การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยการใช้เถ้าชีวมวล จีโอโพลิเมอร์

Improvement of Lateritic Soil by Using Biomass Ash Geopolymer

ยงยุทธ บำรุงพล[1,*] เสริมศักดิ์ ติยะแสงทอง[1] เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์[1] วิศิษฏ์ศักดิ์ ทับยัง[2] นันทชัย ชูศิลป์[2] และ จุฑามาศ ลักษณะกิจ[2]

[1] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา

[2] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา

**Corresponding author; E-mail address: Yongyut.bm@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังอัดแกนเดียวและกำลังการรับแรงดึงทางอ้อมของดินลูกรังโดยการใช้เถ้าชีวมวล จีโอโพลิเมอร์ ดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัยเป็นดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวง สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3, NS) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, NH) เป็นส่วนผสมของสารละลายอัลคาไลน์ งานวิจัยนี้จึงศึกษาอัตราส่วนของดินลูกรังต่อเถ้าชีวมวลเท่ากับ 90:10 อัตราส่วน NS/NH เท่ากับ 10:90 30:70 และ 50:50 และความเข้มข้นของ NH เท่ากับ 8 โมลาร์ ทดสอบกำลังแบบแช่น้ำและแบบไม่แช่น้ำของตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 วัน กำลังอัดแกนเดียวสูงสุดและกำลังการรับแรงดึงทางอ้อมสูงสุดของดินลูกรังโดยการใช้เถ้าชีวมวล จีโอโพลิเมอร์ พบที่อัตราส่วนดินลูกรังต่อเถ้าชีวมวลเท่ากับ 90:10 และอัตราส่วนของ NS/NH เท่ากับ 50:50 ซึ่งให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำเท่ากับ 972 และ 1,066 kPa และค่ากำลังการรับแรงดึงทางอ้อมแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำเท่ากับ 135 และ 137 kPa ตามลำดับ

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพดิน, ดินลูกรัง, เถ้าชีวมวล, จีโอโพลิเมอร์, สารละลายอัลคาไลน์

Abstract

This research studied unconfined compressive strength (UCS) and indirect tensile strength (ITS) of lateritic soil (LS) improved by biomass ash (BA) geopolymer. The lateritic soil used in the research was marginal lateritic soil (MLS) that did not meet the standard of the department of highway. Solution of sodium silicate (Na_2SiO_3, NS) and sodium hydroxide (NaOH, NH) were a mixture of alkaline solutions. The MLS/BA ratio of 90:10, NS/NH ratios of 10:90, 30:70, and 50:50 and NH concentration of 8 M were used in this study. soaked- and unsoaked-strengths of MLS-BA geopolymer samples were tested at curing time of 7 days. The maximum UCS and ITS of MLS-BA geopolymer samples were found at MLS/BA ratio of 90:10, and NS/NH ratio of 50:50 which gave soaked- and unsoaked-UCS values of 972 and 1,066 kPa and soaked- and unsoaked-ITS values of 135 and 137 kPa, respectively.

Keywords: Soil improvement, Lateritic soil, Biomass, geopolymer, Liquid alkaline solution

