

คุณสมบัติด้านกำลังและเส้นโค้งการทรุดตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์
แบบไม่หยั่งลึกที่ทำด้วยวิธีอย่างง่าย
Strength Properties and Settlement-time curve
of Floating Soil-Cement Column Provided by Simple Method

สุธี ปิยะพิพัฒน์¹

suthee.p@en.rmutt.ac.th¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังในเทอมของค่าแรงกดทิศทางเดียว และหาเส้นโค้งการทรุดตัวกับเวลาของเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกที่ถูกทำขึ้นด้วยวิธีอย่างง่ายเพื่อใช้ในชุมชนท้องถิ่น โดยวิธีที่นำเสนอใช้เครื่องมือที่สามารถจัดหาและจัดทำได้อย่างง่ายโดยบุคคลทั่วไป มีขั้นตอนในการก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์ 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ขั้นตอนการจัดทำหลุม 2) ขั้นตอนการผสมน้ำกับดิน 3) ขั้นตอนการผสมซีเมนต์ และ 4) ขั้นตอนการใส่ดินซีเมนต์ สำหรับประสิทธิภาพของวิธีอย่างง่ายนี้ถูกแสดงด้วยการเปรียบเทียบกับวิธีอัดฉีดแรงดันสูงโดยใช้ค่าแรงกดแกนเดียวและค่าความหนาแน่นแห้งของเสาเข็มดินซีเมนต์ นอกจากนี้ทำการทดสอบให้น้ำหนักกระทำแก่เสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อตรวจสอบค่าการทรุดตัวของทั้ง 2 วิธี สถานที่ทดสอบถูกจัดเตรียมในพื้นที่บริเวณจังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย ซึ่งชั้นดินเป็นดินเหนียวอ่อน เสาเข็มดินซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 เมตร และยาว 4.0 เมตร ถูกสร้างด้วยวิธีที่นำเสนอและด้วยวิธีอัดฉีดแรงดันสูง ตัวอย่างทดสอบใช้เครื่องมือเจาะแกนเก็บตัวอย่างจากเสาเข็มดินซีเมนต์ เปรียบเทียบผลการทดสอบพบว่าค่าแรงกดแกนเดียวของเสาเข็มดินซีเมนต์ด้วยวิธีที่นำเสนอมีค่าน้อยกว่าวิธีอัดฉีดแรงดันสูงอยู่เล็กน้อยเท่านั้น การเพิ่มขึ้นของอายุการบ่มทำให้ค่าแรงกดแกนเดียวและโมดูลัสยืดหยุ่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ความเครียดเพิ่มขึ้นตามทั้งสองวิธี มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดแกนเดียวและค่าความหนาแน่นแห้งไปในทางเดียวกันคือค่าความหนาแน่นแห้งมากทำให้ค่าแรงกดแกนเดียวมากตาม สำหรับเส้นโค้งค่าการทรุดตัวกับเวลาพบว่าทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยวิธีอย่างง่ายมีการทรุดตัวสูงกว่าเพียงเล็กน้อย ดังนั้นวิธีที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ในการผลิตเสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินเหนียวอ่อนได้ เนื่องจากมีขั้นตอนการทำที่ง่ายและใช้เครื่องมือในการจัดทำที่สามารถหาได้ในชุมชนท้องถิ่น

คำสำคัญ: เสาเข็มดินซีเมนต์, วิธีการผสมลึก, การปรับปรุงคุณภาพดิน

Abstract

This research aims to study the strength property in term of unconfined compressive strength (q_u) and investigate the settlement-time curve of floating soil-cement column set up by the simple method for using in local community. This simple method is able to conduct with ease and the instruments of soil-cement column making are able to be provided and operated easily by the local people. For the process of proposed method, there are 4 steps as followings 1) Making a hole 2) Mixing soil with water

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3) Soil-cement mixing and 4) Soil-cement installation. The effectiveness of the simple method was demonstrated by comparing with the jet grouting method in term of the q_u value and dry density (ρ_d) of soil cement column. The testing site was located in Pathumthani, Thailand which the soil layer is a soft clayey deposit. The soil cement columns with the diameter of 0.50 m and length of 4.0 m were constructed by the proposed method and by the jet grouting method. The specimens of testing were collected by using the coring machine. The comparisons of testing results are shown that the q_u value of soil cement column by the proposed method is less slightly than that by the jet grouting method. The increasing of curing period increases the q_u value and the modulus of elasticity (E_{50}) for both methods. The tendency of q_u - ρ_d relationship by the proposed method is the same as that by the jet grouting method. This means the greater ρ_d value, the greater q_u value. For the settlement-time curve, the results of both method have the same tendency. The settlement by simple method is higher slightly than that by jet grouting method. Thus, the proposed method can be used to construct the soil-cement column for improving the soft clayey deposit by local people due to easy procedures. The construction tools can also be provided with availability in the local country.

