

การจำลองมาตรวัดทางชลศาสตร์โดยการคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล (Flow Meter Simulation by Computational Fluid Dynamic)

ฤทัยวรรณ คำดี¹, ปัทมวัลลี สุวรรณฉัตร¹, สุพานี แก้วมีมา¹, รศ.ดร.วราวุธ วุฒินิษฐ์², ผศ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี³
Ruethaiwan Kamdee¹, Patwan Suwannachat¹, Supahnee Keawmemah¹, Varawoot Vudhivanich²
Chirakarn Sirivitmairie³

¹ นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (E-mail: valen_ruethaiwan@hotmail.com)

^{2,3} อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองสำหรับวัดอัตราการไหลในเส้นท่อด้วยระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหลโดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับความดันที่วัดได้จากเครื่องมือจากชุดปฏิบัติการ ได้แก่ 1). มาตรวัดชนิดแผ่นเจาะรู (Orifice Meter) 2). มาตรวัดชนิดท่อเวนจูรี (Venturi Meter) และ 3). มาตรวัดชนิดท่อปีโตต (Pitot Tube) ซึ่งผลการทดลองพบว่าช่วงอัตราการไหลสูงจะส่งผลให้ค่าผลต่างความดันที่ได้จากแบบจำลอง CFD เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากชุดปฏิบัติการมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง แบบจำลอง CFD มาตรวัดชนิดท่อปีโตตมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ 5.28 และมีค่า NSE คือ 0.957 และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด คือแบบจำลอง CFD มาตรวัดชนิดแผ่นเจาะรูมีค่า-5.98 และ NSE คือ 0.975 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของการไหล (C) ที่ได้จากแบบจำลอง CFD นั้นสอดคล้องกับค่าที่ได้จากชุดปฏิบัติการ

คำสำคัญ : มาตรวัดชนิดแผ่นเจาะรู, มาตรวัดแบบท่อ, มาตรวัดโรตา

Abstract

The purpose of this study is to present a model developed for measuring flow rates in pipes by the method of fluid dynamics. The mathematical model was compared to the pressure measured by the instruments from the experiment: 1) Orifice Meter 2) Venturi Meter and 3) Pitot Tube. The results show that the high flow rate be the cause of a higher difference error from CFD compared with the value obtained from the experiment, the error was quite high. Pitot Tube CFD has maximum error was 5.28 and the NSE was 0.957 and the minimum percentage error was the Orifice Meter CFD. The values of 5.98 and NSE was 0.975. The flow velocity coefficients (C) obtained from the CFD correspond to the values obtained from the experiment.

Keywords: Orifice Meter, Venturi Meter and Pitot tube

1. บทนำ

การวัดอัตราการไหลของของไหลเป็นตัวแปรสำคัญในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตประเภทต่างๆทั้งในอุตสาหกรรม การกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี รวมถึงอุตสาหกรรมเกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ในการวัดอาจใช้เครื่องมือและวิธีการ ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะและข้อจำกัดในการทำงาน จำเป็นต้องมีความถูกต้องและเที่ยงตรงกว่าการวัดปริมาณอื่นๆ เนื่องจากการวัดอัตราการไหลที่ผิดพลาดเพียงเล็กน้อยอาจนำไปสู่การสูญเสียค่าใช้จ่ายที่มากเกินไปจนกระทบต่อความเป็นจําใน ระบบ อุตสาหกรรม และอาจทำคุณภาพการผลิตลดต่ำลงอีกด้วย

ในปัจจุบันจึงได้มีการนำโปรแกรมมาใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Computational Fluid Dynamics : CFD ซึ่งจะอาศัยความสามารถของคอมพิวเตอร์คำนวณโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) มาช่วยแก้ไขปัญหาด้าน Fluid Dynamics เพราะบางครั้งการทดลองในห้องปฏิบัติการไม่สามารถแก้ไข ปัญหาได้ดีเนื่องจากอาจจะต้องมีการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ แต่ CFD สามารถทำได้เพียงแค่เข้าใจปัญหาและสมการที่ ใช้ ทำให้ CFD นำไปสู่การออกแบบที่ถูกต้องแม่นยำและประหยัดค่าใช้จ่ายมากยิ่งขึ้น

