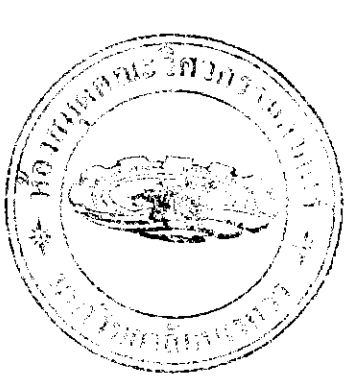


การใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการออกแบบระบบสปริงเกอร์

USING OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS PROGRAM TO DESIGN SPRINGER SYSTEM

นายนิตินัย บุญผ่อง รหัส 54360674

นายบุญญฤทธิ์ ภมร รหัส 54363323

นายประวิทย์ บัวสาย รหัส 54363354

30 ก.ย. 2558

169145 97

ม.

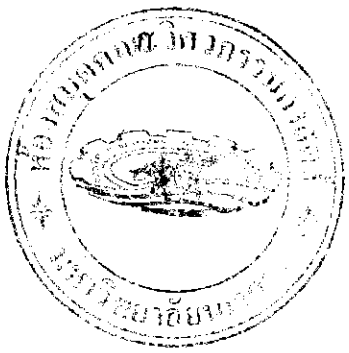
ฉบับที่ 9 2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อโครงงาน การใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการออกแบบระบบสปริงเกอร์

USING OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS PROGRAM TO DESIGN SPRINGER SYSTEM

ผู้ดำเนินโครงงาน นายนิตินัย บุญผ่อง รหัสนิสิต 54360674
นายบุญญฤทธิ์ ภมร รหัสนิสิต 54363323
นายประวิทย์ บัวสาย รหัสนิสิต 54363354

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ภาณุ พุทธวงศ์
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

.....ประธานกรรมการ
(ดร. ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

.....กรรมการ
(ผศ.ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา)

หัวข้อโครงงาน	การใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการออกแบบระบบสปริงเกอร์		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายนิตินัย	บุญผ่อง	รหัสนิสิต 54360674
	นายบุญญฤทธิ์	ภมร	รหัสนิสิต 54363323
	นายประวิทย์	บัวสาย	รหัสนิสิต 54363354
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ภาณุ พุทธวงศ์		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2557		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์การไหลของน้ำในท่อ PE โดยเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณโดยตรงโดยใช้สมการของ Hazen-William และการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ เพื่อเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของการออกแบบ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จากการเปรียบเทียบพบว่า การคำนวณโดยตรงโดยใช้สมการของ Hazen-William นั้นจะให้ผลการคำนวณที่มีความละเอียดน้อยกว่าการใช้โปรแกรมในการคำนวณ เนื่องจากในการคำนวณโดยตรงจะไม่คำนวณที่จุดต่อทางแยกแต่ละจุดต่อท่อ ที่ไหลออกไปยังหัวของสปริงเกอร์ ส่วนการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะทำการวิเคราะห์แบบจำลองทั้งหมดทั้งที่เป็นท่อยาวและข้อต่อ ซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะใช้สมการของ นาเวียร์-สโตกส์ ในการคำนวณ ค่าที่ได้จากคำนวณมีความละเอียดกว่าและแม่นยำกว่า ส่วนเวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้น การคำนวณโดยใช้สมการ Hazen-William ที่มีตัวแปรที่ใช้น้อย ไม่ซับซ้อน จะคำนวณได้รวดเร็วและสะดวกต่อการนำไปใช้มากกว่าการการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ ซึ่งจะมีความซับซ้อนจากสมการที่ใช้ในการคำนวณ และยังต้องเขียนแบบจำลองเพื่อจะใช้ในการวิเคราะห์ผล จึงใช้เวลานานในการวิเคราะห์ผล

Project Title	USING OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS PROGRAM TO DESIGN SPRINGER SYSTEM			
Name	Mr. Nitinai	Boonphong	ID.	54360674
	Mr. Boonyarid	Pamorn	ID.	54363323
	Mr. Prawit	Buasai	ID.	54363354
Project Advisor	Dr. Panu Putthawong			
Department	Mechanical Engineering			
Academic Year	2014			

Abstract

This project's objective is to compare the analysis of flow of water in PE pipe. The direct calculation using Hazen-Williams equations was being used to compare with the calculation from COMSOL Multiphysics, a CFD program, in order to study the performance of piping design and the time being used in design process. The result was that the direct calculation using Hazen-Williams equations was having less accuracy than the use of CFD program because it disregarded the pipe fittings. While the use of CFD program used to analysis the overall pipe system, part by part. It also used Navier-Stokes equations for calculations. The results from using CFD was more accurate than from using the direct calculation. However, the direct calculation had less variables and was less complex. This was the advantage in the time used in design process. Using COMSOL Multiphysics, the user must build the model prior to the analysis. This process could took longer time.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมเครื่องกลเรื่อง การใช้โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการออกแบบระบบสปริงเกอร์ฉบับนี้ สามารถทำงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงงานนี้ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และความอนุเคราะห์ในการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด จนสำเร็จลุล่วงด้วยดีดังนี้

ขอขอบคุณ ดร.ภาณุ พุทธวงศ์ ที่ให้ปรึกษา แนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ และวิธีการคำนวณด้านกลศาสตร์ของไหล

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว ผศ.ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา ที่ช่วยเหลือให้คำติชมและแนะนำความรู้ต่างๆ เพื่อให้โครงงานนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสืบค้นข้อมูล

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลชั้นปีที่ 4 ทุกคนที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และคอยเป็นกำลังใจให้สู้เสมอมา

ขอขอบคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงงาน

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงงานขอขอบคุณ บิดามารดา ที่คอยอบรมสั่งสอน สนับสนุน และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม

นายนิตินัย บุญผ่อง

นายบุญญฤทธิ์ ภมร

นายประวิทย์ บัวสาย

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ญ
สารบัญสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
1.6 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ระบบท่อ	3
2.3 สมการดาร์ซี (Darcy's equation)	4
2.4 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบราบเรียบ (Friction loss in laminar flow)	5

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วน (Friction loss in turbulent flow) 6

2.6 สมการของ Hazen-Williams 11

2.7 การไหลในท่อเครือข่าย (Flows in Multiple Pipes System) 12

2.8 Computational Fluid Dynamics 14

2.9 โปรแกรม Comsol Multiphysics™ 16

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 กรณีคำนวณโดยตรง 17

3.2 กรณีใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีการทางไฟไนต์อิลิเมนต์ 23

3.3 การสร้างแบบจำลองระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์ 23

3.4 การวาดแบบจำลองท่อและข้อต่อท่อ 3 มิติ มีขั้นตอนหลักดังนี้ 24

3.5 การจำลองการไหลของน้ำในท่อโดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม 26

Comsol Multiphysics™

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลอง 31

4.2 เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ 49

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง 49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 บทสรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง 52

5.2 ข้อเสนอแนะ 53

เอกสารอ้าง 54

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางลักษณะทางกายภาพของน้ำ(Physical characteristics of water) 56

ภาคผนวก ข อัตราความต้องการน้ำของพืช 60

ภาคผนวก ค การสร้างแบบจำลองระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์ 62

ภาคผนวก ง ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม 73

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 79

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน 2

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของ Hazen-William (C_h) 12

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณลักษณะของสปริงเกอร์แบบ pop up รุ่น 6000 series เบอร์หัวฉีด 5 17

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนชิ้นส่วนอุปกรณ์ 23

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าการคำนวณโดยตรง Loop ที่ 1 31

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าการคำนวณโดยตรง Loop ที่ 2 32

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าการคำนวณโดยตรง Loop ที่ 3 33

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ Loop ที่ 1 34

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ Loop ที่ 2 35

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ Loop ที่ 3 36

ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 1 37

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบค่าความเร็วระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 1 39

ตารางที่ 4.9 ตารางเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 2 41

ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบค่าความเร็วระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 2 43

ตารางที่ 4.11 ตารางเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 3 45

ตารางที่ 4.12 ตารางเปรียบเทียบค่าความเร็วระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop 47

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำ (Physical characteristics of water) 57

ตารางที่ ข.1 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินต่อเขตรากพืช 61

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลง velocity profile	3
รูปที่ 2.2 แผนภูมิของมูดดี้ (Moody Chart)	7
รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการต่อท่อแบบอนุกรม	13
รูปที่ 2.4 การแสดงการต่อท่อแบบขนาน	14
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแสดงการใช้โปรแกรม Computational Fluid Dynamics	15
รูปที่ 2.6 ภาพแสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™	16
รูปที่ 3.1 แบบ drawing การวางระบบสปริงเกอร์	18
รูปที่ 3.2 ภาพไดอะแกรมระบบท่อ loop 1	19
รูปที่ 3.3 ภาพไดอะแกรมระบบท่อ loop 2	20
รูปที่ 3.4 ภาพไดอะแกรมระบบท่อ loop 3	21
รูปที่ 3.5 ท่อตรง 3 มิติ	24
รูปที่ 3.6 ข้อต่อท่อ 3 ทาง 3มิติ	24
รูปที่ 3.7 ข้อต่อท่อลดขนาด 3 มิติ	25
รูปที่ 3.8 ชิ้นส่วนท่อและข้อต่อท่อ 3 มิติ ที่ถูกประกอบเข้าด้วยกัน	25
รูปที่ 3.9 การ Import แบบจำลองท่อ 3 มิติ	26
รูปที่ 3.10 การกำหนดค่า Subdomain	27
รูปที่ 3.11 การกำหนดค่า Boundary setting	28
รูปที่ 3.12 รูปทรงแบบ tetrahedral	28
รูปที่ 3.13 แบบจำลองที่มีการแบ่งเอลิเมนต์	29
รูปที่ 3.14 ผลการคำนวณแบบจำลองโปรแกรม Comsol Multiphysics™	30

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหล loopที่ 1 38

รูปที่ 4.16 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว loopที่ 1 40

รูปที่ 4.17 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหล loopที่ 2 42

รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว loopที่ 2 44

รูปที่ 4.19 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหล loopที่ 3 46

รูปที่ 4.20 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว loopที่ 3 48

รูปที่ ค.1 การเรียกใช้โปรแกรม SolidWorks เขียนภาพ 3 มิติ 63

รูปที่ ค.2 การวาดรูปวงกลม 64

รูปที่ ค.3 ยืดท่อออกตามความยาวที่กำหนด 64

รูปที่ ค.4 ท่อตรง 3 มิติ 65

รูปที่ ค.5 ยืดท่อออกตามความยาวทั้งสองข้างเท่ากัน 65

รูปที่ ค.6 ท่อตรง 3 มิติ ใส่ความยาวเท่ากัน 2 ข้าง 66

รูปที่ ค.7 วาดวงกลมบนจุดกึ่งกลางของท่อ 3 มิติ 66

รูปที่ ค.8 ยืดความยาวท่อตั้งฉากกลับแนวท่อตรง 3 มิติ 67

รูปที่ ค.9 ข้อต่อท่อ 3 ทาง 3มิติ 67

รูปที่ ค.10 การวาดเส้นตรง 68

รูปที่ ค.11 เส้นตรงที่มี 2 plane 68

รูปที่ ค.12 แสดง Plane 1 และ Plane 2 69

รูปที่ ค.13 วาดวงกลมบน Plane1 และ Plane 2 69

รูปที่ ค.14 ข้อต่อลดขนาด 3 มิติ 70

รูปที่ ค.15 การเรียกใช้โปรแกรมประกอบชิ้นส่วนท่อและข้อต่อ 3 มิติ 70

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ค.16 การ Browse ชิ้นส่วนเพื่อทำการต่อ 71

รูปที่ ค.17 แสดงการประกอบชิ้นส่วน 3 มิติเข้าด้วยกัน 71

รูปที่ ค.18 ชิ้นส่วนท่อและข้อต่อท่อ 3 มิติ ที่ถูกประกอบเข้าด้วยกัน 72

รูปที่ ง.1 การเปิดหน้าแรกของโปรแกรม 74

รูปที่ ง.2 การ Import แบบจำลองท่อ 3 มิติ 75

รูปที่ ง.3 การกำหนดค่า Boundary setting 76

รูปที่ ง.4 การกำหนดค่า subdomain 76

รูปที่ ง.5 การแบ่งเอลิเมนท์ 77

รูปที่ ง.6 ผลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม Comsol Multiphysics™ 78

สารบัญสัญลักษณ์

ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย
ρ	ความหนาแน่นของของไหล	(kg/ m^3)
μ	ค่าความหนืดของของไหล	(N·s/m^2)
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	(m)
ν	ความเร็วเฉลี่ยของของไหล	(m/s)
Re	ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number)	(none)
P	ความดัน	(N/m^2)
γ	น้ำหนักจำเพาะของของไหล	(N/ m^3)
Z	ระดับความสูงของของไหล	(m)
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	(m/s^2)
h_L	พลังที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทาน	(mH2O)
L	ความยาวของท่อ	(m)
f	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	(none)
K	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย	(none)
A	พื้นที่หน้าหน้าตัดท่อ	(m^2)
C_h	ค่าสัมประสิทธิ์ของ Hazen-William	(none)
R	รัศมีของท่อ	(m)
Q	อัตราการไหลของของไหล	(m^3/s)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากเทศบาลจังหวัดพิษณุโลกได้มีการวางแผนที่จะทำสวนสาธารณะแห่งใหม่บริเวณพื้นที่สถานีตำรวจภูธรเมืองพิษณุโลกโดยปรับปรุงพื้นที่ขึ้นมาใหม่ วิศวกรได้ออกแบบระบบจ่ายน้ำและทำการติดตั้งระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์ จึงต้องคำนวณหาสมรรถนะของระบบจ่ายน้ำ ให้น้ำสามารถไหลได้ทั่วบริเวณสวนสาธารณะ โดยทั่วไปแล้วจะทำการคำนวณโดยตรง ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลามากในการคำนวณ ดังนั้นเพื่อที่จะลดเวลาในการคำนวณสมรรถนะของระบบ ทางคณะผู้จัดทำจึงจะทำการเปรียบเทียบการคำนวณระหว่างการคำนวณโดยตรงและการคำนวณด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ว่าการคำนวณด้วยวิธีใดที่แม่นยำและช่วยลดเวลาในการคำนวณได้มากกว่ากัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาการทำงานของโปรแกรม CFD เพื่อประยุกต์ใช้ในการคำนวณระบบท่อ

1.2.2 ทำการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของการออกแบบระหว่างการใช้โปรแกรม CFD กับการคำนวณโดยไม่ใช้โปรแกรม

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ระบบสปริงเกอร์สำหรับสวนสวนสาธารณะเทศบาลเมืองพิษณุโลกแห่งใหม่

1.3.2 เปรียบเทียบการคำนวณระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการใช้โปรแกรม CFD

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 การออกแบบเครือข่ายระบบท่อ

1.4.2 ทราบการใช้งานโปรแกรม CFD เบื้องต้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการไหลภายในท่อ

1.5.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการไหลภายในท่อ

1.5.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม CFD

1.5.4 ทำการคำนวณค่าต่างๆ ภายในการไหลภายในท่อโดยใช้โปรแกรม CFD และไม่ใช้โปรแกรม CFD

1.5.5 ทำการทดสอบผลที่ได้ แล้วเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงาน

1.5.6 วิเคราะห์และสรุปผล

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2557				2558						
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีงานวิจัยและรวมถึงข้อมูลรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้อง											
2. สรุปขอบเขตโครงงานและออกแบบการทดลอง											
3. ทำการทดลองและคำนวณผลที่ได้จากการทดลอง											
4. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง											
5. สรุปผลและจัดทำรูปเล่มรายงาน											

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1.7.1 กระดาษ	500	บาท
1.7.2 จัดทารูปเล่ม	2,000	บาท
1.7.3 ค่าอุปกรณ์อื่นๆ	500	บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

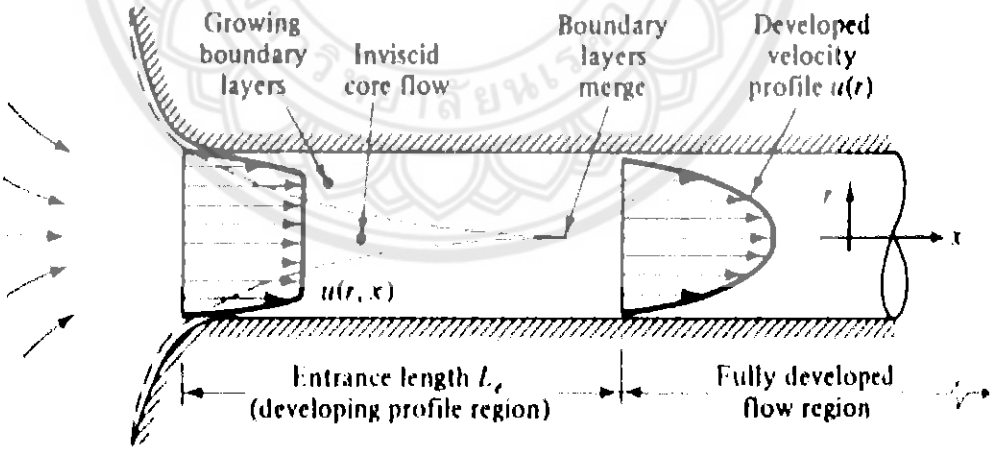
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากโครงงานนี้ ได้จัดทำขึ้น จากการออกแบบระบบจ่ายน้ำและทำการติดตั้งระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์จากงานจริง จึงไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2 ระบบท่อ

ระบบท่อประกอบด้วยอุปกรณ์หลายอย่างด้วยกัน เช่น ท่อข้อต่อ ข้องอ วาล์ว ปั๊ม ถังเก็บกัก เป็นต้น ซึ่งในการพิจารณาระบบท่อเพื่อออกแบบและการใช้งาน สิ่งที่ต้องพิจารณา คือ การสูญเสียพลังงาน ความเร็วการไหล อัตราการไหล ความดันในท่อ เป็นต้น ดังที่จะกล่าวถึงในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้

ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number; Re)



รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลง velocity profile
(ที่มา http://www.me.psu.ac.th)

ในการพิจารณาพฤติกรรมของของไหลโดยเฉพาะการสูญเสียพลังงานจำเป็นที่ต้องพิจารณาว่าการไหลนั้นเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) หรือเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ทั้งนี้ปัจจัยที่ใช้ประกอบการพิจารณาคือ ค่าความหนาแน่นของของไหล (ρ) ค่าความหนืดของของไหล (μ) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (D) และความเร็วเฉลี่ยของของไหล (ν) Osborne Reynolds เป็นคนแรกที่อธิบายการไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วนด้วยตัวเลขซึ่งเรียกว่า
ตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) ดังสมการต่อไปนี้

$$\mathrm{Re}=\frac{\nu D\rho}{\mu}=\frac{\nu D}{\upsilon} \quad \text{เมื่อ} \quad \nu=\frac{\mu}{\rho} \qquad [2.1]$$

$$\mathrm{Re}=\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\mathrm{gmg}\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\mathrm{g}\frac{\mathrm{mgs}}{\mathrm{kg}}$$

ดังนั้น ตัวเลขเรย์โนลด์จึงเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย

Re < 2000	เรียกว่า การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)
2000 < Re < 4000	เรียกว่า การไหลในช่วงเปลี่ยนแปลง (Transition Flow)
R > 4000	เรียกว่า การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

2.3 สมการดาร์ซี (Darcy's equation)

จากสมการทั่วไปของสมการพลังงาน

$$\frac{P_1}{\gamma}+z_1+\frac{v_1^2}{2g}+h_A-h_R-h_L=\frac{P_2}{\gamma}+z_2+\frac{v_2^2}{2g} \qquad [2.2]$$

เมื่อ h_A คือ พลังงานที่ได้จากปั๊ม
h_R คือ พลังงานที่น้ำเปลี่ยนเป็นพลังงานกล หรือพลังงานที่นำไปใช้กับกังหัน
h_L คือ พลังงานที่สูญเสียไปในระบบ ประกอบด้วยการสูญเสียหลักและการสูญเสียรอง

พลังงานที่สูญเสียไปในระบบนั้น มีการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานเป็นการสูญเสียหลัก โดยสามารถหาค่า h_L ได้จากสมการดังต่อไปนี้ ซึ่งเรียกว่า สมการดาร์ซี (Darcy's equation)

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \qquad [2.3]$$

เมื่อ h_L คือ พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทาน
L คือ ความยาวของท่อหรือความยาวของการไหล (m หรือ ft)
D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (m หรือ ft)
v คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/s หรือ ft/s)
f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction factor)

สมการข้างต้น สามารถใช้ได้กับสภาพการไหลได้ทั้งแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน สำหรับการคำนวณหาการสูญเสียรองจะกล่าวต่อไป

2.4 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบราบเรียบ (Friction loss in laminar flow)

สมการของดาร์ซีก็สามารถใช้กับการไหลแบบราบเรียบได้เช่นกัน ดังนั้น

$$f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2}$$
$$f = \frac{32\mu Lv}{\gamma D^2} \times \frac{2gD}{Lv^2} = \frac{64\mu g}{vD\gamma} \qquad [2.4]$$

$$f = \frac{64\mu}{vD\rho} \qquad \text{เมื่อ} \qquad \rho = \frac{\gamma}{g} \qquad [2.5]$$

$$f = \frac{64}{Re} \qquad \text{เมื่อ} \qquad Re = \frac{vD\rho}{\mu} \qquad [2.6]$$

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ สมการของดาร์ซี คือ $f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$ เมื่อ $f = \frac{64}{Re}$ [2.6]

2.5 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วน (Friction loss in turbulent flow)

สำหรับการสูญเสียพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วนสามารถนำสมการของดาร์ซีมาใช้ได้ โดยสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) หาค่าได้จากแผนผังมู้ดดี้ (Moody Diagram) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขเรย์โนลด์ และอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเฉลี่ยภายใน (D) กับ ความขรุขระเฉลี่ย (ε) ทั้งนี้ ความขรุขระเฉลี่ยของท่อขึ้นกับชนิดของท่อและอายุการใช้งานของท่อ

สมการสำหรับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Equation for the friction factor)

นอกจากการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ด้วย Moody Diagram แล้วนั้น ยังมีสมการอื่นๆ อีกที่สามารถจะวิเคราะห์และหาค่าดังกล่าวได้ กล่าวคือ สำหรับการไหลแบบราบเรียบ (Re < 2000) สามารถหาได้จากสมการดังที่ 2.7

การสูญเสียหลัก (Major Losses)

เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานภายในท่อ

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

ในกรณีการไหลแบบราบเรียบ การสูญเสียเนื่องจากความดันเขียนได้ดังสมการ

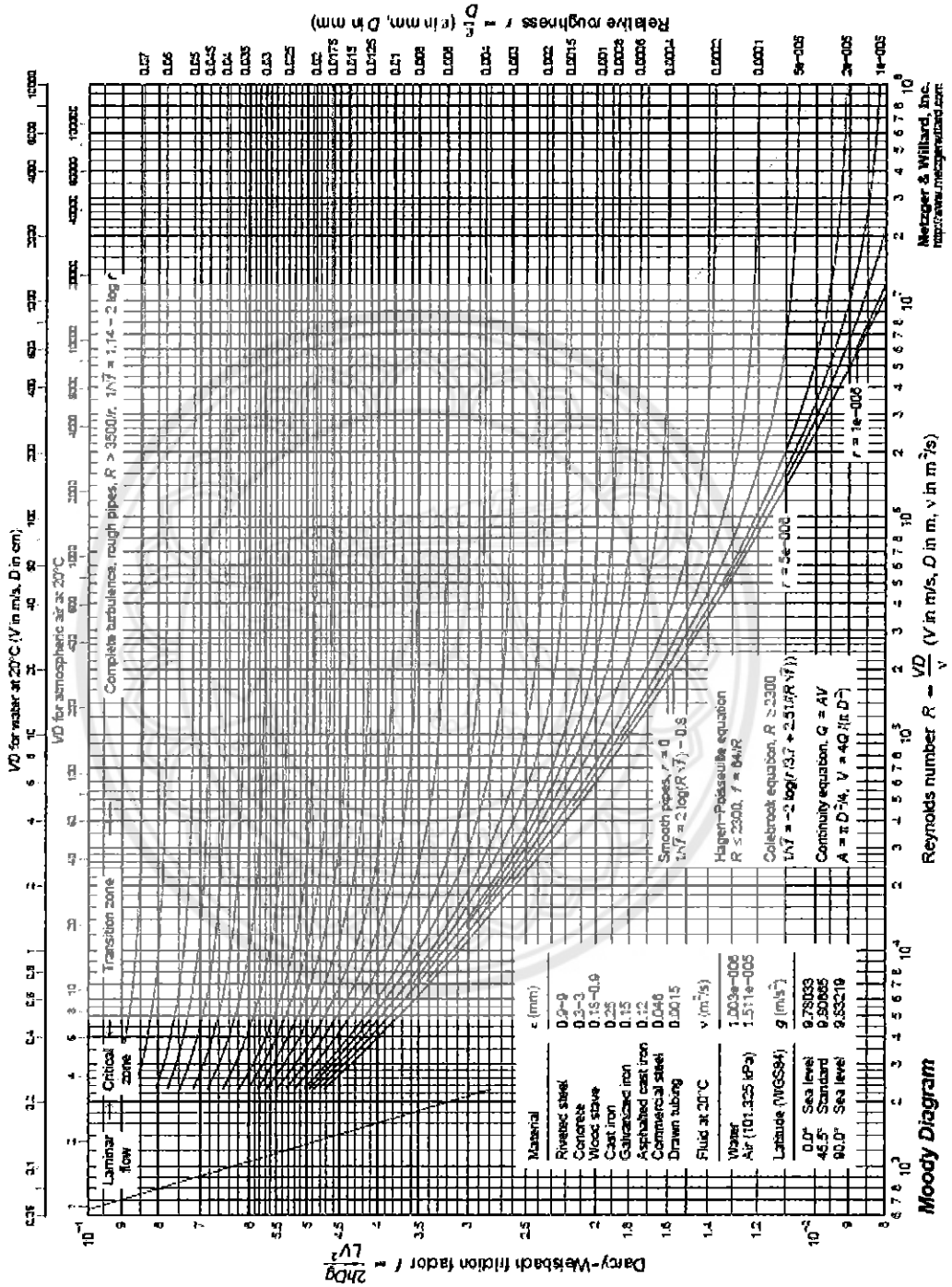
$$h_l = \frac{64}{Re} \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \qquad [2.7]$$

การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

ในกรณีการไหลแบบปั่นป่วน การสูญเสียเนื่องจากความดันเขียนได้ดังสมการ

$$h_l = \frac{64}{Re} \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \qquad [2.8]$$

โดยที่ค่า f หาได้จาก Moody Chart



รูปที่ 2.2 แผนภูมิของมูดดี้ (Moody Chart)
(ที่มา http:// http://3.bp.blogspot.com)

การสูญเสียรอง (Minor losses)

การสูญเสียรอง คือ การสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนขนาดและทิศทางการไหล เนื่องจากวัสดุที่ของเหลวไหลผ่าน ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$h_L = K \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) = f \times \frac{L_e}{D} \times \frac{v^2}{2g} \qquad [2.9]$$

เมื่อ h_L คือ การสูญเสียรอง

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย เป็นค่าที่ขึ้นกับชนิดและรูปร่างของวัสดุที่ของเหลวไหลผ่าน

L_e คือ ความยาวเทียบเท่าของท่อที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดันเท่าสิ่งกีดขวางนั้น (equivalent length)

v คือ ความเร็วเฉลี่ย ณ ตำแหน่งที่พิจารณาการสูญเสียรองการสูญเสียรอง พิจารณาที่สภาวะต่าง ๆดังนี้

การขยายหน้าตัดท่อทันทีทันใด

เมื่อของไหลไหลจากท่อที่มีขนาดเล็กไปสู่ท่อที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งเป็นท่อที่มีการขยายพื้นที่หน้าตัดการไหลอย่างทันทีทันใด ความเร็วจะลดลงเมื่อไหลเข้าสู่ท่อที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ใหญ่กว่า เนื่องจากเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ดังนั้น ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานซึ่งสามารถค่าได้จากสมการดังนี้

$$h_L = K \times \left(\frac{v_1^2}{2g}\right) \qquad [2.10]$$

เมื่อ v_1 คือ ความเร็วเฉลี่ย ณ ท่อที่มีขนาดเล็กกว่า และกำลังไหลไปสู่ท่อที่มีขนาดใหญ่กว่า

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของท่อทั้งสอง

$$K = \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\right]^2 \qquad [2.11]$$

ตัวห้อย “1” = ท่อที่มีขนาดเล็กกว่า

ตัวห้อย “2” = ท่อที่มีขนาดใหญ่กว่า

การสูญเสียที่ทางออก

เมื่อของไหลไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่หรือถังน้ำขนาดใหญ่ ดังภาพ ความเร็วของการไหลที่เข้าสู่อ่างนั้นจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ พลังงานที่สูญเสียที่ทางออกจากท่อ หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$h_L = K \times \left(\frac{v_1^2}{2g} \right) \qquad [2.12]$$

เมื่อ h_L คือ การสูญเสียรองที่ทางออก, K = 1.0

การขยายหน้าตัดการไหลอย่างค่อย ๆ เป็นค่อย ๆ ไป

การสูญเสียพลังงานสำหรับการไหลของของเหลวจากหน้าตัดการไหลที่เล็กกว่าไปยังหน้าตัดการไหลที่ใหญ่กว่า หาได้จากสมการ ดังนี้

$$h_L = K \times \left(\frac{v_1^2}{2g} \right) \qquad [2.13]$$

การลดขนาดหน้าตัดการไหลอย่างทันทีทันใด

การสูญเสียพลังงานสำหรับการไหลของของเหลวจากหน้าตัดการไหลที่มีการลดหน้าตัดการไหลอย่างทันทีทันใด หาได้จากสมการ ดังนี้

$$h_L = K \times \left(\frac{v_1^2}{2g} \right) \qquad [2.14]$$

การลดขนาดหน้าตัดการไหลอย่างค่อย ๆ เป็น ค่อย ๆ ไป

การสูญเสียพลังงานสำหรับการไหลของของเหลวจากหน้าตัดการไหลที่มีการลดหน้าตัดการไหลแบบค่อย ๆ เป็นค่อย ๆ ไป หาได้จากสมการ ดังนี้

$$h_L = K \times \left(\frac{v_1^2}{2g} \right) \qquad [2.15]$$

การสูญเสียที่ทางเข้า

การสูญเสียพลังงานที่ทางเข้า หาได้จากสมการ ดังนี้

$$h_L = K \times \left(\frac{v_2^2}{2g} \right) \qquad [2.16]$$

เมื่อ v_2 คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหลที่ไหลเข้า

การสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์ท่อ

อุปกรณ์ท่อ หมายถึง ส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ในการติดตั้งระบบท่อ เช่น ข้อต่อต่าง ๆ ข้องอ วาล์วชนิดต่าง ๆ และประตูน้ำ เป็นต้น อุปกรณ์ท่อเหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของการไหล ดังนั้น การสูญเสียพลังงานเนื่องจากอุปกรณ์ท่อ หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$h_L = K \times \left(\frac{v_p^2}{2g} \right) \qquad [2.17]$$

เมื่อ v_p คือ ความเร็วในท่อ ซึ่งมีขนาดเท่ากับอุปกรณ์นั้น ๆ

นอกจากนี้ การสูญเสียรองสามารถระบุในรูปของความยาวท่อสมมูลย์ (Equivalent length; Le) ของท่อขนาดต่าง ๆ
ความยาวท่อสมมูลย์ คือ ความยาวของท่อ ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานเท่ากับการสูญเสียรองต่าง ๆ หรือการสูญเสียหลัก นั้นคือ

$$f \times \frac{Le}{D} \times \frac{v^2}{2g} = K \times \frac{v^2}{2g}$$

$$Le = \frac{KD}{f} \qquad [2.18]$$

เมื่อ L_e คือ ความยาวสมมูลย์ของท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง D
K คือ ประสิทธิ์การสูญเสียจากอุปกรณ์เพียงอย่างเดียวหรือหลาย ๆ อย่างรวมกัน
f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ

2.6 สมการของ Hazen-Williams

สมการของ Hazen-Williams เป็นอีกสมการหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เพื่อการออกแบบและวิเคราะห์ระบบน้ำ โดยสมการ Hazen-Williams มีข้อจำกัดคือ

1. สมการของ Hazen-Williams นั้นจะสามารถใช้ได้แต่กับของเหลวที่เป็นน้ำเท่านั้น
2. สมการของ Hazen-Williams นั้นใช้สำหรับการไหลของน้ำที่อุณหภูมิปกติ (70°F หรือ 20°C) เท่านั้น

สมการของ Hazen-Williams คือ

$$v=0.85C_hR^{0.63}S^{0.54} \qquad [2.19]$$

เมื่อ v คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/s)

C_h คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Hazen-William (ไม่มีหน่วย) ดังตารางที่ 5-1

R คือ รัศมีของท่อ (m) สำหรับท่อวงกลม $R=\frac{D}{4}$

$$S=\frac{h_L}{L}=\frac{\text{energy loss}}{\text{length of conduit}} \qquad [2.20]$$

สมการของ Hazen William ในรูปแบบต่างๆ

$$v=0.85C_hR^{0.63}S^{0.54} \quad (\text{m/s}) \qquad [2.21]$$

$$Q=0.85AC_hR^{0.63}S^{0.54} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \qquad [2.22]$$

$$h_L=L\times\left[\frac{Q}{0.85AC_hR^{0.63}}\right]^{1.852} \quad (\text{m}) \qquad [2.23]$$

$$D=\left[\frac{3.59Q}{C_hS^{0.54}}\right]^{0.38} \quad (\text{m}) \qquad [2.24]$$

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของ Hazen-William (C_h)

ชนิด	C_h	
	ค่าเฉลี่ยสำหรับท่อใหม่/ท่อสะอาด	ค่าออกแบบ
เหล็กเหนียว,เหล็กดัดตัวง่าย	150	140
พลาสติก,ทองแดง,ทองเหลือง,แก้ว	140	130
คอนกรีต	120	100
เหล็กลูกฟูก	60	60

2.7 การไหลในท่อเครือข่าย (Flows in Multiple Pipes System)

ระบบท่อเครือข่าย หมายถึง ระบบท่อที่ประกอบไปด้วยท่อหลาย ๆ สายเชื่อมโยงกัน โดยสามารถจ่ายน้ำออกจากหลาย ๆ วงจรของท่อ ซึ่งมีลักษณะคล้าย ๆ กับวงจรไฟฟ้า ในระบบท่อเครือข่าย

โดยทั่ว ๆ ไป จะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

2.7.1 ผลรวมทางพีชคณิตของการสูญเสียความดันภายในวงจรปิดใด ๆ จะต้องเท่ากับศูนย์

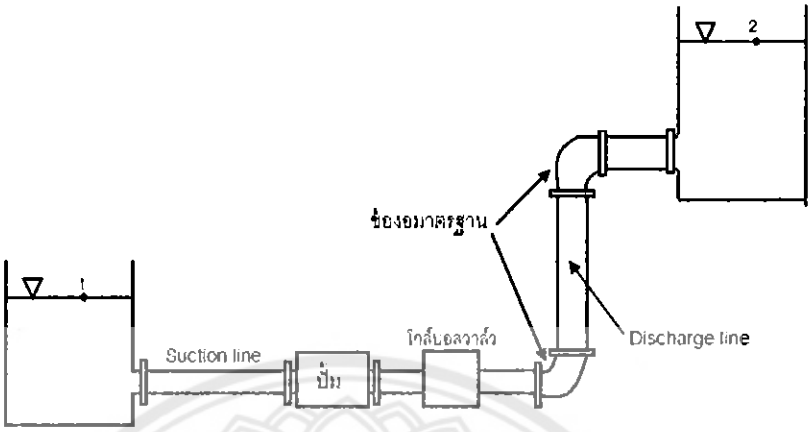
2.7.2 การไหลเข้าที่จุดร่วมใด ๆ จะต้องเท่ากับการไหลออกจากจุดร่วมนั้น

การนำท่อมาต่อกันจัดเป็นกรณีศึกษาได้ 2 กรณี คือ

2.7.3 การต่อแบบอนุกรม (series)

2.7.4 การต่อแบบขนาน (parallel)

2.7.3 การต่อท่อแบบอนุกรม (Series Pipeline System)



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการต่อท่อแบบอนุกรม
(ที่มา http://eng.sut.ac.th)

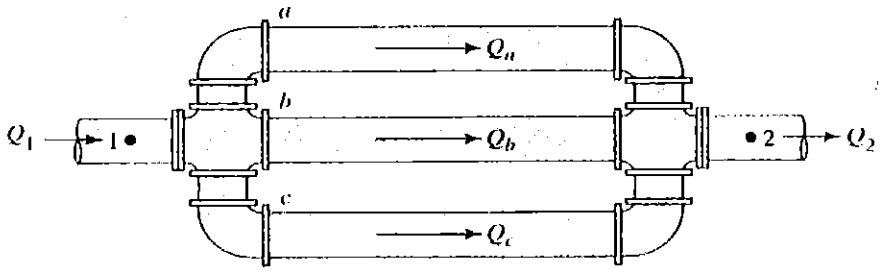
สมการพลังงาน แสดงได้ดังนี้

$$\frac{P_1}{\gamma}+z_1+\frac{v_1^2}{2g}+h_A-h_L=\frac{P_2}{\gamma}+z_2+\frac{v_2^2}{2g} \qquad [2.25]$$

เมื่อ h_A คือ พลังงานที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากปั๊ม
h_L คือ พลังงานที่สูญเสียไปจากระบบ ณ จุดที่ 1 ถึงจุดที่ 2
$h_L = h1 + h2 + h3 + h4 + h5 + h6$
h_1 คือ การสูญเสียที่ทางเข้า
h_2 คือ การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน ณ suction line
h_3 คือ การสูญเสียที่ Globe valve
h_4 คือ การสูญเสียที่ข้องอทั้งสอง
h_5 คือ การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน ณ discharge line
h_6 คือ การสูญเสียที่ทางออก

สำหรับการต่อท่อแบบอนุกรม การสูญเสียพลังงานทั้งหมด คือผลรวมของการสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานทั้งหมด (การสูญเสียหลัก) กับการสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์ทั้งหมด (การสูญเสียรอง)

2.7.4 การต่อท่อแบบขนาน (Parallel Pipeline System)



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงการต่อท่อแบบขนาน
(ที่มา http://udel.edu)

เมื่อระบบท่อเป็นการต่อแบบขนาน สมการสภาพต่อเนื่องและสมการพลังงานที่ใช้ จะอยู่ภายใต้เงื่อนไข ดังต่อไปนี้

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c \qquad [2.26]$$

$$h_{L(1\text{-}2)} = h_a = h_b = h_c \qquad [2.27]$$

2.8 โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics)

โปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาศัยความสามารถของคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษางานที่จำเป็นต้องวิเคราะห์และเข้าใจถึงพฤติกรรมของชิ้นส่วนต่างๆ ที่มีผลต่อการไหล เพื่อพัฒนาชิ้นส่วนนั้นๆ ให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้น โดย CFD ทำให้สามารถมองเห็นการเคลื่อนที่ของกระแสการไหลในสภาวะหนึ่งๆและสามารถทำนายภาวะของเชิงความร้อน ความเร็ว หรือ ทิศทาง ได้อย่างแม่นยำขึ้น และจะนำไปสู่การออกแบบที่ถูกต้องและประหยัดค่าใช้จ่ายในที่สูงสุด โดยอาศัยสมการ "นาเวียร์-สโตกส์" คำณวนผลของการไหล

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum Equations) หรือสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equations)

โมเมนตัมในแนวแกน x : $$\rho(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z})=-\frac{\partial P}{\partial x}+\nabla(\mu\nabla u)+\rho g_x \quad [2.28]$$

โมเมนตัมในแนวแกน y : $$\rho(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z})=-\frac{\partial P}{\partial y}+\nabla(\mu\nabla v)+\rho g_y \quad [2.29]$$

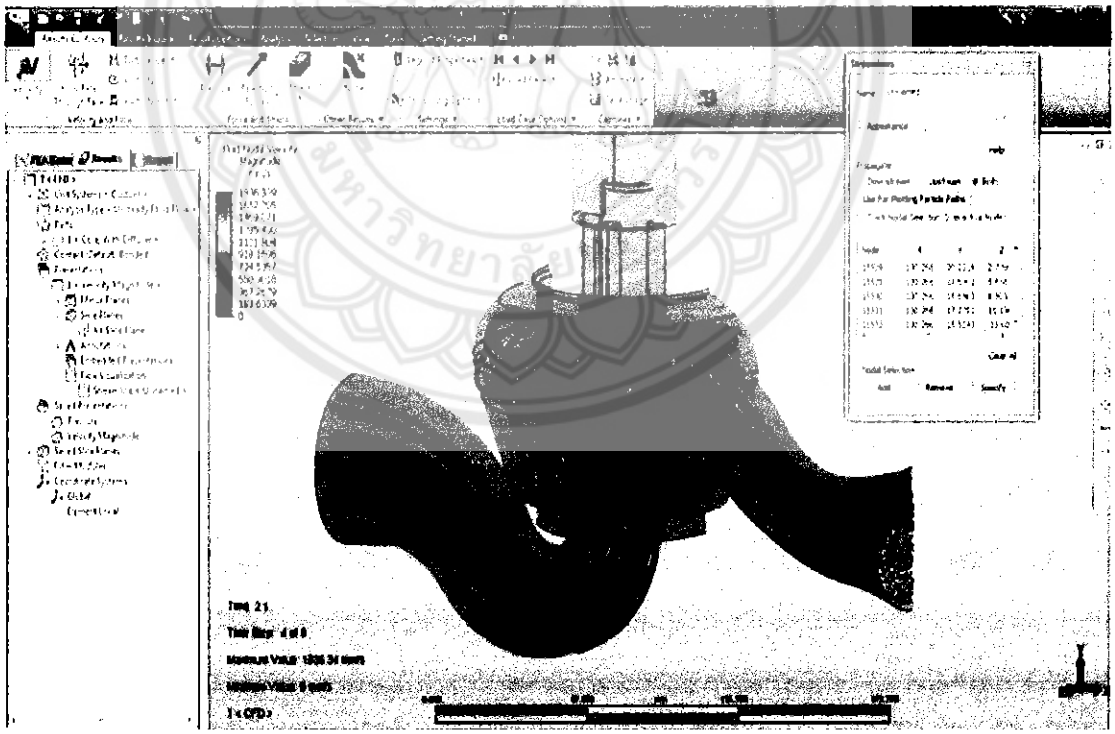
โมเมนตัมในแนวแกน z : $$\rho(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z})=-\frac{\partial P}{\partial z}+\nabla(\mu\nabla w)+\rho g_z \quad [2.30]$$

เมื่อ u, v, w คือ ความเร็วตามแกน x, y, z ตามลำดับ (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/ m^3)

μ คือ ค่าความหนืดของของไหล (N·s/m^2)

g_x, g_y, g_z คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามแกน x, y, z (m/s^2)



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแสดงการใช้โปรแกรม Computational Fluid Dynamics
(ที่มา http://drawing99.blogspot.com)

2.9 โปรแกรม Comsol Multiphysics™

เป็นโปรแกรมสำหรับที่มีไว้เพื่อทำงานทางด้านการคำนวณและจำลองการออกแบบงานทางวิศวกรรม โดยใช้วิธี Finite element method ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) หรือ FEM เป็นวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขชนิดหนึ่ง สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ที่ต้องมีสมการควบคุมระบบและใช้เงื่อนไขขอบเขตเพื่อจะแก้สมการ ในวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะมีการแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยเรียกว่า เอลิเมนต์ (element) และ เอลิเมนต์จะเชื่อมกันด้วยจุดต่อ (node) แล้วจึงนำสมการควบคุมระบบมาสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับแต่ละเอลิเมนต์บน โดเมนจากนั้นจึงแก้ระบบสมการดังกล่าว ซึ่งจะได้ผลเฉลยโดยประมาณที่จุดต่อบนโดเมนนั้น

ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

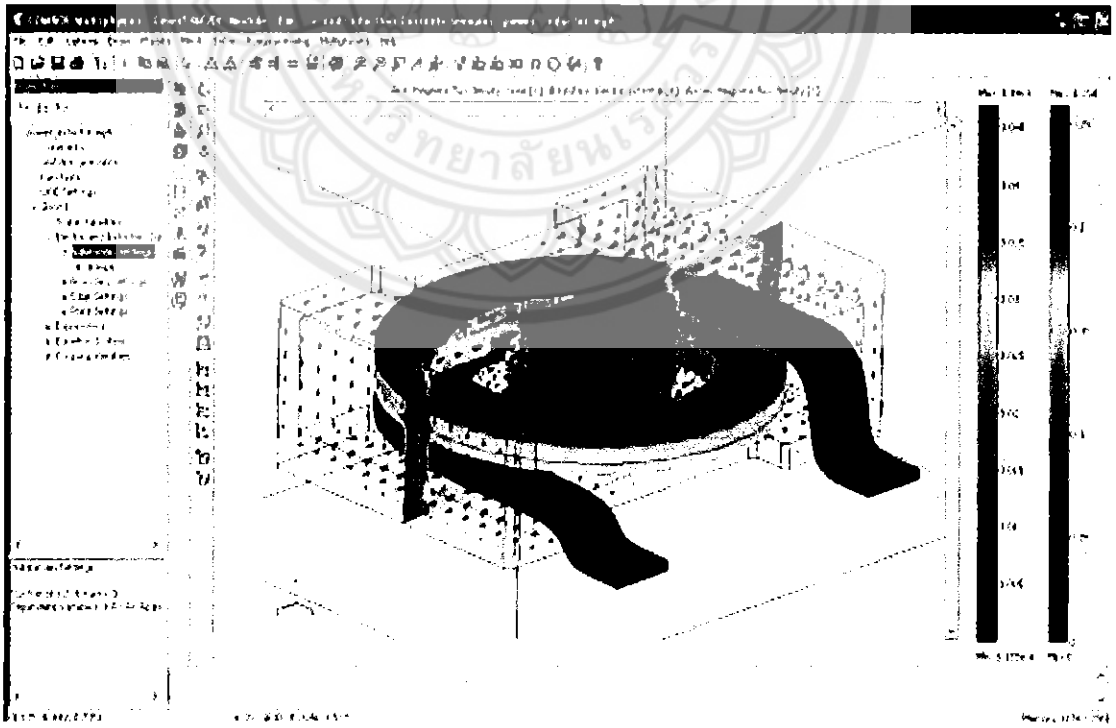
2.9.1 แบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อย

2.9.2 สร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์จากสมการควบคุม

2.9.3 นำสมการจากทุกเอลิเมนต์มารวมเป็นระบบสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นระบบสมการเชิงเส้น

2.9.4 ให้เงื่อนไขขอบเขต

2.9.5 แก้ระบบสมการ ซึ่งจะได้ผลเฉลยที่จุดต่อบนโดเมน



รูปที่ 2.6 ภาพแสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™
(ที่มาhttp://www.appcustom.com/)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

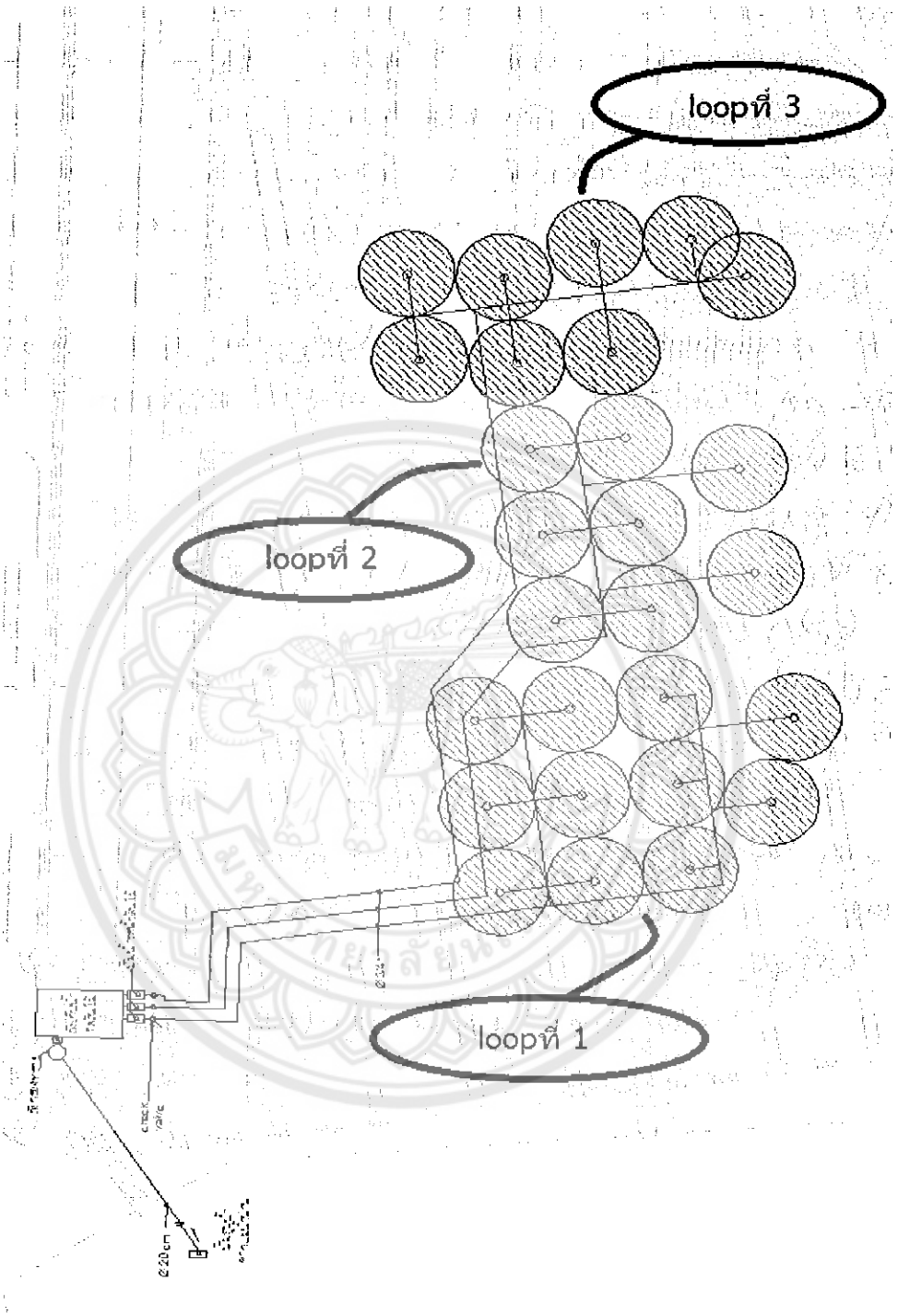
ในการศึกษาการศึกษาการทำงานของโปรแกรม CFD เพื่อประยุกต์ใช้ในการคำนวณระบบท่อ ทำการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของการออกแบบระหว่างการใช้โปรแกรม CFD กับการคำนวณโดยไม่ใช้โปรแกรม
มีขั้นตอนการดำเนินงาน 2 กรณีดังนี้

3.1.กรณีคำนวณโดยตรง

การคำนวณโดยตรงจะมีสมการของ Darcy-Weisbeah และสมการของ Hazen-Williams ถ้าเลือกใช้สมการของ Darcy-Weisbeah ที่ใช้ร่วมกับ Moody Chart ถือเป็นวิธีที่ดีและเชื่อถือได้ แต่จะมีปัญหาตรงที่ค่าความขรุขระของผนังท่อที่แท้จริงนั้นหาได้ยาก และยังเปลี่ยนไปตามอายุการใช้งานอีกด้วย ทางผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้สมการของ Hazen-Williams ซึ่งเป็นสมการเอมไพริกอล สามารถนำมาใช้งานได้สะดวกและไม่ยุ่งยาก และยังให้ค่าที่ถูกต้อง โดยทำการวิเคราะห์ว่าแบบประกอบด้วยอะไรบ้าง ท่อแต่ละช่วงยาวเท่าไร มีอัตราการไหลเท่าไร เมื่อทราบความยาวของท่อแต่ละช่วงแล้วและอัตราการไหลแล้ว จึงนำมาคำนวณหา เฮดสูญเสีย (head loss) โดยใช้สมการของ Hazen-Williams โดยปริมาณน้ำจะใช้ข้อมูลคุณลักษณะของสปริงเกอร์เป็นเกณฑ์ในการคำนวณ ดังตารางด้านล่างนี้

