รายงานการวิจัย

นวัตกรรมระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มไม้ในดินเนื้อเดียว สำหรับพื้นที่ป่าชายเลนโดยมีส่วนร่วมกับชุมชน

The development of pile load test system innovation in mangrove forest for the community organization

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลดา กาญจนกุล

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2567

นวัตกรรมระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มไม้ในดินเนื้อเดียว สำหรับพื้นที่ป่าชายเลนโดยมีส่วนร่วมกับชุมชน

ชลดา กาญจนกุล[1]

บทคัดย่อ

โครงการนี้ถูกนำเสนอขึ้นเพื่อออกแบบกราฟคำนวณสำหรับใช้งานโดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ยอมให้ (the allowable bearing capacity, Q_{all}) และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระยะฝังเสาเข็ม (depth) และพื้นที่หน้าตัด (cross-sectional area) ของเสาเข็มคอนกรีตและเสาเข็มไม้ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวิศวกรหน้างานและผู้รับเหมาก่อสร้างในชุมชนพื้นที่ป่าชายเลนโดยวิธีขุดเจาะวิเคราะห์สภาพชั้นดิน โดยนำผลการขุดเจาะสำรวจ (Boring log) มาวิเคราะห์ออกแบบขนาดเสาเข็มและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ โดยค่าที่ต้องการในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความหนาแน่นของดิน, ความเชื่อมแน่นประสิทธิผลของดิน, จำนวนครั้งที่ตอกและดินจมลงไป 1 ฟุต, มุมเสียดทานภายในของดิน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังนำข้อมูลการทดสอบที่ได้จากผลการขุดเจาะสำรวจมาทำการคำนวณด้วยวิธี empirical method เพื่อให้ได้มาซึ่งค่า Young's modulus, E', Adhesion factor, α and Poisson's ratio, ν' สำหรับนำไปใช้คำนวณค่าการทรุดตัวของเสาเข็มต่อตามหลักการ finite element program (PLAXIS 2D) เปรียบเทียบกับการคำนวณค่าการทรุดตัวหน้างานจริงจากการพัฒนาเครื่องมือระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มฝังลึกในดินเหนียว พร้อมวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยและค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ตามหลักวิศวกรรมเพื่อเป็นประโยชน์ต่อชุมชน ผู้รับเหมาและวิศวกรหน้างาน

จากการศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มพบว่าที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 150 กิโลนิวตัน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 2.5 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ คือ 60 กิโลนิวตัน ทำให้ได้ค่าการทรุดตัวในการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ที่ 14.4 มิลลิเมตรซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์คือ 14.42 มิลลิเมตรโดยพบว่าการทรุดตัวของเสาเข็มยังอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย คือ ไม่เกิน 10% ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม (0.1x0.3 m = 30 mm)

คำสำคัญ: ฐานรากเสาเข็ม, การวิเคราะห์แบบโครงร่างตาข่าย, กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม, ระเบียบวิจัยเชิงตัวเลข, ดินเหนียวอ่อน

[1] ชลดา กาญจนกุล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย นครศรีธรรมราช

The development of pile load test system innovation in mangrove forest for the community organization

Chollada Kanjanakul[1]

Abstract

This research aims to create a set of design charts that present the relationship between the allowable bearing capacity and several parameters, such as the depth and cross-sectional area of wooden and concrete piles. These charts will be highly useful for site engineers and users of community building in Mangrove forest. The study begins by collecting laboratory test data from the field boring log. Soil strength parameters such as unit weight (γ), the effective cohesion (c'), standard penetration test (SPT-N), and internal friction angle (ϕ) from the borehole log were used to calculate bearing capacity, section and depth of piles. Moreover, laboratory test data from the boring log were calculated by empirical method and used in terms of input parameters (Young's modulus, E', Adhesion factor, α and Poisson's ratio, ν') for the finite element program (PLAXIS 2D). These two dimensional plane strain FEM was used to analyze the settlement and consolidation behaviors of piles in the case study. Results for the case study show that increasing 150 kN of axial load (2.5 times the allowable bearing capacity) leads to reduced pile stability and increased pile settlement (14.4 mm of total settlement). PLAXIS's model predictions are satisfactorily compared with the pile load test result. In addition, the pile failure does not occur because the total settlement (14.4 mm) is less than 10% of the pile diameter (30 mm).

Keywords: Pile foundation, Finite element, Bearing capacity, Numerical analysis, Soft clay

[1] Chollada kanjanakul, College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Khanom, Nakhon Si Thammarat.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณรายได้ ประจำปี 2567 เพื่อให้ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างดินในธรรมชาติเพื่อนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ สำหรับการนำผลข้อมูลจากผลการขุดเจาะสำรวจมาทำการวิเคราะห์ออกแบบขนาดเสาเข็ม, น้ำหนักบรรทุกออกแบบและกราฟการเลือกใช้เสาเข็มที่เหมาะสมทั้งขนาดรูปร่างเพื่อรองรับที่อยู่อาศัยบริเวณป่าชายเลน ตามหลักวิศวกรรมทั้งนี้ยังได้ทำการพัฒนาเครื่องมือระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มฝังลึกในดินเหนียว พร้อมวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยและค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ตามหลักวิศวกรรมเพื่อเป็นประโยชน์ต่อชุมชน ผู้รับเหมาและวิศวกรหน้างาน

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอบคุณหลักสูตรวิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการในการทดลองวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ธนันท์ ชุบอุปการและเจ้าหน้าที่จากศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ (Nadrec) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่คอยแนะนำให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้านข้อมูลการทดสอบชั้นดินและข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติมด้วยดีตลอดมากระทั่งผู้วิจัยปฏิบัติงานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผศ.ดร.ชลดา กาญจนกุล

23 กรกฎาคม 2568

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม.....4
2.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม.....6
2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง.....7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน
3.1 การวิเคราะห์และออกแบบการรับแรงของเสาเข็มในดินอ่อน.....9
3.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม.....10
3.3 การตรวจสอบ.....10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์และออกแบบการรับแรงของเสาเข็มในดินอ่อน 11

4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติและจำแนกชนิดของดินตามหลักวิศวกรรม.....12

4.3 การตรวจสอบวิเคราะห์และออกแบบตามรายการคำนวณ.....15

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 21

บรรณานุกรม.....23

ประวัติผู้วิจัย.....24

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 : ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย 10
ตารางที่ 4.1 : แสดงแผนการดำเนินงานโครงการตามข้อเสนอโครงการ 19

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 : พฤติกรรมการถ่ายแรงของดินสำหรับเสาเข็ม 4
รูปที่ 2 : การหา f_s โดยวิธี α-method 5
รูปที่ 3 : กรอบและขั้นตอนการวิจัย 9
รูปที่ 4 : รูปตัดชั้นดิน BH-1บริเวณที่ทำการวิจัย 11
รูปที่ 5 : Flow Chart ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานเก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่กรณีศึกษา 12
รูปที่ 6 : แบบจำลองเสาเข็ม 13
รูปที่ 7 : กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส 15
รูปที่ 8 : กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยแบบวงกลม 16
รูปที่ 9 : เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัว 17
รูปที่ 10 : การกระจัดรวมมาตราส่วน 500 18

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

การก่อสร้างที่พักอาศัยในชุมชนพื้นที่ป่าชายเลนทั้งฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทยของภาคใต้เป็นที่ทราบโดยทั่วกันว่าดินบริเวณนี้จะมีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อน (Soft clay) ซึ่งการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษางานวิชาการ งานวิจัย ภูมิปัญญาจากการใช้วัสดุในพื้นที่ซึ่งเป็นงานที่จะต้องมีการตรวจสอบ วิเคราะห์ และออกแบบอย่างถี่ถ้วนเพื่อการสร้างองค์ความรู้สำหรับนำไปใช้ได้จริง เหมาะสำหรับผู้มีรายได้น้อย แต่ทั้งนี้ต้องปลอดภัยตามหลักวิศวกรรมและมีงานวิชาการรองรับ โดยเฉพาะส่วนของฐานรากเสาเข็มซึ่งปัจจุบันต้องมีการคำนึงถึงภาพรวมเกี่ยวกับพฤติกรรมการทรุดตัวและผลกระทบต่อแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างทางวิศวกรรมปฐพีบริเวณชายฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทย

โครงการนี้จึงถูกนำเสนอขึ้นเพื่อศึกษาสภาพพื้นที่กรณีตัวอย่างบริเวณชั้นดินอ่อนเพื่อขยายงานวิจัยรองรับพื้นที่ป่าชายเลนชายฝั่งอันดามัน และชายฝั่งอ่าวไทยในลำดับถัดไปเพื่อแก้ไขปัญหาที่พักอาศัยของผู้มีรายได้น้อยและสร้างความมั่นคงในการอยู่อาศัยแก่คนจนในเมือง โดยวิธีขุดเจาะวิเคราะห์สภาพชั้นดิน และนำผลข้อมูลจากผลการขุดเจาะสำรวจ (Boring log) มาทำการวิเคราะห์ออกแบบขนาดเสาเข็มและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ (Allowable bearing capacity, Qall) มาวิเคราะห์พฤติกรรมการทรุดตัวและการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มตามหลักวิชาการในบริเวณพื้นที่ป่าชายเลน เพื่อแก้ไขปัญหาที่พักอาศัยของผู้มีรายได้น้อยและสร้างความมั่นคงในการอยู่อาศัยแก่คนจนในเมืองทั้งนี้เพื่อเสนอแนวทางในการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวเสาเข็มอย่างง่าย อันจะเป็นประโยชน์แก่ผู้อยู่อาศัยของโครงการบ้านมั่นคงบริเวณพื้นที่ป่าชายเลน ผู้เสนอโครงการจึงต้องดำเนินการวิจัยโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลของชั้นดิน (Boring log test) โดยทำการเก็บตัวอย่างข้อมูลลึกไม่เกิน 20 เมตร และเก็บข้อมูลค่าการตอก SPT-N ตามมาตรฐานต่อดิน 3 ชั้น (The standard penetration test) เพื่อความถูกต้องในการวิเคราะห์อีกทั้งนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาใช้เป็นตัวแปรหลักในการมาวิเคราะห์ถึงความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (Ultimate bearing capacity, Q_{ult}) ของฐานรากเสาเข็ม รวมไปถึงการ

