

พฤติกรรมกรไลของสารละลายโพลีเมอร์ในดินทรายกรุงเทพฯ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Permeation Behaviour of Polymer Fluids in Bangkok Sand



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | พฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในดินทราย |
| | กรุงเทพฯ |
| โดย | นายเบญจพล เบญจวารังกุล |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมโยธา |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ดร.วีรยุทธ โกมลิวาส |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐิติ |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.วีรยุทธ โกมลิวาส)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิรวัตร บุญญะฐิติ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนกร ชมภูรัตน์)

เบญจพล เบญจวารังกุล : พฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ในดินทราย
กรุงเทพฯ. (Permeation Behaviour of Polymer Fluids in Bangkok Sand) อ.ที่
ปรึกษาหลัก : ดร.วีรยุทธ โกมลวิลาศ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.จิรวัตร บุญญะฐิติ

สารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอ นิยมนำมาใช้ในการรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ แต่เนื่องจากสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอสามารถไหลซึมเข้าไปในชั้นทรายได้ง่ายจึงเกิดการสูญเสียเป็นปริมาณมากในระหว่างการก่อสร้าง โดยค่าอัตราการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ และอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวในระหว่างการขุดเจาะผ่านชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ผลการทดสอบจากงานวิจัยฉบับนี้แสดงให้เห็นว่าค่าอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์แปรผันตามค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ ในขณะที่ค่าอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์แปรผันกับอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวในสารละลายโพลิเมอร์ นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ และอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวยังส่งผลกระทบต่อความสามารถในการไหลผ่านดินทรายของสารละลาย โดยการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวจะลดค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ลง ดังนั้นปริมาณการไหลของสารละลายโพลิเมอร์เข้าไปในดินทรายมีค่าแปรผันตามอัตราการปนเปื้อนของฝุ่นดินเหนียวในสารละลายโพลิเมอร์ ในขณะที่ปริมาณการไหลของสารละลายโพลิเมอร์เข้าไปในดินทรายมีค่าแปรผันกับค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6170460221 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORD: The concentration of PHPA polymer fluid, Clay contamination,
Viscosity, Seepage flow

Benjapon Benjawanukul : Permeation Behaviour of Polymer Fluids in
Bangkok Sand. Advisor: Veerayut Komolvillas, D.Eng. Co-advisor: Assoc. Prof.
TIRAWAT BOONYATEE, D.Eng.

Partially hydrolyzed polyacrylamide (PHPA) polymer is a popular fluid for stabilizing boreholes during the construction of 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 varies with the concentration of PHPA polymer fluid and the degree of contamination of clay particles which occurs when drillings are performed through the Bangkok clay layer. The results from this research show that the seepage flow of PHPA polymer fluid decreases with an increase in the concentration of PHPA polymer fluid, but it increases with the degree of clay contamination. The concentration of PHPA polymer fluid and clay contamination also affect the infiltration rate of PHPA polymer fluid. An increase in clay contamination decreases the viscosity of PHPA polymer fluid. This results in an increase in the filtrate losses of PHPA polymer fluid. However, the reduction rate of seepage flow increases with concentration of PHPA polymer fluid.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Civil Engineering

Academic Year: 2021

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ดร. วีรยุทธ โกมลวิลาศ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ฐิรวัตร บุญญะฐิติ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของงาน และแนะนำความรู้ในด้านต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บจก. สยาม อินด์สเทรียล มิเนอร์รัลส์ อย่างสุดซึ้งสำหรับความอนุเคราะห์ในการอนุญาตเข้าใช้งานห้องปฏิบัติการทดสอบ และใช้เครื่องมือทดสอบ ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ ในระหว่างการทำงาน



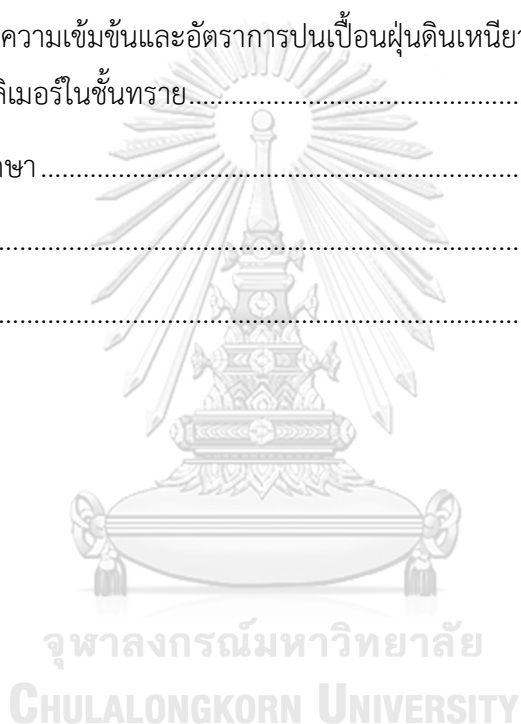
เบญจพล เบญจรวงกุล

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ค |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ง |
| กิตติกรรมประกาศ..... | จ |
| สารบัญ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ฅ |
| สารบัญรูป..... | ญ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 3 |
| 1.5 แผนการดำเนินงาน..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 4 |
| 2.1 ลักษณะชั้นดินและแรงดันน้ำใต้ดินกรุงเทพฯ | 4 |
| 2.2 โพลีเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ (Partially Hydrolyzed Polyacrylamide, PHPA)..... | 5 |
| 2.3 ค่าอัตราเฉือนในการใช้งาน | 7 |
| 2.3.1 ค่าอัตราเฉือนของเครื่องมือทดสอบ | 7 |
| 2.3.2 ค่าอัตราเฉือนที่เกิดขึ้นในกระบวนการขุดเจาะชั้นดินด้วยสารละลาย | 8 |
| บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย..... | 9 |
| 3.1 การเตรียมตัวอย่างและทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน | 9 |
| 3.1.1 การเตรียมตัวอย่างฝุ่นดินเหนียว..... | 9 |

| | |
|---|----|
| 3.1.2 การเตรียมตัวอย่างดินทราย..... | 9 |
| 3.1.3 การเตรียมตัวอย่างสารละลายโพลีเมอร์..... | 10 |
| 3.2 การทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการปนเปื้อน..... | 13 |
| 3.2.1 การทดสอบค่าความหนืดของสารละลายที่มีการปนเปื้อนดินทราย | 13 |
| 3.2.2 การทดสอบค่าความหนืดของสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการปนเปื้อนฝุ่น ดิน เหนียว 14 | |
| 3.3 การทดสอบอัตราการไหลของสารละลายของสารละลายในตัวอย่างดินทราย | 15 |
| 3.3.1 อุปกรณ์ทดสอบอัตราการไหลของสารละลายในตัวอย่างดินทราย..... | 15 |
| 3.3.2 การควบคุมความหนาแน่นของดินทรายตัวอย่าง | 16 |
| 3.3.3 ขั้นตอนการเตรียมดินทรายตัวอย่างภายในท่อทรงกระบอก..... | 17 |
| 3.3.4 ขั้นตอนการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายในตัวอย่างดินทราย..... | 18 |
| บทที่ 4 ผลการศึกษา..... | 20 |
| 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน..... | 20 |
| 4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของฝุ่นดินเหนียว | 20 |
| 4.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของดินทราย..... | 20 |
| 4.1.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลาย..... | 21 |
| 4.2 ผลการทดสอบค่าความหนืดของสารละลาย..... | 23 |
| 4.2.1 ผลการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทราย | 23 |
| 4.2.2 ผลการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการ ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว | 23 |
| 4.3 ผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย | 25 |
| 4.3.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ที่แต่ละค่าความเข้มข้น..... | 25 |
| 4.3.2 ผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ที่แต่ละอัตราการปนเปื้อนฝุ่น ดิน เหนียว 25 | |
| บทที่ 5 อภิปรายผลการศึกษา | 27 |

| | |
|---|----|
| 5.1 ผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์ต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์ | |
| 27 | |
| 5.2 ผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์..... | 27 |
| 5.3 ผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์ต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในชั้นทราย | 28 |
| 5.4 ผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในชั้นทราย | 29 |
| 5.5 ผลกระทบของความเข้มข้นและอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในชั้นทราย..... | 30 |
| บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา | 34 |
| บรรณานุกรม..... | 35 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 36 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน..... | 3 |
| ตารางที่ 3.1 ความเร็วในการหมุนปั่นหรืออัตราเฉือนที่ใช้ในการทดสอบค่าความหนืด ด้วยเครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer | 14 |
| ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของฝุ่นดินเหนียว | 20 |
| ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายโพลิเมอร์..... | 21 |
| ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว | 22 |
| ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทราย | 22 |
| ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทราย..... | 23 |

สารบัญรูป

หน้า

| | |
|---|----|
| รูปที่ 2.1 ชั้นดินกรุงเทพฯ และ แร่งต้นน้ำใต้ดิน (Thasnanipan, Aye, Submaneewong, & Teparaksa, 2002)..... | 4 |
| รูปที่ 2.2 เส้นโค้งการกระจายตัว ของทรายหยาบที่ใช้ผสมคอนกรีต (ทรายแม่น้ำ) ดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ และดินทรายชั้นที่ 2 กรุงเทพฯ (ธยานันท์, 2544)..... | 5 |
| รูปที่ 2.3 โพลีเมอร์ชนิดพีเอชพีเอแบบผง | 5 |
| รูปที่ 2.4 พฤติกรรมการจับอนุภาคดินของสารละลายโพลีเมอร์ในหลุมเจาะ (ณรงค์ และคณะ, 2543) | 6 |
| รูปที่ 2.5 กระบวนการของสารละลายโพลีเมอร์ในการรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะ (ณรงค์ และคณะ, 2543)..... | 6 |
| รูปที่ 2.6 เส้นโค้งความหนืดในแต่ละช่วงอัตราการเฉือน ของสารละลายโพลีเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่ ความเข้มข้นต่างๆ (Lam et al., 2015) | 7 |
| รูปที่ 3.1 ตัวอย่างฝุ่นดินเหนียว | 9 |
| รูปที่ 3.2 เส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ (กฤติน, 2561)..... | 10 |
| รูปที่ 3.3 ตัวอย่างของสารละลายโพลีเมอร์ปั่นเป็นฝุ่นดินเหนียว | 11 |
| รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ทดสอบ Mud balance..... | 12 |
| รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ทดสอบ Marsh funnel..... | 12 |
| รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ทดสอบ Electric pH meter..... | 12 |
| รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบ RVDV-1 Digital Viscometer | 13 |
| รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer | 15 |
| รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ในการทดสอบอัตราการไหล | 16 |
| รูปที่ 3.10 บดอัดดินภายในท่อทรงกระบอก | 18 |
| รูปที่ 3.11 ให้แรงดันน้ำไหลผ่านดินทรายตัวอย่างภายในท่อทรงกระบอกเพื่อไล่ฟองอากาศ..... | 18 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 3.12 การทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย | 19 |
| รูปที่ 3.13 การทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย | 19 |
| รูปที่ 4.1 ลักษณะของดินทรายตัวอย่าง | 20 |
| รูปที่ 4.2 เส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายตัวอย่าง..... | 21 |
| รูปที่ 4.3 ค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละความเข้มข้น ที่ค่าอัตราเฉือนต่างๆ | 24 |
| รูปที่ 4.4 ค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ที่ค่าอัตราเฉือนต่าง ๆ | 24 |
| รูปที่ 4.5 ปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละความเข้มข้น ที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายในแต่ละระยะเวลา..... | 25 |
| รูปที่ 4.6 ปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายในแต่ละระยะเวลา | 26 |
| รูปที่ 5.1 ผลกระทบของความเข้มข้นต่ออัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ผ่านชั้นทรายตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา..... | 28 |
| รูปที่ 5.2 ผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่ออัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ผ่านชั้นทรายตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา..... | 30 |
| รูปที่ 5.3 ค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนและไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่อัตราเฉือนต่าง ๆ..... | 32 |
| รูปที่ 5.4 ปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนและไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่ไหลผ่านชั้นทรายตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา..... | 32 |
| รูปที่ 5.5 อัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนและไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่ไหลผ่านชั้นทรายตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา | 33 |

