

การเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำสำหรับท่อที่รับน้ำเกินพิกัดระหว่างการเกิดน้ำ
ท่วมโดยการเติมสารพอลิเมอร์

Increase draining capacity for overload sewer during flooding
mean of polymers addition.

นายพงษ์ปรีชา	ศรีจันทร์ฉาย	รหัส 51380774
นายสุภาพ	สถิตย์ทองกุล	รหัส 51380941
นายสุรศักดิ์	วงศ์มานะกุล	รหัส 51380965

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 16008037
เลขเรียกหนังสือ..... 95.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 158




ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

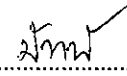
ชื่อหัวข้อโครงการ การเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำสำหรับท่อที่รับน้ำเกินพิกัดระหว่างการเกิด
น้ำท่วมโดยการเติมสารพอลิเมอร์

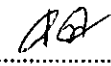
ผู้ดำเนินโครงการ นายพงษ์ปรีชา ศรีจันทร์ฉาย รหัส 51380774
นายสุภาพ สฤกษ์ดีทองกุล รหัส 51380941
นายสุรศักดิ์ วงศ์มานะกุล รหัส 51380965

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)


.....กรรมการ
(รศ.ดร.มัทนี สงวนเสริมศรี)


.....กรรมการ
(ผศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำสำหรับท่อที่รับน้ำเกินพิกัดระหว่างการเกิดน้ำท่วมโดยการเติมสารพอลิเมอร์		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายพงษ์ปรีชา ศรีจันทร์ฉาย	รหัส	51380774
	นายสุภาพ สฤกษ์ดีทองกุล	รหัส	51380941
	นายสุรศักดิ์ วงศ์มานะกุล	รหัส	51380965
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2554		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้ปัญหาน้ำท่วมได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก เนื่องจากพื้นที่หนึ่งๆนั้นมีความสามารถในการรองรับน้ำที่จำกัดโดยมีปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยอื่นๆอีกหลายอย่างที่มาเกี่ยวข้อง จากการศึกษาพบว่า สารละลายพอลิเมอร์บางชนิดมีคุณสมบัติสามารถช่วยลดแรงเสียดทานที่เกิดภายในท่อ โดยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ คณะผู้จัดทำโครงการงานจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาและทดลองเป็นแนวทางในการพัฒนาการเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำโดยใช้สารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งได้ทำการออกแบบจำลองการรับน้ำเกินพิกัดของท่อโดยการรักษาระดับน้ำในถังให้คงที่เริ่มที่ 0.10 m และเพิ่มระดับน้ำไปที่ละ 0.05 m จนระดับน้ำมีความสูง 0.90 m แล้วปล่อยให้ไหลผ่านท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ 0.015 m, 0.018 m และ 0.020 m แต่ละท่อมีความยาว 4.10 m และใช้สารละลายพอลิเมอร์ Polyacrylamide (PAM) ในการทดลองที่อัตราส่วนความเข้มข้น 0 ppm, 10 ppm, 30 ppm, 50 ppm และ 100 ppm (โดยน้ำหนัก) จากนั้นทำการสังเกตลักษณะของการเสียดทานที่เกิดภายในท่อ 3 ขนาด และการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลที่เป็นผลมาจากการเติมสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ Polyacrylamide ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 100 ppm สามารถเพิ่มอัตราการไหลและลดแรงเสียดทานในท่อได้ดีที่สุดแต่หากเติมความเข้มข้นมากกว่านี้จะทำให้ความสามารถในการเพิ่มอัตราการไหลและการลดแรงเสียดทานนั้นลดน้อยลง ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อเติมสารพอลิเมอร์ลงไปใต้น้ำแล้วสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้แต่ขนาดท่อที่แตกต่างกันจะเพิ่มอัตราการไหลที่ไม่เท่ากันโดยที่ท่อที่มีขนาดใหญ่จะเพิ่มอัตราการไหลได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับท่อขนาดที่เล็กกว่า

Project title	Increase draining capacity for overload sewer during flooding mean of polymers addition.	
Name	Mr. Phongpreecha Srichanchay	ID. 51380774
	Mr. Supap Saridtongkun	ID. 51380941
	Mr. Surasak Wongmanakul	ID. 51380965
Project advisor	Dr. Anunchai Youkaew	
Major	Mechanical Engineering	
Department	Mechanical Engineering	
Academic year	2011	

Abstract

This flooding has a significant role. The one area that has a limited ability to accommodate the physical factors and many other factors involved. The study found that the polymer solution some have the ability to reduce friction inside the pipe. By changing the properties of water. This result can increase the flow of water. The concept of the project is to study and try to guide the development improve drainage by using a solution of the polymer. Which were designed to simulate the fluid overload of the pipeline by keeping the water level in the tank is fixed at 0.10 m and the water level to one at 0.05 m and water levels are high, 0.90 m and then let it flow through a pipe. Diameter is 0.015 m, 0.018 m and 0.020 m each tube with a length of 4.10 m and a solution of the polymer Poly Acrylamide (PAM) in the ratio of the concentrations of 0 ppm, 10 ppm, 30 ppm, 50 ppm and 100 ppm by weight of the observed characteristics of friction in the pipe 3 and an increase in flow rate as a result of the addition of polymer at different concentrations. The results showed that in the turbulent flow of water to mix the solution polymerization of Poly Acrylamide (PAM) the concentration of polymer in 100 ppm increased the rate of flow and reduce friction in the pipe. If I were not the best but this is the ability to increase flow and reduce friction is reduced. The results showed that the addition of the polymer into the water can flow to the pipe, the difference will increase the flow rate is equal to the pipe size increases. The flow rate was less than the smaller pipe.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะว่าได้รับคำแนะนำและการช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงการจาก ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของโครงการ คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณ สัตยา ยิ้มประเสริฐ ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาโท ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในด้านเทคนิคต่างๆในการทดลอง การแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ รวมถึงความรู้และทฤษฎีทางกลศาสตร์ของไหล และขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่มีส่วนในการช่วยเหลือในการทำโครงการกับด้านเอกสาร

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำโครงการนี้ตลอดมา



คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายพงษ์ปรีชา ศรีจันทร์ฉาย

นายสุภาพ สฤกษ์ดีทองกุล

นายสุรศักดิ์ วงศ์มานะกุล

มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญกราฟ.....	ญ
สารบัญสัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัยและเก็บข้อมูล.....	4
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น	
2.1 ทฤษฎีการไหลภายในท่อ.....	5
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของการไหล.....	6
2.3 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลในท่อ.....	7
2.4 ระบบระบายน้ำชุมชน.....	8
2.5 หลักการออกแบบขนาดท่อระบายน้ำหรือรางระบายน้ำ.....	9
2.6 การออกแบบท่อภายใต้ความดัน.....	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 สารพอลิเมอร์.....	11
2.8 ปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทานสำหรับการไหลภายในท่อ	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการงาน	
3.1 ลักษณะและหลักการทำงาน.....	17
3.2 ข้อมูลพื้นฐานและเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบ	18
3.3 การคำนวณและการออกแบบ.....	18
3.4 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์	
4.1 ผลการทดลองของน้ำที่เกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดของท่อระบายน้ำทั้ง 3 ขนาด.....	24
4.2 ผลการทดลองของน้ำที่มีการเติมสารพอลิเมอร์ของขนาดท่อทั้ง 3 ขนาด.....	27
4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเติมสารพอลิเมอร์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	31
4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเติมสารพอลิเมอร์ที่มีผลต่ออัตราการไหล.....	37
4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	40
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	41
5.2 ข้อจำกัดในการทดลอง.....	42
5.3 ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง.....	43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	43
ภาคผนวก ข.....	48
ภาคผนวก ค.....	50
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	68



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน	3
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์ของ Chezy ของท่อแต่ละชนิด	10
ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	20
ตารางที่ 4.1 แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับระดับความสูงของน้ำที่สัดส่วนพอลิเมอร์ 100 ppm.....	30



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงเส้นสัมพันธ์แรงเสียดทานของการไหลและช่วงของการลดแรงเสียดทาน หรือ polymeric zone	11
รูปที่ 2.2 สารพอลิเมอร์เมอร์ Polyacrylamide (PAM).....	13
รูปที่ 2.3 การทดลองของ Maksimovic' เพื่อศึกษาผลกระทบของการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงในน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลในการควบคุมการไหลในระบบการระบายน้ำ.....	15
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะและหลักการทำงานของชุดทำการทดลอง	16
รูปที่ 3.2 แสดงแผนภาพชุดทำการทดลอง	16
รูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบและทิศทางการไหลในท่อ	20



สารบัญสัญลักษณ์

		หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดของท่อ	m^2
D	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ	m
$\%DR$	เปอร์เซ็นต์แรงเสียดทาน	-
f	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	-
f_w	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานกรณีที่ไม่เติมสารละลายพอลิเมอร์	-
f_p	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานกรณีเติมสารละลายพอลิเมอร์	-
h_f	การสูญเสียหลักเนื่องจากความฝืด	m
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
L	ความยาวท่อ	m
\dot{m}	อัตราการไหลโดยมวล	kg/s
n	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ	-
p_a	ความดันบรรยากาศ	bar
γ	น้ำหนักจำเพาะ	$k.N/m^3$
ρ	ความหนาแน่นของน้ำ	kg/m^3

สารบัญสัญลักษณ์ (ต่อ)

		หน่วย
ppm	อัตราส่วนผสมหนึ่งในล้านส่วน	-
Q_w	อัตราการไหลของน้ำ	m^3/s
Re	ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ที่ได้จากการคำนวณ	-
t	เวลา	s
t_a	เวลาเฉลี่ย	s
μ	ความหนืดของน้ำ	$N.s/m^2$
v	ความเร็ว	m/s
Q_p	อัตราการไหลของน้ำที่เติมสารพอลิเมอร์	m^3/s
Q_i	อัตราการไหลของน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้าท่อ	m^3/s
R	รัศมีชลศาสตร์	m
S	ความลาดเอียงของท่อ	m^3
Z	ระดับความสูงของน้ำ	m
\dot{w}	อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก	N/s

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ที่เกิดขึ้นนั้นได้ส่งผลทำให้น้ำฝนมีปริมาณที่มากขึ้น และการคาดการณ์น้ำฝนในแต่ละปีนั้นค่อนข้างที่จะพยากรณ์เหตุการณ์ได้ยาก จึงส่งผลให้เกิดอุทกภัย และสร้างความเสียหายที่รวมไปถึงสิ่งสาธารณประโยชน์และทรัพย์สินของผู้คนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น นับเป็นภัยพิบัติที่ก่อให้เกิดความสูญเสียให้แก่ประเทศมาก ซึ่งในระยะหลังปัญหาอุทกภัยเริ่มมีความรุนแรงมากขึ้น [1][2][3] และในพื้นที่หนึ่งๆจะมีความสามารถในการระบายน้ำที่จำกัดจึงก่อให้เกิดการระบายน้ำไม่ทัน ทำให้ท่อน้ำเกิดการรับน้ำเกินพิกัด (Chocking) จึงนำไปสู่การเกิดน้ำท่วมในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งสาเหตุหลักของการเกิดการระบายน้ำไม่ทันนั้นคือ การไหลของน้ำที่มากเกินไปก่อนที่จะเข้าปากท่อ หรือ ปัญหาผังเมือง ท่อระบายน้ำขนาดไม่เพียงพอ และประกอบกับการขยายตัวของชุมชน การเพิ่มอัตราการไหลอาจทำได้โดยการเพิ่มขนาดของท่อให้ใหญ่ขึ้น แต่ใช้เวลานานรวมทั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก และอีกแนวทางหนึ่ง คือ การเพิ่มความเร็วของน้ำโดยความเร็วของน้ำนั้นขึ้นอยู่กับพลังงานของน้ำ แต่เนื่องจากการไหลในท่อนั้นมีการสูญเสียพลังงานไปกับการไหลที่เรียกว่า แรงเสียดทาน ถ้าสามารถลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลได้แล้วนำพลังงานที่ลดได้นี้ไปเพิ่มให้ความเร็วของน้ำก็จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้

การเพิ่มอัตราการไหลนั้นสามารถทำได้โดยการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติในการลดแรงเสียดทาน ซึ่งสารละลายพอลิเมอร์สามารถลดแรงเสียดทานในท่อได้ เพราะมีลักษณะการละลายน้ำได้ดี มีกึ่งก้านที่สั้น เป็นเส้นตรงยาว จึงช่วยจับอนุภาคให้มีการเรียงตัวกันในทิศทางที่ไหลตาม “ปรากฏการณ์ลดแรงเสียดทาน” ที่ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ ชื่อ Tom ในปี ค.ศ 1949[8][9] ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “Tom’s effect” และต่อมาในปี ค.ศ 1978 Maksimovic[7] ได้ทำการทดลอง โดยเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงในน้ำของท่อคอนกรีตเพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่เติมสารละลายพอลิเมอร์กับอัตราการไหลและปรากฏการณ์ที่ท่อรับน้ำเกินพิกัด โดยใช้ต่ำกว่าร้อยละในล้านส่วนโดยน้ำหนัก (ต่ำกว่า 100 ppm) ซึ่งเป็นสารละลายที่เจือจางอย่างมากคณะผู้จัดทำโครงการ จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาการนำสารละลายพอลิเมอร์มาช่วยในการระบายน้ำของท่อที่รับน้ำเกินพิกัด ให้มีความสามารถในการระบายน้ำได้ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงปรากฏการณ์การรองรับน้ำเกินพิกัดของท่อระบายน้ำ

1.2.2 เพื่อทดลองการใช้สารละลายพอลิเมอร์เพื่อแก้ปัญหาปรากฏการณ์การรองรับน้ำเกินพิกัดของท่อระบายน้ำ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถนำสารพอลิเมอร์มาใช้ในการเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำในขณะที่เกิดน้ำท่วมและสภาวะที่เกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดได้

1.3.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการระบายน้ำในสภาวะที่เกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดได้

1.3.3 สามารถลดแรงเสียดทานภายในท่อเพื่อให้การไหลมีอัตราการไหลได้ดีมากขึ้นสามารถนำความรู้ที่ได้ไปจดเป็นสิทธิบัตรและตีพิมพ์เพื่อเผยแพร่ในวารสารวิชาการได้

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

1.4.1 วัสดุท่อ Polyvinyl chloride (PVC) ผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน คือ 0.015 m , 0.018 m และ 0.020 m

1.4.2 ชนิดของพอลิเมอร์ที่เลือกใช้ในการทดลองคือ Polyacrylamide (PAM)

1.4.3 อัตราส่วนของสารพอลิเมอร์และน้ำมีความเข้มข้นเท่ากับ 10, 30, 50, 100 ppm โดยน้ำหนัก

1.4.4 กำหนดความสูงของระดับน้ำเริ่มต้นที่ 0.10 m จนถึง 0.90 m โดยเพิ่มทีละ 0.05 m จนมีความสูงของระดับน้ำถึง 0.90 m

1.4.5 การไหลเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) อยู่ในช่วง $Re = 3000-35000$

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน/ปี										
	ก.ค.-54	ส.ค.-54	ก.ย.-54	ต.ค.-54	พ.ย.-54	ธ.ค.-54	ม.ค.-55	ก.พ.-55	มี.ค.-55		
1. ศึกษาทฤษฎีรวมถึงข้อมูลรายละเอียดต่างๆของโครงการงาน											
2. ทำการติดตั้งอุปกรณ์และทดสอบ											
3. บันทึกผลการทดสอบ											
4. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ											
5. สรุปผล											
6. จัดพิมพ์รายงานปริญญาโท											

1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัยและเก็บข้อมูล

การวิจัยนี้ดำเนินงานที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1.7.1 ค่าปริญญาน	500 บาท
1.7.2 ค่าจัดทำรูปเล่ม	1500 บาท
1.7.3 ค่าอุปกรณ์โดยรวม	1000 บาท
รวมเป็นเงิน	3000 บาท (สามพันบาทถ้วน)



บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำสำหรับท่อที่รับน้ำเกินพิกัดระหว่างเกิดการเกิดน้ำท่วมโดยการเติมสารพอลิเมอร์โดยที่ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้จะเป็นทฤษฎีพื้นฐานของของไหล

2.1 ทฤษฎีการไหลภายในท่อ

เมื่อของไหลไหลผ่านท่อจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง จะมีการสูญเสียพลังงานไปกับการไหลซึ่งพลังงานส่วนที่สูญเสียไปนี้เกิดขึ้นเนื่องจากความเสียดทาน (Friction Loss) ในท่อระหว่างผิวของท่อกับของไหล ในส่วนของการระบายน้ำสำหรับท่อที่ได้รับน้ำเกินพิกัดนั้นจะพิจารณาถึงการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากแรงเสียดทานและความปั่นป่วนของการไหลเป็นหลัก เนื่องจากท่อจะมีลักษณะที่ตรงและมีแนวท่อที่ยาวโดยเฉพาะการระบายน้ำในท่อที่ยาวจะส่งผลให้เกิดการระบายน้ำช้า ถ้ามีระบบมาช่วยในการเพิ่มอัตราการระบายน้ำ จะทำให้การระบายน้ำได้ดีขึ้นเมื่อพิจารณาตามลักษณะการไหลการระบายน้ำและการสูบน้ำในท่อส่วนใหญ่มีอัตราการไหลอยู่ในช่วงของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ซึ่ง ($Re > 3000$) และมีค่าการสูญเสียหลัก (Friction Loss) จะแสดงได้ตามสมการของ Darcy Weisbach;

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2.1)$$

- เมื่อ h_f คือ การสูญเสียหลักในท่อ (m)
 f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
 V คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่ไหลในท่อ (m/s)
 L คือ ความยาวของท่อ (m)
 g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

หรือสามารถหาได้จากจากสมการของพลังงานดังนี้

$$h_f = \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} + (z_1 - z_2) \quad (2.2)$$

เมื่อ $(P_1 - P_2)$ คือ ความดันตกจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 (N/m^2)
 $(Z_1 - Z_2)$ คือ ความต่างระดับของจุดที่ 1 และ จุดที่ 2 (m)
 γ คือ น้ำหนักจำเพาะ (N/m^3)

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของท่อที่มีการไหลแบบปั่นป่วนนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของตัวเลขที่เรียกว่า Reynolds Number (Re) และค่าความขรุขระสัมพัทธ์ (ϵ/D) โดยที่ ϵ คือค่าความขรุขระของท่อ (mm) และวิธีการหาค่า f สามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ของ Colebrook และ White;

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (2.3)$$

หรือสามารถหาได้จากแผนภูมิของ Moody (Moody Chart) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $f = (Re, \epsilon/D)$ ได้โดยตรง

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของการไหล

2.2.1 รูปแบบการไหล

การไหลของของไหลนั้นสามารถที่จะจำแนกได้ 2 ประเภท คือ

2.2.1.1 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) คือ ลักษณะของการไหลมีรูปร่างเป็นชั้น (Laminar or layers) ซึ่งมีความเร็วต่างกันเรียงซ้อนกันเป็นชั้นเป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงขนานกันไปคล้ายๆ กับการไหลเป็นชั้นๆ ความเร็วของของไหลในชั้นที่อยู่ใกล้ๆ กันมีค่าไม่เท่ากันแต่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อยและเป็นไปตามกฎของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของการเสียรูปเชิงมุม (Angular Deformation) นั่นคือ ความหนืดของของไหลเป็นสิ่งที่ส่งผลทำให้การไหลเปลี่ยนไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วนได้

