

คุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์ดินขาวเผาและเถ้าหนักสำหรับ เป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีต

The Properties of Geopolymer base on Metakaolin and Bottom Ash for Concrete Repaired Materials

อาภา สธนเสาวภาคย์ อีรภัทร มีมุขุนทด

ลิขิต อาจกล้า และวายุ มากมูล

Apha Sathonsaowaphak, Theeraphat Muemkhunthod

Likhit Artklr, Wayu Makmun

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์ดินขาวเผาและเถ้าหนักนี้ ได้นำเถ้าหนักจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและดินขาวจากแหล่งดินขาวอุตรดิตถ์ มาสังเคราะห์เป็นจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เพื่อใช้เป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีต สารละลายที่ใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์เซชัน คือสารละลายโซเดียมซิลิเกตและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลลาร์ มีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลลาร์ เท่ากับ 1.0 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารปอซโซลานต่อทราย 1:2.75 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายต่อสารปอซโซลานมี 2 อัตราส่วน คือ 0.40 และ 0.55 ร้อยละการแทนที่ของดินขาวเผาด้วยเถ้าหนัก เท่ากับ 0 25 50 75 และ 100 มีชุดทดสอบจำนวน 10 ชุด ทำการผสม หล่อ และบ่มจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อุณหภูมิห้อง ทำการทดสอบคุณสมบัติระยะเวลาการก่อตัวต้น การหดตัวแห้ง หน่วยน้ำหนัก และกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมดินขาวเผาและเถ้าหนัก แล้วทำการเลือกชุดทดสอบที่เหมาะสมเป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีตสำหรับทดสอบภาคสนาม ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาการก่อตัวต้นของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 105-115 นาที การหดตัวแห้งของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมดินขาวล้วน จะมีการหดตัวมากกว่าที่มีเฉพาะเถ้าหนักล้วน หน่วยน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาล้วนจะมีค่ามากกว่าจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เถ้าหนักล้วน ร้อยละการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักที่สูงขึ้น กำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าหนักล้วนมีกำลังอัดดีที่สุดทั้งอัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายต่อสารปอซโซลาน 0.40 และ 0.55 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 34.10 และ 41.38 กก./ตร.ซม. ตามลำดับและมีการหดตัวน้อย จึงนำไปเป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีตในภาคสนาม พบว่าไม่มีการแตกร้าว วัสดุยึดเกาะกันเป็นเนื้อเดียวกับผิวคอนกรีตเดิม และมีการหดตัวน้อย

คำสำคัญ : จีโอโพลิเมอร์, สารละลายโซเดียมซิลิเกต, สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, ดินขาวเผา, เถ้าหนัก

สาขาวิชาเทคโนโลยีก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

Civil Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima, 30000

* corresponding author: apha_yao@yahoo.com

Abstracts

The study of properties of geopolymer base on metakaolin and bottom ash. Bottom ash came from Mae Moh power plant and kaolin came from Uttaradit resource. They are synthesized to geopolymer for using as concrete repair materials. The solutions are used be activation geopolymerization as sodium silicate solution and 10 M sodium hydroxide solution. The ratio by weight of sodium silicate solution to 10M sodium hydroxide solution as 1.0. The ratio by weight of pozzolan to sand as 1:2.75. The ratio by weight of solutions to pozzolans has 2 ratios as 0.40 and 0.55. The percent of replacement metakaolin by bottom ash are 0, 25, 50, 75 and 100. The total of the mixture of 10 Samples. The process of mixing, casting and curing geopolymer mortar at room temperature. The initial setting time, drying shrinkage, unit weight and compressive strength of geopolymer mortar base on metakaolin and bottom ash. The option mixtures were selected to be concrete repairs materials for testing in the field. The result found that the initial setting time of geopolymer mortar is a similar approximately 105-115 minutes. The drying shrinkage of geopolymer base on metakaolin was more shrinkage than a base on bottom ash. The unit weight of geopolymer base on metakaolin more than a base on bottom ash. The replacement metakaolin by bottom ash is increasing that the tendency of the strength of geopolymer is higher. The best strength of geopolymer mortar base on bottom ash which the ratios by weight of solutions to pozzolan to 0.40 and 0.55 are 34.10 and 41.38 kg/cm², respectively. They have less drying shrinkage. These mixtures are suitable for the concrete repaired materials in the field. The result found that there are no cracks, the materials are adhesive with a concrete surface, and less shrinkage.

Keyword: Geopolymer ,Sodium silicate, Sodium hydroxide, metakaolin, Bottom ash

บทนำ

จีโอโพลิเมอร์คือ การทำปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ระหว่างของสารละลายอัลคาไลน์ที่มีความเข้มข้นสูง และออกไซด์ของซิลิกาและอะลูมิเนียม กลายเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างแข็งแรง สามารถก่อตัว แข็งตัว รับกำลังแรงอัดได้ คล้ายโครงสร้างของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จึงเป็นวัสดุทางเลือกที่สามารถทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ได้ วัสดุที่ใช้ผสมทำจีโอโพลิเมอร์คือวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan materials) ซึ่งมีซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ดินขาว ดินขาวเผาแคลไซน์ และวัสดุของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมและการเกษตร เช่น แกลบ อ้อย แกลบ และเถ้าหนั เป็นต้น (ภัทรกมล ไชยภูมิ (2557), ยุพาพร และ อุทัย (2543))

จากผลงานวิจัยโครงการทุนอุดหนุนวิจัยเรื่องการพัฒนาจีโอโพลิเมอร์ด้วยวัสดุปอซโซลานต้นทุนต่ำใน

ประเทศไทยเป็นวัสดุก่อสร้างสีเขียวเพื่อลดภาวะเรือนกระจก ของผศ.ดร.ดวงฤดี ฉายสุวรรณ(2559) ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้นำวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและการเกษตร 5 ชนิด คือ แกลบ อ้อย แกลบ เถ้าหนั และดินขาวเผาแคลไซน์ และดินขาวดิบ มาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตจีโอโพลิเมอร์ ทำการทดลองโดยใช้วัสดุตั้งต้น แบบชนิดเดียว และแบบนำมาผสมกันในสัดส่วนต่าง ๆ กันรวมทั้งหาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารละลายอัลคาไลน์ที่ใช้คือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผสมกับสารละลายโซเดียมซิลิเกต ทำการศึกษา วิเคราะห์ และทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของชิ้นงานตามมาตรฐานวัสดุก่อสร้าง ได้แก่ การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่นและความพรุนตัว เทียบกับค่ากำลังรับแรงอัด นอกจากนี้วัสดุที่นำ

มาผลิตจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เป็นวัสดุปอซโซลานซึ่งเป็นวัสดุที่เป็นพลอยได้จากอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำให้การใช้วัสดุจีโอโพลิเมอร์เป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย วัสดุปอซโซลานที่นำมาผสมทำเป็นจีโอโพลิเมอร์ เถ้าหนัก คือ เถ้าที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงงานไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง กากที่เหลือจากการเผาถ่านหินประกอบด้วยเถ้าถ่านหินประมาณร้อยละ 20 เถ้าถ่านหินขนาดใหญ่จะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ผิวขรุขระ และมีรูเล็กๆ ที่ผิวและอาจมีปริมาณของคาร์บอน (Carbon) สูง อนุภาคเถ้าถ่านหินมีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมครอน ความละเอียดของเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าที่แม่เมาะซึ่งทดสอบโดยวิธีของเบลนมีความละเอียดอยู่ในช่วง 2,500 ถึง 3,500 ซม²/กก. การวัดความละเอียดของเถ้าถ่านหินมี 2 วิธี ที่นิยมใช้กันคือวิธีการร่อนผ่านแร่งเบอร์ 325 (ช่องเปิด 45 ไมโครเมตร) กับวิธีวัดพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักโดยวิธีของเบลนในสหรัฐอเมริกาใช้วิธีร่อนผ่านแร่งเป็นวิธีมาตรฐานวิธีเดียวในการกำหนดความละเอียดของเถ้าถ่านหิน กล่าวคือ เถ้าถ่านหินต้องมีขนาดของอนุภาคที่ค่าตั้งแต่แร่งเบอร์ 325 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 33 โดยน้ำหนักเถ้าถ่านหินที่ละเอียดขึ้นจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นและทำให้กำลังอัดคอนกรีตสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินที่หยาบกว่า (ภากร และ ปริญญา (2550), อาภา (2553), Shortbus (2555))

