



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาสูตรมอร์ต้าผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองส่ง
น้ำชลประทาน

โดย

พีรวัฒน์ ปลาเงิน และคณะ

มิถุนายน 2555

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาสูตรมอร์ต้าผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองส่ง
น้ำชลประทาน

คณะผู้วิจัย

นายพีรวัฒน์ ปลาเงิน
นายสมศักดิ์ ชินวิกภัย
นายสุขสันต์ พิริยะคอนานนท์
นายทิวาทิตย์ ทองเลิศ

สังกัด

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็ก เรื่อง ยางพารา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ การพัฒนาสูตรมอร์ต้าผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองส่งน้ำ
ชลประทาน
English The Development of Mortar mixed with Latex for Jointed Irrigation Canal Crack

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล นายพีรวัฒน์ ปลาเงิน

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ที่อยู่ 38 อาคาร 9 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสยาม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160

โทรศัพท์ 02-8678088 ต่อ 128 โทรสาร 02-4570068 ต่อ 128

E-mail pheerawat.pla@siam.edu

ผู้วิจัยร่วม/นักศึกษา

1. นายสมศักดิ์ ชินวักกัย
2. นายทิวาทิตย์ ทองเลิศ
3. นายสุชสันต์ พิริยะคณานนท์

ระยะเวลาดำเนินการ 11 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2554 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2555

ความเป็นมาและความสำคัญ

คลองส่งน้ำชลประทาน มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับ โครงการชลประทานเพราะนำน้ำจากแหล่งน้ำไปสู่พื้นที่เพาะปลูก ในปัจจุบันคลองส่งน้ำส่วนใหญ่เป็นคลองลาดคอนกรีตและปัญหาที่สำคัญสำหรับคลองลาดคอนกรีตเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดปัญหาการแตกร้าวตามผิวน้ำและท้องคลอง ทำให้เกิดปัญหาตามมา เช่น การรั่วซึมของน้ำและเกิดการทับถมของตะกอนดินในคลองส่งน้ำ จากผลงานวิจัย “การศึกษาการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา ” (พีรวัฒน์, RDG4850062) ผลการวิจัยพบว่า คลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 7.5% , 10% ,12.5% และ 15% มีค่าอัตราการรั่วซึม 3.43 มม./วัน 2.99 มม./วัน 2.83 มม./วัน และ 8.20 มม./วัน ในขณะที่แบบจำลองที่ไม่ผสมน้ำยางพารา อัตราการรั่วซึม 5.40 มม./วัน จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถลดอัตราการรั่วซึมของน้ำได้ ดังนั้นผู้วิจัยเห็นสมควรที่จะมีการวิจัยต่อยอด โดยพัฒนามอร์ต้าที่มีส่วนผสมของน้ำยางสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยแตกร้าวในคลองชลประทานเพื่อป้องกันการรั่วซึมและซ่อมแซมรอยแตกร้าวในคลองชลประทาน

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาอัตราส่วนผสมของมอร์ต้าผสมน้ำยางชั้นรวมทั้งทดสอบคุณสมบัติความชื้นเหลว, คุณสมบัติด้านกำลัง, การยึดเกาะ และการกันซึม ของมอร์ต้าผสมน้ำยางชั้น
2. วิเคราะห์และคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวเชื่อมประสาน (ParaMortar) (จากวัตถุประสงค์ 1) ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองชลประทานเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำและซ่อมแซมคลองชลประทาน
3. วิเคราะห์จุดคุ้มทุนและเปรียบเทียบด้านราคา คุณภาพ และความสะดวกในการปฏิบัติงาน กับวัสดุที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในปัจจุบัน

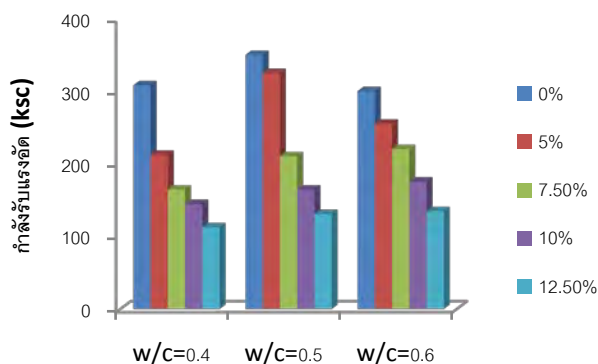
ผลการดำเนินงาน

การพัฒนา มอร์ต้าผสมน้ำยางพารา ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยแตกร้าวในคลองชลประทาน การทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งประกอบไปด้วย

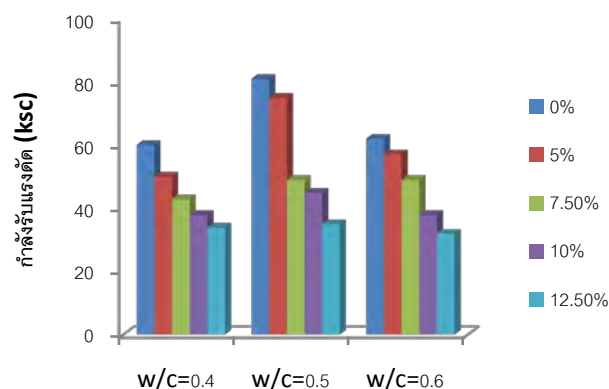
- การทดสอบความชื้นเหลวของซีเมนต์ผสมน้ำยาง ความชื้นเหลวของมอร์ต้าผสมน้ำยางชั้นนี้จะเป็นตัวที่ทำให้ความแข็งแรงของมอร์ต้าสูงขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับสภาพความชื้นเหลว ดังนั้นจึง หาปริมาณน้ำและน้ำยางชั้นที่เหมาะสมสำหรับทำปฏิกิริยากับซีเมนต์
- การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง (การรับแรงอัด, แรงดัด และ การยึดเกาะ) เนื่องจากแรงที่กระทำต่อผนังคลองชลประทานประกอบด้วยแรงดันของน้ำและแรงเฉือน ดังนั้นการทดสอบด้านกำลังรับแรงเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมด้านกำลังของมอร์ต้าผสมน้ำยางที่สามารถรับแรงดันน้ำ และทดสอบคุณสมบัติด้านการยึดเกาะระหว่างมอร์ต้าใหม่กับผสมน้ำยางและคอนกรีตเก่า
- การทดสอบการดูดซึมและการรั่วซึมของแบบจำลองมาตรฐานและผสมน้ำยางเพื่อหาอัตราการรั่วซึมของแบบจำลอง

ผลการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมซีเมนต์, น้ำยาง และสารผสมเพิ่มอื่นๆ เนื่องจาก ซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยางชั้นจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ดังนั้นการทดสอบนี้เป็นการหาปริมาณน้ำที่พอเหมาะสำหรับผสมซีเมนต์และน้ำยาง หา ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจมปลาย Plunger และเปอร์เซ็นต์น้ำและน้ำยาง โดยใช้ปริมาณที่ใช้ผสม 5% 7.5% 10% และ 12.5% ข้อกำหนดไว้ระยะจมปลาย Plunger เทียบกับอัตราส่วนของน้ำที่ระยะจม 10 ± 1 มม. จากผลการทดสอบพบว่าอัตราการส่วนผสมของซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยางอยู่ระหว่าง 0.37 – 0.50 ดังนั้น ค่าอัตราส่วนของน้ำและน้ำยางต่อซีเมนต์ (w/c) ที่ใช้สำหรับงานวิจัยโดยกำหนดค่าอยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6

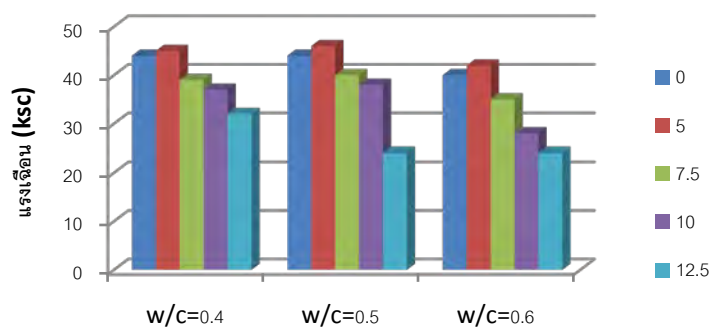
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงมอร์ต้าผสมน้ำยางและเปรียบเทียบกับมอร์ต้ามาตรฐาน การรับกำลังอัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยาง การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า (Compressive Strength) โดยการหล่อก้อนทดสอบรูปลูกบาศก์ขนาด ประมาณ $5 \times 5 \times 5$ ซม. เปรียบเทียบความแข็งแรงระหว่างมอร์ต้ามาตรฐานและมอร์ต้าผสมน้ำยาง



(ก) กำลังรับแรงอัด



(ข) กำลังรับแรงดึง



(ค) กำลังรับแรงเฉือน

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด แรงดึง และแรงเฉือน (ksc) และอัตราส่วน w/c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 1 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำยาที่ผสม และ อัตราส่วน water/cement ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ากำลังรับอัดของมอร์ต้าลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งแปรผันตามเปอร์เซ็นต์น้ำยาที่เพิ่มขึ้น โดยค่า w/c = 0.4 กำลังรับแรงอัด มีค่าระหว่าง 113 – 308 ksc, w/c = 0.5 กำลังรับแรงอัด 131 – 350 ksc และ w/c = 0.6 กำลังรับแรงอัด 135 – 300 ksc.

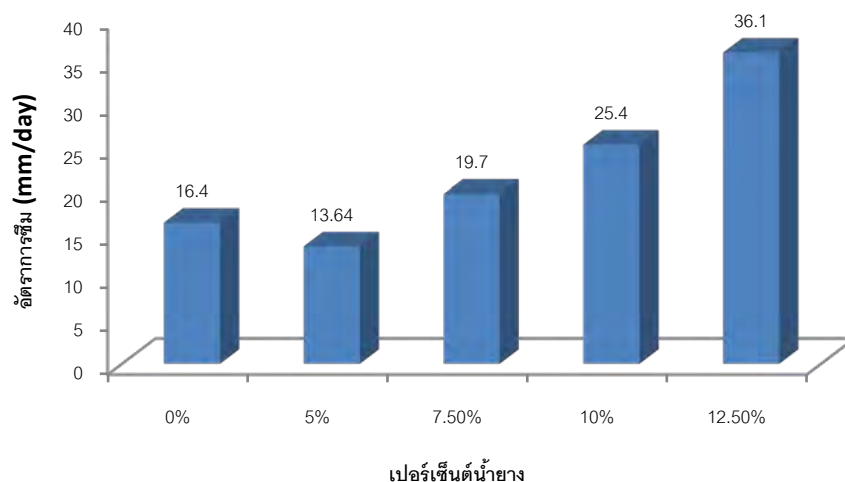
ผลการทดสอบแรงดึงของมอร์ต้าผสมน้ำยา จะหาค่าของโมดูลัสการแตกหักซึ่งหาค่าจากแรงสูงสุดทำให้เกิดการแตกหัก จากรูปที่ 1 (ข) แสดงให้เห็นว่า ค่าโมดูลัสการแตกหักของมอร์ต้าทั้งผสมและไม่ผสมน้ำยาจะมีค่ามากขึ้นตามอายุของการบ่มมอร์ต้า แต่อย่างก็ตาม เมื่อผสมน้ำยาในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสการแตกหักจะมีค่าลดลงตามปริมาณน้ำยาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำยาปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดแผ่นฟิล์มและเส้นใยยางแทรกอยู่ในเนื้อมอร์ต้า

ผลการทดสอบการยืดเกาะหรือแรงเฉือนของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยา เพื่อทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนและพฤติกรรมของมอร์ต้าเพื่อนำไปใช้งานซ่อมแซมคลองชลประทาน จากรูปที่ 1 (ค) พบว่าผลการ

ทดสอบแรงเค้นมีลักษณะเหมือนกับการทดสอบแรงอัดและแรงดัด กล่าวคือ แรงเค้นจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำยางต่อปูนซีเมนต์ เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงเค้นลดลง แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าปริมาณน้ำยางที่ 5% ค่ากำลังรับแรงเค้นมากกว่ามอร์ต้ามาตรฐาน แต่ปริมาณน้ำยางที่มากกว่า 5% กำลังรับแรงเค้นลดลงอย่างต่อเนื่อง

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยางในอัตราส่วนต่างๆ และค่า $w/c = 0.4, 0.5$ และ 0.6 เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและการดูดซึมความชื้นของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง $5.35\% - 9.21\%$ ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 30 ถือว่าเป็นค่าที่ได้มาตรฐานของการดูดซึม ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ $w/c = 0.5$ และ เปอร์เซ็นต์น้ำยาง 5% ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำไม่เกิน

ผลการทดสอบการรั่วซึมของแบบจำลองมาตรฐานและผสมน้ำยาง จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ คุณสมบัติความชื้นเหลวและด้านการรับกำลังของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง พบว่าอัตราส่วน อัตราส่วนการใช้ น้ำและน้ำยางต่อซีเมนต์ $w/c = 0.5$ และปริมาณน้ำยางที่ใช้ในการผสมมอร์ต้า 5%, เป็นอัตราส่วนที่ใช้เหมาะสม และได้มาตรฐานสำหรับการทดสอบ ดังนั้นจึงเลือก ค่า $w/c = 0.5$ ใช้ในการหล่อแบบจำลองเพื่อวัดปริมาณการรั่วซึม และปริมาณน้ำยาง 0%, 5%, 7.5%, 10% และ 12.5% สำหรับแต่ละแบบจำลอง



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมกับปริมาณน้ำยาง

จากรูปที่ 2 พบว่าอัตราการรั่วซึมของแบบจำลองที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 5% มีค่าอัตราการซึมต่ำกว่าแบบจำลองที่ไม่ผสมของน้ำยางอยู่ ประมาณ 2.76 มม./วัน หรือ 16.82% และแบบจำลองที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 5%, 10% และ 12.5 % มีค่าอัตราการซึมสูงกว่าแบบแบบจำลองที่ไม่ผสมของน้ำยาง 19.7 มม./วัน, 25.4 มม./วัน และ 36.1 มม./วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การใช้ น้ำยางที่ผสมในมอร์ต้าในเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมประมาณ 5% สามารถลดอัตราการรั่วซึมของน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตาม หากใช้น้ำยางที่ผสมในมอร์ต้าปริมาณสูงกว่า 5% จะทำให้เกิดการรั่วซึมมากกว่า เพราะว่าเนื้อยางที่ผสมในมอร์ต้าในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดเนื้อยางที่จับตัวเป็นก้อนเล็กๆ ในมอร์ต้าและทำให้เกิดรูพรุนดังนั้นน้ำสามารถซึมผ่านได้ง่าย

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาสูตรมอร์ต้าผสมน้ำยางสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองส่งน้ำชลประทานซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังซึ่งประกอบไปด้วย คุณสมบัติด้านแรงอัด แรงดัด และการยึดเกาะ ทั้ง 3 การทดสอบโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำและน้ำยางต่อซีเมนต์ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผลการทดสอบสรุปได้ว่า คุณสมบัติด้านกำลังสำหรับมอร์ต้าที่ไม่ผสมน้ำยาง สามารถรับแรงได้ตามมาตรฐานที่กำหนด สำหรับมอร์ต้าที่ผสมน้ำยาง 5% , 7.5% , 10% และ 12.5% w/c เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 คุณสมบัติด้านกำลังลดลงตามลำดับเมื่อเทียบกับมอร์ต้ามาตรฐาน แต่คุณสมบัติด้านกำลังของมอร์ต้าผสมน้ำยาง 5% และ w/c = 0.5 คุณสมบัติด้านกำลังมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ต้ามาตรฐานและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ดังนั้นจึงเลือกใช้มอร์ต้าสำหรับเป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองชลประทานที่ผสมน้ำยาง 5% และอัตราส่วนของน้ำและน้ำยางต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5 ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองชลประทานได้และสามารถลดอัตราการรั่วซึมของน้ำในคลองชลประทานได้ดีกว่ามอร์ต้าปกติ การรั่วซึมของมอร์ต้าผสมน้ำยางที่ปริมาณน้ำยาง 5% มีการรั่วซึมน้อยกว่ามอร์ต้าปกติที่ไม่ผสมน้ำยาง สามารถลดการรั่วซึมได้ถึง 16.82% และคุณสมบัติด้านกำลัง (การรับแรงอัด , แรงดัด และแรงเฉือน) มีค่าใกล้เคียงกับมอร์ต้ามาตรฐาน แต่สำหรับกรณีที่ใช้น้ำยางผสมมอร์ต้าที่ปริมาณ 7.5%, 10% และ 12.5 % จะส่งผลกระทบต่อมอร์ต้าทั้งด้านการรับกำลังต่ำกว่าค่ามาตรฐานและการรั่วซึมของน้ำในปริมาณที่สูงกว่ามอร์ต้าปกติ

วิเคราะห์จุดคุ้มทุนและเปรียบเทียบด้านราคา สำหรับตัวเชื่อมประสาน (Paramortar) จากการวิจัยนี้พบว่า มีคุณภาพด้านกำลัง (กำลังรับแรงอัด แรงดัด แรงเฉือน และการรั่วซึม) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดีเมื่อเทียบกับมอร์ต้ามาตรฐาน เปรียบเทียบด้านราคาของ Paramortar และซีเมนต์มอร์ต้าป้องกันน้ำรั่วซึมในท้องตลาด แสดงให้เห็นว่า ราคาต่อกิโลกรัม ประมาณ 6 บาทต่อ กิโลกรัม ขณะที่ซีเมนต์มอร์ต้าอื่นๆ ราคา ประมาณ 38- 200 บาทต่อกิโลกรัม จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงสมควรนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ “มอร์ต้าป้องกันน้ำรั่วซึม” ซึ่งสามารถใช้สำหรับอุดรอยร้าวและป้องกันการรั่วซึมในคลองชลประทานและตามอาคารบ้านเรือนที่มีรอยรั่วซึมของน้ำ ดังนั้นควรพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ควรมีการทดสอบจริงในระบบคลองชลประทานและเปรียบเทียบคุณสมบัติกับซีเมนต์มอร์ต้าป้องกันน้ำรั่วซึมที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม

1. ควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่สามารถต้านทานเกลือซัลเฟตได้ เพราะน้ำในคลองชลประทานส่วนมากมีปริมาณเกลือซัลเฟตสูง ดังนั้นควรใช้ Modified Portland Cement
2. ผลิตภัณฑ์ “Para-Mortar” ที่ได้จากวิจัยในครั้งนี้ควรมีการวิจัยต่อยอดโดยการนำผลการวิจัยที่ได้ไปทดสอบในคลองชลประทานและทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับซีเมนต์มอร์ต้าป้องกันน้ำรั่วซึมที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
3. จากการเปรียบเทียบด้านราคาและคุณภาพ จะเห็นได้ว่า “ParaMortar” มีต้นทุนที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นมาก ดังนั้นหลังจากที่มีการทดสอบในภาคสนามแล้ว ควรมีการปรับปรุงรูปแบบการใช้ให้ง่ายต่อการใช้งานจริง
4. งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ ดังนั้นสมควรอย่างยิ่งที่จะต่อยอดงานวิจัยในระดับภาคสนาม ซึ่งควรที่จะนำ “Para-Mortar” ไปทดสอบในคลองชลประทานที่ปัญหาการแตกร้าวตาม

ผนังคลองและวัดปริมาณการรั่วซึมในภาคสนามและศึกษาพฤติกรรมทางกายภาพของ “Para-Mortar” หลังจากการใช้งานจริง และประเมินผลการทดสอบในภาคสนาม แต่อย่างไรก็ตาม การทดสอบในภาคสนามนั้น จะต้องมียุทธศาสตร์ที่เข้ามาเกี่ยวข้องได้แก่ สกว. , โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ในสังกัดกรมชลประทาน และ มหาวิทยาลัยสยาม ซึ่งจะเป็นงานวิจัยต่อยอดร่วมกัน 3 หน่วยงาน เพื่อที่จะประเมินประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ “Para-Mortar” จากการวิจัยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น หลังจากนั้นจะนำสู่ภาคเกษตรกรรมนำไปใช้งานจริงต่อไป

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

- เสนอผลงานวิจัยฯ ประชุมวิชาการคอนกรีต ครั้งที่ 8 วันที่ 22 – 24 ตุลาคม 2555 ณ โรงแรม อมารี ออคิดพัทยา จังหวัดชลบุรี

ชื่อโครงการ การพัฒนาสูตรมอร์ต้าผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองส่งน้ำ
ชลประทาน

The Development of Mortar mixed with Latex for Jointed Irrigation Canal Crack

ผู้วิจัย นายพีรวัฒน์ ปลาเงิน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรมอร์ต้าผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองส่งน้ำชลประทาน โดยพิจารณาถึงการทดสอบความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์ผสมน้ำยาง กำลังรับแรงอัด แรงดัด แรงเฉือน การดูดซึมน้ำ และการรั่วซึมของมอร์ต้าผสมน้ำยาง โดยกำหนดปริมาณน้ำยาง 5% , 7.5%, 10% และ 12.5% ของปริมาณน้ำที่ใช้ผสมมอร์ต้า อัตราส่วนระหว่างน้ำและน้ำยางต่อปูนซีเมนต์ (w/c) 0.4, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ อัตราส่วนของซีเมนต์ต่อทราย เท่ากับ 1:3 โดยน้ำหนัก และทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด กำลังรับแรงเฉือน ตามลำดับ โดยบ่มขึ้น 7 วัน ตามด้วยบ่มแห้งอากาศที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ตามลำดับ ทำการทดสอบการดูดซึมน้ำ และการรั่วซึมในแบบจำลอง ผลการวิจัยพบว่าอัตราส่วนน้ำยางและน้ำต่อปูนซีเมนต์ เสนอแนะให้ใช้ เท่ากับ 0.5 และปริมาณน้ำยาง 5% ที่อายุการบ่ม 28 วัน ได้กำลังรับแรงอัด 325 ksc. กำลังรับแรงดัด 75 ksc. กำลังรับแรงเฉือน 46 ksc. ร้อยละการดูดซึมน้ำ 5% และอัตราการรั่วซึม 13.64 มม./วัน ตามลำดับ ดังนั้น “Para-Mortar” จากการผลวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ซ่อมแซมรอยร้าวในคลองชลประทานเพื่อลดอัตราการรั่วซึมและดูดซึมน้ำตามผนังคลองชลประทานได้

ABSTRACT

The aim of this research was to develop of mortar mix with latex for jointed irrigation canal crack. The tests were performed to analyze the normal consistency of Para-Mortar with respect to compressive strength, flexural strength, shear strength, water absorption and seepage loss. Latex was mixed with water in different proportions of 5%, 7.5%, 10% and 12.5% to prepare the solutions which was further added to mortar. The different proportions (0.4, 0.5 and 0.6) of water latex solution and cement (w/c) were also tested. Cement and sand ratio was always constant 1:3 (w/w). The strength test was done after 7 days for moist cured and at 3, 7 and 28 days for dry cured. Absorption and seepage loss of mortar with latex were also tested in the model. The results of the study show that 5% latex solution with water mixed with cement in the proportion of 0.5 gives the best performance. Average strengths on 28th day were 325 ksc of compressive strength, 75 ksc of flexural strength and 46 ksc of shear strength. Average water absorption during 28 days was 5% and seepage loss was 13.64 mm/day. Therefore, Para-Mortar as developed from this research is able to repair irrigation canal crack in order to reduce seepage loss and water absorption on irrigation canal wall.