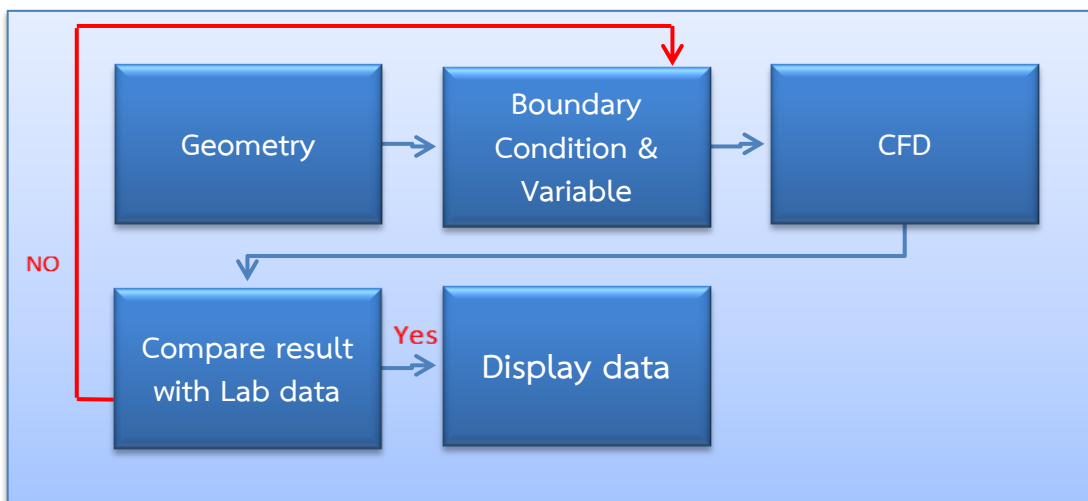
การวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic : CFD) มีหลักการคือทำการแบ่งช่วง โดเมนของวัตถุ เกิดเป็นรูปร่างของโครงตาข่ายเชิงปริมาตร (Volume Mesh) หรือเรียกว่า กริด (Grid) [1] โดยทั่วไปแล้ว งานวิจัยอื่นๆอาจจะเรียกลักษณะของชุดโครงตาข่ายหรือกริดนี้ว่า “เมชเอลิเมนต์” หลังจากนั้นจะเลือกอัลกอริทึม (Algorithm) [2] ที่เหมาะสมต่อรูปแบบแบบจำลองนั้นๆ มาทำการแก้สมการเคลื่อนที่ของของไหล ส่วนใหญ่จะใช้สมการออยเลอร์ (Euler Equation) ในการแก้ปัญหการไหลแบบไม่มีความหนืด และใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation) สำหรับการแก้ปัญหการไหลแบบมีความหนืด [3] ซึ่งความแม่นยำในการแก้ปัญหานั้นขึ้นอยู่กับเมชเอลิเมนต์เชิงปริมาตรและจำนวนกริด [4]

การศึกษานี้จึงมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล เปรียบเทียบ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง CFD กับค่าที่ได้จากชุดปฏิบัติการ เพื่อเป็นเครื่องมือในการทำงานวิจัย, ออกแบบ, การศึกษาความ เหมาะสมของระบบต่างๆ และเป็นแนวทางในการพัฒนา CFD ต่อไป

2. ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีของการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล

ระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ(Computational Fluid Dynamics, CFD) เป็นการใช้คอมพิวเตอร์ ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของของไหลในชิ้นงานต่างๆ โดยจะทำการวิเคราะห์ชิ้นงานโดยการแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์และใน หลาย ๆ กรณีได้ใช้สมการอื่น ๆ มาร่วมในการแก้ปัญหามีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิของระบบการคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล

ขั้นตอนการคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล

1. กำหนดรูปทรงหรือสร้างโมเดลของปัญหาที่ต้องการศึกษา
2. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของของไหลและสมบัติของขอบเขตนั้น ๆ ของปัญหาที่ต้องการศึกษา สำหรับปัญหาแบบเปลี่ยนไปตามเวลา จำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) ด้วย
3. การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ การแก้สมการโดยอาศัยระเบียบวิธีทำซ้ำ (Iteration) และการกำหนดการลู่เข้าหาผลเฉลย
4. ทำการวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากชุดปฏิบัติการ
5. แสดงภาพและค่าต่าง ๆ ของผลเฉลยที่ได้ในรูปแบบเชิงงานที่แสดงโดยกราฟฟิกหรือกราฟแผนภูมิการทำงานของระบบการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหล

โดย โกลด์ ลูอิส นาเวียร์ และ จอร์จ กาเบรียล สโตกส์ ได้อธิบายสมการนาเวียร์-สโตก (Navier-Stokes Equation) [6] ที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงทางกลศาสตร์ของของไหลที่มีชื่อเสียงเพื่อใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของของไหลไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซหรือนำมาใช้เพื่อจำลองการไหลของของไหลในท่อ

$$\text{X-Momentum: } \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\text{Y-Momentum: } \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\text{Z-Momentum: } \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (3)$$

เมื่อ u , v และ w คืออัตราความเร็วในแนวแกน x , y และ z ตามลำดับ (เมตรต่อวินาที)

p คือความดัน (นิวตันต่อตารางเมตร)

ρ คือความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

τ คือความเค้น (นิวตันต่อตารางเมตร)

t คือเวลา (วินาที)

Re คือเลขเรย์โนลด์

2.2 ทฤษฎีของการวิเคราะห์ผลทางชุดปฏิบัติการ

การหาอัตราการไหลของของไหลในวิธีคำนวณโดยปริมาตร (Volumetric method) สามารถทำได้โดยหาขนาดของถังวัดปริมาตร เติมน้ำลงในถังวัดพร้อมกับจับเวลาจากนั้นวัดความสูงของระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น แล้วนำค่าความสูงของน้ำที่ได้ไปคูณกับพื้นที่ของถังวัดปริมาตรให้ผลที่ได้เป็นปริมาตรน้ำต่อเวลา

จากทฤษฎีของ Daniel Bernoulli ได้อธิบายเกี่ยวกับสมการเบอร์นูลลี ซึ่งสามารถใช้หาความแตกต่างของค่าความดัน ดังนี้

$$H_1 - H_2 = \Delta h = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \quad (4)$$

เมื่อ H คือเฮดความดัน (เมตร)

V คือความเร็ว (เมตรต่อวินาที)

g คือความเร่งจากแรงโน้มถ่วงโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ยังนำค่าผลต่างความดันมาหาค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วของการไหลดังนี้

2.2.1 มาตรฐานชนิดแผ่นเจาะรู (Orifice Meter)

$$C_o = \frac{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right) Q}}{A_2 \sqrt{2g\Delta h}} \quad (5)$$

- เมื่อ C_o คือสัมประสิทธิ์ความเร็วของการไหลมาตรวัดชนิดแผ่นเจาะรู (Orifice Meter)
 A_1 คือพื้นที่หน้าตัดการไหลของมาตรวัด (ตารางเมตร)
 A_2 คือพื้นที่หน้าตัดของรูเจาะ (Orifice) (ตารางเมตร)
 Q อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
 Δh ผลต่างความดัน (เมตร)

