



## พฤติกรรมของคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพารา ที่เคลือบผสมซีโอล์ต์ตัดแปร

دنۇپول دنننؤیگاس\* وئە ئىسھەزە یۇسۇزە \*

### บทคัดย่อ

ภาวะการณ์เปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกนำไปสู่การใช้คอนกรีตมวลเบากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากลดผลกระทบต่อบรรยากาศเข้าสู่อาคารได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาคอนกรีตมวลเบาเปลือกผลยางพาราเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบเงาอะคริลิก 100% ผสมซีโอล์ต์ตัดแปร ซีโอล์ต์ตัดแปรเผาที่อุณหภูมิ 750 และ 800 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 15 20 และ 25 โดยน้ำหนัก บ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน ทดสอบสมบัติคอนกรีต ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ การหดตัวแบบแห้งเชิงปริมาตร ความแข็งแบบชอร์ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ และกำลังอัด วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของตัวอย่างคอนกรีตที่เลือกไว้ พบว่าคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราที่เคลือบผสมซีโอล์ต์ตัดแปรแทนที่ร้อยละ 15 บ่มที่ 28 วัน มีค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 13.65 เมกะพาสคัล อย่างไรก็ตามคอนกรีตเปลือกผลยางพาราเคลือบน้ำยาผสมซีโอล์ต์ตัดแปรที่ศึกษาครั้งนี้มีศักยภาพพัฒนาเป็นคอนกรีตมวลเบาด้านโครงสร้างได้

**คำสำคัญ :** เปลือกผลยางพารา คอนกรีตมวลเบา ซีโอล์ต์ตัดแปร การหดตัวแบบแห้งเชิงปริมาตร

\* ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112 E-mail: danupon.t@psu.ac.th



## Behaviors of Coated Para Rubber Shell Aggregate Concrete Blended Modified Zeolite

Danupon Tonnayopas\* and Ishak Yusof \*

### Abstract

Global climate change scenario leads to lightweight concrete used in worldwide. Because of atmosphere effects reduced into buildings. This research was carried out modified zeolite (MZ) as Portland cement replacement material on the physico-mechanical properties of concrete containing coated para rubber shell aggregate (CPRSA). Natural zeolite and MZ were substituted for ordinary Portland cement. Type I in the proportion of 15, 20 and 25%wt. MZ and uncured and cured in water for 28 days. CPRSA concrete properties such as, volumetric drying shrinkage, water absorption, bulk density, electrical resistance, Shore hardness and compressive strength were determined. Also, X-ray diffraction and scanning electron microscope were analyzed selected concrete specimens. Experimental results indicated 25%MZ at 750°C of CPRSA concrete obtained highest compressive strength of 13.65 MPa. However, CPRSA concrete with MZ of this study can be potentially developed to a structural lightweight concrete.

**Keywords :** Para rubber shell aggregate    Lightweight concrete    Modified zeolite  
Volumetric drying shrinkage

\* Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Kho Hong, Hat Yai, Songkhla 90112, Thailand. E-mail: danupon.t@psu.ac.th

## บทนำ

คอนกรีตและผลิตภัณฑ์จากคอนกรีต เป็นวัสดุก่อสร้างหลักที่สำคัญและใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก และให้กำลังได้มากกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ โครงสร้างอาคาร เช่น เสา คาน ซึ่งต้องใช้คอนกรีต ส่วนพื้นและผนัง อาจจะใช้วัสดุอื่นนอกจากคอนกรีตได้ แต่ส่วนใหญ่ก็ยังนิยมใช้ผลิตภัณฑ์จากคอนกรีต และเมื่อมีอาคารขนาดใหญ่มากขึ้น ค่าก่อสร้างรวมทั้งพลังงานก็มากขึ้นตาม เนื่องจากน้ำหนักของอาคารที่มากขึ้นตามปริมาณของคอนกรีต ปัจจุบันจึงนิยมใช้วัสดุมวลเบาทดแทน ซึ่งมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตร้อยละ 30-60 ในส่วนที่ไม่ต้องรับน้ำหนักหลักของอาคาร ทำให้สามารถลดน้ำหนักของอาคาร ค่าก่อสร้าง และพลังงานในอาคารลดลงได้อย่างมาก (1)

