

การเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำผ่านท่อโดยการเติมสารละลายพอลิเมอร์ Enhancement of Draining Capacity in pipe flow by Means of Polymer

สัตยา ยิ้มประเสริฐ^{1*}, อนันต์ชัย อยู่แก้ว^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10600

*ติดต่อ: E-mail: Sattaya3210@hotmail.com, ananchai@nu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ : 0-5596-4210, เบอร์โทรสาร : 0-5596-4230

บทคัดย่อ

การเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีในปริมาณเพียงเล็กน้อยลงในท่อระบายน้ำสามารถเพิ่มอัตราการไหลและสมรรถนะในการระบายน้ำได้ จากการทดลองโดยใช้สารละลายโพลีอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide, PAM) หรือ แอนไอออนิกพอลิเมอร์ ซึ่งนิยมนำมาใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย โดยนำสารละลายมาเติมลงในท่อที่มีการไหลแบบแรงโน้มถ่วงโดยใช้ท่อพีวีซี ขนาดต่างกัน 3 ขนาด จากผลการทดลองพบว่าหลังจากเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบที่ความเข้มข้นต่างกันในช่วง 10 - 100 wppm (หนึ่งต่อล้านส่วนโดยน้ำหนัก) ผลการทดลองบ่งชี้ว่าเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์เข้าไปในระบบในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้สูงสุดถึง 22.4% โดยเฉลี่ย โดยอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับแรงเสียดทานภายในท่อที่ลดลง ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ และขนาดของท่อด้วย

คำหลัก: การเติมสารละลายพอลิเมอร์, อัตราการระบายน้ำ, ปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทาน, การไหลผ่านท่อ

Abstract

Small amount of polymer addition into drainage system can increase the flow rate and draining capacity. From the experiment, the results indicate that by dosing Polyacrylamide (PAM) known as anionic polymer, which is normally employed in the wastewater treatment, the polymer was added to gravity pipe flow system, using 3 different different sizes of PVC pipe, at different concentration between 10-100 wppm (part per million by weight). The results indicate that suitable amount of polymer addition can increase flow rate up to 22.4% by average. The increase flow rate depends on drag reduction in the pipe and polymer concentration and pipe size.

Keywords: Polymer additives, Draining capacity, Drag reduction, Pipe flow.

1. บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยอย่างมากได้แก่ปัญหาอุทกภัย ซึ่งได้สร้างความเสียหายมากมายกับประเทศไทย ตามรายงานสรุปสถิติอุทกภัยโดยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทยพบว่ามีมูลค่าความเสียหายเพิ่มมากขึ้นทุกปีโดยเฉพาะปี 2554 ที่ผ่านมามีความสูญเสียจากการประเณถึง 1.4 ล้านล้านบาท [11] โดยสาเหตุหลักของการเกิดอุทกภัยในประเทศไทยนั้นคือ สภาวะโลกร้อนจากการตัดไม้ทำลายป่า ผลกระทบจากภาคอุตสาหกรรมส่งผลให้สภาพภูมิอากาศเกิดการผันผวนมากขึ้นคาดเดา

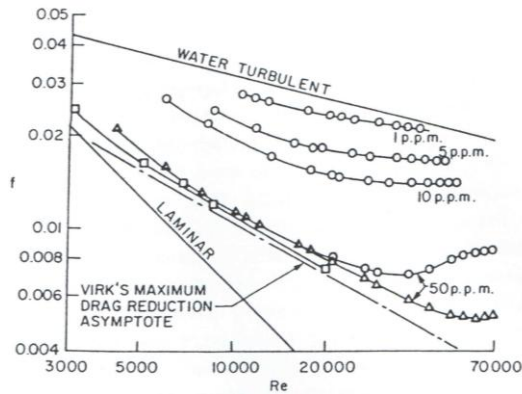
ได้ยาก จากปัญหาดังกล่าวทำให้หลายหน่วยงานทั้งจากภาครัฐ และภาคเอกชนต้องการที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งวิธีการแก้ปัญหานี้เฉพาะหน้าที่สามารถทำได้ก็มีอยู่หลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น การวางระบบเส้นทางการระบายน้ำภายในประเทศใหม่ การจัดสร้างเขื่อนกั้นน้ำ หรือการติดตั้งเครื่องสูบน้ำเพิ่มเติม หรือเพิ่มขนาดของเครื่องสูบน้ำและท่อระบายน้ำ การจัดการดังกล่าวย่อมทำให้เกิดการจัดการที่มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น แต่ก็แลกมาด้วยการลงทุนอย่างมหาศาลด้วยเช่นกัน

จากการศึกษาพบว่าสมรรถนะในการระบายน้ำในแต่ละพื้นที่ที่มีขีดจำกัดที่แตกต่างกันไปโดยจะขึ้นอยู่กับ

