

คุณสมบัติกายภาพและทางกลของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพารา

Physical and Mechanical Properties of Cement Mortar Modified with Rubber Latex

ผศ.ดร.พีรวัฒน์ ปลาเงิน¹, ผศ.พ.อ.ดร.ชวน จันทวาลย์², ร.อ.ฐาวัฒน์ ทวีประโคน², นนร.กิตติภพ จันทร์เพ็ญ²,
นนร.ตรีเพชร จาโสด², และ นนร.รณภพ ค่ายหนองสง²

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

²กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จ.นครนายก

*Corresponding author; E-mail address: pheerawat.pla@siam.edu

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์ โดยทางกายภาพพิจารณา ความชื้นเหลือปกติของซีเมนต์เฟลส, ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น, ค่าการดูดซึมน้ำ และโครงสร้างทางจุลภาคของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพารา โดยใช้จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และชุดเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (EDS) ส่วนคุณสมบัติทางกลพิจารณากำลังอัด กำลังดึง และกำลังดัดของมอร์ตาร์ทดสอบที่ระยะเวลา 28 วัน โดยกำหนดอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5%, อัตราส่วนปูนต่อทรายเท่ากับ 1 : 2 และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.50 โดย

การศึกษาพบว่าซีเมนต์เฟลสผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% ได้ค่าระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นเท่ากับ 128 นาที, 123 นาที, 75 นาที และ 35 นาที และค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 5.85, 3.46, 4.68 และ 5.35 ตามลำดับ จากการศึกษาคุณสมบัติทางกลของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราพบว่าการผสมน้ำยางพาราในมอร์ตาร์ในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้คุณสมบัติการรับแรงต่างๆ ของมอร์ตาร์สูงกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานที่ไม่ผสมน้ำยางพารา (P/C = 0%) ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลพบว่ามอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตรา P/C เท่ากับ 1% ที่มีค่าคุณสมบัติการรับแรงดีที่สุด ได้ค่ากำลังอัด 375 ksc กำลังดึง 39 ksc และกำลังดัด 65 ksc จากผลการศึกษาแนะนำให้ใช้อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1% ในงานก่อสร้างต่างๆ ที่ใช้มอร์ตาร์เป็นวัสดุ เช่น ถังเก็บน้ำเพอร์ซีเมนต์ และคูส่งน้ำเพอร์โรซีเมนต์ เป็นต้น

คำสำคัญ: มอร์ตาร์, น้ำยางพารา, สมบัติทางกล, โครงสร้างจุลภาค

Abstract

The aim of this research was to study of physical and mechanical properties of cement mortar modified with rubber latex. The aim regarding physical property is to consider the consistency of cement paste, setting time of cement paste, water absorption, and microstructure by scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS). While the aim regarding mechanical property is to consider the compressive strength, tensile strength and flexural strength of mortar mixed with rubber latex and the strength of the structure was tested after 28 days. To test the performance polymer cement ratio (P/C) were mixed in different proportions of 0%, 1%, 3% and 5% by weight to prepare the solution. Water and cement were mixed in the proportion of 0.50 (w/c) and cement sand ratio 1:2 by weighting.

The results of study shown that initial setting time of cement paste mixed with rubber latex at polymer cement ratio (P/C) 0%, 1%, 3% and 5% with 128, 123, 75, and 35 minutes and water absorption 5.85%, 3.46%, 4.68% and 5.35% respectively. Based on the mechanical properties of mortar modified with rubber latex, it was found that the proper mixing of rubber latex in mortar gave high strength properties when compared with standard mortar (P/C = 0%). The experiment of mechanical properties of mortar modified rubber latex showed that the polymer cement ratio (P/C) of 1% gives the best performance with 375 ksc of compressive strength, 39 ksc of tensile strength and 65 ksc of flexural strength. Based on the results of this study, polymer cement ratio (P/C) of 1% by weight is most recommended to be used with various types of mortar structures such as ferro-cement water tank and ferro-cement ditch lining.

Keywords: mortar, rubber latex, mechanical properties, microstructure

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุในงานก่อสร้างเช่น มอร์ตาร์และคอนกรีตให้มีความสะดวกในการใช้งาน ความแข็งแรงคงทน น้ำหนักเบา ป้องกันการรั่วซึม และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งมอร์ตาร์และคอนกรีตจัดว่าเป็นวัสดุที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในวงการวิศวกรรมโยธา แต่อย่างไรก็ตามในการพัฒนาออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์และคอนกรีตแนวใหม่จะเน้นพฤติกรรมใน 4 ด้าน [1] ได้แก่ 1. ความสามารถในการเทได้ (workability) 2. ด้านกำลัง (strength) 3. ความทนทาน (durability) และ 4. การใช้งานพิเศษ (special works) ซึ่งที่ผ่านมาได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาโดยการผสมวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นชัดเช่นคุณสมบัติที่ด้อยบางประการของมอร์ตาร์และคอนกรีต รวมถึงวิธีการอื่นๆ เช่น Chatveera และ Kongsab [2] ได้มีการศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตและมอร์ตาร์ผสมวัสดุปอซโซลานได้นำแก้วกลบซึ่งมีปริมาณ SiO_2 สูงมาพัฒนาเป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อใช้ในงานคอนกรีต โดยอยู่ในรูปของการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนแก้วกลบแต่ละเม็ดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในปริมาณที่เหมาะสมสามารถทำให้กำลังรับแรงอัดดีขึ้นและยังมีความคงทนต่อสารละลายซัลเฟตและกรดอะซิติกดีกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา Homsriprasert และ Chatveera [3] ได้ศึกษาคุณสมบัติการรับแรงอัดของจีโอโพลีเมอร์ มอร์ตาร์ และพบว่าจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มีจุดเด่นหลายประการ ได้แก่ ค่ากำลังอัดสูง ความสามารถการซึมผ่านน้ำต่ำ ทนทานต่อการสัมผัสสารละลายซัลเฟตและการกัดกร่อนของกรด Phoo-ngernkham และคณะ [4] ได้ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานต่อสมบัติของจีโอโพลีเมอร์ มอร์ตาร์แทนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่าอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้นทำให้ระยะการก่อตัวจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และทำให้กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มากขึ้น