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การก่อสร้างอาคารสูงในพื้นที่กรุงเทพฯ มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ฐานรากระบบเสาเข็มเจาะที่มีความยาวของเสาเข็มค่อนข้างมาก เนื่องจากชั้นดินกรุงเทพฯ ที่ระดับบนเป็นชั้นดินเหนียวที่มีกำลังรับน้ำหนักต่ำ ความหนาประมาณ 20 ถึง 25 เมตร จากนั้นจะพบชั้นดินทรายและชั้นดินเหนียวสลับกันไป จากการที่มีชั้นดินทรายแทรกอยู่ในชั้นดินเหนียวทำให้ต้องทำการก่อสร้างฐานรากเสาเข็มเจาะด้วยระบบเปียก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการพังทลายของหลุมเจาะในชั้นดินทราย

ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก จะต้องทำการขุดหลุมเจาะเพื่อใช้ในการใส่เหล็กเสริมและเทคอนกรีต ซึ่งเมื่อดำเนินการขุดเจาะมาถึงชั้นดินทรายที่มีระดับความลึกต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน จะเกิดการไหลของน้ำใต้ดินเข้ามาในหลุมเจาะ เป็นผลให้ชั้นดินทรายบริเวณรอบผนังหลุมเจาะเกิดการพังทลาย ดังนั้นขณะดำเนินการขุดเจาะจนกระทั่งเทคอนกรีตเสร็จสิ้นจะต้องทำการใส่สารละลายลงไปหลุมเจาะ โดยสารละลายที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมในการป้องกันไม่ให้น้ำใต้ดินไหลเข้ามาในหลุมเจาะและต้องสามารถป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะได้ โดยสารละลายช่วยพยุงเสถียรภาพหลุมเจาะมีหลายประเภท เช่น สารละลายเบนโทไนท์ สารละลายเบนโทไนท์ผสมโพลิเมอร์ และสารละลายโพลิเมอร์ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้งานสารละลายโพลิเมอร์เพียงอย่างเดียวในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารละลายเบนโทไนท์ต้องใช้ระยะเวลาในการพักสารละลายหลังผสมเสร็จจนกว่าจะสามารถเทลงในหลุมเจาะได้ และยังต้องใช้พื้นที่ในการพักสารละลายมาก

สารละลายโพลิเมอร์ที่นิยมใช้งานในพื้นที่กรุงเทพฯ ได้แก่ สารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ (Partially Hydrolyzed Polyacrylamide, PHPA) ซึ่งคุณสมบัติของสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอในการรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ คือ สารละลายโพลิเมอร์จะไหลซึมเข้าไปในชั้นดินทรายรอบผนังหลุมเจาะ โดยจะมีโพลิเมอร์เจลจะช่วยอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดินช่วยป้องกันไม่ให้น้ำใต้ดินไหลเข้ามาภายในหลุมเจาะ และมีเส้นใยช่วยเสริมแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน แต่เนื่องจากสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอสามารถไหลซึมเข้าไปในชั้นดินทรายได้ง่าย จึงเกิดการสูญเสียสารละลายเป็นปริมาณมากในระหว่างการก่อสร้าง นอกจากนั้นจากการที่พื้นที่กรุงเทพมหานครมีชั้นดินเหนียวที่หนามากก่อนถึงชั้นดินทราย ทำให้ระหว่างดำเนินการขุดเจาะผ่านชั้นดินเหนียวอาจมีฝุ่นดินเหนียวรอบผนัง

หลุมเจาะหลุดมาผสมกับสารละลายโพลีเมอร์ในหลุมเจาะ ซึ่งอาจทำให้คุณสมบัติของสารละลายโพลีเมอร์เปลี่ยนแปลงไป

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ชนิดพีเอชพีเอผ่านชั้นดินทรายทั้งในกรณีที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว โดยทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์และผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในชั้นดินทราย โดยทำการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์ด้วยเครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer และทำการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ผ่านตัวอย่างดินทรายในท่อทรงกระบอกที่ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่งสามารถควบคุมแรงดันเหมือนสภาพจริงในสนามได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์ต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในชั้นทราย
- 1.2.2 ศึกษาผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในชั้นทราย
- 1.2.3 ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์ต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์
- 1.2.4 ศึกษาผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

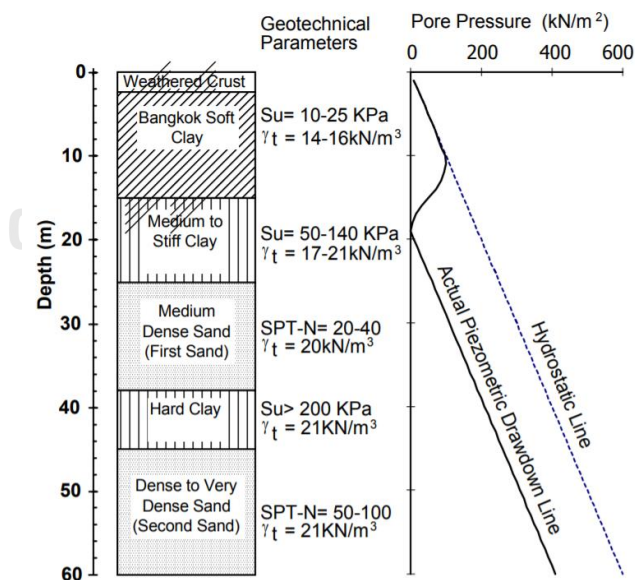
1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ใช้สารละลายโพลีเมอร์ชนิดพีเอชพีเอในการศึกษา
- 1.3.2 ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายผ่านตัวอย่างดินทรายกรุงเทพฯ ชั้นที่ 1
- 1.3.3 ใช้ตัวอย่างฝุ่นดินเหนียวกรุงเทพฯในการศึกษา
- 1.3.4 ไม่ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลาย โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิคงที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อยมาก

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะชั้นดินและแรงดันน้ำใต้ดินกรุงเทพฯ

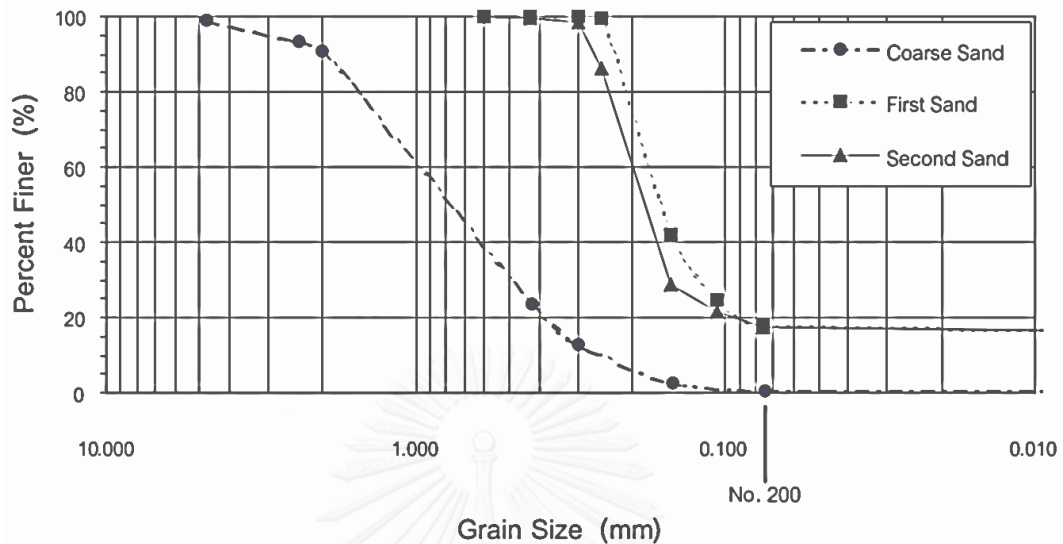
จากรูปที่ 2.1 แสดงระดับความลึกของชั้นดินกรุงเทพฯ โดยสังเขป พบว่าดินชั้นบนสุดซึ่งเป็นชั้นดินเปลือกแตกกระแหง (Weathered Crust) ถูกแปรสภาพมาจากกระบวนการเสื่อมสลาย มีความหนาของชั้นดินประมาณ 1-2 เมตร ปกคลุมชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ที่มีความหนาของชั้นดินประมาณ 13 เมตร แล้วค่อยๆ เปลี่ยนสภาพเป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางถึงแข็งมาก (Medium to Stiff Clay) ที่ระดับความลึกประมาณ 15 เมตร จากนั้นจะพบดินทรายชั้นที่ 1 ที่ระดับความลึกประมาณ 25 เมตร ชั้นดินถัดจากนั้นจะเป็นดินเหนียวแข็งสลับกับดินทราย จนกระทั่งถึงระดับของดินทรายชั้นที่ 2 ที่ระดับความลึกประมาณ 45 เมตร สำหรับแรงดันน้ำใต้ดิน (Actual pore pressure) ในชั้นดินเหนียวอ่อนมีสภาพแรงดันน้ำปกติ (Hydrostatic pressure) แต่เนื่องจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เป็นผลให้ชั้นดินซึ่งอยู่ล่างชั้นดินเหนียวอ่อนมีแรงดันน้ำใต้ดินลดลง (Piezometric drawn down pressure)



รูปที่ 2.1 ชั้นดินกรุงเทพฯ และ แรงดันน้ำใต้ดิน

(Thasnanipan, Aye, Submanee Wong, & Teparaksa, 2002)

จากรูปที่ 2.2 แสดงกราฟเส้นโค้งการกระจายตัวของ ดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ และดินทรายชั้นที่ 2 กรุงเทพฯ ซึ่งได้จากการเก็บตัวอย่างดินจากหลุมเจาะเสาเข็มจริง (ธยานันท์, 2544)



รูปที่ 2.2 เส้นโค้งการกระจายตัว ของทรายหยาบที่ใช้ผสมคอนกรีต (ทรายแม่น้ำ) ดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ และดินทรายชั้นที่ 2 กรุงเทพฯ (ธยานันท์, 2544)

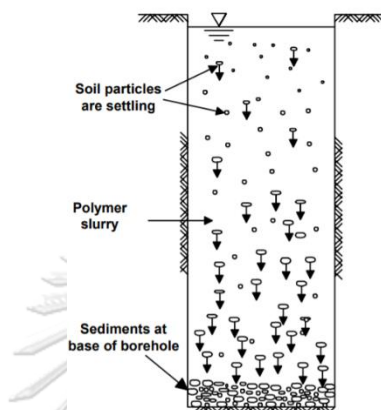
2.2 โพลีเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ (Partially Hydrolyzed Polyacrylamide, PHPA)

โพลีเมอร์ชนิดพีเอชพีเอเป็นโพลีเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymer) ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยการบวนการทางชีวภาพ (Biodegradation) จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม นิยมนำมาใช้ในงานขุดเจาะในปัจจุบัน ลักษณะของของโพลีเมอร์ชนิดพีเอชพีเอมีสองรูปแบบคือ แบบผงแสดงในรูปที่ 2.3 และแบบเหลว ซึ่งโพลีเมอร์แบบเหลวสามารถใช้งานได้สะดวก แต่เนื่องจากมีราคาต่อหน่วยที่แพงกว่าแบบผงมาก ทำให้แบบผงจึงเป็นที่นิยมมากกว่า โดยแบบผงที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นผงสีขาวละลายน้ำได้ดี สำหรับการใช้งานสามารถนำโพลีเมอร์แบบผงมาผสมน้ำเป็นสารละลายโพลีเมอร์ได้ทันทีโดยไม่ต้องรอให้โพลีเมอร์ดูดน้ำ (Fully Hydrated) (ธยานันท์, 2544)



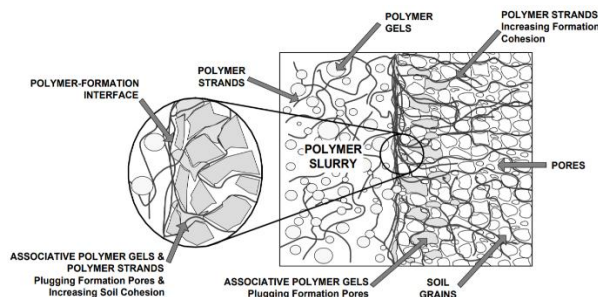
รูปที่ 2.3 โพลีเมอร์ชนิดพีเอชพีเอแบบผง

สารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ มีการจัดเรียงโมเลกุลเป็นลูกโซ่ยาวลักษณะเป็นเส้นตรง ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่เชื่อมต่อกัน เป็นสารสังเคราะห์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ทำให้สารละลายมีความหนืดสูง มีคุณสมบัติเด่นคือ การจับตัวกับอนุภาคดินขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ภายในหลุมเจาะให้กลายเป็นก้อนแล้วตกตะกอนลงสู่ก้นหลุมอย่างรวดเร็วซึ่งแสดงในรูปที่ 2.4



