ew metadata, citation and similar papers at core.ac.uk

brought to you by CO

การพัฒนากำลังอัดของดินเหนียวปนดินตะกอนผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย

ชยกฤต เพชรช่วย[1] อภิชิต คำภาหล้า[2] และ สุขสันต์ หอพิบูลสุข[3*]

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ร่วมกับเถ้าลอยในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านกำลังอัดของดินเหนียวปนดินตะกอนบดอัด กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการผลิตก๊าซอเซทิลีน อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างสูง เถ้าลอยเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการผลิตกระแสไฟฟ้า การศึกษามีจุดมุ่งหมายเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านกำลังอัดของดิน และอธิบายการพัฒนากำลังอัด การทดสอบด้านกำลังอัดกระทำด้วยการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโดยภาพถ่าย SEM (scanning electron microscope) ผลการทดสอบพบว่าการบดอัดดินกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยทำให้หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดลดลง และปริมาณความชื้นเหมาะสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ค่ากำลังอัดสูงสุดของแต่ละอัตราส่วนผสมอยู่ที่ปริมาณความชื้นเหมาะสม ปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 7 เป็นปริมาณที่ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด และปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นเมื่อผสมเถ้าลอยที่ปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์มากกว่าร้อยละ 7

คำสำคัญ: ดินเหนียวปนดินตะกอน กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย กำลังอัดแกนเดียว

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[2] นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[3] ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-4422-4420, E-mail:suksun@g.sut.ac.th

Strength Development in Silty Clay Stabilized with Calcium Carbide Residue and Fly Ash

Chayakrit Phetchuay[1] Apichit Kumpala[2] and Suksun Horpibulsuk[3*]

Abstract

This paper investigates the possibility of using calcium carbide residue and fly ash to improve the strength of silty clay. Calcium carbide residue (CCR) is waste products remaining from acetylene gas. Fly ash is waste products remaining from power plants. This paper aims to determine the suitable mixing ratio and explain the strength development. The strength development is investigated by the unconfined compression test. The microstructural analysis is done via scanning electron microscope. It is found from this investigation that the mixing of CCR and fly ash in the silty clay leads to lower dry unit weight and higher optimum water content. The maximum strength of compacted CCR and fly ash stabilized silty clay is at the optimum water content. The 7% CCR content provides the highest strength and pozzolanic reaction plays a great role when CCR content is over 7%.

KEYWORDS: Silty clay, Calcium carbide residue and fly ash, Unconfined compressive strength.

[1] Master Degree Graduate, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

[2] Doctoral Degree Graduate, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

[3] Professor, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

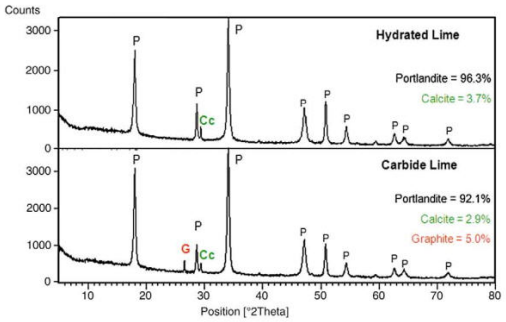
* Corresponding Author Tel.0-4422-4420, E-mail:suksun@g.sut.ac.th

1. บทนำ

ดินเป็นวัสดุธรรมชาติ ซึ่งมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิด และสภาพแวดล้อม การนำดินมาใช้ประโยชน์ในทางวิศวกรรม จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติให้มีความเหมาะสม ดังเช่นดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0-3 เมตร ส่วนมากเป็นดินเหนียวปนดินตะกอน และดินตะกอนปนทรายที่เกิดจากการพัดพาของลม ดินดังกล่าวนี้มีกำลังต้านทานแรงเฉือนต่ำถึงปานกลาง วิธีการปรับปรุงดินวิธีหนึ่งที่เหมาะสม คือการบดอัดดินกับสารเชื่อมประสาน (ปูนซีเมนต์และปูนขาว เป็นต้น) เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ภายในระยะเวลาอันสั้น การนำดินชนิดนี้ไปใช้ในงานโครงสร้างพื้นทาง กรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานกำลังอัดแกนเดียวของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ภายใต้พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานเท่ากับ 1750 กิโลปาสคาล ที่อายุบ่ม 7 วัน [1] ดังนั้นหากต้องการนำดินชนิดนี้ไปใช้งานที่อัตราส่วนกำลังอัดในสนามเป็น 2 เท่าของกำลังอัดในห้องทดลอง [2] กำลังอัดแกนเดียวในห้องทดลองควรมากกว่า 3500 kPa เป็นอย่างน้อย

