การเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำสำหรับท่อที่รองรับน้ำเกินพิกัดระหว่างการเกิดอุทกภัยโดยการเติมสารละลายพอลิเมอร์

Enhancement of Draining Capacity for Over Loaded Sewer During Flooding by Means of Polymer Addition

สัตยา ยิ้มประเสริฐ[1] ,อนันต์ชัย อยู่แก้ว[1*]

Sattaya Yimprasert ,Ananchai U-kaew

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

[*]ติดต่อ: เบอร์โทรศัพท์ : 0-5596-4210, เบอร์โทรสาร : 0-5596-4230

E-mail : Sattaya3210@hotmail.com, ananchaiu@nu.ac.th

บทคัดย่อ

จากการศึกษาค้นคว้าที่ผ่านมาพบว่าสมรรถนะในการระบายน้ำของแต่ละพื้นที่มีขีดจำกัดที่แตกต่างกันไป โดยจะขึ้นอยู่กับสภาพการรองรับน้ำของในแต่ละพื้นที่ด้วย ดังนั้นในกรณีที่เกิดความไม่สัมพันธ์กันระหว่างพื้นที่การรองรับน้ำกับอัตราการระบายน้ำจะทำให้เกิดสภาพการรองรับน้ำเกินพิกัดขึ้นอันก่อให้เกิดปัญหาอุทกภัยเฉียบพลันได้ ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถพิสูจน์ได้โดยการทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายน้ำกับระดับน้ำในพื้นที่ที่รองรับน้ำ นอกจากนั้นสภาพการรองรับน้ำเกินพิกัดสามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำโดยการเติมสารละลายพอลิเมอร์เพียงเล็กน้อยในท่อระบายน้ำเพื่อเพิ่มอัตราการไหลและสมรรถนะในการระบายน้ำได้ จากการทดลองพบว่าสารละลายพอลิเมอร์สามารถเพิ่มขีดจำกัดของสภาวะที่ท่อรองรับน้ำเกินพิกัดได้จริงซึ่งส่งผลให้สมรรถนะการระบายน้ำเพิ่มขึ้นได้สูงสุดถึง 13 % โดยเฉลี่ย และอัตราการระบายน้ำเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 12% โดยเฉลี่ย

คำหลัก : การเติมสารละลายพอลิเมอร์, อัตราการระบายน้ำ, ปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทาน, ปรากฏการณ์รองรับน้ำเกินพิกัดของท่อ

Abstract

From the past research and study, it has been found that limit of water storing depend on draining capacity of sewer in each location. In which, when case draining capacity is exceeded, resulting in over loaded capacity of sewer, Therefore, flooding can be occurred in a shot period of time. This research aims to verify the phenomenon by finding correlation between draining capacity and water storing level in a location. Over loaded sewer effect can be relieved by means of polymer addition into drainage system for enhancement of draining capacity for the flooding situation. From the experiment, it is found that polymer addition into drainage system can be relieved over loaded sewer effect, that increase maximum enhancement of draining capacity up to 13 % by average and increasing maximum flow rate up to 12%

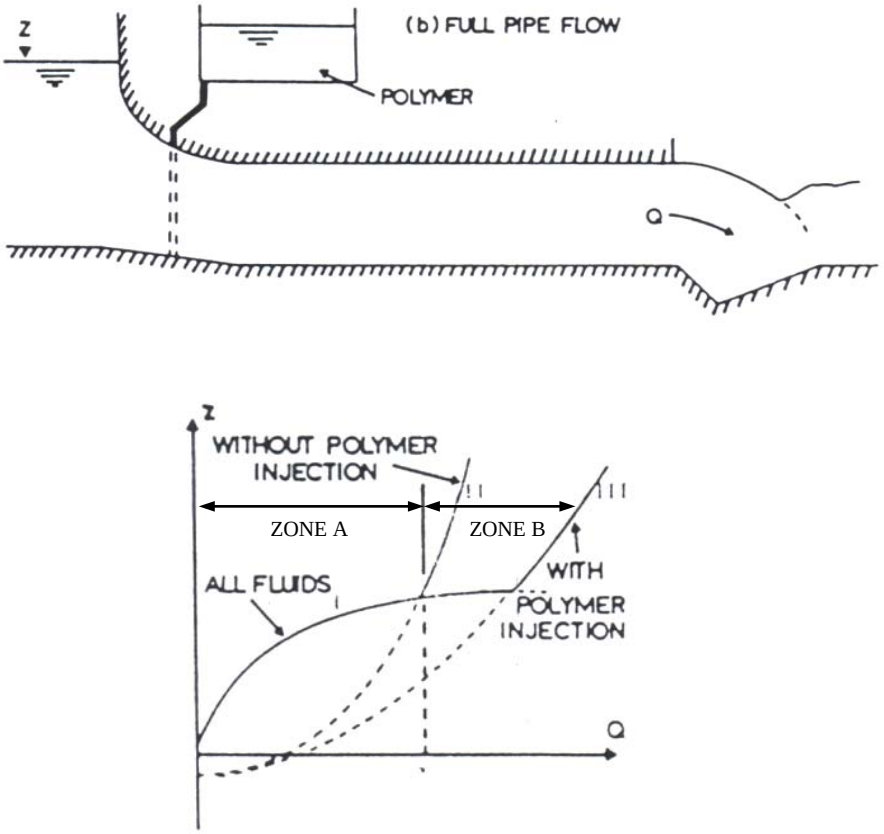
Keywords : Polymer additives, Draining capacity, Drag reduction, Over loaded sewer pipe

บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันสภาพภูมิอากาศทั่วโลกมีความผันผวนอย่างมาก อันเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ ยกตัวอย่างเช่น สภาวะโลกร้อน การตัดไม้ทำลายป่า เป็นต้น ซึ่งส่งผลโดยตรงกับประเทศไทยทำให้ปริมาณน้ำในประเทศไทยเกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้เกิดปัญหาอุทกภัยตามมาก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างมาก ตามรายงานสรุปสถิติอุทกภัยโดยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทยพบว่ามีมูลค่าความเสียหายเพิ่มมากขึ้นทุกปีโดยเฉพาะปี 2554 ที่ผ่านมามีความสูญเสียจากการประเมินถึง 1.4 ล้านล้านบาท (กรมป้องกัน และบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย, 2012) และจัดเป็นภัยพิบัติสร้างความเสียหายเป็นอันดับสี่ของโลก การแก้ปัญหาอุทกภัยนั้นในเบื้องต้นสามารถแก้ไขได้หลายวิธีการยกตัวอย่างเช่น การวางระบบการระบายน้ำใหม่ หรือการสร้างพื้นที่กักเก็บน้ำ เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีเป็นวิธีที่สามารถแก้ไขปัญหาได้ผลในระยะยาว แต่ก็ต้องใช้งบประมาณอย่างมหาศาล

สาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำท่วมขังมีอยู่หลายประการยกตัวอย่างเช่น สภาพพื้นที่มีลักษณะต่ำเป็นแอ่งกระทะ ระบบการจัดการน้ำไม่ดี ซึ่งเกิดจากการออกแบบที่ผิดพลาด ตลอดจนปริมาณน้ำฝนที่ตกมีมากจนเกินไปทำให้ระบายออกไม่ทัน เป็นต้น โดยลักษณะการระบายน้ำออกไม่ทันของท่อระบายน้ำเกิดมาจากสาเหตุที่ท่อระบายน้ำเกิดสภาวะการรองรับน้ำเกินพิกัด ส่งผลให้ระดับน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็วแต่อัตราการไหลของน้ำคงที่ ทำให้เกิดน้ำท่วมขังในพื้นที่ซึ่งถ้าสามารถแก้ปัญหานี้ได้ก็จะช่วยลดความเสียหายจากน้ำท่วมได้ จากการศึกษาพบว่าเมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์บางชนิดที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี และไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมลงในน้ำที่ไหลผ่านท่อในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) จะสามารถลดแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อได้เรียกว่า ”ปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทาน ” หรือ drag reduction ซึ่งปรากฏการณ์นี้ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ ทอม (Tom) ในปี ค.ศ. 1949 (Sellin RH et al., 1982) เมื่อแรงเสียดทานภายในท่อลดลงจะส่งผลให้อัตราการไหลภายในท่อเพิ่มขึ้นด้วย ในปีค.ศ.1978 Maksimovic’ (Sellin RH et al., 1982) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงปรากฏการณ์การที่ท่อรองรับน้ำเกินพิกัด (Choking effect) และผลกระทบของการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงในน้ำในช่วงการเกิดปรากฏการณ์การที่ท่อรองรับน้ำเกินพิกัดเพื่อศึกษาถึงผลที่แตกต่างกันของการไหลซึ่งมาร์คสิโมวิคทำการทดลองในระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำโดยทำการทดลองเก็บข้อมูลกับท่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ถึง 10 เมตร ที่ระยะทาง 10 -100 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ดังรูปที่ 1 ด้านบน การทดลองทำโดยปล่อยน้ำเข้าท่ออย่างต่อเนื่องจากนั้นวัดระดับน้ำกับอัตราการไหลที่เปลี่ยนไปพบว่าเมื่อถึงจุดหนึ่ง ระดับน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่อัตราการไหลไม่เพิ่มขึ้น นำมาเขียนความสัมพันธ์ได้ดังแผนภาพในรูปที่ 1 ด้านล่างได้ จากแผนภาพ แสดงลักษณะความสัมพันธ์ของอัตราการไหล (แกน X) กับระดับความสูงของน้ำ (แกน Y) พิจารณาที่เส้นกราฟที่ II จะมีลักษณะการเพิ่มขึ้นอย่างสัมพันธ์กัน แต่เมื่อถึงจุดหนึ่ง ที่บริเวณรอยต่อของโซนเอ (ZONE A) เข้าสู่โซนบี (ZONE B) จะเห็นว่าอัตราการไหลไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้มากนักในขณะที่ความสูงนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยลักษณะกราฟมีความชันมาก ชี้ให้เห็นว่าท่อเกิดสภาวะการรองรับน้ำเกินพิกัด จากนั้นมาร์คซิโมวิคจึงทำการทดลองขั้นที่สองโดยทำการทดลองตามขั้นตอนเดิม แต่ครั้งนี้มีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบด้วยจากนั้นทำการเก็บข้อมูลเช่นเดิม พบว่าเมื่อถึงสภาวะการรับน้ำเกินพิกัด ที่บริเวณโซนเอ (ZONE A) เข้าสู่โซนบี (ZONE B) ดังแผนภาพด้านล่างในรูปที่ 1 พิจารณาที่เส้นกราฟที่ III พบว่าระบบจะสามารถเพิ่มขีดจำกัดของอัตราการไหลได้ไปจนถึงจุดๆหนึ่งก็จะเกิดสภาวะการรองรับน้ำเกินพิกัดขึ้นอีกครั้งโดยพิจารณาที่เส้นกราฟจะชันขึ้นทันทีเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของน้ำในระบบที่ไม่มีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ในเส้นกราฟที่ II ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหลังจากมี

การเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบจะสามารถเพิ่มอัตราการไหลด้านออกได้ 20% - 30% ซึ่งอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากแรงเสียดทานระหว่างของไหลภายในท่อกับผนังท่อมีค่าลดลง



รูปที่ 1 การทดลองของMaksimovic' เพื่อศึกษาผลกระทบของการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงในน้ำ ว่าส่งผลเช่นใดกับปรากฏการณ์การการรองรับน้ำเกินพิกัด(Sellin RH et al., 1982)

จากนั้นต่อมาในปี ค.ศ.1979 ได้มีการทดลองนำสารละลายพอลิเมอร์มาประยุกต์ใช้ในงานระบายน้ำเสีย (Sellin RH, Hoyt JW, Scrivener O, 1982; DERICK C. and LOGIE, K., 1973) โดยติดตั้งระบบเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ท่อระบายน้ำเสียแบบแรงโน้มถ่วงขนาด 305 มิลลิเมตรโดยใช้สารทำงานคือ Polyox WAR-301 ที่ความเข้มข้นในช่วง 15-40 wppm (หนึ่งต่อล้านส่วนโดยน้ำหนัก) พบว่าในช่วงที่มีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบสามารถเพิ่มระดับน้ำที่ไหลในท่อได้ถึง 5 เท่า จากสภาวะปกติ โดยอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากแรงเสียดทานระหว่างของไหลภายในท่อกับผนังท่อมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

งานทดลองนี้นำข้อมูลดังกล่าวมาเป็นสมมุติฐานในการทดลองเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายน้ำกับระดับน้ำในพื้นที่ที่รองรับน้ำ จากนั้นจึงทำการแก้ไขสภาวะการรองรับน้ำเกินพิกัดด้วยการเพิ่มสมรรถนะการระบายน้ำโดยการเติมสารละลายพอลิเมอร์แอนไอโอนิคโพลีอะคลาลาไมด์ [Anionic Polyacrylamide (PAM)] ในอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง 10-100 wppm ลงในท่อระบายน้ำเพื่อ ลดแรงเสียดทานระหว่างของไหลภายในท่อกับผนังท่อเพื่อที่จะเพิ่มอัตราการไหลและสมรรถนะในการระบายน้ำได้

ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับทฤษฎีที่นำมาใช้ในงานวิจัยจะใช้ทฤษฎีพื้นฐานในเรื่องการไหลภายในท่อเพื่อนำมาเป็นสมมุติฐานในการคำนวณ และเพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาได้ดังนี้

1.การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อ(Head loss by pipe friction)

การสูญเสียหลัก (Major loss:h_f), (เสรี จันทรโยธา, 2553; รศ.กีรติ ลีวัจนกุล, 2537; ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2539) หรือการสูญเสียหัวน้ำเป็นการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างของไหลกับผนังท่อ และการไหลที่ต้องเอาชนะความหนืดเนื่องจากการไหลในท่อ ในส่วนของงานท่อระบายน้ำจะพิจารณาถึงการสูญเสียหัวน้ำที่เกิดจากแรงเสียดทานและความปั่นป่วนของการไหลเป็นหลัก เนื่องจากท่อจะมีลักษณะที่ตรงและมีแนวท่อยาว แรงเสียดทานนั้นทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงานภายในท่อ ซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นการกระจายความร้อนที่ผนังท่อโดยมีความหนืดของของไหลเป็นตัวแปรสำคัญและความปั่นป่วนของการไหลจะทำให้มีการถ่ายเทโมเมนตัมตามแนวรัศมีภายในท่อมาก ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานระหว่างที่มีการไหลผ่านท่อ เมื่อพิจารณาตามลักษณะการไหลแล้วการระบายน้ำในท่อส่วนใหญ่มีอัตราการไหลตกอยู่ในช่วงของการไหลแบบปั่นป่วน ($\mathrm{Re} > 4{,}000$) โดยค่าการสูญเสียหลัก (h_f) จะสามารถคำนวณได้สองแบบคือ

1.1 สมการดาซี่-วิสบาสซ์ (Darcy – Weisbach), (เสรี จันทรโยธา, 2553; รศ.กีรติ ลีวัจนกุล, 2537; ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2539)

$$h_f = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} \tag{1}$$

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

1.2 สมการพลังงาน (เสรี จันทรโยธา, 2553; รศ.กีรติ ลีวัจนกุล, 2537; ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2539)

$$h_f = \frac{(P_1 - P_2)}{\gamma} + (z_1 - z_2) \tag{2}$$

โดยที่ $(P_1 - P_2)$ คือความดันตกจากจุดที่1 ไป 2 (N/m^2) และ $(z_1 - z_2)$ คือ ความต่างระดับของจุดที่1 และ 2 (m) ส่วน γ คือ น้ำหนักจำเพาะ (N/m^3)

2.การคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลภายในท่อ ($Q\%$)

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล ภายในท่อ ($Q\%$), (White M.C. and Mungal M.G., 2008) เมื่อมีการเติมหรือฉีดสารพอลิเมอร์เข้าไปในท่อระบายน้ำสามารถคำนวณได้โดยการคำนวณจากค่าการเพิ่มของอัตราการไหล (Q) โดยใช้สมการ

$$Q\% = 100 \times \left(\frac{Q_p - Q_w}{Q_p} \right) \quad (3)$$

โดยที่ Q_w และ Q_p คือ อัตราการไหลของน้ำในกรณีที่ไม่ใช้และใช้สารเติมพอลิเมอร์ในท่อระบายน้ำตามลำดับ (หน่วยเป็น m^3/s)

การลดแรงเสียดทานในท่อโดยใช้การเติมพอลิเมอร์ถูกแบ่งออกได้เป็น 3 ทฤษฎีใหญ่ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ทางกายภาพของพอลิเมอร์ในระดับโมเลกุล (molecular polymer dynamics) ในการไหลแบบปั่นป่วน โดยเฉพาะส่วนที่ใกล้กับผนังของท่อ (turbulent boundary layer) จะมีผลต่อการไหลของน้ำในระดับอย่างต่อเนื่อง (continuum) ทฤษฎีแรกที่เสนอโดย Lumley (Lumley J.L., 1969, 1973) ได้ให้ความสำคัญกับความยืดหยุ่น (elasticity) ของโมเลกุลพอลิเมอร์ในการไหลแบบขยาย ตัว (extensional flow) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้พอลิเมอร์สามารถขยายตัวและลดการเกิดเอ็ดดี้(eddies) ในการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้ลดการสูญเสียพลังงานในแนวรัศมี ทฤษฎีที่สอง (White M.C. and Mungal M.G., 2008) กล่าวว่า การลดแรงเสียดทานจะเกี่ยวข้องกับการวางตัวของพอลิเมอร์ในลักษณะแท่งเมื่อพอลิเมอร์มีการขยายตัวสูงสุด ซึ่งทำให้เกิดการขัดขวางการถ่ายเทโมเมนตัมในแนวรัศมี เป็นผลให้พลังงานที่สูญเสียลดน้อยลง ส่วนทฤษฎีที่สามนั้น(Sellin RH et al., 1982) เปรียบพอลิเมอร์เหมือนกับสปริงเมื่อถูกทำให้อยู่ในแนวทิศทางการไหล ก็จะทำหน้าที่เก็บกักพลังงานเมื่อโมเลกุลขยายตัว และปลดปล่อยพลังงานเมื่อมีการหดตัวของโมเลกุลตามแนวทิศทางการไหล ส่งผลให้มีการลดการถ่ายเทพลังงานในแนวรัศมี

3.สมการเบอร์นูลี (Bernoulli Equation)

เมื่อนำสมการของออยเลอร์ (Euler) มาใช้กับอนุภาคของของไหลที่เคลื่อนที่อยู่บนเส้นการไหล (streamline) และพัฒนาต่อมาจะได้สมการใช้งานสำหรับของไหลไร้ความหนืดที่นิยมที่เรียกว่า สมการเบอร์นูลี (Bernoulli Equation) โดยสามารถจัดรูปแบบสมการได้ดังนี้(เสรี จันทรโยธา, 2553; รศ.กีรติ ลีวัจนกุล, 2537; ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2539)

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \quad (4)$$

โดยที่ P_1, P_2 คือ ความดันระหว่างจุด1 และ จุด 2 (Pa หรือ N/m^2)

V_1, V_2 คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่จุด1 และ จุด 2 (m/s)

z_1, z_2 คือ ระดับน้ำที่จุด 1 และ จุด 2 (m)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล(kg/m^3)

g คือ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก(m/s^2)