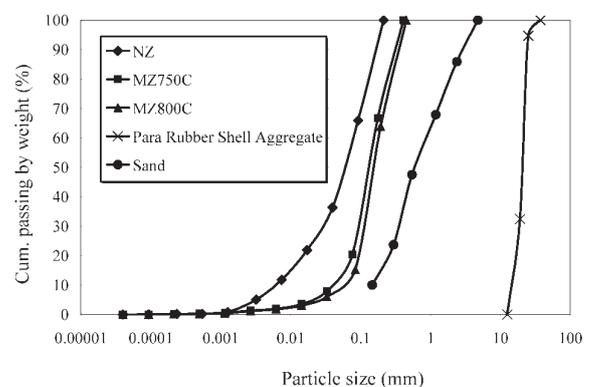
การศึกษาคอนกรีตนิเวศหรือคอนกรีตสีเขียว มีแนวทางใช้คอนกรีตช่วยประหยัดพลังงาน โดยใช้มวลเบา เช่น หินเพอร์ไลต์ขยายตัวในมอร์ตาร์เต็ม น้ำยาลดน้ำได้อิฐมวลเบาด้านโครงสร้าง (1) หินพัมมิชใช้เป็นมวลรวมหายาบในคอนกรีตมวลเบาด้านโครงสร้างที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน (3) ผสมทั้งเถ้าแกลบและเถ้าไม้ยางพารา (4) ในขณะที่มีการพยายามนำของเสียชีวมวลชนิดอื่น ทำเป็นมวลรวมหายาบ เช่น ขี้ยางสดทำเป็นมวลรวมหายาบผสมเถ้าแกลบผลิตอิฐมวลเบาไม่รับน้ำหนัก (5) ดินุพล และคณะ (6) ยังได้ทดลองคอนกรีตมวลเบาโครงสร้างต่อเนื่องด้วยการใช้เม็ดลูกสนทะเลแห้งทำเป็นมวลรวมหายาบหล่อด้วยน้ำหมาก มีการนำเข้าเซรามิกถุงมือชำรุดจากโรงงานใช้เป็นมวลรวมละเอียดและแร่ผสมเพิ่มได้คอนกรีตด้านโครงสร้าง (7) และลูกสนแห้งใส่ในเปลือกผลยางพาราผสมผงเศษอิฐดินเผาได้คอนกรีตมวลเบาด้านโครงสร้าง (8) จากวัสดุเหลือในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ดินุพล และกัลยาณี (9) จึงนำกะลาปาล์มผสมหินฝุ่นแกรนิต ในขณะที่พรนราญณ์ และดินุพล (10) ผสมกับเถ้าแกลบผลิตคอนกรีตมวลเบาด้านโครงสร้าง ต่อมา ดินุพล และจักรพันธ์ (11) ได้นำเปลือกผลยางพารามาแทน

มวลรวมหายาบในคอนกรีต ซึ่งทำให้ได้คอนกรีตมวลเบาชนิดโครงสร้าง และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมาก แต่มวลรวมหายาบเปลือกผลยางพาราดูดซึมน้ำมาก จึงส่งผลให้ภายหลังบ่มในน้ำ คอนกรีตเกิดรอยร้าวขึ้นในบางก้อน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีแนวความคิดต่อยอดที่จะนำเปลือกผลยางพารามาเคลือบเงา เพื่อหวังลดการดูดซึมน้ำของเปลือก และเพิ่มพัฒนาการกำลังคอนกรีตด้วยซีโพลีเมอร์ชนิดและที่ดัดแปรด้วยการเผา เพื่อทำเป็นสารปอซโซลาน เป็นวัสดุประสานในคอนกรีต (12) อันนำไปสู่การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาจรโลง ลิ่งแวดล้อม

## วิธีการ

### วัตถุดิบ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทหนึ่ง เปลือกผลยางพาราพันธุ์ RRIM 600 จากสวนยางจังหวัดนราธิวาส และเปลือกผลยางพาราที่เคลือบด้วยน้ำยาเคลือบเงาอะคริลิก 100% นำมาเป็นมวลรวมหายาบผลวิเคราะห์การกระจายตัวของทรายพบว่าที่  $d_{50}$  มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 85.9 โดย ซึ่งมีค่ามอดูลัสความละเอียด (Fineness of modulus: F.M.) สูงสุดเท่ากับ 2.72 ซีโพลีเมอร์ชนิดขนาดละเอียด 45 ไมครอน จากร้านค้า ส่วนซีโพลีเมอร์ที่ดัดแปรด้วยความร้อนที่ 750 และที่ 800 องศาเซลเซียส ผลการกระจายขนาดแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขนาดของอนุภาควัสดุที่ใช้หล่อตัวอย่างคอนกรีตศึกษา

### การเตรียมวัสดุผสม

นำซีโอไลท์ธรรมชาติที่มีขนาดละเอียด 45 ไมครอน มาเผาที่อุณหภูมิ 750 และ 800 องศาเซลเซียส เบ้าเหล็กสำหรับหล่อเป็นลูกบาศก์ขนาด 100×100×100 มิลลิเมตร อัตราส่วนปูนซีเมนต์: ทราย: มวลรวม เท่ากับ 1:2.1:0.4 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.4 ตลอดทั้งการทดลอง บ่มตัวอย่างในน้ำประปาสะอาด เป็นเวลา 28 วัน จำนวนตัวอย่างคอนกรีตทดสอบทั้งหมด 42 ก้อน (ภาพที่ 2)

### การทดสอบตัวอย่าง

ความหนาแน่นรวม (Bulk density) คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมวลรวมในอากาศเทียบกับปริมาตรของวัสดุนั้น ทดสอบตาม ASTM C127 และการดูดซึม (Water absorption) คือปริมาณน้ำที่ดูดซึมเข้าไปจนเต็มช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้ของมวลรวมตาม ASTM C128 ส่วนการหัดตัวแบบแห้งเชิงปริมาตรเป็นการชั่งน้ำหนัก วัดและคำนวณปริมาตรก่อนและหลังบ่ม 28 วัน

การทดสอบความแข็งแบบชอร์ (Shore hardness) ด้วยเครื่อง Hardness Tester EQUO TIP รุ่น CA 6525 อ่าน 3 ค่า และเฉลี่ยเป็น 1 ค่า ทดสอบกำลังอัดตามวิธีของ ASTM C192 ส่วนการวัดความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่อง รุ่น CA 6525 ตั้ง