ในอดีตที่ผ่านมา สารเชื่อมประสานที่ใช้แพร่หลาย คือ ปูนขาว และปูนซีเมนต์ ภายหลังได้มีการนำวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) อื่นมาผสมกับดินเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์เพื่อลดต้นทุนค่าก่อสร้าง งานวิจัยนี้จะใช้วัสดุเหลือใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งคือกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นกากที่เหลือจากการผลิตก๊าซอเซทีลีนที่อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จากความต้องการใช้ก๊าซอเซทีลีนที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี ส่งผลให้ปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ดังกล่าวสะสมเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์มีคุณสมบัติเป็นด่างสูง ทำให้เกิดปัญหาสภาพแวดล้อมในบริเวณแหล่งที่ทิ้ง เถ้าลอย (Fly Ash) ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นวัสดุปอซโซลาน [3]

กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีคุณสมบัติทางเคมี และโครงสร้างคล้ายคลึงกับปูนขาว (Hydrated lime) ดังเห็นได้จากผลการทดสอบ XRD ในรูปที่ 1 [4] ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับดินเหนียวสามารถอ้างอิงได้เช่นเดียวกับปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวกับดินเหนียว

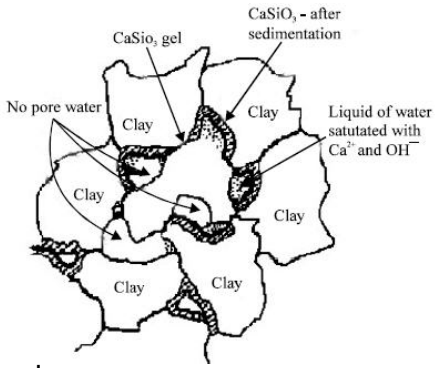


รูปที่ 1 XRD of hydrated lime and calsium carbide Notation P=Portlandite($Ca(OH)_2$, Cc=Calcite ($CaCO_3$), G=Graphite [4]

ปูนขาวถูกใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินตั้งแต่สมัยโรมัน [5] ซึ่งปริมาณที่เหมาะสมสำหรับดินเหนียวจะอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 5 ถึง 10 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อผสมเข้ากับดิน คือ การแลกเปลี่ยนอิออนบวกของดิน (Cation exchange) ปฏิกิริยาการจับตัวของเม็ดดิน (Flocculation and Agglomeration) และปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิออนบวกของดิน คือ ขบวนการแลกเปลี่ยนอิออนบวกที่ผิวของดินเหนียว เกิดขึ้นเฉพาะในดินเหนียวเท่านั้น เนื่องจากอนุภาคของดินเหนียวเป็นประจุลบเมื่ออยู่ตามธรรมชาติจะดูดยึดอิออนบวกไว้เป็นจำนวนและสัดส่วนเท่ากับประจุลบที่มีอยู่ อิออนบวกที่ถูกดูดยึดที่ผิวของดินเหนียวสามารถที่จะถูกไล่ออกโดยอิออนบวกอื่นได้ง่าย ดังนั้นเมื่อผสมปูนขาวเข้ากับดินเหนียว แคลเซียม (Ca++) จากปูนขาวจะเข้าไปไล่ที่อิออนบวกที่ผิวของดินออกมาทำปฏิกิริยาและเกิดสารประกอบใหม่ขึ้นจนอยู่ในสภาวะสมดุลของอิออนบวก และอิออนลบ [6] ปฏิกิริยาการจับตัวของเม็ดดิน เป็นปฏิกิริยาการรวมตัวที่เกิดที่ผิวและโพรงของดินเหนียวทำให้อนุภาคเล็กๆรวมตัวเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นเกาะกันเป็นกลุ่ม และมีการขัดกันระหว่างเม็ดดินมากขึ้นดังรูปที่ 2 ผลของปฏิกิริยาทั้งสองดังกล่าวทำให้พิกัดเหลว และพิกัดหดตัวของดินเหนียว

มีค่าลดลง ขณะที่ค่าดัชนีสภาพพลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังอัด และความต้านทานการเสียรูปของดินเหนียวเพิ่มขึ้น ส่วนปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนขาวเมื่อผสมกับน้ำเกิดแคลเซียม-ไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำให้ค่าความเป็นด่างของน้ำในโพรงสูงขึ้น ความเป็นด่างที่สูงขึ้นจะละลายซิลิกา และอลูมินาในดิน ซิลิกาและอลูมินาที่หลอมละลายจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมอิสระที่เกิดจากการสลายตัวของปูนขาว [7]

งานวิจัยหลายฉบับทำการศึกษาวัสดุประสานแทนซีเมนต์โดยการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยเพื่อทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ในงานโครงสร้าง [8-10]