ปัจจุบันเทคนิคการซ่อมแซมพื้นผิวเป็นเรื่องที่ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในการทำงานเกี่ยวกับการทดสอบวัสดุ การประเมินสภาพคุณสมบัติและพฤติกรรมของวัสดุ การซ่อมแซมพื้นผิวคอนกรีตจะต้องทำตามขั้นตอน ดังนี้ การวิเคราะห์การซ่อมแซม การเลือกวัสดุ การเตรียมพื้นผิว การทำความสะอาด การเชื่อมยึดกับวัสดุเดิม การเลือกวัสดุซ่อมแซมต้องอาศัยความเข้าใจถึงพฤติกรรมของวัสดุทั้งในสภาพสดและที่บ่มแล้วตามสภาวะการใช้งานและสภาพแวดล้อมที่คาดการณ์ไว้ สิ่งที่จะทำให้เกิดการซ่อมแซมประสบความสำเร็จ คือ พฤติกรรมเกี่ยวกับรูปร่างของวัสดุเมื่อเทียบกับวัสดุเดิม การเปลี่ยนแปลงรูปร่างทำให้เกิดหน่วยแรงภายใน หน่วยแรงที่เกิดขึ้นมาก ๆ จะทำให้เกิดรอยแตกทำให้เกิดการสูญเสียกำลังรับน้ำหนัก การหลุด

ล่อนหรือการเสื่อมสภาพจะต้องมีการเอาใจใส่พิเศษเพื่อลดหน่วยแรงเหล่านี้ การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการยืดอายุการใช้งาน และการให้บริการของโครงสร้างออกไป เมื่อโครงสร้างเสื่อมสภาพถึงขั้นวิกฤติ จึงจำเป็นที่จะต้องหาสาเหตุและแนวทางการซ่อมแซมให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน วิธีซ่อมแซมด้วยการเท (Placing) ในกรณีของแผลใหญ่ที่สามารถเทเข้าที่ได้โดยง่ายด้วยวัสดุซ่อม จึงเป็นการง่ายและประหยัดที่ใช้วัสดุในการทำน้อยกว่าคอนกรีต แต่จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษ คือ จะต้องไม่เปลี่ยนรูปร่างหรือขนาดมากหลังจากการเทในระหว่างการก่อตัวและการบ่ม วัสดุที่ใช้จะมีทั้งที่เป็นซีเมนต์เป็นหลัก ลาเท็กซ์เป็นหลัก และโพลิเมอร์เป็นหลัก ซึ่งจะประกอบด้วยมวลรวมและสารยึดเกาะ ซึ่งจะเป็นน้ำปูน อีพ็อกซี ลาเท็กซ์ และโพลิเมอร์ตามลำดับ มวลรวมจะต้องมีขนาดละเอียดที่สุดเพื่อให้ได้กำลังสูงและมีความสามารถเทได้สูงรวมทั้งจะลดการหดตัว ส่วนการยึดเกาะจะต้องมีความสามารถในการยึดเกาะระหว่างมวลได้ดีให้กำลังสูง และมีการยึดหดตัวน้อยมาก (Peter, 2551) งานวิจัยนี้เป็นไปได้สูงที่จะประสบความสำเร็จเพราะมีงานวิจัย ของ อาปีเต็ง และคณะ (2556) และ วันชัย และ วีระพงษ์ (2552) ซึ่งได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับ จีโอโพลิเมอร์ดินขาวซ่อมแซมผิวทางคอนกรีตเพื่อใช้ในการก่อสร้างและงานซ่อมแซม ได้กล่าวถึงการใช้อัตราส่วนผสมและการบ่มที่อายุสั้นโดยให้กำลังอัดสูงเทียบเท่ากับคอนกรีตทำให้เหมาะแก่การนำมาพัฒนาต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาคุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์ดินขาวเผาและเถ้าหนัก และศึกษาวิธีการนำจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่สังเคราะห์ไปใช้เป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีต

2. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 ดินขาว ได้มาจาก แหล่งดินในจังหวัดอุดรดิตถ์ โดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70

2.2 เถ้าหนัก ได้มาจากโรงงานไฟฟ้า อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง โดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70

2.3 ทราย ได้มาจาก อ.พิมาย จ.นครราชสีมา

3. การเตรียมวัสดุและทดสอบคุณสมบัติทาง

กายภาพของวัสดุ

3.1 การเตรียมดินขาวเผา มีแหล่งที่มาจาก จังหวัดอุดรดิตถ์ และนำมาเผาที่อุณหภูมิ 700-900 องศาเซลเซียส ทำการคงที่อุณหภูมิเผาเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงโดยค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 30 และเก็บในถุงพลาสติกใช้เทพื้นปากถุงไว้อย่างมิดชิดโดยไม่ให้โดนแสงแดดและความชื้น

3.2 การเตรียมเถ้าหนัก โดยบดให้ละเอียดก่อนนำไปร่อนผ่านตะแกรงโดยค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 30 และเก็บในถุงพลาสติกใช้เทพื้นปากถุงไว้อย่างมิดชิดโดยไม่ให้โดนแสงแดดและความชื้น

3.3 การเตรียมมวลรวมละเอียด นำทรายไปล้างและอบแห้ง และทดสอบคุณสมบัติการกระจายขนาดของมวลรวมละเอียด และเก็บในถุงพลาสติกใช้เทพื้นปากถุงไว้อย่างมิดชิดโดยไม่ให้โดนแสงแดดและความชื้น

3.4 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีความเข้มข้น 10 โมลาร์ ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน

400 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น จำนวน 1000 กรัม โดยทำการเตรียมสารละลายไว้ล่วงหน้าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนการผสม โดยใช้สัญลักษณ์ 10M NaOH

3.5 ทำการทดสอบความถ่วงจำเพาะ และความละเอียดผ่านตะแกรงมาตรฐาน 325

4. ส่วนผสมชุดการทดสอบ

การศึกษาคุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์ดินขาวเผา และเถ้าหนักสำหรับเป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีตทำการแปรเปลี่ยนสัดส่วนการผสมระหว่างดินขาวเผาต่อเถ้าหนักโดยกำหนดให้ดินขาวเผามีสัญลักษณ์ MK เถ้าหนักมีสัญลักษณ์ BA อัตราส่วนน้ำหนักได้แก่ 100:0 75:25 50:50 25:75 0:100 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารปอซโซลานต่อสารละลายมี 2 อัตราส่วน คือ 0.40 และ 0.55 ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ คงที่เท่ากับ 1.0 และอัตราส่วนสารปอซโซลานต่อทรายเท่ากับ 1:2.75 มีชุดทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของชุดทดสอบจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากดินขาวเผาและเถ้าหนัก

ชุดทดลอง	MK:BA	สารละลาย/สารปอซโซลาน	Na ₂ SiO ₃ / NaOH 10M	น้ำหนักของส่วนผสม(g)				
				MK (g)	BA (g)	SANDS	Na ₂ SiO ₃	NaOH 10M
1	100/0	0.4	1	250	0	687.50	50.0	50.0
2	75/25			187.5	62.5	687.50	50.0	50.0
3	50/50			125	125	687.50	50.0	50.0
4	25/75			62.5	187.5	687.50	50.0	50.0
5	0/100			0	250	687.50	50.0	50.0
6	100/0	0.55	1	250	0	687.50	68.8	68.8
7	75/25			187.5	62.5	687.50	68.8	68.8
8	50/50			125	125	687.50	68.8	68.8
9	25/75			62.5	187.5	687.50	68.8	68.8
10	0/100			0	250	687.50	68.8	68.8