KEYWORDS : Mortar, Latex, Para-Mortar, Seepage loss, Irrigation canal

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้ จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงหากไม่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ศ.ดร.สวัสด์ ตันตระกูลรัตน์ ผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และอาจารย์วราภรณ์ ขจรไชยกูล ผู้อำนวยการโครงการวิจัยแห่งชาติ : ยางพารา

ขอขอบพระคุณ ดร.พรชัย มงคลวนิช อธิการบดีมหาวิทยาลัยสยาม และอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ได้ให้การสนับสนุนและโอกาสในการทำงานอย่างเต็มที่และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือของห้องปฏิบัติการอย่างดียิ่ง

คณะผู้วิจัย

มิถุนายน 2555

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ช
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
กิตติกรรมประกาศ	ฅ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ทางเลือกและแนวทางการแก้ปัญหา	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	3
2.1 น้ำยางชั้น	3
2.2 คุณสมบัติของ Latex, Latex Modified Mortar และ Latex Modified concrete	4
2.3 สารผสมเพิ่มในคอนกรีต	13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการศึกษา	15
3.1 วัสดุ, อุปกรณ์ และ เครื่องมือทดสอบ	16
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	16
3.3 การทดสอบหาความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์ผสมน้ำยางชั้น	18
3.4 การทดสอบหาความชื้นเหลวของมอร์ต้าผสมน้ำยางชั้น	18
3.5 การทดสอบหาล้างรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมน้ำยางชั้น	19
3.6 การทดสอบแรงดัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางชั้น	20
3.7 การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา	20
3.8 การทดสอบการรั่วซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยาง	22
บทที่ 4 ผลการศึกษา	23
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	40

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 รอยร้าวตามแนวนอนบนคลองตาดคอนกรีต	1
รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการก่อตัวของชั้นฟิล์มของ Latex บน Cement	7
รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการก่อตัวของ Comatrix ใน LMC หรือ LMM	8
รูปที่ 2.3 แสดงผลอันเนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาค Polymer ขณะแขวนลอยอยู่ใน Latex	10
เหลว	
รูปที่ 3.1 Framework สำหรับการศึกษา	17
รูปที่ 3.2 พื้นที่รับแรงเฉือนของแท่งทดสอบ	21
รูปที่ 3.3 แท่งทดสอบแรงเฉือนหรือการยึดเกาะในมอร์ต้าติดตั้งในอุปกรณ์ทดสอบแรงเฉือน	21
รูปที่ 3.4 แบบจำลองถังน้ำสำหรับใช้ทดสอบการกันซึม	22
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจมน้ำ Plunger และเปอร์เซ็นต์น้ำและน้ำยาง 5% 7.5% 10% และ 12.5%	24
รูปที่ 4.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง	25
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.4	26
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.5	26
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.5	27
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า (ksc) และอัตราส่วน w/c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน	27
รูปที่ 4.7 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง	28
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.4	28
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.5	29
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.6	29
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้า (ksc) และอัตราส่วน w/c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน	30
รูปที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของมอร์ต้า ที่ w/c = 0.4, 0.5 และ 0.6	31
รูปที่ 4.13 การทดสอบการยึดเกาะของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง	31
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.4	32
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.4	32
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.6	33
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนของมอร์ต้า (ksc) และอัตราส่วน w/c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน	33
รูปที่ 4.18 แบบจำลองบ่อทดสอบการรั่วซึมของน้ำ	34

รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอัตราการซึมกับเวลาแบบจำลองที่ผสมน้ำยาง 0% 7.5% 10% และ 12.5%	34
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมกับปริมาณน้ำยาง	35

สารบัญตาราง

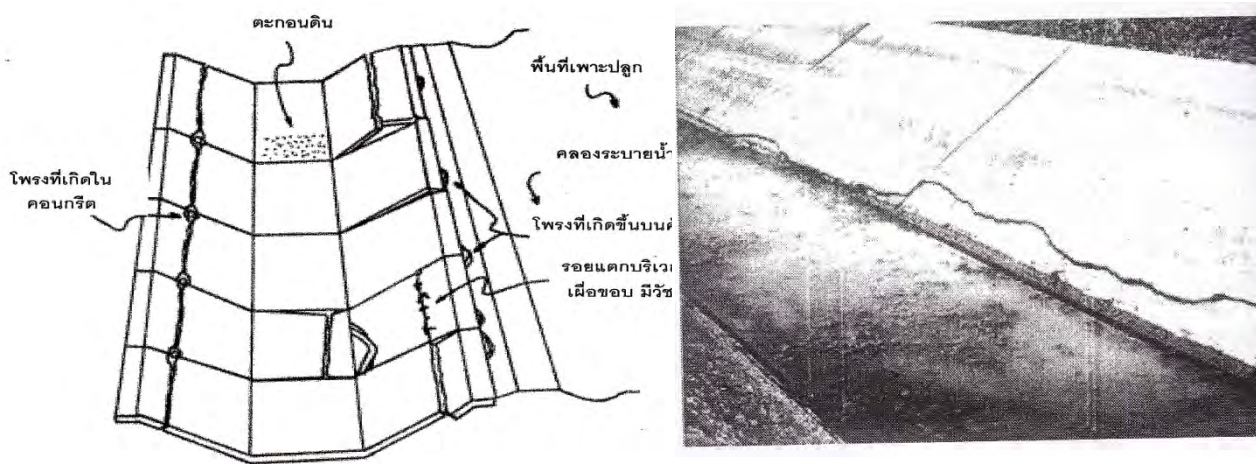
	หน้า
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของมอร์ต้า ที่ปริมาณน้ำยาง 10% ของน้ำ	16
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความชื้นเหลือปกติ และ ค่า w/c	24
ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ของการซึม k ของแบบจำลองการรั่วซึม	35
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบด้านราคาสำหรับมอร์ต้าผสมน้ำยาง (Paramortar) $w/c = 0.5$ และ น้ำยาง 5%	36
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบด้านราคา Para-Mortar และ ซีเมนต์มอร์ต้าป้องกันน้ำรั่วซึม	37

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

คลองส่งน้ำชลประทานเป็นทางน้ำสำหรับนำน้ำจากแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นต้นน้ำของโครงการชลประทานไปยังพื้นที่เพาะปลูก โดยน้ำจากแหล่งน้ำจะกระจายไปยังพื้นที่เพาะปลูกได้ทั่วถึงด้วยคลองต่างๆ ที่มีในเขตโครงการชลประทานนั้น และ คลองส่งน้ำชลประทานเป็นหัวใจสำคัญสำหรับระบบชลประทาน แต่คลองส่งน้ำในหลายพื้นที่ได้ประสบปัญหา รอยร้าวในคลองชลประทานและทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำ ผลที่ตามมาเกิดการทับถมของตะกอนดินในคลองชลประทาน และ โพรงที่เกิดจากการกัดเซาะหลังคลองดาดคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 รอยร้าวตามแนวนอนบนคลองดาดคอนกรีต

1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาอัตราส่วนผสมของมอร์ต้าผสมน้ำยางชันรวมทั้งทดสอบคุณสมบัติความชื้นเหลว, คุณสมบัติต้านกำลัง, การยึดเกาะ และการกันซึม ของมอร์ต้าผสมน้ำยางชัน
2. วิเคราะห์และคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวเชื่อมประสาน (ParaMortar) (จากวัตถุประสงค์ 1) ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองชลประทานเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำและซ่อมแซมคลองชลประทาน
3. วิเคราะห์จุดคุ้มทุนและเปรียบเทียบด้านราคา คุณภาพ และความสะดวกในการปฏิบัติงาน กับวัสดุที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในปัจจุบัน

1.3 ทางเลือกและแนวทางการแก้ปัญหา

คลองส่งน้ำชลประทานเป็นตัวขับเคลื่อนที่สำคัญของโครงการชลประทานเพราะนำน้ำจากแหล่งน้ำไปสู่พื้นที่เพาะปลูก ในปัจจุบันคลองส่งน้ำส่วนใหญ่เป็นคลองตาดคอนกรีตและปัญหาที่สำคัญสำหรับคลองตาดคอนกรีตเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดปัญหาการแตกร้าวตากผิวงและท้องคลอง ทำให้เกิดปัญหาตามมา เช่น การรั่วซึมของน้ำและเกิดการทับถมของตะกอนดินในคลองส่งน้ำ จากผลงานวิจัย “การศึกษาการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา ” (พีรวัฒน์, RDG4850062) ผลการวิจัยพบว่า คลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา 7.5% , 10% ,12.5% และ 15% มีค่าอัตราการรั่วซึม 3.43 มม./วัน 2.99 มม./วัน 2.83 มม./วัน และ 8.20 มม./วัน ในขณะที่แบบจำลองที่ไม่ผสมน้ำยางพารา อัตราการรั่วซึม 5.40 มม./วัน จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถลดอัตราการรั่วซึมของน้ำได้ ดังนั้นผู้วิจัยเห็นสมควรที่จะมีการวิจัยต่อยอด โดยพัฒนาสูตรมอร์ต้าที่มีส่วนผสมของน้ำยางพาราสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยแตกร้าวในคลองชลประทานเพื่อป้องกันการรั่วซึมและซ่อมแซมรอยแตกร้าวในคลองชลประทาน

บทที่ 2

การทบทวนเอกสาร

2.1 น้ำยางข้น

น้ำยางสดจากต้นยางโดยปกติมีปริมาณเนื้อยางแห้งเพียงประมาณ 25-45% หรือเฉลี่ยเพียง 35% มีส่วนของพวกสารที่ไม่ใช่ยางประมาณ 5% นอกนั้นเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ ซึ่งไม่เป็นการประหยัดเลยหากจะต้องทำการขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่อยู่ไกล ๆ วิธีการที่ปฏิบัติกันในกรณีต้องการ ใช้ยางในสถานะของน้ำยางไปผลิตเป็นวัตถุดิบสำเร็จรูปคือ ทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นเป็น 60% เนื้อยางแห้ง ซึ่งการขนย้ายน้ำยางในสถานะที่เข้มข้นย่อมประหยัดและได้เปรียบกว่า และกรรมวิธีการผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปยางประเภทที่ต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้นว่า กรรมวิธีจุ่มแบบพิมพ์ (dipping process) เช่นการผลิตลูกโป่ง ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ (latex foam process) กรรมวิธีผลิตผ้าใบฉาบด้วยยาง (coating) กรรมวิธีเหล่านี้ต้องใช้น้ำยางที่มีเนื้อยางอย่างน้อยต้องไม่ต่ำกว่า 60% และอีกประการหนึ่ง น้ำยางข้นจะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพสม่ำเสมอดีกว่าน้ำยางสด ทั้งนี้เนื่องด้วยสารพวกที่ไม่ใช่ยางบางส่วน ได้ถูกแยกออกจากน้ำยาง ขณะกรรมวิธีการทำให้น้ำยางเข้มข้น การกล่าวถึงน้ำยางธรรมชาติ ในความหมายของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปมักจะหมายถึงน้ำยางในสถานะที่ทำให้ข้นแล้ว

วิธีการสำคัญสำหรับการผลิตน้ำยางข้นมี 4 วิธีคือ

1. วิธีระเหยน้ำ (evaporation) น้ำยางสดจากสวนก่อนการทำให้ข้นโดยวิธีการระเหยน้ำจะต้องเติมสารที่ทำให้น้ำยางคงตัว (stabilizers) เช่น potassium soap เสียก่อน การระเหยน้ำออกจาก น้ำยางจะเกิดขึ้นภายในถัง หรือภาชนะที่หมุนได้รอบ ๆ แกน ตามแนวนอนและถังนี้ถูกให้ความร้อนรอบ ๆ ถังระเหยน้ำจากน้ำยางจะให้ได้น้ำยางข้นซึ่งมีส่วนประกอบโดยประมาณคือ ส่วนของของแข็งทั้งหมด 75 % ปริมาณเนื้อยาง 60% caustic potash 1.5% และสารที่ช่วยทำให้น้ำยางคงตัวกับสารโปรตีน ฯลฯ อีก 13.5 % น้ำยางข้นที่ได้จากวิธีนี้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมากจึงเหมาะสำหรับการที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกล ๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปประเภทที่ต้องใส่พวกสารเพิ่ม (filter) จำนวนมากเช่น การผลิตกาว latex-cement น้ำยางนี้เหมาะหรือใช้ได้ผลดี กรณีที่ต้องการนำไปทำกาวประเภทที่วาสารอื่น ๆ ที่อยู่ในน้ำยางและความคงตัวของน้ำยางเป็นข้อได้เปรียบกับการทำกาวนั้น ๆ
2. วิธีการทำให้เกิดครีม (creaming) น้ำยางธรรมชาติไม่ว่าอยู่ในสถานะสด (fresh latex) หรือสถานะที่มีการใส่สารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง (preserved latex) ประกอบด้วยระบบของสารละลายคอลลอยด์แบบอิมัลชัน (colloidal emulsion) ของอนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรัม (serum) อนุภาคเล็ก ๆ ของยางที่แขวนลอยอยู่ในเซรัมแสดงการเคลื่อนไหวแบบ Brownian (เคลื่อนไหว ในทุกทิศทางอย่างไม่เป็นระเบียบ) และการเคลื่อนไหวของอนุภาคยางในน้ำยางสดจะรวดเร็วกว่าของ น้ำยางที่ใส่สารเคมีรักษาสภาพ เนื่องจากอนุภาคของยางบางกว่าเซรัม ดังนั้นอนุภาคยางเหล่านี้จึงมี แนวโน้มลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้ อนุภาคยางจะเคลื่อนที่ได้ (ตามทฤษฎี) ประมาณเดือนละ 6 ซม. และเนื่องจากว่าความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับกำลังสองของรัศมีของอนุภาค ดังนั้นการแยกตัวของอนุภาคยางเกิดเป็นลักษณะครีมอยู่ผิวหน้าน้ำยางจะรวดเร็วขึ้น ถ้าอนุภาคมีลักษณะใหญ่ขึ้นและอนุภาคยางจะใหญ่โตขึ้นได้เมื่อเติมสารพวกคอลลอยด์ที่จะไปทำหน้าที่หรือพอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยาง สารนี้จึงเรียกว่าทำให้เกิดครีม (creaming agent) สารจำพวกนี้ได้แก่ sodium alginate, locust bean gum, gum karaya, gum tragacanth เป็นต้น อนึ่งการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีทำให้เกิดครีมในปัจจุบันไม่นิยมผลิตกัน

เพราะยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา แต่เป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับวิธีการนี้คือ สามารถทำให้น้ำยางข้น ที่ผลิตโดยวิธีนี้บริสุทธิ์และมีโปรตีนน้อยลงเมื่อผ่านกรรมวิธีการทำให้เกิดคริมช้าหลาย ๆ ครั้ง

3. วิธีการปั่น (centrifuging) จากการเคลื่อนที่อนุภาคยางจะเห็นว่าอัตราการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ซึ่งหากสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้ก็จะช่วยเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางด้วย ฉะนั้นการปั่น (centrifuge) ซึ่งสามารถจะเพิ่มแรงดึงดูดได้เป็น 2,000 - 3,000 เท่าของแรงดึงดูดของโลกจึงสามารถเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ จากหลักการนี้จึงถูกนำมาพิจารณา สร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อการผลิตน้ำยางข้น หรือเพื่อการแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนของเซรุ่มนั่นเอง

ปกติน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่นจะมีความเข้มข้นประมาณ 60 % เนื้อยางแห้ง เครื่องปั่น น้ำ ยางขนาดเล็ก ๆ สามารถผลิตน้ำยางข้นได้วันละ 200 -250 แกลลอน และเครื่องขนาดใหญ่อาจผลิต น้ำยาง ข้นได้ถึงวันละ 450 แกลลอน และปกติการเดินเครื่องปั่นจะทำติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละเพียง 6 ชั่วโมง เพราะจำเป็นต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาด

4. วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electro decantation) จากการที่สถานะน้ำยาง อนุภาคยาง ที่แขวนลอยในเซรุ่มต่างถูกห่อหุ้มด้วยคาร์บอกซีเลทไอออน (carboxylate ion) ที่มีประจุเป็นลบ ดังนั้น จึงสามารถที่อาศัยไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากส่วนของเซรุ่มได้ โดยวิธีการจุ่มขั้วไฟฟ้าที่เป็น ขั้วบวก (anode) ลงในน้ำยางที่เติมลงในสารเคมีช่วยทำให้น้ำยางคงตัวไว้แล้วอนุภาคยางจะค่อย ๆ เคลื่อนไป รวมอยู่ทางขั้วบวกและลอยตัวสูงขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางในที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคยางต่ำกว่า ความหนาแน่นของเซรุ่ม อย่างไรก็ตามวิธีการทำน้ำยางข้นโดยใช้ไฟฟ้านี้เป็นวิธี ที่ยุ่งยากและไม่ประหยัดจึง เป็นวิธีที่ไม่นิยมกัน

2.2 คุณสมบัติของ Latex, Latex Modified Mortar และ Latex Modified Concrete

Polymer Portland Cement Concrete (PPCC) หรือ Polymer Modified Concrete (PMC) เกิดจากการผสมคอนกรีตสดกับ Polymer ที่อยู่รูปของเหลว หรือ Monomer ที่สามารถเกิดปฏิกิริยา Polymerization ที่หน่วยงานก่อสร้างได้ โดยทั่วไปแล้ว Polymer ที่ใช้กับ PPCC หรือ PMC มีอยู่หลายชนิด ซึ่งจะไดกล่าวถึงในภายหลัง แต่ในปัจจุบันนี้ Polymer ที่นิยมใช้กับ PPCC หรือ PMC มากคือ Polymer Latex ตัว Polymer Latex ที่ใช้ จะอยู่ในสภาพที่เป็น Emulsion คือมีอนุภาคของ Polymer แขวนลอยอยู่ในน้ำหรือของเหลว Polymer Latex เมื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมของ PPCC หรือ PMC มักจะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกักกระจายอยู่ภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง จึงมักจะมีการเติมพวก Antifoaming หรือ สารขจัดฟองอากาศ ลงใน PPCC หรือ PMC เพื่อลดปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีตให้เหลือน้อยที่สุด คุณสมบัติของ PPCC หรือ PMC จะดีมาก เมื่อทำการบ่มขึ้นเป็นเวลาอย่างน้อย 3-7 วัน แล้วทำการบ่มแห้งต่อไป การบ่มขึ้นในระยะ 3-7 วันแรก ทำให้ปฏิกิริยา Hydration ระหว่างน้ำกับซีเมนต์ยังคงดำเนินต่อไปได้ ส่วนสาเหตุที่ต้องมีการบ่มแห้งต่อเพื่อจะให้น้ำที่เหลืออยู่ภายในเนื้อคอนกรีตเกิดการระเหยออกไปโดยเร็ว เพื่อจะทำให้อนุภาคของ Polymer ที่อยู่ในส่วนผสมคอนกรีตมีโอกาสมาเกาะรวมตัวกัน (Coalesce) ก่อตัวเป็นชั้น Film ที่ต่อเนื่องแทรกกระจาย ปนอยู่ในเนื้อคอนกรีต ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

