ผลกระทบของการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่ออัตราการไหลของโพลิเมอร์พีเอชพีเอ

EFFECTS OF CLAY CONTAMINATION ON THE SEEPAGE FLOW OF PARTIALLY HYDROLYZED POLYACRYLAMIDE (PHPA) POLYMER

เบญจพล เบญจวรางกูล[1], วีรยุทธ โกมลวิลาศ[1,*] และ ฐิรวัตร บุญญะฐี[1]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[*]Corresponding author address: veerayut.k@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ในชั้นดินกรุงเทพฯ จำเป็นต้องใช้สารละลายช่วยในการรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ สารละลายที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอ แต่เนื่องจากสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอสามารถไหลซึมเข้าไปในชั้นดินทรายได้ง่ายจึงเกิดการสูญเสียเป็นปริมาณมากในระหว่างการก่อสร้าง อีกทั้งยังเกิดการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวระหว่างการขุดเจาะผ่านชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลาย งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลผ่านทรายของสารละลายดังกล่าวที่ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว โดยทำการทดสอบอัตราการไหลผ่านทรายของสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอ ทั้งในกรณีปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว จากผลการทดสอบพบว่าการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวทำให้ความสามารถในการอุดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายลดลง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอัตราการสูญเสียสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอแปรผันตามปริมาณการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

คำสำคัญ: *สารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอ, การปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว, อัตราการไหล*

Abstract

Partially hydrolyzed polyacrylamide (PHPA) polymer is a popular fluid for stabilizing boreholes during the construction of large bored piles in Bangkok. Since the permeation rate into the ground of PHPA polymer fluid is relatively high, a considerable fluid loss occurs during construction. The permeation rate also varies with the degree of contamination of clay particles which occurs when drillings are performed through the Bangkok clay layer. The result from this research shows that the seepage flow of PHPA polymer fluid increases with the degree of clay contamination. The clay contamination also affects the infiltration rate of PHPA polymer fluid. The reduction rate of seepage flow decreases with an increase in the clay contamination. These findings reveal that the filtrate losses of PHPA polymer fluid will increase accordingly to the clay contamination.

Keywords: *PHPA polymer support fluid, Clay contamination, Seepage flow*

1. บทนำ

การก่อสร้างอาคารสูงในพื้นที่กรุงเทพฯ นิยมใช้เสาเข็มเจาะระบบเปียก เนื่องจากต้องทำการขุดเจาะผ่านชั้นทราย ในการสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกจะต้องทำเจาะหลุมเพื่อใส่เหล็กเสริมและเทคอนกรีต ซึ่งเมื่อขุดเจาะถึงชั้นดินทรายที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน จะมีแรงดันน้ำเข้ามาในหลุมเจาะ เป็นผลให้ผนังหลุมเกิดการพังทลาย ดังนั้นจึงต้องใช้สารละลายช่วยในการรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะระหว่างขุดเจาะจนกระทั่งเทคอนกรีตเสร็จสิ้น

สารละลายที่นิยมใช้ในประเทศไทย ได้แก่ สารละลายเบนโทไนท์ สารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอ (Partially Hydrolyzed Polyacrylamide Polymer, PHPA) และสารละลายเบนโทไนท์ผสมโพลิเมอร์พีเอชพีเอ ในปัจจุบันมีการใช้งานสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอเพียงอย่างเดียวเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีการใช้งานที่สะดวกและช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้างมากกว่าสารละลายชนิดอื่น

