

# การจำลองการไหลผ่านโรตاميเตอร์ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหล (Flow Simulation Through Rota Meters by Computational Fluid Dynamics)

ธนกฤต บรรณสาร<sup>1</sup>, รัศมีดิษฐ์ ยี่หลั่นสุวรรณ<sup>1</sup>, สรศักดิ์ จันทกรกุล<sup>1</sup>,  
วารวูธ วุฒิวณิชย์<sup>2</sup>, จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี<sup>3</sup>  
Thanakrit Bannasarn<sup>1</sup>, Rakbordin Yeelansuwan<sup>1</sup>, Sorrasak Chantharakul<sup>1</sup>,  
Varawoot Vudhivanich<sup>2</sup>, Chirakarn Sirivitmaitrie<sup>3</sup>

<sup>1</sup>นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
<sup>2,3</sup>อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## บทคัดย่อ

บทความนี้มีเป้าหมายเพื่อจำลองมาตรวัดโรตاميเตอร์ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหล โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมาตรวัดโรตاميเตอร์ โดยใช้เทคนิค parametric study ด้วยวิธีการเปรียบเทียบผลต่างของแรงที่กระทำกับลูกกลอยและแรงเนื่องจากน้ำหนักของลูกกลอย ด้วยสมการสมดุลแรง หรือ  $F_D + F_B = F_G$  โดยเริ่มจากการทดลองหาค่าอัตราการไหลจริงจากมาตรวัดโรตاميเตอร์ที่ระดับอัตราการไหลต่างๆ ( $Q_{actual}$ ) จากนั้นจึงการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหลตามขนาดของมาตรวัดโรตاميเตอร์จริง และทำการจำลอง ผลลัพธ์จากการจำลองคือแรงทั้งหมดที่กระทำในแนวตั้ง โดยนำแรงในแนวตั้งมาแปลงเป็นน้ำหนักทั้งหมด แล้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักของลูกกลอย แล้วทำการปรับอัตราการไหลที่ทำให้ผลต่างของแรงเท่ากับ 0 เมื่อทำการปรับอัตราการไหลจนได้ผลต่างของแรงเท่ากับ 0 แล้วก็จะได้ผลของอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลอง ( $Q_{cfd}$ ) นำอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลอง ( $Q_{cfd}$ ) และอัตราการไหลที่อ่านได้จากมาตรวัดโรตاميเตอร์ ( $Q_{rotameter}$ ) ไปเปรียบเทียบกับอัตราการไหลที่ทดลองได้จริง ( $Q_{actual}$ ) ซึ่งการไหลที่ได้จากการตรวจปริมาตรเป็นค่าที่ถูกต้องมากที่สุด และผลที่ได้คืออัตราการไหลจากการวิเคราะห์แบบจำลอง

( $Q_{\text{cfid}}$ ) มีค่าใกล้เคียงกับอัตราการไหลที่ทดลองได้จริง( $Q_{\text{actual}}$ )มากกว่าอัตราการไหลที่อ่านได้จากมาตรวัดตามิเตอร์ ( $Q_{\text{rotameter}}$ ) ดังนั้นจึงสามารถนำแบบจำลองไปวิเคราะห์และออกแบบในงานด้านพลศาสตร์ของไหลได้

## Abstract

The main objective of this study is to simulate rotameter model with Computational Fluid Dynamics (CFD) for comparing the differences force acting on steel float and weight of float by using summation force equation or  $F_D + F_B = F_G$ . First, measure actual flowrate form rotameter and build model with dimension of rotameter then draw a computer simulation. The result from simulation is summation of the force in vertical which active float and convert summation of the force into weight in vertical then compare it with weight of float from lap experiment. Next, adjust discharge equal to zero. When discharge is equal to zero, we get discharge of CFD ( $Q_{\text{cfid}}$ ). Finally, compare discharge of rotameter ( $Q_{\text{rotameter}}$ ), and discharge of CFD ( $Q_{\text{cfid}}$ ) with actual discharge ( $Q_{\text{actual}}$ ). Actual discharge is the most accuracy discharge and  $Q_{\text{cfid}}$  is approximate to  $Q_{\text{actual}}$ , so we can apply the model to analysis and design rotameter in future work.

## 1. บทนำ

โรตามิเตอร์เป็นเครื่องมือการวัดอัตราการไหล นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์ เนื่องจากมีความถูกต้องค่อนข้างสูงและใช้งานง่าย เป็นมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดแรงโดยการวัดสมดุลของแรงและสามารถอ่านค่าเป็นค่าอัตราการไหลในหน่วยลิตรต่อนาที และยังมีความเที่ยงตรงสูงในกรณีที่วัดค่า Flow Rate ต่ำๆ โดยตัว โรตามิเตอร์ Rotameter จะอาศัยการอ่านค่าการไหลผ่านสเกลบนตัวท่อใส่ ซึ่งมีลักษณะเรียวยาว (Tapper Pipe) ภายในโรตามิเตอร์ประกอบด้วยลูกลอยที่เป็นรูปทรงเลขาคณิต เช่น ทรงกรวย ทรงกระบอก โดยหากมีของไหล ไหลเข้าจากด้านล่างของโรตามิเตอร์ และไหลออกที่ด้านบนของโรตามิเตอร์ ในขณะที่ของไหลไหลผ่านโรตามิเตอร์นั้น ความเร็วของของไหล Velocity Head จะทำให้ลูกลอยลอยขึ้นและอยู่กับที่เมื่อเกิดความสมดุลระหว่างน้ำหนักของลูกลอยกับความเร็วของของไหล ซึ่งเราสามารถอ่านค่าการไหลขณะจุดที่ลูกลอยหยุดอยู่ได้ ซึ่งเครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ โรตามิเตอร์จะเหมาะสำหรับการใช้งานวัดอัตราการไหลตั้งแต่ 0.0002 - 4000 ลิตร/นาที [6] โดยมีความคลื่อน้อยอยู่ที่ 1-2% ซึ่งมีความ

