ก ก

Geopolymer pavement block from fly ash and palm oil fuel ash

1 *

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ถ.สุรนารายณ์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา
อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ถ.สุรนารายณ์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา
* - : . . .

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการทดลองผลิตจีโอโพลิเมอร์บล๊อคปูพื้นจากเถ้าถ่านหินและเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน โดยปรับปรุงคุณภาพเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันด้วยการบดแบบควบคุมเวลาที่ 15 นาที ใช้อัตราส่วนเถ้าถ่านหินต่อเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันในอัตราส่วน 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 และ 40:60 โดยน้ำหนัก ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 14 โมลาร์ แล้วนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 14 28 และ 60 วัน และเลือกส่วนผสมที่ใช้ให้ค่ากำลังอัดในช่วง 20 – 40 กก./ตร.ซม. และใช้ปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันมากที่สุด เพื่อผลิตจีโอโพลิเมอร์บล๊อกทางเท้าที่มีอัตราส่วนวัสดุประสานต่อหินฝุ่น เท่ากับ 1:3 1:5 และ 1:7 โดยน้ำหนัก อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดบล๊อคให้มีขนาด 30x30x5 ซม. ทดสอบกำลังอัดและค่าการดูดซึมน้ำของจีโอโพลิเมอร์บล๊อกปูพื้น พบว่า เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันสามารถแทนที่เถ้าถ่านหินได้ถึงร้อยละ 50 มีค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 21 กก./ตร.ซม. และเมื่อทดสอบสมบัติของบล๊อคจีโอโพลิเมอร์ปูทางเท้า พบว่า อัตราส่วนวัสดุประสานต่อหินฝุ่น เท่ากับ 1:5 โดยน้ำหนักให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด เท่ากับ 273 และ 438 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 7 และ 28 วัน ตามลำดับ และมีค่าการดูดกลืนน้ำต่ำที่สุด เท่ากับร้อยละ 11.7 ที่อายุ 28 วัน

คำสำคัญ: เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน, กำลังอัด, จีโอโพลิเมอร์

Abstract

This research aims to produce a geopolymer pavement block from fly ash and palm oil fuel ash. The quality of oil palm fuel ash was improved by controlling grinding at 15 minutes. Fly ash to palm oil fuel ash ratio at 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 and 40:60 by weight were used in this research. 14 molar of sodium hydroxide (NaOH) was used to be alkali solution. The compressive strength was investigated at 7, 14, 28 and 60 days. The mixture which given the compressive strength in the range of 20 - 40 kg / cm2 and contained the most amount of palm oil fuel ash was chosen to produce a geopolymer pavement block. They were prepared with a binder to aggregates ratio of 1:3, 1:5, and 1:7 and with compressed in mold with size of 30x30x5 cm. Compressive strength and The water absorption value of geopolymer pavement blocks were tested at 7 and 28 days. The results showed that palm oil fuel ash can replace 50% of fly ash with providing the compressive strength at 7 days of 21 ksc. The properties of geopolymer pavement block found that the ratio of binder to dust stone was 1: 5 provided the highest compressive strength of 273 and 438 ksc at the age of 7 and 28 days respectively and the lowest water absorption of 11.7 percent at the age of 28 days was found in this mixture.

Keywords**3**palm oil fuel ash, Compressive strength, Geopolymer

1. ก

จีโอโพลิเมอร์สังเคราะห์จากการใช้วัสดุปอซโซลานหรือวัสดุที่องค์ประกอบหลักของซิลิกาและอลูมินา ร่วมกับสารละลายด่างเข้มข้น เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร่วมกับสารละลายโซเดียมซิลิเกตเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วและเพิ่มความแข็งแรงให้กับระบบ เมื่อวัสดุตั้งต้นทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างจะเกิดเป็นโครงสร้างรูปทรงสามมิติแบบอสัณฐานที่มีการจัดเรียงตัวเป็นโมเลกุลลูกโซ่ ซึ่งเมื่อแข็งตัวสามารถรับกำลังได้ และยังให้คุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความสามารถในการรับกำลังดึง ความทนทานต่อสารละลายกรด ความทนทานต่อซัลเฟต ค่าการซึมของน้ำและสารละลาย เป็นต้น ดังนั้นวัสดุที่สามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์จึงมีความหลากหลาย