ข้อดีของ PPCC หรือ PMC เมื่อเทียบกับคอนกรีตธรรมดาทั่วไปคือ คอนกรีตประเภทนี้จะมีความทนทาน (Durable) สูงและมีการเกาะยึดกันดี การต้านทานแรงกระแทกดีขึ้นแต่มีข้อเสียคือ Creep จะมากกว่าปกติ สำหรับ

คอนกรีตที่มี Polymer Latex เป็นส่วนผสมมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Latex Modified Concrete หรือ LMC ส่วน Mortar (ส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย และน้ำ) ที่มี Polymer Latex เป็นส่วนผสมมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Latex Modified Mortar หรือ LMM สำหรับ Polymer Latex ที่ใช้กัน อย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้แก่ Thermoplastic และ Elastomeric Polymer (ในงานวิจัยครั้งนี้ ต่อไป จะเรียก Polymer Latex ว่า Latex)

2.2.1 คุณสมบัติของ LMC และ LMM คือ

1. ความสามารถในการรับแรงดึงและกำลังอัดสูงขึ้น
2. อัตราการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) ลดน้อยลง
3. ความทนทานมากขึ้นสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนโดยสารเคมีได้ดี
4. ตัว LMC หรือ LMM มีคุณสมบัติเป็น Bonding Medium สามารถยึดเกาะติดกับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว (Hardened Concrete) ได้ดี จึงเหมาะที่จะใช้ในงานซ่อมแซม เช่น ใช้ในงาน Thin Bond Patching โดยการเท LMC หรือ LMM ความหนาไม่เกิน 1-2 นิ้ว ลงบน Slab หรือ Pavement เพื่อซ่อมแซม หรือเพิ่มความสามารถในการรับ Load
5. Latex ที่ใช้เป็นส่วนผสมของ LMC หรือ LMM ไม่เป็นพิษ (Nontoxicity) ต่อมนุษย์ ไม่ติดไฟ (Nonflammability) รวมทั้งขั้นตอนการผสมหรือเตรียม LMC และ LMM ก็ทำได้ง่าย
6. เนื่องจาก Latex ที่ใช้เป็นส่วนผสมของ LMC หรือ LMM อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวหรือ Emulsion จึงทำให้เป็นการทำงานต่อการเติมสารเคมีเพื่อปรับคุณสมบัติบางอย่างให้ดีขึ้น เช่น สาร Antifoaming หรือสารเร่งการก่อตัวของคอนกรีต
7. ราคาของ Latex ไม่สูงมากนัก

2.2.2 กลไกการทำงานของ Latex ใน LMC และ LMM

จากการวิจัยด้วย Electron Microscope และการศึกษา Ohama ได้ตั้งสมมุติฐาน (hypothesis) ที่ช่วยอธิบายการ Set ตัวหรือการก่อตัวของ LMC และ LMM ไว้ดังต่อไปนี้

Latex ที่ใช้ใน LMC หรือ LMM จะอยู่ในรูป Emulsion คืออนุภาคของ Polymer จะแขวนลอยอยู่ใน Latex เหลว เมื่อเติม Latex ลงไปในส่วนผสมของคอนกรีตเหลวหรือมอร์ตาร์เหลว อนุภาคของ Polymer จะกระจายตัว (Disperse) อย่างสม่ำเสมอแทรกปนอยู่ในเนื้อคอนกรีตเหลว หรือมอร์ตาร์เหลวพร้อมกันนี้ จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นสองชนิดคือ

1. ปฏิกิริยา Cement Hydration ซึ่งทำให้เกิด Cement Gel
2. ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์ม Latex Film Formation) ซึ่งเกิดจากอนุภาคของ Polymer หรือ Latex มารวมตัวกัน (Coalesce) โดยปกติแล้วการก่อตัวของชั้นฟิล์มจะเกิดขึ้นหลังปฏิกิริยา Cement Hydration แต่ถ้าวการระเหยของน้ำใน LMC หรือ LMM เกิดขึ้นเร็วเกินไปก็จะทำให้ปฏิกิริยา การก่อตัวเป็นฟิล์มของ Latex เกิดก่อนปฏิกิริยา Cement Hydration Cement Gel และชั้นฟิล์มของ Latex ที่เกิดขึ้นจะปะปนกัน (Interpenetrate) เสมือนเป็นเนื้อเดียวกันซึ่งเรียกว่า Comatrix ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ขั้นตอนที่ 4) Comatrix ที่เกิดขึ้นจะทำหน้าที่เป็นตัวยึด (Binder) มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบในคอนกรีตเข้าด้วยกัน รูปที่ 2.1 แสดงรายละเอียดแบบจำลองของการก่อตัวเป็นชั้นฟิล์ม (Latex Film) ของ Latex บน Cement ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ ในขั้นตอนที่ 1 น้ำในส่วนผสมของ LMC หรือ LMM

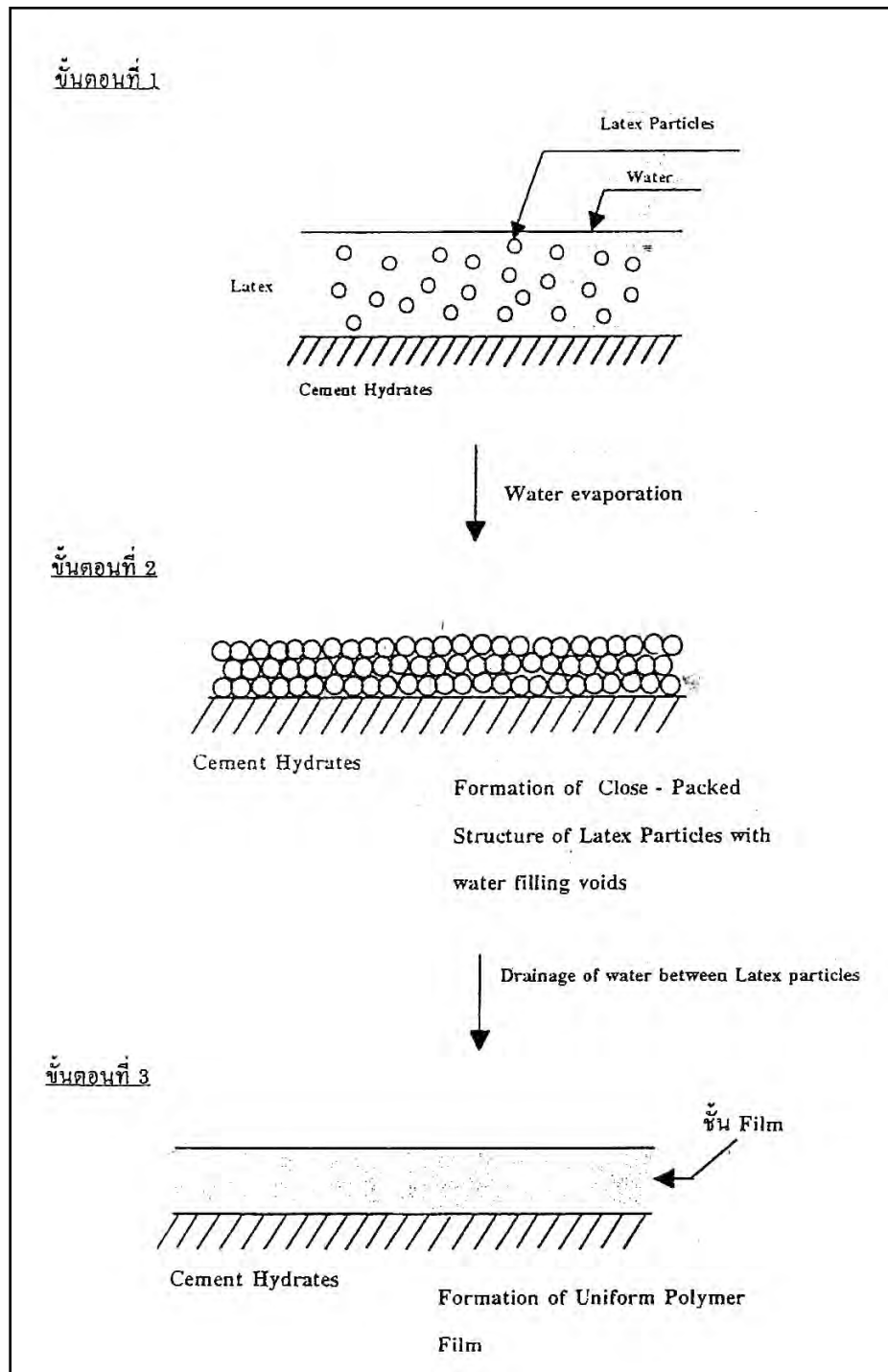
ถูกใช้ไปในปฏิกิริยา Hydration ของ Cement พร้อมกันนี้จะมีน้ำบางส่วนระเหยออกไปด้วย ขณะที่ ปริมาณน้ำลดลงไปเรื่อย ๆ อนุภาคของ Polymer หรือ Latex ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำจะเข้าใกล้กันมากขึ้น จนกระทั่งสามารถเกาะรวมตัวกัน (Coalesce) เป็น Close Packed Structure ดังแสดงในขั้นตอนที่ 2 ของ รูปที่ 2.1 เมื่อน้ำที่อยู่ใน Void หรือช่องว่างระหว่างอนุภาคของ Close Packed Structure เกิดการระเหย ออกไปอีก การก่อตัวเป็นชั้นฟิล์มของ Latex จึงเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ดังแสดงในขั้นตอนที่ 3 ของรูปที่ 2.1 รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการก่อตัวของ Comatrix ใน LMC หรือ LMM ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ของรูปที่ 2.2 แสดงสภาพของ LMC หรือ LMM ขณะที่เพิ่มเติม Latex ลงไปใหม่ ๆ

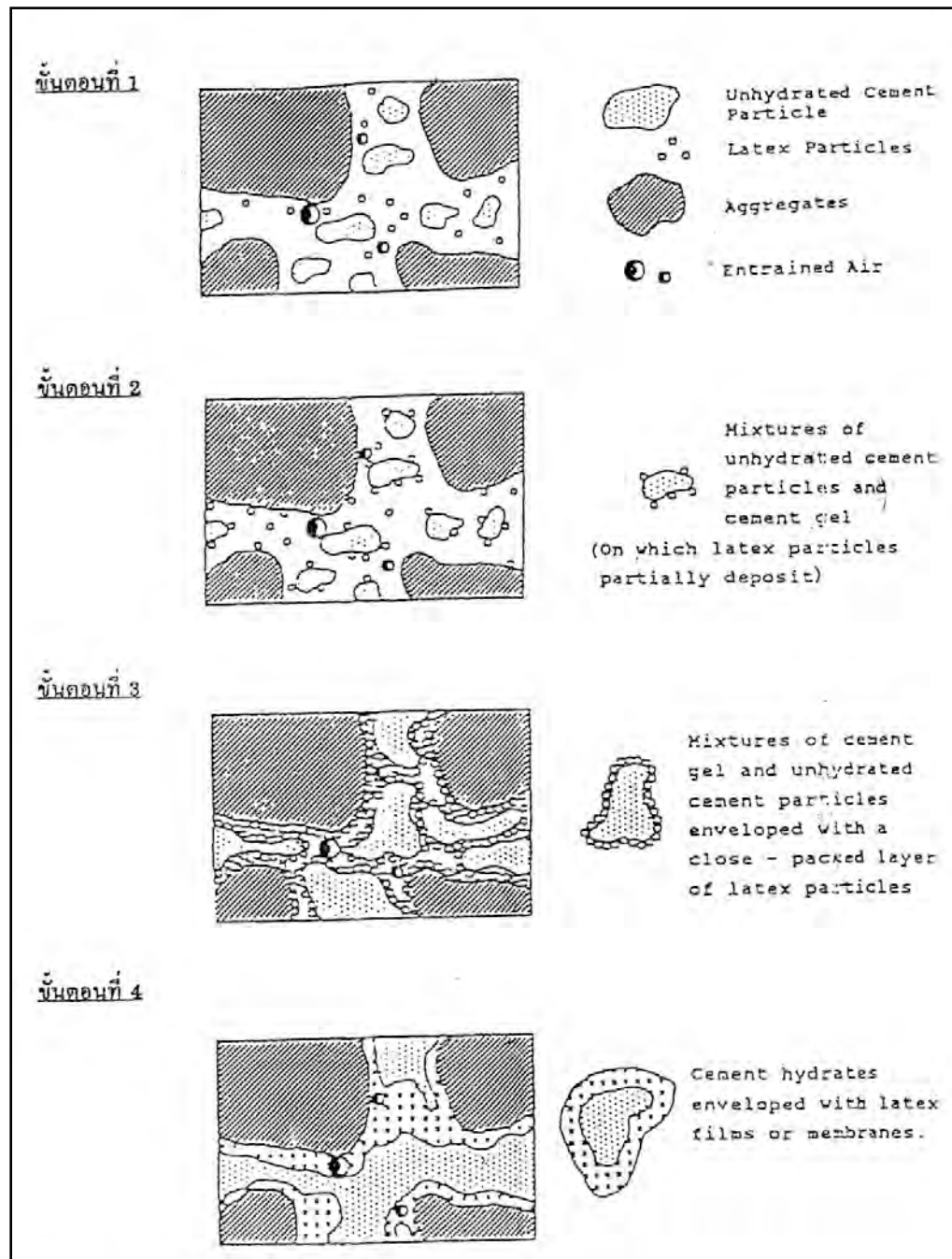
ขั้นตอนที่ 2 ของรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึง Cement Gel เริ่มก่อตัวขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยา Hydration ระหว่าง Cement กับน้ำ ขณะนี้ปฏิกิริยา Hydration ยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ จึงยังคงมีอนุภาคของซีเมนต์ บางส่วนยังคงสภาพเป็น Unhydrated Cement พร้อมกันนี้ก็เริ่มมีอนุภาคของ Polymer หรือ Latex บางส่วนเริ่มมาเกาะที่ผิวของ Aggregate Cement Gel และส่วนของ Unhydrated Cement

ขั้นตอนที่ 3 ของรูปที่ 2.2 เมื่อน้ำในส่วนผสมของ LMC หรือ LMM เริ่มลดน้อยลง เนื่องจากการ ระเหยออกไปบางส่วน และยังถูกใช้ไปในปฏิกิริยา Hydration ด้วย จึงทำให้อนุภาคของ Polymer หรือ Latex มา เกาะรวมตัว (Coalesce) เป็น Close-Packed Layer บนผิวของ Aggregate, Cement Gel และ Unhydrated Cement

ขั้นตอนที่ 4 ของรูปที่ 2.2 การก่อตัวของ LMC หรือ LMM เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ชั้นฟิล์มของ Latex ที่ เกิดขึ้นใน Comatrix จะต่อเนื่อง (Continuous) และกระจายไปทั่วเนื้อคอนกรีต ชั้นฟิล์มของ Latex ที่ เกิดขึ้นใน LMC หรือ LMM นี้เองที่ส่งผลให้ความสามารถของคอนกรีตในการรับแรงดึงเพิ่มขึ้น ลด ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ ความชื้น หรืออากาศให้ต่ำลง เพิ่มความสามารถในการทน ต่อ การกัดกร่อนโดยสารเคมีให้ดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการทนต่อผลของ Freeze-Thaw ได้ดีขึ้น และยังช่วยลดจำนวนรูพรุนหรือ Pore ภายในเนื้อคอนกรีตให้เหลือน้อยลง คุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้นเหล่านี้ ขึ้นอยู่กับ ปริมาณ Latex หรืออัตราส่วนของเนื้อของแข็ง (Solid) ใน Latex ต่อปริมาณซีเมนต์ ยังมี Latex ใน LMC หรือ LMM มากขึ้น คุณสมบัติเหล่านี้ก็จะดีขึ้นแต่การใช้ปริมาณ Latex ที่มากเกินไป นอกจากจะส่งผลให้ต้นทุนของ LMC หรือ LMM สูงเกินไปแล้ว ยังทำให้มีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่ ในเนื้อคอนกรีตมากเกินไป ทำให้กำลังอัดลดลงได้ ปริมาณ Latex ที่จุดเหมาะสม (Optimum) ใน LMC หรือ LMM ควรมีค่าอัตราส่วนน้ำหนักของเนื้อของแข็ง (Solid) ทั้งหมดใน Latex ต่อน้ำหนักซีเมนต์ ในส่วนผสมอยู่ระหว่าง 10-20% คุณสมบัติที่เด่นของ LMC หรือ LMM อีกประการหนึ่งคือ การแสดงตัวเป็น สาร Adhesive ที่สามารถยึดเกาะกับผิวของคอนกรีตเก่าหรือ Hardened Concrete ได้ดี คุณสมบัติอันนี้ เกิดจาก Polymer ที่ใช้ในการผลิต Latex เป็นสารจำพวก Adhesive ประเภทหนึ่งนั่นเอง



รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการก่อตัวของชั้นฟิล์มของ Latex บน Cement



รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการก่อตัวของ Comatrix ใน LMC หรือ LMM

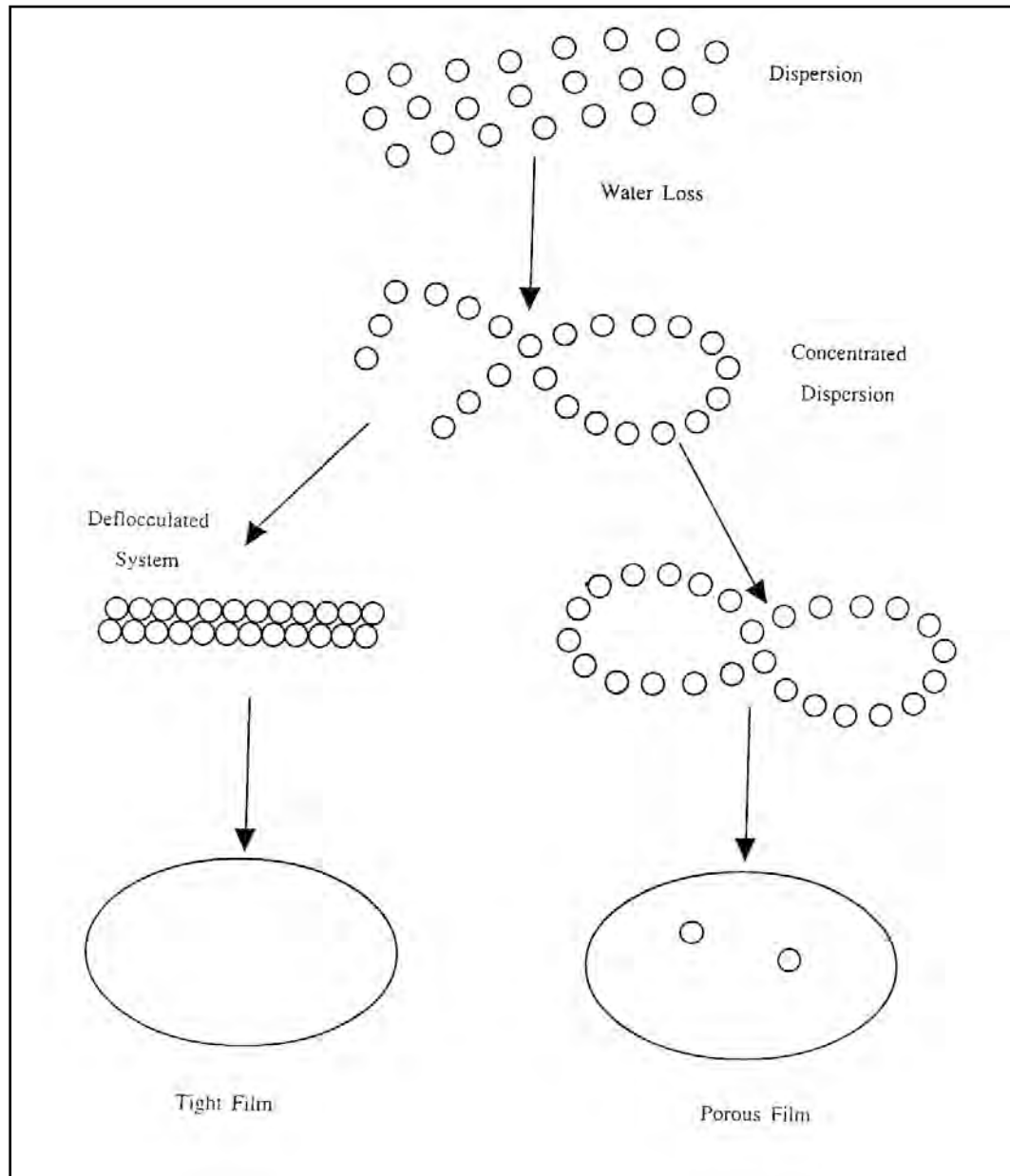
2.2.3 คุณสมบัติของ Latex ที่มีผลต่อคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่อไปนี้

