การปรับปรุงคุณภาพดินทรายด้วยสารละลายนาโนเซลลูโลส
วิชา โครงงานทางวิศวกรรมโยธา
Sand improvement with nanocellulose

ธนกฤต ธัญธนภัทร[1] พัศวุฒิ ลีอารีย์กุล[2] ศิริวัฒน์ บุญญาภิสมภาร[3] และ วีรยุทธ โกมลวิลาศ[4]

[1,2,3,4] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการปรับปรุงคุณภาพดินสามารถทำได้หลายวิธีและหนึ่งในวิธีที่มีการใช้มาอย่างต่อเนื่องคือการใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพดิน อย่างเช่น ปูนขาว, ซีเมนต์, เถ้าลอย แต่การใช้สารดังกล่าวจะก่อให้เกิดผลกระทบแง่ลบต่อสิ่งแวดล้อมดังนั้น จึงสนใจในสารละลายนาโนเซลลูโลสที่นอกจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมยังมีงานวิจัยที่พิสูจน์แล้วว่าสามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพดินได้ ทำให้การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลสต่อการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดินทราย และ เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณความชื้นของดินทรายที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายนาโนเซลลูโลส โดยมีวิธีในการวิจัยโดยการทำการทดสอบสารละลายนาโนเซลลูโลสที่หลากหลายความเข้มข้นมาผสมกับดินทรายจากนั้นทำการทดสอบด้วย เครื่องมือกดทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง นอกจากนั้นยังได้ทดสอบว่าความชื้นของดินทรายนั้นส่งผลต่อแรงเฉือนที่รับได้หรือไม่โดยใช้เครื่องมือกดทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรงเช่นกัน สรุปผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า ความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสารละลายนาโนเซลลูโลสส่งผลให้แรงเฉือนของดินทรายแตกต่างกันและมีแนวโน้มที่ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลส จะแปรผันตรงกับแรงเฉือนของดินทราย นอกจากนั้นการใช้สารละลายนาโนเซลลูโลสจำเป็นต้องทำให้ความชื้นหายไปเสียก่อน อีกทั้งหากนำนาโนเซลลูโลสที่ผสมกับดินทรายโดยการทำให้แห้งแล้วกลับมาเปียกอีกรอบมาหาค่ากำลังรับแรงเฉือน จะพบว่ากำลังของดินทรายจะกลับสู่สภาพเดิม

คำสำคัญ : แรงเฉือน, การปรับปรุงคุณภาพ , ความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลส

Abstract

Currently, there are many ways to improve soil quality, and one method that has been consistently used is the use of chemicals to improve soil quality, such as lime, cement, and floating ash. However, the use of these chemicals can have negative environmental impacts. This has led to an interest in nanocellulose solutions, which not only are environmentally friendly but also have been proven in research to be effective in improving soil quality. The objective of this research is to study the impact of the concentration of a nanocellulose solution on the shear strength of sandy soil, and to investigate the effect of soil moisture content on the shear strength of sandy soil treated with nanocellulose solution. The research was conducted by testing various concentrations of nanocellulose solutions mixed with sandy soil, and then testing them using a direct shear testing apparatus. In addition, the effect of soil moisture content on shear strength was also tested using the same apparatus. The results of the study showed that different concentrations of nanocellulose solution had varying effects on the shear strength of sandy soil, and there was a correlation between the concentration of nanocellulose solution and shear strength of sandy soil. In addition, heating to evaporate the water before testing is necessary to improve shear strength. And if nanocellulose is mixed with sandy soil and then dried, and then re-wetted to determine the shear strength, it will be found that the strength of the sandy soil returns to its original state before mixing with the nanocellulose solution.

Key words: Shear strength, quality improvement, and concentration of nanocellulose solution

1. คำนำ

ในปัจจุบันการปรับปรุงคุณภาพดินก่อนการก่อสร้างเป็นสิ่ง สำคัญ โดยปกติแล้วการปรับปรุงคุณภาพดินนั้นทำเพื่อป้องกันการทรุดตัวของอาคารที่เกิดจากการทรุดตัวของดินที่อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่อทั้งทรัพย์สินและชีวิตโดยการปรับปรุงคุณภาพดินนั้นคือการปรับปรุงคุณภาพดินเดิมที่ไม่มีคุณภาพหรือมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมให้มีกำลังสูงขึ้น ในปัจจุบันมีหลากหลายวิธีเช่น การบดอัดดิน [1]การใช้สารเคมีเพิ่มกำลัง โดยในการวิจัยครั้งนี้จะพูดถึงการใช้สารเคมีเพิ่มกำลังเป็นหลัก ซึ่งในปัจจุบันสารเคมีที่นิยมใช้อย่างมากในการปรับปรุงคุณภาพดินคือ[2][3]ปูนขาว (Lime) , ซีเมนต์ (Cement) , เถ้าลอย (Fly ash)