ละเอียดมากกว่าเครื่องวัดอัตราการไหลอื่นๆ เช่น เครื่องมือวัดการไหลแบบเทอร์ไบน์ (turbine flow meter) มีความคลาดเคลื่อน 1-3% และเครื่องมือวัดการไหลแบบอัลตราโซนิก (ultrasonic flow meter) มีความคลาดเคลื่อน 1-3% เป็นต้น [7]

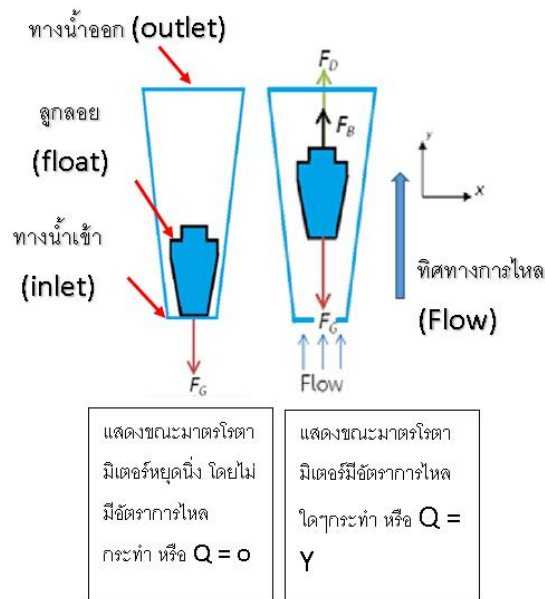
ทางผู้จัดทำได้เล็งเห็นประโยชน์ของโรตารีมิเตอร์ จึงมีความต้องการที่จะสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ขึ้นเพื่อศึกษาการไหลผ่านมาตรวัดโรตารีมิเตอร์ โดยสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics หรือ CFD) ซึ่งการใช้งาน CFD เป็นการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อนำมาทำการแก้ไขปัญหาเชิงตัวเลขด้านของไหลชนิดต่างๆ วิธีพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) เป็นศาสตร์ทางวิชาการที่ค่อนข้างใหม่สำหรับภาคอุตสาหกรรมและงานด้านเทคโนโลยีในประเทศไทย แต่ในต่างประเทศศาสตร์วิชาการทางด้านนี้ได้ถูกพัฒนาและถูกใช้งานกัน อย่างกว้างขวาง ทั้งในหมู่ของวิศวกรในภาคอุตสาหกรรมและนักวิจัยในสถานศึกษาต่างๆ [5] และใช้เทคนิค parametric study เพื่อกำหนดช่วงพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับแบบจำลอง โดยวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือ 1. เพื่อเป็นการจำลองมาตรวัดโรตารีมิเตอร์ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหล 2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับมาตรวัดโรตารีมิเตอร์

## 2. ระเบียบวิจัย

### 2.1. หลักการทำงานของมาตรวัดโรตารีมิเตอร์

หลักการทำงานของมาตรวัดโรตารีมิเตอร์ อาศัยทฤษฎีแรงลอยตัว แรงลอยตัว คือ แรงพยุงของของไหลที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในของไหลใดๆ ทำให้วัตถุลอยอยู่ได้ กล่าวคือแรงที่กระทำในแนวตั้งทิศทางพุ่งขึ้นที่ของไหลต่อต้านกับน้ำหนักของวัตถุ ความดันจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของของไหล ดังนั้นวัตถุที่จมอยู่ในของไหลใดๆ ในระดับที่ลึกกว่า จะมีความดันมากกว่าของไหลที่อยู่ในระดับตื้นกว่า และผลต่างของความดันนี้เป็นผลมาจากแรงลัพธ์ที่ผลักดันวัตถุให้ลอยขึ้น และแรงนั้นจะมีค่าเท่ากับผลต่างของความดันของไหลนั้น ซึ่งก็คือน้ำหนักของของไหลที่อยู่ในก้อนของไหลนั้น ดังนั้นวัตถุที่มีความหนาแน่นมากกว่าของไหลใดๆ จะทำให้วัตถุจมลงไปของไหล แต่ถ้าวัตถุมีความหนาแน่นน้อยกว่าของไหล จะทำให้วัตถุลอยตัวอยู่ของไหลได้

ในกรณีที่มีของไหลซึ่งไหลผ่านวัตถุ วัตถุที่จมอยู่จะลอยสูงขึ้น และเมื่ออัตราการไหลเพิ่มสูงขึ้น พื้นที่หน้าตัดของท่อที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นแปรผันตามความสูง โรตารีมิเตอร์ต้องติดตั้งโรตารีมิเตอร์ในแนวตั้ง ให้ของไหลที่ต้องการวัดไหลเข้าไปภายในอุปกรณวัดทางด้านล่างผ่านลูกลอยขึ้นไป โดยลูกลอยจะลอยนิ่งอยู่กับที่เมื่อแรงดันที่ของไหลยกให้ลูกลอยลอยขึ้นสมดุลกับน้ำหนักของลูกลอยที่ตำแหน่งนี้เป็นจุดที่ใช้สำหรับอ่านค่าอัตราการไหล[4] ที่สภาวะลูกลอยสมดุลโดยมีหลักการแสดงดังรูปที่ 1



**รูปที่ 1** แสดงแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อลูกลอยในมาตรวัดโรต้ามิตเซอร์ขณะหยุดนิ่งและขณะมีอัตราการไหลกระทำ

สมการสมดุลแรง [1]

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ F_D + F_B &= F_G \end{aligned} \quad \dots\dots (1)$$

โดยที่  $F_D$  คือ แรงต้านทานการไหล (นิวตัน)

$F_B$  คือ แรงลอยตัว (นิวตัน)

$F_G$  คือ แรงเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุ (นิวตัน)

สมการแรงต้านทานการไหล

$$F_D = C_d \frac{\rho_w \cdot V^2 A_f}{2} \quad \dots\dots (1.1)$$

โดยที่  $F_D$  คือ แรงต้านทานการไหล

$C_d$  คือ drag coefficient

$\rho_w$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

$V$  คือ ความเร็วการไหล (เมตร/วินาที)

$A_f$  คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกลอย(ตารางเมตร) แสดงดังในรูปที่ 4

สมการแรงลอยตัว

$$F_B = \rho_w g V \quad \dots\dots (1.2)$$

โดยที่  $F_B$  คือ แรงลอยตัว (นิวตัน)

$\rho_w$  คือ ความหนาแน่นของของเหลว (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

$g$  คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที<sup>2</sup>)

$V$  คือ ปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่ (ลูกบาศก์เมตร)

สมการแรงเนื่องจากน้ำหนักของวัตถุ

$$F_G = mg \quad \dots\dots (1.3)$$

โดยที่  $F_G$  คือ แรงลอยตัว (นิวตัน)

$m$  คือ มวลของวัตถุ (กิโลกรัม)

$g$  คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที<sup>2</sup>)

จากการศึกษาหลักการทำงานของโรตารีเมตรพบว่าใช้การคำนวณผลต่างของแรงซึ่งเกิดการอัตราการไหลและระดับของลูกลอย ซึ่งผลต่างของแรงเกิดจากแรงต้านทานการไหลและแรงลอยตัว ( $F_D + F_B$ ) ได้มาจากการคำนวณจากแบบจำลอง เทียบกับแรงเนื่องจากน้ำหนักของลูกลอย ( $F_G$ ) ได้มาจากการชั่งน้ำหนักลูกลอยในห้องทดลอง โดยตามทฤษฎีผลต่างของแรงจะต้องมีค่าเท่า 0 ( $\sum F_y = 0$ ) ถ้าทำการยึดตำแหน่งลูกลอยให้อยู่กับที่แล้วบ่อนอัตราการไหลในแบบจำลอง ถ้าบ่อนอัตราการไหลมากเกินไป แรงที่ได้เนื่องจากการไหลที่ได้ลูกลอย ( $F_D + F_B$ ) จะมีค่ามากกว่าน้ำหนักของลูกลอย ( $F_G$ ) แต่ถ้าบ่อนอัตราการไหลน้อยเกินไป แรงที่ได้เนื่องจากการไหลที่ได้ลูกลอย ( $F_D + F_B$ ) จะมีน้อยกว่าน้ำหนักของลูกลอย ( $F_G$ ) และถ้าทำการบ่อนอัตราการไหลที่คงที่ แต่เปลี่ยนระดับของลูกลอย เช่น บ่อนอัตราการไหลที่อัตราการไหล 15 lpm แต่ให้ระดับลูกลอยอยู่ที่ 20 lpm แรงที่ได้เนื่องจากการไหลที่ได้ลูกลอย ( $F_D + F_B$ ) จะมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักของลูกลอย ( $F_G$ ) และถ้าให้ระดับลูกลอยอยู่ที่ 10 lpm แรงที่ได้เนื่องจากการไหลที่ได้ลูกลอย ( $F_D + F_B$ ) จะมีค่ามากกว่าน้ำหนักของลูกลอย ( $F_G$ ) โดยทางคณะผู้จัดทำได้ใช้การคำนวณผลต่างของแรงโดยการปรับอัตราการไหล และยึดตำแหน่งลูกลอยที่อัตราการไหลต่างๆ

## 2.2. ทฤษฎีที่ใช้ทำแบบจำลอง

วิธีพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics หรือ CFD ) มีหลักและวิธีการ คือ จะทำการแบ่งช่วงโดเมนของวัตถุภายใต้สนามการไหลต่างๆด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อทำให้เกิดรูปแบบและรูปร่างของโครงตาข่ายเชิงปริมาตร (Volume Mesh) หรืออาจจะเรียกว่า กริด (Grid) [3] สำหรับการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหลสิ่งที่จำเป็นและต้องคำนึงถึงนอกจากการเลือกใช้เมชเอลิเมนต์ หลังจากนั้นจะใช้อัลกอริทึม (Algorithm) ที่เหมาะสมต่อรูปแบบปัญหานั้นๆ มาทำการแกสมการการเคลื่อนที่ของของไหล และจะใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation) สำหรับการแก้ไขปัญหาของไหลแบบมีค่าความหนืด ในการศึกษาเลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulent Model) ให้เหมาะสมเพื่อทำการแก้ปัญหาที่จะทำการศึกษาในแต่ละขอบเขตได้อย่างถูกต้องในการศึกษาและการวิเคราะห์ผลจะอาศัยแบบจำลองความปั่นป่วนเข้ามาช่วยในการจำลองและอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ซึ่ง แบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้กันทั่วไปจะมีอยู่หลากหลายรูปแบบ การเลือกใช้จำเป็นที่จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับปัญหาเพื่อผลการลู่ออกของคำตอบที่ใกล้เคียง

### 2.2.1. ระเบียบวิธีการแบ่งช่วง

ระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมเป็นระเบียบวิธีแบบเก่าหรือเป็นระเบียบวิธีมาตรฐานสำหรับ ใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์และโปรแกรมสำหรับงานวิจัย สมการควบคุม (Governing Equation) จะถูกแก้โดยพิจารณาให้เป็นปริมาตรควบคุมแบบเป็นช่วง (Discrete Control Volumes) และอาศัยการอินทิเกรตเพื่อให้ได้ปริมาณที่มีการอนุรักษ์แสดงดังสมการ [3]

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint Q \, dV + \iint F \, dA = 0 \quad \dots\dots (2)$$

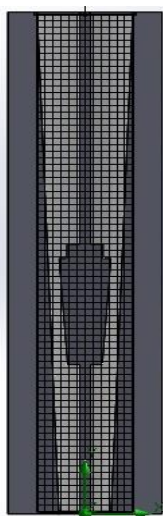
โดยที่  $Q$  คือ เวกเตอร์ของตัวแปรที่มีการอนุรักษ์

$F$  คือ เวกเตอร์ของฟลักซ์

$V$  คือ ปริมาตรของเซลล์

$A$  คือ พื้นที่ผิวของเซลล์

จากสมการที่ (2) เป็นสมการที่ใช้คำนวณหาค่าแรงที่กระทำกับลูกบอล ( $F$ ) โดยการป้อนค่าอัตราการไหล ( $Q$ ) ในแบบจำลอง



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของการระดับความละเอียดของ mass cells บนแบบจำลองคอมพิวเตอร์

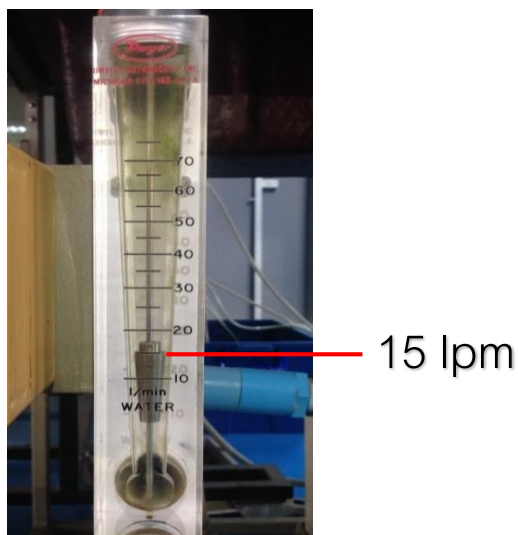
### 2.2.2. สมการเรย์โนลด์สเฉลี่ยนาเวียร์-สโตกส์ (Reynolds-average Navier-Stokes Equations, RANS)

เป็นวิธีการที่โบราณที่สุดสำหรับการจำลองแบบปั่นป่วน โดยการแก้สมการควบคุมและมี การเพิ่ม เทอมของแรงเค้นปรากฏ (Apparent Stresses) เข้าไปหรือที่รู้จักกันในนามของแรงเค้นเรย์โนลด์ส (Reynolds Stress) นั้นเอง โดยเป็นการเพิ่มเทนเซอร์อันดับสอง (Second Order Tensor) เข้าไปสำหรับแต่ละแบบจำลองที่มีลักษณะของปริมาตรปิด (Closure) ที่แตกต่างกันโดยทั่วไปมักจะเข้าใจผิดกันว่าสมการ RANS ใช้ไม่ได้สำหรับการไหลเทียบกับเวลาเนื่องจากสมการดังกล่าวเป็นการพิจารณา ณ เวลาเฉลี่ยแต่ในความเป็นจริงการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) [3]

## 3. วิธีการศึกษาทดลอง

### 3.1. การทดลองวัดอัตราการไหลจากมาตรวัดโรตารีเตอร์

1. ติดตั้งมาตรวัดโรตารีเตอร์เข้ากับโต๊ะชลศาสตร์
2. ทำการเปิดเครื่องสูบน้ำ แล้วทำการปรับอัตราการไหล 5 ระดับ โดยมีค่าดังนี้ 10, 15, 20, 25, 30 ลิตร/นาที
3. ทำการวัดอัตราการไหลโดยการวัดปริมาตร และทำการจับเวลาซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าของอัตราการไหลแต่ละครั้งแล้วนำมาเฉลี่ยดังสมการที่ (3)
4. ทำการชั่งน้ำหนักลูกกลอย โดยน้ำหนักของลูกกลอยที่ได้มีค่าเท่ากับ 38.07 กรัม



รูปที่ 3 แสดงขณะกำลังทดลองมาตรวัดโรตารีที่อัตราการไหล 15 ลิตร/นาที

สมการอัตราการไหลเชิงปริมาตร

$$Q = \frac{V}{t} \quad \dots\dots (3)$$

เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

$V$  คือ ปริมาตรของน้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

$t$  คือ เวลา (วินาที)