ในงานวิจัยนี้สนใจเลือกใช้เถ้าถ่านหิน และเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันในการสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์ [1]

เถ้าถ่านหินเป็นผลพลอยได้จากโรงผลิตกระแสไฟฟ้าจากเถ้าถ่านหิน ซึ่งแหล่งใหญ่ของประเทศไทย ได้แก่ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เถ้าถ่านหินจัดเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีคุณสมบัติที่ดีในการใช้ในงานคอนกรีตและงานวัสดุก่อสร้าง ด้วยรูปร่างกลม ทำให้เกิดความลื่นไหลและเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ ส่วนที่ไม่เป็นผลึกของซิลิกาและอลูมินาทำให้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลาน รวมถึงการทำปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ไรเซชันได้ดี [2] ช่วยเพิ่มกำลังอัดและความทนทานให้กับวัสดุได้ เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากการนำส่วนต่างๆ ของต้นปาล์มน้ำมัน เช่น เศษกากกะลา เส้นใยทางใบและทะลายปาล์มเปล่าของผลปาล์ม หลังจากการเผาเพื่อให้เป็นเชื้อเพลิงและพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานชีวมวล ซึ่งปริมาณปาล์มน้ำมันที่ใช้ในประเทศไทยมีจำนวนมากและทำให้มีเศษปาล์มน้ำมันที่หลงเหลือรอการกำจัดอยู่เป็นจำนวนมากเช่นกัน จากองค์ประกอบทางเคมีของ เถ้าถ่านหิน และ เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน ที่มีซิลิกาและ อลูมินาในปริมาณสูงและจัดเป็นวัสดุปอซโซลานที่สามารถใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีตได้ [3 4] ในงานวิจัยนี้จึงสนใจนำเถ้าถ่านหินและเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันมาใช้ประโยชน์ร่วมกันเพื่อผลิตจีโอโพลิเมอร์และนำส่วนผสมที่ได้มาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างต่อไป

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีความสนใจในการใช้ผลิตต้นแบบจีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้นจากเถ้าถ่านหินและเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน ซึ่งเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันจะนำมาบดด้วยการควบคุมเวลาที่ 15 นาทีเพื่อปรับปรุงคุณภาพ และจากการค้นคว้าพบว่ายังไม่มีผู้ทำการศึกษาการใช้เถ้าถ่านหินและเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียวเป็นสารกระตุ้นจีโอโพลิเมอร์ และจีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้นจากเถ้าถ่านหินและเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันจะถูกพัฒนาให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. ต่อไป

2 ก

2.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ใช้เถ้าถ่านหินชนิดไม่ปรับปรุงคุณภาพ จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน ใช้ชนิดไม่ปรับปรุงคุณภาพ จากบริษัท สุขสมบูรณ์ น้ำมันปาล์ม จำกัด จังหวัดชลบุรี และปรับปรุงคุณภาพด้วยการบดแบบควบคุมเวลาที่ 15 นาที ด้วยเครื่องบดแบบหมุนเวียงที่มีลูกเหล็กเป็นตัวบด สารละลายด่างเข้มข้น ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกล็ดเพื่อใช้เตรียมเป็นสารละลายด่างเข็มข้น โดยใช้ความเข็มข้น 14 โมลาร์

