



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การใช้น้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของ
คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล

โดย ประชุม คำพุฒ

กันยายน 2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การใช้น้ำอย่างคุ้มค่าโน้สสำหรับพัฒนาสมบัติของ
คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล

[illegible]

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็ก เรื่อง ยางพารา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การใช้ไอน้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบ
จากโรงไฟฟ้าชีวมวล
(ภาษาอังกฤษ) Using Vulcanized Latex for Developing the Properties of Rice Husk Ash
Concrete Blocks from Biomass Power Plants

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล นายประชุม คำพุ่ม
หน่วยงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ที่อยู่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
โทรศัพท์/โทรสาร 0 2549 3417 / 0 2549 3412 E-mail address choomy_gtc@hotmail.com

นักศึกษา / ผู้ร่วมวิจัย -

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน

ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ

จากโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่อง การใช้ไอน้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก สัญญาับ
ทุนเลขที่ RDG5050069 ประจำปี 2550 ที่ผ่านมา พบว่า ไน้ยางพาราสามารถพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลบางประการ
ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดการดูดซึมน้ำและสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ซึ่งหากนำมาพัฒนาต่อยอดกับคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ
จากโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ผู้วิจัยพัฒนาให้มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตบล็อกปกติถึงกว่าร้อยละ 50 แต่ยังมีปัญหาการดูดซึมน้ำที่สูงเกิน
กว่ามาตรฐาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะผสมไอน้ำยางพาราในคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อลดการดูดซึมน้ำ
และลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งได้เปรียบกว่าคอนกรีตมวลเบาที่จำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากคอนกรีตมวล
เบาแม้จะมีน้ำหนักเบา แต่ก็เปราะแตกง่าย และดูดซึมน้ำสูง เมื่อทำการก่อสร้างต้องใช้ปูนชนิดพิเศษที่มีราคาสูง ทำให้การก่อสร้าง
ด้วยคอนกรีตมวลเบาต้องเสียทั้งราคาคอนกรีตมวลเบาที่มีราคาสูงกว่า 16 บาทต่อก้อน ความเสี่ยงในการแตกหักระหว่างการขนส่ง
และราคาปูนก่อ-ฉาบที่แพงกว่าปูนทั่วๆ ไป รวมทั้งในกระบวนการผลิตยังสิ้นเปลืองพลังงานมาก แต่สำหรับคอนกรีตบล็อกเถ้า
แกลบผสมไอน้ำยางวัลคาไนซ์ที่พัฒนาขึ้นจะมีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาเกือบทุกด้าน โดยเฉพาะด้านความแข็งแรง ทำให้ลด
ความเสี่ยงจากการขนส่งได้ นอกจากนี้กระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมไอน้ำยางวัลคาไนซ์ยังสิ้นเปลืองพลังงานน้อย
กว่ามาก ส่วนปริมาณของไอน้ำยางพาราที่นำมาผสมก็ยังไม่ทำให้ราคาของคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นมากนัก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะ
นำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ รวมทั้งสร้างมูลค่าให้กับเถ้าแกลบที่จะมีเหลือทิ้งเป็นปริมาณเพิ่มมากขึ้นกว่า 2,000 ตันต่อวัน ใน
ปี 2554 เนื่องจากประเทศไทยตั้งเป้าที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลให้ได้กว่า 2,800 เมกะวัตต์ อีกทั้ง
คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมไอน้ำยางวัลคาไนซ์ยังสามารถเป็นนวัตกรรมที่สามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้ต่อไปอีกด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมไอน้ำยางวัลคาไนซ์

ผลการดำเนินงาน

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสม
ไอน้ำยางวัลคาไนซ์ ทั้ง 12 อัตราส่วน พบว่า อัตราส่วนคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบ เท่ากับ 4 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ (R4) เป็น
อัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้าแกลบที่เหมาะสมที่สุด และเมื่อผสมไอน้ำยางวัลคาไนซ์ลงไปปริมาณต่างๆ กัน ก็จะมีผลต่อสมบัติที่
แตกต่างกันตามไปด้วย โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติความเป็น
ฉนวนป้องกันความร้อน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ตลอดจนต้นทุน
การผลิต คือ อัตราส่วนที่ผสมไอน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณ เท่ากับ 0.05 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ (P0.05) หรือคอนกรีตบล็อกเถ้า
แกลบที่ผสมไอน้ำยางวัลคาไนซ์อัตราส่วน R4 P0.05 ทั้งนี้ผลจากการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปเป็นองค์ความรู้ได้ ดังต่อไปนี้

1. ความหนาแน่น สำหรับผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมไอน้ำยางพารานั้น ไม่มีกำหนดค่า
มาตรฐานไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยจากผลการทดสอบ พบว่า คอนกรีตบล็อกที่ผสม
เถ้าแกลบมาก จะมีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณเถ้าแกลบน้อยกว่าเสมอ ส่วนไอน้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมในปริมาณ
มากก็มีแนวโน้มที่จะช่วยลดความหนาแน่นลงได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากความหนาแน่นของเถ้าแกลบและไอน้ำยางพาราที่ต่ำและ
ช่องว่างที่เกิดจากปฏิกิริยาของแผ่นฟิล์ม โดยอัตราส่วนอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมไอน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ R5 P0.15

มีค่าต่ำที่สุด รองลงมาคือ R4 P0.15, R5 P0.10, R3 P0.15, R4 P0.10, R5 P0.05, R4 P0.05, R5 P0.00, R3 P0.10, R3 P0.05, R4 P0.00, และ R3 P0.00 มีค่าสูงที่สุด ตามลำดับ

2. การดูดซึมน้ำ เกณฑ์ของค่าการดูดซึมน้ำที่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่ระบุให้การดูดซึมน้ำที่ดีที่สุดต้องไม่เกินกว่า ร้อยละ 25 นั้น พบว่า คอนกรีตบล็อกเก่าแก่ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ทั้งหมดมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ แม้ว่าเก่าแก่ที่มากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการดูดซึมน้ำสูง แต่การผสมน้ำยางวัลคาไนซ์จะทำให้การดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากแผ่นฟิล์มที่มีความทึบน้ำจะแทรกอยู่ในเนื้อคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลง โดยอัตราส่วนของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ R3 P0.15 มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมา คือ R3 P0.10, R4 P0.15, R4 P0.10, R3 P0.05, R5 P0.15, R4 P0.05, R5 P0.10, R3 P0.00, R4 P0.00, R5 P0.05, และ R5 P0.00 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ

3. การทดสอบการหดตัวแห้ง เป็นอีกหนึ่งมาตรฐานที่มีระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และ มอก.110-2517 เรื่องวิธีทดสอบการหดตัวของคอนกรีตบล็อก ซึ่งกำหนดให้มีค่าการหดตัวแห้งไม่เกิน ร้อยละ 0.03 ซึ่งผลการทดสอบ พบว่า คอนกรีตบล็อกเก่าแก่ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์หลายอัตราส่วนสามารถผ่านมาตรฐานดังกล่าวได้ ทั้งนี้เก่าแก่ที่ผสมมีผลต่อการหดตัวแห้งที่เพิ่มมากขึ้น แต่น้ำยางวัลคาไนซ์สามารถช่วยลดการหดตัวแห้งนั้นได้ โดยคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์อัตราส่วนที่ผ่านมาตรฐาน ได้แก่ R3 P0.15 มีการหดตัวแห้งต่ำที่สุด รองลงมาคือ R3 P0.10, R4 P0.15, R3 P0.05, R4 P0.10, R5 P0.15, R4 P0.05, R3 P0.00, และ R5 P0.15 มีการหดตัวแห้งสูงที่สุดที่ผ่านตามมาตรฐาน กำหนด ส่วนอัตราส่วนอื่นมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด

4. กำลังอัด เป็นค่าที่มีระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยกำหนดให้คอนกรีตบล็อกต้องมีกำลังอัดไม่ต่ำกว่าประมาณ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนต่างๆ ของคอนกรีตบล็อก พบว่า หลายอัตราส่วนมีกำลังอัดที่ผ่านมาตรฐานได้ ได้แก่ R4 P0.05 มีกำลังอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ R4 P0.00, R3 P0.00, R4 P0.10, R3 P0.05, R3 P0.10, R3 P0.15, และ R5 P0.00 มีกำลังอัดต่ำสุดที่ผ่านมาตรฐาน ตามลำดับ ส่วนอัตราส่วนอื่นมีกำลังอัดต่ำกว่ามาตรฐาน

5. สัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นค่าที่แม้จะไม่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก แต่ก็เป็นค่าที่สามารถบอกได้ถึงประสิทธิภาพการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อก ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า คอนกรีตบล็อกเก่าแก่ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ R5 P0.15 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ R5 P0.10, R4 P0.15, R3 P0.15, R5 P0.05, R4 P0.10, R3 P0.10, R4 P0.05, R3 P0.05, R5 P0.00, R4 P0.00, และ R3 P0.00 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ กล่าวคือ น้ำยางวัลคาไนซ์ สามารถช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ลงได้นอกจากอิทธิพลของเก่าแก่ลงจนมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาได้

ดังนั้นเมื่อพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับนำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ โดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่ทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กำหนด พบว่า คอนกรีตบล็อกเก่าแก่ที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเก่าแก่เท่ากับ 1:4 และปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ 0.05 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ มีสมบัติที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีสมบัติหลักในด้านต่างๆ ที่ดีขึ้น ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง ส่วนกำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นกว่าอัตราส่วนอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด

สรุปผลการวิจัย

การผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงในคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ เป็นการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ โดยจากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเก่าแก่เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 และปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, และ 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ สามารถสรุปข้อดี-ข้อด้อยของการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงในคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ได้ ดังนี้

1. การผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงในคอนกรีตบล็อกเก่าแก่สามารถช่วยลดความหนาแน่นลง อันจะส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ที่ลดลงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลดีต่อการขนส่งและน้ำหนักองค์อาคารที่จะลดลง

2. การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่สามารถลดลงได้อย่างมาก เมื่อผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้เกิดแผ่นฟิล์ม ซึ่งทำให้การก่อผนังไม่จำเป็นต้องใช้ปูนฉาบเพื่อกันซึมหรือลดการใช้น้ำยากันซึมลงได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาการแตกร้าวของปูนฉาบผนังที่เกิดจากการดูดซึมน้ำที่สูงของวัสดุก่อผนังได้อีกด้วย

3. การหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มากขึ้น เนื่องจากน้ำยางวัลคาไนซ์จะไปลดการเกิดปฏิกิริยาภายในให้เกิดขึ้นน้อยลง จากการที่น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ยาก ซึ่งมีผลต่อการแตกร้าวของผนัง

4. กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากน้ำยางวัลคาไนซ์จะสามารถช่วยยึดอนุภาคของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ให้ยึดติดกันดีขึ้น แต่ถ้าผสมในปริมาณมากก็จะไปลดพื้นที่ในการรับแรงอัดทำให้กำลังอัดลดลงได้

5. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มีค่าที่ลดน้อยลงตามปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่เพิ่มมากขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลงจะช่วยให้อาคารมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการใช้น้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเก่าแก่จากโรงไฟฟ้าชีวมวล ทำให้สามารถเปรียบเทียบสมบัติของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์จากการวิจัยกับคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบา ประเภท ACC ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเก่าแก่เท่ากับ 1:4 และปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ 0.05 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์เทียบกับคอนกรีตบล็อก และคอนกรีตมวลเบาประเภท ACC ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

สมบัติ	คอนกรีตบล็อก เก่าแก่ผสม น้ำยางวัลคาไนซ์	คอนกรีตบล็อก ในท้องตลาด	คอนกรีตมวลเบา ประเภท ACC ในท้องตลาด
ค่าความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	1.679	2.19	0.7 – 0.9
ค่าการดูดกลืนน้ำ (ร้อยละ)	20	6.49	25
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)	41.15	128	50
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร.เคลวิน)	0.319	0.502	0.132

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาโดยรวม พบว่า คอนกรีตบล็อกเก่าแก่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีกว่าคอนกรีตบล็อกในท้องตลาด และใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาประเภท ACC แต่คอนกรีตบล็อกเก่าแก่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาประเภท ACC ในด้านความทึบน้ำ และมีราคาถูกกว่า กับคอนกรีตบล็อก จากการผลการวิจัยดังกล่าวจึงสมควรนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก สำหรับใช้ในงานวัสดุก่อที่มีน้ำหนักเบา ทึบน้ำ กำลังอัดผ่านตามมาตรฐาน และมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

สำหรับข้อเสนอแนะของการนำน้ำยางวัลคาไนซ์มาผสมลงในคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสมบัติในด้านต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกต่อไป มีดังนี้

1. ควรทำการทดสอบสมบัติการป้องกันการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกและสารละลายซิลิเกต เพื่อให้ทราบว่าน้ำยางวัลคาไนซ์จะสามารถช่วยพัฒนาสมบัติดังกล่าวของคอนกรีตหรือคอนกรีตบล็อกที่นำไปใช้งานในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน เช่น บ้านพักริมทะเล หรือบริเวณเขตอุตสาหกรรม ได้หรือไม่

2. จากผลการศึกษาคอนกรีตบล็อกเก่าแก่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำยางวัลคาไนซ์ไปเป็นวัสดุผสมเพิ่มในคอนกรีตชนิดอื่นๆ เพื่อเพิ่มสมบัติในด้านความหนาแน่น การหดตัวแห้ง การดูดซึมน้ำ กำลังอัด และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ที่ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ซึ่งจะเป็นจุดเด่นในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงาน

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

- บทความตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการ
- บทความการประชุมสัมมนาทางวิชาการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำยางวัลคาไนซ์มาผสมในคอนกรีตบล็อกแก้วกลบเพื่อพัฒนาคุณสมบัติโดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินฝุ่นต่อน้ำ เท่ากับ 1: 1.5: 1.5: 2 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อแก้วกลบ เท่ากับ 1: 3, 1: 4, และ 1: 5 อัตราส่วนน้ำยางวัลคาไนซ์ต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10 และ 0.15 โดยน้ำหนัก และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำยางวัลคาไนซ์ โดยอัตราส่วนน้ำยางวัลคาไนซ์ต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมมากที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ เท่ากับ 0.05 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อแก้วกลบ เท่ากับ 1: 4 โดยมีความหนาแน่น 1,679.12 กก./ลบ.ม., การดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน ร้อยละ 20, กำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 41.15 กก./ตร.ซม., และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.3019 วัตต์/เมตร-องศาเคลวิน ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีขึ้นกว่าคอนกรีตบล็อกแก้วกลบปกติ

คำสำคัญ: น้ำยางวัลคาไนซ์, คอนกรีตบล็อกแก้วกลบ, การนำความร้อน, กำลังอัด

ABSTRACT

The aim of this research is to use vulcanized latex as an admixture for improving the properties of rice husk ash concrete block. In mix design, cement per sand per quarry dust per water ratio is 1: 1.5: 1.5: 2 w/w, cement per rice husk ash ratios are 1:3, 1:4, and 1:5 w/w, vulcanized latex per cement ratios are 0.00, 0.05, 0.10 and 0.15 (by weight of cement), no-charge surfactant is 5%(by weight of vulcanized latex). The suitable ratio of vulcanized latex per cement in this testing is 0.05 (by weight of cement) and cement per rice husk ash ratio is 1:4. The properties are obtained as follows. 1) Average density is 1,679.12 kg/cu.m. 2) Average water absorption at 28 days is 20%. 3) Average compressive strength at 28 days is 41.15 ksc. 4) The coefficient of thermal conductivity is 0.3019 watt / (m. Kelvin). It can be seen that many properties are better than normal rice husk ash concrete blocks.

Keywords: Vulcanized latex, Rice husk ash concrete block, Thermal conductivity, Compressive strength

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

จากโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่อง การใช้น้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก สัญญารับทุนเลขที่ RDG5050069 ประจำปี 2550 ที่ผ่านมา พบว่า น้ำยางพาราสามารถพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลบางประการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดการดูดซึมน้ำและสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ซึ่งหากนำมาพัฒนาต่อยอดกับคอนกรีตผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ผู้วิจัยพัฒนาให้น้ำหนักเบาว่าคอนกรีตบล็อกปกติถึงกว่าร้อยละ 50 แต่ยังมีปัญหาการดูดซึมน้ำที่สูงเกินกว่ามาตรฐาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อลดการดูดซึมน้ำและลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งได้เปรียบกว่าคอนกรีตมวลเบาที่จำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาแม้จะมีน้ำหนักเบา แต่ก็เปราะแตกง่าย และดูดซึมน้ำสูง เมื่อทำการก่อสร้างต้องใช้ปูนชนิดพิเศษที่มีราคาสูง ทำให้การก่อสร้างด้วยคอนกรีตมวลเบาต้องเสียทั้งราคาคอนกรีตมวลเบาที่มีราคาสูงกว่า 16 บาทต่อก้อน ความเสี่ยงในการแตกหักระหว่างการขนส่งและราคาปูนก่อ-ฉาบที่แพงกว่าปูนทั่วไป รวมทั้งในกระบวนการผลิตยังสิ้นเปลืองพลังงานมาก แต่สำหรับคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ที่พัฒนาขึ้นจะมีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาเกือบทุกด้าน โดยเฉพาะด้านความแข็งแรง ทำให้ลดความเสี่ยงจากการขนส่งได้ นอกจากนี้กระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ยังสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่ามาก ส่วนปริมาณของน้ำยางพาราที่นำมาผสมก็ยังไม่ทำให้ราคาของคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นมากนัก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ รวมทั้งสร้างมูลค่าให้กับเถ้าแกลบที่จะมีเหลือทิ้งเป็นปริมาณเพิ่มมากขึ้นกว่า 2,000 ตันต่อวัน ในปี 2554 เนื่องจากประเทศไทยตั้งเป้าที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลให้ได้กว่า 2,800 เมกะวัตต์ [1] อีกทั้งคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ยังสามารถเป็นนวัตกรรมที่สามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้ต่อไปอีกด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมน้ำยางวัลคาไนซ์

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

โครงการ การใช้น้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล เป็นการพัฒนาต่อยอดจากผลการวิจัยเกี่ยวกับการผสมน้ำยางพาราในคอนกรีต ซึ่งสามารถสรุปเป็นทฤษฎีที่แสดงถึงทางเลือกและแนวทางการแก้ไขปัญหาได้ ดังนี้

คอนกรีตบล็อก หรืออิฐบล็อก (Concrete Block) เป็นวัสดุก่อผนังประเภทหนึ่งที่มีความนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายภายในประเทศ โดยมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 20 x 40 เซนติเมตร หนาระหว่าง 7 – 20 เซนติเมตร ซึ่งลักษณะการใช้งานของคอนกรีตบล็อกจะก่อเหมือนงานอิฐมอดู แต่จะมีข้อดีกว่าคือ สามารถก่อได้เร็วกว่าและมีขนาดที่มาตรฐานกว่า ทำให้การประมาณการจำนวนของวัสดุทำได้ง่าย และเมื่อรวมค่าแรงในงานก่อสร้างแล้วจะมีราคาถูกกว่าการก่อผนังด้วยอิฐมอดู คอนกรีตบล็อก สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก และคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก โดยคอนกรีตบล็อกที่นิยมใช้ทั่วไป คือ คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ซึ่งมีการควบคุมคุณภาพด้วยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) [2]



รูปที่ 1 คอนกรีตบล็อกทั่วไป

วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก ได้แก่

1) ปูนซีเมนต์ ให้ใช้อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1ปูนซีเมนต์ผสมควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ผสมมาตรฐานเลขที่ มอก.80

2) มวลผสมคอนกรีตควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีตมาตรฐานเลขที่ มอก.566 ยกเว้นเกณฑ์กำหนดการคัดขนาดมวลผสมคอนกรีต

3) ส่วนผสมอื่นๆ เช่น ตัวทำฟองอากาศ สี สารกันน้ำ เป็นต้น ควรเป็นสารที่เหมาะสมสำหรับใช้กับคอนกรีตและควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) เกิดจากการเผาเถ้าที่ได้จากการสีข้าว ซึ่งข้าวในแต่ละตัน (1,000 กิโลกรัม) จะมีเถ้าอยู่ประมาณ 200 กิโลกรัม และเมื่อนำเถ้าไปเผาจะได้เถ้าแกลบ ประมาณ ร้อยละ 20 ของน้ำหนักของเถ้าหรือประมาณ 40 กิโลกรัม และเนื่องจากเถ้าแกลบมีปริมาณซิลิกา (Silica) (SiO_2) สูง จึงเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาทำเป็นวัสดุพอซโซลานทดแทนในปูนซีเมนต์ได้ ตามมาตรฐาน ASTM C 618-80 ถือได้ว่า เถ้าแกลบเป็นเถ้าชีวมวลที่มีอนุภาคกลม แข็ง ละเอียด ซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศที่ร้อนจากการเผาไหม้ของเถ้าในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า หรือโรงงานอื่นๆ และถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) แล้วส่งต่อไปยังถังเก็บ [3] ทั้งนี้การเผาเถ้าที่อุณหภูมิแตกต่างกันก็จะส่งผลต่อสารประกอบต่างๆ ในเถ้าแกลบที่เปลี่ยนไป ไม่ว่าจะเป็นสมบัติทางกายภาพและเคมีโดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในเตาเผาและการทำให้เย็นตัว [4]

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบประเภทต่างๆ สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 1 คือ เถ้าแกลบมี SiO_2 สูงมากถึงประมาณ ร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โปรแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition หรือ LOI) ซึ่งตามปกติมี LOI อยู่ประมาณร้อยละ 2-5 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเถ้าจะมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบมี LOI สูงขึ้น และ LOI ในเถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุที่ดูดน้ำสูง ซึ่งถ้ามีในปริมาณมากจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงได้ [5]

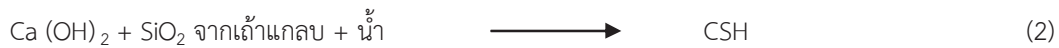
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบประเภทต่างๆ [4]

สารประกอบ	เถ้าแกลบ	เถ้าแกลบขาว	เถ้าแกลบดำโรงสี
SiO_2	86.9 - 97.3	88.33	89.95
K_2O	0.6 - 2.5	2.76	1.49
Na_2O	0 - 1.5	0.15	0.07
CaO	0.2 - 1.5	0.56	0.50
MgO	0.12 - 1.96	0.28	0.23
Fe_2O_3	0 - 0.6	3.37	1.89
P_2O_5	0.2 - 2.9	N/A	N/A
SO_3	0.1 - 1.1	0.12	0.02
Cl	0 - 0.4	N/A	N/A
Al_2O_3	N/A	0.48	0.54
LOI	N/A	3.71	4.70