2.2.2 มาตรวัดชนิดท่อเวนจูรี (Venturi Meter)

$$C_v = \frac{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right) Q}}{A_2 \sqrt{2g\Delta h}} \quad (6)$$

- เมื่อ C_o คือสัมประสิทธิ์ความเร็วของการไหลมาตรวัดชนิดท่อเวนจูรี (Venturi Meter)
 A_1 คือพื้นที่หน้าตัดการไหลขนาดใหญ่ (ตารางเมตร)
 A_2 คือพื้นที่หน้าตัดการไหลขนาดเล็ก (ตารางเมตร)
 Q อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
 Δh ผลต่างความดัน (เมตร)

2.2.3 มาตรวัดชนิดท่อปีโตด (Pitot Tube)

$$C_p = \frac{\sqrt{(1 - A_0^2) Q}}{A_0 \sqrt{2g\Delta h}} \quad (7)$$

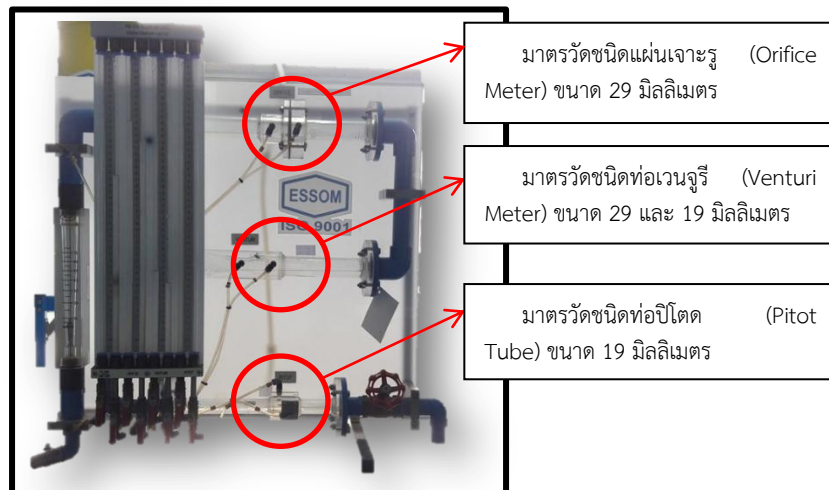
- เมื่อ C_p คือสัมประสิทธิ์ความเร็วของการไหลมาตรวัดชนิดท่อปีโตด (Pitot Tube)
 A_0 คือพื้นที่หน้าตัดการไหลขนาดใหญ่ (ตารางเมตร)
 Q อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
 Δh ผลต่างความดัน (เมตร)

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

3.1.1 อุปกรณ์

ชุดทดลองวัดอัตราการไหลภายในเส้นท่อ ติดตั้งมาตรวัดการไหล โดยเริ่มที่มาตรวัดชนิดแผ่นเจาะรู มาตรวัดชนิดท่อเวนจูรี และมาตรวัดชนิดท่อปีโตด ตามลำดับ ซึ่งใช้ควบคู่กับโต๊ะชลศาสตร์ และนาฬิกาจับเวลาเพื่อจับเวลาหาค่าปริมาตรในถังวัด



รูปที่ 2 ชุดปฏิบัติการทางชลศาสตร์ ESSOM รุ่น ISO 9901

3.1.2 วิธีการ

1. กำหนดอัตราการไหลซึ่งมี 10 ระดับ (อ่านค่าสเกลมาตรวัดโรตา) ดังต่อไปนี้ 0.15, 0.20, 0.22, 0.23, 0.25, 0.27, 0.28, 0.30, 0.32 และ 0.33 ลิตรต่อวินาที โดยเริ่มจาก 0.15 ลิตรต่อวินาที หลังจากนั้นเปิดเครื่องสูบน้ำ ค่อยๆเปิดวาล์วให้น้ำไหลเข้าสู่ชุดทดลอง