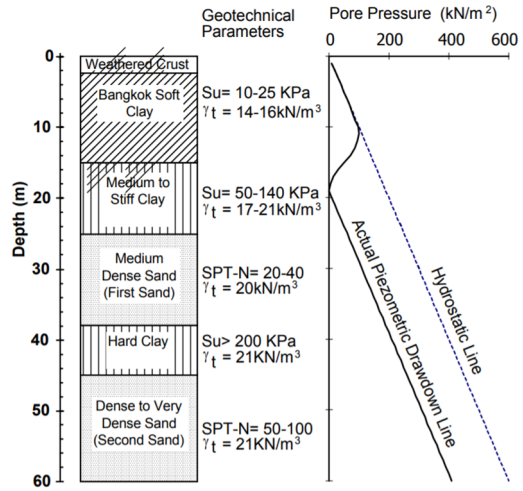
คุณสมบัติของสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอในการรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ คือ สารละลายจะไหลซึมเข้าไปในชั้นดินรอบผนังหลุมแทรกตัวเป็นสิ่งกีดขวางอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดินเพื่อป้องกันแรงดันน้ำใต้ดินเข้ามาภายในหลุมเจาะ และใช้เส้นใยเพื่อเสริมแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน [4] อย่างไรก็ตามสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอสามารถไหลเข้าไปในชั้นดินทรายได้ลึกมากจึงเกิดการสูญเสียสารละลายปริมาณมากในระหว่างการใช้งาน นอกจากนั้นในขั้นตอนการขุดเจาะผ่านชั้นดินเหนียว สารละลายที่ใช้ในการขุดเจาะมักเกิดการปนเปื้อนจากฝุ่นดินเหนียว ซึ่งอาจส่งผลต่อพฤติกรรมการไหลและคุณสมบัติเบื้องต้นของสารละลายได้

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอ ผ่านดินทรายตัวอย่างกรุงเทพฯ (จากโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีวังบูรพา) ทั้งในกรณีปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว เพื่อศึกษาผลกระทบของฝุ่นดินเหนียวต่ออัตราการไหลของสารละลาย

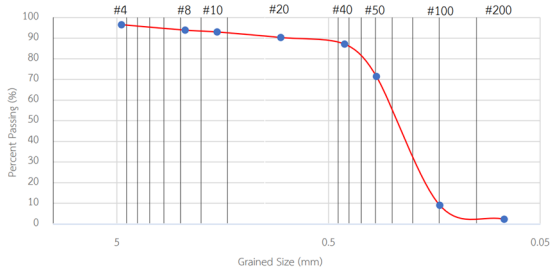
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ลักษณะชั้นดินและแรงดันน้ำใต้ดินกรุงเทพฯ

ลักษณะชั้นดินกรุงเทพฯแสดงดังรูปที่ 1 ดินชั้นบนสุด (Weathered crust) มีความหนาประมาณ 1-2 เมตร ปกคลุมชั้นดินเหนียวอ่อน ที่มีความหนาของชั้นดินประมาณ 13 เมตร ต่อมาเป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็งมาก มีความหนาประมาณ 10 เมตร จากนั้นจะพบดินทรายชั้นที่ 1 ที่ระดับความลึกประมาณ 25 เมตรจากผิวดิน ชั้นดินถัดจากนั้นจะเป็นดินเหนียวแข็งหนาประมาณ 5 เมตร และจะพบดินทรายชั้นที่ 2 ที่ระดับความลึกประมาณ 45 เมตร สำหรับแรงดันน้ำใต้ดินนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกตั้งแต่ประมาณ 1 เมตรจากผิวดินลงไป จากนั้นแรงดันน้ำใต้ดินจะเริ่มลดลงบริเวณใกล้ขอบล่างของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ซึ่งเป็นผลมาจากการสูบน้ำบาดาลในอดีต โดยแรงดันน้ำใต้ดินนี้จะเริ่มกลับมาเพิ่มขึ้นตามความลึกที่บริเวณกึ่งกลางของชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็งมาก [1] ซึ่งเส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ แสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ชั้นดินกรุงเทพฯ และแรงดันน้ำใต้ดิน [1]



รูปที่ 2 เส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ จากโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีวังบูรพา [2]