1. Polymer Composition

มีการวิจัย พบว่า LMC ที่ใช้ Acetate Homopolymer Latex มี Permeability ของน้ำสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาเสียอีก ดังนั้น Acetate Homopolymer Latex จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับงานประเภท Water Resistance ส่วน LMC ที่ใช้ Styrene-Butadiene Copolymer จะทำให้ได้คอนกรีต ที่มี Permeability ต่ำ จึงเหมาะกับงาน Water Resistance จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบทางเคมีของ Polymer ที่ต่างกันจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติต่างกัน นอกจากนี้น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) ของ Polymer ก็เป็นองค์ประกอบที่สำคัญเหมือนกัน เช่น LMC สองชนิดที่ใช้ Styrene-Butadiene Rubber (SBR) เหมือน ๆ กัน (หมายถึง SBR ทั้งสองชนิดผลิตจาก Monomer ชนิดเดียวกัน และมีสารปรุงแต่งอื่น ๆ หรือ Other Ingredient เหมือนกัน) พบว่า LMC ที่ใช้ชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพดีกว่าทั้งด้านการรับกำลัง (Strength) และการแสดงความเป็น Adhesive หรือ Bonding Medium เป็นต้น

2. Surfactant

เป็นสารเคมีที่เติมลงไปในช่วงการผลิต ได้แก่ Stabilizer, Soap และ Protective Colloids เป็นต้น สาร Surfactant จะเข้าไปเกาะติดกับผิวอนุภาคของ Latex หรือ Polymer หน้าที่สำคัญของ Surfactant คือการช่วยเพิ่มความสามารถในการเท (Workability) ให้แก่ LMC เหลว ดังนั้น Surfactant จึงมีผลทางอ้อมทำให้สามารถลด W/C ลงขณะที่ความสามารถในการเทยังคงเท่าเดิม ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นได้ ปริมาณ Surfactant ที่เติมลงไปในช่วงผลิตยังเป็นตัวช่วยควบคุม ขนาดอนุภาค (Particle size) ของ Latex หรือ Polymer อนุภาค Polymer ที่มีขนาดใหญ่จะช่วยทำให้คอนกรีตเหลวมีความสามารถในการเทดี ส่วนอนุภาค Polymer ขนาดเล็กจะช่วยทำให้คุณสมบัติทางด้านการเป็น Adhesive หรือ Bonding กัน Latex ที่ดีควรจะมีอนุภาคของ Polymer ขนาดใหญ่และขนาดเล็กปนกันอยู่ในสัดส่วนพอเหมาะจึงจะทำให้การรวมตัวกัน (Coalesce) เป็นรูป Close-Packed Structure เกิดขึ้นได้ง่าย พร้อมทั้งมีช่องว่างระหว่างอนุภาค (Inter-Spaces between Particle) เหลือน้อยที่สุด ในขณะที่อยู่ในรูป Close Packed Structure ทำให้ชั้นฟิล์มเกิดต่อเนื่องกันกระจายไปทั่วเนื้อคอนกรีต นอกจากนี้ประสิทธิภาพการกระจายตัวของอนุภาค Polymer ที่แขวนลอยอยู่ใน Latex เหลว ก็มีผลต่อการก่อตัวของชั้นฟิล์ม ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ถ้าอนุภาคของ Polymer แต่ละอันกระจายตัวดีไม่เกาะกลุ่มกัน (Deflocculating) ขณะแขวนลอยอยู่ใน Latex เหลว เมื่อนำใน Latex เริ่มระเหยไปจะทำให้อนุภาคเหล่านี้สามารถมารวมตัวกัน (Coalesce) เป็นรูป Close-Packed Structure ที่ดีได้ง่าย ทำให้ได้ชั้น Film ที่ดีหรือ Tight Film แต่ถ้าอนุภาคของ Polymer บางส่วนมาเกาะกลุ่มกัน (Flocculation) ขณะแขวนลอยอยู่ใน Latex เหลว เมื่อนำใน Latex เหลว เมื่อนำใน Latex เกิดระเหยไปทำให้อนุภาคเหล่านี้ ไม่สามารถมารวมตัวกัน (Coalesce) เป็นรูป Close-Packed Structure จึงเกิดเป็นชั้นฟิล์มที่เนื้อไม่ดี มีรูพรุน หรือ Porous Film ดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงผลอันเนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาค Polymer ขณะแขวนลอยอยู่ใน Latex เหลว

3. Initiator

ส่วนใหญ่เป็นสารเคมีพวก Persulphate การใช้ Initiator ในปริมาณที่สูง จะทำให้ได้ Latex ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

4. Minimum Film Forming Temperature (MFFT)

MFFT คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยังสามารถทำให้อนุภาคของ Polymer ใน Latex มารวมตัวกันเพื่อก่อตัวเป็นชั้นฟิล์ม Latex ที่ใช้งานในแถบประเทศหนาวควรมี MFFT ต่ำกว่า 40 ° F MFFT จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับชนิดและปริมาณความเข้มข้นของ Monomer ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต

5. ค่าของ PH

โดยทั่วไป Latex ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานกับ Portland Cement ไม่ควรมีค่า PH ต่ำกว่า 10 เพราะส่วนผสมคอนกรีตเหลวทั่วไปจะมีค่า PH อยู่ระหว่าง 11-13

6. ปริมาณ Solid Content ของ Latex

Solid Content คือ ปริมาณส่วนที่เป็นของแข็งใน Latex ที่เหลืออยู่เมื่อน้ำและส่วนผสมอื่น ๆ ที่เป็นของเหลวเกิดการระเหยออกไป วิธีหนึ่งที่สามารถใช้วัด Solid Content คือ ASTM D1076 โดยนำตัวอย่าง Latex เหลวไปอบที่อุณหภูมิและเวลาตามที่กำหนด แล้วชั่งหาน้ำหนักของตัวอย่าง Latex เมื่อน้ำออกมาจากเตาอบ Solid Content ของ Latex เป็นองศาประกอบ อันหนึ่งที่จะช่วยกำหนดว่า LMC หรือ LMM จะมีคุณสมบัติดีมากน้อยเพียงไร โดยทั่วไปแล้ว Latex ที่นำมา ใช้งานกับ Portland Cement ควรมี Solid Content ไม่ต่ำกว่า 50%

7. สารปรุงแต่งอื่น ๆ

นอกจากสาร Preservative Antifoaming ที่กล่าวมาแล้วใน Latex เหลวยังมีการเติมสารปรุงแต่งอื่น ๆ อีก เช่น สารป้องกัน UV เพื่อป้องกันไม่ให้ Latex เหลว เกิดการสลายตัวเมื่อนำไปใช้ในที่กลางแจ้ง สาร Odor-Making Agent เพื่อกำจัดกลิ่นอันไม่พึงปรารถนาของ Latex ที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต ผู้ผลิตบางรายยังมีการเติมสารช่วยเร่งการก่อตัว หรือสารช่วยหน่วงการก่อตัวของคอนกรีตลงไปใน Latex ด้วย

8. Mixed Proportion และคุณสมบัติของ LMM, LMC

ส่วนผสมหรือ Mixed Proportion ที่ใช้ใน LMM และ LMC ก็เป็นเช่นเดียวกับ Mortar และ Concrete ธรรมดาทั่วไป Latex ที่ผลิตขึ้นมาใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวอยู่ในรูป Emulsion มีอนุภาคของ Polymer แขนงลอยอยู่ใน Latex เหลว ปริมาณ Latex ที่จุดเหมาะสม (Optimum) ในส่วนผสมของ LMM หรือ LMC ควรมีค่าอัตราส่วนน้ำหนักเนื้อของแข็ง (Solid) ทั้งหมดใน Latex ต่อน้ำหนักของ Cement หรือ Polymer Cement Ratio (P/C) ใน Mixed Proportion อยู่ระหว่าง 0.1-0.2 จะเห็นได้ว่า จะต้องใช้ Latex ใน Mixed Proportion เป็นปริมาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารเคมีผสมคอนกรีต (Chemical Admixture) อื่น ๆ เช่น สารลดน้ำ (Water Reducing Agent) หรือ Super plasticizer การใช้ปริมาณ Latex ที่มากเกินไปจะส่งผลให้ต้นทุนของ LMC หรือ LMM สูงเกินไปและยังทำให้มีฟองอากาศขนาดเล็ก หรือ Entrained Air กักกระจายอยู่ในเนื้อคอนกรีตมากเกินไป ทำให้กำลังอัดลดต่ำลงได้ นอกจากจะใช้ Latex กับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทหนึ่งได้แล้ว ยังสามารถใช้ Latex เป็นส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทสาม (High Strength Portland Cement) เช่น ในงาน Thin Bond Patching

หรือซ่อมแซมถนนที่จะต้องรีบเปิดใช้งานโดยเร็ว คุณสมบัติของหินและทรายที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับ Latex เหมือนกับหินและทรายทั่วไปที่ใช้งานคอนกรีตธรรมดา เนื่องจาก **surfactant** ที่เติมลงไปในช่วงขบวนการผลิต Latex จะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกักกระจายอยู่ใน LMM หรือ LMC ดังนั้นจึงไม่ควรใช้สารกักกระจาย ฟองอากาศ หรือ Air Entraining Admixture ร่วมกับ Latex

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตและมอร์ต้า

ปริมาณและคุณภาพของซีเมนต์ หิน ทราย รวมทั้งอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) นอกจากจะเป็น องค์ประกอบ (Factor) ที่กำหนดคุณสมบัติด้านกำลัง (Strength) ของ Mortar และ Concrete แล้วองค์ประกอบ เหล่านี้ยังเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านกำลังของ LMM และ LMC เช่นเดียวกัน เนื่องจาก Latex เหลวมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณที่มาก ดังนั้นในการผสมหรือทำ Mixed Proportion จะต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำ ในส่วนนี้ด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง LMM หรือ LMC หรือ Mortar หรือ Concrete ธรรมดาที่มีส่วนผสมของน้ำ และ W/C เท่ากัน LMM และ LMC จะมีความสามารถในการเท (Workability) ดีกว่า เพราะ Latex ทำให้เกิด ฟองอากาศขนาดเล็กกักกระจายอยู่ในส่วนผสม ฟองอากาศเหล่านี้ ทำหน้าที่เสมือนมวลรวมละเอียด ขนาดเล็กยึดหยุ่นได้จึงช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างของแข็งภายในเนื้อ LMM และ LMC เหลว นอกจากนี้การ ที่อนุภาคของ Polymer ใน Latex มีรูปร่างเป็นทรงกลม (Sphere) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.05- 0.2 Micron กระจายอยู่ในส่วนผสมทำให้เกิดผลที่เรียกว่า Ball Bearing Action ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่าง ของแข็งในส่วนผสมด้วย องค์ประกอบที่สำคัญอีก 2 ประการ ที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติด้านกำลัง ของ LMM และ LMC คือ

1. อัตราส่วนเนื้อของแข็ง (Solid) ทั้งหมดใน Latex ต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนักหรือ Polymer Cement Ration (P/C) ใน Mixed Proportion โดยทั่วไป LMM หรือ LMC ที่มี P/C สูงจะทำให้กำลังเช่น Tensile Strength, Flexural Strength เป็นต้น สูงกว่า LMM หรือ LMC ที่ค่า P/C ต่ำ แต่ปริมาณ Latex ใน Mixed Proportion ถูกจำกัดด้วยเหตุผลที่เคยกล่าวมาแล้วในข้างต้น นอกจากนี้ LMM หรือ LMC ที่มี ค่า P/C ยิ่งสูงจะทำให้เวลาก่อตัวหรือ Set ตัวนานกว่า Mortar หรือ Concrete ธรรมดา

2. วิธีการบ่ม (Curing Method)

Latex ในส่วนผสมของ LMM หรือ LMC ต้องการบ่มแห้งหรือบ่มในอากาศเพื่อจะให้น้ำ ที่อยู่ภายในเนื้อ Concrete หรือ Mortar เกิดการระเหยออกไปโดยเร็ว จึงจะทำให้อนุภาค Polymer ใน Latex มีโอกาสมาเกาะ รวมตัวกัน (Coalesce) ก่อตัวเป็นชั้นฟิล์ม (Film) ที่ต่อเนื่องแทรกกระจายป็นอยู่ในเนื้อ Mortar หรือ Concrete ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อกลไกการทำงานของ Latex ใน LMC และ LMM ส่วน Cement ใน LMM หรือ LMC ต้องการการบ่มชื้นเพื่อให้ปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (Hydration) ดำเนินไปอย่าง สมบูรณ์ ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปเพื่อที่จะให้ได้ LMM และ LMC มีคุณภาพดีจึงต้องใช้วิธีบ่มผสมกัน โดย ทำการบ่มชื้นประมาณ 3-7 วันแรก หลังจากนั้นจึงบ่มแห้ง ต่อไป

1. ACI Committee 548 A ได้ให้ปริมาณส่วนผสม Mixed Proportion ที่ควรใช้สำหรับ LMM ที่ใช้ Styrene-Butadiene Rubber Latex (SBR) ไว้ดังนี้
ซีเมนต์ 100 lb. (45.4 k.g.)
ทราย 290 lb. (131.5 k.g.)

Latex 3	.7 Gal. (14.1 Litres) โดยใช้ Latex ที่มี Solid Content เท่ากับ 48%
น้ำ 2.6	Gal. (10.0 Litres)

สำหรับ LMM ที่ใช้ Latex ชนิดอื่น ปริมาณส่วนผสมใน Mixed Proportion ควรมีค่าดังนี้
 ซีเมนต์ต่อทรายโดยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 0.2-0.5 ขึ้นอยู่กับงานที่นำไปใช้
 W/C อยู่ระหว่าง 0.3-0.6 (โดยรวมปริมาณน้ำที่มีอยู่ใน Latex ด้วย)
 P/C อยู่ระหว่าง 0.05-0.2

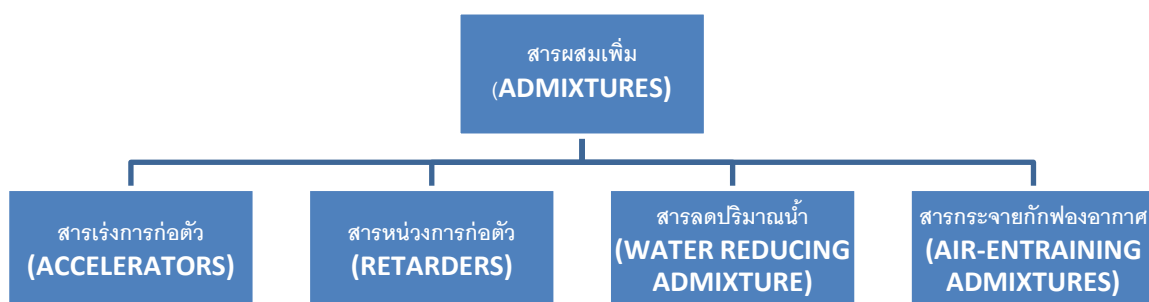
นอกจากนี้ ACI Committee 548 A ยังได้ให้ปริมาณส่วนผสม Mixed Proportion สำหรับ LMC ที่ใช้ SBR ไว้ดังนี้
 ซีเมนต์ 685 lb. (311 k.g.)

ทราย	1710 lb. (776 k.g.)
หิน	1140 lb. (517 k.g.)
Latex	24.5 Gal. (92.8 Litres) โดยใช้ Latex ที่มี Solid Content เท่ากับ 48%
น้ำ	19.0 Gal. (72.0 Litres)

จะสังเกตเห็นได้ว่า Mixed Proportion ข้างต้นมีมวลรวมละเอียดหรือทรายมากกว่ามวลรวมทรายหรือหินทั้งนี้ก็เพราะ LMC มักถูกใช้ในงานทำ Overlay ลงบนพื้น (Slab) หรือผิวทาง (Pavement) เพื่อซ่อมแซมหรือเพิ่มความสามารถในการรับ Load หรือน้ำหนักบรรทุก Mixed Proportion ที่มีปริมาณของทรายมากกว่าหิน จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัว (Segregation) และ เกิดการเยิ้ม (Bleeding) ขณะนำไป Overlay บนผิวทางที่มีความชันมาก (High Slope)

2.3 สารผสมเพิ่ม (ADMIXTURES) ในคอนกรีต

สารผสมเพิ่ม หมายถึง สารเคมีอื่นๆ นอกเหนือไปจาก ปูนซีเมนต์ วัสดุมวลรวม และน้ำที่ใช้เติมลงในส่วนผสมของคอนกรีต ด้วยจุดประสงค์เพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต สารผสมเพิ่มจะให้ผลแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่ใช้ ขนาด รูปร่าง และส่วนขนาดละเอียดของวัสดุมวลรวม น้ำ และอุณหภูมิ ดังนั้นการใช้สารผสมเพิ่ม จึงควรได้ทราบถึงข้อมูล ตลอดจนข้อแนะนำในการใช้ของบริษัทผู้ผลิตโดยละเอียด นอกจากนี้ สารผสมเพิ่มจะให้ผลดีต่อเมื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม



1. สารเร่งการก่อตัว (ACCELERATORS) สารเร่งการก่อตัว จะทำให้คอนกรีตก่อตัว และแข็งตัวเร็วขึ้นกว่าปกติ นอกจากนี้ผลพลอยได้ของการใช้สารเร่งการก่อตัว คือ จะทำให้คอนกรีตมีกำลังในระยะแรกสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยทั่วไปแล้ว สารเร่งการก่อตัวจะใช้เมื่อต้องการเร่งเวลาในการถอดแบบหล่อ หรือเมื่อต้องการให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วกว่าปกติ เช่น การทำเสาเข็มธรรมดา และเสาคอนกรีตอัดแรง ใช้อุตรูว์ในเนื้อคอนกรีต สารที่นิยมใช้เป็น ตัวเร่งการก่อตัวคือ แคลเซียมคลอไรด์ และโซเดียมซิลิเกต เป็นต้น

2. สารหน่วงการก่อตัว (RETARDERS) สารหน่วงการก่อตัว มีคุณสมบัติช่วยให้คอนกรีตก่อตัวช้ากว่าธรรมดา (เกินกว่า 1 ½ ชั่วโมง) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ ในกรณีที่ต้องเสียเวลาเคลื่อนย้ายคอนกรีตที่ผสมแล้วไปยังจุดเทที่อยู่ไกลๆ หรือในกรณีที่ต้องใช้เวลาในการเคลื่อนย้าย และการเทนานๆ ข้อเสียของการใช้สารหน่วงการก่อตัว คือจะทำให้ กำลังคอนกรีตลดต่ำไปในช่วง 3 วันแรก แต่ผลพลอยได้คือ ช่วยลดปริมาณน้ำได้ประมาณ 5 – 15 % ซึ่งเป็นผลทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงในระยะเวลาหลัง และมีกำลังเท่ากับหรือสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาเมื่อ อายุ 28 วัน สารชนิดนี้ได้แก่ แคลเซียม หรือยิบซัม ซึ่งบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์ทั้งหลายก็ได้ใช้ปนอยู่แล้วในปูนซีเมนต์ที่ผลิต

3. สารลดปริมาณน้ำ (WATER REDUCING ADMIXTURE) สารลดปริมาณน้ำ ช่วยลดปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในส่วนผสมคอนกรีต แต่ยังคงได้ความชื้นเหลวเทียบเท่ากับคอนกรีตธรรมดา เมื่อใช้น้ำในส่วนผสมคอนกรีตน้อยลง (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์น้อยลง) จะมีผลในการเพิ่มกำลังของคอนกรีต สารชนิดนี้เป็นสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่ทำมาจากเกลือลิกโนซัลโฟนิก (Lignosulfonic acid) หรือเกลือ และสารประกอบของกรดไฮดรอกซี คาร์บอซิลิก (Hydroxycarboxylic Acid) หรือสารประกอบโพลีเมอร์บางชนิด เช่น โพลีเมอร์ ไฮดรอกซีเลต (Hydroxylated Polymers)

