การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19
19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต

การศึกษาลักษณะการไหลและคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของการไหลรอบวัตถุรูปทรงต่างๆ

A STUDY OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF FLOW AROUND VARIOUS BLUFF BODIES

ชยานนท์ วิเศษ[1] ประพัทธ์ สันติวรากร[2] สิริวิชญ์ เตชะเจษฎารังสี[3]
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
โทร 0-43202845 ต่อ 121 โทรสาร 0-43202849 E-mail: p4450400474@hotmail.com[1] , sprapat@kku.ac.th[2] , sirtae@kku.ac.th

Chayanon Wisate[1] Prapat Santivarakorn[2] Sirivit Taechajedcadarungsri[3]
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
Tel: 0-43202845 Ext. 121 Fax: 0-43202849 E-mail: p4450400474@hotmail.com [1], sprapat@kku.ac.th[2] , sirtae@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาลักษณะการไหลและคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลม วงรี สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า กากบาท และอาคารเรียน EN16 (เป็นอาคารเรียนที่สูงที่สุดของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น) โดยใช้วิธีการคำนวณปริมาตรสืบเนื่องเพื่อศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการไหล การกระจายความดัน และค่าทางอากาศพลศาสตร์ของการไหลรอบวัตถุรูปทรงต่าง ๆ จากการคำนวณลักษณะการไหลผ่านวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดแตกต่างกันในค่าเรย์โนลด์ระหว่าง 50 – 1,500 และในทิศทางมุมตกกระทบของของไหลที่กระทำกับวัตถุตั้งแต่มุม 0 – 90 องศา พบว่า ค่า Drag Coefficient ที่คำนวณได้มีค่าสอดคล้องกับผลการทดลอง และ เมื่อค่าเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้น ค่าของ Drag Coefficient ของวัตถุทุกรูปทรงจะแบ่งออกเป็นสองช่วงโดยช่วงแรกจะมีค่าลดลงจากนั้นจะค่อยๆเพิ่มมากขึ้นและค่า Drag Coefficient จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามมุมตกกระทบที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ยกเว้นวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัสและกากบาทเนื่องจากเป็นรูปร่างที่มีหน้าตัดสมมาตรทุกทิศทางและจากผลการคำนวณลักษณะการไหลทั้ง 6 รูปแบบ พบว่ารูปร่างของพื้นที่หน้าตัดที่มีลักษณะโค้งมนจะมีค่า Drag Coefficient ต่ำกว่ารูปร่างของพื้นที่หน้าตัดที่เป็นเหลี่ยม โดยรูปทรงที่มีค่า Drag Coefficient ต่ำที่สุดและสูงที่สุดเมื่อมุมตกกระทบเป็น 0 องศา คือรูปทรงที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงรีและสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามลำดับ

คำหลัก: การไหลรอบวัตถุ, สัมประสิทธิ์แรงต้าน

Abstract

This work is to study the flow and aerodynamics characteristic of many objects in 2 dimensional flow. The objects have various cross sectional areas which are circle, ellipse, rectangle, cross square and the EN16 building. Using the Finite Control Volume method, the comparison of the aerodynamics characteristic , flow pattern and pressure distribution of various bluff bodies is obtained. In this study, the Reynolds's number is varied between 50-1,500, and the angle of incident is differed from 0-90 degree to the frontal area of the objects. We found that the Drag Coefficient for every cross sectional area of the objects is divided into 2 periods due to the increasing of the Reynolds's number. In the first period, the Drag Coefficient decreases and then it will increase gradually. The Drag coefficient will increase with increasing of the angle of incident except the circular , cross and square cross section area because their shapes are symmetry. The drag coefficient obtained from the curved body is smaller than that of the body that has sharp edged angle. For instant, in case of 0 degree of incident, the smallest and largest drag coefficient are the bodies that have ellipse and rectangle shapes respectively. The Drag Coefficient calculated in this work are according to the results from the early study.

Keywords: Flow around bluff body, drag coefficient

No Presentation

1.บทนำ

การหาแรงทางอากาศพลศาสตร์ที่ลมกระทำกับโครงสร้างจะทำโดยวิธีการทดลองซึ่งเป็นวิธีการที่ยุ่งยาก มีค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลานานและมีความคลาดเคลื่อนสูง แต่ในปัจจุบันการหาแรงทางอากาศพลศาสตร์ที่กระทำกับโครงสร้างทำได้ง่ายขึ้น ใช้เวลาน้อยลงและมีความถูกต้องมากขึ้น โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) โดยการใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณนี้เริ่มจากการศึกษาเพื่อออกแบบอากาศยานและเครื่องยนต์เจ็ท (Jet Engine) หลังจากนั้นก็ได้ประยุกต์ใช้กับการออกแบบเครื่องยนต์สันดาปภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และใช้ในการออกแบบรูปทรงของรถยนต์ให้เกิดแรงต้านน้อยที่สุด วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณนี้จะประกอบไปด้วยวิธีการในการคำนวณที่แตกต่างกันหลายวิธี เช่น วิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Methods) วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Methods) วิธีสเปคตรัล (Spectral Methods) วิธีปริมาตรสืบเนื่อง (Finite Volume Method) หรือวิธี Discrete vortex method เป็นต้น

โดยในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้วิธีการคำนวณปริมาตรสืบเนื่อง (Finite Volume Method) ในการหาค่าต่างๆ ทางอากาศพลศาสตร์รวมไปถึงรูปแบบการไหลและการกระจายความดันของรูปทรงต่างๆ ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยได้ทำการศึกษาการไหลใน 2 มิติของรูปทรงที่มีหน้าตัด วงกลม วงรี สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปแบบกากบาท และอาคารเรียน EN16 ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาลักษณะการไหลและคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ของรูปทรงที่มีหน้าตัดแตกต่างกันแล้วทำการศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษาของรูปทรงที่มีหน้าตัดแตกต่างกันดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้เป็นการศึกษาใน 2 มิติ ยังไม่สามารถอธิบายลักษณะการไหลที่แท้จริงและถูกต้องสมบูรณ์ได้แต่สามารถนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบใน 3 มิติซึ่งจะให้ผลลัพธ์จากการศึกษาที่มีความถูกต้องในระดับที่เชื่อถือมากขึ้นได้โดยคาดว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะทำให้เราทราบข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบรูปทรงหรือโครงสร้างอาคารสูงประเภทอื่นๆต่อไปได้

2. ทฤษฎี

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาความสามารถทางด้านโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของไหลให้มีความแม่นยำถูกต้องและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งสิ่งนี้จะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบงานในด้านของไหลให้สะดวก และประหยัดเวลามากขึ้น

สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation) ที่ใช้อธิบายลักษณะการไหลภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสมการสำหรับการไหลมักสร้างขึ้นบนหลักการความสอดคล้องของสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) และสมการพลังงาน (Energy Equation) หรือเรียกสมการทั้ง 3 นี้รวมกันว่า สมการควบคุม (Governing Equation) ซึ่งสมการทั้ง 3 นี้เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยไม่เชิงเส้น ที่ประกอบด้วยตัวแปรไม่ทราบค่าหลายตัวด้วยกัน ได้แก่ ตัวแปรความเร็วในทิศทางต่างๆ ตัวแปรความดัน ตัวแปรความหนาแน่น และตัวแปรอุณหภูมิ เป็นต้น โดยจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าที่ปรากฏอยู่ในสมการจะมีจำนวนขึ้นอยู่กับมิติที่ใช้การวิเคราะห์ และข้อสมมุติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการไหล ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน การสร้างสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยต่อไปนี้จะตั้งอยู่บนสมสุติฐานภายใต้เงื่อนไขหลักของการวิเคราะห์ที่กำหนดไว้ดังนี้คือ เป็นปัญหาการไหลแบบคงที่ (Steady Flow) ในสภาวะคงตัว (Incompressible Flow) ในทิศทาง 2 มิติ และไม่คิดอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อน โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

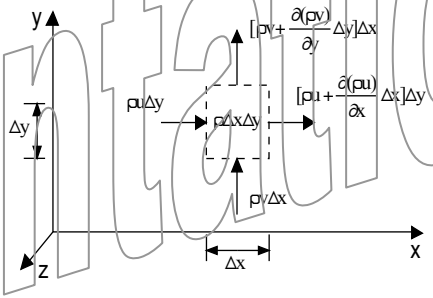
2.1 สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

พิจารณากฎอนุรักษ์มวลของปริมาตรควบคุม (Control Volume)

$$\frac{\partial M_{cv}}{\partial t} = \sum_{\substack{inlet\\ports}} \dot{m} - \sum_{\substack{outlet\\ports}} \dot{m} \qquad (1)$$

โดยที่ M_{cv} คือมวลภายในปริมาตรควบคุม ณ เวลานั้น และ $\dot{m}$ คืออัตราการไหลเข้าและออกปริมาตรควบคุม พิจารณาปริมาตรควบคุมใน 2 มิติ รูปที่ 1 ให้ u และ v เป็นส่วนประกอบความเร็วเฉพาะที่ ณ จุด (x, y) ซึ่งจะได้สมการความต่อเนื่องใน 2 มิติคือ

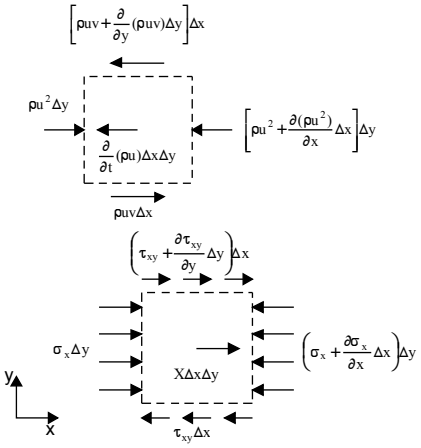
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \qquad (2)$$



รูปที่ 1 สมดุลมวลในระบบพิกัดฉาก 2 มิติ

2.2 สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

พิจารณาสมดุลของแรงที่เกิดขึ้นบนปริมาตรควบคุมจะได้



รูปที่ 2 สมดุลแรงในแนว x บนปริมาตรควบคุมใน 2 มิติ

$$\frac{\partial}{\partial t}(Mv_n)_{cv} = \sum F_n + \sum_{\substack{inlet\\ports}} \dot{m}v_n - \sum_{\substack{outlet\\ports}} \dot{m}v_n \qquad (3)$$

