

การหาแรงพลวัตจากการไหลในทางน้ำเปิดที่กระทำต่อวัตถุรูปทรงท่อนยาวที่มีรูปตัดต่างๆ กัน
DETERMINATION OF DYNAMIC FORCE OF FLOW IN OPEN CHANNEL ON THE CYLINDER
WITH DIFFERENT CROSS SECTIONS

ยุทธนา แก้วคำแจ้ง¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย

*Corresponding author address: yuddhana.k@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอวิธีการในการหาแรงพลวัตหรือแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริงจากการไหลในทางน้ำเปิดที่กระทำต่อวัตถุรูปทรงท่อนยาวเตี้ยที่มีหน้าตัดต่างๆ กัน ในการศึกษาได้มีการจำลองสภาพการไหลเข้าสู่วัตถุรูปทรงท่อนยาวที่ตั้งอยู่ในแนวตั้งจำนวน 4 หน้าตัด ได้แก่ สี่เหลี่ยมจัตุรัส, สี่เหลี่ยมคางหมู, สามเหลี่ยมด้านเท่า และวงกลม ซึ่งจะรูปแบบการวางแนวของวัตถุจำนวน 6 รูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบจะมีพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลเท่ากัน ในการศึกษาได้มีการจำลองสภาพการไหลให้มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) อยู่ในช่วง 50,000 ถึง 210,000 สำหรับแรงพลวัตหรือแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริงสามารถหาค่าได้โดยใช้หลักการสมดุลของโมเมนต์ที่เกิดขึ้นกับวัตถุ ผลการศึกษาที่ได้ยังสามารถนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้คำนวณหาแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นกับวัตถุ จากผลการศึกษาพบว่าแรงพลวัตหรือแรงดูดดึงจะแปรผันตรงกับตัวเลขเรย์โนลด์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงของวัตถุแต่ละหน้าตัดมากกว่า 1 ซึ่งจะมีความผันแปรตามรูปร่างของวัตถุและตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหล จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงที่ได้รับกับผลการศึกษาอื่นๆ ที่ผ่านมาของวัตถุรูปทรงท่อนยาวที่มีหน้าตัดต่างๆ กัน พบว่าค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: แรงพลวัตของการไหลในทางน้ำเปิด, แรงดูดดึง, สัมประสิทธิ์แรงดูดดึง, แรงเนื่องจากการไหล

Abstract

This paper aims to present the methodology to determine the actual dynamic force or actual drag force of flow in open-channel on the single rod bodies with different types of cross section. In each case study, the simulation of flow was performed to cause the flow of water through a vertical rod body for 4 types of cross sections i.e. square, trapezoidal, equilateral triangle and circle. There are 6 types of the orientation of the rod bodies which have the same projected area (frontal area) and normal to the flow direction. The study was carried on by the simulation of flow conditions in the range of Reynold Number between 50,000 to 210,000. The actual dynamic force or the actual drag force were determined by the concept of the equilibrium of moment on the rod body. The results from the study were also used to determine the drag coefficients which can be used to determine the drag force on the different types of rod body. From the study it was found that dynamic force or drag force is proportional to Reynold Number. The obtained drag coefficients of each rod body are greater than 1 which the variations are subject to the shape of rod body and the Reynold Number. By comparison of the obtained drag coefficients for different types of cross section and the previous studies, it was found that the values are somewhat the same.

Keywords: Dynamic force of flow in open-channel, Drag force, Drag coefficient, Flowing force

1. บทนำ

โครงสร้างรูปทรงท่อนยาว (Rod structures) ถูกใช้ประโยชน์อย่างหลากหลายในงานวิศวกรรม เช่น ตอม่อ (Pier) ของสะพาน เสารองรับโครงสร้างทางชลศาสตร์ ในการวิเคราะห์แรงที่เกี่ยวข้องนั้น นอกจากจะพิจารณาถึงน้ำหนักบรรทุกทุกแล้ว การพิจารณาถึงแรงกระทำจากน้ำก็เป็นสิ่งสำคัญ ไม่ว่าจะเป็นแรงสถิต (Static forces) หรือแรงพลวัต (Dynamic forces)

ในการศึกษาเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อวัตถุที่จมในของไหล จะมีการจำแนกลักษณะของวัตถุเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ วัตถุ 2 มิติ (Two-dimensional body) หมายถึง วัตถุที่มีพื้นผิวบางส่วนจมอยู่ในของไหล เช่น ตอม่อของสะพาน หรือ โครงสร้างทางชลศาสตร์ที่จมอยู่ในน้ำบางส่วน และวัตถุ 3 มิติ (Three-dimensional body) หมายถึง วัตถุที่มีพื้นผิวทั้งหมดจมอยู่ในของไหล เช่น เรือดำน้ำ บอลลูน หรือ เครื่องบิน เป็นต้น

สำหรับแรงจากการไหลของน้ำที่กระทำต่อวัตถุตามทิศทางการไหลจัดอยู่ในกลุ่มของแรงพลวัต ซึ่งในกรณีของการศึกษาเกี่ยวกับ

วัตถุ 3 มิติที่จมอยู่ในของไหล เช่น แรงที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของเรือดำน้ำ แรงจากกระแสลมที่มีต่อรถยนต์หรืออากาศยาน สามารถวัดค่าได้โดยการจำลองให้มีกระแส น้ำ หรืออากาศไหลผ่านวัตถุที่สนใจ จากนั้นจึงทำการวัดค่าแรงที่ทำให้วัตถุนั้นอยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งอาจจะใช้สปริงวัดแรงหรือใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้คานยืดหยุ่น (Flexible beams) ร่วมกับเกจวัดค่าความเครียด (Strain gages) ของคานยืดหยุ่น [1] แต่ในกรณีของโครงสร้างทางชลศาสตร์บางประเภทที่เป็นวัตถุ 2 มิติที่จมอยู่ในของไหล เช่น เสาดมอ้อมที่ตั้งขวางการไหลของน้ำ การหาค่าแรงพลวัตจากการไหลของน้ำโดยใช้หลักการข้างต้นอาจจะทำได้ไม่มากนัก เนื่องจากปลายด้านหนึ่งของวัตถุถูกฝังแบบยึดแน่นกับท้องน้ำ