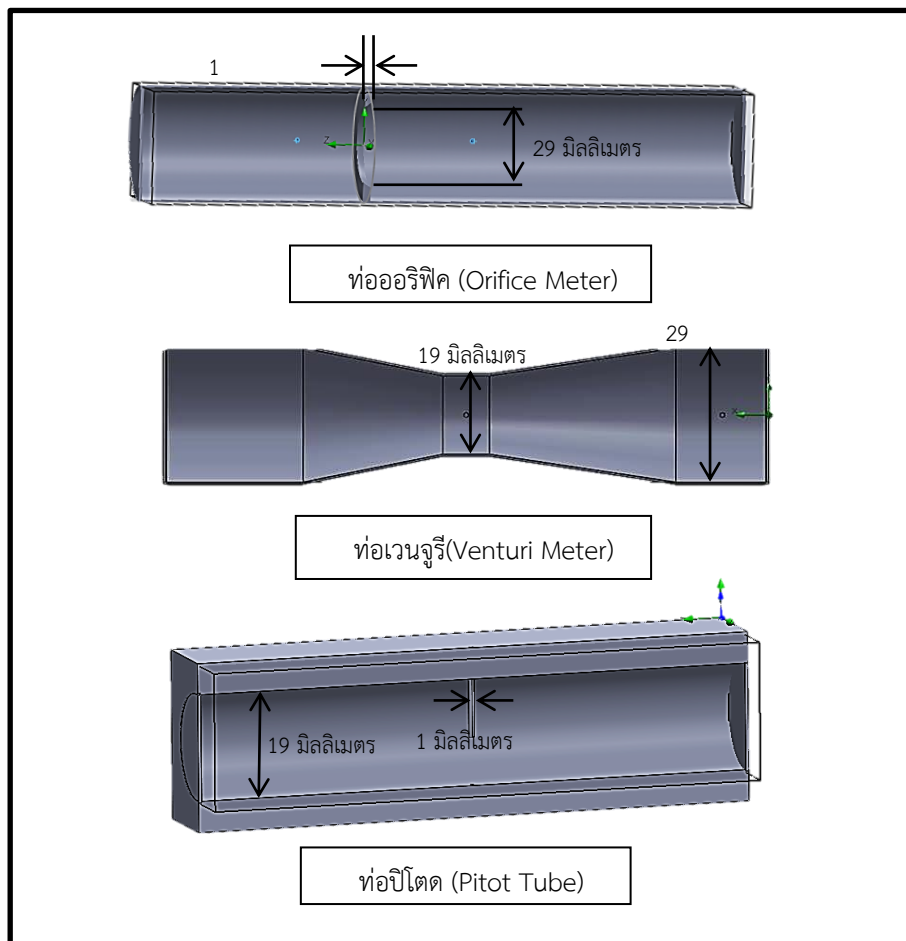
2. ไล่ลมที่ตกค้างอยู่ภายในมอโนมิเตอร์ สังเกตดูระดับน้ำในหลอดมาโนมิเตอร์ ถ้าเห็นว่ามีค่าต่ำมากไปจนไม่สามารถอ่านค่าได้ให้ปล่อยลมบริเวณกระเปาะของมาโนมิเตอร์ ทำนองเดียวกันถ้าสังเกตเห็นว่าในขณะอัตราการไหลหนึ่งๆ ระดับน้ำในมาโนมิเตอร์สูงเกินกว่าสเกลบนหลอดที่กำหนดให้สูบลมเข้าไปในหลอดมาโนมิเตอร์จนสามารถอ่านค่าระดับน้ำได้

3. วัดอัตราการไหลโดยการจับเวลาและอ่านค่าปริมาตรในถังวัดพร้อมทั้งบันทึกข้อมูลระดับน้ำบนหลอดมาโนมิเตอร์ทั้งด้านหลอดเหนือน้ำและท้ายน้ำของแต่ละมาตรวัด และบันทึกปริมาตรน้ำกับเวลาที่จับได้ในตาราง ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2, 3, โดยเพิ่มอัตราการไหลดังแสดงในข้อที่ 1 เป็น 0.20, 0.22, 0.23, 0.25, 0.27, 0.28, 0.30, 0.32 และ 0.33 ลิตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยในแต่ละครั้งบันทึกค่าระดับน้ำ ปริมาตรน้ำและเวลาที่จับ ลงในตาราง ในการทดสอบควรจับเวลา 1 นาทีขึ้นไปเพื่อให้ปริมาตรน้ำมีความแม่นยำ

4. นำค่าที่ได้จากผลการทดลองมาคำนวณหาค่าความดันจากระดับน้ำที่แตกต่างบนหลอดมาโนมิเตอร์ และคำนวณค่า V จากสูตร $Q=AV$ หลังจากนั้นนำค่า V ที่ได้ไปใส่ในแบบจำลอง CFD เพื่อคำนวณหาค่าความดันออกมา