โดย n เป็นทิศทางที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์ และ v_n, F_n เป็นทิศทางของความเร็วของของไหลและแรงที่กระทำในแนว n พิจารณา

No Presentation

ปริมาตรควบคุมของการไหลใน 2 มิติ รูปที่ 2 เราสามารถพิจารณาสมดุลของแรงได้ 2 แนวคือในแนว x และในแนว y จะทำให้ได้สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes equation) คือ

ในทิศทางของแกน x

$$\rho\frac{Du}{Dt}=-\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left[2\mu\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{2\mu}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right]+X \quad (4)$$

และส่วนสมดุลของแรงในแนวแกน y ก็สามารถทำได้ในทำนองเดียวกัน ซึ่งจะสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\rho\frac{Dv}{Dt}=-\frac{\partial P}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial y}\left[2\mu\frac{\partial v}{\partial y}-\frac{2\mu}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[\mu\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)\right]+Y \quad (5)$$

โดยที่ substantial derivative นิยามด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{D}{Dt}=\frac{\partial}{\partial t}+u\frac{\partial}{\partial x}+v\frac{\partial}{\partial y} \quad (6)$$

2.3 ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลลุ่ม (Finite Volume Method)

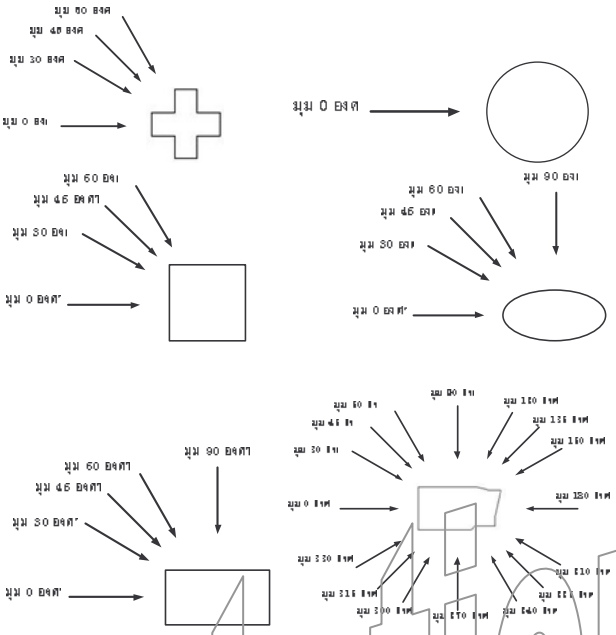
การคำนวณหาผลเฉลยโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมีความแตกต่างกันตรงวิธีประมาณตัวแปรการไหลและกระบวนการดิสครีไทส์เซชั่น (Discretization Process) วิธีคำนวณหาผลเฉลยที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในโปรแกรมทางพลศาสตร์ของไหลคือวิธีไฟไนต์วอลลุ่ม (Finite Volume Method, FVM) ซึ่งวิธีนี้มีพัฒนาการมาจากวิธีผลต่างสืบเนื่อง กระบวนการเชิงตัวเลขของวิธีนี้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- อินทิเกรทสมการควบคุมตลอดปริมาตรควบคุม (Control Volume, CV) ของโดเมนปัญหา
- ทำการดิสครีไทส์เซชั่นระบบสมการอินทิกรัลซึ่งผลที่ได้คือระบบสมการพีชคณิต
- หาผลเฉลยของระบบสมการพีชคณิตโดยวิธีทำซ้ำ

ซึ่งในการหาผลเฉลยจะทำการเชื่อมโยงระหว่างเทอมความดันและความเร็ว (P-V Coupling) และการทำซ้ำ (Iterative Method) โดยใช้วิธี SIMPLEC ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธี SIMPLE และมีกระบวนการวิเคราะห์คล้ายกัน โดยเริ่มจากการสมมุติค่าสนามความเร็วและค่าสนามความดันให้กับโดเมน จากนั้นแก้สมการหาผลเฉลยของค่าสนามความเร็ว แก้สมการความดันจากค่าสนามความเร็วที่ได้เพื่อหาค่าความดันปรับแก้ โดยที่ค่าความดันปรับแก้นี้ได้จากการประมาณค่าความเร็วในสมการความต่อเนื่องให้อยู่ในรูปความดันปรับแก้ นำค่าความดันปรับแก้ไปคำนวณหาค่าความเร็วจากสมการโมเมนตัม ค่าความเร็วใหม่ที่ได้นำไปหาค่าความดันปรับแก้ใหม่ และใช้ค่าความดันปรับแก้ใหม่นี้ไปหาค่าความเร็ว และความดันใหม่สำหรับนำไปแทนในสมการเพื่อทำซ้ำในรอบการคำนวณถัดไป และเมื่อผลต่างระหว่างความเร็วและความดันในรอบการคำนวณหลังสุดกับรอบก่อนหน้ามีค่าความแตกต่างน้อยมากจนถึงค่าที่ยอมรับได้จึงหยุดการทำซ้ำ