ความสัมพันธ์กับสภาพการรองรับน้ำหรือสภาพภูมิประเทศของในแต่ละพื้นที่ด้วย เมื่อเกิดความไม่สัมพันธ์กันระหว่างพื้นที่การรองรับน้ำกับอัตราการระบายน้ำที่สามารถทำได้จะทำให้เกิดสภาพการรองรับน้ำเกินพิกัดขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาอุทกภัยโดยเฉียบพลันได้สำหรับการแก้ไขปรากฏการณ์ดังกล่าว จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าในปี 1949 ได้มีนักวิทยาศาสตร์ชื่อ ทอม (Tom) ได้ทำการทดลองเติมสารละลายพอลิเมอร์บางชนิดที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้เป็นอย่างดีลงในน้ำซึ่งพบว่าสามารถลดแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อได้ จากนั้นจึงเรียกว่า ปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทาน (Drag Reduction) หรือ “Tom’s effect” โดยปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทานจะเกิดในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนเท่านั้น [2] และการลดแรงเสียดทานจะขึ้นอยู่กับชนิด ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ อัตราส่วนของพอลิเมอร์ในน้ำ และข้อกำหนดการไหลในท่อระบาย ซึ่งพบว่าพอลิเมอร์ที่ใช้ในการลดแรงเสียดทานในท่อได้ดีจะต้องมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และมีลักษณะเป็นเส้นตรงยาว มีกิ่งก้านที่สั้น นอกจากนั้นพอลิเมอร์จำพวกนี้จะมีย่านน้ำหนักของโมเลกุล (M_w) ที่สูงถึง 10^6 ซึ่งอาจเป็นพอลิเมอร์ที่มีตามธรรมชาติหรือถูกสังเคราะห์ขึ้นก็ได้ตัวอย่างเช่น โพลีเอทิลีนออกไซด์ (Poly(ethylene oxide)) หรือ PEO, โพลีอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide) หรือ PAM และพอลิเมอร์ธรรมชาติจำพวกกัวร์กัม (Guar gum) เป็นต้น เนื่องจากความแตกต่างทางกายภาพของพอลิเมอร์ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้ลดแรงเสียดทานต่างกันไปซึ่งพบว่าส่วนใหญ่จะใช้ความเข้มข้นพอลิเมอร์ที่ต่ำกว่าร้อยละในล้านส่วน (ต่ำกว่า 100 wppm) เทียบตามน้ำหนัก นอกจากนั้นการลดแรงเสียดทานจะเกิดขึ้นได้ดีในท่อขนาดเล็กมากกว่าท่อขนาดใหญ่ และให้การลดแรงเสียดทานในท่อเรียบมากกว่าท่อที่มีความขรุขระมาก [2, 4] จากการทดลองครั้งนั้นต่อมาได้มีผู้นำข้อมูลของปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทานมาทดลองซ้ำในสภาพที่ต่างกันและประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ มากมาย โดยอัตราการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสามารถนำมาเขียนแผนภาพความสัมพันธ์กับค่าเรย์โนลด์สเบอร์ เป็นตัวอย่างให้เห็นอย่างชัดเจนในงานทดลองของปีเตอร์สันและอเบอร์แนทตี (Patterson and Abernathy) ในปี 1972 [1] ดังรูปที่ 1 ในงานทดลองได้ใช้สารละลายพอลิเมอร์ WSR-205 น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 1×10^6 ที่ความเข้มข้น 1, 5, 10, 50 ppm ผลที่ได้จะแสดงดังรูปวงกลมในแผนภาพความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ

สารละลายจะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานทันที โดยมีแนวโน้มมากขึ้นที่สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น เมื่อความเข้มข้น จากนั้นจึงทดลองใช้สารละลาย WSR-301 น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 8×10^6 ผลที่ได้ออกมาจะแสดงดังรูปสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมในแผนภาพความสัมพันธ์ซึ่งผลการทดลองก็แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลงมากขึ้นที่ความเข้มข้นเดียวกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะลดลงได้มากที่สุดไม่เกินเส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของเวิร์ค (Virk) [4] สำหรับตัวอย่างงานที่ประสบความสำเร็จอย่างมากเกี่ยวกับการเพิ่มอัตราการไหลในด้านอุตสาหกรรมอย่างอื่น คือการใช้สารละลายพอลิเมอร์ลดแรงเสียดทานในท่อสำหรับขนส่งน้ำมันจากแท่นขุดเจาะ Trans-Alaska [2] ซึ่งมีความยาวประมาณ 800 ไมล์ ซึ่งผลที่ได้คือทำให้สามารถลดการติดตั้งสถานีสูบจาก 12 สถานีเหลือเพียง 6 สถานี หรือในทางด้านการเกษตรก็มีการนำไปประยุกต์ใช้เช่นกันโดยทางแถบตะวันออกของประเทศสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้นำสารละลายพอลิเมอร์โพลีอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide (PAM)) ไปใช้ในระบบชลประทานเพื่อการเกษตรโดยใช้งานที่ความเข้มข้นประมาณ 5-10 wppm โดยนำน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์มารดหน้าดินเพื่อรักษาการกักตุนน้ำของหน้าดินซึ่งพบว่าไม่มีปัญหากับสิ่งแวดล้อมแต่อย่างใด [6]

จากตัวอย่างการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นสมมุติฐานที่สำคัญของงานวิจัยนี้ที่ต้องการจะศึกษาถึงสภาวะที่ท่อน้ำเกิดการรองรับน้ำเกินพิกัด และผลกระทบของการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบ ในระหว่างที่ท่อเกิดสภาวะการรองรับน้ำเกินพิกัด และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าของอัตราส่วนความเข้มข้นของสารละลายที่เปลี่ยนไปกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ลดลงของท่อที่เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่างกันโดยในการทดลองจะใช้ท่อพีวีซี 3 ขนาดคือ 3/8 นิ้ว 1/2 นิ้ว และ 3/4 นิ้ว และงานทดลองนี้จะใช้สารละลายแอนไอออนิกโพลีอะคริลาไมด์ [Anionic Polyacrylamide (PAM)] ในอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง 10-100 wppm เป็นสารทดลอง ซึ่งจากการทดลองพบว่าสารละลายพอลิเมอร์สามารถเพิ่มขีดจำกัดของสภาวะที่ท่อรองรับน้ำเกินพิกัดได้จริงซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 18%, 10%, 6% โดยเฉลี่ยที่ท่อขนาด 3/8 นิ้ว 1/2 นิ้ว และ 3/4 นิ้ว ตามลำดับ