ความต้านทานไฟฟ้าที่ 1000 MegaOhm ซึ่งคำนวณได้ความต้านทานไฟฟ้าเฉพาะจากสมการที่ 1 ดังนี้

$$\rho = R(wxt)/l \quad (1)$$

$\rho$  = ความต้านทานไฟฟ้าเฉพาะ หน่วย เมกะโอห์ม-เซนติเมตร

R = ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่อ่านได้ หน่วย เมกะโอห์ม

w = กว้าง หน่วย เซนติเมตร

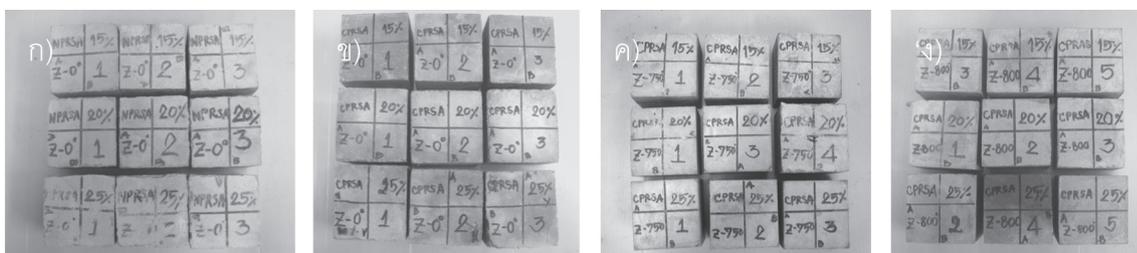
t = ความหนา หน่วย เซนติเมตร

l = ความยาว หน่วย เซนติเมตร

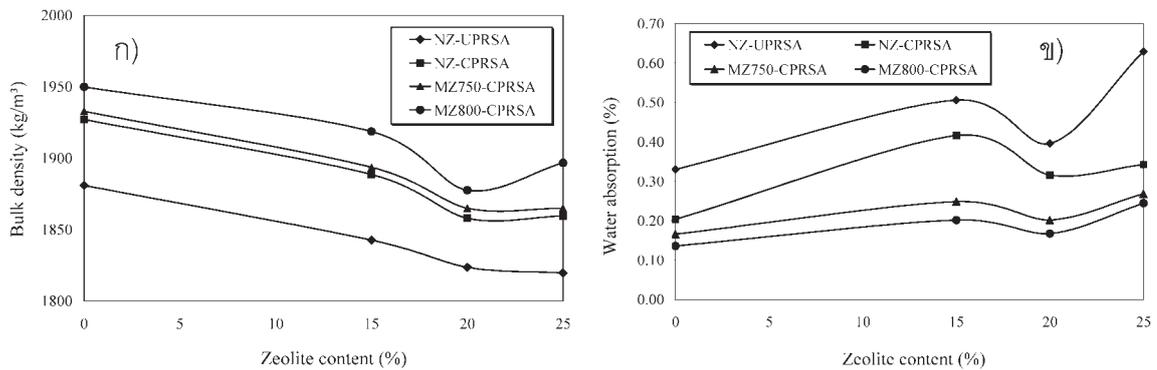
### ผล

#### ความหนาแน่นรวม

คอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราผสมซีโอไลท์ธรรมชาติ (NZ) และซีโอไลท์ดัดแปร (MZ) มีค่าความหนาแน่นรวมต่ำ เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซีโอไลท์ ที่อายุบ่ม 28 วัน (ภาพที่ 3 ก) และเมื่อแทนที่ด้วยซีโอไลท์ดัดแปร พบว่า ความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เผาซีโอไลท์ อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของคอนกรีตทุกสูตรที่ศึกษาอยู่ในเกณฑ์ของคอนกรีตมวลเบาชนิดโครงสร้างตาม ASTM C330 (13)



ภาพที่ 2 คอนกรีตเปลือกผลยางพาราบ่ม 28 วัน ชนิด ก) ไม่เคลือบซีโอไลท์ธรรมชาติ หรือ NZ-UCPRSA ข) เคลือบซีโอไลท์ธรรมชาติ NZ-CPRSA ค) เคลือบซีโอไลท์เผา 750 องศาเซลเซียส หรือ MZ750-CPRSA และ ง) เคลือบซีโอไลท์เผา 800 องศาเซลเซียส หรือ MZ800-CPRSA



ภาพที่ 3 สมบัติคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราที่ป่ม 28 วัน ก) ความหนาแน่นรวม และ ข) การดูดซึมน้ำ

### การดูดซึมน้ำ

คอนกรีตเปลือกผลยางพาราผสมซีโอไลต์ธรรมชาติ มีการดูดซึมน้ำมากกว่าคอนกรีตเปลือกผลยางพาราผสมซีโอไลต์ดัดแปร (MZ) ส่วนคอนกรีตเปลือกผลยางพาราที่มีการเคลือบด้วยน้ำยาเคลือบเงาอะคริลิก 100% (CPRSA) มีการดูดซึมน้ำลดลงและน้อยกว่าคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราที่ไม่เคลือบ (ภาพที่ 3 ข) และพบว่าคอนกรีตผสมซีโอไลต์ที่อุณหภูมิสูงชันค่าการดูดซึมน้ำลดลง

