กำลังอัดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะ จีโอโพลีเมอร์

Compressive Strength of Marginal Lateritic Soil Improved by Waste Ash Geopolymer

เพทาย อุตราช[1], เสริมศักดิ์ ติยะแสงทอง[2], เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์[3], ชยกฤต เพชรช่วย[4], จักษดา ธำรงวุฒิ[5] และวิศิษฏ์ศักดิ์ ทับยัง[6]

[1,3,4] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีโครงสร้างพื้นฐานและการขนส่งทางราง สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[2,5]สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
[6] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
E-mail address: jamebangpu_vmp@hotmail.com, cherdsak.su@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังอัดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะ จีโอโพลีเมอร์ ดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานได้จากบ่อลูกรัง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครราชสีมา เถ้าขยะได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ (Waste to Energy Power Plant) จังหวัดสงขลา งานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานต่อเถ้าขยะเท่ากับ 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 อัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 20:80 10:90 และ 0:100 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 8 โมลาร์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดแช่น้ำที่อายุบ่ม 7 วัน ของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะ จีโอโพลีเมอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณเถ้าขยะ และอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH ที่เพิ่มขึ้น กำลังอัดแช่น้ำสูงสุดที่อายุบ่ม 7 วัน ของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะจีโอโพลีเมอร์พบที่ปริมาณเถ้าขยะร้อยละ 20 และอัตราส่วน Na_2Sio_3:NaOH เท่ากับ 10:90

คำสำคัญ: กำลังอัด, ดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐาน, เถ้าขยะ, โซเดียมซิลิเกต, โซเดียมไฮดรอกไซด์

Abstract

This research investigated compressive strength of marginal lateritic soil improved by waste ash geopolymer. Marginal lateritic soil was obtained from borrow pit, Chaloem Phra Kiat District, Nakhon Ratchasima. Waste ash obtained from Waste to Energy Power Plant, Songkhla. Marginal lateritic soil: Waste ash ratios of 100:0, 90:10, 80:20 and 70:30, Sodium silicate (Na_2SiO_3):Sodium hydroxide (NaOH) ratios of 20:80, 10:90 and 0:100 and NaOH concentration of 8 M were used in this research. It can be seen that 7-day soaking compressive strength of marginal lateritic soil improved by waste ash geopolymer increased as waste ash content and Na_2SiO_3:NaOH ratio increased. The maximum 7-day soaking compressive strength of marginal lateritic soil improved by waste ash geopolymer was at waste ash content of 20% and Na_2SiO_3:NaOH ratio of 10:90.

Keywords: Compressive Strength, Marginal Lateritic Soil, Waste Ash, Sodium Silicate, Sodium Hydroxide

1. บทนำ

โครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่งของประเทศได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการก่อสร้างถนน โดยทั่วไปชั้นโครงสร้างถนนประกอบด้วย ผิวทาง ชั้นพื้นทาง (Base) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase) และชั้นดินถม ดินลูกรัง (Lateritic soil) เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในงานชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ซึ่งคุณสมบัติของดินลูกรังต้องผ่านมาตรฐานกรมทางหลวง อย่างไรก็ตาม ปริมาณวัสดุตามธรรมชาติที่มีคุณภาพลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนวัสดุที่มีคุณภาพ และอาจจำเป็นต้องขนส่งวัสดุมาจากแหล่งที่ห่างไกลทำให้ต้นทุนการก่อสร้างสูงขึ้น ในปัจจุบันมีนักวิจัยท่าน [1-3] ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังด้วยกรรมวิธีทางเคมี เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว หรือสารผสมเพิ่ม อย่างไรก็ตาม กระบวนการการผลิตปูนซีเมนต์ก่อให้เกิดปัญหาการทำลายทรัพยากรธรรมชาติ และยังปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่ชั้นบรรยากาศ ซึ่งทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนขึ้น [4,5]

ปัญหาขยะมูลฝอย (Solid Waste) ของประเทศไทยเป็นปัญหาสำคัญ ในปี 2561 มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 27.93 ล้านตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการขยายตัวของชุมชนเมือง และการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตจากสังคมเกษตรกรรมสู่สังคมเมือง อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัย [6] จากปัญหาดังกล่าวบางหน่วยงานได้จัดการกับขยะเหล่านี้ โดยการเผาเพื่อผลิต

กระแสไฟฟ้า กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดเถ้าขยะ (Waste Ash) ซึ่งเป็นของเสียจากภาคอุตสาหกรรมและยังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเถ้าขยะมาปรับปรุงดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานสำหรับวัสดุรองพื้นทาง โดยใช้อัลคาไลน์หรือสารละลายที่เป็นด่างสูง ซึ่งได้แก่ สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งสามารถเกิดการแข็งตัวและทำให้กำลังอัด และความทนทานสูงขึ้น [7-9] งานวิจัยนี้จะได้เป็นวัสดุทางเลือกในอนาคต และยังช่วยแก้ปัญหาการกำจัดขยะจากภาคอุตสาหกรรม

