การพัฒนาคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้ในระบบชลประทานแปลงนา

พีรวัฒน์ ปลาเงิน[1*] ธวัชชัย ตันชัยสวัสดิ์[2]
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
และ ชวน จันทวาลย์[3]
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ต.พรหมมณี อ.เมือง จ.นครนายก 26001

** Corresponding Author: pheerawat.p@cmu.ac.th*
[1] อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
[3] รองผู้อำนวยการ ส่วนการศึกษา

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 14 สิงหาคม 2563
แก้ไข : 7 เมษายน 2564
ตอบรับ : 20 พฤษภาคม 2564

คำสำคัญ :
คูส่งน้ำ / เฟอร์โรซีเมนต์ / ยางพารา / แปลงนา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ หรือมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา การทดลองในห้องปฏิบัติการประกอบด้วยการทดสอบความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์ ระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงดัด และการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา โดยกำหนดอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5 อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1:2 โดยน้ำหนัก ทดสอบสมบัติทางกลของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน 14 วัน 28 วัน 60 วัน และ 90 วัน ผลการศึกษาพบว่า มอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1% ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีกำลังรับแรงอัด 397 กก./ซม.^{2} กำลังรับแรงดึง 39 กก./ซม.^{2} กำลังรับแรงดัด 65 กก./ซม.^{2} และการรั่วซึมของน้ำในคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์แบบสำเร็จรูป 1.39 มม./วัน ดังนั้นอัตราส่วนของเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับนำไปก่อสร้างคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราในพื้นที่แปลงนา สำหรับการศึกษาวิจัยภาคสนามได้ก่อสร้างคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราแบบดาดในที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูขนาดท้องคูส่งน้ำ 0.30 เมตร สูง 0.35 เมตร และความหนา 0.05 เมตร จากการติดตามประเมินผลการใช้งานคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ในพื้นที่แปลงนา พบว่าน้ำไหลเข้าสู่พื้นที่แปลงนาได้สะดวกรวดเร็วและป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดี

Development of Mixed Ferro-Cement with Rubber Latex as Ditch Lining for Farm Irrigation System

Pheerawat Plangoen[1*], Tawatchai Tanchaisawat[2]
Chiang Mai University, Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, 50200
and Chuan Chuntavan[3]
Chulachomklao Royal Military Academy, Muang, Nakhonnayok, 26001

* *Corresponding Author: pheerawat.p@cmu.ac.th*
[1] *Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.*
[2] *Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.*
[3] *Deputy Director, Education Section.*

Article Info

Article History:
Received: August 14, 2020
Revised: April 7, 2021
Accepted: May 20, 2021

Keywords:
Ditch Lining / Ferrocement / Rubber / Paddy Field

Abstract

This research studied physical and mechanical properties of a ferrocement material or a mortar mixed with rubber latex. Experiments were first performed in a laboratory to test the properties in terms of the normal consistency of cement, setting time of cement paste, compressive strength, tensile strength, flexural strength and seepage loss of mortar mixed with rubber latex. Polymer to cement (P/C) ratio was varied at 0%, 1%, 3%, and 5% by weight. Water to cement ratio (w/c) was fixed at 0.50; the ratio of cement to sand was fixed at 1:2. The strength of the structure was tested after 7, 14, 28, 60, and 90 days. The results indicated that the P/C ratio of 1% yielded the best performance, with compressive strength of 397 ksc, tensile strength of 39 ksc, flexural strength of 65 ksc, water absorption of 4.36% and seepage loss of 1.39 mm/day. P/C ratio of 1% by weight was then adopted for the construction of ferrocement ditches in the field. An in-situ ferrocement trapezoidal ditch with a bottom width of 0.3 m, height of 0.35 m, and thickness of 0.05 m was constructed in a paddy field. Evaluation of the ferrocement ditches revealed that the ditches allowed water to flow rapidly and could reduce the loss of water due to seepage.