คำนวณและออกแบบเพื่อรองรับอาคารที่พักอาศัยได้อย่างปลอดภัย ตลอดจนกรณีศึกษาในพื้นที่ใกล้เคียงกับโครงการ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางและเกณฑ์การออกแบบก่อสร้างอย่างเหมาะสมและปลอดภัยในรูปแบบของคู่มือการเลือกใช้ขนาดและชนิดของเสาเข็มที่แตกต่างกันตามความสะดวกและเหมาะสมของช่างก่อสร้าง โดยจะมุ่งเน้นในเรื่องของความสะดวก ประหยัด และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ป่าชายเลน อย่างเช่น การนำวัสดุจากชุมชน (ไม้) มาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างรองรับที่อยู่อาศัยของชุมชน เป็นต้น ข้อดีของการเลือกใช้เสาเข็มไม้ คือ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ป่าชายเลน สามารถตัดหัวเสาเข็มได้ง่าย และประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งโดยทั่วไปอาจจะเป็นไม้สน ไม้เบญจพรรณที่มีขนาด 3 – 8 นิ้ว ยาว 3-8 เมตร หรือไม้ประเภทอื่นๆ ตามสภาพแวดล้อมของชุมชน โดยใช้กับโครงสร้างขนาดเล็ก (พรพจน์ ตันเส็ง, 2554) ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาเครื่องมือระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มฝังลึกในดินเหนียว พร้อมวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยและค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ตามหลักวิศวกรรมเพื่อเป็นประโยชน์ต่อชุมชนผู้รับเหมาและวิศวกรหน้างาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 พัฒนาเครื่องมือสำหรับระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มฝังลึกในดินเหนียวอย่างถูกต้องปลอดภัยตามหลักวิศวกรรมและมีงานวิชาการรองรับ

1.2.2 เกิดการศึกษางานวิชาการ วิจัย ภูมิปัญญาในพื้นที่ การก่อสร้างในพื้นที่ทั้งรูปแบบฐานรากและที่อยู่อาศัยในพื้นที่จริง สภาพชั้นดินป่าชายเลนพื้นที่ภาคใต้

1.2.3 เกิดการศึกษาสภาพพื้นที่กรณีตัวอย่าง จ.นครศรีธรรมราช โดยวิธีขุดเจาะวิเคราะห์สภาพชั้นดิน, พฤติกรรมการทรุดตัวและกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็ม และการจำลองพื้นที่กรณีตัวอย่างการรับน้ำหนักจริง จากการมีส่วนร่วมของชุมชน เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบที่เป็นไปตามหลักวิชาการ

1.2.4 ชุมชน สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้าง “ชาวบ้านรู้ ข้อเท็จจริง หลักวิชาการได้ ปลอดภัยทุกคน”

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยทำการวิเคราะห์การทรุดตัวจากการพัฒนาเครื่องมือสำหรับระบบทดสอบของเสาเข็มฝังลึกในดินเหนียวจากผลการขุดเจาะสำรวจดิน (Boring log)

1.3.2 งานวิจัยนี้นำข้อมูลจากผลการขุดเจาะสำรวจและการจำแนกประเภทของดิน (ใช้วิธี Unified soil classification system) มาทำการวิเคราะห์ออกแบบขนาดเสาเข็มและน้ำหนักบรรทุกออกแบบ (Allowable bearing capacity, Qall) เพื่อใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย

1.3.3 ผลทดสอบที่ได้จากการจำแนกประเภทของดินนี้เกิดจากการทำการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis), การกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution), การทดสอบหาความชื้น (Water Content), พิกัดเหลว (Liquid Limit), พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) และ พิกัดหดตัว (Shrinkage Limit) ของดิน

1.3.4 ผู้วิจัยพัฒนาเครื่องมือเพื่อประเมินค่าการทรุดตัวโดยให้น้ำหนักบรรทุกแบบวงรอบซ้ำโดยเพิ่มแรงครั้งละ 25 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 250 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ โดยมีค่าอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of safety) ประมาณ 2.5 (F.S. = 2.5) และลดแรงครั้งละ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกออกแบบและพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มโดยหากทำการออกแบบถูกต้องควรมีค่าการทรุดตัวไม่เกิน 0.1 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มตามมาตรฐาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เครื่องมือสำหรับระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มฝังลึกในดินเหนียว

1.4.2 รายงานการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยโดยมีการนำรายละเอียดงานที่ผู้เสนอโครงการลงมือปฏิบัติทุกขั้นตอนมาใช้สำหรับประกอบการบรรยาย

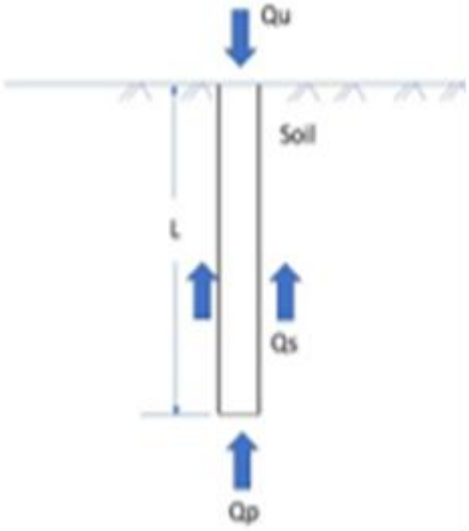
1.4.3 สามารถผลิตบทความทางวิชาการในระดับประเทศหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 1 ฉบับ หรือสามารถเข้าร่วมงานประชุมทางวิชาการในระดับประเทศหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 1 ฉบับ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยขอทำการแบ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเป็น 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ การประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากข้อมูลการเจาะสำรวจดิน และ การทดสอบ Pile load test เพื่อดูค่าการทรุดตัวที่หัวสาเข็มโดยมาตรฐาน

2.1 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (Pile capacity in cohesive soil)

การรับน้ำหนักของเสาเข็มในกรณีที่เป็นดินอ่อนจะมีพฤติกรรมการถ่ายแรงของดินแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แรงเสียดทานผิว (Skin friction, Qs) และแรงแบกทานที่ปลายเข็ม (End bearing, Qp) ดังรูปที่ 1 โดยเสาเข็มจะทำหน้าที่รับน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดลงสู่ชั้นดิน (ภาพที่ 1)



รูปที่ 1 พฤติกรรมการถ่ายแรงของดินสำหรับเสาเข็ม
ที่มา: (เอกสารประกอบการสอนวิศวกรรมฐานราก ผศ.ดร.ชลดา กาญจนกุล, 2564)

การคำนวณหาค่ารับน้ำหนักของเสาเข็มแบบ Static pile capacity (รูปที่ 1) มีสูตรดังนี้

$$Q_{ult} = Q_{skin} + Q_{end} - W_P \quad (1)$$

เมื่อ Q_{ult} คือ ค่ารับน้ำหนักประลัย, Q_{skin} คือ แรงต้านเนื่องจากความหนืดของเข็มรับดิน, Q_{end} คือ แรงต้านที่ปลายเข็ม และ W_P คือ น้ำหนักของเสาเข็ม

- การหาค่าแรงเสียดทานผิว (Skin friction, Q_{skin})

A. การหาค่าแรงเสียดทานผิว (Skin friction, Q_{skin}) ของ Thomlinson (1971) โดยมีสูตรดังนี้

$$Q_{skin} = \int_0^{A_S} f_S dA_S \quad (2)$$

เมื่อ A_S คือ พื้นที่สัมผัสของดินถึงเข็ม

f_S คือ Shear strength ของดิน คำนวณได้จาก ($c + \sigma_n \tan\delta$)

c คือ Cohesion

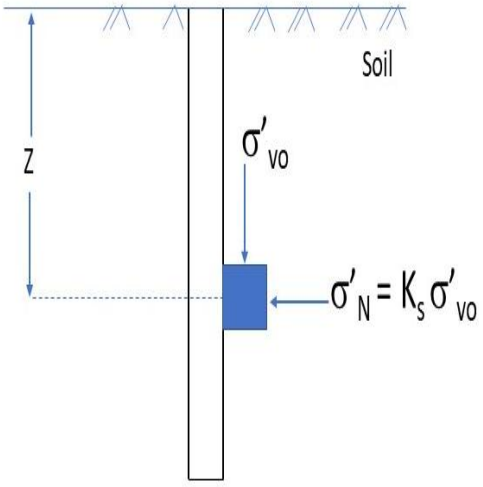
σ_n คือ Normal stress

δ คือ Interface friction angle

B. การหาค่าแรงเสียดทานผิว (Skin friction, Q_{skin}) กรณีที่เข็มอยู่ในดินหลายชนิด โดยมีสูตรดังนี้

$$Q_{skin} = \sum_{i=1}^{n} f_{Si} A_{Si} \quad (3)$$

เมื่อ f_S จะขึ้นอยู่กับชนิดของดินและเข็ม และ n คือ จำนวนชั้นของดิน



รูปที่ 2 การหา f_S โดยวิธี α-method (ชลดา กาญจนกุล, 2564)

C. การหา f_S โดยวิธี α-method ของ Thomlinson (1971) โดยมีสูตรดังนี้

$$f_S = \alpha S_U + k_S \sigma'_{V0} \tan\delta \quad (4)$$

เมื่อ α คือ Adhesion factor

S_U คือ Undrained shear strength หรือกำลังรับแรงเฉือนของดิน

k_S คือ Lateral pressure coefficient และจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินและเข็ม

$\sigma_{V0}^{'}$ คือ Effective overburden pressure

δ คือ Interface friction angle และจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินและเข็ม

2.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Static Load Test) หรือ (Pile Load Test)

เป็นการทดสอบภาคสนามโดยการโหลดน้ำหนักบรรทุกลงไปและตรวจวัดค่าการทรุดตัวของหัวเสาเข็มโดยใช้เกจวัดค่าการทรุดตัวเพื่อเอาไว้พิจารณาการรับน้ำหนักของเสาเข็มที่น้ำหนักต่างๆ ตรวจสอบกับน้ำหนักบรรทุกจากรายการที่ผู้วิจัยออกแบบหรือคำนวณไว้ด้วยว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร

ขั้นตอนการทดสอบ ที่มา: (ดัดแปลงมาจาก https://www.thitinan.co.th/static-load-test/, 2566)

Cycle 1 (ใส่ load ครบ 100% ตามน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มที่กำหนดไว้)

A.กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกออกแบบ (Allowable bearing capacity, Q_{all}) ใช้งานรับน้ำหนักได้ 100% และให้ น้ำหนัก load เพิ่มเป็น step ทีละ 25% (0%**,** 25%, 50%, 75%**,**100%)

B.การเพิ่ม load จะกระทำเมื่ออัตราการทรุดตัวของเสาเข็ม ทดสอบน้อยกว่า 0.25 mm ต่อชั่วโมง หรือหลังจากค้าง load ไว้ 2 ชั่วโมง

C.เมื่อเพิ่ม load แต่ละครั้งจะทำการจดบันทึกค่าการทรุด ตัวที่ระยะเวลาต่อไปนี้ 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 90, 120, 240 นาที และทุกๆ 2 ชั่วโมง ด้วยค่าความละเอียด 0.01 mm

D.เมื่อใส่ load ที่ค่าสูงสุด 100% จะทำการค้าง load นี้เอา ไว้ อย่างน้อย 24 ชั่วโมง แล้วจึงลด load เป็น step ทีละ 25% (100%, 75%, 50%, 25%, 0%) แต่ละ step ของ load ที่ลดลงจะทำการค้าง load เอาไว้จนกว่าอัตราค่าการคืนตัวของเสาเข็มทดสอบน้อยกว่า 0.25 mm ต่อชั่วโมง หรือหลังจากค้าง load ไว้ 2 ชั่วโมง

E.เมื่อคืน load กลับมาที่ 0% ต้องจดบันทึกค่าการทรุดตัว ของเสาเข็มทดสอบที่เวลา 1, 2, 4, 8, 15, 30, 40, 60 นาที และทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งเสาเข็มทดสอบหยุดการคืนตัว

Cycle 1 (ใส่ load จนเสาเข็มวิบัติหรือกำหนดค่าสูงสุด 200% ตามน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มที่กำหนดไว้ เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่เสาเข็มจะรับได้)

F.กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบใช้งานรับน้ำหนัก 200% การให้ load จะให้เป็น step ทีละ 25% (0%, 25%, 50%, 75%, 100%, 125%, 150%, 175%, 200%)

G.การเพิ่ม load แต่ละ step จะกระทำทุกๆ 5 นาที และจะทำการบันทึกระยะทรุดตัวกับเวลา ที่เวลา 1 และ 5 นาที ในแต่ละ step ที่ความละเอียด 0.01 mm.

