

ผลกระทบของกรดคาร์บอนิกต่อกำลังอัดแกนเดียว ของดินเหนียวผสมปูนขาว

Effect of Carbonic Acid on Unconfined Compressive Strength of Lime Admixed Clay

Received : October 20, 2020

Revised : November 14, 2020

Accepted : November 18, 2020

เอกชัย ม่านโคกสูง, วศ.ม. (Ekachai Mankoksung, M.Eng.)^{1*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของกรดคาร์บอนิกต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวผสมปูนขาว ตัวอย่างดินเหนียวที่ใช้ในการศึกษาเป็นดินขาว ซึ่งนำมาผสมกับปูนขาวให้ได้ปริมาณปูนขาวร้อยละ 10 ถึง 50 โดยมวลแห้ง สารละลายกรดคาร์บอนิกที่ใช้มีปริมาณร้อยละ 0 ถึง 30 โดยมวลของปูนขาวส่วนเกินจากค่าปริมาณปูนขาวที่เหมาะสม

วิธีการวิจัย: งานวิจัยนี้ทดสอบกำลังอัดแกนเดียวดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D1633 เพื่อหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมที่อายุบ่ม 28 วัน และหากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างดินเหนียวผสมปูนขาวที่มีสารละลายกรดคาร์บอนิกและอายุการบ่มต่าง ๆ กัน

ผลการวิจัย: จากการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างเพื่อหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่าค่าปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับร้อยละ 30 ซึ่งเป็นค่าที่มีกำลังอัดแกนเดียวสูงที่สุด และจากผลทดสอบหากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่มีปริมาณปูนขาวส่วนเกินจากค่าที่เหมาะสมร้อยละ 10 (ปริมาณปูนขาวร้อยละ 40) และปริมาณกรดคาร์บอนิกต่าง ๆ กัน พบว่า กำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างดินเหนียวผสมปูนขาวและกรดคาร์บอนิกทุกสัดส่วนการผสมเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม การเพิ่มปริมาณสารละลายกรดคาร์บอนิกส่งผลให้กำลังอัดมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อผสมกรดคาร์บอนิกลงในตัวอย่างดินเหนียวผสมปูนขาวพบว่า กำลังอัดแกนเดียวที่อายุการบ่ม 28 วันมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผสมกรดคาร์บอนิก

คำสำคัญ: ดินเหนียวผสมปูนขาว, กำลังอัดแกนเดียว, กรดคาร์บอนิก, อายุบ่ม

¹ประธานบริษัท บริษัท สรรวย จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

(Chairman, Sornruay Co. Ltd., Muang, Nakhonratchasima)

*ผู้เขียนหลัก (Corresponding author)

E-mail: ekachai.sornruay@gmail.com

Abstract

Objectives: This research was aimed at studying the effect of carbonic acid on unconfined compressive strength of the lime admixed clay. The clay sample used in this study was kaolin. The tests were performed on the lime mixed clay samples with the lime content ranging from 10 to 50 percent by dry mass and carbonic acid solution content ranging from 0 to 30 percent by mass of lime content surplus.

Methods: The unconfined compression tests were performed in accordance with ASTM D1633 to find the optimum lime content and the unconfined compressive strength of lime admixed clay samples with different carbonic acid solution contents and curing periods.

Results: The test results showed that the optimum lime content was 30 percent by dry mass. The test on the sample with lime content surplus of 10% (lime content 40%) showed an increase in unconfined compressive strength with curing period in all cases. Moreover, the strength of lime admixed clay samples decreased with increasing carbonic acid solution content. However, adding carbonic acid solution improved strength of lime admixed clay sample at curing period of 28 days.