3. วิธีการทดลอง

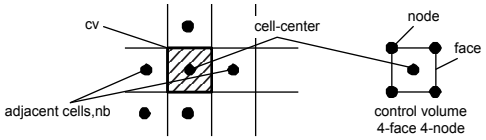
พิจารณาให้สภาพของอากาศที่พิจารณา มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นของอากาศ 1.165 kg/m^3 มีค่าความหนืด 1.86x10^{-5} และทำการพิจารณาค่าเรย์โนลด์ (Re) ของของไหลจะทำการพิจารณา 5 ค่าคือ 50 100 200 600 1,000 และ 1,500 กำหนดให้มีการเปลี่ยนทิศทางของของไหลที่ไหลกระทบกับวัตถุดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ทิศทางของของที่ไหลกระทบกับวัตถุ

3.1 การสร้างกริด

ชนิดของกริดในระบบ 2 มิติได้แก่ กริดชนิดสี่เหลี่ยมและกริดชนิดสามเหลี่ยม การเลือกชนิดของกริดขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานโดยควรคำนึงถึงเวลาในการสร้างกริด ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ และ Numerical diffusion โดยเฉพาะ Numerical diffusion นั้นเป็นค่าความผิดพลาดที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งซึ่งสามารถลดได้โดยการเพิ่มกริดให้ละเอียด



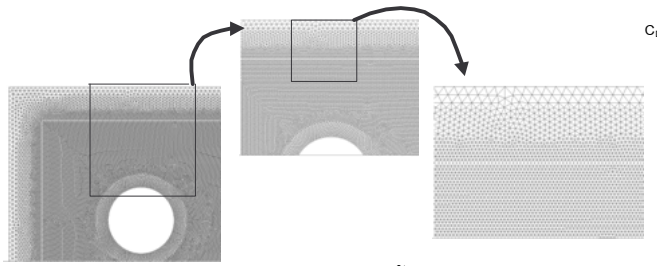
รูปที่ 4 กริดและปริมาตรควบคุม

ในเบื้องต้นได้ทำการเลือกกริดชนิดจุดต่อรูปสามเหลี่ยม มีข้อดีคือสามารถแบ่งเซลล์ในรูปร่างของปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนสูง ๆ ได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณต้องมีความสามารถสูง และค่าความถูกต้องจะน้อยกว่าเนื่องจากปัญหาการโอนเอียงของจุดต่อ แต่ถ้าเลือกใช้กริดสี่เหลี่ยมโดยมีรูปร่างของเซลล์เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีขนาดสม่ำเสมอกระจายทั่วทั้งโดเมนซึ่งจะช่วยตัดปัญหาเรื่องความไม่สม่ำเสมอของกริดได้ และจากการที่ด้านทั้งสี่ของเซลล์ตั้งฉากกัน 90 องศา ซึ่งไม่มีการเอียงนั้นมีความเหมาะสมกว่าเซลล์ที่มีมุมเอียงเพราะจะให้ผลเฉลยที่ถูกต้องกว่า แต่กริดสี่เหลี่ยมจะทำให้การสร้างกริดในรูปทรงที่มีส่วนโค้งทำได้ยากหรือต้องใช้ความละเอียดของกริดที่ละเอียดมาก

ในการศึกษาจะทำการแบ่งกริดออกเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่อยู่ใกล้กับวัตถุจะทำการแบ่งกริดที่ละเอียดเพื่อจะได้เห็นการกระจายความเร็วที่เกิดได้อย่างละเอียด และช่วงต่อมาคือช่วงที่อยู่ห่างจากวัตถุจะทำการ

NO Presentation

แบ่งให้หยาบกว่าในส่วนแรกเพราะเป็นส่วนที่อยู่ห่างจากวัตถุต้องการเห็นการกระจายความเร็วที่ไม่ต้องละเอียดมากนักดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงกริดที่แบ่งแล้วในวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดวงกลม

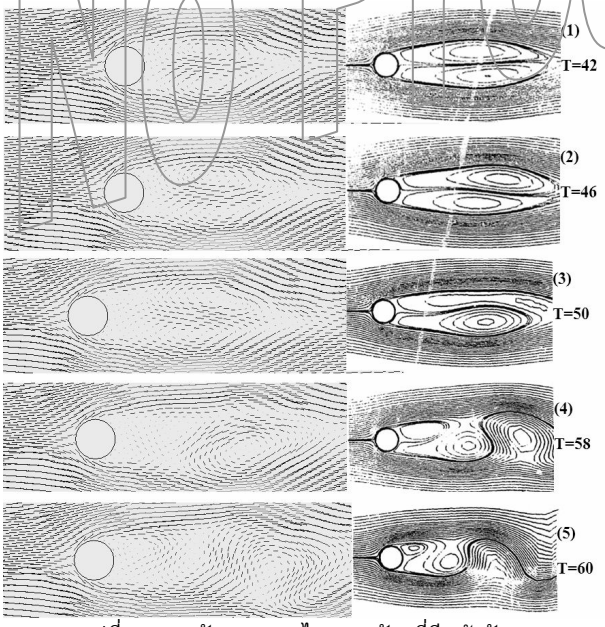
4. ผลการคำนวณและวิเคราะห์ผลการคำนวณ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์และรูปแบบการไหลของของไหลรอบวัตถุที่มีรูปร่างหน้าตัดแตกต่างกัน โดยใช้การสร้างรูปร่างของแบบจำลองใน และหาค่าของผลเฉลยโดยใช้ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD)