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอวิธีการอย่างง่ายในการหาแรงพลวัตจากการไหลของน้ำที่มีต่อวัตถุรูปทรงท่อนยาว (rod) ที่มีหน้าตัดต่างๆ กัน ซึ่งจะมีลักษณะเป็นวัตถุ 2 มิติที่จมอยู่ในของไหล

2. หลักการและการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

แรงพลวัต หมายถึง แรงตามทิศทางการไหลที่เกิดจากการไหลของของไหลเข้ากระทบกับวัตถุ ซึ่งเปรียบเสมือนแรงที่จะพยายามดูดดึงให้วัตถุเคลื่อนที่ไปกับของไหล หรืออาจจะหมายถึง แรงที่ของไหลกระทำต่อวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ผ่านของไหลและมีทิศทางของแรงตรงข้ามกับทิศทางเคลื่อนที่ของวัตถุ เปรียบเสมือนแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านของไหล โดยจะเรียกแรงพลวัตในลักษณะนี้ว่า แรงดูดดึง (Drag force, F_D) ซึ่งเกิดจากผลรวมของแรงดูดดึงจากความเสียดทาน (Friction drag, F_f) อันเกิดจากผลรวมของหน่วยแรงเฉือนบนพื้นผิววัตถุตามทิศทางการไหล และแรงดูดดึงจากความดัน (Pressure drag, F_p) อันเกิดจากผลรวมของแรงเนื่องจากความดันตามทิศทางการไหลที่กระทำบนพื้นผิวของวัตถุ [2] ซึ่งสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้เป็น

$$F_D = F_f + F_p \quad (1)$$

โดยแรงดูดดึงจากความเสียดทานจะมีอิทธิพลต่อลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นกับวัตถุที่มีรูปทรงแบบลู่อตามทิศทางการไหล (Streamlined body) และแรงดูดดึงจากความดันจะมีอิทธิพลต่อลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นกับวัตถุที่มีรูปทรงแบบไม่ลู่อตามทิศทางการไหล (Blunt body) [3] ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเป็นเรื่องค่อนข้างยุ่งยากที่จะวิเคราะห์หาแรงดูดดึงประเภทใดประเภทหนึ่งโดยเฉพาะ [1]

โดยทั่วไปแล้ว เราจะคำนวณหาค่าแรงดูดดึงทั้ง 2 ประเภทดังกล่าวข้างต้นในรูปของแรงดูดดึงรวม (Total drag) [2], [3], [4], [5], [6] หรือเรียกสั้นๆ ว่า แรงดูดดึง ซึ่งได้แนวคิดมาจากสมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli equation) ดังสมการ

$$F_D = C_D \frac{\rho v^2 A}{2} \quad (2)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหลซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ ก็คือ ความหนาแน่นของน้ำ

v คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหลที่ตำแหน่งด้านเหนือหน้า (upstream) ของวัตถุ

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่จมอยู่ใต้น้ำทางด้านเหนือหน้าของวัตถุและตั้งฉากกับความเร็วในการไหล ซึ่งมีชื่อเรียกว่า พื้นที่ทาบ (Projected area) ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า พื้นที่หน้าตัดส่วนหน้า (Frontal area) [1]

C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงดูดดึง (Drag coefficient) ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติ (Dimensionless parameter)

ตามปกติแล้วสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงจะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านของไหลหรือความเร็วในการไหลของของไหลผ่านวัตถุ ลักษณะรูปทรงหรือพื้นผิวของวัตถุ ความหนาแน่นและความหนืดของของไหล เป็นต้น

จากสมการที่ (2) หากจัดรูปใหม่จะได้สมการในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึง [1], [5] คือ

$$C_D = \frac{F_D}{\left(\frac{\rho v^2 A}{2}\right)} \quad (3)$$

ในทางปฏิบัติแล้วในกาหาสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงจากแนวคิดของสมการที่ (3) สามารถดำเนินการได้โดยการจำลองสภาพการไหลของของไหลผ่านวัตถุ จากนั้นจึงทำการวัดหาค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสิ่งสำคัญประการหนึ่งที่จะทำให้ได้รับค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด คือ การวัดหาค่า F_D หรือค่าแรงดูดดึงรวมที่เกิดขึ้นจริงหรือค่าแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริงกับวัตถุ

โดยส่วนใหญ่จะมีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงและตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, R_e) ของการไหล ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการไหลที่มีตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำๆ อิทธิพลของความหนืดจะมีผลอย่างมากต่อสัมประสิทธิ์แรงดูดดึง โดยสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงจะแปรผกผันกับค่าตัวเลขเรย์โนลด์อย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อตัวเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงขึ้นจะพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก [2], [4] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการไหลผ่านวัตถุรูปทรงท่อนยาวที่มีหน้าตัดต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นวงกลม วงรี สี่เหลี่ยมจัตุรัส สามเหลี่ยม และครึ่งวงกลม ซึ่งพบว่า สัมประสิทธิ์แรงดูดดึงของวัตถุแต่ละแบบจะมีค่าคงที่สำหรับค่าตัวเลขเรย์โนลด์ในช่วงใดช่วงหนึ่ง [4], [7], [8]

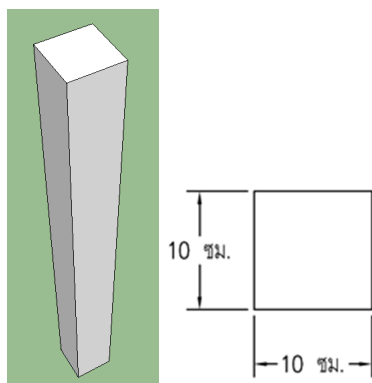
นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการหาวิธีการที่เหมาะสมในการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงของกระแสลมที่มีต่อวัตถุรูป

