) ซึ่งพบว่าแบบจำลอง LES ให้ผลแรงลมที่กระทำกับตึกสูงเป็นที่น่าพอใจ โดยการใช้เทคนิค CFD นี้ถือได้ว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบ ทำให้สามารถประเมิน

ผลกระทบของแรงลมที่กระทำกับอาคารได้ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาเป็นค่าแรงลัพท์กระทำที่ฐานอาคาร (Base shear and moment) ต่อมาได้มีการศึกษาโดยใช้การจำลองขนาดอาคารสูงตามมาตรฐาน CAARC [2-4] อาคารซึ่งมีขนาดความสูง (H) = 180 เมตร, ยาว (L) = 30 เมตร และกว้าง (w) = 45 เมตร และใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค CFD โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วนขนาดใหญ่ (Large Eddy Simulation Dynamic) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของแรง ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันการเคลื่อนตัวของอาคาร โดยเทียบผลกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ทำการทดสอบในอุโมงค์ลม และที่ใช้การจำลองเชิงตัวเลข พบว่าได้ผลสอดคล้องเป็นอย่างดี มีการศึกษาค่าแรงดันลมที่กระทำต่ออาคารสูงรูปทรงต่าง ๆ เช่น รูปทรงแปดเหลี่ยม [5] โดยมีทิศทางลมกระทำที่มุมต่าง ๆ วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันมากที่สุดเกิดขึ้นที่ด้านเหนือลม ส่วนด้านใต้ลมมีค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันติดลบ การศึกษาแรงดันลมที่กระทำต่ออาคารรูปทรงสูงเรียวยาวรูปรางไม้สมมาตร [6] โดยใช้โปรแกรมทาง CFD ศึกษา ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมที่ความสูง 165 เมตร พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาก่อนหน้านี้เป็นอย่างดี ได้เริ่มมีการศึกษาค่าแรงเฉือนและโมเมนต์กระทำที่ฐานอาคาร (Base shear and Moment)

จากผลของแรงลมที่กระทำต่ออาคารสูง [7] โดยใช้โปรแกรมทาง CFD เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณออกแบบตามมาตรฐาน AS 1170.2 พบว่าได้ค่าแรงเฉือนที่ฐาน (Base Shear) และโมเมนต์ (Base Moment) น้อยกว่าค่าที่คำนวณตามมาตรฐาน AS 1170.2 ประมาณ 18% และ 19% ตามลำดับ

มีการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์แรงลมและแรงลาก (Drag force) ที่กระทำต่ออาคารสูงรูปร่างต่าง ๆ 7 รูปแบบ [8] โดยแต่ละแบบมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทาง CFD พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงลมมีค่ามากที่สุดเมื่ออาคารมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมีค่าน้อยสุดเมื่อหน้าตัดอาคารเป็นรูปวงกลม ส่วนแรงลากที่กระทำมีค่ามากที่สุดเมื่ออาคารมีหน้าตัดรูปกากบาท และมีค่าน้อยสุดเมื่อมีหน้าตัดอาคารเป็นรูปวงกลม และมีการศึกษาแรงดันลมที่กระทำต่ออาคารสูงรูปสี่เหลี่ยม [9] วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทาง CFD โดยเปรียบเทียบกับค่าแรงดันลมที่คำนวณตามมาตรฐาน Eurocode, ASCE 7-05 และ AS/NZS 1170.2-02 พบว่าค่าแรงดันลมที่ยอดอาคารจากมาตรฐานทั้ง 3 และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ CFD มีค่าใกล้เคียงกัน

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยในอดีต เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทาง CFD ที่ใช้ และเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของแรงลมที่เกิดขึ้น ในส่วนของการศึกษาผลกระทบจากการมีอาคารมาบดบังกระแสลม ได้มีการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันลมกรณีของอาคารเดี่ยวบดบังอาคารสูง [10, 11] กับระยะห่างระหว่างอาคารที่เพิ่มมากขึ้น

และผลของทิศทางลมที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่า กรณีที่แรงลมกระทำในทิศทาง 0° (ขนานกับตัวอาคารหลักและอาคารที่บดบัง) จะต้องมียะห่างระหว่างอาคารมากถึง 56 เท่าของความกว้างอาคาร จึงจะไม่มีผลกระทบจากการบดบังอาคาร ส่วนกรณีที่แรงลมกระทำในทิศทาง 90° (ตั้งฉากกับแนวอาคารหลักและอาคารบดบัง) จะต้องมียะห่างระหว่างอาคารประมาณ 10 เท่าของความยาวอาคาร จึงจะไม่มีผลกระทบจากตำแหน่งของอาคารข้างเคียงต่อแรงลมที่กระทำกับอาคารหลัก อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลการศึกษาของค่าแรงกระทำที่ฐานอาคาร

มีการศึกษาค่าแรงดันลมที่กระทำต่ออาคารสูง โดยทดสอบอุโมงค์ลมเปรียบเทียบกับกรณีวิเคราะห์ด้วย CFD [12-14] โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วนขนาดใหญ่ (Large Eddy Simulation Dynamic) อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบมีความกว้าง 2.59 เมตร, สูง 2.13 เมตร และแบบจำลองอาคารลดขนาด 1:400 จากอาคารจริงที่มีขนาดกว้าง 30.48 เมตร, ยาว 45.72 เมตร และสูง 182.88 เมตร ความเร็วลมเฉลี่ยที่ใช้ในการทดสอบคือ 12.12 เมตร/วินาที โดยทำการทดสอบ 3 กรณีคือ 1. อาคารเดี่ยว ไม่มีอาคารอื่นกีดขวาง 2. มีอาคารกีดขวางขนาดความสูงเท่ากัน และ 3. มีอาคารกีดขวางขนาดความสูงครึ่งหนึ่งของอาคารหลัก ผลการวิจัยพบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมและผลการทดสอบอุโมงค์ลมมีความสอดคล้องเป็นอย่างดี โดยมีค่าแตกต่างกันมากที่สุดประมาณ 16%

จากงานวิจัยในอดีตต่าง ๆ ที่นำเสนอ จะสังเกตได้ว่ายังไม่ค่อยมีงานวิจัยที่พิจารณาค่าแรงเฉือนและ

โมเมนต์พื้นฐานของอาคารหลัก ซึ่งปกติแล้วจะเป็นค่าแรงสำคัญในการออกแบบอาคารเป็นลำดับแรก ๆ และสามารถนำไปเปรียบเทียบกับผลของการทดสอบอุโมงค์ลมได้โดยตรง รวมถึงผลกระทบจากการบดบังอาคารด้วยอาคารบดบังมากกว่า 1 อาคาร งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของการบดบังกระแสลมที่กระทำต่ออาคารหลักจากอาคารคู่ที่ตั้งบดบังด้านหน้าแบบสมมาตรซึ่งมีความสูงเท่ากันและมีระยะห่างอาคารคู่ที่เป็นช่องทางให้ลมผ่านเข้าปะทะกับอาคารหลักเท่ากับขนาดหน้ากว้างปะทะลมของอาคารหลัก โดยสนใจพิจารณาปัจจัยของตำแหน่งการบดบังที่ระยะห่างต่าง ๆ จากระยะใกล้ 1 เท่าของขนาดอาคารหลัก จนถึงระยะไกลประมาณ 2 กิโลเมตรจากอาคารหลัก และปัจจัยของขนาดอาคารคู่ที่บดบังตั้งแต่ขนาดเล็ก กลาง และขนาดใหญ่

2. การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมสำเร็จรูปทาง CFD

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ CFD ด้วยโปรแกรม Ansys CFX version 17.1 ซึ่งได้ทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยเทียบผลการวิเคราะห์กับผลของงานวิจัยในอดีตที่เป็นการวิเคราะห์แรงลมที่กระทำต่ออาคารสูงเดี่ยวอาคารเดี่ยวทั้งการทดสอบอุโมงค์ลมและการวิเคราะห์ simulation [1] ดังแสดงผลในตารางที่ 1, 2 และภาพที่ 1 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของแรงลมที่กระทำต่ออาคารแบบจำลองตามมาตรฐาน CAARC ที่ได้จากการวิเคราะห์ CFD กับผลจากงานวิจัยในอดีต [1-3] พบว่าค่าแรงหลักที่กระทำ

ต่ออาคารซึ่งประกอบด้วยแรง F_x และ M_y มีค่าแตกต่างจากงานวิจัยในอดีตประมาณ 1-19% สำหรับสัมประสิทธิ์แรงในแนวแกน x และประมาณ 19-28% สำหรับสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์รอบแกน y (C_{My}) ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงในแนวแกน y (C_{Fy}) และ ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์รอบแกน x (C_{Mx}) ซึ่งเป็นค่าแรงในแนวแกนรองจะมีค่าน้อยมาก ทำให้ไม่เหมาะกับการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งจากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่ามีผลสอดคล้องกับผลของงานวิจัยในอดีต สำหรับค่าสัมประสิทธิ์แบบ rms พบว่ามีค่าน้อยมากเช่นเดียวกัน เนื่องจากการวิเคราะห์กรณีกระแสลมกระทำต่ออาคารเดี่ยว ความปั่นป่วนของกระแสลมจะมีค่าน้อยมาก ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะตัดข้อมูลช่วง 50 วินาทีแรกออก เนื่องจากเป็นสถานะที่อาคารเริ่มถูกแรงลมกระทำเข้าโดยตรงจากภาวะหยุดนิ่ง จึงมีความผันผวนของข้อมูลมาก ไม่ใช่ข้อมูลที่ต้องการพิจารณา

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของแรง

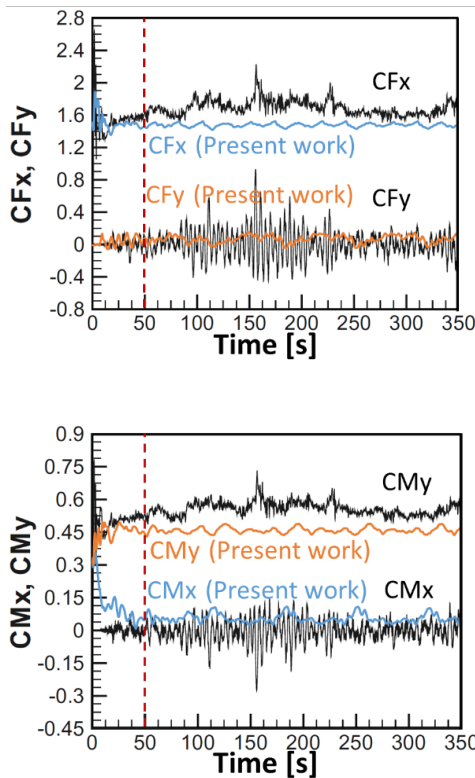
งานวิจัยที่เปรียบเทียบ	C_{Fx}	Error (C_{Fx})	$C_{\sigma Fx}$	C_{Fy}	$C_{\sigma Fy}$
Braun A.L., Awruch A.M. [2]	1.660	11%	0.076	0.008	0.106
Obasaju [3] – smooth flow	1.490	0.94%	0.060	0.093	0.092
Huang et al. [1] – low turbulence	1.830	19%	0.060	0.006	0.134
Present work (time> 50 s.)	1.476		0.017	0.078	0.027

