การพัฒนากำลังอัดดินเหนียวปนดินตะกอนด้วยกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าชานอ้อยจีโอโพลิเมอร์แบบผงสำหรับงานโครงสร้างถนน

Strength Development of Silty Clay by Calcium Carbide and Bagasse Ash One- part geopolymer for pavement structure

จตุรภุช บุญเรืองศรี[1*], ชยกฤต เพชรช่วย[1], เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์[1], จักษดา ธำรงวุฒิ[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา

* E-mail address: jaturaput.bo@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงดินเหนียวปนดินตะกอนโดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าชานอ้อยและใช้สารเร่งปฏิกิริยาคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์แบบเกล็ด (NaOH) ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่อัตราส่วนดินเหนียวปนดินตะกอนต่อวัสดุประสานเท่ากับ 80:20 อัตราส่วนวัสดุประสานกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CCR) ต่อเถ้าชานอ้อย (BA) เท่ากับ 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 และ 60:40 ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ อายุบ่มตัวอย่างเท่ากับ 7, 14 และ 28 วัน แปรผันความชื้นที่ ร้อยละ 80, 100 และ 120 ตามลำดับจากนั้นทำการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (USC) ของดินที่ปรับปรุงคุณภาพจากผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว พบว่าค่ากำลังอัดแกนเดียว (USC) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้น พบที่ปริมาณความชื้นที่จุดเหมาะสม อัตราส่วนที่เหมาะสม CCR:BA เท่ากับ 50:50 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 1530 kPa จะมีค่ากำลังอัดสูงที่สุด นอกจากนี้ค่ากำลังอัดจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาอายุบ่มที่เพิ่มขึ้น สูงสุดที่ 28 วัน

คำสำคัญ: ดินเหนียวปนดินตะกอน, กำลังอัดแกนเดียว, กากแคลเซียมคาร์ไบด์, เถ้าชานอ้อย, โซเดียมไฮดรอกไซด์แบบเกล็ด

Abstract

This research investigates the improvement of silty clay by using calcium carbide residue and bagasse ash with an alkaline activator (flakes of sodium hydroxide (NaOH)). The variables studied were silty clay to binder ratio of 80:20, calcium carbide residue binder (CCR) to bagasse ash (BA) ratio of 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, and 60:40, the sodium hydroxide concentration was 5 molars, the curing times were 7, 14 and 28 days and the moisture contents were 80%, 100% and 120% of OWC. The unconfined compressive strength test (USC) was tested on the soil-modified sample. The result was found that the strength increased with the amount of calcium carbide residue at the OWC. The optimum ratio of CCR: BA is 50:50 which produces the highest strength at 1,530 kPa. In addition, the compressive strength will increase with curing time the highest at 28 days

Keywords: silt clay, Unconfined compressive strength, calcium carbide residue, bagasse ash, sodium hydroxide

1. บทนำ

ปัญหาการขาดแคลนวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง นับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นอันเนื่องมาจากแหล่งวัสดุที่ได้ตามมาตรฐานถูกนำมาใช้แล้วเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันได้ตระหนักถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมทำให้ต้องหาแหล่งวัสดุใหม่ ๆ เป็นไปด้วยความยากลำบากโดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุก่อสร้าง

การนำดินเหนียวในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างมักจะพบปัญหาดินที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมไม่เหมาะสม เช่น กำลังรับแรงที่ต่ำ และการบวมตัวที่สูง [1] จึงจำเป็นต้องขนส่งวัสดุมาจากแหล่งอื่น ซึ่งเป็นผลเสียให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น ที่ผ่านมานักวิจัยทั้งในและต่างประเทศได้ศึกษาและปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวโดยใช้วิธี Chemical Stabilization เป็นวิธีที่นิยมมากในปัจจุบันเพราะสามารถปรับปรุงดินได้เกือบทุกประเภทโดยใช้สารผสมเพิ่ม เช่น ซีเมนต์ ปูนขาว กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และ เถ้าลอย เป็นต้น [2] มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งโดยทั่วไปการปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ จะใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสูงและยังปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศดังนั้นจีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer) จึงเป็นวัสดุทางเลือกที่ดีเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีคุณสมบัติด้านวิศวกรรมที่ดีหลายอย่างและยังให้กำลังและความทนทานสูง [3]

จีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องและนักวิจัยหลายท่านได้ มีความพยายามศึกษาค้นคว้าเพื่อให้จีโอโพลิเมอร์สามารถใช้เป็นหนึ่งในทางเลือกสำหรับงานก่อสร้าง [4,18] นอกจากนี้เนื่อง

ด้วยปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีผลมาจากการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ [5] ทำให้มีการวิจัยและมีการพัฒนาวัสดุเชื่อมประสานทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์อย่างแพร่หลาย ดังนั้นจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า จีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

One-Part Geopolymer เป็นวิธีการผลิต Geopolymer แบบใหม่ที่มีการพัฒนาขึ้นโดยมีเป้าหมายเพื่อลดความยุ่งยากในการผสม Geopolymer แบบธรรมดาโดยการเติมผสมสารกระตุ้นที่เป็นของแข็ง และปฏิกิริยาจะเริ่มต้นเมื่อน้ำถูกเทลงไปในสารยึดเกาะ แนวคิดนี้เรียกว่า “การเติมน้ำ” ลักษณะการผสมจะคล้ายกับการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาวิธีนี้ยังหลีกเลี่ยงการใช้สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดและมีความหนืด และยังช่วยลดค่าขนส่งอีกด้วย จากงานวิจัย Jun Wu [6] ศึกษาการปรับปรุงดินเหนียวอ่อน (Clay with Low Plasticity, CL) โดยการใช้เถ้าลอย (Fly Ash, FA) และตะกรันเหล็ก (Ground Granular Blast Furnace Slag, GGBFS) กระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NH) อัตราส่วนของสารกระตุ้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide , SH) และปริมาณน้ำ อัตราส่วน GGBFS/FA 100:0, 90:10 และ 80:20 อัตราส่วนการเติมน้ำ 0.7% ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NH) 4.67, 32.7 และ 4.67 ตามลำดับ ทำการผสม GGBFS/FA กับ โซเดียมไฮดรอกไซด์แบบแข็งแล้วนะไปผสมกับดินพบความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมเท่ากับ 5 โมลาร์ [6] จากงานวิจัย April Anne S. Tigue ศึกษาการปรับปรุงดินทราย (silty sand , SM) โดยใช้เถ้าลอยโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (SH) โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate, SS) พบว่า การปรับปรุงดินโดยใช้เถ้าลอยทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นโดยการบ่มด้วยกรด 1.0 MPA (ไม่มีการแช่), 2.6 MPA (แช่28วัน) และ 3.2 MPA (แช่56วัน) แสดงว่าการผสมเถ้าลอยในดินในการศึกษานี้เป็นวัสดุที่ทนต่อกรด [7]

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการเกษตรของไทยได้มีการเจริญเติบโตขึ้นมากตามกำลังบริโภคของประชากรที่เพิ่มขึ้น แต่การได้มาซึ่งผลผลิตทางอุตสาหกรรมการเกษตรย่อมต้องใช้วัสดุทางการเกษตรมาแปรรูปแล้วก็จะเหลือของเหลือใช้ซึ่งส่วนใหญ่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลจากอ้อย เช่น ชานอ้อย กากน้ำตาล และกากขี้เถ้า เป็นต้น ทำให้มีปริมาณของเหลือใช้จากอ้อยเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนการผลิตเพิ่มมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [8]

งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ร่วมกับเถ้าชานอ้อยปรับปรุงดินเหนียวปนดินตะกอนเพื่อเป็นวัสดุทดแทนการใช้ซีเมนต์ จากปัญหาด้านมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งยังนำมาใช้ในงานโครงสร้างถนนตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางกรมทางหลวง

2. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

2.1 ดินเหนียวปนดินตะกอน

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นดินเหนียวปนตะกอน บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ที่ระดับความลึกประมาณ 4.00 เมตร ถึง 5.00 เมตร จากระดับผิวหน้าดิน ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.67 ค่าขีดจำกัดของเหลว (Liquid Limit, LL), ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL) และดัชนีพลาสติก (Plastic Index, PI) ของดินเหนียวปนดินตะกอนเท่ากับร้อยละ 51.09, 17.65, 33.44 [9] ดินเหนียวปนดินตะกอนจำแนกได้เป็น ดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง (Clay with High Plasticity, CH) หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดที่มีพลังงานการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน เท่ากับ 1.73 t/m^3 และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมร้อยละ 17.05

รูปที่ 1 ดินเหนียวปนดินตะกอน

2.2 กากแคลเซียมคาร์ไบด์

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ได้มาจากกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการเชื่อม กระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีน จะนำแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) มาทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นก๊าซอะเซทิลีน และส่วนที่เหลือจากปฏิกิริยาคือกากแคลเซียมคาร์ไบด์โดยอยู่ในรูปของเหลวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยมาก และเป็นปัญหาทางสภาะแวดล้อมเพราะมีความเป็นด่างสูง มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.3 กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีลักษณะเป็นผงสีขาวและเปียกชื้น ก่อนการศึกษาจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 5^{o}C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40

รูปที่ 2 กากแคลเซียมคาร์ไบด์

2.3 เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash)

เถ้าชานอ้อย (BA) ได้จากโรงผลิตน้ำตาลครบุรี อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา เถ้าชานอ้อยมีลักษณ์เป็นผงสีดำและเปียกชื้นก่อนการศึกษาจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 5^{o}C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.27 ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยได้แก่ SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 CaO, MgO ,K_2O และ SO_3 ส่วนประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 1

รูปที่ 3 เถ้าชานอ้อย

2.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เป็นสารเคมีของแข็งในรูปเม็ด (Bead) หรือแผ่นเกล็ด (Flake) มีมวลโมเลกุล 40 กรัม/โมล เมื่อนำมาใช้ต้องละลายน้ำ มีฤทธิ์เป็นด่างแก่สามารถแตกตัวให้อิออนโซเดียม (Na^+) และอิออนไฮดรอกไซด์ (OH^-) ได้หมด มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.12 ที่ 20 องศาเซลเซียส [10]

รูปที่ 4 โซเดียมไฮดรอกไซด์แบบเกล็ด

2.5 วิธีการทดสอบ

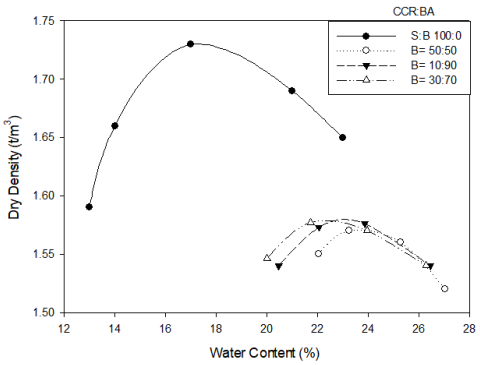
นำดินเหนียวปนดินตะกอน (Silty Clay) และวัสดุประสานที่อัตราส่วน (Binder, B) S:B เท่ากับ 80:20 มาผสมให้เข้ากันโดยที่ B เป็นส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CCR) และเถ้าชานอ้อย (BA) ที่อัตราส่วน CCR:BA เท่ากับ 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 และ 60:40 จากนั้นผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์แบบเกล็ด ที่ความเข้มข้น 5 โมลาร์ เข้าไปในตัวอย่าง จากนั้นผสมให้เข้ากันแล้วนำไปผสมกับดิน ตัวอย่างจะถูกนำมาทดสอบการบดอัดที่พลังงานการบดอัดแบบแบบสูงกว่ามาตรฐานตามมาตรฐาน ASTM D 1557 [11] หลังจากได้ค่าหน่วยน้ำหนักสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของทุกอัตราส่วนแล้ว จะนำมาเตรียมตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และมีความสูงเท่ากับ 100 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาบ่มในห้องปฏิบัติการ จนได้ระยะเวลาบ่ม 7, 14 และ 28 วัน เมื่อครบระยะเวลาบ่ม นำตัวอย่างมาแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปทดสอบหาค่ากำลังอัดแกนเดียวตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ [12] ซึ่งแต่ละอัตราส่วนผสมจะทำการเตรียมตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อความถูกต้องและแม่นยำ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของ Silty Clay, CCR และ BA