ทรงกระบอก ด้วยวิธีการ 2 วิธี ได้แก่ วิธีวัดค่าน้ำหนักโดยตรง (Direct weighting method) และวิธีการวัดค่าการกระจายของความดัน (Pressure distribution method) ropic วัตถุเพื่อเปรียบเทียบกัน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า สัมประสิทธิ์แรงดูดดึงที่ได้จากวิธี Direct weighting method มีความแม่นยำกว่าค่าที่ได้จากวิธี Pressure distribution method [9]

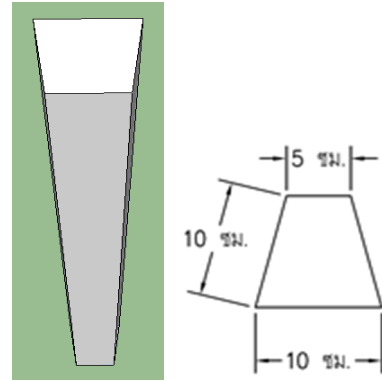
3. วิธีการดำเนินการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการหาค่าแรงพลวัตจากการไหลในทางน้ำเปิดในรูปของแรงดูดดึงที่กระทำกับวัตถุรูปทรงท่อนยาวเดี่ยว (single rod body) ที่ตั้งอยู่ในแนวตั้งและจมอยู่ในน้ำบางส่วน ซึ่งถือว่าเป็นวัตถุ 2 มิติที่จมในของไหล สำหรับทางน้ำเปิดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จะมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 30 เซนติเมตร และมีท้องน้ำอยู่ในแนวราบ โดยให้มีการไหลของน้ำด้วยอัตราการไหลต่างๆ กัน เข้าสู่วัตถุที่ถูกติดตั้งที่กึ่งกลางของทางน้ำเปิด โดยมีแกนตามยาวของวัตถุอยู่ในแนวตั้ง ซึ่งวัตถุดังกล่าวถูกสร้างขึ้นจากพลาสติกผิวเรียบที่มีน้ำหนักเบา จำนวนทั้งหมด 4 หน้าตัด ได้แก่ สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมคางหมู สามเหลี่ยมด้านเท่า และวงกลม โดยวัตถุดังกล่าวจะมีความยาว 1.20 เมตร ดังรายละเอียดในรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 4

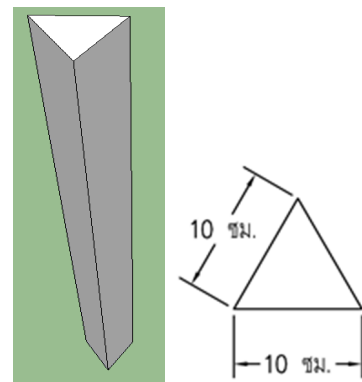
ในการติดตั้งวัตถุ จะดำเนินการในลักษณะที่ทำให้พื้นที่ที่ทาบที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลมีความกว้าง (D) เท่ากับ 10 เซนติเมตร เท่ากันทุกหน้าตัด โดยจะมีรูปแบบการติดตั้งหรือการวางตัวของวัตถุแบ่งออกเป็น 6 รูปแบบย่อยๆ ดังรูปที่ 5 กล่าวคือ หากมีการไหลของน้ำในทางน้ำเปิดด้วยความลึกการไหลเท่ากันจะพบว่า การติดตั้ง



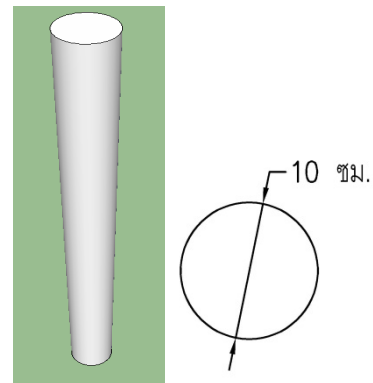
รูปที่ 1 หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส



รูปที่ 2 หน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 3 หน้าตัดสามเหลี่ยมด้านเท่า

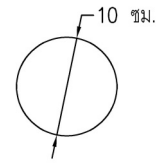


รูปที่ 4 หน้าตัดวงกลม

วัตถุทั้ง 6 รูปแบบ จะมีพื้นที่ที่ทาบหรือพื้นที่ส่วนหน้าที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลเท่ากัน นอกจากนี้แล้ว เพื่อที่จะสามารถวัดหาค่าแรงพลวัตหรือแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริง ที่ตำแหน่งกึ่งกลางความยาวของวัตถุรูปทรงท่อนยาว จะถูกเจาะรูให้ทะลุทั้ง 2 ด้าน โดยมีแนวของรูเจาะจะตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำ ซึ่งรูเจาะดังกล่าวนี้จะถูกร้อยผ่านด้วยแกนหมุนพลาสติกที่มีความฝืดน้อยมากและยึดติดกับขอบด้านบนของรางน้ำเปิด ดังนั้นเมื่อมีการไหลในรางน้ำเปิดเข้าสู่วัตถุ

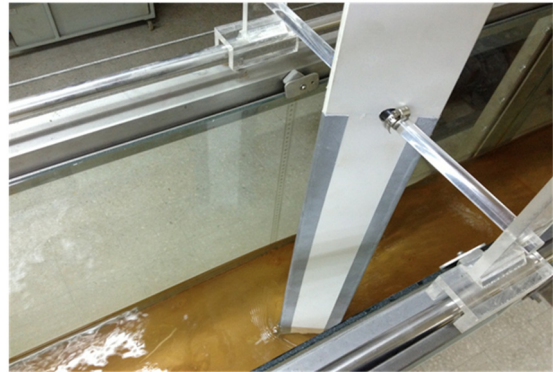
จะทำให้วัตถุไม่สามารถไหลไปกับกระแสน้ำได้ ดังแสดงรายละเอียดการติดตั้งดังรูปที่ 6