โดยทั่วไปแล้วเถ้าแกลบจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 1.9 - 2.3 ขึ้นอยู่กับวิธีการเผา เนื่องจากเถ้าแกลบที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีสิ่งที่ไม่เผาไหม้ไม่หมดและคาร์บอนปนอยู่มาก ทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าเถ้าแกลบที่เผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์ นอกจากนี้เถ้าแกลบส่วนใหญ่ที่ใช้กันมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ โดยมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 5 - 20 ไมครอน ทั้งนี้คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบ เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ เถ้าแกลบ หินทราย และน้ำ โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำกลายเป็นสารประกอบ 2 ชนิด คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH)



CSH จะทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมประสานในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกจับตัวกัน ส่วน CH ที่เกิดขึ้นนี้ประมาณ 25 % โดยปริมาตร ซึ่งไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ใด เช่น เกิดเป็นฟิล์มบนผิวของคอนกรีต ทำให้การจับยึดกันระหว่างมวลรวมและมอร์ตาร์ได้ไม่ดีนัก และเมื่อใส่เถ้าแกลบผสมเข้าไป SiO_2 ที่มีอยู่มากในเถ้าแกลบ จะทำปฏิกิริยากับ CH และก่อให้เกิด CSH เพิ่มขึ้น



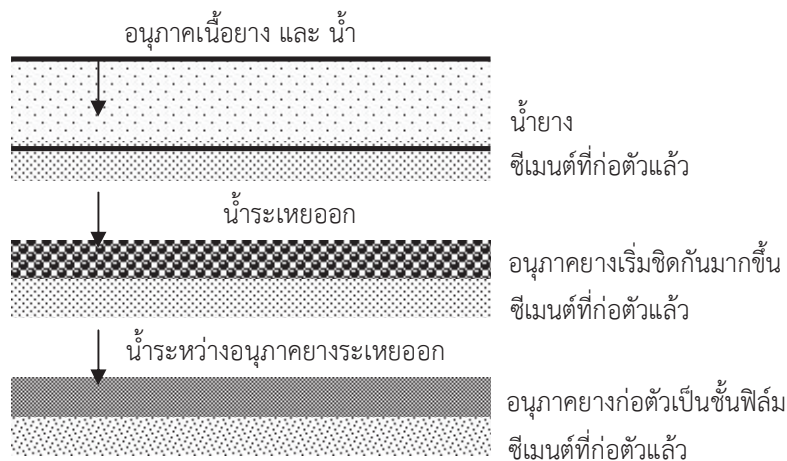
ซึ่ง CSH จะมีหน้าที่เป็นกาวยช่วยปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น สมบัติด้านกำลังอัด, ความทนทาน และการต้านการซึมผ่านของน้ำ เป็นต้น ทำให้คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบมีแนวโน้มของการเอิ่ม (Bleeding) และการแยกตัวของคอนกรีตบล็อกลดลง นอกจากนี้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ช้าก็จะลดลงด้วย ตลอดจนความทนทานก็จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำที่ผสมและปฏิกิริยาระหว่างเถ้าแกลบกับ Ca (OH)_2 ที่จะช่วยลดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตบล็อกได้ [4]

ยางพารา หรือยางธรรมชาติ เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งทางเคมีจัดเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ (Polymer) นั้น มีสมบัติพิเศษประการหนึ่งที่เป็นเอกลักษณ์ คือ มีความยืดหยุ่นสูง ทัวไปจึงเรียกรวม ๆ ว่า “Elastomer” [6] อย่างไรก็ตามตำราบางเล่ม ให้ความหมายคำว่า “Elastomer” หมายถึง Vulcanised Product [7] น้ำยางสดจากต้นยาง โดยทั่วไปมีปริมาณเนื้อยางแห้งตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไป และอาจถึงร้อยละ 45 (ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย) มีส่วนของสารที่ไม่ใช่ยางประมาณร้อยละ 5 นอกนั้นเป็นน้ำส่วนใหญ่ ดังนั้นเมื่อทำการขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่อยู่ไกล ๆ จึงควรทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้น เพื่อความประหยัดการขนส่ง ซึ่งระดับความเข้มข้นที่นิยม คือ ร้อยละ 60 เนื้อยางแห้งโดยทั่วไปเรียกว่า “น้ำยางข้น (Concentrated latex)” โดยที่การใช้น้ำยางข้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอว่าการใช้น้ำยางสด ทั้งนี้เนื่องด้วยสารที่ไม่ใช่เนื้อยางบางส่วนได้ถูกแยกออกจากน้ำยางขณะผ่านกรรมวิธีการทำให้น้ำยางข้นขึ้น วิธีการสำคัญสำหรับการผลิตน้ำยางข้น มี 4 วิธี คือ วิธีระเหยน้ำ (Evaporation) วิธีการทำให้เกิดครีม (Creaming) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (Electro Decantation) และวิธีการปั่น (Centrifuging) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมและทำกันเป็นการค้ามากที่สุดประมาณร้อยละ 90 ของการผลิตน้ำยางข้นทั้งหมด [8] โดยที่คุณภาพน้ำยางสดเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำยางข้นที่จะผลิต ดังนั้นสมบัติบางประการของน้ำยางสดจึงต้องตรวจสอบและควบคุม [9] การผลิตน้ำยางข้นในประเทศส่วนใหญ่รักษาสภาพน้ำยางข้นด้วยปริมาณแอมโมเนียมาก (HA) จะมีเพียงส่วนน้อยที่รักษาสภาพด้วยปริมาณแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยบางชนิด มักเป็นระบบ LA-TZ อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการรักษาสภาพน้ำยางข้นด้วยระบบที่อยู่ระหว่าง HA กับ LA ซึ่งเรียกกันว่าน้ำยางชนิด MA (Medium Ammonia) [10] โดยขณะนี้ได้มีการซื้อน้ำยางชนิดนี้ตามความต้องการของคู่ค้า โดยข้อจำกัดของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางข้น โดยมาตรฐาน ISO นั้น ได้กำหนดสมบัติที่สำคัญเพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อออกส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางเป็นองค์ประกอบ คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (Total Solids Content; TSC) และปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content; DRC)

สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้น้ำยางวัลคาไนส์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล สามารถสรุปได้ ดังนี้

1) การก่อตัวของคอนกรีตและน้ำยางพารา

ในปี ค.ศ. 1987, Ohama [11] ได้อธิบายการก่อตัวของคอนกรีตผสมน้ำยางไว้ว่า น้ำยางที่ใช้ผสมจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Emulsion) โดยอนุภาคของโพลิเมอร์ (Polymer) จะแขวนลอยอยู่ในน้ำยางเหลว ซึ่งเมื่อผสมน้ำยางเข้ากับคอนกรีตแล้ว จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 ส่วน คือ 1) ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) จากซีเมนต์ผสมกับน้ำ และ 2) ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์ม (Film) ที่เกิดจากอนุภาคของโพลิเมอร์มารวมตัวกัน (Coalesce) ซึ่งการก่อตัวของชั้นฟิล์มเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีต ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด (Binder) ระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกันเป็นคอนกรีต ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการก่อตัวของชั้นฟิล์มจากน้ำยางในคอนกรีต

2) การนำยางพารามาใช้พัฒนางานคอนกรีต

สิทธิชัย ศิริพันธุ์ และคณะ [12] ได้ศึกษาการนำยางพารามาใช้พัฒนางานคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเทคนิคการผสมน้ำยางในคอนกรีตอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาถึงความสามารถได้ และกำลังรับแรงของคอนกรีตผสมน้ำยางในสัดส่วน $P/C = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$ และ 0.25 ตามลำดับ ส่วนผสมคอนกรีตใช้ ซีเมนต์: ทราย: หิน เป็น $1: 2: 4$ โดยน้ำหนัก บ่มความชื้น 7 วัน ตามด้วยบ่มแห้งในอากาศที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า น้ำยางผสมกับคอนกรีตได้ด้วยการผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ สัดส่วน 4% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ด้านความสามารถได้พบว่า คอนกรีตจะยุบตัวแบบฮวบทั้งหมด ในด้านกำลังรับแรง คอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัดลดลงประมาณ 60% และมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น โดยลักษณะการวิบัติ จะมีเส้นใยขนาดเล็กสีขาวยึดรั้งไว้ สำหรับกำลังรับแรงดัดพบว่า ลดลงประมาณ 10% ในแต่ละค่า P/C ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 14 และ 28 วัน ที่ $P/C = 0.15$ และ 0.20 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตจะสูงขึ้นมากกว่าคอนกรีตปกติ เนื่องจากอนุภาคเนื้อยางเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์มที่แข็งแรงขึ้น จากผลการวิจัย เสนอแนะให้เลือกใช้ที่ $W/C = 0.4$ และ $P/C = 0.15$ ซึ่งจะได้กำลังรับแรงดัดมากกว่า 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุบ่มแห้ง 14 วันขึ้นไป อย่างไรก็ตามยังไม่เหมาะกับงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัด แต่อาจเหมาะกับงานซ่อมแซม เนื่องจากการยึดเหนี่ยวของน้ำยาง จะมีประโยชน์ในการเป็นตัวประสานกับคอนกรีตเดิม ทั้งนี้จึงควรศึกษาหาวิธีการพัฒนาคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตเพิ่มเติมเพื่อจะได้นำไปใช้งานในด้านอื่นเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งควรศึกษาในด้านของคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนอีกด้วย ว่าเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่

3) การใช้ยางพารามาผสมในคอนกรีตมวลเบา

ประชุม คำพุฒ [13] ได้ศึกษาการใช้ยางพารามาผสมในคอนกรีตมวลเบา พบว่า คุณสมบัติทางด้านความหนาแน่นและการเป็นฉนวนความร้อนไม่สามารถทำให้ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาที่จำหน่ายในท้องตลาดได้ แต่คุณสมบัติด้านกำลังอัดและกำลังดัดสูงขึ้นมาก ซึ่งหากนำสมบัติที่ดีในการดำเนินงานที่ผ่านมาดังกล่าว มาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติที่ด้อยของคอนกรีตบล็อกที่มีความหนาแน่นมาก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง และความแข็งแรงต่ำได้ ก็จะสามารถผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกแบบใหม่ที่มีจุดเด่นในด้านการป้องกันการดูดซึมน้ำ และการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ซึ่งถ้าผลการวิจัยสำเร็จตามแนวคิดและแนวโน้มที่ได้จากการทดลองทดลองในขั้นต้นดังที่กล่าวมาแล้ว คอนกรีตบล็อกนี้จะมีสมบัติด้านการเป็นฉนวนกันความร้อนใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบา (คอนกรีตบล็อกทั่วไปไม่มีสมบัติการเป็นฉนวนต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบา ประมาณ 4-5 เท่า) มีการดูดซึมน้ำต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตบล็อกทั่วไปมาก (การป้องกันการดูดซึมน้ำนี้นับเป็นจุดเด่นมากๆ) กำลังดัดสูงกว่าคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบามาก กล่าวโดยสรุปคือ หากนำยางพารามาผสมในคอนกรีตคาดว่า คุณสมบัติเกือบทุกอย่างจะดีกว่าคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบา ยกเว้นน้ำหนักต่อก้อนเท่านั้นที่ยังสูงกว่าคอนกรีตมวลเบา (หนักเท่ากับคอนกรีตบล็อกทั่วไป) ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้กับโครงการบ้านจัดสรรมาก เพราะจุดประสงค์หลักที่บ้านจัดสรรใช้คอนกรีตมวลเบาในการก่อสร้างก็เพียงเพื่อการประหยัดพลังงาน ส่วนในเรื่องน้ำหนักที่เบาเป็นจุดประสงค์รอง ซึ่งหากเป็นเช่นนี้คอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพาราที่ได้ จะนำใช้งานมากกว่า โดยมีข้อได้เปรียบที่ราคาต่อก้อนถูกกว่าคอนกรีตเบามาก (ราคาใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป)

4) การนำยางพารามาปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

ประชุม คำพุฒ [14] ได้ศึกษาการนำยางพารามาปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ทำการทดลองออกแบบส่วนผสมโดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายบดละเอียดเท่ากับ $1: 1$ โดยน้ำหนัก ปริมาณผงอลูมิเนียมเท่ากับร้อยละ 0.3 ของส่วนผสมทั้งหมด อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก (ไม่รวมน้ำหนักของน้ำในน้ำยางพารา) ปริมาณปูนขาวเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และปริมาณยิปซัมเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในการเตรียมน้ำยางพาราใช้สารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักยาง คอนกรีตต้องผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราคือปูนซีเมนต์เท่ากับ $0, 0.10, 0.15$ และ 0.20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ตามลำดับ ทำการผสมและอบไอน้ำตามมาตรฐาน มอก. นำมาทดสอบค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร, ค่ากำลังอัดและดัด ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ค่าการดูดกลืนน้ำที่อายุ 7 และ 28 วัน ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ ตามมาตรฐาน ASTM พบว่า ค่าการดูดกลืนน้ำจะแปรผันตรงกับอัตราส่วนน้ำยางพาราคือปูนซีเมนต์เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำมากขึ้น ค่าความหนาแน่นจะแปรผกผันกับปริมาณของอัตราส่วนน้ำยางพาราคือปูนซีเมนต์ โดยที่เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นลดลง ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจะแปรผกผันกับปริมาณอัตราส่วนของน้ำยางพาราคือปูนซีเมนต์ ในขณะที่ค่ากำลังดัดของคอนกรีตจะแปรผันตรงกับปริมาณอัตราส่วนของน้ำยางพาราคือปูนซีเมนต์ โดยที่เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นค่ากำลังอัดจะลดลงแต่ค่ากำลังดัดจะเพิ่มขึ้น ร้อยละการหดตัวจะน้อยลงเมื่อมีอัตราส่วนน้ำยางพาราคือปูนซีเมนต์มากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมจะยังไม่สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนน้ำยางพาราคือปูนซีเมนต์จะมีผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงความยาวหรือไม่

5) การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มีการผสมน้ำยางพารา

ประชุม คำพุด [15] ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มีการผสมน้ำยางพารา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำยางธรรมชาติ (ยางพารา) มาผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่น เท่ากับ 1: 4 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40 (ไม่คิดปริมาณน้ำในน้ำยางพารา) และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 ของน้ำหนักยางพารา โดยปริมาณยางพาราต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมมากที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ เท่ากับ 0.075 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 4.80 ค่ากำลังอัดและกำลังดัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 96 กก./ตร.ซม. และ 52 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนนั้นมีค่าต่ำมาก เท่ากับ 0.139 วัตต์/เมตร-องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้ว แสดงว่าน้ำยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มได้ โดยช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น ดูดซึมน้ำต่ำลง และมีสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา

6) การศึกษาสมบัติของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางพารา

ประชุม คำพุด ได้ศึกษาผลจากการผสมน้ำยางพาราชนิดไม่วัลคาไนซ์หรือชนิดวัลคาไนซ์ด้วยอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.000, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200, 0.225, 0.250, 0.275 และ 0.300 โดยน้ำหนัก ลงในมอร์ตาร์ปูนทราย (อัตราส่วนปูนซีเมนต์:ทราย:สารลดแรงตึงผิว:น้ำ เท่ากับ 1:2.75:0.04:0.5 โดยน้ำหนัก) และมอร์ตาร์ปูนทรายหินฝุ่น (อัตราส่วนปูนซีเมนต์:ทราย:หินฝุ่น:สารลดแรงตึงผิว:น้ำ เท่ากับ 1:2:2:0.04:0.5 โดยน้ำหนัก) แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล พบว่า การผสมน้ำยางพาราสามารถพัฒนาสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์ปูนทรายและมอร์ตาร์ปูนทรายหินฝุ่นให้ดีขึ้น ได้แก่ ความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ, การเปลี่ยนแปลงความยาว และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ทั้งนี้เป็นผลมาจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำยางพาราและปูนซีเมนต์ที่กลายเป็นแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีการดูดซึมน้ำ, ความหนาแน่น และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ นอกจากนี้มอร์ตาร์ปูนทรายหินฝุ่นที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ไม่เกิน 0.050 โดยน้ำหนัก ยังมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้นด้วย ได้แก่ ความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดัด เนื่องจากน้ำยางพาราชนิดวัลคาไนซ์เป็นน้ำยางพาราที่พัฒนาสมบัติต่างๆ ให้ดีกว่าน้ำยางพาราชนิดไม่วัลคาไนซ์ แต่สำหรับมอร์ตาร์ที่ผสมน้ำยางพาราอื่นๆ กลับมีสมบัติทางกลที่แย่ลง ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า มอร์ตาร์ปูนทรายหินฝุ่น จะมีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีกว่ามอร์ตาร์ปูนทราย และการผสมน้ำยางพาราชนิดวัลคาไนซ์ในมอร์ตาร์ จะให้สมบัติทางกลที่ดีกว่าน้ำยางพาราชนิดไม่วัลคาไนซ์ ส่วนสมบัติทางกายภาพจะใกล้เคียงกัน สรุปได้ว่า น้ำยางพาราชนิดไม่วัลคาไนซ์หรือชนิดวัลคาไนซ์ที่ลงในมอร์ตาร์ปูนทรายและมอร์ตาร์ปูนทรายหินฝุ่นนั้น มีแนวโน้มที่จะพัฒนาเป็นสารผสมเพิ่มสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสมหลัก เพื่อพัฒนาสมบัติด้านความหนาแน่น ความตึงน้ำ และการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน อย่างไรก็ตามน้ำยางพาราดังกล่าวก็ยังมีปัญหาต่อความต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดัดที่ลดลงในหลายๆ อัตราส่วน ดังนั้นการพัฒนาต่อไปจึงควรเพิ่มวัสดุจำพวกเส้นใยเข้าไปในส่วนผสมเพื่อแก้ไขปัญหาด้านสมบัติทางกล

7) อิฐมวลเบาจากเถ้าแกลบ [4]

ดร.วัชร เพิ่มชาติ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ได้ทดสอบสมบัติของอิฐมวลเบาที่ใช้วัตถุดิบต่างชนิด เช่น ปูนซีเมนต์ ทราย โฟม ซีเมนต์ลอยจากแกลบ และซีเมนต์ลอยจากถ่านหิน เปรียบเทียบกับอิฐมวลและอิฐบล็อกธรรมดา ในเรื่องน้ำหนัก กันความร้อน และต้นทุน ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสมซีเมนต์ลอยของทั้งถ่านหินและแกลบที่ร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักจะให้ความแข็งแรงของวัสดุสูงที่สุด นอกจากนี้ ยังพบว่าหากผสมซีเมนต์ลอยในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การนำความร้อนของอิฐมวลเบาลดลงตามอัตราส่วน ขณะที่อิฐผสมแกลบจะให้ค่าการนำความร้อนต่ำกว่าแกลบถ่านหิน

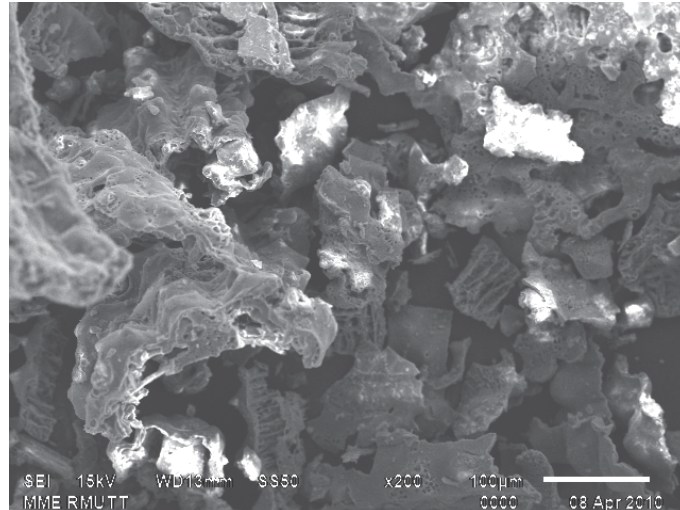
8) คอนกรีตบล็อกจากเถ้าลิกไนต์ [16]

มนต์ชัย วงศ์สันติราษฎร์, สราวุธ แสงจันอัด, นพดล แต่งฉำ, และมานันต์ ภมระภา สาขาเทคโนโลยีโยธา ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เป็นการทดสอบนำเอาเถ้าลอยมาใช้ผสมทำคอนกรีตบล็อก เพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณสูง โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัด หน่วยแรงดัด อัตราการดูดกลืนและความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอย เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกจากร้านไพศาลวิสต์ อ.เมือง จ.ราชบุรี จากการทดสอบที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่า การนำเถ้าลอยไปแทนที่ปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตบล็อกสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ได้ และสามารถรับกำลังแรงอัด แรงดัด และอัตราการดูดกลืนน้ำมากกว่าคอนกรีตบล็อกจากร้านไพศาลวิสต์ อ.เมือง จ.ราชบุรี

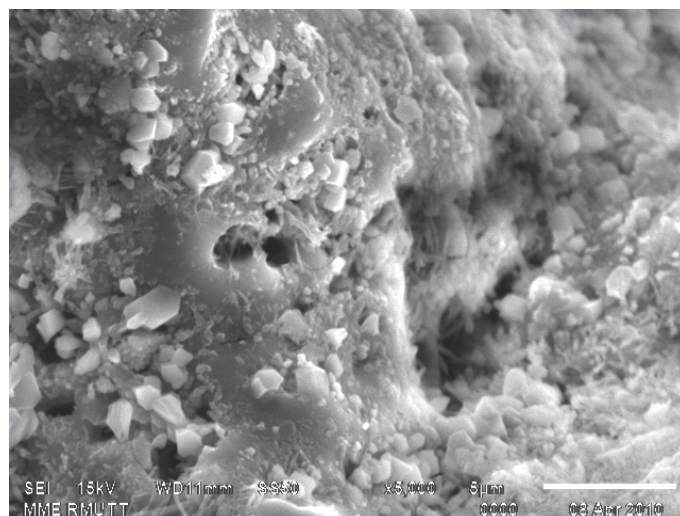
9) คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบ

ประชุม คำพุด ได้ศึกษาการใช้เถ้าแกลบในการพัฒนาคอนกรีตบล็อกให้มีน้ำหนักเบา และมีความเป็นฉนวนกันความร้อน โดยการใช้เถ้าแกลบผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ทราย และน้ำ ในอัตราส่วนต่างๆ แล้วอัดขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องไฮโดรลิก จากนั้นจึงทำการทดสอบความต้านทานแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความเป็นฉนวนกันความร้อน โดยการ

ใช้ห้องทดสอบภาคสนาม จากการศึกษาพบว่า ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบมีค่าผ่านตามที่มาตรฐาน มอก. กำหนด และมีน้ำหนักที่เบากว่าคอนกรีตบล็อกปกติถึงกว่าร้อยละ 50 แต่สำหรับผลการทดสอบการดูดซึมน้ำกลับเพิ่มขึ้นกว่า คอนกรีตบล็อกปกติ แต่ก็ยังถือว่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ส่วนผลการทดสอบความเป็นฉนวน กันความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบในห้องทดสอบภาคสนามนั้น คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจะมีความเป็นฉนวนกัน ความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปค่อนข้างมาก