Keywords: lime admixed clay, unconfined compressive strength, carbonic acid, curing period

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในหลายทศวรรษที่ผ่านมาเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินถูกนำไปใช้ในกระบวนการก่อสร้างฐานราก งานถนน และงานดินถมต่าง ๆ เทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินอย่างกว้างขวาง ได้แก่ การบดอัด การติดตั้งทางระบายน้ำ และการใส่สารผสมเพิ่ม ในประเทศไทยการใส่สารผสมเพิ่ม เช่น ซีเมนต์ และปูนขาว นิยมใช้กัน เนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณลักษณะด้านกำลังรับแรงเฉือนและการเสีรูปของดินเหนียว (Kalantari et al., 2008; Uchaipichat 2010; Park et al. 2013)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวด้วยปูนขาว เนื่องจากการเพิ่มปูนขาวจนมากกว่าปริมาณที่เหมาะสมส่งผลให้กำลังของดินเหนียวมีค่าลดลง และจำเป็นต้องใส่สารผสมเพิ่ม เช่น เถ้าลอย เถ้าแกลบ เป็นต้น (Muntohar and Hantoro, 2000; Mir, 2015) โดยทั่วไปแล้วปูนขาวเป็นผลผลิตจากการเผาวัสดุที่มีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต เช่น เปลือกหอย หินปูน หินอ่อน เป็นต้น ที่อุณหภูมิสูงถึง 700-900 องศาเซลเซียส ซึ่งเรียกว่า ปูนดิบ หรือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) มีลักษณะเป็นก้อนหรือผงสีขาว และเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะแตกตัวเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) ดังสมการเคมีต่อไปนี้



กำลังรับแรงอัดของดินที่ค่อยๆเพิ่มขึ้นกับเวลาหลังจากดินได้รับการปรับปรุงโดยผสมปูนขาวซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) ในปฏิกิริยานี้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะมีปฏิกิริยากับเม็ดดินที่มีสารจำพวกซิลิเกต (SiO₂) และอลูมินา (Al₂O₃) ซึ่งเราเรียกว่าวัสดุปอซโซลาน

(Pozzolans) เกิดเป็นสาร แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Hydrated Calcium Silicate, CSH) และ แคลเซียมอลูมินาไฮเดรต (Hydrated Calcium Aluminate, CAH) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวยึดเกาะเม็ดดินเข้าด้วยกันเป็นเม็ดดินขนาดใหญ่และมีกำลังสูงขึ้น ดังแสดงได้ในสมการเคมีนี้



งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของเติมกรดคาร์บอนิคลงในดินเหนียวผสมปูนขาวที่มีปูนขาวมากกว่าปริมาณที่เหมาะสม โดยการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวที่อายุบ่มต่าง ๆ กัน เนื่องจากน้ำในธรรมชาติมีสภาพเป็นกรดคาร์บอนิค ซึ่งเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศสามารถละลายน้ำหรือถูกชะล้างด้วยฝน ผลการศึกษาเน้นที่ผลของกรดคาร์บอนิคทำปฏิกิริยากับปูนขาวส่วนเกินจากปริมาณที่เหมาะสม

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 ศึกษาหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างดินเหนียวผสมปูนขาว

2.2 ศึกษาผลกระทบของกรดคาร์บอนิคต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวผสมปูนขาว

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุทดสอบ

ตัวอย่างดินเหนียวที่ใช้ในการศึกษาเป็นดินขาว จำแนกประเภทของดินตามระบบ USCS (Unified Soil Classification System) อยู่ในกลุ่มดินเหนียวสภาพพลาสติกต่ำ (CL) มีคุณสมบัติเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนปูนขาวที่ใช้ในการศึกษามีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ประมาณร้อยละ 62.05 โดยมวลส่วนประกอบต่าง ๆ ของปูนขาวทดสอบโดยวิธี XRF (X-ray fluorescence) แสดงในตารางที่ 2

ส่วนสารละลายกรดคาร์บอนิคที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากน้ำโซดาที่วางจำหน่ายในตลาดจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการเคมีพบว่า สารละลายกรดคาร์บอนิคที่ใช้ในการทดสอบมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.066 g/1000ml และมี ค่า PH เท่ากับ 4.7

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของดินขาว

คุณสมบัติ	ค่า
Moisture Content	2% max
PH	5 – 7
Bulk density (g/cm ³)	0.35 – 0.37
Absorption (g/100g)	40 – 45
Brightness	80 – 82 %
Fineness	0.02 – 0.04%
Particle Size	
20 micron	90%
10 micron	80%
5 micron	50%
2 micron	18%
Specific Gravity	2.77
Liquid Limit	34.6 %
Plastic Limit	20.7%
Plasticity Index	13.9

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนขาว

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
T.CaO	62.05
MgO	0.66
SiO ₂	0.186
Al ₂ O ₃	0.074
Fe ₂ O ₃	0.057
Na ₂ O	0.012
K ₂ O	0.123
P ₂ O ₅	0.1917
So ₃	0.242
MnO	0.004
TiO ₂	0.019
Sro	0.027

3.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว

ในการเตรียมตัวอย่างในการศึกษานี้ ตัวอย่างดินขาวถูกนำมาผสมกับปูนขาวให้ได้ปริมาณปูนขาวร้อยละ 10 ถึง 50 โดยมวลแห้ง โดยการเติมน้ำให้ดินมีความชื้นที่ค่าพิกัดเหลว (LL) และผสมจนเข้ากันเป็นเนื้อเดียว เพื่อจำลองสภาพการกระบวน การผสมปูนขาวแบบเปียก หลังจากนั้นเติมกรดคาร์ บอนิคปริมาณร้อยละ 0 ถึง 30 โดยมวลของปูนขาว ส่วนเกินจากค่าปริมาณปูนขาวที่เหมาะสม พร้อมทั้ง ผสมให้เข้ากัน นำตัวอย่างบรรจุลงในท่อ พีวีซี เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความสูง

10 เซนติเมตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วนำออกจากท่อ หุ้มพลาสติกป้องกันความชื้นเพื่อบ่มต่อให้ครบอายุ การบ่มที่ต้องการ ทุกตัวอย่างได้รับการบ่มภายใน ห้องควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาทดสอบหาลำลังอัดแกน เดียว ตามมาตรฐาน ASTM D1633 (2017) ตารางที่ 3 และ 4 แสดงการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของ ตัวอย่างเพื่อหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสม และการ ทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่มีปริมาณปูน ขาวส่วนเกินจากค่าที่เหมาะสมร้อยละ 10 และ ปริมาณกรดคาร์บอนิคต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 3 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างเพื่อหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมที่อายุบ่ม 28 วัน

ปริมาณปูนขาว (%)	จำนวนตัวอย่าง
10	3
20	3
30	3
40	3
50	3

ตารางที่ 4 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่มีปริมาณปูนขาวส่วนเกิน จากค่าที่เหมาะสมร้อยละ 1 และปริมาณกรดคาร์บอนิคต่าง ๆ กัน

ปริมาณกรดคาร์บอนิค (%)	จำนวนตัวอย่าง				
	อายุบ่ม 1 วัน	อายุบ่ม 3 วัน	อายุบ่ม 7 วัน	อายุบ่ม 14 วัน	อายุบ่ม 28 วัน
10	3	3	3	3	3
15	3	3	3	3	3
20	3	3	3	3	3
25	3	3	3	3	3
30	3	3	3	3	3

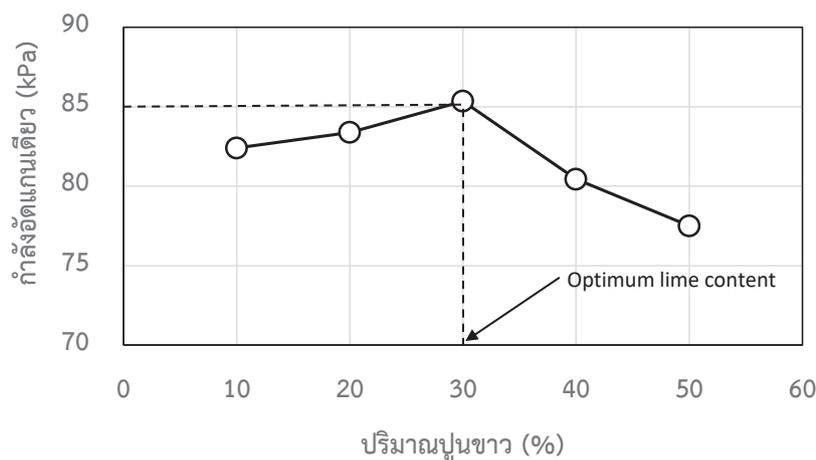
4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างเพื่อหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างดินเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ

10 ถึง 30 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวเกินร้อยละ 30 ค่ากำลังอัดแกนเดียวมีแนวโน้มที่จะลดลง ดังแสดงในตารางที่ 5 และ รูปที่ 1 ดังนั้นค่าปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับร้อยละ 30