วัตถุที่ติดตั้งกับรางน้ำเปิดจะพบว่า หากไม่มีการไหลของน้ำ วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลจะตั้งตรงโดยมีแกนตามยาวของวัตถุอยู่ในแนวตั้ง แต่หากมีการไหลของน้ำเข้ากระทบกับวัตถุ จะพบว่าแรงพลวัตเนื่องจากการไหลของน้ำจะทำให้วัตถุเกิดการหมุนโคลงรอบแกนพลาสติกที่ยึดวัตถุเข้ากับขอบด้านบนของรางน้ำเปิด โดยปลายด้านล่างของวัตถุจะเอียงไปตามทิศทางการไหลของน้ำ ในขณะที่ส่วนปลายด้านบนจะเอียงไปทางด้านเหนือน้ำดังแสดงในรูปที่ 7



(ฉ) วงกลม

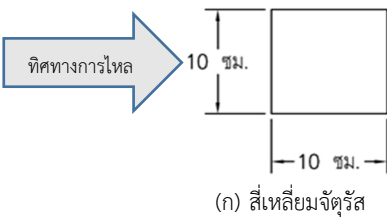
รูปที่ 5 รูปแบบการติดตั้งวัตถุรูปทรงท่อนยาวในทางน้ำเปิด



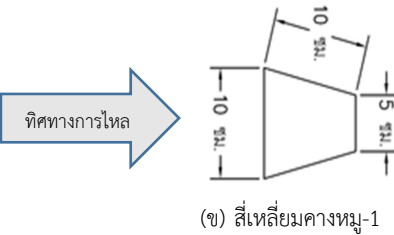
รูปที่ 6 การติดตั้งวัตถุรูปทรงท่อนยาวเข้ากับรางน้ำเปิด



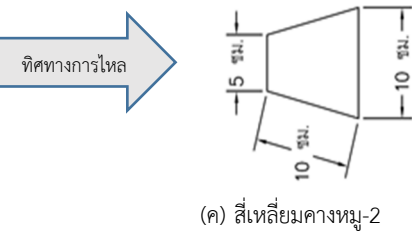
รูปที่ 7 การไหลของน้ำในรางน้ำเปิดเข้ากระทบกับวัตถุ



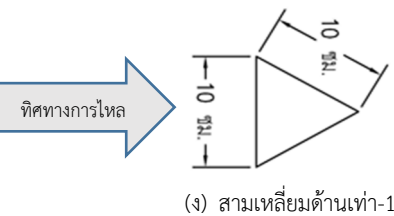
(ก) สี่เหลี่ยมจัตุรัส



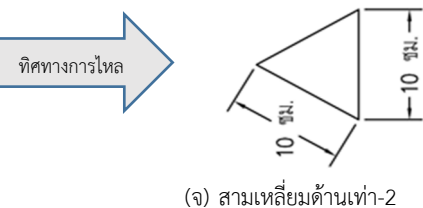
(ข) สี่เหลี่ยมคางหมู-1



(ค) สี่เหลี่ยมคางหมู-2



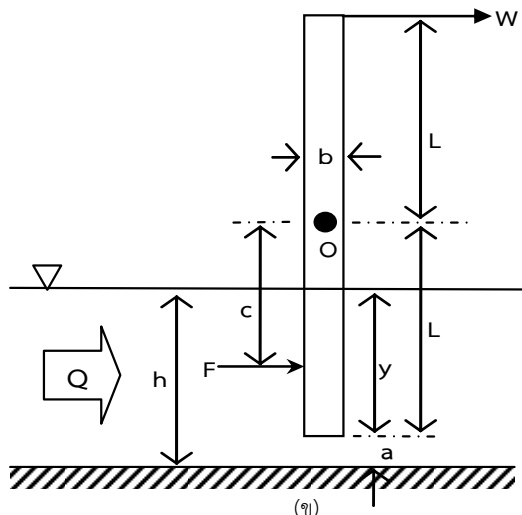
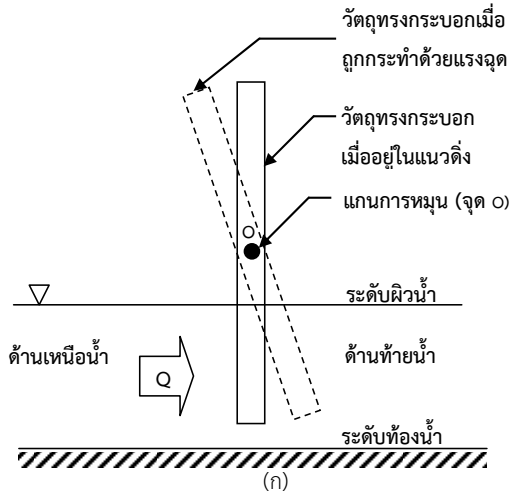
(ง) สามเหลี่ยมด้านเท่า-1



(จ) สามเหลี่ยมด้านเท่า-2

จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า เมื่อมีน้ำไหลกระทบกับวัตถุ จะทำให้วัตถุเกิดการเอียงไปจากแนวตั้ง ในการหาแรงพลวัตหรือแรงดูดตึงที่เกิดขึ้นจริง จะต้องทำให้วัตถุกลับมาตั้งตรงอยู่ในแนวตั้ง เหมือนกับตอนที่ไม่มีน้ำไหลผ่าน ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยการออกแรงตามแนวราบกระทำที่ปลายด้านบนสุดของวัตถุ โดยแรงดังกล่าวจะมีทิศทางไปทางด้านท้ายน้ำ เมื่อวัตถุกลับมาตั้งตรงในแนวตั้งเช่นเดิม จะพบว่าแรงดังกล่าวซึ่งอยู่ในแนวราบจะตั้งฉากกับแกนของวัตถุที่อยู่ในแนวตั้ง และในทำนองเดียวกัน แรงดูดตึงเนื่องจากการไหลของน้ำก็จะมีทิศทางตั้งฉากกับแกนของวัตถุที่ตั้งตรงอยู่ในแนวตั้งเช่นเดียวกัน สำหรับแนวทางในการวิเคราะห์เพื่อ

