# การศึกษาผลกระทบของการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวกรุงเทพฯ ต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ
# Effect of Bangkok Clay Contamination on Flow Behaviour of PHPA Polymer Slurry

ศักรินทร์ ศรชัย[1] ศรุติ ศิโรรัตนรังษี[1] และ วีรยุทธ โกมลวิลาศ[1]

[1] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร*

## บทคัดย่อ

การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในพื้นที่กรุงเทพมหานครจำเป็นต้องใช้สารละลายในการรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ โดยสารละลายที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน คือ สารละลายประเภทพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ อย่างไรก็ตามในขณะทำการก่อสร้างเสาเข็มเจาะผ่านชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ มักเกิดการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวลงในสารละลายซึ่งการปนเปื้อนนี้ น่าจะทำให้คุณสมบัติเบื้องต้นและพฤติกรรมการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอเปลี่ยนแปลงไป ในการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่ความเข้มข้น 0% 1% และ 2% โดยมวลต่อปริมาตร จากนั้นทำการทดสอบพฤติกรรมอัตราการไหลของสารละลาย โดยทำการทดสอบผ่านแบบจำลองย่อส่วนที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยทำการปล่อยสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวและไม่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวไหลผ่านตัวอย่างชั้นทรายที่มีเส้นโค้งการกระจายตัวแบบดินทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพฯ แล้วทำการจับเวลาเพื่อวัดอัตราการไหลของสารละลาย จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอมีการปนเปื้อนดินเหนียวมากขึ้น ค่าความหนืดของสารละลายจะลดลง ค่าความหนาแน่นของสารละลายจะเพิ่มขึ้น และค่า pH ของสารละลายจะลดลง ในส่วนของอัตราการไหลเมื่อสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวมากขึ้น อัตราการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการสูญเสียของสารละลายเพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ**: สารละลายพอลิเมอร์, ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว, อัตราการไหล

## Abstract

During construction phase of wet process bored pile in Bangkok, it is necessary to stabilize borehole in order to prevent the collapse of borehole. Which can be done by using drilling fluid as borehole stabilizer. Recently, the PHPA polymer slurry is usually used to stabilize borehole in Bangkok. However, there is Bangkok clay contamination on PHPA polymer slurry during construction of bored pile. Which should be the reason that make basic properties and flow behaviour of PHPA polymer slurry have been changed. This paper describes an experimental plan to measure basic properties of PHPA polymer slurry which is contaminated by Bangkok clay at different concentrations (0%, 1% and 2%) mass by volume respectively. Then testing flow behaviour of PHPA polymer slurry by let PHPA polymer slurry flow through sand sample (The sand sample have same particle size distribution curve as first Bangkok sand layer.) in Model Test which is separated in 2 case. Case 1. PHPA polymer slurry is contaminated by Bangkok clay. Case 2. PHPA polymer slurry is not contaminated by Bangkok clay. Then timing in order to measure flow rate of PHPA polymer slurry. The test results reflect that when increasing Bangkok clay in PHPA polymer slurry, viscosity will decrease, density will increase and pH will decrease. In case of flow rate, when increasing Bangkok clay in PHPA polymer slurry, flow rate will increase so that also increase fluid loss of PHPA polymer slurry.