องค์ประกอบทางเคมี	Silty Clay (%)	CCR (%)	BA (%)
SiO_2	20.10	6.49	62.60
Al_2O_3	7.55	2.55	1.37
Fe_2O_3	32.89	3.25	2.54
CaO	26.15	70.78	10.63
MgO	0.47	0.69	0.45
SO_3	4.92	0.66	0.03
Na_2O	-	-	-
K_2O	3.17	7.93	-
LOI	3.44	1.35	20.17

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

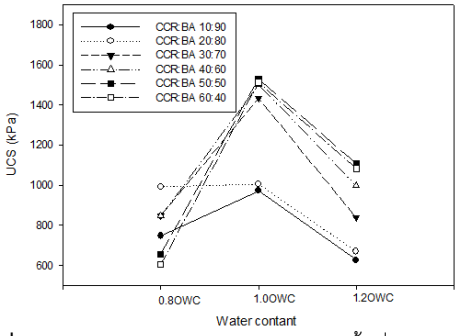
รูปที่ 5 แสดงกราฟการบดอัดดินเหนียวปนดินตะกอนผสมกับน้ำ และการบดอัดดินเหนียวปนดินตะกอนที่ปรับปรุงด้วยกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าชานอ้อยจีโอโพลิเมอร์ที่อัตราส่วน S:B ที่ 80:20 อัตราส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าชานอ้อยเท่ากับ 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 และ 60:40 ที่พลังงานการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของดินเหนียวปนดินตะกอนที่ปรับปรุงด้วยกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าชานอ้อย มีค่าน้อยกว่าน้ำหนักแห้งสูงสุดของดินเหนียวปนดินตะกอนผสมกับน้ำสำหรับทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าชานอ้อยมีค่าน้อยกว่าดิน



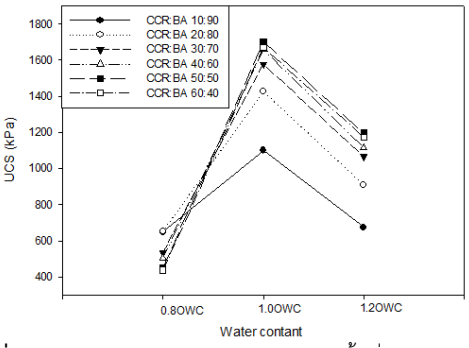
รูปที่ 5 กราฟการบดอัดดินเหนียวปนดินตะกอนที่ปรับปรุงด้วย กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าชานอ้อยจีโอโพลิเมอร์

รูปที่ 6-8 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียวที่ความชื้น ร้อยละ 80, 100 และ 120 ของความชื้นเหมาะสมที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ พบว่าค่ากำลังอัดที่ร้อยละ 100 มีค่ากำลังอัดสูงกว่าทุกอัตรา

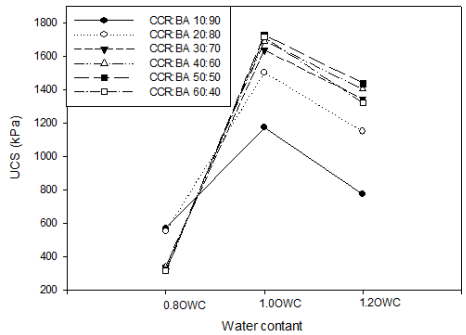
ส่วนผสม และค่ากำลังอัดมีค่าผ่านมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ เนื่องจากสารอัลคาไลน์เข้าไปแทรกช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งส่งผลทำให้ช่องว่างระหว่างดินเหนียวปนดินตะกอน กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าชานอ้อยมีการยึดเกาะกันแน่น จะทำให้เกิดปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ไรเซชั่นได้อย่างสมบูรณ์ [13] นอกจากนี้ยังพบว่าค่ากำลังอัดแกนเดียวที่ความชื้นทางด้านเปียกที่ร้อยละ 120 ของความชื้นเหมาะสมมีค่าสูงกว่าความชื้นทางด้านแห้งที่ร้อยละ 80 ของความชื้นเหมาะสมที่อายุบ่ม 14 และ 28 วัน ในทุกอัตราส่วนผสม ส่วนที่อายุ 7 วัน ค่ากำลังอัดแกนเดียวทางด้านแห้งและทางด้านเปียกมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่ากำลังอัดแกนเดียวมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดตามปริมาณน้ำที่เหมาะสมส่วนความชื้นทางด้านแห้งที่ร้อยละ 80 ปริมาณน้ำมีไม่มากพอที่จะไปล้อมรอบเม็ดดินทำให้น้ำที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานมีไม่มากพอทำให้ค่ากำลังอัดลดลง [14]