H.การลด load จะกระทำทีละ step เช่นกัน ทุกๆ 25% ดังนี้ (200%, 175%, 150%, 125%, 100%, 75%, 50% 25%, 0%)

I.ที่ load 0% จะปล่อยให้เสาเข็มคืนตัว (rebound) โดยจะบันทึกค่าที่ระยะเวลา 1, 2, 4, 8, 15, 30, 40, 60 นาที และทุกๆ ชั่วโมงจนกว่าจะหยุดนิ่ง

J.นำค่าน้ำหนักบรรทุกทดสอบ (load), การทรุดตัวของเสาเข็ม (settlement), ระยะเวลาในการใส่ load ทดสอบ (time) จากการทดสอบนำมา plot กราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ของพฤติกรรมและนำมาใช้วิเคราะห์ผลการทดสอบ

2.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในอดีตที่ได้วิเคราะห์การรับแรงของเสาเข็มในดินเหนียวอ่อนมีการนำเสนออย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็น

อนุชา วงษ์เลิศและคณะ (2558) ยืนยันถึงประสิทธิผลในการลดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของเสาเข็มและดินรอบๆ หากทำการเสริมกำลังเสาเข็มดินซีเมนต์ด้วยไม้ยูคาลิปตัส (Stiffened deep cement mixing) ในชั้นดินเหนียวเขตกรุงเทพด้วยการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มดินซีเมนต์ภายใต้พื้นถ่ายแรงแบบแกร่งรองรับ ตลอดจนติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่า การทรุดตัวแรงดันน้ำส่วนเกิน และการเคลื่อนตัวในแนวด้านข้างพบว่าความแข็งแกร่งของเสาเข็มมีค่าเพิ่มขึ้น ช่วยทำให้น้ำหนักบรรทุกถ่ายลงสู่เสาเข็มเพิ่มมากขึ้น และช่วยให้การเสียรูปด้านข้างลดลงอันนำมาซึ่งความดันน้ำส่วนเกินและการทรุดตัวในดินที่น้อยลง (Bandekar, 1980)

สุรภาพ แก้วสวัสดิ์วงศ์ และ บุญชัย อุกฤษฏชน (2558) ได้ศึกษาแรงวิบัติของเสาเข็มรับแรงด้านข้างในดินเหนียว ด้วยวิธีระเบียบเชิงตัวเลขโดยแบ่งเสาเข็มออกเป็น 2 หน้าตัด คือ หน้าตัดแนวดิ่งแสดงการประมาณของกำแพงฝังในดินซึ่งรับแรงด้านข้างและโมเมนต์ที่จุดบนสุดและหน้าตัดแนวราบแสดงการประมาณของเสาเข็มรูปวงกลมหรือท่อรับแรงด้านข้างที่จุดศูนย์กลาง ผลการวิเคราะห์พบว่าชิ้นส่วนเชื่อมต่อระหว่างดินและโครงสร้างถูกใช้ที่ผิวสัมผัสระหว่างดินเหนียวและเสาเข็มของทั้งสองหน้าตัด นอกจากนั้นชิ้นส่วนเชื่อมต่อระหว่างดินและโครงสร้างถูกจำลองเป็นสองแบบคือ การเชื่อมต่อแบบแรงดึงสมบูรณ์และการเชื่อมต่อแบบไม่มีแรงดึง กรณีแรกจำลองสภาพไม่เกิดการแยกตัว

ระหว่างดินและโครงสร้าง แต่กรณีสองจำลองสภาพการแยกตัวระหว่างดินและโครงสร้าง ผลเฉลยแรงวิบัติของเสาเข็มรับแรงด้านข้างถูกนำเสนอในรูปของตัวแปรไร้มิติ และเปรียบเทียบผลของงานวิจัยกับผลการศึกษาในอดีตและในปี 2559 (ธนาดล คงสมบูรณ์, 2541)

สุรภาพ แก้วสวัสดิ์วงศ์ และ บุญชัย อุกฤษฎชน (2559) นำเสนอการวิเคราะห์กำลังรับแรงเอียงของเสาเข็มรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสฝังลึกมากในดินเหนียว ผลที่ได้ถูกนำเสนอในรูปของตัวแปรไร้มิติระหว่างอัตราส่วนแรงวิบัติแบบเอียงที่กระทำต่อเสาเข็มที่มุมเอียงองศาต่างๆหารด้วยกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ และความกว้างของเสาเข็ม (อนุชา วงษ์เลิศและคณะ, 2558)

เทิดศักดิ์ เลไธสง และ พงศกร พวงชมภู (2564) ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การต้านแรงกดของดินโดยการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบ Static pile load test, ASTM D 1143 กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างสะพานข้ามทางรถไฟในทางหลวงหมายเลข 226 โดยเข็มเจาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ยาว 20 เมตร แรงอัดที่ออกแบบ 428.28 ตัน โดยการวิเคราะห์ Finite element ใช้ข้อมูลชั้นดินจากผลการสำรวจหลุมเจาะ ผลการวิจัยพบว่าภาพการกระจายความเค้นและการกระจัดจะทำให้ทราบขอบเขตที่ได้รับผลกระทบจากโครงการ นอกจากนี้การทรุดตัวและค่าของตัวแปรสัมประสิทธิ์การต้านแรงกดทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันจัดเป็นดินเหนียวแข็งตรงตามผลเจาะสำรวจ (สุรภาพ แก้วสวัสดิ์วงศ์ และ บุญชัย อุกฤษฎชน, 2558)

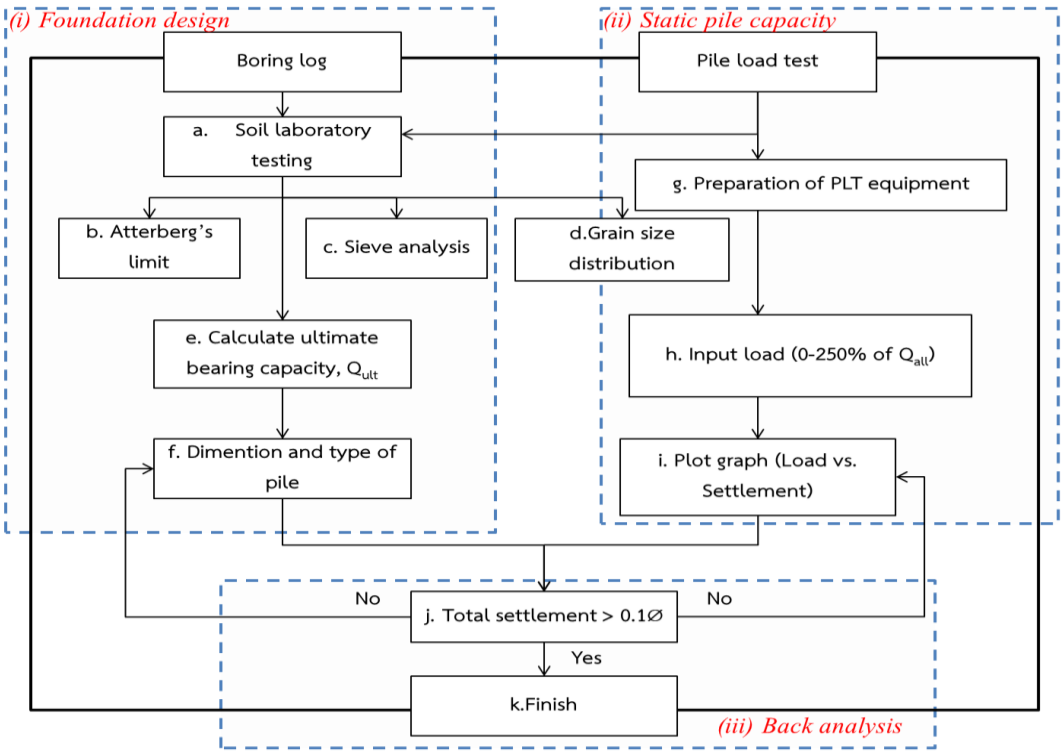
ยอดตะวัน รักษารมย์ และ พรพจน์ ตันเส็ง (2563) ใช้ Finite element analysis แบบ PLAXIS 3D วิเคราะห์พฤติกรรมการทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มแบบแผ่สำหรับอาคารสูงทั้งนี้ยังใช้วิธีแบบวิเคราะห์กลับ Back analysis เพื่อหาค่า Young’s modulus และยังทำการศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการจัดเรียงเสาเข็มต่อการทรุดตัวและโมเมนต์ดัดใน Mat โดยใช้วิธีวิเคราะห์ร่วมกันระหว่าง ETABS และ PLAXIS 3D พบว่าการจัดเรียงเสาเข็มโดยมีการเปลี่ยนแปลงความยาวเสาเข็มสามารถลดการทรุดตัวที่แตกต่างกันภายใน Mat และลดโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นได้ (เทิดศักดิ์ เลไธสง และพงศกร พวงชมภู, 2564)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้สามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ 3.1 การวิเคราะห์และออกแบบการรับแรงของเสาเข็มในดินอ่อน, 3.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม และ 3.3 การตรวจสอบการวิเคราะห์และออกแบบตามรายการคำนวณเทียบกับการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยได้จากการพัฒนาเครื่องมือ ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวิเคราะห์และออกแบบการรับแรงของเสาเข็มในดินอ่อน

นำผลที่ได้จากการทดสอบดินหน้างานและในห้องปฏิบัติการ (b. Atterberg's limit, c. Sieve analysis และ d. Grain size distribution) ดังแสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อ (i) Foundation design มาวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกประลัย (Ultimate bearing capacity, Qult) เพื่อใช้กำหนดขนาดพื้นที่หน้าตัดและความลึกของฐานรากเสาเข็ม (Pile foundation design) และนำไปออกแบบโครงสร้างฐานรากเสาเข็มให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด



รูปที่ 3 กรอบและขั้นตอนการวิจัย

3.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

พัฒนาเครื่องมือสำหรับระบบทดสอบของเสาเข็มฝังลึกในดินเหนียวจากผลการขุดเจาะสำรวจดิน (g. Preparation of PLT equipment) โดยการโหลดน้ำหนักบรรทุกลงไป (h. Input load 0-250% of Q_{all}) และตรวจวัดค่าการทรุดตัวของหัวเสาเข็มโดยใช้เกจวัดค่าการทรุดตัว