หาค่าแรงดูดดึงที่กระทำต่อวัตถุ สามารถอธิบายหลักการได้โดยการพิจารณารายละเอียดในรูปที่ 8 ซึ่งจะอธิบายเกี่ยวกับแรงพลวัตหรือแรงดูดดึงจากการไหลของน้ำเข้ากระบอกวัตถุที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ด้วยอัตราการไหล (Q) ที่คงที่ ซึ่งจะทำให้วัตถุเอียงไปจากแนวตั้งดังรูปที่ 8 (ก) สำหรับรูปที่ 8 (ข) เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับการหาค่าแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจากการไหล (F) โดยในการศึกษาจะต้องทำการวัดขนาดของแรงในแนวราบ (w) ที่กระทำ ณ ตำแหน่งปลายด้านบนสุดของวัตถุเพื่อให้วัตถุกลับมาตั้งตรงในแนวตั้งเดิม ซึ่งจากการที่วัตถุสามารถกลับมาตั้งตรงในแนวตั้งได้นั้น แสดงว่า M_w ซึ่งหมายถึง โมเมนต์ที่เกิดจากแรง w รอบแกนการหมุน o จะมามีค่าเท่ากับ M_F ซึ่งหมายถึง โมเมนต์ที่เกิดจากแรงดูดดึง (F) รอบแกนการหมุน o



รูปที่ 8 การวิเคราะห์เพื่อหาแรงดูดดึงจากการไหล

สำหรับแรงดูดดึง (F) ในรูปที่ 8 (ข) นั้น หมายถึง แรงลัพธ์เนื่องแรงดูดดึงที่กระทำต่อพื้นที่ทาบบของวัตถุส่วนที่จมอยู่ในน้ำ โดยมี

สมมติฐานว่า แรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ทาบบ ซึ่งจะทำให้ตำแหน่งของแรงลัพธ์เนื่องแรงดูดดึงจะอยู่ที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ทาบบที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล

สำหรับโมเมนต์รอบแกนการหมุน o ที่เกิดจากแรงอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็น แรงจากน้ำหนักของวัตถุ, แรงลอยตัวหรือแรงเนื่องจากความดันที่เกิดขึ้นกับวัตถุส่วนที่จมในน้ำ จะไม่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าแรงดูดดึงที่เกิดจากการไหลผ่านของน้ำ เนื่องจากแกนการหมุนของวัตถุจะอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้โมเมนต์เหล่านี้หักล้างกันไป

สำหรับข้อมูลที่ต้องดำเนินการวัดค่า ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ (T) อัตราการไหล (Q) ความลึกการไหล (h) และแรงในแนวราบ (w) โดยค่าอุณหภูมิของน้ำจะถูกนำไปใช้ในการหา ความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity, δ) ของน้ำ ส่วนอัตราการไหลจะถูกนำไปใช้คำนวณหาค่าความเร็วเฉลี่ย (v) ในการไหลจากสมการของการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuity equation) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาตัวเลขเรย์โนลด์ (R_e) โดยใช้สมการที่ (4) คือ

$$R_e = \frac{vD}{\delta} \quad (4)$$

โดยที่ D คือ ความกว้างของพื้นที่ทาบบของวัตถุที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล [1], [2], [5] ซึ่งในการติดตั้งวัตถุทั้ง 6 รูปแบบที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้จะมีค่า $D = 0.10$ เมตร

ในการหาค่าแรงลัพธ์เนื่องจากแรงดูดดึง (F) สามารถพิจารณาจากรูปที่ 8 (ข) กล่าวคือ ในกรณีที่วัตถุตั้งตรงอยู่ในแนวตั้งแสดงว่า โมเมนต์รอบแกนหมุนที่จุด o เนื่องจากแรงดูดดึง (M_F) จะมามีค่าเท่ากับโมเมนต์เนื่องจากแรงที่ทำให้วัตถุสามารถตั้งตรงในแนวตั้ง (M_w) นั่นคือ

$$M_F = M_w$$

$$F \cdot c = w \cdot L$$

$$F = \frac{w \cdot L}{c}$$

โดยที่ L คือ ครึ่งหนึ่งของความยาววัตถุซึ่งเท่ากับ 0.60 เมตร ส่วน a คือ ความสูงของปลายด้านล่างของวัตถุเหนือระดับท้องน้ำ ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 0.015 เมตร ดังนั้นจากค่า w และ h ที่วัดค่าได้ จะสามารถหาค่าแรงพลวัตจากการไหลหรือแรงดูดดึงจากการไหลที่เกิดขึ้นจริง (F) สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้จาก

$$F = \frac{1.2w}{1.215-h} \quad (5)$$

ซึ่งหากนำค่าแรงลัพธ์เนื่องจากแรงดูดดึง (F) ไปแทนค่าแรงดูดดึง (F_D) ในสมการที่ (3) ก็จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดูดดึง

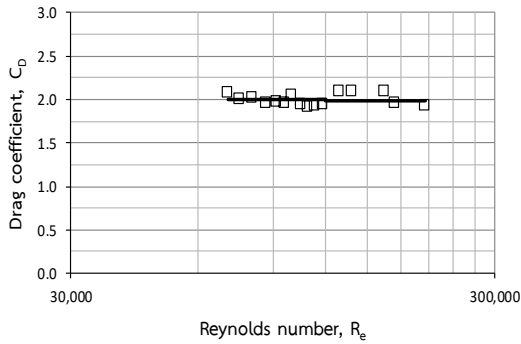
(C_D) สำหรับวัตถุทรงท่อนยาวในแต่ละรูปแบบที่สภาพการไหลที่มีตัวเลขเรย์โนลด์ต่างๆ ได้

