พฤติกรรมการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสในดินทรายกรุงเทพฯ

Permeation Behavior of Nanocellulose Solution in Bangkok Sand

วรรณพงศ์ อินตะนัย[1], วศิษฐ์ คัมภีรปกรณ์[1,] และ วีรยุทธ โกมลวิลาศ[1]

[1] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ*

บทคัดย่อ

การก่อสร้างอาคารสูงในกรุงเทพมหานครจำเป็นต้องใช้ฐานรากระบบเสาเข็มเจาะเปียก ซึ่งจำเป็นต้องมีสารละลายเพื่อรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะในชั้นดินทราย อย่างไรก็ตามสารละลายโพลิเมอร์เมื่อมีการผสมกับคอนกรีตจะทำให้เกิดแก๊สแอมโมเนีย ขึ้นซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบหายใจและผิวหนัง และมีความเป็นเบสสูง นอกจากนั้นสารละลายดังกล่าวเมื่อผิวดินเกิดการปนเปื้อนกับดินจะทำให้ระบบนิเวศบริเวณพื้นที่นั้นเสียหาย

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการใช้สารละลายนาโนเซลลูโลสในการรักษาเสถียรภาพของหลุม เพื่อนำเสนอเป็นทางเลือกใหม่ ตาม SDGs ข้อที่ 15 โดยทำการศึกษาหนึ่งในพฤติกรรมที่สำคัญต่อการรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะคือ พฤติกรรมการไหลของสารละลายผ่านชั้นดินทราย งานวิจัยนี้จึงศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ไหลเข้าไปในชั้นดินทรายที่ความเข้มข้นต่างๆ นอกจากนั้นยังศึกษาผลกระทบของการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่เกิดจากกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ งานวิจัยนี้พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปริมาณการไหลของสารละลายเข้าไปในชั้นดินทรายลดลง และเมื่อมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง

คำสำคัญ: ดินทรายกรุงเทพฯ, ธรณีเทคนิค, เสาเข็มเจาะ, นาโนเซลลูโลส, สารรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะ

Abstract

Wet process bored pile is always used in the construction of high-rise structures in the Bangkok area. A solution or drilling fluid needs to be used during the construction of a wet process bored pile to stabilize the drill hole, especially in the sand layer. For example, Bentonite slurry, Polymer slurry, and Polymer (PHPA) slurry mixed with Polymer. When Polymer slurry is combined with concrete, ammonia gas is created, which is harmful to the skin and respiratory system. Furthermore, because of their high pH, Bentonite and Polymer slurry may negatively affect the ecosystem when combined with soil or water.

According to SDG No.15 “Life on Land”, the alternative drill fluid is a Nanocellulose solution. The behavior of the Nanocellulose solution's flow through the sand layer which is one of the important behaviors for a drilling fluid and the effect of the adulteration of clay dust, crated during construction of wet process bored pile, have been studied on vary concentrations of the Nanocellulose. Results from the research show that Nanocellulose solution when flowing into the sand layer has a gradually decreasing flow rate depends on the concentration of the Nanocellulose solution. Furthermore, the adulteration of clay dust in Nanocellulose solution adversely impacts its overall efficiency.

Keywords: Bangkok Sand, Geotechnical, Bored piles, Nanocellulose, Drilling Fluid

1. บทนำ

ปัจจุบันในการก่อสร้างอาคารสูงในพื้นที่กรุงเทพมหานครจะใช้ฐานรากระบบเสาเข็มเจาะเปียก เนื่องจากความยาวของเสาเข็มนั้นมีความยาวมากกว่า 20 เมตร ซึ่งความหนาของชั้นดินเหนียวในกรุงเทพมหานครจะอยู่ที่ความลึกประมาณ 20 ถึง 25 และในความลึกต่ำกว่าจะเป็นชั้นดินทรายสลับกับชั้นดินเหนียว จึงจำเป็นต้องมีสารละลายเพื่อรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะไม่ให้พังทลายลงในขนาดก่อสร้าง โดยสารละลายรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะมีหลายชนิด เช่น สารละลายเบนโทไนท์ สารละลายโพลิเมอร์ และสารละลายเบนโทไนท์ผสมโพลิเมอร์ เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะมีหน้าที่สร้างชั้น Filter Cake บริเวณผิวของชั้นทรายเพื่อไม่ให้น้ำใต้ดินไหลเข้ามาและรักษาเสถียรภาพของชั้นดิน ปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะใช้เพียงสารละลายโพลิเมอร์ สารละลายโพลิเมอร์เมื่อมีการผสมกับคอนกรีตจะทำให้เกิดแก๊สแอมโมเนียขึ้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบหายใจและผิวหนัง และความเป็นเบสสูงของสารละลายดังกล่าว นอกจากนี้เมื่อเกิดการปนเปื้อนกับดินจะทำให้ระบบนิเวศบริเวณพื้นที่นั้นเสียหาย