โดยสารเคมีทั้งหมดดังกล่าว สามารถเพิ่มกำลังของดินได้ แต่ทั้งสามสารมีข้อเสียร่วมกันในเรื่องของการเกิดผลกระทบแง่ลบต่อสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น กระบวนการผลิตปูนขาวและซีเมนต์ต้องใช้ปริมาณพลังงานที่สูงและมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก[4] นอกจากนั้นยังมีโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนได้จากการใช้เถ้าลอย[5] ในการปรับปรุงคุณภาพดิน จากการอาจจะมีโลหะหนักหนักบางส่วนปนปื้อนลงมากับดินและโดยเฉพาะการปนเปื้อนไปกับน้ำเป็นสิ่งที่อันตรายและส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อทั้งมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

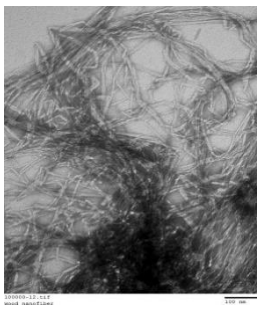
การหาสารที่สามารถปรับปรุงคุณภาพดินพร้อมกันกับไม่ส่งผลกระทบในแง่ลบต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญสำหรับงานก่อสร้างงานวิจัยนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบและคุณสมบัติของการใช้สารละลายนาโนเซลลูโลสในแง่ของก่อสร้าง โดยได้มีงานวิจัยพิสูจน์แล้วว่าสารละลายนาโนเซลลูโลสนั้นเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม[6]ตั้งแต่กระบวนการผลิตที่ใช้ปริมาณของพลังงานที่ต่ำหากเทียบกับสารชนิดอื่นรวมถึงไม่เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆนอกจากนั้นในแง่ของการวิจัยเชิงวิศวกรรมก็ได้มีการใช้งานสารละลายนาโนเซลลูโลสในหลายรูปแบบเช่นการนำสารละลายนาโนเซลลูโลสมาปรับปรุงคุณภาพของวัสดุ[7] เช่น คอนกรีต

งานวิจัยในครั้งนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อสร้างทางเลือกที่มากขึ้นสำหรับงานวิศวกรรมโดยการหาผลกระทบและวิธีการใช้งานอย่างเหมาะสมของสารละลายนาโนเซลลูโลสโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลสต่อการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดินทรายและศึกษาผลกระทบของปริมาณความชื้นของดินทรายที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายนาโนเซลลูโลส โดยการวิจัยนี้จะวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับดินทรายของกรุงเทพมหานครชั้นที่1 และพิจารณาการรับแรงของดินเฉพาะแรงเฉือนด้านข้างโดยใช้สารละลายนาโนเซลลูโลสชนิดนาโนเซลลูโลสไฟบริล (NFC) ในการศึกษา

2.งานวิจัยในอดีต

2.1 คุณสมบัติทั่วไปของนาโนเซลลูโลส

นาโนเซลลูโลสเป็นวัสดุที่ได้มาจากการแยกส่วนของเซลลูโลสจากวัสดุพืช เช่น ไม้ และฟางข้าว โดยนำมาปรับปรุงโครงสร้างด้วยเทคโนโลยีการแยกส่วนแบบนาโน ซึ่งทำให้ขนาดของเซลลูโลสลดลงไปเป็นสิ่งที่มีขนาดเล็กมาก โดยตัวอย่างของขนาดของ nanocellulose สามารถวัดได้ในช่วง 10-100 นาโนเมตร



รูปที่ 2.1 นาโนเซลลูโลสโดยการใช้กล้องอิเล็กตรอน

คุณสมบัตินาโนเซลลูโลสมีดังนี้

1.คุณสมบัติทางกล

นาโนเซลลูโลสมีความแข็งแรงสูงด้วยค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นในช่วง100-150GPaและค่าต้านทานการรับแรงดึงในช่วง 1-10 GPa

2..การยึดติด

การที่นาโนเซลลูโลสมีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวมากกว่าวัสดุอื่นและนั้นช่วยให้ nanocellulose มีความยึดติดกับวัสดุอื่นได้ดี

3.ความต้านทานต่อไฟฟ้า

นาโนเซลลูโลสมีความต้านทานต่อไฟฟ้าและสามารถนำไปใช้ในแวดวงอิเล็กทรอนิกส์ได้

4.ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

นาโนเซลลูโลสมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่มีสารพิษหรือมลพิษ

5.การสานต่อกันของโมเลกุลและการแตกต่างของวัสดุ

โมเลกุลของนาโนเซลลูโลสสามารถสานต่อกันได้ดีและสามารถแตกต่างจากวัสดุอื่นๆได้ทำให้เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปจากวัสดุอื่นๆในสายอุตสาหกรรมทั่วไป