5.วิธีการทดสอบ

5.1 การผสมและบ่มจีโอโพลิเมอร์ดินขาวเผาและเถ้าหนัก เริ่มต้นนำสารปอชลานตามอัตราส่วนผสมและทรายใส่ลงในเครื่องผสมมอร์ตาร์ (Mortar Mixer) ทำการผสมให้เข้ากันโดยใช้เวลาในการผสม 3-5 นาที หลังจากนั้นจึงเทสารละลายโซเดียมซิลิเกต และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ ผสมให้เข้ากัน เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเทจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ลงแบบหล่อขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร สำหรับทดสอบกำลังอัด และแบบหล่อขนาด $2.5 \times 2.5 \times 28.5$ ซม. สำหรับทดสอบการหดตัวแห้ง จะใส่แบบหล่อแบ่งเป็น 2 ชั้น และทำการกระทุ้งด้วยแท่งกระทุ้ง (Tampor) ชั้นละ 32 ครั้ง ปาดผิวหน้าให้เรียบแล้วพันพลาสติกป้องกันน้ำระเหยออก (อาภา สธนเสาวภาคย์, 2553) และเก็บไว้ในอุณหภูมิปกติ ถอดแบบหล่อและหุ้มด้วยถุงพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ เก็บไว้ในอุณหภูมิปกติ จนกระทั่งมีอายุ 7 วัน สำหรับทดสอบหน่วยน้ำหนักและกำลังอัด และวัดการหดตัวที่ อายุ 7 14 21 และ 28 วัน

5.2 ทำการทดสอบคุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์

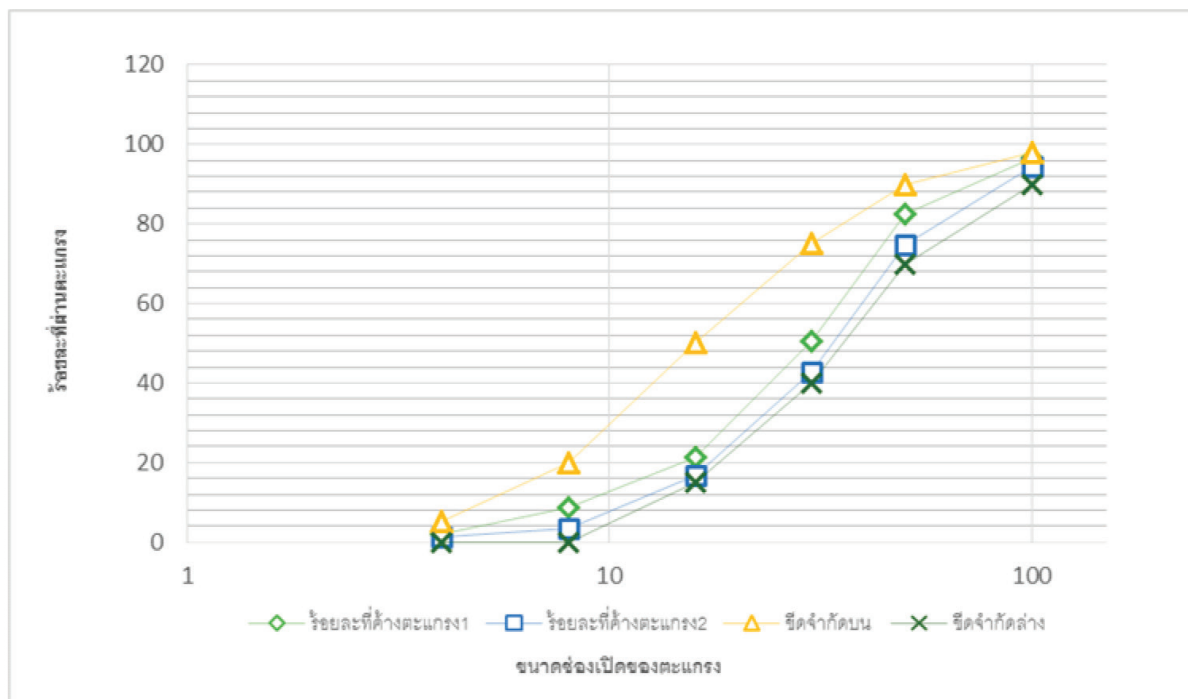
มอร์ตาร์ดินขาวเผาและเถ้าหนัก โดยทำการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์โดยวิธีเข็มไวแคต ทดสอบการหดตัวแห้งของ จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์วัดค่าที่อายุ 7 14 21 และ 28 วัน ทำการทดสอบหน่วยน้ำหนักและกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ ที่อายุ 7 วัน (สำเร็จ รักซ้อน 2557.)

5.3 ศึกษาวิธีการนำจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากดินขาวเผาและเถ้าหนักมาใช้เป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีต โดยเลือกส่วนผสมที่ได้จากการทดลองที่เหมาะสม เพื่อเป็นวัสดุซ่อมแซมโดยเลือกสถานที่ที่มีความชำรุดของผิวคอนกรีตภายในบริเวณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา (Peter,2551)

6. ผลทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุทดสอบ

6.1 คุณสมบัติของทรายแม่น้ำ มีค่าความถ่วงจำเพาะรวม ค่าการดูดซึมน้ำ และโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.33 0.60% และ 2.60 ตามลำดับ และมีมาตรฐานตาม ASTM C33 โดยใช้ทรายอิมตัวผิวแห้งดัง รูปที่ 1

6.2 ค่าความถ่วงจำเพาะของดินขาวเผาและ



รูปที่ 1 การกระจายขนาดคละของทรายแม่น้ำ

เถ้านัก เท่ากับ 2.70 และ 2.58 ตามลำดับ ซึ่งดินขาวเผา มีค่าความถ่วงจำเพาะที่มากกว่า เนื่องจากดินขาวเผาถูกเผาในอุณหภูมิสูง ทำให้ดินขาวกลายเป็นผลึก จึงมีค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่าเถ้านัก

6.3 ความละเอียดของดินขาวเผาและเถ้านัก ด้วยการล้างผ่านตะแกรง 325 มีร้อยละที่ผ่านตะแกรงเท่ากับ 70 ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันคือวิธีการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 (ช่องเปิด 45 ไมโครเมตร) กับวิธีวัดพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักโดยวิธีของเบลน ในสหรัฐอเมริกาใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรงเป็นวิธีมาตรฐานวิธีเดียวในการกำหนดความละเอียดของเถ้าถ่านหิน กล่าวคือ เถ้าถ่านหินต้องมีขนาดของอนุภาคที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 66 (จอมปวีร์ จันทรศิริ, 1844)