ตามเป้าการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) 17 เป้าหมายซึ่งเป็นกรอบการพัฒนาของโลกร่วมกัน โดยเพื่อเป็นการสอดคล้องกับวาระการพัฒนาที่ยั่งยืนในข้อที่ 15 ปกป้อง ฟื้นฟู และสนับสนุนการใช้ระบบนิเวศบนบกอย่างยั่งยืน หยุดการเสื่อมโทรมของที่ดินและฟื้นสภาพกลับมาใหม่ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการใช้สารละลายนาโนเซลลูโลส (Nanocellulose solution) เพื่อเป็นสารรักษาเสถียรภาพของชั้นดินทางเลือกใหม่

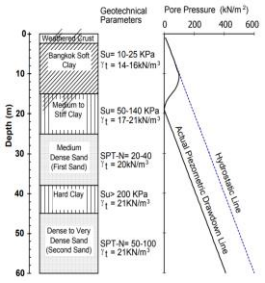
สารละลายนาโนเซลลูโลส เป็นสารละลายที่เกิดจากการนำพืช ไปผ่านกระบวนการทางเคมีจนได้เส้นใยนาโนเซลลูโลสขนาดเล็กระดับนาโนเมตร มีความสามารถในการเป็นสารเคลือบผิว มีเส้นใยช่วยเสริมแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินไม่ให้น้ำหรือของเหลวไหลผ่านได้ รวมถึงสามารถเสริมกำลังของดินได้ ปัจจุบันมีการนำสารละลายนาโนเซลลูโลสมาใช้ในการก่อสร้างหลุมเจาะน้ำมันในอเมริกา

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสผ่านชั้นดินทราย ซึ่งเป็นหนึ่งในพฤติกรรมที่สำคัญของสารรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ โดยสารรักษาเสถียรภาพจะทำหน้าที่ในการยับยั้งการไหลผ่านของน้ำในชั้นดินทราย และนอกจากนั้นยังศึกษาผลกระทบของการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่เกิดจากกระบวนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ ทั้งในกรณีที่มีการปนเปื้อนและไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว โดยทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลสและผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อพฤติกรรมการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสในชั้นดินทรายผ่านการศึกษาอัตราการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสผ่านตัวอย่างดินทรายในท่อทรงกระบอกที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อเป็นการจำลองชั้นทรายในหลุมเจาะในสภาพจริง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

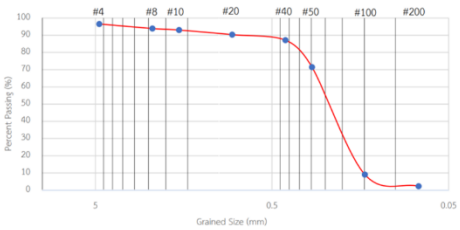
2.1 ลักษณะชั้นดินและแรงดันน้ำใต้ดินกรุงเทพฯ

จากรูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของชั้นดินกรุงเทพฯ โดยสังเขปถึงความลึกประมาณ 60 เมตร พบว่าลักษณะชั้นดินกรุงเทพฯ เป็นชั้นดินเหนียวสลับกับชั้นดินทราย โดยมีดินทรายชั้นที่ 1 อยู่ที่ความลึกประมาณ 20 ถึง 25 เมตร และมีดินทรายชั้นที่ 2 อยู่ความลึกประมาณ 45 เมตร เริ่มเปลี่ยนเป็นสภาพแรงดันน้ำได้ดินลดลงบริเวณชั้นล่างของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ จากการสูบน้ำบาดาลมาใช้



รูปที่ 2.1 ชั้นดินกรุงเทพฯ และ แรงดันน้ำใต้ดิน [1]

จากรูปที่ 2.2 แสดงกราฟเส้นโค้งการกระจายตัวของ ดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ [2] บริเวณโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสถานีวังบูรพา



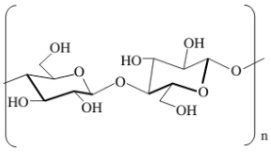
รูปที่ 2.2 เส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ [2]

2.2 โพลิเมอร์พีเอชพีเอ

สารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอเป็นสารละลายที่ใช้ใช้ในการรักษาเสถียรภาพชั้นดินหรือหลุมเจาะในการก่อสร้างใต้ดิน โพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอเป็นโพลิเมอร์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมีสีขาวเป็นเบสสูง เมื่อผสมกับน้ำแล้วจะเป็นสารละลายที่มีสีใสและมีความหนืดสูง เมื่อซึมผ่านชั้นดินทรายจะสร้างชั้นฟิล์มโพลิเมอร์เจลที่บางมากบนผิวดินในชั้นดินทราย โดยสารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอจะก่อตัวเป็นโครงสร้างสายโซ่ เป็นเส้นใยโพลิเมอร์ซึ่งยึดเม็ดดินในดินชั้นดินทรายเข้าด้วยกันและสร้างแรงยึดเหนี่ยวชั่วคราวระหว่างเม็ดดินทำให้ชั้นดินมีเสถียรภาพมากขึ้น ปัจจุบันสารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอนิยมถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะเปียก [3] อย่างไรก็ตามเมื่อสารละลายโพลิเมอร์ชนิดพีเอชพีเอผสมกับคอนกรีตจะทำให้เกิดแก๊สแอมโมเนียในหลุมเจาะขึ้น [4]

2.3 คุณสมบัติของการนาโนเซลลูโลส

นาโนเซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์สายตรงที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์คือ กลูโคส $(C_6H_{12}O_5)_n$ [5] ดังแสดงในรูปที่ 2.3 สารละลายที่มีนาโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบจำแนกตามเทคนิคการเตรียม รูปร่างและขนาด การจำแนกโดยทั่วไปสามารถจำแนกชนิดของนาโนเซลลูโลสได้ดังนี้ เซลลูโลสนาโนคริสตัล เซลลูโลสนาโนไฟบริลและแบคทีเรียเซลลูโลส ในปัจจุบันใช้ในอุตสาหกรรมชีวภาพ เช่น การแพทย์ ยา อาหารและบรรจุภัณฑ์ โดยยังใช้ในองค์ประกอบอื่นๆ เช่น การเคลือบผิวเมมเบรน การใช้เป็นสารฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำ [6]



รูปที่ 2.3 โครงสร้างสารละลายนาโนเซลลูโลส [5]

2.4 การประยุกต์ใช้นาโนเซลลูโลสในงานวิศวกรรม

Kudapa V. K. และ Sharma P. [7] ศึกษาประสิทธิภาพของนาโนเซลลูโลสในการประสานบ่อน้ำมันและแก๊ส พบว่า เซลโลไบโอ (Cellobiose) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลลูโลสซึ่งเป็นโพลิเมอร์และเป็นวัสดุชีวภาพที่แพร่หลายในธรรมชาติ เมื่อเติมลงไปในซีเมนต์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะไม่ทำให้สูญเสียความหนืดของสารละลายและเป็นสารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการประสานกันของบ่อน้ำมัน เนื่องจากโครงสร้างผลึกมีการเรียงตัวที่ดีและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับการเจาะโดย

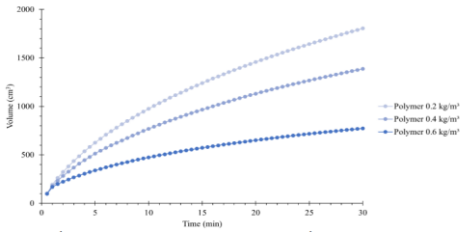
ใช้น้ำเป็นของไหลหลัก อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการลดการสูญเสียของสารละลาย แรงเสียดทานต่ำ อัตราการซึมผ่านน้อย ฟิล์มเคลือบบาง [6]