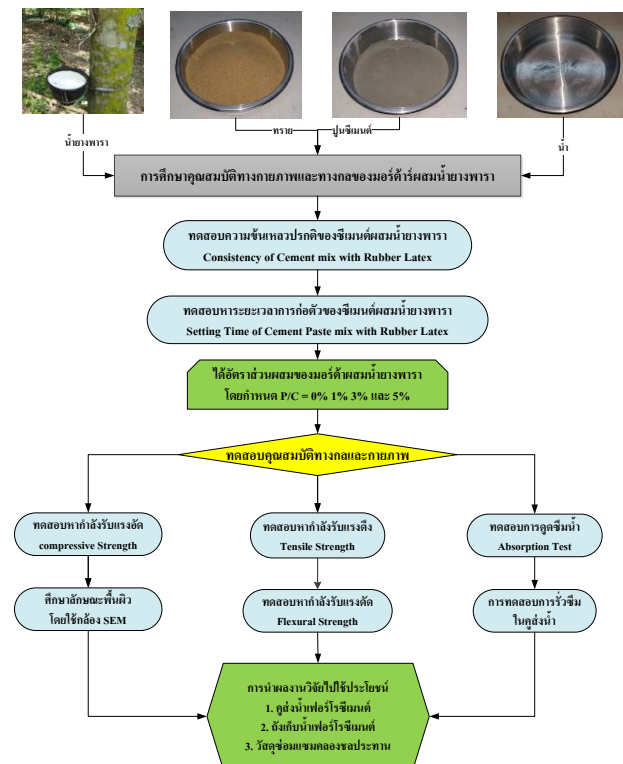
ปัจจุบันน้ำยางพารา (rubber latex) ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างซึ่งได้มีประยุกต์ใช้น้ำยางพาราในรูปของน้ำยางชั้นรักษาสภาพแอมโมเนียและน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ผสมในมอร์ตาร์หรือคอนกรีตกันมากขึ้น และมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติของมอร์ตาร์หรือคอนกรีตธรรมดากับมอร์ตาร์หรือคอนกรีตผสมน้ำยาง ซึ่งมีข้อดีกว่าคอนกรีตธรรมดาหลายประเด็น [5, 6] เช่น น้ำซึมผ่านได้ยากขึ้น, ความสามารถในการรับแรงดึงและแรงอัดสูงขึ้น, สามารถยึดเกาะกับคอนกรีตเก่าที่แข็งตัวแล้วได้ดีจึงเหมาะกับงานซ่อมแซม เป็นต้น พีรวัฒน์ และคณะ [5] ได้พัฒนาวัสดุเคลือบผิวคลองผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้บำรุงรักษาคลองชลประทาน โดยศึกษาสมบัติวัสดุเคลือบผิวที่มีส่วนผสมของแก้วกลบ ปูนซีเมนต์ น้ำและน้ำยางพารา เนื่องจากแก้วกลบมีองค์ประกอบของ SiO_2 ประมาณ 81% มีความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนจากสารละลายซัลเฟตสูงและน้ำยางพารามีความสามารถในการป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดี ผลการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการได้ถูกนำไปใช้ทดสอบซ่อมแซมคลองชลประทานที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ จังหวัดลพบุรี นอกจากนี้ พีรวัฒน์ และคณะ [6] ได้ศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของน้ำยางพาราสำหรับใช้ในระบบชลประทานไรนา ทำการศึกษาคุณสมบัติ

ทางกลและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา โดยกำหนดเนื้อยางตอปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ เท่ากับ 0%, 1%, 3%, 5%, 10% และ 15% ทำการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงดัด แรงยึดเหนี่ยว และการรั่วซึมของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา ผลการศึกษาพบว่า คอนกรีตผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางตอปูนซีเมนต์ เท่ากับ 1% มีคุณสมบัติทางกล (การรับแรงต่าง ๆ) และป้องกันการรั่วซึมสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ไม่ผสมน้ำยางพารา จากผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราในห้องปฏิบัติการ ได้ถูกนำไปใช้ในการสร้างคูส่งน้ำคอนกรีตผสมน้ำยางพาราแบบคาดในที่และแบบสำเร็จรูป ได้ทำการทดสอบการติดตั้งคูส่งน้ำในพื้นที่แปลงนาของเกษตรกร ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่มยม จังหวัดแพร่

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาอัตราส่วนของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพารา โดยทำการศึกษาคูสมบัติทางกลและทางกายภาพของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์ เพื่อใช้เป็นวัสดุในงานก่อสร้างต่างๆ เช่น คูส่งน้ำเพอร์โรซีเมนต์ ถึงเก็บน้ำเพอร์โรซีเมนต์ และใช้เป็นวัสดุในการซ่อมแซมคลองชลประทาน เป็นต้น

2. ระเบียบวิธีการวิจัย

การศึกษาคูสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์ ทำการศึกษาคูสมบัติต่างๆ (รูปที่ 1) ดังนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาคูสมบัติทางกายภาพและทางกลของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพารา

1. ทดสอบหาความชื้นเหลือและระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของซีเมนต์มอร์ต้าผสมน้ำยางพารา
2. ทดสอบหากล้างรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา
3. ทดสอบหากล้างรับแรงดึงของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา
4. ทดสอบหากล้างรับแรงดึงของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา
5. ทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา
6. ศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) และองค์ประกอบทางเคมีของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา

2.1 วัสดุ

1. ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็นปูนซีเมนต์ที่ใหม่ ไม่เสื่อมคุณภาพ และไม่เปียกชื้นหรือจับตัวเป็นก้อน
2. ทราย : เป็นทรายแม่น้ำที่มีขนาดละเอียดมาตรฐาน ASTM C33 [7] ค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้งเท่ากับ 2.55 และค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.92 โดยน้ำหนัก
3. น้ำ : ใช้น้ำประปามีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 7
4. น้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์

2.2 อัตราส่วนผสมมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา

กำหนดอัตราส่วนมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา โดยกำหนดอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1 : 2 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (Polymer Cement Ratio, P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% โดยน้ำหนัก ตัวอย่างทดสอบคุณสมบัติทางกลทำการบ่มโดยห่อด้วยพลาสติกกันความชื้น เป็นระยะเวลาบ่ม 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน

การคำนวณปริมาณน้ำยางที่ใช้ในการผสมมอร์ต้า ถ้าใช้อัตราส่วน P/C เท่ากับ 0% จะใช้ปูนซีเมนต์ 1000 กรัม, ทราย 2000 กรัม และปริมาณน้ำที่ใช้ 500 กรัม แต่ถ้าใช้อัตราส่วน P/C = 1% 3% และ 5% จะต้องมีกรหักปริมาณน้ำจากน้ำยางออกด้วย ซึ่งโดยทั่วไปน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ จะมีเนื้อยาง (TSC) ประมาณ 60% และส่วนที่เป็นน้ำ ประมาณ 40% ตารางที่ 1 แสดงปริมาณน้ำและน้ำยางที่ใช้ผสมมอร์ต้าในแต่ละอัตราส่วน

ตารางที่ 1 ตัวอย่างปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์และปริมาณน้ำที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์ ที่ W/C = 0.5 ปริมาณปูนซีเมนต์ (C) = 1000 g

P/C %	เนื้อยาง (กรัม)	น้ำยาง (กรัม)	น้ำในน้ำยาง (กรัม)	น้ำผสมมอร์ต้า (กรัม)
0	0	0.00	0	400
1	10	16.67	6.67	393.33
3	30	50.00	20.00	380.00
5	50	83.33	33.33	366.67

หมายเหตุ : สมมติ ใช้ค่า P/C เท่ากับ 5% ใช้ W/C เท่ากับ 0.5 ดังนั้นปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ 1000 กรัม ปริมาณน้ำเท่ากับ 366.67 กรัม และปริมาณน้ำยาง 83.33 กรัม

2.3 การทดสอบความชื้นเหลือและระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

การทดลองนี้เพื่อหาปริมาณน้ำและน้ำยางขั้นที่ที่เหมาะสมสำหรับทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ASTM: C187 [8] การทดสอบความชื้นเหลือของซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา เริ่มด้วยการใช้ซีเมนต์ประมาณ 250 กรัม ผสมด้วยน้ำและน้ำยางในอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ โดยกำหนดอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% จากนั้นอัดลูกปูนในแบบกรวยของอุปกรณ์ไวแคท เขย่าเล็กน้อยเพื่อไล่อากาศฟองอากาศออก แล้วจึงปิดผิวน้ำปูนให้เรียบและนำมาวางบนแท่นทดสอบ คลายสกรูของเครื่องไวแคท เพื่อให้ปลาย plunger จมลงในปูนด้วยน้ำหนักตัวมันเองแล้วอ่านค่าบนหน้าปัด หลังจากนั้นปล่อยให้เข็มจมลงโดยอิสระเป็นเวลา 30 วินาที ซึ่งความชื้นเหลือของปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม จะอยู่ที่ระยะจมของปลาย plunger ในซีเมนต์เพสต์จม 10 ± 1 มม.

การหาค่าระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ ตามมาตรฐาน ASTM: C191 [9] เป็นการสอบระยะเวลาการก่อตัวตั้งแต่เริ่มผสมปูนซีเมนต์กับน้ำและน้ำยางพารา จนกระทั่งซีเมนต์เริ่มก่อตัว หรือแข็งตัวไม่สามารถคืนสภาพเดิมได้ ขั้นตอนการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียม ปูนซีเมนต์ น้ำ และน้ำยางพารา ซึ่งได้จากผลการทดสอบความชื้นเหลือของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา
- 2) ทำการผสมซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำและน้ำยางพารา โดยใช้ปริมาณน้ำที่ได้จากการทดสอบหาความชื้นเหลือปรกติ และกำหนดอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อเนื้อยาง P/C เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5%
- 3) วางแบบพิมพ์ทองเหลือง ที่บรรจุซีเมนต์เพสต์ ไวได้เข็มขนาด 1 มม. เลื่อนปลายเข็มให้แตะผิวของซีเมนต์เพสต์และปรับเข็มให้อยู่ที่ขีดศูนย์
- 4) ปล่อยให้เข็มให้จมลงในซีเมนต์เพสต์ แล้วอ่านค่าระยะเวลาการจมของเข็มหลังจากปล่อยแล้ว 30 วินาที (รูปที่ 2)
- 5) ทำซ้ำเช่นเดียวกันทุกๆ 15 , 10 และ 5 นาที จนกว่าจะได้ระยะการจมของเข็มเท่ากับ 25 มม.



รูปที่ 2 การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

2.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบหากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราทำการหล่อตัวอย่างชิ้นงานทดสอบกำลังรับแรงอัดรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. x 5 ซม. x 5 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C109 [10] กำหนดมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนปริมาณเนื้อยางพาราซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% สำหรับจำนวนตัวอย่างของการทดสอบนี้ เนื่องจากมีส่วนทั้งสิ้น 4 ส่วนผสม จัดเตรียมตัวอย่างทดสอบส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ดังนั้นตัวอย่างทดสอบรวมทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน หลังจากนั้นนำชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัดจนกระทั่งชิ้นตัวอย่างทดสอบถึงจุดประลัยบันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่ชิ้นตัวอย่างทดสอบสามารถรับได้ (รูปที่ 3) และคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ได้ดังสมการที่ 1



รูปที่ 3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

โดยที่ f_c คือ กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)
 P คือ น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างทดสอบ (ตร.ซม.)

2.5 การทดสอบกำลังรับแรงดึง

การทดสอบหากำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์มีวัตถุประสงค์เพื่อหาลังรับแรงดึงสูงสุดของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางพาราซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% (โดยน้ำหนัก) การเตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราเช่นเดียวกับการทดสอบแรงอัด โดยการหล่อตัวอย่างทดสอบแรงดึงในแบบหล่อรูปรีเวทตามมาตรฐาน ASTM C206 [11] ปาดผิวให้เรียบ จากนั้นปิดด้วยแผ่นพลาสติกอีกชั้นหนึ่งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบออก นำไปบ่มในน้ำหรือใช้พลาสติกห่อหุ้มตัวอย่างชิ้นงาน สำหรับจำนวนตัวอย่างของการทดสอบนี้ เนื่องจากมีส่วนทั้งสิ้น 4 ส่วนผสม และจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน ดังนั้นจะมีตัวอย่างทดสอบรวมทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง ก่อนการทดสอบ นำตัวอย่างมาวัดขนาดและชั่งน้ำหนักจัดตำแหน่งให้แนวแกนของตัวอย่างอยู่ในแนวแกนของเครื่องทดสอบ (รูปที่ 4) ควบคุมการให้น้ำหนักบรรทุกทุกสม่ำเสมอจนกระทั่งชิ้นตัวอย่างวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดและลักษณะการวิบัติ วัดพื้นที่หน้าตัดบริเวณรอยขาดซึ่งตั้งฉากกับแรงดึงและคำนวณค่ากำลังรับแรงดึง



รูปที่ 4 การทดสอบสอปกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์



2.6 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

การทดสอบหากำลังดัดของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราเพื่อหาค่ากำลังรับแรงดัดของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางพาราซีเมนต์ P/C เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% เป็นการหาค่าโมดูลัสแตกร้าวในมอร์ตาร์ผสมน้ำ ทำการเปรียบเทียบการรับแรงดัดของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราได้ตามเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่และเลือกสัดส่วนที่เหมาะสม การทดสอบกำลังรับแรงดัดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ เตรียมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดัด ขนาด 5 ซม. x 5 ซม. x 15 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C348 [12] เนื่องจากมีส่วนทั้งสิ้น 4 ส่วนผสม และจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน ดังนั้นจะมีตัวอย่างทดสอบรวมทั้งสิ้น 60 ตัวอย่าง ก่อนนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบให้วัดขนาดหน้าตัด ความสูง และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละก้อน แล้วบันทึกไว้ จัดตัวอย่างคานที่จะทดสอบวางบนจุดที่รองรับ พร้อมกับแรงกระทำที่จุดกึ่งกลาง (รูปที่ 5) เติบเครื่องทดสอบเพิ่มแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอ กระทั่งคานทดสอบหัก กำลังรับแรงดัดคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2)$$

โดยที่ R คือ กำลังรับแรงดัด (กก./ตร.ซม.)
 P คือ แรงที่กระทำกลางคานกระทั้งคานหัก (กก.)
 L คือ ระยะช่วงคานระหว่างที่รองรับ (ซม.)
 b คือ ความยาวเฉลี่ยของคานที่แตกหัก (ซม.)
 d คือ ความลึกประสิทธิภาพของคานที่จุดแตกหัก (ซม.)



รูปที่ 5 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของมอร์ตาร์

2.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

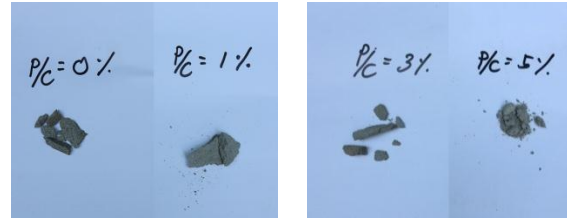
การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ ทำการหล่อตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ขนาด 5 ซม. x 5 ซม. x 15 ซม. โดยใช้อัตราส่วน P/C เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% และปล่อยให้ไว้อย่างน้อย 28 วัน จึงทำการทดสอบตามขั้นตอนดังนี้ วัดขนาด และชั่งตัวอย่างพร้อมทำหมายเลขไว้ในแต่ละชุดตัวอย่างเพื่อป้องกันข้อมูลคลาดเคลื่อน นำตัวอย่างมาแช่ในภาชนะที่มีน้ำสะอาด โดยแช่ให้ท่วมก้อนมอร์ตาร์ทุกก้อนตัวอย่าง (รูปที่ 6) แช่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ นำผ้าขนหนูซับน้ำในแต่ละก้อนตัวอย่างให้แห้งซึ่งอยู่ในลักษณะอ้อมตัวผิวแห้ง แล้วนำมาชั่งให้แล้วเสร็จภายใน 5 นาทีหลังจากที่ซับน้ำแล้วเสร็จ และนำตัวอย่างเข้าตู้อบไฟฟ้าปรับอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำออกมาชั่งน้ำหนักในแต่ละก้อนตัวอย่าง และคำนวณค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์



รูปที่ 6 การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

3.7 โครงสร้างจุลภาคและธาตุองค์ประกอบของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพารา

การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราด้วยเทคนิค กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy : SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ถ่ายภาพชิ้นมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพารา โดยอาศัยหลักการการกระเจิงของอิเล็กตรอนที่ชนตัวอย่างชิ้นงานมอร์ตาร์ด้วยลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด เมื่ออิเล็กตรอนกระทบกับผิวมอร์ตาร์ที่ประกอบไปด้วยอะตอมต่างๆ จะปล่อยสัญญาณที่สามารถนำไปประมวลผลและให้ข้อมูลเป็นภาพพื้นผิวของมอร์ตาร์ ส่วนชุดเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลัง (Energy dispersive spectroscopy X-ray spectroscopy : EDS) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบและการมีอยู่ของธาตุบนพื้นผิวชิ้นงานตัวอย่างมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพารา ดังนั้นการใช้กล้อง SEM ร่วมกับเทคนิค EDS ทำให้การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของมอร์ตาร์ให้มีความละเอียดและได้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้น โดยได้ส่งตัวอย่างชิ้นงานมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราไปวิเคราะห์ (รูปที่ 7) ที่หน่วยวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)



รูปที่ 7 ตัวอย่างชิ้นงานมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพาราสำหรับทดสอบ SEM และ EDS

3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

3.1 ความชื้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

ผลการทดสอบความชื้นเหลวปกติเป็นการหาค่าปริมาณน้ำและน้ำยางพาราที่พอเหมาะสำหรับผสมปูนซีเมนต์ ความชื้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราเป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจมปลายเข็ม Plunger และอัตราส่วนของน้ำและน้ำยางต่อปูนซีเมนต์ ซึ่งการทดสอบความชื้นเหลวปกติได้กำหนดอัตราส่วนของเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% ซึ่งตามมาตรฐานการทดสอบกำหนดไว้ระยะจมปลาย Plunger เทียบกับอัตราส่วนของน้ำที่ระยะจม 10±1 มม. ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2 พบว่าอัตราการส่วนผสมของปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยางพาราอยู่ระหว่าง 0.31– 0.40 ซึ่งอัตราส่วนของน้ำและน้ำยางพาราจากผลการทดสอบความชื้นเหลวปกติจะนำไปทดสอบระยะการก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ต่อไป

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความชื้นเหลวปกติ และ ค่า w/c

P/C	Percent Normal Consistency	น้ำและน้ำยาง (กรัม)	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	เนื้อยาง (กรัม)	น้ำยาง (กรัม)	w/c
0%	31.67%	95.01	300	-	-	0.31
1%	33.51%	100.50	300	3	5	0.33
3%	34.60%	103.80	300	9	15	0.35
5%	38.46%	115.08	300	15	25	0.40

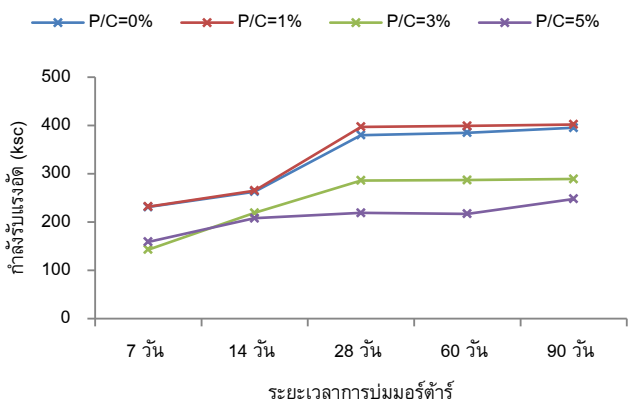
3.2 ระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

ผลการทดสอบระยะการก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา ที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% ค่าระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนกระทั่งถึงเวลาที่ทดลองที่เข็มไวแคตจมลงในซีเมนต์เพสต์ 25 มม. อ่านค่าระยะการจมของเข็มหลังจากปล่อยให้ 30 วินาที พบว่าระยะการก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ไม่ผสมน้ำยางพารา (P/C=0%) เท่ากับ 127.5 นาที, ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน P/C เท่ากับ 1%, 3% และ 5% ได้ค่าระยะการก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา เท่ากับ 122.5 นาที, 75 นาที และ 35 นาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำยางพาราที่ผสมปูนซีเมนต์จะส่งผลกระทบต่อการแข็งตัวก่อนกำหนดของปูนซีเมนต์คือทำให้ปูนซีเมนต์มีระยะการแข็งตัวเริ่มต้นเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ที่ไม่ผสมน้ำยางพารา เนื่องจากปริมาณน้ำยางพาราเมื่อผสมปูนซีเมนต์แล้วทำให้น้ำยางมีการดูดซึมน้ำจากซีเมนต์เพสต์ส่งผลทำให้น้ำซีเมนต์เพสต์

แห้งเร็วขึ้นและเกิดการแข็งตัวเร็วขึ้น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 – 5 จะต้องใช้เวลาก่อตัวระยะต้นไม่น้อยกว่า 45 นาที ซึ่งพบว่าปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ P/C เท่ากับ 5% ได้ค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มเท่ากับ 35 นาที ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนด มอก. ในขณะที่ปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน P/C เท่ากับ 1% และ 3% มีค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นสูงกว่าข้อกำหนด

3.3 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา

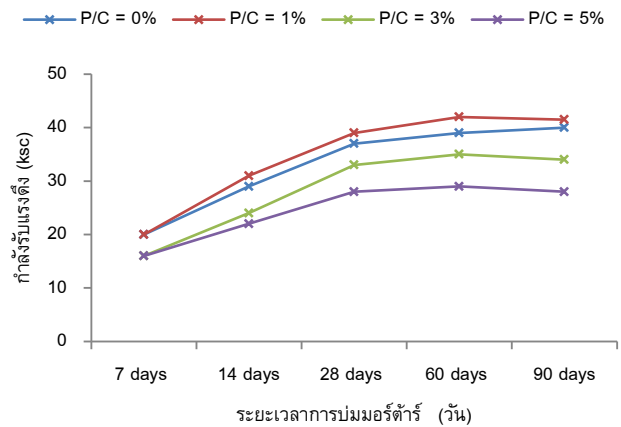
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา แสดงดังรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางพาราจะมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 7 วัน ถึง 28 วัน และระยะเวลาบ่มตั้งแต่ 28 ถึง 90 วัน ระยะเวลาการบ่มจะไม่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้ามากนัก ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดหลัง 28 วันจะเพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับช่วงก่อน 28 วัน แต่อย่างไรก็ตามกำลังอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้ามาตรฐาน มอก. เท่ากับ 245 กก./ซม² ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 จากรูปที่ 9 พบว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางที่อัตราส่วนของเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัด ดังนี้ 300 กก./ซม², 397 กก./ซม², 286 กก./ซม² และ 219 กก./ซม² ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามอร์ต้าผสมน้ำยางพาราในอัตราส่วน P/C = 1% มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ระยะการบ่ม 28 ถ้าเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้ามาตรฐานไม่ต่ำกว่า 245 กก./ซม² จะเห็นได้ว่ามอร์ต้าผสมน้ำยางที่อัตราส่วน P/C เท่ากับ 1% และ 3% มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ต้ามาตรฐาน 152 ksc และ 44 ksc แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามอร์ต้าผสมน้ำยาง P/C เท่ากับ 5% มีคุณสมบัติการรับแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐาน 26 กก./ซม² สาเหตุที่ทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าลดลงเมื่อผสมน้ำยางพาราในอัตราส่วน P/C เท่ากับ 3% และ 5% เนื่องจากน้ำยางไม่สามารถผสมเข้ากับมอร์ต้าได้ดีจึงทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อมอร์ต้า จึงสอดคล้องกับการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของมอร์ต้าด้วยกล้อง SEM พบว่ามอร์ต้ามีรูพรุนจึงเป็นสาเหตุให้ความสามารถในการรับแรงอัดของมอร์ต้าลดลง



รูปที่ 8 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน

3.4 กำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา

ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงดึงของมอร์ต้า แสดงในรูปที่ 10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงแสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูงในช่วง 7 วัน ถึง 28 วัน แต่หลังจากการบ่ม 28 วัน พบว่าระยะเวลาการบ่มจะไม่มีผลต่อกำลังรับแรงดึงมากนัก เช่นเดียวกับกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 28 วัน ถึง 90 วัน จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงดึงจะมีค่าประมาณ 10% ของกำลังรับแรงอัด และถ้าเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน พบว่าการผสมน้ำยางพาราในมอร์ต้าจะมีผลกระทบต่อกำลังรับแรงดึงของมอร์ต้า มอร์ต้าผสมน้ำยางพาราในอัตราส่วน P/C เท่ากับ 3% และ 5% ทำให้คุณสมบัติกำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าลดลงจากมอร์ต้ามาตรฐานที่ไม่ได้ผสมน้ำยางพารา 4 กก./ซม² และ 9 กก./ซม² โดยที่มอร์ต้ามาตรฐานที่ไม่ผสมน้ำยางพาราซึ่งมีค่ากำลังรับแรงดึง เท่ากับ 39 กก./ซม² อย่างไรก็ตามเมื่อนำน้ำยางพาราผสมในมอร์ต้าที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1% ทำให้คุณสมบัติการรับแรงดึงสูงกว่ามอร์ต้ามาตรฐานที่ไม่ผสมน้ำยาง 5.4%

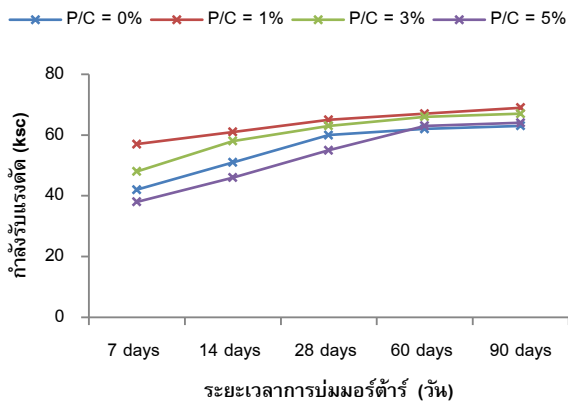


รูปที่ 9 กำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน

3.5 กำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าซึ่งมีแนวโน้มคล้ายกับกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึง คือระยะเวลาการบ่มมีผลต่อการกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางพาราและระยะเวลาการบ่มมอร์ต้า พบว่ากำลังรับแรงดัดของมอร์ต้ามาตรฐานที่ไม่ได้ผสมน้ำยางพารา (P/C=0%) ระยะเวลาบ่มของมอร์ต้า 7 วัน, 14 วัน, 28 วัน, 60 วัน และ 90 วัน มีค่ากำลังรับแรงดัด เท่ากับ 42 กก./ซม², 51 กก./ซม², 63 กก./ซม², 62 กก./ซม² และ 64 กก./ซม² ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามอร์ต้าผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน P/C เท่ากับ 1% และ 3% ในช่วงอายุการบ่มของมอร์ต้าที่ 7 วัน ถึง 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงดัดสูงกว่ามอร์ต้ามาตรฐาน ในขณะที่มอร์ต้าผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน P/C เท่ากับ 5% มีค่า

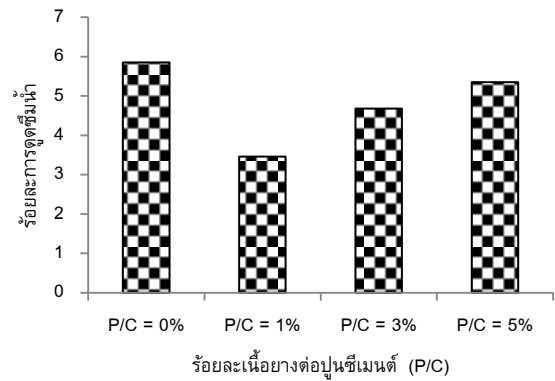
กำลังรับแรงดัดต่ำกว่ามาตรฐาน ถ้าพิจารณากำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าผสมน้ำยาพาราที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน จะเห็นได้ว่ามอร์ต้าผสมน้ำยาพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ P/C เท่ากับ 1% มีค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุด เท่ากับ 65 กก./ซม² ซึ่งสูงกว่ามอร์ต้ามาตรฐานที่ไม่ผสมน้ำยาพารา 8.33% ในขณะที่มอร์ต้าผสมน้ำยาพาราที่อัตราส่วน P/C เท่ากับ 5% มีค่ากำลังรับแรงดัดต่ำสุด 55 กก./ซม² ซึ่งต่ำกว่าคอนกรีตไม่ผสมน้ำยาพารา 8.33%



รูปที่ 10 กำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าที่ระยะเวลาการบ่ม 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน

3.6 การดูดซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยาพารา

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยาพารา ได้ทำการเปรียบเทียบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยาพาราที่อัตราส่วน P/C เท่ากับ 0%, 1%, 3%, และ 5% ดังรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่ามอร์ต้าที่ไม่ได้มีการผสมน้ำยา (P/C=0%) มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 5.85% ในขณะที่มอร์ต้าผสมน้ำยาจะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลง โดยเฉพาะมอร์ต้าผสมน้ำยาที่อัตราส่วน P/C เท่ากับ 1%) มีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ 3.46% ซึ่งร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำกว่ามาตรฐานที่ไม่ได้ผสมน้ำยา 2.39% ซึ่งให้เห็นว่ามีความสามารถในการป้องกันกรร่วซึมน้ำได้ดี แต่ถ้าผสมน้ำยาในปริมาณที่สูง เช่น P/C เท่ากับ 3% และ 5% ทำให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้น เท่ากับ 4.68% และ 5.35% แต่ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำก็ต่ำกว่ามาตรฐานที่ไม่ผสมน้ำยาพารา จากผลการศึกษาอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่า มอร์ต้าผสมน้ำยาพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% มีความสามารถในการป้องกันกรร่วซึมน้ำได้ดีที่สุด



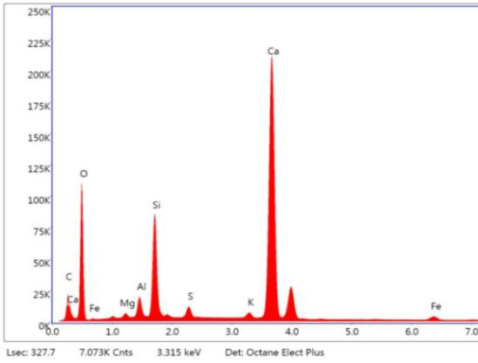
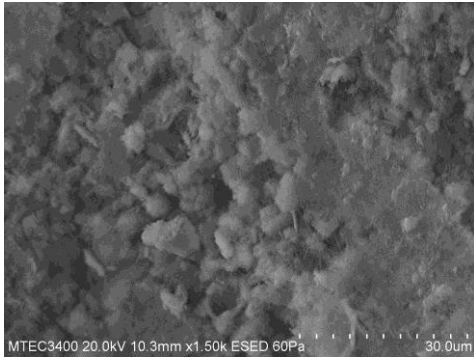
รูปที่ 11 เปรียบเทียบร้อยละการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยาพารา

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมอร์ต้าผสมน้ำยาพารา โดยชุดเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลัง (EDS)

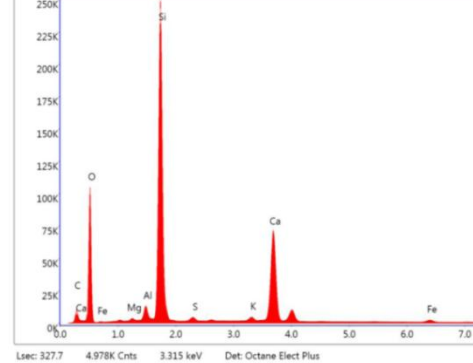
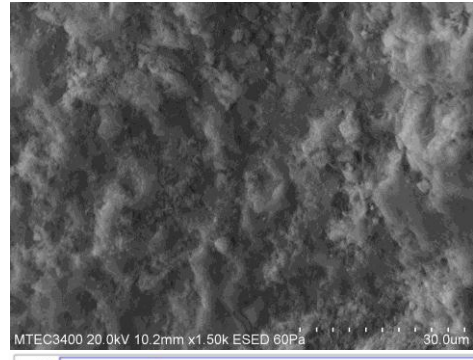
องค์ประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)	อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก) Polymer cement ratio (P/C)			
	P/C = 0%	P/C = 1%	P/C = 3%	P/C = 5%
C	1.72	2.86	3.04	3.03
O	46.20	49.96	44.63	52.67
Mg	0.31	0.40	0.02	0.75
Al	1.52	4.37	1.17	4.97
Si	7.27	13.23	29.12	12.83
S	0.91	0.43	0.34	0.47
K	0.61	3.36	0.61	2.21
Ca	40.14	24.03	20.02	21.45
Fe	1.24	1.36	1.06	1.62
Total	100	100	100	100

3.7 โครงสร้างจุลภาคและธาตุองค์ประกอบทางเคมี

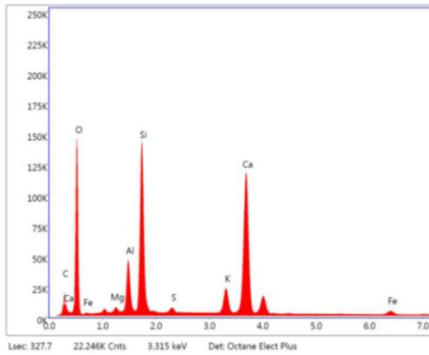
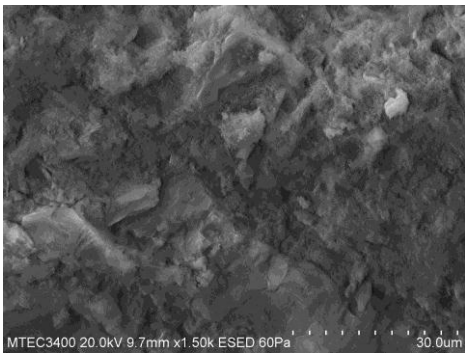
ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและธาตุองค์ประกอบทางเคมีของมอร์ต้าผสมน้ำยาพารา โดยใช้ชุดเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลัง (Energy dispersive spectroscopy X-ray spectroscopy : EDS) แสดงในตารางที่ 3 ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ธาตุองค์ประกอบหลัก (มีองค์ประกอบของธาตุอยู่ระหว่าง 10% - 55% โดยน้ำหนัก) ได้แก่ ออกไซด์ (O), แคลเซียม (Ca) และซิลิกา (Si) กลุ่มที่ 2 ธาตุองค์ประกอบรอง (องค์ประกอบทางเคมี 1% - 5%) ได้แก่ คาร์บอน (C), อะลูมิเนียม (Al), โพแทสเซียม (K) และเหล็ก (Fe) และกลุ่มที่ 3 มีปริมาณธาตุน้อยมาก (ไม่เกิน 1%) ได้แก่ กำมะถัน (S) และ แมกนีเซียม (Mg) เห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อนำน้ำยาพาราผสมในมอร์ต้าจะส่งผลให้ปริมาณของแคลเซียมลดลงอย่างชัดเจนโดยมอร์ต้าผสมน้ำยาพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ P/C เท่ากับ 1% 3% และ 5% ปริมาณของแคลเซียมลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ต้าไม่ผสมน้ำยาพารา 16.11% 20.12% และ 18.69% โดยน้ำหนัก ในทางตรงกันข้ามพบว่าการใช้น้ำยาพาราผสมในมอร์ต้าทำให้ปริมาณซิลิกา (Si) เพิ่มขึ้น 5.96%, 21.85% และ 5.56% โดยน้ำหนัก



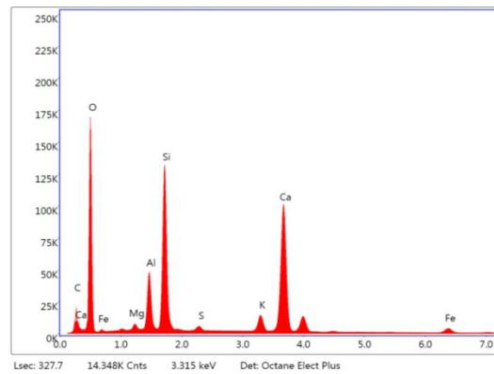
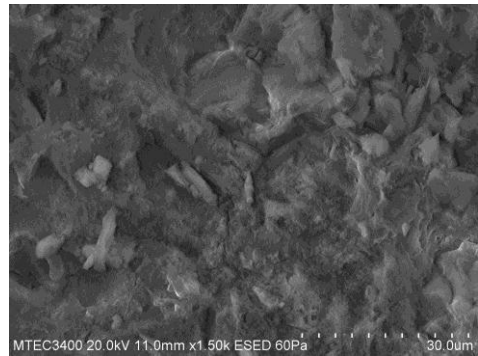
รูปที่ 12 ภาพถ่ายขยาย 1500 เท่า และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมอร์ตาร์ทาร์ผสมน้ำยางพารา P/C = 0%



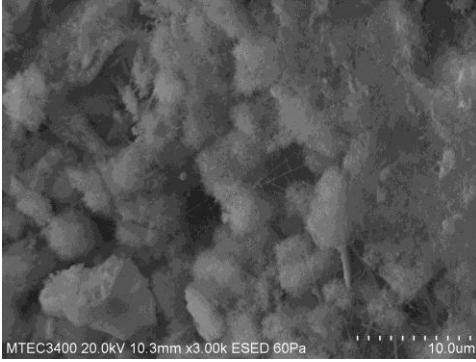
รูปที่ 14 ภาพถ่ายขยาย 1500 เท่า และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมอร์ตาร์ทาร์ผสมน้ำยางพารา โดยอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ P/C = 3%



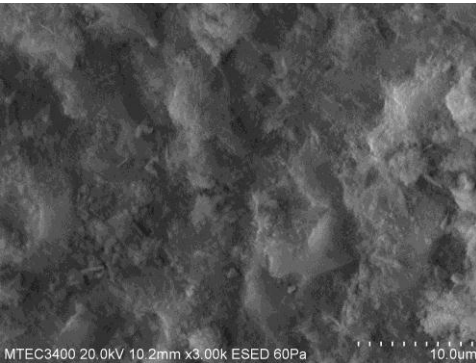
รูปที่ 13 ภาพถ่ายขยาย 1500 เท่า และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมอร์ตาร์ทาร์ผสมน้ำยางพารา โดยอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ P/C = 1%



รูปที่ 15 ภาพถ่ายขยาย 1500 เท่า และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมอร์ตาร์ทาร์ผสมน้ำยางพารา โดยอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ P/C = 5%



(ก) ภาพถ่ายพื้นผิว-mortar ไม่ผสมน้ำยางพารา กำลังขยาย 3000 เท่า



(ข) ภาพถ่ายพื้นผิว-mortar ผสมน้ำยางพารา P/C = 1% กำลังขยาย 3000 เท่า

รูปที่ 16 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของ mortar ไม่ผสมน้ำยางพาราและ mortar ผสมน้ำยางพารา P/C=1% กำลังขยาย 3000 เท่า

ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายบนพื้นผิวของ mortar ผสมน้ำยางพารา โดยใช้จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ mortar ผสมน้ำยางพารา ภาพถ่าย mortar ไม่ผสมน้ำยางพารา (P/C=0%) กำลังขยาย 1500 เท่า (รูปที่ 12) จะเห็นได้ว่าโครงสร้างจุลภาคของ mortar ไม่ผสมน้ำยางพาราพื้นผิวมีลักษณะกระจายอยู่ที่พื้นผิวและเป็นเหลี่ยมมุมมากกว่า mortar ผสมน้ำยางพารา และมีเส้นใยเล็กๆ บนพื้นผิว mortar ซึ่งอาจเป็นผลของแคลเซียมซัลไฟด์ไฮดรอกไซด์หรือเอทริงไคต์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ mortar รูปที่ 13 – รูปที่ 15 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงและผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ mortar ผสมน้ำยางพารา P/C = 1%, 3% และ 5% จะสังเกตเห็นว่าลักษณะภาพถ่ายกำลังขยาย 1500 เท่า พื้นผิวของ mortar ไม่ผสมน้ำยางพารา ลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกันและแน่นเต็มกระจายทั่วพื้นผิว ไม่มีรูพรุน เมื่อเทียบกับ mortar แบบธรรมดาที่ไม่ผสมน้ำยางพารา รูปที่ 16 ภาพถ่ายขยาย 3000 เท่าของ mortar ไม่ผสมน้ำยางพาราและ mortar ผสมน้ำยางพาราในอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% ลักษณะของเส้นใยเล็กๆ ลดลง เนื่อง mortar ที่ผสมน้ำยางพาราจะทำให้ปริมาณแคลเซียม (Ca)

ลดลงจึงส่งผลกระทบต่อเส้นใยเล็กๆ ในเนื้อ mortar ลดลง จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ mortar ผสมน้ำยางพาราสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนคุณสมบัติทางกลและการรั่วซึมน้ำของ mortar ผสมน้ำยางพาราว่าให้แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง, การดูดซึมน้ำและการรั่วซึมน้ำของ mortar ผสมน้ำยางพารา

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผล

การศึกษาคุณสมบัติทางกลและกายภาพของ mortar ผสมน้ำยางพารา สรุปได้ดังนี้

1) ค่าระยะการก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ไม่ผสมน้ำยางพาราเท่ากับ 127.5 นาที แต่ปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1%, 3% และ 5% ได้ค่าระยะการก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา เท่ากับ 122.5 นาที, 75 นาที และ 35 นาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำยางพาราที่ผสมปูนซีเมนต์จะส่งผลกระทบต่อค่าระยะการก่อตัวก่อนกำหนดของปูนซีเมนต์คือทำให้ปูนซีเมนต์มีระยะการแข็งตัวเริ่มต้นเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ที่ไม่ผสมน้ำยางพารา เนื่องจากปริมาณน้ำยางพาราเมื่อผสมปูนซีเมนต์แล้วทำให้เนื้อยางมีการดูดซึมน้ำจากซีเมนต์เฟสส่งผลทำให้เนื้อซีเมนต์เฟสแห้งเร็วขึ้นและเกิดการแข็งตัวเร็วขึ้น

2) การศึกษาคุณสมบัติทางกลและการดูดซึมน้ำ mortar ผสมน้ำยางพารา กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1 : 2 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% โดยน้ำหนัก ตัวอย่างทดสอบคุณสมบัติทางกลทำการบ่มโดยห่อด้วยพลาสติกกันความชื้น เป็นระยะเวลาบ่ม 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน ผลการทดสอบพบว่า mortar ผสมน้ำยางพาราในอัตราส่วนของเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% มีคุณสมบัติทางกลดีที่สุดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วันได้แก่ กำลังรับแรงอัด 397 กก./ซม.² กำลังรับแรงดึง 39 กก./ซม.² กำลังรับแรงดัด 65 กก./ซม.² และค่าการดูดซึมน้ำ 3.46%

3) การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของ mortar ผสมน้ำยางพารา โดยใช้จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ mortar ผสมน้ำยางพารา ภาพถ่าย mortar ไม่ผสมน้ำยางพารา กำลังขยาย 1500 เท่า จะเห็นได้ว่าโครงสร้างจุลภาคของ mortar ไม่ผสมน้ำยางพาราพื้นผิวมีลักษณะกระจายอยู่ทั่วพื้นผิว และมีเส้นใยเล็กๆ บนพื้นผิว mortar ซึ่งอาจเป็นผลของแคลเซียมซัลไฟด์ไฮดรอกไซด์หรือเอทริงไคต์ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ mortar สำหรับผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคภาพถ่ายกำลังขยาย 1500 เท่า พบว่า mortar ผสมน้ำยางพารา P/C เท่ากับ 1%, 3% และ 5% พื้นผิวของ mortar ไม่ผสมน้ำยางพารา ลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกันและแน่นเต็มกระจายทั่วพื้นผิว ไม่มีรูพรุน เมื่อเทียบกับ mortar แบบธรรมดาที่ไม่ผสมน้ำยางพารา

4.2 ข้อเสนอแนะ

1) การใช้น้ำยางพาราผสมกับปูนซีเมนต์ควรใช้น้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์เนื่องจากมีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด ได้ดีกว่าน้ำยางธรรมชาติ แต่การผสมน้ำยางพารากับคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ควรมีความระมัดระวังจะต้องทำการผสมน้ำและน้ำยางพาราให้เข้ากันก่อนที่จะนำไปผสมในคอนกรีตหรือมอร์ตาร์เพื่อไม่ให้น้ำยางจับตัวเป็นชั้นบางเล็กๆ ในเนื้อมอร์ตาร์ ถ้าผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่มากจะต้องใช้สารลดแรงตึงผิวผสมเข้าไปในน้ำยางเพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อนเมื่อน้ำยางผสมเข้ากับปูนซีเมนต์

2) ควรการศึกษาวิจัยต่อยอดและนำผลการศึกษารวบรวมไปทดสอบการใช้งานจริงภาคสนาม เช่น การใช้เป็นวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์สำหรับดาดคูล่งน้ำ และการใช้เป็นวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์สำหรับสร้างถังเก็บน้ำ เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) หรือ สวก. และได้รับความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ (2538). *คอนกรีตแนวใหม่ (Concrete of New Decade)*. www.thaiengineering.com, โยธาสาร, สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2561
- [2] Chatveera, B. and Kongsu, T., (2002). *Durability of Concrete Containing Black RHA from Rice Mill*. KMUTT Research and Development Journal, 25 (4), pp. 374-389.
- [3] Homsriprasert, W. and Chatveera, B., (2016). *Mechanical Properties of Fly Ash-based Geopolymer Mortar with Electric Oven Curing under Sodium Sulfate and Magnesium Sulfate Attacks*. KMUTT Research and Development Journal, 39 (2), pp. 271-286.
- [4] Phoo-ngernkham, T., Hanjitsuwan, S. and Chindaprasit, P., (2016), *Influence of Sand to Binder Ratio on Properties of Geopolymer Mortar Containing Portland Cement*. KMUTT Research and Development Journal, 39 (2), pp. 127-137.
- [5] พีรวัฒน์ ปลาเงิน, ชวน จันทวาลย์, สมพร พิบูลย์ และรุกลพัทธ์ เจริญพัฒนกุล (2559). รายงานกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัย การถ่ายทอดเทคโนโลยีประยุกต์ใช้น้ำยางพาราในงานบำรุงรักษาระบบชลประทาน. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- [6] พีรวัฒน์ ปลาเงิน และชวน จันทวาลย์ (2559). รายงานการวิจัยและการพัฒนาวิจัยการเกษตรฉบับสมบูรณ์ การพัฒนาคลอง

ชลประทานผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้ในระบบชลประทานไร่นา สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) : สวก.

- [7] American Society for Testing and Materials (2009) ASTM C33 Standard Specification for Concrete Aggregates, *ASTM International, Book of Standards, Volume 04-02, West Conshohocken, PA.*
- [8] American Society for Testing and Materials (2009) ASTM C187 Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste. *ASTM International, Book of Standards, Volume 04-02, West Conshohocken, PA.*
- [9] American Society for Testing and Materials (2009) ASTM C191 Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. *ASTM International, Book of Standards, Volume 04-02, West Conshohocken, PA.*
- [10] American Society for Testing and Materials, 2008, "ASTM C206-1 Standard Test Method for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars," Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, PA, USA.
- [11] American Society for Testing and Materials, 2008, "ASTM C348 Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic Cement Mortars," Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.01, PA, USA