2.2.1.2 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) คือ การไหลที่มีลักษณะโครงสร้างของการไหลไม่แน่นอนกล่าวคือ ความเร็วที่จุดใดๆ นั้นจะไม่คงที่และเป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปอย่างไม่เป็นระเบียบ ความเร็วของอนุภาคของของไหลแตกต่างกันทั้งขนาดและทิศทาง

2.2.2 อัตราการไหล (Flow Rate) คือ ปริมาตรของของไหลไม่มีการอัดตัว (มีปริมาตรคงตัว) ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆ ต่อหน่วยเวลา อัตราการไหลหาค่าได้จากผลคูณของพื้นที่หน้าตัด (A) กับอัตราเร็ว (v) ของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดนั้น อัตราการไหลสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท คือ

2.2.2.1 อัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate, \dot{m}) คือ การไหลของของไหลโดยมวลผ่านขนาดพื้นที่หน้าตัดใดๆเทียบกับเวลา

$$\dot{m} = \rho Av \quad (2.4)$$

เมื่อ \dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
 ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m³)
 v คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

2.2.2.2 อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate, Q) คือ การไหลของของไหลโดยปริมาตรผ่านขนาดพื้นที่หน้าตัดใดๆเทียบกับเวลา

$$Q = Av \quad (2.5)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตร (m³/s)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m²)
 v คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

2.2.2.3 อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก (Weight flow rate, \dot{w}) คือ การไหลของของไหลโดยน้ำหนักผ่านขนาดพื้นที่หน้าตัดใดๆเทียบกับเวลา

$$\dot{w} = \gamma Av \quad (2.6)$$

เมื่อ \dot{w} คือ อัตราการไหลเชิงน้ำหนัก (N/s)
 γ คือ น้ำหนักจะเพาะ (N/m³)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m²)
 v คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

2.3 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลในท่อ

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานภายในท่อ (Drag Reduction) เมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์เข้าไปในท่อระบายน้ำ สามารถคำนวณได้จากการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้ดังนี้

$$DR(\%) = \left(\frac{f_w - f_p}{f_w} \right) \times 100 \quad (2.7)$$

เมื่อ f_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในกรณีที่ไม่เติมสารพอลิเมอร์
 f_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในกรณีที่มีการเติมสารพอลิเมอร์
 หรือคำนวณได้จากการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลซึ่งจะสามารถหาได้ดังนี้

$$DR(\%) = \left(\frac{Q_p - Q_w}{Q_p} \right) \times 100 \quad (2.8)$$

เมื่อ Q_w คือ ค่าอัตราการไหลในกรณีที่ไม่เติมสารพอลิเมอร์ (m^3/s)
 Q_p คือ ค่าอัตราการไหลในกรณีที่มีการเติมสารพอลิเมอร์ (m^3/s)

2.4 ระบบระบายน้ำชุมชน

การคำนวณอย่างเป็นระบบเพื่อป้องกันการท่วมขังของน้ำในเขตของชุมชนซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายตามมาได้ โดยทั่วไปจะสามารถแบ่งระบบน้ำที่ต้องระบายน้ำได้เป็น 3 แบบดังนี้

2.4.1 ระบบระบายน้ำฝน (Storm drainage system)

เป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อระบายน้ำฝน โดยป้องกันไม่ให้น้ำฝนขังอยู่บนพื้นที่ต่างๆ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้การจราจรติดขัดหรือเกิดความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สิน ซึ่งปริมาณน้ำฝนที่ต้องระบายจะเป็นไปตามสมการ

$$Q = Q_w + Q_i \quad (2.9)$$

2.4.2 ระบบระบายน้ำเสีย (Sanitary drainage system)

เป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อระบายน้ำเสียและน้ำทิ้งโดยเฉพาะเพื่อป้องกันการระบาดของโรค และเพื่อเป็นการสะดวกต่อการบำบัดและลดค่าใช้จ่ายของระบบบำบัด ซึ่งปริมาณน้ำเสียที่ต้องระบายจะเป็นไปตามสมการ

$$Q = Q_w + Q_i \quad (2.10)$$

2.4.3 ระบบระบายน้ำรวม (Combined drainage system)

ทำหน้าที่ระบายน้ำทั้งที่เป็นน้ำฝน น้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้าท่อ และน้ำเสีย ตามสมการต่อไปนี้

$$Q = Q_R + Q_I + Q_W \quad (2.11)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำที่ต้องระบาย (m^3/s)

Q_R คือ ปริมาณน้ำฝน (m^3/s)

Q_I คือ ปริมาณน้ำเสียและน้ำทิ้ง (m^3/s)

Q_W คือ ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้าท่อ (m^3/s)

ปริมาณน้ำเสียหรือน้ำทิ้งและปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้าท่อมีน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำฝนอาจตัดทิ้งไม่ต้องนำมาพิจารณาก็ได้ สามารถนำมาเขียนสมการได้

$$Q = Q_R \quad (2.12)$$

2.5 หลักการออกแบบขนาดท่อระบายน้ำหรือรางระบายน้ำ

จากข้อมูลข้างต้นเมื่อคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการระบาย คือ ปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำเสียที่เข้าท่อได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็นำค่าที่ได้ไปออกแบบขนาดหน้าตัดของทางระบายน้ำแต่ละประเภทเพื่อให้รองรับอัตราการไหลทั้งหมดได้ตามความต้องการ โดยปกติการไหลในท่อระบายน้ำจะมีอยู่ 2 กรณี คือ การไหลเต็มท่อซึ่งถือว่าเป็นการไหลภายใต้แรงดัน อีกกรณี คือ การไหลไม่เต็มท่อซึ่งถือว่าเป็นการไหลในทางน้ำเปิด การออกแบบจึงต้องอาศัยการประยุกต์สมการของการไหลแต่ละแบบมาใช้ให้ถูกต้องแต่ในการคำนวณจริงของวิศวกรในโครงการใหญ่ๆต้องอาศัยประสบการณ์ ข้อมูลและรายละเอียดปลีกย่อยมากมาย ซึ่งเกินความจำเป็นในการทดลองผู้จัดทำโครงการจึงขอเสนอสมการการคำนวณที่จำเป็นต่องานวิจัยดังนี้

2.5.1 การออกแบบท่อสำหรับการไหลของการไหลแบบรางเปิด

โดยทั่วไปแล้วนั้นการออกแบบขนาดท่อหรือการออกแบบรางระบายน้ำแบบเปิด (Open Channel) จะอาศัยสมการของ Manning ที่ใช้กับการไหลสม่ำเสมอ ตามสมการดังนี้

ระบบอังกฤษ

$$Q = \frac{1.49}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (2.13)$$

ระบบ SI

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (2.14)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของปริมาณน้ำที่ต้องการระบาย

n คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

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

(ft, m) โดยถ้าคิดกับท่อกลมจะใช้ $R = \frac{D}{4}$

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

S คือ ความลาดของเส้นระดับพลังงานในกรณีของการไหลสม่ำเสมอจะมีค่าเท่ากับความลาดผิวน้ำและความลาดท้องน้ำ ค่า n ใช้ 0.015 สำหรับพื้นผิวคอนกรีต โดยสมมุติว่าเป็นทางระบายน้ำตรงและสำหรับพื้นที่หน้าตัดคลองดินใช้ค่า n เท่ากับ 0.025 - 0.030 ขึ้นกับสภาพคลอง

2.6 การออกแบบท่อภายใต้ความดัน

ในการออกแบบแหล่งรับน้ำที่มีระดับความสูงสูงกว่าระดับน้ำตรงจุดออกของระบบระบายน้ำ จะพิจารณาการไหลของน้ำในลักษณะของการไหลที่ความดันคงที่ (Steady Pressured Flow) ซึ่งระบบระบายน้ำนี้จะเป็นระบบท่อน้ำแรงดัน (Pressure Pipe Flow) โดยที่คุณสมบัติต่างๆของระบบระบายน้ำจะสามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ของ Darcy - Weisbach;

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (2.15)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.15) มาพิจารณาร่วมกับสมการของ Hazen - Williams จะสามารถหาขนาดท่อจากการออกแบบได้ดังต่อไปนี้

สมการของ Manning Equation สำหรับในกรณีที่น้ำไหลไม่เต็มท่อแสดงดังนี้

$$D = (3.21Q \frac{n}{\sqrt{s}})^{3/8} \quad (2.16)$$

สมการของ Darcy Equation สำหรับในกรณีที่น้ำไหลเต็มท่อและเป็นการไหลแบบราบเรียบแสดงดังนี้

$$D = (0.811 \frac{fQ^2}{s^2})^{1/2} \quad (2.17)$$

สมการของ Hazen - Williams Equation แสดงดังนี้

$$D = (\frac{SC_H^{1.85}}{10.7Q^{1.85}})^{0.025} \quad (2.17)$$

เมื่อ C_H คือ สัมประสิทธิ์ของ Chezy จะอยู่ในช่วง 80 - 140 ตามสภาพของท่อ

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์ของ Chezy ของท่อแต่ละชนิด

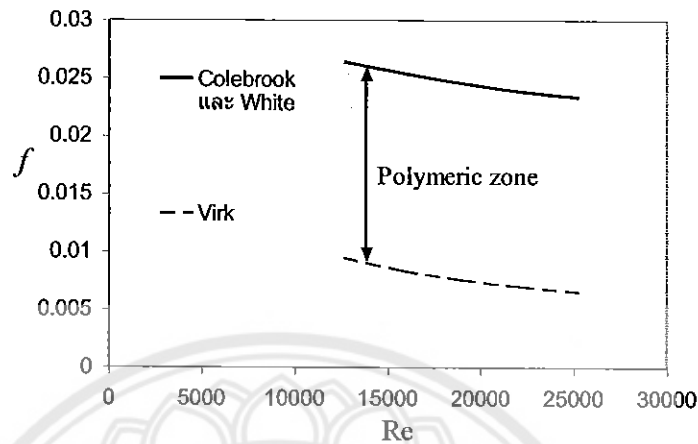
ชนิดของท่อ	C_H
ท่อตรงและเรียบมาก	140
ท่อเรียบมาก	130
ท่อปูนฉาบหรือท่อไม้	120
ท่อดินเผาและท่อเหล็กใหม่มีมุด	110
ท่อเหล็กเก่าและท่ออิฐ	100
ท่อเหล็กเก่ามากสภาพโทรม	95
ท่อเหล็กเก่ามีมุดย่ำ	60 - 80

2.7 สารพอลิเมอร์

2.7.1 คุณสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์

เมื่อมีการฉีดหรือเติมสารละลายพอลิเมอร์บางจำพวกที่มีลักษณะเป็นลูกโซ่ยาวเพียงเล็กน้อย (น้อยกว่า 100 ในล้านส่วนโดยน้ำหนัก) ลงในท่อที่มีการไหลแบบปั่นป่วนของน้ำ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผนังท่อจะถูกลดลงได้อย่างมาก [5][7] การลดแรงเสียดทานในการไหลแบบปั่นป่วนนี้จะมีลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจอยู่ ซึ่งสามารถแสดงได้ตามแผนภูมิแสดงในรูปที่ 2.1 จะพบว่าการลดแรงเสียดทานโดยการเติมสารพอลิเมอร์ในการไหลแบบปั่นป่วนในท่อแนวราบนั้นขึ้นอยู่กับค่า Re และจะตกอยู่ในช่วงที่เรียกว่า ช่วงพอลิเมอร์ (polymeric zone) ซึ่งอยู่ระหว่างเส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (f) สองเส้นคือ เส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของของไหล นิวโทเนียน ตามกฎของแพลงเดิลวอน คาร์แมน (Prandtl-Von Karman) ซึ่งหาค่าได้จากสมการความสัมพันธ์ของ โคล์บรูค และ ไวท์ (Colebrook and White) ดังแสดงในสมการที่ 1 ซึ่งเป็นลิมิตบน (upper limit) และเส้นการลดสัม

ประสิทธิภาพการลดแรงเสียดทานสูงสุดของ เวอร์ค (Virk) เรียกว่า เส้นแอสซิมโทตของเวอร์ค (Virk asymptote) ซึ่งเป็นลิมิตล่าง (lower limit) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภูมิแสดงเส้นสัมพันธ์ประสิทธิภาพการไหลและช่วงของการลดแรงเสียดทาน หรือ polymeric zone [6]

2.7.2 ตัวแปรที่มีผลต่อปรากฏการณ์ลดแรงเสียดทาน

การเกิดปรากฏการณ์ลดแรงเสียดทานมีข้อสังเกตจากการทดลองโดย เวอร์ค [10] ว่าจะเกิดขึ้นในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนเท่านั้น ซึ่งในบางครั้งสามารถลดแรงเสียดทานได้กว่าร้อยละ 80 [10] ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับ ชนิดลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ อัตราส่วนของพอลิเมอร์ในน้ำและข้อกำหนดการไหลในท่อระบาย ซึ่งพบว่าพอลิเมอร์ที่ใช้ในการลดแรงเสียดทานในท่อได้ดีจะต้องมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีและมีลักษณะเป็นเส้นตรงยาวและมีกิ่งก้านที่สั้น นอกจากนี้พอลิเมอร์จำพวกนี้จะมีน้ำหนักของโมเลกุล (M_w) ที่สูงถึง 10^6 และอาจเป็นพอลิเมอร์ที่มีตามธรรมชาติหรือถูกสังเคราะห์ขึ้นก็ได้ ตัวอย่างเช่น Poly (ethylene oxide) หรือ PEO, Polyacrylamide หรือ PAC และพอลิเมอร์ธรรมชาติจำพวก กัม เป็นต้น

เนื่องจากความแตกต่างทางกายภาพของพอลิเมอร์ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้ลดแรงเสียดทานต่างกันไป แต่ส่วนใหญ่จะใช้ต่ำกว่า ร้อยในล้านส่วน (ต่ำกว่า 100 ppm) เทียบตามน้ำหนัก ซึ่งถือว่าเป็นสารละลายที่เจือจางอย่างมาก นอกจากนั้นการลดแรงเสียดทานจะเกิดขึ้นได้ดีในท่อขนาดเล็กมากกว่าท่อขนาดใหญ่และให้ค่าการลดแรงเสียดทานในท่อเรียบมากกว่าท่อที่มีความขรุขระมาก[7]

2.7.3 สมมุติฐานกลไกการเกิดปรากฏการณ์ลดแรงเสียดทาน

การศึกษากลไกการลดแรงเสียดทานในท่อโดยใช้สารเติมพอลิเมอร์แบ่งออกได้เป็น 3 ทฤษฎีใหญ่ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ทางกายภาพของพอลิเมอร์ในระดับโมเลกุล (molecular

polymer dynamics) ในสนามการไหลแบบปั่นป่วนโดยเฉพาะส่วนที่ใกล้กับผนังของท่อ หรือ turbulent boundary layer จะมีผลต่อการไหลของน้ำในระดับความต่อเนื่อง (continuum) โดย ลัมเลย์ (Lumley) [8] ได้ให้ความสำคัญกับความยืดหยุ่น (elasticity) ของโมเลกุลพอลิเมอร์ ในการไหลแบบขยาย (extensional flow) ว่าเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้พอลิเมอร์สามารถขยายตัวและลดการเกิดการไหลชด (eddies) ในการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้ลดการสูญเสียพลังงานในแนวรัศมี

ข้อสังเกตอื่นๆ สันนิษฐานว่า การลดแรงเสียดทานอาจจะเกี่ยวข้องกับการวางตัวของพอลิเมอร์ ในลักษณะแท่งเมื่อพอลิเมอร์มีการขยายตัวสูงสุด ซึ่งทำให้เกิดการขัดขวางการถ่ายเทโมเมนตัมในแนวรัศมี เป็นผลให้การสูญเสียพลังงานลดน้อยลง ส่วนอีกทฤษฎีหนึ่งนั้น [6] เปรียบพอลิเมอร์เหมือนกับสปริงเมื่อถูกทำให้อยู่ในแนวทิศทางการไหล ก็จะทำหน้าที่เก็บกักพลังงานเมื่อโมเลกุลขยายตัวและปลดปล่อยพลังงานเมื่อมีการหดตัวของโมเลกุลตามแนวทิศทางการไหล ส่งผลให้มีการถ่ายเทพลังงานในแนวรัศมีลดลง

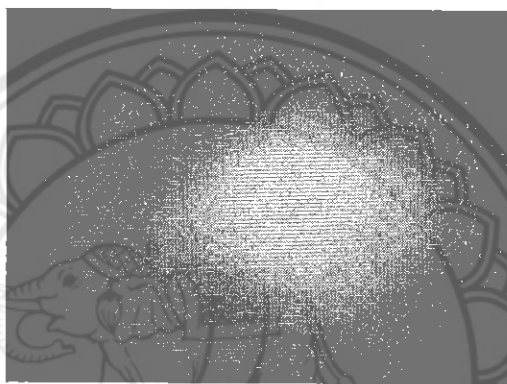
2.7.4 ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

สารเติมพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ในกระบวนการลดแรงเสียดทาน จะใช้ในปริมาณเพียงหนึ่งถึง ร้อย ในล้านของของไหลส่วนถ้าเทียบโดยน้ำหนัก และสามารถถูกย่อยสลายได้ในกระบวนการตามธรรมชาติโดยแบคทีเรียที่มีอยู่ในแหล่งน้ำและไม่เป็นพิษ จึงจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่อย่างใด [7] นอกจากนั้นแล้วในทางอ้อมพอลิเมอร์ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารตกตะกอนอนุภาคโลหะที่ตกค้างในแหล่งน้ำซึ่งส่งผลดีต่อการบำบัดน้ำเสียและระบบท่อระบายน้ำ อีกทั้งยังช่วยในการเคลื่อนย้ายสิ่งปฏิกูลที่ตกค้างภายในท่อระบายน้ำซึ่งเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาท่อระบายน้ำตันไปในตัว [7] ส่วนความสามารถระบายน้ำออกจากพื้นที่ได้อย่างรวดเร็วในกรณีน้ำขังนั้น ยังเป็นการป้องกันปัญหาน้ำท่วมซึ่งอาจเป็นแหล่งบ่มเพาะเชื้อโรคได้ [2]

2.7.5 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้สารเติมพอลิเมอร์

การประยุกต์ใช้งานปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทานโดยใช้สารเติมพอลิเมอร์นั้น สามารถคำนวณความคุ้มค่าได้โดยเปรียบเทียบ ตัวแปรค่าใช้จ่าย (cost factor) ระหว่างการสร้างท่อหรือระบบของไหลใหม่ เช่น ค่าใช้จ่ายในการขุดสร้างท่อระบายน้ำใหม่ หรือ การติดตั้งปั๊มสูบน้ำเพิ่ม เทียบกับการติดตั้งระบบเติมสารพอลิเมอร์ และราคาของสารพอลิเมอร์ [7] ซึ่งแตกต่างกันไปแล้วแต่สถานการณ์การประยุกต์ใช้งาน แต่โดยทั่วไปแล้วถ้าเทียบในเชิงการเพิ่มสมรรถนะที่เท่ากัน การใช้สารเติมพอลิเมอร์จะคุ้มค่าน่า เนื่องจากใช้เพียงเล็กน้อยและสามารถเติมได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงจึงไม่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นอกจากนั้นสามารถนำมาใช้เมื่อจำเป็นเช่นช่วงเกิดน้ำท่วมฉับพลัน อย่งไรก็ตามพอลิเมอร์สามารถเสื่อมประสิทธิภาพได้ถ้าไม่เก็บรักษาไว้ให้ดี ทำให้ต้องใช้ในปริมาณความเข้มข้นที่มากกว่าปกติซึ่งหมายถึงค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น