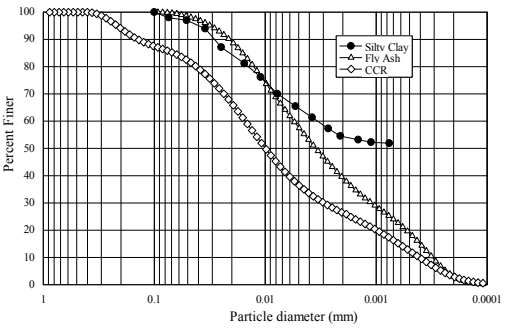
รูปที่ 2 หลักการการปรับปรุงดินด้วยปูนขาว [7]

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับปูนขาว มอร์ต้าที่ผลิตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมีความสามารถในการรับกำลังในช่วงอายุปลายได้คล้ายปูนซีเมนต์ [11] บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ปรับปรุงดินเหนียว อธิบายการพัฒนากำลังอัดของดินเหนียวผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย และหาอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยที่เหมาะสมในการปรับปรุงกำลังอัดของดินเหนียว

2. ตัวอย่างวัสดุและวิธีทดสอบ

2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

ดินที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นดินเหนียวปนดินตะกอน ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เก็บตัวอย่างในลักษณะแปรสภาพที่ระดับความลึก 2 - 3 เมตร จากผิวดิน เพื่อให้ดินมีลักษณะที่เหมือนกันและมีการปนเปื้อนน้อยที่สุด จากนั้นนำตัวอย่างดินไปผึ่งให้แห้งใช้ค้อนยางทุบดินที่จับตัวกันเป็นก้อนให้แตกตัวออกจากกันโดยให้มีขนาดประมาณ 1 ถึง 2 เซนติเมตร และทำการย่อยดินด้วยเครื่องย่อยดินให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำดินที่ผ่านการย่อยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 อีกครั้งหนึ่ง ดินชนิดนี้จำแนกด้วยระบบเอกภาพ (Unified Soil Classification System, USCS) เป็นดินเหนียวที่มีสภาพพลาสติกสูง (CH) ความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 2.76 พิกัดเหลว และพิกัดพลาสติกเท่ากับร้อยละ 61 และ 22 ตามลำดับ ความหนาแน่นแห้งสูงสุดเมื่อถูกบดอัดด้วยพลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานเท่ากับ 16.9 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากับร้อยละ 18 กำลังอัดที่สภาวะนี้มีค่าเท่ากับ 1,130 กิโลปาสคาล ค่าอัตราการบวมตัวอิสระ (Free swell ratio) เท่ากับ 1.4 จำแนกได้เป็นการบวมตัวต่ำ ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) เท่ากับ 27.6 meq/100g (milliequivalents ต่อ ดินเหนียว 100 กรัม) การกระจายขนาดคละเม็ดดินแสดงดังรูปที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด



รูปที่ 3 การกระจายขนาดคละอนุภาคดินเหนียว เถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

2.2 กากแคลเซียมคาร์ไบด์

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (Calcium Carbide Residue) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท สาย 5 ผลิตภัณฑ์ก๊าซ จำกัด อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม กากแคลเซียมคาร์ไบด์ถูกเตรียมด้วยวิธีการ

อบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นบดด้วยเครื่อง Los Angeles abrasion machine และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 2.32 การกระจายขนาดคละดังรูปที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 1

2.3 เถ้าลอย

เถ้าลอยที่ใช้ในการศึกษาได้จากโรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.39 การกระจายขนาดคละแสดงดังรูปที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวปนดิน ตะกอนกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย

Chemical composition (%)	Silty clay	CCR	Fly Ash
SiO_2	20.10	2.32	45.69
Al_2O_3	7.55	1.57	24.59
Fe_2O_3	32.89	0.16	11.26
CaO	26.15	62.09	9.45
MgO	0.47	0.64	2.87
SO_3	4.92	0.62	1.57
Na_2O	ND	0.02	0.07
K_2O	3.17	0.01	2.66
LOI	3.44	32.27	1.23
อื่นๆ	1.31	0.3	0.61

2.4 วิธีทดสอบ

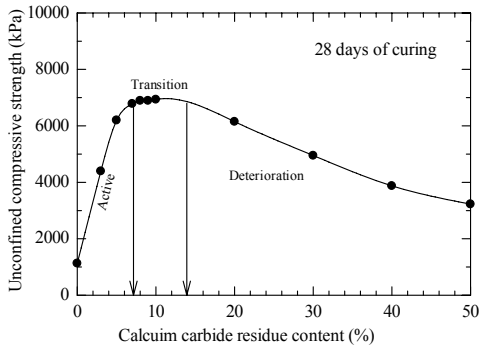
ดินตัวอย่างผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยถูกบดอัดในแบบทรงกระบอกขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 33 มม. สูง 71 มม. แบ่งการบดอัดเป็น 5 ชั้น ภายใต้พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D1557 การศึกษาประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนแรกศึกษาอิทธิพลของกากแคลเซียมคาร์ไบด์โดยบดอัดดินผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 50 ส่วนที่สองศึกษากลไกการพัฒนากำลังอัดของดินผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย ในช่วงกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เหมาะสม และช่วงมากกว่าจุดเหมาะสม รายละเอียดค่าตัวแปรต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 ตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดจะถูกห่อด้วยพลาสติกและบ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อได้ตัวอย่างตามระยะเวลาบ่มที่ต้องการ นำตัวอย่างดินไปทำการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D2166 อัตราการกดที่ 0.7 มม./นาที