7. ผลทดสอบคุณสมบัติจีโอโพลิเมอร์ดินขาวเผาและ

เถ้านัก

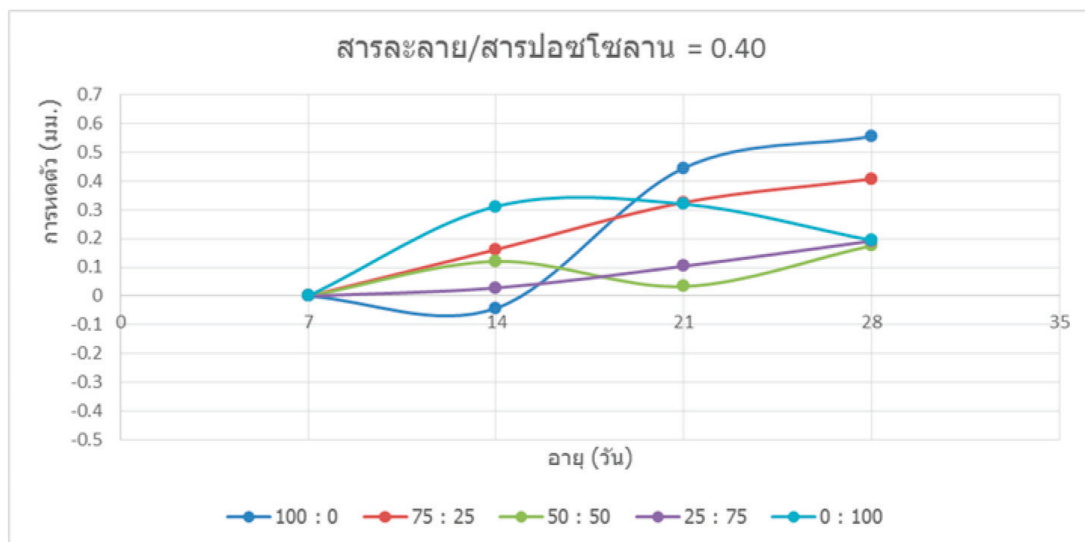
7.1 ระยะเวลาการก่อตัวของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์โดยวิธีเข็มไวแคต พบว่าที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอซโซลานเท่ากับ 0.40 ของชุดทดสอบที่ 1 และ 2 มีค่าระยะเวลาการก่อตัวต้นเท่ากันเท่ากับ 115 นาที ชุดทดสอบที่ 3 ถึง 5 มีค่าระยะเวลาการก่อตัวต้น เท่ากันเท่ากับ 105 นาที มีค่าระยะเวลาการก่อตัวต้นใกล้เคียงกัน ชุดทดสอบทั้ง 5 ตัวอย่าง อาจเนื่องจากปริมาณสารละลาย/สารปอซโซลานในชุดทดสอบที่ 1 ถึง 5 เท่ากัน จึงทำให้ค่าระยะเวลาการก่อตัวต้นไม่ต่างกันมากที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอซโซลานเท่ากับ 0.55 ของชุดทดสอบที่ 6 ถึง 8 มีค่าระยะเวลาการก่อตัวต้นเท่ากับ 115 นาที ชุดทดสอบที่ 9 และชุดทดสอบที่ 10 มีค่าระยะเวลาการก่อตัวต้นเท่ากัน เท่ากับ 105 นาที มีค่าระยะเวลาใกล้เคียงกันทั้ง 5 ดังแสดงในตารางที่ 2

ชุดทดลอง	MK:BA	สารละลาย/สารปอซโซลาน	ระยะก่อตัวต้น(นาที)
1	100/0	0.4	115
2	75/25		115
3	50/50		105
4	25/75		105
5	0/100		105
6	100/0	0.55	115
7	75/25		115
8	50/50		115
9	25/75		105
10	0/100		105

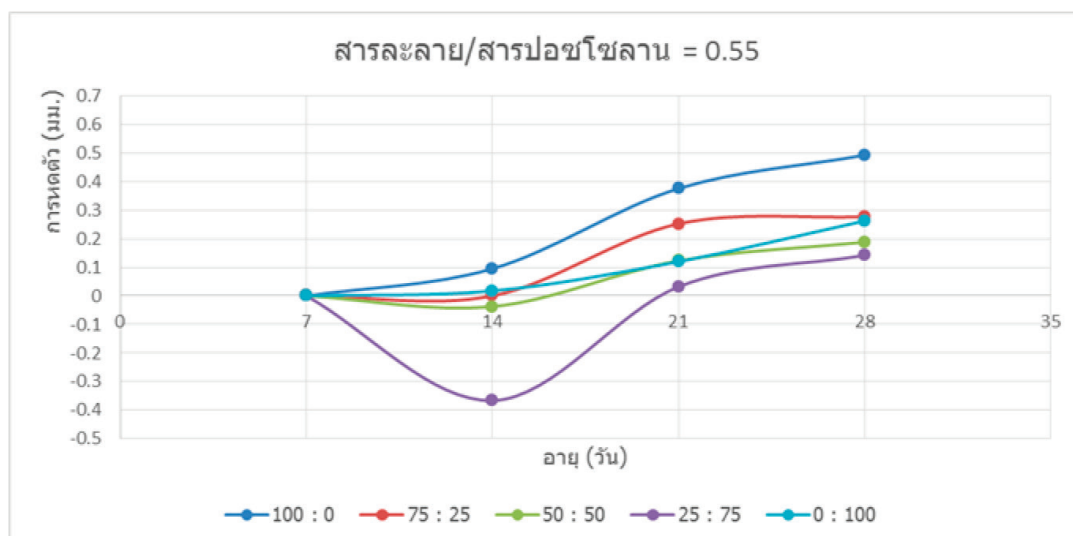
ตารางที่ 2 การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์โดยวิธีเข็มไวแคต

7.2 การหดตัวแห้งของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมดินขาวเผาและเถ้าหนักกับอายุของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอชโซลานเท่ากับ 0.40 และ 0.55 มีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ พบว่าที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอชโซลานเท่ากับ 0.40 ส่วนผสมที่มีดินขาวเผาล้วนมีการหดตัวมากที่สุด คืออัตราส่วน MK:BA 100:0 มีการหดตัวเท่ากับ 0.55 มม. ส่วนผสมที่มีการหดตัวรองลงมาอัตราส่วน MK:BA 75:25 มีการหดตัวเท่ากับ 0.40 มม. และส่วนผสมที่มีการหดตัวน้อยสุดและที่มีค่าใกล้เคียงกัน คือ ที่มีอัตราส่วน MK:BA 0:100 25:75 และ 50:50 โดยมีการหดตัว เท่ากับ 0.18 มม.ตามลำดับ แสดงว่าการผสมระหว่างดินขาวเผาล้วนจะทำให้จีโอโพลิเม

อร์มอร์ตาร์มีการหดตัวมากกว่าที่มีเฉพาะเถ้าหนักล้วน ส่วนที่สารละลาย/สารปอชโซลานเท่ากับ 0.55 พบว่า ส่วนผสมที่มีดินขาวเผาล้วนมีการหดตัวมากที่สุด คืออัตราส่วน MK:BA 100:0 มีการหดตัวเท่ากับ 0.49 มม. ส่วนผสมที่มีการหดตัวรองลงมาที่มีค่าใกล้เคียงกันอัตราส่วน MK:BA 75:25 และ 0:100 มีการหดตัวเท่ากับ 0.26 มม. และส่วนผสมที่มีการหดตัวน้อยสุดและที่มีค่าใกล้เคียงกัน คือ ที่มีอัตราส่วน MK:BA 50:50 และ 25:75 มีการหดตัวเท่ากับ 0.20 มม.ตามลำดับ แสดงว่าการผสมระหว่างดินขาวล้วนจะทำให้จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีการหดตัวมากกว่าที่มีเฉพาะเถ้าหนักล้วน



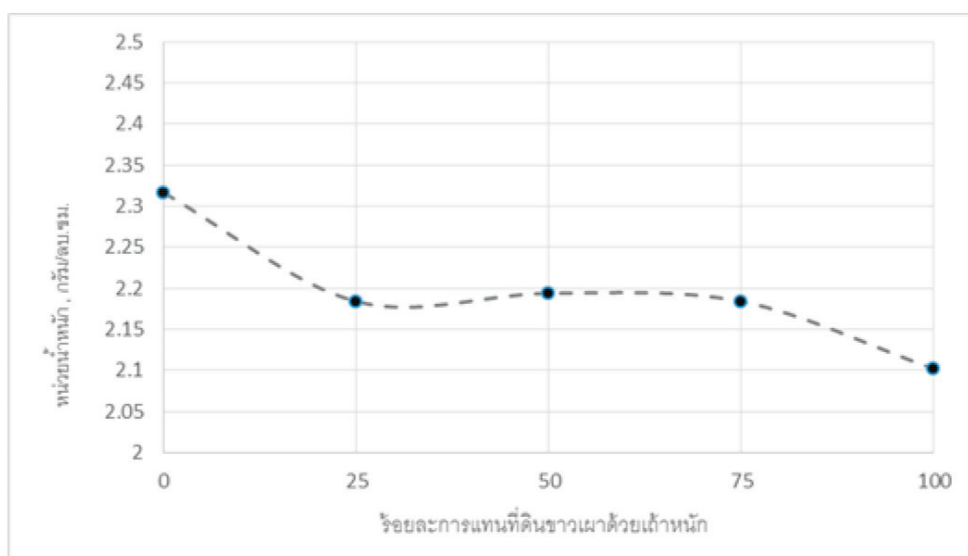
รูปที่ 2 การหดตัวแห้งของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมดินขาวเผาและเถ้าหนัก



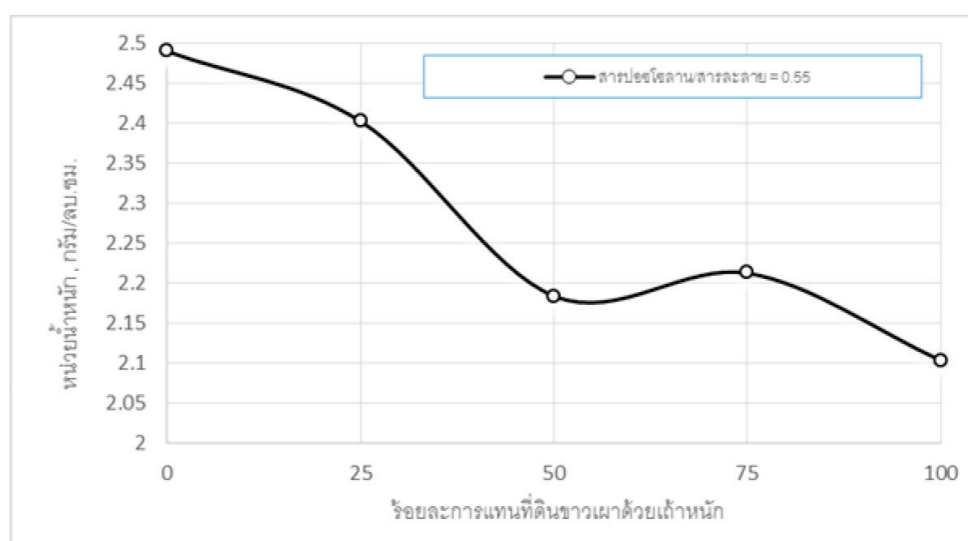
รูปที่ 3 การหดตัวแห้งของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมดินขาวเผาและเถ้าหนัก

7.3 หน่วยน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมดินขาวเผาและเถ้าหนัก ที่สารละลาย/สารปอซโซลานเท่ากับ 0.40 และ 0.55 แสดงดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับพบว่า ที่สารละลาย/สารปอซโซลานเท่ากับ 0.40 หน่วยน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาล้วนเท่ากับ 2.316 กรัมต่อลูกบาศก์ ร้อยละการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนัก เท่ากับ 25-75 มีน้ำหนักใกล้เคียงกันมีค่าโดยประมาณ 2.184-2.194 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และร้อยละการแทนที่ด้วยเถ้าหนักล้วนมีหน่วยน้ำหนักน้อยสุดเท่ากับ 2.102 กรัมต่อลูกบาศก์ ส่วนที่สารละลาย/สาร

ปอซโซลานเท่ากับ 0.55 พบว่า หน่วยน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาล้วนมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2.491 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อร้อยละการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักเพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาและเถ้าหนักมีแนวโน้มลดลง โดยร้อยละการแทนที่ ร้อยละ 25 50 และ 75 มีหน่วยน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เท่ากับ 2.403 2.184 และ 2.213 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เถ้าหนักล้วนมีหน่วยน้ำหนักน้อยสุดเท่ากับ 2.103 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



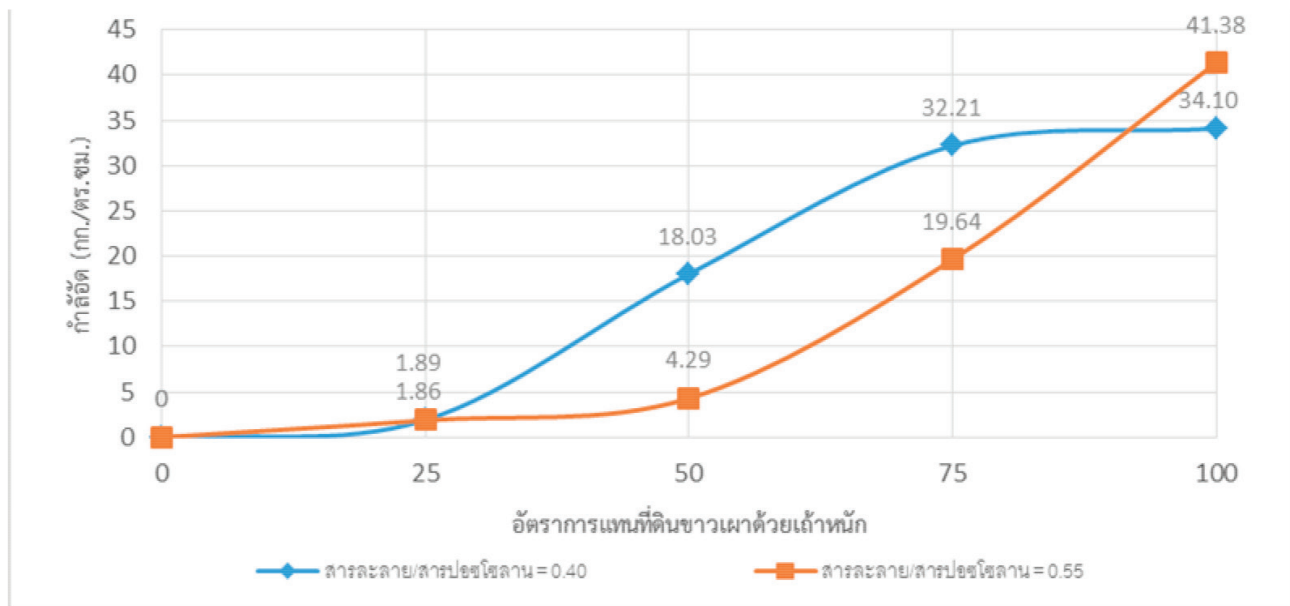
รูปที่ 4 หน่วยน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมดินขาวเผาและเถ้าหนัก ที่สารละลาย/สารปอซโซลานเท่ากับ 0.4



รูปที่ 5 หน่วยน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมดินขาวเผาและเถ้าหนัก ที่สารละลาย/สารปอซโซลาน 0.55

7.4 กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมดินขาวเผาและเถ้าหนัก กับอัตราการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักที่อายุ 7 วัน แสดงดังรูปที่ 7 พบว่า อัตราการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนัก เท่ากับ 100 จะให้กำลังอัดสูงสุด โดยที่ร้อยละการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักน้อยกว่า 75 ที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอชโซลาน เท่ากับ 0.40 มีกำลังอัดมากกว่าที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอชโซ

ลาน เท่ากับ 0.55 เมื่อร้อยละการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักมากกว่า 75 ที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอชโซลาน เท่ากับ 0.40 จะมีกำลังอัดคงที่ แต่ที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอชโซลาน เท่ากับ 0.55 มีแนวโน้มกำลังอัดเพิ่มขึ้น แสดงว่าอัตราส่วนสารละลาย/สารปอชโซลาน มีผลต่อการกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์



รูปที่ 6 กำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมดินขาวเผาและเถ้าหนัก ที่สารละลาย/สารปอชโซลาน 0.40 และ 0.55

8. ผลทดสอบการใช้จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาและเถ้าหนักเป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีตในภาคสนาม

8.1 การเลือกส่วนผสมเพื่อเป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีต จากผลการทดสอบการหดตัวแห้งและค่ากำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ ได้พิจารณาเลือกชุดทดสอบที่เหมาะสมในการเป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีต โดยมีหลักการดังนี้คือการหดตัวน้อยและกำลังอัดมากที่สุด ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า มีค่าการหดตัวแห้งเท่ากับ 0.18 มม. และที่สารละลาย/สารปอชโซลานเท่ากับ 0.40 ชุดทดสอบที่ 5 อัตราส่วน MK:BA เท่ากับ 0:100 มีค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 34.01 กก./ตร.ซม. ที่สารละลาย/สารปอชโซลานเท่ากับ 0.55 ชุดทดสอบที่ 10 อัตราส่วน MK:BA เท่ากับ 0:100 มีค่าการหดตัวแห้งเท่ากับ 0.20 มม. และมีค่ากำลัง