### การหดตัวแบบแห้ง

การหดตัวแบบแห้งเชิงปริมาตรของตัวอย่างคอนกรีตมวลรวมผสมซีโอไลต์ธรรมชาติและซีโอไลต์ดัดแปร เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่า มีการหดตัวทุกอัตราส่วนเป็นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ตัวอย่างคอนกรีตที่มีการเพิ่มอัตราส่วนของซีโอไลต์ทำให้มีค่าหดตัวน้อยที่สุด (ภาพที่ 4) และเมื่อเปรียบเทียบที่ร้อยละ 25 พบว่า ก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ใส่ซีโอไลต์เผาที่ 800 องศาเซลเซียส มีการหดตัวน้อยที่สุดร้อยละ 2.54 (ภาพที่ 4 ง)

### ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่บางส่วนด้วยซีโอไลต์ธรรมชาติมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงกว่าตัวอย่างที่แทนที่

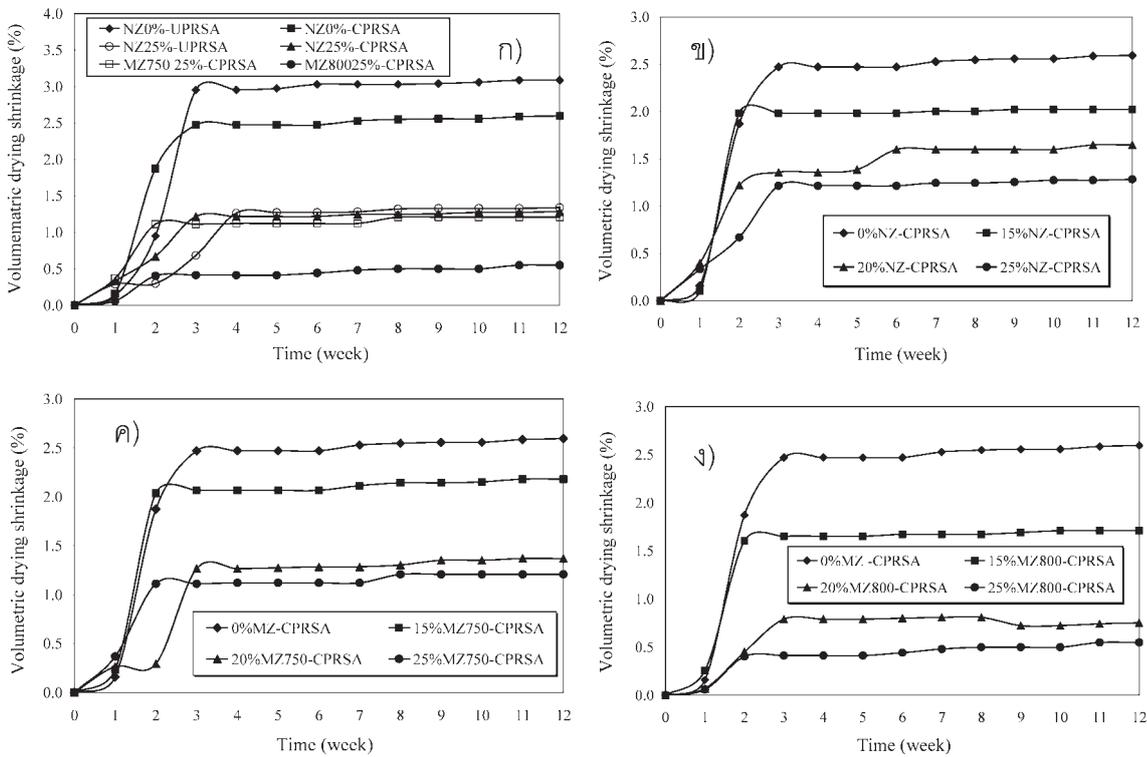
ด้วยซีโอไลต์ดัดแปร (ภาพที่ 5) นอกจากนี้แล้วยังพบว่า เมื่อมีการผสมด้วยซีโอไลต์เผาที่อุณหภูมิสูงชันค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะก็ลดลงตามอุณหภูมิที่เผา

### ความแข็งแรงแบบชอร์

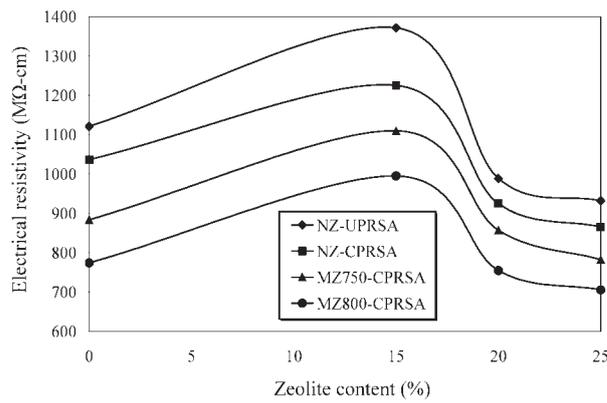
ความแข็งแรงแบบชอร์ของคอนกรีตเปลือกผลยางพาราผสมซีโอไลต์ธรรมชาติและซีโอไลต์ดัดแปร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 15 และลดลงตามส่วนผสมซีโอไลต์ธรรมชาติและซีโอไลต์ดัดแปรที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 6)