3.3 การตรวจสอบ

วิเคราะห์และออกแบบตามรายการคำนวณเทียบกับการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยได้จากการพัฒนาเครื่องมือว่ามีค่าการทรุดตัวเกินเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ (ทรุดตัวเกิน 0.1 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม) หากเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานก็ถือว่าสามารถทำการก่อสร้างที่พักอาศัยได้อย่างปลอดภัยไม่เสี่ยงต่อการทรุดตัวแต่หากไม่เป็นไปตามมาตรฐานต้องทำการทบทวนแก้ไขผลจากการทดสอบดินหน้างานและในห้องปฏิบัติการและการออกแบบขนาดพื้นที่หน้าตัดและความลึกของฐานรากเสาเข็ม

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ที่	กิจกรรม	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1.	วิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆและจำแนกชนิดของดินตามหลักวิศวกรรม	X	X	X	X	X							
2.	ออกแบบฐานรากเสาเข็มสำหรับรับน้ำหนักอาคาร				X	X	X	X	X				
3.	พัฒนาเครื่องมือสำหรับระบบทดสอบของเสาเข็มฝังลึกในดินเหนียว							X	X	X	X	X	X
4.	วิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน								X	X	X	X	X
5.	เผยแพร่งานวิจัย								X	X	X	X	X

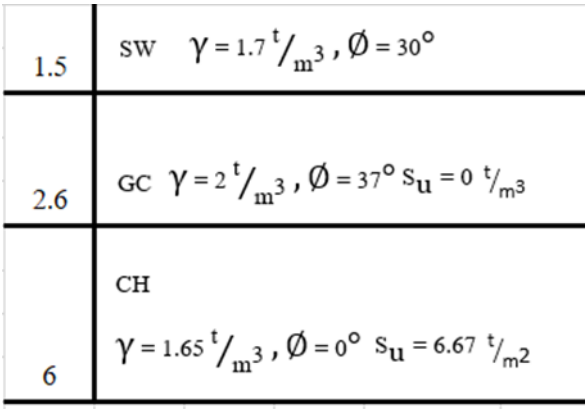
บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยขอแบ่งผลงานความก้าวหน้าที่ได้จากการวิจัย ออกเป็นหัวข้อย่อยทั้งหมด 3 ส่วน อ้างอิงตามแผนการดำเนินงานดังนี้ 1) การวิเคราะห์และออกแบบการรับแรงของเสาเข็มในดินอ่อน 2) การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม 3) การตรวจสอบการวิเคราะห์และออกแบบตามรายการคำนวณเทียบกับการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยได้จากการพัฒนาเครื่องมือ โดยการวิจัยครั้งนี้ต้องใช้ค่าจากข้อมูลต่างๆ เป็นจำนวนมากจึงขอยกเพียงเฉพาะข้อมูลที่สามารถอธิบายให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่าย

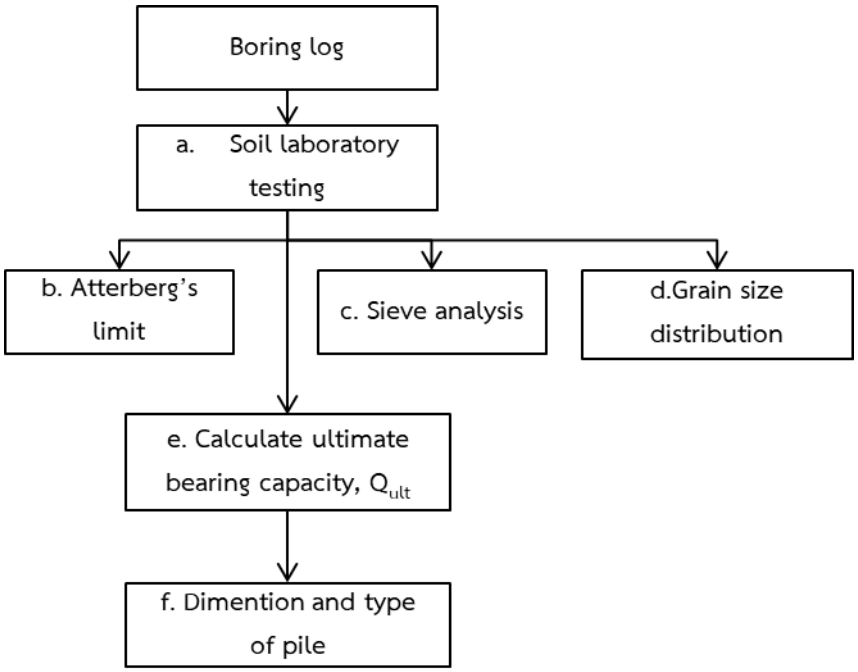
4.1 การวิเคราะห์และออกแบบการรับแรงของเสาเข็มในดินอ่อน (Result from boring log on study area)

ผู้วิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลหลุมเจาะ BH-1 ดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นบริเวณที่ทำการวิจัย (วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ อ.ขนอม จ.นครศรีธรรมราช) โดยประกอบไปด้วย ชั้นผิวหน้าดิน (เป็นดินถม, SW) หนา 1.5 เมตร ถัดไปเป็นชั้นกรวดปนดินเหนียว (GC) หนา 1.1 เมตร จนถึงก้นหลุมเป็นชั้นดินเหนียวที่มีค่าพลาสติกซิตี้สูง (CH) หนา 3.4 เมตร



รูปที่ 4 รูปตัดชั้นดิน BH-1บริเวณที่ทำการวิจัย

โดยการเก็บดินตัวอย่างดิน ไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ Atterberg's Limit, Sieve Analysis, Grain size distribution และทำการสำรวจทางวิศวกรรมเพื่อ กำหนดแบบจำลองสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบฐานรากเสาเข็ม โดยรายละเอียดการจำแนกดินเป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อ 4.2



รูปที่ 5 Flow Chart ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับงานเก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่กรณีศึกษา

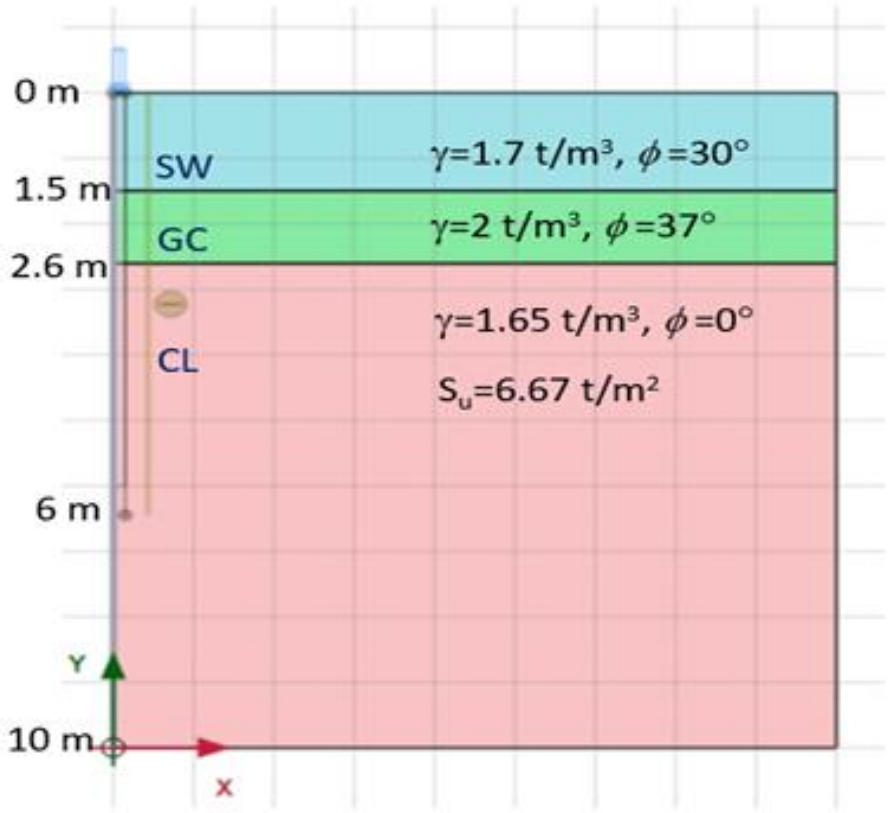
4.2. วิเคราะห์คุณสมบัติและจำแนกชนิดของดินตามหลักวิศวกรรม (Result from In-situ soil sampling)

จากการนำดินตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการได้แก่ Atterberg limits (ASTM D 4318-04) เมื่อค่า Liquid Limit (LL) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลว (Viscous Fluid) ไปเป็นสารหนืดตัวในสถานภาพพลาสติก (Plastic State) , Plastic limit (PL) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่เปลี่ยนสถานภาพจากพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง (Semi - solid state) และ Plastic Index (PI) คือ ผลต่างของ L.L และ P.L มักเป็นตัวแสดงถึงความเหนียวของดินและยังแสดงความไวต่อการเปลี่ยนสถานภาพต่อความชื้นของมวลดินนั้น จึงเป็นค่าที่สำคัญใช้มากในการจำแนกมวลดิน

ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์กำลังรับแรงแบกทานของฐานรากเสาเข็มดังรูปที่ 6 และพฤติกรรมรับแรง
มีดังนี้

<u>ดินชั้นที่1</u> เป็นดินประเภท SW (Well graded sand) มีค่า หน่วยน้ำหนักของดิน (γ_1) = 1.7 t/m^3 และค่ามุมเสียดทานภายในของมวลดิน (ϕ_1) = 30^o

ดินชั้นที่2 เป็นดินประเภท GC (Clayey gravel) มีค่า หน่วยน้ำหนักของดิน (γ_2) = 2 t/m^3 และค่ามุมเสียดทานภายในของมวลดิน (ϕ_2) = 37°



รูปที่ 6 แบบจำลองเสาเข็ม

ดินชั้นที่3 เป็นดินประเภท CL (Low plasticity clay) มีค่า หน่วยน้ำหนักของดิน (γ_3) = 1.65 t/m^3, ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_{u3}) = 6.67 t/m^2 และค่า Adhesion factor (α_3) =0.45

- การหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ (Q_{all}) ในเสาเข็ม

ผู้วิจัยต้องการหาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ (q_{all}) ในเสาเข็มไม้ขนาดความลึก 6 เมตร และมีพื้นที่หน้าตัด 0.22 × 0.22 m^2 กำหนดเป็นไม้ยูคาลิปตัสมีค่าหน่วยน้ำหนักของไม้ γ_t = 0.9 t/m^3 ฝังลึกในดิน SW มีค่า γ =1.7 t/m^3, ϕ =30 ที่ระดับ 0-1.5 m, GC มีค่า γ =2 t/m^3, ϕ =37 Su = 0 ที่ระดับ 1.5-2.6 m และ CH มีค่า γ =1.65 t/m^3, ϕ =0, Su = 6.67 t/m^2 ที่ระดับ 2.6-6 m กำหนด F.S. = 2.5

Step 1 หาค่า $Q_{skin1} = k_s \sigma'_{vo} \tan \delta A_{si}$

ที่ระดับ 0-1.5 m ดิน SW มีค่า γ =1.7 t/m^3, ϕ =30

หาค่า $k_s = 1\text{-}\sin(30) = 0.5$, $\sigma'_{vo} = \gamma h$ = (1.7-1)x1.5 = 1.05 t/m^2, tan δ = tan (2/3 $\times\phi$) = 0.36