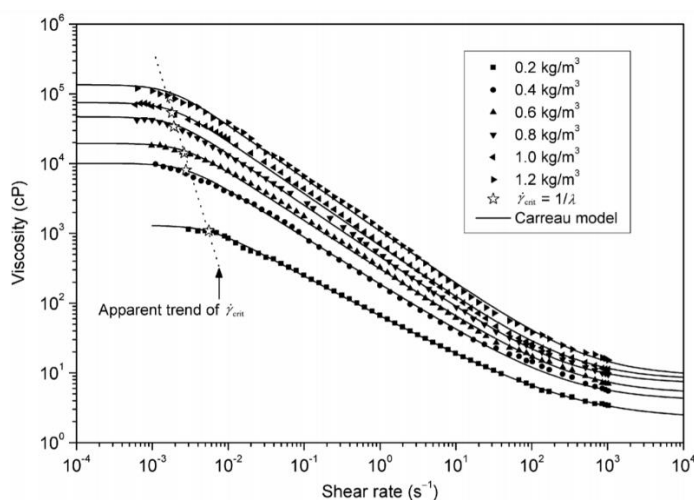
รูปที่ 2.4 พฤติกรรมการจับอนุภาคดินของสารละลายโพลิเมอร์ในหลุมเจาะ
(ณรงค์ และคณะ, 2543)

สำหรับกระบวนการช่วยรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะของสารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ คือ เมื่อไหลซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดินรอบผนังหลุมเจาะ จะใช้เส้นใยโพลิเมอร์ (Polymer strands) ช่วยยึดเม็ดดินเข้าด้วยกันสร้างแรงยึดเหนี่ยวชั่วคราวระหว่างเม็ดดิน ใช้โพลิเมอร์เจล (Polymer Gels) ทำหน้าที่ในการอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และสร้างแผ่นฟิล์มบางๆ (Gel membrane) เคลือบรอบผนังหลุมทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายแรงดันของเหลวไปยังผนังหลุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ณรงค์ และคณะ, 2543) ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งจากการไหลซึมเข้าไปในชั้นดินพบว่าสารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ สามารถไหลซึมออกไปในชั้นดินทรายได้ในปริมาณที่เยอะมาก (วุฒิชัย, 2551)



รูปที่ 2.5 กระบวนการของสารละลายโพลิเมอร์ในการรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะ
(ณรงค์ และคณะ, 2543)

หนึ่งในปัจจัยการสูญเสียปริมาณสารละลายในชั้นดินทรายมาจากความเร็วในการไหลของสารละลาย ซึ่งเป็นผลมาจากความหนืด (Viscosity) จากรูปที่ 2.6 แสดงผลการทดสอบความหนืดต่ออัตราการเฉือน (Shear rate) ที่เปลี่ยนไปในช่วง 10^{-3} รอบต่อวินาที ถึง 10^3 รอบต่อวินาที ของสารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ ในช่วงความเข้มข้น 0.2 -1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องมือวัดความหนืดโบลิน (Bohlin rheometer) (Lam, Martin, & Jefferis, 2015)



รูปที่ 2.6 เส้นโค้งความหนืดในแต่ละช่วงอัตราการเฉือน

ของสารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอที่ความเข้มข้นต่างๆ (Lam et al., 2015)

2.3 ค่าอัตราเฉือนในการใช้งาน

2.3.1 ค่าอัตราเฉือนของเครื่องมือทดสอบ

เครื่องมือสำหรับตรวจวัดความหนืดของสารละลายแต่ละชนิด มีช่วงอัตราเฉือนที่สามารถทดสอบได้ดังต่อไปนี้

- เครื่องทดสอบ Brookfield viscometer มีช่วงอัตราเฉือนที่สามารถทดสอบได้ประมาณ $0.1-100$ วินาที⁻¹ สามารถทดสอบอัตราเฉือนต่ำได้ เนื่องจากมีอุปกรณ์ที่สามารถแปลงหัวปั่นทดสอบ เพื่อทดสอบสารละลายที่ความหนืดต่ำ
- เครื่องทดสอบ Fann viscometer มีช่วงอัตราเฉือนที่สามารถทดสอบได้ประมาณ $5-1022$ วินาที⁻¹ ใช้หัวปั่นทดสอบมาตรฐาน R1-B1

- อุปกรณ์ทดสอบ Marsh funnel มีช่วงอัตราเฉือนที่สามารถทดสอบได้ประมาณ 1350-3100 วินาที⁻¹ ซึ่งอัตราเฉือนเฉลี่ยดังกล่าว คือค่าอัตราเฉือนที่สารละลายไหลผ่านปลายกรวยของอุปกรณ์ทดสอบ ในเวลาประมาณ 30-70 วินาที (Lam et al., 2015)

2.3.2 ค่าอัตราเฉือนที่เกิดขึ้นในกระบวนการขุดเจาะชั้นดินด้วยสารละลาย

สำหรับค่าอัตราเฉือนที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในกระบวนการขุดเจาะชั้นดินด้วยสารละลาย จะต้องทราบค่าความหนืดของสารละลายเพื่อประมาณค่าอัตราเฉือน ดังนั้นทุกกระบวนการที่กล่าวถึงจะกำหนดให้ความหนืดของสารละลายมีค่า 20 มิลลิปาสคาลวินาที

- การไหลของสารละลายจากกระบวนการขุดเข้าไปในดินโดยรอบมีค่าอัตราเฉือนโดยประมาณ 0.8-800 วินาที⁻¹ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวประมาณจากดินที่ D_{10} ช่วงตั้งแต่ 63 ไมโครเมตร ถึง 6 มิลลิเมตร ด้วยลาดชันศาสตร์จาก 0.1 ถึง 10
- กระบวนการขุดในขณะที่หัวเจาะถูกใส่เข้าและดึงออกมีค่าอัตราเฉือนโดยประมาณ 1-100 วินาที⁻¹
- กระบวนการตกตะกอนของอนุภาคมีค่าอัตราเฉือนโดยประมาณ 8-130 วินาที⁻¹ ซึ่งอนุภาคเม็ดดินที่ตกตะกอนมีขนาด 63 ไมโครเมตร ถึง 6 มิลลิเมตร (Lam et al., 2015)

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่างและทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างฝุ่นดินเหนียว

- ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างฝุ่นดินเหนียว

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างฝุ่นดินเหนียวกรุงเทพฯ เริ่มจากการเก็บตัวอย่างดินเหนียวจากหลุมเจาะทดสอบของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีส้ม สถานีรามคำแหง แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แบบเปียก จากนั้นนำตัวอย่างดินเหนียวที่ได้ไปอบแห้งและบดละเอียด เพื่อเตรียมสำหรับใช้ในการทดสอบผลกระทบของฝุ่นเหนียวต่อคุณสมบัติของสารละลายโพลีเมอร์ต่อไป โดยตัวอย่างฝุ่นดินเหนียว แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างฝุ่นดินเหนียว

- การทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างฝุ่นดินเหนียว
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของตัวอย่างฝุ่นดินเหนียวดังต่อไปนี้

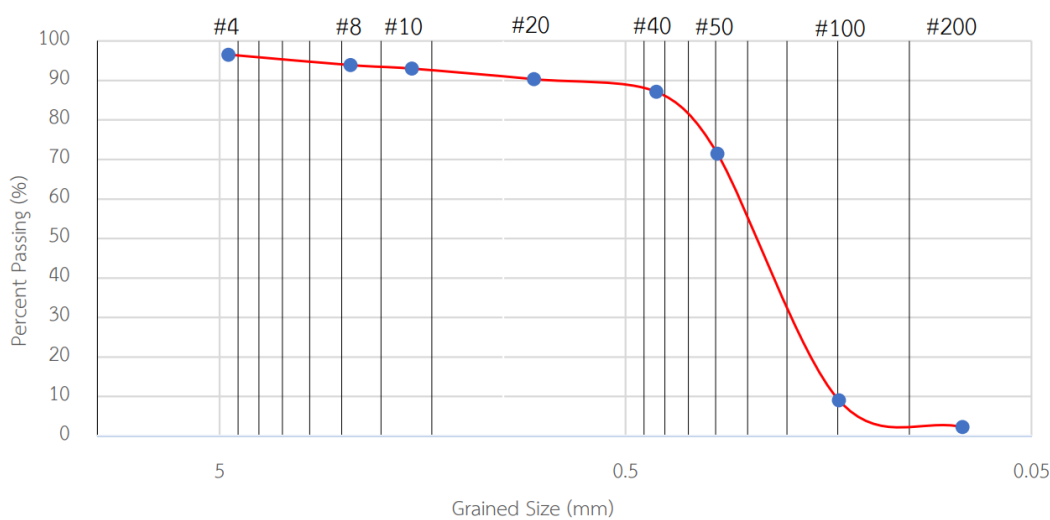
 - การทดสอบ Atterberg's Limit ตามมาตรฐาน ASTM D 4318 และ ASTM D 427
 - การทดสอบ Specific Gravity ตามมาตรฐาน ASTM D 854

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างดินทราย

- ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินทราย

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ แต่เนื่องจากในการทดสอบมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ตัวอย่างดินทรายในการทดสอบเป็นปริมาณมาก แต่ปริมาณตัวอย่างดินทรายที่สามารถเก็บได้จากหลุมเจาะทดสอบมีปริมาณจำกัด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการจำลอง

ตัวอย่างดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ จากทรายที่มีอยู่ให้มีเส้นโค้งการกระจายตัวเป็นไปตามดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ สำหรับขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างดินทราย เริ่มต้นจากการสรุปข้อมูลเส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ จากข้อมูลของโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีวังบูรพา ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จากนั้นทำการออกแบบส่วนผสมสำหรับใช้ในการเตรียมตัวอย่างดินทรายให้มีการกระจายขนาดผลของดินเป็นไปตามเส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ



รูปที่ 3.2 เส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ (กฤติน, 2561)

- การทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างดินทราย
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินทราย ดังต่อไปนี้
 - การทดสอบ Sieve Analysis ตามมาตรฐาน ASTM D 2487-69
 - การทดสอบ Specific Gravity ตามมาตรฐาน ASTM D 854

3.1.3 การเตรียมตัวอย่างสารละลายโพลิเมอร์

- ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสารละลายโพลิเมอร์
 - ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสารละลายโพลิเมอร์

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบโดยใช้สารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอ โดยกำหนดให้ทำการทดสอบสารละลายโพลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.2 ถึง 0.6 กิโลกรัมต่อปริมาณน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร หรือความเข้มข้น 0.02% ถึง 0.06% โดยน้ำหนักน้ำ โดยทำการผสมผงโพลิเมอร์ตามอัตราส่วนความเข้มข้นที่กำหนดกับน้ำ แล้วทำการปั่นให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

- ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

สำหรับการเตรียมสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว แสดงดังรูปที่ 3.3 เริ่มจากการนำตัวอย่างฝุ่นดินเหนียวที่เตรียมไว้ใส่ลงในสารละลายโพลีเมอร์ในปริมาณที่กำหนด จากนั้นทำการปั่นให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทำการทดสอบสารละลายโพลีเมอร์ที่มีความเข้มข้น 0.6 กิโลกรัมต่อปริมาณน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร ผสมกับฝุ่นดินเหนียวที่ปริมาณต่าง ๆ โดยมีปริมาณฝุ่นดินเหนียวที่อัตราการปนเปื้อนตั้งแต่ 5 กิโลกรัม ถึง 25 กิโลกรัม ต่อปริมาณน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร หรือเทียบเป็นสารละลายโพลีเมอร์ที่มีความเข้มข้น 0.06% โดยน้ำหนักน้ำ ผสมกับฝุ่นดินเหนียวที่อัตราการปนเปื้อน 0.5% ถึง 2.5% โดยน้ำหนักน้ำ

- ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทราย

สำหรับการเตรียมสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทรายในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทำการทดสอบสารละลายโพลีเมอร์ที่มีความเข้มข้น 0.6 กิโลกรัมต่อปริมาณน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร ผสมกับดินทรายปริมาณ 25 กรัมต่อปริมาณน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นทำการปั่นให้เข้ากัน หรือเทียบเป็นสารละลายโพลีเมอร์ที่มีความเข้มข้น 0.06% โดยน้ำหนักน้ำ ผสมกับอัตราการปนเปื้อนดินทรายที่ 2.5% โดยน้ำหนักน้ำ