ผู้ทำการวิจัยได้ทำการใช้ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ และใช้ระเบียบวิธี SIMPLEC โดยเลือกใช้จุดต่อแบบสี่เหลี่ยม (Hexahedron) และแบ่งจุดต่อของทั้งของเขตที่พิจารณาเป็น 80,000 จุดต่อโดยประมาณ ซึ่งใช้ผลต่างต้นกระแส (Upwind) และใช้ความแม่นยำอันดับสอง (Second Order) และมีค่าคุณสมบัติของของไหลที่ใช้ในการวิเคราะห์เหมือนกัน

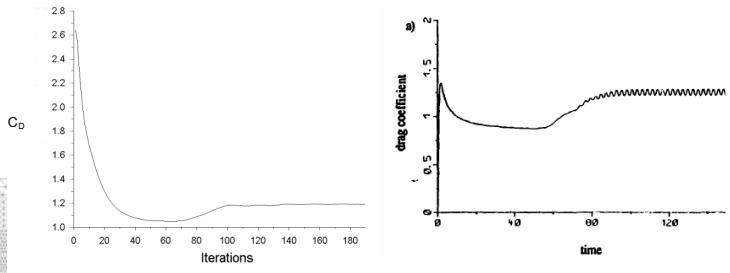
4.1 ผลการคำนวณวัตถุหน้าตัดรูปวงกลม

จากการสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ได้ ทำการหาค่าผลเฉลยค่าการไหลของของไหล โดยผลลัพธ์ที่ได้มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 6 แสดงลักษณะการไหลรอบวัตถุที่มีหน้าตัดวงกลม

จากรูปที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบผลการคำนวณโดยจากการคำนวณของงานวิจัยนี้จะเป็นรูปด้านซ้ายมือส่วนจากการคำนวณของงานวิจัยอ้างอิงของ Franke [1] เป็นรูปด้านขวามือโดยเปรียบเทียบลักษณะการไหลทีละช่วงเวลาจะเห็นว่าในรูปที่ 6 (1) จะเห็นว่าลักษณะ



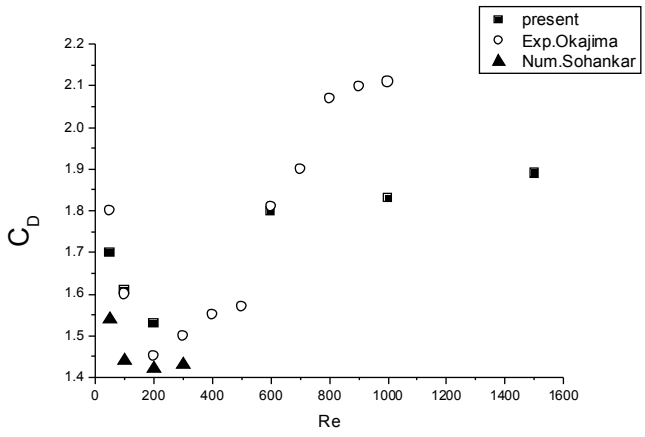
ก) ข)

รูปที่ 7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านจากการคำนวณสองแบบที่ Re = 200
ก) การคำนวณของงานวิจัยนี้ (C_D=1.21)
ข) เป็นการคำนวณจากงานวิจัยของ Franke [1] (C_D=1.2)

ของเวคเตอร์ความเร็วทำให้เกิดการหมุนวนเป็นการหมุนวนสองรูปที่ใกล้เคียงกันทั้งด้านบนและด้านล่างในรูปที่ 6 (2) การหมุนวนดังกล่าวจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ในรูปที่ 6 (3) การหมุนวนที่อยู่ด้านบนจะค่อย ๆ เคลื่อนตัวไปด้านหลังห่างจากวัตถุออกไปในขณะที่การการหมุนวนด้านล่างยังอยู่ในตำแหน่งเดิมจากรูปที่ 6 (4) และรูปที่ 6 (5) จะเห็นว่าการหมุนวนที่เกิดจะค่อย ๆเคลื่อนตัวไปด้านหลังวัตถุสลับกันไประหว่างการหมุนวนที่เกิดขึ้นด้านบนและด้านล่างโดยการหมุนวนที่เคลื่อนตัวห่างจะวัตถุออกไปจะมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้มองเห็นเหมือนกับว่าเกิดการแกว่งของการหมุนวนด้านหลังวัตถุซ้ำๆ กันไปเรื่อย ๆ และในการคำนวณนี้ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับผลการคำนวณจากงานวิจัยของ Franke [1] นอกจากนี้เมื่อคำนวณหาค่า Drag coefficient จะได้ค่าประมาณ 1.21 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ของ Franke [1] ดังในรูปที่ 7

4.2 ผลการคำนวณวัตถุหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

จากผลการคำนวณลักษณะการไหลรอบวัตถุที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสได้ผลลัพธ์ดังนี้

