



การใช้งานโปรแกรม WatDis ในการคำนวณการไหลในเครือข่ายท่อ

The Using of WatDis Program for Calculation of Flow in Piping Network

นางสาวกนกวรรณ	วงศ์จีน	รหัสนิสิต 57361814
นายกิตติพงษ์	ตะกาบโพธิ์	รหัสนิสิต 57361845
นายชวิศ	นุชนารถ	รหัสนิสิต 57361968

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2560



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	การใช้โปรแกรม WatDis ในการคำนวณการไหลในเครือข่ายท่อ	
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาว กนกวรรณ วงษ์จีน	รหัสนิสิต 57361814
	นาย กิตติพงษ์ ต๊ะกาบโพธิ์	รหัสนิสิต 57361845
	นาย ชวิศ นุชนารถ	รหัสนิสิต 57361968
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. ภาณุ พุทธวงศ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ปีการศึกษา	2560	

.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร. ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ

(ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

.....กรรมการ

(ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์)

หัวข้อโครงการ	การใช้โปรแกรม WatDis ในการคำนวณการไหลในเครือข่ายท่อ	
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาว กนกวรรณ วงษ์จีน	รหัสนิสิต 57361814
	นาย กิตติพงษ์ ต๊ะกาบโพธิ์	รหัสนิสิต 57361845
	นาย ชวิศ นุชนารถ	รหัสนิสิต 57361968
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. ภาณุ พุทธวงศ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ปีการศึกษา	2560	

บทคัดย่อ

การคำนวณอัตราการไหลในระบบท่อนั้นมีความซับซ้อนอย่างมากในการคำนวณแบบปกติ โปรแกรม Watdis นั้นสามารถใช้งานได้ง่ายและสร้างความสะดวกในการคิดคำนวณการไหลในเครือข่ายท่อ ซึ่งจากการใช้งานโปรแกรมโดยการนำไปใช้คำนวณเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ใช้วิธีการคำนวณแบบปกติจากตำราพบว่าโปรแกรม สามารถคำนวณอัตราการไหลของน้ำภายในระบบท่อได้ใกล้เคียงกับค่าจากการคำนวณปกติ อาจมีความคลาดเคลื่อนซึ่งเกิดจากหลายกรณีคือรูปแบบของระบบท่อที่การต่อระบบท่อแบบวงจรมันจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าการต่อแบบแขนง และการติดตั้งอุปกรณ์ที่ต้องใช้การสร้างกราฟสมรรถนะของอุปกรณ์ที่ต่างจากการคำนวณแบบปกติที่ใช้คำนวณโดยสมการ อีกทั้งยังมีค่าของ Reynolds number และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพราะโปรแกรมนั้นจะระบุเป็นค่าคงที่ตามกรณีที่ใช้ แต่การคำนวณปกตินั้นจะใช้สมการคำนวณเป็นช่วงๆ เพราะฉะนั้นจากความแตกต่างนี้จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ซึ่งถือว่ายอมรับได้ เพราะค่าที่ถูกต้องของอัตราการไหลในระบบท่อนั้น จะสามารถตรวจสอบได้จากการวัดอัตราการไหลจริงด้วยเครื่องมือเท่านั้น

Project title	The Using of WatDis Program for Calculation of Flow in Piping Network	
Name	Ms. Kanokwan Wongjeen	ID 57361814
	Mr. Kittipong Takappho	ID 57361845
	Mr. Chawit Nooshanart	ID 57361968
Project advisor	Dr. Panu Puttaawong	
Major	Mechanical Engineering	
Department	Mechanical Engineering	
Academic year	2017	

Abstract

The calculation of flow rate in the piping network is complicated when using normal calculation. WatDis program is easy to use and provides convenient calculation for flow rate in the piping network. By using this program to calculate the flow rate and comparing the results from the solutions that using normal calculation from the textbook, it is found that the program can calculate the result similar to those obtain from the normal calculation. The errors can come from various reasons. One is the type of piping network. The circuit-type network has less error than the branch-type network. And also, the installation of instrument in the network is another reason. The program is required to create the performance curve of the instrument while the normal calculation is using only the equation to represent the instrument. Moreover, the Reynolds number and the friction factor are also the cause of the error. The program uses those values as constants while the normal calculation uses those values from the iterations. However, the difference in results from the two methods are acceptable. Because the actual flow rate in the piping network can be validated only by measuring with the use of the flow measuring instrument.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์ ภาณุ พุทธรังค์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ซึ่ง ท่านได้ คอยช่วยเหลือ และให้แนวคิดต่างๆ ในการทำโครงการ และยังช่วยตรวจสอบแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ ให้ผ่านลุล่วงไปได้

ขอแสดงความขอบคุณ

โดยคณะผู้จัดทำ



สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน	3
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ	3
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงการ	3
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	5
2.1 สมการของ Hazen-Williams	6
2.2 สมการของ Darcy-Weisbach (Colebrook-White)	7
2.3 สมการของ Colebrook-White	11
2.4 สมการของ Manning	12
2.5 สมการ Chezy-Manning	13
2.6 ปัจจัยความขรุขระทั่วไป	14

สารบัญ (ต่อ)

2.7 การวิเคราะห์เครือข่ายท่อ	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ	22
3.1 ศึกษาโปรแกรม WatDis ทาสมการที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการคำนวณระบบ	23
3.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมการของการคำนวณในโปรแกรม WatDis	23
3.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม WatDis ในจำลองระบบการคำนวณอัตราการใช้ ของน้ำในระบบ	23
3.4 ทดลองใช้โปรแกรม WatDis จำลองระบบจากตัวอย่างในตำรา	23
3.5 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากตัวอย่างกับโปรแกรม WatDis ที่คำนวณได้	23
3.6 วิเคราะห์ผลข้อมูลและจัดทำคู่มือแนะนำการใช้งาน	24
3.7 สรุปผล	24
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการและวิเคราะห์	25
4.1 กรณีศึกษาที่ 1	25
4.2 กรณีศึกษาที่ 2	28
4.3 กรณีศึกษาที่ 3	31
4.4 กรณีศึกษาที่ 4	33
4.5 กรณีศึกษาที่ 5	36
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	38
5.1 รูปแบบของระบบท่อ	38
5.2 รูปแบบของอุปกรณ์เสริมในระบบท่อ	38
5.3 ชนิดของสมการที่ใช้ในการคำนวณ	38
5.4 เครื่องหมายในผลคำนวณของโปรแกรม WatDis	39
5.5 คำสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	39
5.6 ข้อเสนอแนะ	40

สารบัญ (ต่อ)

เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก ก	43
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน	4
2.1 คำสัมประสิทธิ์ความขรุขระของวัสดุชนิดต่างๆ	14
4.1 ข้อมูลของท่อต่างๆ	26
4.2 ความสูงของท่อแต่ละโหนด	26
4.3 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษากับโปรแกรม	26
4.4 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษากับโปรแกรม	27
4.5 ข้อมูลของท่อต่างๆ	28
4.6 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 2	29
4.7 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 2	30
4.8 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 3	31
4.9 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 3	32
4.10 ข้อมูลของท่อต่างๆ	33
4.11 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 4	34
4.12 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 4	35
4.13 ข้อมูลของท่อต่างๆ	36
4.14 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 5	37

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม EPANET	1
1.2 แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม WatDis	2
2.1 Moody diagram	8
2.2 เครื่องข่ายท่อแบบปิด	16
2.3 เครื่องข่ายท่อแบบแขนง	17
3.1 แสดงแผนการดำเนินงาน	22
4.1 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 1	25
4.2 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 2	28
4.3 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 3	31
4.4 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 4	33
4.5 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 5	36



สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

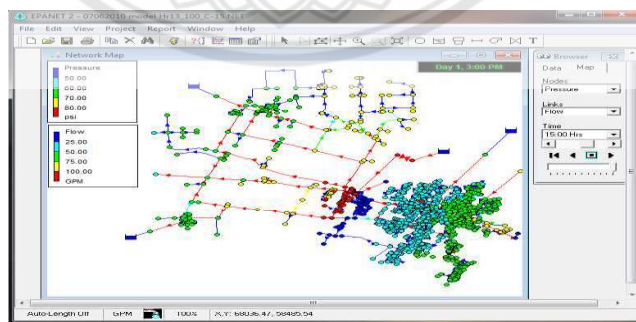
V	=	ความเร็วเฉลี่ย (m/s, ft/s)
C	=	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ
R	=	รัศมีไฮดรอลิก (m, ft)
S	=	ความเสียดทาน (m/m, ft/ft)
k	=	ค่าคงที่เชิงประจักษ์ใช้ในการแปลงหน่วย 1.32 สำหรับหน่วย U.S. หรือ 0.85 สำหรับ หน่วย SI
C_H	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Hazen-Williams (ไม่มีหน่วย)
f_H	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Hazen-Williams
A	=	พื้นที่หน้าตัด (mm)
Q	=	ปริมาณอัตราการไหล (gpm, Lpm)
g	=	แรงโน้มถ่วง (m/s^2 , ft/s^2)
f_D	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Darcy-Weisbach (ไม่มีหน่วย)
Re	=	Reynolds number
μ	=	ความหนืดสัมบูรณ์ (Pa.s)
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
ρ	=	ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)
ν	=	ความหนืดจลศาสตร์ (m^2/s)
ϵ	=	ความหยาบของผิวขรุขระของท่อ (m, ft)
n_M	=	ความขรุขระของ Manning
V	=	ความเร็วเฉลี่ย (m/s, ft/s)
C	=	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ
h	=	การสูญเสียของ Head
K	=	สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (loss coefficient)

บทที่ 1

บทนำ

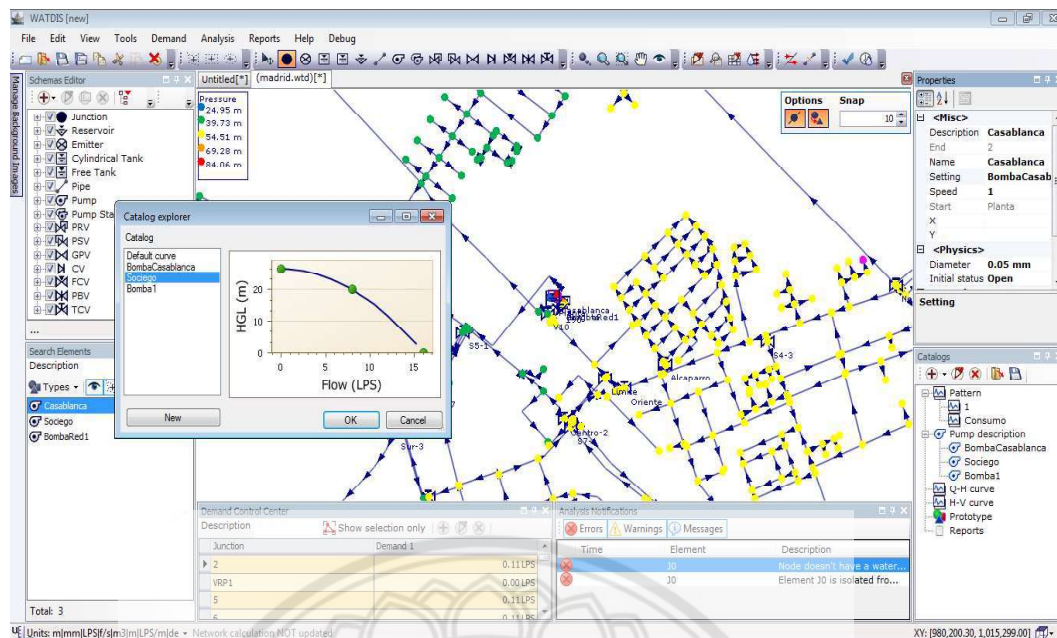
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันการคำนวณอัตราการไหลในระบบท่อนั้นมีความซับซ้อนอย่างมากในการคำนวณแบบปกติ และในการใช้โปรแกรมคำนวณที่มีอยู่ในปัจจุบันเช่น EPANET ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย United States Environmental Protection Agency (USEPA) หรือ KYPipes ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยบริษัท KYPipe LLC นั้นมีความซับซ้อนในการป้อนคำสั่งเพราะต้องป้อนคำสั่งด้วยภาษา C+ การใช้ชุดคำสั่งที่เข้าใจยาก และไม่สามารถมองรูปแบบการวางท่อหรือแนวท่อได้อย่างชัดเจนในระหว่างที่ใส่ข้อมูลซึ่งอาจทำให้เกิดความล่าช้าหรือข้อผิดพลาดในการทำงานเกิดขึ้นได้ ดังนั้น เพื่อให้การทำงานรวดเร็วและมีความถูกต้องหรือสามารถตรวจสอบข้อมูลได้ง่ายขึ้นจึงต้องหาโปรแกรมที่มีความสามารถมากกว่าและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ ซึ่งในขณะเดียวกับที่ได้มีโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณค่าอัตราการไหลและค่าอื่นๆในระบบท่อได้ง่ายมีความคล้ายคลึงกับโปรแกรม AutoCAD คือระบบจะแสดงผลเป็นรูปภาพของระบบท่อตามที่เราเขียนขึ้นและสามารถใส่ค่าที่เราต้องการรวมถึงส่วนประกอบต่างๆ เช่น แหงค์ บีม และวาล์วต่างๆ ได้อีกด้วย ซึ่งมีชื่อว่าโปรแกรม WatDis ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Transparent Blue ในเวอร์ชัน 1.3.3



รูปที่ 1.1 แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม EPANET

[ที่มา <http://engineering.wayne.edu/wsuvater/hydraulics/epanet.php>]



รูปที่ 1.2 แสดงหน้าต่างการใช้งานโปรแกรม WatDis

[ที่มา <http://www.water-simulation.com/wsp/2012/11/19/watdis-the-little-challenger/>]

โครงการนี้จะทำการวิเคราะห์การทำงานและระบบการคำนวณต่างๆของโปรแกรม WatDis เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณระบบการทำงานและค่าต่างๆภายในระบบท่อเพื่อให้ง่ายกว่าการใช้งานโปรแกรม EPANET ซึ่งต้องเขียนภาษา C ซึ่งมีความยากพอสมควร ทำให้ยากต่อผู้ที่ไม่สามารถใช้ภาษา C ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาว่าในการคำนวณอัตราการไหลของน้ำในระบบท่อนั้นสามารถคำนวณได้อย่างไร
- 1.2.2 เพื่อทดลองใช้โปรแกรม WatDis ในการคำนวณเรื่องระบบท่อ
- 1.2.3 เพื่อจัดทำคู่มือภาษาไทยสำหรับการใช้งานโปรแกรม WatDis

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Outputs)

- 1.3.1 ทดสอบว่าโปรแกรม WatDis สามารถใช้งานได้จริงหรือไม่
- 1.3.2 ความคลาดเคลื่อนของโปรแกรม WatDis มีค่าความน่าเชื่อถือพอหรือไม่

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcomes)

- 1.4.1 สามารถใช้งานโปรแกรม WatDis ได้จริง
- 1.4.2 ความคลาดเคลื่อนจากค่าคำนวณโดยใช้โปรแกรม WatDis กับกรณีศึกษามีค่าใกล้เคียงกัน

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีรวมถึงข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 ทำการคำนวณค่าต่างๆเทียบกับตัวอย่างที่ใช้ในการเทียบ
- 1.5.3 นำตัวอย่างเข้าไปทดสอบในโปรแกรม
- 1.5.4 เปรียบเทียบค่าจากโปรแกรมและที่คำนวณโดยเทียบกับค่าเฉลย
- 1.5.5 วิเคราะห์ผลข้อมูลและจัดทำคู่มือแนะนำการใช้งาน
- 1.5.6 สรุปผลและจัดทำรายงาน

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560 ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2561

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ช่วงเวลา										
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
1.8.1 ศึกษาโปรแกรม WatDis หาสมการที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการคำนวณระบบ	✓	✓	✓								
1.8.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมการของการคำนวณในโปรแกรม WatDis				✓	✓						
1.8.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม WatDis ในจำลองระบบการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ					✓	✓	✓	✓			
1.8.4 ทดลองใช้โปรแกรม WatDis จำลองระบบจากตัวอย่างในตำรา							✓	✓	✓	✓	
1.8.5 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากตัวอย่างกับโปรแกรม WatDis ที่คำนวณได้									✓	✓	✓
1.8.6 วิเคราะห์ผลข้อมูลและจัดทำคู่มือแนะนำการใช้งาน									✓	✓	✓
1.8.7 สรุปผล									✓	✓	✓

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

การสูญเสียแรงเสียดทานมีสมการหลายอย่างที่เกี่ยวข้อกับการไหลของของเหลวผ่านบริเวณท่อที่กำหนด วิธีการที่ใช้ทั่วไป ได้แก่

- สมการ Hazen-Williams
- สมการ Darcy-Weisbach (Colebrook-White)
- สมการของ Manning
- สมการของ Chezy-Manning

สมการเหล่านี้สามารถอธิบายได้ด้วยสมการวิเคราะห์ความเร็วทั่วไป

$$V = kCR^x S^y \quad (2.1)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วเฉลี่ย (m/s, ft/s)

C คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ (จากตาราง 2.1)

R คือ รัศมีไฮดรอลิก (m, ft)

S คือ ความเสียดทาน (m/m, ft/ft)

x,y คือ เลขยกกำลังที่ได้จากการกำหนดกราฟ

k คือ ค่าคงที่เชิงประจักษ์ใช้ในการแปลงหน่วย 1.32 สำหรับหน่วย U.S. หรือ 0.85 สำหรับ หน่วย SI

วัสดุที่ใช้ทำท่อมักจะเป็นสิ่งที่กำหนดค่าความต้านทานการไหลหรือค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ อย่างไรก็ตามค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่ออาจมีผลต่อ รูปร่าง ช่องความลึก และ ความเร็วของของไหลภายในท่อ

2.1 สมการของ Hazen-Williams

สมการ Hazen-Williams ถูกใช้บ่อยที่สุดในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบท่อแรงดัน สมการดังกล่าวได้รับการพัฒนาจากการทดลอง ดังนั้น จึงไม่ควรใช้กับของเหลวอื่นนอกเหนือจากน้ำ (ใช้ได้กับน้ำที่อุณหภูมิปกติ) ใช้สมการเชิงประจักษ์ในการกำหนดการสูญเสียแรงเสียดทานในการไหลของน้ำ สมการความเร็วของ Hazen-Williams คือ

$$V = kC_H R^{0.63} S^{0.54} \quad (2.2)$$

การหาอัตราการไหล

$$Q = kC_H A R^{0.63} S^{0.54} \quad (2.3)$$

การหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (friction factor)

$$f_H = 12.10 C_H^{-1.852} Q^{-0.148} D^{0.13} \quad (2.4)$$

- เมื่อ
- V คือ ความเร็วเฉลี่ย (m/s, ft/s)
 - k คือ ค่าคงที่เชิงประจักษ์ใช้ในการแปลงหน่วย 1.32 สำหรับหน่วย U.S. หรือ 0.85 สำหรับหน่วย SI
 - C_H คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Hazen-Williams (ไม่มีหน่วย) (จากตาราง 2.1)
 - R คือ รัศมีไฮดรอลิก (m, ft)
 - S คือ ความเสียดทาน (m/m, ft/ft)
 - f_H คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Hazen-Williams
 - A คือ พื้นที่หน้าตัด (mm)
 - Q คือ ปริมาณอัตราการไหล (gpm, Lpm)

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Hazen-Williams สมการนี้ใช้สำหรับท่อขนาด 3 นิ้ว (75 มม.) หรือใหญ่กว่านี้ ใช้คำนวณได้น้ำที่ไหลในอุณหภูมิระหว่าง 40-75 องศาฟาเรนไฮต์ (21-24 องศาเซลเซียส) และความดันได้ถึง 175 psi (1.2 MPa) หากใช้สมการนอกเหนือจากเงื่อนไขนี้ควรใช้สมการของ Darcy-Weisbach ในการคำนวณ

2.2 สมการของ Darcy-Weisbach (Colebrook-White)

สมการ Darcy-Weisbach เป็นสมการทางทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบท่อแรงดัน สามารถใช้ได้กับอัตราการไหลใดๆ และของเหลวที่ไม่สามารถอัดตัวได้และยังนำมาใช้กับระบบการไหลภายในท่อที่เป็นระบบเปิดได้ สมการ Darcy-Weisbach ทำหน้าที่คำนวณทั้งสองแบบคือสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อและ Reynolds Number ซึ่งแตกต่างกันตามความเร็วและรัศมีไฮดรอลิก