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างของสารละลายโพลีเมอร์ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

- การทดสอบคุณสมบัติของสารละลายโพลิเมอร์

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายโพลิเมอร์ ตามข้อกำหนดมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะ มาตรฐาน วสท. 2543-2544 และ มาตรฐาน วสท. 2545-2546 ดังต่อไปนี้

- การทดสอบความหนาแน่นของสารละลายด้วยอุปกรณ์ Mud balance แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ทดสอบ Mud balance

- การทดสอบความหนืดของสารละลายด้วยอุปกรณ์ Marsh funnel แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ทดสอบ Marsh funnel

- การทดสอบค่า pH ของสารละลายด้วยอุปกรณ์ Electric pH meter แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ทดสอบ Electric pH meter

3.2 การทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการปนเปื้อน

เนื่องจากการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายด้วยอุปกรณ์ Marsh funnel เป็นการทดสอบอย่างง่ายสำหรับใช้ทดสอบตัวอย่างสารละลายในพื้นที่ก่อสร้างจริง จึงไม่สามารถทำการตรวจวัดคุณสมบัติด้านความหนืดของสารละลายด้วยอัตราเฉือนที่อยู่ในช่วงการใช้งานจริงของขั้นตอนการผสมสารละลายและในระหว่างก่อสร้างเสาเข็มเจาะได้ (Lam et al., 2015) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายด้วยเครื่องทดสอบ RVDV-1 Digital Viscometer และเครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer ซึ่งสามารถตรวจวัดค่าความหนืดในช่วงอัตราเฉือนที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานจริงของสารละลายในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะได้

3.2.1 การทดสอบค่าความหนืดของสารละลายที่มีการปนเปื้อนดินทราย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการปนเปื้อนดินทรายต่อค่าความหนืดของสารละลาย โดยการทดสอบหาค่าความหนืดของสารละลายด้วยเครื่อง RVDV-1 Digital Viscometer ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ในการทดสอบกำหนดความเร็วในการหมุนปั่นตัวอย่างที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที ซึ่งคิดเป็นอัตราเฉือนที่ 21.4 วินาที^{-1}

โดยได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อนและตัวอย่างสารละลายที่มีการปนเปื้อนดินทราย สำหรับตัวอย่างสารละลายโพลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนใช้ตัวอย่างสารละลายโพลิเมอร์ที่มีความเข้มข้น 0.06% โดยน้ำหนักน้ำ และสำหรับตัวอย่างสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทราย กำหนดให้ใช้ตัวอย่างที่มีการปนเปื้อนดินทราย 2.5% โดยน้ำหนักน้ำ สำหรับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.1.2



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบ RVDV-1 Digital Viscometer

3.2.2 การทดสอบค่าความหนืดของสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวด้วยเครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ในการทดสอบกำหนดความเร็วในการหมุนปั่นหรืออัตราเฉือนที่กระทำกับสารละลายดังแสดงในตารางที่ 3.1 สำหรับการเตรียมตัวอย่างสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ในการทดสอบหาค่าความหนืดด้วยเครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.1.3

ตารางที่ 3.1 ความเร็วในการหมุนปั่นหรืออัตราเฉือนที่ใช้ในการทดสอบค่าความหนืด ด้วยเครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer

| ความเร็วในการหมุนปั่น (รอบต่อนาที) | อัตราเฉือน (วินาที ⁻¹) |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 1.70 |
| 2 | 3.40 |
| 3 | 5.11 |
| 6 | 10.21 |
| 10 | 17.02 |
| 20 | 34.05 |
| 30 | 51.07 |
| 60 | 102.14 |
| 100 | 170.23 |
| 200 | 340.46 |
| 300 | 510.69 |
| 600 | 1021.38 |



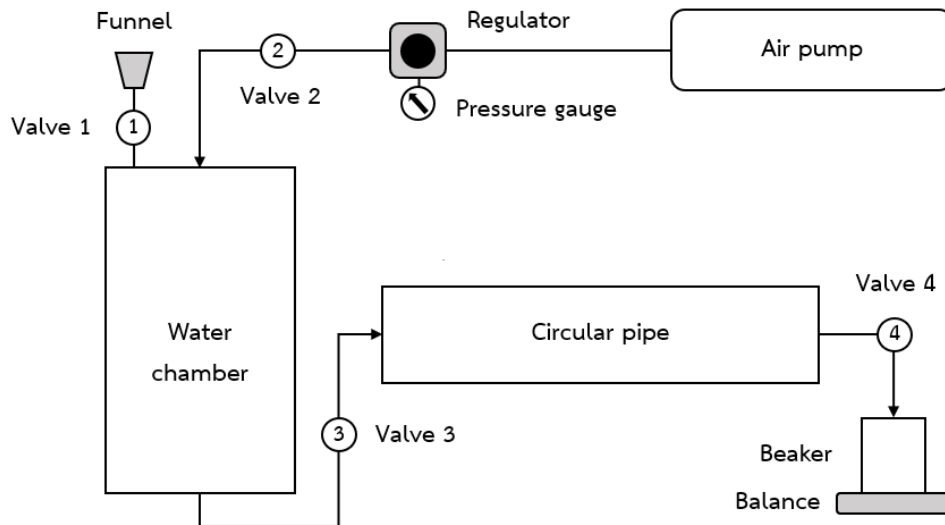
รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer

3.3 การทดสอบอัตราการไหลของสารละลายของสารละลายในตัวอย่างดินทราย

3.3.1 อุปกรณ์ทดสอบอัตราการไหลของสารละลายในตัวอย่างดินทราย

อุปกรณ์สำหรับการทดสอบอัตราการไหลในแนวราบของสารละลายในตัวอย่างดินทราย แสดงดังรูปที่ 3.9 มีส่วนประกอบดังนี้

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



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์ในการทดสอบอัตราการไหล

3.3.2 การควบคุมความหนาแน่นของดินทรายตัวอย่าง

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

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

$$\rho_{sat} = \frac{(G_s + e)\rho_w}{1 + e} \quad (2)$$

โดย ρ_{sat} = ค่าความหนาแน่นของดินกรณีดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

G_s = ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

e = ค่าอัตราส่วนช่องว่างของดิน

ρ_w = ค่าความหนาแน่นของน้ำ

m_w = มวลน้ำ

m_s = มวลดิน

V_w = ปริมาตรน้ำ

V_s = ปริมาตรดิน

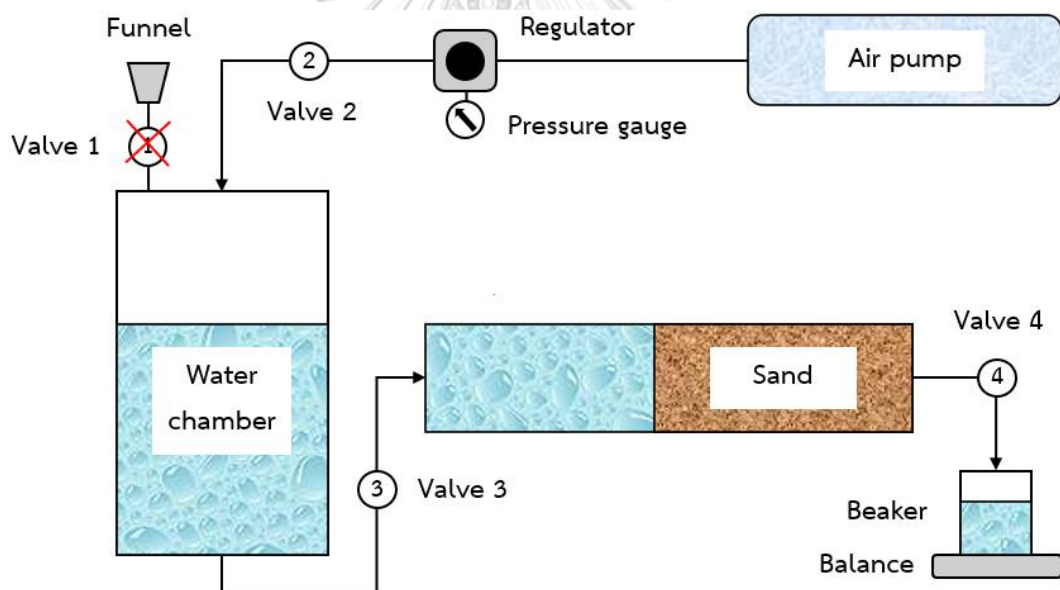
จากการกำหนดให้ความยาวของดินทรายตัวอย่างแบบอิมิตัวด้วยน้ำในภายในท่อทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ 20 ซม. หรือคิดเป็นปริมาตร 1634.26 ลบ.ซม. ดังนั้นจะต้องเตรียมปริมาณตัวอย่างดินทรายก่อนทำการบรรจุเพื่อบดอัดภายในท่อทรงกระบอก โดยกำหนดให้มวลของดินทรายมีค่าเท่ากับ 2657.33 กรัม และมวลของน้ำมีค่าเท่ากับ 611.19 กรัม เพื่อให้สามารถทำการบดอัดจนได้ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างดินทรายแบบอิมิตัวด้วยน้ำเท่ากับ 2 กรัม/ลบ.ซม. ตามที่กำหนดไว้

3.3.3 ขั้นตอนการเตรียมดินทรายตัวอย่างภายในท่อทรงกระบอก

1. นำดินทรายตัวอย่างปริมาณ 2657.33 กรัม และน้ำปริมาณ 611.19 กรัม บรรจุลงในท่อทรงกระบอก และทำการบดอัดโดยใช้แม่แรงดันอุปกรณ์บดอัดดินจนได้ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2 กรัม/ลบ.ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3.10
2. ปิดปลายของท่อทรงกระบอก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหล
3. ติดตั้งสายลมทนแรงดัน โดยมีวาล์วเบอร์ 2 สำหรับควบคุมการเปิด-ปิด เป็นทางน้ำไหลจากกระบอกใส่น้ำเข้าสู่ท่อทรงกระบอก
4. ติดตั้งสายลมทนแรงดัน โดยมีวาล์วเบอร์ 4 สำหรับควบคุมการเปิด-ปิด เป็นทางน้ำไหลออกจากท่อทรงกระบอกเพื่อทำการตรวจวัดอัตราการไหล
5. ต่อบีมลมเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมแรงดันและติดตั้งมาตรวัดแรงดัน
6. ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมแรงดันด้วยสายลมทนแรงดันเข้าสู่ด้านบนของกระบอกใส่น้ำ มีวาล์วเบอร์ 2 สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดแรงดัน
7. เติมน้ำเข้ากระบอกใส่น้ำ แล้วเปิดวาล์วเบอร์ 2 เพื่อส่งแรงดันเข้าสู่กระบอกใส่น้ำ โดยกำหนดให้มีแรงดันเท่ากับ 150 กิโลปาสคาล เพื่อจำลองให้สารละลายมีค่าแรงดันใกล้เคียงกับสภาพหน้างานจริง เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินของกรุงเทพฯ อยู่ที่ระดับความลึกเฉลี่ยประมาณ 15 เมตรจากผิวดิน และจากขั้นตอนการก่อสร้างที่มีการควบคุมให้ระดับของสารละลายอยู่ที่ระดับผิวดินตลอดกระบวนการชุดเจาะเสาเข็ม ดังนั้นผลต่างของแรงดันระหว่างสารละลายและน้ำใต้ดินของกรุงเทพฯ จึงอยู่ที่ประมาณ 150 กิโลปาสคาล
8. เปิดวาล์วเบอร์ 3 และวาล์วเบอร์ 4 ตามลำดับ ให้แรงดันน้ำไหลเข้าสู่ท่อทรงกระบอกผ่านดินทรายตัวอย่างภายในท่อเพื่อไล่ฟองอากาศ จากนั้นทำการจัดวางท่อทรงกระบอกให้อยู่ในแนวราบดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 บดอัดดินภายในท่อทรงกระบอก