2.5 นาโนเซลลูโลสกับสิ่งแวดล้อม

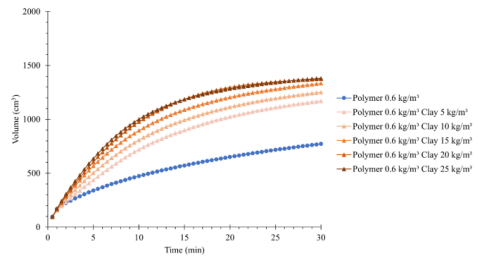
นาโนเซลลูโลสมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นาโนเซลลูโลสเป็นโพลิเมอร์ชีวภาพที่ได้จากพืชเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปราศจากพิษและย่อยสลายตามธรรมชาติ นาโนเซลลูโลสเป็นตัวดูดซับวัสดุชีวภาพธรรมชาติที่ดีเยสำหรับการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากความสามารถดูดซับมลพิษ ยาปฏิชีวนะที่ตกค้างซึ่งพบได้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะปรับแต่งและเปลี่ยนแปลงสารเคมีได้หลากหลาย โดยการประยุกต์ใช้นาโนเซลลูโลสในการบำบัดมลพิษจะแตกต่างกันในแต่ละชนิด [8]

2.6 พฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลิเมอร์

เบญจพล เบญจวรางกูล [9] ศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ในดินทรายกรุงเทพฯ พบว่า การปริมาณการไหลของสารละลายโพลิเมอร์เข้าไปในตัวอย่างดินทรายมีค่าแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ในชั้นดินทราย ดังนั้นสารละลายที่มีค่าความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ที่มากจะมีอัตราการไหลลดลงมากกว่าสารละลายที่มีค่าความเข้มข้นน้อย และปริมาณการไหลของสารละลายโพลิเมอร์เข้าไปในตัวอย่างดินทรายมีค่าแปรผันผกผันกับอัตราการปนเปื้อนของฝุ่นดินเหนียวในสารละลายโพลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งสารละลายโพลิเมอร์พีเอชพีเอที่มีการปนเปื้อนเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียลายละลายในช่วงที่ทำการขุดเจาะชั้นดินเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.4 ปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละความเข้มข้นที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายในแต่ละระยะเวลา [8]



รูปที่ 2.5 ปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายแต่ละระยะเวลา [8]

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่างและทดสอบคุณสมบัติ

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคุณสมบัติฝุ่นดินเหนียว

• ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างฝุ่นดินเหนียว

ใช้ดินเหนียวจากหลุมเจาะทดสอบบริเวณโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีส้ม นำดินเหนียวที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จากนั้นนำดินที่ผ่านตะแกรงไปอบแห้งและบดละเอียด เพื่อใช้ในการศึกษาผลกระทบของฝุ่นดินเหนียวต่อคุณสมบัติของสารละลายนาโนเซลลูโลส

• การทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างฝุ่นดินเหนียว

- ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ตามมาตรฐาน ASTM D 854

- ขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก ตามมาตรฐาน ASTM D 4318 และ ASTM D 427

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคุณสมบัติดินทราย

• ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินทราย

งานวิจัยนี้ใช้การทดสอบโดยการจำลองตัวอย่างดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ จากนั้นจึงออกแบบส่วนผสมในการจำลองตัวอย่างดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ ให้มีการกระจายขนาดของเม็ดดินเป็นไปตามข้อมูลของเส้นโครงการกระจายตัวของดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ

• การทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างดินทราย

งานวิจัยนี้ใช้การทดสอบตัวอย่างดินทรายดังนี้

- ขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน ตามมาตรฐาน ASTM D 2487-69

- ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ตามมาตรฐาน ASTM D 854

3.1.3 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคุณสมบัติสารละลายนาโนเซลลูโลส

• ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

งานวิจัยนี้ใช้สารละลายนาโนเซลลูโลสชนิดเซลลูโลสนาโนไฟบริล

โดยกำหนดให้ทำการทดสอบสารละลายนาโนเซลลูโลสที่มีความเข้มข้น 0.1% ถึง 0.6% โดยน้ำหนักน้ำ ทำการเจือจางสารสะลายนาโนเซลลูโลสให้มีความเข้มข้นที่ต้องการ ทำการปั่นเพื่อให้สารละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

• ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสารละลายนาโนเซลลูโลสที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

งานวิจัยนี้พิจารณาการปนเปื้อนที่ความเข้มข้น 0.6% โดยน้ำหนักน้ำหนัก ผสมกับฝุ่นดินเหนียวที่ปริมาณต่างๆ ปริมาณการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวในอัตราการปนเปื้อน 1% 3% และ 6% โดยน้ำหนักน้ำ จากน้ำทำการปั่นเพื่อให้สารละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