2.7.6 Polyacrylamide (PAM) หรือ Polyacrylamide (IUPAC poly (2-propenamide)) [5] คือ พอลิเมอร์(-CH₂CHCONCH₂-) ที่จัดอยู่ในรูปของหน่วย Acrylamide ที่สามารถ cross - linked (พันธะที่เชื่อมโยงกับสารพอลิเมอร์อื่นๆ)ได้ทันที ทั้งนี้ โพลีอะคริลามิด มีการนำไปใช้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือใช้งานในระบบการทำงานที่ปลอดภัย โดยปกติ PAM จะถูกใช้งานมากเพื่อช่วยในการตกตะกอนหรือจับเป็นก้อนของแข็งในของเหลว ซึ่งได้มีการนำกระบวนการนี้ไปใช้กับการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้การเก็บรักษาควรหลีกเลี่ยงให้ห่างไกลจากแสงแดดซึ่งอาจทำให้ PAM ไม่อยู่ในรูปของพอลิเมอร์ และไม่ควรมสัมผัสหรือสูดดมสารโดยตรงซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพก็ได้ ถึงแม้ PAM จะอยู่ในรูปของพอลิเมอร์ที่ไม่เป็นพิษและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมก็ตาม ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สารพอลิเมอร์เมอร์ Polyacrylamide (PAM)

2.7.7 การนำ Polyacrylamide (PAM) ไปใช้ประโยชน์

หนึ่งของการใช้มากที่สุด คือ การตกตะกอนหรือการจับเป็นก้อนของแข็งในของเหลว กระบวนการนี้ถูกประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย [5] และกระบวนการนี้ถูกอุตสาหกรรมพัฒนามาใช้ในการทำกระดาษด้วย ส่วนใหญ่แล้ว Polyacrylamide (PAM) จะจัดอยู่ในรูปของของเหลวโดยที่ถูกทำให้อยู่ในรูปสารละลายและในรูปของพอลิเมอร์ที่ผสมกับสารอีกชนิดหนึ่ง Polyacrylamide ถูกนำมาใช้ในอีกทางหนึ่งก็คือ การประยุกต์และฟื้นฟูส่วนของผิวหน้าเล็กๆยกตัวอย่างเช่น การปรับสภาพน้ำมันพื้นดินสู่ปกติ (Enhanced Oil Recovery) จากสารละลายที่มีความหนืดสูงที่สร้างขึ้นด้วยความเข้มข้นต่ำของพอลิเมอร์ชนิดนี้

Polyacrylamide ยังถูกนำมาใช้ในทางการเกษตรเพื่อช่วยบำรุงหน้าดินและมักจะนิยมใช้กับพืชสวน นอกจากนี้ยังใช้ เพื่อเป็นตัว Gro-Beast ของเล่นของเด็กจะขยายตัวเมื่ออยู่ในน้ำในทำนองเดียวกันคุณสมบัติดูดซับยังสามารถนำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในเนื้อผงต่างๆ

2.7.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ Polyacrylamide (PAM)

ความวิตกกังวลเกี่ยวกับ Polyacrylamide ที่ใช้ในการเกษตรกรรมอาจจะตกค้างและปนเปื้อนอาหารโดยผลดังกล่าวอาจจะเป็นอันตรายต่อเซลล์ประสาทได้แต่โดยปกติแล้วนั้นพอลิเมอร์ชนิดนี้จะเป็นพอลิเมอร์ที่ปลอดภัยและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและในผลิตภัณฑ์ที่ขายตามท้องตลาดนั้นจะมีพอลิเมอร์ชนิดนี้อยู่ต่ำกว่า 0.05% w/w.

นอกจากนี้ยังมีความกังวลอีกว่า Polyacrylamide อาจเกิดการสลายตัวของโครงสร้างโมเลกุลที่อุณหภูมิสูงจึงได้มีการดำเนินการศึกษาในปี 2003 ที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในเมืองแซนด์ ฮัทตัน (Sand Hutton) ของประเทศอังกฤษ Polyacrylamide ถูกปฏิบัติในทำนองเดียวกันเป็นอาหารในระหว่างการทำอาหาร ซึ่งผลก็แสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขเหล่านี้ไม่ใช่สาเหตุที่จะทำให้พอลิเมอร์ชนิดนี้เกิดการสลายตัวของโครงสร้างโมเลกุลที่อุณหภูมิสูงอย่างมีนัยสำคัญ

ในปี 1997 ที่ มหาวิทยาลัยรัฐแคนซัส ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำการศึกษาค้นคว้าและทำการทดสอบ Polyacrylamide ภายใต้เงื่อนไขผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมผลที่ได้ออกมาก็แสดงให้เห็นว่าการแตกตัวของพอลิเมอร์ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวนั้นจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอย่างแน่นอน อาหารสำเร็จรูปนั้นถ้าให้ความร้อนเป็นระยะเวลาานจะทำให้ระดับของพอลิเมอร์ชนิดนี้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามนักวิจัยจะยังคงไม่แน่ใจเกี่ยวกับผลกระทบมากนัก ในอาหารสำเร็จรูปที่มีสารชนิดนี้ปนเปื้อนอยู่นั้นโดยส่วนมากจะเชื่อว่าเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยากระบวนการทางเคมีที่ผลิตสีน้ำตาลในอาหารโดยไม่ต้องทำกิจกรรมของเอนไซม์ เช่น ในพวกอาหารที่ทอดหรืออบ

2.7.9 การใช้งาน Polyacrylamide (PAM) ในห้องปฏิบัติการ

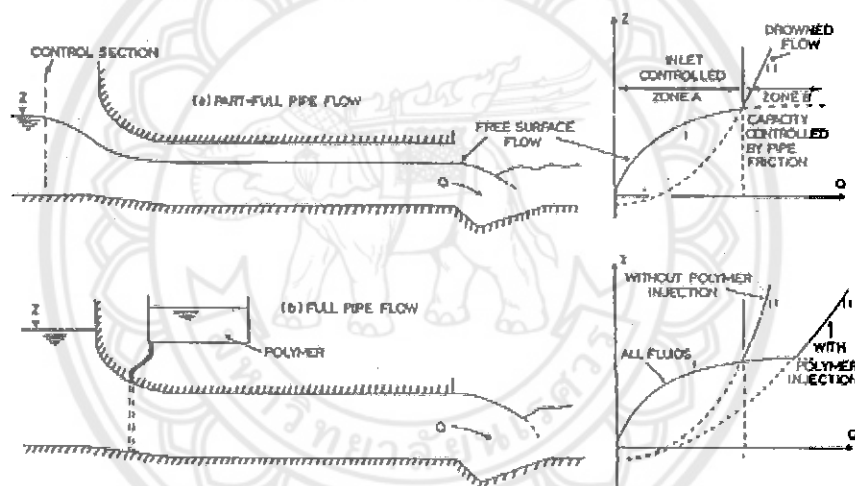
Polyacrylamide ถูกใช้ในห้องปฏิบัติการครั้งแรกเพื่อตั้งค่าห้องปฏิบัติการในช่วงต้นทศวรรษ 1950 ต่อมาในปี 1959 กลุ่มของ Davis และ Ornstein ได้เผยแพร่เทคนิคการใช้พอลิเมอร์ชนิดนี้ในกระบวนการแยกโปรตีนโดยใช้การอัดประจุไฟฟ้าลงในโมเลกุล และยังคงเป็นสารที่ถูกใช้ในห้องปฏิบัติการชีวโมเลกุล ซึ่งสามารถนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการอณูชีววิทยารวมถึงการใช้เป็นตัวที่ช่วยเร่งการตกตะกอนของดีเอ็นเอ

2.8 ปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทานสำหรับการไหลภายในท่อ

ในเรื่องของปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทานสำหรับการไหลภายในท่อ นี้ ถูกค้นพบในปี 1949 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Tom และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "Tom's effect" ได้สร้างความสนใจต่อนักวิจัยอย่างมากทั้งในแง่ขององค์ความรู้และในแง่ของการประยุกต์ใช้งานด้านพลวัตของพอลิเมอร์โมเลกุลซึ่งพบว่าปรากฏการณ์ลดแรงเสียดทานนั้นพบได้เฉพาะในช่วงของการไหลแบบปั่นป่วนเท่านั้น สารพอลิเมอร์ที่มีความสามารถลดแรงเสียดทานได้ดีนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะทางกายภาพ

ของสารพอลิเมอร์ อัตราส่วนผสมของสารพอลิเมอร์ในน้ำ ปัจจัยเหล่านี้จะช่วยเพิ่มอัตราการระบายน้ำให้ดีขึ้น [10] และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มอัตราการระบายน้ำได้ดีการเติมสารพอลิเมอร์นั้นจะช่วยลดแรงเสียดทานทำให้การไหลดีขึ้น และปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทานสำหรับการไหลภายในท่อของช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (polymer induced turbulent drag reduction) โดยการเติมสารพอลิเมอร์สามารถเพิ่มอัตราการระบายน้ำได้เกือบหนึ่งเท่าตัว [8] นอกจากนี้การลดแรงเสียดทานในท่อจะเกิดขึ้นในท่อที่มีขนาดเล็กมากกว่าท่อที่มีขนาดใหญ่ และการลดแรงเสียดทานในท่อเรียบมากกว่าท่อที่มีลักษณะที่ขรุขระอีกด้วย

ในปี 1978 Maksimovic' [7] ได้ทำการทดลอง เป็นการทดลองโดยเติมสารพอลิเมอร์ลงในน้ำเพื่อทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการละลายกับการไหลและปรากฏการณ์ที่ท่อรับน้ำเกินพิกัด (Choking) เพื่อเป็นการควบคุมการไหล ซึ่งสามารถนำผลการทดลองมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การทดลองของ Maksimovic' เพื่อศึกษาผลกระทบของการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงในน้ำว่าส่งผลอย่างไรกับอาการสำลักน้ำเพื่อเป็นข้อมูลในการควบคุมการไหลในระบบการระบายน้ำ

โดยเป็นการทดลองในระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำโดยทำการทดลองกับท่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ถึง 10 เมตร ที่ระยะทาง 10-100 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อจากข้อมูลที่ได้สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดัง รูปที่ 2.3 โดยที่รูปที่ 2.3 (b) พบว่าในการไหลสถานะเดิมแต่มีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบจะพบว่าเมื่อถึงสภาวะการรับน้ำเกินพิกัดน้ำมีระดับสูงขึ้นแต่จะสามารถเพิ่มอัตราการระบายน้ำด้านออกได้ถึง 20% -30% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำในระบบที่ไม่มีการเติมสารละลายพอลิเมอร์

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

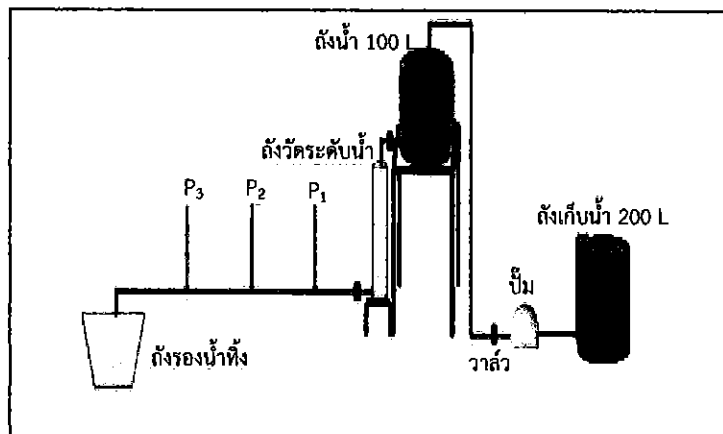
ในการออกแบบและสร้างชุดทำการทดลอง จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยของเวลา ความดัน และปริมาตรของน้ำข้อมูลพื้นฐานและเงื่อนไขที่ได้กำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในการออกแบบชุดทำการทดลองโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ลักษณะและหลักการทำงาน

ซึ่งหลังจากที่เติมน้ำลงไปในถังเก็บน้ำจนมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการปั้มน้ำขึ้นสู่ถังด้านบนที่มีความจุ 100 L แล้วทำการเปิดวาล์วให้น้ำไหลลงสู่ถังวัดระดับน้ำที่ได้กำหนดระดับความสูงของถังไว้ จากนั้นเปิดวาล์วที่ถังวัดระดับน้ำ แล้วทำการจับเวลาว่าน้ำที่ใช้แต่ละครั้งใช้เวลาและความดันเท่าใด แล้วนำเวลาที่ได้ไปหาอัตราการไหล โดยจะทำการหาค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำที่สุด โดยจะใช้ระดับความสูงของน้ำและความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์เป็นปัจจัยศึกษาที่ใช้ในการทดลอง รูปแบบของชุดทดลองมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะและหลักการทำงานของชุดทำการทดลอง



รูปที่ 3.2 แสดงแผนภาพชุดทำการทดลอง

3.2 ข้อมูลพื้นฐานและเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบ

ในการทดลองจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยหลายอย่างให้มีความเที่ยงตรงมากที่สุด และเพื่อให้สะดวกต่อการควบคุมปัจจัยต่างๆ จึงได้กำหนดเงื่อนไขดังต่อไปนี้

3.2.1 ปริมาตรถังที่ใช้ผสมสารพอลิเมอร์มีขนาด 100 L

3.2.2 ถังวัดระดับน้ำทำการทดลองโดยเริ่มระดับความสูงของน้ำอยู่ในช่วง 0.10 - 0.90 m โดยเพิ่มระดับน้ำไปที่ละ 0.05 m

3.2.3 ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการควบคุมเวลาและความดันจะมีปริมาณอยู่ระหว่าง 10-30 kg

3.2.4 น้ำมีอุณหภูมิโดยประมาณ 20 - 30 °C มีค่าความหนืดของน้ำ คือ 0.001002 N.s/m²

3.2.5 ใช้สารพอลิเมอร์ Polyacrylamide (PAM) โดยความเข้มข้นที่ใช้ผสมกับน้ำอยู่ที่ 10, 30, 50 และ 100 ppm

3.2.6 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ใช้ส่งน้ำเท่ากับ 0.015 m, 0.018 m และ 0.020 m

3.2.7 ระยะทางจากจุดปล่อยน้ำ (ถังวัดระดับน้ำ) ถึงปลายท่อยาว 4.10 m

3.3 การคำนวณและการออกแบบ

ในการหาอัตราการไหลของน้ำได้กำหนดปริมาณน้ำและน้ำที่ใช้ผสมสารพอลิเมอร์ที่ 100 kg โดยที่จะทดลองน้ำและน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์อยู่ระหว่าง 10-30 kg เพื่อดูค่าเวลาและความดันของน้ำและน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์ว่ามีเวลาใช้ที่แตกต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยที่หนึ่งความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์และน้ำจะทำการทดลอง 3 ครั้ง แล้วนำค่าเฉลี่ยของเวลามาหาอัตราการไหลเชิงปริมาตรสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และ ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ต่อไป

3.3.1 สมการและการคำนวณ

3.3.1.1 กำหนดให้

สำหรับน้ำเปล่าที่ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.020 m และระดับความสูงของน้ำที่ 0.01 m

ค่าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 20 °C เท่ากับ 998 kg/m³

ค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 20 °C เท่ากับ 0.001002 N.s/m²

อัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 0.1042 kg/s

ความดันตกจากจุดที่ 1 ที่ได้จากการอ่านค่าเท่ากับ 330.18 Pa

ความดันตกจากจุดที่ 3 ที่ได้จากการอ่านค่าเท่ากับ 86.66 Pa

ความยาวท่อส่งน้ำเท่ากับ 4.10 m

3.3.1.2 สมการที่ใช้

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (3.1)$$

$$h_f = \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} + (z_1 - z_2) \quad (3.2)$$

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (3.3)$$

$$\dot{m} = \rho A V \quad (3.4)$$

3.3.1.3 ขั้นตอนการคำนวณ

จากสมการที่ (3.4) จะหาความเร็วได้ดังนี้

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$V = \frac{0.1042}{998 \times 0.0003142} = 0.3323 \text{ m/s}$$

จากสมการ (3.3) จะหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ได้ดังนี้

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu}$$

$$\text{Re} = \frac{998 \times 0.3323 \times 0.02}{0.001003} = 6612.8694$$

จากสมการ (3.2) จะหาค่าการสูญเสียหลักได้ดังนี้

$$h_f = \frac{(P_1 - P_3)}{\gamma} + (z_1 - z_2) \quad , z_1 = z_2 = 0$$

$$h_f = \frac{(330.1572 - 86.6667)}{9790.38} = 0.0249$$

จากสมการ (3.1) จะหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) ได้ดังนี้

$$f = \frac{h_f D 2g}{LV^2}$$

$$f = \frac{0.0249 \times 0.02 \times 2 \times 9.81}{4.1 \times (0.3323)^2} = 0.0216$$

3.3.1.4 สัดส่วนของสารพอลิเมอร์ที่ใช้ผสมกับน้ำ

โดยที่ปริมาณน้ำที่ใช้เท่ากับ 100 L (100 kg) จะแสดงผลการคำนวณดังนี้
ที่สัดส่วนของสารพอลิเมอร์ 10 ppm จะต้องใช้สารพอลิเมอร์

$$= \frac{100 \text{ kg} \times 10}{10^6}$$

$$= \frac{100 \times 10}{10^3} = 1 \text{ g}$$

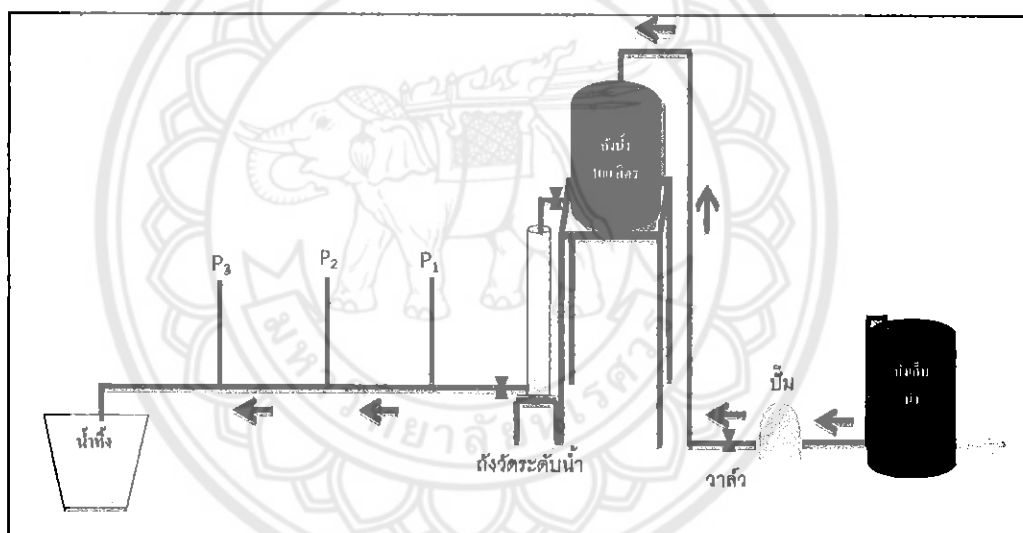
ดังนั้นที่สัดส่วนของสารพอลิเมอร์ 10 ppm จะต้องใช้สารพอลิเมอร์ 1 g และในทำนองเดียวกันที่สัดส่วนของพอลิเมอร์ที่ 30, 50 และ 100 ppm ก็สามารถหาได้จากความสัมพันธ์เช่นเดียวกับที่ 10 ppm ดังนั้นจะได้ว่าที่สัดส่วนของพอลิเมอร์ที่ 30, 50 และ 100 ppm จะต้องใช้สารพอลิเมอร์ 3 g, 5 g และ 10 g ตามลำดับ

