

การจำลองปรากฏการณ์ Water Hammer ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหล

(Water Hammer Simulation using Computational Fluid Dynamics)

จิราพร จันทะแสน¹, นภาพร หงคำเมือง¹, สุภัตสรสา มะโหฬาร¹, วรารุช วุฒิมณีชัย², จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี³
Jiraporn Jantasan¹, Napaporn Hongcummuang¹, Supassara Mahoran¹, Varawoot Vudhivanich²,
Chirakarn Srivitmittrie³

¹นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(E-mail: Ji_jantasan@hotmail.com)

^{2,3}อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าความดันสูงสุดที่เกิดจากปรากฏการณ์ Water Hammer ระหว่างชุดปฏิบัติการ Water Hammer และแบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งใช้ค่าความดันสูงสุดที่ได้จากชุดปฏิบัติการ Water Hammer เป็นค่าเทียบมาตรฐาน การศึกษานี้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากคู่มือ และกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) เช่น ค่าแรงดันคงที่ ความเร็วการไหล และ เวลาที่ใช้ในการปิดวาล์ว ที่ได้จากการวัดจริงจากชุดปฏิบัติการ ซึ่งมีค่าเวลาที่ใช้ในการปิดวาล์วเป็นจุดสำคัญที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Water Hammer ในแบบจำลอง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเทียบค่าระหว่างชุดปฏิบัติการ Water Hammer กับ แบบจำลอง CFD พบว่าค่าความดันที่ได้จากแบบจำลอง CFD มีค่ามากกว่าค่าความดันที่ได้จากชุดปฏิบัติการ ซึ่งค่าที่ได้มีความสอดคล้องกันไปในทางที่ดี

คำสำคัญ :ปรากฏการณ์คลื่นกระแทก , เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหล

Abstract

The research aimed to compare the maximum pressure caused using water hammer phenomenon between the experiment and Computational Fluid Dynamic (CFD). This will uses the maximum pressure obtained from the experiment as standard calibration. In this study CFD modeling used basic information from handbook and used a boundary condition such as static pressure, velocity and time of quick closing valve from lab experiment. Time of quick closing valve is a significance caused by water hammer phenomenon in the model. The result showed that the maximum pressure obtained from CFD was higher than the maximum pressure obtained from the experiment. The value is consistent in a good way.

Keywords: Water Hammer, Computational Fluid Dynamics

1.บทนำ

ปรากฏการณ์ Water Hammer เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการปิดวาล์วอย่างกะทันหันจึงทำให้ของเหลวในเส้นท่อน้ำมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างฉับพลัน เกิดแรงกระแทกในเส้นท่อน้ำส่งผลให้ความดันในท่อน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง โดยที่ความดันจะเพิ่มและลดลงจากเดิมในลักษณะเป็นคลื่นขึ้นลงสลับกันไป

ชุดปฏิบัติการ Water Hammer ที่ใช้สามารถทดลองหาค่าความดันที่เพิ่มขึ้นและลดลงได้ แต่เนื่องจากการทดลองต้องมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ยุ่ยยาก การศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองปรากฏการณ์ Water Hammer โดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) ซึ่งสามารถทำได้ เพียงแต่ต้องเข้าใจปัญหาและสมการที่ใช้อย่างแท้จริง

แบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเป็นการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อนำมาวิเคราะห์ตัวเลขทางด้านพลศาสตร์ของไหล ซึ่งในการจำลองจะกำหนดขอบเขตและเงื่อนไข (Boundary Condition) โดยมีวิธีการคือจะใช้การแบ่งช่วงของโดเมนด้วยคอมพิวเตอร์ให้เป็นเซลล์เล็กๆ เพื่อทำให้เกิดรูปร่างของโครงตาข่ายเชิงปริมาตร (Volume Mesh) หรือ กริด (Grid) [1]อาจเรียกลักษณะของชุดโครงข่ายหรือกริดนี้ว่า “เมชเอลิเมนต์(Mesh Element)” หลังจากนั้นจะใช้อัลกอริทึมที่เหมาะสมต่อรูปแบบปัญหานั้นๆมาทำการแก้สมการการเคลื่อนที่ของของไหล ซึ่งจะใช้สมการนาเวียร์-สโตกส์(Navier-Stoke Equation)ในการแก้ปัญหาการไหลแบบมีค่าความหนืด

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

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

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

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

ความแม่นยำในการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ของของไหลนั้นจะขึ้นอยู่กับเมชเอลิเมนต์เชิงปริมาตรและจำนวนกริด ยังมีเมชเอลิเมนต์มากจะทำให้สามารถจำลองรูปร่างลักษณะดั้งเดิมใกล้เคียงมากขึ้น แต่การมีอีลิเมนต์มากจะทำให้การสร้างโครงตาข่ายใช้เวลามาก[2] โดยปกติเราสามารถแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)ได้โดยตรงเมื่อสเกลความยาวมีความเหมาะสม แต่ในหลายสถานการณ์อาจจำเป็นต้องใช้สมการอื่นๆในการแก้ปัญหาไปพร้อมกันกับสมการนาเวียร์-สโตกส์ [3]

การศึกษาครั้งนี้จัดทำเพื่อเปรียบเทียบค่าความดันสูงสุดที่ได้จากชุดปฏิบัติการ Water Hammerและแบบจำลอง CFDเพื่อหาประสิทธิภาพของแบบจำลองคอมพิวเตอร์

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1. อุปกรณ์การทดลอง Water Hammer



