



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การใช้น้ำอย่างพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก

โดย ประชุม คำพุ่ม และคณะ

ตุลาคม 2551

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การใช้น้ำอย่างพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. นายประชุม คำพุ่ม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2. นายประภาส วันทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3. นายอมเรศ บกสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
4. นายบุญชัย ผึ้งไผ่งาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็ก เรื่อง ยางพารา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การใช้น้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก
(ภาษาอังกฤษ) Using Natural rubber for Developing the Physical and Mechanical Properties of Concrete Block

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

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

นักศึกษา / ผู้ร่วมวิจัย นายประภาส วันทอง
นายอมเรศ บกสุวรรณ
นายบุญชัย ผึ้งไผ่งาม

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

งานวิจัยนี้เป็นการต่อยอดจากงานวิจัยเรื่อง การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ สัญญาเลขที่ RDG4950023 โดยจากผลการวิจัยเรื่องดังกล่าวพบว่า การผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตมวลเบา ให้ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต่ำมาก มีค่ากำลังอัดและกำลังดัดสูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาทั่วไป แต่ความหนาแน่นจะสูงกว่า และมีราคาเพิ่มขึ้นก่อนละ 1-2 บาท ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วไม่เหมาะที่จะทำเป็นมวลเบาเท่าใดนัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองในเบื้องต้นโดยการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก ปรากฏว่าได้คุณสมบัติที่ดีขึ้นทุกอย่าง และที่น่าทำการศึกษาเป็นอย่างยิ่งคือค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ทำการลองผสมจะต่ำมาก และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาทั่วไป แสดงว่ามีความเป็นไปได้ว่าเมื่อนำน้ำยางพารามาผสมในคอนกรีตบล็อกจะช่วยลดการดูดซึมน้ำ เพิ่มความสามารถในการรับกำลัง และเพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำน้ำยางพารามาช่วยปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก ที่ผสมน้ำยางพารา
2. เพื่อทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำยางพาราไปเป็นส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก ที่ผสมน้ำยางพารา
3. เพื่อทราบความหนาแน่นเชิงปริมาตร, การดูดกลืนน้ำ และการเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตบล็อกที่ผสมน้ำยางพารา
4. เพื่อทราบสมบัติการรับกำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตบล็อก ที่ผสมน้ำยางพารา
5. เพื่อทราบสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตบล็อก ที่ผสมน้ำยางพารา
6. เพื่อสร้างนักวิจัยรุ่นใหม่ทางด้านยางพาราและเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ทางด้านวัสดุก่อสร้างที่มียางพาราเป็นส่วนผสมออกสู่ท้องตลาด

ผลการดำเนินงาน

จากผลการทดสอบสมบัติทั้งทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มีการผสมน้ำยางพารา 4 อัตราส่วน คือ อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.00, 0.025, 0.050 และ 0.075 ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดมีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินปูน เท่ากับ 1: 4 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40 (ไม่คิดปริมาณน้ำในน้ำยางพารา) และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 ของน้ำหนักยางพารา ส่วนการพิจารณาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับใช้งานมากที่สุด

โดยเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก พบว่าสมบัติทางกายภาพ และทางกลของคอนกรีตบล็อกในอัตราส่วนต่างๆ มีความแตกต่างกันกับมาตรฐาน โดยสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ความหนาแน่น สำหรับผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารานั้น ไม่มีกำหนดค่ามาตรฐานไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยจากผลการทดสอบ พบว่า คอนกรีตบล็อกอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.075 มีค่าต่ำที่สุด รองลงมา คือ 0.050, 0.025 และอัตราส่วนที่ไม่มียางพารามีค่ามากที่สุด ตามลำดับ

2. การดูดซึมน้ำ ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำก็ไม่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เช่นเดียวกับความหนาแน่น แต่จากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตบล็อกที่มีน้ำยางพาราจะมีความทึบน้ำมากกว่า โดยคอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.075 มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมา คือ 0.050, 0.025 และอัตราส่วนที่ไม่มียางพารามีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด ตามลำดับ

3. กำลังอัด เป็นค่าที่มีระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยกำหนดให้คอนกรีตบล็อกต้องมีกำลังอัดไม่ต่ำกว่าประมาณ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนต่างๆ ของคอนกรีตบล็อก พบว่า ทุกอัตราส่วนมีค่ากำลังอัดที่ผ่านมาตรฐานได้ทั้งหมด โดยอัตราส่วนที่ไม่มียางพาราจะมีค่ากำลังอัดที่สูงที่สุด รองลงมา คือ อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.025, 0.050 และ 0.075 มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุดตามลำดับ

4. กำลังดัด เป็นค่าที่ไม่มีระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เช่นเดียวกับความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตบล็อกที่มีน้ำยางพาราจะสามารถรับแรงดัดได้สูงกว่าทั้งด้านขอบและด้านแบน โดยคอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.075 มีค่ากำลังดัดสูงที่สุด รองลงมา คือ 0.050, 0.025 และอัตราส่วนที่ไม่มียางพารามีค่ากำลังดัดต่ำที่สุด ตามลำดับ

5. การทดสอบการหดแห้ง เป็นอีกหนึ่งมาตรฐานที่มีระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และ มอก.110-2517 เรื่องวิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก ซึ่งกำหนดให้มีค่าการหดแห้งไม่เกิน ร้อยละ 0.03 ซึ่งผลการทดสอบสามารถผ่านมาตรฐานดังกล่าวได้ทั้งหมด โดยคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.075 มีค่าการหดแห้งต่ำที่สุด รองลงมา คือ 0.050, 0.025 และ ไม่มีการใส่ยางพาราเป็นอัตราส่วนที่มีค่าการหดแห้งสูงที่สุด

6. สมบัติการนำความร้อน เป็นค่าที่แม้จะไม่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก แต่ก็เป็นค่าที่สามารถบอกได้ถึงประสิทธิภาพการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อก ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า คอนกรีตบล็อกที่มีการผสมยางพาราในอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.075 มีค่าสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำที่สุด รองลงมา คือ 0.050, 0.025 และ อัตราส่วนที่ไม่มียางพารา มีค่าสมบัติการนำความร้อนสูงที่สุด

ดังนั้นเมื่อพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับนำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อก โดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ที่ทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กำหนด พบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.075 มีสมบัติที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีสมบัติหลักในด้านต่างๆ ที่ดีขึ้น เช่น ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสมบัติการนำความร้อนลดลง ส่วนกำลังดัดมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

การผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก เป็นการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของคอนกรีตบล็อก โดยจากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มียางพาราในอัตราส่วนยางพาราต่อคอนกรีตบล็อก เท่ากับ 0.000, 0.025, 0.050 และ 0.075 พบว่าการผสมยางพาราลงในคอนกรีตบล็อกมีข้อดี-ข้อด้อย ดังนี้

1. การผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อกสามารถช่วยลดความหนาแน่นลง อันจะส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่ลดลงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลดีต่อการขนส่งและน้ำหนักองค์อาคารที่จะลดลง

2. การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกสามารถลดลงได้ เมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้เกิดแผ่นฟิล์ม ซึ่งทำให้การก่อกวนไม่จำเป็นต้องใช้ปูนฉาบเพื่อกันซึมหรือลดการใช้น้ำยากันซึมได้

3. การผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อกนั้น ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงจากคอนกรีตบล็อกที่ไม่ผสมน้ำยางพารา เนื่องจากน้ำยางพาราจะเกิดปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์มในเนื้อคอนกรีต ซึ่งมีสมบัติยืดหยุ่นทำให้กำลังอัดลดลงได้

4. ผลจากการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก สามารถช่วยให้เพิ่มค่าในการรับแรงดัดได้มาก โดยเฉพาะเมื่อใส่น้ำยางในปริมาณที่สูง เนื่องจากน้ำยางที่ใส่จะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มคอยทำหน้าที่ยึดอนุภาคต่างๆ ให้รับแรงดัดได้ดีทั้งด้านขอบและด้านแบน (พฤติกรรมคล้ายกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับแรงดัด)

5. การหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมน้ำยางพารามากขึ้น เนื่องจากน้ำยางพาราจะไปลดการเกิดปฏิกิริยาภายในให้เกิดน้อยลง จากการที่น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ยาก

6. ผลจากการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก นอกจากจะช่วยให้สมบัติด้านความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กำลังดัด และการยืดหดตัวที่ดีขึ้นแล้ว ยังส่งผลดีต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดน้อยลงอีกด้วย โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง จะช่วยให้อาคารมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการใช้น้ำยางพารามาผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วนยางพาราท่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินปูน เท่ากับ 1: 4 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40 (ไม่คิดปริมาณน้ำในน้ำยางพารา) และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 ของน้ำหนักยางพารา ได้ปริมาณน้ำยางพาราท่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมมากที่สุดในครั้งนี้ เท่ากับ 0.075 โดยมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 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-องศาเซลวิน เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วแสดงว่าน้ำยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มได้ โดยช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น ดูดซึมน้ำต่ำลง และมีสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพาราจากผลการวิจัยกับคอนกรีตบล็อก และคอนกรีตมวลเบาที่มีจำหน่ายในท้องตลาดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารา ($P/C = 0.075$) คอนกรีตบล็อก และคอนกรีตมวลเบาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

คุณสมบัติ	คอนกรีตบล็อก ผสมน้ำยางพารา	คอนกรีตบล็อก ในท้องตลาด	คอนกรีตมวลเบา ในท้องตลาด
ค่าความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	1.91	2.2	0.7 – 0.9
ค่าการดูดกลืนน้ำ (ร้อยละ)	4.80	6.5	~ 25
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)	96	128	> 50
ค่าโมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	52 – 79	14 – 21	8
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร.เซลวิน)	0.139	0.502	0.089-0.132

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่า น้ำยางพาราสามารถพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลได้ดี ซึ่งคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารานี้ มีความสามารถในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกทั่วไปในท้องตลาด แต่ดีกว่าในด้านความทึบน้ำ ความสามารถในการรับแรงอัดและแรงดัดที่สูง ตลอดจนมีราคาที่ถูกพอๆ กับคอนกรีตบล็อกทั่วๆ ไป โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 1 บาท ต่อ คอนกรีตบล็อก 1 ก้อน จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงสมควรนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก สำหรับใช้ในงานวัสดุก่อที่ต้องการรับกำลังสูง และมีสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

สำหรับข้อเสนอแนะของการนำน้ำยางพารามาผสมลงในคอนกรีตบล็อก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสมบัติในด้านต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกต่อไป มีดังนี้

1. ควรหาอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ที่เหมาะสมในการทดลองครั้งต่อไป โดยทำการสมมติค่า P/C ที่นอกเหนือจาก 0.025, 0.05 และ 0.075 เป็นต้น

2. ควรศึกษากระบวนการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตบล็อกอย่างละเอียด เพื่อที่จะนำมาหาแนวทางการแก้ปัญหาในด้านของความต้านทานแรงอัด

5. ต้องทำการทดสอบการถูกกัดกร่อนเนื่องจากกรดซัลฟูริก และการกัดกร่อนและการขยายตัวเนื่องจากสารละลายซัลเฟต เพื่อให้ทราบว่าสามารถนำคอนกรีตบล็อกที่ผลิตไปใช้งานในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อนได้หรือไม่

6. ควรทำวิจัยร่วมกับโรงงานผู้ผลิตคอนกรีตบล็อกโดยตรง เพื่อที่จะได้ควบคุมคุณภาพของกระบวนการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนได้อย่างถูกต้อง และหากผลการวิจัยมีแนวโน้มในการใช้งานได้จริง ก็จะสามารถดำเนินการผลิตออกจำหน่ายได้ทันที

7. จากผลการศึกษาคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารา พบว่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้ มีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำยางพาราไปเป็นวัสดุผสมเพิ่มในคอนกรีตบล็อก เพื่อให้มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ซึ่งจะเป็นจุดเด่นในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงานและราคาถูก

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1. บทความตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการ
2. บทความการประชุมสัมมนาทางวิชาการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำยางธรรมชาติ (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 เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วแสดงว่าน้ำยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มได้ โดยช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น ดูดซึมน้ำต่ำลง และมีสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา

คำสำคัญ: ยางพารา, คอนกรีตบล็อก, การนำความร้อน, กำลังอัด

ABSTRACT

The aim of this research is to use latex from Para-rubber as an admixture for improving the strength and insulation properties of concrete block. In mix design, latex per cement ratios are 0.025, 0.050 and 0.075 (by weight of cement), no-charge surfactant is 4%(by weight of Para rubber), cement and quarry dust ratio is 1:4 w/w and water cement ratio is 0.40 (by weight not include the weight of Para-rubber). The suitable latex- cement ratio in testing is 0.075 (by weight of cement). The mechanical properties are obtained as follows. 1) Average water absorption at 28 days is 4.80% 2) Average compressive strength at 28 days is 96 ksc. 3) Average Modulus of Rupture at 28 days is 52 ksc. 4) The coefficient of thermal conductivity is 0.139 watt / (m. Kelvin). It can be seen that many properties are better than normal concrete block.

Keywords: Para-rubber, Concrete block, Thermal conductivity, Compressive strength

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ประเทศไทยมีพื้นที่ในการปลูกยางพารา 12.5 ล้านไร่ผลผลิต 3,032,420 ตัน มูลค่าการส่งออก 131,617,514 ล้านบาท [1] มีชาวสวนยางประมาณ 7 ล้านคน ภายใน ประเทศ ที่ช่วยกันปลูกสร้างประกอบอาชีพให้ยางพารากลายเป็นเศรษฐกิจหลักที่ทำรายได้เข้าประเทศในอันดับต้นๆ ของโลก และในปัจจุบันได้มีการใช้ยางภายใน ประเทศเพิ่มมากขึ้นจากปีละประมาณ 250,000 ตัน โดยเพิ่มขึ้นเท่าตัวเป็นปีละ 500,000 ตัน ในปี 2549 [2] เมื่อเป็นเช่นนี้รัฐบาล จึงได้มีนโยบายในการส่งเสริมสนับสนุนให้มีการปลูกยางพาราเพิ่มมากขึ้นในพื้นที่แถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และกำลังรอผลผลิตในอีก 2-3 ปีข้างหน้า แม้ว่าในปัจจุบันยางพาราจะมีราคาสูง อันเนื่องมาจากความต้องการใช้ยางในปริมาณมากขึ้น แต่ยางพาราเป็นสินค้าขั้นปฐมที่มีสินค้าอื่นทดแทนได้ค่อนข้างดี เช่น ยางสังเคราะห์ ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด และหลายเกรด หากราคายางพาราขึ้นสูงมาก ผู้ซื้อบางส่วนจะหันไปใช้วัสดุทดแทนอื่นได้ทันที ดังนั้นราคาของยางพารา จึงมีโอกาที่จะตกต่ำได้ในอนาคตอันใกล้

โครงการวิจัยยางพาราขนาดเล็กภายใต้กรอบโครงการวิจัยแห่งชาติ จึงถือได้ว่าเป็นแนวทางการป้องกันปัญหาราคาตกต่ำของยางพารา โดยมีการให้ลำดับความสำคัญในเรื่องของนวัตกรรมผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากยางพาราหรือใช้ยางพาราเป็นวัตถุดิบรวมมาเป็นอันดับแรก ประกอบกับปัญหาการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองภายในประเทศอันส่งผลให้ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่มีสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้รับความนิยมอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงมีการดำเนินการและขอทุนวิจัยในโครงการวิจัยยางพาราขนาดเล็ก เพื่อออกแบบคอนกรีตมวลเบาที่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสม โดยใช้ชื่อโครงการว่า “การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ” สัญญาเลขที่ RDG4950023 ซึ่งจากผลการวิจัยเรื่องดังกล่าวพบว่า การผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตมวลเบา ให้ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต่ำ มีค่ากำลังอัดและกำลังดัดสูง และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาทั่วไป แต่จะมีความหนาแน่นที่สูงกว่า และมีราคาเพิ่มขึ้นก่อนละ 1-2 บาท ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วไม่เหมาะที่จะทำเป็นมวลเบาเท่าใดนัก

ดังนั้นทางผู้วิจัย จึงเห็นว่าควรทำการวิจัยต่อไปในเรื่อง การใช้ยางพาราในคอนกรีตบล็อกแทน เนื่องจากคอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อผนังที่มีราคาถูกและเป็นที่ยอมรับมาตั้งแต่อดีต ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยนี้จะทำให้ทราบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มีการผสมน้ำยางพารา อันจะนำไปสู่การพัฒนาวัสดุก่อสร้างได้



รูปที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากยางพารา [3]

นอกจากนี้ยังถือได้ว่าเป็นการบูรณาการเทคโนโลยีของยางและวัสดุก่อสร้าง [4] ตลอดจนสร้างบุคลากรผู้เชี่ยวชาญในสายงานของยางพาราไว้รองรับกับสถานการณ์ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งไม่เป็นเพียงแต่การพัฒนา