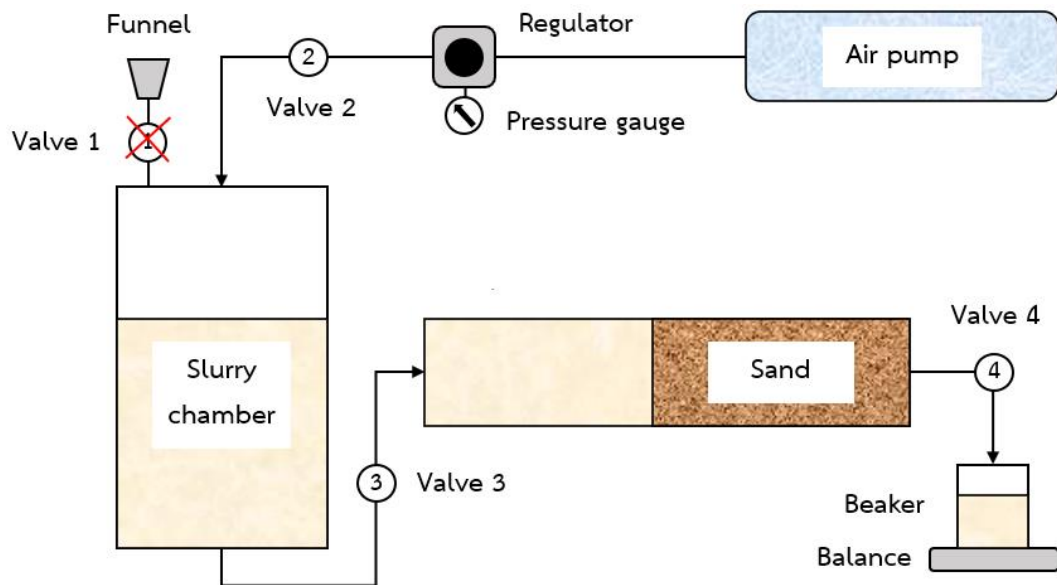


รูปที่ 3.11 ให้แรงดันน้ำไหลผ่านดินทรายตัวอย่างภายในท่อทรงกระบอกเพื่อไล่ฟองอากาศ

3.3.4 ขั้นตอนการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายในตัวอย่างดินทราย

1. หลังจากตัวอย่างดินทรายอิ่มตัวด้วยน้ำ ให้ทำการปิดวาล์วเบอร์ 4 วาล์วเบอร์ 3 และวาล์วเบอร์ 2 ตามลำดับ
2. จากนั้นเติมสารละลายเข้าไปแทนที่ในกระบอกใส่น้ำ โดยสารละลายที่ทำการทดสอบคือสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

3. วางถ้วยแก้วลงบนเครื่องชั่งน้ำหนัก ให้ถ้วยแก้วรองรับสารละลายที่ไหลออกจากท่อทรงกระบอก
4. เปิดวาล์วเบอร์ 2 เพื่อส่งแรงดันเข้าสู่กระบอกใส่สารละลาย เปิดวาล์วเบอร์ 3 และวาล์วเบอร์ 4 ตามลำดับ ให้แรงดันสารละลายไหลเข้าสู่ท่อทรงกระบอกผ่านดินทรายตัวอย่าง และไหลออกจากท่อทรงกระบอกลงสู่ถ้วยแก้ว ดังรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13
5. จดบันทึกน้ำหนักของสารละลายในถ้วยแก้วที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 3.12 การทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย



รูปที่ 3.13 การทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย

บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน

4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของฝุ่นดินเหนียว

ผลการทดสอบ Atterberg's Limit ตามมาตรฐาน ASTM D 4318 และ ASTM D 427 และผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของดินตามมาตรฐาน ASTM D 854 แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของฝุ่นดินเหนียว

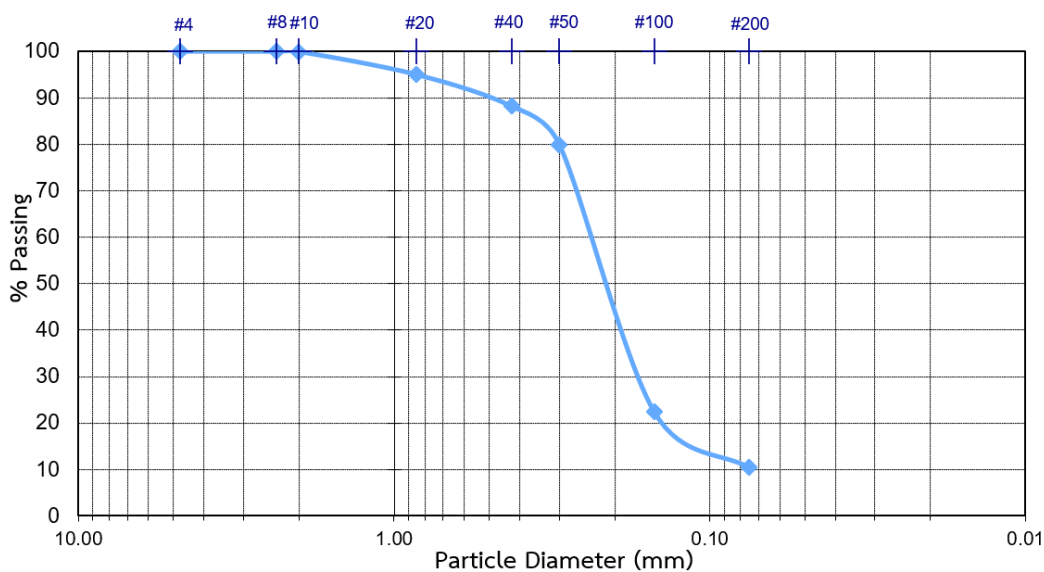
| | |
|------------------------------|---------|
| Natural water content, W_n | 86.99% |
| Liquid limit, LL | 94.77% |
| Plastic limit, PL | 39.20% |
| Shrinkage limit, SL | 15.40 % |
| Plasticity index, PI | 55.57% |
| Liquidity index, LI | 86.00 % |
| Specific Gravity, G_s | 2.79 |

4.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของดินทราย

ตัวอย่างดินทรายที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างดังอธิบายในหัวข้อ 3.1.2 แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจากผลการทดสอบ Sieve Analysis ตามมาตรฐาน ASTM D 2487-69 สามารถแสดงเส้นโค้งการกระจายตัวได้ดังรูปที่ 4.2 เมื่อทำการจัดประเภทของดินตามมาตรฐาน USCS สรุปได้ว่าเป็นดินประเภท SP-SM หรือ Poorly graded sands with silt ซึ่งมีค่า C_u เท่ากับ 3.20 ค่า C_c เท่ากับ 1.80 และค่า $PI < 4$ และจากผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ASTM D 854 ได้ค่า G_s เท่ากับ 2.60



รูปที่ 4.1 ลักษณะของดินทรายตัวอย่าง



รูปที่ 4.2 เส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายตัวอย่าง

4.1.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลาย

จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และความเป็นกรด-เบส ของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีค่าความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยอุปกรณ์ทดสอบ Mud balance อุปกรณ์ทดสอบ Marsh funnel และอุปกรณ์ทดสอบ Electric pH meter ตามลำดับ ตามมาตรฐาน วสท. 2543-2544 และมาตรฐาน วสท. 2545-2546 สามารถสรุปผลทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายได้ดังต่อไปนี้

- ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายโพลิเมอร์

ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และความเป็นกรด-เบส ของสารละลายโพลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายโพลิเมอร์

| ความเข้มข้นโพลิเมอร์ (กิโลกรัม/ลบ.ม.) | ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.) | ความหนืด (วินาที) | ความเป็น กรด-เบส |
|--|------------------------------|----------------------|------------------|
| 0.0 | 1.000 | 33.77 | 7.42 |
| 0.2 | 1.006 | 34.72 | 8.80 |
| 0.4 | 1.007 | 35.00 | 9.23 |
| 0.6 | 1.008 | 36.50 | 9.45 |
| 0.8 | 1.009 | 43.99 | 9.57 |
| 1.0 | 1.009 | 50.91 | 9.66 |

- ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

ค่าความหนาแน่นของสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามค่าความหนืดและความเป็นกรด-เบสของสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวมีค่าลดลงแปรผกผันกับอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

| ความเข้มข้นโพลีเมอร์ 0.6 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร | | | | |
|--|--------------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------|
| ชนิดการปนเปื้อน | อัตราการปนเปื้อน (กิโลกรัม/ลบ.ม.) | ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.) | ความหนืด (วินาที) | ความเป็นกรด-เบส |
| ฝุ่นดินเหนียว | 0 | 1.008 | 36.50 | 9.45 |
| | 5 | 1.011 | 36.27 | 9.43 |
| | 10 | 1.015 | 36.09 | 9.35 |
| | 15 | 1.018 | 35.98 | 9.23 |
| | 20 | 1.021 | 35.88 | 9.10 |
| | 25 | 1.025 | 35.79 | 8.96 |

- ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายปนเปื้อนดินทราย

ค่าความหนาแน่นของสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทรายมีค่าเพิ่มขึ้นและความเป็นกรด-เบสมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับสารละลายโพลีเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อน ส่วนค่าความหนืดของสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากหรืออาจกล่าวได้ว่ามีค่าคงที่เมื่อสารละลายโพลีเมอร์มีการปนเปื้อนดินทราย ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายโพลีเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทราย

| ความเข้มข้นโพลีเมอร์ 0.6 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร | | | | |
|--|--------------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------|
| ชนิดการปนเปื้อน | อัตราการปนเปื้อน (กิโลกรัม/ลบ.ม.) | ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.) | ความหนืด (วินาที) | ความเป็นกรด-เบส |
| ดินทราย | 0 | 1.008 | 36.50 | 9.45 |
| | 25 | 1.028 | 36.51 | 9.34 |

4.2 ผลการทดสอบความหนืดของสารละลาย

4.2.1 ผลการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทราย

จากผลการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทราย ด้วยเครื่องทดสอบ RVDV-1 Digital Viscometer ที่อัตราเฉือน 21.4 วินาที⁻¹ พบว่าสารละลายโพลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าความหนืด 43 มิลลิพาสคาลวินาที และสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทรายมีค่าความหนืด 38 มิลลิพาสคาลวินาที ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการปนเปื้อนดินทรายมีผลต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์น้อยมาก หรือกล่าวได้ว่าตัวอย่างดินทรายกรุงเทพฯ ชั้นที่ 1 ที่ใช้ในการทดสอบไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์

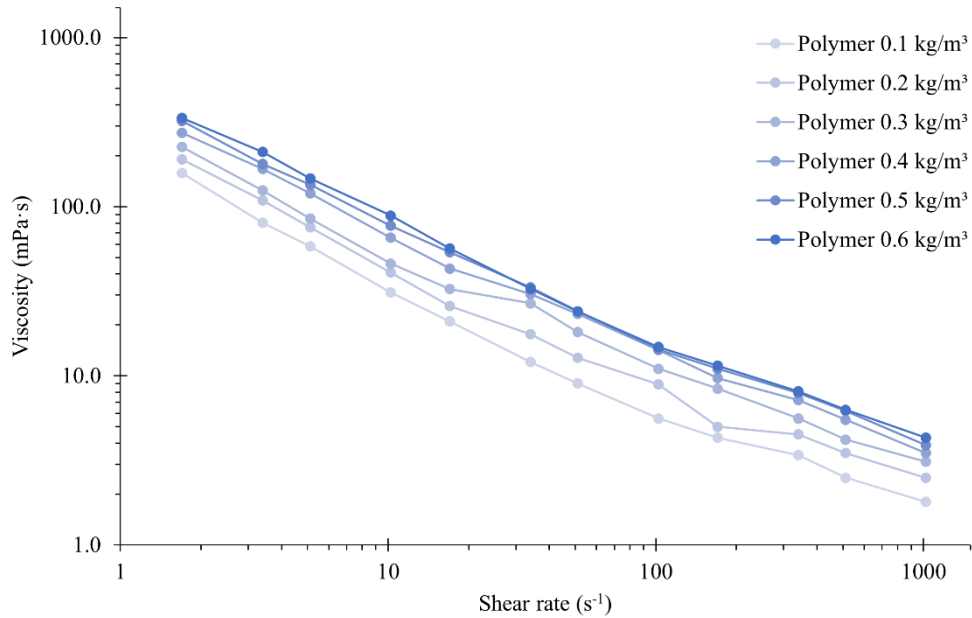
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนดินทราย

| ความเข้มข้นโพลิเมอร์ 0.6 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร | | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| การปนเปื้อน | อัตราการปนเปื้อน (กิโลกรัม/ลบ.ม.) | ความเร็วรอบต่อนาที | อัตราเฉือน (วินาที ⁻¹) | ความหนืด (มิลลิพาสคาลวินาที) |
| ดินทราย | 0 | 100 | 21.4 | 43 |
| | 25 | 100 | 21.4 | 38 |