1. บทนำ

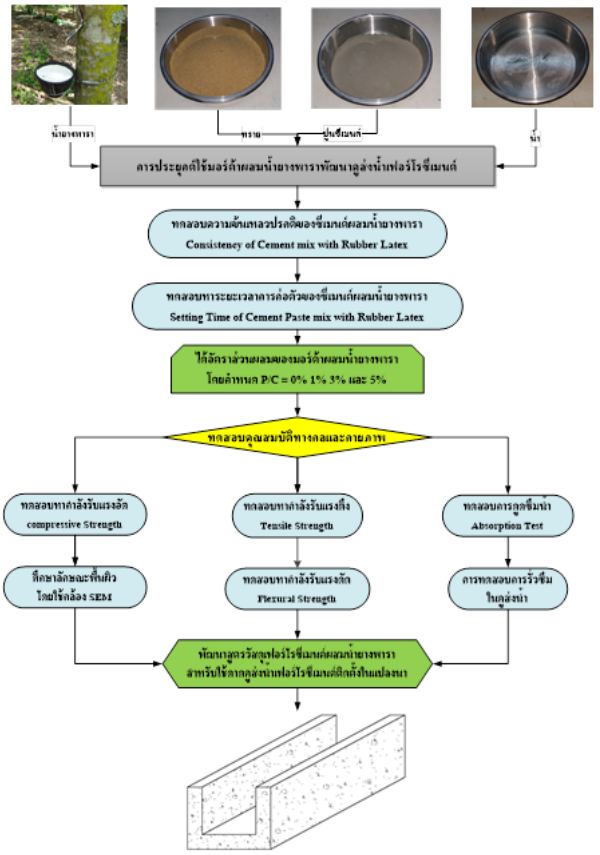
งานพัฒนาโครงการชลประทาน โดยเฉพาะระบบการส่งน้ำเพื่อการเพาะปลูก ถือว่ามีความสำคัญและมีประโยชน์อย่างมากในการช่วยให้เกษตรกรสามารถทำการเพาะปลูกให้ได้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น คลองและคูส่งน้ำชลประทานเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของโครงการชลประทาน เนื่องจากเป็นทางน้ำสำหรับนำน้ำจากแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นต้นน้ำของโครงการชลประทาน ไปยังพื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกร โดยน้ำจากแหล่งน้ำจะกระจายไปยังพื้นที่เพาะปลูกได้ทั่วถึงด้วยคูส่งน้ำที่มีในเขตโครงการชลประทานหรือในเขตพื้นที่นอกโครงการชลประทาน ถ้าหากคลองหรือคูส่งน้ำชลประทานไม่สามารถทำหน้าที่ส่งน้ำจากแหล่งน้ำเข้าไปสู่พื้นที่เพาะปลูกได้อย่างทั่วถึงในปริมาณที่เหมาะสม และในเวลาที่พืชต้องการแล้ว จะส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรของเกษตรกร การที่จะให้คูส่งน้ำทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์แบบนั้นไม่ใช่เรื่องที่ง่ายนัก คูส่งน้ำชลประทานที่ดีจะต้องมีพื้นฐานมาจากการออกแบบและก่อสร้างที่ถูกต้องในด้านวิศวกรรม มีความสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่สำคัญของคลองหรือคูส่งน้ำ [1] ประกอบด้วย (1) การสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึม (2) การแตกร้าวตามผนังและท้องคลองคูส่งน้ำ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการเกษตรจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อคิดค้นและหาแนวทางในการสร้างนวัตกรรมหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพมาใช้ทดแทนผลิตภัณฑ์เดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ปัจจุบัน มีการพัฒนาวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้เป็นวัสดุดาดคูส่งน้ำ เนื่องจากวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์มีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตอยู่หลายด้าน Austriaco และ Nimii-tyongskul [2] ได้ทำการศึกษาสมบัติของวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ พบว่า (1) ค่าการซึมน้ำผ่านคลองดาดด้วยเฟอร์โรซีเมนต์มีค่าน้อยกว่าคลองดาดคอนกรีต (2) ความสามารถในการรับน้ำหนักวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์มีมากกว่าคอนกรีตแบบธรรมดา (3) วัสดุเฟอร์โรซีเมนต์มีอายุการใช้งานมากกว่าคอนกรีตแบบธรรมดา และมีค่าการซ่อมแซมบำรุงรักษาน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำน้ำยางพารามาผสมในคอนกรีตหรือผสมในมอร์ต้าร์ในปริมาณที่เหมาะสม จะสามารถเพิ่มคุณภาพของคอนกรีตและมอร์ต้าร์ได้ ตัวอย่าง เช่น Nagraj และคณะ [3] ได้นำน้ำยางพาราพาราผสมในคอนกรีตในอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ร้อยละ 5, 10 และ 15 และทำการทดสอบสมบัติของคอนกรีต พบว่า ปริมาณน้ำยางพาราที่ผสมเข้าไปในคอนกรีตสามารถเพิ่มความเหนียวของคอนกรีตและยังสามารถเพิ่มสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตด้วย Bala Muhammed และคณะ [4] ทำการศึกษาสมบัติของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา เช่น การดูดซึมน้ำของคอนกรีตและโครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา พบว่าคอนกรีตผสมน้ำยางพาราสามารถลดการซึมผ่านของน้ำได้ดีกว่าคอนกรีตแบบปกติ Shobha และคณะ [5] ศึกษาสมบัติของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา เช่น ความสามารถในการเทได้และกำลังรับแรงอัด กำหนดอัตราส่วนของเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 0.5, 1 และ 1.5 พบว่าคอนกรีตผสมน้ำยางพาราร้อยละ 1 มีสมบัติกำลังรับแรงอัดดีที่สุด และความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตลดลงเมื่อผสมน้ำยางพาราในเปอร์เซ็นต์ที่สูงขึ้น Plangoen และคณะ [6] ศึกษาสมบัติด้านกำลังของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 พบว่า โดยกำหนดอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ผลการศึกษาพบว่า มอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.5 ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน มีสมบัติทางกลดีที่สุด คือกำลังรับแรงอัด 310 กก./ซม.^{2} กำลังรับแรงดึง 46 กก./ซม.^{2} และกำลังรับแรงดัด 70 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีสมบัติด้านกำลังสูงสุดเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราในอัตราส่วนอื่นๆ ที่กล่าวมาข้างต้น

2. วิธีการวิจัย

ในการพัฒนาคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา ศึกษาสมบัติทางกายภาพของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา ได้แก่ ความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์ การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น การรั่วซึมน้ำ และศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) สำหรับการศึกษาสมบัติทางกลของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา ได้แก่ สมบัติกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา ขั้นตอนการศึกษาวิจัยแสดงดังรูปที่ 1 และนำผลการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการไปประยุกต์ใช้งานภาคสนาม โดยการทำการก่อสร้างคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้ในพื้นที่แปลงนา



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์

2.1 วัสดุ

- ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 2 และมีสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็นปูนซีเมนต์ที่ใหม่ ไม่มีการเสื่อมคุณภาพ และไม่เปียกชื้นหรือจับตัวเป็นก้อน

- มวลรวมละเอียด (ทราย)

ทรายที่นำมาผสมคอนกรีต เป็นชนิดทรายน้ำจืด อาจจะเป็นทรายแม่น้ำ หรือ ทรายบก แต่ทรายที่ใช้จะต้องสะอาดปราศจากสารอินทรีย์ และสิ่งไม่พึงประสงค์เจือฝน ให้เป็นไปตามสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C33 [7]

- น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมมอร์ต้าร์ต้องสะอาด ปราศจากด่าง น้ำมัน วัชพืชเน่า และสารเจือปนอื่นๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติของมอร์ต้าร์

- เหล็กเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร
- ลวดตาข่ายหกเหลี่ยมเบอร์ 25 ขนาด 3/8 นิ้ว
- น้ำยางพารา

น้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์ เป็นน้ำยางที่วัลคาไนซ์ในสภาวะของเหลวและขึ้นรูปเป็นยางวัลคาไนซ์ได้โดยไม่ต้องให้ความร้อนอีก น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ยังคงสถานะเป็นของไหลและมีลักษณะทั่วไปเหมือนเดิม การวัลคาไนซ์จะเกิดขึ้นภายในอนุภาค การพรีวัลคาไนซ์จะให้ความร้อนแก่น้ำยางคอมพาวด์ที่เหนือจุดเดือดของน้ำในตู้ความดันแต่ต่อมาเนื่องจากมีการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวสูงเป็นพิเศษ จึงทำให้การทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สามารถทำได้ภายใต้ความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

2.2 อัตราส่วนมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา

การกำหนดอัตราส่วนของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา (วัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา) โดยทั่วไปส่วนผสมของมอร์ต้าร์ประกอบด้วยวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทราย ละเอียด และน้ำ แต่การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้นำน้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์ผสมในมอร์ต้าร์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของมอร์ต้าร์สำหรับใช้เป็นวัสดุเฟอร์โร ซีเมนต์ในการก่อสร้างคูส่งน้ำสำหรับใช้ในพื้นที่แปลงนา ดังนั้นจึงกำหนดอัตราส่วนมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราดังนี้

- อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1 : 2 โดยน้ำหนัก
- อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (polymer cement ratio, P/C) เท่ากับร้อยละ 0, 1, 3 และร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการใช้น้ำยางพาราผสมในมอร์ต้าร์และคอนกรีตในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 10 ส่งผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดและแรงดึงของมอร์ต้าร์ ทำให้การรับแรงลดลง [6]
- อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (water cement ratio, w/c) เท่ากับ 0.5 โดยน้ำหนัก
- ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกลทำการบ่มโดยห่อด้วยพลาสติกกันความชื้น เป็นระยะเวลา 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน

2.3 การทดสอบสมบัติทางกล

การเตรียมตัวอย่างชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติทางกลทำการผสมมอร์ต้าร์และน้ำยางพาราตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้ และทำการบรรจุในแบบหล่อทดสอบต่างๆ หลังจากที่บรรจุในแบบหล่อแล้วปล่อยทิ้งไว้ 24 ชม. และทำการบ่มโดยใช้พลาสติกพันรอบตัวอย่างชิ้นงานเพื่อป้องกันความชื้นจากมอร์ต้าร์ระเหย ดังรูปที่ 2 ระยะเวลา 7, 14, 28, 60 และ 90 วัน การเตรียมหล่อตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสมบัติทางกลดังตารางที่ 1

รูปที่ 2 การบ่มตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบ	จำนวนตัวอย่างทดสอบ					รวม
	7 วัน	14 วัน	28 วัน	60 วัน	90 วัน	
แรงอัด	3	3	3	3	3	15
แรงดึง	3	3	3	3	3	15
แรงดัด	3	3	3	3	3	15
การดูดซึมน้ำ	3	3	3	3	3	15
รวม/case						60
P/C = 0%, 1%, 3%, และ 5% (60 samples/case x 4 cases)						240

2.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบหากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา ดังรูปที่ 3 เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมน้ำยางพารา และเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานการรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าร์ตามเกณฑ์กำลังอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้าร์มาตรฐาน ASTM C109 [8] การคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ได้จากสมการที่ 1

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

โดยที่ f_c คือ กำลังรับแรงอัดประลัย (กก./ซม.^{2})
P คือ แรงอัดสูงสุด (กก.)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ซม.^{2})

รูปที่ 3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดมอร์ต้าร์

2.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึง

การทดสอบหากำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าร์เพื่อหากำลังรับแรงดึงสูงสุดของมอร์ต้าร์ผสมยางพารา โดยทำการหล่อตัวอย่างทดสอบแรงดึงในแบบหล่อรูปบริเควท (Briquette) จนเต็มใช้มือกดมอร์ต้าลงแบบหล่อ ตามมาตรฐาน ASTM C190-85 [9] ก่อนการทดสอบ นำตัวอย่างมาวัดขนาดและชั่งน้ำหนักจัดตำแหน่งให้แนวแกนของตัวอย่างอยู่ในแนวแกนของเครื่องทดสอบ (รูปที่ 4) ควบคุมการให้น้ำหนักบรรทุกสม่ำเสมอจนกระทั่งชิ้นตัวอย่างวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดและลักษณะการวิบัติ การคำนวณค่ากำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าร์ได้จากสมการที่ 2

$$F_t = \frac{P_t}{A_t} \quad (2)$$

โดยที่ F_t คือ กำลังดึง (กก./ซม.^{2})
P_t คือ แรงดึงสูงสุด (กก.)
A_t คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงดึง (ซม.^{2})

รูปที่ 4 การทดสอบกำลังรับแรงดึงมอร์ต้าร์

รูปที่ 5 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

2.3.3 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

การทดสอบหากำลังดัดของมอร์ต้าร์ ตามมาตรฐาน ASTM C348 [10] เพื่อหาค่ากำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าร์ เป็นการหาค่าโมดูลัสแตกร้าวในมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา

ทำการเปรียบเทียบการรับแรงดัดของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราได้ตามเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ ค่ากำลังดัดของคานหาได้ในรูปของโมดูลัสแตกร้าวจากสมการที่ 3

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

โดยที่

R คือ โมดูลัสแตกร้าว (kg/cm^2)

P คือ แรงที่กระทำกลางคานกระทั่งคานหัก (kg)

L คือ ระยะช่วงคานระหว่างที่รองรับ (cm)

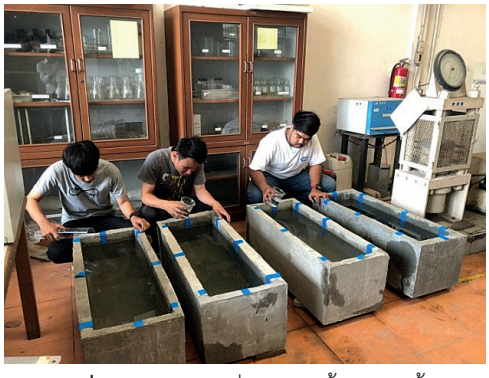
b คือ ความยาวเฉลี่ยของคานที่แตกหัก (cm)

d คือ ความลึกของคานที่จุดแตกหัก (cm)

2.4 ทดสอบการรั่วซึมของคูส่งน้ำ

การวัดการรั่วซึมของน้ำในคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์จำเป็นที่จะต้องทำการวัดในห้องปฏิบัติ เนื่องจากการวัดการรั่วซึมน้ำในภาคสนามมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น การทดสอบใช้กระสอบทรายปิดกั้นเพื่อทำบ่อสำหรับวัดการรั่วซึมทำให้น้ำรั่วซึมออกมาได้ ดังนั้นจึงทำการหล่อแบบจำลองคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์สี่เหลี่ยมผืนผ้า ความยาว 1 เมตร สูง 0.35 เมตร หน้าตัดกว้าง 0.40 เมตร และความหนา 0.05 เมตร วิธีการและขั้นตอนการทดสอบการรั่วซึม ดังนี้

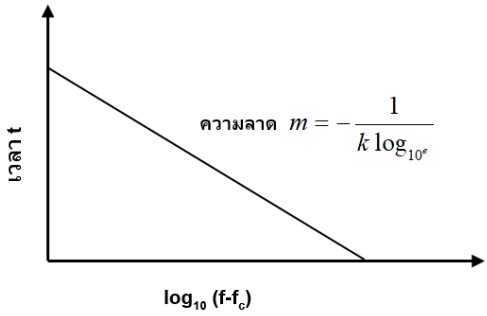
1) ทำการวัดขนาดหน้าตัดที่สัมผัสผิวน้ำของคูส่งน้ำทั้ง 4 ด้าน เพื่อคำนวณพื้นที่สำผัสน้ำ
2) เติมน้ำลงในคูส่งน้ำจนกระทั่งถึงระดับที่กำหนดไว้ โดยปกติจะให้อยู่ต่ำกว่าขอบคูส่งน้ำ ประมาณ 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การวัดการรั่วซึมของน้ำในคูส่งน้ำ