* ค่า error เทียบกับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ = (ค่าอ้างอิง-ค่าจากงานวิจัยนี้)/ค่าอ้างอิง

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์

งานวิจัยที่เปรียบเทียบ	C_{Mx}	$C_{\sigma Mx}$	C_{My}	Error (C_{My})	$C_{\sigma My}$
Braun A.L., Awruh A.M. [2]	0.004	0.048	0.570	19.3%	0.038
Obasaju [3] – smooth flow	0.000	0.043	0.640	28%	0.030
Present work (time > 50 s.)	0.052	0.017	0.460		0.012

* ค่า error เทียบกับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ = (ค่าอ้างอิง-ค่าจากงานวิจัยนี้)/ค่าอ้างอิง



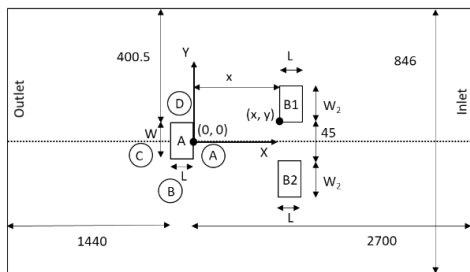
ภาพที่ 1 ประวัติเวลาค่าสัมประสิทธิ์ของแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่ออาคารเดี่ยว จากการวิเคราะห์ CFD ของงานวิจัยนี้และงานวิจัยในอดีต [2]

3. การสร้างแบบจำลองอาคารหลักและอาคาร

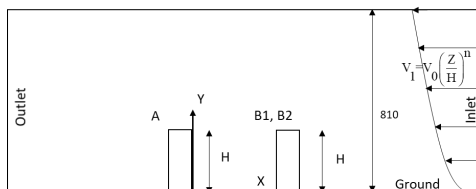
บัดบัง 2 อาคาร

การจำลองอาคารในโปรแกรม Ansys CFX version 17.1 ใช้แบบจำลองอาคารสูงขนาด 1:1 โดยอาคารหลักเรียกแทนว่า อาคาร A ใช้ทำการศึกษา ค่าแรงลมที่กระทำต่ออาคาร มีขนาดตามมาตรฐาน CAARC ความสูง (H) = 180 เมตร, กว้าง (W) = 45 เมตร และยาว (L) = 30 เมตร ส่วนอาคารคู่ที่มาบัดบัง กระแสลมด้านหน้าทั้ง 2 อาคาร ดังแสดงในภาพที่ 2 เรียกแทนว่า อาคาร B1 และ B2 ซึ่งทั้ง 2 อาคาร มีขนาดเท่ากัน ตั้งอยู่ห่างระหว่างกัน 45 เมตร ซึ่งเป็นช่องว่างขนาดเท่าหน้ากว้างของอาคาร A ที่กระแสลมสามารถทะลุผ่านเข้าปะทะกับอาคาร A ได้ และอาคารคู่บัดบังมีความสูงเท่ากับอาคารหลัก (อาคาร A) แต่ทำการศึกษาผลของขนาดอาคารคู่ที่แตกต่างกัน 3 คู่อาคาร ได้แก่ 1. อาคารคู่เล็ก (S) กว้าง (W_2) = 45 เมตร, ยาว (L) = 30 เมตร (เท่ากับขนาดอาคาร A) 2. อาคารขนาดคู่กลาง (M) กว้าง (W_2) = 60 เมตร, ยาว (L) = 30 เมตร และ 3. อาคารขนาดคู่ใหญ่ (L) กว้าง (W_2) = 90 เมตร, ยาว (L) = 30 เมตร ตำแหน่งของคู่อาคาร B1 และ B2 ที่บัดบังด้านหน้าอาคาร A ที่ตำแหน่งระยะห่าง x ต่างๆ ดังแสดงค่าในตารางที่ 3 โดยกำหนดค่าพิกัด (0,0) ที่ตำแหน่งกึ่งกลางริมด้านหน้าของอาคาร A แกน x คือแกนในแนวนอนที่ลากผ่านกึ่งกลางอาคาร A และ แกน y คือแกนในแนวตั้งที่ขนานกับด้านหน้าอาคาร A ให้ระยะ x คือระยะห่างวัดตั้งฉากจากขอบอาคาร A ไปยังขอบอาคารคู่บัดบัง B1 และ B2 ที่ใกล้ที่สุด

นิยามค่า $u = x/L$ คือระยะห่างวัดเป็นจำนวนเท่าของขนาดอาคารหลัก (A) ในแนวของค่าระยะห่าง (L) โดยการวิเคราะห์ CFD อยู่ภายในขอบเขต Computational domain ขนาดความสูง 810 เมตร กว้าง 846 เมตร และยาว 4,170 เมตร ดังแสดงรายละเอียดตำแหน่งแบบจำลองอาคารและขนาดขอบเขตการวิเคราะห์ในภาพที่ 2 จากกรณีศึกษาของระยะห่างการบังที่ระบุในตารางที่ 3 จำนวน 17 กรณี และขนาดอาคารคู่บัง 3 ขนาด ทำให้รวมมีกรณีศึกษาทั้งสิ้น 51 กรณี เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมรอบอาคารหลัก (ด้านหน้า, A; ด้านข้าง, B และ D; ด้านหลัง, C) (C_p) และค่าแรงกระทำที่ฐานอาคารหลัก ซึ่งประกอบด้วยแรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Base Shear) และโมเมนต์ที่ฐานอาคาร (Base Moment)



a) ภาพ plan อาคาร



b) ภาพ elevation อาคาร

ภาพที่ 2 ขนาดของแบบจำลองอาคารและขอบเขตการจำลองที่ทำการศึกษา (หน่วย: เมตร)

ตารางที่ 3 กรณีศึกษาตำแหน่งระยะห่าง (x) ของอาคารบดบังกับอาคารหลัก

กรณี	x (m)	u = x/L
1	30	1
2	90	3
3	150	5
4	240	8
5	330	11
6	420	14
7	510	17
8	660	22
9	810	27

กรณี	x (m)	u = x/L
10	960	32
11	1110	37
12	1260	42
13	1410	47
14	1560	52
15	1710	57
16	1860	62
17	2010	67

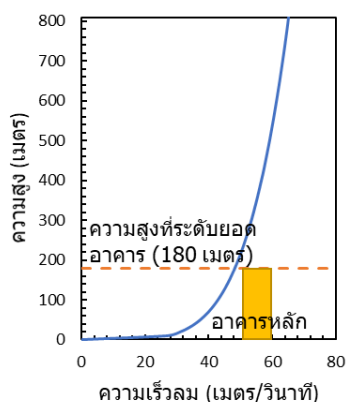
4. คุณสมบัติแบบจำลอง CFD กระแสลม

กระแสลมที่ใช้ในการวิเคราะห์ CFD เป็นแบบชั้นขอบเขตความเร็ว (boundary layer velocity profile) เพื่อให้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงโดยให้เป็นไปตามสมการกฎของกำลัง (Power law) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$V_{(Z_1)} = V_{(H)} \left(\frac{Z_1}{Z_2} \right)^\alpha \quad (1)$$

เมื่อ $V_{(Z_1)}$ คือ ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูง Z_1 , $V_{(H)}$ คือ ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงยอดอาคาร (180 เมตร) ซึ่งใช้เป็นค่าระดับความสูงอ้างอิง, α คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับลักษณะพื้นผิวและภูมิประเทศ โดยใช้ค่า $\alpha = 0.2$ และมีค่าคงที่ทางกายภาพของมวลอากาศดังนี้ Dynamic viscosity 7.03×10^{-2} นิวตัน-วินาที/ตร.ม., Specific mass 1.25 กก./ลบ.ม. และความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ

ยอดอาคาร (180 เมตร) อ้างอิงจากค่าความเร็วลมเฉลี่ยไร่หน่วย = 6 ซึ่งมีค่าความเร็วลมเฉลี่ย = 48.27 เมตรต่อวินาที เนื่องจากเป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับค่าความเร็วลมสูงสุดที่ใช้ในการคำนวณแรงลมตามมาตรฐานของประเทศไทย (มยพ. 1311-50) ซึ่งกำหนดค่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดในการคำนวณ = 29 เมตรต่อวินาที (ค่าในกลุ่มที่ 3 ตามแผนที่การแบ่งกลุ่มความเร็วลมอ้างอิงในมาตรฐาน) คุณขยายด้วยค่าตัวประกอบได้ฝุ่น 1.2 จะคำนวณได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยไร่หน่วยเท่ากับ 4.33 จึงเลือกทำการวิเคราะห์ที่ค่าความเร็วลมเฉลี่ยไร่หน่วย = 6 ในงานวิจัย โดยสามารถแสดงค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับความสูงต่างๆ (Velocity Profile) ดังในภาพที่ 3 และใช้แบบจำลองความปั่นป่วนแบบ Large Eddy Simulation (LES) จำลองมวลอากาศด้วยเอลิเมนต์แบบ tetrahedral จำนวนทั้งสิ้นประมาณ 584,823 ชิ้นส่วน ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์เป็นที่น่าพอใจและอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้สำหรับการวิเคราะห์ด้วย CFD โดยอ้างอิงจากผลของงานวิจัยในอดีต [1]



ภาพที่ 3 ความเร็วลมที่ระดับความสูงต่าง ๆ (Velocity Profile)

เงื่อนไขขอบเขตมีผลโดยตรงต่อการศึกษาพฤติกรรมของไหล การกำหนดเงื่อนไขให้สอดคล้องกับสถานะปัญหาการไหลจริงย่อมทำให้การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อศึกษาพฤติกรรมปัญหาของการไหลมีประสิทธิภาพมากขึ้น ประเภทเงื่อนไขของขอบเขตในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงตามธรรมชาติคือ กำหนดให้มีแรงลมเข้าจากทางด้านหน้าอาคารในลักษณะของความเร็วลมเฉลี่ยแปรผันตามความสูง $(V_{(0)} - V_{(180)})$ ไหลผ่านอาคารออกไป โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแรงดันที่จุดไหลออกเท่ากับศูนย์ ส่วนด้านข้างของขอบเขตแบบจำลองได้กำหนดให้มีความเร็วลมเฉลี่ยเช่นเดียวกับทางเข้า ในการวิเคราะห์ CFD ใช้ค่าระยะห่างในเวลาคำนวณ $(Dt) = 0.1$ วินาที และใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ simulation ทั้งหมดยาว 350 วินาที