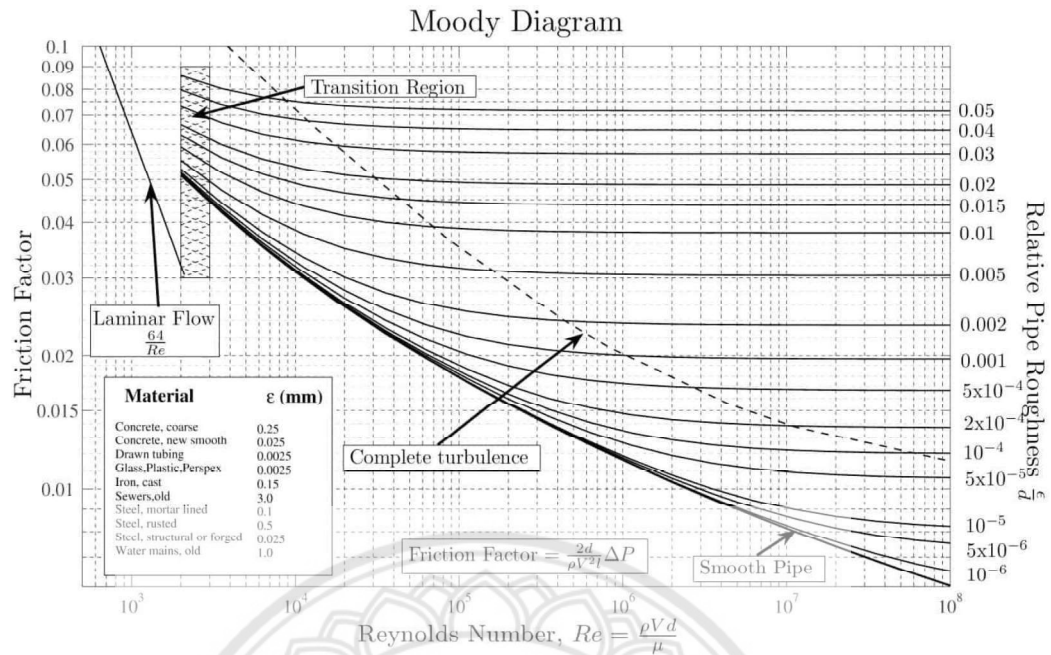
$$v = \sqrt{\frac{8g}{f_D}RS} \quad (2.5)$$

- เมื่อ
- V คือ ความเร็วเฉลี่ย (m/s, ft/s)
 - g คือ แรงโน้มถ่วง (m/s^2 , ft/s^2)
 - f_D คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Darcy-Weisbach (ไม่มีหน่วย)
 - R คือ รัศมีไฮดรอลิก (m, ft)
 - S คือ ความเสียดทาน (m/m, ft/ft)

2.2.1 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Darcy-Weisbach

สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f_D) ไม่ได้เป็นค่าคงที่ โดยมีปัจจัยที่ทำให้ค่าเกิดการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะต่างๆของท่อคือ เส้นผ่านศูนย์กลาง ความขรุขระของท่อ ลักษณะของการไหล และความเร็วของการไหลของของเหลว (v) และอาจจะเทียบด้วยการอ่านจาก Moody diagram

2.2.1.1 Moody diagram ใช้ค่าของ Reynolds number เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ อัตราความขรุขระของท่อ (Relative pipe roughness) ก็จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (friction factor) จะเห็นว่าแผนภูมินี้แสดงสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ไว้ในแนวแกนตั้งและมี Reynolds number (Re) เป็นแกนนอน โดยมีความขรุขระเป็นตัวแปรรอง จะสังเกตว่าการพล็อตแบบนี้เป็นกึ่งลอการิทึม ซึ่งจะเห็นว่าที่ค่าต่ำๆ การไหลจะเป็นการไหลแบบราบเรียบค่าจะตกอย่างรวดเร็วเมื่อสูงขึ้น



รูปที่ 2.1 Moody diagram

[ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Moody_chart]

2.2.2 Reynolds Number

ในกลศาสตร์ของไหล Reynolds number (Re) เป็นจำนวนที่ไม่มีมิติ ที่เป็นการหาอัตราส่วนของแรงเฉื่อย ต่อแรงของความหนืด ซึ่งเป็นตัวเลขสำคัญสำหรับการกำหนดเงื่อนไขการไหล

$$\text{Reynolds Number} = \text{Re} = \frac{\text{แรงเฉื่อย}}{\text{แรงหนืด}} = \frac{\text{initial forces}}{\text{viscous forces}}$$

แนวคิดได้รับการแนะนำโดย เซอร์ จอร์จ กาเบรียล สโตร์ก (Sir George Gabriel Stokes) ในปี 1851 ซึ่ง Reynolds number ถูกนำมาใช้ในปี 1883 โดย ออสบอร์น เรย์โนลด์ (Osborne Reynolds) (1842-1912)

Reynolds number ใช้ในการอธิบายแบ่งลักษณะการไหลของของเหลวที่แตกต่างกัน เช่น แบบราบเรียบ (laminar flow) หรือไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) กรณี Reynolds number

ของการไหลที่มีค่าต่ำ แสดงว่าแรงของความหนืดจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนไหวของของเหลว ทำให้การไหลมีลักษณะราบเรียบ (laminar) ถ้า Reynolds number ของการไหลที่มีค่าสูง แสดงว่าแรงของความเฉื่อยจะมีอิทธิพลต่อการไหล ทำให้การไหลเป็นแบบปั่นป่วน (turbulent) และจะผลิตการหมุนวนแบบก้นหอย (vortices) ซึ่งทำให้การไหลไม่เสถียร

2.2.2.1 การไหลในท่อ

สำหรับการไหลในท่อ สมการของ Reynolds number ถูกกำหนดไว้ดังนี้

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.6)$$

- เมื่อ
- Re คือ Reynolds number
 - μ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ (Pa.s)
 - V คือ ความเร็วเฉลี่ยของไหล (m/s)
 - D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
 - ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

2.2.2.2 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

การไหลแบบราบเรียบนั้นจะมีค่า Reynolds Number ต่ำซึ่งการไหลลักษณะนี้เป็น การไหลที่มีค่า Reynolds Number น้อยกว่า 2300 โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นเมื่อท่อมีขนาดเล็กและความเร็วในการไหลต่ำ

การไหลของแบบราบเรียบ สามารถถือได้ว่าเป็นชุดของกระบอกสูบของเหลวซึ่งในท่อส่วนที่อยู่ด้านในสุดจะไหลเร็วที่สุดและกระบอกสูบที่สัมผัสกับท่อจะไม่เคลื่อนที่เลยและ ความเค้นเฉือนในการไหลแบบราบเรียบขึ้นอยู่กับความหนืด (μ) เพียงเล็กน้อย และไม่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น (ρ) โดย Reynolds number สัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ในกรณีการไหลแบบราบเรียบ ดังนี้

$$f_D = \frac{64}{Re} \quad (2.7)$$

หา Reynolds Number ได้จาก

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.8)$$

และ

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.9)$$

เมื่อ Re คือ ค่า Reynolds number

μ คือ ความหนืดสัมบูรณ์ (Pa.s)

v คือ ความหนืดจลศาสตร์ (m^2/s)

2.2.2.3 Transitional flow

สำหรับ Reynolds number ในช่วง 2300 แต่ไม่เกิน 4000 การไหลไม่แน่นอนนี้แตกต่างกันไปตามเวลา และแตกต่างกันไปจากส่วนใดส่วนหนึ่งของท่อไปยังอีกส่วนหนึ่งโดย transitional flow จะมีรูปแบบการไหลที่รวมกันระหว่างการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน โดยแต่ละรูปแบบการไหลจะแตกต่างกันในแง่ของการสูญเสียพลังงานเสียดทานขณะที่ไหล และมีสมการที่แตกต่างกันในการคำนวณตามรูปแบบการไหล

2.2.2.4 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

สำหรับ Reynolds number มากกว่า 4000 เป็นการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งเป็นรูปแบบการไหลซึ่งคาดเดาได้ยาก โดยมีความต้านทานต่อการไหลตามสมการ Darcy-Weisbach ภายใต้ระบบการไหลแบบปั่นป่วนลักษณะของการไหลสามารถแบ่งออกเป็นระบบที่ผนังท่อราบเรียบและส่วนที่มีความขรุขระสูง การไหลแบบปั่นป่วนเกิดขึ้นได้ในอัตราการใช้พลังงานที่สูงและมีท่อขนาดใหญ่

2.3 สมการของ Colebrook-White

สมการถูกคิดค้นขึ้นสำหรับใช้ในการคำนวณ ซึ่งใช้ได้ทั้งท่อที่มีผิวท่อเรียบหรือขรุขระ แต่ใช้ได้เฉพาะในการไหลแบบปั่นป่วน โดยที่สมการของ Colebrook-White ถูกใช้เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพื่อนำไปใช้ในสมการการไหลของ Darcy-Weisbach (f_D)

พื้นผิวอิสระ

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{12R} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f_D}} \right) \quad (2.10)$$

ไหลเต็มท่อ (ท่อปิด)

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{14.8R} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f_D}} \right) \quad (2.11)$$

สมการ Barr

เป็นสมการคำนวณสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลโดยดัดแปลงจากสมการของ Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7R} + \frac{4.518 \log \frac{\text{Re}}{7}}{\text{Re} \left[1 + \frac{\text{Re}^{0.52}}{29} \cdot \frac{\epsilon^{0.7}}{D} \right]} \right) \quad (2.12)$$

เมื่อ ϵ คือ ค่าความขรุขระของท่อ (m, ft)

R คือ รัศมีไฮดรอลิก (m, ft)

Re คือ Reynolds number

f_D คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Darcy-Weisbach

จุดเด่นของสมการ Colebrook-White

สมการ Colebrook-White จะใช้ในการสร้าง Moody diagram โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อ กับ Reynolds number และความหยาบของผิวท่อซึ่งสมการมีดังนี้

$$\frac{1}{\sqrt{f_D}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7R} + \frac{5.1286}{Re^{0.89}} \right)$$

(2.13)

- เมื่อ ϵ คือ ความหยาบของท่อ (m, ft)
 R คือ รัศมีไฮดรอลิก (m, ft)
 Re คือ Reynolds number
 f_D คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Darcy-Weisbach
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)

2.4 สมการของ Manning

สมการของแมนนิงคือสมการของการไหลของช่องเปิดที่ใช้งานที่สุด ส่วนความขรุขระโดยทั่วไปถือว่าเป็นค่าคงที่ตลอดช่วงของการไหลทั้งหมดและแสดงด้วยค่าความขรุขระของ Manning ได้รับการทดลองสำหรับวัสดุต่างๆ และไม่ควรถูกใช้กับของเหลวอื่นที่ไม่ใช่น้ำ สมการของ Manning คือ

$$V = \frac{k}{n_M} R^{2/3} S^{1/2}$$

(2.14)

- เมื่อ V คือ ความเร็วเฉลี่ย (m/s, ft/s)
 k คือ ค่าคงที่เชิงประจักษ์ใช้ในการแปลงหน่วย 1.49 สำหรับหน่วย U.S. หรือ 1.00 สำหรับหน่วย SI
 n_M คือ ความขรุขระของ Manning
 R คือ รัศมีไฮดรอลิก (m, ft)
 S คือ ความเสียดทาน (m/m, ft/ft)

2.5 สมการ Chezy-Manning

สมการของ Manning ซึ่งขึ้นอยู่กับสมการของ Chezy เป็นวิธีการทั่วไปในการคำนวณการไหลของของไหลสำหรับสมการของ Manning ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในสมการของ Chezy คำนวณจาก

$$C = k \frac{R^{0.125}}{n} \quad (2.15)$$

โดยที่

C คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบของ Chezy ($m^{1/2}/s$) (จากตาราง 2.1)

R คือ รัศมีไฮดรอลิก (m)

n คือ ความขรุขระของ Manning ($s/m^{1/3}$)

k คือ ค่าคงที่ ($1 m^{1/3}/s$)

การคำนวณความขรุขระที่คำนวณได้ในสมการของ Chezy สามารถหาสมการของ Manning ได้ดังนี้

$$Q = \frac{k}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.16)$$

โดยที่

Q คือ ปริมาณอัตราการไหล (gpm, Lpm)

k คือ ค่าคงที่ ($1 m^{1/3}/s$)

n คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

A คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2)

R คือ รัศมีไฮดรอลิก (m)

S คือ ความชัน (m/m)

2.6 ปัจจัยความขรุขระทั่วไป

ค่าความขรุขระของท่อโดยทั่วไปจะมีค่าที่แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับชนิดของสมการที่ใช้การคำนวณและชนิดของวัสดุที่นำมาทำท่อ ซึ่งมีค่าดังนี้

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของวัสดุชนิดต่างๆ

Material	Manning's Coefficient n	Hazen-Williams C	Darcy-Weisbach Roughness Height	
			k (mm)	k (ft)
Asbestos cement	0.011	140	0.0015	0.000005
Brass	0.011	135	0.0015	0.000005
Brick	0.015	100	0.6	0.002
Cast-iron, new	0.012	130	0.26	0.00085
Concrete:				
Steel forms	0.011	140	0.18	0.006
Wooden forms	0.015	120	0.6	0.002
Centrifugally spun	0.013	135	0.36	0.0012
Copper	0.011	135	0.0015	0.000005
Corrugated metal	0.022	-	45	0.15
Galvanized iron	0.016	120	0.15	0.0005
Glass	0.011	140	0.0015	0.000005
Lead	0.011	135	0.0015	0.000005
Plastic	0.009	150	0.0015	0.000005
Steel:				
Coal-tar enamel	0.01	148	0.0048	0.000016
New unlined	0.011	145	0.045	0.00015
Riveted	0.019	110	0.9	0.003
Wood stave	0.012	120	0.18	0.0006

2.7 การวิเคราะห์เครือข่ายท่อ

การวิเคราะห์เครือข่ายท่อเป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบระบบท่อใหม่หรือการขยายระบบที่มีอยู่ เกณฑ์การออกแบบจะกำหนดค่าโดยที่จะกำหนด อัตราการไหลและ pressure heads ต่ำสุดที่ทำให้ของไหลไหลออกจากจุดที่กำหนดของเครือข่าย ซึ่งการไหลและการกระจายความดันขึ้นอยู่กับ การกำหนดขนาดของท่อและการกระจายของของไหลออก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อมีผลต่อการไหลและการกระจายความดัน ส่งผลให้การออกแบบเครือข่ายไม่ได้เป็นขั้นตอนอย่างชัดเจน

การวิเคราะห์เครือข่ายท่อที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการไหลของท่อและ pressure heads มีวิธีการคำนวณและวิเคราะห์หลายวิธีดังต่อไปนี้

2.7.1 วิธีการสมมูล head ('Loop' method)

วิธีนี้ใช้ได้กับเครือข่ายแบบท่อแบบปิดใช้กันอย่างแพร่หลายมากกว่าวิธีการสมมูลปริมาตร วิธีสมมูล head ถูกคิดค้นโดยศาสตราจารย์ Hardy-Cross และมักจะเรียกว่าเป็นว่า Hardy-Cross method รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงท่อหลักในเครือข่ายการกระจายของน้ำ

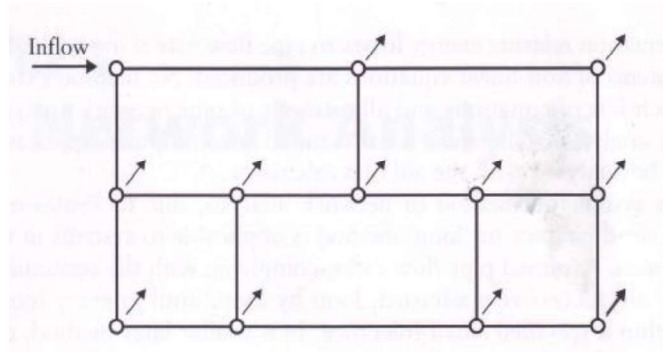
การไหลออกจากระบบจะถือว่าโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นที่จุดแยก และจะสมมุติให้ผลลัพธ์การไหลสม่ำเสมอซึ่งช่วยลดความยุ่งยากในการวิเคราะห์

สำหรับระบบท่อต้องทราบการไหลออกในจุดแยก วิธีการ สมมูล head เป็นขั้นตอนพื้นฐาน กระแสเริ่มต้นที่ไหลในท่อในแต่ละจุดแยกกระแสเหล่านี้ต้องเป็นไปตามสมการความต่อเนื่อง

เกณฑ์สมมูลคือการกำหนดให้ผลรวมของ loop ปิดใด ๆ เป็นศูนย์และกำหนดให้การไหลไปทิศตามเข็มนาฬิกา ให้มีค่าเป็นบวกและถูกนำมาใช้

head losses ไปตามท่อเดี่ยว

$$h = KQ^2 \quad (2.17)$$



รูปที่ 2.2 เครือข่ายท่อแบบปิด

ถ้าประมาณการไหลกับข้อผิดพลาด ΔQ

$$h = k(Q + \Delta Q)^2 = k(Q^2 + 2Q\Delta Q + \Delta Q^2) \quad (2.18)$$

สมมติว่า ΔQ มีค่าน้อย ค่า ΔQ^2 จึงเท่ากับศูนย์

$$h = k(Q^2 + 2Q\Delta Q) \quad (2.19)$$

ลูปปิด $\sum h = 0$ และ ΔQ เป็นเหมือนกันสำหรับแต่ละท่อจะรักษาความต่อเนื่อง

$$\sum h = \sum kQ^2 + 2\Delta Q \sum kQ = 0 \quad (2.20)$$

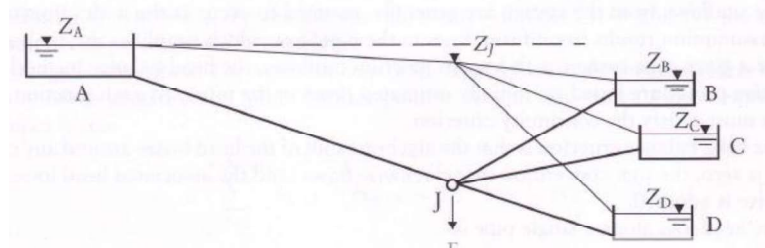
$$\Delta Q = \frac{\sum kQ^2}{2\sum kQ} = -\frac{\sum kQ^2}{2\sum kQ^2/Q} \quad (2.21)$$

ซึ่งอาจจะเขียนเป็น $\Delta Q = -\frac{\sum h}{2\sum h/Q}$ ที่ h เป็นความสูญเสียในท่อขึ้นอยู่กับ การไหล

โดยประมาณ Q

2.7.2 วิธีการสมดุลปริมาณ ('Nodal' method)

รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงระบบท่อแขนงส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำหลัก A ถึงอ่างเก็บน้ำย่อย B,C และ D, F ไหลออกจาก โหนด J



รูปที่ 2.3 เครือข่ายท่อแบบแขนง

ถ้า Z_J มีระดับความสูงของ pressure heads ที่ J , head ของแต่ละท่อสามารถแสดงในแง่ของความแตกต่างระหว่าง Z_J และความดันที่ส่วนอื่น ๆ

สำหรับตัวอย่าง $h_{L,AJ} = Z_A - Z_J$

แสดง head losses ในรูปแบบของ $h = KQ^2, N$ สมการดังกล่าวสามารถเขียนเป็นชุดสมการหรือเมตริกซ์ตามสมการที่ (2.22) (โดยที่ N คือจำนวนของท่อ)

$$\begin{bmatrix} Z_A - Z_J \\ Z_B - Z_J \\ \vdots \\ Z_I - Z_J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\text{SIGN}) K_{AJ} (|Q_{AJ}|)^2 \\ (\text{SIGN}) K_{BJ} (|Q_{BJ}|)^2 \\ \vdots \\ (\text{SIGN}) K_{IJ} (|Q_{IJ}|)^2 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

และโดยทั่วไป เครื่องหมาย (Sign) เป็น + หรือ - ตามที่ $Z_I - Z_J$ ดังนั้นการไหลจะไปตามแนวจุดแยกเป็นบวก และการไหลทางตรงข้ามจากจุดแยกเป็นลบ K_{IJ} ประกอบด้วยการสูญเสียค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและการสูญเสียเล็กน้อย สมการความต่อเนื่องสำหรับอัตราการไหลที่ J คือ

$$\sum Q_{IJ} - F = Q_{AJ} + Q_{BJ} + Q_{CJ} + Q_{DJ} - F = 0 \quad (2.23)$$

การทดสอบสมการ 2.22 และ 2.23 แสดงให้เห็นว่าค่าที่ถูกตั้งของ Z_j จะส่งผลต่อค่าของ Q_{ij} ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.22 นำมาจัดเรียงใหม่ เป็น

$$[Q_{ij}] = \left[(\text{SIGN}) \left(\frac{|Z_i - Z_j|}{K_{ij}} \right)^{1/2} \right] \quad (2.24)$$