3) บันทึกเวลาที่กำหนดไว้และบันทึกปริมาณน้ำที่เติมลงในคูส่งน้ำทุกครั้ง สำหรับใช้ในการคำนวณการรั่วซึม
4) คำนวณหาค่าคงที่ของการซึม (k) โดยใช้วิธีของ Horton (1940) นำข้อมูลอัตราการซึม f ที่เวลา t ต่างๆ จะสามารถหาค่าคงที่ของการซึม k ได้จากผลการพิสูจน์สมการและการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log_{10}(f-f_c)$ กับเวลา t ดังนี้ จากสมการการซึมของ Horton

$$f=f_c+(f_o-f_c)e^{-kt} \quad (4)$$



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\log_{10}(f-f_c)$ กับเวลา t

ดังนั้น ถ้ามีข้อมูล f ที่เวลา t ต่างๆ และรู้ค่า f_c จะสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log_{10}(f-f_c)$ กับเวลา t ได้ดังรูปที่ 7 เห็นได้ว่าได้กราฟเส้นตรงเอียงลง เพราะความลาด m มีค่าเป็นลบ ซึ่งจากกราฟจะสามารถหาความลาด m ได้ และเมื่อรู้ความลาด m ก็สามารถค่าคงที่ของการซึม k ได้ดังนี้

จากความลาด $m=-\frac{1}{k\log_{10^e}}$

หรือ $k=-\frac{1}{m\log_{10^e}}$ (5)

เมื่อแทนค่า k, f_c และ f_o ในสมการการซึมของ Horton จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึม f กับเวลา t ได้ตามต้องการ

5) คำนวณอัตราการรั่วซึม ใช้วิธีของ Horton (1940) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึม (f) ที่เวลา t ใดๆ กับอัตรา

การซึมที่เวลาเริ่มต้น (f_0) และอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (f_C) ค่าคงที่ของการซึม k และเวลา (t) ดังสมการที่ 6

$$F=f_cT+\frac{f_o-f_c}{k}-\frac{f_o-f_c}{k}e^{-kt} \quad (6)$$

โดยที่

f คือ อัตราการซึมที่เวลา t ใดๆ

f_0 คือ อัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น

f_C คือ อัตราการซึมที่สภาวะสมดุล

k คือ ค่าคงที่ของการซึม k

t คือ เวลา

6) วิเคราะห์ผลการทดสอบการรั่วซึมของน้ำในแบบจำลองคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา ที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5%

2.5 โครงสร้างจุลภาคของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา

การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราด้วยเทคนิค กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy : SEM) ได้ส่งตัวอย่างชิ้นงานทดสอบโครงสร้างจุลภาค ที่หน่วยวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

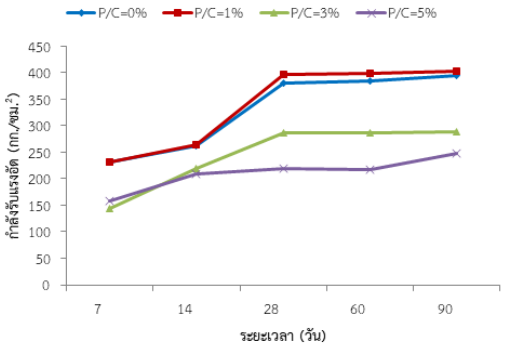
3. ผลการศึกษาวิจัย

3.1 สมบัติทางกลมอร์ต้าร์

▪ กำลังรับแรงอัดมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา ดังรูปที่ 8 พบว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารามีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 7 วัน ถึง 28 วัน และระยะการบ่มตั้ง 28 ถึง 90 วัน จะไม่มีผลกระทบต่อการกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์มากนัก ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดหลัง 28 วัน เพิ่มขึ้นน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามกำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน มอก. เท่ากับ 245 กก./ซม.^{2} ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน เมื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางที่อัตราส่วนของเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% ที่ระยะการบ่ม 28 วัน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัด ดังนี้ 300 กก./ซม.^{2}, 397 กก./ซม.^{2}, 286 กก./ซม.^{2} และ 219 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ

มอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราในอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ระยะการบ่ม 28 วัน เท่ากับ 397 กก./ซม.^{2} ถ้าเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 12 (2) กำหนดกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐานไม่ต่ำกว่า 245 กก./ซม.^{2} เห็นได้ว่ามอร์ต้าร์ผสมน้ำยางที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% และ 3% มีค่ากำลังรับแรงอัดสูง กว่ามาตรฐาน 152 กก./ซม.^{2} และ 44 กก./ซม.^{2} แต่กลับพบว่ามอร์ต้าร์ผสมน้ำยางในอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 5% มีคุณสมบัติการรับแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐาน 26 กก./ซม.^{2}

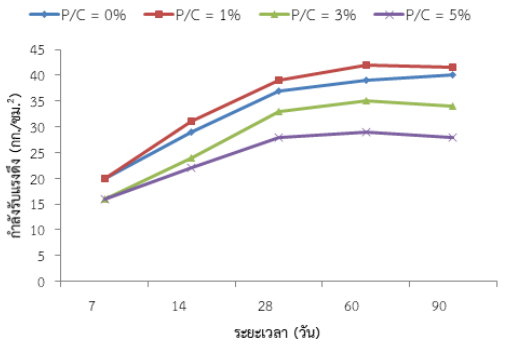


รูปที่ 8 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์

▪ กำลังรับแรงดึงมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา

ผลการทดสอบกำลังรับดึง (รูปที่ 9) พบว่ากำลังรับแรงดึงมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูงในช่วงระหว่าง 7 วัน ถึง 28 วัน หลังจากระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน การบ่มไม่มีผลต่อกำลังรับแรงดึงมากนัก คือกำลังรับแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง 28 วัน ถึง 90 วัน เมื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าร์ที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน พบว่าการเพิ่มน้ำยางพาราผสมในมอร์ต้าร์จะส่งผลกระทบต่อกำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าร์ เช่นมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราในอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 3% และ 5% ทำให้กำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าร์ลดลง 4 กก./ซม.^{2} และ 9 กก./ซม.^{2} เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์มาตรฐานที่ไม่ผสมน้ำยางพาราซึ่งมีค่ากำลังรับแรงดึง เท่ากับ 39 กก./ซม.^{2} อย่างไรก็ตามเมื่อใช้น้ำยางพาราผสมในมอร์ต้าร์ที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1%

ทำให้สมบัติการรับแรงดึงสูงกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐานที่ไม่ผสมน้ำยาง 5.4% (39 กก./ซม.^{2})

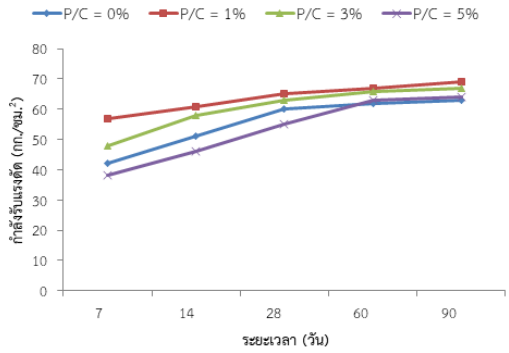


รูปที่ 9 กำลังรับแรงดึงของมอร์ต้าร์

- **กำลังรับแรงดัดมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา**

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา ดังรูปที่ 10 พบว่ากำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าร์มาตรฐานที่ไม่ได้ผสมน้ำยางพารา ระยะการบ่มของมอร์ต้าร์ 7 วัน, 14 วัน, 28 วัน, 60 วัน และ 90 วัน มีค่ากำลังรับแรงดัด เท่ากับ 42 กก./ซม.^{2}, 51 กก./ซม.^{2}, 63 กก./ซม.^{2}, 62 กก./ซม.^{2} และ 64 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% และ 3% ในช่วงอายุการบ่มของมอร์ต้าที่ 7 วัน ถึง 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงดัดสูงกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐาน

ในขณะที่มอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 5% มีค่ากำลังรับแรงดัดต่ำกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐาน เมื่อพิจารณากำลังรับแรงดัดที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน จะเห็นได้ว่ามอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% มีค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุด เท่ากับ 65 กก./ซม.^{2} ซึ่งสูงกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐานที่ไม่ผสมน้ำยางพารา 8.33% ในขณะที่มอร์ต้าร์ผสมน้ำยางที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 5% มีค่ากำลังรับแรงดัดต่ำสุด 55 กก./ซม.^{2} ซึ่งต่ำกว่าคอนกรีตมาตรฐาน 8.33%



รูปที่ 10 กำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าร์

3.2 การรั่วซึมน้ำของคูส่งน้ำ

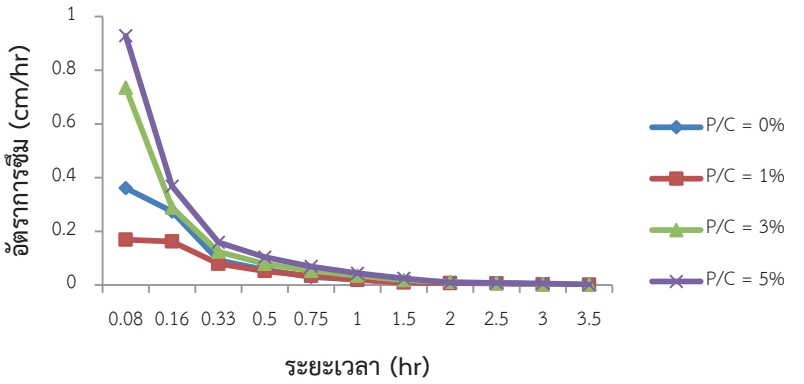
วิธีวัดการรั่วซึมของน้ำในคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ ได้ทำการวัดการรั่วซึมของน้ำในคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา ได้แก่ คูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์แบบไม่ผสมน้ำยาง และคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1%, 3% และ 5% อย่างละ 1 แบบจำลอง รวมทั้งหมด 4 แบบจำลอง

รูปที่ 11 ทดสอบการรั่วซึมน้ำ

รูปที่ 11 การทดสอบการรั่วซึมน้ำ โดยนำผลการทดสอบไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง log ($f - f_c$) กับเวลา t และนำไปวิเคราะห์ค่าคงที่การซึม (k) ของคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราในแต่ละอัตราส่วน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของการซึม (k)

คูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์	ค่าคงที่ของการซึม k (hr^{-1})
ไม่ผสมน้ำยางพารา P/C = 0%	1.33
ผสมน้ำยางอัตราส่วน P/C = 1%	1.45
ผสมน้ำยางอัตราส่วน P/C = 3%	1.38
ผสมน้ำยางอัตราส่วน P/C = 5%	1.42



รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมกับเวลา

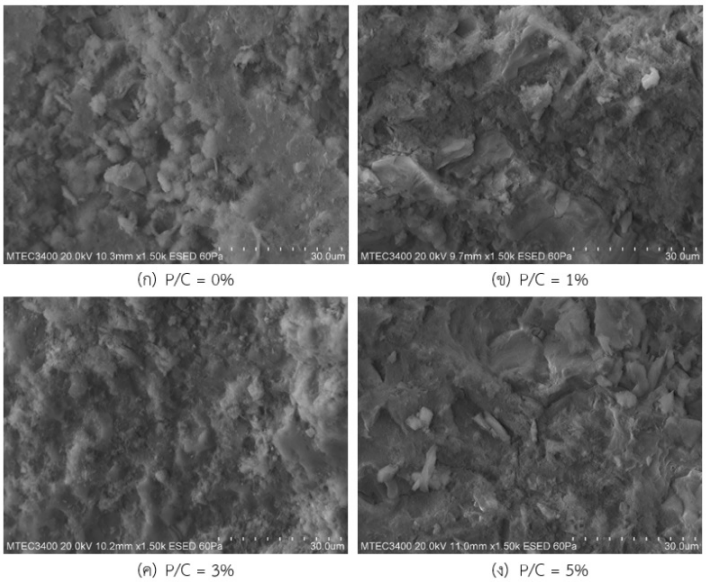
ผลการทดสอบอัตราการซึมนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอัตราการซึม (f) กับเวลา (t) ดังรูปที่ 12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นมีอัตราการซึมมีค่ามากเนื่องจากพื้นผิวคูส่งน้ำแห้งจึงทำให้มีการดูดซึมน้ำได้มาก จะเห็นได้ว่าอัตราการซึมเริ่มต้น (f_c) ของคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% มีค่าอัตราการซึม 3.61 มม./ชม., 1.67 มม./ชม., 7.35 มม./ชม. และ 9.28 มม./ชม.

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการซึมเริ่มต้นพบว่า คูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% จะมีค่าอัตราการซึมเริ่มต้นต่ำสุด และอัตราการซึมเริ่มต้นของคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 5% มีค่าอัตราการซึมเริ่มต้นสูงสุด จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าอัตราการซึมน้ำของคูส่งน้ำจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปผนังคูส่งน้ำเปียกและช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตมีปริมาณน้ำเข้าไปแทนที่และอิ่มตัวจึงทำให้อัตราการซึมของน้ำลดลง จนกระทั่งอัตราการซึมคงที่ ที่เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

3.3 การศึกษาโครงสร้างจุลภาค

ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายบนพื้นผิวของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราโดยใช้จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รูปที่ 13 (ก) ภาพถ่ายมอร์ต้าร์ไม่ผสมน้ำยางพารา (P/C=0%) กำลังขยาย 1,500 เท่า เห็นได้ว่าโครงสร้างจุลภาคของมอร์ต้าร์ไม่ผสมน้ำยางพาราพื้นที่ผิวมีลักษณะกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวและเป็นเหลี่ยมมุมมากกว่ามอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา และมีเส้นใยเล็กๆ บนพื้นผิวมอร์ต้าร์ ซึ่งอาจเป็นผลของแคลเซียมซิลิเกต-ไฮเดรตหรือเอทริงไกต์ที่เป็นผลิตผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของมอร์ต้าร์ รูปที่ 13 (ข) – (ง) ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1%, 3% และ 5% สังเกตได้ว่าลักษณะภาพถ่ายกำลังขยาย 1,500 เท่า พื้นผิวของมอร์ต้าร์ไม่ขรุขระ ลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกันและแน่นเต็มกระจายทั่วพื้นผิว ไม่มีรูพรุน เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์แบบธรรมดาที่ไม่ผสมน้ำยางพารา (รูปที่ 13 ก.) ลักษณะของเส้นใยเล็กๆ ลดลง เนื่องจากมอร์ต้าร์ที่ผสมน้ำยางพาราจะทำให้ปริมาณแคลเซียม (Ca) ลดลงจึงส่งผลกระทบต่อเส้นใยเล็กๆ ในเนื้อมอร์ต้าร์ลดลง

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนคุณสมบัติทางกลและการรั่วซึมน้ำของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราว่าให้แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง, การดูดซึมน้ำและการรั่วซึมน้ำของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา



รูปที่ 13 ภาพถ่ายด้วยกล้อง SEM กำลังขยาย 1,500 เท่า

3.4 อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งาน

จากผลการศึกษาสมบัติทางกลและการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำการศึกษาสมบัติความข้นเหลว และระยะการก่อตัวของซีเมนต์เพลสผสมน้ำยางพารา สมบัติการรับแรงอัด การรับแรงดัด การรับแรงดึง และการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา ผลการศึกษาข้างต้นควรเลือกใช้อัตราส่วนของเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% ซึ่งได้กำหนดอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1 ต่อ 2 (โดยน้ำหนัก) ดังนั้นจะใช้วัสดุต่างๆ ดังนี้ สำหรับปูซีเมนต์ 50 กก., ทราย (ละเอียด) 100 กก., น้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์ (%TSC = 60) 1 กก. และน้ำ 25 กก.

4. การทดสอบคูส่งน้ำในภาคสนาม

การศึกษาวิจัยมีเป้าหมายที่นำองค์ความรู้จากผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้มีการก่อสร้างคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราแบบดาดในที่และแบบสำเร็จรูปสำหรับใช้ในพื้นที่แปลงนา หมู่ที่ 9 ตำบลปงป่าหวาย อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ การก่อสร้างคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์แบบดาดในที่ มีขั้นตอนดังนี้

1. การออกแบบคูส่งน้ำ

การออกแบบคูส่งน้ำสำหรับใช้ทดสอบในภาคสนาม กำหนดหน้าตัดทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยยึดหลักการหน้าตัดที่ดีที่สุดทางชลศาสตร์รูปสี่เหลี่ยมคางหมู คือ ทางน้ำเปิดที่มีความลาดด้านข้างทำมุม 60 องศา กับแนวราบ และมีด้านทั้งสามเท่ากัน ขนาดความกว้างท้องคู 30 ซม. ความยาวของผนังทั้งสองด้าน 50 ซม. ทำมุม 60 องศากับแนวราบ ความสูง 35 ซม. ความหนา 5 ซม. และขอบด้านบนด้านละ 15 ซม.

2. การปรับพื้นที่แปลงนาและทำคันคูส่งน้ำ

การปรับพื้นที่แปลงนาสำหรับวางแนวคูส่งน้ำเป็นการปรับปรุงลักษณะพื้นที่ผิวดินที่มีลักษณะสูงๆ ต่ำๆ ให้ราบสม่ำเสมอกันตามระดับที่ต้องการ และทำคันคูส่งน้ำปล่อยให้ดินแห้ง 1-2 เดือน

3. ปูลวดตาข่ายหกเหลี่ยมโดยใช้ลูกปูนรองที่ใต้ลวดตาข่ายเพื่อให้ลวดตาข่ายอยู่ตรงกลาง และใช้ไม้รูปสี่เหลี่ยมคางหมูกั้นช่วงละ 2 เมตร ดังรูปที่ 14

รูปที่ 14 เตรียมคูดินสำหรับใช้ดาดด้วยมอร์ต้าร์

4. การดาดผนังคูส่งน้ำทำการเทเนื้อมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราลงบนผนังทีละด้าน หลังจากนั้นทำการดาดท้องคูส่งน้ำ โดยให้เนื้อมอร์ต้าร์หุ้มผิวลวดตาข่ายอย่างสม่ำเสมอ (รูปที่ 15) และให้ลวดตาข่ายอยู่ระหว่างกึ่งกลางความหนาของคูส่งน้ำ ให้ความหนาของคูส่งน้ำเท่ากับขนาดของไม้ที่วางกั้น (5 ซม.) ปล่อยให้เนื้อเฟอร์โรซีเมนต์แห้งประมาณ 10 – 15 นาที หลังจากนั้นทำการตกแต่งผิวคูส่งน้ำให้เรียบและมีความหนาสม่ำเสมอกันทั่วกัน โดยใช้ไม้สามเหลี่ยมแต่งผิวหน้าชุ่มน้ำให้เปียกและทำการปาดผิวหน้าเนื้อเฟอร์โรซีเมนต์เรียบและให้ได้ความหนาสม่ำเสมอกัน

รูปที่ 15 ดาดผนังคูโดยใช้มอร์ต้าร์ผสมน้ำยาง

5. การแต่งผิวผนังคูส่งน้ำแบบขัดหยาบ ทำหลังจากที่ดาดผนังและท้องคูส่งน้ำเรียบร้อยแล้วปล่อยแห้งประมาณ 1 ชั่วโมง จึงทำการแต่งผิวผนังคูส่งน้ำ โดยทำการแต่งแบบขัดหยาบใช้เกรียงไม้ขัดผนังคูส่งน้ำให้เรียบดูสวยงามเป็นเนื้อเดียวกัน ดังรูปที่ 16 และรูปที่ 17 ตัวอย่างคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์แบบดาดในที่ ก่อสร้างเสร็จในพื้นที่แปลงนา

รูปที่ 16 การแต่งผิวผนังคูส่งน้ำแบบขัดหยาบ

รูปที่ 17 คูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์แบบดาดในที่

4.1 ทดสอบการใช้งานคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์แบบดาดในที่ในพื้นที่แปลงนา

การพัฒนาคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้ในระบบชลประทานไร่นา มีเป้าหมายที่จะนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในอนาคต โดยมีการทดสอบการใช้งานในพื้นที่แปลงนาของเกษตรกร หมู่ที่ 9 ตำบลปงป่าหวาย อำเภอ

เด่นชัย จังหวัดแพร่ ซึ่งอยู่ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่ยม จังหวัดแพร่ การทดสอบการใช้งานหลังจากทำการก่อสร้างคูส่งน้ำ 2 เดือน ได้ทำการตรวจสอบผนังและท้องคูส่งน้ำพบว่าลักษณะของผนังและท้องคูส่งน้ำไม่มีรอยแตกร้าวตลอดแนวคูส่งน้ำ

ดังนั้นจึงทดสอบการใช้งานคูส่งน้ำโดยทำการปล่อยน้ำเข้าเข้าสู่คูส่งน้ำเพื่อทดสอบการไหลของน้ำเข้าสู่แปลงนา ดังรูปที่ 18 พบว่าปริมาณน้ำไหลเข้าสู่คูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์อย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำไหลเข้าสู่แปลงนาอย่างสะดวกและลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมระหว่างการส่งน้ำเข้าสู่แปลงนา ในช่วงระหว่างที่ทดสอบการใช้งานคูส่งน้ำ

สำหรับใช้คำนวณความเร็วกระแสน้ำ จากสมการ $V = L/t$ โดยที่ L คือ ระยะทาง (เมตร) และ t คือ เวลาที่บันทึกได้ (วินาที)

4) วัดขนาดหน้าตัดที่สัมผัสน้ำของคูส่งน้ำสี่เหลี่ยมคางหมูใช้คำนวณพื้นที่หน้าตัด (รูปที่ 20)
5) คำนวณหาอัตราการไหลของน้ำในคูส่งน้ำ จากสมการ $Q = AV$ โดยที่ V คือ ความเร็วกระแสน้ำ (เมตร/วินาที) และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของคูส่งน้ำที่สัมผัสน้ำ (ตารางเมตร) ผลการคำนวณอัตราการไหลในตารางที่ 3

รูปที่ 18 ทดสอบการใช้งานคูส่งน้ำ

รูปที่ 19 วัดความเร็วและอัตราการไหลของน้ำ

4.2 การติดตามประเมินผลการใช้งานคูส่งน้ำ

การติดตามประเมินผลการใช้งานคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราในช่วงฤดูกาลเพาะปลูก ดังนี้ ทำการวัดความเร็วของน้ำในคูส่งน้ำโดยใช้ทุ่นลอยเนื่องจากคูส่งน้ำมีขนาดเล็กอยู่ในแนวตรง มีหน้าตัดสม่ำเสมอ โดยมีขั้นตอนการวัดความเร็วกระแสน้ำดังนี้

1) กำหนดและวัดความยาวของคูส่งน้ำ ความยาวที่จะทำการวัดกระแสน้ำ 11 เมตร
2) ทำการปล่อยน้ำเข้าคูส่งน้ำและให้น้ำไหลเข้าคูส่งน้ำในระดับที่คงที่
3) เริ่มปล่อยทุ่นลอย (รูปที่ 19) และจับเวลา เมื่อทุ่นลอยมาถึงจุดสุดท้ายที่ห่างจากจุดเริ่มต้น บันทึกเวลา

รูปที่ 20 วัดขนาดหน้าตัดคูส่งน้ำ

ตารางที่ 3 ความเร็วและอัตราการไหลในคูส่งน้ำ

ครั้งที่	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	พื้นที่หน้าตัด (ตารางเมตร)	อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)
1	11	24.85	0.44	0.0464	0.0204
2	11	24.43	0.45	0.0464	0.0208
3	11	26.52	0.41	0.0464	0.0190
	ค่าเฉลี่ย		0.43	0.0464	0.0200

การติดตามประเมินในช่วงก่อนฤดูการเก็บเกี่ยวข้าว ดังรูปที่ 21 พบว่าลักษณะของคูส่งน้ำมีการใช้งานได้ตามปกติ แต่ปริมาณน้ำที่ไหลในคูส่งน้ำค่อนข้างน้อยเพราะว่าจากเกษตรกรได้งดการให้น้ำในนาข้าวเนื่องจากต้นข้าวได้ออกรวงในระยะที่ใกล้จะเก็บเกี่ยวผลผลิตในอีก 1 เดือนข้างหน้า ซึ่งจะเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวในเดือนพฤศจิกายน การสำรวจรอยแตกร้าวตามผนังและท้องคลองส่งน้ำ พบว่าไม่มีรอยแตกร้าวตามผนังและท้องคูและไม่มีการทรุดตัวของผนังคูส่งน้ำส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา โครงสร้างของคูส่งน้ำมีความแข็งแรงและมีความคงทนและสามารถใช้งานได้ในฤดูกาลเพาะปลูกในปีต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รูปที่ 21 ติดตามประเมินผลช่วงก่อนฤดูการเก็บเกี่ยวข้าว

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัยในห้องปฏิบัติการ

การพัฒนาคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้ในระบบชลประทานไร่นา ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลและทางกายภาพของมอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราชนิด พรีวัลคาไนซ์ในระดับห้องปฏิบัติการ ดังนี้ (1) การศึกษาความข้นเหลวปกติของซีเมนต์มอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพารา (2) การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นปูนซีเมนต์ (3) ทดสอบการรั่วซึมน้ำของคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ (4) การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา (5) การทดสอบกำลังรับแรงอัด (6) การทดสอบกำลังรับแรงดึง และ (7) การทดสอบกำลังรับแรงดัด

กำหนดอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1 : 2 (โดยน้ำหนัก) อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5 และอัตราส่วนของเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0%, 1%, 3% และ 5% จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่ามอร์ต้าร์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนของเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่า 1% มีสมบัติทางกลดีที่สุดและสามารถนำไปทดสอบการใช้งานภาคสนามในการก่อสร้างคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ในพื้นที่แปลงนา

5.2 สรุปผลการดำเนินงานภาคสนาม

การก่อสร้างคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราในพื้นที่แปลงนา ดังนี้