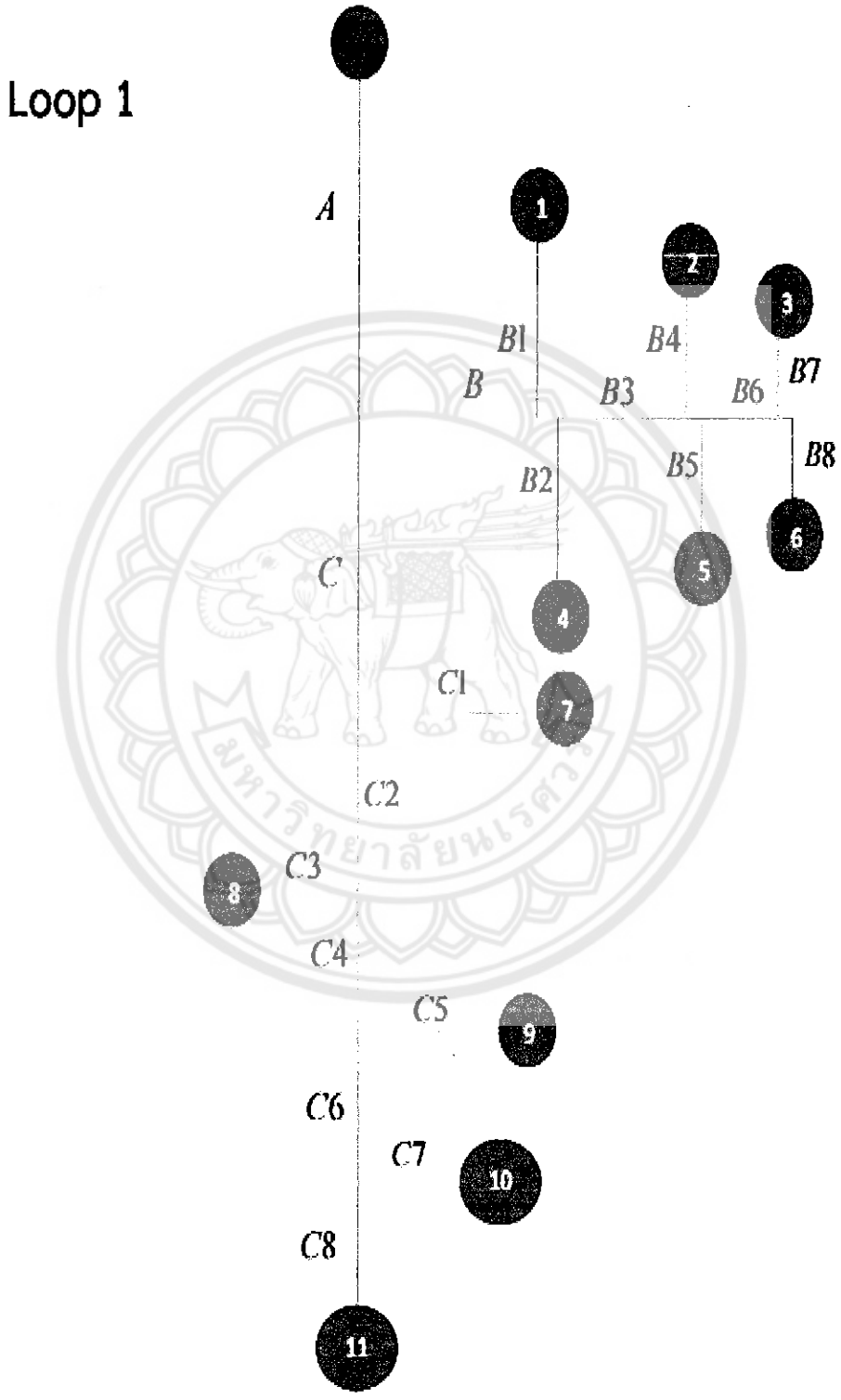
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณลักษณะของสปริงเกอร์ แบบ pop up รุ่น 6000 series เบอร์หัวฉีด 5

แรงดัน		รัศมีสูงสุด	รัศมีต่ำสุด	ปริมาณน้ำ	
บาร์ (Bar)	กิโลปาสคาล (kPa)	เมตร (m)	เมตร (m)	ลิตร/นาที (L/min)	ลบ.ม./ชม. (m^3/hr)
3.5	345	11.6	8.7	7.2	0.43

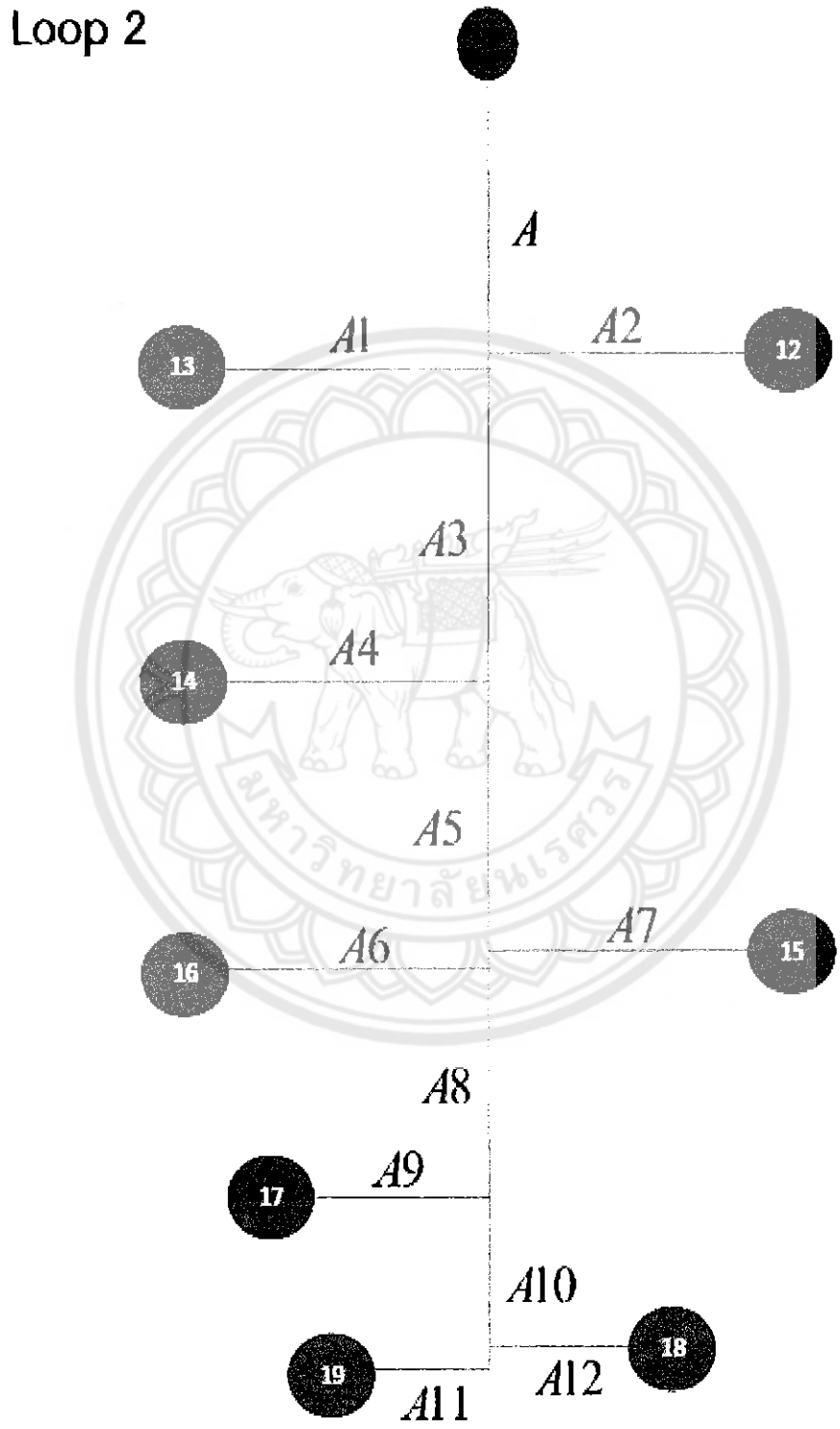


รูปที่ 3.1 แบบ drawing การวางระบบสปริงเกอร์

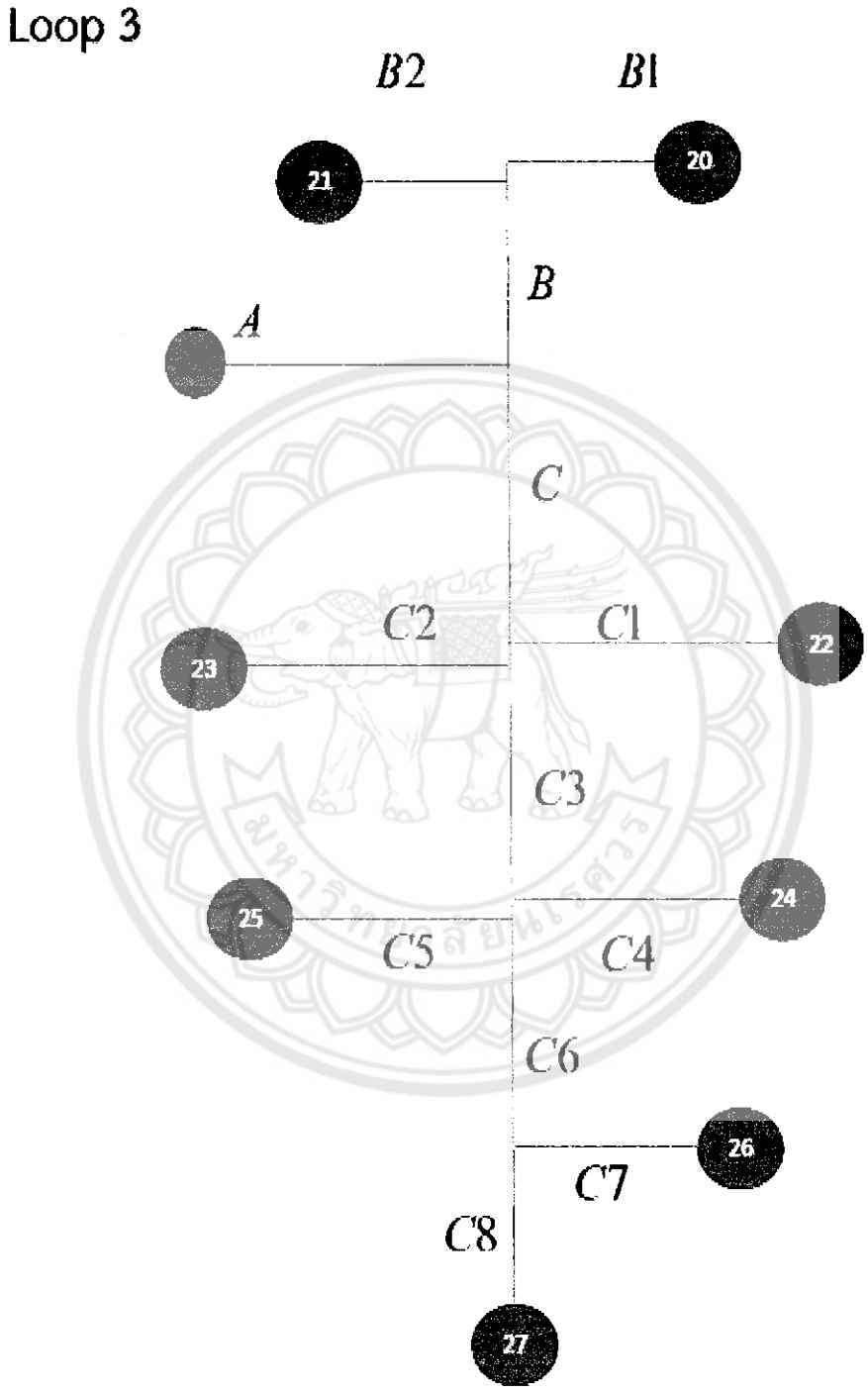
จากแบบ drawing ระบบสปริงเกอร์ของสวนสาธารณะ จะเห็นว่าท่อมีความโค้งงอไปตามพื้นที่ของสวน ซึ่งการคำนวณจะมีขั้นตอนมาก จึงทำการลดรูปเพื่อสะดวกในการคำนวณ แสดงในรูปแบบไดอะแกรมด้านบน โดยที่ตัวแปรแต่ละตัวจะแสดงขนาดของท่อแต่ละช่วง



รูปที่ 3.2 ภาพไดอะแกรมระบบท่อ loop 1



รูปที่ 3.3 ภาพไดอะแกรมระบบท่อ loop 2



รูปที่ 3.4 ภาพไดอะแกรมระบบท่อ loop 3

ตัวอย่างแสดงการคำนวณโดยตรง

โดยจะทำการแบ่งท่อเป็นช่วงๆ แล้วจึงทำการคำนวณโดยใช้สมการของที่ [2.21] และ [2.23]

จาก loop 1 ช่วง A

จาก สมการ [2.24] $h_L = L\left[\frac{Q}{0.85AC_hR^{0.63}}\right]^{1.852}$ คำนวณหา Head loss ของท่อ A

โดยที่ L คือ ความยาวของท่อ = 54.97 m

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ $\frac{\pi}{4}\times D^2 = \frac{\pi}{4}\times(0.0381)^2$ m^2

C_h คือ สัมประสิทธิ์ของ Hazen-Williams (จากตารางที่ 2.1) = 140

R คือ รัศมีของท่อ $\left(\frac{D}{4}\right) = \left(\frac{0.0381}{4}\right)$ m

จะได้ว่า $h_L = 54.97\times\left[\frac{0.00131}{0.85\times\frac{\pi}{4}\times(0.0381)^2\times140\times\left(\frac{0.0381}{4}\right)^{0.63}}\right]^{1.852}$

$h_L = 2.36$ m

ดังนั้น จากค่าที่ได้จากการคำนวณข้างต้น h_L นำมาคำนวณหาความเร็วของการไหลในท่อ

จากสมการ [2.22] $v = 0.85C_hR^{0.63}S^{0.54}$ คำนวณหาความเร็วของการไหลในท่อ A

โดยที่ S คือ การเสียเฮดเนื่องจากความดันต่อหนึ่งหน่วยความยาวของท่อ $\left(\frac{h_L}{L}\right) = \left(\frac{2.36}{54.97}\right)$

$$v = 0.85\times140\times\left(\frac{0.0381}{4}\right)^{0.63}\times\left(\frac{2.36}{54.97}\right)^{0.54}$$

$v = 1.15$ m/s

3.2.กรณีใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีการทางไฟไนต์อิลิเมนต์

เนื่องจากโปรแกรม Multiphysics™ ไม่สามารถคำนวณทั้ง loop ได้ จึงมีแนวคิดที่จะวิเคราะห์เฉพาะช่วงที่เป็นข้อต่อแบบจำลอง เพื่อหาอัตราการไหลและความเร็วทั้งหมดของแต่ละ loop โดยการสร้างแบบจำลองระบบจ่ายน้ำและทำการติดตั้งระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์

3.3 การสร้างแบบจำลองระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์

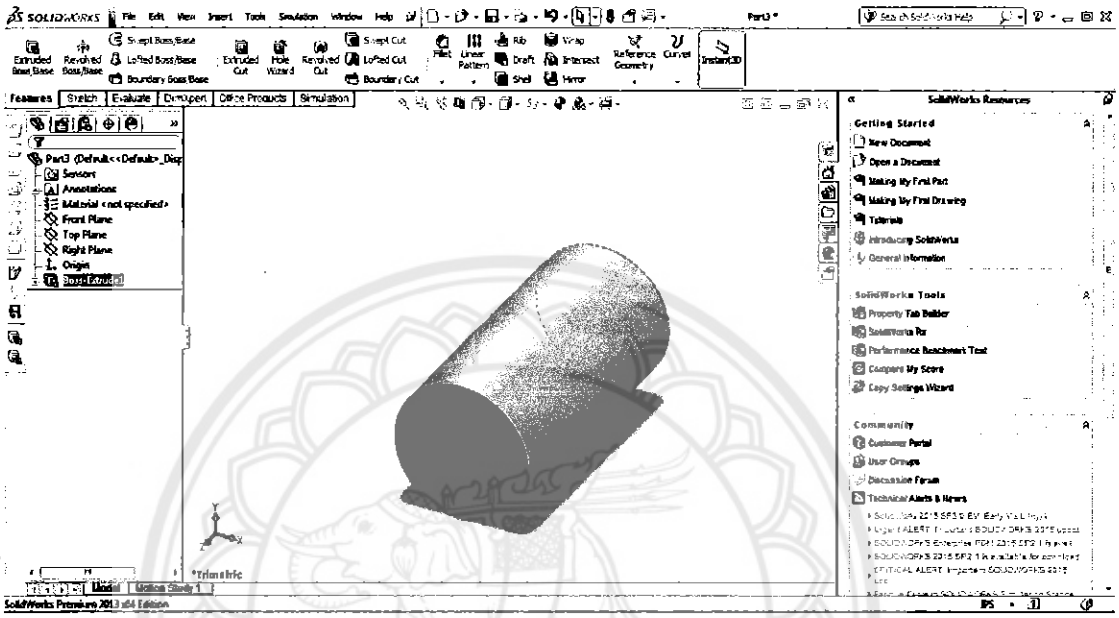
การสร้างแบบจำลองระบบจ่ายน้ำด้วยการใช้โปรแกรมเขียนภาพ 3 มิติ โดยวาดแบบจำลองของอุปกรณ์แต่ละชิ้นส่วนนำมาต่อกันเป็นระบบท่อ แล้วทำการ Import แบบจำลองที่ได้เข้าโปรมแกรม Comsol Multiphysics™ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการไหลของน้ำในท่อ

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนชิ้นส่วนอุปกรณ์ทั้งหมดในการออกแบบระบบสปริงเกอร์

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน
1	ท่อHDPE ขนาด ¾" 200 เมตร ,PN 6.3	ม้วน	1
2	ท่อHDPE ขนาด 1" 200 เมตร ,PN 6.3	ม้วน	1
3	ท่อHDPE ขนาด 1½" 200 เมตร ,PN 6.3	ม้วน	2
4	ท่อHDPE ขนาด 1¼" 200 เมตร ,PN 6.3	ม้วน	1
5	ELBOW 90 ° ¾" (TIS,SFS) ,PN6.3	ตัว	82
6	ELBOW 90 ° 1¼" (TIS,SFS) ,PN6.3	ตัว	1
7	ELBOW 90 ° 1½" (TIS,SFS) ,PN6.3	ตัว	13
9	TEE 1¼"x 1¼" x 1¼" (TIS,SFS) ,PN6.3	ตัว	11
10	TEE ¾" x ¾" x ¾" (TIS,SFS) ,PN6.3	ตัว	6
11	TEE 1" x 1" x 1" (TIS,SFS) ,PN6.3	ตัว	5
12	TEE 1½ "x 1½" x 1½" (TIS,SFS) ,PN6.3	ตัว	2
13	Reducer 1½" x 1¼"	ตัว	3
14	Reducer 1¼" x ¾"	ตัว	1
15	Reducer 1¼" x 1"	ตัว	3
16	Reducer 1" x ¾"	ตัว	2
17	springer (pop-up)	ตัว	27

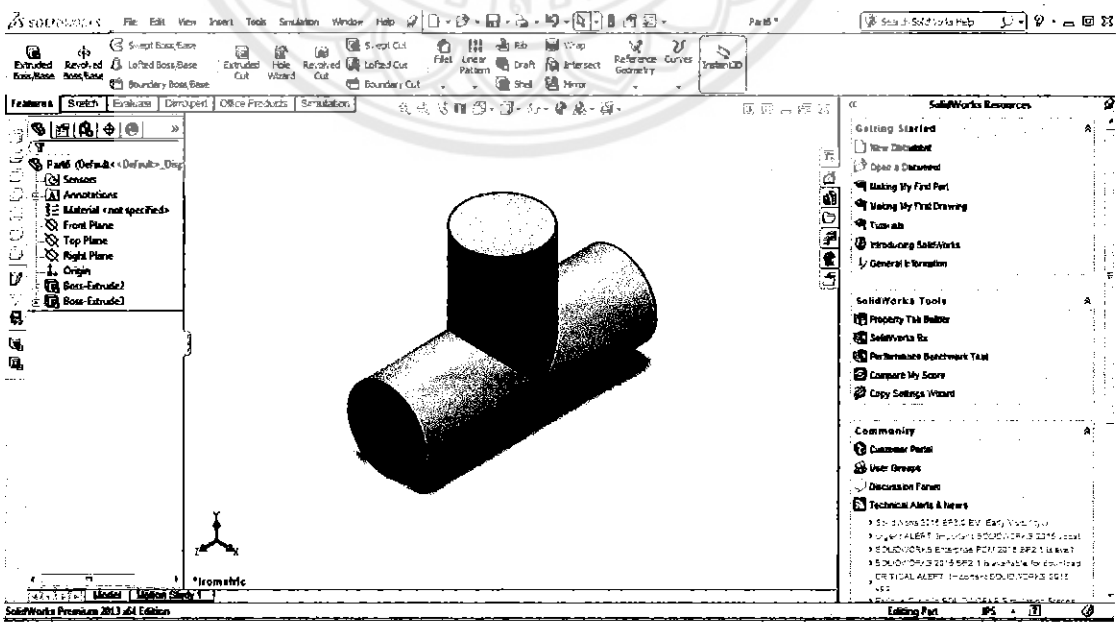
3.4 การวาดแบบจำลองท่อและข้อต่อท่อ 3 มิติ มีขั้นตอนหลักดังนี้

3.4.1 วาดท่อตรงขนาดยาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1½" 1¼" 1" และ ¾"



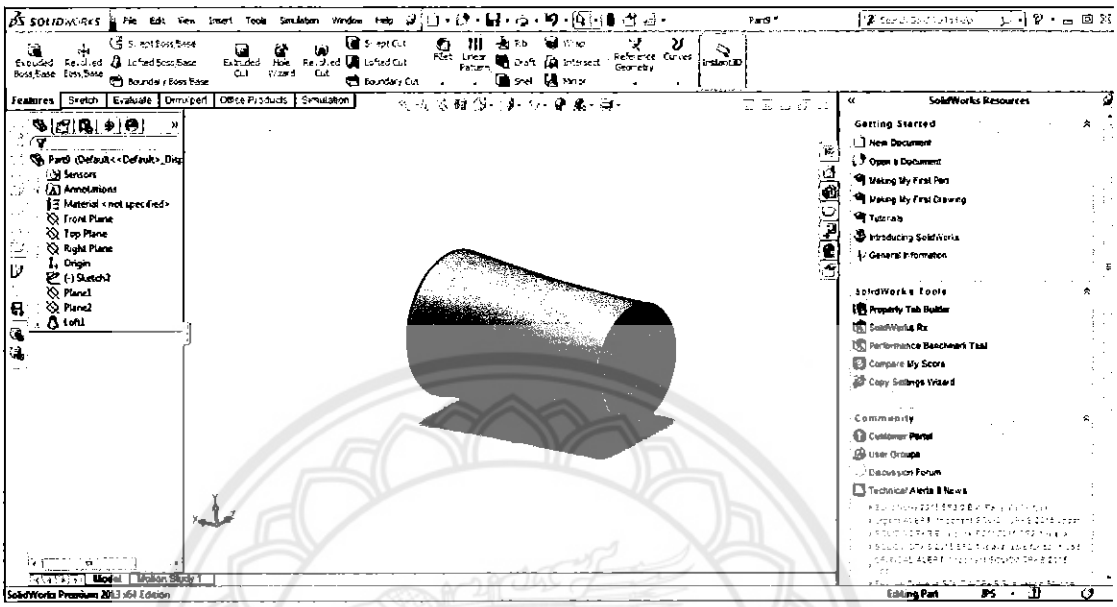
รูปที่ 3.5 ท่อตรง 3 มิติ

3.4.2 วาดข้อต่อท่อสามทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 1½" 1¼" 1" และ ¾"



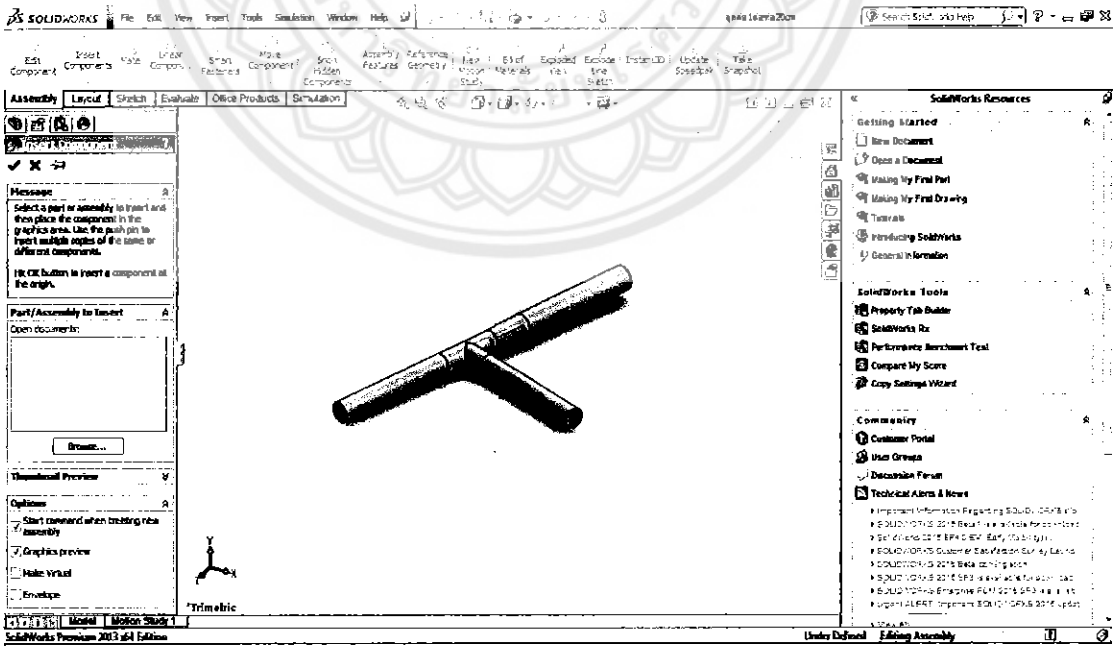
รูปที่ 3.6 ข้อต่อท่อ 3 ทาง 3มิติ

3.4.3 วาดข้อต่อท่อลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1½"x1¼" 1¼"x¾" 1¼"x1" และ 1"x¾"