4. ผลการศึกษา

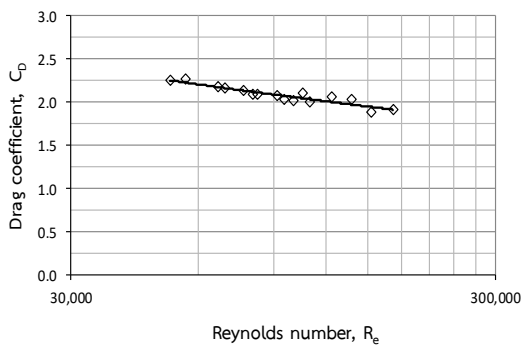
จากผลการศึกษาที่ได้ สามารถนำไปวิเคราะห์เกี่ยวกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแรงพลวัตเนื่องจากการไหลในทางน้ำเปิด ซึ่งสามารถอธิบายผลการศึกษาได้ดังนี้

4.1. ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงดูดติดกับตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหล

จากผลการศึกษาที่ได้ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงดูดติด (C_D) และตัวเลขเรย์โนลด์ (R_e) ของการไหลที่มี $50,000 \leq R_e \leq 210,000$ ได้ดังรูปที่ 9 ถึงรูปที่ 14 ดังนี้

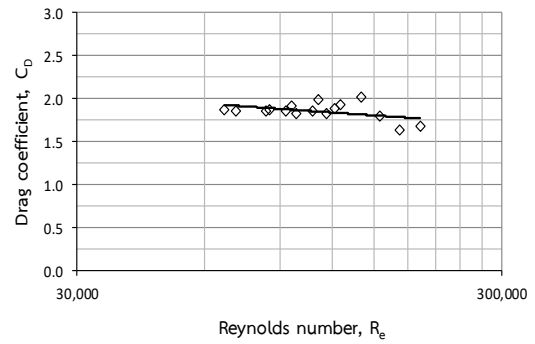


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงดูดติดและตัวเลขเรย์โนลด์สำหรับวัตถุหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส

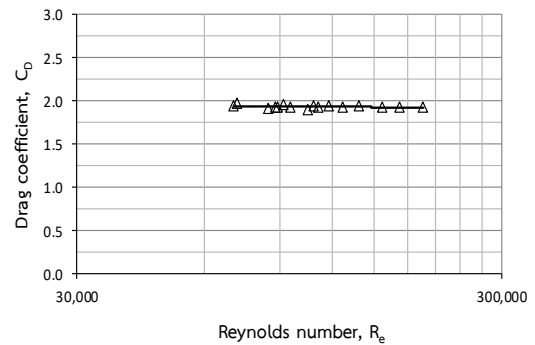


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงดูดติดและตัวเลขเรย์โนลด์สำหรับวัตถุหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

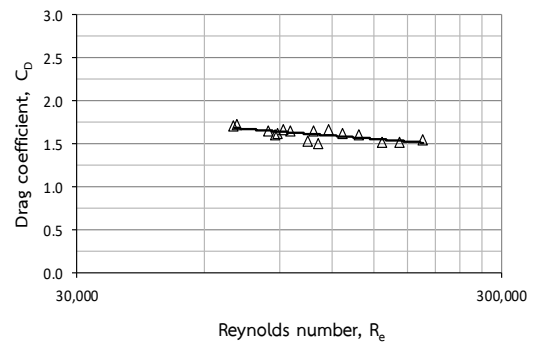
เรย์โนลด์สำหรับวัตถุหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู-1



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงดูดติดและตัวเลขเรย์โนลด์สำหรับวัตถุหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู-2

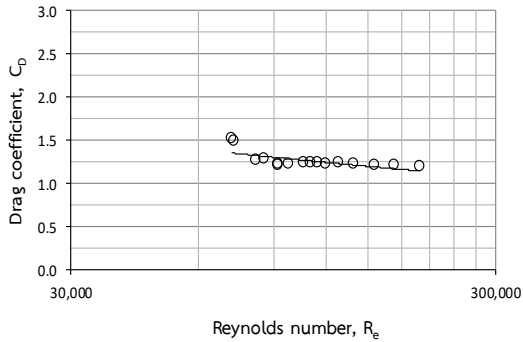


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงดูดติดและตัวเลขเรย์โนลด์สำหรับวัตถุหน้าตัดสามเหลี่ยมด้านเท่า -1



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงดูดติดและตัวเลขเรย์โนลด์สำหรับวัตถุหน้าตัดสามเหลี่ยมด้านเท่า -2

เรย์โนลด์สำหรับวัตถุหน้าตัดสามเหลี่ยมด้านเท่า -2

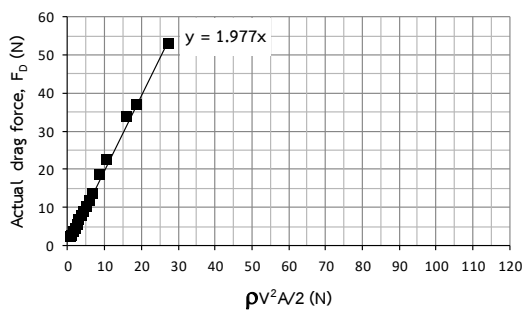


รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงและตัวเลขเรย์โนลด์สำหรับวัตถุหน้าตัดวงกลม