1) ขุดร่องคูส่งน้ำในพื้นที่แปลงนาโดยใช้รถแทร็กเตอร์ไถปรับระดับหน้าดินเดิมก่อนที่จะขุดร่องและปล่อยให้ดินแห้งอย่างน้อย 2 เดือน และทำการบดอัดดินตามร่องและคันคูส่งน้ำ กำหนดขนาดความกว้าง

ท้องคู 30 เซนติเมตร ความยาวของผนังทั้งสองด้าน 50 เซนติเมตร ความสูง 35 เซนติเมตร ความหนา 5 เซนติเมตร

2) วางลวดตาข่ายหกเหลี่ยมในคูส่งน้ำ โดยกำหนดความยาวของคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ที่จะทำการดาดช่วงละ 2 เมตร
3) เตรียมส่วนผสมต่างๆ ของวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ตามที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น และทำการผสมวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์โดยใช้กระบะผสมปูน รดน้ำให้ดินชุ่มก่อนที่จะทำการดาดคูส่งน้ำ
4) ทำการดาดผนังคูส่งน้ำทีละด้าน เทเนื้อวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราลงที่ผนังคูส่งน้ำ โดยให้เนื้อเฟอร์โรซีเมนต์หุ้มผิวลวดตาข่ายอย่างสม่ำเสมอ และให้ลวดตาข่ายอยู่ระหว่างกึ่งกลางความหนาของคูส่งน้ำ ปล่อยให้เนื้อเฟอร์โรซีเมนต์แห้งประมาณ 10 - 15 นาที หลังจากนั้นทำการตกแต่งผิวคูส่งน้ำให้เรียบและมีความหนาสม่ำเสมอกันทั่วกัน คูส่งน้ำต้นแบบเฟอร์โรซีเมนต์แบบดาดในที่ มีความยาว 200 เมตร

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) การเตรียมส่วนผสมวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์สำหรับใช้ก่อสร้างคูส่งน้ำในภาคสนาม ควรใช้ปริมาณน้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์ในอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ระหว่าง 1%-3% ถ้าใช้น้ำยางพาราในอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์มากกว่า 1% จำเป็นที่จะต้องใช้สารลดแรงดึงผิวผสมเพิ่มในน้ำยางพาราเพื่อป้องกันการจับตัวของเนื้อยางและทำให้น้ำยางพาราสามารถผสมเข้ากันได้ดีกับวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์
2) การหล่อคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์แบบสำเร็จรูป จำเป็นที่จะต้องทาน้ำยาแบบหล่อหรือจะใช้น้ำมันทาแบบหล่อเพื่อให้ถอดแบบง่ายขึ้น และควรวางโครงเหล็กพร้อมลวดตาข่ายให้อยู่ตรงกึ่งกลางแบบหล่อ
3) ควรมีการบ่มชิ้นส่วนคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์แบบสำเร็จรูปอย่างน้อย 28 วัน ก่อนที่จะนำไปติดตั้งในพื้นที่แปลงนา โดยใช้กระสอบป่านชุบน้ำให้ชุ่มคลุมคูส่งน้ำเพื่อเพิ่มกำลังรับแรง (strength) ของคูส่งน้ำ
4) ควรติดตั้งคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ก่อนช่วงฤดูฝนและฤดูกาลเพาะปลูก เนื่องจากปริมาณฝนและน้ำในคลองชลประทานจะเป็นอุปสรรคต่อการก่อสร้างและติดตั้งคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ในพื้นที่แปลงนา
5) การก่อสร้างคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์แบบดาดในที่ควรมีการขุดหรือทำร่องคูส่งน้ำไว้ล่วงหน้าอย่างน้อย 2 เดือน เนื่องจากจะทำให้ดินแห้งและแน่นก่อนที่จะทำการดาดคูส่งน้ำในพื้นที่แปลงนา
6) ควรมีการติดตามประเมินผลการใช้งานคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราแบบดาดในที่และแบบสำเร็จรูปอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 3 ปี หลังเสร็จสิ้นโครงการ โดยติดตามประเมินผลในช่วงฤดูกาลเพาะปลูกและหลังฤดูกาลเพาะปลูก สรุปผลการใช้งานจริงในพื้นที่แปลงนาเพื่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อไป
7) การนำคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราไปใช้งานในพื้นที่การเกษตรที่มีสภาพภูมิประเทศต่างกัน เช่น ในพื้นที่ดินเหนียวควรมีการเพิ่มความหนาของผนังคูส่งน้ำจาก 5 เซนติเมตร เป็น 8 เซนติเมตร เนื่องจากพื้นที่ดินเหนียวมีแรงดันด้านข้างมากเมื่อเทียบกับดินทราย แต่สำหรับก่อสร้างคูส่งน้ำในพื้นที่ดินทรายแนะนำความหนา 5 เซนติเมตร

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ปีงบประมาณ 2560 ขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกร หมู่ที่ 9 ตำบลปงป่าหวาย อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ ที่ได้ให้ความร่วมมือการศึกษาวิจัยภาคสนามและเอื้อเฟื้อพื้นที่แปลงนาสำหรับใช้ในการก่อสร้างและติดตั้งคูส่งน้ำเฟอร์โรซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา มา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

1. Plangoen, P. and Chuntavan, C., 2016, The Development of Irrigation Canal mix with Rubber Latex for Farm Irrigation System, Final Technical Report to Agricultural Research Development Agency (Public

Organization), Bangkok. (In Thai)

2. Austriaco, R.L. and Nimityonngslul, P., 1987, Ferrocement Canal Linning, International Ferrocement Information Center, Bangkok, pp. 1-20.

3. Nagraj, T.S., Iyengar, R. and Rao, K., 2010, "Super Plasticized Natural Rubber Latex Modified Concrete," *Cement and Concrete Research*, 18 (1), pp. 138-144.

4. Bala, M. and Ismail, M., 2012, "Performance of Natural Rubber Latex Mdified Concrete in Acidic and Sulphated Environments," *ELSEVIER Journal of Construction and Building Materials*, 31, pp. 129-134.

5. Shobha, M.S., Shashidhar, C. and Sudarsana, H., 2013, "Strength Studies of Natural Rubber Latex Modified High Performance Concrete," *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2 (5), pp. 1836-1852.

6. Plangoen, P. and Chuntavan, C., 2018, "The Development of mortar Mixed with Rubber Latex for Irrigation Canal Maintenance," *KMUTT Research and Development Journal*, 41 (2), pp. 211-223. (In Thai)

7. American Society for Testing and Materials, 2008, "ASTM C33 / C33M - 08 Standard Specification for Concrete Aggregates," Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, PA, USA.

8. American Society for Testing and Materials, 2008, "ASTM C109/C109M Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars," Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, PA, USA.

9. American Society for Testing and Materials, 2008, "ASTM C190-85 Method of Test for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars," Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.02, PA, USA.

10. 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.