รูปที่ 3.7 ข้อต่อท่อลดขนาด 3 มิติ

3.4.4 การนำท่อแต่ละส่วนมาประกอบกัน



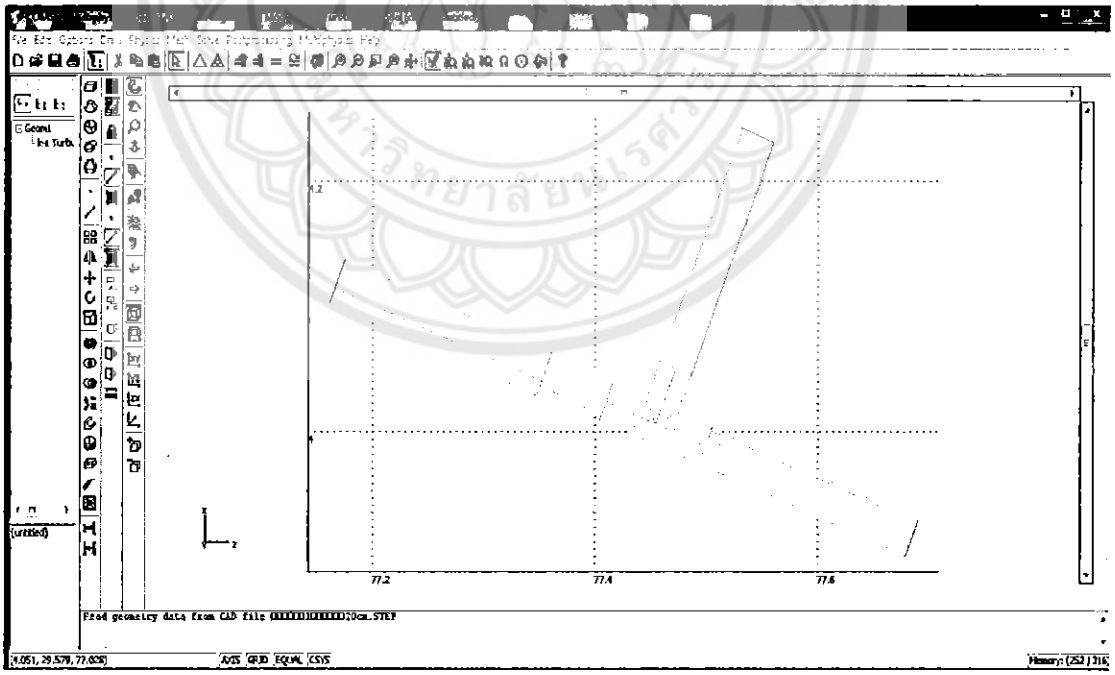
รูปที่ 3.8 ชิ้นส่วนท่อและข้อต่อท่อ 3 มิติ ที่ถูกประกอบเข้าด้วยกัน

3.5 การจำลองการไหลของน้ำในท่อโดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™

การวิเคราะห์แบบจำลองระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก CPU : Intel(R) Core(TM) i5 CPU M450 @2.4GHz 2.40 GHz RAM 2.00 GB Windows 7 Ultimateและใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ ใช้ Space dimension : 3D ชนิดของเอลิเมนต์เป็นแบบ Lagrange-P_2P_1

การใช้ คอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านพลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) โดยอาศัยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ด้วยวิธีการแบ่งช่วงของโดเมน ให้เป็นเซลล์เล็กๆ เพื่อก่อให้เกิดเมชเชิงปริมาตร (Volume Mesh) แล้วใช้ อัลกอริธึม (Algorithm) ที่เหมาะสมในการแก้สมการของการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นสมการ นาเวียร์-สโตกร์ (Navier-Stokes Equation) สำหรับการไหลแบบหนืด (Viscid Flow) นอกจากนี้เมชมีลักษณะรูปทรงแบบไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน (Unstructured mesh)

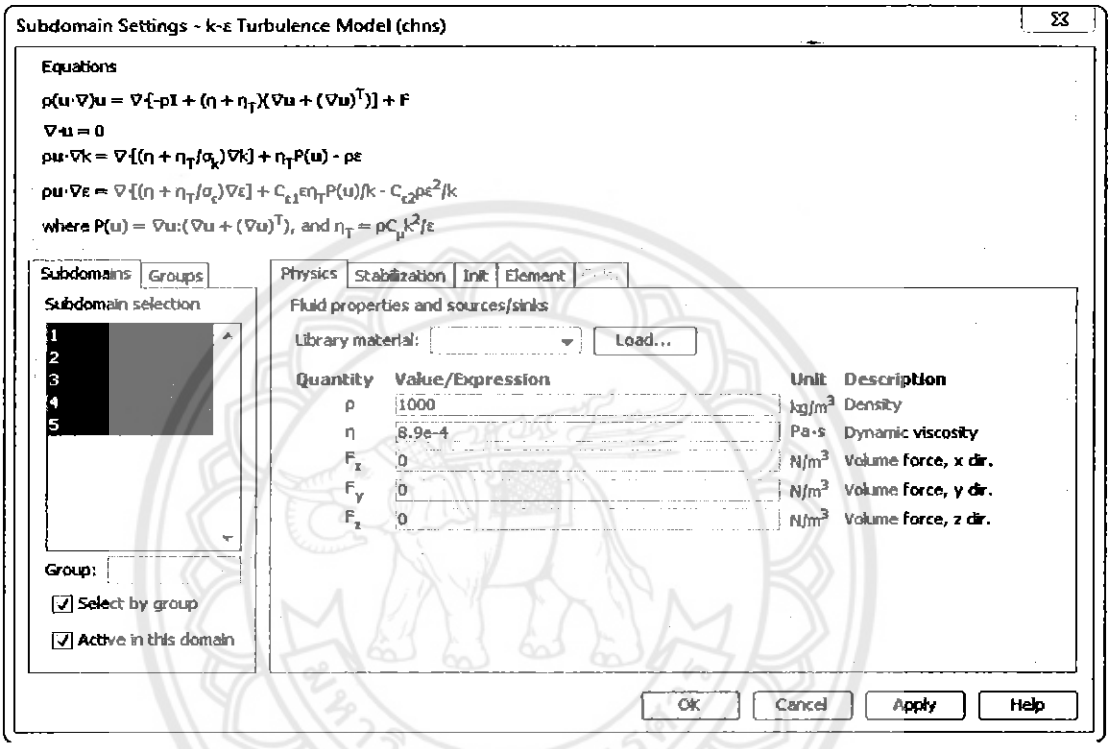
3.5.1 การ Import แบบจำลองชิ้นส่วนท่อและข้อต่อท่อ 3 มิติ ที่ถูกประกอบเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.9 การ Import แบบจำลองท่อ 3 มิติ

3.5.2 การกำหนดค่า

ลักษณะทางกายภาพของน้ำ ที่ความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิ 25 °C จะมีค่าความหนาแน่นของน้ำ(Density, ρ) 1000 kg/m^3 ความหนืดพลวัต(Dynamic viscosity, η) 8.9×10^{-4} Pa.s



รูปที่ 3.10 การกำหนดค่า Subdomain

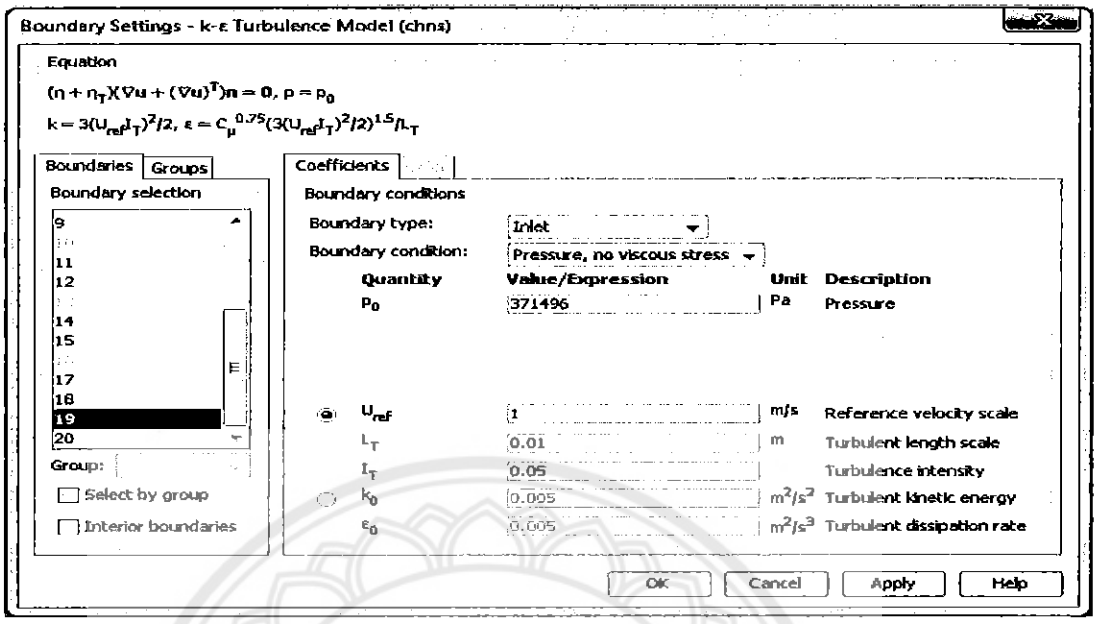
3.5.3 การกำหนดขอบเขต

การกำหนดค่า Boundary setting โดยไปที่ Tab Menu → Physics → Boundary Settings

-คลิกเลือก Boundary 19 → Boundary type เลือก Inlet

-คลิกเลือก Boundary 1,20 → Boundary type เลือก Outlet และเลือก Pressure, no viscous stress

-คลิกเลือก Boundary 2,3,5,6,7,8,9,11,12,14,16,17 และ 18 → Boundary type เลือกเป็น Wall



รูปที่ 3.11 การกำหนดค่า Boundary setting

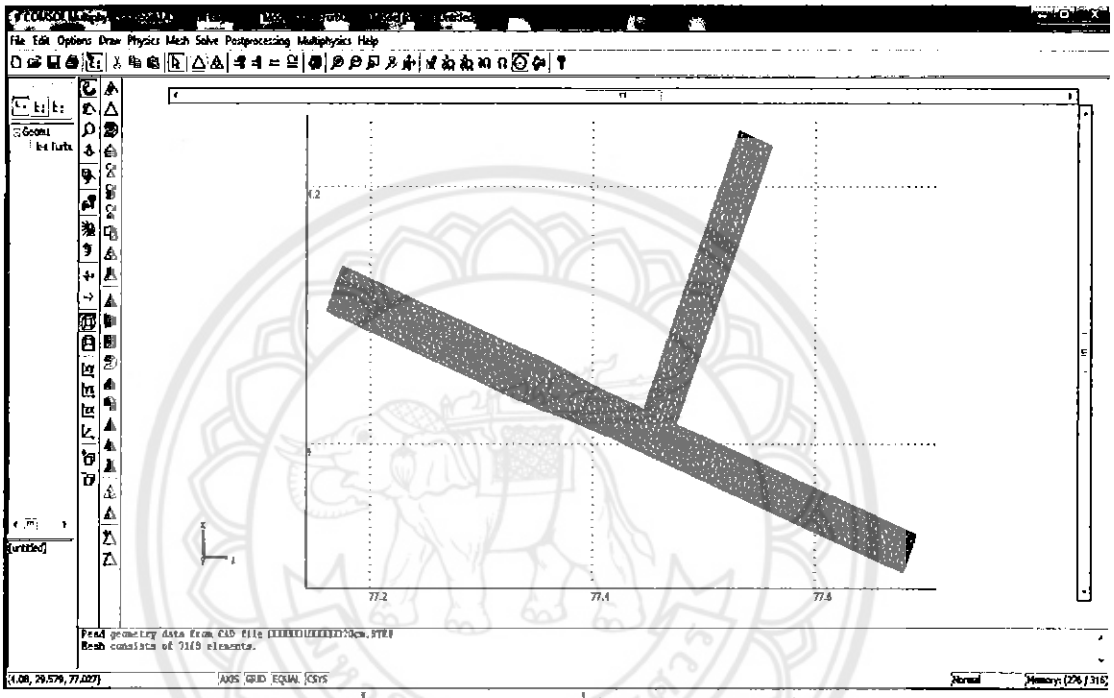
3.5.4 ชนิดของเอลิเมนต์และการใช้เอลิเมนต์

โดยเอลิเมนต์มีองค์ประกอบแบบ 3 มิติ ซึ่งใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการคำนวณ โดยที่เมชแบบ tetrahedral เป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์ของโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ซึ่งรูปร่างเมชแบบ tetrahedral หมายถึงปริมาณ 3D ที่สามารถแบ่งเมชอย่างไร้รูปแบบ มีเพียง tetrahedral ชนิดเดียวที่สามารถนำมาใช้กับการปรับแต่งเมชอย่างละเอียดได้ดีกว่ารูปแบบเมชอื่นๆ

รูปที่ 3.12 รูปทรงแบบ tetrahedral

3.5.5 การแบ่งเอลิเมนต์

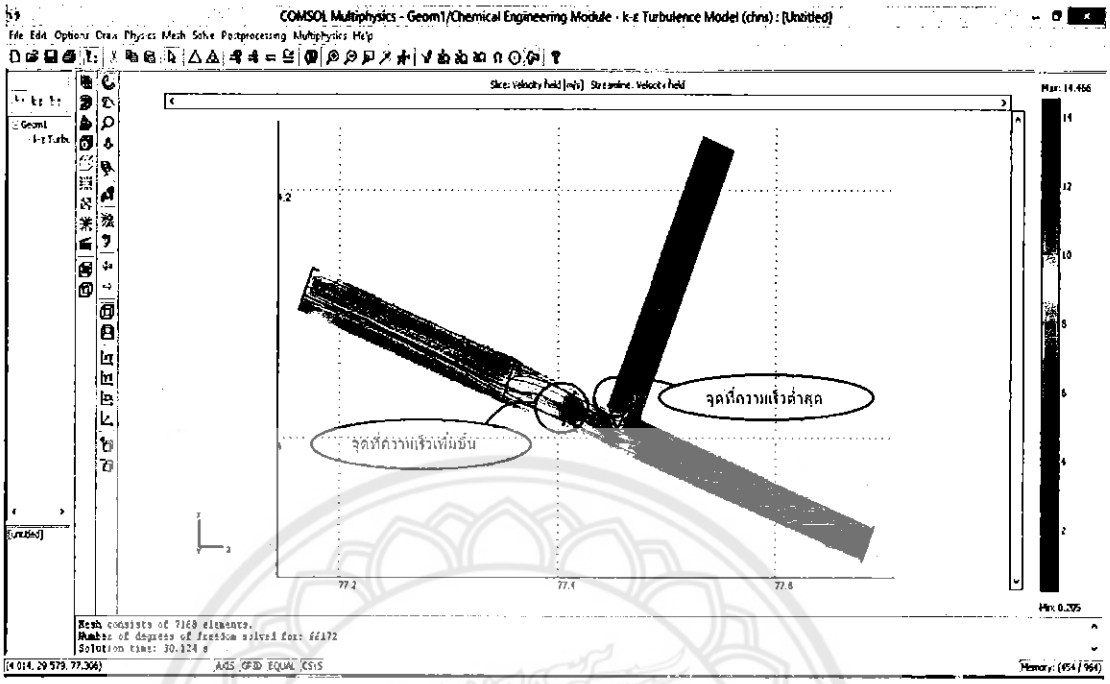
กำหนดเอลิเมนต์โดยเลือกแบบ Free Mesh แล้วคลิกที่ Free mesh Parameters แล้วเลือก Predefined mesh sizes คลิกเลือก Normal (ขนาด Mesh ปกติ) จากนั้นจะทำการแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลอง ซึ่งจำนวนเอลิเมนต์ที่ได้เท่ากับ 7168 เอลิเมนต์



รูปที่ 3.13 แบบจำลองที่มีการแบ่งเอลิเมนต์

3.5.6 การสั่งโปรแกรมคำนวณผล (Solve)

แบบจำลอง เค-เอพซิลอน(k-ε)เป็นหนึ่งในแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วนสำหรับแบบจำลองนี้ขึ้นอยู่กับ2ตัวแปรคือ พลังงานจลน์ในการไหลแบบปั่นป่วน (k) และอัตราการกระจายของพลังงานการไหลปั่นป่วน (ε) ในการสั่งให้โปรแกรมคำนวณผล ชนิด k-ε Turbulent Model มีค่า Tolerance 10^{-3} และมี จำนวนสูงสุดในการคำนวณผลซ้ำ(Maximum number of iterations) มีค่าเท่ากับ 100 เพื่อให้การคำนวณผลวนซ้ำของการคำนวณได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 3.14 ผลการคำนวณแบบจำลองโปรแกรม Comsol Multiphysics™

การคำนวณผลเฉลยโดยใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ จากภาพข้างต้นแสดงให้เห็นการไหลของน้ำภายในแบบจำลองแบบจำลองแสดงเป็นเส้น Stream line สีแดง และแสดงค่าความเร็วที่เกิดภายในแบบจำลองเป็นแถบสี โดยที่แถบสีแดงเข้มจะมีค่าความเร็วมากที่สุด (Max) เท่ากับ 14.466 m/s ส่วนแถบสีน้ำเงินเข้มจะมีค่าความเร็วน้อยที่สุด (Min) เท่ากับ 0.205 m/s จากนั้นค่าที่ได้จากคำสั่ง Boundary Integration จะนำไปคำนวณหาความเร็วที่ทางออก โดยการนำพื้นที่หน้าตัดทางออกมาหารเพื่อหาค่าความเร็วที่ทางออก

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1ผลการทดลอง

4.1.1 ผลกการทดลองคำนวณโดยตรง

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าการคำนวณโดยตรง Loop ที่ 1

ท่อ	ขนาดท่อ (inch)	ขนาดท่อ (mm)	ความยาว (m)	Q (m^3/hr.)	h_L (m)	P (kPa)	V (m/s)	เวลาในการคำนวณ (s)
A	1½"	50	54.97	4.68	2.362	23.163	1.15	93.71
B	1¼"	40	2.50	2.52	0.085	0.834	0.91	77.94
B1	1¼"	40	5.75	0.36	0.007	0.069	0.15	68.58
B2	1½"	50	5.75	0.36	0.007	0.069	0.15	75.30
B3	1"	32	11.50	1.80	0.544	5.335	0.94	71.92
B4	1"	32	5.75	0.36	0.021	0.206	0.23	70.53
B5	1"	32	5.75	0.36	0.021	0.206	0.23	68.70
B6	¾"	25	11.50	0.72	0.611	5.992	0.84	86.02
B7	¾"	25	5.75	0.36	0.085	0.834	0.42	47.35
B8	¾"	25	5.75	0.36	0.085	0.834	0.42	51.87
C	1¼"	40	22.21	2.16	0.536	5.256	0.75	52.40
C1	1¼"	40	3.40	0.36	0.004	0.039	0.15	50.17
C2	1"	32	7.12	1.44	0.198	1.942	0.71	56.08
C3	¾"	25	10.59	0.36	0.025	0.245	0.23	51.38
C4	1"	32	4.38	0.36	0.122	1.196	0.71	61.35
C5	1"	32	3.40	0.36	0.012	0.118	0.23	65.62
C6	¾"	25	5.90	0.72	0.312	3.059	0.84	71.30
C7	¾"	25	7.84	0.36	0.049	0.480	0.42	81.50
C8	¾"	25	10.59	0.36	0.156	1.529	0.42	61.85

จากการวิเคราะห์ผลเห็นว่า การสูญเสีย (Loss) ที่มากที่สุดเกิดขึ้นในท่อที่มีขนาดยาวคือช่วงออกจากปั๊มจนสุดท่อ A เพราะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในท่อจะแปรผันตามความยาวของท่อ และในการออกแบบไดอะแกรม loop ที่1 ท่อที่อยู่ไกลที่สุดคือ C8 จึงทำการลดขนาดท่อ C C2 และ C6 เพื่อให้อัตราการไหลออกจากหัวสปริงเกอร์ได้ตามที่กำหนด จากตารางจะเห็นได้ว่าความเร็ว เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานทั่วไปของการไหลในท่ออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ความเร็วในท่อต้องไม่เกิน 3 m/s

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าการคำนวณโดยตรง Loop ที่ 2

ท่อ	ขนาดท่อ (inch)	ขนาดท่อ (mm)	ความยาว (m)	Q (m^3/hr.)	h_L (m)	P (kPa)	V (m/s)	เวลาในการคำนวณ (s)
A	1¼"	40	96.55	3.24	5.64	55.23	1.21	64.77
A1	1¼"	40	5.50	0.36	0.007	0.067	0.15	52.32
A2	1¼"	40	5.50	0.36	0.007	0.067	0.15	10.85
A3	1¼"	40	2.94	2.52	0.1	0.98	0.91	45.45
A4	1¼"	40	18.00	0.36	0.022	0.216	0.15	65.20
A5	1¼"	40	8.00	2.16	0.2	1.92	0.76	70.27
A6	1¼"	40	5.50	0.36	0.007	0.067	0.15	44.60
A7	1¼"	40	5.50	0.36	0.007	0.067	0.15	10.50
A8	1"	32	5.50	1.44	0.16	1.52	0.71	56.02
A9	1"	32	18.00	0.36	0.066	0.647	0.24	47.02
A10	1"	32	18.00	0.36	0.066	0.647	0.24	47.02
A11	¾"	25	5.50	0.36	0.082	0.804	0.42	55.01
A12	¾"	25	5.50	0.36	0.082	0.804	0.42	10.20

จากการวิเคราะห์ผลเห็นว่าการสูญเสีย(loss) ที่มากที่สุดเกิดขึ้นในท่อที่มีขนาดยาวช่วงออกจากปั๊มจนสุดท่อ A เพราะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในท่อจะแปรผันตามความยาวของท่อ และในการออกแบบไดอะแกรม loopที่ ท่อที่อยู่ไกลที่สุดคือ A10 จึงทำการลดขนาดท่อ A8 เพื่อให้อัตราการไหลออกจากหัวสปริงเกอร์ได้ตามที่กำหนด จากตารางจะเห็นได้ว่าความเร็ว เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานทั่วไปของการไหลในท่ออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ความเร็วในท่อต้องไม่เกิน 3 m/s

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าการคำนวณโดยตรง Loop ที่ 3

ท่อ	ขนาดท่อ (inch)	ขนาดท่อ (mm)	ความยาว (m)	Q (m^3/hr.)	h_L (m)	P (kPa)	V (m/s)	เวลาในการคำนวณ (s)
A	1¼"	40	124.80	3.24	7.29	71.40	1.21	65.55
B	¾"	32	3.64	0.72	0.2	1.91	0.84	61.25
B1	¾"	25	5.50	0.36	0.082	0.804	0.42	10.53
B2	¾"	25	5.50	0.36	0.082	0.804	0.42	44.88
C	1¼"	40	4.00	2.52	0.14	1.34	0.91	64.30
C1	1¼"	40	3.50	0.36	0.004	0.039	0.15	31.58
C2	1¼"	40	7.50	0.36	0.009	0.088	0.15	49.54
C3	1"	32	11.00	1.80	0.53	5.17	0.95	46.10
C4	1"	32	6.50	0.36	0.078	0.765	0.24	47.84
C5	1"	32	7.50	0.36	0.027	0.265	0.24	48.74
C6	¾"	25	11.00	0.72	0.6	5.84	0.85	52.12
C7	¾"	25	5.50	0.36	0.082	0.804	0.42	42.58
C8	¾"	25	5.50	0.36	0.08	0.8	0.42	57.08

จากการวิเคราะห์ผลเห็นว่า การสูญเสีย(loss) ที่มากที่สุดเกิดขึ้นในท่อที่มีขนาดยาวช่วงออกจากปั๊มจนสุดท่อ A เพราะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในท่อจะแปรผันตามความยาวของท่อ และในการออกแบบไดอะแกรม loopที่ 3 ท่อที่อยู่ไกลที่สุดคือ C8 จึงทำการลดขนาดท่อ C3 และ C6 เพื่อให้อัตราการไหลออกจากหัวสปริงเกอร์ได้ตามที่กำหนด จากตารางจะเห็นได้ว่าความเร็ว เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานทั่วไปของการไหลในท่ออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ความเร็วในท่อต้องไม่เกิน 3 m/s

4.1.2 ผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ Loop ที่ 1

จุดข้อต่อ	Q (m^3/hr.)	V (m/s)	Mesh consists (elements)	Number of degrees of freedom	Solution time (s)
A→B	12.90	4.535	7168	66172	18.289
A→C	17.70	6.215	7168	66172	18.289
B→B3	5.18	2.832	5160	50560	555.987
B→1	2.84	0.999	5160	50560	555.987
B→4	4.79	1.690	5160	50560	555.987
B3→B6	1.80	1.732	5170	50071	151.734
B3→2	1.22	0.676	5170	50071	151.734
B3→5	2.09	1.145	5170	50071	151.734
B6→3	0.90	0.858	3504	36397	417.459
B6→6	0.86	0.857	3504	36397	417.459
C→C2	9.36	5.145	5000	48423	137.949
C→7	8.28	2.916	5000	48423	137.949
C2→C4	8.57	4.703	5827	55255	162.152
C2→8	0.79	0.437	5827	55255	162.152
C4→C6	3.74	3.623	3673	36598	186.541
C4→9	4.50	2.459	3673	36598	186.541
C6→11	3.31	3.198	4123	41136	179.717
C6→10	0.40	0.393	4123	41136	179.717

การคำนวณด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ นั้นจะคำนวณข้อต่อ ความเร็วที่มากที่สุดจะอยู่ช่วง A ไป C ซึ่งเป็นท่อทางตรงที่ต่อจากท่อที่ออกมาจากปั๊ม และช่วง AไปB CไปC2 C2ไป C4 C4ไปC6 และ C6ไป11 ความเร็วจะเกินค่ามาตรฐานที่ 3 m/s ส่วนอัตราการไหลที่ได้จะสูงกว่าคุณลักษณะของสปริงเกอร์อาจทำให้สปริงเกอร์เกิดการเสียหาย อาจจะปรับแก้ด้วยการใส่อุปกรณ์เพื่อควบคุมความเร็วและอัตราการไหล