Keywords: soil cement column, deep mixing method, ground improvement.

1. บทนำ

เทคนิคการผสมลึก (Deep mixing) คือ การใช้เครื่องมือส่งปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือส่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับปูนขาวลงไปลึก ๆ แล้วผสมวัสดุดังกล่าวข้างต้นเข้ากับดิน ณ ความลึกนั้น ๆ ก่อตัวเป็นลักษณะเสาเข็มดินซีเมนต์ (Soil-cement column) เพื่อทำหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินเหนียวอ่อนให้เหมาะสมกับการก่อสร้างหรือปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมบางประเภทของชั้นดินเหนียว [1, 2] ในปัจจุบันวิธีเทคนิคการผสมลึกได้นำมาประยุกต์ใช้อื่น ๆ มากมาย ได้แก่ ลดการทรุดตัวของคันดินถม และโครงสร้างอื่น ๆ ใช้ป้องกันการเกิด Slope Failure ป้องกันการเกิด Heaving และลดความยาวของเสาเข็มพืดในการขุดลึก เพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงดันด้านข้างของโครงสร้าง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในด้านกรเพิ่มกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของคันดินและทำหน้าที่เสมือนฐานรากได้อย่างดี [3] ในการทำเสาเข็มดินซีเมนต์ที่นิยมทำกันได้แก่ วิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง (Jet Grouting) การปรับปรุงวิธีนี้จะใช้สารผสมในรูปน้ำปูนข้น (Slurry) ฟันด้วยแรงดันสูงประมาณ 200-500 บาร์

ผ่านรูเล็ก ๆ (Nozzles) ที่ปลายหัวเจาะพร้อมกับหมุนก้านเจาะเพื่อให้การผสมในรูปน้ำปูนข้น ผสมรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อสารผสมที่เป็นน้ำปูนข้น ทำปฏิกิริยากับดินโดยรอบแล้วจะกลายเป็นแท่งเสาเข็ม [4] ซึ่งการผสมน้ำปูนข้นหรือน้ำปูนซีเมนต์เข้ากับดินนั้น น้ำในช่องว่างของดิน (Pore Water) จะทำปฏิกิริยากับอนุภาคซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้เกิดสาร Calcium Silicate Hydrate (CSH), Calcium Aluminate Hydrate (CAH) และ Calcium Hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวเกาะยึดมวลดินเข้าด้วยกันเป็นมวลดินขนาดใหญ่และมีกำลังสูงขึ้น [5, 6]

ในทางปฏิบัติวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูงต้องอาศัยเครื่องมือที่เฉพาะและมีราคาสูง อีกทั้งต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีทั้งความรู้ และประสบการณ์ในการทำเสาเข็มดินซีเมนต์เข้าปฏิบัติ ดังนั้นโอกาสในการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินที่มีงบประมาณการก่อสร้างไม่มาก หรือนำมาใช้ในแบบวิถีชาวบ้าน เช่นการเสริมคันดินเพื่อการป้องกันตลิ่งบริเวณบ้านพักอาศัยที่ติดกับแม่น้ำหรือการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อป้องกันน้ำเค็มหรือน้ำกร่อย

เข้ามาในพื้นที่การเกษตร หรือการใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ร่วมกับคันดินเพื่อป้องกันน้ำท่วมบริเวณบ้านพักอาศัยจึงมีไม่มาก

สำหรับโครงการวิจัยนี้เป็นการนำเสนอเทคนิคการทำเสาเข็มดินซีเมนต์แบบมีความยาวไม่หยั่งลึก (Floating soil-cement column) อย่างง่าย เพื่อไปประยุกต์ใช้ในชุมชนท้องถิ่น โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงของดินซีเมนต์ที่นำมาทำเป็นเสาเข็มระหว่างวิธีปฏิบัติที่ถูกลำเสนอกับวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง เพื่อเป็นทางเลือก ในการใช้เทคนิคการทำเสาเข็มดินซีเมนต์ที่สามารถก่อสร้างได้อย่างง่าย เพื่อนำเสาเข็มดินซีเมนต์มาแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในชุมชนท้องถิ่น