ค่าของ Z_j สามารถหาค่าได้โดยใช้วิธีการคำนวณซ้ำโดยการประมาณค่าของ Z_j การคำนวณที่ส่งออกจากสมการ 2.24 และการทดสอบสภาพความต่อเนื่องในสมการ 2.23

ถ้าเงื่อนไข $Z(\sum Q_{ij} - F)$ เป็นข้อจำกัดที่สามารถยอมรับได้การแก้ไข ΔZ_j จะทำ Z_j โดยวิธีการการคำนวณซ้ำสมการ 2.23 และ head losses ท่อเป็น $h = KQ^2$ สำหรับข้อผิดพลาดเล็กน้อยในการแก้ไข ΔZ_j ได้มาเป็น

$$\Delta Z_j = \frac{Z(\sum Q_{ij} - F)}{(\sum Q_{ij} / h_{ij})} \quad (2.25)$$

แสดงขั้นตอนสำหรับเครือข่ายที่มีจุดแยกหลายจุดที่ไม่ทราบค่าของ head แต่ละจุดแยกหาค่าของ K_{ij}

$$K_{ij} = \frac{\lambda L}{2gDA^2} + \frac{C_m}{2gA^2} (= K_f + K_m) \quad (2.26)$$

C_m คือผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียเล็กน้อย

λ สามารถหาได้จากแผนภูมิ Moody

การใช้ค่าที่สมมุติของความเร็วในท่อ (1 m/s) ประมาณค่าใกล้เคียงกับความเร็วเมื่อคำนวณการไหลสำหรับการวิเคราะห์สมการ 2.24 สามารถแทนที่ด้วยการรวมของสมการ Darcy-Colebrook-White

$$Q = -2A \sqrt{2gD \frac{h_f}{L} \log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51v}{D \sqrt{2gDh_f/L}} \right)} \quad (2.27)$$

สำหรับแต่ละท่อ $h_{f,ij}$ (head losses แรงเสียดทาน) คือเริ่มต้นที่ $Z_A - Z_j$, Q_{ij} คำนวณมาจากสมการ 2.27 และ $h_{f,ij}$ จะหาได้จาก $h_{f,ij} = (Z_i - Z_j - K_m Q_i^2)$

2.7.3 วิธีการ Gradient

นอกเหนือไปจากสมการ 2.17-2.27 วิธีการ gradient ต้องการเวกเตอร์และเมทริกซ์ค่าจำกัดความดังต่อไปนี้

NT = จำนวนของท่อในเครือข่าย

NN = จำนวนของ piezometric head ที่ไม่ทราบค่า

A[12] = การเชื่อมต่อเมทริกซ์' ที่เกี่ยวข้องกับแต่ละโหนด มิติของมันคือ

NT x NN มีองค์ประกอบเพียงสองไม่ใช่ศูนย์ในแถวที่ i

-1 ในคอลัมน์ที่สอดคล้องกับโหนดเริ่มต้นของท่อ i

1 ในคอลัมน์ที่สอดคล้องกับโหนดสุดท้ายของท่อ i

NS = จำนวนของ head โหนด

A[10] = topologic เมทริกซ์ ท่อไปยังโหนดสำหรับ NS คือ head คงที่ของโหนด มิติของมันคือ

NT x NS กับ -1 ค่าในแถวที่สอดคล้องกับท่อที่เชื่อมต่อไปยัง fixed head

ดังนั้น head losses ในแต่ละท่อระหว่างสองโหนดคือ

$$[A11][Q] + [A12][H] = -[A10][H_0] \quad (2.28)$$

ที่ [A11] = เมทริกซ์ทแยงมุมของ NT x ขนาดของ NT กำหนดไว้ คือ

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 Q_1^{(n_1-1)} + \beta_1 + \frac{V_1}{Q_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{(n_2-1)} + \beta_2 + \frac{V_2}{Q_2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \alpha_{NT} Q_{NT}^{(n_{NT}-1)} + \beta_{NT} + \frac{V_{NT}}{Q_{NT}} \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

[Q] : เวกเตอร์ของการไหลกับ NT x 1 มิติ

[H] : ไม่ทราบค่า piezometric head เวกเตอร์กับ NN x 1 มิติ

[HO] : กำหนดค่า piezometric head เวกเตอร์คงที่กับ NS x 1 มิติ

สมการ 2.28 เป็นสมการอนุรักษ์พลังงาน สมการความต่อเนื่องสำหรับโหนดทั้งหมดในเครือข่ายคือ

$$[A21][Q] = [q] \quad (2.30)$$

ที่ $[A21]$ เป็นเมทริกซ์ transpose ของ $[A12]$ และ $[Q]$ อัตราการไหล เวกเตอร์ในแต่ละโหนดมี $NN \times 1$ มิติ ในรูปแบบเมทริกซ์ สมการ 2.28 และสมการ 2.30 มี

$$\begin{bmatrix} [A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q] \\ [H] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A10][H_0] \\ [q] \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

ส่วนบนคือไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการ 2.31 จะต้องใช้ขั้นตอนวิธีการทำซ้ำบางอย่าง สำหรับการแก้ปัญหาโดยวิธีการ Gradient การทำงานพร้อมกันบนรูป $([Q], [H])$ และการประยุกต์ใช้ Gradient method สามารถเขียน

$$\begin{bmatrix} [N][A11] & [A21] \\ [A21] & [8] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [dQ] \\ [dH] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [dE] \\ [dq] \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

ที่ $[N]$ คือเมทริกซ์ทแยงมุม $(n_1, n_2, \dots, n_{NT})$ กับ $NT \times NT$ มิติและ $[A11] : NT \times NT$ เมทริกซ์ กำหนดให้เป็น

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 Q_1^{(n_1-1)} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 Q_2^{(n_2-1)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_3 Q_3^{(n_3-1)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \alpha_{NT} Q_{NT}^{(n_{NT}-1)} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

ในการทำซ้ำใดๆ ของ i , $[dE]$ คือความไม่สมดุลของการใช้พลังงานในแต่ละท่อและ $[dq]$ คือการไหลที่ไม่สมดุลในแต่ละโหนด เหล่านี้จะถูกกำหนดโดย

$$[dE] = [A11][Q_i] + [A12][H_i] + [A10][H_0] \quad (2.34)$$

และ

$$[dq] = [A21][Q_i] - [q] \quad (2.35)$$

วัตถุประสงค์ของการใช้วิธีการ gradient คือการแก้ระบบสมการอธิบายโดยสมการ 2.32

พิจารณาว่าในแต่ละการทำซ้ำ

$$[dQ] = [Q_{i+1}] - [Q_i] \quad (2.36)$$

และ

$$[dH] = [H_{i+1}] - [H_i] \quad (2.37)$$

ใช้พีชคณิตเมทริกซ์แสดงให้เห็นว่าวิธีการแก้ระบบสมการแสดงโดย สมการที่ 2.32

$$[H_{i+1}] = -\{[A21]([N][A11]')^{-1}[A21]\}\{[A21]([N][A11]')^{-1}([A11][Q_i]) + [A10][H_0] - ([A21][Q_i]) - [q]\} \quad (2.38)$$

$$[Q_{i+1}] = \{[E] - ([N][A11]') - [A11]\}[Q_i] - \{([N][A11]')^{-1}([A12][H_{i+1}] + [A10][H_0])\} \quad (2.39)$$

วิธีการนี้มีข้อได้เปรียบในการรู้เข้ากันอย่างรวดเร็ว และไม่ต้องการความสมดุลต่อเนื่องในแต่ละโหนด แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการคำนวณด้วยมือ

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

แผนการดำเนินงาน

ศึกษาโปรแกรม WatDis หาสมการที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการคำนวณระบบ	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมการของการคำนวณในโปรแกรม WatDis	ศึกษาการใช้โปรแกรม WatDis ในจำลองระบบการคำนวณ อัตราการไหลของน้ำในระบบ
--	--	---

ทดลองใช้โปรแกรม WatDis จำลองระบบจากตัวอย่างในตำรา

เปรียบเทียบผลการคำนวณจากตัวอย่างกับโปรแกรม WatDis ที่คำนวณได้

วิเคราะห์ผลข้อมูลและจัดทำคู่มือแนะนำการใช้งาน

สรุปผล

รูปที่ 3.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาโปรแกรม WatDis หาสมการที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการคำนวณระบบ

ทำการศึกษาค้นหาข้อมูลของโปรแกรม WatDis ว่าใช้รูปแบบสมการใดบ้างในการคำนวณ การจำลองระบบเพื่อนำไปศึกษาหาทฤษฎีและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องในกับการใช้สมการในการคำนวณ อัตราการไหลของน้ำ หรือขนาดของท่อที่จะมีผลต่อการใช้สมการในรูปแบบต่างๆ

3.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสมการของการคำนวณในโปรแกรม WatDis

ทำการศึกษาค้นหาข้อมูลทฤษฎีหลักการของการใช้สมการในการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ เงื่อนไขในการใช้สมการแต่ละรูปแบบแตกต่างกันอย่างไร สามารถใช้คำนวณอัตราการไหลของน้ำหรือขนาดของท่อแบบไหนได้บ้าง และศึกษาว่าการคำนวณแบบปกติที่มีความซับซ้อนและยากต่อการคำนวณมากเท่าไร

3.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม WatDis ในจำลองระบบการคำนวณอัตราการไหลของน้ำในระบบ

ศึกษาการใช้ฟังก์ชันต่างๆ ในระบบ เช่น การตั้งค่าของปั๊ม และวาล์ว การกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมการคำนวณตามโจทย์ตัวอย่าง การเลือกใช้สมการทุกรูปแบบในโปรแกรมเพื่อทดสอบการคำนวณทุกรูปแบบ และการคำนวณในโปรแกรม WatDis ศึกษาโดยการจำลองระบบแบบ 1 มิติแล้ว ลองคำนวณโปรแกรมว่าสามารถรันค่าได้หรือไม่

3.4 ทดลองใช้โปรแกรม WatDis จำลองระบบจากตัวอย่างในตำรา

นำโจทย์ที่สนใจจากตำรามาจำลองระบบในโปรแกรม WatDis เพื่อทดสอบโปรแกรม WatDis ว่าโปรแกรมนี้เชื่อถือหรือไม่ และสามารถคำนวณอัตราการไหลได้มีค่าใกล้เคียงกับในตัวอย่างของตำรา มากน้อยเพียงใดในการหาค่าจากสมการรูปแบบต่างๆ ในโปรแกรมว่าค่าที่ออกมาจะมีค่าอย่างไร

3.5 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากตัวอย่างกับโปรแกรม WatDis ที่คำนวณได้

นำผลอัตราการไหลที่คำนวณที่ได้จากโปรแกรม WatDis ของสมการแต่ละรูปแบบ มาเปรียบเทียบกับอัตราการไหลตัวอย่างในตำรามาคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์มีค่าแตกต่างกันมากเท่าไร

3.6 วิเคราะห์ผลข้อมูลและจัดทำคู่มือแนะนำการใช้งาน

วิเคราะห์ผลข้อมูลอัตราการไหลที่ได้ว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนกันกี่เปอร์เซ็นต์ และเหตุที่ทำให้ค่าที่ได้จากโปรแกรม WatDis ไม่ตรงกับตัวอย่างในตำราเป็นเพราะเหตุใดจากนั้นจัดทำคู่มือแนะนำการใช้งานโปรแกรม WatDis เบื้องต้นให้ผู้ที่สนใจได้ศึกษา

3.7 สรุปผล

- 3.7.1 สรุปผลค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลในระบบเทียบกับตัวอย่างในตำรา คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์
- 3.7.2 สรุปผลการใช้โปรแกรม WatDis ในการคำนวณอัตราการไหล
- 3.7.3 จัดทำคู่มือภาษาไทยสำหรับแนะนำการใช้งานโปรแกรม WatDis



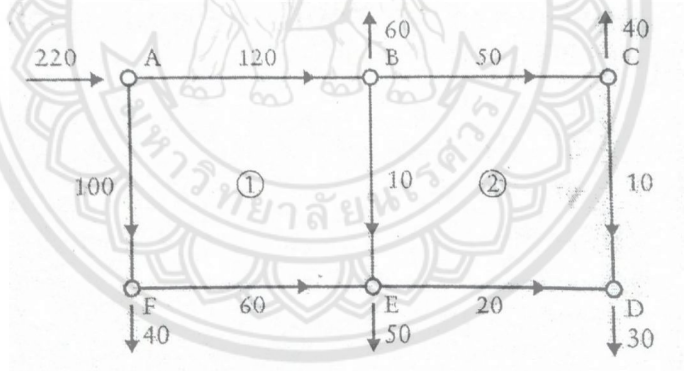
บทที่ 4

ผลการดำเนินโครงการ

ถึงแม้ว่า WatDis จะถูกพัฒนาเพื่อให้ผู้ใช้นำมาใช้ออกแบบเครือข่ายท่อได้ฟรี แต่เราจำเป็นต้องทดสอบเพื่อใช้งานว่าสามารถตรวจวัดค่าต่างๆในระบบท่อได้ (Validation) ดังนั้นจึงต้องทำการเปรียบเทียบจากการคำนวณปกติก่อน โดยเราได้อ้างอิงจากตัวอย่างในหนังสือที่ใช้การคำนวณแบบปกติ

ซึ่งในการคำนวณปกตินี้มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับรูปแบบของระบบเครือข่ายท่อ โดยถ้าท่อเป็นแบบ loop ก็จะใช้ loop method คือการคิดในวงจรของการไหลหรือถ้าระบบเครือข่ายท่อเป็นแบบแขนง (Branch) จะใช้ nodal method คือการคำนวณตามโหนดของท่อแขนง และอาจต้องใช้ gradient method ซึ่งใช้เวกเตอร์และเมทริกซ์ ช่วยในการคำนวณ และต้องคำนวณค่าปัจจัยความเสียดทานและถ้าหากมีค่ามากๆจะต้องใช้วิธีการเชิงตัวเลขในการช่วยคำนวณอีกด้วย

กรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.1 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 1

จากภาพต้องการคำนวณหาอัตราการไหลที่ออกจากโหนด B,C,D,E,F โดยมีน้ำไหลเข้าที่โหนด A ด้วยอัตราการไหล 220 ลิตรต่อวินาที และมีรายละเอียดของระบบท่อตามตารางด้านล่างโดยไม่สนใจการสูญเสียเล็กน้อยในท่อ (Minor Losses) ซึ่งเราจะใช้แบบจำลองของ Darcy-Weisbach และของ Hazen-Williams ใน WatDis เป็นตัวเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการคำนวณปกติ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของท่อต่างๆ

ท่อ	AB	BC	CD	DE	EF	AF	BE
ความยาว (เมตร)	600	600	200	600	600	200	200
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	250	150	100	150	150	200	100

ตารางที่ 4.2 ความสูงของท่อแต่ละโหนด

Node	A	B	C	D	E	F
ความสูง (เมตร)	30	25	20	20	22	25

ซึ่งเมื่อเราคำนวณจากโปรแกรมมาเทียบกับผลเฉลยจากตัวอย่างจะสามารถหาความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้
ผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Darcy-Weisbach

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษากับโปรแกรม

PIPE	Q (L/s) Solution	Q (L/s) WatDis	Q (%) Error
AB	131.55	131.66	0.09
BE	25.02	-25.22	0.8
FE	48.45	48.33	0.24
AF	88.45	88.33	0.13
BC	46.53	-46.45	0.18
CD	6.55	-6.45	1.59
ED	23.47	23.55	0.36

จากตารางจะพบว่าเมื่อเราเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษาในหนังสือกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม WatDis แล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.09 - 1.59 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.48 %

ผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Hazen-Williams

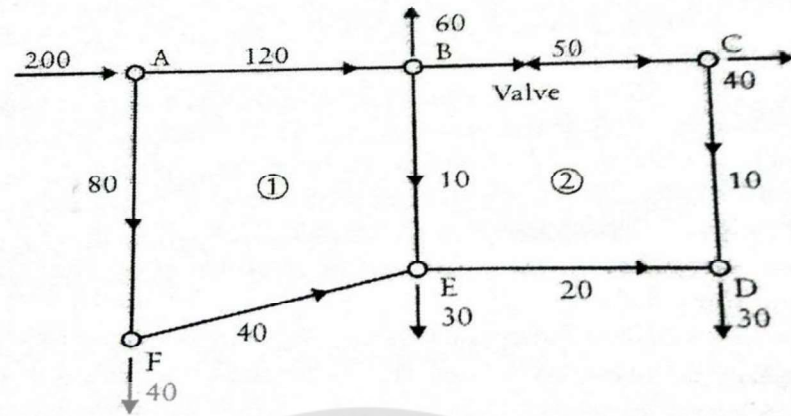
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษากับโปรแกรม

PIPE	Q (L/s) Solution	Q (L/s) WatDis	Q (%) Error
AB	131.55	131.64	0.07
BE	25.02	25.22	0.82
FE	48.45	48.35	0.2
AF	88.45	88.35	0.11
BC	46.53	-46.42	0.23
CD	6.55	-6.42	1.98
ED	23.47	23.58	0.46

จากตารางจะพบว่าเมื่อเราเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษาในหนังสือกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม WatDis แล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.07 - 1.98 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.55%

จากเครื่องหมายลบในตารางของค่าที่คำนวณโดยโปรแกรม WatDis นั้นเกิดจากทิศทางการไหลของน้ำในท่อ BC และ CD นั้นมีทิศตรงข้ามกับที่กรณีศึกษาได้กำหนด เนื่องจากในกรณีศึกษานั้นใช้วิธีการกำหนดทิศทางให้เป็นรูปแบบ loop เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณนั้นแสดงว่าทิศทางจริงๆของวงจรการไหลนี้อาจมีทิศตรงข้ามดังเช่นในท่อ BC และ CD ที่มีเครื่องหมายลบ

กรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.2 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 2

จากภาพต้องการคำนวณหาอัตราการไหลที่ออกจากโหนด B,C,D,E,F โดยมีน้ำไหลเข้าที่โหนด A ด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อวินาที โดยมีรายละเอียดของระบบท่อตามตารางด้านล่างโดยไม่สนใจการสูญเสียเล็กน้อยในท่อ (Minor Losses) และระหว่างท่อ BC นั้นมีการติดตั้งวาล์วไว้ด้วย ซึ่งเราจะใช้แบบจำลองของ Darcy-Weisbach และของ Hazen-Williams ใน WatDis เป็นตัวเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการคำนวณปกติ

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลของท่อต่างๆ

ท่อ	AB	BC	CD	DE	BE	EF	AF
ความยาวท่อ (เมตร)	500	400	200	400	200	600	300
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	250	150	100	150	150	200	250

กำหนดให้ความความขรุขระของท่อทั้งหมดเท่ากับ 0.06 มม.

ผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Darcy-Weisbach

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 2

PIPE	Q (L/s) Solution	Q (L/s) WatDis	Q (%) Error
AB	111.52	110.95	0.51
BE	16.48	19.5	18.32
FE	48.48	-49.05	1.17
FA	88.48	-89.05	0.64
BC	35.05	31.45	10.27
CD	4.95	8.55	72.7
ED	34.95	-38.55	10.3

จากตารางจะพบว่าเมื่อเราเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษาในหนังสือกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม WatDis แล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.51 – 72.70 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 16.27% โดยสังเกตได้ว่าท่อที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติเป็นท่อที่อยู่ด้านหลัง discharge ของวาล์ว

ผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Hazen-Williams

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 2

PIPE	Q (L/s) Solution	Q (L/s) WatDis	Q (%) Error
AB	111.52	112.02	0.45
BE	16.48	15.5	5.94
FE	48.48	-47.98	1.03
FA	88.48	-87.98	0.57
BC	35.05	36.52	4.19
CD	4.95	3.48	29.69
ED	34.95	-33.48	4.21

จากตารางจะพบว่าเมื่อเราเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษาในหนังสือกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม WatDis แล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.45 – 29.69 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 6.58% โดยสังเกตได้ว่าท่อที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติเป็นท่อที่อยู่ด้าน discharge ของวาล์ว

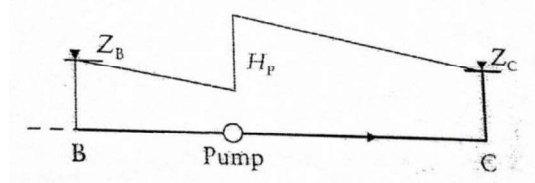
จากผลการทดลองพบว่าค่าของอัตราการไหลในท่อที่อยู่ด้าน discharge ของวาล์วมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติอาจเกิดจากการกำหนดค่าของวาล์วด้วยกราฟสมรรถนะของวาล์ว แต่ในสมการคำนวณของตัวอย่างในหนังสือจะมีค่ากำหนดหรือใช้สมการในคำนวณเป็นค่าตามช่วงของการใช้งานวาล์ว

ค่าความคลาดเคลื่อนรวมอัตราการไหลของ Darcy-Weisbach มีค่าเท่ากับ 16.27 % และของ Hazen-Williams มีค่าเท่ากับ 6.58 %

จากเครื่องหมายลบในตารางของค่าจากโปรแกรม WatDis นั้นเกิดจากทิศทางการไหลของน้ำในท่อ FE , FA และ ED นั้นมีทิศตรงข้ามกับที่โจทย์ได้กำหนด เนื่องจากในกรณีศึกษานั้นใช้วิธีการกำหนดทิศทางให้เป็นรูปแบบ loop เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณนั้นแสดงว่าทิศทางจริงๆของวงจรการไหลนี้อาจมีทิศตรงข้ามดังเช่นในท่อ FE , FA และ ED ที่มีเครื่องหมายลบ

กรณีศึกษาที่ 3

จากกรณีศึกษาที่ 2 ต้องการติดตั้งปั๊มเข้าไปแทนที่ในตำแหน่งของวาล์ว โดยสมมติว่าปั๊มให้ความดันที่จุดอ้างอิง (Head) เท่ากับ 10 เมตร จงคำนวณหาอัตราการไหลที่ออกจากโหนด B,C,D,E,F โดยมีน้ำไหลเข้าที่โหนด A ด้วยอัตราการไหล 200 ลิตรต่อวินาที โดยอ้างอิงข้อมูลต่างๆจากในกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.3 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 3

ผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Darcy-Weisbach

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 3

PIPE	Q (L/s) Solution	Q (L/s) WatDis	Q (%) Error
AB	113.21	113.13	0.07
BE	8.9	11.89	33.61
FE	46.79	-46.87	0.16
FA	86.79	-86.87	0.09
BC	44.3	41.24	6.91
CD	4.3	1.24	71.14
ED	25.7	-28.76	11.9

จากตารางจะพบว่าเมื่อเราเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษาในหนังสือกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม WatDis แล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.07 – 71.14 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 17.70% โดยสังเกตได้ว่าท่อที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติเป็นท่อที่อยู่ด้าน discharge ของปั๊ม

ผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Hazen-Williams

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 3

PIPE	Q (L/s) Solution	Q (L/s) WatDis	Q (%) Error
AB	113.21	112.02	1.05
BE	8.9	15.5	74.15
FE	46.79	-47.98	2.54
FA	86.79	-87.98	1.37
BC	44.3	36.52	17.56
CD	4.3	3.48	19.05
ED	25.7	-33.48	30.27

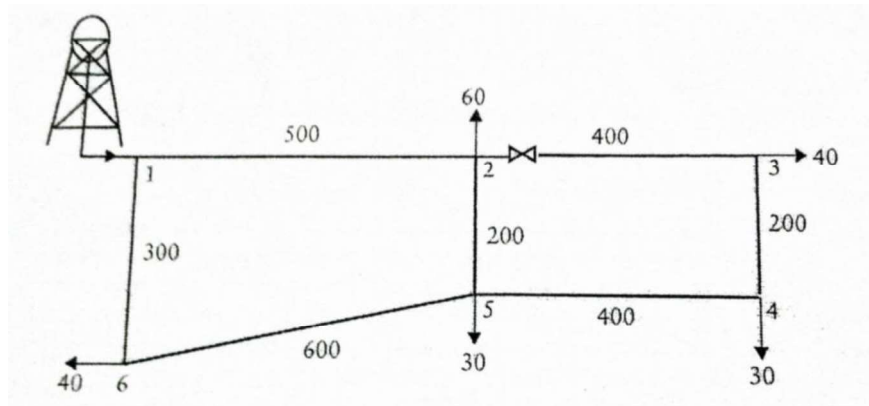
จากตารางจะพบว่าเมื่อเราเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษาในหนังสือกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม WatDis แล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 1.05 – 74.15 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 20.86% โดยสังเกตได้ว่าท่อที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติเป็นท่อที่อยู่ด้าน discharge ของปั๊ม

จากผลการทดลองพบว่าค่าของอัตราการไหลในท่อที่อยู่ด้าน discharge ของปั๊มมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติอาจเกิดจากการกำหนดกราฟสมรรถนะของปั๊มแต่ในสมการคำนวณของตัวอย่างในหนังสือจะมีค่ากำหนดหรือใช้สมการในคำนวณเป็นค่าตามช่วงของการใช้งานปั๊ม

ค่าความคลาดเคลื่อนรวมอัตราการไหลของ Darcy-Weisbach มีค่าเท่ากับ 17.70 % และของ Hazen-Williams มีค่าเท่ากับ 20.86 %

จากเครื่องหมายลบในตารางของค่าจากโปรแกรม WatDis นั้นเกิดจากทิศทางการไหลของน้ำในท่อ FE , FA และ ED นั้นมีทิศตรงข้ามกับที่โจทย์ได้กำหนด เนื่องจากในกรณีศึกษานั้นใช้วิธีการกำหนดทิศทางให้เป็นรูปแบบ loop เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณนั้นแสดงว่าทิศทางจริงๆของวงจรการไหลนี้อาจมีทิศตรงข้ามดังเช่นในท่อ FE , FA และ ED ที่มีเครื่องหมายลบ

กรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ 4.4 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 4

จากภาพต้องการคำนวณหาอัตราการไหลในแต่ละท่อ โดยระหว่างท่อจากโหนด 2-3 นั้นมีการติดตั้งวาล์วไว้ โดยวาล์วในท่อ 2-3 ถูกปิดให้สนิททำให้เกิดความสูญเสียเฉพาะที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ $10V_{2-3}^2 / 2g$ เหนือที่โหนด 1 คือ 100 เมตร ของน้ำ ความความขรุขระของท่อทั้งหมดเท่ากับ 0.06 มม. ซึ่งเราจะใช้แบบจำลองของ Darcy-Weisbach และของ Hazen-Williams ใน WatDis เป็นตัวเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการคำนวณปกติ

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลของท่อต่างๆ

ท่อ	ความยาว (เมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)
1-2	500	250
2-3	400	150
3-4	200	100
5-4	400	150
2-5	200	100
6-5	600	200
6-1	300	250

ผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Darcy-Weisbach

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 4

Pipe	Q (L/S) Solution	Q (L/S) WatDis	Q (%) Error
1-2	0.107	0.108	0.978
2-3	0.037	0.038	4.738
3-4	0.003	-0.002	50.695
5-4	0.033	-0.032	5.189
2-5	0.01	0.009	6.827
6-5	0.053	-0.052	1.961
6-1	0.093	-0.092	1.089

จากตารางจะพบว่าเมื่อเราเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษาในหนังสือกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม WatDis แล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.978 – 50.69% ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 10.2% โดยสังเกตได้ว่าท่อที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติเป็นท่อที่อยู่ด้าน discharge ของวาล์ว

ผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Hazen-Williams

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 4

Pipe	Q (L/S) Solution	Q (L/S) WatDis	Q (%) Error
1-2	0.107	0.109	1.779
2-3	0.037	0.038	4.218
3-4	0.004	-0.002	45.134
5-4	0.033	-0.032	4.62
2-5	0.01	0.009	7.032
6-5	0.053	-0.053	1.566
6-1	0.093	-0.092	0.863

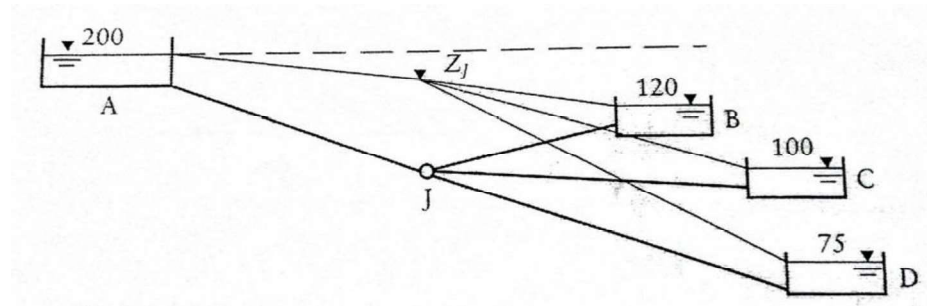
จากตารางจะพบว่าเมื่อเราเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษาในหนังสือกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม WatDis แล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 0.863 – 45.13% ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 9.32% โดยสังเกตได้ว่าท่อที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติเป็นท่อที่อยู่ด้าน discharge ของวาล์ว

ซึ่งสาเหตุที่ด้าน discharge ของวาล์ว จากการคำนวณทั้งสองแบบนี้ด้วยโปรแกรม WatDis เราจะกำหนดค่าของวาล์วด้วยกราฟสมรรถนะของวาล์วแต่ในสมการคำนวณของตัวอย่างในหนังสือจะมีค่ากำหนดหรือใช้สมการในคำนวณเป็นค่าตามช่วงของการใช้งานวาล์ว

ค่าความคลาดเคลื่อนรวมอัตราการไหลของ Darcy-Weisbach มีค่าเท่ากับ 10.2 % และของ Hazen-Williams มีค่าเท่ากับ 9.32 %

จากเครื่องหมายลบในตารางของค่าจากโปรแกรม WatDis นั้นเกิดจากทิศทางการไหลของน้ำในท่อ 3-4 , 5-4 , 6-5 และ 6-1 นั้นมีทิศตรงข้ามกับที่โจทย์ได้กำหนด เนื่องจากในกรณีศึกษานั้นใช้วิธีการกำหนดทิศทางให้เป็นรูปแบบ loop เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณนั้นแสดงว่าทิศทางจริงๆของวงจรถ่ายการไหลนี้อาจมีทิศตรงข้ามดังเช่นในท่อ 3-4 , 5-4 , 6-5 และ 6-1 ที่มีเครื่องหมายลบ

กรณีศึกษาที่ 5



รูปที่ 4.5 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 5

จากภาพต้องการคำนวณหาอัตราการไหลที่โหนด A,B,C,D โดยที่โหนด A มีค่า Head 200 เมตร และมีรายละเอียดของระบบท่อตามตารางด้านล่างโดยไม่สนใจการสูญเสียเล็กน้อยในท่อ (Minor Losses) ซึ่งเราจะใช้แบบจำลองของ Darcy-Weisbach และของ Hazen-Williams ใน WatDis เป็นตัวเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการคำนวณปกติ

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลของท่อต่างๆ

ท่อ	ความยาว (เมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางกลาง (มิลลิเมตร)
AJ	10000	450
BJ	2000	350
CJ	3000	300
DJ	3000	250

กำหนดให้ความความขรุขระของท่อทั้งหมดเท่ากับ 0.06 มม.

ผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Darcy-Weisbach

ตารางที่ 4.14 ตารางแสดงอัตราการไหลภายในท่อของ กรณีศึกษาที่ 5

Junction	Q (L/s) Solution	Q (L/s) WatDis	Q (%) Error
A	0.07	0.34	7.72
B	0.15	0.11	41.09
C	0.15	0.13	18.24
D	0.37	0.11	35.48

จากตารางจะพบว่าเมื่อเราเปรียบเทียบผลลัพธ์จากกรณีศึกษาในหนังสือกับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม WatDis แล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนตั้งแต่ 7.72 – 41.09 % ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 25.63%

ผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Hazen-Williams

ไม่สามารถใช้งานข้อมูลได้เนื่องจากค่าคำนวณจากโปรแกรมทั้งหมดนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงมากจากทุกจุดที่มีการคำนวณ

จากตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าในการคำนวณด้วยโปรแกรม WatDis ในกรณีศึกษาที่มีรูปแบบของเครือข่ายท่อแบบ แขนง (Branch) จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าการคำนวณ ระบบเครือข่ายท่อแบบเป็นวงจร (Loop)

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองเพื่อดูว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม WatDis สามารถคำนวณได้ใกล้เคียงกับการคำนวณปกติหรือไม่นั้น จะพบว่าค่าทั้งสองมีความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลของน้ำในท่อที่มีผลทั้งความเคลื่อนมากและน้อยโดยสามารถสรุปสาเหตุที่แตกต่างกันได้ดังนี้

5.1 รูปแบบของระบบท่อ

จากการทดลองจะพบว่า กรณีศึกษาที่ 1, 2, 3 และ 4 มีรูปแบบการต่อระบบท่อแบบวงจร (loop) ซึ่งเมื่อคำนวณด้วยโปรแกรมแล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกับการคำนวณด้วยวิธีการปกติ แตกต่างจากกรณีศึกษาที่ 5 ซึ่งมีรูปแบบการต่อระบบท่อของแขนง (Branch) ซึ่งเมื่อคำนวณด้วยโปรแกรมแล้วจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่มากกว่า จึงแสดงให้เห็นว่าโปรแกรม WatDis นั้นเหมาะกับการคำนวณอัตราการไหลของน้ำในท่อที่ต่อด้วยระบบวงจรมากกว่าแบบแขนง

5.2 รูปแบบของอุปกรณ์เสริมในระบบท่อ

จากการทดลองจะพบว่าจากกรณีศึกษาที่ 1 นั้นนอกจากปั๊มที่ทำให้เกิดการไหลในระบบท่อแล้วนั้นจะไม่มีอุปกรณ์อื่นๆแทรกอยู่ในระบบท่อเลย ทำให้โปรแกรมสามารถคำนวณค่าอัตราการไหลในระบบท่อได้อย่างแม่นยำและมีค่าความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยจากผลเฉลี่ยของกรณีศึกษาในทุกตำแหน่งที่ทำการวัดค่า

แต่ในกรณีศึกษาที่ 2, 3, 4 จะมีทั้งวาล์วและปั๊มแทรกอยู่ระหว่างท่อในระบบซึ่งพบว่าค่าของอัตราการไหลในท่อที่อยู่ด้าน discharge ของปั๊มมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติซึ่งเกิดจากการกำหนดกราฟสมรรถนะของวาล์วหรือปั๊มแต่ในสมการคำนวณของกรณีศึกษาในหนังสือจะมีค่ากำหนดหรือใช้สมการในคำนวณเป็นค่าตามช่วงของการใช้งานวาล์วหรือปั๊ม

5.3 ชนิดของสมการที่ใช้ในการคำนวณ

จากผลการทดลองจะพบว่าจากกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3 และ 4 ทั้งสมการของ Darcy-Weisbach และ Hazen-Williams ภายในโปรแกรม WatDis สามารถคำนวณอัตราการไหลในท่อได้ใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจากหนังสือ แต่ในกรณีศึกษาที่ 5 นั้น โปรแกรมสามารถคำนวณค่าอัตราการ

ไหลของน้ำในท่อด้วยสมการของ Darcy-Weisbach ได้ถึงจะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าปกติ แต่ในส่วนของการสมการ Hazen-Williams นั้นคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำในท่อแล้วนำไปเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนออกมาได้ 100 %

แสดงให้เห็นว่า โปรแกรมนี้ไม่เหมาะกับการคำนวณระบบท่อแบบแขนงและโดยเฉพาะเมื่อใช้สมการของ Hazen-William

ซึ่งสมการ Darcy-Weisbach สมการ Hazen-Williams และสมการ Manning เป็นฟังก์ชันหนึ่งในการเลือกในการคำนวณอัตราการไหลในโปรแกรม WatDis

5.4 เครื่องหมายในผลคำนวณของโปรแกรม WatDis

จากผลการทดลองจะพบว่าจากกรณีศึกษาข้อที่ 1, 2, 3 และ 4 ในผลคำนวณของโปรแกรมนั้นจะมีค่าในบางท่อที่มีเครื่องหมายตรงข้ามจากผลเฉลยของกรณีศึกษาซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากในกรณีศึกษานั้นใช้วิธีการกำหนดทิศทางให้เป็นรูปแบบ loop เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณนั้นแสดงว่าทิศทางจริงๆของวงจรถักไหลนี้อาจมีทิศตรงข้ามจากที่กรณีศึกษาได้กำหนดเอาไว้ แต่ในการคำนวณโดยโปรแกรมนั้นเมื่อเรากำหนดค่าต่างๆตามโจทย์แล้ว มีค่าเป็นลบนั้นแสดงให้เห็นว่าจริงๆแล้ว ทิศทางการไหลที่จะเกิดขึ้นจริงนั้นจะมีทิศตรงข้ามกับที่โจทย์กำหนด

5.5 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

จากผลการทดลองจะพบว่าจากกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 นั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยของกรณีศึกษาซึ่งเกิดจากหลายปัจจัยดังต่อไปนี้ ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของกรณีศึกษาและโปรแกรมนั้นใช้วิธีที่ต่างกันโดยในการคำนวณปกติจะมีการอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อซึ่งค่า Reynolds number นั้นจะถูกคำนวณด้วยองค์ประกอบต่างๆของท่อในแต่ละช่วงที่ทำการคำนวณแต่ในโปรแกรม WatDis นั้นโปรแกรมได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้ใช้งานในระบบท่อที่ใหญ่จึงมีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อให้เป็นค่าคงที่ตลอดการคำนวณ

5.6 ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดจากการทดลองทำให้พบว่าหากเปรียบเทียบความถูกต้องจากการคำนวณด้วยค่าต่าง ๆ นั้น โปรแกรม WatDis จะมีความคลาดเคลื่อนกว่าการคำนวณด้วยวิธีการปกติ เนื่องจากในการคำนวณปกติจะมีค่าทุกอย่างที่ใช้ในการทำการคำนวณแต่ในการใช้โปรแกรมนี้ ค่าต่างๆของบีมและวาล์วถูกสุ่มขึ้นเพื่อใช้ในการสร้างกราฟสมรรถนะของบีมและวาล์ว แต่ในการใช้งานจริงนั้น WatDis จะสามารถวิเคราะห์ได้ละเอียดมากกว่าเพราะเราสามารถป้อนข้อมูลกราฟสมรรถนะของอุปกรณ์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์การทำงานจึงแสดงให้เห็นว่าในการใช้งานจริงนั้น โปรแกรม WatDis สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้สมจริงมากกว่าการคำนวณปกติ

และจากกรณีศึกษาที่ได้ทำการทดลองนั้นจะแสดงให้เห็นว่าโปรแกรม WatDis นั้นเหมาะสมกับการคำนวณระบบท่อที่เป็นวงจรมากกว่าระบบท่อแบบแขนงเพราะจากการทดลองพบว่าระบบท่อแบบแขนงนั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง ดังนั้นโปรแกรมนี้จึงเหมาะกับการใช้งานระบบท่อที่เป็นวงจรถิ่น ระบบการส่งน้ำประปา เป็นต้น



เอกสารอ้างอิง

C. Nalluri, R. E. Featherstone. Pipe Network Analysis. Civil Engineering Hydraulics. พิมพ์ครั้งที่ 4 Wiley-Blackwell : Hoboken, New Jersey ; (เมษายน 2001).