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ Loop ที่ 2

จุดข้อต่อ	Q (m^3/hr.)	V (m/s)	Mesh consists (elements)	Number of degrees of freedom	Solution time (s)
A→A3	45.30	14.266	8451	79644	23.968
A→13	80.90	3.081	8451	79644	23.968
A→12	12.10	4.247	8451	79644	23.968
A3→A5	37.90	13.341	6449	59539	172.653
A3→14	2.75	0.967	6449	59539	172.653
A5→A8	14.60	8.028	5879	56076	177.774
A5→16	15.50	5.467	5879	56076	177.774
A5→15	7.73	2.720	5879	56076	177.774
A8→A10	8.19	8.02	3897	39308	112.742
A8→17	6.20	6.073	3897	39308	112.742
A10→19	4.19	4.105	4353	43141	119.436
A10→18	4.01	3.925	4353	43141	119.436

การคำนวณด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ นั้นจะคำนวณข้อต่อ ความเร็วที่มากจะอยู่ช่วง AไปA3 เป็นท่อตรงซึ่งมีความเร็วสูงมาก และช่วง AไปA12 A3ไปA5 A5ไปA8 A5ไปA16 A8ไปA10 A8ไปA17 A10ไปA19 และ A10ไปA18 ความเร็วจะเกินค่ามาตรฐานที่ 3 m/s ส่วนอัตราการไหลที่ได้จะสูงกว่าคุณลักษณะของสปริงเกอร์อาจทำให้สปริงเกอร์เกิดการเสียหาย อาจจะปรับแก้ด้วยการใส่อุปกรณ์เพื่อควบคุมความเร็วและอัตราการไหล

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ Loop ที่ 3

จุดข้อต่อ	Q (m^3/hr.)	V (m/s)	Mesh consists (elements)	Number of degrees of freedom	Solution time (s)
A→B	8.06	7.808	5658	53708	27.636
A→C	26.00	9.159	5658	53708	27.636
B→21	3.96	3.853	4519	44294	246.58
B→20	4.00	3.881	4519	44294	246.58
C→C3	10.60	5.806	4545	46612	158.436
C→23	9.65	3.391	4545	46612	158.436
C→22	5.72	2.015	4545	46612	158.436
C3→C6	3.78	3.658	6287	59926	252.412
C3→25	4.36	2.340	6287	59926	252.412
C3→24	2.38	1.308	6287	59926	252.412
C6→27	3.35	3.279	7023	67172	232.247
C6→26	0.36	0.351	7023	67172	232.247

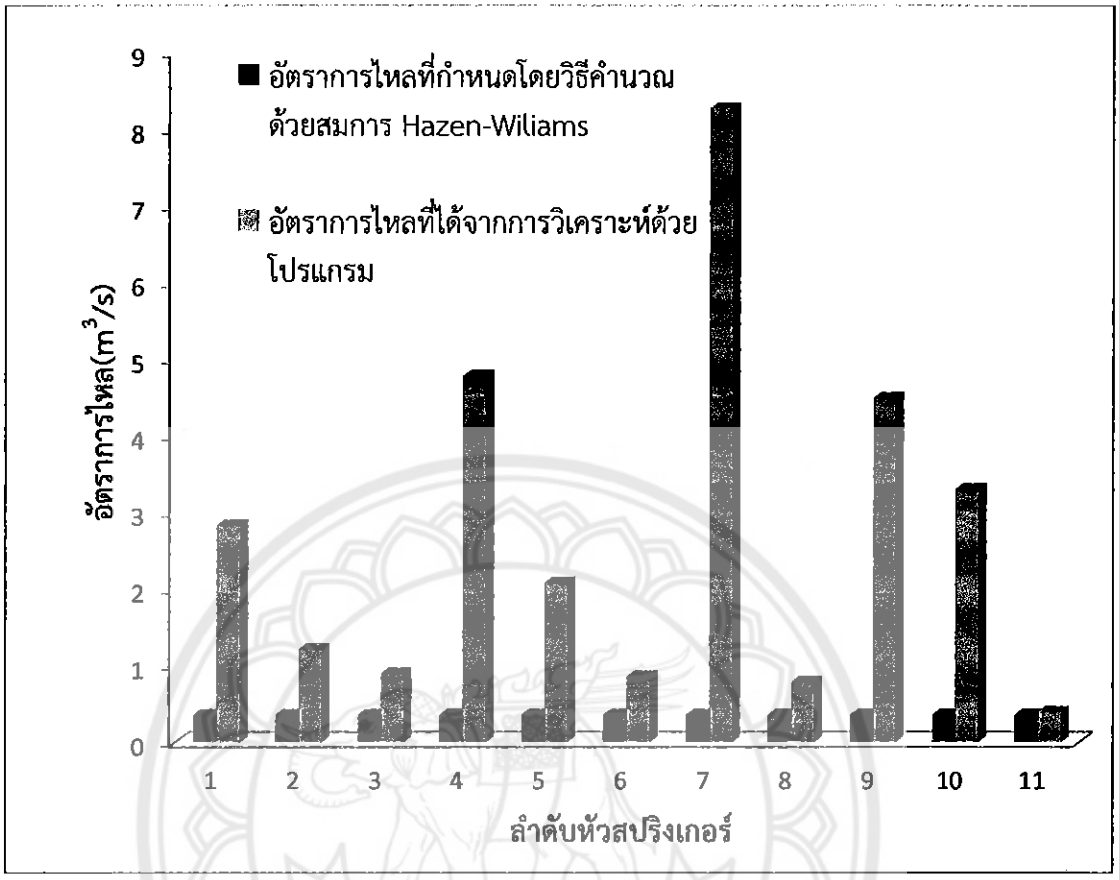
การคำนวณด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ นั้นจะคำนวณข้อต่อ ความเร็วที่มากจะอยู่ช่วง AไปC และช่วง AไปB BไปC BไปC3 CไปC3 CไปC6 และ C6ไปC7 ความเร็วจะเกินค่ามาตรฐานที่ 3 m/s ส่วนอัตราการไหลที่ได้จะสูงกว่าคุณลักษณะของสปริงเกอร์อาจทำให้สปริงเกอร์เกิดการเสียหาย อาจจะปรับแก้ด้วยการใส่อุปกรณ์เพื่อควบคุมความเร็วและอัตราการไหล

4.1.2 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 1

หัวสปริงเกอร์	อัตราการไหลที่กำหนด (m^3/hr.)	อัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม (m^3/hr.)	เปอร์เซ็นความแตกต่าง (%)
1	0.36	2.84	6.88
2	0.36	1.22	2.38
3	0.36	0.90	1.50
4	0.36	4.79	12.31
5	0.36	2.09	4.81
6	0.36	0.86	1.38
7	0.36	8.28	22.00
8	0.36	0.79	1.19
9	0.36	4.50	11.5
10	0.36	3.31	8.19
11	0.36	0.40	0.11

จากข้อมูลในตารางพบว่า หากเทียบอัตราการไหลที่กำหนดกับอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะได้เปอร์เซ็นความแตกต่างต่ำสุดที่ 0.11 % และสูงสุดที่ 22 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.57 %



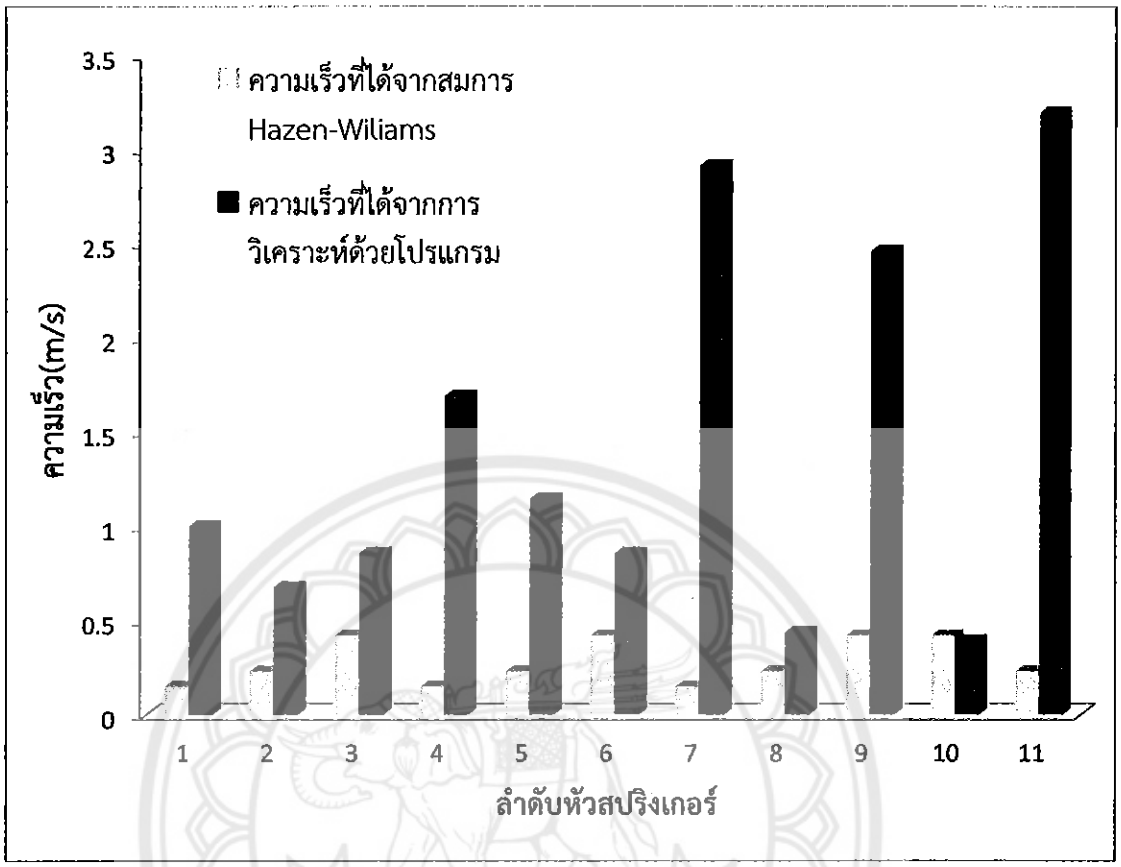
รูปที่ 4.15 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหล loop**ที่** 1

จากแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหล loop**ที่** 1 จะเห็นได้ว่า**อัตราการไหลที่ได้จาก 2 วิธี** มีความแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการคำนวณด้วยสมการ Hazen-Wiliams ได้**ทำการตั้งสมมุติฐานว่าหัวสปริงเกอร์**ไหลออกเท่ากันทุกหัวที่ 0.36 m^3/hr. แต่การวิเคราะห์ด้วย**โปรแกรม** Comsol Multiphysics™ เป็นการไหลออกอย่างอิสระค่าที่มากที่สุดอยู่ที่หัวที่ 7 ซึ่งมี**อัตราการไหล** 8.28 m^3/hr. และมีเปอร์เซ็นแตกต่างกันมากที่สุด 22 %

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบค่าความเร็วระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 1

หัวสปริงเกอร์	ความเร็วที่ได้จากสมการ Hazen-Wiliams (m/s)	ความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม (m/s)	เปอร์เซ็นความแตกต่าง (%)
1	0.15	0.999	5.66
2	0.23	0.676	1.94
3	0.42	0.858	1.04
4	0.15	1.690	10.27
5	0.23	1.145	3.97
6	0.42	0.857	1.04
7	0.15	2.916	18.44
8	0.23	0.437	0.90
9	0.42	2.459	4.85
10	0.42	0.393	0.06
11	0.23	3.198	12.90

จากข้อมูลในตารางพบว่า จากความเร็วที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Hazen-Wiliams เทียบกับความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์โปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะได้เปอร์เซ็นความแตกต่างต่ำสุดที่ 0.06 % และสูงสุดที่ 18.44 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.55 %



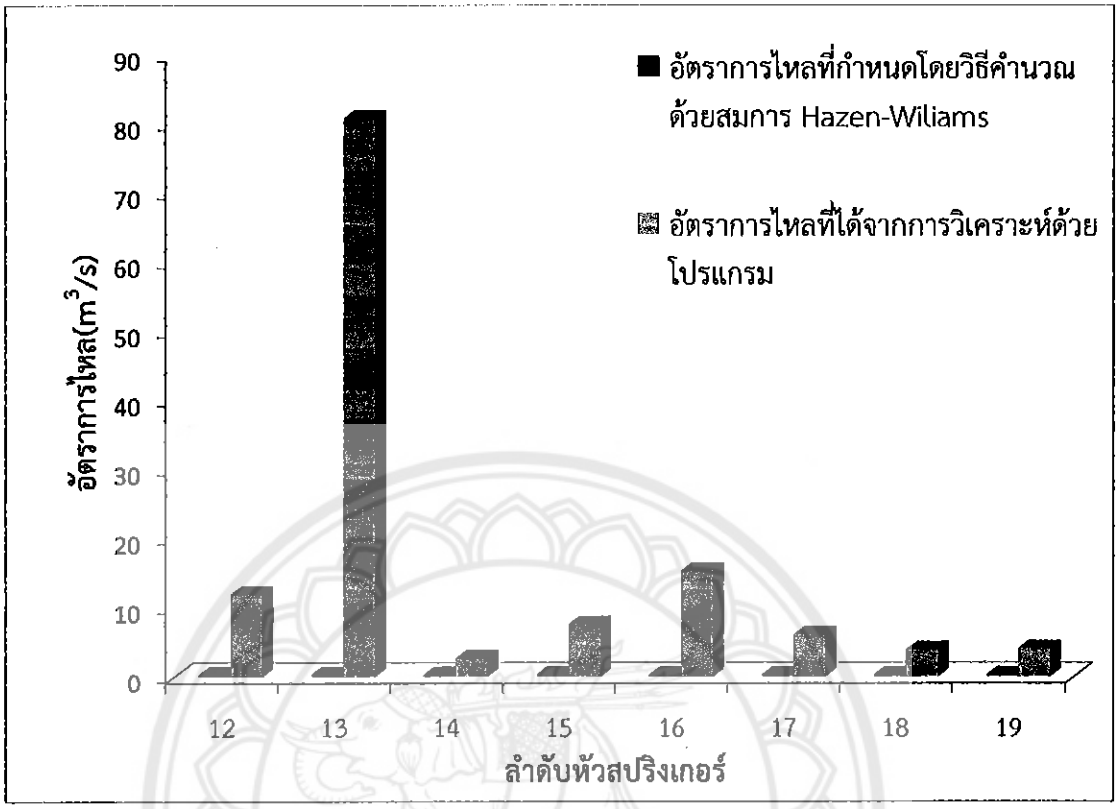
รูปที่ 4.16 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว loopที่ 1

จากแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว loopที่ 1 จะเห็นได้ว่าความเร็วที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการคำนวณด้วยสมการ Hazen-Wiliams ความเร็วที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าแต่การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะมีค่ามากกว่าเพราะได้ทำการลดขนาดท่อลงทำให้ความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าที่มากที่สุดอยู่ที่หัวที่ 11 ซึ่งมีความเร็ว 3.198 (m/s) และมีเปอร์เซ็นแตกต่างกันมากที่สุด 22 %

ตารางที่ 4.9 ตารางเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 2

หัวสปริงเกอร์	อัตราการไหลที่กำหนด (m^3/hr.)	อัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม (m^3/hr.)	เปอร์เซ็นความแตกต่าง (%)
12	0.36	12.10	32.61
13	0.36	80.90	223.72
14	0.36	2.75	6.64
15	0.36	7.73	20.47
16	0.36	15.50	42.06
17	0.36	6.20	16.22
18	0.36	4.01	10.14
19	0.36	4.19	10.64

จากข้อมูลในตารางพบว่า หากเทียบอัตราการไหลที่กำหนดกับอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะได้เปอร์เซ็นความแตกต่างต่ำสุดที่ 6.64 % และสูงสุดที่ 223.72 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 45.31 %



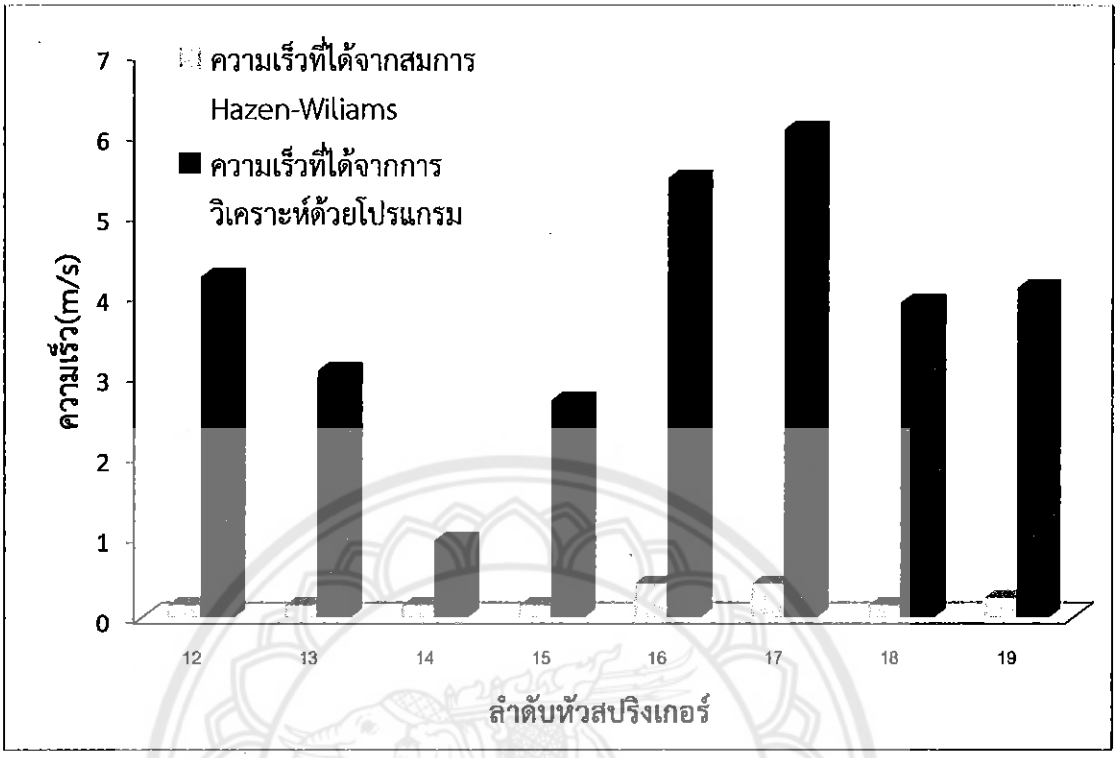
รูปที่ 4.17 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหล loop**ที่** 2

จากแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหล loop**ที่** 2 จะเห็นได้ว่า**อัตราการไหลที่ได้จาก 2 วิธี** มีความแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการคำนวณด้วยสมการ Hazen-Wiliams ได้ทำ**การตั้งสมมุติฐานว่าหัวสปริงเกอร์ไหลออกเท่ากันทุกหัวที่** 0.36 m^3/hr. แต่การวิเคราะห์ด้วย**โปรแกรม** Comsol Multiphysics™ เป็นการไหลออกอย่างอิสระค่าที่มากที่สุดอยู่ที่หัวที่ 13 ซึ่งมี**อัตราการไหล** 80.90 m^3/hr. และมีเปอร์เซ็นแตกต่างกันมากที่สุด 223.72 % (เนื่องจาก loop**ที่** 2 มี**ปัญหาค่าที่ได้จึงผิดจากความ**เป็นจริงควรตรวจสอบการออกแบบ)

ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบค่าความเร็วระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 2

หัวสปริงเกอร์	ความเร็วที่ได้จากสมการ Hazen-Wiliams (m/s)	ความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม (m/s)	เปอร์เซ็นความแตกต่าง (%)
12	0.15	4.247	27.31
13	0.15	3.081	19.54
14	0.15	0.967	5.45
15	0.15	2.720	17.13
16	0.42	5.467	12.02
17	0.42	6.073	13.46
18	0.15	3.925	25.17
19	0.24	4.105	16.10

จากข้อมูลในตารางพบว่า จากความเร็วที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Hazen-Wiliams เทียบกับความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์โปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะได้เปอร์เซ็นความแตกต่างต่ำสุดที่ 5.45 % และสูงสุดที่ 27.31 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.02 %



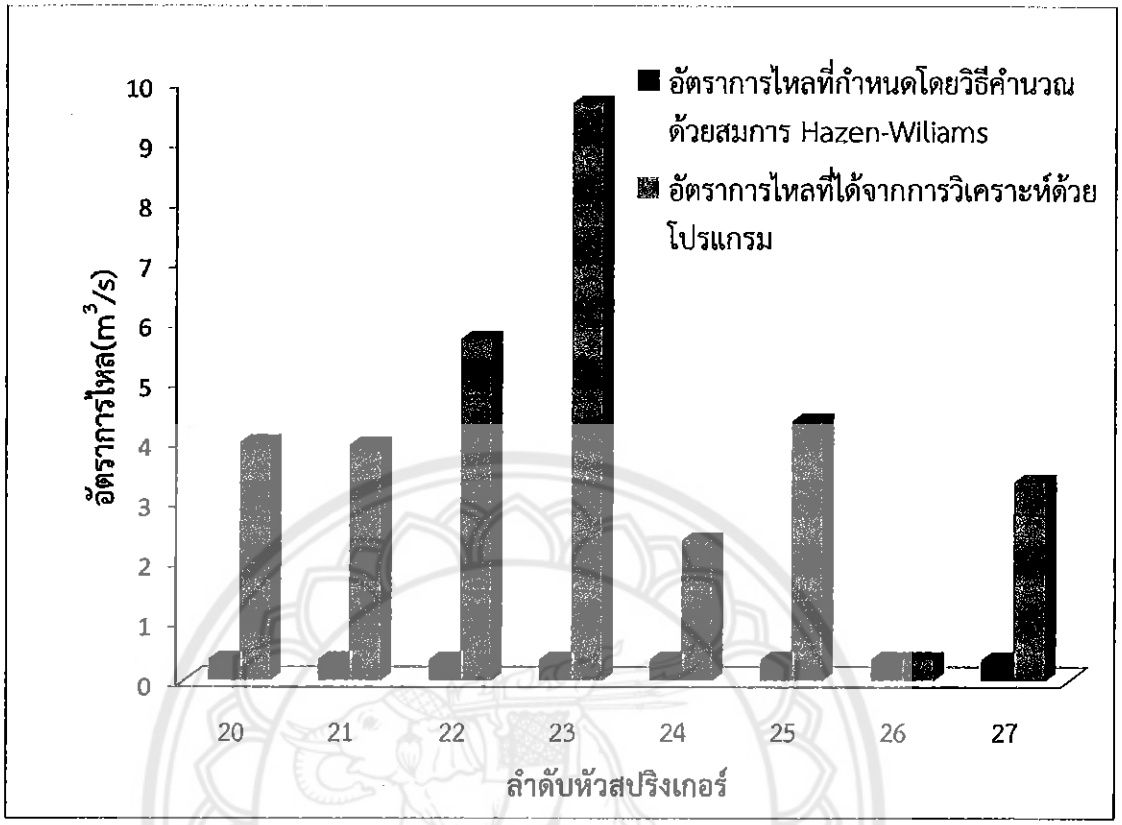
รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว loopที่ 2

จากแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว loopที่ 2 จะเห็นได้ว่าความเร็วที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการคำนวณด้วยสมการ Hazen-Wiliams ความเร็วที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าแต่การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะมีค่ามากกว่าเพราะได้ทำการลดขนาดท่อลงทำให้ความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าที่มากที่สุดอยู่ที่หัวที่ 17 ซึ่งมีความเร็ว 6.073 (m/s) และมีเปอร์เซ็นแตกต่างกันมากที่สุด 27.31 % (เนื่องจาก loopที่ 2 (มีปัญหาค่าที่ได้จึงผิดจากความเป็นจริงควรตรวจสอบการออกแบบ)

ตารางที่ 4.11 ตารางเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 3

หัวสปริงเกอร์	อัตราการไหลที่กำหนด (m^3/hr.)	อัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม (m^3/hr.)	เปอร์เซ็นความแตกต่าง (%)
20	0.36	4.00	10.11
21	0.36	3.96	10.00
22	0.36	5.72	14.89
23	0.36	9.65	25.81
24	0.36	2.38	5.61
25	0.36	4.36	11.11
26	0.36	0.36	0
27	0.36	3.35	8.31

จากข้อมูลในตารางพบว่า หากเทียบอัตราการไหลที่กำหนดกับอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะได้เปอร์เซ็นความแตกต่างต่ำสุดที่ 0 % และสูงสุดที่ 25.81 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.73 %



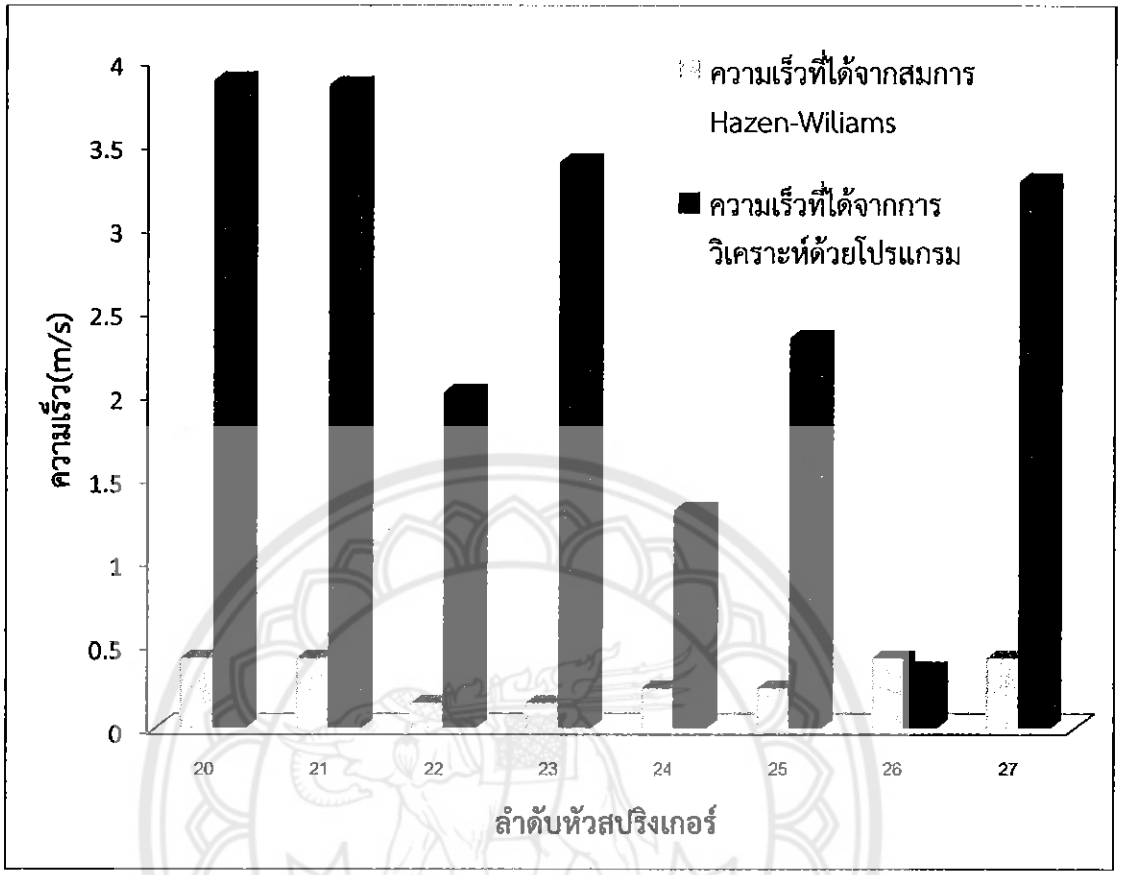
รูปที่ 4.19 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหล loopที่ 3

จากแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอัตราการไหล loopที่ 3 จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลที่ได้จาก 2 วิธี มีความแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการคำนวณด้วยสมการ Hazen-Wiliams ได้ทำการตั้งสมมุติฐานว่าหัวสปริงเกอร์ไหลออกเท่ากันทุกหัวที่ 0.36 m^3/hr. แต่การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ เป็นการไหลออกอย่างอิสระค่าที่มากที่สุดอยู่ที่หัวที่ 23 ซึ่งมีอัตราการไหล 9.65 m^3/hr. และมีเปอร์เซ็นแตกต่างกันมากที่สุด 25.81%

ตารางที่ 4.12 ตารางเปรียบเทียบค่าความเร็วระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ loop ที่ 3

หัวสปริงเกอร์	ความเร็วที่ได้จากสมการ Hazen-Wiliams (m/s)	ความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม (m/s)	เปอร์เซ็นความแตกต่าง (%)
20	0.42	3.881	8.24
21	0.42	3.853	8.17
22	0.15	2.015	12.43
23	0.15	3.391	21.61
24	0.24	1.308	4.45
25	0.24	2.340	8.75
26	0.42	0.351	0.16
27	0.42	3.279	6.81

จากข้อมูลในตารางพบว่า จากความเร็วที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Hazen-Wiliams เทียบกับความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์โปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะได้เปอร์เซ็นความแตกต่างต่ำสุดที่ 0.16 % และสูงสุด 21.61 % โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.83 %



รูปที่ 4.20 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว loopที่ 3

จากแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว loopที่ 3 จะเห็นได้ว่าความเร็วที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการคำนวณด้วยสมการ Hazen-Wiliams ความเร็วที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าแต่การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะมีค่ามากกว่าเพราะได้ทำการลดขนาดท่อลงทำให้ความเร็วมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าที่มากที่สุดอยู่ที่หัวที่ 21 ซึ่งมีความเร็ว 3.853 (m/s) และมีเปอร์เซ็นแตกต่างกันมากที่สุด 21.61%

4.2 เวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด

4.2.1 เวลาที่ใช้ในแสดงค่าการคำนวณโดยตรง

เวลาที่ใช้ในการคำนวณ loop 1 = 21.06 นาที
เวลาที่ใช้ในการคำนวณ loop 2 = 9.67 นาที
เวลาที่ใช้ในการคำนวณ loop 3 = 10.37 นาที
เวลาโดยรวมที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมด = 41.08 นาที
โดยใช้ข้อมูลจากแบบ drawing ที่ปรับเป็นไดอะแกรมมาแล้วเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณแล้วจึงนำมาเริ่มคำนวณตามสมการของ Hazen-Williams และทำการจับเวลา

4.2.2 เวลาที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™

เวลาที่ใช้ในการเขียนแบบจำลอง loop 1 = 126.32 นาที
เวลาที่ใช้ในการเขียนแบบจำลอง loop 2 = 59.19 นาที
เวลาที่ใช้ในการเขียนแบบจำลอง loop 3 = 63.47 นาที
เวลาในการคำนวณผลเฉลย loop 1 = 72.12 นาที
เวลาในการคำนวณผลเฉลย loop 2 = 23.58 นาที
เวลาในการคำนวณผลเฉลย loop 3 = 37.42 นาที
เวลาโดยรวมที่ใช้ในการคำนวณผลเฉลยทั้งหมด = 382.11 นาที
โดยเริ่มจากการเขียนแบบจำลองทั้งหมดแล้วจึงนำมาเริ่มทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ พร้อมกับทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มเขียนแบบจำลอง

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.3.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการเปรียบเทียบผลระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ โดยการคำนวณโยตรงจะใช้สมการของ Hazen-Williams

สมการของ Hazen-Williams

$$h_L = L\left[\frac{Q}{0.85AC_hR^{0.63}}\right]^{1.852}$$

$$v = 0.85C_hR^{0.63}S^{0.54}$$

ส่วนค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ วิเคราะห์ โดยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะใช้สมการของ นาเวียร์-สโตกส์ ในการคำนวณผลเฉลย

สมการของ นาเวียร์-สโตกส์

โมเมนตัมในแนวแกน x : $\rho(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z})=-\frac{\partial P}{\partial x}+\nabla(\mu\nabla u)+\rho g_x$

โมเมนตัมในแนวแกน y : $\rho(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z})=-\frac{\partial P}{\partial y}+\nabla(\mu\nabla v)+\rho g_y$

โมเมนตัมในแนวแกน z : $\rho(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z})=-\frac{\partial P}{\partial z}+\nabla(\mu\nabla w)+\rho g_z$

เนื่องจากสเกลของแบบจำลองเมื่อเทียบกับขนาดของเมชทำให้เมชมีจำนวนเยอะมากจึงเป็นผลทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์แบบจำลองทั้งหมดได้ จึงได้แบ่งแบบจำลองออกเป็นแต่ละส่วนเพื่อนำมาวิเคราะห์ โดยโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ แต่ละเมชในแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลเฉลยที่ต้องการ

โดยการคำนวณโดยตรง จะอยู่ภายใต้เงื่อนไข

1. อัตราการไหลที่ไหลออกแต่ละหัวสปริงเกอร์จะเท่ากันหมดทุกหัว
2. สมการของ Hazen-Williams นั้นจะสามารถใช้ได้แต่กับของเหลวที่เป็นน้ำเท่านั้น
3. สมการของ Hazen-Williams นั้นใช้สำหรับการไหลของน้ำที่อุณหภูมิปกติ (70°F หรือ 20°C) เท่านั้น

พิจารณา loop ที่ 1 หัวสปริงเกอร์หัวที่ 11 ซึ่งเป็นหัวสปริงเกอร์ที่อยู่ไกลที่สุด โดยการกำหนดให้หัวสปริงเกอร์มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.36 m^3/hr เมื่อใช้สมการของ Hazen-Williams คำนวณได้ค่า v=0.42 m/s และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ค่าที่ได้ คือ Q=0.4 m^3/hr และค่า v=3.198 m/s เมื่อเทียบกันแล้วจะเห็นว่าอัตราการไหลและความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปแกรม Comsol Multiphysics™ จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณโดยตรงอยู่มาก มีเปอร์เซ็นความแตกต่างของอัตราการไหลและความเร็วคือ 6.57 และ 5.42 ตามลำดับ ซึ่งการคำนวณโดยตรงจะใช้เวลาในการคำนวณเท่ากับ 21.06 นาที ส่วนการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ ในการวิเคราะห์ใช้เวลาเท่ากับ 198.44 นาที เนื่องจากต้องทำการเขียนแบบจำลองในการวิเคราะห์ จึงต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น

พิจารณา loop ที่ 2 หัวสปริงเกอร์หัวที่ 17 ซึ่งเป็นหัวสปริงเกอร์ที่อยู่ไกลที่สุด โดยการกำหนดให้หัวสปริงเกอร์มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.36 m^3/hr เมื่อใช้สมการของ Hazen-Williams คำนวณได้ค่า v=0.42 m/s และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ค่าที่ได้ คือ Q=6.20 m^3/hr และค่า v=6.073 m/s เมื่อเทียบกันแล้วจะเห็นว่าอัตราการไหลและความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปแกรม Comsol Multiphysics™ จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณโดยตรงอยู่มาก มีเปอร์เซ็นความแตกต่างของอัตราการไหลและความเร็วคือ 45.31 และ 17.02 ตามลำดับ ซึ่งการคำนวณโดยตรงจะใช้เวลาในการคำนวณเท่ากับ 9.67 นาที ส่วนการใช้โปรแกรม

Comsol Multiphysics™ ในการวิเคราะห์ใช้เวลาเท่ากับ 82.77 นาที เนื่องจากต้องทำการเขียนแบบจำลองในการวิเคราะห์ จึงต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น

พิจารณา loop ที่ 3 หัวสปริงเกอร์หัวที่ 27 ซึ่งเป็นหัวสปริงเกอร์ที่อยู่ไกลที่สุด โดยการกำหนดให้หัวสปริงเกอร์มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.36 m^3/hr เมื่อใช้สมการของ Hazen-Williams คำนวณได้ค่า v=0.42 m/s และการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ค่าที่ได้ คือ Q=3.35 m^3/hr และค่า v=3.279 m/s เมื่อเทียบกันแล้วจะเห็นว่าอัตราการไหลและความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปแกรม Comsol Multiphysics™ จะมีใกล้เคียงกับการคำนวณโดยตรง มีเปอร์เซ็นความแตกต่างของอัตราการไหลและความเร็วคือ 10.73 และ 8.83 ตามลำดับ ซึ่งการคำนวณโดยตรงจะใช้เวลาในการคำนวณเท่ากับ 10.37นาที ส่วนการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ ในการวิเคราะห์ใช้เวลาเท่ากับ 100.89 นาที เนื่องจากต้องทำการเขียนแบบจำลองในการวิเคราะห์ จึงต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น

จากการเปรียบเทียบ พบว่า ที่อัตราการไหลที่ไหลออกแต่ละหัวสปริงเกอร์นั้น ซึ่งในการคำนวณโดยตรงจะกำหนดให้อัตราการไหลออกเท่ากันทุกจุด ในการคำนวณโดยตรงจะคิดว่าที่ทางแยกออกแต่ละหัวสปริงเกอร์นั้นเป็นจุดเดียวกันคิดผลรวมของอัตราการไหลที่ทางออกเท่ากับอัตราการไหลที่ทางเข้าและไม่คำนึงถึงการสูญเสียที่ข้อต่อ ส่วนโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะทำการวิเคราะห์เฉพาะข้อต่อ เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์แบบจำลองทั้งหมดได้ ซึ่งค่าที่ได้จากโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะได้ผลที่แม่นยำกว่าเมื่อดูจากค่าอัตราการไหลและความเร็วในการไหลของน้ำ ส่วนการคำนวณโดยตรงจะให้ผลได้เร็วกว่า เพราะใช้สมการของ Hazen-Williams ในการคำนวณ ซึ่งจะไม่คิดข้อต่อและเป็นสมการอย่างง่ายที่มีตัวแปรไม่มาก ส่วนโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะใช้สมการของ นาเวียร์-สโตกส์ (Navier – Stokes) ในการวิเคราะห์ ซึ่งสมการจะซับซ้อนกว่าแต่จะได้ค่าที่ยอมรับได้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการคำนวณโดยตรงและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ สามารถสรุปผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นได้ว่า การคำนวณโดยตรงโดยใช้สมการของ Hazen-William นั้นจะให้ผลการคำนวณที่รวดเร็วกว่าแต่จะมีความละเอียดน้อยกว่าการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ ในการวิเคราะห์ เนื่องจากในการคำนวณโดยตรงจะคิดผลรวมของอัตราการไหลที่ทางออกเท่ากับอัตราการไหลที่ทางเข้าโดยไม่คำนึงถึงการสูญเสียที่ข้อต่อ การใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ วิเคราะห์ จะทำการวิเคราะห์แบบจำลองเฉพาะข้อต่อซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะใช้สมการของนาเวียร์-สโตกส์ ในการคำนวณซึ่งเป็นสมการที่มีความซับซ้อน ค่าที่ได้จากวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจะมีความละเอียดมากกว่าการคำนวณโดยตรงที่ใช้สมการ Hazen-William ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นจะต่างกันเนื่องจากการคำนวณโดยใช้สมการ Hazen-William จะมีตัวแปรที่ใช้น้อย ไม่ซับซ้อน คำนวณได้รวดเร็วและสะดวกต่อการนำไปใช้ ส่วนการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะมีความซับซ้อนจากสมการที่ใช้ในการคำนวณ และยังต้องเขียนแบบจำลองเพื่อจะใช้ในการวิเคราะห์ผล จึงใช้เวลานานในการวิเคราะห์ผลแต่จะให้ผลที่ละเอียด

ใน loop ที่ 1 พบว่าเมื่อเทียบกันระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปแกรม Comsol Multiphysics™ อัตราการไหลและความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปแกรม Comsol Multiphysics™ จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณโดยตรงอยู่มาก

ใน loop ที่ 2 พบว่าเมื่อเทียบกันระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปแกรม Comsol Multiphysics™ อัตราการไหลและความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปแกรม Comsol Multiphysics™ จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณโดยตรงอยู่มาก โดยที่ค่าเร็วบางช่วงจะมีสูงมาก อาจต้องมีการปรับแก้ในการออกแบบใหม่

ใน loop ที่ 3 พบว่าเมื่อเทียบกันระหว่างการคำนวณโดยตรงกับการวิเคราะห์ด้วยโปแกรม Comsol Multiphysics™ อัตราการไหลและความเร็วที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปแกรม Comsol Multiphysics™ จะมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณโดยตรง

สมรรถนะด้านเวลา

การคำนวณโดยตรงจะให้ผลที่เร็ว เนื่องจากคำนวณด้วยสมการเป็นการคำนวณที่ง่ายไม่ซับซ้อน แต่การวิเคราะห์ด้วย Comsol Multiphysics™ จะใช้เวลานานกว่า เพราะต้องทำการเขียนแบบจำลองแล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมถึงจะได้ผลการวิเคราะห์

สมรรถนะด้านความแม่นยำ

การคำนวณโดยตรงจะให้ผลที่ยอมรับได้ แต่ค่าที่ได้จะไม่ละเอียดเท่ากันวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ จะให้ผลที่ละเอียดและแม่นยำ เนื่องจากทำการวิเคราะห์จากแบบจำลองแบบจำลองที่สร้างมาจากสเกลจริง จึงทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าจุดไหนจะเกิดปัญหา

การเลือกใช้งาน

ถ้าหากมีเวลาไม่มากสามารถเลือกใช้การคำนวณโดยตรงซึ่งได้ค่าที่ยอมรับได้ แต่หากมีข้อมูลและเวลามากพอก็ควรที่จะใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics™ เนื่องจากโปรแกรมสามารถวิเคราะห์แบบจำลองได้ทั้งหมด ทั้งยังแสดงการไหลที่เกิดขึ้นภายในระบบ ทำให้สามารถทราบปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นกับระบบ แล้วทำการแก้ไขก่อนที่นำไปสร้างเป็นงานจริงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ทำแบบจำลองให้มีเสกลที่เหมาะสมกับขนาดของ mesh

5.2.2 การวิเคราะห์โดยใช้โปแกรม Comsol Multiphysics™ จะใช้เวลานานในการประมวลผล ดังนั้นควรใช้คอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูง

5.3.3 ควรที่จะไปบันทึกค่าอัตราการไหลและความเร็วที่พื้นใช้งานจริงแล้วนำมาตรวจเช็คกับค่าที่ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] BRUCE R. MUNSON, DONALD F. YOUNG, Theodore H. Okiishi. Fundamentalsof Fluid Mechanics. (5th Edition). (2549)

[2] รศ.ดร.วิบูลย์ บุญยธโรกุล. ปั๊มและระบบสูบน้ำ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ, (2529)

[3] รศ. มนตรี พิรุณเกษตร. กลศาสตร์ของไหล. (พิมพ์ครั้งที่ 7). วิทยพัฒน์ จำกัด. กรุงเทพฯ, (2554)

[4] ดร. จอมภพ แววศักดิ์. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ. มหาวิทยาลัยทักษิณ. สงขลา, (2549)

[5] การจัดการระบบน้ำเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2558 จากhttp://blogplekkg.blogspot.com

[6] Physical characteristics of water (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2558 จาก http://www.thermexcel.com/english/tables/eau_atm.htm

[7] อัตราการใช้น้ำของหญ้าสนาม (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2558 จาก http://www.oknation.net/blog/print.php?id=8522

[8] What Are the Different Element Types (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2558 จาก http://www.comsol.com/blogs/meshing-your-geometry-various-element-types

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตารางลักษณะทางกายภาพของน้ำ

(Physical characteristics of water)

ตารางที่ ก.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำ (Physical characteristics of water)

Temperature	Pressure	Saturation vapor pressure	Density	Specific enthalpy of liquid water		Specific heat		Volume heat capacity	Dynamic viscosity
°C	Pa	Pa	kg/m3	kj/kg	kcal/kg	kj/kg	kcal/kg	kj/m3	kg/m.s
0	101325	611	999.82	0.06	0.01	4.217	1.007	4216.1	0.001792
1	101325	657	999.89	4.28	1.02	4.213	1.006	4213.03	0.001731
2	101325	705	999.94	8.49	2.03	4.21	1.006	4210.12	0.001674
3	101325	757	999.98	12.7	3.03	4.207	1.005	4207.36	0.00162
4	101325	813	1000	16.9	4.04	4.205	1.004	4204.74	0.001569
5	101325	872	1000	21.11	5.04	4.202	1.004	4202.26	0.00152
6	101325	935	999.99	25.31	6.04	4.2	1.003	4199.89	0.001473
7	101325	1001	999.96	29.51	7.05	4.198	1.003	4197.63	0.001429
8	101325	1072	999.91	33.7	8.05	4.196	1.002	4195.47	0.001386
9	101325	1147	999.85	37.9	9.05	4.194	1.002	4193.4	0.001346
10	101325	1227	999.77	42.09	10.05	4.192	1.001	4191.42	0.001308
11	101325	1312	999.68	46.28	11.05	4.191	1.001	4189.51	0.001271
12	101325	1402	999.58	50.47	12.06	4.189	1.001	4187.67	0.001236
13	101325	1497	999.46	54.66	13.06	4.188	1	4185.89	0.001202
14	101325	1597	999.33	58.85	14.06	4.187	1	4184.16	0.00117
15	101325	1704	999.19	63.04	15.06	4.186	1	4182.49	0.001139
16	101325	1817	999.03	67.22	16.06	4.185	1	4180.86	0.001109
17	101325	1936	998.86	71.41	17.06	4.184	0.999	4179.27	0.001081
18	101325	2063	998.68	75.59	18.05	4.183	0.999	4177.72	0.001054
19	101325	2196	998.49	79.77	19.05	4.182	0.999	4176.2	0.001028
20	101325	2337	998.29	83.95	20.05	4.182	0.999	4174.7	0.001003
21	101325	2486	998.08	88.14	21.05	4.181	0.999	4173.23	0.000979
22	101325	2642	997.86	92.32	22.05	4.181	0.999	4171.78	0.000955
23	101325	2808	997.62	96.5	23.05	4.18	0.998	4170.34	0.000933
24	101325	2982	997.38	100.68	24.05	4.18	0.998	4168.92	0.000911
25	101325	3166	997.13	104.86	25.04	4.18	0.998	4167.51	0.000891
26	101325	3360	996.86	109.04	26.04	4.179	0.998	4166.11	0.000871
27	101325	3564	996.59	113.22	27.04	4.179	0.998	4164.71	0.000852
28	101325	3779	996.31	117.39	28.04	4.179	0.998	4163.31	0.000833
29	101325	4004	996.02	121.57	29.04	4.179	0.998	4161.92	0.000815
30	101325	4242	995.71	125.75	30.04	4.178	0.998	4160.53	0.000798
31	101325	4491	995.41	129.93	31.03	4.178	0.998	4159.13	0.000781
32	101325	4754	995.09	134.11	32.03	4.178	0.998	4157.73	0.000765
33	101325	5029	994.76	138.29	33.03	4.178	0.998	4156.33	0.000749
34	101325	5318	994.43	142.47	34.03	4.178	0.998	4154.92	0.000734
35	101325	5622	994.08	146.64	35.03	4.178	0.998	4153.51	0.00072
36	101325	5940	993.73	150.82	36.02	4.178	0.998	4152.08	0.000705
37	101325	6274	993.37	155	37.02	4.178	0.998	4150.65	0.000692
38	101325	6624	993	159.18	38.02	4.178	0.998	4149.2	0.000678
39	101325	6991	992.63	163.36	39.02	4.179	0.998	4147.74	0.000666

Temperature	Pressure	Saturation vapor pressure	Density	Specific enthalpy of liquid water		Specific heat		Volume heat capacity	Dynamic viscosity
°C	Pa	Pa	kg/m3	kj/kg	kcal/kg	kj/kg	kcal/kg	kj/m3	kg/m.s
40	101325	7375	992.25	167.54	40.02	4.179	0.998	4146.28	0.000653
41	101325	7777	991.86	171.71	41.01	4.179	0.998	4144.8	0.000641
42	101325	8198	991.46	175.89	42.01	4.179	0.998	4143.3	0.000629
43	101325	8639	991.05	180.07	43.01	4.179	0.998	4141.8	0.000618
44	101325	9100	990.64	184.25	44.01	4.179	0.998	4140.28	0.000607
45	101325	9582	990.22	188.43	45.01	4.18	0.998	4138.75	0.000596
46	101325	10085	989.8	192.61	46	4.18	0.998	4137.2	0.000586
47	101325	10612	989.36	196.79	47	4.18	0.998	4135.64	0.000576
48	101325	11161	988.92	200.97	48	4.18	0.998	4134.06	0.000566
49	101325	11735	988.47	205.15	49	4.181	0.999	4132.47	0.000556
50	101325	12335	988.02	209.33	50	4.181	0.999	4130.87	0.000547
51	101325	12960	987.56	213.51	51	4.181	0.999	4129.25	0.000538
52	101325	13612	987.09	217.69	52	4.182	0.999	4127.61	0.000529
53	101325	14292	986.62	221.88	52.99	4.182	0.999	4125.97	0.000521
54	101325	15001	986.14	226.06	53.99	4.182	0.999	4124.3	0.000512
55	101325	15740	985.65	230.24	54.99	4.183	0.999	4122.63	0.000504
56	101325	16510	985.16	234.42	55.99	4.183	0.999	4120.94	0.000496
57	101325	17312	984.66	238.61	56.99	4.183	0.999	4119.24	0.000489
58	101325	18146	984.16	242.79	57.99	4.184	0.999	4117.52	0.000481
59	101325	19015	983.64	246.97	58.99	4.184	0.999	4115.79	0.000474
60	101325	19919	983.13	251.16	59.99	4.185	0.999	4114.05	0.000467
61	101325	20859	982.6	255.34	60.99	4.185	1	4112.3	0.00046
62	101325	21837	982.07	259.53	61.99	4.186	1	4110.53	0.000453
63	101325	22854	981.54	263.72	62.99	4.186	1	4108.75	0.000447
64	101325	23910	981	267.9	63.99	4.187	1	4106.97	0.00044
65	101325	25008	980.45	272.09	64.99	4.187	1	4105.17	0.000434
66	101325	26148	979.9	276.28	65.99	4.188	1	4103.36	0.000428
67	101325	27332	979.34	280.46	66.99	4.188	1	4101.54	0.000422
68	101325	28561	978.78	284.65	67.99	4.189	1	4099.71	0.000416
69	101325	29837	978.21	288.84	68.99	4.189	1.001	4097.88	0.00041
70	101325	31161	977.63	293.03	69.99	4.19	1.001	4096.03	0.000404
71	101325	32533	977.05	297.22	70.99	4.19	1.001	4094.18	0.000399
72	101325	33957	976.47	301.41	71.99	4.191	1.001	4092.31	0.000394
73	101325	35433	975.88	305.6	72.99	4.192	1.001	4090.45	0.000388
74	101325	36963	975.28	309.79	73.99	4.192	1.001	4088.57	0.000383
75	101325	38548	974.68	313.99	74.99	4.193	1.001	4086.69	0.000378
76	101325	40190	974.08	318.18	76	4.194	1.002	4084.8	0.000373
77	101325	41890	973.46	322.37	77	4.194	1.002	4082.91	0.000369
78	101325	43650	972.85	326.57	78	4.195	1.002	4081.01	0.000364
79	101325	45473	972.23	330.76	79	4.196	1.002	4079.11	0.000359
80	101325	47359	971.6	334.96	80	4.196	1.002	4077.2	0.000355
81	101325	49310	970.97	339.16	81.01	4.197	1.002	4075.29	0.000351

Temperature	Pressure	Saturation vapor pressure	Density	Specific enthalpy of liquid water		Specific heat		Volume heat capacity	Dynamic viscosity
°C	Pa	Pa	kg/m3	kj/kg	kcal/kg	kj/kg	kcal/kg	kj/m3	kg/m.s
82	101325	51328	970.33	343.35	82.01	4.198	1.003	4073.38	0.000346
83	101325	53415	969.69	347.55	83.01	4.199	1.003	4071.46	0.000342
84	101325	55572	969.04	351.75	84.01	4.2	1.003	4069.54	0.000338
85	101325	57803	968.39	355.95	85.02	4.2	1.003	4067.62	0.000334
86	101325	60107	967.73	360.15	86.02	4.201	1.003	4065.7	0.00033
87	101325	62488	967.07	364.35	87.02	4.202	1.004	4063.78	0.000326
88	101325	64947	966.41	368.56	88.03	4.203	1.004	4061.85	0.000322
89	101325	67486	965.74	372.76	89.03	4.204	1.004	4059.93	0.000319
90	101325	70108	965.06	376.96	90.04	4.205	1.004	4058	0.000315
91	101325	72814	964.38	381.17	91.04	4.206	1.005	4056.08	0.000311
92	101325	75607	963.7	385.38	92.05	4.207	1.005	4054.15	0.000308
93	101325	78488	963.01	389.58	93.05	4.208	1.005	4052.23	0.000304
94	101325	81460	962.31	393.79	94.06	4.209	1.005	4050.31	0.000301
95	101325	84525	961.62	398	95.06	4.21	1.006	4048.39	0.000298
96	101325	87685	960.91	402.21	96.07	4.211	1.006	4046.47	0.000295
97	101325	90943	960.2	406.42	97.07	4.212	1.006	4044.55	0.000291
98	101325	94301	959.49	410.64	98.08	4.213	1.006	4042.64	0.000288
99	101325	97760	958.78	414.85	99.09	4.214	1.007	4040.73	0.000285
100	101325	101325	958.05	419.06	100.09	4.216	1.007	4038.82	0.000282

ภาคผนวก ข.