3.2 การทดลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

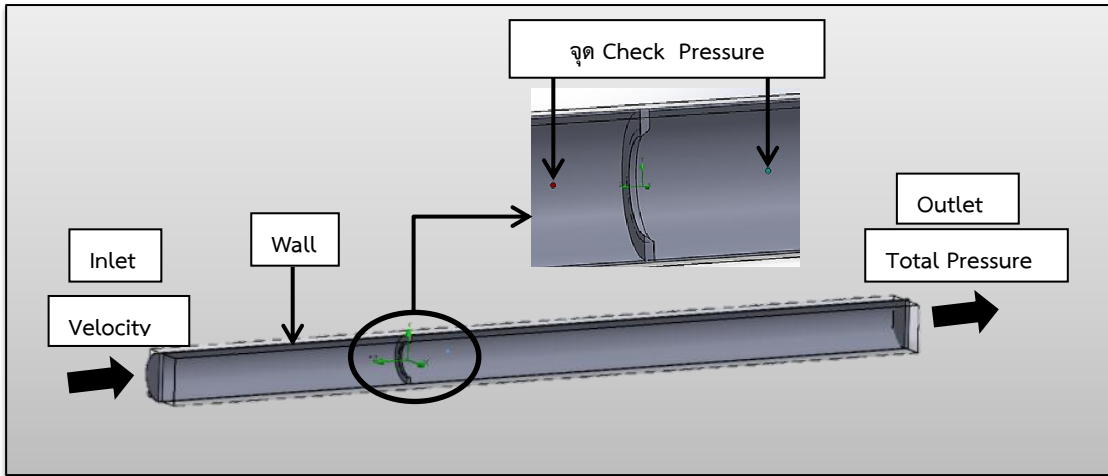
3.2.1 อุปกรณ์



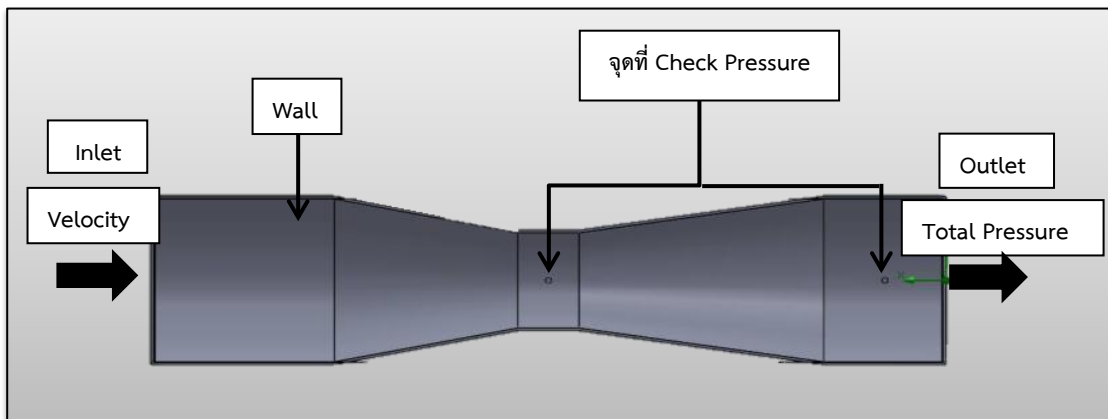
รูปที่ 3 ท่อชนิดต่างๆ

3.2.2 วิธีการ

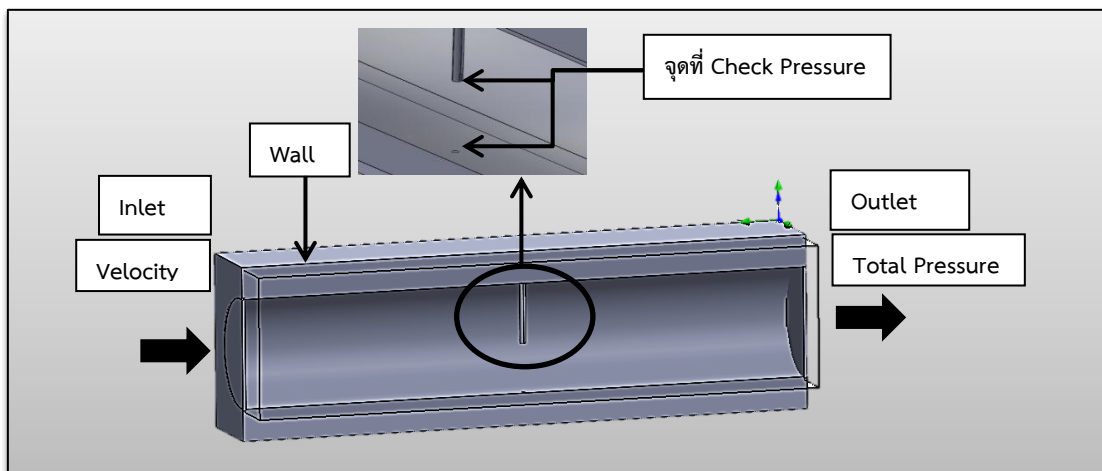
สร้างแบบจำลองท่อแต่ละชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3 ทำการกำหนดจุดเพื่อใช้ตรวจสอบค่าความดัน ตั้งค่าขอบเขตเงื่อนไข โดยกำหนด Inlet เป็น Velocity ค่าที่ใช้คือค่าที่ได้จากเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ Outlet เป็น Total Pressure ในส่วนของผนังท่อกำหนดเป็น Real Wall ดังรูปที่ 4,5,6 ทำการประมวลผล ผลลัพธ์ที่ได้คือกราฟและค่าความดัน นำค่าผลต่างความดันแต่ละท่อที่ได้จากแบบจำลอง CFD ไปเปรียบเทียบกับค่าจากชุดปฏิบัติการ



รูปที่ 4 การกำหนดปัญหาขอบเขตวิเคราะห์สำหรับกาววิเคราะห์การไหลผ่านมาตรวัดชนิดแผ่นเจาะรู



รูปที่ 5 การกำหนดปัญหาขอบเขตวิเคราะห์สำหรับกาววิเคราะห์การไหลผ่านมาตรวัดชนิดเวนจูรี