3.3.2 การออกแบบอุปกรณ์ที่ทำการทดลอง

3.3.2.1 ถังน้ำ 100 L ถังวัดระดับน้ำ และท่อ

ในการทดลองได้กำหนดถังที่สามารถบรรจุน้ำขนาด 100 L โดยจะวางไว้บนฐานแท่นเหล็กและต่อวาล์วท่อลงมาถึงวัดระดับน้ำซึ่งจะอยู่ต่ำกว่า เพื่อความสะดวกต่อการทำการทดลองและง่ายต่อการอ่านค่าความดันจากสเกลจึงได้ทำการเดินท่อน้ำจากถังวัดระดับน้ำไปยังจุดน้ำทิ้งซึ่งจะวางอยู่ในแนวระดับที่เหมาะสมต่อการทำการทดลอง และตรงจุดน้ำทิ้งจะทำการรองรับซึ่งน้ำหนักปริมาณน้ำเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดลองแสดงในรูปที่ 3.4

ในส่วนของระบบท่อที่ใช้ส่งน้ำนั้นได้ออกแบบหลักการทำงานให้ไปในทิศทางเดียว จะเริ่มจากการปั้มน้ำด้านล่างขึ้นสู่ถัง 100 L ด้านบน โดยที่น้ำจะไหลผ่านวาล์วจุดที่หนึ่งลงสู่ถังรับน้ำที่ใช้วัดระดับน้ำที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าถังด้านบน จากนั้นก็จะผ่านวาล์วจุดที่สองไปยังจุดน้ำทิ้งตามทิศทางการไหลของท่อลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบและทิศทางการไหลในท่อ

3.4 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์และเครื่องมือ	ขนาด
1. ปั้มน้ำ มิตรชูปิชิ แบบอัตโนมัติ	150 W
2. ถังเก็บน้ำที่ใช้สำหรับเตรียมน้ำ	200 L
3. ถังน้ำที่ใช้สำหรับทดลองสารพอลิเมอร์	100 L
4. ถังน้ำที่ใช้วัดระดับความสูงของน้ำ	60 L
5. ท่อ PVC ที่ใช้ในการส่งน้ำทั้งสามขนาด - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง - ความยาว	0.015 m, 0.018 m, 0.020 m 4.10 m
6. ถังรองรับน้ำทิ้ง	80 L
7. เครื่องชั่งปริมาณน้ำหนักของน้ำ	500 kg

3.4.2 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

3.4.2.1 เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์เสร็จแล้วให้เติมน้ำเข้าถังที่ได้เตรียมไว้ แล้วทำการปั้มน้ำขึ้นสู่ถังด้านบนที่มีขนาดความจุ 100 L

3.4.2.2 เมื่อได้น้ำตามปริมาณที่ต้องการแล้วทำการทำการทดลองโดยใช้น้ำเปล่าและใช้สารพอลิเมอร์ผสมกับน้ำ

3.4.2.3 ทำการเปิดวาล์วให้น้ำไหลลงสู่ถังวัดระดับความสูงน้ำ โดยจะเริ่มทำการทดลองที่ถังวัดระดับน้ำที่ระดับความสูงน้ำ 0.10 m ขึ้นไปจนถึง 0.90 m โดยที่เพิ่มความสูงขึ้นทีละ 0.05 m

3.4.2.4 ทำการเปิดวาล์วที่ถังวัดระดับน้ำโดยที่จะควบคุมให้ระดับความสูงของน้ำคงที่และต้องรอให้น้ำที่ไหลเข้าท่อไหลเต็มท่อแล้วจึงจับเวลา

3.4.2.5 หยุดเวลาเมื่อเครื่องชั่งปริมาณน้ำ ชั่งน้ำหนักของน้ำได้ตามที่ต้องการโดยที่จะอยู่ในช่วง 10-30 kg แล้วจึงทำการอ่านค่าความดันทั้ง 3 จุด

3.4.2.6 ที่ระดับน้ำใดๆ จะทำการทดลอง 3 ครั้ง และนำข้อมูลที่ได้อ่านค่าเฉลี่ย

3.4.2.7 ทำการบันทึกข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์หาความแตกต่าง

3.4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.4.3.1 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ย

3.4.3.2 นำข้อมูลเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตร ความเร็ว การสูญเสียหลัก สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

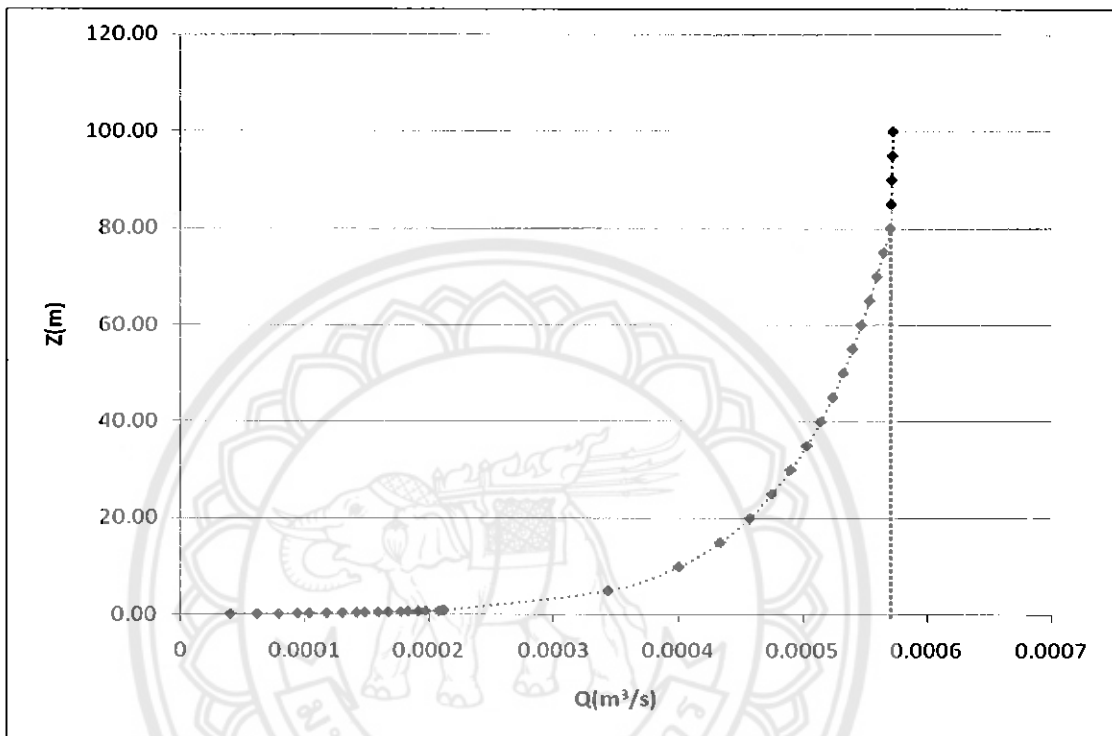
3.4.3.3 สร้างกราฟเปรียบเทียบที่ระดับความสูงของน้ำกับอัตราการไหลในการระบายน้ำ และน้ำที่ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ต่างๆกันเทียบกับน้ำของแต่ละท่อ

3.4.3.4 วิเคราะห์ผลจากการทดลอง



บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์

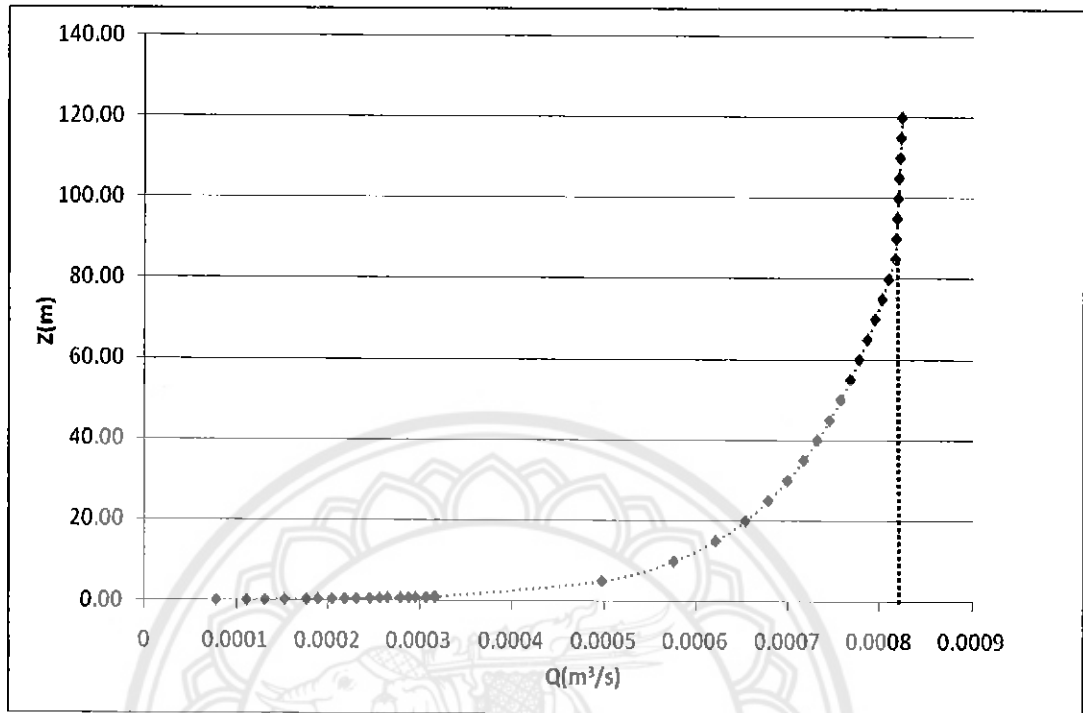
4.1 ผลการทดลองของน้ำที่เกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดของท่อระบายน้ำทั้ง 3 ขนาด 4.1.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.015 m



กราฟที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของน้ำกับอัตราการไหลของท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.015 m

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อปล่อยน้ำผ่านท่อโดยมีการควบคุมที่ต้นทางเมื่อถึงสภาวะหนึ่งจะเกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดของท่อระบายน้ำโดยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.015 m นั้นจะเกิดขึ้นช่วงที่มีอัตราการไหล 0.0005707 m³/s เนื่องจากในช่วงอัตราการไหลดังกล่าวพบว่าอัตราการไหลจะมีขีดจำกัดในขณะที่ความสูงของระดับน้ำนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้โดยจากกราฟ ปรากฏการณ์เช่นนี้ทำให้ท่อระบายน้ำนั้นไม่สามารถที่จะระบายน้ำได้เพิ่มขึ้น

4.1.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.018 m



กราฟที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของน้ำกับอัตราการไหลของท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.018 m

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อปล่อยน้ำผ่านท่อโดยมีการควบคุมที่ต้นทางเมื่อถึงสถานะหนึ่งจะเกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดของท่อระบายน้ำโดยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.018 m นั้นจะเกิดขึ้นช่วงที่มีอัตราการไหล $0.0008096 \text{ m}^3/s$ เนื่องจากในช่วงอัตราการไหลดังกล่าวพบว่าอัตราการไหลจะมีขีดจำกัดในขณะที่ความสูงของระดับน้ำนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้โดยจากกราฟ ปรากฏการณ์เช่นนี้ทำให้ท่อระบายน้ำนั้นไม่สามารถที่จะระบายน้ำได้เพิ่มขึ้น

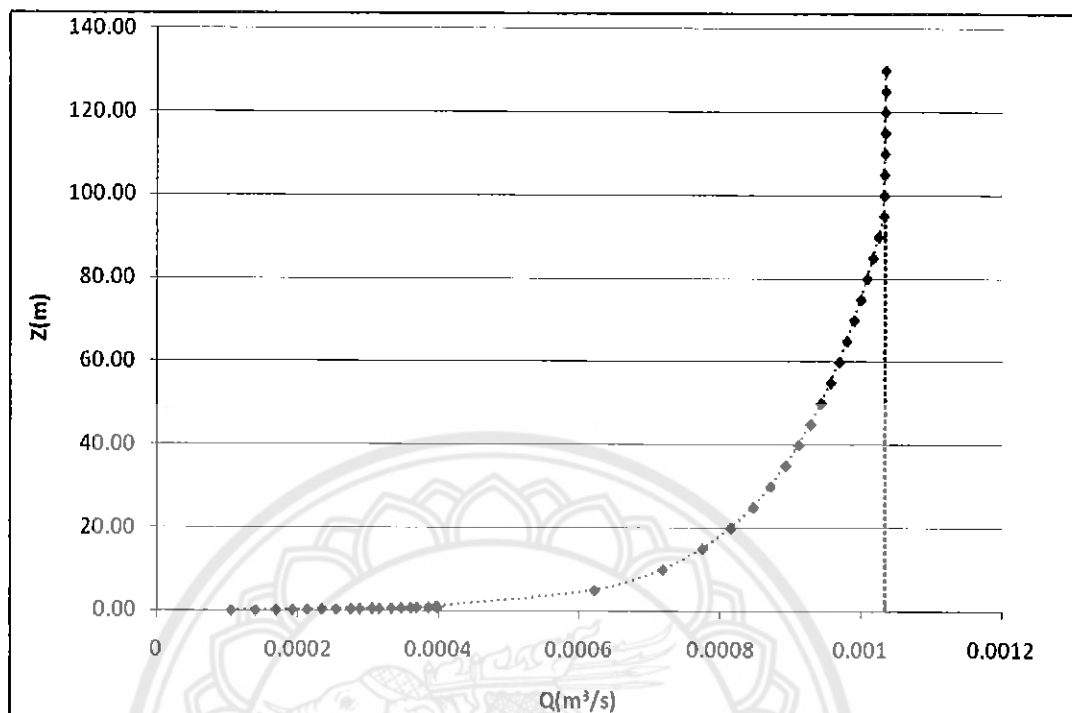
16008033

นง.

พ.ศ. 2554

2554

4.1.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.020 m

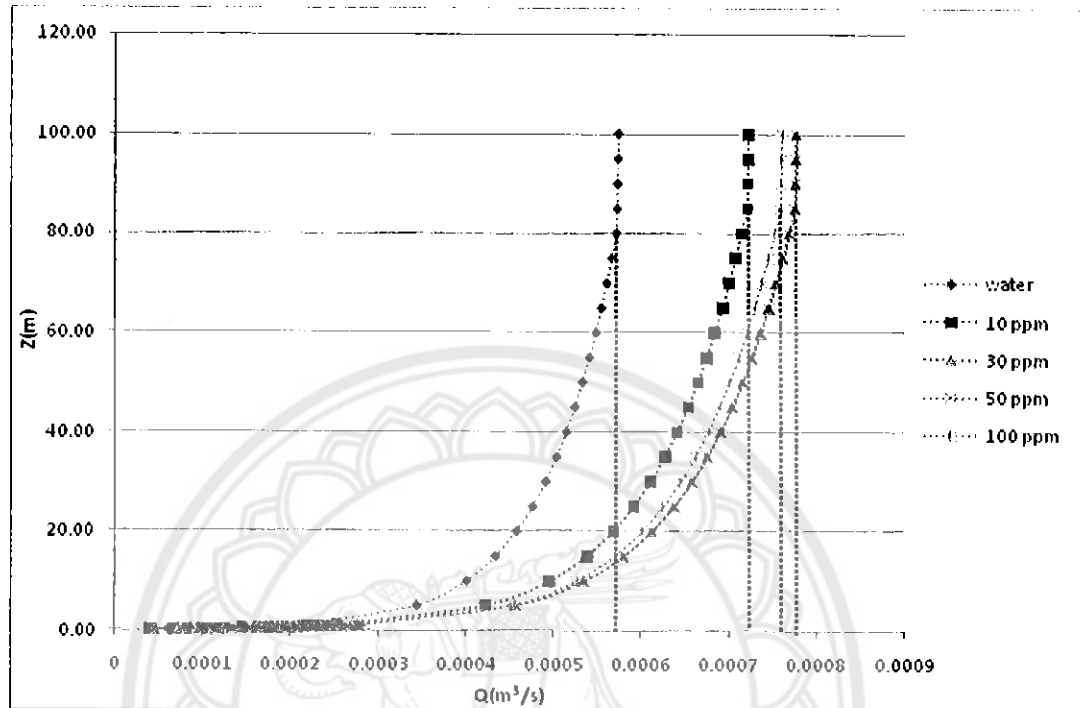


กราฟที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของน้ำกับอัตราการไหลของท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.020 m

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อปล่อยน้ำผ่านท่อโดยมีการควบคุมที่ต้นทางเมื่อถึงสภาวะหนึ่งจะเกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดของท่อระบายน้ำโดยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.020 m นั้นจะเกิดขึ้นช่วงที่มีอัตราการไหล 0.0010324 m^3/s เนื่องจากในช่วงอัตราการไหลดังกล่าวพบว่าอัตราการไหลจะมีขีดจำกัดในขณะที่ความสูงของระดับน้ำนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้โดยจากกราฟ ปรากฏการณ์เช่นนี้ทำให้ท่อระบายน้ำนั้นไม่สามารถที่จะระบายน้ำได้เพิ่มขึ้น

4.2 ผลการทดลองของน้ำที่มีการเติมสารพอลิเมอร์ของขนาดท่อทั้ง 3 ขนาด

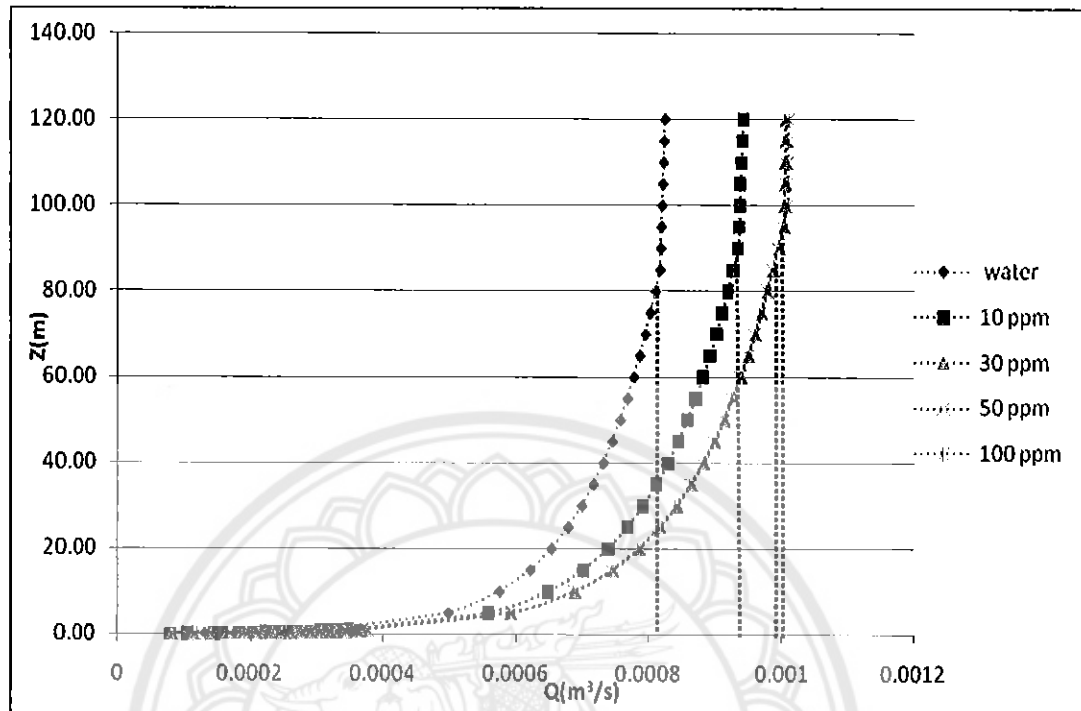
4.2.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.015 m