ผลของการทดลองแสดงดังตารางที่ 7

### 3.2. มาตรวัดโรตารีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของมาตรวัดโรตารีที่ใช้ในการทดลอง [2]

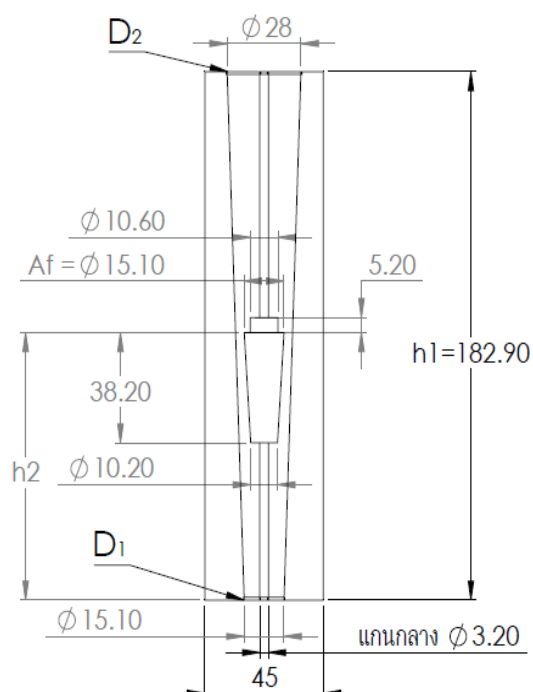
รายการ	รายละเอียด
ขนาดอัตราการไหล	10-75 lpm
ความคลาดเคลื่อน	2% ของอัตราการไหล
ชนิดของไหล	น้ำ
ขีดความสามารถ	ทนแรงดันได้ 100 psig (6.9 bar) ทนอุณหภูมิได้ 120 °F (48 °C)



### 3.3.แบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหล

1. ทำการจำลองตัวโรตาริเตอร์ โดยใช้ขนาดต่างๆตามรูปที่ 4 ซึ่งเป็นขนาดที่ได้มาจากการวัดขนาดดังนี้

- เส้นผ่านศูนย์กลางล่างหรือทางน้ำเข้า ( $D_1$ )
- เส้นผ่านศูนย์กลางบนหรือทางน้ำออก ( $D_2$ )
- ความสูงของมาตรวัดโรตาริเตอร์ ( $h_1$ )
- ความสูงของซีดระดับอัตราการไหลต่างๆวัดจากทางน้ำเข้า ( $h_2$ )
- ขนาดของลูกกลอย



รูปที่ 4 รูปตัดแสดงขนาดต่างๆของมาตรวัดโรตาริเตอร์จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหล

ตารางที่ 2 แสดงระยะจากจากทางน้ำเข้าถึงซีดอัตราการไหล 5 ระดับ

Q (lpm)	$h_2$ (mm)
10	45.40
15	58.70
20	70.50
25	84.40
30	92.60

## 2. กำหนดขอบเขตทั่วไป (General Settings)

กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยค่าที่ใช้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ห้องปฏิบัติการ

**ตารางที่ 3** ตารางกำหนดขอบเขตทั่วไปของแบบจำลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
Inlet Volume Flow	อัตราการไหล 5 ระดับ จากการทดลองในตารางที่ 3
Outlet Environment Pressure	0.3 kg-f/cm <sup>2</sup>
Real wall	เลือกพื้นที่ที่น้ำเคลื่อนตัวผ่าน

## 3. กำหนดขอบเขตการศึกษา (Boundary Conditions)

**ตารางที่ 4** ตารางกำหนดขอบเขตการศึกษาขอแบบจำลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ความดัน	0.3 kg-f/cm <sup>2</sup> เป็นค่าโดยประมาณที่ใช้ในห้องทดลอง
อุณหภูมิ	25 องศาเซลเซียส (°C)
แรงโน้มถ่วงในแนวตั้ง	9.81 m/s <sup>2</sup>
ของเหลวที่ทดลอง	น้ำในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน
ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง	1 m/s
ความละเอียดของ mass cells	0.55 mm <sup>3</sup> /cells

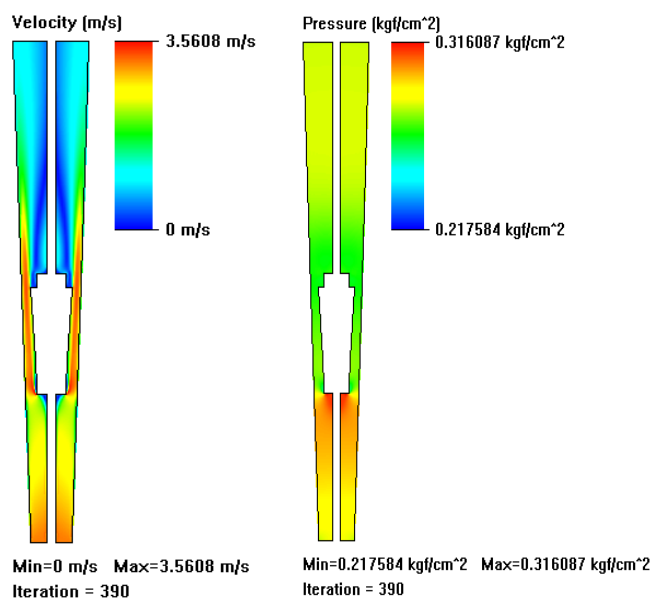
4. กำหนดเป้าหมายที่ต้องการ (Goals) คือแรงทั้งหมดที่กระทำต่อลูกกลอยในแนวตั้ง หรือ Force (y)

5. เริ่มทำการ Simulation และแสดงผลลัพธ์ของแรงที่ได้จากการจำลอง

ตัวอย่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่อัตราการไหล 30 lpm แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 5 ตารางแสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองตัวอย่าง 30 lpm

พารามิเตอร์	ตั้งค่า
ขอบเขตพื้นฐาน	ดังตารางที่ 1
inlet volume flow	30 lpm และเลือกเป็นทางเข้า
Outlet Environment Pressure	0.3 kg-f/cm <sup>2</sup> และเลือกเป็นทางออก
Real wall	เลือกพื้นที่ที่น้ำเคลื่อนตัวผ่าน
Goal plot	Force (Y) และเลือกพื้นที่ผิวทั้งหมดของลูกกลอย



รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างแบบจำลองขณะที่กำลังทำการ Simulation ที่อัตราการไหล 30 lpm

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงความเร็วและความดันที่เกิดขึ้น ลักษณะของความเร็วในแบบจำลองโรตามิเตอร์พบว่าบริเวณทางเข้าที่ขนาดหน้าตัดเล็กจะมีความเร็วกว่าบริเวณทางออกที่มีขนาดหน้าตัดใหญ่และที่ด้านข้างลูกกลอยมีพื้นที่แคบจึงส่งผลให้บริเวณด้านข้างลูกกลอยมีความเร็วมากที่สุด และลักษณะของความดันในแบบจำลองโรตามิเตอร์พบว่าบริเวณด้านล่างของลูกกลอยมีแรงดันมากที่สุด และด้านบนกับด้านข้างของลูกกลอยมีความดันน้อยที่สุด

ตารางที่ 6 แสดงผลลัพธ์ของแรงที่ได้จากการจำลองที่อัตราการไหล 30 lpm

Goal name	Unit	Value	Averaged Value
SG Force (Y)	[N]	0.389	0.386

โดย SG Force(Y) คือ แรงทั้งหมดที่กระทำต่อลูกลอยในแนวตั้งที่ได้จากการจำลอง Averaged Value คือ ค่าเฉลี่ยของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อลูกลอย โดยจะใช้ค่าเฉลี่ยของแรงมาแปลงเป็นน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของลูกลอยดังทฤษฎีสัมดุลแรง  $\sum F_y = 0$  แล้วอภิปรายผลต่อไป

#### 4. รายงานผลการทดลอง

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้ อ่านได้จากมาตรวัดโรตารีกับอัตราการไหลที่วัดได้จริง

Q <sub>rotameter</sub> (lpm)	Volume (l)	t <sub>1</sub> (min.)	t <sub>2</sub> (min.)	t <sub>3</sub> (min.)	Q <sub>actual</sub> (lpm)	Relative error (%)
		Q <sub>1</sub> (lpm)	Q <sub>2</sub> (lpm)	Q <sub>3</sub> (lpm)		
10	6	0.533	0.543	0.528	11.224	10.90
		11.268	11.043	11.360		
15	9	0.540	0.543	0.536	16.681	10.08
		16.662	16.590	16.791		
20	12	0.583	0.587	0.585	20.515	2.51
		20.595	20.437	20.513		
25	15	0.583	0.574	0.572	26.031	3.96
		25.751	26.117	26.224		
30	15	0.474	0.476	0.486	31.337	4.27
		31.634	31.491	30.885		

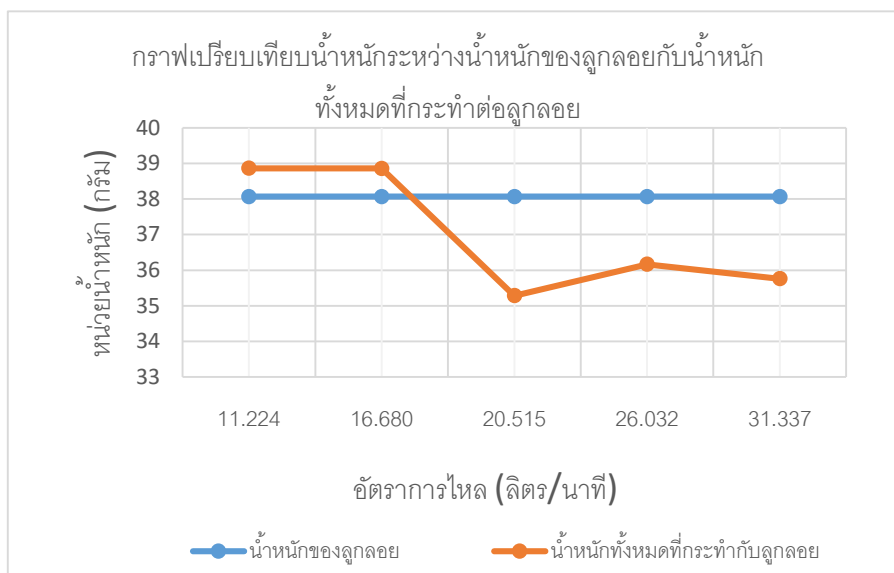
โดยการคำนวณหาอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริงเฉลี่ยคำนวณได้จาก

$$Q_{\text{actaul}} = \left( \frac{Q_1}{t_1} + \frac{Q_2}{t_2} + \frac{Q_3}{t_3} \right) / 3 \quad \dots\dots(4)$$

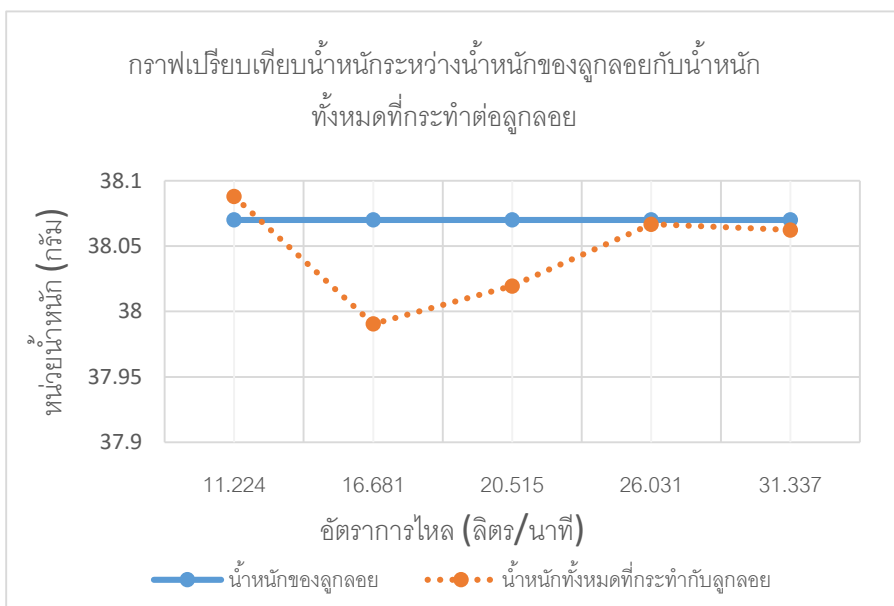
และการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