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ดินลูกรังไม่ผ่านมาตรฐาน (Marginal Lateritic Soil, MLS)

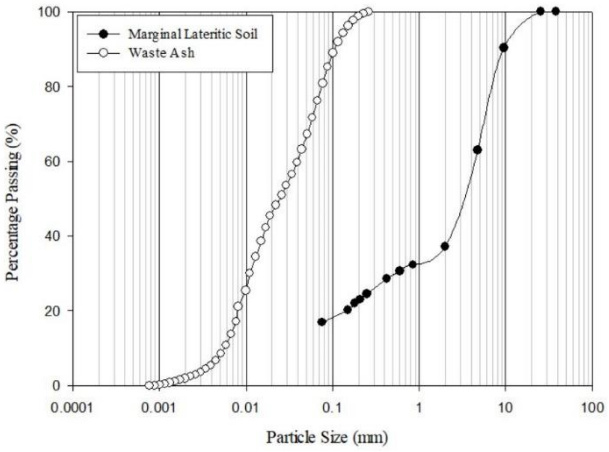
ดินลูกรังไม่ผ่านมาตรฐานได้จากบ่อลูกรัง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครราชสีมา รูปที่ 1 แสดงลักษณะของ MLS ซึ่งตัวอย่างดินถูกร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 MLS มีส่วนประกอบของดินเม็ดหยาบร้อยละ 50.36 และดินเม็ดละเอียดร้อยละ 49.52 ซึ่งสามารถจำแนกโดยวิธี Unified Soil Classification System (USCS) ได้เป็น ทรายปนดินเหนียว (SC, Clayey Sand) MLS มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.42 ค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid limit) ค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic limit) และค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index) ของ MLS มีค่าเท่ากับร้อยละ 32.05 15.71 และ16.33 ตามลำดับ ค่าสึกหรอ (Abrasion) ของดินตัวอย่างเท่ากับร้อยละ 65.50 หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดที่พลังงานบดอัดสูงกว่ามาตรฐานมีค่าเท่ากับ 20.96 KN/m^3 และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) ร้อยละ 10.15 ค่า CBR ที่ร้อยละ 95 ของหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.15 จากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ MLS พบว่าค่า CBR ของดินลูกรังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานวัสดุรองพื้นทางของ ทางหลวง ทล.-ท 205/2535 [10]

รูปที่ 1 ลักษณะของ MLS

2.2 เถ้าขยะ (Waste Ash, WA)

เถ้าขยะได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ (Waste to Energy Power Plant) จังหวัดสงขลา ลักษณะของ WA แสดงในรูปที่ 2 ค่าความถ่วงจำเพาะของ WA มีค่าเท่ากับ 2.03 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขยะแสดงในตารางที่ 1 ผลรวมของปริมาณธาตุ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 18.82 และ CaO มีปริมาณร้อยละ 23.88 การกระจายขนาดคละของเถ้าขยะแสดงในรูปที่ 3 ขนาดคละเฉลี่ยของ WA มีค่าเท่ากับ 0.0171 มิลลิเมตร

รูปที่ 2 ลักษณะของ WA



รูปที่ 3 การกระจายขนาดของดินลูกรังไม่ผ่านมมาตรฐานและเถ้าขยะ

2.3 สารกระตุ้น (Liquid alkaline activator)

สารกระตุ้นเป็นส่วนผสมของโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 8 โมลาร์ การเตรียมสารละลาย NaOH เริ่มจากการผสม NaOH แบบเกร็ด 320 กรัม กับน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากนั้นผสมให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง [4-5] งานวิจัยนี้กำหนดสัดส่วนของสารกระตุ้น Na_2SiO_3:NaOH ไว้ 3 อัตราส่วน คือ 20:80 10:90 และ 0:100

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขยะ

องค์ประกอบทางเคมี	เถ้าขยะ (WA)
SiO_2	8.95
Al_2O_3	3.71
Fe_2O_3	6.16
CaO	23.88
Cl	18.85
K_2O	20.37
TiO_2	1.38
MnO_2	0.46
Br_2O	1.08
Rb_2O	1.00
ZnO	5.19
PbO	3.17
LOI	5.80