กราฟที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของน้ำกับอัตราการไหลของท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.015 m

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ละลายลงในน้ำตามลำดับ จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้ และพบว่าจุดที่เกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดนั้นจะห่างออกไปจากเส้นของอัตราการไหลของน้ำที่ไม่ได้เติมสารละลายพอลิเมอร์โดยที่สารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะเพิ่มอัตราการไหลได้ดีที่สุด ดังนั้นที่ระดับความสูงของน้ำต่างๆ เมื่อทำการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะมีอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 25% เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำที่ไม่ได้เติมสารละลายพอลิเมอร์

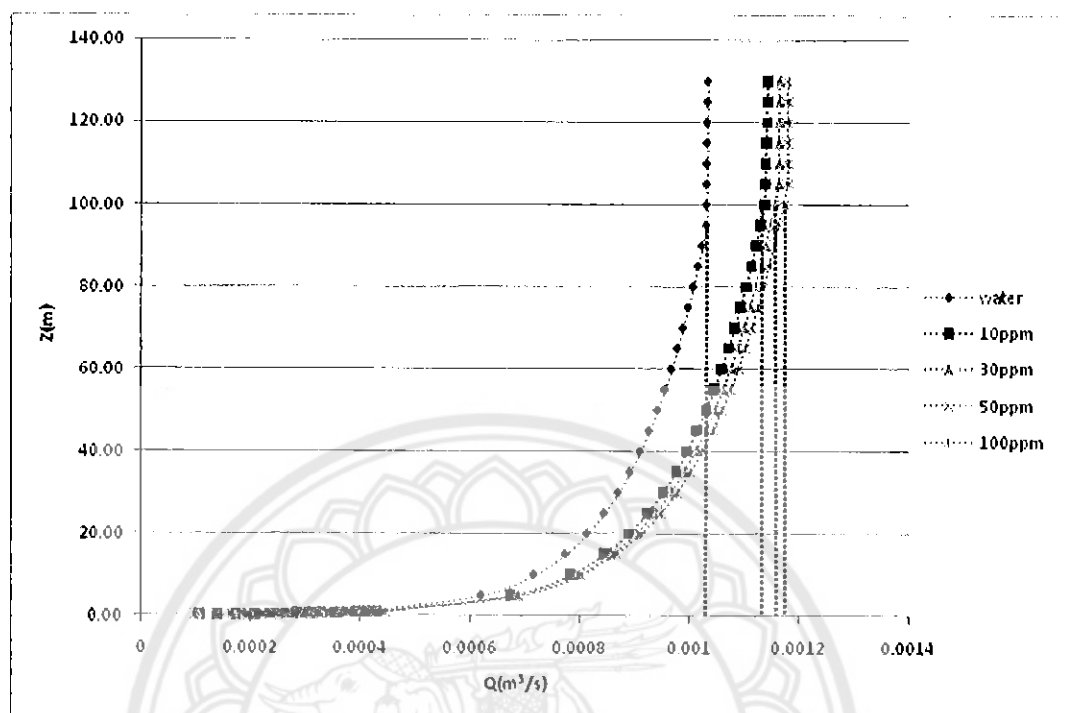
4.2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.018 m



กราฟที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของน้ำกับอัตราการไหลของท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.018 m

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ละลายลงในน้ำตามลำดับ จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้ และพบว่าจุดที่เกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดนั้นจะห่างออกไปจากเส้นของอัตราการไหลของน้ำที่ไม่ได้เติมสารละลายพอลิเมอร์โดยที่สารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะเพิ่มอัตราการไหลได้ดีที่สุด ดังนั้นที่ระดับความสูงของน้ำต่างๆ เมื่อทำการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะมีอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 13.51% เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำที่ไม่ได้เติมสารละลายพอลิเมอร์

4.2.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.020 m



กราฟที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของน้ำกับอัตราการไหลของท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.020 m

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ละลายลงในน้ำตามลำดับ จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้ และพบว่าจุดที่เกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดนั้นจะห่างออกไปจากเส้นของอัตราการไหลของน้ำที่ไม่ได้เติมสารละลายพอลิเมอร์โดยที่สารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะเพิ่มอัตราการไหลได้ดีที่สุด ดังนั้นที่ระดับความสูงของน้ำต่างๆ เมื่อทำการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะมีอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 9.10 % เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำที่ไม่ได้เติมสารละลายพอลิเมอร์

จากกราฟที่ 4.4- 4.6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของน้ำกับอัตราการไหลของขนาดท่อทั้ง 3 ท่อนั้นพบว่าความสามารถในการระบายน้ำสูงสุดนั้นจะอยู่ที่สัดส่วนของพอลิเมอร์ 100 ppm สามารถสร้างสมการโดยใช้ความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งแสดงได้ดังนี้

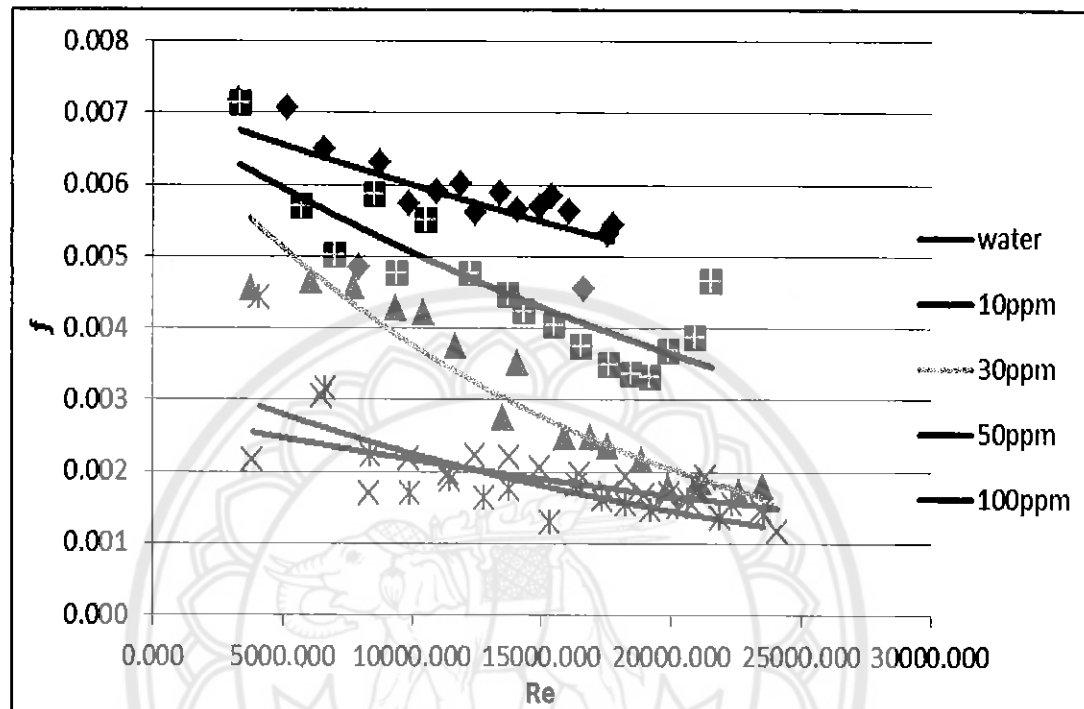
ตารางที่ 4.1 แสดงสมการความสัมพันธ์อัตราการไหลกับระดับความสูงของน้ำที่สัดส่วนสารพอลิเมอร์ 100 ppm

ขนาดท่อ (m)	Equation
0.015	$Q = (1.0862 \times 10^{-4}) \ln\left(\frac{H}{0.079}\right)$
0.018	$Q = (1.3950 \times 10^{-4}) \ln\left(\frac{H}{0.073}\right)$
0.020	$Q = (1.6108 \times 10^{-4}) \ln\left(\frac{H}{0.069}\right)$

จากสมการพบว่าความสูงของระดับน้ำมีผลให้อัตราการไหลนั้นเพิ่มขึ้นในลักษณะเอกซ์โพเนนเชียล สมการเหล่านี้สามารถที่จะนำไปทำนายอัตราการไหลที่ระดับความสูงอื่นๆ เช่น ที่ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.020 m ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ 10 ppm ระดับความสูงของน้ำ 50 m จะได้อัตราการไหล คือ $0.00106 \text{ m}^3/\text{s}$

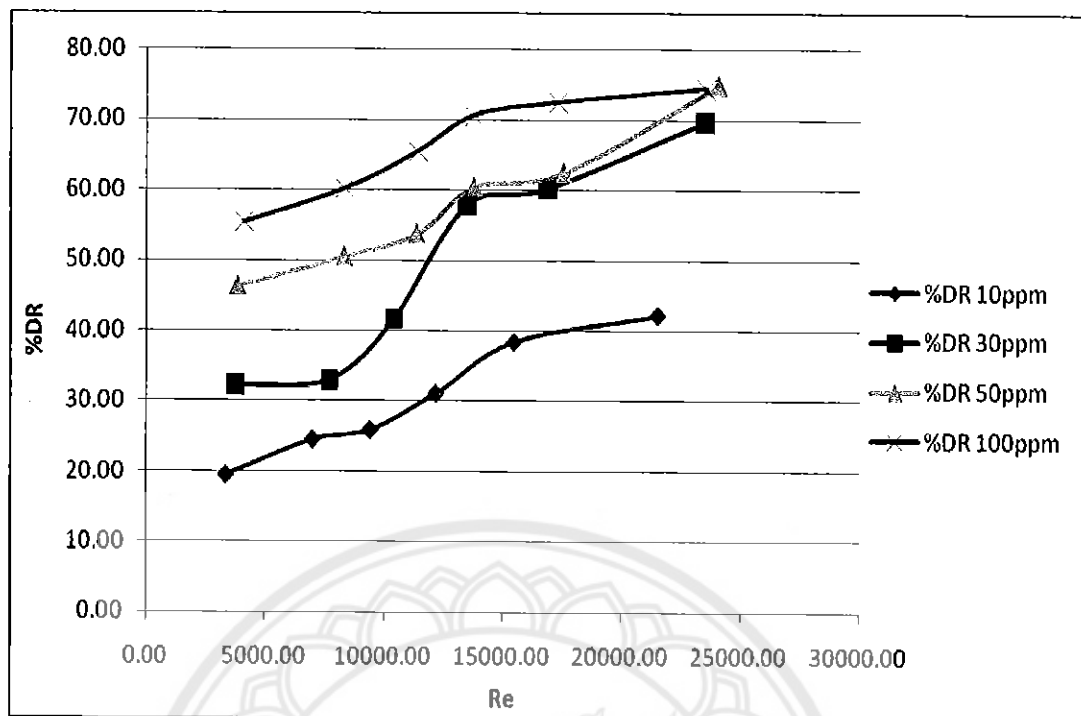
4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเติมสารพอลิเมอร์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

4.3.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.015 m



กราฟที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.015 m

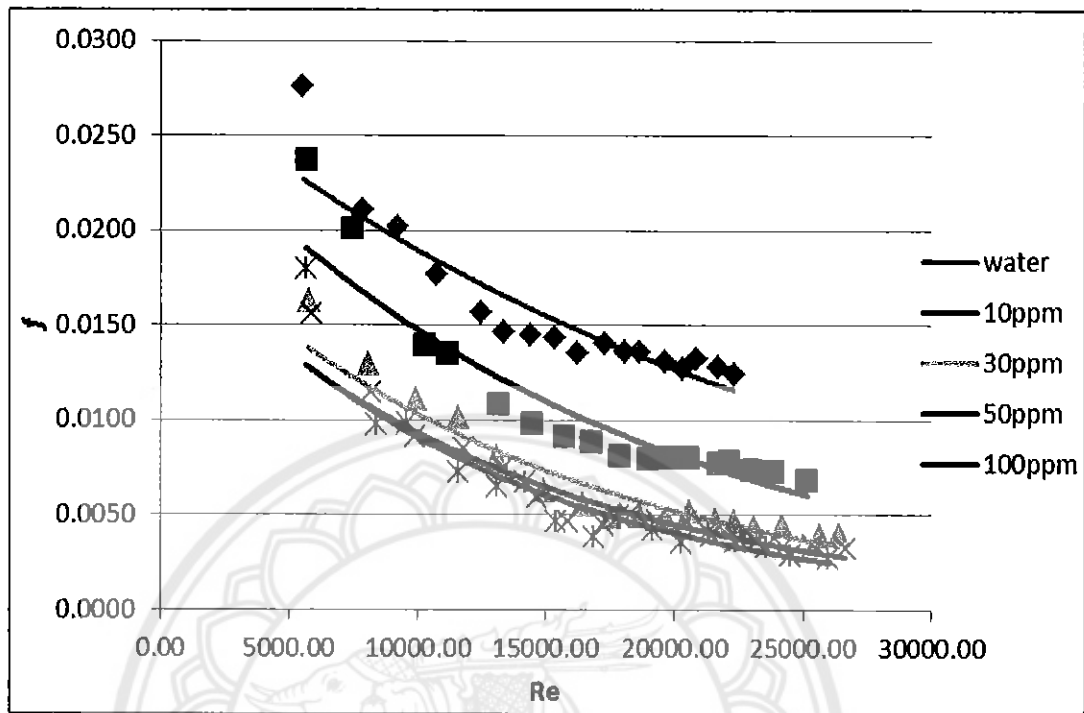
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ จะเห็นว่าเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ลงในท่อน้ำช่วยให้สามารถลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลภายในท่อให้ลดลงได้เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านั้นมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นโซ่ยาวจึงช่วยจับอนุภาคให้มีการเรียงตัวกันในทิศทางการไหล เช่น ที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ 15,000 จะได้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ 0.0057 และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะได้ 0.00146 ดังนั้นการเติมสารละลายพอลิเมอร์สามารถสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้เมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ



กราฟที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานภายในท่อ (DR) ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.015 m

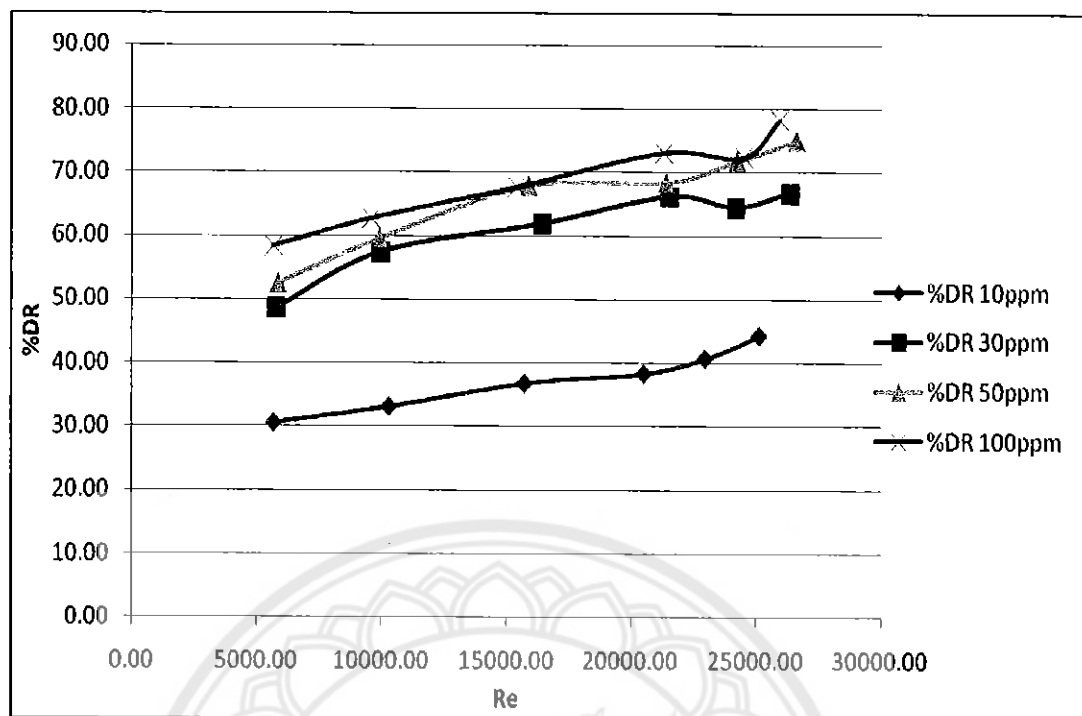
จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ลงในท่อน้ำช่วยให้สามารถลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลภายในท่อให้ลดลงได้เปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานภายในท่อ (DR) นั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 100 ppm นั้นจะสามารถลดแรงเสียดทานได้ดีที่สุด เนื่องมาจากพอลิเมอร์จะไปช่วยให้มีการเรียงตัวไปในทางเดียวกันกับทิศทางการไหลของน้ำ

4.3.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.018 m



กราฟที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.018 m

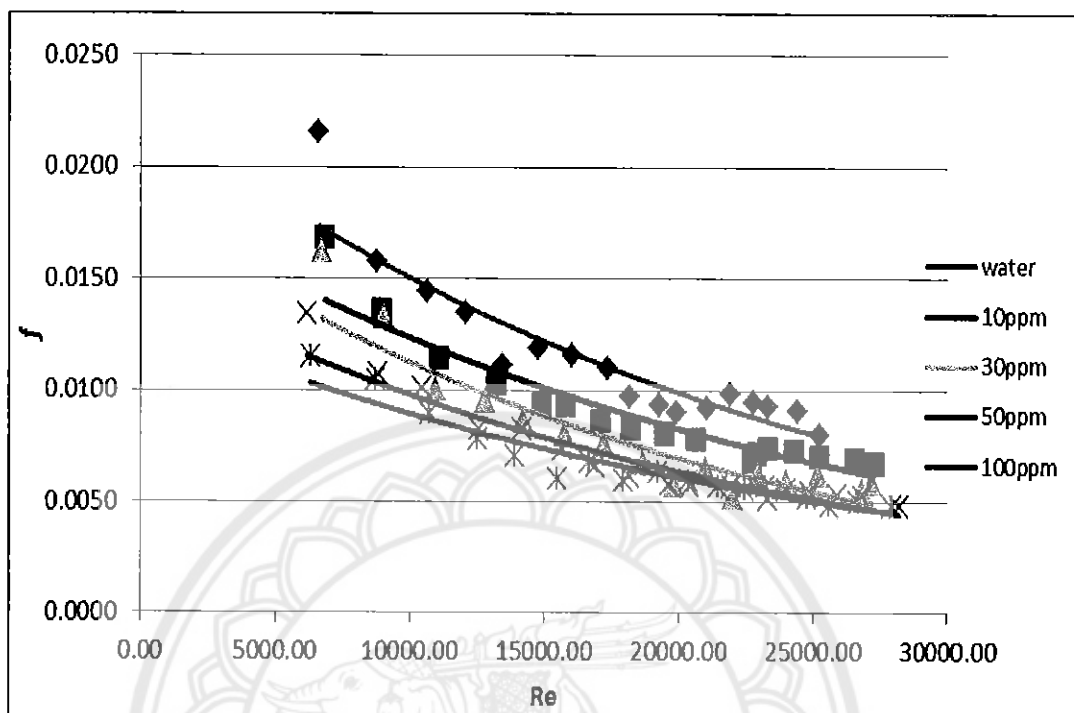
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ จะเห็นว่าเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ลงในท่อน้ำช่วยให้สามารถลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลภายในท่อให้ลดลงได้เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านั้นมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นโซ่ยาวจึงช่วยจับอนุภาคให้มีการเรียงตัวกันในทิศทางการไหล เช่น ที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ 15,000 จะได้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ 0.0060 และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์ที่ 100 ppm จะได้ 0.00130 ดังนั้นการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงในน้ำ จะสามารถลดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของน้ำได้ เมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ



กราฟที่ 4.10 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานภายในท่อ (DR) ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.018 m

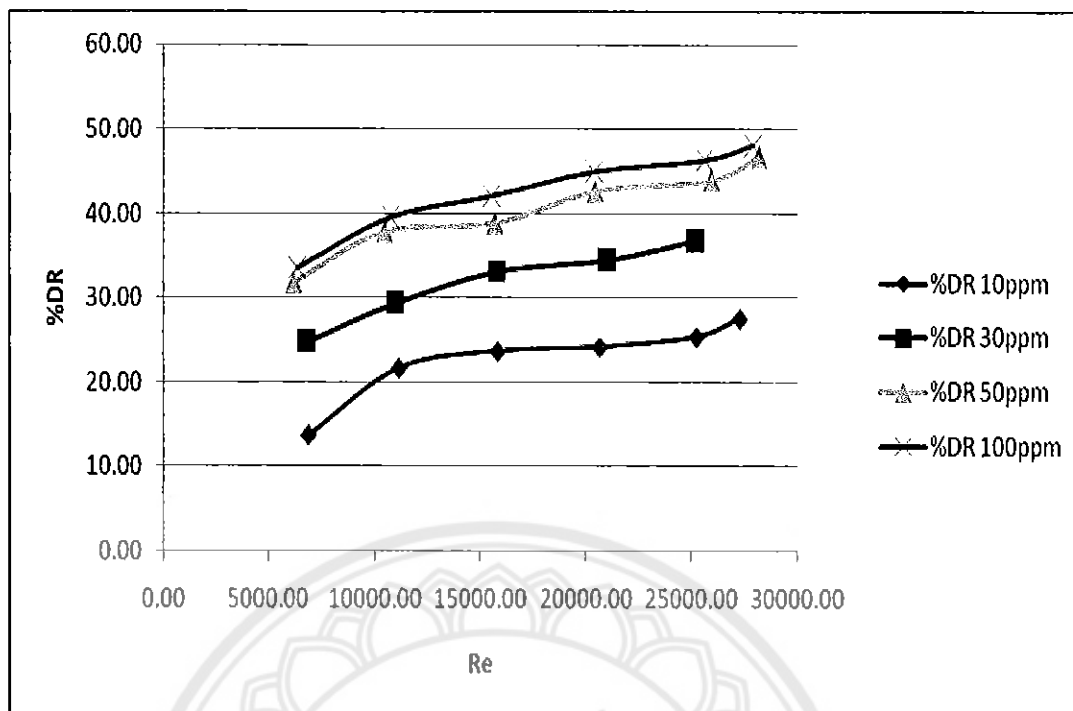
จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ลงในท่อน้ำช่วยให้สามารถลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลภายในท่อให้ลดลงได้เปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานภายในท่อ (DR) นั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 100 ppm นั้นจะสามารถลดแรงเสียดทานได้ดีที่สุด เนื่องมาจากพอลิเมอร์จะไปช่วยให้มีการเรียงตัวไปในทางเดียวกันกับทิศทางการไหลของน้ำ

4.3.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.020 m



กราฟที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.020 m

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกับเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ จะเห็นว่าเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ลงในท่อน้ำช่วยให้สามารถลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลภายในท่อให้ลดลงได้เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านั้นมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นโซ่ยาวจึงช่วยจับอนุภาคให้มีการเรียงตัวกันในทิศทางการไหลเช่นที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ 15,000 จะได้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ 0.0055 และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์ที่ 100 ppm 0.00332 จะเห็นได้ว่าที่เรย์โนลด์-นัมเบอร์ต่างๆ เมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงในน้ำ จะสามารถลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ลดลงเมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ

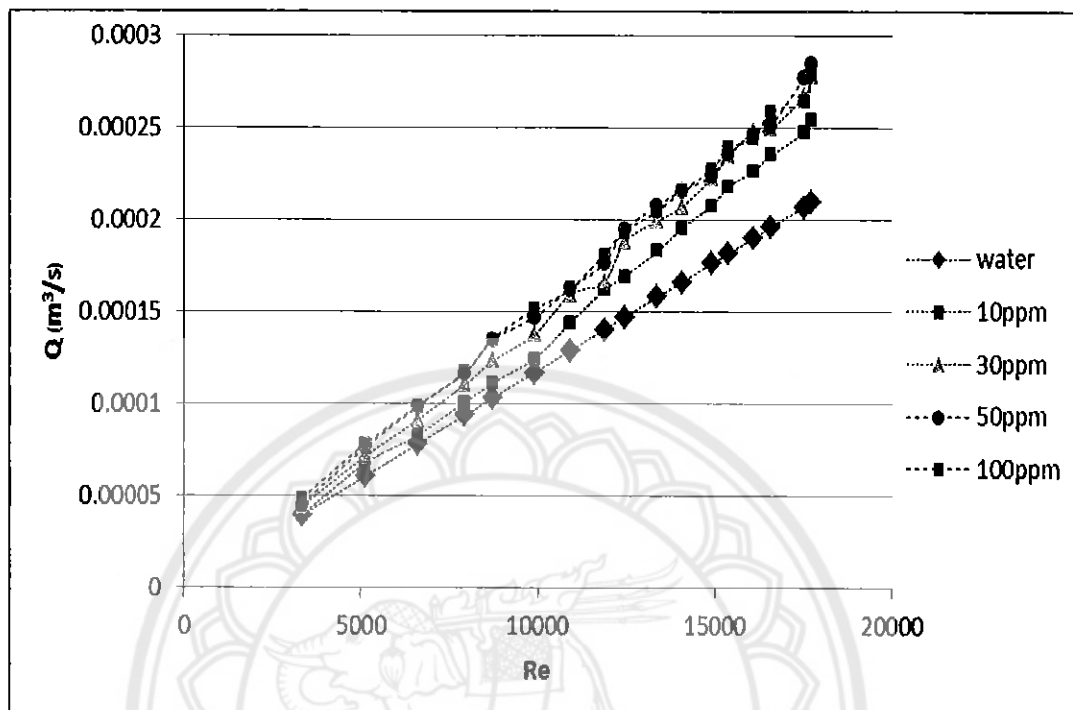


กราฟที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานภายในท่อ (DR) ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.020 m

จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ลงในท่อน้ำช่วยให้สามารถลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลภายในท่อให้ลดลงได้เปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานภายในท่อ (DR) นั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 100 ppm นั้นจะสามารถลดแรงเสียดทานได้ดีที่สุด เนื่องมาจากพอลิเมอร์จะไปช่วยให้มีการเรียงตัวไปในทางเดียวกันกับทิศทางการไหลของน้ำ

4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของการเติมสารพอลิเมอร์ที่มีผลต่ออัตราการไหล

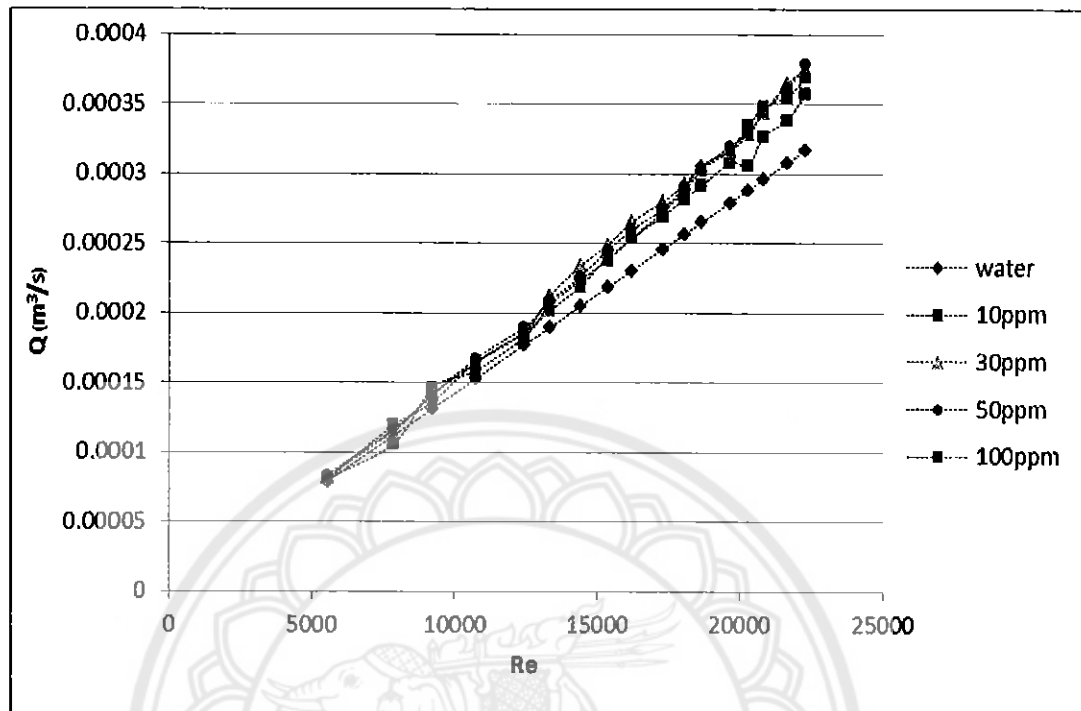
4.4.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.015 m



กราฟที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.015 m

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเรย์โนลด์-นัมเบอร์ จะเห็นว่าเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ลงในน้ำจะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านั้นจะช่วยลดพลังงานที่สูญเสียไปได้ เช่น ที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ 15,000 จะได้อัตราการไหลของน้ำ $0.000218 \text{ m}^3/\text{s}$ และอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะได้ $0.000240 \text{ m}^3/\text{s}$ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ 100 ppm จะมีอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเป็น 22.74% เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำ

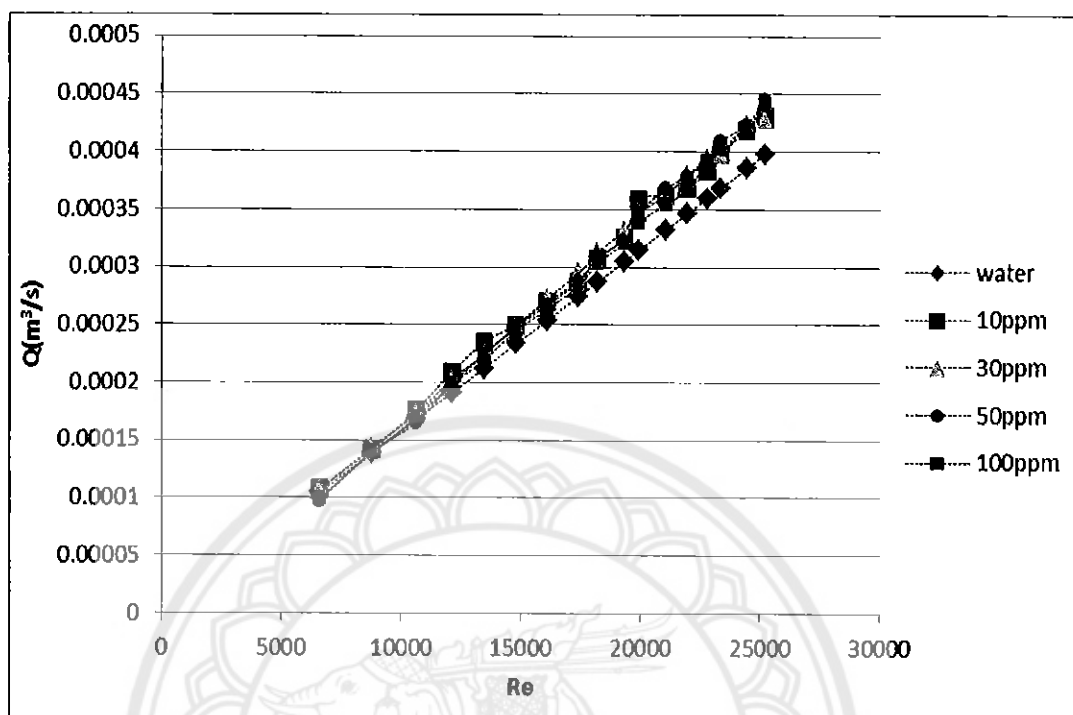
4.4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.018 m



กราฟที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.018 m

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเรย์โนลด์-นัมเบอร์ จะเห็นว่าเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ลงในท่อน้ำ จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านั้นจะช่วยลดพลังงานที่สูญเสียไปได้ เช่นที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ 15,000 จะได้อัตราการไหลของน้ำ $0.000176 \text{ m}^3/\text{s}$ และอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะได้ $0.000240 \text{ m}^3/\text{s}$ จะเห็นได้ว่า เมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะมีอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเป็น 9% เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำ

4.4.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.020 m



กราฟที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 0.020 m

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเรย์โนลด์-นัมเบอร์ จะเห็นว่าเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10, 30, 50 และ 100 ppm ลงในท่อน้ำจะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านั้นจะช่วยลดพลังงานที่สูญเสียไปได้ เช่น ที่ค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ 15,000 จะได้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ $0.000254 \text{ m}^3/\text{s}$ และอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะได้ $0.000263 \text{ m}^3/\text{s}$ จะเห็นได้ว่า เมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะมีอัตราการไหลของน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเป็น 4.64% เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำ

4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง สารพอลิเมอร์ชนิด PAM ที่ใช้ผสมกับน้ำ จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำภายในท่อโดยเทียบกับความสูงของระดับน้ำ จะเห็นว่าเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะมีอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์ที่ใช้ และขนาดท่อที่ใช้นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการไหลเหมือนกัน กล่าวคือ ถ้าท่อที่มีขนาดใหญ่ขึ้นประสิทธิภาพของพอลิเมอร์ที่จะช่วยลดแรงเสียดทานนั้นก็ลดลง เพราะว่าสารพอลิเมอร์จะช่วยลดแรงเสียดทานที่บริเวณของน้ำใกล้ๆ กับผิวท่อ ซึ่งขนาดท่อที่ใหญ่ทำให้สารพอลิเมอร์ไปถึงที่ผิวของท่อนั้นต้องใช้เวลาานกว่าท่อที่มีขนาดเล็ก เมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะช่วยให้สามารถลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลภายในท่อให้ลดลงได้เนื่องจากพอลิเมอร์เหล่านั้นมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีเป็นโซ่ยาวจึงช่วยจับอนุภาคให้มีการเรียงตัวกันในทิศทางของการไหล และเมื่อเติมสารพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆลงในท่อจะสามารถเพิ่มอัตราการไหลภายในท่อได้ ซึ่งในลักษณะเดียวกันท่อที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและตามอัตราความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์ที่ใช้ นั้น จะเห็นว่าอัตราการไหลภายในท่อจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำ

ดังนั้นสารพอลิเมอร์ PAM ที่ความเข้มข้นต่างๆที่ใช้ผสมกับน้ำ ก็มีข้อจำกัดที่จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลภายในท่อได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ที่ใช้ผสมกับน้ำจะสามารถใช้ได้ในช่วงที่ไม่เกิน 100 ppm ถ้าใส่ปริมาณความเข้มข้นมากเกินไปอัตราการไหลของน้ำก็จะไม่เกิดผลแต่อย่างใด และขนาดท่อที่แตกต่างกันก็จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการระบายน้ำของสารพอลิเมอร์นั้นแตกต่างกัน

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและการทดลองของโครงการนี้ต้องการทราบถึงปรากฏการณ์รองรับน้ำเกินพิกัดของท่อระบายน้ำ เนื่องจากมีความสามารถจำกัดในการรองรับน้ำและการระบายน้ำออกจากพื้นที่หนึ่งๆ จากข้อจำกัดดังกล่าวจึงทำศึกษาการใช้สารพอลิเมอร์ Polyacrylamide (PAM) ที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาการรองรับน้ำเกินพิกัดของท่อระบายน้ำ สารพอลิเมอร์มีความสามารถที่จะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง โมเลกุลของน้ำมีการเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น ยังสามารถที่จะอนุรักษ์พลังงานที่สูญเสียภายในท่อที่เกิดมาจากการหมุนวนของน้ำในท่อ โดยพอลิเมอร์จะทำหน้าที่เหมือนตัวส่งถ่ายพลังงาน และจะเข้าไปรับพลังงานที่สูญเสียเหล่านี้ แล้วส่งพลังงานนั้นไปในทิศทางเดียวกันกับการไหล ดังนั้นน้ำจะมีพลังงานในการไหลเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นตามด้วย จึงสามารถใช้พอลิเมอร์ในการเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำของท่อขณะท่อเกิดการรองรับน้ำที่เกินพิกัด และสัดส่วนความคลาดเคลื่อนของข้อมูลกับค่าทางทฤษฎีจะตกอยู่ในช่วง ± 5 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจัดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ มีผลต่อการไหลของน้ำ จากการศึกษาและการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่เหมาะสมคือประมาณ 100 ppm เนื่องจากถ้าใช้ความเข้มข้นเกินกว่านี้ จะมีผลทำให้ความสามารถในการลดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหล และการเพิ่มอัตราการไหลลดลง แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์อยู่ในช่วง ที่น้อยกว่า 100 ppm จะทำให้ความสามารถในการเพิ่มอัตราการไหลภายในท่อลดลงเช่นกัน

จากการทดลองพบว่าเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ Polyacrylamide (PAM) ลงในท่อที่รองรับน้ำเกินพิกัดระหว่างการเกิดน้ำท่วม มีความสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำและยังสามารถอนุรักษ์พลังงานการสูญเสียเนื่องมาจากการไหล โดยที่ความเข้มข้นของสารพอลิเมอร์ 100 ppm ที่ระดับน้ำสูง 0.90 m ของท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.015 m สามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำได้สูงสุด 25% ในขณะที่ระดับน้ำสูง 0.90 m สามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำของท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.018 m และ 0.020 m ได้สูงสุด 13.51% และ 9.10% ตามลำดับ

5.2 ข้อจำกัดในการทดลอง

5.2.1 การทดลองนี้ทำการทดลองระบบท่อในแนวระดับและใช้ท่อขนาดเล็ก ที่มีผิวเรียบในการทดลอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 5.3.1 ทำการทดลองกับระบบท่อที่ระบบท่อในแนวลาดเอียง
- 5.3.2 ทำการทดลองกับชนิดของท่อที่มีผิวท่อขรุขระ
- 5.3.3 ทำการทดลองกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่ใหญ่ขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร.
- [2] ป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมกรุงเทพมหานครเนื่องจากน้ำฝนและน้ำหนุน (2552) สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร.
- [3] แผนการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ (2553 – 2557)
- [4] ภาวะโลกร้อนกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ(2553).ศูนย์ภูมิอากาศแห่งชาติ กรมอุตุนิยมวิทยา
- [5] Ronald V.Giles, Fluid Mechanics and Hydraulics, McGraw-hill book Company.
- [6] Sellin RH, Hoyt JW, Scrivener O (1982) the effect of drag reducing additives on fluid flows and their industrial applications. Part 1: Basic aspects. Journal of Hydraulics Research 20:29-68.
- [7] Sellin RH, Hoyt JW, Scrivener O (1982) The effect of drag reducing additives on fluid flows and their industrial applications. Part2: Present applications and future proposal. Journal of Hydraulics Research 20:235-292.
- [8] Shu-Qing Yang (1985) Drag Reduction in turbulent flow with polymer additives: Associate Professor School of Civil, Mining and Environmental Engineering University of Wollongong, New South Wales
- [9] Toonder JMJ, Hulsen MA, Kuiken GDC, Nieuwstadt FTM (1997) Drag reduction by polymer additives in a turbulent pipe flow: numerical and laboratory experiments. J Fluid Mech 337:193-231
- [10] Virk PS (1975) Drag reduction fundamental. AIChE J 21:625-656.