ตารางที่ 5 กำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างเพื่อหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมที่อายุบ่ม 28 วัน

ปริมาณปูนขาว (%)	กำลังอัดแกนเดียว (kN/m ²)
10	82.4
20	83.4
30	85.3
40	80.4
50	77.5



รูปที่ 1 ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างเพื่อหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมที่อายุบ่ม 28 วัน

งานวิจัยนี้ทดสอบหาค่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่มีปริมาณปูนขาวส่วนเกินจากค่าที่เหมาะสมร้อยละ 10 และปริมาณกรดคาร์บอนิกต่าง ๆ กัน เนื่องจากการใช้ปริมาณปูนขาวมากเกินไปผลทำให้การก่อสร้างมีราคาสูงขึ้นและอาจไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นปริมาณปูนขาวที่ใช้ในการทดสอบในส่วนการทดสอบนี้เท่ากับร้อยละ 40 จากการทดสอบพบว่า กำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างดินเหนียวผสมปูนขาวและกรดคาร์บอนิกทุกสัดส่วนการผสมเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม การเพิ่มปริมาณกรดคาร์บอนิกส่งผลให้กำลังอัดมีแนวโน้มลดลงอย่างไรก็ตามเมื่อผสมกรดคาร์บอนิกลงในตัวอย่างดินเหนียวผสมปูนขาวพบว่า กำลังอัดแกนเดียวที่อายุ

การบ่ม 28 วันมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผสมกรดคาร์บอนิก ดังแสดงในตารางที่ 6 และรูปที่ 2

การใช้ปริมาณปูนขาวผสมในดินเหนียวมากกว่าค่าที่เหมาะสมส่งผลทำให้ขาดวัสดุปอซโซลานที่จะทำปฏิกิริยากับปูนขาวส่วนเกิน และส่งผลทำให้ไม่เกิดการพัฒนากำลังของดินเหนียวเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาว การเติมกรดคาร์บอนิกลงในส่วนผสมของดินเหนียวผสมปูนขาวในช่วงการเตรียมตัวอย่างทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนขาวส่วนเกินกับกรดคาร์บอนิกที่สร้างสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ขึ้นดังสมการเคมีต่อไปนี้

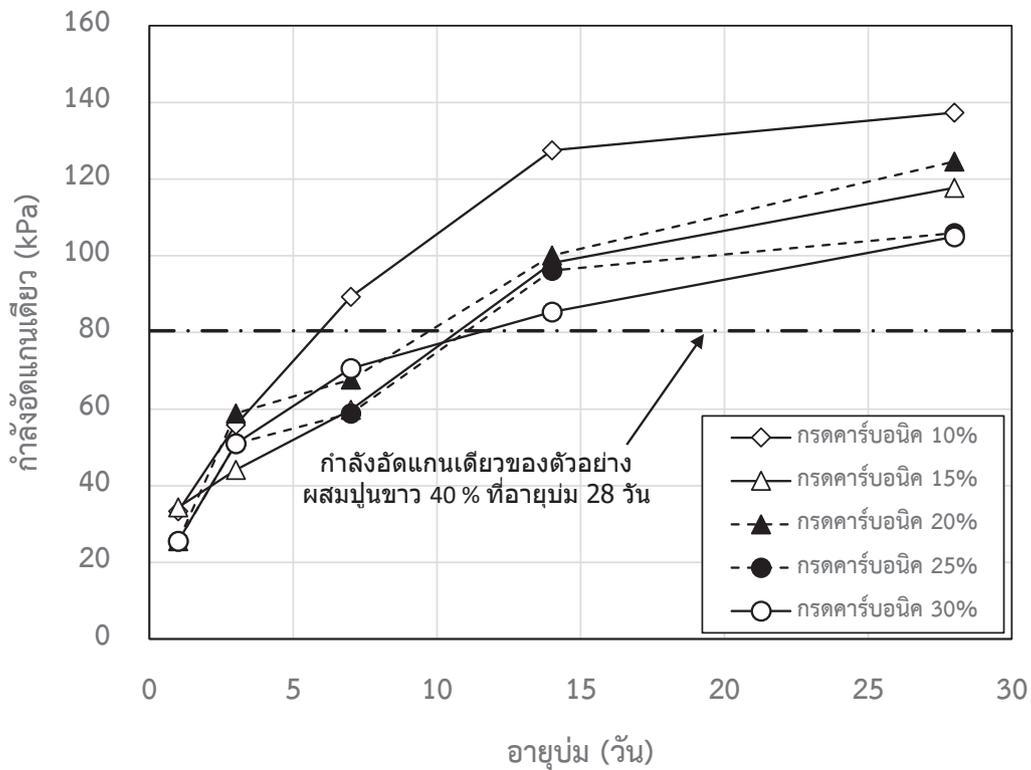


เป็นที่ทราบกันดีว่าสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตคือส่วนประกอบหลักของหินปูน ดังนั้นปริมาณปูนขาวส่วนเกินจึงแปรสภาพกลายเป็นหินปูนเสริมความแข็งแรงของตัวอย่างดินเหนียว

ผสมปูนขาว แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณกรดคาร์บอนิกส่งผลให้กำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวผสมปูนขาวลดลงได้

ตารางที่ 6 กำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่มีปริมาณปูนขาวส่วนเกินจากค่าที่เหมาะสมร้อยละ 10 และปริมาณกรดคาร์บอนิกต่าง ๆ กัน

ปริมาณกรดคาร์บอนิก (%)	กำลังอัดแกนเดียว (kN/m ²)				
	อายุบ่ม 1 วัน	อายุบ่ม 3 วัน	อายุบ่ม 7 วัน	อายุบ่ม 14 วัน	อายุบ่ม 28 วัน
10	33.4	55.9	89.3	127.5	137.3
15	34.3	44.1	59.8	98.1	117.7
20	25.5	58.9	67.7	100.1	124.6
25	25.3	51.0	58.9	96.1	105.9
30	25.6	51.3	70.6	85.3	105.0



รูปที่ 2 ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่มีปริมาณปูนขาวส่วนเกิน จากค่าที่เหมาะสมร้อยละ 10 และปริมาณกรตคาร์บอนิคต่าง ๆ กัน

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างดินเหนียวผสมปูนขาว และศึกษาผลกระทบของกรตคาร์บอนิคต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวผสมปูนขาว จากการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างเพื่อหาปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่าค่าปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับร้อยละ 30 ซึ่งเป็นค่าที่มีกำลังอัดแกนเดียวสูงที่สุด และจากผลทดสอบหากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่มีปริมาณปูนขาวส่วนเกิน จากค่าที่เหมาะสมร้อยละ 10 (ปริมาณปูนขาวร้อยละ 40) และปริมาณกรตคาร์บอนิคต่าง ๆ กัน พบว่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างดินเหนียวผสมปูนขาว และกรตคาร์บอนิคทุกสัดส่วนการผสมเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม การเพิ่มปริมาณกรตคาร์บอนิคส่งผลให้กำลังอัดมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อผสมกรตคาร์บอนิคลงในตัวอย่างดินเหนียวผสมปูนขาวพบว่ากำลังอัดแกนเดียวที่อายุการบ่ม 28 วันมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผสมกรตคาร์บอนิค เนื่องจากการ

เพิ่มขึ้นกำลังอัดมีผลมาจากจากการเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับกรตคาร์บอนิค

6. เอกสารอ้างอิง

1. ASTM. (2017). *ASTM Standard D1633-17, Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, DOI: 10.1520/D1633-17, www.astm.org.
2. Kalantari, B., and Huat, B.K.K. (2008). Peat Soil Stabilization Using Ordinary Portland Cement, Polypropylene Fibers, and Air Curing Technique. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 13(J), 1-13.

3. Mir, B. A. (2015). Some Studies on the Effect of Fly Ash and Lime on Physical and Mechanical Properties of Expansive Clay. *International Journal of Civil Engineering*, 13(3), 1-12.
4. Muntohar, A. S. (2000). Influence of the Rice Husk Ash and Lime on Engineering Properties of Clayey Sub-grade. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 5, 1-13.
5. Park, M., Jeon, J., and Lee, S. (2013). Assessment of Geotechnical Characteristics on Cement-Admixed Composite. *Proceedings of the Twenty-third International Offshore and Polar Engineering Anchorage*, 663-668.
6. Uchaipichat, A. (2010). Laboratory Investigation of Thermal Effect on Compressive Strength of Cement Admixed Clay. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 15(M), 1277-1284.