**Keywords:** PHPA Polymer, Bangkok Clay, Flow Rate

## 1. บทนำ

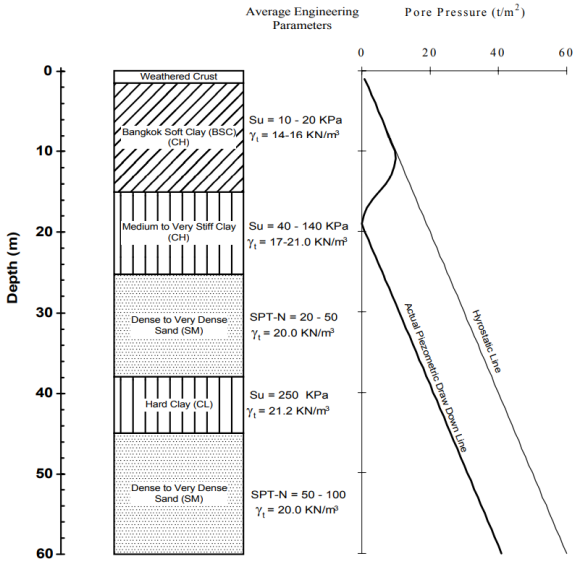
สำหรับการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในกรุงเทพมหานคร โดยปกติแล้วจะต้องทำการขุดเจาะดินลงไปถึงระดับชั้นทรายและทำการก่อสร้างเสาเข็ม ซึ่งการขุดเจาะดินในชั้นทรายนั้น โดยปกติแล้วจะไม่มีเสถียรภาพ จึงอาจส่งผลให้หลุมเจาะเกิดการพังทลายลงมาได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะ ต้องมีการเติมสารละลายลงไปในหลุมเจาะเพื่อรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ โดยสารละลายที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การใช้สารละลายพอลิเมอร์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากสารละลายพอลิเมอร์นั้นสามารถใช้งานได้เลยไม่ต้องรอเวลาหมักนานเหมือนสารละลายเบนโทไนต์ นอกจากนี้สารละลายพอลิเมอร์นั้นไม่เป็นสารพิษและสามารถย่อยสลายได้ **[1]** โดยทั่วไปแล้วนั้นสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานขุดเจาะมักใช้ความเข้มข้น 0.06% โดยมวลต่อปริมาตร แต่เนื่องจากในการขุดเจาะเสาเข็มลงไปชั้นทรายจำเป็นต้องขุดผ่านชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ไปก่อน ทำให้ฝุ่นดินเหนียวมีโอกาสไปผสมกับสารละลายพอลิเมอร์ โดยฝุ่นดินเหนียวที่เข้าไปผสมกับสารละลายพอลิเมอร์ อาจทำให้คุณสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากงานวิจัยของ Shrivastava (2016) ได้มีการศึกษาผลกระทบต่อคุณสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์เมื่อมีการปนเปื้อนดินทรายแป้ง ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อสารละลายพอลิเมอร์มีการปนเปื้อนดินทรายแป้ง จะทำให้ค่า pH และค่าความหนืดของสารละลายลดลง **[2]**

วิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และ ค่า pH และศึกษาอัตราการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอผ่านดินทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพมหานคร ทั้งกรณีปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวและไม่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว แล้วนำเสนอกราฟความความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลา สำหรับใช้วิเคราะห์ปริมาณการใช้สารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอเพื่อเปรียบเทียบอัตราการสูญเสียที่เกิดขึ้น

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

*2.1 ชั้นดินกรุงเทพฯ และแรงดันใต้น้ำ*

การจัดเรียงตัวของชั้นดินกรุงเทพฯ ตามระดับความลึก จากรูปที่ 2-1 ดินชั้นบนสุดเป็นดินแตกระแหง ถัดมาความลึกประมาณ 2 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ความลึกประมาณ 15 เมตร ชั้นดินจะค่อยๆ เปลี่ยนสภาพจากดินเหนียวอ่อนปานกลาง มาเป็นดินเหนียวแข็งมาก ความลึกประมาณ 25 เมตร เป็นชั้นทรายชั้นแรก ความลึกประมาณ 38 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวแข็ง ความลึกประมาณ 45 เมตร เป็นชั้นทรายชั้นที่สอง ทางด้านแรงดันน้ำใต้ดิน จะเริ่มจากที่ระดับน้ำใต้ดิน จากนั้นแรงดันน้ำใต้ดินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามความลึก จนกระทั่งถึงระดับความลึกที่เริ่มมีการเปลี่ยนชั้นดิน จากชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ไปเป็นชั้นดินเหนียวปานกลาง แรงดันน้ำใต้ดินในช่วงนี้จะเริ่มมีการลดลงเนื่องจากมีการสูบน้ำบาดาลไปใช้ จากนั้นที่ความลึกในช่วงกึ่งกลางของชั้นดินเหนียวปานกลาง แรงดันน้ำใต้ดินก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระดับความลึกอีกครั้งหนึ่ง **[3]**



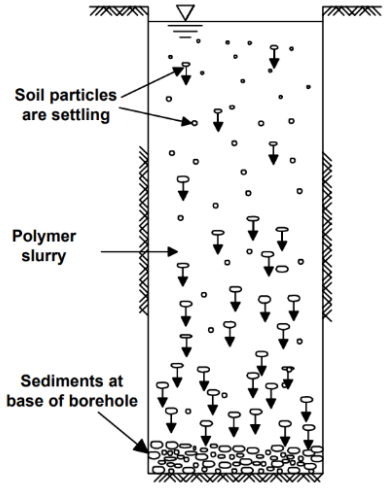

**รูปที่ 2-1** ชั้นดินกรุงเทพฯ และแรงดันใต้น้ำ **[3]**

*2.2 กลไกการทำงานของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ*

หน้าที่ของพอลิเมอร์คือ การรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ โดยมีกลไกการทำงานคือ พอลิเมอร์จะใช้เส้นใยและเจลที่อยู่ในสารละลายพอลิเมอร์สำหรับใช้ในการอุดช่องว่างในเม็ดดินและเพิ่มการยึดเหนี่ยวของดิน โดยที่พอลิเมอร์เจล จะทำหน้าที่ในการอุดช่องว่างในเม็ดดิน ส่วนเส้นใยพอลิเมอร์จะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน เนื่องจากพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเจลที่มีความหนืดสูง ทำให้พอลิเมอร์สามารถเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างในเม็ดดิน แล้วกลายเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ไปเคลือบดินที่ไม่มีการยึดเหนี่ยว เช่น ทรายหรือกรวด เอาไว้ได้ จากกระบวนทางไฟฟ้าเคมี ทำให้สารละลายพอลิเมอร์ทำหน้าที่เป็นเหมือนกับกาวที่คอยยึดจับเม็ดดินไว้ในขณะที่ทำการขุดเจาะดินอยู่ โดยบริเวณที่พอลิเมอร์เจล เข้าไปอุดยึดช่องว่างในเม็ดดินเอาไว้ที่รอบ ๆ ผนังของหลุมเจาะจะเรียกว่า เจลเมมเบรน ซึ่งเจลเมมเบรน จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายแรงดันของของเหลวไปยังผนังของหลุมเจาะ ทำให้หลุมเจาะเกิดเสถียรภาพขึ้นมาได้ **[4]**

เส้นใยพอลิเมอร์จะทำการจับตัวกับอนุภาคดินที่แขวนลอยอยู่ในสารละลาย ทำให้อนุภาคดินมีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการตกตะกอนลงสู่ก้นหลุมเจาะด้วยแรงโน้มถ่วง โดยหากปล่อยสารละลายไว้โดยไม่ไปกวนสารละลายเป็นระยะเวลาหนึ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ก็จะตกลงสู่ก้นหลุมเจาะจนหมด การตกตะกอนของสารละลายพอลิเมอร์จะทำให้ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ลดลง เนื่องจากสารละลายพอลิเมอร์สูญเสียเส้นใยพอลิเมอร์ไปกับการจับตัวกับอนุภาคเม็ดดิน อีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ปริมาณพอลิเมอร์ในสารละลายสูญเสียไปคือ การที่พอลิเมอร์ไหลแทรกซึมหายเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดินในขณะที่ทำการขุดเจาะดินอยู่ **[5]**

ข้อดีของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ คือ ไม่ต้องหมักทิ้งไว้ ไม่เป็นสารพิษ เป็นของไหลที่มีความหนืดสูงเนื่องจากโมเลกุลมีน้ำหนักมาก และย่อยสลายได้ **[1]**




**รูปที่ 2-2** พอลิเมอร์จับตัวกับตะกอนแล้วตกตะกอนลงสู่ก้นหลุมเจาะ **[4]**

*2.3 ผลกระทบต่อคุณสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์เมื่อมีการปนเปื้อนดินทรายแป้ง*

จากการศึกษางานวิจัยของ Shrivastava เกี่ยวกับผลกระทบต่อคุณสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทรายแป้ง พบว่าเมื่อสารละลายพอลิเมอร์มีการปนเปื้อนดินทรายแป้ง จะไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นของสารละลาย แต่จะทำให้ค่า pH ของสารละลายลดลง ส่วนด้านความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ความหนืดของสารละลายจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากอนุภาคดินได้ตกตะกอนลงไปที่ก้นหลุมเจาะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในระหว่างการขุดดินจะมีดินจับตัวกันแล้วเกิดการตกตะกอนขึ้น ทำให้ค่าความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไป **[2]**

| Time after mixing (h) | Silt content added (%) | 0.006 % concentration of polymer | | | Silt content added (%) | 0.006 % concentration of polymer | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | pH | Viscosity (s) | Density (g/cm$^3$) | | pH | Viscosity (s) | Density (g/cm$^3$) |
| 0 | 0 | 8.3 | 59.23 | 1 | 5 | 8.1 | 64.23 | 1 |
| 2 | 0 | 8.3 | 60 | 1 | 5 | 8.1 | 48.27 | 1 |

**รูปที่ 2-3** ผลกระทบของดินที่ปนเปื้อนสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 0.006% **[2]**

| Time after mixing (h) | Silt content added (%) | 0.1 % concentration of polymer | | | Silt content added (%) | 0.1 % concentration of polymer | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | pH | Viscosity (s) | Density (g/cm$^3$) | | pH | Viscosity (s) | Density (g/cm$^3$) |
| 0 | 0 | 8.4 | 134.09 | 1 | 5 | 8.1 | 144 | 1 |
| 2 | 0 | 8.5 | 132.06 | 1 | 5 | 8.1 | 123.28 | 1 |

**รูปที่ 2-4** ผลกระทบของดินที่ปนเปื้อนสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 0.1% **[2]**

## 3. ระเบียบวิธีวิจัย

*3.1 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์*

การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอความเข้มข้น 0.06% โดยมวลต่อปริมาตร ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวกรุงเทพฯ 0% 1% และ 2% โดยมวลต่อปริมาตร มีขั้นตอนดังนี้

*3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายชนิดพีเอชพีเอความเข้มข้น 0.06% โดยมวลต่อปริมาตร*

ก. เตรียมพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอปริมาณ 0.6 กรัม

ข. เตรียมน้ำปริมาณ 1000 มิลลิลิตร

ค. ผสมพอลิเมอร์และน้ำที่เตรียมไว้ แล้วปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน

*3.1.2 การปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวกรุงเทพฯ ที่ 1% และ 2% โดยมวลต่อปริมาตร*

ก. นำดินเหนียวกรุงเทพฯ ที่ได้จากการขุดเพื่อสำรวจชั้นดินของโครงการรถไฟฟ้าเอ็มอาร์ที สายสีส้ม บริเวณเขตบางกะปิ นำมาละลายน้ำแล้วนำไปล้างผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จากนั้นไปอบแห้งแล้วนำไปตำให้เป็นผง จะได้เป็นผงดินเหนียวกรุงเทพฯ

ข. นำสารละลายที่ผสมได้จากขั้นตอน ข้อ 3.1.1 ผสมกับผงดินเหนียวกรุงเทพฯ ปริมาณ 10 กรัม จากนั้นปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน ได้สารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอความเข้มข้น 0.06% โดยมวลต่อปริมาตรที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 1% โดยมวลต่อปริมาตร

ค. ทำซ้ำข้อ ข. โดยเปลี่ยนจากผงดินเหนียวปริมาณ 10 กรัม เป็น 20 กรัม จะได้สารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอความเข้มข้น 0.06% โดยมวลต่อปริมาตรที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 2% โดยมวลต่อปริมาตร

*3.2 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลาย*

*3.2.1 การวัดค่า pH ด้วย Electric pH meter*

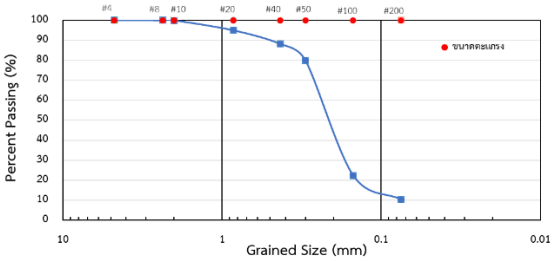
โดยทำการจุ่มเครื่องวัดลงในสารละลายพอลิเมอร์พีเอชพีเอที่จัดเตรียมไว้ จากนั้นทำการบันทึกค่า pH ที่ได้ โดยทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง

*3.2.2. การวัดค่าความหนืด (Viscosity) ด้วยวิธี Marsh cone test*

ทำการปล่อยสารละลายผ่านกรวยมาตรฐานและจับเวลาที่ใช้ในการไหล จากนั้นทำการบันทึกค่าความหนืดที่ได้ โดยทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง

*3.2.3 การวัดค่าความหนาแน่น (Density) ด้วยวิธี Mud balance test*

เริ่มต้นจากการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ จากนั้นวาง Mud Balance ให้อยู่ในแนวระดับ แล้วจึงเติมสารละลายลงไปในถ้วยใส่จนเต็ม และปิดฝา เช็ดน้ำที่ล้นออกมาจากรูเล็ก ๆ ที่ฝาด้านบนให้หมด จากนั้นวางคาน Mud Balance ลงบนที่รับและถ่วงดุลคานให้อยู่ในแนวราบโดยเลื่อนตุ้มถ่วงตามคานสเกล จากนั้นอ่านค่าความหนาแน่นตรงขอบของตุ้มถ่วง แล้วทำการบันทึกค่าความหนาแน่นที่ได้




**รูปที่ 3-1** เส้นโค้งการกระจายตัว (Particle size distribution curve) ดินทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพฯ

*3.3 การเตรียมตัวอย่างทราย*

การเตรียมตัวอย่างโดยทำการผสมดินทรายตัวอย่างให้ได้เส้นโค้งกระจายตัวใกล้เคียงกับดินทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพฯ ตามรูปที่ 3-1 ซึ่งเป็นดินชนิด SP-SM (Poorly graded sands with silt) มีค่า Cu = 3.2 Cc = 1.8 PI < 4 และ Gs = 2.6

*3.4 การทดสอบอัตราการไหลของสารละลายในชั้นทราย*

*3.4.1 การเตรียมอุปกรณ์*

ก. นำดินทรายตัวอย่างที่เตรียมไว้ปริมาณ 2657.4 กรัม ผสมกับน้ำ 611.2 กรัม แล้วนำไปบดอัดลงในแบบจำลอง ดังรูปที่ 3-2 เพื่อให้ได้ความหนาแน่น 2.0 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

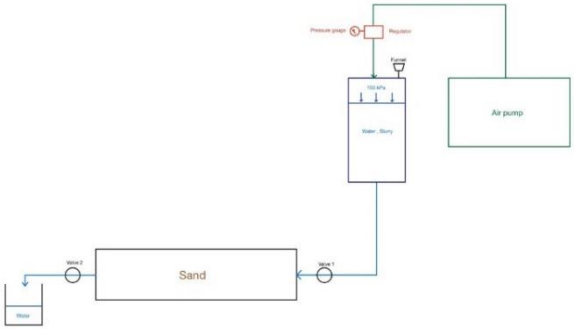
ข. ปิดแบบจำลองทั้ง 2 ด้านให้สนิทแล้วจึงนำไปต่อกับท่อเพื่อส่งผ่านแรงดัน โดยทั้งสองด้านจะมีวาล์วเปิดปิด ด้านหนึ่งเป็นด้านน้ำเข้าต่อกับกระบอกใส่น้ำที่สามารถใส่น้ำหรือสารละลายได้ ส่วนอีกด้านเป็นด้านน้ำออกเพื่อปล่อยสารละลายที่ไหลผ่านทรายในแบบจำลองลงในบีกเกอร์

ค. ทำการต่อกระบอกใส่น้ำกับอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน มาตรวัดแรงดันและปั๊มลม

ง. เติมน้ำเข้ากระบอกใส่น้ำ จากนั้นเปิดแรงดันที่ 150 กิโลปาสคาลเพื่อจำลองสภาพดินทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพฯ และทำการปล่อยน้ำให้ไหลผ่านแบบจำลอง โดยทำการเปิดวาล์วที่ 1 เพื่อให้ความดันอัดสารละลายไหลเข้าแบบจำลอง จากนั้นเปิดวาล์วที่ 2 เพื่อให้สารละลายไหลออกจากแบบจำลอง เพื่อไล่ฟองอากาศออกจากแบบจำลองและทำให้ดินในแบบจำลองอิ่มตัว ดังรูปที่ 3-3

จ. จากนั้นทำการจัดวางแบบจำลองในแนวนอนเพื่อเริ่มต้นการทดสอบ

**รูปที่ 3-2** บดอัดทรายตัวอย่างใส่แบบจำลอง




**รูปที่ 3-3** แผนผังการปล่อยสารละลายเข้าตัวอย่างในแบบจำลองการไหล

*3.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ*

ก. หลังจากการเตรียมอุปกรณ์เสร็จสิ้น ทำการเติมสารละลายที่เตรียมไว้ในกระบอกใส่น้ำ

ข. เตรียมเครื่องชั่งโดยนำบีกเกอร์วางไว้บนเครื่องชั่ง

ค. จากนั้นเปิดปั๊มลมและปรับความดันที่ 150 กิโลปาสคาลทำการปล่อยสารละลายผ่านแบบจำลองโดยการเปิดวาล์วที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ง. สารละลายจะถูกปล่อยลงบีกเกอร์และทำการจับเวลาพร้อมกับบันทึกน้ำหนักของสารละลายในแต่ละช่วงเวลา

## 4. ผลการศึกษา

จากผลการทดสอบคุณสมบัติสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอความเข้มข้น 0.06% โดยมวลต่อปริมาตร ที่มีฝุ่นดินเหนียวกรุงเทพฯ ปนเปื้อนที่มีปริมาณ 0% 1% และ 2% โดยมวลต่อปริมาตร พบว่าปริมาณของฝุ่นดินเหนียวที่ปนเปื้อนลงไปในสารละลายส่งผลต่อค่าความหนาแน่น ความหนืด และค่า pH ของสารละลาย โดยเมื่อปริมาณของฝุ่นดินเหนียวที่ปนเปื้อนลงไปในสารละลายมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของสารละลายเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดและค่า pH ลดลง ดังตารางที่ 4-1

จากผลการทดสอบอัตราการไหลสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอความเข้มข้น 0.06% โดยมวลต่อปริมาตร ที่มีฝุ่นดินเหนียวกรุงเทพฯ ปนเปื้อนที่มีปริมาณ 0% 1% และ 2% โดยมวลต่อปริมาตร ผ่านตัวอย่างดินทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพฯ ได้ผลเป็นไปดังตารางที่ 4-2 และ รูปที่ 4-1 พบว่า

**ตารางที่ 4-1** คุณสมบัติสารละลายชนิดพีเอชพีเอความเข้มข้น 0.06% โดยมวลต่อปริมาตร

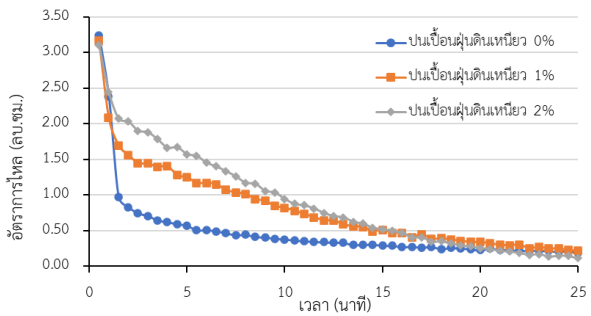
| ปริมาณเหนียวดินที่ปนเปื้อน (%) | ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) | ความหนืด (วินาที) | ค่า pH |
|---|---|---|---|
| 0 | 1.008 | 36.50 | 9.45 |
| 1 | 1.015 | 36.09 | 9.35 |
| 2 | 1.021 | 35.88 | 9.10 |

สารละลายพอลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนมีอัตราการไหลลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ทำให้สารละลายพอลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนจะเริ่มหยุดไหลได้เร็วกว่าสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อน เนื่องจากเมื่อสารละลายพอลิเมอร์มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวมากขึ้น จะทำให้ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์มีค่าลดลง จึงทำให้สารละลายพอลิเมอร์หยุดไหลได้ช้าลงตามไปด้วย

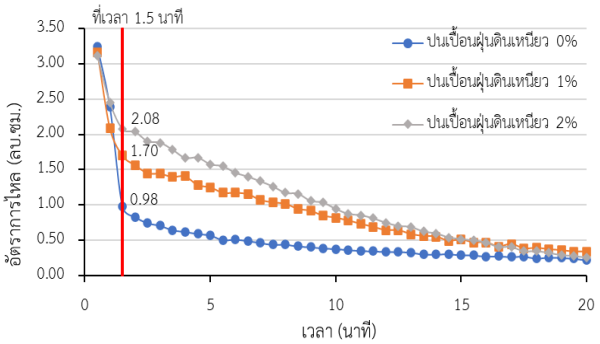
นอกจากนี้หากเปรียบเทียบความชันของกราฟในรูปที่ 4-2 ในช่วงที่ระยะเวลาผ่านไปประมาณ 1.5 นาที ถึง 20 นาที พบว่าเส้นกราฟของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวความเข้มข้น 2% โดยมวลต่อปริมาตร มีความชันของเส้นกราฟสูงกว่าเส้นกราฟของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวความเข้มข้น 1% และ 0% โดยมวลต่อปริมาตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสารละลายพอลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนมีการลดลงของอัตราการไหลน้อยกว่าสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว เนื่องจากสารละลายพอลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อน มีอัตราการไหลลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ช่วงก่อนเวลา 1.5 นาทีแรก ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอัตราการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลมากกว่า (เส้นกราฟชันกว่า) สารละลายพอลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

**ตารางที่ 4-2** เปรียบเทียบอัตราการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวและไม่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

| เวลา (นาที) | อัตราการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ (ลบ.ซม.) | | |
|---|---|---|---|
| | ไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว | มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 1% | มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 2% |
| 0.5 | 3.24 | 3.17 | 3.11 |
| 5 | 0.57 | 1.25 | 1.58 |
| 10 | 0.38 | 0.82 | 0.95 |
| 15 | 0.29 | 0.51 | 0.52 |
| 20 | 0.23 | 0.34 | 0.26 |
| 25 | 0.19 | 0.22 | 0.11 |




**รูปที่ 4-1** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอผ่านดินทรายชั้นที่ 1 ของชั้นดินกรุงเทพฯ

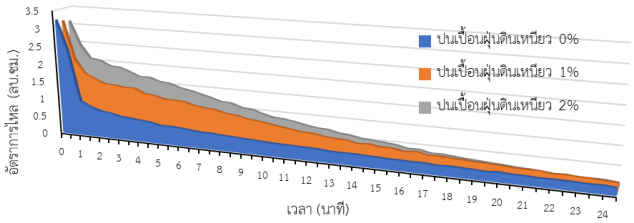



**รูปที่ 4-2** กราฟระหว่างอัตราการไหลกับเวลาของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่ช่วงเวลา 1.5 นาที

นอกจากนี้ยังสามารถสรุปปริมาณของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่ถูกใช้ไประหว่างการทดสอบ จากพื้นที่ใต้กราฟของของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ดังรูปที่ 4-3 พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวความเข้มข้น 2% โดยมวลต่อปริมาตร มีพื้นที่ใต้กราฟมากกว่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวความเข้มข้น 1% และ 0% โดยมวลต่อปริมาตร ตามลำดับ จึงสามารถสรุปปริมาณของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่ถูกใช้ไประหว่างการทดสอบได้ดังที่แสดงในตารางที่ 4-3 โดยสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่ไม่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ปริมาณของสารละลายที่ใช้ไประหว่างการทดสอบเท่ากับ 665.15 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 1% ปริมาณของสารละลายที่ใช้ไประหว่างการทดสอบเท่ากับ 1143.18 ลูกบาศก์เซนติเมตร สารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 2% ปริมาณของสารละลายที่ใช้ไประหว่างการทดสอบเท่ากับ 1298.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลการทดลองเห็นได้ว่า เมื่อสารละลายปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่ 1% และ 2% เทียบกับสารละลายที่ไม่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว จะทำให้ปริมาณของสารละลายที่ใช้ไปมากขึ้น 1.72 เท่า และ 1.95 เท่า ตามลำดับ

**ตารางที่ 4-3** ปริมาณของสารละลายชนิดพีเอชพีเอความเข้มข้น 0.06% โดยมวลต่อปริมาตรที่ใช้ไประหว่างการทดสอบ

| ปริมาณดินเหนียวที่ปนเปื้อน (%) | ปริมาณของสารละลายที่ใช้ไประหว่างการทดสอบ (ลบ.ซม.) | ปริมาณของสารละลายที่ใช้ไประหว่างการทดสอบเทียบกับการปนเปื้อนดินเหนียวที่ 0% |
|---|---|---|
| 0 | 665.15 | - |
| 1 | 1143.18 | 1.72 เท่า |
| 2 | 1298.00 | 1.95 เท่า |




**รูปที่ 4-3** ปริมาณของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่ถูกใช้ไประหว่างการทดสอบผ่านพื้นที่ใต้กราฟ

## 5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาผลกระทบของการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อพฤติกรรมของสารละลายพอลิเมอร์ที่ปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกันพบว่า เมื่อมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวเพิ่มมากขึ้น จะทำความหนืดของสารละลายลดลง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการไหลของสารละลายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สารละลายหยุดไหลได้ช้าลง ทำให้อัตราการสูญเสียของสารละลายเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยมีความเห็นว่าอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าจะส่งผลต่ออัตราการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว คือ ผลกระทบของการตกตะกอน กล่าวคือพอลิเมอร์จะไปจับตัวกับฝุ่นดินเหนียวแล้วเกิดการตกตะกอน ทำให้สารละลายพอลิเมอร์มีความหนืดน้อยลง เนื่องจากเส้นใยพอลิเมอร์จะทำการจับตัวกับอนุภาคดินเหนียวที่แขวนลอยอยู่ในสารละลาย ทำให้อนุภาคดินมีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการตกตะกอนลงสู่ก้นหลุมเจาะด้วยแรงโน้มถ่วง **[5]** ซึ่งการที่เส้นใยพอลิเมอร์ไปทำการจับตัวกับอนุภาคดินเหนียว ส่งผลให้สารละลายพอลิเมอร์มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเปล่ามากขึ้น และเมื่อสารละลายพอลิเมอร์สูญเสียเส้นใยพอลิเมอร์ไปบางส่วนกับการจับตัวกับอนุภาคดินเหนียวเพื่อทำให้เกิดการตกตะกอน จะส่งผลให้มีเส้นใยพอลิเมอร์และพอลิเมอร์เจลที่สำหรับใช้ในการอุดช่องว่างในเม็ดดินและเพิ่มการยึดเหนี่ยวของดิน **[4]** ที่อยู่ในสารละลายพอลิเมอร์นั้นลดลงตามไปด้วย ผู้วิจัยจึงแนะนำว่าควรทำการศึกษาผลกระทบของการตกตะกอนจากการที่พอลิเมอร์ไปจับตัวกับฝุ่นดินเหนียวเพิ่มเติม เพื่อศึกษาผลกระทบของการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่ออัตราการไหลของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องโดยได้รับความช่วยเหลืออย่างสูงจาก อ.ดร.วีรยุทธ โกมลวิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และนายเบญจพล เบญจวรางกูล ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และความรู้ในด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยนี้และสามารถนำไปใช้ในการทำงานในอนาคตต่อไปได้

## เอกสารอ้างอิง

[1] A. Guecioueraa ,A. Benmounaha ,H. Sekkioub ,R. Kheribeta and B. Safia (2017). **Valorization of KCl/PHPA system of water-based drilling fluid in presence of reactive clay: Application on Algerian field**, Algeria

[2] Amit Kumar Shrivastava ,Deepanshu Jain and Shubham Vishwakarma (2016). **Frictional resistance of drilling fluids as a borehole stabilizers**, India

[3] ณรงค์ ทัศนนิพันธ์ และ ทัชชะพงษ์ ประเวศวรารัตน์ (2557). สมรรถนะของเสาเข็มระบบเจาะเปียกด้วยสารละลายเบ็นโทไนทในชั้นดินกรุงเทพ. **ประสบการณ์งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะและโครงสร้างใต้ดินในประเทศไทย**, หน้า 116. กรุงเทพมหานคร

[4] ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, เผด็จ รุจิขจรเดช และ พรพจน์ ตันเส็ง (2557). การใช้พอลิเมอร์ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเจาะเปียกในชั้นดินกรุงเทพฯ. **ประสบการณ์งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะและโครงสร้างใต้ดินในประเทศไทย**, หน้า 138-142. กรุงเทพมหานคร

[5] A. A. Ata and M. W. O'Neill (1988). Side-wall stability and side-shear resistance in bored piles constructed with high-molecular-weight polymer slurry. **Pro. Of the 3rd International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles**, Belgium