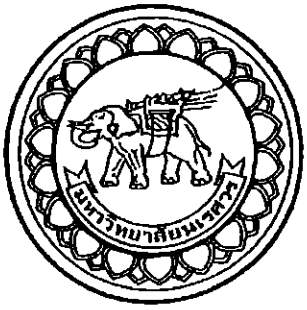


การเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำโดยใช้พอลิเมอร์

SEWERAGE FLOW CAPACITY ENHANCEMENT BY POLYMER ADDITION

นาย ธีระ ภู่ระหงษ์

นาย วรากร พระอางค์

นาย สิทธิพร ทากัมมา

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 21 ก.ค. 2554
เลขทะเบียน 1555 486
เลขเรียกหนังสือ ม.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ธ 662 ก 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน : การเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำโดยใช้พอลิเมอร์

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายธีระ ภู่ระหงษ์ รหัส 50383684

: นายวรากร พระอางค์ รหัส 50383769

: นายสิทธิพร ทากัมมา รหัส 50383806

ที่ปรึกษาโครงงาน : ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

.....ประธานกรรมการ

(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

.....กรรมการ

(รศ.ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	: การเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำโดยใช้พอลิเมอร์		
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายธีระ	ภู่ระหงษ์	รหัส 50383684
	: นายวรากร	พระอางค์	รหัส 50383769
	: นายสิทธิพร	ทากัมมา	รหัส 50383806
ที่ปรึกษาโครงงาน	: ดร.อนันต์ชัย	อยู่แก้ว	
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	: 2553		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเรื่องปัญหาน้ำท่วมเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก โดยมีปัจจัยทางลักษณะภูมิประเทศและปัจจัยอื่นๆ อีกหลายอย่าง จากการศึกษาพบว่าสารละลายพอลิเมอร์สามารถช่วยในการเปลี่ยนคุณสมบัติของน้ำซึ่งทำให้อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น คณะผู้จัดทำจึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษาและทดลองเพื่อเป็นการเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำโดยใช้พอลิเมอร์ ซึ่งได้ทำการออกแบบทดลองถังควบคุมความดันและศึกษาอัตราการไหลของน้ำในท่อเรียบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 มิลลิเมตร ความยาว 4 เมตร และใช้สารละลายพอลิเมอร์ชนิด Poly Aluminum Chloride ในอัตราส่วนความเข้มข้น 0, 10, 50 และ 100 ppm โดยน้ำหนัก โดยควบคุมความความดันภายในถังให้คงที่ ที่ความดัน 0.2 บาร์ และศึกษาถึงแรงโน้มถ่วงของโลกว่ามีผลต่ออัตราการไหลของน้ำมากน้อยเพียงใด โดยทำการเปลี่ยนแปลงความลาดเอียงของท่อและทำการควบคุมค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ให้อยู่ในช่วง 20,000 – 70,000 ด้วยวิธีการปรับองศาการเปิดวาล์ว

จากผลการทดลองพบว่า น้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ 10, 50 และ 100 ppm. จะทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นเป็น 2.26% 5.64% และ 9.21% ตามลำดับ เมื่อเอียงท่อทำมุม 3 และ 10 องศาจากแนวระดับ จะทำให้แรงโน้มถ่วงทำงานได้มากขึ้น ซึ่งแรงโน้มถ่วงจะส่งผลทำให้น้ำมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแนวระดับ อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจาก ความเร็วของน้ำและค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์เพิ่มขึ้นซึ่งทำให้โครงสร้างสายโซ่ขาดไปบางส่วน ทำให้สมรรถนะของพอลิเมอร์ลดลง

Project title	: Sewerage flow capacity enhancement by polymer addition		
Name	: Mr.Teera	Phoorahong	ID. 50383684
	: Mr.Warakorn	Pa-ang	ID. 50383769
	: Mr.Sittipom	Thakamma	ID. 50383806
Project advisor	: Dr.Anunchai	Youkaew	
Major	: Mechanical Engineering		
Department	: Mechanical Engineering		
Academic year	: 2010		

.....

Abstract

Current issues flood into the limelight a lot. The factors of topography and other factors many things the study found that the polymer's solution can help to change the properties of water which makes the water flow rate increases. Team made it to explore ideas and try to increase the drainage capacity of the polymer's. Was selected to design the experimental cylinder pressure control and to study the rate of flow of water in the pipe flat with a diameter within 20 mm length 4 m and solution polymerization Class Poly Aluminum Chloride in the ratio of the concentrations of 0, 10,. 50 and 100 ppm by weight by controlling the pressure inside the tank at a constant pressure of 0.2 bar and study the force of gravity that affect the flow of much water. The change of slope of the pipe and to control the Reynolds - number in the range of 20,000 to 70,000 by means of a fine degree of valve opening.

Theresults showed that Water mixed solvent enough polymer concentration of the solution polymerization's were 10, 50 and 100 ppm. Flow rates increased at 2.26%, 5.64% and 9.21% respectively.When the tilt angle pipe 3 and 10 degrees from horizontal. Gravity will do more. The gravity will affect the water flow rate of increase compared with the horizontal. Flow rate increased due to .The speed of the water and Reynolds – number increased of chain structure which is missing some parts. The performance of the polymer 's lower.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือทางด้านคำแนะนำในการทำโครงงาน จาก ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณ สัตยา ยิ้มประเสริฐ ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาโท ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ และทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล และขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านการทำโครงงานและเอกสาร

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัว ที่คอยให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจอย่างสม่ำเสมอตลอดมา

คณะผู้จัดทำโครงงาน

นาย ธีระ ภู่ระหงษ์

นาย วรากร พระองค์

นาย สิทธิพร ทากัมมา

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญภาพ ..... ซ
สารบัญสัญลักษณ์ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 แผนการดำเนินงาน 3
1.7 งบประมาณ 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 5
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการไหล 5
2.2 ระบบระบายน้ำในชุมชน 7
2.3 หลักการออกแบบขนาดท่อระบายหรือรางระบายน้ำ 8
2.4 เกณฑ์การออกแบบท่อระบายหรือรางระบายน้ำ 11
2.5 คุณสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์ 12
2.6 ชนิดของพอลิเมอร์ 13

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ 16
3.1 ลักษณะและหลักการทำงานของถังควบคุมความดัน 16
3.2 ข้อมูลพื้นฐานและเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบ 17
3.3 การคำนวณและออกแบบ 17
3.4 การออกแบบอุปกรณ์ที่ทำการทดลอง 19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 การดำเนินการทดลอง 22
3.6. อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง 24

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 27
4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเติมสารละลายพอลิเมอร์
ความเข้มข้น 10,50 และ 100 ppm 27
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเอียงท่อ 30
4.3 สมรรถนะของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้นต่างๆ 34
4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง 37

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 38
5.1 สรุปผลการทดลอง 38
5.2 ข้อจำกัดในการทดลอง 39
5.3 ข้อเสนอแนะ 39

เอกสารอ้างอิง 40
ภาคผนวก ก 41
ภาคผนวก ข 43
ภาคผนวก ค 45
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 61

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....3
ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์ของ Chezy (C_H) ของท่อแต่ละประเภท.....10
ตารางที่ 2.2 ความลาดเอียงท่อขั้นต่ำสำหรับความเร็วหนึ่งเมื่อน้ำไหลเต็มท่อ.....11
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาวาล์วและการปรับค่าเรย์โนลด์ – นัมเบอร์...26

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงเส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของการไหล
และช่วงของการลดแรงเสียดทาน....12
รูปที่ 2.1 Poly Acrylamide (PAM)....12
รูปที่ 2.2 Poly Aluminum Chloride (PAC)....13
รูปที่ 2.3 Polyethylene glycol (PEG)....14
รูปที่ 2.4 Guargum....14
รูปที่ 3.1 ถังความดันที่ต่อกับปั๊มลมและท่อน้ำ....16
รูปที่ 3.2 แสดงถัง ระบบท่อลม และท่อน้ำ....19
รูปที่ 3.3 เป็นภาพ 2 มิติที่ประกอบด้วย ตัวถังกวามดันและฝาปิด....20
รูปที่ 3.4 เป็นภาพของถังความดันที่ติดตั้งอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อย....20
รูปที่ 3.5 แสดงถึงเส้นทางการไหล ของน้ำ และลม ที่เข้าไปยังในถัง....21
รูปที่ 3.6 แสดงถึงตำแหน่งของวาล์วที่มีหน้าที่ต่างกัน....22
รูปที่ 3.7 แสดงถึงแนวท่อที่ลาดเอียง....23
รูปที่ 3.8 ถังบรรจุน้ำขนาด 50 kg....24
รูปที่ 3.9 ท่อ PVC ยาว 4 เมตร....24
รูปที่ 3.10 ปั๊มลม....25
รูปที่ 4.1 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ที่มุมเอียงของท่อ 0 องศา....27
รูปที่ 4.2 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ที่มุมเอียงของท่อ 3 องศา....28
รูปที่ 4.3 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ที่มุมเอียงของท่อ 10 องศา....29
รูปที่ 4.4 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำ....30
รูปที่ 4.5 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์
ของสารละลายความเข้มข้น 10 ppm....31
รูปที่ 4.6 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์
ของสารละลายความเข้มข้น 50 ppm....32
รูปที่ 4.7 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์
ของสารละลายความเข้มข้น 100 ppm....33
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการไหลผ่านท่อที่วางในแนวระดับ....34
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการไหลผ่านท่อที่วางเอียงทำมุม 3 องศากับแนวระดับ....35
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการไหลผ่านท่อที่วางเอียงทำมุม 10 องศากับแนวระดับ....36

สารบัญสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดภายในท่อ PVC	m^2
A_i	พื้นที่รับน้ำทั้งหมด	m^2
C_i	ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำฝนของพื้นที่ใดๆที่พิจารณา	c
C_H	ค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy	
D_i	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ	m
D_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ	m
$DR\%$	เปอร์เซ็นต์แรงเสียดทาน	
f	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของท่อ	
f_w	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในกรณีไม่ใช้สารพอลิเมอร์	
f_p	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในกรณีใช้สารพอลิเมอร์	
h_f	การสูญเสียหลักเนื่องจากความฝืด	m
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
L	ความยาวท่อ	m
$\dot{m}$	อันตราการไหลโดยมวลทั้งหมด	kg/s
n	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ	
P_a	ความดันบรรยากาศ	bar
P_v	ความดันของเครื่องขณะทำงาน	bar
ρ	ความหนาแน่นของน้ำ	kg/m^3
ppm	อันตราส่วนผสมหนึ่งในล้านส่วน	
Q	อัตราการไหลของน้ำทั้งหมด	m^3/s
Q_R	อัตราการไหลของน้ำฝน	m^3/s
Q_w	อัตราการไหลของน้ำ	m^3/s
Q_I	อัตราการไหลของน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้าท่อ	m^3/s
Q_p	อัตราการไหลของสารละลายพอลิเมอร์	m^3/s
R	รัศมีชลศาสตร์	m

สารบัญสัญลักษณ์ (ต่อ)

Re	ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ที่ได้จากการคำนวณ	
Ro	ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ที่ได้จากน้ำ	
S	ความลาดเอียงของท่อ	m/m
t	เวลา	s
t_a	เวลาเฉลี่ย	s
μ	ความหนืดของน้ำ	N. s/m^2
V	ปริมาตร	m^3
v	ความเร็ว	m/s
$\dot{w}$	อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก	N/s
γ	น้ำหนักจำเพาะ	kN/m^3

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ทุกครั้งที่มีฝนตกบริเวณชุมชนใหญ่ๆ จะมีน้ำท่วมขังที่เกิดจากการระบายน้ำไม่ทันอยู่เสมอๆ เช่น ปัญหาน้ำท่วมขังบริเวณประตู 5 ของมหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกครั้งที่มีฝนตกหนักน้ำจะท่วมขังนานประมาณ 1-2 วัน จึงจะสามารถระบายน้ำออกได้หมด การที่จะแก้ไขปัญหาน้ำท่วมขังได้ก็คือการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้เท่ากับหรือมากกว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา คือ $Q_{in} = Q_{out}$ หรือ $Q_{in} < Q_{out}$ ปัญหาคือการจะเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจะทำได้อย่างไร จาก $Q = AV$ การที่จะเพิ่มอัตราการไหลจะต้องเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อระบายน้ำหรือการเพิ่มความเร็วของน้ำ แต่การที่จะเปลี่ยนแปลงขนาดท่อเป็นไปได้ยากเพราะต้องใช้เวลานานในการก่อสร้างเพื่อเปลี่ยนท่อและเงินลงทุนที่สูง เราจึงคิดหาวิธีการอื่นๆ เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำท่วมขัง นั่นก็คือ ความเร็วของน้ำ ความเร็วของน้ำจะขึ้นอยู่กับพลังงานของน้ำ แต่ภายในท่อจะมีการสูญเสียพลังงานบริเวณผนังท่อระบายน้ำที่เกิดจากแรงเสียดทาน ถ้าลดการสูญเสียนี้ได้ก็จะเป็นการเพิ่มความเร็วของน้ำได้ นั่นก็หมายความว่าสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้

การลดแรงเสียดทานนั้นสามารถทำได้โดยการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติในการลดแรงเสียดทานและละลายน้ำได้ดีลงไปเพียงเล็กน้อย อันเป็นไปตามปรากฏการการไหลที่เรียกว่า "ปรากฏการลดแรงเสียดทาน" หรือ drag reduction ปรากฏการการลดแรงเสียดทานสำหรับการไหลในท่อนี้ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Tom ในปี 1949 ซึ่งมีการเรียกปรากฏการนี้ว่า "Tom's effect" [6] [7] ซึ่งพอลิเมอร์ที่ใช้ในการลดแรงเสียดทานได้ดีจะต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีกิ่งก้านที่สั้น ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ต่ำกว่า ร้อยในล้านส่วน (ต่ำกว่า 100 ppm) ถือว่าเป็นสารละลายที่เจือจางอย่างมาก[8] คณะผู้จัดทำจึงได้เกิดแนวคิดที่จะนำสารละลายพอลิเมอร์นี้มาช่วยในการเพิ่มสมรรถนะในการระบายน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการเติมพอลิเมอร์ที่มีต่อสมรรถนะของการระบายน้ำ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของแรงโน้มถ่วงที่มีต่อสมรรถนะของการระบายน้ำ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ใช่ท่อเรียบ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 mm

1.3.2 กำหนดท่อเอียงอยู่ที่ 0 ,3 ,10 องศา

1.3.3 การไหลเป็นแบบ turbulent ช่วง Re = 20000-70000

1.3.4 ชนิดของพอลิเมอร์ Poly Aluminum Chloride (PAC)

1.3.5 อัตราส่วนของพอลิเมอร์และน้ำ ที่มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0 , 10, 50, 100 ppm โดยน้ำหนัก.