อัดสูงสุดเท่ากับ 41.38 กก./ตร.ซม. นำมาเป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีต

8.2 การเลือกพื้นที่ที่มีการแตกร้าวของผิวคอนกรีตภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา พิจารณาจากผิวของคอนกรีตที่มีลักษณะแตกแยกออกจากวัสดุเดิม 3 ตำแหน่งในแต่ละชุดทดสอบ ทำการวัด ความกว้าง ความยาว และ ความลึก และวัดอุณหภูมิแต่ละวัน นำมาเปรียบเทียบค่าการหดตัวความกว้าง ความยาว และ ความลึก ของวัสดุซ่อมแซม เก็บข้อมูลด้วยภาพถ่ายของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมเถ้าหนัก

8.3 เก็บข้อมูลด้วยภาพถ่ายของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมเถ้าหนัก ที่สารละลายต่อสารปอชโซลาน เท่ากับ 0.40

พบว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้น การหดตัวน้อยและไม่มีรอยแตก ร้าวของวัสดุซ่อมแซม ดังรูปที่ 7 ภาพถ่ายวัสดุซ่อมแซม

ที่ผิวคอนกรีตของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมเถ้าหนัก ที่อัตราส่วนสารละลายต่อสารปอซโซลานเท่ากับ 0.40



รูปที่ 7 เก็บข้อมูลด้วยภาพถ่ายของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมเถ้าหนัก

8.4 เก็บข้อมูลด้วยภาพถ่ายของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมเถ้าหนัก ที่สารละลายต่อสารปอซโซลานเท่ากับ 0.55

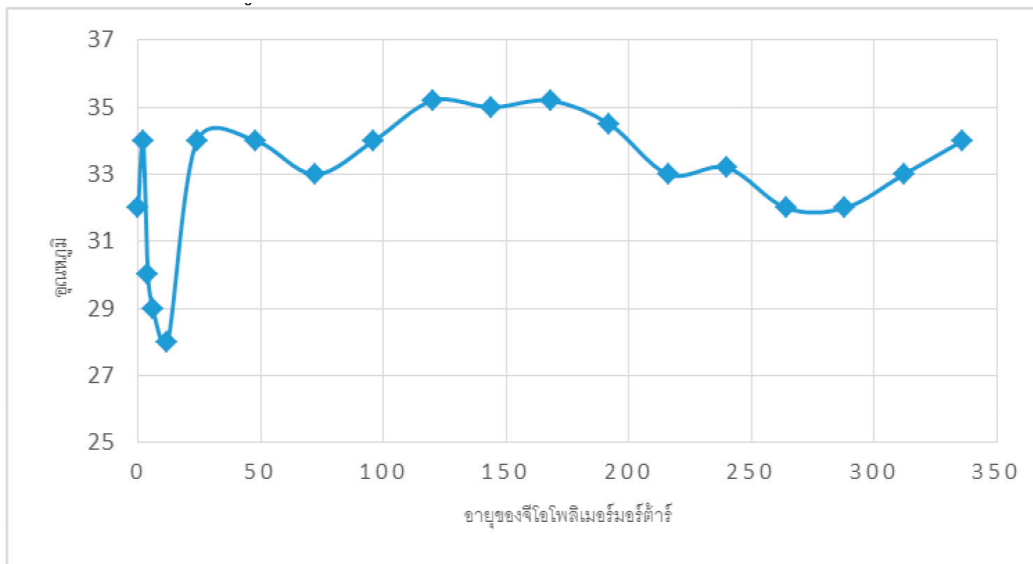
พบว่ามีรอยร้าวเกิดขึ้น การหดตัวน้อยและไม่มีรอยแตก ร้าวของวัสดุซ่อมแซม ดังรูปที่ 8 ภาพถ่ายวัสดุซ่อมแซมที่ผิวคอนกรีตของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมเถ้าหนักที่อัตราส่วนสารละลายต่อสารปอซโซลานเท่ากับ 0.55



รูปที่ 8 เก็บข้อมูลด้วยภาพถ่ายของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ผสมเถ้าหนัก

จากการสังเกตด้วยตาเปล่าและถ่ายภาพการซ่อมแซมของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่อัตราส่วนสารละลายต่อสารปอซโซลาน เท่ากับ 0.40 และ 0.55 พบว่าการซ่อมแซมจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ไม่มีการแตกร้าวเกิดขึ้นเป็นเนื้อเดียว และมีระยะการหดตัวน้อย

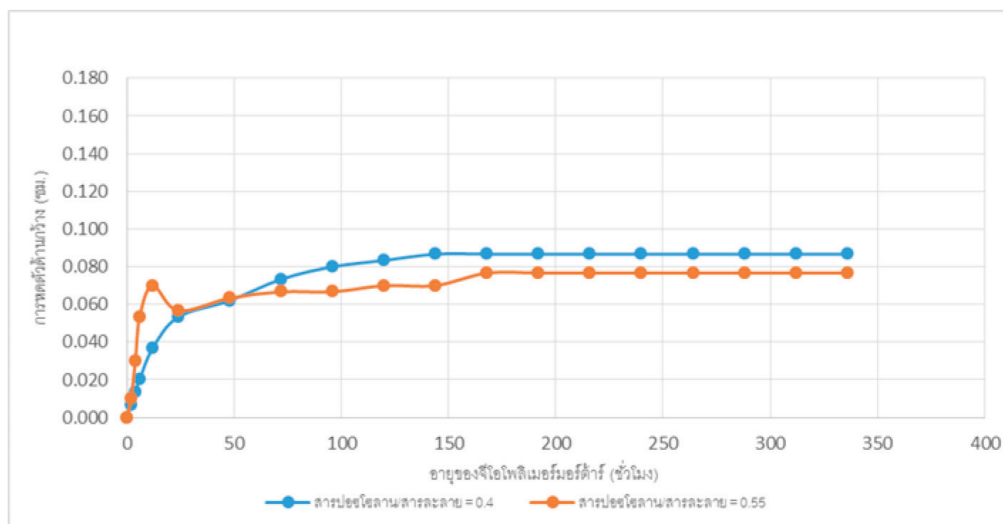
8.5 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาที่วัดค่าการหดตัวของวัสดุซ่อมแซม ที่อัตราส่วนสารละลายต่อสารปอซโซลาน เท่ากับ 0.40 และ สารละลายต่อสารปอซโซลาน เท่ากับ 0.55 ตลอดระยะเวลาที่วัด 14 วัน อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 32.9 องศาเซลเซียส แตกต่างจากอุณหภูมิในห้องทดสอบ เท่ากับ 34 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 9