Barr equation .สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2561. จาก

<https://pdfs.semanticscholar.org/5bbe/4c1ff5ebf46313129a00df0deb7ae1765da1.pdf>

Darcy-Weisbach Formula . สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2561 จาก

https://www.pipeflow.co.uk/public/articles/Darcy_Weisbach_Formula.pdf

Darcy-Weisbach Pressure and Head Loss Equation .สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม 2561

จาก https://www.engineeringtoolbox.com/darcy-weisbach-equation-d_646.html

The Darcy Weisbach Equation.Oklahoma State University สืบค้นเมื่อ10 พฤษภาคม 2561

จาก [https://bae.okstate.edu/faculty-sites/Darcy/DarcyWeisbach/Darcy-](https://bae.okstate.edu/faculty-sites/Darcy/DarcyWeisbach/Darcy-WeisbachEq.htm)

[WeisbachEq.htm](https://bae.okstate.edu/faculty-sites/Darcy/DarcyWeisbach/Darcy-WeisbachEq.htm)

Hazen-Williams Equation - calculating Head Loss in Water Pipes สืบค้นเมื่อ12 พฤษภาคม

2561 จาก https://www.engineeringtoolbox.com/hazen-williams-water-d_797.html

Hazen-Williams Equation สืบค้นเมื่อ14 พฤษภาคม 2561 จาก

<https://www.aspe.org/sites/default/files/webfm/pdfs/TableBookErrata.pdf>

Basic Hydraulic Principles สืบค้นเมื่อ15 พฤษภาคม 2561 จาก

<https://www.dynatech.nl/Basic%20Hydraulic%20Principles.pdf>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Moody chart , Reynolds numbers . สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2561 จาก

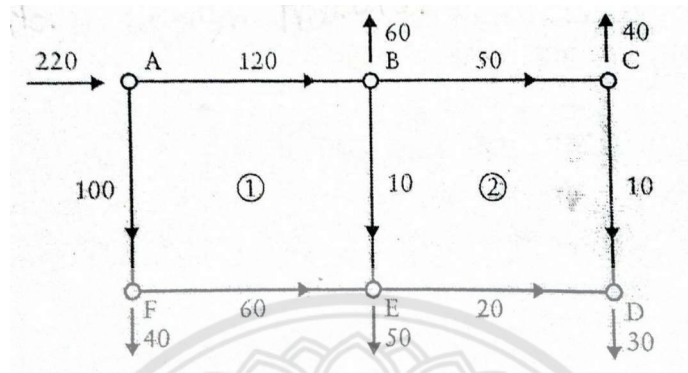
<https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/fluid-dynamics/major-head-loss-friction-loss/moody-diagram/>





การคำนวณแบบปกติ

แบบวงจร (Loop)



รูปที่ 4.1 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 1

จากภาพต้องการคำนวณหาอัตราการไหลที่ออกจากโหนด B,C,D,E,F โดยมีน้ำไหลเข้าที่โหนด A ด้วยอัตราการไหล 220 ลิตรต่อวินาที และมีรายละเอียดของระบบท่อตามตารางด้านล่างโดยไม่สนใจการสูญเสียเล็กน้อยในท่อ (Minor Losses) ซึ่งเราจะใช้แบบจำลองของ Darcy-Weisbach และของ Hazen-Williams ใน WatDis เป็นตัวเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการคำนวณปกติ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของท่อต่างๆ

ท่อ	AB	BC	CD	DE	EF	AF	BE
ความยาว (เมตร)	600	600	200	600	600	200	200
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	250	150	100	150	150	200	100

ตารางที่ 4.2 ความสูงของท่อแต่ละโหนด

Node	A	B	C	D	E	F
ความสูง (เมตร)	30	25	20	20	22	25

ขั้นตอน

- ระบุโหนด เมื่อใช้การคำนวณด้วยมือ วิธีที่ง่ายที่สุดคือการคิดที่ลูปที่ใกล้เคียงกัน เช่น ลูปที่ 1. ABEFA, ลูปที่ 2. BCDEB

2. ต้องมีการประมาณการไหลในแต่ละลูกระแสไหลโดยอัตโนมัติจากสภาพความต่อเนื่องที่โหนด เช่น เนื่องจากการไหลเข้าที่จำเป็นทั้งหมดคือ 220 ลิตร ถ้า Q_{AB} ประมาณ 120 L/s ดังนั้น Q_{AF} เท่ากับ 100 L/s กระแสเริ่มต้นแสดงในรูปที่ 4.1
3. ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความสูญเสียของการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหล (head loss) $K = \lambda L / 2gDA^2$ สำหรับแต่ละท่อ λ จะได้รับจาก λ กับ แผนภาพของ Re ที่ประเมินจากการไหลของท่อ สอดคล้องกับสมการของ Barr's equation

ถ้า Reynolds numbers มีค่าค่อนข้างสูง (10^5) อาจมีการทำซ้ำค่า λ เริ่มต้นทำให้วิธีการประมาณใกล้เคียงการลู่เข้า

การคำนวณในรูปแบบตาราง โดย Q เขียนเป็นลิตรต่อวินาทีเพื่อ้งานต่อการลู่เข้า การคำนวณทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับ Q ในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที อย่างไรก็ตาม h/Q อาจจะถูกแสดงใน หน่วย $m/(L/s)$ และ ΔQ ในหน่วยลิตรต่อวินาที

	Pipe	k/D	Q (L/s)	Re (10^5)	λ	K	h (m)	$h/Q \left(\frac{m}{m^3/s} \right)$
Loop 1	AB	0.00024	120	5.41	0.0157	797	11.48	95.64
	BE	0.00060	10	1.31	0.0205	33887	3.39	335.77
	EF	0.00040	-60	4.51	0.0172	11229.1	-40.42	673.75
	FA	0.00030	-100	5.63	0.0162	336.6	-8.36	83.66
						Σ	-33.91	1191.82

$$\Delta Q = -\frac{\sum h}{2 \sum h/Q} = \frac{-(-33.91)}{2 \times 1191.82} = 0.01423 = 14.23 \text{ ลิตร/นาที}$$

	Pipe	Q (L/s)	Re (10^5)	λ	K	h (m)	$h/Q \left(\frac{m}{m^3/s} \right)$
Loop 2	BC	50	3.76	0.0174	11359.7	28.40	567.98
	CD	10	1.13	0.0205	33877	3.39	338.77
	DE	-20	1.50	0.0189	12338.9	-4.49	246.78
	EB	-24.23	2.73	0.0189	31232.9	-18.34	756.77
Σ						-8.51	1910.30

$$\Delta Q = -\frac{\sum h}{2 \sum h/Q} = \frac{-(-8.51)}{2 \times 1910.30} = -2.23 \text{ ลิตร/นาที}$$

มีการแก้ไขค่าก่อนหน้าของการไหลรวมกันภายในท่อ EB นำมาใช้ใน loop 2

	Pipe	Q (L/s)	Re (10^5)	λ	K	h (m)	$h/Q \left(\frac{m}{m^3/s} \right)$
Loop 2	AB	134.23	6.05	0.0156	791.9	11.27	106.30
	BE	26.46	2.98	0.0188	31067.7	21.75	822.05
	EF	-45.77	4.51	0.0175	11424.9	-23.93	522.92
	FA	-85.77	5.63	0.0164	846.9	-6.23	72.64
Σ						5.86	1523.91

$$\Delta Q = -\frac{\sum h}{2 \sum h/Q} = \frac{-(5.86)}{2 \times 1523.91} = -1.92 \text{ ลิตร/นาที}$$

ทำการคำนวณ Loop 2 อีกครั้งและหาวิธีการแก้ไขข้อจำกัดที่กำหนดไว้ที่ $\sum h$ ในการทำซ้ำอีกหลายครั้ง
วิธีการแก้ปัญหาใช้สำหรับ $\sum h < 0.01$ เมตร

ค่าสุดท้าย

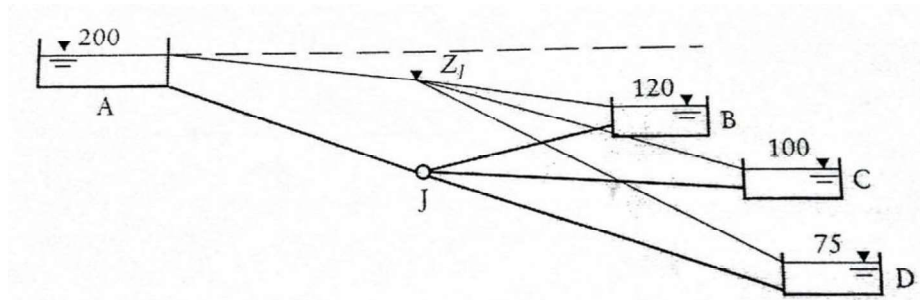
Pipe	Q (L/s)	h (m)
AB	131.55	13.70
BE	25.02	19.55
FE	48.45	26.67
AF	88.45	6.59
BC	46.53	24.74
CD	6.55	1.52
ED	23.47	6.69

node	Pressure head
A	40.00
B	31.29
C	11.57
D	10.05
E	14.74
F	38.41

หมายเหตุ: ทิศทางของกระแสการไหลของท่อระบุ เช่น A-, + b

การคำนวณแบบปกติ

แบบแขนง (Branch)



รูปที่ 4.5 ภาพประกอบโจทย์กรณีศึกษาที่ 5

จากภาพต้องการคำนวณหาอัตราการไหลที่โหนด A,B,C,D โดยที่โหนด A มีค่า Head 200เมตร และมีรายละเอียดของระบบท่อตามตารางด้านล่างโดยไม่สนใจการสูญเสียเล็กน้อยในท่อ (Minor Losses) ซึ่งเราจะใช้แบบจำลองของ Darcy-Weisbach และของ Hazen-Williams ใน WatDis เป็นตัวเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการคำนวณปกติ

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลของท่อต่างๆ

ท่อ	ความยาว (เมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางกลาง (มิลลิเมตร)
AJ	10000	450
BJ	2000	350
CJ	3000	300
DJ	3000	250

กำหนดให้ความความขรุขระของท่อทั้งหมดเท่ากับ 0.06 มม.

ปัจจัยแรงเสียดทาน λ ได้จาก Moody diagram หรือใช้สมการของ Barr's equation ใช้การประมาณความเร็วเริ่มต้นในแต่ละท่อ λ สามารถอยู่บนพื้นฐานของการคำนวณอัตราการไหล อย่างไรก็ตามเว้นแต่จะมีข้อผิดพลาดร้ายแรงในประมาณการความเร็วเริ่มต้นจะถูกบันทึกโดยรักษาค่า λ เริ่มต้นจนถึงการแก้ไขขั้นสุดท้าย

วิธีทำ การประมาณค่า Z_J (Pressure head ที่ J) เท่ากับ 150 (หมายเหตุ: ความสูงของจุดแยกของท่อไม่มีผลต่อการแก้ปัญหา) ตามตารางด้านล่าง

การแก้ไขครั้งแรก

Pipe	Velocity (estimate) (m/s)	Re (10^5)	λ	K	$Z_1 - Z_j$	Q (L/s)	Q/h (10^{-3})	Q/A (m/s)
AJ	2.0	7.96	0.0145	649	+50	0.2775	5.55	1.75
BJ	2.0	6.20	0.0150	472	-30	-0.2521	8.40	2.62
CJ	2.0	5.31	0.0155	1581	-50	-0.1778	3.56	2.50
DJ	2.0	4.42	0.0165	4188	-75	-0.1338	1.78	2.73
Σ						-0.2862	0.0193	

การแก้ไขคือ $Z_j = \frac{2(-0.2862)}{0.0193} = -29.67$; $Z_j = 120.33$ เมตร

การแก้ไขครั้งที่ 2

Pipe	Velocity (estimate) (m/s)	Re (10^5)	λ	K	$Z_1 - Z_j$	Q (L/s)	Q/h (10^{-3})	Q/A (m/s)
AJ	ค่า ประมาณเบื้องต้น	7.96	0.0145	649	79.67	0.3504	4.39	2.20
BJ		6.20	0.0150	472	-0.33	-0.0264	80.12	0.27
CJ		5.31	0.0155	1581	-20.33	-0.1134	5.58	1.60
DJ		4.42	0.0165	4188	-45.33	-0.1040	2.29	2.20
Σ						+0.1066	+0.092	

$\Delta Z_j = +2.30$ เมตร ; $Z_j = 122.63$ เมตร

ข้อสังเกต ความเร็วใน BJ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่อาจเกิดจากแกว่งดังนั้นจึงประมาณอยู่ที่ 1.0 เมตร / วินาที สำหรับการแก้ไขครั้งต่อไป (หมายเหตุ: ค่า λ (BJ) มีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม)

การแก้ไขครั้งที่ 3

Pipe	Velocity (estimate) (m/s)	λ	K	$Z_1 - Z_j$	Q (L/s)	Q/h (10^{-3})	Q/A (m/s)
AJ	2.0	0.0145	649	77.37	0.3452	4.46	2.17
BJ	1.0	0.0160	503	-2.63	-0.0723	27.50	0.75
CJ	1.8	0.0155	1581	-22.63	-0.1196	5.29	1.69
DJ	2.3	0.0160	4061	-47.63	-0.1083	2.27	2.21
Σ					+0.0450	0.0395	

$\Delta Z_j = 2.27$ เมตร ; $Z_j = 124.90$ เมตร

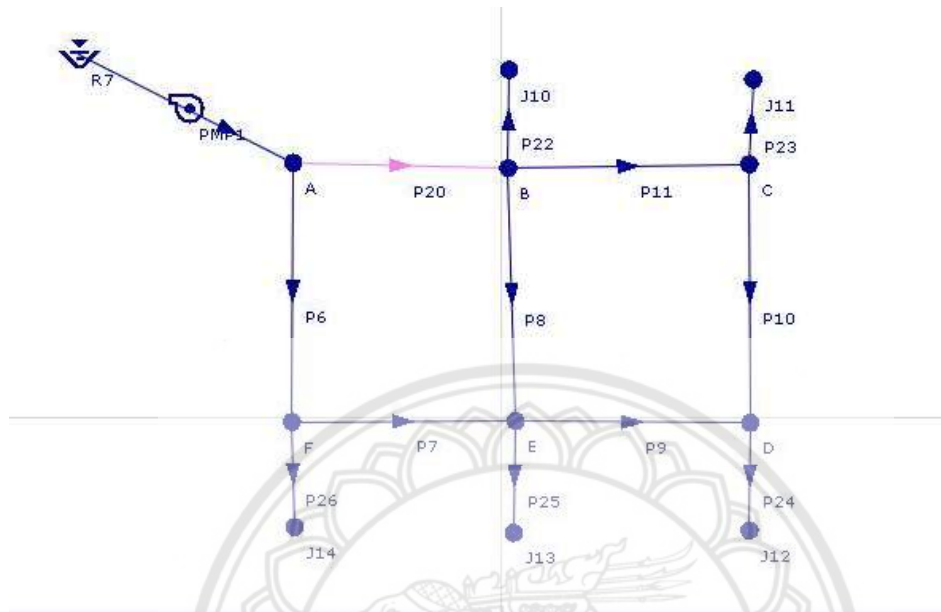
ค่าสุดท้าย

$Q_{AJ} = 0.344$ ลูกบาศก์เมตร/วินาที; $Q_{JB} = 0.105$ ลูกบาศก์เมตร/วินาที; $Q_{JC} = 0.127$ ลูกบาศก์เมตร/วินาที; $Q_{JD} = 0.112$ ลูกบาศก์เมตร/วินาที





กรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ ข.1 แบบจำลองกรณีศึกษาที่ 1

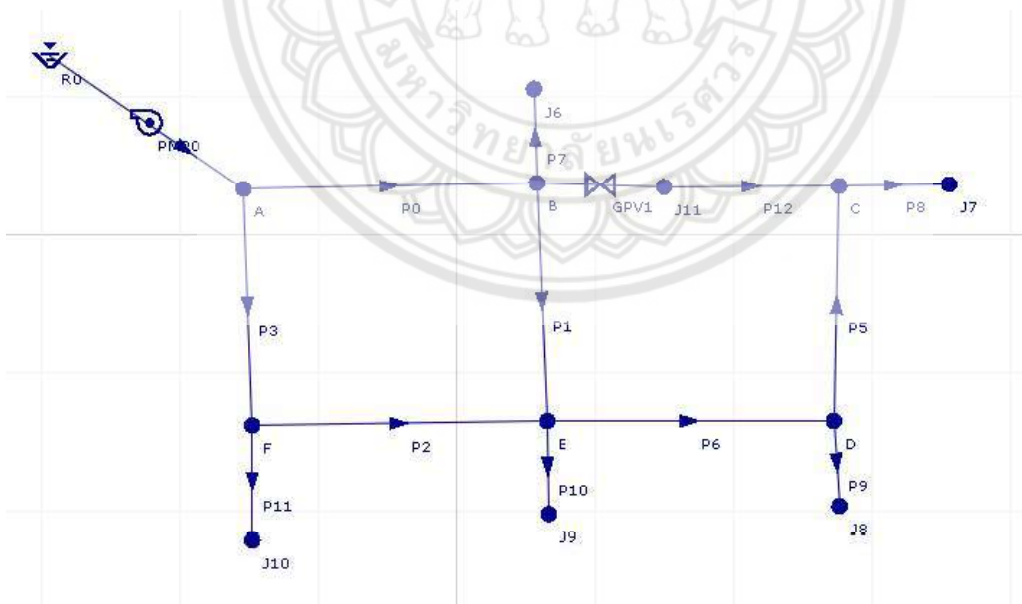
ตารางที่ ข.1 กรณีศึกษาที่ 1 Darcy-Weisbach

Name	Diameter (mm)	Length (m)	Start	End	Roughness	Flow (L/s)	Flow velocity (m/s)
P6	200	200	A	F	0.00006	88.33	2.81
P7	150	600	F	E	0.00006	48.33	2.74
P8	100	200	E	B	0.00006	-25.22	-3.2
P9	150	600	E	D	0.00006	23.55	1.33
P10	100	200	D	C	0.00006	-6.45	-0.8
P11	150	600	C	B	0.00006	-46.45	-2.6
P20	250	600	A	B	0.00006	131.66	2.68

ตารางที่ ข.2 กรณีศึกษาที่ 1 Hazen-Williams

Name	Diameter (mm)	Length (m)	Start	End	Roughness	Flow (L/s)	Flow velocity (m/s)
P6	200	200	A	F	0.00006	88.35	2.81
P7	150	600	F	E	0.00006	48.35	2.74
P8	100	200	E	B	0.00006	25.22	3.21
P9	150	600	E	D	0.00006	23.58	1.33
P10	100	200	D	C	0.00006	-6.42	-0.82
P11	150	600	C	B	0.00006	-46.42	-2.63
P20	250	600	A	B	0.00006	131.64	2.68

กรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ ข.2 แบบจำลองกรณีศึกษาที่ 2

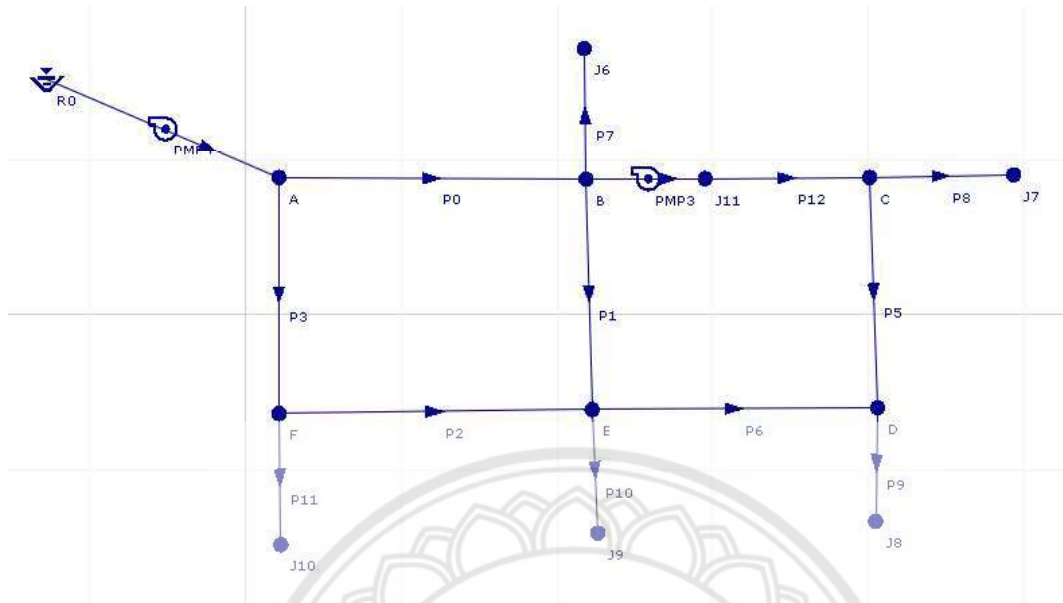
ตารางที่ ข.3 กรณีศึกษาที่ 2 Darcy-Weisbach

Name	Diameter (mm)	Length (m)	Start	End	Roughness	Flow (L/s)	Flow velocity (m/s)
P0	250	500	A	B	0.00006	110.95	2.26
P1	150	200	B	E	0.00006	19.5	1.1
P2	200	600	E	F	0.00006	-49.05	-1.56
P3	250	300	F	A	0.00006	-89.05	-1.81
P5	100	200	D	C	0.00006	8.55	1.09
P6	150	400	D	E	0.00006	-38.55	-2.18
P12	150	400	B	C	0.00006	31.45	1.78

ตารางที่ ข.4 กรณีศึกษาที่ 2 Hazen-Williams

Name	Diameter (mm)	Length (m)	Start	End	Roughness	Flow (L/s)	Flow velocity (m/s)
P0	250.00	500.00	A	B	0.00006	112.02	2.28
P1	150.00	200.00	B	E	0.00006	15.50	0.88
P2	200.00	600.00	E	F	0.00006	-47.98	-1.53
P3	250.00	300.00	F	A	0.00006	-87.98	-1.79
P5	100.00	200.00	D	C	0.00006	3.48	0.44
P6	150.00	400.00	D	E	0.00006	-33.48	-1.89
P12	150.00	400.00	B	C	0.00006	36.52	2.07

กรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ ข.3 แบบจำลองกรณีศึกษาที่ 3