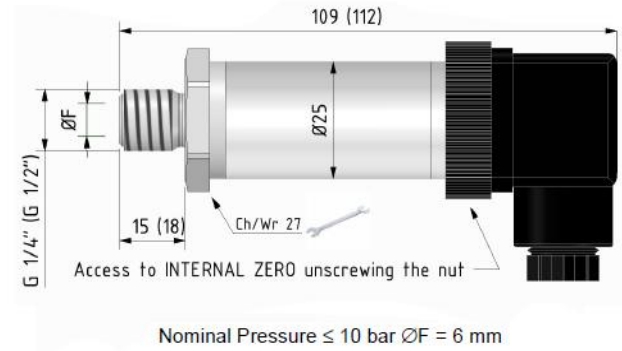
ภาพที่ 1 ชุดศึกษาคลื่นกระแทกของน้ำ (Water Hammer HF 160)

ที่มา: www.essom@essom.com

ชุดปฏิบัติการ Water Hammer ใช้สำหรับทดสอบความดันสูงสุดเมื่อเกิดปรากฏการณ์ Water Hammer ประกอบด้วยหัววัดความดัน TP12 (Pressure Sensor) 2 ตัวที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์แปลงสัญญาณและซอฟต์แวร์เพื่อแสดงผลค่าความดันบนจอคอมพิวเตอร์ โดยหัววัดความดันจะติดตั้งห่างกัน 1.5 เมตร บนท่อทดสอบเหล็กกันสนิม ยาว 3 เมตรแสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งหัววัดความดันที่เลือกใช้คือ Nominal Pressure ≤ 10 บาร์ และ $\varnothing F = 6$ มิลลิเมตรแสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของหัววัดความดัน

Technical Data	
Relative Pressure (R)	10 bars
Absolute Pressure (A)	100 bars
Linearity and Hysteresis	$\leq \pm 0.20\%$
Temperature Effect (1°C)	
a) On zero	$\leq \pm 0.015\%$
b) On sensitivity	$\leq \pm 0.015\%$
Calibration Tolerance	$\leq \pm 0.1\%$
Max Power Supply	28Vdc
Max Absorption	
a) 3 wires	30mA
b) 2 wires	20mA
Loading Resistance	
a) Tension	Min. $3\text{K}\Omega$
b) Current	From 0 to 470Ω
Insulation Resistance	$> 2\text{ G}\Omega$
Zero Balance	$\pm 10\%$ ADJ
Response Frequency	From 0.5 to 5 kHz



ภาพที่ 2 หัววัดความดัน TP12 (Pressure Sensor)

ที่มา: www.aeptransducers.com

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการทดลองด้วยชุดปฏิบัติการ Water Hammer และ การทดลองด้วยแบบจำลอง CFD

2.2. การทดลองด้วยชุดปฏิบัติการ Water Hammer

2.2.1. กำหนดตัวแปรเริ่มต้น คือ ความสูงน้ำเริ่มต้น (Static Pressure) ทั้งหมด 2 ค่า ได้แก่ 76.4 และ 95.5 เซนติเมตร

2.2.2. หาอัตราการไหล 3 ค่าด้วยการปรับวาล์วควบคุมการไหล 3 ระดับค่าที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 2

2.2.3. ทำการวัดปริมาตรของน้ำ 15 ลิตรและจับเวลาเพื่อคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำดังสมการที่ (4)

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4)$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหล (m^3/s), V คือปริมาตรของน้ำ (m^3), t คือเวลา (s)

และนำอัตราการไหลจากสมการ (4) คำนวณหาความเร็วในการไหลด้วยสมการการไหลในเส้นท่อ (5) ดังนี้

$$Q = AV \quad (5)$$

เมื่อ Q คืออัตราการไหล (m^3/s), A คือพื้นที่หน้าตัด (m^2), V คือความเร็วการไหล (m/s)

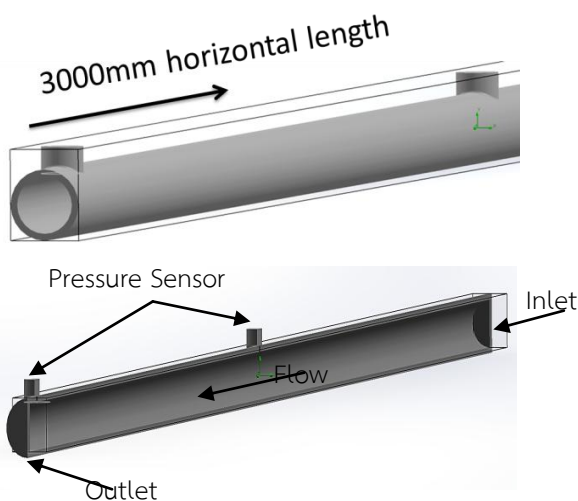
ตารางที่ 2 แสดงการกำหนดความสูงน้ำเริ่มต้น (เซนติเมตร) และอัตราการไหล (ลิตรต่อวินาที)

ความสูงของน้ำเริ่มต้น (cm)	ปรับวาล์วควบคุมการไหล (ระดับ)		
	1	2	3
	อัตราการไหล (L/s)		
76.4	0.1	0.2	0.4
95.5	0.1	0.3	0.4

2.2.4. หาค่าเวลาที่วาล์วเคลื่อนตัวไปปิดการไหลของน้ำ ด้วยกล้องความเร็วสูง มีค่าเท่ากับ 0.0006 วินาที โดยทำการปิดวาล์วเพื่อหาค่าความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดปรากฏการณ์ Water Hammer

2.2.5. ทำการปิดวาล์วสปริงอย่างฉับพลันเพื่อวัดค่าความดันสูงสุดที่หัววัดความดัน ที่ต่อเข้ากับอุปกรณ์แปลงสัญญาณและซอฟต์แวร์ เพื่อแสดงผลค่าความดันสูงสุดที่เกิดขึ้นบนจอคอมพิวเตอร์

2.3.การทดลองด้วยแบบจำลองCFD

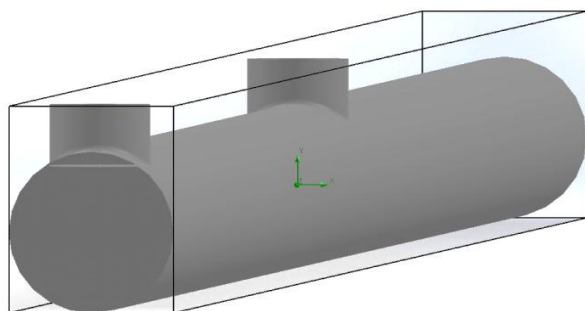


ภาพที่ 3 ลักษณะของท่อจากแบบจำลอง CFD สำหรับหาค่าความดันสูงสุดจากปรากฏการณ์ Water Hammer

การสร้างลักษณะท่อในแบบจำลองนั้นจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อและหัววัดความดันขนาดเท่ากับชุดปฏิบัติการแสดงดังภาพที่ 3 จากนั้นทำการคำนวณผลทางคอมพิวเตอร์โดยนำค่าความสูงน้ำเริ่มต้น, ค่าความเร็วของการไหลภายในเส้นท่อ และค่าเวลาที่ใช้ในการปิดวาล์วสปริง จากการทดลองในชุดปฏิบัติการนำมาเป็นข้อมูลในการสร้างปรากฏการณ์ Water HammerในแบบจำลองCFD ดังนี้

2.3.1. เลือกเมชเอलिเมนต์ที่เหมาะสม และกำหนดความละเอียดในการคำนวณ Time Dependent ตามคู่มือของชุดปฏิบัติการด้วยค่าResponse Frequency ระหว่าง0.5-5 กิโลเฮิร์ตซ์ หรือ 0.0002- 0.002 วินาที

2.3.2. กำหนดขอบเขตการคำนวณเฉพาะพื้นที่ผิวสัมผัสน้ำ (Computational Domain) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การกำหนด Computational Domain

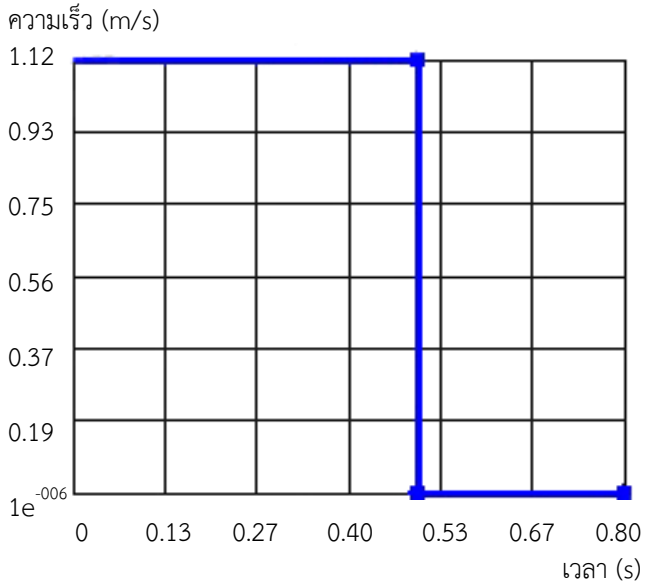
2.3.3. กำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) เพื่อสร้างปรากฏการณ์ Water Hammer ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การตั้งค่าการ Input ข้อมูลในแบบจำลอง CFD

ความสูงน้ำเริ่มต้น (cm)	Time Dependent (s)	Input			Flow Type
		Inlet (kgf/cm ²)	Outlet (m/s)	Temp. (° C)	
76.4	0.002 ถึง 0.0002	0.0764	0.238	20.05	Turbulent
			0.601		
			1.119		
95.5	0.002 ถึง 0.0002	0.0955	0.279	20.05	Turbulent
			0.798		
			1.221		

- Inlet เป็นค่าความดันคงที่ (Static Pressure)
- Outlet เป็นค่า Outlet Velocity คือ ความเร็วการไหลจากชุดปฏิบัติการ และ การกำหนดเวลาการปิดวาล์ว