รูปที่ 6 กราฟกำลังรับแรงอัดต่อปริมาณความชื้นที่อายุบ่ม 7 วัน

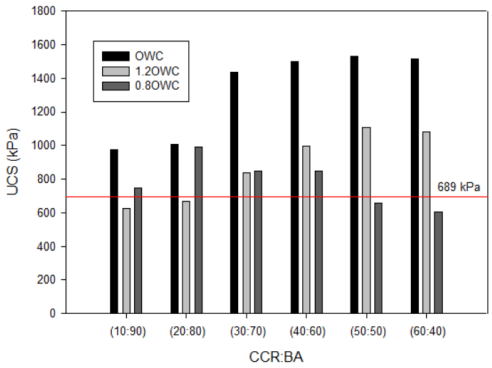


รูปที่ 7 กราฟกำลังรับแรงอัดต่อปริมาณความชื้นที่อายุบ่ม 14 วัน

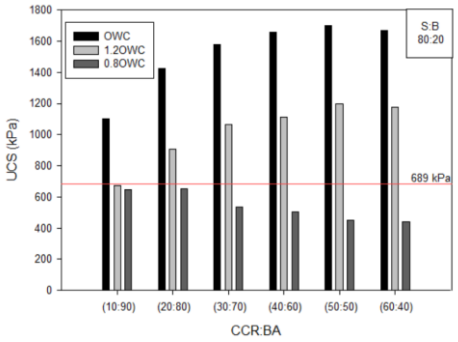


รูปที่ 8 กราฟกำลังรับแรงอัดต่อปริมาณความชื้นที่อายุบ่ม 28 วัน

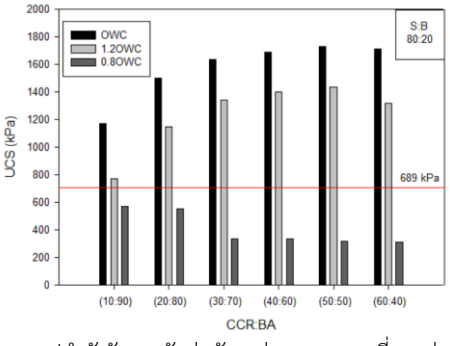
รูปที่ 9-11 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียวที่อัตราส่วนผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์:เถ้าชานอ้อย 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 และ 60:40 พบว่าค่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดเหมาะสมที่อัตราส่วน 50:50 จากนั้นค่ากำลังอัดจะลดลงที่อัตราส่วน 60:40 เล็กน้อย เนื่องจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์มี $Ca(OH)_2$ สูงใช้ร่วมกับเถ้าชานอ้อยที่เป็นวัสดุปอซโซลาน จะเกิดปฏิกิริยา C-A-S-H ซึ่งมีผลทำให้รับกำลังอัดแกนเดียวเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์มากเกินความจำเป็นจะทำให้เกิด C-A-S-H ก่อตัวขึ้นน้อยลง และอาจทำให้ Ca^{+} อิสระบางส่วนเกิดยิปซั่ม เนื่องจากการมีอยู่ของยิปซั่มทำให้ตัวอย่างขยายตัวทำให้เกิดช่องว่างทำให้ค่ากำลังอัดลดลง [15]