โดยสมการเบอร์นูลีมีเงื่อนไขการใช้งานดังนี้คือ

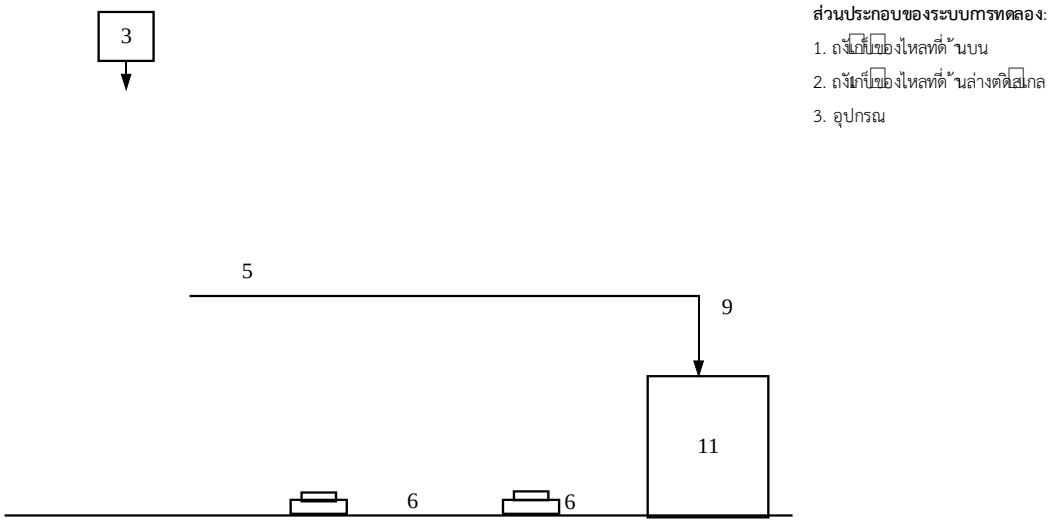
1. การไหลจะต้องเป็นการไหลไร้ความหนืด
2. การไหลเป็นการไหลแบบคงตัว

3. การไหลเป็นการไหลอัดตัวไม่ได้
4. สมการใช้กับอนุภาคของของไหลที่อยู่บนstreamline เส้นเดียวกัน

สมการเบอร์นูลีเป็นสมการสเกลาร์และเป็นสมการที่ใช้ได้ง่ายแต่ความแม่นยำของผลเฉลยจากสมการเมื่อนำไปใช้แก้ปัญหาของของไหลจะขึ้นกับความสอดคล้องของปัญหาหรือปรากฏการณ์การไหลกับเงื่อนไข 4 ข้อที่ระบุข้างต้นโดยเฉพาะเงื่อนไขของการไหลไร้ความหนืดดังนั้นสำหรับปัญหาของการไหลใดที่ไม่สามารถละทิ้งผลจากความหนืดได้หากนำสมการเบอร์นูลีไปใช้จะได้ผลเฉลยที่คลาดเคลื่อนไปค่อนข้างมากจึงต้องระวังเป็นอย่างมากเวลานำสมการเบอร์นูลีไปใช้แก้ปัญหาของของไหล จะต้องตรวจสอบให้ชัดเจนว่าปัญหาการไหลดังกล่าวสอดคล้องกับเงื่อนไขครบทั้ง 4 ข้อหรือไม่

ระเบียบวิธีการวิจัย

1. สำหรับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 2



ลดการพังทลายของหน้าดินมานานแล้ว (William J. Orts, Robert E. Sojka, Gregory M. Glenn and Richard A. Gross, 1999)

1.1.1 ลักษณะจำแพะของสารละลาย แอนไอโอนิคโพลีอะคลาลาไมด์ [Anionic Polyacrylamide (PAM)], (R.E.Sojka et al., 2004) คือ

1) ลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็งเกล็ดสีขาวดังแสดงในรูปที่ 3 มีขนาดน้ำหนักโมเลกุล (M_w) ประมาณ 10-25x10^6

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

รูปที่ 3 Anionic Polyacrylamide (PAM)

1.2 ปรับองศาของวาล์ว(เบอร์ 1) เพื่อเตรียมให้น้ำไหลผ่านท่อไปสู่ถังรับน้ำก่อนระบายทิ้ง

1.3 ในกระบวนการทดลองจะทำการบรรจุน้ำไว้ในถังพักด้านบน (1) เมื่อพร้อมที่จะทำการวัดข้อมูลก็จะเปิดวาล์ว (เบอร์ 2) ปล่อยน้ำให้น้ำไหลเข้าถังติดสเกลด้านล่าง (2) เพื่อสังเกตการรับน้ำเกินพิกัดของท่อโดยต้องรักษาระดับน้ำให้คงที่ และเมื่อน้ำไหลผ่านท่อ(7) ก็จะทำการเก็บข้อมูลระดับน้ำในถัง ความดันตกคร่อมที่ท่อรวมถึงเวลาที่ของไหลไหลผ่านท่อจากนั้นจึง บันทึก ข้อมูล ไว้เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการไหล ค่าเรโนว์นัมเบอร์ และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เปลี่ยนไป

2.เกณฑ์การทดลอง

2.1 การทดลองจะใช้พอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างกันโดยจะ ความเข้มข้นใช้ที่ 0 (น้ำเปล่า), 10, 30, 50, 100 wppm (หนึ่งต่อล้านส่วนโดยน้ำหนัก)โดยในแต่ละความเข้มข้นจะทดลองซ้ำ 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยการทดลองจะกระทำ ณ ที่ อุณหภูมิห้อง

2.2 การทดลองจะกำหนดระดับความสูงของน้ำในถังอคลิลิคใสติกสเกล (2) ขนาดความจุ 65 ลิตร โดยเริ่มทดลองที่ 10 เซนติเมตรและเพิ่มความสูงของระดับน้ำไปทีละ 5 เซนติเมตรจนถึงระดับน้ำที่ 90 เซนติเมตร

2.3 การทดลองจะใช้ขนาดของท่อพีวีซี(7) เพื่อเปรียบเทียบกันสามขนาดคือ 3/8 นิ้ว 1/2 นิ้ว และ 3/4 นิ้ว

3.การคำนวณผลการทดลอง

3.1 ข้อมูลการทดลองจะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์และสมการระหว่างกลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งวาดกราฟเพื่อนำเสนอเป็นข้อมูลในเรื่องการศึกษาถึงปรากฏการณ์การรองรับน้ำเกิน

พิกัดของท่อระบายน้ำในสภาวะธรรมดา และในสภาวะที่มีการผสมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบ โดยพิจารณาถึงอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ลดลง โดยคำนวณจากสมการที่กล่าวมาข้างต้น

ผลการศึกษาวิจัย

สำหรับผลการศึกษาวิจัยเพื่อความเข้าใจจะแบ่งผลการทดลองออกเป็นสามส่วน คือ การศึกษาปรากฏการณ์การรองรับน้ำเกินพิกัด การใช้สารละลายพอลิเมอร์ในการเพิ่มสมรรถนะในการระบายน้ำ และการใช้สารละลายพอลิเมอร์เพื่อช่วยในการเพิ่มอัตราการระบายน้ำ