1. บทนำ

ในปัจจุบันดินลูกรังเป็นวัสดุหลักที่นำมาใช้ในการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางของถนน คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุชั้นรองพื้นทางตามมาตรฐานกรมทางหลวง [1] ประกอบด้วยการมีขนาดคละที่ดี ค่าความสึกหรอของ Coarse aggregate ค่า Liquid limit ค่า Plastic index และค่า CBR ในปัจจุบันดินลูกรังที่ได้มาตรฐานกรมทางหลวงอยู่ในพื้นที่ห่างไกลจากพื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและระยะเวลาก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น จากปัญหาดังกล่าวกรมทางหลวงได้ประยุกต์ใช้ปูนซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐาน ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า ดินซีเมนต์ (Soil cement) วิธีการนี้ช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการขนส่งวัสดุจากแหล่งอื่นและยังเป็นการแก้ปัญหาวัสดุขาดแคลน [2] คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์ต้องมีค่ากำลังอัดแกนเดียวไม่น้อยกว่า 689 kPa ตามมาตรฐานกรมทางหลวง [3] ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์และอนันต์ ทวีวรรณสดใส (2543) ได้ศึกษาและวิจัยพฤติกรรมและคุณสมบัติทางด้านความเค้น-ความเครียดของวัสดุชนิดต่างๆ ที่ถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์นั้น ค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่อายุ 7 วัน ปริมาณซีเมนต์จะต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 3 โดยมวลของดิน ปริมาณปูนซีเมนต์ผสมกับดินลูกรังที่ร้อยละ 4 ซึ่งให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 11.47 ksc หรือประมาณ 1,125 kPa [3],[4] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่ากำลังอัดแกนเดียวที่ 689 kPa ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง ร้อยละ 3 - 4 อย่างไรก็ตามข้อด้อยของการใช้ปูนซีเมนต์คือปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานสูง ดังนั้นวัสดุเชื่อมประสานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น วัสดุจีโอโพลิเมอร์ จึงเป็นอีกทางเลือกในการประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐาน [5]

จีโอโพลิเมอร์เป็นการพัฒนาวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่ที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวประสาน ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Al_2O_3) เป็นองค์ประกอบหลัก และทำการกระตุ้นด้วยสารละลายด่าง ส่วนมากสารละลายด่างที่นิยมใช้ คือ สารละลายโซเดียมซิลิเกต และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการเร่งปฏิกิริยาจะสามารถก่อตัว และแข็งตัวทำให้มีสมบัติในการรับแรงได้ ดังนั้นจีโอโพลิเมอร์จึงสามารถใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสาน เช่นเดียวกับซีเมนต์เพสต์ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยมีสมบัติทางกลที่ดีมีความสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตและกรดสูง และทนต่อความร้อน [6],[7],[8]

เกษตรกรส่วนใหญ่ในภาคใต้ของประเทศไทย นิยมทำเกี่ยวกับอุตสาหกรรมและการปลูกไม้ยางพารา แต่ปัจจุบันอุตสาหกรรมไม้ยางพาราเริ่มมีเข้ามาทั้งภาคอีสาน ภาคเหนือและภาคตะวันออก ซึ่งต้นยางพาราที่อายุเกินกว่าที่จะเก็บเกี่ยวผลผลิตได้จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ส่วนหนึ่งจะถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตไฟฟ้าภายในโรงงาน โดยหลังจากการกระบวนการเผาไหม้เพื่อให้พลังงานความร้อนและถ่ายเทความร้อนให้กับหม้อน้ำ เพื่อปั่นกังหันที่ติดอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าแล้วนั้น จะมีเถ้าเกิดขึ้นซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่วนหนึ่งของเถ้าที่มีขนาดเล็ก คือ 1-200 ไมโครเมตร หรือเถ้าลอย จะลอยไปกับอากาศร้อนและถูกจับโดยเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) เพื่อแยกฝุ่นออกจากก๊าซร้อน ก่อนจะปล่อยอากาศร้อนออกทางปล่องควัน โดยเถ้าลอยที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณร้อยละ 80-95 ของเถ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด เถ้าชีวมวลจะมีน้ำหนักเบาลักษณะเป็นผงฝุ่นและสามารถฟุ้งกระจายได้ ถ้าไม่มีการจัดการที่ดีพอ จะทำให้เกิดปัญหาหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม [9],[10]

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยการใช้เถ้าชีวมวล จีโอโพลิเมอร์ อัตราส่วนของดินลูกรังต่อเถ้าชีวมวลเท่ากับ 90:10 อัตราส่วน NS/NH เท่ากับ 10:90 30:70 และ 50:50 และความเข้มข้นของ NH เท่ากับ 8 โมลาร์ ทดสอบกำลังแบบแช่น้ำและแบบไม่แช่น้ำของตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 วัน และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานงานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ของกรมทางหลวง