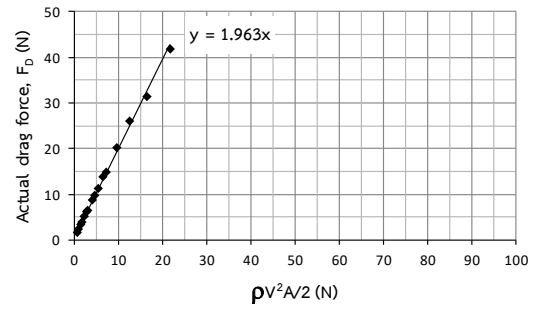
จากรูปที่ 9 ถึงรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่า สำหรับสภาพการไหลในทางน้ำเปิดที่มี $50,000 \leq R_e \leq 210,000$ ค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงจะแปรผกผันกับตัวเลขเรย์โนลด์ โดยจะมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อตัวเลขเรย์โนลด์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงการไหลที่มีตัวเลขเรย์โนลด์สูงขึ้นอิทธิพลของความหนืดของน้ำที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงจะมีอิทธิพลน้อยลง

4.2. การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึง

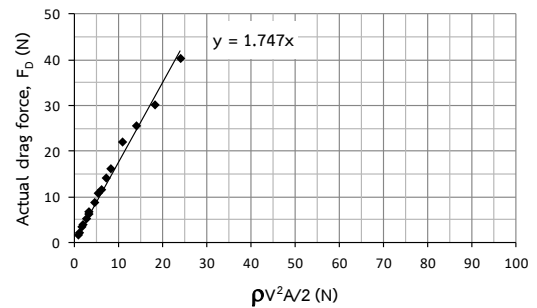
จากการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวเลขเรย์โนลด์ จะมีผลทำให้สัมประสิทธิ์แรงดูดดึงมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงได้จากการนำค่าแรงดูดดึงที่ได้จากสมการที่ (5) ไปแทนค่า F_D ในสมการที่ (2) เพื่อที่จะนำไปแสดงความสัมพันธ์กับ $\rho v^2 A/2$ ดังรูปที่ 15 ถึงรูปที่ 20



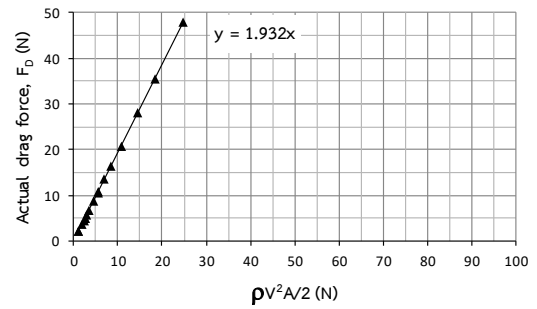
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริง (F_D) และค่า $\rho v^2 A/2$ สำหรับวัตถุหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส



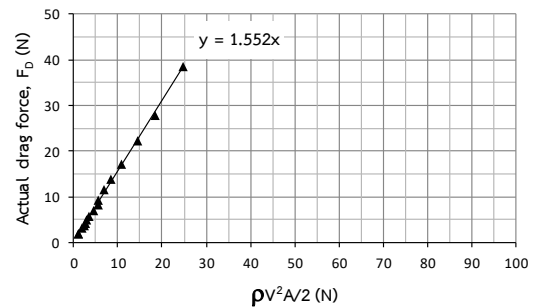
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริง (F_D) และค่า $\rho v^2 A/2$ สำหรับวัตถุหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู-1



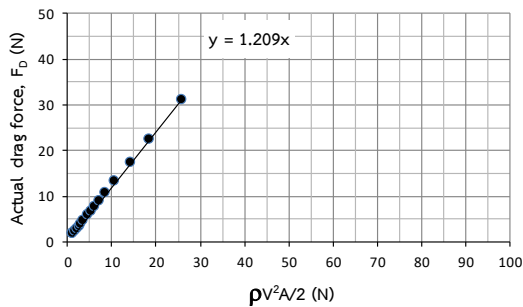
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริง (F_D) และค่า $\rho v^2 A/2$ สำหรับวัตถุหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู-2



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริง (F_D) และค่า $\rho v^2 A/2$ สำหรับวัตถุหน้าตัดสามเหลี่ยมด้านเท่า -1



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริง (F_D) และค่า $\rho v^2 A/2$ สำหรับวัตถุหน้าตัดสามเหลี่ยมด้านเท่า -2



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริง (F_D) และค่า $\rho v^2 A/2$ สำหรับวัตถุหน้าตัดวงกลม

จากรูปที่ 15 ถึงรูปที่ 20 จะพบว่า แรงดูดดึง (F_D) ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งก็คือ แรงดูดดึง (F) ที่หาค่าได้จากหลักการสมดุลของโมเมนต์ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และค่า $\rho v^2 A/2$ จะมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการทั่วไปได้คือ $y = mx + c$ โดยที่ y คือ แรงดูดดึง (F_D) ที่เกิดขึ้นจริง, x คือ $\rho v^2 A/2$, m คือ ความชันของเส้นตรงซึ่งในที่นี้ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ของแรงดูดดึง (C_D) และ c คือ จุดที่เส้นตรงตัดแกน y ซึ่งโดยตามความเป็นจริงแล้วหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง F_D และ $\rho v^2 A/2$ แล้วจะพบว่า เมื่อไม่มีอัตราการไหลของน้ำ นั่นคือ ความเร็วการไหล (v) มีค่าเป็นศูนย์ จะมีผลทำให้ไม่มีแรงดูดดึงเกิดขึ้น นั่นคือจะทำให้ในกรณีนี้ $c = 0$

จากผลการศึกษาพบว่า สำหรับการไหลที่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง $50,000 \leq Re \leq 210,000$ และเป็นการไหลเข้ากระทบบกับวัตถุรูปทรงท่อนยาวที่ตั้งอยู่ในแนวตั้ง จะมีค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์แรงดูดดึง (C_D) โดยประมาณเท่ากับ 1.977, 1.963, 1.747, 1.932, 1.552 และ 1.209 สำหรับวัตถุรูปทรงท่อนยาวที่มีหน้าตัด สี่เหลี่ยมจัตุรัส, สี่เหลี่ยมคางหมู-1, สี่เหลี่ยมคางหมู-2, สามเหลี่ยมด้านเท่า-1, สามเหลี่ยมด้านเท่า-2 และวงกลม ตามลำดับ