ตารางที่ 2 ตัวแปรที่ใช้ในการบดอัดดินเหนียวปนดิน ตะกอนผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย

ตัวแปร	จำนวน	หมายเหตุ
ปริมาณความชื้น (ร้อยละของ OWC)	4 ค่า	ปริมาณความชื้นที่ร้อยละ 80, 100, 120 และ140
พลังงานการบดอัด	1 ค่า	บดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน
อายุบ่ม	4 ค่า	7, 28, 60 และ120 วัน
ปริมาณที่ผสมเพิ่มในดิน	2 ค่า	5% และ 10%
อัตราส่วนระหว่างปริมาณกาก-แคลเซียมคาร์ไบด์ ต่อปริมาณเถ้าลอย	10 ชนิด	กากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าลอย 100 : 0,90 :10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50,40 : 60, 30 : 70, 20 : 80 และ10 : 90

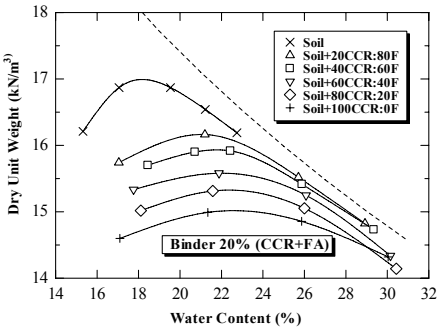
3. ผลการทดสอบ

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวและปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ จะเห็นได้ว่ากำลังอัดแกนเดียวในช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์จนมีค่าสูงสุดที่ปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 7 จากนั้น กำลังอัดจะเริ่มมีค่าคงที่ และเริ่มมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนมากกว่าร้อยละ



รูปที่ 4 อิทธิพลของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อกำลังอัด

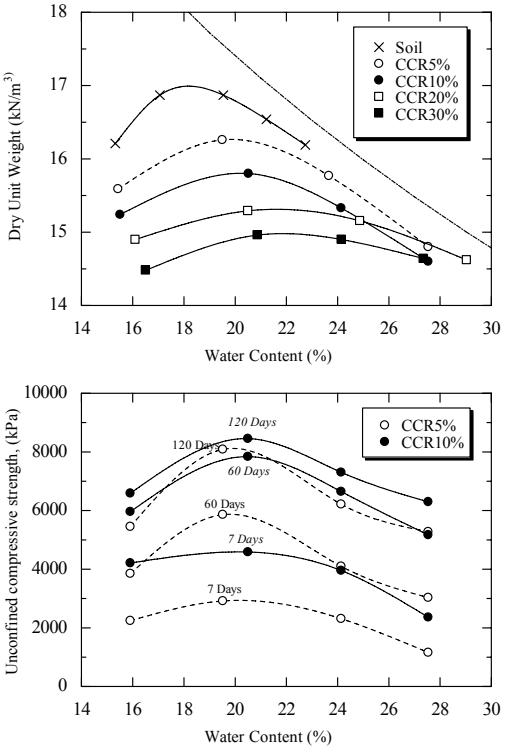
เมื่อทำการบดอัดดินผสมสารเชื่อมประสาน ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลงตามปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้น และค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมมีค่าเพิ่มขึ้น ตามปริมาณการผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5 ทั้งนี้มีสมมุติฐานหลักมาจากค่าความถ่วงจำเพาะของทั้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมีค่าน้อยกว่าค่าความถ่วงจำเพาะของดินทำให้หน่วยน้ำหนักต่อปริมาตรลดลง กากแคลเซียมคาร์ไบด์ยังทำให้ฐานระฆังของกราฟการบดอัดกว้างขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณความชื้นมีช่วงกว้างขึ้นด้วย



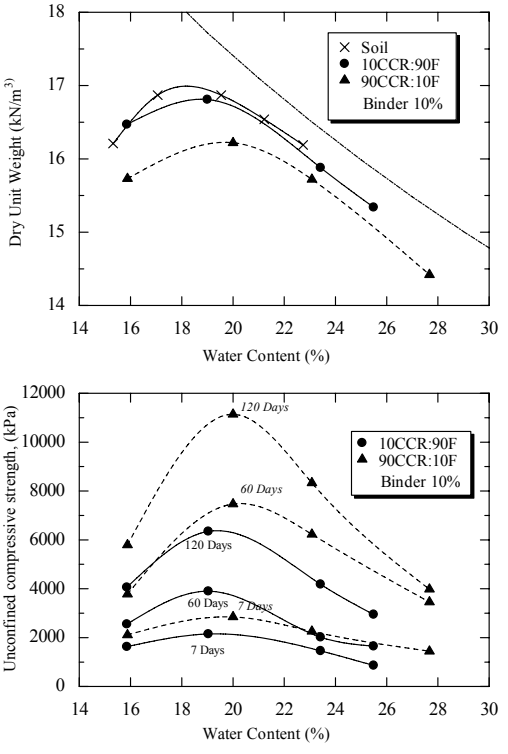
รูปที่ 5 ผลการทดสอบการบดอัดดินผสมเถ้าลอยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