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

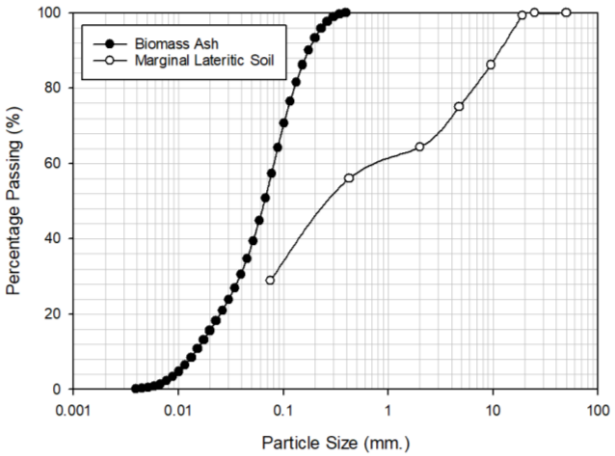
ดินตัวอย่างที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นดินลูกรัง (Lateritic Soil ; LS) จากบ่อลูกรังบ้านโป่งแดง อำเภอขามทะเลสอ จังหวัดนครราชสีมา จากรูปที่ 1 แสดงการกระจายขนาดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานและเถ้าชีวมวล ขนาดเฉลี่ย (D_{50}) ของดินลูกรังเท่ากับ 0.26 มม. ขนาดดินตัวอย่างประกอบด้วยดินเม็ดหยาบร้อยละ 71.15 และดินเม็ดละเอียดร้อยละ 28.85 ซึ่งมากกว่า 20 แสดงว่าไม่ผ่านมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม [1] ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.83 มีค่าขีดจำกัดเหลว (LL) ค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL) และค่าดัชนีพลาสติก (PI) เท่ากับร้อยละ 18 , 12 และ 6 ตามลำดับ เมื่อนำดินลูกรังทำการจำแนกด้วยระบบ USCS เป็นดินประเภททรายปนดินเหนียวและดินตะกอน (SC-SM) [11] ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดที่พลังงานบดสูงกว่ามาตรฐานของ LS มีค่าเท่ากับ 20.430 kN/m^3 และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OWC) ร้อยละ 7.72 ดังนั้นดินลูกรังที่นำมาวิจัยจึงเป็นดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐาน (Marginal lateritic soil ; MLS)

เถ้าชีวมวล (Biomass Ash ; BA) ซึ่งเถ้าชีวมวลที่นำมาใช้เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนเพื่อใช้ภายในโรงงานในจังหวัดสงขลา จากรูปที่ 1 แสดงการกระจายขนาดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานและเถ้าชีวมวล ขนาดเฉลี่ย (D_{50}) ของเถ้าชีวมวลเท่ากับ 66.5 ไมโครเมตร จากตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชีวมวล ซึ่งมีส่วนประกอบหลักได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 21.94 , 41.61 , 9.31 และ 5.81 ตามลำดับ มีผลรวมของปริมาณ SiO_2+ Al_2O_3+ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 56.73 และมีปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เท่ากับ 5.40 ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์วัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C618 Class N [12] แต่เถ้าชีวมวลมีปริมาณ CaO สูงจึงทำให้มีศักยภาพในการเป็นวัสดุประสานได้ [13]

สารกระตุ้น (Alkaline Activator) งานวิจัยนี้ใช้สารกระตุ้นเป็นส่วนผสมของโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate, NS) กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NH) ที่มีอัตราส่วน NS : NH เท่ากับ 10:90 , 30:70 และ 50:50 ซึ่งใช้ NH ชนิดเป็นเกล็ดที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ความเข้มข้นของ NH เท่ากับ 8 โมลาร์