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

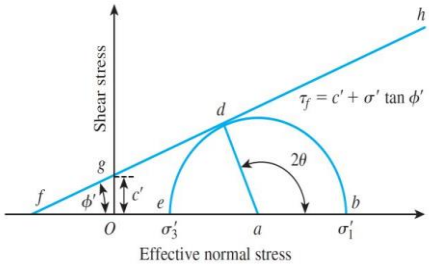
2.2.1 ทฤษฎี Mohr-Coulomb failure

สมการ Mohr-Coulomb มีดังนี้:

$$\tau = c + \sigma_n \times \tan \emptyset$$

โดยที่:

- τ คือ แรงต้านทานเฉือนที่เกิดขึ้นในวัสดุ
- C คือ ค่าคงที่ของแรงต้านทานเฉือนหรือค่าของแรงต้านทานที่เกิดขึ้นเมื่อไม่มีแรงเฉือน
- σ_n คือ แรงล้อมของวัสดุ หรือแรงต้านทานด้านแนวตั้ง
- $\emptyset$ คือ มุมค่าตั้งตัวของผิวตัดวัสดุ

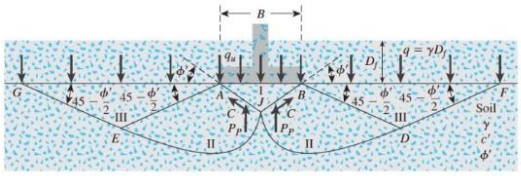


รูปที่ 2.2 ภาพประกอบทฤษฎี Mohr-Coulomb failure

2.2.2 Terzaghi's Bearing Capacity Equation
มีสมการดังนี้

$$q_{ult} = c' N_c + q N_q + \frac{1}{2} B\gamma N_\gamma$$

q_{ult} คือ ultimate bearing capacity
c' คือ cohesion ของดิน
N_c คือ bearing capacity factor จากค่า cohesion ของดิน
N_q คือ bearing capacity factorจากค่า bearing ของดิน
$N\gamma$ คือ bearing capacity factor จากค่าน้ำหนักของดิน
γ คือ น้ำหนักของดิน
B คือ ความกว้างของฐานราก



รูปที่ 2.3 Terzaghi's Bearing Capacity

2.3 ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมของนาโนเซลลูโลส[8]

งานวิจัยของนาย Arivalagan Pugazhendhi และคณะในปีพ.ศ.2654 ได้ศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพ: พิษวิทยาและความเข้ากันได้ทางชีวภาพโดย สิ่งจำเป็นที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งของวัสดุชีวภาพสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ก็คือ มันควรจะเข้ากันได้กับเซลล์หรือเนื้อเยื่อ นี่คือความสามารถในการสื่อสารกับเซลล์หรือเนื้อเยื่อที่มีชีวิตอย่างต่อเนื่อง จึงไม่เกิดพิษ โดยได้ทำการวิเคราะห์ทางพิษวิทยาของนาโนเซลลูโลสที่บริโภคทั้งในร่างกายและในหลอดทดลอง การทดลองในหลอดทดลองในอาหารจำลองอาหารของหนูอเมริกันแสดงการจำลองระบบทางเดินอาหาร เนื่องจากนาโนเซลลูโลส สองรูปแบบ ได้แก่ นาโนเซลลูโลสแบบคลิสตัล และ นาโนเซลลูโลสแบบไฟเบอร์ ที่ 0.75 หรือ 1.5% w/w พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงทาง โลหิตวิทยา หรือจุลพยาธิวิทยาระหว่างกลุ่มหนูที่ไม่ได้เลี้ยงอาหารที่ผสมนาโนเซลลูโลสและหนูที่เลี้ยงด้วยสารแขวนลอยนาโนเซลลูโลสแบบไฟเบอร์ ผลการทดลองเหล่านี้เสนอว่านาโนเซลลูโลส ที่กินเข้าไปไม่มีความเป็นพิษ (DeLoid et al., 2019)

2.4 การคายน้ำของสารละลายนาโนเซลลูโลส[9]

นาย Gilberto Siqueira และ คณะ ในปี พ.ศ. 2556 ได้รายงานการศึกษาที่ครอบคลุมเกี่ยวกับผลกระทบของการขาดน้ำต่อความแข็งแรงและโครงสร้างของเส้นใยนาโนเซลลูโลส เซลลูโลสนาโนไฟบริล (CNF) และเซลลูโลสนาโนคริสตัล (CNC) โดยได้ข้อสรุปว่าการเสริมความแข็งแรงที่เกิดจากการคายน้ำมีสาเหตุมาจากความหนาแน่นและการจัดโครงสร้างใหม่ของเครือข่ายนาโนเซลลูโลส ซึ่งนำไปสู่การถ่ายโอนแรงที่ดีขึ้นและลดการเสียรูปขณะใส่แรง

2.5 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อนาโนเซลลูโลส [10]

นาย สมเศรษฐ์ แจ่มอำพร และ คณะ ในปี พ.ศ. 2563 ได้ทำการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการให้แรงเชิงกลต่อสมบัติของเส้นใยนาโนเซลลูโลสซึ่งโดยการทำวิจัยจะมีการแบ่งขั้นตอนหลักเป็น 3 ขั้นตอนคือ 1. การสกัดเซลลูโลส 2. การให้แรงเชิงกลเพื่อลดขนาดเซลลูโลส และ 3.การศึกษาสมบัติของเส้นใยนาโนเซลลูโลสโดยงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิของเส้นใยนาโนเซลลูโลสสูงขึ้น โดยพบว่าที่อุณหภูมิประมาณ 80-100 องศาเซลเซียส มีการลดลงของน้ำหนักประมาณร้อยละ 5 ซึ่งเกิดจากการระเหยของความชื้นในตัวอย่างเส้นใย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมขึ้นสูงถึง 270-280 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวของเซลลูโลส

2.6 การเสริมนาโนเซลลูโลสและไมโครเซลลูโลสไฟเบอร์ในคอนกรีต[11]

นาง Sarah J. Peters และคณะในปี พ.ศ.2553 ได้ทำการศึกษาโดยมุ่งเน้นการใช้วัสดุเสริมในรูปแบบของนาโนเซลลูโลสและไมโครเซลลูโลสไฟเบอร์เพื่อเสริมความแข็งแรงของคอนกรีตผลการทดลองพบว่าการใช้นาโลสเซลลูโลสและไมโครเซลลูโลสไฟเบอร์ในคอนกรีตช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุได้โดยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของเนื้อคอนกรีตในด้านต่าง ๆ การใช้นาโนเซลลูโลสช่วยเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีตและลดการแตกตัวของวัสดุได้

2.7 การเสริมนาโนเซลลูโลสในมอร์ตาคอนกรีต[12]

นาย Mikhail Iakovlev และคณะ ในปี พ.ศ. 2565 ได้ทำการวิจัยโดยการนำนาโนเซลลูโลสไปผสมกับมอร์ตาโดยจะมีการทดสอบคุณสมบัติทางกลของมอร์ตาที่ได้ทำการผสมนาโนเซลลูโลสโดยจะมีการทดสอบการรับแรงดัดและการทดสอบแรงกดของมอร์ตาโดยงานวิจัยเผยให้เห็นประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมอร์ตาที่ไม่ได้ทำการผสมนาโนเซลลูโลสโดยเฉพาะอย่างยิ่งการมีอยู่ของนาโนเซลลูโลสแบบไฟเบอร์ในส่วนผสมของมอร์ต้าทำให้ค่าความแข็งแรงดัดเพิ่มขึ้นถึง43% ในขณะที่นาโนเซลลูโลสที่เป็นคลิสตัลมีประสิทธิภาพมากกว่าในการเพิ่มค่ากำลังรับแรงอัด (สูงถึง 21%)

2.8 การเสริมนาโนเซลลูโลสในปูนซีเมนต์สำหรับการขุดเจาะบ่อน้ำมัน[13]

งานวิจัยของ นาย Qinglin Wu และ คณะ ได้ทำการสรุปผลว่าการเพิ่มนาโนเซลลูโลสลงไปมีคุณสมบัติที่ดีกว่าการไม่เติมนาโนเซลลูโลสลงไปในปูนซีเมนต์สำหรับการขุดเจาะน้ำมันและมีค่าความแข็งแรงสูง ราคาไม่แพงและเป็นวัสดุที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ต่ำ

2.9 การเสริมนาโนเซลลูโลสไฟเบอร์ในซีเมนต์เพลส[14]

นาย Obinna Onuaguluchi และ คณะ ในปี พ.ศ.2557 ได้ทำการวิจัยเพื่อตรวจสอบศักยภาพและข้อจำกัดของการใส่นาโนเซลลูโลสลงในซีเมนต์เพสต์(cement paste)โดยจะทำการทดสอบการนำไฟฟ้า ความชื้นและความแข็งแรงดัดเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ ไม่ผสมนาโนเซลลูโลส ความแข็งแรงดัดและการดูดซับพลังงานของเส้นใยนาโน 0.1% เพิ่มขึ้นประมาณ 106% และ184% ตามลำดับ

2.10 การเสริมเส้นใยนาโนเซลลูโลสลงในดิน [15]

นาย Hamid Mehrnahad และคณะ ในปี พ.ศ.2564 ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของดินที่เสริมด้วยเส้นใยนาโนเซลลูโลสได้โดยดำเนินการบดอัดและทำการทดลองกำลังรับแรงอัดในแนวแกนเดียว และการทดลองแคลิฟอเนีย แบริง เรโช ในงานวิจัยนี้ซึ่งผลการทดสอบพบว่าความแข็งแรงในแนวแกนเดียวของตัวอย่างเพิ่มขึ้นระหว่าง 30 ถึง 85% และจำนวน CBR สูงสุดถึง 12 เท่า