ผลิตภัณฑ์เดิมของยางพาราที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้นเท่านั้น หากแต่เป็นการคิดค้นสรรหาวิธีการใหม่ๆ ที่จะส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีของยางพาราให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์แปรรูปที่หลากหลาย สำหรับรองรับความผันผวนของราคายางในอนาคต อันจะเป็นการช่วยให้น้ำยางพาราสามารถนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่นอกเหนือจากอุตสาหกรรมที่ใช้ยางพารากันอยู่แล้ว [5] ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมยางรถยนต์, รถจักรยานยนต์, ถังมียาง, ถังยางอนามัย, ยางรองแท่นเครื่อง, สายพานยาง, ยางรัดของ, สายยางทั่วไป และสายน้ำเกลือ เป็นต้น (รูปที่ 1)

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก โดยใช้ยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่ม

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

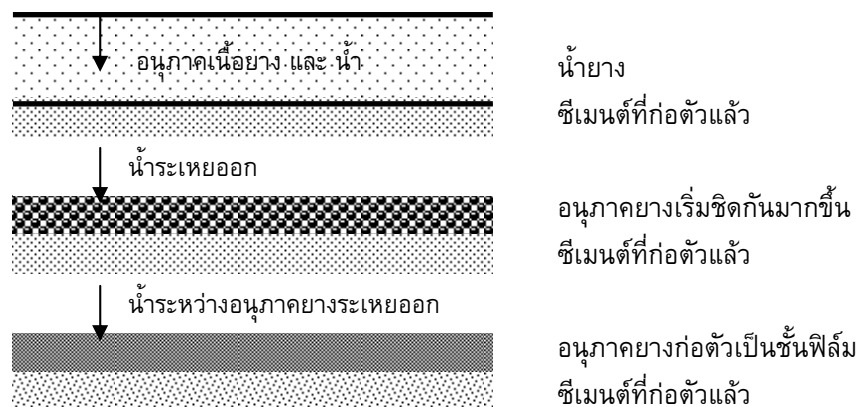
จากงานวิจัยเดิมที่ใช้ยางพาราสวมในคอนกรีตมวลเบา [6] พบว่าคุณสมบัติทางด้านความหนาแน่นและการเป็นฉนวนความร้อน ไม่สามารถทำให้ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาที่จำหน่ายในท้องตลาดได้ แต่คุณสมบัติด้านกำลังอัดและกำลังดัดสูงขึ้นมาก ซึ่งหากนำสมบัติที่ดีในการดำเนินงานที่ผ่านมาดังกล่าว มาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติที่ด้อยของคอนกรีตบล็อกที่มีความหนาแน่นมาก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง และความแข็งแรงต่ำได้ ก็จะสามารถผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกแบบใหม่ที่มีจุดเด่นในด้านการป้องกันการดูดซึมน้ำ และการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ซึ่งถ้าผลการวิจัยสำเร็จตามแนวคิดและแนวโน้มที่ได้จากการลองทดลองในขั้นต้นดังที่กล่าวมาแล้ว คอนกรีตบล็อกนี้จะมีสมบัติด้านการเป็นฉนวนกันความร้อนใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบา (คอนกรีตบล็อกทั่วไปมีสมบัติการเป็นฉนวนต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาประมาณ 4-5 เท่า) [7] มีการดูดซึมน้ำต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกทั่วไปมาก (การป้องกันการดูดซึมน้ำนี้นับเป็นจุดเด่นมาก) กำลังดัดสูงกว่าคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบามาก กล่าวโดยสรุปคือ หากนำยางพาราสวมในคอนกรีตคาคว่า คุณสมบัติเกือบทุกอย่างจะดีกว่าคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบา ยกเว้นน้ำหนักต่อก้อนเท่านั้นที่ยังสูงกว่าคอนกรีตมวลเบา (หนักเท่ากับคอนกรีตบล็อกทั่วไป) ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้กับโครงการบ้านจัดสรรมาก เพราะจุดประสงค์หลักที่บ้านจัดสรรใช้คอนกรีตมวลเบาในการก่อสร้างก็เพียงเพื่อการประหยัดพลังงาน [8] ส่วนในเรื่องน้ำหนักที่เบาเป็นจุดประสงค์รอง ซึ่งหากเป็นเช่นนี้คอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพาราที่ได้ จะนำใช้งานมากกว่า โดยมีข้อได้เปรียบที่ราคาต่อก้อนถูกกว่าคอนกรีตเบามาก (ราคาใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป)

ทั้งนี้ยางพาราหรือยางธรรมชาติที่นำมาผสมคอนกรีตบล็อกนั้น เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งทางเคมีจัดเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ (polymer) นั้น มีสมบัติพิเศษประการหนึ่งที่เป็นเอกลักษณ์ คือ มีความยืดหยุ่นสูง ทั่วไปจึงเรียกรวม ๆ ว่า “elastomer” [9] อย่างไรก็ตามตำราบางเล่มให้ความหมายคำว่า “elastomer” หมายถึง vulcanised product [10] น้ำยางสดจากต้นยางโดยทั่วไปมีปริมาณเนื้อยางแห้งตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไป และอาจถึงร้อยละ 45 (ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย) มีส่วนของสารที่ไม่ใช่ยางประมาณร้อยละ 5 นอกนั้นเป็นน้ำส่วนใหญ่ ดังนั้นเมื่อทำการขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่อยู่ไกล ๆ จึงควรทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้น เพื่อความประหยัดการขนส่ง ซึ่งระดับความเข้มข้นที่นิยม คือ ร้อยละ 60 เนื้อยางแห้งโดยทั่วไปเรียกว่า “น้ำยางข้น (concentrated latex)” โดยที่การใช้ยางข้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าการใช้ยางสด ทั้งนี้เนื่องด้วยสารที่ไม่ใช่เนื้อยางบางส่วนได้ถูกแยกออกจากน้ำยางขณะผ่านกรรมวิธีการทำให้น้ำยางข้นขึ้น วิธีการสำคัญสำหรับการผลิตน้ำยางข้น มี 4 วิธี คือ วิธีระเหยน้ำ (evaporation) วิธีการทำให้เกิดครีม (creaming) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electro decantation) และวิธีการปั่น (centrifuging) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมและทำกันเป็นการค้ามากที่สุดประมาณร้อยละ 90 ของการผลิตน้ำยางข้นทั้งหมด [11] โดยที่คุณภาพน้ำยางสดเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำยางข้นที่จะผลิต ดังนั้นสมบัติบางประการของน้ำยางสดจึงต้องตรวจสอบและควบคุม [12]

การผลิตน้ำยางข้นในประเทศส่วนใหญ่รักษาสภาพน้ำยางข้นด้วยปริมาณแอมโมเนียมาก (HA) จะมีเพียงส่วนน้อยที่รักษาสภาพด้วยปริมาณแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยบางชนิด มักเป็นระบบ LA-TZ อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการรักษาสภาพน้ำยางข้นด้วยระบบที่อยู่ระหว่าง HA กับ LA ซึ่งเรียกกันว่าน้ำยางชนิด MA (medium ammonia) [13] โดยขณะนี้ได้มีการซื้อน้ำยางชนิดนี้ตามความต้องการของลูกค้า โดยข้อจำกัดของสมบัติต่าง ๆ ของน้ำยางข้น โดยมาตรฐาน ISO นั้น ได้

กำหนดสมบัติที่สำคัญเพื่อใช้ในการคำนวณเพื่อออกส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางเป็นองค์ประกอบ คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง (total solids content; TSC) และปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content; DRC)

สำหรับการก่อตัวระหว่างคอนกรีตและน้ำยางพารานั้น ในปี ค.ศ. 1987, Ohama [14] ได้อธิบายการก่อตัวของคอนกรีตผสมน้ำยาง ไว้ว่า 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 [15]

ส่วนผลของการผสมน้ำยางพาราในคอนกรีต สามารถแบ่งได้ ดังนี้

ประชุม คำพุฒ 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 ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 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 พบว่าค่าการดูดกลืนน้ำจะแปรผันตรงกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นทำให้ค่าการดูดกลืนน้ำมากขึ้น ค่าความหนาแน่นจะแปรผกผันกับปริมาณของอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์โดยที่เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นลดลง ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจะแปรผกผันกับปริมาณอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ ในขณะที่ค่ากำลังดัดของคอนกรีตจะแปรผันตรงกับปริมาณอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ โดยที่เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นค่ากำลังอัดจะลดลงแต่ค่ากำลังดัดจะเพิ่มขึ้น ร้อยละการหดตัวจะน้อยลงเมื่อมีอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์มากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมจะยังไม่สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์จะมีผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวหรือไม่

สิทธิชัย ศิริพันธุ์ และคณะ [16] ได้ศึกษาการนำยางพารามาใช้พัฒนางานคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเทคนิคการผสมน้ำยางในคอนกรีตอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาถึงความสามารถเทได้ 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 น้ำยางผสมกับคอนกรีตได้ ด้วยการผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ สัดส่วน 4% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ด้านความสามารถเทได้พบว่า คอนกรีตจะยุบตัวแบบหวบทั้งหมด ในด้านกำลังพบว่า คอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัดลดลงประมาณ 60% และมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น โดยลักษณะการวิบัติ จะมีเส้นใยขนาดเล็กสีขาวยืดยาวไว้สำหรับกำลังรับแรงอัดพบว่า ลดลงประมาณ 10% ในแต่ละค่า P/C ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาการบ่มแห้งในอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 14 และ 28 วัน ที่ P/C = 0.15 และ 0.20 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะสูงขึ้นมากกว่าคอนกรีตปกติ เนื่องจากอนุภาคเนื้อยางเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์ม ที่แข็งแรงขึ้น จากผลการวิจัย เสนอแนะให้เลือกใช้ที่ W/C = 0.4 และ P/C = 0.15 ซึ่งจะได้กำลังรับแรงอัดมากกว่า 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุบ่มแห้ง 14 วัน ขึ้นไป อย่างไรก็ตามยังไม่เหมาะกับงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัด แต่อาจเหมาะกับงานซ่อมแซม เนื่องจากการยึดเหนี่ยวของน้ำยาง จะมีประโยชน์ในการเป็นตัวประสานกับคอนกรีตเดิม ทั้งนี้จึงควรศึกษาหาวิธีการพัฒนาคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตเพิ่มเติมเพื่อจะได้นำไปใช้งานในด้านอื่นเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งควรศึกษาในด้านของคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนอีกด้วย ว่าเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่

4. สมมติฐานการดำเนินงาน

การดำเนินงานเป็นการวิจัยภายใต้สมมติฐานที่ว่า การใช้น้ำยางพาราผสมเพิ่มลงในคอนกรีตบล็อก จะทำให้คอนกรีตบล็อกที่ได้จากการทดลองมีค่ากำลังอัดและกำลังดัดที่สูงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปที่มีขายอยู่ตามท้องตลาด และคอนกรีตบล็อกจะมีคุณสมบัติที่สามารถใช้เป็นฉนวนกันความร้อนของอาคารได้ดี อีกทั้งยังมีอัตราการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปกติเนื่องจากยางพาราที่เติมลงไปได้จับตัวกันเป็นแผ่นฟิล์มภายในเนื้อคอนกรีต [17]

วิธีการ

1. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1.1 น้ำยางธรรมชาติ (ยางพารา) จากจังหวัดระยอง ผสมสารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักยาง เพื่อรักษาสภาพน้ำยาง สำหรับการใช้งานยางพาราผสมลงในอัตราส่วนผสมนั้น ต้องทำการคำนวณเพื่อแปรปริมาณของเนื้อยางที่แท้จริง โดยจะอยู่บนฐานของค่า % TSC (Total Solid Content) เป็นหลัก ดังสมการที่ (1) เนื่องจาก % TSCจะมีความสะดวกในการทดสอบมากกว่าค่า % DRC (Dry Rubber Content)

$$\% \text{ TSC} = \{1 - [(W_1 - W_2) / (W_1)]\} \times 100 \quad \text{-----}(1)$$

เมื่อ %TSC คือ ร้อยละของสารที่เป็นของแข็งทั้งหมด
 W_1 คือ น้ำหนักของยางพาราสดก่อนอบ (กรัม)
 W_2 คือ น้ำหนักของยางพาราหลังอบ (กรัม)

1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

1.3 หินฝุ่น จากโรงโม่หิน ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง โดยทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4, 10, 16, 30, 50, 100 และ 200 แล้วผสมให้เข้ากันโดยวิธีการแบ่งสี่ ซึ่งเริ่มจากการแบ่งหินฝุ่นออกไป 4 กอง แล้วผสมกันตามมาตรฐานการผสมคอนกรีต (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 หินฝุ่น

1.4 สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) หรือชื่อทางเคมี Alkylphenol polyethylene glycol ether เพื่อให้น้ำยางพาราเข้ากันกับน้ำได้ขณะผสม เนื่องจากเมื่อสารดังกล่าวละลายน้ำจะไม่มีประจุให้ฟองน้อย และมีสมบัติในการรวมตัวเป็นไมเซลล์ที่ความเข้มข้นต่ำ จึงป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคส่วนผสมได้ดี

1.5 น้ำประปา

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 เครื่องผสมคอนกรีต เป็นเครื่องผสมที่ใช้ไฟฟ้า มีระดับความเร็ว 2 ระดับ มีแกนโลหะที่ใช้ติดใบพายได้ ใบพายหมุนด้วยความเร็วระดับต่ำเท่ากับ 140 ± 5 รอบต่อนาที อีกระดับหนึ่งหมุนด้วยความเร็ว 285 ± 10 รอบต่อนาที ภาชนะผสมมีความจุ 4.73 ลิตร (รูปที่ 4)

2.2 แบบหล่อทองเหลืองรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด $5 \times 5 \times 5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร (รูปที่ 5)

2.3 แบบหล่อตัวอย่างรูปคาน

2.4 กระบอกตวงขนาด 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.5 เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม

2.6 เวอร์เนียร์ ขนาดวัดระยะได้ 8-10 นิ้ว อ่านได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร

2.7 ตะแกรงร่อน ตามมาตรฐาน ASTM

2.8 เครื่องทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีต (Universal Testing Machine) สามารถอ่านค่าได้ตั้งแต่ 20 กิโลกรัม ถึง 20,000 กิโลกรัม (รูปที่ 6)

2.9 อุปกรณ์ที่ใช้ช่วยในการหล่อขึ้นตัวอย่างคอนกรีต เช่น เกรียง ช้อนตัก แปรงทาน้ำมัน เหล็กกระทุ้ง แปรงทองเหลืองทำความสะอาด

2.10 เตาดอบ

2.11 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อก (รูปที่ 7)

2.12 เครื่องบด (Los Angeles Machine) (รูปที่ 8)

2.13 อุปกรณ์การทดสอบการดูดซึมน้ำ

2.14 อุปกรณ์การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว



รูปที่ 4 เครื่องผสมคอนกรีต



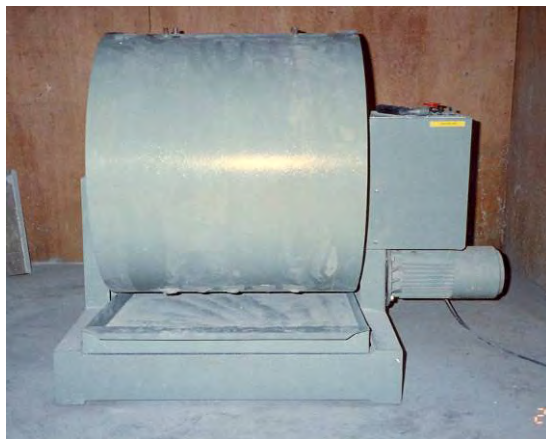
รูปที่ 5 แบบหล่อทองเหลืองขนาด $5 \times 5 \times 5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร



รูปที่ 6 เครื่องทดสอบกำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีต



รูปที่ 7 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 8 เครื่องบด Los Angeles Machine

3. การกำหนดอัตราส่วนผสม

ในการทำวิจัยจะมีการทดลองผสมและขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป โดยอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

3.1 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่น เท่ากับ 1: 4 โดยน้ำหนัก

3.2 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 โดยน้ำหนัก ก่อนการทดสอบให้ดำเนินการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมด้วยการทดสอบกำลังอัดที่ อายุ 7 วัน จากนั้นจึงนำมาผสมกับอัตราส่วนอื่นๆ ต่อไป

3.3 อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0, 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

3.4 การผสมปูนซีเมนต์เข้ากับยางพารา ต้องผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักยางพารา ซึ่งผู้วิจัยพบว่า อัตราส่วนดังกล่าวมีความเหมาะสมในด้านระยะเวลาการก่อตัว หากใส่มากกว่านี้จะเป็นการสิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ

4. การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

4.1 ผสมวัสดุทั้งหมดโดยใช้ไม่ผสม มีวิธีการคือ ชั่งน้ำหนักวัสดุ จากนั้นผสมปูนซีเมนต์กับหินฝุ่นก่อน แล้วจึงเติมน้ำ ปริมาณร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำทั้งหมด ส่วนน้ำที่เหลือต้องเติมเข้าไปด้วยความสม่ำเสมอจนส่วนผสมเข้ากันดี โดยใช้เวลาประมาณ 2 นาที

4.2 นำส่วนผสมที่ได้มาผสมซ้ำในเครื่องผสมแบบใบพัดอีก 30 วินาที เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันดียิ่งขึ้น