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานและเถ้าชีวมวล

Chemical composition (%)	MLS	BA
SiO_2	76.39	41.61
Al_2O_3	15.87	9.31
Fe_2O_3	5.82	5.81
CaO	0.64	21.94
MgO	-	3.80
SO_3	0.08	5.40
K_2O	0.42	7.05
Cl	-	3.39
LOI	0.78	1.69



รูปที่ 1 การกระจายขนาดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานและเถ้าชีวมวล

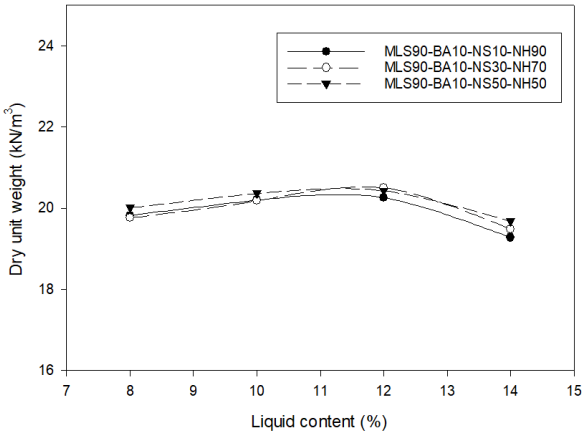
2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

ก่อนการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังเริ่มต้นด้วยการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 8 โมลาร์ โดยการชั่ง NH ที่ลักษณะเป็นเกล็ดที่ 320 กรัมและผสมกับน้ำสะอาดให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นใช้แท่งแก้วคนสารละลายจนน้ำใสแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการทดลองหาปริมาณสารกระตุ้นที่เหมาะสมโดยใช้สภาพของวัสดุเหมือนกับตัวอย่างที่จะทำการทดสอบในงานวิจัย จากการทดลองการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Compaction Test) [14]

จากนั้นเริ่มขั้นตอนการผสมตัวอย่างโดยการนำตัวอย่างดินลูกรัง (MLS) ที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว ผสมกับเถ้าชีวมวล(BA) ให้คละกันดีที่อัตราส่วนผสม MLS:BA เท่ากับ 90:10 โดยน้ำหนักของมวลรวมผสมกับสารกระตุ้น (Liquid Alkaline ; L) ที่ใช้สารละลายโซเดียมซิลิเกต (NS) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NH) ที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน NS : NH เท่ากับ 10:90 , 30:70 และ 50:50 โดยใช้ปริมาณที่เหมาะสม (Optimum Liquid Content ; OLC) ซึ่งได้จากการทดลองการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Compaction Test) [14] จากนั้นทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำตัวอย่างมาบดอัดขึ้นรูปตามวิธีทดสอบการบดอัดสูงกว่ามาตรฐานด้วยวิธีการ B โดยใช้โมลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร ความสูง 116.4 มิลลิเมตร ปริมาตรของโมล เท่ากับ 944 cm^3 [14] เสร็จแล้วทำการห่อหุ้มแบบด้วยแผ่นพลาสติกใสเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น เมื่อการบ่มตัวอย่างในอุณหภูมิห้องที่อายุ 7 วัน เมื่อครบอายุบ่มนำตัวอย่างมาทำการทดสอบการรับกำลังอัดแกนเดียว [15] และการทดสอบกำลังการรับแรงดึงทางอ้อม [16] โดยทดสอบทั้งแบบแช่น้ำ (Soaked) และแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) ซึ่งวิธีแบบแช่น้ำต้องนำตัวอย่างไปแช่น้ำ 2 ชั่วโมงก่อนทดสอบ [3]