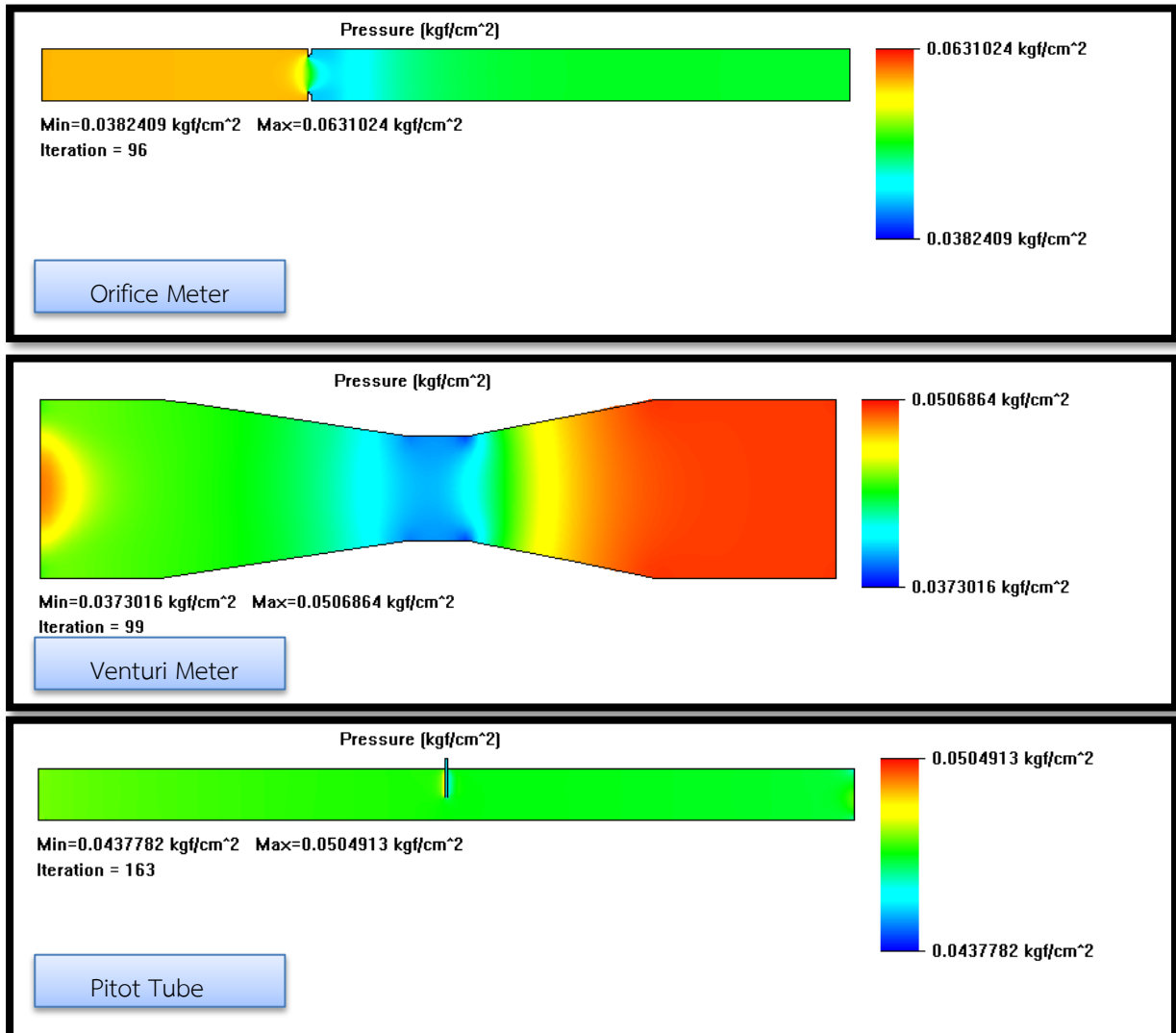


รูปที่ 6 การกำหนดปัญหาขอบเขตวิเคราะห์สำหรับกาววิเคราะห์การไหลผ่านมาตรวัดชนิดท่อปิโตด

5. ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 ผลการทดลอง

การคำนวณของแบบจำลอง CFD ของมาตรวัดชนิดแผ่นเจาะรู, มาตรวัดชนิดท่อเวนจูรี และมาตรวัดชนิดท่อปีโตด โดยใช้จำนวนกริด 20,531, 10,257, 56,369 ตามลำดับที่ความดัน 0.05 kgf/cm^2 พบว่ารูปร่างของแบบจำลองมีผลต่อความดันในตำแหน่งต่างๆ โดยแสดงออกมาเป็นแถบสี พบว่าเมื่อรูปร่างเปลี่ยนไป หรือ มีลักษณะที่เล็กลง ความดันมีแนวโน้มที่จะลดลงตามไปด้วยและเมื่อผ่านช่วงนั้นไป ความดันจะค่อยๆกลับสู่สภาวะปกติ แสดงได้ดังรูปที่ 7