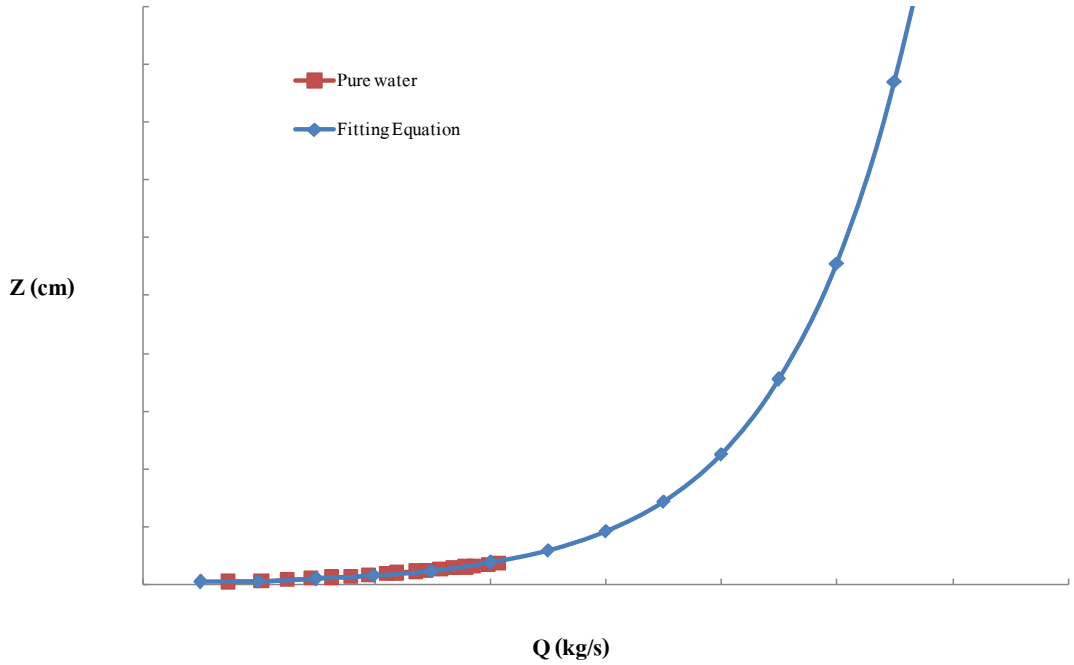
1.การศึกษาปรากฏการณ์การรองรับน้ำเกินพิกัด

ผลที่ได้จากการทดลองเมื่อพิจารณาที่น้ำเปล่า (Pure water) สามารถนำมาเขียนแผนภาพได้ดังรูปที่ 4 โดยอัตราการไหล (แกน X) ที่ทำการทดลองจะอยู่ในช่วง 0-0.4 kg/s และความสูงของน้ำ (แกน Y) จะอยู่ในช่วง 10-90 เซนติเมตรจากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยวิธี Curve fitting โดยใช้แบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2538) เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของระดับความสูงของน้ำกับอัตราการไหลที่เปลี่ยนไปจะได้สมการดังนี้

$$Z = 6.363e^{8.976Q} \tag{5}$$

โดยที่ Z คือ ระดับความสูงของน้ำ และ Q คือ อัตราการไหลของน้ำในท่อ

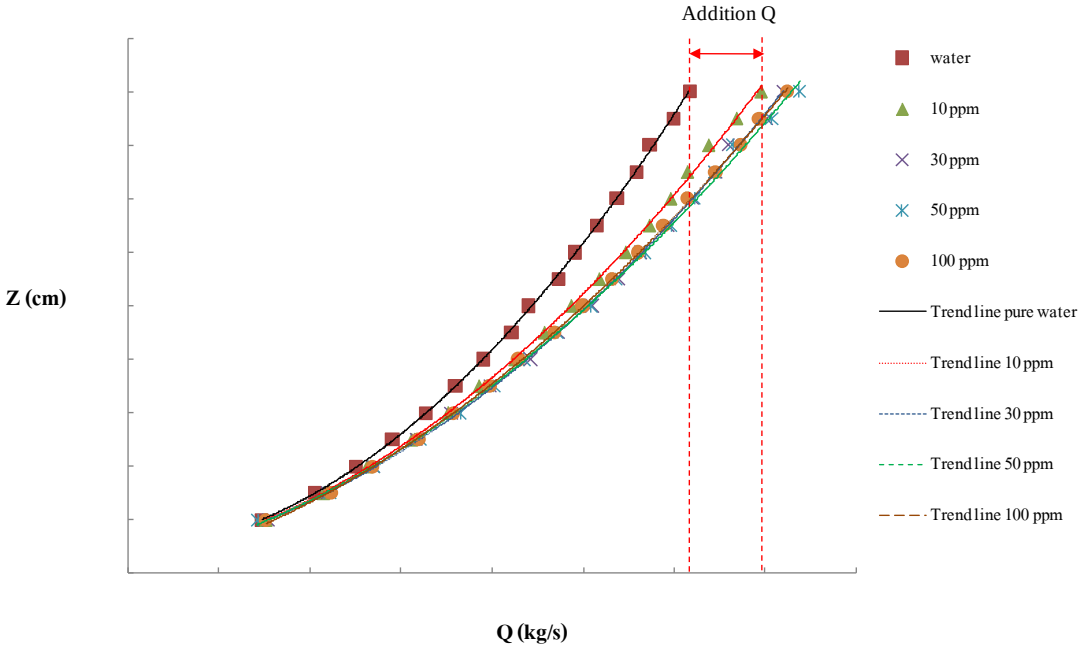
จากสมการที่ 5 ค่าความแม่นยำ (R^2) ของสมการเท่ากับ 0.982 ดังนั้นสามารถอธิบายได้ว่าอัตราการไหลในท่อกับความสูงของระดับน้ำนั้นความสัมพันธ์มีลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลเนื่องจากสมการมีความแม่นยำมากที่สุด จากแผนภาพในรูปที่ 4 เมื่อนำข้อมูลการทดลองของน้ำเปล่า (Pure water) มาแทนในสมการที่ 5 และเพิ่มค่าอัตราการไหลอย่างต่อเนื่อง เพื่อหาจุดที่ท่อเกิดสภาวะการรองรับน้ำเกินพิกัดก็จะพบว่าเส้นกราฟสมการ (Fitting Equation) จะเริ่มมีความชันสูงขึ้น ณ จุด จุดหนึ่งซึ่งอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่ความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมากโดยเส้นกราฟมีลักษณะชันมากที่ค่าอัตราการไหลค่าหนึ่ง แสดงให้เห็นถึงสภาวะที่ท่อเกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดได้มีการเกิดขึ้นจริงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำภายในท่อกับระดับความสูงของน้ำ