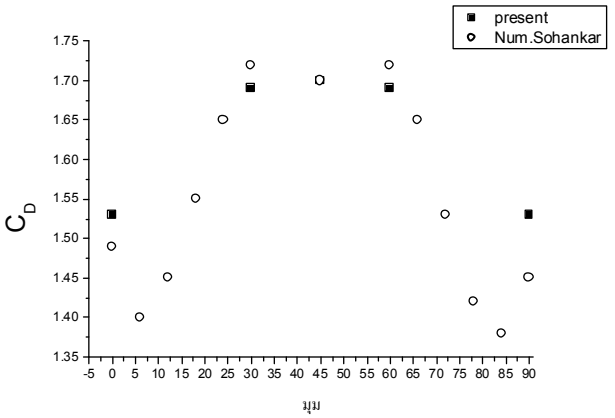


รูปที่ 8 กราฟแสดงค่า C_D กับ ค่าเรย์โนลด์ ของผลการคำนวณเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Sohankar [2] และ Okajima [3] ที่มุมของความเร็วขาเข้ากระทำกับวัตถุเป็นมุม 0 องศา

จากรูปที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบผลการคำนวณโดยเป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่า Drag coefficient กับค่าเรย์โนลด์จะเห็นว่าในช่วงค่าเรย์โนลด์ 0 – 600 ค่าที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าใกล้เคียงกับการ

No Presentation

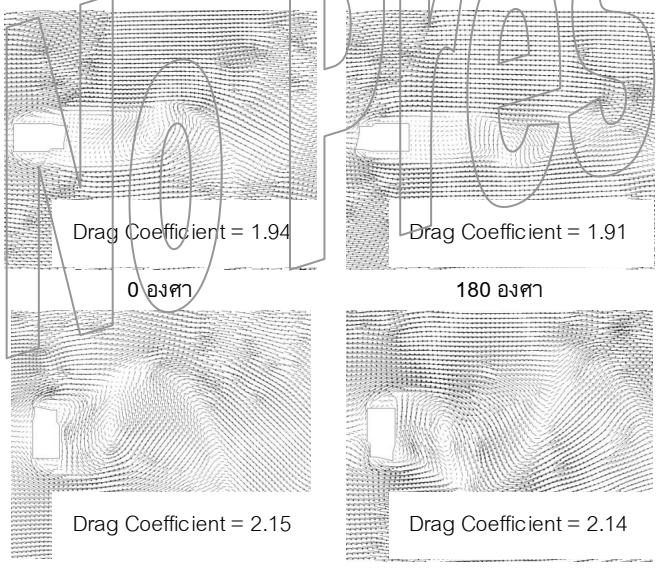
คำนวณจากงานวิจัยของ Okajima [3] และจากรูปที่ 9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่า Drag coefficient กับมุมตกกระทบของของไหล ค่าที่ได้ก็จะมีความใกล้เคียงกันกับงานวิจัยของ Sohankar [2] โดยจะเห็นว่าที่มุม 30 45 และ 60 องศาจะมีค่า Drag coefficient ที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่า Drag coefficient ประมาณ 1.7



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่า C_D กับ มุมตกกระทบของการไหลเปรียบเทียบกับการคำนวณของ sohankar [2] ที่ Re = 200

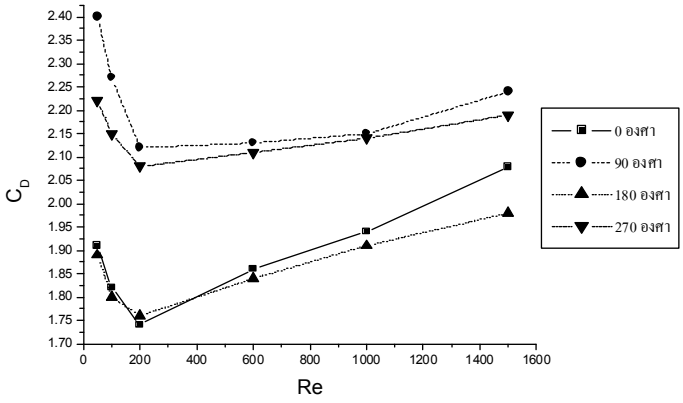
4.3 ผลการคำนวณวัตถุหน้าตัดอาคารเรียน EN16

จากผลการคำนวณลักษณะการไหลรอบวัตถุที่มีหน้าตัดอาคารเรียน EN16 ได้ผลลัพธ์ดังนี้



รูปที่ 10 แสดงเวคเตอร์ความเร็วของวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดอาคารเรียน EN16 ที่ Re = 1,000

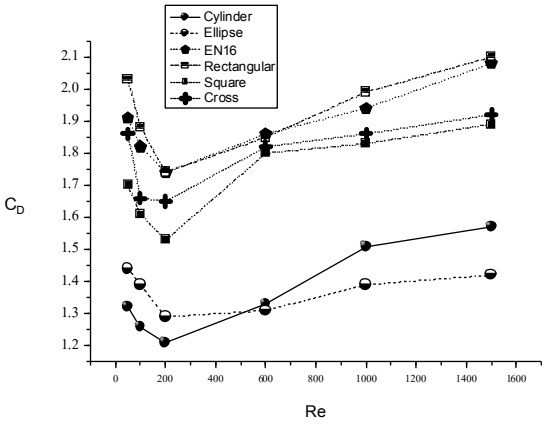
จากรูปที่ 10 และ รูปที่ 11 พบว่าเมื่อของไหลกระทบวัตถุเป็นมุม 90 องศาจะทำให้มีค่า Drag coefficient สูงที่สุด (C_D = 2.15) ณ Re = 1,000 เนื่องจากพื้นที่ตั้งฉากกับกระแสการไหลมากที่สุด และมุมที่มีค่า Drag coefficient รองจากมุม 90 องศาคือมุม 270 องศา เนื่องจากรูปร่างของหน้าตัดในมุมกระทบ 270 มีส่วนลาดเอียงของอาคารทำให้ความกว้างของพื้นที่กระทบของของไหลด้านหน้ามีค่าน้อยกว่ามุม 90 องศา ส่วนมุมที่มีค่า Drag coefficient ต่ำที่สุดคือมุม 180 องศา (C_D =1.91) เพราะเป็นมุมที่ทำให้ด้านหน้าที่กระทบกับการไหลของไหลมีความกว้างของพื้นที่น้อยที่สุดเนื่องจากความลาดเอียงของตัวอาคาร