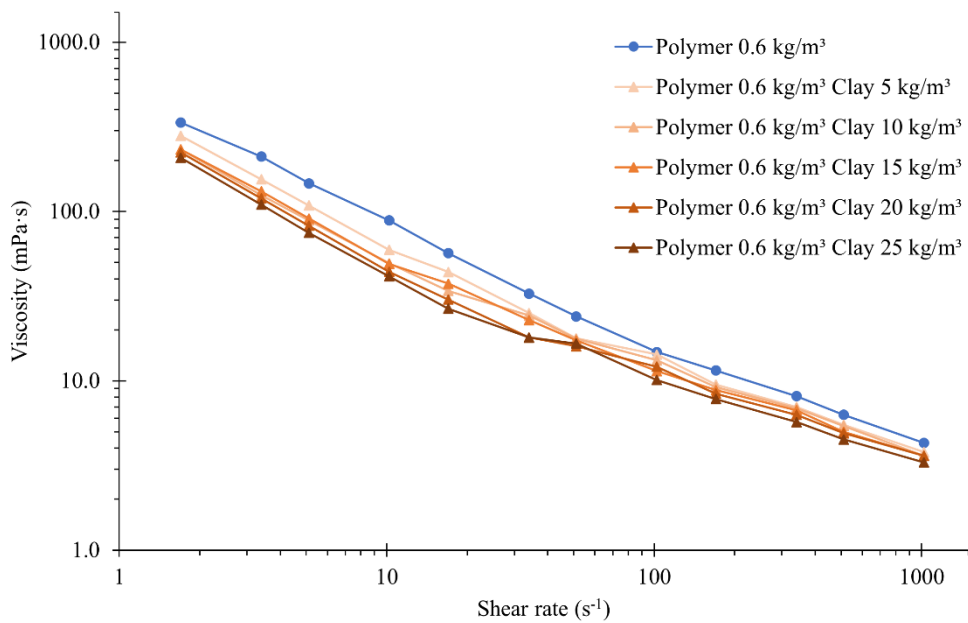
4.2.2 ผลการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

จากการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนและมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ด้วยเครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer ที่ความเร็วรอบในการปั่นหมุนหรือค่าอัตราเฉือนต่าง ๆ พบว่าค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าอัตราเฉือนมีค่าลดลง โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับค่าอัตราเฉือนเป็นแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลความชันติดลบ และค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามค่าความเข้มข้นของสารละลายที่มีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับทุกค่าอัตราเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Lam et al., 2015)

สำหรับสารละลายที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว พบว่าค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าอัตราเฉือนมีค่าลดลง โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับค่าอัตราเฉือนเป็นแบบฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลความชันติดลบ และค่าความหนืดของสารละลายมีค่าลดลงแปรผกผันกับอัตราการปนเปื้อนที่มีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับทุกค่าอัตราเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละความเข้มข้น ที่ค่าอัตราเฉือนต่างๆ

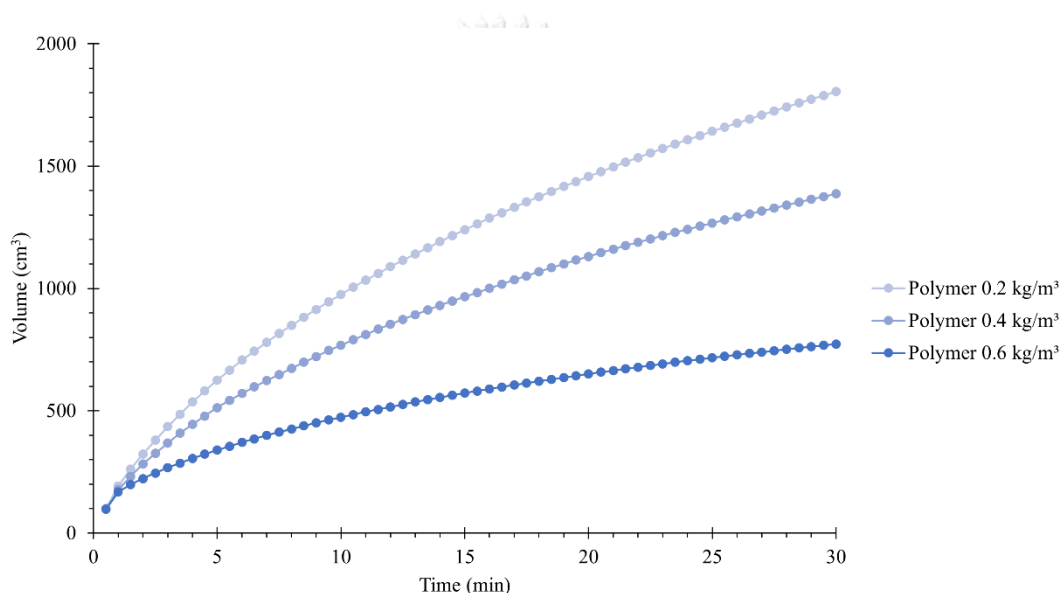


รูปที่ 4.4 ค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ที่ค่าอัตราเฉือนต่าง ๆ

4.3 ผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย

4.3.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละค่าความเข้มข้น

พบว่าในระยะเวลาทดสอบ 30 นาที ปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 โดยสารละลายโพลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 0.2 กก./ลบ.ม. 0.4 กก./ลบ.ม. และ 0.6 กก./ลบ.ม. มีปริมาณสารละลายไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายเท่ากับ 1,804.8 ลบ.ซม. 1,386.7 ลบ.ซม. และ 772.5 ลบ.ซม. ตามลำดับ

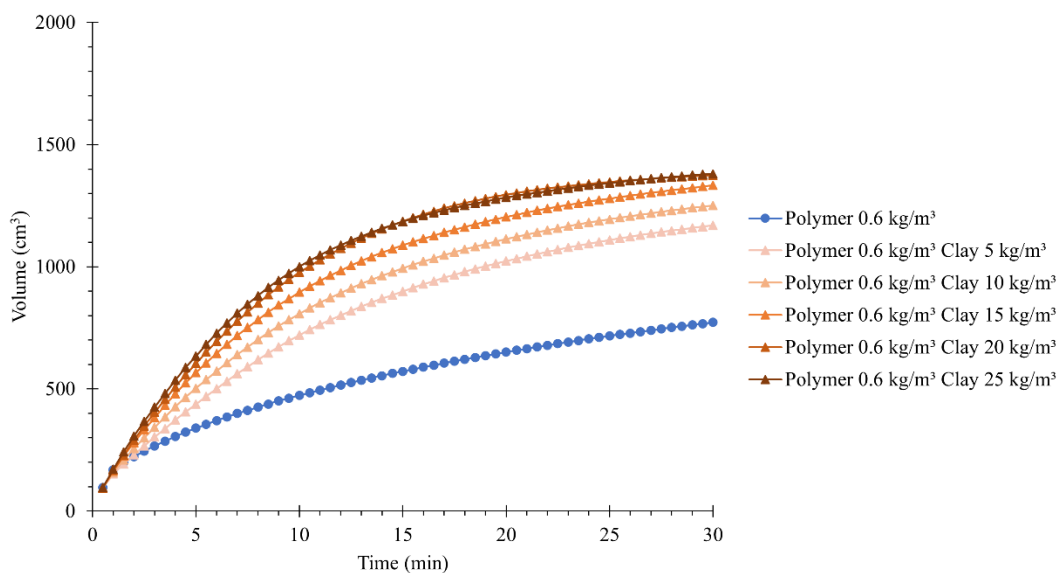


รูปที่ 4.5 ปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละความเข้มข้น
ที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายในแต่ละระยะเวลา

4.3.2 ผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

พบว่าในระยะเวลาทดสอบ 30 นาที ปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยสารละลายโพลิเมอร์ที่อัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 0 กก./ลบ.ม. 5 กก./ลบ.ม. 10 กก./ลบ.ม. 15 กก./ลบ.ม. 20 กก./ลบ.ม. และ 25 กก./ลบ.ม. มีปริมาณสารละลายไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายเท่ากับ 1,169.0 ลบ.ซม. 1,251.1 ลบ.ซม. 1,333.2 ลบ.ซม. 1,374.4 ลบ.ซม. และ 1,380.7 ลบ.ซม. ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณของสารละลายที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่ไหลเข้าไปในชั้นทรายตัวอย่างกับสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อน พบว่าในระยะเวลา 30 นาที สารละลายโพลิเมอร์

ความเข้มข้น 0.6 กก./ลบ.ม. ที่มีปริมาณการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 5 กก./ลบ.ม. 10 กก./ลบ.ม. 15 กก./ลบ.ม. 20 กก./ลบ.ม. และ 25 กก./ลบ.ม. ใช้ปริมาณสารละลายในระหว่างทดสอบมากกว่ากรณีที่ไม่มีการปนเปื้อนเท่ากับ 51.33% 61.95% 72.58% 77.92% และ 78.73% ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 ปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว
ที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายในแต่ละระยะเวลา



บทที่ 5

อภิปรายผลการศึกษา

5.1 ผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์

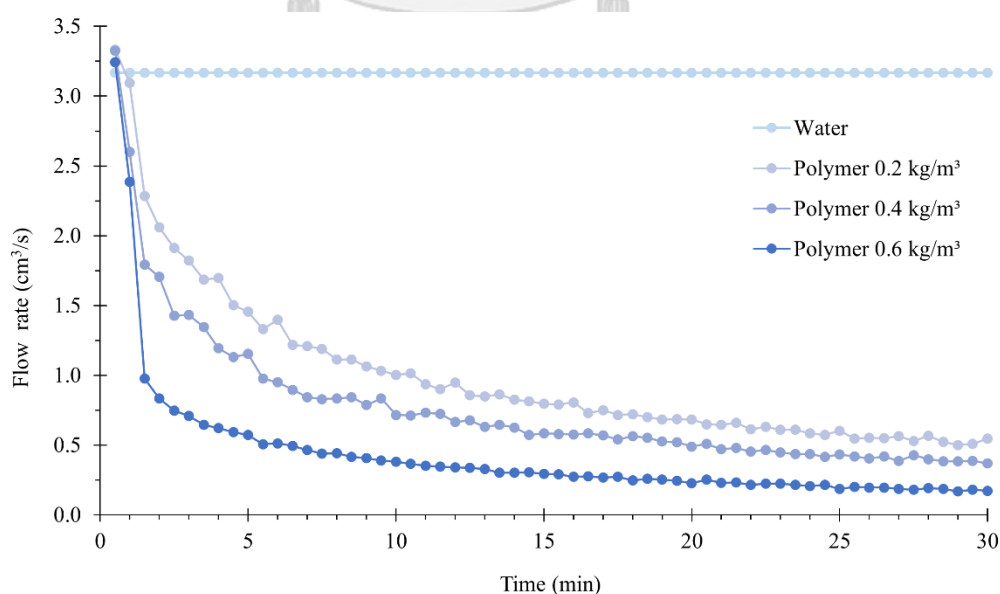
จากผลการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ด้วยอุปกรณ์ทดสอบ Marsh funnel พบว่าค่าความหนืดของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นตามแปรผันตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 อย่างไรก็ตามการวัดค่าความหนืดด้วยอุปกรณ์ Marsh funnel ใช้วิธีการตรวจวัดระยะเวลาที่สารละลายปริมาณ 1 ลิตร ไหลผ่านกรวยทดสอบ ซึ่งไม่สามารถควบคุมอัตราเฉือนระหว่างการทดสอบได้ ดังนั้นเพื่อทำการศึกษาคูณสมบัติด้านความหนืดของสารละลาย จึงทำการทดสอบเพิ่มเติมด้วยเครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer ที่สามารถควบคุมอัตราเฉือนระหว่างการทดสอบได้ จากผลการทดสอบพบว่าสารละลายโพลิเมอร์ชนิด PHPA เป็นของไหลชนิด Pseudoplastic กล่าวคือ ค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์มีค่าไม่คงที่ ณ อุณหภูมิคงที่ ขึ้นอยู่กับอัตราเฉือนของสารละลาย โดยค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์มีค่าลดลงเมื่ออัตราเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และเมื่อพิจารณาผลกระทบของความเข้มข้นต่อค่าความหนืดของสารละลาย พบว่าค่าความหนืดของสารละลายแปรผันตามความเข้มข้นของสารละลายที่ทุกอัตราเฉือน โดยค่าความหนืดของสารละลายมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น