ภาคผนวก





ตารางที่ ก ตารางบันทึกผลการทดลอง

ระดับความสูงของ น้ำ(m)	Time(s)	P1(mm)	P2(mm)	P3(KN/m ²)	Kg	Kg/s
0.10						
0.15						
0.20						
0.25						
0.30						
0.35						
0.40						
0.45						
0.50						
0.55						
0.60						
0.65						
0.70						
0.75						
0.80						
0.85						
0.90						

ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดการสูญเสียพลังงานหลักจากการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดการสูญเสียพลังงานหลักและอัตราการไหล

ตัวอย่างการคำนวณการลดการสูญเสียพลังงานหลัก ของท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.015 m ระดับความสูง 0.90 m ที่อัตราการไหล 0.2094 kg/s

$$h_{f,water} = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

$$h_{f,water} = \frac{(0.0054)(4.10)(1.1878)^2}{(0.015)(2)(9.81)}$$

$$= 0.1062 \text{ m}$$

ตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดการสูญเสียพลังงานหลักและอัตราการไหล

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดการสูญเสียพลังงานหลัก

$$\%h_{f@10 \text{ ppm}, 0.2094 \text{ kg/s}} = \left(\frac{h_{f,water} - h_{f,100 \text{ ppm}, 0.2094 \text{ kg/s}}}{h_{f,water}} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{0.1068 - 0.0487}{0.1068} \right) \times 100\%$$

$$= 54.4\%$$

ดังนั้นเมื่อผสมสารพอลิเมอร์ Polyacrylamide (PAM) ที่ความเข้มข้น 100 ppm ลงในน้ำ แล้วให้ไหลผ่านท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.015 m ระดับความสูง 0.90 m ที่อัตราการไหล 0.00028 m³/s สามารถลดการสูญเสียพลังงานหลักได้ 54.4%

คำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล

$$\%Q_{@100 \text{ ppm}} = \left(\frac{Q_{@100 \text{ ppm}} - Q_{water}}{Q_{@100 \text{ ppm}}} \right)$$

$$= \left(\frac{0.00028 - 0.00021}{0.00028} \right)$$

$$= 25\%$$

ดังนั้นดังนั้นเมื่อผสมสารพอลิเมอร์ Polyacrylamide (PAM) ที่ความเข้มข้น 100 ppm ลงในน้ำแล้วให้ไหลผ่านท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.015 m ระดับความสูง 0.9 m จะสามารถเพื่ออัตราการไหลได้ 25%

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

การคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ และค่าตัวแปรต่างๆ ใช้ค่าเฉลี่ยของเวลาจากการทดลองที่ระดับความสูง 0.10 m ของขนาดท่อ 0.015 m

คำนวณหาเวลาเฉลี่ย

$$t_{avg} = \frac{(t_1 + t_2 + t_3)}{3}$$

$$t_{avg} = \frac{(276 + 272 + 259)}{3}$$

$$= 269s$$

คำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ย

$$m_{avg} = \frac{(m_1 + m_2 + m_3)}{3}$$

$$= \frac{(10.7 + 10.7 + 10.4)}{3}$$

$$= 10.6kg$$

$$\dot{m} = \frac{mass_{water}}{t_a}$$

$$= \frac{10.6}{269}$$

$$= 0.03942 \text{ kg / s}$$

คำนวณหาความเร็ว

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$= \frac{0.03942}{(998)(0.000176625)}$$

$$= 0.2236 \text{ m / s.}$$

คำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์

$$\text{Re} = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$= \frac{(998)(0.2236)(0.015)}{0.001003}$$

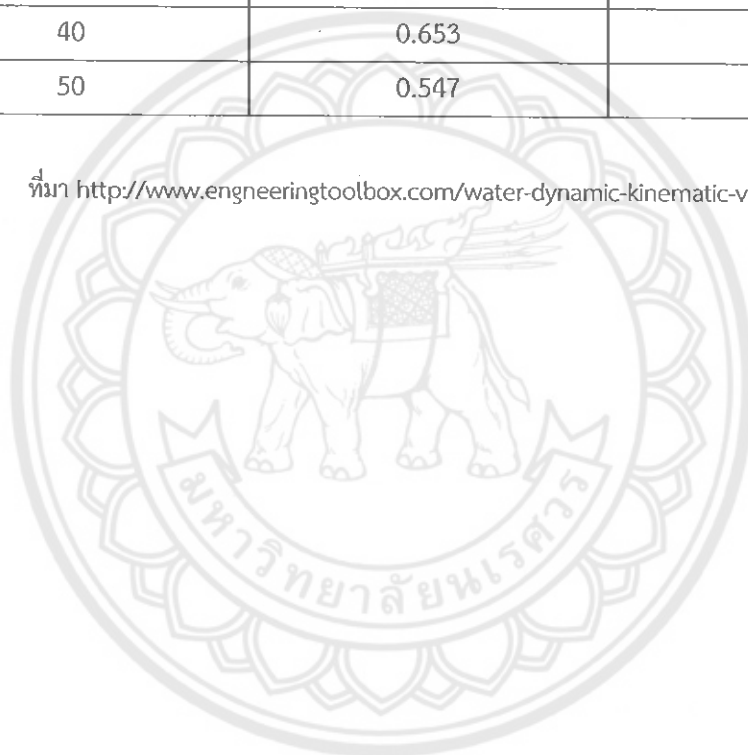
$$= 3337.7798$$



ตารางที่ ข ตารางแสดงคุณสมบัติของน้ำ

Temperature (T) (°C)	Dynamic Viscosity (μ) ($N.s/m^2$) $\times 10^{-3}$	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

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





ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ของน้ำของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.015 m

H(m)	t_{sp}	m (kg/s)	Q(m ³ /s)	A (m ²)	V (m/s)	$\mu(N.s/m^2)$	$\rho(kg/m^3)$	D(m)	Re
0.1	269.000	0.039	0000.3945	0.000177	0.224	0.001002	998.000	0.015	3337.78
0.15	155.667	0.061	0000.6083	0.000177	0.344	0.001002	998.000	0.015	5140.896
0.2	176.333	0.078	0.0000781	0.000177	0.442	0.001002	998.000	0.015	6597.137
0.25	119.667	0.094	0.0000938	0.000177	0.531	0.001002	998.000	0.015	7924.466
0.3	115.833	0.103	0.0001033	0.000177	0.585	0.001002	998.000	0.015	8728.149
0.35	85.667	0.117	0.0001170	0.000177	0.662	0.001002	998.000	0.015	9887.705
0.4	94.333	0.129	0.0001292	0.000177	0.732	0.001002	998.000	0.015	10917.914
0.45	73.667	0.14	0.0001404	0.000177	0.795	0.001002	998.000	0.015	11871.954
0.5	71.000	0.147	0.0001472	0.000177	0.834	0.001002	998.000	0.015	12440.644
0.55	63.330	0.158	0.0001582	0.000177	0.896	0.001002	998.000	0.015	13372.207
0.6	73.000	0.166	0.000166	0.000177	0.941	0.001002	998.000	0.015	14049.351
0.65	57.000	0.176	0.0001764	0.000177	0.999	0.001002	998.000	0.015	14908.129
0.7	63.667	0.182	0.0001820	0.000177	1.031	0.001002	998.000	0.015	15385.214
0.75	52.666	0.19	0.0001902	0.000177	1.077	0.001002	998.000	0.015	16078.197
0.8	58.000	0.196	0.0001964	0.000177	1.112	0.001002	998.000	0.015	16596.731
0.85	43.333	0.207	0.0002073	0.000177	1.174	0.001002	998.000	0.015	17519.933
0.9	67.000	0.209	0.0002097	0.000177	1.188	0.001002	998.000	0.015	17727.615

ตารางที่ 2 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 10 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.015 m

H(m)	t_{av}	m (kg/s)	Q(m ³ /s)	A (m ²)	V (m/s)	$\mu(N.s/m^2)$	$\rho(kg/m^3)$	D(m)	Re
0.100	232.333	0.040	0.0000396	0.000177	0.225	0.001002	998.000	0.015	3351.410
0.150	133.000	0.068	0.0000677	0.000177	0.384	0.001002	998.000	0.015	5724.606
0.200	143.333	0.083	0.0000828	0.000177	0.469	0.001002	998.000	0.015	6999.223
0.250	106.667	0.101	0.0001010	0.000177	0.572	0.001002	998.000	0.015	8531.268
0.300	92.333	0.111	0.0001114	0.000177	0.631	0.001002	998.000	0.015	9413.077
0.350	96.667	0.124	0.0001245	0.000177	0.705	0.001002	998.000	0.015	10519.426
0.400	75.330	0.144	0.0001443	0.000177	0.817	0.001002	998.000	0.015	12195.934
0.450	84.000	0.162	0.0001622	0.000177	0.918	0.001002	998.000	0.015	13703.801
0.500	63.667	0.169	0.0001695	0.000177	0.959	0.001002	998.000	0.015	14320.293
0.550	76.333	0.183	0.0001832	0.000177	1.037	0.001002	998.000	0.015	15483.141
0.600	58.666	0.195	0.0001954	0.000177	1.106	0.001002	998.000	0.015	16512.161
0.650	75.330	0.208	0.0002081	0.000177	1.178	0.001002	998.000	0.015	17587.329
0.700	55.666	0.218	0.0002182	0.000177	1.236	0.001002	998.000	0.015	18441.417
0.750	70.000	0.226	0.0002268	0.000177	1.284	0.001002	998.000	0.015	19167.644
0.800	47.666	0.235	0.0002355	0.000177	1.333	0.001002	998.000	0.015	19900.111
0.850	42.333	0.247	0.0002477	0.000177	1.402	0.001002	998.000	0.015	20928.008
0.900	43.667	0.254	0.0002548	0.000177	1.443	0.001002	998.000	0.015	21535.173

ตารางที่ 3 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 30 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.015 m

H(m)	t_w	m (kg/s)	$Q(m^3/s)$	A (m^2)	V (m/s)	$\mu(N.s/m^2)$	$\rho(kg/m^3)$	D(m)	Re
0.100	199.333	0.044	0.0000444	0.000177	0.2515	0.001002	998.000	0.015	3753.267
0.150	113.000	0.072	0.0000716	0.000177	0.4059	0.001002	998.000	0.015	6057.419
0.200	113.333	0.091	0.0000912	0.000177	0.5167	0.001002	998.000	0.015	7712.148
0.250	96.667	0.110	0.0001105	0.000177	0.6257	0.001002	998.000	0.015	9338.989
0.300	84.000	0.123	0.0001234	0.000177	0.6986	0.001002	998.000	0.015	10426.819
0.350	79.667	0.137	0.0001377	0.000177	0.7798	0.001002	998.000	0.015	11638.150
0.400	86.000	0.159	0.0001595	0.000177	0.9033	0.001002	998.000	0.015	13481.712
0.450	83.333	0.166	0.0001664	0.000177	0.9419	0.001002	998.000	0.015	14057.951
0.500	76.333	0.188	0.0001882	0.000177	1.0656	0.001002	998.000	0.015	15904.263
0.550	83.000	0.199	0.0001996	0.000177	1.1303	0.001002	998.000	0.015	16870.326
0.600	59.333	0.207	0.0002073	0.000177	1.1735	0.001002	998.000	0.015	17515.307
0.650	67.000	0.223	0.000223	0.000177	1.2625	0.001002	998.000	0.015	18842.725
0.700	17.667	0.235	0.0002352	0.000177	1.3319	0.001002	998.000	0.015	19878.463
0.750	70.330	0.248	0.0002483	0.000177	1.4057	0.001002	998.000	0.015	20980.658
0.800	56.666	0.250	0.0002501	0.000177	1.4161	0.001002	998.000	0.015	21136.147
0.850	65.667	0.267	0.0002676	0.000177	1.5152	0.001002	998.000	0.015	22614.608
0.900	54.667	0.278	0.0002783	0.000177	1.5759	0.001002	998.000	0.015	23520.101

ตารางที่ 4 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 50 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.015 m

	t_{cv}	m (kg/s)	$Q(m^3/s)$	A (m^2)	V (m/s)	$\mu(N.s/m^2)$	$\rho(kg/m^3)$	D(m)	Re
0.100	224.666	0.045	0.0000455	0.000177	0.258	0.001002	998.000	0.015	3848.474
0.150	112.000	0.076	0.0000766	0.000177	0.434	0.001002	998.000	0.015	6470.802
0.200	104.666	0.098	0.0000986	0.000177	0.558	0.001002	998.000	0.015	8333.427
0.250	88.667	0.117	0.0001169	0.000177	0.662	0.001002	998.000	0.015	9874.138
0.300	76.333	0.135	0.0001348	0.000177	0.763	0.001002	998.000	0.015	11391.806
0.350	70.666	0.147	0.0001470	0.000177	0.832	0.001002	998.000	0.015	12422.233
0.400	65.667	0.163	0.0001629	0.000177	0.923	0.001002	998.000	0.015	13769.538
0.450	61.000	0.176	0.0001765	0.000177	0.999	0.001002	998.000	0.015	14915.491
0.500	58.000	0.194	0.0001947	0.000177	1.102	0.001002	998.000	0.015	16449.789
0.550	54.333	0.207	0.0002079	0.000177	1.177	0.001002	998.000	0.015	17568.185
0.600	51.666	0.216	0.0002161	0.000177	1.223	0.001002	998.000	0.015	18256.762
0.650	49.000	0.224	0.0002243	0.000177	1.270	0.001002	998.000	0.015	18954.521
0.700	51.333	0.236	0.0002363	0.000177	1.338	0.001002	998.000	0.015	19966.218
0.750	43.667	0.246	0.0002462	0.000177	1.394	0.001002	998.000	0.015	20805.457
0.800	41.667	0.252	0.0002521	0.000177	1.427	0.001002	998.000	0.015	21302.318
0.850	40.667	0.277	0.0002778	0.000177	1.573	0.001002	998.000	0.015	23470.865
0.900	41.667	0.285	0.0002851	0.000177	1.614	0.001002	998.000	0.015	24091.268

ตารางที่ 5 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 100 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.015 m

H(m)	t_{avg}	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
0.100	121.000	0.049	4.86E-05	0.000177	0.275	0.001002	998.000	0.015	4106.646
0.150	107.333	0.078	7.844E-05	0.000177	0.444	0.001002	998.000	0.015	6628.635
0.200	93.667	0.099	9.889E-05	0.000177	0.560	0.001002	998.000	0.015	8356.591
0.250	73.333	0.117	0.0001172	0.000177	0.664	0.001002	998.000	0.015	9907.020
0.300	65.333	0.135	0.0001353	0.000177	0.766	0.001002	998.000	0.015	11429.368
0.350	67.667	0.151	0.0001514	0.000177	0.857	0.001002	998.000	0.015	12789.859
0.400	69.333	0.162	0.0001627	0.000177	0.921	0.001002	998.000	0.015	13750.846
0.450	51.667	0.181	0.0001817	0.000177	1.028	0.001002	998.000	0.015	15350.330
0.500	55.333	0.193	0.0001937	0.000177	1.097	0.001002	998.000	0.015	16372.308
0.550	49.667	0.205	0.000205	0.000177	1.161	0.001002	998.000	0.015	17325.443
0.600	51.333	0.215	0.0002159	0.000177	1.222	0.001002	998.000	0.015	18240.673
0.650	42.000	0.227	0.0002276	0.000177	1.289	0.001002	998.000	0.015	19232.532
0.700	38.000	0.239	0.0002398	0.000177	1.358	0.001002	998.000	0.015	20266.126
0.750	39.667	0.244	0.0002445	0.000177	1.384	0.001002	998.000	0.015	20662.309
0.800	48.333	0.259	0.0002592	0.000177	1.468	0.001002	998.000	0.015	21906.904
0.850	45.000	0.264	0.0002643	0.000177	1.497	0.001002	998.000	0.015	22337.477
0.900	42.000	0.278	0.0002788	0.000177	1.578	0.001002	998.000	0.015	23556.324

ตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์ - นัมเบอร์ของน้ำของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.018 m

H(m)	t_{avg}	m (kg/s)	$Q(m^3/s)$	A (m^2)	V(m/s)	$\mu(N.s/m^2)$	$\rho(Kg/m^3)$	D(m)	Re
0.100	112.667	0.078	0.0000786	0.0002545	0.309	0.001002	998.000	0.018	5532.084
0.150	83.333	0.111	0.0001117	0.0002545	0.439	0.001002	998.000	0.018	7861.094
0.200	74.667	0.131	0.0001312	0.0002545	0.516	0.001002	998.000	0.018	9234.572
0.250	70.000	0.152	0.0001527	0.0002545	0.600	0.001002	998.000	0.018	10749.085
0.300	55.333	0.177	0.0001771	0.0002545	0.696	0.001002	998.000	0.018	12460.063
0.350	58.000	0.189	0.0001896	0.0002545	0.745	0.001002	998.000	0.018	13343.449
0.400	49.333	0.204	0.0002046	0.0002545	0.804	0.001002	998.000	0.018	14398.021
0.450	48.667	0.218	0.0002182	0.0002545	0.858	0.001002	998.000	0.018	15361.950
0.500	46.667	0.230	0.0002307	0.0002545	0.906	0.001002	998.000	0.018	16234.359
0.550	41.333	0.245	0.0002457	0.0002545	0.965	0.001002	998.000	0.018	17289.564
0.600	40.333	0.256	0.0002566	0.0002545	1.008	0.001002	998.000	0.018	18060.507
0.650	39.333	0.265	0.000265	0.0002545	1.042	0.001002	998.000	0.018	18656.470
0.700	38.667	0.279	0.0002793	0.0002545	1.097	0.001002	998.000	0.018	19654.797
0.750	35.667	0.288	0.0002884	0.0002545	1.133	0.001002	998.000	0.018	20297.094
0.800	43.333	0.295	0.0002958	0.0002545	1.162	0.001002	998.000	0.018	20817.955
0.850	40.667	0.307	0.0003076	0.0002545	1.209	0.001002	998.000	0.018	21654.139
0.900	36.667	0.316	0.0003168	0.0002545	1.245	0.001002	998.000	0.018	22302.735

ตารางที่ 7 แสดงผลการคำนวณหาค่าเฉลี่ยในลัด-นับเบอรของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 10 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.018 m

H(m)	t_{avg}	m (kg/s)	$Q(m^3/s)$	A (m^2)	V(m/s)	$\mu(N.s/m^2)$	$\rho(Kg/m^3)$	D(m)	Re
0.100	115.667	0.080	0.0000804	0.0002545	0.316	0.001002	998.000	0.018	5665.049
0.150	76.667	0.106	0.0001059	0.0002545	0.416	0.001002	998.000	0.018	7454.213
0.200	63.667	0.146	0.0001460	0.0002545	0.574	0.001002	998.000	0.018	10277.788
0.250	63.667	0.158	0.0001585	0.0002545	0.623	0.001002	998.000	0.018	11158.074
0.300	54.667	0.186	0.0001828	0.0002545	0.733	0.001002	998.000	0.018	13134.795
0.350	51.000	0.205	0.0002056	0.0002545	0.808	0.001002	998.000	0.018	14472.936
0.400	43.667	0.223	0.0002233	0.0002545	0.878	0.001002	998.000	0.018	15719.563
0.450	41.333	0.237	0.0002379	0.0002545	0.935	0.001002	998.000	0.018	16741.438
0.500	42.000	0.253	0.0002537	0.0002545	0.997	0.001002	998.000	0.018	17859.742
0.550	37.333	0.269	0.0002692	0.0002545	1.058	0.001002	998.000	0.018	18951.851
0.600	40.333	0.282	0.0002821	0.0002545	1.109	0.001002	998.000	0.018	19853.938
0.650	43.333	0.291	0.0002914	0.0002545	1.145	0.001002	998.000	0.018	20508.678
0.700	32.333	0.307	0.0003077	0.0002545	1.209	0.001002	998.000	0.018	21661.581
0.750	36.000	0.313	0.000306	0.0002545	1.232	0.001002	998.000	0.018	22072.907
0.800	31.000	0.326	0.0003267	0.0002545	1.284	0.001002	998.000	0.018	22988.683
0.850	30.667	0.338	0.0003385	0.0002545	1.330	0.001002	998.000	0.018	23825.157
0.900	30.667	0.356	0.0003572	0.0002545	1.404	0.001002	998.000	0.018	25140.238

ตารางที่ 8 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 30 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.018 m

H(m)	t_{mg}	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
0.100	113.667	0.082	0.0000819	0.0002545	0.322	0.001002	998.000	0.018	5764.731
0.150	71.667	0.115	0.000115	0.0002545	0.452	0.001002	998.000	0.018	8097.817
0.200	66.333	0.141	0.0001413	0.0002545	0.555	0.001002	998.000	0.018	9940.905
0.250	58.667	0.164	0.0001644	0.0002545	0.646	0.001002	998.000	0.018	11574.459
0.300	50.333	0.186	0.000186	0.0002545	0.731	0.001002	998.000	0.018	13092.105
0.350	39.667	0.212	0.0002123	0.0002545	0.835	0.001002	998.000	0.018	14947.126
0.400	43.333	0.233	0.0002335	0.0002545	0.917	0.001002	998.000	0.018	16429.902
0.450	44.333	0.248	0.0002487	0.0002545	0.977	0.001002	998.000	0.018	17502.594
0.500	40.333	0.265	0.0002654	0.0002545	1.043	0.001002	998.000	0.018	18683.620
0.550	29.333	0.279	0.0002797	0.0002545	1.099	0.001002	998.000	0.018	19681.526
0.600	29.667	0.292	0.0002925	0.0002545	1.149	0.001002	998.000	0.018	20585.535
0.650	37.000	0.306	0.0003061	0.0002545	1.203	0.001002	998.000	0.018	21546.875
0.700	32.667	0.316	0.0003171	0.0002545	1.246	0.001002	998.000	0.018	22319.623
0.750	32.333	0.328	0.0003283	0.0002545	1.290	0.001002	998.000	0.018	23104.083
0.800	35.000	0.343	0.0003437	0.0002545	1.350	0.001002	998.000	0.018	24186.244
0.850	30.333	0.364	0.0003646	0.0002545	1.433	0.001002	998.000	0.018	25662.365
0.900	26.333	0.374	0.0003748	0.0002545	1.473	0.001002	998.000	0.018	26380.662

ตารางที่ 9 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 50 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.018 m

H(m)	t_{avg}	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
0.100	92.333	0.0834	0.0000835	0.00025	0.3282	0.001002	998.000	0.018	5878.1700
0.150	70.000	0.1162	0.0001164	0.00025	0.4577	0.001002	998.000	0.018	8196.7997
0.200	70.333	0.1408	0.0001411	0.00025	0.5546	0.001002	998.000	0.018	9932.5821
0.250	59.333	0.1669	0.0001672	0.00025	0.6570	0.001002	998.000	0.018	11767.9171
0.300	51.667	0.1892	0.0001896	0.00025	0.7449	0.001002	998.000	0.018	13340.7735
0.350	41.000	0.2082	0.0002086	0.00025	0.8197	0.001002	998.000	0.018	14681.1605
0.400	41.333	0.2253	0.0002258	0.00025	0.8871	0.001002	998.000	0.018	15887.9771
0.450	37.333	0.2446	0.0002451	0.00025	0.9630	0.001002	998.000	0.018	17248.3956
0.500	38.667	0.2590	0.0002595	0.00025	1.0198	0.001002	998.000	0.018	18264.9480
0.550	38.333	0.2741	0.0002746	0.00025	1.0794	0.001002	998.000	0.018	19331.5673
0.600	34.000	0.2902	0.0002908	0.00025	1.1427	0.001002	998.000	0.018	20466.6404
0.650	35.000	0.3038	0.0003044	0.00025	1.1961	0.001002	998.000	0.018	21423.0201
0.700	29.667	0.3191	0.0003197	0.00025	1.2565	0.001002	998.000	0.018	22505.0322
0.750	34.667	0.3290	0.0003297	0.00025	1.2954	0.001002	998.000	0.018	23201.8547
0.800	29.667	0.3439	0.0003446	0.00025	1.3540	0.001002	998.000	0.018	24251.0547
0.850	31.333	0.3603	0.000361	0.00025	1.4189	0.001002	998.000	0.018	25412.4865
0.900	27.000	0.3778	0.0003786	0.00025	1.4875	0.001002	998.000	0.018	26642.3843

ตารางที่ 10 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 100 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.018 m

H(m)	t_{mg}	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
0.100	129.333	0.0803	0.0000804	0.00025	0.3160	0.001002	998.000	0.018	5660.5001
0.150	80.000	0.1188	0.0001190	0.00025	0.4679	0.001002	998.000	0.018	8380.6228
0.200	69.667	0.1358	0.0001361	0.00025	0.5349	0.001002	998.000	0.018	9579.9925
0.250	59.333	0.1643	0.0001646	0.00025	0.6471	0.001002	998.000	0.018	11590.3995
0.300	59.667	0.1856	0.000186	0.00025	0.7308	0.001002	998.000	0.018	13088.1949
0.350	50.333	0.2013	0.0002017	0.00025	0.7928	0.001002	998.000	0.018	14198.8236
0.400	47.667	0.2184	0.0002188	0.00025	0.8599	0.001002	998.000	0.018	15400.5999
0.450	44.667	0.2393	0.0002398	0.00025	0.9424	0.001002	998.000	0.018	16879.1399
0.500	39.333	0.2532	0.0002537	0.00025	0.9969	0.001002	998.000	0.018	17855.1745
0.550	39.667	0.2720	0.0002725	0.00025	1.0709	0.001002	998.000	0.018	19179.5315
0.600	36.000	0.2870	0.0002876	0.00025	1.1301	0.001002	998.000	0.018	20240.4061
0.650	33.333	0.3020	0.0003026	0.00025	1.1892	0.001002	998.000	0.018	21298.3521
0.700	37.333	0.3170	0.0003176	0.00025	1.2483	0.001002	998.000	0.018	22357.6960
0.750	31.333	0.3338	0.0003345	0.00025	1.3143	0.001002	998.000	0.018	23540.0874
0.800	32.333	0.3473	0.000348	0.00025	1.3676	0.001002	998.000	0.018	24494.7289
0.850	32.333	0.3473	0.000355	0.00025	1.3676	0.001002	998.000	0.018	24494.7289
0.900	24.333	0.3682	0.0003689	0.00025	1.4499	0.001002	998.000	0.018	25967.6180

ตารางที่ 11 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.020 m

H(m)	t_{eng}	m (kg/s)	$Q(m^3/s)$	A (m^2)	V(m/s)	$\mu(N.s/m^2)$	$\rho(Kg/m^3)$	D(m)	Re
0.100	82.0000	0.104	0.0001044	0.000314	0.3323	0.001002	998.000	0.200	6612.877
0.150	66.667	0.139	0.0001390	0.000314	0.4423	0.001002	998.000	0.200	8802.180
0.200	58.333	0.168	0.0001679	0.000314	0.5343	0.001002	998.000	0.200	10633.691
0.250	52.667	0.191	0.0001911	0.000314	0.6084	0.001002	998.000	0.200	12107.257
0.300	47.000	0.212	0.0002125	0.000314	0.6765	0.001002	998.000	0.200	13461.782
0.350	43.333	0.233	0.0002336	0.000314	0.7435	0.001002	998.000	0.200	14796.049
0.400	42.667	0.253	0.000254	0.000314	0.8072	0.001002	998.000	0.200	16063.287
0.450	40.667	0.274	0.0002746	0.000314	0.8740	0.001002	998.000	0.200	17392.520
0.500	37.000	0.286	0.000287	0.000314	0.9135	0.001002	998.000	0.200	18179.832
0.550	33.000	0.304	0.0003045	0.000314	0.9694	0.001002	998.000	0.200	19290.377
0.600	37.667	0.314	0.0003147	0.000314	1.0016	0.001002	998.000	0.200	19931.584
0.650	38.667	0.332	0.0003322	0.000314	1.0573	0.001002	998.000	0.200	21040.846
0.700	33.000	0.345	0.0003461	0.000314	1.1016	0.001002	998.000	0.200	21922.415
0.750	32.333	0.359	0.0003598	0.000314	1.1453	0.001002	998.000	0.200	22790.886
0.800	33.000	0.368	0.0003685	0.000314	1.1729	0.001002	998.000	0.200	23340.734
0.850	28.333	0.385	0.0003855	0.000314	1.2270	0.001002	998.000	0.200	24417.071
0.900	33.667	0.3974	0.0003982	0.000314	1.2674	0.001002	998.000	0.200	25221.595

ตารางที่ 12 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 10 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.020 m

H(m)	t_{avg}	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
0.100	76	0.10790	0.0001081	0.000314	0.3442	0.001002	998.000	0.200	6848.7990
0.150	57.667	0.1413	0.0001416	0.000314	0.4508	0.001002	998.000	0.200	8971.3587
0.200	42.000	0.1751	0.0001754	0.000314	0.5584	0.001002	998.000	0.200	11113.2416
0.250	38.333	0.2085	0.0002089	0.000314	0.6651	0.001002	998.000	0.200	13235.5429
0.300	36.333	0.2350	0.0002355	0.000314	0.7496	0.001002	998.000	0.200	14917.8542
0.350	30.000	0.2491	0.0002496	0.000314	0.7945	0.001002	998.000	0.200	15810.6983
0.400	35.000	0.2695	0.000270	0.000314	0.8595	0.001002	998.000	0.200	17104.0141
0.450	33.667	0.2873	0.0002878	0.000314	0.9162	0.001002	998.000	0.200	18233.4385
0.500	33.333	0.3069	0.0003075	0.000314	0.9789	0.001002	998.000	0.200	19480.9471
0.550	27.000	0.3253	0.0003259	0.000314	1.0375	0.001002	998.000	0.200	20646.0546
0.600	24.333	0.3582	0.000359	0.000314	1.1426	0.001002	998.000	0.200	22738.0233
0.650	24.000	0.3608	0.0003615	0.000314	1.1508	0.001002	998.000	0.200	22901.0527
0.700	31.333	0.3677	0.0003685	0.000314	1.1729	0.001002	998.000	0.200	23340.2501
0.750	28.000	0.3826	0.0003833	0.000314	1.2201	0.001002	998.000	0.200	24281.0696
0.800	29.000	0.3975	0.0003983	0.000314	1.2679	0.001002	998.000	0.200	25232.1997
0.850	26.333	0.4180	0.0004188	0.000314	1.3332	0.001002	998.000	0.200	26530.8206
0.900	30.000	0.4297	0.0004306	0.000314	1.3706	0.001002	998.000	0.200	27275.1409

ตารางที่ 13 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 30 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.020 m

H(m)	t_{avg}	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
0.100	71.667	0.1065	0.0001068	0.000314	0.3398	0.001002	998.000	0.200	6762.6052
0.150	57.333	0.1430	0.0001432	0.000314	0.4559	0.001002	998.000	0.200	9073.3328
0.200	50.333	0.1726	0.0001730	0.000314	0.5506	0.001002	998.000	0.200	10956.6392
0.250	43.000	0.2019	0.0002023	0.000314	0.6439	0.001002	998.000	0.200	12814.7005
0.300	40.000	0.2245	0.0002250	0.000314	0.7161	0.001002	998.000	0.200	14251.5457
0.350	35.000	0.2486	0.0002491	0.000314	0.7929	0.001002	998.000	0.200	15778.5390
0.400	31.667	0.2715	0.0002720	0.000314	0.8659	0.001002	998.000	0.200	17232.5512
0.450	32.667	0.2943	0.0002949	0.000314	0.9388	0.001002	998.000	0.200	18681.9349
0.500	27.667	0.3122	0.0003128	0.000314	0.9957	0.001002	998.000	0.200	19814.2600
0.550	25.000	0.3311	0.0003318	0.000314	1.0560	0.001002	998.000	0.200	21014.7458
0.600	33.667	0.3468	0.0003475	0.000314	1.1061	0.001002	998.000	0.200	22011.1749
0.650	28.000	0.3614	0.0003621	0.000314	1.1527	0.001002	998.000	0.200	22939.8765
0.700	29.000	0.3785	0.0003792	0.000314	1.2071	0.001002	998.000	0.200	24021.1739
0.750	22.333	0.3930	0.0003938	0.000314	1.2534	0.001002	998.000	0.200	24944.0175
0.800	25.000	0.3967	0.0003975	0.000314	1.2653	0.001002	998.000	0.200	25179.0044
0.850	27.000	0.4223	0.0004231	0.000314	1.3469	0.001002	998.000	0.200	26803.7500
0.900	24.667	0.4283	0.0004291	0.000314	1.3660	0.001002	998.000	0.200	27183.9433

ตารางที่ 14 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 50 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.020 m

H(m)	t_{avg}	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
0.100	86.000	0.09735	0.00009755	0.000314	0.3105	0.001002	998.000	0.200	6179.0630
0.150	57.000	0.1394	0.00013970	0.000314	0.4447	0.001002	998.000	0.200	8849.5168
0.200	57.667	0.1647	0.00016499	0.000314	0.5252	0.001002	998.000	0.200	10451.6703
0.250	45.333	0.1985	0.00019885	0.000314	0.6330	0.001002	998.000	0.200	12596.4042
0.300	33.667	0.2236	0.00022403	0.000314	0.7131	0.001002	998.000	0.200	14191.5125
0.350	36.333	0.2472	0.00024765	0.000314	0.7883	0.001002	998.000	0.200	15687.6594
0.400	36.333	0.2665	0.00026700	0.000314	0.8501	0.001002	998.000	0.200	16917.8995
0.450	30.333	0.2868	0.00028739	0.000314	0.9148	0.001002	998.000	0.200	18204.8610
0.500	28.333	0.3093	0.00030992	0.000314	0.9865	0.001002	998.000	0.200	19632.2238
0.550	28.333	0.3220	0.00032263	0.000314	1.0270	0.001002	998.000	0.200	20437.2494
0.600	25.333	0.3462	0.00034684	0.000314	1.1041	0.001002	998.000	0.200	21970.9255
0.650	28.667	0.3673	0.0003680	0.000314	1.1715	0.001002	998.000	0.200	23312.7003
0.700	27.000	0.3781	0.0003788	0.000314	1.2059	0.001002	998.000	0.200	23997.5311
0.750	24.667	0.3919	0.00039273	0.000314	1.2501	0.001002	998.000	0.200	24877.5818
0.800	23.667	0.4085	0.00040933	0.000314	1.3029	0.001002	998.000	0.200	25929.0532
0.850	24.333	0.4228	0.00042366	0.000314	1.3486	0.001002	998.000	0.200	26836.7170
0.900	20.333	0.4440	0.00044489	0.000314	1.4161	0.001002	998.000	0.200	28181.3738

ตารางที่ 15 แสดงผลการคำนวณหาค่าเรย์โนลด์-นัมเบอร์ของน้ำผสมพอลิเมอร์อัตราส่วน 100 ppm ของขนาดท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.020 m

H(m)	t_{avg}	m (kg/s)	$Q(m^3/s)$	A (m^2)	V(m/s)	$\mu(N.s/m^2)$	$\rho(Kg/m^3)$	D(m)	Re
0.100	82.333	0.0997	0.0000998	0.000314	0.3179	0.001002	998.000	0.200	6326.1433
0.150	66.667	0.1380	0.0001383	0.000314	0.4402	0.001002	998.000	0.200	8760.5411
0.200	54.000	0.1691	0.0001694	0.000314	0.5392	0.001002	998.000	0.200	10730.8902
0.250	40.333	0.1980	0.00019836	0.000314	0.6314	0.001002	998.000	0.200	12565.2491
0.300	45.000	0.2194	0.00021980	0.000314	0.6996	0.001002	998.000	0.200	13923.1927
0.350	31.333	0.2445	0.00024496	0.000314	0.7797	0.001002	998.000	0.200	15517.2053
0.400	36.000	0.2628	0.00026300	0.000314	0.8383	0.001002	998.000	0.200	16682.7683
0.450	35.333	0.2830	0.00028360	0.000314	0.9027	0.001002	998.000	0.200	17964.9341
0.500	32.667	0.3029	0.00030353	0.000314	0.9662	0.001002	998.000	0.200	19227.2577
0.550	30.333	0.3209	0.00032159	0.000314	1.0237	0.001002	998.000	0.200	20371.1392
0.600	26.333	0.3383	0.00033893	0.000314	1.0789	0.001002	998.000	0.200	21469.7101
0.650	27.333	0.3537	0.00035441	0.000314	1.1281	0.001002	998.000	0.200	22450.1268
0.700	27.667	0.3663	0.00036700	0.000314	1.1682	0.001002	998.000	0.200	23247.7191
0.750	27.000	0.3905	0.00039127	0.000314	1.2455	0.001002	998.000	0.200	24785.0446
0.800	23.333	0.4030	0.00040380	0.000314	1.2854	0.001002	998.000	0.200	25579.0397
0.850	23.333	0.4204	0.00042120	0.000314	1.3407	0.001002	998.000	0.200	26680.7247
0.900	25.000	0.4395	0.00044034	0.000314	1.4017	0.001002	998.000	0.200	27893.5228

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายพงษ์ปรัชญา ศรีจันทร์ฉาย
 ภูมิลำเนา 76 หมู่ 3 ต.บ้านด่านนาขาม อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ 53000
 ประวัติการศึกษา
 จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนน้ำริดวิทยา
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: me15_py0@hotmail.com



ชื่อ นายสุภาพ สุธิต์ทองกุล
 ภูมิลำเนา 92 หมู่ 6 ต.ห้วยเหี้ย อ.นครไทย จ.พิษณุโลก 65120
 ประวัติการศึกษา
 จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 23
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: tasupap@hotmail.com



ชื่อ นายสุรศักดิ์ วงศ์มานะกุล
 ภูมิลำเนา 17/77 หมู่ 7 ต.วาเลย์ อ.พบบพระ จ.ตาก 63160
 ประวัติการศึกษา
 จบชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพบบพระวิทยาคม
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: NICE_ME51@hotmail.com