• การทดสอบคุณสมบัติของสารละลายนาโนเซลลูโลส

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

- การทดสอบความหนาแน่นของด้วย Mud balance

- การทดสอบความหนืดของด้วย Marsh funnel

- การทดสอบความเป็นกรด-เบส Electric pH meter

3.2 การทดสอบอัตราการไหลของสารละลายในตัวอย่างดินทราย

3.2.1 การควบคุมความหนาแน่นของดินทรายตัวอย่าง

การทดสอบโดยการจำลองตัวอย่างดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งมีความหนาแน่นของดินทรายเท่ากับ 2 กรัม/ลบ.ซม. โดยอัตราส่วนระหว่างมวลของดินทรายตัวอย่างและมวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของหน่วยน้ำหนักรวมของดินในกรณีดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ดังแสดงในสมการที่ (1) และ สมการที่ (2)

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

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

กำหนดให้ดินทรายตัวอย่างแบบอิ่มตัวด้วยน้ำในภายในท่อทรงกระบอกมีความยาวค่าเท่ากับ 20 ซม. หลังจากที่บดอัดแล้ว คิดเป็นปริมาตร 1634.26 ลบ.ซม. ดังนั้นจะต้องเตรียมปริมาณตัวอย่างดินทรายก่อนทำการบรรจุเพื่อบดอัดภายในท่อทรงกระบอก โดยกำหนดให้มวลของดินทรายมีค่าเท่ากับ 2657.33 กรัม และมวลของน้ำมีค่าเท่ากับ 611.19 กรัม เพื่อให้ทำการบดอัดตัวอย่างดินทรายได้ค่าความหนาแน่นขอบดินกรณีดินอิ่มตัวด้วยน้ำเท่ากับ 2 กรัม/ลบ.ซม. ตามที่กำหนดไว้

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมดินทรายตัวอย่างภายในท่อทรงกระบอก

เตรียมดินทรายตัวอย่างและอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

1. นำดินทรายตัวอย่างที่มีมวลดินทรายเท่ากับ 2657.33 กรัม และมวลของน้ำเท่ากับ 611.19 กรัม บรรจุลงในท่อทรงกระบอก และทำการบดอัดโดยใช้แม่แรงดันอุปกรณ์บดอัดดินจนได้ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2 กรัม/ลบ.ซม.

2. ปิดปลายของท่อทรงกระบอก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วไหลของดินทรายตัวอย่าง

3. ต่อปั๊มลมเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมแรงดันและติดตั้งมาตรวัดแรงดัน

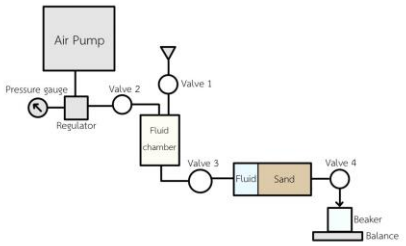
4. ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมแรงดันด้วยสายลมทนแรงดันเข้าสู่ด้านบนของกระบอกใส่น้ำ มีวาล์วเบอร์ 2 สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดแรงดัน

5. ติดตั้งสายลมทนแรงดัน โดยมีวาล์วเบอร์ 3 สำหรับควบคุมการเปิด-ปิด เป็นทางน้ำไหลจากกระบอกใส่น้ำเข้าสู่ท่อทรงกระบอก

6. ติดตั้งสายลมทนแรงดัน โดยมีวาล์วเบอร์ 4 สำหรับควบคุมการเปิด-ปิด เป็นทางน้ำไหลเพื่อทำการตรวจวัดอัตราการไหล

7. เติมน้ำเข้ากระบอกใส่น้ำ แล้วเปิดวาล์วเบอร์ 2 เพื่อส่งแรงดันเข้าสู่กระบอกใส่น้ำซึ่งเป็นการจำลองแรงดันให้มีค่าให้เคียงกับสภาพจริง โดยกำหนดให้มีแรงดันเท่ากับ 150 กิโลปาสคาล เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินของกรุงเทพฯ อยู่ที่ระดับความลึกเฉลี่ยประมาณ 15 เมตรจากผิวดิน และตลอดการก่อสร้างมีการควบคุมให้ระดับของสารละลายอยู่ที่ระดับผิวดินระหว่างการขุดเจาะเสาเข็ม ดังนั้นผลต่างของแรงดันระหว่างสารละลายและน้ำใต้ดินของกรุงเทพฯ จึงอยู่ที่ประมาณ 150 กิโลปาสคาล