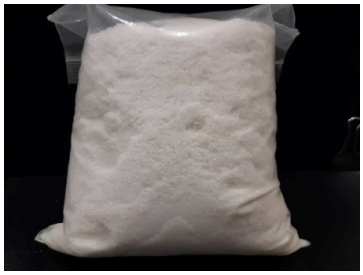
2.2. โพลิเมอร์พีเอชพีเอ

โพลิเมอร์พีเอชพีเอเป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยการบวนการทางชีวภาพจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม จึงเป็นที่นิยมใช้ในงานขุดเจาะในปัจจุบัน โพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอมีสองลักษณะ คือ แบบผงและแบบเหลว ซึ่งโพลิเมอร์แบบเหลวสามารถใช้งานได้สะดวก แต่เนื่องจากมีราคาต่อหน่วยที่แพงกว่าแบบผงมาก ทำให้แบบผงจึงเป็นที่นิยมมากกว่า โดยแบบผงที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นผงสีขาวละลายน้ำได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 3 สำหรับการใช้งานสามารถนำโพลิเมอร์แบบผงมาผสมน้ำเป็นสารละลายโพลิเมอร์ได้ทันทีโดยไม่ต้องรอให้โพลิเมอร์ดูดน้ำ [3]

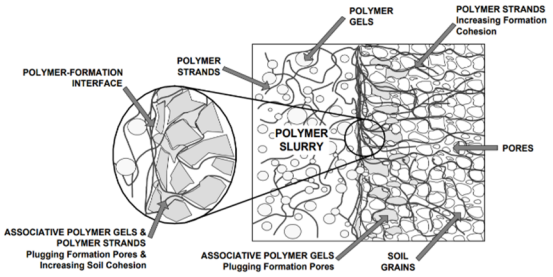
สำหรับกระบวนการทำงานของสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอ คือ เมื่อสารละลายไหลซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดินรอบผนังหลุมเจาะ เส้นใยโพลิเมอร์จะช่วยยึดเม็ดดินเข้าด้วยกันสร้างแรงยึดเหนี่ยวชั่วคราวระหว่างเม็ดดิน ส่วนโพลิเมอร์เจลจะทำหน้าที่ในการอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และสร้างแผ่นฟิล์มบาง ๆ เคลือบรอบผนังหลุมทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายแรงดันของเหลวไปยังผนังหลุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4] ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจากการไหลซึมเข้าไปในชั้นดินพบว่าสารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ สามารถไหลซึมออกไปในชั้นดินทรายได้ในปริมาณที่เยอะมาก [5]

2.3. ผลกระทบของการปนเปื้อนดินทรายแป้งต่อพฤติกรรมของสารละลาย

Shrivastava et al. [6] ได้ทำการทดสอบผลกระทบของการปนเปื้อนดินทรายแป้งต่อคุณสมบัติของสารละลายโพลิเมอร์ โดยทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่า pH ของสารละลาย ในการทดสอบกำหนดให้มีการปนเปื้อนจากดินทรายแป้งเป็นสัดส่วน 0.006 เปอร์เซ็นต์ และ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของน้ำ ผลการทดสอบพบว่าค่าความหนาแน่นของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีค่าคงที่เท่ากับ 1 กรัม/ลบ.ซม. ส่วนค่า pH จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณการปนเปื้อนจากดินทรายแป้งเพิ่มสูงขึ้น และค่าความหนืดของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นหลังทำการผสมเสร็จ แต่เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ค่าความหนืดชั้นบนของสารละลายมีค่าลดลงเนื่องจากการตกตะกอนของอนุภาคดินทรายแป้ง



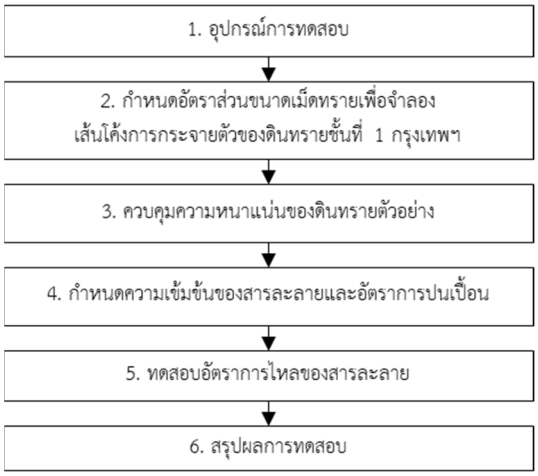
รูปที่ 3 โพลิเมอร์พีเอชพีเอแบบผง



รูปที่ 4 กระบวนการทำงานของสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอ [4]

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลิเมอร์แสดงดังรูปที่ 5

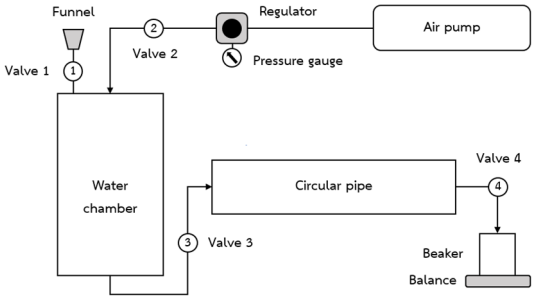


รูปที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1. อุปกรณ์การทดสอบ

อุปกรณ์สำหรับการทดสอบพฤติกรรมการไหลในแนวราบของสารละลายในดินทรายตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 6 มีส่วนประกอบดังนี้

1. ปั๊มลม
2. อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน
3. มาตรวัดแรงดัน
4. สายลมทนแรงดัน
5. วาล์วเปิดปิดน้ำและสารละลาย
6. กระบอกใส่น้ำและสารละลาย
7. ท่อทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ 10 ซม. ความยาวท่อ 40 ซม. และความหนาท่อ 0.6 ซม.
8. อุปกรณ์สำหรับการบดอัดดิน
9. แม่แรง
10. เครื่องชั่งน้ำหนัก
11. ถ้วยแก้ว (Beaker)
12. นาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 6 อุปกรณ์ในการทดสอบอัตราการไหล

3.2. การเตรียมดินทรายตัวอย่าง

สำหรับขั้นตอนในการเตรียมดินทรายตัวอย่าง เริ่มจากการหาเส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ จากนั้นทำการออกแบบส่วนผสมสำหรับใช้ในการเตรียมตัวอย่างดินทรายให้มีขนาดคละของเม็ดดินตามดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นดินประเภท SP-SM Poorly graded sands มีค่า Cu = 5.55 Cc = 0.68 และ Gs = 2.60

3.3. การควบคุมความหนาแน่นของดินทรายตัวอย่าง

ในการทดสอบเพื่อจำลองสภาพของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ จะต้องทำการควบคุมให้ดินทรายตัวอย่างมีความหนาแน่นเท่ากับ 2 กรัม/ลบ.ซม. ซึ่งอัตราส่วนระหว่างมวลของดินทรายตัวอย่างและมวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของหน่วยน้ำหนักรวมของดินในกรณีดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ดังสมการที่ (1) และ สมการที่ (2)

$$\rho_{sat} = \frac{(G_s + e)\rho_w}{1 + e} \quad (1)$$

$$\rho_{sat} = \frac{m_w + m_s}{V_w + V_s} \quad (2)$$

โดย

ρ_{sat} = ความหนาแน่นรวมกรณีดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
G_s = ความถ่วงจำเพาะ
e = อัตราส่วนช่องว่าง
ρ_w = ความหนาแน่นน้ำ
m_w = มวลน้ำ
m_s = มวลดิน
V_w = ปริมาตรน้ำ
V_s = ปริมาตรดิน

จากขนาดของท่อทรงกระบอก กำหนดให้ดินตัวอย่างแบบอิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งบรรจุภายในท่อทรงกระบอกมีความยาว 20 ซม. คิดเป็นปริมาตร 1634.26 ลบ.ซม. ดังนั้นในการเตรียมตัวอย่างก่อนทำการบรรจุเพื่อบดอัดภายในท่อทรงกระบอกให้ได้ความหนาแน่น

2 กรัม/ลบ.ซม. มวลของดินทรายที่ใช้ในการทดสอบคือ 2657.33 กรัม และมวลของน้ำคือ 611.19 กรัม

3.4. ความเข้มข้นของสารละลายและอัตราการปนเปื้อน

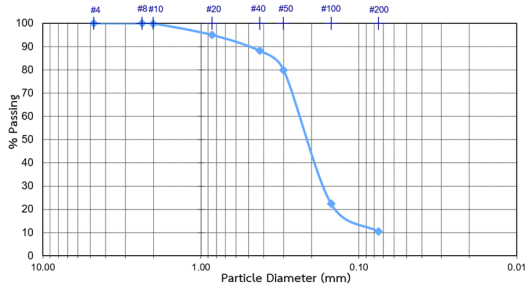
ในการทดสอบกำหนดให้สารละลายมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 0.06 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำ และกำหนดให้สารละลายมีอัตราส่วนการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่ 0 เปอร์เซ็นต์ ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 1

ฝุ่นดินเหนียวที่ใช้ในการผสมกับสารละลาย แสดงดังรูปที่ 8 โดยตัวอย่างดินเหนียวที่ใช้ในการทดสอบนำมาจากโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีส้ม สถานีรามคำแหง จากนั้นนำตัวอย่างดินเหนียวมาร่อนแบบเปียกผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนำไปอบแห้งและบดละเอียดเพื่อเตรียมสำหรับใช้ในกระบวนการผสมลงในสารละลายต่อไป

กระบวนการเตรียมสารละลาย คือ นำน้ำ 1000 กรัม โพลิเมอร์พีเอชพีเอแบบผง 0.6 กรัม และ ฝุ่นดินเหนียวตามอัตราส่วนการปนเปื้อนที่กำหนดคือ 5 กรัม 10 กรัม 15 กรัม 20 กรัม และ 25 กรัม ตามลำดับ นำมาปั่นผสมให้เข้ากัน

เมื่อทำการเตรียมสารละลายเสร็จ ได้มีการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายดังต่อไปนี้

1. ทดสอบความหนาแน่นของสารละลายด้วย Mud balance
2. ทดสอบความหนืดของสารละลายด้วย Marsh cone test
3. ทดสอบค่า pH ของสารละลายด้วย Electric pH meter



รูปที่ 7 เส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ ของดินทรายตัวอย่าง

รูปที่ 8 ฝุ่นดินเหนียวที่ใช้ในการทดสอบ

3.5. ทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย

3.5.1. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินภายในท่อทรงกระบอก

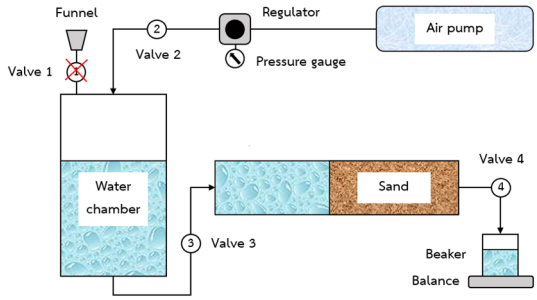
1. นำดินทรายตัวอย่าง 2657.33 กรัม และน้ำ 611.19 กรัม บรรจุลงในท่อทรงกระบอก และทำการบดอัดโดยใช้แม่แรง ดันอุปกรณ์บดอัดดินจนได้ความหนาแน่นเท่ากับ 2 กรัม/ลบ.ซม. ดังรูปที่ 9
2. ปิดปลายของท่อทรงกระบอก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหล
3. ติดตั้งสายลมทนแรงดัน โดยมีวาล์วเบอร์ 2 สำหรับควบคุมการเปิด-ปิด เป็นทางน้ำไหลจากกระบอกใส่น้ำเข้าสู่ท่อทรงกระบอก
4. ติดตั้งสายลมทนแรงดัน โดยมีวาล์วเบอร์ 4 สำหรับควบคุมการเปิด-ปิด เป็นทางน้ำไหลออกจากท่อทรงกระบอกเพื่อทำการตรวจวัดอัตราการไหล
5. ต่อปั๊มลมเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมแรงดันและติดตั้งมาตรวัดแรงดัน
6. ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมแรงดันด้วยสายลมทนแรงดันเข้าสู่ด้านบนของกระบอกใส่น้ำ มีวาล์วเบอร์ 2 สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดแรงดัน
7. เติมน้ำเข้ากระบอกใส่น้ำ แล้วเปิดวาล์วเบอร์ 2 เพื่อส่งแรงดันเข้าสู่กระบอกใส่น้ำ โดยกำหนดให้มีแรงดันเท่ากับ 150 กิโลปาสคาล เพื่อจำลองให้สารละลายมีค่าแรงดันใกล้เคียงกับสภาพหน้างานจริง เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินของกรุงเทพฯ อยู่ที่ระดับความลึกเฉลี่ยประมาณ 15 เมตรจากผิวดิน และจากขั้นตอนการก่อสร้างที่มีการควบคุมให้ระดับของสารละลายอยู่ที่ระดับผิวดินตลอดกระบวนการขุดเจาะเสาเข็ม ดังนั้นผลต่างของแรงดันระหว่างสารละลายและน้ำใต้ดินของกรุงเทพฯ จึงอยู่ที่ประมาณ 150 กิโลปาสคาล
8. เปิดวาล์วเบอร์ 3 และวาล์วเบอร์ 4 ตามลำดับ ให้แรงดันน้ำไหลเข้าสู่ท่อทรงกระบอกผ่านดินทรายตัวอย่างภายในท่อเพื่อไล่ฟองอากาศ จากนั้นทำการจัดวางท่อทรงกระบอกให้อยู่ในแนวราบดังรูปที่ 10

3.5.2. ขั้นตอนการทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย

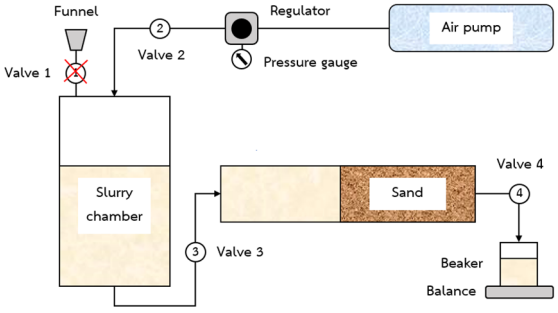
1. หลังจากตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ให้ทำการปิดวาล์วเบอร์ 4 วาล์วเบอร์ 3 และวาล์วเบอร์ 2 ตามลำดับ
2. จากนั้นเติมสารละลายเข้าไปแทนที่ในกระบอกใส่น้ำ

3. วางถ้วยแก้วลงบนเครื่องชั่งน้ำหนัก ให้ถ้วยแก้วรองรับสารละลายที่ไหลออกจากท่อทรงกระบอก
4. เปิดวาล์วเบอร์ 2 เพื่อส่งแรงดันเข้าสู่กระบอกใส่สารละลาย เปิดวาล์วเบอร์ 3 และวาล์วเบอร์ 4 ตามลำดับ ให้แรงดันสารละลายไหลเข้าสู่ท่อทรงกระบอกผ่านดินทรายตัวอย่าง และไหลออกจากท่อทรงกระบอกลงสู่ถ้วยแก้ว ดังรูปที่ 11
5. จดบันทึกน้ำหนักของสารละลายในถ้วยแก้วที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลา

รูปที่ 9 บดอัดดินภายในท่อทรงกระบอก



รูปที่ 10 ให้แรงดันน้ำไหลผ่านดินทรายตัวอย่างภายในท่อทรงกระบอกเพื่อไล่ฟองอากาศ



รูปที่ 11 การทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย

4. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลาย ทั้งในกรณีปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าสารละลายจะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ในทางตรงกันข้ามค่าความหนืดและค่า pH ของสารละลายจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวเพิ่มสูงขึ้น

สำหรับผลการทดสอบอัตราการไหลที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาของสารละลายผ่านดินทรายตัวอย่าง ที่มีปริมาณการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวแตกต่างกันแสดงได้ดังรูปที่ 12

สารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อน ที่เวลา 0.5 นาที มีอัตราการไหล 3.24 ลบ.ซม./วินาที ซึ่งอัตราการไหลลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 1.5 นาทีแรก โดยวัดค่าอัตราการไหลได้เท่ากับ 0.98 ลบ.ซม./วินาที จากนั้นอัตราการไหลของสารละลายลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งที่เวลา 25 นาที สามารถวัดค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.19 ลบ.ซม./วินาที

สารละลายที่มีการปนเปื้อน 0.5 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 0.5 นาที มีอัตราการไหล 3.17 ลบ.ซม./วินาที ซึ่งอัตราการไหลลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 1.5 นาทีแรก โดยวัดค่าอัตราการไหลได้เท่ากับ 1.33 ลบ.ซม./วินาที จากนั้นอัตราการไหลของสารละลายลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งที่เวลา 25 นาที สามารถวัดค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.16 ลบ.ซม./วินาที

สารละลายที่มีการปนเปื้อน 1.0 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 0.5 นาที มีอัตราการไหล 3.17 ลบ.ซม./วินาที ซึ่งอัตราการไหลลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 1.5 นาทีแรก โดยวัดค่าอัตราการไหลได้เท่ากับ 1.70 ลบ.ซม./วินาที จากนั้นอัตราการไหลของสารละลายลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งที่เวลา 25 นาที สามารถวัดค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.16 ลบ.ซม./วินาที

สารละลายที่มีการปนเปื้อน 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 0.5 นาที มีอัตราการไหล 3.20 ลบ.ซม./วินาที ซึ่งอัตราการไหลลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 1.5 นาทีแรก โดยวัดค่าอัตราการไหลได้เท่ากับ 2.07 ลบ.ซม./วินาที จากนั้นอัตราการไหลของสารละลายลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งที่เวลา 25 นาที สามารถวัดค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.16 ลบ.ซม./วินาที

สารละลายที่มีการปนเปื้อน 2.0 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 0.5 นาที มีอัตราการไหล 3.11 ลบ.ซม./วินาที ซึ่งอัตราการไหลลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 1.5 นาทีแรก โดยวัดค่าอัตราการไหลได้เท่ากับ 2.08 ลบ.ซม./วินาที จากนั้นอัตราการไหลของสารละลายลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งที่เวลา 25 นาที สามารถวัดค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.06 ลบ.ซม./วินาที

สารละลายที่มีการปนเปื้อน 2.5 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 0.5 นาที มีอัตราการไหล 3.21 ลบ.ซม./วินาที ซึ่งอัตราการไหลลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 1.5 นาทีแรก โดยวัดค่าอัตราการไหลได้เท่ากับ 2.34 ลบ.ซม./วินาที จากนั้นอัตราการไหลของสารละลาย

ลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งที่เวลา 25 นาที สามารถวัดค่าอัตราการไหลเท่ากับ 0.09 ลบ.ซม./วินาที

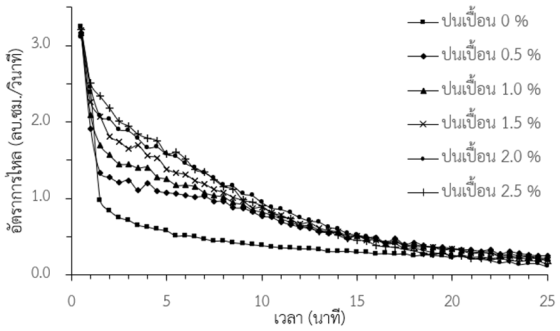
จากผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายสามารถสรุปค่าอัตราการไหลที่ 0.5 นาที และ 25 นาที รวมถึงปริมาณสารละลายที่ไหลออกจากท่อทรงกระบอกตลอดช่วงการทดสอบได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าในช่วงระยะเวลาการทดสอบ 25 นาที สารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวใช้ปริมาณทั้งหมดในการทดสอบเท่ากับ 716.6 กรัม ส่วนสารละลายที่มีการปนเปื้อน 0.5 เปอร์เซ็นต์ 1 เปอร์เซ็นต์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ 2 เปอร์เซ็นต์ และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ใช้ปริมาณสารละลายในการทดสอบเท่ากับ 1109.7 กรัม 1194.4 กรัม 1279.1 กรัม 1347.2 กรัม และ 1347.6 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานของสารละลาย

อัตราการปนเปื้อน (%)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	ความหนืด (วินาที)	ค่า pH
0	1.008	36.50	9.45
0.5	1.011	36.27	9.43
1	1.015	36.09	9.35
1.5	1.018	35.98	9.23
2	1.021	35.88	9.10
2.5	1.025	35.79	8.96

ตารางที่ 2 อัตราการไหลของสารละลายและปริมาณสารละลายที่ไหลออกจากท่อทรงกระบอกที่แต่ละปริมาณการปนเปื้อน

อัตราการปนเปื้อน (%)	อัตราการไหลที่ 0.5 นาที (ลบ.ซม./วินาที)	อัตราการไหลที่ 25 นาที (ลบ.ซม./วินาที)	ปริมาณสารละลายที่ใช้ใน 25 นาที (กรัม)
0	3.24	0.19	716.6
0.5	3.17	0.25	1109.7
1	3.17	0.22	1194.4
1.5	3.20	0.19	1279.1
2	3.11	0.11	1347.2
2.5	3.21	0.14	1347.6



รูปที่ 12 อัตราการไหลที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาของสารละลายผ่านดินทรายตัวอย่างในแต่ละอัตราการปนเปื้อน

5. สรุปผลการศึกษา

จากการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายโพลีเมอร์พีเอชพีเอที่มีปริมาณการปนเปื้อนแตกต่างกันผ่านตัวอย่างดินทรายกรุงเทพฯ ชั้นที่ 1 พบว่าในขณะเริ่มทำการทดสอบสารละลายโพลีเมอร์พีเอชพีเอทั้งที่มีและไม่มีการปนเปื้อนมีอัตราการไหลใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการไหลของสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อนลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 1.5 นาทีแรกเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายที่มีการปนเปื้อน ซึ่งการลดลงของอัตราการไหลของสารละลายแปรผกผันกับปริมาณการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวดังแสดงในรูปที่ 12 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวส่งผลกระทบต่อความสามารถในการอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดินของสารละลาย

นอกจากนั้นเมื่อทำการตรวจวัดปริมาณสารละลายที่ไหลผ่านตัวอย่างดินทรายพบว่าสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อนใช้ปริมาณสารละลายในการทดสอบน้อยที่สุด และปริมาณสารละลายที่ใช้ในการทดสอบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว โดยสารละลายที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 0.5 เปอร์เซ็นต์ 1.0 เปอร์เซ็นต์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ 2.0 เปอร์เซ็นต์ และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการใช้สารละลายมากกว่ากรณีไม่ปนเปื้อนเท่ากับ 54.9 เปอร์เซ็นต์ 66.7 เปอร์เซ็นต์ 78.5 เปอร์เซ็นต์ 88.0 เปอร์เซ็นต์ และ 88.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสารละลายโพลีเมอร์พีเอชพีเอที่มีปริมาณการปนเปื้อนเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียสารละลายในช่วงที่ทำการขุดเจาะชั้นดินเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ค่าความหนืดของสารละลายมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวเพิ่มสูงขึ้น

6. การอ้างอิง

[1] Thasnanipan N., Aye Z.Z., Submaneewong C., Teparaksa w. (2002). Performance of Wet-Process Bored Piles Constructed with Polymer-Based Slurry in Bangkok Subsoil. *Proceedings of the International Deep Foundations Congress 2002*, February 14-16, Orlando, Florida.

[2] กฤติน ศันสนะกุล. (2561). *พฤติกรรมการซึมผ่านและผลกระทบของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีผลต่อดินโดยรอบผนังหลุมเจาะเสาเข็ม*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ประเทศไทย.

[3] ธยานันท์ บุณยรักษ์. (2544). *พฤติกรรมของสารละลายโพลีเมอร์ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในชั้นดินกรุงเทพฯ*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ประเทศไทย.

[4] ณรงค์ ทัศนนิพันธ์ เผด็จ รุจิขจรเดช และ พรพจน์ ตันเส็ง. (2543ข). การใช้โพลีเมอร์ในการก่อสร้างเสาเข็มระบบเจาะเปียกในชั้นดินกรุงเทพฯ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 6*, เพชรบุรี, ประเทศไทย.

[5] วุฒิชัย ชื่นหิรัญ. (2551). *พฤติกรรมเสาเข็มเจาะที่ใช้สารละลายโพลิเมอร์เป็นสารรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ประเทศไทย

[6] Shrivastava A.K., Jain D., Vishwakarma S. (2016). Frictional resistance of drilling fluids as a borehole stabilizers. *International Journal of Geo-Engineering*, **7**(1). https://doi.org/10.1186/s40703-016-0026-7