2 2 วิธีการสังเคราะห์และการทดสอบจีโอโพลิเมอร์

อัตราส่วนของเถ้าถ่านหินต่อเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันที่ใช้ในการสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์เท่ากับ 1003 0, 9031 0, 8032 0, 7033 0, 6034 0, 5035 0, 4036 0 โดยน้ำหนัก ใช้สัญลักษณ์ xxFAyyPA zzM โดย xx คืออัตราส่วนของเถ้าถ่านหิน yy คืออัตราส่วนของเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน และ zz คือ เวลาที่ใช้ในการบดเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน ส่วนผสมใช้อัตราส่วนสารละลายด่างต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0 6 ผสมให้เข้ากันและนำท่อ PVC ทีมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร ถอดแบบหลังจาก 24 ชั่วโมง ห่อด้วยพลาสติก ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 14 28 และ 60 วัน

คัดเลือกตัวอย่างที่ให้ค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วันในช่วง 20 40 กก./ตร.ซม. และมีการแทนที่ปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันมากที่สุด มาผลิตจีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้นต่อไป

2 3 การผลิตจีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้น

การผลิตบล็อคปูทางเท้าจีโอโพลิเมอร์ใช้อัตราส่วนเถ้าถ่านหินต่อเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันเท่ากับ 5035 0 โดยน้ำหนัก เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันบดด้วยการควบคุมเวลาที่ 15 นาที ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 14 โมลาร์ แปรเปลี่ยนอัตราส่วนวัสดุประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 13 13 และ 13 โดยน้ำหนัก อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดบล็อค ทดสอบกำลังอัด และ ค่าการดูดกลืนน้ำที่อายุ 7 และ 28 วัน และศึกษาลักษณะพื้นผิวของบล็อคด้วยเทคนิค SEM และ EDS

3.

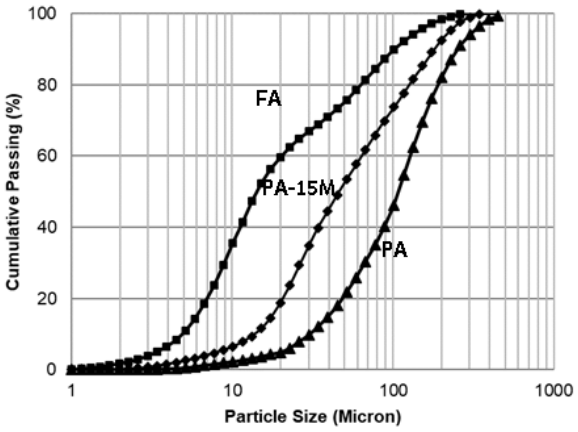
3 1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุตั้งต้น

ตารางที่ 1 แสดง องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันและเถ้าถ่านหิน พบว่า เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันมีองค์ประกอบทางเคมีหลักได้แก่ CaO ร้อยละ 36 36 K_2O ร้อยละ 28 03 SiO_2 ร้อยละ 14 78 และมีค่าสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาร้อยละ 0 47 ในขณะที่ เถ้าถ่านหินมีผลรวมของ SiO_2 Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 56 32 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาเท่ากับร้อยละ 0 17 จัดเป็นเถ้าถ่านหิน Class F ตามมาตรฐาน ASTM C618 [5] และ มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 36 64

* องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน (PA) และเถ้าถ่านหิน (FA)

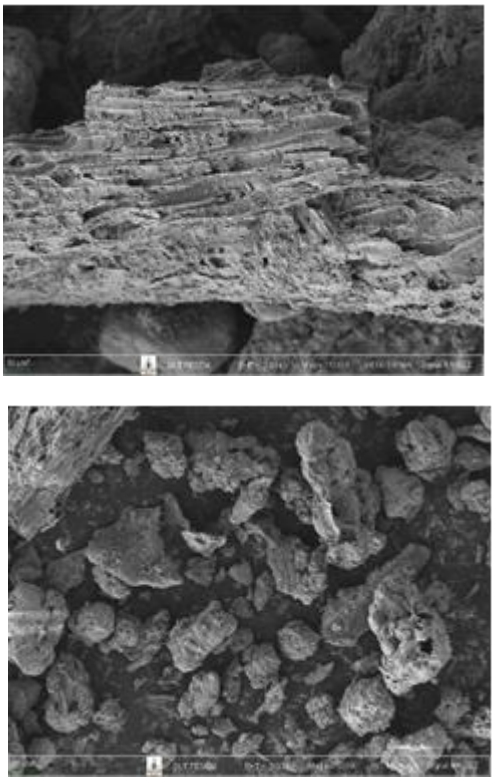
	PA	FA
SiO_2	14.78	10.80
Al_2O_3	N/A	3.36
Fe_2O_3	8.59	42.16
CaO	36.36	36.64
SO_3	1.82	1.65
K_2O	28.03	2.36
LOI	0.47	0.17