รูปที่ 9 กราฟกำลังรับแรงอัดต่ออัตราส่วน CCR:BA ที่อายุบ่ม 7 วัน

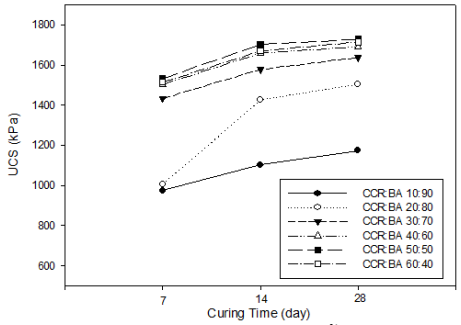


รูปที่ 10 กราฟกำลังรับแรงอัดต่ออัตราส่วน CCR:BA ที่อายุบ่ม 14 วัน



รูปที่ 11 กราฟกำลังรับแรงอัดต่ออัตราส่วน CCR:BA ที่อายุบ่ม 28 วัน

รูปที่ 12 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียวที่ความชื้นเหมาะสม ในช่วงอายุบ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน พบว่าที่อัตราส่วนผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์:เถ้าชานอ้อย ที่ 50:50 จะมีค่ากำลังอัดสูงที่สุด 1530, 1702 และ 1729 kPa ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ เมื่ออายุบ่มมากขึ้นปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดมากขึ้นเนื่องจากการพัฒนาโมเลกุลลูกโซ่ของ SiO_2 และ Al_2O_3 [16] จากกระบวนการจีโอโพลิเมอร์ไรเซชั่น [17]



รูปที่ 12 กราฟกำลังรับแรงอัดที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

อัตราส่วนที่ผ่านมาตรฐานชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ ค่ากำลังอัดแกนเดียวต้องไม่น้อยกว่า 689 kPa ที่อายุบ่ม 7 วัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่ากำลังอัดแกนเดียวที่ผ่านมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์อายุบ่ม 7 วัน

อัตราส่วน CCR:BA	กำลังอัดแกนเดียว (UCS) ร้อยละ 100	กำลังอัดแกนเดียว (UCS) ร้อยละ 120	กำลังอัดแกนเดียว (UCS) ร้อยละ 80	ค่ากำลังอัดที่กำหนดโดยกลมทางหลวง
10:90	973	627	747	689 kPa
20:80	1005	669	992	
30:70	1434	838	849	
40:60	1502	998	846	
50:50	1530	1108	656	
60:40	1513	1083	605	

4. สรุปผล

การผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าชานอ้อย และจีโอโพลิเมอร์แบบผงสามารถเพิ่มคุณสมบัติการรับกำลังของดินได้เป็นอย่างดี โดยสามารถสรุปรายละเอียดของงานวิจัยได้ดังนี้

หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของดินเหนียวปนดินตะกอนที่ปรับปรุงด้วยกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าชานอ้อย จะมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักแห้งสูงสุดของดินเหนียวปนดินตะกอนที่ผสมกับน้ำ สำหรับทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าชานอ้อยมีค่าน้อยกว่าดิน

จากปริมาณความชื้นพบว่าค่ากำลังอัดแกนเดียวมีค่าสูงที่สุดที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุดทุกส่วนผสม นอกจากนี้ค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินที่ผสมสารเชื่อมประสารที่ความชื้นด้านเปียก ที่ร้อยละ 120 ของความชื้นเหมาะสม มีค่าสูงกว่าความชื้นด้านแห้งที่ร้อยละ 80 ของความชื้นเหมาะสมที่อายุบ่ม 14 และ 28 วัน ส่วนอายุบ่ม 7 วันที่อัตราส่วน CCR:BA เท่ากับ 20:80 ที่ความชื้นด้านแห้งจะมีค่ากำลังอัดสูงกว่าความชื้นทางด้านเปียก

อัตราส่วนผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าชานอ้อยที่เหมาะสมคือ 50:50 ค่ากำลังที่ได้เท่ากับ 1530 kPa

อัตราส่วนที่ผ่านมาตรฐานชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ ค่ากำลังอัดแกนเดียวต้องไม่น้อยกว่า 689 kPa ที่อายุบ่ม 7 วัน ดังแสดงในตารางที่ 2