4. สารกระจายกักฟองอากาศ (AIR-ENTRAINING ADMIXTURES) สารกระจายกักฟองอากาศจะช่วยให้เกิด ฟองอากาศเล็กๆ มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น แฝบปนอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีต โดยฟองเหล่านี้จะไม่ทะลุถึงกันได้ ในคอนกรีต 1 ลบ.ม. อาจมีฟองอากาศเล็กๆ นี้ ประมาณ 3 – 6 % ของเนื้อคอนกรีตทั้งหมดโดยปริมาตร การที่ในเนื้อคอนกรีตมี ฟองอากาศขนาดเล็กๆ เหล่านี้ จะช่วยทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้มากขึ้น แม้ว่าจะมีปริมาณน้ำน้อย ก็ตาม เพราะฟองอากาศเหล่านี้จะช่วยทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นแทนน้ำ นอกจากนี้ยังมีให้น้ำในคอนกรีตแข็งเป็น น้ำแข็ง ก่อนที่คอนกรีตจะก่อตัว ซึ่งเป็นประโยชน์ในการหล่อคอนกรีตในฤดูหนาว หรือในเมืองที่มีอากาศหนาวเย็น มาก สารกระจายกักฟองอากาศยังช่วยลดการแยกตัว การสูญเสีย น้ำ ไม่รั่วซึม รวมทั้งเพิ่มความต้านทานซัลเฟต ด้วย ข้อเสียของการใช้สารนี้ก็คือ ทำให้คอนกรีตมีกำลังต่ำลง เนื่องจากคอนกรีตมีรูพรุนมาก และในการใช้เครื่อง เขย่าคอนกรีตเพื่อทำให้คอนกรีตแน่นตัว ต้องระวังให้มากกว่าเดิมเพราะถ้าเขย่ามากเกินไป จะทำให้จำนวน ฟองอากาศลดน้อยลงไปเกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ สารกระจายกักฟองอากาศมีหลายชนิดซึ่งอาจทำมาจากยาง ไม้ ไชมัน น้ำมันสัตว์ – พืช นอกจากการใช้สารเคมีกระจายกักฟองอากาศมาผสมในคอนกรีตแล้ว ปัจจุบันยังมี คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ ซึ่งผลิตขึ้นโดยใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดกระจายกักฟองอากาศ (Air Enrraining Cement)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การพัฒนา mortars สำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน (ParaMortar) รอยแตกในคลองชลประทานนั้น การทดสอบในห้องปฏิบัติการมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนา ParaMortar การทดสอบนั้นยึดหลักมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 15 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์) สำหรับการทดสอบนั้นประกอบไปด้วย 6 ทดสอบ

1. การทดสอบหาความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์ผสมน้ำยางชัน
2. การทดสอบหากล้างรับแรงอัดของซีเมนต์ mortars ผสมน้ำยางชัน
3. การทดสอบแรงดัดของ mortars ผสมน้ำยางชัน
4. การทดสอบการดูดซึมน้ำของ mortars ผสมน้ำยางชัน
5. การทดสอบการยืดเกาะของ mortars ผสมน้ำยางชัน
6. การทดสอบการซึมผ่านของ mortars ผสมน้ำยางชัน

การทดสอบลำดับที่ 1 เป็นการทดสอบหาอัตราส่วนผสมของ mortars, น้ำยางชัน และสารผสมเพิ่มอื่นๆ เนื่องจากซีเมนต์ทราย ผสมกับน้ำและน้ำยางชันจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ความชื้นเหลวของ mortars ผสมน้ำยางชันนี้จะเป็นตัวที่ทำให้ความแข็งแรงของ mortars สูงขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับสภาพความชื้นเหลว ดังนั้นจึง หาปริมาณน้ำและน้ำยางชันที่เหมาะสมสำหรับทำปฏิกิริยากับ mortars

การทดสอบลำดับ 2 - 6 เป็นการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง, การยืดเกาะ และการกันซึมน้ำ ของ ParaMortar สำหรับการทดสอบด้านกำลังนั้นประกอบไปด้วย การทดสอบแรงดัดและแรงอัดของ mortars ผสมน้ำยาง เหตุผลที่ทำให้การทดสอบเนื่องจาก แสดงให้เห็นว่า มีแรงที่กระทำต่อผนังคลองชลประทานประกอบด้วยแรงดันของน้ำและแรงเฉือนแทรกซึม ดังนั้นการทดสอบ ลำดับที่ 3 และ 4 เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมด้านกำลังของ mortars ผสมน้ำยางที่สามารถรับแรงดันน้ำ ลำดับที่ 5 เป็นการทดสอบด้านการยืดเกาะระหว่าง mortars ใหม่ที่ผสมน้ำยางและคอนกรีตเก่าหรือ mortars เก่า และ ลำดับที่ 6 เป็นการศึกษาการกันซึมน้ำของ mortars ผสมน้ำยางชัน

3.1 วัสดุ, อุปกรณ์ และ เครื่องมือทดสอบ

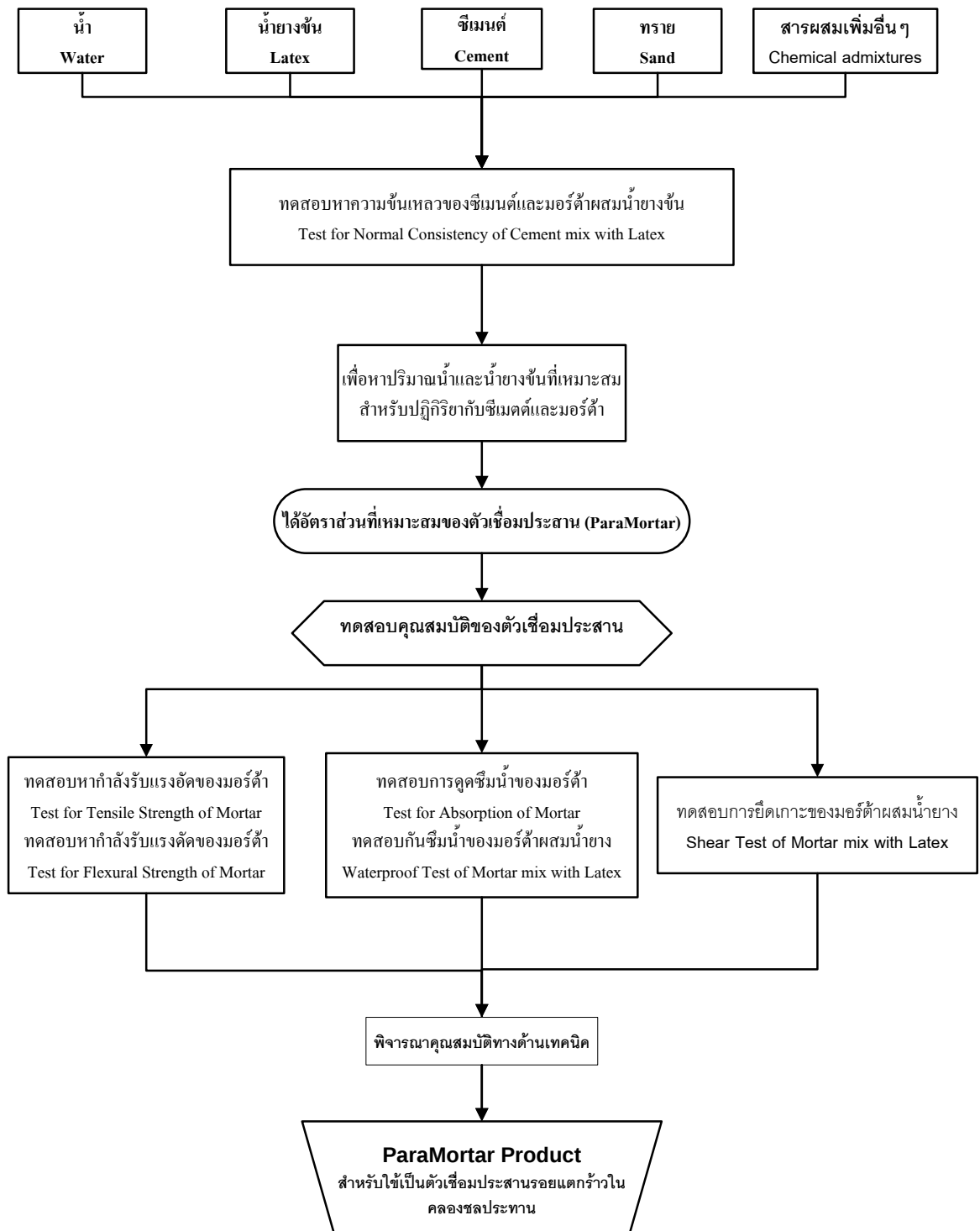
1. ปูนซีเมนต์ ประเภท 1 ตราช้าง
2. น้ำยางชั้น 60% รักษาสภาพแอมโมเนียสูง (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร)
3. ทรายมาตรฐาน
4. น้ำ
5. สารปรับ pH ของน้ำ (Potassium hydroxide, 10%)
6. สารลดแรงตึงผิว (Lutensol XL 80)
7. แบบหล่อลูกบาศก์
8. แบบหล่อนูน ขนาด 15x15 cm ยาว 60 cm
9. อุปกรณ์ไวแคท
10. เครื่องวัด pH
11. เครื่องผสมมอร์ต้า
12. เครื่องทดสอบแรงอัด
13. Universal Testing Machine
14. ตู้อบไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิ

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างมอร์ต้าโดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย 1: 2.75 และได้กำหนดปริมาณน้ำยางชั้น 5% 7.5% 10% และ 12.5% ของปริมาณน้ำที่ใช้ผสมมอร์ต้า ก่อนที่จะผสมมอร์ต้าจะต้องมีการปรับค่า pH ของน้ำให้ใกล้เคียงกับน้ำยางก่อนโดยใช้สารละลาย Potassium hydroxide, 10% และน้ำยางจะต้องเติมสารลดแรงตึงผิว แบบไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants), Lutensol XL 80 = 4 % โดยน้ำหนักน้ำยาง

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของมอร์ต้า ที่ปริมาณน้ำยาง 10% ของน้ำ

w/c	ซีเมนต์ (กรัม)	น้ำและน้ำยาง (กรัม)	น้ำยาง 10% (กรัม)	น้ำ (กรัม)
0.4	1000	400	40	360
0.5	1000	500	50	450
0.6	1000	600	60	540



รูป 3.1 Framework สำหรับการศึกษา

3.3 การทดสอบหาความชื้นเหลือปกติของซีเมนต์ผสมน้ำยางชัน

(Test for Normal Consistency of Cement mix with Latex)

ซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยางชันจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นและแปรสภาพกลายเป็นซีเมนต์เพลส (Paste), ซีเมนต์เพลส จะเป็นตัวเชื่อมประสานของส่วนผสมสำหรับมอร์ต้าหรือ คอนกรีต ความชื้นเหลือของซีเมนต์เพลสผสมน้ำยางชันนี้จะเป็นตัวที่ทำให้ความแข็งแรงของมอร์ต้าสูงขึ้น หรือลดลงได้ตามสภาพ การทดลองนี้เพื่อหาปริมาณน้ำและน้ำยางชันที่เหมาะสมสำหรับทำปฏิกิริยากับซีเมนต์

ขั้นตอนการเตรียมซีเมนต์ผสมน้ำยางชัน

1. เนื่องจากการทดสอบความชื้นเหลือปกติของซีเมนต์ จุดสำคัญคือ ต้องการทราบว่า จะต้องใช้น้ำและน้ำยาง ชันในสัดส่วนเท่าไรจึงจะพอดี ซึ่งซีเมนต์แต่ละชนิดจะมีสัดส่วนแตกต่างกัน โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่เหมาะสม 25-30% เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำหนักของซีเมนต์ ดังนั้นการใส่น้ำและน้ำยางชันควรเริ่มที่ ปริมาณต่ำๆ ก่อน แล้วจึงจะเพิ่มครั้งละประมาณ 5% จนกว่าจะได้ปริมาณน้ำและน้ำยางชันที่เหมาะสม ที่สุด
2. การผสมซีเมนต์กับน้ำและน้ำยางชันเพื่อใช้สำหรับทดสอบ เริ่มด้วยการนำซีเมนต์ประมาณ 250 กรัม ผสมด้วยน้ำและน้ำยางชันในอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ จากนั้นอัดลูกปูนในแบบกรวยของอุปกรณ์ไวแคท เขย่าเล็กน้อยเพื่อไล่อากาศฟองอากาศออก แล้วจึงปาดผิบนูนให้เรียบและนำวางบนแท่นทดสอบ
3. คลายสกรูของเครื่องไวแคท เพื่อให้ปลาย plunger จมลงในปูนด้วยน้ำหนักตัวมันเองแล้วอ่านค่าบน หน้าปัทม์ หลังจากนั้นปล่อยให้เข็มจมลงโดยอิสระเป็นเวลา 30 วินาที
4. ความชื้นเหลือของซีเมนต์ที่เหมาะสม จะอยู่ที่ระยะจมของปลาย plunger ในซีเมนต์เพลส จม 10 ± 1 มม.
5. ในการทดลอง ไม่สามารถที่จะผสมซีเมนต์เพลสด้วยปริมาณน้ำและน้ำยางชันที่พอเหมาะ ดังกล่าวและได้ ระยะจมตามต้องการในครั้งเดียว จึงจำเป็นต้องทดลองซ้ำหลายๆ ครั้ง ด้วยการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำ และน้ำยางชัน ทุกๆ ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้เปลี่ยนใช้ซีเมนต์ใหม่เสมอ จนกระทั่งได้ค่าที่สามารถนำมา พล็อตกราฟ ระหว่างระยะจมเทียบกับอัตราส่วนของน้ำและน้ำยางชันและสามารถที่จะช้อนักอัตราส่วน ของน้ำและน้ำยางชันที่ระยะจม 10 ± 1 มม. ได้

3.4 การทดสอบหากล้างรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมน้ำยางชัน

(Test for compressive strength of mortar mix with latex)

ทดสอบหากล้างรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมน้ำยางชัน เปรียบเทียบความแข็งแรงของมอร์ต้าที่ผสมยางชันที่ อัตราส่วนต่างๆ และไม่ผสมน้ำยางชัน

การเตรียมตัวอย่างมอร์ต้าผสมน้ำยางชัน

1. เตรียมอัตราส่วนของซีเมนต์และทรายมาตรฐาน ปกติใช้อัตราส่วน 1:2.75 และใช้ปริมาณ $w/c = 0.4$ เป็นจุดเริ่มต้น สำหรับค่า w (น้ำและน้ำยางชัน) นั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบความชื้นเหลือของซีเมนต์ เพลสและมอร์ต้าผสมน้ำยางชันใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดค่า w

- ผสม ซีเมนต์ , ทราย , น้ำ และน้ำยางข้น ด้วยเครื่องผสม
- หลังจากผสมเสร็จ ใส่ซีเมนต์มอร์ต้าลงในแบบหล่อลูกบาศก์ ดังแสดงในรูป เสร็จแล้วปาดหน้าให้เรียบ ต้องทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงแกะแบบน้ำเท่งตัวอย่างไปบ่มในน้ำที่มีอุณหภูมิห้อง
- ทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างที่อายุ 24 ชม. 3 วัน 7 วัน 28 วัน ตาม ก้อนนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ ให้วัดขนาดหน้าตัด ความสูง และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละก้อน แล้วบันทึกไว้
- ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive strength) มอร์ต้าหาได้จากสมการ

$$f_c = \frac{P}{A}$$

โดยที่

f_c = กำลังรับแรงอัดประลัย มีหน่วยเป็น กก/ตร.ซม

P = แรงอัด มีหน่วยเป็น กก. หรือปอนด์

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่าง มีหน่วยเป็น ตร.ซม หรือ ตร.นิ้ว

3.5 การทดสอบแรงดัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางข้น

(Test for Flexural Strength of Mortar mix with Latex)

ทดสอบหาค่ากำลังดัดของมอร์ต้าที่ผสมน้ำยางข้นด้วยคานตัวอย่างที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็ก (4x4x16 cm) เป็นการหาค่าโมดูลัสแตกร้าวในมอร์ต้าผสมน้ำยางข้น (Modulus of Rupture)

การเตรียมตัวอย่างมอร์ต้าผสมน้ำยางข้นสำหรับทดสอบแรงดัด

เตรียมตัวอย่างมอร์ต้าผสมน้ำยางข้นเช่นเดียวกับการทดสอบแรงอัด

- ให้จัดตัวอย่างคานที่จะทดสอบวางบนจุดที่รองรับ พร้อมกับแรงกระทำที่จุดกึ่งกลาง เติมน้ำให้เครื่องทดสอบเพิ่มแรงกระทำอย่างสม่ำเสมอโดยกำหนดให้อยู่ประมาณ 3-6% ของกำลังสูงสุดที่คาด กระทั่งคานทดสอบหัก
- กำลังดัดของคาน หาได้ในรูปของโมดูลัสแตกร้าวจากสมการต่อไปนี้

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

โดยที่

R = โมดูลัสแตกร้าว (kg/cm^2)

P = แรงที่กระทำกลางคานกระทั้งคานหัก (kg)

L = ระยะช่วงคานระหว่างที่รองรับ (cm)

b = ความยาวเฉลี่ยของคานที่แตกหัก (cm)

d = ความลึกของคานที่จุดแตกหัก (cm)

3.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยางพารา (Absorption Test of Mortar mix with Latex)

วิธีการทดสอบ

1. คัดเลือกขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจำนวนตัวอย่างละ 5 ก้อน โดยเลือกขนาดก้อนที่สมบูรณ์มากที่สุด
2. วัดขนาด และชั่งตัวอย่างพร้อมทำสัญลักษณ์ หรือหมายเลขไว้ในแต่ละชุดต่อตัวอย่างเพื่อป้องกันข้อมูลคลาดเคลื่อน
3. นำตัวอย่างมาแช่ในภาชนะที่มีน้ำกลั่น (ในการทดสอบอาจใช้น้ำสะอาดทดแทนได้) โดยแช่ให้ท่วมก้อนมอร์ต้าทุกก้อนตัวอย่าง แช่ทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง
4. นำตัวอย่างที่แช่ครบกำหนดในข้อ 3 นำขึ้นจากน้ำ นำผ้าขนหนูซับน้ำในแต่ละก้อนตัวอย่างให้แห้งซึ่งอยู่ในลักษณะอิมมัวแห้ง แล้วนำมาชั่งในแล้วเสร็จภายใน 5 นาทีหลังจากที่ซับน้ำแล้วเสร็จ
5. นำตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนในข้อ 4 นำเข้าตู้อบไฟฟ้าปรับอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำออกมาชั่งน้ำหนักในแต่ละก้อนตัวอย่าง เป็นอันแล้วเสร็จขั้นตอนการทดสอบ
6. ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าหาได้จากสมการ

$$\% \text{ Absorption of Mortar} = \frac{(W_2) \text{ Original Weight} - (W_1) \text{ Oven dry Weight}}{(W_1) \text{ Oven dry Weight}} \times 100$$

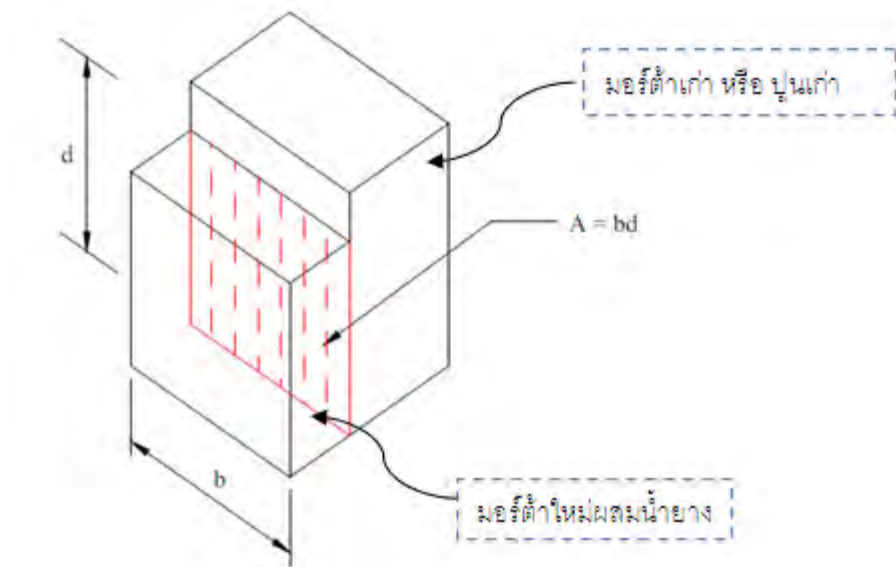
โดยที่ W_1 = Weight of oven dry mortar W_2 = Weight wet of mortar

3.7 การทดสอบการยึดเกาะของมอร์ต้าผสมน้ำยาง (Shear Test of Mortar mix with Latex)

ทดสอบการยึดเกาะและแรงเฉือนของมอร์ต้าใหม่ผสมน้ำยางกับมอร์ต้าเก่าหรือคอนกรีตเก่า เพื่อหาอัตราส่วนของมอร์ต้ากับน้ำยางที่สามารถยึดเกาะกับวัสดุเก่าได้ดี

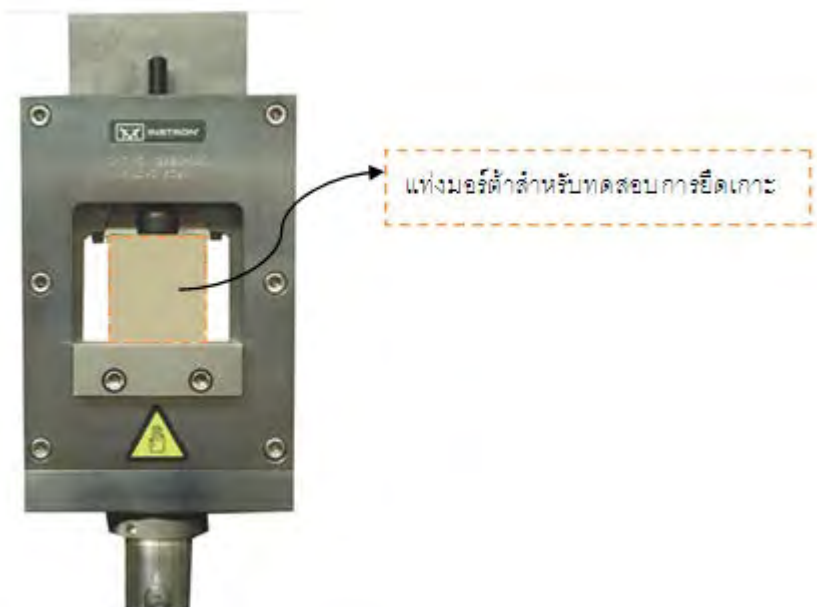
วิธีการทดสอบ

1. ทำการหล่อแบบทดสอบการยึดเกาะระหว่างมอร์ต้าใหม่ผสมน้ำยางกับมอร์ต้าเก่าหรือคอนกรีตเก่า ขนาด $2 \times 2 \times 2.5$ นิ้ว
2. นำเวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือนของแท่งทดสอบ ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.2 พื้นที่รับแรงเฉือนของแท่งทดสอบ