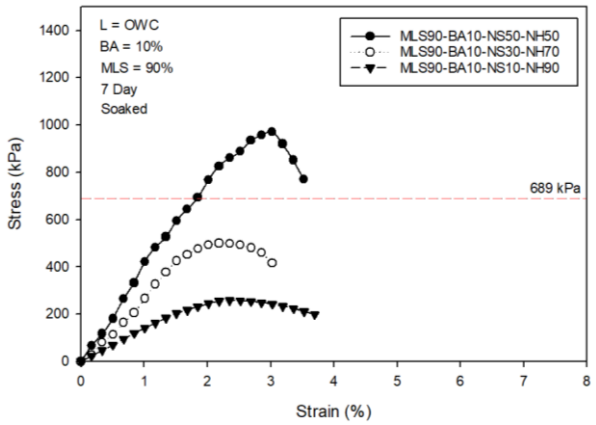
3. ผลการศึกษา

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาณสารละลายด่างของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานผสมกับเถ้าชีวมวลจีโอโพลิเมอร์ ที่อัตราส่วน MLS:BA เท่ากับ 90:10 และอัตราส่วน NS : NH เท่ากับ 10:90 , 30:70 และ 50:50 ซึ่งความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นเส้นโค้งคว่ำ แต่ละอัตราส่วนหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 20.263 , 20.506 และ 20.432 kN/m^3 ตามลำดับ หน่วยน้ำหนักแห้งของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารกระตุ้น (L) เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดที่ปริมาณสารกระตุ้นที่เหมาะสม OLC เนื่องจากสารกระตุ้น (L) สามารถชะซิลิกาและอะลูมินาจากเถ้าชีวมวล ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างของตัวอย่างแน่นขึ้น [17] เมื่อปริมาณ L มีค่าสูงกว่าปริมาณ OLC หน่วยน้ำหนักแห้งจะมีค่าลดลงตามสัดส่วนที่เกิน เนื่องจากมีปริมาณ L ที่มากเกินทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคของตัวอย่าง ซึ่งส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของตัวอย่างลดลง ตัวอย่างที่อัตราส่วน NS : NH เท่ากับ 30:70 ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 8 โมลาร์ มีหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดในขณะที่ปริมาณสารกระตุ้นที่เหมาะสม (OLC) ของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานผสมกับเถ้าชีวมวลจีโอโพลิเมอร์ มีค่าประมาณร้อยละ 12 [18]

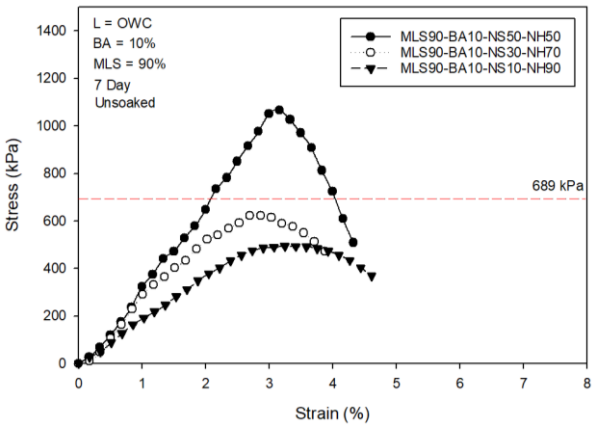


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาณสารละลายด่างของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานกับเถ้าชีวมวล จีโอโพลิเมอร์