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ด้วยความกรุณาของอาจารย์ ชยกฤต เพชรช่วย อาจารย์เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์ และอาจารย์จักษดา ธำรงวุฒิ คณะอาจารย์ที่ได้สละเวลาอันมีค่าแก่ผู้วิจัย ในการให้คำปรึกษา และแนะนำตลอดจนทำการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่เอื้ออำนวยสถานที่ในการศึกษา การทดลอง และขอขอบคุณสถานประกอบการสำนักงานที่เอื้ออำนวยวัสดุอาทิเช่น เถ้าชานอ้อย กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และขอขอบคุณ หน่วยงาน ผู้จัดงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 ที่ ได้ให้ผู้วิจัยมีโอกาสในการนำเสนอบทความในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ดรุณี ทาทะสุทธิ์, อนุกูล อ่างบุญตา และอภิชิต คำภาหล้า (2562) คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ขอนแก่น ประเทศไทย. งานประชุมวิชาการระดับชาติ. มหาวิทยาลัยรังสิต.

[2] ณพล อยู่บรรพต (2556) แนวทางการเลือกสารเสถียรภาพสำหรับปรุบปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการทางเคมี. วารสารพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 23. ฉบับที่ 3.

[3] ผศ.ดร.ดวงฤดี ฉายสุวรรณ จีโอโพลีเมอร์ : คอนกรีตสีเขียว วัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University Research and Development Institute : KURDI) โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] วราภรณ์ วงษ์เจริญสมบัติ, วีระวรรณ เฉลิมพระเกียรติ และ นุตา ศุภคต. (2563). จีโอพอลิเมอร์วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 24. (ฉบับที่ 1).

[5] บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด 2548, ปูนซีเมนต์และการประยุกต์,ใช้งาน, พิมพ์ครั้งที่1 ,บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด, หน้า 26-29.

[6] Jun Wu. (2021). Stiffness and strength development of the soft clay stabilized by the one-part geopolymer under one-dimensional compressive loading Soil and Foundation. Pages. 974-988.

[7] April Anne S. (2018). Chemical Stability and Leaching Behavior of One-Part Geopolymer from Soil and Coal Fly Ash Mixtures

[8] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, http://www.oae.go.th.

[9] มาตรฐานการทดลองหาค่าขีดจำกันเหลว Atterburg ตามวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (Liquid Limit : LL) ทล.-ท. 102/2515 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : PL) ทล.-ท. 103/2515.

[10] โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), https://ihealzy.com/sodium-hydroxide.

[11] มาตรฐานการทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามวิธีการทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction ASTM D 1557.

[12] มาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (206/2564)

[13] Cherdsak Suksiripattanapong. Suksun Horpibulsuk. Pimsin-Chanprasert. Patimapon Sukmak. Arul Arulajah. (2015). Compressive strength development in fly ash geopolymer masonry units manufactured water treatment sludge

[14] ชยกฤต เพชรช่วย, สุขสันติ์ หอพิบูลสุข. (2553). การพัฒนากำลังอัดดินเหนียวปนดินตะกอนผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2553), หน้า 44.

[15] รุ้งลาวัลย์ ราชัน และ ทรงสุดา วิจารณ์. (2556). การพัฒนากำลังอัดแกนเดียวและโครงสร้างจุลภาคของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพบดอัดผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าชีวมวล. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 36. ฉบับที่ 1 มกราคม - มีนาคม 2556.

[16] ธนกฤษณ์ ทิพย์มนตรี, พานิช วุฒิพฤกษ์, ชัยรัตน์ ธีระวัฒนสุข (2553). วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพนครเหนือ. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 ม.ค. - มิ.ย. 2553. หน้า 5.

[17] กรกนก บุญเสริม. อารีพร เบ้าอุฬาล. สิรีรัตน์ ลิศนันท์ (อินทรกำแหง). ณัฏฐ์คณิน ศุภเมธานนท์. สุดารัตน์ สมบัติศรี. (2561). การสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์จากดินพิมายผสมเถ้าลอย. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 41. ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2561. หน้าที่ 6-7.

[18] ศักรินทร์ เหลืองกำจร. 2551. วัสดุจีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer Material): วารสารคอนกรีต. ฉบับที่ 3. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย