



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยยางพารา

เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง

โดย

อาจารย์.ดร.นิตยา ใจทอง และคณะ

กันยายน 2556

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยยางพารา

เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง

คณะผู้วิจัย	สังกัด
อ.ดร.นิตยา ใจทอง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
นายธนพงษ์ ไชยปັນติ	นักศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
นางสาววชิราภรณ์ ไม้สังข์	นักศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
นางสาวเพชรรัตน์ เทพผืน	นักศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ชุดโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อ (Executive Summary)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยยางพาราเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) To improve the mechanical properties of lightweight concrete with natural rubber to be used in construction

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล: นางสาวนิตยา ใจทอง

หน่วยงาน : สาขาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ที่อยู่ : 63 หมู่ 4 ถนนเชียงใหม่-พร้าว ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์/โทรสาร : 053-873515/053-873225 E-mail address: njaitanong@gmail.com

นักศึกษา/ ผู้ร่วมวิจัย: 1. นายธนพงษ์ ไชยปันติ

2. นางสาวชिरาภรณ์ ไม้สังข์

3. นางสาวเพชรรัตน์ เทพฝัน

งบประมาณทั้งโครงการ: 140,000 บาท

ระยะเวลาทั้งโครงการ: 14 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2555 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2556

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

คอนกรีตมวลเบา เป็นวัสดุที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันและเป็นที่ยอมรับใช้มากขึ้นเรื่อยๆ แต่ปัญหาหนึ่งที่สำคัญของคอนกรีตมวลเบา คือ มีราคาสูง และรับกำลังอัดและกำลังดัดได้ไม่มาก ดังนั้นจึงได้เกิดแนวความคิดในการนำซีเมนต์กลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้และมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับปูนซีเมนต์มาเป็นส่วนผสมเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลงและเพื่อเพิ่มกำลังอัดและจะใช้น้ำยางพาราขึ้นเป็นส่วนผสมเพิ่มเพื่อพัฒนากำลังดัดซึ่งจะเป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างทางเลือกใหม่ ที่จะมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

เพื่อเพิ่มกำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้วัสดุปอสะไลทานที่นิยมนำมาทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งก็คือแก้วกลบ และสารเติมแต่งซึ่งก็คือยางพารา และพัฒนาวัสดุก่อสร้างทางเลือกใหม่ไปใช้งานในงานก่อสร้างต่อไป

ผลการดำเนินงาน

จากการขึ้นรูปชิ้นงานทรงคานเพื่อทดสอบกำลังอัดและขึ้นรูปชิ้นงานทรงลูกบาศก์เพื่อทดสอบกำลังอัด โดยเบื้องต้นได้ใช้อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.6 ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 7 14 และ 28 วันพบว่า ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วันและอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เป็น 0.4 ให้กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดสูงที่สุดคือ 74.47 และ 7.14 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6 ให้กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดต่ำที่สุดคือ 39.56 และ 5.15 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งเกิดจากปริมาณน้ำส่วนเกินทำให้เกิดการเอี่ยมบริเวณผิวหน้าของชิ้นงาน ทำให้มีรูพรุนในเนื้อชิ้นงานสูง ส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดลดลง และเมื่อทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ที่ผ่านการบด 180 นาที ซึ่งมีขนาดประมาณ 10 ไมโครเมตร และมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบประมาณ 72% ด้วยอัตราส่วน 20 30 และ 40% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และใช้อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เป็น 0.4 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เป็น 0.4 และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ที่บดละเอียด 20 โดยน้ำหนักพบว่าให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุดคือ 82.72 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรแสดงว่าซิลิกาในซีเมนต์ที่บดละเอียดเข้าไปทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เพสต์ได้พอดี ส่งผลทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งเป็นเฟสเชื่อมประสานในโครงสร้างมากขึ้นจึงทำให้ซีเมนต์ที่ถูกแทนที่ด้วยซีเมนต์ที่บดละเอียดสามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่าซีเมนต์เพสต์ธรรมดา

เมื่อศึกษาถึงการเติมน้ำยารักษาในซีเมนต์เพสต์โดยเลือกศึกษาที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5 และอัตราส่วนน้ำยารักษาตอปูนซีเมนต์เป็น 0.05 0.1 0.15 และ 0.2 ที่ระยะเวลาของการบ่ม 28 วัน ซึ่งในขั้นตอนของการผสมได้ทำการเติมสารช่วยผสมคือสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ซึ่งผลการทดลองพบว่า กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดลดลงตามปริมาณน้ำยารักษาที่เพิ่มขึ้นจาก 39.56 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (พารา/ซีเมนต์ คือ 0.05) ลดลงเป็น 31.33 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (พารา/ซีเมนต์ คือ 0.2) และกำลังรับแรงดัดลดลงจาก 4.593 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (พารา/ซีเมนต์ คือ 0.05) ลดลงเป็น 3.981 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (พารา/ซีเมนต์ คือ 0.2) ซึ่งเนื่องมาจากขณะทำการผสมได้เกิดฟองอากาศขึ้นจำนวนมากและปูนซีเมนต์กับชั้นยังเข้ากันได้ไม่ดีพอทำให้มองเห็นรอยต่อระหว่างเฟสอย่างชัดเจนโดยเฉพาะเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยารักษาเพิ่มขึ้น

และเมื่อนำซีเมนต์ที่บดมาทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และผสมน้ำยารักษาในอัตราส่วนน้ำยารักษาตอปูนซีเมนต์เป็น 0.05 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.6 เติมน้ำยารักษาชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ผลการทดสอบกำลังอัดพบว่า ที่ร้อยละการเติมซีเมนต์ที่บด 20 อัตราส่วนน้ำยารักษาตอปูนซีเมนต์เป็น 0.05 และอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ให้กำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 50.16 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร แสดงว่าการเติมซีเมนต์ที่บดเข้าไปในระบบของปูนซีเมนต์กับน้ำยารักษาสามารถเพิ่มกำลังรับแรงได้ดีขึ้น จะเห็นว่าซีเมนต์ที่บดสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้ถ้าใส่ในปริมาณที่เหมาะสมแต่น้ำยารักษาในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดัดได้

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าซีเมนต์ซีแอสสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ได้แต่น้ำยาราดผสมเข้าไม่สามารเพิ่มกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ได้แต่สามารถปรับปรุงได้โดยการเติมซีแอสผสมเพิ่มเข้าไปซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ อัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์เท่ากับ 0.4 อัตราส่วนน้ำยาราดต่อน้ำซีเมนต์เท่ากับ 0.05 ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเท่ากับร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีแอสร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์โดยมีลำดับการผสมคือ น้ำผสมสารลดแรงตึงผิวผสมน้ำยาราด และปูนซีเมนต์ผสมซีแอส จากนั้นจึงนำของเหลวผสมใส่เข้าไปในปูนซีเมนต์ที่ผสมซีแอสเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว อย่างไรก็ตามสูตรผสมข้างต้นยังไม่ดีพอในการที่จะนำไปใช้ในงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดมากๆแต่อาจจะเหมาะสมในการที่จะนำไปใช้ในงานก่อผนัง งานฉาบผิว หรืองานซ่อมแซมรอยแตกร้าวตามผนังตึกหรืออาคารได้

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ควรวิจัยเพิ่มเติมถึงวิธีการกำจัดฟองอากาศอย่างจริงจังเพราะส่งผลโดยตรงถึงความสามารถในการรับแรง รวมถึงศึกษาปริมาณและชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ช่วยทำให้ปูนซีเมนต์และน้ำยาราดผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยที่ก่อให้เกิดฟองอากาศน้อยที่สุด และศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดอนุภาคของซีแอสและอุณหภูมิในการเผาที่เหมาะสมด้วย จากผลงานวิจัยที่ได้เบื้องต้นสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการผลิตปูนซีเมนต์สำหรับทำปูนยาแนวหรือกาวซีเมนต์สำหรับงานซ่อมแซมได้ ซึ่งในท้องตลาดส่วนใหญ่จะใช้น้ำยาราดจากการสังเคราะห์ซึ่งต้นทุนการผลิตจะสูงกว่า และในการจะพัฒนาเพื่อต่อยอดในการจะผลิตเป็นคอนกรีตมวลเบาจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนและค่ากำลังอัดต่อหน่วยน้ำหนักเพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาที่มีขายในปัจจุบันด้วย

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ได้เข้าร่วมสัมมนาทางวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยในระดับชาติและระดับนานาชาติ และมีโอกาสจะได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการระดับนานาชาติในหัวข้อเรื่อง Fabrication and property of cement/rice husk ash/ natural rubber latex composites

บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัย นี้คือการใช้ตัวอย่างธรรมชาติซึ่งก็คือน้ำยางพาราชั้นเป็นสารเติมแต่งสำหรับการปรับปรุงกำลังรับแรงดัดและปรับปรุงกำลังรับแรงอัดโดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิการเผาไหม้ และทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ และ สมบัติเชิงกล (กำลังรับแรงดัดและกำลังรับแรงดัด) ของวัสดุผสม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (PC) - น้ำยางธรรมชาติ (NRL) - ซีเมนต์ร้อยละ (RHA) โดยงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เป็น 0, 0.05, 0.1, 0.15 และ 0.2 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และจะใช้ซีเมนต์ร้อยละที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์โดยจะทำการบดซีเมนต์เป็นเวลา 180 นาทีก่อนนำมาใช้และใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 โดยไม่รวมน้ำจากน้ำยางพาราชั้นและเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ลงไปก่อนผสมกับน้ำยางพาราชั้น และในน้ำยางพาราชั้นได้มีการผสมแอมโมเนียเข้าไปด้วย ในงานวิจัยนี้ใช้แม่พิมพ์ทรงลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 ลบ.ซม.และ รูปทรงคาน 4×4×16 ลบ.ซม. ในการขึ้นรูป หลังจากจากขึ้นรูปขึ้นงานในแม่พิมพ์จะทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นจะทำการบ่มขึ้นงานในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3, 7 และ 28 วันก่อนทดสอบ

ผลการวิจัยพบว่าโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสม ซีเมนต์/ยางพารา/ซีเมนต์ร้อยละ หลังการเซตตัวและผ่านการบ่มขึ้นเป็นเวลา 28 วันยังคงมีรูพรุนอยู่ในโครงสร้าง ความหนาแน่น กำลังรับแรงดัดและกำลังรับแรงอัดลดลงตามปริมาณน้ำยางพาราชั้นที่เพิ่มขึ้นในขณะที่การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนที่ให้กำลังรับแรงดัดที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้คือการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เป็น 0.05 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 ซึ่งจะให้กำลังรับแรงอัดสูงถึง 50.16 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร แต่ถึงกระนั้นอัตราส่วนนี้ยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดมากๆแต่อาจจะเหมาะสมในการที่จะนำไปใช้ในงานซ่อมแซมรอยแตกร้าวตามผนังตึกหรืออาคารได้

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ, ซีเมนต์ร้อยละ, กำลังรับแรงอัด, กำลังรับแรงดัด, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ABSTRACT

The aim of this research was to use latex from para-rubber as an admixture for improving flexural strength and investigate compressive strength by the use of Thai rice husk ash in 20, 30 and 40% replacements of Portland cement by mass in cement, without optimization of the ash by controlled burning. The physical properties, such as density and water absorption and mechanical properties (flexural strength and compressive strength) of Portland cement (PC), natural rubber latex (NRL), and rice husk ash (RHA) composites have been investigated. The latex per cement ratios used in this experiment were 0, 0.05, 0.10, 0.15 and 0.20 by weight of cement. Portland cement (PC) was partially replaced with rice husk ash by weight of binder. The rice husk ash was ground for 180 minutes before use. The water cement ratio equaled 0.4, 0.5 and 0.6 (by weight not including water in the latex). Nonionic surfactant 4% was added by weight of cement in water before mixing with natural rubber latex. In addition, to provide latex from natural rubber latex, an ammonia solution was added to the natural rubber. The specimens were packing into an iron mold sample size $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ and $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$. Subsequently, the specimens were kept at room temperature for 24 h and were moist cured in a water bath at 3, 7 and 28 days at room temperature before measurement.

The research showed that the microstructure of PC-NRL-RHA composites after hydrating for 28 days shows some porosity. The density, compressive and flexural strength was found to be decreased, with NRL increasing, while water absorption of composite increased with higher natural rubber latex per cement ratios. The best compressive strength result was obtained with the percentages of cement replaced by 20% rice husk ash (RHA). The latex per cement ratios were 0.05 with water cement ratio was 0.4 which gave a high compressive strength value as 50.16 N/mm^2 . However, this is not suitable for compressive structures but may be suitable for repairable works.

Keyword: Natural rubber latex, Rice husk ash, Compressive strength, Flexural strength, Portland cement

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องจากการได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อานนท์ ชัยพานิช ที่ได้ให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อในการใช้เครื่องมือทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณนักศึกษา นายธนพงษ์ ไชยปนต์ นางสาวชราภรณ์ ไม้สังข์ และนางสาวเพชรรัตน์ เทพฝัน ที่ได้ช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยในหลายส่วน

ขอขอบคุณสาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือทดสอบตลอดการดำเนินงานวิจัย

คณะผู้วิจัย
กันยายน 2556

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	i
ABSTRACT	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
สารบัญ	iv
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีแนวคิดในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีแนวคิดในการวิจัย	3
2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัย	6
3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์	6
3.3 วิธีการทดลอง	
3.3.1 ออกแบบและคำนวณอัตราส่วนผสม	6
3.3.2 ลำดับการผสม	7
3.3.3. วิธีการผสมและขึ้นรูป	7
3.3.4 การทดสอบ	9
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ตอนที่ 1 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำ (ซีเมนต์เพสต์)	11
4.2 ตอนที่ 2 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมซีเมนต์เถ้ากลบ	14
4.3 ตอนที่ 3 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยางพาราชั้น	17
4.4 ตอนที่ 4 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยางพาราชั้นผสมซีเมนต์เถ้ากลบ	21
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	22
5.2 ข้อเสนอแนะ	23
เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญมากชนิดหนึ่งของประเทศไทย และในปัจจุบันได้มีการใช้ยางพาราภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น โดยมียางสังเคราะห์เป็นคู่แข่งการตลาดที่สำคัญ ทำให้บางช่วงราคายางพาราประสบปัญหาราคายางพาราตกต่ำ ดังนั้นในปัจจุบันได้มีนักวิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เดิมของยางพาราที่มีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้นและยังมีการคิดค้นสรรหาวิธีการใหม่ๆ ที่จะส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีของยางพาราให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์แปรรูปที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น[1-3]

นอกจากยางพาราแล้วยังมี ข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่สำคัญมากอีกชนิดหนึ่ง ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวมากที่สุด มีกำลังผลิตข้าวปีละประมาณ 25 ล้านตัน ซึ่งเป็นเปลือกข้าวหรือแกลบประมาณ 5 ล้านตัน ดังนั้นจะเห็นว่าอุตสาหกรรมผลิตข้าวเป็นอุตสาหกรรมที่มีแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากและ การนำแกลบไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบันยังทำได้น้อยมากส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น การกองเก็บ และการกำจัดทิ้ง จากกระแสของการประหยัดพลังงานที่กำลังเพิ่มขึ้นในปัจจุบันของประเทศไทย ทำให้การใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

วัสดุประเภทหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลายและในปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้มากขึ้นเรื่อยๆ คือ คอนกรีตมวลเบา แต่ปัญหาหนึ่งที่สำคัญของคอนกรีตมวลเบาคือ มีราคาสูง และรับกำลังอัดและกำลังดัดได้ไม่มาก [2,4] ซึ่งที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มได้พยายามพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้วัสดุที่เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น แกลบลอย แกลบ และ ตะกรันเหล็ก เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันปัญหาเรื่องมลภาวะทางอากาศและปัญหาโลกร้อนเป็นปัญหาที่ต้องการการแก้ไขอย่างเร่งด่วน และเนื่องจากการเผาวัสดุดิบเพื่อผลิตปูนซีเมนต์มักจะก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และปัญหาโลกร้อน

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำซีเมนต์แกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร และน้ำยางพาราซึ่งมีส่วนประกอบของเนื้อยางและน้ำมาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์และปรับปรุงสมบัติของซีเมนต์ในการเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดและกำลังดัดเนื่องจากว่าส่วนประกอบหลักของปูนซีเมนต์มีสารซิลิกาเป็นองค์ประกอบ และตัวแกลบเองซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานจะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูงถึง 70-90% จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำแกลบมาผสมเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลงและในน้ำยางพาราจะประกอบไปด้วยเนื้อยางและน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อนำไปผสมกับปูนซีเมนต์ น้ำในน้ำยางน่าจะสามารถทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เพื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้ปูนซีเมนต์เซตตัวได้และตัวเนื้อยางน่าจะเข้าไปช่วยเติมช่องว่างหรือโพรงอากาศในเนื้อของซีเมนต์ทำให้มีการแน่นตัวที่ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลถึงความสามารถในการรับแรงได้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเพิ่มกำลังอัดและกำลังตัดของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้ซีเมนต์/เถ้าแกลบและน้ำยางพาราชั้น
2. เพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างทางเลือกใหม่ซีเมนต์/เถ้าแกลบ/ยางธรรมชาติไปใช้งานได้จริงในงาน

ก่อสร้าง

บทที่ 2

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย

การจะนำเถ้าแกลบมาแทนที่ในปูนซีเมนต์จะอาศัยการทำปฏิกิริยาของเถ้าแกลบ เถ้าแกลบซึ่งมี SiO_2 อยู่เป็นหลัก เมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) และน้ำ (H_2O) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน (Hydration product) ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium silicate hydrate; CSH) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (Calcium aluminate hydrate; CAH) รวมทั้งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide; $\text{Ca}(\text{OH})_2$) และ SiO_2 จากเถ้าแกลบจะทำปฏิกิริยากับไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) แลไฮดรอกไซด์ (OH^-) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต เพิ่มขึ้นดังสมการ [5]



ซึ่งกำลังอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ อายุ 28 วัน เมื่อผสมเถ้าแกลบจะอยู่ในช่วง 17-50 เมกะปาสคาล [10] จะเห็นว่าเถ้าแกลบสามารถพัฒนากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ในระยะยาวได้

น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือครีม โดยมีอนุภาคแขวนลอยกระจัดกระจาย อยู่ในตัวกลางที่เรียกว่าซีรัม (Serum) อนุภาคยางมีรูปร่างกลม หรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05-5 ไมครอน ความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.5-7.0 น้ำยางธรรมชาติจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นเนื้อยางเพียง 30-36% ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber component) เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และอนุมูลของโลหะ ประมาณ 5-6% และน้ำประมาณ 55-58% ผิวของอนุภาคยางมีเยื่อหุ้ม (Membrane) ที่ประกอบด้วยไขมันและโปรตีนโดยแต่ละอนุภาคมีอนุมูลของโปรตีนอยู่รอบนอก ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งมีผลทำให้น้ำยางสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ ดังนั้นเมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มอนุภาคหรือมีการสะเทินอนุภาคกลับ จะทำให้อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางเกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อน ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียวที่ซ้ำๆ กัน เป็นจำนวนมาก มีสมบัติที่สำคัญคือมีความยืดหยุ่น โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม C_5H_8 มีชื่อทางเคมีเรียกว่า ไอโซพรีน (Isoprene) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะ เรียงตัวกันแบบ CIS-Configuration [6]

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าในน้ำยางพาราจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบค่อนข้างมาก ซึ่งในปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ก็ต้องอาศัยน้ำในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ซีเมนต์มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานคล้ายกาวในงาน

โครงสร้างแต่อย่างไรก็ตามซีเมนต์เพสต์ยังขาดคุณสมบัติในการยืดหยุ่น (flexibility) ที่ดี ซึ่งหากนํายางพาราซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสานคล้ายซีเมนต์เพสต์แต่มีความยืดหยุ่นและความเหนียวที่ดีกว่ามากมาประยุกต์ใช้เป็นตัวผสมเพิ่มน่าจะพัฒนาสมบัติการยืดหยุ่นให้ดีขึ้นในงานโครงสร้างได้

2.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

ในหลายปีที่ผ่านมางานวิจัยหลายๆฉบับ มีการนํายาง หรือพอลิเมอร์ มาผสมกับซีเมนต์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านต่างๆเช่น

Ke-Ru Wu และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์โมดิฟายด์ผสมกับซีเมนต์-มอร์ตาร์โดยใช้ยางสไตรีนอะคลิเลต และยางสไตรีนบิวทาไดอีน ที่เป็นของเหลว โดยใช้วิธีนํารายมาผสมกับนํายางให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำซีเมนต์มาผสม ตามด้วยน้ำและสารเติมแต่ง เทียบกับการผสมธรรมดา พบว่าสมบัติเชิงกลของการผสมโดยใช้วิธีใหม่ ดีกว่าการผสมแบบธรรมดา

ศิริชัย ห่วงจริง และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาการใช้ยางธรรมชาติสำหรับถนนผิวจราจรแบบยืดหยุ่น สำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีสองลักษณะคือใช้ผสมหินฝุ่นในการก่อสร้างผิวจราจร และปรับปรุงคุณสมบัติดินเพื่อใช้เป็นพื้นทาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ทดแทนการใช้ยาง มะตอยสำหรับผิวทาง และหินคลุกสำหรับพื้นทาง ผลจากการศึกษาทดลองพบว่าการใช้ยางพาราผสมหินฝุ่นทำผิวจราจรมีคุณสมบัติในการกระจายแรงได้ดีกว่าผิวยางมะตอยแบบ Penetration Grade และการใช้ยางพาราผสมกับดินถมหอบ จะช่วยให้คุณสมบัติทางด้านกำลังของดินสูงขึ้นตามปริมาณการใช้ยางพารา ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้แทนหินคลุกในการทำพื้นทางได้

รัฐภูมิ ฐัแทนคุณ [6] ได้ศึกษาการผสมยางพาราในอิฐซีเมนต์ ชนิดของนํายางพาราที่ใช้คือ นํายางรักษาสภาพแอมโมเนียสูง นํายางสำหรับงานหล่อเป่า และกาวยาง พบว่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมีแนวโน้มลดลง ค่ากำลังดัดของอิฐมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การรับแรงกระแทกของอิฐมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ประชุม คำพุด [9] ได้ศึกษาการนํานํายางพารา มาใช้เป็นสารผสมเพิ่มในการปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์:ทรายบดละเอียด เท่ากับ 1:1โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนนํายางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0, 0.10, 0.15 และ 0.20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ทำการผสมและอบไอน้ำตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 นำมาทดสอบค่าความหนาแน่นค่ากำลังอัดและค่ากำลังดัด ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ผลการวิจัยพบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของนํายางพาราต่อปูนซีเมนต์ ในขณะที่ค่ากำลังดัดของคอนกรีตจะแปรผันตรงกับอัตราส่วนของนํายางพาราต่อปูนซีเมนต์ โดยที่เมื่อผสมนํายางพารามากขึ้นค่ากำลังอัดจะลดลงแต่ค่ากำลังดัดจะเพิ่มขึ้น โดยปริมาณนํายางพาราที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้คือ การใช้อัตราส่วนนํายางพาราต่อปูนซีเมนต์ 0.10

นอกจากนี้ประชุม คำพุด และคณะ [10] ยังได้ศึกษาการนํานํายางธรรมชาติมาผสมในคอนกรีตบล็อก เพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัย

- 3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ปูนตราช้าง)
- 3.1.2 น้ำประปา
- 3.1.3 นํ้ายาล้างจานโดยผสมสารรักษาสภาพ
- 3.1.4 ซีเมนต์ขาว
- 3.1.5 สารลดแรงตึงผิว Nonylphenol-9 (NP-9)

3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์

- 3.2.1 แม่พิมพ์ทรงลูกบาศก์ ขนาด 5×5×5 ลบ.ซม.
- 3.2.2 แม่พิมพ์รูปทรงคาน ขนาด 4×4×16 ลบ.ซม.
- 3.2.3 เครื่องผสมยี่ห้อ DUTCHESS Professional
- 3.2.4 เครื่องชั่ง
- 3.2.5 เครื่องชั่ง
- 3.2.6 ซ้อนตัก
- 3.2.7 เตาอบรุ่น BINDEK service-Hotline
- 3.2.8 ถังพลาสติกสำหรับบ่ม
- 3.2.9 เครื่องทดสอบแรงอัด รุ่น Tecnotest Modena-ITALY
- 3.2.10 เครื่องทดสอบแรงดัดรุ่น Universal testing machine 50 KN MODEL TM 115

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ออกแบบและคำนวณอัตราส่วนผสม

ตอนที่ 1 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำ (ซีเมนต์เพสต์) ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 บ่มขึ้นเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน

ตอนที่ 2 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ใช้ซีเมนต์ขาวแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักบ่มขึ้นเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน

ตอนที่ 3 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยาล้างจาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.5 ใช้สารลดแรงตึงผิว (NP-9) 4% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ใช้อัตราส่วนน้ำ

ยางพาราชั้นต่อซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0, 0.05, 0.1, 0.15 และ 0.2 บ่มขึ้นเป็นเวลา 28 วัน

ตอนที่ 4 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยางพาราชั้นผสมซีเมนต์ไฉ่ไฉ่กลบ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ใช้สารลดแรงตึงผิว (NP-9) 4% โดยน้ำหนักของปูน ปูนซีเมนต์ใช้ซีเมนต์ไฉ่ไฉ่กลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักบ่มขึ้นเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน

3.3.2 ลำดับการผสม

ตอนที่ 1 ปูนซีเมนต์ → น้ำ

ตอนที่ 2 ปูนซีเมนต์ → ซีเมนต์ไฉ่ไฉ่กลบ → น้ำ

ตอนที่ 3 น้ำยางพาราชั้น → NP-9 → น้ำ + ปูนซีเมนต์

ตอนที่ 4 น้ำยางพาราชั้น → NP-9 → น้ำ + ปูนซีเมนต์ → ซีเมนต์ไฉ่ไฉ่กลบ

3.3.3. วิธีการผสมและขึ้นรูป

1. ทำความสะอาดหม้อเครื่องผสม ใบพาย และแม่พิมพ์ ให้แห้ง
2. เทส่วนผสมที่เตรียมไว้ลงไปลงในหม้อผสม



รูปที่ 1 เทส่วนผสมลงไปลงในหม้อผสม

3. เดินเครื่องผสมเกียร์ 1 (140 ± 5 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 30 วินาที
4. ปรับความเร็วเครื่องผสมแล้วเปลี่ยนอัตราเร็วเป็น เกียร์ 2 (285 ± 10 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 30 วินาที
5. หยุดเครื่องผสมเป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที ระหว่างนี้ให้ชุดซีเมนต์ที่ติดอยู่ข้างๆ หม้อผสมและที่ใบพายให้มารวมอยู่ตรงกลางให้เสร็จภายใน 15 วินาที

6. เดินเครื่องผสมต่ออีก 1 นาทีด้วยอัตราความเร็วเป็นเกียร์ 2 (285 ± 10 รอบต่อนาที)
7. นำส่วนผสมเทลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้



รูปที่ 2 เทส่วนผสมลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้

8. ใช้พลาสติกคลุมแม่พิมพ์ไว้ แล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์
9. นำไปบ่มในถังพลาสติกที่ใส่น้ำไว้ จนครบที่กำหนดแล้วนำไปทดสอบ



รูปที่ 3 การบ่มชิ้นงาน

3.3.4 การทดสอบ

3.3.4.1 ทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C642

3.3.4.2 ทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C62-10

วิธีการทดสอบ

1. นำก้อนตัวอย่างวางกึ่งกลางของแท่นทดสอบโดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด
2. เปิดเครื่องทดสอบโดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมออัตราที่ใช้ 1.4 – 3.4 กก./ตร.ซม./วินาที
3. กดก้อนตัวอย่างจนแตก บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้
4. นำค่าน้ำหนัก และพื้นที่หน้าตัดที่ได้หาค่ากำลังอัดประลัย

$$\text{กำลังอัดประลัยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดประลัย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่าง}}$$

หน่วยที่ใช้ คือ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm^2)



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบกำลังแรงอัด

3.3.4.3 ทดสอบกำลังดัดตามมาตรฐาน ASTM C78

วิธีการทดสอบ

1. นำแท่นทดสอบตัวอย่างรูปคาน ติดเข้ากับเครื่องทดสอบ
2. วางก้อนตัวอย่างลงบนแท่นโดยให้รอยขีดอยู่ตรงกับฐานของแท่น
3. นำแท่นกดด้านบนวางบนก้อนตัวอย่างให้ตรงรอยขีดเช่นกัน
4. ตั้งน้ำหนักคงที่ อัตราที่ใช้คือ 0.14–0.20 กก./ตร.ซม./วินาที
5. เปิดเครื่องกดน้ำหนัก
6. บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด เพื่อนำไปคำนวณกำลังดัด



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดัด

3.3.4.4 ถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(Scanning Electron Microscope : SEM)



รูปที่ 6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

บทที่ 4

ผลการวิจัย

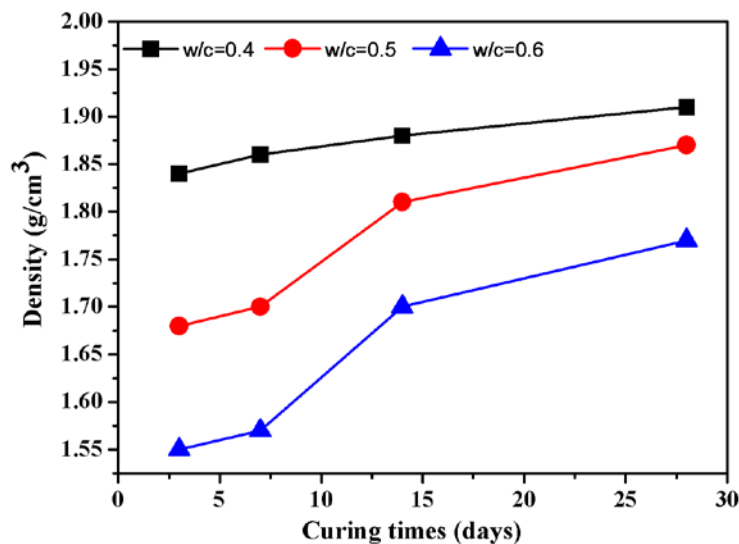
ในงานวิจัยนี้ข้อกำหนดข้อตกลงให้เรียกสัดส่วน น้ำยางพาราชั้น/ซีเมนต์ เป็น P/C และ อัตราส่วน น้ำ/ซีเมนต์ เป็น W/C ซีเมนต์แกลบ เป็น RHA ยางธรรมชาติหรือยางพารา คือ NRL และซีเมนต์เพสต์ เป็น PC โดยจะใช้น้ำยางพาราชั้นซึ่งมีค่า %TSC เท่ากับ 60% ตลอดการวิจัย และทำการบ่มขึ้นโดยการแช่ชิ้นงานในน้ำ ตามระยะเวลาที่กำหนด โดยผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ตอน ตามวิธีการทดลอง

4.1 ตอนที่ 1 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำ (ซีเมนต์เพสต์) ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5

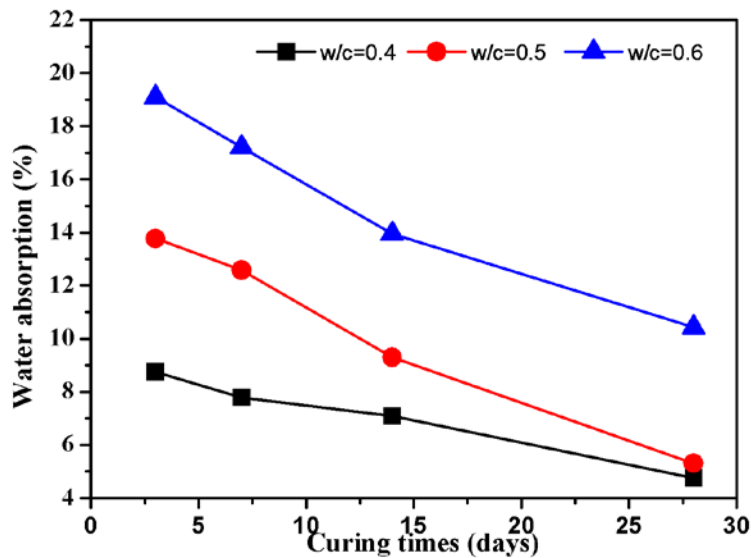
และ 0.6 บ่มขึ้นเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน

ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 7 และ 8 แสดงค่าความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วน W/C = 0.40, 0.50 และ 0.60 ในแต่ละอัตราส่วนจะมีระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน พบว่าค่าความหนาแน่นจะมีค่ามากที่สุดที่อัตราส่วน W/C = 0.4 และมีค่าน้อยที่สุด เมื่อ W/C = 0.6 ซึ่งตรงกันข้ามกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่พบว่ามีค่ามากที่สุดที่ อัตราส่วน W/C = 0.6 และมีค่าน้อยสุด ที่อัตราส่วน W/C = 0.4



รูปที่ 7 แสดงค่าความหนาแน่นของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

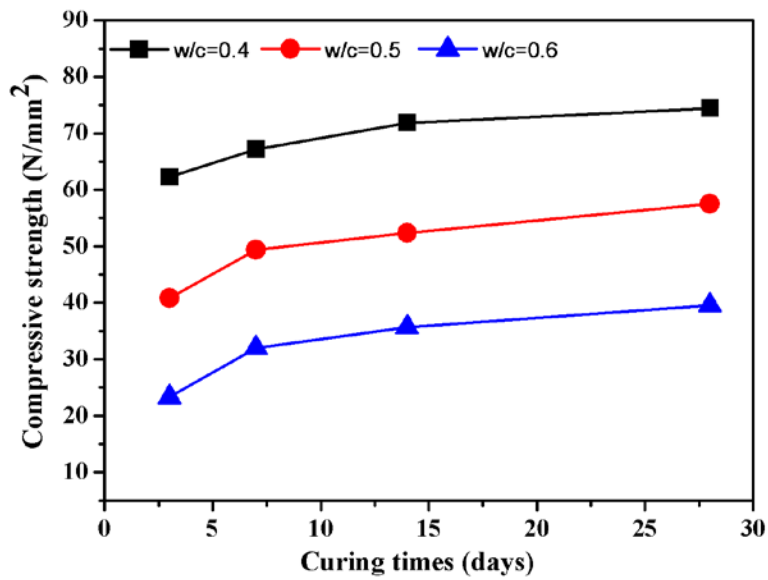


รูปที่ 8 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน ที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

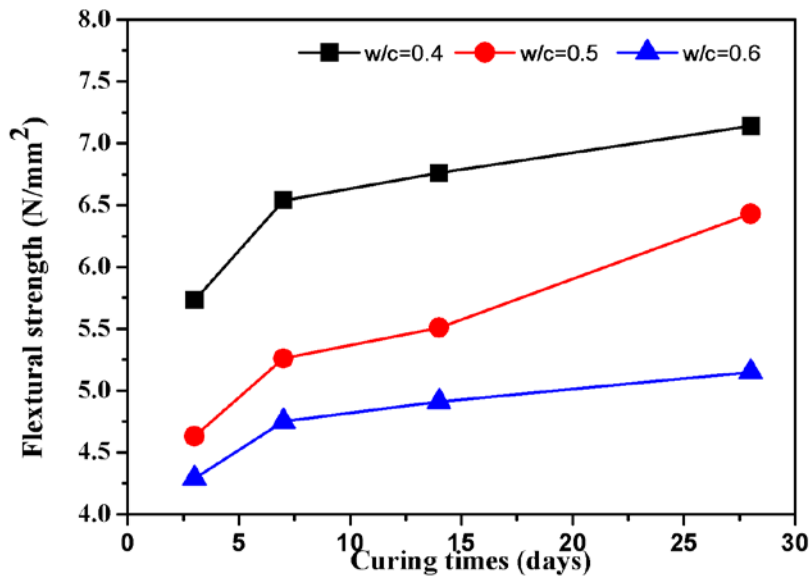
เนื่องจากการที่อัตราส่วน W/C มากขึ้น จะทำให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) คือการคายน้ำจากส่วนผสมคอนกรีตที่มีเหลือจากการทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ การเยิ้มน้ำจะส่งผลให้อัตราส่วนที่บริเวณผิวสูงขึ้น น้ำที่ลอยขึ้นจะพามวลรวมละเอียดขึ้นมามาก จะทำให้เกิดชั้นของส่วนละเอียดบนผิวหน้า ซึ่งเป็นรูพรุนไม่แข็งแรง และเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะเกิดช่องว่างที่น้ำซึมผ่านทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการบ่มมีผลกับการดูดซึมน้ำ จากทฤษฎี การบ่มช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ทำให้ความพรุนของเพสต์ลดลงในระยะยาว [15]

กำลังรับแรงของซีเมนต์เพสต์

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วน W/C = 0.4, 0.5 และ 0.6 แสดงดังรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่ากราฟผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกันคือกำลังรับแรงจะลดลงตามปริมาณ W/C ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการเกิดรูพรุนและเกิดโพรงอากาศในโครงสร้างเพราะการเยิ้มของปริมาณน้ำส่วนเกินจะทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคของซีเมนต์มีมากขึ้นทำให้ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานต่ำลง แต่หากพิจารณาตามระยะเวลาของการบ่ม จะเห็นว่าค่ากำลังรับแรงอัดและแรงดัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากผลของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ ทำให้เกิดโครงสร้างที่ทำหน้าที่เชื่อมประสาน ซึ่งก็คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเกิดมากขึ้น ซึ่งจะทำให้รูพรุนและโพรงอากาศในโครงสร้างค่อยๆ ลดลงส่งผลทำให้ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานในระยะยาวเพิ่มขึ้น



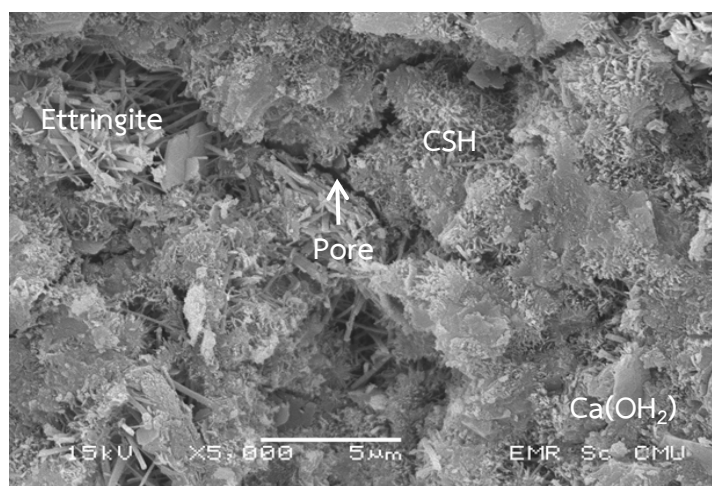
รูปที่ 9 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน ที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน



รูปที่ 10 แสดงกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน ที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์หลังไฮเดรตเมื่อผ่านการบ่มเป็นเวลา 28 วันแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ โดยเทคนิค SEM

จากรูปที่ 11 จะพบว่ามีเกิดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขึ้น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ผิวระหว่างของแข็งโดยตรง และเรียกปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction” จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จึงทำให้ได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, Ca(OH)_2) ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนเล็กๆกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างของปูนซีเมนต์นอกจากนี้ยังทำให้เกิดซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate, CSH) ที่มีลักษณะคล้ายเส้นใยเล็กๆพันกันไปมา ซึ่งทั้ง Ca(OH)_2 และ CSH ล้วนเกิดจากสารประกอบหลักของซิลิเกตทำปฏิกิริยากับน้ำ นอกจากนี้ยังพบชั้นของเอททริงไกต์ (Ettringite) ที่มีลักษณะคล้ายแท่งเข็มเล็กๆซึ่งเกิดจากไตรซิลิเกตทำปฏิกิริยากับยิปซัม ซึ่งเป็นสารประกอบหลักเช่นกัน และ ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ยังทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างและรูพรุนตามมาอีกด้วย[15]

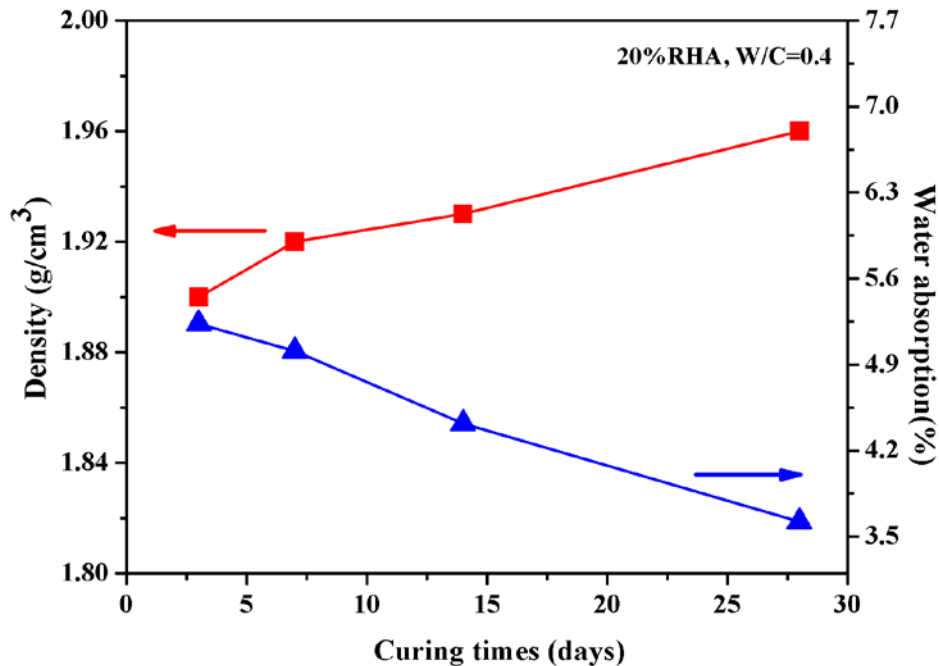
4.2 ตอนที่ 2 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมซีเมนต์ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ใช้ซีเมนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก บ่มขึ้นเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน

ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ

ในหัวข้อนี้ศึกษาผลของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำโดยได้เลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.4 ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 12

จากรูปจะเห็นว่าค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้นในขณะที่การดูดซึมน้ำจะลดลงและเมื่อเทียบกับกราฟความหนาแน่นในรูปที่ 7 และการดูดซึมน้ำในรูปที่ 8 ที่ $\text{W/C} = 0.4$ พบว่าซีเมนต์

เพสต์ที่ผสมซีเมนต์แล้วทำให้ผลที่ดีกว่า อาจเป็นเพราะว่าซีเมนต์มีความพรุนสูง สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากซึ่งลดการเย็นน้ำลงได้ และยังทำให้ส่วนผสมเกาะตัวกันได้ดีเป็นผลทำให้โอกาสในการเกิดการแยกตัว (Segregation) ของซีเมนต์เพสต์ลดน้อยลงได้ [16]

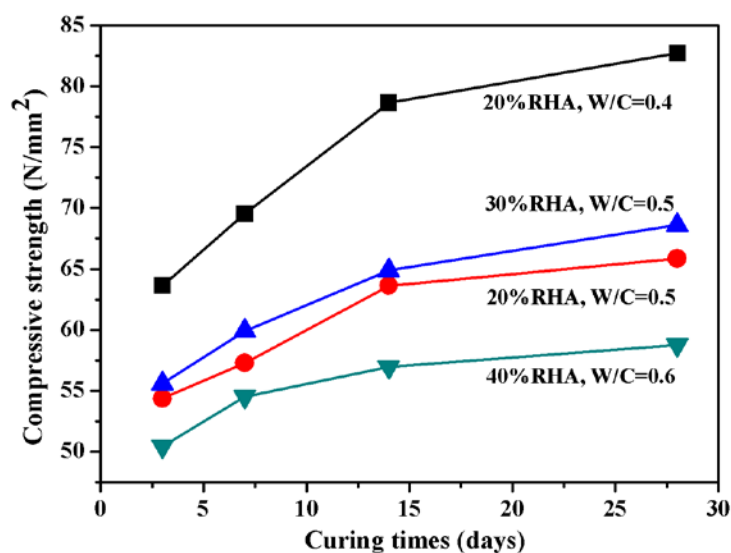


รูปที่ 12 แสดงค่าความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของ PC-RHA ที่ W/C=0.4 และระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมซีเมนต์แล้ว

ผลการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์แล้วต่อกำลังรับแรงอัดแสดงดังรูปที่ 13 ซึ่งอัตราการแทนที่ของซีเมนต์แล้วที่เลือกศึกษาในหัวข้อนี้คือ ร้อยละ 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ โดยที่ไม่สามารถกำหนดค่า W/C ให้เท่ากันได้เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์แล้วทำให้มีความต้องการน้ำในการผสมเพิ่มขึ้นเนื่องจากซีเมนต์แล้วเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสูงดังนั้นในการผสมและขึ้นรูปต้องหาอัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมก่อน

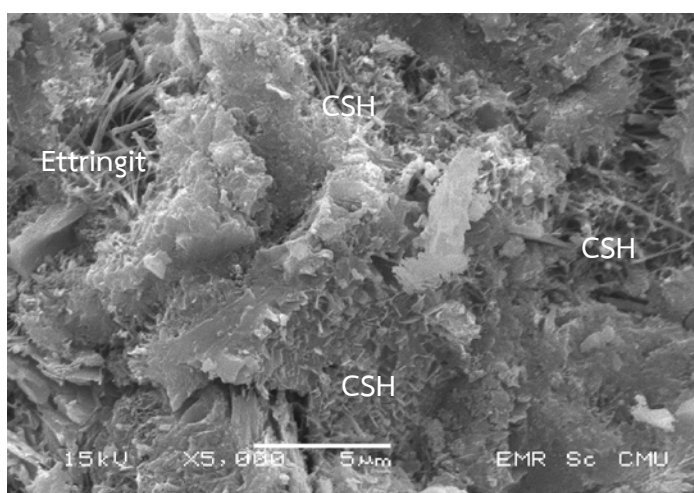
จากรูปที่ 13 จะเห็นว่าที่อัตราการแทนที่ของซีเมนต์แล้วเป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และที่ W/C=0.4 ให้ค่ากำลังอัดที่ดีที่สุด



รูปที่ 13 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมซีเถ้าแกลบที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน ที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมซีเถ้าแกลบร้อยละ 20 ของซีเมนต์หลังไฮเดรตเมื่อผ่านการบ่มเป็นเวลา 28 วัน ที่ W/C=0.4 แสดงดังรูปที่ 14 ผลผลิตไฮเดรชันของเถ้าแกลบกับปูนซีเมนต์ประกอบไปด้วยผลผลิตไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากผลผลิตไฮเดรชันดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับเถ้าแกลบได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มขึ้น โครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าแกลบจึงคล้ายกับโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ โดยที่ปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตจะเพิ่มขึ้นและแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะลดลงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของซิลิกาในเถ้าแกลบ

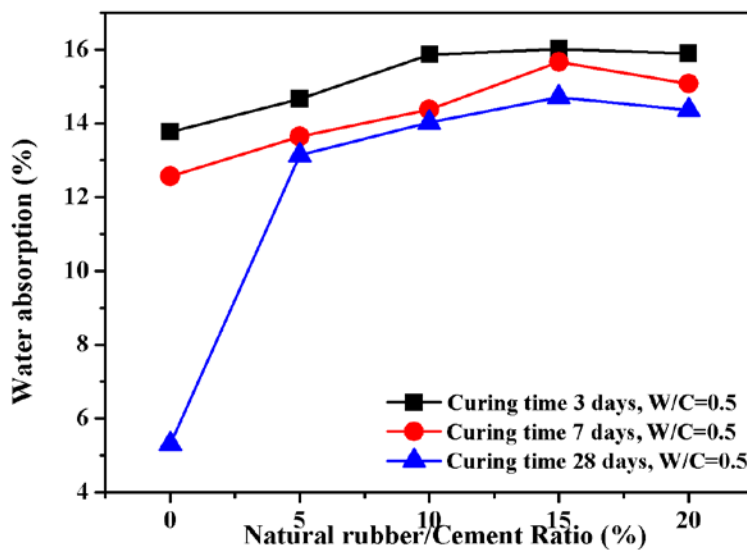


รูปที่ 14 แสดงโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมซีเถ้าแกลบ โดยเทคนิค SEM

4.3 ตอนที่ 3 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยางพาราชั้นใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.5 ใช้สารลดแรงตึงผิว (NP-9) 4% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นต่อซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0, 0.05, 0.1, 0.15 และ 0.2 บ่มขึ้นเป็นเวลา 28 วัน

ค่าการดูดซึมน้ำ

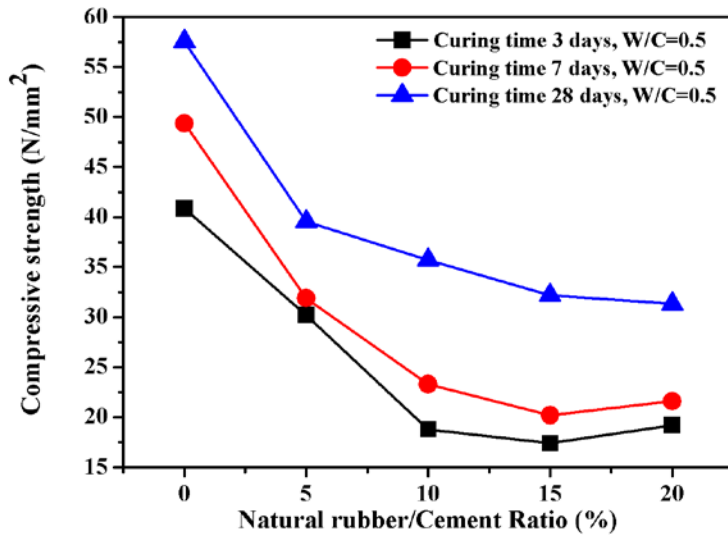
รูปที่ 15 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ของซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราชั้นของอัตราส่วนโดยน้ำหนัก P/C = 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 ในแต่ละอัตราส่วนจะมีระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน พบว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมากที่สุด คือ อัตราส่วน 0.2 และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่น้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 0.05 เนื่องจากน้ำยางข้นเมื่อถูกแรงกดอัดและเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดการจับตัวของอนุภาคยางกลายเป็นลาเท็กซ์ (latex) จากการเรียงตัวเป็นระเบียบของสายโมเลกุล (crystallization) หรือจากการก่อตัวของน้ำยางเนื่องจากการเสียดสี ซึ่งจะเกิดลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มแทรกภายในเนื้อซีเมนต์เพสต์ ซึ่งแผ่นฟิล์มเหล่านี้ไม่ดูดซึมน้ำ และจะไปเคลือบผิวหน้า อีกทั้งอุดช่องว่างภายในเนื้อซีเมนต์เพสต์ ส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำลดลง แต่เมื่อเพิ่มน้ำยางในปริมาณที่มากขึ้นพบว่าอัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณยางที่เพิ่มขึ้นทำให้การเรียงตัวของสายโมเลกุลมีปริมาณมากขึ้น และจับตัวกันเองเป็นกลุ่มๆ ทำให้เนื้อซีเมนต์เพสต์มีช่องว่างเกิดขึ้นมาก จึงมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำมากขึ้น [12]



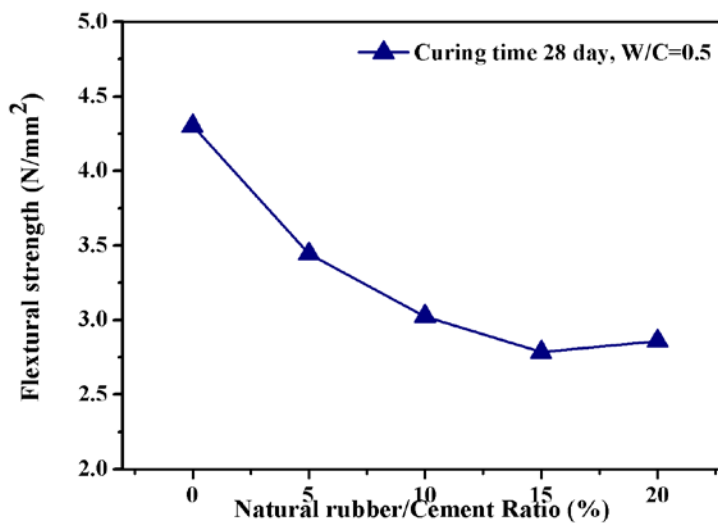
รูปที่ 15 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของซีเมนต์ผสมยางพาราที่อัตราส่วน P/C ต่างกัน และ W/C = 0.5 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราชั้น

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราชั้นของอัตราส่วนโดยน้ำหนัก P/C = 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 ในแต่ละอัตราส่วนจะมีระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 16 และผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราชั้นของอัตราส่วนโดยน้ำหนัก P/C = 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 ในแต่ละอัตราส่วนจะมีระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน แสดงดังรูปที่ 17



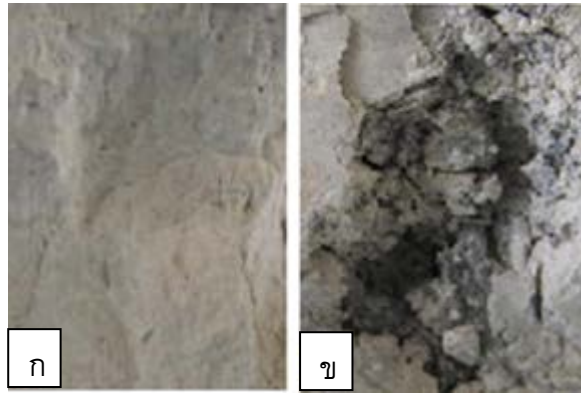
รูปที่ 16 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมยางพาราที่อัตราส่วน P/C ต่างกัน ที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7 และ 28 วัน



รูปที่ 17 แสดงกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางพาราชั้นที่อัตราส่วน P/C ต่างกัน ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

จากรูปพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมน้ำยางพาราชั้นเพิ่มขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดและค่ากำลังรับแรงดัดลดลงอย่างมาก คาดว่าเกิดจากการยึดเกาะกันของเนื้อยางพาราและปูนซีเมนต์ยึดเกาะกันไม่ดีพอ ซึ่งสามารถยืนยันได้จากรูปที่ 18 ซึ่งรูป ก แสดงตัวอย่างผิวชิ้นตัวอย่างที่ไม่ผสมยาง ส่วนรูป ข แสดงตัวอย่างผิวชิ้นงานที่ผสมยางที่อัตราส่วน P/C = 0.2 เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ก มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และมีการยึดเกาะกันที่ดีกว่า ข สอดคล้องกับรูปที่ 19 เมื่อ อัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นเพิ่มขึ้น โมเลกุลยางพาราจะจับกันเองเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนทำให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่เกิดขึ้น จากรูปสามารถเห็นได้ชัดเจนว่าโมเลกุลยางเกิดการจับตัวกันตรงกลางของชิ้นงาน ส่งผลให้เนื้อซีเมนต์เพสต์มีช่องว่างเกิดขึ้นมากส่งผลให้กำลังรับแรงอัดและดัดลดลง

อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กำลังรับแรงอัดและแรงดัดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราชั้นอาจเนื่องมาจากการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ NP-9 ลงไปเพื่อช่วยในการผสม แต่กลับทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากดังรูปที่ 20 ซึ่งน่าจะส่งผลทำให้กำลังรับแรงลดลงอย่างมาก



รูปที่ 18 แสดงผิวชิ้นงานที่ได้จากกล้องถ่ายภาพ ซึ่ง ก คือซีเมนต์เพสต์ที่ไม่น้ำผสมยางพาราชั้น ข คือซีเมนต์เพสต์ที่ผสมน้ำยางพาราชั้นที่อัตราส่วน $P/C = 0.2$ และระยะเวลาการบ่ม 28 วัน



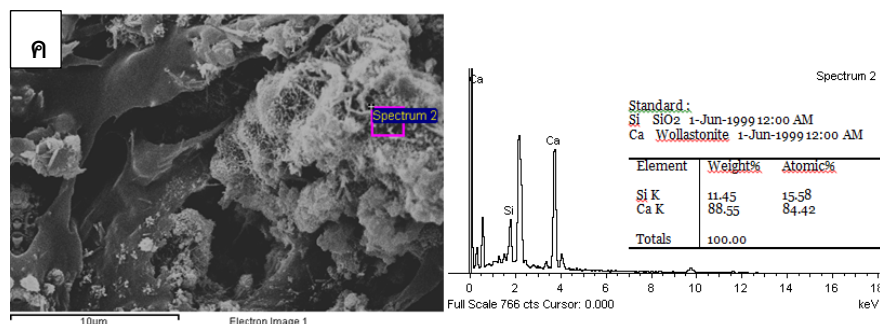
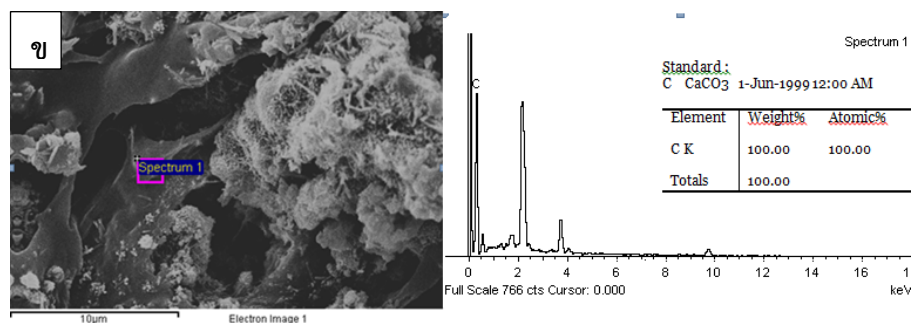
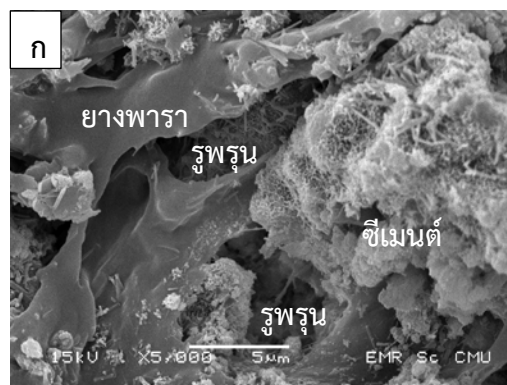
รูปที่ 19 แสดงการจับตัวกันของเนื้อยางพาราในชิ้นงานทรงลูกบาศก์ ขนาด 5x5x5 ลบ.ซม.



รูปที่ 20 แสดงฟองอากาศขนาดเล็กของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางพาราชั้นเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว NP-9

การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

โครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราชั้นที่อัตราส่วน P/C = 0.05 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วันแสดงดังรูปที่ 21 จากรูปที่ 21 (ก) จะเห็นว่าวัสดุผสมซีเมนต์ยางพารามีรูพรุนเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างเฟสค่อนข้างมาก เนื่องมาจากความเข้ากันได้ของเนื้อยางพาราและองค์ประกอบเฟสของซีเมนต์หลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันยังไม่ดีพอ และอาจเป็นผลจากการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (NP-9) ซึ่งทำให้เกิดฟองในขณะผสม ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างของวัสดุผสมซีเมนต์ยางพารา จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS ในรูปที่ 21 (ข) พบว่าเป็นธาตุคาร์บอน (C) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของยางธรรมชาติ และในรูปที่ 21 (ค) สามารถยืนยันได้ว่าเป็นเฟสของซีเมนต์ซึ่งพบธาตุซิลิกอน และ แคลเซียมเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในออกไซด์ของปูนซีเมนต์

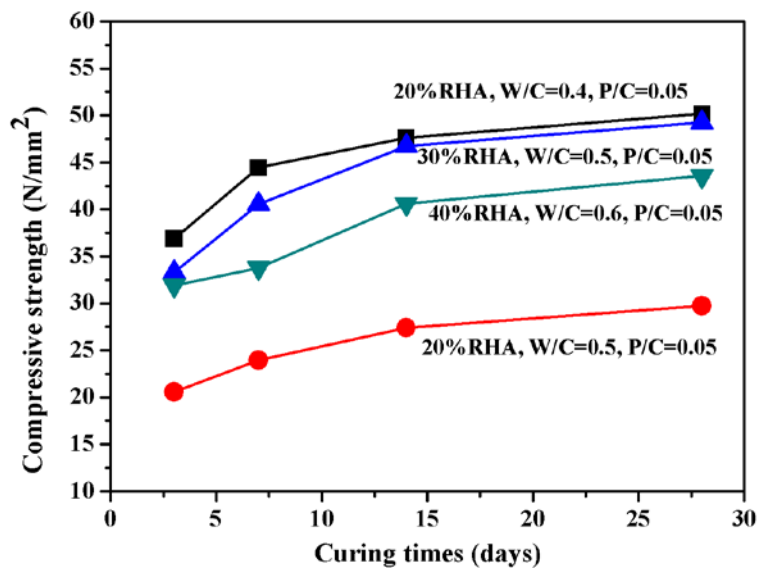


รูปที่ 21 (ก) แสดงรอยต่อระหว่างยางพารากับโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์โดยเทคนิคSEM, (ข)แสดงการวิเคราะห์ธาตุ โดยเทคนิค EDS ในพื้นที่ Spectrem 1, (ค)แสดงการวิเคราะห์ธาตุ โดยเทคนิค EDS ในพื้นที่ Spectrem 2

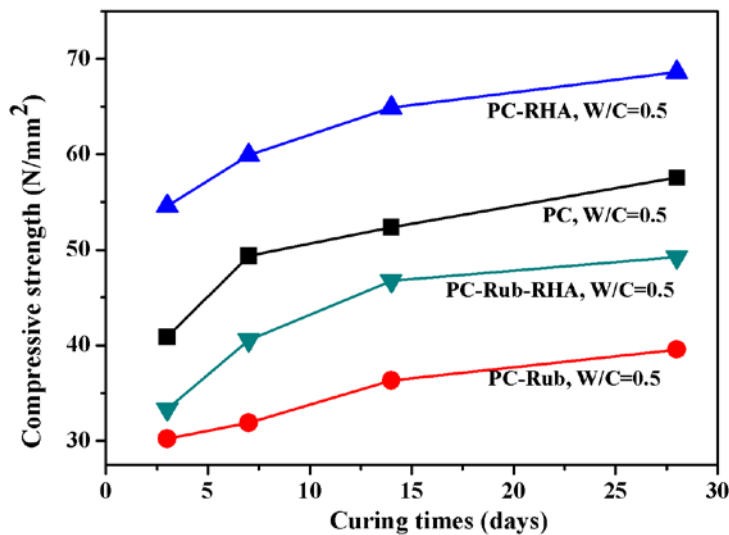
4.4 ตอนที่ 4 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยางพาราชั้นผสมซีเถ้าแกลบ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ใช้สารลดแรงตึงผิว (NP-9) 4% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ใช้ซีเถ้าแกลบ แทนที่ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก บ่มขึ้นเป็นเวลา 28 วัน

กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์/น้ำยางพาราชั้น/ซีเถ้าแกลบ

ผลการศึกษากำลังรับแรงอัดของวัสดุผสมซีเมนต์/น้ำยางพาราชั้น/ซีเถ้าแกลบแสดงดังรูปที่ 22 พบว่า อัตราส่วนผสมที่ให้ค่ากำลังอัดดีที่สุดคือที่ การใช้ซีเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 และอัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.05 และผลการศึกษากำลังรับแรงอัดในเชิงเปรียบเทียบตอนที่1-4 ข้างต้น แสดงดังรูปที่ 23



รูปที่ 22 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์/น้ำยางพาราชั้น/ซีเถ้าแกลบที่อัตราส่วน P/C =0.05 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของสูตรผสมที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

1. ซีเมนต์แกลบสามารถเพิ่มกำลังรับแรงให้กับซีเมนต์เพสต์ได้โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่เหมาะสม และขนาดอนุภาคของซีเมนต์แกลบก็ส่งผลอย่างมากกับปริมาณน้ำที่ใช้เนื่องจากซีเมนต์แกลบเป็นวัสดุพอสโซไลทานที่มีรูพรุนสูงทำให้ที่พื้นที่ผิวมาก และยังมีขนาดเล็กจะยังมีอัตราการทำปฏิกิริยาสูง ซึ่งซิลิกาในซีเมนต์แกลบจะเข้าไปทำปฏิกิริยาลำดับที่สองกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งเป็นเฟสที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมประสานในโครงสร้างของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์คือ ผลผลิตจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์และน้ำ นอกจากนี้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับสถานะของซิลิกาด้วย ซิลิกาที่เป็นผลึกค่อนข้างอยู่ตัวและเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา แต่ซิลิกาแบบอสัณฐานซึ่งได้จากการเผาที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยามากกว่า

2. การผสมน้ำยารักษาชั้นในปูนซีเมนต์จะต้องมีการผสมสารเคมีที่เรียกว่า สารลดแรงตึงผิว แบบไม่มีประจุเพื่อช่วยในการผสม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ สารลดแรงตึงผิว Nonylphenol-9 (NP-9) โดยใช้ผสมในสัดส่วน 4% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ซึ่งเมื่อผสมลงไปแล้วจะเกิดฟองอากาศขึ้นและจะส่งผลต่อกำลังรับแรงอย่างชัดเจน และทำให้ยางพาราจับกันเป็นก้อนแทนที่จะยึดติดกับเฟสของซีเมนต์ ทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณยางพารามากขึ้นส่งผลทำให้ค่ากำลังรับแรงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจแก้ไขเบื้องต้นได้โดยการลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลงและลดการกระตุ้นการเกิดฟองขณะทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมที่มีความเร็วในการกวนต่ำ

3. จากสรุปผลการวิจัยในข้อ 2 พบว่าเมื่อผสมน้ำยารักษาชั้นค่ากำลังรับแรงดัดและกำลังรับแรงอัดที่ได้มีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่ผสมน้ำยารักษาชั้นจึงแก้ไขโดยการทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์แกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จากผลการวิจัยพบว่าซีเมนต์แกลบสามารถเพิ่มกำลังรับแรงให้กับซีเมนต์เพสต์ได้ซึ่งเมื่อนำมาผสมเพิ่มในระบบของซีเมนต์เพสต์ผสมยางพาราก็สามารถเพิ่มกำลังรับแรงโดยเฉพาะแรงอัดได้ดีขึ้นคือจากเดิมมีกำลังรับแรงอัด 39.56 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรเพิ่มขึ้นเป็น 49.24 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนเป็น 0.5 เท่ากัน ซึ่งน่าจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกำลังรับแรงดัด ดังนั้นอัตราส่วนผสมที่แนะนำสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดสูงถึง 50.16 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร คือ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 อัตราส่วนน้ำยารักษาชั้นต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.05 ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเท่ากับร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์แกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์โดยมีลำดับการผสมคือ น้ำผสมสารลดแรงตึงผิวผสมน้ำยารักษาชั้น และปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์แกลบ จากนั้นจึงนำของเหลวผสมใส่เข้าไปในปูนซีเมนต์ที่ผสมซีเมนต์แกลบเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรวิจัยเพิ่มเติมถึงวิธีการกำจัดฟองอากาศอย่างจริงจังเพราะส่งผลโดยตรงถึงความสามารถในการรับแรงรวมถึงศึกษาปริมาณและชนิดของสารลดแรงตึงผิวที่ช่วยทำให้ปูนซีเมนต์และยางพาราผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยที่กีดฟองอากาศน้อยที่สุด และศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดอนุภาคของซีเมนต์และอิมัลชันในการเผาที่เหมาะสมด้วย จากผลงานวิจัยที่ได้เบื้องต้นสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการผลิตปูนซีเมนต์สำหรับทำปูนยาแนวหรือกาวซีเมนต์สำหรับงานซ่อมแซมได้ ซึ่งในท้องตลาดส่วนใหญ่จะใช้น้ำยางจากการสังเคราะห์ซึ่งต้นทุนการผลิตจะสูงกว่าและในการจะพัฒนาเพื่อต่อยอดในการจะผลิตเป็นคอนกรีตมวลเบาจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนและค่ากำลังอัดต่อหน่วยน้ำหนักเพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาที่มีขายในปัจจุบันด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. ดนุพล ตันนโยภาส และ วันชัย แก้วไผ่, การพัฒนาคอนกรีตมวลรวมเศษซีเมนต์ที่ขยายธรรมชาติเติมด้วยเถ้าแกลบขาว, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552. ครั้งที่ 7, 21-22.
2. ประชุม คำพุ่ม, การใช้น้ำยารักษาปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2550, 30(2), 363-376.
3. รศ.ดร.จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์ม เทคโนโลยียางธรรมชาติ บริษัท เทคโนโลยีปิซ คอมมิวนิเคชั่นส์ จำกัด กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย, 2553.
4. Joshi, R.C. and Lohtia, R.P., Types and properties of fly ash, Progress in cement, Ed. Ghosh S.N., 1993, 118-157.
5. ปริญญา จินดาประเสริฐ และ บัณฑิต หิรัญสถิตพร, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าแกลบ ซีเมนต์ลอย และสารลดน้ำพิเศษ, เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการเรื่องศักยภาพการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์, สำนักงานวิจัยและพัฒนา, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2536.
6. รัฐวุฒิ ฐ์แทนคุณ, การพัฒนาอิฐดินซีเมนต์ผสมน้ำยารักษา, กรุงเทพมหานคร, วิทยาลัยสยาม. 2549.
7. Ke-Ru Wu, Dong Zhang, Jun-Mei Song, Properties of polymer-modified cement mortar using pre-enveloping method, *Cement and Concrete Research* , 2002, **32** , 425–429.
8. ศิริชัย ห่วงจริง, วัชรินทร์ กาสลัก, การใช้ยางธรรมชาติสำหรับงานถนนผิวจราจรแบบยืดหยุ่น, มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2549.
9. ประชุม คำพุ่ม, การใช้น้ำยารักษาปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวน กันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี, 2550.
10. ประชุม คำพุ่ม, การใช้น้ำยารักษาพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก, ปทุมธานี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2551
11. ดนุพล ตันนโยภาส, วันชัย แก้วไผ่, การพัฒนาคอนกรีตมวลรวมเศษซีเมนต์ที่ขยายธรรมชาติเติมด้วยเถ้าแกลบขาว, สงขลา, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2552.
12. สิทธิชัย ศิริพันธุ์, การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต. คณะวิชาโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตศรีวิชัย, 2547.
13. We. A.B., Production of RHA and Its Applications in Mortar and Concrete, Master's Thesis No. ST-81-20, School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology, 1981
14. Zhang, M. and Malhotra, V.M. High-Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash as a Supplementary Cementing Material. *ACI Material Journal*, 1996, 93, 629-636.
15. คอนกรีต เทคโนโลยี, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด CPAC กรุงเทพมหานคร, 2000.
16. Johnson, B.D.G. The use of fly ash in Cape Town RMC operations, Proceedings of the 5th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Cape Town, South Africa, S252/33, 1981.

ภาคผนวก

เอกสารคำชี้แจง ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ความคิดเห็นด้านการพิมพ์ (editorial)

1. ควรใส่เลขหน้าในเล่มรายงานเพื่อความสะดวกในการ Refer

คำชี้แจง

ได้เพิ่มเติมตามคำแนะนำดังกล่าวแล้ว

ความคิดเห็นด้านวิชาการ (Technical)

1. นักวิจัยควรเขียน Abstract ใหม่ให้ถูกต้องตามหลักไวยากรณ์ และใช้คำที่เป็น Technical terms

คำชี้แจง

ได้ทำการแก้ไข Abstract ใหม่ให้ถูกต้องตามหลักไวยากรณ์ และแก้ไขคำที่เป็น Technical terms เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

2. ให้นักวิจัยตรวจสอบและปรับแก้ไขส่วนต่างๆตามสำเนาเอกสารร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ที่แนบ

คำชี้แจง

ได้ตรวจสอบและปรับแก้ไขส่วนต่างๆตามสำเนาเอกสารร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิเป็นที่เรียบร้อยแล้วตามรายละเอียดดังนี้

1. ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 แก้ไขเป็น ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (หัวข้อผลการดำเนินงาน)
2. ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน อัตราส่วนน้ำตอปูนเป็น 0.4 และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์แก้วกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักได้รายงานผลเฉพาะค่ากำลังรับแรงอัด เพื่อดูผลของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์แก้วกลบต่อสมบัติของการรับแรงซึ่งค่ากำลังรับแรงตัดจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่ากำลังรับแรงอัด(หัวข้อผลการดำเนินงาน)
3. ได้ทำการตัด ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมออก (หัวข้อวิธีการ)
4. การทดสอบกำลังอัดเลือกใช้หน่วย นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm²) (หัวข้อวิธีการ)
5. ได้รายงานค่าความหนาแน่นตามรูปที่ 6 ก่อน แล้วค่อยรายงานค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ(หัวข้อผลการวิจัย)
6. ได้แก้ไขคำว่า “เอทานท์” เป็น “เอทริงไคต์” (หัวข้อ การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค)
7. ได้แก้ไขคำว่า “น้ำยางพารา และ ยางพารา” เป็น “น้ำยางพาราชั้น”
8. รูปที่ 15 และ 16 แกน x ใช้คำบรรยายว่า “Natural rubber/Cement Ratio (%)” ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำให้แก้ไขเป็น “NR latex concentrate” แต่ผู้วิจัยขออนุญาตใช้คำเดิมเพราะจุดประสงค์ คือ ต้องการอธิบายถึงอัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นต่อซีเมนต์ที่ใช้
9. หัวข้อสรุปผลข้อ 3 ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำให้ ควรบอกให้ชัดเจนว่าเมื่อผสมน้ำยางชั้นค่ากำลังแรงตัดและแรงอัดน้อยกว่าระบบที่ไม่ผสมน้ำยางชั้น ซึ่งผู้วิจัยได้อธิบายเพิ่มเติมตามคำแนะนำแล้ว

โปสเตอร์



การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบาโดยยางพาราเพื่อนำไปประยุกต์ใช้

ในงานก่อสร้าง

To improve the mechanical properties of lightweight concrete with natural rubber to be used in construction

อ.ดร.นิตยา ใจทอง*

(ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ(วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)



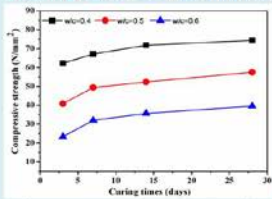
ปัญหาที่วิจัยและความสำคัญ

คอนกรีตมวลเบา เป็นวัสดุที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันและเป็นที่ยอมรับใช้มากขึ้นเรื่อยๆ แต่ปัญหาคือที่สำคัญของคอนกรีตมวลเบาคือ มีราคาสูง และรับกำลังอัดและกำลังดึงได้ไม่มากนักจึงได้เกิดแนวความคิดในการนำซีเมนต์แกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้และมีราคาถูกประกอบเช่นเดียวกับปูนซีเมนต์มาเป็นส่วนผสมเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลงและเพื่อเพิ่มกำลังอัดและจะใช้ยางพาราซึ่งเป็นส่วนผสมเพิ่มเพื่อพัฒนาให้วัสดุตั้งดีซึ่งเป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างทางเลือกใหม่ ที่จะมีประสิทธิภาพในการนำไปใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น

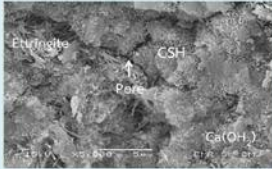
วัตถุประสงค์ : เพื่อเพิ่มกำลังอัดและกำลังดึงของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้ซีเมนต์แกลบ และยางพารา และพัฒนาวัสดุก่อสร้างทางเลือกใหม่ไปใช้งานในงานก่อสร้างต่อไป

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำ (ซีเมนต์พิเศษ)

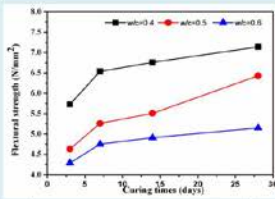


รูปที่ 1 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์พิเศษที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน



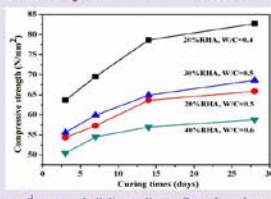
รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์พิเศษโดยเทคนิค SEM

รูปที่ 2 แสดงกำลังรับแรงดึงของซีเมนต์พิเศษที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน

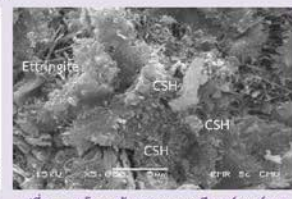


จากการภาพจะเห็นว่ากราฟผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกันคือกำลังรับแรงจะลดลงตามปริมาณ W/C ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการเกิดรูพรุนและเกิดโพรงอากาศในโครงสร้างเพราะการเอิมของปริมาณน้ำส่วนเกินจะทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคของซีเมนต์มีมากขึ้นทำให้ความสามารถในการรับแรงของชิ้นงานต่ำลงแต่หากพิจารณาตามระยะเวลาของการบ่มจะเห็นว่าค่ากำลังรับแรงอัด และแรงดัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากผลของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ ทำให้เกิดโครงสร้างที่ทำหน้าที่เชื่อมประสาน ซึ่งก็คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CSH) เกิดมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้รูพรุนและโพรงอากาศในโครงสร้างค่อยๆ ลดลงส่งผลทำให้ความสามารถในการรับแรงสูงขึ้นในระยะยาวเพิ่มขึ้น

ตอนที่ 2 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมซีเมนต์แกลบ



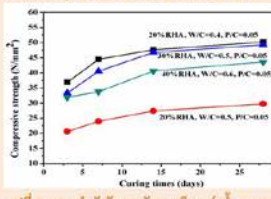
รูปที่ 4 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์พิเศษผสมซีเมนต์แกลบ



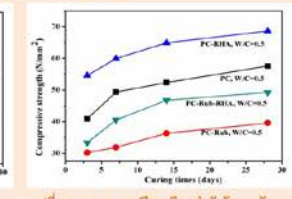
รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์พิเศษผสมซีเมนต์แกลบ โดยเทคนิค SEM

ซีเมนต์แกลบเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสูงดังนั้นในการผสมและขึ้นรูปต้องหาอัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมกับจากรูปที่ 4 จะเห็นว่าที่อัตราส่วนน้ำของซีเมนต์แกลบเป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และที่ W/C=0.4 ให้ค่ากำลังอัดดีที่สุดและจากรูปที่ 5 แสดงโครงสร้างของซีเมนต์พิเศษผสมซีเมนต์แกลบซึ่งคล้ายกับโครงสร้างของซีเมนต์พิเศษ โดยที่ปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะเพิ่มขึ้นและแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะลดลงทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันของซีเมนต์พิเศษทำปฏิกิริยากับซีเมนต์แกลบได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มขึ้น

ตอนที่ 4 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยางพาราผสมซีเมนต์แกลบ



รูปที่ 9 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์น้ำยางพาราผสมซีเมนต์แกลบที่อัตราส่วน P/C = 0.05



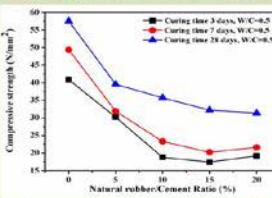
รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของสูตรผสมที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

ผลการศึกษาว่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุผสมซีเมนต์น้ำยางพาราผสมซีเมนต์แกลบแสดงดังรูปที่ 9 พบว่าอัตราส่วนผสมที่ให้ค่ากำลังอัดที่ดีที่สุดคือ การใช้ซีเมนต์แกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 และอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.05 และผลการศึกษาว่ากำลังรับแรงอัดในเชิงเปรียบเทียบตอนที่ 1-4 ข้างต้น แสดงดังรูปที่ 10

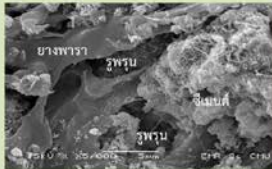
สรุปผล

- [1]. ซีเมนต์แกลบสามารถเพิ่มกำลังรับแรงให้กับซีเมนต์พิเศษได้โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่เหมาะสม
- [2]. การผสมน้ำยางพาราในปูนซีเมนต์จะต้องมีการผสมสารเคมีที่เรียกว่า สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุเพื่อช่วยในการผสม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ สารลดแรงตึงผิว Nonylphenol-9 (NP-9) โดยใช้ผสมในสัดส่วน 4% โดยน้ำหนักของซีเมนต์
- [3]. เมื่อผสมน้ำยางพาราในปูนซีเมนต์และกำลังรับแรงอัดที่ได้มีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่ผสมน้ำยางพาราแต่การทดสอบปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์แกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์สามารถทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดในระบบที่มีการผสมน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นได้
- [4]. อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ คือ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.05 และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์แกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

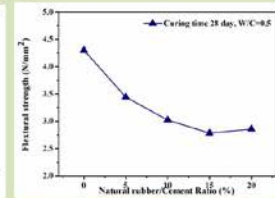
ตอนที่ 3 ปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยางพารา



รูปที่ 6 แสดงกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยางพารา



รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างจุลภาคของปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยางพาราโดยเทคนิค SEM



รูปที่ 7 แสดงกำลังรับแรงดึงของปูนซีเมนต์ผสมน้ำผสมน้ำยางพารา

จากการพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดลดลงอย่างมาก คาดว่าเกิดจากเมื่อน้ำยางพาราและปูนซีเมนต์ยึดเกาะกันไม่ดีพอ ซึ่งสามารถยืนยันได้จากรูปที่ 8 จะเห็นว่าวัสดุผสมซีเมนต์น้ำยางพารามีรูพรุนเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างเศษชิ้นจำนวนมาก และอาจเป็นผลจากการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (NP-9) ซึ่งทำให้เกิด ฟอง ใน ขณะ ผสม ซึ่ง อาจ จะส่งผลให้เกิด



สาขาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ถนนเชียงใหม่-พร้าว ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290 โทรศัพท์: 053-873515 E-mail address: njaitanong@gmail.com

บทความวิจัย

การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของคอนกรีตโดยยางพารา

To improve the mechanical properties of concrete with natural rubber

นิตยา ใจทอง (Nittaya Jaitanong)¹

สาขาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (Program in Materials Science, Faculty of Science, Maejo University)¹

1. บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของงานวิจัย นี้คือการใช้ยางธรรมชาติซึ่งก็คือยางพาราชั้นเป็นสารเติมแต่งสำหรับการปรับปรุงกำลังรับแรงดัดและปรับปรุงกำลังรับแรงอัดโดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเถ้ากลบร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิการเผาไหม้ และทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ และ สมบัติเชิงกล (กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด) ของวัสดุผสม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (PC) - น้ำยางธรรมชาติ (NRL) - ซีเถ้ากลบ (RHA) โดยงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เป็น 0, 0.05, 0.1, 0.15 และ 0.2 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และจะใช้ซีเถ้ากลบแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์โดยจะทำการบดซีเถ้ากลบเป็นเวลา 180 นาทีก่อนนำมาใช้และใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 โดยไม่รวมน้ำจากน้ำยางพาราชั้นและเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ลงไปใต้น้ำก่อนผสมกับน้ำยางพาราชั้น และในน้ำยางพาราชั้นได้มีการผสมแอมโมเนียเข้าไปด้วย ในงานวิจัยนี้ใช้แม่พิมพ์ทรงลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 ลบ.ซม.และ รูปทรงคาน 4×4×16 ลบ.ซม. ในการขึ้นรูป หลังจากจากขึ้นรูปขึ้นงานในแม่พิมพ์จะทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นจะทำการบ่มขึ้นงานในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3, 7 และ 28 วันก่อนทดสอบ ผลการวิจัยพบว่าโครงสร้างจุลภาคของวัสดุผสม ซีเมนต์/ยางพารา/ซีเถ้ากลบ หลังการเซตตัวและผ่านการบ่มขึ้นเป็นเวลา 28 วันยังคงมีรูพรุนอยู่ในโครงสร้าง ความหนาแน่น กำลังรับแรงดัดและกำลังรับแรงอัดลดลงตามปริมาณน้ำยางพาราชั้นที่เพิ่มขึ้นในขณะที่การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนที่ให้กำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้คือการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเถ้ากลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เป็น 0.05 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 ซึ่งจะให้กำลังรับแรงอัดสูงถึง 50.16 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร แต่ถึงกระนั้นอัตราส่วนนี้ยังไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดมากๆแต่อาจจะเหมาะสมในการที่จะนำไปใช้ในงานซ่อมแซมรอยแตกร้าวตามผนังตึกหรืออาคารได้

2. ABSTRACT

The aim of this research was to use latex from para-rubber as an admixture for improving flexural strength and investigate compressive strength by the use of Thai rice husk ash in 20, 30 and 40% replacements of Portland cement by mass in cement, without optimization of the ash by controlled burning. The physical properties, such as density and water absorption and mechanical properties (flexural strength and compressive strength) of Portland cement (PC), natural rubber latex (NRL), and rice husk ash (RHA) composites have been investigated. The latex per cement ratios used in this experiment were 0, 0.05, 0.10, 0.15 and 0.20 by weight of cement. Portland cement (PC) was partially replaced with rice husk ash by weight of binder. The rice husk ash was ground for 180 minutes before use. The water cement ratio equaled 0.4, 0.5 and 0.6 (by weight not including water in the latex). Nonionic surfactant 4% was added by weight of cement in water before mixing with natural rubber latex. In addition, to provide latex from natural rubber latex, an ammonia solution was added to the natural rubber. The specimens were packing into an iron mold sample size $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ and $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$. Subsequently, the specimens were kept at room temperature for 24 h and were moist cured in a water bath at 3, 7 and 28 days at room temperature before measurement. The research showed that the microstructure of PC-NRL-RHA composites after hydrating for 28 days shows some porosity. The density, compressive and flexural strength was found to be decreased, with NRL increasing, while water absorption of composite increased with higher natural rubber latex per cement ratios. The best compressive strength result was obtained with the percentages of cement replaced by 20% rice husk ash (RHA). The latex per cement ratios were 0.05 with water cement ratio was 0.4 which gave a high compressive strength value as 50.16 N/mm^2 . However, this is not suitable for compressive structures but may be suitable for repairable works.

3. คำนำ (Introduction)

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญมากชนิดหนึ่งของประเทศไทย และในปัจจุบันได้มีการใช้ยางพาราภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น โดยมียางสังเคราะห์เป็นคู่แข่งการตลาดที่สำคัญ ทำให้บางช่วงราคายางพาราประสบปัญหาราคายางพาราตกต่ำ ดังนั้นในปัจจุบันได้มีนักวิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เดิมของยางพาราที่มีอยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้นและยังมีการคิดค้นสรรหาวิธีการใหม่ๆ ที่จะส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีของยางพาราให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์แปรรูปที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น [دنุพล,2552; ประชุม,2550; จิตต์ลัดดา,2553]

นอกจากยางพาราแล้วยังมี ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญมากอีกชนิดหนึ่ง ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวมากที่สุด มีกำลังผลิตข้าวปีละประมาณ 25 ล้านตัน ซึ่งเป็นเปลือกข้าวหรือแกลบประมาณ 5 ล้านตัน ดังนั้นจะเห็นว่าอุตสาหกรรมผลิตข้าวเป็นอุตสาหกรรมที่มีแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากและ การนำแกลบไปใช้ประโยชน์ในปัจจุบันยังทำได้น้อยมากส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น การกองเก็บ และการกำจัดทิ้ง จากกระแสของการประหยัดพลังงานที่กำลังเพิ่มขึ้นในปัจจุบันของประเทศไทย ทำให้การใช้วัสดุเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

วัสดุประเภทหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลายและในปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้มากขึ้นเรื่อยๆ คือ คอนกรีตมวลเบา แต่ปัญหาหนึ่งที่สำคัญของคอนกรีตมวลเบาคือ มีราคาสูง และรับกำลังอัดและกำลังดัดได้ไม่มาก [ประชุม,2550; Joshi *et al.*,1993] ซึ่งที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยหลายกลุ่มได้พยายามพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้วัสดุที่เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น แกลบ แกลบ และ ตะกรันเหล็ก เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันปัญหาเรื่องมลภาวะทางอากาศและปัญหาโลกร้อนเป็นปัญหาที่ต้องการการแก้ไขอย่างเร่งด่วน และเนื่องจากการเผาวัสดุเพื่อผลิตปูนซีเมนต์มักจะก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และปัญหาโลกร้อน

ในหลายปีที่ผ่านมางานวิจัยหลายฉบับ มีการนำยาง หรือพอลิเมอร์ มาผสมกับซีเมนต์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านต่างๆดังนี้

รัฐวุฒิ รัฐแทนคุณ [รัฐวุฒิ, 2549] ได้ศึกษาการผสมยางพาราในอิฐซีเมนต์ ชนิดของน้ำยางพาราที่ใช้คือน้ำยางรักษาสภาพแอมโมเนียสูง น้ำยางสำหรับงานหล่อเป่า และกาวยาง พบว่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมีแนวโน้มลดลง ค่ากำลังดัดของอิฐมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การรับแรงกระแทกของอิฐมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ประชุม คำพุด [ประชุม, 2550] ได้ศึกษาการนำน้ำยางพารา มาใช้เป็นสารผสมเพิ่มในการปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์:ทรายบดละเอียด เท่ากับ 1:1โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0, 0.10, 0.15 และ 0.20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ทำการผสมและอบไอน้ำตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 นำมาทดสอบค่าความหนาแน่นค่ากำลังอัดและค่ากำลังดัด ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ผลการวิจัยพบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ ในขณะที่ค่ากำลังดัดของคอนกรีตจะแปรผันตรงกับอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ โดยที่เมื่อผสมน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นค่ากำลังอัดจะลดลงแต่ค่ากำลังดัดจะเพิ่มขึ้น โดยปริมาณน้ำยางพาราที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้คือ การใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ 0.10

นอกจากนี้ประชุม คำพุ่ม [ประชุม, 2551] ยังได้ศึกษาการนำน้ำยาอย่างธรรมชาติมาผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อน โดยใช้อัตราส่วนยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.025 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนัก พบว่าน้ำยาพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มได้ โดยช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังตัดได้สูงขึ้น ดูดซึมน้ำต่ำลง และมีสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา

دننพล ต้นนโยภาส และคณะ [دننพล และคณะ, 2552] ศึกษาทดสอบคอนกรีตมวลรวมขี้ยางธรรมชาติผสมเถ้าแกลบขาวแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาทำอิฐฉนวนปูน ก่อนคอนกรีตที่หล่อมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.4 คบที่ตลอดการศึกษาครั้งนี้และบ่มไว้ในน้ำเป็นเวลา 7 และ 28 วัน ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล พบว่าคอนกรีตผสมขี้ยางที่มีเถ้าแกลบขาวร้อยละ 10-20 ไม่แสดงการแตกเปราะอย่างเห็นได้ชัดถึงแม้ว่าเลยแรงกดพิบัติไปแล้ว บ่งชี้ว่ามีสมรรถนะการดูดกลืนพลังงานสูง ลดความหนาแน่นอย่างค่อยลงและผิวเรียบ ดังนั้นจึงดูดกลืนแรงได้ดีและยังเป็นไปได้ที่เป็นคอนกรีตมวลเบาทำอิฐฉนวนปูนประเภทโครงสร้างไม่รับน้ำหนัก

สิทธิชัย ศิริพันธ์ [สิทธิชัย, 2547] ได้ศึกษาการนำน้ำยาอย่างธรรมชาติมาใช้เพื่อพัฒนางานคอนกรีต โดยมี วัตถุประสงค์เพื่อหาเทคนิคการผสมน้ำยาในคอนกรีตอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาถึงความสามารถที่ได้และกำลังรับแรงของคอนกรีตผสมน้ำยาสดในสัดส่วน $P/C = 0.05, 0.10, 0.15, 0.20$ และ 0.25 ตามลำดับ ผลการวิจัย พบว่าน้ำยาผสมกับคอนกรีตได้ ด้วยการผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) สัดส่วน 4 % โดยน้ำหนักของซีเมนต์ โดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ Lutensol XL 80 (C10-Guerbet Alcohol Alkoxylate) ทั้งนี้ สารแอมโมเนียเหลว (NH_3) ที่ผสมในน้ำยา ไม่ทำให้กำลังคอนกรีตลดลง ด้านความสามารถได้ พบว่า คอนกรีตผสม น้ำยา จะยุบตัวแบบฮวบ (Collapse Slump) ทั้งหมดขณะที่คอนกรีตปกติ จะมีค่าการยุบตัวที่ 7 เซนติเมตร ในด้านกำลัง พบว่า คอนกรีตผสมน้ำยา จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงประมาณ 60 % และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณน้ำยาเพิ่มขึ้น

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำขี้เถ้าแกลบซึ่งเป็นวัสดุทิ้งเหลือใช้จากการเกษตร และน้ำยาพาราชัน ซึ่งมีส่วนประกอบของเนือยางและน้ำมาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อช่วยลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์และปรับปรุงสมบัติของซีเมนต์ในการเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดและกำลังตัดเนื่องจากว่าส่วนประกอบหลักของปูนซีเมนต์มีสารซิลิกาเป็นองค์ประกอบ และตัวเถ้าแกลบเองซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานจะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูงถึง 70-90% จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเถ้าแกลบมาผสมเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลงและในน้ำยาพาราชันจะประกอบไปด้วยเนือยางและน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อนำไปผสมกับปูนซีเมนต์ น้ำในน้ำยาน่าจะสามารถทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เพื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้ปูนซีเมนต์เซตตัวได้และตัวเนือยางน่าจะเข้าไปช่วยเติมช่องว่างหรือโพรงอากาศในเนือของซีเมนต์ทำให้มีการแน่นตัวที่ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลถึงความสามารถในการรับแรงได้ดียิ่งขึ้น

4. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

4.1 วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัย

-ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ปูนตราช้าง)

- น้ำประปา
- น้ำยางพาราชั้นโดยผสมสารรักษาสภาพ
- ซีเมนต์
- สารลดแรงตึงผิว Nonylphenol-9 (NP-9)

4.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์

- แม่พิมพ์ทรงลูกบาศก์ ขนาด 5×5×5 ลบ.ซม.
- แม่พิมพ์รูปทรงคาน ขนาด 4×4×16 ลบ.ซม.
- เครื่องผสม
- เครื่องชั่ง
- เตาอบรุ่น BINDEK service-Hotlime
- ถังพลาสติกสำหรับบ่ม
- เครื่องทดสอบแรงอัด รุ่น Tecnotest Modena-ITALY
- เครื่องทดสอบแรงดัดรุ่น Universal testing machine 50 KN MODEL TM 115

4.3 วิธีการ

1. ผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ (ซีเมนต์เพสต์) โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 บ่มขึ้นเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน เพื่อหาอัตราส่วนน้ำต่อปูนที่เหมาะสม
2. ผสมปูนซีเมนต์ น้ำ และซีเมนต์โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 และใช้ซีเมนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก บ่มขึ้น เป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน
3. ผสมปูนซีเมนต์ น้ำ น้ำยางพาราชั้นโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.5 ใช้สารลดแรงตึงผิว (NP-9) 4% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นต่อซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0, 0.05, 0.1, 0.15 และ 0.2 บ่มขึ้นเป็นเวลา 28 วัน
4. ผสมปูนซีเมนต์ น้ำ น้ำยางพาราชั้นและซีเมนต์โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูน (W/C) เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ใช้สารลดแรงตึงผิว (NP-9) 4% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ใช้ซีเมนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก บ่มขึ้นเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน
5. หลังจากผสมตามอัตราส่วนข้างต้น จากนั้นจะนำไปหล่อในแม่พิมพ์มาตรฐาน (ทรงลูกบาศก์และทรงคาน) แล้วจึงนำไปบ่มขึ้นตามระยะเวลาที่กำหนด และจะทำการทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C642ทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C62-10 ทดสอบกำลังดัดตามมาตรฐาน ASTM C78 และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
6. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

โครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์หลังไฮเดรตเมื่อผ่านการบ่มเป็นเวลา 28 วันแสดงดังรูปที่ 1 จะพบว่ามีเกิดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขึ้น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ผิวระหว่างของแข็งโดยตรง และเรียกปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction” จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จึงทำให้ได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนเล็กๆกระจายตัวอยู่ในโครงสร้างของปูนซีเมนต์นอกจากนี้ยังทำให้เกิดซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate, CSH) ที่มีลักษณะคล้ายเส้นใยเล็กๆพันกันไปมา ซึ่งทั้ง $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ CSH ล้วนเกิดจากสารประกอบหลักของซิลิเกตทำปฏิกิริยากับน้ำ นอกจากนี้ยังพบชั้นของเอทริงไทต์ (Ettringite) ที่มีลักษณะคล้ายแท่งเข็มเล็กๆซึ่งเกิดจากไตรซิลิเกตของอะลูมิเนียมทำปฏิกิริยากับยิปซัม ซึ่งเป็นสารประกอบหลักเช่นกัน และ ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ยังทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างและรูพรุนตามมา [CPAC, 2000]

ผลของการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำแสดงดังรูปที่ 2 จากรูปจะเห็นว่าค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้นในขณะที่การดูดซึมน้ำจะลดลง ซึ่งที่อัตราส่วน $W/C = 0.4$ พบว่าซีเมนต์เพสต์ที่ผสมซีเถ้าแกลบให้ผลดีที่สุด อาจเป็นเพราะว่าซีเถ้าแกลบมีความพรุนสูง สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากซึ่งลดการเยิ้ม น้ำลงได้ และยังทำให้ส่วนผสมเกาะตัวกันได้ดีเป็นผลทำให้โอกาสในการเกิดการแยกตัว (Segregation) ของซีเมนต์เพสต์ลดน้อยลงได้ [Johnson, 1981]

ผลการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบต่อกำลังรับแรงอัดแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งอัตราการแทนที่ของซีเถ้าแกลบที่เลือกศึกษาคือ ร้อยละ 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ โดยที่ไม่สามารถกำหนดค่า W/C ให้เท่ากันได้เนื่องมาจากเมื่อเพิ่มปริมาณซีเถ้าแกลบทำให้มีความต้องการน้ำในการผสมเพิ่มขึ้นเนื่องจากซีเถ้าแกลบเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวสูงดังนั้นในการผสมและขึ้นรูปต้องหาอัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมก่อน ซึ่งจากผลการทดลอง (รูปที่ 3) จะเห็นว่าที่อัตราการแทนที่ของซีเถ้าแกลบเป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และที่ $W/C=0.4$ ให้ค่ากำลังอัดดีที่สุด ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการที่แคลเซียมไฮดรอกไซด์จากผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ ทำปฏิกิริยากับซิลิกาในซีเถ้าแกลบได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้รูพรุนในโครงสร้างจุลภาคลดลง โครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมซีเถ้าแกลบแสดงดังรูปที่ 4

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยารักษาชั้นของอัตราส่วนโดยน้ำหนัก $P/C = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 ในแต่ละอัตราส่วนจะมีระยะเวลาในการบ่ม 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 5 และผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยารักษาชั้นของอัตราส่วนโดยน้ำหนัก $P/C = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 ในแต่ละอัตราส่วนจะมีระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน แสดงดังรูปที่ 6 จากรูปพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมน้ำยารักษาชั้นเพิ่มขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดและค่ากำลังรับแรงดัดลดลงอย่างมาก คาดว่าเกิดจากการยึดเกาะกันของเนื้อยารักษาและปูนซีเมนต์ยึดเกาะกันไม่ดีพอ ซึ่งสามารถยืนยันได้จากโครงสร้างจุลภาคดังรูปที่ 7 จากรูปที่ 7 (ก) จะเห็นว่าวัสดุผสมซีเมนต์ยารักษาชั้นมีรูพรุนเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อระหว่างเฟสค่อนข้างมาก เนื่องมาจากความเข้ากันได้ของเนื้อยารักษาและองค์ประกอบเฟสของซีเมนต์หลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันยังไม่ดีพอ และอาจเป็นผลจากการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (NP-9) ซึ่งทำให้เกิดฟองในขณะ

ผสม ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้างของวัสดุผสมซีเมนต์ยางพารา จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค EDS ในรูปที่ 7 (ข) พบว่าเป็นธาตุคาร์บอน (C) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของยางธรรมชาติ และในรูปที่ 7 (ค) สามารถยืนยันได้ว่าเป็นเฟสของซีเมนต์ซึ่งพบธาตุซิลิกอน และ แคลเซียมเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในออกไซด์ของปูนซีเมนต์

ผลการศึกษากำลังรับแรงอัดของวัสดุผสมซีเมนต์/น้ำยางพาราชั้น/ซีเมนต์เคลือบแสดงดังรูปที่ 8 พบว่า อัตราส่วนผสมที่ให้ค่ากำลังอัดดีที่สุดคือที่ การใช้ซีเมนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.4 และอัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.05 และผลการศึกษากำลังรับแรงอัดในเชิงเปรียบเทียบ แสดงดังรูปที่ 9

6. สรุปผล (Conclusion)

ซีเมนต์เคลือบสามารถเพิ่มกำลังรับแรงให้กับซีเมนต์เพสต์ได้โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่เหมาะสม และขนาดอนุภาคของซีเมนต์เคลือบก็ส่งผลอย่างมากกับปริมาณน้ำที่ใช้เนื่องจากซีเมนต์เคลือบเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีรูพรุนสูงทำให้ที่พื้นที่ผิวมาก และยังมีขนาดเล็กจะยังมีอัตราการทำปฏิกิริยาสูง ซึ่งซิลิกาในซีเมนต์เคลือบจะเข้าไปทำปฏิกิริยาลำดับที่สองกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งเป็นเฟสที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมประสานในโครงสร้างของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์คือ ผลิตภัณฑ์จากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์และน้ำ

การผสมน้ำยางพาราชั้นในปูนซีเมนต์จะต้องมีการผสมสารเคมีที่เรียกว่า สารลดแรงตึงผิว แบบไม่มีประจุเพื่อช่วยในการผสม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ สารลดแรงตึงผิว Nonylphenol-9 (NP-9) โดยใช้ผสมในสัดส่วน 4% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ซึ่งเมื่อผสมลงไปแล้วจะเกิดฟองอากาศขึ้นและจะส่งผลต่อกำลังรับแรงอย่างชัดเจน และทำให้ยางพาราจับกันเป็นก้อนแทนที่จะยึดติดกับเฟสของซีเมนต์ ทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณยางพารามากขึ้นส่งผลทำให้ค่ากำลังรับแรงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจแก้ไขเบื้องต้นได้โดยการลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลงและลดการกระตุ้นการเกิดฟองขณะทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมที่มีความเร็วในการกวนต่ำ

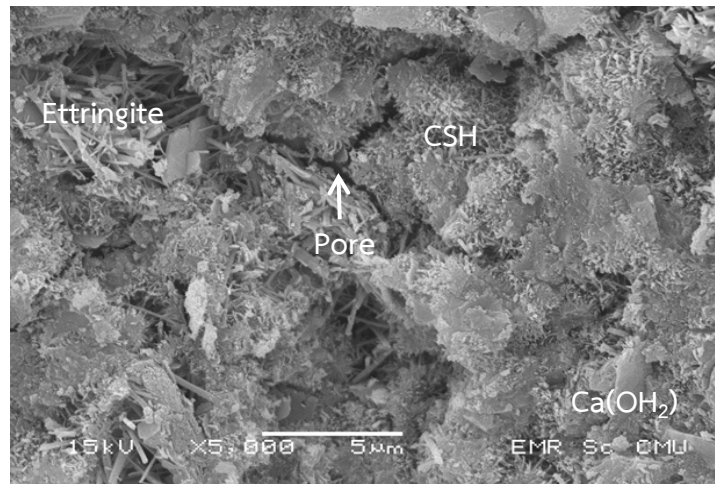
เมื่อผสมน้ำยางพาราชั้นค่ากำลังรับแรงดัดและกำลังรับแรงอัดที่ได้มีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่ผสมน้ำยางพาราชั้นสามารถแก้ไขโดยการทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์เคลือบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จากผลการวิจัยพบว่าซีเมนต์เคลือบสามารถเพิ่มกำลังรับแรงให้กับซีเมนต์เพสต์ได้ซึ่งเมื่อนำมาผสมเพิ่มในระบบของซีเมนต์เพสต์ผสมยางพาราก็สามารถเพิ่มกำลังรับแรงโดยเฉพาะแรงอัดได้ดีขึ้นคือจากเดิมมีกำลังรับแรงอัด 39.56 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรเพิ่มขึ้นเป็น 49.24 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนเป็น 0.5 เท่ากัน ซึ่งน่าจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกำลังรับแรงดัด

อัตราส่วนผสมที่แนะนำสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดสูงถึง 50.16 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร คือ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 อัตราส่วนน้ำยางพาราชั้นต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.05 ปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเท่ากับร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีเมนต์เคลือบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

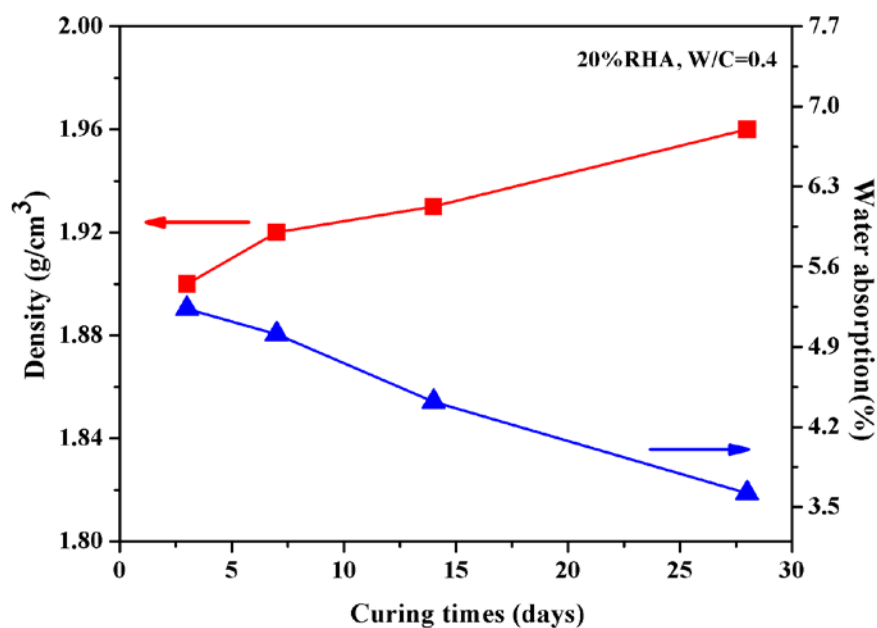
7. คำขอบคุณ (Acknowledgements)

งานวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องจากได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อานนท์ ชัยพานิช ที่ได้ให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อในการใช้เครื่องมือทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

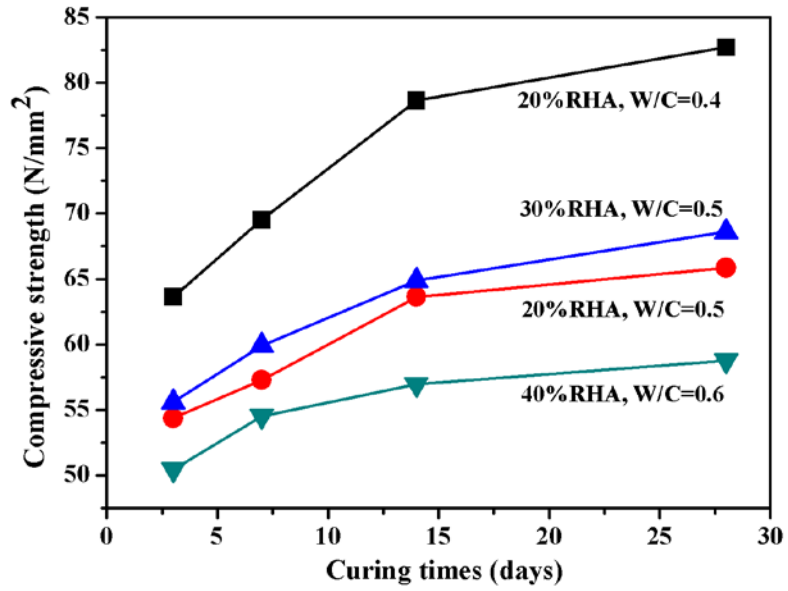
8. รูปประกอบ (Figure)



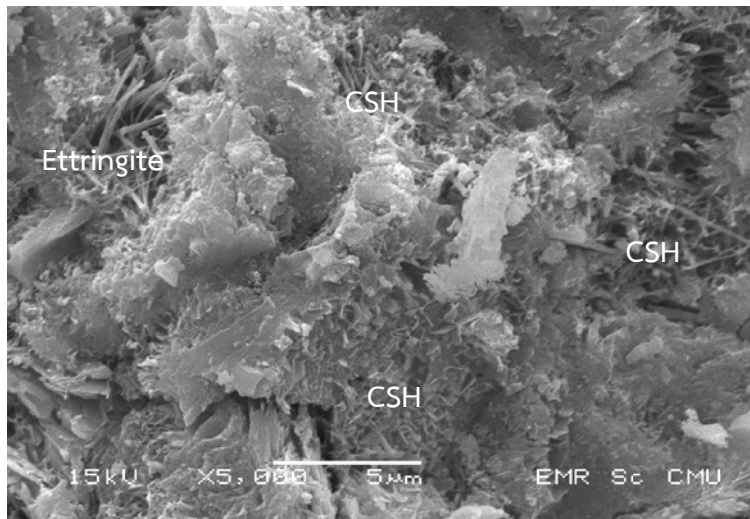
รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ โดยเทคนิค SEM



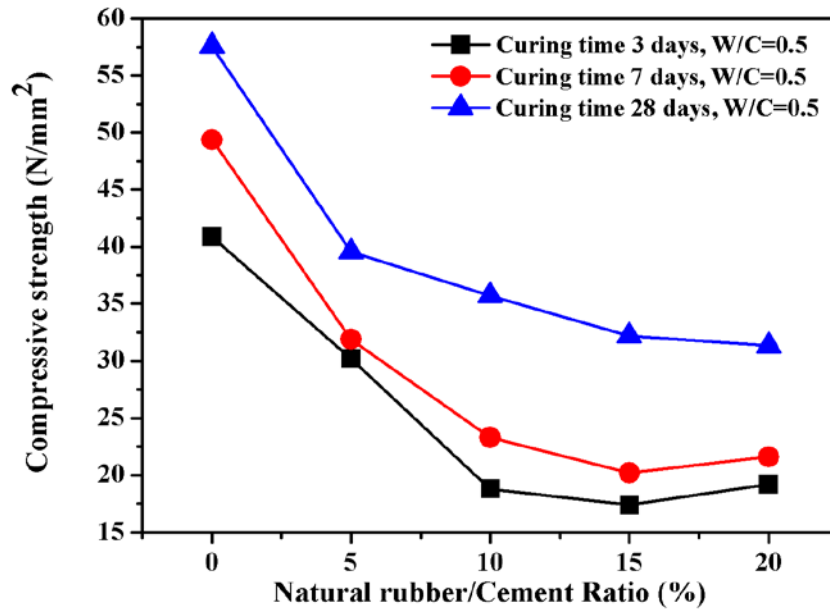
รูปที่ 2 แสดงค่าความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของ PC-RHA ที่ W/C=0.4 และระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน



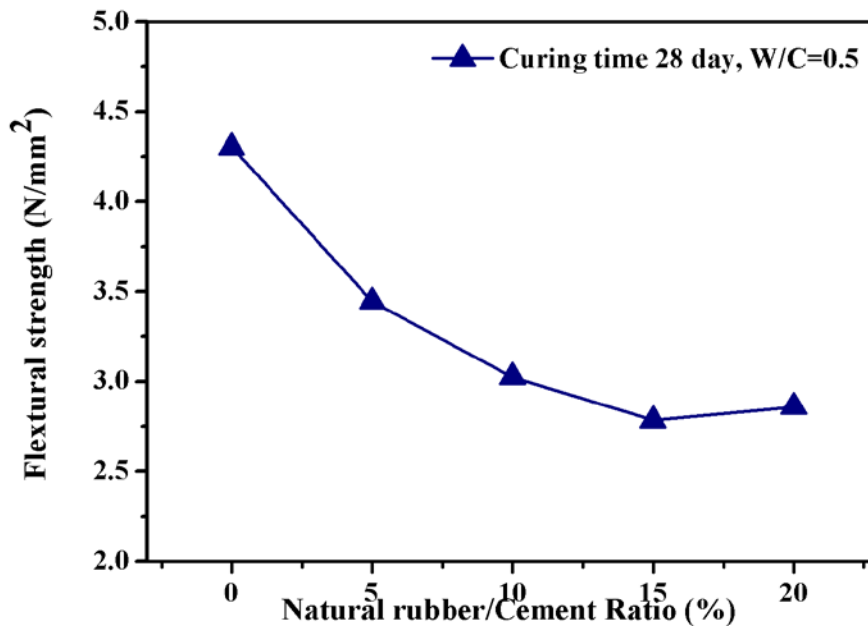
รูปที่ 3 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน ที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน



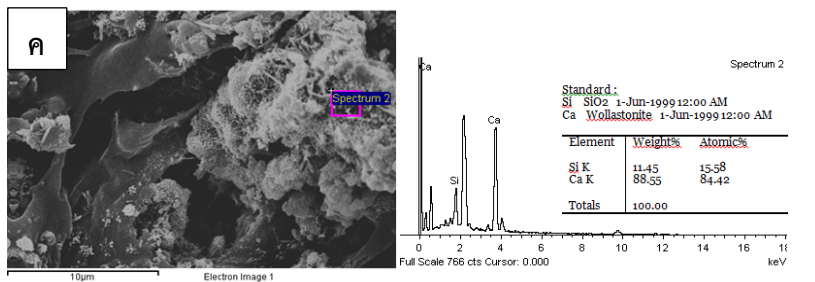
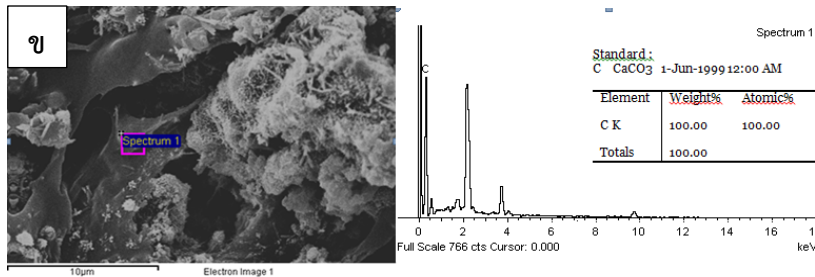
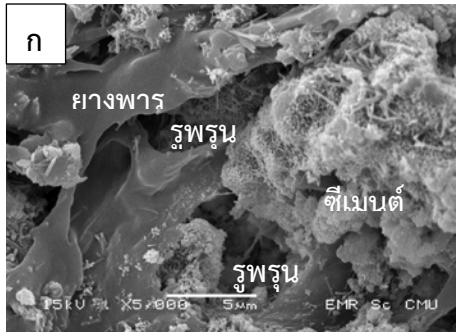
รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์ผสมซีเถ้าแกลบ โดยเทคนิค SEM



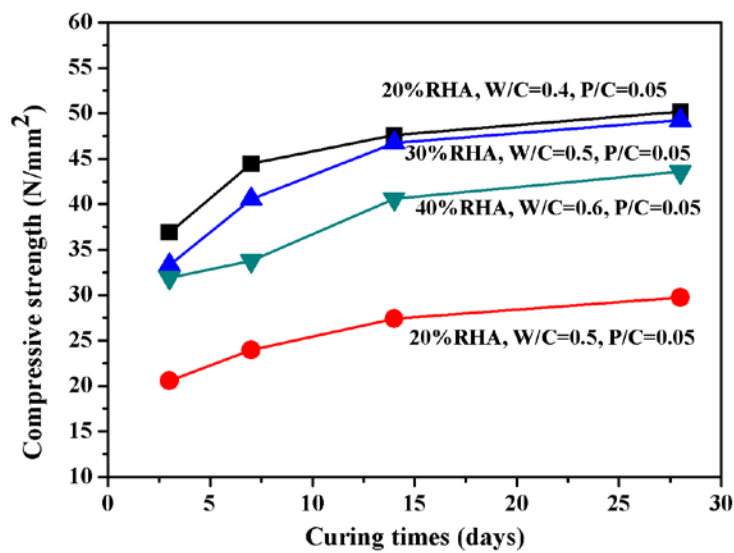
รูปที่ 5 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์ผสมยางพาราที่อัตราส่วน P/C ต่างกัน ที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7 และ 28 วัน



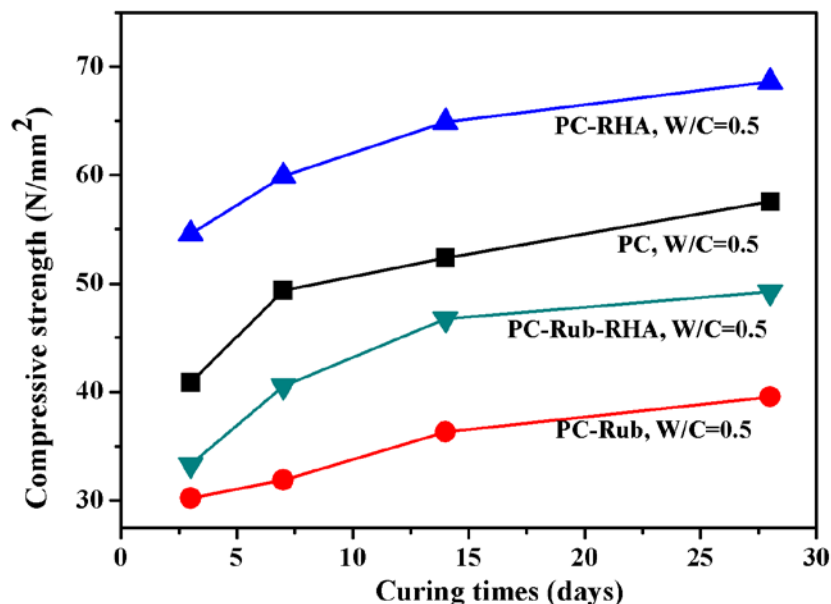
รูปที่ 6 แสดงกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราชั้นที่อัตราส่วน P/C ต่างกัน ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 7 (ก) แสดงรอยต่อระหว่างยางพารากับโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์โดยเทคนิคSEM, (ข)แสดงการวิเคราะห์ธาตุ โดยเทคนิค EDS ในพื้นที่ Spectrem 1, (ค)แสดงการวิเคราะห์ธาตุ โดยเทคนิค EDS ในพื้นที่ Spectrem 2



รูปที่ 8 แสดงกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์/น้ำยางพาราชั้น/ซีเถ้าแกลบที่อัตราส่วน P/C =0.05 ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของสูตรผสมที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

9. เอกสารอ้างอิง (References)

1. ดนุพล ตันนโยภาส และ วันชัย แก้วไผ่, การพัฒนาคอนกรีตมวลรวมเศษซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบขาว, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552. ครั้งที่ 7, 21-22.
2. ประชุม คำพุด, การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2550, 30(2), 363-376.
3. รศ.ดร.จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิขย์ม เทคโนโลยียางธรรมชาติ บริษัท เทคโนโลยีปิซ คอมมิวนิเคชั่นส์ จำกัด กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย, 2553.
4. Joshi, R.C. and Lohtia, R.P., Types and properties of fly ash, Progress in cement, Ed. Ghosh S.N., 1993, 118-157
5. รัฐภูมิ รุ่งแทนคุณ, การพัฒนาอิฐดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา, กรุงเทพมหานคร, วิทยาลัยสยาม. 2549.
6. ประชุม คำพุด, การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวน กันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี, 2550.
7. ประชุม คำพุด, การใช้น้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก, ปทุมธานี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2551
8. ดนุพล ตันนโยภาส, วันชัย แก้วไผ่, การพัฒนาคอนกรีตมวลรวมเศษซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบขาว, สงขลา, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2552

9. สิทธิชัย ศิริพันธุ์, การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต. คณะวิชาโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตศรีวิชัย, 2547.
10. คอนกรีต เทคโนโลยี, บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด CPAC กรุงเทพมหานคร, 2000.
11. Johnson, B.D.G. The use of fly ash in Cape Town RMC operations, Proceedings of the 5th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Cape Town, South Africa, S252/33, 1981.