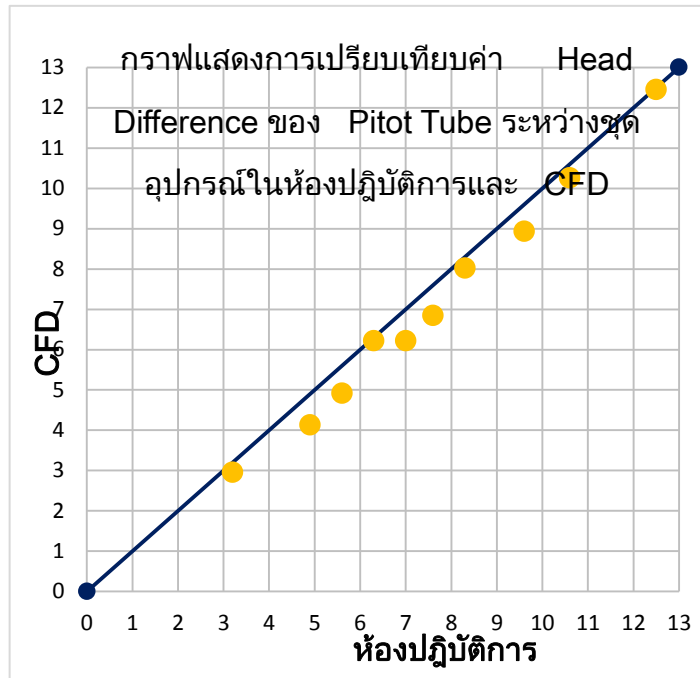
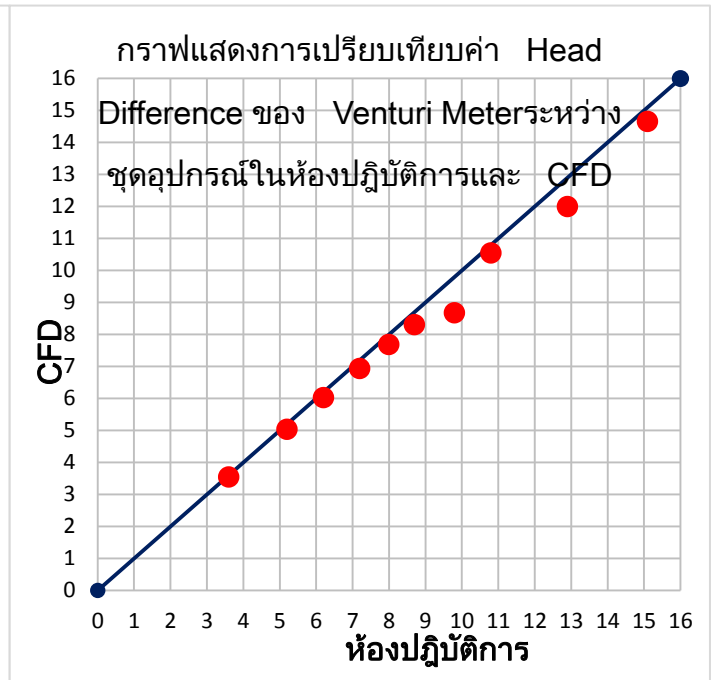
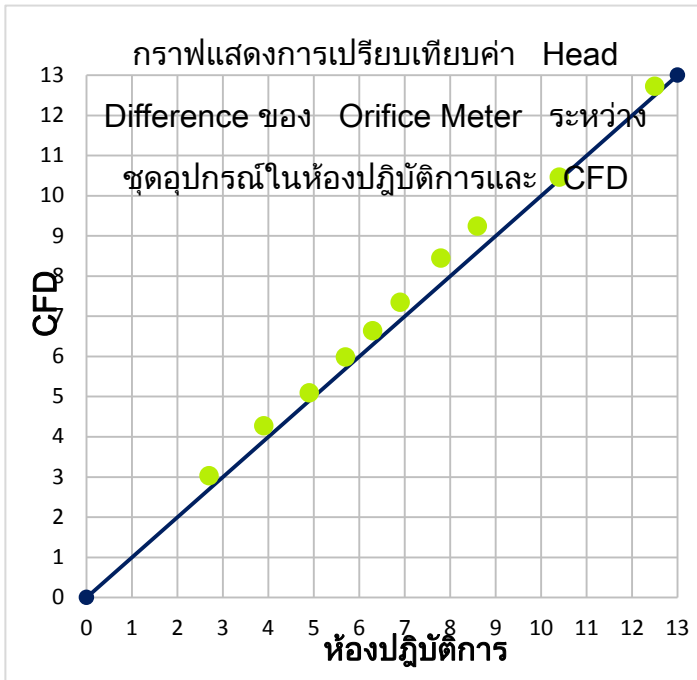


รูปที่ 7 ผลการจำลองของแบบจำลอง CFD

จากการทดลองมีการกำหนดค่าอัตราการไหลภายในห้องปฏิบัติการทั้งหมด 10 ค่า ซึ่งใช้หาค่าผลต่างความดันของชุดปฏิบัติการ พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลสูงขึ้น ค่าผลต่างความดันที่ได้มีแนวโน้มสูงขึ้น สามารถแสดงดังตารางในรูปที่ 7 ซึ่งค่าของแบบจำลอง CFD มีผลใกล้เคียงกับค่าของชุดปฏิบัติการ สามารถบอกได้จากจุดที่ Plot อยู่ในกราฟ เพราะจุดนั้นมีความสัมพันธ์อยู่บนเส้นกราฟ 45 องศา ซึ่งเป็นเส้นกราฟที่บอกได้ว่าแบบจำลอง CFD นั้นให้ค่าที่เข้าใกล้ชุดปฏิบัติการดังแสดงในกราฟรูปที่ 8

| อัตราการไหลของมาตร วัดโรตา(ลิตร/วินาที) | อัตราการไหลโดยการวัด ปริมาตร(ลิตร/วินาที) | Head Difference : Lab-CFD (cm) | | |
|--|--|--------------------------------|---------------|------------|
| | | Orifice Meter | Venturi Meter | Pitot Tube |
| 0.15 | 0.397 | -0.2178 | 3.0066 | 0.0534 |
| 0.20 | 0.361 | -0.0583 | 7.0543 | 0.3456 |
| 0.22 | 0.338 | -0.6355 | 2.4444 | 0.6689 |
| 0.23 | 0.322 | -0.6395 | 11.5408 | 0.2804 |
| 0.25 | 0.300 | -0.4456 | 4.6207 | 0.7606 |
| 0.27 | 0.287 | -0.3321 | 4.0000 | 0.7892 |
| 0.28 | 0.273 | -0.2769 | 3.7917 | 0.0883 |
| 0.30 | 0.255 | -0.1892 | 3.0161 | 0.6879 |
| 0.32 | 0.233 | -0.3645 | 3.3269 | 0.7733 |
| 0.33 | 0.194 | -0.3259 | 1.6361 | 0.2446 |

รูปที่ 7 ค่าผลต่างความดันในแต่ละอัตราการไหล 0.15, 0.20, 0.22, 0.23, 0.25, 0.27, 0.28, 0.30, 0.32 และ 0.33



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างความดันของชุดปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการและแบบจำลอง CFD

จากค่าผลต่างความดันนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วในการไหล (C) ของมาตรวัดทางชลศาสตร์ โดยเปรียบเทียบระหว่างชุดปฏิบัติการและแบบจำลอง CFD ซึ่งค่า C ของมาตรวัดทางชลศาสตร์ ที่ได้จากแบบจำลอง CFD มีค่าต่างกันเล็กน้อยดังแสดงในรูปที่ 9 และคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง CFD, ดัชนีชี้วัดความแม่นยำคำนวณโดยวิธี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) [5] และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนค่า C ดังแสดงในรูปที่