หาค่า A_{si} = Diameter of pile $\times h \times 4 = 0.22x1.5x4$ = 1.32 m^2

$Q_{skin1} = k_s \sigma'_{vo}$ tan δ A_{si} = 0.5 x 1.05 x 0.36 x 1.32 = 0.25 t

Step 2 หาค่า $Q_{skin2} = k_s \sigma'_{vo}$ tan δ A_{si}

ที่ระดับ 1.5-2.6 m ดิน GC มีค่า γ =2 t/m^3, ϕ =37

หาค่า k_s = 1-sin(37) = 0.39, $\sigma'_{vo} = \gamma h$ = (2.0-1)x1.1 = 1.1 t/m^2, tan δ = tan (2/3 $\times\phi$) = 0.46

หาค่า A_{si} = Diameter of pile $\times h \times 4$ = 0.22x1.1x4 = 0.968 m^2

$Q_{skin2} = k_s \sigma'_{vo}$ tan δ A_{si} = 0.39 x 1.1 x 0.46 x 0.968 = 0.19 t

Step 3 หาค่า $Q_{skin3} = \alpha S_u A_{si}$

ที่ระดับ 2.6-6 m ดิน CH มีค่า γ =1.65 t/m^3, ϕ =0, Su = 6.67 t/m^2

ที่ Su = 6.67 t/m^2 จะมีค่า α = 0.45 (เปิดกราฟ)

หาค่า A_{si} = Diameter of pile $\times h \times 4$ = 0.22x3.4x4 = 2.992 m^2

$Q_{skin3} = \alpha S_u A_{si}$ = 0.45 x 6.67 x 2.992 = 8.98 t

Step 4 หาค่า $\sum Q_{skin} = Q_{skin1} + Q_{skin2} + Q_{skin3}$ = 9.42 tons

Step 5 หาค่า $Q_{end} = 9\ S_u A_{end}$ = 9x6.67x (0.22x0.22) = 2.91 tons

Step 6 หาน้ำหนักของเสาเข็มไม้ W_p = (0.22x0.22 m^2) x (6 m) x 0.9 t/m^3 = 0.26 tons

Step 7 หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยในเสาเข็ม (Q_{ult}) = $Q_{skin} + Q_{end} - W_p$ = 9.42+2.91-0.26 = 12.07 tons

Step 8 หาค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ในเสาเข็ม (Q_{all}) = Q_{ult}/ F.S. = 12.07/2.5 = 4.83 tons

โดยค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ (Q_{all}) ในเสาเข็มไม้ = 4.83 tons ที่คำนวณได้จะใช้เป็นค่าตัวแปรหลักในการโหลดน้ำหนักของ การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile load test)

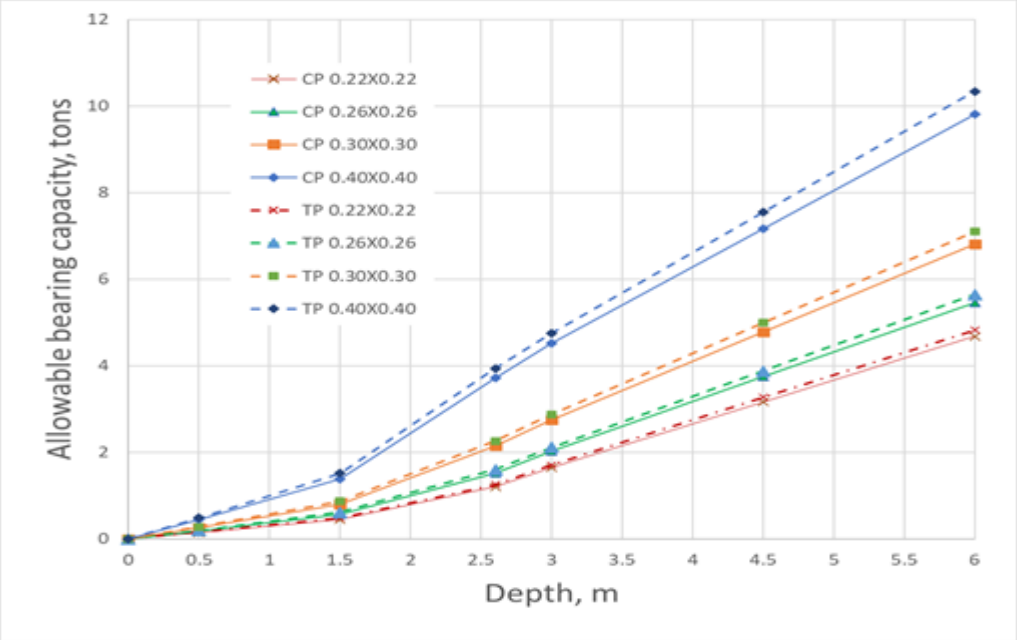
4.3 การตรวจสอบการวิเคราะห์และออกแบบตามรายการคำนวณเทียบกับการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยได้จากการพัฒนาเครื่องมือ

ผลการวิเคราะห์ถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการรับน้ำหนักของเสาเข็มไม้และเสาเข็มคอนกรีตที่มีความแตกต่างกันทั้งรูปร่างหน้าตัด (สี่เหลี่ยมและวงกลม) และความลึก (0.5-6 m) ของเสาเข็ม ส่วนในหัวข้อ 4.3.2 จะเป็นการประเมินค่าการทรุดตัวของดินโดยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์เทียบกับการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) ภาคสนาม

4.3.1 ชาร์ตออกแบบฐานรากเสาเข็มแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

A. ชาร์ตออกแบบฐานรากเสาเข็มแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

สำหรับฐานรากเสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดที่เหมาะสม 4 รูปแบบได้แก่ 0.22, 0.26, 0.30 และ 0.40 เมตร ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ (Allowable bearing capacity, Q_{all}) ทั้งในเสาเข็มไม้ (TP) และเสาเข็มคอนกรีต (CP) ที่ความลึกแตกต่างกันตามคุณสมบัติของชั้นดินแต่ละชั้นที่ปลายเสาเข็มถูกวางไว้ที่ความลึกตั้งแต่ 0.5 ถึง 6 เมตร จากชาร์ตสำหรับการออกแบบที่แสดงไว้ดังรูปที่ 7 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ขนาดและความลึกของเสาเข็มที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

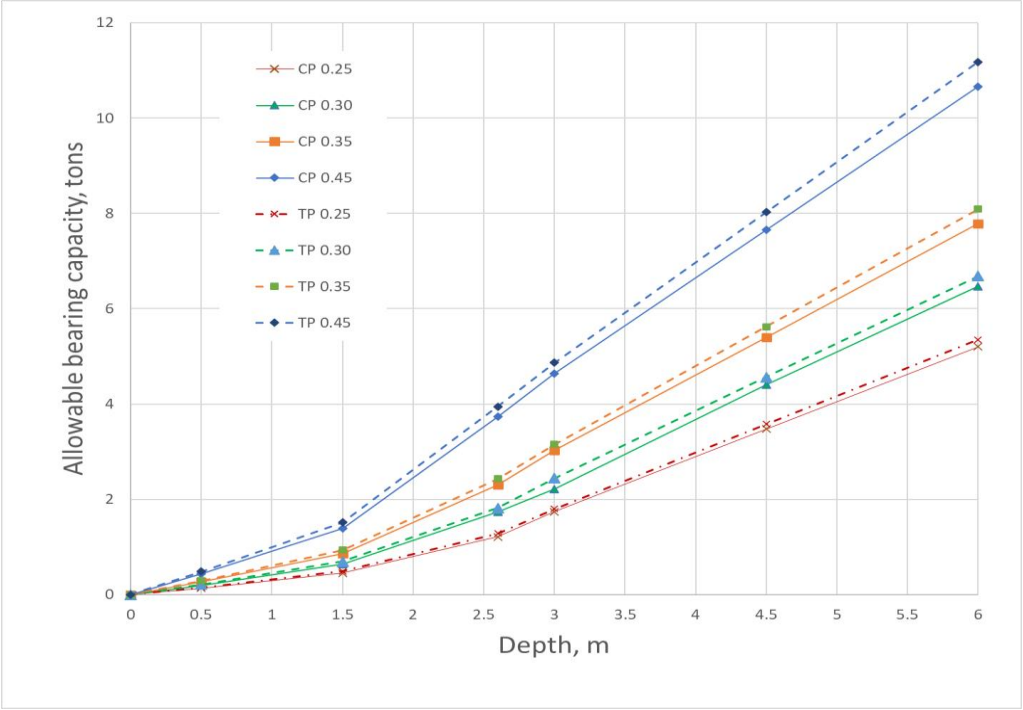


รูปที่ 7 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยฐานรากเสาเข็มแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ความลึก 0-3 เมตร (CP:เสาเข็มคอนกรีต และ TP:เสาเข็มไม้)

ซึ่งถ้าอธิบายตามหลักวิชาการดังสมการของ Terzaghi จะเห็นได้ว่า ความลึกของชั้นดินและขนาดของเสาเข็มที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการสะสมรวมของแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม เช่น ค่าเสาเข็มไม้ ขนาดกว้าง 0.22 เมตร ที่ความลึก 3 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้เพียง 1.7 ตัน แต่เมื่อมีขนาดและหน้าตัดเพิ่มขึ้นเป็น 0.40 เมตร ที่ความลึก 6 เมตร เสาเข็มจะรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ได้ถึง 10.4 ตัน