รูปที่ 1 แผนภาพความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับค่าเรโนลด์สเบอร์ [1]

2. หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน

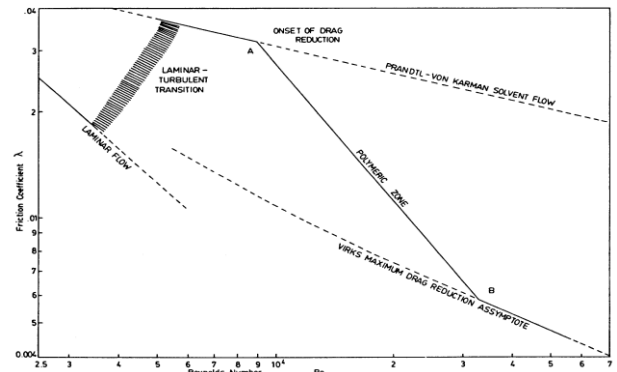
2.1 สมมุติฐานกลไกการเกิดปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทาน

การศึกษากลไกการลดแรงเสียดทานในท่อโดยการเติมสารละลายพอลิเมอร์แบ่งออกเป็น 3 ทฤษฎีใหญ่ [10] ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของการเคลื่อนที่ของสารละลายพอลิเมอร์ในระดับโมเลกุล ในรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) โดยเฉพาะส่วนที่ใกล้กับผนังท่อ หรือ turbulent boundary layer จะมีผลต่อการไหลของน้ำในระดับความต่อเนื่อง (Continuum) ทฤษฎีแรก ลัมเลย์ (Lumley) [1] ได้ให้ความสำคัญกับความยืดหยุ่น (Elasticity) ของโมเลกุลของสารพอลิเมอร์ในการไหลแบบขยาย (Extensional flow) ว่าเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้พอลิเมอร์สามารถขยายตัวและลดการเกิดการไหลวน (Eddies) ในการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้ลดการสูญเสียพลังงานในแนวรัศมี ทฤษฎีที่สอง สันนิษฐานว่าการลดแรงเสียดทานอาจจะเกี่ยวข้องกับการวางตัวของพอลิเมอร์ในลักษณะแท่งเมื่อพอลิเมอร์มีการขยายตัวสูงสุดจะทำให้เกิดการขัดขวางการถ่ายเทโมเมนตัมในแนวรัศมี เป็นผลให้การสูญเสียพลังงานลดน้อยลง [5] สำหรับทฤษฎีสุดท้าย [2] นั้นเปรียบเทียบพอลิเมอร์เหมือนกับสปริงเมื่อถูกทำให้อยู่ในแนวทิศทางการไหลก็จะทำหน้าที่เก็บกักพลังงานเมื่อโมเลกุลขยายตัว และปลดปล่อยพลังงานเมื่อมีการหดตัวของโมเลกุลตามแนวทิศทางการไหลส่งผลให้มีการถ่ายเทพลังงานในแนวรัศมีน้อยลง

2.2 ทฤษฎีการลดแรงเสียดทาน

เมื่อต้องการการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำจะกระทำได้หลายวิธีหนึ่งในวิธีนั้นคือการลดแรงเสียดทานซึ่งจากการทดลองของทอม (Tom) พบว่าเมื่อมีการฉีดหรือเติมสารละลายพอลิเมอร์บางจำพวกที่มีลักษณะเป็นลูกโซ่ยาว

เพียงเล็กน้อย (น้อยกว่า 100 ในล้านส่วนโดยน้ำหนัก) ลงในท่อที่มีการไหลแบบปั่นป่วนของน้ำ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผนังท่อจะถูกลดลงได้อย่างมากโดยการลดแรงเสียดทานในการไหลแบบปั่นป่วนนี้จะมีลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจอยู่ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงเส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของการไหลและช่วงของการลดแรงเสียดทาน หรือ polymeric zone [2]

จากรูปที่ 2 จะพบว่าการลดแรงเสียดทานโดยการเติมสารพอลิเมอร์ในการไหลแบบปั่นป่วนในท่อแนวราบนั้นขึ้นอยู่กับค่าเรโนลด์สเบอร์ และจะตกอยู่ในระหว่างช่วงเส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (λ หรือ f) สองเส้นคือเส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ของของไหลนิวโทเนียน (Newtonian) ตามกฎของแพนเดล - วาลคาแมนด์ (Prandtl - Von Karman) ซึ่งหาค่าได้จากสมการความสัมพันธ์ของ โคลบรู๊ค และ ไวท์ (Colebrook and White) ดังแสดงในสมการที่ 1 ซึ่งถือว่าเป็นลิมิตบน (upper limit) และเส้นการลดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสูงสุดของ เวอร์ค (Virk) เรียกว่าเส้นลิมิตล่างของเวอร์ค (Virk asymptote) [4] ซึ่งเป็นลิมิตล่าง (lower limit) แสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ได้สมการที่ 2

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right] \quad (1)$$

$$\frac{2}{\sqrt{f}} = 19.0 \log \left(\frac{1}{2} \text{Re} \sqrt{f} \right) - 32.4 \quad (2)$$

ในกรณีที่มีการไหลในท่อของน้ำ การบันทึกกราฟของเส้นสัมประสิทธิ์จะเป็นไปตามแผนภูมิของมูดี้ (Moody) แต่เมื่อมีการเติมสารพอลิเมอร์ลงไป เส้นสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเหล่านั้นจะเลื่อนลงในแนวค่อนข้างจะขนานกับเส้นแพนเดล-วาลคาแมนด์ในช่วง ที่เรียกว่าโพลีเมริกโซน (polymeric zone) เส้น AB จนกระทั่งเส้นสัมประสิทธิ์