รูปที่ 6 และ 7 แสดงผลการทดสอบการบดอัดที่ปริมาณความชื้นต่างๆ เทียบกับค่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างดินที่ความชื้นเดียวกัน อายุบ่ม 7, 60 และ 120 วัน พบว่าค่ากำลังอัดแกนเดียวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ปริมาณความชื้นเหมาะสมของทุกส่วนผสม หลังจากนั้นค่ากำลังอัดมีค่าลดลงตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังอัดแกนเดียวของดินที่ผสมสารเชื่อมประสานที่ความชื้นทางด้านเปียกที่ร้อยละ 120 ของความชื้นเหมาะสม มีค่าสูงกว่าความชื้นทางด้านแห้งที่ร้อยละ 80 ของความชื้นเหมาะสมที่อายุบ่ม 120 วัน ในทุกอัตราส่วนผสม แต่สำหรับอัตราส่วนผสมอื่นๆ นั้น ค่ากำลังอัดแกนเดียวทางด้านแห้ง และทางด้านเปียกมีค่าใกล้เคียงกัน พฤติกรรมนี้มีสมมุติฐานมาจากที่อายุบ่ม 7 วัน การบดอัดทางด้านเปียกมีปริมาณน้ำไปล้อมรอบเม็ดดินมากกว่าทางด้านแห้งทำให้ไปขัดขวางการทำปฏิกิริยา Cation exchange ส่งผลให้พัฒนากำลังได้ช้ากว่า แต่เมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้น น้ำในมวลดินทางด้านแห้งเริ่มลดลงทั้งจากการทำปฏิกิริยาและระเหยออกไปบ้าง ทำให้ปริมาณน้ำมีไม่มากพอที่จะละลายไอออนจาก แคลเซียมคาร์ไบด์ ส่งผลให้กำลังอัดทางด้านแห้งพัฒนาได้ช้ากว่าทางด้านเปียกเมื่ออายุบ่มมากขึ้น อีกสมมุติฐานหนึ่งที่สำคัญคือ ปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์หากมีปริมาณมากขึ้นก็จะทำปฏิกิริยา Cation exchange ได้ดีกว่าและเกิดสารละลายที่มีความเป็นด่างสูงกว่าในการละลายซิลิกาและอลูมินา เพื่อทำปฏิกิริยาปอซโซลาน

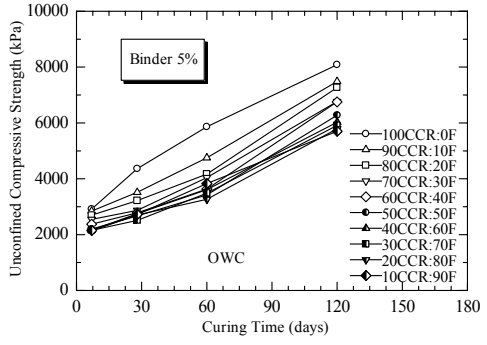
พิจารณาอิทธิพลของอายุบ่มต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวที่อัตราส่วนผสมเพิ่มในดินร้อยละ 5 และ10 โดยแปรผันตามอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ตำแหน่งความชื้นเหมาะสมในรูปที่ 8 และ 9 ปฏิกิริยาหลักที่ทำให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นมีสองชนิดคือ ปฏิกิริยา Cation exchange และปอซโซลาน เมื่ออายุบ่มมากขึ้นค่ากำลังอัดแกนเดียวมีค่าเพิ่มขึ้น พิจารณาที่อัตราส่วนผสมเพิ่มร้อยละ 5 ที่ช่วงอายุบ่ม 7, 28 และ 60 วัน ค่ากำลังอัดแกนเดียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง หลังจากอายุบ่ม 60 วัน ค่ากำลังอัดที่อัตราส่วนผสมต่างๆ เริ่มแสดงผลของปฏิกิริยาปอซโซลาน เว้นเพียงแต่อัตราส่วนผสม 100:0 ที่ยังเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงอยู่เช่นเดียวกับในรูปที่ 9 อัตราส่วน 100:0 ก็มีลักษณะการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดเป็นเส้นตรง ลักษณะการเพิ่มกำลังอัดต่ออายุบ่มในอัตราส่วนที่ไม่มีเถ้าลอยผสมนี้คล้ายคลึงกับผลทดสอบของ Consoli, et al. [12] และ Huat, et al. [13] จุดสังเกตอีกจุดหนึ่งจากรูปที่ 9 คือ กำลังอัดช่วง 7 วัน ถึง 28 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แตกต่างจากรูปที่ 8 ทั้งนี้มีปัจจัยมาจากปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อัตราส่วนผสมเพิ่มร้อยละ 10 มีแคลเซียมอิสระมากกว่าที่อัตราส่วนร้อยละ 5 จึงทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่า เพราะปฏิกิริยา Cation exchange เป็นปฏิกิริยาหลักในช่วงต้นของอายุบ่ม หากพิจารณาถึงอิทธิพลของเถ้าลอยต่อกำลังอัดพบว่าในช่วงอายุบ่ม 7 ถึง 28 วัน การผสมเถ้าลอยทำให้ค่ากำลังอัดลดลงแต่กำลังอัดจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่าเมื่ออายุบ่ม 120 วัน ในอัตราส่วนผสม-เพิ่มร้อยละ 10 ที่อัตราส่วน 70:30, 80:20 และ 90:10