5.2 ผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์

เช่นเดียวกับการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ เพื่อทำการศึกษาคูณสมบัติด้านความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว จึงทำการทดสอบค่าความหนืดด้วยเครื่องทดสอบ OFITE Model 900 Viscometer จากผลการทดสอบพบว่าสารละลายโพลิเมอร์ชนิด PHPA ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ยังคงมีพฤติกรรมด้านความหนืดเหมือนของไหลชนิด Pseudoplastic ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และเมื่อพิจารณาผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ พบว่าค่าความหนืดของสารละลายมีค่าลดลงเมื่ออัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามผลกระทบดังกล่าวเริ่มมีอิทธิพลลดน้อยลงเมื่ออัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวมีค่ามากกว่า 2% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความหนืดของสารละลายที่มีอัตราการปนเปื้อน 2% และ 2.5% มีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกอัตราเฉือน

5.3 ผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ในชั้นทราย

จากผลการตรวจวัดปริมาณการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ไหลผ่านชั้นทรายในแต่ละช่วงเวลาดังแสดงในรูปที่ 4.5 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความชันของกราฟที่แต่ละช่วงเวลาจะสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของโพลิเมอร์ที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ที่ไหลผ่านชั้นทรายในแต่ละช่วงเวลาได้ดังแสดงในรูปที่ 5.1 จากกราฟพบว่าในช่วงเริ่มต้นอัตราการไหลที่ตรวจวัดได้ที่ปลายของท่อทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ 3.17 ลบ.ซม./วินาที ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราการไหลของน้ำในชั้นทรายตัวอย่าง เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นของการทดสอบสารละลายโพลิเมอร์ที่ปล่อยเข้าไปในชั้นทรายยังไหลไปไม่ถึงปลายของท่อทรงกระบอกทำให้อัตราการไหลในช่วงเริ่มต้นยังคงมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการไหลของน้ำในชั้นทรายตัวอย่าง จากนั้นอัตราการไหลเริ่มมีค่าลดลงเนื่องจากสารละลายโพลิเมอร์ที่ไหลมาถึงปลายท่อทรงกระบอกมีค่าความหนืดต่ำกว่าค่าความหนืดของน้ำ เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1.5 นาที พบว่าอัตราการไหลที่ตรวจวัดได้ที่ปลายของท่อทรงกระบอกมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากสารละลายโพลิเมอร์เริ่มทำการสร้างเจลมาอุดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายที่ผิวของชั้นทรายที่ด้านหน้าของท่อทรงกระบอกทำให้สารละลายเริ่มไหลผ่านชั้นทรายเข้าไปได้ลดลง ดังนั้นจึงทำให้อัตราการไหลมีค่าลดลงตามไปด้วย และเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการไหลดังกล่าวยังคงลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เพราะสารละลายโพลิเมอร์ทำการสร้างเจลมาอุดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายเพิ่มขึ้น



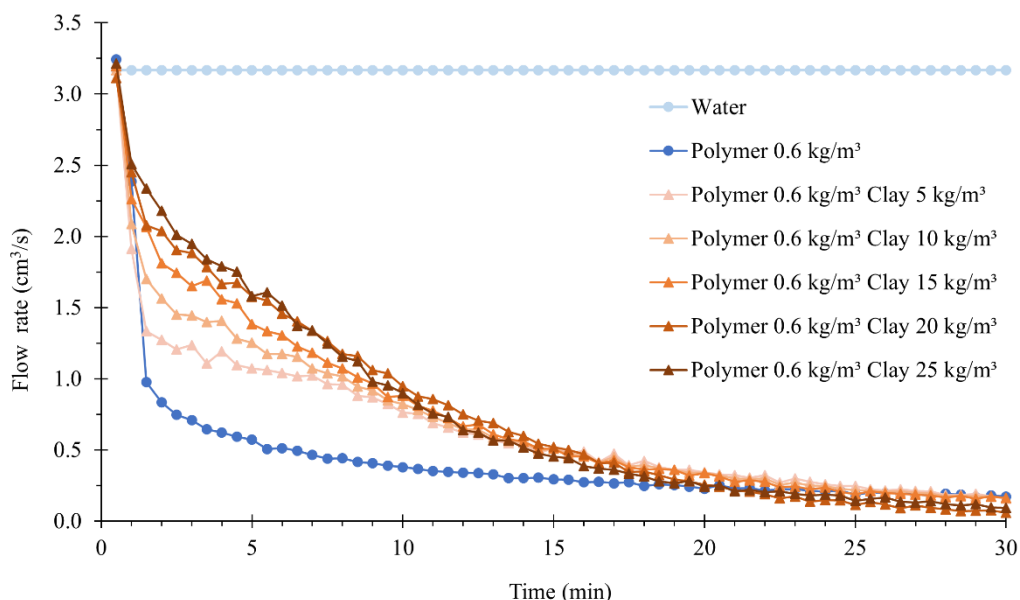
รูปที่ 5.1 ผลกระทบของความเข้มข้นต่ออัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ผ่านชั้นทรายตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

เมื่อทำการพิจารณาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ต่ออัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ในชั้นทราย พบว่าสารละลายที่มีค่าความเข้มข้นมากกว่ามีอัตราการไหลต่ำกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 5.1 เนื่องจากสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่ามีค่าความหนืดสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อย โดยที่ระยะเวลาทดสอบ 1.5 นาที อัตราการไหลของสารละลายความเข้มข้น 0.2 กก./ลบ.ม. 0.4 กก./ลบ.ม. และ 0.6 กก./ลบ.ม. มีค่าเท่ากับ 2.28 ลบ.ซม./วินาที 1.79 ลบ.ซม./วินาที และ 0.98 ลบ.ซม./วินาที ตามลำดับ นอกจากนี้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าสามารถสร้างเจลโพลิเมอร์มาอุดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายได้มากกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อย โดยที่ระยะเวลา 30 นาที สามารถวัดค่าอัตราการไหลของสารละลายความเข้มข้น 0.2 กก./ลบ.ม. 0.4 กก./ลบ.ม. และ 0.6 กก./ลบ.ม. ได้เท่ากับ 0.55 ลบ.ซม./วินาที 0.37 ลบ.ซม./วินาที และ 0.17 ลบ.ซม./วินาที ตามลำดับ

5.4 ผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ในชั้นทราย

จากผลการตรวจวัดปริมาณการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ที่อัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่าง ๆ ที่ไหลผ่านชั้นทรายในแต่ละช่วงเวลาดังแสดงในรูปที่ 4.6 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความชันของกราฟที่แต่ละช่วงเวลาจะสามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของโพลิเมอร์ที่อัตราการปนเปื้อนต่าง ๆ ที่ไหลผ่านชั้นทรายในแต่ละช่วงเวลาได้ดังแสดงในรูปที่ 5.2 จากกราฟพบว่าในช่วงเริ่มต้นอัตราการไหลของสารละลายที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวยังคงมีค่าใกล้เคียงกันกับอัตราการไหลของน้ำในชั้นทรายตัวอย่าง จากนั้นอัตราการไหลเริ่มมีค่าลดลง เนื่องจากสารละลายที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวเริ่มไหลเข้าไปแทนที่น้ำภายในช่องว่างของดินทรายตัวอย่าง โดยที่ระยะเวลา 1.5 นาที วัดค่าอัตราการไหลของสารละลายที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 0 กก./ลบ.ม. 5 กก./ลบ.ม. 10 กก./ลบ.ม. 15 กก./ลบ.ม. 20 กก./ลบ.ม. และ 25 กก./ลบ.ม. ได้เท่ากับ 0.98 ลบ.ซม./วินาที 1.33 ลบ.ซม./วินาที 1.70 ลบ.ซม./วินาที 2.07 ลบ.ซม./วินาที 2.08 ลบ.ซม./วินาที และ 2.34 ลบ.ซม./วินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสารละลายที่มีอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวสูงกว่ามีอัตราการไหลมากกว่าสารละลายที่มีอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่ำกว่า เนื่องจากสารละลายที่มีอัตราการปนเปื้อนสูงกว่ามีค่าความหนืดน้อยกว่าสารละลายที่มีการปนเปื้อนต่ำกว่า จากนั้นอัตราการไหลของสารละลายที่อัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่าง ๆ มีค่าลดลงตามระยะเวลาการทดสอบที่มากขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ซึ่งที่ระยะเวลา 30 นาที สารละลายที่อัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่าง ๆ มีค่าอัตราการไหลประมาณ 0.16 ลบ.ซม./วินาที สาเหตุที่ตัวอย่างสารละลายที่มีอัตราการปนเปื้อน

ฝุ่นดินเหนียวแตกต่างกันมีค่าอัตราการไหลใกล้เคียงกันเมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากในการทดสอบนี้ สารละลายทุกตัวอย่างมีค่าความเข้มข้นของโพลิเมอร์เท่ากัน ดังนั้นสารละลายแต่ละตัวอย่างจึงมีความสามารถในการสร้างเจลโพลิเมอร์เพื่อมาอุดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.2 ผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่ออัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ผ่านชั้นทรายตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

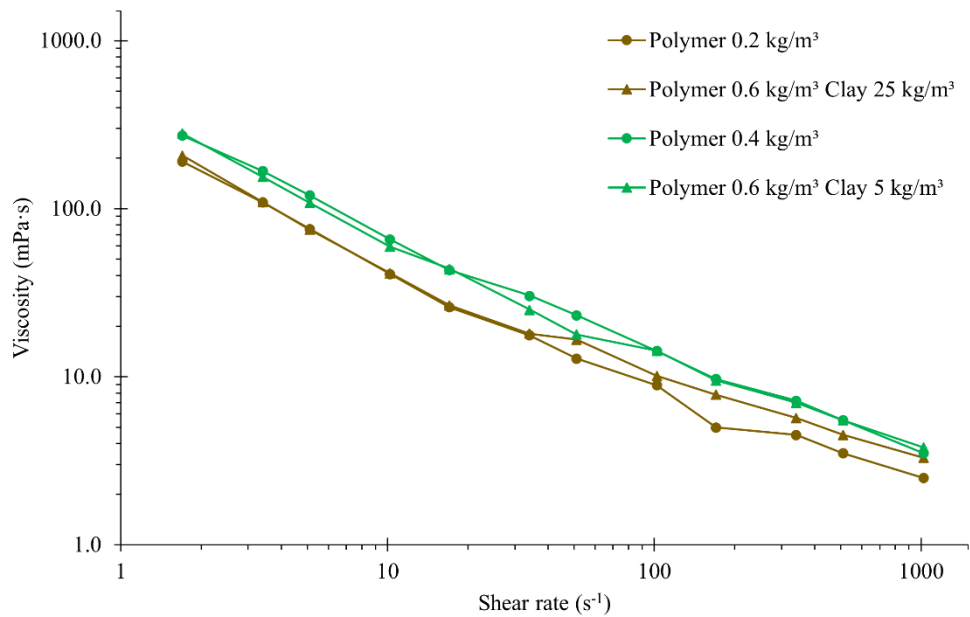
นอกจากนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวในปริมาณต่าง ๆ ที่แต่ละระยะเวลา พบว่าเมื่ออัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวมีค่ามากกว่า 2% อิทธิพลของการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่ออัตราการไหลของสารละลายเริ่มมีค่าลดลง โดยจะเห็นได้ว่าอัตราการไหลของสารละลายที่มีอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 2% ที่ระยะเวลาต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันกับสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 2.5% ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าความหนืดของสารละลายที่อัตราการปนเปื้อนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

5.5 ผลกระทบของความเข้มข้นและอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ในชั้นทราย