2.การใช้สารละลายพอลิเมอร์ในการเพิ่มสมรรถนะในการระบายน้ำ

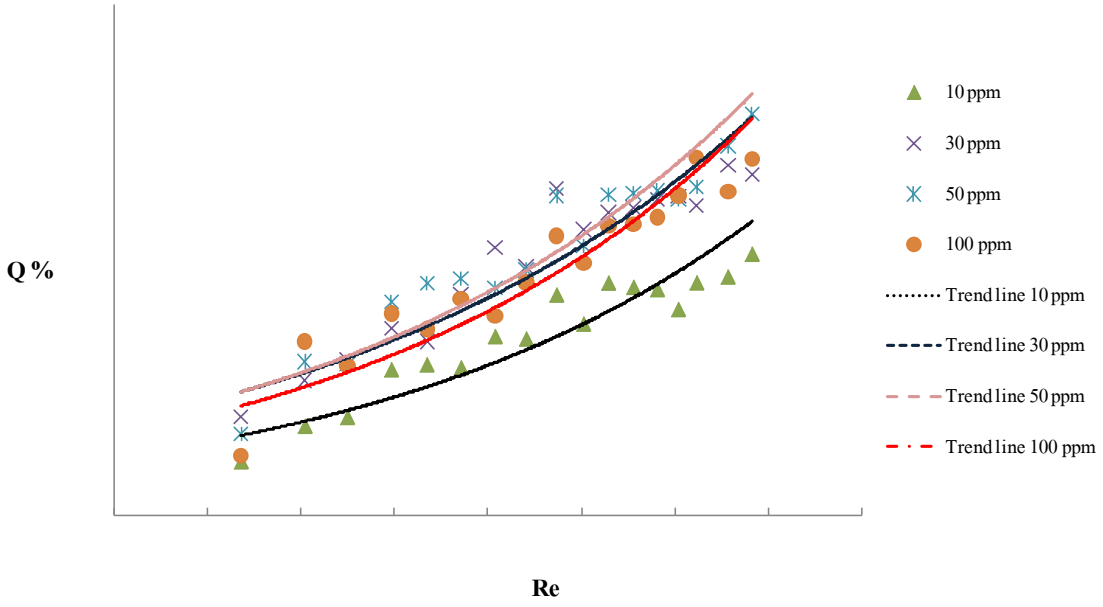
จากนั้นนำข้อมูลการทดลองของน้ำที่เติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบที่ความเข้มข้นแตกต่างกันมาเขียนแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำภายในท่อกับระดับความสูงของน้ำที่เปลี่ยนไปได้ดังรูปที่ 5 ซึ่งเป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำภายในท่อ (แกน X) กับระดับความสูงของน้ำเปล่าและน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ (แกน Y) จากรูปอัตราการไหลที่ทำการทดลองจะอยู่ในช่วง 0-0.4 kg/s และความสูงของน้ำจะอยู่ในช่วง 10-90 เซนติเมตรเช่นเดิม จากแผนภาพสามารถอธิบายได้ว่าอัตราการไหลในท่อกับความสูงของระดับน้ำนั้นความสัมพันธ์มีลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลเช่นเดียวกัน และเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบจะสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้จริงโดยสังเกตจากเส้นกราฟที่ขยายออกมาทางแนวแกน X เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความสูงเดิมก่อนที่จะมีการใช้สารละลายพอลิเมอร์จะเห็นความต่างได้อย่างชัดเจนที่อัตราการไหลเริ่มมากขึ้นที่ระดับความสูงของน้ำที่เพิ่มขึ้นโดยเป็นผลมาจากค่าเรโนว์นัมเบอร์ที่เพิ่มมากขึ้น จากผลการทดลองดังรูปที่ 5 จะเห็นว่าอัตราส่วนความเข้มข้นของพอลิเมอร์ก็มีผลกับอัตราการไหลเช่นเดียวกันโดยความเข้มข้นของสารละลายที่นำมาทำการทดลองนั้นคือ 10 , 30, 50, 100 wppm ความเข้มข้นที่ส่งผลให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้นสูงสุด คือตั้งแต่ 30 –100 wppm จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าเกือบจะเป็นเส้นเดียวกัน ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราการไหลสูงสุดได้ประมาณ 13% โดยเฉลี่ยเมื่อเทียบกับน้ำเปล่า



รูปที่ 5 แผนภาพความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำภายในท่อกับระดับความสูงของน้ำเปล่า และน้ำที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์

3.การใช้สารละลายพอลิเมอร์เพื่อช่วยในการเพิ่มอัตราการระบายน้ำ

ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์อัตราระบายน้ำที่เปลี่ยนไป (แกน Y) กับค่าเรโนว์นัมเบอร์ของน้ำ (แกน X) จากผลการทดลองสามารถนำมาเขียนแผนภาพได้ดังรูปที่ 6 จากรูปจะเห็นว่าช่วงค่าเรโนว์นัมเบอร์อยู่ระหว่าง 5000-40000 ซึ่งจัดเป็นช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) และเปอร์เซ็นต์อัตราการระบายน้ำที่เพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วง 0-20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเริ่มมีการทดลองเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบ โดยเริ่มที่ความเข้มข้น 10 , 30, 50, 100 wppm อัตราการไหลของน้ำภายในท่อมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นทันทีดังรูปที่ 6 หรือเทียบเป็นค่าเฉลี่ยคือ 9 , 13, 13, 12 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นของสารละลาย 30-100 wppm มีลักษณะการเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นที่ค่าเรโนว์นัมเบอร์มากขึ้น



รูปที่ 6 แผนภาพความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์อัตราการระบายน้ำที่เปลี่ยนไปกับค่าเรโนว์นัมเบอร์ของน้ำ

การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะที่ท่อเกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดนั้นเกิดขึ้นจริงที่จุด จุดหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 4 และสภาวะนี้สามารถแก้ไขได้โดยการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงในน้ำในอัตราส่วนที่พอเหมาะในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ซึ่งจะเกิดปรากฏการณ์การลดแรงเสียดทานซึ่งพิจารณาจากผลการทดลองที่แสดงในรูป 5 และ 6 จะพบว่าเกิดขึ้นได้จริงโดยพิจารณาได้จากอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น สำหรับการลดแรงเสียดทานจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้ ชนิด และลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ด้วย จากข้อมูลพบว่า [8] พอลิเมอร์ที่ใช้ในการลดแรงเสียดทานในท่อได้ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี มีลักษณะเป็นเส้นตรงยาว มีกิ่งก้านที่สั้น และมีน้ำหนักโมเลกุล (M_w) ที่สูงเกิน 10^6 สำหรับผลการทดลองอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นในแต่ละสัดส่วนความเข้มข้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 จากตารางบ่งชี้ได้ว่าสำหรับการไหลในท่อพีวีซีขนาดเล็กที่ช่วงค่าเรโนว์นัมเบอร์อยู่ระหว่าง 5000-40000 อัตราส่วนความเข้มข้นของสารละลาย แอนไอโอนิคโพลีอะคลาลาไมด์ที่เหมาะสมในการใช้งานเพิ่มอัตราการไหลจะอยู่ระหว่าง 30-100 wppm โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์อัตราการระบายน้ำที่เพิ่มมากขึ้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์กับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล

ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ (wppm)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล (%)
10	9
30	13
50	13
100	12

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงในระบบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนจะช่วยเพิ่มอัตราการไหลได้เมื่อเปรียบเทียบกับในสภาวะเดียวกันกับการไหลในช่วงปกติที่ไม่มีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบดังแสดงในรูปที่ 5 จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาข้อมูลแล้วสามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่าการไหลในท่อกับความสูงของระดับน้ำนั้นความสัมพันธ์มีลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล จากนั้นนำข้อมูลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยวิธี Curve fitting แบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2538) เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ของระดับความสูงของน้ำกับอัตราการไหลที่เปลี่ยนไปโดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 จากตารางพบว่าค่าความแม่นยำของสมการมีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าสามารถเชื่อถือได้

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลภายในท่อกับระดับความสูงของน้ำเปล่า และน้ำที่เติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างกัน

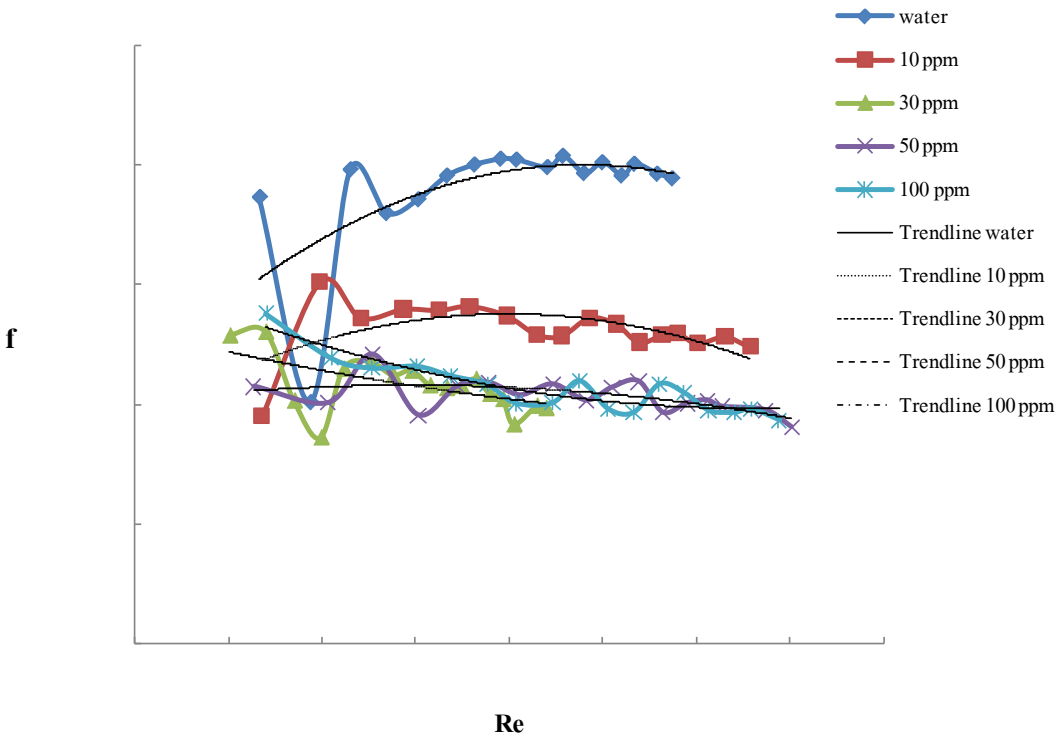
ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ (WPPM)	สมการความสัมพันธ์	ค่าความแม่นยำ (R^2)
Pure water	$Z = 6.363e^{8.976Q}$	$R^2 = 0.982$
10	$Z = 7.045e^{7.745Q}$	$R^2 = 0.978$
30	$Z = 7.521e^{7.352Q}$	$R^2 = 0.977$
50	$Z = 7.461e^{7.208Q}$	$R^2 = 0.977$
100	$Z = 7.322e^{7.342Q}$	$R^2 = 0.973$

Z คือ ระดับความสูงของน้ำมีหน่วยเป็น เซนติเมตร (cm)

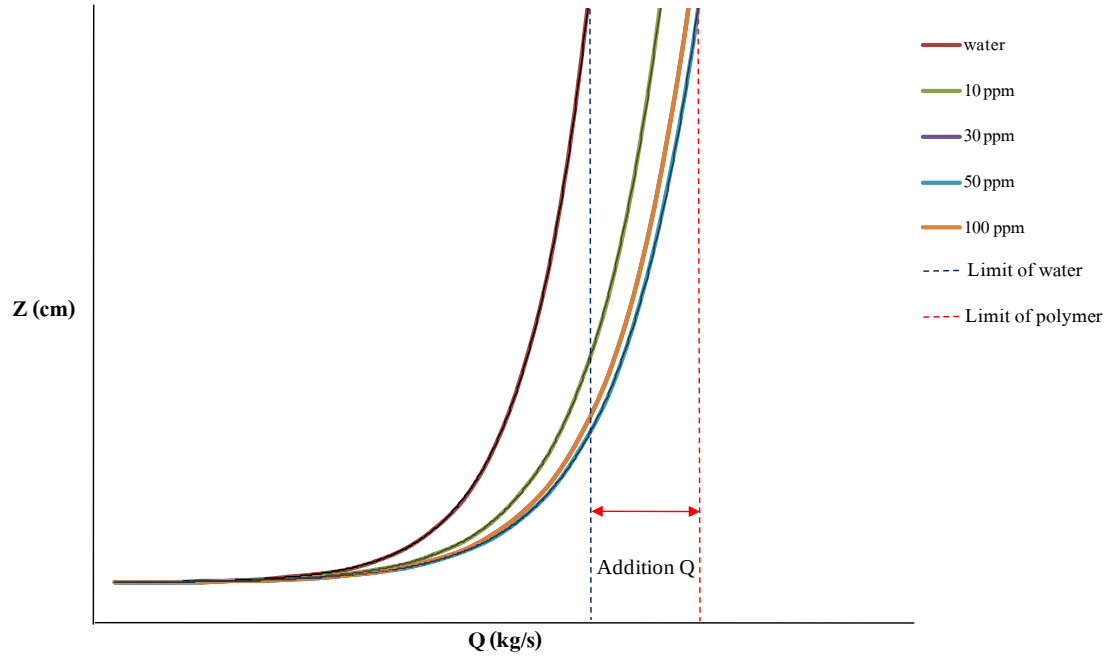
Q คือ อัตราการไหลของน้ำมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อวินาที (kg/s)