รูปที่ 1 แสดงลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเถ้าถ่านหินและเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน พบว่า เถ้าถ่านหินมีค่ากลางของขนาดอนุภาคเท่ากับ 14 21 ไมครอน สำหรับเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน พบว่า เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพมีค่ากลางอนุภาคเท่ากับ 107 62 ไมครอน เมื่อบดด้วยการควบคุมเวลา 15 นาที ค่ากลางของขนาดอนุภาค มีค่าเท่ากับ 53 09 ไมครอน เมื่อใช้การปรับปรุงคุณภาพด้วยการบด ขนาดอนุภาคมีแนวโน้มลดลง พบว่าขนาดที่เล็กลงของเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันจะทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น



1 ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันที่ควบคุมด้วยเวลาการบด 15 นาที

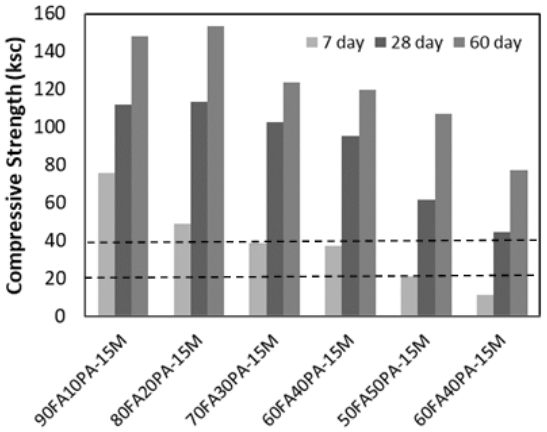
ลักษณะพื้นผิวของเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันที่ควบคุมเวลาด้วยการบด แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันที่ไม่บดมีขนาดใหญ่มากมีความเป็นรูพรุนที่สูง เมื่อบดด้วยเวลา 15 นาที (รูป ข) ขนาดของเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญและความพรุนของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดและมีลักษณะใกล้เคียงกันและเห็นได้ชัดเจนว่าการบดจะช่วยลดความพรุนของวัสดุลง



2 ลักษณะพื้นผิวของเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันยังไม่ปรับปรุง และบด 15 นาที

3 2 กำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์เพสต์

รูปที่ 3 แสดงผลของกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์เมื่อปรับปรุงคุณภาพของเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันด้วยการบดแบบควบคุมเวลาที่ 15 นาที พบว่าเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้นกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่มีค่ากำลังอัดลดลงเมื่อมีร้อยละการแทนที่เถ้าถ่านหินด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการแทนที่เถ้าถ่านหินด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันที่ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดคือที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 49 03 83 41 113 50 และ 153 31 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 7 14 28 และ 60 วัน ตามลำดับ การเพิ่มระยะเวลาการบดเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน ทำให้กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การบดเถ้าปาล์มน้ำมันช่วยลดขนาดของรูพรุนและช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้เถ้าปาล์มน้ำมันทำปฏิกิริยากับสารละลายได้ดีมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการทดลองต้องการใช้เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันในปริมาณสูง จึงกำหนดเลือก ตัวอย่างที่ให้ค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วันในช่วง 20 – 40 กก./ตร.ซม. และมีการแทนที่ปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันมากที่สุด ทำให้เลือกส่วนผสม 50FA50PA 15M ซึ่งแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วันเท่ากับ 21 13 กก./ตร.ซม. มาเป็นส่วนผสมในการทดสอบขั้นต่อไป