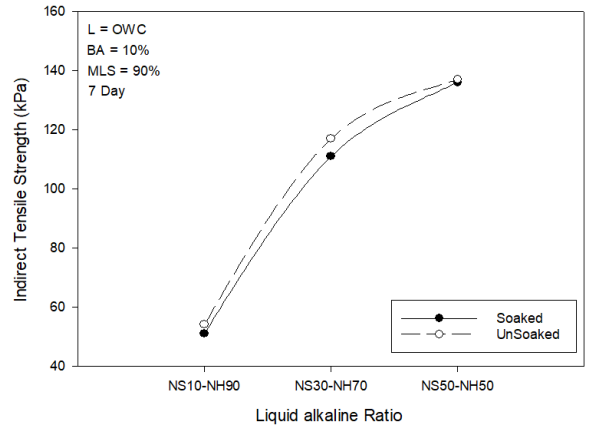
รูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังอัดแกนเดียวที่อายุบ่ม 7 วัน ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำที่อัตราส่วน MLS:BA เท่ากับ 90:10 และที่อัตราส่วน NS : NH เท่ากับ 10:90 , 30:70 และ 50:50 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่ากำลังแรงอัดของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของสารละลายด่าง NS : NH เมื่อ NS ที่สูงขึ้นเนื่องจาก NS ทำปฏิกิริยากับซิลิกาและอะลูมินา ที่ได้จากการชะละลายของเถ้าชีวมวลด้วยสารละลาย NH ทำให้ก่อตัวเป็นเจลโซเดียมอะลูมิโนซิลิเกตไฮเดต (N-A-S-H) [17] ทั้งนี้ผลการทดสอบการรับกำลังอัดแกนเดียวแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำสูงสุดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานที่ปรับปรุงโดยใช้เถ้าถ่านชีวมวลจีโอโพลิเมอร์ มีค่าเท่ากับ 972 kPa และ 1,066 kPa ที่อัตราส่วน MLS:BA เท่ากับ 90:10 และอัตราส่วน NS : NH เท่ากับ 50:50 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานทางหลวงชั้นงานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ที่กำหนดค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 689 kPa [3] พบว่ามีค่ากำลังอัดสูงกว่ามาตรฐานงานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ของกรมทางหลวง ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ Strain ของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานกับเถ้าชีวมวล จีโอโพลิเมอร์แบบแช่น้ำ (Soaked) ที่อายุบ่ม 7 วัน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง stress และ Strain ของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานกับเถ้าชีวมวล จีโอโพลิเมอร์แบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) ที่อายุบ่ม 7 วัน



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมและอัตราส่วนสารละลายด่าง ของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานกับเถ้าชีวมวล จีโอโพลิเมอร์ ที่อายุบ่ม 7 วัน

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลังการรับแรงดึงทางอ้อมที่อายุบ่ม 7 วัน ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำโดยเปรียบเทียบด้วยอัตราส่วน MLS:BA เท่ากับ 90:10 และที่อัตราส่วน NS : NH เท่ากับ 10:90 , 30:70 และ 50:50 ซึ่งมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 51 , 111 และ 135 kPa ตามลำดับของวิธีการทดสอบแบบแช่น้ำและ 54 , 117 และ 137 kPa ตามลำดับของวิธีการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ ทั้งนี้ทั้งวิธีการทดสอบแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำจากผลการทดสอบกำลังจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน NS มากขึ้นตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการทดลองการรับกำลังอัดแกนเดียว

4. บทสรุป

บทความนี้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยการใช้เถ้าชีวมวลจีโอโพลิเมอร์ที่อายุบ่ม 7 วัน จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1) กำลังการรับแรงอัดแกนเดียวของดินลูกรังโดยการใช้เถ้าชีวมวล จีโอโพลิเมอร์ มีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกต (NS) ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำ กำลังอัดสูงสุดของดินลูกรังที่ปรับปรุงโดยการใช้เถ้าถ้ำชีวมวลจีโอโพลิเมอร์ มีค่าเท่ากับ 972 kPa และ 1,066 kPa ที่อัตราส่วน MLS:BA เท่ากับ 90:10 และอัตราส่วน NS : NH เท่ากับ 50:50 ตามลำดับ พบว่ามีค่ากำลังอัดสูงกว่ามาตรฐานงานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ของกรมทางหลวง

2) กำลังการรับแรงดึงทางอ้อมของดินลูกรังโดยการใช้เถ้าชีวมวล จีโอโพลิเมอร์ ที่อัตราส่วน MLS:BA เท่ากับ 90:10 และที่อัตราส่วน NS : NH เท่ากับ 50:50 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม วิธีการทดสอบแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำ 135 และ 137 kPa ตามลำดับ จากผลการทดสอบกำลังจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน NS มากขึ้นตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบและทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Department of highway, “Standard No.DH-S 205/2532, Soil aggregate subbase,”Thailand, 1989.