3. ระเบียบวิธีวิจัย

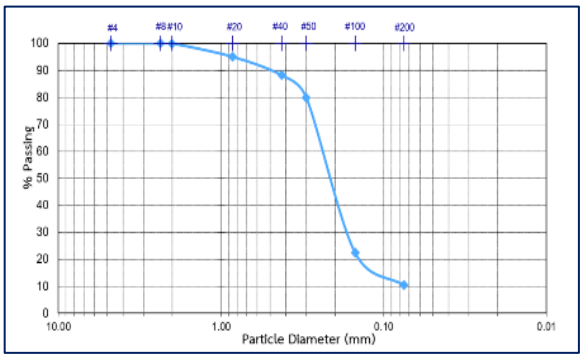
3.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในตัวอย่างทรายกับความหนาแน่นของตัวอย่างทราย

3.1.1 การศึกษาและออกแบบการทดลอง

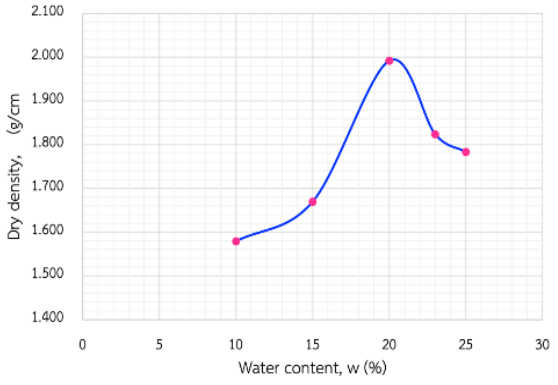
ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในตัวอย่างทรายกับความหนาแน่นของตัวอย่างทรายนั้น จะทำการทดลองโดย การบดอัด (Compaction) เพื่อหาค่าความหนาแน่นและปริมาณน้ำในตัวอย่างทรายที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการเตรียมตัวอย่างการทดลอง

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างทราย และการบดอัด

ในการเตรียมตัวอย่างทรายที่จะทำการบดอัด ทำการเตรียมดินทรายให้ได้ขนาดคละตามชั้นดินทรายชั้นที่ 1 ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร[16] ซึ่งมีการกระจายตัวของดินทรายตัวอย่าง ดังกราฟที่ 3.1 จากนั้นนำตัวอย่างทรายที่ได้ขนาดคละ ผสมกับน้ำ ที่ปริมาณแตกต่างกัน 4 – 5 ค่า แบ่งปริมาณออกเป็น 3 ส่วน เพื่อทำการบดอัดให้ได้ 3 ชั้น เท่าๆกัน โดยบดอัดในกล่องตัวอย่าง (Shear box) ด้วยตุ้มตอก ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในตัวอย่างทรายกับความหนาแน่น (Compaction Curve) ดังกราฟที่ 3.2



รูปที่3.1การกระจายตัวของดินทรายตัวอย่าง (Benjawarangkul.2021)



รูปที่ 3.2 ผลการทดสอบการบดอัดตัวอย่างทรายผสมน้ำที่ปริมาณน้ำต่างๆ

จากการทดลอง การบดอัดตัวอย่างทราย ที่มีค่าปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน ได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในตัวอย่างทรายกับความหนาแน่น (Compaction Curve) ดังรูปที่ 3.2

3.2ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลส

3.2.1 การศึกษาและออกแบบการทดลอง

การทดลองนี้ จะเตรียมการทดลองหากำลังต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่างทราย ตามมาตรฐาน ASTM D3080/D3080M[17] เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงเฉือนของทราย รวมถึงค่าของความเชื่อมแน่นระหว่างดินทราย (Cohesion) และค่ามุมเสียดทานภายในของดินทราย (Friction of angle) ที่ได้ทำการผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส ณ ความเข้มข้นต่างๆ โดยการทดลองนี้จะแบ่งการทดสอบเป็น 2 ประเภท คือ

1.ทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่างทราย หลังจากทำการผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส โดยทดสอบตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส ที่ความเข้มข้น 2 ค่า คือ ตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 0% โดยมวล และ ตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2% โดยมวล

2.ทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่างทราย หลังจากทำการผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส แล้วนำไปอบแห้ง โดยทดสอบตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส ที่ความเข้มข้น 4 ค่า คือ ตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 0% โดยมวล , ตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 1% โดยมวล , ตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 2% โดยมวล , ตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 4% โดยมวล โดยการทดสอบทั้งสองแบบนั้นจะมีการเตรียมตัวอย่างที่เหมือนกัน เพียงแต่การทดสอบที่ 2 เมื่อเตรียมตัวอย่างทรายเสร็จ จะนำไปเข้าตู้อบความร้อนเพื่ออบแห้ง จากนั้นจึงนำไปทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือน

3.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างนั้น เริ่มจากการเตรียมทรายที่มีขนาดคละแบบชั้นดินทรายชั้นที่ 1 กรุงเทพ จำนวน 450 กรัม และนำสารละลายนาโนเซลลูโลสมาปรับให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ แล้วนำทั้งคู่ใส่ลงในจานผสมสาร แล้วทำการคลุกให้เข้ากัน เติมน้ำให้ได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม ที่ทำให้

ตัวอย่างทรายมีความหนาแน่นสูงสุด จากนั้นแบ่งตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส ออกเป็น 3 ส่วน เพื่อที่จะนำไปบดอัดใน กล่องเฉือน ผ่านการใช้ตุ้มตอก