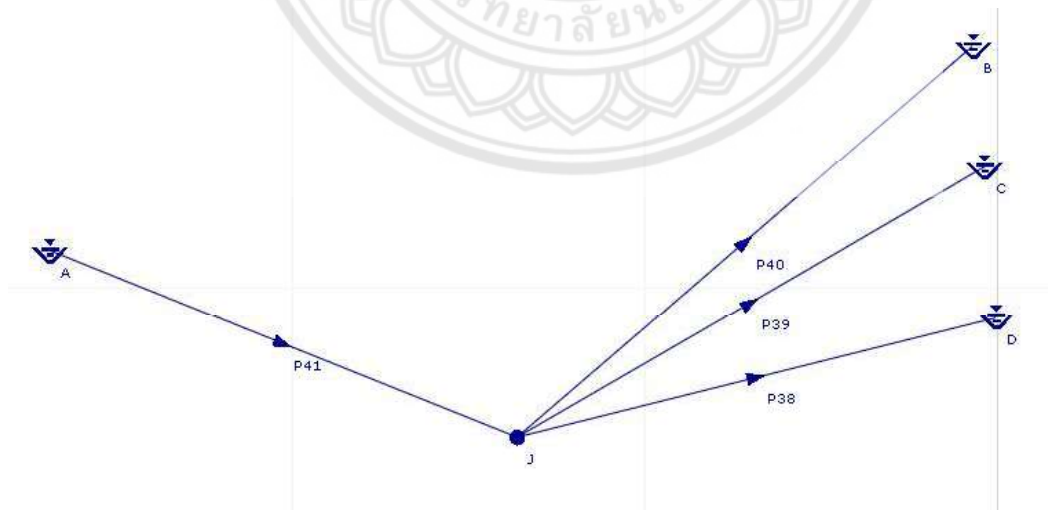
ตารางที่ ก.5 กรณีศึกษาที่ 3 Darcy-Weisbach

Name	Diameter (mm)	Length (m)	Start	End	Roughness	Flow (L/s)	Flow velocity (m/s)
P0	250	500	A	B	0.00006	113.13	2.3
P1	150	200	B	E	0.00006	11.89	0.67
P2	200	600	E	F	0.00006	-46.87	-1.49
P3	250	300	F	A	0.00006	-86.87	-1.77
P12	150	400	B	C	0.00006	41.24	2.33
P5	100	200	C	D	0.00006	1.24	0.16
P6	150	400	D	E	0.00006	-28.76	-1.63

ตารางที่ ข.6 กรณีศึกษาที่ 3 Hazen-Williams

Name	Diameter (mm)	Length (m)	Start	End	Roughness	Flow (L/s)	Flow velocity (m/s)
P0	250	500	A	B	0.00006	112.02	2.28
P1	150	200	B	E	0.00006	15.5	0.88
P2	200	600	E	F	0.00006	-47.98	-1.53
P3	250	300	F	A	0.00006	-87.98	-1.79
P12	150	400	B	C	0.00006	36.52	2.07
P5	100	200	C	D	0.00006	-3.48	-0.44
P6	150	400	D	E	0.00006	-33.48	-1.89

กรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ ข.4 แบบจำลองกรณีศึกษาที่ 4

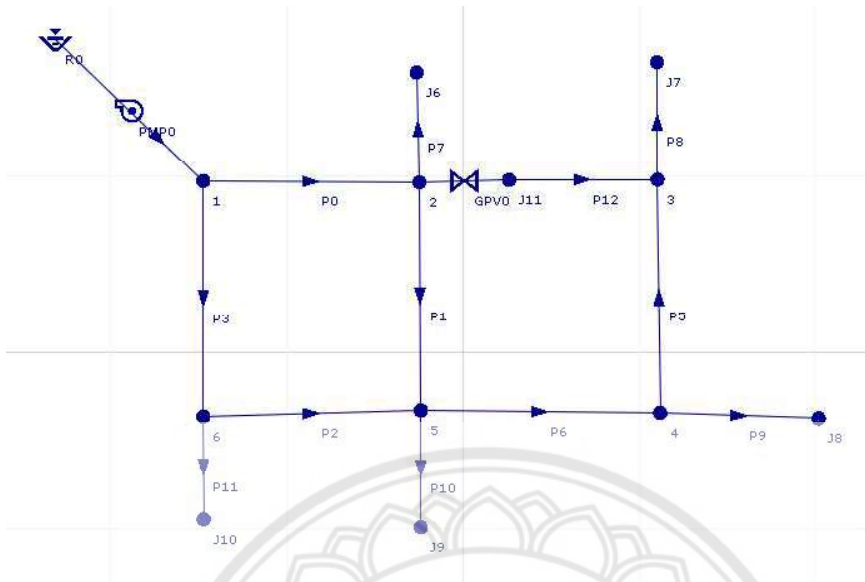
ตารางที่ ข.7 กรณีศึกษาที่ 4 Darcy-Weisbach

Name	Diameter (mm)	Length (m)	Start	End	Roughness	Flow (m ³ /s)	Flow velocity (m/s)
P38	200	3000	J	D	0.00006	0.07	2.3
P39	300	3000	J	C	0.00006	0.15	2.12
P40	350	2000	J	B	0.00006	0.15	1.54
P41	450	10000	A	J	0.00006	0.37	2.33

ตารางที่ ข.8 กรณีศึกษาที่ 4 Hazen-Williams

Name	Diameter (mm)	Length (m)	Start	End	Roughness	Flow (m ³ /s)	Flow velocity (m/s)
P38	200	3000	J	D	0.00006	2×10^{-6}	0.0001
P39	300	3000	J	C	0.00006	4×10^{-6}	0.0001
P40	350	2000	J	B	0.00006	5×10^{-6}	0.00005
P41	450	10000	A	J	0.00006	1×10^{-5}	0.00006

กรณีศึกษาที่ 5



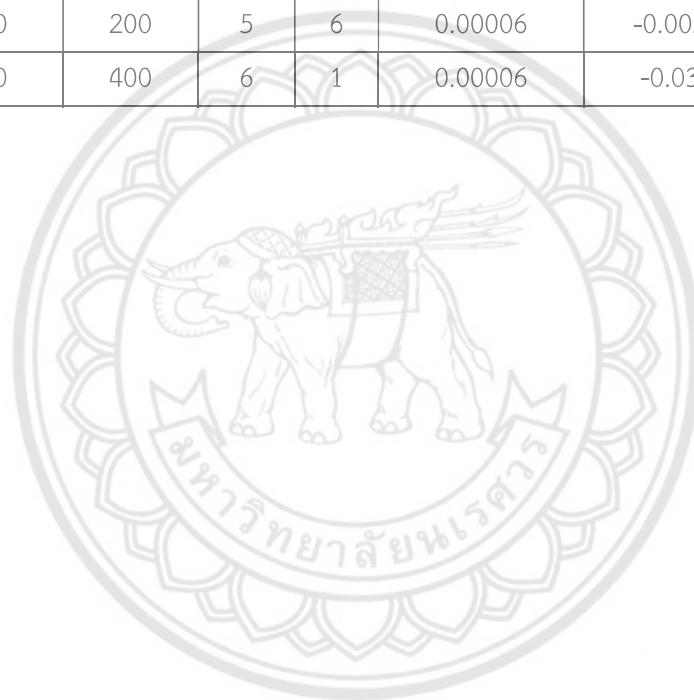
รูปที่ ข.5 แบบจำลองกรณีศึกษาที่ 5

ตารางที่ ข.9 กรณีศึกษาที่ 5 Darcy-Weisbach

Name	Diameter (mm)	Length (m)	Start	End	Roughness	Flow (m ³ /s)	Flow velocity (m/s)
P0	250	500	1	2	0.00006	0.11	2.19
P12	100	200	2	3	0.00006	0.01	1.2
P5	200	600	3	4	0.00006	-0.05	-1.66
P6	250	300	4	5	0.00006	-0.09	-1.88
P1	150	400	2	5	0.00006	0.04	2.17
P2	100	200	5	6	0.00006	-0.002	-0.21
P3	150	400	6	1	0.00006	-0.03	-1.79

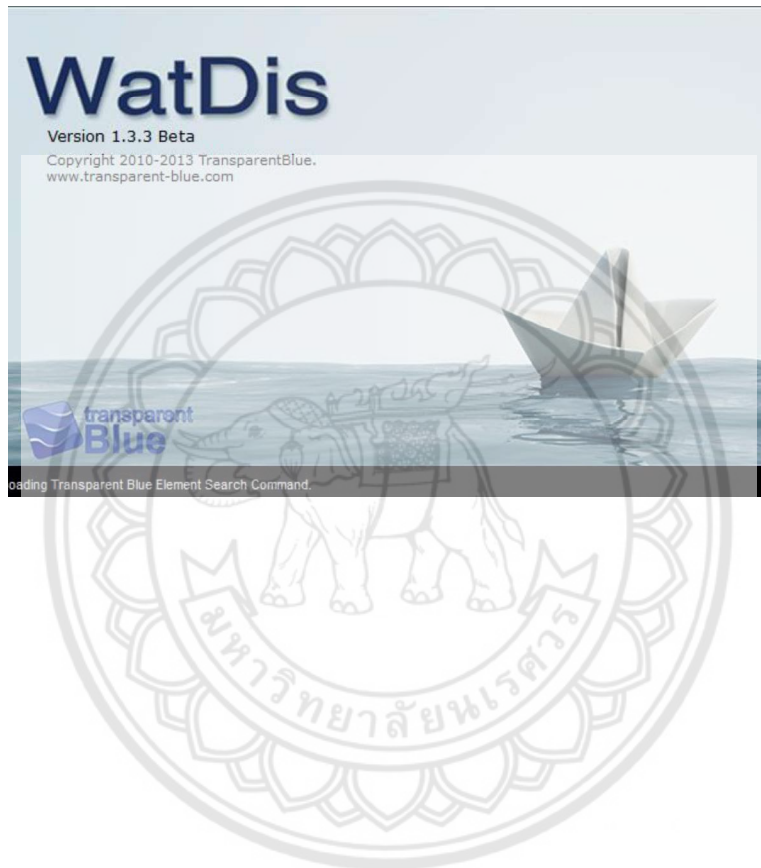
ตารางที่ ข.10 กรณีศึกษาที่ 5 Hazen-Williams








Name	Diameter (mm)	Length (m)	Start	End	Roughness	Flow (m ³ /s)	Flow velocity (m/s)
P0	250	500	1	2	0.00006	0.11	2.21
P12	100	200	2	3	0.00006	0.01	1.19
P5	200	600	3	4	0.00006	-0.05	-1.67
P6	250	300	4	5	0.00006	-0.09	-1.88
P1	150	400	2	5	0.00006	0.04	2.16
P2	100	200	5	6	0.00006	-0.002	-0.24
P3	150	400	6	1	0.00006	-0.03	-1.8

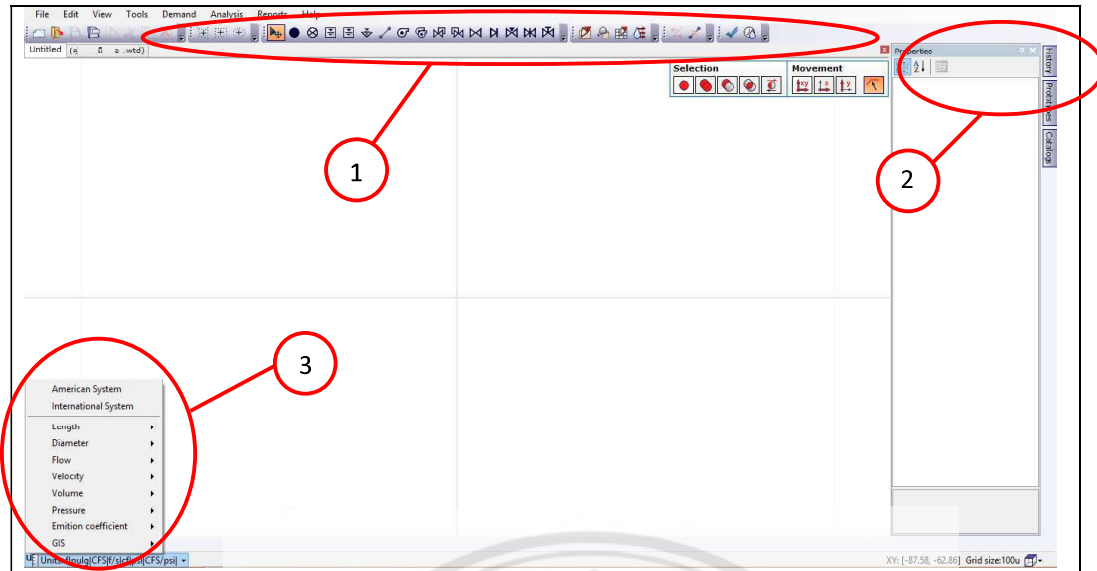




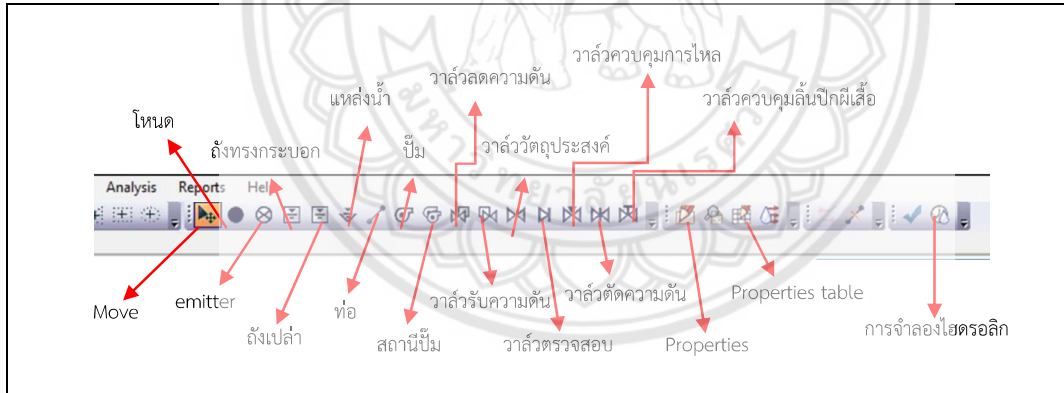
คู่มือแนะนำการใช้งาน

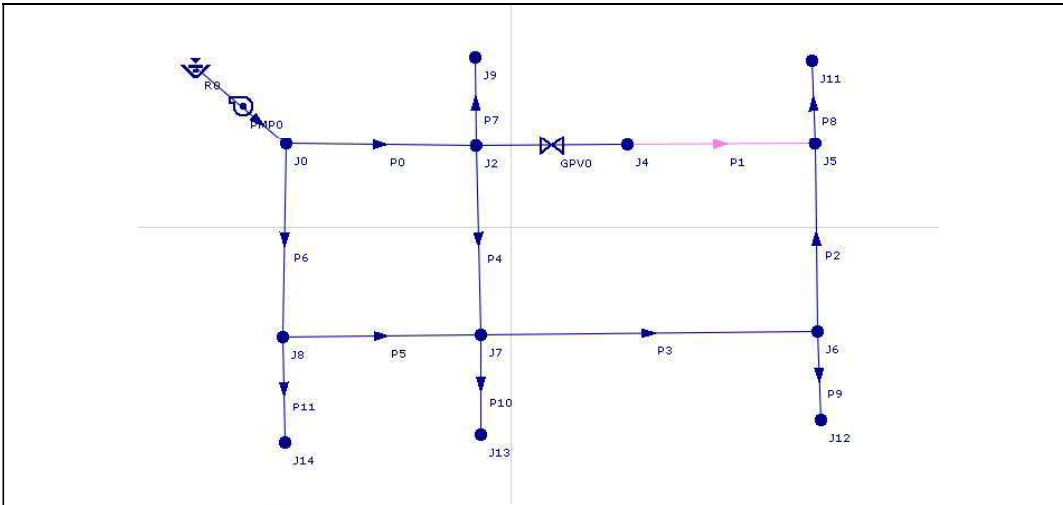


 ปั๊ม	สัญลักษณ์แทน ปั๊ม โดยปั๊มในโปรแกรม WatDis ถูกจำลองเป็นลิงค์ระหว่างโหนด
 ท่อ	สัญลักษณ์แทน ท่อ
 แหล่งน้ำ	สัญลักษณ์แทน แหล่งน้ำ ทำหน้าที่เก็บน้ำหรือจ่ายน้ำ ปริมาณของน้ำจะไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าจะไหลเข้าหรือไหลออก เพราะขนาดของแหล่งน้ำมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับระบบ
 วาล์ว	สัญลักษณ์แทน วาล์ว โดยสามารถกำหนดชนิดและวัตถุประสงค์ของวาล์วนั้นได้ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง Head และ Flow
 จุดเชื่อมต่อ	สัญลักษณ์แทน จุดเชื่อมต่อ หมายถึงจุดของความต้องการการไหลในเครือข่าย เป็นที่ที่ไหลออกจากเครือข่าย
 การจำลองไฮดรอลิก	สัญลักษณ์แทน การจำลองไฮดรอลิก เป็นปุ่มกดเพื่อดำเนินการคำนวณ การจำลองระบบไฮดรอลิก
 ตารางคุณสมบัติ	สัญลักษณ์แทน ตารางคุณสมบัติ ช่วยใช้แสดงองค์ประกอบเครือข่ายรวมทั้งผลลัพธ์ที่คำนวณได้ สามารถกรององค์ประกอบที่แสดงผ่านระบบกรองที่มีประสิทธิภาพ
 Move	สัญลักษณ์แทน คำสั่ง Move อนุญาตให้ย้ายและเลือกองค์ประกอบในพื้นที่ทำงาน นอกจากนี้ยังช่วยเปลี่ยนโหนดหรือชนิดลิงก์สำหรับอ็อบเจกต์ที่เลือก

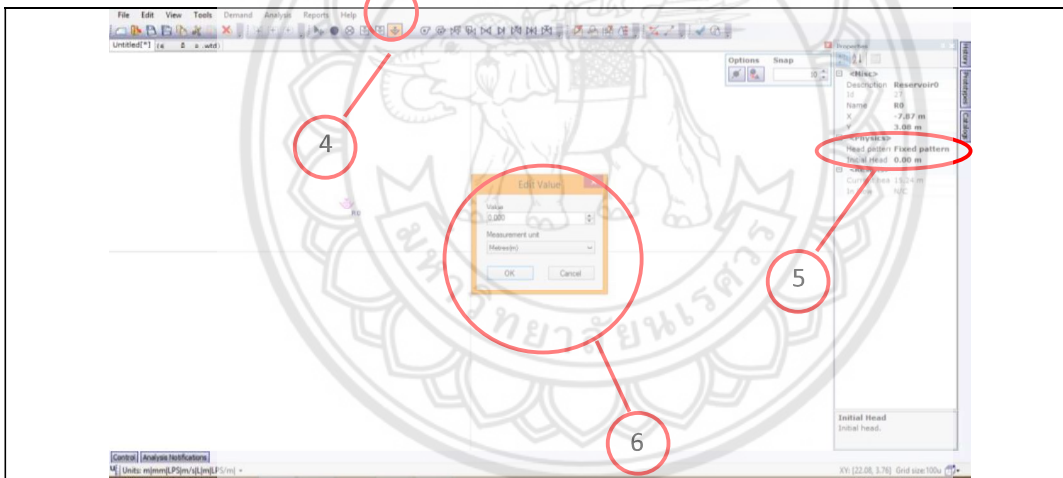


1. แถบเครื่องมือด้านบนเป็นสัญลักษณ์ อุปกรณ์ที่ใช้ต่อการจำลองระบบ
2. ตารางแสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบ
3. แถบเครื่องมือด้านล่างซ้ายไว้สำหรับเปลี่ยนหน่วยที่จะใช้ในการกรอกข้อมูลค่าที่ทราบ

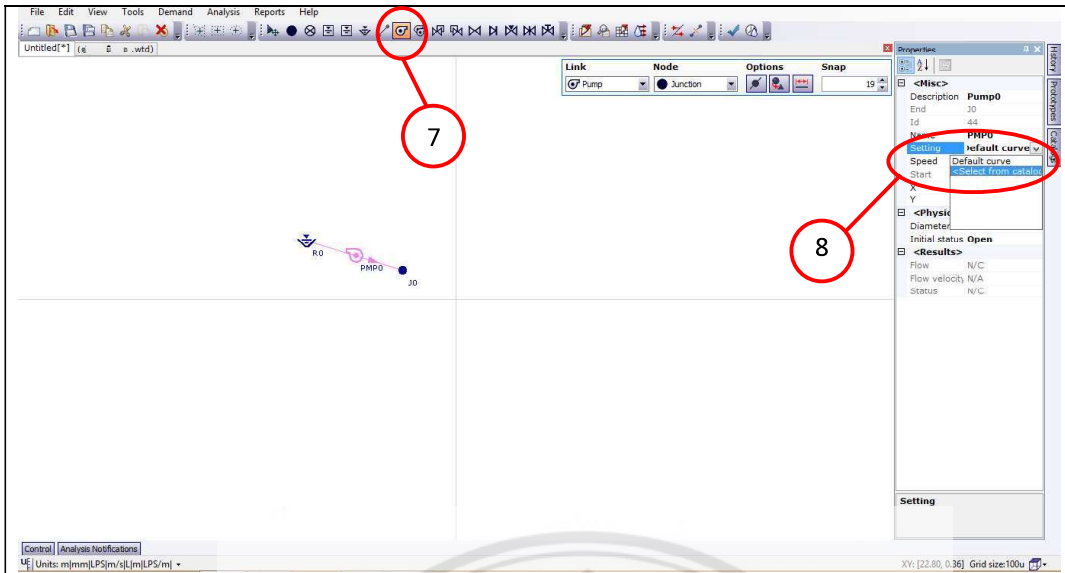




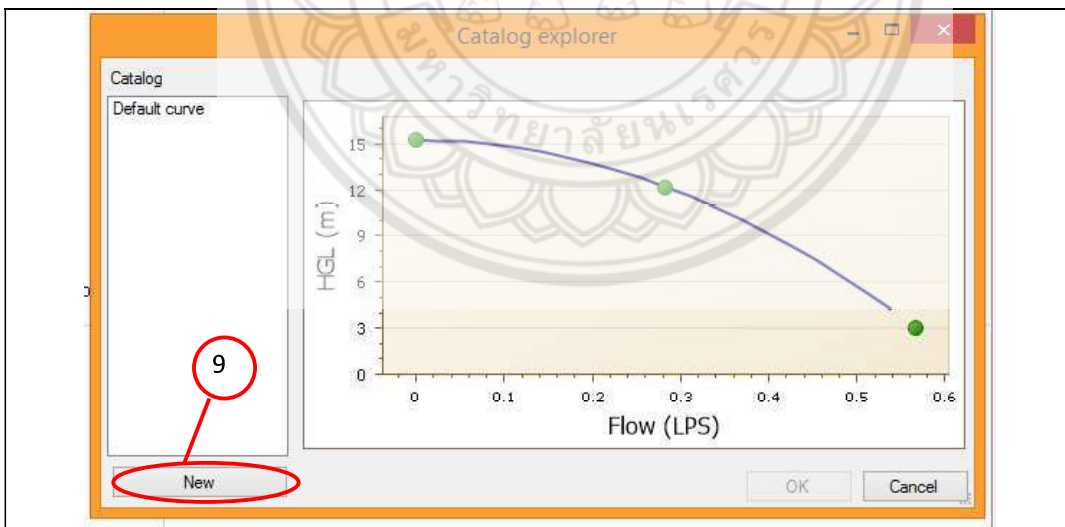
ในที่นี้เราจะลองสร้างเครือข่ายท่อตามรูปโดยมีการใส่ปั๊มและวาล์วลงไปในการจำลองระบบการไหลในเครือข่ายท่อ



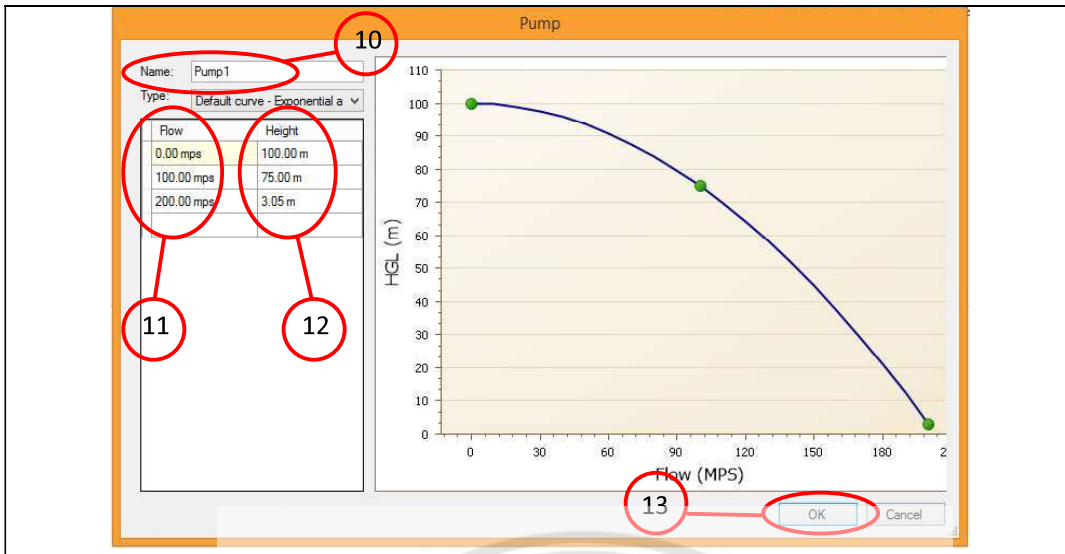
4. เมื่อคลิกสัญลักษณ์แหล่งน้ำแล้วคลิกไปที่พื้นที่หน้าจอลหลัก แถบขวาของหน้าจอจะแสดงตารางคุณสมบัติของแหล่งน้ำขึ้นมา
5. คลิกช่องตัวเลข Initial Head จะมีสัญลักษณ์จุดสามจุดคลิกเข้าไปจะมีหน้าต่าง Edit Value ขึ้นมา
6. ใส่ค่า Head ของแหล่งน้ำตามที่โจทย์กำหนด และสามารถเปลี่ยนหน่วยตามที่ต้องการได้จากนั้นคลิก OK เพื่อบันทึกค่า



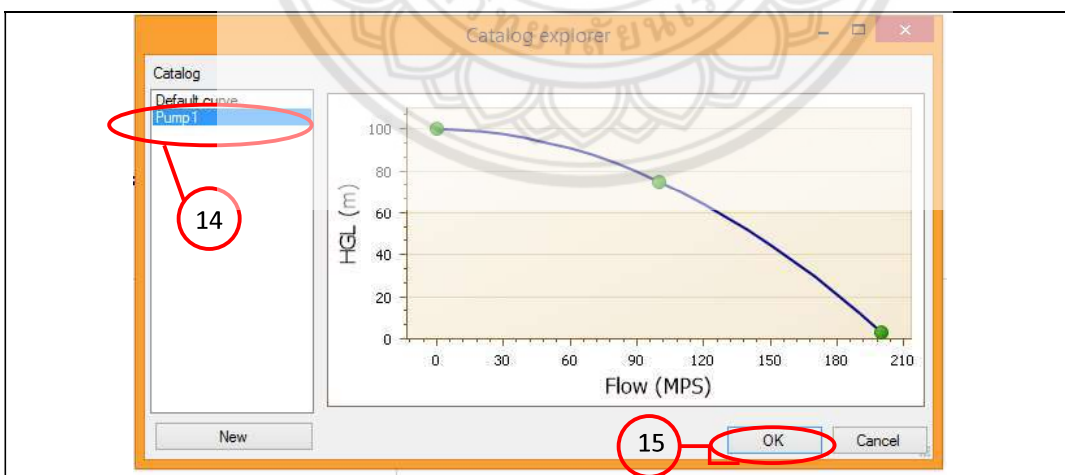
7. คลิกสัญลักษณ์ปั๊มแล้วมาคลิกสัญลักษณ์แหล่งจ่ายน้ำที่หน้าจอหลักแล้วตารางคุณสมบัติของปั๊มจะขึ้นมาแถบขวาของหน้าจอ
8. คลิกที่ช่อง Setting จากนั้นให้คลิกเลือก Select from catalog จากนั้นจะมีหน้าต่างต่าง Catalog explorer ขึ้นมา



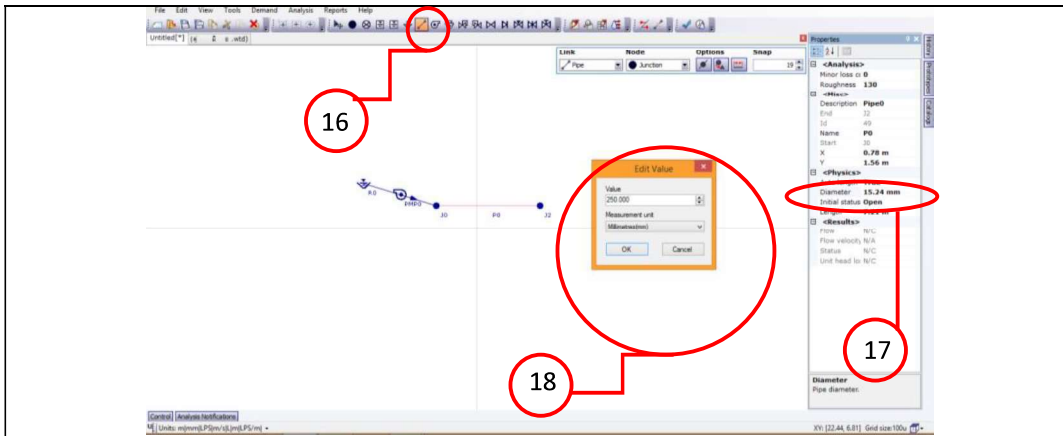
9. คลิก New จะมีหน้าต่าง Pump ขึ้นมาเพื่อตั้งค่าปั๊ม



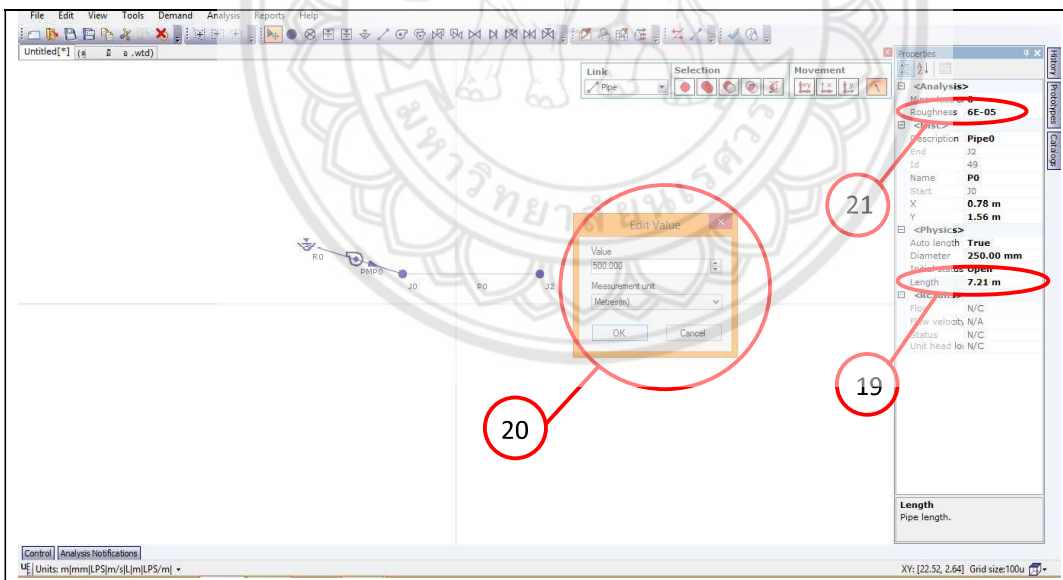
10. ตั้งชื่อของข้อมูล
11. ใส่อัตราการไหลของน้ำตามโจทย์กำหนด ช่องว่างใส่อัตราการไหลเข้าในระบบตามโจทย์ ช่องที่สองใส่เป็นครึ่งหนึ่งของอัตราการไหลเข้าระบบ ช่องบนสุดใส่ค่าเป็น 0
12. ใส่ Head ตามที่โจทย์กำหนดใส่ค่าจากช่องบน ค่า Head ที่โจทย์กำหนด ช่องกลางใส่ค่า Head ประมาณ สามส่วนสี่ของค่า Head จากโจทย์ และสังเกตให้ได้เป็น Curve ดังรูป
13. คลิก OK เพื่อบันทึกค่า



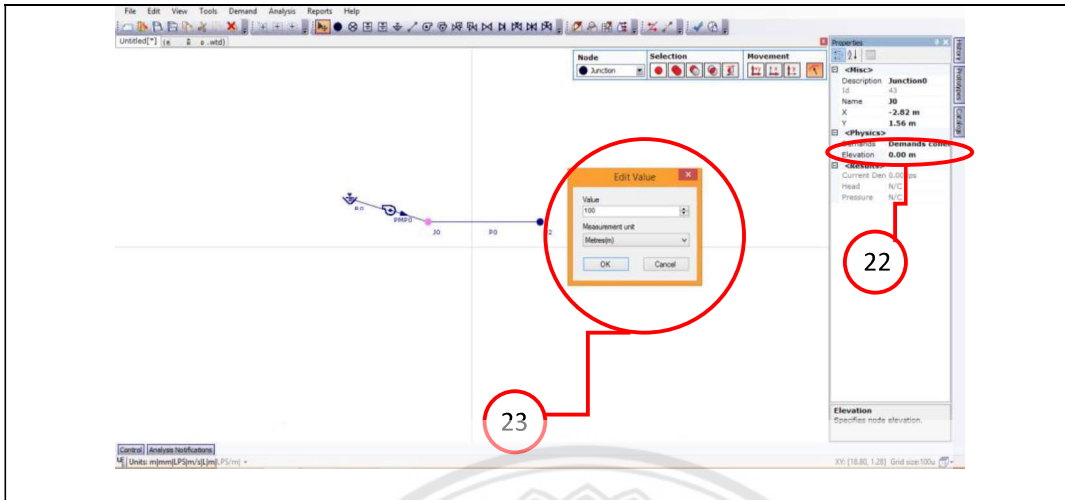
14. คลิกเลือกข้อมูลป้อนที่ตั้งค่าไว้
15. คลิก OK



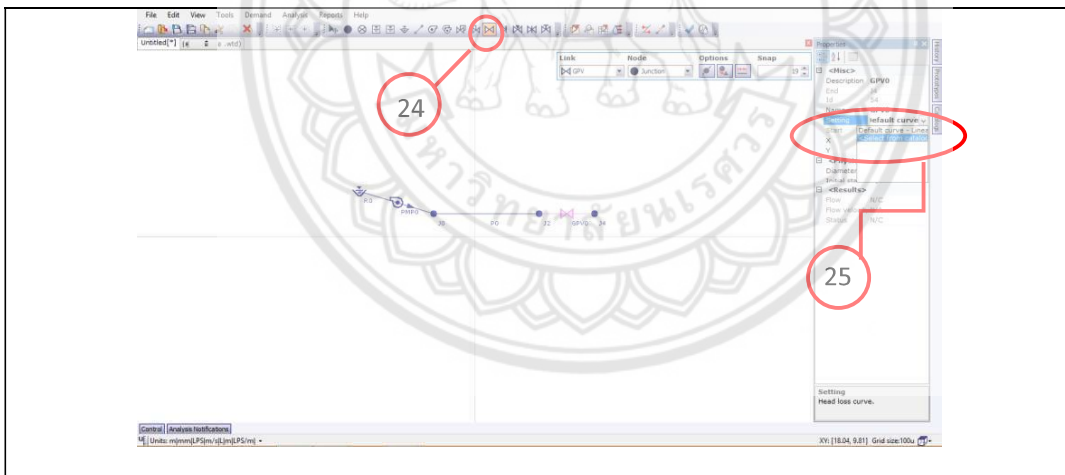
16. คลิกสัญลักษณ์ท่อแล้วคลิกเชื่อมต่อโหนดของปั๊มที่หน้าจอลหลัก เมื่อคลิกเส้นท่อที่หน้าจอลหลัก ตารางคุณสมบัติจะแสดงขึ้นแถบขาวของหน้าจอ
17. คลิกช่องตัวเลข Diameter จะมีสัญลักษณ์จุดสามจุดคลิกเข้าไปจะมีหน้าต่าง Edit Value ขึ้นมา
18. ใส่ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตามที่โจทย์กำหนด และสามารถเปลี่ยนหน่วยตามที่ต้องการได้จากนั้นคลิก OK เพื่อบันทึกค่า



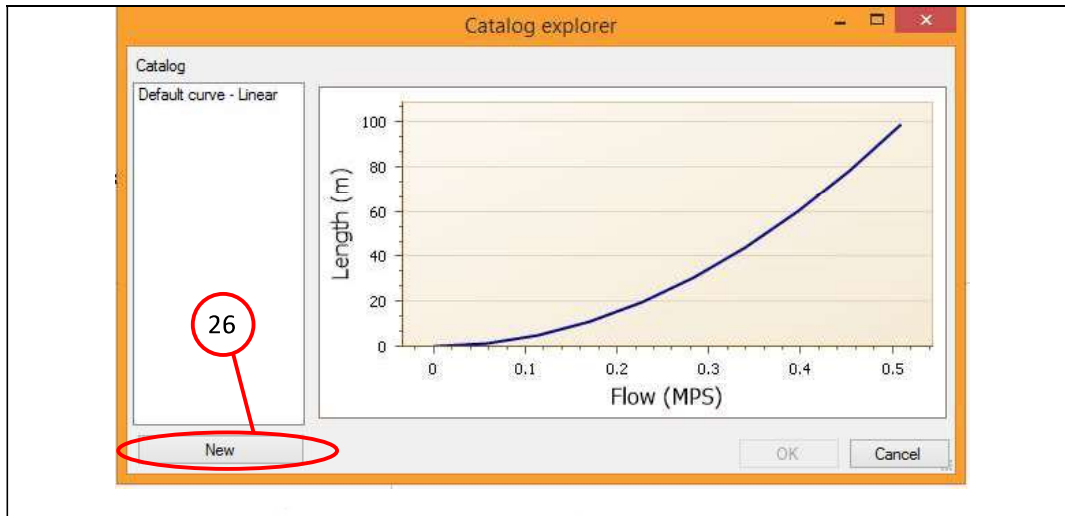
19. คลิกช่องตัวเลข Length จะมีสัญลักษณ์จุดสามจุดคลิกเข้าไปจะมีหน้าต่าง Edit Value ขึ้นมา
20. ใส่ค่าความยาวของท่อตามที่โจทย์กำหนด และสามารถเปลี่ยนหน่วยตามที่ต้องการได้จากนั้นคลิก OK เพื่อบันทึกค่า
21. คลิกที่ช่อง Roughness ใส่ค่าความขรุขระของท่อตามโจทย์กำหนด



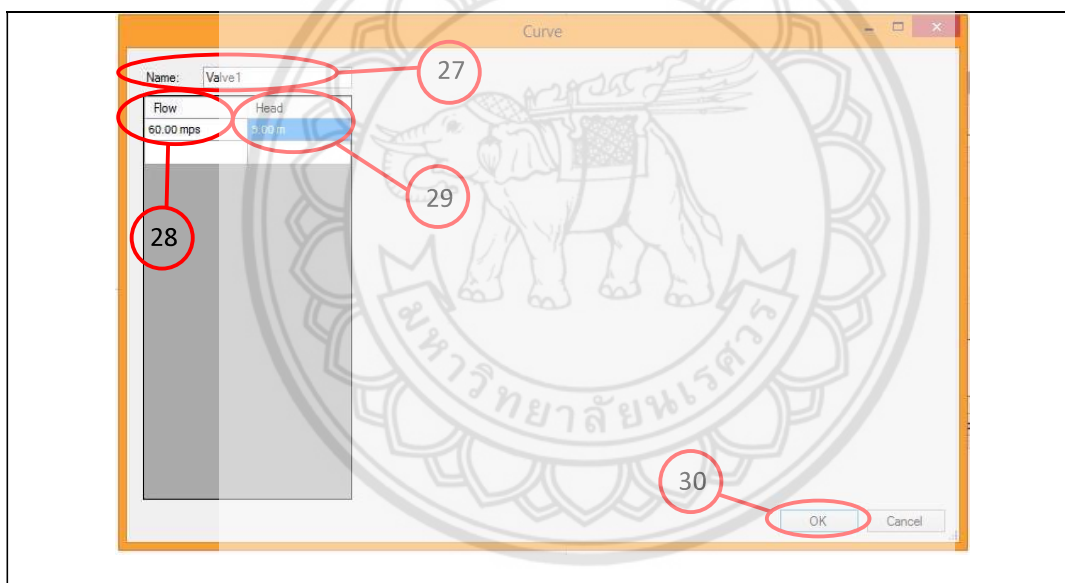
22. คลิกช่องตัวเลข Elevation จะมีสัญลักษณ์จุดสามจุดคลิกเข้าไปจะมีหน้าต่าง Edit Value ขึ้นมา
23. ใส่ค่า Head ของโหนดตามที่โจทย์กำหนด และสามารถเปลี่ยนหน่วยตามที่ต้องการได้จากนั้นคลิก OK เพื่อบันทึกค่า