[2] เบญจรัชต์ บุญธิฟอง, ชยานนท์ หรรษภิญโญ, ปิยะพงษ์ วงศ์เมธา และ พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม (2560). การปรับปรุงวัสดุชั้นรองพื้นทางที่ต่ำกว่ามาตรฐานโดยใช้ปอร์ตแลนด์ และยิปซัมเอฟจีดี. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มช., ฉบับที่ 24, หน้า 139-151.

[3] Department of highway, “Standard No.DH-S 206/2021, Soil cement subbase,”Thailand, 2021.

[4] ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และอนันต์ ทวีวรรณสดใส (2543). คุณสมบัติความเค้นความเครียดของวัสดุปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ภายใต้การทดสอบกำลังรับแรงอัดแนวดิ่ง. รายงานฉบับที่ วพ. 179 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. กทม

[5] Phummiphan, I. and Horpibulsuk, S., (2015). Stabilization of marginal lateritic soil by high calcium fly ash based geopolymer with calcium carbide residue and ground granulated blast furnace slag as additives. Ph. D. Dissertation, Suranaree University of Technology, Thailand.

[6] ธนากร ภูเงินขำ. (2559). การประเมินการใช้นาโนซิลิกาและนาโนอะลูมินาเป็นสารผสมเพิ่มต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดของเถ้าลอย-ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จีโอโพลิเมอร์. รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตรและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

[7] Bakharev, T. (2005a). Resistance of geopolymer materials to acid attack. *Cement and Concrete Research*, 35(4), pp. 658-670.

[8] Bakharev, T. (2005b). Geopolymeric materials prepared using Class F fly ash and elevated temperature curing. *Cement and Concrete Research*, 35(6), pp. 1224-1232.

[9] ปริญญา จินดาประเสริฐ (2547). เถ้าลอยในงานคอนกรีต. สมาคมคอนกรีตไทย, หน้า 88 – 100.

[10] Desaesamoh, A., Maming, J., Radeang, N. and Awae, Y. (2016). Physical properties and mechanical properties of para rubber wood fly ash brick. *Journal of Yara Rajabhat University*, Vol.6 No.1, pp. 27.

[11] ASTM D2487, Standard practice for classification of soil for engineering purposes (unified soil classification system).ASTM International, 2011.

[12] ASTM C618, Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. ASTM International, 2015.

[13] Takumwan,S., Ruangrit, V. and Araya, K. Mechanical Properties of Interlocking Block with Coconut shell Ash. Proceedings of the 8thNational Conference on Technical Education, Faculty of Technical Education King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 26 November 2015, pp.195-200.

[14] ASTM D1557-12, Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort [56,000 ft-lb/ft^3 (2,700 kN-m/m^3)]. ASTM International, 2021

[15] ASTM D2166, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. ASTM International, 2000

[16] ASTM D4123, Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures. ASTM International, 1995

[17] Suksiripattanapong, C., Tuntawoot, N., Thumrongvut, J., Wonglakorn, N., Chongutsah, S., and Tabyang, W. (2019). Compressive Strength of Marginal Lateritic Soil Stabilized with Bottom Ash Geopolymer as a Pavement Material. International Journal of Engineering and Technology. 11(3). 177-180.

[18] รชต พรมมาพงษ์, เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์, เสริมศักดิ์ ติยะแสงทอง, และ วิศิษฏ์ศักดิ์ ทับยัง (2564). กำลังและความคงทนของดินลูกรังผสมเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์สำหรับบล็อกประสานไม่รับน้ำหนัก. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 31, ฉบับที่ 4, หน้า 675-684.