เลื่อนลงมาถึงเส้นลิมิตล่างของเวิร์คถ้ามีการเติมพอลิเมอร์เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ก็จะไม่ลดลงไปอีก เส้นเส้นลิมิตล่างของเวิร์คจึงเป็นเส้นที่บอกค่าการลดแรงเสียดทานสูงสุดของพอลิเมอร์แต่ละชนิดสำหรับการไหลภายในท่อ

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานภายในท่อ $DR(\%)$ เมื่อมีการเติมหรือฉีดสารพอลิเมอร์เข้าไปในท่อระบายน้ำสามารถคำนวณได้สองแบบคือ การคำนวณจากค่าการลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (f) ซึ่งจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสารละลายพอลิเมอร์ที่ส่งผลกับแรงเสียดทาน หรือการคำนวณจากค่าการเพิ่มของอัตราการไหล (Q) ซึ่งจะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสารละลายพอลิเมอร์ที่ส่งผลกับอัตราการไหล ดังสมการที่ 3 และ 4 [2, 10]

$$DR(\%) = 100 \times \left(\frac{f_w - f_p}{f_w} \right) \quad (3)$$

หรือ

$$DR(\%) = 100 \times \left(\frac{Q_p - Q_w}{Q_p} \right) \quad (4)$$

โดยที่ f_w และ f_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในกรณีที่ไม่มีและใช้สารเติมพอลิเมอร์ในท่อระบายน้ำตามลำดับ ส่วน Q_w และ Q_p คือ อัตราการไหลของน้ำในกรณีที่ไม่มีและใช้สารเติมพอลิเมอร์ในท่อระบายน้ำตามลำดับ (หน่วยเป็น m^3/s)

2.3 การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อ

สำหรับทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในทดลองเพื่อหาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสูญเสียหลัก คือทฤษฎีการสูญเสียหลัก (Major loss; h_f) [7-9] หรือการสูญเสียหัวน้ำ คือการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อ และการไหลที่ต้องเอาชนะความหนืดเนื่องจากการไหลในท่อ ในส่วนของงานท่อระบายน้ำจะพิจารณาถึงการสูญเสียหัวน้ำที่เกิดจากแรงเสียดทานและความปั่นป่วนของการไหลเป็นหลัก เนื่องจากท่อจะมีลักษณะที่ตรงและมีแนวท่อยาว แรงเสียดทานนั้นทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงานภายในท่อ ซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นการกระจายความร้อนที่ผนังท่อโดยมีความหนืดของของไหลเป็นตัวแปรสำคัญและความปั่นป่วนของการไหลจะทำให้มีการถ่ายเทโมเมนตัมตามแนวรัศมีภายในท่อมาก ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานระหว่างที่มีการไหลผ่านท่อ เมื่อพิจารณาตามลักษณะการไหลแล้วการระบายน้ำในท่อส่วนใหญ่มีอัตราการไหลอยู่ในช่วงของการไหลแบบปั่นป่วน ($Re > 4000$) และค่าการสูญเสีย (h_f) จะ

แสดงได้ตามสมการที่ 5 ซึ่งเป็นของ ดาร์ซี-ไวสบาค (Darcy-Weisbach)

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (5)$$

โดยที่ L คือ ความยาวของท่อ (m), D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m), V คือความเร็วเฉลี่ยของน้ำภายในท่อ (m/s), g คือค่าสัมประสิทธิ์แรงโน้มถ่วง (m/s^2)

หรือค่าการสูญเสีย (h_f) สามารถคิดได้จากสมการพลังงานก็ได้ดังสมการที่ 6

$$h_f = \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} + (z_1 - z_2) \quad (6)$$

โดยที่ $(P_1 - P_2)$ คือความดันตกจากจุดที่ 1 ไป 2 (N/m^2) และ $(z_1 - z_2)$ คือ ความต่างระดับของจุดที่ 1 และ 2 (m) ส่วน γ คือ น้ำหนักจำเพาะ (N/m^3)

จากสมการที่ 5 จะเห็นได้ว่าการที่จะเพิ่มอัตราการระบายน้ำจะกระทำได้โดยการลดแรงเสียดทานซึ่งจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (f) จะแปรผันแบบผกผันกับความเร็วยกกำลังสอง (V^2) นั่นหมายความว่าถ้ามีกระบวนการที่สามารถนำมาใช้ในการลดแรงเสียดทานภายในท่อได้พลังงานที่เคยสูญเสียไปก็จะกลายเป็นพลังงานสำหรับที่ใช้ในการระบายน้ำให้เร็วขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นเมื่อเกิดกรณีที่น้ำท่วมขังอย่างฉับพลันได้

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

การทำการทดลองเพื่อศึกษาปรากฏการณ์สำหรับท่อที่รองรับน้ำเกินพิกัดระหว่างการเกิดน้ำท่วมโดยการเติมสารละลายพอลิเมอร์ สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมสารพอลิเมอร์โดยการชั่งตวงสารพอลิเมอร์ตามอัตราส่วนความเข้มข้นที่ต้องการ แล้วนำไปละลายในน้ำอุ่นพร้อมกับการคนสารละลาย ให้ละลายทั้งหมดจากนั้นจึงนำไปเติมในถังเก็บด้านบน (1) โดยสารละลายพอลิเมอร์ที่เลือกใช้งาน คือ แอนไอออนิกโพลีอะคริลาไมด์ [Anionic Polyacrylamide (PAM)] ซึ่งเป็นสารเคมีที่หาง่าย และราคาถูกการใช้งานแอนไอออนิกโพลีอะคริลาไมด์ส่วนใหญ่ นิยมใช้เพื่อช่วยในการตกตะกอน หรือจับเป็นก้อนของแข็งในของเหลว กระบวนการนี้มักนำไปใช้กับระบบบำบัดน้ำเสีย ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ และที่สำคัญสารละลายนี้มีการย่อยสลายได้ และไม่เป็นปัญหา