### กำลังอัด

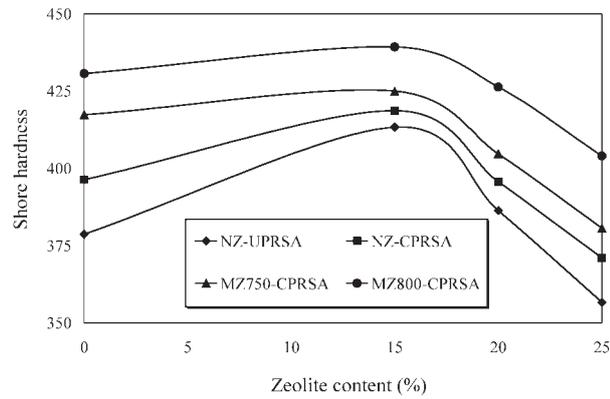
กำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราที่เคลือบด้วยน้ำยาเคลือบเงาอะคริลิก 100% (CPRSA) ให้ค่าลดลง ทั้งนี้สันนิษฐานว่า น้ำยาเคลือบเงาอะคริลิก ได้ทำปฏิกิริยากีดขวางปูนซีเมนต์ไม่ให้ยึดติดกับเปลือกผลยางพาราได้ยึดติดแน่น (ภาพที่ 7 ก) อีกทั้งส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานด้วย ตัวอย่างคอนกรีตแตกกระเทาะออกตามผิวเปลือกผลยางพารา (ภาพที่ 8) ในขนาดเดียวกัน คอนกรีตที่ไม่เคลือบน้ำยาพบว่า กำลังอัดเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ร้อยละ 20 มีค่า 13.65 เมกะพาสคัล มีค่าดัชนีกำลังประมาณร้อยละ 137 (ภาพที่ 7 ข)



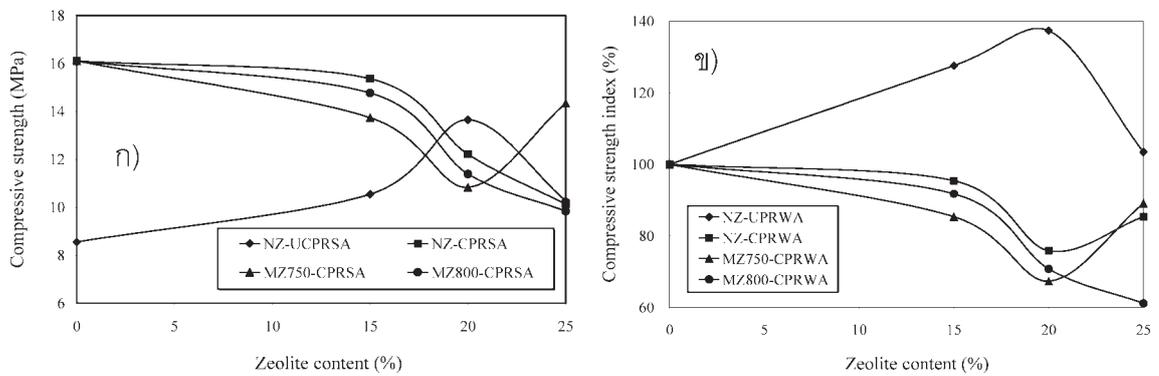
ภาพที่ 4 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพารา ก) ที่ไม่เคลือบผสมซีโอไลต์ธรรมชาติ ข) ที่เคลือบผสมซีโอไลต์ธรรมชาติ ค) ที่เคลือบผสมซีโอไลต์เผาที่ 750 องศาเซลเซียส และ ง) ที่เคลือบผสมซีโอไลต์เผาที่ 800 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5 ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราที่อายุบ่ม 28 วัน



ภาพที่ 6 ความแข็งแบบชอร์ของคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราที่อายุบ่ม 28 วัน



ภาพที่ 7 คอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราที่บ่ม 28 วัน ก) กำลังอัด และ ข) กำลังอัดเปรียบเทียบ



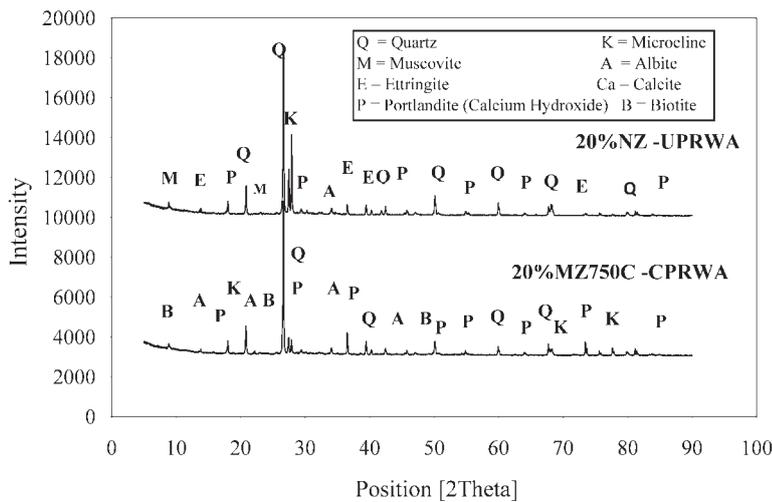
ภาพที่ 8 ลักษณะการแตกของคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราที่เคลือบผสมซีโอไลต์



**วิทยาแร่ในคอนกรีต**

คอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราเคลือบผสมซีโอล์ต์ดัดแปร บ่ม 28 วัน มาตรวจวิเคราะห์ด้วย XRD (ภาพที่ 9) ผลการคำนวณหาปริมาณแร่แต่ละชนิดด้วยวิธีการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ (ตาราง