8. เปิดวาล์วเบอร์ 3 และวาล์วเบอร์ 4 ตามลำดับ ให้น้ำไหลเข้าสู่ท่อทรงกระบอกผ่านดินทรายตัวอย่างที่บรรจุภายในท่อไว้เพื่อไล่ฟองอากาศ จากนั้นทำการจัดวางท่อทรงกระบอกให้อยู่ในแนวราบ



รูปที่ 3.2 การต่ออุปกรณ์การทดสอบ

3.2.3 ขั้นตอนการทดสอบอัตราการไหลของสารละลาย

1. หลังจากตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ให้ทำการปิดวาล์วเบอร์ 4 เบอร์ 3 และเบอร์ 2 ตามลำดับ เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความดันในดินตัวอย่างและไม่ให้มีอากาศในท่อทรงกระบอกบรรจุดินทรายตัวอย่าง

2. เติมสารละลายเข้าไปแทนที่ในกระบอกน้ำ

3. เตรียมอุปกรณ์สำหรับการชั่งน้ำหนักของสารละลายที่ไหลออกจากท่อทรงกระบอกลงสู่ถ้วยแก้ว

4. เปิดวาล์วเบอร์ 2 เพื่อส่งแรงดันเข้าสู่กระบอกใส่สารละลาย จากนั้นทำการเปิดวาล์วเบอร์ 3 และวาล์วเบอร์ 4 ตามลำดับ เพื่อให้สารละลายไหลเข้าสู่ท่อทรงกระบอกผ่านตัวอย่างดินทรายที่บรรจุไว้และไหลออกจากท่อลงกระบอกลงในถ้วยแก้ว

5. จดบันทึกน้ำหนักของสารละลายในถ้วยแก้วที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลา เป็นเวลา 90 นาที

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน

4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของฝุ่นดินเหนียว

ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ตามมาตรฐาน ASTM D 854 และการทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก ตามมาตรฐาน ASTM D 4318 และ ASTM D 427 แสดงดังตารางที่ 4.1

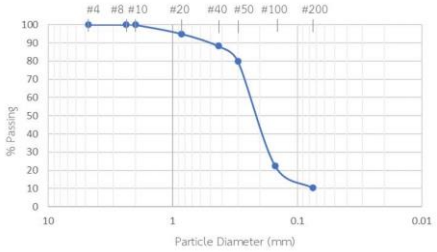
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของฝุ่นดินเหนียว

รายการ	ผลการทดสอบ
Specific Gravity, G_s	2.79
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 %

4.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของดินทราย

ตัวอย่างดินทรายที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างการจำลองดินทรายชั้นที่ 1 ซึ่งจากผลการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน ตามมาตรฐาน ASTM D 2487-69 สามารถแสดงเส้นโค้งการกระจายตัวได้ดังรูปที่ 4.1 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 และจากผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ASTM D 854 ได้ค่า G_s เท่ากับ 2.60



รูปที่ 4.1 เส้นโค้งการกระจายตัวของดินทรายตัวอย่าง

4.1.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสารละลายนาโนเซลลูโลส

จากการทดสอบหาค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และความเป็นกรด-เบสของสารละลายนาโนเซลลูโลสมีค่าความเข้มข้น มาตรฐาน วสท. 2543-2544 และ มาตรฐาน วสท. 2545-2546 สามารถสรุปผลทดสอบคุณสมบัติของสารละลายได้ดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบคุณสมบัติของสารละลายนาโนเซลลูโลส ดังตารางที่ 4.2 และผลการทดสอบคุณสมบัติของสารละลายนาโนเซลลูโลสที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสารละลายนาโนเซลลูโลส

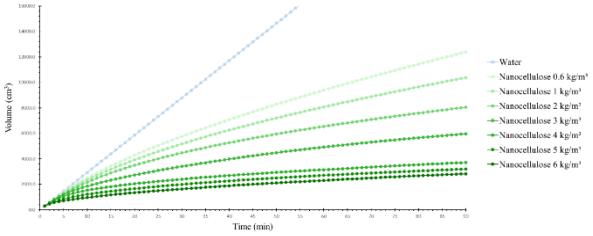
ความเข้มข้นสารละลายนาโนเซลลูโลส (กิโลกรัม/ลบ.ม.)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	ความหนืด (วินาที)	ความเป็นกรด-เบส
0.0	1.000	27.87	7.25
0.6	1.002	28.40	7.18
1.0	1.005	28.60	7.11
2.0	1.006	29.04	7.03
3.0	1.008	30.01	7.00
4.0	1.010	30.57	6.78
5.0	1.011	33.33	6.62
6.0	1.013	36.01	6.50

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสารละลายนาโนเซลลูโลสที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

ความเข้มข้นสารละลายนาโนเซลลูโลส 6.0 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร			
อัตราการปนเปื้อน (กิโลกรัม/ลบ.ม.)	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	ความหนืด (วินาที)	ความเป็นกรด-เบส
0	1.013	36.01	6.50
10	1.020	36.54	6.75
30	1.030	37.70	7.02
60	1.045	39.97	7.25

4.2 ผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายที่ไม่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

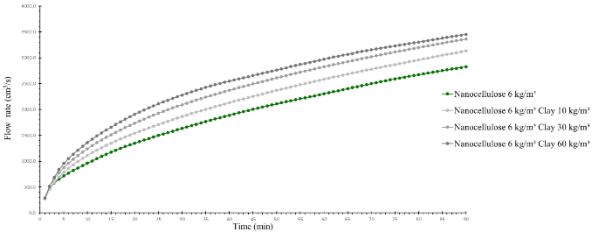
ผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสที่แต่ละค่าความเข้มข้น พบว่าในระยะเวลาทดสอบ 90 นาที ปริมาณสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 0.06% ถึง 0.6% โดยน้ำหนักน้ำ มีปริมาณสารละลายไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายเท่ากับ 12387.5 ลบ.ซม. 10,380.3 ลบ.ซม. 8,053.1 ลบ.ซม. 5973.6 ลบ.ซม. 3714.1 ลบ.ซม. 3200.6 ลบ.ซม. และ 2842.4 ลบ.ซม. ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ปริมาณสารละลายนาโนเซลลูโลสที่แต่ละความเข้มข้น ที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายในแต่ละช่วงเวลา

4.3 ผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายที่ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว

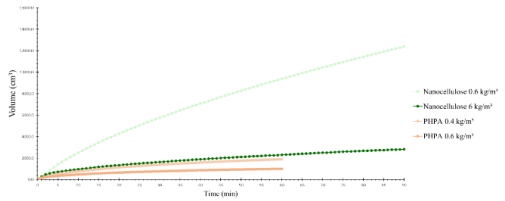
ผลการทดสอบอัตราการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสที่แต่ละอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว พบว่าในระยะเวลาทดสอบ 90 นาที ปริมาณสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวเพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยสารละลายนาโนเซลลูโลสความเข้มข้น 0.6% โดยน้ำหนักน้ำ ที่อัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 0% 1% 3% และ 6% มีปริมาณสารละลายไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายเท่ากับ 2842.4 ลบ.ซม. 3134.8 ลบ.ซม. 3363.5 ลบ.ซม. และ 3453.5 ลบ.ซม. ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณของสารละลายที่มีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่ไหลเข้าไปในชั้นทรายตัวอย่างกับสารละลายที่ไม่มีการปนเปื้อน พบว่าในระยะเวลา 90 นาที สารละลายนาโนเซลลูโลสความเข้มข้น 0.6% โดยน้ำหนักน้ำที่มีปริมาณการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว 1% 3% และ 6% ใช้ปริมาณสารละลายในระหว่างทดสอบมากกว่ากรณีที่ไม่มีการปนเปื้อนเท่ากับ 10.29% 18.33% และ 21.50% ตามลำดับ



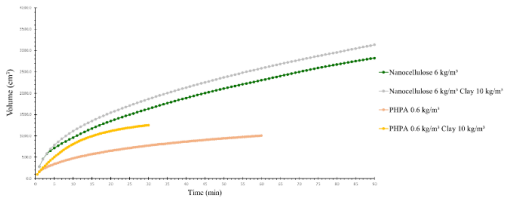
รูปที่ 4.3 ปริมาณสารละลายนาโนเซลลูโลสที่แต่ละอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายในแต่ละช่วงเวลา