กับสิ่งแวดล้อม โดยลักษณะจำเพาะของสารละลายแอนไอออนิกโพลีอะคริลาไมด์ [Anionic Polyacrylamide (PAM)], [3] คือ

1) ลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็งเกล็ดสีขาวดังแสดงในรูปที่ 4 มีขนาดน้ำหนักโมเลกุล (M_w) ประมาณ $10-25 \times 10^6$

2) ค่า PH ประมาณ 6.8

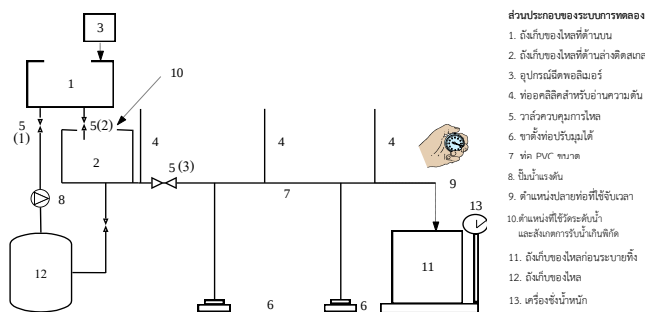
3) ครึ่งชีวิต (half life) เมื่ออยู่ในน้ำ เท่ากับ 10 ชั่วโมง

4) เริ่มเป็นอันตรายเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ที่ความเข้มข้นมากกว่าหรือเท่ากับ 400 wppm

5) เริ่มเป็นอันตรายกับสัตว์น้ำที่ความเข้มข้นของสารละลายโดยเฉลี่ยต่ำสุดที่ 130 wppm ที่ระยะเวลาประมาณ 7 วัน

2. ปรับองศาของวาล์ว (เบอร์ 3) เพื่อเตรียมให้น้ำไหลผ่านท่อไปสู่ถังรับน้ำก่อนระบายทิ้ง

3. ในกระบวนการทดลองจะทำการบรรจุน้ำไว้ในถังพักด้านบน (1) เมื่อพร้อมที่จะทำการวัดข้อมูลก็จะเปิดวาล์ว (เบอร์ 2) ปล่อยน้ำให้น้ำไหลเข้าถังติดสเกลด้านล่าง (2) เพื่อสังเกตการรับน้ำเกินปกติของท่อโดยต้องรักษาระดับน้ำให้คงที่ โดยควบคุมการไหลโดยวาล์ว (เบอร์ 3) และเมื่อน้ำไหลผ่านท่อ (7) ก็จะมีการเก็บข้อมูลระดับน้ำในถัง (2), ความดันตกคร่อม (4) ที่ท่อรวมถึงเวลาที่ของไหลไหลผ่านท่อรวมถึงน้ำหนักของน้ำจากนั้นจึงบันทึกข้อมูลไว้เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหล ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองขั้นตอน



รูปที่ 4 แอนไอออนิกโพลีอะคริลาไมด์ [Anionic Polyacrylamide (PAM)]

3.2 เกณฑ์การทดลอง และการคำนวณผลการทดลอง

1. การทดลองจะใช้พอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน โดยจะใช้ความเข้มข้นใช้ที่ 0 (น้ำเปล่า), 10, 30, 50, 100 wppm (หนึ่งต่อล้านส่วนโดยน้ำหนัก) โดยในแต่ละความเข้มข้นจะทดลองซ้ำ 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยการทดลองจะกระทำ ณ ที่ อุณหภูมิห้อง

2. การทดลองจะกำหนดระดับความสูงของน้ำในถังออสิลลิคไสติสเกล (2) ขนาดความจุ 65 ลิตรโดยเริ่มทดลองที่ 10 เซนติเมตรและเพิ่มความสูงของระดับน้ำไปที่ละ 5 เซนติเมตรจนถึงระดับน้ำที่ 90 เซนติเมตร

3. การทดลองจะใช้ขนาดของท่อพีวีซี (7) เพื่อเปรียบเทียบกับสามขนาดคือ 3/8 นิ้ว 1/2 นิ้ว และ 3/4 นิ้ว

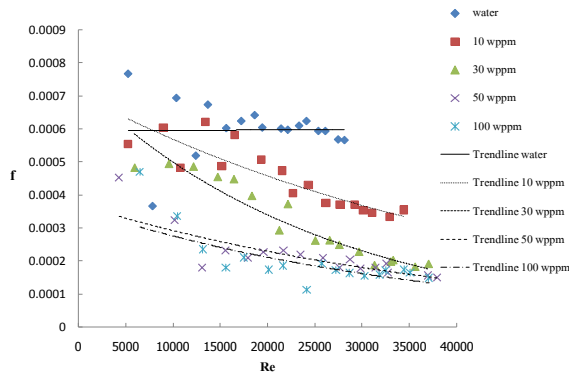
4. การคำนวณผลการทดลอง จากข้อมูลการทดลอง ผลการทดลองจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งวาดกราฟเพื่อนำเสนอเป็นข้อมูลในเรื่องการศึกษาถึงปรากฏการณ์การรองรับน้ำเกินปกติของท่อระบายน้ำในสภาวะธรรมดา และในสภาวะที่มีการผสมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบ โดยพิจารณาถึงอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ลดลงในท่อทั้งสามขนาดที่ใช้ในการทดลอง โดยคำนวณจากสมการที่กล่าวมาข้างต้น