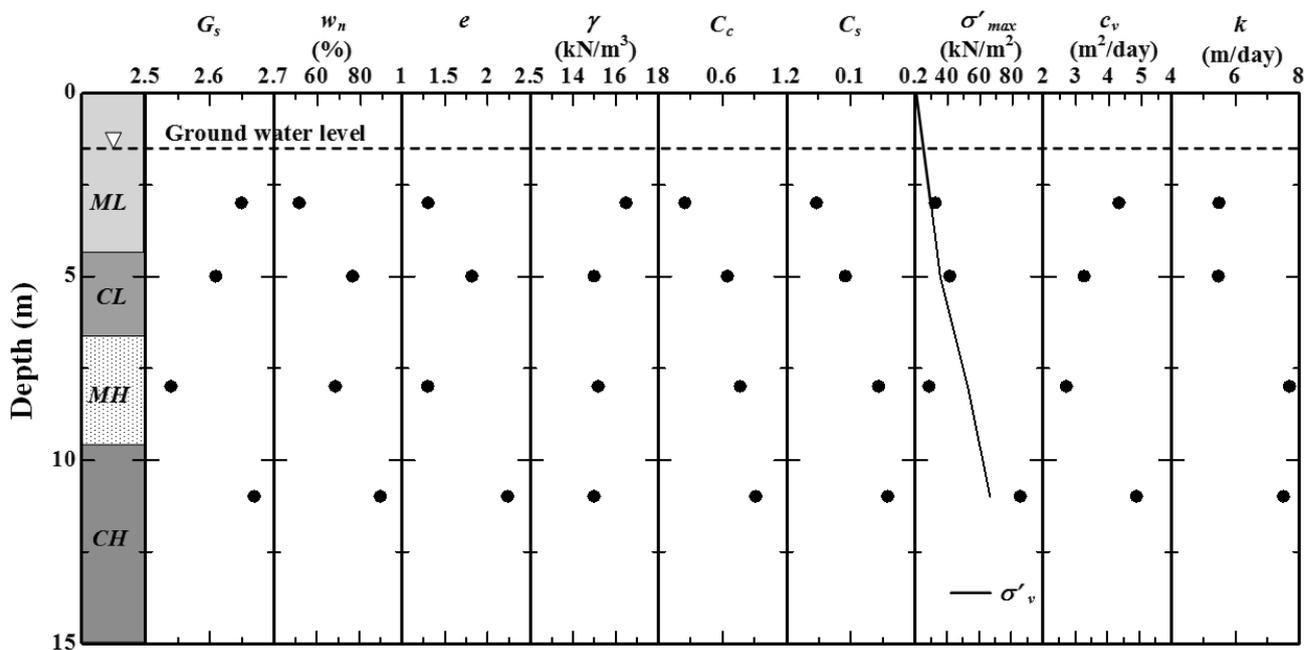
2. คุณสมบัติพื้นฐานของชั้นดินเหนียว

บริเวณที่ทำการทดสอบ การทำเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกด้วยวิธีอย่างง่ายและวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง อยู่ในพื้นที่ของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี มีผลการเจาะสำรวจชั้นดินดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวมีความลึกประมาณ 15 เมตร ล่างลงไปเป็นชั้นดินทราย ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกประมาณ 1.5 เมตรจากผิวดิน สำหรับการศึกษานี้ ความยาวของเสาเข็มดินซีเมนต์ในชั้นดินเหนียวเท่ากับ 4 เมตร เป็นตัวอย่างในการทดสอบ โดยดินเหนียวชั้นนี้มีค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid limit) และค่าขีดจำกัดพลาสติกเท่ากับ 41.02% และ 13.31% ตามลำดับ มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.65

3. การทำเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกอย่างง่าย

สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการทำเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกอย่างง่าย เพื่อประยุกต์ใช้ในชุมชนท้องถิ่น ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง แต่ได้ความแข็งแรงของเสาเข็มดินซีเมนต์เทียบ



หมายเหตุ: G_s คือค่า Specific Gravity; w_n คือค่า Natural Water Content; e คือค่า Void Ratio; γ คือค่า Unit Weight; C_c คือค่า Compression Index; C_s คือค่า Swelling Index; σ'_{max} คือค่า Maximum Past Pressure; σ'_v คือค่า Effective Overburden Pressure; c_v คือค่า Coefficient of Consolidation; k คือค่า Coefficient of Permeability.

รูปที่ 1 แสดงลักษณะของชั้นดินและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน

เท่าหรือใกล้เคียงกัน สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน โดยมีวิธีปฏิบัติดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการทำหลุมเสาะเข็มดินซีเมนต์

ในขั้นตอนนี้เป็นการเจาะหลุมและทำลายโครงสร้างดิน ที่มีลักษณะเดียวกันกับการทำการกดหัวเจาะไปพร้อมการทำตัดหรือทำลายโครงสร้างดิน จนถึงระดับปลายเข็ม เพื่อให้ง่ายต่อการผสมน้ำปูนชั้น ด้วยการใช้น้ำปูนเจาะเก็บดิน มีลักษณะเดียวกันกับเครื่องเจาะเก็บตัวอย่างดินด้วยมือ ก้านเจาะสามารถต่อเพิ่มความยาวได้ตรงปลายก้านเจาะเป็นสว่านเจาะเก็บดิน (Hand Auger) มีลักษณะการปฏิบัติดังแสดงในรูปที่ 2 เจาะเป็นรูมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.50 เมตร จนถึงความลึกที่ต้องการ ในที่นี้ประมาณ 4 เมตร จึงทำการหยุดเจาะเก็บดินที่ถูกขุดขึ้นมาเพื่อใช้ทำดินซีเมนต์ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 2 การเจาะดินทำหลุมเสาะเข็มดินซีเมนต์

2) ขั้นตอนการผสมน้ำ

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำน้ำมาผสมกับดินที่ถูกขุดขึ้นมา เพื่อส่วนผสมของดินและน้ำให้สามารถผสมกับน้ำปูนชั้นได้ง่ายขึ้น โดยนำดินที่ถูกขุดมาผสมกับน้ำให้มีปริมาณความชื้นสูงกว่าขีดจำกัดเหลวดินจะมีลักษณะเป็นของเหลวคล้ายกับดินในวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง ที่มีตรงขั้นตอนการใช้น้ำฉีดหรือใช้น้ำและอากาศอัดลงไปพร้อมกันเพื่อทำการกวาดดินให้เหลว

3) ขั้นตอนผสมน้ำปูนชั้นกับดิน

ทำการผสมน้ำปูนชั้น เพื่อเตรียมสำหรับทำดินซีเมนต์ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณซีเมนต์ 5% ของน้ำหนักดินแห้ง มาผสมกับน้ำโดยมีปริมาตรน้ำต่อผงปูนซีเมนต์

(w/c) เท่ากับ 1:1 จากนั้นผสมดินเข้ากับน้ำปูนชั้นที่เตรียมไว้ให้มีลักษณะการผสมใกล้เคียงกับวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูงด้วยสว่านใบพัด ด้วยอุปกรณ์ที่แสดงในรูปที่ 3 ต่างกันตรงการผสมน้ำปูนชั้นที่เป็นการผสมนอกหลุม ดังนั้นน้ำปูนชั้นจึงไม่จำเป็นต้องถูกฉีดด้วยแรงดันสูงเหมือนวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง อีกทั้งวิธีอย่างง่ายนี้จะได้ส่วนผสมที่เข้ากันได้ดีกว่าวิธีในวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง

4) ขั้นตอนการบรรจุดินซีเมนต์เพื่อเป็นเสาเข็ม

เมื่อได้ส่วนผสมจากขั้นตอนนี้แล้ว นำส่วนผสมมาบรรจุลงในหลุมที่ละชั้นโดยพยายามไม่ให้มีช่องว่างดังแสดงในรูปที่ 4 อาจใช้การกระทุ้งในหลุมด้วยท่อนไม้ยาวซึ่งสามารถทำได้เนื่องจากส่วนผสมยังไม่แข็งตัวยังคงมีความเหลวไหลได้อยู่สูง จนเต็มหลุม จากนั้นทำการบ่มโดยใช้แผ่นพลาสติกคลุมด้านบน เมื่อแข็งตัวส่วนผสมจะกลายเป็นเสาเข็มดินซีเมนต์ที่มีความยาวแบบไม่หยั่งลึก จากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบคุณสมบัติ



รูปที่ 3 การผสมน้ำปูนในดินตัวอย่าง

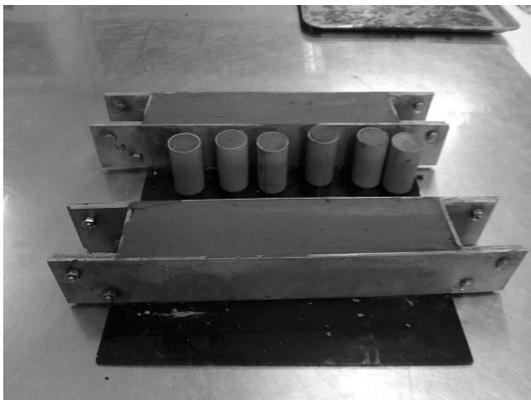


รูปที่ 4 การบรรจุดินซีเมนต์

4. การทดสอบด้านกำลังของเสาเข็มดินซีเมนต์

เสาเข็มที่ถูกจัดทำขึ้นด้วยวิธีที่นำเสนอ ถูกนำมาทดสอบคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของเสาเข็ม โดยนำมาเปรียบเทียบกับผลทดสอบของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ถูกทำด้วยวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง การทดสอบคุณสมบัติด้านความแข็งแรงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ การทดสอบแรงกดแกนเดียว สำหรับตัวอย่างที่นำมาทดสอบใช้การเก็บตัวอย่างการทดสอบจากเสาเข็มดินซีเมนต์ในที่ที่อายุการบ่ม 7, 14, 28, 56, 90 และ 120 วัน ด้วยวิธีการเจาะแกนที่ระดับความลึกจากหัวเสาเข็มดินซีเมนต์ 0.5 เมตร ได้ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.0 cm และสูง 16.0 cm สำหรับวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง ใช้ปริมาณซีเมนต์เท่ากับ 5% ของน้ำหนักดินแห้ง ในขณะที่แรงดันในการฉีดซีเมนต์ใช้เท่ากับ 200 บาร์ ตลอดการทดลองเพื่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเท่ากับ 0.50 เมตร และ 4.0 เมตร ตามลำดับ

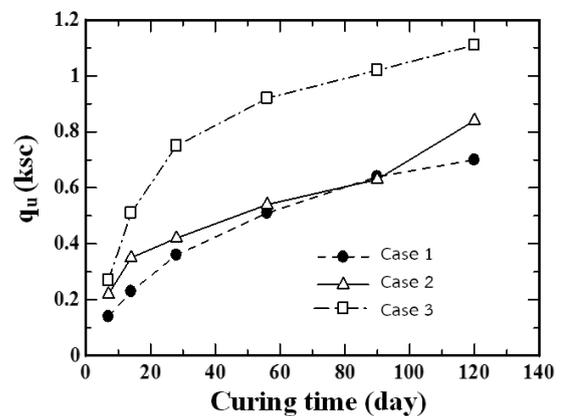
จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาทดสอบแรงกดแกนเดียว โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากตัวอย่างที่ได้จากวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง และที่ได้จากทดสอบตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ขึ้นรูปด้วยแบบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 cm และสูง 7.0 cm ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบทรงกระบอก

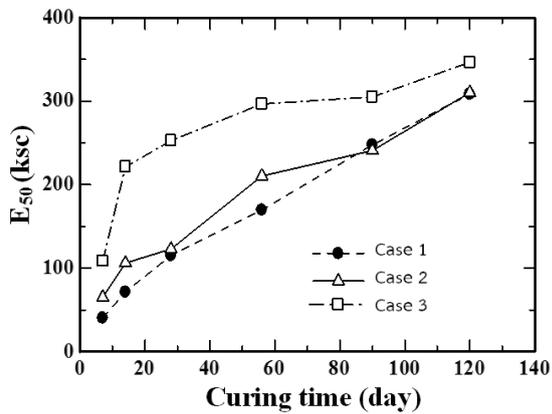
กำหนดให้ Case 1 คือตัวอย่างที่ได้จากวิธีอย่างง่ายที่นำเสนอ Case 2 คือตัวอย่างที่ได้จากวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง และ Case 3 คือตัวอย่างที่ได้จากดินซีเมนต์ที่ขึ้นรูปด้วยแบบทรงกระบอก ในรูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบ พบว่า ค่าแรงกดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ได้จาก

Case 1 มีค่าน้อยกว่าวิธีที่ได้จาก Case 2 เพียงเล็กน้อย ในทุกอายุการบ่ม แสดงว่าวิธีที่นำเสนอสามารถทำให้ค่าแรงกดแกนเดียวของเสาเข็มดินซีเมนต์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธีอัดฉีดแรงดันสูงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลทดสอบใน Case 3 กลับพบว่ามียุคมากกว่าทั้งใน Case 1 และ Case 2 โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีอายุการบ่มเกิน 28 วัน ทั้งนี้เนื่องจาก ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ได้จาก Case 1 และ Case 2 ถูกรบกวนมากในขณะที่เก็บตัวอย่าง เมื่อนำไปทดสอบทำให้ผลการทดสอบมีค่าน้อยกว่าผลที่ได้จาก Case 3 ในทุกอายุการบ่ม ซึ่ง Case 3 ตัวอย่างที่ได้แทบไม่ถูกรบกวน อีกทั้งสภาพแวดล้อมในการบ่มตัวอย่างต่างกัน โดยที่ Case 1 และ Case 2 ตัวอย่างทดสอบอยู่ในสภาวะดินเปียกล้อมรอบ ส่วน Case 3 ตัวอย่างอยู่ในห้องปฏิบัติการที่ถูกห่อด้วยแผ่นพลาสติกใสเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น

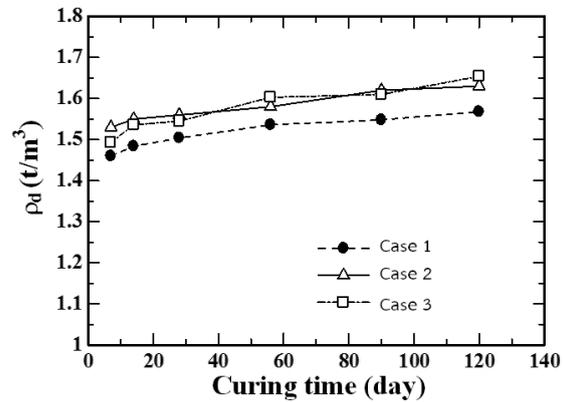


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่า q_u กับอายุการบ่ม

จากรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{50} กับอายุการบ่ม พบว่า สำหรับ Case 1 มีค่า E_{50} ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก Case 2 แสดงว่า วิธีที่นำเสนอ สามารถทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของดินซีเมนต์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง สามารถนำวิธีนี้ไปสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์ได้ แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากทั้ง Case 1 และ Case 2 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จาก Case 3 ในทุกอายุการบ่ม ทั้งนี้เนื่องจาก Case 3 มีความสมบูรณ์ของตัวอย่างดินซีเมนต์มากที่สุด มีการรบกวนตัวอย่างน้อยมาก รวมทั้งวิธีการบ่มของตัวอย่างใน Case 3 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ได้จาก Case 1 และ Case 2 จึงมีผลทำให้ค่า E_{50} มากที่สุด



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของค่า q_u กับอายุการบ่ม

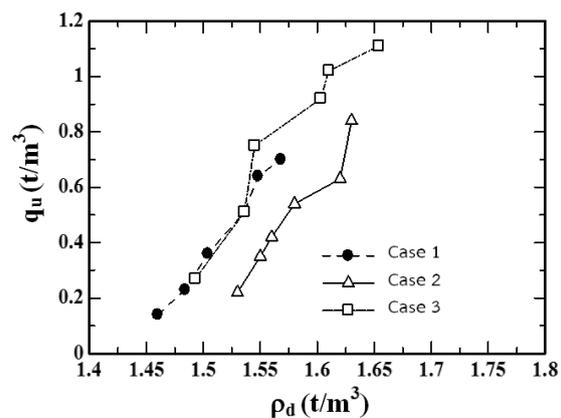


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของค่า ρ_d กับอายุการบ่ม

5. การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นแห้งของเสาเข็มดินซีเมนต์

ในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่สร้างขึ้นด้วยวิธีที่นำเสนอสำหรับโครงการวิจัยนี้ได้หาค่าความสมบูรณ์ของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่อยู่ในเทอมของค่าความหนาแน่นแห้งของเสาเข็มดินซีเมนต์ โดยทำการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นแห้งของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีอย่างง่ายที่นำเสนอ มาเปรียบเทียบกับเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูงและวิธีการผสมตัวอย่างดินซีเมนต์ในห้องปฏิบัติการ สำหรับตัวอย่างดินซีเมนต์ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ เป็นตัวอย่างที่ระดับความลึกประมาณ 0.50 เมตร ที่อายุการบ่มต่าง ๆ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งกับอายุการบ่มของเสาเข็มดินซีเมนต์ พบว่า วิธีที่นำเสนอทำให้เสาเข็มดินซีเมนต์มีค่าความหนาแน่นแห้งน้อยกว่าวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูงและวิธีการผสมตัวอย่างดินซีเมนต์ในห้องปฏิบัติการอยู่ร้อยละไม่เกิน 4.5 เท่านั้นในทุกอายุการบ่ม มีแนวโน้มที่ความหนาแน่นแห้งเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่มากขึ้นเหมือนกันทั้งสองวิธี นั้นแสดงว่าวิธีอย่างง่ายที่นำเสนอ (Case 1) สามารถผลิตเสาเข็มดินซีเมนต์ที่มีความหนาแน่นแห้งใกล้เคียงกับวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง (Case 2)

เมื่อพิจารณารูปที่ 9 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดแกนเดียวกับความหนาแน่นแห้ง พบว่า มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นแห้งทำให้เสาเข็มดินซีเมนต์มีค่าแรงกดแกนเดียวเพิ่มขึ้น วิธีอย่างง่ายที่นำเสนอสามารถทำให้ค่าแรงกดแกนเดียวเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นแห้งของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่มากขึ้นเป็นแนวโน้มเดียวกันกับวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูงและวิธีการผสมในห้องปฏิบัติการ แสดงว่าสามารถนำวิธีอย่างง่ายที่นำเสนอไปผลิตเสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อใช้ในงานทางวิศวกรรม โดยที่คุณสมบัติด้านกำลังความแข็งแรงของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ทำด้วยวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง



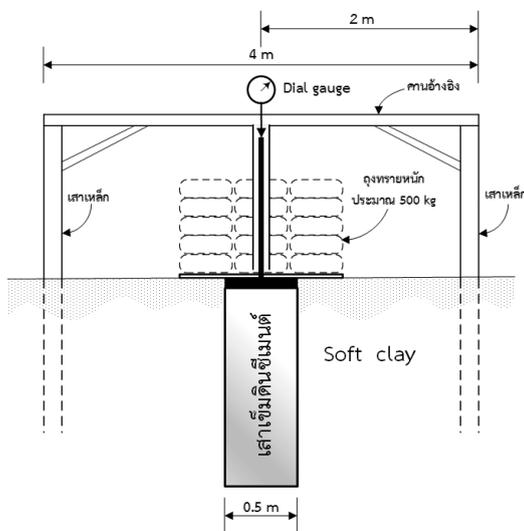
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของค่า ρ_d กับ q_u

6. ผลการทดสอบการทรุดตัวของเสาเข็มดินซีเมนต์

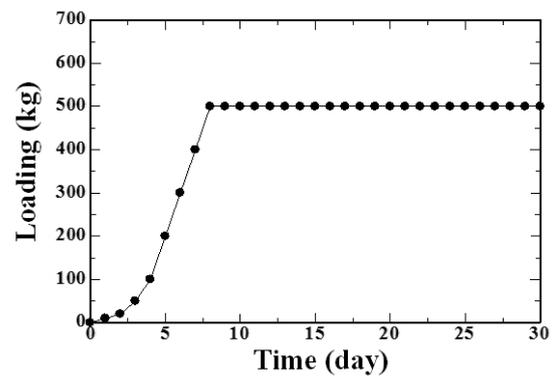
เนื่องจากเสาเข็มดินซีเมนต์มีความยาว 4 เมตร ดังนั้นจึงถือว่ามีพฤติกรรมเป็นแบบเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก พิจารณาชั้นดินเหนียวที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์ จำนวน 1 ต้น เป็นลักษณะสมมาตรแกนเดียว หนึ่งหน่วย (Axisymmetric unit cell) อ้างอิงการศึกษา Chai et al. [7] ทำการทดสอบเพื่อดูการทรุดตัวของชั้นดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก ที่ทำมาจากวิธีอย่างง่ายกับวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง ดังแสดงในรูปที่ 10 และ 11 ให้นำหนักกระทำบนผิวดินด้วยถุงทราย ทำการทดสอบเป็นเวลา 30 วัน ในรูปที่ 12 แสดงการให้นำหนักกระทำกับเวลาการทดสอบนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของเสาเข็มดินซีเมนต์จากทั้ง 2 วิธีในเทอมของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทรุดตัวกับเวลา ได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 11 แบบจำลองในสนาม

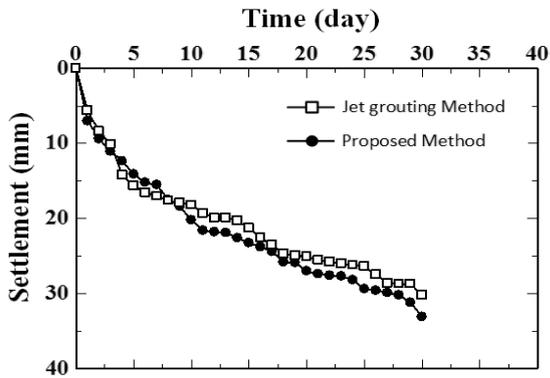


รูปที่ 10 การทดสอบการทรุดตัว



รูปที่ 12 นำหนักกระทำกับเวลา

จากรูปที่ 13 พบว่า เส้นโค้งการทรุดตัวกับเวลาของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยวิธีอย่างง่ายมีอัตราการทรุดตัวเร็วกว่าเล็กน้อย และมีค่าการทรุดตัวมากกว่าเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ทำด้วยวิธีอย่างง่ายสามารถนำไปใช้ในการเสริมความแข็งแรงของชั้นดินเหนียวอ่อน เพื่อลดการทรุดตัวได้ใกล้เคียงกับวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง เพียงแต่ไม่สามารถทำเสาเข็มดินซีเมนต์ให้ยาวได้เท่ากับวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง



รูปที่ 13 การทรุดตัวกับเวลา

7. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาการทำเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึกด้วยเครื่องมือที่สามารถปฏิบัติได้ในชุมชนท้องถิ่นสามารถสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1) เสาเข็มดินซีเมนต์ที่ผลิตได้มีค่าแรงกดแกนเดียวที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ถูกจัดทำด้วยวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง

2) การก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์ด้วยวิธีที่นำเสนอให้ค่าความหนาแน่นแห้งของดินซีเมนต์ใกล้เคียงกับวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง โดยมีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดแกนเดียวกับค่าความหนาแน่นแห้งเป็นในลักษณะเดียวกันคือ ค่าแรงกดแกนเดียวเพิ่มขึ้นตามค่าความหนาแน่นแห้งที่สูงขึ้น แสดงว่าวิธีที่นำเสนอให้ความสมบูรณ์ของตัวเสาเข็มใกล้เคียงกับวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง

3) เส้นโค้งการทรุดตัวกับเวลาของทั้งสองวิธีมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยวิธีก่อสร้างอย่างง่ายที่นำเสนอให้ค่าการทรุดตัวมากกว่าวิธีอัดฉีดซีเมนต์ด้วยแรงดันสูงเพียงเล็กน้อย

4) วิธีก่อสร้างอย่างง่ายที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ผลิตเสาเข็มดินซีเมนต์แบบไม่หยั่งลึก เพื่อใช้แก้ไขปัญหาทางวิศวกรรมปฐพีได้อย่างเหมาะสม เช่น ใช้ในการแก้ไขปัญหาดินทรุด หรือใช้สำหรับเป็นกำแพงดินซีเมนต์เพื่อป้องกันตลิ่งพัง โดยเสาเข็มที่ผลิตได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.50 เมตร และมีความยาวไม่เกิน 4.00 - 6.00 เมตร

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่อง เทคนิคการทำเสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อชุมชนท้องถิ่น ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ด้วยทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2557 (วช.) จึงขอขอบคุณมา ณ.โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kamon, M. 1996, Effective of Grouting and DMM on Big Construction Project in Japan the 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake, Grouting and Deep Mixing, The Second International Conference on Ground Improvement Geosystems, Tokyo, Vol.2, pp. 807-823.
- [2] Bergado, D.T., Anderson, L.R., Miura, N. and Balasubramaniam, A.S. 1996, Lime/Column Stabilization, Soft Ground Improvement in Lowload and Other Environmental, Asian Institute of Technology, pp. 234-304.
- [3] นภดล ธรรมศิลป์ 2541, ความรู้เบื้องต้นด้านการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธี Jet Grouting, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, หน้า 1-43.
- [4] Chida, S. 1982, Dry Jet Mixing Method – State of the Art on Improvement Methods for Soft Ground, Journal of the Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.85, No.2, pp. 69-76.
- [5] Lambe, T.W., Mitchael, A.S. and Moh, Z.C. 1957, Improvements of Soil – Cement with Alkali Metal Compounds, Highway Research Board Bulletin. 244, pp. 67-103.
- [6] Herzog, A. and Mitchell, J.K. 1963, Reactions Accompanying the Stabilization of Clay with Cement, Highways Research Board Record 36, pp. 146-171.

- [7] Chai J.C., Miura N., Kirekawa T. and Hino T. 2009, Settlement Prediction for Soft Ground Improved by Columns. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Ground Improvement 163(2): 109–119.