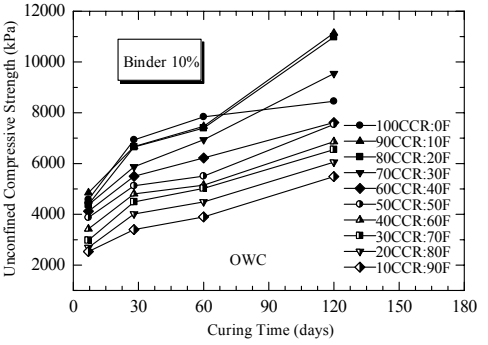
รูปที่ 6 อิทธิพลของปริมาณน้ำ ต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวอายุบ่มต่างๆเทียบกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่การบดอัดอัตราส่วนกากแคลเซียม-คาร์ไบด์ต่าง ๆ



รูปที่ 7 อิทธิพลของปริมาณน้ำ ต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวอายุบ่มต่าง ๆ เทียบกับ ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่การบดอัดอัตราส่วนกากแคลเซียม-คาร์ไบด์ และเถ้าลอยต่าง ๆ



รูปที่ 8 อิทธิพลของอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียว (Binder 5%)

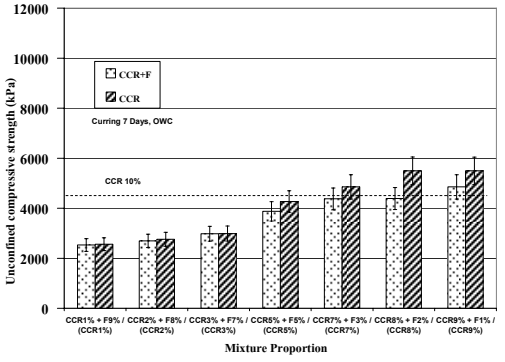


รูปที่ 9 อิทธิพลของอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียว (Binder10%)