$$\% \text{Relative error} = \left| \frac{Q_{\text{actual}} - Q_{\text{rotameter}}}{Q_{\text{actaul}}} \right| \times 100\% \quad \dots\dots(5)$$

ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์มาตรฐานวัดโรตามิเตอร์ที่วัดได้จริงอยู่ในช่วง3-11%ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่ามาตรฐานของมาตรฐานของมาตรฐานวัดโรตามิเตอร์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่1-2 %ค่าความคลาดเคลื่อนของมาตรฐานวัดโรตามิเตอร์ที่วัดได้จริงมีความคลาดเคลื่อนสูงเกิดจากอุปกรณ์มาตรฐานวัดโรตามิเตอร์ในห้องทดลองเสื่อมสภาพเนื่องจากใช้มาเป็นเวลานาน



**รูปที่ 6** การเปรียบเทียบผลต่างของน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำในแนวตั้งกับน้ำหนักของลูก ลอยที่ระดับอัตราการไหลต่างๆ



**รูปที่ 7** การเปรียบเทียบผลต่างของน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำในแนวตั้งกับน้ำหนักของลูกลอยที่ระดับอัตราการไหลต่างๆ หลังทำการปรับอัตราการไหล

จากการทดลองแบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหลด้วยขนาดของโรตاميเตอร์ที่วัดได้ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าตัดบน 28.00 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าตัดล่าง 15.10 มม. และได้ผลต่างของแรงในแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 จากการคำนวณผลที่ได้ ที่  $Q_1$  (11.224 lpm) มีน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักลูกลอย เนื่องจากมีอัตราการไหลสูงเกินไป จึงทำการปรับลดอัตราการไหลลงเพื่อให้ได้น้ำหนักเท่ากับน้ำหนักของลูกลอย จากรูปที่ 7 ที่  $Q_1$  ทำการปรับลดอัตราการไหลลงเหลือ 11.088 lpm ได้น้ำหนักเท่ากับ 38.088 g

ที่  $Q_2$  (16.68 lpm) มีน้ำหนักมากกว่าน้ำหนักลูกลอย เนื่องจากมีอัตราการไหลสูงเกินไป จึงทำการปรับลดอัตราการไหลลงเพื่อให้ได้น้ำหนักเท่ากับน้ำหนักของลูกลอย จากรูปที่ 7 ที่  $Q_2$  ทำการปรับลดอัตราการไหลลงเหลือ 16.200 lpm ได้น้ำหนักเท่ากับ 37.990 g

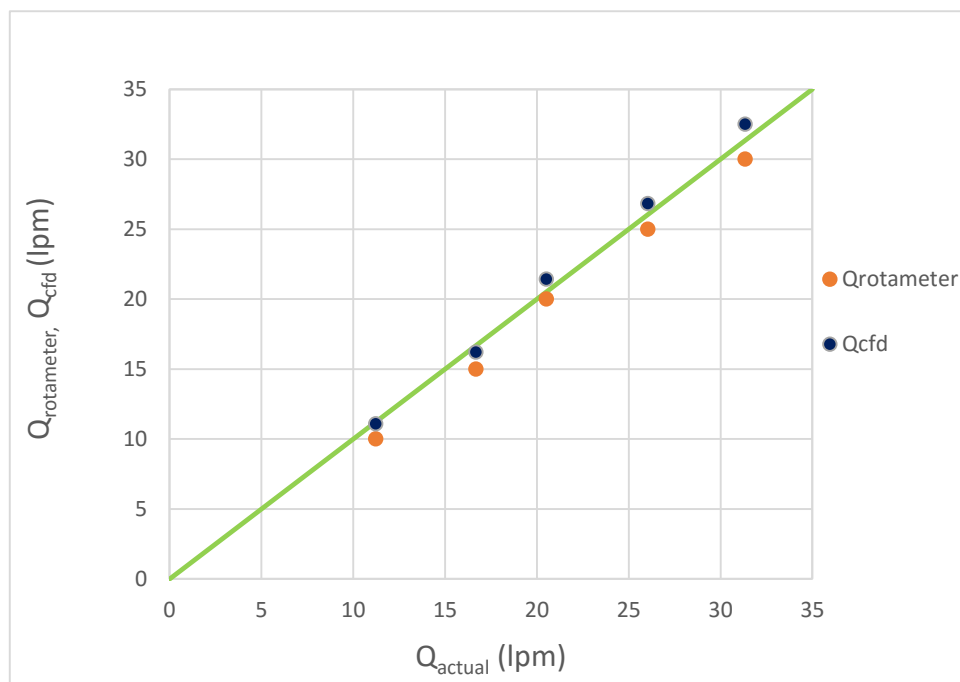
ที่  $Q_3$  (20.515 lpm) มีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักลูกลอย เนื่องจากมีอัตราการไหลต่ำเกินไป จึงทำการปรับเพิ่มอัตราการไหลลงเพื่อให้ได้น้ำหนัก เท่ากับน้ำหนักของลูกลอย จากรูปที่ 7 ที่  $Q_3$  ทำการปรับเพิ่มอัตราการไหลเป็น 21.428 lpm ได้น้ำหนักเท่ากับ 38.02 g