จากตารางที่ 2 ทำให้เราทราบถึงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลภายในท่อและระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลง เพื่อต้องการที่จะทราบว่าสภาวะที่ท่อนั้นรับน้ำเกินพิกัดเมื่อใด จึงนำสมการในตารางที่สองทั้งห้าสมการมาทดลองใส่ค่าอัตราการไหลเพื่อที่จะหาค่าความสูงที่เพิ่มขึ้นของระดับน้ำ จากนั้นนำมาเขียนความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 7 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสภาวะที่ท่อเกิดการรองรับน้ำเกินพิกัดโดยพิจารณาที่น้ำเปล่าก่อนจะเห็นได้ว่าค่าความสูงของน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในขณะที่อัตราการไหลไม่เปลี่ยนแปลงมากโดยจะคงที่อยู่และมีลักษณะชันมาก แสดงให้เห็นว่าท่อได้เกิดสภาวะการรองรับน้ำเกินพิกัดแล้วไม่ว่าระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นเท่าใดอัตราการไหลก็ไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งในสภาวะ

นี้จะทำให้เกิดน้ำท่วมขังในพื้นที่ได้ จากนั้นมาพิจารณาเส้นกราฟที่เหลือคือเส้นความสัมพันธ์ของน้ำที่เติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบที่ความเข้มข้นต่างกันจะพบว่าเมื่อท่อได้เกิดสภาวะการรองรับน้ำเกินพิกัดแต่เมื่อเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบจะสามารถเพิ่มอัตราการไหลภายในท่อได้เมื่อเปรียบเทียบที่ความสูงระดับเดียวกันกับการไหลในสภาวะน้ำเปล่า



รูปที่ 7 แผนภาพความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เปลี่ยนไปกับค่าเรโนว์นัมเบอร์ของน้ำ



รูปที่ 8 แผนภาพความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำภายในท่อกับระดับความสูงของน้ำในสภาวะที่ท่อเกิดการรองรับน้ำเกินพิกัด

จากข้อมูลการทดลองทั้งหมดที่แสดงจะพบว่าเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกันลงไปในระบบการไหลในสภาวะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) จะสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้จริง โดยมีสาเหตุมาจากค่าสัมประสิทธ์แรงเสียดทานระหว่างของไหลกับท่อมีค่าลดลง ซึ่งผลการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็นแผนภาพความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (แกน X) ที่เปลี่ยนไปกับค่าเรโนว์นัมเบอร์ของน้ำ (แกน Y) จากแผนภาพแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของสารละลายพอลิเมอร์ที่เติมลงไปในน้ำในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนอย่างชัดเจนโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ลดลงทันทีทันใด ซึ่งมีข้อสังเกตุ คือที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 30-100 wppm นั้นค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ลดลงโดยเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเปล่าพบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของแรงเสียดทานที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ 10 , 30, 50, 100 wppm นั้น ลดลงเท่ากับ 35, 45, 44, 44 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ถือว่าประสบความสำเร็จอย่างมาก

จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าการไหลในท่อกับความสูงของระดับน้ำนั้นความสัมพันธ์มีลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลโดยจะมีจุดที่ท่อเกิดสภาวะการรองรับน้ำเกินพิกัดอยู่โดยพิจารณาที่เส้นกราฟจะชันขึ้นทันทีซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลคงที่ในขณะที่ความสูงจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก และปัญหานี้สามารถแก้ได้โดยการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบซึ่งหลังจากนั้นจะพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ก็ยังคงเป็นเช่นเดิม แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือเมื่อมีการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในระบบพิกัดการรองรับน้ำเกินพิกัดของท่อระบายน้ำจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 8 บริเวณอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น (Addition Q) ซึ่งทั้งหมดนี้จะส่งผลให้สมรรถนะการไหลภายในท่อมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยโดยจากผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มได้สูงสุดถึง 13 % โดยเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการระบายน้ำเมื่อมีการใช้สารละลายพอลิเมอร์มีค่าสูงสุดถึง 12 % โดยเฉลี่ย

สำหรับงานวิจัยที่จะจัดทำขึ้นต่อไปในอนาคตนั้นคือ งานวิจัยที่จะวิเคราะห์ถึงผลที่เกิดขึ้นจากการเติมสารละลายพอลิเมอร์ลงไปในท่อขนาดต่างๆ โดยเน้นถึงผลกระทบที่ชัดเจนในท่อที่มีขนาด และชนิดแตกต่างกัน และผลของระดับน้ำทางด้านปลายท่อที่แตกต่างกัน

บรรณานุกรม

เสรี จันทรโยธา, (2553). ชลศาสตร์. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รศ.กีรติ ลีวัจนกุล, (2537).วิศวกรรมชลศาสตร์ Third Edition. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์, (2539). คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำเสีย และน้ำฝน สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ และสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ, (2538). ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

DERICK C. and LOGIE, K., June (1973). Flow augmenting effect of additives on open channel flows, Environmental Protection Agency, Report EPA-R2-73-238.

Lumley, J.L. (1969). Drag reduction by additives, , Vol.1, pp. 367-384.

Lumley, J.L. (1973). Drag reduction in turbulent flow by polymer additives, ,Vol.7, pp. 263-290.

R.E.Sojka , D.L.Bjorneberg, J.A.Entry, R.D.Lentzl, W. J. Orts.(2004). Polyacrlyamind in agriculture and environmental land management, Advances in Agronomy, Volume 92, pp.115-119.

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.

White, M.C., Mungal, M.G. (2008). Mechanics and Prediction of Turbulent Drag Reduction with Polymer Additives, , Vol.40, pp. 235-256.

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.

สรุปสถานการณ์สาธารณภัยของประเทศไทยประจำปี. กรมป้องกัน และบรรเทาสาธารณภัยกระทรวงมหาดไทย Available : http://61.19.100.58/public/group4/disaster01/disaster_03.htm. 2012, Feb 19.