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

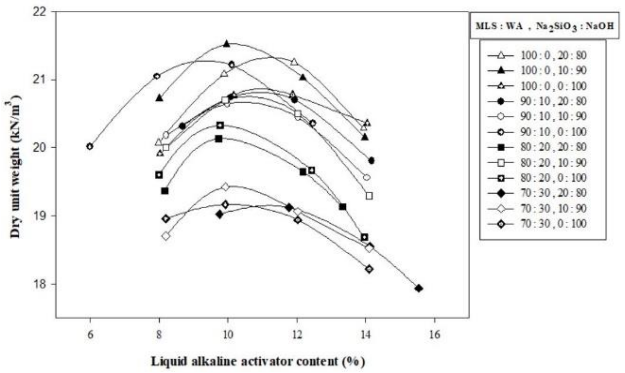
ดินลูกรังไม่ผ่านมาตรฐาน-เถ้าขยะ จีโอโพลีเมอร์ (MLS-WA Geopolymer) เป็นส่วนผสมของดินลูกรังไม่ผ่านมาตรฐาน เถ้าขยะ และสารกระตุ้นที่อัตราส่วน MLS:WA เท่ากับ 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 (รูปที่ 4 (a)) อัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 20:80 10:90 และ 0:100 โดยน้ำหนัก โดยการผสม MLS และ WA ให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำสารกระตุ้นของแต่ละอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH (20:80 10:90 และ 0:100) มาผสมกับตัวอย่าง MLS:WA โดยใช้เวลาในการผสม 5-10 นาที จากนั้นทำการบดอัดที่พลังงานสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Compaction Test) หลังจากการบดอัดตัวอย่างแล้ว ตัวอย่างจะถูกห่อด้วยถุงพลาสติกใสเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 7 วัน เมื่อได้อายุบ่มที่ต้องการ นำตัวอย่างไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) ซึ่งแต่ละสัดส่วนผสมจะเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นตัวแทนของส่วนผสมและเพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องแม่นยำ แสดงในรูปที่ 4 (b)

(a) (b)

รูปที่ 4 (a) การเตรียมตัวอย่าง MLS และ WA
(b) การเก็บก้อนตัวอย่าง UCS ของ MLS-WA Geopolymer

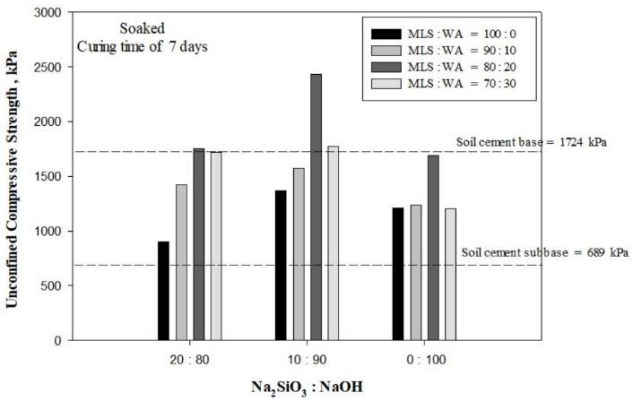
3. ผลการศึกษา

รูปที่ 5 แสดงกราฟการบดอัดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐาน-เถ้าขยะจีโอโพลิเมอร์ที่อัตราส่วน MLS:WA เท่ากับ 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 และอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 20:80 10:90 และ 0:100 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ($\gamma_{d\,max}$) ของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐาน-เถ้าขยะ จีโอโพลิเมอร์มีค่าลดลงตามปริมาณ WA ที่เพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ($\gamma_{d\,max}$) ที่ลดลงเนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของ WA มีค่าน้อยกว่า MLS หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 21.5 kN/m^3 ที่อัตราส่วน MLS:WA เท่ากับ 100:0 และอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 10:90 ในขณะที่ปริมาณสารกระตุ้นที่เหมาะสมมีค่าระหว่างร้อยละ 10-12



รูปที่ 5 การบดอัดของดินลูกรังไม่ผ่านมาตรฐาน-เถ้าขยะ จีโอโพลิเมอร์ที่อัตราส่วน MLS:WA และอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH ต่าง ๆ

รูปที่ 6 แสดงกำลังอัดแบบแช่น้ำของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐาน-เถ้าขยะ จีโอโพลิเมอร์ ที่อัตราส่วน MLS:WA เท่ากับ 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 และอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 20:80 10:90 และ 0:100 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดแบบแช่น้ำสูงสุดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะจีโอโพลิเมอร์มีค่าเท่ากับ 2,430 kPa ที่อัตราส่วน MLS:WA เท่ากับ 80:20 และอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 10:90 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานงานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ของกรมทางหลวงซึ่งกำหนดค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 689 kPa [10] และมาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) ของกรมทางหลวงซึ่งกำหนดค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 1,724 kPa [11] พบว่าทุกอัตราส่วนผสมของวัสดุดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะจีโอโพลิเมอร์ มีค่าสูงกว่ามาตรฐานงานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ของกรมทางหลวง สำหรับทุกอัตราส่วนผสม ในขณะที่อัตราส่วน MLS:WA เท่ากับ 80:20 และอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 10:90 ของตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) เท่ากับ 1.41 เท่า