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ C_D กับค่าเรย์โนลด์ที่มุมกระทบต่าง ๆ ของวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดอาคารเรียน EN16

4.4 ผลจากค่าเรย์โนลด์ของของไหลที่ไหลผ่านวัตถุ

จากรูปที่ 12 เมื่อเปลี่ยนค่าเรย์โนลด์ของของไหลที่ไหลเข้าหาวัตถุในกรณีมุมที่ของไหลกระทบกับวัตถุ 0 องศา จะพบว่า ในช่วงที่ค่าเรย์โนลด์อยู่ระหว่าง 50-200 ทุกรูปทรงยกเว้นรูปทรงวงรี (ช่วงค่าเรย์โนลด์ 50 - 600) จะมีค่า C_D ลดลง จากนั้นเมื่อค่าเรย์โนลด์สูงขึ้น ค่าของ Drag Coefficient จะค่อย ๆเพิ่มสูงขึ้น โดยในช่วงที่ค่าเรย์โนลด์มีค่า 50-200 รูปทรงที่มีค่า Drag Coefficient ต่ำที่สุดคือรูปทรงที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม (C_D = 1.21 ที่ Re = 200)

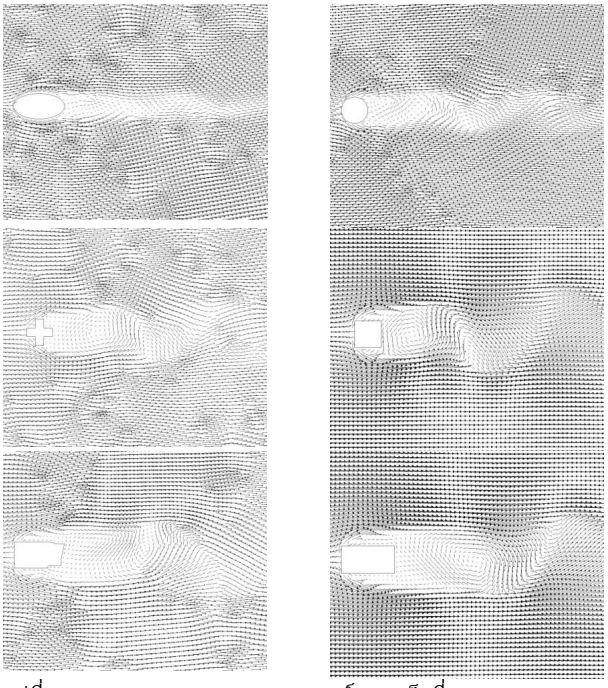


รูปที่ 12 แสดงกราฟระหว่างค่า Drag Coefficient กับค่าเรย์โนลด์เมื่อมุมตกกระทบกับวัตถุทำมุม 0 องศา

เมื่อค่าเรย์โนลด์มีค่าประมาณ 300-1,500 รูปทรงที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงรีจะมีค่า Drag Coefficient ต่ำกว่าทุกรูปทรง (C_D = 1.31 ที่ Re = 600) เพราะรูปทรงที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงรีจะมีลักษณะคล้ายกับกระแสการไหล จากรูปที่ 13 จะเห็นว่าลักษณะการไหลด้านหลังของรูปทรงที่มีพื้นที่หน้าตัดวงรีจะมีความปั่นป่วนน้อยกว่ารูปทรงที่มีหน้าตัดอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า Drag coefficient ระหว่างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

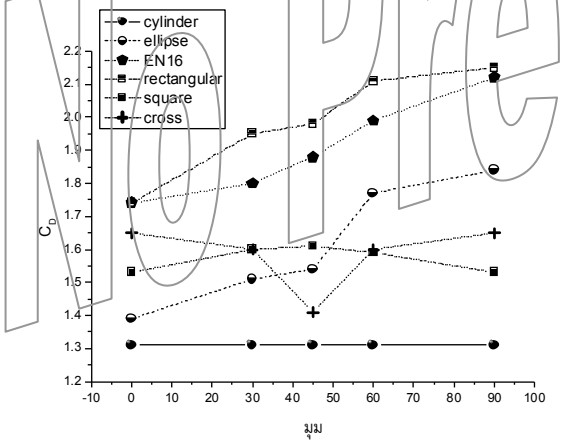
No Protection

กับกากบาทและระหว่างรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและอาคารเรียน EN 16 มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะรูปทรงดังกล่าวมีลักษณะคล้ายคลึงกัน



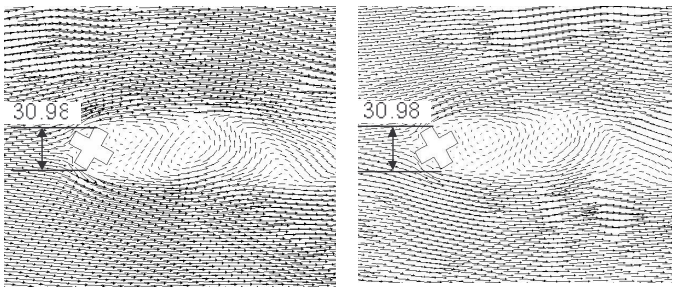
รูปที่ 13 แสดงการกระจายของเวคเตอร์ความเร็วที่ Re = 1,500 ของทุกวัตถุรูปทรงต่าง ๆ

4.5 ผลจากการเปลี่ยนมุมของของไหลที่กระทบกับวัตถุ



รูปที่ 14 แสดงสัมประสิทธิ์แรงต้านกับมุมของของไหลที่กระทบวัตถุรูปทรงต่าง ๆ ที่ Re =200

จากรูปที่ 14 พบว่ามุมตกกระทบของของไหลเปลี่ยนไปค่า C_D จะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่ที่ต้านทานการไหลเพิ่มมากขึ้นยกเว้นรูปทรงวงกลมที่มีค่า C_D ไม่เปลี่ยนแปลงตามทิศทางของมุมตกกระทบเพราะมีรูปร่างสมมาตร สำหรับรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีค่า C_D สูงสุดเมื่อมุมอยู่ระหว่าง 30-60 องศาดังแสดงในรูปที่ 9 และสำหรับรูปทรงกากบาทค่า C_D จะลดลงจากมุม 0 องศา ไปยังมุม 45 องศา โดยค่า C_D ณ มุม 45 องศาจะมีค่าต่ำที่สุดเนื่องจากพื้นที่ตั้งฉากกับการไหลน้อยที่สุดและค่า C_D จะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเพิ่มขึ้นจากมุม 45 องศาไปยังมุม 90 องศา โดยค่า C_D ที่ได้จากรูปทรงกากบาทจะมีค่าเท่ากันระหว่างมุมตกกระทบสองมุมที่รวมกันได้ 90 องศา ทั้งนี้เป็นเพราะพื้นที่ตั้งฉากการไหลมีค่าเท่ากันดังแสดงในรูปที่ 15 นอกจากนี้ยังพบว่าวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดอาคารเรียน EN16 จะมีค่า Drag coefficient ใกล้เคียงกันเสมอทั้งนี้เนื่องจากรูปร่างของพื้นที่หน้าตัดที่มีลักษณะใกล้เคียงกันและวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะค่า Drag coefficient มากกว่าวัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดอาคารเรียน EN16 เนื่องจากลักษณะพื้นที่หน้าตัดอาคารเรียน EN16 มีความลาดเอียงของด้านข้างและด้านหลัง



ก) C_D = 1.60 ข) C_D = 1.60

รูปที่ 15 แสดงลักษณะการไหลของรูปทรงกากบาท ก) มุม 30 องศา ข) มุม 60 องศา ซึ่งมีพื้นที่ตั้งฉากกับการไหลเท่ากัน

5 สรุปผลการคำนวณ

จากการคำนวณพบว่าในกรณีมุมที่ของไหลกระทบกับวัตถุ 0 องศา ในช่วงที่ค่าเรย์โนลด์อยู่ระหว่าง 50-200 รูปทรงที่มีค่า Drag Coefficient ต่ำที่สุดคือรูปทรงที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม (มีค่า C_D = 1.21 ที่ Re = 200) เมื่อค่าเรย์โนลด์มีค่าประมาณ 300-1,500 รูปทรงที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงรีจะมีค่า Drag Coefficient ต่ำกว่าทุกรูปทรง (มีค่า C_D = 1.31 ที่ Re = 600)

เมื่อมุมของการไหลที่ตกกระทบกับวัตถุเปลี่ยนไป พบว่าเกือบทุกรูปทรงยกเว้นวงกลมมีค่า C_D เพิ่มขึ้นเมื่อมุมกระทบเพิ่มขึ้นและรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและกากบาทจะมีค่า C_D เพิ่มขึ้นตามมุมที่เพิ่มขึ้นในช่วงจำกัด รูปทรงที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นรูปทรงที่มีค่า C_D สูงที่สุด และรูปทรงที่มีลักษณะโค้งมนจะมีค่า C_D ต่ำกว่ารูปทรงที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม

เอกสารอ้างอิง

[1] R. Franke, W. Rodi and B. Schonung, Numerical calculation of laminar vortex shedding flow past cylinders, **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics** 1990; Vol. 35 : 237-257.

[2] A. Sohankar, C. Norberg and L. Davidson , Numerical simulation of unsteady low-reynolds number flow around rectangular cylinders at incidence, **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics** 1997; Vol.69-71 : 189-201.

[3] A. Okajima and K. Kitajima , Numerical study on aeroelastic instability of cylinders with a circular and rectangular cross-section , **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics** 1993; Vol 46-47 : 541-550

No Presentation