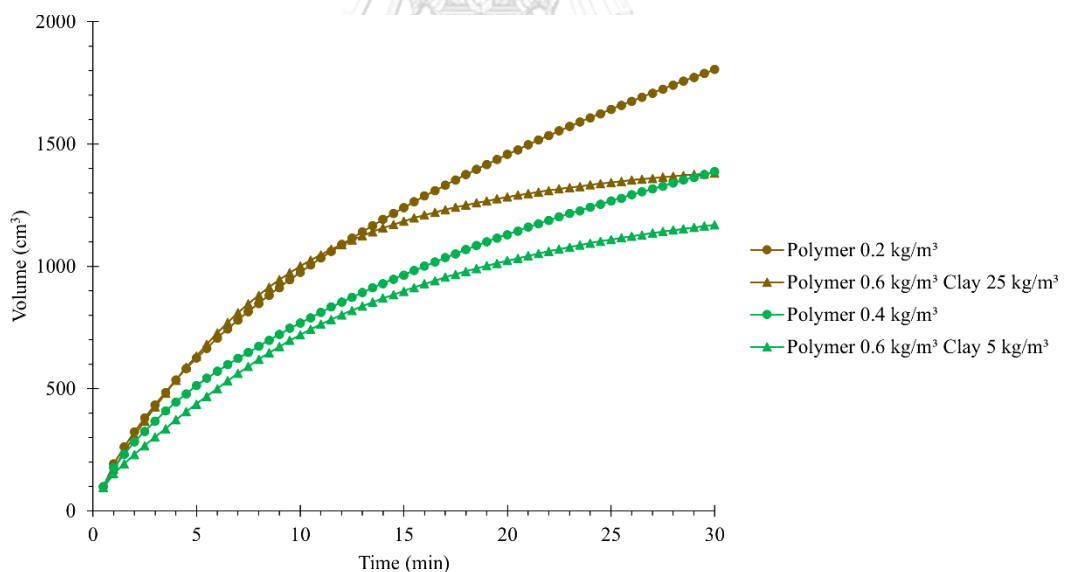
จากข้อสรุปข้างต้น พบว่าทั้งความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์และอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ในชั้นทราย โดยสารละลายโพลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นมากจะมีอัตราการไหลของสารละลายในชั้นทรายต่ำและสารละลายโพลิเมอร์ที่มีอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวมากจะมีอัตราการไหลของสารละลายในชั้นทรายสูง นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งความเข้มข้นของสารละลายและอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวส่งผลกระทบ

ต่อค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์ โดยสารละลายโพลีเมอร์ที่มีความเข้มข้นมากจะมีค่าความหนืดสูงและสารละลายโพลีเมอร์ที่มีอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวมากจะมีค่าความหนืดต่ำ โดยทั่วไปหากพิจารณาผลกระทบของค่าความหนืดต่ออัตราการไหลของของเหลวสามารถกล่าวได้ว่าของเหลวที่มีค่าความหนืดน้อยจะมีอัตราการไหลสูง อย่างไรก็ตามหากทำการวิเคราะห์อัตราการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในชั้นทรายจะพบว่าไม่สามารถใช้เพียงค่าความหนืดเพียงอย่างเดียวในการอธิบายพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในชั้นทรายได้ โดยจะต้องทำการพิจารณาผลกระทบของค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์ด้วย

รูปที่ 5.3 แสดงค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์ที่อัตราเฉือนต่างๆ ของสารละลายโพลีเมอร์ความเข้มข้น 0.2 กก./ลบ.ม. และ 0.4 กก./ลบ.ม. ที่ไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว และสารละลายโพลีเมอร์ความเข้มข้น 0.6 กก./ลบ.ม.ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่อัตราการปนเปื้อน 5 กก./ลบ.ม. และ 25 กก./ลบ.ม. จากรูปที่ 5.3 พบว่าในช่วงอัตราเฉือนประมาณ 1.70 วินาที^{-1} ถึง $170.23 \text{ วินาที}^{-1}$ ซึ่งเป็นอัตราเฉือนที่สัมพันธ์กับการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในชั้นทรายนั้น สารละลายโพลีเมอร์ความเข้มข้น 0.2 กก./ลบ.ม.ที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับสารละลายโพลีเมอร์ความเข้มข้น 0.6 กก./ลบ.ม.ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่อัตราการปนเปื้อน 25 กก./ลบ.ม. (กลุ่มเส้นสีน้ำตาล) และสารละลายโพลีเมอร์ความเข้มข้น 0.4 กก./ลบ.ม.ที่ไม่มีการปนเปื้อนมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับสารละลายโพลีเมอร์ความเข้มข้น 0.6 กก./ลบ.ม.ที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่อัตราการปนเปื้อน 5 กก./ลบ.ม. (กลุ่มเส้นสีเขียว) จากการเปรียบเทียบค่าความหนืดของสารละลายที่มีค่าใกล้เคียงกันในช่วงอัตราเฉือนดังกล่าว พบว่าอัตราการไหลของสารละลายที่มีการปนเปื้อนและไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวในตัวอย่างแต่ละกลุ่มมีปริมาณการไหลของสารละลายผ่านชั้นทรายเป็นตัวอย่างใกล้เคียงกันในช่วงแรกของการทดสอบ และเริ่มมีปริมาณการไหลแตกต่างกันมากขึ้นในช่วงหลังของการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 ค่าความหนืดของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนและไม่มี การปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่อัตราเฉือนต่าง ๆ



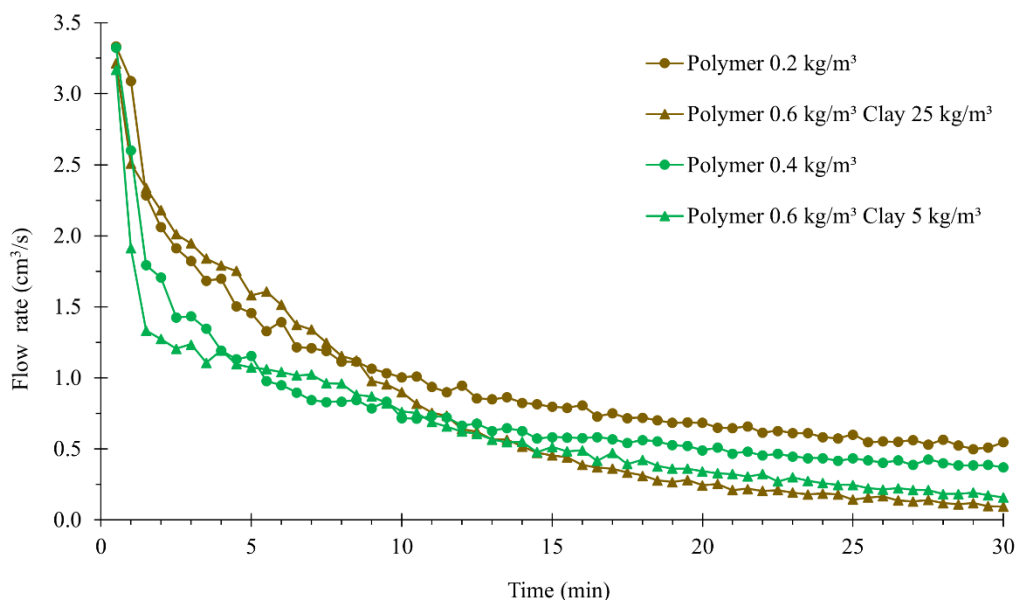
รูปที่ 5.4 ปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนและไม่มี การปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่ไหลผ่านชั้นทรายตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในช่วงแรกของการทดสอบที่สารละลายโพลิเมอร์ยังไม่สามารถสร้างเจลเพื่ออุดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายได้เพียงพอ ค่าความหนืดจะเป็นตัวแปรหลักในการกำหนดปริมาณการไหลของสารละลายผ่านชั้นทรายตัวอย่างไม่ว่าสารละลายนั้นจะมีปริมาณความเข้มข้นหรืออัตรา

การปนเปื้อนเท่าไรก็ตาม โดยกลุ่มตัวอย่างสีน้ำตาลมีปริมาณการไหลมากกว่ากลุ่มตัวอย่างสีเขียว เนื่องจากมีค่าความหนืดต่ำกว่า และตัวอย่างสารละลายในแต่ละกลุ่มมีค่าปริมาณการไหลใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีค่าความหนืดใกล้เคียงกัน ถึงแม้จะมีค่าความเข้มข้นและอัตราการปนเปื้อนแตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามในช่วงหลังของการทดสอบพบว่าความเข้มข้นของสารละลายเป็นตัวแปรหลักในการควบคุมปริมาณการไหลของสารละลายผ่านชั้นทรายตัวอย่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า (ในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง) จะมีปริมาณการไหลน้อยกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า เนื่องจากสารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่ามีประสิทธิภาพในการสร้างเจลโพลิเมอร์เพื่อมาอุดช่องว่างระหว่างเม็ดทรายได้ดีกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าถึงแม้ว่าจะมีอัตราการปนเปื้อนสูงกวาก็ตาม

นอกจากนั้นหากทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลในแต่ละช่วงเวลาของตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 5.5 สามารถสรุปได้ว่าในช่วงแรกของการทดสอบค่าความหนืดเป็นตัวแปรหลักในการกำหนดค่าอัตราการไหลของสารละลายในชั้นทรายเช่นเดียวกับผลสรุปปริมาณการไหลของสารละลายในชั้นทรายตัวอย่าง และจะพบว่าในช่วงหลังของการทดสอบที่โพลิเมอร์เจลเริ่มทำการอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดินได้ ความเข้มข้นจะเป็นตัวแปรหลักในการควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ในชั้นทราย โดยจะเห็นได้ว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกวามีค่าอัตราการไหลต่ำกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า



รูปที่ 5.5 อัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการปนเปื้อนและไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่ไหลผ่านชั้นทรายตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลีเมอร์พีเอชพีเอในตัวอย่างดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ โดยพิจารณาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์พีเอชพีเอและอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อค่าความหนืดของสารละลาย ปริมาณการไหลและอัตราการไหลของสารละลายในตัวอย่างดินทราย ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์แปรผันตามค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์
- ค่าความหนืดของสารละลายโพลีเมอร์แปรผกผันกับอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวในสารละลายโพลีเมอร์
- ปริมาณการไหลของสารละลายโพลีเมอร์เข้าไปในตัวอย่างดินทรายมีค่าแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์
- ปริมาณการไหลของสารละลายโพลีเมอร์เข้าไปในตัวอย่างดินทรายมีค่าแปรผันตามอัตราการปนเปื้อนของฝุ่นดินเหนียวในสารละลายโพลีเมอร์
- ทั้งค่าความหนืดและค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลีเมอร์ส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลของสารละลายโพลีเมอร์ในชั้นทราย โดยในช่วงแรกของการทดสอบ อัตราการไหลของสารละลายโพลีเมอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความหนืดของสารละลาย หากสารละลายมีค่าความหนืดน้อยอัตราการไหลของสารละลายก็จะมีค่ามาก เมื่อเวลาผ่านไปสารละลายที่ไหลเข้าไปในชั้นทรายจะเริ่มสร้างโพลีเมอร์เจลมาอุดช่องว่างระหว่างเม็ดทราย ทำให้ลดอัตราการไหลของสารละลายในชั้นทรายได้ ดังนั้นสารละลายที่มีค่าความเข้มข้นของโพลีเมอร์มากจะมีอัตราการไหลลดลงมากกว่าสารละลายที่มีค่าความเข้มข้นน้อย

บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Lam, C., Martin, P. J., & Jefferis, S. A. (2015). Rheological Properties of PHPA Polymer Support Fluids. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(11), 04015021. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0001252](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001252)

Thasnanipan, N., Aye, Z. Z., Submanee Wong, C., & Teparaksa, W. (2002). *Performance of Wet-Process Bored Piles Constructed with Polymer-Based Slurry in Bangkok Subsoil*. 40601(February), 143–157. [https://doi.org/10.1061/40601\(256\)11](https://doi.org/10.1061/40601(256)11)

ณรงค์ ทศนนิพันธ์ เผล็จ รุจิขจรเดช และ พรพจน์ ต้นเส็ง. (2543ข). การใช้โพลิเมอร์ในการก่อสร้างเสาเข็มระบบเจาะเปียกในชั้นดินกรุงเทพฯ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 6*, เพชรบุรี, ประเทศไทย.

ชยานันท์ บุญรักษ. (2544). *พฤติกรรมของสารละลายโพลิเมอร์ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในชั้นดินกรุงเทพฯ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ประเทศไทย.

วุฒิชัย ชื่นศิริ. (2551). *พฤติกรรมเสาเข็มเจาะที่ใช้สารละลายโพลิเมอร์เป็นสารรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะในชั้นดินกรุงเทพฯ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ประเทศไทย.

กฤติน ศันสนะกุล. (2561). *พฤติกรรมการซึมผ่านและผลกระทบของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีผลต่อดินโดยรอบผนังหลุมเจาะเสาเข็ม*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ประเทศไทย.

ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | เบญจพล เบญจวารังกุล |
| วัน เดือน ปี เกิด | 14 กันยายน 2538 |
| สถานที่เกิด | โรงพยาบาลราชดำเนิน |
| วุฒิการศึกษา | ปริญญาตรี |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 40 ถนนตรัง-ปะเหลียน อำเภอย่านตาขาว ตำบลย่านตาขาว จังหวัดตรัง 92140 |



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY