กำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิก

อิทธิพล มีผล[1*], ฆนากานต์ มาศโอสถ[1], ปฐม คงคะดี[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและการศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Email : ittipon.m@fte.kmutnb.ac.th[1*]

Received: May 31, 2020
Revised: June 22, 2020
Accepted: June 23, 2020

บทคัดย่อ

การศึกษากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด ของดินเหนียวอ่อน ที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ชนิดใช้งานทั่วไป (GU) และนำไปเปรียบเทียบผลการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (OPC) โดยแปรผันปริมาณซีเมนต์เท่ากับ 10, 15, 20, และ 25% ต่อน้ำหนักดินเหนียวเปียกแปลงสภาพ ที่ควบคุมปริมาณน้ำ เท่ากับ 130% ในทุกอัตราส่วนผสม ซึ่งปูนซีเมนต์แต่ละชนิดจะถูกกวนผสมกับน้ำจนเป็นครีมเหลว จึงนำไปผสมกับดินเหนียวอ่อนแปลงสภาพจนกลายเป็นดินซีเมนต์ จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดเมื่อบ่มดินซีเมนต์ตัวอย่างที่ระยะเวลา 7,14 และ 28 วัน พบว่า ดินเหนียวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก มีค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดสูงสุดที่ปริมาณซีเมนต์ 25% อายุบ่ม 28 วัน เท่ากับ 777.90 kPa . ซึ่งสูงกว่าดินเหนียวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดสูงสุดเท่ากับ 700.40 kPa หรือคิดเป็นร้อยละ 9.96

คำสำคัญ : การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน, ซีเมนต์ไฮดรอลิก, กำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด

Unconfined Compressive Strength of Hydraulic Cement-Stabilized Soft Clay

Ittipon Meepon[1*], Kanakan Masosot[1], Patom kongkadee[1]
[1]Department of Teacher Training in Civil Engineering, Faculty of Technical Education,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Email : ittipon.m@fte.kmutnb.ac.th[1*]

Received: May 31, 2020
Revised: June 22, 2020
Accepted: June 23, 2020

Abstract

The study of unconfined compression of soft clay improved by using hydraulic cement (GU) and compare to the result of unconfined compression test of soft clay improved by using ordinary Portland cement (OPC) varying with 10, 15, 20 and 25% of cement quantity per weight of remold clay with water content control of 130% in every proportion. Each type of cement was mixed into slurry before mixing soft clay which was transformed into cement clay. The result of unconfined compression test after curing cement-clay sample for 7, 14 and 28 days elucidated that the soft clay improved by using hydraulic cement had the highest unconfined compression value with 25% of cement quantity and 28 days of curing having 777.90 kPa which was higher than the soft clay improved by using ordinary Portland cement with unconfined compression value of 700.40 kPa or 9.96 percent

Keywords : Soft soil Improvement, Hydraulic cement, Unconfined Compression

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านเสถียรภาพและการทรุดตัวของโครงสร้างในพื้นที่กรุงเทพมหานครรวมถึงลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างนั้น เกิดจากชั้นดินเหนียวอ่อน ซึ่งโดยทั่วไปชั้นดินนี้จะเป็นดินที่มีเม็ดละเอียดมากสีเทาเข้ม มีความลึกประมาณในช่วง 4-15 เมตร จากผิวดิน มีปริมาณน้ำ (Water Content) อยู่ระหว่างร้อยละ 47-54 มีขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) อยู่ระหว่างร้อยละ 60-100 [1] กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength, Su) ของดินเหนียวอ่อนจะได้จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 16-17 kPa [2] ขณะที่โมดูลัสยืดหยุ่นแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Elastic Modulus, E_u) อยู่ระหว่าง 1500-1700 kPa [3]

การใช้วิธีปรับปรุงคุณภาพดินประเภทต่าง ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรงของดิน ลดการทรุดตัว มีระยะเวลาการทำงานที่สั้น และประหยัดค่าใช้จ่าย โดยในปัจจุบันมีเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินหลายวิธีเช่น การใช้เครื่องจักรบดอัด การบดอัดแบบ Dynamic การใช้เครื่องจักรที่ติดตั้งหัวสั่นสะเทือน (Vibroflotation) การให้น้ำหนักแก่ดินก่อน (Preloading) เสาเข็มทราย และเสาเข็มหิน (Sand stone columns) การใช้สารผสมเพิ่ม (admixtures) การฉีดอัดน้ำปูน (Jet grouting) หรือการใช้ผ้าใยสังเคราะห์ (Geotextiles) เป็นต้น [4]

ซีเมนต์เป็นวัสดุที่นิยมนำมาก่อสร้างถนน สนามบินคันทาง หรือดาดคลองส่งน้ำ โดยเริ่มนำมาผสมดินเหนียวเพื่อปรับปรุงความแข็งแรง ลดการบวมตัวและเพิ่มความสามารถรับแรงแบกทาน [5] การใช้ปูนซีเมนต์ เพื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพดิน (Cement Stabilization) ได้มีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยวิธีการนี้ได้ถูกพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา ทั้งในประเทศสวีเดนและประเทศญี่ปุ่น ส่วนในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ก็นิยมใช้ปูนซีเมนต์มาปรับปรุงคุณภาพดินเช่นเดียวกัน เนื่องจากมีราคาถูกกว่าการใช้ปูนขาว (Lime) อีกทั้งความแข็งแรงที่ได้จากการใช้ซีเมนต์เพื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพดิน ยังพบว่ามากกว่าการใช้ปูนขาว (Lime) ที่มีขีดจำกัดด้านกำลังสูงสุด [6]

ซึ่งนอกจากการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) ในปัจจุบันปูนซีเมนต์ ไฮดรอลิกก็เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีการนำมาใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกชนิดใช้งานทั่วไป (GU) มีส่วนประกอบจากปูนเม็ด ยิปซัม ส่วนประกอบแคลเซียมและสารเพิ่มความแข็งแรง มีคุณภาพตาม มอก. 2594-2556 โดยอนุภาคของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกมีการเรียงตัวอย่างหนาแน่นเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (OPC)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาถึงกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด หรือแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Stress) ของดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ประเภทใช้งานทั่วไป (GU) เปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวกับดินที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (OPC) เมื่อใช้อัตราส่วนผสมที่เท่ากัน โดยพิจารณาที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิก
2. เปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพ ด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิกกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยการนำปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก มาปรับปรุงคุณภาพดิน กล่าวคือนำมาผสมกับดินเหนียวอ่อน จากนั้นทำการทดสอบหากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength) โดยเตรียมซีเมนต์เพสต์ ในอัตราส่วนผสม ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water cement ratio, w/c) เท่ากับ 0.6

ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ใช้เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ

รูปที่ 1 ซีเมนต์เพสต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.6

จากนั้นนำไปผสมกับดินเหนียวอ่อนแปลงสภาพที่ปริมาณน้ำทั้งหมด (Total water content) เท่ากับ 130% ในทุกสัดส่วนผสม ที่อัตราส่วน 10%, 15%, 20% และ 25% ต่อปริมาตรของดินเปียก ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยสัดส่วนผสมของดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ แสดงดังตารางที่ 1

รูปที่ 2 ผสมซีเมนต์เพสต์กับดินเหนียวอ่อน

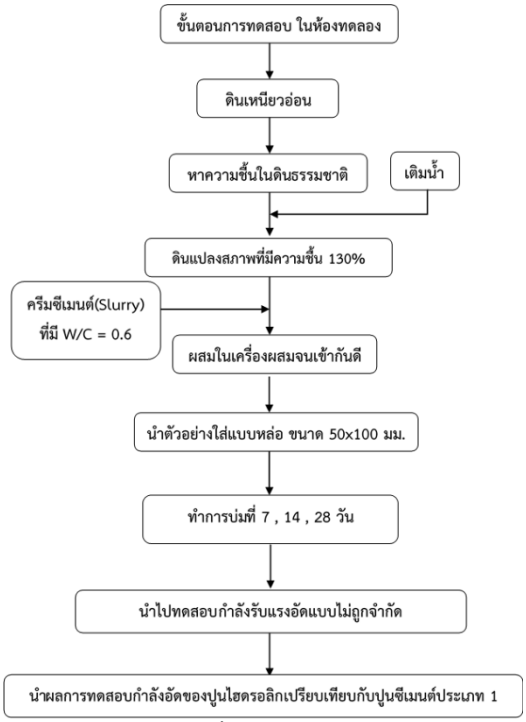
ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมปริมาณซีเมนต์และปริมาณน้ำทั้งหมดของดินแปลงสภาพ

ตัวอย่าง	สัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อน้ำหนักดินเปียก (%)	ปริมาณน้ำทั้งหมด (%)
C10 MC130	10	130
C15 MC130	15	130
C20 MC130	20	130

เมื่อ C-xx- คือ ปริมาณซีเมนต์ MC-xx คือ ปริมาณน้ำของดินแปลงสภาพ

เมื่อดินเหนียวอ่อนที่ต้องการปรับปรุงได้ผสมกับซีเมนต์แต่ละชนิดจนเข้ากันดีแล้ว จากนั้นจึงนำไปใส่ในแบบหล่อ PVC ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 10 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยใส่ตัวอย่างลงในแบบหล่อเป็นชั้น ๆ ชั้นละประมาณ ¼ ของความสูงแบบหล่อ จากนั้นกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้ง (Tamper Rod) และนำไปทดสอบตามขั้นตอนการทดสอบ ดังแสดงขั้นตอนการทดสอบในรูปที่ 4

รูปที่ 3 ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ใส่ในแบบหล่อ PVC



รูปที่ 4 ผังขั้นตอนการทดสอบ

ดินเหนียวอ่อนตัวอย่างที่นำมาปรับปรุงคุณภาพเป็นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ที่ได้จากพื้นที่กรุงเทพมหานคร มีสมบัติทางวิศวกรรม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนตัวอย่าง

สมบัติทางวิศวกรรม	ค่า/ปริมาณ
ความชื้นในธรรมชาติ (w)	81.41 %
หน่วยน้ำหนักเปียก (γ)	1.779 t/m^3
ความถ่วงจำเพาะ (Gs)	2.63
ค่าขีดจำกัดเหลว (LL)	89.00 %
ค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL)	40.79 %
ค่าดัชนีพลาสติก (P.I)	48.21 %

เมื่อตัวอย่างดินซีเมนต์ได้อายุบ่ม (Curing Time) ตามกำหนดที่ 7, 14 และ 28 แล้ว จึงนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ Unconfined Compression Test ในจำนวนสัดส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง และนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยใช้อัตราเร็วของการทดสอบเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตรต่อนาที [7] ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 ทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด

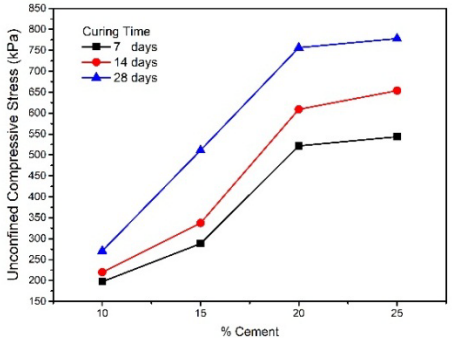
ผลการวิจัย

การรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด

กำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ทั้งสองประเภท การแข็งตัวเกิดขึ้นสองส่วน คือ การแข็งตัวของซีเมนต์ (Hardened Cement Bodies) และการแข็งตัวของดิน (Hardened Soil Bodies) ซึ่งการเกิดการแข็งตัวของดินเกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) ระหว่างดินเหนียวและไฮเดรดลามม์ที่เกิดจากปฏิกิริยาซีเมนต์ไฮเดรชั่น [6]

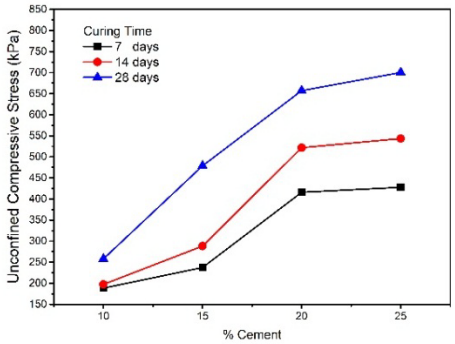
ดินเหนียวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิก ประเภทใช้ทั่วไป (GU) เมื่อทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ Unconfined Compression Test จะมีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น ตามสัดส่วนปริมาณซีเมนต์ที่ผสมลงไปในตัวอย่าง เมื่อมีสัดส่วนปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 ให้กำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด มีค่าเท่ากับ 270.8 kPa, 511.1

kPa, 756.4 kPa และสูงสุด 777.9 kPa ที่อายุบ่ม 28 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวอ่อนผสมซีเมนต์ไฮดรอลิก

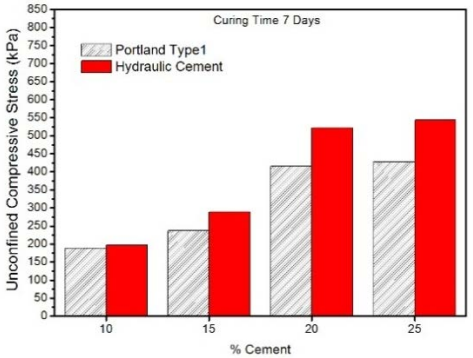
การพัฒนากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 จะเพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนซีเมนต์ และอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการใช้ซีเมนต์ไฮดรอลิก ซึ่งการก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นขององค์ประกอบของซีเมนต์โดยอาศัยน้ำ ทำให้ซีเมนต์ละลายและเกิดไอออนขึ้น โดยกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดสูงสุด ที่ปริมาณซีเมนต์ 25% อายุบ่ม 28 วัน มีค่าเท่ากับ 704.9 kPa ดังแสดงในรูปที่ 7



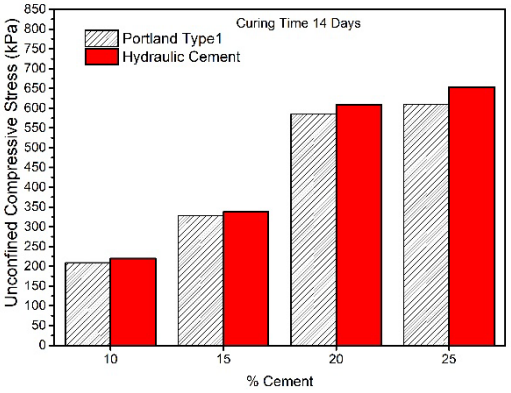
รูปที่ 7 กำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวอ่อนผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1

เปรียบเทียบการรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด

เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิกเปรียบเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เมื่ออายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่า ดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิก ให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าดินที่ถูกปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ดังแสดงในรูปที่ 8-10 เนื่องจากอนุภาคของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกมีขนาดเล็กและมีการเรียงตัวของอนุภาคอย่างหนาแน่นเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (OPC)

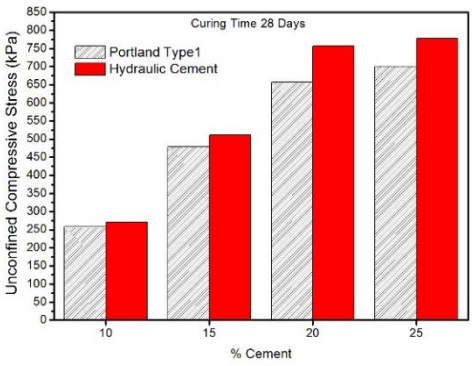


รูปที่ 8 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกที่อายุบ่ม 7 วัน



รูปที่ 9 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกที่อายุบ่ม 14 วัน

เมื่ออายุบ่ม 28 วัน ดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิก เมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 10 15 20 และ 25 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ที่ปริมาณเดียวกัน อยู่ร้อยละ 4.73, 6.34, 13.1 และ 9.96 ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะมากที่สุดในช่วงแรก และอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จนถึงช่วงสิ้นสุดของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกที่อายุบ่ม 28 วัน

สรุปและอภิปรายผล

1. ค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิก ประเภททั่วไป (GU) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซีเมนต์ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันเมื่อใช้ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยการใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1

2. ค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิกประเภททั่วไป (GU) ที่ปริมาณการใช้ซีเมนต์เท่ากันมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันเมื่อใช้ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยการใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1

3. ค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิกประเภททั่วไป (GU) มีค่ามากกว่าตัวอย่างดินเหนียวอ่อนปรับปรุงคุณภาพด้วยการใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในทุกสัดส่วนปริมาณซีเมนต์

4. เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินเหนียวอ่อนที่ถูกปรับคุณภาพด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิก เมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 10 15 20 และ 25 มีค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดเท่ากับ 270.8 kPa, 511.1 kPa, 756.4 kPa และสูงสุดเท่ากับ 777.9 kPa ที่อายุบ่ม 28 หรือสูงกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 25 ที่อายุอยู่ร้อยละ 9.96

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท สยามซีเมนต์ กรุ๊ป จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนตัวอย่างซีเมนต์ไฮดรอลิกสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

References

[1] S. Shibuyal, S.B. Tamrakal and N. Theramasf. “Geotechnical site characterization on engineering properties of Bangkok clay,” *Geotechnical Engineering*, Vol 32, no3. pp.139-151, 2001.

[2] Uddin, K. “Strength and deformation characteristics of cement-treated Bangkok clay.” Ph.D. Dissertation. No. GT-94-1 Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1995.

[3] P. Jamsawang, “Full Scale Test on Stiffened Deep Cement Mixing (SDCM) Pile Including 3D Finite Element Simulation,” Ph.D. Dissertation, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand., 2009.

[4] V.N. Murthy, *"Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering,"* New York: Marcel Dekker Ink, 2003.

[5] C. Teerawattanasuk, P. Voottipruex and S. Inthapichai, "Strength Characteristic of Foam Cement Admixed Clay," *The Journal of KMUTNB*., vol. 24, no. 2, pp.234-246, 2014.

[6] D.T. Bergado, L.R. Anderson, N. Miura and A.S. Barasubramaniam. "Soft ground improvement in lowland and other environments," New York: ASCE Press, 1996.

[7] C. Srijaroen, R. Rachan and S. Horpibulsuk, "Strength Development in Soil Cement Column and Soil Fly ash Cement Column in Soft BangkokClay Deposit," *KMUTT Research and Development Journal*, vol. 37, no. 2, pp. 151-164, 2557.