3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการเตรียมตัวตัวอย่างดังหัวข้อ 3.2.2 จะได้ตัวอย่างทรายที่มีการผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส ตามความเข้มข้นที่จะศึกษา โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนละ 150 กรัม

2. ตักตัวอย่างทราย ใส่ กล่องเฉือน ขนาด 10 x 10 เซนติเมตร ทีละส่วนจากนั้นทำการตำด้วย ตุ้มตอก จำนวน 25 ครั้ง/ชั้น โดยตอกลงไปบนแท่นไม้ที่มีขนาดหน้าตัดเท่ากับกล่องเฉือน มีการยกตุ้มตอกเหนือแท่นไม้ 9.5 เซนติเมตร

3.3 ศึกษาผลกระทบของปริมาณความชื้นของดินทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส

3.3.1 การศึกษาและออกแบบการทดลอง

การทดลองนี้ จะเตรียมการทดลองหากำลังต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่างทราย ตามมาตรฐาน ASTM D3080/D3080M เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงเฉือนของทราย รวมถึงค่าของความเชื่อมแน่นระหว่างดินทราย (Cohesion) และค่ามุมเสียดทานภายในของดินทราย (Friction of angle) ที่ได้ทำการผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส ณ ความเข้มข้น 2% โดยมวล โดยการทดลองนี้จะแบ่งการทดสอบเป็น 3 ประเภท คือ

1. ทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่างทรายหลังจากทำการผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส
2. ทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่างทรายหลังจากทำการผสมสารละลายนาโนเซลลูโลสแล้วนำไปอบแห้ง
3. ทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของตัวอย่างทรายหลังจากทำการผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส และนำไปอบแห้ง เมื่ออบแห้งเสร็จทำการแช่น้ำ ตามลำดับ

3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

อ้างอิงการเตรียมตัวอย่าง ตามหัวข้อที่ 3.2.2

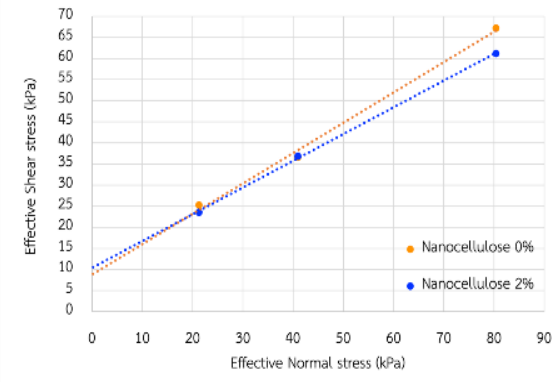
3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. สำหรับการทดสอบประเภทที่ 1 ให้ทำตามขั้นตอนการทดลองหัวข้อ 3.2.3
2. สำหรับการทดสอบประเภทที่ 2 ให้ทำตามขั้นตอนการทดลองหัวข้อ 3.2.3 โดยเริ่มจากขั้นตอนที่ 6 แล้วปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 4 และ 5 ตามลำดับ
3. สำหรับการทดสอบประเภทที่ 3 เตรียมขั้นตอนการทดลองในลักษณะเดียวกัน กับการทดสอบประเภทที่ 2 เพียงแต่เพิ่มขั้นตอนการนำไปแช่น้ำ โดยเริ่มจากนำตัวอย่างที่อยู่ในกล่องเฉือน วางบนเครื่องทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน ทำการวางแผ่นพอรัส สโตน และทับด้วย Hanger จากนั้นจึงทำการเติมน้ำให้เลยระดับของกล่องเฉือน เปรียบเสมือนว่า ตัวอย่างทรายถูกแช่น้ำอยู่ แช่ตัวอย่างในน้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากแช่เสร็จจึงดำเนินการทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือน

4.ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 การศึกษาผลกระทบของสารละลายนาโนเซลลูโลสในตัวอย่างทรายหลังจากทำการผสม

รูปที่ 4.1.1 ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง ของตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลสที่ความเข้มข้นต่างๆ



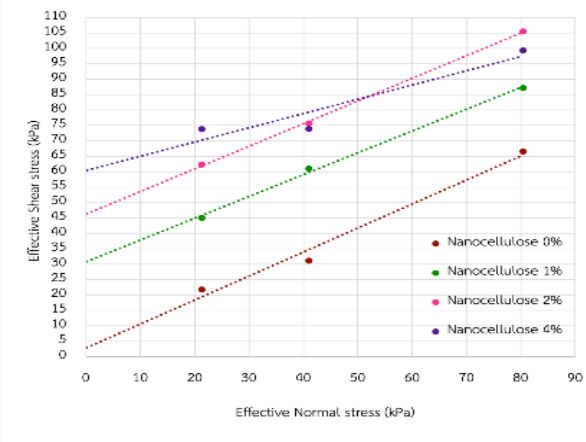
จากรูปที่ 4.1.1 ค่าของความเชื่อมแน่นระหว่างดินทราย (Cohesion) และค่ามุมเสียดทานภายในของดินทราย (Friction of angle) มีผลดังตาราง 4.1.2