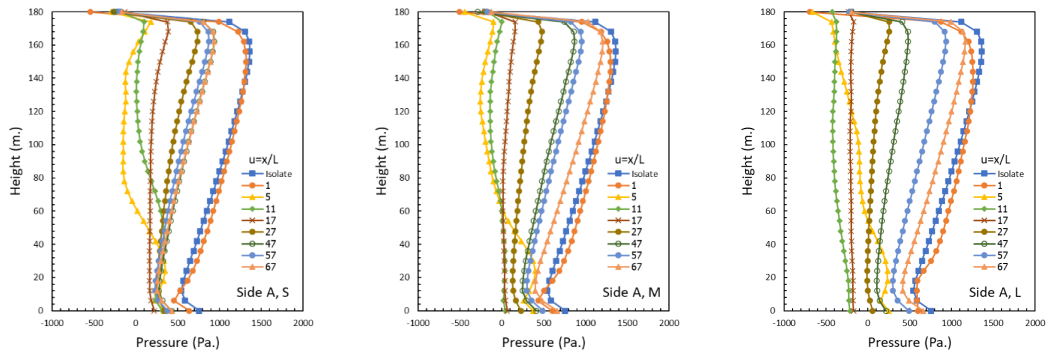
5. ผลการวิเคราะห์ CFD ในกรณีที่มีอาคารคู่บดบัง กระแสลมที่กระทำกับอาคารหลัก

5.1. ค่าแรงดันลม (Pressure) ที่กระทำต่ออาคารหลัก

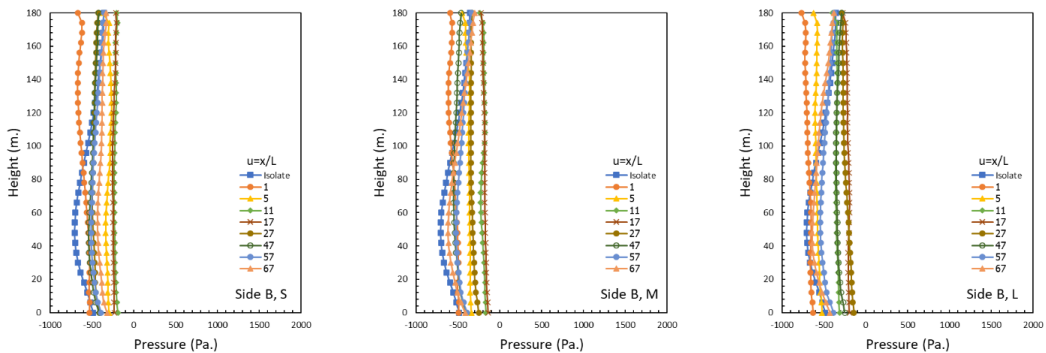
ภาพที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าแรงดันลมที่กระทำต่ออาคารหลักบริเวณตำแหน่งกึ่งกลางด้านหน้าของอาคาร สำหรับกรณีการวิเคราะห์ที่ไร้อาคารบดบัง (กรณี isolate) และกรณีที่ถูกบดบังด้วยอาคารคู่ด้านหน้าขนาด S, M, L ที่มีระยะห่างการบดบังไร่หน่วย, $u = x/L$, 1, 5, 11, 17, 27, 47, 57, 67 เท่าของขนาดอาคารหลัก โดยค่าแกน y เป็นความสูงของอาคารที่ทำการศึกษา และค่าแกน x เป็นค่าแรงดัน (Pressure) จากการวิเคราะห์พบว่า

เมื่อระยะห่างการบังรัหน่วย, u , ประมาณ ≤ 1 ไม่ว่าอาคารคู่บังจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่แรงดันลมด้านหน้ามีค่าใกล้เคียงกรณีที่ไม่มีการบังอาคาร และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากระดับพื้นดินจนถึงระดับ

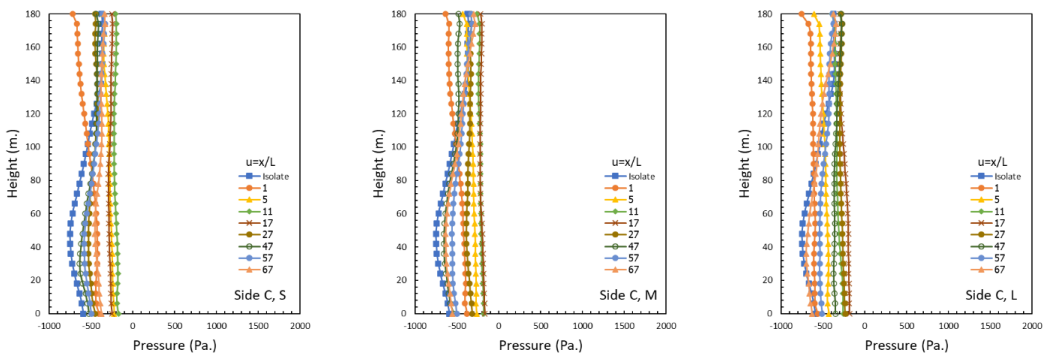
ความสูงประมาณ 160 เมตร แล้วแรงดันลมจึงค่อยๆ ลดลง โดยแรงดันลมส่วนใหญ่จะเป็นแรงผลักเข้าหาอาคาร (มีค่าเป็นบวก) ยกเว้นที่จุดยอดอาคารที่มีค่าแรงดันเป็นลบ (แรงดูดพุ่งออกจากอาคาร)



a) แรงดันลมที่ผิวด้าน A ของอาคารหลัก (ซ้าย: อาคารบังขนาด S, กลาง: ขนาด M, ขวา: ขนาด L)



b) แรงดันลมที่ผิวด้าน B ของอาคารหลัก (ซ้าย: อาคารบังขนาด S, กลาง: ขนาด M, ขวา: ขนาด L)



c) แรงดันลมที่ผิวด้าน C ของอาคารหลัก (ซ้าย: อาคารบังขนาด S, กลาง: ขนาด M, ขวา: ขนาด L)

ภาพที่ 4 แรงดันลม (Pressure) บริเวณกึ่งกลางด้านหน้าอาคารหลักที่ความสูงต่างๆ ของอาคาร

และเมื่อระยะห่างการบัดบังไร้หน่วย, u , เพิ่มมากขึ้น ที่ประมาณ 5, 11 และ 17 เท่าของขนาดอาคารหลัก ค่าแรงดันลมที่ผิวด้านหน้าอาคารจะมีค่าน้อยและเมื่อค่า u เพิ่มขึ้นที่ประมาณ 27 – 67 ค่าแรงดันลมที่ผิวด้านหน้าอาคารจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหมายถึงอาคารคู่บัดบังอยู่ไกลมากขึ้น ผลกระทบของการบัดบังกระแสลมจึงลดลง แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีผลการบัดบังของกระแสลมอยู่บ้างไม่หมดไป แรงดันลมที่ผิวด้านหน้าอาคารจึงยังน้อยกว่ากรณีที่ไม่อาคารบัดบัง โดยเมื่ออาคารคู่บัดบังมีขนาดเล็ก จะส่งผลการบัดบังกระแสลมน้อยกว่ากรณีของอาคารคู่บัดบังที่มีขนาดใหญ่กว่า โดยสังเกตได้จากค่าแรงดันลมกรณีของอาคารคู่บัดบังขนาด S จะมีค่ามากกว่าแรงดันลมของกรณีอาคารคู่บัดบังขนาด M และ L ตามลำดับ

สำหรับแรงดันลมทางด้านข้าง (ด้าน B) และด้านหลัง (ด้าน C) ของอาคารหลัก พบว่าแรงดันมีค่าเป็นแรงดันลบทั้งหมดแต่จะมีค่าแรงดันต่างกันเล็กน้อยตามระยะห่างการบัดบังไร้หน่วยต่างๆ นอกจากนั้นพบว่าที่ระดับความสูงอาคารประมาณ 50 เมตร ค่าแรงดันลมที่ผิวด้านข้างและด้านหลัง

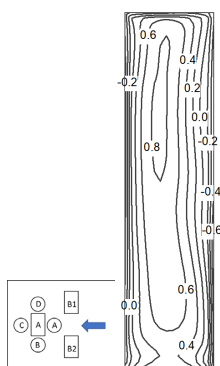
ของอาคารหลักของกรณีไร้การบัดบังจะเป็นแรงดูดสูงสุด และค่อย ๆ มีขนาดแรงดูดลดลงตามความสูงของอาคาร ยกเว้นในกรณีที่มีระยะห่างการบัดบังไร้หน่วย น้อย ๆ, $u = 1$, แรงดันลมที่ผิวด้านข้างและด้านหลังของอาคารหลัก จะมีค่าแรงดูดต่ำสุดที่ระดับความสูงน้อยสุดและค่อย ๆ เป็นแรงดูดมากขึ้นตามความสูงของอาคาร

5.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดัน (C_p) รอบอาคาร

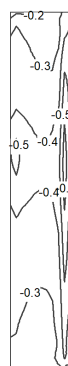
การเปรียบเทียบผลกระทบจากการบัดบังกระแสลมที่กระทำต่ออาคารหลัก จะใช้การพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลม (C_p) ที่รอบผิวอาคาร นิยามด้วยค่าอัตราส่วนของค่าแรงดันลมที่จุดที่พิจารณาต่อค่าแรงดันลมที่ระดับยอดของอาคารโดยคำนวณค่าแรงดันลมตามสมการที่ 2

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2)$$

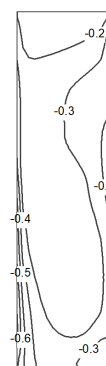
เมื่อ q = แรงดันลม มีหน่วยเป็น นิวตัน/ตร.ม.,
 ρ = ความหนาแน่นของมวลอากาศ = 1.25 กก./ลบ.ม.,
 V = ความเร็วลมเฉลี่ย มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที



a) ด้าน A

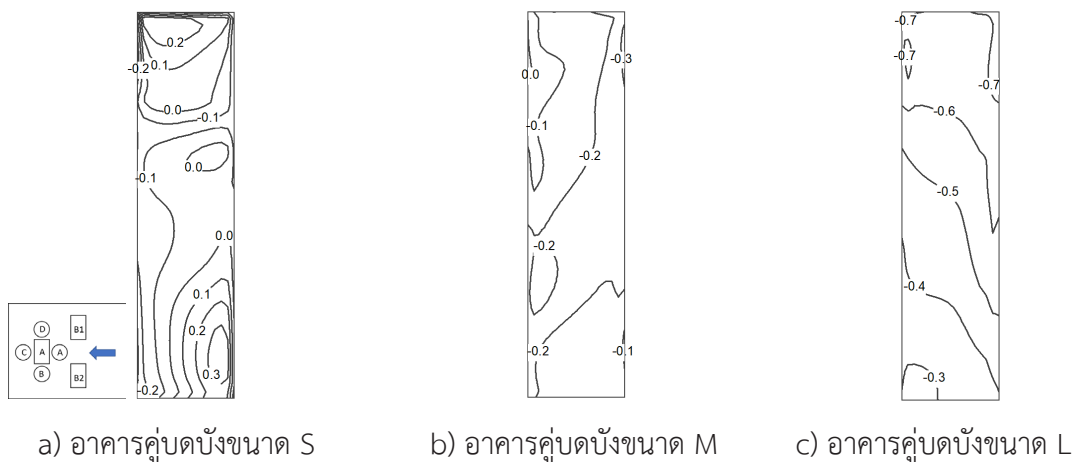


b) ด้าน B



c) ด้าน C

ภาพที่ 5 ค่า C_p ที่ผิวยอดอาคารหลัก ของอาคารคู่บัดบังขนาด S ที่ระยะห่างการบัดบังไร้หน่วย, u , = 3