B. ชาร์ตออกแบบฐานรากเสาเข็มแบบวงกลม

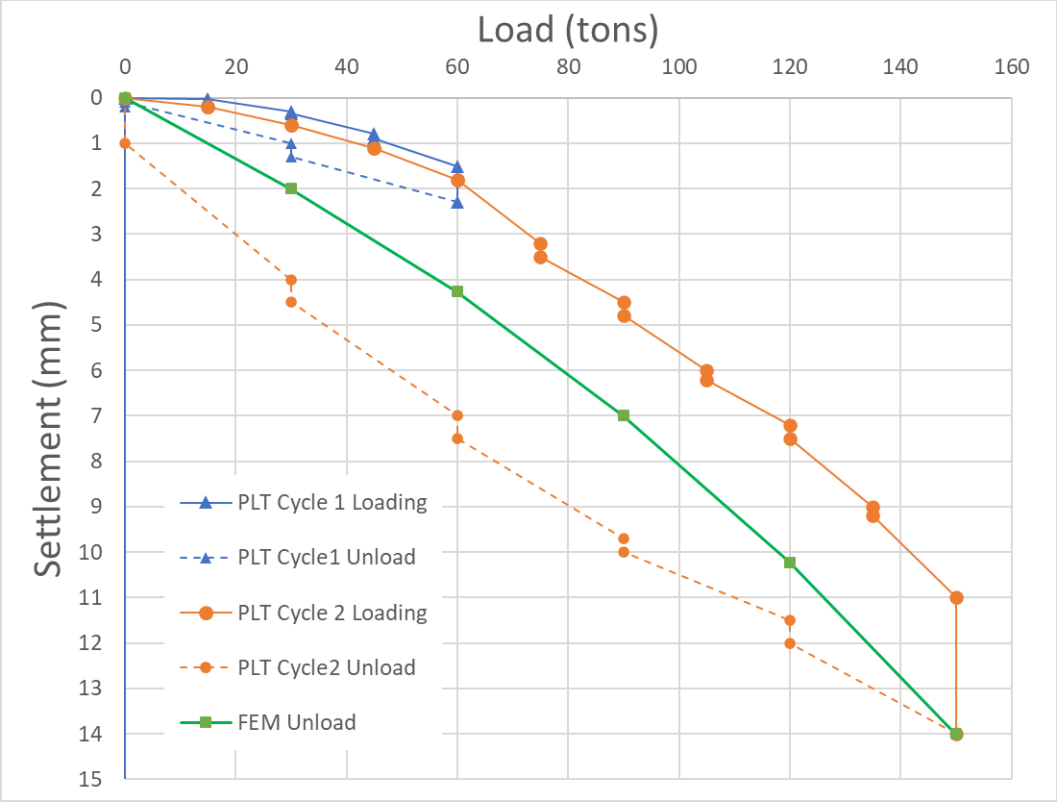
ฐานรากเสาเข็มดังรูปที่ 8 เหมาะสมกับเสาเข็มไม้และคอนกรีตที่รูปร่างหน้าตัดเป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25, 0.30, 0.35 และ 0.45 เมตร โดยความลึกและขนาดที่เพิ่มขึ้นของเสาเข็มแปรผันตามกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาเข็มเช่นเดียวกับกราฟการเลือกใช้เสาเข็มแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยค่าเริ่มต้นของเสาเข็มไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 เมตร (TP 0.25) ที่ความลึก 1.5 เมตร ให้ค่าน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาเข็มเท่ากับ 0.49 ตัน และเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นเป็น 6 เมตร ค่าน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาเข็มจะเพิ่มเป็น 5.35 ตัน และหากเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เป็น 0.45 เมตร (TP 0.45) ที่ความลึก 6 เมตร เท่าเดิมจะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาเข็มเพิ่มขึ้นเป็น 11.18 ตัน ซึ่งเป็นไปตามการสะสมแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มในแต่ละชั้นดิน



รูปที่ 8 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยสำหรับฐานรากเสาเข็มแบบวงกลม (CP:เสาเข็มคอนกรีต และ TP:เสาเข็มไม้)

4.3.2 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและค่าการทรุดตัวของเสาเข็มจากการทดสอบ Static pile load test ภาคสนามและ วิธีไฟไนท์อิลิเมนต์

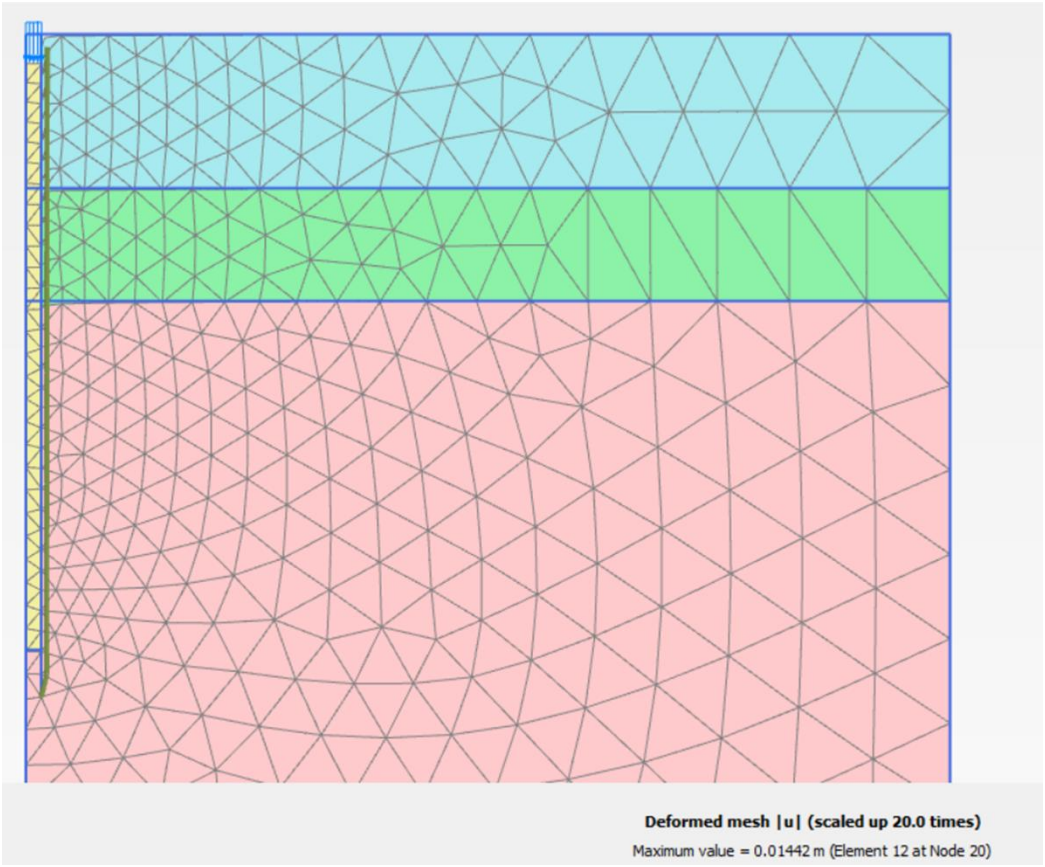
โดยการวิเคราะห์ไฟไนท์อิลิเมนต์จาก Plaxis 2D ผู้วิจัยจะทำการจำลองพฤติกรรมของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร ยาว 6 เมตรโดยให้น้ำหนักบรรทุกแบบวงรอบซ้ำโดยเพิ่มแรงครั้งละ 25 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 250 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ (60 กิโลนิวตัน) โดยมีค่าอัตราส่วนปลอดภัย (F.S. = 2.5) และลดแรงครั้งละ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกออกแบบ จึงมีแรงอัดทดสอบสูงสุดอยู่ที่ 150 กิโลนิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มจากการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์และวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์

จากรูปที่ 10 จะเห็นว่าที่น้ำหนักบรรทุกในรอบที่1 (Cycle 1 loading) ที่น้ำหนักบรรทุก 60 กิโลนิวตัน การทรุดตัวที่หัวสาเข็มมีค่า 2.3 มิลลิเมตร น้ำหนักบรรทุกรอบที่ 2 (Cycle 2 loading) ที่น้ำหนักบรรทุก 150 กิโลนิวตัน การทรุดตัวที่หัวสาเข็มมีค่า 14.4 มิลลิเมตร และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของเสาเข็มด้วยวิธีวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์ (Plaxis 2D) พบว่าการทรุดตัวมีค่าใกล้เคียงกันโดยที่น้ำหนักบรรทุก 150 กิโลนิวตัน การ

ทรุดตัวที่หัวสาเข็มมีค่า 14.42 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.7 โดยพบว่าการทรุดตัวของเสาเข็มยังอยู่ในช่วงที่ปลอดภัย คือ ไม่เกิน 0.1 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม (0.1x0.3 m = 30 mm)



รูปที่ 10 การกระจัดรวมมาตราส่วน 500

จากนั้นเมื่อลดน้ำหนักลงจนถึงศูนย์ดินจะแสดงพฤติกรรมอิลาสติกพลาสติกสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุและภาพการกระจายตัวของความเค้นและการกระจัดที่ได้จากโปรแกรม Plaxis 2D ทำให้สามารถประมาณขอบเขตพื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบจากการก่อสร้างได้

- ความก้าวหน้า

ตาราง 4.1 แสดงแผนการดำเนินงานโครงการตามข้อเสนอโครงการ (Plan / Action) โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

แผนการดำเนินงาน			ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1.	วิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆและจำแนกชนิดของดินตามหลักวิศวกรรม	P	X	X	X	X	X							
		A				✓	✓							
2.	ออกแบบฐานรากเสาเข็มสำหรับรับน้ำหนักอาคาร	P				X	X	X	X	X				
		A						✓	✓	✓				
3.	พัฒนาเครื่องมือสำหรับระบบทดสอบของเสาเข็มฝังลึกในดินเหนียว	P							X	X	X	X	X	X
		A							✓	✓				
4.	วิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน	P								X	X	X	X	X
		A										✓	✓	✓
5.	เผยแพร่งานวิจัย	P								X	X	X	X	X
		A										✓	✓	✓

1. งานออกสนามและเก็บตัวอย่าง เป็นการเก็บดินตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ (C_u,C_c,D_{10},D_{30},D_{60}) และทำการสำรวจทางวิศวกรรมเพื่อ กำหนดแบบจำลองสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบฐานรากเสาเข็ม ดำเนินการเป็นไปตามแผนการ (แล้วเสร็จเมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2567) แต่อาจต้องเตรียมการในหลายขั้นตอน ได้แก่ การสำรวจสถานที่, การขออนุญาตเจ้าของพื้นที่เพื่อเข้าสำรวจ, การเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบตัวอย่างดิน

2. ส่วนของการวิเคราะห์และอภิปรายกับสรุปผลการศึกษาและเขียนรายงานคาดว่าจะดำเนินการแล้วเสร็จภายในแผนดำเนินการ คือ ผู้วิจัยควรดำเนินการเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์แล้วเสร็จภายในวันที่ 31 กันยายน 2568

a) ในเงื่อนไข ผลผลิตที่กำหนดว่า บทความวิจัยต้องได้รับตีพิมพ์เผยแพร่ ในเอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ (proceeding) จำนวนอย่างน้อย 1 บทความหรือสูงกว่า อาจจะดำเนินการแล้วเสร็จในช่วง 31 ธันวาคม 2567 เนื่องจากผู้วิจัย เลือกตีพิมพ์ใน

1. วารสารระดับนานาชาติ Lecture notes in civil engineering (Scopus Q4) ในชื่อเรื่อง “Design charts and finite element analysis to predict the settlement of piles embedded in soft ground” ซึ่งได้รับการ Accepted ให้ตีพิมพ์เรียบร้อยแล้ว

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน (Conclusion and published research papers)
สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

A.สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้จาก Boring logs และการจำแนกประเภทดินโดยวิธี USCS พบว่าข้อมูลหลุมเจาะ BH-1 ประกอบไปด้วย

1.ดินประเภททรายที่มีขนาดคละกันดี SW (Well graded sand) มีค่า หน่วยน้ำหนักของดิน (γ_1) = 1.7 t/m^3 และค่ามุมเสียดทานภายในของมวลดิน (ϕ_1) = 30°

2.ถัดไปเป็นดินประเภท GC (Clayey gravel) มีค่า หน่วยน้ำหนักของดิน (γ_2) = 2 t/m^3 และค่ามุมเสียดทานภายในของมวลดิน (ϕ_2) = 37°

3.จนถึงก้นหลุมเป็นดินประเภท CL (Low plasticity clay) มีค่า หน่วยน้ำหนักของดิน (γ_3) = 1.65 t/m^3, ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (S_{u3}) = 6.67 t/m^2 และค่า Adhesion factor (α_3) =0.45