2.3.4. การจำลองปรากฏการณ์ Water Hammer ด้วย Function Time Table



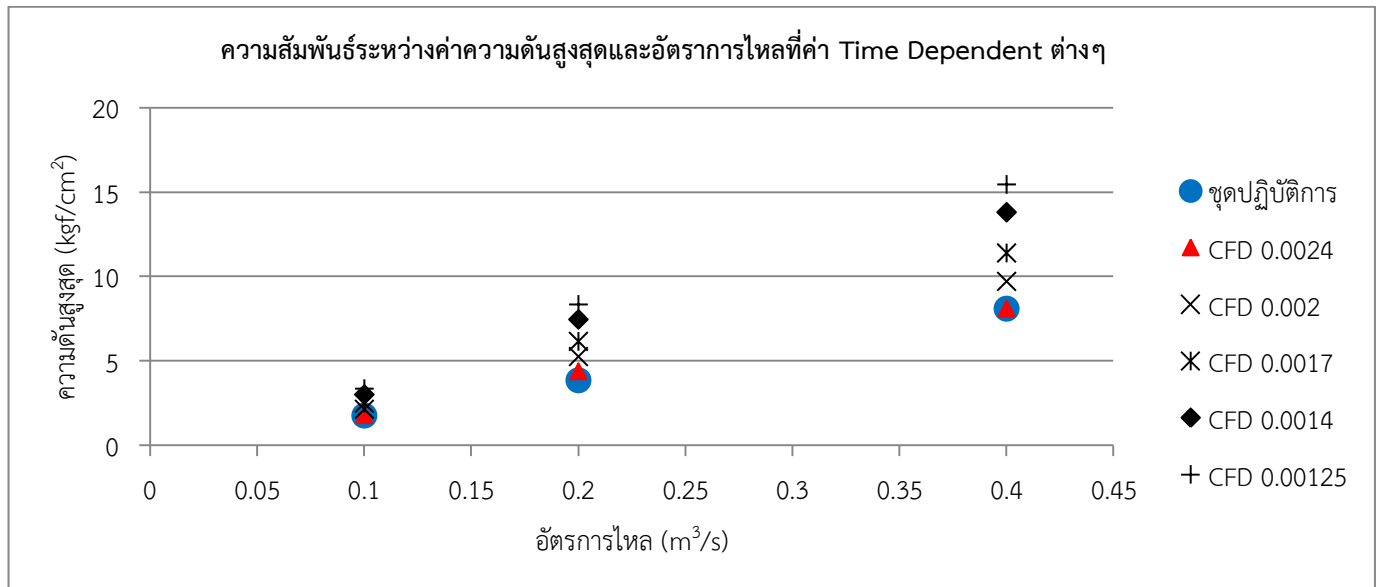
ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลและเวลา

- ช่วงเวลาก่อนวาล์วปิด 0 และ 0.5 วินาที ความเร็วการไหลภายในท่อเท่ากับ 1.119 เมตรต่อวินาที
- ช่วงเวลาขณะที่วาล์วกำลังปิด 0.5006 วินาที ความเร็วของน้ำในท่อลดลงเท่ากับ 1×10^{-6} เมตรต่อวินาทีซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้เกิดค่าความดันสูงสุด
- ช่วงเวลาหลังวาล์วปิด 0.8 วินาที ความเร็วของน้ำในท่อลดลง 1×10^{-6} เมตรต่อวินาที

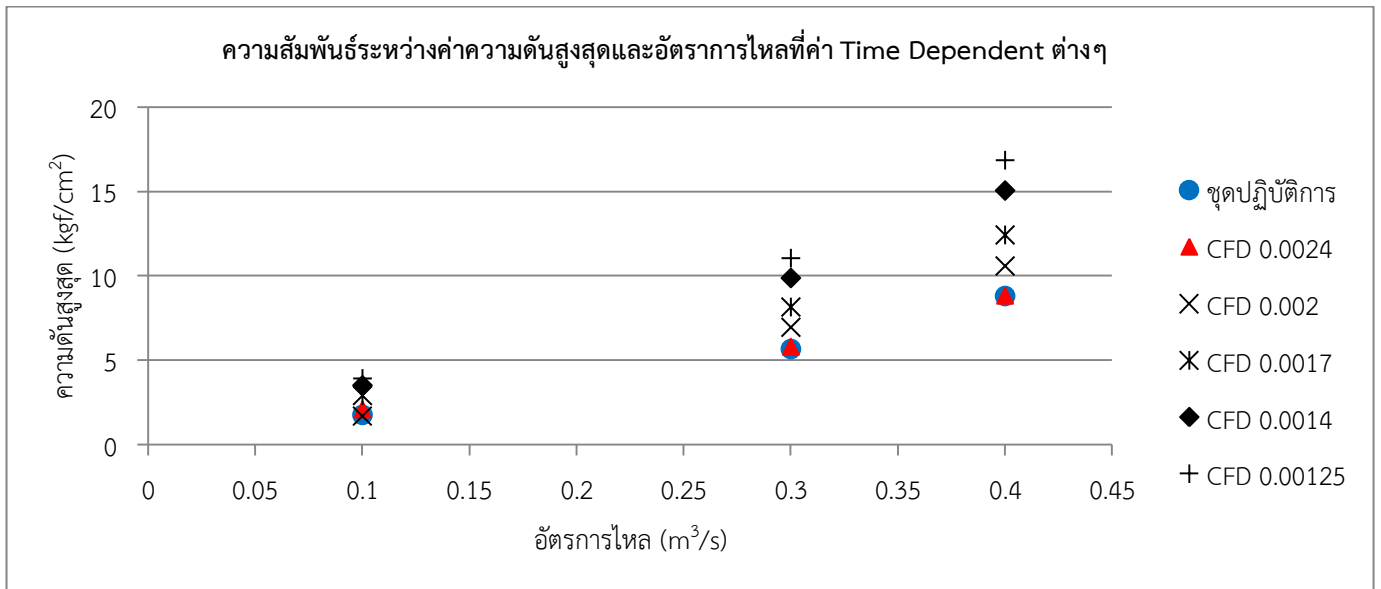
2.3.5.ทำการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลความดันสูงสุดด้วยกราฟ

3.ผลการศึกษา

ค่าความดันสูงสุดที่ได้จากแบบจำลอง CFD มาจากการเลือกเงื่อนไขการคำนวณเพื่อให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับค่าความดันสูงสุดที่ได้จากชุดปฏิบัติการโดยเริ่มการกำหนดเมชเอलिเมนต์หรือกริด เป็นค่าสิ่งที่ช่วยให้การคำนวณมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปการกำหนดเมชเอลิเมนต์ให้มีค่าสูงจะเป็นการลดความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้ให้น้อยลง โดยมีกริดเท่ากับ 7338 cells จากนั้นเลือกค่าความละเอียดในการคำนวณ Time Dependent เท่ากับ 0.0024 วินาที ซึ่งเป็นค่าความละเอียดในการคำนวณที่ดีที่สุด และเนื่องจากปรากฏการณ์ Water Hammer เกิดขึ้นโดยมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของเวลา ในการสร้างแบบจำลอง CFD จึงได้มีการนำเทคนิค Time Series ด้วยการตั้งค่า Function Time Table มาเป็นตัวกำหนดเวลาที่ใช้ในการปิดวาล์วเพื่อให้ค่าความดันสูงสุดเกิดขึ้น