Concentration of Nanocellulose (%)	Cohesion and Friction of angle	
	Cohesion (C') (kPa)	Friction of angle (ϕ') (Degree)
0	8.86	35.72
2	10.44	32.34

ตารางที่ 4.1.2 ตารางแสดงเปรียบเทียบข้อมูล Cohesion (C') และ Friction of angle (ϕ') ระหว่างตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส 0% และ 2%

4.2 การศึกษาผลกระทบของสารละลายนาโนเซลลูโลสในตัวอย่างทรายหลังจากทำการผสม และอบแห้ง ในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.2.1 ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง ของตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส และอบแห้ง ที่ความเข้มข้นต่างๆ



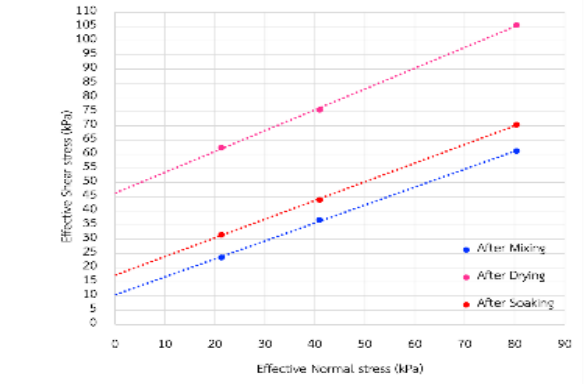
จากรูปที่ 4.2.1 ค่าของความเชื่อมแน่นระหว่างดินทราย (Cohesion) และค่ามุมเสียดทานภายในของดินทราย (Friction of angle) ของตัวอย่างทรายที่ทำการผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส และอบแห้ง ที่ความเข้มข้น 0%, 1%, 2% และ 4% มีผลดังตาราง 4.2.2

Concentration of Nanocellulose (%)	Cohesion and Friction of angle	
	Cohesion (C') (kPa)	Friction of angle (ϕ') (Degree)
0	2.82	37.89
1	30.81	35.24
2	46.28	36.38
4	60.40	24.79

ตารางที่ 4.2.2 ตารางแสดงเปรียบเทียบข้อมูล Cohesion (C') และ Friction of angle (ϕ') ของตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส และอบแห้ง ที่ความเข้มข้นต่างๆ

4.3 การศึกษาผลกระทบของปริมาณความชื้นในตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส ที่ความเข้มข้น 2%

รูปที่ 4.3.1 ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง ของตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส โดยทดสอบตัวอย่างในสภาวะที่แตกต่างกัน



จากรูปที่ 4.3.1 ค่าของความเชื่อมแน่นระหว่างดินทราย (Cohesion) และค่ามุมเสียดทานภายในของดินทราย (Friction of angle) ของตัวอย่างทรายที่ทำการผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส ที่ความเข้มข้น 2% โดยทดสอบตัวอย่างในสภาวะที่แตกต่างกัน มีผลตามตารางที่ 4.3.2

Concentration of Nanocellulose 2%	Cohesion and Friction of angle	
	Cohesion (C') (kPa)	Friction of angle (ϕ') (Degree)
After Mixing	10.44	32.34
After Drying	46.28	36.28
After Soaking	17.31	33.38

ตารางที่ 4.3.2 ตารางแสดงเปรียบเทียบข้อมูล Cohesion (C') – Friction of angle (ϕ') ของตัวอย่างทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลส โดยทดสอบตัวอย่างในสภาวะที่แตกต่างกัน

5.บทสรุป

ผลการวิจัยสามารถสรุปให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้ ความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลสส่งผลต่อการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดินทราย

โดยจากผลการทดสอบจะสรุปได้ว่า กำลังรับแรงเฉือนของดินทรายแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายนาโนเซลลูโลสที่นำมาทดสอบ ตั้งแต่ความเข้มข้น 0 , 1 , 2 , 4 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาลงไปถึงปัจจัยการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงเฉือนจะพบว่าค่าที่เพิ่มขึ้นเป็นหลักจะเป็นค่าความเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน แต่ค่าที่เพิ่มขึ้นของความเข้มข้นที่ 4 เปอร์เซ็นอาจจะไม่ชัดเจนเนื่องจากการเตรียมสารละลายที่แตกต่างกับความเข้มข้นอื่น

ผลกระทบของปริมาณความชื้นนั้นส่งผลกระทบต่อดินทรายที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารละลายนาโนเซลลูโลสเนื่องจากผลการทดลองในความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์นั้นเห็นผลได้ชัดเจนว่าดินทรายที่หลังจากผสมสารละลายนาโนเซลลูโลสนำมาทดสอบทันที กับดินทรายที่หลังจากผสมสารละลายได้นำมาให้ความร้อนให้น้ำระเหยออกก่อน มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินทราย นอกจากนั้นหลังจากการทดสอบทดสอบสภาวะของดินทรายที่ผสมสารละลายนาโนเซลลูโลสในสภาวะที่แห้งแล้วกลับมาเปียกใหม่เพื่อทราบถึงคุณสมบัติของสารละลายนาโนเซลลูโลสเพิ่มเติมจะพบว่ากำลังรับแรงเฉือนลดลงอย่างชัดเจนใกล้เคียงกับกำลังของดินทรายปรกติแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการกลับคืนสภาพเดิมได้ของสารละลายนาโนเซลลูโลส ซึ่งถือเป็นทั้งข้อกำจัดในการใช้งานเพิ่มเติมและโอกาสที่สามารถปรับให้ดินคืนสภาพได้ตามเดิม

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์การปรับปรุงคุณภาพดินทรายด้วยสารละลายนาโนเซลลูโลส สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร.วีรยุทธ โกมลวิลาศผู้เป็นที่ปรึกษาและให้คำแนะนำในการจัดทำ

โครงงาน อีกทั้งยังได้สละเวลาเพื่อตอบข้อสงสัยของผู้วิจัยตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของการทำโครงการนี้ด้วยความใส่ใจอย่างยิ่ง คณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบตลอดจนเป็นสถานที่ในการศึกษาปฏิบัติการ ปริญญานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

1. H.L. Mali. “Effect of Compaction on Soil Properties: Laboratory and Field Investigations”. Transportation Research Record, No. 1403, Transportation Research Board, Washington D.C., 1993.
2. S. Andavan, & V.K. Pagadala. “A study on soil stabilization by addition of fly ash and lime”. Journal of the Institution of Engineers (India), 2017.
3. P. Sherwood. “Soil stabilization with cement and lime”. Construction Industry Research and Information Association, 1993.
4. H.G. Van Oss. “Cement manufacture and the environment Part II: Environmental challenges and opportunities”. Journal of Industrial Ecology, 7(2), 93-126. 2004.
5. H.E. Woo, T.V. Tran, I.C. Lee, J.O. Kim, T. Hibino, H. Nohara & K. Kim. “Remediation of contaminated sediment originating from wastewater at harbor areas using slaked lime–fly ash–cement mixture”. Journal of hazardous materials, 260, 327-336. 2013.
6. K.P.Y Shak. “Nanocellulose: Recent advances and its prospects in environmental remediation”. Journal of Cleaner Production, 255, 120177. 2020.
7. A. Guo. “A Review on the Application of Nanocellulose in Cementitious Materials”. Advances in Civil Engineering Materials, 8(1), 214-228. 2019.
8. R. Reshmy, P. Eapen, A. Madhavan, P. Binod, P. Arivalagan, M. K. Awasthi, E. Gnansounou, A. Pandey, and R. Sindhu. “Promising eco-friendly biomaterials for future biomedicine: Cleaner production and applications of nanocellulose”. Environmental Technology & Innovation, 2021.
9. S. Siqueira, T. Tapia, M. Darder, P. Aranda. “Dehydration-induced strengthening of nanocellulose filaments. Biomacromolecules”. 2013.
10. สมเศรษฐ์ แจ่มอำพร. “การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการให้แรงเชิงกลต่อสมบัติของเส้นใยนาโนเซลลูโลส”, Crma. J., ปี 20, ฉบับที่ 1, น. 12–21, ธ.ค. 2022.
11. Sarah J. Peters, Todd S. Rushing, Eric N. Landis, and Toney K. Cummins. “Nanocellulose and Microcellulose Fibers for Concrete”. 2010.
12. E.G. Deze, E. Cuenca, A.M.L. Násner, M. Iakovlev, S. Sideri. “Nanocellulose enriched mortars: Evaluation of nanocellulose properties affecting microstructure strength and development of mixing protocols”. 2022.
13. Xiuxuan Sun, Qinglin Wu, Jinlong Zhang, Yan Qing, Yiqiang Wu. “Rheology, curing temperature and mechanical performance of oil well cement: Combined effect of cellulose nanofibers and graphene nano-platelets”. Materials & Design, 114, 92-101. 2017.
14. O. Onuaguluchi, M. Sain. “Properties of nanofibre reinforced cement composites”. Construction and Building Materials, 63, 119-124. 2014.
15. S. Sarfaraz, M.M.Khabiri, H.Mehrnahad. “Effect of nanocellulose in modifying the mechanical properties and the volume changing of the sand-silt subgrade in controlling its local rupture”. *Journal of Transportation Infrastructure Engineering*, 2021.
16. Benjapon Benjawarangkul. “Permeation Behaviour of Polymer Fluids in Bangkok Sand”. Civil Engineering Chulalongkorn University, 26-27, 2021.
17. ASTM International. “Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions”. ASTM International, West Conshohocken, PA. 2012. [https://www.cesmec.cl/medios/DIC/normas/ASTM_D3080_11_I.pdf]