B.ชาร์ตสำหรับการออกแบบฐานรากเสาเข็มในดินเหนียวอ่อน พบว่า

1.สำหรับเสาเข็มไม้และเสาเข็มคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมมีหน้าตัดที่เหมาะสมน้อยที่สุดคือ 0.22x0.22 เมตร โดยมีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ (ค่า q_{all}) ที่ความลึก 0.5-6 เมตร เท่ากับ 0.14 และ 4.68 ตัน สำหรับเสาเข็มคอนกรีตและเท่ากับ 0.15 - 4.82 ตัน สำหรับเสาเข็มไม้ หน้าตัดมากสุดอยู่ที่ 0.40x0.40 เมตร โดยมีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ (ค่า q_{all}) ที่ความลึก 0.5-6 เมตร เท่ากับ 0.44 และ 9.82 ตัน สำหรับเสาเข็มคอนกรีตและเท่ากับ 0.48 – 10.34 ตัน สำหรับเสาเข็มไม้

2.ในส่วนของชาร์ตรูปวงกลมตันหน้าตัดน้อยสุดอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 เมตร และมากสุดที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 เมตร เมตร โดยมีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ (ค่า q_{all}) สูงสุดที่ความลึก 6 เมตร ได้ที่ 10.66 ตัน สำหรับเสาเข็มคอนกรีตและ 11.18 ตัน สำหรับเสาเข็มไม้

C.การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการทรุดตัวภาคสนามและ FEM พบว่า

1.วิธีไฟไนท์อิลิเมนต์มีประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมการรับน้ำหนักของดินที่ซับซ้อนสำหรับนำมาประยุกต์ใช้ออกแบบหน้างานจริงได้แต่ควรระวังเรื่องการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่จะใส่ลงไปในโปรแกรมเทียบกับข้อมูลภาคสนามเพื่อให้ได้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับความจริง

2.สำหรับการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวพบว่าที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 150 กิโลนิวตัน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 2.5 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ คือ 60 กิโลนิวตัน ทำให้ได้ค่าการทรุดตัวในการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ที่ 14.40 มิลลิเมตรซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์คือ 14.42 มิลลิเมตร ตามลำดับ

บรรณานุกรม

-ธนาดล คงสมบูรณ์ (2541). การศึกษาการลงบรรทุกน้ำหนักของเสาเข็มจากข้อมูลการทดสอบเสาเข็มถึงจุดพิบัติ. กรุงเทพฯ : คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธามณเฑียร กังศศิเทียม, (2539). กลศาสตร์ของดิน ด้านวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มสมาคมนักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์เพื่อใช้ในกิจกรรมมูปถัมภ์.

-ยอดตะวัน รักษารมย์ และ พรพจน์ ตันเส็ง (2563). การวิเคราะห์การทรุดตัวของฐานรากเสาเข็มแบบแผ่สำหรับอาคารสูงด้วยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์แบบสามมิติ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 25,* ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า GTE15.1-GTE15.10.

-สุรภาพ แก้วสวัสดิ์วงศ์ และ บุญชัย อุกฤษฏชน (2558). การวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์สองมิติของเสาเข็มรับแรงดันด้านข้างในดินเหนียว. *วิศวกรรมสารธรรมศาสตร์.*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 3-14.

-เทิดศักดิ์ เลไธสง และ พงศกร พวงชมภู (2564). การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การต้านแรงกดของดินโดยการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มและการวิเคราะห์เชิงตัวเลข. *วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา).*, ปีที่ 21, ฉบับที่ 1, หน้า 77-87.

-อนุชา วงษ์เลิศ, พรเกษม จงประดิษฐ์, พิทยา แจ่มสว่าง และ วรพจน์ เพชรเกตุ (2558). ประสิทธิภาพของไม้ยูคาลิปตัสในการเสริมกำลังเสาเข็มดินซีเมนต์ในสนาม : การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกและพฤติกรรมคันดินทดสอบ. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.*, ปีที่ 38, ฉบับที่ 3, หน้า 225-242.

-Bandekar. (1980). Load Transfer and Settlement of Bored Piles in Bangkok Clay. M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย)	ชลดา กาญจนกุล
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)	Miss Chollada Kanjanakul
ตำแหน่งปัจจุบัน	อาจารย์
หน่วยงาน	สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตั้งอยู่เลขที่ 99 หมู่ 4 ตำบลท้องเนียน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210 สำนักงาน : (0) 7575 24-36 # 6003, แฟกซ์ : (0) 7575 4028, มือถือ : (0) 88 267 3430 E-mail : chollada-ka@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

Date of Graduation	Level	Cert.,Degree	Major	Name of Institute/Province
2016	Doctoral.	Ph.D.	Civil Engineering Geo-technical Eng	Prince of Songkla university/Thailand, SKA
2008	Master:	M. ENG	Civil Engineering Geo-technical Eng	Prince of Songkla university/Thailand, SKA
2005	Bachelor:	B. ENG	Civil Engineering	Prince of Songkla university/Thailand, SKA

แบบสรุปข้อมูลโครงการวิจัยทุนสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2567

ชื่อโครงการ : นวัตกรรมระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มไม้ในดินเนื้อเดียว สำหรับพื้นที่ป่าชายเลนโดยมีส่วนร่วมกับชุมชน (The Development of Pile Load Test System Innovation in Mangrove Forest for The Community Organization)

หัวหน้าโครงการ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลดา กาญจนกุล

โทรศัพท์....088-267-3430..... **อีเมล**....chollada-ka@hotmail.com....**งบประมาณ** ....55,000..... **บาท**

ระยะเวลาดำเนินการ ....1..... **ปี**

แพลตฟอร์มตามยุทธศาสตร์ อววน.: ....ทุนวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการ.....

แผนงานวิจัยที่ให้การสนับสนุน: .....แผนงานที่5 แผนงานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.....

พื้นที่ทำวิจัย : .....วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (นครศรีธรรมราช).....

พื้นที่การใช้ประโยชน์ : ....ในประเทศ (นครศรีธรรมราช).....

ที่มาและความสำคัญ/หลักการและเหตุผล :

การศึกษาครั้งนี้จะนำเสนอเครื่องมือสำหรับระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มฝังลึกในดินอ่อน สำหรับพื้นที่ป่าชายเลนโดยถูกต้องปลอดภัยตามหลักวิศวกรรมและมีงานวิชาการรองรับด้วยผลจากการขุดเจาะสำรวจดิน (Boring log) และการจำแนกประเภทของดิน (ใช้วิธี Unified soil classification system) จากนั้นผู้วิจัยจะใช้การวิเคราะห์โดยหลักการ Finite element ในโปรแกรม Plaxis เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นองค์ความรู้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมรับแรงของเสาเข็มและระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มไม้ในดินเนื้อเดียว สำหรับพื้นที่ป่าชายเลนโดยมีส่วนร่วมกับชุมชน

วัตถุประสงค์ของโครงการ :

1. พัฒนาเครื่องมือสำหรับระบบทดสอบพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มฝังลึกในดินเหนียว อย่างถูกต้องปลอดภัยตามหลักวิศวกรรมและมีงานวิชาการรองรับ
2. เกิดการศึกษางานวิชาการ วิจัย ภูมิปัญญาในพื้นที่ การก่อสร้างในพื้นที่ทั้งรูปแบบฐานรากและที่อยู่อาศัยในพื้นที่จริง สภาพชั้นดินป่าชายเลนพื้นที่ภาคใต้
3. เกิดการศึกษาสภาพพื้นที่กรณีตัวอย่าง จ.นครศรีธรรมราช โดยวิธีขุดเจาะวิเคราะห์สภาพชั้นดิน, พฤติกรรมการทรุดตัวและกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็ม และการจำลองพื้นที่กรณีตัวอย่างการรับน้ำหนักจริงจากการมีส่วนร่วมของชุมชน เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบที่เป็นไปตามหลักวิชาการ
4.ชุมชน สามารถนำไปใช้ในการก่อสร้าง “ชาวบ้านรู้ ข้อเท็จจริง หลักวิชาการได้ ปลอดภัยทุกคน

ผลการวิจัย :

1.ผู้วิจัยแปลผลจากข้อมูลหลุมเจาะ BH1 และนำตัวอย่างไปจำแนกตามหลัก USCS (Unified Soil Classifcation System) จะจำแนกดินทั้ง 3 ชั้น ได้เป็น SW (Well graded sand), GC (Clayey gravel) และ CL (Low plasticity clay)

2.สำหรับ DC1 : เสาเข็มไม้และเสาเข็มคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมมีหน้าตัดที่เหมาะสมน้อยที่สุดคือ 0.22x0.22 เมตร โดย

มีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ (ค่า qall) ที่ความลึก 0.5-6 เมตร เท่ากับ 0.14 และ 4.68 ตัน สำหรับเสาเข็มคอนกรีต และเท่ากับ 0.15 - 4.82 ตัน สำหรับเสาเข็มไม้ หน้าตัดมากสุดอยู่ที่ 0.40x0.40 เมตร โดยมีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ (ค่า qall) ที่ความลึก 0.5-6 เมตร เท่ากับ 0.44 และ 9.82 ตัน สำหรับเสาเข็มคอนกรีตและเท่ากับ 0.48 – 10.34 ตัน สำหรับเสาเข็มไม้

3.สำหรับ DC2 : เสาเข็มหน้าตัดวงกลมตันค่าพื้นที่หน้าตัดน้อยสุดอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 เมตร และมากสุดที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.45 เมตร เมตร โดยมีกำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ (ค่า qall) สูงสุดที่ความลึก 6 เมตร ได้ที่ 10.66 ตัน สำหรับเสาเข็มคอนกรีตและ 11.18 ตัน สำหรับเสาเข็มไม้

4.สำหรับการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวพบว่าที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 150 กิโลนิวตัน ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 2.5 เท่าของน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบไว้ คือ 60 กิโลนิวตัน ทำให้ได้ค่าการทรุดตัวในการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์ที่ 14.40 มิลลิเมตรซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์คือ 14.42 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ผลผลิตที่เกิดขึ้นจริง (output) :

-เกิดการถ่ายทอดความรู้ให้ผู้เข้ารับบริการโครงการบริการทางวิชาการที่ก่อให้เกิดรายได้ของสาขาวิศวกรรมโยธา (โครงการทดสอบวัสดุวิศวกรรมโยธา) เช่น วิศวกร, สถาปนิกผู้ออกแบบ, ผู้รับเหมาก่อสร้างและชุมชนของอาคารบ้านเรือนขนาดใหญ่และบุคลากรในศูนย์ราชการที่เกี่ยวข้อง

- วารสารระดับนานาชาติ Lecture notes in civil engineering (Scopus Q4) ในชื่อเรื่อง “Design charts and finite element analysis to predict the settlement of piles embedded in soft ground” ซึ่งได้รับการ Accepted ให้ตีพิมพ์เรียบร้อยแล้ว

ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง (outcome) : เกิดความรู้ในการวิเคราะห์และถ่ายทอดความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยให้แก่วิศวกร ผู้รับเหมา ชาวบ้านผู้สนใจ