ภาพที่ 6 ค่าความดันสูงสุดที่ความสูงน้ำ 76.4 cm ที่ Time Dependent ต่างๆ



ภาพที่ 7 ค่าความดันสูงสุดที่ความสูงน้ำ 95.5 cm ที่ Time Dependent ต่างๆ

ค่าความดันสูงสุดจากแบบจำลอง CFD จะมีค่าเพิ่ม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า Time Dependent ให้ละเอียดมากขึ้นทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง CFD โดยคำนวณจากสมการเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) ดังสมการที่ (4)

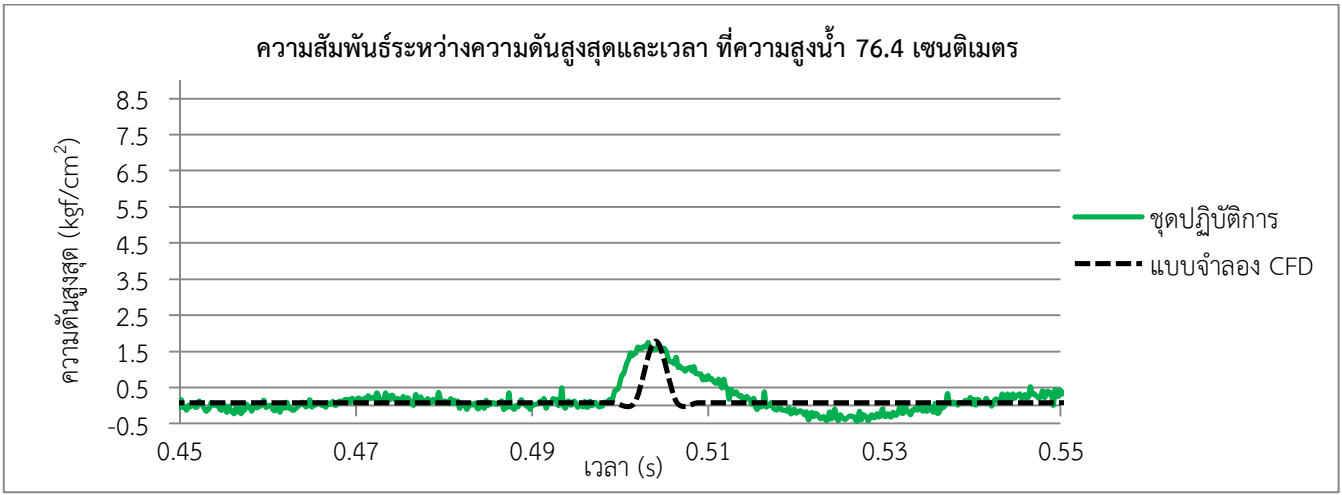
$$\% \text{Relative Error} = \left| \frac{P_L - P_H}{P_H} \right| \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ P_L คือค่าความดันสูงสุดที่ได้จากแบบจำลอง CFD และ P_H คือค่าความดันสูงสุดที่ได้จากชดปฏิบัติการ

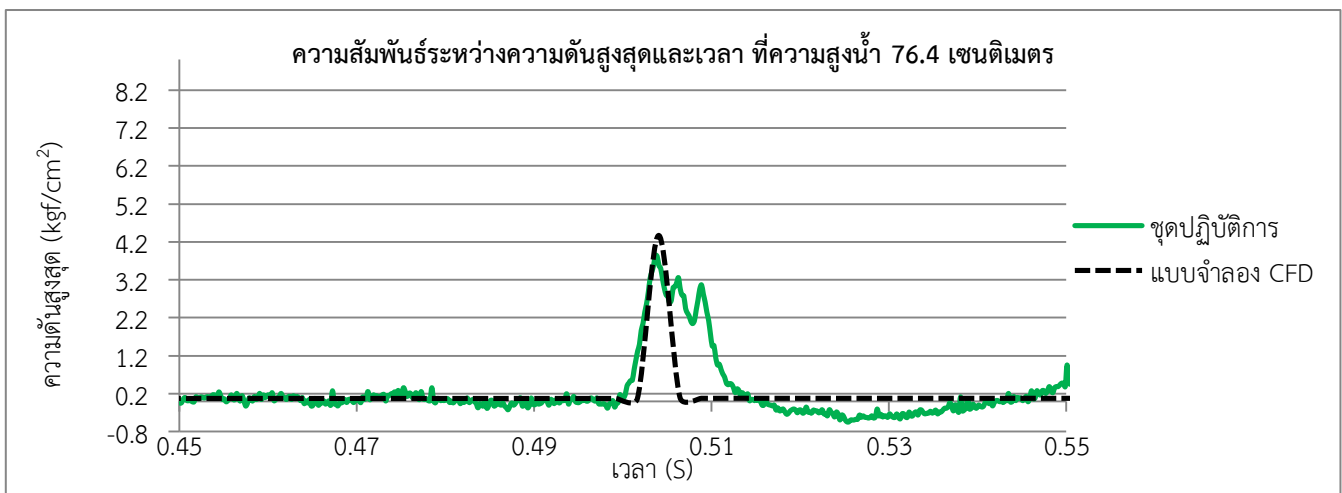
จะเห็นว่าเมื่อใช้ค่า Time Dependent ในการคำนวณตาม Response Frequency ที่กำหนดไว้ในคู่มือของชดปฏิบัติการจะทำให้ค่าความดันที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง จึงเลือกใช้ค่า Time Dependent ที่อยู่นอกช่วงคู่มือที่กำหนดคือ 0.0024 วินาทีทำให้ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลง และค่าความดันที่ได้ใกล้เคียงกับชดปฏิบัติการ แสดงด้วยสัญลักษณ์สามเหลี่ยมดังภาพที่ 6 และ 7