ที่ 2) ซึ่งตัวอย่างที่ได้ตรวจวิเคราะห์เป็นคอนกรีตที่มีอัตราส่วนซีโอล์ต์ดัดแปรที่ร้อยละ 20 (เปลือกผลยางพาราเคลือบ) และซีโอล์ต์ธรรมชาติ (เปลือกผลยางพาราไม่เคลือบ) ไม่พบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH)



ภาพที่ 9 แร่ที่เกิดในเนื้อคอนกรีตของซีโอล์ต์ธรรมชาติ (ไม่เคลือบ) กับซีโอล์ต์เผาที่ 750 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 การออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ศึกษา

อัตราส่วนซีโอล์ต์ดัดแปร (%)	ปริมาณส่วนผสม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)				
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ซีโอล์ต์ธรรมชาติหรือดัดแปร	ทราย	เปลือกผลยางพารา	น้ำ
0	500	0	1,050	200	200
15	466	34	1,050	200	200
20	432	68	1,050	200	200
25	398	102	1,050	200	200



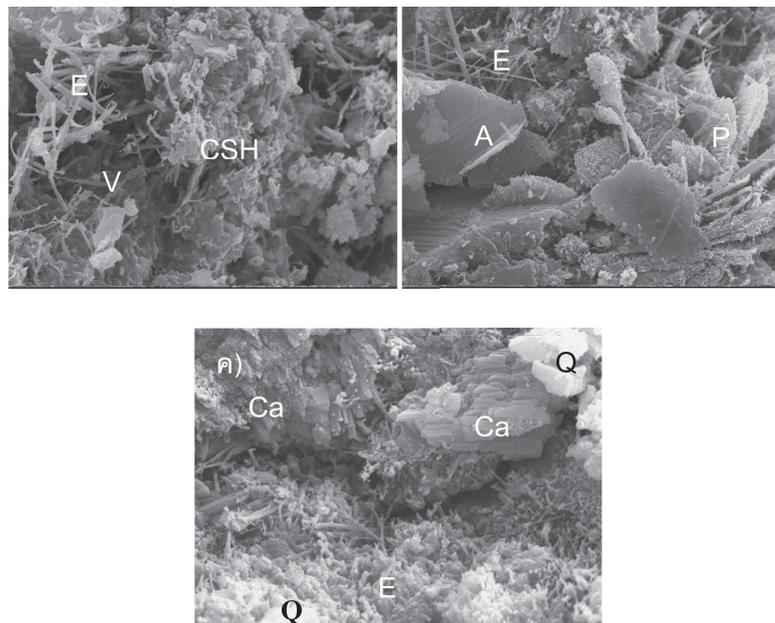
## ตารางที่ 2 ปริมาณและชนิดแร่ที่พบในก้อนตัวอย่างคอนกรีต

ตัวอย่าง คอนกรีต	ปริมาณแร่ (%)						
	Quartz	Muscovite /Biotite	Ettringite	Portlandite	Microcline	Albite	Calcite
750MZ- CPRWA	38.12	29.71	-	8.34	11.69	12.16	-
NZ-UPRWA	34.94	18.43	8.42	3.78	8.51	14.57	11.35

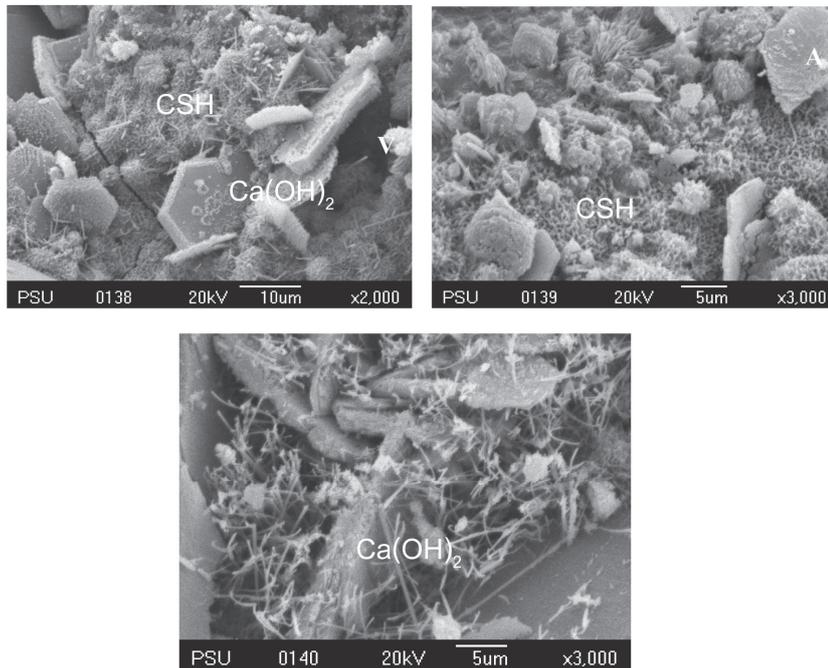
### โครงสร้างจุลภาคของคอนกรีต

ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ของคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพารา เคลือบผสมซีโอโลดต์เผาที่ 750 องศาเซลเซียส ร้อยละ 20 บ่ม 28 วัน พบช่องว่างระหว่างเนื้อคอนกรีต (V) (ภาพที่ 10 ก) เห็นได้ว่าโครงสร้างภายในมีการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน เนื้อภายในของตัวอย่างคอนกรีตจะมีลักษณะผลึกรูปทรงคล้ายเข็มของแอดตริงไกต์ (E) โยงไขว้สลับกัน (ภาพที่ 10