10

| มาตรวัดทางชลศาสตร์ | ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วในการไหล (C) ของชุดปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการ | ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วในการไหล (C) แบบจำลอง CFD |
|--------------------|--|--|
| Orifice Meter | 0.63 | 0.74 |
| Venturi Meter | 0.98 | 0.95 |
| Pitot Tube | 0.87 | 0.89 |

รูปที่ 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วในการไหล (C) ของชุดปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการและแบบจำลอง CFD

| มาตรวัดทางชลศาสตร์ | ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง CFD | Nash | เปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วในการไหล (C) ของแบบจำลอง CFD |
|--------------------|---|-------|--|
| Orifice Meter | -5.98 | 0.975 | -17.46 |
| Venturi Meter | 4.27 | 0.981 | 3.061 |
| Pitot Tube | 5.29 | 0.957 | -2.299 |

รูปที่ 10 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง CFD

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้นั้นแสดงให้เห็นถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง CFD ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่มีค่าสูงนั้นมาจากแบบจำลอง CFD ของมาตรวัดชนิดท่อปีโตต เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็ก ทำให้เมื่อมีการสร้างแบบจำลองและดำเนินการให้เป็นไปดังสมการไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น จำนวนกริดที่มีการสร้างขึ้นมีจำนวนไม่เต็มรูปส่งผลให้ค่าที่เกิดขึ้นมีความละเอียดน้อยกว่ามาตรวัดชนิดอื่นๆ ในส่วนของความคลาดเคลื่อนค่า C นั้นในการไหลของแบบจำลอง CFD ที่คำนวณได้นั้น

ในส่วนของความคลาดเคลื่อนค่า C ของแบบจำลอง CFD ที่มีค่าสูงที่สุดอยู่ในมาตรวัดชนิดแผ่นเจาะรู โดยมีสาเหตุมาจากชุดปฏิบัติการมีจุดที่ไม่สามารถวัดค่าได้ ทำให้ไม่สามารถจำลองสภาพการไหลภายในแบบจำลอง CFD ได้เหมือนในชุดปฏิบัติการโดยสมบูรณ์ สำหรับมาตรวัดชนิดท่อเวนจูรี และมาตรวัดชนิดท่อปีโตต มีค่า C ใกล้เคียงกับค่าจากชุดปฏิบัติการ แสดงได้ว่ามาตรวัดทั้งสองชนิดมีการจำลองสภาพในการไหลได้เกือบสมบูรณ์ใกล้เคียงกับชุดปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CFD นั้นสามารถช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านวิศวกรรม เนื่องจากสามารถออกแบบและพัฒนา ทำให้เห็นภาพของการไหลชัดเจนขึ้น

6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้นั้น แบบจำลอง CFD ของมาตรวัดชนิดแผ่นเจาะรู, มาตรวัดชนิดท่อเวนจูรีและมาตรวัดชนิดท่อปีโตตนั้น เมื่อคำนวณโดยใช้สมการการคำนวณ Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) นั้นค่าที่ได้ คือ 0.975, 0.981, 957 ตามลำดับ และค่าผลต่างความดันนั้นสามารถนำมาหาค่า C ของแบบจำลอง CFD ได้ซึ่งมีค่า ดังนี้ 0.74, 0.95, 0.89 ตามลำดับ โดยเมื่อมีการเปรียบเทียบกับค่า C ของชุดปฏิบัติการพบว่าค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง CFD นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการหาอัตราการไหลได้

7. ข้อเสนอแนะ

แบบจำลอง CFD ที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับการทดลองนั้นยังมีข้อผิดพลาดอาจเนื่องมาจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต แบบจำลองที่ยังไม่สมบูรณ์ หรือขนาดกริดที่มีผลต่อการจำลอง จึงควรมีการพัฒนาและปรับปรุงให้มีความสามารถที่ใช้กับแบบจำลองได้ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ แล้วแสดงผลออกมาให้มีความใกล้เคียงอุปกรณ์จริงมากขึ้นกว่าเดิม เพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้งาน รวดเร็ว ทั้งยังประหยัดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมที่จัดทำขึ้นนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก อ.ผศ.ดร.จระกานต์ ศิริวิชัยเมตรี และอ.รศ.ดร. วราวุธ วุฒินิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิศวกรรม ที่ได้เสนอแนะแนวคิดและให้คำปรึกษาโดยตลอด และห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณ อาจารย์และบุคลากรประจำภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆตลอดจนสถานที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Decha Intholo. 2555. Study of blade efficiency wind turbine 10 kW using Computational fluid dynamics method. Rajamangala University of Technology Thanyaburi. Bangkok.
- [2] จอมภพ แววศักดิ์. 2549. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ Computational Fluid Dynamics. วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ. 3(1): 32-42.
- [3] John Croockewit. "Hydro Engineering Handbook for Developing MICRO HYDRO in British Columbia," Vol45, No.8, pp.212-228, Sept.,2004.
- [4] P. Hood and C. Talor, "Navier Stokes Equations Using Mixed Interpolation., Finite Element Method in Flow Problems," Edited by Oden, T.J., Zienkeiwicz, O. C., Gallagher, R. H. and Taylor, C., University of Alabama Press, Huntsville, Vol.28, No.1, pp.121- 132, June, 1974.
- [5] Nash, J.E. and J.V.Sutcliffe (1970), River Flow Forecasting Through Conceptual Models, Part 1: A Discussion of Principles, Journal of Hydrology 10(3): 282-290.
- [6] M. Lohakan, C. Seetoa, S. Boonsang and C. Pintavirooj, "Simulation of Magnetic Fluid Flow based on Maxwell's Equations and Navier-Stoke Equations", IEEE ISCIT2006 Conference, Thailand, Oct 2006.