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำพอลิเมอร์มาใช้ในการระบายน้ำได้

1.4.2 สามารถลดเวลาในการระบายน้ำได้

1.4.3 ลดความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วมในบริเวณพื้นที่นั้นๆ

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	2553							2554				
	มิ.ย	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.
1.รวบรวมข้อมูล												
2.ออกแบบการทดลอง												
3.จัดหาอุปกรณ์สำหรับการทดลอง												
4.สร้างเครื่องทดลอง												
5.ทำการทดลอง												
6.สรุปผลการทดลอง												

1.7 งบประมาณ

1.7.1 ค่าถ่ายเอกสารและค่าเข้าเล่ม	1,000 บาท
1.7.2 ค่าชิ้นส่วนท่อ	400 บาท
1.7.3 ค่าถัง	5,000 บาท
รวมเป็นเงิน	6,400 บาท (หกพันสี่ร้อยบาทถ้วน)

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

โครงงานนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการระบายน้ำ โดยใช้พอลิเมอร์เพื่อให้การระบายน้ำมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจะเป็นทฤษฎีพื้นฐานของของไหล

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการไหล

เมื่อของไหลเกิดการเคลื่อนที่แล้วคุณสมบัติอื่นๆก็จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของของไหลด้วย จึงต้องมีการคำนวณวิเคราะห์ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการไหลของของไหล ถึงแม้ว่าการคำนวณวิเคราะห์จะไม่ถูกต้องแม่นยำถึง 100% เพราะบางอย่างจะต้องมีการตั้งสมมุติฐานขึ้นมาเพื่อทำให้สามารถคำนวณได้ และก็เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นมาได้ เนื่องจากการไหลของของไหลเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ เช่น ระบบน้ำประปา จะต้องมีการออกแบบท่อระบบส่งน้ำ จึงต้องอาศัยหลักการและทฤษฎีของการไหลมาใช้ในการออกแบบ เป็นต้น

2.1.1 รูปแบบของการไหล

การไหลของของไหลแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1.1 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

คือการไหลที่ไม่ว่าจะอนุภาคเล็กหรือใหญ่จะเคลื่อนที่ตามกันไปเป็นแผ่นเป็นระเบียบ มีตำแหน่งที่แน่นอน ไม่มีการกีดขวางทางกัน การไหลแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อของไหล ไหลด้วยความเร็วต่ำและมีความหนืดสูง

2.1.1.2 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

คือการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่มีลักษณะหมุนวนและมีตำแหน่งไม่แน่นอน จะเกิดขึ้นเมื่อของไหลไหลด้วยความเร็วสูงกว่าแบบราบเรียบมากและเป็นของไหลที่มีความหนืดต่ำ

2.1.2 อัตราการไหล (Flow rate)

คือ ปริมาณของของไหลที่ไหลผ่านหน้าตัดใดๆต่อหน่วยเวลา อัตราการไหลแบ่งออกเป็น 3 อย่าง คือ

2.1.2.1 อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate, Q)

คือการไหลของของไหลโดยปริมาตรเทียบกับเวลา

$$Q = AV \tag{2.1}$$

2.1.2.2 อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก (Weight flow rate, $\dot{w}$)

คือการไหลของของไหลโดยน้ำหนักเทียบกับเวลา

$$\dot{w} = \gamma A v \tag{2.2}$$

2.1.2.3 อัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate, $\dot{m}$)

คือการไหลของของไหลโดยมวลเทียบกับเวลา

$$\dot{m} = \rho A v \tag{2.3}$$

2.1.3 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลภายในท่อ

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลภายในท่อ (Drag Reduction: DR) เมื่อมีการเติมหรือฉีดสารพอลิเมอร์เข้าไปในท่อระบายน้ำ สามารถคำนวณได้สองแบบคือ การคำนวณจากค่าการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน f หรือการคำนวณจากค่าการเพิ่มของอัตราการไหล Q โดยใช้สมการ;

$$DR\% = 100 \times \left(\frac{f_w - f_p}{f_w} \right) \tag{2.4}$$

โดยที่ f_w และ f_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในกรณีที่ไม่ใช้และใช้สารเติมพอลิเมอร์ในระบบการไหลในท่อน้ำตามลำดับ

$$Q\% = 100 \times \left(\frac{Q_w - Q_p}{Q_w} \right) \tag{2.5}$$

โดยที่ Q_p คือ อัตราการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ และ Q_w คือ อัตราการไหลของน้ำ

2.1.4 เรย์โนลด์ -นัมเบอร์ (Raynold number)

คือ อัตราส่วนของแรงเฉื่อยที่กระทำบนก้อนของของไหลกลายเป็นแรงหนืด แรงเฉื่อยถูกพัฒนามาจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน (F = ma) แรงหนืดเป็นผลมาจากผลคูณของความเค้นเฉือนกับพื้นที่หน้าตัด การไหลที่มีค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์สูง เพราะว่าไหลด้วยความเร็วสูงและมีความหนืดต่ำจะมีแนวโน้มที่จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ส่วนการไหลด้วยความเร็วต่ำ นั้นจะมีค่าความหนืดสูง ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์จะต่ำ มีแนวโน้มที่จะเป็นการไหลแบบราบเรียบค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์จะขึ้นอยู่กับตัวแปร 4 ตัวของของไหล คือ ความหนาแน่น (ρ)ความหนืด (μ) เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (D) และความเร็วเฉลี่ยในการไหล (v) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} \qquad (2.6)$$

2.2 ระบบระบายน้ำในชุมชน

การจัดการระบบระบายน้ำผิวดินในชุมชน ประกอบด้วยองค์ประกอบหลายประการโดยมีจุดประสงค์ที่จะควบคุมปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำ องค์ประกอบหนึ่งที่มักก่อให้เกิดปัญหาในชุมชนอย่างมาก คือ การระบายน้ำการเกิดปัญหาการระบายน้ำไม่ทัน เกิดปัญหาน้ำท่วมขัง ปัญหาน้ำเอ่อล้นในชุมชน จึงมีผลกระทบต่อประชากรในชุมชนเป็นอย่างมาก การจัดระบบน้ำในชุมชนโดยทั่วไปจะมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ใช้ระบายน้ำฝนหรือน้ำเสียจากบ้านเรือนอาคารต่างๆ ก่อนที่จะระบายเข้าระบบรวมน้ำเสียต่อไป การแก้ไขปัญหาสามารถทำได้โดยการศึกษาและหาแนวทางการออกแบบระบายน้ำของชุมชน ให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสม มีความสอดคล้องกับระบบลักษณะทางกายภาพของพื้นที่นั้นๆ ทั้งในแง่ชนิด ขนาดของหน้าตัดและทิศทางการระบาย ระบบระบายน้ำที่มีการออกแบบและก่อสร้างเพื่อใช้งานในชุมชนโดยทั่วไปมีอยู่ 3 แบบคือ

2.2.1 ระบบระบายน้ำฝน (Storm drainage system)

เป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อระบายน้ำฝน โดยเฉพาะเพื่อป้องกันไม่ให้มีน้ำฝนขังอยู่บนพื้นที่ต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดน้ำท่วมขัง การจราจรติดขัด หรือเกิดความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สิน ปริมาณน้ำที่ต้องระบายเป็น ไปตามสมการ (2.7)

$$Q = Q_R + Q_I \qquad (2.7)$$

2.2.2 ระบบระบายน้ำเสีย (Sanitary drainage system)

เป็นระบบที่สร้างขึ้น เพื่อระบายน้ำเสียและน้ำทิ้งโดยเฉพาะ เพื่อป้องกันการระบาดของโรค และเพื่อเป็นการสะดวกต่อการบำบัดและลดค่าใช้จ่ายของระบบบำบัด ปริมาณน้ำฝนที่ต้องระบาย เป็นไปตามสมการ (2.8)

$$Q = Q_w + Q_I \qquad (2.8)$$

2.2.3 ระบบระบายน้ำรวม (Combined drainage system)

ทำหน้าที่ระบายน้ำทั้งน้ำฝนและน้ำเสีย ตามสมการ (2.9)

$$Q = Q_R + Q_I + Q_w \qquad (2.9)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำที่ต้องระบาย m^3/s

Q_R คือ ปริมาณน้ำฝน m^3/s

Q_W คือ ปริมาณน้ำเสียและน้ำทิ้ง m^3/s

Q_I คือ ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้าท่อ m^3/s

ปริมาณน้ำเสียหรือน้ำทิ้งและปริมาณน้ำใต้ดินไหลซึมเข้าท่อมีน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝนอาจตัดทิ้งไม่ต้องนำมาพิจารณาก็ได้

จะได้

$$Q = Q_R + Q_I + Q_W \qquad (2.10)$$

2.3 หลักการออกแบบขนาดท่อระบายหรือรางระบายน้ำ

เมื่อคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการระบายคือปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำเสียและปริมาณน้ำซึมเข้าท่อได้แล้ว ขั้นต่อไปก็คือนำค่าที่ได้ไปออกแบบขนาดหน้าตัดของทางระบายน้ำแต่ละประเภทเพื่อให้รองรับอัตราการไหลทั้งหมดได้ตามความต้องการ โดยปกติการไหลในท่อระบายน้ำจะมีอยู่ 2 กรณี คือ การไหลเต็มท่อซึ่งถือว่าเป็นการไหลภายใต้แรงดัน อีกกรณีคือ การไหลไม่เต็มท่อซึ่งถือว่าเป็นการไหลในทางน้ำเปิด ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องอาศัยการประยุกต์สมการของการไหลแต่ละแบบมาใช้ให้ถูกต้อง

2.3.1 การออกแบบท่อสำหรับการไหลไม่เต็มท่อหรือการไหลแบบรางเปิด

การออกแบบรางระบายน้ำแบบเปิด(Open Channel) จะอาศัยสมการของ Manning ที่ใช้กับการไหลสม่ำเสมอ ตามสมการ

ระบบอังกฤษ $$Q = \frac{1.49}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \qquad (2.11)$$

ระบบ SI $$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \qquad (2.12)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของปริมาณน้ำที่ต้องการระบาย

n คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

R คือ รัศมีชลศาสตร์(ft , m) มีค่าเท่ากับ $\frac{A}{P}$ โดยที่ P คือเส้นขอบเปียก (ft , m)

S คือ ความลาดของเส้นระดับพลังงานหรือของท่อ ในกรณีการไหลสม่ำเสมอ(uniform flow) จะมีค่าเท่ากับความลาดผิวน้ำและลาดท้องน้ำ

ค่า n ใช้ 0.015 สำหรับพื้นผิวคอนกรีต โดยสมมุติว่าเป็นทางระบายน้ำตรง(มีมุมเบนไม่เกิน5องศา) และรวมค่าความสูญเสียเล็กน้อย (miner losses) ต่างๆไว้แล้ว เช่น ที่รอยต่อระหว่างท่อ สำหรับพื้นที่หน้าตัดคลองดินใช้ค่า n เท่ากับ 0.025 – 0.03 ขึ้นกับสภาพคลอง

2.3.2 การออกแบบท่อภายใต้ความดัน

ในกรณีแหล่งรับน้ำมีระดับสูงกว่าระดับน้ำตรงจุดออกของระบบระบายน้ำลักษณะการไหลของน้ำจะพิจารณาในลักษณะของ Steady Pressured Flow ระบบระบายน้ำจะเป็นระบบท่อแรงดัน (Pressure Pipe Flow) และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของระบบระบายน้ำจะคำนวณโดยใช้สมการ Darcy – Weisbach

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{v^2}{2g} \qquad (2.13)$$

เมื่อ h_f คือ การสูญเสียหลักเนื่องจากความฝืด (m)

f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

L คือ ความยาวท่อ (m)

v คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในท่อ (m/s)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

นำทั้งสองสูตรมาพิจารณาร่วมกับ Hazen – Williams จะออกแบบหาขนาดท่อได้ดังนี้

สูตร Manning (น้ำไหลไม่เต็มท่อ)

$$D = [3.21Q\frac{n}{\sqrt{s}}]^{3/8} \qquad (214)$$

สูตร Darcy (น้ำไหลเต็มท่อและไหลเรียบ)

$$D = [0.811\frac{f}{s}\frac{Q^2}{s}]^{0.2} \qquad (2.15)$$

สูตร Hazen – Williams

$$D = [\frac{SC_{H}^{1.85}}{10.7Q^{1.85}}.]^{0.025} \quad (2.16)$$

เมื่อ C_H คือ สัมประสิทธิ์ ของ chezy มีค่า 80 – 140 ของท่อตามสภาพ

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์ของ Chezy(C_H) ของท่อแต่ละประเภท

ชนิดท่อ	C_H
ท่อตรงและเรียบมาก	140
ท่อเรียบมาก	130
ท่อไม้หรือท่อปูนฉาบ	120
ท่อเหล็กใหม่มีมุด ท่อดินเผา	110
ท่อเหล็กเก่า ท่ออิฐ	100
ท่อเหล็กเก่ามีมุดย้ำ	95
ท่อเหล็กเก่ามากสภาพโทรม	60-80

ในการคำนวณหาขนาดของท่อตามที่แล้วๆมา ซึ่งยุ่งยากต้องทดลองแทนค่า f ดังนั้น Smamce และ Jain ได้พัฒนาสมการซึ่งสามารถคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อโดยตรง ดังสมการ (2.17)

$$D = 0.66[e^{1.25}(\frac{LPQ^2}{gh_f})^{4.75} + VQ^{9.4}(\frac{LR}{gh_f})^{5.2}]^{0.04} \quad (2.17)$$

โดยที่ $3\times10^{-3} < \mathrm{Re} < 3\times10^{3}$ และ $10^{-6} < e/d < 10^{-2}$

เมื่อ e = Roughness Coefficient = 0.001(สำหรับคอนกรีต)

v = Kinematic viscosity ของน้ำ $0.804\times10^{6} m/s$ ที่ 30 องศา

Re = Reynolds Number $\frac{\rho vD}{\mu}$

2.4 เกณฑ์การออกแบบท่อระบายหรือรางระบายน้ำ

2.4.1 เกณฑ์การออกแบบทั่วไป

ความเร็วต่ำสุดในท่อกำหนดที่ 0.6 m/s ซึ่งเป็นความเร็วที่สามารถทำความสะอาดท่อได้ด้วยตัวเอง (self cleaning velocity) ค่าที่แนะนำคือ 0.90 m/s สำหรับท่อน้ำฝนที่เป็นคอนกรีต ความเร็วสูงสุดในท่อไม่เกิน 3 m/s กันการกัดกร่อนท่อ

- ความลาดท่อ
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไม่ต่ำกว่า 150 mm (6 in)
- ระยะดินปกคลุมท่อต่ำสุด 30 – 60 cm.