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอเทคนิคอย่างง่ายในการหาแรงพลวัตที่เกิดขึ้นจริงจากการไหลในทางน้ำเปิดเข้ากระทบบกับวัตถุรูปทรงท่อนยาวที่ตั้งอยู่ในแนวตั้ง โดยวัตถุที่ทำการศึกษาจะมีลักษณะเป็นวัตถุที่มีรูปทรง 2 มิติที่จมอยู่ในน้ำ แรงพลวัตที่เกิดขึ้นกับวัตถุจะมีลักษณะคล้ายๆ แรงที่ทำให้วัตถุมีการเคลื่อนที่ตามทิศทางของการไหล จึงเรียกอีกอย่างว่า แรงดูดดึง ซึ่งในการหาแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริงกับวัตถุ จะใช้หลักการสมดุลของโมเมนต์เนื่องจากแรงต่างๆ ที่กระทำต่อวัตถุ ซึ่งจะเป็นวิธีการที่

สะดวกและไม่ยุ่งยาก สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาแรงดูดดึงที่กระทำต่อวัตถุรูปทรงต่างๆ ได้ สำหรับหน้าตัดของวัตถุที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้จะมี 4 รูปแบบ ได้แก่ สี่เหลี่ยมจัตุรัส, สี่เหลี่ยมคางหมู, สามเหลี่ยมด้านเท่า และวงกลม โดยในการศึกษาจะทำการติดตั้งวัตถุที่ตำแหน่งกึ่งกลางหน้าตัดทางน้ำเปิดโดยการจัดวางตำแหน่งของวัตถุให้มีความกว้างของพื้นที่ทาบ (D) เท่ากัน ซึ่งมีรูปแบบการติดตั้งวัตถุทั้งหมด 6 รูปแบบย่อย (รูปที่ 5)

จากผลการศึกษาพบว่าแรงดูดดึงจะแปรผันตรงกับความเร็วในการไหลของน้ำที่ไหลเข้ากระทบบกับวัตถุ นั่นคือ แรงดูดดึงจะแปรผันตรงกับตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหลด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงของวัตถุรูปทรงท่อนยาวในแต่ละหน้าตัดได้ ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้คำนวณหาแรงดูดดึงที่เกิดขึ้นจริงกับวัตถุรูปทรงท่อนยาวที่มีหน้าตัดในลักษณะเดียวกัน โดยจะพบว่า สำหรับการไหลที่มี $50,000 \leq Re \leq 210,000$ จะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงมากกว่า 1 ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึง ได้แก่ ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของการไหล และลักษณะรูปร่างของวัตถุ กล่าวคือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวเลขเรย์โนลด์ ได้แก่ ความเร็วการไหล ความหนืดของน้ำ และความกว้างของพื้นที่ทาบ สำหรับลักษณะรูปร่างของวัตถุ อาจถือว่ามีอิทธิพลค่อนข้างมากต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึง เนื่องจากรูปร่างของวัตถุจะมีผลต่อพฤติกรรมของการไหลผ่านของน้ำ โดยเฉพาะวัตถุที่มีรูปร่างที่หรือมีลักษณะพื้นผิวไม่ลู่ไปตามทิศทางของการไหลมักจะก่อให้เกิดสภาพการไหลแบบแยกตัว (Separation flow) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในสภาวะการไหลที่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์สูงๆ

นอกจากนี้แล้ว เมื่อเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงที่ได้รับไปเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์แรงดูดดึงของวัตถุที่มีรูปทรง 2 มิติ ที่มีลักษณะหน้าตัดในรูปแบบเดียวกันจากหลายๆ การศึกษาที่ผ่านมา จะพบว่าค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อที่จะสามารถนำแนวทางที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น จึงควรจะมีดำเนินการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป เช่น การศึกษาเพิ่มเติมในสภาพการไหลที่มีตัวเลขเรย์โนลด์แตกต่างไปจากการศึกษาในครั้งนี้ การเพิ่มรูปแบบของหน้าตัดวัตถุให้มีความหลากหลาย หรือการปรับเปลี่ยนลักษณะของพื้นผิววัตถุให้มีความแตกต่างกัน เป็นต้น

6. การอ้างอิง

- [1] Yunus A. Cengel, John M. Cimbala (2006). *Fluid Mechanics : Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill, Singapore, 563-585.
- [2] Daugherty R. L, Franzini J.B. (1984). *Fluid Mechanics with Engineering Applications*. 8thed. McGraw-Hill, Tokyo, Japan, 279-280, 294-300.

- [3] Fox R. W. , McDonald A. T. (1999). *Introduction to Fluid Mechanics*. 5thed. John Wiley and Sons, New York, NY, USA, 444-457.
- [4] Streeter V. L. , Wylie E. B. (1983). *Fluid mechanics*. McGraw-Hill, Singapore, 214-215, 220-223.
- [5] Frank M. White (2003). *Fluid Mechanics* 5thed. McGraw-Hill, New York, NY, USA, 451-460.
- [6] Henderson F. M. (1966). *Open Channel Flow*. The Macmillan Company, New York, NY, USA, 16-18, 488-492.
- [7] Bo Z.; Xikun W.; Wie M. G.; Soon K. T. (2015) Force and Flow Characteristics of Circular Cylinder with Uniform Surface Roughness at Subcritical Reynolds Numbers. *Journal of Applied Ocean Research*. 49, 20- 26.
- [8] Monalisa M. ; Kurmar (2014). Study on Drag Coefficient for the Flow Past a Cylinder. *International Journal of Civil Engineering Research*. 301-306.
- [9] Monalisa M, Kurmar (2014). A Study on drag coefficient for the flow past a cylinder. *International Journal of Civil Engineering Research*. 301-306.