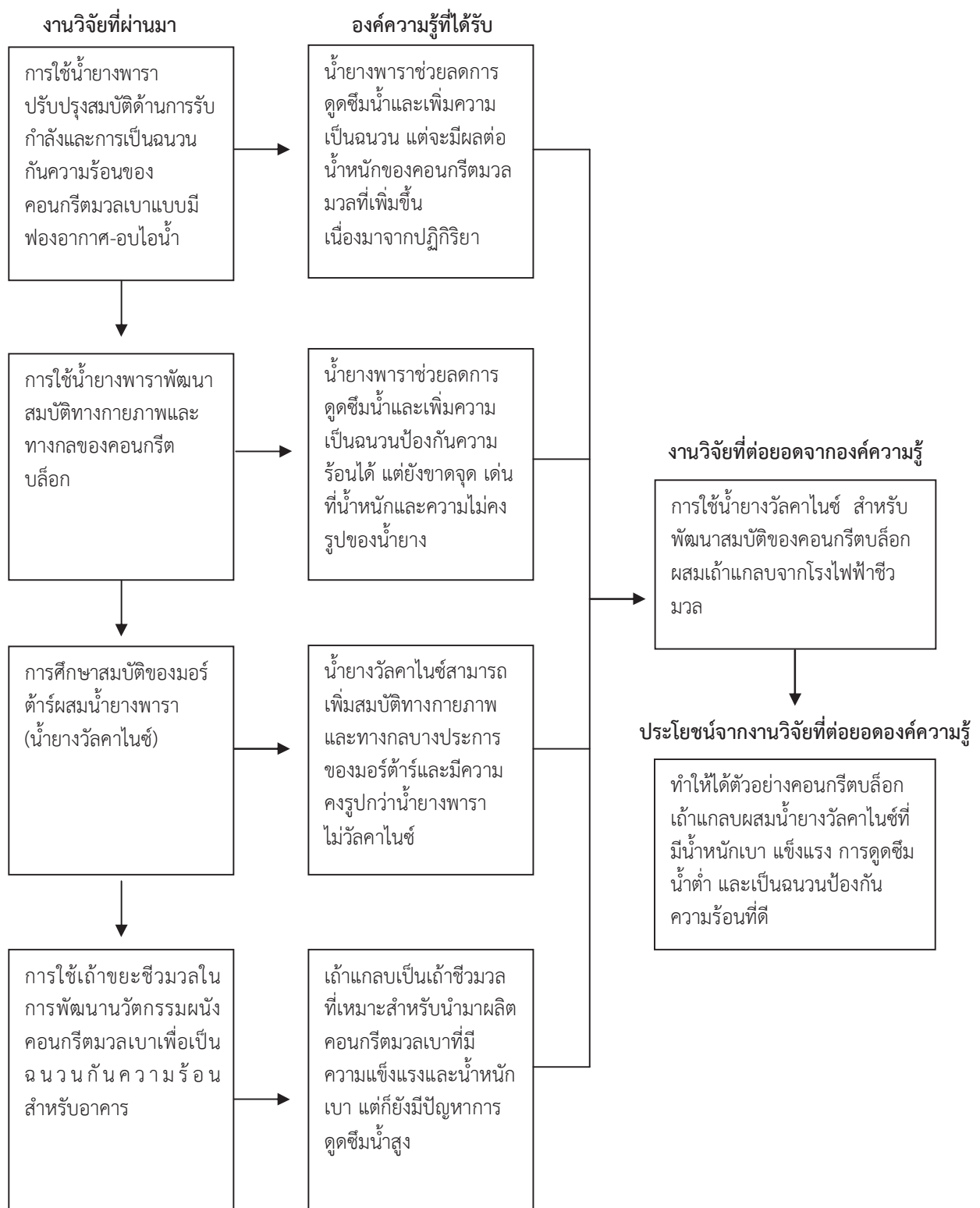
รูปที่ 3 ภาพขยายเถ้าแกลบโดยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) กำลังขยาย 200 เท่า



รูปที่ 4 ภาพขยายคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบโดยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) กำลังขยาย 5,000 เท่า

สมมติฐานการดำเนินงาน

จากทฤษฎี องค์ความรู้ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสม เถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลแล้ว ผู้วิจัยยังมีองค์ความรู้จากการวิจัยที่ผ่านมาแสดงเป็น Flow chart ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางการตั้งสมมติฐานได้ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 งานวิจัยและองค์ความรู้ที่ได้รับของผู้วิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับคอนกรีตบล็อก เถ้ากลบ และเถ้าขี้เถ้า

จากทางเลือกและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่นำเสนอผ่านทฤษฎี องค์ความรู้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และองค์ความรู้ที่แสดงเป็น Flow chart สามารถสรุปเป็นสมมติฐานได้ ดังนี้

- 1) เถ้ากลบ เป็นอนุภาคที่กลม เล็ก แข็ง และน้ำหนักเบา สามารถทำปฏิกิริยากับ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ของปูนซีเมนต์ได้เป็น CSH ที่สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้ากลบให้ดีขึ้น และมีน้ำหนักที่เบาลงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป
- 2) เถ้าขี้เถ้าเถ้าปูนซีเมนต์ สามารถแทรกตัวในช่องว่างของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้ากลบ เกิดเป็นชั้นฟิล์มที่มีความคงรูป ทึบน้ำ ซึ่งช่วยลดการดูดซึมน้ำและลดสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกได้

3) ผลจากการใช้น้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลจะสามารถพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาให้มีความทึบน้ำ ต้นทุนการผลิตต่ำ และมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

วิธีการ

1. การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

1.1 น้ำยางวัลคาไนซ์ เป็นน้ำยางพาราชั้น ร้อยละ 60 รักษาด้วยแอมโมเนียสูง หรือ HA (High Ammonia) นำมาทำการวัลคาไนซ์เข้มข้นเป็นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ดังสูตรในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สูตรของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

สูตรผสมเคมี	ปริมาณ (phr)
น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (HA)	167
สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 10)	2.5
สารละลายโพแทสเซียมลอเรต (ความเข้มข้นร้อยละ 20)	1.3
ดิสเพนเซอร์ของกำมะถัน (ความเข้มข้นร้อยละ 50)	2.0
ดิสเพนเซอร์ของซิงก์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (ความเข้มข้นร้อยละ 10)	0.8
ดิสเพนเซอร์ของซิงก์ออกไซด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 50)	0.4

1.2 แถ้าแกลบ จากโรงไฟฟ้าชีวมวลนำมาอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เพื่อแยกแถ้าแกลบที่เผาไหม้ไม่หมดออกไป

1.3 ทรายละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 และ 100 อย่างละครึ่ง

1.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

1.5 น้ำประปา

1.6 สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) หรือชื่อทางเคมี Alkyl phenol polyethylene glycol ether เพื่อให้ น้ำยางวัลคาไนซ์เข้ากับคอนกรีตได้ขณะผสม เนื่องจากสารดังกล่าวละลายน้ำจะไม่มีประจุทำให้เกิดฟองน้อย และมีสมบัติในการรวมตัวเป็นไมเซลล์ที่ความเข้มข้นต่ำ จึงป้องกันการรวมตัวของอนุภาคส่วนผสมได้ดี

1.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก

1.8 แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลวงขนาด 7 x 19 x 39 ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 6 แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลวง

1.9 เครื่องผสมคอนกรีตแบบอัตโนมัติ

1.10 เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)

1.11 เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

1.12 เครื่องอัดไฮดรอลิก (แบบเดียวกับที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกทั่วไป)

1.13 อุปกรณ์ก่อสร้างอื่นๆ เช่น กระจ่างปูน, พลั่ว, ค้อน และเกียงก่อ เป็นต้น

1.14 ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม

2. การกำหนดอัตราส่วนผสม

ทำการออกแบบอัตราส่วนของคอนกรีตบล็อกแก้วจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ โดยการกำหนดปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมต่อคอนกรีตบล็อกผสมแก้วกลม ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแก้วกลมจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมน้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับการทดสอบ (เทียบจากน้ำหนักปูนซีเมนต์)

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทราย	หินฟูน	แก้วกลม	น้ำ	น้ำยางวัลคาไนซ์	สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ
R3 P0.00	1	1.5	1.5	3	2	0.00	0.0000
R3 P0.05	1	1.5	1.5	3	2	0.05	0.0025
R3 P0.10	1	1.5	1.5	3	2	0.10	0.0050
R3 P0.15	1	1.5	1.5	3	2	0.15	0.0075
R4 P0.00	1	1.5	1.5	4	2	0.00	0.0000
R4 P0.05	1	1.5	1.5	4	2	0.05	0.0025
R4 P0.10	1	1.5	1.5	4	2	0.10	0.0050
R4 P0.15	1	1.5	1.5	4	2	0.15	0.0075
R5 P0.00	1	1.5	1.5	5	2	0.00	0.0000
R5 P0.05	1	1.5	1.5	5	2	0.05	0.0025
R5 P0.10	1	1.5	1.5	5	2	0.10	0.0050
R5 P0.15	1	1.5	1.5	5	2	0.15	0.0075

ตารางที่ 4 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแก้วกลมจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมน้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับการทดสอบ (เทียบจากน้ำหนักยาง 100 ส่วน, phr)

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทราย	หินฟูน	แก้วกลม	น้ำ	น้ำยางวัลคาไนซ์	สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ
R3 P0.00	1	1.5	1.5	3	2	0	0
R3 P0.05	3340	5010	5010	10020	6680	167	8.35
R3 P0.10	1670	2505	2505	5010	3340	167	8.35
R3 P0.15	1113.3	1670	1670	3340	2226.7	167	8.35
R4 P0.00	1	1.5	1.5	4	2	0	0
R4 P0.05	3340	5010	5010	13360	6680	167	8.35
R4 P0.10	1670	2505	2505	6680	3340	167	8.35
R4 P0.15	1113.3	1670	1670	4453.3	2226.7	167	8.35
R5 P0.00	1	1.5	1.5	5	2	0	0
R5 P0.05	3340	5010	5010	16700	6680	167	8.35
R5 P0.10	1670	2505	2505	8350	3340	167	8.35
R5 P0.15	1113.3	1670	1670	5566.7	2226.7	167	8.35

หมายเหตุ น้ำยางวัลคาไนซ์ที่นำมาใช้เป็นน้ำยางชั้น ร้อยละ 60 โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์เซชันเป็นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ทั้งนี้ การกำหนดอัตราส่วนผสมจะไม่คำนึงถึงปริมาณสารเคมีอื่นๆ และสมมติว่าน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีปริมาณเนื้อยางใกล้เคียง ร้อยละ 60

ในการกำหนดอัตราส่วนผสมจะเป็นการหาปริมาณของน้ำยางวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตบล็อกแก้วกลม ซึ่งเป็นอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกผสมแก้วกลมที่ผู้วิจัยพบว่า คอนกรีตบล็อกที่ได้ จะมีน้ำหนักเบา และมีคุณภาพผ่านตามาตรฐาน มอก. กำหนด

3. การขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก

สำหรับการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ จะเน้นการขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการที่ใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยทั่วไป ดังนี้

- 3.1 ตวงส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบเสริมเถ้าแกลบตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1: เถ้าแกลบ: ทรายละเอียด: น้ำ: น้ำยางวัลคาไนซ์: สารลดแรงตึงผิว โดยน้ำหนัก
- 3.2 เริ่มนำวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ และเถ้าแกลบ) มาคลุกเคล้าให้เข้ากันทั้งหมด
- 3.3 แบ่งน้ำที่จะผสมออกเป็น 3 ส่วน โดยกำหนดให้ 2 ส่วนจาก 3 ส่วนนำไปผสมรวมกับน้ำยางวัลคาไนซ์และสารลดแรงตึงผิว ส่วนน้ำที่เหลืออีก 1 ส่วนให้เก็บไว้สำหรับผสมในช่วงต้นเพื่อทำการเคลือบโม
- 3.4 ทำการผสมของเหลวจากน้ำยางวัลคาไนซ์, สารลดแรงตึงผิว และน้ำ (2 ส่วนจาก 3 ส่วน) ให้เข้ากันทั้งหมด
- 3.5 เตรียมเครื่องผสมคอนกรีตหรือโม่ผสมและอุปกรณ์ต่างๆที่จะสัมผัสกับคอนกรีตสดให้อยู่ในสภาพชื้นเพื่อป้องกันการดูดความชื้นจากส่วนผสม
- 3.6 แบ่งวัสดุประสานที่ผสมออกเป็น 3 ส่วน แล้วจึงนำวัสดุประสานส่วนที่ 1 และน้ำ (ส่วนที่ไม่ได้ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์และสารลดแรงตึงผิว) ใส่ลงในโม่ตามลำดับ เพื่อทำการเคลือบโม
- 3.7 เติมทรายประมาณครึ่งหนึ่งของที่ตวงไว้ลงไป แล้วทำการผสมให้เข้ากัน
- 3.8 จากนั้นเติมทรายส่วนที่เหลือทั้งหมดลงไปพร้อมกับวัสดุประสานส่วนที่ 2 แล้วจึงสเปรย์ของเหลว (ส่วนที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์และสารลดแรงตึงผิว) ประมาณครึ่งหนึ่งของของเหลวทั้งหมดลงไปให้ทั่ว
- 3.9 ขณะที่ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ให้ทยอยเติมวัสดุประสานส่วนที่เหลือทั้งหมดลงไป ตลอดจนสเปรย์ของเหลวส่วนสุดท้ายลงไป
- 3.10 ทำการผสมจนเข้ากันโดยให้ใช้เวลาผสมไม่เกิน 10 นาที และขณะที่ทำการผสมควรมีการหยุดเครื่องเพื่อชะคอนกรีตที่ติดอยู่ข้างโม่ออก แล้วจึงทำการเดินเครื่องผสมต่อ
- 3.11 ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบโดยใช้เครื่องอัดไฮโดรลิก เพื่อให้การบดอัดเข้าแบบมีค่าเท่ากันโดยใช้แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลางขนาด 7 x 19 x 39 ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 7 ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก

- 3.12 จากนั้นทิ้งไว้ 1 วัน จึงถอดแบบและยกตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่ขึ้นรูปไปบ่มในอากาศและร่ม เป็นเวลา 7 วัน ในระหว่างนี้ห้ามเคลื่อนย้ายบล็อกทดสอบเป็นเวลา 2 วัน นับตั้งแต่วันที่เข้าแบบ แล้วจึงทำการทดสอบในขั้นตอนต่างๆ ต่อไป

4. การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล

การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ จะเป็นการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก [2] หรือมาตรฐาน มอก.1505-2541 เรื่องชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ [17] เป็นตัวกำหนด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มากที่สุด โดยมาตรฐานทั้ง 2 เรื่อง กำหนดให้ทำการทดสอบ ดังนี้

- 4.1 ความหนาแน่น [18] ที่อายุ 14 วัน จำนวน 30 ตัวอย่าง ต่ออัตราส่วน
- 4.2 การดูดซึมน้ำ [18] ที่อายุ 14 วัน จำนวน 30 ตัวอย่าง ต่ออัตราส่วน

4.3 การหดตัวแห้ง [19] ที่อายุ 14 วัน จำนวน 30 ตัวอย่าง ต่ออัตราส่วน

4.4 ความต้านทานแรงอัด [2] ที่อายุ 7, 14, 21, และ 28 วัน จำนวน 30 ตัวอย่าง ต่ออัตราส่วน

5. การทดสอบความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

ในการทดสอบความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์นั้น จะดำเนินการทดสอบใน 2 ส่วน คือ

5.1 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกให้มีขนาดประมาณ $1.5 \times 30 \times 30$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามที่มาตรฐาน ASTM C177-04 [20] กำหนด จำนวนอัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง และดำเนินการทดสอบโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ

5.2 การทดสอบในห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการขนาด $1 \times 2 \times 2.5$ ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 ห้อง ผนังห้องเป็นไม้อัดและสังกะสีด้วยฉนวนป้องกันความร้อน 5 ด้าน ด้านหน้าเป็นแผ่นอะคริลิกใส ภายในติดตั้งแหล่งกำเนิดความร้อน (หลอดฮาโลเจน (Halogen Lamp) หรือหลอดไฟสปอร์ตไลท์ ขนาด 1,000 วัตต์ 220 โวลต์) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ, ความชื้น, และนาฬิกาจับเวลา ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

6. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้านต้นทุน

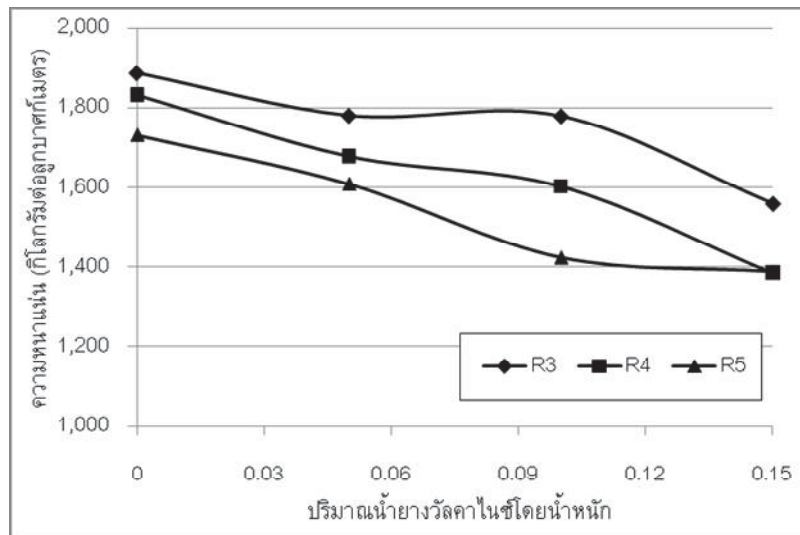
ทำการวิเคราะห์ต้นทุนและสมบัติด้านต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนปริมาณแก้วเคลือบและน้ำยางวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกัน เพื่อสรุปว่า น้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมลงในคอนกรีตบล็อกผสมแก้วเคลือบ สามารถพัฒนาสมบัติในด้านต่างๆ ได้คุ้มค่ากับต้นทุนหรือไม่ นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ Sensitivity Analysis กับราคาน้ำยางพาราอีกด้วย

ผลการวิจัย

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์นั้น สามารถสรุปผลโดยแบ่งเป็นการทดสอบต่างๆ ได้ ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบความหนาแน่น

สำหรับการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ เป็นการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบและปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 9

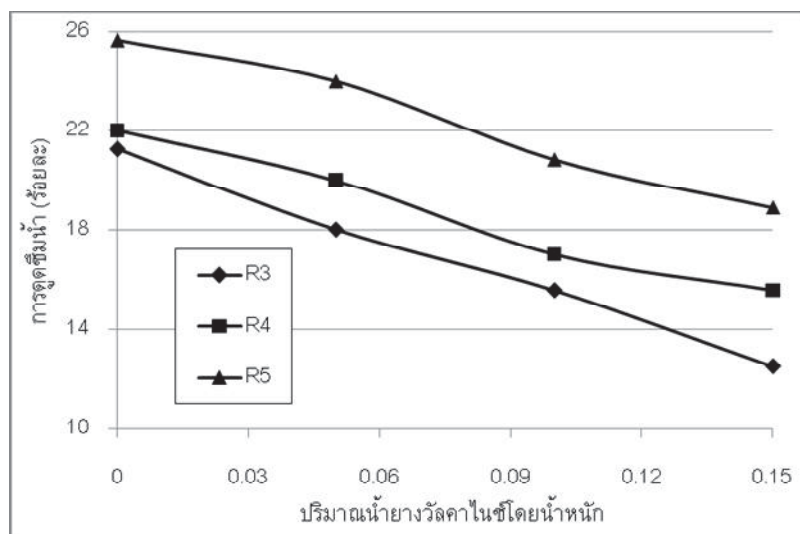


รูปที่ 9 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้ากลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณต่างๆ ที่อายุ 14 วัน

จากรูปที่ 9 พบว่า น้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมลงในคอนกรีตบล็อก จะส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกเถ้ากลบที่ลดลง โดยคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณน้ำยางพารามากจะมีความหนาแน่นต่ำ และคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณน้ำยางพารา น้อยหรือไม่มีน้ำยางพาราเลยก็จะมี ความหนาแน่นสูง ดังจะเห็นได้จากความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกเถ้ากลบที่มีปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์มากที่สุด จะมีความหนาแน่นต่ำเพียง 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่คอนกรีตบล็อกเถ้ากลบเดียวกันที่มีปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์น้อยที่สุดกลับมีความหนาแน่นสูงถึงประมาณ 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของยางพาราหรือโพลิเมอร์ที่แทรกตัวในคอนกรีตบล็อกเถ้ากลบนั่น เมื่อสัมผัสกับความเป็นต่างอ่อนๆ ของปูนซีเมนต์จะเกิดการจับตัว (Coalesce) เป็นฟิล์ม (Film) ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตมาก [11] และยังถ้ามีปริมาณของน้ำยางพารามาก แผ่นฟิล์มดังกล่าวก็จะจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกมากขึ้นอีก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่ลดลงได้

2. การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกเถ้ากลบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงไป ในปริมาณต่างๆ กันนั้น สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 10

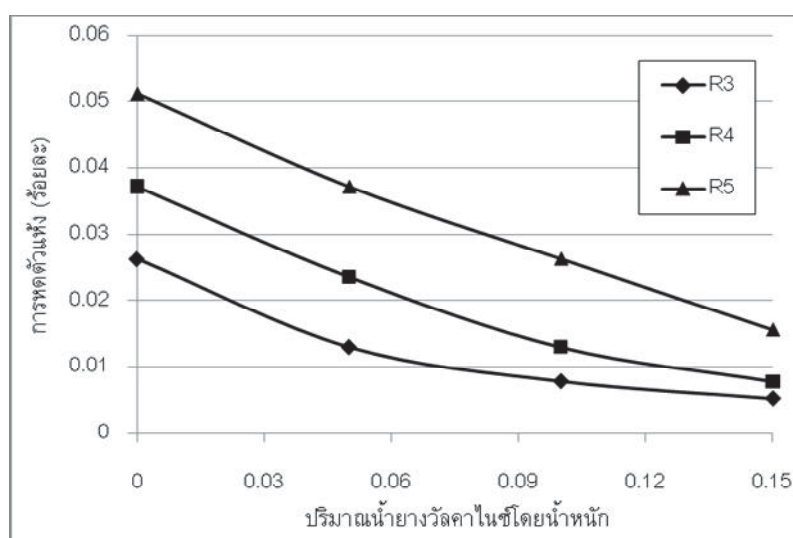


รูปที่ 10 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้ากลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณต่างๆ ที่อายุ 14 วัน

จากรูปที่ 10 พบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ในคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบ ทั้งอัตราส่วนปูน:เถ้าเคลือบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 มีผลทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัด ตัวอย่างเช่น คอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้าเคลือบ เท่ากับ 1:5 ปกติจะมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 21 แต่เมื่อผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงไป 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงเหลือเพียง ร้อยละ 13 ทั้งนี้เนื่องจากแผ่นฟิล์มที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และยางธรรมชาติ ซึ่งแทรกอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบนั้น เป็นวัสดุที่มีความทึบน้ำ [11] ดังนั้นแผ่นฟิล์มดังกล่าวจึงสามารถลดโพรงที่เชื่อมต่อกันภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกได้ ซึ่งมีผลต่อการลดการดูดซึมน้ำได้ดี [20] แม้ว่าน้ำยางวัลคาไนซ์จะมีผลทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตจนเป็นเหตุให้มีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น แต่อาจเป็นเพราะอิทธิพลที่มากกว่าของความทึบน้ำในแผ่นฟิล์มที่ช่วยลดโพรงเชื่อมต่อ จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำจึงลดลง โดยปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมในคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบมากที่สุด จะมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด ส่วนคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ จะมีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด โดยเป็นในลักษณะเดียวกันในทุกๆ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าเคลือบ

3. การทดสอบการหดตัวแห้ง

การทดสอบการหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่มีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์นั้น สามารถสรุปผลการทดสอบที่อายุ 14 วันได้ ดังรูปที่ 11

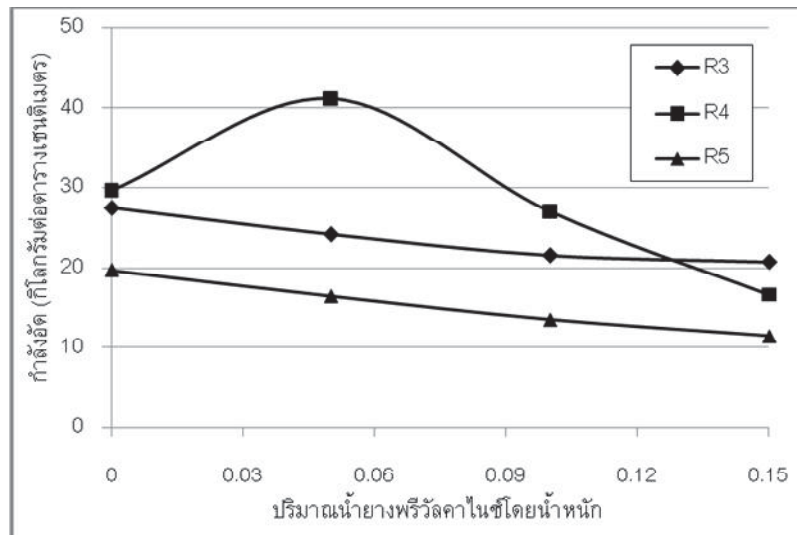


รูปที่ 11 การหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้าเคลือบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณต่างๆ ที่อายุ 14 วัน

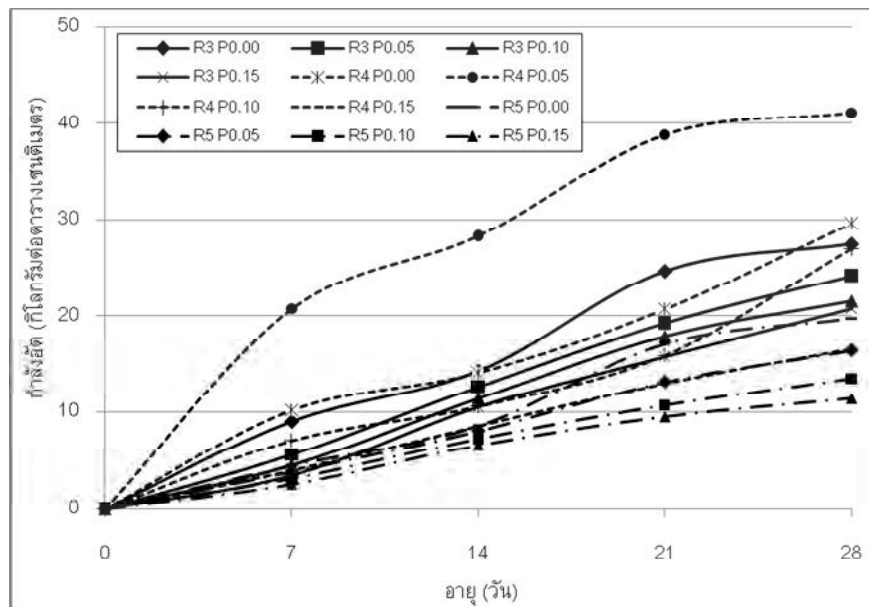
จากรูปที่ 11 พบว่า น้ำยางวัลคาไนซ์สามารถช่วยลดค่าการหดตัวแบบแห้ง (drying shrinkage) ซึ่งเป็นการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียความชื้นจากคอนกรีตไปสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทางโพรงคาปิลารี [22] โดยจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความยาวหรือปริมาตรของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบ ซึ่งปกติแล้วลักษณะของเถ้าเคลือบที่ผสมจะมีผิวที่ขรุขระเป็นเหลี่ยมคมมากกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้สามารถกักเก็บน้ำอิสระในอนุภาคได้มากทำให้ปริมาณความชื้นที่สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น การหดตัวแบบแห้งจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังจะเห็นได้จาก ค่าการหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกเมื่อไม่มีปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่มีอัตราส่วนปูน:เถ้าเคลือบ เท่ากับ 1:5 จะหดตัวแบบแห้งมากที่สุด รองลงมาคือ 1:4, และ 1:3 หดตัวน้อยที่สุด ตามลำดับ ทั้งหมดนี้จะมีการหดตัวแห้งสูงกว่าร้อยละ 0.03 ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก แต่เมื่อมีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณที่สูงกว่า 0.10 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ คอนกรีตบล็อกดังกล่าวจึงมีค่าการหดตัวแห้งลดลงต่ำกว่าร้อยละ 0.03 ได้ เนื่องจากยางพาราที่เกิดปฏิกิริยาจนกลายเป็นฟิล์มนั้น จะทำให้น้ำภายในคอนกรีตบล็อกสูญเสียไปตามโพรงคาปิลารีได้ยากขึ้น ดังนั้นค่าการหดตัวแห้งหรือการขยายตัวอันเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำ [21] จึงเกิดน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกที่ไม่ได้ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ รวมทั้งการที่อนุภาคของยางธรรมชาติที่แทรกเป็นแผ่นฟิล์มในช่องว่างต่างๆ ก็ช่วยในการยึดหดตัวหรือขยายตัวทำได้ยากมากขึ้น

4. การทดสอบกำลังอัด

สำหรับผลการทดสอบกำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่มีการใช้น้ำยางวัลคาไนซ์เป็นส่วนผสมนั้น สามารถสรุปโดยแบ่งตามอัตราส่วนผสมต่างๆ ได้ ดังรูปที่ 12 ถึง 13



รูปที่ 12 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้าแกลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซีในปริมาณต่างๆ ที่อายุ 28 วัน

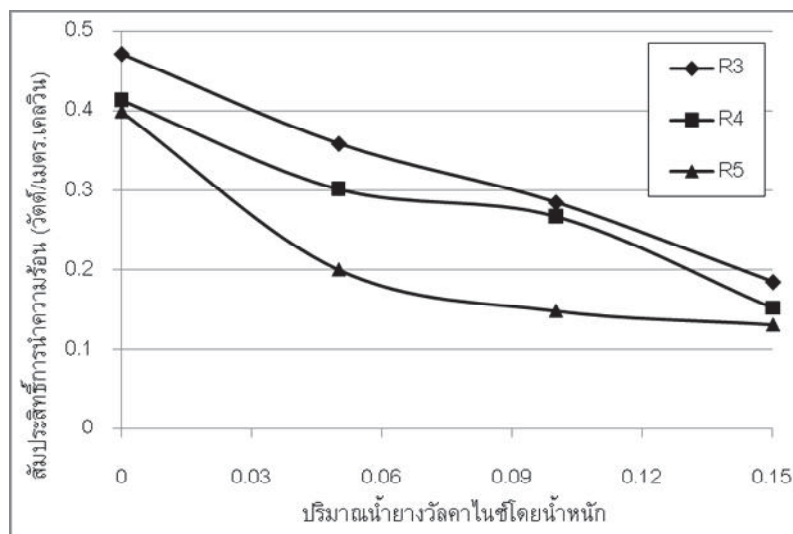


รูปที่ 13 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้าแกลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซีในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 12 ถึง 13 พบว่า การผสมน้ำยางวัลคาไนซีในปริมาณที่เหมาะสมลงในคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบบางอัตราส่วนจะสามารถพัฒนากำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบได้ดี โดยอัตราส่วนปูน:เถ้าแกลบของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่เหมาะสมต่อการพัฒนากำลังอัดมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 1:4 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เถ้าแกลบสามารถเข้าไปแทรกตัวในคอนกรีตบล็อกแน่นที่สุด และเมื่อผสมน้ำยางวัลคาไนซีลงในคอนกรีตบล็อกดังกล่าวในปริมาณ 0.5 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะยิ่งทำให้กำลังอัดเพิ่มมากขึ้นไปอีก ในขณะที่เดียวกันถ้าผสมน้ำยางวัลคาไนซีมากเกินไปจะทำให้กำลังอัดลดลงได้ [22] เนื่องจากน้ำยางวัลคาไนซีที่ผสมลงในคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบจะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นแผ่นฟิล์มภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกตามที่ได้กล่าวไปแล้ว และเมื่อพิจารณาแผ่นฟิล์มที่ได้จะเห็นว่าป็นวัสดุจำพวกโพลีเมอร์ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นตัวสูง แต่จะไม่มี ความแข็งแรง เหมือนกับมวลรวมทั่วไปเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ ดังนั้นการผสมน้ำยางวัลคาไนซีในปริมาณที่เหมาะสมจึงเป็นการอาศัยสมบัติของความเหนียวสำหรับช่วยยึดอนุภาคของคอนกรีตบล็อกให้ยึดติดกันดีขึ้น แต่ถ้าผสมในปริมาณมากก็จะปลดพื้นที่รับแรง ทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง โดยเฉพาะเมื่อแผ่นฟิล์มมาแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมหรือเคลือบที่ผิวหน้าของมวลรวม

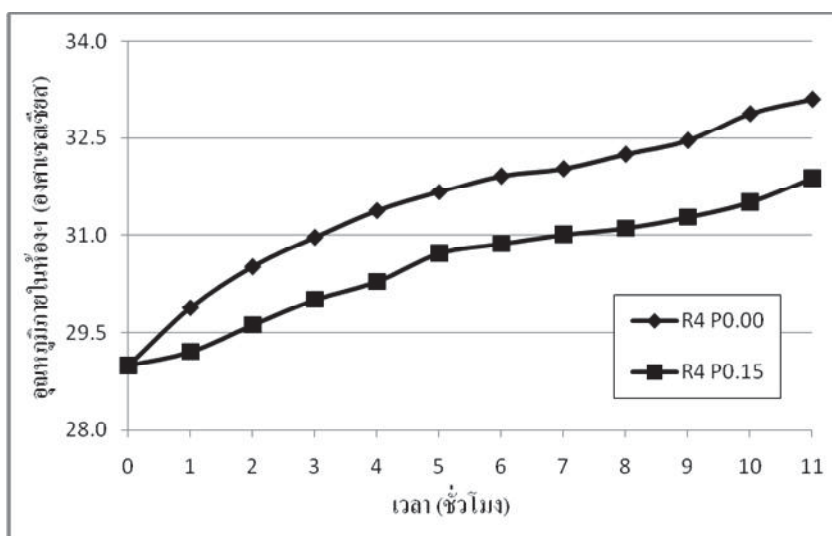
5. การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มียางพาราเป็นส่วนผสม เมื่อส่งตัวอย่างไปทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ค่า สปส.การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้าแกลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 14 พบว่า น้ำยางวัลคาไนซ์สามารถช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบลงได้ โดยปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมไปมากที่สุด จะช่วยลดสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ดีที่สุด ดังจะเห็นได้จากที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบเดียวกัน ปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะมีค่าต่ำกว่าที่ปริมาณ 0.05 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และต่ำกว่าที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี [23] ประกอบกับขณะทำการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงไปก็มักจะเกิดฟองอากาศขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกขึ้นจำนวนหนึ่ง [15] ซึ่งทำให้ความหนาแน่นและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดต่ำลง ทั้งนี้เมื่อทำการทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบอัตราส่วนปูนซีเมนต์: เถ้าแกลบ เท่ากับ 1:4 ทั้งที่มีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ปริมาณ 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ เมื่อวันที่ 2-3 มีนาคม พ.ศ. 2554 เวลา 19.30 – 06.30น. สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ผลการทดสอบอุณหภูมิภาคสนามของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบอัตราส่วนปูนซีเมนต์: เถ้าแกลบ เท่ากับ 1:4 ทั้งที่ไม่ผสมและผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ปริมาณ 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ณ ศูนย์การเรียนรู้ อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

จากรูปที่ 15 พบว่า คอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มีแนวโน้มจะสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องได้ต่ำกว่า คอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ประมาณ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำ ความร้อนของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ที่ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบทั่วไป เนื่องจากยางธรรมชาติที่แทรก อยู่ภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกมีสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ดังนั้นความร้อนจึงไม่สามารถที่จะทะลุผ่านเข้ามาในผนังที่ก่อด้วย คอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ได้มากนัก จึงทำให้อุณหภูมิภายในห้องที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกดังกล่าวต่ำกว่า อุณหภูมิในห้องที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์

6. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากต้นทุนของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในแต่ละอัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 5 และมี ตัวอย่างการคำนวณ ดังตารางที่ 6

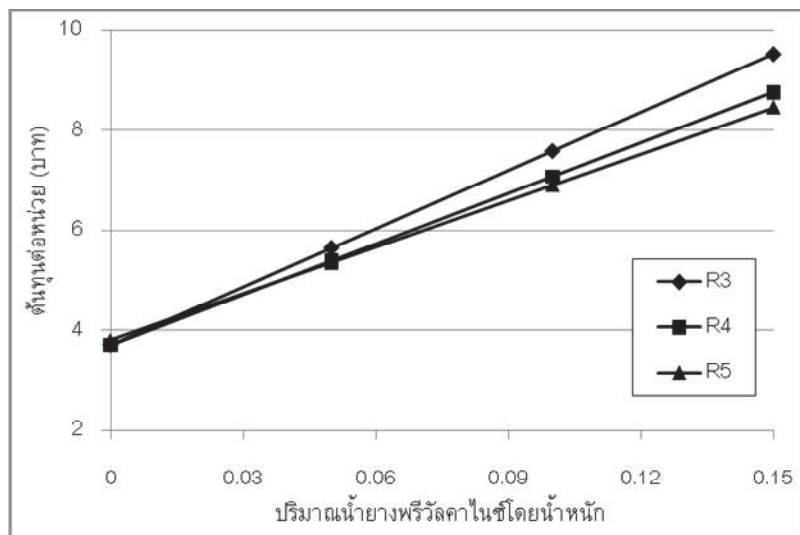
ตารางที่ 5 ต้นทุนต่อหน่วยของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบและคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ (บาท)

น้ำยางฯ แก้วเคลือบ	0.00	0.05	0.10	0.15
R3	3.71	5.65	7.59	9.52
R4	3.70	5.39	7.07	8.76
R5	3.81	5.36	6.91	8.46

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบและคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อแก้วเคลือบ เท่ากับ 1:4 และปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ 0.05 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ (บาท)

ส่วนผสม	คอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบ	คอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบ ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (1 ส่วน)	2.40	2.40
น้ำยางวัลคาไนซ์ (รวมค่าวัลคาไนซ์) (0.05 ส่วน)	-	3.75
แก้วเคลือบ (4 ส่วน)	3.20	3.20
ทรายละเอียด (1.5 ส่วน)	0.15	0.15
หินฝุ่น (1.5 ส่วน)	0.15	0.15
สารลดแรงตึงผิว (0.0025 ส่วน)	-	0.125
น้ำประปา (2 ส่วน)	0.02	0.02
ค่าไฟฟ้า	0.10	0.10
น้ำมันทาแบบ	0.10	0.10
แบบรองขึ้นตัวอย่าง	0.10	0.10
รวมทั้งสิ้น (บาท/ครั้งการผลิต)	6.22	10.10
จำนวน (ก้อน/ครั้งการผลิต)	2.30	2.30
ต้นทุนค่าวัสดุดิบ (บาท)	2.70	4.39
ต้นทุนค่าแรงงาน (บาท)	1	1
ต้นทุนต่อหน่วย (บาท/ก้อน)	3.70	5.39

จากตารางที่ 5 และ 6 พบว่า ต้นทุนส่วนใหญ่ของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ยางพาราที่ใช้ผสม โดยคิดเป็นร้อยละ 40 ถึง 60 ของต้นทุนทั้งหมด ส่วนแก้วเคลือบที่ผสมนั้นมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนของคอนกรีต บล็อกดังกล่าวได้มาก ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ผลการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของคอนกรีตบล็อกแก้วและคอนกรีตบล็อกแก้วผสมน้ำยางวัลคาไนซ์

เนื่องจากแก้วที่ผสมมากขึ้นจะทำให้ได้จำนวนก้อนแต่ละครั้งของการผสมเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนทั้งหมดของคอนกรีตบล็อกแก้วที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์กับคอนกรีตบล็อกทั่วไปและอิฐมวลเบาในท้องตลาด จะเห็นได้ว่า ต้นทุนของคอนกรีตบล็อกที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์จะสูงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป (ประมาณ 4 บาท/ก้อน) แต่จะต่ำกว่าอิฐมวลเบาหรือคอนกรีตมวลเบาในท้องตลาด (ประมาณ 16-20 บาท/ก้อน) ถึงประมาณร้อยละ 30 ถึง 70

วิจารณ์ผล

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อกแก้วผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ ทั้ง 12 อัตราส่วน พบว่า อัตราส่วนคอนกรีตบล็อกผสมแก้วเท่ากับ 4 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ (R4) เป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณแก้วที่ผสมมากที่สุด และเมื่อผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงไปปริมาณต่างๆ กัน ก็จะมีผลต่อสมบัติที่แตกต่างไปตามไปด้วย โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสมบัติความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก [2] ตลอดจนต้นทุนการผลิต คือ อัตราส่วนที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณ เท่ากับ 0.05 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ (P0.05) หรือคอนกรีตบล็อกแก้วที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์อัตราส่วน R4 P0.05 ทั้งนี้ผลจากการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปเป็นองค์ความรู้ได้ดังต่อไปนี้

1. ความหนาแน่น สำหรับผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารานั้น ไม่มีกำหนดค่ามาตรฐานไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยจากผลการทดสอบ พบว่า คอนกรีตบล็อกที่ผสมแก้วมาก จะมีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณแก้วน้อยกว่าเสมอ ส่วนน้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมในปริมาณมากก็มีแนวโน้มที่จะช่วยลดความหนาแน่นลงได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากความหนาแน่นของแก้วและน้ำยางพาราที่ต่ำและช่องว่างที่เกิดจากปฏิกิริยาของแผ่นฟิล์ม โดยอัตราส่วนอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกแก้วผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ R5 P0.15 มีค่าต่ำที่สุด รองลงมาคือ R4 P0.15, R5 P0.10, R3 P0.15, R4 P0.10, R5 P0.05, R4 P0.05, R5 P0.00, R3 P0.10, R3 P0.05, R4 P0.00, และ R3 P0.00 มีค่าสูงที่สุด ตามลำดับ

2. การดูดซึมน้ำ เกณฑ์ของค่าการดูดซึมน้ำที่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ที่ระบุให้การดูดซึมน้ำที่ดีที่สุดต้องไม่เกินกว่า ร้อยละ 25 นั้น พบว่า คอนกรีตบล็อกแก้วที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ทั้งหมดมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ แม้ว่าแก้วที่มากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการดูดซึมน้ำสูง แต่การผสมน้ำยางวัลคาไนซ์จะทำให้การดูดซึมน้ำลดน้อยลง เนื่องจากแผ่นฟิล์มที่มีความทึบน้ำจะแทรกอยู่ในเนื้อคอนกรีตบล็อกแก้ว ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลง โดยอัตราส่วนของคอนกรีตบล็อกแก้วที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ R3 P0.15 มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมา คือ R3 P0.10, R4 P0.15, R4 P0.10, R3 P0.05, R5 P0.15, R4 P0.05, R5 P0.10, R3 P0.00, R4 P0.00, R5 P0.05, และ R5 P0.00 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ

3. การทดสอบการหดตัวแห้ง เป็นอีกหนึ่งมาตรฐานที่มีระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และ มอก.110-2517 เรื่องวิธีทดสอบการหดตัวของคอนกรีตบล็อก ซึ่งกำหนดให้มีค่าการหดตัวไม่เกิน ร้อยละ 0.03 ซึ่งผลการทดสอบ พบว่า คอนกรีตบล็อกแก้วที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์หลายอัตราส่วนสามารถผ่านมาตรฐานดังกล่าวได้ ทั้งนี้แก้ว

แคลบที่ผสมมีผลต่อการหดตัวแห้งที่เพิ่มมากขึ้น แต่น้ำยางวัลคาไนซ์สามารถช่วยลดการหดตัวแห้งนั้นได้ โดยคอนกรีตบล็อกเก่า แคลบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์อัตราส่วนที่ผ่านมาตรฐาน ได้แก่ R3 P0.15 มีการหดตัวแห้งต่ำที่สุด รองลงมาคือ R3 P0.10, R4 P0.15, R3 P0.05, R4 P0.10, R5 P0.15, R4 P0.05, R3 P0.00, และ R5 P0.15 มีการหดตัวแห้งสูงที่สุดที่ผ่านตามาตรฐาน กำหนด ส่วนอัตราส่วนอื่นมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด

4. กำลังอัด เป็นค่าที่มีระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยกำหนดให้คอนกรีต บล็อกต้องมีค่ากำลังอัดไม่ต่ำกว่าประมาณ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนต่างๆ ของคอนกรีต บล็อก พบว่า หลายอัตราส่วนมีค่ากำลังอัดที่ผ่านมาตรฐานได้ ได้แก่ R4 P0.05 มีกำลังอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ R4 P0.00, R3 P0.00, R4 P0.10, R3 P0.05, R3 P0.10, R3 P0.15, และ R5 P0.00 มีกำลังอัดต่ำสุดที่ผ่านมาตรฐาน ตามลำดับ ส่วนอัตราส่วน อื่นมีกำลังอัดต่ำกว่ามาตรฐาน

5. สัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นค่าที่แม้จะไม่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก แต่ก็ เป็นค่าที่สามารถบอกได้ถึงประสิทธิภาพการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อก ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า คอนกรีตบล็อกเก่าแคลบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ R5 P0.15 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ R5 P0.10, R4 P0.15, R3 P0.15, R5 P0.05, R4 P0.10, R3 P0.10, R4 P0.05, R3 P0.05, R5 P0.00, R4 P0.00, และ R3 P0.00 มี ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ กล่าวคือ น้ำยางวัลคาไนซ์ สามารถช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ คอนกรีตบล็อกเก่าแคลบได้

ดังนั้นเมื่อพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับนำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ โดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ที่ทางสำนักงานมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กำหนด พบว่า คอนกรีตบล็อกเก่าแคลบที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเก่าแคลบ เท่ากับ 1:4 และ ปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ 0.05 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ มีสมบัติที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีสมบัติหลักในด้าน ต่างๆ ที่ดีขึ้น ได้แก่ ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง ส่วนกำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นกว่า อัตราส่วนอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด

สรุปผล

การผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงในคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบ เป็นการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของ คอนกรีตบล็อกเก่าแคลบ โดยจากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบที่มีน้ำยางวัลคาไนซ์ ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเก่าแคลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 และปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, และ 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ สามารถสรุปข้อดี-ข้อด้อยของการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงในคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบได้ ดังนี้

1. การผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงในคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบสามารถช่วยลดความหนาแน่นลง อันจะส่งผลต่อน้ำหนักของ คอนกรีตบล็อกเก่าแคลบที่ลดลงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลดีต่อการขนส่งและน้ำหนักองค์อาคารที่จะลดลง

2. การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบสามารถลดลงได้อย่างมาก เมื่อผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้เกิดแผ่นฟิล์ม ซึ่งทำให้การก่อกวนไม่จำเป็นต้องใช้ปูนฉาบเพื่อกันซึมหรือลดการใช้น้ำยากันซึมลงได้ นอกจากนี้ยังช่วย ลดปัญหาการแตกร้าวของปูนฉาบผนังที่เกิดจากการดูดซึมน้ำที่สูงของวัสดุก่อผนังได้อีกด้วย

3. การหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มากขึ้น เนื่องจากน้ำยาง วัลคาไนซ์จะไปลดการเกิดปฏิกิริยาภายในให้เกิดขึ้นน้อยลง จากการที่น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ยาก ซึ่งมีผลต่อการแตกร้าวของผนัง

4. กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากน้ำ ยางวัลคาไนซ์จะสามารถช่วยยึดอนุภาคของคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบให้ยึดติดกันดีขึ้น แต่ถ้าผสมในปริมาณมากก็จะไปลดพื้นที่ ในการรับแรงอัดทำให้กำลังอัดลดลง อย่างไรก็ตามจากสมบัติของน้ำยางวัลคาไนซ์ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นจะมีผลดีต่อการลด การแตกหักของคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบในระหว่างการขนส่งได้ดี

5. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มีค่าที่ลดน้อยลงตามปริมาณน้ำ ยางวัลคาไนซ์ที่เพิ่มมากขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลงจะช่วยให้อาคารมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการใช้น้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเก่าแคลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ทำให้ สามารถเปรียบเทียบสมบัติของคอนกรีตบล็อกเก่าแคลบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์จากการวิจัยกับคอนกรีตบล็อกและคอนกรีต มวลเบา ประเภท ACC ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดได้ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สมบัติของคอนกรีตบล็อกแก้วผสมที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อแก้วผสม เท่ากับ 1:4 และปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ 0.05 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์เทียบกับคอนกรีตบล็อก และคอนกรีตมวลเบาประเภท ACC ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

สมบัติ	คอนกรีตบล็อก แก้วผสม น้ำยางวัลคาไนซ์	คอนกรีตบล็อก ในท้องตลาด	คอนกรีตมวลเบา ประเภท ACC ในท้องตลาด
ค่าความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	1.679	2.19	0.7 – 0.9
ค่าการดูดกลืนน้ำ (ร้อยละ)	20	6.49	~ 25
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)	41.15	128	50
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร.เคลวิน)	0.319	0.502	0.132
ต้นทุน (บาท/ก้อน)	5.39	4	16 – 20

จากตารางที่ 7 เมื่อพิจารณาโดยรวม พบว่า คอนกรีตบล็อกแก้วผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีกว่าคอนกรีตบล็อกในท้องตลาด และใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาประเภท ACC แต่คอนกรีตบล็อกแก้วผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาประเภท ACC ในด้านความทึบน้ำ และมีราคาถูกพอๆ กับคอนกรีตบล็อก จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงสมควรนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก สำหรับใช้ในงานวัสดุก่อที่มีน้ำหนักเบา ทึบน้ำ กำลังอัดผ่านตามมาตรฐาน และมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะของการนำน้ำยางวัลคาไนซ์มาผสมลงในคอนกรีตบล็อกแก้วผสม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสมบัติในด้านต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกต่อไป มีดังนี้

1. ควรทำการทดสอบสมบัติการป้องกันการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกและสารละลายซัลเฟต เพื่อให้ทราบว่า น้ำยางวัลคาไนซ์ จะสามารถช่วยพัฒนาสมบัติดังกล่าวของคอนกรีตหรือคอนกรีตบล็อกที่นำไปใช้งานในพื้นที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน เช่น บ้านพักริมทะเล หรือบริเวณเขตอุตสาหกรรม ได้หรือไม่
2. จากผลการศึกษาคอนกรีตบล็อกแก้วผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำยางวัลคาไนซ์ไปเป็นวัสดุผสมเพิ่มในคอนกรีตบล็อกชนิดอื่นๆ เพื่อเพิ่มสมบัติในด้านความหนาแน่น การหดตัวแห้ง การดูดซึมน้ำ กำลังอัด และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ที่ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ซึ่งจะเป็นจุดเด่นในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] พลลภ มาศรักษา, 2548. การปรับปรุงวิธีการออกแบบส่วนผสมเอสซีไอสำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะ, เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [2] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก, กรุงเทพฯ, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [3] โรงไฟฟ้าจังหวัดราชบุรี, 2549. คอนกรีตจากเถ้าลอย. ราชบุรี: โรงไฟฟ้าจังหวัดราชบุรี.
- [4] วุฒิชัย เพิ่มชาติ, 2548. อิฐมวลเบาจากเถ้าลอย. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2552. ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน, กรุงเทพฯ, บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด.
- [6] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549. ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน, กรุงเทพฯ, ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซีโน ดีไซน์. ISBN 974-94199-8-7.
- [7] Muniandy, Em.V., 1998. "Concentrate Production, Factory Operation and Maintenance in Latex Concentrate & Prevulcanised latex". *Training Manual*, Malaysian Rubber Board, Malaysia, pp.1-2.
- [8] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2544. อุตสาหกรรมการผลิตยางธรรมชาติ, เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตร Process and cleaner Technology in the Rubber Industry, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ, 44-45.
- [9] วราภรณ์ และคณะ, 2544. "วิธีการทดสอบน้ำยางข้น". เอกสารวิชาการเลขที่ 2/2544, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, หน้า 1-4.

- [10] พงษ์ธร แห่อยู่ และชาคริต สิริสิงห, 2550. **ยาง กระบวนการผลิตและทดสอบ**, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). ISBN 978-974-229-092-4.
- [11] Ohama, Y.. 1987, **Principle of Latex Modification and Some Typical Properties of Latex-Modified Mortars and Concretes**, ACI Materials Journal, Title No. 84-M45, p 511-518.
- [12] สิทธิชัย ศิริพันธุ์, พิทักษ์ บุญนุ่น, กิจถาวร โลหะ, และอนุรักษ์ กำเนิดว่า. 2548, **การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนา งานคอนกรีต**, เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, ชลบุรี, หน้า MAT-205 – MAT-210.
- [13] ประชุม คำพุฒ, 2550. “การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ” **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.**, ปีที่ 30, ฉบับที่ 2, 363-376.
- [14] ประชุม คำพุฒ, 2549. **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็น ฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ**, โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่าย อุตสาหกรรม, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- [15] ประชุม คำพุฒ, 2550. **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มี การผสมน้ำยางพารา**, โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- [16] มนต์ชัย วงศ์สันติราษฎร์ และคณะ, 2548. **คอนกรีตบล็อกจากเถ้าลิกไนต์**. กรุงเทพฯ: ปรินิพนธ์วิศวกรรมศาสตร บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [17] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2541. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1505-2541 เรื่องชิ้นส่วน คอนกรีตมวลเบา แบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ**, กรุงเทพฯ, กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [18] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2517, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีต (มอก.109-2517)**, กทม.
- [19] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2517, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (มอก. 110-2517)**, กรุงเทพฯ.
- [20] American Society for Testing and Materials, 2004, **ASTM C 177**, Philadelphia.
- [21] ประชุม คำพุฒ, 2550. “การศึกษามอร์ตาร์ทผสมน้ำยางชั้นแบบแอมโมเนียปานกลาง” **การประชุมวิชาการคอนกรีต ประจำปี ครั้งที่ 3**, ณ โรงแรมลองบีช การ์เดน โฮเทล แอนด์ สปา, พัทยา, ชลบุรี, 24-26 ตุลาคม 2550, 168-175.
- [22] กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2550, **มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน (มยผ.1332-50)**, กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.
- [23] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และทวิสันท์ คงทรัพย์, 2545, **ความทนทานของความกรีดผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว**, **วารสาร วิจัยและพัฒนา มจร.**, ปีที่ 25 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2545.
- [24] ประชุม คำพุฒ, 2550. **การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีต มวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ**. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.** ปีที่ 30, เล่มที่ 2, หน้า 363-376.
- [25] Blow, C.M. and Hepburn C., 1982. **Rubber Technology and Manufacture**, Second Edition., Butterworth Scientific, p. 31.

ภาคผนวก ก

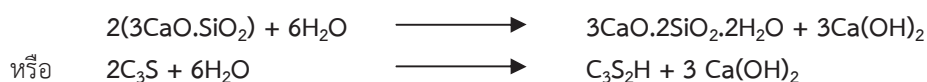
เอกสารคำชี้แจง

คำชี้แจงรายละเอียด

ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial)

1. ตรวจสอบการเขียนสูตรซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในหน้าที่ 2 ย่อหน้าที่ 4 บรรทัดสุดท้าย และสมการ (1) รวมทั้งในย่อหน้าที่ 5

ตอบ เป็นการเขียนสูตรย่อในทางวิศวกรรมโยธา (ดูเพิ่มเติมได้จาก [5] ชีวาล เศรษฐบุตร, 2552. *ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน*, กรุงเทพฯ, บริษัท ปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด.) มักใช้อธิบายถึงส่วนหนึ่งของปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) เช่น แคลเซียมซิลิเกตหรือ C_3S จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) หรือ CH ประมาณ 15 - 25 % และสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต Calcium Silicate Hydrate (CSH) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานและให้ความแข็งแรง ดังสมการ



2. หน้าที่ 5 ข้อที่ 5 ให้บทวนความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ระบุว่ามีค่าเท่ากับ 0.139 วัตต์/เมตร-เคลวิน แท้จริงแล้วควรมีค่าเท่ากับ 0.319 วัตต์/เมตร-เคลวิน ใช่หรือไม่

ตอบ ได้ตรวจสอบจากงานวิจัยที่ผ่านมาแล้ว พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนดังกล่าว ได้ระบุไว้ถูกต้องแล้ว คือ มีค่าเท่ากับ 0.139 วัตต์/เมตร-เคลวิน โดยเป็นค่าที่วัดได้จาก กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3. ตารางที่ 5 และ 6 (หน้าที่ 16) ให้ระบุหน่วยของตัวแปรทุกตัว

ตอบ ได้ดำเนินการระบุหน่วยของตัวแปรทุกตัวตามคำแนะนำเรียบร้อยแล้ว โดยการเพิ่มหน่วย (บาท) ลงในชื่อของตาราง ทั้งตารางที่ 5 และตารางที่ 6 (หน้าที่ 16)

ความเห็นเพิ่มเติม/ ข้อเสนอแนะ/ ข้อสังเกต

1. การอธิบายเหตุผลในรูปที่ 9 ระบุว่า ปริมาณน้ำยางพาราที่เพิ่มมากขึ้นมีผลให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ความหนาแน่นต่ำลง ซึ่งแท้จริงควรมีผลกระทบต่อการเพิ่มการดูดซึมน้ำได้มากขึ้น แต่ในผลการทดสอบเรื่องการดูดซึมน้ำนั้น พบว่าเมื่อปริมาณน้ำยางพารามากขึ้น มีผลให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากผลการลดความเชื่อมโยงของความพรุนในทั้งชิ้นงาน อาจมีอิทธิพลมากกว่าความพรุนในเนื้อ จึงมีผลให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลง

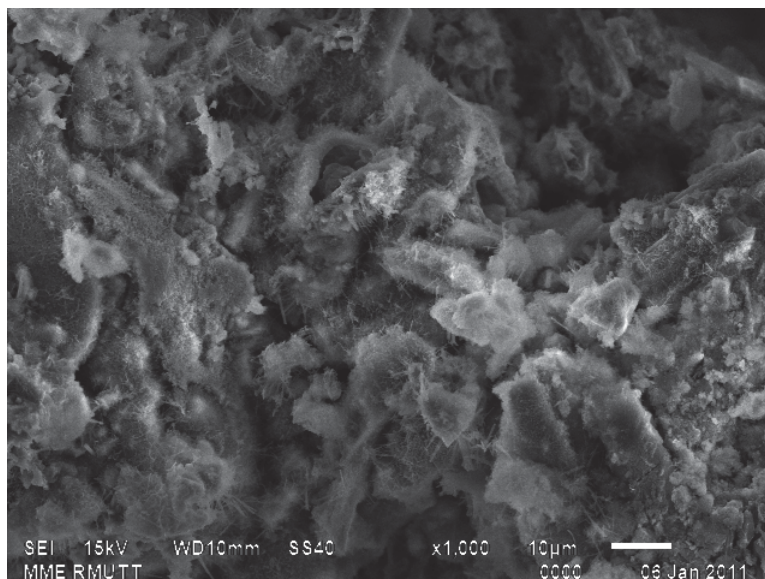
ตอบ เห็นด้วยกับข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับอิทธิพลของการลดความเชื่อมโยงของความพรุนที่มากกว่าช่องว่างในเนื้อคอนกรีตที่เกิดขึ้น จึงได้เพิ่มข้อความ “แม้ว่าน้ำยางวัลคาไนซ์จะมีผลทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตจนเป็นเหตุให้มีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น แต่อาจเป็นเพราะอิทธิพลที่มากกว่าของความตึงน้ำในแผ่นฟิล์มที่ช่วยลดโพรงเชื่อมต่อ จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำจึงลดลง” ซึ่งเป็นไปตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ ดังคำอธิบายในรูปที่ 10 (หน้าที่ 13)

2. ควรคำนึงในการศึกษาผลของอุณหภูมิในการใช้งานด้วย เนื่องจากอุณหภูมิทำให้ยางขยายตัวได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดความดันภายใน ซึ่งอาจทำให้เกิดการแตกหรือปริได้

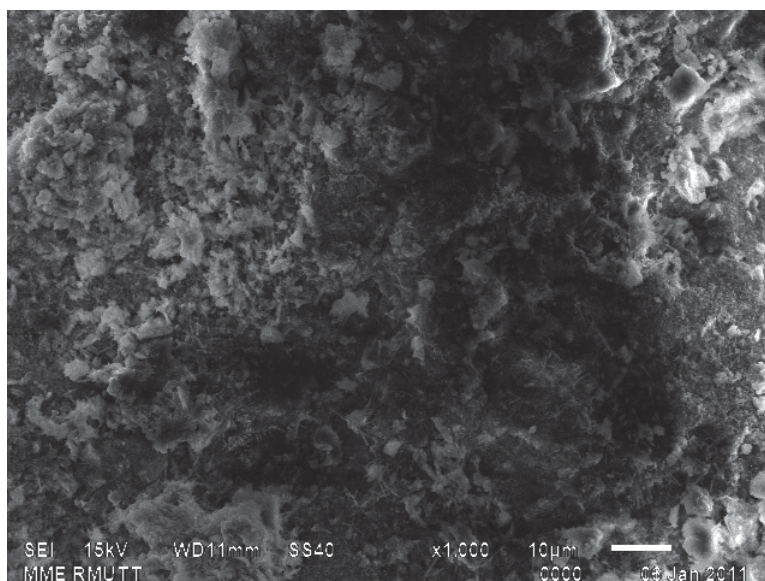
ตอบ จากผลการใช้งานจริงของคอนกรีตบล็อกแก้วผสมสน้ำยางวัลคาไนซ์ อัตราส่วน R4 P0.05 ที่ถือเป็นผนังแบบไม่ฉาบปูนไว้กลางแจ้ง พบว่า เวลาผ่านไปประมาณ 3 เดือน คอนกรีตบล็อกดังกล่าวไม่มีการปริแตกให้เห็น ส่วนการฉาบคอนกรีตบล็อกแก้วผสมสน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยวิธีต่างๆ ไปก็สามารถทำได้ตามปกติโดยไม่มีการแตกร้าวแต่อย่างใด

3. หากสามารถแสดงภาพถ่ายโครงสร้างของคอนกรีตบล็อกผสมแก้วจากโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีการปรับคุณสมบัติโดยใช้น้ำยางพารา เปรียบเทียบกับที่ไม่เติมน้ำยางพารา จะสามารถให้รายละเอียดข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติมยิ่งขึ้น

ตอบ สำหรับภาพขยายโครงสร้างของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีการปรับคุณสมบัติโดยใช้น้ำยางพารา เปรียบเทียบกับที่ไม่เติมน้ำยางพารา มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ อัตราส่วน R4 P0.05



รูปที่ 2 คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ อัตราส่วน R4 P0.00

4. ควรทำการทดสอบการฉาบปูนตกแต่งผิวหน้าคอนกรีตที่ได้รับการพัฒนาขึ้นนี้ เพื่อที่จะใช้ตรวจสอบถึงผลในการฉาบ เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้เติมน้ำยางพาราว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร ซึ่งน่าจะเป็นผลสำคัญที่จะใช้ประกอบการพิจารณาการนำไปขยายผลการใช้งานในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ตอบ จากการทดลองฉาบปูนตกแต่งผิวหน้าเบื้องต้นของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ โดยใช้ อัตราส่วน R4 P0.05 เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ อย่างละ 4 ตารางเมตร พบว่าการแตกร้าวของผนังที่ได้มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ จะมีรอยแตกร้าวของผนังบ้าง (ส่วนใหญ่จะเป็นการแตกร้าวแบบ Hair Cracks) เนื่องจากการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกเถ้า

แกลบที่มาก ทำให้ปูนฉาบสูญเสียน้ำและเกิดการแตกร้าวในที่สุด แตกต่างกับคอนกรีตบล็อกเก่าแกลบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ ซึ่งมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกเก่าแกลบที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ ประมาณ ร้อยละ 30 ที่ไม่พบการแตกร้าวของผนังเลย จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำผลการวิจัย ไปขยายผลการใช้งานในเชิงพาณิชย์ต่อไป

5. ควรพิจารณาประเด็นว่า การที่มีน้ำยางเข้าไปผสมในคอนกรีตบล็อกนั้น มีผลต่อการเกิดปัญหาเชื้อราหรือไม่ เช่นในกรณีที่น่าไปก่อเป็นผนังเพื่อใช้งานในบรรยากาศที่มีความชื้นสูง และร้อน มีอายุการใช้งานนานเท่าใด

ตอบ จากการพิจารณาผลการใช้งานจริงตลอด 3 เดือน และการสืบค้นข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์กับเชื้อราที่เกิดขึ้นในคอนกรีตบล็อกนั้น เบื้องต้นจะเห็นได้ว่า น้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมลงในคอนกรีตบล็อกไม่ได้เป็นสาเหตุโดยตรงที่ทำให้เกิดเชื้อรา และในสภาพการใช้งานจริงจะทำการฉาบปิดคอนกรีตบล็อกดังกล่าวด้วยปูนฉาบ ทำให้โอกาสที่ยางจะสัมผัสความชื้นมีน้อยลง ดังนั้นจึงไม่น่าจะเกิดจากน้ำยางวัลคาไนซ์ ส่วนอายุการใช้งาน สามารถใช้งานได้นานเท่ากับคอนกรีตบล็อกอื่นๆ เนื่องจากน้ำยางวัลคาไนซ์ไม่ได้เป็นส่วนประกอบหลักที่ทำให้คอนกรีตบล็อกมีสภาพเป็นคอนกรีตบล็อกอย่างที่เห็น แต่จะเป็นเพียงวัสดุที่แทรกอยู่ตามช่องว่างต่างๆ เท่านั้น อายุการใช้งานจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับน้ำยางวัลคาไนซ์ นอกจากนี้ช่องว่างของคอนกรีตบล็อกดังกล่าวจะช่วยรักษาบรรยากาศไม่ให้เกิดการสูญเสียหรือไหลออกนอกคอนกรีตบล็อกอีกด้วย

ความคิดเห็นเพิ่มเติมจากผู้ทรงคุณวุฒิ

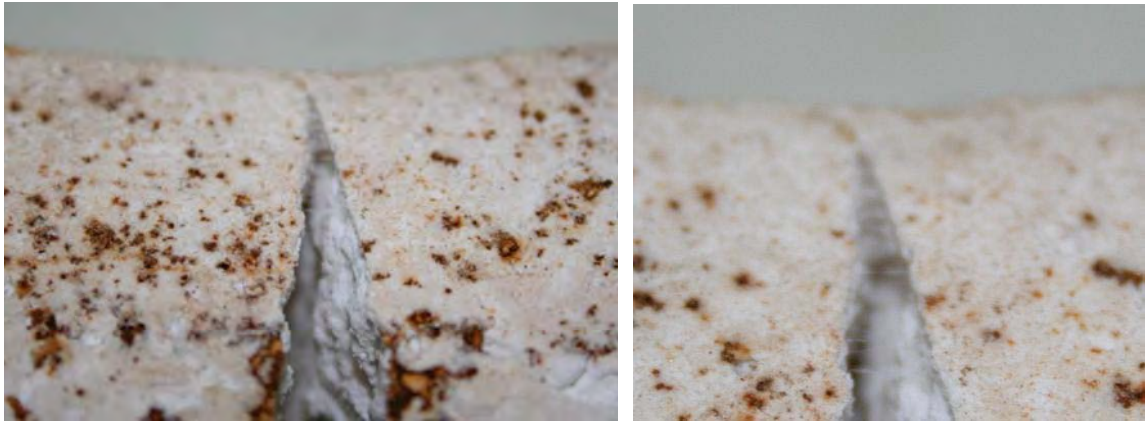
1. ในบทสรุปผู้บริหาร หัวข้อผลการดำเนินงาน ข้อ 5 (หน้า ข.) ไม่ควรนำสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกธรรมดา เนื่องจากสมบัติที่กล่าวถึงไม่ใช่หน้าที่ของคอนกรีตบล็อก (ไม่มีระบุไว้ใน มอก.) แต่ควรนำสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบา

ตอบ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเก่าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ที่แสดงในรายงานฉบับสมบูรณ์นี้ เป็นการพัฒนาคอนกรีตบล็อกเก่าแกลบ ซึ่งถือว่าเป็นคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักแบบหนึ่ง ดังนั้นผลการทดสอบทั้งหมดจึงทำการเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป อย่างไรก็ตามสมบัติด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อนก็ไม่ได้ระบุไว้ในมาตรฐาน ทั้ง มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก และ มอก.1505-2541 เรื่องชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ และเมื่อนำสัมประสิทธิ์การนำความร้อนไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบา ดังตารางที่ 7 (หน้า 18) และรูปที่ 14 (หน้า 15) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเก่าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ ซึ่งอัตราส่วนที่ผ่านมาตรฐานและแนะนำ คือ R4 P0.05 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.319 วัตต์/เมตร.เคลวิน ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.502 วัตต์/เมตร.เคลวิน แต่จะสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีค่าเท่ากับ 0.132 วัตต์/เมตร.เคลวิน ส่วนอัตราส่วนของคอนกรีตบล็อกเก่าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์อื่นๆ มีค่าต่ำสุดถึง 0.131 วัตต์/เมตร.เคลวิน ซึ่งใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบา

2. ในบทสรุปผู้บริหาร หัวข้อสรุปผลการวิจัย

- ข้อที่ 4 (หน้า ค.) ไม่ควรสรุปว่า น้ำยางวัลคาไนซ์ที่เหนียวและยืดหยุ่นนั้น จะสามารถลดความแตกหักของคอนกรีตบล็อกในระหว่างขนส่ง เพราะไม่ได้ทำการทดสอบในประเด็นนี้ แม้ว่าจะทำการทดสอบการรับแรงอัด แต่ในความเป็นจริงแล้วความเสียหายระหว่างขนส่งบางส่วนนั้นเกิดจากแรงดัด และเมื่อมาพิจารณาตารางที่ 1 (หน้า ค.) พบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเก่าแกลบนั้นต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกธรรมดา (ต่ำลง 3 เท่า)

ตอบ ได้นำข้อความที่สรุปเกี่ยวกับ “การลดความแตกหักของคอนกรีตบล็อกในระหว่างขนส่ง” ออกจากบทสรุปผู้บริหาร ข้อที่ 4 (หน้า ค.) แล้ว อย่างไรก็ตามจากรูปด้านล่างเป็นลักษณะการแทรกตัวของน้ำยางพาราในก้อนยิปซัมภายหลังทดสอบความต้านทานแรงดัดที่ช่วยยึดเหนี่ยวก้อนวัสดุไม่ให้แตกออกจากกัน ซึ่งเป็นงานที่ผู้วิจัยได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ โดยพบว่าความต้านทานแรงดัดและความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นจากการพิจารณาลักษณะของคอนกรีตบล็อกเก่าแกลบที่พัฒนาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นประโยชน์เพิ่มเติมจากการใช้น้ำยางพารามาผสมคอนกรีตบล็อกเก่าแกลบซึ่งแตกหักได้ง่าย



รูปที่ 3 ยางธรรมชาติที่ยึดออกเมื่อบีบอัดด้วยแรงกด

- ข้อที่ 5 การสรุปว่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงตามปริมาณการใช้น้ำยางวัลคาไนซ์นั้น ยังไม่ครอบคลุมเพียงพอ เนื่องจากอาจมีอิทธิพลของเก้าแกลบรวมอยู่ด้วย จากรูปที่ 14 (หน้า 15) จะเห็นได้ว่า R3 และ R5 มีค่าสัมประสิทธิ์ต่างกันประมาณ 0.08 – 0.15 วัตต์/เมตร.เคลวิน ในขณะที่การเติมน้ำยางชั้นทำให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงประมาณ 0.25 วัตต์/เมตร.เคลวิน ซึ่งให้เห็นว่า เก้าแกลบมีผลต่อสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ (โดยเฉพาะที่ปริมาณน้ำยาง 0.05 โดยน้ำหนัก)

ตอบ ได้เพิ่มเติมข้อความเกี่ยวกับอิทธิพลของเก้าแกลบลงใน ข้อที่ 5 (หน้า ข.) แล้ว

3. หน้า 16 ระบุว่า ต้นทุนการผลิตเป็นน้ำยาง 40 – 60% แต่ในรายงานไม่พบการคิดราคาต้นทุนน้ำยาง จึงไม่ทราบว่าคิดที่ราคาอย่างเท่าใด เมื่อมีส่วนในราคาต้นทุนมากเช่นนี้ควรเพิ่ม Sensivity analysis ของราคาอย่างด้วย และควรทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกธรรมดา และคอนกรีตบล็อกมวลเบาด้วย การรายงานจึงจะสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ตอบ ได้นำราคาอยู่ที่ 75 บาท มาใช้ในการคำนวณต้นทุนคอนกรีตบล็อกเก้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ และได้เพิ่มการเปรียบเทียบต้นทุนของคอนกรีตบล็อกเก้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ อัตราส่วน R4 P0.05, คอนกรีตบล็อกธรรมดา, และคอนกรีตบล็อกมวลเบา แล้ว

ภาคผนวก ข

โปสเตอร์



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำยางวัลคาไนซ์มาผสมในคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบเพื่อพัฒนาคุณสมบัติ โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินผุนต่อน้ำ เท่ากับ 1: 1.5: 1.5: 2 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1: 3, 1: 4, และ 1: 5 อัตราส่วนยางวัลคาไนซ์ต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10 และ 0.15 โดยน้ำหนัก และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักยางวัลคาไนซ์ โดยอัตราส่วนยางวัลคาไนซ์ต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ เท่ากับ 0.05 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1: 4 โดยมีควมหนาแน่น 1,679.12 กก./ลบ.ม., การดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน ร้อยละ 20, กำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 41.15 กก./ตร.ซม., และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.3019 วัตต์/เมตร-องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีขึ้นกว่าคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบปกติ

คำสำคัญ: ยางวัลคาไนซ์, คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบ, การนำความร้อน, กำลังอัด

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

จากโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่อง การใช้ยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก สัญญาเงินทุน เลขที่ RDG5050069 ประจำปี 2550 ที่ผ่านมา พบว่า ยางพาราสามารถพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลบางประการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดการดูดซึมน้ำและสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ซึ่งหากนำมาพัฒนาต่อยอดกับคอนกรีตผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ผู้วิจัยพัฒนาให้น้ำหนักเบากว่าคอนกรีตบล็อกปกติถึงกว่าร้อยละ 50 แต่ยังมีปัญหาการดูดซึมน้ำที่สูงเกินกว่ามาตรฐาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะผสมยางพาราในคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อลดการดูดซึมน้ำและลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งได้เปรียบกว่าคอนกรีตมวลเบาที่จำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาแม้จะมีน้ำหนักเบา แต่ก็เปราะแตกง่าย และดูดซึมน้ำสูง เมื่อทำการก่ออาบต้องใช้น้ำชนิดพิเศษที่มีราคาสูง ทำให้ต้องเสียทั้งราคาคอนกรีตมวลเบาที่มีราคาสูงกว่า 16 บาทต่อก้อน ความเสี่ยงในการแตกหักระหว่างการขนส่ง และราคาปูนก่อ-อาบที่แพงกว่าปูนทั่วไป รวมทั้งในกระบวนการผลิตยังสิ้นเปลืองพลังงานมาก แต่สำหรับคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมยางวัลคาไนซ์ที่พัฒนาขึ้นจะมีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาเกือบทุกด้าน โดยเฉพาะด้านความแข็งแรง ทำให้ลดความเสี่ยงจากการขนส่งได้นอกจากนี้กระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมยางวัลคาไนซ์ยังสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่ามาก ส่วนปริมาณของยางพาราที่นำมาผสมก็ยังไม่ทำให้ราคาของคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นมากนัก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ รวมทั้งสร้างมูลค่าให้กับเถ้าแกลบที่จะมีเหลือทิ้งเป็นปริมาณเพิ่มมากขึ้นกว่า 2,000 ตันต่อวัน ในปี 2554 เนื่องจากประเทศไทยตั้งเป้าที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลให้ได้กว่า 2,800 เมกะวัตต์ และต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้ต่อไปอีกด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมยางวัลคาไนซ์

วิธีการดำเนินงาน

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ : (1) ยางวัลคาไนซ์ เป็นยางพาราชั้น ร้อยละ 60 รักษาด้วยแอมโมเนียสูง หรือ HA (High Ammonia) นำมาทำการวัลคาไนซ์เช่นเป็นยางพาราวัลคาไนซ์ (2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (3) ทรายละเอียด (4) สารลดแรงตึงผิว ชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) (5) น้ำประปา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ : (1) เครื่องผสมคอนกรีตแบบอัตโนมัติ (2) เครื่องอัดไฮโดรลิก (แบบเดียวกับที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกทั่วไป) (3) แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลางขนาด 7 x 19 x 39 ลูกบาศก์เซนติเมตร (4) เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (5) เครื่องชั่งน้ำหนัก (6) ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม (7) อุปกรณ์ก่อสร้างอื่นๆ เช่น กระบองปูน, พลั่ว, ค้อน และเกลียวก่อ เป็นต้น (8) ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม

การกำหนดอัตราส่วนผสม : เป็นการทดลองผสมและขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้ (1) อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินผุนต่อน้ำ เท่ากับ 1: 1.5: 1.5: 2 (2) อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1: 3, 1: 4, และ 1: 5 (3) อัตราส่วนยางวัลคาไนซ์ต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10 และ 0.15 โดยน้ำหนัก (4) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจुर้อยละ 5 ของน้ำหนักยางวัลคาไนซ์

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

- (1) ตวงส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบเสริมเถ้าแกลบตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1: เถ้าแกลบ: ทรายละเอียด: น้ำ: ยางวัลคาไนซ์: สารลดแรงตึงผิว โดยน้ำหนัก
- (2) เริ่มนำวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ และเถ้าแกลบ) มาคลุกเคล้าให้เข้ากันทั้งหมด (3) แบ่งน้ำที่จะผสมออกเป็น 3 ส่วน โดยกำหนดให้ 2 ส่วนจาก 3 ส่วนนำไปผสมรวมกับยางวัลคาไนซ์และสารลดแรงตึงผิว ส่วนน้ำที่เหลืออีก 1 ส่วนให้เก็บไว้สำหรับผสมในช่วงต้นเพื่อทำการเคลือบ (4) ทำการผสมของเหลวจากยางวัลคาไนซ์, สารลดแรงตึงผิว และน้ำ (2 ส่วนจาก 3 ส่วน) ให้เข้ากัน (5) เตรียมเครื่องผสมคอนกรีตหรือโม่ผสมและอุปกรณ์ต่างๆที่จะสัมผัสกับคอนกรีตสดให้อยู่ในสภาพขึ้นเพื่อป้องกันการดูดความชื้นจากส่วนผสม (6) แบ่งวัสดุประสานที่ผสมออกเป็น 3 ส่วน แล้วจึงนำวัสดุประสานส่วนที่ 1 และน้ำ (ส่วนที่ไม่ได้ผสมยางวัลคาไนซ์และสารลดแรงตึงผิว) ใส่ลงในโม่ตามลำดับ เพื่อทำการเคลือบ (7) เติมหอยประมาณครึ่งหนึ่งของโม่แล้วไป แล้วทำการผสมให้เข้ากัน
- (8) จากนั้นเติมทรายส่วนที่เหลือทั้งหมดลงไปในโม่พร้อมกับวัสดุประสานส่วนที่ 2 แล้วจึงสเปรย์ของเหลว (ส่วนที่ผสมยางวัลคาไนซ์และสารลดแรงตึงผิว) ประมาณครึ่งหนึ่งของของเหลวทั้งหมดลงไปในโม่ (9) ขณะที่ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ให้ทยอยเติมวัสดุประสานส่วนที่เหลือทั้งหมดลงไป ตลอดจนสเปรย์ของเหลวส่วนสุดท้ายลงไป (10) ทำการผสมจนเข้ากันโดยใช้เวลาผสมไม่เกิน 10 นาที และขณะที่ทำการผสมควรมีการหยุดเครื่องเพื่อเชยคอนกรีตที่ติดอยู่ข้างนอก แล้วจึงทำการเดินเครื่องผสมต่อ (11) ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบโดยใช้เครื่องอัดไฮโดรลิก เพื่อให้การบดอัดเข้าแบบมีค่าเท่ากับโดยใช้แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลางขนาด 7 x 19 x 39 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- (12) จากนั้นทิ้งไว้ 1 วัน จึงถอดแบบและยกตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่ขึ้นรูปไปบ่มในอากาศและร่ม เป็นเวลา 7 วัน ห้ามเคลื่อนย้ายบล็อกทดสอบเป็นเวลา 2 วัน นับตั้งแต่วันเข้าแบบ แล้วจึงทำการทดสอบต่างๆ ต่อไป

การทดสอบ

ทดสอบสมบัติ ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ดังนี้ (1) ความหนาแน่น ที่อายุ 14 วัน (2) การดูดซึมน้ำ ที่อายุ 14 วัน (3) การหดตัวแห้ง ที่อายุ 14 วัน (4) กำลังอัด ที่อายุ 7, 14, 21, และ 28 วัน ทั้งหมดทำการทดสอบจำนวน 30 ตัวอย่าง ต่ออัตราส่วน (5) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (6) ทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เป็นห้องปฏิบัติการขนาด 1 x 2 x 2.5 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 ห้อง ผนังก่อด้วยฉนวนป้องกันความร้อน 5 ด้าน ด้านหน้าเป็นแผ่นอะลูมิเนียม ภายในติดตั้งแหล่งกำเนิดความร้อน (หลอดไฟสปอตไลท์ ขนาด 1,000 วัตต์) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ, ความชื้น, และนาฬิกาจับเวลา ดังรูปที่ 2

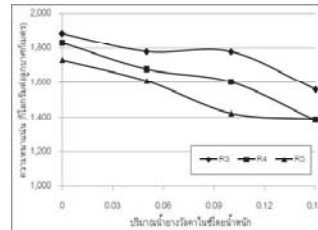


รูปที่ 1 คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมยางวัลคาไนซ์ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก

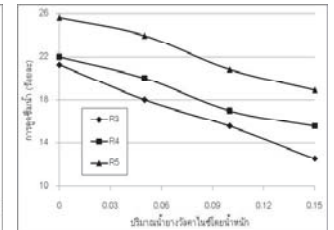


รูปที่ 2 ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

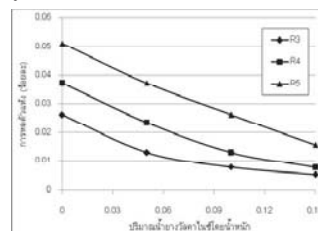
ผล วิจัยรณผล และสรุปผลการทดสอบ



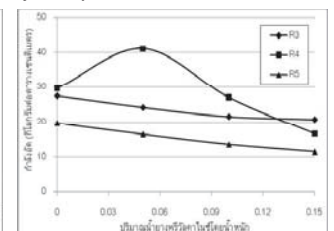
รูปที่ 3 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมยางวัลคาไนซ์



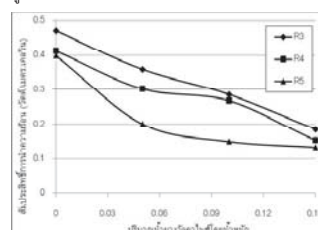
รูปที่ 4 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมยางวัลคาไนซ์



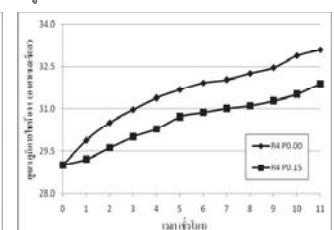
รูปที่ 5 การหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกผสมยางวัลคาไนซ์



รูปที่ 6 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกผสมยางวัลคาไนซ์



รูปที่ 7 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมยางวัลคาไนซ์



รูปที่ 8 อุณหภูมิในห้องทดสอบของคอนกรีตบล็อกผสมยางวัลคาไนซ์

ตารางที่ 1 ต้นทุนต่อหน่วยของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมยางวัลคาไนซ์

เถ้าแกลบ	ยาง	0.00	0.05	0.10	0.15
R3		3.71	5.65	7.59	9.52
R4		3.70	5.39	7.07	8.76
R5		3.81	5.36	6.91	8.46

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่มียางวัลคาไนซ์ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 และปริมาณยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, และ 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ สามารถสรุปข้อดี-ข้อด้อยได้ ดังนี้ (1) การผสมยางวัลคาไนซ์สามารถช่วยลดความหนาแน่น อันจะส่งผลต่อน้ำหนักที่ลดลง ซึ่งเป็นผลดีต่อการขนส่งและน้ำหนักกองอาคารที่จะลดลง (2) การดูดซึมน้ำลดลงได้อย่างมาก เมื่อผสมยางวัลคาไนซ์ในปริมาณที่เหมาะสม จึงช่วยลดปัญหาการแตกร้าวของปูนอาบผนังได้ (3) การหดตัวแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมยางวัลคาไนซ์มากขึ้น (4) กำลังอัดมีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการผสมยางวัลคาไนซ์ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากยางวัลคาไนซ์จะสามารถช่วยยึดอนุภาคของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบให้ยึดติดกันดีขึ้น แต่ถ้าผสมในปริมาณมากก็จะปลดพื้นที่ในการรับแรงอัดทำให้กำลังอัดลดลง (5) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมยางวัลคาไนซ์มีค่าที่ลดน้อยลงตามปริมาณยางวัลคาไนซ์ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้อาคารมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และความเห็นในรายงานผลการวิจัย เป็นของผู้วิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ohama,Y., 1987 "Principle of Latex Modification and Some Typical Properties of Latex-Modified Mortars and Concretes", *ACI Materials Journal*, Title No. 84-M45, pp 511-518.
- [2] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2533, *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก* (มอก. 58-2533), กรุงเทพฯ.

ภาคผนวก ค

แบบสรุปโครงการวิจัย

แบบสรุปโครงการวิจัย (จัดทำแยกต่างหากจากรายงานฉบับสมบูรณ์)

สัญญาเลขที่ ...RDG5350033... ชื่อโครงการ การใช้น้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล
 หัวหน้าโครงการ ...นายประชุม...คำพุด..... หน่วยงาน.....มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....
 โทรศัพท์.....0-2549-4032..... โทรสาร0-2549-4033.....E-mail:choomy_gtc@hotmail.com.....

ความสำคัญ / ความเป็นมา

จากโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่อง การใช้น้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก สัญญารับทุนเลขที่ RDG5050069 ประจำปี 2550 ที่ผ่านมา พบว่า น้ำยางพาราสามารถพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลบางประการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดการดูดซึมน้ำและสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ซึ่งหากนำมาพัฒนาต่อยอดกับคอนกรีตผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ผู้วิจัยพัฒนาให้มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตบล็อกปกติถึงกว่าร้อยละ 50 แต่ยังมีปัญหาการดูดซึมน้ำที่สูงเกินกว่ามาตรฐาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อลดการดูดซึมน้ำและลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งได้เปรียบกว่าคอนกรีตมวลเบาที่จำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาแม้จะมีน้ำหนักเบา แต่ก็เปราะแตกง่าย และดูดซึมน้ำสูง เมื่อทำการก่อสร้างต้องใช้ปูนชนิดพิเศษที่มีราคาสูง ทำให้การก่อสร้างด้วยคอนกรีตมวลเบาต้องเสียทั้งราคาคอนกรีตมวลเบาที่มีราคาสูงกว่า 16 บาทต่อก่อน ความเสี่ยงในการแตกหักระหว่างการขนส่ง และราคาปูนก่อ-ฉาบที่แพงกว่าปูนทั่วๆ ไป รวมทั้งในกระบวนการผลิตยังสิ้นเปลืองพลังงานมาก แต่สำหรับคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ที่พัฒนาขึ้นจะมีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาเกือบทุกด้าน โดยเฉพาะด้านความแข็งแรง ทำให้ลดความเสี่ยงจากการขนส่งได้ นอกจากนี้ยังสามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้อีกด้วย

วัตถุประสงค์โครงการ

เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมน้ำยางวัลคาไนซ์

ผลที่ได้รับ	บรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่	โดยทำให้
1. ได้คอนกรีตบล็อก เถ้าแกลบที่มีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1:4 และอัตราส่วน น้ำยางวัลคาไนซ์ต่อ ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.05 โดยมีสมบัติทางกลและ ความเป็นฉนวนกันความ ร้อนที่ดี	1. ผลการทดลองที่ได้บรรลุ วัตถุประสงค์ของโครงการใน ด้านการศึกษาสมบัติด้าน ต่างๆ ของวัสดุ	คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีต บล็อกเถ้าแกลบทั่วไป คือ - มีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 1,679.12 กก./ลบ.ม. ที่อายุ 14 วัน - มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 20 ที่อายุ 14 วัน - มีค่าการหดตัวแห้ง ร้อยละ 0.0236 ที่อายุ 14 วัน - มีค่ากำลังอัด 41.15 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 28 วัน - มีค่า สปส.การนำความร้อนใกล้เคียง คือ 0.3019 วัตต์/เมตร.เคลวิน

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์.....

- ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ สำหรับจำหน่ายในท้องตลาด
- ใช้เป็นแนวคิดในการพัฒนาคอนกรีตบล็อกที่ป้องกันการดูดซึมน้ำ ซึ่งสามารถลดค่าปูนฉาบลงได้
- เป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการผลิตวัสดุก่อสร้างจำพวกฉนวนป้องกันความร้อน

หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ และใช้ประโยชน์ด้านไหน.....

ห้างหุ้นส่วนจำกัด สยามอินโนเวชั่นแอสโซซิเอชั่น นำไปพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์สำหรับทดสอบการใช้งานในโครงการจริง
และทดลองจำหน่ายในท้องตลาด

การประชาสัมพันธ์

กำลังดำเนินการ

ภาคผนวก ง

บทความวิชาการ

การใช้น้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล

Using Vulcanized Latex for Developing the Properties of Rice Husk Ash Concrete Blocks from Biomass Power Plants

ประชุม คำพุด
Prachoom Khamput

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Department of Civil Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำยางวัลคาไนซ์มาผสมในคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบเพื่อพัฒนาคุณสมบัติ โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินผุ่นต่อน้ำ เท่ากับ 1: 1.5: 1.5: 2 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1: 3, 1: 4, และ 1: 5 อัตราส่วนน้ำยางวัลคาไนซ์ต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10 และ 0.15 โดยน้ำหนัก และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำยางวัลคาไนซ์ โดยอัตราส่วนน้ำยางวัลคาไนซ์ต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมมากที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ เท่ากับ 0.05 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 1: 4 โดยมีความหนาแน่น 1,679.12 กก./ลบ.ม., การดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน ร้อยละ 20, กำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 41.15 กก./ตร.ซม., และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.3019 วัตต์/เมตร-องศาเคลวิน ซึ่งเป็นสมบัติที่ดีขึ้นกว่าคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบปกติ

คำสำคัญ: น้ำยางวัลคาไนซ์, คอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบ, การนำความร้อน, กำลังอัด

ABSTRACT

The aim of this research is to use vulcanized latex as an admixture for improving the properties of rice husk ash concrete block. In mix design, cement per sand per quarry dust per water ratio is 1: 1.5: 1.5: 2 w/w, cement per rice husk ash ratios are 1:3, 1:4, and 1:5 w/w, vulcanized latex per cement ratios are 0.00, 0.05, 0.10 and 0.15 (by weight of cement), no-charge surfactant is 5% (by weight of vulcanized latex). The suitable ratio of vulcanized latex per cement in this testing is 0.05 (by weight of cement) and cement per rice husk ash ratio is 1:4. The properties are obtained as follows. 1) Average density is 1,679.12 kg/cu.m. 2) Average water absorption at 28 days is 20%. 3) Average compressive strength at 28 days is 41.15 ksc. 4) The coefficient of thermal conductivity is 0.3019 watt / (m. Kelvin). It can be seen that many properties are better than normal rice husk ash concrete blocks.

Keywords: Vulcanized latex, Rice husk ash concrete block, Thermal conductivity, Compressive strength

ชื่อโครงการ : การใช้น้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล
(รหัสสัญญา RDG5350033)

คำนำ

จากโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่อง การใช้น้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของ คอนกรีตบล็อก สัญญารับทุนเลขที่ RDG5050069 ประจำปี 2550 ที่ผ่านมา พบว่า น้ำยางพาราสามารถ พัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลบางประการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดการดูดซึมน้ำและสัมประสิทธิ์ การนำความร้อน ซึ่งหากนำมาพัฒนาต่อยอดกับคอนกรีตผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ผู้วิจัยพัฒนาให้มี น้ำหนักเบากว่าคอนกรีตบล็อกปกติถึงกว่าร้อยละ 50 แต่ยังมีปัญหาการดูดซึมน้ำที่สูงเกินกว่ามาตรฐาน จึงมี ความเป็นไปได้ที่จะผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล เพื่อลดการดูดซึมน้ำ และลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งได้เปรียบกว่าคอนกรีตมวลเบาที่จำหน่ายในท้องตลาด เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาแม้จะมีน้ำหนักเบา แต่ก็เปราะแตกง่าย และดูดซึมน้ำสูง เมื่อทำการก่อสร้างต้องใช้ ปูนชนิดพิเศษที่มีราคาสูง ทำให้การก่อสร้างด้วยคอนกรีตมวลเบาต้องเสียทั้งราคาคอนกรีตมวลเบาที่มีราคาสูง กว่า 16 บาทต่อก้อน ความเสี่ยงในการแตกหักระหว่างการขนส่ง และราคาปูนก่อ-ฉาบที่แพงกว่าปูนทั่วๆ ไป รวมทั้งในกระบวนการผลิตยังสิ้นเปลืองพลังงานมาก แต่สำหรับคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ ที่พัฒนาขึ้นจะมีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาเกือบทุกด้าน โดยเฉพาะด้านความแข็งแรง ทำให้ลดความเสี่ยง จากการขนส่งได้ นอกจากนี้กระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ยังสิ้นเปลือง พลังงานน้อยกว่ามาก ส่วนปริมาณของน้ำยางพาราที่นำมาผสมก็ยังไม่ทำให้ราคาของคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นมา กนัก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ รวมทั้งสร้างมูลค่าให้กับเถ้าแกลบที่จะมี เหลือทิ้งเป็นปริมาณเพิ่มมากขึ้นกว่า 2,000 ตันต่อวัน ในปี 2554 เนื่องจากประเทศไทยตั้งเป้าที่จะผลิต กระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลให้ได้กว่า 2,800 เมกะวัตต์ อีกทั้งคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบผสมน้ำ ยางวัลคาไนซ์ยังสามารถเป็นนวัตกรรมที่สามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ได้ต่อไปอีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. น้ำยางวัลคาไนซ์ เป็นน้ำยางพาราชั้น ร้อยละ 60 รักษาด้วยแอมโมเนียสูง หรือ HA (High Ammonia) นำมาทำการวัลคาไนซ์เซชันเป็นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ดังสูตรในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

สูตรผสมเคมี	ปริมาณ (phr)
น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (HA)	167
สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 10)	2.5
สารละลายโพแทสเซียมลอเรต (ความเข้มข้นร้อยละ 20)	1.3
ดิสเพนเซอร์ของกำมะถัน (ความเข้มข้นร้อยละ 50)	2.0
ดิสเพนเซอร์ของซิงก์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (ความเข้มข้นร้อยละ 10)	0.8
ดิสเพนเซอร์ของซิงก์ออกไซด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 50)	0.4

2. แก้วเกลือ จากโรงไฟฟ้าชีวมวลนำมาอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เพื่อแยกเกลือที่เผาไหม้ไม่หมดออกไป
3. ทราเยเอียง ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 และ 100 อย่างละครั้ง
4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
5. น้ำประปา
6. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) หรือชื่อทางเคมี Alkyl phenol polyethylene glycol ether เพื่อให้ น้ำยางวัลคาไนซ์ เข้ากับคอนกรีตได้ขณะผสม เนื่องจากสารดังกล่าว ละลายน้ำจะไม่มีประจุทำให้เกิดฟองน้อย และมีสมบัติในการรวมตัวเป็นไมเซลล์ที่ความเข้มข้นต่ำ จึงป้องกันการ รวมตัวกันของอนุภาคส่วนผสมได้ดี
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก
8. แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลวงขนาด $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 1 แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลวง

9. เครื่องผสมคอนกรีตแบบอัตโนมัติ
10. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)
11. เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
12. เครื่องอัดไฮดรอลิก (แบบเดียวกับที่ใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกทั่วไป)
13. อุปกรณ์ก่อสร้างอื่นๆ เช่น กระบุงปูน, พลั่ว, ค้อน และเกลียงก่อ เป็นต้น
14. ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม

การกำหนดอัตราส่วนผสม

ทำการออกแบบอัตราส่วนของคอนกรีตบล็อกแก้วเกลือจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ โดยการกำหนดปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมต่อคอนกรีตบล็อกผสมแก้วเกลือ ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแก้วจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมน้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับใช้ในการทดสอบ (เทียบจากน้ำหนักปูนซีเมนต์)

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทราย	หินฝุ่น	แก้วกลบ	น้ำ	น้ำยางวัลคาไนซ์	สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ
R3 P0.00	1	1.5	1.5	3	2	0.00	0.0000
R3 P0.05	1	1.5	1.5	3	2	0.05	0.0025
R3 P0.10	1	1.5	1.5	3	2	0.10	0.0050
R3 P0.15	1	1.5	1.5	3	2	0.15	0.0075
R4 P0.00	1	1.5	1.5	4	2	0.00	0.0000
R4 P0.05	1	1.5	1.5	4	2	0.05	0.0025
R4 P0.10	1	1.5	1.5	4	2	0.10	0.0050
R4 P0.15	1	1.5	1.5	4	2	0.15	0.0075
R5 P0.00	1	1.5	1.5	5	2	0.00	0.0000
R5 P0.05	1	1.5	1.5	5	2	0.05	0.0025
R5 P0.10	1	1.5	1.5	5	2	0.10	0.0050
R5 P0.15	1	1.5	1.5	5	2	0.15	0.0075

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแก้วจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมน้ำยางวัลคาไนซ์สำหรับใช้ในการทดสอบ (เทียบจากน้ำหนักยาง 100 ส่วน, phr)

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทราย	หินฝุ่น	แก้วกลบ	น้ำ	น้ำยางวัลคาไนซ์	สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ
R3 P0.00	1	1.5	1.5	3	2	0	0
R3 P0.05	3340	5010	5010	10020	6680	167	8.35
R3 P0.10	1670	2505	2505	5010	3340	167	8.35
R3 P0.15	1113.3	1670	1670	3340	2226.7	167	8.35
R4 P0.00	1	1.5	1.5	4	2	0	0
R4 P0.05	3340	5010	5010	13360	6680	167	8.35
R4 P0.10	1670	2505	2505	6680	3340	167	8.35
R4 P0.15	1113.3	1670	1670	4453.3	2226.7	167	8.35
R5 P0.00	1	1.5	1.5	5	2	0	0
R5 P0.05	3340	5010	5010	16700	6680	167	8.35
R5 P0.10	1670	2505	2505	8350	3340	167	8.35
R5 P0.15	1113.3	1670	1670	5566.7	2226.7	167	8.35

หมายเหตุ น้ำยางวัลคาไนซ์ที่นำมาใช้เป็นน้ำยางชั้น ร้อยละ 60 โดยผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์เซชันเป็นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ทั้งนี้การกำหนดอัตราส่วนผสมจะไม่คำนึงถึงปริมาณสารเคมีอื่นๆ และสมมติว่าน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีปริมาณเนื้อยางใกล้เคียง ร้อยละ 60

ในการกำหนดอัตราส่วนผสมจะเป็นการหาปริมาณของน้ำยางวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม สำหรับใช้ในการปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่กลับ ซึ่งเป็นอัตราส่วนคอนกรีตบล็อกผสมเก่าแก่กลับที่ผู้วิจัยพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ได้ จะมีน้ำหนักเบา และมีคุณภาพผ่านตามาตรฐาน มอก. กำหนด

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

สำหรับการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกเก่าแก่กลับจากโรงไฟฟ้าชีวมวลผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ จะเน้นการขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการที่ใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยทั่วไป ดังนี้

1. ตวงส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกเก่าแก่กลับเสริมเก่าแก่กลับตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1:เก่าแก่กลับ:ทรายละเอียด:น้ำ:น้ำยางวัลคาไนซ์: สารลดแรงตึงผิว โดยน้ำหนัก
2. เริ่มนำวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ และเก่าแก่กลับ) มาคลุกเคล้าให้เข้ากันทั้งหมด
3. แบ่งน้ำที่จะผสมออกเป็น 3 ส่วน โดยกำหนดให้ 2 ส่วนจาก 3 ส่วนนำไปผสมรวมกับน้ำยางวัลคาไนซ์และสารลดแรงตึงผิว ส่วนน้ำที่เหลืออีก 1 ส่วนให้เก็บไว้สำหรับผสมในช่วงต้นเพื่อทำการเคลือบโม
4. ทำการผสมของเหลวจากน้ำยางวัลคาไนซ์, สารลดแรงตึงผิว และน้ำ (2 ส่วนจาก 3 ส่วน) ให้เข้ากัน
5. เตรียมเครื่องผสมคอนกรีตหรือโม่ผสมและอุปกรณ์ต่างๆที่จะสัมผัสกับคอนกรีตสดให้อยู่ในสภาพชื้นเพื่อป้องกันการดูดความชื้นจากส่วนผสม
6. แบ่งวัสดุประสานที่ผสมออกเป็น 3 ส่วน แล้วจึงนำวัสดุประสานส่วนที่ 1 และน้ำ (ส่วนที่ไม่ได้ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์และสารลดแรงตึงผิว) ใส่ลงในโม่ตามลำดับ เพื่อทำการเคลือบโม
7. เติมทรายประมาณครึ่งหนึ่งของที่ตวงไว้ลงไป แล้วทำการผสมให้เข้ากัน
8. จากนั้นเติมทรายส่วนที่เหลือทั้งหมดลงไปพร้อมกับวัสดุประสานส่วนที่ 2 แล้วจึงสเปรย์ของเหลว (ส่วนที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์และสารลดแรงตึงผิว) ประมาณครึ่งหนึ่งของของเหลวทั้งหมดลงไปให้ทั่ว
9. ขณะที่ผสมส่วนผสมให้เข้ากัน ให้ทยอยเติมวัสดุประสานส่วนที่เหลือทั้งหมดลงไป ตลอดจนสเปรย์ของเหลวส่วนสุดท้ายลงไป
10. ทำการผสมจนเข้ากันโดยให้ใช้เวลาผสมไม่เกิน 10 นาที และขณะที่ทำการผสมควรมีการหยุดเครื่องเพื่อชะคอนกรีตที่ติดอยู่ข้างโม่ออก แล้วจึงทำการเดินเครื่องผสมต่อ
11. ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกเก่าแก่กลับโดยใช้เครื่องอัดไฮโดรลิก เพื่อให้การบดอัดเข้าแบบมีค่าเท่ากันโดยใช้แบบหล่อคอนกรีตบล็อกกลางขนาด $7 \times 19 \times 39$ ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 2 ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเก่าแก่กลับที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก

12. จากนั้นทิ้งไว้ 1 วัน จึงถอดแบบและยกตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเก่ากลับที่ขึ้นรูปไปบ่มในอากาศ และร่ม เป็นเวลา 7 วัน ในระหว่างนี้ห้ามเคลื่อนย้ายบล็อกทดสอบเป็นเวลา 2 วัน นับตั้งแต่วันที่เข้าแบบ แล้วจึงทำการทดสอบในขั้นตอนต่างๆ ต่อไป

การทดสอบขึ้นตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกเก่ากลับผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ จะเป็นการทดสอบโดยใช้มาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก หรือมาตรฐาน มอก.1505-2541 เรื่องชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบา แบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเป็นตัวกำหนด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกเก่ากลับผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มากที่สุด โดยมาตรฐานทั้ง 2 เรื่อง กำหนดให้ทำการทดสอบ ดังนี้

1. ความหนาแน่น ที่อายุ 14 วัน จำนวน 30 ตัวอย่าง ต่ออัตราส่วน
2. การดูดซึมน้ำ ที่อายุ 14 วัน จำนวน 30 ตัวอย่าง ต่ออัตราส่วน
3. การหดตัวแห้ง ที่อายุ 14 วัน จำนวน 30 ตัวอย่าง ต่ออัตราส่วน
4. ความต้านทานแรงอัด ที่อายุ 7, 14, 21, และ 28 วัน จำนวน 30 ตัวอย่าง ต่ออัตราส่วน

การทดสอบความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

ในการทดสอบความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อกเก่ากลับผสมน้ำยางวัลคาไนซ์นั้น จะดำเนินการทดสอบใน 2 ส่วน คือ

1. การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกให้มีขนาดประมาณ $1.5 \times 30 \times 30$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามที่มาตรฐาน ASTM C177-04 กำหนด จำนวนอัตราส่วนละ 3 ตัวอย่าง และดำเนินการทดสอบโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ
2. การทดสอบในห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการขนาด $1 \times 2 \times 2.5$ ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 ห้อง ผนังห้องเป็นไม้อัดและสังกะสีด้วยฉนวนป้องกันความร้อน 5 ด้าน ด้านหน้าเป็นแผ่นอะคริลิกใส ภายในติดตั้งแหล่งกำเนิดความร้อน (หลอดฮาโลเจน (Halogen Lamp) หรือหลอดไฟสปอร์ตไลท์ ขนาด 1,000 วัตต์ 220 โวลต์) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ, ความชื้น, และนาฬิกาจับเวลา ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ห้องทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้านต้นทุน

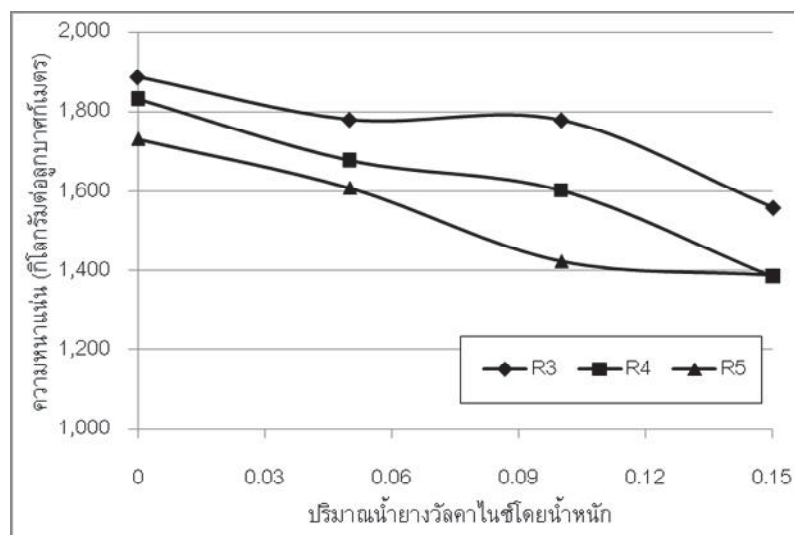
ทำการวิเคราะห์ต้นทุนและสมบัติด้านต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกแก้วผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนปริมาณแก้วและน้ำยางวัลคาไนซ์ที่ต่างกัน เพื่อสรุปว่า น้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมลงในคอนกรีตบล็อกผสมแก้วสามารถพัฒนาสมบัติในด้านต่างๆ ได้คุ้มค่ากับต้นทุนหรือไม่ นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ Sensitivity Analysis กับราคาน้ำยางพาราอีกด้วย

ผลและอภิปรายผล

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของคอนกรีตบล็อกแก้วผสมน้ำยางวัลคาไนซ์นั้น สามารถสรุปผลโดยแบ่งเป็นการทดสอบต่างๆ ได้ ดังต่อไปนี้

การทดสอบความหนาแน่น

สำหรับการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกแก้วผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ เป็นการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกแก้วและปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4



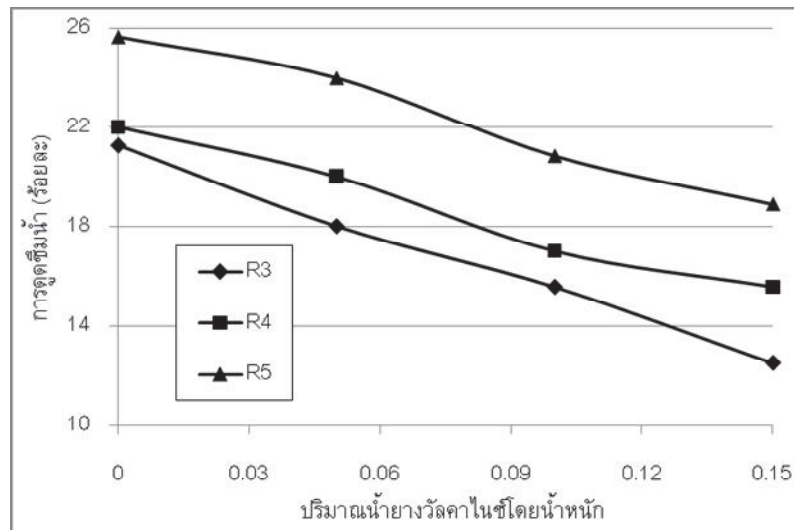
รูปที่ 4 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:แก้วเท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณต่างๆ ที่อายุ 14 วัน

จากรูปที่ 4 พบว่า น้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมลงในคอนกรีตบล็อก จะส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกแก้วที่ลดลง โดยคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณน้ำยางพารามากจะมีความหนาแน่นต่ำ และคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณน้ำยางพาราหรือไม่มีน้ำยางพาราเลยก็จะมีค่าความหนาแน่นสูง ดังจะเห็นได้จากความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกแก้วที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มากที่สุด จะมีความหนาแน่นต่ำเพียง 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่คอนกรีตบล็อกแก้วเดียวกันที่มีปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์น้อยที่สุดกลับมีความหนาแน่นสูงถึงประมาณ 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของยางพาราหรือโพลิเมอร์ที่แทรกตัวในคอนกรีตบล็อกแก้วนั้น เมื่อสัมผัสกับความเป็นด่างอ่อนๆ ของปูนซีเมนต์จะ

เกิดการจับตัว (Coalesce) เป็นฟิล์ม (Film) ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตมาก และยิ่งถ้ามีปริมาณของน้ำอย่างพaramาก แผ่นฟิล์มดังกล่าวก็จะจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกมากขึ้นอีก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่ลดลงได้

การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงไปปริมาณต่างๆ กันนั้น สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 5

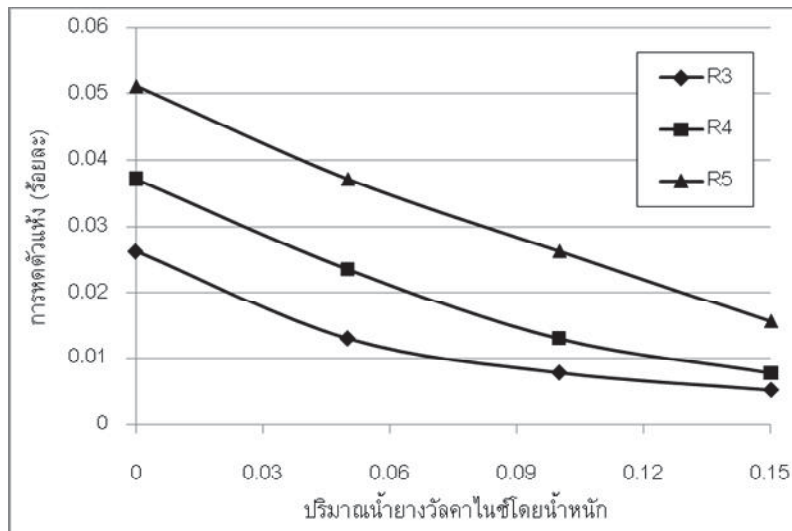


รูปที่ 5 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้าแกลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณต่างๆ ที่อายุ 14 วัน

จากรูปที่ 5 พบว่า การเพิ่มปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ในคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบ ทั้งอัตราส่วนปูน:เถ้าแกลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 มีผลทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงอย่างเห็นได้ชัด ตัวอย่างเช่น คอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้าแกลบ เท่ากับ 1:5 ปกติจะมีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 21 แต่เมื่อผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงไป 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงเหลือเพียง ร้อยละ 13 ทั้งนี้เนื่องจากแผ่นฟิล์มที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และยางธรรมชาติ ซึ่งแทรกอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบนั่น เป็นวัสดุที่มีความทึบน้ำ ดังนั้นแผ่นฟิล์มดังกล่าวจึงสามารถลดช่องว่างหรือส่วนที่มีความพรุนที่เชื่อมเป็นโพรงติดต่อกันภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกได้ ซึ่งมีผลต่อการลดการดูดซึมน้ำได้ดี โดยปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมในคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบมากที่สุด จะมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด ส่วนคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ จะมีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด โดยเป็นในลักษณะเดียวกันในทุกอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบ

การทดสอบการหดตัวแห้ง

การทดสอบการหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกเถ้าแกลบที่มีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์นั้น สามารถสรุปผลการทดสอบที่อายุ 14 วันได้ ดังรูปที่ 6

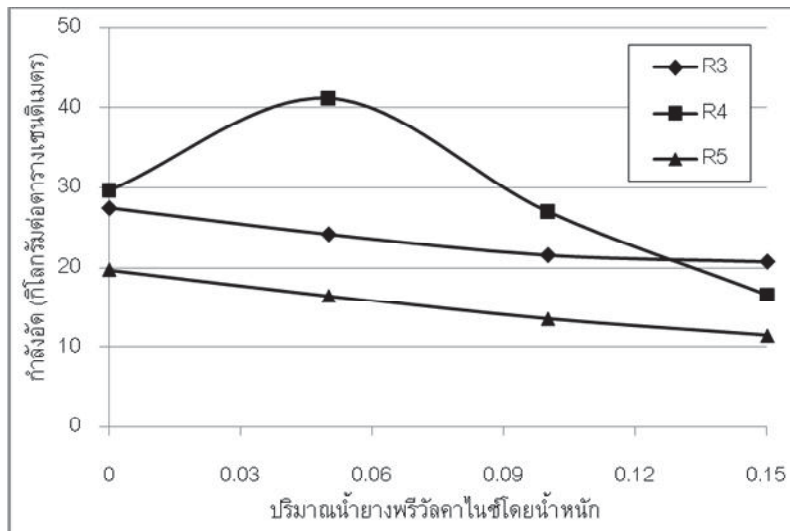


รูปที่ 6 การหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้ากลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณต่างๆ ที่อายุ 14 วัน

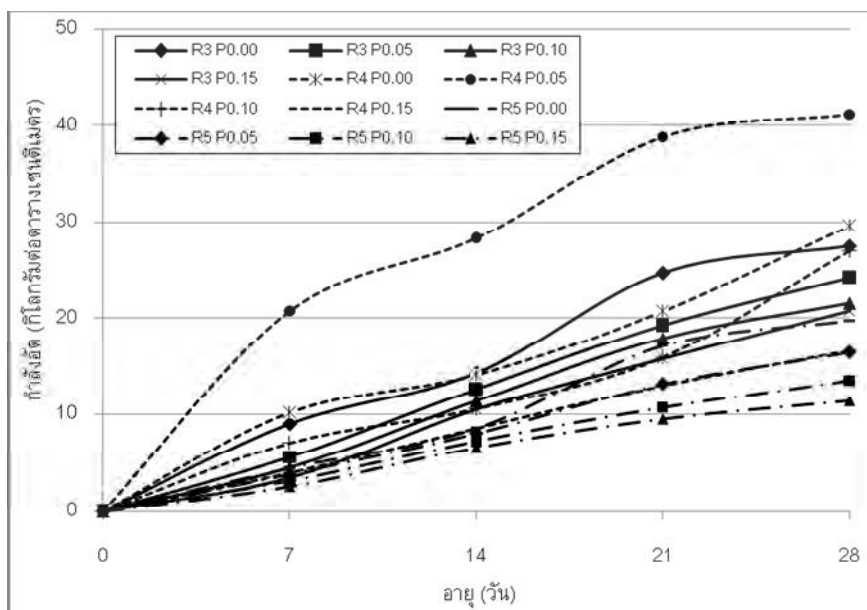
จากรูปที่ 6 พบว่า น้ำยางวัลคาไนซ์สามารถช่วยลดค่าการหดตัวแบบแห้ง (drying shrinkage) ซึ่งเป็นการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียความชื้นจากคอนกรีตไปสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทางโพรงคาปิลารี โดยจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านความยาวหรือปริมาตรของคอนกรีตบล็อกเถ้ากลบ ซึ่งปกติแล้วลักษณะของเถ้ากลบที่ผสมจะมีผิวที่ขรุขระเป็นเหลี่ยมคมมากกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้สามารถกักเก็บน้ำอิสระในอนุภาคได้มากทำให้ปริมาณความชื้นที่สูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น การหดตัวแบบแห้งจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังจะเห็นได้จาก ค่าการหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกเมื่อไม่มีปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่มีอัตราส่วนปูน: เถ้ากลบ เท่ากับ 1:5 จะหดตัวแบบแห้งมากที่สุด รองลงมาคือ 1:4, และ 1:3 หดตัวน้อยที่สุด ตามลำดับ ทั้งหมดนี้จะมีการหดตัวแห้งสูงกว่าร้อยละ 0.03 ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก แต่เมื่อมีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณที่สูงกว่า 0.10 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ คอนกรีตบล็อกดังกล่าวจึงมีค่าการหดตัวแห้งลดลงต่ำกว่าร้อยละ 0.03 ได้ เนื่องจากยารพาราที่เกิดปฏิกิริยาจนกลายเป็นฟิล์มนั้น จะทำให้น้ำภายในคอนกรีตบล็อกสูญเสียไปตามโพรงคาปิลารีได้ยากขึ้น ดังนั้นค่าการหดตัวแห้งหรือการขยายตัวอันเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำ จึงเกิดน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกที่ไม่ได้ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ รวมทั้งการที่อนุภาคของยางธรรมชาติที่แทรกเป็นแผ่นฟิล์มในช่องว่างต่างๆ ก็ช่วยให้การยืดหดตัวหรือขยายตัวทำได้ยากมากขึ้น

การทดสอบกำลังอัด

สำหรับผลการทดสอบกำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกเถ้ากลบที่มีการใช้น้ำยางวัลคาไนซ์เป็นส่วนผสมนั้น สามารถสรุปโดยแบ่งตามอัตราส่วนผสมต่างๆ ได้ ดังรูปที่ 7 ถึง 8



รูปที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้ากลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซีในปริมาณต่างๆ ที่อายุ 28 วัน



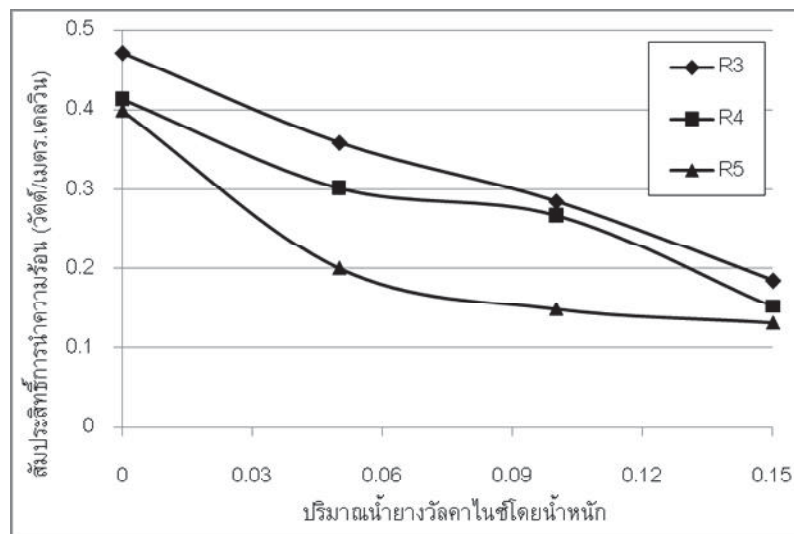
รูปที่ 8 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:เถ้ากลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซีในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 7 ถึง 8 พบว่า การผสมน้ำยางวัลคาไนซีในปริมาณที่เหมาะสมลงในคอนกรีตบล็อกเถ้ากลบ บางอัตราส่วน จะสามารถพัฒนากำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกเถ้ากลบได้ดี โดยอัตราส่วนปูน:เถ้ากลบของคอนกรีตบล็อกเถ้ากลบที่เหมาะสมต่อการพัฒนากำลังอัดมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 1:4 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เถ้ากลบสามารถเข้าไปแทรกตัวในคอนกรีตบล็อกแน่นที่สุด และเมื่อผสมน้ำยางวัลคาไนซีลงในคอนกรีตบล็อกดังกล่าวในปริมาณ 0.5 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะยิ่งทำให้กำลังอัดเพิ่มมากขึ้นไปอีก ในขณะที่หากผสมน้ำยางวัลคาไนซีมากเกินไปจะทำให้กำลังอัดลดลงได้ เนื่องจากน้ำยางวัลคาไนซีที่

ผสมลงในคอนกรีตบล็อกแก้วเคลบจะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นแผ่นฟิล์มภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกตามที่ได้กล่าวไปแล้ว และเมื่อพิจารณาแผ่นฟิล์มที่ได้จะเห็นว่า เป็นวัสดุจำพวกโพลีเมอร์ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นตัวสูง แต่จะไม่มี ความแข็งแรงเหมือนกับมวลรวมทั่วไปเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ ดังนั้นการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ใน ปริมาณที่เหมาะสมจึงเป็นการอาศัยสมบัติของความเหนียวสำหรับช่วยยึดอนุภาคของคอนกรีตบล็อกให้ยึดติดกันดีขึ้น แต่ถ้าผสมในปริมาณมากก็จะไปลดพื้นที่รับแรง ทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง โดยเฉพาะเมื่อแผ่นฟิล์มมาแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมหรือเคลือบที่ผิวหน้าของมวลรวม

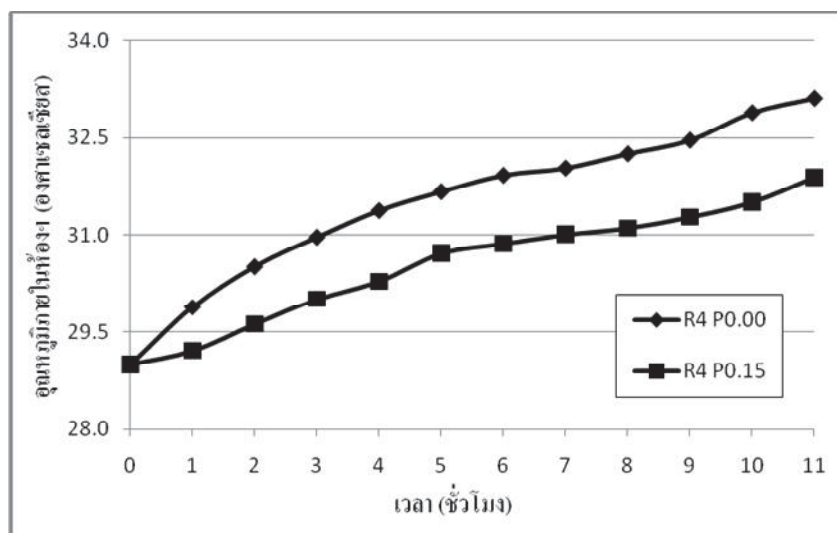
การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มียางพาราเป็นส่วนผสม เมื่อส่งตัวอย่างไปทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ค่า สปส.การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนปูน:แก้วเคลบ เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 ที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 9 พบว่า น้ำยางวัลคาไนซ์สามารถช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลบลงได้ โดยปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสมไปมากที่สุด จะช่วยลดสัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้ดีที่สุด ดังจะเห็นได้จากที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อแก้วเคลบเดียวกัน ปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะมีค่าต่ำกว่าที่ปริมาณ 0.05 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และต่ำกว่าที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี ประกอบกับขณะทำการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงไปก็มักจะเกิดฟองอากาศขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกขึ้นจำนวนหนึ่ง ซึ่งทำให้ความหนาแน่นและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดต่ำลง ทั้งนี้เมื่อทำการทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลบอัตราส่วนปูนซีเมนต์: แก้วเคลบ เท่ากับ 1:4 ทั้งที่มีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ปริมาณ 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ เมื่อวันที่ 2-3 มีนาคม พ.ศ. 2554 เวลา 19.30 – 06.30น. สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการทดสอบอุณหภูมิภาคสนามของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบอัตราส่วนปูนซีเมนต์: แก้วเคลือบเท่ากับ 1 : 4 ทั้งที่ไม่ผสมและผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ปริมาณ 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ณ ศูนย์การเรียนรู้อาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

จากรูปที่ 10 พบว่า คอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มีแนวโน้มจะสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องได้ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ประมาณ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ที่ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบทั่วไป เนื่องจากยางธรรมชาติที่แทรกอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกมีสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ดังนั้นความร้อนจึงไม่สามารถที่จะทะลุผ่านเข้ามาในผนังที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ได้มากนัก จึงทำให้อุณหภูมิภายในห้องที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกดังกล่าวต่ำกว่าอุณหภูมิในห้องที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ไม่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์

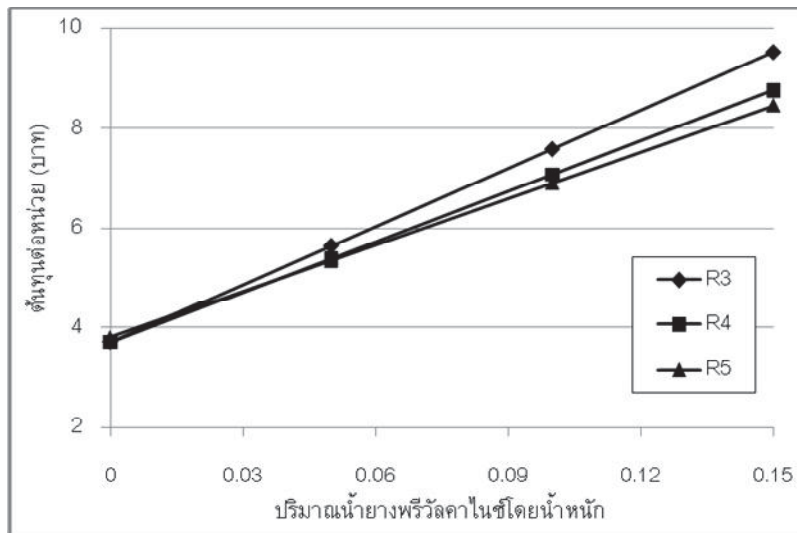
ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากต้นทุนของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในแต่ละอัตราส่วน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ต้นทุนต่อหน่วยของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบและคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์

น้ำยางฯ แก้วเคลือบ	0.00	0.05	0.10	0.15
R3	3.71	5.65	7.59	9.52
R4	3.70	5.39	7.07	8.76
R5	3.81	5.36	6.91	8.46

จากตารางที่ 4 พบว่า ต้นทุนส่วนใหญ่ของคอนกรีตบล็อกแก้วเคลือบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่ผสม (คิดเป็นร้อยละ 40 ถึง 60 ของต้นทุนทั้งหมด) ส่วนแก้วเคลือบที่ผสมนั้นมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนของคอนกรีตบล็อกดังกล่าวได้มาก ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของคอนกรีตบล็อกแก้วผสมน้ำยางวัลคาไนซ์

เนื่องจากแก้วที่ผสมมากขึ้นจะทำให้ได้จำนวนก้อนแต่ละครั้งของการผสมเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนทั้งหมดของคอนกรีตบล็อกแก้วที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์กับคอนกรีตบล็อกทั่วไปและอิฐมวลเบาในท้องตลาด จะเห็นได้ว่า ต้นทุนของคอนกรีตบล็อกที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์จะสูงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป แต่จะต่ำกว่าอิฐมวลเบาในท้องตลาดถึงประมาณร้อยละ 30 ถึง 70

สรุป

การผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงในคอนกรีตบล็อกแก้ว เป็นการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสมบัติทางประการของคอนกรีตบล็อกแก้ว โดยจากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกแก้วที่มีน้ำยางวัลคาไนซ์ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อแก้ว เท่ากับ 1:3, 1:4, และ 1:5 และปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10, และ 0.15 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์ สามารถสรุปข้อดีข้อด้อยของการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงในคอนกรีตบล็อกแก้วได้ ดังนี้

1. การผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ลงในคอนกรีตบล็อกแก้วสามารถช่วยลดความหนาแน่นลง อันจะส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกแก้วที่ลดลงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลดีต่อการขนส่งและน้ำหนักองค์อาคารที่จะลดลง
2. การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกแก้วสามารถลดลงได้อย่างมาก เมื่อผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้เกิดแผ่นฟิล์ม ซึ่งทำให้การก่อผนังไม่จำเป็นต้องใช้ปูนฉาบเพื่อกันซึมหรือลดการใช้น้ำยากันซึมลงได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาการแตกร้าวของปูนฉาบผนังที่เกิดจากการดูดซึมน้ำที่สูงของวัสดุก่อผนังได้อีกด้วย
3. การหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกแก้วมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มากขึ้น เนื่องจากน้ำยางวัลคาไนซ์จะไปลดการเกิดปฏิกิริยาภายในให้น้อยลง จากการที่น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ยาก ซึ่งมีส่วนต่อการแตกร้าวของผนัง
4. กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกแก้วจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากน้ำยางวัลคาไนซ์จะสามารถช่วยยึดเกาะของคอนกรีตบล็อกแก้วให้ยึดติดกันดีขึ้น

แต่ถ้าผสมในปริมาณมากก็จะไปลดพื้นที่ ในการรับแรงอัดทำให้กำลังอัดลดลง อย่างไรก็ตามจากสมบัติของน้ำ ยางวัลคาไนซ์ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นจะมีผลดีต่อการลดการแตกหักของคอนกรีตบล็อกถ้าเคลือบใน ระหว่างการขนส่งได้ดี

5. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกถ้าเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มีค่าที่ลดน้อยลง ตามปริมาณน้ำยางวัลคาไนซ์ที่เพิ่มมากขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลงจะช่วยให้อาคารมีความ เป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการใช้ยางวัลคาไนซ์สำหรับพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมถ้าเคลือบจาก โรงไฟฟ้าชีวมวล ทำให้สามารถเปรียบเทียบสมบัติของคอนกรีตบล็อกถ้าเคลือบที่ผสมน้ำยางวัลคาไนซ์จากการ วิจัยกับคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบา ประเภท ACC ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดได้ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สมบัติของคอนกรีตบล็อกถ้าเคลือบที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อถ้าเคลือบ เท่ากับ 1:4 และปริมาณ น้ำยางวัลคาไนซ์ 0.05 เท่าของน้ำหนักปูนซีเมนต์เทียบกับคอนกรีตบล็อก และคอนกรีตมวลเบา ประเภท ACC ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

สมบัติ	คอนกรีตบล็อก ถ้าเคลือบผสม น้ำยางวัลคาไนซ์	คอนกรีตบล็อก ในท้องตลาด	คอนกรีตมวลเบา ประเภท ACC ในท้องตลาด
ค่าความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	1.679	2.19	0.7 – 0.9
ค่าการดูดกลืนน้ำ (ร้อยละ)	20	6.49	~ 25
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)	41.15	128	50
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร.เคลวิน)	0.319	0.502	0.132
ต้นทุน (บาท/ก้อน)	5.39	4	16 – 20

จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาโดยรวม พบว่า คอนกรีตบล็อกถ้าเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ มีสมบัติ ทางกายภาพและ ทางกลที่ดีกว่าคอนกรีตบล็อกในท้องตลาด และใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาประเภท ACC แต่คอนกรีตบล็อกถ้าเคลือบผสมน้ำยางวัลคาไนซ์มีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาประเภท ACC ในด้านความ ทึบน้ำ และมีราคาถูกพอๆ กับคอนกรีตบล็อก จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงสมควรนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ คอนกรีตบล็อก สำหรับใช้ในงานวัสดุก่อที่มีน้ำหนักเบา ทึบน้ำ กำลังอัดผ่านตามมาตรฐาน และมีความเป็น ฉนวนป้องกันความร้อน

คำขอบคุณ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา ภายใต้สัญญาเลขที่ RDG5350033 และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

เอกสารอ้างอิง

1. พัลลภ มาศรักษา, 2548. การปรับปรุงวิธีการออกแบบส่วนผสมเอซีไอสำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะ, เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
2. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก, กรุงเทพฯ, กระทรวงอุตสาหกรรม.
3. โรงไฟฟ้าจังหวัดราชบุรี, 2549. คอนกรีตจากเถ้าลอย. ราชบุรี: โรงไฟฟ้าจังหวัดราชบุรี.
4. วัชรระ เพิ่มชาติ, 2548. อิฐมวลเบาจากเถ้าแกลบ. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2552. ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน, กรุงเทพฯ, บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย อุตสาหกรรม จำกัด.
6. วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549. ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน, กรุงเทพฯ, ห้างหุ้นส่วน จำกัด ซีโน ดีไซน์. ISBN 974-94199-8-7.
7. Muniandy, Em.V., 1998. "Concentrate Production, Factory Operation and Maintenance in Latex Concentrate & Prevulcanised latex". *Training Manual*, Malaysian Rubber Board, Malaysia, pp.1-2.
8. วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2544. อุตสาหกรรมการผลิตยางธรรมชาติ, เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตร Process and cleaner Technology in the Rubber Industry, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการ เกษตร. กรุงเทพฯ, 44-45.
9. วราภรณ์ และคณะ, 2544. "วิธีการทดสอบน้ำยางข้น". เอกสารวิชาการเลขที่ 2/2544, สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, หน้า 1-4.
10. พงษ์ธร แซ่ฮุย และชาคริต สิริสิงห, 2550. ยาง กระบวนการผลิตและทดสอบ, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). ISBN 978-974-229-092-4.
11. Ohama, Y.. 1987, Principle of Latex Modification and Some Typical Properties of Latex-Modified Mortars and Concretes, ACI Materials Journal, Title No. 84-M45, p 511-518.
12. สิทธิชัย ศิริพันธุ์, พิทักษ์ บุญนุ่น, กิจถาวร โลหะ, และอนุรักษ์ กำเนิดว่า. 2548, การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต, เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, ชลบุรี, หน้า MAT-205 – MAT-210.
13. ประชุม คำพุฒ, 2550. "การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ" วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ 30, ฉบับที่ 2, 363-376.
14. ประชุม คำพุฒ, 2549. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
15. ประชุม คำพุฒ, 2550. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มีการผสมน้ำยางพารา, โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

16. มนต์ชัย วงศ์สันติราษฎร์ และคณะ, 2548. **คอนกรีตบล็อกจากเถ้าลิกไนต์**. กรุงเทพฯ: ปรินญา นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
17. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2541. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1505-2541 เรื่องชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบา แบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ**, กรุงเทพฯ, กระทรวงอุตสาหกรรม.
18. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2517, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีต (มอก.109-2517)**, กทม.
19. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2517, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (มอก. 110-2517)**, กรุงเทพฯ.
20. American Society for Testing and Materials, 2004, **ASTM C 177**, Philadelphia.
21. ประชุม คำพุด, 2550. “การศึกษามอร์ตาร์ผสมน้ำยาขึ้นแบบแอมโมเนียปานกลาง” **การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 3**, ณ โรงแรมลองบีช การ์ดैन โฮเทล แอนด์ สปา, พัทยา, ชลบุรี, 24-26 ตุลาคม 2550, 168-175.
22. กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2550, **มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน (มยผ.1332-50)**, กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.
23. บุรฉัตร ฉัตรวีระ และทวิสันท์ คงทรัพย์, 2545, ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้ากลบดำจาก โรงสีข้าว, **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.**, ปีที่ 25 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2545.
24. ประชุม คำพุด, 2550. การใช้น้ำยาพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกัน ความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.** ปีที่ 30, เล่มที่ 2, หน้า 363-376.
25. Blow, C.M. and Hepburn C., 1982. **Rubber Technology and Manufacture**, Second Edition., Butterworth Scientific, p. 31.