3. วางแท่งทดสอบลงบริเวณกึ่งกลางอุปกรณ์ทดสอบแรงเฉือน นำไปติดตั้งในเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ดังรูปข้างล่าง



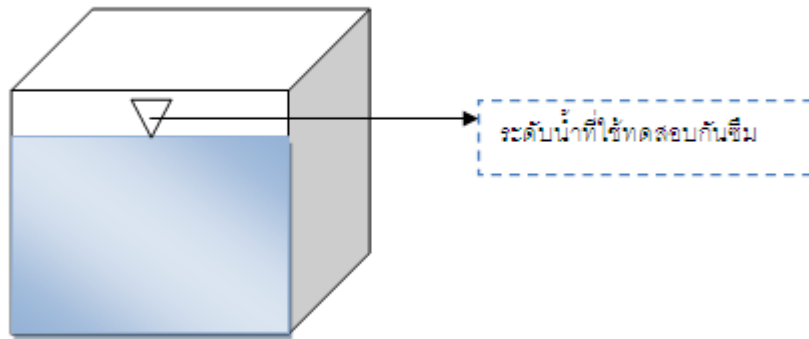
รูปที่ 3.3 แท่งทดสอบแรงเฉือนหรือการยึดเกาะในมอร์ต้าติดตั้งในอุปกรณ์ทดสอบแรงเฉือน

4. ควบคุมน้ำหนักกระทำต่อแท่งทดสอบ(มอร์ต้าผสมน้ำยากับ มอร์ต้าเก่า ที่ยัดติดกันแล้ว) อัตราความเร็วไม่เกิน 2 มม./นาที จนกระทั่งแท่งทดสอบเกิดความเสียหาย บันทึกค่าแรงกระทำสูงสุด

$$\tau = \frac{P}{A}$$

3.8 การทดสอบการรั่วซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยาง (Seepage loss Test of Mortar mix with Latex)

ทดสอบการกันซึมน้ำของแบบจำลองที่ผสมน้ำยางและไม่ผสมน้ำยางและหาอัตราความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมและปริมาณน้ำยางที่ใช้ผสมในแบบจำลอง



รูปที่ 3.4 แบบจำลองถังน้ำสำหรับใช้ทดสอบการกันซึมน้ำ

วิธีการทดสอบ

1. หล่อแบบจำลองสำหรับการใช้ในการทดสอบการซึมของน้ำ ขนาด 40 x 30 x 30 cm ทิ้งไว้ประมาณ 28 วัน
2. ทำการทดสอบโดยเติมน้ำลงในถังมอร์ต้าผสมน้ำยางจนกระทั่งถึงระดับที่กำหนดไว้
3. บันทึกเวลาและระดับน้ำที่เติมลงในบ่อทดสอบในแต่ละช่วงเวลา
4. วัดความกว้างและความยาวของผิวหน้าและเส้นรอบรูปเปือกที่ระดับความลึกระดับต่าง ๆ คำนวณค่าพื้นที่ดูดซึมน้ำของบ่อจำลองแต่ละบ่อ
5. คำนวณหาการรั่วซึมของน้ำ ใช้สมการของHorton ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึม f ที่เวลา t ใด ๆ กับอัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น (f_o) อัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (f_c) ค่าคงที่ของการซึม k และเวลา (t) ดังสมการ

$$F = f_c T + \frac{f_o - f_c}{k} - \frac{f_o - f_c}{k} e^{-kt}$$

6. วิเคราะห์และเปรียบเทียบการรั่วซึมของน้ำในแบบจำลองที่ผสมน้ำยางและไม่ผสมน้ำยาง

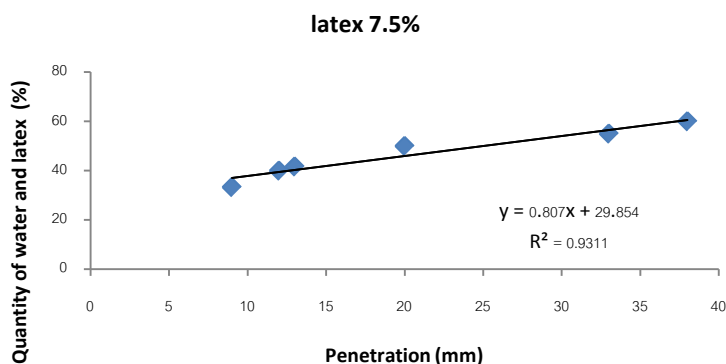
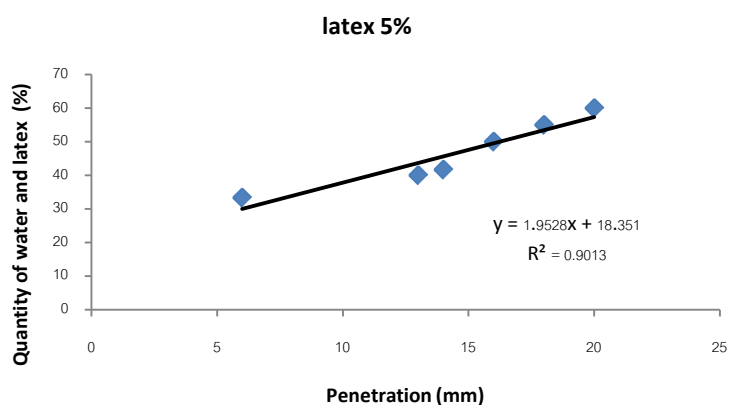
บทที่ 4

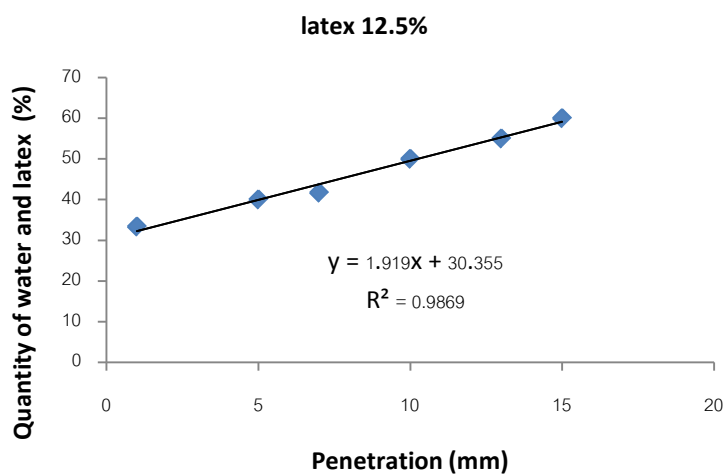
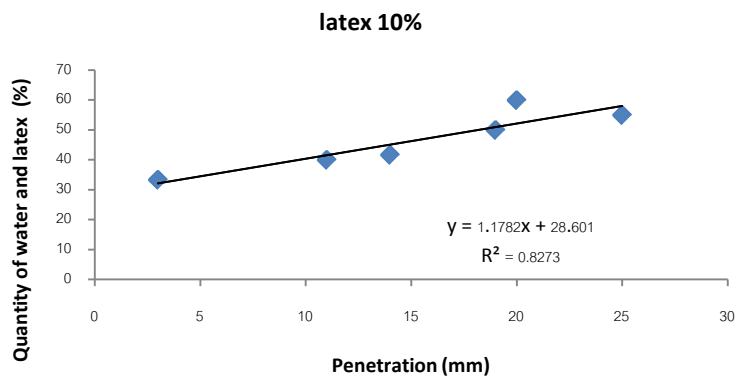
ผลการวิจัย

การพัฒนา mortars ที่ใช้น้ำยางพาราใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน (ParaMortar) รอยแตกร้าวในคลองชลประทาน การทดสอบในห้องปฏิบัติการมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาตัวเชื่อมประสาน ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วงการทดสอบ ประกอบไปด้วย ระยะที่ 1 การทดสอบการหาความชื้นเหลวของซีเมนต์และความชื้นเหลวของ mortars ที่ใช้น้ำยาง ระยะที่ 2 การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง, การยืดเกาะ และการกันซึมน้ำ ระยะที่ 3 การทดสอบด้านการรั่วซึมของแบบจำลอง

4.1 ความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์และ mortars ที่ใช้น้ำยาง

ผลการทดลองเพื่อหาค่าอัตราส่วนผสมซีเมนต์, น้ำยาง และสารผสมเพิ่มอื่นๆ เนื่องจาก ซีเมนต์ผสมกับน้ำ และน้ำยางจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น ดังนั้นการทดสอบนี้เป็นการหาค่าปริมาณน้ำที่พอเหมาะสำหรับผสมซีเมนต์และน้ำยาง รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจมปลาย Plunger และเปอร์เซ็นต์น้ำและน้ำยาง โดยใช้น้ำยางที่ใช้ผสม 5% 7.5% 10% และ 12.5% ตามมาตรฐานการทดสอบ มอก.15 เล่ม 8 (2514) กำหนดไว้ ระยะจมปลาย Plunger เทียบกับอัตราส่วนของน้ำที่ระยะจม 10 ± 1 มม.





รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจมปลาย Plunger และเปอร์เซ็นต์น้ำและน้ำยาง 5% 7.5% 10% และ 12.5%

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความชื้นเหลวปกติ และ ค่า w/c

	Percent Normal Consistency	Water and latex (cc)	Cement (g)	w/c	ค่าที่ใช้ในการทดสอบ
5%	37.87%	113.61	300	0.37	ดังนั้นใช้ค่า w/c = 0.4, 0.5 และ 0.6
7.5%	37.92%	113.76	300	0.38	
10%	40.38%	121.14	300	0.40	
12.5%	49.54%	148.62	300	0.50	

ตามมาตรฐานการทดสอบ มอก.15 เล่ม 8 (2514) กำหนดไว้ระยะจมปลาย Plunger เทียบกับอัตราส่วนของน้ำที่ระยะจม 10±1 มม. จากตารางที่ 4.1 พบว่า อัตราการผสมของซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยางอยู่ระหว่าง

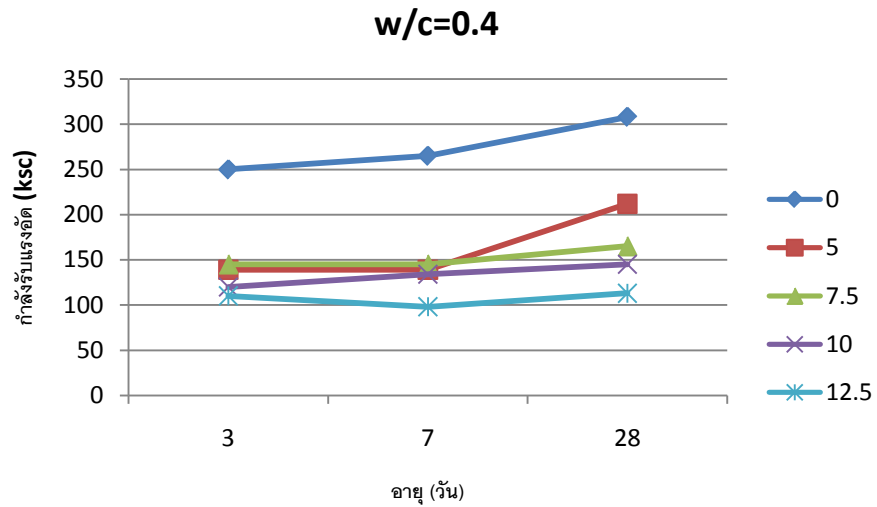
0.37 – 0.50 ดังนั้น ค่าอัตราส่วนของน้ำและน้ำยางต่อซีเมนต์ (w/c) ที่ใช้สำหรับงานวิจัยโดยกำหนดค่าอยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6

4.2 การทดสอบหากล้างรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าผสมน้ำยาง

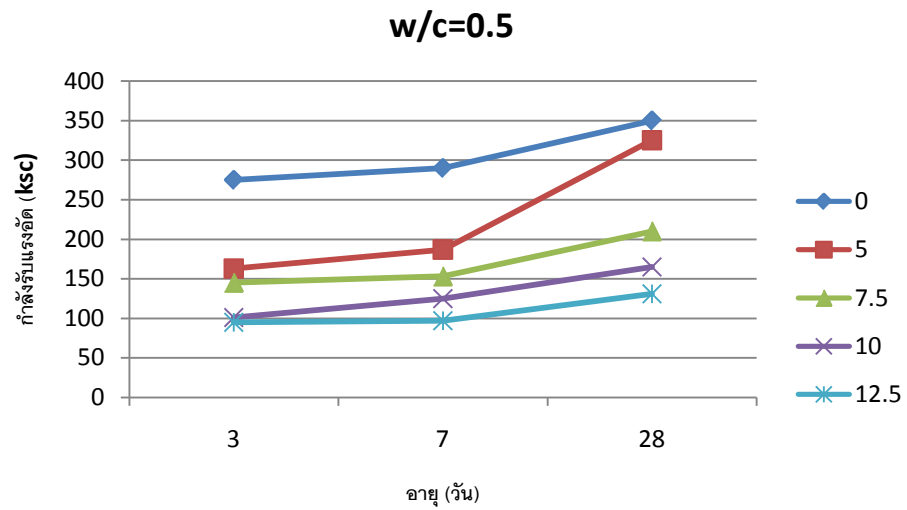
ผลการทดสอบหากล้างรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงมอร์ต้าผสมน้ำยางและเปรียบเทียบ กับมอร์ต้ามาตรฐาน (รูปที่ 4.2) การรับหากล้างอัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของ ปูนซีเมนต์ผสมน้ำยาง การทดสอบหากล้างรับแรงอัดของมอร์ต้า (Compressive Strength) โดยการหล่อก้อนทดสอบ รูปลูกบาศก์ขนาด ประมาณ 5 x 5 x 5 ซม. เปรียบเทียบความแข็งแรงระหว่างมอร์ต้ามาตรฐานและมอร์ต้าผสมน้ำยาง รูปที่ 4.2- 4.4 แสดงให้เห็นว่าหากล้างรับแรงอัดของมอร์ต้าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ขณะที่ปริมาณน้ำยางที่ผสม ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น หากล้างรับแรงอัดของมอร์ต้าลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ระยะเวลาการบ่มที่นานขึ้น ทำให้คอนกรีตมี หากล้างสูงขึ้น ปริมาณน้ำยางที่ใช้ผสมในมอร์ต้าเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาเพราะมีผลกระทบต่อหากล้างรับแรงอัดของมอร์ต้า



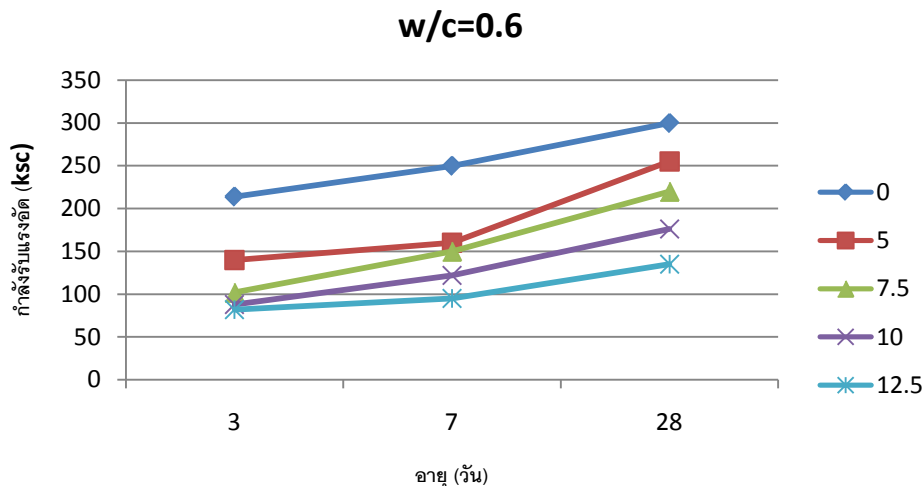
รูปที่ 4.2 การทดสอบหากล้างรับแรงอัดของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง



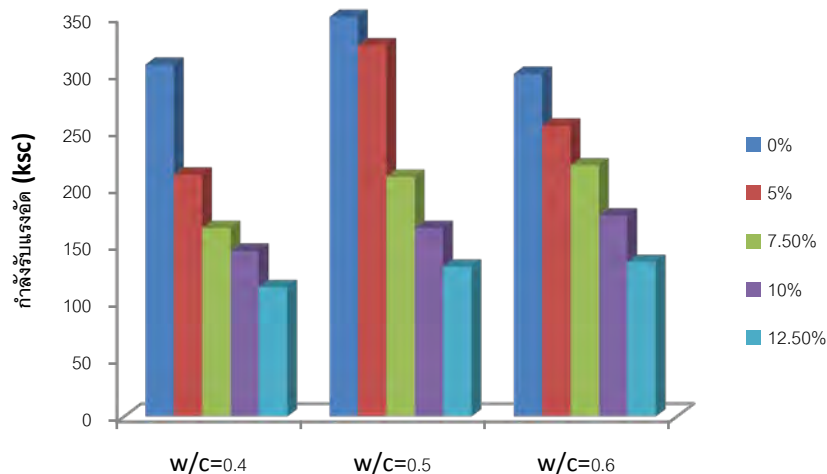
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.5



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้า (ksc) และอัตราส่วน w/c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

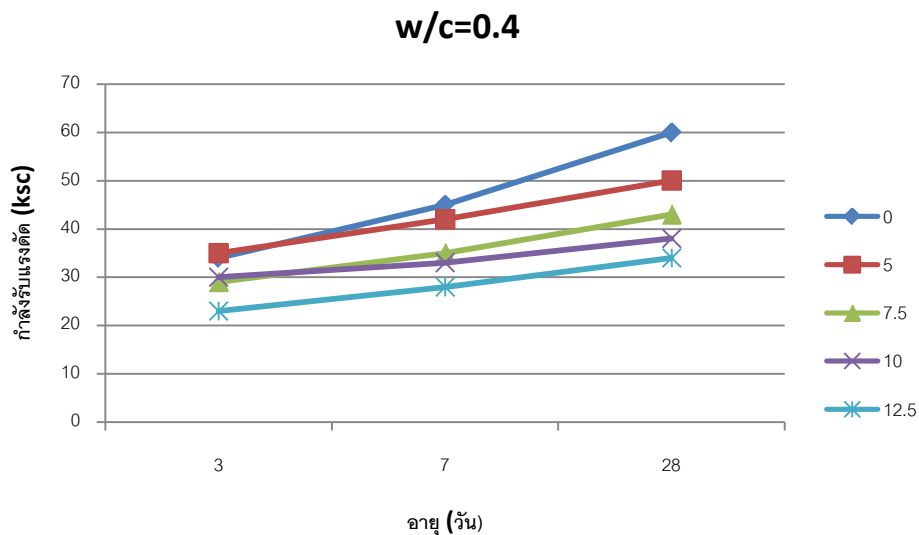
จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำยาที่ผสม และ อัตราส่วน water/cement ที่ระยะการบ่ม 28 วัน จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ากำลังรับอัดของมอร์ต้าลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งแปรผันตามเปอร์เซ็นต์น้ำยาที่เพิ่มขึ้น โดย ค่า w/c = 0.4 กำลังรับแรงอัด มีค่าระหว่าง 113 – 308 ksc, w/c = 0.5 กำลังรับแรงอัด 131 – 350 ksc และ w/c = 0.6 กำลังรับแรงอัด 135 – 300 ksc. ตามมาตรฐานมอก. 15 เล่ม 12 (2532) มีข้อกำหนดแรงอัดของก้อนลูกบาศก์ มอร์ต้า ที่อายุการบ่ม 28 วัน ต้องเท่ากับหรือมากกว่า 245 ksc. จากการวิจัยผลว่ามอร์ต้ามาตรฐานค่ากำลังรับแรงอัดผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม แต่กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าผสมน้ำยา ที่ w/c = 0.4 และ w/c = 0.6 ค่าต่ำกว่ามาตรฐาน แต่ w/c = 0.5 และน้ำยา 5% ได้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่ามาตรฐาน มอก.15

4.3 การทดสอบแรงดัดของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง

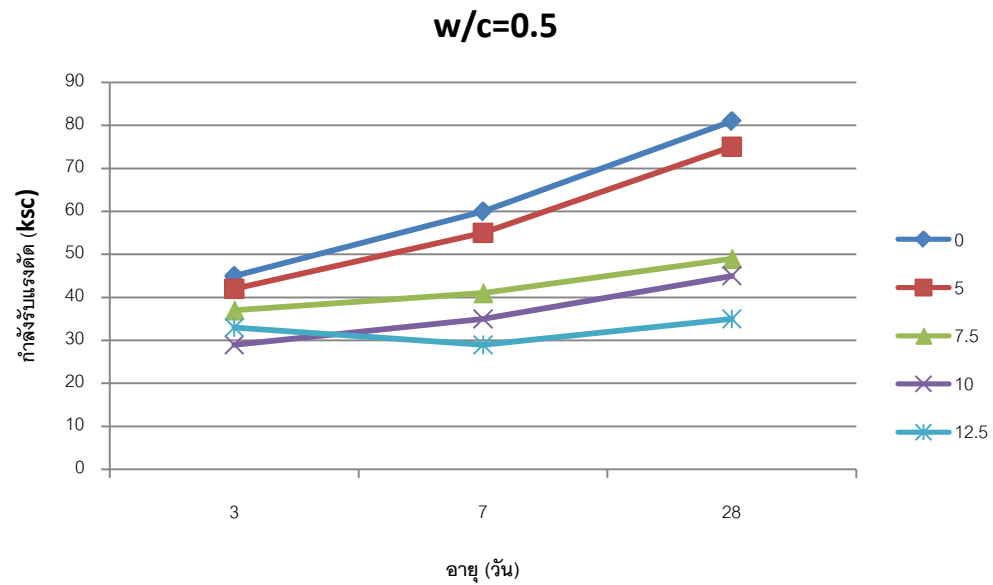
ผลการทดสอบแรงดัดของมอร์ต้าผสมน้ำยาง จะหาค่าของโมดูลัสการแตกหักซึ่งหาค่าจากแรงสูงสุดทำให้เกิดการแตกหักในตัวอย่างทดสอบที่อัตราส่วนการผสมน้ำยาง 0%, 5%, 7.5%, 10% และ 12.5%. จากรูปที่ 4.8 – 4.10 แสดงให้เห็นว่า ค่าโมดูลัสการแตกหักของมอร์ต้าทั้งผสมและไม่ผสมน้ำยางจะมีค่ามากขึ้นตามอายุของการบ่มมอร์ต้า แต่อย่างก็ตาม เมื่อผสมน้ำยางในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสการแตกหักจะมีค่าลดลงตามปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำยางปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดแผ่นฟิล์มและเส้นใยยางแทรกอยู่ในเนื้อมอร์ต้า



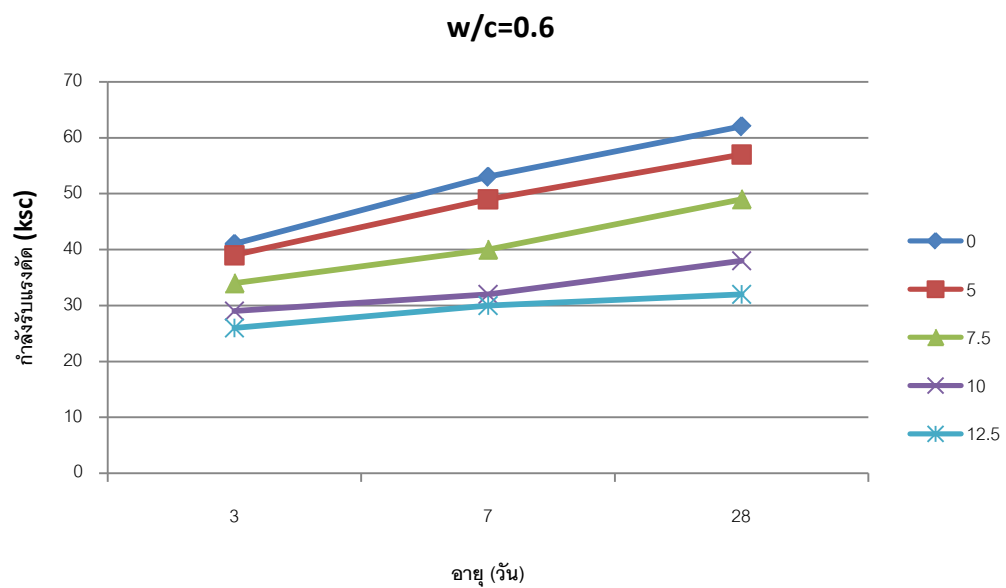
รูปที่ 4.7 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง



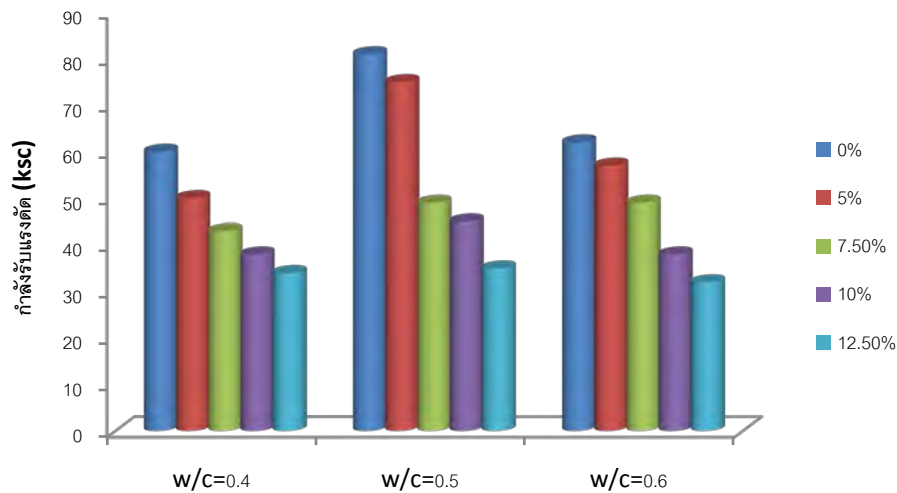
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.4



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.5



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.6

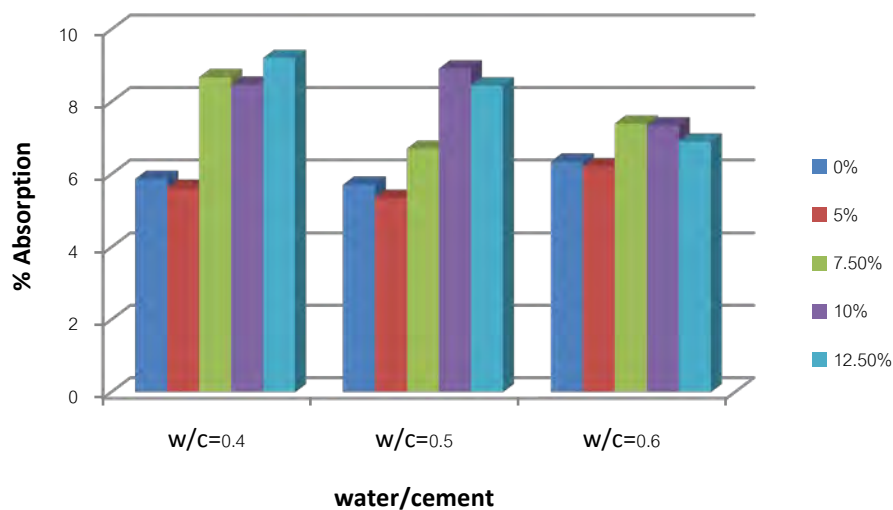


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้า (ksc) และอัตราส่วน w/c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าที่ 28 วัน ที่อัตราส่วน w/c = 0.4, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากำลังรับดัดของมอร์ต้าลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งแปรผันตามเปอร์เซ็นต์น้ำยางที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าซึ่งไม่ระบุไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก) ดังนั้นสำหรับการวิจัยนี้กำลังรับแรงดัดของมอร์ต้าผสมน้ำยางจะเทียบกับค่ากำลังรับแรงดัดมอร์ต้ามาตรฐาน จากรูปข้างต้น พบว่า ที่ w/c = 0.5 ค่ากำลังรับแรงดัดมอร์ต้ามาตรฐานมีค่าสูงสุด ประมาณ 85 ksc และที่ผสมน้ำยาง 5% ประมาณ 80 ksc ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงดัดสูงกว่ามอร์ต้ามาตรฐานที่ใช้อัตราส่วน w/c = 0.4 และ 0.6

4.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำ(Absorption) ของมอร์ต้าผสมน้ำยาง

ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าผสมน้ำยางในอัตราส่วนต่างๆ และค่า water/cement, w/c = 0.4, 0.5 และ 0.6 เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และพฤติกรรมการดูดซึมความชื้นของมอร์ต้าผสมน้ำยาง จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง 5.35% – 9.21% ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ w/c = 0.5 และ เปอร์เซ็นต์น้ำยาง 5% ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 30 ถือว่าเป็นค่าที่ได้มาตรฐานของการดูดซึมตามมาตรฐานของ มอก. 58-2533



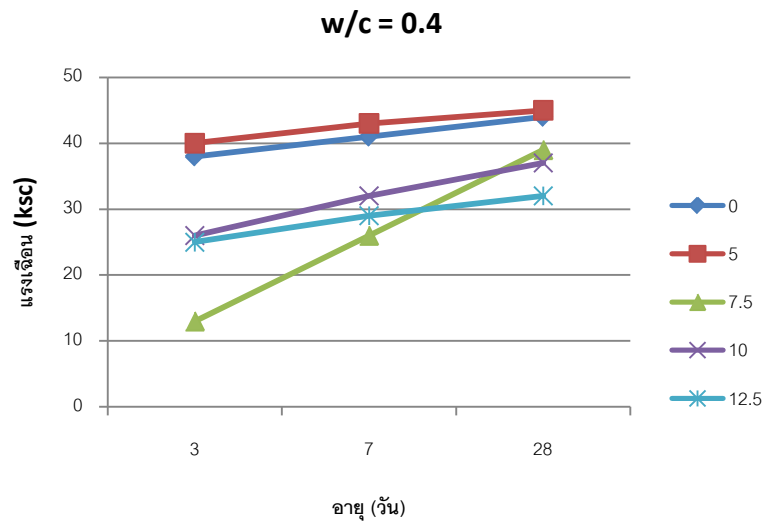
รูป 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของมอร์ต้า ที่ $w/c = 0.4, 0.5$ และ 0.6

4.5 การทดสอบการยัดเกาะของมอร์ต้าผสมน้ำยางขี้

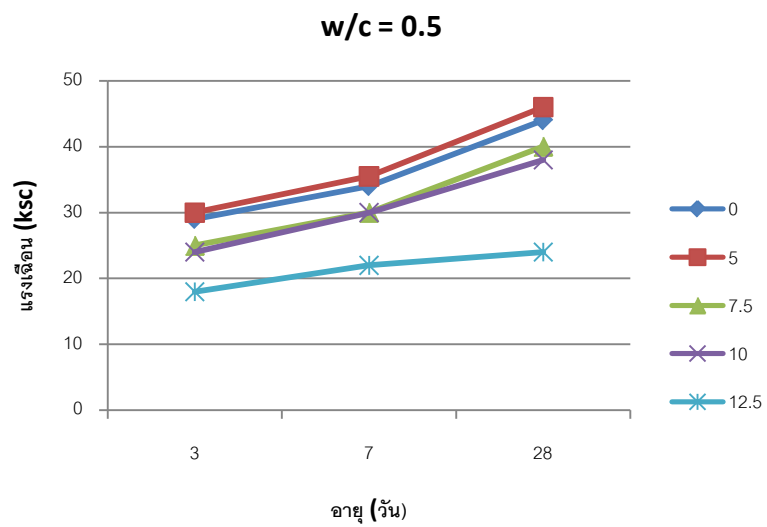
ผลการทดสอบการยัดเกาะหรือแรงเฉือนของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง เพื่อทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน และพฤติกรรมของมอร์ต้าเพื่อนำไปใช้งานซ่อมแซมคลองชลประทาน จากรูปที่ 4.14 – 4.17 พบว่าผลการทดสอบแรงเฉือนมีลักษณะเหมือนกับการทดสอบแรงอัดและแรงดัด กล่าวคือ แรงเฉือนจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำยางต่อปูนซีเมนต์ เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงเฉือนลดลง แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าปริมาณน้ำยางที่ 5% ค่ากำลังรับแรงเฉือนมากกว่ามอร์ต้ามาตรฐาน แต่ปริมาณน้ำยางที่มากกว่า 5% กำลังรับแรงเฉือนลดลงอย่างต่อเนื่อง สำหรับค่ามาตรฐานแรงยัดเกาะนั้นไม่ได้มีข้อกำหนดไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ดังนั้นจากการวิจัยนี้จะเทียบค่าแรงยัดเกาะกับมอร์ต้ามาตรฐาน



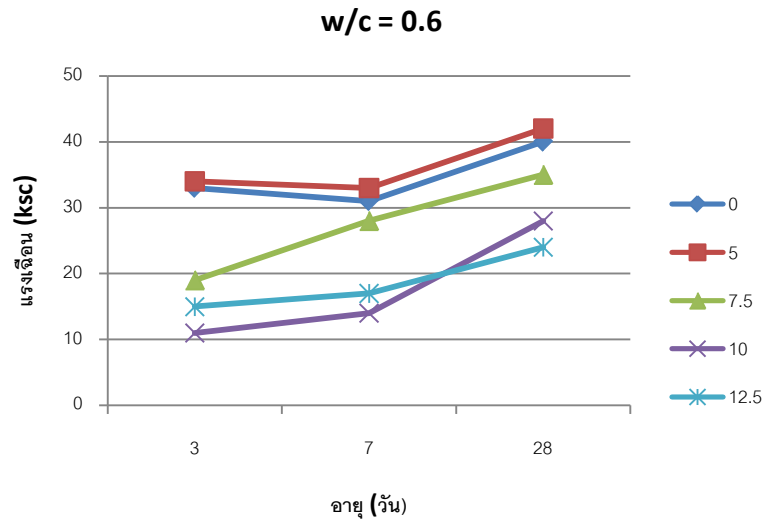
รูปที่ 4.13 การทดสอบการยัดเกาะของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง



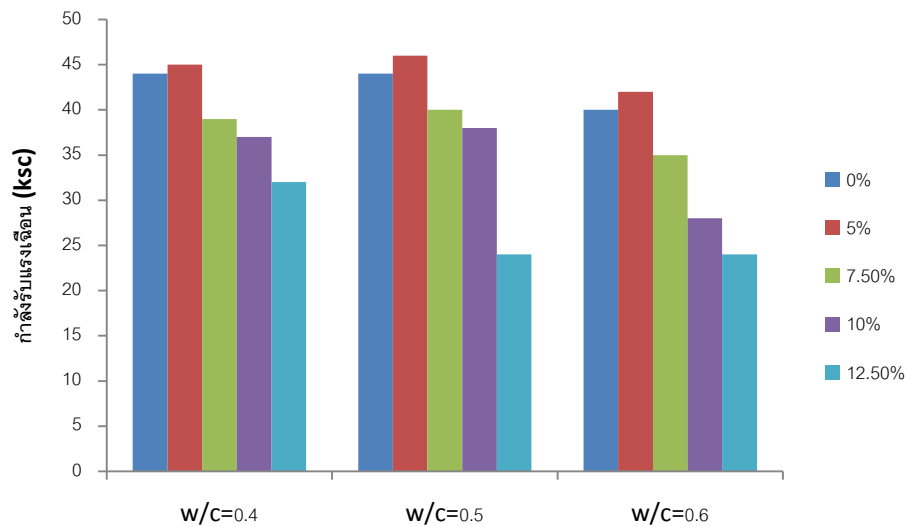
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.4



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.4



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของมอร์ต้า (ksc) และระยะเวลาการบ่ม โดย w/c = 0.6



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนของมอร์ต้า (ksc) และอัตราส่วน w/c ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

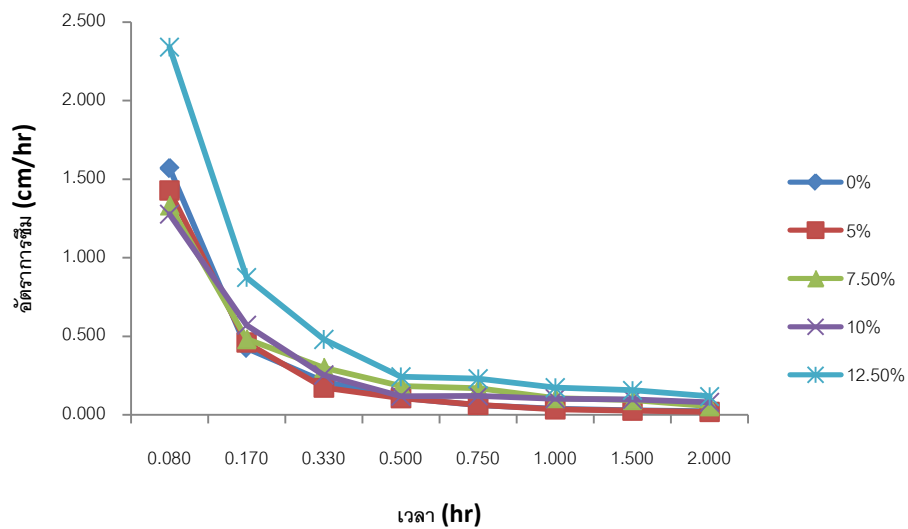
จากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าแรงยึกเกาะของมอร์ต้าผสมน้ำยาง ที่ปริมาณน้ำยาง 5% ให้ค่าแรงยึกเกาะสูงกว่ามอร์ต้ามาตรฐานเนื่องจากว่าปริมาณน้ำยางที่ผสมในมอร์ต้ามีความต้านทานแรงเฉือนได้ดีกว่ามาตรฐาน แต่ในทางตรงกันข้ามจะเห็นได้ว่า ถ้าเพิ่มปริมาณน้ำยางให้สูงขึ้น 7.5%, 10% และ 12.5% ตามลำดับ ค่าแรงยึกเกาะมีค่าต่ำกว่ามอร์ต้ามาตรฐานตามลำดับ

4.8 การทดสอบการรั่วซึมแบบจำลอง

จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการคุณสมบัติความชื้นเหลวและด้านการรับกำลังของมอร์ต้ามาตรฐานและผสมน้ำยาง จากการทดสอบข้างต้นพบว่าอัตราส่วน อัตราส่วนการใช้น้ำและน้ำยางต่อซีเมนต์ $w/c = 0.5$ และปริมาณน้ำยางที่ใช้ในการผสมมอร์ต้า 5%, เป็นอัตราส่วนที่ใช้เหมาะสมและได้มาตรฐานสำหรับการทดสอบ ดังนั้นจึงเลือก ค่า $w/c = 0.5$ และปริมาณน้ำยาง 0%, 5%, 7.5%, 10% และ 12.5%. สำหรับใช้ในการหล่อแบบจำลองเพื่อวัดปริมาณการรั่วซึม



รูป 4.18 แบบจำลองบ่อทดสอบการรั่วซึมของน้ำ

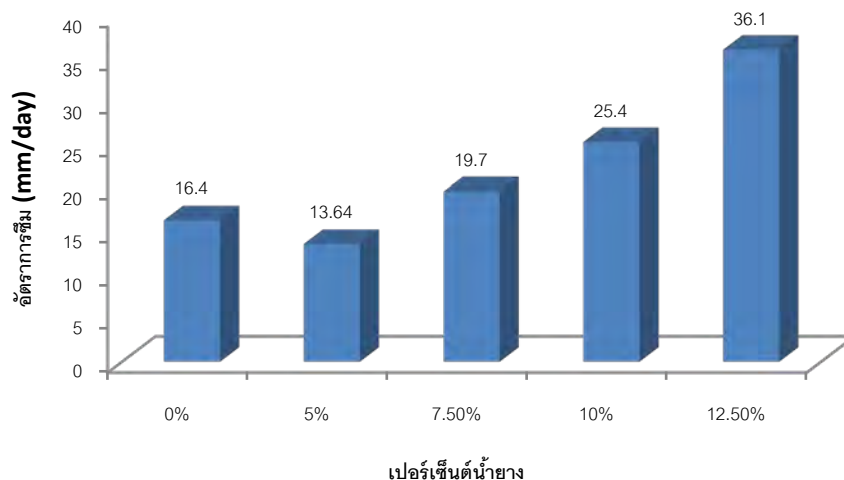


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอัตราการซึมกับเวลาแบบจำลองที่ผสมน้ำยาง 0% 7.5% 10% และ 12.5%

ค่าเฉลี่ยอัตราการซึม (f) กับเวลา (t) โดยใช้สมการของ Horton ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่เวลาเริ่มต้นมีอัตราการซึมมีค่ามาก เพราะในช่วงเวลาเริ่มต้นน้ำจะซึมผ่านได้เร็วเพราะมีปริมาณช่องว่างในมอร์ต้า และเมื่อเวลาผ่านไปผนังแบบจำลอง เริ่มเปียกและช่องว่างลดลงทำให้อัตราการซึมลดลงจนกระทั่งถึงสภาวะสมดุล จากผลการทดลองวัดอัตราการซึมใน แบบจำลองจะได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการซึมของแต่ละแบบจำลองดังแสดงใน ภาคผนวก (ข) นำค่าอัตราการซึม (f) ที่ เวลา (t) ต่าง ๆ วิเคราะห์หาค่าคงที่การซึมและสมการปริมาณการซึมทั้งหมด (F) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าคงที่ของการซึม k ของแบบจำลองการรั่วซึม