4. ผลการทดลอง

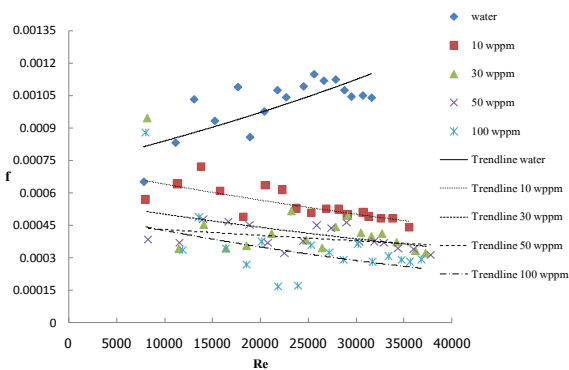
ผลการทดลองสามารถแบ่งออกเป็นสามส่วนดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เปลี่ยนไปหลังจากเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบที่ความเข้มข้นต่างกัน จากผลการทดลองสามารถนำมาเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (แกนตั้ง) กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ (แกนนอน) ที่เปลี่ยนไปได้ดังรูปที่ 5, 6, 7 ซึ่งใช้ท่อขนาด 3/8 นิ้ว 1/2 นิ้ว และ 3/4

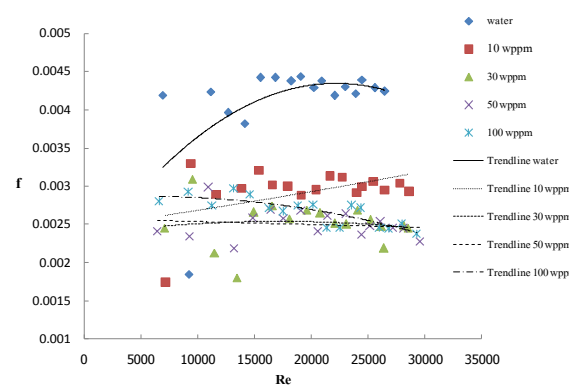
นิ้ว ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองบ่งชี้ว่าเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบ จะสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานภายในท่อในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนได้จริง โดยมีข้อสังเกตคือที่ความเข้มข้น 30, 50 และ 100 wppm ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ลดลงโดยเฉลี่ยจะไม่แตกต่างกันมากโดยจะมีค่าอยู่ที่ 51 % และท่อเส้นเล็กจะสามารถลดลงได้มากกว่าท่อเส้นใหญ่



รูปที่ 5 แผนภาพความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในท่อขนาด 3/8 นิ้ว

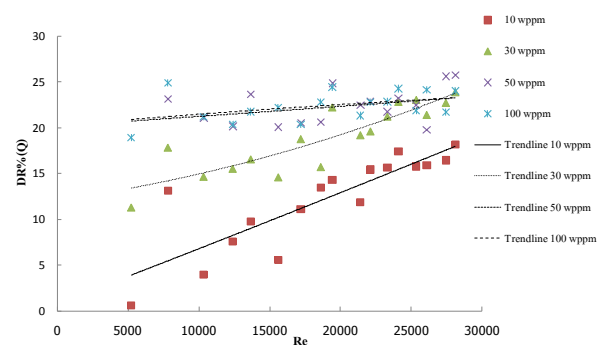


รูปที่ 6 แผนภาพความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในท่อขนาด 1/2 นิ้ว

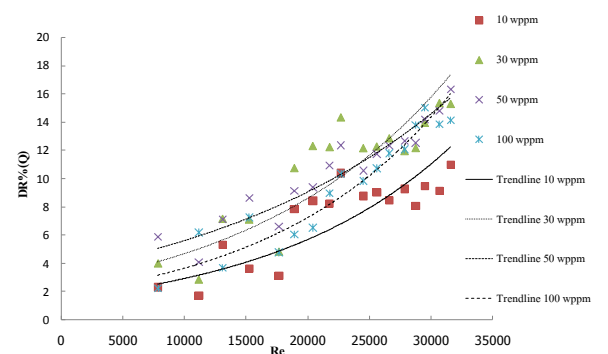


รูปที่ 7 แผนภาพความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในท่อขนาด 3/4 นิ้ว

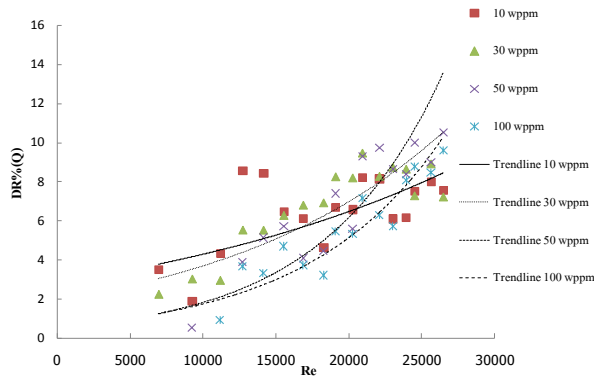
2. ค่าเปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานภายในท่อที่คิดจากอัตราการไหล จากผลการทดลองสามารถนำมาเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คิดจากอัตราการไหล (แกนตั้ง) กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ (แกนนอน) ที่เปลี่ยนไปได้ดังรูปที่ 8, 9, 10 ซึ่งใช้ท่อขนาด 3/8 นิ้ว 1/2 นิ้ว และ 3/4 นิ้ว ตามลำดับ สำหรับค่าค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คิดจากอัตราการไหลนั้นบ่งบอกถึงอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นของระบบเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปเมื่อเทียบกับสภาวะปกติ ผลการทดลองที่ได้จากแผนภาพความสัมพันธ์นั้นเห็นชัดเจนว่าอัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นทันทีโดยจะแปรผันตามความเข้มข้นและค่าเรโนลด์นัมเบอร์ที่เพิ่มขึ้น โดยมีข้อสังเกตเหมือนกันในท่อทั้งสามขนาดคือที่ความเข้มข้น 30, 50 และ 100 wppm นั้นอัตราการไหลโดยเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกันที่ 12% และท่อเส้นเล็กจะสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลได้มากกว่าท่อเส้นใหญ่