และ ข) พบผลึกแอลไบต์ (albite-A) แผ่นผิวเรียบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและแผ่นเหลี่ยมแบนขอบสันคมของพอร์ตแลนด์ไตต์ (portlandite-P) (ภาพที่ 10 ข) และผลึกแบบกระจุกเข็มแหลมล้อมรอบคล้ายหอยเม่นเรียกว่า แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) (ภาพที่ 10 ก) ไม่ค่อยมีขนาดใหญ่และปริมาณมาก นอกจากนี้ยังพบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca(OH)}_2$ -Ca) (ภาพที่ 10 ค)



ภาพที่ 10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเนื้อคอนกรีตซีโอโลดต์ธรรมชาติ (ไม่เคลือบ) บ่ม 28 วัน ก) กำลังขยาย 7,000 เท่า ข) กำลังขยาย 4,000 เท่า และ ค) กำลังขยาย 10,000 เท่า



ภาพที่ 10 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของซีโอไลต์เผาที่ 750 องศาเซลเซียส (เคลือบ) บ่ม 28 วัน ก) กำลังขยาย 2,000 เท่า ข) กำลังขยาย 3,000 เท่า และ ค) กำลังขยาย 3,000 เท่า

### วิจารณ์

โดยทั่วไปทรายที่ใช้ผสมคอนกรีตควรมีค่ามอดูลัสความละเอียดอยู่ระหว่าง 2.30–3.20 และ หินควรมีค่าอยู่ระหว่าง 6.00–8.00 ตาม ASTM C33 (15) ทรายที่ใช้อยู่ในเกณฑ์ดังกล่าว ส่วนเปลือกผลยางพารานั้นเป็นมวลรวมค่อนข้างมีขนาดเดียวตามแบบฉบับของคอนกรีตพรุน (porous concrete) การทดสอบดูดซึมน้ำของคอนกรีตครั้งนี้เทียบกับผลศึกษาคอนกรีตเปลือกผลยางพาราผสมดินขาวแปรของदनุพล และจักรพันธ์ (10) พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่า และค่าการดูดซึมน้ำสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นรวม (ภาพที่ 2 ก)

วัสดุซีโอไลต์ดัดแปรช่วยในการยับยั้งพฤติกรรมการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตเปลือกผลยางพาราที่ศึกษาครั้งนี้ สอดคล้องกับผลศึกษามอร์ตาร์ทหินทรายผสมซีโอไลต์ธรรมชาติของชัยณรงค์ และदनุพล (14) ที่ไม่พบการหดตัวแบบ

แห้งในช่วง 6 เดือน สมบัติของคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราเคลือบผสมซีโอไลต์ดัดแปร มีความหนาแน่นรวมของคอนกรีตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ACI 213R-87 (1,350 – 1,950 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และยังพบอีกว่าซีโอไลต์เผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความแข็งแรงแบบชอร์ได้เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เผาซีโอไลต์ (ภาพที่ 6) สอดคล้องกับค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (ภาพที่ 5)

สำหรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราเคลือบผสมซีโอไลต์ดัดแปรนั้นได้กำลังอัดน้อย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำยาเคลือบเงาอะคริลิกไปกีดขวางในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและปอซโซลานจึงทำให้เนื้อคอนกรีตเกาะกับเปลือกผลยางพาราไม่แน่น จึงเกิดเป็นจุดอ่อนของคอนกรีตและเมื่อพิบัติแตกร่วนและกระเทาะหลุดออกมา (ภาพที่ 8) ค่ากำลังอัดสูงสุดที่ได้คือ 16.94 เมกะพาสคัล (ที่ไม่เคลือบ+ซีโอไลต์ธรรมชาติ) และเมื่อเปรียบเทียบกับ



ผลงานศึกษาของชัยณรงค์ และตฤพล (14) พบว่าคอนกรีตครั้งนี้มีการพัฒนากำลังอัดในลักษณะทำนองเดียวกัน เพียงแต่ค่าน้อยกว่าและมีค่ากำลังอัดต่ำกว่าเกณฑ์คอนกรีตมวลเบาชนิดโครงสร้าง (17 เมกะพาสคัล) ตาม ASTM C330 สำหรับดัชนีกำลังของคอนกรีตที่ผสมซีโอล์ดธรรมชาติร้อยละ 20 และมวลรวมเปลือกผลยางพาราไม่เคลือบ (UPRSA) มีค่าใกล้เคียงกับผลศึกษาของตฤพล และจักรพันธ์ (11) ซึ่งเหมาะกับการนำไปพัฒนาคอนกรีตมวลเบาต้านโครงสร้างและมีแนวโน้มพัฒนาเป็นคอนกรีตมวลเบาชนิดโครงสร้างได้ ส่วนกำลังอัดของคอนกรีตที่เคลือบได้กำลังอัดสูงสุดที่ซีโอล์ดตัดแปร 800 องศาเซลเซียส แทนที่ร้อยละ 15 ได้กำลังอัดเฉลี่ยคือ 13.65 เมกะพาสคัล สืบเนื่องจากซีโอล์ดผสมในคอนกรีตไม่ได้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำยาเคลือบอะคริลิกของเปลือกผลยางพาราเหมือนบริเวณเนื้อคอนกรีตทั่วไป จึงทำให้ปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากได้ปรากฏรูปร่างของ CSH ในผลวิเคราะห์ด้วย SEM (ภาพที่ 10) แม้ว่าผลวิเคราะห์ด้วย XRD (ภาพที่ 9) รายงานว่าไม่มีก็ตาม ปรากฏการณ์ดังกล่าวส่งผลให้คอนกรีตได้กำลังอัดลดลง