ที่  $Q_4$  (26.031 lpm) มีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักลูกลอย เนื่องจากมีอัตราการไหลสูงเกินไป จึงทำการปรับเพิ่มอัตราการไหลลงเพื่อให้ได้น้ำหนัก เท่ากับน้ำหนักของลูกลอย จากรูปที่ 7 ที่  $Q_4$  ทำการปรับเพิ่มอัตราการไหลเป็น 26.826 lpm ได้น้ำหนักเท่ากับ 38.067 g

ที่  $Q_5$  (31.337 lpm) มีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักลูกลอย เนื่องจากมีอัตราการไหลสูงเกินไป จึงทำการปรับเพิ่มอัตราการไหลลงเพื่อให้ได้น้ำหนัก เท่ากับน้ำหนักของลูกลอย จากรูปที่ 7 ที่  $Q_5$  ทำการปรับเพิ่มอัตราการไหลเป็น 26.826 lpm ได้น้ำหนักเท่ากับ 38.062 g

ตารางที่ 8 แสดงความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลเปรียบเทียบระหว่าง  $Q_{\text{actual}}$ ,  $Q_{\text{rotameter}}$  และ  $Q_{\text{cfd}}$

$Q_{\text{actual}}$ (lpm)	$Q_{\text{rotameter}}$ (lpm)	Relative error (%)	$Q_{\text{cfd}}$ (lpm)	Relative error (%)
11.224	10	10.90	11.088	1.21
16.681	15	10.08	16.200	2.88
20.515	20	2.51	21.428	4.45
26.031	25	3.96	26.826	3.06
31.337	30	4.27	32.504	3.73



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบอัตราการไหลระหว่าง  $Q_{\text{actual}}$ ,  $Q_{\text{rotameter}}$  และ  $Q_{\text{cfid}}$

จากตารางพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของ  $Q_{\text{rotameter}}$  มีค่าอยู่ในช่วง 3-11 % โดยมีความเฉลี่ยอยู่ที่ 6.3% และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของ  $Q_{\text{cfid}}$  มีค่าอยู่ในช่วง 1-4 % โดยมีความเฉลี่ยอยู่ที่ 3.1% จะเห็นได้ว่า  $Q_{\text{cfid}}$  มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า  $Q_{\text{rotameter}}$  ซึ่ง  $Q_{\text{cfid}}$  ได้มีการปรับอัตราการไหลจึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า

## 5. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้ได้กล่าวถึงเทคนิคการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์ของไหลโดยการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ตามรูปทรงที่ทำการศึกษาโดยรูปทรงที่ศึกษาเป็นรูปทรงของโรตاميเตอร์โดยอาศัยแบบของวิธีการแบ่งช่วง เช่น ระเบียบวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถนำมาแก้ไขปัญหาและศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลภายใต้เงื่อนไขและขอบเขตที่กำหนด จากการทำจำลองมาตรวัดอัตราการไหลชนิดโรตاميเตอร์ด้วยพลศาสตร์ของไหล โดยใช้เทคนิค parametric study ผลการทดลองได้ พบว่าค่าอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าอัตราการไหลที่อ่านได้จากมาตรวัดโรตاميเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจริง แสดงว่าค่าที่ได้จากการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศา

สตรีด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมาก แต่ในการทำแบบจำลองต้องมีการจำลองขนาดมาตรฐานโรตاميเตอร์ที่แม่นยำ หากขนาดมาตรฐานโรตاميเตอร์ในแบบจำลองมีขนาดที่ไม่ละเอียดมากพอ จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลมาก สุดท้ายนี้สามารถนำแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์มาวิจัยหรือออกแบบเพื่อทำการศึกษาและประยุกต์ใช้สำหรับงานในอนาคต

## 6.กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ รศ.ดร.วราวุธ วุฒิมิวนิชย์ และ ผศ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชัยไม่ตรี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้ ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะและแนวทางในการวางแผนของโครงการตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆของโครงการฉบับนี้ และขอบคุณห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่อุปกรณ์ในการศึกษาทดลองจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

## 7.เอกสารอ้างอิง

- [1]. Deepu C. N., Yogesh Kumar K J, V Seshadri. Design Analysis for a Rotameter using CFD. International journal of engineering sciences & research technology 5(7): 549-563
- [2]. Dwyer Instruments. Specifications Of flowmeter. Available source: <http://www.dwyer-inst.com/Product/Flow/Flowmeters/VariableArea/SeriesVFC-VFCII#specs>, January 12, 2016. 5.
- [3]. จอมภพ แววศักดิ์.2549.พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ.วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ ปีที่ 3 (1): 32-42.
- [4]. นวภัทรา หนูภาค และ ทวีพล ชี้อัสตย์.2555.การวัดและเครื่องมือวัด การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร.คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5].วีรยุทธ หล้าอมรชัยกุล. 2557. การคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล.วิศวกรรมลาดกระบัง ปี ที่ 31 (4):1-6
- [6] แหล่งที่มา : <https://www.factomart.com/th/factomartblog/type-of-flow-meter/> , 20 มกราคม 2560.
- [7] แหล่งที่มา: <http://www.piping-engineering.com/flow-meter-measurement-techniques-types.html#>, 20 มกราคม 2560.