รูปที่ 8 แผนภาพความสัมพันธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คิดจากอัตราการไหล กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในท่อขนาด 3/8 นิ้ว

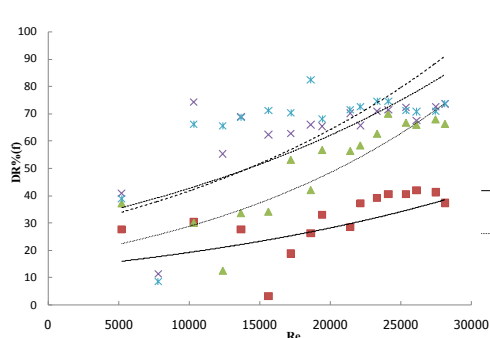


รูปที่ 9 แผนภาพความสัมพันธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คิดจากอัตราการไหล กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในท่อขนาด 1/2 นิ้ว

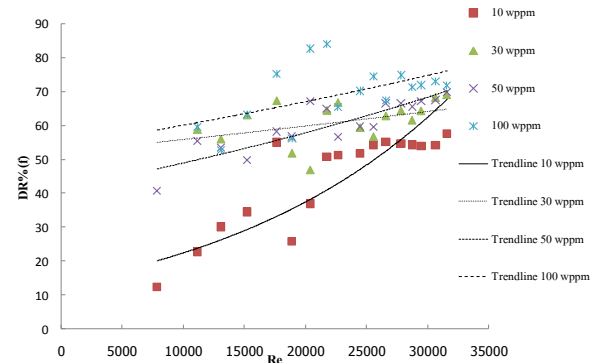


รูปที่ 10 แผนภาพความสัมพันธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คิดจากอัตราการไหล กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในท่อขนาด 3/4 นิ้ว

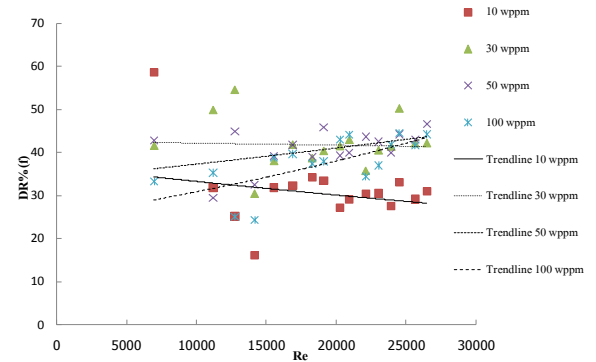
3. ค่าเปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานภายในท่อที่คิดจากแรงเสียดทานภายในท่อ จากผลการทดลองสามารถนำมาเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คิดจากแรงเสียดทานภายในท่อ (แกนตั้ง) กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ (แกนนอน) ที่เปลี่ยนไปได้ดังรูปที่ 11, 12, 13 ซึ่งใช้ท่อขนาด 3/8 นิ้ว 1/2 นิ้ว และ 3/4 นิ้ว ตามลำดับ สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คิดจากแรงเสียดทานนั้นบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของสารละลายพอลิเมอร์ที่ทำงานได้โดยจะพิจารณาเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับสภาวะปกติ โดยมีข้อสังเกตเหมือนกันในท่อทั้งสามขนาดคือที่ความเข้มข้น 30, 50 และ 100 wppm นั้นค่าเปอร์เซ็นต์การลดแรงเสียดทานที่ทำได้โดยเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกันที่ 51% และท่อเส้นเล็กจะสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของอัตราการลดลงของแรงเสียดทานไหลได้มากกว่าท่อเส้นใหญ่



รูปที่ 11 แผนภาพความสัมพันธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คิดจากแรงเสียดทานภายในท่อ กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในท่อขนาด 3/8 นิ้ว



รูปที่ 12 แผนภาพความสัมพันธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คิดจากแรงเสียดทานภายในท่อ กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในท่อขนาด 1/2 นิ้ว



รูปที่ 13 แผนภาพความสัมพันธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่คิดจากแรงเสียดทานภายในท่อ กับค่าเรโนลด์นัมเบอร์ในท่อขนาด 3/4 นิ้ว

5. อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถนำมาเขียนตารางแสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงในท่อขนาด 3/8 นิ้ว 1/2 นิ้ว และ 3/4 นิ้ว ในช่วงค่าเรโนลด์นัมเบอร์ (Re) ระหว่าง 5000-32000 ได้ตามตารางที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ ผลการทดลองบ่งชี้ว่าเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์เข้าไปในระบบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนจะสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้จริงโดยจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของสารละลายจากผลการทดลองสารละลายแอนไอออนิกโพลีอะคริลาไมด์ (PAM) มีความสามารถที่จะลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้สูงที่สุดถึง 55.91% โดยเฉลี่ยในท่อขนาด 1/2 นิ้ว และ 49.34%, 32.29% ที่ท่อขนาด 3/8 นิ้ว และ 3/4 นิ้ว ตามลำดับ และสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้สูงสุดถึง 18.32 % โดยเฉลี่ยที่ท่อขนาด 3/8 นิ้ว และ 9.45%, 5.81% ที่ท่อขนาด 1/2 นิ้ว และ 3/4 นิ้ว ตามลำดับ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ (Re)