แบบจำลอง	ค่าคงที่การซึม (k)	สมการอัตราการซึม
ไม่ผสมน้ำยาง	1.45	$F = 0.024T + \frac{1.547}{1.45} - \frac{1.547}{1.45} e^{-1.45T}$
ผสมน้ำยาง 5%	1.55	$F = 0.020T + \frac{1.408}{1.55} - \frac{1.408}{1.55} e^{-1.55T}$
ผสมน้ำยาง 7.5%	2.42	$F = 0.06T + \frac{1.30}{2.42} - \frac{1.30}{2.42} e^{-2.42T}$
ผสมน้ำยาง 10%	1.91	$F = 0.08T + \frac{1.198}{1.91} - \frac{1.198}{1.91} e^{-1.91T}$
ผสมน้ำยาง 12.5%	2.85	$F = 0.118T + \frac{2.224}{2.85} - \frac{2.224}{2.85} e^{-2.85T}$



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมกับปริมาณน้ำยาง

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.19 พบว่าอัตราการซึมของแบบจำลองที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 5% มีค่าอัตราการซึมต่ำกว่าแบบจำลองที่ไม่ผสมของน้ำยางอยู่ ประมาณ 2.76 มม./วัน หรือ 16.82% และแบบจำลองที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 7.5%, 10% และ 12.5 % มีค่าอัตราการซึมสูงกว่าแบบแบบจำลองมาตรฐานที่ไม่ผสมของน้ำยาง 19.7 มม./วัน, 25.4 มม./วัน และ 36.1 มม./วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การใช้ ปริมาณน้ำยางผสมในมอร์ต้าในเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมประมาณ 5% สามารถลดอัตราการรั่วซึมของน้ำได้ ดี แต่อย่างไรก็ตามหากใช้น้ำยางที่ผสมในมอร์ต้าปริมาณสูงกว่า 5% จะทำให้เกิดการรั่วซึมมากกว่า เพราะว่าเนื้อยางที่ผสมในมอร์ต้าในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดเนื้อยางที่จับตัวเป็นก้อนเล็กๆในมอร์ต้าและทำให้เกิดรูพรุนดังนั้นน้ำสามารถซึมผ่านได้ง่าย สำหรับค่ามาตรฐานการรั่วซึมของมอร์ต้านั้นไม่ได้มีข้อกำหนดไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ดังนั้นสำหรับการวิจัยนี้จะเปรียบเทียบกับอัตราการรั่วซึมของแบบจำลองมาตรฐาน

4.9 วิเคราะห์จุดคุ้มทุนและเปรียบเทียบด้านราคา คุณภาพ กับวัสดุที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในปัจจุบัน

การทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านความชื้นเหลว การรับกำลังและการรั่วซึม พบว่าอัตราส่วนน้ำและน้ำยางต่อซีเมนต์ $w/c = 0.5$ และปริมาณน้ำยาง 5% สามารถใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน รอยร้าวในคลองชลประทานเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำและซ่อมแซมคลองชลประทานได้ดีกว่ามอร์ต้าปกติ ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของตัวเชื่อมประสานและเทียบกับตัวเชื่อมประสานที่จำหน่ายในท้องตลาด

จากตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบด้านราคาของ Paramortar และซีเมนต์มอร์ต้าป้องกันน้ำรั่วซึมในท้องตลาด แสดงให้เห็นว่า ราคาต่อกิโลกรัม ประมาณ 6 บาทต่อ กิโลกรัม ขณะที่ซีเมนต์มอร์ต้าอื่นๆ ราคา ประมาณ 38- 257 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งขึ้นอยู่กับยี่ห้อของมอร์ต้ากันซึม จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงสมควรนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ “มอร์ต้าป้องกันน้ำรั่วซึม” ซึ่งสามารถใช้สำหรับอุดรอยรั่วและป้องกันการรั่วซึมในคลองชลประทานและตามอาคารบ้านเรือนที่มีรอยรั่วซึมของน้ำ

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบด้านราคาสำหรับมอร์ต้าผสมน้ำยาง (Paramortar) $w/c = 0.5$ และ น้ำยาง 5%

% น้ำยาง	ปูนซีเมนต์	ทราย ละเอียด	น้ำ ยางพารา	น้ำ	สารผสมเพิ่ม อื่นๆ	รวม (บาท)
5%	3 kg	9 kg	75	1425 ml	100 ml	
ราคา (บาท)	15	27	20	-	10	72
ได้น้ำหนักมอร์ต้าผสมน้ำยางประมาณ 12 กก.						

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบด้านราคา Para-Mortar และ ซีเมนต์มอร์ต้าป้องกันน้ำรั่วซึม

ยี่ห้อ	ขนาด (กก.)	ราคา (บาท)	บาท/กก.
Para-Mortar (จากการวิจัยครั้งนี้)	12 กก.	72	6
Weber Tech510	5 กก.	190	38
ซีเมนต์มอร์ต้าป้องกันน้ำรั่วซึม			
WEB-SIS PROTAC KID-01	7 กก.	1800	257
ซีเมนต์มอร์ต้ากันรั่วซึม			
Sika	4.5 กก.	599	133
ซีเมนต์สำหรับอุดรอยรั่วซึม			
Lanko 222	5 กก.	215	43
มอร์ต้ากันรั่วซึม			
ตราจระเข้	5 กก.	177	35
ซีเมนต์มอร์ต้ากันซึม			

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้ การทดสอบ ความชื้นเหลือปกติของมอร์ต้าผสมน้ำยางใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.4, 0.5 และ 0.6 สำหรับการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง และใช้ปริมาณน้ำยางที่ 0% , 5% , 7.5% , 10% และ 12.5% และใส่สารลดแรงดึงผิวและ Potassium hydroxide (10%) ปรับค่า pH ของน้ำเพื่อให้ค่าพีเอชของน้ำใกล้เคียงกับน้ำยาง

สำหรับการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังซึ่งประกอบไปด้วย คุณสมบัติด้านแรงอัด แรงดัด และการยึดเกาะ ทั้ง 3 การทดสอบโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำและน้ำยางต่อซีเมนต์ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผลการทดสอบสรุปได้ว่า คุณสมบัติด้านกำลังสำหรับมอร์ต้าที่ไม่ผสมน้ำยาง สามารถรับแรงได้ตามมาตรฐานที่กำหนด สำหรับมอร์ต้าที่ผสมน้ำยาง 5% , 7.5% , 10% และ 12.5% w/c เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 คุณสมบัติด้านกำลังลดลงตามลำดับเมื่อเทียบกับมอร์ต้ามาตรฐาน แต่คุณสมบัติด้านกำลังของมอร์ต้าผสมน้ำยาง 5% และ w/c = 0.5 คุณสมบัติด้านกำลังมีค่าใกล้เคียงกับมอร์ต้ามาตรฐานและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

สำหรับการทดสอบการรั่วซึมในแบบจำลองได้เลือกอัตราส่วนของน้ำและน้ำยางต่อซีเมนต์ w/c = 0.5 และปริมาณน้ำยาง 5% , 7.5% , 10% และ 12.5% เพื่อวัดปริมาณการรั่วซึมและผลการทดสอบสรุปได้ว่า อัตราการซึมของแบบจำลองที่ไม่ผสมน้ำยาง 16.4 มม/วัน และแบบจำลองที่ผสมน้ำยาง 5% มีค่าอัตราการซึมต่ำกว่าแบบจำลองที่ไม่ผสมของน้ำยางอยู่ ประมาณ 2.76 มม/วัน หรือ 16.82% และแบบจำลองที่มีส่วนผสมของน้ำยาง 7.5%, 10% และ 12.5 % มีค่าอัตราการซึมสูงกว่าแบบแบบจำลองที่ไม่ผสมของน้ำยาง 19.7 มม/วัน, 25.4 มม/วัน และ 36.1 มม/วัน ตามลำดับ

ดังนั้น การพัฒนาสูตรมอร์ต้าผสมน้ำยางสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองส่งน้ำชลประทานซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติความชื้นเหลือ คุณสมบัติด้านกำลัง และคุณสมบัติการรั่วซึม พบว่าได้อัตราส่วนที่สามารถใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองชลประทานที่ปริมาณน้ำยาง 5% และ อัตราส่วนของน้ำและน้ำยางต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองชลประทานได้และลดอัตราการรั่วซึมของน้ำในคลองชลประทานได้ดีกว่ามอร์ต้าปกติ

วิเคราะห์จุดคุ้มทุนและเปรียบเทียบด้านราคา สำหรับตัวเชื่อมประสาน (Paramortar) จากการวิจัยนี้พบว่า มีคุณภาพด้านกำลัง (กำลังรับแรงอัด แรงดัด แรงเฉือน และการรั่วซึม) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดีเมื่อเทียบกับมอร์ต้ามาตรฐาน เปรียบเทียบด้านราคาของ Paramortar และซีเมนต์มอร์ต้า ป้องกันน้ำรั่วซึมในท้องตลาด แสดงให้เห็นว่า ราคาต่อกิโลกรัม ประมาณ 6 บาทต่อ กิโลกรัม ขณะที่ซีเมนต์มอร์ต้าอื่นๆ ราคา ประมาณ 38- 257 บาทต่อกิโลกรัม จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงสมควรนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ “Para-Mortar” ใช้ซ่อมแซมรอยแตกร้าวในคลองชลประทานและอุดรอยร้าวตามอาคารบ้านเรือนที่มีการรั่วซึมของน้ำ ซึ่งจากคุณสมบัติต่างๆ ที่ทดสอบในงานวิจัยนี้สามารถเทียบมาตรฐานกับมอร์ต้ากันซึมที่จำหน่ายตามท้องตลาด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อควรระวังในการเติมน้ำลงในน้ำยางก่อนที่จะใช้ผสมปูนซีเมนต์ จะต้องมีการปรับสภาพ pH ของน้ำ ให้ใกล้เคียงกับน้ำยางก่อน ถ้าไม่มีการปรับค่า pH ของน้ำ เมื่อผสมระหว่างน้ำและน้ำยางกับปูนซีเมนต์แล้วทำให้จับตัวเป็นก้อน
2. ควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่สามารถต้านทานเกลือซัลเฟตได้ เพราะน้ำในคลองชลประทานส่วนมากมีปริมาณเกลือซัลเฟตสูง ดังนั้นควรใช้ Modified Portland Cement
3. ผลิตภัณฑ์ “Para-Mortar” ที่ได้จากวิจัยในครั้งนี้ควรมีการวิจัยต่อยอดโดยการนำผลการวิจัยที่ได้ไปทดสอบในคลองชลประทานและทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับซีเมนต์มอร์ตาร์ป้องกันน้ำรั่วซึมที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
4. จากการเปรียบเทียบด้านราคาและคุณภาพ จะเห็นได้ว่า “ParaMortar” มีต้นทุนที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นมาก ดังนั้นหลังจากที่มีการทดสอบในภาคสนามแล้ว ควรมีการปรับปรุงรูปแบบการใช้ให้ง่ายต่อการใช้งานจริง
5. งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ ดังนั้นสมควรอย่างยิ่งที่จะต่อยอดงานวิจัยในระดับภาคสนาม ซึ่งควรที่จะนำ “Para-Mortar” ไปทดสอบในคลองชลประทานที่ปัญหาการแตกร้าตามผนังคลองและวัดปริมาณการรั่วซึมในภาคสนามและศึกษาพฤติกรรมทางกายภาพของ “Para-Mortar” หลังจากการใช้งานจริง และประเมินผลการทดสอบในภาคสนาม แต่อย่างไรก็ตาม การทดสอบในภาคสนามนั้น จะต้องมีความหมายงานที่เข้ามาเกี่ยวข้องได้แก่ สกว. , โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ในสังกัดกรมชลประทาน และ มหาวิทยาลัยสยาม ซึ่งจะเป็นงานวิจัยต่อยอดร่วมกัน 3 หน่วยงาน เพื่อที่จะประเมินประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ “Para-Mortar” จากการวิจัยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น หลังจากนั้นจะนำเสนอสู่ภาคเกษตรกรรมนำไปใช้งานจริง

เอกสารอ้างอิง

กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ , 2542. การบำรุงรักษาและปฏิบัติการชลประทาน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

พีรวัฒน์ ปลาเงิน, 2548, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ “การศึกษาการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแบบจำลองคลองชลประทานที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารา” โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝายอุตสาหกรรม, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

วรภรณ์ ขจรไชยกุล และ คณะ, 2554. เอกสารประกอบการบรรยาย “โครงการถ่ายทอดความรู้วิชาการพื้นฐานด้านยางพาราสำหรับนักวิจัย เพื่อพัฒนาข้อเสนอโครงการวิจัยยางพารา, 3 – 6 สิงหาคม 2554

วรภรณ์ ขจรไชยกุล, 2544. อุตสาหกรรมการผลิตยางธรรมชาติ, เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตร “Process and cleaner Technology in the Rubber Industry”, สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร, หน้า 46-47.

วรภรณ์ ขจรไชยกุล, 2549, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซีโนติโซน

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร (2554). ยางพาราในประเทศไทย. ค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2554, จาก <http://www.rubber.com>

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2517, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีต (มอก.109-2517), กทม.

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2517, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (มอก.109-2517), กทม.

สิทธิชัย ศิริพันธุ์ และคณะ, 2548, “การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต” เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, ชลบุรี

อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย , 2535, การผสมสารเคมีลงในน้ำยางเพื่อให้ได้ความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ACI Subcommittee 548 A, "STATE OF THE ART REPORT ON POLYMERMODIFIED CONCRETE",
Reported by ACI Subcommittee 548, American Concrete Institute

American Society for Testing and Materials. (2001). Annual Book of ASTM Standards 2001. Volume
04.01 and 04.02, West Conshohocken, U.S.A.

B.S. Thandaveswara "Hydraulics Engineering" 2009 Department of Civil Engineering , IIT Madras.

Geist, J.M.; S.V. Amagna; and B.B. Mellor; "IMPROVED PORTLAND CEMENT MORTARS WITH
POLYVINYL ACETATE EMULSIONS", Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 45, No. 4,
1953, PP. 759 - 767

Kunlman, L.A.; "LATEX - MODIFIED CONCRETE FOR REPAIR AND REHABILITATION OF BRIDGES",
THE INTERNATIONAL JOURNAL OF CEMENT COMPOSITES & LIGHT WEIGHT
CONCRETE, Vol. 7, No. 4, 1985, PP. 217 - 233

Lavelle, Joseph A.; "ACRYLIC LATEX-MODIFIED PORTLAND CEMENT", ACI MATERIALS JOURNAL
(January – February 1988) Title No. 85 – M6, PP. 44 – 48

Ohama, Y.; "POLYMER-MODIFIED MORTAR & CONCRETES", CONCRETE ADMIXTURES
HANDBOOK : PROPERTIES, SCIENCE AND TECHNOLOGY, NOYES PUBLICATION,
PARK RIDGE (1984) PP. 337-429

Ohama, Y.; "PRINCIPLE OF LATEX MODIFICATION AND SOME TYPICAL PROPERTIES OF LATEX-
MODIFIED MORTARS AND CONCRETES", ACI MATERIALS JOURNAL (November –
December 1987), Title No. 84-M45, PP. 511 - 518

Walters, D. Gerry; "WHAT ARE LATEXES?", CONCRETE INTERNATIONAL : DESIGN AND
CONSTRUCTION, Vol. 9, No. 12 (December 1987), PP 44 - 47

Zdanowski, R.E.; Brown, G.L., "FILM FORMING CHARACTERISTICS OF EMULSION POLYMERS",
44th MID-YEAR PROCEEDINGS, CHEMICAL SPECIALTIES MANUFACTURES
ASSOCIATION, Washington, D.C., May 1958, PP. 1 - 6

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ
 “การพัฒนาสูตรมอร์ต้าผสมน้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับใช้เป็นตัวเชื่อมประสานรอยร้าวในคลองส่งน้ำชลประทาน”
 สัญญาเลขที่ RDG 5450054

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editor)	
1. ตรวจสอบคำถูก-ผิด ของรายงาน เช่น หน้า ข บรรทัดที่ 9 จากล่าง “เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะเกิดปัญหาการแตกร้าวตามผนังและท้องคลอง” หน้า จ. บรรทัดแรก “แรงเฉือนจะแปรผกผันกับอัตราส่วน.....” เป็นต้น	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว
2. สารบัญมีไม่ครบถ้วน ควรมีตั้งแต่ บทสรุปสำหรับผู้บริหาร, บทคัดย่อ, กิตติกรรมประกาศ และการเขียนหน้าให้เขียนเฉพาะหน้าเริ่มต้น ไม่ใช่ 1-2 รวมถึงตรวจสอบความถูกต้องทั้งหมดของหน้านี้ และจะใช้คำว่าศึกษาหรือวิจัย ควรใช้ให้เหมือนกัน	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว
3. หน้า 1 ใต้บทที่ 1 ไม่มีชื่อเรื่อง “บทนำ”	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว
4. หน้า 3 บทที่ 2 “บททวนเอกสาร” เปลี่ยนเป็น “การทบทวนเอกสาร” และตัดภาษาอังกฤษ “Literature Review” ออก และบทที่ 2 เขียนทฤษฎีมากเกินไป บางเรื่องก็ไม่เกี่ยวข้องกับงานที่ทำ	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว (ได้ตัดทฤษฎีที่ไม่เกี่ยวข้องกับการวิจัยออก)
5. หน้า 11 บทที่ 5 จากล่างอ้างถึงรูปที่ 2.9 ที่ถูกนำจะเป็น รูปที่ 2.10	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว
6. หน้า 21 บทที่ 3 ดัดชื่อเรื่องภาษาอังกฤษออก และ (มอก.) คืออะไรไม่มีในเอกสารอ้างอิง	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว
7. หน้า 22 ข้อ 3.2 ควรบอกยี่ห้อ แหล่งที่มา และความสามารถของเครื่องมือ	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว
8. หน้า 24 บรรทัดที่ 3,18,20 วุ้น (Paste), ซีเมนต์เฟลส และวุ้นซีเมนต์ ตรวจสอบความถูกต้องและใช้ให้เหมือนกัน	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว
9. หน้า 29 บรรทัด 12 มอก. 15-8-2514, หน้า 33 บรรทัดสุดท้ายเขียน มอก.15 โดยตรวจสอบให้ถูกต้อง	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว
10. หน้า 30 รูปที่ 4.1 รูป latex 12.5% ไม่แสดงรายละเอียดแกน x แกน y	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว
11. การเขียนรายงานการวิจัย ควรเขียนตามหลักการเขียนรายงานการวิจัยที่ดีมีรูปแบบที่ถูกต้องครบถ้วน	แก้ไขตามข้อเสนอแนะแล้ว

ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)	
1. การวิจัยเปรียบเทียบกับ Mortar ที่ไม่เติมน้ำยาง พบว่าควรเพิ่มที่ 5% ซึ่งมีคุณสมบัติดีกว่าการไม่เติมน้ำยาง ในทางที่ถูกต้องควรเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ Benchmark เช่น LMM มากกว่า และเข้าใจว่าการที่มีน้ำยางเพิ่มมากขึ้นแล้วคุณสมบัติลดลงนั้นน่าจะเกิดจากมีน้ำมากเกินไป ดังนั้นการทดลองน่าจะ fix น้ำคงที่แล้วแปรปรมาณอย่างมากกว่า ซึ่งทำให้สูตรการผสมซีเมนต์ น้ำ และน้ำยางเปลี่ยนไป คือต้องลดน้ำลงถ้าเติมน้ำยางในสูตร	การทดสอบในห้องปฏิบัติการนั้นคณะผู้วิจัยได้ fix ปริมาณน้ำสำหรับผสมมอร์ต้าให้คงที่และเพิ่มปริมาณน้ำยาง 5% , 7.5% , 10% และ 12.5% และปริมาณก็ต้องลดลงในกรณีที่ปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกับคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
2. หน้า 40 หน่วยการรั่วซึมที่แสดงเป็น cm/hr นั้นเข้าใจขึ้นกับความหนาของชั้นงานหล่อ (รูปที่ 4.18) ด้วย ไม่ทราบว่าการทดลองในรูป 4.18 นี้ เป็นไปตามมาตรฐานที่เอาไปเปรียบเทียบได้หรือไม่	การทดสอบอัตราการรั่วซึม ไม่ได้มีข้อกำหนดไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ดังนั้นการทดสอบเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมกับมอร์ต้ามาตรฐาน สำหรับหน่วยการรั่วซึม cm/hr ดังรูป 4.18 เป็นหน่วยการรั่วซึมโดยใช้สมการของ Horton ซึ่งไม่ขึ้นกับความหนาของชั้นงาน แต่ความหนาของชั้นงานที่ใช้ทดสอบประมาณ 5 ซม. ซึ่งได้กำหนดความหนาของชั้นงานเท่ากับความหนาของคลองชลประทานที่ใช้งานจริง