ที่ระดับความสูงน้ำ 76.4 เซนติเมตรมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 14.010 เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.012 เปอร์เซ็นต์ และที่ระดับความสูงน้ำ 95.5 เซนติเมตรมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 18.249 เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเท่ากับ 0.216 เปอร์เซ็นต์ เมื่อคิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 6.099 เปอร์เซ็นต์

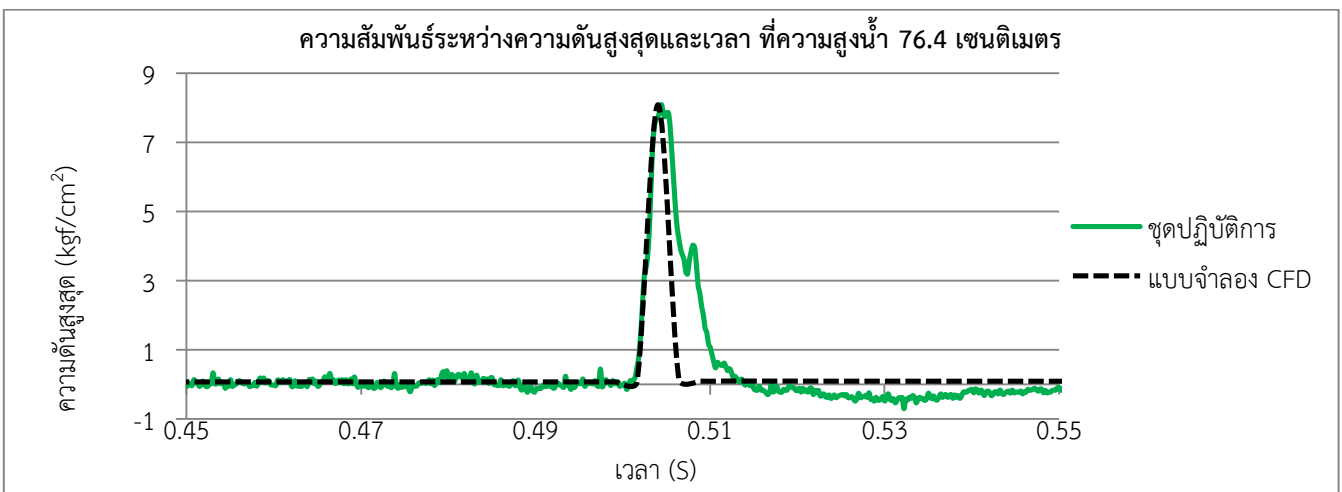
เมื่อนำผลจากชดปฏิบัติการ และแบบจำลอง CFD ที่ Time Dependent เท่ากับ 0.0024 วินาที มาแสดงในรูปของกราฟ จะเห็นว่าค่าความดันสูงสุดมีความใกล้เคียงกันแต่เส้นกราฟมีลักษณะที่แตกต่างกัน ในแบบจำลอง CFD เส้นกราฟมีความราบเรียบสม่ำเสมอเพราะแบบจำลองเป็นระบบเปิดไม่มีฝาปิดดังนั้นเมื่อเกิดปรากฏการณ์ Water Hammer น้ำจึงไหลออกไปไม่เกิดคลื่นกระแทกและความดันไม่ติดลบ ดังภาพที่ 8 และ 9