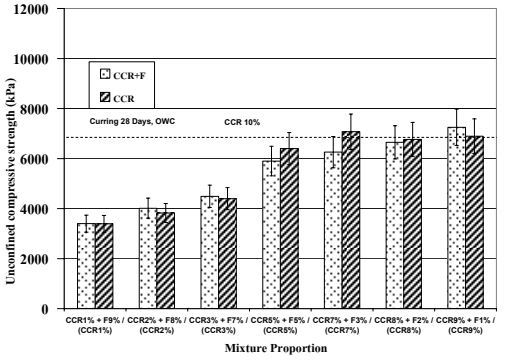
4. อภิปรายผลการทดสอบ

เพื่ออธิบายอิทธิพลของเถ้าลอยต่อกำลังอัดและปฏิกิริยาปอซโซลานได้ชัดเจนยิ่งขึ้น พิจารณารูปที่ 10, 11 และ 12 ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของปริมาณเถ้าลอยต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวในแต่ละส่วนผสมที่อัตราส่วนผสมเพิ่มร้อยละ 10 ที่ค่าปริมาณความชื้นเหมาะสม รูปทั้งสามแสดงค่ากำลังอัดแกนเดียวของส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอย (CCR+F) และกำลังอัดแกนเดียวที่มีส่วนผสมเฉพาะกากแคลเซียมคาร์ไบด์โดยไม่ผสมเถ้าลอย (CCR) ที่อายุบ่ม 7, 28 และ 120 วัน จากการศึกษาพบประเด็นที่สำคัญคือ กำลังอัดแกนเดียวของส่วนผสมที่มีเฉพาะกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่ามากกว่ากำลังอัดของส่วนผสมที่มี CCR+F ในช่วงอายุบ่ม 7 วัน แต่ความแตกต่างของกำลังอัดแกนเดียวจะลดลง และกำลังอัดของ CCR+F มีค่ามากกว่าในบางอัตราส่วนเมื่อผ่านอายุบ่ม 28 วัน (CCR9%+F1%) และ 120 วัน (CCR7%+F3% - CCR9%+F1%) แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของเถ้าลอยมีผลทำให้กำลังอัดลดลงในช่วงอายุบ่ม 7 วัน เพราะเมื่อผสมเถ้าลอยเพิ่มในส่วนผสมส่งผลทำให้ ความเข้มข้นของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในส่วนผสมลดลง และเถ้าลอยบางส่วนยังไปขัดขวางการทำปฏิกิริยา Cation exchange มีผลทำให้กำลังอัดต่ำกว่า แต่เมื่ออายุบ่มมากขึ้นปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 11 และ 12 ในกรณีไม่ผสมเถ้าลอยอัตราส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในปริมาณเกินกว่าร้อยละ 7 จะให้ค่ากำลังอัดประมาณคงที่ แต่ถ้าผสมเถ้าลอยเข้าไป กำลังอัดจะพัฒนาต่อไปได้อีก เนื่องจากมีแคลเซียมอิสระมากพอที่จะเข้าไปทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับเถ้าลอย

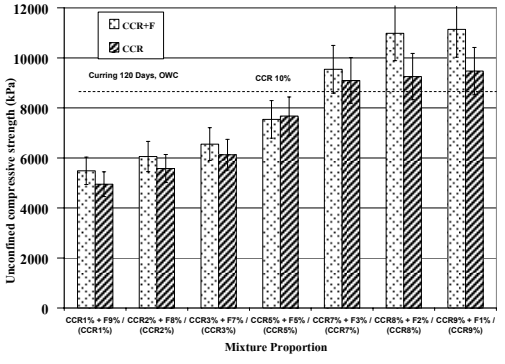
หากพิจารณากำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของผลทดสอบที่ร้อยละ 10 พบว่าเถ้าลอยที่ผสมเข้าไปในอัตราส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่ำกว่าร้อยละ 7 ไม่ได้ช่วยพัฒนากำลังอัดอย่างเด่นชัด สังเกตได้จากค่ากำลังอัดอยู่ในช่วงที่ซ้อนทับกันของค่าความคลาดเคลื่อนหรืออาจกล่าวได้ว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระมีปริมาณไม่มากพอที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับเถ้าลอย เถ้าลอยจะช่วยพัฒนากำลังอัดได้ดีในอัตราส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์มากกว่าร้อยละ 7 ที่อายุบ่ม 120 วัน



รูปที่ 10 อิทธิพลของเถ้าลอยต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์อัตราส่วนต่าง ๆ อายุบ่ม 7 วัน

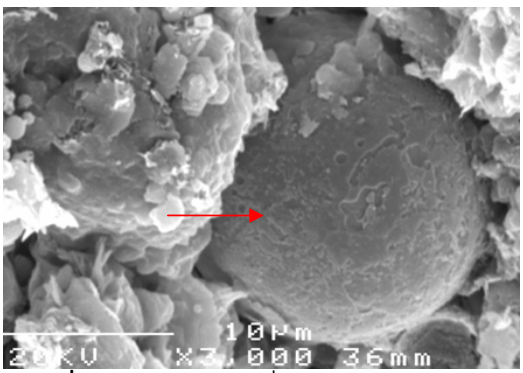


รูปที่ 11 อิทธิพลของเถ้าลอยต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์อัตราส่วนต่าง ๆ อายุบ่ม 28 วัน

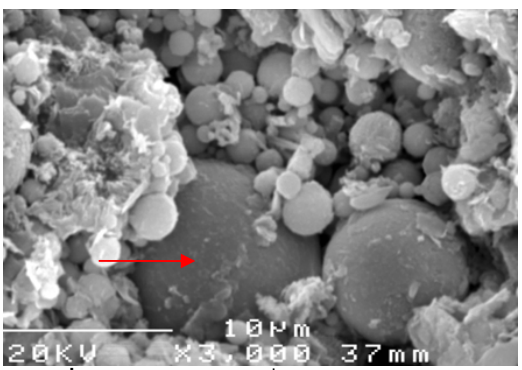


รูปที่ 12 อิทธิพลของเถ้าลอยต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์อัตราส่วนต่าง ๆ อายุบ่ม 120 วัน

ปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายเพิ่มเติมด้วยผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยภาพขยายของโครงสร้างภายในก้อนดินด้วยเครื่องมือ SEM (Scanning Electron Microscope) พบว่าภาพขยายเถ้าลอยที่อัตราส่วนผสม 70:30 อายุบ่ม 120 วัน ผิวของเถ้าลอยเกิดการกัดกร่อนเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งแตกต่างจากรูปที่ 14 ผลทดสอบทั้งสองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วน 30:70 ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระ มีไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับเถ้าลอย