รูปที่ 6 กำลังอัดแบบแช่น้ำของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐาน-เถ้าขยะ จีโอโพลิเมอร์ที่อัตราส่วน MLS:WA และ Na_2SiO_3:NaOH ต่าง ๆ

4. บทสรุป

งานวิจัยศึกษากำลังอัดของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะ จีโอโพลิเมอร์ จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ($\gamma_{d\,max}$) ดินลูกรังไม่ผ่านมาตรฐาน-เถ้าขยะ จีโอโพลิเมอร์ มีค่าลดลงตามอัตราส่วน WA ที่เพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ($\gamma_{d\,max}$) ที่ลดลงนี้เนื่องมาจากค่าความถ่วงจำเพาะของ WA มีค่าน้อยกว่า MLS กำลังอัดแบบแช่น้ำสูงสุดของ ดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะจีโอโพลิเมอร์ มีค่าเท่ากับ 2,430 kPa ที่อัตราส่วน MLS:WA เท่ากับ 80:20 และอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 10:90 สำหรับทุกอัตราส่วนผสมของวัสดุดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานปรับปรุงด้วยเถ้าขยะจีโอโพลิเมอร์ มีค่าสูงกว่ามาตรฐานงานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ของกรมทางหลวง สำหรับทุกอัตราส่วนผสม ในขณะที่อัตราส่วน MLS:WA เท่ากับ 80:20 และอัตราส่วน Na_2SiO_3:NaOH เท่ากับ 10:90 ของตัวอย่างให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base) เท่ากับ 1.41 เท่า

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงไฟฟ้าพลังงานขยะ (Waste to Energy Power Plant) จังหวัดสงขลา ที่ได้อนุเคราะห์เถ้าขยะเพื่อใช้ในการวิจัย คุณพิษณุ นาคเม้า ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างดินลูกรังจากบ่อลูกรัง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครราชสีมา สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท สำหรับเครื่องมือทดสอบและห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ

เอกสารอ้างอิง

[1] นิโรจน์ เงินพรม (2553). การศึกษาคุณสมบัติของชั้นทางผสมดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก. วารสารวิชาการ และวิจัย มทร.พระนคร., ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, หน้า 25-31.

[2] กิตติศักดิ์ โชติ และ ประทีบ ดวงเดือน (2556). การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรัง ด้วยเถ้าก้นเตาและปูนขาว. วิศวกรรมสาร มก., ปีที่ 26, ฉบับที่ 83, หน้า 47-55.

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

[4] เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์, เสริมศักดิ์ ติยะแสงทอง, จิระยุทธ สืบสุข และ สุขสันติ์ หอพิบูลสุข (2559). อิทธิพลของปริมาณสารกระตุ้นต่อหน่วยน้ำหนักและกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลีเมอร์มวลเบาเซลูล่า. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม. อุบลราชธานี.*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, หน้า 83-90.

[5] เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์, พิมศิลป์ จันทร์ประเสริฐ, ปฏิมาพร สุขมาก และ สุขสันต์ หอพิบูลสุข (2557). พฤติกรรมด้านกำลังอัดของตะกอนดินประปาเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19,* ขอนแก่น, 14-16 พฤษภาคม 2557, หน้า 1543-1547.

[6] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2561). *สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561.* บริษัทสไตล์ครีเอทีฟเฮ้าส์ จำกัด, หน้า 70-85.

[7] Suksiripattanapong C., Horpibulsuk S., Chanprasert P., Sukmak P. and Arulrajah A., 2015. “Compressive strength development in fly ash geopolymer masonsy units manufactured from water treatment sludge”. Construction and Building Materials, 82, pp.20- 30.

[8] Horpibulsuk, S., Suksiripattanapong, C., Samingthong, W., Chinkulkijniwat, A., Rachan, R., and Arulrajah, A., 2015 “Durability against wet-dry cycles of water treatment sludge–fly ash geopolymer”, Journal of Materials in Civil Engineering, 94, pp.807-816

[9] Suksiripattanapong, C., Horpibulsuk, S., Boongrasan, S., Udomchai, A., Chinkulkijniwat, A. and Arulrajah, A., 2015. “Unit weight, strength and microstructure of a water treatment sludge–fly ash lightweight cellular geopolymer”, Construction and Building Materials,58 pp.254-257

[10] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2556). มาตรฐานที่ ทล.-ม. 206/2532 มาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase), กรมทางหลวง.

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