(ก) อัตราการไหล 0.1 ลิตรต่อวินาที

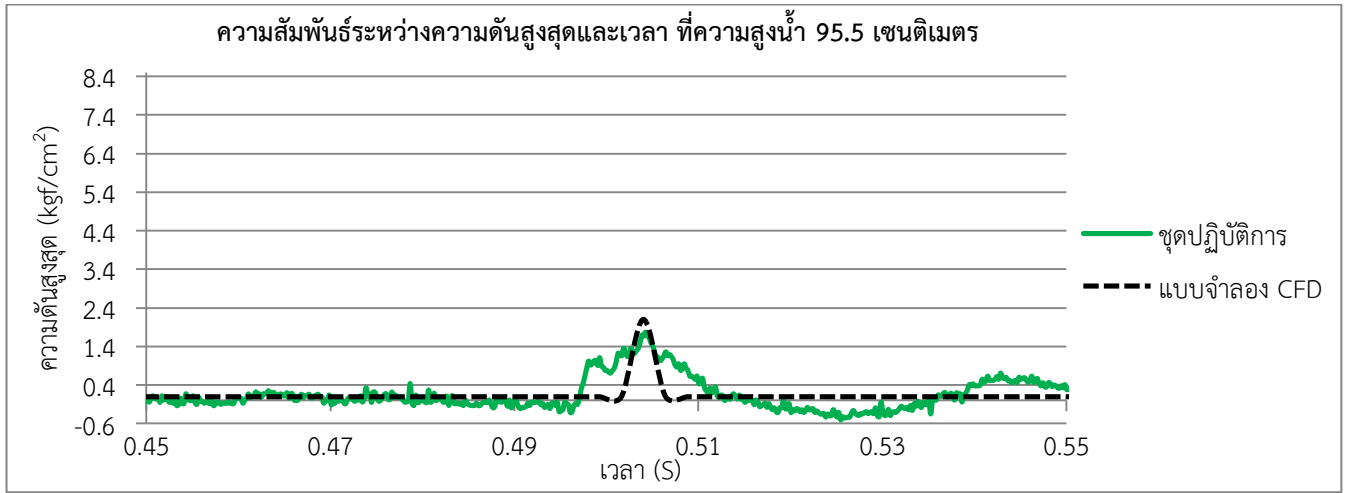


(ข) อัตราการไหล 0.2 ลิตรต่อวินาที

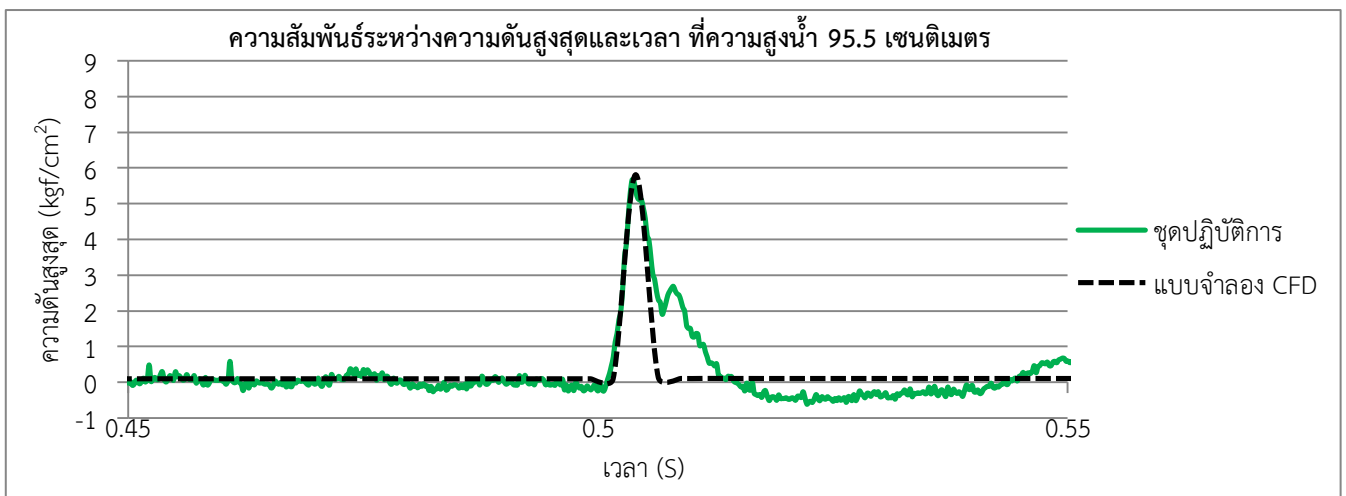


(ค) อัตราการไหล 0.4 ลิตรต่อวินาที

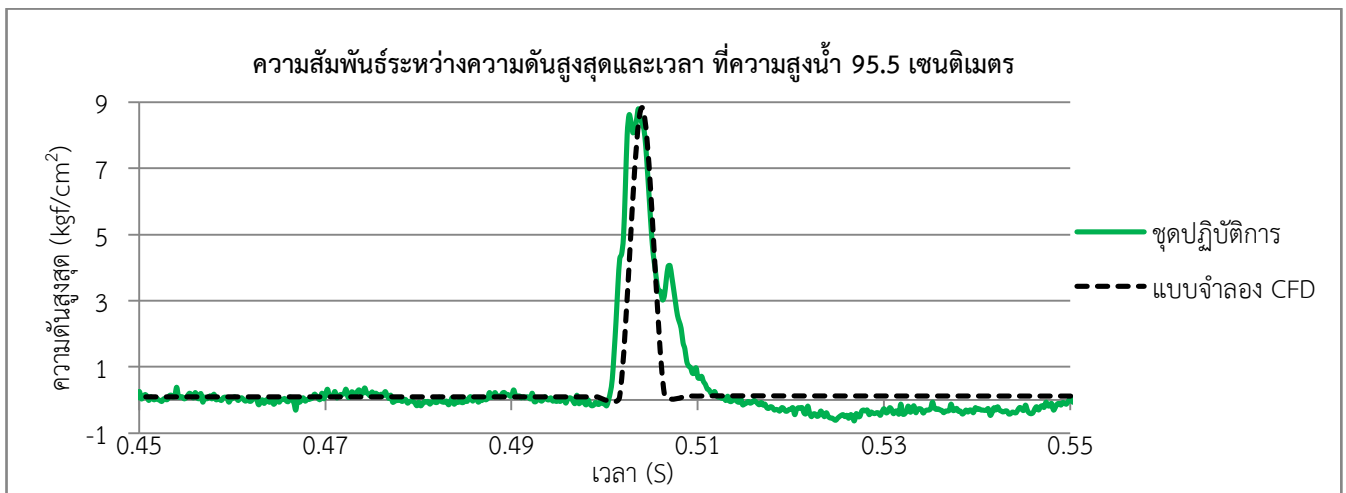
ภาพที่ 8 (ก), (ข) และ(ค) กราฟค่าความดันสูงที่ได้จากชุดปฏิบัติการ และแบบจำลอง CFD ที่ความสูงน้ำ 76.4 เซนติเมตรที่อัตราการไหลต่างๆ และ Time Dependent เท่ากับ 0.0024 วินาที