5000-32000 โดยมีข้อสังเกตคือประสิทธิภาพของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่อท่อมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งเป็นไปตามหลักการ [2, 10] ของปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทาน

สำหรับในโอกาสต่อไปในอนาคตเพื่อให้ข้อมูลมีความชัดเจนขึ้นจะทำการทดลองในท่อขนาดใหญ่ขึ้น และต่างชนิดกันเพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับอีกครั้ง และทำการเปลี่ยนชนิดของสารทดลองด้วยเพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลค่าเฉลี่ยของผลการทดลองเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในท่อขนาด 3/8 นิ้ว ในช่วงค่าเรย์โนลด์สเบอร์ (Re) ระหว่าง 5000-32000

Concentration	friction	DR% (Q)	DR% (f)
Pure water	0.0006	-	-
10 wppm	0.0005	12.14	22.78
30 wppm	0.0003	18.94	45.74
50 wppm	0.0002	19.79	62.97
100 wppm	0.0002	22.4	65.86
Average (addition polymer only)	0.0003	18.32	49.34

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลค่าเฉลี่ยของผลการทดลองเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในท่อขนาด 1/2 นิ้ว ในช่วงค่าเรย์โนลด์สเบอร์ (Re) ระหว่าง 5000-32000

Concentration	friction	DR% (Q)	DR% (f)
Pure water	0.001	-	-
10 wppm	0.0005	7.30	44.56
30 wppm	0.0004	10.68	55.13
50 wppm	0.0004	10.55	60.41
100 wppm	0.0003	9.26	63.53
Average (addition polymer only)	0.0004	9.45	55.91

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลค่าเฉลี่ยของผลการทดลองเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในท่อขนาด 3/4 นิ้ว ในช่วงค่าเรย์โนลด์สเบอร์ (Re) ระหว่าง 5000-32000

Concentration	friction	DR% (Q)	DR% (f)
Pure water	0.0041	-	-
10 wppm	0.0029	6.38	24.84
30 wppm	0.0025	6.71	35.52
50 wppm	0.0025	5.51	36.86
100 wppm	0.0027	4.65	31.94
Average (addition polymer only)	0.0027	5.81	32.29

6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทานภายในท่อในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จริงมีความเป็นไปได้ค่อนข้างมากในการนำปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทานภายในท่อมาใช้

ประโยชน์ในงานระบายน้ำโดยประสิทธิภาพนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลายพอลิเมอร์ และความเข้มข้นที่ใส่ลงไปในระบบโดยในสารละลายพอลิเมอร์แต่ละชนิดนั้นจะมีขีดจำกัดในการทำงานที่แตกต่างกัน ชนิดและขนาดของท่อก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของสารพอลิเมอร์โดยจากผลการทดลองแสดงให้เห็นแล้วว่าสารละลายแอนไอออนิกโพลีอะคริลาไมด์ [Anionic Polyacrylamide (PAM)] นั้นสามารถทำงานได้ดีในช่วงการไหลที่ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ (Re) ระหว่าง 5000-32000 และทำงานได้ดีในท่อขนาดเล็กมากกว่าขนาดใหญ่

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 26

ขอขอบคุณสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้กรุณามอบทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงลงไปได้

ขอขอบคุณศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนการวิจัยเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงลงไปได้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lumley, J.L. (1973). Drag reduction in turbulent flow by polymer additives, *J.Polymer Sci: Molecular rev.*, Vol.7, pp. 263-290.
- [2] 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.
- [3] Sojka R.E., Bjorneberg D.L., Entry J.A., Lentz R.D., Orts W. J., (2004). Polyacrylamide in agriculture and environmental land management, *Advances in Agronomy*, Volume 92, pp.115-119.
- [4] Virk P.S., "Dragreduction fundamental", *AI.Chem.J.*, Vol.21, 1975, pp.625-656.

- [5] White, M.C., Mungal, M.G. (2008). “Mechanics and Prediction of Turbulent Drag Reduction with Polymer Additives”, Annu. Rev. Fluid Mech, Vol.40, pp. 235-256
- [6] William J.Orts ,Robert E.Sojka ,Gregory M.Glenn and Richard A.Gross, USA (1999). Preventing Soil Erosion with Polymer Additives, Polymer News , Vol.24.pp.406-413.
- [7] เสรี จันทรโยธา (2553). ชลศาสตร์. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] รศ.กิริติ ลีวัจนกุล (2537).วิศวกรรมชลศาสตร์ Third Edition. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.
- [9] ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2539). คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำเสีย และน้ำฝน. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [10] อนันต์ชัย อยู่แก้ว (2555) ”การลดแรงเสียดทานในการไหลผ่านท่อ: หลักการพื้นฐานและแนวทางประยุกต์ใช้ในประเมศไทย”, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 23 ฉบับที่ 1, 2555, หน้า 55-61.
- [11] สรุปสถานการณ์สาธารณภัยของประเทศไทย ประจำปี. กรมป้องกัน และบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://61.19.100.58/public/group4/disaster01/disa_disa_03.htm, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/2/2555.