4.3 หลังจากการผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันก่อนแล้ว จึงเติมน้ำยางพาราเป็นอันดับสุดท้าย (สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุให้ผสมลงไปพร้อมกับน้ำยางพารา)

4.4 ทำการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดมือ เทส่วนผสมแบบแบ่งเป็น 3 ชั้น โดยทำการเทแต่ละชั้นให้แน่นพอสมควร หลังจากเทชั้นสุดท้ายเสร็จให้เติมส่วนผสม และทำการปาดผิวหน้าให้เสมอกัน ทำการอัดโดยการโยกคานเหล็กจนรู้สึกว่ายอกไม่ลงแล้ว

4.5 จากนั้นทำการโยกคานเหล็กในลักษณะโยกปล่อยอีก 25 ครั้ง แล้วโยกคานเหล็กขึ้นเพื่อทำการนำคอนกรีตบล็อกออกจากแบบ (รูปที่ 9)

4.6 ยกคอนกรีตบล็อกออกจากเครื่องอัด ทำการเคาะฐานรองออกจากก้อนตัวอย่าง ทิ้งก้อนตัวอย่างให้แห้งในอากาศเพื่อนำมาทดสอบ โดยก้อนตัวอย่างที่ได้จะมีขนาด $0.13 \times 0.25 \times 0.14$ ลูกบาศก์เมตร (รูปที่ 15)

4.7 ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตบล็อกตามที่มาตรฐานการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลกำหนด เพื่อนำมาทดสอบในด้านต่างๆ ด้วย



รูปที่ 9 การนำก้อนคอนกรีตบล็อกออกจากเครื่องอัด



รูปที่ 10 การผึ่งก้อนคอนกรีตบล็อกในสภาพบรรยากาศ

5. การทดสอบชิ้นตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

สำหรับการทดสอบชิ้นตัวอย่างคอนกรีตบล็อกนั้น ใช้ตัวอย่างทดสอบ อัตราส่วนละ 100 ตัวอย่าง ต่อการทดสอบ

5.1 การทดสอบหาความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 [18] โดยมีวิธีการทดสอบโดยย่อดังนี้

- 1) เลือกคอนกรีตบล็อกที่อยู่ในสภาพเรียบร้อย มาวัดขนาด และชั่งน้ำหนักให้ละเอียด
- 2) นำคอนกรีตบล็อกตัวอย่างเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง
- 3) นำคอนกรีตบล็อกตัวอย่างชั่งน้ำหนักให้ละเอียด และถือว่าเป็นตัวอย่างคอนกรีตบล็อกแห้ง
- 4) นำคอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่ชั่งแล้วไปแช่ลงในน้ำกลั่นจนท่วมเป็นเวลา 1/2 ชั่วโมง ยกคอนกรีตบล็อกออกใช้ผ้าเปียกซับน้ำบนผิวให้แห้งแล้วนำไปชั่งใหม่ให้เสร็จภายในเวลา 3 นาที
- 5) นำคอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่ชั่งแล้วตาม ข้อ 3) ไปแช่ในน้ำกลั่นต่ออีกจนครบ 24 ชั่วโมง แล้วปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3) โดยให้ถือว่าตัวอย่างที่แช่น้ำแล้วนี้เป็นตัวอย่างที่ดูดซึมน้ำแล้ว

5.2 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน ASTM C 62-69 โดยมีวิธีการทดสอบโดยย่อดังนี้

- 1) แบ่งคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบด้านแบน (Flat-wise) และด้านขอบ (Edge-wise)
- 2) ทำการวัดขนาดมิติต่างๆ ให้ละเอียด 0.1 เซนติเมตร แล้วชั่งน้ำหนักโดยอ่านให้ละเอียด 0.5 กรัม
- 3) จัดวางตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเข้าสู่เครื่องมือทดสอบให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการทดสอบ (กรณีที่น่าคอนกรีตบล็อกด้านไม่เรียบมารับแรงอัด ต้องฉาบผิวให้เรียบก่อนด้วยปูนปลาสเตอร์ แล้วนำเหล็กที่มีความหนาพอประมาณวางทับด้านบนอีกชั้นหนึ่ง)
- 4) ให้น้ำหนักจนผิวหน้าหัวกดสัมผัสกับเหล็กที่วางทับพอดี จากนั้นปรับเข็มน้ำหนักที่หน้าปัทม์ให้อ่านค่าเท่ากับศูนย์
- 5) เริ่มทดสอบโดยให้อัตราเร็วของหัวกดไม่เกิน 1,000 กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร หรือ 0.6 มิลลิเมตรต่อนาที ให้น้ำหนักกระทำต่อเนื่องจนคอนกรีตบล็อกแตกหัก
- 6) อ่านค่าน้ำหนักที่กระทำสูงสุด ทำการบันทึกค่า พร้อมทั้งวาดรูปลักษณะการแตกหักของชิ้นคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง
- 7) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2) – 6) กับชิ้นคอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่เหลือ โดยทดสอบทั้งแบบขอบ (Edge-wise) และ แบบแบน (Flat-wise) ตามที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 11 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตบล็อก

5.3 การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน ASTM C 62-69 โดยมีวิธีการทดสอบโดยย่อดังนี้

- 1) แบ่งคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบด้านแบน (Flat-wise) และด้านขอบ (Edge-wise)
- 2) ทำเครื่องหมายที่คอนกรีตบล็อกตัวอย่าง แล้ววัดขนาดมิติต่างๆ ให้ละเอียด 0.1 เซนติเมตร จากนั้นชั่งน้ำหนักโดยอ่านให้ละเอียด 0.5 กรัม
- 3) ตั้งฐานรองรับกว้าง 150 มิลลิเมตร แล้ววางตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเพื่อทดสอบ
- 4) ให้น้ำหนักกระทำตรงกึ่งกลาง Span length พอดี ปรับเข็มน้ำหนักที่หน้าปัดให้ชี้ที่ศูนย์
- 5) เริ่มให้น้ำหนักกระทำอย่างสม่ำเสมอ ในอัตราไม่เกิน 10,000 นิวตันต่อนาที หรือใช้ความเร็วไม่เกิน 1.0 มิลลิเมตรต่อนาที
- 6) ให้น้ำหนักกระทำจนกระทั่งคอนกรีตบล็อกหัก แล้วบันทึกค่าแรงกระทำสูงสุด
- 7) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2) – 6) กับชิ้นคอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่เหลือ โดยทดสอบทั้งแบบขอบ (Edge-wise) และ แบบแบน (Flat-wise) ตามที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 12 การทดสอบกำลังดัดคอนกรีตบล็อก

5.4 การทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน มอก.110-2517 [19] โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

- 1) แช่ก้อนตัวอย่างที่จะหาการหดแห้งในน้ำที่อุณหภูมิ 23.0 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
- 2) วัดความยาวเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบ ให้อ่านความยาวเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างในลักษณะที่อิมมิดี โดยให้ก้อนตัวอย่างวางอยู่ในถังน้ำ ให้แนวเส้นสำหรับวัดอยู่ในระดับเดียวกับผิวน้ำโดยประมาณ ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดเนื่องจากการที่ก้อนตัวอย่างเย็นลงเพราะการระเหย การอ่านความยาวของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบจะต้องทำพร้อมกับการอ่านความยาวของแท่งมาตรฐาน
- 3) หาน้ำหนักอิมมิดีผิวแห้งของก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบสภาพอิมมิดีผิวแห้ง ได้โดยการระบายน้ำจากก้อนตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที บนตะแกรงตา 9 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า และซับน้ำที่ติดตามผิวหน้าด้วยผ้าหมาด
- 4) เก็บก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบในตู้อบแห้ง เพื่ออบให้แห้ง ในบางกรณีมีข้อยกเว้น โดยยอมให้ทำก้อนตัวอย่างให้ผิวแห้งด้วยอากาศภายในห้องทดลองก่อนนำเข้าตู้อบ เพื่อให้แน่ใจว่าการอบแห้งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอควรหมุนเวียนก้อนตัวอย่างแต่ละก้อนไปอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ ในตู้อบแห้งทุกครั้งที่ทำ การอ่าน
- 5) เมื่อทำการอบแห้งครบห้าวัน รวมช่วงเวลากการทำให้แห้งในอากาศระยะแรกถึง 48 ชั่วโมง จึงนำตัวอย่างทดสอบการหดแห้งออกจากตู้อบ และทำให้เย็นลงถึง 23.0 ± 1 องศาเซลเซียส หลังจากเย็นลงแล้ววัดความยาวชั่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่าง และอ่านความยาวแท่งมาตรฐานด้วย

6) นำก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบกลับเข้าสู่อบแห้ง เพื่อทำการอบแห้งในรอบที่สอง ช่วงเวลาการอบแห้งสำหรับรอบที่สองและรอบต่อไป เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ต่อจากการอบแห้งในรอบที่สอง ทำให้เย็นซ้ำอีก อ่านความยาวและวัดน้ำหนักดังกล่าวในข้อ 5)

7) อบแห้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในตู้ต่อไป แล้วอ่านความยาวและวัดน้ำหนักหลังจากทำให้เย็นภายใต้ภาวะที่กำหนด จนกระทั่งถึงภาวะสมดุลของการหดตัวของก้อนตัวอย่าง ภาวะสมดุลเกิดเมื่อผลเฉลี่ยความยาวของก้อนตัวอย่างที่เปลี่ยนเท่ากับร้อยละ 0.002 หรือ ต่ำกว่าในช่วงเวลาการอบแห้ง 6 วัน และเมื่อการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยใน 48 ชั่วโมง ของการอบแห้งเป็น ร้อยละ 0.2 หรือต่ำกว่า เมื่อเทียบกับน้ำหนักที่หาได้ในครั้งสุดท้าย



รูปที่ 13 การทดสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีตมวลบล็อก

5.5 ทำการทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C177 [20] ที่ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์

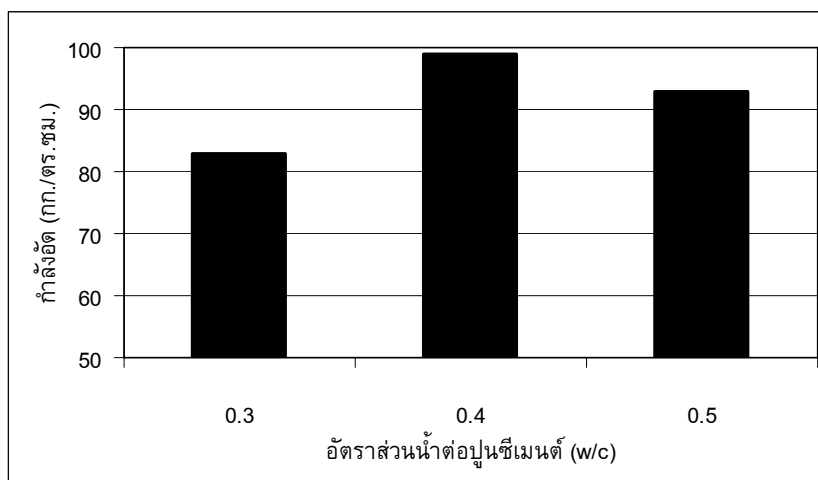


รูปที่ 14 ตัวอย่างสำหรับทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ขนาด 30x30x1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ผลการวิจัย

การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตมวลบล็อกที่มีน้ำยางธรรมชาติหรือน้ำยางพาราผสมอยู่นั้นสามารถสรุปผลโดยแบ่งเป็นการทดสอบต่างๆ ได้ เริ่มจากการหาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก (ไม่รวมน้ำหนัก

ของน้ำในน้ำยางพารา) ที่เหมาะสมจากอัตราส่วน เท่ากับ 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 นำมาทดสอบค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วัน ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 15

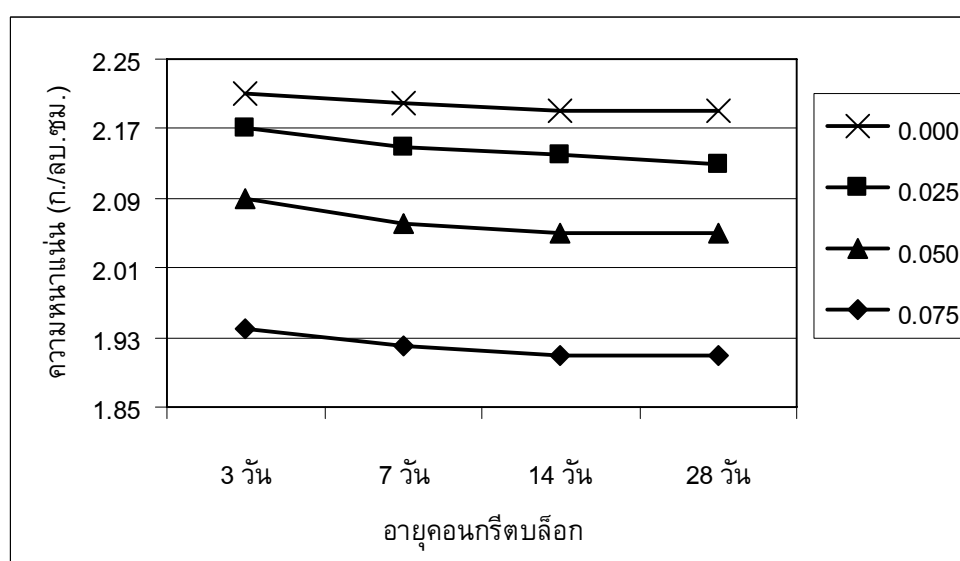


รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) ของคอนกรีตบล็อก

จากรูปที่ 15 พบว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับใช้อัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารา เท่ากับ 0.4 โดยมีค่ากำลังอัดประลัยที่อายุคอนกรีต 7 วัน สูงที่สุด คือ 99 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนอัตราส่วนน้ำ ต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.2 นั้น ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อกได้ ทั้งนี้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ของคอนกรีตบล็อกที่มีน้ำยางธรรมชาติหรือน้ำยางพาราผสมอยู่นั้น สามารถสรุปผลโดยแบ่งเป็นการทดสอบต่างๆ ได้ ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบความหนาแน่น

สำหรับการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่ผสมน้ำยางพาราเป็นการทดสอบ เพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักและปริมาณของคอนกรีตบล็อก อันเนื่องมาจากการผสมน้ำยางพาราลงไป โดยผลการทดสอบความ หนาแน่น มีดังรูปที่ 16

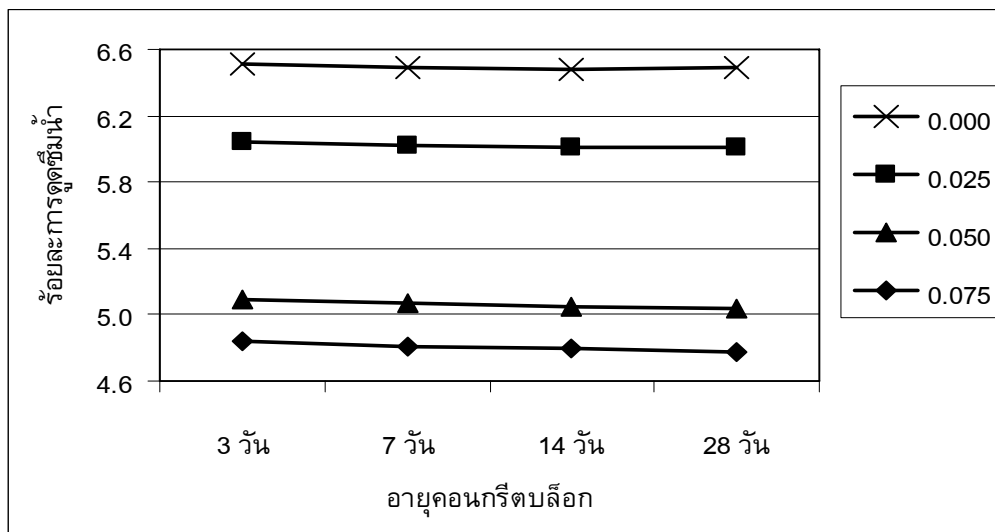


รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก (P/C) ของคอนกรีตบล็อก

จากรูปที่ 16 พบว่าการผสมน้ำยาราลงในคอนกรีตบล็อก จะส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกอย่างมาก โดยคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณน้ำยาราลมากจะมีความหนาแน่นต่ำ และคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณน้ำยาราลน้อย หรือไม่มีน้ำยาราลเลยก็จะมีค่าความหนาแน่นที่สูง ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของยางพาราหรือโพลิเมอร์ที่แทรกตัวในคอนกรีตบล็อกนั้น เมื่อสัมผัสกับความเป็นด่างของปูนซีเมนต์จะเกิดการจับตัว (Coalesce) เป็นฟิล์ม (Film) ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตมาก และยิ่งถ้ามีปริมาณของน้ำยาราลมากแผ่นฟิล์มดังกล่าวก็จะจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกมากขึ้นอีก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกลดลงได้

2. การทดสอบการดูดซึมน้ำ

สำหรับผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่มีการใส่น้ำยาราลลงไปในส่วนผสมนั้น สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 17