อัตราความต้องการน้ำของพืช

อัตราความต้องการน้ำของพืช

พื้นที่สนามหญ้าทั้งหมด $48 \times 95 = 4560\ m^2$

อัตราการใช้น้ำของสนามหญ้า (liter/m^2) = 0.75 x อัตราการระเหย (mm/day)

อัตราการระเหยเฉลี่ย (ไทย) ประมาณ 5.65 mm/day

อัตราการใช้น้ำของหญ้า = $0.75 \times 5.65 = 4.23$ liter/day/m^2

คิดต่อพื้นที่ อัตราการใช้น้ำของหญ้า = 4.23 (liter/day/m^2) x 4560 (m^2)

= 19289 liter/day

ตารางที่ ข 1 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินต่อเขตรากพืช

เนื้อดิน	ความสามารถอุ้มน้ำ (mm/ดินลึก 1 cm/ 1 m^2)
ดินร่วนปนทราย	1.0
ดินร่วน	1.5
ดินเหนียวปนดินร่วน	1.7

ดินที่ใช้ในการปลูกหญ้าเทศบาลจังหวัดพิษณุโลก (เลือกดินร่วน)

ให้รากหญ้ามีความลึก 15 cm.

บริเวณที่ดินกักเก็บน้ำให้หญ้า = 1.5×15 = 22.5 mm/Area 1 m^2

ถ้าหน้าดินมีความลึก 15 ซม. จะอุ้มน้ำไว้ได้ 22.5 mm/m^2

สนามมีพื้นที่ 4560 m^2 จึงต้องใช้น้ำ

4560 (m^2)x 22.5 (mm) x 10^{-3} (m/m) = 102.6×10^{-3} liter

ข้อ 1 หญ้าต้องการน้ำ 19289 liter/day

ดินจะให้น้ำแก่หญ้า $\frac{102.6 \times 10^3}{19289} = 5.3$ day

ดังนั้น ถ้ารดน้ำเต็มที่ 102600 ลิตร ใน 1 วัน บนสนามหญ้าที่เป็นดินร่วน ดินจะสามารถกักเก็บน้ำให้หญ้าใช้เพียงพอ 5.3 วัน

<u>หมายเหตุ</u> ไม่คิดอัตราการระเหยน้ำจากผิวดินและประสิทธิภาพการให้น้ำ

ในกรณี springer ประสิทธิภาพให้คิดที่ 80%

จากข้อ 1 หญ้าต้องการน้ำ = $\frac{19289}{0.8}$ liter/day = 24111 liter/day ...(A)

จากข้อ 2 ดินอุ้มน้ำให้หญ้าได้ใน 1 วัน = $\frac{102600}{5.3}$ ลิตร/วัน = 19358 liter/day ...(B)

(A) มากกว่า (B) เพราะฉะนั้นจึงเลือก (A) ต้องใช้น้ำ 24111 liter/day

ภาคผนวก ค.

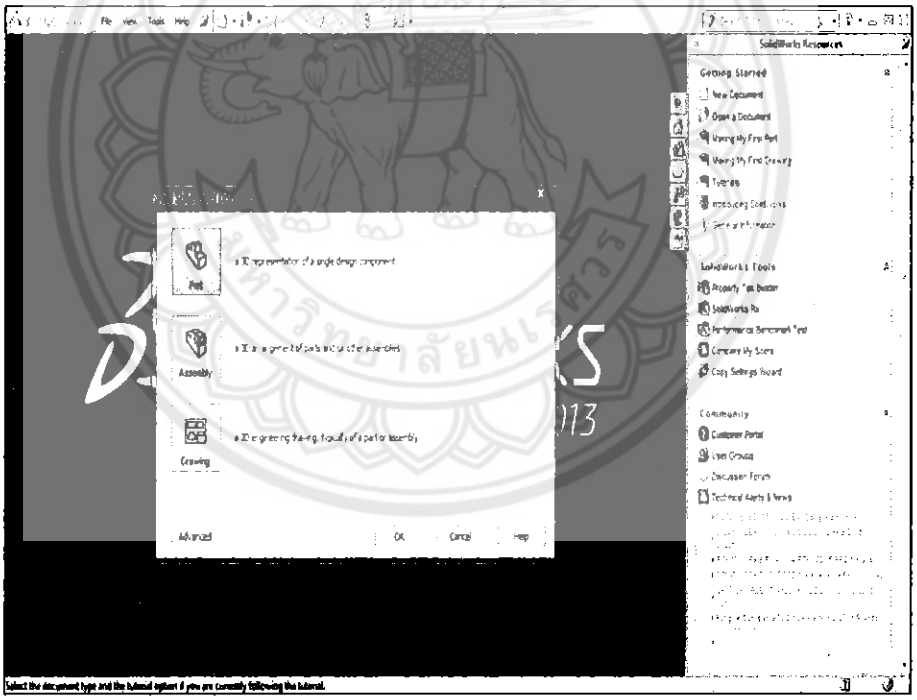
การสร้างแบบจำลองระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์

การสร้างแบบจำลองระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์ด้วยโปรแกรม SolidWorks 2013 x64 Edition เขียนภาพ 3 มิติ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก CPU : Intel(R) Core(TM) i5 CPU M450 @2.4GHz 2.40 GHz RAM 2.00 GB Windows 7 Ultimate

1. การเรียกใช้โปรแกรม SolidWorks 2013

กดเปิดโปรแกรม SolidWorks 2013 บน Desktop กด เลือก → New SolidWoeks Document เลือก Part แล้วเลือก OK

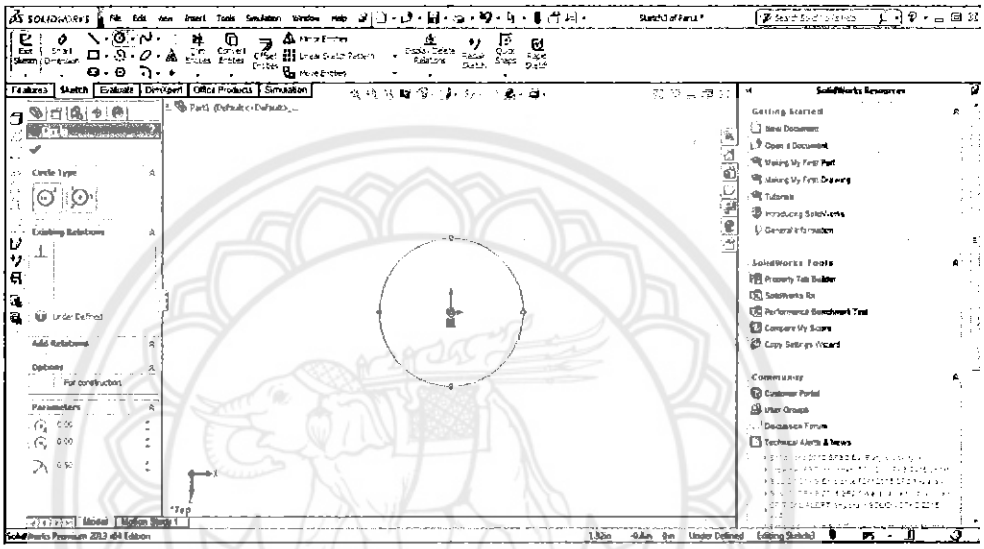


รูปที่ ค.1 การเรียกใช้โปรแกรม SolidWorks เขียนภาพ 3 มิติ

2.การวาดแบบจำลองท่อและอุปกรณ์ข้อต่อท่อ

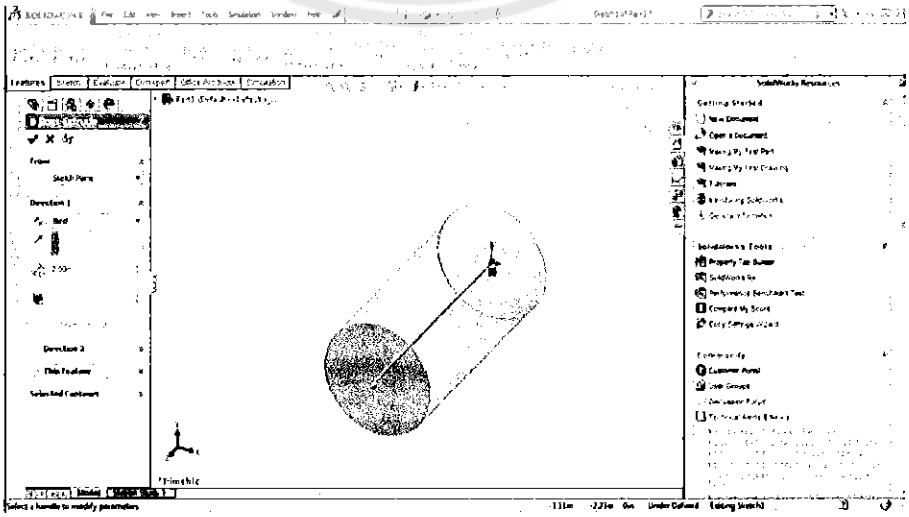
2.1 การวาดแบบจำลองท่อตรง

2.1.1 ปรับหน่วยเป็น IPS แล้วเลือก Front Plane คลิกที่ Sketch จากนั้นเลือก → Circle เพื่อวาดวงกลมขึ้นมาตามรัศมีที่เรากำหนดแต่ละขนาดท่อ

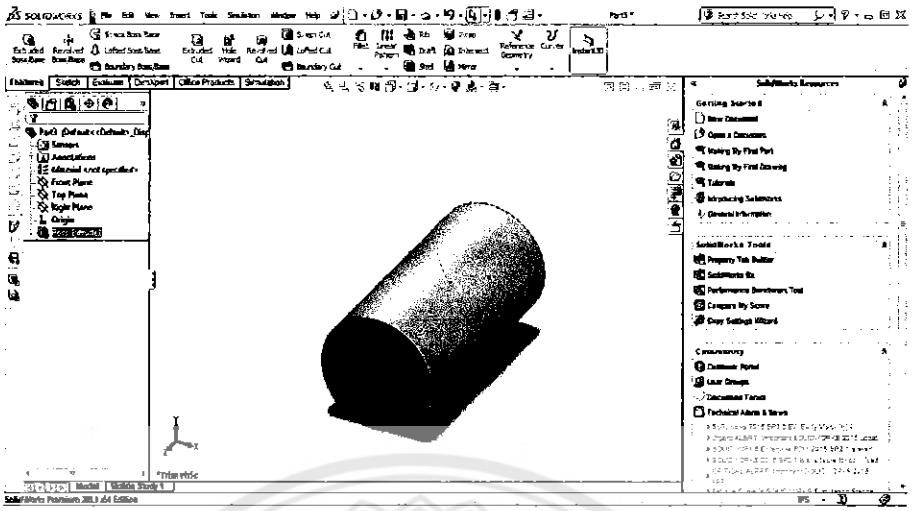


รูปที่ ค.2 การวาดรูปวงกลม

2.1.2 เลือก Features แล้วคลิกที่ Extruded Boss/Base เพื่อสร้างท่อจำลอง 3 มิติ ขึ้นมาตามความยาวที่กำหนดจากนั้นเลือกเครื่องหมายถูกจะได้ท่อ 3 มิติขึ้นมา



รูปที่ ค.3 ยืดท่อออกตามความยาวที่กำหนด

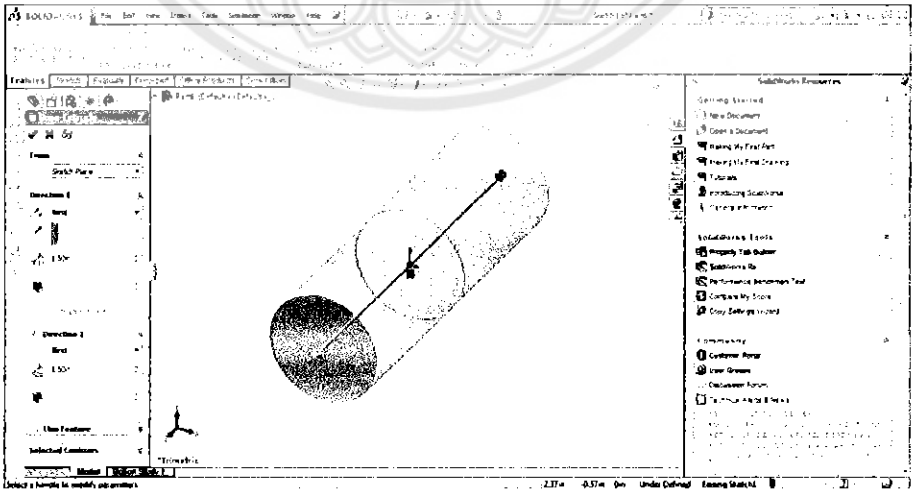


รูปที่ ค.4 ท่อตรง 3 มิติ

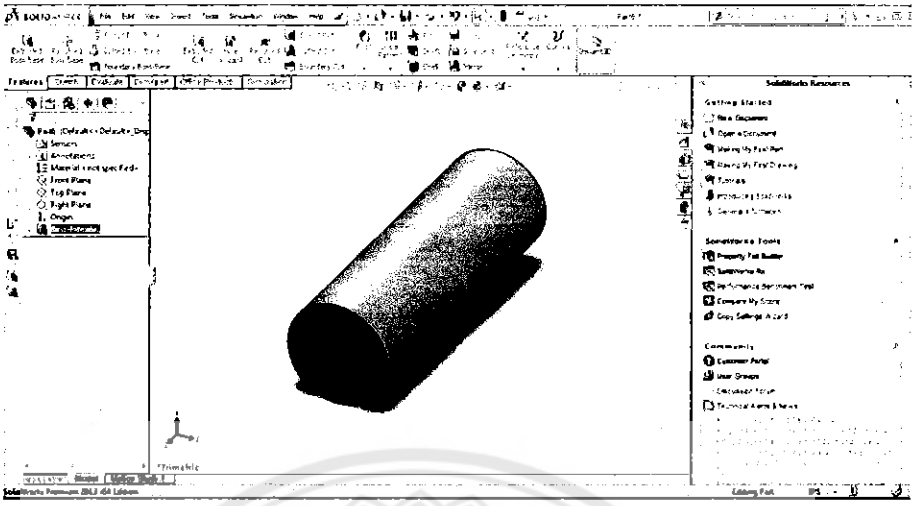
2.2 การวาดแบบจำลองข้อต่อท่อ 3 ทาง

2.2.1 ปรับหน่วยเป็น IPS แล้วเลือก Front Plane คลิกที่ Sketch จากนั้นเลือก → Circle เพื่อวาดวงกลมขึ้นมาตามรัศมีที่เรากำหนดแต่ละขนาดท่อ

2.2.2 เลือก Features แล้วคลิกที่ Extruded Boss/Base เพื่อสร้างท่อจำลอง 3 มิติ ขึ้นมาตามความยาวที่กำหนดจากนั้น ใส่ขนาดความยาวของท่อ ทั้ง Direction 1 และ Direction 2 โดยให้มีความยาวเท่ากันทั้งสองข้าง

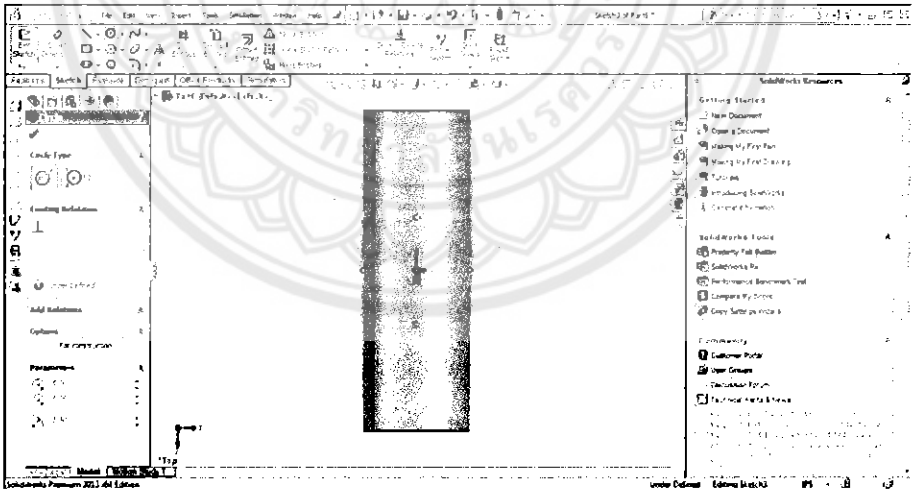


รูปที่ ค.5 ยืดท่อออกตามความยาวทั้งสองข้างเท่ากัน



รูปที่ ค.6 ท่อตรง 3 มิติ ใส่ความยาวเท่ากัน 2 ข้าง

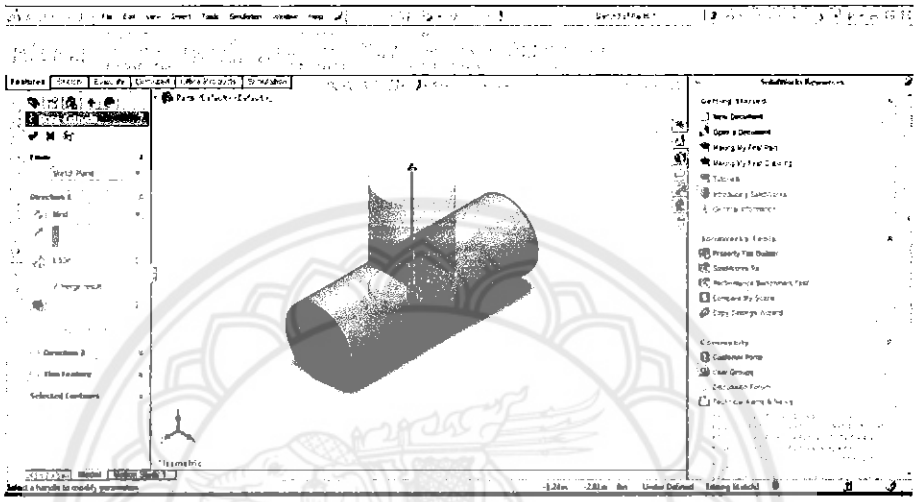
2.2.3 คลิกขวาที่ Top Plane เลือก Normal To เลือก Sketch จากนั้นเลือก → Circle วาดวงกลมบนจุดกลางของท่อ โดยมีรัศมีเท่ากัน



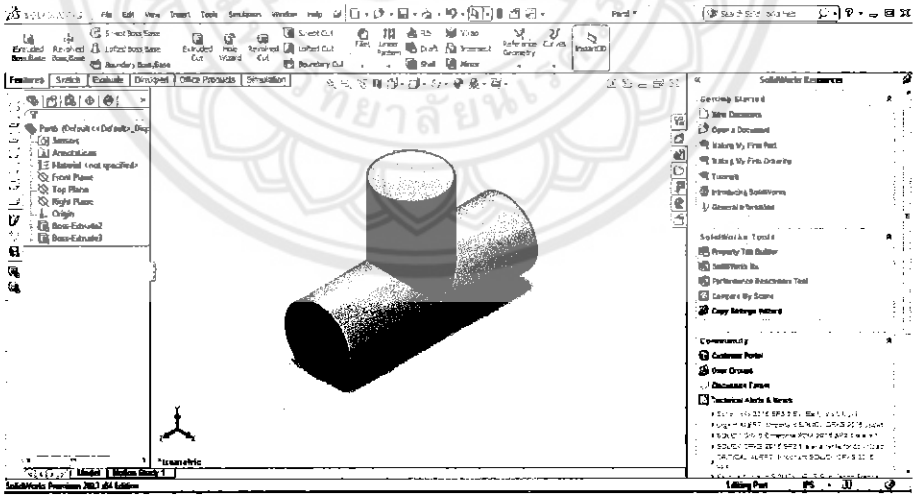
รูปที่ ค.7 วาดวงกลมบนจุดกึ่งกลางของท่อ 3 มิติ

.2.4 เลือก Features แล้วคลิกที่

เพื่อสร้างท่อตั้งฉากขึ้นมาเป็นทางที่ 3 ตามความยาวที่กำหนด



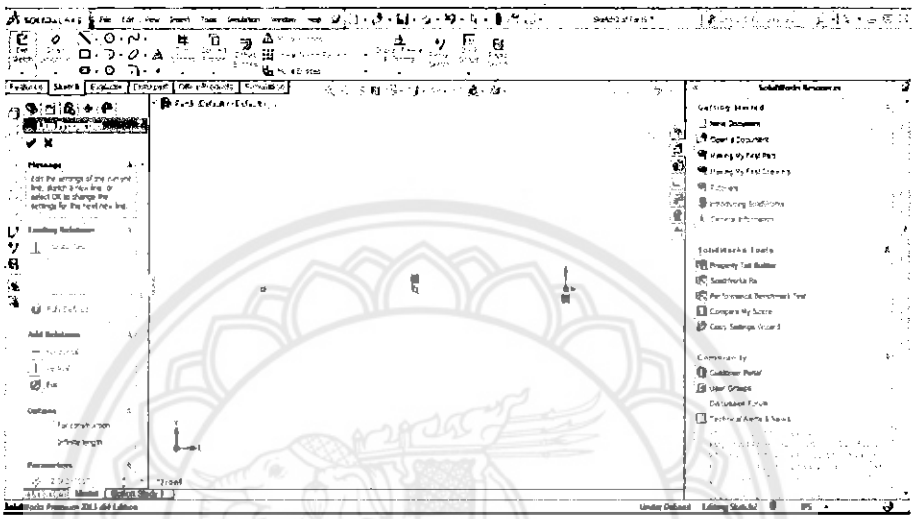
รูปที่ ค.8 ยืดความยาวท่อตั้งฉากกลับแนวท่อตรง 3 มิติ



รูปที่ ค.9 ข้อต่อท่อ 3 ทาง 3มิติ

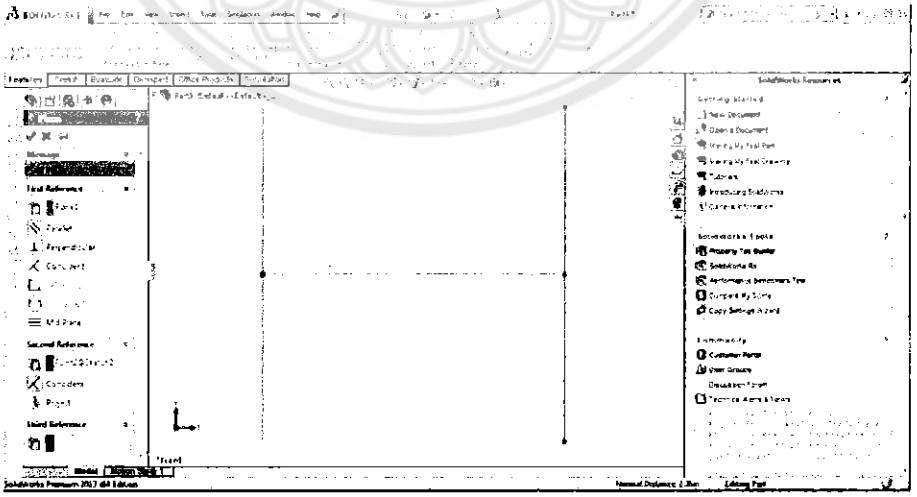
2.3 การวาดข้อต่อท่อลดขนาด

2.3.1 ปรับหน่วยเป็น IPS แล้วเลือก Front Plane คลิกที่ Sketch จากนั้นเลือก → Line วาดเส้นตรงขึ้นมาตามความยาวที่กำหนด



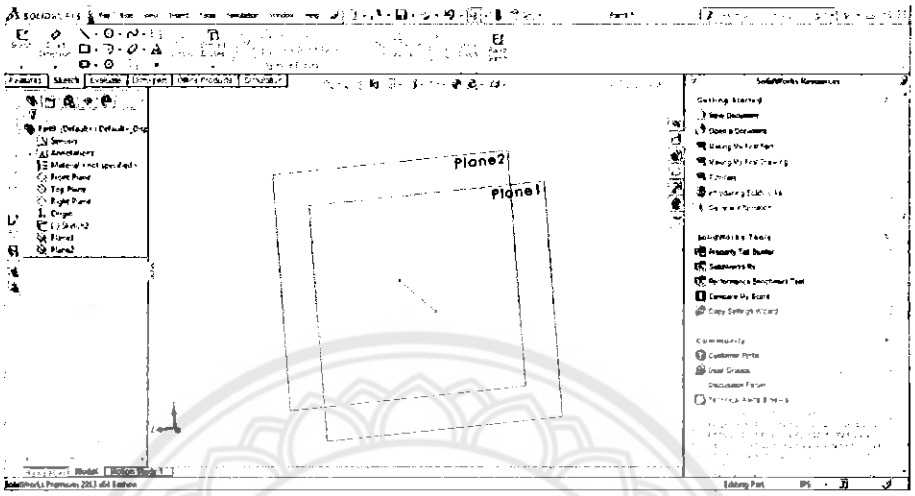
รูปที่ ค.10 การวาดเส้นตรง

2.3.2 เลือก Features แล้วเลือก Reference Geometry → Plane จากนั้นเลือก จุดปลายของเส้นตรงทั้งสองข้างเป็นPlane 1 และ Plane 2



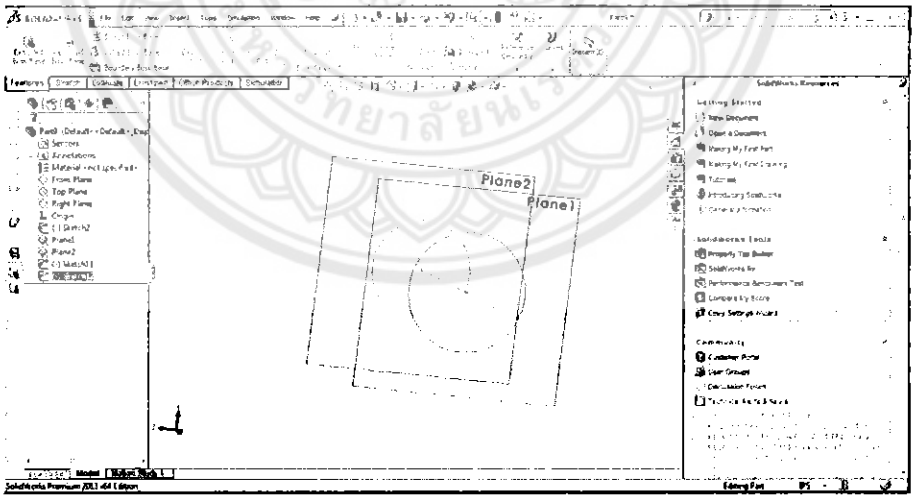
รูปที่ ค.11 เส้นตรงที่มี 2 plane

2.3.3 คลิกขวาที่ Plane 1 และ Plane 2 และเลือก Sketch จากนั้นทำคลิกขวาค้างที่หน้าจอทำการหมุนรูปเพื่อที่จะสร้างวงกลม



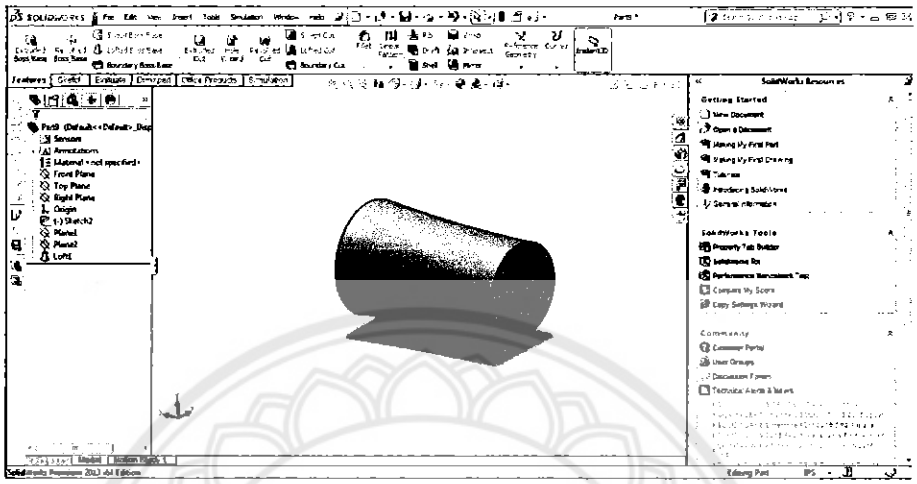
รูปที่ ค.12 แสดง Plane 1 และ Plane 2

2.3.4 เลือก → Circle วาดวงกลมที่ Plane 1 และ Plane 2 โดยวงกลม 2 ขนาดจะมีรัศมีต่างกัน



รูปที่ ค.13 วาดวงกลมบน Plane1 และ Plane 2

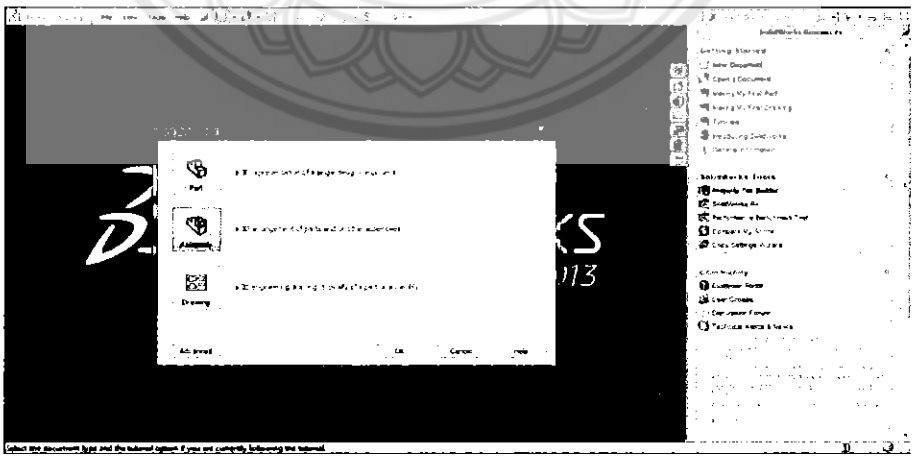
2.3.5 เลือก Features → Lofted Boss/Base จากนั้นเลือกที่ วงกลมที่ Plane 1 และ Plame 2 จากนั้นกดเครื่องหมายถูกจะได้ข้อต่อลดขนาด 3 มิติ



รูปที่ ค.14 ข้อต่อลดขนาด 3 มิติ

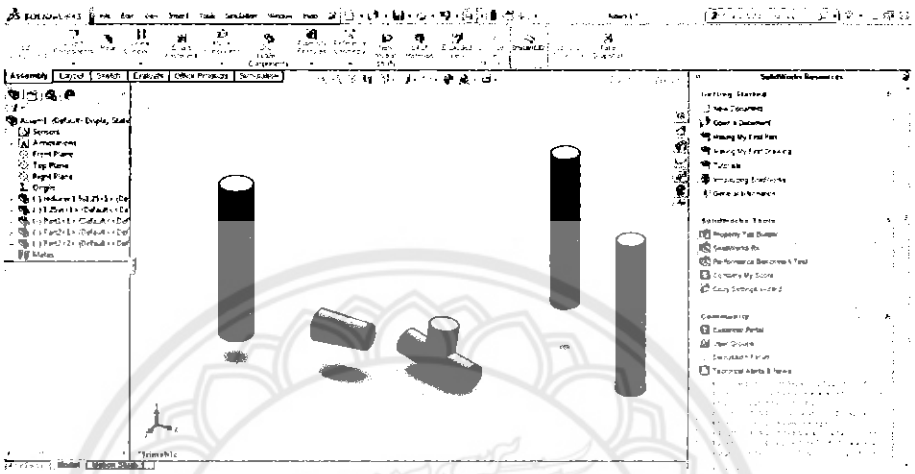
2.4 การประกอบชิ้นส่วนท่อและข้อต่อท่อ

2.4.1กดเลือก → New SolidWoeks Document เลือก Assembly แล้วเลือก OK



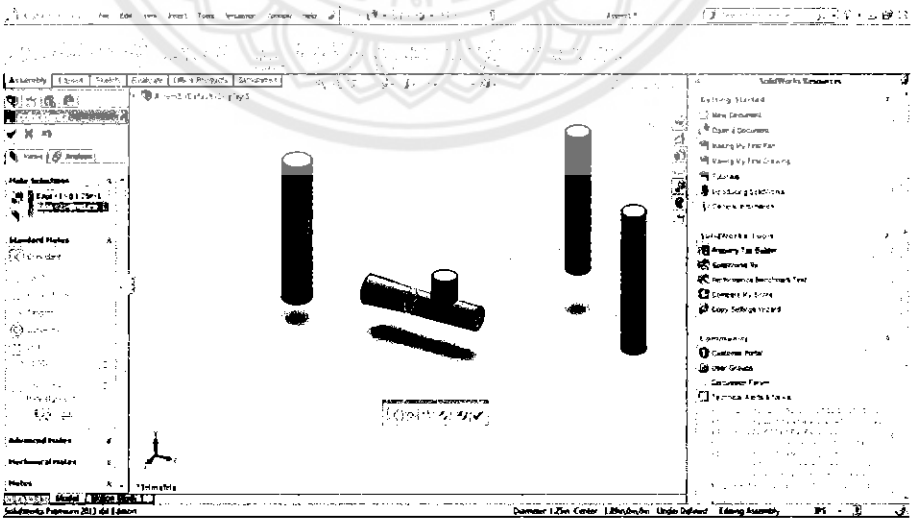
รูปที่ ค.15 การเรียกใช้โปรแกรมประกอบชิ้นส่วนท่อและข้อต่อ 3 มิติ

2.4.2 จากนั้น เลือก Insert Components → Insert Components และคลิก Browse เพื่อเลือกชิ้นส่วนแต่ละชิ้นนำมาว่างไว้เพื่อจะทำการประกอบเข้าด้วยกัน

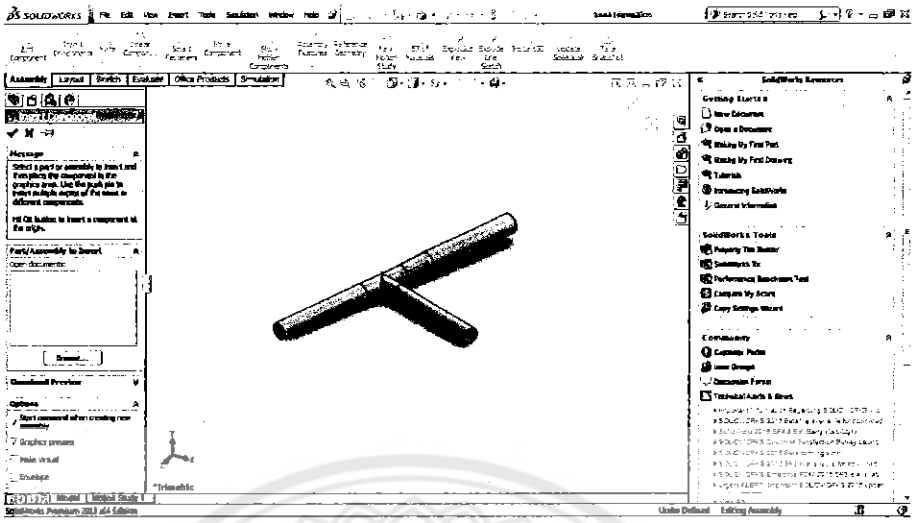


รูปที่ ค.16 การ Browse ชิ้นส่วนเพื่อทำการต่อ

2.4.3 คลิก Mate จากนั้นเลือกหน้าตัดของชิ้นส่วนที่ต้องการประกอบเข้าด้วยกัน 2 ชิ้น กดเครื่องหมายถูกและจากนั้น เลือกที่เส้นรอบวงของสองหน้าตัด 2 ชิ้น แล้วกดเครื่องหมายตกลง ชิ้นส่วนสองชิ้นจะประกบเข้าด้วยกัน



รูปที่ ค.17 แสดงการประกอบชิ้นส่วน 3 มิติเข้าด้วยกัน



รูปที่ ค.18 ชิ้นส่วนท่อและข้อต่อท่อ 3 มิติ ที่ถูกประกอบเข้าด้วยกัน

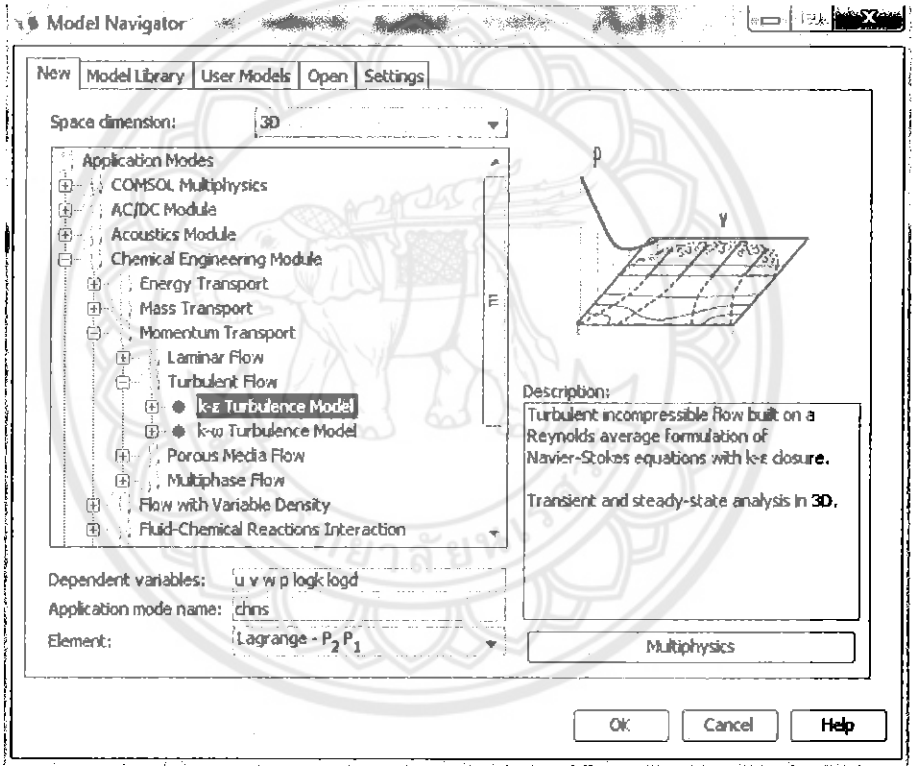
ภาคผนวก ง.

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

1.ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ คือ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก CPU : Intel(R) Core(TM) i5 CPU M450 @2.4GHz 2.40 GHz RAM 2.00 GB Windows 7 Ultimate มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

2.การเรียกใช้งานโปรแกรม Comsol Multiphysics™



รูปที่ ง.1 การเปิดหน้าแรกของโปแกรม

2.1 เปิดโปรแกรมขึ้นมา จากนั้น ที่ แทบ Space Dimension → 3D และที่ แทบ Application Modes → Comsol Multiphysics™ → Momentum Transport → Turbulence → k-ε Turbulence Model

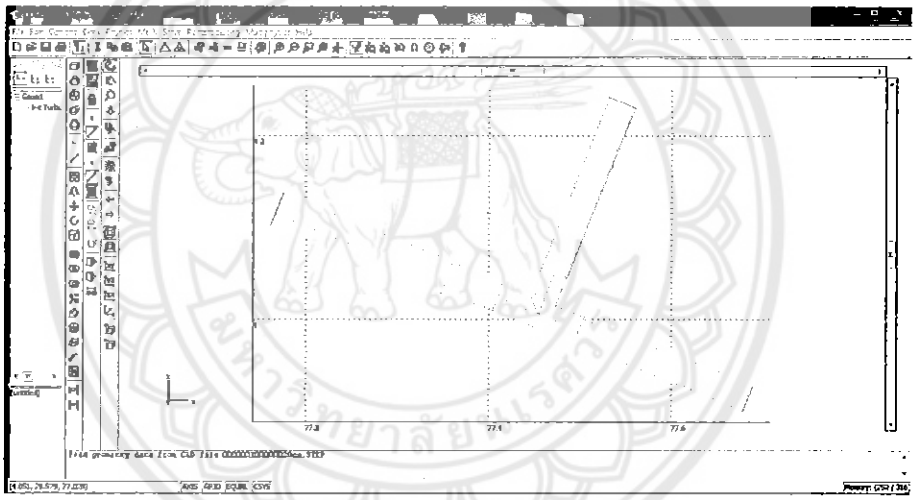
2.2 คลิก OK เพื่อเปิด Model Navigator จากนั้นจะแสดงหน้าต่างการทำงานขึ้นมา

3.การ Import แบบจำลองเข้าโปรแกรม Comsol Multiphysics™

การ Import แบบจำลองระบบจ่ายน้ำด้วยหัวฉีดสปริงเกอร์ จากโปรแกรมเขียนภาพ 3 มิติ SolidWorks เพื่อวิเคราะห์นี้ จะต้องทำการ Save File เป็นนามสกุล .STEP โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 ทำการ Save File .STEP ที่โปรแกรมเขียนภาพ 3 มิติ ที่ Tab Menu ด้านบน เลือก File → Save As→ Save as type : STEP AP203(*.strp;*.stp)

3.2 ทำการ Import แบบจำลอง Comsol Multiphysics™ ที่ Tab Menu ด้านบน เลือก File → Import → CAD Data From File



รูปที่ ง.2 การ Import แบบจำลองท่อ 3 มิติ

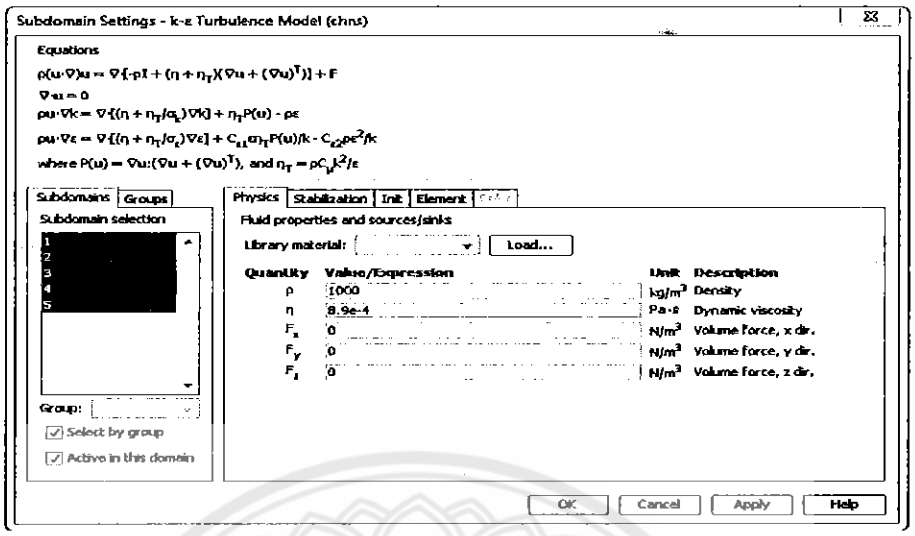
4.การตั้งค่าในการวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนด Subdomain โดยไปที่ Tab Physics → Subdomain Settings...

4.1 เลือก Subomain 1,2,3 และ 4

4.2 ใส่ค่าความหนาแน่นของน้ำ(Density) 1000 kg/m^3

4.3 ใส่ความหนืดพลวัต(Dynamic viscosity) 8.9×10^{-4} $Pa\times s$



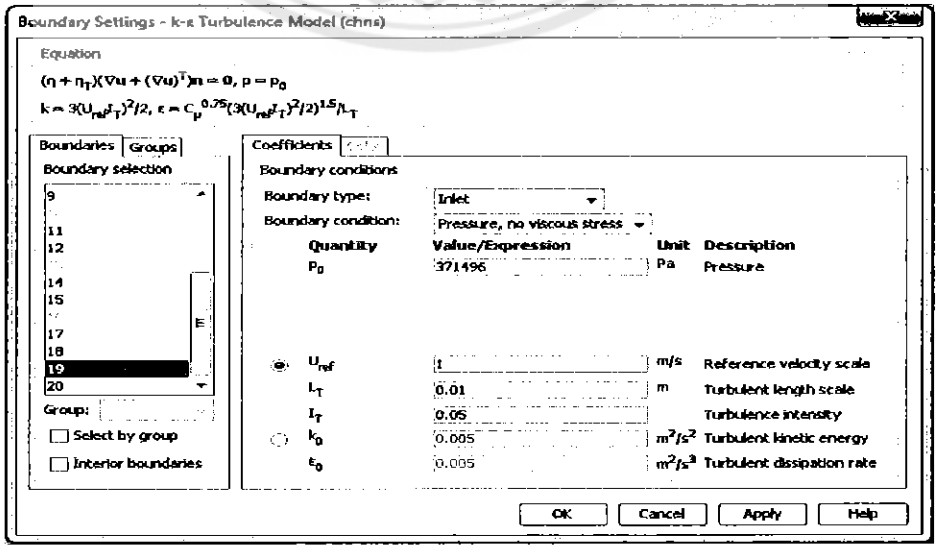
รูปที่ ง.3 การกำหนดค่า Boundary setting

การกำหนดค่า Boundary setting โดยไปที่ Tab Physics → Boundary Settings...

4.4 คลิกเลือก Boundary 19 → Boundary type เลือกเป็น Inlet

4.5 คลิกเลือก Boundary 1,20 → Boundary type เลือกเป็น Outlet และเลือก Pressure, no viscous stress

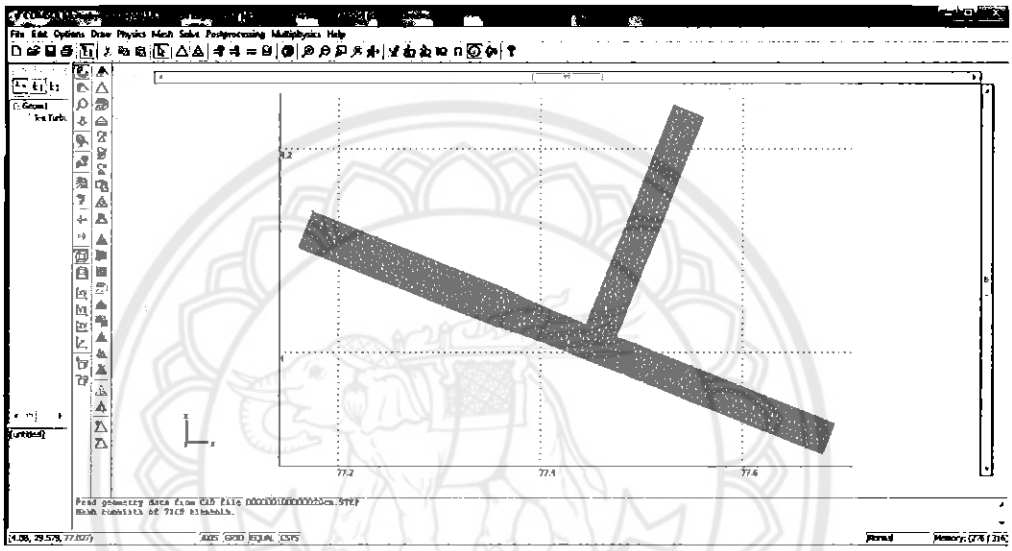
4.6 คลิกเลือก Boundary 2,3,5,6,7,8,9,11,12,14,16,17 และ 18 → Boundary type เลือกเป็น Wall



รูปที่ ง.4 การกำหนดค่า subdomain

5.การแบ่งเอลิเมนท์

5.1 Free Mesh คลิกที่ Free mesh Parameters แล้วเลือก Predefined mesh sizes คลิกเลือก Normal จากนั้นจะทำการแบ่งเอลิเมนท์



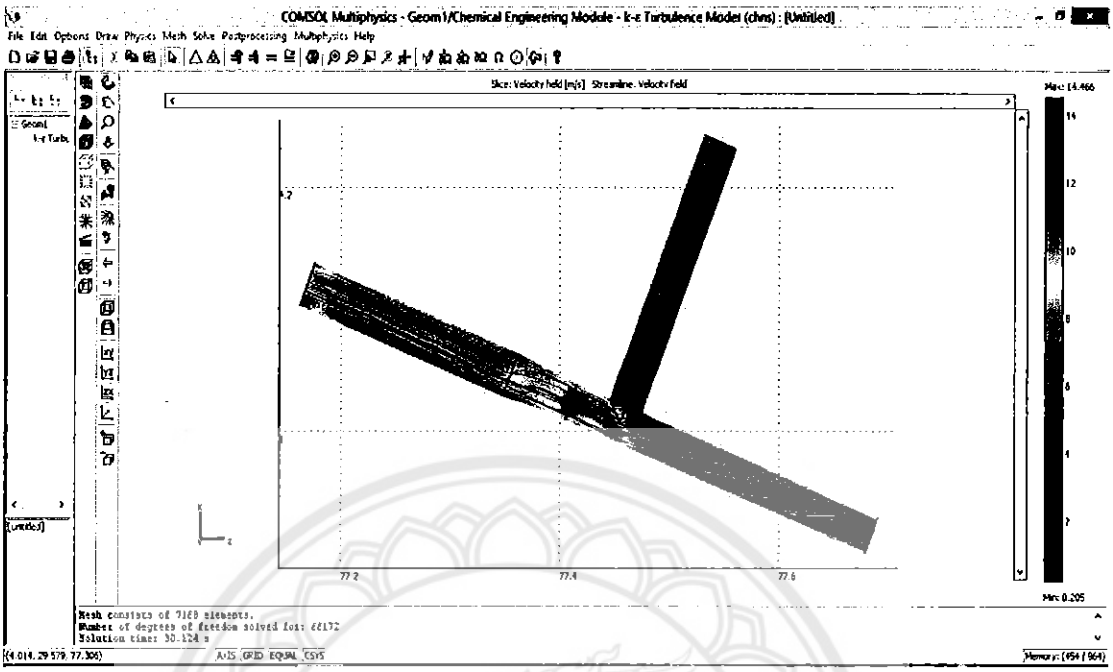
รูปที่ ง.5 การแบ่งเอลิเมนท์

6.การคำนวณผลเฉลย

6.1 คลิกที่ Solve menu เลือก Solve → Solve Problem จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณออกมา

6.2 คลิกเลือกที่ Post processing → Plot Parameters→ Slice กดที่ช่อง Slice Plot จะเป็นการแสดงแถบสีของการไหลภายในท่อของแบบจำลอง ที่แถบ Predefined quantities เลือกเป็น Velocity field หรือ Pressure เพื่อที่จะให้โปรแกรมแสดงค่าของ ความดันหรือความเร็วทีเราสนใจ

6.3 คลิกเลือกที่ Post processing → Plot Parameters →Streamline กดที่ช่อง Streamline Plot จะเป็นการแสดงเส้นทางการไหลของของไหลเป็นเส้นสีภายในแบบจำลอง



รูปที่ ง.6 ผลจากการวิเคราะห์ของโปรแกรม Comsol Multiphysics™

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ/นามสกุล	นายนิตินัย บุญผ่อง
วันเกิด	วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ.2536
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 54/2 หมู่ 5 ต.กำแพงดิน อ.สามง่าม จ.พิจิตร
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาภาคเหนือ อ.เมือง จ.พิษณุโลก
E-mail	oak21247@gmail.com

ชื่อ/นามสกุล	นายบุญญฤทธิ์ ภมร
วันเกิด	วันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ.2535
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 123/41021 ม.2 ต.อรัญญิก อ.เมือง จ.พิษณุโลก
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม อ.เมือง จ.พิษณุโลก
E-mail	boomyarid35@gmail.com

ชื่อ/นามสกุล	นายประวิทย์ บัวสาย
วันเกิด	วันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ.2533
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 276 หมู่ 13 ต.เรณู อ.เรณูนคร จ.นครพนม
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเรณูนครวิทยานุกูล อ.เรณูนคร จ.นครพนม
E-mail	prawit.bs54@gmail.com