(ง) อัตราการไหล 0.1 ลิตรต่อวินาที

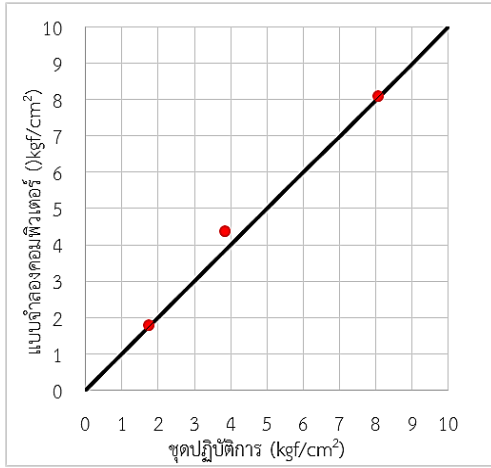


(จ) อัตราการไหล 0.3 ลิตรต่อวินาที

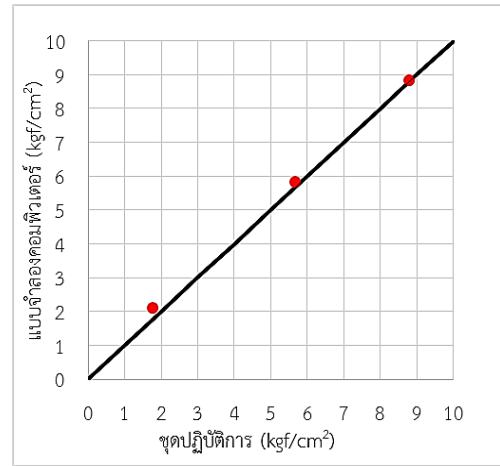


(ฉ) อัตราการไหล 0.4 ลิตรต่อวินาที

ภาพที่ 9 (ง), (จ) และ(ฉ) กราฟค่าความดันสูงที่ได้จากชุดปฏิบัติการ และแบบจำลอง CFD ที่ความสูงน้ำ 95.5 เซนติเมตรที่อัตราการไหลต่างๆ และ Time Dependent เท่ากับ 0.0024 วินาที



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบค่าความดันสูงสุดจากชุดปฏิบัติการ และแบบจำลอง CFD ที่ความสูงน้ำ 76.4 cm



ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบค่าความดันสูงสุดจากชุดปฏิบัติการ และแบบจำลอง CFD ที่ความสูงน้ำ 95.5 cm

จากภาพที่ 10 และ 11 นั้นเป็นการเปรียบเทียบค่าความดันระหว่างชุดปฏิบัติการและแบบจำลอง CFD แสดงให้เห็นว่าที่ค่า Time Dependent เท่ากับ 0.0024 วินาที โดยภาพรวมแล้วผลที่ได้จากแบบจำลอง CFD มีความสอดคล้องกับชุดปฏิบัติการและมีการประเมินค่าสูงกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย

4.สรุป

การศึกษานี้เป็นการสร้างปรากฏการณ์ Water Hammer ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหลเพื่อประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองให้ได้ค่าความดันใกล้เคียงกับชุดปฏิบัติการ ผลที่ได้จากการจำลองปรากฏการณ์ Water Hammer ด้วยแบบจำลอง CFD พบว่า ค่าความดันสูงสุดที่ได้จากแบบจำลอง CFD มีค่ามากกว่าค่าความดันสูงสุดที่ได้จากชุดปฏิบัติการ เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 6.099เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าการสร้างแบบจำลอง CFD มีความถูกต้องและเชื่อถือได้ กล่าวโดยรวมคือ การใช้เทคนิคทางพลศาสตร์ของไหลสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับออกแบบทำให้การศึกษาเกิดความรวดเร็วและยังลดต้นทุนในการศึกษาอีกด้วย

5.ข้อเสนอแนะ

คณะผู้จัดทำได้สังเกตเห็นว่าการกำหนดเงื่อนไขในแบบจำลอง CFD นั้นมีความซับซ้อนเช่นการสร้างกริดหรือเมชเอลิเมนต์ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกการใช้เมชเอลิเมนต์ที่เหมาะสมจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น และในส่วนของ การกำหนดค่า Time Dependent อาจไม่เป็นไปตามที่คู่มือกำหนดซึ่งจะต้องใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อหาค่าผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับชุดปฏิบัติการ

6.กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษาที่จัดทำขึ้นนี้เกี่ยวกับ เรื่องการจำลองปรากฏการณ์ Water Hammer ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์เชิงระเบียบวิธีทางพลศาสตร์ของไหล จะสำเร็จลุล่วงไม่ได้ถ้าไม่ได้รับความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.จิระกานต์ ศิริวิชัยไมตรี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิศวกรรม และ รศ.ดร.วรารัฐ วุฒิวนิชย์ กรรมการโครงการวิศวกรรม ซึ่งให้ความรู้ ข้อคิดเห็น คำแนะนำในการตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินการเพื่อให้การจัดทำโครงการวิศวกรรมเป็นไปอย่างราบรื่นและสมบูรณ์

ทั้งนี้ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Jompop, "Computational Fluid Dynamics Technique", Thaksis University Journal, Vol 3, No. 1, pp.112-128, September, 2006.
- [2] C. Bapit and R.Chana."Mesh-free Method," Journal of Engineering Kasetsart University, Vol 81, pp.31-42, July, 2012.
- [3] 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.
- L. Werayoot and R. Wirachai, "The Performance Analysis of the Micro Turbine Generate Using Computational Fluid Dynamic (CFD)," Proceeding of Thailand Renewable Energy for Community Conference, pp.112-128, October, 2008.