อย่างไรก็ตามคอนกรีตดังกล่าวเป็นแนวทางในการนำของเสียในอุตสาหกรรมเกษตรมาพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยเฉพาะแก่ชุมชนท้องถิ่นสวนยางและบริเวณชายฝั่งที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว คอนกรีตที่ศึกษาช่วยดูดซับฟอนถ่ายแรงไหวสะเทือน และเป็นวัสดุนิเวศเศรษฐกิจ

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ตามสัญญาเลขที่ ENG-55-2-7-08-0111-S

#### เอกสารอ้างอิง

1. ตฤพล ตันนโยภาส และวิระศักดิ์ วรรณโสภะ: การประเมินและผลกระทบของมวลรวมหินพัมมิชที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตสำหรับงานก่อฉาบ การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8. โรงแรมโซฟิเทล รามา ออคิด, ขอนแก่น. หน้า 18-23, 2545.
2. Boongunt G., Tonnayopas D., and Rienmanorom S.: Influence of expanded perlite aggregate and admixtures on physico-mechanical properties of lightweight mortar, The b Symposium "Keep Concrete Attractive", Budapest. pp. 385-396, 2005.
3. ตฤพล ตันนโยภาส และสุรเดช อุดระชละ: อิทธิพลของเถ้าเชื้อเพลิงปาล์มน้ำมันที่มีต่อสมบัติคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาหินพัมมิช การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. หน้า 13-18, 2551.
4. Hawa A. and Tonnayopas D.: Lightweight aggregate concrete blended with rice husk ash and para rubber wood y ash. The 11th International Conference on Mining, Materials and Petroleum Engineering, The 7th International Conference on Earth Resources Technology and ASEAN Forum on Clean Coal Technology, November 11-13, 2013, Chiang Mai. 6 p., 2013
5. ตฤพล ตันนโยภาส และวันชัย แก้วไผ่: การพัฒนาคอนกรีตมวลรวมเศษขี้ยางธรรมชาติเต็มด้วยเถ้าแกลบขาว การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 21-22 พฤษภาคม 2552. หน้า 555-560, 2552.

6. ดนุพล ตันนโยภาส กานต์ เมืองแมน และ ศิริวัฒน์ เขียววัฒนกุล: พัฒนาคอนกรีตมวลเบาใหม่ใส่มวลรวมลูกสนทะเลแห้งและแร่ผลสมเพิ่มหล่อด้วยน้ำพลหมาก การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 8-9 ธันวาคม 2548. หน้า 19-24, 2548.
7. ดนุพล ตันนโยภาส และจิรภา ดำรงเชื้อ: คอนกรีตมวลรวมลูกสนทะเลแห้งผสมเถ้าเซรามิกถุ้งมือขำรูดใช้เป็นมวลรวมละเอียดและแร่ผลสมเพิ่ม, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7. หน้า 39-44, 2551.
8. จีราวรรณ ดำรงค์ฤทธิ์ ดนุพล ตันนโยภาส และ สุชาติ จันทร์มณี: คอนกรีตมวลรวมเบาของเสียชีวมวลผสมเศษอิฐดินเผาบดละเอียด การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ประจำปี 2556 วันที่ 22-25 พฤษภาคม 2556 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี, สงขลา. 8 หน้า, 2556.
9. ดนุพล ตันนโยภาส และกัลยาณี คุปตานนท์: คอนกรีตมวลเบาที่ทำจากมวลรวมกะลาปาล์ม น้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ 12(3): 138-148, 2554.
10. พรนราภรณ์ บุญราศรี และดนุพล ตันนโยภาส: การปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตมวลรวมจากกะลาปาล์มน้ำมันด้วยเถ้าแกลบที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกล, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 6. หน้า 91-96, 2551.
11. ดนุพล ตันนโยภาส และจักรพันธ์ วัฒนาพรณ์: คอนกรีตมวลเบาผลิตจากมวลรวมเปลือกผลยางพาราผสมดินขาวแปร. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 20 ประจำปี 2553. รร.เจ บี หาดใหญ่, สงขลา. หน้า 163-171, 2553.
12. ซีโอล์ด [cited 2012 Feb 10] Available from: <http://www.vcharkarn.com/vblog/38694>
13. ASTM C330/C330M-09: Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, 2009.
14. ชัยณรงค์ จันทร์มณี และดนุพล ตันนโยภาส: อิทธิพลของซีโอล์ดธรรมชาติที่มีต่อการหดตัวแบบแห้งและกำลังอัดของมอร์ต้าร์มวลรวมหินทรายบด. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 16(2), 2556. (กำลังจัดพิมพ์)
15. ASTM C33/C33M-13: Standard Specification for Concrete Aggregates, 2013.