ผลกระทบที่เกิดขึ้นจริง (impact) : เกิดการถ่ายทอดความรู้ในการวิเคราะห์และถ่ายทอดความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยให้แก่วิศวกร, สถาปนิกผู้ออกแบบ, ผู้รับเหมาก่อสร้างและชุมชนของอาคารบ้านเรือนขนาดใหญ่และบุคลากรในศูนย์ราชการที่เกี่ยวข้องทั้งทางด้าน นโยบาย สังคม เศรษฐกิจ และ วิชาการ

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ด้านนโยบาย: *ผู้วิจัยถ่ายทอดความรู้ด้านวิศวกรรมโยธาที่เกิดประโยชน์ในการก่อสร้างให้แก่ผู้เกี่ยวข้อง*

ด้านเศรษฐกิจ: *ผู้วิจัยพัฒนาการก่อสร้างพัฒนาเศรษฐกิจการท่องเที่ยวในชุมชนพื้นที่ชายฝั่งทะเล โดยเน้นวัสดุพื้นที่ภูมิปัญญาท้องถิ่น แก่ผู้รับเหมาก่อสร้างและชุมชนของอาคารก่อสร้าง*

ด้านวิชาการ:*ผู้วิจัยให้ความรู้ด้านวิศวกรรมโยธาที่เกิดประโยชน์ในการก่อสร้างให้ชุมชนวิศวกร, สถาปนิกผู้ออกแบบและผู้รับเหมาก่อสร้าง*

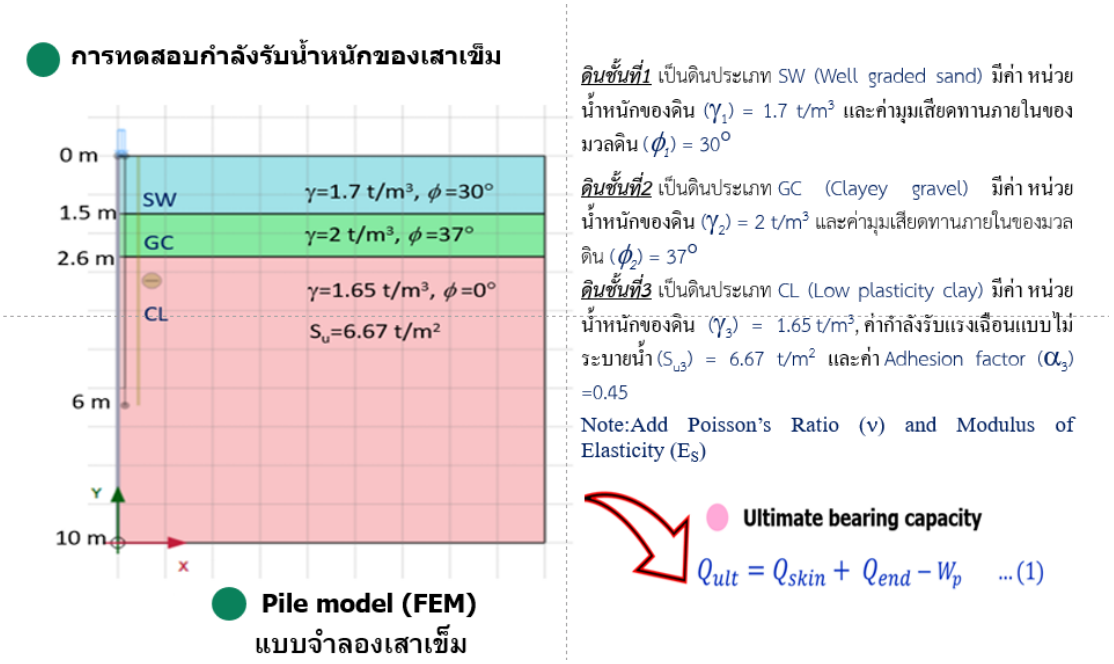
การเผยแพร่/ประชาสัมพันธ์ : ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ Lecture notes in civil engineering (Scopus Q4) ในชื่อเรื่อง “Design charts and finite element analysis to predict the settlement of piles embedded in soft ground”

TRL/SRL ระดับ :

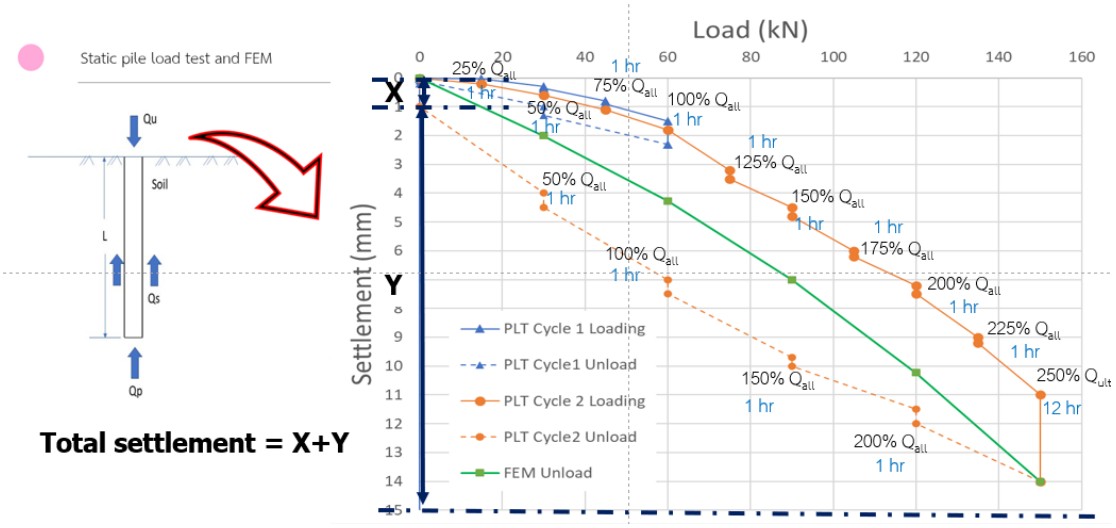
Level 9 : Operational use of deliverable

SRL 9 : Actual project solution (s) proven n relevant environment

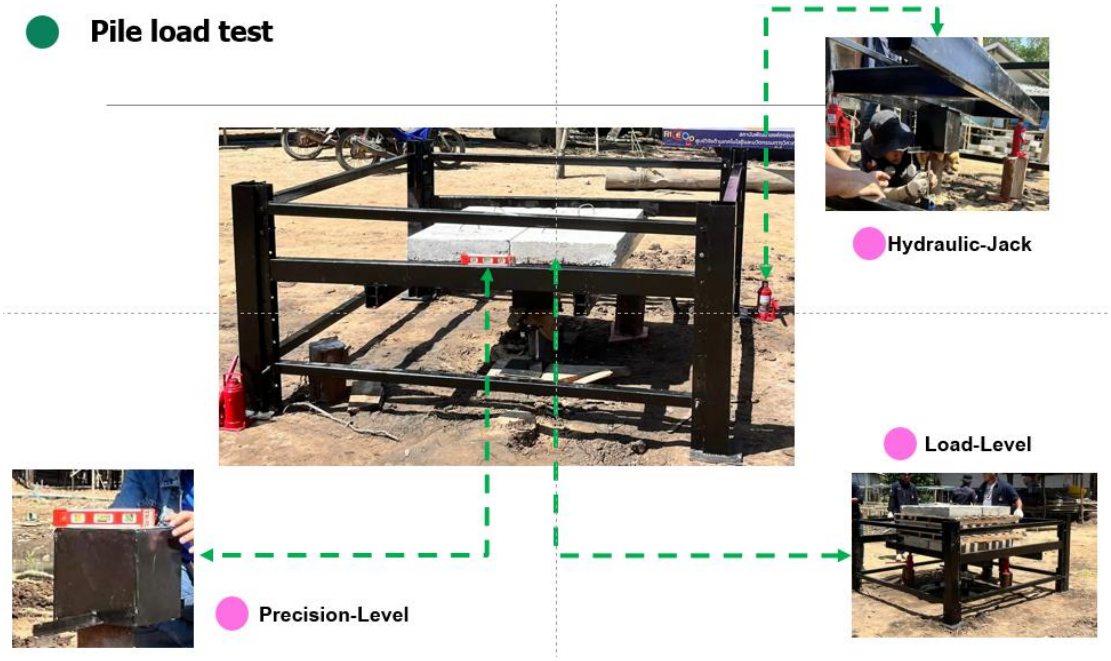
ภาพประกอบ



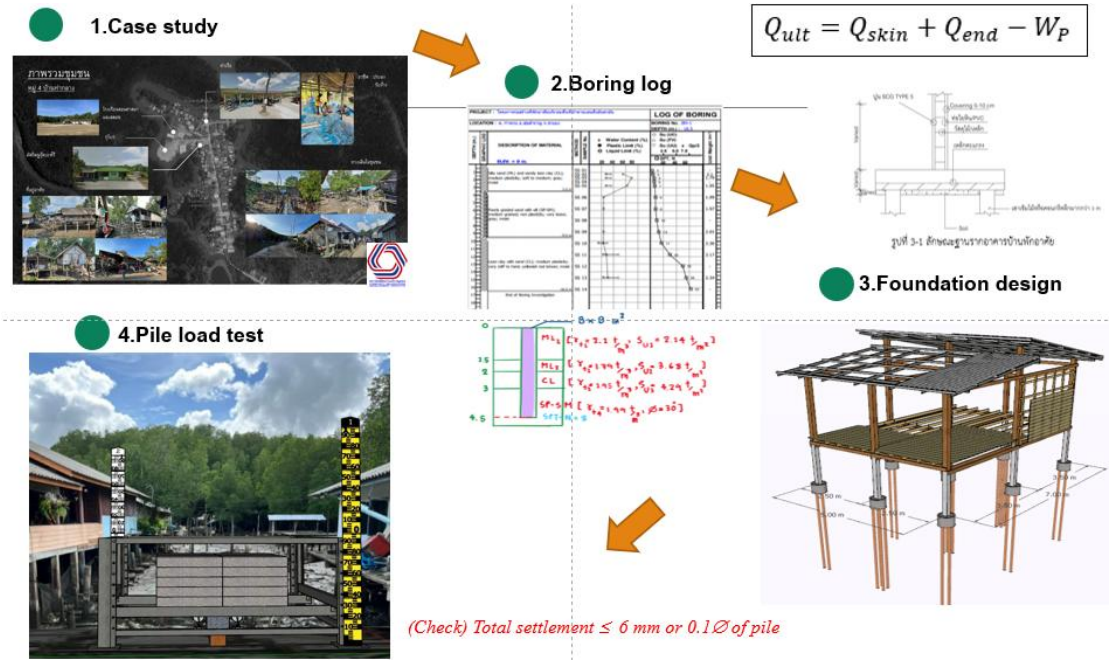
ภาพประกอบ 1 การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม



ภาพประกอบ 2 การทดสอบ Static pile load test หาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม



ภาพประกอบ 3 การทำการทดสอบ Boring log และ Static pile load test



ภาพประกอบ 4 การเก็บตัวอย่างและหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่มีส่วนร่วมกับชุมชน