5. อภิปรายผล

จากผลการทดสอบปริมาณสารละลายนาโนเซลลูโลสที่แต่ละความเข้มข้น ที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายในแต่ละช่วงเวลา ดังแสดงในรูป 4.2 และรูป 4.3 สารละลายนาโนเซลลูโลสที่มีค่าความเข็มข้นมากจะมีปริมาณการไหลของสารละลายต่ำและเมื่อมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวที่มากขึ้นจะทำให้ปริมาณการไหลของสารละลายมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารละลายโพลิเมอร์ที่แต่ละความเข้มข้นที่ไหลเข้าไปในตัวอย่างดินทรายในแต่ละช่วงเวลา ดังแสดงในรูปที่ 5.1 พบว่าเมื่อเพิ่มความความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลสเป็น 6.0 กก./ลบ.ม. จึงมีประสิทธิภาพในการสร้างเจลเพื่อเข้าไปอุดช่องว่างในชั้นดินทรายใกล้เคียงกับสารละลายโพลิเมอร์ความเข้มข้น 0.4 กก./ลบ.ม. เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว ดังแสดงในรูปที่ 5.2 พบว่า ผลกระทบจากการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวส่งผลต่อปริมาณการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสน้อยกว่าสารละลายโพลิเมอร์



รูปที่ 5.1 ปริมาณการไหลของแต่ละสารละลายที่แต่ละความเข้มข้นในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 5.2 ปริมาณการไหลของแต่ละสารละลายที่แต่ละอัตราการปนเปื้อนในแต่ละช่วงเวลา

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสในตัวอย่างดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพฯ โดยพิจารณาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลสและอัตราการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่อปริมาณการไหลและอัตราการไหลของสารละลายในตัวอย่างดินทราย ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ปริมาณการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสเข้าไปในตัวอย่างดินทรายมีค่าแปรผกผันกับค่าความเข้มข้น และแปรผันตามอัตราการปนเปื้อนของฝุ่นดินเหนียวในสารละลายนาโนเซลลูโลส

เมื่อเปรียบเทียบสารละลายนาโนเซลลูโลสกับสารละลายโพลิเมอร์ พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากันสารละลายนาโนเซลลูโลสมีประสิทธิภาพในการสร้างชั้นเจลมาอุดช่องว่างต่ำกว่าสารละลายโพลิเมอร์ สำหรับผลกระทบต่อปริมาณการไหลและอัตราการไหลของสารละลายเมื่อมีการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียว พบว่าผลกระทบของฝุ่นดินเหนียวต่อปริมาณการไหลของสารละลายนาโนเซลลูโลสต่ำกว่าสารละลายโพลิเมอร์ แต่อัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีผลกระทบต่อการปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวยังต่ำกว่าสารละลายนาโนเซลลูโลส

สารละลายนาโนเซลลูโลสสามารถมีพฤติกรรมการไหลที่เทียบเท่ากับกับสารละลายโพลิเมอร์ในกรณีที่มีค่าความเข้มข้นมากพอ ทำให้สารละลายนาโนเซลลูโลสมีหนึ่งพฤติกรรมสำหรับสารละลายรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะ แต่จำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมการรักษาเสถียรภาพเพิ่มเติม เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของสารรักษาเสถียรภาพและการที่สารละลายเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวโน้มที่จะการนำมาใช้ในก่อสร้างฐานรากระบบเสาเข็มเจาะเปียกในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[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. In *Deep Foundations 2002: An International Perspective on Theory, Design, Construction, and Performance* (pp. 143-157).

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

[3] Teparaksa, W. (2008). Polymer Base Bored Pile in Bangkok Subsoils. In *Proceedings of the Korean Geotechical Society Conference* (pp. 407-426). Korean Geotechnical Society.

[4] Kadaster, A. G., Guild, G. J., Hanni, G. L., & Schmidt, D. D. (1992). Field applications of PHPA muds. *SPE drilling engineering*, *7*(03), 191-199.

[5] Bledzki, A. K., & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in polymer science*, *24*(2), 221-274.

[6] Ramasamy, J., & Amanullah, M. (2020). Nanocellulose for oil and gas field drilling and cementing applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *184*, 106292.

[7] Kudapa, V. K., & Sharma, P. (2023). A study on the effectiveness of nano-cellulose in oil & gas wellbore cementation applications. *Materials Today: Proceedings*.

[8] Zinge, C., & Kandasubramanian, B. (2020). Nanocellulose based biodegradable polymers. *European Polymer Journal*, *133*, 109758.

[9] เบญจพล เบญจวรางกูล, วีรยุทธ โกมลวิลาศ และ ฐิรวัตร บุญญะฐี. (2564). *ผลกระทบของการ ปนเปื้อนฝุ่นดินเหนียวต่ออัตราการไหลของโพลิเมอร์พีเอชพีเอ.* การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, เพชรบุรี, ประเทศไทย.