2.4.2 ความลาดของท่อ

เพื่อให้ได้ความเร็วตามกำหนดความลาดเอียดท่อต่ำสุดไม่น้อยกว่า 0.0006 หรือตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความลาดเอียงท่อขั้นต่ำสำหรับความเร็วหนึ่งๆเมื่อน้ำไหลเต็มท่อ (จากสูตรของManning)

ขนาดท่อ ($mm.$)	ความลาดต่ำสุดเพื่อรักษาความเร็วในเส้นท่อ					
	0.45 m/s		0.6 m/s		0.75 m/s	
	n = 0.013	n = 0.015	n = 0.013	n = 0.015	n = 0.013	n = 0.015
200	0.0019	0.0025	0.0033	0.0045	0.0052	0.0070
250	0.0014	0.0019	0.0024	0.0033	0.0037	0.0052
300	0.0011	0.0015	0.0019	0.0026	0.0030	0.0040
380	0.00079	0.0011	0.0014	0.0019	0.0022	0.0030
450	0.00062	0.00084	0.0011	0.0015	0.0017	0.0023
600	0.00043	0.00056	0.00077	0.0010	0.0012	0.0016

2.4.3 ระยะห่างสูงสุดของบ่อตรวจระบาย

ระยะห่างสูงสุดสำหรับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆเป็นดังนี้

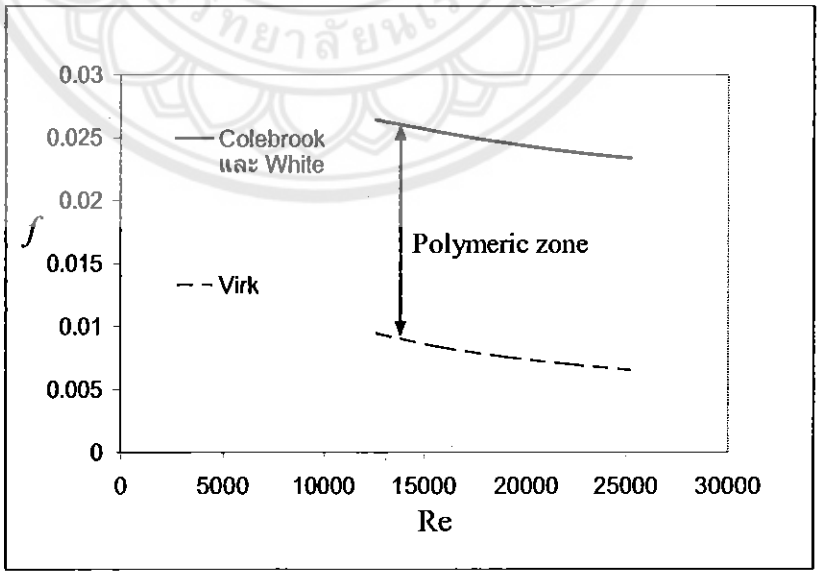
2.4.3.1 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 600 mm.ระยะห่างไม่เกิน 100 เมตร

2.4.3.2 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 700-1200 mm.ระยะห่างไม่เกิน 120 เมตร

2.4.3.3 ท่อเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1200 mm.ระยะห่างให้อยู่ในดุลพินิจของวิศวกรและสภาพแวดล้อม

2.5 คุณสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์

สารละลายพอลิเมอร์บางจำพวกจะมีลักษณะเป็นลูกโซ่ยาว เมื่อมีการฉีดหรือเติมสารละลายพอลิเมอร์เพียงเล็กน้อย (น้อยกว่า 100 ในล้านส่วนโดยน้ำหนัก) ลงในท่อที่มีการไหลแบบปั่นป่วนของน้ำ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผนังท่อจะถูกลดลงได้อย่างมาก การลดแรงเสียดทานในการไหลแบบปั่นป่วนนี้ จะมีลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจอยู่ ซึ่งสามารถแสดงได้ตามแผนภูมิแสดงใน รูปที่ 2.1 จะพบว่าการลดแรงเสียดทานโดยการเติมสารพอลิเมอร์ในการไหลแบบปั่นป่วนในท่อแนวราบนั้นขึ้นอยู่กับค่า Re และจะตกอยู่ในช่วงที่เรียกว่า polymeric zone ซึ่งอยู่ระหว่างเส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (f) สองเส้นคือ เส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของของไหล นิวโทเนียน ตามกฎของ Prandtl-Von Karman ซึ่งหาค่าได้จากสมการความสัมพันธ์ของ Colebrook and White เป็นลิมิตบน (upper limit) และเส้นการลดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของ Virk เรียกว่า Virk asymptote ซึ่งเป็นลิมิตล่าง (lower limit)

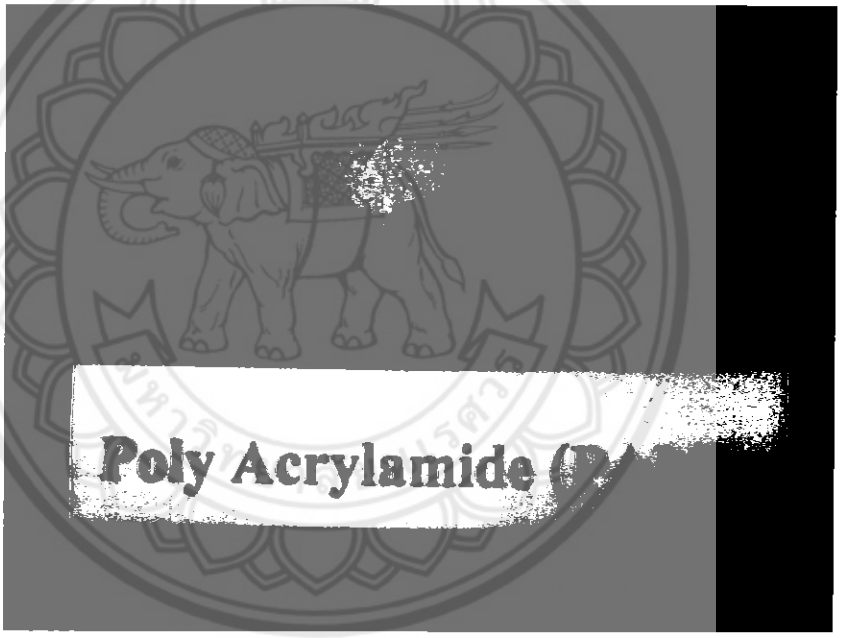


รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงเส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของการไหลและช่วงของการลดแรงเสียดทาน

2.6 ชนิดของพอลิเมอร์

2.5.1 Poly Acrylamide (PAM)

Poly acrylamide (IUPAC poly(2-propenamide) คือ พอลิเมอร์ (-CH2CHCONH2-) ที่จัดอยู่ในรูปของหน่วย acrylamide ที่สามารถ cross-linked (พันธะที่เชื่อมโยงพอลิเมอร์ของโซ่อื่นๆ) ได้ทันทีทันใด Acrylamide มีการนำไปใช้ในปฏิบัติการในห้องทดลองได้ดี (เช่น การนำไปทำสวมใส่เป็นถุงมือ เสื้อกาวน์ เป็นต้น และมีการใช้ในระบบการทำงานที่ปลอดภัย) ควรหลีกเลี่ยงให้ห่างไกลจากแสงแดดซึ่งอาจทำให้ PAM ไม่อยู่ในรูปของพอลิเมอร์และเกิดสารที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ประสาท แต่โดยปกติ PAM จะอยู่ในรูปของพอลิเมอร์ซึ่งไม่เป็นพิษ การใช้งาน PAM ส่วนใหญ่คือใช้เพื่อช่วยในการตกตะกอน หรือจับเป็นก้อนของแข็งในของเหลว กระบวนการนี้ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสีย และกระบวนการทำกระดาษ



รูปที่ 2.2 Poly Acrylamide (PAM)

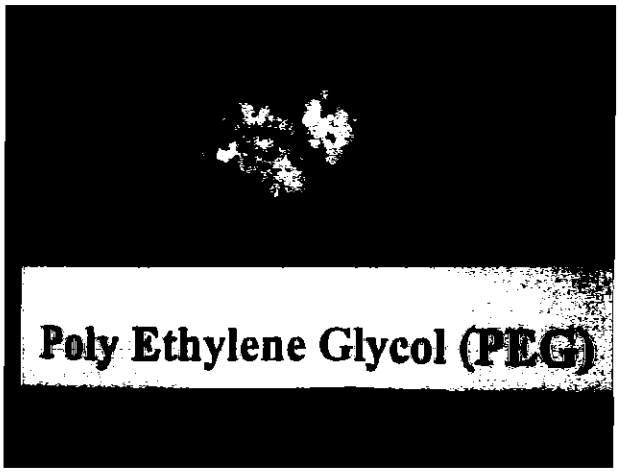
2.5.2 Poly Aluminum Chloride (PAC)

Poly Aluminum Chloride (PAC) หรือ เกลืออะลูมิเนียม เป็นสารประเภทพอลิอนินทรีย์ มีสูตรทางเคมี คือ $[Al(OH)_nCl_{6-n}]_m$ หรือ $Al_n(OH)_mCl_{(3m-n)}$ เมื่อ 0 < m > 3n เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลใหญ่ สารอะลูมิเนียมคลอไรด์ ดังกล่าวมีความเป็นเบสแรงและมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก (+) มีคุณสมบัติในการจับตัวสูง คุณสมบัติคล้ายสารส้มคือสามารถทำให้เกิดการตกตะกอนในกระบวนการผลิตน้ำได้และมีความเสถียรภาพมาก ลักษณะทั่วไปของ PAC อาจอยู่ในรูปของสารละลายใสหรือขุ่นเล็กน้อย หรืออยู่ในรูปของผงละเอียดสีเหลืองนวล ส่วนคุณสมบัติในการลด Friction นั้นต้องศึกษาในระดับอนุภาคคือเมื่อเราปล่อยสาร PAC ลงไปผสมกับน้ำแล้ว PAC จะทำให้โมเลกุลของน้ำเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้นน้ำจะไหลได้เร็วขึ้นและแรงยึดระหว่างโมเลกุลลดลง ทำให้ความต้านทานการไหล (f) ลดลงด้วย

รูปที่ 2.3 Poly Aluminum Chloride (PAC)

2.5.3 Poly Ethylene Glycol (PEG)

Poly Ethylene Glycol (PEG) เป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมยา หรือรู้จักกันในชื่อ Poly Ethylene Oxide (PEO) หรือ Poly Oxyethylene (POE) Poly Ethylene Glycol เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง ethylene oxide กับน้ำ คุณสมบัติของมันคือทำให้น้ำมีความหนืดมากขึ้น เช่นในอุตสาหกรรมยาสีฟัน หรือการทำลูกกระสุนสำหรับกีฬาเพนท์บอล แต่ในปัจจุบันอาจถูกแทนที่ด้วยส่วนผสมที่ถูกกว่าเมื่อ PAG ผสมน้ำจะมีความยืดหยุ่นซึ่งทำให้แรงดันผ่านเนื้อเยื่อเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์ในการทดลองทางชีวเคมี



รูปที่ 2.4 Polyethylene glycol (PEG)

2.5.4 Guargum

กัวกัมเป็นโพลีแซคคาไรด์ ชนิดหนึ่งอยู่ในประเภทเฮทเทอโรโพลีแซคคาไรด์มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองนวล มีสมบัติเป็นสารที่ไม่ทำให้เกิดเจล แต่สามารถกระจายตัว และอุ้มน้ำได้ดีในน้ำเย็น จึงใช้ทำหน้าที่หลักเป็นสารเพิ่มความหนืด เพิ่มความคงตัว และอุ้มน้ำ เมื่อนำมาใช้ร่วมกับพอลิเมอร์แซนแทนกัม จะทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารละลายกัวกัมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ pH เวลา ความเข้มข้น การกวน และขนาดของอนุภาค เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากกัวกัม เป็นสารที่ไม่มีขั้ว และทนต่อ pH ได้ช่วงกว้างคือ pH 4-10 ทำให้สามารถเติมอีเลคโทรไลท์ได้เป็นจำนวนมาก แต่ถ้ามีความเข้มข้นของอีเลคโทรไลท์สูงกว่าร้อยละ 5 จะมีผลต่อการอุ้มน้ำและการเกิดเจล กัวกัมจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูงสุดที่ pH 7.5-9.0

รูปที่ 2.5 Guargum

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

ในการออกแบบและสร้างถังควบคุมความดันและปริมาณของน้ำ จำเป็นที่จะต้องควบคุมปัจจัยของเวลาและความดันของน้ำ ข้อมูลพื้นฐานและเงื่อนไขที่เรากำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างถัง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ลักษณะและหลักการทำงานของถังควบคุมความดัน

รูปแบบของถังควบคุมความดันของน้ำจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยหลังจากที่เติมน้ำเข้าไปในถังจนเต็ม กำหนดความดันได้คงที่แล้วปล่อยน้ำหรือน้ำที่ผสมพอลิเมอร์ลงมา โดยใช้การเอียงท่อและปริมาณความเข้มข้นของพอลิเมอร์เป็นปัจจัยศึกษาที่ใช้ในการทดลอง น้ำจะถูกปล่อยออกมาผ่านท่อที่เครื่องชั่งน้ำหนัก แล้วทำการจับเวลาว่าน้ำที่ 50 กิโลกรัมใช้เวลาเท่าใด แล้วนำเวลาที่ได้ไปคำนวณหาความเร็ว ทำการหาค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากที่สุด

รูปที่ 3.1 ถังความดันที่ต่อกับปั๊มลมและท่อน้ำ

3.2 ข้อมูลพื้นฐานและเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบ

ในการทดลองต้องควบคุมปัจจัยหลายอย่างให้มีความเที่ยงตรงมากที่สุด เพื่อให้สะดวกและสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ จึงได้ กำหนดเงื่อนไขต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.2.1 ปริมาณของน้ำในถังควบคุมความดันจะมีปริมาณ 50 kg

3.2.2 ความดันที่ใช้ภายในถัง จะมีความดันเกจ 0.2 bar (เราจะใช้ความดันที่คงที่เท่าไรก็ได้ เพื่อที่จะใช้ควบคุมความเร็วของน้ำให้คงที่)

3.2.3 น้ำที่ใช้เป็นน้ำที่มีอุณหภูมิโดยประมาณ 20 °C มีค่าความหนืดของน้ำ ที่ 0.00102 $N.s/m^2$

3.2.4 ใช้พอลิเมอร์ชนิด PAC ความเข้มข้นที่เราใช้ผสมกับน้ำอยู่ที่ 10, 50 และ 100 ppm

3.2.5 ระยะทางจากจุดปล่อยน้ำ – ปลายทาง ยาว 4 m

3.2.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ส่งน้ำ เท่ากับ 20 mm

3.2.7 ความสูงจากจุดปล่อยน้ำถึงพื้นเท่ากับ 110 cm

3.2.8 ควบคุมความเร็วของน้ำโดยการเปิดวาล์วที่องศาต่างๆ

3.2.9 มุมเอียงที่จะทำให้เกิดผลของแรงโน้มถ่วงอยู่ที่ 0° 3° และ 10°

3.3 การคำนวณและออกแบบ

ในการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ ได้กำหนดปริมาณน้ำและน้ำที่ผสมพอลิเมอร์ที่ 50 kg เพื่อหาว่า ในอัตราการไหลที่เท่ากันน้ำและน้ำที่ผสมพอลิเมอร์ มีเวลาที่ใช้แตกต่างกันมากหรือน้อย หลังจากที่ได้เวลาแล้วจึงนำไปหาความเร็วและเรย์โนลด์-นัมเบอร์

3.3.1 สมการและการคำนวณ

ขั้นตอนในการคำนวณหาขนาดถังควบคุมความดันน้ำในการทดลอง

3.3.1.1 ข้อกำหนด

ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm.

อุณหภูมิของน้ำที่ 20 °c ($\mu = 0.00102 \ \ N.(s/m^2)$)

ใช้ช่วง Re 10,00 – 40,000(ใช้ Re=40,000 เนื่องจากใช้เวลาน้อยที่สุด)

เวลาที่ใช้ในการคำนวณ 1 นาที

3.3.1.1 สมการที่ใช้

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v D}{\mu} \tag{3.1}$$

$$Q = Av \tag{3.2}$$

$$V = Q \times \Delta t \tag{3.3}$$

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{3.4}$$

3.3.1.3 ขั้นตอนการคำนวณ

จากสมการที่ (3.1) จะหา ความเร็วได้จาก

$$v = \frac{\mathrm{Re}\,\mu}{\rho D}$$

$$v = \frac{40{,}000 \times 0.00102}{1{,}000 \times 0.02} = 2.04 m/s$$

จากสมการ (3.2) จะหาอัตราการไหลได้จาก

$$Q = Av$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times v = \frac{\pi (0.02)^2}{4} \times 2.04 = 6.4056 \times 10^{-4} m^3/s$$

จากสมการ (3.3) เราจะหาขนาดของถังบรรจุน้ำได้จาก

$$V = Q \times \Delta t = 6.4056 x 10^{-4} \times 60 = 0.0384 m^3$$

จากสมการ (3.4) หามวลของน้ำได้จาก

$$m = \rho V = 1{,}000 \times 0.0384$$

$$m = 38.4 kg$$

3.3.1.4 สัดส่วนของพอลิเมอร์ที่ใช้ผสมกับน้ำ

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาสัดส่วน

สัดส่วนที่ 10 ppm จะต้องใช้พอลิเมอร์ 0.5 กรัม

$$\frac{10}{10^6} = \frac{x}{50}$$

สัดส่วนที่ 50 ppm จะต้องใช้พอลิเมอร์ 2.5 กรัม

$$\frac{50}{10^6} = \frac{x}{50}$$

สัดส่วนที่ 100 ppm จะต้องใช้พอลิเมอร์ 5.0 กรัม

$$\frac{100}{10^6} = \frac{x}{50}$$

3.4 การออกแบบอุปกรณ์ที่ทำการทดลอง

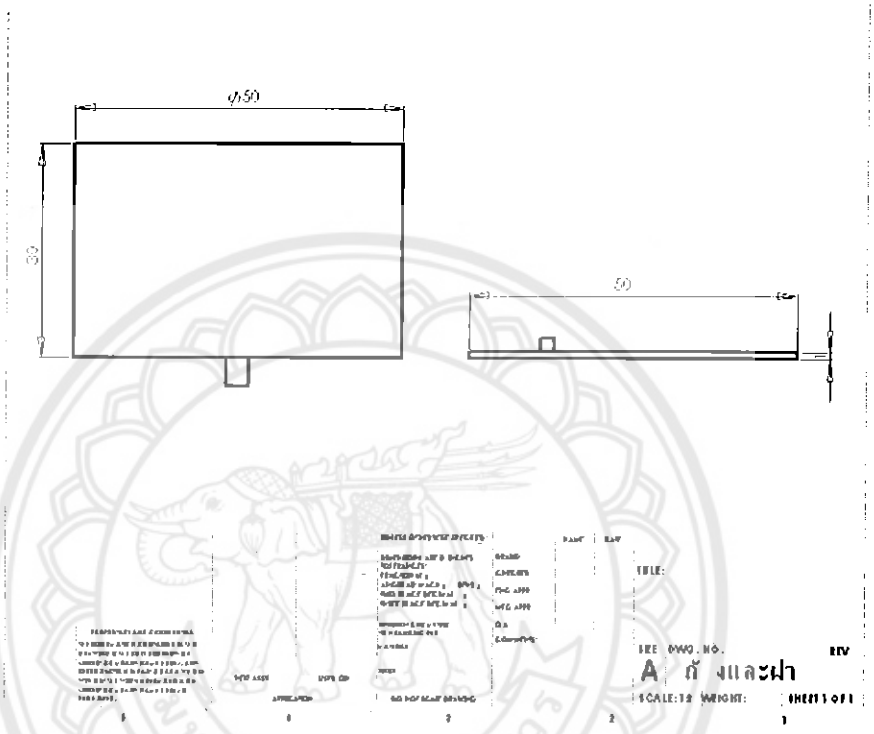
3.4.1 ถัง ระบบท่อลม และท่อน้ำ

ในการทดลองเราได้กำหนดถังที่สามารถบรรจุน้ำขนาด 50 kg และมีวาล์วที่นำน้ำเข้าและวาล์วลมที่ป้อนอากาศเข้าไปแทนความดันภายในที่เปลี่ยนแปลง โดยความดันที่ได้จะแสดงผลจากเกจวัดความดันภายใน ดังรูปที่ 3.2

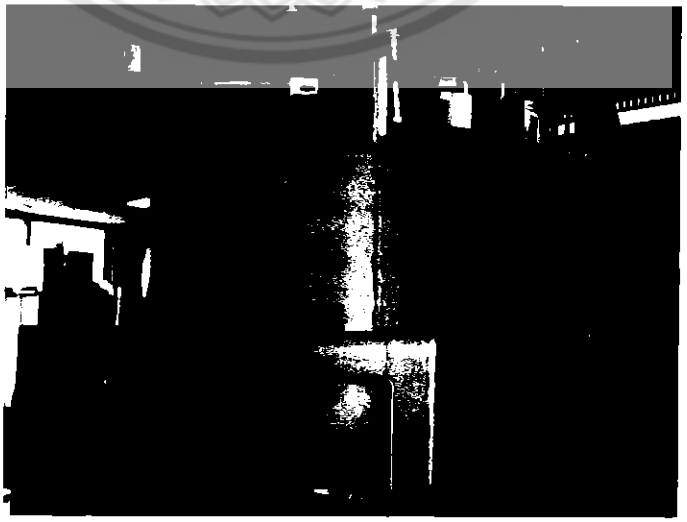
รูปที่ 3.2 แสดงถัง ระบบท่อลม และท่อน้ำ

3.4.2 ถังความดัน

สำหรับโครงสร้างของถังที่เราต้องการบรรจุน้ำ 50 kg และมีที่ที่สามารถอัดอากาศเพื่อทดแทนน้ำในถังแล้ว ยังต้องคำนึงถึงเวลาที่เราจะบรรจุน้ำเข้าไปในถังด้วย เราจึงได้ออกแบบถังที่มีฝาปิด ดังรูปที่ 3.3และ รูปที่ 3.4



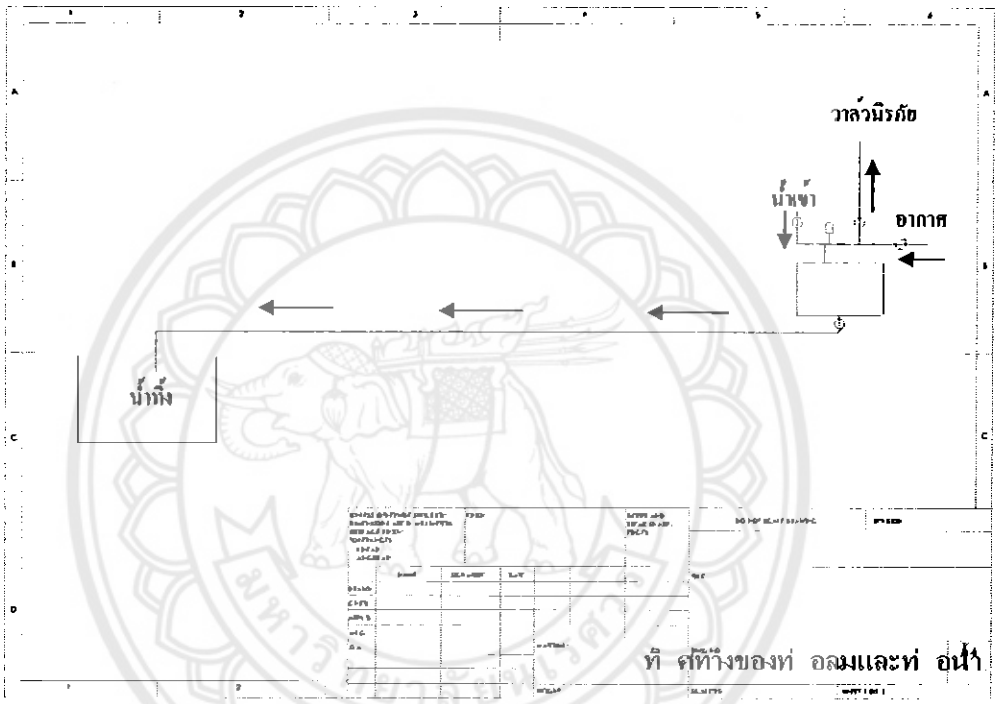
รูปที่ 3.3 เป็นภาพ 2 มิติที่ประกอบด้วย ตัวถังความดันและฝาปิด



รูปที่ 3.4 เป็นภาพของถังความดันที่ติดตั้งอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อย

3.4.3 ทิศทางของท่อลมและท่อน้ำ

ในส่วนของระบบท่อลมและท่อน้ำได้ออกแบบให้มีการทำงานในทิศทางเดียว โดยการทำงานจะใช้อากาศทดแทนน้ำที่ไหลออกไปแล้วเพิ่มความดันเข้าไปในถังเพื่อรักษาระดับความดันที่ต้องการผ่านเกจวัดความดันให้คงที่ เมื่อได้ความดันที่เราต้องการแล้วจึงเริ่มปล่อยน้ำออกจากถัง ถ้าความดันภายในถังมีความดันที่ไม่คงที่ สามารถทำการปรับความดันวาล์วนิรภัยได้ ลักษณะของทิศทางการไหลจะแสดงใน รูปที่ 3.5

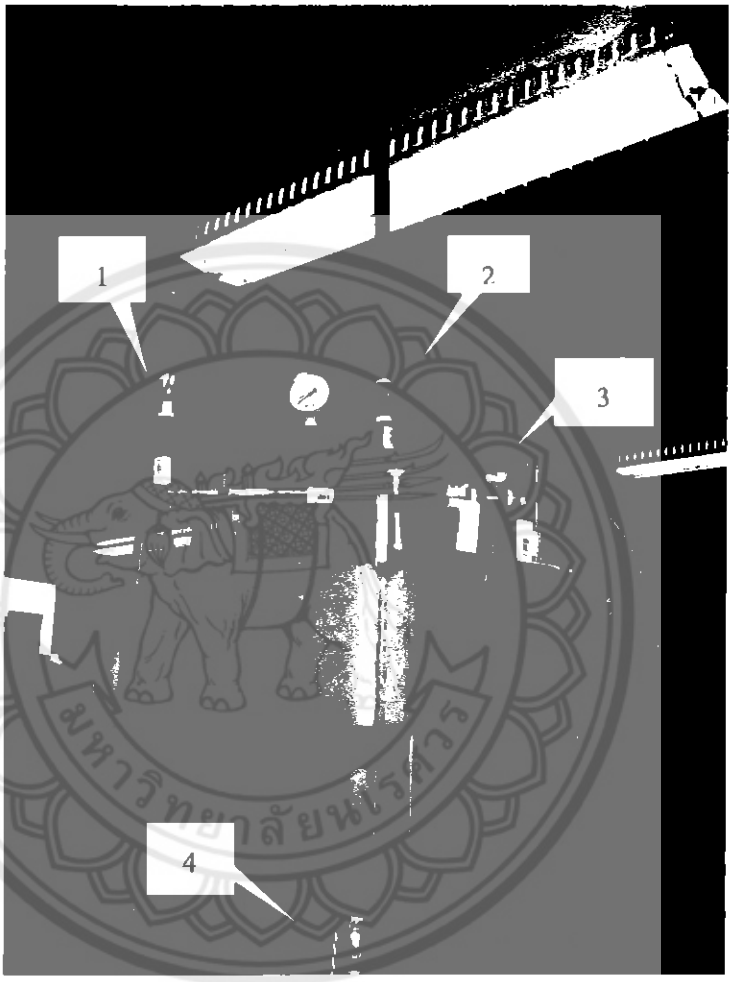


รูปที่ 3.5 แสดงถึงเส้นทางการไหล ของน้ำ และลม ที่เข้าไปยังในถัง

จากรูปที่ 3.5 จุดวงกลมแสดงถึงตำแหน่งของวาล์ว จุดสี่เหลี่ยมแสดงถึงเกจวัดความดัน

3.5 การดำเนินการทดลอง

ในการทดลองเพื่อหาค่าเวลาของอัตราการไหลของน้ำและน้ำที่ผสมพอลิเมอร์ เราจะวัดค่าความแตกต่างของเวลามีแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด แล้วนำเวลาที่ได้ไปสร้างกราฟเพื่อสังเกตถึงความแตกต่างของน้ำที่ผสมและไม่ผสมพอลิเมอร์



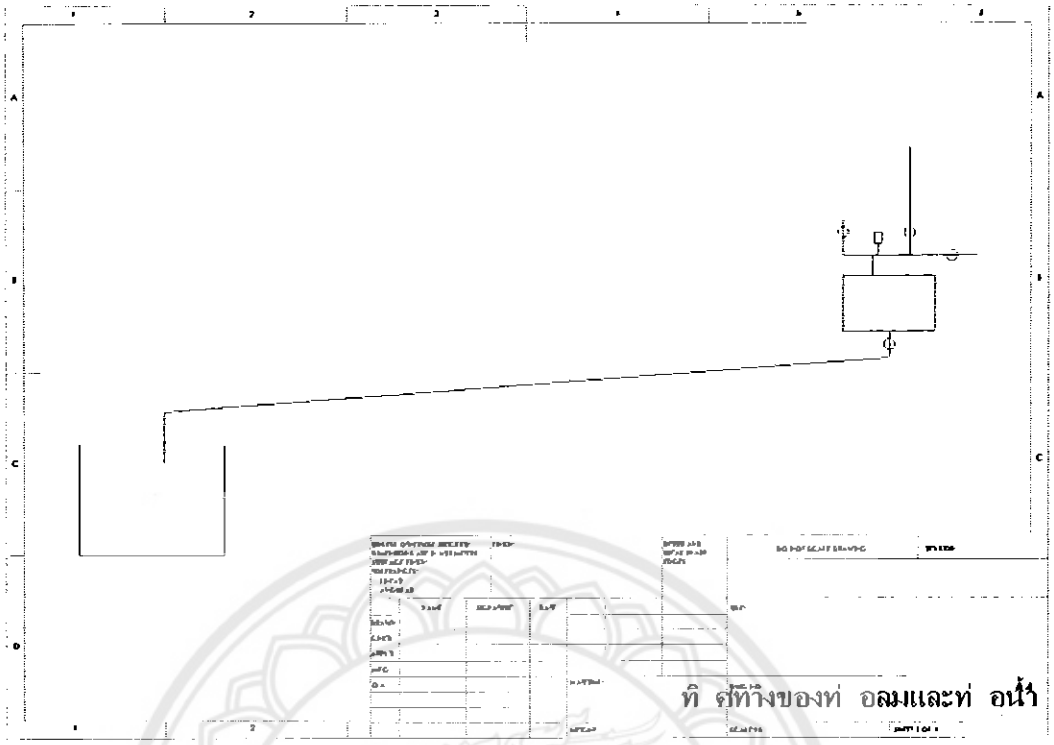
รูปที่ 3.6 จะแสดงถึงตำแหน่งของวาล์วที่มีหน้าที่ต่างกัน

จุดที่ 1 แสดงถึงตำแหน่งของวาล์วทางน้ำเข้าถัง

จุดที่ 2 แสดงถึงตำแหน่งของวาล์วนิรภัย

จุดที่ 3 แสดงถึงตำแหน่งของวาล์วที่ลมเข้า

จุดที่ 4 แสดงถึงวาล์วปล่อยน้ำ

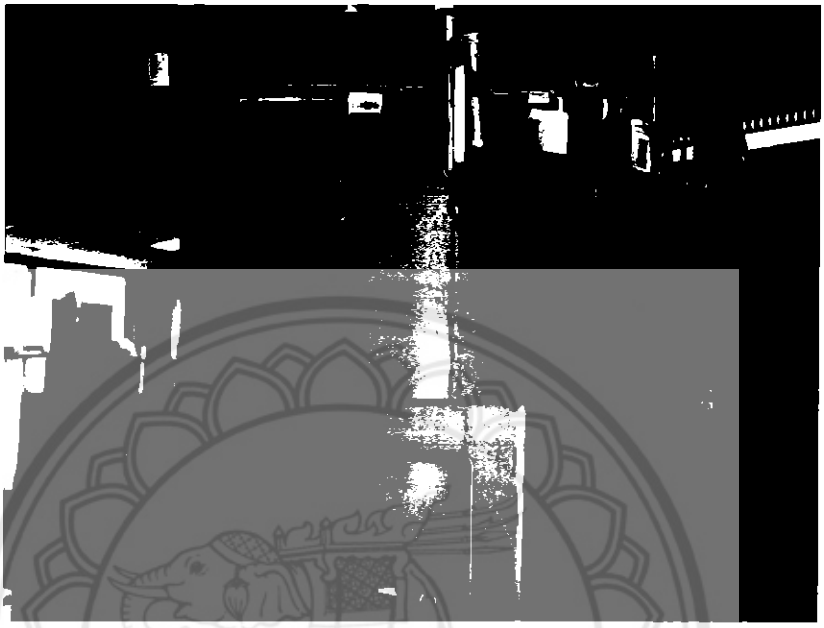


รูปที่ 3.7 จะแสดงถึงแนวท่อที่ลาดเอียง

3.6. อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

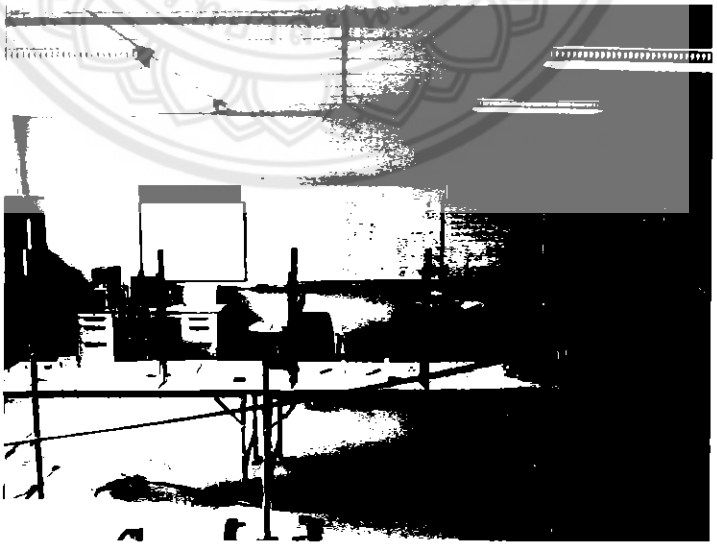
3.6.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.6.1.1 ถังปรับความดันที่บรรจุน้ำได้ 50 kg



รูปที่ 3.8 ถังบรรจุน้ำขนาด 50 kg

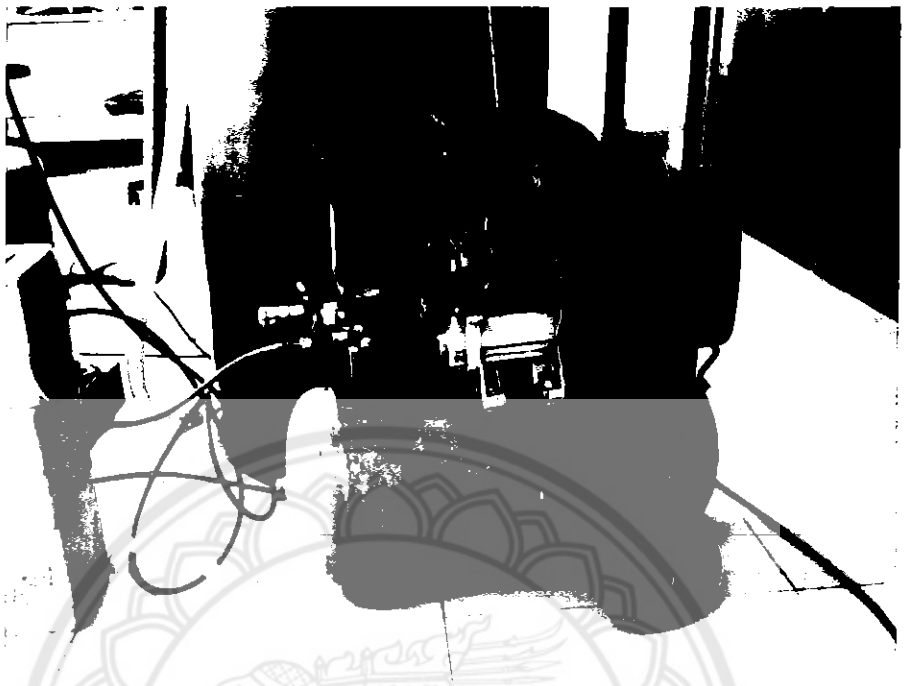
3.6.1.2 ท่อ PVC ยาว 4 เมตร ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ท่อ PVC ยาว 4 เมตร

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.6.1.3 ปั๊มลม ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ปั๊มลม

3.6.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.6.2.1 เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์เสร็จแล้ว ให้บรรจุน้ำเข้าถังให้เต็มทำการปิดวาล์วน้ำเข้าและทำการปิดฝาถังให้สนิท

3.6.2.2 ทำการอัดอากาศเข้าถังและควบคุมให้ความดันเกจอยู่ที่ 0.2 bar โดยใช้วาล์วนิรภัยในการควบคุมความดันให้คงที่ เมื่อได้ความดันที่ต้องการแล้วจึงรักษาระดับการเปิดวาล์วนิรภัยไว้

3.6.2.3 ทำการเปิดวาล์วระบายน้ำที่ใต้ถังความดัน โดยวาล์วที่อยู่ใต้ถังจะติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถปรับองศาได้ โดยการปรับองศาวาล์วจะเป็นตัวควบคุมค่าเรย์โนลด์ – นัมเบอร์ ซึ่งค่าเรย์โนลด์ – นัมเบอร์ จะเป็นไปตามตารางที่ 3.1

1555498
ปร.
ว662ก
2557

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาวาล์วและการปรับค่าเรย์โนลด์ – นัมเบอร์

องศาท่อ(θ)	องศาวาล์ว(θ)	เรย์โนลด์ – นัมเบอร์ (Re)
0	60	60304.48
	50	46942.01
	40	35874.22
	30	21325.75
3	60	62453.28
	50	49878.49
	40	37402.52
	30	23665.22
10	60	64857.61
	50	53382.3
	40	40994.93
	30	27455.24

3.6.2.4 ทำการจับเวลาโดยเริ่มจับเวลาเมื่อชั่งน้ำหนักได้ 2 kg

3.6.2.5 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อที่จะนำเวลามาหาค่าเฉลี่ย

3.6.2.6 ทำการบันทึกเวลาเพื่อนำเวลาที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.6.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.6.3.1 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยของเวลา

3.6.3.2 นำข้อมูลที่เฉลี่ยแล้วไปคำนวณหาค่า อัตราการไหล และ ค่าเรย์โนลด์ – นัมเบอร์

3.6.3.3 สร้างกราฟเปรียบเทียบ และนำไปหาประสิทธิภาพในการระบายน้ำและน้ำที่ผสมพอลิเมอร์

3.6.3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

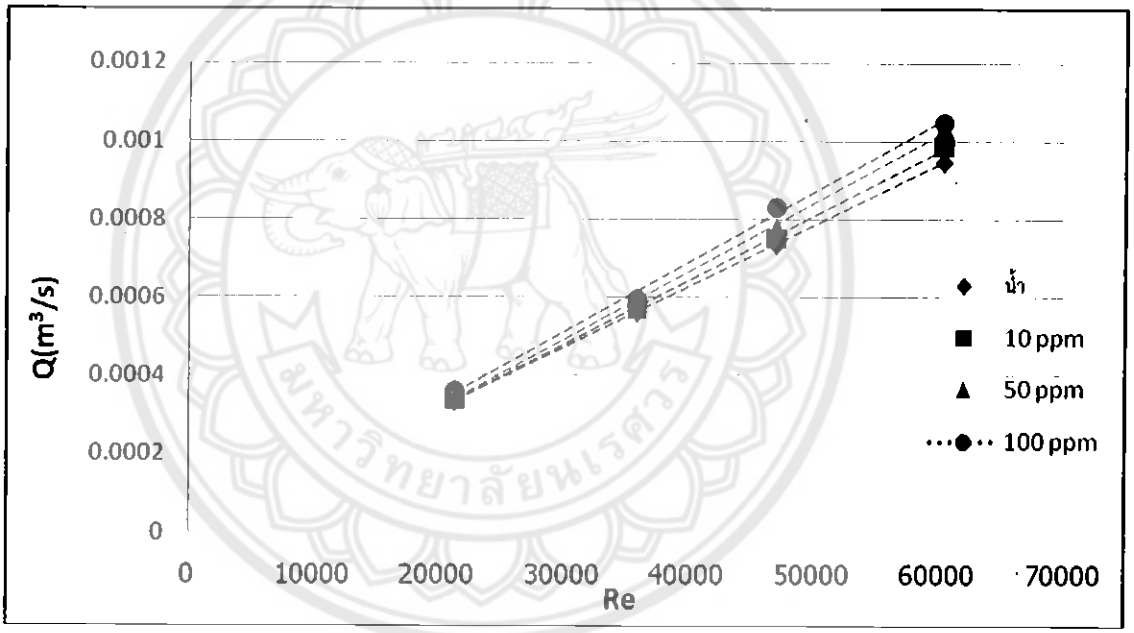
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเติมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10,50 และ 100 ppm

เมื่อหาค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ และอัตราการไหลของน้ำและน้ำที่ผสมพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆได้แล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมาเปรียบเทียบกันโดยให้แกน X เป็นค่าเรย์โนลด์ – นัมเบอร์ (Re) และแกน Y เป็นอัตราการไหล (Q)

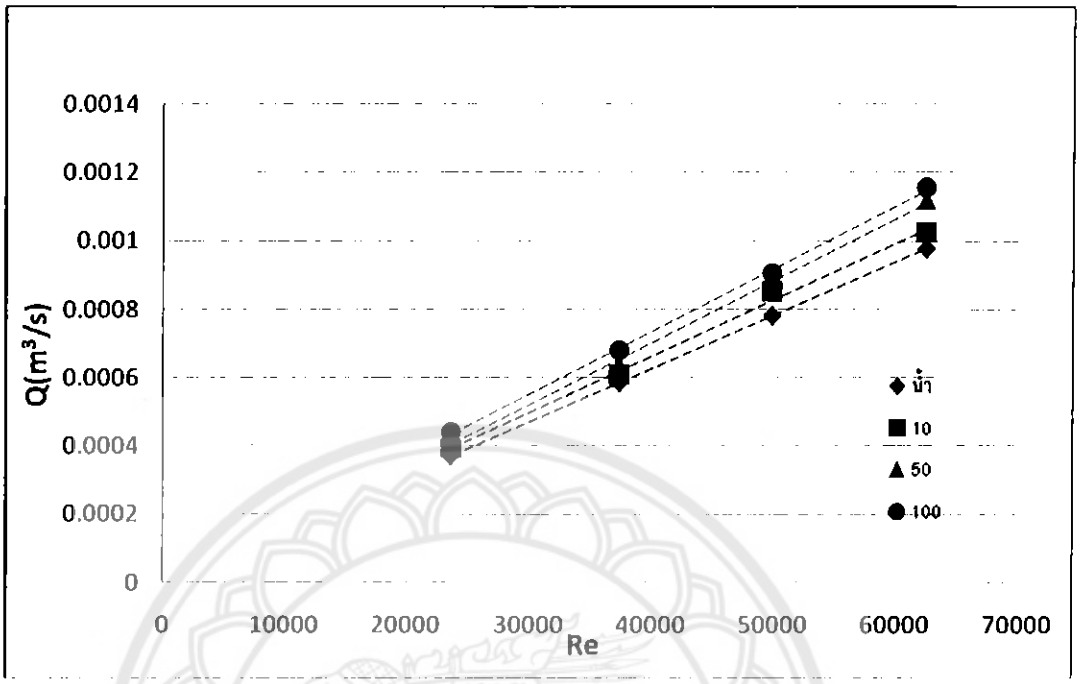
4.1.1 ผลการทดลองของการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่แนวระดับ



รูปที่ 4.1 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ที่มุมเอียงของท่อ 0 องศา

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 50 และ100 ppm ลงในถังทดลอง จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้ เช่น ที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ 20,000 จะได้อัตราการไหลของน้ำ 0.00033 m^3/s และอัตราการไหลของน้ำที่ผสมพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 50 และ100 ppm จะได้ 0.00034, 0.00035, 0.00036 m^3/s ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ ต่างๆเมื่อเราเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 50 และ100 ppm จะมีอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำ

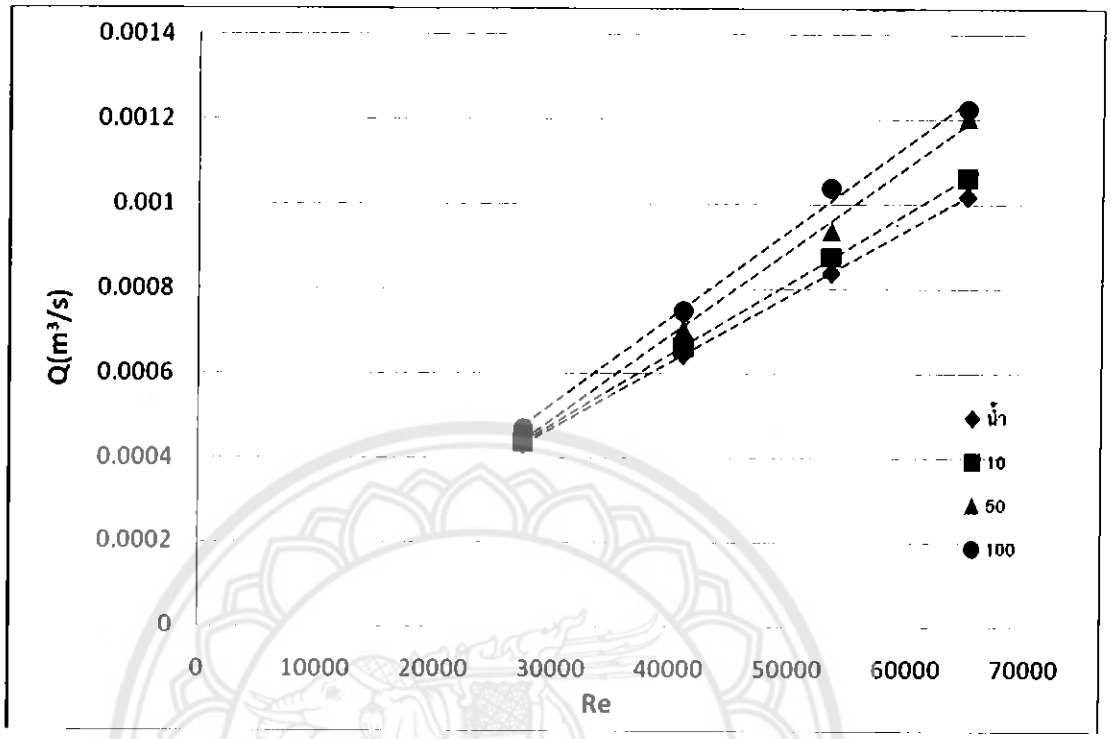
4.1.2 ผลการทดลองของการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่การเอียงท่อ 3 องศา



รูปที่ 4.2 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ที่มุมเอียงของท่อ 3 องศา

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 50 และ100 ppm ลงในถังทดลอง จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้ เช่น ที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ 23,000 จะได้อัตราการไหลของน้ำ 0.00037 m^3/s และอัตราการไหลของน้ำที่ผสมพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 50 และ100 ppm จะได้ 0.00039, 0.00042, 0.0004 m^3/s ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ ต่างๆเมื่อเราเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 50 และ100 ppm จะมีอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำ

4.1.3 ผลการทดลองของการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่การเอียงท่อ 10 องศา



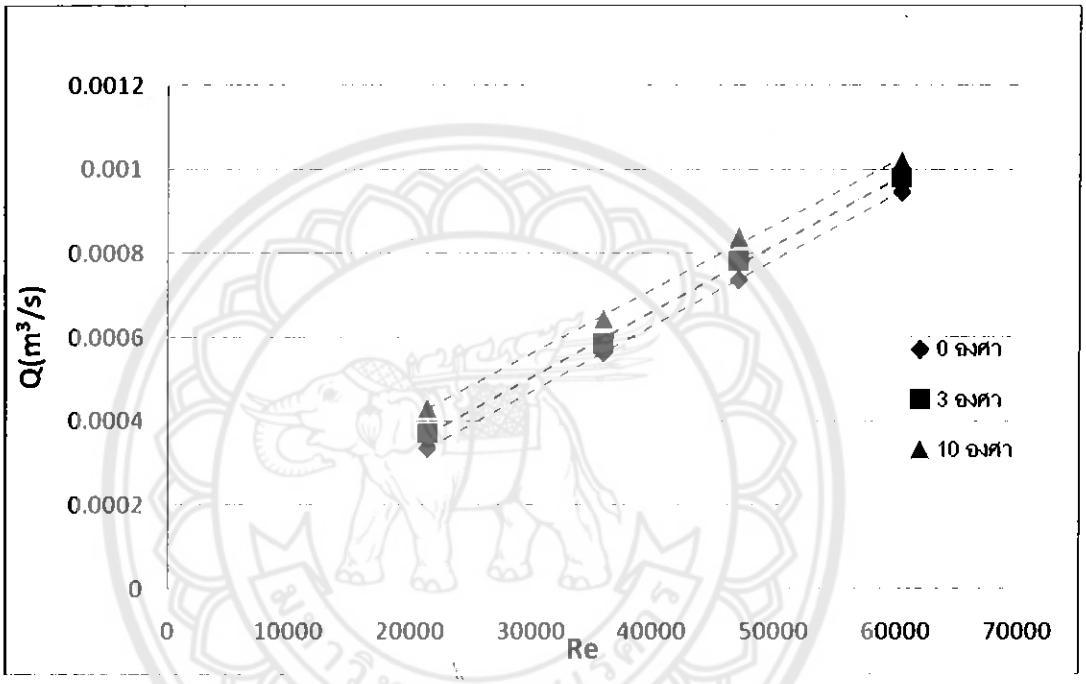
รูปที่ 4.3 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ที่มุมเอียงของท่อ 10 องศา

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 50 และ100 ppm ลงในถังทดลอง จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้ เช่น ที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ 27,000 จะได้อัตราการไหลของน้ำ 0.00043 m^3/s และอัตราการไหลของน้ำที่ผสมพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 50 และ100 ppm จะได้ 0.00044, 0.00045, 0.00047 m^3/s ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ ต่างๆเมื่อเราเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 50 และ100 ppm จะมีอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำ

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเอียงท่อ

ผลการทดลองนี้เป็นการนำอัตราการไหลของน้ำและน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ที่เกิดจากการเอียงท่อมาเปรียบเทียบกันโดยให้แกน X เป็นค่าเรย์โนลด์ – นัมเบอร์ (Re) และแกน Y เป็นอัตราการไหล (Q)

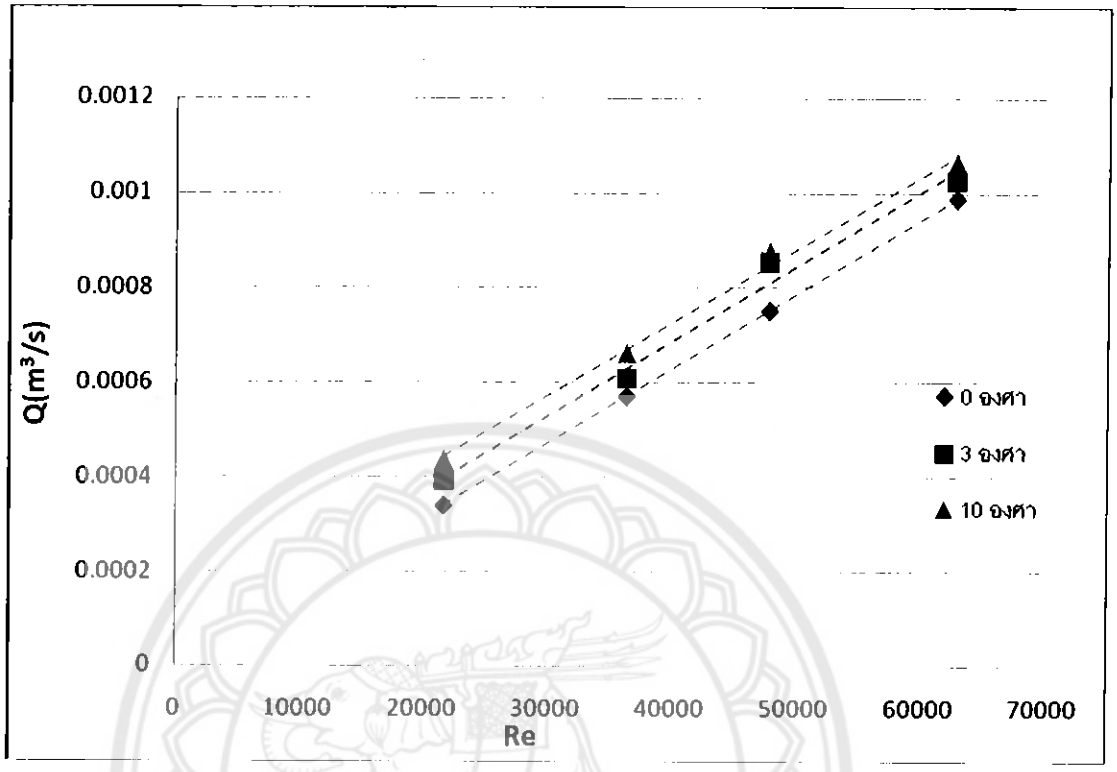
4.2.1 ผลการทดลองของการเอียงท่อของน้ำ



รูปที่ 4.4 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำ

จากกราฟเป็นการเทียบอัตราการไหลของน้ำที่มุมเอียง 0, 3 และ 10 องศา จะเห็นได้ว่าเมื่อท่อเอียงทำมุม 0 องศา จะมีอัตราการไหลตามค่าของเรย์โนลด์-นัมเบอร์ ตั้งแต่ 20,000 – 60,000เป็น 0.000335, 0.000563, 0.000737 และ 0.000947 m^3/s และเมื่อเอียงท่อขึ้นเป็น 3 องศา จะมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 0.00037, 0.00059, 0.00078 และ 0.00098 m^3/s และเอียงท่อขึ้นเป็น 10 องศา จะมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 0.00043, 0.00064, 0.00084 และ 0.00102 m^3/s ตามลำดับ

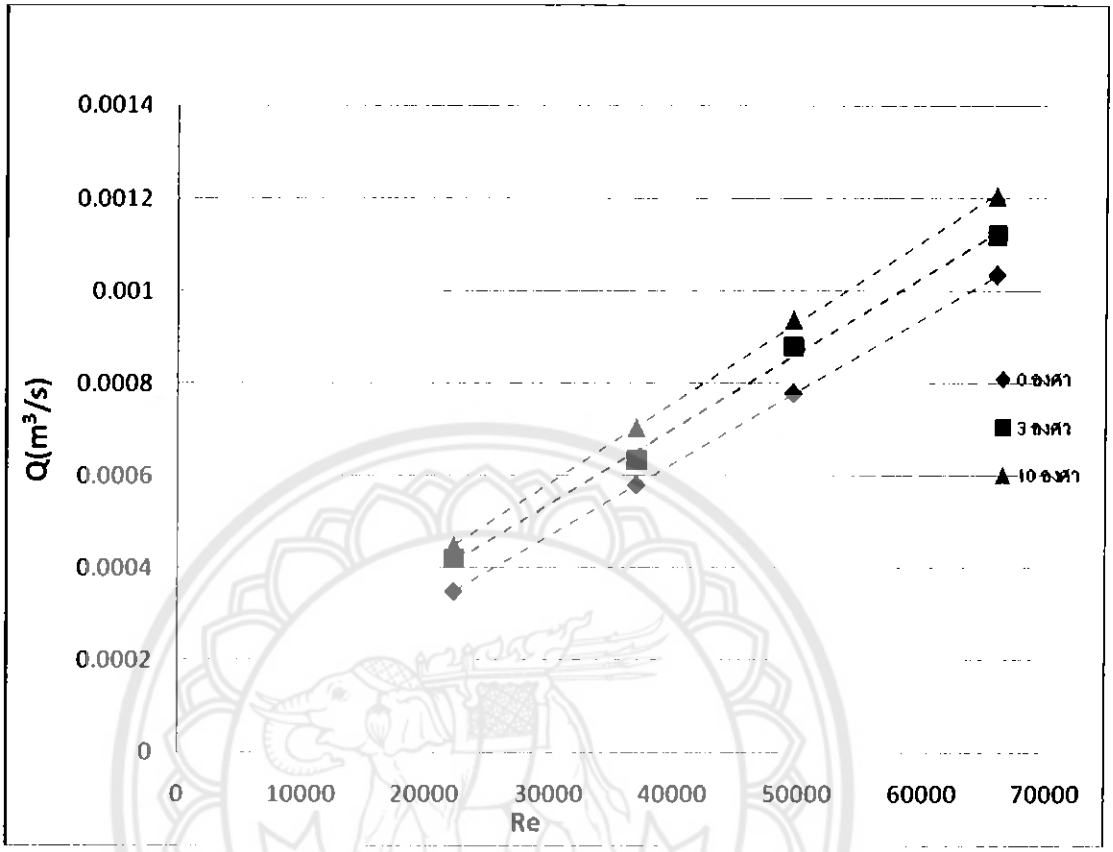
4.2.2 ผลการทดลองของการเอียงท่อของน้ำผสมสารละลายพอลิเมอร์ 10 ppm



รูปที่ 4.5 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของสารละลายความเข้มข้น 10 ppm

จากกราฟเป็นการเทียบอัตราการไหลของน้ำผสมสารละลายพอลิเมอร์ 10 ppm ที่มุมเอียง 0, 3 และ 10 องศา จะเห็นได้ว่าเมื่อท่อเอียงทำมุม 0 องศา จะมีอัตราการไหลตามค่าของเรย์โนลด์-นัมเบอร์ ตั้งแต่ 20,000 – 60,000 เป็น 0.00034, 0.000571, 0.000751 และ 0.000987 m^3/s เมื่อเอียงท่อขึ้นเป็น 3 องศา จะมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 0.00039, 0.00061, 0.00085 และ 0.00103 m^3/s และเมื่อเอียงท่อขึ้นเป็น 10 องศา จะมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 0.00044, 0.00066, 0.00088 และ 0.00106 m^3/s ตามลำดับ

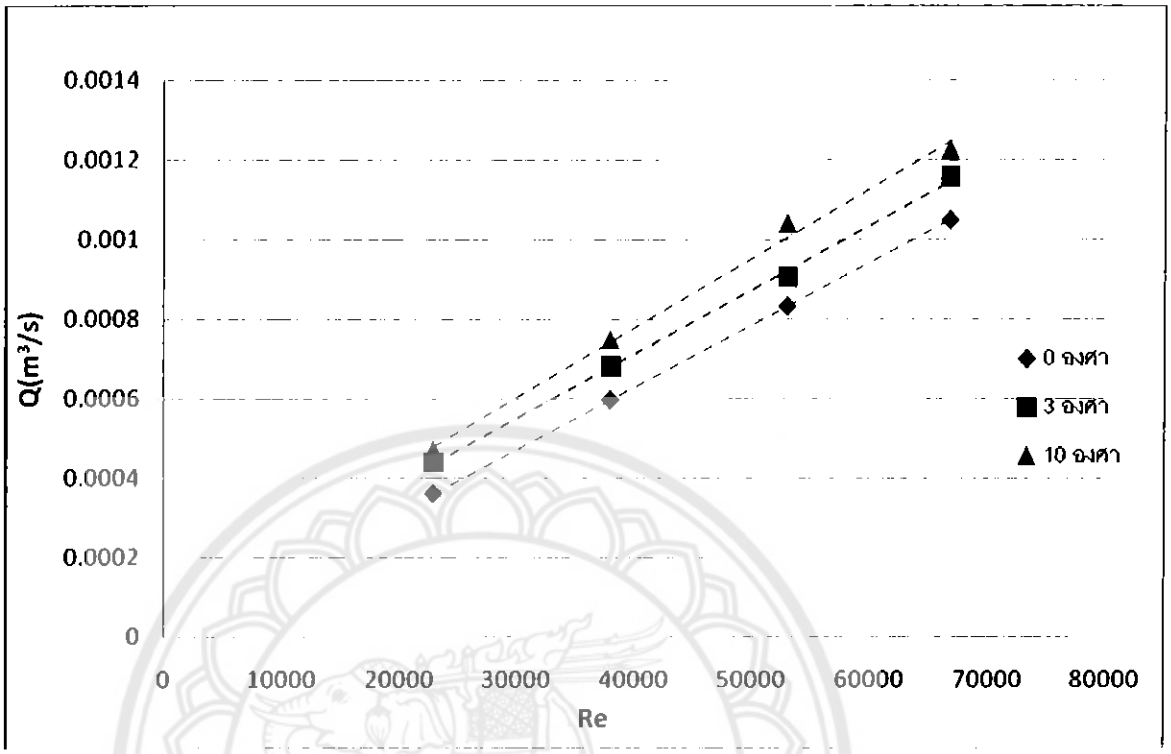
4.2.ผลการทดลองของการเอียงท่อของน้ำผสมสารละลายพอลิเมอร์ 50 ppm



รูปที่ 4.6 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของสารละลายความเข้มข้น 50 ppm

จากกราฟเป็นการเทียบอัตราการไหลของน้ำผสมสารละลายพอลิเมอร์ 50 ppm ที่มุมเอียง 0, 3 และ 10 องศา จะเห็นได้ว่าเมื่อท่อเอียงทำมุม 0 องศา จะมีอัตราการไหลตามค่าของเรย์โนลด์-นัมเบอร์ ตั้งแต่ 20,000 – 60,000 เป็น 0.00035, 0.000581, 0.000779,0.001034 m^3/s และเมื่อเอียงท่อขึ้นเป็น 3 องศา จะมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 0.00042, 0.00064, 0.000880 และ 00112 m^3/s และเมื่อเอียงท่อขึ้นเป็น 10 องศา จะมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 0.00045, 0.00071, 0.00094 และ0.0012 m^3/s ตามลำดับ

4.2.4 ผลการทดลองของการเอียงท่อของน้ำผสมสารละลายพอลิเมอร์ 100 ppm

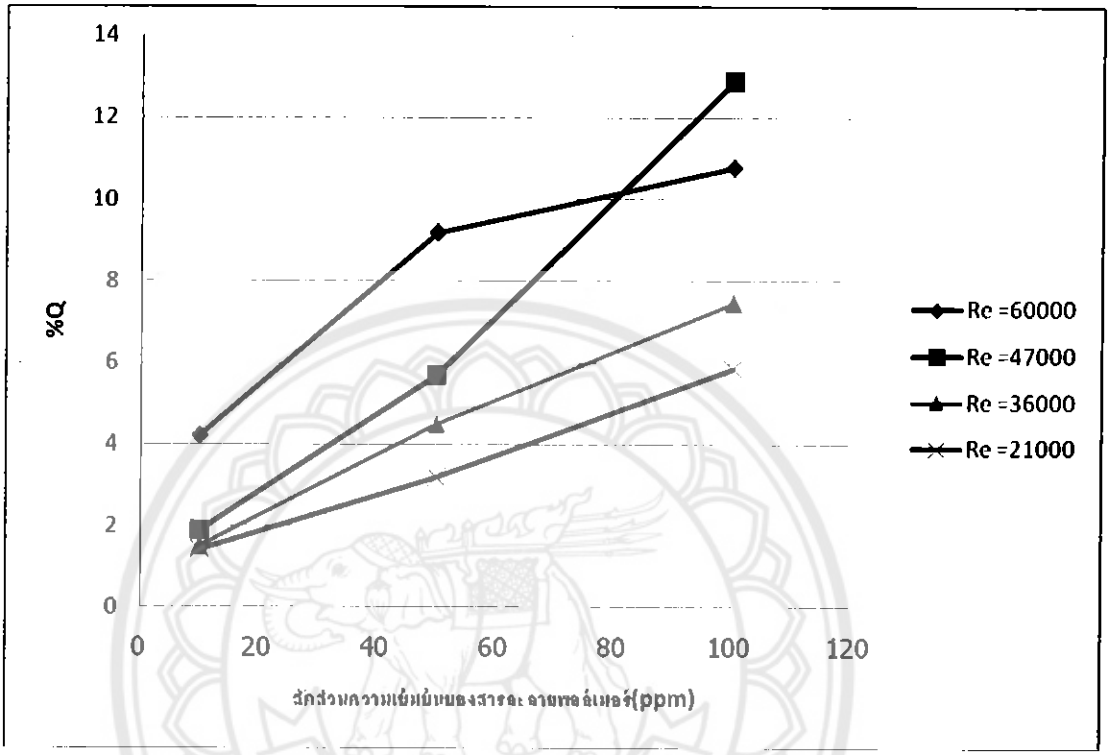


รูปที่ 4.7 กราฟเทียบอัตราการไหลกับค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของสารละลายความเข้มข้น 100 ppm

จากกราฟเป็นการเทียบอัตราการไหลของน้ำผสมสารละลายพอลิเมอร์ 100 ppm ที่มุมเอียง 0, 3 และ10 องศา จะเห็นได้ว่าเมื่อท่อเอียงทำมุม 0 องศา จะมีอัตราการไหลตามค่าของเรย์โนลด์-นัมเบอร์ ตั้งแต่ 20,000 – 60,000 เป็น 0.00036, 0.000596, 0.000832 และ0.001049 m^3/s และเมื่อเอียงท่อขึ้นเป็น 3 องศา จะมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 0.00044, 0.00068, 0.00091 และ 0.00116 m^3/s และเมื่อเอียงท่อขึ้นเป็น 3 องศา จะมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น 0.00047, 0.00075, 0.00104 และ 0.00123 m^3/s ตามลำดับ

4.3 สมรรถนะของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้นต่างๆ

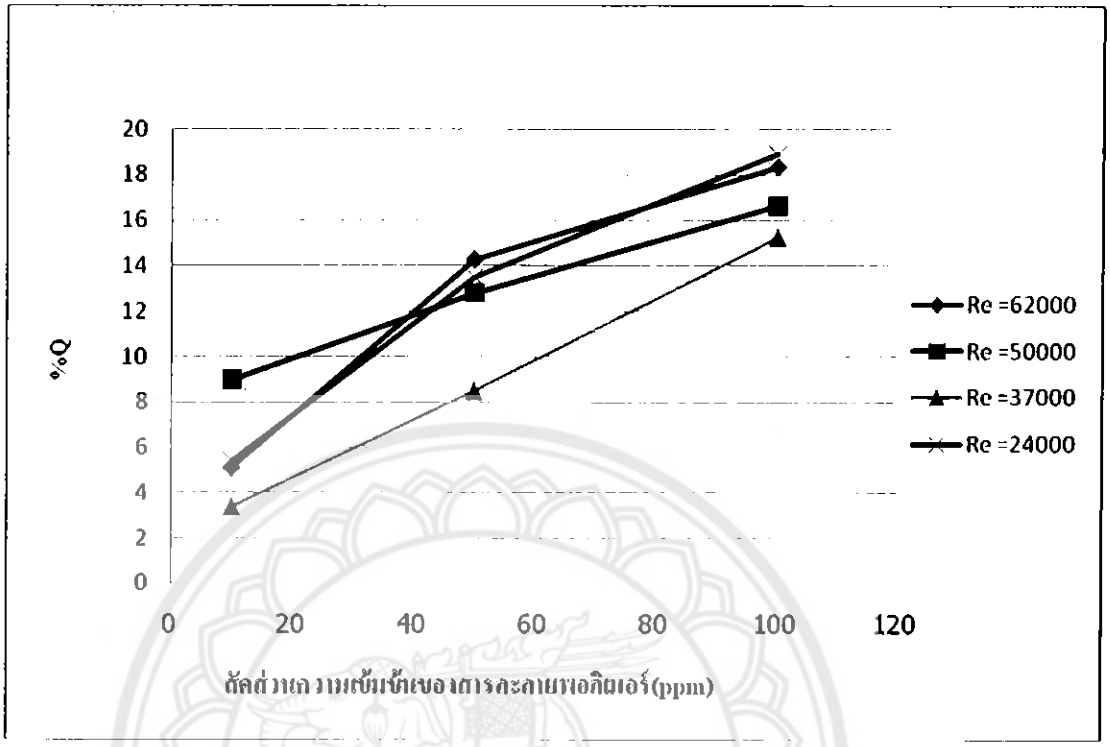
4.3.1 สมรรถนะของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้นต่างๆ ในแนวระดับ



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการไหลผ่านท่อที่วางในแนวระดับ

จากกราฟจะเป็นการบอกถึงสมรรถนะ (%Q) ของแต่ละความเร็ว (ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์) โดยใช้ความเข้มข้นของสารเป็นตัวอ้างอิงคือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 10 ppm จะเห็นว่าอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นที่ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์ ตั้งแต่ 21,000 – 60,000 เท่ากับ 1.50, 1.42, 1.90 และ 4.22 % ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 50 ppm อัตราการไหลเพิ่มขึ้นที่ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์ ตั้งแต่ 21,000 – 60,000 เท่ากับ 4.47, 3.20, 5.70 และ 9.186906 % ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 100 ppm อัตราการไหลเพิ่มขึ้นที่ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์ ตั้งแต่ 21,000 – 60,000 เท่ากับ 7.46, 5.86, 12.90 และ 10.77 % ตามลำดับเมื่อเทียบกับความเร็วน้ำ

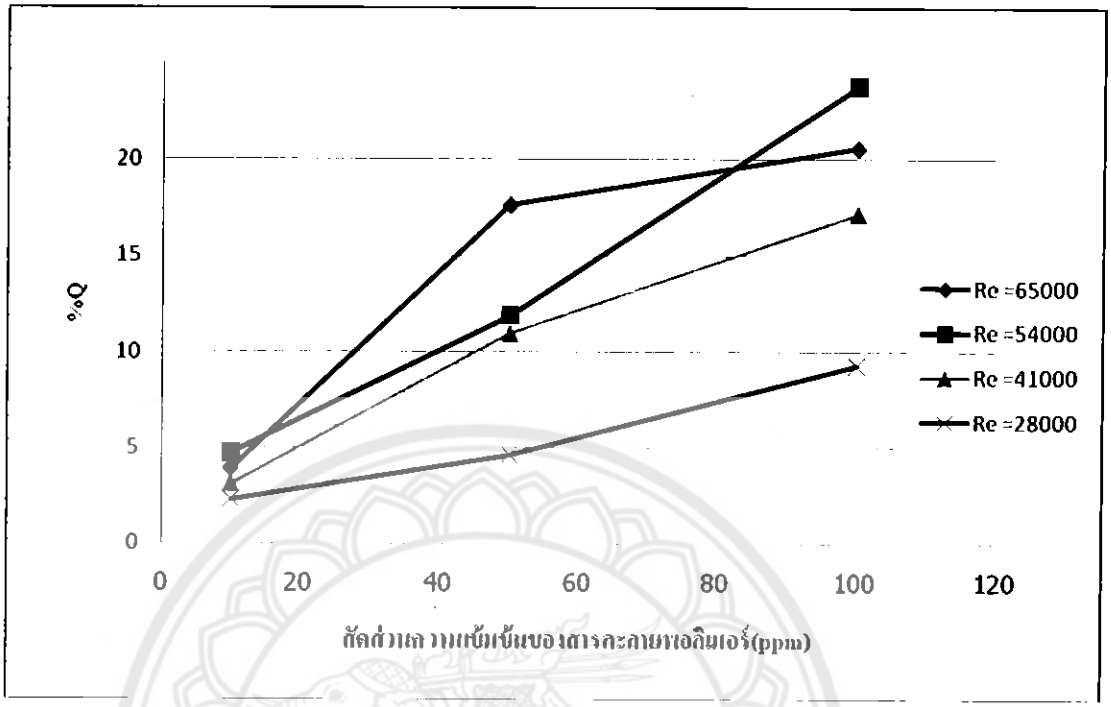
4.3.2 สมรรถนะของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้นต่างๆ ในการเอียงท่อ 3 องศา



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการไหลผ่านท่อที่วางเอียงทำมุม 3 องศากับแนวระดับ

จากกราฟจะเป็นการบอกถึงสมรรถนะ (%Q) ของแต่ละความเร็ว (ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์) โดยใช้ความเข้มข้นของสารเป็นตัวอ้างอิงคือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 10 ppm จะเห็นว่าอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นที่ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์ ตั้งแต่ 24,000 – 62,000 เท่ากับ 5.40, 3.38, 8.97 และ 5.10 % ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 50 ppm จะเห็นว่าอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นที่ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์ ตั้งแต่ 24,000 – 62,000 เท่ากับ 13.51, 8.47, 12.82 และ 14.28 % ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 100 ppm จะเห็นว่าอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นที่ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์ ตั้งแต่ 24,000 – 62,000 เท่ากับ 18.92, 15.25, 16.67 และ18.36 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับความเร็วน้ำ

4.3.3 สมรรถนะของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้นต่างๆ ในการเอียงท่อ10 องศา



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการไหลผ่านท่อที่วางเอียงทำมุม 10 องศากับแนวระดับ

จากกราฟจะเป็นการบอกถึงสมรรถนะ (%Q) ของแต่ละความเร็ว (ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์) โดยใช้ความเข้มข้นของสารเป็นตัวอ้างอิงคือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 10 ppm จะเห็นว่าอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นที่ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์ ตั้งแต่ 28,000 – 65,000 เท่ากับ 2.32, 3.12, 4.76 และ3.92% ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 50 ppm จะเห็นว่าอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นที่ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์ ตั้งแต่ 28,000 – 65,000 เท่ากับ 4.65, 10.9375, 11.90 และ 17.64 % ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 100 ppm จะเห็นว่าอัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นที่ค่าเรย์โนทด์ – นัมเบอร์ ตั้งแต่ 28,000 – 65,000 เท่ากับ 9.30, 17.18, 23.80 และ 20.58 % ตามลำดับเมื่อเทียบกับความเร็วน้ำ

4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

การเติมพอลิเมอร์จะทำให้น้ำมีอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิเมอร์จะมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ ซึ่งทำหน้าที่เหมือนตัวส่งถ่ายพลังงาน โดยพอลิเมอร์จะรับพลังงานของน้ำ ที่มีการไหลแบบ Turbulent Flow ภายในท่อจะเป็นการไหลแบบหมุนวนทำให้มีการสูญเสียพลังงานภายในท่อ พอลิเมอร์จะเข้าไปรับพลังงานที่เกิดจากการหมุนวนนี้ แล้วส่งพลังงานนั้นไปในทิศทางเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำ ทำให้น้ำมีพลังงานในการไหลเพิ่มขึ้น และทำให้น้ำมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นไปด้วย

จากรูปที่ 4.8 – 4.10 นี้ จะทำให้เราเห็นว่ามีกระบวนการผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลองหลายจุด เนื่องจากระหว่างการทดลองนั้น ไม่ได้มีการล้างถัง จึงทำให้มีพอลิเมอร์บางส่วนติดอยู่บริเวณผนังด้านในของถัง จึงทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนและวิธีการนำพอลิเมอร์เข้าไปในถัง ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการทดลองโดยใส่น้ำลงไปในถังครึ่งหนึ่งก่อนแล้วจึงนำสารละลายพอลิเมอร์ฉีดลงไปในถังตามความเข้มข้นที่กำหนด คือ 10, 50 และ 100 ppm แล้วจึงใส่น้ำลงไปในถังอีกจนเต็ม ซึ่งสารละลายพอลิเมอร์ที่ฉีดลงไปในถัง อาจจะไม่กระจายตัว ทำให้สารละลายพอลิเมอร์เข้ากันกับน้ำได้ไม่เต็มที่ดังนั้น จึงควรที่จะทำการล้างถังทุกครั้งที่ทำการทดลองและควรผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากับน้ำได้ดีก่อนนำน้ำเข้าถังเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำ

การเอียงท่อที่มุม 3 และ 10 องศา (เทียบกับแนวระนาบ) พบว่า เมื่อมีการเอียงท่อ อัตราการไหลของน้ำและน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์จะมีอัตราการไหลมากกว่าอัตราการไหลของแนวระนาบ เนื่องจากการเอียงท่อนั้นจะทำให้แรงโน้มถ่วงส่งผลต่ออัตราการไหลได้มากขึ้น ทำให้น้ำมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น การที่น้ำมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้โครงสร้างสายโซ่ขาดไปบางส่วน ทำให้สมรรถนะของพอลิเมอร์ลดลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

สารละลายพอลิเมอร์มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำ คือ สารละลายพอลิเมอร์มีความสามารถที่จะทำให้โมเลกุลของน้ำเรียงตัวกันเป็นระเบียบมากขึ้นและทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง เนื่องจากพอลิเมอร์จะมีโครงสร้างเป็นสายโซ่แบบเส้นตรง ซึ่งทำหน้าที่เหมือนตัวส่งถ่ายพลังงาน โดยพอลิเมอร์จะรับพลังงานของน้ำที่มีการไหลแบบ Turbulent Flow และการไหลภายในท่อจะเป็นการไหลแบบหมุนวนทำให้มีการสูญเสียพลังงานภายในท่อ พอลิเมอร์จะเข้าไปรับพลังงานที่เกิดจากการหมุนวนนี้ ส่งพลังงานนั้นไปในทิศทางเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำ ทำให้น้ำมีพลังงานในการไหลเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของน้ำจึงมากขึ้น จึงสามารถนำสารละลายพอลิเมอร์มาใช้ในการเพิ่มสมรรถนะของการระบายน้ำได้

แรงโน้มถ่วงของโลกมีผลต่ออัตราการไหลของน้ำ คือ การเคลื่อนที่ของของไหลหรือของน้ำจะสามารถไหลได้หรือเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้นั้น จะต้องอาศัยแรงเนื่องจากน้ำหนักของของไหลชนิดนั้นแต่การที่จะเกิดแรงภายในเนื่องจากน้ำหนักได้จะต้องอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นตัวกำหนดความเร็วของของไหล

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำและน้ำผสมสารละลายพอลิเมอร์ โดยกำหนดมุมเอียงของท่อที่ 3 และ 10 องศาและค่าความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ 10, 50 และ 100 ppm เพื่อพิจารณาตัวแปรปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำและน้ำผสมสารละลายพอลิเมอร์ จากการทดลองจะพบว่าที่ความเข้มข้น 100 ppm ให้ค่าอัตราการไหลที่มากที่สุด เนื่องมาจากสารละลายพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นสูงจะมีโครงสร้างเป็นสายโซ่แบบเส้นหนาแน่นมากกว่าสารละลายพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นต่ำ ความสามารถในการรับพลังงานของน้ำจึงมากตามไปด้วย จึงมีผลทำให้อัตราการไหลของน้ำมากที่สุดและที่มุมเอียง 10 องศา ให้ค่าอัตราการไหลที่มากที่สุด เนื่องมาจากการเอียงท่อที่องศามาก จะทำให้แรงโน้มถ่วงสามารถทำงานได้มากขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำมากที่สุด

5.2 ข้อจำกัดในการทดลอง

5.2.1 พบข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทดลองที่ทำให้สมรรถนะของพอลิเมอร์ลดลงได้ ซึ่งเกิดจากการเติมสารการทดลอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ปรับปรุงกระบวนการเติมสารละลายพอลิเมอร์โดยการกวนสารก่อนใส่ถังเพื่อให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากับน้ำให้ดีก่อน(ผสมอีกถัง)

5.3.2 เมื่อทำการทดลองเสร็จในแต่ละครั้งควรล้างถัง เพื่อล้างพอลิเมอร์ที่ตกค้างอยู่ในถัง

เอกสารอ้างอิง

[1] คมสัน วงศ์วีรขันธ์. กลศาสตร์ของของไหล. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2548

[2] โชตติไกร ไชยวิจารณ์. วิศวกรรมชลสตร์ . กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น) , 2546

[3] ธงชัย พรรณสวัสดิ์. คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำเสีย และน้ำฝน. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2539

[4] ศรินทร์ทิพย์ แทนธานี. กลศาสตร์ของของไหล. มหาวิทยาลัยนเรศวร , 2542

[5] Munson, R.B.et.al. Fundamentals of fluid mechanics. John Wiley and Sons, 2006

[6] Lumley, J.L Drag reduction by additives, *Annu. Rev. Fluid Mech*; Vol.1, 1969.

[7] Sellin, R.H., et. al The effect of drag reducing additives on fluid flows and their industrial applications. Part 1: Basic aspects, *Journal of Hydraulics Research*; Vol.20, 1982.

[8] Virk, P.S. Drag reduction fundamental, *AIChE. J.* ; Vol.21, 1975

ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ก 1 ตารางบันทึกผลการทดลองในแนวท่อเอียง 0, 3 และ 10 องศา ใช้ตารางการทดลองชนิดเดียวกัน

องศาวาล์ว	น้ำ		พอลิเมอร์ที่ 10 ppm		พอลิเมอร์ที่ 50 ppm		พอลิเมอร์ที่ 100 ppm	
60								
50								
40								
30								

ภาคผนวก ข

ตารางคุณสมบัติของน้ำ

ตารางที่ ข 1 ตารางแสดงคุณสมบัติของน้ำ

ที่มา : http://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d_596.html

Temperature (t) $(^{\circ}c)$	Dynamic Viscosity (μ) $(N \times s/m^2) \times 10^{-3}$	Kinematic Viscosity (ν) $(m^2/s) \times 10^{-6}$
0	1.787	1.787
5	1.519	1.519
10	1.307	1.307
20	1.002	1.004
30	0.798	0.801
40	0.653	0.658
50	0.547	0.553

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณและผลการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์ - นัมเบอร์

การคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ และค่าตัวแปลต่างๆ ใช้ค่าเฉลี่ยเวลาจากการทดลอง

คำนวณหาเวลาเฉลี่ย

$$t_a = \frac{[t + t + t]}{3}$$

$$t_a = \frac{[52.43 + 51.11 + 54.86]}{3}$$

$$t_a = 52.8 \ \text{s}$$

อัตราการไหลโดยมวลทั้งหมด

$$\dot{m} = \left[\frac{mass_{water}}{t_a}\right]$$

$$\dot{m} = \left[\frac{50}{52.8}\right]$$

$$\dot{m} = 0.97 \quad kg/s$$

อัตราการระบายน้ำทิ้งทั้งหมด

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$Q = \frac{0.974}{1000}$$

$$Q = 0.00097 \ \ m^3/s$$

การคำนวณหาความเร็ว

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0.000974}{0.000314}$$

$$v = 3.02 \ \ m/s$$

ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ที่ได้จากการคำนวณ

$$\mathrm{Re} = \frac{pvD}{u}$$

$$\mathrm{Re} = \frac{1000 \times 3.016 \times 0.02}{1.002 \times 10^{-3}}$$

$$\mathrm{Re} = 60080$$

ตารางที่ ค 1 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำ มุมท่อ 0 องศา											
$valve(\theta^{\circ})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	Q(m^3/s)	A(m^2)	V(m/s)	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	52.43 51.11 54.86	52.8	50	0.94	0.000947	0.000314	3.01	0.001002	1000	0.02	60304.48
50	68.57 68.38 66.54	67.83	50	0.73	0.00073	0.000314	2.35	0.001002	1000	0.02	46942.01
40	89.54 88.15 88.58	88.75	50	0.56	0.00056	0.000314	1.80	0.001002	1000	0.02	35874.22
30	150.12 148.41 149.39	149.30	50	0.33	0.00033	0.000314	1.07	0.001002	1000	0.02	21325.75

ตารางที่ ค 2 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 10 ppm มุมท่อ 0 องศา											
$valve(\theta^{\circ})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	$Q(m^3/s)$	$A(m^2)$	$V(m/s)$	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	51.56 49.79 50.64	50.66	50	0.98	0.00100	0.000314	3.14	0.001002	1000	0.02	62847.75
50	66.37 67 66.25	66.54	50	0.75	0.00075	0.000314	2.39	0.001002	1000	0.02	47852.07
40	88.15 87.23 87.36	87.58	50	0.57	0.00057	0.000314	1.82	0.001002	1000	0.02	36356.21
30	147.94 146.93 146.17	147.01	50	0.34	0.00034	0.000314	1.08	0.001002	1000	0.02	21658.42

ตารางที่ ค 3 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 50 ppm มุมท่อ 0 องศา											
$valve(\theta^{\bullet})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	$Q(m^3/s)$	$A(m^2)$	$V(m/s)$	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	49.1 47.82 48.1	48.34	50	1.03	0.00103	0.000314	3.29	0.001002	1000	0.02	65868.36
50	63.72 64.89 64.01	64.20	50	0.77	0.00078	0.000314	2.48	0.001002	1000	0.02	49591.06
40	85.5 86.87 85.92	86.09	50	0.58	0.00058	0.000314	1.85	0.001002	1000	0.02	36982.58
30	142.85 142.97 143.1	142.93	50	0.35	0.00035	0.000314	1.11	0.001002	1000	0.02	22270.42

ตารางที่ ค 4 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 100 ppm มุมท่อ 0 องศา											
$valve(\theta^{\bullet})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	Q(m^3/s)	A(m^2)	V(m/s)	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	49.1 47.07 46.83	47.66	50	1.04	0.00105	0.000314	3.34	0.001002	1000	0.02	66798.81
50	59.56 59.06 61.68	60.10	50	0.83	0.00083	0.000314	2.65	0.001002	1000	0.02	52979.64
40	83.79 83.53 84.15	83.82	50	0.59	0.00060	0.000314	1.9	0.001002	1000	0.02	37985.56
30	139.87 138.74 138.19	138.93	50	0.36	0.00036	0.000314	1.15	0.001002	1000	0.02	22918.02

ตารางที่ ค 5 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำ มุมท่อ 3 องศา											
$valve(\theta^{\circ})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	$Q(m^3/s)$	$A(m^2)$	$V(m/s)$	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	51.46	50.98	50	0.98	0.00098	0.000314	3.12	0.001002	1000	0.02	62453.28
	51.19										
	50.3										
50	62.39	63.84	50	0.78	0.00078	0.000314	2.50	0.001002	1000	0.02	49878.49
	65.25										
	63.87										
40	85.33	85.13	50	0.58	0.00059	0.000314	1.87	0.001002	1000	0.02	37402.52
	84.78										
	85.28										
30	134.5	134.55	50	0.37	0.00037	0.000314	1.18	0.001002	1000	0.02	23665.22
	135.9										
	133.2										

ตารางที่ ค 6 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 10 ppm มุมท่อ 3 องศา											
$valve(\theta^{\bullet})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	Q(m^3/s)	A(m^2)	V(m/s)	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	48.86 48.33 49.01	48.73	50	1.02	0.00103	0.000314	3.26	0.001002	1000	0.02	65336.73
50	58.73 59.06 57.94	58.57	50	0.85	0.00085	0.000314	2.71	0.001002	1000	0.02	54357.42
40	81.54 82.95 81.76	82.08	50	0.60	0.00061	0.000314	1.94	0.001002	1000	0.02	38790.78
30	127.5 127 126.3	126.9	50	0.39	0.00039	0.000314	1.25	0.001002	1000	0.02	25087.93

ตารางที่ ค 7 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 50 ppm มุมท่อ 3 องศา											
$valve(\theta^{\bullet})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	$Q(m^3/s)$	$A(m^2)$	$V(m/s)$	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	44.9 44.31 44.6	44.60	50	1.12	0.00112	0.000314	3.57	0.001002	1000	0.02	71386.52
50	56.3 57.17 56.93	56.8	50	0.88	0.00088	0.000314	2.80	0.001002	1000	0.02	56057.69
40	78.93 77.84 79.06	78.61	50	0.63	0.00064	0.000314	2.02	0.001002	1000	0.02	40504.73
30	118.7 119.6 118.2	118.86	50	0.42	0.00042	0.000314	1.34	0.001002	1000	0.02	26789.21

ตารางที่ ค 8 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 100 ppm มุมท่อ 3 องศา											
$valve(\theta^{\circ})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	$Q(m^3/s)$	$A(m^2)$	$V(m/s)$	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	43.97 43.2 42.27	43.14	50	1.16	0.00116	0.000314	3.70	0.001002	1000	0.02	73796.58
50	55.09 55.08 55.22	55.13	50	0.91	0.00091	0.000314	2.80	0.001002	1000	0.02	57755.79
40	74.13 73.88 72.02	73.34	50	0.68	0.00068	0.000314	2.17	0.001002	1000	0.02	43413.31
30	112.9 112 114.9	113.2	50	0.44	0.00044	0.000314	1.41	0.001002	1000	0.02	28108.02

ตารางที่ ค 9 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำ มุมท่อ 10 องศา											
$valve(\theta^{\circ})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	Q(m^3/s)	A(m^2)	V(m/s)	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	48.42 50.2 48.66	49.1	50	1.02	0.00101	0.000314	3.25	0.001002	1000	0.02	64857.61
50	60.28 59.72 58.94	59.64	50	0.83	0.000838	0.000314	2.66	0.001002	1000	0.02	53382.30
40	76.06 79.42 77.53	77.67	50	0.64	0.000643	0.000314	2.05	0.001002	1000	0.02	40994.93
30	115.19 116.75 115.98	115.97	50	0.43	0.00043	0.000314	1.37	0.001002	1000	0.02	27455.24

ตารางที่ ค 10 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 10 ppm มุมท่อ 10 องศา											
$valve(\theta^{\bullet})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	$Q(m^3/s)$	$A(m^2)$	$V(m/s)$	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	45.3 47.8 48	47.03	50	1.06	0.00100	0.000314	3.38	0.001002	1000	0.02	67698.29
50	57.9 56.89 56.44	57.07	50	0.87	0.00087	0.000314	2.78	0.001002	1000	0.02	55785.95
40	74 75.31 77.27	75.52	50	0.66	0.00066	0.000314	2.10	0.001002	1000	0.02	42158.30
30	114.32 113.9 114.65	114.29	50	0.43	0.00043	0.000314	1.39	0.001002	1000	0.02	27859.62

ตารางที่ ค 11 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 50 ppm มุมท่อ 10 องศา											
$valve(\theta^{\bullet})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	Q(m^3/s)	A(m^2)	V(m/s)	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	41.65 41.67 41.24	41.52	50	1.20	0.00120	0.000314	3.835\	0.001002	1000	0.02	76687.77
50	54.16 53.39 52.37	53.31	50	0.93	0.00093	0.000314	3.00	0.001002	1000	0.02	59731.30
40	71.81 70.72 70.25	70.93	50	0.70	0.00070	0.000314	2.24	0.001002	1000	0.02	44892.51
30	111.52 110.31 111.47	111.10	50	0.45	0.00045	0.000314	1.43	0.001002	1000	0.02	28659.55

ตารางที่ ค 12 ตารางแสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การทดลองของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 100 ppm มุมท่อ 10 องศา											
$valve(\theta^{\bullet})$	t(s)	t_a	m(kg)	$\dot{m}$ (kg/s)	Q(m^3/s)	A(m^2)	V(m/s)	μ (N. s/m^2)	ρ (kg/m^3)	D(m)	Re
60	40.43 40.78 41.23	40.81	50	1.22	0.00120	0.000314	3.90	0.001002	1000	0.02	78015.59
50	47.94 47.93 48.54	48.14	50	1.04	0.00100	0.000314	3.30	0.001002	1000	0.02	66146.59
40	66.61 67.47 66.93	67.00	50	0.74	0.00074	0.000314	2.37	0.001002	1000	0.02	47521.16
30	109.53 105.16 104.76	106.48	50	0.47	0.00046	0.000314	1.49	0.001002	1000	0.02	29902.11

ตัวอย่างการคำนวณการหาค่าสมรรถนะที่เพิ่มขึ้น

$$Q\% = \left| 100 \times \left(\frac{Q_w - Q_p}{Q_w} \right) \right|$$

$$Q\% = \left| 100 \times \left(\frac{0.00089 - 0.00116}{0.00089} \right) \right|$$

$$Q\% = 18.37\%$$

ตารางที่ ค 13 ตารางแสดงผลการคำนวณการการเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำ

องศาท่อ(θ)	การเพิ่มขึ้นของสมรรถนะ(%Q)		
	10 ppm	50 ppm	100 ppm
0	2.26	5.64	9.25
3	5.72	12.27	17.3
10	3.53	11.29	17.72

ตารางที่ ค 14 ตารางแสดงผลการคำนวณการการเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำ

ความเข้มข้น(ppm)	การเพิ่มขึ้นของสมรรถนะ(%Q)	
	3	10
0	6.14	15.92
10	9.77	17.4
50	12.86	21.87
100	14.07	24.66

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายธีระ ภู่ระหงษ์

ภูมิลำเนา 24/26 ถ.เทศบาลบำรุง 1 ต. บ้านเหนือ อ. เมือง จ. กาญจนบุรี

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเทพมงคลรังษี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : **blood_tottot@hotmail.com**

ชื่อ นายวรากร พระอางค์

ภูมิลำเนา 76/2 หมู่ 20 ต. ตาคลี อ. ตาคลี จ. นครสวรรค์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : **Warakorn_Kan@hotmail.com**

ชื่อ นายสิทธิพร ทากัมมา

ภูมิลำเนา 244/4 หมู่ 7 ต. แสนตอ อ. ขาณุวรลักษบุรี จ.กำแพงเพชร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : **beekarb@hotmail.com**