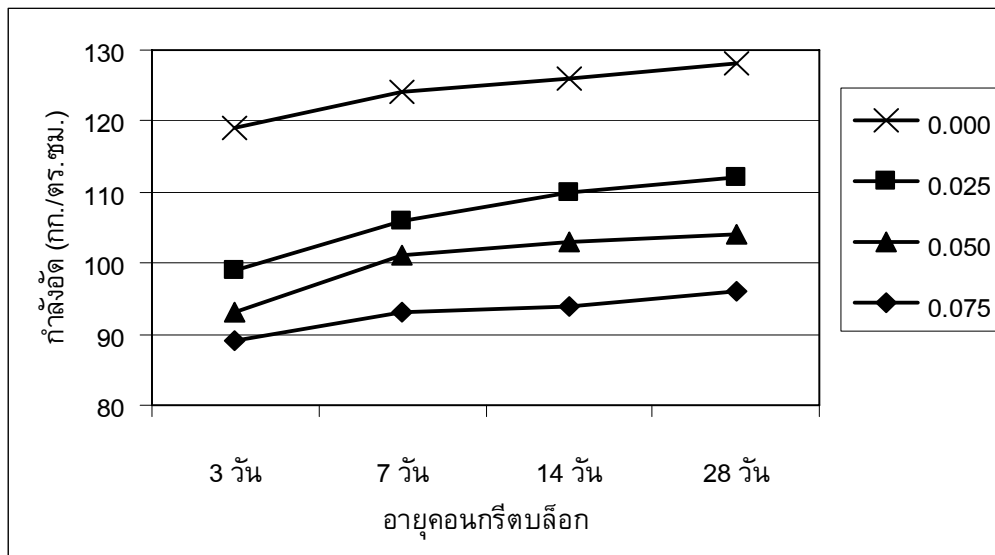


รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก (P/C) ของคอนกรีตบล็อก

จากรูปที่ 17 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยาราลในคอนกรีตบล็อกมากขึ้น จะมีผลทำให้อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกช่วงอายุของคอนกรีตบล็อก เนื่องจากปฏิกิริยาของน้ำยาราลที่ก่อให้เกิดแผ่นฟิล์มแทรกภายในเนื้อคอนกรีตบล็อก [21] ซึ่งแผ่นฟิล์มเหล่านี้มีสมบัติที่ไม่ดูดซึมน้ำ จึงทำให้เมื่อมีปริมาณของน้ำยาราลในคอนกรีตบล็อกมากขึ้น คอนกรีตบล็อกก็จะยิ่งทึบน้ำขึ้นเช่นกัน

3. การทดสอบกำลังอัด

สำหรับผลของการใส่น้ำยาราลเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกนั้น มีผลต่อกำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 18

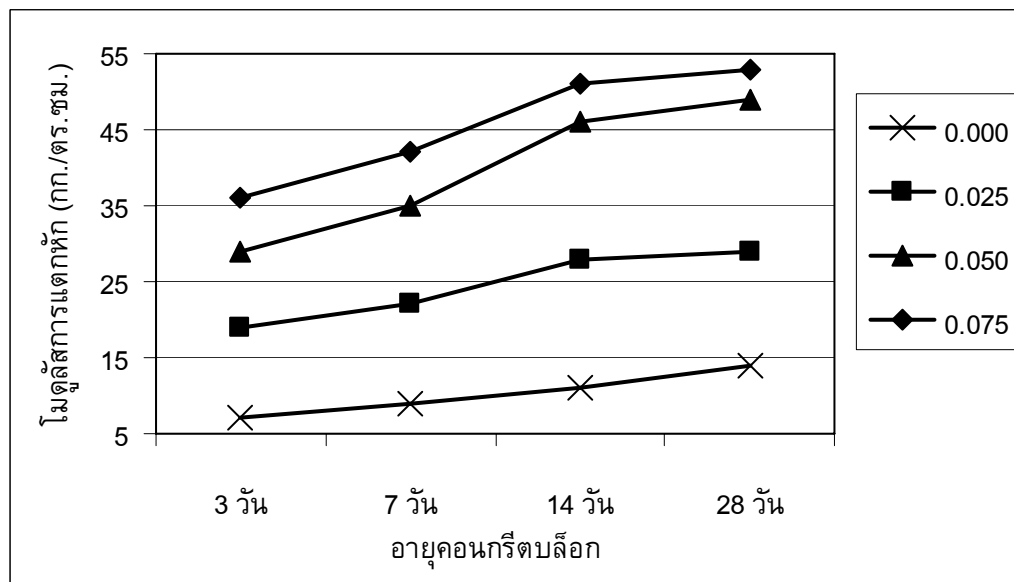


รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก (P/C) ของคอนกรีตบล็อก

จากรูปที่ 18 พบว่าค่ากำลังอัดจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นจะทำให้ค่ากำลังอัดลดลง [22] เนื่องจากเมื่อน้ำยางพาราผสมในคอนกรีตบล็อก จะเกิดการทำให้ปฏิกิริยาแล้วกลายเป็นแผ่นฟิล์มภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกนั้น แผ่นฟิล์มที่เกิดขึ้นนี้ก็เป็นโพลิเมอร์ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นตัวสูง ไม่มีความแข็งแรงเหมือนกับมวลรวมทั่วไป ความสามารถในการรับแรงอัดจึงมีน้อย เมื่อมาแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมหรือเคลือบที่ผิวหน้าของมวลรวมในเนื้อคอนกรีต จึงส่งผลให้พื้นที่รับแรงของคอนกรีตบล็อกลดลง อันจะทำให้กำลังอัดลดลงมากอีกด้วย

4. การทดสอบกำลังดัด

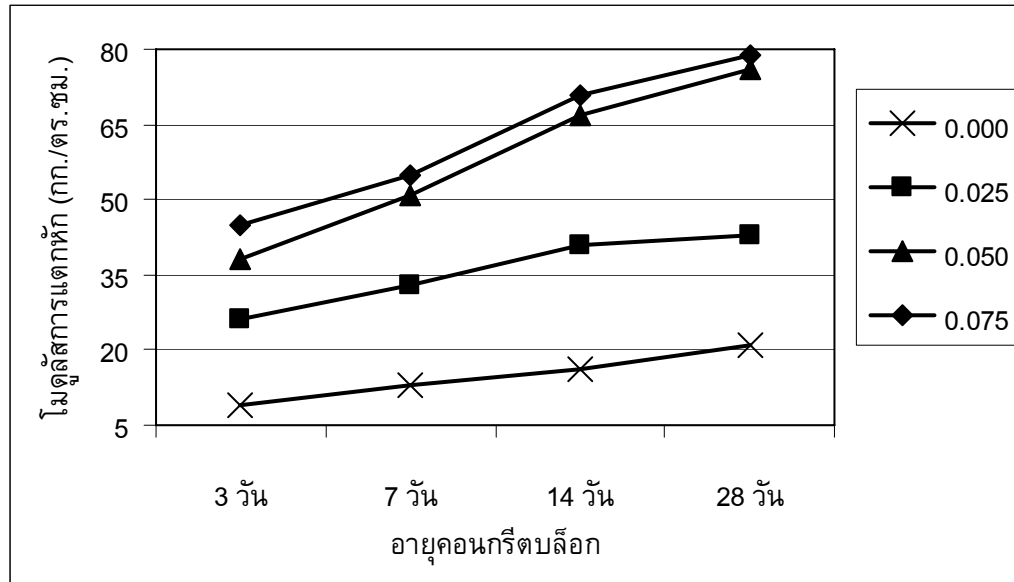
การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตบล็อกที่มีการผสมน้ำยางพารานั้น สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 19 (แบน) และรูปที่ 20 (ขอบ)



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัด (ด้านแบน) และอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก (P/C) ของคอนกรีตบล็อก

จากรูปที่ 19 พบว่า ค่าโมดูลัสการแตกหักของคอนกรีตบล็อกจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออายุของคอนกรีตบล็อกมากขึ้น และเมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องจากแผ่นฟิล์มและเส้นใยยางที่เกิดจากน้ำยางพาราซึ่งแทรกอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกนั้น นอกจากจะไปเคลือบอยู่ที่ผิวหน้าของมวลรวมแล้วนั้น ส่วนหนึ่งจะก่อตัวมีลักษณะเรียงซ้อนตัวกันใน

แนวนอนเป็นแผ่นจากด้านล่างขึ้นมาสู่ด้านบน ซึ่งในขณะที่คอนกรีตรับแรงดัดนั้น แผ่นฟิล์มจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด (Binder) ที่ช่วยเสริมแรงคล้ายกับเหล็กเสริมในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึงและยืดหยุ่นตัวได้มากกว่าเดิม โดยการที่ยิ่งใส่น้ำยางพารามากขึ้นก็จะทำให้คอนกรีตบล็อกมีปริมาณของแผ่นฟิล์มที่มากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงทำให้คอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณยางพารามากสามารถรับกำลังดัดได้ดี

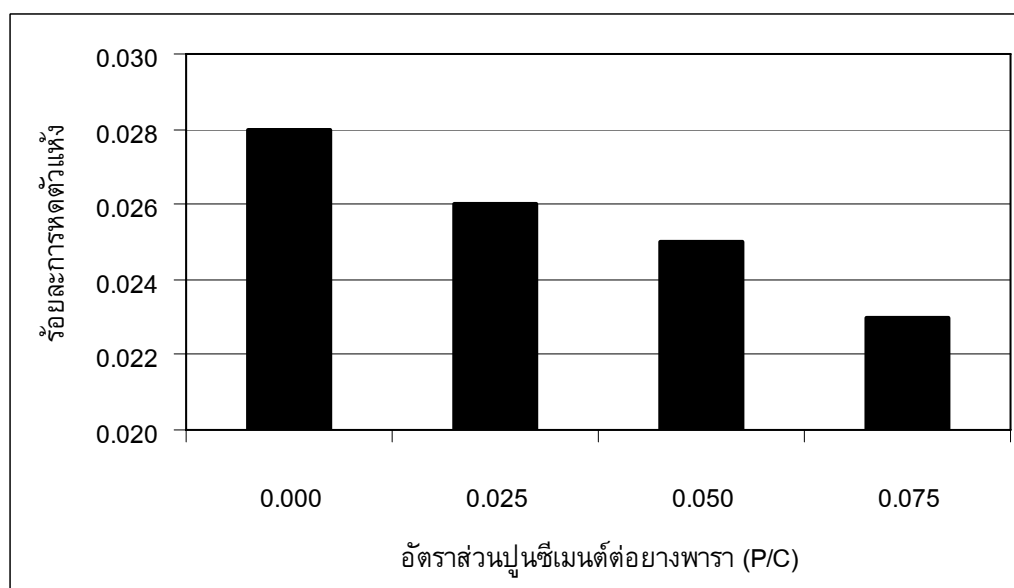


รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัด (ด้านขอบ) และอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก (P/C) ของคอนกรีตบล็อก

สำหรับผลการทดสอบกำลังดัดด้านขอบนั้น มีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลการทดสอบกำลังดัดที่ด้านแบน แต่กำลังดัดที่ด้านขอบจะมีค่าสูงกว่าเนื่องจากลักษณะของหน้าตัดที่เอื้อต่อการรับกำลังดัดมากกว่าด้านแบน

5. การทดสอบการหดแห้ง

การทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารานั้น เป็นการทดสอบที่ใช้เวลานานในน้ำและตู้อบแห้ง แล้ววัดการหดตัวของคอนกรีตบล็อก ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบที่คอนกรีตบล็อก อายุ 28 วัน ได้ดังรูปที่ 21

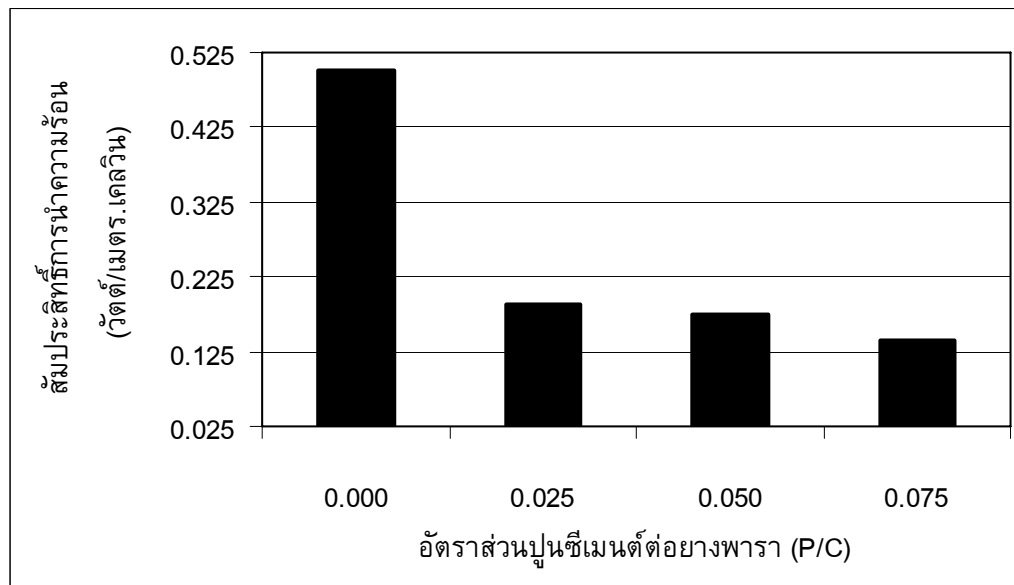


รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการหดตัวแห้งและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก (P/C) ของคอนกรีตบล็อก

จากผลการทดสอบร้อยละการหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกในรูปที่ 21 พบว่าน้ำยางพาราสามารถช่วยลดอัตรา การหดตัวแบบแห้งได้ โดยผลการทดสอบทั้งหมดสามารถผ่านมาตรฐานที่กำหนดค่าไว้ประมาณ ร้อยละ 0.03 ทั้งนี้ เนื่องจากยางพาราที่เกิดปฏิกิริยาจนกลายเป็นฟิล์มนั้น จะช่วยให้การผ่านเข้าออกชื้นงานของน้ำขณะทดสอบทำได้ยากมาก ขึ้น ทำให้การขยายตัวอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกที่ไม่มียางพารา ประกอบกับการที่ อนุภาคของยางพาราที่แทรกเป็นแผ่นฟิล์มในช่องว่างต่างก็ช่วยให้การยึดหดตัวหรือขยายตัวทำได้ยากมากขึ้น

6. การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มียางพาราเป็นส่วนผสม เมื่อส่งตัวอย่างไป ทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก (P/C) ของคอนกรีตบล็อก

จากรูปที่ 22 พบว่าเมื่อผสมน้ำยางพาราจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงกว่าการที่ไม่ผสมน้ำ ยางพาราอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่มากขึ้นก็จะยิ่งทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน น้อยลงตามไปด้วย เนื่องจากยางมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี ประกอบกับเมื่อผสมน้ำยางพาราลงไป จะ ทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมาก แพร่กระจายเข้าไปในเนื้อคอนกรีตบล็อก [23] ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกจะลดลง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยลง ส่งผลให้มีสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนดียิ่งขึ้น

7. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ราคาของน้ำยางพาราที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้อยู่ที่ประมาณกิโลกรัมละ 100 บาท ซึ่งเป็นราคาที่สูงมาก แต่เมื่อนำมา ผสมเพิ่มในคอนกรีตบล็อกแล้ว จะทำให้คอนกรีตบล็อกมีต้นทุนค่าวัสดุเพิ่มขึ้นแค่อ่อนละ ประมาณ 1 บาท เท่านั้น ซึ่งนับว่า มีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง ที่จะนำคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารามาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างอาคารทั่วไป เพื่อลดการ สิ้นเปลืองพลังงานภายในอาคาร เนื่องจากคุณสมบัติเด่นด้านการเป็นฉนวนกันความร้อน [24] อีกทั้งยังช่วยลดการแตกหัก เสียหายขณะทำการขนส่งอีกด้วย

วิจารณ์ผล

จากผลการทดสอบสมบัติทั้งทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มีการผสมน้ำยางพารา 4 อัตราส่วน คือ อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.00, 0.025, 0.050 และ 0.075 ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดมีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อหินปูน เท่ากับ 1:1:7 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40 (ไม่คิดปริมาณน้ำในน้ำยางพารา) และใส่สาร

ลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 ของน้ำหนักยางพารา ส่วนการพิจารณาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับใช้งานมากที่สุด โดยเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก [25] พบว่าสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกในอัตราส่วนต่างๆ มีความแตกต่างกันกับมาตรฐาน โดยสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ความหนาแน่น สำหรับผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารานั้น ไม่มีกำหนดค่ามาตรฐานไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยจากผลการทดสอบ พบว่า คอนกรีตบล็อกอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.075 มีค่าต่ำที่สุด รองลงมา คือ 0.050, 0.025 และอัตราส่วนที่ไม่มียางพารามีค่ามากที่สุด ตามลำดับ

2. การดูดซึมน้ำ ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำก็ไม่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เช่นเดียวกับความหนาแน่น แต่จากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตบล็อกที่มีน้ำยางพาราจะมีความทึบน้ำมากกว่า โดยคอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.075 มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด รองลงมา คือ 0.050, 0.025 และอัตราส่วนที่ไม่มียางพารามีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด ตามลำดับ