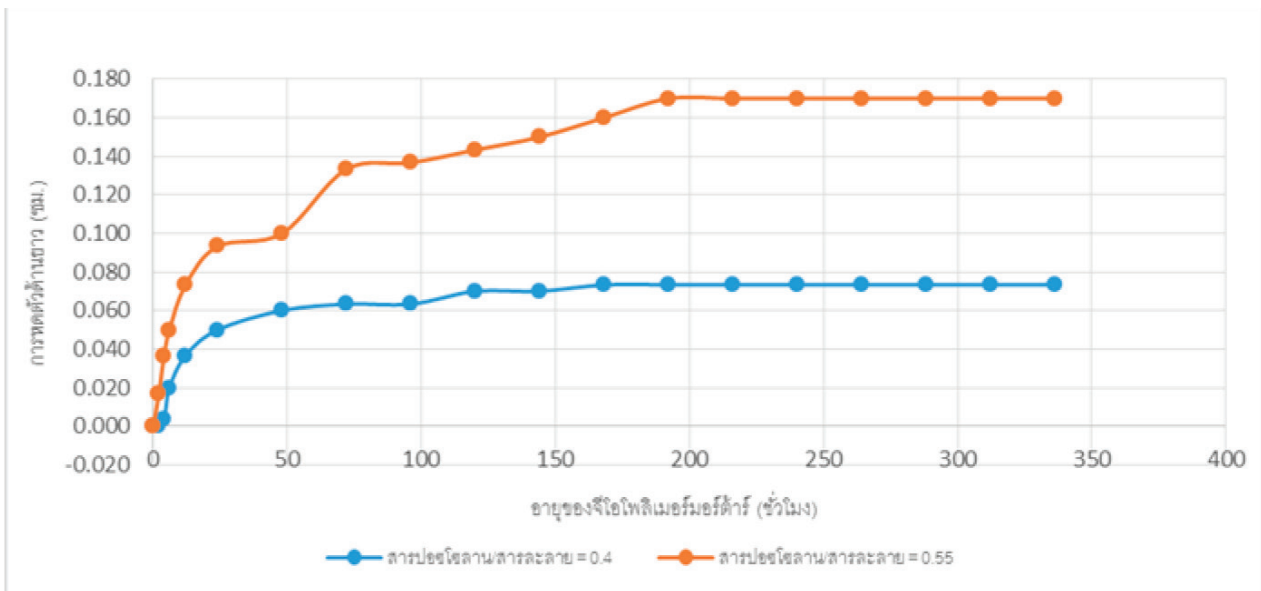
รูปที่ 9 อณูหนุมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาที่วัดค่าการหดตัวของวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีต

8.6 การหดตัวของวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีตทำจากซีโอโพลิเมอร์ผสมเส้นใยแก้ว ที่สารละลาย/สารปอซโซลานเท่ากับ 0.40 และ 0.55 ที่ทดสอบภาคสนามในพื้นที่ที่มีการแตกร้าวของผิวคอนกรีตภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏ

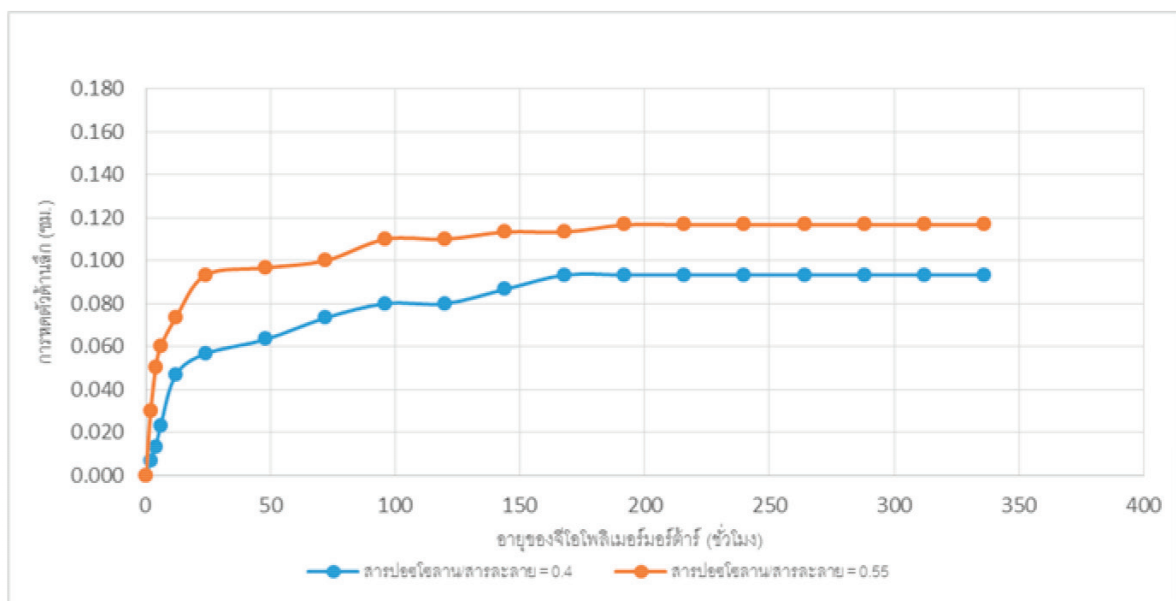
นครราชสีมา 3 ตำแหน่งของแต่ละชุดทดสอบ ค่าการหดตัวตามด้านกว้าง ยาว และ ลึก ของวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีตตลอดระยะเวลา 14 วัน ดังรูปที่ 10 11 และ 12 ตามลำดับ



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบการหดตัวด้านกว้าง ของวัสดุซ่อมแซมที่ผิวของซีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ ที่สารละลาย/สารปอซโซลานเท่ากับ 0.40 และ 0.55



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบการหดตัวด้านยาว ของวัสดุซ่อมแซมที่ผิวของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ ที่มีสารละลาย/สารปอชโซลานเท่ากับ 0.40 และ 0.55



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบการหดตัวด้านลึก ของวัสดุซ่อมแซมที่ผิวของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ ที่มีสารละลาย/สารปอชโซลานเท่ากับ 0.40 และ 0.55

การเปรียบเทียบการหดตัวความดันกว้าง ด้านยาว และด้านลึก ของวัสดุซ่อมแซมผิวของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าหนักล้วน ที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอซโซลานเท่ากับ 0.40 และ 0.55 ดังรูปที่ 10 ถึง รูปที่ 12 พบว่า จากการซ่อมแซมผิวคอนกรีตที่เสียหายบริเวณคอนโดอาจารย์ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ค่าแปรผันเปลี่ยนตรงกันข้ามกับผลทดสอบในห้องทดลอง อาจเกิดจากอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมมีความชื้นหรือความร้อนมากเกินไปจึงทำให้ค่าการหดตัวแห้งแปรผันเปลี่ยนไป โดยการหดตัวด้านกว้างที่สารละลาย/สารปอซโซลานเท่ากับ 0.55 มีการหดตัวน้อย ด้านยาวมีค่าการหดตัวโดยประมาณ 0.16 มม. ด้านลึกมีค่าการหดตัวโดยประมาณ 0.12 มม. ที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอซโซลานเท่ากับ 0.40 ด้านกว้างมีค่าการหดตัวแห้งที่ใกล้เคียงกันโดยประมาณ 0.08 มม. และการหดตัวด้านยาวมีค่าการหดตัวโดยประมาณ 0.07 มม. การหดตัวด้านลึกมีค่าการหดตัวแห้งที่ใกล้เคียงกันโดยประมาณ 0.09 มม.

9. สรุปผล

จากผลการศึกษาคุณสมบัติจีโอโพลิเมอร์ดินขาวเผาและเถ้าหนักเพื่อเป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีตในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน สรุปได้ดังต่อไปนี้

9.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

ทรายแม่น้ำ มีค่าความถ่วงจำเพาะรวม ค่าการดูดซึมน้ำ และโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.33 0.60 % และ 2.60 ตามลำดับ การกระจายขนาดของทรายมีขนาดกระจายอยู่ในช่วงมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C 33 ความละเอียดของดินขาวเผาและเถ้าหนักมีร้อยละที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับ 70 ความถ่วงจำเพาะของดินขาวเผาและเถ้าหนักมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.70 และ 2.58 ตามลำดับ

9.2 ระยะเวลาการก่อตัวของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาและเถ้าหนักโดยวิธีเข็มไวนแคต

การก่อตัวของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาและเถ้าหนักโดยเข็มไวนแคตให้ค่าการก่อตัวใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วนผสมที่ทดสอบ อาจเกิดจากการเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ไม่ต่างกันมาก

จึงทำให้ค่าการก่อตัวต้นไม่ต่างกันมาก และอัตราการการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวต้น

9.3 หดตัวแห้งของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาและเถ้าหนัก

การหดตัวแห้งของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาและเถ้าหนักมีค่าลดลงเนื่องจากการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนัก แสดงว่าการผสมระหว่างดินขาวเผาล้วนจะทำให้จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีการหดตัวมากกว่าที่มีเฉพาะเถ้าหนักล้วน

9.4 หน่วยน้ำหนักและกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาและเถ้าหนัก

เมื่อดินขาวเผาแทนที่ด้วยเถ้าหนักเพิ่มขึ้นหน่วยน้ำหนักจะลดลง การผสมระหว่างดินขาวเผาล้วนจะทำให้จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีหน่วยน้ำหนักมากกว่าที่มีเฉพาะเถ้าหนักล้วน และกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดินขาวเผาและเถ้าหนัก เมื่อเพิ่มการแทนที่ของดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักที่อัตราส่วนผสมของเถ้าหนักมากขึ้น จะทำให้กำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มากขึ้น ร้อยละการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักน้อยกว่า 75 ที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอซโซลาน เท่ากับ 0.40 มีกำลังอัดมากกว่าที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอซโซลาน เท่ากับ 0.55 เมื่อร้อยละการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักมากกว่า 75 ที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอซโซลาน เท่ากับ 0.40 จะมีกำลังอัดคงที่ แต่ที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอซโซลาน เท่ากับ 0.55 มีแนวโน้มกำลังอัดเพิ่มขึ้น แสดงว่าอัตราส่วนสารละลาย/สารปอซโซลาน มีผลต่อกำลังอัด

9.5 ผลการใช้จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าหนักเพื่อเป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีต

การนำจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ไปซ่อมแซมผิวคอนกรีต จากการสังเกตด้วยตาเปล่าและถ่ายภาพการซ่อมแซมของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าหนักล้วนที่อัตราส่วนสารละลาย/สารปอซโซลาน เท่ากับ 0.40 และ 0.55 พบว่าการซ่อมแซมด้วยจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าหนักล้วนไม่มีการแตกร้าว วัสดุยึดเกาะกันเป็นเนื้อเดียวกับผิวคอนกรีตเดิม และมีระยะการหดตัวน้อย อุณหภูมิของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ ที่สารละลายต่อสารปอซโซลาน

เท่ากับ 0.40 และ สารละลายต่อสารปอซโซลาน เท่ากับ 0.55 ตลอดระยะเวลาที่วัด 14 วัน อุณหภูมิมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 32.9 องศาเซลเซียส แตกต่างจากอุณหภูมิในห้องทดสอบ เท่ากับ 34 องศาเซลเซียส

10.อภิปรายผล

10.1 การแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักที่ อัตราส่วนเถ้าหนักมากกว่าดินขาวเผาทำให้การหดตัวช้าลงและยังทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น

10.2 อัตราส่วนสารละลายต่อสารปอซโซลาน 0.4 กับ 0.55 มีผลกระทบกับคุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ โดยอัตราส่วนสารละลายต่อสารปอซโซลาน เท่ากับ 0.55 มีการหดตัวน้อย และการกร่อนของผิวหน้า น้อยกว่าและให้ค่ากำลังอัดที่ดีกว่าอัตราส่วนสารละลายต่อสารปอซโซลานเท่ากับ 0.4 ดังนั้นสารละลายที่มีจำนวนมาก จะมีผลทำให้คุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ดีขึ้นด้วย

10.3 การนำจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ไปซ่อมแซมผิวคอนกรีต บริเวณคอนโดอาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา มีค่าการหดตัวแห้งแปรผันแตกต่างจากการทดลองในห้องทดสอบอาจเป็นเพราะเกิดจากอุณหภูมิไม่คงที่และไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในการซ่อมแซมภาคสนามได้

11. ข้อเสนอแนะ

11.1 ควรมีการศึกษาการค่าการต้านทานแรงดึง แยกและแรงดัดของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์และเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ที่ทำกับปูนซีเมนต์

11.2 งานวิจัยนี้พบว่ามีความโน้มที่ต่ำในการผสม ระหว่างการแทนที่ดินขาวเผาด้วยเถ้าหนักที่อัตราส่วนผสม ที่ออกแบบไว้ทำให้มีกำลังอัดเพิ่มขึ้น

11.3 ควรบดดินขาวให้ละเอียดกว่านี้ และนำ ดินขาวใส่ถาดชั้นบางๆ ไปเผาให้ทั่วถึงวัสดุดินขาวเผาจึง จะให้กำลังอัดได้ดีและเกิดการเกาะตัวดีกว่าและอุณหภูมิ ในการเผาควรอยู่ระหว่าง 500 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

11.4 ทราควรบดให้มีความละเอียดเท่ากับ ดินขาวเผาและเถ้าหนักเพื่อไม่ให้เกิดการกร่อนผิวหน้าของ จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์

11.5 การทดสอบภาคสนามควรเปรียบเทียบจีโอ โพลิเมอร์มอร์ตาร์กับปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ในการซ่อมแซมผิว คอนกรีต

12. กิตติกรรมประกาศ

โครงการศึกษาคุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์ดินขาว เเผาและเถ้าหนักสำหรับเป็นวัสดุซ่อมแซมผิวคอนกรีต ได้ รับทุนสนับสนุนทำปริญญานิพนธ์ จากคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

13.เอกสารอ้างอิง

ภากร ไตรศิริวานิชย์ ,ปริญญา จินดาประเสริฐ จีโอ โพลิเมอร์จากเถ้าหนัก (Bottom Ash) เกิดจากการ เผาถ่านหิน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกับเถ้า ลอย คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยลำปาง 2550.

ภัทรกมล ไชยภูมิ. ผลของ Na_2O SiO_2 และ H_2O ต่อ สมบัติของจีโอโพลิเมอร์ฐานเถ้าลอย ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น 2557.

ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ , อุทัย มีคำ ได้ทำการศึกษาการ ใช้เถ้าดำจากแกลบเปลือกข้าวสารเป็นสารตัวเติม ในวัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์ ทุนพัฒนานักวิจัยรุ่น ใหม่ มทส สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2543.

วันชัย ยอดสุดใจ , วีระพงษ์ พิกุลประยงค์ การพัฒนาจีโอ โพลิเมอร์มอร์ตาร์เพื่อใช้เป็นวัสดุซ่อมแซม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2552.

ดวงฤดี ฉายสุวรรณ การพัฒนาจีโอโพลิเมอร์ด้วยวัสดุปอซ โซลานต้นทุนต่ำในประเทศไทยเป็นวัสดุก่อสร้างสี เขียวเพื่อลดภาวะเรือนกระจก ภาควิชาวิศวกรรม วัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ 2559

สำเร็จ รักซ้อน , ปริญญา จินดาประเสริฐ ทฤษฎีและการ ทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยีฉบับปรับปรุงแก้ไข พิมพ์ ครั้งที่ 5. นนทบุรี:แองเกลีออฟไซ 2557.

อาปีเต็ง ฮาวา ,วรพจน์ ประชาเสรี สมบัติวัสดุประสาน
จีโอโพลิเมอร์ดินขาวซ่อมแซมผิวทางคอนกรีตเพื่อใช้
ในงานก่อสร้างและงานซ่อมแซมวิทยานิพนธ์นี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิตสาขาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2556.

อาภา สธนเสาวภาคย์ การศึกษาเปรียบเทียบการกัดกร่อน
ของซัลเฟตและกรดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานปริมาณมากและมอร์ตาร์
จีโอโพลิเมอร์เถ้าหนัก วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญา
ดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น 2553.

Peter H.Emmons Concrete Repair and Maintenance
Illustrated ฉบับไทย ผู้แปล สืบศักดิ์ พรหมบุญ
และคณะ จัดทำ บริษัทเอสซีจี ซีเมนต์ จำกัด ใน
ธุรกิจซีเมนต์ เครือซีเมนต์ไทย (SCG CEMENT) พิมพ์
ครั้งที่ 1 เมษายน 2551 วิศวกรรมสถานแห่ง
ประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

Shortbus. ดินขาวเผา Kaolin (serial online) 2555
January 31 (cited 2555 January 31)
Available from: URL: <http://shortbuskaolin.blogspot.com/2012/01/kaolin.html>