24. คลิกที่สัญลักษณ์วาล์วแล้วมาคลิกเชื่อมต่อที่โหนดของท่อที่หน้าจอลหลัก เมื่อคลิกสัญลักษณ์วาล์วที่หน้าจอลหลักจะแสดงตารางคุณสมบัติขึ้นแถบขวาของหน้าจอล
25. คลิกที่ช่อง Setting จากนั้นให้คลิกเลือก Select from catalog จากนั้นจะมีหน้าต่าง Catalog explorer ขึ้นมา



26. คลิก New จะมีหน้าต่าง Curve ขึ้นมาเพื่อตั้งค่าวาล์ว

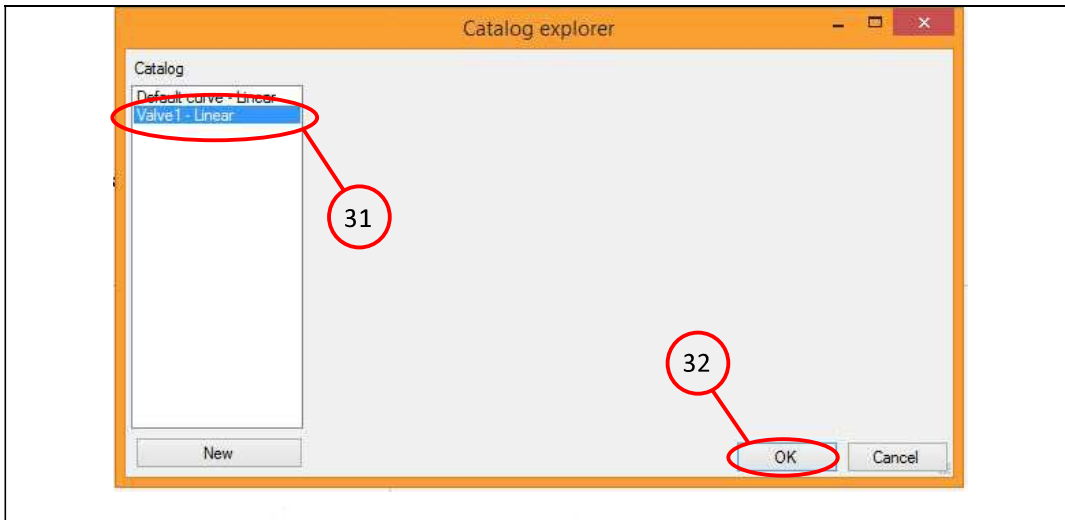


27. ตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล

28. ใส่ค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านวาล์วตามที่โจทย์กำหนด

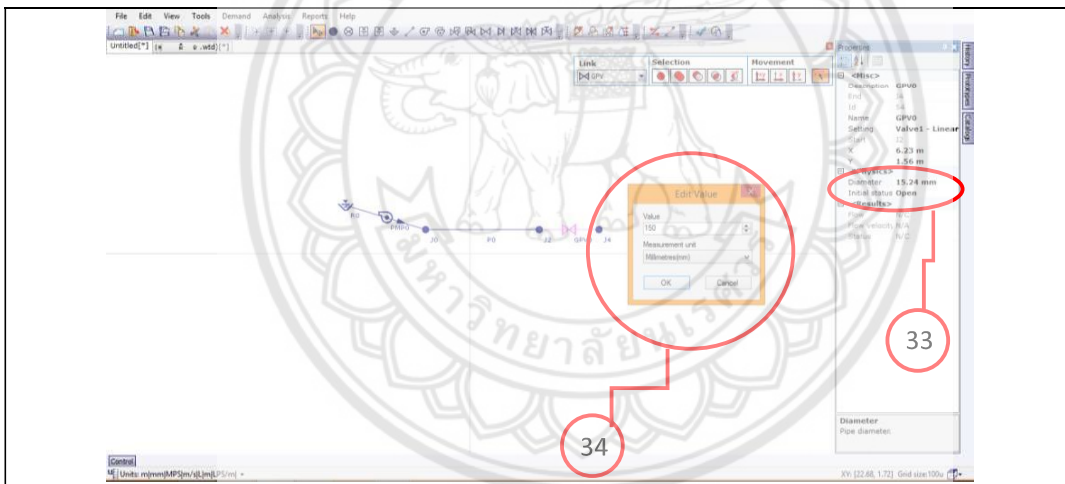
29. ใส่ค่า Head ของวาล์วตามที่โจทย์กำหนด

30. คลิก OK เพื่อบันทึกค่า



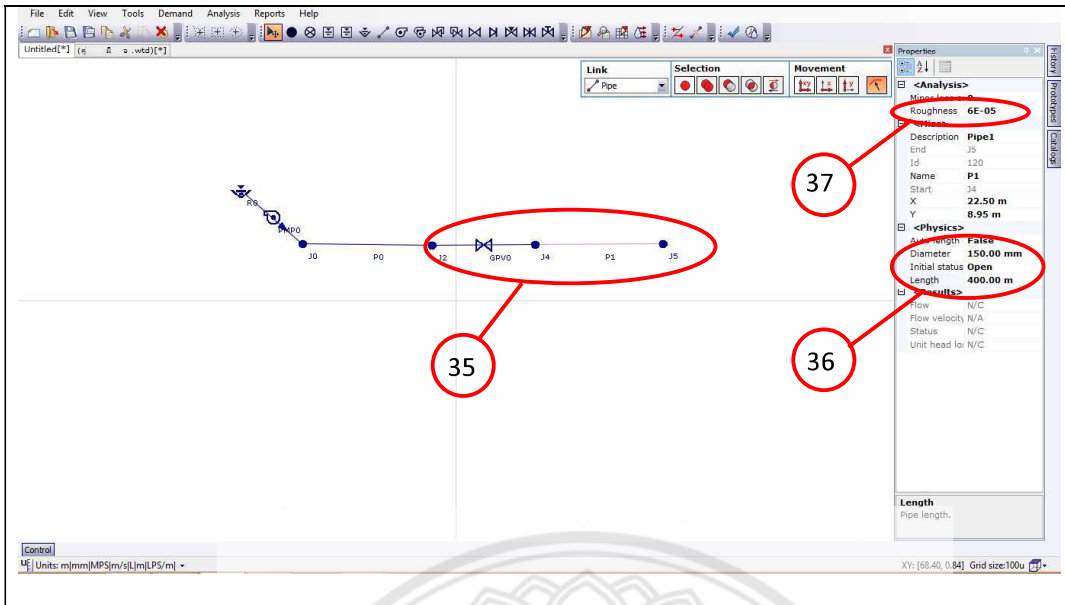
31. คลิกเลือกข้อมูลวาล์วที่ตั้งค่าไว้

32. คลิก OK



33. คลิกช่องตัวเลข Diameter จะมีสัญลักษณ์จุดสามจุดคลิกเข้าไปจะมีหน้าต่าง Edit Value ขึ้นมา และเมื่อคลิกที่ช่อง Initial status ตั้งค่าให้วาล์วปิดหรือเปิดได้

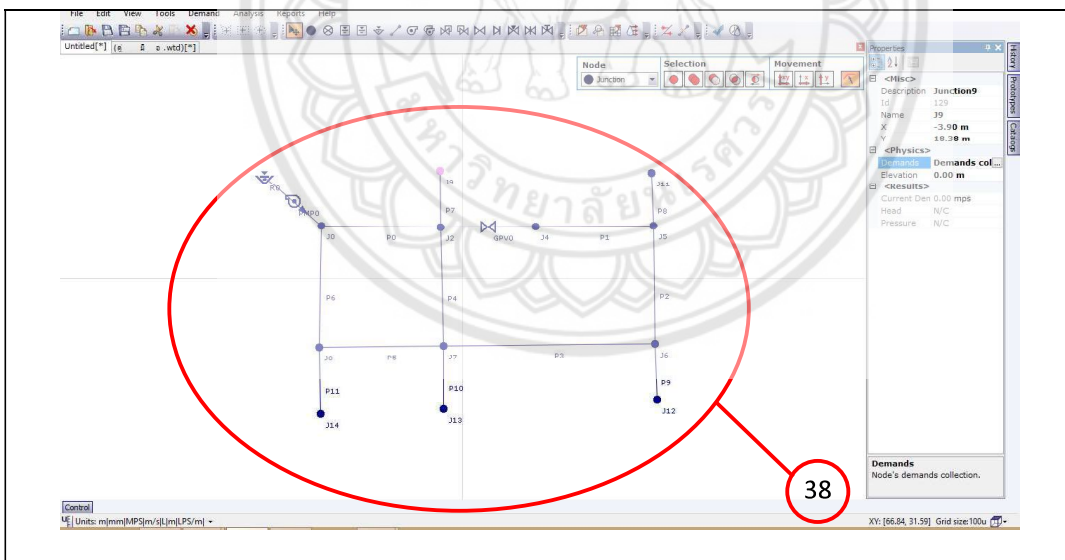
34. ใส่ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตามที่โจทย์กำหนด และสามารถเปลี่ยนหน่วยตามที่ต้องการได้จากนั้นคลิก OK เพื่อบันทึกค่า



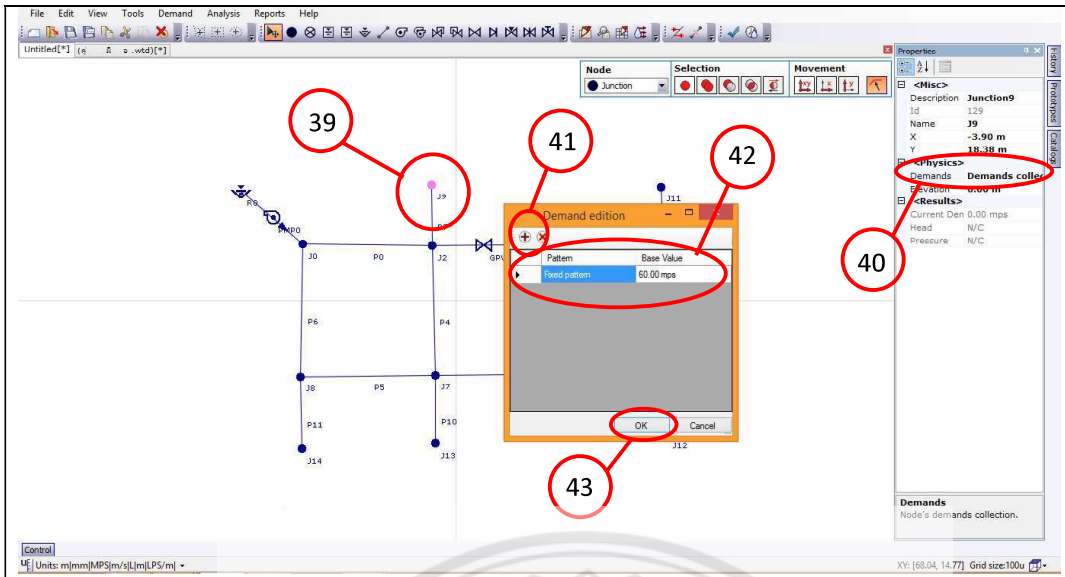
35. ต่อก่อเข้ากับวาล์ว

36. ใส่ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวท่อ

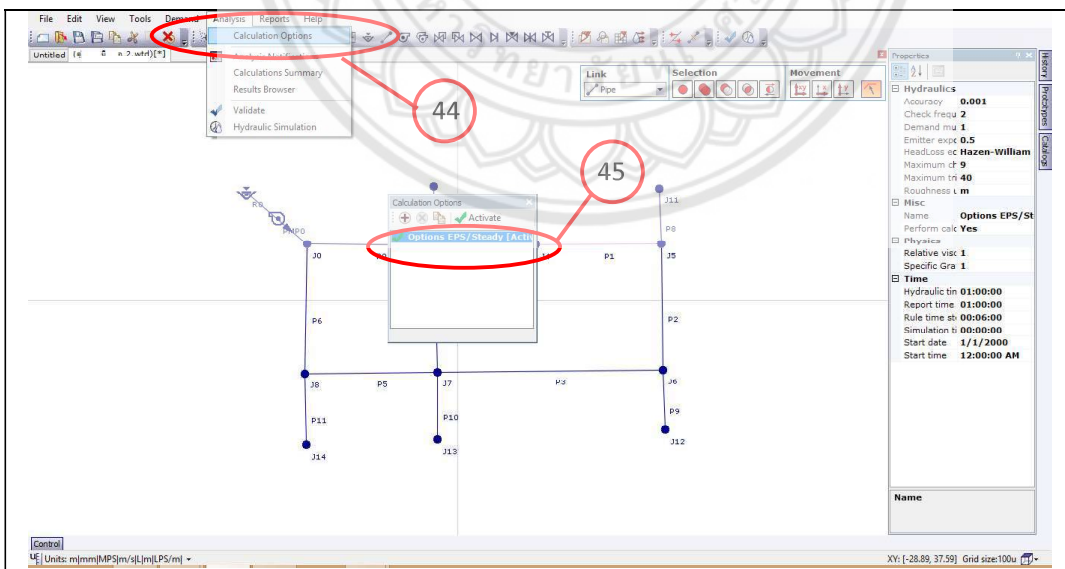
37. ใส่ค่าความขรุขระของท่อ



38. ต่อบรรบตามโหนดและใส่ข้อมูลตามโหนด

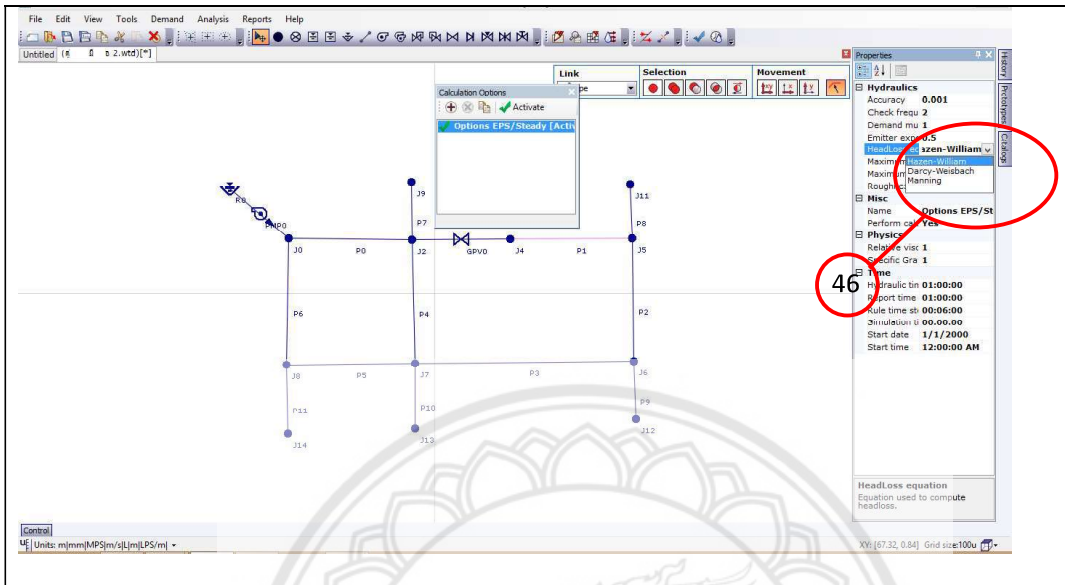


39. คลิกที่โหนดแล้วกำหนดค่าน้ำที่ไหลมายังโหนดนี้ตามโจทย์กำหนด
40. คลิกช่อง Demands จะมีสัญลักษณ์จุดสามจุดคลิกเข้าไปจะมีหน้าต่าง Demand edition ขึ้นมา
41. คลิกที่สัญลักษณ์บวก แล้วช่อง Fixed pattern จะดึงขึ้นมา
42. ใส่ค่าน้ำที่ไหลไปยังโหนดตามโจทย์
43. คลิก OK เพื่อบันทึกค่า

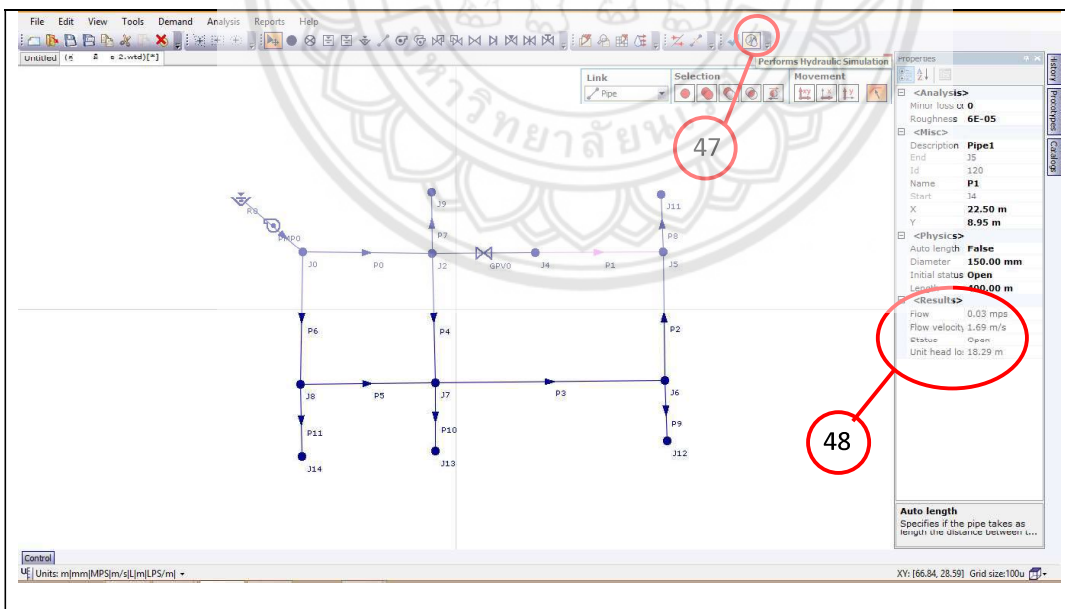


44. คลิกที่ Analysis แล้วเลือก Calculation Options หน้าต่าง Calculation Options ดึงขึ้นมา

45. คลิก Options EPS/Steady จะมีตารางคุณสมบัติขึ้นมาแถบขวาของหน้าจอเพื่อที่จะเลือกใช้สมการในการคำนวณระบบ



46. คลิกช่อง Head loss equation แล้วคลิกเลือกสมการที่ต้องการใช้ในการคำนวณ



47. คลิกสัญลักษณ์  เพื่อคำนวณระบบ

48. คลิกที่สัญลักษณ์ที่หน้าจอหลักที่ต้องการทราบ ค่าที่คำนวณจะแสดงในส่วนของ Results

Properties Table

Description	Name	X	Y	Id
Reservoir0	R0	-33.93	17.26	27
Junction0	J0	-24.20	9.01	43
Junction2	J2	-3.82	8.77	48
Junction4	J4	12.43	8.89	53

Properties Table

Flow	Start	End	Auto	Min	Roug	Leng	Unit h
1,695.44 m/s	J0	J2		0	6E-05	500.00	5,184,673.25
1.69 m/s	J4	J5		0	6E-05	400.00	18.29
-5,089.14 m/s	J5	J6		0	6E-05	200.00	75,580,000.00
-3,939.40 m/s	J6	J7		0	6E-05	100.00	29,211,766.00

49. คลิกสัญลักษณ์  ตารางผลการคำนวณจะแสงขึ้นมาด้านล่างของหน้าจอ

Properties Table

Desc...	Name	X	Y	Id	Init...	D
Pipe0	P0	-14.01	8.89	49	Open	PRV
Pipe1	P1	22.50	8.95	120	Open	PSV
Pipe2	P2	32.71	-1.08	123	Open	GPV
Pipe3	P3	14.77	11.35	125	Open	CV
						FCV
						PBV
						TCV

50. คลิก Filter by type จะมีสัญลักษณ์ต่างๆ ขึ้นมา

51. คลิกเลือกสัญลักษณ์ที่ต้องการทราบค่าในการคำนวณผลจะขึ้นแสดงในตาราง

The screenshot displays a software interface with three main components:

- Save As Dialog:** A window titled "Save As" showing the Desktop location. The file name field contains "PropertiesTable.xls" (circled 53). The "Save as type" is set to "Microsoft Excel (*.xls)". The "Save" button is circled 54.
- Properties Table:** A window titled "Properties Table" with a table of data. The "Export table" button is circled 52.
- Main Project Window:** Shows a network diagram with nodes (J11, J5, J2, J6, J12) and pipes (P1, P2, P3). The right sidebar shows properties for "Pipe1", including description, name, start/end coordinates, and physical properties like diameter and length.

Description	Name	X	Y	Id
Reservoir0	R0	-33.93 m	17.26 m	27
Junction0	J0	-24.20 m	9.01 m	43
Junction2	J2	-3.82 m	8.77 m	48
Junction4	J4	12.43 m	8.59 m	53

52. คลิก Export table เพื่อจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ Excel

53. ตั้งชื่อไฟล์ข้อมูล

54. คลิก Save ข้อมูล