3. กำลังอัด เป็นค่าที่มีระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยกำหนดให้คอนกรีตบล็อกต้องมีค่ากำลังอัดไม่ต่ำกว่าประมาณ 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนต่างๆ ของคอนกรีตบล็อก พบว่า ทุกอัตราส่วนมีค่ากำลังอัดที่ผ่านมาตรฐานได้ทั้งหมด โดยอัตราส่วนที่ไม่มียางพารามีค่ากำลังอัดที่สูงที่สุด รองลงมา คือ อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.025, 0.050 และ 0.075 มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุดตามลำดับ

4. กำลังดัด เป็นค่าที่ไม่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เช่นเดียวกับความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตบล็อกที่มีน้ำยางพาราจะสามารถรับแรงดัดได้สูงกว่าทั้งด้านขอบและด้านแบน โดยคอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.075 มีค่ากำลังดัดสูงที่สุด รองลงมา คือ 0.050, 0.025 และอัตราส่วนที่ไม่มียางพารามีค่ากำลังดัดต่ำที่สุด ตามลำดับ

5. การทดสอบการหดแห้ง เป็นอีกหนึ่งมาตรฐานที่มีระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และ มอก.110-2517 เรื่องวิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก ซึ่งกำหนดให้มีค่าการหดแห้งไม่เกิน ร้อยละ 0.03 ซึ่งผลการทดสอบสามารถผ่านมาตรฐานดังกล่าวได้ทั้งหมด โดยคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.075 มีค่าการหดแห้งต่ำที่สุด รองลงมา คือ 0.050, 0.025 และ ไม่มีการใส่ยางพาราเป็นอัตราส่วนที่มีค่าการหดแห้งสูงที่สุด

6. สมบัติการนำความร้อน เป็นค่าที่แม้จะไม่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก แต่ก็ เป็นค่าที่สามารถบอกได้ถึงประสิทธิภาพการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของคอนกรีตบล็อก ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า คอนกรีตบล็อกที่มีการผสมยางพาราในอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.075 มีค่าสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำที่สุด รองลงมา คือ 0.050, 0.025 และ อัตราส่วนที่ไม่มียางพารา มีค่าสมบัติการนำความร้อนสูงที่สุด

ดังนั้นเมื่อพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับนำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อก โดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ที่ทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กำหนด พบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.075 มีสมบัติที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีสมบัติหลักในด้านต่างๆ ที่ดีขึ้น เช่น ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าสมบัติการนำความร้อนลดลง ส่วนกำลังดัดมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นต้น

สรุปผล

การผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก เป็นการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของคอนกรีตบล็อก โดยจากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มียางพาราในอัตราส่วนยางพาราต่อคอนกรีตบล็อก เท่ากับ 0.000, 0.025, 0.050 และ 0.075 พบว่าการผสมยางพาราลงในคอนกรีตบล็อกมีข้อดี-ข้อด้อย ดังนี้

1. การผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อกสามารถช่วยลดความหนาแน่นลง อันจะส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่ลดลงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลดีต่อการขนส่งและน้ำหนักองค์อาคารที่จะลดลง

2. การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกสามารถลดลงได้ เมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้เกิดแผ่นฟิล์ม ซึ่งทำให้การก่อกวนไม่จำเป็นต้องใช้ปูนฉาบเพื่อกันซึมหรือลดการใช้น้ำยากันซึมได้

3. การผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อกนั้น ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงจากคอนกรีตบล็อกที่ไม่ผสมน้ำยางพารา เนื่องจากน้ำยางพาราจะเกิดปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์มในเนื้อคอนกรีต ซึ่งมีสมบัติยืดหยุ่นทำให้กำลังอัดลดลงได้

4. ผลจากการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก สามารถช่วยให้เพิ่มค่าในการรับแรงดัดได้มาก โดยเฉพาะเมื่อใส่น้ำยางในปริมาณที่สูง เนื่องจากน้ำยางที่ใส่จะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มคอยทำหน้าที่ยึดอนุภาคต่างๆ ให้รับแรงดัดได้ดีทั้งด้านขอบและด้านแบน (พฤติกรรมคล้ายกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับแรงดัด)

5. การหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมน้ำยางพารามากขึ้น เนื่องจากน้ำยางพาราจะไปลดการเกิดปฏิกิริยาภายในให้เกิดน้อยลง จากการที่น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ยาก

6. ผลจากการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก นอกจากจะช่วยให้สมบัติด้านความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กำลังดัด และการยืดหดตัวที่ดีขึ้นแล้ว ยังส่งผลดีต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดน้อยลงอีกด้วย โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง จะช่วยให้อาคารมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการใช้น้ำยางพารามาผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วนยางพาราท่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินปูน เท่ากับ 1: 4 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40 (ไม่คิดปริมาณน้ำในน้ำยางพารา) และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 ของน้ำหนักยางพารา ได้ปริมาณยางพาราท่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมมากที่สุดในครั้งนี้เท่ากับ 0.075 โดยมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 4.80 ค่ากำลังอัดและกำลังดัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 96 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนนั้นมีค่าต่ำมาก เท่ากับ 0.139 วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วแสดงว่าน้ำยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มได้ โดยช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น ดูดซึมน้ำต่ำลง และมีสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมน้ำยางพาราจากผลการวิจัยกับคอนกรีตบล็อก และคอนกรีตมวลเบาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารา ($P/C = 0.075$) คอนกรีตบล็อก และคอนกรีตมวลเบาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

คุณสมบัติ	คอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารา	คอนกรีตบล็อกในท้องตลาด	คอนกรีตมวลเบาในท้องตลาด
ค่าความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	1.91	2.19	0.7 – 0.9
ค่าการดูดกลืนน้ำ (ร้อยละ)	4.80	6.49	~ 25
ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.)	96	128	> 50
ค่าโมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)	52 – 79	14 – 21	8
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร.เคลวิน)	0.139	0.502	0.089-0.132

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่า น้ำยางพาราสามารถพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลได้ดี ซึ่งคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารานี้ มีความสามารถในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตบล็อกทั่วไปในท้องตลาด แต่ดีกว่าในด้านความทึบน้ำ ความสามารถในการรับแรงอัดและแรงดัดที่สูง ตลอดจนมีราคาที่ถูกพอๆ กับคอนกรีตบล็อกทั่วๆ ไป โดยค่าวัสดุจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1 บาท ต่อ คอนกรีตบล็อก 1 ก้อน จากผลการวิจัยดังกล่าวจึงสมควรนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก สำหรับใช้ในงานวัสดุก่อที่ต้องการรับกำลังสูง และมีสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะของการนำน้ำยางพารามาผสมลงในคอนกรีต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสมบัติในด้านต่างๆ ของคอนกรีตบล็อกต่อไป มีดังนี้

1. ควรหาอัตราส่วนยางพาราคอปูนซีเมนต์ (P/C) ที่เหมาะสมในการทดลองครั้งต่อไป โดยทำการสมมติค่า P/C ที่นอกเหนือจาก 0.025, 0.05 และ 0.075 เป็นต้น
2. ควรศึกษากระบวนการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตบล็อกอย่างละเอียด เพื่อที่จะนำมาหาแนวทางการแก้ปัญหาในด้านของความต้านทานแรงอัด
5. ต้องทำการทดสอบการถูกกัดกร่อนเนื่องจากกรดซัลฟูริก และการกัดกร่อนและการขยายตัวเนื่องจากสารละลายซัลเฟต เพื่อให้ทราบว่าสามารถนำคอนกรีตบล็อกที่ผลิตไปใช้งานในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน เช่น บ้านพักริมทะเล หรือบริเวณเขตอุตสาหกรรมได้หรือไม่
6. ควรทำวิจัยร่วมกับโรงงานผู้ผลิตคอนกรีตบล็อกโดยตรง เพื่อที่จะได้ควบคุมคุณภาพของกระบวนการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนได้อย่างถูกต้อง และหากผลการวิจัยมีแนวโน้มในการใช้งานได้จริง ก็จะสามารถดำเนินการผลิตออกจำหน่ายได้ทันที
7. จากผลการศึกษาคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารา พบว่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้ มีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำยางพาราไปเป็นวัสดุผสมเพิ่มในคอนกรีตบล็อก เพื่อให้มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป ซึ่งจะเป็นจุดเด่นในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงานและราคาถูก

เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกชัย พฤษอำไพ, 2547, คู่มือยางพารา, เพ็ท-แพลน พับลิชชิง, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, 352 หน้า.
- [2] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2548, ประกาศการขอรับทุนโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา, โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม, 7 หน้า.
- [3] ไอลดา เรนเรื่อง, การใช้ประโยชน์จากยางพารา. เข้าถึงได้จาก: <http://www.yangpara.com>, 2548.
- [4] วราภรณ์ ขจรไชยกูล และคณะ, 2544, วิธีการทดสอบน้ำยางข้น. เอกสารวิชาการเลขที่ 2/2544, สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร, หน้า 1-4.
- [5] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2544. อุตสาหกรรมการผลิตยางธรรมชาติ, เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตร "Process and cleaner Technology in the Rubber Industry", สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร, หน้า 46-47.
- [6] ประชุม คำฟูผ, 2549, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การใช้ยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 22 หน้า.
- [7] ครรชิต เหลียงไพบูลย์, ฉนวนป้องกันความร้อนกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม, วารสารประสิทธิภาพพลังงาน, ฉบับที่ 58.
- [8] สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สสอ.), ฉนวนความร้อน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, <http://www2.dede.go.th/dede/homesafe/book/acc.htm>.
- [9] Craig, A.S., 1969. **Dictionary of Rubber Technology**. London Newnes-Butter Worths, p. 59.
- [10] Blow, C.M. and Hepburn C., 1982. **Rubber Technology and Manufacture**. Second Edition., Butterworth Scientific, p. 31.
- [11] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549. ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน. 1,500 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซีโนดีไซน์.

- [12] Muniandy, Em.V., 1998. "Concentrate Production, Factory Operation and Maintenance" in Latex Concentrate & Prevulcanised latex, **Training Manual**, Malaysian Rubber Board, Malaysia, pp. 1-2.
- [13] วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2544. อุตสาหกรรมการผลิตยางธรรมชาติ, เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตร **"Process and cleaner Technology in the Rubber Industry"**, สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร, หน้า 44-45.
- [14] 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.
- [15] สิทธิชัย ศิริพันธุ์, พัทธ์ชัย บุญนุ่น, กิจถาวร โลหะ และ อนรรักษ์ กำเนิดว่า, 2548, "การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนา งานคอนกรีต" เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10, ชลบุรี, หน้า MAT-205 - MAT-210.
- [16] ประชุม คำพุ่ม, 2550. การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 30, เล่มที่ 2, หน้า 363-376.
- [17] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2517, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมความหนาแน่น ความชื้น และการ ดูดซึมน้ำของคอนกรีต (มอก.109-2517)**, กทม.
- [18] American Society for Testing and Materials, 2001, **ASTM C 62-69.**, Philadelphia.
- [19] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2517, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบการหดแห้งของ คอนกรีตบดบล็อก (มอก. 110-2517)**, กรุงเทพฯ.
- [20] American Society for Testing and Materials, 2001, **ASTM C 177**, Philadelphia.
- [21] 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.
- [22] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์, 2548, "เทคโนโลยีของยาง", ภาควิชาวัสดุศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 14.
- [23] สีนรัตน์ ภัทรธรรมกุล, 2537, "ผลกระทบของมวลสารและสีต่อความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังอาคาร", วิทยานิพนธ์คณะ สถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [24] วิจิต สุวรรณปรีชา, 2548, **อิฐมวลเบาพารากรีต**, เข้าถึงได้จาก: <http://www.thailandrubber.thaigov.net>.
- [25] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2533, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบดบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533)**, กรุงเทพฯ.

เอกสารคำชี้แจง

ประเด็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

1. การเขียนบทคัดย่ออย่างไม่ถูกต้อง หลักการเขียนบทคัดย่อให้เขียนว่างานวิจัยนี้ ทำอะไร ทำอย่างไร และได้อะไร ไม่ต้องเขียนอารัมภบทว่าทำไมต้องทำ หรือทำอะไรมาบ้าง เช่นในย่อหน้าแรก ให้ตัดออกไป และระวังการใช้ภาษาไทย-ภาษาเขียน
2. เนื้อหาใน Abstract ย่อหน้าแรกเนื้อหาภาษาไทยกับภาษาอังกฤษไม่ตรงกัน เนื้อหาภาษาอังกฤษมากกว่าภาษาไทย และเมื่อแก้ไขภาษาไทยแล้ว ค่อยเขียนภาษาอังกฤษ โดยหาผู้รู้ช่วยตรวจทานไวยากรณ์
3. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย ควรเขียนเฉพาะประเด็นปัญหาและแนวทางที่จะแก้ไข โดยใช้วิธีวิจัยที่เสนอ แต่ไม่ต้องวิจารณ์ไกลตัวเกินไป และถ้าพูดถึงประเด็นเรื่องประหยัลดพลังงาน ในบทสรุปควรแสดงผลการเปรียบเทียบในประเด็นนี้ด้วย
4. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง ควรเขียนให้เชื่อมโยงต่อเนื่อง ไม่ต้องแบ่งเป็นข้อ บางตอนไม่จำเป็นต้องใส่ เช่น เรื่องยางพาราในข้อ 1
5. หัวข้อทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง บรรทัดที่ 3 ที่กล่าวว่า “หากนำสมบัติที่ดี...มาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติที่ดี” ควรระบุว่าสมบัติอะไรที่ดี
6. หัวข้อหลักในแต่ละส่วน เช่น วิธีการ ควรวางในตำแหน่งที่เห็นได้ชัดเจนขึ้น ภาพบางภาพไม่จำเป็น เช่น รูปที่ 3, 5, 8, 10 เป็นต้น
7. ในส่วนของหัวข้อวิธีการ ไม่ควรมีผลการทดลอง เช่น หัวข้อที่ 3 หน้า 8 การกำหนดอัตราส่วนผสมหัวข้อนี้อยู่ในหัวข้อใหญ่เรื่องวิธีการ ไม่ควรมีผลการทดลองแสดงในส่วนนี้
8. หน้า 4 ข้อ 1.3 การผสมหินฝุ่นให้เข้ากัน โดยวิธีการแบ่งสี ควรอธิบายเพิ่มเติม
9. หน้า 4 ข้อ 1.4 สารลดแรงตึงผิว ควรบอกชื่อทางเคมีด้วย ไม่ใช่เพียงประเภทเท่านั้น แล้วที่เลือกใช้ 4% โดยน้ำหนักของยางนั้น ทำไมเลือกเท่านี้มากไปหรือไม่ เพราะมีส่วนทำให้เกิดฟองได้ ถ้าน้อยน่าจะไม่เป็นฟองแต่ต้องยังคงเสถียร ไม่แสดงเหตุผลบอกว่าทำไมถึงเลือกปริมาณนี้
10. หน้า 9 หัวข้อที่ 4-5 ควรตัดคำว่า “ทำการ” ออก และในหัวข้อย่อย 4.4 คำว่า “กระทุ้ง” ควรหาคำอื่นที่เหมาะสมกว่ามาใช้แทน
11. กราฟของผลการทดลองรูปที่ 20 – 24 ควรแสดงสัญลักษณ์ให้ชัดเจน ให้ระบุว่า สัญลักษณ์ที่แทนแต่ละจุดบนกราฟที่นักวิจัยเขียนแสดงตัวเลข เช่น 0.000, 0.025 เป็นต้น คืออะไร มีหน่วยเป็นอะไร
12. การพูดถึงอัตราส่วน ควรแสดงในรูปอัตราส่วน ไม่ใช่เป็นตัวเลขเดียว
13. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ควรชี้แจงให้ชัดเจนว่า ราคาที่เพิ่มมา 1 บาท เป็นเฉพาะราคาวัตถุดิบหรือรวมค่า process ไว้แล้ว
14. หัวข้อวิจารณ์ผลและสรุปผลน่าจะสลับกัน ควรตรวจสอบ
15. ตารางสรุปหน้า 19 ควรมีมาตรฐานที่อ้างอิงไว้เปรียบเทียบกับ เพื่อจะได้สรุปผลได้ดีขึ้น
16. หัวข้อ ข้อเสนอแนะ หน้า 20 ข้อที่ 5 พื้นที่เสี่ยงต่อการกัดกร่อน ใช้งานที่ไหน ควรระบุ และไม่เข้าใจว่า การทดสอบกับกรดซัลฟิวริกเป็นมาตรฐานหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ก็ไม่จำเป็น เพราะอิฐไม่ทนกรดอยู่แล้ว
17. ข้อมูลที่แสดงมีน้อย ไม่ทราบว่าทำซ้ำหรือไม่ ค่าความเชื่อถือมีเท่าใด

คำชี้แจงของผู้วิจัย

1. แก้ไขโดยตัดย่อหน้าแรกของบทคัดย่อและเรียบเรียงใหม่ตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว
2. แก้ไขเนื้อหาในย่อหน้าแรกของ Abstract ตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว
3. แก้ไขและลบคำวิจารณ์ที่ไกลเกินตัวตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว
4. แก้ไขโดยลบหัวข้อและเขียนให้มีความเชื่อมโยงกันตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว
5. แก้ไขโดยระบุข้อต่อของคอนกรีตบล็อกตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว
6. แก้ไขโดยตัดรูปภาพที่ไม่จำเป็นออกตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว
7. แก้ไขโดยการย้ายผลการทดลอง หน้า 8 ตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว
8. แก้ไขโดยอธิบายวิธีการแบ่งสีในการผสมตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว
9. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) หรือชื่อทางเคมี Alkylphenol polyethylene glycol ether เมื่อละลายน้ำจะไม่มีประจุให้ฟองน้อย และมีสมบัติในการรวมตัวเป็นไมเซลล์ที่ความเข้มข้นต่ำ จึงป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคส่วนผสมได้ดี ส่วนเหตุผลที่เลือก 4% โดยน้ำหนัก เนื่องจากการทดลองที่ผ่านมาของผู้วิจัย พบว่า อัตราส่วนดังกล่าวมีความเหมาะสมในด้านการเวลาการก่อตัว ซึ่งหากใส่มากกว่านี้จะเป็นการสิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ
10. แก้ไขโดยการตัดคำว่า “ทำการ” และเปลี่ยน “กระทั่ง” เป็นคำว่า “เท” ตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว
11. แก้ไขโดยการเพิ่มรายละเอียดของหน่วยในอัตราส่วนตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว
12. อัตราส่วน 0.XXX บอกตามวิธีนิยมทางวิศวกรรมโยธาและผู้วิจัยได้อธิบายความหมายไว้ชัดเจนแล้ว
13. แก้ไขโดยการชี้แจงราคาว่า 1 บาท เป็นราคาเฉพาะวัตถุดิบตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิได้ถามไว้แล้ว
14. ได้ทำการตรวจสอบเนื้อหาหัวข้อวิจารณ์ผลและสรุปผลตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว พบว่า เนื้อหา มีความสมบูรณ์ดีอยู่แล้ว
15. ตารางสรุปผลเปรียบเทียบ หน้า 19 เป็นผลที่ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบเอง
16. แก้ไขโดยการชี้แจงสถานที่ใช้งานและการทดสอบกรดซัลฟูริกไม่มีในมาตรฐาน เป็นเพียงการแนะนำเท่านั้น
17. มีการทดสอบซ้ำ จำนวน 100 ตัวอย่าง ต่ออัตราส่วน ต่อการทดสอบ พร้อมระบุในวิธีการดำเนินงานเรียบร้อยแล้วตามข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว



การใช้ยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก

Using Natural rubber for Developing the Physical and Mechanical Properties of Concrete Block

ประชุม คำพูน

(ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.))



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำยางธรรมชาติ (ยางพารา) มาผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินปูน เท่ากับ 1: 4 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40 (ไม่คิดปริมาณน้ำในน้ำยางพารา) และใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 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 เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วแสดงว่าน้ำยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มได้ โดยช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น ดูดซึมน้ำต่ำลง และมีสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา

คำสำคัญ: ยางพารา, คอนกรีตบล็อก, ฉนวนกันความร้อน, กำลังอัด

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการต่อยอดจากงานวิจัยเรื่อง การใช้ยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ สัญลักษณ์ รหัส RDG4950023 โดยจากผลการวิจัยเรื่องดังกล่าวพบว่า การผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตมวลเบา ให้ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต่ำมาก มีค่ากำลังอัดและกำลังดัดสูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาทั่วไป แต่ความหนาแน่นจะสูงกว่า และมีราคาเพิ่มขึ้นก่อนละ 1-2 บาท [1] ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วไม่เหมาะที่จะทำเป็นมวลเบาเท่าใดนัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองในเบื้องต้นโดยการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก ปรากฏว่าได้คุณสมบัติที่ดีขึ้นทุกอย่าง และที่น่ายกมาศึกษาเป็นอย่างยิ่งคือ ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ทำการลงผสมจะต่ำมาก และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาทั่วไป แสดงว่ามีความเป็นไปได้ว่าเมื่อใช้น้ำยางพารามาผสมในคอนกรีตบล็อกจะช่วยลดการดูดซึมน้ำ เพิ่มความสามารถในการรับกำลัง และเพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก โดยใช้ยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่ม

วิธีการดำเนินการ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ : (1) น้ำยางพารา จากจังหวัดระยอง ผสมสารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วน ร้อยละ 3 ของน้ำหนักยาง (2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (3) หินปูน จากโรงโม่หิน ตำบลหน้าพระลาน อำเภอลำลูกเกด จังหวัดสระบุรี ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง โดยทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4, 10, 16, 30, 50, 100 และ 200 แล้วผสมให้เข้ากันโดยวิธีการแบ่งสี่ (4) สารลดแรงตึงผิว ชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) (5) น้ำประปา

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ : (1) เครื่องผสมคอนกรีต เป็นเครื่องผสมที่ใช้ไฟฟ้า มีระดับความเร็ว 2 ระดับ ภาชนะผสมมีความจุ 4.73 ลิตร (2) แบบหล่อทองเหลืองรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5 × 5 × 5 เซนติเมตร (3) แบบหล่อตัวอย่างรูปจาน (4) กระบอกตวงขนาด 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (5) เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม (6) เวอร์เนีย ขนาดวัดระยะได้ 8-10 นิ้ว อ่านได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร (7) ตะแกรงร่อน ตามมาตรฐาน ASTM (8) เครื่องทดสอบกำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีต (Universal Testing Machine) สามารถอ่านค่าได้ตั้งแต่ 20 กิโลกรัม ถึง 20,000 กิโลกรัม (9) อุปกรณ์ที่ใช้ช่วยในการหล่อขึ้นตัวอย่างคอนกรีต เช่น เกรียง ช้อนตัก แปรงทาน้ำมัน เหล็กกระทุ้ง แปรงทองเหลืองทำความสะอาด (10) เต้าปอ (11) เครื่องอัดคอนกรีตบล็อก (12) เครื่องบด (Los Angeles Machine) (13) อุปกรณ์การทดสอบการดูดซึมน้ำ (14) อุปกรณ์การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว

การกำหนดอัตราส่วนผสม : ในการทำวิจัยจะมีการทดลองผสมและขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานต่อไป โดยอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้ (1) อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินปูน เท่ากับ 1: 4 โดยน้ำหนัก (2) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40 โดยน้ำหนัก (ไม่รวมน้ำหนักของน้ำในน้ำยางพารา) (3) อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0, 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ (4) การผสมปูนซีเมนต์เข้ากับยางพารา ต้องผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

(1) ผสมวัสดุทั้งหมดโดยใช้ไม่ผสม มีวิธีการคือ ชั่งน้ำหนักวัสดุ ผสมปูนซีเมนต์กับหินปูนก่อน แล้วจึงเติมน้ำประมาณร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำทั้งหมด ส่วนน้ำที่เหลือต้องเติมเข้าไปด้วยความสม่ำเสมอจนส่วนผสมเข้ากันดี โดยใช้เวลาประมาณ 2 นาที (2) นำส่วนผสมที่ได้มาผสมเข้าในเครื่องผสมแบบปัดตัก 30 วินาที เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันดียิ่งขึ้น (3) หลังจากการผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันก่อนแล้ว จึงเติมน้ำยางพาราเป็นอันดับสุดท้าย (สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุให้ผสมลงไปพร้อมกับน้ำยางพารา) (4) ทำการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดมือ เทส่วนผสมลงแบบแบ่งเป็น 3 ชั้น โดยทำการกระทุ้งแต่ละชั้นให้แน่นพอสมควร หลังจากกระทุ้งชั้นสุดท้ายเสร็จให้เติมส่วนผสม และทำการปาดผิวหน้าให้เสมอกัน ทำการอัดโดยการโยกคานเหล็กจนรู้สึกว่ายากไม่ลงแล้ว (5) จากนั้นทำการโยกคานเหล็กในลักษณะโยกปล่อยอีก 25 ครั้ง แล้วโยกคานเหล็กขึ้นเพื่อทำการนำคอนกรีตบล็อกออกจากแบบ ดังรูปที่ 1 (6) ยกคอนกรีตบล็อกออกจากเครื่องอัด ทำการเจาะรูตรงออกจากก้อนตัวอย่าง ทั้งก้อนตัวอย่างให้แห้งในอากาศเพื่อนำมาทดสอบ โดยก้อนตัวอย่างที่ได้จะมีขนาด 0.13 × 0.25 × 0.14 เมตร ดังรูปที่ 2 (7) ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐานการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลกำหนด เพื่อนำมาทดสอบในด้านต่างๆ ด้วย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทร. 0 2549 3417 E-mail: choomy_gtc@hotmail.com



รูปที่ 1 การนำก้อนคอนกรีตบล็อกออกมาจากเครื่องอัด

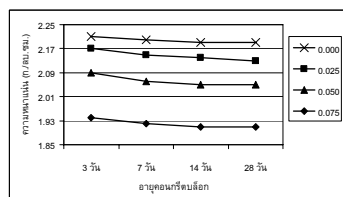


รูปที่ 2 การฝังคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพาราในสภาพบรรยากาศ

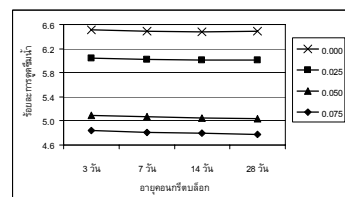
การทดสอบ

- (1) การทดสอบหาความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 (2) การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 [2] (3) การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐาน ASTM C 62-69 (4) การทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐาน มอก.110-2517 (5) การทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177

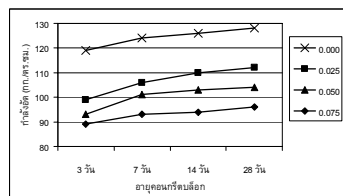
ผล วิจัย และสรุปผลการทดสอบ



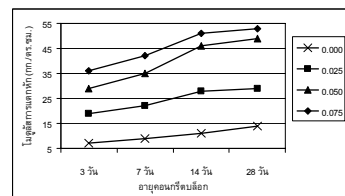
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบล็อก



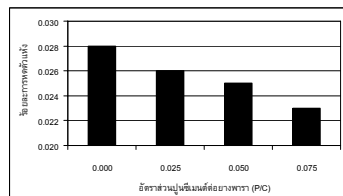
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบล็อก



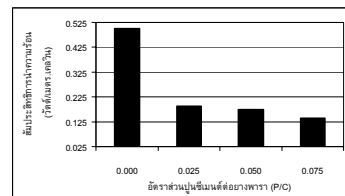
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัด (คานขอบ) และอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการหดแห้งและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัด (คานขอบ) และอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบล็อก

จากการศึกษาการใช้ยางพารามาผสมในคอนกรีตบล็อก เพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ที่เหมาะสมที่สุด เท่ากับ 0.075 โดยมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 4.80 ค่ากำลังอัดและกำลังดัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 96 กก./ตร.ซม. และ 52 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่า เท่ากับ 0.139 วัตต์/เมตร-องศาเซลเซียส เนื่องจากอนุภาคของยางพาราหรือโพลีเมอร์ที่แทรกตัวในส่วนผสมนั้น เมื่อสัมผัสกับความเป็นต่างของปูนซีเมนต์จะเกิดการจับตัว (Coalesce) เป็นแผ่นฟิล์ม (Film) มีสมบัติไม่ดูดซึมน้ำ ยึดเหนี่ยวตัวสูง ตลอดจนเป็นฉนวนป้องกันความร้อน [3] ซึ่งเมื่อเรียงซ้อนตัวอยู่ในคอนกรีตบล็อก จะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด (Binder) ที่ช่วยเสริมแรงคล้ายกับเหล็กเสริมในคอนกรีต ตลอดจนลดการซึมผ่านของน้ำ และเพิ่มความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ประชุม คำพูน, 2549, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การใช้ยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, โครงการวิจัยแห่งชาติ:ยางพารา ฝ่ายอุตสาหกรรม, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.), 22 หน้า.
- [2] 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.
- [3] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2533, **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533)**, กรุงเทพฯ.

แบบสรุปโครงการวิจัย (จัดทำแยกต่างหากจากรายงานฉบับสมบูรณ์)

สัญญาเลขที่ ...RDG5050069... ชื่อโครงการการใช้น้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก....
 หัวหน้าโครงการนายประชุม...คำฟูฒ..... สถาบันมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.....
 โทรศัพท์.....0-2549-3417..... โทรสาร0-2547-3412.....E-mail:choomy_gtc@hotmail.com.....

ความสำคัญ / ความเป็นมา

งานวิจัยนี้เป็นการต่อยอดจากงานวิจัยเรื่อง การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ สัญญาเลขที่ RDG4950023 โดยจากผลการวิจัยเรื่องดังกล่าวพบว่า การผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตมวลเบา ให้ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต่ำมาก มีค่ากำลังอัดและกำลังดัดสูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาทั่วไป แต่ความหนาแน่นจะสูงกว่า และมีราคาเพิ่มขึ้นก่อนละ 1-2 บาท ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วไม่เหมาะที่จะทำเป็นมวลเบาเท่าใดนัก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองในเบื้องต้นโดยการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก ปรากฏว่าได้คุณสมบัติที่ดีขึ้นทุกอย่าง และที่น่าทำการศึกษาค้นคว้าอย่างยิ่งคือ ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ทำการลองผสมจะต่ำมาก และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาทั่วไป แสดงว่ามีความเป็นไปได้ว่าเมื่อใช้น้ำยางพาราผสมในคอนกรีตบล็อกจะช่วยลดการดูดซึมน้ำ เพิ่มความสามารถในการรับกำลัง และเพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี

วัตถุประสงค์โครงการ

1. เพื่อพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก โดยใช้น้ำยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่ม

ผลที่ได้รับ	บรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่	โดยทำให้
1. ได้คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.075 โดยมีสมบัติทางกลและความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี	1. ผลการทดลองที่ได้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการในด้านการศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุ	วัสดุที่มีสมบัติทางกลและความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี คือ - มีค่าการดูดกลืนน้ำร้อยละ 4.80 ที่อายุ 28 วัน - มีค่ากำลังอัด 96 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 28 วัน - มีค่าโมดูลัสการแตกร้าว 52-79 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 28 วัน - มีค่า สปส.การนำความร้อนใกล้เคียง คือ 0.139 วัตต์/เมตร.เคลวิน โดยเทียบกับคอนกรีตมวลเบาที่มีค่า ส.ป.ส. การนำความร้อน 0.132 วัตต์/เมตร.เคลวิน - แต่มีข้อด้อยที่กำลังอัดมีค่าลดลงจากคอนกรีตบล็อกทั่วไป อย่างไรก็ตามก็ยังผ่านมาตรฐาน มอก. 58-2533 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารา สำหรับจำหน่ายในท้องตลาด
2. ใช้เป็นแนวคิดในการพัฒนาคอนกรีตบล็อกที่ป้องกันการดูดซึมน้ำ ซึ่งสามารถลดค่าปูนฉาบลงได้
3. เป็นอีกหนทางเลือกในการผลิตวัสดุก่อสร้างจำพวกฉนวนป้องกันความร้อน

การประชาสัมพันธ์

1. นำเสนอผลงานในนิทรรศการงาน “ วันนักประดิษฐ์ ” และ “ วันนักประดิษฐ์นานาชาติ ” ครั้งที่ 2 ประจำปี 2552 ระหว่างวันที่ 2 – 5 กุมภาพันธ์ 2552 ณ ฮอลล์ 9 ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุม อิมแพค เมืองทองธานี จังหวัดนนทบุรี จัดโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

การใช้น้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก

Using Natural rubber for Developing the Physical and Mechanical Properties of Concrete Block

ประชุม คำพุด
Prachoom Khamput

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำยางธรรมชาติ (ยางพารา) มาผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วนยางพารากับปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่น เท่ากับ 1: 4 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40 (ไม่คิดปริมาณน้ำในน้ำยางพารา) และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 ของน้ำหนักยางพารา โดยปริมาณยางพารากับปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมมากที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ 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-องศาเซลวิน เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วแสดงว่าน้ำยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มได้ โดยช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น ดูดซึมน้ำต่ำลง และมีสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา

คำสำคัญ: ยางพารา, คอนกรีตบล็อก, การนำความร้อน, กำลังอัด

ABSTRACT

The aim of this research is to use latex from Para-rubber as an admixture for improving the strength and insulation properties of concrete block. In mix design, latex per cement ratios are 0.025, 0.050 and 0.075 (by weight of cement), no-charge surfactant is 4% (by weight of Para rubber), cement and quarry dust ratio is 1:4 w/w and water cement ratio is 0.40 (by weight not include the weight of Para-rubber). The suitable latex- cement ratio in testing is 0.075 (by weight

of cement). The mechanical properties are obtained as follows. 1) Average water absorption at 28 days is 4.80% 2) Average compressive strength at 28 days is 96 ksc. 3) Average Modulus of Rupture at 28 days is 52 ksc. 4) The coefficient of thermal conductivity is 0.139 watt / (m. Kelvin). It can be seen that many properties are better than normal concrete block.

Keywords: Para-rubber, Concrete block, Thermal conductivity, Compressive strength

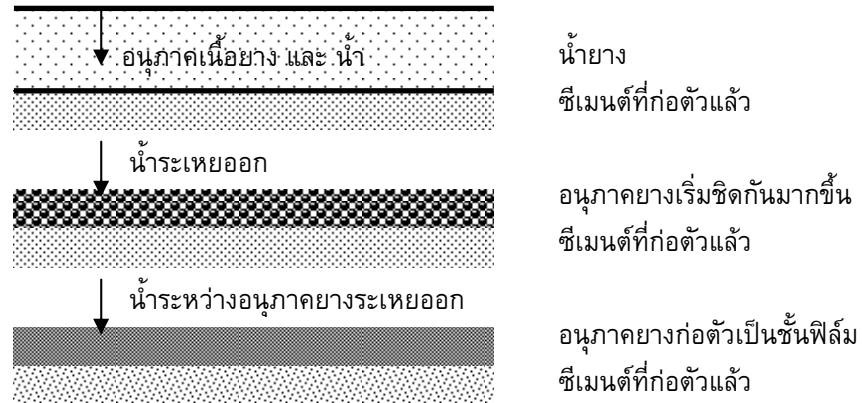
คำนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ในการปลูกยางพารา 12.5 ล้านไร่ผลผลิต 3,032,420 ตัน มูลค่าการส่งออก 131,617,514 ล้านบาท¹ มีชาวสวนยางประมาณ 7 ล้านคน นับได้ว่า ยางพารา เป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่ทำรายได้เข้าประเทศในอันดับต้นๆ ของโลก ปัจจุบันการใช้ยางพาราทั้งในและต่างประเทศต่างก็มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น² เมื่อเป็นเช่นนี้ทางรัฐบาลจึงได้มีนโยบายในการส่งเสริมสนับสนุนให้มีการปลูกยางพาราเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่ในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยกำลังรอผลผลิตในอีก 2-3 ปีข้างหน้า แม้ว่าราคาของยางพาราในปัจจุบันจะมีราคาสูงอันเนื่องมาจากการใช้ยางในปริมาณมากขึ้น แต่ยางพาราก็เป็นสินค้าชั้นปฐมที่สามารถทดแทนได้ด้วยสินค้าอื่น เช่น ยางสังเคราะห์ ซึ่งมีอยู่มากมายหลายชนิด และหลายเกรด เป็นต้น ทำให้หากยางพารามีราคาที่สูงมาก ผู้ซื้อบางส่วนอาจหันไปใช้วัสดุทดแทนอื่นได้ทันที ดังนั้นราคาของยางพาราจึงมีโอกาที่จะตกต่ำได้ในอนาคตอันใกล้

โครงการวิจัยยางพาราขนาดเล็กภายใต้กรอบโครงการวิจัยแห่งชาติ จึงถือได้ว่าเป็นแนวทางการป้องกันปัญหาราคาตกต่ำของยางพารา โดยมีการให้ลำดับความสำคัญในเรื่องของนวัตกรรมผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากยางพาราหรือใช้ยางพาราเป็นวัตถุดิบรวมมาเป็นอันดับแรก ประกอบกับปัญหาการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองภายในประเทศ อันส่งผลให้ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่มีสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้รับความนิยมอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงมีการดำเนินการและขอทุนวิจัยในโครงการวิจัยยางพาราขนาดเล็ก เพื่อออกแบบคอนกรีตมวลเบาที่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสม โดยใช้ชื่อโครงการว่า “การใช้ยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ” สัญญาเลขที่ RDG4950023 โดยจากการทดสอบค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร, ค่ากำลังอัดและดัด ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ค่าการดูดกลืนน้ำที่อายุ 7 และ 28 วัน ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ ตามมาตรฐาน ASTM

พบว่า การผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตมวลเบาให้ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต่ำ มีค่ากำลังอัดและกำลังดัดสูง และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาทั่วไป ซึ่งเป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาของน้ำยางพารากับปูนซีเมนต์³ โดยในปี ค.ศ. 1987, Ohama⁴ ได้อธิบายการก่อตัวของคอนกรีตผสมน้ำยางไว้ว่า น้ำยางที่ใช้ผสมจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Emulsion) โดยอนุภาคของโพลิเมอร์ (Polymer) จะแขวนลอยอยู่ในน้ำยางเหลว ซึ่งเมื่อผสมน้ำยางเข้ากับคอนกรีตแล้ว มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 ส่วน คือ 1) ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) จากปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ และ 2) ปฏิกิริยาการก่อ

ตัวเป็นฟิล์ม (Film) ที่เกิดจากอนุภาคของโพลิเมอร์มารวมตัวกัน (Coalesce) ซึ่งการก่อตัวของชั้นฟิล์มเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีต ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด (Binder) ระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกันเป็นคอนกรีต ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการก่อตัวของชั้นฟิล์มจากน้ำยางในคอนกรีต⁸

อย่างไรก็ตามการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตมวลเบาดังกล่าว ก็ยังมีจุดด้อยอยู่ที่ความหนาแน่นซึ่งสูง รวมทั้งมีราคาที่แพงกว่าคอนกรีตมวลเบาทั่วไป ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงทำการวิจัยต่อไปในเรื่อง การใช้น้ำยางพาราในคอนกรีตบล็อก เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่จะผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อกเช่นเดียวกับการผสมน้ำยางลงในคอนกรีตมวลเบา อันจะทำให้ได้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยที่มีราคาถูกลง ตลอดจนช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้อีกด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. น้ำยางพารา (ยางธรรมชาติ) จากจังหวัดระยอง ผสมสารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วน ร้อยละ 3 ของน้ำหนักยาง เพื่อรักษาสภาพน้ำยาง
2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
3. หินฝุ่น จากโรงไหมหิน ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี ในสถานะ อิมตัวผิวแห้ง โดยทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4, 10, 16, 30, 50, 100 และ 200 แล้วผสมให้เข้ากัน โดยวิธีการแบ่งสี่
4. สารลดแรงตึงผิว ชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants)
5. น้ำประปา

การกำหนดอัตราส่วนผสม

การศึกษาการใช้น้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกนั้นสามารถกำหนดอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองผสมและขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกได้ ดังต่อไปนี้

1. อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่น เท่ากับ 1: 4 โดยน้ำหนัก
2. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40
3. อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0, 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์
4. การผสมปูนซีเมนต์เข้ากับยางพารา ต้องผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

1. ผสมวัสดุทั้งหมดโดยใช้โม่ผสม เริ่มจากการชั่งน้ำหนักวัสดุ จากนั้นจึงผสมปูนซีเมนต์กับหินฝุ่น แล้วเติมน้ำประมาณร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำทั้งหมด ส่วนน้ำที่เหลือต้องเติมเข้าไปด้วยความสม่ำเสมอจนส่วนผสมเข้ากันดี โดยใช้เวลาประมาณ 2 นาที
2. นำส่วนผสมที่ได้มาผสมซ้ำในเครื่องผสมแบบใบพัดอีก 30 วินาที เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันดียิ่งขึ้น
3. หลังจากการผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันแล้ว จึงเติมน้ำยางพาราเป็นอันดับสุดท้าย (สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุให้ผสมลงไปพร้อมกับน้ำยางพารา)
4. ทำการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดมือ เทส่วนผสมลงแบบแบ่งเป็น 3 ชั้นโดยทำการกระทุ้งแต่ละชั้นให้แน่นพอสมควร หลังจากกระทุ้งชั้นสุดท้ายเสร็จ ทำการปาดผิวหน้าให้เสมอกัน และทำการอัดโดยการโยกคานเหล็กจนรู้สึกว่ายอกไม่ลงแล้ว
5. จากนั้นทำการโยกคานเหล็กในลักษณะโยกปล่อยอีก 25 ครั้ง แล้วโยกคานเหล็กขึ้นเพื่อทำการนำคอนกรีตบล็อกออกจากแบบ (รูปที่ 2)
6. ยกคอนกรีตบล็อกออกจากเครื่องอัด ทำการเคาะฐานรองออกจากก้อนตัวอย่าง ทิ้งก้อนตัวอย่างให้แห้งในอากาศเพื่อนำมาทดสอบ โดยก้อนตัวอย่างที่ได้จะมีขนาด $0.13 \times 0.25 \times 0.14$ เมตร
7. ทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีตบล็อกตามที่มาตรฐานการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลกำหนด เพื่อนำมาทดสอบในด้านต่างๆ ด้วย



รูปที่ 2 การนำก้อนคอนกรีตบล็อกออกจากเครื่องอัด

การทดสอบชิ้นตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

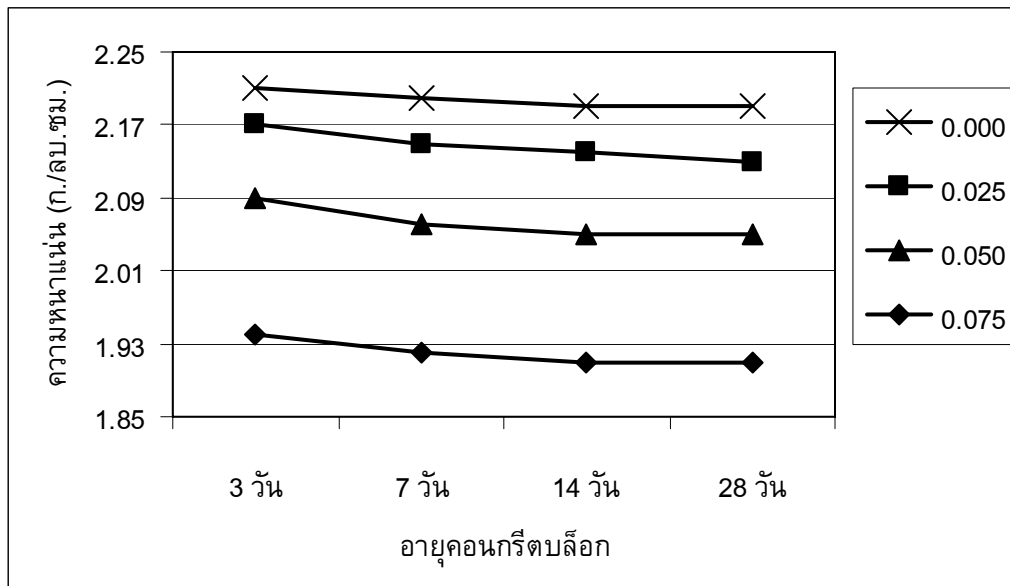
1. การทดสอบหาความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน มอก. 109-2517
2. การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐาน ASTM C 62-69⁵
3. การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐาน ASTM C 62-69⁵
4. การทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐาน มอก.110-2517⁶
5. การทดสอบการเป็นฉนวนกันความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C177⁷ ที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผลการวิจัย

การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มีน้ำยางธรรมชาติหรือน้ำยางพาราผสมอยู่นั้น สามารถสรุปผลโดยแบ่งเป็นการทดสอบต่างๆ ได้ ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบความหนาแน่น

สำหรับการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่ผสมน้ำยางพาราเป็นการทดสอบ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและปริมาณของคอนกรีตบล็อก อันเนื่องมาจากการผสมน้ำยางพาราลงไป โดยผลการทดสอบความหนาแน่น มีดังรูปที่ 3

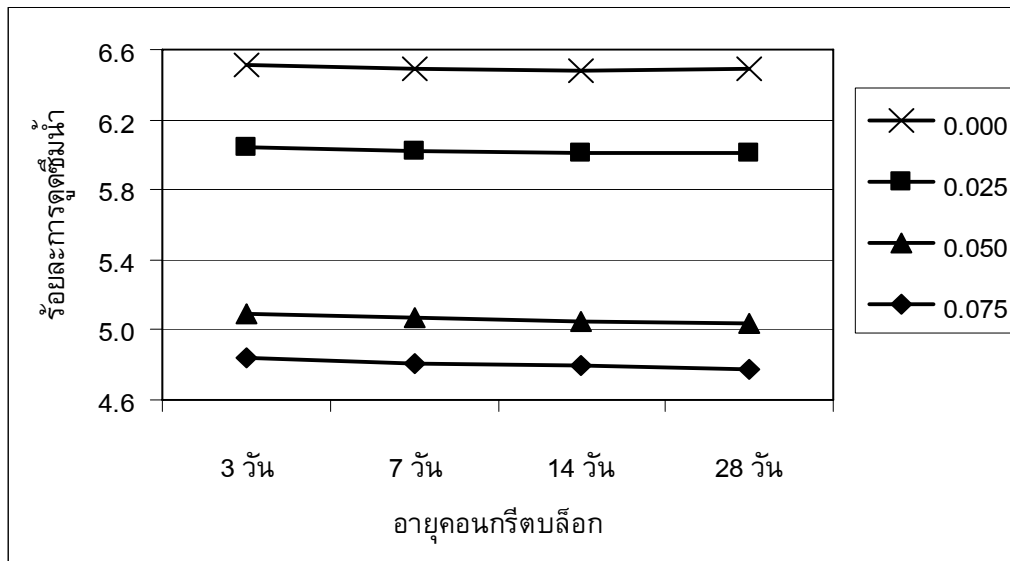


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบดล็อก

จากรูปที่ 3 พบว่าการผสมน้ำพาราลงในคอนกรีตบดล็อก จะส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบดล็อกอย่างมาก โดยคอนกรีตบดล็อกที่มีปริมาณน้ำยางพารามากจะมีความหนาแน่นต่ำ และคอนกรีตบดล็อกที่มีปริมาณน้ำยางพาราน้อยหรือไม่มีน้ำยางพาราเลยก็จะมีค่าความหนาแน่นที่สูง ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของยางพาราหรือโพลิเมอร์ที่แทรกตัวในคอนกรีตบดล็อกนั้น เมื่อสัมผัสกับความเป็นต่างของปูนซีเมนต์จะเกิดการจับตัว (Coalesce) เป็นฟิล์ม (Film) ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตมาก และยิ่งถ้ามีปริมาณของน้ำยางพารามากแผ่นฟิล์มดังกล่าวก็จะจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตบดล็อกมากขึ้นอีก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบดล็อกลดลงได้

2. การทดสอบการดูดซึมน้ำ

สำหรับผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดล็อกที่มีการใส่น้ำยางพาราลงไปในส่วนผสมนั้น สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4

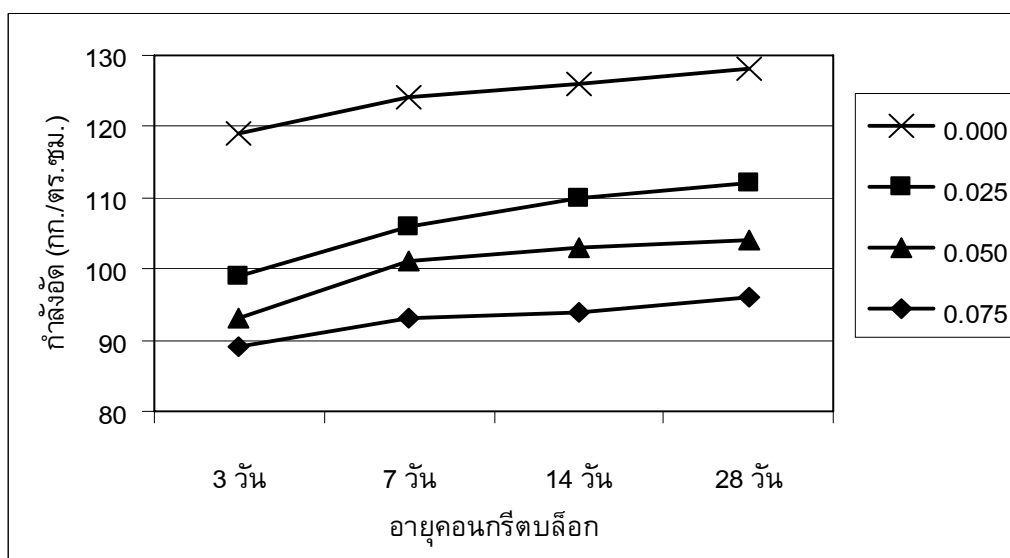


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบดล็อก

จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราในคอนกรีตบดล็อกมากขึ้น จะมีผลทำให้อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดล็อกลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกช่วงอายุของคอนกรีตบดล็อก เนื่องจากปฏิกิริยาของน้ำยางพาราที่ก่อให้เกิดแผ่นฟิล์มแทรกภายในเนื้อคอนกรีตบดล็อก⁸ ซึ่งแผ่นฟิล์มเหล่านี้มีสมบัติที่ไม่ดูดซึมน้ำ จึงทำให้เมื่อมีปริมาณของน้ำยางพาราในคอนกรีตบดล็อกมากขึ้น คอนกรีตบดล็อกก็จะยิ่งกีดน้ำขึ้นเช่นกัน

3. การทดสอบกำลังอัด

สำหรับผลของการใช้น้ำยางพาราเป็นส่วนผสมในคอนกรีตบดล็อกนั้น มีผลต่อกำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบดล็อก ดังแสดงในรูปที่ 5

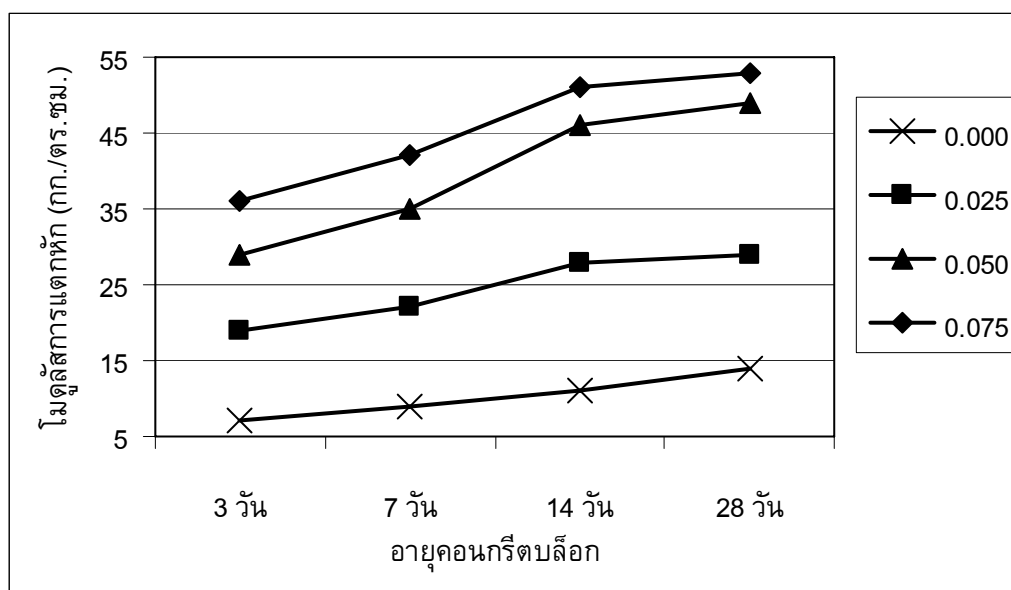


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบดล็อก

จากรูปที่ 5 พบว่าค่ากำลังอัดจะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นจะทำให้ค่ากำลังอัดลดลง เนื่องจากเมื่อน้ำยางพาราผสมในคอนกรีตบล็อก จะเกิดการทำปฏิกิริยาแล้วกลายเป็นแผ่นฟิล์มภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกนั้น แผ่นฟิล์มที่เกิดขึ้นนี้ก็เป็นโพลีเมอร์ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นตัวสูง ไม่มีความแข็งแกร่งเหมือนกับมวลรวมทั่วไป ความสามารถในการรับแรงอัดจึงมีน้อย เมื่อมาแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมหรือเคลือบที่ผิวหน้าของมวลรวมในเนื้อคอนกรีต จึงส่งผลให้พื้นที่รับแรงของคอนกรีตบล็อกลดลง อันจะทำให้กำลังอัดลดลงมากอีกด้วย

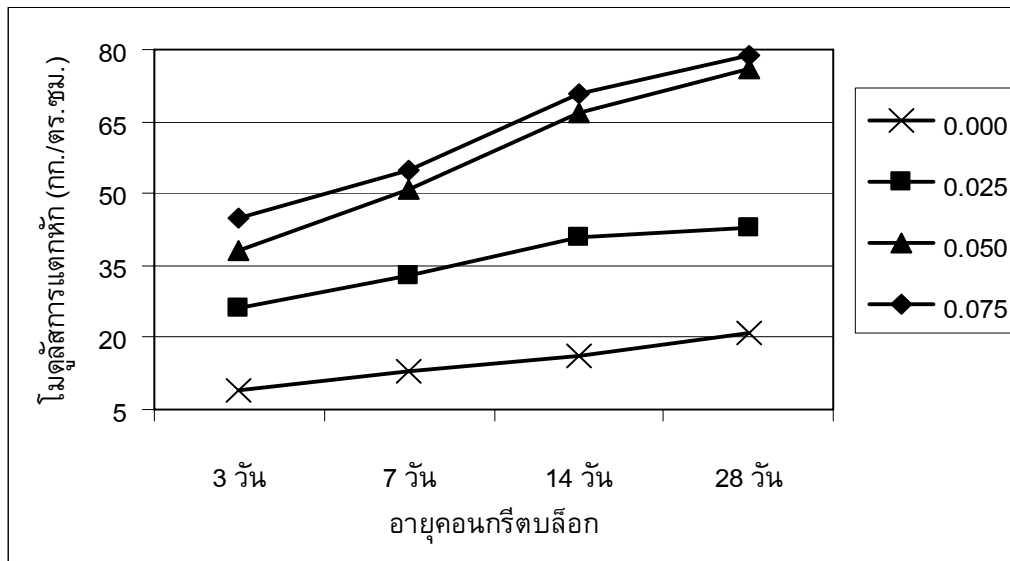
4. การทดสอบกำลังดัด

การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตบล็อกที่มีการผสมน้ำยางพารานั้น สามารถสรุปเป็นผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 6 (แบน) และรูปที่ 7 (ขอบ)



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัด (ด้านแบน) และอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบล็อก

จากรูปที่ 6 พบว่าค่าโมดูลัสการแตกหักของคอนกรีตบล็อกจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออายุของคอนกรีตบล็อกมากขึ้นและเมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องจากแผ่นฟิล์มและเส้นใยยางที่เกิดจากน้ำยางพาราซึ่งแทรกอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตบล็อกนั้น นอกจากจะไปเคลือบอยู่ที่ผิวหน้าของมวลรวมแล้วนั้น ส่วนหนึ่งจะก่อตัวมีลักษณะเรียงซ้อนตัวกันในแนวนอนเป็นแผ่นจากด้านล่างขึ้นมาสู่ด้านบน ซึ่งในขณะที่คอนกรีตรับแรงดัดนั้น แผ่นฟิล์มจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด (Binder) ที่ช่วยเสริมแรงคล้ายกับเหล็กเสริมในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึงและยืดหยุ่นตัวได้มากกว่าเดิม โดยการที่ยิ่งใส่น้ำยางพารามากขึ้นก็จะทำให้คอนกรีตบล็อกมีปริมาณของแผ่นฟิล์มที่มากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงทำให้คอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณยางพารามากสามารถรับกำลังดัดได้ดี

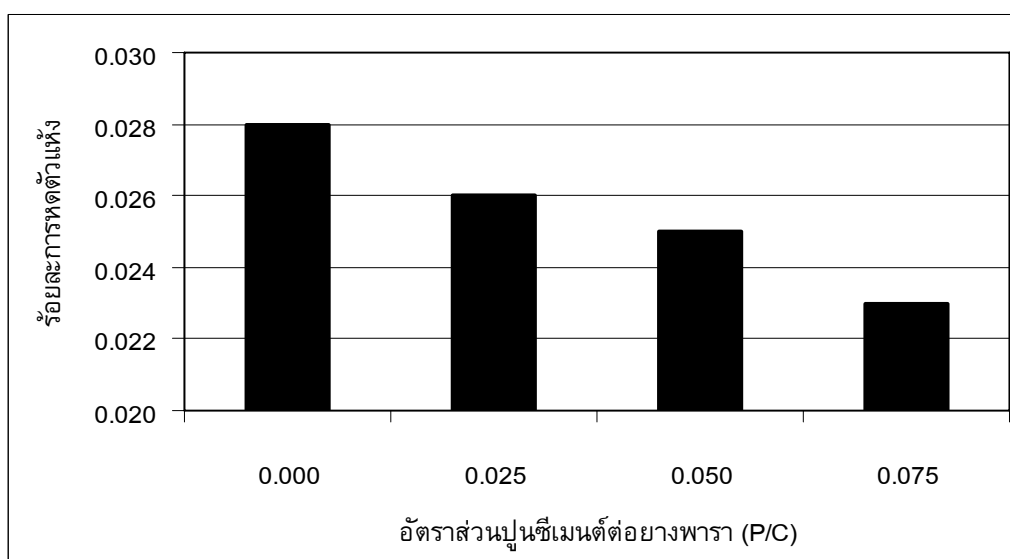


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด (ด้านขอบ) และอัตราส่วนยางพารา
ต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบดล็อก

สำหรับผลการทดสอบกำลังอัดด้านขอบนั้น มีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลการทดสอบกำลังอัดที่
ด้านแบน แต่กำลังอัดที่ด้านขอบจะมีค่าสูงกว่าเนื่องจากลักษณะของหน้าตัดที่เอื้อต่อการรับกำลังอัด
มากกว่าด้านแบน

5. การทดสอบการหดแห้ง

การทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบดล็อกที่มีส่วนผสมของน้ำยางพารานั้น เป็นการทดสอบที่ใช้
เวลานานในน้ำและตุ๋นแห้ง แล้ววัดการหดตัวของคอนกรีตบดล็อก ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบที่
คอนกรีตบดล็อก อายุ 28 วัน ได้ดังรูปที่ 8

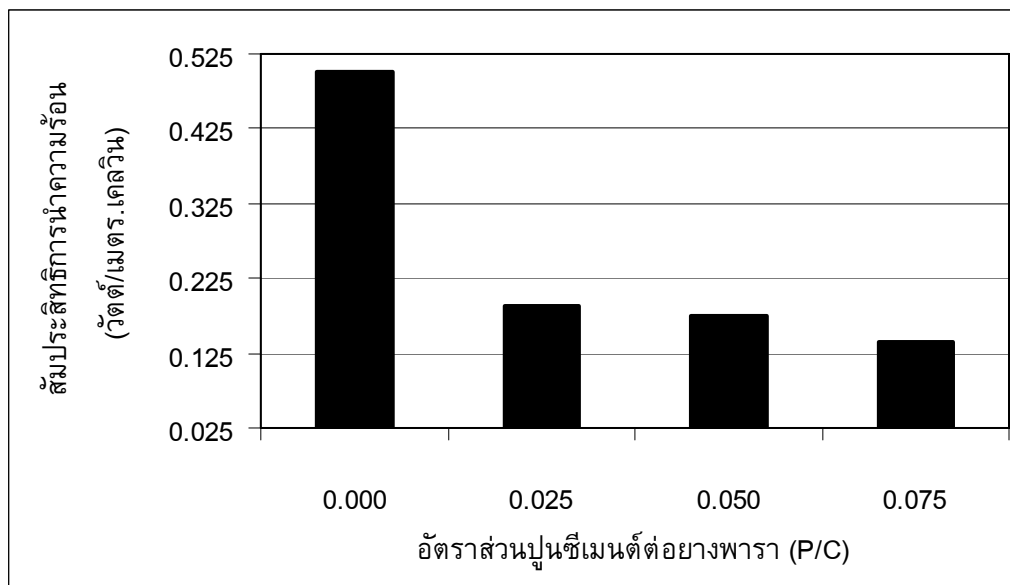


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการหดตัวแห้งและอัตราส่วนยางพารา
ต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบดล็อก

จากผลการทดสอบร้อยละการหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกในรูปที่ 8 พบว่าน้ำยางพาราสามารถช่วยลดอัตราการหดตัวแบบแห้งได้ โดยผลการทดสอบทั้งหมดสามารถผ่านมาตรฐานที่กำหนดค่าไว้ประมาณ ร้อยละ 0.03 ทั้งนี้เนื่องจากยางพาราที่เกิดปฏิกิริยาจนกลายเป็นฟิล์มนั้น จะช่วยให้การผ่านเข้าออกชื้นงานของน้ำขณะทดสอบทำได้ยากมากขึ้น ทำให้การขยายตัวอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกที่ไม่มียางพารา ประกอบกับการที่อนุภาคของยางพาราที่แทรกเป็นแผ่นฟิล์มในช่องว่างต่างก็ช่วยให้การยึดหดตัวหรือขยายตัวทำได้ยากมากขึ้น

6. การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มียางพาราเป็นส่วนผสมเมื่อส่งตัวอย่างไปทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังตัด (ด้านขอบ) และอัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) ของคอนกรีตบล็อก

จากรูปที่ 9 พบว่าเมื่อผสมน้ำยางพาราจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงกว่าการที่ไม่ผสมน้ำยางพาราอย่างเห็นได้ชัดเจน และเมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่มากขึ้นก็จะยิ่งทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยลงตามไปด้วย เนื่องจากยางมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี ประกอบกับเมื่อผสมน้ำยางพาราลงไป จะทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมาก แพร่กระจายเข้าไปในเนื้อคอนกรีตบล็อก¹⁰ ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกจะลดลง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยลง ส่งผลให้มีสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนดียิ่งขึ้น

7. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ราคาของน้ำยางพาราที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้อยู่ที่ประมาณกิโลกรัมละ 100 บาท ซึ่งเป็นราคาที่สูงมาก แต่เมื่อนำมาผสมเพิ่มในคอนกรีตบล็อกแล้ว จะทำให้คอนกรีตบล็อกมีต้นทุนเพิ่มมากขึ้นเพียงแค่อ่อนละประมาณ 1 บาท เท่านั้น ซึ่งนับว่ามีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง ที่จะนำคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารามาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างอาคารทั่วไป เพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานภายในอาคาร เนื่องจากคุณสมบัติเด่นด้านการเป็นฉนวนกันความร้อน¹¹ อีกทั้งยังช่วยลดการแตกหักเสียหายขณะทำการขนส่งอีกด้วย

สรุป

การผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก เป็นการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของคอนกรีตบล็อก โดยจากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกที่มียางพาราในอัตราส่วนยางพาราต่อคอนกรีตบล็อก เท่ากับ 0.000, 0.025, 0.050 และ 0.075 พบว่าการผสมยางพาราลงในคอนกรีตบล็อกมีข้อดี-ข้อด้อย ดังนี้

1. การผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อกสามารถช่วยลดความหนาแน่นลง อันจะส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่ลดลงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลดีต่อการขนส่งและน้ำหนักองค์อาคารที่จะลดลง
2. การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกสามารถลดลงได้ เมื่อผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้เกิดแผ่นฟิล์ม ซึ่งทำให้การก่อผนังไม่จำเป็นต้องใช้ปูนฉาบเพื่อกันซึมหรือลดการใช้ยากันซึมได้
3. การผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อกนั้น ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงจากคอนกรีตบล็อกที่ไม่ผสมน้ำยางพารา เนื่องจากน้ำยางพาราจะเกิดปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ก่อตัวเป็นแผ่นฟิล์มในเนื้อคอนกรีต ซึ่งมีสมบัติยืดหยุ่นทำให้กำลังอัดลดลงได้
4. ผลจากการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก สามารถช่วยให้เพิ่มค่าในการรับแรงดัดได้มาก โดยเฉพาะเมื่อใส่น้ำยางในปริมาณที่สูง เนื่องจากน้ำยางที่ใส่จะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มคอยทำหน้าที่ยึดอนุภาคต่างๆ ให้รับแรงดัดได้ดีทั้งด้านขอบและด้านแบน (พฤติกรรมคล้ายกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับแรงดัด)
5. การหดตัวแห้งของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการผสมน้ำยางพารามากขึ้น เนื่องจากน้ำยางพาราจะไปลดการเกิดปฏิกิริยาภายในให้เกิดน้อยลง จากการที่น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ยาก
6. ผลจากการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตบล็อก นอกจากจะช่วยให้สมบัติด้านความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กำลังดัด และการยึดหดตัวที่ดีขึ้นแล้ว ยังส่งผลดีต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดน้อยลงอีกด้วย โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลง จะช่วยให้อาคารมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการใช้น้ำยางพารามาผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.025, 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่น เท่ากับ 1: 4 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40

(ไม่คิดปริมาณน้ำในน้ำยางพารา) และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 ของน้ำหนักยางพารา ได้ปริมาณยางพาราต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมมากที่สุดในครั้งนี้เท่ากับ 0.075 โดยมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 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-องศาเซลวิน เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วแสดงว่าน้ำยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มได้ โดยช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น ดูดซึมน้ำต่ำลง และมีสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา

คำขอบคุณ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา ภายใต้สัญญาเลขที่ RDG5050069 และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

เอกสารอ้างอิง

1. เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2547, คู่มือยางพารา, เพ็ท-แพลน พับลิชชิง, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, 352 หน้า.
2. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2548, ประกาศการขอรับทุนโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา,โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ้ายอุตสาหกรรม, 7 หน้า.
3. ประชุม คำพุฒ, 2549, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การใช้ยางพารารับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝ้ายอุตสาหกรรม, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 22 หน้า.
4. 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.
5. American Society for Testing and Materials, 1996, "ASTM C 62-69: Standard Specification for Building Brick," *Annual Book of ASTM Standards*, Volume 04.02.
6. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2517, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (มอก. 110-2517), กรุงเทพฯ.
7. American Society for Testing and Materials, 2001, "ASTM C 177," *Annual Book of ASTM Standards*, Volume 04.02.
8. สิทธิชัย ศิริพันธุ์, พิทักษ์ บุญนุ่น, กิจถาวร โลหะ, และคณะ, 2548, "การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต," *เอกสารการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10*, ชลบุรี, หน้า MAT-205 – MAT-210.

9. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร, 2548, เทคโนโลยีของยาง, ภาควิชาวัสดุศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 180 หน้า.
10. สนิรัตน์ ภัทรธรรมกุล, 2537, “ผลกระทบของมวลสารและสีต่อความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังอาคาร”, วิทยานิพนธ์คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
11. วิชิต สุวรรณปรีชา, 2548, อิฐมวลเบาพารากรีต, เข้าถึงได้จาก: <http://www.thailandrubber.thaigov.net>.