รูปที่ 13 ภาพถ่าย SEM ที่อัตราส่วน 70CCR:30F อายุบ่ม 120 วัน (Binder 10%)



รูปที่ 14 ภาพถ่าย SEM ที่อัตราส่วน 30CCR:70F อายุบ่ม 120 วัน (Binder 10%)

5. สรุปผลการทดสอบ

กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการผลิตก๊าซอเซทิลีน อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีคุณสมบัติเป็นด่างสูง เถ้าลอยเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการผลิตกระแสไฟฟ้า การศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ร่วมกับเถ้าลอยปรับปรุงคุณสมบัติด้านกำลังอัดของดินเหนียวปนดินตะกอน สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้ การผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์สามารถเพิ่มคุณสมบัติการรับกำลังของดินได้เป็นอย่างดีโดยค่าการรับกำลังเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้นโดยค่าเหมาะสมที่ให้กำลังได้มากที่สุดอยู่ที่ประมาณร้อยละ 7

การผสมเถ้าลอยในช่วงปริมาณ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ร้อยละ 1 ถึง 7 ไม่ได้ช่วยเพิ่มการรับกำลังเนื่องจากไม่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระมากพอที่จะทำปฏิกิริยาปอซโซลาน การเพิ่มประสิทธิภาพของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในช่วงปริมาณมากกว่าร้อยละ 7 ทำได้โดยการใช้เถ้าลอย

จากผลการทดสอบทั้งหมดแสดงให้เห็น ปัจจัยในการพัฒนาค่ากำลังอัดที่สำคัญอันดับแรก คือ ปฏิกิริยา Cation exchange ระหว่างดินเหนียวกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ อันดับต่อมาคือปฏิกิริยาปอซโซลาน โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ดีนั้น ต้องมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระมากพอที่จะทำปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามผู้เขียนเสนอแนะให้มีการทดสอบด้านโครงสร้างจุลภาคด้านอื่นเพิ่มเติมเพื่ออธิบายสมมุติฐานนี้ให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีสำหรับทุนสนับสนุนในการทำวิจัย และบริษัทสาย 5 ผลิตก๊าซจำกัด ที่เอื้อเฟื้อวัสดุในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทางหลวง (2533), "มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base)", มาตรฐานที่ ทล.-ม. 204/2533

[2] Horpibulsuk, S., Katkan, W., Sirilerdwattana, W., and Rachan, R. (2006), "Strength development in cement stabilized low plasticity and coarse grained soils : Laboratory and field study",

Soils and Foundations, Vol.46, No.3, pp.351-366.

[3] มูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในบรมราชูถัมภ์ (2545), “การพัฒนาการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ในไทย”, หนังสือรางวัลนักเทคโนโลยีดีเด่นประจำปี พ.ศ.2545 หน้า10-16

[4] Fabio A.C., Heloisa C.F., Rafael G.P., Maria A.C., Vanderley M.J. (2009), “Carbide lime and industrial hydrated lime characterization”, Science Direct, Powder Technology 195. 143-149

[5] ชัชวาล เศรษฐบุตร (2536), “คอนกรีตเทคโนโลยี”, กรุงเทพฯ ,บริษัทคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค.

[6] สรสิทธิ์ วัชโรทยาน (2535), “ปฐพีวิทยาเบื้องต้น”, ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[7] Van Impe, W.F. (1989), “Soil improvement techniques and their evolution”, Balkema.

[8] สุธี ลิมปนชัยพรกุล, บุษกร อมรวิทย์ และธีระพงษ์ วงษ์เรือง (2537), “การศึกษากำลังอัดของวัสดุประสานของกากแคลเซียมคาร์ไบด์”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[9] ชรินทร์ นมรักษ์, วันชัย สะตะและชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2545), “ผลกระทบของปริมาณของวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8, 23-25 ตุลาคม, โรงแรมโซฟิเทลราชาออคิด, จ.ขอนแก่น, หน้า MAT-178 ถึง MAT-183

[10] ปิติศานต์ กร้ำมาตร, สุภิชาติ มาตย์ภูธร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วิมล เงาพิสดาร (2539), “การศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหิน”, วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, ปีที่7 ฉบับที่ 2

[11] Jaturapitakkul, C. and Roongreung, B. (2003), “Cementing Material from Calcium Carbide Residue-Rice Husk Ash”, Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 15, pp. 470-475

[12] Consoli, N. C, Prietto, P. D. M., Carraro, J. A. H., and Heineck, K. S. (2001), “Behavior of compacted soil-fly ash-carbide lime mixtures”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, September 2001, pp. 775-782

[13] Bujang, B.K., Huat, S.M. and Thamer, A.M., (2005), “Effect of chemical admixtures on the engineering properties of tropical peat soils”, American Journal of Applied Sciences.