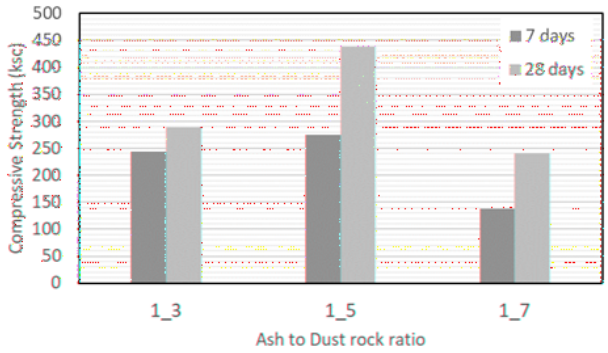
3 ผลของกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์เมื่อปรับปรุงคุณภาพของเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันด้วยการบดแบบควบคุมเวลาที่ 15 นาที

3 3 สมบัติของจีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้น

จีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้น ใช้อัตราส่วนเถ้าถ่านหินต่อเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันเท่ากับ 50 50 โดยน้ำหนัก แปรเปลี่ยนอัตราส่วนวัสดุประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1 3 1 5 และ 1 7 ใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 14 โมลาร์ที่อัตราส่วน สารอัลคาไลน์ต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0 65 ผลการศึกษากำลังอัด แสดงดังรูปที่ 4 และค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุ แสดงดังรูปที่ 5

จากการศึกษา พบว่า โดยให้ค่ากำลังอัดของกระเบื้องปูทางเท้าจีโอโพลิเมอร์ที่มีวัสดุประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1 3 1 5 และ 1 7 โดยน้ำหนักเท่ากับ 243 274 และ 138 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 7 วัน และ 289 438 และ 241 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 28 วัน ตามลำดับ โดยส่วนผสมที่ใช้วัสดุประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1 5 ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด กระเบื้องปูทางเท้าจีโอโพลิ

เมอร์ที่มีวัสดุประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 13 13 และ 13 โดยน้ำหนัก มีค่าการดูดกลืนน้ำที่อายุ 7 วัน เท่ากับร้อยละ 15 9 7 และ 13 7 และที่อายุ 28 วัน เท่ากับร้อยละ 18 5 11 7 และ 14 5 ตามลำดับ เนื่องจากการทดลองมีการควบคุมปริมาณสารละลายที่ใช้ทำให้อาจส่งผลต่อค่ากำลังอัดของวัสดุและค่าการดูดซึมน้ำของบล็อคเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณมวลรวมในส่วนผสมได้



4 กำลังอัดของกระเบื้องปูทางเท้าจีโอโพลิเมอร์

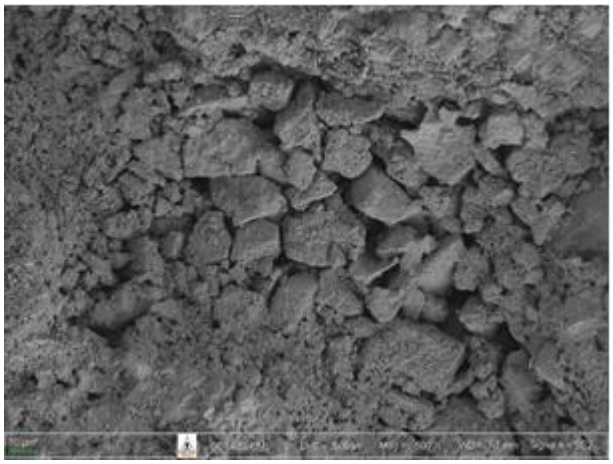


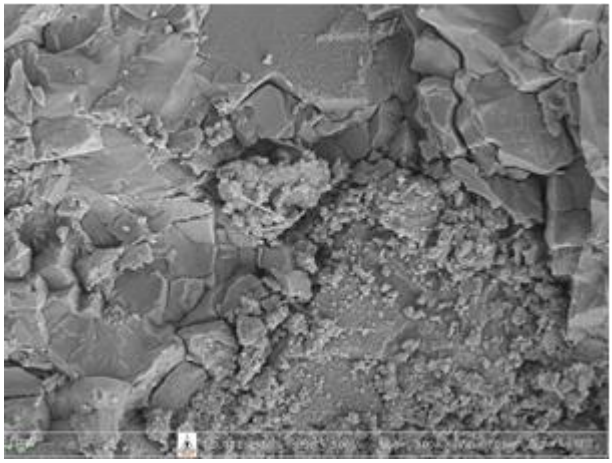
5 ค่าการดูดกลืนน้ำของกระเบื้องปูทางเท้าจีโอโพลิเมอร์

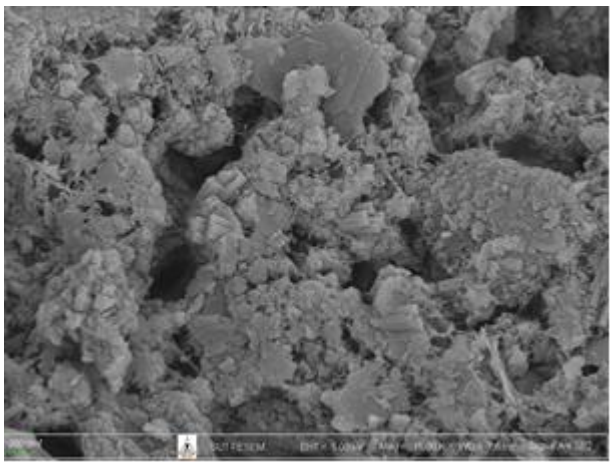
3 4 ลักษณะพื้นผิวของจีโอโพลิเมอร์

รูปที่ 6 แสดงลักษณะพื้นผิวของจีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้นทีกำลังขยายต่างๆ พบว่า พื้นที่ผิวที่กำลังขยาย 500X พบส่วนที่เป็นมวลรวมและส่วนที่เป็นจีโอโพลิเมอร์เพสต์อยู่รวมกัน สังเกตุได้ว่าจีโอโพลิเมอร์เพสต์เคลือบอยู่บนผิวของมวลรวม และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 3000X พบว่าส่วนจีโอโพลิเมอร์เพสต์เชื่อมติดผิวของมวลรวมและมีลักษณะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ทั่วบริเวณพื้นผิว และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 15000X พบเห็นลักษณะคล้ายเข็มวางรวมกันคล้ายรูปดอกไม้ ซึ่งมักพบในการเกิดปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ที่สอดคล้องกับงานของ S Alehyen et al 2017) [6] และ S K Nath and Sanjay Kumar (2020)

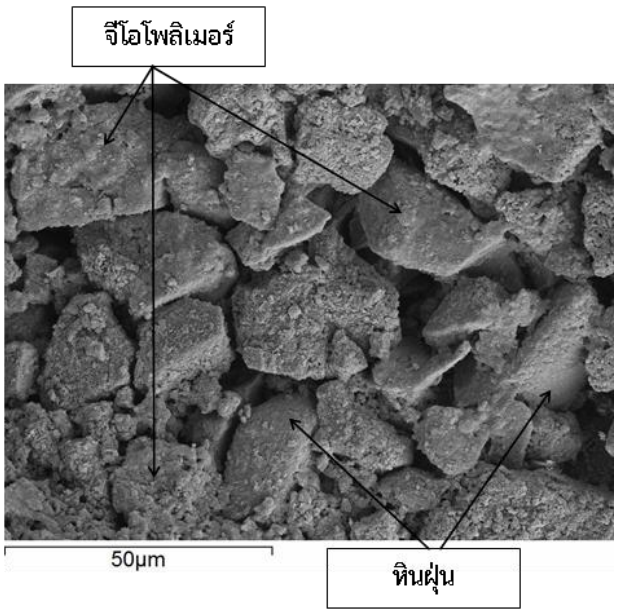
รูปที่ 7 พื้นผิวของจีโอโพลิเมอร์เพสต์ที่ศึกษาด้วยเทคนิค SEM และ EDS ซึ่งเมื่อใช้เทคนิค EDS สามารถอนุมานส่วนประกอบที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของจีโอโพลิเมอร์ทั้งในส่วนของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ไรเซชั่นและส่วนที่เป็นหินฝุ่นได้ชัดเจน สังเกตุได้ว่า จีโอโพลิเมอร์เพสต์เคลือบบนผิวของมวลรวม (หินฝุ่น) แต่การเชื่อมต่อการของหินฝุ่นบางส่วนยังไม่ดีนักทำให้ส่งผลต่อค่ากำลังอัดและค่าการดูดซึมน้ำด้วย โดยลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคจะช่วยให้งานวิจัยสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของบล็อคให้มีคุณภาพที่ดีเพิ่มขึ้นได้







6 ลักษณะพื้นผิวของจีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้นจากเถ้าถ่านหินและเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันบด



7 พื้นผิวของจีโอโพลิเมอร์เพสต์ที่ศึกษาด้วยเทคนิค SEM และ EDS

4 ก

1 จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าถ่านหินและเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันที่บดด้วยการควบคุมเวลาที่ 15 นาที ตัวอย่าง 80FA20PA 15M ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด

2 ตัวอย่าง 50FA50PA 15M ซึ่งแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เป็นตัวอย่างที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการศึกษาจีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้นเนื่องจากให้ค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วันมากกว่า 20 กก./ตร.ซม. และใช้ปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันมากที่สุด

3 จีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้นที่มีอัตราส่วนวัสดุประสานต่อหินฝุ่น เท่ากับ 1 3 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด และให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด

4 โครงสร้างทางจุลภาค พบส่วนที่ทำปฏิกิริยาจากจีโอโพลิเมอร์ และส่วนที่เป็นมวลรวมอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่า จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าถ่านหินและเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมันสามารถนำมาใช้ในการผลิตจีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้นได้ และหากมีการปรับปรุงส่วนผสมเพิ่มเติม จะทำให้ได้จีโอโพลิเมอร์บล็อกปูพื้นที่เป็นไปตาม มอก. ต่อไป

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) สัญญาเลขที่ CRP6205031880 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

1 Davidovits, J 2008 (.), Saint Quentin, FR3 Geopolymer Institute, France, 585 p

2] Kiatsuda Somna, Chai Jaturapitakkul, Puangrat Kajitvichyanukul, Prinya Chindaprasirt 2011 NaOH activated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature, , Vol 90, pp 2118–2124

3 Weerachart Tangchirapat, Supat Khamklai, Chai Jaturapitakkul 2012 Use of ground palm oil fuel ash to improve strength, sulfate resistance, and water permeability of concrete containing high amount of recycled concrete aggregates , 41, pp 150 157

[4] วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, จตุพล ตั้งปกาศิต, ศักดิ์สินธุ์ แววคุ้ม และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล 2546 วัสดุปอซโซลานชนิดใหม่จากเถ้าปาล์มน้ำมันน้ำมัน, *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.*, ปีที่ **26**, ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม, หน้า 459 474.

5 ASTM C618 08a, 2010 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use Mineral Admixture in Portland Cement Concrete Annual Book ASTM Standard Pennsylvania USA , ASTM International, 4 p

[6] S Alehyen, M EL Achouri, M Taibi 2017 Characterization, microstructure and properties of fly ash based geopolymer , 8 5 , pp 1783 1796

7 S K Nath and S Kumar 2020 Role of particle fineness on engineering properties and microstructure offly ash derived geopolymer 233, pp 117294