ภาพที่ 6 ค่า C_p ที่ผิวด้าน A ของอาคารหลัก ที่ระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, $u_r = 8$

ภาพที่ 5 แสดงตัวอย่างค่า C_p ที่ผิวรอบอาคารหลัก กรณีอาคารคู่ตึกขนาด S ที่ระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, $u_r = 3$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า C_p จะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณด้านหน้าอาคาร (ด้าน A) และมีค่าสูงขึ้นตามความสูงของอาคาร สอดคล้องกับค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่กระทำเข้าด้านหน้าของอาคารโดยตรง โดยมีค่าต่ำสุดที่ผิวดินและค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความสูง ส่วนด้านข้างและด้านหลังอาคาร (ด้าน B และ C) ค่า C_p จะน้อยกว่าด้าน A และมีค่าเป็นแรงดูด (แรงดันติดลบ) เนื่องจากทั้ง 2 ด้านไม่ใช่ด้านที่ปะทะแรงลมโดยตรง

ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างค่า C_p ที่ผิวด้าน A ของอาคารหลัก ที่ระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, $u_r = 8$ ของกรณีอาคารคู่ตึกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรณีอาคารคู่ตึกขนาด S จะมีค่า C_p มากที่สุดที่บริเวณด้านล่างขวา ส่วนค่า C_p น้อยที่สุดที่บริเวณด้านล่างซ้าย และค่า C_p มากที่สุดมากกว่าของกรณีอาคารคู่ตึกขนาด M และ L

สำหรับกรณีอาคารคู่ตึกขนาด M จะเห็นได้ว่ามีค่า C_p มากที่สุดที่บริเวณด้านบนซ้าย ส่วนค่า C_p น้อยที่สุดที่บริเวณบนขวา และค่า C_p มากที่สุดมากกว่าของกรณีอาคารคู่ตึกขนาด L สำหรับกรณีคู่ตึกขนาด L จะเห็นได้ว่ามีค่า C_p มากที่สุดที่บริเวณด้านล่างซ้าย ส่วนค่า C_p น้อยที่สุดที่บริเวณบนซ้ายและขวา

ค่า C_p แสดงถึงค่าแรงดันลมที่กระทำบนผิวอาคาร ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันตามตำแหน่งบนพื้นผิวอาคาร เช่น ที่ระดับความสูงเดียวกันที่ริมขอบอาคารทางซ้ายหรือขวาหรือตรงกลางของพื้นผิว ดังนั้นเพื่อให้สามารถพิจารณาผลของค่า C_p เปรียบเทียบกับกรณีแบบจำลองอาคารบดบังขนาดและตำแหน่งต่าง ๆ ในที่นี้จึงเลือกพิจารณาค่า เฉลี่ยเป็นค่าเดียวในระดับความสูงหนึ่ง ๆ ของอาคารบนพื้นผิวในแต่ละด้าน

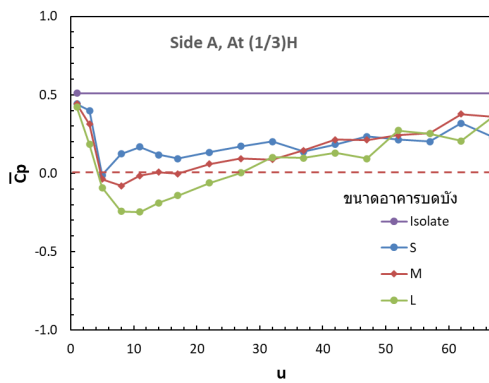
โดยได้ผลค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมเฉลี่ย ($\bar{C}_p$) ที่ระดับความสูง $(1/3)H$ และ $(2/3)H$ บนพื้นผิว



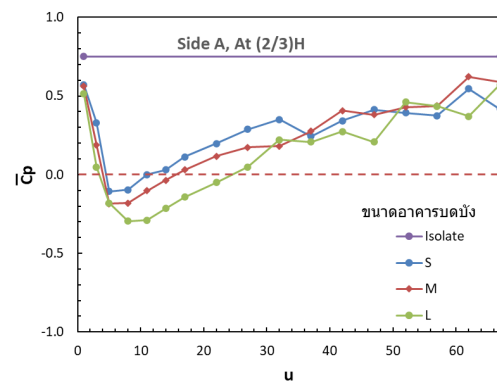
อาคารด้าน A, B และ C ดังแสดงในภาพที่ 7 และ 8 ตามลำดับ โดยค่าแกน x คือ ระยะห่างการบดบัง ไร้หน่วยแบบคิดเป็นจำนวนเท่าของอาคารหลัก, $u = x/L$, และแกน y คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมเฉลี่ย ($\bar{C}_p$) ทั้งนี้สำหรับด้าน D เป็นด้านข้างของอาคารหลักที่อยู่ตรงข้ามกับด้าน B ซึ่งเป็นด้านข้างอีกด้านของอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมเฉลี่ย ($\bar{C}_p$) ถือว่ามีค่าเหมือนกันกับค่าของทางด้าน B เนื่องจากอาคารคู่บดบัง B1 และ B2 ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่สมมาตรกัน

ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, u , กับค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมเฉลี่ย ($\bar{C}_p$) ที่ระดับความสูง $(1/3)H$ ของอาคารหลัก พบว่า ที่ด้านหน้าของอาคารหลัก (ด้าน A) ค่า $\bar{C}_p$ จากอาคารคู่บดบังทั้ง 3 ขนาด ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงค่าบวก คือ แรงกด (แรงพุ่งเข้าหาอาคาร) เพราะเป็นด้านที่รับแรงปะทะจากกระแสลมโดยตรง โดยมีค่าสูงสุดประมาณเท่ากับ 0.45 หมายความว่าที่ด้าน A มีค่าแรงดันลมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.45 เท่าของค่าแรงดันลมที่ระดับยอดอาคาร โดยช่วงค่าระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, u , = 1 ถึง 8 (ระยะห่างการบดบังไร้หน่วยที่ 1 ถึง 8 เท่าของขนาดความยาวอาคารหลัก) พบว่าเมื่ออาคารบดบังมีระยะห่างจากอาคารหลักมากขึ้น ค่า $\bar{C}_p$ จะค่อย ๆ ลดลง แต่เมื่อถึงช่วง

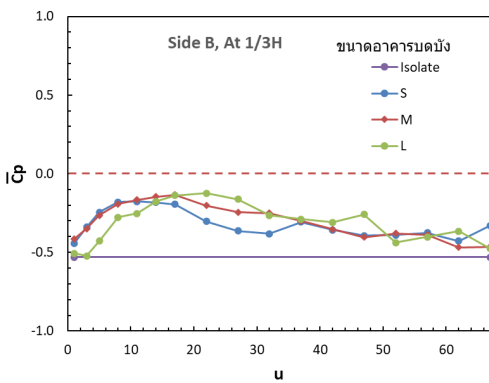
ค่า $u > 8$ ขึ้นไป ค่า $\bar{C}_p$ จะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามค่าระยะห่างการบดบังอาคารหลัก และมีข้อสังเกตว่า กรณีอาคารคู่บดบังขนาด L ที่ช่วงค่าระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, $u = 5$ ถึง 22 ค่า $\bar{C}_p$ มีค่าเป็นลบ คือเป็นแรงดูด (แรงพุ่งออกจากอาคาร) ส่วนด้านข้างและด้านหลังของอาคารหลักคือด้าน B และ C พบว่าค่า $\bar{C}_p$ จากอาคารคู่บดบังทั้ง 3 ขนาด ติดลบซึ่งจะเป็นแรงดูดทั้งหมดเพราะเป็นด้านที่ไม่ได้รับแรงปะทะจากกระแสลมโดยตรง โดยมีค่า $\bar{C}_p$ ต่ำสุดประมาณเท่ากับ -0.5 และ -0.45 ที่ด้านข้าง (B) และด้านหลัง (C) ของอาคารหลักตามลำดับ ซึ่งหมายถึงมีค่าแรงดูดต่ำสุดเท่ากับ 0.45 ถึง 0.5 เท่าของค่าแรงดันที่ระดับยอดอาคาร โดยที่ช่วงค่าระยะห่างการบดบังไร้หน่วยประมาณ $u = 1$ ถึง 17 พบว่าค่า $\bar{C}_p$ จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น (ติดลบน้อยลง ซึ่งหมายถึงแรงดูดลดลง) จนมีค่าขนาดแรงดูดน้อยที่สุดประมาณ = -0.1 แต่เมื่อค่า $u > 17$ ขึ้นไป พบว่าค่า $\bar{C}_p$ มีค่าค่อย ๆ ลดลง (ติดลบมากขึ้นซึ่งหมายถึงแรงดูดเพิ่มขึ้น) ตามค่าระยะห่างการบดบังที่เพิ่มมากขึ้น จนมีค่าแรงดูดประมาณ -0.5 ของทั้ง 3 ขนาดอาคารคู่บดบัง สรุปจากค่า $\bar{C}_p$ ทั้ง 3 ด้านพบว่าได้ค่าไม่เกิน 0.5 เท่าของแรงดันที่ระดับยอดอาคาร โดยด้าน A ส่วนใหญ่จะเป็นแรงผลัก ส่วนด้าน B และ C จะเป็นแรงดูด



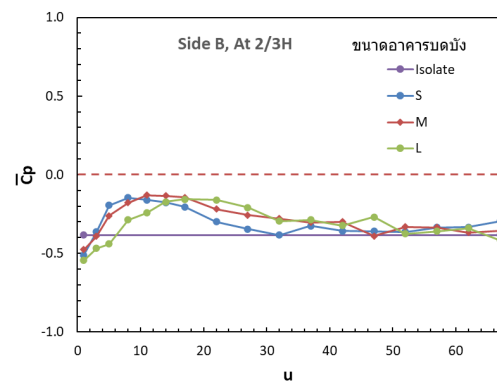
a) ด้าน A (ด้านหน้า)



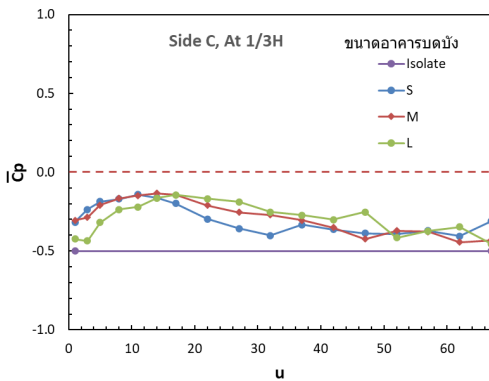
a) ด้าน A (ด้านหน้า)



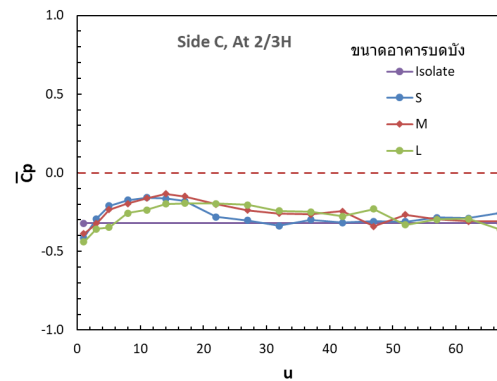
b) ด้าน B (ด้านข้าง)



b) ด้าน B (ด้านข้าง)



c) ด้าน C (ด้านหลัง)



c) ด้าน C (ด้านหลัง)

ภาพที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมเฉลี่ย ($\bar{C}_p$)
ด้าน A, B, C ของอาคารหลัก
ที่ระดับความสูง (1/3)H

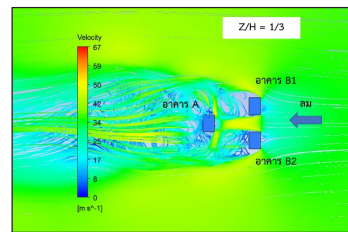
ภาพที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมเฉลี่ย ($\bar{C}_p$)
ด้าน A, B, C ของอาคารหลัก
ที่ระดับความสูง (2/3)H

ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, u กับค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมเฉลี่ย ($\bar{C}_p$) ที่ระดับความสูง $(2/3)H$ ของอาคารหลัก พบว่าที่ด้านหน้าของอาคารหลัก (ด้าน A) ค่าจากอาคารคู่บดบังทั้ง 3 ขนาด ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงค่าบวก คือ แรงผลัก โดยมีค่า $\bar{C}_p$ สูงสุดประมาณเท่ากับ 0.6 โดยที่ช่วงค่าระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, $u = 1$ ถึง 8 พบว่าค่า $\bar{C}_p$ จะค่อยๆ ลดลงตามระยะห่างที่เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อค่า $u > 8$ ขึ้นไป พบว่าค่าจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามค่าระยะห่างการบดบังที่เพิ่มมากขึ้น และมีข้อสังเกตว่ากรณีอาคารคู่บดบังขนาด L ที่ช่วงค่าระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, $u = 5$ ถึง 22 ค่า $\bar{C}_p$ มีค่าเป็นลบ คือเป็นแรงดูด ส่วนด้านข้างและด้านหลังของอาคารหลัก พบว่าผลของค่า $\bar{C}_p$ จากการบดบังทั้ง 3 ขนาด มีลักษณะใกล้เคียงกับผลของ $\bar{C}_p$ ที่ระดับความสูง $(1/3)H$ โดยสำหรับกรณีค่า $\bar{C}_p$ ที่ระดับ $(2/3)H$ จะสูงกว่าค่า $\bar{C}_p$ ที่ระดับ $(1/3)H$ อยู่เล็กน้อย เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ระดับสูงกว่าจึงมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่มากกว่า

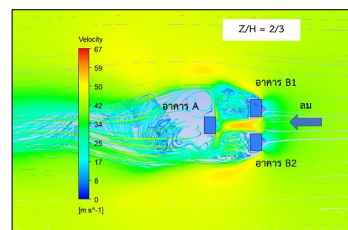
จากภาพที่ 7 และ 8 หากพิจารณาค่า $\bar{C}_p$ ที่ช่วงระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, $u = 8$ ถึง 32 ของด้าน A จะพบว่าค่า $\bar{C}_p$ จากกรณีอาคารคู่บดบังทั้ง 3 ขนาด มีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจนคือ กรณีอาคารคู่บดบังขนาด S จะมีค่า $\bar{C}_p$ เป็นบวก (แรงผลัก) และมากกว่ากรณีอาคารคู่บดบังขนาด M และสำหรับกรณีอาคารคู่บดบังขนาด L จะมีค่า $\bar{C}_p$ ติดลบ ทั้งนี้คาดว่ามีความเสี่ยงเนื่องจากขนาดของอาคารบดบังที่แตกต่างกัน แม้ว่าช่องว่างระหว่างอาคารคู่บดบังที่กระแสลมจะทะลุลอดผ่านได้จะเท่ากันก็ตาม แต่เมื่ออาคารคู่บดบังมีขนาดใหญ่ กระแสลมที่ปะทะกับอาคารคู่บดบังจะถูกเบี่ยงเบนออกด้านข้างไปก่อวนปะทะกับกระแสลมในส่วนที่จะลอดผ่านช่อง

ว่างได้น้อยลง จนถึงขั้นที่เกิดกระแสวนทำให้แรงดันที่ด้านหน้าอาคารหลักกลายเป็นแรงดูด (ติดลบได้) หากอาคารคู่บดบังมีขนาดใหญ่มากพอ ดังแสดงตัวอย่างของกระแสลมรอบอาคารหลัก กรณีของอาคารคู่บดบังขนาดต่างๆ ในภาพที่ 6 ซึ่งแสดงค่า C_p ที่ผิวด้าน A ของอาคารหลัก ที่ระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, $u = 8$ กรณีอาคารคู่บดบังขนาดต่าง ๆ

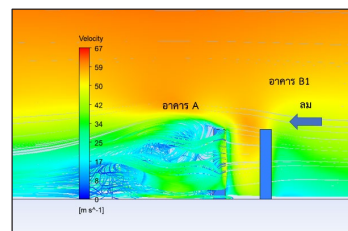
5.3 เส้นการไหลของกระแสลม (Stream line)



a) ภาพตัดในแนวระนาบนอนที่ตำแหน่งความสูง $(1/3)H$



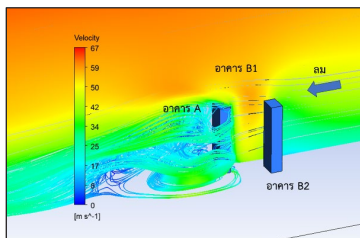
b) ภาพตัดในแนวระนาบนอนที่ตำแหน่งความสูง $(2/3)H$



c) ภาพตัดในแนวระนาบตั้งที่ตำแหน่งกึ่งกลางอาคารหลัก

ภาพที่ 9 เส้นการไหลของกระแสลมในกรณีที่มีอาคารคู่บดบังด้านหน้าที่ระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, $u = 3$

ภาพที่ 9 แสดงภาพตัวอย่างลักษณะการไหลของกระแสลมด้วยเส้นการไหล Stream line ของกรณีศึกษาอาคารคู่ตึงบ้างขนาด S ที่ระยะห่างการตึงบ้างไร้หน่วย, $u = 3$, โดยภาพที่ 9(a) และ 9(b) แสดงภาพตัดในแนวระนาบนอนที่ตำแหน่งความสูง $(1/3)H$ และ $(2/3)H$ ตามลำดับ ส่วนภาพที่ 9(c) แสดงภาพตัดในแนวระนาบตั้งที่ตำแหน่งกึ่งกลางอาคารหลัก โดยในภาพกระแสลมไหลเข้าจากทางด้านขวามือของรูป ผ่านอาคารคู่ที่ตึงบ้างและอาคารหลัก แล้วไหลออกทางด้านซ้ายของรูป จะเห็นได้ว่าเมื่อกระแสลมไหลปะทะเข้ากับอาคารคู่ที่ตึงบ้างและอาคารหลัก จะเกิดการเลี้ยวเบนออกแล้วไหลผ่านทางด้านข้างของอาคาร เกิดเป็นกระแสรอบกวนอยู่บริเวณด้านข้างและหลังอาคารทั้งของอาคารคู่ตึงบ้างและอาคารหลัก ซึ่งทำให้โครงสร้างอาคารเกิดการสั่นไหวทั้งในแนวทิศทางตามกระแสลมและตั้งฉากกับกระแสลม และเมื่อพิจารณาจากภาพตัดในแนวระนาบตั้งของกระแสลมที่กระทำต่ออาคารหลัก จะเห็นได้ว่าทางด้านหน้าของอาคารที่ระดับความสูงต่ำ ๆ กระแสลมจะพยายามวนกลับเมื่อปะทะอาคาร ส่วนที่ระดับความสูงอาคารสูง ๆ กระแสลมจะพยายามไหลข้ามอาคารไป ส่วนทางด้านหลังของอาคาร กระแสรอบกวนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามความสูง และภาพที่ 10 แสดงเส้นทางการไหลของกระแสลมในแบบภาพ 3 มิติ



ภาพที่ 10 เส้นกระแสการไหลของลมใน 3 มิติ

5.4 แรงกระทำที่ฐานอาคารหลัก

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแรงกระทำที่ฐานอาคารหลัก ซึ่งประกอบด้วยแรงเฉือนและโมเมนต์ที่ฐานอาคาร (Base shear and Base moment) จากผลกระทบของการตึงบ้างกระแสลมในกรณีต่าง ๆ จะใช้การพิจารณาจากค่าตัวประกอบการตึงบ้าง (Interference Factors, IF) นิยามเท่ากับค่าอัตราส่วนของผลค่าแรงเฉือนหรือโมเมนต์ที่กระทำต่อฐานอาคารหลักกรณีที่มีอาคารคู่ตึงบ้างด้านหน้าต่อผลของค่าแรงเฉือนหรือโมเมนต์ที่กระทำต่ออาคารหลักเดี่ยว ๆ โดยไม่ถูกอาคารคู่ตึงบ้าง ดังแสดงผลในภาพที่ 11(a) และ 11(b) สำหรับค่าตัวประกอบการตึงบ้างของแรงทางแกน x (IF_{Fx}) และค่าตัวประกอบการตึงบ้างของของโมเมนต์รอบแกน y (IF_{My}) ซึ่งเป็นแกนหลักของแรงที่กระทำต่อฐานอาคารเป็นหลักตามลำดับ โดยแกน x เป็นระยะห่างการตึงบ้างไร้หน่วย, $u=x/L$, และแกน y เป็นค่าตัวประกอบการตึงบ้างของแรง IF_{Fx} หรือ IF_{My} ค่า $IF = 1$ หมายถึงแรงที่กระทำต่ออาคารหลักในกรณีที่มีอาคารตึงบ้างมีค่าเท่ากับกรณีที่ไม่มีการตึงบ้าง ซึ่งแสดงว่าไม่มีผลกระทบจากอาคารตึงบ้างต่อแรงที่กระทำต่ออาคารหลัก

5.4.1 แรงเฉือนที่ฐานอาคาร (Base shear)

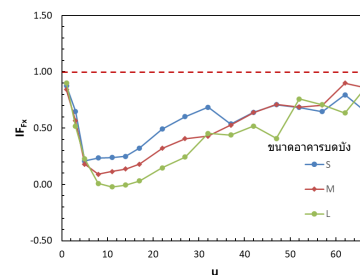
จากผลของค่า IF_{Fx} แสดงในภาพที่ 11(a) พบว่าที่ระยะห่างการตึงบ้างไร้หน่วยที่ใกล้ที่สุด ($u = 1$) ผลของการตึงบ้างมีไม่มากนัก โดย $IF_{Fx} = 0.9$ แต่เมื่อระยะห่างการตึงบ้างไร้หน่วยเพิ่มมากขึ้นแต่ไม่เกิน 5 ($u \leq 5$) ค่า IF_{Fx} จะค่อยๆ ลดลงเมื่ออาคารคู่ตึงบ้างมีระยะห่างจากอาคารหลักมากขึ้น โดยมีค่าเข้าใกล้ 0 ที่ระยะ u ประมาณ 11 แสดงว่าที่ระยะห่างการตึงบ้างไร้หน่วยประมาณ 11 เท่าของอาคารหลัก จะมีผลกระทบของการตึงบ้างสูงที่สุด แต่เมื่อถึง

ค่า $u > 5$ ค่า IF_{Fx} จะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามค่าระยะห่างการบัดบังจากอาคารหลัก และมีค่า IF_{Fx} สูงสุดประมาณเท่ากับ 0.9 หมายความว่ามีความแรงเฉือนกระทำที่ฐานอาคารหลักสูงสุดประมาณ 0.9 เท่าของค่าแรงเฉือนกระทำที่ฐานอาคารหลักกรณีที่ไม่มีอาคารมาบัดบังกระแสนลม ซึ่งแสดงว่าที่ระยะห่างการบัดบังไว้หน่วยสูงสุดของกรณีศึกษา ($u = 67$) หรือคือระยะห่าง 67 เท่าของขนาดอาคารหลัก) ยังคงมีผลกระทบของอาคารคู่บัดบังกระแสนลมต่ออาคารหลักอยู่เล็กน้อย

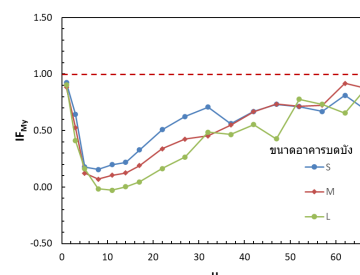
จากความสัมพันธ์ของค่า IF_{Fx} ของกรณีอาคารคู่บัดบังทั้ง 3 ขนาด จะพบว่าได้ผลใกล้เคียงกัน ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้ค่าเฉลี่ยของผลค่าตัวประกอบการบัดบังกรณีอาคารบัดบังขนาดต่าง ๆ เพื่อเป็นตัวแทนของค่า IF_{Fx} เพื่อนำไปประมาณหาความสัมพันธ์อย่างง่ายเพื่อใช้ประมาณค่า โดยได้ลองนำสมการประมาณค่าตัวประกอบการบัดบังของค่าแรงเฉือนที่ฐานอาคารของกรณีศึกษาอาคารเดี่ยวบัดบังของผู้วิจัยเองในงานวิจัยก่อนหน้านี้แสดงดังสมการเส้นตรงในภาพที่ 12(a) มาแทนค่าระยะ u ต่างๆ จะได้ค่าตัวประกอบการบัดบัง IF_{Fx} แสดงดังเส้นสีฟ้าในภาพที่ 12(a) โดยมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเป็นบวก ซึ่งพบว่าจะขัดแย้งกับผลของกรณีศึกษาอาคารคู่บัดบังโดยสิ้นเชิง ที่ในช่วงค่า u น้อยๆ ค่า IF_{Fx} จะค่อยๆ ลดลง

สรุปได้ว่าสมการประมาณค่า IF กรณีอาคารเดี่ยวบัดบังไม่สามารถนำมาใช้กับกรณีอาคารคู่บัดบังได้ งานวิจัยนี้จึงได้ลองใช้สมการพหุนามยกกำลัง 2 มาประมาณค่าโดยใช้หลักการทางสถิติ พิจารณาความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดด้วยวิธีการ Least

square method พบว่าสำหรับสมการพหุนามยกกำลัง 2 จะได้สมการดังแสดงในภาพที่ 12(a) และมีค่า $R^2 = 0.49$ ซึ่งถือว่าน้อยแสดงว่าการประมาณค่ายังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก จึงพิจารณาเพิ่มกำลังของพหุนามเป็นสมการกำลัง 3 ดังแสดงในภาพที่ 12(a) โดยได้ค่า $R^2 = 0.74$ ซึ่งแสดงถึงความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง อย่างไรก็ตามรูปร่างของกราฟความสัมพันธ์สมการกำลัง 3 ยังไม่ค่อยสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ CFD อีกทั้งค่าสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามมีค่าน้อย ไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้เพราะอาจมีความคลาดเคลื่อนเชิงตัวเลขได้ง่าย จึงได้เปลี่ยนตัวแปรค่าแกน x ของสมการจากระยะห่างการบัดบังเป็นจำนวนเท่าของขนาดอาคารหลัก (u) มาเป็นระยะห่างอาคารตามจริง x มีหน่วยเป็น km แสดงดังในภาพที่ 12(b)



a) IF_{Fx} ของแรงเฉือนที่ฐานอาคารหลัก

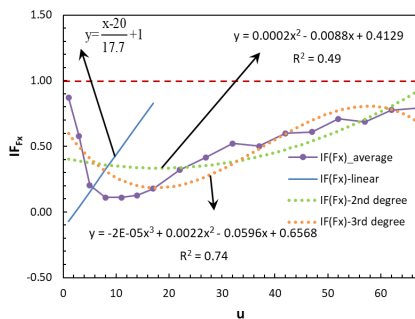


b) IF_{My} ของโมเมนต์ที่ฐานอาคารหลัก

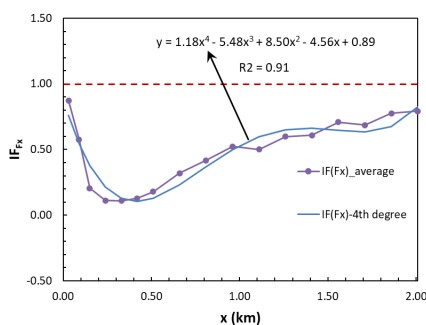
ภาพที่ 11 IF_{Fx} , IF_{My} ของแรงที่ฐานอาคารหลัก

และได้พิจารณาสมการพหุนามในการประมาณค่าเป็นสมการยกกำลัง 4 จะได้ผลของสมการดังแสดงในสมการที่ (3) และมีค่า $R^2 = 0.91$ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีรูปร่างของกราฟความสัมพันธ์สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ CFD และค่าสัมประสิทธิ์ของสมการไม่ซับซ้อน สามารถนำไปใช้งานได้ไม่ยุ่งยาก

$$IF_{Fx} = 1.18x^4 - 5.48x^3 + 8.50x^2 - 4.56x + 0.89 \quad (3)$$



a) การประมาณค่า IF_{Fx} ด้วยตัวแปรระยะห่างการบดบังคิดเป็นเท่าของขนาดอาคารหลัก (u)



b) การประมาณค่า IF_{Fx} ด้วยตัวแปรระยะทางตามจริง

ภาพที่ 12 IF_{Fx} จากการวิเคราะห์ CFD และการประมาณค่าตามสมการ

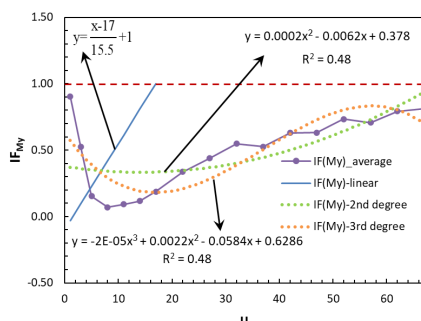
5.4.2 โมเมนต์กระทำที่ฐานอาคาร (Base Moment)

ผลของค่าโมเมนต์กระทำที่ฐานอาคารหลักสามารถทำการพิจารณาในรูปแบบเดียวกับค่าของแรงเฉือนที่ฐานอาคาร โดยจากภาพที่ 11(b) ที่ระยะห่างการบดบังไร้หน่วยที่ใกล้ที่สุด ($u = 1$) ผลกระทบจากการบดบังมีน้อยมาก โดยมีค่า IF_{My} ประมาณ 0.9 แต่เมื่อระยะห่างการบดบังไร้หน่วยเพิ่มมากขึ้น ในช่วงประมาณ $1 \leq u \leq 11$ ค่า IF_{My} จะมีค่าค่อย ๆ ลดลงเมื่อระยะห่างการบดบังไร้หน่วยเพิ่มมากขึ้น (การบดบังมีผลต่อแรงที่กระทำต่ออาคาร) จนมีค่าเข้าใกล้ 0 ที่ระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, u ประมาณ 11 จากนั้นเมื่อระยะห่างการบดบังไร้หน่วยเพิ่มมากขึ้น ค่า IF_{My} จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงผลกระทบจากการบดบังค่อย ๆ ลดลง จนค่า IF_{My} สูงสุดที่ประมาณ 0.9 ที่ระยะห่างการบดบังไร้หน่วยที่ใกล้ที่สุดในงานวิจัยนี้ และในลักษณะเดียวกันกับค่าตัวประกอบการบดบังของแรงเฉือนที่ฐานอาคารหลัก พิจารณาค่าตัวประกอบการบดบังของโมเมนต์ที่ฐานอาคารด้วยค่าเฉลี่ยของกรณีศึกษาขนาดอาคารคู่บดบังขนาดต่าง ๆ มาวิเคราะห์หาสมการในการประมาณค่า IF_{My} ของกรณีอาคารคู่บดบังที่ระยะห่างการบดบังไร้หน่วยต่าง ๆ พบว่าสมการทำนายค่า IF_{My} ของกรณีอาคารบดบังอาคารเดี่ยวจากผลงานวิจัยของผู้เขียนในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ดังแสดงสมการเส้นตรงในภาพที่ 13(a) ซึ่งแสดงค่า IF_{My} ของกรณีอาคารคู่บดบังที่ระยะห่างการบดบังไร้หน่วย, u ต่าง ๆ ไม่สามารถนำมาใช้ได้กับกรณีอาคารบดบังเป็นอาคารคู่ได้ โดยมีผลการวิเคราะห์ด้วย CFD และการประมาณค่าสวนทางกันโดยสิ้นเชิง

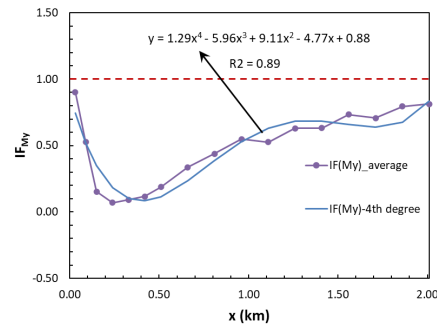
ในกรณีที่ใช้สมการพหุนามยกกำลัง 2 มาประมาณค่า จะได้สมการที่ดีที่สุดด้วยวิธี Least square method มีค่า $R^2 = 0.48$ ซึ่งถือว่าน้อยมีความคลาดเคลื่อนสูง แต่หากใช้สมการพหุนามกำลัง 3 จะได้สมการที่มีค่า R^2 สูงขึ้นที่ประมาณ 0.71 แต่ลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ยังไม่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ CFD มากนัก และค่าสัมประสิทธิ์มีค่าน้อย อาจมีความคลาดเคลื่อนเชิงตัวเลขในการคำนวณได้มาก ดังแสดงในภาพที่ 13(a)

จึงใช้สมการพหุนามกำลัง 4 ในการประมาณค่าตัวประกอบการบดบังค่าโมเมนต์ที่ฐานอาคารคำนวณด้วยตัวแปรระยะห่างการบดบังตามระยะทางจริง (x) หน่วยเป็น km โดยจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Least square method จะได้สมการพหุนามกำลัง 4 ที่ดีที่สุดแสดงดังสมการที่ (4) มีค่า $R^2 = 0.89$ และมีลักษณะกราฟความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วย CFD ในระดับเป็นที่น่าพอใจ และสามารถนำไปใช้งานได้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน

$$IF_{My} = 1.29x^4 - 5.96x^3 + 9.11x^2 - 4.77x + 0.88 \quad (4)$$



a) การประมาณค่า IF_{My} ด้วยตัวแปรระยะห่างการบดบังคิดเป็นเท่าของขนาดอาคารหลัก (u)

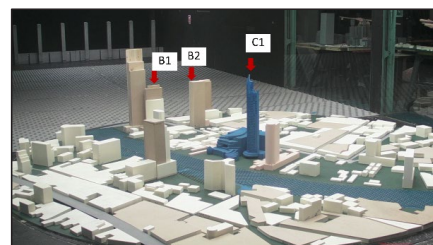


b) การประมาณค่า IF_{My} ด้วยตัวแปรระยะทางตามจริง

ภาพที่ 13 IF_{My} จากการวิเคราะห์ CFD และการประมาณค่าตามสมการ

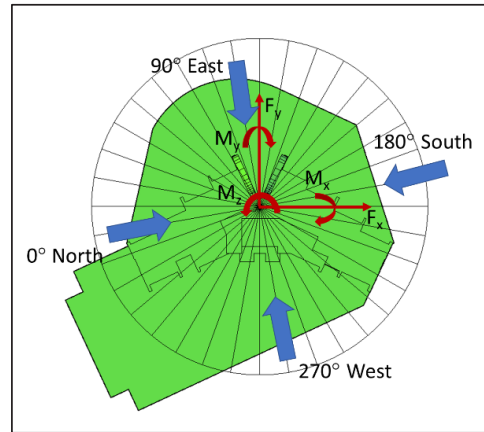
6. เปรียบเทียบผลการศึกษากับผลการทดสอบอุโมงค์ลม

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบอุโมงค์ลมของอาคารสูงแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร จากบริษัทผู้ประกอบการเจ้าของอาคารที่ไม่ประสงค์จะออกนาม โดยการทดสอบอุโมงค์ลมทำการทดสอบหาค่าแรงกระทำที่ฐานอาคาร C1 จากทิศทางลม 360° รอบอาคาร ซึ่งทำให้มีกรณีทิศทางลมที่มีอาคารสูงอื่น เรียกแทนว่า อาคาร B1 และ B2 บดบังกระแสลมที่กระทำต่ออาคารในลักษณะใกล้เคียงกับการศึกษาวิจัยนี้ ดังแสดงในภาพที่ 14

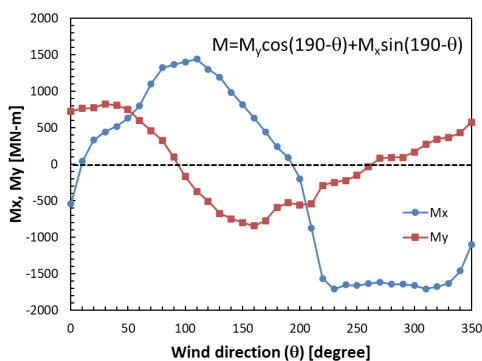
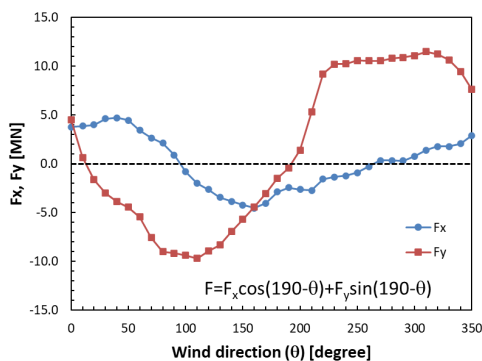


ภาพที่ 14 การจำลองอุโมงค์ลม

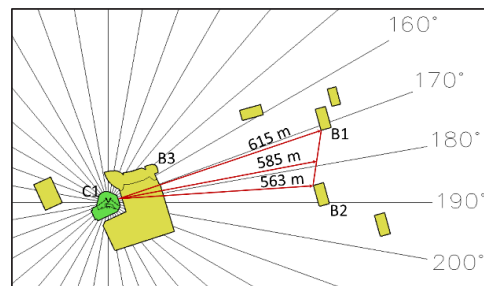
แบบจำลองอาคารมีขนาด 1:400 และอุโมงค์ลมมีความกว้าง 4.8 เมตร, ยาว 15 เมตร และสูง 2.4 เมตร คิดเป็นขนาดเทียบเท่าขนาดจริงกว้าง 1,920 เมตร, ยาว 6,000 เมตร และสูง 960 เมตร สำหรับความเร็วลมเฉลี่ยที่ใช้ทดสอบในองศาที่ $180^\circ = 37.60$ เมตรต่อวินาที กำหนดทิศทางของกระแสลมและตำแหน่งของอาคารข้างเคียง ดังแสดงในภาพที่ 16 และ 17 ตามลำดับ ได้ผลค่าแรงกระทำที่ฐานอาคาร C1 จากทิศทางลมต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 16 ทิศทางของแรงลม และทิศทางของแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อฐานอาคารหลัก



ภาพที่ 15 ค่า F_x , F_y , M_x , M_y ของผลการทดสอบอุโมงค์ลม

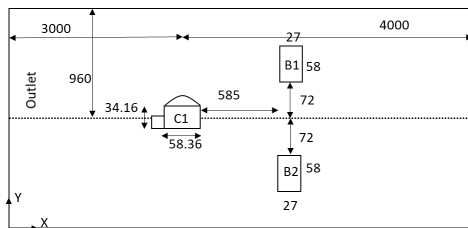


ภาพที่ 17 ตำแหน่งอาคารข้างเคียงในการทดสอบอุโมงค์ลม

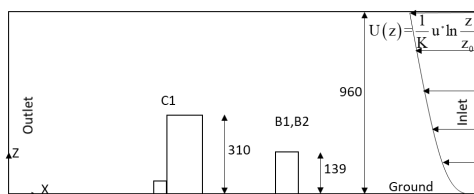
6.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ CFD

การวิเคราะห์ด้วย CFD ใช้แบบจำลองอาคาร C1 ขนาด 1:1 โดยจำลองให้มีรูปร่างอาคารลักษณะใกล้เคียงจริงสูง 310 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 16 เป็นอาคารที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ส่วนอาคารบดบัง B1 และ B2 ใช้การจำลองอาคารเป็นลักษณะแท่งปริซึมสี่เหลี่ยม ให้มีขนาดเทียบเท่าใกล้เคียงกับอาคาร

ที่บดบังจริง และให้มีขนาดเท่ากันทั้ง 2 อาคารโดยสูง 139 เมตร, กว้าง 58 เมตร และยาว 27 เมตร (ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งระยะห่าง 585 เมตร จากอาคารหลักตามระยะจริง) ขนาดขอบเขตโดเมนการวิเคราะห์ CFD ให้เทียบเท่ากับขนาดขยาย 400 เท่าตามสัดส่วนแบบจำลองในอุโมงค์ลมซึ่งจะเท่ากับ กว้าง 1,920 เมตร, ยาว 7,000 เมตร และสูง 960 เมตร และจำลองลักษณะกระแสลม ค่าความเร็วลมเฉลี่ยเทียบเท่ากับการทดสอบอุโมงค์ลมดังแสดงในภาพที่ 18(b) ทิศทางลมที่เสมือนมีอาคารคู่บดบังกระแสลมด้านหน้าอาคารหลักคือทิศทางมุม 180° ดังแสดงในภาพที่ 17



a) ภาพ plan อาคาร



b) ภาพ elevation อาคาร

ภาพที่ 18 ขนาดของแบบจำลองอาคารและขอบเขตการจำลองที่ทำการศึกษา (หน่วย: เมตร)

ผลการวิเคราะห์ CFD จะประกอบด้วยค่าแรงกระทำที่ฐานอาคารหลัก 2 ชุดคือ 1. ค่าแรงกระทำที่ฐานอาคารหลักในกรณีที่เราปรับบดบังเพื่อใช้เป็น

ค่าอ้างอิงในการเปรียบเทียบ ซึ่งได้ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ที่ฐานอาคารหลัก = 7.10 เมกะนิวตัน และ 911.35 เมกะนิวตัน-เมตร ตามลำดับ และ 2. ค่าแรงกระทำที่ฐานอาคารหลักในกรณีมีอาคารคู่บดบัง ซึ่งได้ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ที่ฐานอาคารหลัก = 5.82 เมกะนิวตัน, 766.42 เมกะนิวตัน-เมตร ตามลำดับ

6.2 การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์กับผลทดสอบอุโมงค์ลมและจากการประมาณค่าด้วยสมการ

จากผลค่าแรงกระทำที่ฐานอาคารหลักจากการวิเคราะห์ CFD ข้างต้นเมื่อเทียบกับผลการทดสอบอุโมงค์ลมที่ทิศทางลม 180° ซึ่งเป็นทิศทางที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วย CFD ได้ค่าแรงเฉือนกระทำที่ฐานอาคารเท่ากับ 3.12 เมกะนิวตัน และได้ค่าโมเมนต์กระทำที่ฐานอาคารเท่ากับ 538.27 เมกะนิวตัน-เมตร ซึ่งได้ค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากมีสาเหตุเนื่องมาจากการทดสอบอุโมงค์ลมมีอาคารข้างเคียงเสมือนจริงอยู่มากกว่า 7 อาคาร และมีอาคารเดี่ยวขนาดใหญ่ (B3) บดบังอยู่ด้านหน้า จึงทำให้ได้ผลค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ที่ฐานอาคารหลักแตกต่างกันมาก

และสำหรับการประมาณค่าแรงเฉือนที่กระทำต่อฐานอาคารด้วยการประยุกต์ใช้สมการทำนายค่าตัวประกอบการบดบังของแรงเฉือนและโมเมนต์ที่ฐานอาคารตามสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ โดยพิจารณาอาคารหลักเป็นอาคารที่มีความสูง 310 เมตร, กว้าง 34.16 เมตร และยาว 58.36 เมตร พบว่าเมื่อแทนค่าระยะ $x = 0.585$ km จะได้ค่า $IF_{Fx} = 0.172$ ซึ่งจะคำนวณได้ค่าแรงเฉือนที่ฐานอาคาร $Fx = 0.172 \times 7.10 = 1.22$ เมกะนิวตัน ซึ่งน้อยกว่า

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ CFD ที่ 5.82 เมกะนิวตัน หรือผลการทดสอบอุโมงค์ลมที่ 3.12 เมกะนิวตัน มาก

อย่างไรก็ตามสมการค่าตัวประกอบการบดบัง ได้มาจากกรณีที่อาคารคู่บดบังมีความสูงเท่ากันกับ อาคารหลัก แต่สำหรับในการเปรียบเทียบกับผล ทดสอบอุโมงค์ลมนี้ เนื่องจากอาคารคู่บดบังมีขนาด เตี้ยกว่าอาคารหลักประมาณ $= 310/139 = 2.23$ เท่าหากอนุมานว่าสัดส่วนความสูงอาคารดังกล่าวที่ ไม่ได้ถูกบดบังจริง ได้ถูกคำนวณเข้าไปแล้วในการ คิดค่าตัวประกอบการบดบัง จึงนำค่าดังกล่าวมาคูณ ขยายค่าแรงกระทำที่ฐานอาคารเพื่อชดเชยสัดส่วน ความสูงของอาคารหลักที่ไม่ได้ถูกบดบัง จะได้ ค่าแรงเฉือนกระทำที่ฐานอาคาร $= 1.22 \times 2.23 = 2.72$ เมกะนิวตัน ซึ่งเมื่อเทียบค่าดังกล่าวกับผล การวิเคราะห์ด้วย CFD ($= 5.82$ เมกะนิวตัน) จะ เห็นว่าการประมาณได้ค่าน้อยกว่าอยู่ $= (5.82 - 2.72)/5.82 = 53\%$ และหากเทียบกับผลทดสอบ อุโมงค์ลม ($= 3.12$ เมกะนิวตัน) จะได้ว่า การประมาณ ให้ค่าที่น้อยกว่าอยู่ $= (3.12 - 2.27)/3.12 = 27\%$

สำหรับการประมาณค่าโมเมนต์ที่กระทำต่อ ฐานอาคารตามสมการที่ (4) จะได้ค่า $IF_{My} = 0.165$ และเมื่อคำนวณชดเชยความสูงอาคารบดบังที่ เตี้ยกว่าอาคารหลักแล้ว จะได้ค่าโมเมนต์กระทำ ที่ฐานอาคาร $= 0.165 \times 911.35 \times 2.23 = 335.33$ เมกะนิวตัน-เมตร ซึ่งเมื่อเทียบค่าดังกล่าวกับผล การวิเคราะห์ด้วย CFD ($= 766.42$ เมกะนิวตัน-เมตร) จะเห็นว่าการประมาณได้ค่าน้อยกว่าอยู่ $= (766.42 - 335.33)/766.42 = 56\%$ และหากเทียบกับผลทดสอบ

อุโมงค์ลม ($= 538.27$ เมกะนิวตัน-เมตร) จะได้ค่า ประมาณมีค่าน้อยกว่าอยู่ $= (538.27 - 335.33)/538.27 = 38\%$

7. สรุปผล

1. การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์แรงดันลมเฉลี่ย ($\bar{C}_p$) ที่ระดับความสูง $(1/3)H$ และ $(2/3)H$ ของ อาคารหลัก พบว่า ที่ด้านหน้าของอาคารหลัก (ด้าน A) ค่า $\bar{C}_p$ จากกรณีอาคารคู่บดบังทั้ง 3 ขนาด ส่วนใหญ่ จะอยู่ในช่วงค่าบวก (แรงผลัก) โดยเมื่อค่าระยะห่าง การบดบังไร้หน่วย, $u, \leq 11$ ค่า $\bar{C}_p$ จะค่อย ๆ ลดลง เมื่ออาคารคู่บดบังมีระยะห่างจากอาคารหลักมาก ขึ้น แต่เมื่อค่า $u > 11$ พบว่าค่า $\bar{C}_p$ มีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามค่าระยะห่างการบดบังจากอาคารหลัก ส่วนด้าน B และ ด้าน C พบว่าค่า $\bar{C}_p$ ส่วนใหญ่จะ อยู่ในช่วงค่าลบ (แรงดูด)

2. ค่า IF_{Fx} และ IF_{My} จากการวิเคราะห์ CFD ของกรณีขนาดอาคารคู่บดบังทั้ง 3 ขนาด มีลักษณะ คล้ายกับ $\bar{C}_p$ ด้าน A ของอาคารหลัก

3. ที่ $u = 1$ ผลกระทบของการบดบังมีไม่ มากนัก เนื่องจากค่าตัวประกอบการบดบังมีค่า ประมาณ 0.9

4. ผลกระทบของการบดบังอาคารต่อแรง กระทำที่ฐานอาคารมีผลกระทบสูงสุดที่ระยะห่าง การบดบังไร้หน่วยประมาณ 11 เท่าของขนาดอาคาร หลัก ($u = 11$)

5. ที่ระยะห่างการบดบังสูงสุดในงานวิจัยนี้ ($u = 67$) ยังคงมีผลกระทบของอาคารคู่บดบังกระแ สลมต่ออาคารหลักอยู่ แต่ไม่มาก (ค่า IF ประมาณ 0.9)



6. ผลการวิเคราะห์ CFD เมื่อเทียบกับผลทดสอบอุโมงค์ลม ได้ค่าแตกต่างกันเนื่องมาจากการทดสอบอุโมงค์ลมมีอาคารข้างเคียงเสมือนจริงอยู่มากกว่า 7 อาคาร และมีอาคารเตี้ยขนาดใหญ่ (B3) บดบังอยู่ด้านหน้า จึงทำให้ได้ผลค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ที่ฐานอาคารแตกต่างกันค่อนข้างมาก

7. ผลการประมาณค่าจากสมการค่าตัวประกอบการบดบังของแรงเฉือนเมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วย CFD จะเห็นว่าการประมาณให้ค่าน้อยกว่าอยู่ 53% และหากเทียบกับผลทดสอบอุโมงค์ลมการประมาณให้ค่าน้อยกว่าอยู่ 27%

8. ผลการประมาณค่าจากสมการค่าตัวประกอบการบดบังของโมเมนต์เมื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วย CFD จะเห็นว่าการประมาณให้ค่าน้อยกว่าอยู่ 56% และหากเทียบกับผลทดสอบอุโมงค์ลมการประมาณให้ค่าน้อยกว่าอยู่ 38%

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Huang S, Li Q S, and Xu S (2007). Numerical evaluation of wind effects on a tall steel building by CFD. Journal of Constructional Steel Research, 63: 612–627.

[2] Braun A L, and Awruch A M (2009). Aerodynamic and aeroelastic analyses on the CAARC standard tall building model using numerical simulation. Computers and Structures, 87: 564–581

[3] Obasaju E D (1992). Measurement of forces and base overturning moments on

the CAARC tall building model in a simulated atmospheric boundary layer. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 40: 103–126.

[4] Thepmongkorn S (2004). High frequency force balance model tests for a prediction of wind-induced forces and responses of buildings. The 9th National Convention on Civil Engineering, Phetchaburi, pp.120-125.

[5] Verma S K, Roy A K, Lather S, and Sood M (2015). CFD Simulation for Wind Load on Octagonal Tall Buildings. SSRG International Journal of Civil Engineering, 129-134.

[6] Mohotti D, Danushka K, Mendis P (2015). Wind Design of Slender Tall Buildings: CFD Approach. 6th International Conference on Structural Engineering and Construction Management, Kandy.

[7] Mohotti D (2014). APPLICATION OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) IN PREDICTING THE WIND LOADS ON TALL BUILDINGS- A CASE STUDY. 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials, Byron Bay.

[8] Sevalia J K, Desai A K, Vasanwala S A (2012). EFFECT OF GEOMETRIC PLAN CONFIGURATION OF TALL BUILDING ON WIND



FORCE COEFFICIENT USING CFD. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, 1: 127–130.

[9] Parv B, Hulea R, Zoicas R (2012). Comparative study of wind effects on tall buildings using international codes and CFD. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Vienna.

[10] Bairagi A K, Dalui S K (2014). Optimization of Interference Effects on High-Rise Buildings for Different Wind Angle Using CFD Simulation. Electronic Journal of Structural Engineering, 14: 39-49.

[11] Dalui S K, Kar R, Hajra S (2015). Interference Effects on Octagonal Plan Shaped Tall building under Wind - A Case Study. SCIENTIFIC COOPERATIONS WORKSHOPS ON ENGINEERING BRANCHES, Istanbul.

[12] Dagnew A K, Bitsuamlak G T (2010). LES evaluation of wind pressures on a standard tall building with and without a neighboring building. The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering.

[13] Dagnew A K, Bitsuamalk G T, Merrick R (2009). Computational evaluation of wind pressures on tall buildings. 11th Americas Conference on Wind Engineering, San Juan.

[14] Desai A K, Sevalia J K, Vasanwala S A (2014). Wind Interference Effect on Tall Building. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering, 8: 656-662.

[15] Commonwealth Advisory Aeronautical Research Council (CAARC). <https://uia.org/s/or/en/1100046837>